

机械制造难加工技术

邢鸿雁 陈榕林 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



机械工业出版社

© ISBN 978-7-111-25236-8

© 策划：张秀恩/封面设计：陈沛

编辑热线：(010)88379770

地址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010)68326294 网址：<http://www.cmpbook.com> (机工门户网)
(010)68993821 E-mail: cmp@cmpbook.com
购书热线：(010)88379639 (010)88379641 (010)88379643

上架指导：工业技术 / 机械工程 / 机械加工

ISBN 978-7-111-25236-8



9 787111 252368 >

定价：55.00元

机械制造难加工技术

主 编 邢鸿雁 陈榕林
参 编 陈 野 王利欣
张 磊 刘 辉
郑 云 兰玉红



机械工业出版社

本书以提出问题、分析问题和解决问题为写作主线，介绍了机械制造难加工技术。主要内容包括车削细长轴的关键技术及车削方法、车削螺纹及保证质量的技术措施、特殊孔的切削加工、在车床上作非车削加工、特殊材料的切削加工、切削疑难问题对策和数控难加工技术。在介绍加工方法时，将制造工艺和操作技能相结合，并注重介绍其中的关键技术、技术对策和注意事项，希望能对读者有一定的帮助。

本书是一本技术性和实用性较强的科技类图书，既可供从事机械制造业的技术工人使用，也可以供相同或相关专业的技术人员和学生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造难加工技术/邢鸿雁, 陈榕林主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 1

ISBN 978 - 7 - 111 - 25236 - 8

I. 机… II. ①邢…②陈… III. ①机械制造工艺②机械加工 - 工艺
IV. TH16 TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 153715 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张秀恩 责任编辑: 张秀恩 刘远星

版式设计: 霍永明 责任校对: 程俊巧

封面设计: 陈 沛 责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 27.25 印张 · 675 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 25236 - 8

定价: 55.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械制造行业的职工队伍，半数以上是技术工人，他们的技术水平直接关系到企业的生存和发展。所以，无论是对企业，还是工人自身，提高技术水平都是刻不容缓的大事。

本书从车削细长轴的关键技术及车削方法、车削螺纹及保证质量的技术措施、特殊孔的切削加工、在车床上作非车削加工、特殊材料的切削加工、切削疑难问题对策、数控难加工技术几个方面，论述了机械制造难加工技术。其中的“难”有三层含义：一是书中略去低起点的内容，涉及的相关知识广，有一定的深度；二是论述的加工技术其工艺比较复杂，技术难点多，操作技能要求较高；三是对读者应有“引路牌”的作用，不仅知其然，还要知其所以然。为了变“难”为“不难”，我们采用的编写方法是，以“专业知识”和“操作技能”为主线，有针对性地提出问题，然后加以分析，进而明确解决办法。这些办法有的是先进经验，有的是绝招窍门，有的是实践措施，虽不能肯定地讲是“最好”的办法，但它能适应生产需要，解决具体问题。特别值得一提的是，在介绍加工方法时，强调其中的关键技术、技术对策和注意事项，希望读者能以此为鉴，在生产实践中少碰钉子，少走弯路，并能启发创新思维，培养创造能力，尽快地提高技术水平。

本书编写过程中，参考了许多著作、论文和杂志，还得到了张学询、孙树仁二位专家的大力支持，在此表示感谢！

本书由邢鸿雁、陈榕林主编，陈野、王利欣、张磊、刘辉、郑云、兰玉红参加编写。

由于时间仓促，业务水平有限，难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第一章 车削细长轴的关键技术及车削方法	1
一、细长轴的加工特点和要解决的关键技术	1
二、中心架及其使用方法	2
三、跟刀架及其使用方法	4
四、使用中心架和跟刀架时的注意事项	5
五、车削细长轴的刀具及几何形状	6
六、车削细长轴的装夹方法	9
七、细长轴的加工方法	10
八、切削用量选择实例	15
九、常见质量问题及对策	16
第二章 车削螺纹及保证质量的技术措施	19
一、螺纹的基本知识和常用表	20
二、螺纹车刀	44
三、车床的调整和交换齿轮计算	49
四、车削三角形螺纹	65
五、车削梯形螺纹	77
六、车削矩形螺纹	82
七、车削蜗杆螺纹	83
八、车削多线螺纹	84
九、车削丝杠螺纹	87
第三章 特殊孔的切削加工	89
一、精孔钻削	91
二、小孔钻削	92
三、深孔切削加工	92
四、缺料孔钻削	94
五、在圆柱面上钻孔	94
六、钻削骑缝孔和中心距较小的孔	95
七、钻削三联孔	96
八、在斜面上钻孔	97
九、在薄板上钻孔	98
十、在橡胶材料上钻孔	99
十一、在有机玻璃上钻孔	99
十二、钻削孔距有精度要求的孔	100
十三、变单孔钻削为多孔钻削	103
十四、在普通台式钻床 (Z512) 上进行半自动多孔钻削	111
十五、在万能工作台钻铣床上钻孔	114
第四章 在车床上作非车削加工	118
一、在车床上加工多边形	118
二、在车床上磨削加工	124
三、在车床上珩齿加工	129
四、在车床上铣端面和钻中心孔	132
五、在车床上滚压加工	136
六、在车床上铣削加工	139
七、在车床上插削加工	144
八、在车床上镗削加工	146
九、在车床上抛光和研磨	152
第五章 特殊材料的切削加工	158
一、不锈钢切削加工	158
二、高锰钢切削加工	161
三、淬硬钢切削加工	162
四、高强度钢切削加工	164
五、高温合金切削加工	165
六、钛合金切削加工	167
七、纯铜和纯铝材料切削加工	170
八、工程塑料切削加工	172
九、橡胶材料切削加工	173
十、有机玻璃切削加工	174
十一、硬玻璃切削加工	175
第六章 切削加工疑难问题对策	176
一、车刀与车削	176
二、圆柱孔与圆锥面车削	189
三、成形面车削与表面滚花	214
四、特殊结构零件车削	239
五、提高车削效率的几项技改成果	260
六、分度头在铣削加工中的应用	269
七、用一把三面刃槽铣刀或组合三面刃铣刀铣花键	286
八、铣削离合器及保证加工质量的技术对策	290

九、铣削齿轮及保证加工质量的技术 对策	303	五、用户宏程序（一）	351
第七章 数控难加工技术	329	六、用户宏程序（二）	355
一、多拐曲轴的加工	329	七、现代车削中心的加工	360
二、多线螺纹配合件加工	335	八、数控铣削的现代加工技术	376
三、复杂工装类零件的加工（一）	342	九、电火花加工	398
四、复杂工装类零件的加工（二）	346	参考文献	430

第一章 车削细长轴的关键技术及车削方法

工人们常说：“钳工怕钻眼，车工怕车杆”。“车工怕车杆”是指怕车细长轴（杆）。因为细长轴工件的长径比大，刚性差，切削中易热胀变形和振动；连续车削时间长，刀具磨损量大，致使工件形位精度和表面粗糙度不易达到图样要求。可见车削细长轴是一项难掌握的加工技术。

一、细长轴的加工特点和要解决的关键技术

1. 细长轴的加工特点

工件长度 L 与直径 d 之比称长径比。当 $L/d > 25$ 时，一般称为细长轴，也称细长杆。

由于细长轴的长径比通常在 25 以上，所以本身刚性很差。在车削时，因受切削力、切削热和振动等因素的影响，会出现以下一些问题：

1) 车削时产生的径向切削力，会使工件弯曲，从而引起振动，影响加工精度和表面粗糙度。

2) 由于工件自重、变形和振动，影响工件圆柱度和表面粗糙度。

3) 工件高速旋转时，在离心力的作用下，加剧了工件的弯曲和振动。

4) 细长轴车削一次进给时间较长，车削热量大部分传给工件，使工件温度升高，产生轴向伸长变形。温度愈高，伸长量愈大。若工件两端用顶尖装夹（或一端用卡盘一端用顶尖），轴向伸长会使工件弯曲，使加工质量下降。

2. 车削细长轴的三个关键技术

尽管加工细长轴的工艺难度很大，要求的操作技术也比较高，但是若能掌握和解决加工细长轴的关键技术，出现在加工中的很多困难都可以克服。

(1) 采用特殊的装夹方法 凭借特殊的装夹方法，有效地利用超定位作用，使用中心架和跟刀架作为支承夹具，以增加工件的装夹刚度。

(2) 解决工件热变形伸长问题 工件热变形伸长量可按下式计算

$$\Delta L = \alpha L \Delta t$$

式中 ΔL ——工件热变形伸长量 (mm)；

α ——材料线膨胀系数 ($1/^\circ\text{C}$)；

L ——工件总长 (mm)；

Δt ——工件温度升高量 ($^\circ\text{C}$)。

例 1 车削直径为 25mm、长度为 1200mm 的细长轴，材质为 45 钢，工件受热由 21°C 上升到 61°C ，45 钢的线膨胀系数 $\alpha = 11.59 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。这种情况下，细长轴的热变形伸长量 ΔL 为

$$\Delta L = \alpha L \Delta t = 11.59 \times 10^{-6} \times 1200 \times (61 - 21) \text{mm} = 0.556 \text{mm}$$

防止工件热变形伸长，通常从两方面采取措施：一是使用弹性回转顶尖，当工件受热伸

长后，使弹性回转顶尖向后退让，防止工件产生弯曲变形；二是加注充分的切削液，吸收切削时所产生的热量，也可使跟刀架卡爪与工件接触处得到很好的润滑，改善工件与刀具的摩擦情况，减少热量的产生。

车细长轴时，一般使用冷却性较好的乳化液进行充分冷却。当用高速钢车刀低速车削细长轴时，为了减少刀具磨损，用硫化切削油作为切削液。

(3) 合理选择车刀的几何形状 选择车刀几何形状应考虑以下问题：

1) 尽量减小切削力，尤其是减小径向力，因为径向力是产生切削振动的主要因素。为此，细长轴车刀一般选用大前角和大主偏角。为减小径向力、避免振动，有的细长轴车刀选用 93° 主偏角。

2) 选择正刃倾角 ($\lambda_s > 0$)，一方面可控制切屑流向待加工表面，另一方面也可减小径向力，避免振动。

3) 刀面切削刃要具有较低的表面粗糙度值，车刀要经过研磨，经常保持刃口锋利。

4) 选择较小的刀尖圆弧半径（一般半径 $r < 0.3\text{mm}$ ）。刀尖半径愈小，径向力愈小，愈不易引起振动。

二、中心架及其使用方法

中心架是卧式车床的随机附件，其结构如图 1-1 所示。

使用时，将中心架置于床面的一定位置上，由主体 2 通过压板 1 和螺母 10 紧固在床面上。盖子 7 与主体 2 用销作活动联接，盖子 7 可以打开与盖住，并用螺钉 9 来固定。三个爪的向心或离心位置，可以用螺钉 4 调节，以适应不同直径的工件，并用螺钉 8 紧固爪 5 和 6，使爪在需要的位置固定不动。其使用方法有三种。

1. 中心架直接安装在工件的中间

如图 1-2a 所示，中心架在工件中间，使 L/d 值减少了 $1/2$ ，细长轴的刚性可增加好几倍。

在工件装上中心架之前，必须在毛坯中间车一段安装中心架卡爪的沟槽，槽的直径要留有加工余量。车这条沟槽时，背吃刀量和进给量必须选得很小，主轴的转速也不能太快，车好后用砂布打光。调整中心时，要先调整下面两个爪，然后把盖子盖好固定，最后调整上面一个爪。为使卡爪与工件保持良好的接触，也可以在卡爪与工件之间加一层砂布（砂布光面朝向工件）或研磨剂，进行研磨跑合。

车削时，卡爪与工件接触处应经常加润滑油。

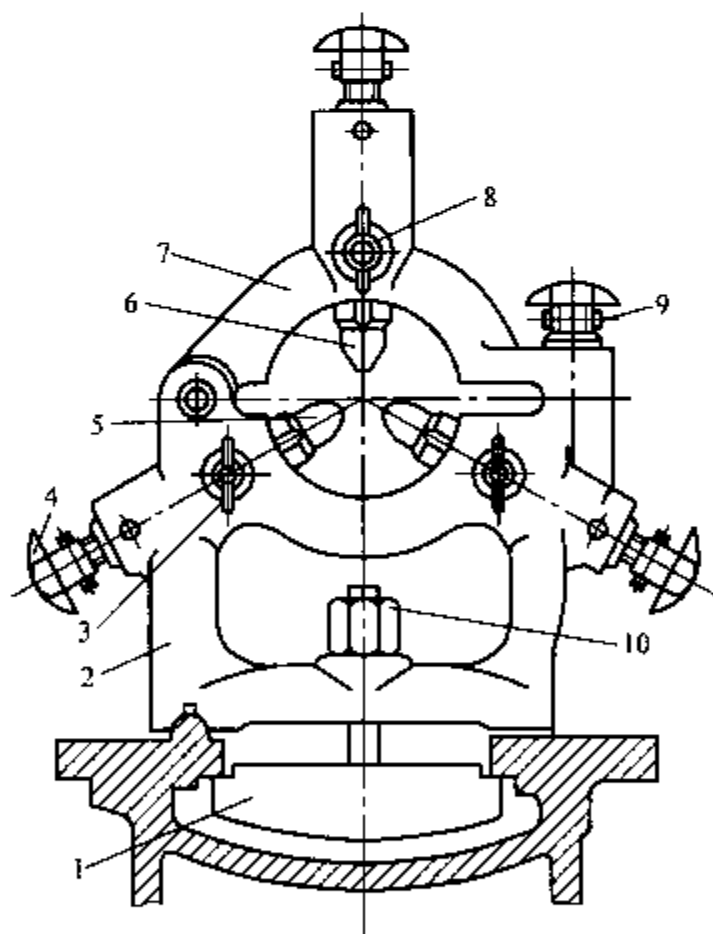


图 1-1 中心架

1—压板 2—主体 3、4、8、9—螺钉
5、6—爪 7—盖子 10—螺母

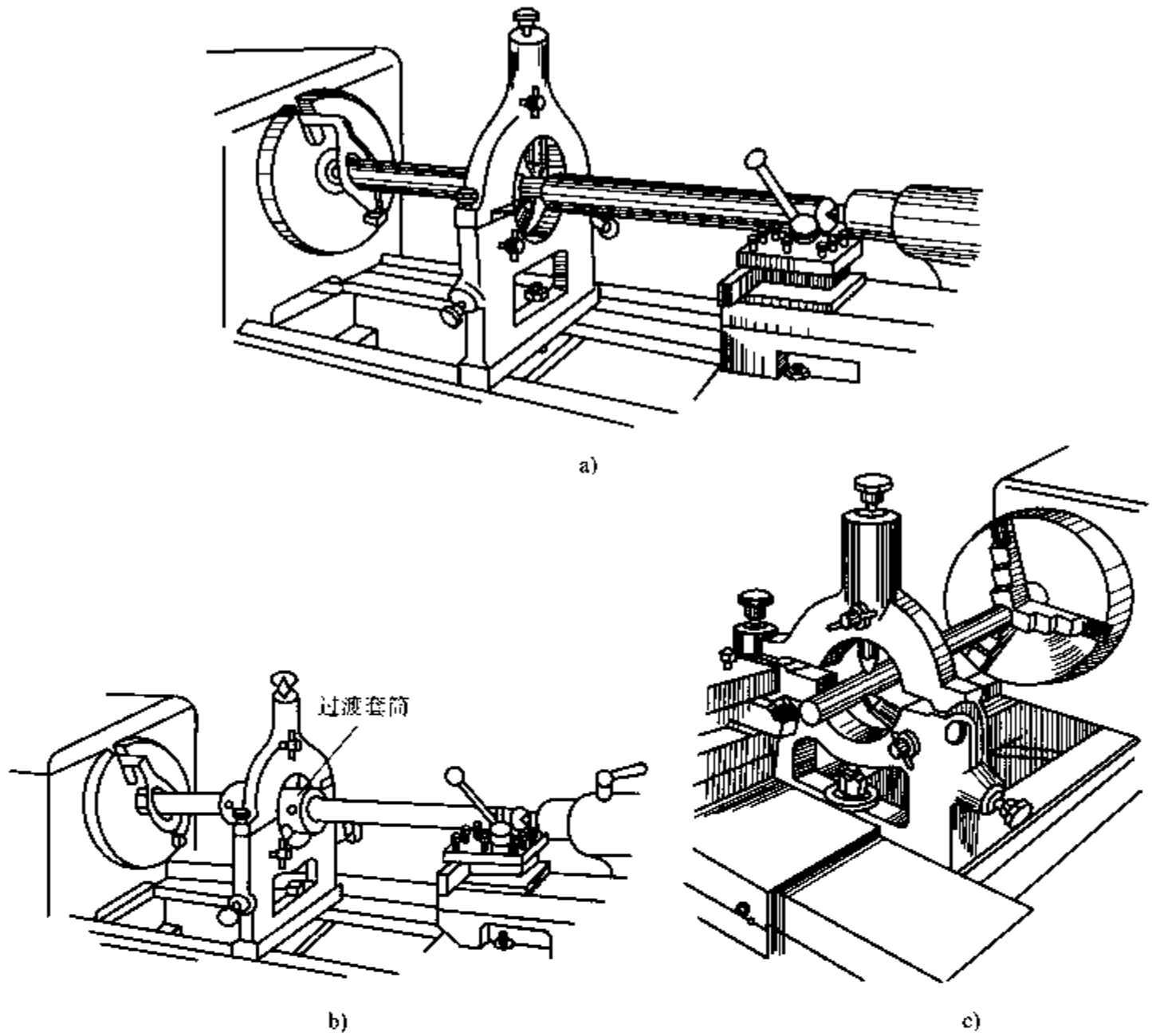


图 1-2 中心架的使用方法

a) 用中心架车削细长轴 b) 用过渡套筒安装细长轴 c) 一端夹住一端搭中心架

2. 用过渡套筒安装中心架

在上述方法中，中心架的卡爪直接与工件接触，因此在工件上必须先车出搭中心架的沟槽，但车这样的沟槽是比较困难的。为解决这个问题，可以用过渡套筒安装细长轴的办法，使卡爪不直接跟毛坯轴接触，而与过渡套筒的外表面接触，如图 1-2b 所示。过渡套筒的两端各装有四个螺钉，用这些螺钉夹住毛坯工件。

过渡套筒的找正方法是，在刀架上安装一个百分表，转动工件，并观察百分表的跳动情况，用螺钉调整中心，直到符合要求，然后将套筒两端的螺钉紧固。

3. 一端夹住一端搭中心架

如果要车削细长轴的端面或内孔，以及在轴的一端切断或车内螺纹等，就可以把中心架移到近轴的端部，即采用一端夹住一端搭中心架的方法，如图 1-2c 所示。但必须注意，在调整中心架的三个爪之间，先把工件找正，然后再调整爪，使工件轴线与车床主轴轴线同轴。否则，在轴的端面上钻中心孔时，会折断中心钻；在中心架上车孔时，会产生锥度；如果中心偏斜严重，工件转动时产生扭动及外窜现象，会从卡盘上掉下来，并把工件外圆表面夹伤。

此外，在使用中心架车削套筒类工件时，车床溜板会与中心架相碰，需要接刀，这时可

使用如图 1-3a 所示的弯头中心架，把中心架的紧固位置移到支承位置之后；在车削重型工件或工件转速较高时，为了减少中心架卡爪的磨损，可采用如图 1-3b 所示的滚动轴承中心架，它的结构与一般中心架基本相同，只是在爪的前端安装了滚动轴承，使卡爪与工件之间的滑动摩擦变为滚动摩擦。

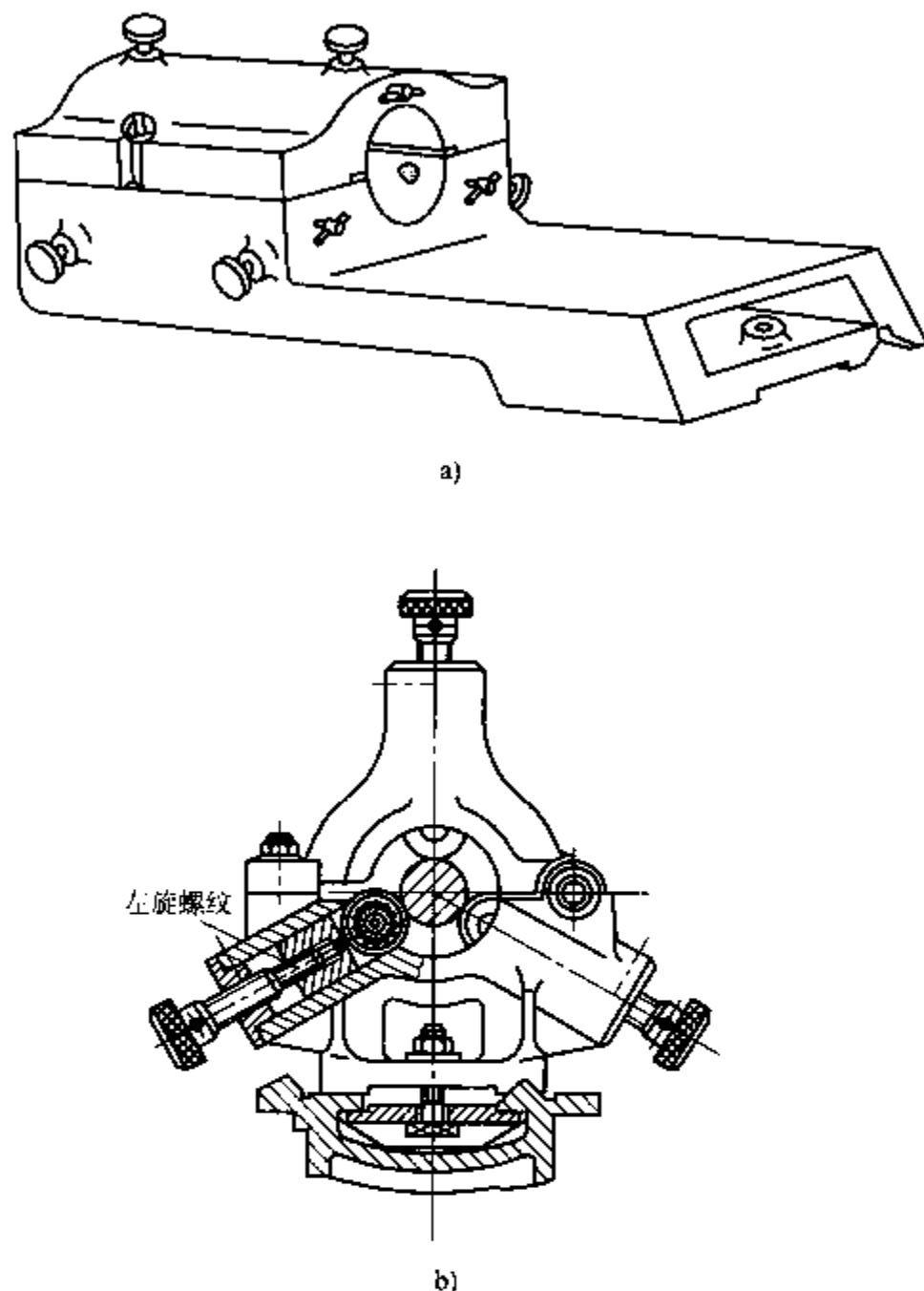


图 1-3 弯头中心架和带滚动轴承的中心架
a) 弯头中心架 b) 带滚动轴承的中心架

三、跟刀架及其使用方法

跟刀架通常有两只卡爪，使用时把它固定在床鞍上，跟在车刀的后面，所以起名为“跟刀架”。用跟刀架的卡爪跟随着车刀抵消径向切削力，可以提高车削细长轴的形状精度，降低表面粗糙度值。

从跟刀架的设计原理来看，只需两只卡爪就可以了，如图 1-4a 所示，车刀给工件的切削合力 F 使工件贴在跟刀架的两个爪上。实际使用时，工件本身有一个向下的重力 G ，工件还可能有些弯曲。因此，车削时工件往往因离心力瞬时离开卡爪，瞬时接触卡爪，从而产生

振动。如果把跟刀架做成如图 1-4b 所示的三只卡爪，这样工件在车削中由三只卡爪和车刀共同抵住。于是上下、左右都不能移动，有利于加工细长轴。

三爪跟刀架的结构如图 1-4c 所示，用捏手 3 转动锥齿轮 2，经锥齿轮 1 转动丝杠 5，即可使卡爪 4 作向心或离心移动。

使用跟刀架车削外圆的方法，根据切削方向来区分：一种是正向进给车削（习惯的车削方法）；一种是从床头向尾座方向进给，即反向进给车削，它的特点是改变轴向切削分力的方向，使工件由受压转变为受拉伸，这样可以减小车削时工件的振动和弯曲变形。所以在车削细长轴时，要尽量选用反向进给车削的方法。

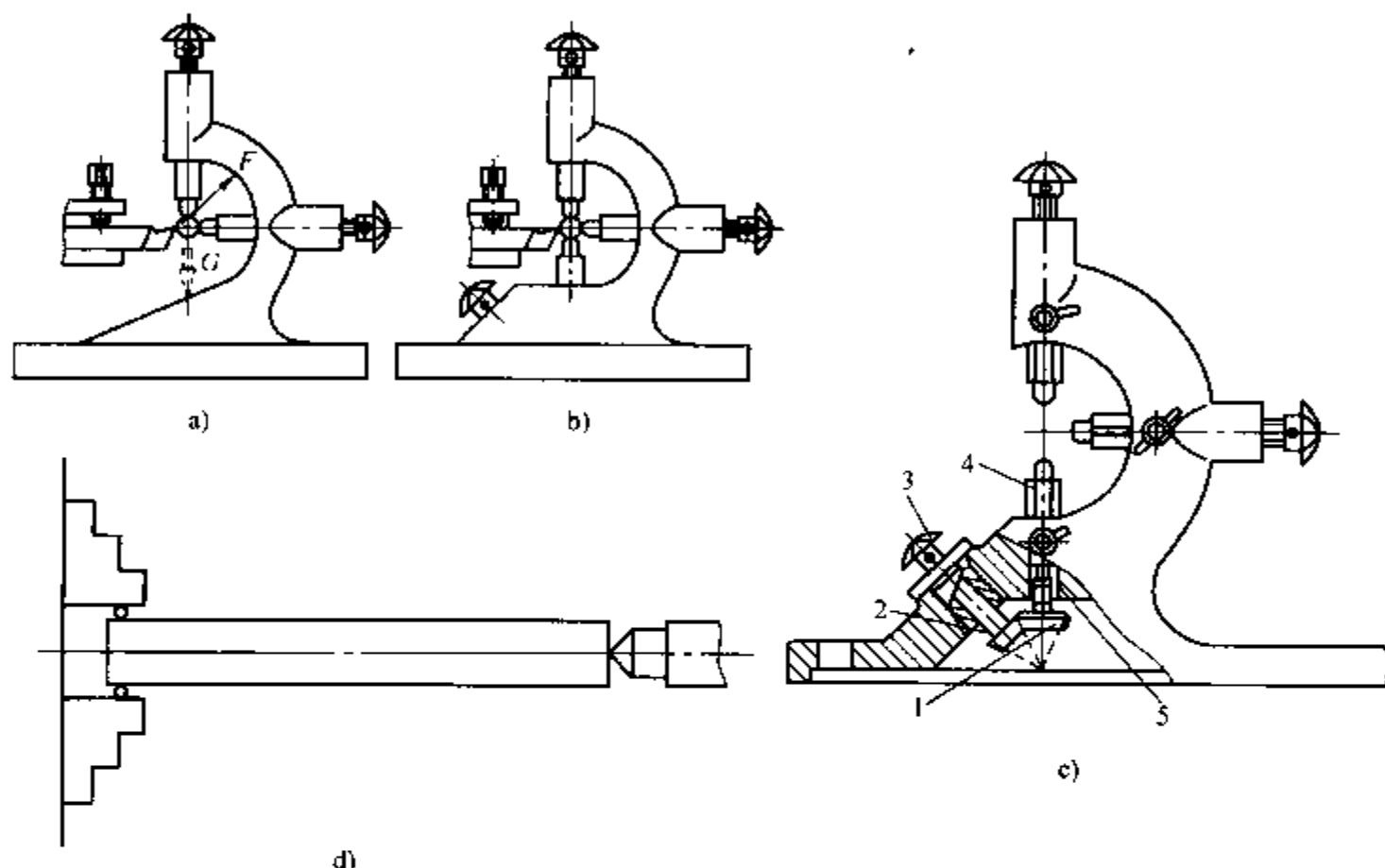


图 1-4 跟刀架及垫圆柱销装夹工件的方法

a) 两爪跟刀架 b) 三爪跟刀架 c) 三爪跟刀架的结构 d) 垫圆柱销装夹工件的方法
1、2—锥齿轮 3—捏手 4—卡爪 5—丝杠

四、使用中心架和跟刀架时的注意事项

使用中心架和跟刀架时的注意事项：

- 1) 精车长轴和细长轴时，工件材料应消除内应力。
- 2) 若原材料弯曲，应先矫直。
- 3) 由于细长轴刚性差，车削时容易让刀，需要多次车削才能将工件车直，所以加工余量要比一般工件的加工余量大。如长径比为 30 的细长轴，加工余量一般为 4mm 左右；长径比为 50 的细长轴，加工余量一般为 5~6mm。
- 4) 细长轴在钻中心孔前，必须注意坯料是否弯曲。弯曲度大的应矫直，弯曲度小的也应尽量使弯曲点在工件两端，使工件中间不弯曲或弯曲小，以防车削时工件产生离心力而影响切削。

5) 调整尾座中心与主轴中心同轴; 尾座套筒伸出部分要尽可能地短, 以便减少振动。

6) 中心架和跟刀架的卡爪(支承脚)圆弧面与工件外圆应吻合。在必要时, 对其卡爪圆弧面应进行修整和研磨。

7) 装夹细长轴时, 被夹持部分不宜过长, 一般为 10 ~ 15mm。经验表明, 用 $\phi 5\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的圆柱销垫在卡盘卡爪下面的凹槽中, 如图 1-4d 所示, 以点接触, 可以避免卡爪装夹时接触面过长所造成的应力变形。

8) 对车削及支承处外圆的要求是: 圆度好, 表面光洁, 不能有其他变形等缺陷; 支承处外圆的长度一般比支承卡爪的长度长 15mm 左右; 在车好的支承处外圆和工件毛坯的相交处, 最好车出一定的锥度, 以使车刀在接刀时逐渐增加切削力, 不会因突然冲力而造成让刀和工件变形。

9) 中心架和跟刀架的卡爪与工件的接触要适宜, 过松或过紧都对切削不利。

10) 在加工时, 若发现工件的形状误差超差, 应松开卡爪重新吃刀, 待形状误差超差消除后, 再开车重新调整卡爪。

11) 合理选择车刀的角度和切削用量。

12) 在切削区(包括卡爪支承工件的部位)要保证有充分的冷却润滑。

13) 粗车时, 跟刀架装在车刀后边; 精车时, 跟刀架装在车刀前边。车刀与跟刀架间的距离为 20 ~ 30mm。

14) 若工件一端用卡盘装夹, 另一端架中心架, 则在安装时, 最好先用顶尖把工件顶住, 并于工件的两端用百分表测量, 然后调整中心架的三个卡爪, 防止中心架架偏, 引起加工误差。

15) 使用中心架加工时, 工件表面架中心架的那一段外圆是中心架支承基准, 架前必须精车一刀。表面粗糙度值要低些, 外圆不能有形状误差。

五、车削细长轴的刀具及几何形状

1. 车刀的几何形状

车削细长轴时, 由于工件刚性差, 车刀的几何形状对切削力、工件变形和振动都有明显的影响, 所以选择车刀几何形状时要考虑以下几点:

(1) 选择较大的前角 车刀的前角过小, 容易使切削力增加, 切削变形大, 同时导致切削温度升高, 结果造成切削不畅, 工件变形增加, 加工精度下降。通常用于车削细长轴的刀具, 其前角应取较大值, 一般在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 范围内。

(2) 尽量增大主偏角 车刀的主偏角越小, 切削时所产生的径向切削力越大, 越容易产生振动和弯曲变形。而细长轴的最大弱点就是刚性较差, 不能承受大的径向力。通常在粗车细长轴时, 希望保留一定的径向切削力, 以使工件压在支承爪上, 一般主偏角在 $75^\circ \sim 80^\circ$ 范围内选取; 而精车时, 主偏角要略大于或等于 90° 为宜, 以保证细长轴的加工精度。

(3) 车刀的后角不宜过大 因为车削细长轴时车刀的前角较大, 若后角取得过大, 会使楔角减小, 造成车刀的强度降低, 切削中容易产生振动。一般后角应在 $6^\circ \sim 8^\circ$ 范围内选取为宜。加工中为进一步防止振动, 还可以将刀尖圆弧过渡刃处的后角用磨石磨成 0° , 或者在安装车刀时将刀尖安装得高于工件 0.5mm 左右, 也能起到防振作用。

(4) 刀尖圆弧半径要合适 由于细长轴车刀的大前角和大主偏角,致使刀尖强度和散热能力都比较差,因此应磨有刀尖圆弧,以提高刀尖强度,改善散热条件。但是,过大的刀尖圆弧将会增加产生振动和使工件弯曲的可能性。所以,用于加工细长轴的车刀,其刀尖圆弧半径应控制在一定范围内,一般情况下,在 $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 范围内为宜。

(5) 应磨卷屑槽 车刀前面应该磨出宽度为 $1.5 \sim 3\text{mm}$ 的卷屑槽,使切屑顺利卷曲折断。

2. 车刀实例

生产中车削细长轴用车刀实例如下:

(1) 主偏角 75° 粗车刀(图1-5)

1) 主偏角采用 75° ,则 F_x 分力较大, F_y 分力较小。增加工件受的拉力,减小径向力,有利于防止工件弯曲变形和振动。

2) 前面磨出较大前角 $\gamma_0 = 15^\circ \sim 20^\circ$,小后角 $\alpha_0 = 3^\circ$ 。既可减小切削力又可加强刃口强度,使刀具适应强力切削。

3) 通过磨卷屑槽和正 5° 的刃倾角控制切屑顺利排出。

4) 刀片材料最好用强度和耐磨性较好的YW1。

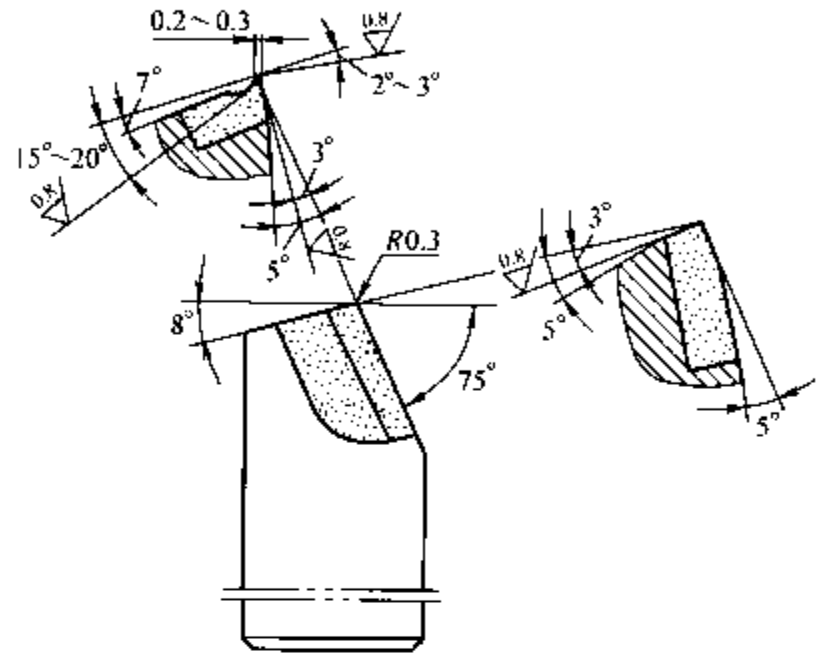


图1-5 75° 粗车刀

(2) 93° 细长轴车刀(图1-6) 93° 细长轴车刀,适用于精车长径比小于50的细长轴,切削时不需要使用跟刀架,便可得到较好的表面质量。

使用这种车刀,当背吃刀量小时(不超过横向卷屑槽宽的一半),工件受力情况如图1-7所示。工件受到刀具的挤压力 F_n , F_x 与 F_y 方向相反。两者合成的效果使径向力下降,减少了切削时的振动。这就是它不用跟刀架能车削细长轴的关键所在。使 F_y 与 F_n 具有相反方向的条件是主偏角大于 90° ,使切削力有将工件拉向刀具的分力。但主偏角过大,又会使刀尖薄弱,故取主偏角为 93° ,并在前面开横向卷屑槽加以辅助,使效果更好。但是,要求刀具的安装位置必须正确,使刀尖略高于中心。刀片材料选用耐磨性好的YT30。

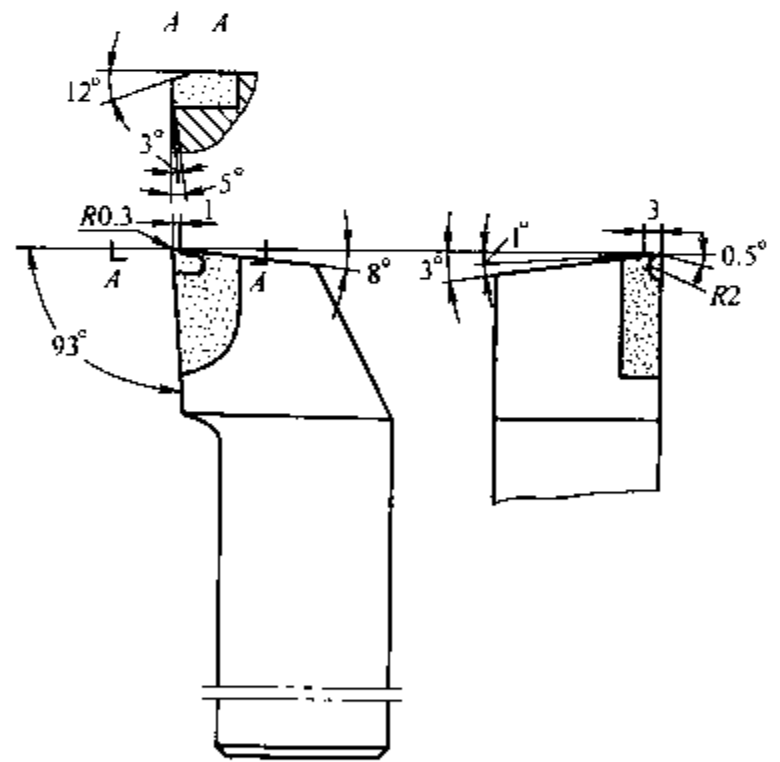


图1-6 93° 细长轴车刀

(3) 弹性可调节刀排(图1-8) 弹性可调节刀排一般用于精车。刀片磨出前角为 0° ,后角为 35° ,装入刀排里形成前角 25° ,后角 10° ,同时旋转 $1^\circ 30' \sim 2^\circ$ 形成刃倾角。由于宽刃车刀采用大进给量、低转速进行精车,刃口的平面度和表面粗糙度直接影响加工精度,因此刀片刃磨后还要研磨,使表面粗糙度值 R_a 达 $0.8\mu\text{m}$,刃口的宽度大于进给量,取刀宽 $B = (1.3 \sim 1.5)f$ 。切削用量一般取为:背吃刀量 $a_p = 0.02 \sim 0.05\text{mm}$;切削速度 $v = 1 \sim 2\text{m/min}$;进给量 $f = 10 \sim 20\text{mm/r}$ 。

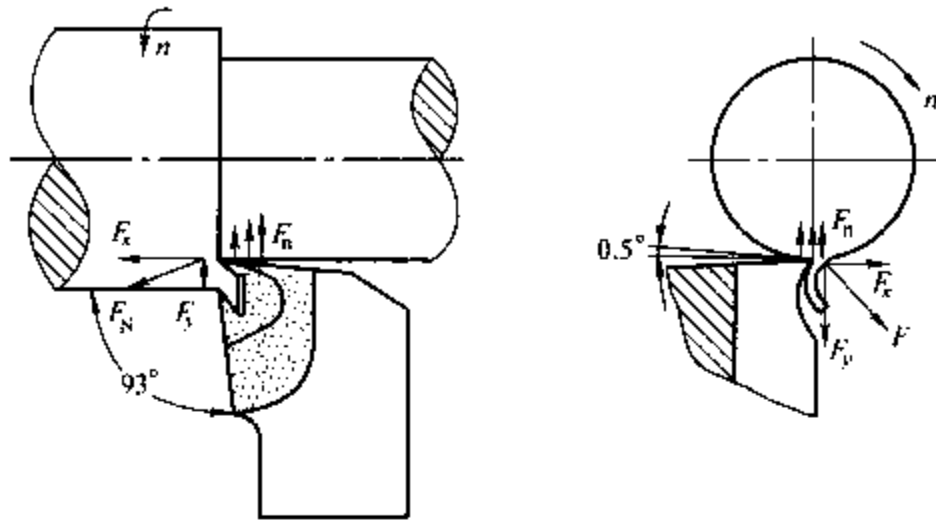


图 1-7 93°车刀车削时工件受力情况

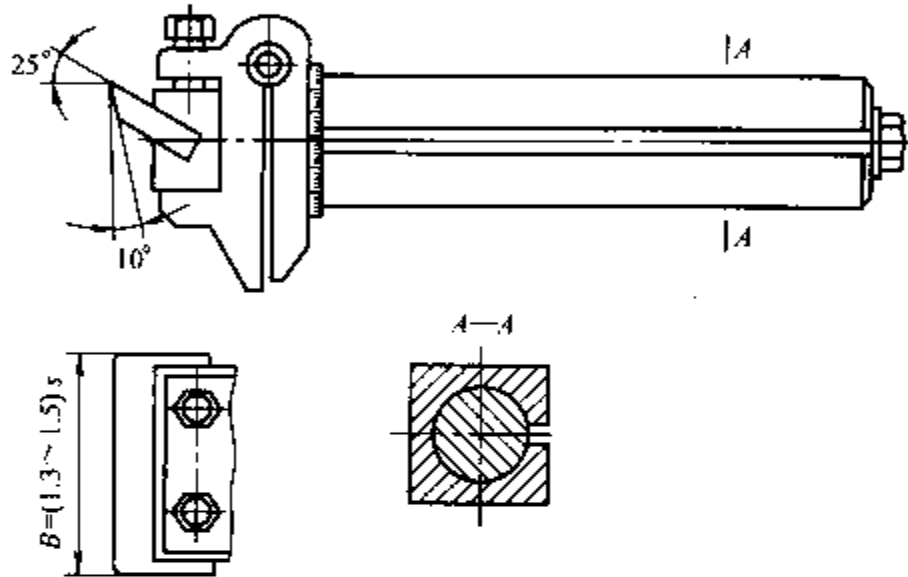


图 1-8 弹性可调节刀排

(4) 90°细长轴车刀 (图 1-9) 这种车刀车削时, 径向抗力小, 可一次完成多阶台轴加工, 不用换刀。适用于正、反粗车、半精车和精车细长轴。

(5) 机械夹固式 95°反偏精车刀 (图 1-10) 这种车刀的前角和副偏角都较大, 摩擦小, 消振散热好, 适用于反向精车细长轴。

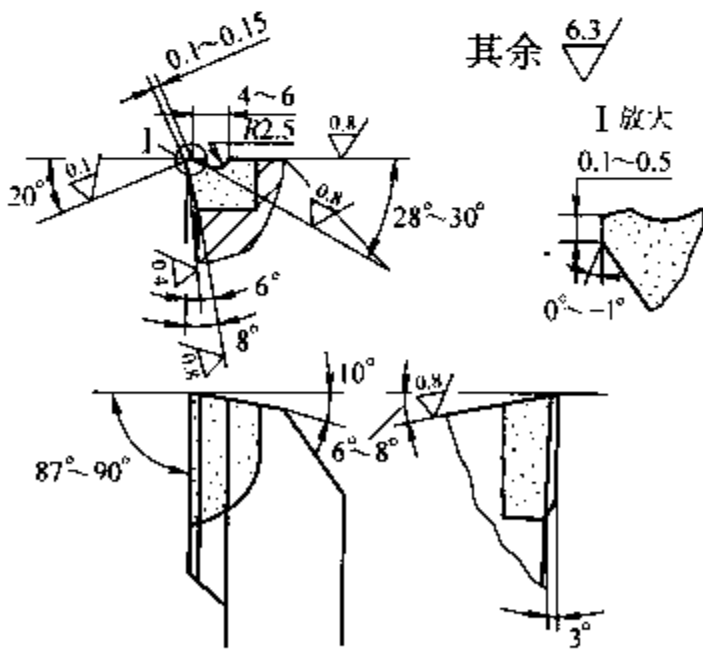


图 1-9 90°细长轴车刀

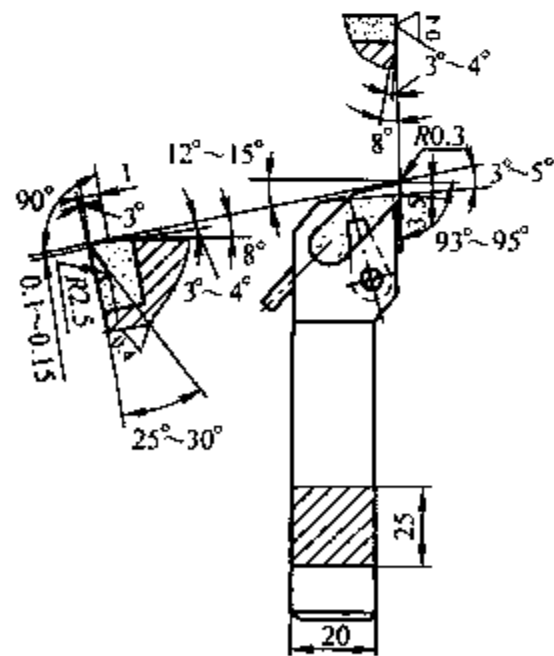


图 1-10 机械夹固式 95°反偏精车刀

六、车削细长轴的装夹方法

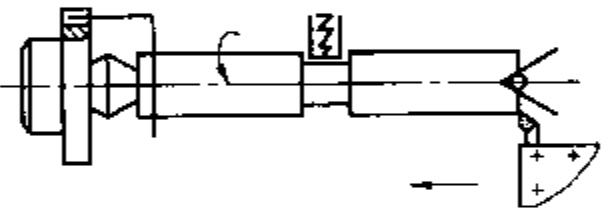
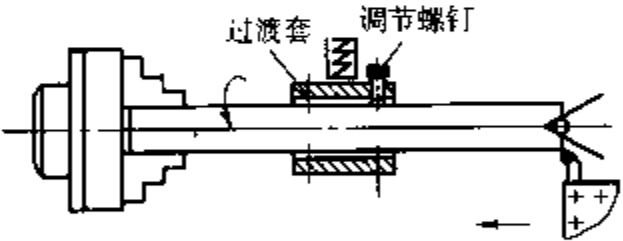
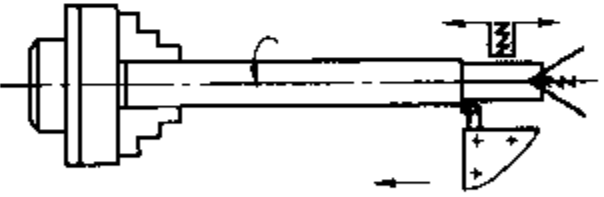
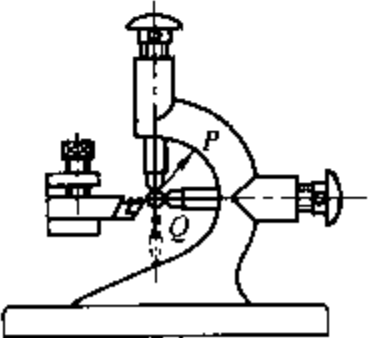
装夹方法是车削细长轴的关键技术之一。细长轴因其本身刚性差，为提高工件刚性，加工中常采用中心架或跟刀架。

用中心架加工细长轴比较广泛。为提高工件的刚性，在中间用一个中心架，工件支承点间的距离虽然只减少了1/2，但刚性却增加了好几倍。通常，对一般的长轴类零件，采用一个中心架可以基本满足刚性要求。但在中心距很长的车床上加工长径比很大的细长轴时，往往需要两个或三个中心架，才能满足刚性要求。

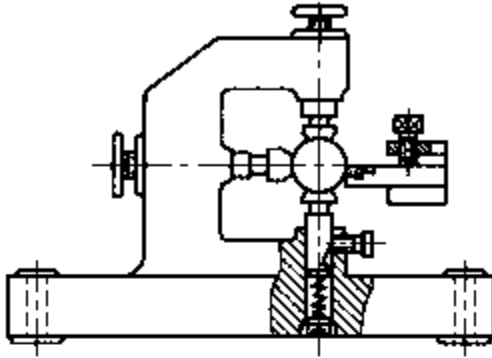
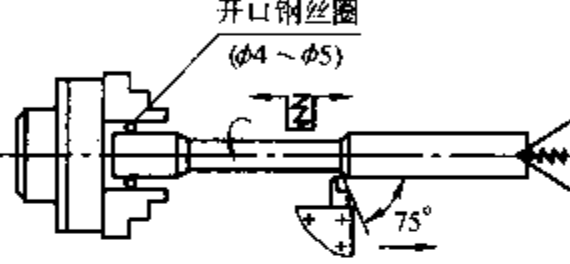
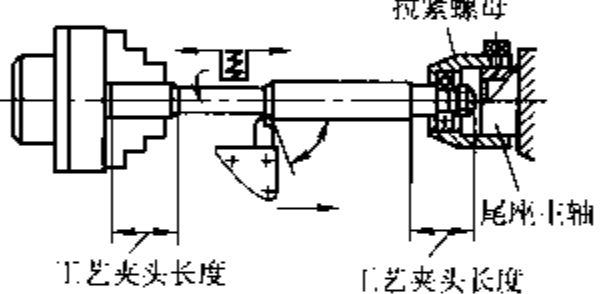
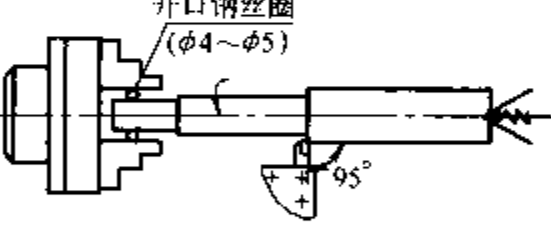
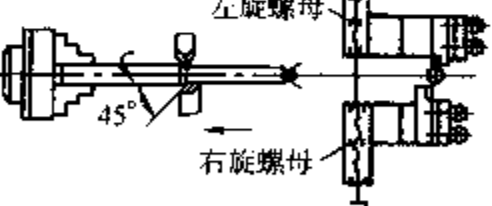
用跟刀架加工细长轴，其作用和中心架的作用基本相同，都是为提高工件刚性而采取的措施。与用中心架不同的是，跟刀架固定在床鞍上，跟随车刀一起移动，更直接地抵消径向切削力，从而更有效地控制了工件在切削过程中的变形和振动，因此可获得较高的形状精度和较低的表面粗糙度值。所以，用跟刀架加工细长轴常被用于精加工。

车削细长轴时，使用中心架或跟刀架的具体装夹方法见表1-1。

表 1-1 车削细长轴的装夹方法

装夹号	使用附件或刀具	简 图	说 明
1	中心架		适用于允许调头接刀车削（工件凹槽尺寸：槽底径等于工件最后直径，槽宽比中心架支承宽度宽10mm）
			适用于允许调头接刀车削（过渡套外表面的表面粗糙度值要低，精度要高，内孔要比工件直径大20~30mm）
2	跟刀架		用于不允许调头接刀车削的工件
			双支承跟刀架的支承柱窄，支承面小，刚性差，加工精度低，不适用于高速切削

(续)

装夹号	使用附件或刀具	简 图	说 明
2	跟刀架		<p>三支承跟刀架能减少工件振动和变形，加工精度高，适用于高速切削</p>
3	跟刀架和 75° 车刀		<p>因反向进给，故变形小，加工精度高。精车时使用可调宽刃弹性车刀</p>
3	跟刀架和 75° 车刀		<p>同上（尾座拉紧，增加了预拉应力，加工效果更为理想）</p>
4	95° 车刀		<p>车刀主偏角 $> 90^\circ$，径向力小。适用于精车长径比 < 50 的轴。粗车用 65° 车刀，正向进给；半精车用 65° 车刀，反向进给</p>
5	45° 车刀		<p>改装中滑板，设前后刀架，两把 45° 车刀同时切削。工件振动和变形小，故加工精度高，适用于批量生产</p>

七、细长轴的加工方法

1. 对刀切削法加工细长轴

应用对刀切削法时，将车床中滑板改装成前后两个刀架，前刀架正装一把车刀，后刀架

反装一把车刀。用一根两头螺旋方向相反的丝杠带动，能使前、后两刀架同时进刀或退刀。

工件的装夹方法见表 1-1 中的第 5 号装夹方法。

这种方法适用于批量生产，采取分两段调头切削的方法。加工时，两把刀切削，其径向分力互相抵消，使切削稳定，减小了工件的弯曲变形。两刀尖距离就是工件直径，车出的工件锥度误差小。

例 2 生产材质为 45 钢、 $\phi 38\text{mm} \times 2450\text{mm}$ 的长轴，采用对刀切削法加工。选用的切削用量是：背吃刀量 $a_p = 2.5\text{mm}$ ；进给量 $f = 1.15 \sim 1.65\text{mm/r}$ ；切削速度 $v = 0 \sim 150\text{m/min}$ 。

加工时使用刀具的几何形状如图 1-11 所示，其特点如下：

1) 车刀修光刃后角磨成 0° ，刀具安装得比中心略高。切削时修光刃后面与工件表面紧紧贴牢，防止切削时产生振动。

2) 采用大前角 $\gamma_o = 20^\circ$ ，减少了切削力、切削热，减轻了切削负荷。

4) 刀片斜 20° 焊在刀杆刀槽中，刀片上面同时焊有高速钢卷屑块，接近在其重磨线角度上，每次磨槽均在其卷屑块上，提高了硬质合金的利用率。

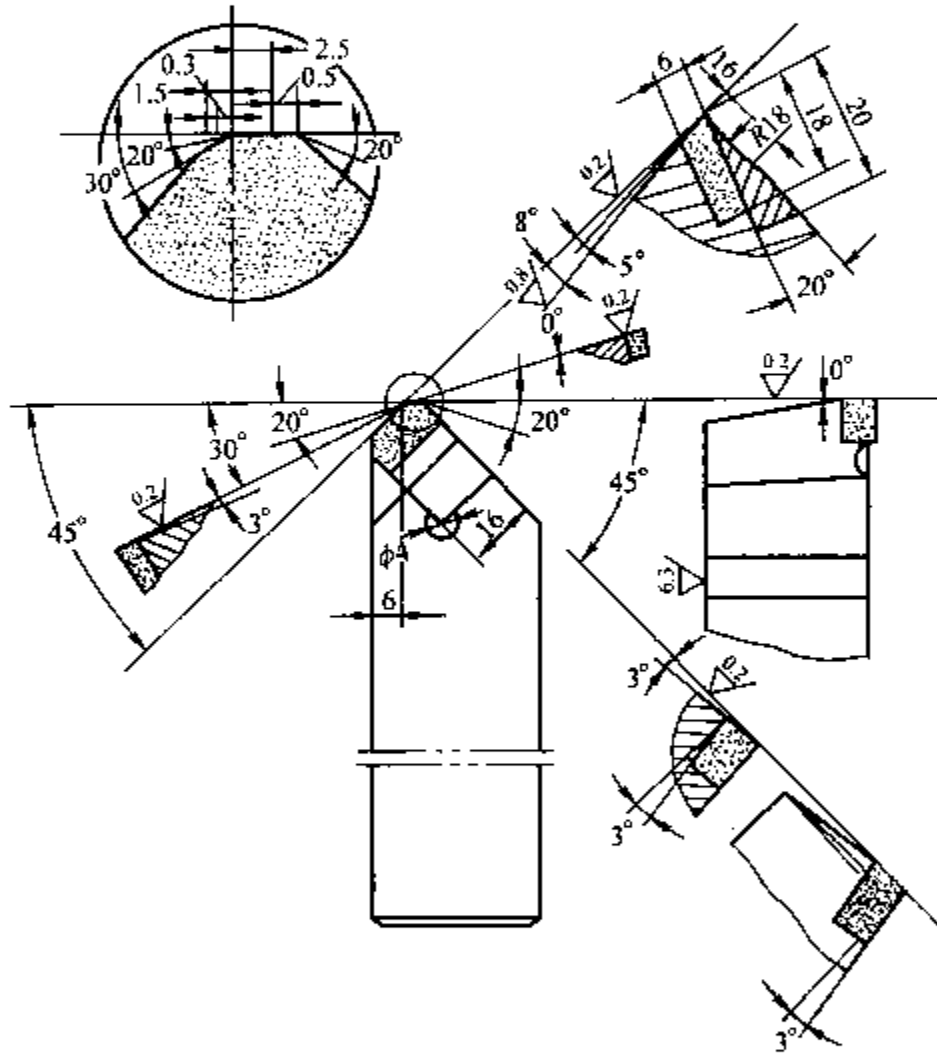


图 1-11 45° 细长轴车刀

2. 用 93° 精车刀加工细长轴

93° 精车刀适用于精车长径比小于 50 的细长轴。加工时不需要搭中心架和跟刀架。加工精度在 1000mm 内圆柱度不大于 $0.02 \sim 0.04\text{mm}$ ，表面粗糙度值 R_a 可达 $1.6\mu\text{m}$ 。

加工时选用的切削用量是：背吃刀量 $a_p = 0.1 \sim 0.2\text{mm}$ ；进给量 $f = 0.17 \sim 0.23\text{mm/r}$ ；切削速度 $v = 50 \sim 80\text{m/min}$ 。

93° 精车刀几何形状如图 1-6 所示。

3. 反向进给法加工细长轴

(1) 工件的装夹 如图 1-12 所示, 用卡盘夹持工件时, 在卡爪与工件之间垫入 $\phi 4\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的钢丝, 形成线接触, 起到万向节的作用, 避免卡爪夹死现象而引起弯曲变形。工件的另一端由弹性回转顶尖支顶。在加工中, 当工件在 F_x 力作用下或因热膨胀有轴向伸长时, 可压缩顶尖, 有效地补偿工件的热胀伸长, 工件不易弯曲。

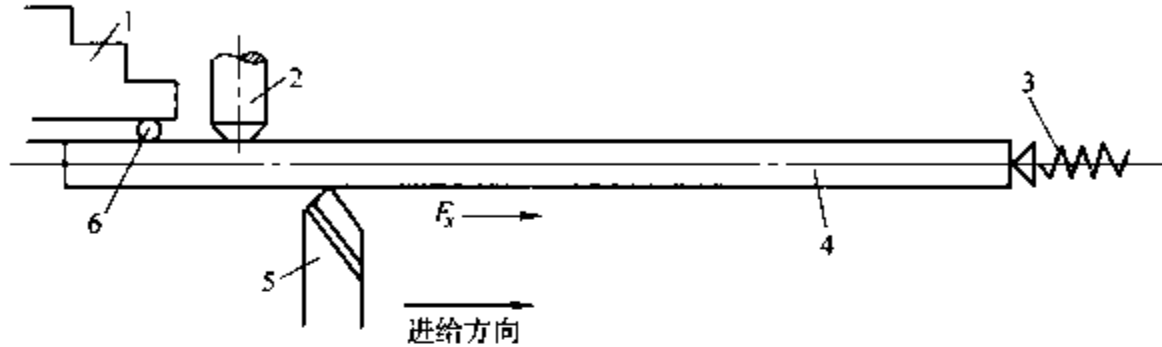


图 1-12 工件的装夹与反向车削示意图

1—卡盘 2—跟刀架 3—弹性回转顶尖 4—工件 5—车刀 6— $\phi 4\text{mm}$ 钢丝

弹性回转顶尖的结构如图 1-13 所示。顶尖 1 用深沟球轴承 2 和滚针轴承 5 承受径向力, 推力球轴承 4 承受轴向推力。在深沟球轴承和推力球轴承之间, 放置三片厚 2.5mm 的碟形弹簧 3。当工件变形伸长时, 工件推动顶尖 1 通过深沟球轴承, 使碟形弹簧压缩变形, 适应工件热胀伸长。

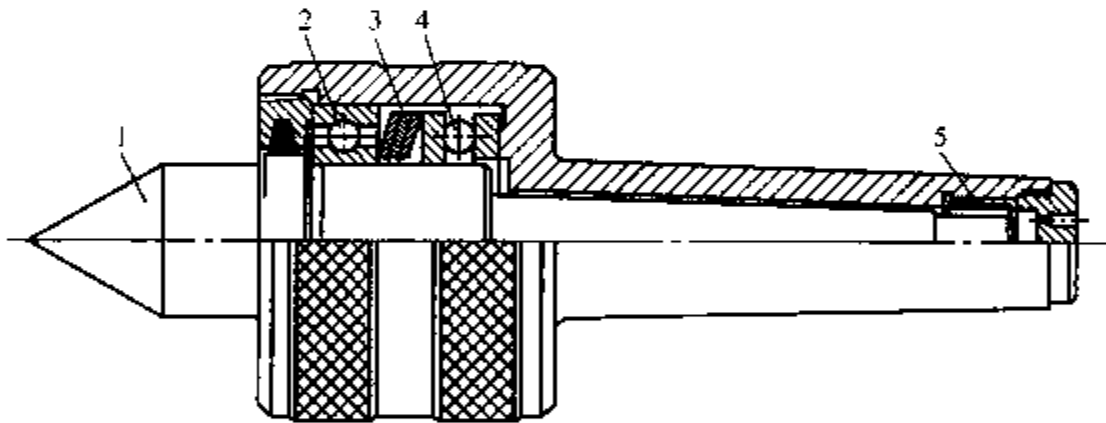


图 1-13 弹性回转顶尖

1—顶尖 2—深沟球轴承 3—碟形弹簧 4—推力球轴承 5—滚针轴承

为了用顶尖支承, 需要在轴的端面上钻出一个圆柱孔, 作为顶尖装夹基准, 使顶尖与圆柱孔形成线接触。

这样装夹工件, 工件两端都形成线接触, 工件在旋转时可消除“颤劲”现象, 车削可减少零件的弯曲变形。

(2) 采用三爪跟刀架 三爪跟刀架结构如图 1-14 所示。它具有三个卡爪, 底面的卡爪采用弹簧支承爪, 支承爪的宽度为零件直径的 1~1.5 倍; 支承卡爪的材料选用铸铁或青铜制造, 车削前, 卡爪的支承面与零件研配, 使支承面与零件吻合。在车削过程中, 跟刀架的三个支承卡爪与车刀组成两对径向压力, 平衡了切削时产生的径向力。

(3) 反向进给 使用 75° 偏刀车削, 从床头向尾座方向进给, 使工件受轴向拉力 (参见图 1-12), F_x 力较大, 能够有效地减小工件径向圆跳动, 消除振动, 提高加工质量。

粗车时,采用较大的切削用量,尽量将余量一次车完。精车时,采用宽刃弹性可调节刀排,用低转速、大进给量,效果良好。

例3 加工细长轴:零件材料为45钢,直径 $\phi(20 \pm 0.01)$ mm,长度1000mm,表面粗糙度为 $R_a 1.6\mu\text{m}$,全长直线度不大于0.2mm。

采用反向进给法车削,加工步骤和要点如下:

1) 工件毛坯直径为 $\phi 25\text{mm}$,矫直毛坯料,使其直线度小于1.5mm,在毛坯一端的端面上钻

出 $\phi 4\text{mm}$ 的中心孔;另一端用 $\phi 5\text{mm}$ 开口钢套套在毛坯的外圆上(或用 $\phi 5\text{mm}$ 的短圆柱销垫在卡爪与毛坯外圆之间)用三爪自定心卡盘夹紧。尾端用弹性回转顶尖支承。

2) 在靠卡盘一端的毛坯外圆上车削跟刀架支承基准,车削直径为 $\phi 22\text{mm}$,长度比支承卡爪的宽度大15~20mm,并在准备接刀处车成倒角,防止接刀时“让刀”。

3) 最好用三爪跟刀架。研磨卡爪的支承面,研磨时取转速 $n = 300 \sim 600\text{r/min}$,进行研磨,床鞍作局部往复运动,并逐步调整支承卡爪,待支承卡爪圆弧基本成形时,再注入机油精研,提高支承卡爪圆弧面的密合度和表面硬度。

4) 车削时切削用量的选择:主轴转速 $n = 600 \sim 1200\text{r/min}$,粗车进给量 $f = 0.4\text{mm/r}$,半精车进给量 $f = 0.15 \sim 0.2\text{mm/r}$ 。车刀安装在略高于中心0.1~0.2mm处。切削时,采用反向进给,并施以充足的切削液。

精车时,采用低速精车法,使用高速钢宽刃精车刀装入弹性可调节刀排中。切削用量为: $n = 8 \sim 10\text{r/min}$,进给量 $f = 8 \sim 12\text{mm/r}$,背吃刀量 $a_p = 0.02 \sim 0.05\text{mm}$,用硫化油或菜籽油与煤油混合液冷却润滑,加工表面粗糙度可达 $R_a 0.8\mu\text{m}$ 。

4. 利用压光刀架加工细长轴

经验表明,采用压光刀架加工 $\phi 2 \sim \phi 15\text{mm}$ 各种材料的细长轴,尤其是加工 $\phi 8\text{mm}$ 以下的细长轴,会取得良好的效果。例如,加工长度为几米的工件,其加工精度可达公差等级为IT5~IT6,表面粗糙度 R_a 值为0.8~0.2 μm 。

(1) 压光刀架工作原理 在切削过程中,由于反作用力的作用,促使工件向上抬起,而紧固在压光刀架本体中的两个支承块,可迫使工件向下压,如图1-15所示。

随着工件的旋转运动和压光刀架的直线运动,形成了对已加工表面的连续挤压作用,将已加工表面的峰谷压平。实践证明,在一定的限度内,压力越大,工件表面粗糙度值越低。并且因挤压作用,在工件表面0.3mm的深度内形成了强化层,提高了零件表面的硬度。

(2) 压光刀架的使用与调整 压光刀架的使用与调整通常包括以下几点:

1) 调整压光刀架中心高。将压光刀架装在车床的方刀架上,尾座顶尖套入压光刀架内孔,以此校正压光刀架中心高和横向中心。然后把刀架刻度盘的读数记好,作为原点位置。

2) 调整压光刀架中心线使之与主轴中心线重合。将刀架支承块平面靠近三爪自定心卡盘平面,使支承块平面与三爪自定心卡盘端面倾斜 $1^\circ \sim 2^\circ$ 。在切削过程中,由于轴向力的

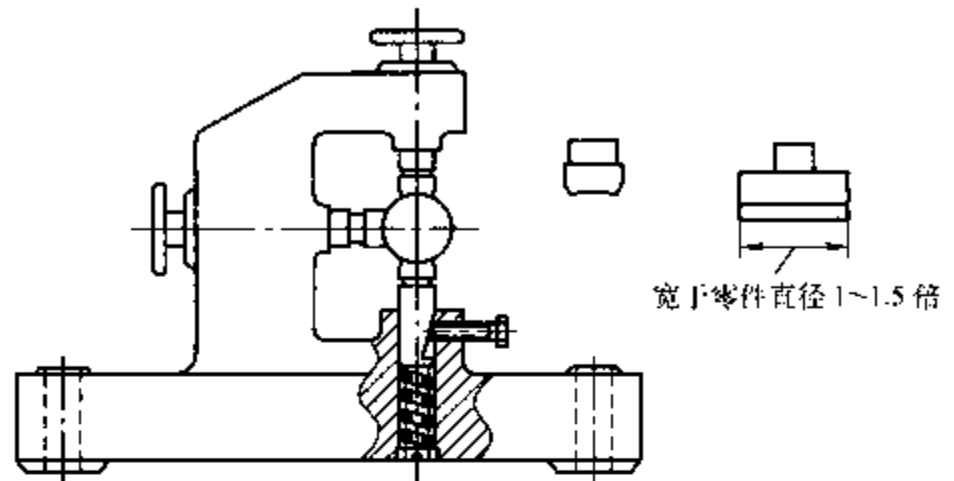


图 1-14 跟刀架结构

作用，把刀架推向尾座。于是，支承块平面在轴向切削分力的作用下与三爪自定心卡盘端面保持平行，这时支承块的平面平行于轴线，从而保证了刀架中心线与主轴中心线重合，如图 1-15a 所示。图 1-15b 所示是不正确情况，即刀架中心线低于（或高于）主轴中心线；或者是刀架中心线与主轴中心线成一定角度。此时必须做好调整工作，保证两中心线重合。

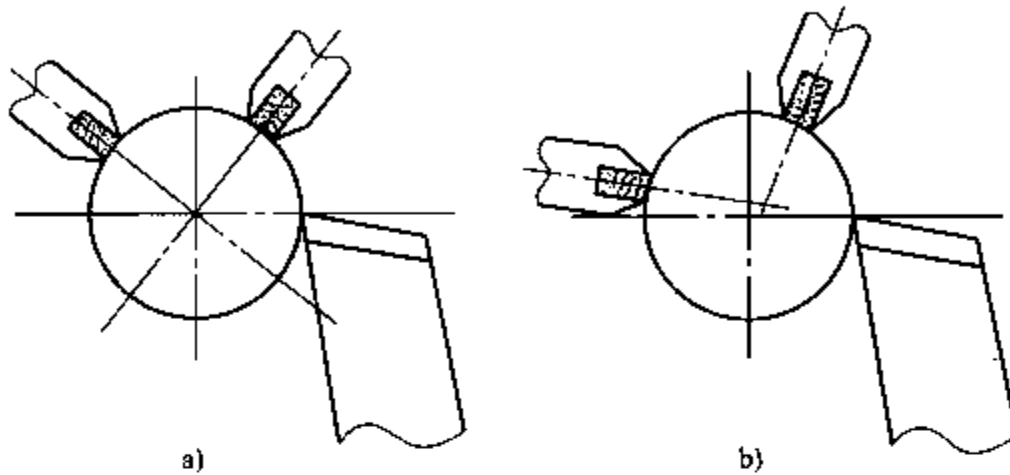


图 1-15 工作原理图
a) 正确 b) 不正确

3) 调整车刀的装刀高度。车刀装刀高度应低于主轴轴心线，它与被加工工件直径的关系如表 1-2 所示。可用试车端面的方法校正装刀高度。应当指出，装刀高度不允许高于主轴轴心线，否则易产生椭圆和多角形。

表 1-2 车刀装刀高度与被加工工件直径的关系 (单位: mm)

工件直径 ϕ	低于主轴轴心线距离
2~4	0.10~0.15
4~8	0.15~0.25
8~15	0.25~0.40

4) 工件的装卡和加工尺寸的调整。包括以下几点:

①用三爪自定心卡盘夹持工件，夹持长度约为 20mm。

②把支承块和支承托块退开，以免试加工时毛坯将支承块碰坏。

③把刀架退回已调整好的零点位置，使它的中心线与主轴轴线重合。

④试切工件，调整刀架。车刀从圆心零点向外移动，移动的距离为加工零件名义尺寸的一半（即半径），观察刀架中心线与主轴轴线是否重合，其误差不允许超过 1mm，否则工件表面会出现啃毛现象。然后直接摇动压光刀架以调整工件的加工尺寸。为保证经过压光后的零件尺寸在公差范围内，车削尺寸应保证中间值，如将 $\phi(10 \pm 0.02)$ mm 的工件应车削成 $\phi(10 \pm 0.01)$ mm。

⑤将支承块与车削好的工件接触压紧，支承托块调节到与工件表面轻轻接触，压力不宜过大。

⑥刀具磨损后，会使工件变大，这时需松开夹刀套的圆头螺钉，使刀具移向中心，重新测定工件尺寸。在变化量不太大的情况下，可敲打车刀下部，然后再固紧夹刀套螺钉，继续

进行切削加工。

⑦为减小细长轴加工时产生的弯曲变形，在尾座上装置一个回转顶尖，其上再装有钻夹头，用来夹持工件，并向尾座方向轻轻拉紧。

(3) 切削用量的选择

①切削速度一般以 $7 \sim 10\text{m/min}$ 的低速为宜。

②进给量：在使用高速钢车刀的情况下，当 $f=0.08 \sim 0.12\text{mm/r}$ 时，工件表面粗糙度可稳定地达到 $R_a 0.8 \sim 0.2\mu\text{m}$ ；当 $f > 0.2\text{mm/r}$ 时，工件表面粗糙度值升高， R_a 值只能达到 $1.6\mu\text{m}$ 。

③背吃刀量：当 $a_p > 3.5\text{mm}$ 时，加工小直径工件排屑困难，已加工表面容易被铁屑划伤。背吃刀量过大，切削力急剧增加，工件表面粗糙度值也会因挤压应力过大而增大。当 $a_p < 1\text{mm}$ 时，由于切削力减小，工件受到的挤压很小，也会使表面粗糙度值升高。

(4) 加工注意事项

①刀尖与支承块间的距离太大或太小，都会使表面粗糙度值升高，比较合适的距离为 $0.25 \sim 0.4\text{mm}$ ，如图 1-16 所示。

②使用压光刀架加工 $\phi 8\text{mm}$ 以下的细长工件时，适合用低速加工。

③在加工 $\phi 8\text{mm}$ 以下的细长工件时，一次可加工 300mm 长，如果有拉紧回转顶尖，则可长达 $600 \sim 1000\text{mm}$ 。

(5) 加工时容易产生的质量问题及排除方法

1) 表面粗糙度达不到要求应采取的措施有：

①正确选择背吃刀量和进给量。

②正确选择车刀的几何角度。加工中碳钢时，选择前角为 25° ，刃倾角为 15° ；加工软材料时，角度还应适当增大；加工硬度高的材料时，其角度应当适当减小。刀尖圆角半径为 $R0.3 \sim 0.5\text{mm}$ 。

③压光刀架支承块的表面粗糙度值要低， R_a 值小于或等于 $0.2\mu\text{m}$ 。工件与支承块的接触长度在 $3 \sim 5\text{mm}$ 之间。

2) 产生多边形应采取的技术措施有：

①车刀装夹时，参考表 1-2，使主切削刃低于主轴的轴心线。

②矫直工件毛坯。

③通过调整弹簧片螺钉、压紧弹簧片来补充垂直切削压力。

④降低主轴转速，缩短待加工长度。

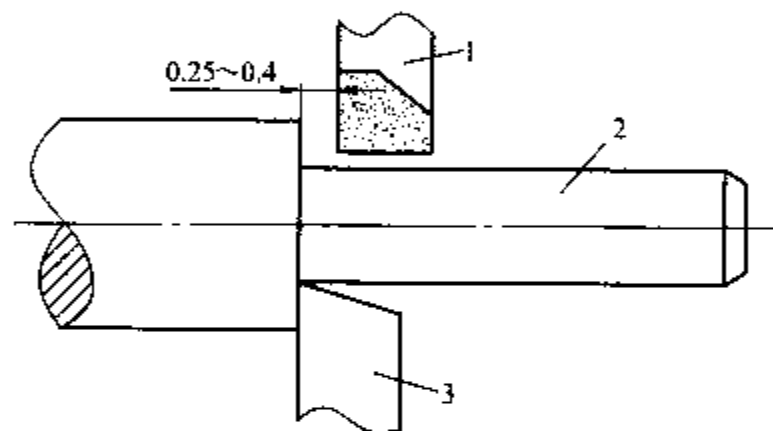


图 1-16 车刀与支承块间的距离

1—支承块 2—工件 3—车刀

八、切削用量选择实例

加工细长轴的方法和经验很多，现将收集到的一些根据工件直径与长度选择切削用量的实例归纳于表 1-3 中。

表 1-3 切削用量选择实例

装夹号	工件 $d \times L$ /mm \times mm	材料	热处理硬度	工序	背吃刀量 a_p /mm	进给量 f / (mm/r)	车削速度 v / (m/min)	效 果
3	$\phi 12 \times 1300$	45 钢及普通合金钢	230 ~ 320HBW	粗车	0.5 ~ 1	0.4 ~ 0.5	18	公差等级 IT7 ~ IT8; 表面粗糙度 $R_a 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$
				精车	0.04 ~ 0.06	0.15 ~ 0.2	9.5	
3	$\phi 20 \times 1500$			粗车	1.5 ~ 2.5	0.3 ~ 0.5	30 ~ 50	
				半精车	1 ~ 1.5	0.2 ~ 0.4	40 ~ 60	
				精车	0.2 ~ 0.5	0.15 ~ 0.25	50 ~ 75	公差等级 IT7 ~ IT8; 圆柱度误差 $< 0.04\text{mm}$, 圆度误差 $< 0.01\text{mm}$, 直线度误差 1000:0.05; 表面粗糙度 $R_a 0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$
3	$\phi 35 \times 4100$			粗车	1.5 ~ 3	0.3 ~ 0.5	40 ~ 65	
				精车	0.02 ~ 0.05	10 ~ 20	1 ~ 2	
4	$\phi 32 \times 1000$			粗车	1 ~ 3	0.3 ~ 0.5	60 ~ 80	
				半精车	0.5 ~ 1	0.16 ~ 0.3	80 ~ 120	
				精车	0.2 ~ 0.3	0.12 ~ 0.16	60 ~ 100	
5	$\phi 38 \times 2450$			粗车	0.5 ~ 2.5	1.15 ~ 1.65	100 ~ 140	
				精车				

注: 1. 采用硫化切削油, 菜籽油或乳化液冷却润滑。

2. 本表采用的装夹号与表 1-1 相对应。

九、常见质量问题及对策

1. 弯曲度不符合要求

车削细长轴时弯曲度不符合要求的原因及解决办法如下:

1) 由于坯料自重或本身弯曲度太大, 车削时在跟刀架的限制下, 产生弹性变形, 迫使工件处在正确位置上进行切削。但车削加工后, 弹性变形恢复, 使工件又回到原来弯曲变形的状态, 故加工后的细长轴有较大的弯曲度。其解决办法是对坯料进行矫直和热处理。

2) 装夹工件时顶尖顶得过紧会将工件顶弯, 发生弹性变形, 车完后也会使工件产生弯曲。这种情况下, 应调整顶尖松紧程度, 即顶尖与工件中心孔不应顶得太紧。

3) 切削用量过大, 切削温度高, 冷却不均匀, 引起热变形, 造成工件弯曲。此时, 应改善冷却润滑条件, 控制工件热变形。

4) 刀具几何参数和切削用量选择不当, 造成切削力过大, 引起工件变形。应采取的措施是, 减小背吃刀量, 增加进给次数, 并且注意合理地选择刀具的几何参数, 使之适应细长轴的车削。

5) 刀尖与支承块间距过大。这时要调整间距, 使其不超过 2mm 为宜。

2. 用中心架支承时外圆连接不好

用中心架支承车削细长轴时, 先把工件装夹在两顶尖之间 (或一端用卡盘, 另一端用顶尖装夹), 在工件上对着中心架的部位 (约在工件的中部) 车出一个宽于中心架卡爪的凹槽, 一般宽为 30 ~ 50mm, 直径应大于工件直径尺寸 (留有足够的加工余量), 装好中心架, 调整好三个卡爪, 即可进行车削加工。一端车好后将工件卸下, 调头重新装夹, 调节中心架, 再车另一端。由于用中心架支承车削细长轴是在二次装夹中完成的, 因此, 常因操作不

当在外圆柱面的接刀处出现连接不光滑的现象（俗称接不上刀）。

接不上刀的现象多数是因操作不当引起的。因此，用中心架支承车细长轴时，在装夹、调整和车削过程中应注意以下事项，才可避免出现外圆连接不好的缺陷。

1) 中心架安装调整时，先调整下面两个卡爪，使它与工件外圆柱面接触，要注意不可顶得过紧或过松。卡爪顶得过紧，会顶弯工件，还会使卡爪和工件之间摩擦增大，摩擦热增多，致使工件变形；卡爪顶得过松，切削时会产生跳动，影响顺利切削。待下面两卡爪调整好后，扣合上盖并紧固，再调整上盖卡爪，其松紧要求与下面两个卡爪相同。

2) 调头后，重新安装中心架并调整卡爪，此时必须认真调整，以保证已车外圆回转中心与机床主轴中心重合。否则，在两次车削接刀处易出现小台阶现象，造成外圆连接不光滑。

3) 在车削过程中，应随时注意卡爪磨损及接触情况，并经常在卡爪与工件接触处加润滑油，以减少卡爪的磨损。

4) 应注意两次装夹车削的进给次数和背吃刀量应大致相同，不然会因切削力不同，工艺系统变形，让刀量不同，也会造成外圆柱面连接不好的缺陷。

5) 要注意顶尖孔和顶尖的精度、顶尖与工件的松紧程度应适当。

3. 出现“竹节形”

(1) 产生“竹节形”的原因

1) 跟刀架卡爪与工件外圆接触不良，支承爪压力调得过大，把工件压向车刀一边，随着进给量的增加，工件刚度相应减弱，从而逐渐增大了背吃刀量，使车出的工件直径逐渐减小。当跟刀架卡爪行程到达这个小直径的地方时，卡爪失去支承作用，工件又恢复到正常位置，也就是车出的直径又恢复到开始车削时的大小，卡爪行程再到这里时，又开始把工件压向车刀一边，如此反复循环，则使工件出现了“竹节形”。

2) 在开始车削时，由于背吃刀量掌握得不好，或因让刀现象使接刀不良，致使外圆上形成台阶，已调好的跟刀架卡爪走到该处时，造成支顶过紧，因此导致出现“竹节形”。如果卡爪顶得太紧，又会使工件发生振动，工件出现明显裂纹。

3) 由于工件加工余量明显不均匀，在粗车时产生不均匀的切削抗力，因而出现“竹节形”质量问题。

(2) 预防产生“竹节形”缺陷的措施

1) 接刀必须均匀，防止跳刀现象。

2) 使用跟刀架时，最好是边进给边调整跟刀架卡爪，以手指感觉到卡爪已轻轻地接触到工件外圆为准。

3) 由于工件加工误差明显不均匀而出现的“竹节形”质量问题，在第二次进给切削中必须消除，否则将影响半精车和精车。

4) 在车削中若已经出现“竹节形”缺陷，应随时调整跟刀架卡爪，使其与“竹节”表面轻轻接触，逐步消除“竹节”。此外，还可以退回走刀架约两个“竹节”的距离，并且增加背吃刀量（约为0.5mm），然后再进给。同时应随时调整卡爪，也可消除“竹节”。

4. 出现“腰鼓形”

所谓“腰鼓形”是指在车出来的轴类零件中，中间粗两头细，呈腰鼓形。

产生“腰鼓形”的主要原因是工件表面和跟刀架卡爪接触不良或接触面积过小，或是

由于卡爪材料选择不当，易磨损，在车削过程中，卡爪磨损不断增大，在工件表面与卡爪之间逐渐产生越来越大的间隙造成的。刚开始吃刀时，卡爪还没有磨损，靠近尾座工件被顶尖顶住，刚性较大，不易变形。因此，背吃刀量大，车出的工件直径尺寸小。车了一段时间后，卡爪被磨损，使卡爪与工件间形成间隙，但由于工件刚性减弱了，工件被车刀的径向力顶向卡爪，结果使背吃刀量减小，车出的直径尺寸变大。由于切削过程中卡爪磨损不断增大，所以工件直径也将逐渐变大。当车过工件中间位置、向床头接近的过程中，工件的刚性又逐渐变大，工件被车刀顶向卡爪的程度减小，背吃刀量不断增大，所以车出的工件直径尺寸也就逐渐变小，直到车到床头，刚性又恢复到刚吃刀时的状态，工件直径尺寸达到最小值。结果，把工件车成了“腰鼓形”。

具体解决方法是：

- 1) 调整工件跟刀架卡爪的接触压力，使其松紧适当。
- 2) 选择耐磨的材料制作跟刀架卡爪。
- 3) 选择合适的切削用量，减小背向力，以减小工件变形。
- 4) 采用较高的切削速度、小的背吃刀量和进给量，改善切削系统，增加工艺系统刚度。

5. 产生“多棱形”和“麻花形”缺陷

(1) 产生原因

- 1) 跟刀架卡爪调整过松，产生低频率振动，使工件车成“多棱形”。
- 2) 尾座顶尖支顶过紧，使细长轴产生弯曲变形，从而车削成“麻花形”。
- 3) 加工中的切削热使工件发生线膨胀，造成弯曲变形，于是车成“麻花形”。
- 4) 毛坯本身弯曲，车削时工件旋转不平衡，造成切削不均匀，使工件车成“多棱形”或“麻花形”。

(2) 预防措施

- 1) 检查并矫直毛坯的弯曲度，使之不超过2mm。
- 2) 尾座顶尖支顶不宜过紧，在切削中随时注意和调整顶尖支顶的松紧程度。
- 3) 在切削区内浇注充足的切削液，降低切削温度，防止工件因受热变形，也可防止车成“多棱形”或“麻花形”。
- 4) 当跟刀架、中滑板和刀架等部位刚度不够时，可适当减少背吃刀量或进给量。

6. 加工后出现锥度

1) 由于尾座顶尖与主轴轴线相对床身导轨不平行，致使工件加工后出现锥度。此时应调整机床。

2) 因刀具磨损，造成工件加工后出现锥度。这种情况下，可采用 0° 后角车刀，并磨出刀尖圆弧半径。

7. 工件表面粗糙度不符合要求

造成原因和应采取的措施如下：

- 1) 车削时的振动。
- 2) 跟刀架支承块材料选择不当，与工件接触和摩擦不良。
- 3) 刀具几何参数选择不合适。可磨出刀尖圆弧半径；当工件长径比较大时，也可采用宽刃低速光车。

第二章 车削螺纹及保证质量的技术措施

螺纹的应用范围广泛，它的加工方法很多，见表2-1。

表 2-1 螺纹的加工方法

加工方法	精度等级	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	相对生产率	适用范围	
车削螺纹	4~6	1.6~0.8	低	1. 精度要求高、单件小批生产 2. 各种未淬硬的内、外螺纹 3. 紧固螺纹和传动螺纹	
攻螺纹、套螺纹	6~7	1.6	较高	1. 各种批量、直径较小的内、外螺纹 2. 直径较小的未淬硬紧固螺纹	
铣削螺纹	盘形铣刀 梳形铣刀	6~7	1.6	较高	1. 成批、大量生产 2. 各种精度、未淬硬的内、外螺纹 3. 紧固螺纹和传动螺纹
	旋风铣	6~7	1.6	高	1. 成批、大量生产 2. 大、中直径的外螺纹 3. 大直径的内螺纹
滚压螺纹	搓丝	6	1.6~0.8	最高	1. 高生产率，加工直径小于 $\phi 40\text{mm}$ 的外螺纹 2. 成批、大量生产 3. 材料塑性较好的外螺纹 4. 螺钉标准件多用此法加工
	滚丝	5~6	0.8~0.2	很高	
磨削螺纹	单线磨	4~5	0.4~0.1	一般	1. 各种批量 2. 淬硬螺纹 3. 精度高，生产率较低
	多线磨	5	0.4~0.2	高	1. 各种批量 2. 淬硬螺纹 3. 精度稍低，生产率较高 4. 螺距较小的短螺纹
研磨	4~5	减小至原来的 $1/2 \sim 1/4$	低	常用于精度高、表面质量好的螺纹终加工，批量不限	

车削螺纹是加工螺纹最常用的基本方法，具有如下特点：

- 1) 螺纹车刀结构简单，容易制造，通用性强，可在各类车床上车削螺纹。
- 2) 车削螺纹加工范围很广，不但能车削外螺纹，也能车削内螺纹；既可车削三角形螺纹，又可车削梯形、矩形等螺纹。

3) 车削螺纹精度可达 4~6 级, 螺纹表面粗糙度可达 $R_a 1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

4) 用高速钢螺纹车刀可车削硬度低于 35HRC 的材料, 高性能硬质合金螺纹车刀可在硬度高达 63~66HRC 的材料上车削螺纹。

5) 车削螺纹的效率较低, 主要用于单件、小批量生产中。若用硬质合金车刀在专用车床上高速车削螺纹, 生产率很高, 可用于大批量生产。

一、螺纹的基本知识和常用表

1. 螺纹的种类、特点和用途

螺纹有很多种, 它主要作为联接件和传动件。常用的螺纹均有国家标准, 标准螺纹有很好的互换性和通用性。但也有少量非标准螺纹, 如矩形螺纹, 滚珠丝杠螺纹等。

一般按螺纹的牙型进行分类, 它们各自的代号、特点和应用范围如下:

(1) 普通螺纹 它的代号为 M。其特点是: 普通螺纹是联接螺纹的基本形式, 牙型呈三角形, 因此也称三角形螺纹, 牙型角为 60° 。

普通螺纹按螺距分为粗牙普通螺纹和细牙普通螺纹两种。细牙普通螺纹比同一公称直径的粗牙普通螺纹强度要高, 自锁性能也好。

普通螺纹应用最广。一般联接多用粗牙; 而细牙用于薄壁件或受变载、振动和冲击载荷的联接, 还可用于微调机构的调整。

(2) 梯形螺纹 它的代号为 Tr。其特点是: 牙型不尚等腰梯形, 牙型角为 30° ; 传动效率稍低于矩形螺纹, 但基本上不存在矩形螺纹的缺点。

梯形螺纹是传动螺旋的主要螺纹形式, 常用作丝杠、刀架丝杠等。

(3) 矩形螺纹 其特点是: 牙型为正方形, 传动效率比其他螺纹高, 但强度比同样螺距的其他螺纹要低, 制造较困难, 对中精度低, 磨损造成的轴向和径向间隙较大。牙型尚未标准化。

矩形螺纹一般用于力的传递, 例如千斤顶、小型压力机等。

(4) 锯齿形螺纹 它的代号为 B。其特点是: 牙型呈锯齿状, 牙型角为 30° (两边不相等, 工作面牙型角为 3° , 非工作面牙型角为 30°)。它具有矩形螺纹效率高和梯形螺纹牙根强度高的特点。外螺纹的牙根有相当大的圆角, 以减小应力集中。

锯齿形螺纹一般用于承受单向压力, 例如螺旋压力机和起重机的吊钩等。

(5) 管螺纹 它又细分为以下几种:

1) 55° 非密封管螺纹。它的代号为 G。其特点是: 牙型角为 55° , 公称直径指管子的孔径。内、外径间均无间隙并做成圆顶, 以便结合紧密。

55° 非密封管螺纹多用于压力为 1.57MPa 以下的水、煤气管道及润滑和电线管道系统。

2) 55° 密封管螺纹。它的代号为 R_1 (表示与圆柱内螺纹相配合的圆锥外螺纹) 及 R_2 (表示与圆锥内螺纹相配合的圆锥外螺纹)。其特征是: 牙型角为 55° , 公称直径指管子的孔径, 螺纹分布在 1:16 的圆锥管壁上。牙顶和牙底为圆形, 内外螺纹配合时没有间隙。可不用填料而保证联接的不渗漏, 拧紧时可消除由于制造不准或磨损所产生的间隙。

55° 密封管螺纹用于高温、高压和润滑等系统的联接。

3) 60° 密封管螺纹。它的代号为 NPT (圆锥外螺纹) 和 NPSC (圆柱内螺纹)。其特征

是：牙型角为 60° ，牙顶和牙底是平的，其他与 55° 密封管螺纹相似。

60° 密封管螺纹用于汽车、拖拉机和机床等的燃料、油、水、气输送系统管道的联接。

2. 螺旋线的形成与螺纹的车削原理

(1) 螺旋线的形成 如图 2-1a 所示，直角三角形 ABC 围绕直径为 d_2 的圆柱旋转一周，斜边 AC 在圆柱面上形成的曲线就是螺旋线。

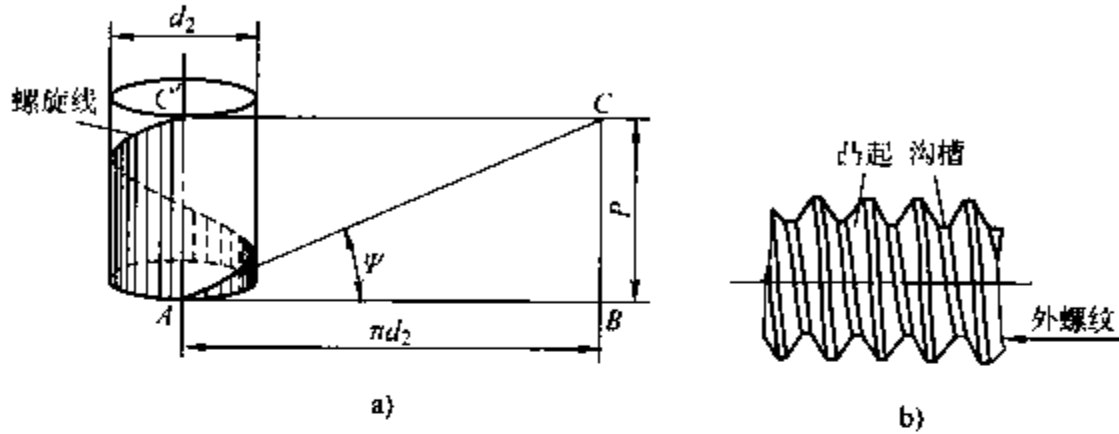


图 2-1 螺旋线与螺纹

a) 螺旋线 b) 螺纹

在圆柱表面上，沿着螺旋线所形成的、具有相同剖面的连续凸起（指螺纹两侧面间的实体部分，又称牙）和沟槽（指相邻凸起间的凹陷部分）即为螺纹，如图 2-1b 所示。

(2) 螺纹的车削原理 在车床上车削螺纹，即通过车削来形成刀具与工件间相对的螺旋运动。这个运动是复合运动，它可分解为两部分：一是主轴的旋转 B_{11} ；二是车刀的纵向移动 A_{12} 。其传动原理如图 2-2 所示，图中用虚线代表定比传动，用菱形块代表换置器官，用丝杠螺母代表直线运动机构。复合运动 B_{11} 和 A_{12} 通过 4-5、6-7 间的定比传动（如定比齿轮）、换置器官 u_x （如交换齿轮架）以及丝杠螺母副联系起来。换置器官 u_x 用来调整工件的螺纹导程。这条传动链联系复合运动内部的两个部分，是复合运动内部的联系，称为内联传动链。内联传动链决定加工出来的螺纹导程，所以内联传动链中不允许有传动比不准确的传动副（如 V 带、摩擦无级变速器等）、液压传动等。换置器官常用交换齿轮架，以保证足够精度的传动比。车床螺纹传动链由于螺纹导程已由标准规定，因此由滑移齿轮进给箱作为换置器官。

整个复合运动与动力源（电动机）之间的联系，是通过 1-2、3-4 之间的定比机构和换置器官 u_x 实现的，即将执行器官（车床主轴）与动力源（电动机）相联系，它是运动与外部（动力源）的联系，称为外联传动链。外联传动链中的传动误差对加工出来的表面

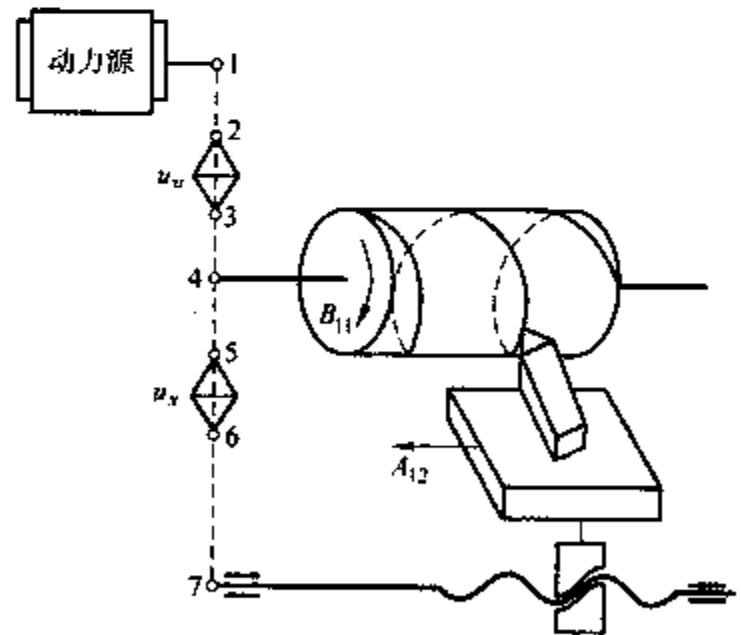


图 2-2 卧式车床车削螺纹传动原理图

特性不会有什么影响。

再从螺纹的牙型上来分析,车削螺纹所用刀具应属于成形刀具,所以螺纹车刀刀刃的形状必须与工件螺纹的牙型相吻合。特别是螺纹精车刀,其刀刃刃磨的准确性、刀具的耐磨性、车刀相对于工件的理论安装位置的准确性,都会直接影响螺纹牙型轮廓,精度不够则会产生半角误差。

通过上述分析可知,在车削螺纹时,要保证螺纹的加工质量,必须合理选择车刀的材料和几何角度,必须仔细地刃磨车刀并正确地安装车刀;还必须严格地控制车削螺纹的传动链。

3. 普通螺纹的尺寸计算及常用表

普通螺纹的基本牙型规定如图 2-3 所示。

普通螺纹的尺寸按下列计算式计算:

(1) 原始三角形高度 H 它是原始三角形顶点到底边的距离。

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2}P = 0.866025404P$$

$$\frac{5}{8}H = 0.541265877P$$

$$\frac{3}{8}H = 0.324759526P$$

$$\frac{1}{4}H = 0.216506351P$$

$$\frac{1}{8}H = 0.108253175P$$

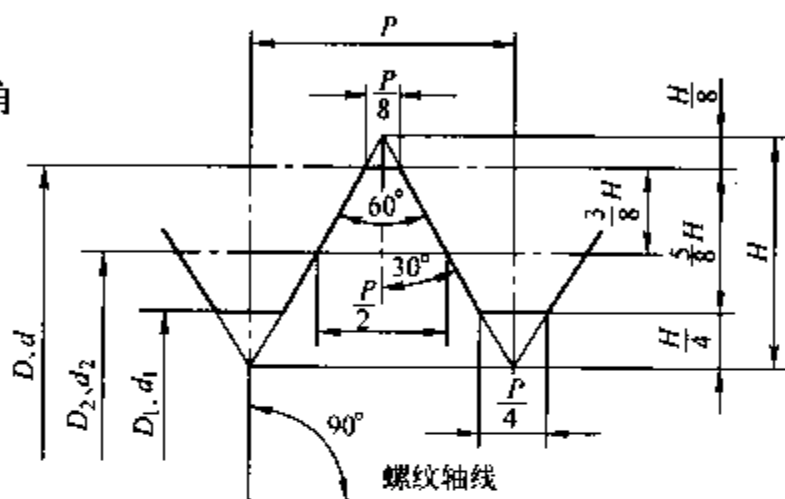


图 2-3 普通螺纹的基本牙型

D —内螺纹大径 d —外螺纹大径 D_2 —内螺纹中径
 d_2 —外螺纹中径 D_1 —内螺纹小径 d_1 —外螺纹小径
 P —螺距 H —原始三角形高度

(2) 牙型角 α 在通过螺纹轴线的剖面上,相邻两牙侧间的夹角称为牙型角。大多数螺纹的牙型角对称于轴线垂直线,即牙型半角 ($\alpha/2$) 相等。若 $\alpha = 60^\circ$,加工时主要依靠螺纹车刀的刀尖角来保证。

(3) 螺距 P 它是相邻两牙在中径线上对应两点间的轴向距离。国家标准规定的公称直径 (D 或 d) 与螺距 P 有一定的关系,分为粗牙三角形螺纹和细牙三角形螺纹,见表 2-2。

(4) 外螺纹大径 d 它是车螺纹以前的外圆直径,在理论上与公称直径相等。由于与螺母配合,它有下列偏差 (-) 和上偏差 (为零) 之分,所以加工时大径应小于公称直径。

(5) 螺纹的实际牙高 h_1 因为螺纹的理论高度的顶部削去 $H/8$,底部削去 $H/8 \sim H/6$,所以

$$h_1 = H - \frac{H}{8} - \left(\frac{H}{8} \sim \frac{H}{6} \right) \quad (2-1)$$

取 $H/8 \sim H/6$ 的平均值代入式 (2-1), 则

$$h_1 = H - \frac{H}{8} - \frac{3.5H}{24} = \frac{17.5H}{24}$$

又因为

$$H = 0.866P$$

于是

$$h_1 = \frac{17.5}{24} \times 0.866P \approx 0.63P$$

表 2-2 普通螺纹的直径与螺距系列 (摘录 GB/T 193—2003) (单位: mm)

公称直径 D, d			螺距 P		公称直径 D, d			螺距 P	
第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列	粗牙	细牙	第 1 系列	第 2 系列	第 3 系列	粗牙	细牙
3			0.5	0.35		39		4	3,2,1.5
	3.5		0.6				40		3,2,1.5
4			0.7	0.5	42	45		4.5	4,3,2,1.5
	4.5		0.75		48			5	
5			0.8				50		3,(2),1.5
		5.5				52		5	4,3,2,1.5
6		7	1	0.75			55		
8			1.25	1,0.75	56			5.5	
		9						58	
10			1.5	1.25,1,0.75		60		5.5	
		11	1.5	1.5,1,0.75			62		
12			1.75	1.25,1	64			6	
	14		2	1.5,1.25 ^① ,1			65		
		15		1.5,1		68		6	
16			2	1.5,1,(0.75),(0.5)			70		
		17		1.5,1	72				6,4,3,2,1.5
20	18		2.5	2,1.5,1			75		4,3,2,1.5
	22							76	
24			3				78		2
		25			80				6,4,3,2,1.5
		26		1.5			82		2
	27		3	2,1.5,1	90	85			6,4,3,2
		28				100	95		
30			3.5	(3),2,1.5,1	110	105			
		32		2,1.5		115			
	33		3.5	(3),2,1.5		120			
		35 ^②		1.5	125	130			
36			4	3,2,1.5			135		8,6,4,3,2
		38		1.5	140				8,6,4,3,2

① 仅用于发动机的火花塞。

② 仅用于轴承的锁紧螺母。

(6) 外螺纹小径 d_1 因为 $d_1 = d - 2h_1$, $h_1 = 0.63P$, 所以

$$d_1 = d - 2 \times 0.63P = d - 1.26P$$

又因为

$$d = D_{\text{公称}} - 0.1P$$

于是

$$d_1 = D_{\text{公称}} - 0.1P - 1.26P = D - 1.36P$$

(7) 内螺纹大径 D 国家标准对内螺纹大径不规定偏差, 即

$$D = D_{\text{公称}}$$

(8) 内螺纹牙高 h'_1 因为内螺纹牙顶削去 $H/4$ ，牙底削去 $H/8$ ，所以

$$h'_1 = H - \frac{H}{4} - \frac{H}{8} = \frac{5}{8}H$$

又因为

$$H = 0.866P$$

所以

$$h'_1 = \frac{5}{8} \times 0.866P \approx 0.54P$$

(9) 内螺纹小径 D_1 它是车内螺纹前应车（钻）成的孔径。其计算公式为

$$D_1 = D_{\text{公称}} - 2h'_1$$

因为

$$h'_1 = 0.54P$$

所以

$$D_1 = D_{\text{公称}} - 2 \times 0.54P = D_{\text{公称}} - 1.08P$$

应当指出，钻孔攻螺纹时，取 $D_1 = D_{\text{公称}} - P$ ；车削内螺纹时，取 $D_1 = D_{\text{公称}} - 1.1P$ 。

(10) 螺纹中径 (D_2 或 d_2) 在研磨螺纹车刀后角，以及采用螺纹百分尺、三针法、单针法进行螺纹精度测量时，均需要用螺纹中径。其计算公式为

$$D_2 = D_{\text{公称}} - 0.65P$$

例1 加工 M24 的螺杆和螺母，计算螺纹的大径、小径和牙高。

查表 2-2 可知， $D_{\text{公称}} = 24\text{mm}$ ， $P = 3\text{mm}$ 。

1) 车削螺杆时

①大径 $d = D_{\text{公称}} - 0.1P = (24 - 0.1 \times 3)\text{mm} = 23.7\text{mm}$

②牙高 $h_1 = 0.63P = 0.63 \times 3\text{mm} = 1.89\text{mm}$

③小径 $d_1 = D_{\text{公称}} - 1.36P = (24 - 1.36 \times 3)\text{mm} = 19.92\text{mm}$

2) 车削螺母时

①小径 $D_1 = D_{\text{公称}} - 1.1P = (24 - 1.1 \times 3)\text{mm} = 20.7\text{mm}$

②牙高 $h'_1 = 0.54P = 0.54 \times 3\text{mm} = 1.62\text{mm}$

③大径 $D = D_{\text{公称}} = 24\text{mm}$

普通螺纹的基本尺寸、优选公差带与配合、螺纹旋合长度分别见表 2-3、表 2-4 和表 2-5。

表 2-3 普通螺纹的基本尺寸 (GB/T 196—2003)

(单位: mm)

公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1	公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列				第一系列	第二系列	第三系列			
1			0.25	0.838	0.729	2			0.4	1.740	1.567
			0.2	0.870	0.783				0.25	1.838	1.729
	1.1		0.25	0.938	0.829		2.2		0.45	1.908	1.713
			0.2	0.970	0.883				0.25	2.038	1.929
1.2			0.25	1.038	0.929	2.5			0.45	2.208	2.013
			0.2	1.070	0.983				0.35	2.273	2.121
	1.4		0.3	1.205	1.075	3			0.5	2.675	2.459
			0.2	1.270	1.183				0.35	2.773	2.621
1.6			0.35	1.373	1.221		3.5		(0.6)	3.110	2.850
			0.2	1.470	1.383				0.35	3.273	3.121
	1.8		0.35	1.573	1.421	4			0.7	3.545	3.242
			0.2	1.670	1.583				0.5	3.675	3.459

(续)

公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1	公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列				第一系列	第二系列	第三系列			
	4.5		(0.75) 0.5	4.013 4.175	3.688 3.959				2 1.5 1	14.701 15.026 15.350	13.835 14.376 14.917
5			0.8 0.5	4.480 4.675	4.134 4.459			17	1.5 1	16.026 16.350	15.376 15.917
		5.5	0.5	5.175	4.959				2.5 2 1.5 1	16.376 16.701 17.026 17.350	15.294 15.835 16.376 16.917
6			1 0.75	5.350 5.513	4.917 5.188			18	2.5 2 1.5 1	16.376 16.701 17.026 17.350	15.294 15.835 16.376 16.917
	7		1 0.75	6.350 6.513	5.917 6.188				2.5 2 1.5 1	18.376 18.701 19.026 19.350	17.294 17.835 18.376 18.917
8			1.25 1 0.75	7.188 7.350 7.513	6.647 6.917 7.188			20	2.5 2 1.5 1	20.376 20.701 21.026 21.350	19.294 19.835 20.376 20.917
		9	(1.25) 1 0.75	8.188 8.350 8.513	7.647 7.917 8.188			22	2.5 2 1.5 1	20.376 20.701 21.026 21.350	19.294 19.835 20.376 20.917
			1.5 1.25 1 0.75	9.026 9.188 9.350 9.513	8.376 8.647 8.917 9.188			24	3 2 1.5 1	22.051 22.701 23.026 23.350	20.752 21.835 22.376 22.917
10			1.5 1.25 1 0.75	9.026 9.188 9.350 9.513	8.376 8.647 8.917 9.188			25	2 1.5 1	23.701 24.026 24.350	22.835 23.376 23.917
		11	(1.5) 1 0.75	10.026 10.350 10.513	9.376 9.917 11.188			26	1.5	25.026	24.376
			1.75 1.5 1.25 1	10.863 11.026 11.188 11.350	10.106 10.376 10.647 10.917			27	3 2 1.5 1	25.051 25.701 26.026 26.350	23.752 24.835 25.376 25.917
12			1.75 1.5 1.25 1	10.863 11.026 11.188 11.350	10.106 10.376 10.647 10.917			28	2 1.5 1	26.701 27.026 27.350	25.835 26.376 26.917
	14		2 1.5 1.25 1	12.701 13.026 13.188 13.350	11.835 12.376 12.647 12.917			30	3.5 3 2 1.5 1	27.727 28.051 28.701 29.026 29.350	26.211 26.752 27.835 28.376 28.917
		15	1.5 1	14.026 14.350	13.376 13.917						

(续)

公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1	公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1
第一系列	第二系列	第三系列				第一系列	第二系列	第三系列			
		32	2 1.5	30.701 31.026	29.835 30.376				5 4	48.752 49.402	46.587 47.670
	33		3.5 3 2 1.5	30.727 31.051 31.701 32.026	29.211 29.752 30.835 31.376		52		3 2 1.5	50.051 50.701 51.026	48.752 46.835 50.376
		35	1.5	34.026	33.376				4 3	52.402 53.051	55.670 51.752
36			4 3 2 1.5	33.402 34.051 34.701 35.026	31.670 32.752 33.835 34.376			55	2 1.5	53.701 54.026	52.835 53.376
		38	1.5	37.026	36.376				5.5 4	52.428 53.402	50.046 51.670
	39		4 3 2 1.5	36.402 37.051 37.701 38.026	34.670 35.752 36.835 37.376	56			3 2 1.5	54.051 54.701 55.026	52.752 53.835 54.376
		40	3 2 1.5	38.051 38.701 39.026	36.752 37.835 38.376				4 3 2 1.5	55.402 56.051 56.701 57.026	53.670 54.752 55.835 56.376
42			4.5 4 3 2 1.5	39.077 39.402 40.051 40.701 41.026	37.129 37.670 38.752 39.835 40.376				5.5 4 3 2 1.5	56.428 57.402 58.051 58.701 59.026	54.046 55.670 56.752 57.835 58.376
	45		4.5 4 3 2 1.5	42.077 42.402 43.051 43.701 44.026	40.129 40.670 41.752 42.835 43.376				4 3 2 1.5	59.402 60.051 60.701 61.026	57.670 58.752 56.835 60.376
48			5 4 3 2 1.5	44.752 45.402 46.051 46.701 47.026	44.587 43.670 44.752 45.835 46.376	64			6 4 3 2 1.5	60.103 61.402 62.051 62.701 63.026	57.505 59.670 60.752 61.835 62.376
		50	3 2 1.5	48.051 48.701 49.026	46.752 47.835 48.376				4 3 2 1.5	62.402 63.051 63.701 64.026	60.670 61.752 62.835 63.376

(续)

公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1	公称直径 D, d			螺距 P	中径 D_2 或 d_2	小径 D_1 或 d_1	
第一系列	第二系列	第三系列				第一系列	第二系列	第三系列				
	68							78	2	76.701	75.835	
			6	64.103	61.505	80			6	76.103	73.505	
			4	65.402	63.670		4	77.402	75.670			
			3	66.051	64.752		3	78.051	76.752			
			2	66.701	65.835		2	78.701	77.835			
		1.5	67.026	66.376	1.5		79.026	78.376				
		70						82	2	80.701	79.835	
			6	66.103	63.505	85			6	81.103	78.505	
			4	67.402	65.670		4	82.402	80.670			
			3	68.051	66.752		3	83.051	81.752			
			2	68.701	67.835		2	83.701	82.835			
		1.5	69.026	68.376								
72			6	63.103	65.505	90			6	86.103	83.505	
			4	69.402	67.670		4	87.402	85.670			
			3	70.051	68.752		3	88.051	86.752			
			2	70.701	69.835		2	88.701	87.835			
			1.5	71.026	70.376							
		75						95	6	91.103	88.605	
			4	72.402	70.670	100			4	92.402	90.670	
			3	73.051	71.752		3	93.051	91.752			
			2	73.701	72.835		2	93.701	92.835			
			1.5	74.026	73.376							
									105	6	96.103	93.505
76			6	72.103	69.505	105			4	97.402	95.670	
			4	73.402	71.670		3	98.051	96.752			
			3	74.051	72.752		2	98.701	97.835			
			2	74.701	73.835							
			1.5	75.026	74.376							
								110	6	101.103	98.505	
			6	72.103	69.505	110			4	102.402	100.670	
		4	73.402	71.670	3		103.051	101.752				
		3	74.051	72.752	2		103.701	102.835				
		2	74.701	73.835								
		1.5	75.026	74.376								

表 2-4 普通螺纹优选公差带与配合及标记 (GB/T 197—2003)

精度	公差带位置 e			公差带位置 f			公差带位置 g			公差带位置 h			
	S	N	L	S	N	L	S	N	L	S	N	L	
外 螺 纹	精密	—	—	—	—	—	—	(4g)	(5g, 4g)	(3h, 4h)	4h [Ⓐ]	(5h, 4h)	
	中等	—	6e [Ⓐ]	(7e, 6e)	—	6f [Ⓐ]	—	(5g, 6g)	6g [Ⓐ]	(7g, 6g)	(5h, 6h)	6h [Ⓐ]	(7h, 6h)
	粗糙	—	(8e)	(9e, 8e)	—	—	—	—	8g	(9g, 8g)	—	—	—

内螺纹	精度	公差带位置 G			公差带位置 H			内、外螺纹公差带位置	
		S	N	L	S	N	L		
精密	—	—	—	—	4H	5H	6H		
中等	(5G)	6G	(7G)	5H ^①	6H^①	7H ^①			
粗糙	—	(7G)	(8G)	—	7H	8H			
普通螺纹的配合选择	一般联接螺纹		优先采用 H/h、H/g 或 G/h；小于 M1.4 的螺纹，应选用 5H/6h 或更精密的配合						
	经常装拆的螺纹		推荐采用 H/g						
	高温工作下的螺纹		工作温度在 450°C 以下，选用 H/g；高于 450°C 时应选用 H/e、G/h 或 G/g						
	需要涂镀的螺纹		薄镀层螺纹件选用 H/g；中等腐蚀条件、中等镀层厚度的螺纹件选用 H/f；严重腐蚀条件、较厚镀层的螺纹件选用 H/e 或 G/e						
粗牙螺纹	直径 10mm，螺距 1.5mm，中径顶径公差带均为 6H 的内螺纹；M10—6H						顶径指外螺纹大径和内螺纹小径		
细牙螺纹	直径 10mm，螺距 1mm，中径顶径公差带均为 6g 的外螺纹；M10×1—6g								
标记示例	<p>M20 × 2—6H/5g6g—S—LH</p>								
	<p>左旋 LH(右旋 RH 不标) 旋合长度(中等旋合长度“N”不标,特殊需要时,长度可标数值) 外螺纹顶径公差带 外螺纹中径公差带 内螺纹中径和顶径公差带(公差带代号相同时只标一个)</p>								

- 注：1. 大量生产的精制紧固件螺纹，推荐采用带方框的公差带。
 2. 精密精度—用于精密螺纹，当要求配合性质变动较小时采用；中等精度—一般用途；
 粗糙精度—对精度要求不高或制造比较困难时采用。
 3. 括号内的公差带尽可能不用。
 ① 为优先选用的公差带。

表 2-5 螺纹旋合长度 (GB/T 197—2003) (单位：mm)

公称直径 D、d		螺距 P	旋合长度			
			短 S	中等 N		长 L
>	≤		≤	>	≤	>
0.99	1.4	0.2	0.5	0.5	1.4	1.4
		0.25	0.6	0.6	1.7	1.7
		0.3	0.7	0.7	2	2
1.4	2.8	0.2	0.5	0.5	1.5	1.5
		0.25	0.6	0.6	1.9	1.9
		0.35	0.8	0.8	2.6	2.6
		0.4	1	1	3	3
		0.45	1.3	1.3	3.8	3.8

(续)

公称直径 D, d		螺距 P	旋合长度			
			短 S	中 等 N		长 L
>	\leq		\leq	>	\leq	>
2.8	5.6	0.35	1	1	3	3
		0.5	1.5	1.5	4.5	4.5
		0.6	1.7	1.7	5	5
		0.7	2	2	6	6
		0.75	2.2	2.2	6.7	6.7
		0.8	2.5	2.5	7.5	7.5
5.6	11.2	0.75	2.4	2.4	7.1	7.1
		1	3	3	9	9
		1.25	4	4	12	12
		1.5	5	5	15	15
11.2	22.4	1	3.8	3.8	11	11
		1.25	4.5	4.5	13	13
		1.5	5.6	5.6	16	16
		1.75	6	6	18	18
		2	8	8	24	24
		2.5	10	10	30	30
22.4	45	1	4	4	12	12
		1.5	6.3	6.3	19	19
		2	8.5	8.5	25	25
		3	12	12	36	36
		3.5	15	15	45	45
		4	18	18	53	53
		4.5	21	21	63	63
45	90	1.5	7.5	7.5	22	22
		2	9.5	9.5	28	28
		3	15	15	45	45
		4	19	19	56	56
		5	24	24	71	71
		5.5	28	28	85	85
		6	32	32	95	95

4. 英制螺纹的基本尺寸及常用表

英制螺纹在我国已应用很少了，只有在修配旧机器和一些引进设备时要用到英制螺纹。

英制螺纹的公称直径是指内螺纹大径，用英寸标注，如直径为 $1\frac{1}{2}$ 的英制螺纹；螺距用 1 英寸长度中的牙数表示，如每英寸的牙数为 12，螺距即是 $1\frac{1}{12}$ 。对于常用的英制螺纹 $\left(\frac{1}{2} \sim \frac{9}{8}\right)$ ，它的大径和每英寸牙数有一个规律，即只要用 16 作为常数减去螺纹大径的分子数（分母为 8 时），就是 1 英寸中的牙数，见表 2-6。

表 2-6 每英寸牙数计算表

螺纹公称直径	计算方法	每英寸牙数
$\frac{1''}{2} \left(\frac{4''}{8} \right)$	16-4	12
$\frac{5''}{8}$	16-5	11
$\frac{3''}{4} \left(\frac{6''}{8} \right)$	16-6	10
$\frac{7''}{8}$	16-7	9
1''	16-8	8
$\frac{9''}{8}$	16-9	7

英制长度单位和米制长度单位的换算关系为

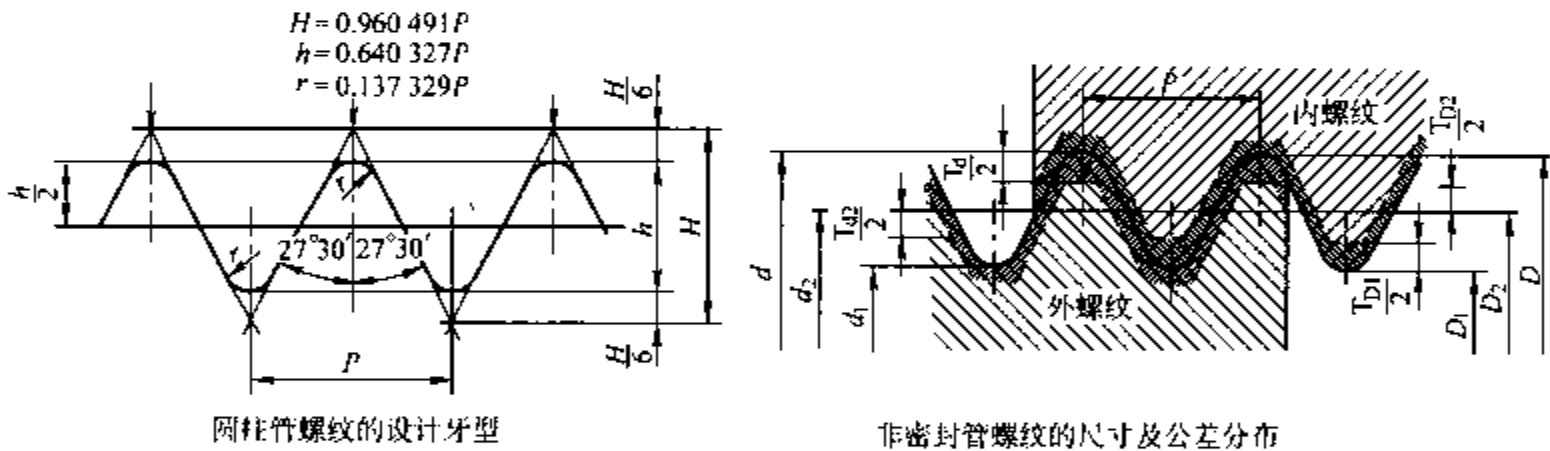
$$1'' = 25.4\text{mm}$$

$$1\text{mm} = \frac{1''}{25.4}$$

英制螺纹的基本尺寸及常用表见表 2-7 至表 2-10。

表 2-7 55°非密封管螺纹的基本牙型、基本尺寸和公差 (GB/T 7307—2001)

(单位: mm)



圆柱管螺纹的设计牙型

非密封管螺纹的尺寸及公差分布

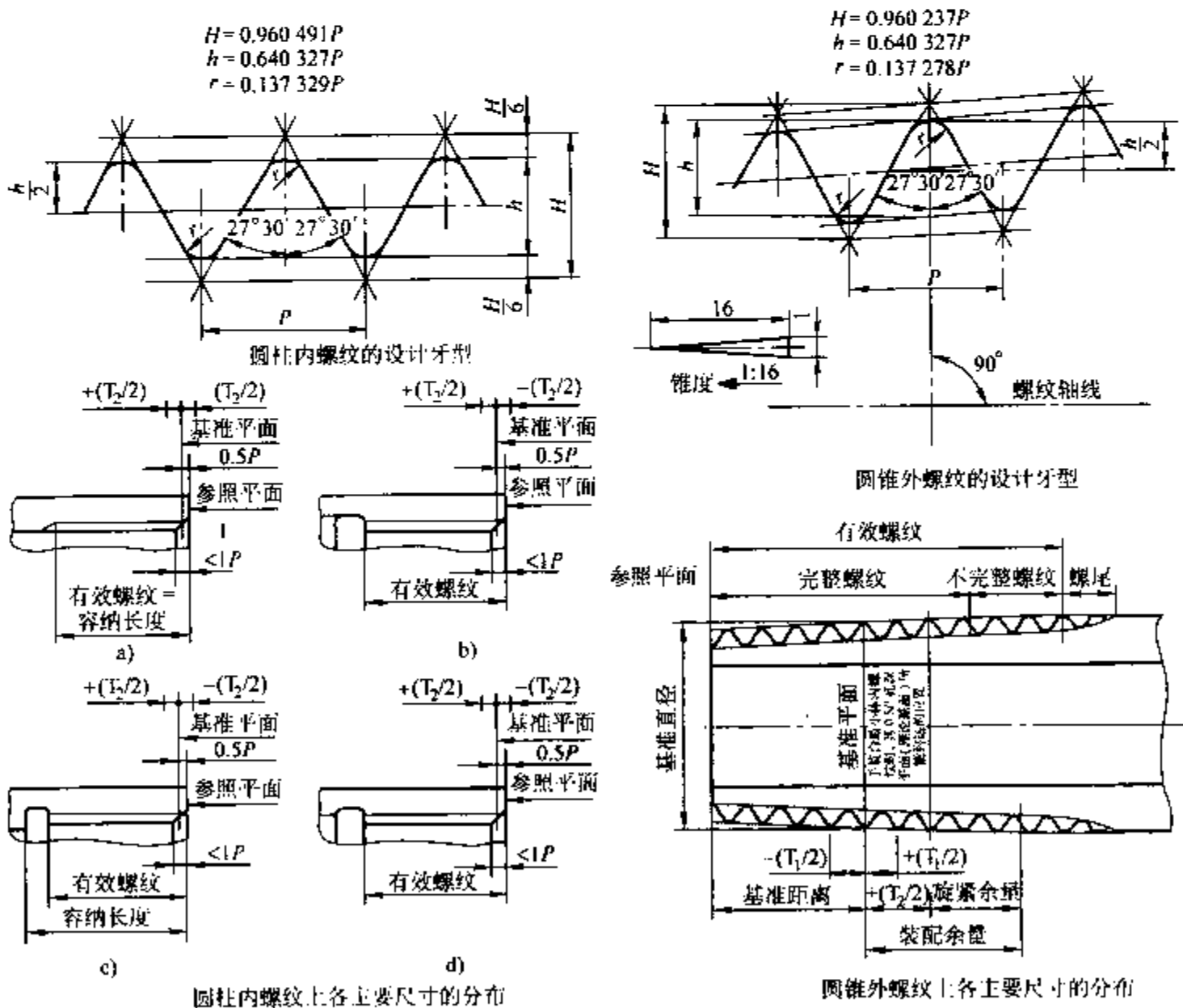
尺寸代号	每 25.4mm 内所包含的牙数 n	螺距 P	牙高 h	基本直径			中径公差 ^①				小径公差		大径公差		
				大径 d = D	中径 d ₂ = D ₂	小径 d ₁ = D ₁	内螺纹		外螺纹		上偏差	下偏差	下偏差	上偏差	
							下偏差	上偏差	下偏差	上偏差					
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561	0	+0.107	-0.107	-0.214	0	0	+0.282	-0.214	0
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566	0	+0.107	-0.107	-0.214	0	0	+0.282	-0.214	0
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445	0	+0.125	-0.125	-0.250	0	0	+0.445	-0.250	0
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950	0	+0.125	-0.125	-0.250	0	0	+0.445	-0.250	0
1/2	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0
5/8	14	1.814	1.162	22.911	21.749	20.587	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0
7/8	14	1.814	1.162	30.201	29.039	27.877	0	+0.142	-0.142	-0.284	0	0	+0.541	-0.284	0
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0
1 1/8	11	2.309	1.479	37.897	36.418	34.939	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0
1 1/4	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0

(续)

尺寸代号	每 25.4mm 内所包含的牙数 n	螺距 P	牙高 h	基本直径			中径公差 ^①				小径公差		大径公差		
				大径 $d = D$	中径 $d_2 = D_2$	小径 $d_1 = D_1$	内螺纹		外螺纹		内螺纹		外螺纹		
							下偏差	上偏差	下偏差	上偏差	下偏差	上偏差	下偏差	上偏差	
1 1/2	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0
1 3/4	11	2.309	1.479	53.746	52.267	50.788	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656	0	+0.180	-0.180	-0.360	0	0	+0.640	-0.360	0
2 1/4	11	2.309	1.479	65.710	64.231	62.752	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
2 1/2	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
2 3/4	11	2.309	1.479	81.534	80.055	78.576	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
3 1/2	11	2.309	1.479	100.330	98.851	97.372	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
4 1/2	11	2.309	1.479	125.730	124.251	122.772	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
5 1/2	11	2.309	1.479	151.130	149.651	148.172	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872	0	+0.217	-0.217	-0.434	0	0	+0.640	-0.434	0

① 对薄壁件，此公差适用于平均中径，该中径是测量两个相互垂直直径的算术平均值。

表 2-8 55°密封管螺纹（圆锥外螺纹和圆柱内螺纹）牙型、基本尺寸和公差（GB/T 7306.1—2000）
(单位: mm)

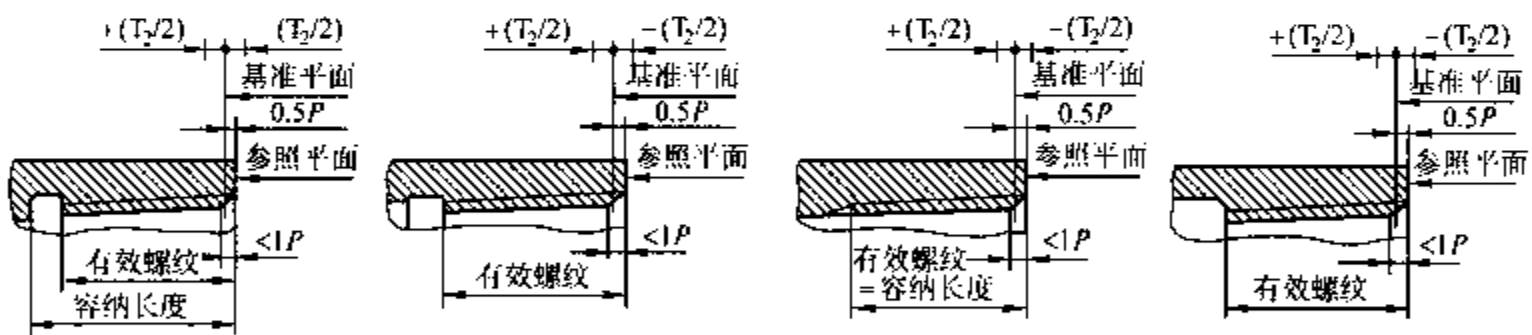


(续)

尺寸代号	每 25.4mm 内所 包含的 牙数 n	螺距 P /mm	牙高 h /mm	基准平面内的基本直径			基准距离				外螺纹的有效 螺纹不小于			圆柱内螺纹 直径的极限 偏差 (±)				
				大径 (基 准直径) d = D /mm	中径 d ₂ = D ₂ /mm	小径 d ₁ = D ₁ /mm	基本 /mm	极限偏差 ± T ₁ /2		max /mm	min /mm	装配余量	基准距离 分别为			径向 /mm	轴向 圈数 T ₂ /2	
								mm	圈数				min	圈数	基本 /mm			max /mm
										mm	圈数							
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561	4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	2 ³ / ₄	6.5	7.4	5.6	0.071	1 ¹ / ₄
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566	4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	2 ³ / ₄	6.5	7.4	5.6	0.071	1 ¹ / ₄
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445	6	1.3	1	7.3	4.7	3.7	2 ³ / ₄	9.7	11	8.4	0.104	1 ¹ / ₄
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950	6.4	1.3	1	7.7	5.1	3.7	2 ³ / ₄	10.1	11.4	8.8	0.104	1 ¹ / ₄
1/2	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631	8.2	1.8	1	10.0	6.4	5.0	2 ³ / ₄	13.2	15	11.4	0.142	1 ¹ / ₄
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117	9.5	1.8	1	11.3	7.7	5.0	2 ³ / ₄	14.5	16.3	12.7	0.142	1 ¹ / ₄
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291	10.4	2.3	1	12.7	8.1	6.4	2 ³ / ₄	16.8	19.1	14.5	0.180	1 ¹ / ₄
1 ¹ / ₄	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952	12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	2 ³ / ₄	19.1	21.4	16.8	0.180	1 ¹ / ₄
1 ¹ / ₂	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845	12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	2 ³ / ₄	19.1	21.4	16.8	0.180	1 ¹ / ₄
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656	15.9	2.3	1	18.2	13.6	7.5	3 ¹ / ₄	23.4	25.7	21.1	0.180	1 ¹ / ₄
2 ¹ / ₂	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226	17.5	3.5	1 ¹ / ₂	21.0	14.0	9.2	4	26.7	30.2	23.2	0.216	1 ¹ / ₂
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926	20.6	3.5	1 ¹ / ₂	24.1	17.1	9.2	4	29.8	33.3	26.3	0.216	1 ¹ / ₂
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072	25.4	3.5	1 ¹ / ₂	28.9	21.9	10.4	4 ¹ / ₂	35.8	39.3	32.3	0.216	1 ¹ / ₂
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472	28.6	3.5	1 ¹ / ₂	32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	0.216	1 ¹ / ₂
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872	28.6	3.5	1 ¹ / ₂	32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	0.216	1 ¹ / ₂

表 2-9 55°密封管螺纹 (圆锥内外螺纹) 基本尺寸和公差 (GB/T 7306.2—2000)

(单位: mm)

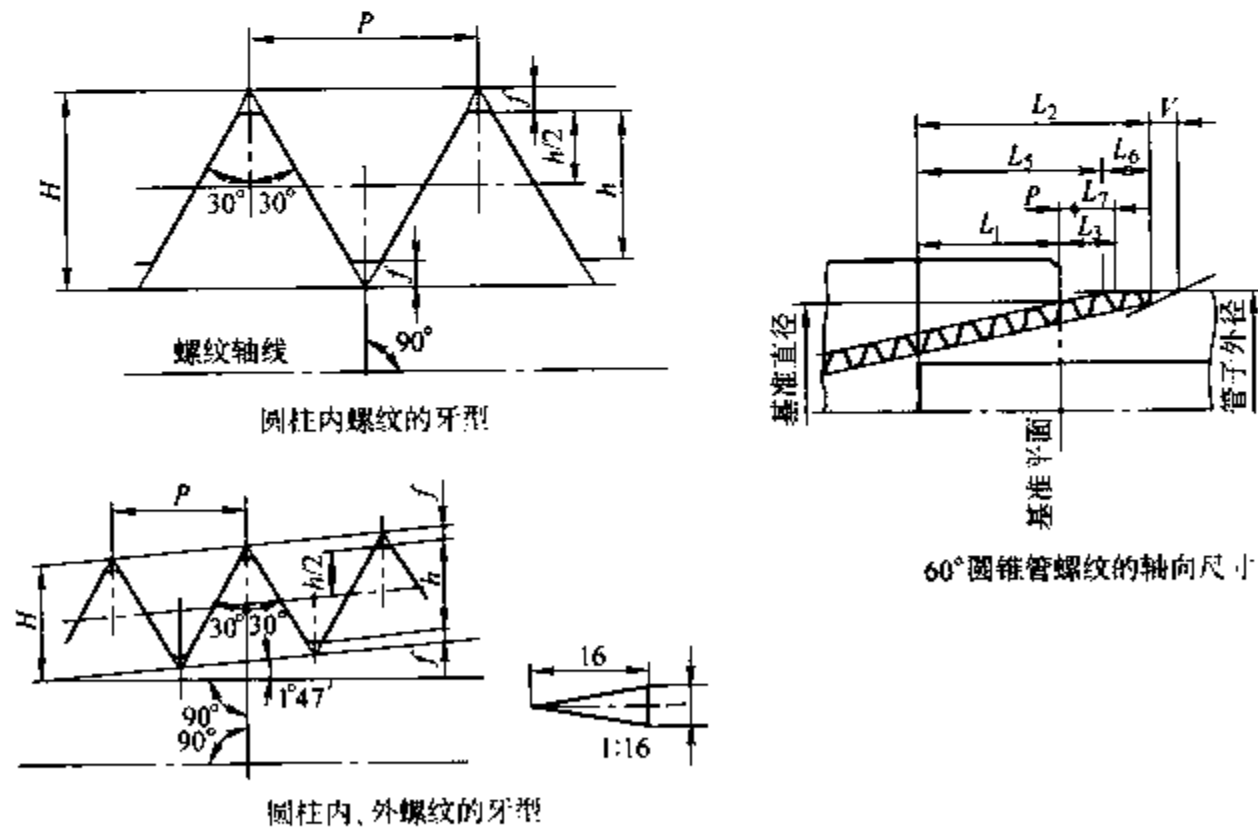


尺寸代号	每 25.4mm 内所 包含的 牙数 n	螺距 P /mm	牙高 h /mm	基准平面内的基本直径			基准距离				外螺纹的有效 螺纹不小于			圆锥内螺纹 基准平面轴向 位置的极限偏差 ± T ₂ /2				
				大径 (基 准直径) d = D /mm	中径 d ₂ = D ₂ /mm	小径 d ₁ = D ₁ /mm	基本 /mm	极限偏差 ± T ₁ /2		max /mm	min /mm	装配余量	基准距离 分别为			mm	圈数	
								mm	圈数				min	圈数	基本 /mm			max /mm
										mm	圈数							
1/16	28	0.907	0.581	7.723	7.142	6.561	4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	2 ³ / ₄	6.5	7.4	5.6	1.1	1 ¹ / ₄
1/8	28	0.907	0.581	9.728	9.147	8.566	4	0.9	1	4.9	3.1	2.5	2 ³ / ₄	6.5	7.4	5.6	1.1	1 ¹ / ₄
1/4	19	1.337	0.856	13.157	12.301	11.445	6	1.3	1	7.3	4.7	3.7	2 ³ / ₄	9.7	11	8.4	1.7	1 ¹ / ₄

(续)

尺寸代号	每 25.4mm 内所包含的牙数 n	螺距 P /mm	牙高 h /mm	基准平面内的基本直径			基准距离						外螺纹的有效螺纹不小于			圆锥内螺纹基准平面轴向位置的极限偏差 $\pm T_2/2$			
				大径 (基准直径) $d = D$ /mm	中径 $d_2 = D_2$ /mm	小径 $d_1 = D_1$ /mm	基本 /mm	极限偏差 $\pm T_1/2$		max /mm	min /mm	装配余量	基准距离分别为			mm	圈数		
								mm	圈数				mm	圈数	基本 /mm			max /mm	min /mm
3/8	19	1.337	0.856	16.662	15.806	14.950	6.4	1.3	1	7.7	5.1	3.7	2 ^{3/4}	10.1	11.4	8.8	1.7	1 ^{1/4}	
1/2	14	1.814	1.162	20.955	19.793	18.631	8.2	1.8	1	10.0	6.4	5.0	2 ^{3/4}	13.2	15	11.4	2.3	1 ^{1/4}	
3/4	14	1.814	1.162	26.441	25.279	24.117	9.5	1.8	1	11.3	7.7	5.0	2 ^{3/4}	14.5	16.3	12.7	2.3	1 ^{1/4}	
1	11	2.309	1.479	33.249	31.770	30.291	10.4	2.3	1	12.7	8.1	6.4	2 ^{3/4}	16.8	19.1	14.5	2.9	1 ^{1/4}	
1 ^{1/4}	11	2.309	1.479	41.910	40.431	38.952	12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	2 ^{3/4}	19.1	21.4	16.8	2.9	1 ^{1/4}	
1 ^{1/2}	11	2.309	1.479	47.803	46.324	44.845	12.7	2.3	1	15.0	10.4	6.4	2 ^{3/4}	19.1	21.4	16.8	2.9	1 ^{1/4}	
2	11	2.309	1.479	59.614	58.135	56.656	15.9	2.3	1	18.2	13.6	7.5	3 ^{1/4}	23.4	25.7	21.1	2.9	1 ^{1/4}	
2 ^{1/2}	11	2.309	1.479	75.184	73.705	72.226	17.5	3.5	1 ^{1/2}	21.0	14.0	9.2	4	26.7	30.2	23.2	3.5	1 ^{1/2}	
3	11	2.309	1.479	87.884	86.405	84.926	20.6	3.5	1 ^{1/2}	24.1	17.1	9.2	4	29.8	33.3	26.3	3.5	1 ^{1/2}	
4	11	2.309	1.479	113.030	111.551	110.072	25.4	3.5	1 ^{1/2}	28.9	21.9	10.4	4 ^{1/2}	35.8	39.3	32.3	3.5	1 ^{1/2}	
5	11	2.309	1.479	138.430	136.951	135.472	28.6	3.5	1 ^{1/2}	32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	3.5	1 ^{1/2}	
6	11	2.309	1.479	163.830	162.351	160.872	28.6	3.5	1 ^{1/2}	32.1	25.1	11.5	5	40.1	43.6	36.6	3.5	1 ^{1/2}	

表 2-10 60°密封圆锥管螺纹牙型及基本尺寸 (GB/T 12716—2002)



(续)

螺纹的 尺寸 代号	25.4mm 内包含 的牙数 n	螺距 P	牙型高度 h	基准平面内的基本直径			基准距离 L_1		装配余量 L_3		外螺纹小端面 内的基本小径 /mm
				大径 $d = D$	中径 $d_2 = D_2$	小径 $d_1 = D_1$	圈数	mm	圈数	mm	
				mm							
1/16	27	0.941	0.752	7.894	7.142	6.389	4.32	4.064	3	2.822	6.137
1/8	27	0.941	0.752	10.242	9.489	8.737	4.36	4.102	3	2.822	8.481
1/4	18	1.411	1.129	13.616	12.487	11.358	4.10	5.785	3	4.233	10.996
3/8	18	1.411	1.129	17.055	15.926	14.797	4.32	6.096	3	4.233	14.417
1/2	14	1.814	1.451	21.224	19.772	18.321	4.48	8.128	3	5.443	17.813
3/4	14	1.814	1.451	26.569	25.117	23.666	4.75	8.618	3	5.443	23.127
1	11.5	2.209	1.767	33.228	31.461	29.694	4.60	10.160	3	6.626	29.060
1 1/4	11.5	2.209	1.767	41.985	40.218	38.451	4.83	10.668	3	6.626	37.785
1 1/2	11.5	2.209	1.767	48.054	46.287	44.520	4.83	10.668	3	6.626	43.853
2	11.5	2.209	1.767	60.092	58.325	56.558	5.01	11.065	3	6.626	55.867
2 1/2	8	3.175	2.540	72.699	70.159	67.619	5.46	17.335	2	6.350	66.535
3	8	3.175	2.540	88.608	86.068	83.528	6.13	19.463	2	6.350	82.311
3 1/2	8	3.175	2.540	101.316	98.776	96.236	6.57	20.860	2	6.350	94.932
4	8	3.175	2.540	113.973	111.433	108.893	6.75	21.431	2	6.350	107.554
5	8	3.175	2.540	140.952	138.412	135.872	7.50	23.812	2	6.350	134.384
6	8	3.175	2.540	167.792	165.252	162.712	7.66	24.320	2	6.350	161.191
8	8	3.175	2.540	218.441	215.901	213.361	8.50	26.988	2	6.350	211.673
10	8	3.175	2.540	272.312	269.772	267.232	9.68	30.734	2	6.350	265.311
12	8	3.175	2.540	323.032	320.492	317.952	10.88	34.544	2	6.350	315.793
140. D.	8	3.175	2.540	354.904	352.364	349.824	12.50	39.688	2	6.350	347.345
160. D.	8	3.175	2.540	405.784	403.244	400.704	14.50	46.038	2	6.350	397.828
180. D.	8	3.175	2.540	456.565	454.025	451.485	16.00	50.800	2	6.350	448.310
200. D.	8	3.175	2.540	507.246	504.706	502.166	17.00	53.975	2	6.350	498.792
240. D.	8	3.175	2.540	608.608	606.068	603.528	19.00	60.325	2	6.350	599.758

注：1. 可参照表中最后一栏数据选择攻螺纹前的麻花钻直径。

2. 螺纹收尾长度 (V) 为 $3.47P$ 。

3. O. D. 是英文管子外径 (outside diameter) 的缩写。

5. 梯形螺纹的尺寸计算及常用表

梯形螺纹一般用于传动，既传递力，又传递运动，应用很广泛。梯形螺纹的轴向断面呈梯形，牙型角为 30° 。螺杆与螺母配合有大、小间隙。大径间隙在螺母大径上加大，小径间隙在螺杆小径上减小。GB/T 5796—2005 所规定的螺纹标准，主要用于传动精度要求较低的情况。

梯形螺纹各部分的名称、代号及计算公式如下（见图 2-4）。

- ① 外螺纹大径（公称直径） d 。
- ② 螺距 P 。
- ③ 牙顶间隙 a_c 。
- ④ 基本牙型高度 $H_1 = 0.5P$ 。
- ⑤ 外螺纹牙高 $h_3 = H_1 + a_c = 0.5P + a_c$ 。
- ⑥ 内螺纹牙高 $H_4 = H_1 + a_c = 0.5P + a_c$ 。
- ⑦ 牙顶高 $Z = 0.25P = H_1/2$ 。

- ⑧外螺纹中径 $d_2 = d - 2Z = d - 0.5P$ 。
 ⑨内螺纹中径 $D_2 = d - 2Z = d - 0.5P$ 。
 ⑩外螺纹小径 $d_3 = d - 2h_3$ 。
 ⑪内螺纹小径 $D_1 = d - 2H_1 = d - P$ 。
 ⑫内螺纹大径 $D_4 = d + 2a_c$ 。
 ⑬外螺纹牙顶圆角 $R_{1\max} = 0.5a_c$ 。
 ⑭牙底圆角 $R_{2\max} = a_c$ 。

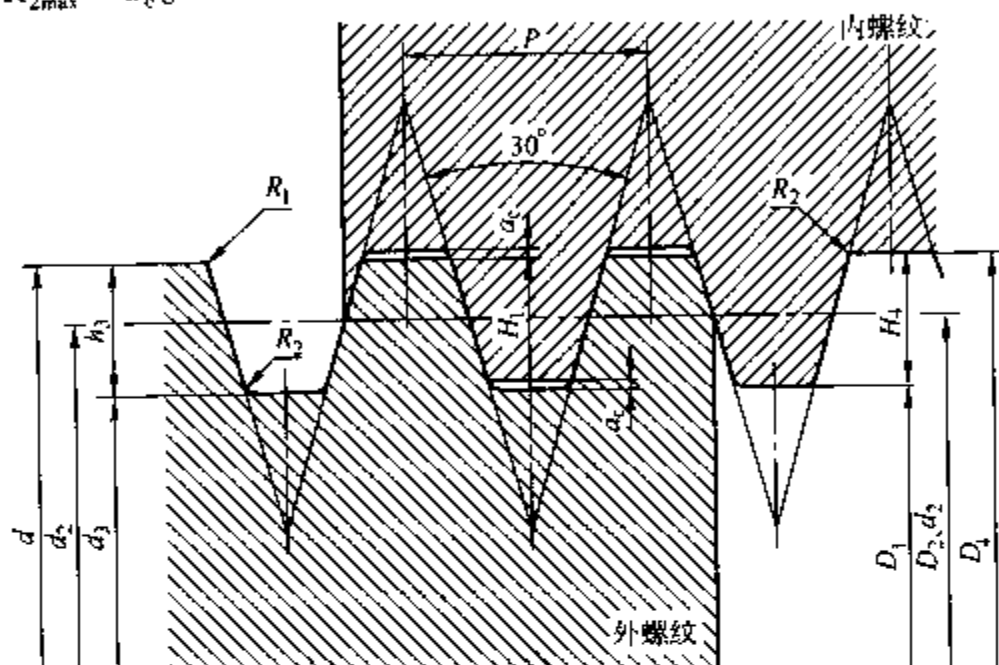


图 2-4 梯形螺纹

梯形螺纹的基本尺寸见表 2-11。

表 2-11 梯形螺纹的基本尺寸 (GB/T 5796.3—2005)

(单位: mm)

公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	大径 D_4	小 径	
第一系列	第二系列				d_3	D_1
8		1.5	7.250	8.300	6.200	6.500
		2	7.500	8.500	6.000	6.300
	9	1.5	8.250	9.300	7.200	7.500
		2	8.000	9.500	6.500	7.000
10		1.5	9.250	10.300	8.200	8.500
		2	9.000	10.500	7.500	8.000
	11	2	10.000	11.500	8.500	9.000
		3	9.500	11.500	7.500	8.000
12		2	11.000	12.500	9.500	10.000
		3	10.500	12.500	8.500	9.000
	14	2	13.000	14.500	11.500	12.000
		3	12.500	14.500	10.500	11.000
16		2	15.000	16.500	13.500	14.000
		4	14.000	16.500	11.500	12.000

(续)

公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	大径 D_4	小 径	
第一系列	第二系列				d_3	D_1
	18	2	17.000	18.500	15.500	16.000
		4	16.000	18.500	13.500	14.000
20		2	19.000	20.500	17.500	18.000
		4	18.000	20.500	15.500	16.000
	22	3	20.500	22.500	18.500	19.000
		5	19.500	22.500	16.500	17.000
		8	18.000	23.000	13.000	14.000
24		3	22.500	24.500	20.500	21.000
		5	21.500	24.500	18.500	19.000
		8	20.000	25.000	15.000	16.000
	26	3	24.500	26.500	22.500	23.000
		5	23.500	26.500	20.500	21.000
		8	22.000	27.000	17.000	18.000
28		3	26.500	28.500	24.500	25.000
		5	25.500	28.500	22.500	23.000
		8	24.000	29.000	19.000	20.000
	30	3	28.500	30.500	26.500	27.000
		6	27.000	31.000	23.000	24.000
		10	25.000	31.000	19.000	20.000
32		3	30.500	32.500	28.500	29.000
		6	29.000	33.000	25.000	26.000
		10	27.000	33.000	21.000	22.000
	34	3	32.500	34.500	30.500	31.000
		6	31.000	35.000	27.000	28.000
		10	29.000	35.000	23.000	24.000
36		3	34.500	36.500	32.500	33.000
		6	33.000	37.000	29.000	30.000
		10	31.000	37.000	25.000	26.000
	38	3	36.500	38.500	34.500	35.000
		7	34.500	39.000	30.000	31.000
		10	33.000	39.000	27.000	28.000
40		3	38.500	40.500	36.500	37.000
		7	36.500	41.000	32.000	33.000
		10	35.000	41.000	29.000	30.000

(续)

公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	大径 D_4	小 径	
第一系列	第二系列				d_3	D_1
	42	3	40.500	42.500	38.500	39.000
		7	38.500	43.000	34.000	35.000
		10	37.000	43.000	31.000	32.000
44		3	42.500	44.500	40.500	41.000
		7	40.500	45.000	36.000	37.000
		12	38.000	45.000	31.000	32.000
	46	3	44.500	46.500	42.500	43.000
		8	42.000	47.000	37.000	38.000
		12	40.000	47.000	33.000	34.000
48		3	46.500	48.500	44.500	45.000
		8	44.000	49.000	39.000	40.000
		12	42.000	49.000	35.000	36.000
	50	3	48.500	50.500	46.500	47.000
		8	46.000	51.000	41.000	42.000
		12	44.000	51.000	37.000	38.000
52		3	50.500	52.500	48.500	49.000
		8	48.000	53.000	43.000	44.000
		12	46.000	53.000	39.000	40.000
	55	3	53.500	55.500	51.500	52.000
		9	50.500	56.000	45.000	46.000
		14	48.000	57.000	39.000	41.000
60		3	58.500	60.500	56.500	57.000
		9	55.500	61.000	50.000	51.000
		14	53.000	62.000	44.000	46.000
	65	4	63.000	65.500	60.500	61.000
		10	60.000	66.000	54.000	55.000
		16	57.000	67.000	47.000	49.000
70		4	68.000	70.500	65.500	66.000
		10	65.000	71.000	59.000	60.000
		16	62.000	72.000	62.000	54.000
	75	4	73.000	75.500	70.500	71.000
		10	70.000	76.000	64.000	65.000
		16	67.000	77.000	57.000	59.000
80		4	78.000	80.500	75.500	76.000
		10	75.000	81.000	69.000	70.000
		16	72.000	82.000	62.000	64.000
	85	4	83.000	85.500	80.500	81.000
		12	79.000	86.000	72.000	73.000
		18	76.000	87.000	65.000	67.000

(续)

公称直径 d		螺距 P	中径 $d_2 = D_2$	大径 D_4	小 径	
第一系列	第二系列				d_3	D_1
90		4	88.000	90.500	85.500	86.000
		12	84.000	91.000	77.000	78.000
		18	81.000	92.000	70.000	72.000
	95	4	93.000	95.500	90.500	91.000
		12	89.000	96.000	82.000	83.000
		18	86.000	97.000	75.000	77.000
100		4	98.000	100.500	95.500	96.000
		12	94.000	101.000	87.000	88.000
		20	90.000	102.000	78.000	80.000

梯形螺纹中径公差、内螺纹小径公差、外螺纹大径公差及梯形螺纹的旋合长度分别见表 2-12、表 2-13、表 2-14、表 2-15。

表 2-12 梯形螺纹中径公差 (GB/T 5796.4—2005)

(单位: μm)

公称直径 d/mm		螺距 P/mm	内螺纹中径公差 TD_2			外螺纹中径公差 Td_2		
$>$	\leq		公差等级					
			7	8	9	7	8	9
5.6	11.2	1.5	224	280	355	170	212	265
		2	250	315	400	190	236	300
		3	280	355	450	212	265	335
11.2	22.4	2	265	335	425	200	250	315
		3	300	375	475	224	280	355
		4	355	450	560	265	335	425
		5	375	475	600	280	355	450
		8	475	600	750	355	450	560
22.4	45	3	335	425	530	250	315	400
		5	400	500	630	300	375	475
		6	450	560	710	335	425	530
		7	475	600	750	355	450	560
		8	500	630	800	375	475	600
		10	530	670	850	400	500	630
		12	560	710	900	425	530	670
45	90	3	355	450	560	265	335	425
		4	400	500	630	300	375	475
		8	530	670	850	400	500	630
		9	560	710	900	425	530	670
		10	560	710	900	425	530	670
		12	630	800	1000	475	600	750
		14	670	850	1060	500	630	800
		16	710	900	1120	530	670	850
		18	750	950	1180	560	710	900

表 2-13 内螺纹小径公差 TD_1
(GB/T 5796.4—2005)

螺距 P/mm	公差等级 $4/\mu\text{m}$
1.5	190
2	236
3	315
4	375
5	450
6	500
7	560
8	630
9	670
10	710
12	800
14	900
16	1000
18	1120

表 2-14 外螺纹大径公差 Td
(GB/T 5796.4—2005)

螺距 P/mm	公差等级 $4/\mu\text{m}$
1.5	150
2	180
3	236
4	300
5	335
6	375
7	425
8	450
9	500
10	530
12	600
14	670
16	710
18	800

表 2-15 梯形螺纹旋合长度 (GB/T 5796.4—2005) (单位: mm)

公称直径		螺距 P	旋合长度组		
			N		L
$>$	\leq		$>$	\leq	$>$
5.6	11.2	1.5	5	15	15
		2	6	19	19
		3	10	28	28
11.2	22.4	2	8	24	24
		3	11	32	32
		4	15	43	43
		5	18	58	58
		8	30	85	85
22.4	45	3	12	36	36
		5	21	63	63
		6	25	75	75
		7	30	85	85
		8	34	100	100
		10	42	125	125
		12	50	150	150
45	90	3	15	45	45
		4	19	56	56
		8	38	118	118
		9	43	132	132
		10	50	140	140
		12	60	170	170
		14	67	200	200
		16	75	236	236
		18	85	265	265

6. 矩形螺纹的形状及各部分尺寸计算

矩形螺纹是非标准螺纹，它的轴向断面形状为正方形，如图 2-5 所示。在理论上讲，槽宽等于牙宽，但实际上由于配合需产生相对运动，必须留有间隙，以便滑动。

矩形螺纹各部分尺寸计算公式如下：

① 螺杆外径 $d = D$ （公称尺寸）、螺距 P 均由设计决定。

② 牙高 $h_1 = 0.5P$ 。

③ 螺杆底径 $d_1 = D - 2h_1 = D - P$ 。

④ 槽宽 $b = \frac{P}{2}$ 。

⑤ 螺母外径 $d' = D + (0.1 \sim 0.2) \text{ mm}$ 。

⑥ 螺母槽宽 $b' = \frac{P}{2} + (0.03 \sim 0.06) \text{ mm}$ 。

⑦ 螺母牙高 $h'_1 = \frac{P}{2} - e + (0.05 \sim 1) \text{ mm}$ 。间隙 e 与螺距 P 的关系是：当螺距 $P = 2 \sim 4 \text{ mm}$ 时，间隙 $e = 0.25 \text{ mm}$ ；当螺距 $P = 5 \sim 12 \text{ mm}$ 时，间隙 $e = 0.5 \text{ mm}$ 。

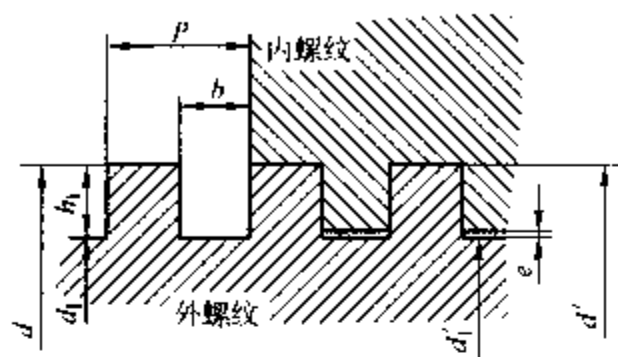


图 2-5 矩形螺纹

7. 蜗杆各部分尺寸及常用表

蜗杆蜗轮常用于传递空间两轴交错 90° 的传动，并且可以获得较大的传动比。蜗杆、蜗轮的参数和尺寸却规定在主平面（主平面即通过蜗杆轴线的平面）内计算。

蜗杆和蜗轮分为米制和英制两种。

米制蜗杆的工作图及各部分尺寸见表 2-16。 q 为蜗杆的直径系数，是蜗杆分度圆直径与模数的比值，即

$$q = \frac{d_1}{m_x}$$

或

$$d_1 = qm_x$$

q 值可从表 2-17 中查取。

表 2-16 米制蜗杆的工作图及各部分尺寸计算表

	蜗杆型式		
	轴向模数		m_x
	头数		z_1
	螺旋方向		
	导程角		γ
	精度等级		
	配偶 蜗轮	件号	
		齿数	z_2
	量针测量距		M
	量针直径		d_0

(续)

名 称		计 算 公 式
轴向模数 (m_x)		(基本参数)
压力角 (α)		$\alpha = 20^\circ$
齿距 (P_x)		$P_x = \pi m_x$
导程 (P_z)		$P_z = Z_1 P = Z_1 \pi m_x$
齿高 (h)		$h = 2.2 m_x$
齿顶高 (h_a)		$h_a = m_x$
齿根高 (h_f)		$h_f = 1.2 m_x$
分度圆直径 (d_1)		$d_1 = q m_x = d - 2 m_x$
齿顶圆直径 (d_a)		$d_a = d_1 + 2 m_x$
齿根圆直径 (d_f)		$d_f = d_1 - 2.4 m_x$ 或 $d_f = d_a - 4.4 m_x$
导程角 (γ)		$\tan \gamma = \frac{P_z}{\pi d_1}$
齿顶宽 (S_a)	轴向	$S_a = 0.843 m_x$
	法向	$S_{an} = 0.846 m_x \cos \gamma$
齿根槽宽 (e_f)	轴向	$e_f = 0.697 m_x$
	法向	$e_{fn} = 0.697 m_x \cos \gamma$
齿厚 (S_d)	轴向	$S_d = \frac{\pi m_x}{2}$
	法向	$S_{dn} = \frac{\pi m_x}{2} \cos \gamma$

表 2-17 蜗杆导程角 γ 、量针测量距 M 及量针直径等参数尺寸

m_x/mm	q	γ			
		蜗杆头数 z_1			
		1	2	3	4
1	28	2°02'44"	4°05'08"	6°06'56"	8°07'48"
	20	2°51'45"	5°42'38"	8°31'51"	11°18'36"
	14	4°05'08"	8°07'48"	12°05'41"	15°56'43"
	9	6°20'25"	12°31'44"	18°26'06"	23°27'45"
1.5	28	2°02'44"	4°05'08"	6°06'56"	8°07'48"
	20	2°51'45"	5°42'38"	8°31'51"	11°18'36"
	14	4°05'08"	8°07'48"	12°05'41"	15°56'43"
	9	6°20'25"	12°31'44"	18°26'06"	23°27'45"
2	26	2°12'09"	4°33'55"	6°34'55"	8°44'46"
	19	3°00'46"	6°00'32"	8°58'21"	11°53'19"
	13	4°23'55"	8°44'46"	12°59'41"	17°06'10"
2.5	24	2°23'09"	4°45'49"	7°07'30"	9°27'44"
	18	3°10'47"	6°20'25"	9°27'44"	12°31'44"
	12	4°45'49"	9°27'44"	14°02'10"	18°26'06"
	8	7°07'30"	14°02'10"	20°33'22"	26°33'54"

(续)

m_s/mm	q	γ								
		蜗杆头数 z_1								
		1	2	3	4					
3	22	2°36'09"	5°11'40"	7°45'55"	10°17'18"					
	17	3°21'59"	6°42'35"	10°00'29"	13°14'26"					
	12	4°45'49"	9°27'44"	14°02'10"	18°26'06"					
	8	7°07'30"	14°02'10"	20°23'22"	26°33'54"					
4	19	3°00'46"	6°00'32"	8°58'21"	11°53'19"					
	15	3°48'51"	7°35'41"	11°18'36"	14°55'53"					
	11	5°11'40"	10°18'17"	15°15'18"	19°58'59"					
	7	8°07'48"	15°56'43"	23°11'55"	—					
5	18	3°10'47"	6°20'25"	9°27'44"	12°31'44"					
	14	4°05'08"	8°07'48"	12°05'41"	15°56'43"					
	10	5°42'38"	11°18'36"	16°41'57"	21°48'05"					
	7	8°07'48"	15°56'43"	23°11'55"	—					
6	17	3°21'59"	6°42'35"	10°00'29"	13°14'26"					
	13	4°23'55"	8°44'46"	12°59'41"	17°06'10"					
	9	6°20'25"	12°31'44"	18°26'06"	23°57'45"					
	7	8°07'48"	15°56'43"	23°11'55"	—					
m_s	q	S_a				M				d_0
		蜗杆头数 z_1				蜗杆头数 z_1				
		1	2	3	4	1	2	3	4	
1	28	1.57	1.567	1.562	1.555	31.926	31.935	31.948	31.968	2.10
	20	1.569	1.566	1.555	1.54	23.929	23.946	23.968	24.009	
	14	1.567	1.555	1.536	1.51	17.935	17.968	18.020	18.091	
	9	1.561	1.533	1.49	1.435	12.951	13.028	13.146	13.297	
1.5	28	2.355	2.350	2.343	2.333	47.066	47.079	47.099	47.126	2.94
	20	2.352	2.345	2.333	2.31	35.071	35.093	35.126	35.189	
	14	2.35	2.333	2.304	2.266	26.079	26.126	26.206	26.310	
	9	2.342	2.3	2.235	2.153	18.60	18.717	18.895	19.121	
2	26	3.139	3.132	3.121	3.105	58.208	58.227	58.257	58.301	3.78
	19	3.137	3.124	3.103	3.074	44.213	44.249	44.307	44.386	
	13	3.132	3.105	3.061	3.003	32.227	32.301	32.422	32.581	
2.5	24	3.924	3.914	3.897	3.874	67.344	67.374	67.421	67.484	4.62
	18	3.921	3.903	3.874	3.834	52.355	52.405	52.484	52.594	
	12	3.914	3.874	3.81	3.726	37.374	37.484	37.660	37.891	
	8	3.897	3.81	3.677	3.513	27.421	27.660	28.025	28.476	
3	22	4.708	4.693	4.669	4.637	74.489	74.530	74.596	74.684	5.46
	17	4.704	4.68	4.641	4.587	59.500	49.566	59.673	59.821	
	12	4.696	4.648	4.572	4.471	44.522	44.654	44.862	45.140	
	8	4.676	4.572	4.412	4.215	32.577	32.862	33.302	33.843	

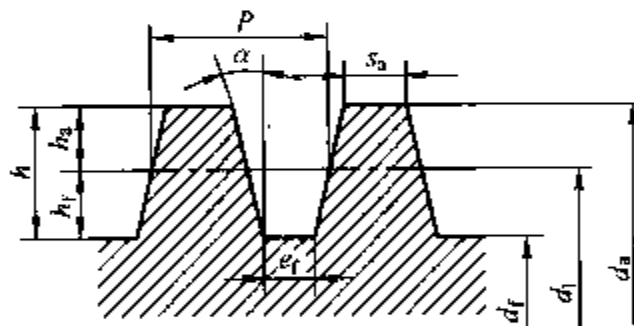
(续)

m_x	q	S_a				M				d_n
		蜗杆头数 z_1				蜗杆头数 z_1				
		1	2	3	4	1	2	3	4	
4	19	6.274	6.249	6.206	6.148	88.426	88.495	88.613	88.772	7.56
	15	6.269	6.228	6.161	6.071	72.440	72.553	72.737	72.984	
	11	6.257	6.182	6.064	5.905	56.473	56.679	57.056	57.440	
	7	6.22	6.042	5.775	—	40.574	41.061	41.797	—	
5	18	7.842	7.806	7.747	7.667	104.710	104.809	104.971	105.191	9.24
	14	7.834	7.775	7.68	7.572	84.732	84.894	85.155	85.452	
	10	7.815	7.702	7.523	7.292	64.784	65.05	65.587	66.221	
	7	7.775	7.552	7.219	—	49.894	50.507	51.422	—	
6	17	9.409	9.36	9.281	9.174	118.997	119.131	119.348	119.642	10.92
	13	9.397	9.315	9.184	9.008	95.030	95.255	95.615	96.098	
	9	9.367	9.2	8.941	8.612	71.112	71.571	72.283	73.186	
	7	9.333	9.062	8.663	—	59.206	59.950	61.046	—	

注: q 为直径系数, 同一模数中 q 的大值用于分度机构, q 的小值用于快速传动。

英制蜗杆, 我国很少使用, 一般在引进设备或维修机床中可能遇到。英制蜗杆的压力角为 $14^\circ 30'$, 它的轴向模数 m_x 通过径节 DP (径节是指每英寸长度分度圆直径上的蜗轮齿数) 来反映。英制蜗杆各部分尺寸计算见表 2-18。

表 2-18 英制蜗杆各部分尺寸计算



名称	计算公式	名称	计算公式	
径节 (DP)	基本参数	齿根圆直径 (d_f)	$d_f = d_1 - \frac{2.314''}{DP}$	
压力角 (α)	$\alpha = 14^\circ 30'$		$d_f = d_a - \frac{4.314''}{DP}$	
齿距 (P)	$P = \frac{\pi''}{DP}$	齿顶宽 (s_a)	$s_a = \frac{1.054''}{DP}$	
导程 (P_z)	$P_z = z_1 \times \frac{\pi''}{DP}$	齿根槽宽 (e_r)	$e_r = \frac{0.973''}{DP}$	
齿高 (h)	$h = 2.157 \times \frac{1''}{DP}$	导程角 (γ)	$\tan \gamma = \frac{P_z''}{\pi d_1}$	
齿顶高 (h_a)	$h_a = \frac{1''}{DP}$	齿厚 (S)	轴向 (S_x)	$S_x = \frac{\pi''}{2DP}$
齿顶高 (h_r)	$h_r = \frac{1.157''}{DP}$		法向 (S)	$S = \frac{\pi''}{2DP} \cos \gamma$
分度圆直径 (d_1)	$d_1 = d_a - \frac{2''}{DP}$			
齿顶圆直径 (d_a)	$d_a = d_1 + \frac{2''}{DP}$			

二、螺纹车刀

螺纹车刀的好坏，对螺纹的精度、牙型和表面粗糙度都有很大影响，因此必须重视螺纹车刀的材料、几何角度以及安装等。

1. 内、外三角形螺纹车刀

螺纹车刀按其加工性质属于成形刀具，其切削部分的形状应当与螺纹的牙型相符合，即车刀的刀尖角应该等于牙型角。三角形螺纹车刀有内螺纹车刀和外螺纹车刀两种，如图 2-6 所示。

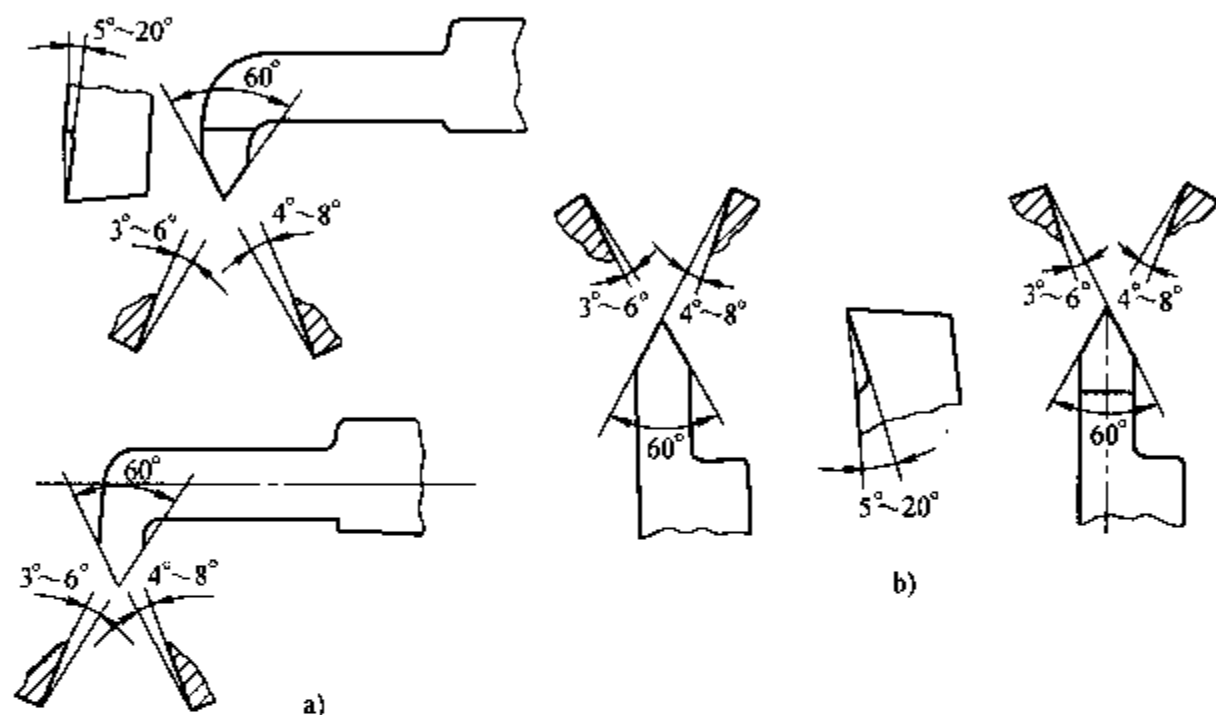


图 2-6 三角形螺纹车刀
a) 内螺纹车刀 b) 外螺纹车刀

(1) 螺纹车刀材料 通常有高速钢（或称白钢）与硬质合金两种。高速钢螺纹车刀刃磨比较方便，容易得到锋利的刃口，而且韧性较好，刀尖不易崩裂。它的缺点是：在高温下容易磨损，刃磨时容易退火；硬质合金螺纹车刀耐磨性和耐高温性好，但韧性差，刃磨时容易产生崩裂或崩刃。

(2) 前面形状与前角的选择 螺纹车刀的两个切削刃同时担任切削。由于两切削刃的形状决定了螺纹两侧的形状，因此螺纹车刀实际上是一把具有一定刀尖角的成形刀具。车刀前面形状必须用平面形或平面带棱形，绝不能采用凹面形，否则加工出来的螺纹两侧面将凸出来形成弧形。

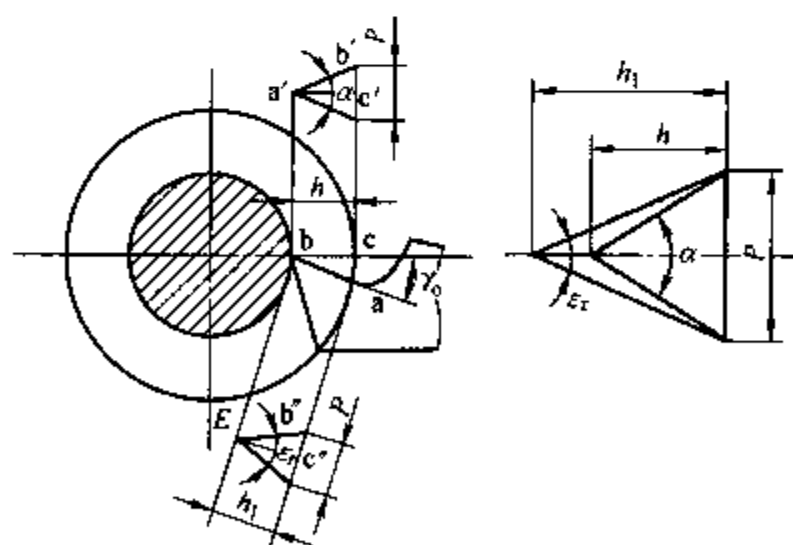


图 2-7 螺纹车刀前角与牙型角的关系

由于两切削刃同时担任切削，所以必须保持两切削刃同时具有一定的前角，即平行于刀

杆轴线磨成，而形成径向前角。

(3) 刀尖角 ε_r 当 $\gamma_o = 0^\circ$ 时，刀尖角 ε_r 应等于牙型角。如果螺纹车刀具有一定的径向前角，如图 2-7 所示，这时加工出来的螺纹牙型角就会大于车刀的实际刀尖角 ε_r ，所以刀尖角应根据牙型角 α 和车刀径向前角 γ_o 进行修正。

在 $\triangle abc$ 中，因为

$$\cos \gamma_o = \frac{bc}{ba} = \frac{h}{h_1}$$

所以

$$h_1 = \frac{h}{\cos \gamma_o} \quad (2-2)$$

在 $\triangle a'b'c'$ 中

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{\frac{P}{2}}{h} = \frac{P}{2h} \quad (2-3)$$

在 $\triangle b'c'E'$ 中

$$\tan \frac{\varepsilon_r}{2} = \frac{\frac{P}{2}}{h_1} \quad (2-4)$$

将式 (2-2) 代入式 (2-4)，则

$$\tan \frac{\varepsilon_r}{2} = \frac{\frac{P}{2}}{\frac{h}{\cos \gamma_o}} = \cos \gamma_o \frac{P}{2h} \quad (2-5)$$

将式 (2-3) 代入式 (2-5)，则

$$\tan \frac{\varepsilon_r}{2} = \cos \gamma_o \tan \frac{\alpha}{2}$$

ε_r 即是具有径向正前角的刀尖角。

(4) 两切削刃后角 α_{o1} 和 α_{o2} 车螺纹时，车刀在工件上移动的轨迹是一条螺旋线，这条螺旋线的切线与切削平面不重合，而是相交成一定角度，如图 2-8 所示。在同一条螺纹中，各个直径上的螺纹升角是不等的，因此各个直径上的法向螺距也不相同。按着法向安装刀具车削螺纹时，则螺纹车刀两切削刃后角与螺纹升角的关系是：若后角取 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，则两切削刃后角可按下式计算。

- 1) 顺进给方向的侧刃后角 $\alpha_{o1} = (3^\circ \sim 5^\circ) + \psi$ 。
- 2) 逆进给方向的侧刃后角 $\alpha_{o2} = (3^\circ \sim 5^\circ) - \psi$ (或取 0°)。

螺纹升角 ψ 的计算公式为

$$\tan \psi = \frac{P}{\pi d_2}$$

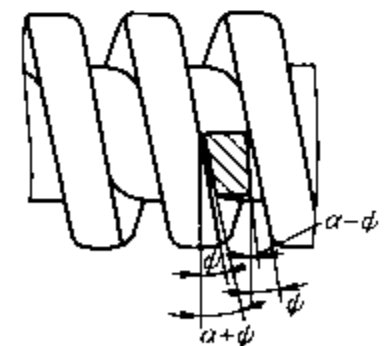
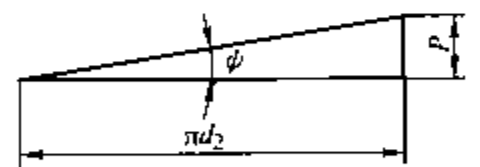
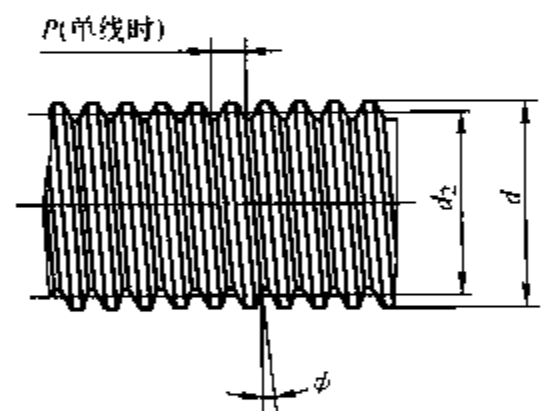


图 2-8 螺纹车刀两后角与螺纹升角的关系

式中 ψ ——螺纹升角；
 P ——螺距（单线）；
 d_2 ——螺纹中径。

经修正后的两切削刃后角，才能保证螺纹牙型角，并防止螺纹牙面产生摩擦。

(5) 螺纹车刀的刃磨要求和注意事项

1) 根据粗、精车的要求，刃磨出合理的前、后角。粗车刀前角大，后角小，精车刀则相反。

2) 车刀的两侧切削刃必须是直线，无崩刃。

3) 刀头不倾斜。

4) 内螺纹车刀刀尖角平分线与刀杆垂直。

5) 内螺纹车刀后角应适当大些。

6) 刃磨时压力应小于一般车刀，并及时蘸水冷却，以免过热而降低硬度。

7) 车削高台阶的螺纹车刀，靠近高台阶一侧的刀刃应短些，否则可能碰伤轴肩，如图 2-9 所示。

8) 粗磨时也要用样板检查。对有径向前角的螺纹车刀，粗磨后两刃夹角应略大于牙型角，待磨好前角后，再修磨两刃夹角。

(6) 车刀安装要点

1) 在一般情况下，螺纹车刀的刀尖必须对准工件的中心，过高或过低都会使加工出的螺纹的牙型角产生误差。为了补偿加工过程中工件或刀具的弹性变形，在某些情况下，螺纹车刀的刀尖可适当地高于工件中心。例如高速车削螺纹时，可将车刀刀尖适当地安装高些（高出 0.1~0.3mm），以补偿在切削过程中因受切削力而产生的弹性变形；用弹簧刀杆安装车刀车大螺距螺纹时，为补偿刀杆的弹性变形，车刀刀尖应适当高于工件中心 0.2mm。

2) 刀尖角必须与工件中心相对称，否则车出的螺纹牙型不正。为保证安装车刀在夹紧后的正确位置，用对刀样板对刀，车削内、外螺纹的对刀方法如图 2-10 所示。

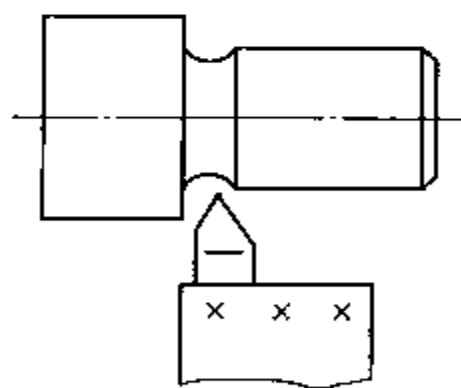


图 2-9 车削高台阶的螺纹车刀

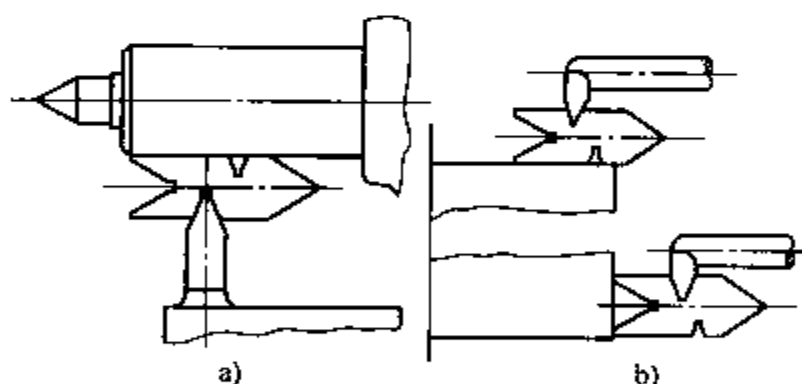


图 2-10 车内、外螺纹时用样板对刀方法

a) 车外螺纹时 b) 车内螺纹时

3) 车刀安装时，刀杆不宜伸出过长，垫刀片的块数要合适，以免引起振动，影响螺纹加工精度。通常，在滑板不影响其他部位的情况下，刀杆的伸出长度应尽量短。在使用内螺纹车刀时，刀杆的粗细要适当，刀杆在方刀架上伸出的长度应使车刀在切入工件所需螺纹深度后，刀架不致与工件相碰，并保持一定的距离为好（一般相当于被加工螺纹螺距的 5 倍左右）。

2. 梯形螺纹车刀

图 2-11a 所示为梯形螺纹粗车刀，两切削刃夹角应小于牙型角，切削刃宽度应小于牙槽底宽度，或磨成 $R1 \sim R2$ mm 圆弧形，并磨出 15° 左右的前角。可采用大切削用量进行粗车切削。

图 2-11b 所示为梯形螺纹精车刀，两切削刃夹角等于 30° ，切削刃宽度等于牙底宽 w ；为保证牙型准确，前角 γ_0 应等于 0° 。如果必须磨出径向前角，则刀尖角必须按 $\tan \frac{\epsilon_r}{2} = \cos \gamma_0 \tan \frac{\alpha_0}{2}$ 进行修正；并在切削刃相接处用磨石磨出圆角 $\gamma_0 = \gamma_{\max}$ 。

图 2-11c 所示为双月牙槽梯形螺纹精车刀，用于车削较大螺距的梯形螺纹，并且只是车削螺纹的两侧面。

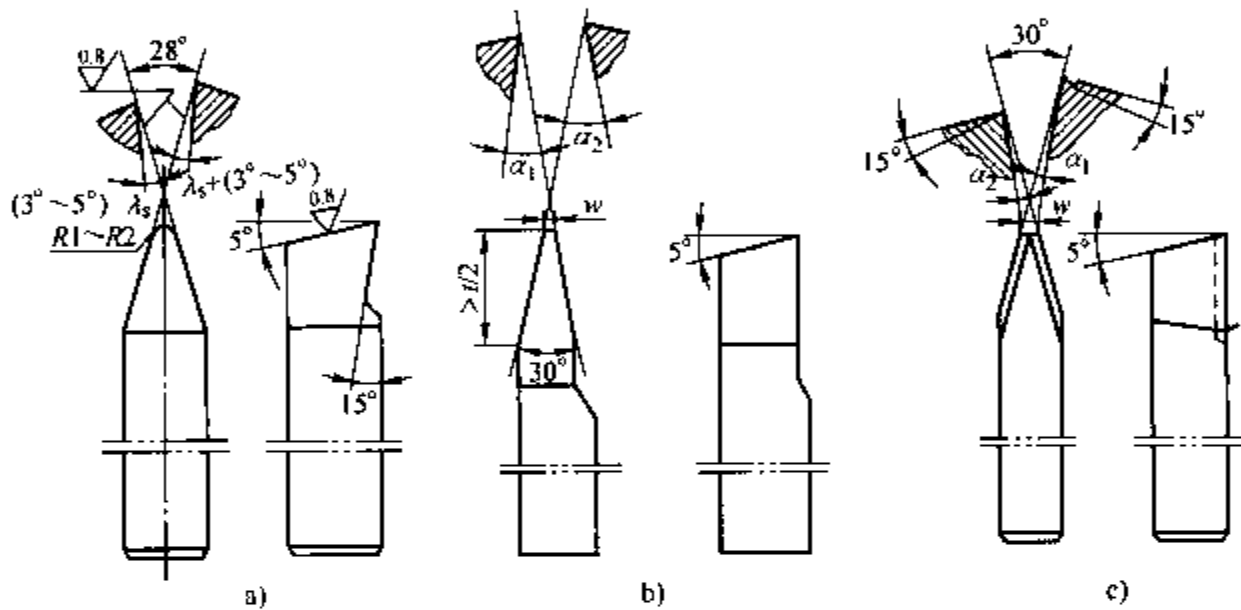


图 2-11 梯形螺纹车刀

a) 梯形螺纹粗车刀 b) 梯形螺纹精车刀 c) 双月牙槽梯形螺纹精车刀

安装梯形螺纹车刀时，应注意以下几点：

1) 车刀主切削刃应与工件中心等高（若采用弹性刀杆应高于工件中心约 2mm），并且应与工件的轴线平行。

2) 刀头中心线应垂直于工件的轴线。为保证车刀安装位置正确，以免产生螺纹半角误差，须用梯形螺纹车刀样板对刀，其方法如图 2-12 所示。

3. 矩形螺纹车刀

矩形螺纹车刀与车槽刀相似，如图 2-13 所示，但也有它的特殊性，表现如下：

矩形螺纹粗车刀，其刀尖宽度比螺纹牙底宽小 $0.5 \sim 1$ mm，以留精车余量。矩形螺纹精车刀的刀头宽度，因考虑螺纹侧面配合间隙，应大于螺纹牙底宽度的公称尺寸，一般取 $(0.005 \sim 0.01)P + \frac{P}{2}$ 。通常，螺纹大径越大，

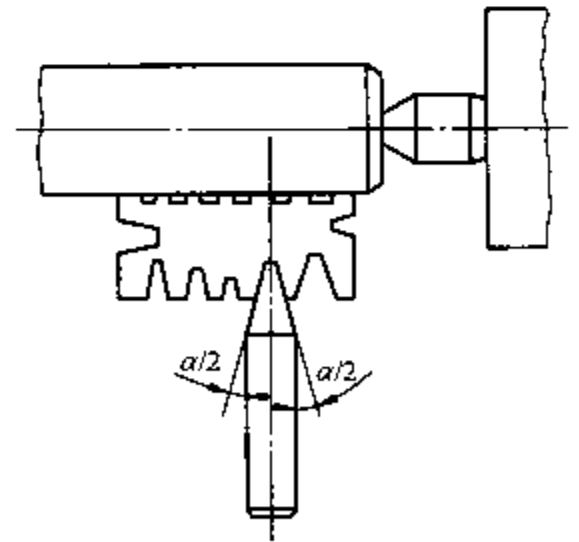


图 2-12 用梯形螺纹车刀样板对刀

则车刀的刀头宽度也应相应地增大一些。例如欲加工大径为 50mm、螺距为 8mm 的矩形螺纹时，则螺纹车刀刀头宽度为 $\left[(0.005 \sim 0.01) \times 8 + \frac{8}{2} \right] \text{mm} = 4.04 \sim 4.08 \text{mm}$ 。

矩形螺纹车刀的前角，可根据工件材料在 $3^\circ \sim 15^\circ$ 之间选取。当工件材料为普通碳钢类时，前角可取 $12^\circ \sim 15^\circ$ ；当工件材料为铸铁类时，前角可取 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。

矩形螺纹车刀的主后角，一般取 $6^\circ \sim 8^\circ$ 。它与梯形螺纹车刀的安装要求基本一样。粗车时，为了顺利切削和提高刀具的使用寿命，可将主切削刃装成与螺旋槽成 90° 角的位置；精车时，为了保证螺纹牙型角的正确，必须将主切削刃装成与工件轴线平行，且要保证严格地对准中心。

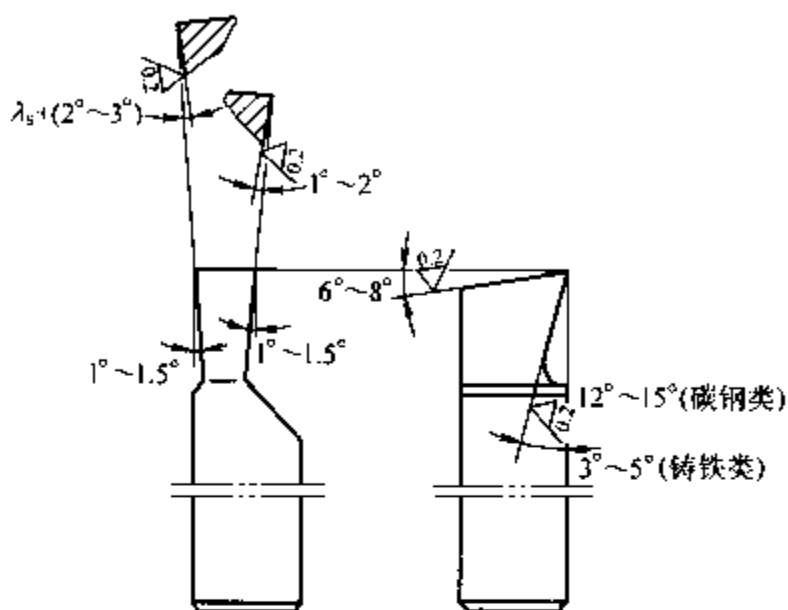


图 2-13 矩形螺纹车刀

4. 蜗杆车刀

由于蜗杆的精度一般要求较高，为保证加工质量，加工时分为粗车和精车来进行。

(1) 粗车刀 蜗杆螺纹（右旋）粗车刀的几何形状如图 2-14a 所示。车刀角度的选择原则是：

1) 车刀左右切削刃间的夹角要小于两倍牙型角。

2) 为了便于左右切削，并留有精加工余量，刀头的宽度应小于齿根槽的宽度。

3) 切削钢料时，应磨有 $10^\circ \sim 15^\circ$ 纵向前角，即： $\gamma_p = 10^\circ \sim 15^\circ$ 。

4) $\alpha_p = 6^\circ \sim 8^\circ$ 。

5) 左刃后角 $\alpha_{Ll} = (3^\circ \sim 5^\circ) + \gamma$ ；右刃后角 $\alpha_{Rr} = (3^\circ \sim 5^\circ) - \gamma$ 。

6) 刀尖适当倒圆。

(2) 精车刀 (图 2-14b) 蜗杆螺纹精车刀要求左右切削刃间的夹角等于两倍牙型角，切削刃直线度好，表面粗糙度值低。为了保证左右切削刃切削顺利，都应磨有较大前角的卷屑槽。用这种车刀车削，不但省力和排屑顺

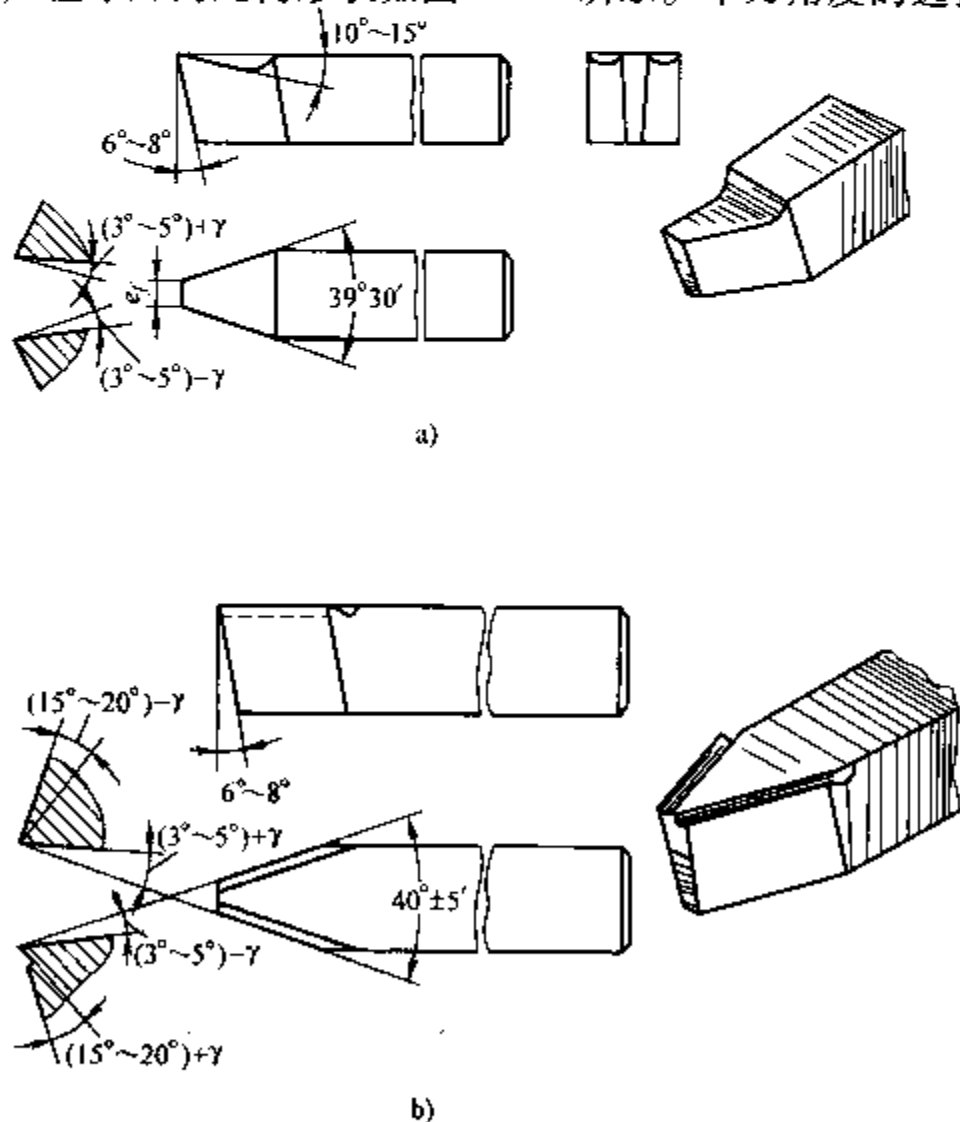


图 2-14 蜗杆车刀

a) 蜗杆粗车刀 b) 蜗杆精车刀

利，还可获得较低的表面粗糙度值和较高的牙型精度。应当指出，在车削时，车刀前端切削刃不能进行车削，只能精车两侧齿面。

(3) 蜗杆车刀的装夹 当工件为轴向直廓蜗杆时，须采用水平装刀法，如图 2-15a 所示，使车刀两侧切削刃组成的平面与工件的轴线相重合；如果工件是法向直廓蜗杆，则采用垂直装刀法，如图 2-15b 所示，使车刀两侧切削刃组成的平面垂直于齿面。

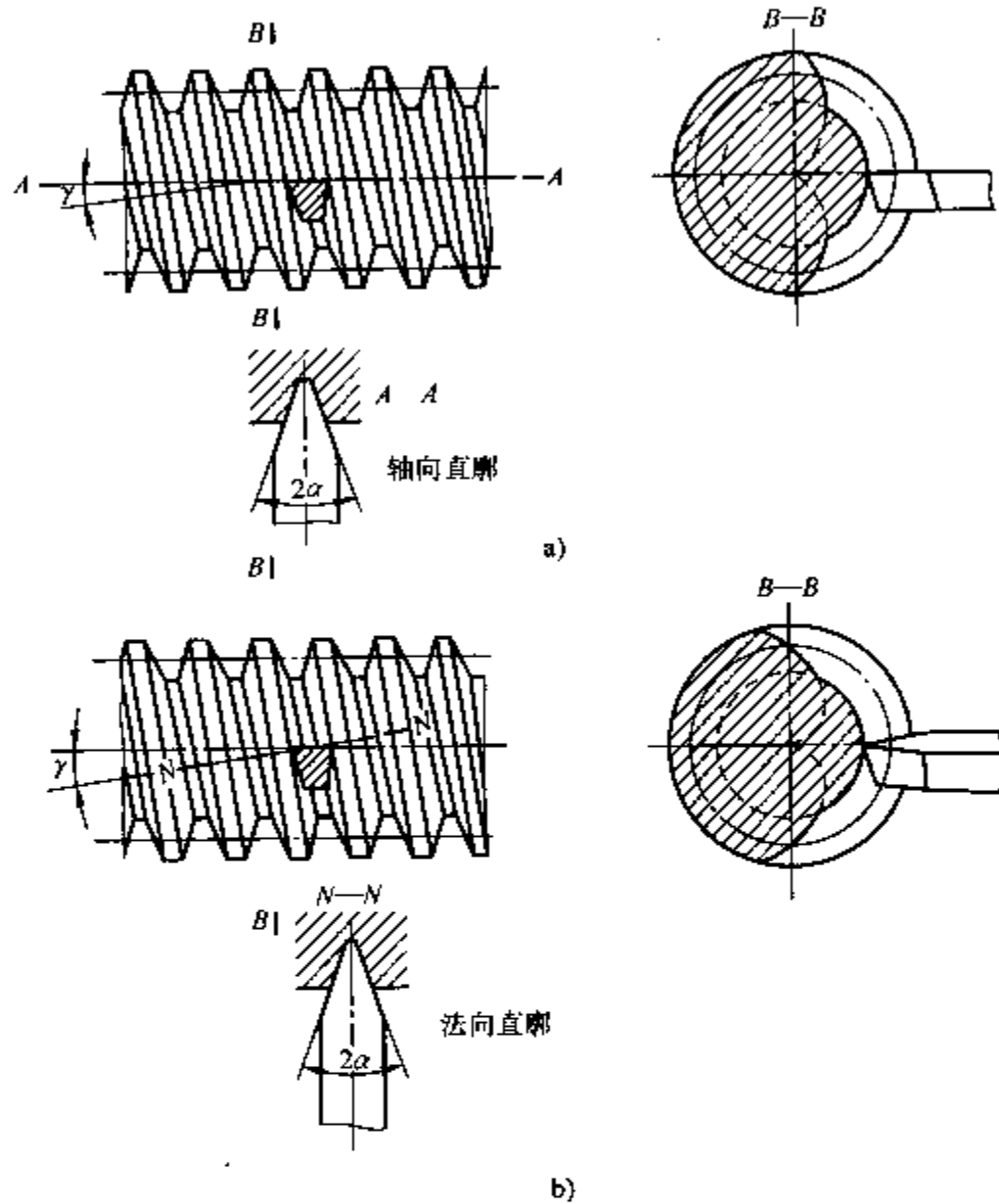


图 2-15 蜗杆齿形与蜗杆车刀的装刀方法

a) 水平装刀法 b) 垂直装刀法

需要注意的是，装夹模数较小的蜗杆车刀时，可用样板来校正；装夹模数较大的蜗杆车刀时，通常用游标万能角度尺来校正。

三、车床的调整和交换齿轮计算

车削螺纹通常是在卧式车床上进行的，如图 2-16 所示为 CA6140 型卧式车床进给传动链组成示意图。由图可知：其运动由主电动机（动力源）经主传动链传递，主轴得到动力进行旋转，又因车削螺纹属于内联传动，即主轴与刀架必须保持严格的传动比关系，所以通常把主轴作为间接动力源看待，是进给传动链的首端；运动由主轴箱输出后，经交换齿轮箱，进入进给箱，在分配机构的作用下，把运动传给丝杠，再合上溜板箱中的开合螺母，刀架便可得到纵向运动。

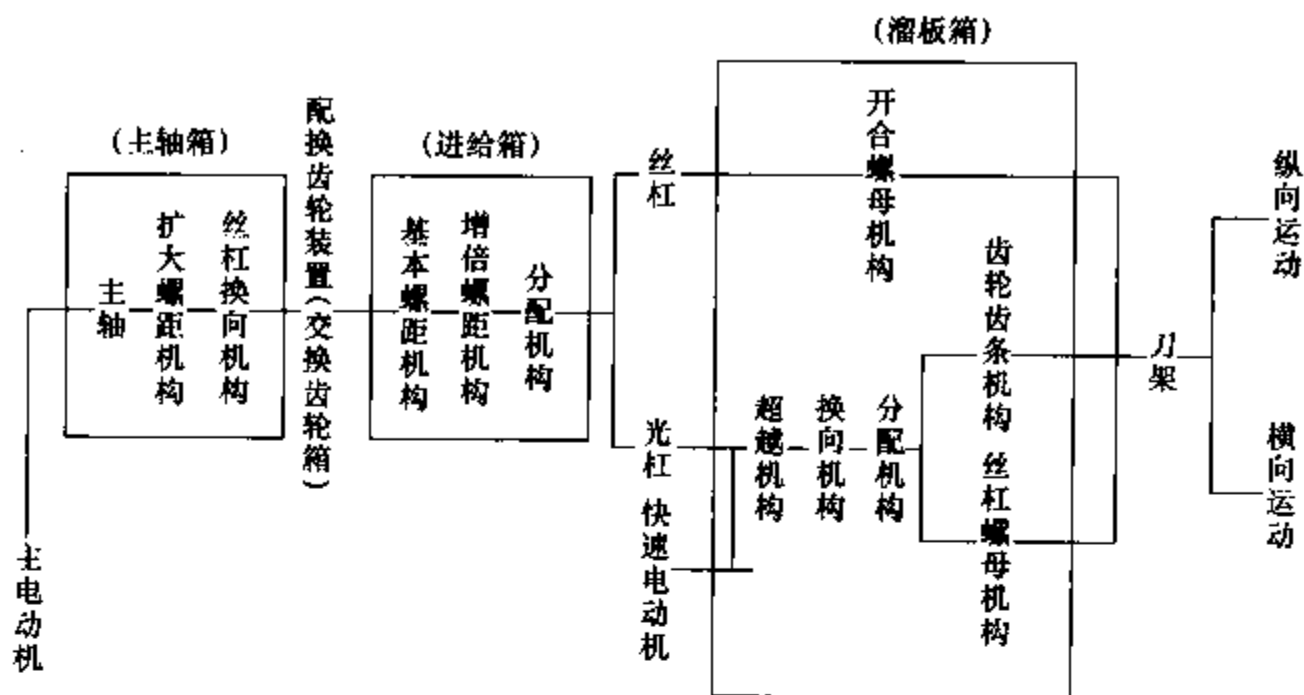


图 2-16 CA6140 型卧式车床进给传动链组成示意图

螺纹的左旋或右旋是通过调整主轴箱中的丝杠换向机构实现的。

交换齿轮箱的作用是把主轴箱传来的动力和运动输送给进给箱，并通过改变交换齿轮变换螺纹的种类（米制螺纹、英制螺纹、模数螺纹和径节螺纹），还可配换所需的交换齿轮，以车削进给箱铭牌上没有标出螺距的特殊螺纹。

为了车削不同导程的螺纹，在进给箱中设置了基本螺距机构和增倍螺距机构（这一套变速机构也用来调整机动纵向或横向进给运动的进给量）。

进给箱中的分配机构将运动分配到丝杠或光杠。若分配给丝杠，用于实现车削螺纹运动；若将运动分配给光杠，则用于实现机动纵向或横向的进给运动。

主轴箱中的扩大螺距机构，用于实现大螺距螺纹的加工。

1. 在有进给箱的车床上车削已标出螺距的螺纹

在有进给箱的车床上车削铭牌中已标出螺距的螺纹时，一般不需要计算和配换齿轮，只要按工件螺距在进给箱铭牌上找到交换齿轮的齿数和手柄位置，挂上相应的交换齿轮，并把手柄拨到所需位置上即可。

2. 在无进给箱的车床上车削螺纹

在无进给箱的车床上车削螺纹时，可根据工件螺距进行配换齿轮，即车床主轴与丝杠的传动比是依靠交换齿轮来调整的，保证工件转一周后，车刀纵向移动量必须等于欲车螺纹的一个螺距（若是多线螺纹，则为一个导程）。

车削螺纹的传动系统图如图 2-17 所示，交换齿轮传动比 i 的计算公式为

$$i = \frac{n_{\text{丝}}}{n_{\text{工}}} = \frac{P_{\text{工}}}{P_{\text{丝}}}$$

或

$$i = \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4}$$

式中 i ——交换齿轮传动比；

$n_{\text{工}}$ ——工件转速；

- $n_{\text{丝}}$ ——丝杠转速；
 $P_{\text{工}}$ ——工件螺距；
 $P_{\text{丝}}$ ——丝杠螺距；
 $z_1、z_3$ ——主动交换齿轮齿数；
 $z_2、z_4$ ——被动交换齿轮齿数。

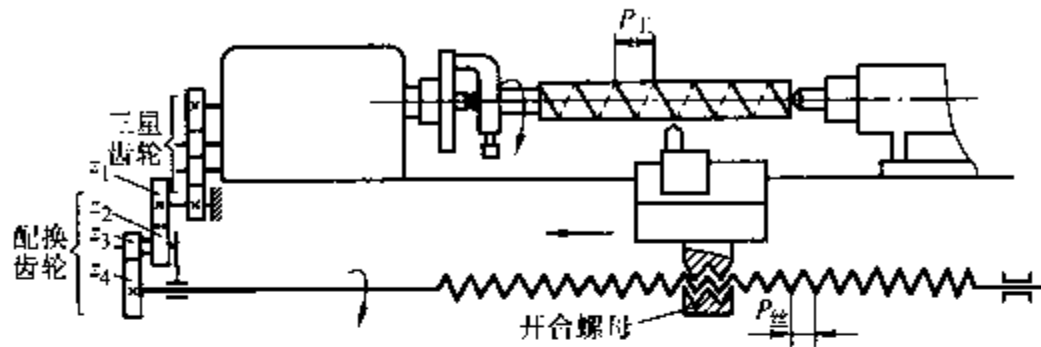


图 2-17 车削螺纹的传动系统图

在交换齿轮中，若采用 $i = \frac{z_1}{z_2}$ ，即用两个齿轮传动，称为单式轮系传动；若采用 $i = \frac{z_1}{z_3} \times \frac{z_3}{z_4}$ ，即用 4 个齿轮传动，称为复式轮系传动，如图 2-18 所示。

若采用 $i = \frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4}$ ，即用 4 个齿轮传动，称为复式轮系传动，如图 2-18 所示。

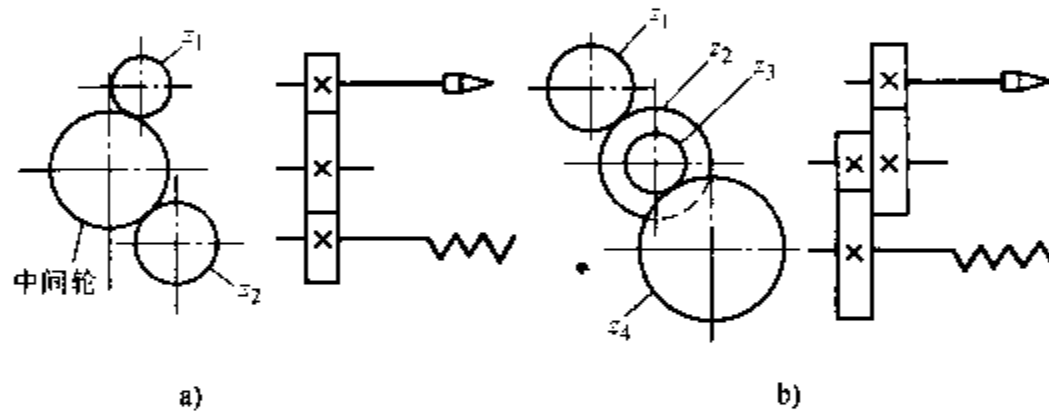


图 2-18 交换齿轮形式

a) 单式轮系 b) 复式轮系

使用上述交换齿轮计算公式计算交换齿轮时，应当注意以下两点：

1) 工件螺距与丝杠螺距的单位必须相同，例如，车床丝杠的螺距是米制的，工件的螺距是英制的，这时就必须把工件的英制螺纹化为米制螺距，然后才能代入公式。

2) 计算出来的齿轮齿数，必须符合机床所配备的齿轮齿数。成套齿轮齿数通常有：20、25、30、35、40、45、(47)、50、55、60、65、70、(71)、75、80、85、90、95、(97)、100、105、110、115、120 和 127，其中括号内齿数有时不备

根据交换齿轮计算公式求得的交换齿轮，为保证具有正确的啮合条件，必须满足如下的搭配原则，即

$$z_1 + z_2 > z_3 + 15$$

$$z_3 + z_4 > z_2 + 15$$

例 2 车床的丝杠螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$ ，要加工工件的螺纹为 M24， $P_{\text{工}} = 3\text{mm}$ ，其交换齿轮计算如下：

$$i = \frac{P_{\text{工}}}{P_{\text{丝}}} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$$

所以
$$i = \frac{1 \times 20}{2 \times 20} = \frac{20}{40}, z_1 = 20, z_2 = 40$$

或
$$i = \frac{1 \times 25}{2 \times 25} = \frac{25}{50}, z_1 = 25, z_2 = 50$$

$$i = \frac{1 \times 30}{2 \times 30} = \frac{30}{60}, z_1 = 30, z_2 = 60$$

通过计算所得的三组交换齿轮，其传动比均相等，并且这些齿轮的齿数也完全符合备用齿轮，故选用任何一组都可以。

例3 车床的丝杠螺距 $P_{\text{丝}} = 12\text{mm}$ ，工件螺纹的螺距 $P_{\text{工}} = 1.5\text{mm}$ ，其交换齿轮计算如下

$$i = \frac{P_{\text{工}}}{P_{\text{丝}}} = \frac{1.5}{12} = \frac{1.5 \times 4}{12 \times 4} = \frac{6}{48}$$

$$= \frac{2 \times 3}{12 \times 4} = \frac{2 \times 10}{12 \times 10} \times \frac{3 \times 15}{4 \times 15} = \frac{20 \times 45}{120 \times 60}$$

即： $z_1 = 20, z_2 = 120, z_3 = 45, z_4 = 60$ 。

检验是否满足搭配原则

$$z_1 + z_2 = 20 + 120 > 45 + 15 \quad (\text{满足})$$

$$z_3 + z_4 = 45 + 60 < 120 + 15 \quad (\text{不满足})$$

以上检验结果只满足一条原则，所以不能用，必须变换交换齿轮。变换交换齿轮可按下列三个原则进行调整：

- 1) 主动轮与主动轮或从动轮与从动轮可以互换位置。
- 2) 主动轮与主动轮或从动轮与从动轮可以互借倍数。
- 3) 主动轮与从动轮可以同时增大或缩小几倍。

对于本例，根据调整原则，将从动齿轮 120 齿与 60 齿互换，则改为下列分配式：

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{20 \times 45}{60 \times 120}$$

再进行检验

$$z_1 + z_2 = 20 + 60 > 45 + 15 \quad (\text{满足})$$

$$z_3 + z_4 = 45 + 120 > 60 + 15 \quad (\text{满足})$$

检验结果表明，满足搭配原则，可以使用。

为了使用者方便，现将无进给箱的米制车床分别用于车削米制螺纹和英制螺纹时，交换齿轮的搭配情况列于表 2-19 及表 2-20 中。

表 2-19 无进给箱米制车床车削米制螺纹交换齿轮表 (车床丝杠螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$)

工件螺距($P_{\text{工}}$)/mm	z_1	z_2	z_3	z_4
0.2	20	100	20	120
0.25	25	100	20	120
0.3	20	100	30	120
0.4	20	100	40	120
0.5	25	100	40	120

(续)

工件螺距(P_T)/mm	z_1	z_2	z_3	z_4
0.6	20	100	60	120
0.7	20	100	70	120
0.75	25	100	60	120
0.8	20	90	60	100
1	20			120
1.25	25			120
1.5	30			120
1.75	35			120
2	30			90
2.5	50			120
3	50			100
3.5	70			120
4	60			90
4.5	45			60
5	50			60
5.5	55			60
6	60			60
8	80			60
10	50			30
12	60			30
16	80			30
18	90			30
20	80	60	100	40
24	90	45	80	40
30	90	60	100	30

表 2-20 无进给箱米制车床车削英制螺纹交换齿轮表 (车床丝杠螺距 $P_{丝} = 6\text{mm}$)

工件每英寸牙数	z_1	z_2	z_3	z_4
24	127	120	20	120
20	127	100	20	120
18	127	90	20	120
16	127	80	20	120
14	127	70	20	120
12	20	120	127	60
11	40	120	127	110
10	40	120	127	100
9	40	120	127	90
8	30	120	127	60
7	60	105	127	120
6	20	120	127	30

(续)

工件每英寸牙数	z_1	z_2	z_3	z_4
5	40	100	127	60
$4\frac{1}{2}$	70	90	127	105
4	50	100	127	60
$3\frac{1}{8}$	60	90	127	70
$3\frac{1}{4}$	80	120	127	65
3	40	120	127	30
$2\frac{1}{2}$	40	100	127	30
2	50	100	127	30

3. 在有进给箱的车床上车削未标出螺距的螺纹

如果被加工工件上的螺纹为非标准螺纹，则在车床进给箱的铭牌上就没有标注出这种螺纹的螺距，此种情况下需要作交换齿轮计算，其方法和步骤如下：

1) 根据工件上螺纹的螺距自己确定一个手柄螺距 ($P_{\text{手}}$)，手柄螺距最好接近于工件螺距 ($P_{\text{工}}$)，并且相互又能约简的数字。

2) 按下式进行交换齿轮计算：

$$i_{\text{现}} = \frac{P_{\text{工}}}{P_{\text{手}}} \times i_{\text{原}}$$

式中 $i_{\text{现}}$ ——计算后的交换齿轮传动比 $\left(\frac{z_1}{z_2} \times \frac{z_3}{z_4}\right)$ ；

$P_{\text{手}}$ ——自己确定的手柄螺距 (mm)；

$P_{\text{工}}$ ——工件螺距 (mm)；

$i_{\text{原}}$ ——手柄螺距在铭牌上的交换齿轮传动比。

必须注意，计算出来的交换齿轮传动比 $i_{\text{现}}$ 应满足啮合条件，并尽可能不重新制作齿轮。

3) 将重新计算出来的齿轮，分别搭配在交换齿轮架各轴上，并将各手柄摆在自己确定的手柄螺距位置上，即可车削出所需要螺距的螺纹。

4. 近似交换齿轮法

在生产实践中，作交换齿轮计算时，常常遇到两种情况，一是交换齿轮传动比难得有可分解的条件，二是计算出的齿轮在车床配备的交换齿轮中没有，在这种情况下可采用近似交换齿轮法进行计算。

(1) 查表法 首先将交换齿轮传动比化为小数，以此为根据查交换齿轮近似分数表 (见表 2-21)。即在表的传动比值小数一项中，查出与这个小数相近似的数字所指的分数，就是交换齿轮近似分数 (近似交换齿轮传动比)；再将近似交换齿轮传动比换算成各配换齿轮的齿数。这种计算交换齿轮的方法是近似算法，所产生的螺距误差可按下式计算：

$$\Delta P = P_{\text{丝}}(i - i_{\text{近}})$$

式中 ΔP ——螺距误差 (mm)；

$P_{\text{丝}}$ ——车床丝杠螺距 (mm)；

i ——交换齿轮传动比；

$i_{近}$ ——近似交换齿轮传动比。

表 2-21 交换齿轮近似分数表

传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数
0.0167	1/60	0.0400	1/25	0.0750	3/40	0.1111	1/9	0.1471	5/34	0.1837	9/49
0.0169	1/59	0.0403	2/49	0.0755	4/53	0.1132	6/53	0.1481	4/27	0.1842	7/38
0.0172	1/58	0.0417	1/24	0.0769	1/13	0.1136	5/44	0.1489	7/47	0.1852	5/27
0.0175	1/57	0.0426	2/47	0.0784	4/51	0.1143	4/35	0.1500	3/20	0.1860	8/43
0.0178	1/56	0.0435	1/23	0.0789	3/38	0.1151	3/26	0.1509	8/53	0.1864	11/59
0.0182	1/55	0.0444	2/45	0.0800	2/25	0.1163	5/43	0.1515	5/33	0.1875	3/16
0.0185	1/54	0.0455	1/22	0.0811	3/37	0.1167	7/60	0.1522	7/46	0.1887	10/53
0.0189	1/53	0.0465	2/43	0.0816	4/49	0.1176	2/17	0.1525	9/59	0.1892	7/37
0.0192	1/52	0.0476	1/21	0.0833	1/12	0.1186	7/59	0.1538	2/13	0.1897	11/58
0.0196	1/51	0.0488	2/41	0.0847	5/59	0.1190	5/42	0.1552	9/58	0.1904	4/21
0.0200	1/50	0.0500	1/20	0.0851	4/47	0.1200	3/25	0.1556	7/45	0.1915	9/47
0.0204	1/49	0.0508	3/59	0.0857	3/35	0.1207	7/58	0.1562	5/32	0.1923	5/26
0.0208	1/48	0.0513	2/39	0.0862	5/58	0.1212	4/33	0.1569	8/51	0.1930	11/57
0.0213	1/47	0.0517	3/58	0.0870	2/23	0.1220	5/41	0.1579	3/19	0.1935	6/31
0.0217	1/46	0.0526	1/19	0.0877	5/57	0.1224	6/49	0.1591	7/44	0.1944	7/36
0.0222	1/45	0.0536	3/56	0.0882	3/34	0.1228	7/57	0.1600	4/25	0.1951	8/41
0.0227	1/44	0.0541	2/37	0.0889	4/45	0.1250	1/8	0.1607	9/56	0.1956	9/46
0.0233	1/43	0.0545	3/55	0.0893	5/56	0.1273	7/55	0.1613	5/31	0.1961	10/51
0.0238	1/42	0.0555	1/18	0.0909	1/11	0.1277	6/47	0.1622	6/37	0.1964	11/56
0.0244	1/41	0.0566	3/53	0.0926	5/54	0.1282	5/39	0.1628	7/43	0.2000	1/5
0.0250	1/40	0.0571	2/35	0.0930	4/43	0.1290	4/31	0.1633	8/49	0.2034	12/59
0.0256	1/39	0.0577	3/52	0.0937	3/32	0.1296	7/54	0.1636	9/55	0.2037	11/54
0.0263	1/38	0.0588	1/17	0.0943	5/53	0.1304	3/23	0.1667	1/6	0.2040	10/49
0.0270	1/37	0.0600	3/50	0.0952	2/21	0.1316	5/38	0.1695	10/59	0.2045	9/44
0.0278	1/36	0.0606	2/33	0.0962	5/52	0.1321	7/53	0.1698	9/53	0.2051	8/39
0.0236	1/35	0.0612	3/49	0.0963	3/31	0.1333	2/15	0.1702	8/47	0.2059	7/34
0.0294	1/34	0.0625	1/16	0.0976	4/41	0.1346	7/52	0.1707	7/41	0.2060	6/29
0.0303	1/33	0.0638	3/47	0.0980	5/51	0.1351	5/37	0.1714	6/35	0.2075	11/53
0.0312	1/32	0.0645	2/31	0.1000	1/10	0.1356	8/59	0.1724	5/29	0.2083	5/24
0.0323	1/31	0.0652	3/46	0.1017	6/59	0.1364	3/22	0.1731	9/52	0.2093	9/43
0.0333	1/30	0.0667	1/15	0.1020	5/49	0.1373	7/51	0.1739	4/23	0.2105	4/19
0.0339	2/59	0.0678	4/59	0.1026	4/39	0.1379	4/29	0.1750	7/40	0.2115	11/52
0.0345	1/29	0.0682	3/44	0.1034	3/29	0.1389	5/36	0.1754	10/57	0.2121	7/33
0.0351	2/57	0.0690	2/29	0.1042	5/48	0.1395	6/43	0.1765	3/17	0.2128	10/47
0.0357	1/28	0.0698	3/43	0.1053	2/19	0.1400	7/50	0.1778	8/45	0.2143	3/14
0.0364	2/55	0.0702	4/57	0.1064	5/47	0.1404	8/57	0.1786	5/28	0.2157	11/51
0.0370	1/27	0.0714	1/14	0.1071	3/28	0.1429	1/7	0.1795	7/39	0.2162	8/37
0.0377	2/53	0.0727	4/55	0.1081	4/37	0.1455	8/55	0.1800	9/50	0.2167	13/60
0.0385	1/26	0.0732	3/41	0.1087	5/46	0.1458	7/48	0.1818	2/11	0.2174	15/23
0.0392	2/51	0.0741	2/27	0.1091	6/55	0.1463	6/41	0.1833	11/60	0.2182	12/55

(续)

传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数
0.2187	7/32	0.2571	9/35	0.2941	5/17	0.3276	19/58	0.3714	13/35	0.4091	9/22
0.2195	9/41	0.2581	8/31	0.2955	13/44	0.3333	1/3	0.3721	16/43	0.4103	16/39
0.2200	11/50	0.2586	15/58	0.2963	8/27	0.3390	20/59	0.3725	19/51	0.4107	23/56
0.2203	13/59	0.2593	7/27	0.2973	11/37	0.3393	19/56	0.3729	22/59	0.4118	7/17
0.2222	2/9	0.2600	13/50	0.2979	14/47	0.3396	18/53	0.3750	3/8	0.4130	19/46
0.2241	13/58	0.2009	6/23	0.2982	17/57	0.3400	17/50	0.3774	20/53	0.4138	12/29
0.2245	11/49	0.2619	11/42	0.3000	3/10	0.3404	16/47	0.3778	17/45	0.4146	17/41
0.2250	9/40	0.2632	5/19	0.3019	16/53	0.3409	15/44	0.3784	14/37	0.4151	22/53
0.2258	7/31	0.2642	14/53	0.3023	13/43	0.3415	14/41	0.3793	11/29	0.4167	5/12
0.2264	12/53	0.2647	9/34	0.3030	10/33	0.3421	13/38	0.3800	19/50	0.4182	23/55
0.2273	5/22	0.2653	13/49	0.3036	17/56	0.3429	12/35	0.3810	8/21	0.4186	18/43
0.2281	13/57	0.2667	4/15	0.3043	7/23	0.3437	11/32	0.3818	21/55	0.4194	13/31
0.2286	8/35	0.2679	15/56	0.3051	18/59	0.3448	10/29	0.3824	13/34	0.4200	21/50
0.2292	11/48	0.2683	11/41	0.3056	11/36	0.3455	19/55	0.3830	18/47	0.4211	8/19
0.2308	3/13	0.2692	7/26	0.3061	15/49	0.3462	9/26	0.3833	23/60	0.4222	19/45
0.2321	13/56	0.2703	10/37	0.3077	4/13	0.3469	17/49	0.3846	5/13	0.4231	11/26
0.2326	10/43	0.2708	13/48	0.3091	17/55	0.3478	8/23	0.3860	22/57	0.4237	25/59
0.2333	7/30	0.2712	16/59	0.3095	13/42	0.3488	15/43	0.3864	17/44	0.4242	14/33
0.2340	11/47	0.2727	3/11	0.3103	9/29	0.3500	7/20	0.3871	12/31	0.4250	17/40
0.2353	4/17	0.2745	14/51	0.3111	14/45	0.3509	20/57	0.3878	19/49	0.4255	20/47
0.2364	13/55	0.2750	11/40	0.3125	5/16	0.3514	13/37	0.3889	7/18	0.4259	23/54
0.2368	9/38	0.2759	8/29	0.3137	16/51	0.3519	19/54	0.3898	23/59	0.4286	3/7
0.2373	14/59	0.2766	13/47	0.3143	11/35	0.3529	6/17	0.2902	16/41	0.4310	25/58
0.2381	5/21	0.2778	5/18	0.3148	17/54	0.3542	17/48	0.3913	9/23	0.4314	22/51
0.2391	11/46	0.2791	12/43	0.3158	6/19	0.3548	11/31	0.3922	20/51	0.4318	19/44
0.2400	6/25	0.2800	7/25	0.3166	19/60	0.3556	16/45	0.3929	11/28	0.4324	16/37
0.2407	13/54	0.2807	16/57	0.3171	13/41	0.3559	21/59	0.3939	13/33	0.4333	13/30
0.2414	7/29	0.2812	9/32	0.3182	7/22	0.3571	5/14	0.3947	15/38	0.4340	23/53
0.2424	8/33	0.2821	11/39	0.3191	15/47	0.3585	19/53	0.3953	17/43	0.4348	10/23
0.2432	9/37	0.2826	13/46	0.3200	8/25	0.3590	14/39	0.3958	19/48	0.4359	17/39
0.2439	10/41	0.2830	15/53	0.3208	17/53	0.3600	9/25	0.3962	21/53	0.4364	24/55
0.2444	14/45	0.2833	17/60	0.3214	9/28	0.3611	13/36	0.3966	23/58	0.4375	7/16
0.2449	12/49	0.2857	2/7	0.3220	19/59	0.3617	17/47	0.4000	2/5	0.4386	25/57
0.2453	13/53	0.2881	17/59	0.3226	10/31	0.3621	21/58	0.4035	23/57	0.4390	18/41
0.2456	14/57	0.2885	15/52	0.3235	11/34	0.3636	4/11	0.4038	21/52	0.4400	11/25
0.2500	1/4	0.2889	13/45	0.3243	12/37	0.3654	19/52	0.4043	19/47	0.4407	26/59
0.2542	15/59	0.2895	11/38	0.3250	13/40	0.3659	15/41	0.4048	17/42	0.4412	15/34
0.2545	14/55	0.2903	9/31	0.3256	14/43	0.3667	11/30	0.4054	15/37	0.4419	19/43
0.2549	13/51	0.2909	16/55	0.3261	15/46	0.3673	18/49	0.4062	13/32	0.4423	23/52
0.2553	12/47	0.2917	7/24	0.3265	16/49	0.3684	7/19	0.4063	24/59	0.4444	4/9
0.2558	11/43	0.2927	12/41	0.3269	17/52	0.3696	17/46	0.4074	11/27	0.4464	25/56
0.2564	10/39	0.2931	17/58	0.3273	18/55	0.3703	10/27	0.4082	20/49	0.4468	21/47

(续)

传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数
0.4474	17/38	0.4833	29/60	0.5250	21/40	0.5614	32/57	0.6000	3/5	0.6383	30/47
0.4483	13/29	0.4839	15/31	0.5254	31/59	0.5625	9/16	0.6034	35/58	0.6389	23/36
0.4490	22/49	0.4848	16/33	0.5263	10/19	0.5636	31/55	0.6038	32/53	0.6400	16/25
0.4500	9/20	0.4857	17/35	0.5273	29/55	0.5641	22/39	0.6042	29/48	0.6410	25/39
0.4510	23/51	0.4865	18/37	0.5278	19/36	0.5652	13/23	0.6047	26/43	0.6415	34/53
0.4516	14/31	0.4872	19/39	0.5283	28/53	0.5660	30/53	0.6053	23/38	0.6429	9/14
0.4524	19/42	0.4878	20/41	0.5294	9/17	0.5667	17/30	0.6060	20/33	0.6441	38/59
0.4528	24/53	0.4884	21/43	0.5306	26/49	0.5676	21/37	0.6071	17/28	0.6444	29/45
0.4545	5/11	0.4889	22/45	0.5312	17/32	0.5682	25/44	0.6078	31/51	0.6452	20/31
0.4561	26/57	0.4894	23/47	0.5319	25/47	0.5686	29/51	0.6087	14/23	0.6458	31/48
0.4565	21/46	0.4898	24/49	0.5333	8/15	0.5690	33/58	0.6098	25/41	0.6471	11/17
0.4571	16/35	0.4902	25/51	0.5345	31/58	0.5714	4/7	0.6102	36/59	0.6481	35/54
0.4576	27/59	0.4906	26/53	0.5349	23/43	0.5741	31/54	0.6111	11/18	0.6486	24/37
0.4583	11/24	0.4909	27/55	0.5357	15/28	0.5745	27/47	0.6122	30/49	0.6491	37/57
0.4596	17/37	0.4912	28/57	0.5366	22/41	0.5750	23/40	0.6129	19/31	0.6500	13/20
0.4600	23/50	0.4915	29/59	0.5370	29/54	0.5757	19/33	0.6136	27/44	0.6512	28/43
0.4615	6/13	0.5000	1/2	0.5385	7/13	0.5763	34/59	0.6140	35/57	0.6522	15/23
0.4630	25/54	0.5085	30/59	0.5400	27/50	0.5769	15/26	0.6154	8/13	0.6531	32/49
0.4634	19/41	0.5088	29/57	0.5405	20/37	0.5778	26/45	0.6167	37/60	0.6538	17/26
0.4643	13/28	0.5091	28/55	0.5417	13/24	0.5789	11/19	0.6170	29/47	0.6545	36/55
0.4651	20/43	0.5094	27/53	0.5424	32/59	0.5800	29/50	0.6176	21/34	0.6552	19/29
0.4655	27/58	0.5098	26/51	0.5429	19/35	0.5806	18/31	0.6182	34/55	0.6562	21/32
0.4667	7/15	0.5102	25/49	0.5435	25/46	0.5814	25/43	0.6190	13/21	0.6571	23/35
0.4681	22/47	0.5106	24/47	0.5439	31/57	0.5818	32/55	0.6200	31/50	0.6579	25/38
0.4687	15/32	0.5111	23/45	0.5455	6/11	0.5833	7/12	0.6207	18/29	0.6585	27/41
0.4694	23/49	0.5116	22/43	0.5472	29/53	0.5849	31/53	0.6216	23/37	0.6591	29/44
0.4706	8/17	0.5122	21/41	0.5476	23/42	0.5854	24/41	0.6222	28/45	0.6596	31/47
0.4717	25/53	0.5128	20/39	0.5484	17/31	0.5862	17/29	0.6226	33/53	0.6600	33/50
0.4722	17/36	0.5135	19/37	0.5490	28/51	0.5870	27/46	0.6250	5/8	0.6604	35/53
0.4727	26/55	0.5142	18/35	0.5500	11/20	0.5882	10/17	0.6271	37/50	0.6607	37/56
0.4737	9/19	0.5151	17/33	0.5510	27/49	0.5893	33/56	0.6275	32/51	0.6610	39/59
0.4746	28/59	0.5161	16/31	0.5517	16/29	0.5897	23/39	0.6279	27/43	0.6666	2/3
0.4750	19/40	0.5167	31/60	0.5526	21/38	0.5909	13/22	0.6289	22/35	0.6724	39/58
0.4762	10/21	0.5172	15/29	0.5532	26/47	0.5918	29/49	0.6296	17/27	0.6727	37/55
0.4773	21/44	0.5179	29/56	0.5536	31/56	0.5926	16/27	0.6304	29/46	0.6731	35/52
0.4783	11/28	0.5185	14/27	0.5556	5/9	0.5932	35/59	0.6316	12/19	0.6735	33/49
0.4792	23/48	0.5192	27/52	0.5577	29/52	0.5937	19/32	0.6326	31/49	0.6739	31/46
0.4800	12/25	0.5200	13/25	0.5581	24/43	0.5946	22/37	0.6333	19/30	0.6744	29/43
0.4808	25/52	0.5208	25/48	0.5588	19/34	0.5952	25/42	0.6341	26/41	0.6750	27/40
0.4815	13/27	0.5217	12/23	0.5593	33/59	0.5957	28/47	0.6346	33/52	0.6757	25/37
0.4821	27/56	0.5227	23/44	0.5600	14/25	0.5962	31/52	0.6364	7/11	0.6765	23/34
0.4827	14/29	0.5238	11/21	0.5610	23/41	0.5965	34/57	0.6379	37/58	0.6774	21/31

(续)

传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数
0.6780	40/59	0.7167	43/60	0.7561	31/41	0.7017	19/24	0.8293	34/41	0.8679	46/53
0.6786	19/28	0.7170	38/53	0.7568	28/37	0.7926	42/53	0.8298	39/47	0.8684	33/38
0.6792	36/53	0.7174	33/46	0.7576	25/33	0.7931	23/29	0.8302	44/53	0.8696	20/23
0.6800	17/25	0.7179	28/39	0.7586	22/29	0.7941	27/34	0.8305	49/59	0.8704	47/54
0.6809	32/47	0.7187	23/32	0.7593	41/54	0.7949	31/39	0.8333	5/6	0.8710	27/31
0.6818	15/22	0.7193	41/57	0.7600	19/25	0.7955	35/44	0.8364	46/55	0.8718	34/39
0.6829	28/41	0.7200	18/25	0.7609	35/46	0.7959	39/49	0.8367	41/49	0.8723	41/47
0.6833	41/60	0.7209	31/43	0.7619	16/21	0.7963	43/54	0.8372	36/43	0.8727	48/55
0.6842	13/19	0.7222	13/18	0.7627	45/59	0.7966	47/59	0.8378	31/37	0.8750	7/8
0.6852	37/54	0.7234	34/47	0.7632	29/38	0.8000	4/5	0.8387	26/31	0.8772	50/57
0.6857	24/35	0.7241	21/29	0.7736	42/55	0.8036	45/56	0.8393	47/56	0.8775	43/49
0.6863	35/51	0.7250	29/40	0.7647	13/17	0.8039	41/51	0.8400	21/25	0.8780	36/41
0.6875	11/16	0.7255	37/51	0.7660	36/47	0.8043	37/46	0.8409	37/44	0.8788	29/33
0.6889	31/45	0.7273	8/11	0.7667	23/30	0.8049	33/41	0.8421	16/19	0.8793	51/58
0.6897	20/29	0.7288	43/59	0.7674	33/43	0.8056	29/36	0.8431	43/51	0.8800	22/25
0.6905	29/42	0.7292	35/48	0.7679	43/56	0.8065	25/31	0.8437	27/32	0.8810	37/42
0.6909	38/55	0.7297	27/37	0.7692	10/13	0.8070	46/57	0.8444	38/45	0.8814	52/59
0.6923	9/13	0.7308	19/26	0.7708	37/48	0.8077	21/26	0.8448	49/58	0.8824	15/17
0.6939	34/49	0.7317	30/41	0.7714	27/35	0.8085	38/47	0.8462	11/13	0.8833	53/60
0.6949	41/59	0.7321	41/56	0.7719	44/57	0.8095	17/21	0.8475	50/59	0.8837	38/43
0.6957	16/23	0.7333	11/15	0.7727	17/22	0.8103	47/58	0.8478	39/46	0.8846	23/26
0.6964	39/56	0.7347	36/49	0.7736	41/53	0.8108	30/37	0.8485	28/33	0.8857	31/35
0.6970	23/33	0.7353	25/34	0.7742	24/31	0.8113	43/53	0.8491	45/53	0.8864	39/41
0.6977	30/43	0.7358	39/53	0.7750	31/40	0.8125	13/16	0.8500	17/20	0.8868	47/53
0.6981	37/53	0.7368	14/19	0.7755	38/49	0.8136	48/59	0.8511	40/47	0.8889	8/9
0.7000	7/10	0.7381	31/42	0.7759	45/58	0.8140	35/43	0.8519	23/27	0.8909	49/55
0.7018	40/57	0.7391	17/23	0.7778	7/9	0.8148	22/27	0.8529	29/34	0.8913	41/46
0.7021	33/47	0.7400	37/50	0.7797	46/59	0.8158	31/38	0.8537	35/41	0.8919	33/37
0.7027	26/37	0.7407	20/27	0.7800	39/50	0.8163	40/49	0.8542	41/48	0.8929	25/28
0.7037	19/27	0.7414	43/58	0.7805	32/41	0.8167	49/60	0.8545	47/55	0.8936	42/47
0.7045	31/44	0.7419	23/31	0.7812	25/32	0.8182	9/11	0.8571	6/7	0.8947	17/19
0.7059	12/17	0.7429	26/35	0.7818	43/55	0.8200	41/50	0.8596	49/57	0.8958	43/48
0.7069	41/58	0.7436	29/39	0.7826	18/23	0.8205	32/39	0.8600	43/50	0.8966	26/29
0.7073	29/41	0.7442	32/43	0.7833	47/60	0.8214	23/28	0.8604	37/43	0.8974	35/39
0.7083	17/24	0.7447	35/47	0.7838	29/37	0.8222	37/45	0.8611	31/36	0.8980	41/49
0.7091	39/55	0.7451	38/51	0.7843	40/51	0.8235	14/17	0.8621	25/29	0.8933	53/59
0.7097	22/31	0.7455	41/55	0.7857	11/14	0.8246	47/57	0.8627	44/51	0.9000	9/10
0.7105	27/38	0.7458	44/59	0.7872	37/47	0.8250	33/40	0.8636	19/22	0.9020	46/51
0.7111	32/45	0.7500	3/4	0.7879	26/33	0.8261	19/23	0.8644	51/59	0.9024	37/41
0.7115	37/52	0.7544	43/57	0.7885	41/52	0.8269	43/52	0.8649	32/37	0.9032	28/31
0.7119	42/59	0.7547	40/53	0.7895	15/19	0.8276	24/29	0.8654	45/52	0.9038	47/52
0.7143	5/7	0.7551	37/49	0.7907	34/43	0.8286	29/35	0.8667	13/15	0.9048	19/21

(续)

传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数	传动比 值小数	交换齿轮 近似分数
0.9057	48/56	0.9211	35/38	0.9375	15/16	0.9524	20/21	0.9667	29/30	0.9792	47/48
0.9062	29/32	0.9216	47/51	0.9388	46/49	0.9535	41/43	0.9677	30/31	0.9796	48/49
0.9070	39/43	0.9231	12/13	0.9394	31/33	0.9545	21/22	0.9687	31/32	0.9800	49/50
0.9074	49/54	0.9245	49/53	0.9400	47/50	0.9555	43/45	0.9697	32/33	0.9804	50/51
0.9091	10/11	0.9250	37/40	0.9412	16/17	0.9565	22/23	0.9706	33/34	0.9808	51/52
0.9107	51/56	0.9259	25/27	0.9423	49/52	0.9574	45/47	0.9714	34/35	0.9811	52/53
0.9111	41/45	0.9268	38/41	0.9420	33/35	0.9583	23/24	0.9722	35/36	0.9815	53/54
0.9118	31/34	0.9273	51/55	0.9434	50/53	0.9592	47/49	0.9730	36/37	0.9818	54/55
0.9123	52/57	0.9286	13/14	0.9444	17/18	0.9600	24/25	0.9737	37/38	0.9821	55/56
0.9130	21/23	0.9298	53/57	0.9455	52/55	0.9608	49/51	0.9743	38/39	0.9825	56/57
0.9138	53/58	0.9302	40/43	0.9459	35/37	0.9615	25/26	0.9750	39/40	0.9828	57/58
0.9143	32/35	0.9310	27/29	0.9464	53/56	0.9623	51/53	0.9756	40/41	0.9831	58/59
0.9149	43/47	0.9318	41/44	0.9474	18/19	0.9630	26/27	0.9762	41/42	0.9833	59/60
0.9153	54/59	0.9322	55/59	0.9483	55/58	0.9636	53/55	0.9767	42/43
0.9167	11/12	0.9333	14/15	0.9487	37/39	0.9643	27/28	0.9773	43/44		
0.9184	45/49	0.9348	43/46	0.9492	56/59	0.9649	55/57	0.9778	44/45		
0.9189	34/37	0.9355	29/31	0.9500	19/20	0.9655	28/29	0.9783	45/46		
0.9200	23/25	0.9362	44/47	0.9512	39/41	0.9661	57/59	0.9787	46/47		

例4 在车床上车削螺距 $P_T = 7.433\text{mm}$ 的工件, 若车床丝杠的螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$, 求其交换齿轮齿数, 并验算螺距误差。

第一步, 将交换齿轮传动比化成小数, 即

$$i = \frac{P_T}{P_{\text{丝}}} = \frac{7.433}{6} \approx 1.2388$$

第二步, 查表 2-21 (交换齿轮近似分数表), 查到 $0.2388 \approx 0.2381 = \frac{5}{21}$ 。

第三步, 将近似交换齿轮传动比换算成各配换齿轮的齿数, 即

$$\begin{aligned} i &= 1.2388 \approx 1 \frac{5}{21} = \frac{26}{21} \\ &= \frac{2}{3} \times \frac{13}{7} = \frac{2 \times 20}{3 \times 20} \times \frac{13 \times 5}{7 \times 5} \\ &= \frac{40}{60} \times \frac{65}{35} \end{aligned}$$

所以四个交换齿轮齿数分别是 $z_1 = 40$, $z_2 = 60$, $z_3 = 65$, $z_4 = 35$ 。

第四步, 验算螺距误差

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{\text{丝}}(i - i_{\text{近}}) \\ &= 6 \times \left(\frac{7.433}{6} - \frac{26}{21} \right) \text{mm} \\ &= 0.0024\text{mm} \end{aligned}$$

即工件的螺距误差为 0.0024mm。

(2) 对数法 这种方法是根据交换齿轮传动比 i 的对数值 $\lg i$ ，在对数交换齿轮表（表 2-22）中直接查找出各交换齿轮的齿数。

表 2-22 对数交换齿轮选用表（部分）

(表中数值均为负值,负号均已省略)		
	1.328—0000	
4683	20,23	98,100
	1.324—0000	
0139	20,23	97,100
	
	
	0.606—0000	
6557	47,50	95,100
	
	0.570—0000	
1182	25,55	70,73
	
	0.453—0000	
8693	40,43	67,73
	
	
0.000		0000
0647	79,85	73,92

对数法的原理如下：

已知交换齿轮传动比 $i = \frac{z_1 \times z_3}{z_2 \times z_4}$ ，取其对数，则有

$$\lg i = \lg(z_1 \times z_3) - \lg(z_2 \times z_4)$$

如果已知机床备用交换齿轮齿数范围具体值，就可以把不同齿数的组合按 $\lg i$ 的递增顺序编制成表，即“对数交换齿轮选用表”。

交换齿轮选用表通常是由齿数为 100 以内的 38 个齿轮编制成的。这些齿轮的齿数分别为：20、23、25、30、33、34、35、37、40、41、43、45、47、50、53、55、58、59、60、61、62、65、67、70、71、73、75、79、80、83、85、89、90、92、95、97、98、100。

用以上齿轮可以组成交换齿轮 9 万组以上，各组传动比的相对误差一般可精确到百万分之几，足可以满足车床交换齿轮选配的需要。

在生产实践中，车床所要求的传动比与交换齿轮计算后所采用的传动比 $i_{近}$ 往往不相等，两者之差是“传动比的绝对误差”，记作 Δi ，故

$$\Delta i = i - i_{近}$$

绝对误差 Δi 与要求传动比 i 的比值 δ ，是“传动比的相对误差”，即

$$\delta = \frac{\Delta i}{i} = \frac{i - i_{近}}{i} = 1 - \frac{i_{近}}{i}$$

又由于用对数法选用交换齿轮，因此将相对误差也用对数值表示，应用起来比较方便。

对 $\frac{i_{近}}{i} = 1 - \delta$ 取自然对数，则有

$$\begin{aligned} \ln i_{近} - \ln i &\approx -\delta \\ \delta &\approx \ln i - \ln i_{近} \approx \frac{1}{\lg e} (\lg i - \lg i_{近}) \\ &= \frac{1}{0.434} (\lg i - \lg i_{近}) \end{aligned}$$

所以

$$\delta \approx 2.3 (\lg i - \lg i_{近})$$

设车床运动部件（例如刀架）要求的位移量为 L ，由于存在交换齿轮误差，则使运动部件的实际位移量变为 L' ，这时运动部件产生的位移误差是

$$\Delta L = L - L' \quad (2-6)$$

因有 $\frac{L'}{L} = \frac{i_{近}}{i}$ 的关系，故以 $L' = L \frac{i_{近}}{i}$ 代入式 (2-6)，则得

$$\Delta L = L - L \frac{i_{近}}{i} = L \left(1 - \frac{i_{近}}{i} \right)$$

于是

$$\Delta L = L \times \delta$$

ΔL 值应在工件误差允许的范围內。

例 5 在 CA6140 型卧式车床上精车丝杠，其螺距 $P_{工} = 4.22\text{mm}$ ，车床丝杠螺距 $P_{丝} = 12\text{mm}$ 。采用缩短传动链的办法，即使交换齿轮轴直通丝杠，以满足工件加工高精度的要求。

解：1) 交换齿轮齿数的计算步骤如下：

第一步，求所需的交换齿轮传动比 i

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{P_{工}}{P_{丝}} = \frac{4.22}{12} \quad (2-7)$$

第二步，对式 (2-7) 取对数

$$\begin{aligned} \lg i &= \lg 4.22 - \lg 12 \\ &= 0.6253125 - 1.0791812 \\ &= -0.4538687 \end{aligned}$$

第三步，查对数交换齿轮选用表（表 2-22）确定各交换齿轮齿数。

查表可知：0.4538693 最近似于 0.4538687，在该行右方所列的一组数即为其交换齿轮齿数——40、43、67、73，即

$$i = \frac{z_1 \times z_3}{z_2 \times z_4} = \frac{40 \times 43}{67 \times 73}$$

也就是： $z_1 = 40$ ， $z_2 = 67$ ， $z_3 = 43$ ， $z_4 = 73$ 。

2) 验算由交换齿轮误差所引起的螺距误差。车床要求的交换齿轮传动比 i 的对数值是 $\lg i = 0.4538687$ 。根据对数交换齿轮选用表选用交换齿轮后， $\lg i_{近} = 0.4538693$ 。故有

$$\begin{aligned} \delta &= 2.3(\lg i - \lg i_{\text{理}}) \\ &= 2.3 \times (0.4538687 - 0.4538693) \\ &= -0.00000138 \end{aligned}$$

将 $P_L = L = 4.22\text{mm}$ 代入下式:

$$\Delta L = L \times \delta$$

故螺距误差为

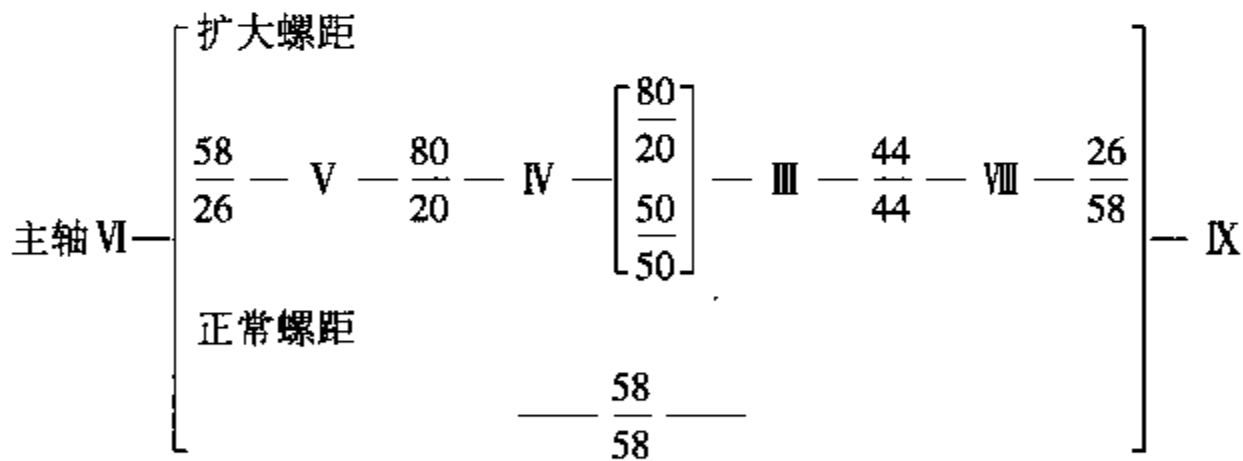
$$\begin{aligned} \Delta L &= -4.22 \times 0.00000138\text{mm} \\ &= -0.0000054\text{mm} \end{aligned}$$

5. 车削大螺距螺纹

目前,普通卧式车床大都具有进给箱,但是,螺纹进给传动链加工螺纹的范围是有限的。当遇到加工多线螺纹、油槽或大模数蜗杆时,往往满足不了需要。在这种情况下,则须将进给箱中所能得到的螺距值进一步扩大,以保证工件转一圈,刀架移动一个较大的距离。例如 CA6140 型卧式车床上就有一个扩大螺距机构,以适应这种要求,通过调整机床来实现大螺距螺纹的车削。

图 2-19 为 CA6140 型卧式车床的传动系统图,现以它为例说明车削大螺距螺纹时机床的调整方法和车削原理。

车削大螺距螺纹时,扳动主轴箱上扩大螺距手柄,使轴 IX 上的齿轮 58 右移至图中虚线位置,与轴 VIII 上的齿轮 26 啮合。轴 IX 在车削正常螺距螺纹时,是由主轴 VI 带动,而车削大螺距螺纹时,则由轴 III 经过轴 VIII 带动。自轴 IX 以后,大螺距螺纹和正常螺距螺纹的传动路线相同。根据车削螺纹传动链关系,仍然是主轴转一圈,刀架移动一个大螺距(或导程)。而主轴 VI 与轴 IX 之间不再是通过齿轮副 58/58 直接联系,而是经过轴 V、IV、III(背轮机构)及轴 VIII 间的齿轮副间接实现大螺距螺纹的车削。所以,车削螺纹时从主轴 VI 到轴 IX 的传动路线表达式为



从上述传动路线表达式可知:

- ①车削正常螺距螺纹时,从主轴 VI 到轴 IX 间的传动比为 $58/58 = 1$ 。
- ②车削大螺距螺纹时,从主轴 VI 到轴 IX 间的传动比为

$$\begin{aligned} \frac{58}{26} \times \frac{80}{20} \times \frac{80}{20} \times \frac{44}{44} \times \frac{26}{58} &= 16 \\ \frac{58}{26} \times \frac{80}{20} \times \frac{50}{50} \times \frac{44}{44} \times \frac{26}{58} &= 4 \end{aligned}$$

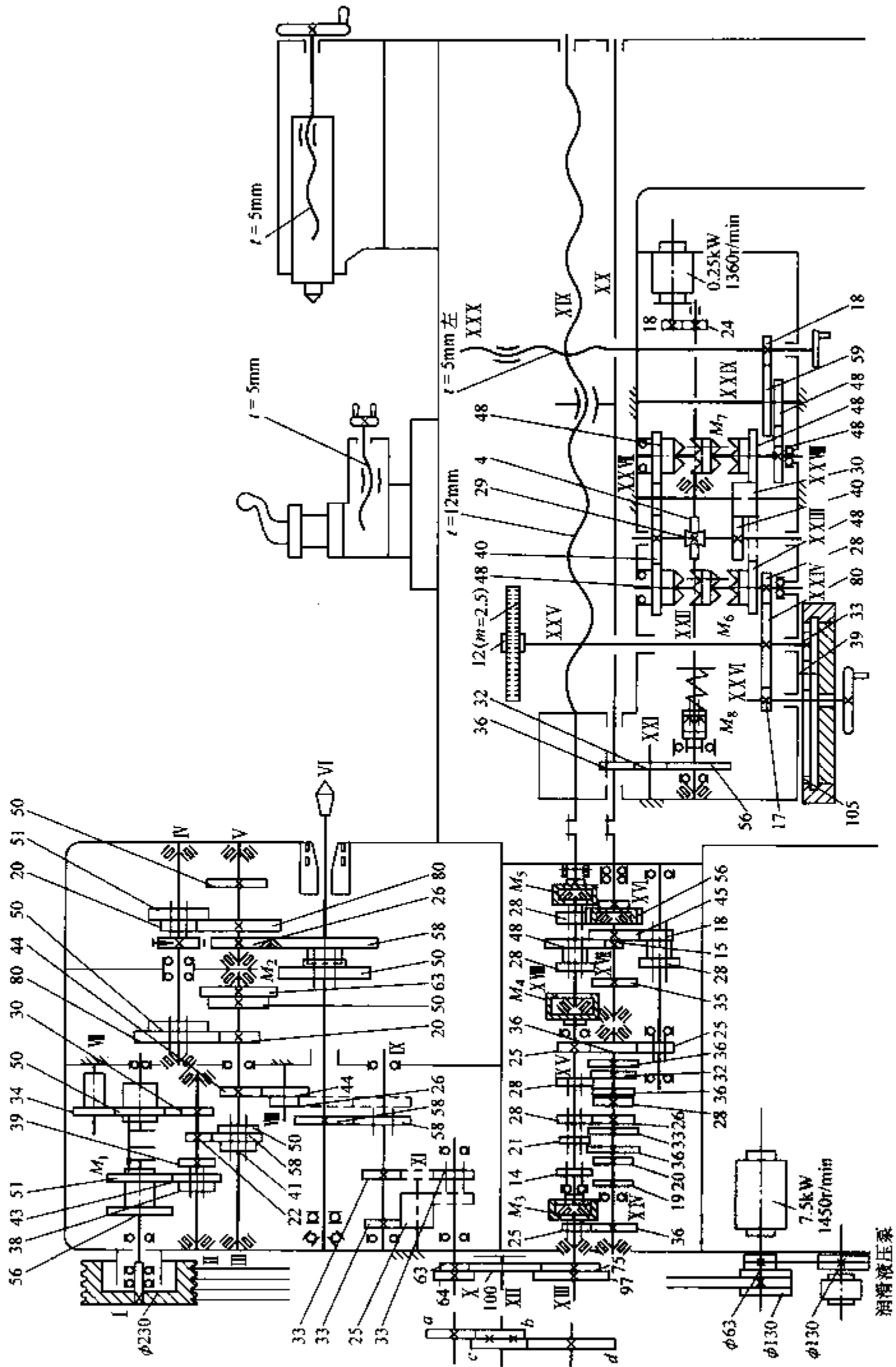


图2-19 CA6140型卧式车床的传动系统图

这个结果表明，在车削大螺距螺纹时，扳动主轴箱上的扩大螺距手柄，可使主轴Ⅵ至轴Ⅸ间的传动路线改为扩大螺距传动路线，从而使主轴Ⅵ转一周的情况下，轴Ⅸ的转速比正常螺距的转速高16倍或4倍。也就是说，在主轴Ⅵ转一圈的情况下，可使丝杠的转速加快16倍或4倍。这表明，当车削螺纹传动链其他部分调整不变时，只作上述调整，便可使主轴与丝杠间的传动比扩大至16倍或4倍，从而车削出的螺纹导程也相应地扩大16倍或4倍。车削米制（右旋）大螺距螺纹时的运动平衡式为 $P_T = 7\text{mm} \cdot i_{\text{基}} \cdot i_{\text{增}} \cdot i_T$ 。

应当指出，由于扩大螺距机构的传动比 i_T 是由主运动传动链中背轮机构的齿轮啮合位置确定的，而背轮机构的一定齿轮啮合位置，又对应着一定的主轴转速，因此，主轴转速一定时，螺纹螺距（导程）可能扩大的倍数是确定的。当主轴转速为 $10 \sim 32\text{r/min}$ 时，螺距（导程）可以扩大至16倍；当主轴转速为 $40 \sim 125\text{r/min}$ 时，螺距（导程）可以扩大至4倍；主轴转速更高时，螺距（导程）不能扩大。

CA6140型卧式车床的米制扩大螺距表见表2-23。

表 2-23 CA6140 型卧式车床米制扩大螺距表

(单位: mm)

螺纹导程	扩大组传动比 i_T	4	16	4	16	16	16
		基本组的传动比 $i_{\text{基}}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$
$i_{\text{基}1} = \frac{6.5}{7}$							
$i_{\text{基}2} = \frac{7}{7}$		14		28		56	112
$i_{\text{基}3} = \frac{8}{7}$		16		32		$64^{\text{右}}$	128
$i_{\text{基}4} = \frac{9}{7}$		18		36		72	144
$i_{\text{基}5} = \frac{9.5}{7}$							
$i_{\text{基}6} = \frac{10}{7}$		20		40		80	160
$i_{\text{基}7} = \frac{11}{7}$		22		44		88	176
$i_{\text{基}8} = \frac{12}{7}$		24		48		96	192

例6 加工螺距为36mm的大螺距螺纹。

该螺纹利用CA6140型卧式车床加工，将机床调整为米制扩大螺距传动链，可有两种扩大方案。

方案一

$$P_T = 7\text{mm} \cdot i_{\text{基}} \cdot i_{\text{增}} \cdot i_T$$

查表2-23有： $i_{\text{基}} = \frac{9}{7}$ ， $i_{\text{增}} = \frac{1}{4}$ ， $i_T = 16$ ，因此

$$36\text{mm} = 7 \times \frac{9}{7} \times \frac{1}{4} \times 16\text{mm}$$

主轴转速可取 10 ~ 32r/min 范围内的任意一级。

方案二
$$P_{\text{牙}} = 7\text{mm} \cdot i_{\text{基}} \cdot i_{\text{增}} \cdot i_{\text{牙}}$$

查表 2-23 有: $i_{\text{基}} = \frac{9}{7}$, $i_{\text{增}} = 1$, $i_{\text{牙}} = 4$, 因此

$$36\text{mm} = 7 \times \frac{9}{7} \times 1 \times 4\text{mm}$$

主轴转速可取 40 ~ 125r/min 范围内的任意一级。

四、车削三角形螺纹

车削三角形螺纹的技术要求是: 螺纹的各种尺寸应符合标准要求; 螺纹轴向断面牙型角必须正确, 两侧面要光洁; 螺纹与工件轴线要同轴。车削时在操作方面的特点是: 相当于大进给量车削, 床鞍的纵向移动比较快, 要求操作者既要大胆, 又要细心, 精神集中, 判断正确, 动作协调而迅速。

1. 车削螺纹的安全注意事项

1) 为确保操作安全, 车削螺纹前, 应全面检查车床, 尤其应对车床倒顺车操纵机构及开合螺母等进行仔细的检查, 以防操纵失灵而发生事故。

2) 高速切削螺纹时, 必须及时退刀, 提起开合螺母, 以防车刀与工件阶台或卡盘相撞, 发生事故。

3) 在每次切削时, 必须做到中滑板刻度不多摇进一圈, 否则会造成车刀损坏、工件抗弯或工件飞出等事故。

4) 严防用手去摸螺纹表面, 更不能用纱头或揩布去擦正在旋转的螺纹, 避免连同手指卷入而造成人身事故。

2. 车削螺纹前的工艺要求

(1) 车削外螺纹时

1) 螺纹的大径应做小, 即比基本尺寸小约 $0.13P$ (P 为工件螺纹的螺距), 以保证螺纹车好后牙顶处有适当的间隙。

2) 在车削螺纹前, 先用螺纹车刀在工件端面上倒角至螺纹小径或小于螺纹小径。

3) 铸铁或其他脆性材料工件外圆要求光洁, 以免车削螺纹时牙尖崩裂。

4) 在工件的外圆上划一条线痕作为标记, 以控制外螺纹的长度。

(2) 车削内螺纹时 车削内螺纹时, 由于车刀切削时的挤压作用, 内孔直径会缩小, 因此车削螺纹前的孔径 $D_{\text{孔}}$ 应略大于小径的基本尺寸, $D_{\text{孔}}$ 可用下式计算

$$D_{\text{孔}} = d - P$$

式中 $D_{\text{孔}}$ ——车削螺纹前的孔径;

d ——公称直径;

P ——螺距。

内螺纹长度的控制方法是, 在车刀的刀杆上划上线痕或者用床鞍进给刻度控制。

车削螺纹时螺纹收尾应控制在 $2/3$ 圈之内。

3. 三角形螺纹的车削方法

一般情况下，可采用低速切削和高速切削两种方法。低速车削螺纹可以获得较高的加工精度和较低的表面粗糙度值，但生产效率较低；高速车削螺纹比低速车削螺纹生产效率可提高10倍以上，并且可以得到较低的表面粗糙度值，因此，目前生产中广泛采用高速车削螺纹法。

(1) 低速车削三角形螺纹 在低速车削螺纹时，为了保持螺纹车刀的锋利状态，车刀的材料最好采用高速钢，并且把车刀分成粗、精车刀进行加工。加工螺纹主要有三种进给方法。

1) 直进法 (图 2-20a)。车螺纹时，只利用中滑板的垂直进刀，在几次行程中车好螺纹，这种方法叫直进法车螺纹。也就是在车外螺纹时，先在工件上根据所需螺纹长度作一标记，然后利用中滑板垂直进刀，再用床鞍纵向进给，当车削到所作标记处时，利用中滑板迅速退回车刀，与此同时提起开合螺母或开反车，将床鞍退回原处；再利用中滑板刻度盘按预定的背吃刀量进行进刀。这时要注意，在每次进刀时都要记住中滑板刻度盘数值，以免把螺纹车得过深，这样往返重复车削多次，直至把螺纹车好为止。

直进法车削螺纹操作简单，而且螺纹车刀两侧切削刃所受的轴向切削分力有所抵消，从而可部分地克服车削中因轴向切削分力导致的车刀偏斜现象，并能减少螺纹的牙型误差。但是，由于车刀的两条切削刃同时参加切削，两面排出的切屑会挤在一起，所以排屑较为困难。另外，螺纹车刀的受力和受热情况都较为严重，刀尖易磨损。当背吃刀量较大时，容易产生“扎刀”现象，既易损坏刀具又影响螺纹的质量。

在生产实践中，一般螺距 $P < 2\text{mm}$ 的三角形螺纹用高速钢刀具低速车削时都采用直进法。

经验表明，在操作以前，应先检查开合螺母的间隙。在溜板箱下，开合螺母的下面有一个调整螺钉。如果开合螺母间隙过大，可把螺钉松开，向下调整；如果开合螺母的间隙过小，会感到在提、合开合螺母时很费力，也容易出现卡死现象。通常情况下，在按下开合螺母后，用手摇动床鞍，若床鞍能在 1mm 范围内移动，就算可以了。

还应指出，中滑板退出时，一般以退出工件（即外螺纹的大径或内螺纹的小径）即可。

2) 左右切削法 (图 2-20b)。车削螺纹时，除了用中滑板刻度盘控制螺纹车刀的垂直进刀外，同时使用小滑板的刻度盘使车刀左、右微量进给（借刀），这样重复地切削几次行程，直至螺纹全部车好，这种方法叫左右切削法。其特点是，在车刀每次切削螺纹时，只有一个切削刃参加工作（左侧切削刃或右侧切削刃），因此排屑比较顺利，车刀的受力情况也得到了改善，加工出的螺纹表面粗糙度值也比较低。

左右切削法在操作步骤方面，与直进法基本相同，所不同的是，每次利用中滑板垂直进刀时，还必须同时将小滑板向左或向右移动一小段距离，以达到使车刀只有一侧切削刃参加切削的目的。中、小滑板每次的进给量应根据所加工螺纹的螺距大小等情况适当决定。

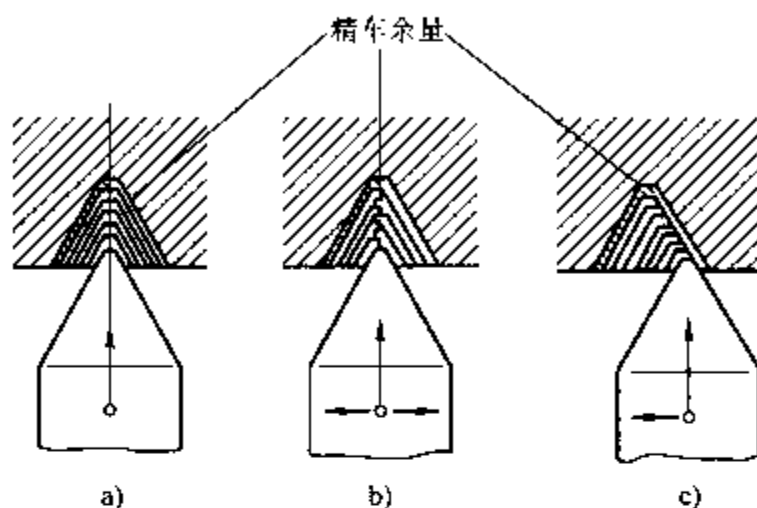


图 2-20 车螺纹时的进刀方式
a) 直进法 b) 左右切削法 c) 斜进法

3) 斜进法(图 2-20c)。在粗车时,为了操作方便,除了中滑板进给外,小滑板可先向一个方向进给,这种方法叫斜进法。精车时,为了使螺纹两侧面都比较光洁,必须使小滑板一次向左移动,另一次向右移动,分别修光两侧面。如果要得到更精确的螺纹,精车的最后 1~2 刀,可采用直进法,微量进刀,以确保牙型准确,齿根清晰。

(2) 高速车削三角形螺纹 高速车削螺纹,最好使用 YT15 硬质合金螺纹车刀,切削速度取 50~100m/min。

车削时,只能用直进法进刀,使切屑垂直于轴线方向排出或卷成球状较理想。倘若用左右切削法,车刀只有一个切屑刃参加切削,高速排出的切屑会把另外一面拉毛。倘若车刀刃磨得不对称或倾斜,也会使切屑侧向排除,拉毛螺纹表面或损坏刀头。

用硬质合金车刀高速车削螺距为 1.5~3mm、材料为中碳钢或中碳合金钢的螺纹时,一般只要 3~5 次进刀就可完成。进刀时,前一、二次背吃刀量可大些,以后逐步减小,但是最后一次进刀的背吃刀量不要小于 0.1mm。

例 7 车削螺距 $P = 1.5\text{mm}$,总背吃刀量为 $0.65P = 0.975\text{mm}$,分三次切削,每次背吃刀量分配情况如下:

第一次 $a_{p1} = 0.475\text{mm}$

第二次 $a_{p2} = 0.4\text{mm}$

第三次 $a_{p3} = 0.1\text{mm}$

高速车削螺纹工件的材料为中碳钢和中碳合金钢,采用硬质合金车刀,其切削次数可参考表 2-24。

表 2-24 高速切削三角形螺纹时的切削次数

螺距 P/mm		1.5~2	3	4	5	6
切削次数	粗车	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7
	精车	1	2	2	2	2

应当指出,高速车削螺纹时,尤其是车削具有阶台的螺纹时,要求操作者必须在极短的时间内(约几十分之一秒),把车刀退出工件,否则将会造成事故。因此高速车削螺纹必须要求工人技术熟练,而且操作时非常紧张。为了解决这个难题,介绍一种自动退刀架(见图 2-21)。使用时,先把车床上的方刀架取下,再装上自动退刀架,把挡铁固定在床身上,即可使用。

高速车削螺纹时的注意事项如下:

1) 高速车削螺纹时,由于工件材料受车刀挤压使外径胀大,因此工件外径应比螺纹大径的公称尺寸小 0.2~0.4mm(按螺距大小确定)。

2) 车削时,切削力较大,必须将工件夹紧,同时小滑板应紧一些为好,否则,容易走动破牙。另外,工件在装夹时应有可靠的轴向定位,最好使工件的某一台肩靠紧卡爪,或使用轴向定位装置。

3) 高速车削螺纹时,为了防止“闷车”(在车削中,由于某种原因造成切削力不足,影响正常切削的现象,俗称闷车),可稍放松主轴轴承,使它与主轴之间的间隙增大,并收紧摩擦片。

4) 发现刀尖处有“刀瘤”时,要及时清除。

5) 用螺纹环规检查前,应修去牙顶毛刺。

6) 高速车削螺纹时, 切屑流出很快, 而且多数是整条锋利的带状切屑, 不能用手去拉, 应停机及时清除。

7) 若刀尖“扎入”工件引起崩刃或螺纹侧面有伤痕, 应停止高速切削, 消除嵌入工件的硬质合金碎粒, 然后用高速钢螺纹车刀低速修整有伤痕的侧面。

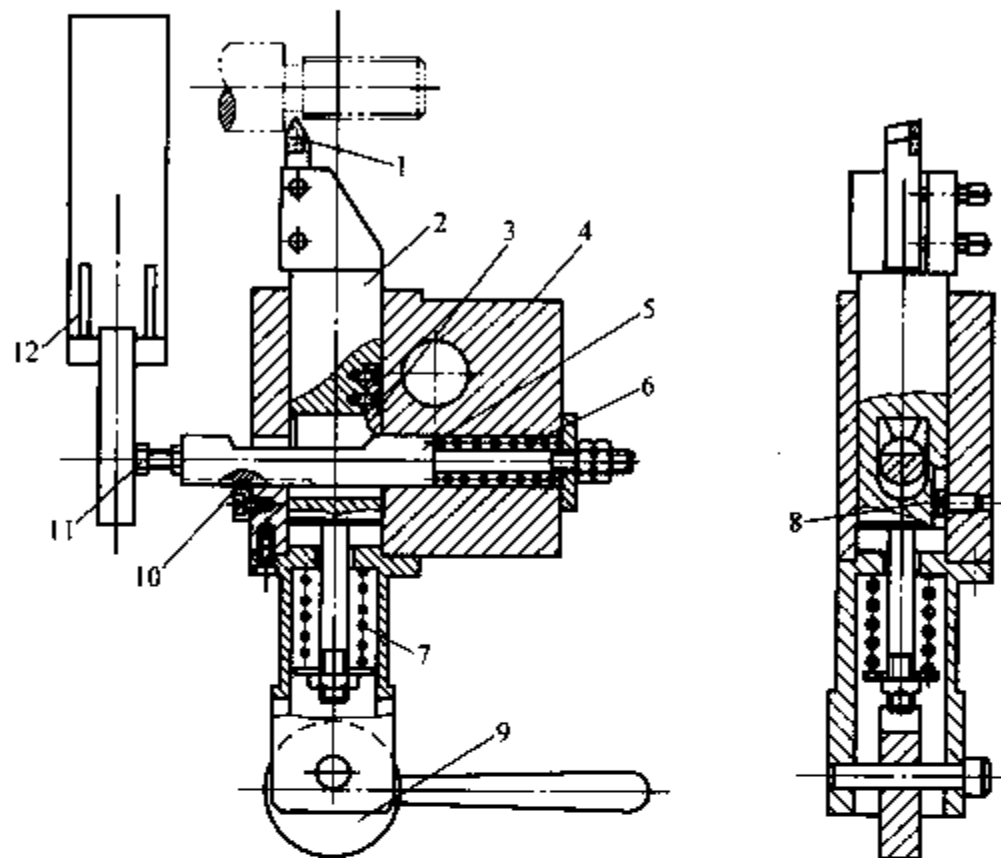


图 2-21 自动退刀架

1—刀尖 2—刀杆 3—触片 4—刀架体 5—挡杆
6、7—弹簧 8—销钉 9—偏心手柄 10—键 11—螺钉 12—挡铁

8) 因为高速车削螺纹时切削力较大, 加工后螺纹牙型角会增大, 所以在刃磨硬质合金螺纹车刀时, 其刀尖角应比螺纹牙型角减小 $30'$, 以确保加工后得到正确的牙型。

9) 高速车削螺纹时多采用硬质合金刀具, 若刃磨断屑槽则会降低刀头强度, 易使刀尖崩碎, 而且开卷屑槽后, 将使径向前角不为 0° , 车出的螺纹牙型角要增大, 牙侧不直。所以, 高速车削螺纹的硬质合金车刀不能刃磨卷屑槽。

(3) 切削用量和切削液的选择

1) 切削用量的选择。车削螺纹的切削用量, 应根据工件材料、热处理要求、车刀材料、螺纹牙型角和螺距大小等条件来选用, 表 2-25 中所示螺纹切削用量, 可供选用时参考。

表 2-25 螺纹切削用量

工件材料	刀具材料	螺纹牙型	螺距 P/mm	切削速度 $v/(\text{m}/\text{min})$	背吃刀量 a_p/mm
45	YT15	三角形	2	60~90	精车 ≥ 0.10
30CrMoA	YT15	三角形	3	粗车 30~40 精车 40~50	粗车 0.40~0.60 精车 0.10~0.30
铸铁	YG8	三角形	2	粗车 15~30 精车 15~25	粗车 0.20~0.40 精车 0.05~0.10

(续)

工件材料	刀具材料	螺纹牙型	螺距 P/mm	切削速度 $v/(m/min)$	背吃刀量 a_p/mm
35	YT15	三角形	1.5	粗车 30~40 精车 20~25	粗车 0.20~0.40 精车 0.05~0.10
1Cr18Ni9Ti	YT15	三角形	2.5	40~60	粗车 0.20~0.40 精车 0.05~0.10
45	W18Cr4V	三角形	1.5	粗车 10~15 精车 5~7	粗车 0.15~0.30 精车 0.05~0.08
Cr17Ni12	W18Cr4V	三角形	1.5	粗车 6~8 精车 3.5~5.2	粗车 0.15~0.25 精车 0.05~0.07
35	YT15	梯形	6	40~65	粗车 0.05~1.0 精车 0.02~0.40
45	YT15	梯形	5	40~70	粗车 0.05~0.75 精车 0.25~0.40
1Cr18Ni9Ti	W18Cr4V	梯形	6	粗车 15~20 精车 5~10	0.05~0.30
GH4307	W18Cr4V	锯齿形	5	粗车 3~5 精车 1.5~3	粗车 0.30~0.60 精车 0.05~0.20
40Cr	W18Cr4V	蜗杆	$m_x=4$	粗车 7~18 精车 1.5~5	粗车 0.20~0.40 精车 0.05~0.10
40Cr	W18Cr4V	梯形	5	粗车 11~20 精车 1.5~3	粗车 0.20~0.40 精车 0.05~0.08

2) 切削液的选择。切削液选择得合理,能保证切削层均匀,背吃刀量小时不致造成“让刀”,可以提高螺纹的加工精度,降低表面粗糙度值,并可延长刀具寿命。选择切削液时可参考表 2-26。

表 2-26 车削螺纹时切削液的选用

零件材料	螺纹精度分类		
	粗糙螺纹	中等精度螺纹	精密螺纹
碳钢 或 合金钢	乳化液或冷却防锈油	硫化油或乳化液	豆油(或菜油)80%~90%+煤油 10%~20% 锭子油 40%~50%+煤油 30%~ 40%+铅油 20%~30%
不锈钢	乳化液或锭子油	锭子油 40%~50%+煤油 30%~ 40%+白铅油 20%~30%	豆油 70%~85%+煤油 15%~ 30%
铸铁	不用切削液	煤油	煤油
铜合金	不用切削液	煤油 60%~70%+锭子油 30%~40%	同左
铝合金	不用切削液	煤油 70%~80%+锭子油 20%~30%	同左

注:表中百分数均为体积分数。

(4) 螺纹的公差与测量 实际上, 内外螺纹配合时, 大径和小径并不接触, 故把外螺纹大径做小, 把内螺纹小径做大, 并不影响螺纹配合性质。影响螺纹配合性质的主要因素是螺纹中径的实际尺寸。

螺纹公差带按短、中、长三组旋合长度有精密、中等和粗糙三种精度。它们的应用场合分别是:

- ①精密精度用于精密螺纹, 当要求配合性质变动较小时采用。
- ②中等精度用于一般用途。
- ③粗糙精度用于精度要求不高或制造比较困难的场合。

根据国家标准 (GB/T 197—2003) 规定, 螺纹公差带的选用与配合原则见表 2-4。

螺纹的测量方法很多, 根据不同的质量要求和设备条件, 可以选用不同的测量方法。

1) 综合测量法。它是对螺纹的各项几何参数进行综合性测量的方法, 如图 2-22 所示。

图 2-22a 所示为螺纹环规, 用来测量外螺纹的尺寸精度, 当通端正好拧进去, 而止端拧不进去, 则说明加工的螺纹符合精度要求。在生产中, 对于精度要不高的外螺纹, 工人们还常常用标准螺母来检验, 把螺母拧到螺纹上, 凭手感确定拧螺纹时是否顺利和松动, 以此判断螺纹加工质量。

图 2-22b 所示为螺纹塞规, 用于测量内螺纹, 其使用方法与螺纹环规相同。

应当指出, 在测量时如果发现量规的通端难以拧进去, 此时应对螺纹的直径、牙型、螺距和表面粗糙度进行检查, 经修正后再用塞规检验, 千万不能硬拧塞规。

测量有退刀槽的螺纹时, 塞规应拧过退刀槽与阶台端面靠平。

2) 用螺纹千分尺测量。用螺纹千分尺测量三角形螺纹的中径, 如图 2-23 所示。

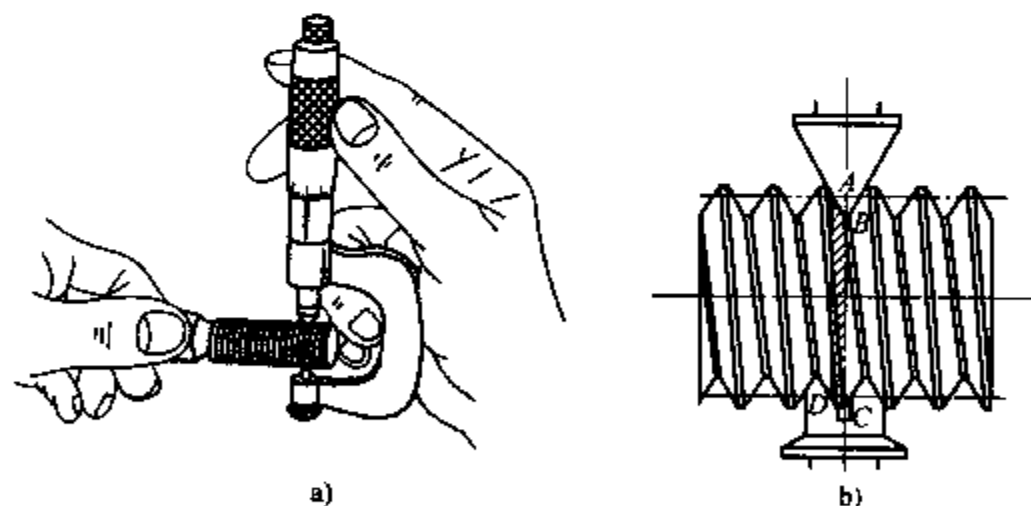


图 2-22 综合测量法

a) 螺纹环规 b) 螺纹塞规

测量有退刀槽的螺纹时, 塞规应拧过退刀槽与阶台端面靠平。

2) 用螺纹千分尺测量。用螺纹千分尺测量三角形螺纹的中径, 如图 2-23 所示。

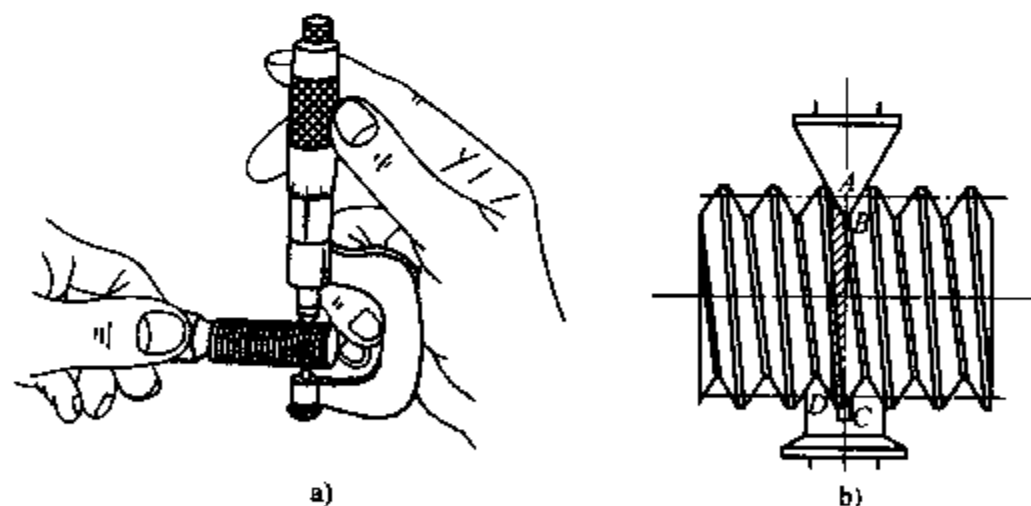


图 2-23 螺纹千分尺及测量原理

a) 螺纹千分尺 b) 测量原理

螺纹千分尺的结构和使用方法与一般外径千分尺相似, 它有两个可以调换的测量头。在测量时, 两个与螺纹牙型角相同的触头正好卡在螺纹的牙型面上, 所得到的千分尺读数就是

该螺纹的中径实际尺寸。从图 2-23b 中可以看出, $ABCD$ 是一个平行四边形, 因此测得的尺寸 AD 就是螺纹的中径。

螺纹千分尺备有一系列不同螺距和不同牙型角的测量触头, 可根据需要进行调换, 测量不同规格的三角形螺纹中径。值得注意的是, 在每次调换测量触头之后, 一定要重新调整千分尺的砧座, 使之对准零位。

3) 三针测量法。三针测量法是测量外螺纹中径的一种很精密的方法, 常用于测量一些精度要求较高的三角形、梯形、锯齿形螺纹零件和蜗杆。

测量时, 将三根直径相等的钢针放在螺纹上相对两面的螺旋槽内, 用百分尺测量出两边钢针顶点间的距离 M (见图 2-24)。根据 M 值和钢针直径 d , 则可计算出螺纹中径的实际尺寸。

M 理论值的推导与证明, 由图 2-24 可知

$$M = d_2 + 2x$$

$$x = BO + OA = BO + OK - AK$$

又因为 $BO = \frac{d}{2}$ (d 为钢针直径)

所以 $x = \frac{d}{2} + OK - AK$ (2-8)

在直角三角形 KDO 中

$$OK = \frac{OD}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{\frac{d}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2-9)$$

$$OD = \frac{d}{2}$$

在直角三角形 KAH 中

$$AK = AH \cot \frac{\alpha}{2}$$

因为

$$AH = \frac{P}{4}$$

所以

$$AK = \frac{P}{4} \cot \frac{\alpha}{2} \quad (2-10)$$

将式 (2-9) 和式 (2-10) 代入式 (2-8) 中, 得

$$\begin{aligned} x &= \frac{d}{2} + \frac{\frac{d}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{P}{4} \cot \frac{\alpha}{2} \\ &= \frac{d}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{P}{4} \cot \frac{\alpha}{2} \end{aligned}$$

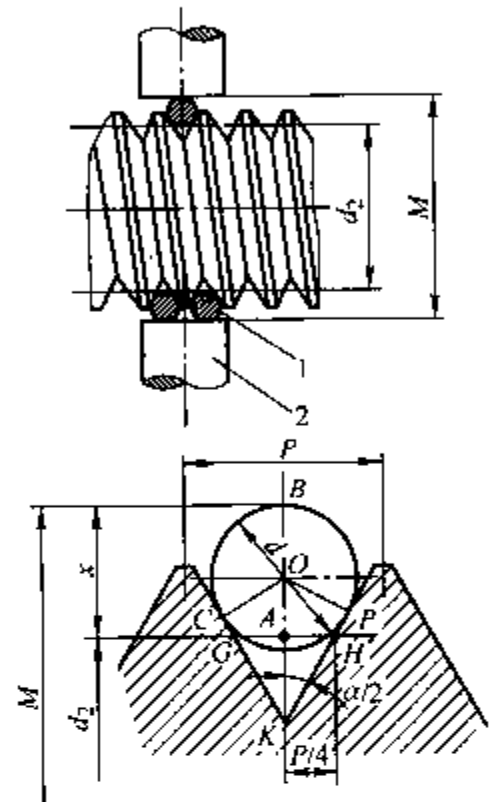


图 2-24 三针测量法
1—钢针 2—百分尺

于是有

$$\begin{aligned}
 M &= d_2 + 2 \left[\frac{d}{2} \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{p}{4} \cot \frac{\alpha}{2} \right] \\
 &= d_2 + d \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - 0.5p \cot \frac{\alpha}{2}
 \end{aligned} \tag{2-11}$$

式中 M ——百分尺应测得的理论值；

d_2 ——螺纹中径；

d ——钢针直径；

α ——工件螺纹牙型角或蜗杆压力角；

p ——工件螺纹的螺距或蜗杆齿距。

利用式 (2-11) 就能计算出螺纹的中径尺寸，再与螺纹的中径公差相对照，则可检验是否在公差范围之内。

关于钢针直径的选择，最佳钢针直径应该使钢针与螺纹在中径处相切，可按下式计算：

$$d = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \tag{2-12}$$

为了计算方便，将各种螺纹的牙型角代入式 (2-12)，可得出 M 值的简化关系式（见表 2-27）。

表 2-27 各种牙型角与 M 值的关系式

螺纹种类	牙型角	简化公式	钢针直径
米制螺纹	60°	$M = d_2 + 3d - 0.866P$	$d = 0.577P$
英制螺纹	55°	$M = d_2 + 3.166d - 0.9605P$	$d = 0.564P$
蜗杆螺纹	40°	$M = d_2 + 3.924d - 1.374P$	$d = 0.533P$
梯形螺纹	30°	$M = d_2 + 4.864d - 1.866P$	$d = 0.518P$
蜗杆螺纹	29°	$M = d_2 + 4.99d - 1.933P$	$d = 0.516P$

例 8 用三针测量法测量 M12 × 1.5 普通螺纹，求钢针直径 d 和钢针测量距 M 。

解 ①求出螺纹中径 d_2 。根据普通螺纹的尺寸计算公式有

$$d_2 = D_{\text{公称}} - 0.65P = (12 - 0.65 \times 1.5) \text{mm} = 11.025 \text{mm}$$

②求钢针直径 d 。根据表 2-27，查得钢针直径的计算式为

$$d = 0.577P = 0.577 \times 1.5 \text{mm} = 0.8655 \text{mm}$$

③将 d_2 和 d 值代入式 (2-11)，则有

$$\begin{aligned}
 M &= d_2 + 3d - 0.866P \\
 &= (11.025 + 3 \times 0.8655 - 0.866 \times 1.5) \text{mm} \\
 &= (11.025 + 2.5965 - 1.299) \text{mm} \\
 &= 12.3225 \text{mm}
 \end{aligned}$$

4) 单针测量法。用于测量螺纹中径，其特点是只使用一根测量针，测量时比较简便，

如图 2-25 所示, 图中尺寸 P_1 用外径百分尺来测量。

为了消除由于大径和中径的圆度与同轴度对测量结果的影响, 尺寸 P_1 应在两个相互垂直的轴向截面内测量两次, 取平均值。

测量时, P_1 值的计算公式为

$$P_1 = \frac{1}{2} \left[d_2 + d_{\text{测}} + d \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{P}{2} \cot \frac{\alpha}{2} \right] \quad (2-13)$$

式中 P_1 ——单针法测量螺纹中径的值;

d_2 ——螺纹中径;

$d_{\text{测}}$ ——使用测量 P_1 的百分尺测量出的螺纹大径的实际尺寸;

d ——钢针直径;

α ——牙型角;

P ——螺距。

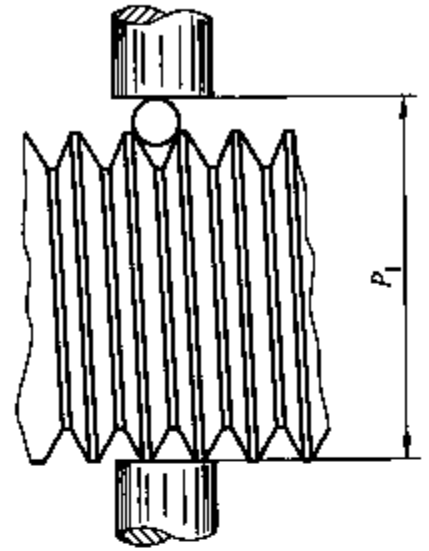


图 2-25 单针测量法

将各种螺纹牙型角代入式 (2-13), 则得出 P_1 值简化计算公式, 见表 2-28。

表 2-28 各种螺纹牙型角的 P_1 值简化计算公式

螺纹牙型角	简化计算公式
60°	$P_1 = \frac{1}{2} (d_2 + d_{\text{测}} + 3d - 0.866P)$
55°	$P_1 = \frac{1}{2} (d_2 + d_{\text{测}} + 3.1657d - 0.9605P)$
40°	$P_1 = \frac{1}{2} (d_2 + d_{\text{测}} + 3.924d - 1.374P)$
30°	$P_1 = \frac{1}{2} (d_2 + d_{\text{测}} + 4.8637d - 1.866P)$

钢针直径的选取与三针测量法钢针直径选取的计算相同。还应指出, 测量时所使用的钢针是量具厂专门制造的。在生产现场没有钢针的情况下, 可用优质钢丝或新钻头的柄部代替。它们的直径尺寸应当尽量与计算出的钢针直径相近, 并应在表 2-29 中所规定的范围之内。

表 2-29 替代钢针直径范围

螺纹牙型角 α	蜗杆齿形角 α	替代钢针直径 d/mm		
		最大值	最佳值	最小值
60°		$0.01P$	$0.577P$	$0.505P$
55°		$0.894P - 0.029\text{mm}$	$0.564P$	$0.481P - 0.016\text{mm}$
30°		$0.655P$	$0.518P$	$0.486P$
	12°	$0.7787P$	$0.533P$	$0.5123P$
	$14^\circ 30'$	$0.6865P$	$0.516P$	$0.515P$

(5) 车削三角形螺纹实例 零件的结构如图 2-26 所示。螺纹的公差等级为 5 级, 材料为 45 钢, 螺距 $P = 4\text{mm}$ 。

加工步骤如下：

1) 看清图样。看清图样的目的是使加工者充分了解图样和工艺上的要求，以便有效地选择和刃磨刀具、调整车床，挑选符合要求的工具和量具，做好安全等准备工作。

加工零件的材料是 45 钢，螺纹公差等级一般为 5 级，螺距 $P = 4\text{mm}$ 。据此选择刀具、夹具、量具及加工方法等。

2) 选择刀具

①粗车螺纹选用硬质合金螺纹车刀，以便提高生产效率。

②精车螺纹选用高速钢螺纹车刀和弹簧刀杆配合使用，以利于提高螺纹的加工精度。

3) 安装刀具和校正位置。工件以外圆表面定位，可用对刀样板校正螺纹车刀的正确位置。

4) 调整车床有关部分的间隙。在加工螺纹前，必须对车床的床鞍、中滑板、小滑板的松紧进行检查或调整，使其间隙适当。在调整小滑板塞铁时，既不能太紧，又不能太松：太紧会使溜板摇不动或太重；太松会使车螺纹时因溜板间隙过大而产生“扎刀”。

在调整滑板的同时，要对车床的润滑油孔进行检查或加油。对不安全的地方要及时纠正。

5) 调整交换齿轮并变换手柄位置。按螺距 $P = 4\text{mm}$ 的米制螺纹调整交换齿轮，并检查交换齿轮的啮合情况，不能太紧，也不能太松，而要求能随手盘动旋转；同时要求拧紧交换齿轮心轴端面的紧固螺钉，防止在车削中因交换齿轮轴的松动而使交换齿轮板裂碎，造成机床事故和产品质量问题。

根据螺距 $P = 4\text{mm}$ ，按铭牌上规定，变换手柄位置。

6) 选用切削用量（参见表 2-25）。

①用硬质合金车刀粗车， $v = 60 \sim 90\text{m}/\text{min}$ ， $a_p = 0.4 \sim 0.8\text{mm}$ 。

②用高速钢车刀精车， $v = 5 \sim 7\text{m}/\text{min}$ ， $a_p = 0.05 \sim 0.08\text{mm}$ 。

7) 检验螺距的正确性。

①以刻度盘移动值来检验螺距，即将床鞍的开合螺母闭合，然后使车床主轴旋转一周，观察床鞍向前移动的距离是否等于螺距值。

②用车削试验来检验螺距，即调整交换齿轮后，先在工件表面上以 0.05mm 的背吃刀量试切一刀，用钢直尺或者用丝锥校对螺距是否正确。

8) 选择进刀方法。根据螺距大小和螺纹角度选择进刀方法。

①粗车时，采用斜进法。

②精车时，采用左右切削法。

9) 切削液的选用。根据工件的材料、螺纹的表面粗糙度和精度等，查表 2-26 得知：选用 $40\% \sim 50\%$ 锭子油 + $30\% \sim 40\%$ 煤油 + $20\% \sim 30\%$ 铅油的混合液，可保证螺纹的表面粗糙度和精度，并能延长刀具寿命。

10) 粗车与精车。

①粗车以提高生产率为主，每边留精车余量 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ 。

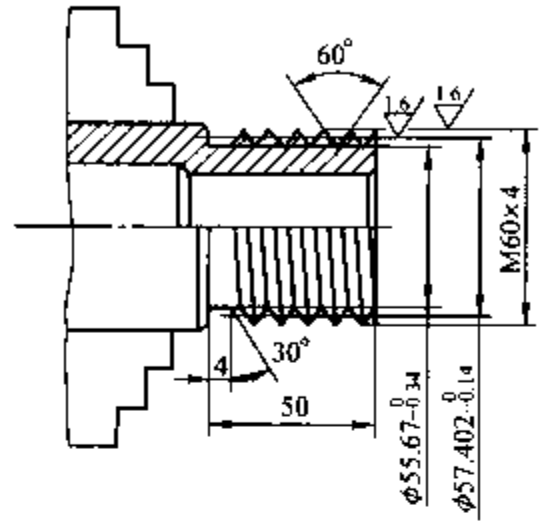


图 2-26 具有三角形螺纹的零件

②精车以提高加工精度和降低表面粗糙度值为主，均匀车去每边留的加工余量，进给时要有次序，防止进给不均匀，造成“啃刀”等现象。

11) 螺纹的测量。用前述螺纹的测量方法进行测量。在测量前，应校对所用量具的准确精度，除去零件表面上的毛刺后再进行测量，通过测量找出误差，以便及时地车削修正，保证图样要求。

(6) 车削螺纹时常见的缺陷及解决办法

1) 乱牙。在车削螺纹时，第一次车削完毕以后，退回滑板作第二次车削，而车刀不落人已车出的螺纹槽中，结果把螺纹车乱，这种现象叫做乱牙。

①产生乱牙的主要原因。车床丝杠螺距不是工件螺距的整数倍，是车削螺纹乱牙的主要产生原因，也就是说当丝杠转一圈时，工件的转数不是整数时则产生乱牙。因此，将工件螺距与丝杠螺距之比化为最简分数后，以上述条件衡量，便可以判断是否产生乱牙。

例9 在丝杠螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$ 的车床上，加工螺距分别为 2mm 和 4mm 的工件，判断是否产生乱牙。

当工件螺纹的螺距 $P_{\text{工}} = 2\text{mm}$ 时，则有

$$i = \frac{P_{\text{工}}}{P_{\text{丝}}} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

这表明，分子为1，分母为3，分母是分子的整数倍，故不产生乱牙。

当工件螺纹的螺距 $P_{\text{工}} = 4\text{mm}$ 时，则有

$$i = \frac{P_{\text{工}}}{P_{\text{丝}}} = \frac{4}{6} = \frac{1}{1.5}$$

这表明，分子为1，分母为1.5，分母不是分子的整数倍，所以要产生乱牙。

②解决办法。分两种情况对待：

a. 经过乱牙计算，判断不出现乱牙时，可提闸（打开开合螺母），手动退回滑板，这样能减少车床不必要的损耗，并且退回滑板时比较安全。

b. 经过乱牙计算，判断结果是产生乱牙时，则采用开倒、顺车防止乱牙的方法，即每车一次以后，立即横向退刀，不提闸（不打开开合螺母），而采取开倒车的方法，使车刀退回原来的位置，再开顺车第二次进给，这样反复来回车削螺纹。由于车刀跟丝杠的传动链没有分离过，车刀始终在原来的螺旋槽中倒顺运动，因而就不会产生乱牙。

值得注意，在车削螺纹过程中存在下列情况，也可能产生乱牙，必须避免。

①开合螺母间隙过大、松动，车削过程中开合螺母自动上抬，也会造成工件和车刀错位，产生乱牙。这种情况下应调整开合螺母的间隙，防止因开合螺母间隙过大引起乱牙。

②车床丝杠的轴向间隙过大，在车削过程中产生轴向窜动，因此造成乱牙。这种情况下应对症下药，调整车床丝杠的轴向间隙，避免造成螺纹乱牙。

③加工过程中，磨刀换刀后没有重新对刀，因此引起乱牙。为了避免螺纹乱牙，在磨刀换刀后必须重新校对车刀。

④工件没有夹紧，加工过程中工件在卡盘内发生转动或轴向移动；车刀没能固紧，加工中车刀在轴向发生移动。这些都会改变车刀和工件原来的相对位置，造成乱牙。对于这种情况，则要求在装夹工件和车刀时，必须夹紧固牢。

2) 螺距不正确。螺距不正确分为全部不正确和局部不正确两种情况：

①螺距全部不正确。其根源在于交换齿轮搭配或进给箱手柄位置放错。解决方法是，将进给箱手柄放到正确位置，再与图样要求重复核对，然后微量进给试切螺纹，用钢直尺仔细测量。当螺距比较小、测量不准确时，可以10个牙为单位，进行校核。如螺距 $P = 1.5\text{mm}$ 的螺纹，测量时先数10个牙，然后用钢直尺测量10个牙的长度，如为15mm，则证明每相邻牙之间的距离为1.5mm；如发现螺距不符合图样要求，应找出原因及时纠正，正确选择交换齿轮或变动进给箱手柄的位置。

②螺纹的螺距局部不正确，出现较大的误差，造成原因可能是：

a. 车床精度不高，各零部件的配合间隙过大。例如主轴径向圆跳动和轴向窜动过大；床鞍移动对主轴轴线平行度误差过大；主轴轴线与尾座锥孔中心线对机床导轨不等高；开合螺母自动上抬等。由于上述情况造成螺距不正确，应调换精度较高的车床来加工螺纹，或者是对车床进行检修后再使用。

b. 车床进给系统的传动精度低，使螺距误差较大。这时应调换传动系统传动精度较高的车床车削螺纹，以保证加工质量。

c. 车床的丝杠精度低，螺距误差大。这属于车床本身的问题，丝杠精度低会影响加工螺纹的精度，应更换新的车床加工。

d. 车床丝杠轴向窜动和弯曲度过大，致使加工螺距不正确。这时应通过检修车床来解决。

e. 开合螺母对丝杠轴承中心的同轴度误差过大，开合螺母合上后丝杠弯曲，磨损不均匀，丝杠对床身导轨在垂直平面内的平行度误差过大，开合螺母与丝杠的配合间隙过大等，这些问题均属于车床本身调整不当，或者是机床精度下降，又未及时检修所造成的。所以应对车床进行调整和检修来解决。

f. 床鞍手轮转动不均匀，造成滑板进给有窜动，影响车削螺纹的螺距。这属于操作问题，操作者应注意，并进一步地提高操作水平。

3) 大径不正确。外螺纹大径的公差一般都比较大，尺寸容易控制，但由于在加工中易被人们忽视，致使大径过大或过小，影响螺纹的加工质量，因此在加工时必须严肃、认真、精神集中，即使对一些要求不高的尺寸，也必须予以足够的重视，做到勤测量。

4) 内螺纹小径不正确。加工内螺纹时，必须按国家新标准对螺纹的规定，查表或计算出待制螺纹孔的直径尺寸，按加工要求，不得过大或过小，以免影响螺纹加工质量。

5) 中径不正确。螺纹中径是螺纹的配合直径，要求比较高，螺纹精度的级别主要集中在中径尺寸要求上。在车削螺纹过程中，特别是在即将车削完成时，必须对螺纹中径随时测量，严格控制背吃刀量。

在车削内螺纹时，虽然中径不能直接用螺纹百分尺来测量，但可用螺纹塞规进行检验。由于刀具受孔径的大小和孔深的影响，不能做得粗、短，因此刚性较差。在车削过程中，由于受到切削力的影响，产生所谓“让刀”现象，使螺纹产生锥度。所以，在加工中，不能盲目加大背吃刀量，在最后几次吃刀时，必须使刀具在原来背吃刀量的位置上（即不进刀）进行进给，以消除锥度。并且，随时用螺纹塞规进行试测，以及时掌握中径的大小，防止因中径超差而造成废品。

6) 螺纹牙型角不正确。造成螺纹牙型角不正确的情况有三种：

①第一种是由于车刀刀尖角刃磨不准确，使牙型不正。

②第二种是车刀装夹不准确，使牙型半角不准。

③第三种是在车削过程中，因切削刃受损，而造成小径不清和螺纹面不直等。

对上述问题的解决方法是：车刀刀尖角必须严格按样板刃磨正确，并且在刃磨时要防止退火；装刀时要认真用样板校正刀尖角；车削时背吃刀量不能过大，并要保持车刀刃口锋利。

7) 螺纹表面不光洁。使螺纹表面不光洁的因素有：切削刃强度不高，引起振动；车速太快；切削刃接触面太大，背吃刀量过大；缺乏切削液或切削液选择不当；有轴向窜动等。

对上述问题的解决方法是：刃磨车刀时不能过热，防止车刀退火；精车用的车刀后角不能太大，同时要保持锋利；车速应适当，背吃刀量要合理；选用合适的切削液；对车床丝杠、主轴的窜动和卡盘螺钉的松动，事先要进行检查并做好调整工作。

8) 扎刀和抗弯工件。在车螺纹时，有时工件被抗弯，甚至有的工件从卡盘上掉下来，其原因是“扎刀”所致。车螺纹的“扎刀”是指在车削螺纹过程中，背吃刀量突然增大，造成把螺纹车坏的现象称“扎刀”。出现扎刀的主要原因是，车刀前角过大，中滑板丝杠螺母间隙过大。

为避免出现“扎刀”现象，应注意以下几个问题：

①调整好中滑板丝杠螺母间隙，调整时用力扳动刀架，手感无窜动即可。

②尽量减小螺纹车刀的前角，最好选用前角等于 0° 的螺纹车刀。

③螺纹车刀安装时，一般应对准中心。在某些情况下，为了避免扎刀也可采用负前角将车刀装高的方法，从而改变径向力的方向，达到防止扎刀的目的。这种装刀方法通过适当调整装刀高度可保证前刀面仍然通过工件中心，所以对牙型角误差影响不大。

④开合螺母间隙过大，丝杠轴向窜动，也会引起扎刀现象，所以应注意调整车床，保证零部件间的间隙适当。

五、车削梯形螺纹

1. 梯形螺纹的加工特点

通常梯形螺纹用于传动，精度要求较高，而且工件又往往比较长，所以与三角形螺纹相比，车削较为困难。为保证加工螺纹精度，一般采取如下措施：

1) 提高车床精度，减少因车床因素而产生的误差。具体做法是：挑选技术状态好的车床进行加工，对于精度要求很高的丝杠工件，可选用专用丝杠车床进行加工；正确调整车床各处间隙，特别注意控制车床主轴的轴向窜动、径向圆跳动及丝杠的轴向窜动；配换精度较高的交换齿轮；为防止溜板箱手轮回转时的不平衡，使床鞍移动时产生窜动，可采取在手轮上装重块或拆除手轮等方法。

2) 正确刃磨和装夹刀具。

3) 粗车时通常采用左右切削法，精车时采用直进切削法，选用较低的切削用量，减少工件变形，提高加工质量；车削时要加注充分的切削液。

4) 采用正确而又可靠的装夹方法，如在车削一些工件外圆和螺距较大的梯形螺纹工件时，一般采用四爪单动卡盘装夹，以保证装夹牢固，同时使工件的一个台阶靠住卡爪平面（或用轴向定位挡块限位），固定工件的轴向位置，以防止因切削力过大，使工件位置变动，从而影响螺纹加工质量。

2. 梯形外螺纹的车削方法

车削三角形螺纹时，一般是根据图样要求，先加工各型面，最后加工螺纹。车削梯形螺纹时，由于梯形螺纹精度要求高，工件往往较长，所以在车削过程中为增加工件的强度和刚度，要尽量将车削螺纹的工序放在最前面，也就是放在各非螺纹加工面处于粗车状态时。另外，除切削螺纹所需进刀或退刀处加工至螺纹小径外，其他各加工面的尺寸要尽量大于螺纹大径。而螺纹大径一般比公称直径大0.5mm左右，所以要在螺纹半精车后，再精车到符合图样要求。

目前，单件生产及对于精度要求较高的梯形螺纹加工，一般采用低速切削法。

(1) 直进切削法 对于精度要求不高、螺距小于2mm的梯形螺纹，可用一把螺纹车刀，垂直进给车成；也可以在最后采用少量的左右进给精车螺纹两侧面，以提高螺纹精度，降低表面粗糙度值。

(2) 左右切削法 对于螺距大于4mm的梯形螺纹，粗车时，为防止三个切削刃同时全部参加切削，产生“扎刀”现象，可采用图2-27a所示的左右切削法。精车时，为保证牙型精度和获得较低的表面粗糙度值，可采用两侧刃均磨有卷屑槽的精车螺纹车刀，把左右两侧面车削成形，如图2-27b所示。

(3) 三把车刀的直进切削法 对于螺距大于8mm的梯形螺纹，除用左右切削法加工外，还可用三把车刀的直进切削法车削。即首先用一把与螺纹槽底等宽的切槽刀切出螺旋槽，然后用第二把车刀粗车螺纹两侧面（留有足够精车余量），最后用第三把螺纹精车刀精车螺纹两侧面。

对于螺距很大的梯形螺纹，为了减少切削力，也可将粗车刀和精车刀磨得窄一些，采用左右切削法，其效果很好。

应当指出，梯形螺纹也可以采用高速切削。高速切削螺纹时，为了防止切屑拉毛牙侧，不能采用左右切削法，只能采用直进切削法，如图2-28a所示。当车削螺距 $P > 8\text{mm}$ 的梯形螺纹时，为了防止振动，可用硬质合金车槽刀以图2-28b所示的车直槽法进行粗车，然后用螺纹车刀精车。

3. 梯形内螺纹的加工方法

(1) 车削梯形内螺纹 车削梯形内螺纹在车削方法上与普通螺纹相同，但是在车削过程中产生的让刀现象更为严重，因此在最后精车时，应该使中滑板在原来刻度上（即不切削）多光车几刀，以便消除螺纹的锥形误差。此外，在车削梯形内螺纹时，因其小径不好测量，背吃刀量不易掌握，所以在加工完螺纹孔后，在工件端面上车出一个轴向深0.2~0.3mm、孔径等于内螺纹大径的小台阶，当加工内螺纹大径切削到这个小台阶时，则说明已车到内螺纹大径。

生产实践表明，螺母车刀的刀宽一般都要比外螺纹宽一些，以保证有一个配合间隙。如Tr40×6螺母的刀宽 $W' = 0.366P = 0.366 \times 6\text{mm} = 2.196\text{mm}$ ，外螺纹刀宽为1.928mm，其差

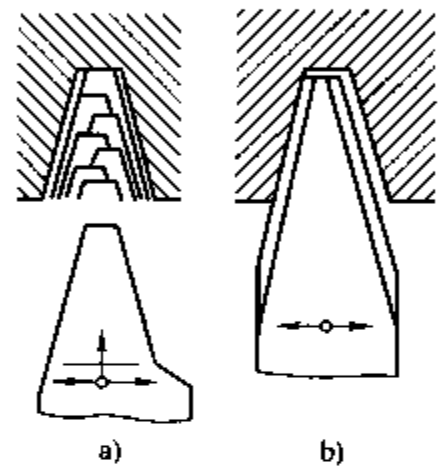


图 2-27 梯形螺纹左右车削法
a) 左右切削法 b) 两侧刃均磨有卷屑槽的精车螺纹车刀车削两侧面

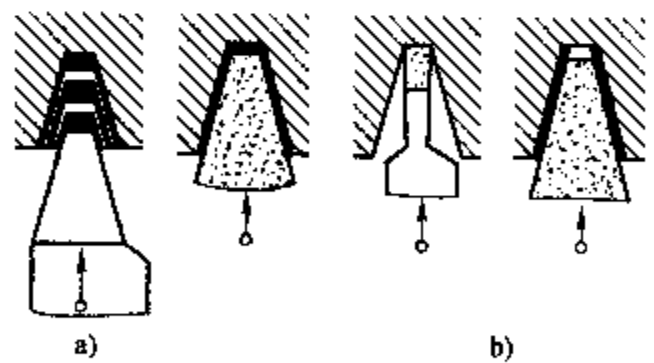


图 2-28 高速直进切削法车梯形螺纹
a) 直进切削法 b) 车直槽法

值为 0.268mm。

(2) 用梯形丝锥攻制梯形内螺纹 在车削较小直径的内螺纹时, 由于车刀刀杆刚性差, 车削面积又较大, 所以加工出的内螺纹很难达到加工精度。为了解决这一问题, 有些工厂对较小直径的梯形内螺纹, 采用梯形丝锥攻制, 如图 2-29 所示。操作时, 先把丝锥 3 和方榫套 2 装夹在刀架 4 上, 并严格校正中心。调整好车床进给箱手柄的位置, 使进给与工件螺距要求相等。选用较低的主轴转速, 把丝锥导向部分塞进工件的螺纹底孔中, 开动车床, 合上开合螺母, 于是丝锥攻入工件, 一次攻削成形。当丝锥攻出头时, 提开开合螺母, 停机, 把丝锥和工件一起从卡盘中取下。

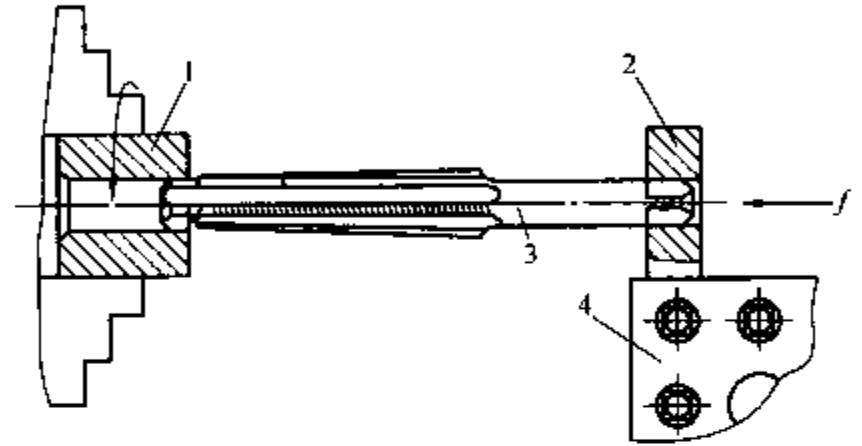


图 2-29 梯形内螺纹的攻制方法

1—工件 2—方榫套 3—丝锥 4—刀架

(3) 用拉削丝锥拉削梯形内螺纹 如图 2-30 所示, 操作时先把工件 1 套入丝锥的导向部分, 然后把工件 1 夹在三爪自定心卡盘里, 再把丝锥套装在刀架上的拉套 2 内, 并插进拉销 3。按工件的螺距要求调整好进给箱手柄位置。选择最低的主轴转速, 合上开合螺母, 开动车床, 使主轴反转, 丝锥就从主轴向尾座方向直线拉出, 则螺纹一次拉削成形。

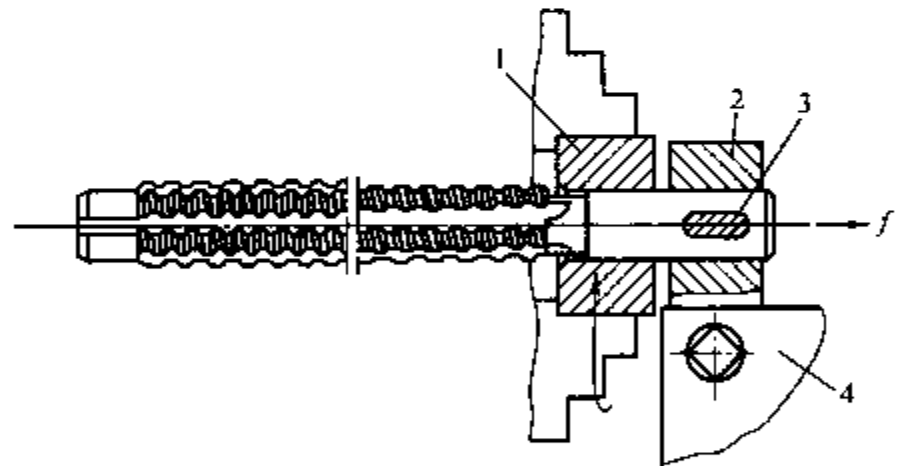


图 2-30 梯形内螺纹的拉削方法

1—工件 2—拉套 3—拉销 4—刀架

用这种方法拉削螺纹, 丝锥承受的是拉应力, 故丝锥不易拉断。但是, 在操作时, 要求拉套 2 的内孔、丝锥和工件三者的中心线应与车床主轴同轴; 工件必须装夹牢固; 加工时应浇注充分的切削液; 三爪自定心卡盘应安装保险装置, 以防开倒车时因卡盘脱落而造成事故。

4. 梯形螺纹的测量方法

梯形螺纹一般采用环规作综合测量, 用于测量外螺纹的尺寸精度; 采用三针测量法测量梯形外螺纹中径。其测量方法与三角形螺纹的测量方法基本相同。

梯形螺纹牙型角误差或半角误差可用测量螺纹中径误差的三针测量法测量。测量前, 先选择两组合适的不同直径的钢针。测量时, 把这两组钢针依次放进螺旋槽内, 按照测量螺纹中径的三针测量法进行测量。牙型角 (或半角) 可根据两次分别量得的 M_1 和 M_2 值按下式计算

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{d_1 - d_2}{(M_1 - M_2) - (d_1 - d_2)}$$

式中 d_1 、 d_2 ——两组钢针直径, d_1 为大钢针直径, d_2 为小钢针直径 (mm);

M_1 ——用 d_1 直径钢针测得的尺寸 (mm);

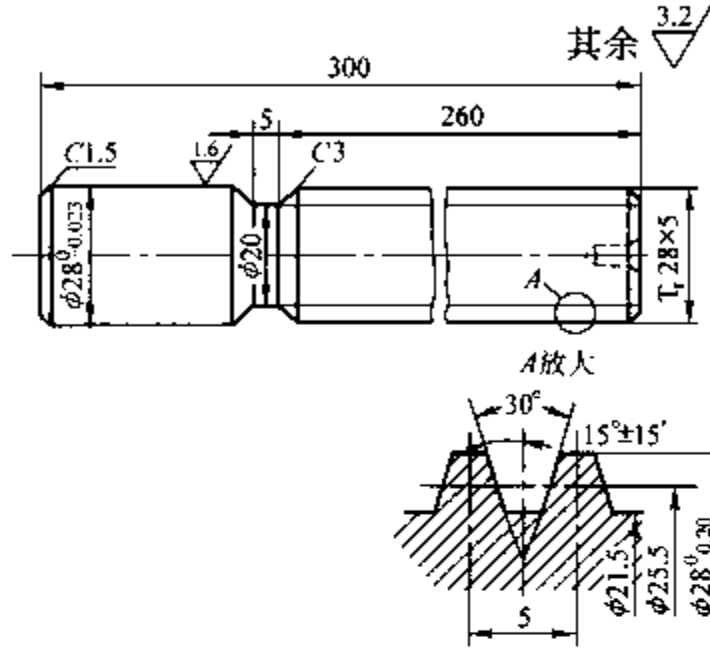
M_2 ——用 d_2 直径钢针测得的尺寸 (mm);

α ——梯形螺纹牙型角 ($^\circ$)。

5. 车削梯形螺纹实例

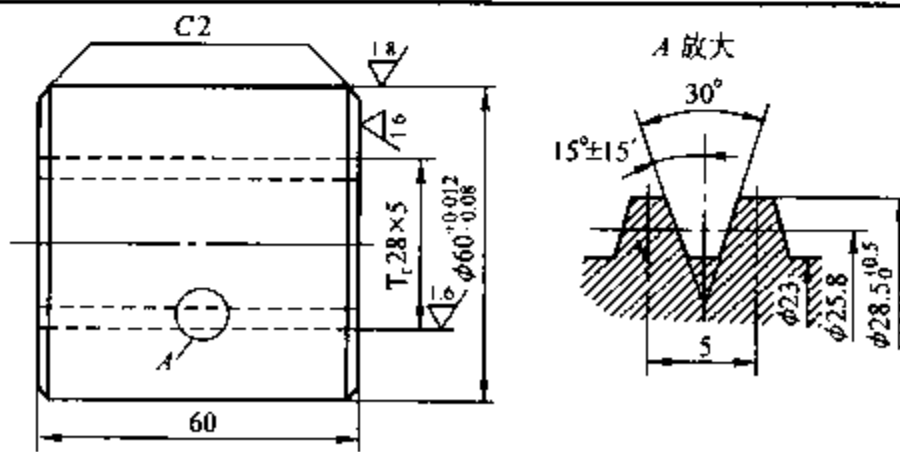
车削梯形外、内螺纹实例的图样和工艺分别见表 2-30 和表 2-31。

表 2-30 梯形外螺纹图样和工艺



零件加工工艺			产品型号	图号	名称	材料	下料尺寸
					螺杆	45	$\phi 32\text{mm} \times 308\text{mm}$ (1件)
工序	工种	工步	加工内容				工夹量具
I	锯	1	45 钢, 锯 $\phi 32\text{mm} \times 308\text{mm}$				钢直尺
II	车	1	用三爪自定心卡盘装夹, 粗车毛坯外圆至 $\phi 30\text{mm}$, 调头接刀, 车至同样尺寸				
III	调质	1	调质				
IV	车	1	车端面, 钻中心孔				$\phi 3\text{mm}$ 中心钻
		2	调头, 车 $\phi 28\text{mm} \times 8\text{mm}$ 长阶台				
		3	夹住 $\phi 28\text{mm} \times 8\text{mm}$ 处, 用后顶尖顶住, 按图样尺寸车槽、车外圆、倒角				
		4	粗车螺纹 (留余量 0.5mm), 车对槽底宽 1.56mm 至小径尺寸				
		5	精车螺纹至图样尺寸				
		6	调头, 夹住 $\phi 28\text{mm}$ 处, 车对总长 300mm, 倒角 C1.5				

表 2-31 梯形内螺纹图样和工艺



(续)

零件加工工艺			产品型号	图号	名称	材料	下料尺寸
					螺母	铸铁	$\phi 70\text{mm} \times 75\text{mm}$ (1件)
工序	工种	工步	加工内容				工夹量具
I	锯		锯铸铁 $\phi 70\text{mm} \times 80\text{mm}$				钢直尺
II	车	1	用三爪自定心卡盘夹住工件,粗车外圆至 $\phi 65\text{mm}$				卡钳、钢直尺
		2	调头,车端面,钻孔($\phi 21\text{mm}$)				麻花钻
		3	半精车外圆至 $\phi 60.5\text{mm}$,精镗小径 $\phi 23^{+0.25}_0\text{mm}$,孔口倒角 C2				内卡或塞规
		4	粗车梯形螺纹留 0.5mm 精车余量				
		5	精车梯形螺纹				螺纹塞规
		6	精车 $\phi 60\text{mm}$ 外圆和端面并倒角至图样要求				分厘卡
		7	调头,车对总长 60mm,倒角 C2				

6. 车削梯形螺纹时常见质量问题及防范措施

1) 为保证梯形螺纹牙型角精度及表面粗糙度,应采取的技术措施有以下几方面:

①刀尖角刃磨要准确(通常为 30°)。

②为保证牙型角精度,车刀径向前角应等于 0° 。为使刀具锋利,获得较低表面粗糙度值,精车刀可将两侧刃磨出 $15^\circ \sim 20^\circ$ 的前角。但必须注意保证两侧刃平直且在同一水平面内,否则会造成牙型误差。

③刀具安装时,一定要注意刀尖对准工件中心,并且保证刀具不能装歪,以避免造成半角误差,为此可用游标万能角度尺校正车刀装夹位置。

④在刃磨车刀两侧刃后角时,注意顺进给方向一侧后角应加上一个螺纹升角,背进给方向一侧应减小一个螺纹升角。否则,不但会影响表面粗糙度,而且严重时螺旋面与车刀后面发生干涉,可能造成无法车削的状况。

⑤为获得较低的表面粗糙度值,精车时不要采用直进切削法车削。这样会因为车刀的三个切削刃同时切削,切削力大,易扎刀。另一方面三个刃的切屑排出时相互挤压,也会影响表面粗糙度。因此,梯形螺纹在精车时,一般采用左右切削法车削。这样,一方面容易保证牙型半角,另一方面也容易获得较低的表面粗糙度值。

⑥保证车刀刀面和切削刃光洁,刃磨后要用细磨石精心研磨,表面粗糙度值 R_a 达 $0.4\mu\text{m}$ 。

2) 为防止粗车梯形螺纹时产生“扎刀”现象,应采取的技术措施有以下几方面:

①粗车螺纹车刀的径向前角不能太大,一般为 $3^\circ \sim 5^\circ$ 。

②调整好横向进刀丝杠螺母间隙,手摇进给轻快,用手推拉刀架无窜动即可。

③不要采用直进切削法车削,因直进切削法三个切削刃同时切削,切削力很大,容易造成“扎刀”。

④在某些情况下,为避免“扎刀”也可采用负前角将车刀装高的方法车削。这样改变了径向力的方向,达到了防止“扎刀”的目的。这种装刀方法通过适当调整装刀高度可保证前刀面仍通过工件中心,因此对牙型角误差影响不大。

3) 在车削精密的梯形螺纹时为保证半角误差可采取的技术措施有以下几方面:

①车刀两侧刃要平直, 并且在一个水平面内。在刀具安装时, 应保证通过工件中心。

②用一把精车刀采用左右切削法精车两侧面时, 车刀刀尖角刃磨要准确, 注意刀具安装不得偏斜, 要用游标万能角度尺进行校正。

③为控制牙型半角误差, 也可将两侧面分别用左侧面精车刀和右侧面精车刀两把精车刀分别精车的方法加工。两把刀的侧刃均可磨出 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 前角。两侧面精车刀安装时, 应分别用游标万能角度尺进行校正, 并保证车刀侧刃通过工件中心。

六、车削矩形螺纹

矩形螺纹是一种非标准螺纹, 传动精度较低。车削时的一般技术要求如下:

1) 矩形螺纹的牙顶宽、牙槽宽和牙型深度 (不包括间隙) 都等于螺距的一半。

2) 加工出的螺纹轴向断面形状 (实际牙型) 并非正方形。

3) 保证螺纹的径向定心精度。

4) 为了内外螺纹配合时的相对运动, 在牙底、牙顶和牙侧都必须有一定的间隙。因此, 一般使内螺纹的外径尺寸比外螺纹的外径尺寸大 $0.1 \sim 0.2 \text{mm}$; 除有特定要求外, 螺纹侧面配合间隙一般为 $(0.005 \sim 0.01)P$ 。

一般说来, 矩形螺纹的车削方法与梯形螺纹的车削方法相同, 即加工螺纹工序应在加工其他型面之前进行。

根据螺纹的螺距大小, 矩形螺纹通常有以下三种加工方法:

1) 车削螺距小于 4mm 的矩形螺纹, 一般不分粗、精车, 用直进切削法以一把车刀切削完成。

2) 车削螺距在 4mm 以上的矩形螺纹, 先用粗车刀以直进切削法粗车, 两侧各留 $0.2 \sim 0.4 \text{mm}$ 余量, 再用精车刀采用直进切削法精车 (见图 2-31a)。

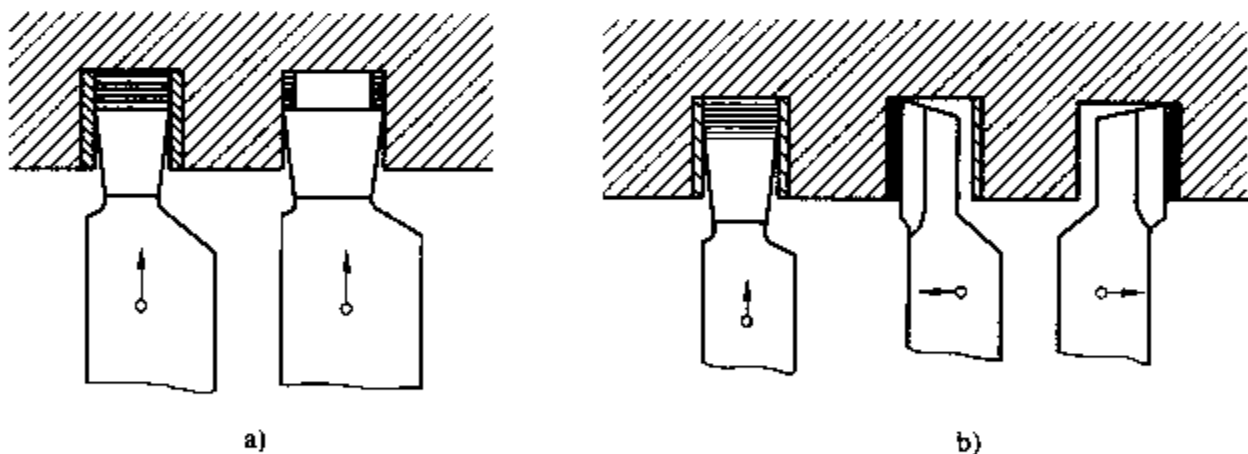


图 2-31 矩形螺纹的车削方法

a) 用两把刀直进切削法车削矩形螺纹 b) 用三把刀左右切削法车削矩形螺纹

3) 车削较大螺距的矩形螺纹时, 粗车一般用直进切削法; 精车用左右切削法 (见图 2-31b)。应当注意, 粗车时, 刀头宽度要比牙槽宽小 $0.5 \sim 1 \text{mm}$, 采用直进切削法把小径车到尺寸, 然后采用两把较大前角的精车刀左右切削螺纹槽的两侧面。还必须注意, 在车削过程中, 要严格控制并测量牙槽宽, 以保证内、外螺纹规定的配合间隙。此外, 也一定要注意径

向定心的精度，矩形螺纹通常采用螺纹的大径来定心。

矩形螺纹工件的材料为碳钢，在车削螺纹时应浇注切削液。切削用量一般可选用： $v = 4.2 \sim 10.2 \text{ m/min}$ ； $a_p = 0.02 \sim 0.2 \text{ mm}$ 。

车削矩形内螺纹的方法，除进刀方向与外螺纹相反外，还应注意内、外螺纹的配合间隙，具体有以下几点：

- 1) 内螺纹车刀的宽度应比外螺纹的牙宽大 $0.03 \sim 0.06 \text{ mm}$ 。
- 2) 钻镗螺纹底孔时，必须根据外螺纹的小径尺寸，再加上适当间隙。
- 3) 车削内螺纹的大径尺寸应比外螺纹的大径尺寸大 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ ，这样可以达到较好的配合要求。

七、车削蜗杆螺纹

车削蜗杆螺纹的方法与梯形螺纹基本相同。但是，由于蜗杆的牙型较深，切削面积大，因此车削时比一般梯形螺纹更困难些。为此，必须注意以下各点：

- 1) 加工时，首先要看清图样，确定好加工方法，并做好车削的准备工作。
- 2) 粗车时，用的车刀与梯形螺纹车刀相似，由于蜗杆导程角较大，车削时使前、后角发生很大变化，因此车刀在切削时很不顺利。为了克服这种现象，可采用图 2-32 所示的可调节螺旋角的刀排进行车削。图中刀头体 2 可相对于刀杆 1 转一个所需的螺旋角。然后用螺钉 3 锁紧。角度的大小可从头部上的刻线读出。这种刀排上开有弹性槽，具有弹性作用，在车削时不易产生扎刀现象。

3) 精车时，蜗杆车刀的选择必须根据这种螺纹的特点而定，一般要求蜗杆车刀左右切削刃间的夹角等于两倍牙型角，并且要求切削刃直线度好，表面粗糙度值低。

4) 由于蜗杆的牙型分轴向直廓和法向直廓两种，因此装夹刀具时必须注意：

①若图样上注明是轴向直廓蜗杆，则装刀时采用水平装刀法，使车刀左右切削刃组成的平面与工件轴线重合，如图 2-15a 所示。

②如果为法向直廓蜗杆，装刀时可采用垂直装刀法，使车刀左右刃组成的平面垂直于齿面，如图 2-15b 所示。

5) 车削方法。因蜗杆的导程角大，一般采用低速切削，车削时应分粗车和精车两个阶段进行。粗车时采用的方法主要有以下三种：

- ①粗车时，为防止三个切削刃同时参加切削而造成的扎刀现象，一般采用左右切削法。
- ②当模数 $m_x > 3 \text{ mm}$ 时，粗车时可先用车槽刀将蜗杆车至根圆直径，即采用车槽法。
- ③当模数 $m_x > 5 \text{ mm}$ 时，粗车可用分层切削法。

蜗杆的精车，可采用带有卷屑槽的精车刀将齿面车削成形。

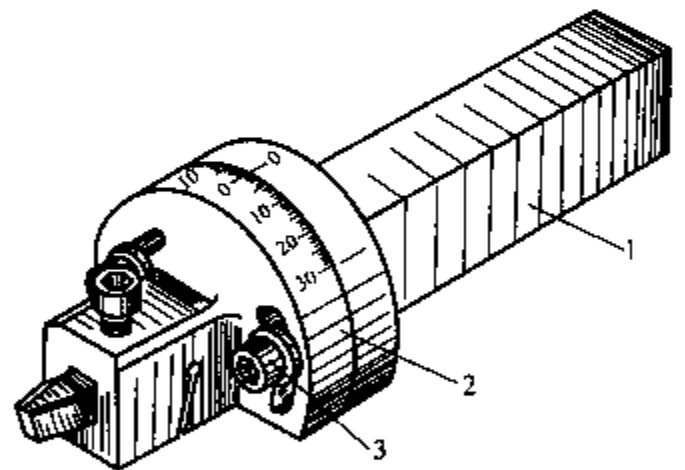


图 2-32 可调节螺旋角的刀排
1—刀杆 2—刀头体 3—螺钉

八、车削多线螺纹

车削多线螺纹时，车床调整必须按导程来变动各个手柄；刃磨车刀时，影响车刀两侧刃后角的螺旋角也必须以导程来计算，而车刀刀头宽度必须以螺距来计算；在判断是否乱扣时，必须根据导程来判断。

由于多线螺纹的螺旋槽数目大于1，所以当车好第一条螺旋槽后，就必须把工件转一个角度，或把车刀移动一个螺距的距离，然后再车削第二条螺旋槽，这就叫做分线。若是双线螺纹就作两次分线，若是三线螺纹就作三次分线，依次类推。

加工多线螺纹与加工其他螺纹相比，不同之处就在于必须解决螺纹分线的方法问题，这也是车削多线螺纹的关键技术。只有分线正确，没有误差，才能使车好的多线螺纹的螺距相等，保证内、外螺纹的配合性能，延长其使用寿命。

1. 多线螺纹的分线方法

螺纹分线的方法有多种，各有其优缺点，选择螺纹分线方法时，应根据各种多线螺纹的加工要求、批量大小和机床设备等条件，进行合理选择。现介绍几种常用的螺纹分线方法：

(1) 小滑板刻度分线法 利用小滑板刻度进行分线，即利用小滑板刻度，按照多线螺纹的螺距要求，掌握车刀移动的距离，以达到正确分线的目的。当车好第一条螺纹槽后，只需将小滑板刻度盘转过一段等于螺纹螺距的刻度值，即可车削相邻的另一个螺纹槽。但必须注意以下几点：

1) 小滑板导轨一定与机床床身导轨平行，否则会造成分线误差，因此车削螺纹前应对小滑板导轨和机床床身导轨的平行度进行校正。

2) 车削步骤一般分粗车、半精车和精车三步进行，采用左右切削法进给。

粗车时，分线可按螺距名义尺寸进行；半精车时，分线一定要正确，两侧面需留出精车余量，为0.2~0.3mm，螺纹小径则要在半精车时完成；精车时，应严格掌握分线，并对螺纹两侧进行光车，按图样要求修整牙型。

3) 螺纹分线时，要注意手柄旋转方向和牙型侧面的车削顺序，否则会造成误差。减小小滑板丝杠螺母间隙的方法是：在每次分线时，小滑板手柄转动的方向要相同，否则会因丝杠与螺母之间的间隙而产生误差。在采用左右切削法时，必须先车牙型的各个左侧面，再车牙型的各个右侧面，这样可以防止或减小误差。

4) 在采用直进法车削小螺距螺纹或矩形螺纹工件时，应注意调整小滑板的间隙，不能太松，以防止切削时走动，影响分线精度。

5) 当小滑板丝杠精度不高时，最好不采用这种方法，或只用于粗车螺纹时分线。

(2) 用百分表确定小滑板移动值的分线方法 这种方法常用于小滑板丝杠精度不高，丝杠部分段落磨损或刻度盘刻度不精确的情况，加工螺距 $P < 10\text{mm}$ 的多线螺纹分线。

分线时，将百分表座固定在跟刀架或床面某位置上，使百分表触头接触在小刀架前进一端的某处，转动小滑板手柄，使小滑板前进，则刀架的前进量反映在百分表上。

(3) 用量块分线法（图2-33）

先在床鞍和小滑板上分别装上固定挡铁1和可动挡铁2。在车第一线时，挡铁1和2触

头之间放入两倍螺距 ($2P$) 的量块。当第一条螺旋槽车好后, 移动小滑板, 换上一块厚度为一倍螺距 (P) 的量块垫在 1 和 2 触头之间, 这时车刀就向左移动了一倍螺距 (P), 然后车削第二条螺旋槽。当第二条螺旋槽车好后, 抽去厚为一倍螺距的量块, 使两触头相碰, 再车削第三条螺旋槽。经过这样粗车和精车几个循环后, 就可以把三线螺纹车好。

假如工件螺纹的线数多于 3 个, 根据同样的道理, 可相应增加螺距 P 的倍数的量块, 用同样的方法加工。

用量块分线法比小滑板刻度分线法精确。但是, 使用这种方法前, 必须把小滑板导轨校准, 使之与工件轴线平行, 否则会造成分线误差。

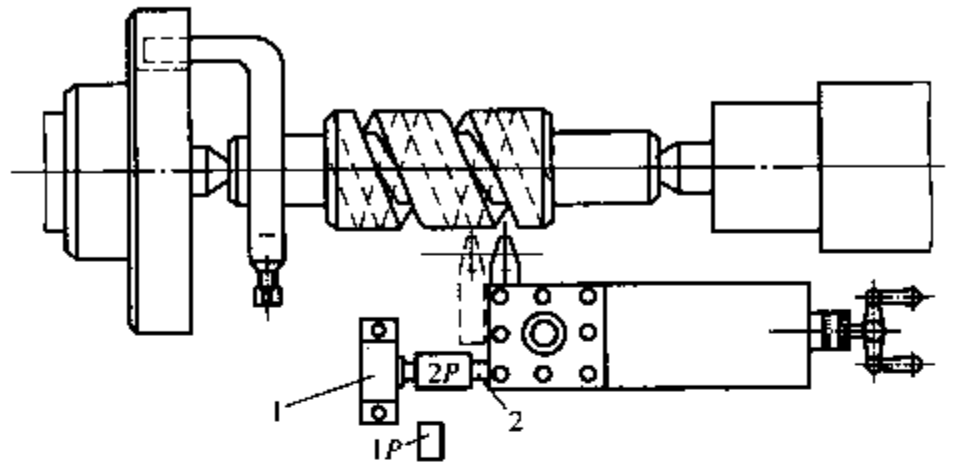


图 2-33 用量块分线法

1—固定挡铁 2—可动挡铁

(4) 利用交换齿轮齿数分线 利用交换齿轮齿数分线, 即车削完第一条螺旋槽后, 再车削第二条螺旋槽时, 交换齿轮架齿轮应转过需要的齿数。

1) 分线原理。在不改变车刀与工件相对位置的情况下, 使车床主轴相对于车刀转动 $\frac{360^\circ}{n}$, 以实现分线的目的。而车床主轴转动的角度, 则反映在交换齿轮架主动齿轮齿数 z_1 线数

或从动齿轮齿数 z_2 上。

转动主动齿轮进行分线, 则有

$$z' = \frac{z_1}{n}$$

式中 z' ——主动齿轮在分线时转动的齿数;

z_1 ——主动齿轮的齿数;

n ——工件螺纹线数。

例 10 车削 $\text{Tr}60 \times 15(P5)$ 的三线螺纹, 其分线方法是

$$i = \frac{P_{\text{工件}}}{P_{\text{丝}}} = \frac{15}{12} = \frac{75}{60}$$

式中 $P_{\text{工件}}$ ——工件螺纹导程;

$P_{\text{丝}}$ ——车床丝杠螺距, 取 $P_{\text{丝}} = 12\text{mm}$ 。

因此

$$z_1 = 75, z_2 = 60$$

计算齿轮应转动的齿数, 则有

$$z' = \frac{z_1}{n} = \frac{75}{3} = 25$$

即在分线时, 将 75 个齿的主动齿轮转动 25 个齿, 便可车削出第二条螺旋槽。

2) 操作方法。当车好第一条螺旋槽停机后, 在 z_1 齿轮上用粉笔做记号 1 (图 2-34a); 数过 25 个齿, 在这个齿轮上做记号 2; 然后将过桥齿轮与 z_1 齿轮脱开, 用手转动主轴 (通

常情况下，主轴到主动交换齿轮的传动比为1) 或转动卡盘，使 z_1 齿轮上的记号2 处转到原来记号1 的位置，并与过桥齿轮（在生产中，工人常常将图 2-34 所示三齿轮传动情况下的中间齿轮 z_3 称为过桥齿轮）啮合；在这种情况下即可车削出第二条螺旋槽（见图 2-34b）。车削第三条螺旋槽时，用同样方法进行，但在分齿时必须同一方向转动。

应当指出，只有交换齿轮 z_1 是工件螺纹线数整数倍时，才能利用交换齿轮齿数分线法。这时候，一般多采用直进法，而不采用左右切削法，其原因是分线次数较多，很麻烦。

(5) 利用三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘分线法 当车削的多线螺纹工件是在两顶尖间安装时，如用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘带动拨盘，就可以利用卡爪对二线、三线、四线螺纹进行分线。分线时，只需把后顶尖松开，把工件连同夹头转动一个角度，由卡盘上另一卡爪拨动，再顶好后顶尖，就可以车削下一条螺旋槽了。这种方法使用很简单，但精度较差。

车削多线螺纹的分线方法除上述几种外，还可以在条件符合的情况下，用乱牙盘进行分线或用开合螺母进行分线。

2. 多线螺纹的车削步骤

车削多线螺纹时，不能把一条螺旋线全部车好后，再车另外的螺旋线，而应按下列车削步骤进行。

1) 粗车第一条螺旋线时，应记住中滑板和小滑板的刻度。

2) 进行分线，粗车第一、二、三……条螺旋线。在车削同一工件的各条螺旋线时，所采用的分线方法应相同。

3) 按上述方法精车各条螺旋线。

3. 车削多线螺纹时容易产生的问题和注意事项

1) 由于多线螺纹的导程大，进给速度快，故车削时应当心碰撞。

2) 由于多线螺纹螺旋开角增大，所以车刀的两侧后角要相应增减。

3) 采用小滑板刻度分线时，应注意的是：检查小滑板行程量能否满足分线要求；小滑板移动方向必须与车床床身导轨平行，否则会造成分线误差；在每次分线时，小滑板手柄转动方向要相同；在采用左右切削法时，必须先车牙型的各个左侧面，再车牙型的各个右侧面（外螺纹）；采用直进法车削小螺距多线螺纹工件时，应注意调整小滑板的间隙，不能太松，以防切削时走动，影响分线精度。

4) 采用百分表分线时，百分表的测量杆应平行于工件的轴线。

5) 采用左右切削法加工多线螺纹时，为了保证螺距精度，必须保证车削每一条螺旋线的车刀轴向移动量（借刀量）相等。

6) 车削多线螺纹时，如果分线不正确，其主要原因是：小滑板移动距离不正确；车刀修磨后，未检查对准原来的轴向位置，或随便进给，使轴向位置移动；工件没夹紧，切削力

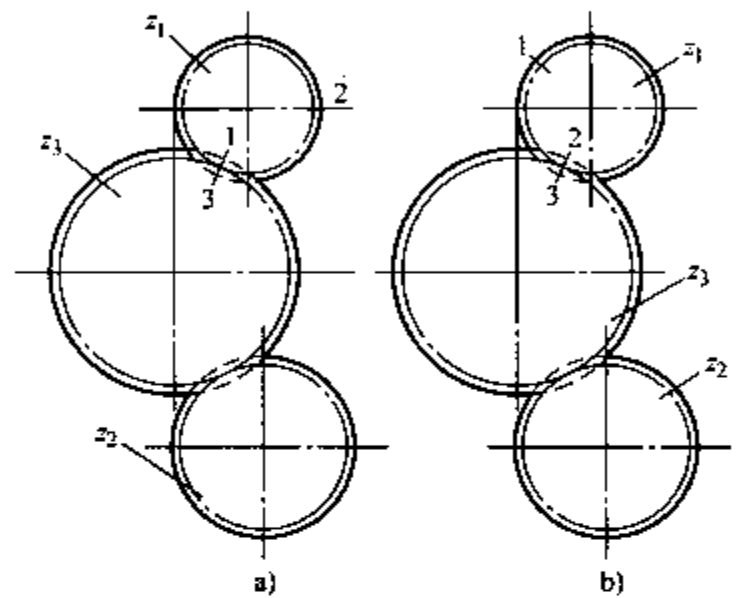


图 2-34 利用交换齿轮齿数分线

a) 做好记号 b) 转过后啮合情况

z_1 —主动交换齿轮 z_2 —从动交换齿轮 z_3 —过桥齿轮

过大而造成工件微量移动等。

九、车削丝杠螺纹

丝杠有淬火和不淬火两种，每类丝杠加工的工艺路线，因精度高低、生产批量的不同而不同，在这里主要介绍不淬火丝杠螺纹的车削方法。

1. 丝杠螺纹的车削方法

丝杠是将旋转运动变成直线运动的传动副零件，所以在精度、强度和耐磨性等方面都有一定的要求。它的螺纹牙型最常用的是梯形，在生产中常采用的车削方法有四种：

1) 当丝杠螺纹的螺距 $P < 8\text{mm}$ 、材料切削性能较好时，可采用图 2-35a 所示的切削形式，即螺纹的荒车和粗车都采用同样的成形车刀径向进给，所用刀具和操作都比较简单，辅助时间短，切削效率高，但切削力较大，排屑困难。

2) 当丝杠螺纹的螺距 $P < 8\text{mm}$ 、材料的强度和硬度较高、切削性能差时，可采用图 2-35b 所示的切削形式，即采用牙型角由大渐小的几把成形车刀，依次进行荒车、粗车和车槽，使参加切削的切削刃长度缩短，减少了切削面积，排屑比较顺畅，切削力也较小。

3) 当丝杠螺纹的螺距 $P > 8\text{mm}$ 时，多采用图 2-35c 所示的切削形式，即使用车刀荒车螺纹槽，使参加切削的切削刃长度最短，切削力小，可以选用较大的径向进给量；采用成形刀粗车螺纹，仅两侧切削刃参加切削，切削力较小，排屑顺畅，因此可提高切削效率。

4) 当丝杠螺纹的螺距 $P > 12\text{mm}$ 、牙槽大而深、材料的硬度又较高时，可以采用图 2-35d 所示的切削形式。荒车和粗车螺纹采用“分层剥离”的方式，即用成形车刀斜向进给，切到一定深度后，改为轴向进给，并用较大的轴向进给量进行强力切削，照此切削至牙深。这种方法，每次进给的背吃刀量较小，而切削厚度较大，切除同样多的金属时，切削力较小，切削效率高。

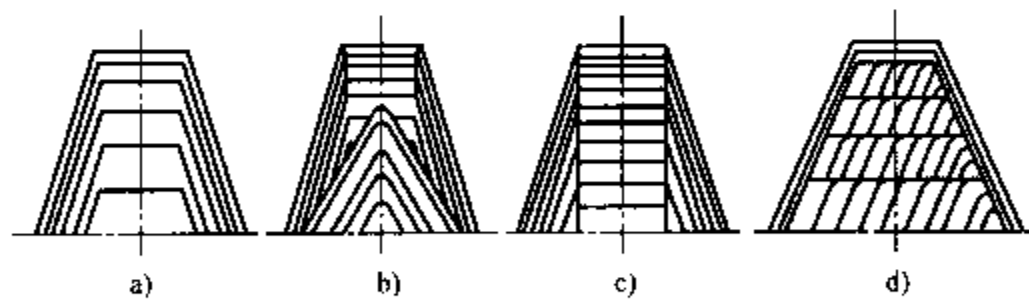


图 2-35 车削梯形螺纹的切削形式

a) $P < 8\text{mm}$ (材料切削性能较好) b) $P < 8\text{mm}$ (材料强度和硬度较高)
c) $P > 8\text{mm}$ d) $P > 12\text{mm}$

2. 切削用量的选择

粗车时，为了尽快地把工件上多余金属切除，可选择较大的切削用量；精车时，为了保证螺纹的精度和表面质量，必须选择较小的切削用量。

车削细长丝杠时，由于工件刚性差，变形大，必须选择较小的切削用量；车削较短的丝杠时，则可选择较大的切削用量。

车削螺距小的丝杠时，工件每转过一转，车刀在工件上相对行程小，可选择较大的切削用量；车削大螺距丝杠时，工件每转过一转，车刀在工件上的相对行程大，必须选择较小的切削用量。

半精加工丝杠螺纹面时，通常小径不留精车加工余量，以减小精加工螺纹面时的径向切削分力。

对于不淬硬的精密丝杠，半精车螺纹时，切削速度 $v = 1.8 \sim 3\text{m/min}$ ，背吃刀量 $a_p = 0.05\text{mm}$ ；精车螺纹时， $v = 0.9 \sim 1.2\text{m/min}$ ， $a_p < 0.04\text{mm}$ 。

第三章 特殊孔的切削加工

不同尺寸、精度的孔在机械零件中应用极广。加工孔比加工外圆表面的加工条件差，其加工特点如下：

1) 因为加工表面处在已加工表面包围之中，刀具的直径及刀轴的直径和长度受到孔本身尺寸限制，所以刀具的刚性差。如细长孔的刀具直径很小，刀轴又细又长。

2) 加工孔排屑困难，且容易划伤表面；切屑堵塞时，易卡死刀具，甚至使刀具折断。

3) 刀具处于被加工孔的包围之中，散热条件差。大量高温切屑不能及时排出，切屑、刀具和工件之间的摩擦很大，并且切削液不易引入切削区。

因此，加工孔与加工同等精度和表面粗糙度要求的外圆相比，加工孔比加工外圆困难得多。

孔加工的重要方法是钻孔，用麻花钻钻孔时的常见问题及解决办法见表 3-1。

表 3-1 麻花钻钻孔中常见问题产生原因和解决方法

问题内容	产生原因	解决方法
孔径增大，误差大	1) 钻头左、右切削刃不对称，摆差大 2) 钻头横刃太长 3) 钻头刃口崩刃 4) 钻头刃带上有积屑瘤 5) 钻头弯曲 6) 进给量太大 7) 钻床主轴摆差大或松动	1) 刃磨时保证钻头左、右切削刃对称，将摆差控制在允许范围内 2) 修磨横刃，减小横刃长度 3) 及时发现崩刃情况，并更换钻头 4) 将刃带上的积屑瘤用磨石修整到合格 5) 校直或更换 6) 降低进给量 7) 及时调整和维修钻床
孔径小	1) 钻头刃带已严重磨损 2) 钻出的孔不圆	1) 更换合格钻头 2) 见第三项的解决办法
钻孔时产生振动或孔不圆	1) 钻头后角太大 2) 无导向套或导向套与钻头配合间隙过大 3) 钻头左、右切削刃不对称，摆差大 4) 主轴轴承松动 5) 工件装夹不牢 6) 工件表面不平整，有气孔、砂眼 7) 工件内部有缺口、交叉孔	1) 减小钻头后角 2) 钻杆伸出过长时必须要有导向套，采用合适间隙的导向套或先打中心孔再钻孔 3) 刃磨时保证钻头左、右切削刃对称，将摆差控制在允许范围内 4) 调整或更换轴承 5) 改进夹具与定位装置 6) 更换合格毛坯 7) 改变工序顺序或改变工件结构
孔位超差、孔歪斜	1) 钻头的钻尖已磨钝 2) 钻头左、右切削刃不对称，摆差大 3) 钻头横刃太长	1) 重磨钻头 2) 刃磨时保证钻头左、右切削刃对称，将摆差控制在允许范围内 3) 修磨横刃，减小横刃长度

(续)

问题内容	产生原因	解决方法
孔位超差, 孔歪斜	4) 钻头与导向套配合间隙过大 5) 主轴与导向套轴线不同轴, 主轴与工作台面不垂直 6) 钻头在切削时振动 7) 工件表面不平整, 有气孔、砂眼 8) 工件内部有缺口、交叉孔 9) 导向套底端面与工件表面间的距离远, 导向套长度短 10) 工件装夹不牢 11) 工件表面倾斜 12) 进给量不均匀	4) 采用合适间隙的导向套 5) 校正机床夹具位置, 检查钻床主轴的垂直度 6) 先打中心孔再钻孔, 采用导向套或改为工件回转的方式 7) 更换合格毛坯 8) 改变工序顺序或改变工件结构 9) 加长导向套长度 10) 改进夹具与定位装置 11) 正确定位安装 12) 使进给量均匀
钻头折断	1) 切削用量选择不当 2) 钻头崩刃 3) 钻头横刃太长 4) 钻头已钝, 刃带严重磨损呈正锥形 5) 导向套底端面与工件表面间的距离太近, 排屑困难 6) 切削液供应不足 7) 切屑堵塞钻头的螺旋槽, 或切屑卷在钻头上, 使切削液不能进入孔内 8) 导向套磨损成倒锥形, 退刀时, 钻屑夹在钻头与导向套之间 9) 快速行程終了位置距工件太近, 快速行程转换工件进给时误差大 10) 孔钻通时, 由于进给阻力迅速下降而进给量突然增加 11) 工件或夹具刚性不足, 钻通时弹性恢复, 使进给量突然增加 12) 进给丝杠磨损, 动力头重锤重量不足。动力液压缸反压力不足, 当孔钻通时, 动力头自动下落, 使进给量增大 13) 钻铸件时遇到缩孔 14) 锥柄扇尾折断	1) 减小进给量和切削速度 2) 及时发现崩刃情况, 当加工较硬的钢件时, 后角要适当减小 3) 修磨横刃, 减小横刃长度 4) 及时更换钻头, 刃磨时将磨损部分全部磨掉 5) 加大导向套与工件间的距离 6) 切削液喷嘴对准加工孔口, 加大切削液流量 7) 减小切削速度、进给量; 采用断屑措施; 或采用分级进给方式, 使钻头退出数次增加 8) 及时更换导向套 9) 增加工作行程距离 10) 修磨钻头顶角, 尽可能降低钻孔轴向力; 孔将要钻通时, 改为手动进给, 并控制进给量 11) 减少机床、工件、夹具的弹性变形; 改进夹紧定位, 增加工件、夹具刚性; 增加二次进给 12) 及时维修机床, 增加动力头重锤重量; 增加二次进给 13) 对估计有缩孔的铸件要减少进给量 14) 更换钻头, 并注意擦净锥柄油污
钻头寿命低	1) 同“钻头折断”一项中 1)、3)、4)、5)、6)、7) 2) 钻头切削部分几何形状与所加工的材料不适应	1) 同“钻头折断”一项中 1)、3)、4)、5)、6)、7) 2) 加工铜件时, 钻头应选用较小后角, 避免钻头自动钻入工件, 使进给量突然增加; 加工低碳钢时, 可适当增大后角, 以增加钻头寿命; 加工较硬的钢材时, 可采用双重钻头顶角, 开分屑槽或修磨横刃等, 以增加钻头寿命

(续)

问题内容	产生原因	解决方法
钻头寿命低	3) 其他	3) 改用新型适用的高速钢 (铝高速钢、钴高速钢) 钻头或采用涂层刀具; 消除加工件的夹砂、硬点等不正常情况
孔壁表面粗糙	1) 钻头不锋利 2) 后角太大 3) 进给量太大 4) 切削液供给不足, 切削液性能差 5) 切屑堵塞钻头的螺旋槽 6) 夹具刚性不够 7) 工件材料硬度过低	1) 将钻头磨锋利 2) 采用适当后角 3) 减小进给量 4) 加大切削液流量, 选择性能好的切削液 5) 见“钻头折断”一项中7) 6) 改进夹具 7) 增加热处理工序, 适当提高工件硬度

本章所要介绍的特殊孔切削加工, 是指在位置上、尺寸上、精度上、材质上等方面有一些特殊情况的孔切削加工, 相比一般孔的切削加工更为困难。因此, 为了适应各种条件下的要求, 所采用的技术措施也要相应改变, 不能完全按常规的办法切削加工。

一、精孔钻削

当孔的精度和表面粗糙度要求不高时, 可用麻花钻钻孔。当公差等级要求为 IT7 ~ IT8 级的精确孔时, 除了用铰孔精加工外, 还可将麻花钻刃磨成精确扩孔钻 (简称精孔钻), 对经过粗加工并留有一定余量的孔进行精加工, 达到尺寸精度等级, 孔的表面粗糙度达到 $R_a 1.6 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。这种用精孔钻钻削精孔的方法, 操作简单, 容易掌握, 对于在缺乏铰刀的情况下进行单件小批生产, 无疑是一种比较方便实用的好方法。

精孔钻削时, 影响孔壁表面粗糙度的主要因素是摩擦和振动。因此, 精孔钻刃磨时须注意以下事项:

1) 为了减小摩擦, 刃磨时可适当增加大前角、后角和修磨棱边 (刃带), 以保证刃口锋利, 使切削轻快省力。

2) 为了防止振动, 刃磨要特别注意两切削刃的对称性, 在切削刃外缘磨出适当的正刃倾角, 使切屑向待加工表面方向排出。

3) 为了增加刃口强度, 保持刃口锋利, 需修磨出双重锋角。

用普通麻花钻修磨的精孔钻如图 3-1 所示。

1. 精孔钻的几何参数

1) 后角 $\alpha_o = 15^\circ \sim 17^\circ$ 。

2) 前角 $\gamma_o = 15^\circ \sim 20^\circ$ 。

3) 双重锋角 $2\psi = 110^\circ \sim 115^\circ$, $2\psi_i = 60^\circ \sim 65^\circ$ 。

4) 修磨棱边 $L_r \geq 1.5f$, 一般为 $0.2 \sim 2\text{mm}$, $b_r = \frac{b}{3}$

(式中: f 为进给量, b 为钻头棱边宽)。

5) $l_o = (1 \sim 1.5)a_p$, 一般 $l_o = 0.2 \sim 0.6\text{mm}$ 。

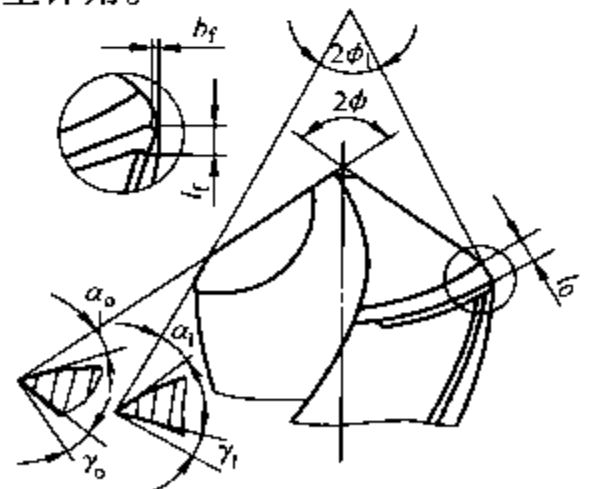


图 3-1 精孔钻

2. 切削用量

- 1) 切削速度 $v = 2 \sim 10 \text{m/min}$ 。
- 2) 进给量 $f = 0.08 \sim 0.2 \text{mm/r}$ 。
- 3) 背吃刀量 $a_p = 0.1 \sim 0.5 \text{mm}$ 。

3. 注意事项

- 1) 钻削时，要加注充足的切削液，切削液可采用乳化液，以保证充分的冷却和润滑。
- 2) 修磨外刃第二锋角 $2\psi_1$ 时，应尽量使两 l_0 对称。
- 3) 刃带和前刀面要进行研磨，表面粗糙度须达 $R_a 0.4 \mu\text{m}$ 。

4. 加工效果

- 1) 尺寸精度为 IT7。
- 2) 表面粗糙度可达 $R_a 1.6 \sim 0.4 \mu\text{m}$ 。

二、小孔钻削

小孔是指孔径在 3mm 以下的孔。由于钻头直径小，钻孔时容易出现以下问题：

- 1) 钻头直径小，强度不够；麻花钻头的螺旋槽又比较窄，不易排屑，所以钻头易折断。
- 2) 钻小孔的转速高，产生的切削温度很高，钻头又不易散热，加剧了钻头的磨损。
- 3) 在钻孔过程中，一般多采用手动进给，进给力不容易掌握均匀，稍不注意就会损坏钻头。
- 4) 钻头的刚性差，容易弯曲，致使钻头倾斜。当钻头直径小于 1mm，而加工表面又比较粗糙时，钻心碰到凸出的高点或过硬的质点时，钻头就会滑离原位，也容易折断钻头。
- 5) 一般钻床的精度不高，转速很高时，容易产生振动，对钻孔不利。

针对上述问题，钻小孔时的注意事项如下：

- 1) 选用精度较高的钻床，采用相应的小型钻头夹并改善装夹钻头的方法。
- 2) 使用很小的麻花钻时，其钻心直径则更小，极易折断。为了改善这种情况，可自制小扁钻头。由于小扁钻头是圆柱形的，又没有螺旋槽，因此比相同直径的麻花钻强度大，不易折断。
- 3) 开始钻进时，进给力不可太大，防止钻头弯曲和滑移，以保证钻孔的正确位置。
- 4) 进给时要注意手劲和感觉，当钻头弹跳时，要使它有一个缓冲范围，以防钻头折断。
- 5) 在钻削过程中，应不时提起钻头进行排屑，并借此机会输入切削液，或使钻头在空气中冷却。
- 6) 通常情况下，当钻头直径为 2~3mm 时，其转速应在 1500~2000r/min 范围内选取；当钻头直径为 1mm 以下时，其转速应在 2000~3000r/min 范围内选取。

三、深孔切削加工

一般把孔的深度和孔径之比大于 5 的孔称为深孔。深孔切削过程中，因为刀具在工件内

部切削，其切削情况、刀具和切屑情况均无法观察到；又因为刀具细长，刚性差，冷却困难，排屑不畅快。所以，深孔切削加工是一种难度较大的加工技术。深孔加工的关键技术是刀具的几何角度和冷却排屑问题。

1. 钻削深孔

钻削深孔的操作要点如下：

- 1) 尽可能使用新钻头，接长柄的长度能满足孔深即可。
- 2) 钻头的前刀面或后刀面要磨出分屑槽与卷屑槽，以利于排屑。在钻削中要时时注意排屑是否正常，若发现异常现象，应及时退刀排屑，停机检查原因。
- 3) 借排屑之际，及时向孔内注入充足的切削液，以减少钻头与切屑的粘结并降低切削温度。
- 4) 在钻削过程中，当钻到一定深度后便及提起钻头排屑，也就是在钻削过程钻一钻、退一退，并且退钻速度要快，这样有利于排屑。当钻削达到一定深度时，排屑次数应增加，而每次进给深度要相应地减少。
- 5) 在钻削过程中，尽量避免停机。如果必须停机，则应先停止进给，将刀具退出，再停机，防止刀具在孔内卡死。

2. 车削深孔

深孔应在深孔专用设备（深孔钻床）上加工。一般工厂若无深孔专用设备，也可用卧式车床进行加工。在卧式车床上加工深孔时，工件采用“一夹一支”的装夹方法，即工件的一端由四爪单动卡盘（或三爪自定心卡盘）夹紧，另一端用中心架支承；深孔加工刀具装夹在专用刀架上（专用刀架安装于车床的滑板上）。车削时，工件由车床主轴带动旋转，刀具由滑板带动进给，完成深孔加工。

例如，用两台车床尾接加工深孔。若深孔加工工件的长度超过了车床的加工范围，则刀具就无法在滑板的带动下作进给运动，使深孔加工无法进行，这时可用两台车床的尾部对尾部接起来的方法解决这一难题，如图 3-2 所示。

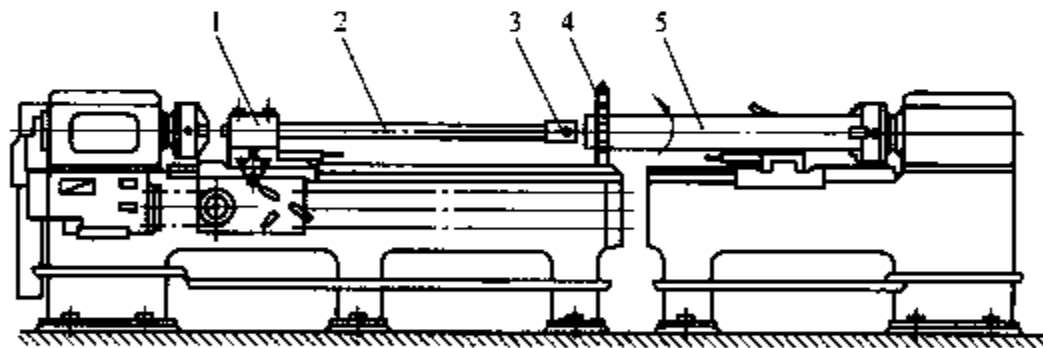


图 3-2 用两台车床尾接加工深孔

1—改制刀架 2—刀杆 3—浮动车刀 4—中心架 5—工件

由图 3-2 可知，将一台大车床和一台小车床的床尾对床尾接起来，工件采用“一夹一支”的装夹方法，即工件的一端由小车床上的卡盘夹紧，另一端支承在大车床尾部的中心架上。工件由小车床的主轴带动旋转，由大车床床鞍带动作进给运动。这样，车孔需要的主运动和进给运动分别由大小两台车床提供，从而解决了一台车床无法加工的难题。

采用这种方法加工深孔时，关键问题是两台车床对接时，应保证两车床主轴轴线的相互

重合，否则会影响深孔车削后的尺寸精度、形状精度和相互位置精度。为保证两台车床的对接精度，在调整时，可固定一台，调整另一台。具体调整办法是：用被加工工件作测量棒，将其装夹在小车床主轴前端的卡盘上，装好并找正；将刀杆装夹在改制刀架上，并于刀杆前端装块百分表；用百分表在工件上测量，来调整小车床，校正两车床的位置精度；校正好后，再将小车固定。这之后便可进行车孔加工。

四、缺料孔钻削

所谓缺料孔，是指孔的边不完整，缺料，习惯上称为半圆孔。钻削加工时，钻头两外刃因工件缺料造成切削力不平衡，而迫使钻头偏向缺料的一边，造成弯曲，破坏了孔的精度，并且使钻头侧刃磨损，降低钻头的使用寿命。如果孔的上部为整圆，下部为半圆，则这种情况下，往往会把上部整圆孔刮成椭圆形。解决上述缺料孔钻削时出现的问题，可采用以下方法：

- 1) 当钻削如图 3-3 所示空间交错孔时，一般应先钻小孔，然后再钻大孔。这是因为钻大孔所需钻头的直径大，其刚性较好。
- 2) 倘若两孔的交错量较大，可考虑在已加工孔中嵌入相同材料的工艺销，使缺料孔不再缺料，即可顺利完成该交错孔的加工。
- 3) 缺料孔也可采用如图 3-4 所示的半孔钻钻削，其效果良好。

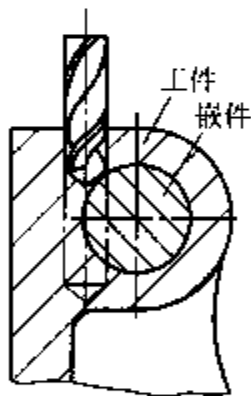


图 3-3 钻削空间交错孔

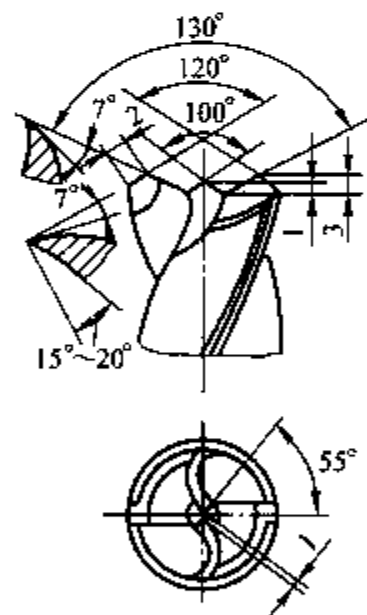


图 3-4 半孔钻

这种钻头是将标准麻花钻的钻心磨成凸凹形，以凹为主，突出两个外刃尖，使钻孔时切削表面形成凸筋，限制了钻头的偏移，因而可进行单边钻削。钻孔时宜用低速手动进给。

五、在圆柱面上钻孔

在轴类或套类等圆柱形工件的圆柱面上钻孔，有两种情况：一是钻削孔的中心线与工件

轴线相垂直，并通过工件中心的孔；二是钻削孔的中心线与工件相垂直，但不通过工件中心的孔。对这两种不同情况的孔钻削，其方法如下：

1) 第一种情况。因为是圆柱形工件，一般用V形块装夹比较方便。当钻孔中心与工件中心线的对称精度要求较高时，可做一个定心工具（见图3-5a）。钻孔前，先将定心工具1夹持在钻夹头内，用百分表找正其圆锥部分与钻床主轴间的同轴度，使振摆在 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 之内。然后下降钻削主轴，使定心工具1的圆锥部分与V形块贴合，再用压板固定V形块位置。将工件置于V形块上，用直角尺或其他工具找正工件钻孔位置（见图3-5b）。装上钻头，并让钻尖对准钻孔中心，再把工件压紧。接着，试钻一浅坑，观察中心位置是否准确。如有偏差，是由于钻头横刃过长、钻尖不锋利引起的，应重新修磨缩短横刃，并且要减小顶角，而后试钻校正。经过仔细地操作，钻孔中心与工件中心线的对称度误差可控制在 0.1mm 以内。

当钻孔中心与工件中心线的对称度精度要求不高时，可不用定心工具。利用钻头的顶尖来找正V形块的中心位置，然后再用角尺找正工件端面的中心线，并使钻尖对准钻孔中心，进行试钻和钻孔。

2) 第二种情况（见图3-6）。在工件欲钻孔的圆柱面上方，安装一个圆弧面钻套。钻孔时，以圆弧面钻套拢住钻头，可保证顺利钻削。

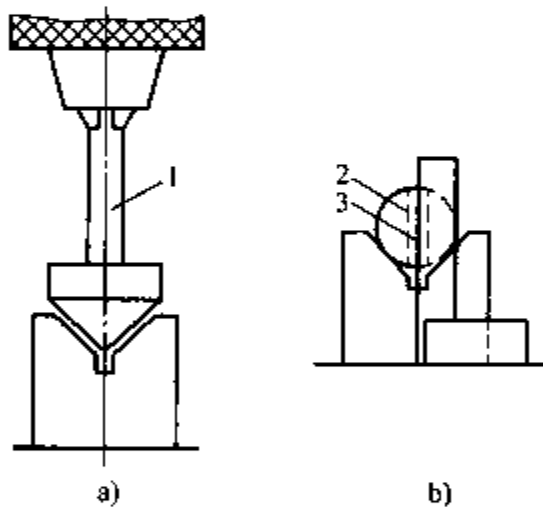


图3-5 在圆柱形工件的圆柱面上钻孔
a) 用定心工具找V形块的位置 b) 用直角尺或其他工具找正工件钻孔位置
1—定心工具 2—要钻的孔 3—孔中心线

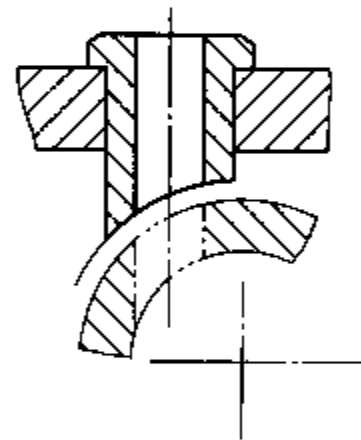


图3-6 采用圆弧面钻套钻孔

六、钻削骑缝孔和中心距较小的孔

1. 钻削骑缝孔

钻削如图3-7所示的骑缝孔时，其操作要点是：

- 1) 钻头伸出钻夹头的长度应尽量短，并且横刃也应磨得较短。
- 2) 当组成孔的两种材料不同时，样冲眼应大部分打在硬材料上，并在钻孔时使钻头略往硬材料一边偏。

2. 钻削中心距较小的孔

钻削如图 3-8 所示中心距较小的孔时，其操作要点是：采用削边钻套进行钻孔，但是应保证钻套的削边厚度 b 不小于 $1 \sim 2\text{mm}$ 。

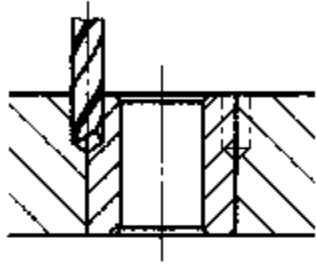


图 3-7 钻骑缝孔

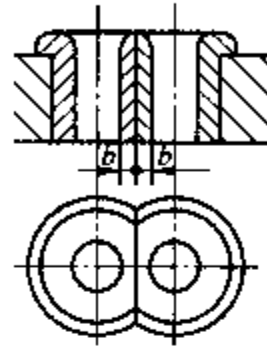


图 3-8 钻削中心距较小的孔

七、钻削二联孔

常见二联孔有三种情况，如图 3-9 所示。钻这些孔时，由于孔比较深或两个孔的距离比较大，因此钻头要伸出很长，在轴向压力作用下，容易产生弯曲；当钻床主轴和钻头本身摆动比较大时，钻头不易定心或者偏离欲钻孔中心，使钻出的孔中心倾斜，同轴度达不到要求。

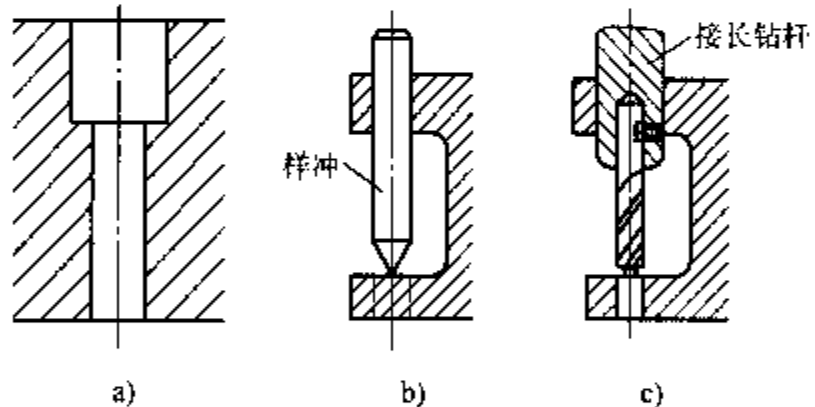


图 3-9 钻削二联孔

钻削二联孔的操作要点如下：

(1) 钻削图 3-9a 所示二联孔 钻削时不能用大钻头直接钻出上面的大孔，而应先用较短的钻头钻小孔，钻至大孔深度，再改用加长的小钻头将小孔钻完，然后钻大孔，镗大孔底平面。这样，当钻头在钻下面的小孔时，因有上面已加工小孔作引导，就不容易发生偏斜；钻大孔时，有小孔作引导，有利于保证二孔的同轴度。

(2) 钻削图 3-9b 所示二联孔 当钻完上面的孔后，不能直接钻下面的孔。否则，由于钻头伸出较长，振摆大，不易定准中心，当钻头的横刃碰到工件材料上的高点或较硬的质点时，很容易偏离欲钻中心。通常可用一个外径与上面的孔配合较好的大样冲，插入上面的孔中，在下面欲钻孔中心打一个样冲眼，然后再引进钻头，对正样冲眼开慢车，镗出一个浅窝后，以高速钻孔。

(3) 钻削图 3-9c 所示二联孔 先钻出大孔，然后用一根外径与大孔为动配合的接长杆，装上中心钻头，先钻一个定位孔后，再换上与小孔直径相同的钻头，钻下面的小孔。

八、在斜面上钻孔

由于钻头起钻（所谓“起钻”即指钻心开始接触工件切削至两外刃全部进入切削工作的过程）时与钻孔表面不垂直，给钻孔工作带来一定的困难。斜面上钻孔存在的问题如下：

1) 在斜面上起钻，由于钻头左右两外刃上的切削力不一致，会把钻头逼向斜面的下坡方向，从而造成钻头的偏斜、弯曲，严重时还可能造成崩刃或使钻头折断。

2) 钻小直径孔时，因钻头刚性较差，致使孔的上半部因钻头弯曲而钻弯，进而导致整个孔形成一个轴线弯曲的孔。

3) 钻心定心不牢，会造成较大的孔距误差。

4) 孔口往往被刮烂，破坏了孔口质量。

5) 起钻平面斜度较大时，会造成钻头单刃切削，使切削不连续，引起振动，钻心悬空而钻不进工件，形成所谓的铣削状态。

解决上述问题的办法和钻孔操作要点如下：

1) 若用手电钻钻孔，可先在孔中心稍偏上坡处铤一浅窝，然后把钻头相对斜面稍垂直些钻削，把浅窝划成一个过渡孔，同时把钻头逐渐摆回到正确位置。整个起钻过程结束时，要求钻头应恢复到正确位置。为了观察和控制孔位的正确性，斜孔端面上应保留完整的孔位十字线、稍大于孔径的圆周线及样冲点。

2) 先用样冲打一个较大的中心眼或用中心钻钻出中心孔，或用铣刀铣出一个小平台，再用钻头钻孔（见图 3-10a），并注意起钻时的进给量要小。

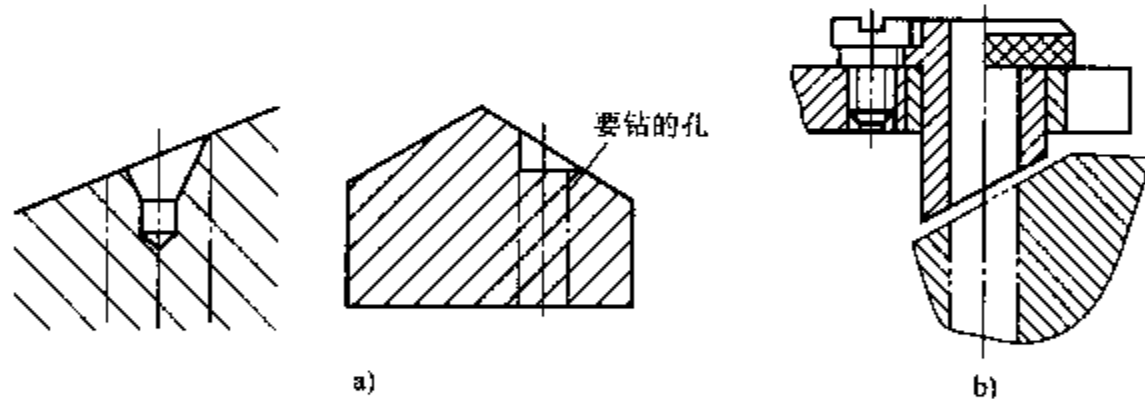


图 3-10 在斜面上钻孔

3) 先使斜面处于水平位置装夹工件，用钻头钻出一个浅窝；再使斜面倾斜一些装夹，将浅窝钻大，经几次倾斜逐渐扩大浅窝，然后放正工件正式钻孔。

4) 用斜面钻套进行钻孔，如图 3-10b 所示。

5) 用圆弧刃多能钻头（见图 3-11）在斜面上直接钻孔。这种钻头相当于立铣刀，用普通麻花钻头手工磨成，其圆弧刃各处有相同的后角（一般取 $6^\circ \sim 10^\circ$ ），横刃经过修磨。所选用的钻头应较短，以增强它的刚度。用这种

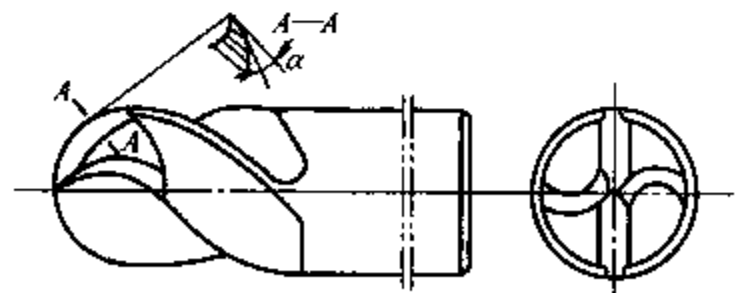


图 3-11 圆弧刃多能钻在斜面上直接钻孔

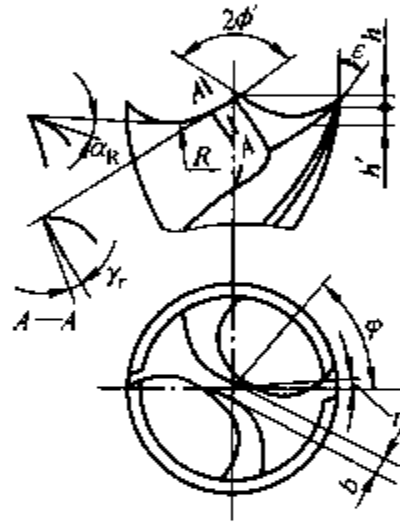
圆弧刃多能钻头在斜面上钻孔时，虽然仍是单面受力，但由于刀刃呈圆弧形，钻头所受的径向分力较小，从而改善了偏切削的受力情况，所以能保证钻孔的正确方向。钻孔时应采用低速和手动进给。

九、在薄板上钻孔

用普通麻花钻在薄板上钻孔时，当钻心钻透工件后，由于立即失去定心作用，因此这种情况下若左右外刃不对称，极容易将孔拉伤，并使孔出现棱圆。另外钻心穿透薄板而外刃尚未完全切透时，钻心切削抗力突然消失、会造成拔钻现象，严重时拉起工件，造成事故。所以薄板钻头的主要矛盾是解决钻头穿透后的继续定心问题。

为了克服上述问题，应用薄板钻头在薄板上钻孔。这种钻头的特点是：钻心锋利，横刃短，外刃磨尖。具体结构和参数见表 3-2。

表 3-2 薄板钻头切削部分的形状和几何参数



钻头直径 d	横刃长 b	尖高 h	圆弧半径 R	圆弧深度 h'	内刃顶角 $2\phi'$	刃尖角 δ	内刃前角 γ_r	圆弧后角 α_R
/mm				/ (°)				
5~7	0.15	0.5	用单圆弧连接	$> (t+1)$	110	40	-10	15
7~10	0.2							
10~15	0.3							
15~20	0.4	1	用双圆弧连接					12
20~25	0.48							
25~30	0.55							
30~35	0.65							
35~40	0.75	1.5						

注：1. t 是指材料厚。

2. 参数按直径范围的中间值来定，允许偏差为 \pm 。

薄板钻头又称三尖钻。它是将麻花钻两主切削刃磨成凹形圆弧切削刃，钻头高度磨低，切削刃外缘磨成锋利的两个刀尖，与钻心刀尖的高度相差 0.5~1.5mm，形成三尖。因此当钻头钻穿时，两切削刃已在工件上切出圆环槽，稳定了钻头，加强了定心作用，轴向力不会突然减小。在两锋利的外刃刀尖的转动切削下，把薄板孔中间的圆片切离，具有内定中心外

切圆、孔圆光洁又安全的良好效果。

十、在橡胶材料上钻孔

橡胶材料的特点是强度很低，切削力很小；钻孔时弹性变形大，而且变形反应快；钻孔后收缩量大，容易形成锥形，严重时孔壁发生撕裂，甚至钻孔后不成孔形。

针对上述问题，采取“快刀斩乱麻”的措施。即将麻花钻修磨成橡胶群钻（快刀），钻孔时采用高速、动作快的办法，在橡胶材料上钻孔。

橡胶群钻的几何形状和参数如图 3-12 所示。橡胶群钻也是三尖型，钻尖横刃修磨得窄而尖，钻削时起定心作用，外缘刃口修磨得锋而锐，钻削时对橡胶材料起割和拉的作用。因此，用橡胶群钻钻孔的特点是内定中心，外缘割拉。正因为是这样的切削过程，才能在橡胶材料上钻削出符合要求的圆孔。

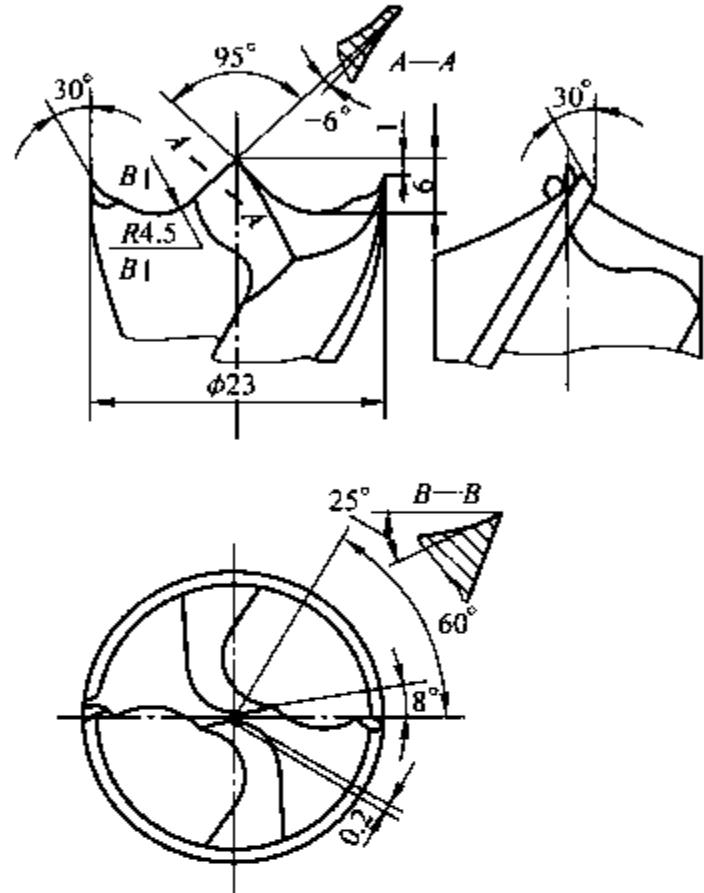


图 3-12 橡胶群钻

十一、在有机玻璃上钻孔

因为有机玻璃耐热性差，一般在 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 便开始软化，同时有机玻璃的弹性大，热导率小，热膨胀系数大，所以钻孔时容易出现裂纹和烧伤。

为解决在有机玻璃上钻孔时易出现的质量问题，对在有机玻璃上钻孔用的钻头进行修磨，必须把横刃修磨得尽量小，修磨前面加大外刃纵向前角，刃尖处修圆弧，背光刃口和刃带。钻头的结构如图 3-13 所示，其几何参数见表 3-3。

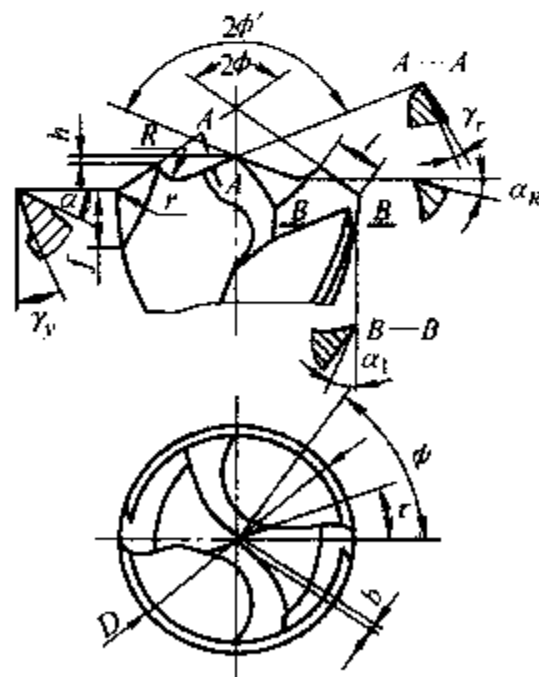


图 3-13 有机玻璃钻头

表 3-3 有机玻璃钻头几何参数

钻头直径 D	尖高 h	圆弧 半径 R	横刃 长 b	外刃 长 l	修圆 半径 r	修磨 长度 f	外刃 锋角 2ϕ	内刃 锋角 $2\phi'$	横刃 斜角 ψ	外刃 纵向 前角 γ_y	内刃 前角 γ_r	内刃 斜角 τ	外刃 后角 α	圆刃 后角 α_R	副后 角 α_1
/mm															
5~7	0.2	0.75	0.15	1.3	0.75										
7~10	0.3	1.0	0.2	1.9	1	2						20°	27°	20°	27°
10~15	0.4	1.5	0.3	2.6	1.5										
15~20	0.55	2	0.4	3.8	2	3	110°	135°	65°	40°	-5°				
20~25	0.7	2.5	0.48	4.9	2.5										
25~30	0.85	3	0.55	6	3										
30~35	1	3.5	0.65	7.1	3.5	4						25°	25°	18°	25°
35~40	1.15	4	0.75	8.2	4										

注：1. 参数按直径范围的中间值来定，允许有正负偏差。

2. γ_y 是指外缘点处纵向修磨前角，便于观察控制。

十二、钻削孔距有精度要求的孔

1. 用游标卡尺控制孔距钻削平行孔

当工件上有两个或多个平行孔时，必须保证平行孔孔距的尺寸精度，否则将影响零件的装配质量。用游标卡尺控制孔距钻削平行孔的方法，如图 3-14 所示。

已知要钻削两孔的孔径分别为 d_1 和 d_2 ，中心距为 L 。首先按划线钻出其中一孔，如直径为 d_1 的孔。如果孔的精度要求较高，还可用铰刀铰孔，以提高精度。然后用一销子 1 与工件 2 的孔紧配。再用销子 3，其直径为 d_3 ，并将此销装夹在钻头夹 4 中。用游标卡尺控制距离 L_1 ， $L_1 = L + \frac{1}{2}(d_1 + d_3)$ ，于是得

$$L = L_1 - \frac{1}{2}(d_1 + d_3)$$

使孔心距 L 尺寸得到保证。

将孔心距校正好后，把工件压紧，在钻头夹 4 中装上直径为 d_2 的钻头，便可钻削第二个孔。

再有其他孔，也可用同样的方法钻削。钻孔中心距精度可保证在 $\pm 0.1\text{mm}$ 之内。

2. 利用孔距定位装置钻削孔

在单件加工、小批生产、机器修理和技术改革中，经常会碰到像法兰盘、轴承盖、轴承套等回转体零件。此类零件在平面上绕着回转中心均匀或不均匀地分布着一些孔，如固定螺栓或螺钉用孔、油孔、气孔等。这些孔的尺寸不大，精度和表面粗糙度一般要求也不高，通常是在普通钻床上加工。可是，在钻孔时不可能用试切法把刀具调整到规定位置。为了保证孔的位置精度，如果采用钻模加工，则每加工一种零件就需要设计制造

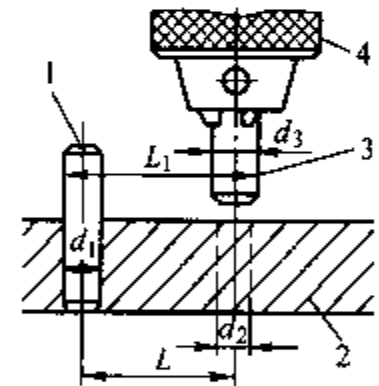


图 3-14 游标卡尺控制孔距钻削平行孔

1、3—销子 2—工件 4—钻夹头

一套专用钻模，这样做经济上往往不合算；如果采用划线加工，手工划线不但很麻烦，而且精度和效率都比较低。为了解决上述问题，可在台式钻床上加装孔距定位装置，进行划线或钻孔，效果较好。

(1) 孔距定位装置的工作原理 由于台式钻床主轴位置在加工时一般是固定不动的，所以加工图 3-15 所示零件上的四个孔时，应该先移动工件，使钻头对准其中一个孔的位置，然后进行钻孔。用同样的方法再依次钻削其余三个孔。从这种加工过程可以看出，要保证各孔的位置能够准确地移动到钻头下，需要解决两个基本问题：一是使工件回转中心偏移台钻主轴中心一定距离，即确定各孔所在同心圆的半径 R ；二是使工件回转一定的角度，即确定各相邻孔间的夹角。

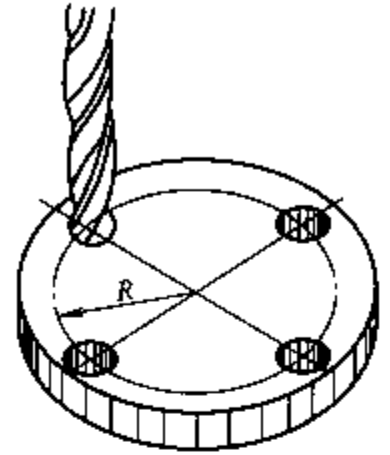


图 3-15 工件

孔距定位装置就是根据上述原理设计与制造的，把它安装在台钻的工作台上，其外观情况见图 3-16。安装时要注意：三爪自定心卡盘中心必须对准台钻主轴的中心，以保证确定相邻孔夹角和所在同心圆半径 R 的准确性；游标卡尺的两脚必须合并，即尺身和游标的零位对齐，以保证孔所在同心圆半径 R 的精度。

(2) 孔距定位装置的结构 孔距定位装置的结构如图 3-17 所示。底座 1 由四个螺钉固定在台钻的工作台上，它的上表面是燕尾形导轨。支架 2 用螺钉固定在滑座 5 上，支架 2 上面固定着游标卡尺 3 的游标，游标卡尺 3 的尺身固定在底座 1 上。滑座 5 以其底面的燕尾槽与底座 1 上的燕尾导轨相配合，构成燕尾形导轨副。滑座 5 的上表面沿圆周有一 T 形槽，表示转动角度的刻度块 4 也固定在滑座 5 上。丝杠 10 与螺母 11 组成丝杠-螺母机构。螺母 11 由螺钉 9 固定在滑座 5 上。三爪自定心卡盘 6 固定在转盘 7 上，转盘 7 由定位螺钉 12 紧固在滑座 5 上。当转盘 7 需要转动时，松开定位螺钉 12，扳动手柄 2（参见图 3-16），转盘 7 即可转动。为了使转盘 7 转动轻便灵活，在转轴部分并列安装着两个轴承 8。

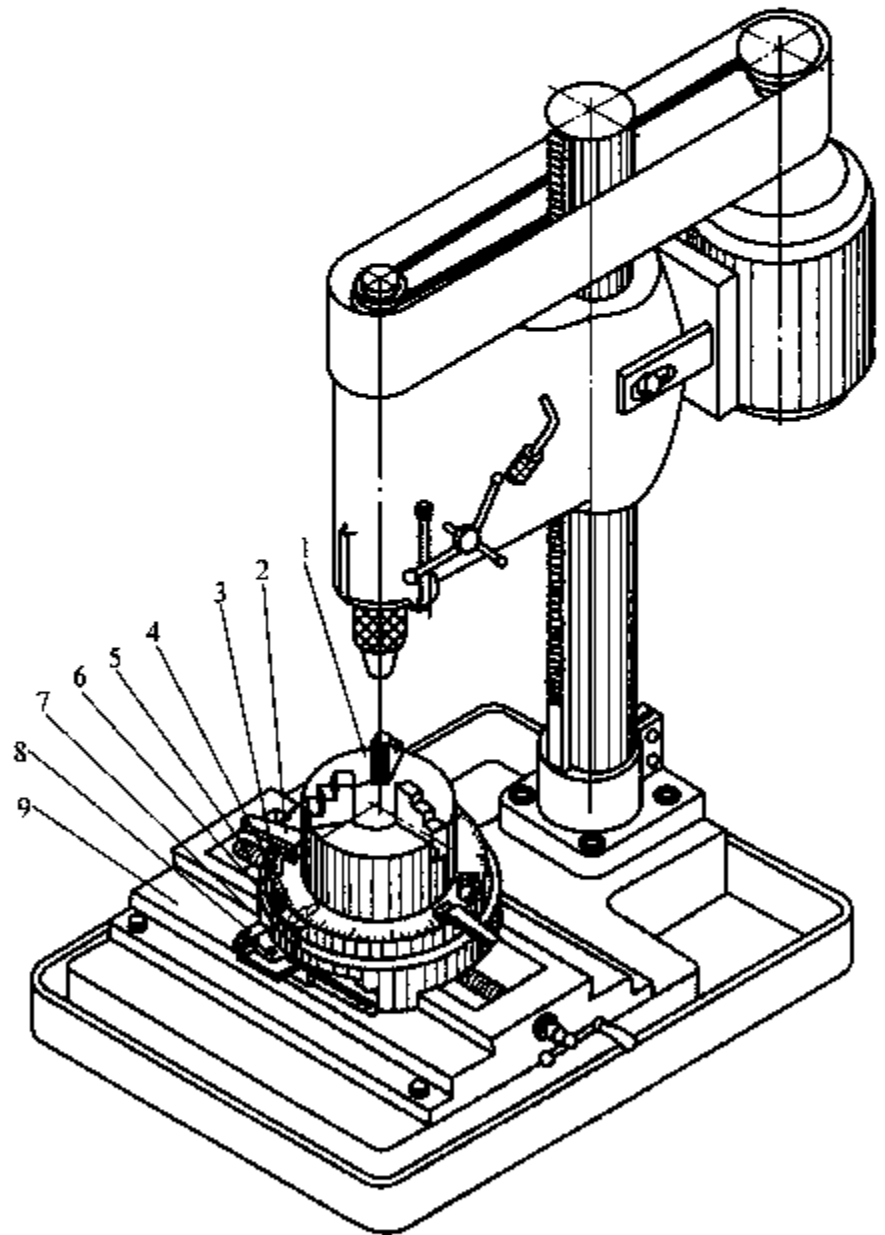


图 3-16 台式钻床上加装孔距定位装置

1—三爪自定心卡盘 2—手柄 3—定位螺钉
4—转盘 5—丝杠 6—刻度块 7—滑座
8—游标卡尺 9—底座

(3) 适用范围及加工效果

1) 本装置是用三爪自定心卡盘夹持工件的，故要求工件是回转体零

件。又由于三爪自定心卡盘的位移受到结构上的限制，所以适宜加工孔所在同心圆的半径 R 小于 100mm 的工件。而且，被加工孔在平面上的位置应该是以同心圆半径（或直径）和角度来标注的。

2) 本装置可用于划线（指钻中心孔），也可用于直接钻孔。当被加工工件的数量较多时，应先钻中心孔，然后再用其他钻床按中心孔的位置进行钻孔。用这种办法钻孔，孔距误差可控制在 0.15mm 以下。当被加工工件是单件或数量很少时，可直接钻孔。由于钻头比中心钻长，在加工时钻头的颤抖和引偏现象比中心钻严重，所以直接钻孔的孔距误差较大些，一般可控制在 0.6mm 以下。

(4) 使用方法 以钻削图 3-18 所示零件上的各孔为例。

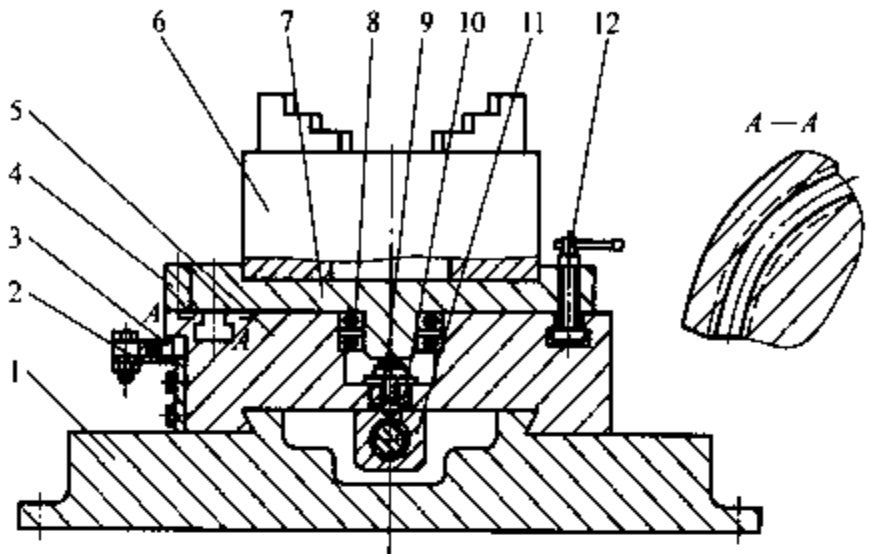


图 3-17 孔距定位装置简图

- 1—底座 2—支架 3—游标卡尺 4—刻度块 5—滑座
- 6—三爪自定心卡盘 7—转盘 8—轴承 9—螺钉
- 10—丝杠 11—螺母 12—定位螺钉

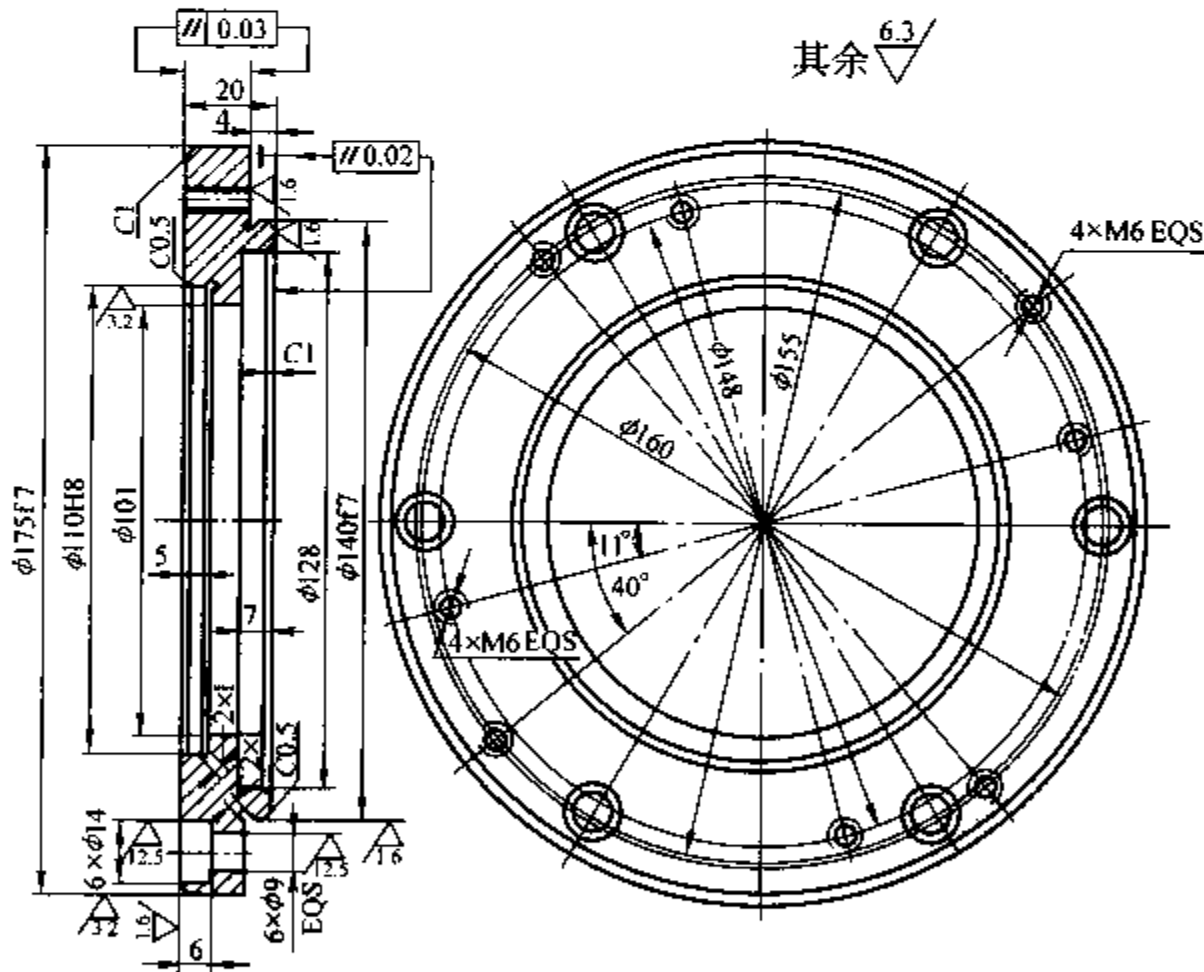


图 3-18 法兰盘（磨床上用）

由图可见，工件上有 8 个螺纹孔和 6 个阶梯孔，分别均布在三个同心圆上，各同心圆的直径 ϕ 是自由尺寸。该零件是轴承磨床上的零件，有一定的生产批量，故使用本装置钻中心孔（即划线）。先钻 6 个阶梯孔（ $\phi 14$ 和 $\phi 9$ ）的中心孔，具体操作参见图 3-16。

1) 将工件夹持在三爪自定心卡盘上。

2) 摇动丝杠 5 上的手柄，由于丝杠-螺母机构的作用，使滑座 7 带动工件偏离钻床主轴

中心；此时游标卡尺副尺的量爪也离开主尺的量爪，当游标卡尺上显示出量爪张开的距离是77.5（即阶梯孔所在同心圆的半径）时，停止摇动丝杠5上的手柄。

3) 拧紧定位螺钉3，使转盘4的位置固定，也就是使工件的位置固定，然后钻削第一个中心孔。

4) 钻完第一个中心孔后，松开定位螺钉3，扳动手柄2，使转盘4转动，当转盘4上的60°（因六孔均布）刻线正好对准刻度块6上的刻线时停止转动，并拧紧定位螺钉3，这时中心钻所对工件的位置正是第二个孔，于是可进行第二个中心孔的钻削。

第三至第六个阶梯孔的中心孔钻削，可用同样方法找正与加工。

同理，也可逐一地加工出其余两同心圆上各螺纹孔的中心孔。

(5) 利用孔距定位装置钻孔的特点

1) 孔距定位装置相当于一个机床附件，需要时安装在钻床的工作台上，可在无钻模、不划线的情况下直接钻孔或钻中心孔；不需要时，将孔距定位装置拆下，保存起来。因此，采用孔距定位装置在不损坏台钻的前提下，扩大了台钻的应用范围。

2) 孔距定位装置结构简单，设计制造要求低。

3) 操作简单，使用方便。

十三、变单孔钻削为多孔钻削

一般情况下，普通单轴立式钻床只在主轴上装一个钻头，进行单孔钻削。如果在大批量生产中也用这种方法加工，不仅生产率低，而且劳动强度大。为了提高劳动生产率，在钻床主轴上装一个多轴头架，可以同时加工工件上的多个孔。下面介绍三个经过生产实践考验，使用效果较好的多轴头架，将它装在立式钻床的主轴上，就可变单孔加工为多孔加工。

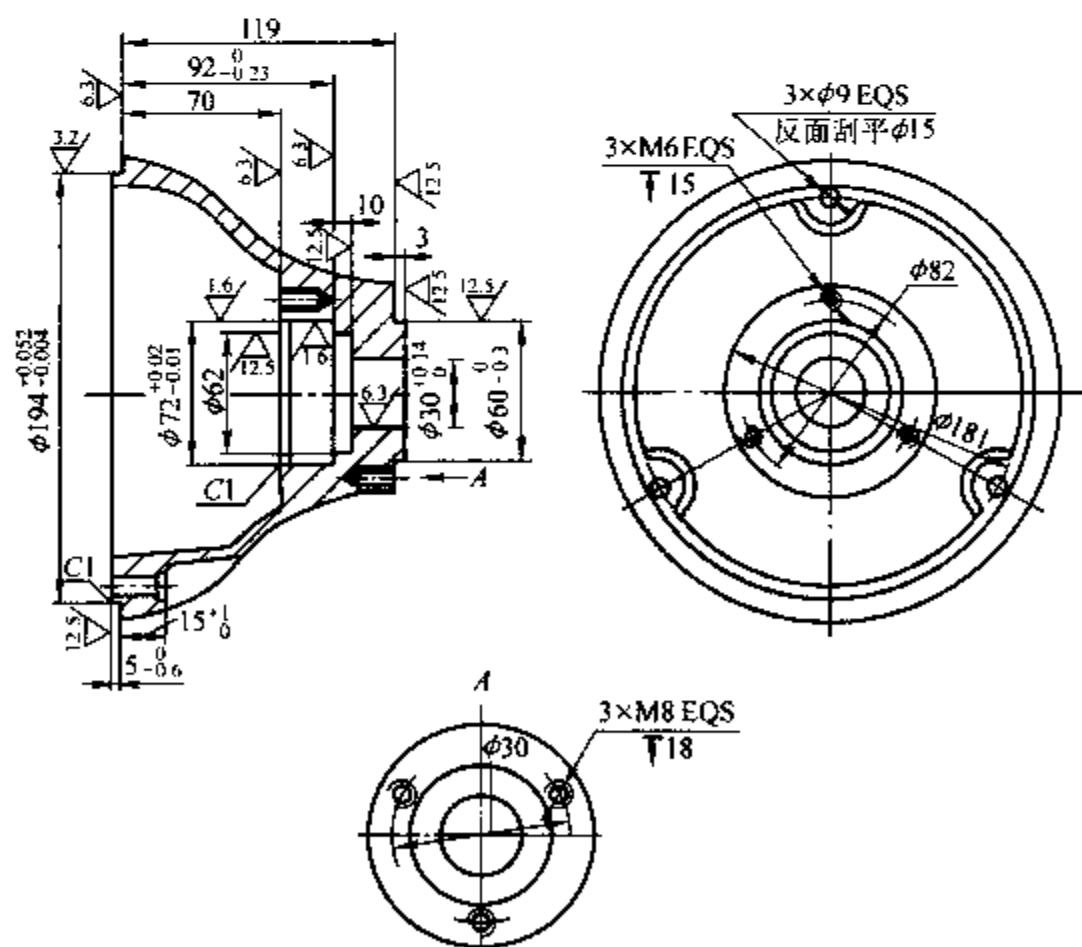


图 3-19 砂轮机端盖

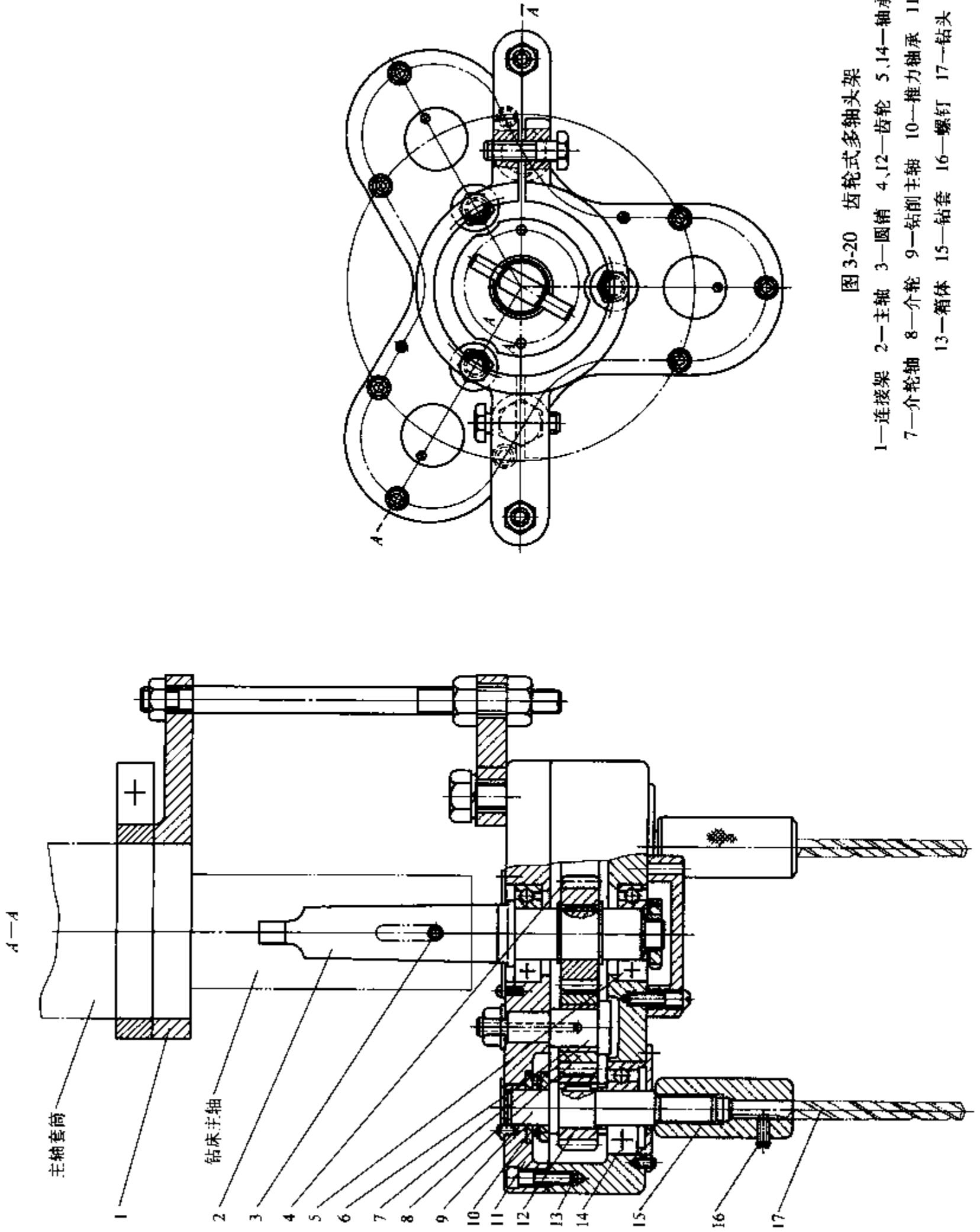


图 3-20 齿轮式多轴头架

- 1—连接架 2—主轴 3—圆销 4、12—齿轮 5、14—轴承 6—铜套
- 7—介轮轴 8—介轮 9—钻削主轴 10—推力轴承 11—箱盖
- 13—箱体 15—钻套 16—螺钉 17—钻头

1. 齿轮式多轴头架

某工厂为了加工图 3-19 所示砂轮机端盖上的三个 $\phi 9\text{mm}$ 的孔，设计制造了一个齿轮式多轴头架，将它与 Z535 型立式钻床配套使用，可以同时钻削三个孔。

多轴头架的结构如图 3-20 所示。齿轮传动系统安装在由箱盖 11 和箱体 13 组成的箱体内，主轴 2 由两个轴承 5 支承，齿轮 4 ($m=2.5\text{mm}$, $z=22$) 装在主轴 2 上，用键联接。齿轮 4 和介轮 8 ($m=2.5\text{mm}$, $z=17$) 相啮合，介轮 8 的内孔中镶有铜套 6，并与介轮轴 7 间隙配合。介轮 8 与齿轮 12 ($m=2.5\text{mm}$, $z=17$) 相啮合，齿轮 12 安装在钻削主轴 9 上，用键传递转矩，使钻削主轴 9 旋转。钻削主轴 9 由轴承 10 (8104) 和轴承 14 (204) 支承；钻削主轴 9 顶端与镶在箱盖 11 上的铜

套采用 $\frac{H7}{f7}$ 配合，并在轴的端部有油池

润滑。钻头 17 (在钻柄的合适位置上磨平一块) 安装在钻套 15 中，并用螺钉 16 顶紧。

使用时，将多轴头架主轴 2 的莫氏锥度部分插入 Z535 型立式钻床的主轴锥孔中，并插上圆销 3，再把连接架 1 牢牢地紧固在主轴套筒上。切削用量的选择多凭经验确定，一般来说，钻削孔径较小时，转速应快些，进给量也小些；钻削的孔径较大时，转速应慢些，进给量也适当地大些。本多轴头架，在生产中选择的钻床主轴转速 $n_{\text{主}} = 750\text{r/min}$ ，所以钻头的转速为 $\left(750 \times \frac{22}{17}\right) \text{r/min}$ (即 971r/min)，进给量 $f = 0.11\text{mm/r}$ ，采用自动进给。

实践表明，在 Z535 立式钻床上安装多轴头架，变单孔钻削为多孔钻削，可以提高生产率。一批生产任务完成后，多轴头架从钻床上拆下来，立钻恢复原貌。

这种齿轮式多轴头架的润滑性能较好，不易生热，适合于在较高转速下工作。但其结构复杂一些，尤其钻削孔主轴比较多时，更显得比较突出。

2. 无齿轮式多轴头架

图 3-21 所示为无齿轮式多轴头

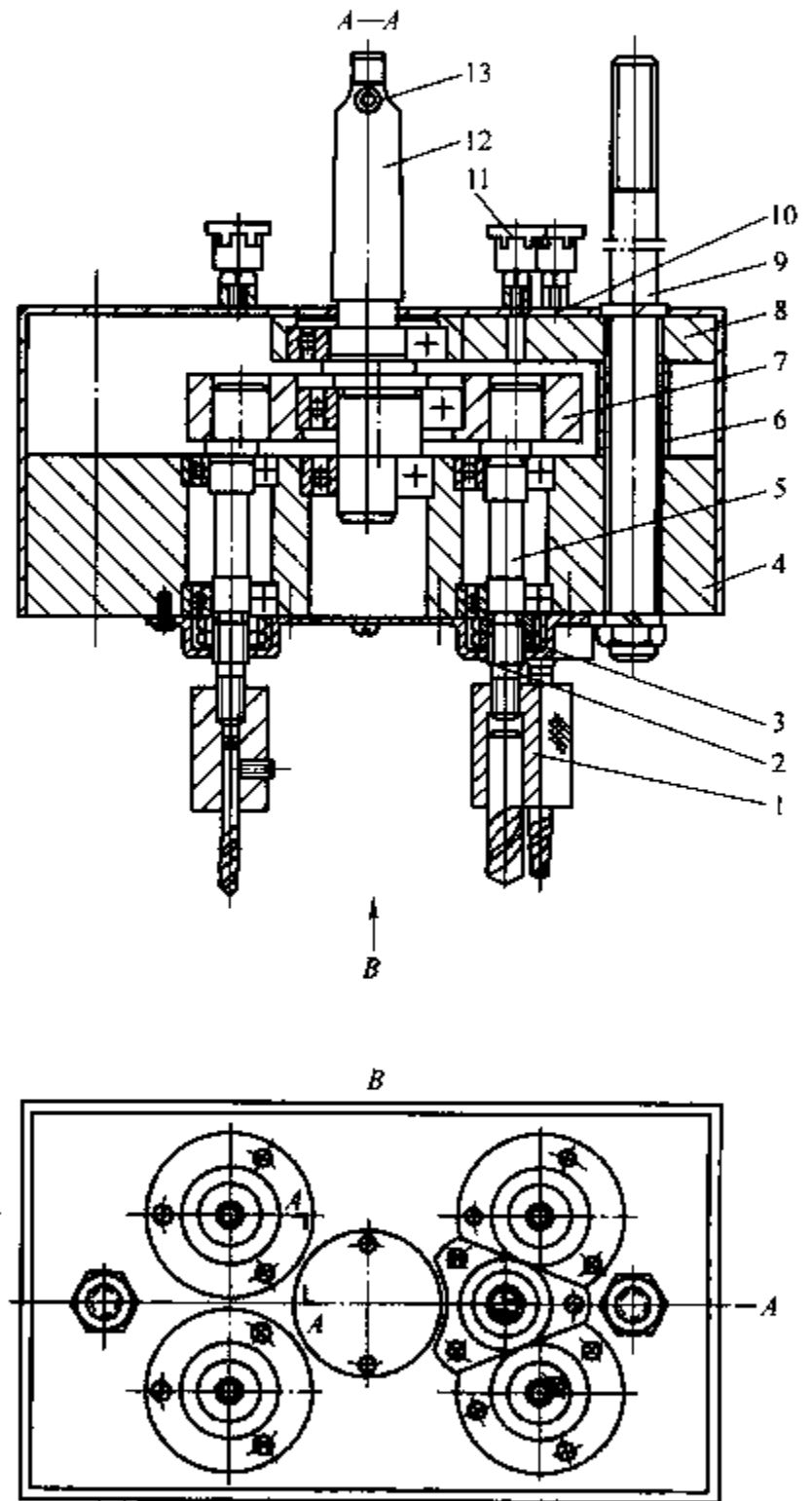


图 3-21 无齿轮式多轴头架

- 1—连接套 2—罩盖 3—锁紧螺母 4—本体 5—偏心轴
6—隔套 7—摆动板 8—连接板 9—连接杆
10—罩 11—油杯 12—主轴 13—圆销

架，用于钻削图 3-22 所示 200mm 砂轮机机体上的四个螺纹孔的底孔和一个出线孔 ($\phi 14$)，与 Z550 配套使用。使用时，将头架主轴锥柄插入钻床主轴锥孔里，插上圆销，使之卡在钻床主轴卸卡头用的长孔中，再用连接架固定在主轴套筒上。

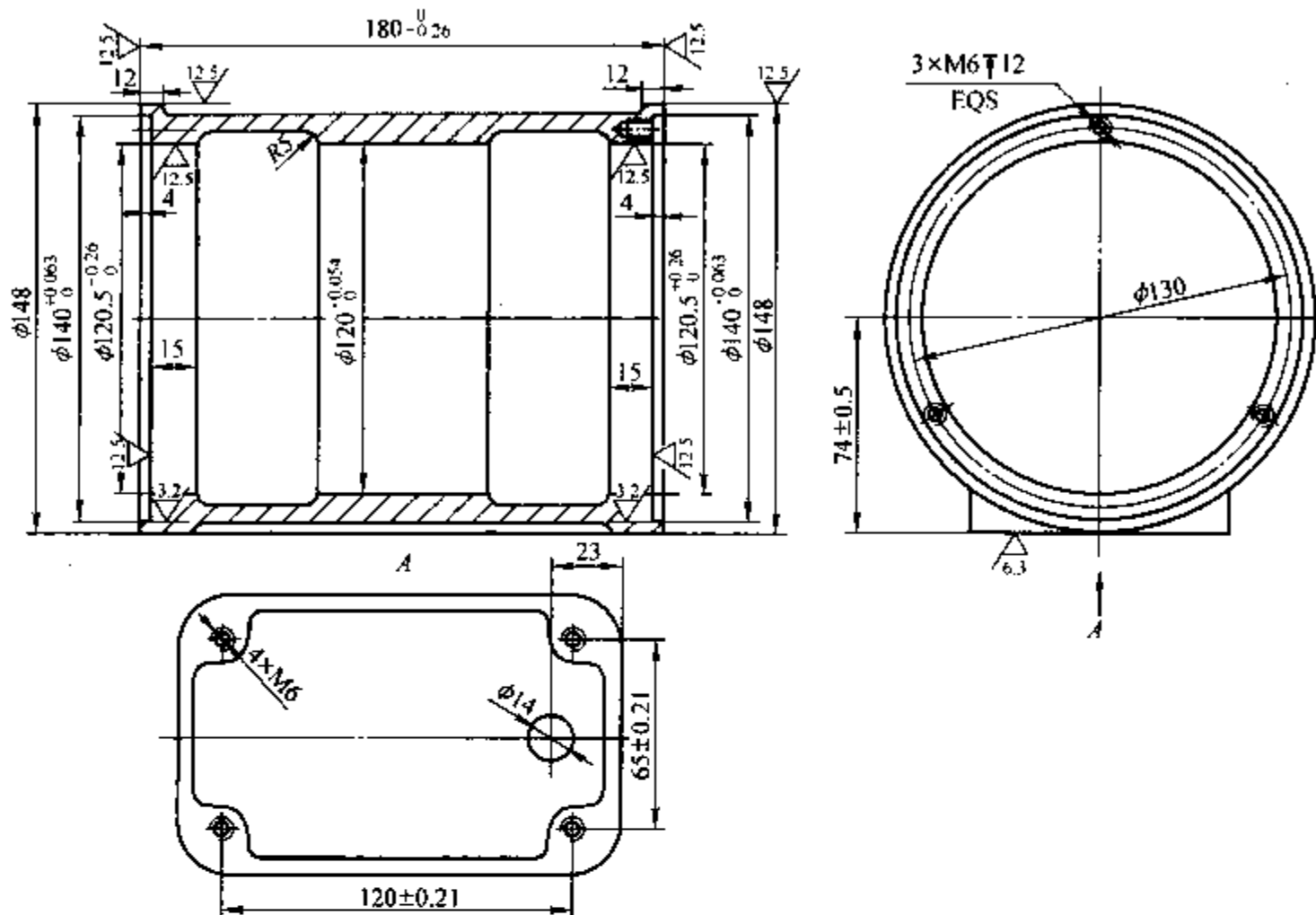


图 3-22 机体 (工件)

该多轴头架的具体结构 (见图 3-21) 是: 本体 4、隔套 6 及连接板 8 用两根连接杆 9 穿在一起。本体 4 和连接板 8 的正确位置由隔套 6 确定, 然后在连接杆 9 的下端用螺母拧紧。主轴 12 上、下端轴颈分别装在连接板 8 和本体 4 的滚珠轴承中。五根偏心轴 5 装在本体 4 上, 由滚珠轴承支承, 并用锁紧螺母 3 紧定; 偏心轴 5 的上端插在摆动板 7 的对应孔中, 偏心轴 5 的下端以螺纹与连接套 1 连接, 连接套 1 供装夹钻头用。另外, 在罩盖上设有五个油杯 11, 供油给偏心轴 5, 使其插入摆动板 7 的轴颈部分得到润滑和降温。

主轴 12 和偏心轴 5 的偏心距均为 4mm。

无齿轮多轴头架使用时, 将其主轴 12 插入钻床的主轴前端锥孔中, 并以连接杆 9 通过连接架与钻床主轴套筒连接固牢。

多轴头架的动力来源于钻床主轴。当钻床主轴带动多轴头架的主轴 12 旋转时, 由于主轴 12 具有偏心距, 所以摆动板 7 随主轴 12 的旋转作圆周摆动。通过摆动板 7 带动五根偏心轴 5 自转, 并带动钻头同时钻削 5 个孔。多轴头架的进给运动, 由钻床本身的进给机构实现。

生产实践表明, 这种无齿轮式多轴头架的结构简单, 适用于大批量生产中加工多孔、小孔距的工件。该多轴头架的缺点和改进措施如下:

1) 由于摆动板 7 和偏心轴 5 的连接处磨损较快, 容易发热, 因此主轴的转速不宜过高。

本多轴头架为了克服上述问题，在罩 10 上特意设置五个大油杯，用于润滑偏心轴 5 的轴颈，使发热情况有所改善。

2) 考虑到摆动板 7 易磨损、易生热，以及多轴头架的重量不宜过重等情况，如果将本体 4、连接板 8、摆动板 7 的材料选用高强度塑料、玻璃钢、铝合金会更好些。

3) 本体 4、摆动板 7 的各孔距公差以及偏心轴 5 的偏心距公差要求严格。

3. 可调式二轴头架

前面介绍的两种多轴头架都是专用的，当产品改变或改进时，被加工工件发生了变化，则专用多轴头架就不再适用，所以具有很大的局限性。可调式多轴头架钻削主轴的轴间距离可以调整，能够适应被加工工件上孔距在一定范围内的变化，因而扩大了多轴头架的应用范围。

图 3-23 所示为可调式二轴头架，与 Z535 型立式钻床配套使用。

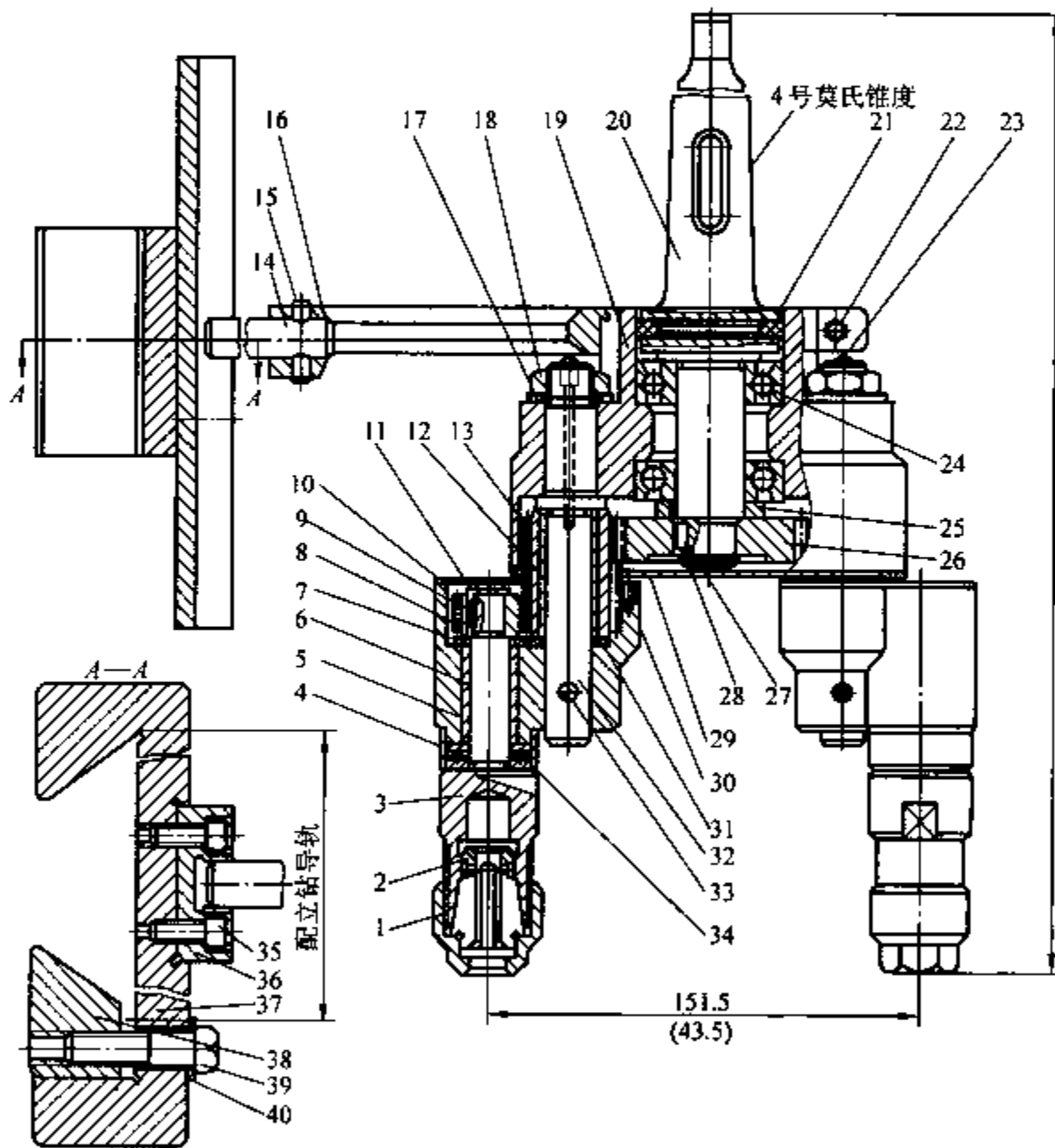


图 3-23 可调式二轴头架

- 1—螺母 2—弹簧套 3—小轴 4—保护套 5—支架 6—青铜套 7—小垫 8—小齿轮 9、27—平键
 10—盖 11—弹簧挡圈 12—介轮铜套 13—介轮 14—杆 15、33—圆柱销 16—卡子 17—光垫圈
 18—六角螺母 19—本体 20—主轴 21—毡圈 22—六角螺母 23—压配式清油杯 24、34—轴承
 25—调整垫 26—中心轮 28—弹簧挡圈 29—底板 30—沉头螺钉 31—中垫 32—介轮轴
 35—内六角螺钉 36—导向板 37—架体 38—压板 39—螺钉 40—光垫圈

它的两钻削主轴轴距可调，其调节范围为 43.5 ~ 151.5mm。实践表明，该可调式二轴头架具有用途广泛、钻削主轴轴距调整方便、结构可靠、生产率高等优点；加工时，可采用机动进给，也可采用手动进给。

(1) 可调式二轴头架的结构 可调式二轴头架主要由两部分组成：

1) 二轴头架的结构。主轴 20 由两个轴承 (46205) 24 支承，使用时它的莫氏锥度部分插入主轴锥孔里，它的下端装有中心轮 26 ($m = 1.5\text{mm}$, $z = 45$)，以平键 27 传递转矩。介轮轴 32 装在支架 5 和本体 19 上，介轮 13 ($m = 1.5\text{mm}$, $z = 20$) 装在介轮轴 32 上，介轮 13 的孔中镶有介轮铜套 12，铜套磨损后可以更换。小齿轮 8 ($m = 1.5\text{mm}$, $z = 16$) 安装在小轴 3 的上端，由平键 9 与小轴 3 联接。小轴 3 的下端装有弹簧套 2 等件，用来安装钻头。

2) 导向部分的结构。卡子 16 的一端固定在本体 19 上，另一端用圆柱销 15 与杆 14 联接。杆 14 伴随二轴头架可沿着导向板 36 上的长槽上下滑动，起着导向和使二轴头架在加工中产生的振动得到减轻的作用。固定导向板 36 的架体 37 与立钻的垂直导轨相配合。

(2) 可调式二轴头架的传动原理 可调式二轴头架的传动原理如图 3-24 所示。主轴 20 由钻床主轴带动旋转，经齿轮副 26 与 13 和 13 与 8，使小轴 3 (即钻削主轴) 得到动力旋转，于是带动钻头进行钻削。

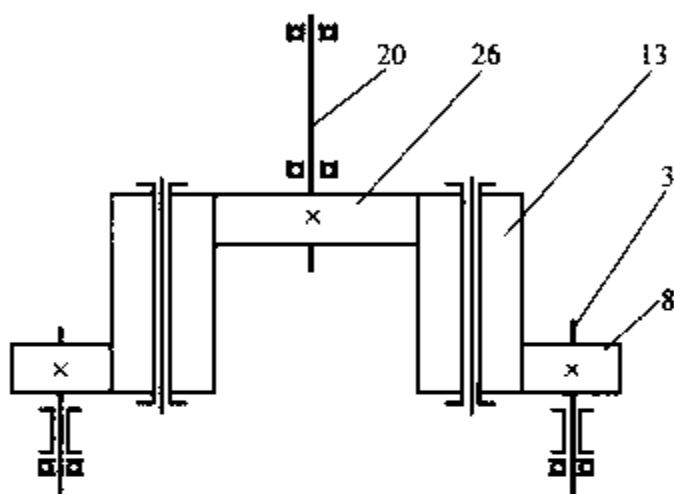


图 3-24 传动原理简图
(图注见图 3-23)

(3) 钻削孔距的调整方法 钻削孔距的调整通过改变两小轴 3 的中心距来实现，即使两小轴 3 的中心距等于被加工两孔的孔距。在调整时 (参见图 3-23)，首先松开六角螺母 18，然后转动支架 5 使之带动介轮轴 32 一起在本体 19 的孔中转动，直至两小轴 3 的中心距调整到所要求的尺寸为止，再将六角螺母 18 拧紧。

4. 多轴头架设计中几个值得注意的问题

(1) 验算与多轴头架配套使用的立式钻床动力 多轴头架是根据加工工件的需要进行设计的，与之相配套的立钻动力是否够用，设计前必须验证。常用的验证方法有两种：一是类比法，即用加工同类型零件的机床动力进行比较，以确定所选用机床的动力是否能满足要求；二是计算法，将计算所得的切削力和切削功率与配套钻床的动力进行比较，以此决定配套机床的动力是否够用。

应用公式计算切削力和切削功率：

1) 用高速钢钻头在灰铸铁上钻孔时的计算公式为

$$v = \frac{9600D^{0.25}}{T^{0.125}f_0^{0.55}\text{HBW}^{1.8}} \quad (3-1)$$

$$F = 26Df_0^{0.8}\text{HBW}^{0.6} \quad (3-2)$$

$$M_c = 10D^{1.9}f_0^{0.8}\text{HBW}^{0.6} \quad (3-3)$$

$$P_c = \frac{M_c v}{7162\pi D \times 1.36} \quad (3-4)$$

式中 v ——切削速度 (m/min)；

F ——轴向力 (N);
 P_c ——切削功率 (kW);
 M_c ——转矩 (N·mm);
 D ——刀具直径 (mm);
 T ——刀具寿命 (min);
 f_0 ——进给量 (mm/r);

HBW——零件的布氏硬度, 通常给出一个范围, 如 180~220HBW。对于式 (3-1) 取最大硬度值减去硬度偏差值的 $\frac{1}{3}$; 对于式 (3-2)、式 (3-3)、式 (3-4) 取最大硬度值。

对于切削速度 v 的修正系数 K_v 取决于钻孔深度 L (表 3-4), 式 (3-4) 中的切削速度 $v = v_{\text{公称}} K_v$ 。

表 3-4 切削速度的修正系数 K_v

L/D	3~4	4~5	5~6	6~8	8~10
K_v	0.9~0.8	0.8~0.7	0.7~0.6	0.65~0.6	0.6~0.5

例 1 以本节所介绍的齿轮式多轴头架为例, 钻头直径 $D = 9\text{mm}$, 工件材料为灰铸铁, 硬度为 180~220HBW, 钻削主轴转速 $n = 971\text{r/min}$, 进给量 $f_0 = 0.11\text{mm/r}$, 钻孔深度 $L = 30\text{mm}$ 。求 F 和 P_c 。

解: 首先算出一根钻削主轴所需的 F 和 P_c 。

$$v_{\text{公称}} = \pi D n = 3.1416 \times 9 \times 10^{-3} \times 971 \text{ m/min} = 27.4 \text{ m/min}$$

$$F = 26 D f_0^{0.8} \text{HBW}^{0.6} = 26 \times 9 \times 0.11^{0.8} \times 220^{0.6} \text{ N} = 1010 \text{ N}$$

$$M_c = D^{1.9} f_0^{0.8} \text{HBW}^{0.6} = 9^{1.9} \times 0.11^{0.8} \times 220^{0.6} \text{ N} \cdot \text{mm} = 2810 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

由于 $L/D = 30/9 = 3.33$, 根据表 3-4 取 $K_v = 0.9$, 所以 $v = v_{\text{公称}} K_v = 27.4 \times 0.9 \text{ m/min} = 24.66 \text{ m/min}$ 。

$$P_c = \frac{M_c v}{7162 \pi D \times 1.36} = \frac{2810 \times 24.66}{7162 \times 3.1416 \times 9 \times 1.36} = 0.25 \text{ kW}$$

该多轴头架上有三根钻削主轴, 共需功率

$$P \approx 3P_c = 3 \times 0.25 \text{ kW} = 0.75 \text{ kW}$$

与该多轴头架配套的 Z535 型立钻的功率是 4.5kW, 故动力足够。

2) 用硬质合金钻头在铸铁上钻孔时的计算公式为

$$v = \frac{33400 D^{0.5}}{T^{0.4} f_0^{0.5} \text{HBW}^{1.3}} \quad (3-5)$$

$$F = 71 D^{0.75} f_0^{0.85} \text{HBW}^{0.6} \quad (3-6)$$

$$M_c = 2.63 D^{2.4} f_0 \text{HBW}^{0.6} \quad (3-7)$$

$$P_c = \frac{M_c v}{7162 \pi D \times 1.36} \quad (3-8)$$

式中 v ——切削速度 (m/min);

F ——轴向力 (N);

M_c ——转矩 (N·mm);

P_c ——切削功率 (kW);

D ——刀具直径 (mm);

T ——刀具寿命 (min);

f_0 ——进给量 (mm/r);

HBW——零件的布氏硬度, 通常给出一个范围, 如 180~220HBW。对于式 (3-5), 取最大硬度值减去硬度偏差值的 $\frac{1}{3}$; 对于式 (3-6)、式 (3-7)、式 (3-8) 取最大硬

度值。

对于切削速度 v 和进给量 f_0 的修正系数 K_v 和 K_f 取决于钻孔深度 L (见表 3-5)。式 (3-8) 中的切削速度 $v = v_{\text{公称}} K_v$, 式 (3-5)、式 (3-6)、式 (3-7) 中的进给量 $f_0 = f_{0\text{公称}} K_f$ 。

表 3-5 K_v 和 K_f 值

L/D	3~4	4~5	5~6	6~8	8~10
K_v	1~0.85	0.85~0.75	0.75~0.67	0.67~0.63	0.63~0.55
K_f	1~0.95	0.95~0.9	0.9~0.85	0.85~0.8	0.8~0.75

(2) 确定钻削主轴直径

1) 按切削转矩计算切削主轴直径。根据切削转矩的大小来计算切削主轴直径, 通常用经验公式来计算, 经验公式为

$$d = \beta^4 \sqrt{10M_c}$$

式中 d ——切削主轴直径 (cm);

M_c ——转矩 (N·cm);

β ——系数, 根据切削主轴在 100cm 长度上允许最大扭转角的数值来选取。 β 值见表 3-6。

表 3-6 系数 β 值

允许最大扭转角 (°)	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$
β	0.73	0.62	0.52	0.47	0.44	0.42

一般来说, 切削主轴允许的最大扭转角为 $(\frac{1}{2})^\circ$, 即取 $\beta = 0.62$, 由此可计算出各种不同切削转矩所需要的切削主轴直径, 如表 3-7 所示。

表 3-7 切削主轴直径的计算表

切削主轴直径 d/cm	转矩 $M_c/(N \cdot cm)$	d^4/cm^4	切削主轴直径 d/cm	转矩 $M_c/(N \cdot cm)$	d^4/cm^4
1.5	342.6	5.0625	4.0	17325.4	256.0000
1.7	565.2	8.3521	4.5	27751.9	410.0625
2.0	1082.8	16.0000	5.0	42298.3	625.0000
2.5	2643.6	39.0625	5.5	61929	915.0625
3.0	5481.9	81.0000	6.0	87709.8	1296.0000
3.5	10155.8	150.0625	6.5	120808.2	1785.0625

2) 按切削主轴直径 d 和加工孔径 D 间的关系确定钻削主轴直径 d 。根据经验, 切削主轴直径 d 和被加工孔的孔径 D 有表 3-8 所示的关系, 利用这种关系即可大致地确定钻削主轴直径 d 。

表 3-8 d 和 D 之间关系

D/mm	9 ~ 13	13 ~ 16	16 ~ 19	19 以上
d/D	1.3	1.2	1.1	1

例 2 以本节所介绍的齿轮式多轴头架为例, 已知被加工孔的孔径 $D = 9\text{mm}$, 利用表 3-8 确定钻削主轴直径 d 。

查表 3-8 知, 当 $D = 9 \sim 13\text{mm}$ 时, $d/D = 1.3$, 所以 $d = 1.3D = 1.3 \times 9\text{mm} = 11.7\text{mm} \approx 12\text{mm}$ 。

由上述计算可知, 该齿轮式多轴头架的钻削主轴直径 d 大于 12mm 时, 即可满足强度要求。

(3) 钻削主轴的旋转方向 生产中所用的麻花钻头一般为右旋, 因此面对钻床主轴方向观看时, 主轴应按逆时针方向转动。根据这种情况, 所设计制造的多轴头架各钻削主轴都应当是逆时针方向转动。本节所介绍的齿轮式多轴头架和可调式二轴头架的传动系统, 均采用两次外啮合齿轮传动, 用来保证头架上钻削主轴和钻床主轴旋转方向一致, 即沿逆时针方向转动。

(4) 选用有自动进给机构的钻床 普通的圆柱立式钻床配上多轴头架后, 将原来的单孔钻削变成了多孔钻削, 在加工中所需要的进给力也随着增大, 若采用手动进给, 操作者的劳动强度很大, 所以在选用配套钻床时, 应选择有自动进给机构的钻床, 例如 Z525、Z535 型立式钻床都有自动进给机构。

(5) 多轴头架不宜过重 在使用中, 多轴头架装在钻床主轴上, 增加了主轴的重量, 常常需要改变平衡锤的重量。若多轴头架过重, 甚至会造成机床不能配套使用, 所以多轴头架不宜过重。

十四、在普通台式钻床 (Z512) 上进行半自动多孔钻削

Z512 型台钻是一种小型钻床, 在零件加工、机器装配和修理中应用很普遍。在大批量生产中使用这种钻床, 由于没有自动进给机构, 不仅影响生产率的提高, 而且操作者的劳动强度很大。为了满足大批量生产的需要, 挖掘设备潜力, 将其改装成半自动多头钻。本改装分两部分: 一是在主轴上安装一个齿轮式多轴头架, 变单孔钻削为多孔钻削; 二是安装一套自动进给装置, 用以完成“快速进给→工作进给→快速退回→停留”的工作循环。下面主要介绍这套自动进给装置, 并对其使用效果进行简单分析。

1. 自动进给装置的组成

自动进给装置的结构如图 3-25 所示。底板 14 固定在主轴带轮 10 (见图 3-26) 的罩壳上, 支承弯板 15、弯板 3、支承板 5 分别固定在底板 14 上, 构成自动进给装置的支承骨架。小齿轮 18 的轴由弯板 3 和底板 14 支承, 轴上装有小齿轮 18 和带轮 19。大齿轮 17 的轴由底板 14 和支承弯板 15 支承, 轴上装有大齿轮 17 和蜗杆 16。进给轴 13 由支承弯板 15 和支承

板5支承,进给轴13上装有手柄12、连接套11、离合器右半部8(与进给轴13空套)、离合器左半部9(与进给轴13空套)、弹簧15(见图3-26)、蜗轮7(与轴13空套)、凸轮6。

2. 自动进给装置的工作原理

自动进给装置的传动关系如图3-26所示。电动机的动力经带轮1和V带2,带动带轮10,使主轴旋转。另外,又经V带3、带轮4,带动小齿轮5旋转。通过齿轮副5、6和蜗杆副7、13,于是蜗轮13被带动旋转。这时,若离合器左半部16与离合器右半部14结合,通过连接套18和联接螺钉8,便带动进给轴19转动。由于凸轮11安装在进给轴19上,所以当进给轴19旋转时也带动凸轮11转动;又由于转帽4(见图3-25)安装在钻床主轴的顶端,被凸轮11紧紧地压着,从而实现了钻床主轴的自动进给工作循环。

离合器左半部16与离合器右半部14的结合与分离,是通过操作手柄9实现的。连接套18用联接螺钉8联接在进给轴19上,又用销钉17穿过连接套18的圆筒壁,插在离合器左半部16外圆周上的斜槽内。当转动手柄9时,连接套18旋转,销钉17则带动离合器左半部16在进给轴19上前后移动,完成离合器的分离或结合。

转帽与钻床主轴的连接关系如图3-27所示。

3. 工作循环与凸轮

(1) 工作循环 根据加工需要,本改装的工作循环是:快速进给→工作进给→快速退回→停留。由凸轮机构控制。

根据工作经验和加工需要,钻削进给量取 $0.05 \sim 0.09\text{mm/r}$,适用的加工孔深小于 20mm 。

(2) 凸轮轮廓线的设计 根据自动进给工作循环的要求以及自动进给装置的具体结构,设计凸轮轮廓曲线时的拟定条件是:

1) 凸轮按顺时针方向转动。

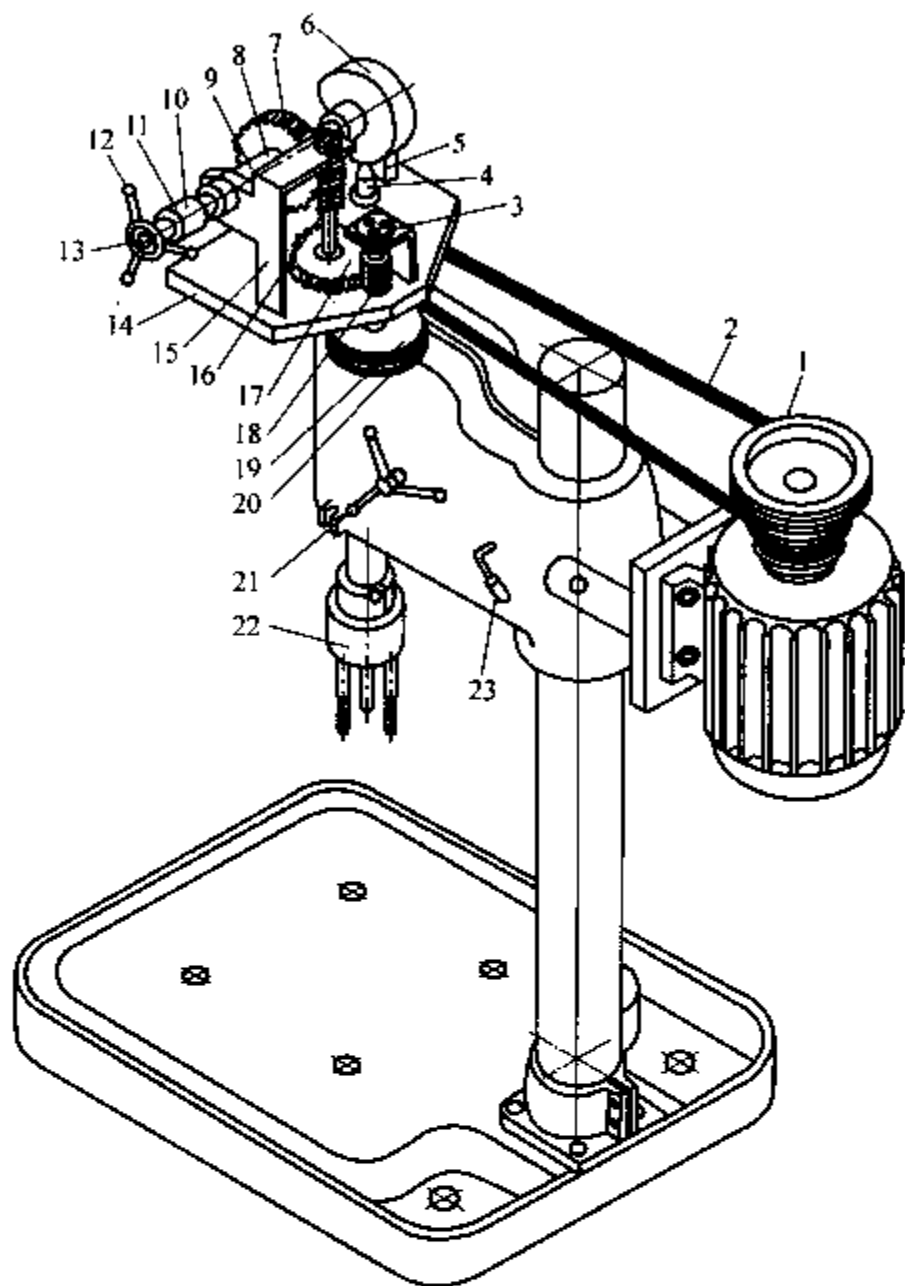


图3-25 Z512型台式钻床改装成半自动多头钻外观图
1、19—带轮 2、20—V带 3—弯板 4—转帽 5—支承板
6—凸轮 7—蜗轮 8—离合器右半部 9—离合器左半部
10—销钉 11—连接套 12—手柄 13—进给轴 14—底板
15—支承弯板 16—蜗杆 17—大齿轮 18—小齿轮
21—进给手柄 22—多轴头架 23—锁定手柄

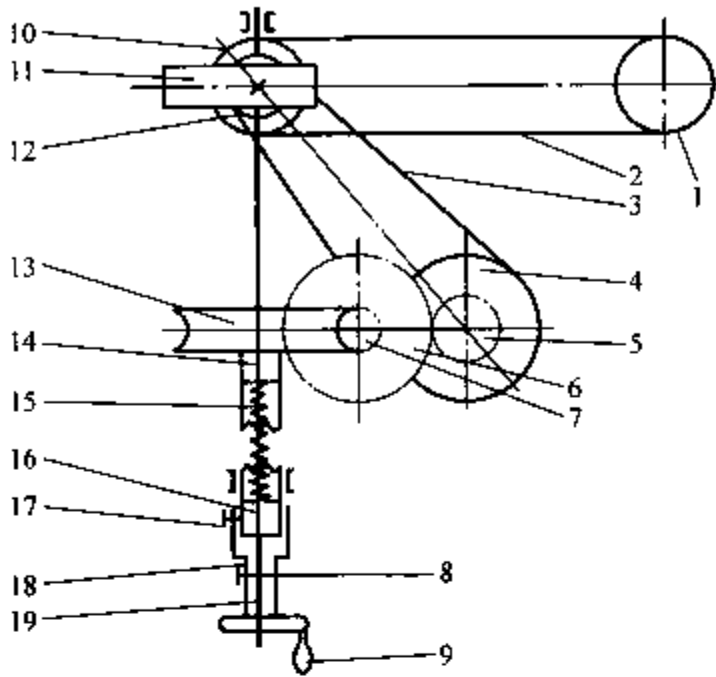


图 3-26 自动进给装置的传动系统

- 1、4、10、12—带轮 2、3—V带 5—小齿轮
6—大齿轮 7—蜗杆 8—连接螺钉 9—手柄
11—凸轮 13—蜗轮 14—离合器右半部
15—弹簧 16—离合器左半部 17—销钉
18—连接套 19—进给轴

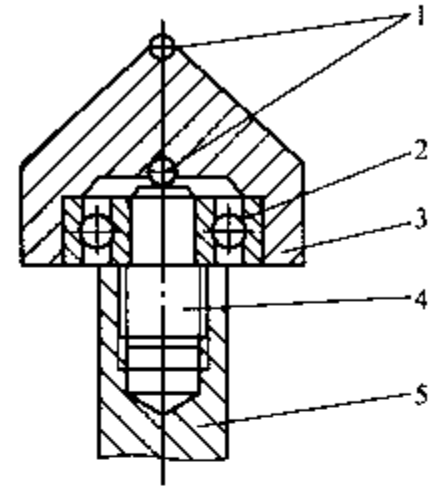


图 3-27 转帽与钻床主轴的连接

- 1—钢球 2—轴承 3—转帽
4—小轴 5—台钻主轴

- 2) 凸轮转动中心至转帽顶点的最小距离为 24mm。
- 3) 主轴位移与凸轮转角 φ 的关系如表 3-9 所示。

表 3-9 主轴位移与凸轮转角 φ 的关系

凸轮转角 φ	$0^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 260^\circ$	$260^\circ - 290^\circ$	$290^\circ - 360^\circ$
主轴位移/mm	匀速下降 8	匀速下降 20	匀速上升 28	停止不动
工作循环	快速运动	工作进给	快速退回	原位停留

作图步骤 (图 3-28) 如下:

- 1) 以 O 点为圆心, 以 $R = 24\text{mm}$ 为半径作圆。
- 2) 在圆周上标出 0° 、 120° 、 260° 、 290° 的位置, 并分别用 A 、 B 、 C 、 D 表示。
- 3) 根据主轴位移和凸轮转角 φ 的关系, 分别将 \widehat{AB} 和 \widehat{CD} 四等分、 \widehat{BC} 八等分。各等分的标点是: A 、 A_1 、 A_2 、 A_3 ; B 、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 、 B_6 、 B_7 ; C 、 C_1 、 C_2 、 C_3 、 D 。
- 4) 由凸轮转角 φ 与主轴位移的关系可知, \widehat{AB} 使主轴位移 8mm, 所以分别取 $A_1A'_1 = 2\text{mm}$ 、 $A_2A'_2 = 4\text{mm}$ 、 $A_3A'_3 = 6\text{mm}$ 、 $BB' = 8\text{mm}$ 。根据同样的道理, 可求得: B'_1 、 B'_2 、 B'_3 、 B'_4 、 B'_5 、 B'_6 、 B'_7 、 C' 、 C'_1 、 C'_2 、 C'_3 各点。在 \widehat{AD} 上, 凸轮转动, 主轴无轴向位移, 所以凸轮这段的轮廓曲线是 $R = 24\text{mm}$ 圆上的一段弧。
- 5) 将 A 、 A'_1 、 A'_2 、 A'_3 、 B' 、 B'_1 、 B'_2 、 B'_3 、 B'_4 、 B'_5 、 B'_6 、 B'_7 、 C' 、 C'_1 、 C'_2 、 C'_3 、 D 各点连成光滑曲线, 即为凸轮的轮廓曲线。

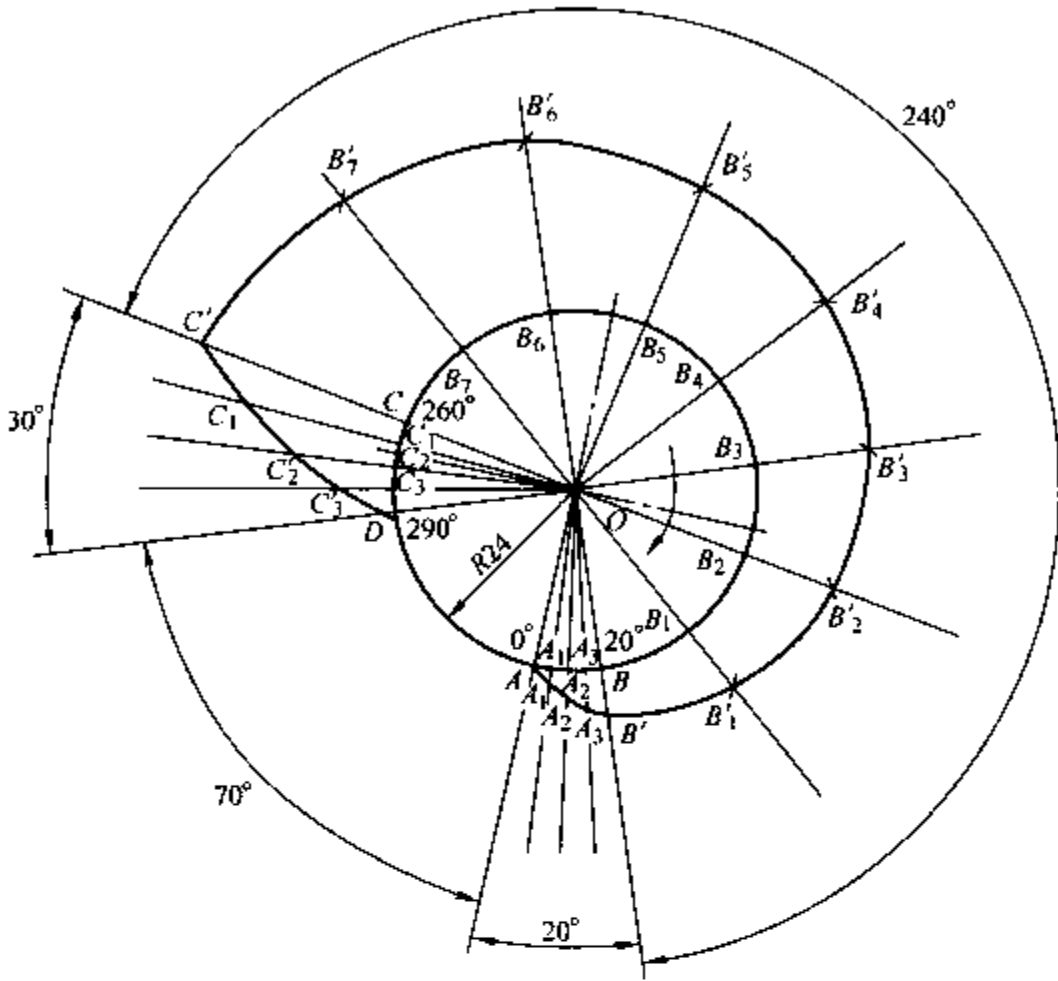


图 3-28 凸轮轮廓曲线的作法

4. 使用说明及其效果

1) 参见图 3-25, 当离合器左半部 9 与离合器右半部 8 结合时, 钻床可实现自动进给工作循环。离合器左、右两部分分离时, 由于蜗轮 7 在进给轴 13 上空转, 不能使凸轮 6 旋转, 于是自动进给装置不能实现自动进给工作循环, 此时可操作进给手柄 21, 实现钻削的手动进给和退回。

2) 使用多轴头架钻削时, 采用手动进给, 劳动强度很大; 采用自动进给, 可使进给速度均匀, 提高钻削质量; 实现机床半自动, 除装卸工件外, 刀具的工作循环自动完成, 既能提高生产率, 又能大大地减轻劳动强度。

3) 采用自动进给时, 在加工过程中一旦发生故障, 可操作手柄 12 (图 3-25) 反转, 使主轴迅速升起。实践证明, 自动进给装置操作方便, 机构可靠。

4) 应用多轴头架时, 如果头架的重量较大, 须考虑加装回位弹簧, 帮助钻床主轴自动升起。

5) 拆掉多轴头架进行单孔钻削时, 也可以采用自动进给, 自动完成刀具的工作循环, 减轻操作者的劳动强度。

十五、在万能工作台钻铣床上钻孔

万能工作台钻铣床如图 3-29 所示。它打破了传统设计, 采用了新的工作原理, 是集钻、扩、铰、铣于一身的多功能新型机床。

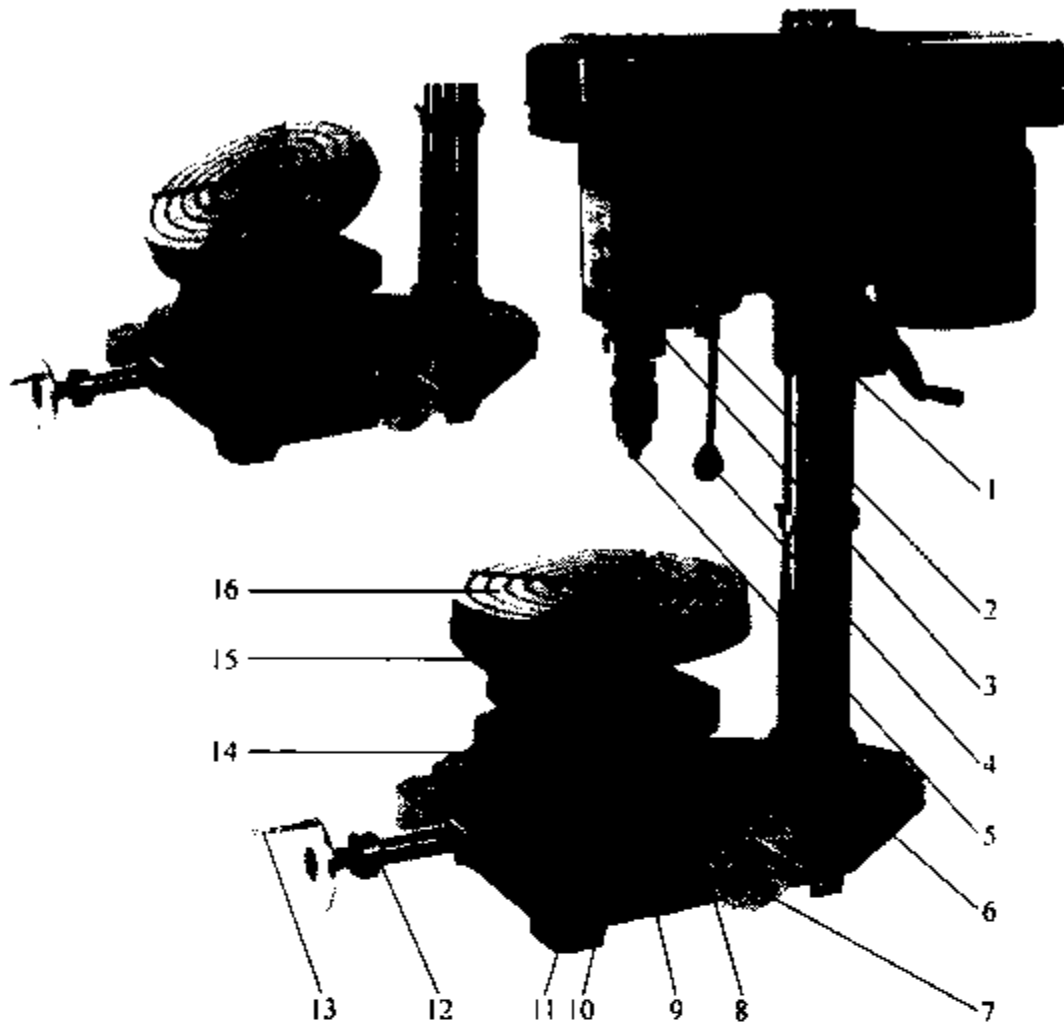


图 3-29 万能工作台钻铣床

- 1—轴向进给锁定手柄 2—轴向进给微调机构 3—轴向进给微调手柄 4—轴向进给手柄
 5—刀具夹头 6—钻床底座 7—横向进给手轮 8—横向进给手轮刻度盘
 9—纵向进给滑座 10—转轴 11—刻度尺 12—纵向进给手轮刻度盘
 13—纵向进给手轮 14—横向进给滑座 15—回转工作台底座
 16—工作台（圆形或方形）

从结构上看，万能工作台钻铣床与一般钻铣床相比最大的区别是，具有万能工作台。该工作台不仅能纵向、横向手动进给，还可以 360° 回转，也可以前后左右作 45° 倾斜。

从功能上看，不用划线，不用专门工具和辅具，工件一次装夹，可在水平面和倾角 $\alpha \leq 45^\circ$ 的斜面上进行钻、扩、铰、铣等加工，广泛地应用于机械制造、模具加工、仪器仪表、设备维修等行业。

1. 钻削加工

工件在一次装夹中，可以加工多个表面上的孔，现以钻孔为例，说明万能工作台钻铣床的使用方法，如图 3-30 所示。

1) 在水平面上钻孔的操作要点（见图 3-30a 和图 3-29）如下：

- ①将工作台 16 调整为水平位置。
- ②将工件装夹在工作台 16 上，并通过纵向进给手轮 13 和横向进给手轮 7 调整工件的位置；其位置的正确性，则由横向进给手轮刻度盘 8 和纵向进给手轮刻度盘 12 控制。
- ③开动机床，钻床主轴带动钻头旋转。
- ④操纵轴向进给手柄 4，使安装于刀具夹头 5 上的钻头作轴向进给，进行钻削。

2) 工作台绕纵向进给轴方向旋转后钻削垂直于工件斜面上的孔（见图 3-30b 和图 3-29）。

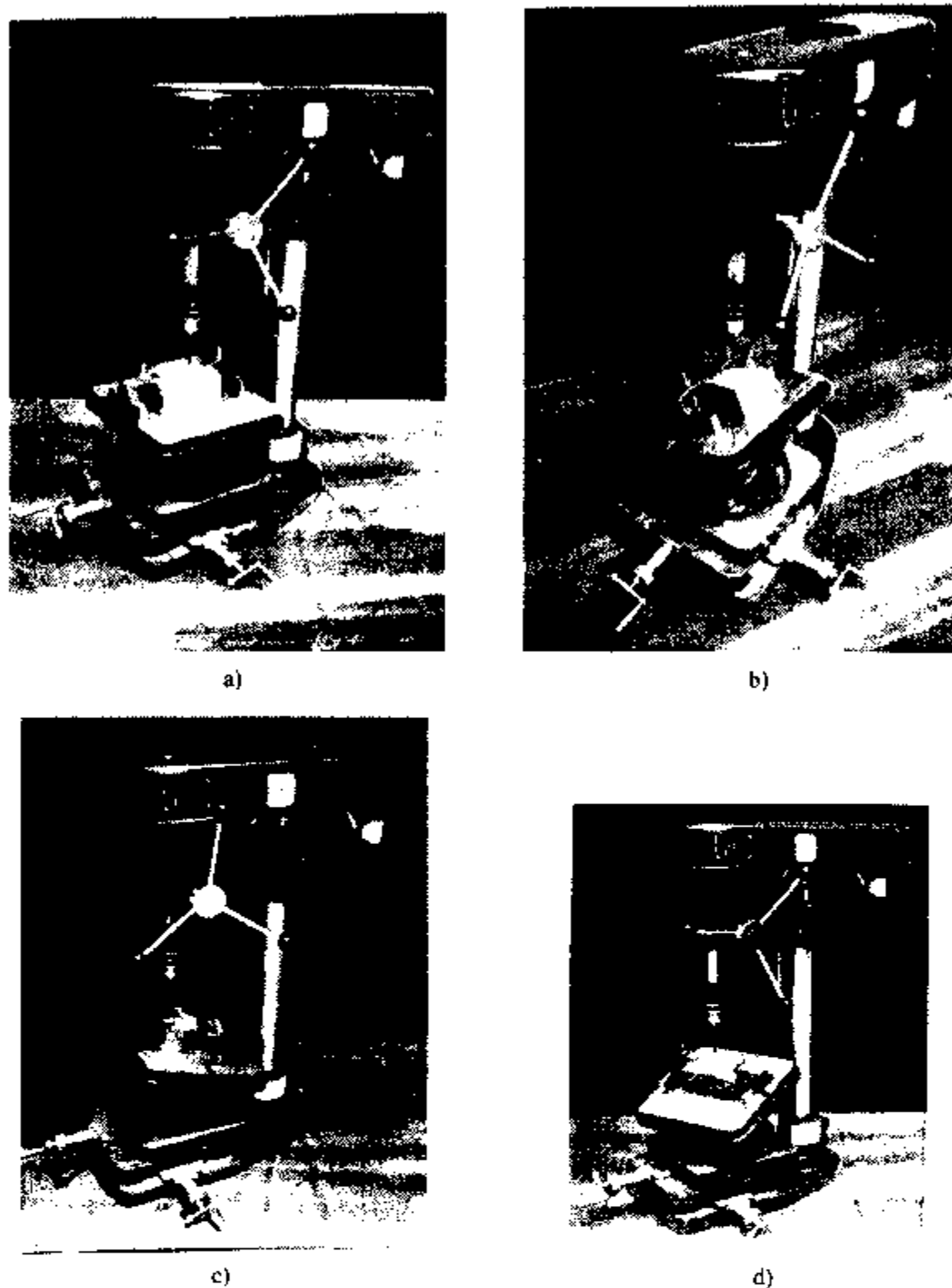


图 3-30 万能工作台钻铣床应用举例

a) 在水平面上钻孔 b) 工作台绕纵向进给轴旋转后的斜面上钻孔 c) 工作台绕横向进给轴旋转后的斜面上钻孔 d) 工作台绕垂直轴旋转后钻孔

- ①通过纵向进给手轮 13 及纵向进给手轮刻度盘 12，调整工作台 16 在纵向上的位置。
- ②通过横向进给手轮 7 及横向进给手轮刻度盘 8，调整工作台 16 在横向上的位置。
- ③通过扳动回转工作台底座 15 绕转轴 10 转动，并通刻度尺 11 控制工作台 16 转动的角度，即控制工作台 16 的倾斜程度。

通过上述对工作台 16 的纵向与横向位置调整，以及使工作台 16 绕转轴 10 的转动，使工作台 16 处于所要求的倾斜位置。这时候，原本在工件上垂直于倾斜表面上的孔，其轴线正好位于主轴轴线方向，并对准钻床主轴的中心线。也就是通过调整工作台 16，使工件上原本垂直于斜面上的孔位于水平位置后，即可按水平面上钻孔的方法进行钻孔。

3) 工作台绕横向进给轴方向旋转后钻削垂直于工件斜面上的孔(见图 3-30c 和图 3-29)。用上述同样的方法调整工作台 16, 使工件上欲钻孔所在斜面变换为水平位置, 同时使孔轴线处于钻床主轴轴线位置上, 即欲钻孔的中心线与钻床主轴轴线相重合。然后, 按水平面上垂直孔的钻削方法进行钻孔。

4) 工作台绕垂直轴旋转后, 钻削在水平面上圆周分布的多个孔(见图 3-30d 和图 3-29), 方法如下:

①将工件装夹于工作台 16 上, 并将欲钻孔所在平面调整为水平位置。

②通过纵向进给手轮 13 和横向进给手轮 7 对工作台 16 进行调整, 将工件上其中的一个欲钻孔对准于钻头下。

③开动机床, 操纵轴向进给手柄 4, 对第一个孔进行钻削。

④松开工作台 16 与回转工作台底座 15 间的紧固螺钉(图中看不见), 并转动工作台 16, 由回转工作台底座 15 的圆周上的角度刻线(图上看不清楚)确定欲钻第二个孔的准确位置, 调整完毕将工作台 16 与回转工作台底座 15 用紧固螺钉紧固。

⑤这时候, 钻头下的位置正好是欲钻第二个孔的位置, 可钻削第二个孔。

其余同一圆周上的各孔, 可按同样的方法调整工作台 16, 依次再钻削各孔。

2. 铣削加工

如图 3-29 所示, 在刀具夹头 5 上, 装上铣刀, 可进行铣削。铣削时, 由机床主轴带动铣刀旋转, 完成铣削的主运动; 经轴向进给微调手柄 3 控制铣削深度, 并用轴向进给锁定手柄 1, 对其铣削深度锁定; 以横向进给手轮 7 (或纵向进给手轮 13), 实现铣削的进给运动。

经大量生产实践证明, 该机床工作原理先进, 结构简单, 操作方便, 是一种非常实用的新型机床。

第四章 在车床上作非车削加工

通常情况下，在车床上只能作回转体表面加工。然而，往往由于设备缺少，或因机床负荷不平衡等原因，对车床进行技术改造后，也可作其他（非车削）加工，如多边形加工、磨削加工、滚压加工和螺纹铣削加工等。生产实践表明，因地制宜地采取技术措施，不仅投资小，上马快，效果好，是弥补设备不足或不配套的好办法，也是扩大车床使用范围的重要途径，特别是对中小工厂企业更具有现实意义。

一、在车床上加工多边形

加工多边形工件，一般应该在铣床或刨床上进行。但由于设备缺少，或为了提高生产率，通过对机床采取技术措施，也可在车床上加工多边形。

1. 加工多边形的工作原理

在车床上加工多边形工件，需要加装一套如图 4-1 所示的专用装置。车削时将其安装在中滑板上，使工件和刀具同向转动，并利用具有一定刀头数的刀具与工件的速比关系，实现刀具与工件的相对运动，使之按照展成规律实现型面的成形，完成正方形、六边形、正三角形、梯形、鼓形、腰形、扁形、菱形、不规则多边形及带有锥度多边形工件的加工。如加工

正三角形，其刀具与工件的传动比 $i = \frac{n_{刀}}{n_{工件}} = 3$ ，于是在切削过程中刀尖相对于工件轴线的轨迹为一条周期性重复的封闭曲线，曲线所包围的中间部分就形成了一个近似的三角形。若工

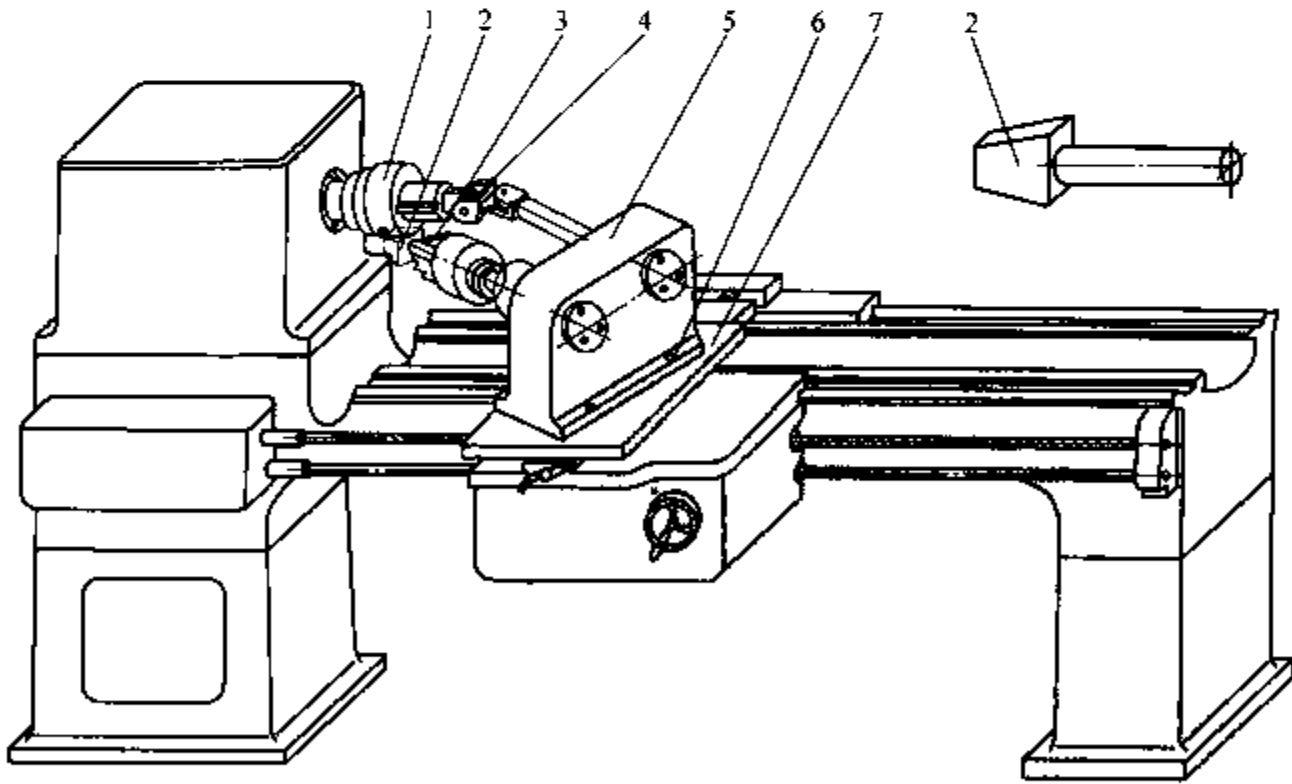


图 4-1 车床改装车正四棱锥台外观图

1—刀盘 2—工件 3—卡盘 4—万向联轴器 5—变速器 6—螺钉 7—底板

件轴线位于刀尖运动圆周之外，称为“外切削法”，呈现的三角形如图 4-2a 所示；若工件轴线位于刀尖运动圆周之内，称为“内切削法”，呈现的三角形如图 4-2b 所示。由呈现的三角形图形可见，无论是采用外切削法还是内切削法，加工出的三角形工件各表面均不是平面，而是近似平面的圆弧面。所以，本书所讲的车削多边形的方法，只能用在对表面平面度要求不高的加工中，其平面度的精度与 i 、 c 和 l 有关。

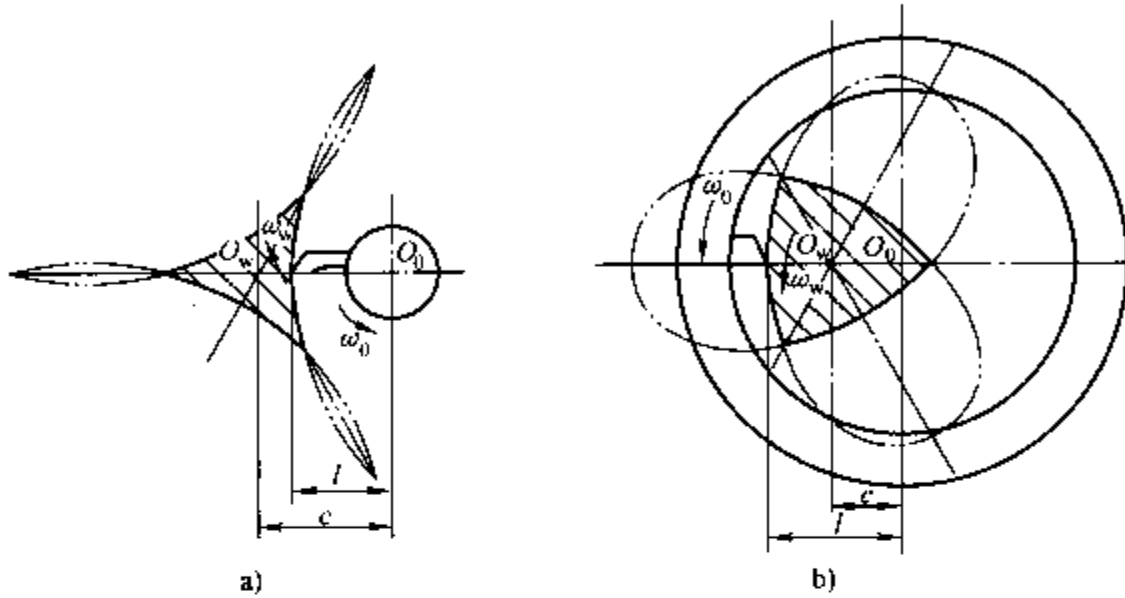


图 4-2 正三角形车削原理图

a) 外切削法 b) 内切削法

c —刀具和工件的中心距 l —刀尖至刀具回转轴线的距离

2. 加工多边形工件应用举例

以图 4-1 所示的工件 2 为例，加工部位是正四棱锥台的四个侧面，属于带有锥度的多边形工件。

将卧式车床改装，用它加工正四棱锥台的四个侧面，不仅操作方便，而且生产率较铣削加工提高几倍。但是这种以车代铣的加工方法，使正四棱锥台的四个表面略有不平。

(1) 改装部分的组成（见图 4-1 和图 4-3） 改装时，首先将车床尾座移至一端（或拆下），再拆下方刀架、小滑板和转盘。然后，装上根据加工需要设计制造的改装装置。改装装置的结构组成是：两把刀对称地装在刀盘 1 上，刀盘 1 固定在车床主轴上；万向联轴器 4 左端轴上有一条长键槽，与刀盘 1 用滑键联接，使万向联轴器左端轴既能传递转矩，又能在主轴轴线方向上滑动（在一定长度范围内），万向联轴器 4 右端轴与变速器 5 的第 I 轴铰接，使车床主轴与变速器 5 的第 I 轴可以偏离一个角度。变速器 5 用螺钉固定在底板 7 上，底板 7 又固定在中滑板上，使变速器 5 内的第 III 轴（与第 I 轴平行）与车床主轴在水平面的夹角 $\beta = \frac{\alpha}{2}$ ，如图 4-3 所示， α 角是正四棱锥台的锥顶角。因此，变速器 5 可随床鞍作纵向移动，随中滑板作横向移动。工件 2 由三爪自定心卡盘夹持，三爪自定心卡盘安装在变速器 5 的第 III 轴上。

(2) 工作原理及操作 车床主轴通过刀盘 1 把运动传给万向联轴器 4，并带动变速器 5 中的第 I 轴转动（见图 4-3），又经过齿轮副 z_1 、 z_2 和 z_2 、 z_3 使第 III 轴得到动力而旋转（见图 4-3），第 III 轴带动工件 2 转动，其旋转方向与刀盘 1 相同。

加工时，切削用量的选择及切削运动，都是利用原车床上的机构和操作方法实现的。此外，还有几点值得注意：

1) 变速器 5 中，齿轮 $z_1 = z_2 = 18$ ， $z_3 = 36$ ，故刀具转速/工件转速 = 2。通常情况下，刀轴（即车床主轴）转速选择为 300 ~ 500r/min，则有

$$\text{工件转速} = \frac{1}{2}(300 \sim 500) \text{ r/min}$$

2) 本改装所要加工的工件是阀杆上四棱锥台的四个侧面，所以要在刀盘上装两把刀，并保证两把刀的刀尖在同一圆周线上。

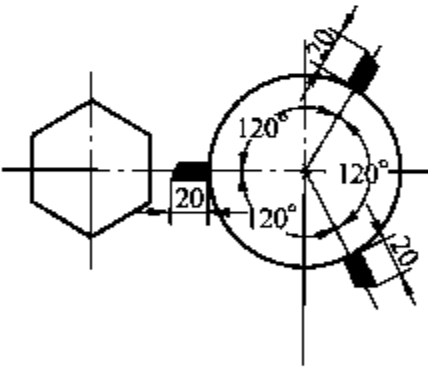
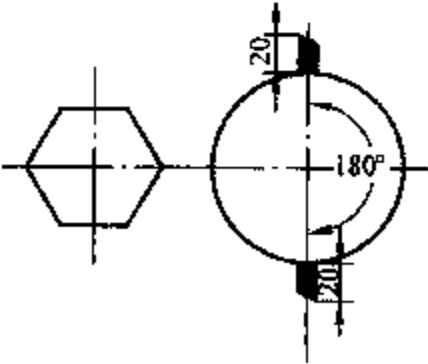
(3) 其他用途 利用图 4-3 所示改装装置还可以加工正四棱柱的四个侧面，但应对机床作适当调整：首先，使变速箱 5（见图 4-1）

的轴向与车床主轴方向在水平面夹角 $\beta = \frac{\alpha}{2} = 0$ （见图 4-3）；然后再调整刀头在刀盘中伸出的长度，即可车削。

3. 加工不同形状多边形工件

根据车削多边形的工作原理，选择刀具与工件的不同速比 i 以及不同的装刀数量 Z ，利用应用举例中的配置关系，则可加工不同型面形状的多边形工件，如表 4-1 所示。

表 4-1 工件形状、刀具安装与传动比的关系

工件形状	刀盘与工件的传动比	工件形状与刀具安装
正六边形	2:1	
正六边形	3:1	

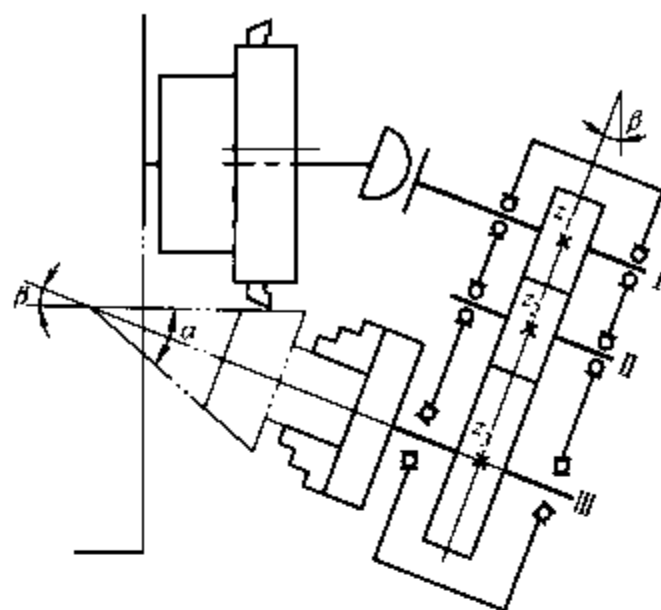
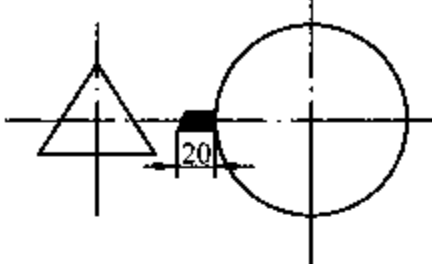
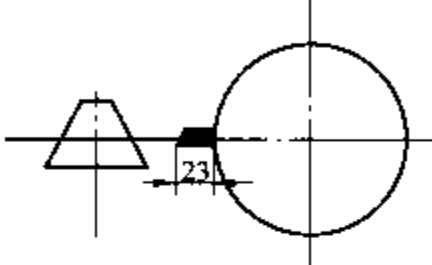
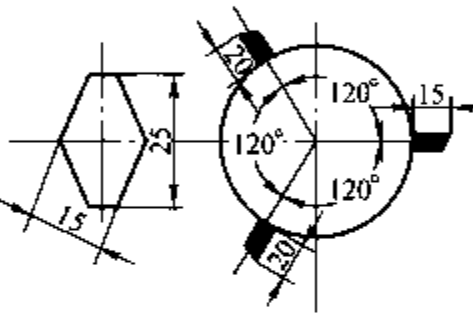
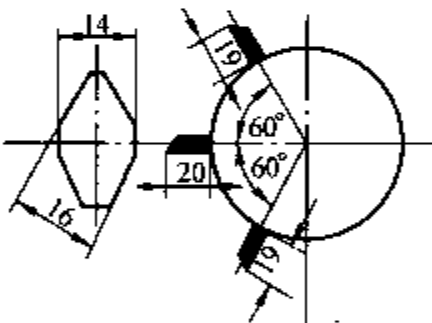
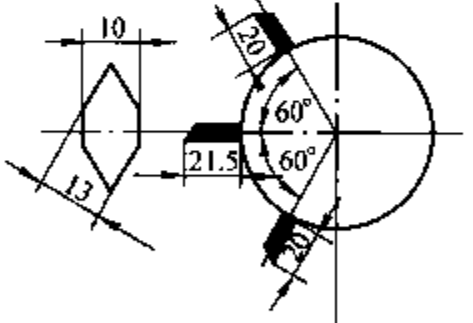
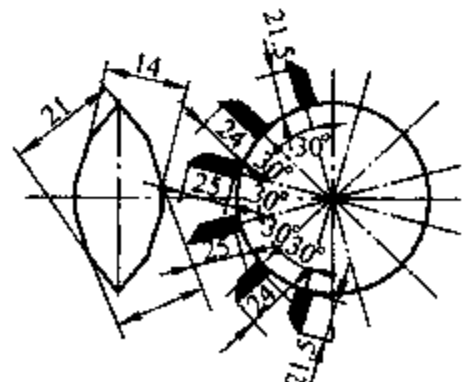
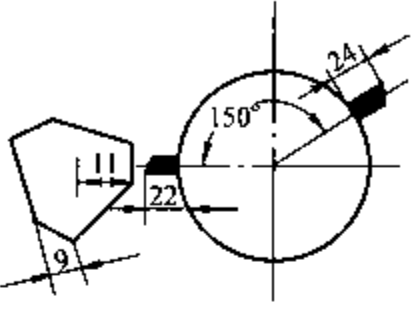
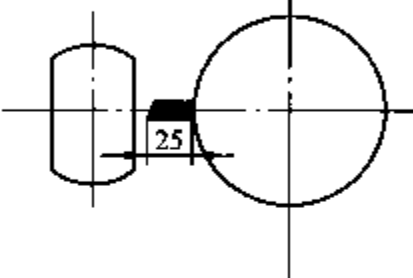
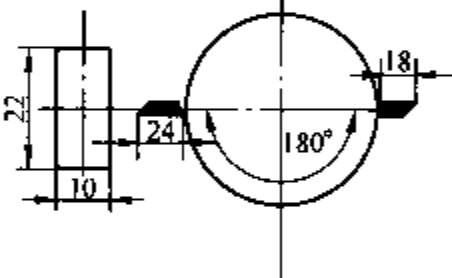
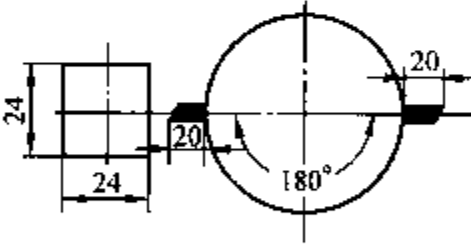
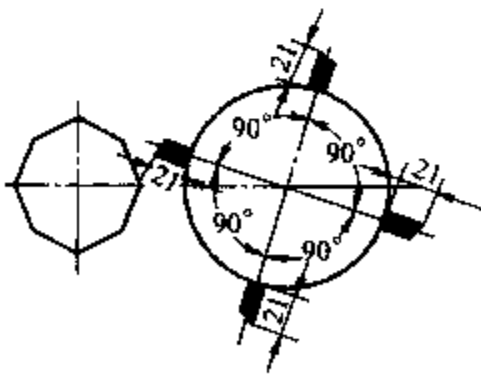


图 4-3 车床改装车正四棱锥台的工作原理图

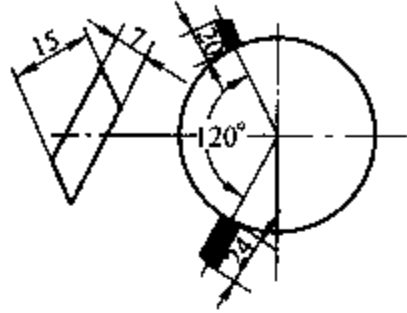
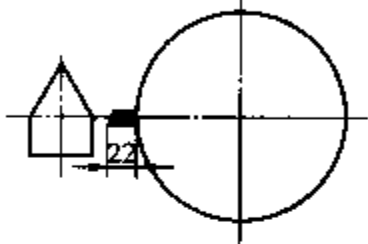
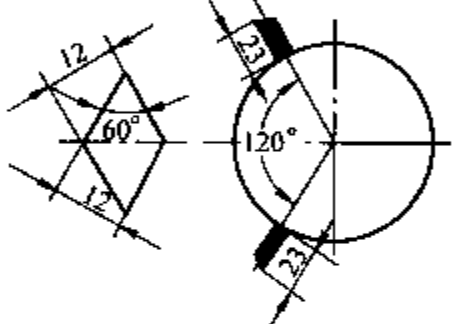
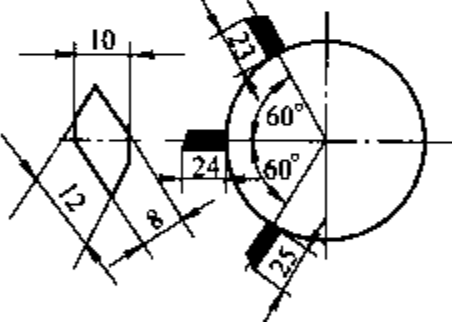
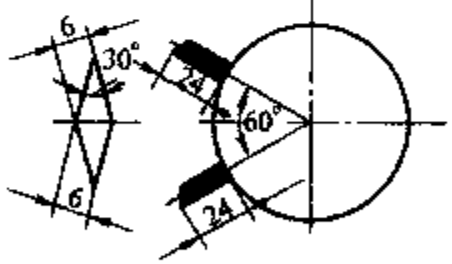
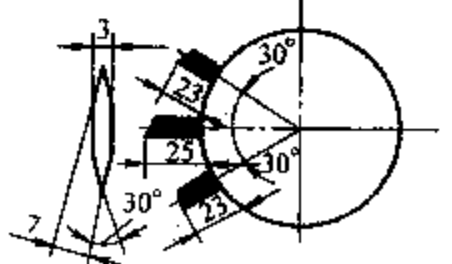
(续)

工件形状	刀盘与工件的传动比	工件形状与刀具安装
三角形	3:1	
梯形	3:1, 2:1 (有两种传动比, 应分两次切削)	
鼓形	2:1	
腰形		
棱形	2:1	
橄榄形	2:1	

(续)

工件形状	刀盘与工件的传动比	工件形状与刀具安装
不规则多边形	3:1	
扁形	2:1	
长方形	2:1	
正方形	2:1	
正八边形	2:1	

(续)

工件形状	刀盘与工件的传动比	工件形状与刀具安装
平行四边形	2:1	
锥形	2:1、3:1 (有两种速比, 应分两次切削)	
菱形	2:1	
不规则多边形	2:1	
菱形	2:1	
剑形	2:1	

(1) 刀盘上的装刀数量 在加工多边形时, 刀具数量 Z 等于多边形边数 n 与所选传动比 i 之商, 即

$$Z = \frac{n}{i}$$

(2) 刀具安装 加工正多边形时, 必须使刀具等分地安装在刀盘内, 而且在刀盘外的伸出长度要相等 (以刀尖为准); 加工非正多边形时, 按表 4-1 所示安装刀具。

(3) 相邻两把刀伸出刀盘外长度差的计算 加工多边形工件时, 每相邻两把刀之间伸出刀盘外长度的差值, 等于两邻边与其对边的距离差值的一半, 即

$$x = \frac{h_1 - h_2}{2} \quad (4-1)$$

式中 x ——相邻两把刀具之间伸出长度的差值 (mm);

h_1 ——多边形一组对边的距离 (mm);

h_2 ——多边形另一组对边的距离 (mm)。

例 1 加工图 4-4 所示平行四边形, 两组对边的距离分别为 15mm 和 7mm, 夹角为 120° , 求两把刀伸出刀盘外的长度差。

解: 根据式 (4-1) 计算, 则有

$$x = \frac{15 - 7}{2} \text{mm} \approx 4 \text{mm}$$

此结果表明, 安装刀具时应保证两把刀伸出刀盘外的长度差值约为 4mm。

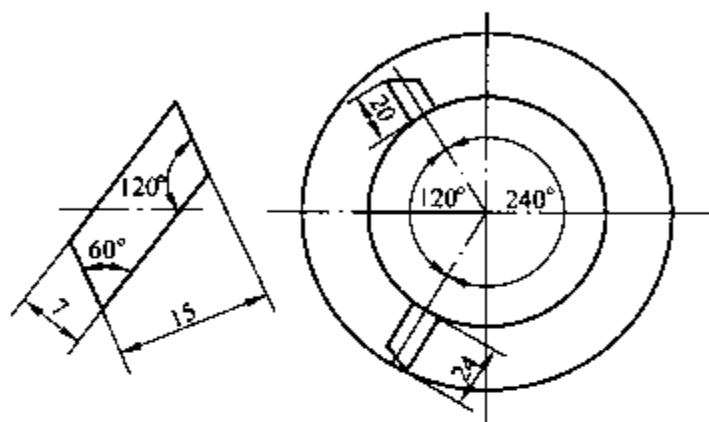


图 4-4 加工平行四边形工件的刀具安装

二、在车床上磨削加工

磨削加工是指用磨料、磨具进行加工的总称。磨削刀具 (砂轮) 是由磨粒与结合剂粘结而成的多刃刀具, 整个砂轮相当于一把有无数刀齿的多刀多刃铣刀。磨削时, 砂轮高速旋转并切入工件, 那些凸起在砂轮圆周表面或端面上的锋利磨粒, 强行擦过工件表面, 挤压工件材料, 使其发生弹性变形和塑性变形, 使得工件材料内部金属层发生相对移动。而当挤压力超过了金属内部分子的结合力时, 这层金属就脱离了工件而变成磨屑。这样每一颗磨粒就从工件表面上切除一条薄层的切屑, 而无数颗磨粒切削的结果, 就把工件表面要切除的金属层全部磨去, 从而形成了光滑的磨削表面。基于这种磨削机理, 使得磨削加工具有两大特点: 一是工件表面能获得很高的加工精度和极低的表面粗糙度值; 二是能磨削硬度很高的金属和非金属材料, 如淬火钢、各种切削刀具以及硬质合金等, 这些材料用金属刀具很难加工, 甚至根本不能加工。

将磨削加工移植到车床上, 以车床设备获取磨削加工的效果。进行技术移植时, 必须根据工件和生产条件来设计制造磨具。然后, 将制造好的磨具装夹在刀架上, 或者安装在已拆掉刀架的中滑板上, 即可进行磨削加工。

1. 车床改装磨内孔

某工厂因生产需要, 欲用一台简易自制车床改装成内孔磨床, 用于磨削内孔, 如图 4-5

作进给运动，即可作外圆磨削加工。

在车床改装和磨削选择切削用量时，除了应注意“车床改装磨内孔”的注意事项外，还要注意：砂轮不宜过宽，否则加工时易产生振动，当磨削刚度较差的工件时，要用跟刀架支承工件，以减小磨削时产生的振动；工件与砂轮的转向应相同。

磨削完成后，拆下外圆磨具，安上转盘、小滑板和方刀架，则车床恢复原貌，实现“一机多用”。

3. 将磨具装在方刀架上作磨削加工

有的工厂将一个小型磨具安装于卧式车床的方刀架上进行磨削加工，如图4-7所示。通过改变磨具所处位置、砂轮形状和磨具主轴的长短，即可磨削工件的外圆、内圆、端面、槽形、锥形、细长轴、细长孔和圆弧面等。

图4-8所示为一小型卧式磨具外观图。使用时将其安装于车床的方刀架上，适用于一些零件的粗、精磨和易变形零件的精磨。磨削完毕，拆下磨具，则恢复车床原貌，从而扩大了车床的工艺范围。

在车床上进行磨削加工应注意以下几点：

1) 工件的磨削余量不宜过大。一般为0.2~0.3mm。

2) 切削用量的推荐值如下：

工件转速不宜过快，一般在10~15m/min；

砂轮转速为25~30m/s；

背吃刀量为0.02~0.04mm/次；

轴向进给量为0.5~1mm/r。

3) 外圆磨削时，工件和砂轮的转向应相同；内孔磨削时，工件和砂轮的转向应相反。

4) 磨削时，通常可不用切削液，但加工质量较差；对于精度要求较高的工件，必须浇注充分的切削液。

5) 使用的砂轮不宜过宽，并需进行平衡实验。

6) 安装砂轮时，应使其回转中心与工件的回转中心等高。

在车床上进行磨削加工，还要注意对磨具（砂轮）的选择和使用。

选择磨具（砂轮）硬度的一般原则如下：

1) 磨削硬度高的材料时，磨粒容易磨钝，为了使磨钝的磨粒及时脱落，应选较软的磨具。反之，磨削硬度低材料时，磨粒不易磨钝，为了不使磨粒未磨钝就过早地脱落，应选用较硬的磨具。

2) 磨削容易使工件烧伤、变形，如导热性差、薄壁、薄片工件等，应选用较软的磨具。

3) 磨具与工件接触面积较大时，磨粒切削时间长，容易钝化，且冷却条件差，工件容易发热和烧伤，应选用较软的磨具。

4) 精磨时，应比粗磨时所选的磨具硬度高一些。但加工表面粗糙度要求很低时，磨具硬度就不宜过高，以免烧伤工件表面。

5) 磨削断续表面时，选择磨具硬度要高一些。成形磨削时，为了保持磨具外形轮廓，应选用较硬的磨具。

6) 磨具线速度低，工件线速度高或纵向进给量大时，磨粒受力较大，应选用硬度较大的磨具。

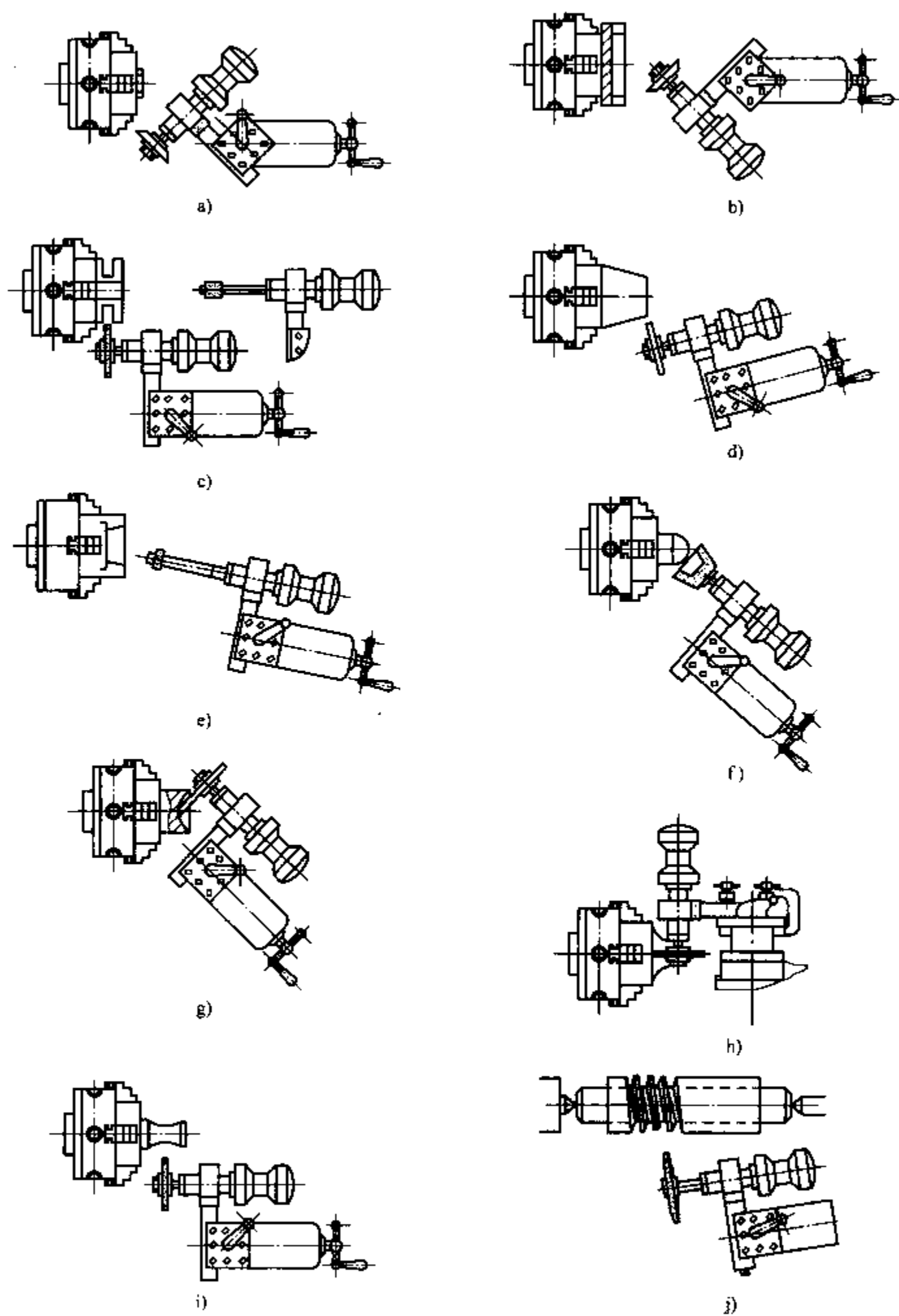


图4-7 在方刀架上安装磨具作磨削加工

- a) 磨削外圆及端面 b) 磨内圆及内端面 c) 磨槽及内圆 d) 磨外锥体 e) 磨内锥体
f) 磨外球面 g) 磨内球面 h) 磨圆弧面 i) 磨其他型面 j) 磨螺纹

7) 干磨时, 为了减少发热量, 应比湿磨时的磨具稍软一些。

8) 在相同的磨削条件下, 用树脂结合剂磨具比陶瓷结合剂磨具的硬度要高。

砂轮根据磨料不同可分为两大类: 刚玉类(氧化铝)适合磨削钢材和一般刀具; 碳化硅类适合磨削硬质合金、铸铁等硬材料。

砂轮在磨削加工中会被磨钝。砂轮磨钝后, 切削作用减小, 而砂轮与工件表面间的摩擦却增加了, 如果继续使用, 将会出现下列后果:

1) 砂轮与工件之间出现打滑, 磨削效率显著下降。

2) 发生振动、噪声等, 同时表面粗糙度值上升, 出现明显的直波形振痕或亮点等缺陷。

3) 砂轮与工件之间的压力增加, 使工件变形加剧, 影响磨削精度。

4) 产生的热量增加, 容易引起工件表面烧伤和产生细小裂纹等。

对于砂轮磨钝的现象, 应避免将会产生的后果, 具体鉴别和修整方法如下:

(1) 鉴别砂轮是否磨钝 砂轮的磨钝一般有三种状态: 磨粒磨钝、砂轮表面塞实和砂轮外形失真。

1) 磨粒磨钝的鉴别。磨粒磨钝后, 在磨削过程中, 可能出现下列一些情况:

①当第一次校正好所需要的尺寸公差, 并将刻度进给手轮定位后, 又经过一段时间的磨削, 被磨削的工件尺寸会越来越大。同时, 在无横向进给时(即光磨时), 火花延续时间很长。

②砂轮磨削工件时发出摩擦噪声。

③磨削长轴时, 在调整好跟刀架的情况下, 中间磨成鼓形。

2) 砂轮表面塞实的鉴别。在实际磨削过程中, 砂轮(如白刚玉砂轮)洁白的表面经过磨削后, 由灰黑色变成深黑色。这就是磨屑、碎磨粒、结合剂及油污等物质, 填塞在砂轮表面孔隙之中而产生的。有时, 从砂轮侧面观察发现其表面发出光亮, 发生这种情况时, 即使磨粒的本身还是锋利的, 砂轮也已经没有切削能力了, 说明砂轮表面已被塞实。砂轮表面塞实大多发生在砂轮硬度选择过高, 粒度很细, 被磨材料的韧性较大时。

3) 砂轮外形失真的鉴别。由于横向进给量过大, 从而使砂轮工作表面的磨粒脱落不均匀, 导致砂轮外形失真。尤其是选用软砂轮时, 更会明显地反映出来。这时, 在工件的磨削表面可观察到磨痕粗糙, 并有斜纹及规律性的波纹。

(2) 修整砂轮 修整砂轮的方法有如下几种:

1) 用金刚钻修整砂轮。金刚钻是目前修整砂轮的主要工具。

2) 金刚笔可在某些磨削工序中代替金刚钻修整砂轮。

3) 用滚轮式割刀修整砂轮。它常用于粗磨砂轮的修整, 而不适宜修整精磨或细磨用的砂轮。

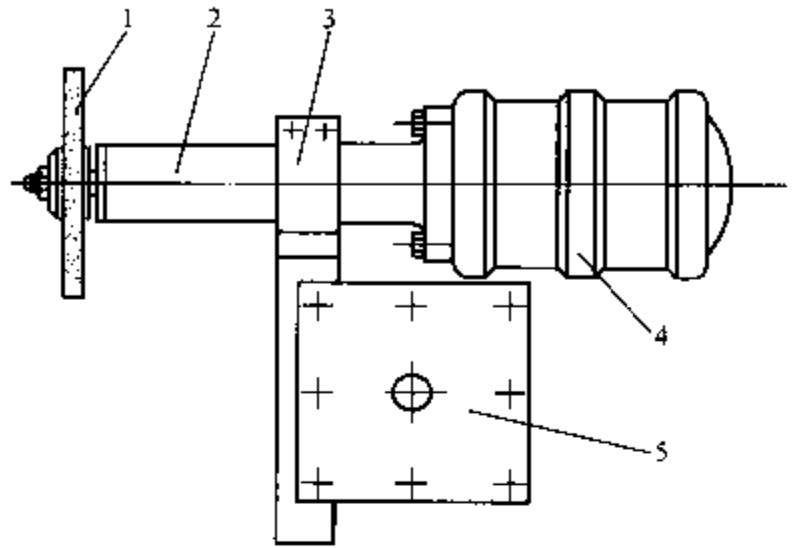


图 4-8 小型卧式磨具

1—砂轮 2—磨杆 3—卡箍 4—电动机 5—方刀架

4) 用碳化硅（黑色）砂轮块修整砂轮。它适用于金刚钻修整前对砂轮粗修；刃磨刀具、磨削导轨时修整砂轮。

5) 用修整砂轮来修整砂轮。此种方法用于成形砂轮的修整。

三、在车床上珩齿加工

珩齿加工是近年发展起来的一种齿轮精加工方法。其改装是在卧式车床上进行的，主要用于除去齿轮热处理后的氧化皮及毛刺，可使表面粗糙值达到 $R_a 0.63 \mu\text{m}$ ，齿轮传动噪声也略有降低，生产率很高。

1. 改装部分的组成

图 4-9 所示为车床改装进行珩齿加工的外观图。

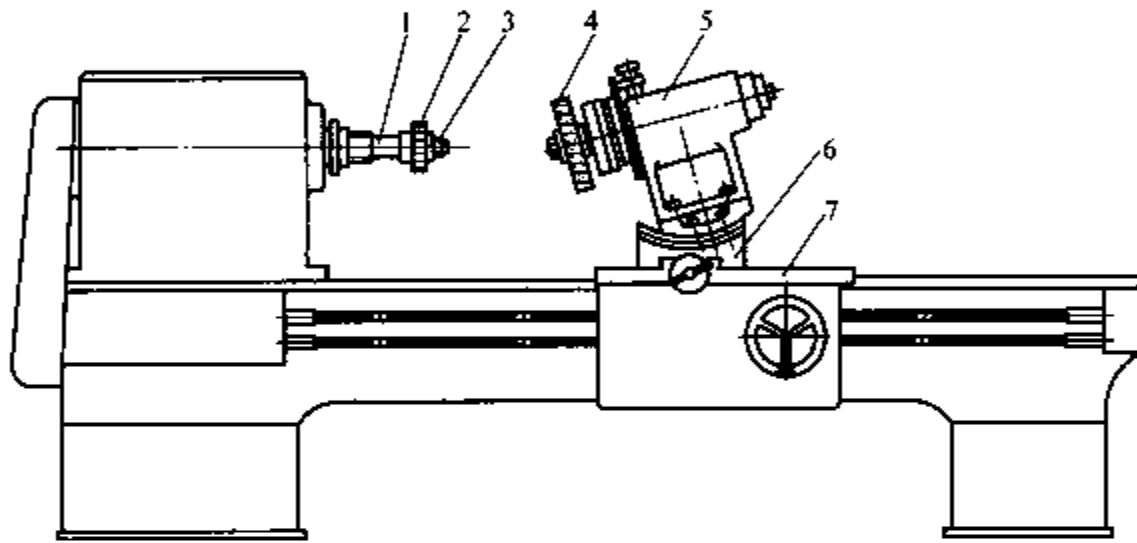


图 4-9 车床改装进行珩齿加工

1—心轴 2—工件 3—螺母 4—珩磨轮 5—珩磨头 6—滑座 7—床鞍

改装主要由两部分组成。一是被珩齿轮的安装部分，由心轴、垫片、螺母等零件组成。心轴插入车床主轴锥孔里，用螺栓拉杆紧固。被珩齿轮安装在心轴上，用螺母拧紧。二是珩磨头，它的滑座 6 安装在床鞍 7 上面的横向燕尾形导轨上，因此珩磨头既可随床鞍作纵向进给运动，又可在横向进给的丝杠-螺母机构作用下作横向进给运动。

2. 珩齿加工原理

珩齿所用珩轮的外形结构和剃齿刀相似，珩轮材料是由磨料，通常为 $0.08 \sim 0.18\text{mm}$ (80 ~ 180 目) 的电钢玉、树脂等混合而成的。在轮芯上浇注成螺旋齿轮（见图 4-10a）。其主要结构尺寸：分度圆直径有 240mm 和 180mm 两种；螺旋角有 15° 和 5° 两种；宽度现在多为 35mm。

本改装采用了常见的双面变压珩齿法，珩轮与工件（被珩齿轮）的啮合关系、运动情况和剃齿大体相同：工件带动珩轮正、反转动；珩轮沿轴向作直线

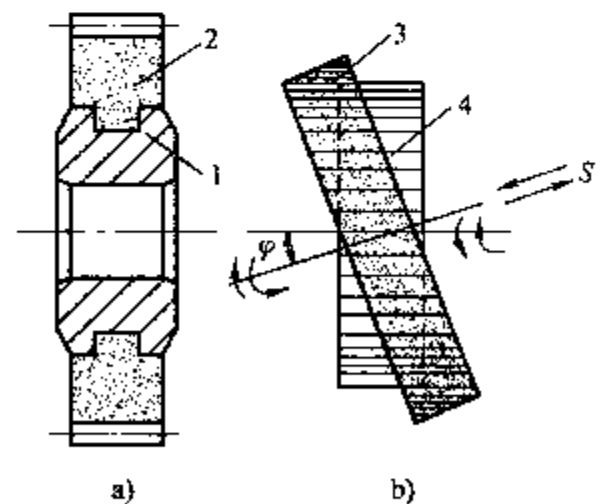


图 4-10 珩齿原理

1—轮芯 2—树脂磨料
3—珩轮 4—被珩齿轮

往复运动（见图4-10b）。但径向运动不像剃齿那样在每一往复行程后有一次进给，而是按珩齿需要的初压力（一般为200N左右）调整好珩轮与工件的中心距，开机后一次进给到预定的位置。珩齿开始时齿面压力较大，随后压力渐减（即所谓变压），直至接近消失时珩齿结束。

应当指出，虽然珩齿的运动和剃齿大体相同，珩轮的结构和剃齿刀比较相似，但是珩齿过程的本质和剃齿是不相同的，其特点如下：

1) 珩轮齿面上密布着磨粒，各磨粒以粘结剂（环氧树脂）相隔，这一点与磨具相似，但珩齿的速度远低于一般磨削。另外，粘结剂的弹性较大。所以，珩齿过程实质是一个低速磨削、研磨和抛光的综合过程。

2) 珩齿时，齿面间除了沿齿向产生滑动切削外，沿渐开线方向的滑动使磨粒也能切削，于是就构成了齿面刀痕的复杂纹路，使齿面的表面粗糙度值降低。

3) 珩轮的弹性较大，珩齿不像剃齿那样能强行修正齿轮上较大的误差。所以，珩轮本身的误差不会全部反映到被珩齿轮上去，珩轮的精度可不必要求很高。

3. 珩磨头结构

珩磨头的结构如图4-11所示，它是根据上述珩磨原理设计与制造的，由主轴1、弹性夹头4、胎盖5、压盘6、摩擦盘7、偏心盘8、心轴11、弹簧14、壳体18、滑座29等零件组成。

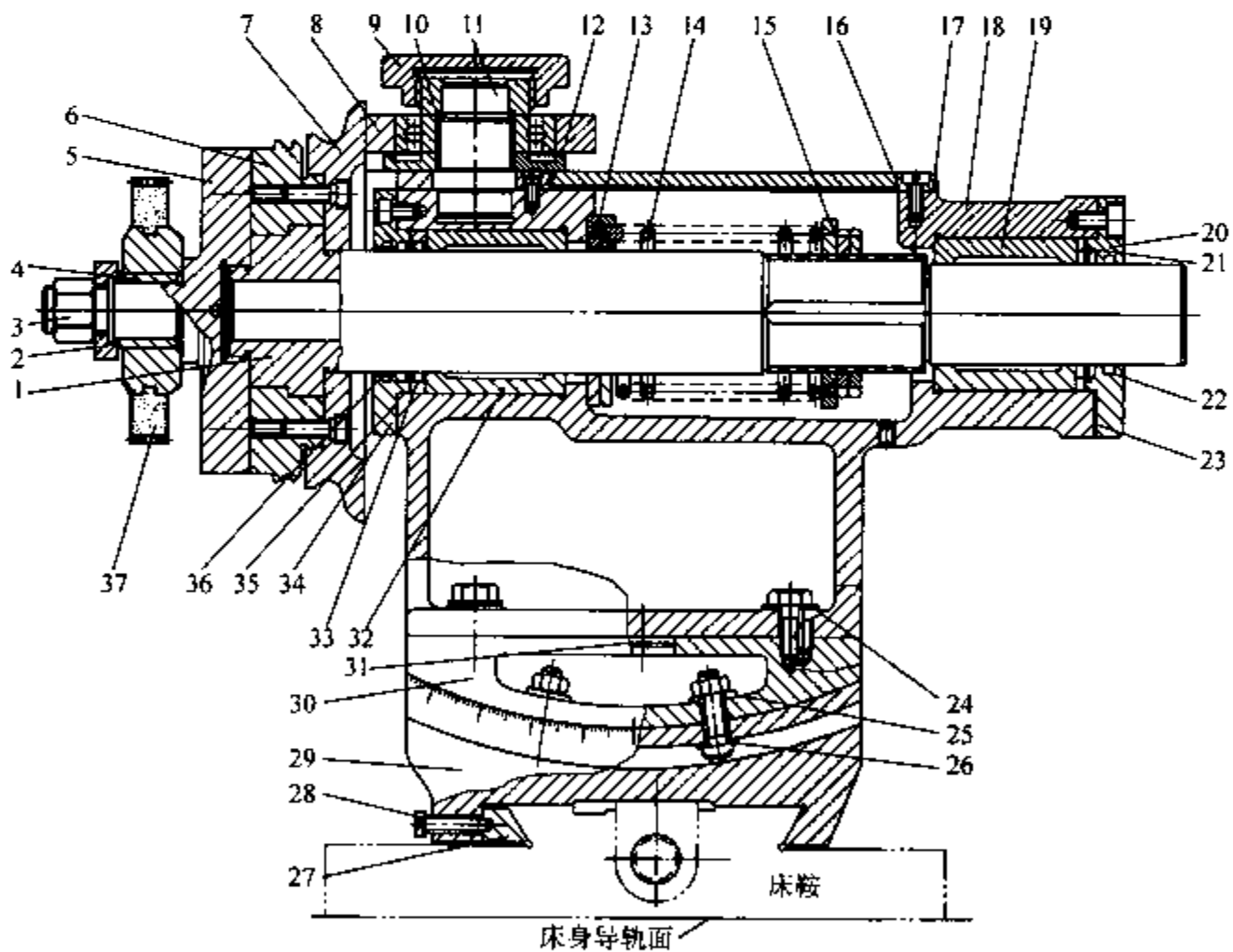


图4-11 珩磨头结构组成

- 1—主轴 2—压片 3、10—螺母 4—弹性夹头 5—胎盖 6—压盘 7—摩擦盘 8—偏心盘
9、17—盖 11—心轴 12—盘 13、21、24、25、26、33—垫片 14—弹簧 15—紧固
弹簧片 16、23、35—纸垫 18—壳体 19、32—轴套 20、34—法兰盘 22、36—油封
27—楔铁 28—支头螺钉 29—滑座 30—底座 31—定位轴 37—珩磨轮

珩齿加工时，珩轮与工件啮合，于是珩轮在工件的带动下旋转，其动力通过弹性夹头 4 传给胎盖 5。由于胎盖 5、压盘 6、摩擦盘 7 之间均是用螺钉联接，所以摩擦盘 7 等件随胎盖 5 一起转动。旋动弹簧调节螺母，可调节弹簧 14 作用在主轴 1 上的弹力。由图可以看出，摩擦盘 7 紧紧地压在偏心盘 8 上。因此，当摩擦盘 7 转动时，在摩擦力的作用下，偏心盘 8 绕心轴 11 转动。偏心盘 8 外形轮廓上各点到心轴 11 圆心的尺寸不等，则使主轴 1 随着珩磨轮 37 的旋转而作轴向往复运动。也就是说，在珩齿加工中，珩磨轮既与工件啮合旋转，又沿着主轴 1 的轴向作往复直线运动。

应当指出，珩磨轮直线往复运动行程的大小，受偏心盘 8 的控制。当被珩齿轮的宽度不同时，偏心盘 8 的偏心距 e 也应不同，所以偏心盘 8 是可更换件，对不同齿宽的齿轮，需换成偏心距相适应的偏心盘。为了减少不同尺寸偏心盘的数量，在生产中可按表 4-2 选用。

表 4-2 齿轮的宽度与偏心盘的偏心距

(单位: mm)

齿轮的齿宽	偏心距 e	偏心盘外径 D
20 以下	3	116
20 ~ 30	5	122
30 以上	8	130

偏心盘的结构如图 4-12 所示。

4. 使用方法及注意事项

(1) 珩齿方法 一般可采用常见的双面变压珩齿法。所谓“双面”是指珩磨齿的两侧面，在珩齿过程中需要工件作正、反转。所谓“变压”前面已作解释，不再重述。

(2) 珩轮的选用 珩轮分通用和专用两类，无特殊要求时，尽量选用通用珩轮。为了保证珩轮与被珩齿轮（即工件）能正确啮合，所选用珩轮的模数、压力角应与被珩齿轮相同。

(3) 工件转速的选择 由于珩磨头的结构关系，珩轮的转速不宜过高，以 $n_{\text{珩}} = 150\text{r/min}$ 左右为宜。由于主动轮与被动轮的转速之比等于它们齿数的反比，即

$$\frac{n_{\text{工}}}{n_{\text{珩}}} = \frac{z_{\text{珩}}}{z_{\text{工}}}$$

式中 $n_{\text{工}}$ ——工件转速 (r/min);
 $n_{\text{珩}}$ ——珩轮转速 (r/min);
 $z_{\text{工}}$ ——工件齿数;
 $z_{\text{珩}}$ ——珩轮齿数。

所以

$$n_{\text{工}} = n_{\text{珩}} \frac{z_{\text{珩}}}{z_{\text{工}}} \text{ 或 } n_{\text{工}} = 150 \times \frac{z_{\text{珩}}}{z_{\text{工}}} \text{r/min} \quad (4-2)$$

因为珩轮和工件的齿数是已知的，所以利用式 (4-2) 可算出工件的转速。

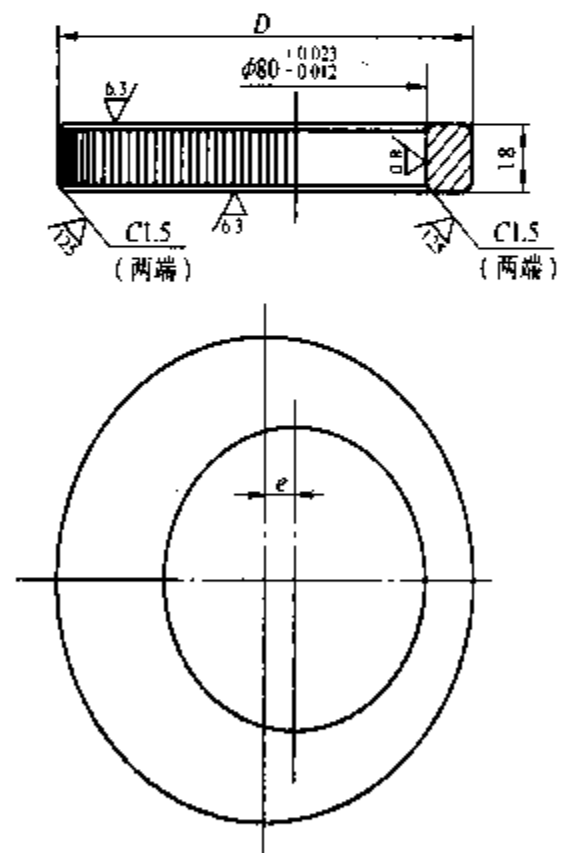


图 4-12 偏心盘

(4) 工件与珩轮的回转轴线交叉角 φ 的调整 一个直齿圆柱齿轮和一个螺旋齿轮相啮合时（或两个螺旋角不等的螺旋齿轮相啮合时），两轮的回转轴线必须构成一个交叉角 φ （见图 4-10b）。要使两轮能正确啮合，交叉角 φ 必须适当。 φ 的调整（见图 4-11）方法如下：首先松开底座 30 与滑座 29 的紧固螺母，然后扳动珩磨头，使珩轮与工件能正确啮合后，再把紧固螺母拧紧即可。

(5) 其他 珩磨头连续工作时间不宜过长；珩磨头内应灌注机油。

四、在车床上铣端面和钻中心孔

这里介绍两个车床改装后铣轴的端面和钻中心孔的实例。经生产实践检验，证明本改装和加工方法是成功的，适用于大批量生产，能够保证有较高的生产率和较好的中心孔质量。

1. 在改装车床上铣单端面和钻中心孔

(1) 改装说明 图 4-13 为车床改装后的外观图，具体结构说明如下：

1) 中心钻轴直接安装在车床主轴上，由主轴带动作逆时针旋转（面向中心钻看），转速通常选择为 $800 \sim 1000 \text{ r/min}$ 。另外，中心钻轴上装有小齿轮 3，并与大齿轮 2 啮合传动，把动力传递给铣刀轴，则铣刀轴带动铣刀 5 作顺时针方向旋转。

2) 铣刀轴由两个圆锥滚子轴承支承，轴承安装在支座 1 上。由于两支承间距离较小，所以圆锥滚子轴承采用“反装置”的结构形式，即两轴承的圆锥滚子小端相对对称布置，如图 4-14 所示。它的好处是：在支承距离 L 相等的条件下，与“正装置”（即圆锥滚子大端相对对称布置）相比， $L_2 > L_1$ ，所以反装置结构较稳定，使支承具有较高的刚度。铣刀轴中间装有大齿轮 2，前端装有铣刀 5。支座 1 用螺钉固定在床身导轨上（见图 4-13）。

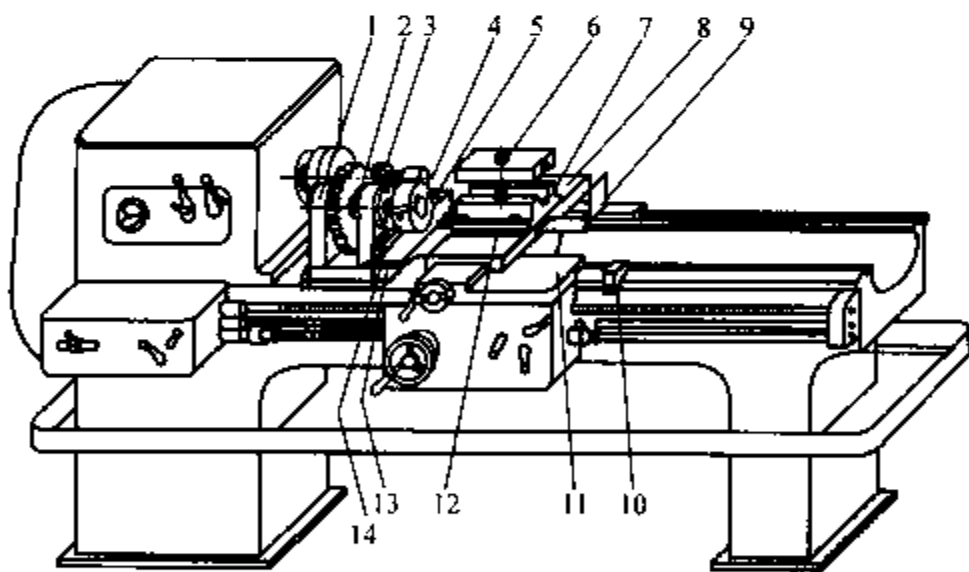


图 4-13 在改装车床上铣单端面、钻中心孔的外观图

1—支座 2—大齿轮 ($m=2.5\text{mm}$, $z=50$) 3—小齿轮 ($m=2.5\text{mm}$, $z=20$)

4—中心钻 5—铣刀 6—夹紧机构 7—V形块 8—中滑板 9—定位挡板

10—定位块 11—床鞍 12—垫片 13—纵向定位螺钉 14—定位板

3) 在加工中，铣刀作顺时针方向旋转（面向铣刀方向看），转速为

$$n_{\text{铣}} = i n_{\text{钻}} = \frac{20}{50} \times (800 \sim 1000) \text{ r/min} = 320 \sim 400 \text{ r/min}$$

式中 $n_{\text{铣}}$ ——铣刀转速 (r/min);
 $n_{\text{钻}}$ ——中心钻转速 (r/min);
 i ——传动比。

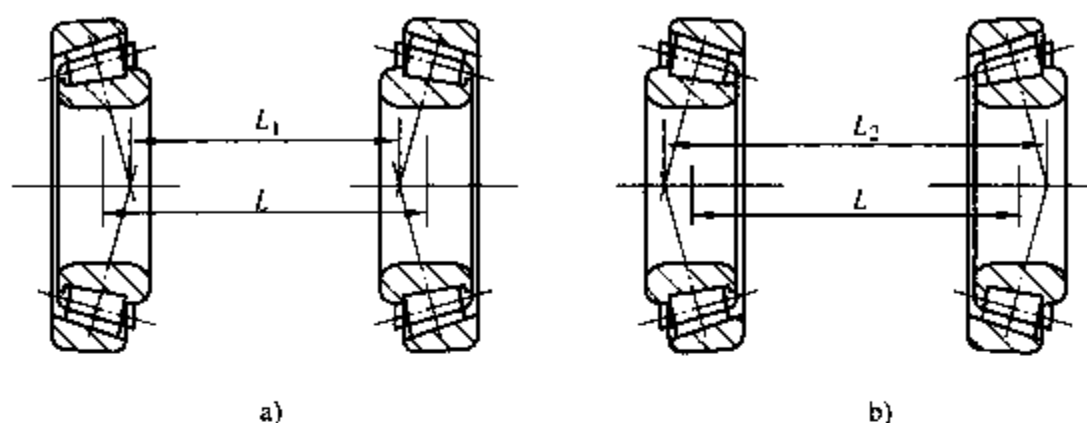


图 4-14 轴承的布置形式

a) 正装置 b) 反装置

4) 拆掉方刀架、小滑板及转盘，将夹具用螺钉固定在中滑板 8 上。

5) 由图 4-15 可知，尺寸 A 的误差会使轴的各阶梯与轴端面之间的距离产生误差；当尺寸 L 有误差时，以右端中心孔定位加工出来的阶梯端面与以左端中心孔定位加工出来的阶梯端面之间的轴向尺寸，也会直接受到影响。所以，同一批毛坯的中心孔深度 A ，以及两中心孔间的距离 L 应一致。为此，在本改装中特设有长度定位元件，即“在支座 1（以下指图 4-13）上装有定位板 14，用以控制工件头一端的加工余量；在中滑板 8 上装有定位挡板（可以转动）9，用于控制轴的全长；在支座 1 上还固定有纵向定位螺钉 13，用以控制钻中心孔的深度。另外，在前导轨上固定有定位块 10，用以控制夹具与铣刀 5 之间的距离。

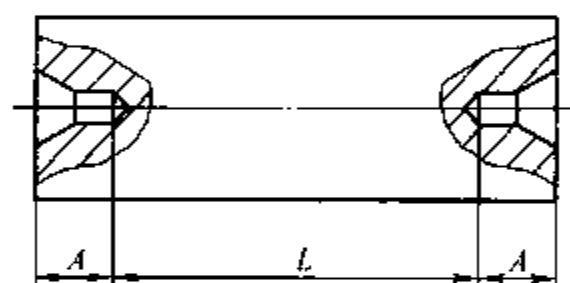


图 4-15 中心孔的深度
和中心孔间距离

6) 中心孔应钻在毛坯轴的轴线上，以保证在圆周上的切削余量均匀，为此在床鞍上固定有横向定位螺钉（图 4-13 中看不见），用于钻中心孔时控制中滑板 8 横向进给的距离。

(2) 使用说明（见图 4-13）

1) 在工件的一次安装中完成两道工序，即先铣轴的端面，后钻中心孔。这样可以避免因轴的端面不平而使钻头在开始钻削阶段产生引偏和折断。

2) 加工轴的一端时，首先将定位挡板 9 转动一角度，以免妨碍装夹工件。然后将工件放在 V 形铁里，并且使轴的端部顶在定位板 14 上，再使夹紧机构 6 夹紧工件。开动机床，则中心钻和铣刀旋转为加工的主运动。这时摇动横向进给手柄，于是中滑板 8 带动工件横向进给，铣削轴的端面。当工件横向进给至中滑板 8 碰到床鞍 11 上的横向定位螺钉时，横向进给停止，此时轴端面已铣削完了，并且工件的轴线正好对准中心钻的轴线。再摇动纵向进给手轮，则床鞍 11 带动工件纵向进给，钻中心孔，直至床鞍 11 碰上纵向定位螺钉 13，纵向进给停止，钻削中心孔深度已达到尺寸。而后，反向摇动纵向进给手轮，则床鞍 11 带动工件退出中心钻，直至床鞍 11 碰上定位块 10，床鞍 11 后退停止。反向摇动横向进给手柄，

中滑板 8 带动夹具横向退回。到此，轴的一端端面的铣削和中心孔的钻削全部加工完了。

加工轴的另一端时，把工件调头装夹在夹具上，并且使工件已加工的轴端顶在定位挡板 9 上。以后的操作同加工头一端一样。

3) 本改装采用 V 形块定位，这种方法的突出优点是对中性好。对不同直径尺寸的轴类零件铣端面和钻中心孔时，通过更换不同厚度的垫片 12（见图 4-13），来保证工件的中心和中心钻同高。垫片 12 厚度的确定方法如下（见图 4-16）：

由图中可知

$$T - H = OB - CB \tag{4-3}$$

在直角三角形 OAB 中

$$OB = \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} \tag{4-4}$$

在直角三角形 A'BC 中

$$CB = \frac{N}{2 \tan \frac{\alpha}{2}} \tag{4-5}$$

将式 (4-4) 和式 (4-5) 代入式 (4-3) 中，得

$$T - H = \frac{D}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{N}{2 \tan \frac{\alpha}{2}}$$

即

$$T = H + \frac{1}{2} \left(\frac{D}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{N}{\tan \frac{\alpha}{2}} \right)$$

当 $\alpha = 90^\circ$ 时，

$$T = H + 0.707D - 0.5N \text{ 或 } H = T - 0.707D + 0.5N$$

又因为

$$H = L_1 + L_2$$

于是有

$$L_1 = H - L_2 = T - 0.707D + 0.5N - L_2$$

式中 L_1 ——垫片厚度；

T ——中滑板上表面至主轴中心的高度；

D ——工件直径；

N ——V 形块开口宽度；

L_2 ——V 形块高度；

α ——V 形块两工作面交角。

(3) 改装效果

1) 在一次安装中，可完成轴的一端端面铣削和中心孔钻削两道工序，生产率较高。

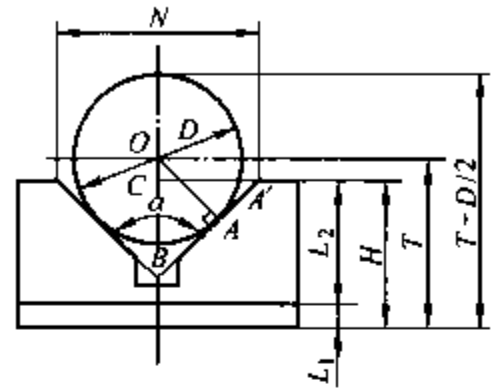


图 4-16 V 形块的尺寸关系

- 2) 适用于加工一定范围内不同直径轴类的中心孔，并且调整简便。
- 3) 改装简单，一般工厂均可进行。
- 4) 操作容易，初级工也能掌握。
- 5) 完成生产任务后，改装部分可以很快拆除，安上转盘、小滑板及方刀架，则车床恢复原貌。

2. 在改装车床上铣双端面 and 钻中心孔

本改装是在一台卧式车床上进行的，拆掉方刀架、小滑板、转盘和尾座，然后安上铣端面钻中心孔的机构，可由此机床在工件的一次安装中，完成轴的两端同时铣削，并钻削两端正面上的中心孔。

(1) 改装概述 图 4-17 是车床改装后的外观图。

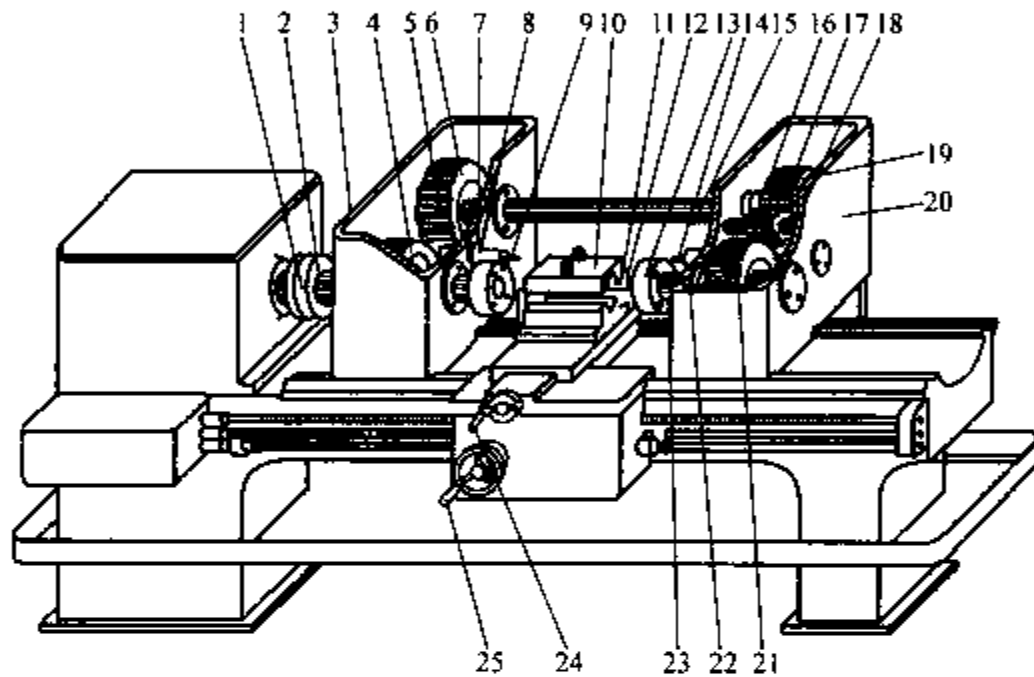


图 4-17 在改装车床上铣双端面 and 钻中心孔的外观图

- 1—弹性联轴器 2、23—铣刀轴 3、20—刀轴箱 4、5、6、16、17、18、19—齿轮
7、13—端面铣刀盘 8、22—中心钻轴 9、14—中心钻 10—夹具 11—定位螺钉
12—中滑板 15—连接传动轴 21—轴 24—手柄 25—手轮

由图可知，铣轴两端面钻中心孔的机构由刀轴箱 3 和 20 两部分组成，经连接传动轴 15 将动力从刀轴箱 3 传给刀轴箱 20。两刀轴箱底面有内凹的山形槽，以此和床面上的山形导轨相配合定位，通过底部压板牢固地安装在床身上，同时要保证中心钻轴 8 和 22 对中良好。

在刀轴箱 3 里：铣刀轴 2 的左端用弹性联轴器 1 与车床主轴相连接，右端有端面铣刀盘 7，中间是齿轮 4 ($m = 2.5\text{mm}$, $z = 55$)；中心钻轴 8 上装有齿轮 5 ($m = 2.5\text{mm}$, $z = 18$) 和中心钻 9；连接传动轴 15 的左半部上装有齿轮 6 ($m = 2.5\text{mm}$, $z = 55$)。

在刀轴箱 20 里：连接传动轴 15 的右半部上装有齿轮 19 ($m = 2.5\text{mm}$, $z = 50$)；齿轮 16 ($m = 2.5\text{mm}$, $z = 18$) 滑套在轴 21 上 (见图 4-18)；中心钻轴 22 上装有齿轮 18 ($m = 2.5\text{mm}$, $z = 18$) 和中心钻 14；铣刀轴 23 上装有齿轮 17 ($m = 2.5\text{mm}$, $z = 55$) 和端面铣刀盘 13。

铣端面和钻中心孔的传动原理如图 4-18 所示。车床主轴反转，将动力经弹性联轴器 1 传给铣刀轴 2，驱动端面铣刀盘 7 作顺时针转动。又经齿轮 4 和 5，使中心钻轴 8 旋转，驱

动中心钻9作逆时针旋转。经齿轮5和6啮合传动，带动连接传动轴15旋转，把动力传给刀轴箱20中的齿轮19，经过桥齿轮16和18相啮合，使中心钻轴22旋转，驱动中心钻14作逆时针转动（面对中心钻看）；再经齿轮18和17相啮合，则铣刀轴23旋转，驱动端面铣刀盘13作顺时针转动。

(2) 使用说明 参见图4-17，两端面铣刀盘7、13之间的距离是根据工件加工长度设计的，所以本改装只能加工一定长度的轴类零件。工件安装在夹具10上，操作手柄24，通过中滑板12上的丝杠螺母机构，由中滑板12带着夹具向前进给，直到中滑板12抵在定位螺钉11（可调整）上，此时工件两端面已铣完，并且工件的停留位置正是它的轴线对准中心钻9和14的位置。这时转动手轮25，则床鞍带动工件向左进给，在工件左端面上钻出中心孔；再反方向摇手轮25，则床鞍带动工件向右进给，于是又在工件右端面上钻出中心孔。到此，工件两端铣平面和钻中心孔加工完毕。

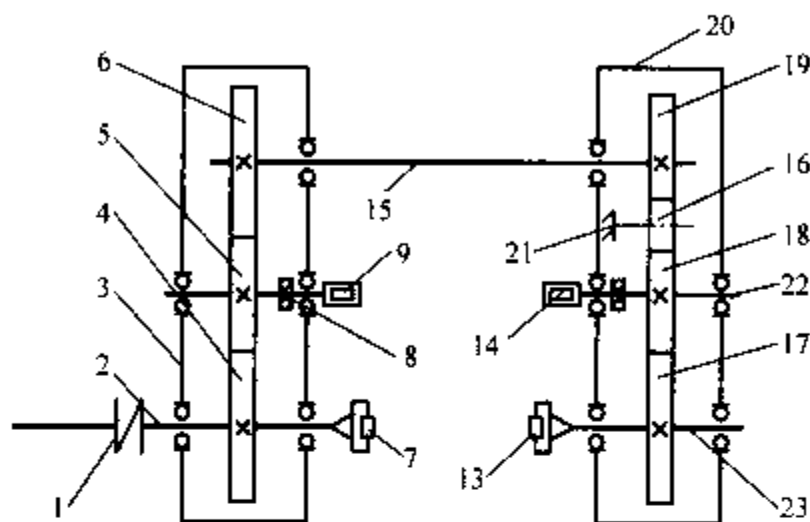


图4-18 铣端面钻中心孔的传动原理图
(图注同图4-17)

由于端面铣刀对中心钻的传动比为55/18，且齿轮6比齿轮19多5个齿，故端面铣刀盘7和中心钻9的转速分别比端面铣刀盘13和中心钻14的转速稍高些，因此在选择车床主轴的转速时应注意。

(3) 改装注意事项

1) 中心钻加工时必须是逆时针旋转。

2) 在加工时，端面铣刀盘7上的铣刀是逆铣，而端面铣刀盘13上的铣刀是顺铣，所以要求带动中滑板进给的丝杠与螺母的配合一定要好，否则在加工时易产生故障。

3) 在铣削两端面时，如果横向进给的中滑板的燕尾导轨结构宽度较小，容易产生工件上下振动现象，因此在改装时应根据工件的长度来估计燕尾导轨宽度，如果认为不够宽，则应重新设计制造。

4) 在改装中，如果将连接传动轴15（见图4-17）做成可伸缩的，刀轴箱20在床身上的位置和夹具都可调时，则利用本改装就可以加工一定长度和直径范围内的轴类零件，从而扩大了机床的使用范围。

五、在车床上滚压加工

滚压是利用滚压工具在常温状态下对零件表面施加压力，使金属表层产生塑性变形的一种新工艺。

1. 滚压加工的优点及应用

- 1) 可将工件表面粗糙度 R_a 值从 $3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 降低到 $0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ ，并且生产率很高。
- 2) 金属表面没有磨料嵌入。

3) 由于挤压作用使工件表层金属晶粒细化, 形成具有更高强度的紧密层组织, 使其表面强化, 将表面的残留拉应力变为残留压应力, 从而提高了工件的疲劳强度和耐磨性、耐腐蚀性, 增加了使用寿命。

4) 滚压工具一般都比较简单、耐用。

5) 可在大、中、小型车床上进行滚压加工。

6) 操作简单, 一般技术工人都能适应。

7) 广泛地应用于圆柱面、圆锥面、平面、螺纹表面和齿轮表面等各种表面的加工, 并且部分地代替了磨削、研磨、抛光等精加工。

2. 常用滚压工具及应用场合

(1) 硬质合金滚轮式内、外圆滚压工具 (见图 4-19) 这种滚压工具的滚压元件为滚轮, 具有滚辗和滚研两种效应, 滚压效果较好。适用于滚压阶梯轴、短孔、不通孔等塑性材料工件。应注意, 在安装工具时, 使滚轮轴线相对工件轴线在水平面内沿顺时针方向倾斜约 1° , 有助于提高滚压效果; 滚压时, 不需要加油润滑、冷却; 滚压前, 工件表面及滚轮型面应保持清洁无油污, 并且工件表面不得有局部缩孔或硬化现象。

(2) 滚柱式内、外圆滚压工具 (见图 4-20) 这种滚压工具的滚压元件为滚柱, 滚柱与工件的接触面小, 滚压时不需要施加很大的压力, 但可获得很好的滚研压效应。它适用于工件的内、外圆滚压加工; 不宜滚压经调质处理的硬度高的工件。应注意, 对于不通孔和有阶梯的内孔, 不能滚压到底。

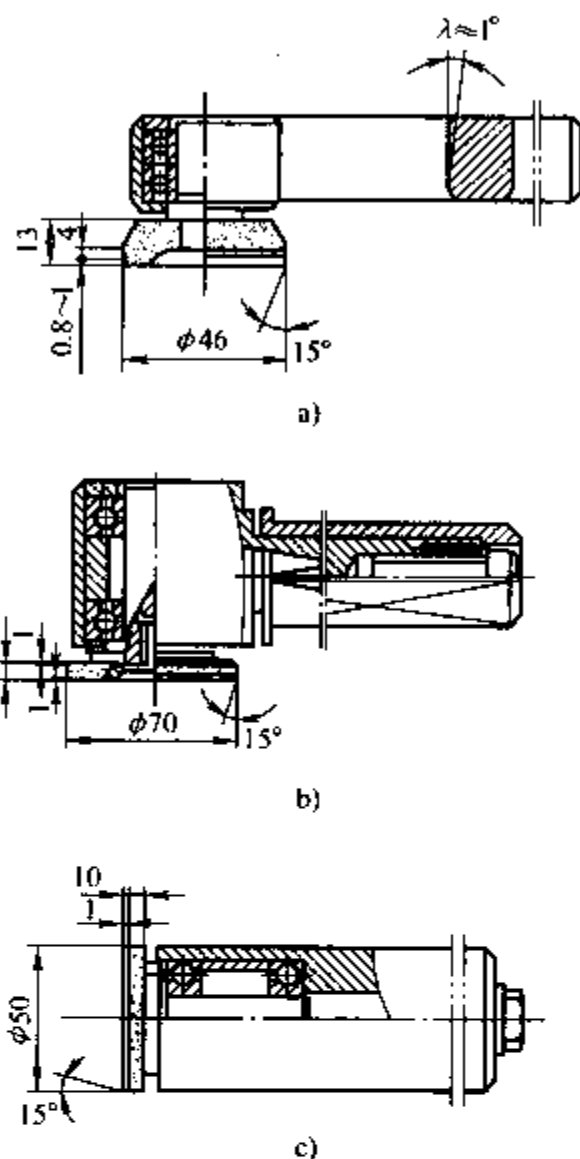


图 4-19 硬质合金滚轮式内、外圆滚压工具

a) 滚压小尺寸外圆 b) 滚压大尺寸外圆 c) 滚压内孔

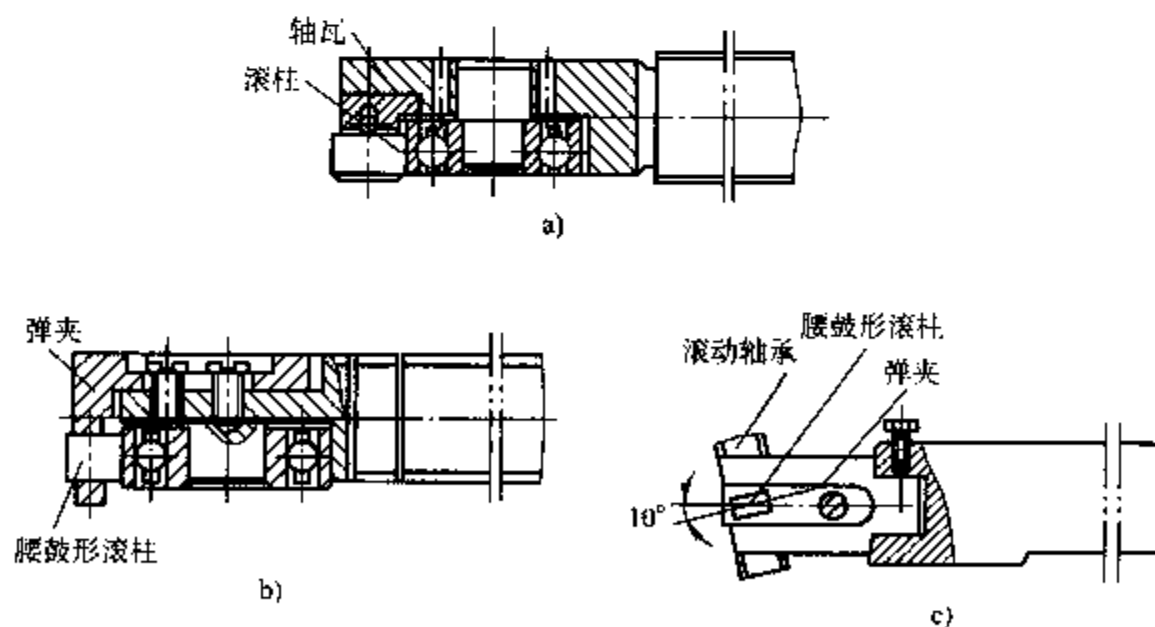


图 4-20 滚柱式内、外圆滚压工具

a) 滚压外圆 b) 滚压大孔 c) 滚压小孔

(3) 硬质合金 YZ 型深孔滚压工具 (见图 4-21) 这种滚压工具的滚压元件为滚轮, 以弹性方式滚压, 压力均匀, 并且调整方便, 适用于深孔滚压加工。

(4) 圆锥滚柱深孔滚压工具 (见图 4-22) 这种滚压工具的滚压元件为圆锥形滚柱, 滚压时滚柱的圆锥母线与工件圆柱内孔母线有一个 $0.5^\circ \sim 1^\circ$ 的斜角, 有助于提高孔壁的表面质量, 降低表面粗糙度值。它适用于深孔滚压加工。滚压时, 应加注切削液, 常采用 50% (体积分数) 的硫化切削液加 50% 柴油或煤油、机油。

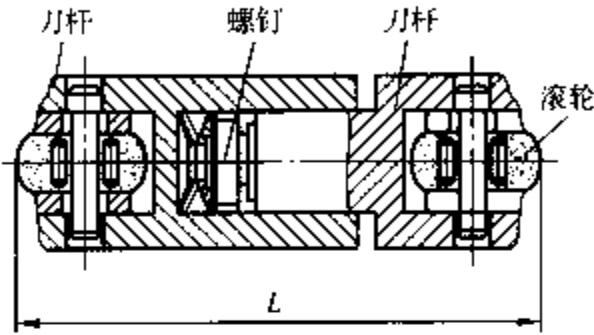


图 4-21 硬质合金 YZ 型深孔滚压工具

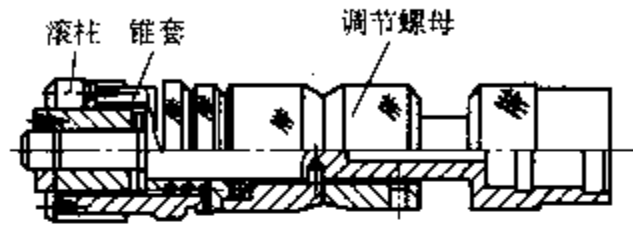


图 4-22 圆锥滚柱深孔滚压工具

(5) 滚珠式滚压工具 (见图 4-23) 这种滚压工具的滚压元件为滚珠 (钢球), 一般采用滚动轴承的滚珠, 具有高精度、高硬度、低表面粗糙度值等优点。它适用于工件外圆、内孔的滚压加工。应注意, 弹性滚压工具只适用于滚压精度不太高的场合。

3. 滚压加工的技术规范

应用滚压技术要想获得较好的效果, 合理制订技术规范非常重要, 通常的技术规范是:

(1) 工件的预加工质量 预加工质量的好坏, 直接影响滚压后的质量, 因此工件必须经过半精加工, 使表面粗糙度 R_a 值达到 $3.2\mu\text{m}$ 以下, 并留有 $0.01 \sim 0.04\text{mm}$ 的滚压余量; 其几何形状精度, 如圆度和圆柱度不能超过图样要求。

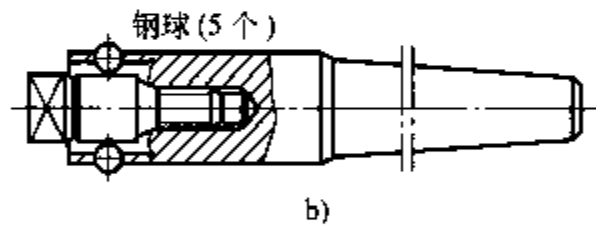
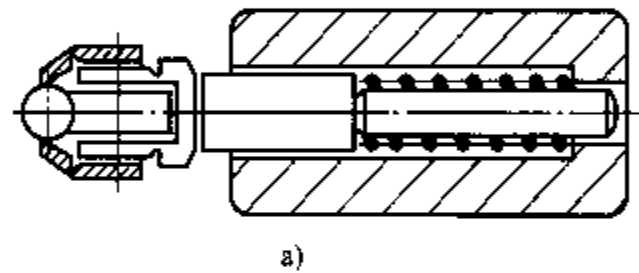


图 4-23 滚珠式滚压工具
a) 滚压外圆 b) 滚压内孔

(2) 滚压速度 在保证机床、滚压工具正常使用的情况下, 宜采用较高的滚压速度, 以利于提高滚压质量和生产率。不同形式滚压工具的滚压速度见表 4-3。

表 4-3 不同形式滚压工具的滚压速度

结构形式	滚压速度 v (m/min)	
	外圆滚压	内孔滚压
硬质合金滚轮式滚压工具	80 ~ 150	
滚柱式滚压工具	< 40	30 ~ 40
硬质合金 YZ 型深孔滚压工具	—	30 ~ 40
圆锥滚柱深孔滚压工具	—	60 ~ 80

(3) 进给量及滚压次数 进给量选择范围为 $0.03 \sim 0.20\text{mm/r}$; 滚压次数不宜过多, 1 ~ 2 次为宜, 否则会使工件表面产生疲劳。

(4) 滚压压力 由于滚压时要使工件表面产生塑性变形, 进给量越大, 则滚压压力也

越大，其值一般由进给手柄来决定，以达到工件尺寸和表面粗糙度要求为适宜。

(5) 切削液 根据工件材料来选择切削液，对大多数金属来说，应选用轻而粘度低的润滑油，如锭子油、透平油等。一般用煤油和机油的混和液为多。

(6) 清除杂物 滚压前要清除零件上的油脂、杂物和腐蚀痕迹等，以免影响滚压后的质量。

六、在车床上铣削加工

在车床上进行铣削加工，与在卧式铣床上将铣刀夹头插入主轴锥孔内进行加工大致相似，即将铣刀夹头插入车床主轴锥孔里，由车床主轴带动铣刀旋转；在床鞍或中滑板上安装辅具装夹工件，由床鞍和中滑板带动作纵、横移动进给，则可作一些铣削加工。应当指出，在车床上作铣削加工时，由于车床的床鞍或中滑板不能像卧式铣床的工作台能上下移动，所以使铣削加工受到一定的限制。另外，铣削加工的铣削力较大，并且是断续切削，有切削振动，影响加工质量。因此，在车床上进行铣削与卧式铣床相比，其生产率较低，加工精度差。

1. 在车床上旋风铣螺纹

旋风铣螺纹是用旋风铣头来加工螺纹，只需一次切削就能完成螺纹的加工方法。其生产效率高，尤其是在大批生产中应用，更能发挥其优越性。通常用于螺距为 3 ~ 18mm 的三角形、梯形和蜗杆螺纹的加工。

(1) 工作原理 旋风铣螺纹的工作原理如图 4-24 所示。

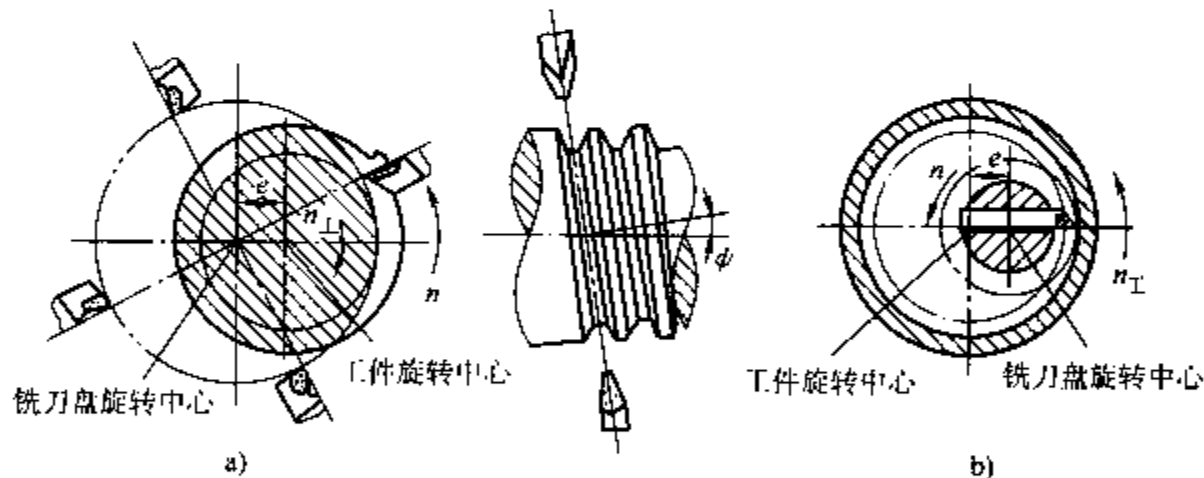


图 4-24 旋风铣螺纹的工作原理

a) 铣外螺纹 b) 铣内螺纹

在旋风铣头的转轴上，装有一个刀盘，刀盘上装有 1 ~ 4 个硬质合金刀头。铣刀盘的轴线与工件轴线倾斜螺纹升角 ψ ；铣刀盘中心与工件中心有一个偏心距 e 。铣削时，铣刀盘高速旋转，形成主运动；工件装夹在车床卡盘上，作缓慢旋转，形成切削过程中的圆周进给运动；旋风铣头随同床鞍在平行于主轴轴线方向作纵向进给运动。这样，工件每转一圈时，旋风铣头上的铣刀盘便前进工件的一个螺纹导程 P_t 。应当指出，由于铣刀盘中心与工件中心不重合，故刀刃只在其轨迹的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{6}$ 圆弧上与工件接触，进行间断切削。

(2) 旋风铣削螺纹的方式及适用范围 旋风铣削螺纹的方式如图 4-25 所示。

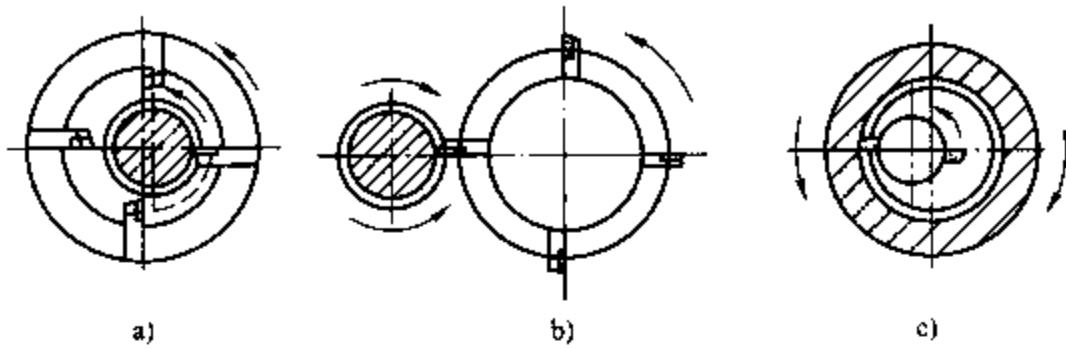


图 4-25 旋风铣削螺纹的方式

a) 内切法加工外螺纹 b) 外切法加工外螺纹 c) 内切法加工内螺纹

注：图中实线所示的工件旋转方向为顺切削，虚线所示方向为逆切削。

1) 图 4-25a 所示为内切法加工外螺纹。其特点如下：

- ①切削平稳。
- ②螺纹表面粗糙度值较小。
- ③刀具使用寿命较长。
- ④排屑较困难。
- ⑤工件直径受机床和旋风铣削头的结构限制。

这种加工方法的适用范围是：

- ①适于铣削螺纹升角 $\leq 5^\circ$ 的螺纹。
- ②螺纹直径应小于 100mm。

2) 图 4-25b 所示为外切法加工外螺纹。其特点如下：

- ①切削振动较内切法大。
- ②螺纹表面粗糙度值较内切法高。
- ③刀具使用寿命短。

这种加工方法的适用范围是：

- ①螺纹直径大于 100mm。
- ②螺纹升角 $> 5^\circ$ 的螺纹。

3) 图 4-25c 所示为内切法加工内螺纹。其特点如下：

- ①切削平稳。
- ②刀具回转直径与工件螺纹中径的比值一般为 0.6 ~ 0.7。

这种加工方法适用于直径 $\geq 32\text{mm}$ 的内螺纹。

(3) 旋风铣头在车床上的安装 先把车床的方刀架、小滑板拆掉，再把旋风铣头安装于中滑板上，并使旋风铣头转轴的回转轴相对工件轴线倾斜一个角度，其角度大小取决于工件螺纹的螺纹升角，倾斜的方向取决于工件螺纹的旋向。

(4) 加工要点

1) 安装于刀盘上的几把车刀，每一把的刀尖与旋风铣头转轴轴心保持相等距离，并在同一个回转平面上。车刀的安装与调整，可采用对刀规或对刀样板控制。图 4-26 所示为用对刀样板调整刀具的方法。

2) 为防止螺纹刀根切螺纹侧面，旋风铣头刀盘旋转平面应与工件螺纹螺旋线平面平

行。因此，在切削右旋螺纹时，旋风头应向逆时针方向偏转一个工件的螺纹升角；在切削左旋螺纹时，旋风铣头应向顺时针方向偏转一个工件的螺纹升角。

3) 刀具的几何角度根据被加工零件的几何形状、螺距大小、直径大小和不同材料来选择。选择原则是：除了要求刀具材料具有较高的热硬性和耐磨性外，其他方面均与一般车削螺纹时相类似。

4) 由于切削是带冲击性的断续切削，因此对工件的装夹应牢固，并调整好床鞍、中滑板等各部分间隙，以防振动。

5) 旋风铣切削螺纹的切削用量，应根据被加工零件的材料、热处理、加工精度、表面

粗糙度、刀盘的装刀数和零件直径的大小等因素进行选取。表 4-4 中所推荐的数据可供选择切削用量时参考。

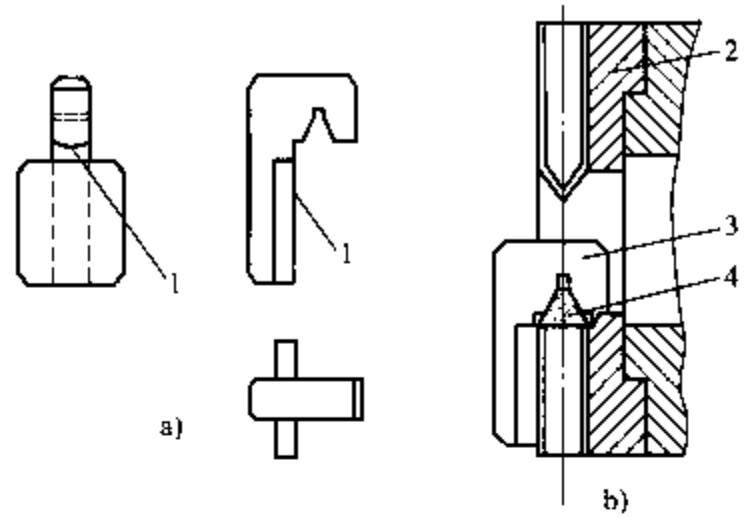


图 4-26 刀头的安装与调整

a) 对刀样板 b) 调整方法

1—基准面 2—外旋风刀盘 3—对刀样板 4—车刀

表 4-4 旋风铣切削螺纹常用的切削用量

被加工 零件材料	刀具材料	螺纹牙型	零件直径 /mm	螺距 /mm	装刀数	切削速度		进给次数
						刀盘转速 /(r/min)	工件转速 /(r/min)	
碳钢或合金 钢 (不锈钢切 削速度略低)	YT15	三角形	小于 30	小于 3	1~2	1400~1600	12~25	1
			小于 30	小于 3	4	1000~1200	12~20	1
			30~50	小于 3	1~2	1200~1400	12	1
			30~50	小于 3	4	1000~1200	12	1
			50~68	3~6	1~2	1000~1200	4~12	1~2
			50~68	3~6	4	1000~1200	8~12	1~2
		梯形	24~40	4~8	1~2	1200~1400	4~8	2~3
			40~60	4~12	2~4	1000~1200	2~4	2~3
非铁金属	YG8	三角形 或梯形	小于 30	小于 3	1~2	1400~1600	12~16	1
			30~70	3~6	1~2	1200~1400	8~12	1~3
			小于 30	小于 3	4	1200~1400	12~16	1~2
			30~70	3~6	4	1000~1200	4~8	2~3
钢件或铜件	YT15	三角形或 梯形内螺纹	20~30	小于 3	1	1600~2400	8~12	1
	YG8		30~60	3~6	1		4~8	1~3

6) 加工长丝杠时，可用高压风冷却，以提高刀具使用寿命。

7) 旋风铣头在刀盘处必须安装防护罩，以防切屑飞溅伤人。

2. 铣削键槽

图 4-27 所示为铣削键槽的示意图。

由图可知，拆下了车床的转盘、小滑板和方刀架，将万能虎钳工作台 5 安装在中滑板 6 上，将铣刀夹头 2 插入车床主轴前端的莫氏锥孔里。加工时，铣刀 3 可根据零件上键槽的要求选取，用铣刀夹头 2 夹持，并由主轴 1 带动旋转；工件 4 装夹在万能虎钳工作台 5 上，由床鞍 7 控制背吃刀量，由中滑板 6 带动作横向进给，完成键槽铣削加工。

由于使用万能虎钳工作台，它具有使虎口上下移动，以及能在水平和垂直方向转动的功

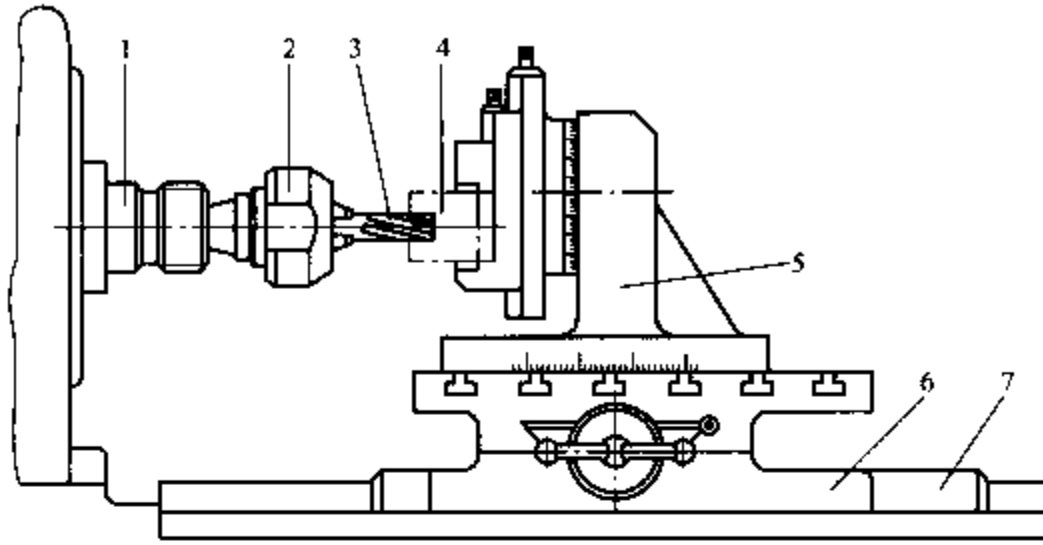


图 4-27 铣削键槽示意图

1—车床主轴 2—铣刀夹头 3—铣刀 4—工件 5—万能虎钳工作台 6—中滑板 7—床鞍

能,所以使其应用范围更广,除了能铣削键槽外,还可以加工各种小尺寸零件上的空间倾斜面。

3. 车床改装为双头铣

在本例中,除了要利用车床主轴箱做一个铣头外,还要设计制造一个新的铣头,组成双头铣,适用于多品种小批量生产。

(1) 结构改装说明 图 4-28 所示是车床改装为双头铣的外观图。拆除车床尾座、方刀架、小滑板和转盘,在中滑板 15 上安装有夹具 13,工件 12 装夹在夹具 13 上。在车床主轴上装一镶齿端面铣刀盘。

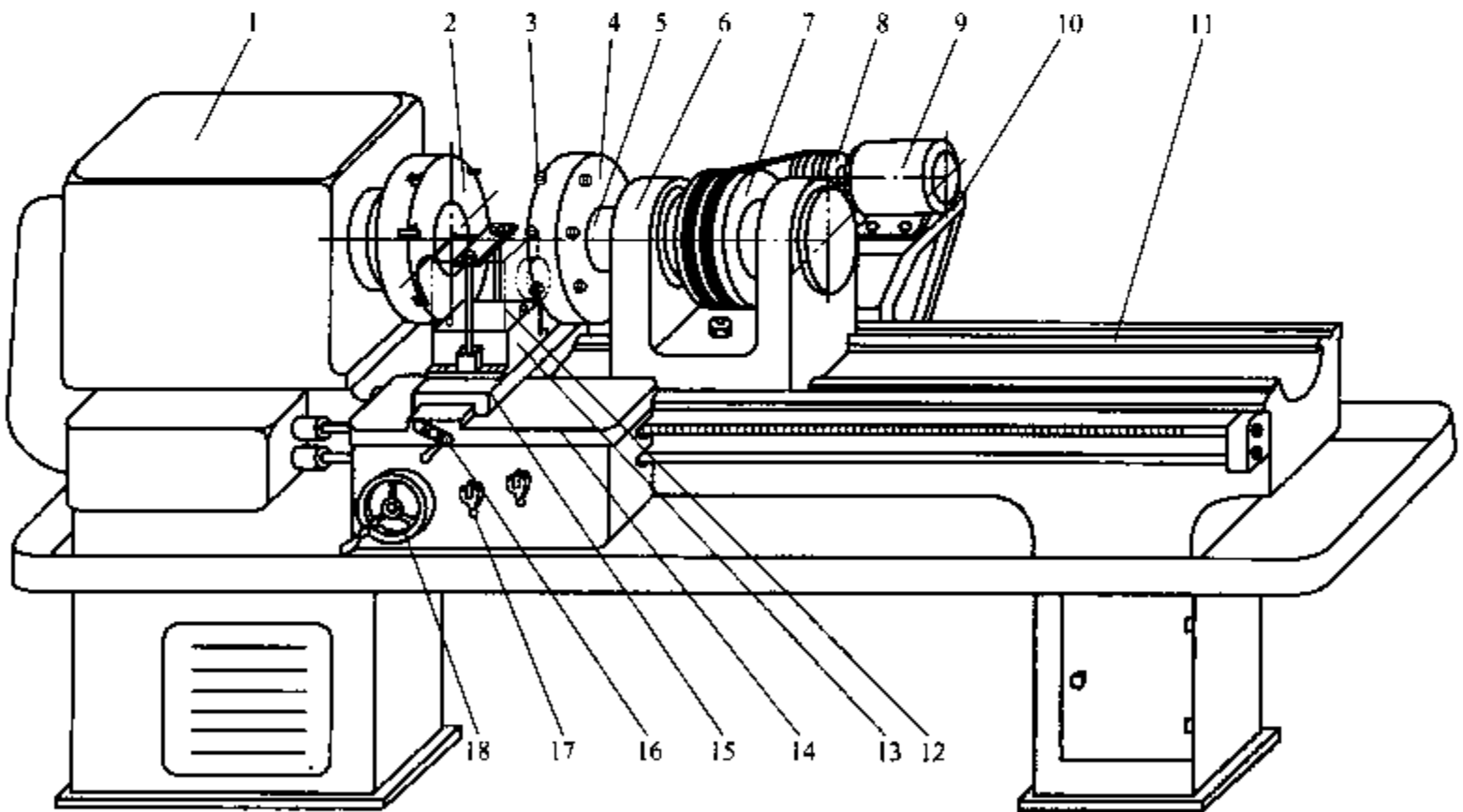


图 4-28 车床改装为双头铣外观图

1—主轴箱 2—左铣刀盘 3—铣刀 4—右铣刀盘 5—右铣刀轴 6—铣削头架 7—大带轮
8—小带轮 9—电动机 10—电动机架 11—床身 12—工件 13—夹具 14—床鞍
15—中滑板 16—横向进给手柄 17—横向自动进给手柄 18—纵向进给手轮

新设计制造的铣头如图 4-29 所示。右铣刀轴 5 由两个圆锥滚子轴承支承在铣削头架 6 上，轴的中间有大带轮 7，通过 V 带与小带轮 8 相连，小带轮 8 装在电动机轴上，而电动机 9 固定在电动机架 10 上，电动机架 10 用螺钉固定在床身的后侧面，右铣刀盘 4 装在右铣刀轴 5 上。

(2) 使用说明

1) 根据铣削工件的需要，将右铣头固定在床身导轨的合适位置上。电动机 9 在电动机架 10 上的位置可调，电动机架 10 上开有长槽，电动机 9 的位置根据右铣头的位置而定，利用电动机架 10 上的长槽来调整电动机 9 的安装位置。

2) 床鞍 14 在床身上的位置应根据加工要求固定死，以免在铣削过程中位置变化影响加工质量。

3) 工件的进给运动由车床的横向进给机构完成，既可自动进给，又可手动进给。

4) 左铣刀盘 2 由车床主轴带动旋转。右铣刀盘 4 的动力是由电动机 9 经 V 带传动，带动右铣刀轴 5 而获得的。

5) 一般情况下，由于右铣头只有一种转速，则左铣头选用的转速应与右铣头的转速相同（或接近）。在个别情况下，为了满足加工需要，也可利用更换小带轮 8 的办法，改变右铣刀盘 4 的转速，这时左铣刀盘 2 的转速也应随着改变，左铣刀盘 2 的转速变化可利用车床主轴变速箱来实现，使两刀盘转速一致或接近。

6) 右铣刀轴 5 上的大带轮装在两圆锥滚子轴承中间，故更换 V 带不方便。另外，V 带传动没有安全防护罩，也是个缺点。

4. 车床改装为双面铣

图 4-30 所示是车床改装为双面铣的外观图。这种以车床代替铣床进行端面铣削的改装，既可以提高生产率，又能扩大车床的使用范围，适用于小批量的生产，但所加工的工件尺寸不能太大。

在进行改装时，首先拆掉方刀架、小滑板和转盘；夹具 9 用螺钉固定在中滑板 17 上；工件 7 装卡在夹具 9 中。刀杆是根据实际需要设计制造的，铣刀盘 10 装在铣刀杆 4 上，用隔套 8 分开，隔套 8 的长度可依据被加工工件两端面间尺寸决定，铣刀盘 10 以键 6 与刀杆 4 联接，铣刀块 5 装在铣刀盘 10 上。

刀杆 4 的左端由卡盘夹住，右端由尾座顶尖顶住，由车床主轴带动旋转。工件的进给运动利用车床的进给机构来完成，即由中滑板 17 带动，根据需要可以自动进给，也可以手动进给。

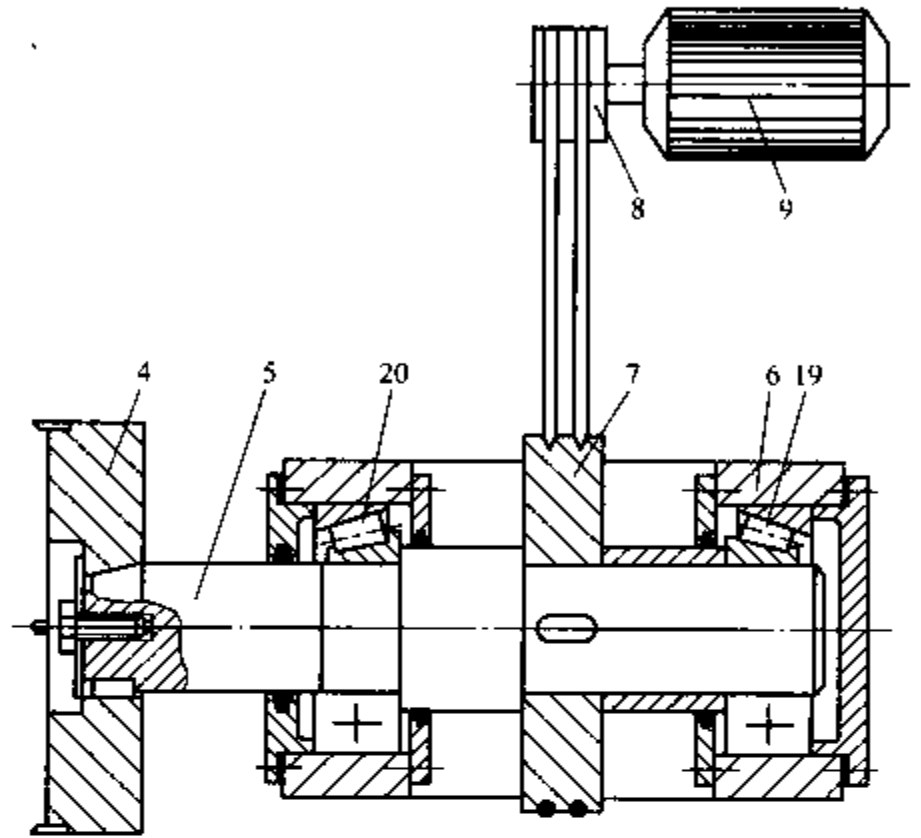


图 4-29 右铣头结构图

19、20—圆锥滚子轴承 其余图注同图 4-28

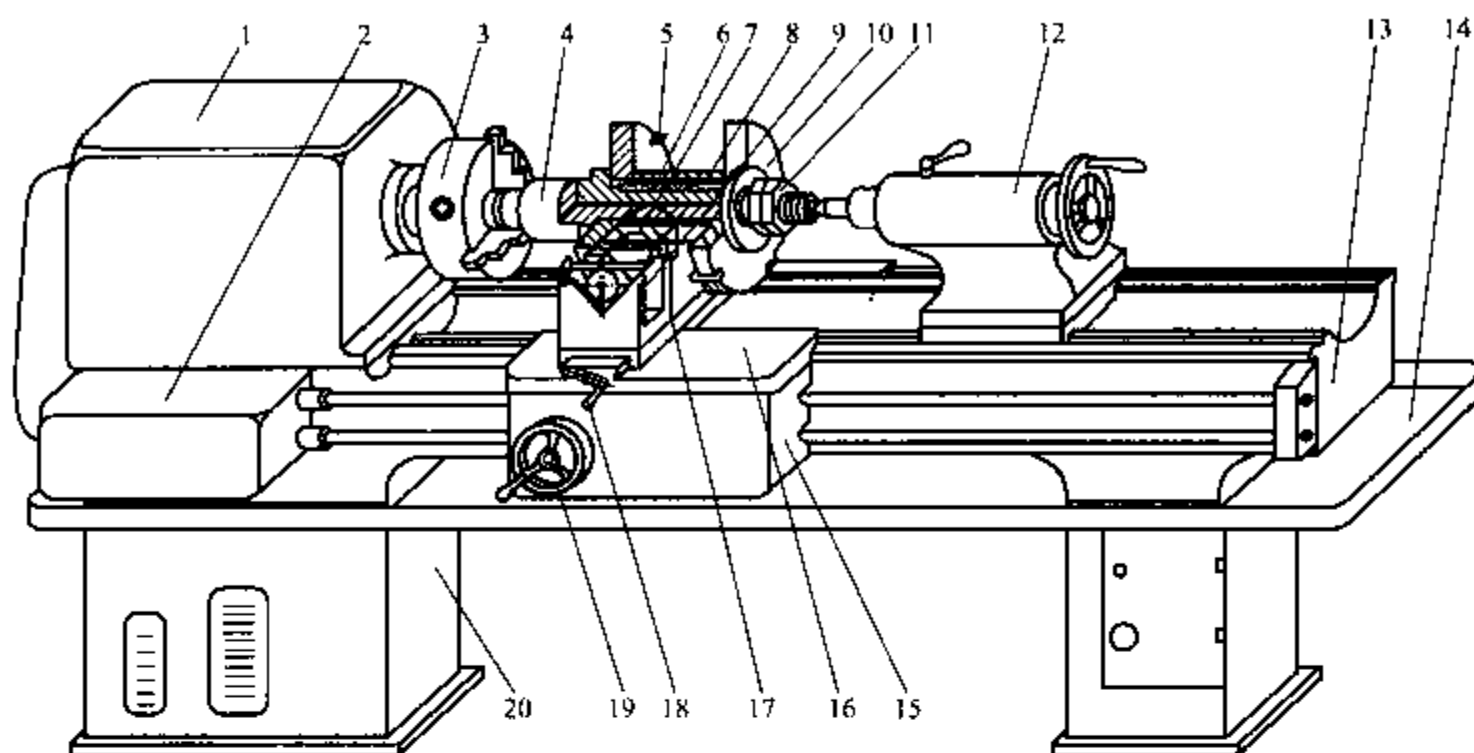


图 4-30 车床改装为双面铣

- 1—主轴箱 2—走刀箱 3—卡盘 4—刀杆 5—铣刀块 6—键 7—工件 8—隔套 9—夹具
10—铣刀盘 11—螺母 12—尾座 13—床身 14—卷屑槽 15—溜板箱 16—床鞍
17—中滑板 18—横向进给手柄 19—纵向进给手轮 20—床腿

在进行两端面铣削时，要把床鞍的位置固定死，以防加工时窜动，影响加工质量。铣削任务完成后，可把改装部分拆掉，再安上方刀架、小滑板和转盘，车床便恢复原貌。

生产实践证明，本改装具有结构简单、使用方便、一般工厂都能改装等优点。

七、在车床上插削加工

在缺乏设备或其他特殊情况下，可在车床主轴前端安装一个插削头（根据需要设计制造），加工图 4-31 所示工件上的键槽。完成插削任务后，可以很快地拆除改装部分，恢复车床原貌。

1. 改装说明

图 4-32 所示是车床改装插键槽的外观图。改装时，将车床尾座移至一端或拆掉，并拆掉方刀架、小滑板及转盘；把夹具 13 安装在中滑板 15 上；装上插削机构。插削机构的结构组成是：曲柄盘 3 的左侧为圆锥形，与车床主轴莫氏锥孔相配合，并以拉杆紧固；它的右侧固定有曲柄轴 8。连杆 7 一端铰接在燕尾滑块 5 上，另一端铰接在曲柄轴 8 上。燕尾槽滑座 4 由固定板 2 和螺钉固定在主轴箱 1 上。插刀座 6 用螺钉固定在燕尾滑块 5 上。刀杆 9 上端方形部分插入插刀座 6 的方孔中，并用螺钉顶紧；刀杆 9 的下端安装刀头 10，以紧固螺钉紧固。

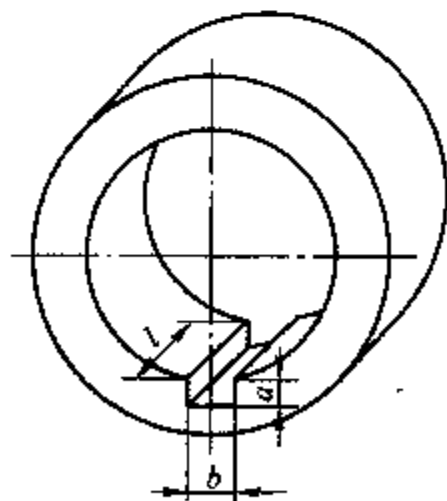


图 4-31 工件

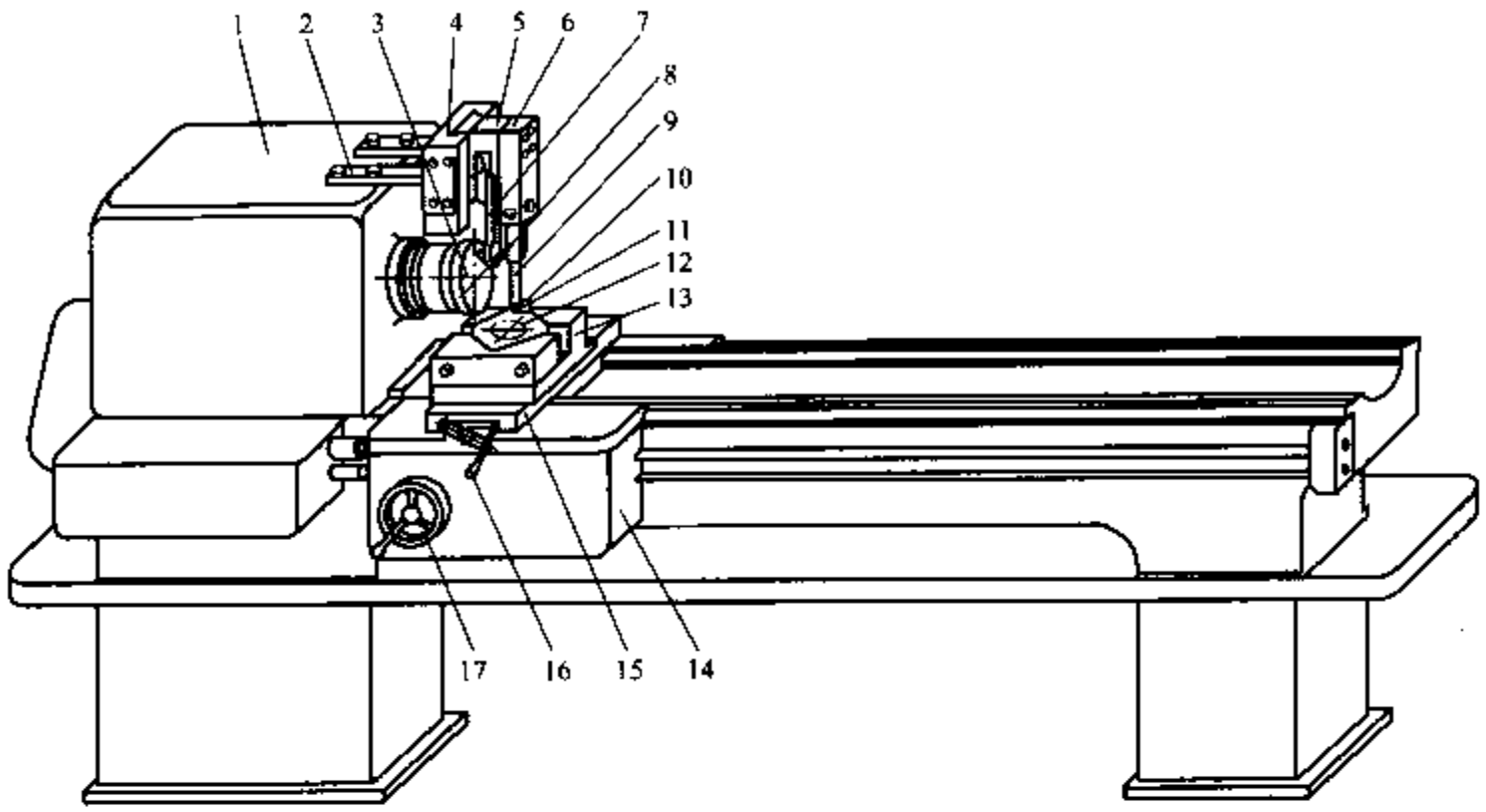


图 4-32 车床改装插键槽

- 1—主轴箱 2—固定板 3—曲柄盘 4—燕尾槽滑座 5—燕尾滑块 6—插刀座
 7—连杆 8—曲柄轴 9—刀杆 10—刀头 11—紧固螺钉 12—工件
 13—夹具 14—溜板箱 15—中滑板 16—手柄 17—手轮

2. 使用说明

工件 12 装夹在夹具 13 上。车床主轴带动曲柄盘 3 回转，经曲柄轴 8 和连杆 7，使曲柄盘 3 的回转运动变成燕尾滑块 5 沿着燕尾槽滑座 4 导轨的往复直线运动。由于插刀座 6 固定在燕尾滑块 5 上，所以刀杆 9 连同刀头 10 一起随插刀座 6 作上下直线运动，以完成插削键槽长度 l 的要求；通过摇动手柄 16 使工件 12 作横向进给，实现插削键槽宽度 b 的要求；摇动手轮 17 使工件 12 作纵向进给，可保证键槽深度 a 的要求。

3. 设计插槽机构注意事项

改装中的插削机构是根据曲柄滑块机构原理设计的，如图 4-33 所示。曲柄 AB 是主动件，滑块 C 是从动件。曲柄 AB 的旋转运动通过连杆 BC 使滑块 C 在静件的槽内作往复移动。

为了使机构能正常工作，曲柄 AB 的长度应小于连杆 BC 的长度，通常取 $AB = \frac{BC}{3} \sim \frac{BC}{12}$ 。

由图 4-33 可知，当曲柄 AB 旋转到与连杆 BC 成一直线时，滑块 C 的两个极限位置 C_1 和 C_2 之间的距离 S 是滑块 C 的行程， S 和曲柄长度 AB 的关系是： $S = 2AB$ 。因此，在设计插槽机构时，一定要保证滑块的行程 S 大于工件键槽的长度 l 。

若将改装后的机床作为插削一定尺

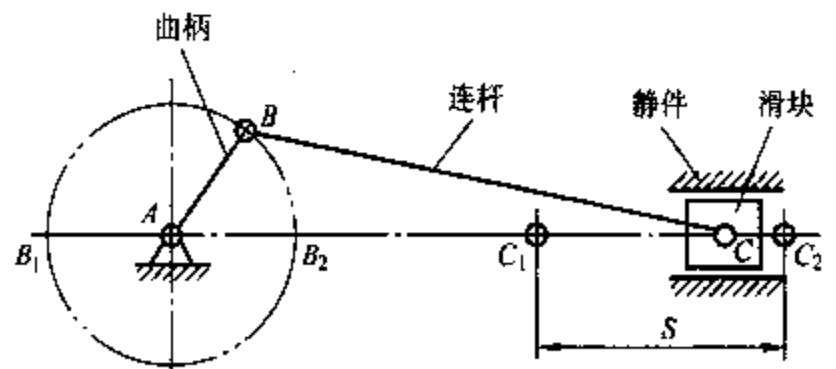


图 4-33 曲柄滑块机构原理图

寸范围盘形零件键槽的专机使用，可将改装部分的夹具 13 换成三爪自定心卡盘，以适应工件尺寸的变化。

八、在车床上镗削加工

在车床上镗削，其目的是解决设备不足或不配套的问题。镗削和车削二者的不同之处表现在机床的运动上。对车削来说，工件由主轴带动作主运动，刀具由床鞍或中、小滑板带动作进给运动。在车床上镗削，是将刀杆或刀座安装于车床主轴前端，用以装夹刀具，并由主轴带动刀具旋转作主运动；在床鞍或中滑板上安装辅助夹具和工件，并由床鞍或中滑板带动工件作纵向或横向进给运动。

有些情况下，为了保证加工质量，提高劳动生产率，降低劳动强度，减少制造成本，提高经济效益等不同目的，会将车床作较大的改装，使其成为一台专用机床。

图 4-34 所示为车床上镗削用辅助工夹具。

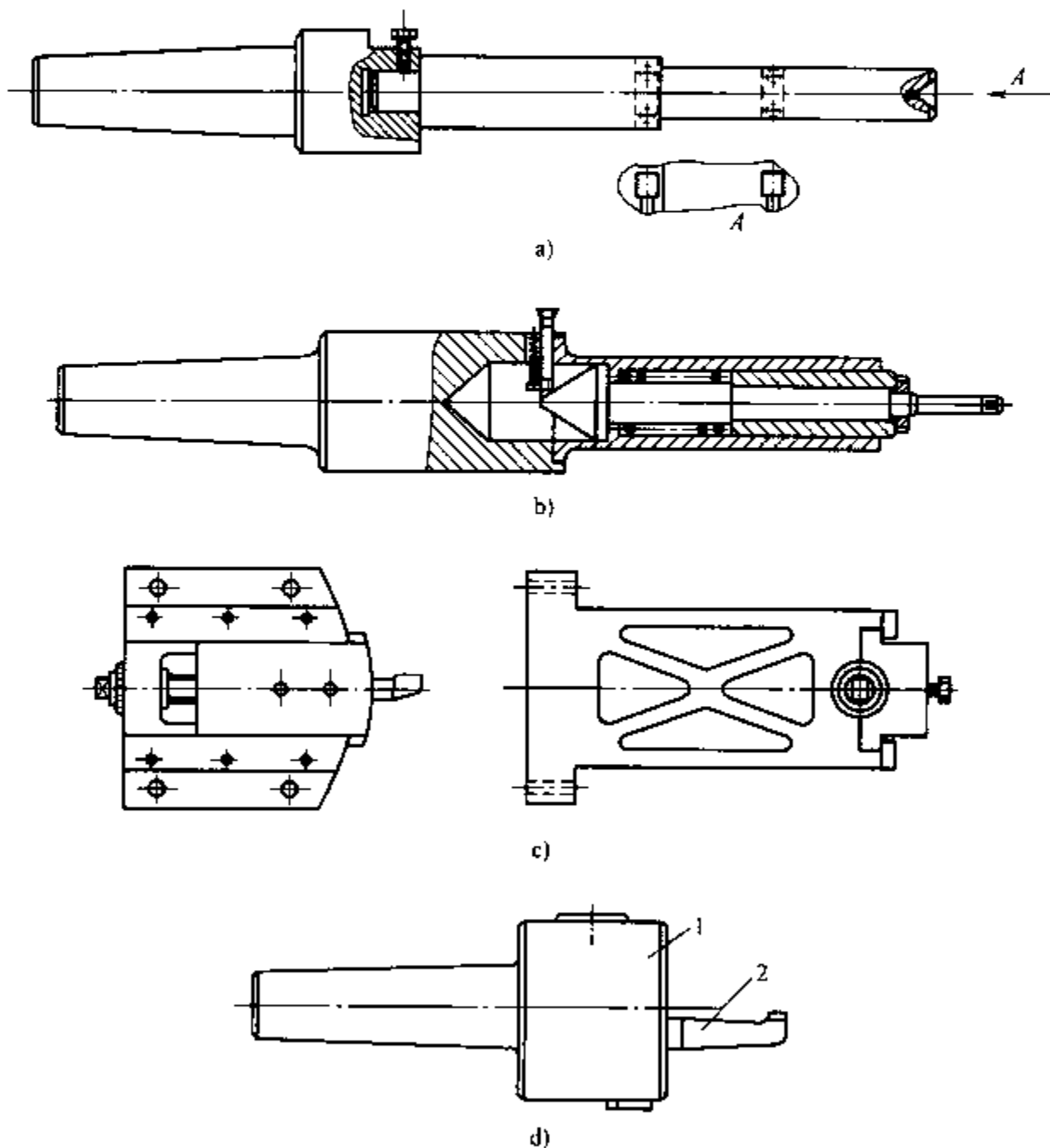


图 4-34 车床上镗削用辅助工夹具

a) 刀杆 b) 镗削退刀槽用刀杆 c) 刀座 d) 镗头
1—镗头 2—镗刀

图 4-34a 所示为刀杆。其左端锥体部分与车床主轴锥孔相配，使用时将其插入主轴前端的锥孔中；它的右端部分一次能安装 2~3 把刀，用以镗削带阶梯的内孔。刀具在刀杆径向孔内可调整伸出长度，便于加工不同尺寸的孔。

图 4-34b 所示为镗削退刀槽用刀杆。进刀时，心轴压向弹簧一端，利用心轴锥角与刀具刀杆的斜角（45°）推动刀具进刀，心轴轴向移动量与刀具径向伸出量相等。退刀时，靠两个弹簧的推力自动退回。刀杆直径根据加工工件内孔的大小确定。

图 4-34c 所示为装在车床花盘上使用的刀座，可用于镗削具有较大内孔的工件。

图 4-34d 所示为镗头，其结构与镗床用镗头一样，只是左端的锥体部分要求与所用车床主轴前端锥孔一致，以便配合。

图 4-35 所示为双头镗床，在 C616 型卧式车床的基础上，添加一些新设计制造的零、部件所组成，用于大批量生产中镗削万向节叉、凸缘联轴器等零件的孔，生产率很高，加工质量也比较稳定。以镗削万向节叉（见图 4-36）的 $\phi 39^{+0.027}_{-0.010}$ 孔为例，使用这台机床加工，在工件的一次安装中，由左边镗头进行粗镗，由右边镗头进行精镗，每个班次可加工 60~70 件，加工质量完全符合图样要求。

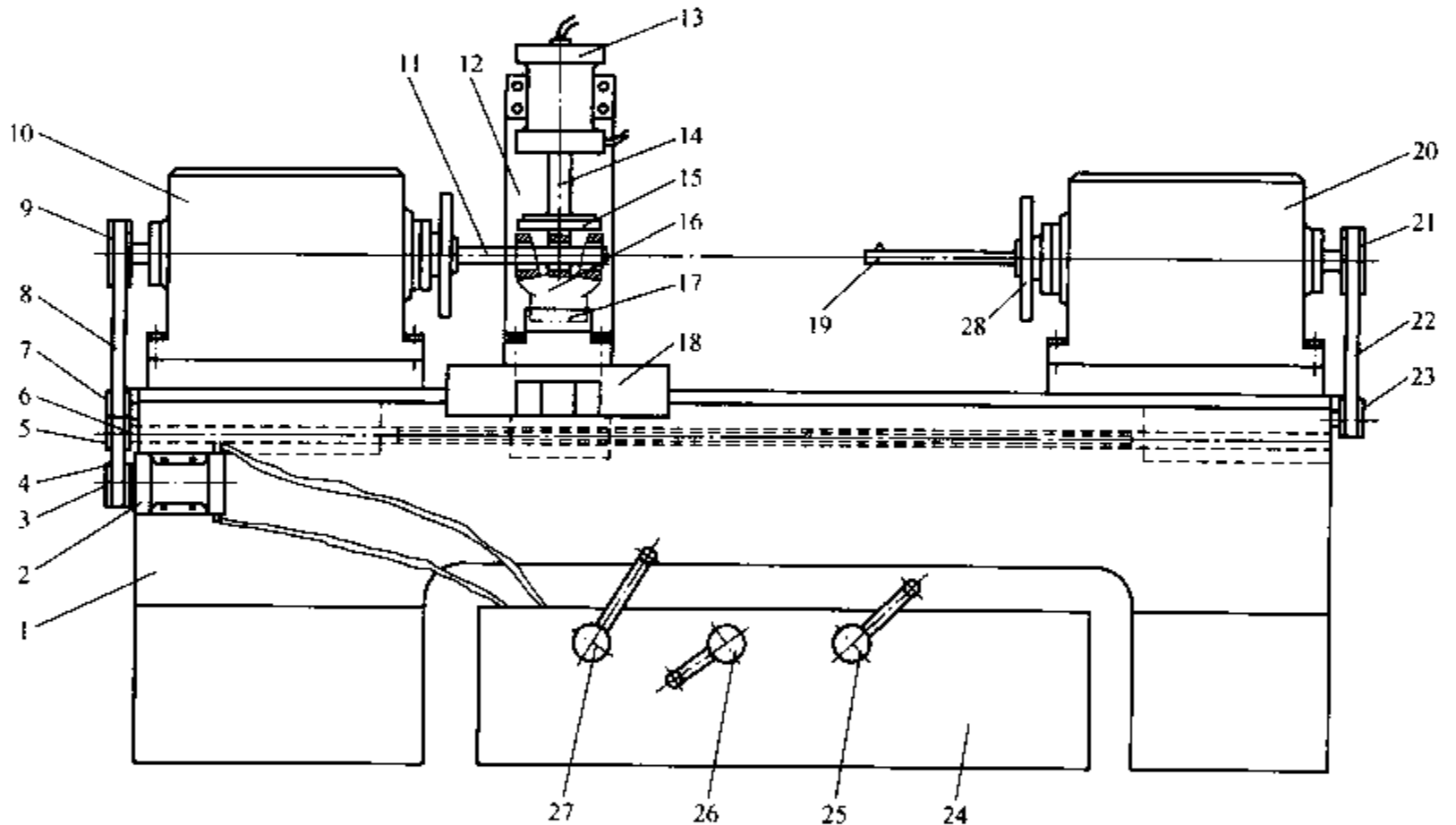


图 4-35 双头镗床工作示意图

- 1—床身 2—液压马达 3、5、7、9、21、23—带轮 4、8、22—V带 6—丝杠 10—左镗头箱
11—左镗杆 12—夹紧液压缸支架 13—夹紧液压缸 14—活塞杆 15—夹紧盘 16—工件
17—夹具体 18—床鞍 19—右镗杆 20—右镗头箱 24—油箱 25—夹紧手柄
26—调速手柄 27—换向手柄 28—平衡盘

1. 改装方案的确定

改装设计的依据是工件，由图 4-36 可见，镗孔时主要应保证三点：一要保证孔径不能超差，即 $\phi 39^{+0.027}_{-0.010}$ mm；二要保证两孔的同轴度不大于 $\phi 0.01$ mm；三要保证孔的表面粗糙度

达 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ 。为保证这三点要求，采用表 4-5 中的第四种方式比较适合，即镗杆悬伸、刀具旋转、工件进给的方案。为保证尺寸精度 $\phi 39^{+0.027}_{-0.010} \text{mm}$ 和表面粗糙度达 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ ，应采用由两个镗头分别进行粗镗和精镗；两孔的两外侧面距离为 $118^{0}_{-0.07} \text{mm}$ ，故镗杆悬伸不会很长，一次进给可镗出两孔，同轴度可以保证。两镗头主轴的同轴度误差由机床本身的精度来保证。

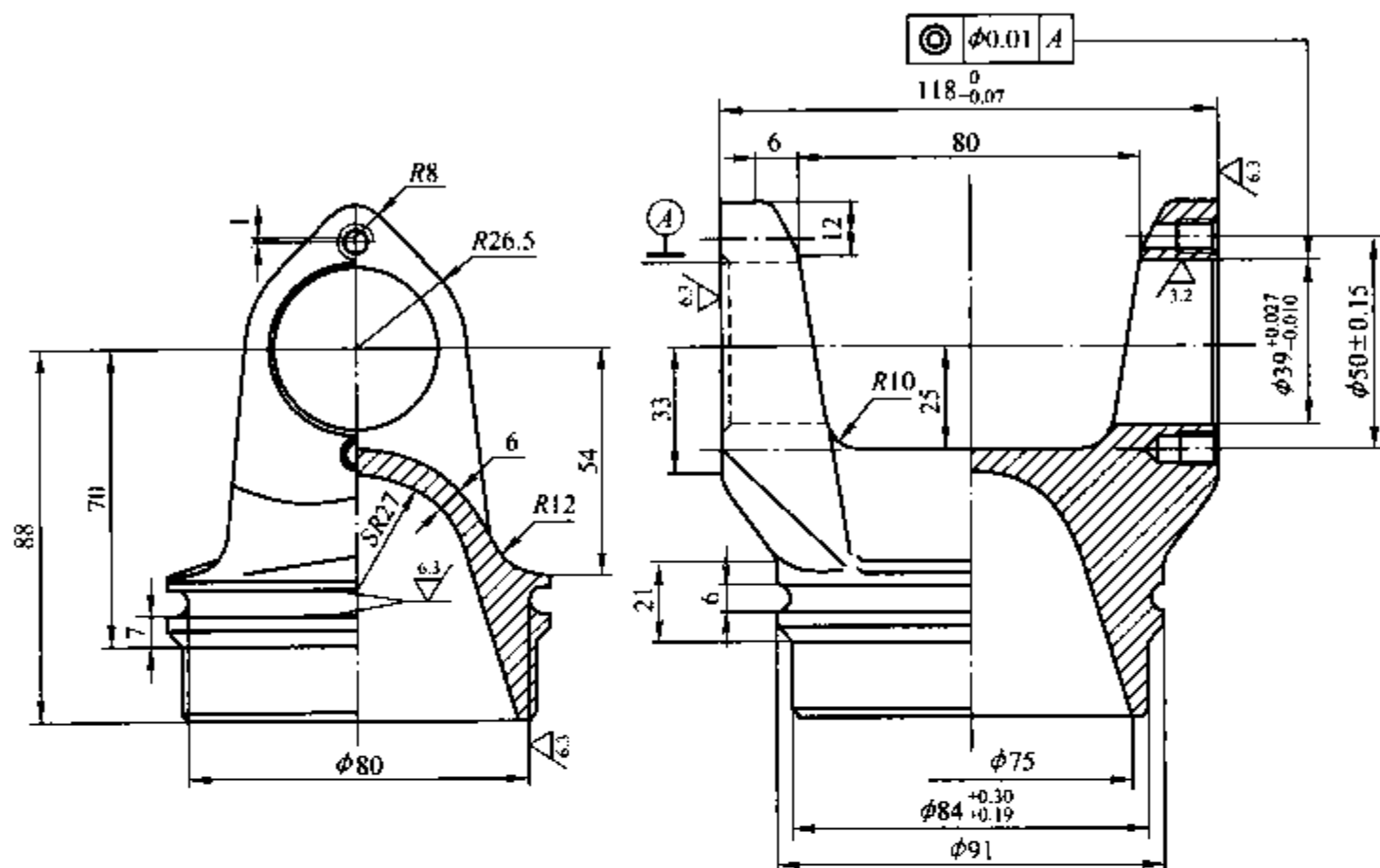


图 4-36 万向节叉简图

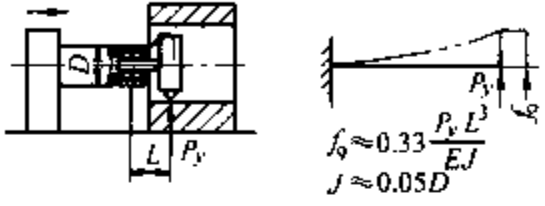
表 4-5 各种镗孔方式的镗杆变形与进给方向误差对被加工孔精度的影响

序号	镗削方式	工序简图与镗杆变形	造成加工误差的原因		
			孔径	形位误差	
				圆度	轴线位置度
1	刀杆悬伸	$f_1 = \frac{P_y L^3}{3EJ} = 0.33 \frac{P_y L^3}{EJ}$	减小 $\Delta d = 2f_1$	与机床主轴 回转精度有关	与进给方 向直线度和 主轴轴线 平行度无关
2	刀杆前端导向	$f_2 = 0.0093 \frac{P_y L^3}{EJ}$	孔径略微 减小 $\Delta d \approx 2f_2$	与机床主轴 回转精度有关	与主轴轴 线和导向套 的同轴度无 关

(续)

序号	镗削方式	工序简图与镗杆变形	造成加工误差的原因		
			孔径	形位误差	
				圆度	轴线位置度
3	刀杆一端夹住, 另一端支承	$f_3 = 0.0093 \frac{P_y L^3}{EJ}$	孔径略微减小 $\Delta d \approx 2f_3$	与机床主轴回转精度、机床主轴和镗杆尾部支承的同轴度以及进给方向和镗杆轴线平行度有关	轴线的歪斜与进给方向直线度有关, 与进给方向和主轴轴线间的平行度有关
4	镗杆悬伸	$f_4 = \frac{P_y L^3}{3EJ} = 0.33 \frac{P_y L^3}{EJ}$	孔径略小, 因为镗床上镗杆直径远比车床镗刀要粗, 刚度要好 $\Delta d = 2f_4$	与镗床主轴回转精度、进给方向的直线度和平行度有关	轴线的歪斜与进给方向直线度有关, 与进给方向和主轴轴线间的平行度有关
5	在镗模中	$f_5 \approx 0$	孔径不减小	与镗模导向套内的圆度有关	与镗模上的前后导向套的同轴度有关
6	立铣上		孔径减小 $\Delta d \approx 2f_4$	与机床主轴回转精度、进给方向精度有关	与进给方向直线度、主轴轴线平行度有关
7	镗杆旋转并进给	$f_7' = \frac{P_y L_2^3}{3EJ} \quad f_7'' = \frac{P_y L_1^3}{3EJ}$	孔径减小并产生圆柱度 $\Delta d_{小} = 2f_7''$ $\Delta d_{大} = 2f_7'$	与机床主轴回转精度有关	与镗杆刚度有关
8	镗杆前端导向	$f_8' = \frac{P_y L_2^3}{3EJ} \quad f_8'' = \frac{P_y L_1^3}{3EJ}$	孔径减小并产生圆柱度 $\Delta d_{小} = 2f_8''$ $\Delta d_{大} = 2f_8'$	与导向套的圆度、主轴和导向套的同轴度有关	与镗杆刚度有关

(续)

序号	镗削方式	工序简图与镗杆变形	造成加工误差的原因		
			孔径	形位误差	
				圆度	轴线位置度
9	刀具旋转并进给 镗头进给, 镗杆前、后端导向	 $f_0 \approx 0.33 \frac{P_y L^3}{EJ}$ $J \approx 0.05D$	孔径略小, 不会产生圆柱度	与导向套的圆度、主轴和导向套的同轴度有关	与加长支承套刚度和镗头进给方向误差有关

选择改装机床时考虑到, C616 型卧式车床是普通精度的中型车床, 适用于加工中、小尺寸范围的零件, 主轴的变速范围为 45 ~ 1980r/min, 在生产中应用很普遍, 比较受欢迎, 所以本改装就以它为改装基础。况且, 由于 C616 型卧式车床用途广泛, 通常拥有量很大, 为检修方便, 工厂常常备有各种零、部件, 因此以 C616 为基础组装的双头镗床, 可以充分利用库存的备件。同时, 由于工人们熟悉 C616 型车床, 又有库存的备件, 改装的双头镗床在工作中发生故障时, 进行维修和排除故障也比较方便。

2. 改装说明

本改装 (见图 4-35) 以 C616 型车床为基础, 主要改装包括下面几部分。

1) 镗头。镗头有两个, 左边的用于粗镗, 右边的用于精镗。镗杆插入主轴锥孔内, 并以螺栓拉杆紧固。两镗头分别以两个电动机为动力源。左边电动机的动力经带轮 7、9 和 V 带 8 带动粗镗头主轴旋转。右边电动机的动力经带轮 23、21 和 V 带 22 带动精镗头主轴旋转。

2) 进给机构。进给机构采用机械-液压综合传动。丝杠 6 利用 C616 型车床的丝杠, 安装在床身 1 的中间, 两端的支承固定在床身 1 的内侧面上。床鞍 18 也是利用 C616 型车床的床鞍。它的上面固定有夹具, 下面固定有螺母, 则螺母与丝杠 6 组成丝杠-螺母机构。由液压马达传出的动力, 经带轮 3、5 和 V 带 4, 使丝杠-螺母机构带动床鞍 18 产生无级 (因液压马达可无级变速) 的进给运动。

3) 工件夹紧机构。工件由液压夹紧机构夹紧, 夹紧液压缸 13 固定在床鞍 18 上的夹紧液压缸支架 12 上。在液压的作用下, 活塞杆 14 带动夹紧盘 15 夹紧或松开工件。

4) 床身与油箱。床身采用 C616 型车床的床身。新设计制造的油箱放在两床腿中间。

3. 液压传动原理

液压传动原理如图 4-37 所示。由液压泵 2 来的压力油分为三路:

1) 第一路去液压缸。依次为: 液压泵 2 →

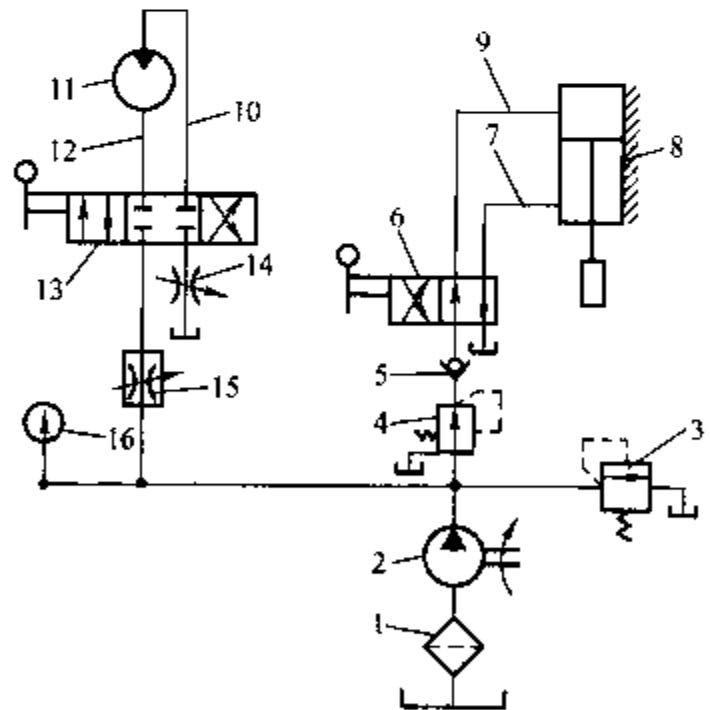


图 4-37 液压传动原理

- 1—滤油器 2—液压泵 3—溢流阀 4—减压阀
- 5—单向阀 6—换向阀 7、9、10、12—管路
- 8—液压缸 11—液压马达 13—换向阀
- 14—节流阀 15—调速阀 16—压力表

减压阀4→单向阀5→换向阀6→管路9→液压缸8上腔→活塞下移夹紧工件；液压缸8下腔的油经管路7→换向阀6→油箱。或液压泵2来的油经减压阀4→单向阀5→换向阀6（换向）→管路7→液压缸8的下腔→活塞上移松开工件；液压缸8上腔的油经管路9→换向阀6→油箱。

必须指出，通过减压阀4的油压力比液压泵2所供油的压力低，并且油压稳定。工件所需夹紧力的大小，可用减压阀4来调整。同时减压阀4和单向阀5共同起着夹紧工件的保压作用。

2) 第二路去液压马达。由液压泵2来的压力油经调速阀15→换向阀13（阀芯右移）→管路12→液压马达11顺时针旋转；从液压马达11出来的油经油管10→换向阀13→节流阀14→油箱。或液压泵2来的压力油经调速阀15→换向阀13（阀芯左移）→管路10→液压马达11逆时针旋转；从液压马达11出来的油经管路12→换向阀13→节流阀14→油箱。

应当指出，节流阀14串联在回油路上，起着使液压马达11换向平稳的作用。

3) 第三路去溢流阀。溢流阀3的作用是调节进入液压系统的流量，保持系统的压力，起安全保护作用。

4. 镗头结构

镗头结构如图4-38所示。它和C616型车床主轴部件大体相同，只是在主轴后端，改装后将带轮13直接安装在主轴上，以键14联接。

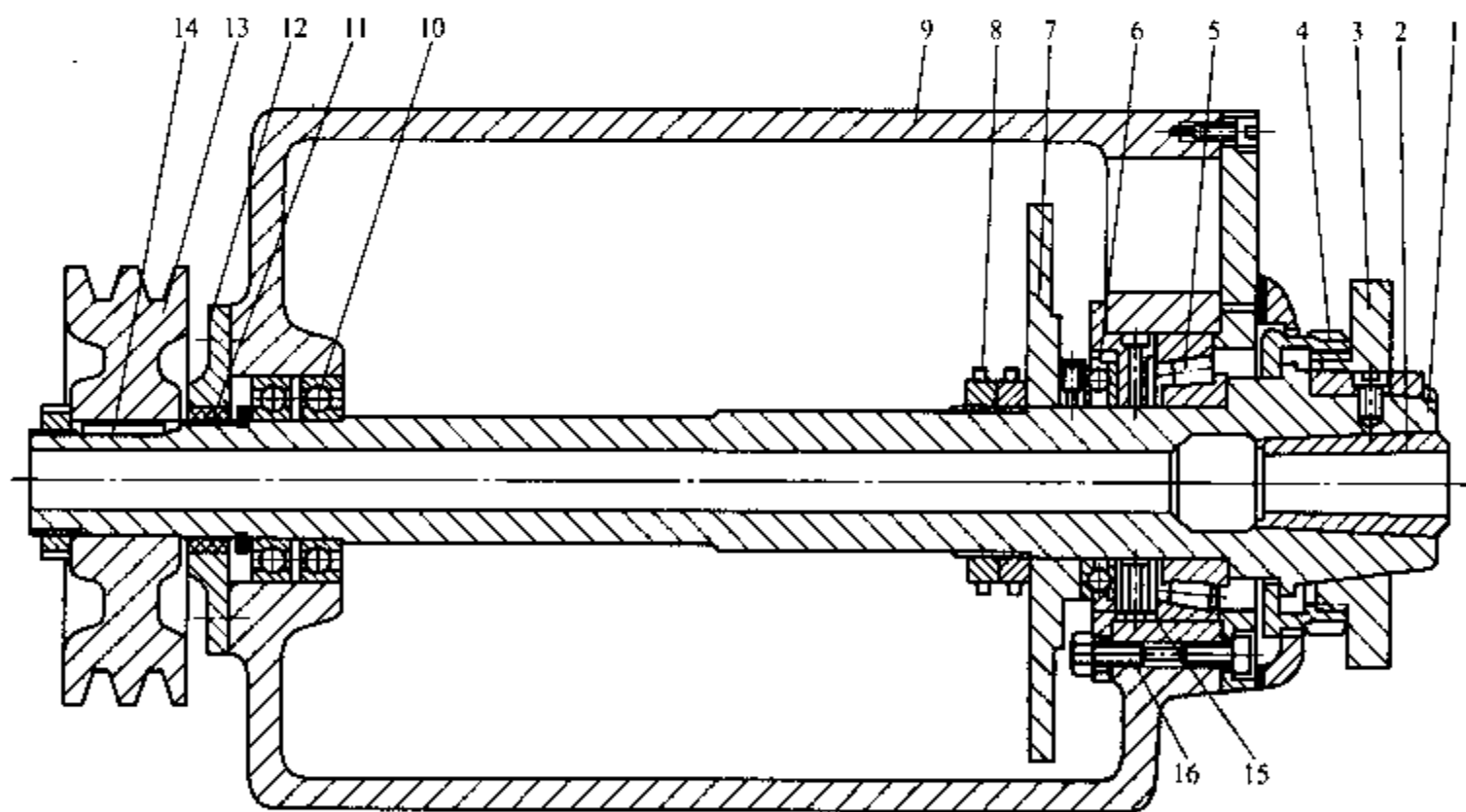


图4-38 镗头结构

- 1—主轴 2—套 3—平衡盘 4—螺母 5—圆锥滚子轴承 6—推力球轴承 7—甩油盘
8—背帽 9—箱体 10—深沟球轴承 11—油封 12—轴承盖
13—带轮 14—键 15—紧固件 16—螺钉

由图4-38可见，镗头主轴前支承用了较高精度的圆锥滚子轴承5和推力球轴承6。后支承并列地用了两个比前支承低一级精度的深沟球轴承10。前面的圆锥滚子轴承和后面的深

沟球轴承承受径向力，使主轴获得径向定位。前轴承还承受向左的轴向力 $P_{\text{轴}}$ ，通过轴承内圈、滚锥体将力传至轴承外圈和紧靠件 15（该件用螺钉紧固在箱体上），最后传给箱体，使主轴获得向左的轴向定位。推力球轴承 6 承受主轴上向右的轴向力。它通过锁紧在主轴上的两个背帽 8、甩油盘 7 而作用在紧靠件 15 上，然后将力传给箱体，使主轴获得向右的轴向定位。这样结构的轴向定位属于“前端定位”，主轴后轴承在轴向是自由的，因此主轴受热后可以向后伸展，使主轴的定位精度高，但是主轴部件前端的结构比较复杂。另外，圆锥滚子轴承 5 不仅承受径向力，同时还承受着向左的轴向力，从而可节省一个承受向左轴向力的轴承，这也是该结构的一个优点。

由于前轴承靠近工件，对主轴回转精度的影响比后轴承大，所以前轴承比后轴承选用精度高一级，有利于提高主轴的回转精度。

因为镗头主轴转速很高，粗镗头主轴转速约为 1000r/min，精镗头主轴转速约为 1300r/min，所以需设有较好的润滑装置，即利用甩油盘 7 的回转甩油作用，将箱内油池的润滑油带入箱体上部的贮油槽中，然后分流至前、后轴承润滑处。另外，前轴承受力大，发热严重，润滑油应供给充分些，故甩油盘右端面带上的润滑油全部流入了前轴承，并通过箱体上开的回油孔回油，这样，轴承产生的热量可部分地由润滑油带走，不致使轴承温升过高。

5. 改装的效果

1) 这台机床自投产以来，已加工出数以千计的如图 4-36 所示零件，其质量能满足图样要求。

2) 由于采用液压传动夹紧工件和液压-机械综合传动进给机构，所以操作方便，劳动强度低。

3) 机床上大多数零、部件都是采用 C616 型车床的维修备件，故“上马”快，排除故障方便。

4) 改装设计和制造的技术水平要求不高，又有 C616 型车床的技术资料作参考，因此一般工厂均能进行改装。

九、在车床上抛光和研磨

1. 在车床上抛光

车床上的抛光工艺，多用于车削以后的辅助工序。即当零件经过加工以后，尺寸精度及表面粗糙度仍没有达到图样要求，而加工余量又很小，一般在 0.01mm 之内，无法用车刀、砂轮进行切削时，则采用抛光工艺。

一般来说，零件经加工后所留余量很小，用抛光的方法使其达到图样的尺寸要求，这种抛光称为尺寸抛光。由于零件表面粗糙度达不到图样要求，采用抛光的方法使其达到要求，这种仅仅是为了降低表面粗糙度的抛光方法称为光亮抛光。

抛光的过程可分为两个阶段：第一阶段是带有某种程度的实质性切削，即在高速下用细小磨粒从被抛光面上切除掉凸起的细小金属；第二阶段则是在表面层上塑性加工金属的过程，它是在摩擦作用和高温情况下进行的。经过抛光之后，工件可获得非常光亮的表面，但不能提高加工精度。

在车床上进行表面抛光，常用的方法有锉刀修光和砂布抛光两种。

(1) 用锉刀修光 用作修光的锉刀是扁锉和半圆锉。按齿纹粗细来分,可分为细锉和特细锉(也称油锉)。

在车床上使用锉刀时,为了保证安全应该用左手握锉柄,右手扶住锉刀前端。锉削时,压力和推力要均匀适当,不可用力过猛或过大,否则会把工件锉出沟纹,或锉成一节一节的,或造成圆度误差。为了避免切屑嵌塞在锉刀齿缝里而损坏工件表面,最好用粉笔涂在锉刀齿面上。并经常用钢丝刷去除齿缝里的嵌屑。修光时,先用较粗的细锉修光,最后用特细锉进一步修光。

(2) 用砂布抛光 经过锉刀修光后,如果工件表面上仍有细微条痕,可再用砂布抛光,进一步地降低表面粗糙度值。

用砂布抛光时,一般把砂布垫在锉刀下面抛光,也可用手直接捏住砂布抛光(见图4-39a),但这样抛光不安全,容易出事故。为了安全起见,最好用抛光夹抛光(见图4-39b),把砂布垫在木制抛光夹的两凹圆弧内(圆弧直径基本和工件直径相同),用手握住抛光夹进行抛光。用砂布抛光时的工件转速比一般车削时转速要高一些,并且使砂布在工件表面上来回慢慢移动。最后精抛时,可在砂布上加些机油或金刚砂粉,这样可以获得较低的表面粗糙度值。

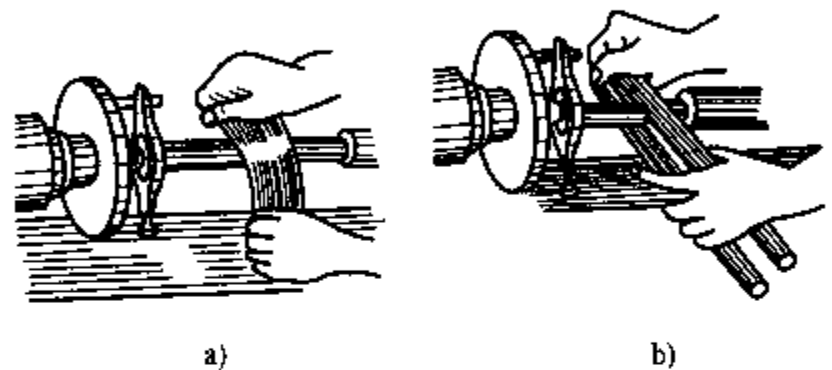


图4-39 用砂布抛光

a) 用手捏住砂布抛光 b) 用抛光夹抛光

(3) 抛光禁忌

1) 不用无柄锉刀修光,并要把锉柄安装牢固。修光时,行锉要平稳,用力不能过猛。注意防止手或锉刀与卡盘、鸡心夹头相碰。

2) 修光时,不可用右手握锉柄,左手扶在锉的前端。因为这种修光的工作姿势,使操作者的身体离三爪自定心卡盘和旋转工件较近,容易发生安全事故。正确的拿锉方法是:左手握锉柄,右手扶在锉的前端。

3) 行锉时,压力不宜过大、过猛,并且要均匀,行锉的方向应当是沿工件表面从右向左,要缓慢平稳移动,每分钟约40次。

4) 忌锉削余量过大,一般余量为0.01~0.03mm为宜。

5) 在锉纹中不能有屑末堆积而成的瘤状物(结瘤),以免影响工件的表面质量。预防办法是:在锉面上涂一层粉笔末,防止屑末滞留在锉齿缝里;还需要用钢丝刷清理锉齿缝。

6) 用锉刀修光时,主轴的转速不宜过高,否则会使锉削温度升高,导致锉齿钝化,并可能形成表面硬化,为下一步加工带来困难;主轴的转速也不宜过低,否则易把工件锉扁,影响工件的形状精度。比较适宜的主轴转速为15~20r/min。

7) 用砂布抛光时,主轴转速不宜过低,而是应选得稍高些。

8) 用砂布抛光时,绝不允许将砂布缠在工件上抛光外圆,否则很危险,容易绞手伤人。

9) 绝不允许把砂布缠在手指上抛光内孔,否则容易发生人身事故。既安全又方便的做

法是：将一根比欲抛孔小的木棒，在其一端开槽，并把撕成条状的砂布一端插入槽内，然后按逆时针方向将砂布缠在木棒上，而后将缠绕有砂布的木棒放进孔内进行抛光。

10) 目前，抛光加工多为手工操作，工作很繁重，所以绝不能忽视对劳动条件的改善。

2. 在车床上研磨

在机械制造中，凡是要求精度高、表面粗糙度数值小的精密零件均可用研磨作为最终加工。同样，在车床上研磨，可使零件得到较高的精度和很低的表面粗糙度值，特别适用于某些有特殊要求零件的终了加工，如气动夹具上的活塞开关、柴油机上的气门阀及阀座等，经过磨削后再研磨，以保证它们的密封配合性能。

(1) 研磨原理 研具在一定的压力下相对工件作轨迹不重复运动时，嵌在研具上的磨料对工件表面进行摩擦切削，同时辅助填料的化学活性物质在工件表面腐蚀一层极薄的化合物软膜，使工件表面的微观凸峰在运动中很容易被磨料去除，而不划伤金属本体。因此，工件在以上机械和化学作用下，达到很小的表面粗糙度值，同时使尺寸精度也有所提高。

(2) 研磨的特点 与其他光整加工相比，其特点如下：

1) 研磨可在经简单改装的车床、钻床上进行，其方法简便；由于设备和研具都比较简单，故研磨成本低。

2) 一般工件经研磨后，尺寸误差可控制在 $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ 范围内；表面粗糙度 R_a 值可达到 $0.025 \mu\text{m}$ 以下。由于研磨定位基准是被加工工件表面，故对提高工件表面形状精度作用不大，更不能提高工件的位置精度。

3) 研磨生产率取决于研具对工件的压力及研磨剂的多少。当研磨剂较多、压力较大时，尽管可以提高生产率，但这样会使研磨过程有大量磨料被滚压而破碎，并使部分碎磨料嵌在工件表面上，使工件表面质量变差。所以，在研磨加工中，常采用较少的研磨剂、较小的压力，以保证工件的研磨质量，这样就使得研磨加工的生产率比较低。

(3) 研磨的技术规范

1) 对研具的要求。研具要求表面光滑，无裂纹、斑点等缺陷，要有适当的表面几何形状、良好的耐磨性、足够的刚度、合理的形体结构，嵌砂研具具有良好的嵌砂性能，在连续使用和室温不断变化的情况下尺寸稳定并保持不变形。研具的材料一般应比工件的材料软（但不能太软），组织要均匀且有一定的弹性。

2) 常用研具材料有：

① 铸铁。它适用于加工硬质合金、淬硬钢及非金属等多种材料的工件，也用于小孔的研磨。

② 软钢。它用于研磨 6mm 以下直径的细长光孔和螺纹。

③ 铜。它适用于研磨余量较大的粗研加工，或加硫酸铜液的化学粗加工。

④ 铅。它适用于研磨软钢及其他金属工件，如轴瓦。

⑤ 玻璃。它适用于敷砂研磨和抛光，如淬硬钢件的最后精研。

⑥ 沥青。它用来研磨玻璃、水晶及单晶硅等脆硬材料和精抛光淬硬工件。

3) 工件的预加工质量。一是要求被研磨零件的表面粗糙度值应达到 $R_a 1.60 \sim 0.80 \mu\text{m}$ 。二是要求工件的尺寸精度尽可能地接近于图样要求，其经验是：

① 生产批量大、研磨效率高时，留的研磨余量为 $0.04 \sim 0.07\text{mm}$ 。

② 小批单件生产、研磨效率很低时，其余量为 $0.003 \sim 0.03\text{mm}$ 。

③多件加工尤其是成组成套地加工时，需注意保持尺寸的均匀一致。

④经过精磨的工件轴颈，留手工研磨余量为 $0.003 \sim 0.008\text{mm}$ ，留机械研磨余量为 $0.008 \sim 0.015\text{mm}$ 。

⑤工件孔径留手工研磨余量为 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 。

⑥工件平面留手工研磨余量为每面 $0.003 \sim 0.005\text{mm}$ ；留机械研磨余量为 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 。

4) 研磨工具与被研磨表面间的间隙。一般情况下，研磨工具与被研磨表面间的间隙不大于 $0.02 \sim 0.03\text{mm}$ 。若间隙过大，零件易出喇叭口或椭圆、锥度等；若间隙过小，不但操作困难，而且磨料不容易进入研磨工具与零件表面之间，研磨效果不好。

5) 研磨速度。研磨工具相对于工件作轴向移动的速度为 $10 \sim 15\text{m/min}$ 。被研磨工件与工具之间的相对转速，通常是被研磨件尺寸越小，则转速越高。

(4) 研磨工具和使用方法 在车床上研磨内孔应用较多。通常情况下，作为小孔的通孔研磨工具，其工具的工作长度大于零件孔长的 $2/3$ 。对又长又大的孔的研磨，其工具的工作长度要比零件缩短 $1/3 \sim 1/4$ 。另外，在研磨工具的工作部分应车出正、反螺旋槽，用以存储研磨粉和润滑液，并能使工具和工件间的相对轴向移动较为轻便。

正确选择和使用研磨工具，对提高研磨精度、降低表面粗糙度值和克服研磨零件的各种弊病具有重要的作用。有关内孔研磨的具体作法如下：

1) 零件孔径为 $\phi 0.3 \sim \phi 1\text{mm}$ 的研磨工具和用法

①选用铁丝作研磨工具，铁丝的直径通常应比零件孔径小 0.01mm 。研磨方法如图 4-40 所示，在主轴和回转顶尖上均安装有卡铁丝工具，卡住铁丝的两端，并将铁丝拉紧。由主轴带动铁丝转动，转速为 $750 \sim 1200\text{r/min}$ ；用手操持工件使之在铁丝上作往复移动，则加工出的内孔精度可达到 IT7 级，表面粗糙度 $R_a 0.80\mu\text{m}$ 以下。

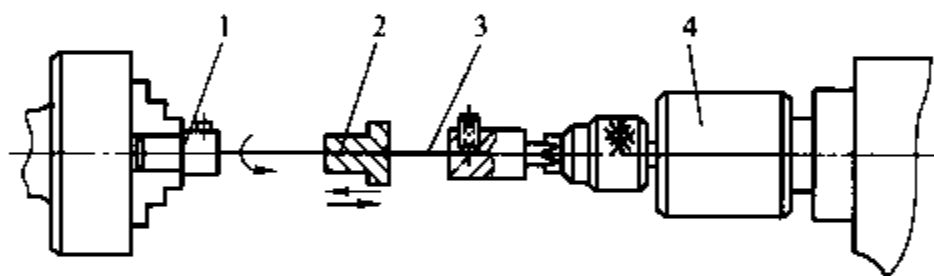


图 4-40 用铁丝作研磨工具及其使用方法

1—卡铁丝工具 2—工件 3—铁丝 4—回转顶尖

②用钻头尾柄作研磨工具，通常钻头尾柄直径应小于零件孔径 0.01mm ，并且不能弯曲。研磨方法如图 4-41 所示，钻头尾柄夹持在顶尖上，并由主轴带动旋转；用手握持工件，在钻头柄上往复移动，进行研磨加工。

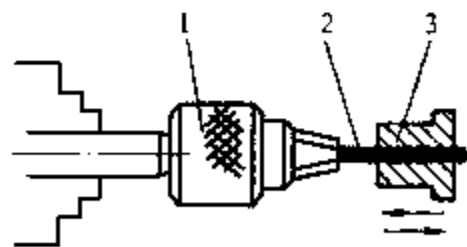


图 4-41 用钻头柄作研磨工具及其使用方法

1—顶尖 2—钻头尾柄 3—工件

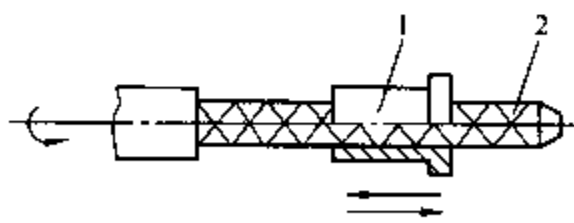


图 4-42 孔径为 $\phi 1 \sim \phi 10\text{mm}$ 的研磨工具及其使用方法

1—工件 2—研磨工具

2) 零件孔径为 $\phi 1 \sim \phi 10\text{mm}$ 的研磨工具和使用方法。研磨工具用黄铜或纯铜材料制成。当制作直径为 $\phi 1 \sim \phi 3\text{mm}$ 的研磨工具有困难时, 可选用铜丝代替。研磨方法如图 4-42 所示, 研磨工具由车床主轴带动旋转, 其转速 $n = 380 \sim 600\text{r/min}$; 工件 1 用手握持使之在研磨工具 2 上作往复移动, 进行研磨加工。

3) 零件孔径为 $\phi 10 \sim \phi 80\text{mm}$ 的研磨工具和使用方法。如图 4-43 所示, 研磨工具以灰铸铁为材料, 制成可涨式结构。制造研磨工具时, 锥面应着色配合, 研磨套外径要比零件孔径小 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ 。研磨时, 将工件套在研磨工具上, 研磨工具作旋转运动, 转速取 $90 \sim 150\text{r/min}$, 工件沿研磨工具作直线往复运动进行研磨。当研磨套外径磨损时, 往床头方向移动研磨套, 即可外涨, 实现多次使用。

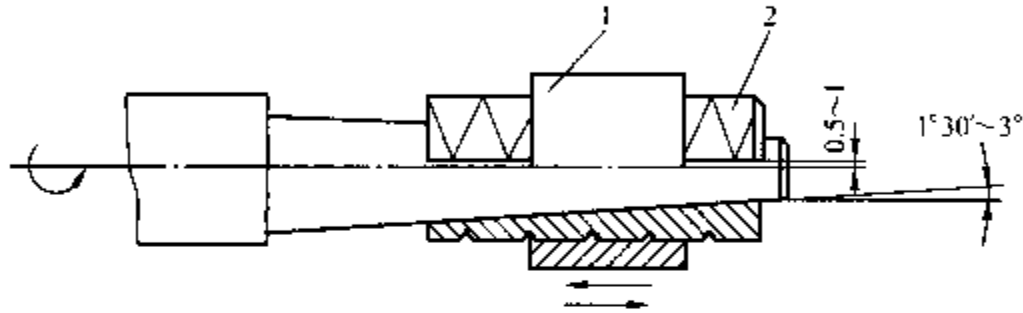


图 4-43 可涨式研磨工具及用法
1—工件 2—研磨套

4) 图 4-44 所示为两端可涨式研磨工具, 适用于研磨内孔 $\phi 60\text{mm}$ 以上的工件, 长孔和短孔研磨均可使用。

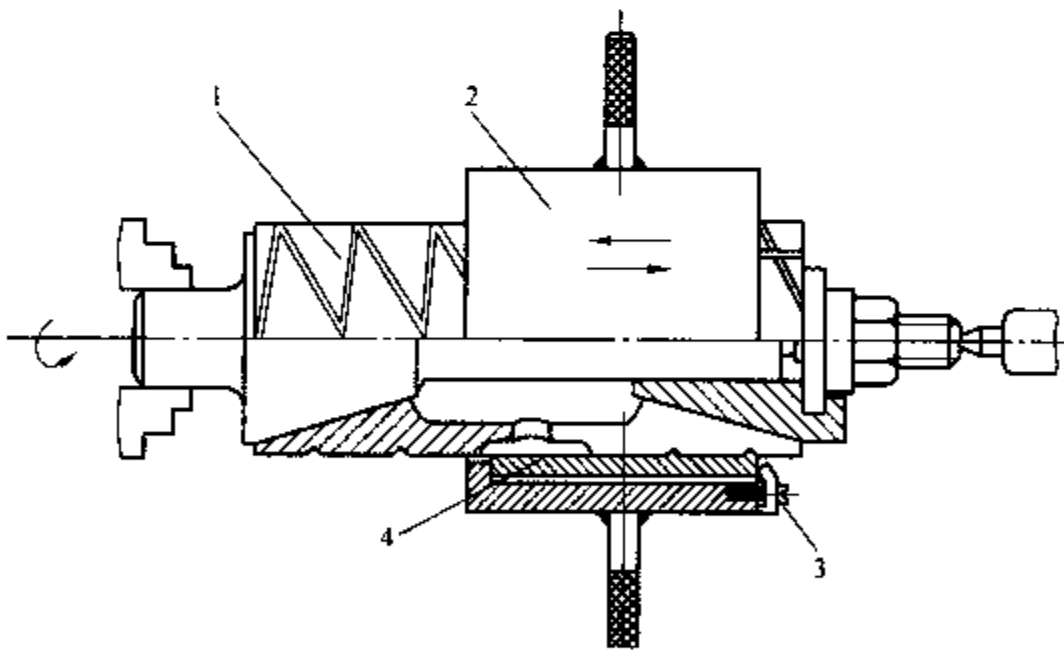


图 4-44 两端可涨式研磨工具
1—可涨式研磨套 2—卡工件用工具 3—紧固工件用压板 4—工件

另外, 图 4-45 所示的研磨套式外圆研磨工具应用也比较广泛。

该研磨工具的研磨套由铸铁材料制成，它的内径尺寸按工件尺寸制定，长度为工件长的 $\frac{1}{2}$ ，并且在内表面开有数条交叉沟槽。研磨时，将研磨膏或粉末金刚砂涂于研磨套内壁，并把夹箍包在研磨套的外圆上，用螺栓调节研磨套与工件表面间的间隙，通常为 $0.01 \sim 0.03\text{mm}$ ，如果间隙过大会出现喇叭口或椭圆等现象，影响研磨精度；工件装在卡盘上，由车床主轴带动作低速旋转，用手握持研磨工具沿着工件作均匀的轴向往复移动，直到尺寸和表面粗糙度符合要求为止。

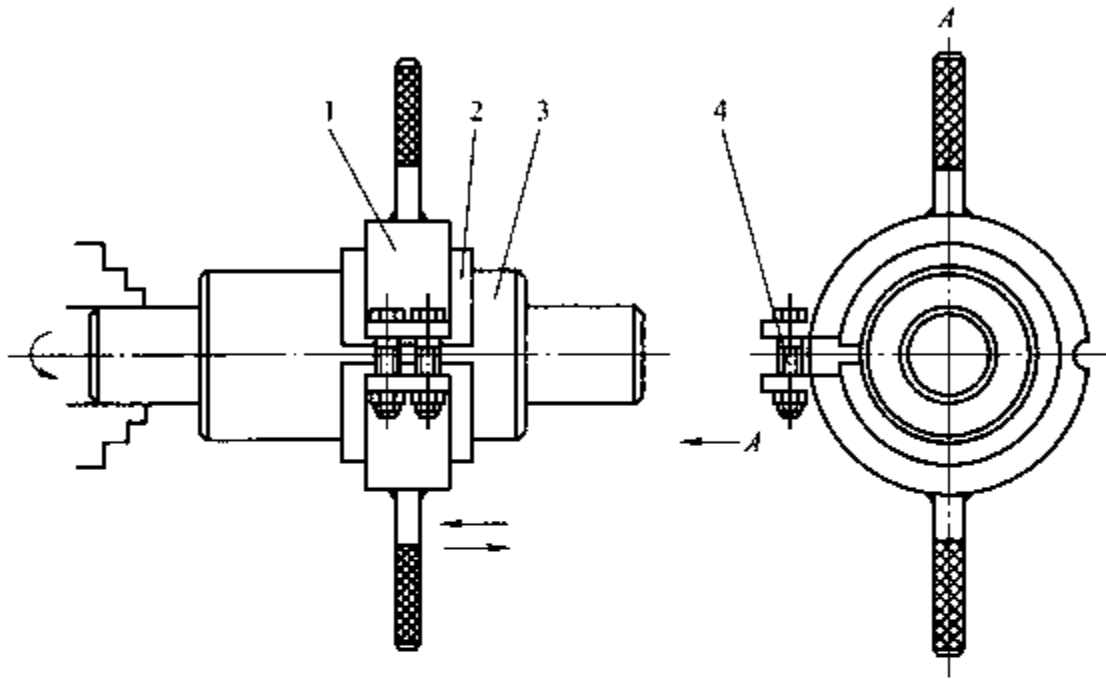


图 4-45 研磨套式外圆研磨工具

1—夹箍 2—研磨套 3—工件 4—调整螺栓

第五章 特殊材料的切削加工

本章所讲的特殊材料包括难切削金属材料和非金属材料。

难切削金属材料是指可加工性差，难以切削的金属。可加工性的好坏与金属材料的硬度、导热性、金属内部结构、加工硬化等因素有关，尤其是与硬度关系更大。通常情况下，它们具有下列一种或数种特性：

- 1) 金属材料含有微观硬质点，有很高的耐磨性。
- 2) 宏观硬度高，可达 55 ~ 72HRC 以上。
- 3) 材料加工硬化倾向严重。
- 4) 材料的热导率小。
- 5) 材料的强度高。
- 6) 材料化学性质活泼，亲和性强。
- 7) 高熔点金属材料，其熔点高达 1700°C 以上。

常见的难切削金属材料有高锰钢、淬火钢、高强度钢、不锈钢、高温合金钢、钛合金钢等。由于可加工性差，使切削加工十分困难，主要反应在切削时刀具的使用寿命低、加工表面的质量差、切削力或单位切削功率大、材料的断屑性能差等方面。

非金属材料如橡胶制品、玻璃钢、有机玻璃和塑料等，大部分采用模压直接成形，很少采用机械切削加工。但是，随着现代工业的发展，非金属材料制品日益增多，对机械切削加工的需求也越来越广泛。

一、不锈钢切削加工

不锈钢是不锈耐酸钢的简称，它是指在空气、弱腐蚀介质以及酸、盐溶液等强腐蚀介质中具有抵抗腐蚀能力的钢。常用的不锈钢主要有铬不锈钢和铬镍不锈钢等。

1) 铬不锈钢。常用铬不锈钢的钢号有 1Cr13、2Cr13、3Cr13、3Cr13Mo、7Cr17、8Cr17 等。为保证有足够的抗腐蚀能力，钢中的 w_{Cr} 不得小于 13%。随着含碳量的增加，钢的强度和硬度增加，而塑性和韧性降低，耐蚀性下降。这类钢主要用于在弱腐蚀介质中工作的机械零件和工具。

2) 铬镍不锈钢。在 $w_{Cr} = 18\%$ 的钢中加入质量分数为 9% ~ 10% 的镍，如 1Cr18Ni9，通称 18-8 型不锈钢。这类钢含碳量低，含镍量高。经热处理后，呈单一奥氏体组织，无磁性，其耐蚀性、塑性和韧性都较 Cr13 型好，并具有良好的焊接性、冷加工性及低温韧性。铬镍不锈钢主要用于制造强腐蚀介质（如硝酸、磷酸、有机酸及碱溶液等）中工作的设备，如吸收塔、贮槽、管道及容器等。

1. 车削不锈钢

由于不锈钢的物理-力学性能给车削加工带来很多的困难，其车削特点很突出，必须有的放矢地采取技术措施，以保证切削的顺利进行。

(1) 不锈钢的车削特点

1) 不锈钢的强度高，韧性大，所以车削时切削变形大，因此，切削力较大，并且切削热很高。

2) 不锈钢在高温下仍然保持有较高的强度和硬度，因此加剧了车刀的磨损。

3) 不锈钢粘附性强，车削过程中产生粘附性切屑，容易形成积屑瘤，不易获得较低的表面粗糙度值，并加速了车刀的磨损。

4) 不锈钢导热性差，被切屑带走的热量很少，因此切削温度高，加剧了车刀的磨损。

5) 不锈钢冷作硬化现象严重，车削时表面产生冷硬层，使车刀磨损加剧。

6) 不锈钢的粘附性切屑韧性大，不易折断，造成断屑困难。

(2) 改善不锈钢车削的技术措施 车削不锈钢比车削普通碳钢困难得多，刀具寿命也比较短，所以必须采取一些相应的技术措施，以改善不锈钢的切削条件。

1) 选用硬度高、抗粘附性好、韧性好的刀具材料。如硬质合金，常用的牌号有 YT798、YT712、YA6、Y320、YW1、YW2、YW3、YG8、YG8N 等。也可采用高性能高速钢常用牌号有 W6Mo5Cr4V2Al、W12Cr4V4Mo、W10Mo4Cr4V3Al 等。

2) 合理地选取刀具几何角度。由于车刀的前角太小，因此会增大切削力，也会使振动加剧，导致工件表面产生振纹；还会影响切屑的顺利排除，在切削温度较高的情况下，容易产生积屑瘤。因此，车刀的前角要取得大些，一般可在 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 范围内选取。这样做也有利于减小工件材料的塑性变形，降低切削力和减轻加工硬化程度。对于车刀的后角也应取大些，一般在 $8^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 范围内选取。这样做，不但可使刀具变得锋利，还可以减少刀具后刀面与工件切削表面之间的相互摩擦，有利于提高刀具寿命。对于车刀的刃倾角要取负值，可在 $-3^{\circ} \sim -10^{\circ}$ 范围内选取，并且要磨出半径为 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 的刀尖圆弧，以加强刀尖。由于不锈钢的韧性和塑性均较好，平面型的前刀面不利于断屑，故不应采用平面型前刀面，而应采用断屑型。

3) 采用合适的切削用量。对于进给量和背吃刀量，如果选用的值偏小，一方面车削时表面会产生硬化层，另一方面将使刀刃在硬化层中工作，导致刀具磨损加快，降低刀具的寿命。因此，背吃刀量和进给量都不能过小，而要大些，通常情况下，取 $f=0.1 \sim 0.8\text{mm/r}$ ， $a_p=0.2 \sim 4\text{mm}$ 。关于切削速度，一般可在 $70 \sim 100\text{m/min}$ 范围内选取。

4) 选用抗粘结性能好和散热性能好的切削液，如极压切削液。

2. 铣削不锈钢

不锈钢铣削刀具的材料，通常选用韧性很好、与不锈钢化学亲和力小的 YG 类硬质合金。其中首选细颗粒的 YC6X，如果能选用 YW1、YW2、YA6 等则更好，也可选用性能较好的特种高速钢。

不锈钢铣削刀具的几何角度，可参考表 5-1 选用。

表 5-1 铣刀的几何角度

角度名称	角度数值		说 明
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	
法向前角 γ_n	$10^{\circ} \sim 20^{\circ}$	$5^{\circ} \sim 10^{\circ}$	硬质合金端铣刀前面上可磨出圆弧卷屑槽，前角可增大至 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，刀刃上应留 $0.05 \sim 0.2\text{mm}$ 宽的棱带
法向后角 α_n	端铣刀： $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$	端铣刀： $5^{\circ} \sim 10^{\circ}$	
	立铣刀： $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$	立铣刀： $12^{\circ} \sim 16^{\circ}$	

(续)

角度名称	角度数值		说明
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	
副刃法向后角 α_n'	6° ~ 10°	4° ~ 8°	
主偏角 κ_r	60°		端铣刀
副偏角 κ_f'	1° ~ 10°		立铣刀和端铣刀等
螺旋角 β	立铣刀: 35° ~ 45° 波形刃立铣刀: 15° ~ 20°	立铣刀: 5° ~ 10°	铣不锈钢, 螺旋角应大; 铣薄壁零件, 宜采用波形刃立铣刀

铣削不锈钢的切削用量, 参见表 5-2。

表 5-2 铣削不锈钢的切削用量

铣刀种类	刀具材料	铣削速度/(m/min)	进给量/(mm/min)
立铣刀	高速钢	15 ~ 20	30 ~ 75
	硬质合金	40 ~ 100	30 ~ 75
玉米立铣刀	高速钢	18 ~ 25	45 ~ 75
圆片、三面刃铣刀	高速钢	35 ~ 50	20 ~ 60
	硬质合金	50 ~ 110	20 ~ 60
端铣刀	硬质合金	60 ~ 150	30 ~ 150

铣削注意事项如下:

1) 不锈钢的塑性好, 但加工硬化严重, 又由于铣削加工是断续切削, 因此铣削时的冲击和振动较严重。所以, 要求机床、夹具和刀具的刚性要好; 铣刀齿数不能太多; 应有过渡刀刃; 最好采用顺铣。

2) 用锯片铣刀对不锈钢工件进行切断和切槽时, 可将刀刃改磨成错齿, 并交替倒角, 以改善可加工性。用改磨后的锯片铣刀进行切削, 可提高切削速度, 并且铣刀也不容易断裂。

3) 铣削时, 必须加注冷却性能较好的切削液。

3. 磨削不锈钢

由于加工方法以及所使用的工具不同, 所以磨削不锈钢与车、铣削不锈钢相比, 其特点如下:

1) 磨削不锈钢时, 磨屑易粘附在砂轮上, 填满磨粒间的空隙, 使磨粒失去切削作用。不锈钢的类型不同, 产生砂轮堵塞的情况也各不相同, 如磨削耐浓硝酸不锈钢及耐热不锈钢时, 粘附、堵塞现象比磨削 1Cr18Ni9Ti 时严重; 而磨削 1Cr13、2Cr13、3Cr13 时则比较轻。

2) 与车、铣加工一样, 磨削不锈钢时, 切屑不易被切离, 砂轮磨粒容易磨损变钝, 磨粒变钝后, 切削条件恶化, 应及时修整砂轮。

3) 由于磨屑易堵塞砂轮, 砂轮磨粒易钝, 切削阻力较大, 单位面积的磨削力可达 68670N, 磨削温度也高达 1000 ~ 1500°C, 因此很容易出现加工表面烧伤的现象。

4) 由于磨削温度高, 不锈钢的线膨胀系数较大, 因此容易导致尺寸测量上的误差。尤其是磨削细长轴及薄壁零件时, 容易产生翘曲不平或尺寸厚薄不均的现象。

5) 磨削过程中的挤压变形大, 致使磨削表层冷硬现象严重。同时, 由于切削高温作用, 工件表面还会产生退火现象, 退火层深度有时可达 0.01 ~ 0.02mm。

6) 1Cr18Ni9Ti 等奥氏体类无磁性不锈钢工件在平面磨床上磨削时, 只有靠机械夹固或专用夹具来夹持。磨削薄板状工件时, 利用工件侧面夹紧, 会造成装夹误差, 同时还会引起磨削过程中的振动而出现鳞斑状波纹。

(1) 磨削不锈钢砂轮的选择

1) 磨料。磨削不锈钢工件时, 一般采用白刚玉磨料较为合适, 这是因为白刚玉具有较好的可加工性和自锐性。磨削不锈钢工件内圆时, 由于砂轮直径小, 每颗磨粒在单位时间内的切削次数大大增加, 磨粒易磨钝, 宜采用微晶刚玉或单晶刚玉。

2) 粒度。磨削不锈钢时, 一般采用中等粒度的砂轮为宜。

3) 结合剂。磨削不锈钢要求砂轮具有较高的强度, 以便承受较大的冲击载荷。陶瓷结合剂耐热性、耐蚀性好, 用它制成的砂轮能很好地保持可加工性, 不怕潮湿, 且具有多孔性, 适于制作不锈钢砂轮结合剂; 磨削耐浓硝酸不锈钢工件的内孔时, 可采用树脂结合剂制造砂轮。

4) 砂轮硬度。采用 G ~ N 级硬度的砂轮适宜于不锈钢的磨削, 其中以 K ~ L 级硬度使用最为普遍。使用微晶刚玉作磨料的内圆磨砂轮, 则以 J 级硬度为宜。

5) 砂轮组织。根据不锈钢磨削时砂轮易堵塞的特点, 应选用组织较为疏松的砂轮。

(2) 磨削不锈钢时易出现的质量问题及应采取的措施

1) 磨削不锈钢时最易出现的质量问题是:

①表面磨不光, 有波纹或螺旋纹。

②加工表面出现拉毛及烧伤。

③工件上出现圆柱度误差 (如锥度、马鞍形、腰鼓形) 或圆度误差等。

2) 应采取的措施是:

①正确修整砂轮。

②优选磨削用量。

③正确选用磨削余量。

④充分冷却。

二、高锰钢切削加工

高锰钢是目前主要的耐磨钢。经水韧处理后, 钢的韧性、塑性特别高, 但硬度仅为 180 ~ 220HBW。它在大的压应力或冲击力下能迅速加工硬化, 使硬度由 220HBW 提高到 450 ~ 550HBW, 耐磨性 (指高压下的耐磨性, 低压并不耐磨) 变得特别好, 一般比碳钢高十几倍。高锰钢在冲击下变得硬而耐磨, 是表面加工硬化并发生马氏体相变的结果。由于高锰钢极易产生加工硬化, 因此使切削加工困难。

1. 车削高锰钢

(1) 高锰钢的车削特点

1) 高锰钢的加工硬化现象极为严重, 它的原始硬度并不高, 一般为 180 ~ 200HBW, 但加工后硬度可达 550HBW, 造成切削力猛增, 车刀磨损加剧, 车削加工极为困难。

2) 高锰钢导热性很差, 切屑带走的热量很少, 因此切削温度高。

3) 高锰钢塑性好, 韧性高, 切屑强而韧, 不易折断, 造成断屑困难。

4) 高锰钢线膨胀系数大, 又因切削温度高, 因此工件受热膨胀变形, 影响加工精度。

(2) 车削高锰钢采取的技术措施

1) 选用强度高、韧性好、热导率大、高温性能好的刀具材料。例如: 涂层硬质合金, 常用牌号有 YB125、YB215、CN25 等; 非涂层硬质合金, 常用牌号有 YD10.2、YG6A、Y220 (用于半精车和精车), 以及 YT767、YG813 等 (用于粗车); 陶瓷材料, 常用牌号有 AT6、SG4 等。

2) 合理选用车刀的几何角度。建议:

①为提高刀具强度和改善散热条件, 前角的角度应尽可能选用正前角, 其选用范围为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

②为保持切削刃锋利, 减小加工硬化现象, 后角可选大一些, 选用范围为 $8^{\circ} \sim 12^{\circ}$ 。

③用较大的负倒棱和刃倾角来加强切削刃。刃倾角的选取范围为 $-5^{\circ} \sim -30^{\circ}$ 。

另外, 还要注意对刀面和切削刃要仔细研磨, 表面粗糙度 R_a 值应在 $0.4\mu\text{m}$ 以下。

3) 选用适宜的切削用量。车削高锰钢时, 因其导热性差而易使切削过程中产生的高温集中在刀头上, 若切削速度选择过高, 则会使刀具产生过热磨损, 降低刀具的使用寿命, 所以切削速度不宜过高。又由于高锰钢的加工硬化现象严重, 若背吃刀量过小, 则会导致刀尖在硬化层中进行切削, 从而容易造成刀具磨损加快。合理的切削用量选用范围建议如下:

①粗车时: $v = 15 \sim 20\text{m}/\text{min}$; $f = 0.3 \sim 1.5\text{mm}/\text{r}$; $a_p = 3 \sim 6\text{mm}$ 。

②半精车和精车时: $v = 20 \sim 48\text{m}/\text{min}$; $f = 0.2 \sim 0.8\text{mm}/\text{r}$; $a_p = 0.5 \sim 2\text{mm}$ 。

4) 车削高锰钢材料工件时, 尽量选用动力大些、刚性好些的车床, 并尽量地提高工艺系统的刚性。

2. 铣削高锰钢

高锰钢的导热性差, 冲击韧度高, 加工硬化程度严重。对这种材料铣削时, 刀具材料可选用硬质合金, 如采用强度和韧性均较好的 YT767、YG813 等牌号硬质合金, 切削效果较为理想。若用高速钢铣刀切削, 适宜用含钴高速钢铣刀。

用硬质合金端铣刀切削时, 一般选择前角为 $-5^{\circ} \sim 5^{\circ}$; 后角为 $12^{\circ} \sim 18^{\circ}$; 主偏角为 $60^{\circ} \sim 75^{\circ}$; 刃倾角取 -5° 。在保证铣刀刀尖有足够强度的情况下, 刃口尽量磨得锋利些, 可以使铣削时材料的硬化程度降低。

铣削速度约为 $20\text{m}/\text{min}$ 。

三、淬火钢切削加工

淬火钢的组织主要是马氏体, 其硬度高, 脆性大。一般碳钢和合金钢在淬火后, 其硬度在 50 ~ 60HRC 范围内。高速钢、轴承钢等淬火后, 其硬度可达 63 ~ 70HRC, 这给车削加工带来很大的困难, 主要表现在三方面: 一是单位切削力大; 二是切削温度高; 三是刀具磨损快。

1. 车削淬火钢

车削淬火钢的首选刀具材料应当是硬质合金，然后配合适宜的切削用量，可取得良好的切削效果。

例 1 粗车工件为组合车床双导向杆，材料硬度为 50 ~ 55HRC。

车削时采用的切削用量为： $v = 50\text{mm/min}$ ； $f = 0.08\text{mm/r}$ ； $a_p = 0.15\text{mm}$ 。

刀具材料为 YN05 硬质合金刀片。

切削效果：YN05 硬质合金刀片切削轻快，切削 1000mm 长度后，刀具后面磨损为 0.1mm，零件表面粗糙度达 $R_a 1.6\mu\text{m}$ ，其他几何形状和位置公差也满足图样要求。

例 2 精车传动轴，工件硬度为 45 ~ 50HRC。

采用 YN10 硬质合金刀片。

精车时采用的切削用量为： $v = 25\text{m/min}$ ； $f = 0.05 \sim 0.07\text{mm/r}$ ； $a_p = 0.4\text{mm}$ 。

切削效果：用 YN10 硬质合金刀片车刀切削顺利，其可加工性能优于 YT30、YT15 硬质合金刀片。

例 3 采用 YM051、YM052 硬质合金刀片，加工冷冲模导柱，工件的硬度为 58 ~ 60HRC。

采用的切削用量为： $v = 23.4\text{m/min}$ ； $f = 0.12 \sim 0.24\text{mm/r}$ ； $a_p = 1.5 \sim 2\text{mm}$ 。

原来没有使用该刀具材料，只能退火后加工，变形大。现采用 YM051 硬质合金刀片切削加工，可以不经退火，而直接进行车削，连续车削三次后，刀具后面磨损量仅为 0.06 ~ 0.08mm，加工后工件表面粗糙度为 $R_a 3.2 \sim 1.6\mu\text{m}$ 。其工效提高 5 ~ 10 倍。

另外，采用 YM052 硬质合金刀片加工部分淬火后的导套、钻套、铰套，9SiCr 和 CrWMn 材料的凸凹模，其加工效果也很理想。

除硬质合金刀具材料外，金属复合陶瓷（如 SG4）和立方氮化硼也是较为适宜的车削淬火钢的刀具材料。车削时的切削速度一般高于硬质合金车刀的切削速度。一般情况下，金属复合陶瓷材料车刀的切削速度大致在 60 ~ 150m/min 范围内；立方氮化硼材料车刀的切削速度范围为 80 ~ 100m/min。

由于淬火钢的硬度高，为保证顺利车削，除了合理地选用刀具材料和切削用量外，还必须合理地选用车刀的几何角度，为此建议如下：

1) 通常情况下，淬火钢的硬度越高，其负前角的值越大，否则将会导致切削变形、切削温度和切削力增加等一系列问题。前角适宜的取值范围为 $-10^\circ \sim -5^\circ$ 。在精车时，负前角应选取较小的数值。值得注意，当车刀的前角为 0° 时，应磨出 2 ~ 3mm 宽的负倒棱。

2) 通常情况下，后角取值范围为 $8^\circ \sim 15^\circ$ ，一般取 10° 。这是因为淬火钢的塑性低，已加工表面弹性恢复小，故取较小的后角，以提高车刀的强度。

3) 主偏角适宜的取值范围为 $45^\circ \sim 60^\circ$ 。不可取值过小，否则会使背向力增大，产生振动，影响工件加工质量，降低刀具的使用寿命。

4) 刃倾角通常的取值范围为 $-15^\circ \sim -5^\circ$ 。粗车时取较大值；工艺系统刚度差时取小值。

5) 刀尖圆弧半径不宜过大，一般应在 0.5 ~ 2mm 范围内选取。

6) 副偏角的取值范围为 $5^\circ \sim 15^\circ$ 。

2. 铣削淬火钢

(1) 铣刀材料的选用 常用的铣刀材料为硬质合金，例如 YT05、YH1、YG643、

YT726、YT758 等牌号。如果使用 YT15、YT30 等普通硬质合金材料刀具，只能用较低的切削速度进行铣削。

另外，使用立方氮化硼为材料的铣刀，其加工效果也很好。

(2) 铣刀几何角度的选用

1) 主偏角的选用范围一般为 $45^\circ \sim 60^\circ$ 。

2) 后角的角度可以大一些，以减少与加工表面之间的摩擦。

3) 根据铣削材料的硬度选用适当的负前角，以增加刀尖的强度，减少刀具的磨损。当工件淬火硬度很高时，铣刀前角可取 -8° 左右。

(3) 铣削用量的选用 因为淬火钢的最大特点是硬度高，可高达 60HRC 以上，铣削很困难，所以应采用较小的进给量和背吃刀量，切削速度要根据机床刚度和刀具的使用寿命来确定。

四、高强度钢切削加工

高强度钢是指强度和硬度都很高，同时又具有很好的韧性和塑性的合金结构钢。它的切削特点如下：

- 1) 高硬度马氏体的切应力大，切削变形困难。
- 2) 切削力大，消耗变形功多。
- 3) 切削压应力和热量集中，易使刀具崩刃。
- 4) 断屑困难。

1. 车削高强度钢

(1) 车削高强度钢刀具材料 由于硬质合金具有良好的耐磨性、耐热性、韧性以及较高的硬度，所以是车削高强度钢的优选刀具材料（参见表 5-3）。

表 5-3 车削高强度钢用硬质合金

加工方法	非涂层刀片	涂层刀片
粗车	YM052、YG45、YC35、YC30 ^① 、YC10 ^① 、YD15、YW3、YS25、758 ^② 、726、707	YB03 ^① 、YB01 ^① 、YB02 ^① 、CN25
半精车 精车	YC10 ^① 、YD10.2 ^① 、YD20 ^① 、YN05、YN10、YD05、YT05、YD15、YW3、YM051、YM052、726 ^② 、758、643、712、715、707	YB21 ^① CN15 CN25

① 为株洲硬质合金厂引进产品。

② 所有以数字编号者为自贡市硬质合金厂产品。

另外，采用立方氮化硼（CBN）刀片精车高强度钢工件，其效果也很好，但价格较昂贵。还应指出，虽然陶瓷材料刀具有很高的硬度、良好的热稳定性，但由于抗弯性能差，易产生崩刃等缺陷，所以不可作为车削高强度钢的刀具材料。

(2) 车削高强度钢车刀的几何角度

1) 粗加工时，为提高刀具的强度及耐冲击能力，车刀的前角应为负值，一般为 $-5^\circ \sim -10^\circ$ 。

2) 粗加工用车刀的后角要稍大些, 而不应过小, 以避免后刀面与切削表面间摩擦加剧, 影响刀具的使用寿命。半精车时, 后角的取值范围为 $8^\circ \sim 10^\circ$; 精车时其取值范围为 $10^\circ \sim 12^\circ$ 。

3) 系统刚度的好与差对其主偏角大小的取值影响很大, 通常随着系统刚度变差, 其主偏角要相应增大, 这样有利于减小径向切削力。但是, 主偏角增大后, 会使刀尖变小, 导致刀刃及刀尖的耐热性和强度下降。一般主偏角的选取范围为 $30^\circ \sim 40^\circ$, 这样有利于增加刀尖散热面积, 提高刀具的使用寿命。

4) 为增强刀头强度, 刃倾角的选用范围为 $-2^\circ \sim 4^\circ$ 。

5) 为增大刀尖的强度, 要磨出刀尖圆弧, 其半径的取值范围: 半精车时 $r_e = 1 \sim 2\text{mm}$; 精车时 $r_e = 0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

(3) 车削高强度钢的切削用量 选用车削高强度钢的切削用量时, 可参考表 5-4。

表 5-4 车削高强度钢的切削用量

刀具材料	加工方式	$v/(m/min)$	$f/(mm/r)$	a_p/mm
硬质合金	粗车	10 ~ 90	0.3 ~ 1.2	4 ~ 20
	半精车	30 ~ 140	0.15 ~ 0.4	1 ~ 4
	精车	70 ~ 220	0.05 ~ 0.2	0.05 ~ 1.5

2. 铣削高强度钢

(1) 铣削高强度钢的刀具材料 由于高强度钢的硬度较高, 切削应力大, 容易引起硬质合金刀齿的崩刃, 通常选用 YT14、YW2 或 YD05、YN05 和自贡市硬质合金厂产品 707 硬质合金较为合适, 能够得到较好的切削效果。

(2) 铣削高强度钢的刀具角度 选用铣削高强度钢的刀具角度时, 可参见表 5-5。

表 5-5 铣刀角度

材料	刀具类型	γ_o	λ_o	α_o	κ_r	γ_p	γ_f	β
硬质合金	端铣刀	$-(15^\circ \sim 6^\circ)$	$-(12^\circ \sim 3^\circ)$	$8^\circ \sim 12^\circ$	$30^\circ \sim 75^\circ$	$-(15^\circ \sim 6^\circ)$	$-(12^\circ \sim 3^\circ)$	
	立铣刀			$4^\circ \sim 10^\circ$	90°	$-(15^\circ \sim 5^\circ)$	$-(10^\circ \sim 3^\circ)$	
高速钢	立铣刀			$7^\circ \sim 10^\circ$	90°		$3^\circ \sim 5^\circ$	$30^\circ \sim 35^\circ$
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ 热压陶瓷端铣刀		$-(20^\circ \sim 8^\circ)$	$-(12^\circ \sim 3^\circ)$	$4^\circ \sim 10^\circ$	$30^\circ \sim 75^\circ$ ^①			

① 也可采用圆刀片。

(3) 铣削高强度钢的切削用量 通常可按工件材料的硬度来确定切削用量, 例如用硬质合金三面刃铣刀进行铣削时: 当材料硬度为 $250 \sim 350\text{HBW}$ 时, 选取 $v = 61 \sim 100\text{m/min}$, $f_z = 0.13 \sim 0.30\text{mm/z}$ (f_z 为每齿进给量); 当材料硬度为 $350 \sim 400\text{HBW}$ 时, 选取 $v = 46 \sim 76\text{m/min}$, $f_z = 0.13 \sim 0.30\text{mm/z}$ 。

五、高温合金切削加工

高温合金又称耐热合金, 它的可加工性很差, 主要表现在切削力大、加工硬化现象严重、容易粘刀、切削温度高、热导率低等方面。

1. 车削高温合金

(1) 车削特点

1) 由于高温合金的强度高, 抗变形能力强, 所以切削过程中所需的切削力很大, 为切削普通中碳钢的 2~3 倍。

2) 高温合金硬度高, 尤其是在高温下能保持较高的强度和硬度。在切削加工时, 若刀具材料超过耐热温度而硬度下降, 会造成刀具磨损严重。

3) 切削高温合金时, 塑性变形消耗的能量很大, 这些能量 90% 以上转变为热能, 而高温合金导热性很差, 致使高的切削热集中在切削区, 切削温度升高, 可高达 750~1000°C, 从而加剧了刀具的磨损。

4) 车削过程中, 已加工表面上的加工硬化现象严重, 合金中又有高硬度的化合物硬点, 同样也会加剧刀具的磨损。

5) 高温合金在低、中速下切削, 易与车刀发生冷焊; 在高速下切削, 又因切削温度高, 易使刀具材料发生剧烈的扩散磨损。

(2) 车削高温合金应采取的技术措施 为保证切削过程顺利进行, 提高刀具的使用寿命, 常采取的技术措施如下:

1) 选用合适的刀具材料。切削高温合金常用的刀具材料有两大类:

①高速钢。加工变形高温合金时可选用 W18Cr4V、W2Mo9Cr4VCo8、W6Mo5Cr4V2Al; 加工铸造高温合金时可选用 W10Mo4CrV3Co10、W12Mo3Cr4V3Co5Si。

②硬质合金。加工变形高温合金时可选用 YG8、W4、YG10H、YG10HT、YGRM、813、YG6X、YH2、YA6、643、623 等; 加工铸造高温合金时可选用 W4、YG10H、YG10HT、YGRM 等。

2) 确定合适的刀具几何角度。在确定刀具角度时, 应注意两点: 一是为保证车刀具有较高的强度, 车刀的前角不宜过大, 而应取小些; 二是因为高温合金的导热性差, 高温强度高, 塑性好, 加工硬化现象严重, 若车刀后角太小, 则后刀面与工件加工表面间摩擦剧烈, 刀具易磨损, 刀具寿命下降, 所以确定的后角应大些。通常情况下, 加工变形高温合金时, 其前角在 5°~15°范围内选取, 后角在 8°~15°范围内选取; 加工铸造高温合金时, 其前角在 3°~10°范围内选取, 后角在 8°~15°范围内选取。

还应指出, 刃磨车刀时, 其后刀面应磨出切削刃带, 前面不磨出负倒棱; 车刀刃磨要锋利, 刀刃不许有微小的锯齿形缺陷; 各刀刃前、后面的表面粗糙度应磨至 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 以下。

3) 选择合理的切削用量。在选择切削用量时, 应注意两点: 其一, 由于高温合金在切削过程中加工硬化现象严重, 若背吃刀量选择过小, 则刀刃在硬化层中车削, 将进一步加剧硬化, 并且使刀具磨损加快, 降低了使用寿命。因此, 背吃刀量不宜选取过小, 通常, 粗车高温合金时, 背吃刀量可在 3~7mm 范围内选取; 精加工时, 背吃刀量可在 0.2~0.5mm 范围选取。其二, 因为进给量过大, 将使切削力增加, 而进给量过小, 又会使刀刃在切削层中切削, 从而降低了刀具的使用寿命, 所以进给量的选取不宜过大或过小, 一般在 0.1~0.5mm/r 范围内选取。例如, 工件材料为 GH33A, 车刀材料为 YG8 或 813, 进行粗加工, 使用透明切削液, 这种条件下, 可选用: $f=0.15\sim0.42\text{mm/r}$, $a_p=2\sim8\text{mm}$, $v=11\sim12\text{m/min}$ 。再如, 工件材料为 GH132, 车刀材料为 YG10H、YG8 或 813, 进行精加工, 使用透明切削液或不用切削液, 这种条件下, 可选用: $f=0.12\sim0.2\text{mm/r}$, $a_p=0.3\sim0.5\text{mm}$, $v=40\sim60\text{m/min}$ 。

4) 采用适当的热处理工艺,以改善高温合金的可加工性。如铁基高温合金可采用退火处理,镍基高温合金可采用淬火处理。

5) 选择功率较大的车床加工高温合金,并尽可能地提高工艺系统的刚性。

2. 铣削高温合金

铣削高温合金的主要特点是:硬化严重,容易粘刀,导热性差和高温强度高。因此,铣削时要求刀刃锋利。

切削高温合金的刀具材料主要是高速钢,最好用高钴(Co)、高钒(V)高速钢。也可用硬质合金作刀具材料,但只能用YG类硬质合金刀具和610、643、813等新牌号的硬质合金刀具,而不能用YT类硬质合金刀具。这是因为YT类硬质合金的抗弯强度低,导热性差,容易产生扩散磨损,不适用于断续切削。

用高速钢铣刀切削,刀具刃口应保持锋利,前角一般为 $5^{\circ} \sim 12^{\circ}$;后角应稍大些,一般在 $13^{\circ} \sim 16^{\circ}$ 范围内选取。端铣刀应具有刃倾角。立铣刀的螺旋角选用 30° 为宜,并且刀具切削刃最好经渗氮处理。

铣削高温合金的切削速度宜采用低速,通常不大于 $20\text{m}/\text{min}$;选用较小的进给量和较大的背吃刀量。例如,以端铣刀铣削,工件材料为GH36,刀具材料为W18Cr4V,使用防锈切削液。这种条件下,选用的切削用量为: $a_p = 1 \sim 3\text{mm}$, $f_z = 0.2 \sim 0.25\text{mm}/z$, $v = 20 \sim 25\text{m}/\text{min}$ 。再如,以端铣刀铣削,工件材料为K17,刀具材料为W2M。9Cr4VCo8,使用防锈切削液。这种条件下,选用的切削用量为: $a_p = 1.5 \sim 5.5\text{mm}$, $f_z = 0.06 \sim 0.1\text{mm}$, $v = 3 \sim 5\text{m}/\text{min}$ 。

铣削高温合金的方式,最好采用顺铣,以获得较低的表面粗糙度值。铣削用机床应有足够的动力,并且加工工艺系统的刚度要高。

六、钛合金切削加工

钛合金分为三类,即 α 钛合金、 β 钛合金和 $(\alpha + \beta)$ 钛合金。其性能特点如下:

1) 钛合金密度小,强度高,其比强度大于高强度钢。
2) 钛合金的热稳定性好,高温强度高,在 $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 温度下,其强度比铝合金约高10倍。

3) 钛合金在潮湿大气和海水介质中工作时,它的耐蚀性远优于不锈钢,对点蚀、酸蚀、应力腐蚀的抵抗能力很强。对碱、氯化物、氯的有机品、硝酸、硫酸等有优越的耐蚀性能。但是,钛对具有还原性氧及铬盐介质的耐蚀性差。

4) 钛的化学性质活泼,与大气中的O、N、H、CO、CO₂、水蒸气和氨气等产生强烈的化学反应。 w_c 大于0.2%时,会在钛合金中形成TiC。温度较高时,与N作用,也会形成TiN硬质层。在 600°C 以上时,Ti吸收O,形成硬度很高的硬化层。含H量上升,会形成脆化层。

5) 钛的热导率低,约为Ni的 $1/4$,Fe的 $1/5$,Al的 $1/4$;钛合金的热导率更低,约为钛的 $1/2$ 。

6) 钛的弹性模量小,为 107.8GPa ,约为钢的 $1/2$,易产生回弹。

1. 车削钛合金

钛合金属于难加工材料,不同牌号和不同状态的钛合金,切削加工的难易程度也不同,

其车削加工特点如下：

1) 由于热导率很低，使它在切削加工中产生较大温差和较大的热应力。热导率低，热量不易散发，致使切屑和切削区的温度很高，造成刀具与切屑的粘接或熔焊，从而加剧了刀具磨损。随着切削速度的提高，其切削区切削温度的升高要比切削钢时快得多、高得多。

2) 由于钛合金的化学性质较活泼，在铸造、锻造和挤压过程中，坯料表面会形成很厚的氧化层，其厚度可达 0.5 ~ 1mm 以上。这种氧化层非常坚硬，当温度达 900°C 时，氧化层又开始起鳞，于是给切削加工带来困难。

3) 工件毛坯表面存在着裂纹和夹杂等缺陷，经常使车刀处在断断续续的切削中，因此产生较大的冲击和振动。

4) 钛合金在车削中，单位面积的切削力很大。粗加工中，刀尖容易崩碎和磨损。纯钛在切削过程中，切屑严重卷曲，连续不断，极易缠绕在工件上或粘附在刀尖上，不仅给清理工作带来困难，还会使刀具与工件间的摩擦力增大。

为保证车削钛合金顺利进行，通常要采取的技术措施有以下几方面：

(1) 选择适宜的刀具材料 为了避免工件、刀具中的 Ti 元素亲和，从而加剧刀具磨损，不宜选用 YT 类硬质合金作为刀具材料，应选用与钛亲和力小、导热性良好的 YG 类硬质合金作刀具材料，如 YG6X、YG3X、YGRM、YG8 等。也可选用含钴、铝或高钒的高速钢作刀具材料，如 W2Mo9CrV4Co8、W10Mo4Cr4V3Al 等。

(2) 合理地确定刀具的几何角度 对于前角而言，由于切削过程中高温钛合金易与周围空气发生化学作用，使表层材料变得硬而脆，对刀具产生一定的冲击，所以前角不应过大，通常可在 5° ~ 15° 范围内选取。对于主偏角来说，增大主偏角，有利于减小径向切削力，但也减小了刀尖角，使刀尖散热条件变差，不利于散热。又由于钛合金导热性能不好，致使在加工过程中的切削热集中在刀尖附近，导致切削温度很高（约为 45 钢切削温度的 2 倍），这样易使刀具发热磨损，刀具寿命下降。所以，主偏角不可选取得过大，一般应在 30° ~ 45° 范围内选取。关于后角的确定，考虑到钛合金弹性变形大，在车削时的弹性恢复致使工件与后刀面间的接触面积增大，若其后角选取得过小，将使后刀面与工件切削表面间的摩擦加剧，加快了刀具的磨损，可见后角应取大些，一般应在 10° ~ 15° 范围内为宜。后角应取大些，还有另外的两个原因：一是为了减小工件表面的硬化程度；二是为了减少后刀面的磨损。

还应指出，对刀具的切削刃和刀面要经过仔细的研磨，尽可能地获得较低的表面粗糙度值，以减少摩擦，保证排屑畅快。

(3) 合理地选择切削用量 通常情况下，切削速度选择应低一些，可在 $v = 30 \sim 60\text{m/min}$ 范围内选取；背吃刀量可大一些，应超过硬化层；进给量要适当。

(4) 车削时应加注切削液 由于钛合金的导热性能差，其热导率只有 45 钢的 1/5，甚至还低，并且切削热又集中在很小的区域内，故切削温度很高。在不使用切削液的情况下，切削速度为 40m/min 时，切削温度可达到 800°C；当切削速度再升高为 120m/min 时，切削温度可能超过 1100°C。又因为钛元素的化学性质活泼，当切屑过细时，极易燃烧。因此，在车削钛合金的过程中不宜干切削，而应当加注充分的切削液。这样做，不但可降低切削温度，提高刀具寿命，还可以阻燃。可选用的切削液为极压乳化液或极压添加剂的水溶切削液。

(5) 选用具有足够动力的车床 选用的车床动力要足够, 加工工艺系统的刚度要强。

2. 铣削钛合金

(1) 铣削钛合金的刀具材料 铣削钛合金的刀具材料有两类:

1) YG 类硬质合金, 如 YG8。

2) 高速钢, 如 W12Cr4V4Mo、W12Mo3Cr4V3Co5Si、W10Mo4Cr4V3Al、W6Mo5Cr4V2Al 等。

(2) 铣削钛合金铣刀的角度 铣刀的前角较小, 一般为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$; 后角为 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$; 主后角为 $45^{\circ} \sim 75^{\circ}$; 刀尖圆弧半径为 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

(3) 铣削钛合金的切削用量 刀具材料为 YG 类硬质合金的铣刀, 其进给量对切削加工表面粗糙度的影响较大, 通常在要求较低表面粗糙度值时, 应采用较小的进给量。如以硬质合金为刀具材料的端铣刀, 被加工工件的 $\sigma_b \leq 1000\text{MPa}$ 时, 其每齿进给量 $f_z = 0.06 \sim 0.12\text{mm/z}$, 切削速度 $v = 12 \sim 50\text{m/min}$, 背吃刀量 $a_p = 1.5 \sim 5\text{mm}$ 。

用高速钢铣刀铣削钛合金时, 为了降低切削温度, 提高刀具使用寿命, 通常采用低速 (约 10m/min)、大进给量铣削, 并加极压切削液。如用高速钢立铣刀, 粗铣 $\sigma_b \leq 1000\text{MPa}$ 的工件时, 选用的铣削用量为: 切削速度 $v = 10 \sim 19\text{m/min}$; 每齿进给量 $f_z = 0.1 \sim 0.3\text{mm/z}$; 背吃刀量 $a_p = 1.5 \sim 3\text{mm}$ 。

又因为钛合金的弹性变形大, 要求加工工艺系统刚性要好, 刀量悬伸量尽量小, 以防止切削振动。

3. 磨削钛合金

磨削钛合金的特点如下:

1) 磨削时, 因为砂轮容易变钝失效, 磨削比很低, 在相同磨削条件下磨削 TC4 的磨削比只有 1.53, 而 45 钢为 71.5。因此, 为保证零件的加工质量, 生产率较低。

2) 磨削钛合金时, 滑擦过程所占比重大, 产生强烈的摩擦, 急剧的弹、塑性变形和大量的热量, 致使磨削区温度很高。例如, 在相同的条件下, 磨削 TC9 的磨削温度为 45 钢的 1.5 ~ 2 倍, 最高可达 1000°C 。

3) 磨削钛合金与一般磨削规律一样, 其径向力大于切向力。

4) 磨削钛合金时, 除粘结、扩散之外, 钛合金与磨粒之间起化学作用, 从而加速了砂轮的磨损过程。

5) 磨削钛合金时, 容易产生有害的残留拉应力和表面污染层, 表面粗糙度也比较高, 即表面质量不易保证。

为保证磨削顺利进行并提高磨削质量, 选用合适的砂轮是最重要的措施, 可从如下五方面考虑:

1) 磨料。绿碳化硅 GC (TL) 及锷碳化硅 CC (TS) 磨料与钛合金粘附较轻, 砂轮不易堵塞, 效果好。金刚石 RVD (JR) 和立方氮化硼 CBN (JLD) 超硬磨料对钛合金稳定性好, 效果也好。

2) 粒度。磨削钛合金, 一般选用的粒度号为 36 ~ 80 的磨料。

3) 结合剂。磨削钛合金时, 陶瓷结合剂砂轮的磨削力比较高, 树脂结合剂砂轮的磨削温度较低, 磨削力较小。

4) 硬度。磨削钛合金时, 选用粒度号为 60、硬度为 K ~ M 的砂轮, 生产率较高。而较软的砂轮磨削力和磨削温度都较低, 磨损较大。

5) 组织。磨削钛合金时, 采用中等偏疏松或疏松的砂轮组织 5~8 号为宜。成形磨削及精密磨削时, 为保持砂轮型面及磨削的表面粗糙度, 可选用组织较为紧密的砂轮。

磨削钛合金时, 选用适宜的切削液也是十分重要的。要求所选用的切削液除了具有冷却、润滑和冲洗三大作用外, 还必须具备抑制钛与磨料的粘附作用和化学作用。使用切削液时, 既要充分, 又要量大, 并且砂轮转速越高, 切削液的流量应越大。但是, 必须指出, 由于钛合金磨削温度高, 钛屑易燃, 所以在使用切削液时, 要注意防止发生火灾。

七、纯铜和纯铝材料切削加工

纯铜呈紫红色, 所以也称紫铜。它具有很高的导电性和导热性、非常好的塑性(易进行冷、热压力加工)及良好的耐蚀性。目前, 广泛用于电气、仪表和造船工业等领域。

纯铝具有较小的密度(2.72g/cm^3)、良好的导电性和导热性(仅次于铜、银、金)、良好的耐大气腐蚀性能、较好的加工工艺性能, 且塑性好, 可以进行冷、热变形加工。广泛应用于电气工程、航天部门和汽车等机械制造领域。

1. 车削纯铜和纯铝

(1) 纯铜和纯铝的车削特点

1) 纯铜和纯铝强度和硬度都很低, 因此, 在工件装夹、切削和测量过程中, 受夹紧力和切削力作用容易产生变形, 夹伤工件表面, 测量时容易划伤已加工表面。

2) 纯铜和纯铝塑性和韧性都比较大, 形成粘性切屑, 很容易粘附在切削刃和刀面上, 造成冷焊或形成积屑瘤, 加剧了车刀磨损, 并影响工件表面加工质量。

3) 纯铜和纯铝线膨胀系数较大, 车削过程中, 切削热易使工件受热膨胀, 造成测量误差。精加工不易控制工件的加工精度。

4) 因其塑性和韧性都比较大, 磨削时易堵塞砂轮。所以, 对精度要求高的零件不能用磨削加工方法进行精加工, 只能用精车来达到精度要求。

(2) 车削纯铜、纯铝一般应采取的技术措施

1) 为使刀刃磨得锋利, 刀具材料一般都选用高速钢 W18Cr4V, 必要时也可选硬质合金材料。

2) 为使切削刃锋利, 防止粘刀和形成积屑瘤, 可采用大前角 $\gamma_o = 25^\circ \sim 35^\circ$ 和大后角 $\alpha_o = 10^\circ \sim 15^\circ$ 。为使切屑排出顺利畅快, 应刃磨成大圆弧卷屑槽, 以减少排屑阻力。

3) 为减小摩擦, 防止粘刀, 刀面和切削刃要经过研磨, 表面粗糙度 R_a 应在 $0.4\mu\text{m}$ 以下。

4) 切削速度适当选择高一些, $v = 100 \sim 180\text{m/min}$, $f = 0.2 \sim 0.4\text{mm/r}$, $a_p = 2 \sim 10\text{mm}$ 。

5) 选择适当的切削液。一般车削可选用乳化液。精车铝件选用煤油可获得较高的表面加工质量。

(3) 解决车削纯铜时断屑问题的技术措施 由于纯铜材料的强度很低, 塑性很高, 切削时变形大, 切削热又使切屑软化, 进一步提高了切屑的塑性, 因此, 切屑呈带状, 连绵不断很难断屑。有时连绵不断的带状切屑不卷曲, 而缠绕在工件或车刀上, 使切削过程无法正常进行, 不得不停下车来进行切屑的清理工作。有时切屑不能顺利排出来而挤压卷屑槽底造成憋屑和切屑堵塞现象, 有时甚至造成打刀。因此, 车削纯铜工件时, 为保证切削过程顺利

进行,提高切削效率,应及时解决车削过程中的断屑问题,措施如下:

1) 为使切削轻快,减小切削力和切削热,车削纯铜时应采用大前角 $\gamma_0 = 30^\circ \sim 35^\circ$ 、大后角 $\alpha_0 = 12^\circ \sim 15^\circ$ 和正刃倾角 $\lambda_s = +5^\circ \sim +8^\circ$ 的车刀。

2) 为防止憋屑,使切屑排除畅快,便于切屑卷曲,应选用全圆弧型宽卷屑槽(卷屑槽宽度比一般卷屑槽宽, $B = 9 \sim 10\text{mm}$)。圆弧槽表面必须具有较低的表面粗糙度值,一般 $R_a \leq 0.4\mu\text{m}$ 。

3) 在车刀主后刀面上磨出几条弧形槽,使主切削刃在水平方向呈波纹状。用这种车刀车出来的切屑呈带筋条的瓦楞状。瓦楞状筋条增大了切屑卷曲方向的刚性,切屑卷曲时消耗更多的能量,使切削变形增大,脆性增加,易折断。由于这种车刀在后刀面上磨出多条圆弧槽,使后刀面很像带有楞条的洗衣用搓板,所以也称后搓板型车刀。

4) 当车削工件直径大于 $\phi 100\text{mm}$ 时,推荐采用以下切削用量可获得良好的断屑效果:切削速度 $v = 170\text{m}/\text{min}$; 进给量 $f = 0.3 \sim 0.6\text{mm}/\text{r}$; 背吃刀量 $a_p = 3 \sim 5\text{mm}$ 。

(4) 车削纯铝和铝合金时减少或避免“粘刀”现象的技术措施 铝和铝合金本身强度低,塑性高,熔点很低,耐热温度也不高($200 \sim 300^\circ\text{C}$)。切屑流出时,在高温高压作用下,切屑底层软化,与刀具前面摩擦增大,滞流现象严重,在刀具前面上生成积屑瘤,积屑瘤粘结在车刀刀具前面上,这就是所谓的“粘刀”现象。但积屑瘤很不稳定,时大时小,有时产生,有时消失,不仅影响工件的尺寸精度和表面粗糙度,甚至会拉伤已加工表面,在已加工表面上留下拉伤痕迹。

“粘刀”现象严重地影响工件表面加工质量,为了减少或避免“粘刀”现象,一般可采用下述措施:

1) 提高或降低切削速度,因为在中等切削速度范围内车削,最容易形成积屑瘤,因此,避开产生积屑瘤的速度范围,是减少或避免“粘刀”现象发生的主要措施。一般切削速度在 $60 \sim 90\text{m}/\text{min}$ 以上,就不容易产生积屑瘤。

2) 增大车刀前角 ($\gamma_0 = 25^\circ \sim 30^\circ$), 加大后角 ($\alpha_0 = 8^\circ \sim 12^\circ$), 采用较大的刃倾角 ($\lambda_s = 20^\circ \sim 30^\circ$), 使刀刃锋利,减少切削力和切削热,减少摩擦,使排屑畅快,可减少“粘刀”现象。

3) 车刀的刀面要用磨石仔细研磨,降低刀具表面粗糙度值,减少切屑和车刀前面的摩擦,使刀瘤不易形成,也可减少“粘刀”现象的发生。

4) 为了降低工件表面粗糙度值,粗精车分为两个工序进行,或用两把车刀分别进行粗、精车。精车时,硬质合金车刀的背吃刀量一般为 $0.10 \sim 0.45\text{mm}$; 进给量一般为 $0.03 \sim 0.10\text{mm}/\text{r}$ 。用高速钢车刀进行精车,可得到较低的表面粗糙度值。

5) 采用煤油或工业酒精作切削液,因为煤油和工业酒精与铝不起化学反应,同时煤油和酒精渗透性较好,可以渗透到切削区、切屑与刀具前面的界面内及工件的表面组织内,改善切屑从工件上分离时的组织状态,并带走大量的切削热,可明显减少或消除“粘刀”现象的发生。工业酒精的使用效果比煤油好,但成本较高,在尺寸精度要求较高和表面粗糙度值要求较低的精加工时,可采用工业酒精作切削液,效果较理想,因为酒精的渗透性和散热能力都比煤油高。另外,煤油在切削加工时,容易产生烟雾,影响操作者视力。

2. 铣削纯铜

(1) 铣刀材料 由于纯铜的塑性高,切屑变形大,容易粘结刀具材料,所以铣刀的材

料应首选高速钢，也可采用钨钴类硬质合金。

(2) 铣刀几何参数 对高速钢铣刀：前角一般为 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ；后角为 $12^{\circ} \sim 35^{\circ}$ ；主偏角为 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ；副偏角也应大些。若用钨钴类硬质合金铣刀，其前角应略小些。

(3) 铣削用量 铣削时可采用较大的切削速度，一般可在 $v = 50 \sim 100\text{m}/\text{min}$ 范围内选用；如果采用硬质合金铣刀铣削，其切削速度可选用得更高些，如 $v = 200\text{m}/\text{min}$ 。

3. 磨削纯铜

(1) 纯铜磨削特点

- 1) 磨削时，工件表面容易被砂轮上脱落的砂粒和切屑划伤，影响表面质量。
- 2) 磨削时，如果切削液浇注量不充分，则工件容易被烧伤或发生热变形。
- 3) 磨削时，磨屑容易嵌入砂轮，造成砂轮粘附性磨损。

(2) 磨削时应采取的技术措施

1) 选用树脂结合剂或石墨砂轮，磨料选用刚玉系或碳化硅系、K 硬度的大气孔砂轮。粗磨时粒度为 60 ~ 80 目；精磨时用上述砂轮，必须勤修整。

2) 粗磨时修整砂轮，可采用一般磨削时的修整参数。精磨时必须注意两点：一是在砂轮尚未达到全粘附磨损时，便要进行修整；二是可采用单颗粒金刚笔按精密磨削修整规范进行修整。

3) 磨削时需加切削液，并要做到如下三点：

- ① 切削液应仔细地过滤，保证清洁。
- ② 浇注量应充足。
- ③ 切削液中皂化油与水的体积比应大于 1:32。

八、工程塑料切削加工

工程塑料是一大类合成材料的总称，它是以树脂为主加入填料等而制成的有机物。

工程塑料的车削特点和应采取的针对性的技术措施如下：

1) 工程塑料力学强度低，当受夹紧力、切削力作用时，容易产生变形和裂纹。所以，车削时一般车刀都选取较大的前角，装夹时夹紧力不宜过大。

2) 工程塑料导热性极差，切屑带走热量很少，热量都积聚在工件上和车刀刀尖处，切削温度较高。因此，加剧了车刀的磨损和工件的受热变形，所以，加工时要注意收缩量（一般为 $0.03 \sim 0.05\text{mm}$ ）对加工尺寸的影响。

3) 车削过程中容易起毛、起层、开裂、剥落和崩裂。为了提高加工质量，避免这些疵病发生，除了车刀选择较大的前角和后角处，还应注意增大主切削刃参加切削的长度，增大过渡刃和修光刃，车刀前面磨成大前角平面型和圆弧组成的卷屑槽。

4) 某些塑料是由多层物质或粉末状填料压制而成的。车削时，这些物质起磨料作用，促使车刀磨损加快。

5) 工程塑料熔点一般都很低，对切削热比较敏感。所以，车削时容易发生表面烧焦或熔化现象。

6) 车削过程中，不宜使用切削液来降低切削温度，而只能进行“干车”。必要时可用压缩空气进行吹风冷却。

九、橡胶材料切削加工

橡胶材料具有较高的弹性、可弯曲性、耐磨性、耐蚀性及良好的绝缘性，其制品在工业上应用非常广泛。绝大多数橡胶制品是由模具压制而成的，但也有少数配件临时采用切削加工，通常采用车削和磨削。

依据橡胶材料的特性，车削时应采取以下技术措施，以保证车削顺利进行和加工质量。

1) 车削橡胶材料的常用刀具材料有两类：一是工具钢，如 T8A、T10A 和 T12A 等；二是高速钢，如 W9Cr4V2、W18Cr4V 等。

2) 橡胶材料的强度低，导热性差，但弹性极高，车削时弹性变形大，不易车下来，所以车刀必须很锋利，以减小切削力和切削过程中的弹性变形，保证车削顺利进行。

3) 为获得锋利的切削刃，应选取较大的前角，通常在 $40^\circ \sim 50^\circ$ 范围内；并选取较大的后角，通常在 $10^\circ \sim 15^\circ$ 范围内。同时用加长过渡刃和修光刃的方法来分散切削力和切削热，减小弹性变形。

4) 为使切屑排除顺利畅快，车刀前面一般磨成平行面和圆弧组成的卷屑槽。

5) 切削用量应比车削钢件高一些，通常情况下， $v = 100 \sim 150\text{m/min}$ ， $f = 0.5 \sim 0.75\text{mm/r}$ ， $a_p = 2 \sim 6\text{mm}$ 。

下面举例说明橡胶材料的切削加工。

1. 在车床上加工橡胶带

现有橡胶带的厚度不符合要求，需要将其变薄一些，以满足工作需要。在这种情况下，可采用车削加工的方法来实现，即在车床上将橡胶带车薄，具体方法如下：

1) 按图 5-1 所示方法对工件进行装夹，也就是将橡胶带缠绕在圆棒料上，两端用粘结剂粘牢或用螺钉压板夹固。但是，必须注意橡胶带在缠绕到棒料上时的弹性变形，这种弹性变形会使橡胶带变薄，所以应当考虑缠绕橡胶带的松紧程度，对橡胶带变薄程度的影响。

2) 依据橡胶类材料的车削加工特点，选择适宜的车刀材料，确定合理的车刀几何角度。

3) 选用合理的切削用量。这时应考虑在装夹橡胶带时，其缠绕的松紧程度对切去厚度的影响，以免橡胶带取下后不符合厚度要求。

4) 进行切削加工。这时应仔细观察，若车下的橡胶屑像面条那样连绵不断地流出，已加工表面上也无撕啃现象，则表明车刀的几何角度确定得合理，切削用量也选用得合适。

2. 用钢针车削橡胶工件

被加工工件如图 5-2a 所示，工件材料为橡胶。

(1) 车削刀具 选用钢针作车削刀具，而钢针是指做

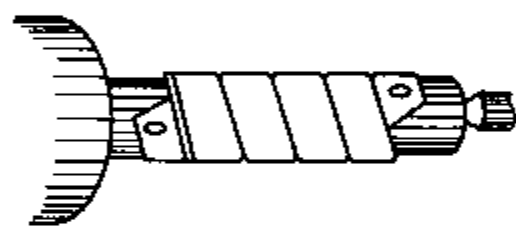


图 5-1 在车床上装夹加工橡胶带

但是，必须注意橡胶带在缠绕到

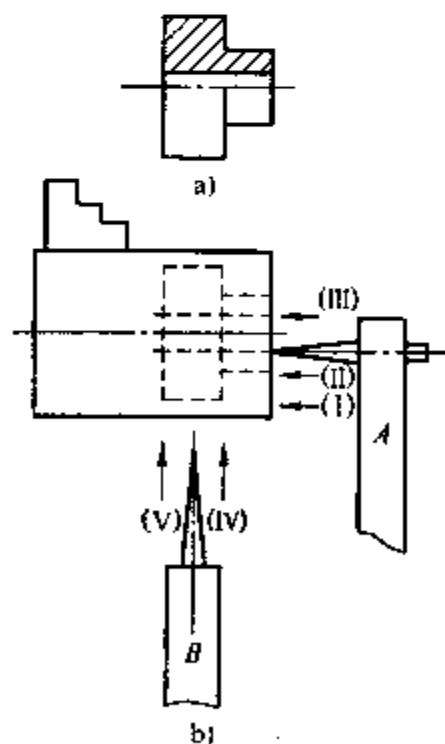


图 5-2 用钢针车削橡胶工件

a) 工件形状 b) 装夹方法及车削步骤

针线活用的钢针，或者为绘图用的圆规钢针。

(2) 工件的装夹方法 如图 5-2b 所示，即将工件装夹在车床主轴前端的三爪自定心卡盘上。

(3) 车削步骤 按以下步骤进行：

1) 用刀杆 A 沿轴线方向进给车外圆 I，车台阶 II，车内孔 III。

2) 用刀杆 B 沿径向方向切入，径向切入 IV 可获得小外圆和台阶端面形状、径向切入 V 将工件切下。

3) 取出中间心料即得所要求形状零件。

十、有机玻璃切削加工

工业上用的有机玻璃，通常是由聚甲醛丙烯酸甲酯挤压成形的板、管和棒材等半成品，它的外观有透明、不透明，有色、无色等多个品种。

有机玻璃的特性如下：

- 1) 能溶于丙酮、醋酸乙酯及芳族烃和氯化烃类。
- 2) 能抗稀酸、稀碱、石油和乙醇。
- 3) 具有良好的绝缘性。
- 4) 对温度变化很敏感。

在车床上对有机玻璃切削加工常用的方法为车削、研磨和抛光。

车削有机玻璃时，如果切削速度选用得比较高，车刀材料为硬质合金或高速钢，则这种情况下容易产生不透明和裂纹等质量问题。为防止车削中产生裂纹，一般采取以下措施：

1) 加工前，将有机玻璃材料放置在 $40 \sim 45^{\circ}\text{C}$ 的温水中保温 $4 \sim 8\text{h}$ ，加工时从保温容器中取出一个加工一个，不能将材料全部取出，以免失去保温作用。车削中采用酒精或压缩空气冷却。

2) 选用能刃磨得很锋利的高速钢或碳素工具钢（如用废铣刀、废锉刀改制）车刀。选择较大的前角和后角、较小的主偏角，并增大过渡刃或刀尖圆弧半径。

3) 选用较低的切削速度、较小的背吃刀量和适当的进给量。

4) 钻孔即将钻通或车端面、切断快到中心时，由于它的性质较脆，容易在切削力的作用下突然崩裂。所以，在这时应立即减少进给量，以减小切削力，防止突然崩裂。在车削板料时，可在后面加一块平整的夹布胶木垫板，也能防止有机玻璃突然崩裂。

5) 若车削加工后不透明或透明度不好，可用粗颗粒牙膏涂在毛毡或绒布上，对已加工表面进行抛光，可使工件达到光亮透明的要求。

图 5-3 所示为用 T10A 废锉刀改制的有机玻璃车刀。

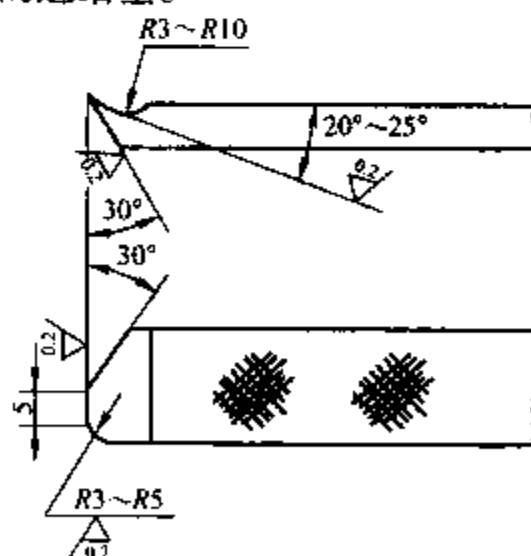


图 5-3 车削有机玻璃用车刀

十一、硬玻璃切削加工

随着科学技术的发展，玻璃制品日益增多，需要在车床上加工的零件也越来越多。过去，人们认为玻璃制品零件只能用金刚石刀具切削或用金刚砂来研磨，可是金刚石刀具耐冲击性很差，一不小心就会使刀头碰坏，用金刚石砂轮磨削效率又很低，并且由于它们的价格昂贵，所以很不经济。为改变这种情况，人们试验用硬质合金刀具切削玻璃制品零件，获得了可喜的效果。这不仅使加工效率较磨削提高1~5倍，并且大大地降低了加工成本。

常用的硬质合金刀具材料为YG6、YA6等。

下面举例说明硬玻璃的切削加工。

1. 车削玻璃管两端面

工件材料为YW-210硬脆玻璃，其硬度约为65HRC。

对这种材料工件，如果采用磨削方法加工，不仅效率低，而且切屑乱飞，影响机床保养和操作者的身体健康。实践证明，采用车削的方法，对玻璃管两端面加工，效果较好，两端面的平行度为 $0.03\text{mm}/(250\sim 350)\text{mm}$ ，表面粗糙度 R_a 值为 $3.2\mu\text{m}$ 。

2. 对 $\phi 30\text{mm} \times 200\text{mm}$ 硬质玻璃棒车外圆

车削时，外圆车刀的主要几何角度是：前角为 10° ，后角为 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，刃倾角为 0° ，主偏角为 60° 。切削用量选用范围：切削速度为 $13 \sim 16\text{m}/\text{min}$ ，进给量为 $0.1 \sim 0.5\text{mm}/\text{r}$ ，背吃刀量为 $0.5 \sim 2.0\text{mm}$ 。

车削效果满足图样要求。

3. 对 $\phi 30\text{mm} \times 200\text{mm}$ 硬质玻璃棒上车螺纹

车螺纹时，螺纹车刀的主要几何角度是：刀尖角为 60° ，前角为 $0^\circ \sim 5^\circ$ ，主后角为 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，副后角为 $2^\circ \sim 4^\circ$ 。

车削螺纹时必须注意，不能让两个切削刃和刀尖同时吃刀，这是因为玻璃具有又硬又脆的性能，倘若同时吃刀，则容易造成螺纹崩牙，尤其是螺纹即将车成时更容易崩牙。为了防止这种现象产生，只能单边吃刀车削（也就是利用左右切削法或斜进切削法）。

车削螺纹时，要连续不断地加注切削液（如煤油），否则会影响工件表面粗糙度或使螺纹崩碎造成烂牙。

第六章 切削加工疑难问题对策

切削加工的方法很多，如车削、铣削、刨削、钻削、镗削、磨削、齿轮加工等。这些加工方法尽管各不相同，但同属去除金属的加工方法，必然有共同的现象和规律，也必然有所差异和区别。因此，在掌握切削加工理论的基础上，应该有针对性地对生产中遇到的一些疑难问题加以分析，并提出解决办法。而这些办法可能是经验，也可能是窍门、技巧，虽然并不一定是“最好”的办法，但它能面对实际，解决具体问题，并且效果良好。将这些好办法推广使用，对解决切削加工中的疑难问题具有重要意义。

一、车刀与车削

1. 辨认车刀钝化“十法”及切屑颜色观察

一把具有合理几何角度、切削刃锋利的车刀，是保证切削过程顺利进行的重要条件。随着切削过程的进行，车刀本身不断发生磨损。当磨损超过最大的磨损标准时，会使车刀失去正常切削能力，这种现象称车刀钝化。车刀钝化后，车削过程必然出现一些异常现象，例如工件表面质量下降，切屑颜色变深，出现异常声音等。有经验的工人常常根据这些异常现象辨别车刀是否钝化，总结出生产现场辨别车刀钝化的十种方法。即在车削过程中，一旦出现下面所述的一种或几种现象时，表明车刀可能钝化。

- 1) 工件已加工表面上出现光亮点或光亮圈。
- 2) 工件已加工表面上有飞刺或不均匀的刀痕。
- 3) 切削过程中出现振动，加工表面上出现波纹。
- 4) 切削过程中声音不正常，发出“吱吱”的尖锐噪声。
- 5) 切屑形状发生变化，底面不光滑，有时侧面出现飞刺。
- 6) 切屑颜色发生变化，由浅变深。例如，由淡黄色、紫色转变成深紫色或深褐色。
- 7) 在切削区出现火星。
- 8) 刀尖附近前刀面上的白点面积增大。
- 9) 切削刃上出现缺口。
- 10) 刀尖部分发黑。

值得一提的是，在生产现场操作者应十分重视观察切屑颜色的变化，并以此为根据指导实际操作。

因为切屑颜色与工件材料的力学性能、刀具材料、车刀的几何角度和切削用量等因素有关，所以切屑颜色标志着切削力和切削变形的大小、切削温度的高低、车刀几何角度和切削用量选择是否合理。例如用硬质合金车刀加工一般中碳钢件时，如果切屑颜色呈银白色或黄色，说明切削负荷轻，切削变形和切削阻力小，排屑顺利，车刀的几何角度和切削用量选择比较合理。当车削进行一段时间后，切屑的颜色逐渐变为蓝色，这说明车刀已经渐渐地磨损，切削阻力、切削变形和切削温度逐渐增加。当切屑颜色由蓝色变为深紫色或深褐色时，

说明车刀已磨损到急剧磨损阶段，车刀已钝化不能使用了，应及时进行磨刀或换刀。

如果开始切削时切屑就是深紫色或深褐色的，则表明切削过程不正常，切削阻力太大，切削温度过高。产生这种情况的原因，可能是由于工件材料的强度大，硬度高，切削用量、车刀几何形状和角度选择不合理，或者是由于车刀刃磨不当造成的。在这种情况下，不能继续车削，应停机认真分析，找出原因，采取改进措施，待切削过程正常后再继续进行车削加工。

2. 车刀刃磨方法及注意事项

目前，工厂用来刃磨刀具的砂轮有两种：一种是碳化硅砂轮，其磨料硬度高，切削性能好，但比较脆，适于刃磨硬质合金等硬度较高的材料；另一种是氧化铝砂轮，其磨料韧性好，但硬度较低，适于刃磨高速钢、碳素钢等刀具材料。

刃磨刀具所选用的砂轮，其磨料和硬度都应与刀具材料相适应。否则不仅影响磨削效率，造成砂轮浪费，还会降低刀具的刃磨质量。例如，用氧化铝砂轮刃磨硬质合金刀具时，磨粒容易磨钝，而且被磨钝的磨粒不易脱落，使砂轮切削能力和磨削效率降低，磨削热明显升高。反之，若用碳化硅砂轮刃磨高速钢刀具，磨粒还没被磨钝就会过早脱落，造成砂轮浪费，易使砂轮表面失真，造成刃磨质量下降。

应当指出，在刃磨焊接式硬质合金刀具时，由于刀片（硬质合金）和刀杆（中碳钢）的材料不同，为合理选用砂轮，可将刀具磨成二级后角，即刀片后角和刀杆后角，并且刀片后角稍小于刀杆后角。刃磨时，先在氧化铝砂轮上磨出刀杆后角，然后在碳化硅砂轮上刃磨刀片后角。

1) 以高速钢外圆车刀为例，说明高速钢车刀的刃磨方法和步骤。

第一步：磨主后面，目的是磨出车刀的主偏角 κ_r 和主后角 α_o 。

如图 6-1a 所示，刃磨前，站在砂轮左斜方，两脚分开腰稍弯，左手握刀杆右手握刀头。将刀杆向左偏斜，使刀杆中心线与砂轮圆周面之间呈主偏角大小的角度，并把刀头抬起，使刀杆底面与水平面之间的夹角呈主后角的数值。刃磨时，将车刀主后面自下而上慢慢接触砂轮，并左右轻轻作直线移动，让砂轮在整个圆周面上与刀具接触，使其磨耗均匀，保持圆周面平整。当刀具需要离开砂轮时，刀头向上抬起迅速脱离砂轮，以免碰坏已磨好的切削刃。

第二步：磨副后面，目的是磨出车刀的副偏角 κ_r' 和副后角 α_o' 。

如图 6-1b 所示，刃磨前，移至砂轮右斜方，右手握刀杆左手握刀头，其他与磨主后面相同。

第三步：磨前面，目的是磨出车刀前角 γ_o 和刃倾角 λ_s 。

如图 6-1c 所示，左手握刀头右手握刀杆，将车刀前面对准砂轮，刀杆尾部向右倾斜，使主切削刃

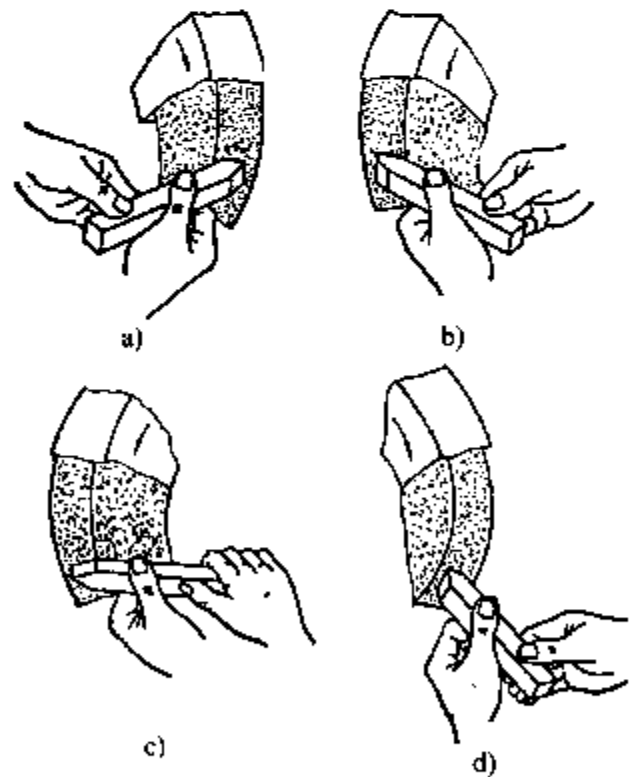


图 6-1 高速钢车刀刃磨步骤

a) 磨主后面 b) 磨副后面 c) 磨前面
d) 修磨过渡刃或磨刀尖圆弧

与刀杆底面平行（此时刃倾角 $\lambda_s = 0$ ），并将刀杆以主切削刃为轴线向砂轮方向转前角大小角度。两手握住车刀平行推向砂轮，并沿主切削刃方向轻轻移动，即磨出所需前角和零度刃倾角。若将车刀刀杆沿主切削刃方向里外倾斜，则可磨出正、负刃倾角。

第四步：修磨过渡刃或磨刀尖圆弧。

如图 1-6d 所示，站在砂轮侧面，右手握刀杆左手捏刀头，刀杆后部向下倾斜，在主切削刃和副切削刃之间磨出过渡刃或左右摆动磨出刀尖圆弧。

第五步：研磨（也称磨刀），目的是用磨石磨去车刀刀面和刃口上的不光整、不耐磨的表层组织，降低刀面和切削刃的表面粗糙度值，使切削刃锋利，提高刀具寿命。

不同性质的刀具材料应选择不同性质的磨石，要求磨石平整，光洁，无脏污。研磨时，磨石要贴紧各刀面，往复运动要平直，不得有摇摆运动，千万不能将刃口磨钝或改变已刃磨出的几何形状和角度。

2) 以 90° 偏刀为例，说明硬质合金车刀的刃磨方法和步骤。

第一步：粗磨。目的是先磨去刀杆上刀头部分的氧化皮，并磨出车刀主后面和副后面的后隙角。

后隙角是指在车刀后面硬质合金刀头下部的刀杆上磨出的比后角稍大（大 $1^\circ \sim 2^\circ$ ）的角度，如图 6-2 所示。它的作用是减少在磨主后角时的刃磨面积，使主后面容易磨得光洁平整。

粗磨可采用中软硬度的氧化铝砂轮。刃磨时要注意左右移动，使刀片受热均匀，防止裂纹，同时使砂轮磨耗均匀。

第二步：刃磨卷（断）屑槽。目的是磨出车刀前角 γ_s 和刃倾角 λ_s 。

刃磨卷（断）屑槽一般选用薄砂轮，也可在 90° 边缘处进行。将边缘修整出所需圆弧，将车刀竖起，摆好位置靠压在砂轮上进行刃磨。刃磨时，一方面车刀要上下缓慢移动，以保证在整个切削刃上磨出卷（断）屑槽；另一方面注意压力不宜过大，以免造成硬质合金崩裂。

此外，还要注意槽不可磨到主切削刃边缘，要留有约 0.2mm 的窄小棱面，目的是防止主切削刃发生崩裂形成锯齿形。

砂轮选用绿色碳化硅砂轮，硬度可选中软或中硬。

第三步：刃磨负倒棱。为加强切削刃，硬质合金车刀均需刃磨出负倒棱。倒棱负前角一般取 $-5^\circ \sim -10^\circ$ ，倒棱宽度一般取 $(0.3 \sim 1.0)f$ (f 为进给量)。所需宽度是靠刃磨车刀后面保证的。

第四步：精磨主、副后面。目的是磨出主后角 α_s ，保证倒棱宽度和磨出副后角 α'_s 。

精磨是在较细硬的碳化硅砂轮上进行的。刃磨时，车刀要左右移动，使刀片受热均匀，避免刀片产生裂纹；压力不要过大，并注意保证负倒棱宽度。

第五步：刃磨过渡刃或修光刃。过渡刃和修光刃是在精磨砂轮上进行的。过渡刃偏角一般取主偏角的一半，修光刃宽度一般为进给量的 $1.1 \sim 1.3$ 倍 [即 $(1.1 \sim 1.3)f$]。

第六步：研磨。用平整的碳化硅磨石加上机油，仔细研磨车刀各刀面和负倒棱刃，进一

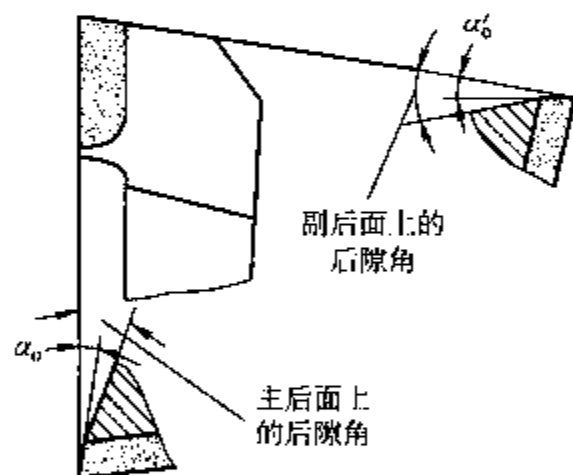


图 6-2 车刀的后隙角

步降低刀面和切削刃的表面粗糙度值，从而提高车刀的使用寿命。

3) 刃磨车刀的九点注意事项：

①砂轮安装前，必须严格检查砂轮质量，保证无裂纹，砂轮安装必须牢靠，运转平稳，不得有过大的跳动、振摆，经空转试验后方可使用。砂轮机必须有防护罩，导板位置调节适当，调好后用螺钉紧固牢靠。

②磨刀时最好戴上防护镜，砂轮运转平稳后方可使用，磨刀时双手握稳车刀，握刀姿势要正确，手不能抖动，车刀与砂轮接触时，用力要均匀，压力不宜过大。人站位置应尽量避免正对砂轮，防止砂粒飞入眼内或砂轮万一破碎飞出伤人。

③磨刀时应尽可能使用砂轮圆周面，左右慢慢移动，使砂轮磨耗均匀，避免磨出沟槽，保持砂轮圆周面平整。

④刃磨时，砂轮回转方向必须由刃口向刀体内转动，否则，会造成刃口呈锯齿形。

⑤磨硬质合金车刀时，不能把刀头蘸水冷却，防止刀片因突然收缩而碎裂。磨高速钢车刀时，车刀应及时用水冷却，防止退火刀具失去切削能力。

⑥要根据不同的刀具材料选用不同的刃磨砂轮。刃磨高速钢、工具钢车刀要用氧化铝（刚玉）砂轮；刃磨硬质合金车刀要用绿色碳化硅砂轮。一定避免不同刀具材料均在同一砂轮上刃磨的不良习惯。

⑦不允许在磨刀砂轮上磨非铁金属或非金属材料；不允许磨大直径工件、铸锻件、长棒料和气割件等，以防损坏砂轮圆周面。

⑧刃磨硬质合金刀具时，不准将刃口朝下（见图 6-3a），否则会引起崩刃，这是因为硬质合金的抗弯强度小于抗压强度。刃磨其他刀具时，同样也应将刃口朝上，如图 6-3b 所示。

⑨磨刀砂轮用毕，应随手关闭电源。

3. 磨刀及其注意事项

所谓磨刀就是用磨石对车刀进行手工研磨。

刃磨后的车刀刀面和切削刃，一般不够平滑光洁。如果用放大镜检查切削刃，可发现刃口上凸凹不平，呈锯齿形。使用这样的车刀车削工件时，切削刃的高低不平会直接反映到工件上，影响被加工零件的表面粗糙度，而且这样的车刀也不耐磨，刀具寿命也比较低。对于硬质合金车刀，锯齿形的切削刃，在切削过程中还容易产生崩刃。因此，为了提高车刀的使用寿命，降低已加工表面的表面粗糙度值，对于手工刃磨的车刀，在使用前还须用磨石对车刀的刀面和切削刃进行手工研磨（也称磨刀）。

磨刀时的几点注意事项：

1) 选用合适的磨石。磨刀前，要根据不同的刀具材料选用不同性能的磨石，并要求磨石平整无脏污。磨硬质合金刀具应选用碳化硅磨石，磨高速钢刀具应选用氧化铝磨石。如果磨石选用得不合适，则研磨效率低，质量差，磨石消耗也大。

2) 磨损严重的磨石不能继续使用。如果磨石表面凹凸不平，磨刀时反而会将刀刃磨钝。因此，对磨损严重的磨石不能继续使用，或者更换新磨石，或者将磨石放在废砂轮片侧面打磨平整后再使用。

3) 每次使用磨石时要在磨石表面上涂上机油。对于新磨石，在使用前应该在机油或柴油

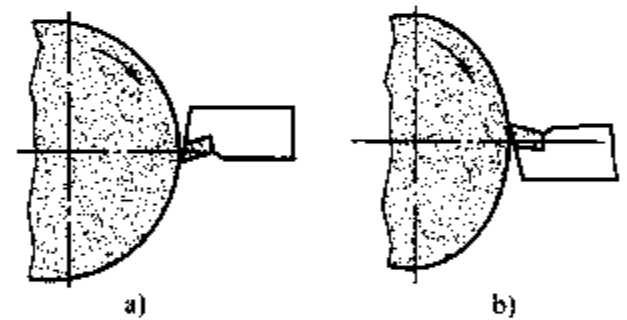


图 6-3 磨刀时刃口的方向

a) 错误 b) 正确

中充分浸泡，否则不利于润滑，易将磨石研磨出沟痕。另外，磨屑易粘在磨石表面，影响研磨效率。如果在新磨石表面上只是涂一层油，这层油会很快被磨石吸收，也不利于润滑。因此，新磨石应经过充分的浸泡，并且在每次使用的时候，还应在磨石的表面上涂一层机油。

4) 磨刀时磨石不应翘动。磨刀时，磨石应靠平刀面，沿被研磨表面平稳地往复运动，不能翘动，否则容易将刀面磨成凸面，造成相关的刀具角度发生变化，致使刀刃磨钝。磨刀时，推磨石应用力，拉磨石不应用力。磨石的运动方向为：可以前后移动，也可以上下移动，但是磨石的运动方向不能与砂轮磨痕方向一致，而是应偏斜一些，如图 6-4 所示。这样磨刀，有利于消除刀具刃磨时的砂轮痕迹。

5) 磨刀时，将刀面上的砂轮磨痕去除即可。如果磨刀时间过长，不但会使刀刃损失大，而且易将刀刃磨钝。对于高速钢刀具，还容易将刀刃磨成“卷刃”，使刀具无法使用。

6) 车刀在车削过程中，如果发现因磨损而变钝，则这时可以停下机来用磨石磨刀面和刀刃，恢复刃口的锋利性，以提高切削能力和延长刀具的使用寿命。

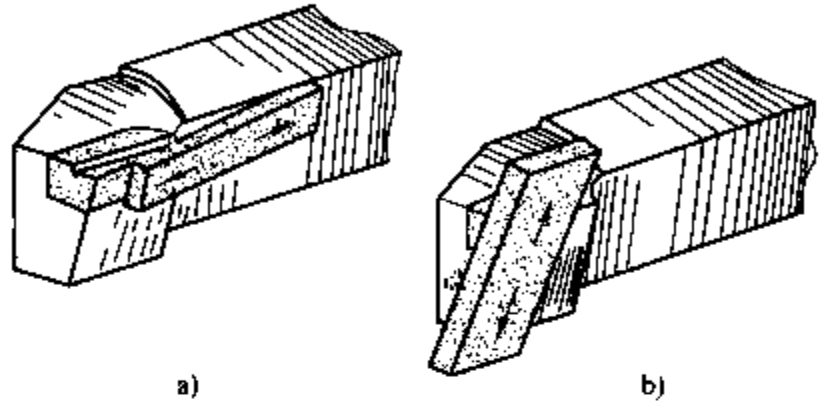


图 6-4 磨刀时磨石的运动方向
a) 磨石前后移动 b) 磨石上下移动

4. 车刀锋利与强固之间的矛盾及对策

所谓车刀锋利是指车刀具有较大的前角、后角和较小的刃口圆弧半径，切削刃锋利，具有较强的切除金属的能力。车刀强固是要求车刀具有一定的强度和使用寿命，切削刃坚固耐用，能持久地保持它的切削性能。因此，从强固的角度考虑，切削刃又不能过分锐利（即前角、后角不能太大），以免过多地削弱车刀强度。所以，车刀的锋利与强固是一对相互对立的矛盾，在选择车刀几何角度时，要兼顾考虑。

因为车刀的任务是尽快地切除毛坯上的多余金属，使工件符合图样要求。所以，要求车刀具有锋利的切削刃和较强的切除金属的能力是首要的、第一位的。但是，如果车刀很锋利，而它的强度和使用寿命很低，车削不了多久就需磨刀和换刀，或崩刃损坏。这样也不能达到又好又快地切除金属的目的。所以，在解决车刀锋利和强固的关系时，其指导思想是：“锋字当头，锋中求固”。也就是把车刀的锋利放在首位，同时还要从锋利中求强固，保证车刀有一定的强度和使用寿命。

还应看到，锋利和强固的关系是辩证的关系，不是绝对的，在一定条件下要相互转化。例如，在车削强度和硬度很高的材料（例如淬火钢）时，考虑车刀坚固耐用是首要的，不然车刀极易磨损或损坏，不能完成切削任务。但是，在满足强固要求的基础上，仍然应尽量选取较大前角，以求切削刃锋利。因此在选择车刀几何参数时应正确处理这对矛盾。

5. 车刀安装位置和进给运动对其几何角度的影响

车刀的几何角度直接关系到车削加工能否顺利进行、能否保证加工质量等大问题。例如：前角的作用是决定切削力的大小；后角可改变后刀面与工件间的摩擦状况；主偏角能改变主切削刃与刀头的受力及散热情况；副偏角可改变副切削刃与已加工表面间的摩擦状况；刃倾角能影响刀尖的强度并控制切屑流出的方向。可见，车刀的每个几何角度都有自己的作

用，都应合理和正确。一旦合理、正确的车刀几何角度发生变化，势必影响车削加工和车削质量，可是车刀在刀架上的安装位置以及车刀的进给运动又都会引起车刀几何角度的变化。因此，应掌握这种变化规律，并加以控制或利用，以使车削顺利进行，完成车削任务。

(1) 车刀安装位置对几何角度的影响 车刀的各个角度都是在假想的几个辅助平面内定义或测量的，因为定义辅助平面是有条件的，所以只有刀尖安装正好对准工件中心，车刀实际角度才和车刀刃磨时的角度相一致。假如车刀刀尖装得高于或低于中心，都会使实际切削平面和实际基面发生倾斜，这就必然使车刀的前角和后角发生变化。

车外圆时，当车刀装得高于工件中心时，就会使前角增大，后角减小，增加车刀后面的摩擦；反之，则前角减小，后角增大，使切削负荷加大，有时甚至抬起工件或打坏车刀，如图 6-5a 所示。

车内孔时，当车刀装得高于工件中心时，就会使前角减小，后角增大；反之，则前角增大，后角减小，其结果正好和车外圆相反，如图 6-5b 所示。

车刀因装高或装低引起车刀角度变化的数值 τ ，可用下列公式计算

$$\sin \tau = \frac{2h}{D}$$

式中 τ ——车刀角度变化数值 ($^{\circ}$)；

h ——车刀高于或低于工件中心的垂直距离 (mm)；

D ——工件直径 (mm)。

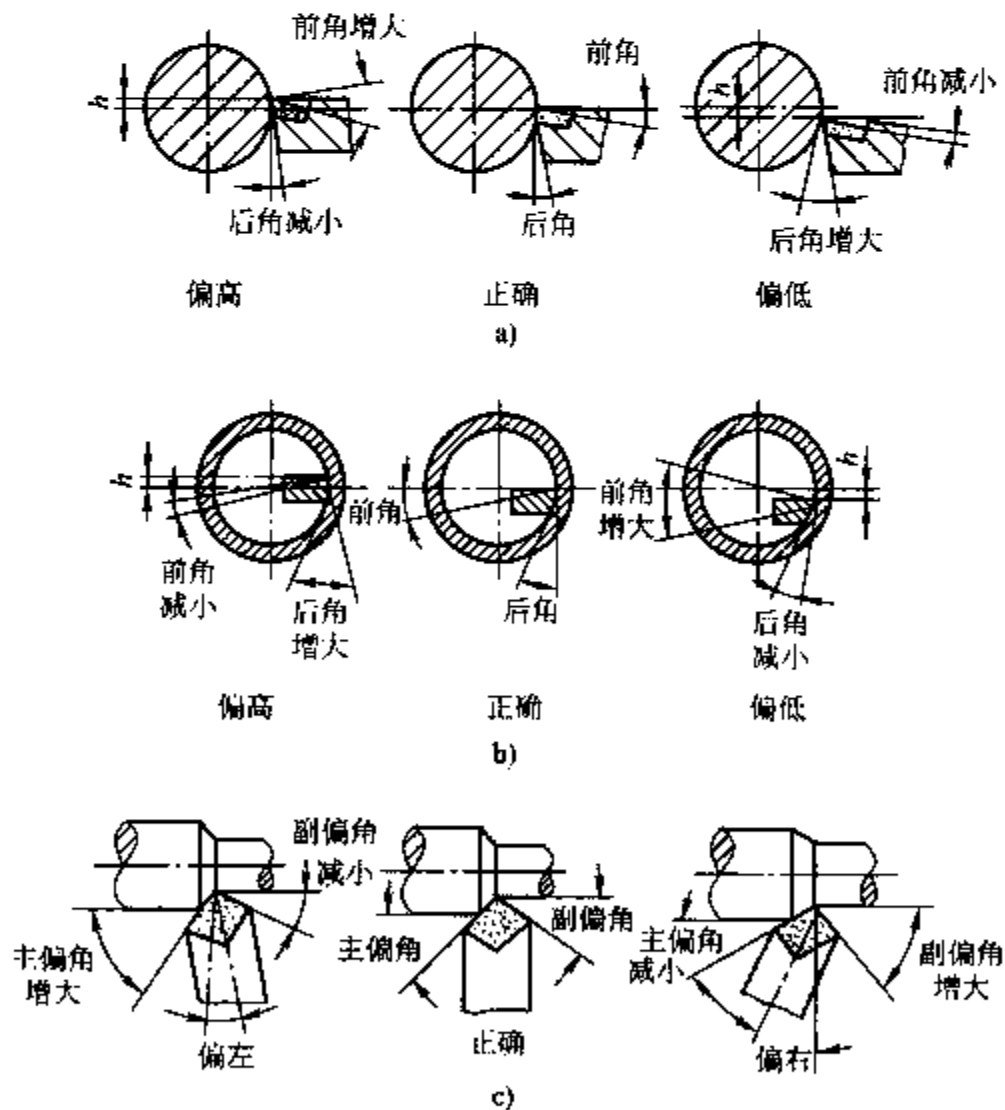


图 6-5 装刀对车刀几何角度的影响

a) 车外圆 b) 车内孔 c) 车刀偏左或偏右

例1 车削直径 $D = 30\text{mm}$ 的外圆，车刀装高了 1.5mm ，外圆车刀刃磨后的前角 $\gamma_0 = 10^\circ$ ，后角 $\alpha_0 = 8^\circ$ ，求外圆车刀切削过程中，实际前角 γ_{ae} 和实际后角 α_{ae} 的数值。

$$\text{解：} \sin\tau = \frac{2h}{D} = \frac{2 \times 1.5}{30} = 0.1$$

查三角函数表，得 $\tau = 5^\circ 45'$ 。所以，实际前角 $\gamma_{ae} = \gamma_0 + \tau = 10^\circ + 5^\circ 45' = 15^\circ 45'$ ；实际后角 $\alpha_{ae} = \alpha_0 - \tau = 8^\circ - 5^\circ 45' = 2^\circ 15'$ 。

如果车刀装偏，将直接影响主偏角和副偏角的大小。当车刀向左偏斜时，主偏角增大，副偏角减小；当车刀向右偏斜时，主偏角减小，副偏角增大，如图 6-5c 所示。

(2) 车刀进给运动对几何角度的影响 车刀在作横向进给时，车刀在工件端面上走过的轨迹不是一个圆，而是一条阿基米德螺旋线。此时，切削平面应与阿基米德螺旋面相切，而基面又总是和切削平面垂直，所以，切削平面和基面都发生了偏斜，结果使前角增大，后角减小，如图 6-6a 所示。

车刀在作纵向进给时，由于车刀在工件外圆表面上的轨迹是一条螺旋线，切削表面实际上是一个螺旋面。因此，与螺旋面相切的实际切削平面以及与切削平面相垂直的实际基面均旋转了一个螺旋角，结果使前角增大了一个螺旋角，后角减少了一个螺旋角，如图 6-6b 所示。

车刀因进给运动而引起车刀角度变化的数值 μ ，可用下式计算

$$\tan\mu = \frac{f}{\pi D}$$

式中 μ ——车刀角度变化值，即螺旋角 ($^\circ$)；

f ——车刀进给量 (mm/r)；

D ——工作直径 (mm)。

车刀因作进给运动，车削过程中，车刀实际前角 γ_{ae} 和实际后角 α_{ae} 的数值按下式计算

$$\gamma_{ae} = \gamma_0 + \mu$$

$$\alpha_{ae} = \alpha_0 - \mu$$

在一般车削过程中，即使采用较大的进给量，因纵向进给运动对车刀几何角度的影响实际上是很小的，所以，一般也不考虑。只有在车削大螺距（或大导程）螺纹、蜗杆和特殊螺旋槽（如轴瓦内的油槽）时，才考虑进给运动对车刀几何角度的影响。在刃磨螺纹车刀

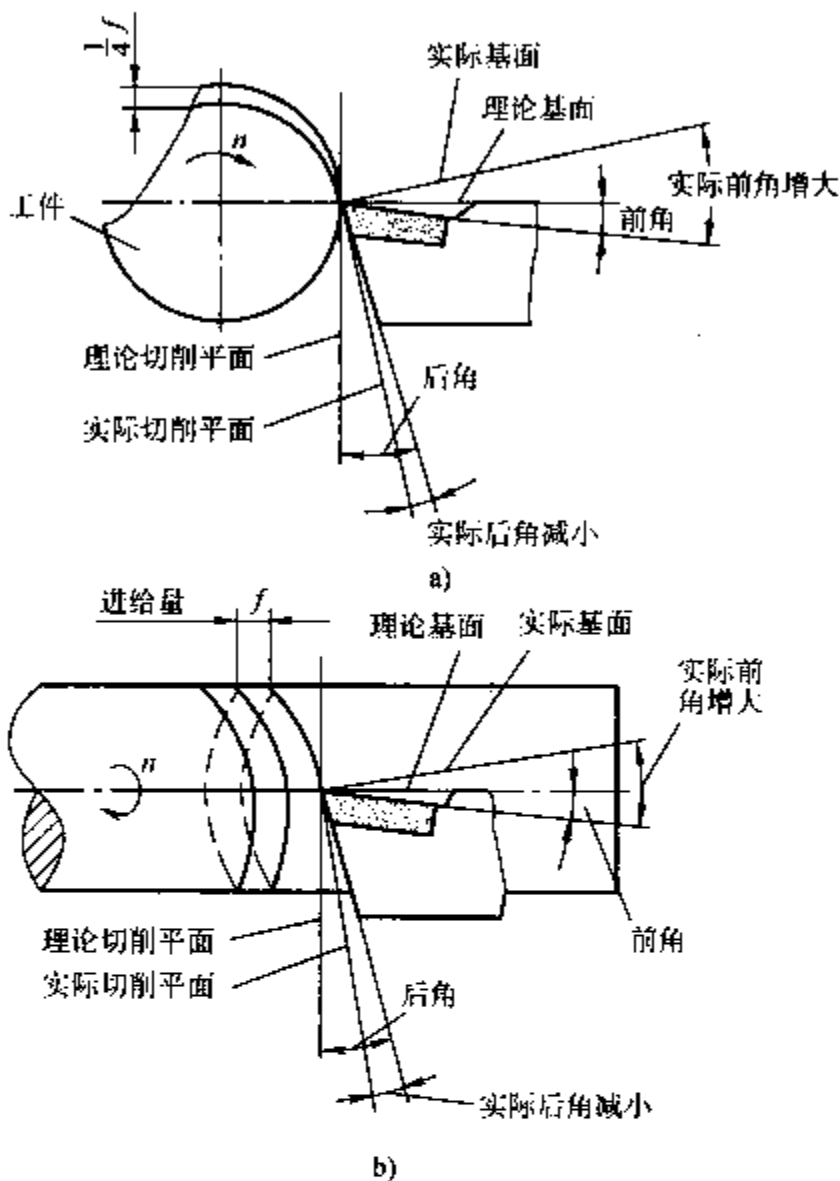


图 6-6 车刀进给运动对车刀几何角度的影响
a) 横向进给 b) 纵向进给

时，顺进给方向一边的后角增大一个螺旋角，另一边的后角减小一个螺旋角。

6. 车刀卷刃、崩刃、打刀的产生原因及应对办法

卷刃主要发生在高速钢车刀。高速钢的特点是韧性好，耐冲击，热硬性不高。若车刀硬度不足，刀刃强度较低或加工材料硬度过高，刀刃不能胜任切削工作，则切削时刀刃易发生韧性卷曲，丧失切削能力，这种现象称为卷刃。发生卷刃的主要原因如下：

- 1) 车刀淬火硬度不足。
- 2) 车刀刃磨时没能及时冷却，造成车刀退火。
- 3) 车刀几何角度选择不当。尤其当前角和后角选择过大时，削弱了刀刃，造成卷刃。
- 4) 工件材料硬度过高，不宜用高速钢车刀车削。
- 5) 切削用量选择不合理，使切削力过大，或使切削温度过高，超过了高速钢的热硬温度。

综上所述，采取的应对措施是：合理选择车刀材料，保证淬火硬度，磨刀时要防止车刀（尤其是刀尖处）退火，合理选择切削用量及刀具几何角度等，以防止车刀在车削过程出现卷刃。

崩刃和打刀是硬质合金车刀常见的非正常损坏形式。硬质合金性脆而不耐冲击，如遇冲击和振动，极易发生崩刃和刀头崩碎（称打刀）。崩刃和打刀的原因有以下几种情况：

- 1) 粗车铸件、锻件和气割件等毛坯时，工件表面不圆，余量不均匀，表面有夹砂、气孔或硬化层，都会使切削过程出现冲击和振动，造成崩刃和打刀。
- 2) 刀片材料选择不当。例如断续切削未能选用抗冲击性能好的刀片材料。
- 3) 刀片焊接质量不好，未焊牢，并在焊接和刃磨过程中出现裂纹。
- 4) 刀具几何角度选择不合理。例如，前角和后角过大，刃倾角不当，削弱了刀刃强度，容易造成崩刃和打刀。
- 5) 刀具过度磨损，已丧失切削能力仍在继续使用，使切削力猛增，引起振动，造成崩刃。
- 6) 切削用量选择不当，使机床超载“闷车”，造成打刀。

为此，应采取以下措施：

- 1) 提高铸件、锻件和气割件毛坯的质量。
- 2) 合理选择刀片材料。
- 3) 提高刀具刀头的焊接质量。
- 4) 合理选择刀具的几何角度和切削用量。
- 5) 对毛坯粗加工采用较低的切削速度、大背吃刀量和小进给量的加工方法。

7. 用新磨的车刀开始车削时工件表面较粗糙的原因及对策

新刃磨的车刀，如果没有经过认真的研磨，便拿来使用，则开始时工件表面较粗糙，而车削一会后，工件表面反而会更光洁些。

因为刚经砂轮刃磨的车刀各刀面和切削刃均不光整，留有砂粒的磨痕，表层组织因受热发生变化，使硬度降低，不耐磨。用这样的车刀车削工件，刀面和切削刃上的不平整缺陷都会反映到工件表面上。所以，开始车削时加工表面的表面粗糙度值较高，即工件表面粗糙，不光洁。

当车削一会后，刀面和切削刃上的高低不平和不耐磨的表层组织已被磨去，刀面和切削刃的表面粗糙度值降低了，所以加工出的工件表面要比开始时光洁。

可见，车刀刀面和切削刃的表面粗糙度对工件加工表面的表面粗糙度有直接的影响。因此，有经验的车工都是把刃磨的车刀经过仔细研磨后才使用，这样做不但能提高工件加工表面质量，还能提高刀具的使用寿命。

8. 使用硬质合金车刀要与使用场合相适宜

(1) 不宜用于粗加工及带有冲击性的场合 在硬质合金材料中，硬质相（如 WC、TiC）的种类和含量决定了该材料的切削性能；即硬质相含量越高，材料的硬度、耐热性和耐磨性越高，然而，它的抗弯强度和冲击韧性越低。

可是作为粗加工、断续切削，特别是车削不规则的锻件或异形件时，却需要刀具承受较大的冲击力，刀具材料应具有较高的抗弯强度与冲击韧性。

当刀具材料性能和加工中所需要的切削性能不匹配，如将硬质合金车刀用于粗加工和带有冲击的场合时，必然造成刀具容易磨钝、崩刃或刀尖损坏。对这种问题的解决办法，可从两方面入手：一是选用能承受较大冲击载荷的硬质合金刀具材料，如 YT5、YG8 等；二是选择合适的刀具几何参数，如图 6-7 所示的 90° 强力车刀。

(2) YG 类和 YT 类硬质合金车刀应与加工材料相适宜 YG 类刀具中含钴量越多，它的硬度越低，而抗弯强度和冲击韧性越好，通常用于加工铸铁等脆性材料；YT 类刀具中含碳化钛量越多，则硬度、耐磨性和耐热性越高，而抗弯强度和冲击韧性越差，通常用于加工碳素钢。

(3) 使用硬质合金刀具应采用较高的切削速度 因为高速切削时的高温可使材料的屈服强度降低，剪切应力和摩擦因数减小。实际表明，当切削速度大于 $35\text{m}/\text{min}$ 时，切削力开始下降。这表明，只要机床性能允许，对硬质合金刀具采用高速切削，则更能发挥硬质合金材料的性能。相反，如果用硬质合金刀具低速切削，不但不能充分发挥刀具性能，使生产效率降低，而且工件表面粗糙值很大。

9. 切削热的危害及散热方法

在切削加工中，切削热的产生主要是由切削力所引起的，也就是说有切削力就必定有切削热。切削热直接影响到车刀的使用寿命，当热量超过一定量时，车刀切削部分就开始软化，并且迅速磨损；同时也限制了切削速度的提高，即影响生产率提高；另外还会影响工件的加工质量。例如，在生产中曾出现这样的情况：工件加工完后，在机床上测量的加工尺寸在公差范围内，待一段时间后去交检时，却变成了废品。因为工件是切削热的重要散热通道之一，有 $3\% \sim 9\%$ 的热量传入工件，使工件温度升高。

工件热胀冷缩的收缩量由下式计算

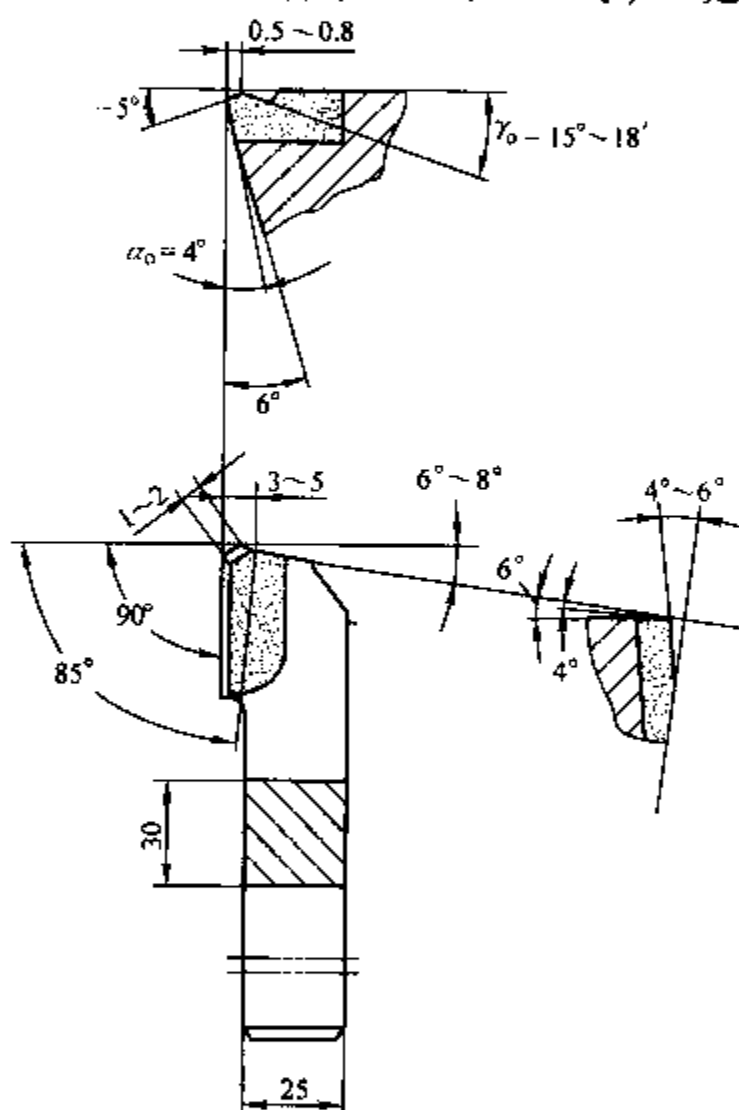


图 6-7 90° 强力车刀

$$\Delta L = \alpha_l d \Delta t \quad (6-1)$$

式中 ΔL ——工件热胀量 (mm);

α_l ——零件材料的线(膨)胀系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

d ——工件直径 (mm);

Δt ——温度差 ($^{\circ}\text{C}$)。

例2 工件材料为黄铜, 铜套外径 $d = 100\text{mm}$, 工件温度 $t_T = 35^{\circ}\text{C}$, 室温 $t_{\text{室}} = 15^{\circ}\text{C}$, 铜的线膨胀系数 $\alpha_l = 17.6 \times 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

解: 根据式 (6-1) 计算工件热胀冷缩量 ΔL 为

$$\begin{aligned} \Delta L &= \alpha_l d \Delta t \\ &= 17.6 \times 10^{-6} \times 100 \times (35 - 15) \text{mm} \\ &= 0.0352 \text{mm} \end{aligned}$$

为保证尺寸精度, 防止工件的收缩量过大, 常采用粗、精加工分开的方法, 即粗车后待工件冷却后再精车, 以降低精车时的切削温度, 而不致因为收缩量过大, 引起工件超差报废。

另外, 若工件温差较大, 也可将收缩量计算出来, 然后根据实际操作经验事先将收缩量考虑到加工尺寸中去, 这样可有效地避免工件因热胀冷缩而造成的工件报废。

对于切削热而采用的散热方法, 常常从两方面采取措施:

(1) 改变车刀的几何角度

1) 减小主偏角, 使切屑变薄, 切屑变形小, 从而降低切削热。同时由于参加切削的主切削刃长度增加, 刀尖角增大, 因此散热性能也会改善。

2) 增大刀尖圆弧半径, 使散热面积增大, 这时虽然切削力和切削热稍有增大, 但由于散热情况较好, 因此切削温度仍能下降。

(2) 切削时加注充分的切削液 切削时加注充分的切削液, 不但可以减小切屑、车刀及工件之间的摩擦, 减少热量的产生; 同时能带走大量的热量, 使切削温度降低, 因此有利于提高车刀的使用寿命, 提高切削速度; 并且还可提高工件质量, 减少工件因热胀不均匀而产生的尺寸和形状误差。

应特别指出, 在使用切削液时, 必须有的放矢地加注在切屑和车刀上, 尤其是要加注在切屑上。因为在通常情况下, 切削热的分布是切屑占 68%, 刀具占 25% 左右。由此可知, 若单纯地将切削液加注在刀刃上, 不但起不到良好的散热效果, 而且还可能使车刀 (如硬质合金) 因时冷时热而产生裂纹损坏。

10. 无任何标记的硬质合金刀头分辨方法

硬质合金是用钨和钛的碳化物粉末加钴作粘结剂, 高压压制成形以后, 再高温烧结而成的粉末冶金制品。它的硬度、耐磨性和耐热性均高于高速钢, 其耐热性可达 $800 \sim 1000^{\circ}\text{C}$, 这种情况下仍能保持良好的切削性能。它的缺点是韧性较差, 性脆, 怕冲击。但是这一缺点可通过刃磨合理的刀具角度来弥补, 所以硬质合金是目前最广泛应用的一种车刀材料。

硬质合金按其成分不同, 主要有钨钴合金和钨钛合金两大类。在生产现场, 常常出现这样的情况: 一是焊接刀具在焊接后未及时刃磨, 也未能进行分类保管; 二是硬质合金刀头存放时间太长, 使不同类别的硬质合金刀头混在一起, 待要使用时, 无法辨认到底是哪一种。一旦出现上述情况, 在未能辨别清楚刀头为何种硬质合金时, 因其性能不同, 绝不能随便使

用，以免用错，造成不必要的浪费。

对那些无任何标记的硬质合金刀头，可采用下述办法进行辨别。

1) 根据硬质合金刀头的表面情况及密度进行辨别。一般说来，YG类硬质合金经过喷砂处理后，表面光亮、平滑，呈银灰色。而YT类硬质合金表面没有YG类平滑，颜色较暗。另外，两类硬质合金的密度不同，若把同形式、同尺寸的两类硬质合金放在手里，其感觉是不一样的，对YG类硬质合金感觉较重，而YT类硬质合金却感觉较轻。由此可得出辨别方法，根据硬质合金刀头的表面质量、颜色和手感轻重来辨别YG类和YT类硬质合金。

2) 将两类硬质合金放入水银中鉴别。水银的密度是 $13.6\text{g}/\text{cm}^3$ 。YG类硬质合金的密度大于水银，而YT类硬质合金的密度小于水银。因此，当两类硬质合金放入水银中后，其中沉入底部者为YG类硬质合金，而浮在上面的为YT类硬质合金。

3) 在磨刀和用刀时进行辨别。由于YG类硬质合金的密度大于YT类，所以YG类比YT类硬质合金在磨刀时要困难一些，磨刀所需时间要长些。使用时，加工钢件，倘若采用YG类硬质合金刀头的刀具进行车削，则会发现，工件表面比较粗糙，刀具的使用寿命短，并且在刀具前面容易形成积屑瘤。在加工脆性材料时，倘若使用YT类硬质合金，则会出现切削刃不锋利，粗加工时刀具磨损较快，精加工时表面粗糙度值较大的现象。

11. 金属切削过程中出现带状切屑的危害及解决办法

对塑性金属（钢件）进行连续切削时，在切削速度比较高，并且进给量很小的情况下，很容易形成曲率半径很大的带状切屑。这种带状切屑又薄又软，只要车刀不停止进给，它就连续不断地出现，并且温度很高，流速也比较快。在切削中经常会缠绕在工件或刀具上，拉伤已加工表面，打坏刀刃，甚至伤人。若缠绕在刀架或刀杆上，会将刀具拉向工件，产生扎刀甚至使刀具损坏，不但影响操作，也很不安全。如果在切削过程中使用切削液，这种切屑还会妨碍切削液的流动，使硬质合金车刀时冷时热，容易产生裂纹，降低刀具的使用寿命。因此，在车削时，必须合理地控制切屑的折断。

由于塑性金属的切削过程是被切削金属在刀具的切削刃和前刀面的挤压作用下产生剪切滑移变形，最终与基体分离成为切屑的过程，因此，被切削金属变成切屑时，金属材料内部要产生很大的弹性变形和塑性变形，当这种变形超过被切削材料的破断应变时，切屑就会折断。

根据被切削金属在切削过程中所产生的变形越大，则切屑越容易折断的道理可知，凡是能增大切屑变形的因素都能促进切屑折断，这也是采取工艺措施进行断屑的依据。

(1) 合理地选择车刀的几何角度

- 1) 刀具前角增大，切屑变形小，不易断屑，反之则容易断屑。
- 2) 主偏角大，会使切屑的厚度增加，切屑卷曲时塑性变形增大，则容易断屑。

(2) 合理地选择切削速度

- 1) 提高进给量，切屑厚度变厚，塑性变形大，则容易断屑。
- 2) 切削速度高，切屑的塑性好，切屑变形小，不易断屑，反之则容易断屑。

(3) 合理地确定断（卷）屑槽的形状、宽度及斜角

- 1) 断屑槽的形状有三种，如图6-8所示。

其中直线圆弧形和直线形断屑槽可用于切削碳素钢、工具钢和合金钢等材料工件；而圆弧形断屑槽可用于切削纯铜、不锈钢等高塑性材料工件。

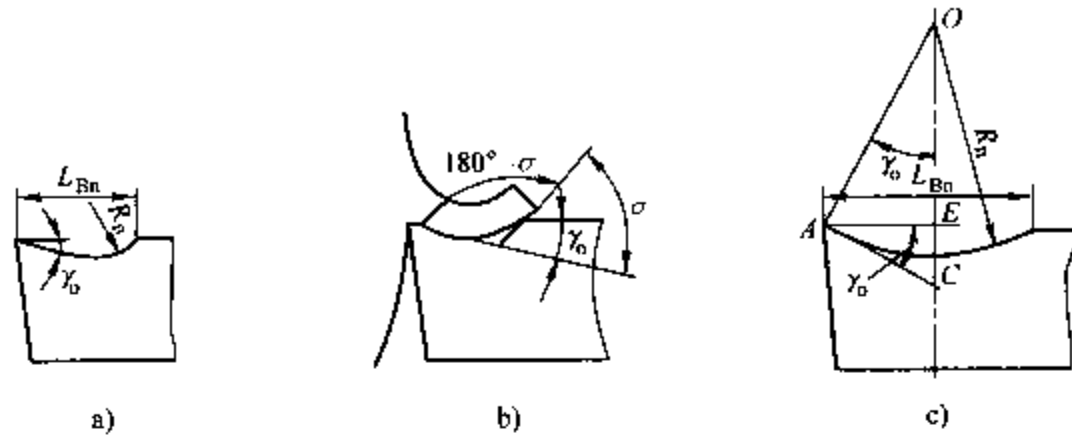


图 6-8 断屑槽的形状

a) 直线圆弧形 b) 直线形 c) 圆弧形

断屑槽宽度 L_{Bn} 对断屑效果影响明显。槽宽越小，切屑的弯曲半径越小，承受的弯曲变形越大，则越容易折断。应当指出，在确定断屑槽宽时，必须与进给量及背吃刀量一起进行综合考虑，通常情况下，进给量和背吃刀量小时，槽宽 L_{Bn} 应适当减小。

2) 断屑槽侧边与主切削刃之间的夹角称为断屑槽斜角 (τ)，如图 6-9 所示。

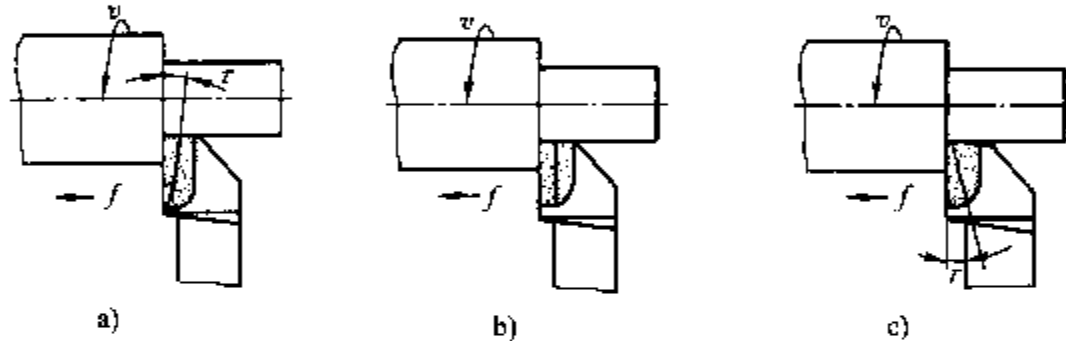


图 6-9 断屑槽斜角

a) 外斜式 b) 平行式 c) 内斜式

图 6-9a 所示外斜式断屑槽，切削时的切屑变形大，容易使切屑与车刀后面相碰而形成 C 形屑，适用于中等切深，断屑效果好。通常情况下，切削合金钢取 $\tau = 10^\circ \sim 15^\circ$ ；切削中碳钢取 $\tau = 8^\circ \sim 10^\circ$ 。

图 6-9b 所示平行式断屑槽，切削时的切屑变形不如外斜式大，切削中碳钢时的断屑效果与外斜式基本相同，切削合金钢时断屑效果不好。

图 6-9c 所示内斜式断屑槽，容易使切屑背离工件，向待加工表面方向流出，它适用于精车和半精车。

12. 施加切削液的利弊分析及正确使用切削液

在切削加工中，如果能正确地选用和浇注切削液，可提高切削速度 30% ~ 50%，降低表面粗糙度一级以上，减小切削力 10% ~ 30%，延长刀具寿命 4 ~ 5 倍，可见切削液对切削加工有着重要的影响，不可小视。它的作用有三方面：

①冷却作用。切削液可吸收并带走大量的热量，降低切削温度，提高刀具使用寿命，防止工件因热变形而产生加工误差。

②润滑作用。切削液能渗透到刀具与工件之间，形成一层薄薄的吸附膜，减小工件、刀具和切屑之间的摩擦，降低切削力和切削温度，提高加工质量。对于精加工来说，润滑作用

尤为重要，更应予以重视。

③清洗作用。具有一定压力和足够流量的切削液，可以将工件和刀具上的碎屑及磨粉及时冲走，使切削顺利进行。特别是钻深孔、铰孔和磨削时，切屑容易堵塞，将切屑迅速冲走，对提高刀具寿命和保证加工质量都有好处。

但是，如果切削液使用不当，也将会带来很多弊端：

①如果切削液过滤不良，温度过高，或切削液种类、黏度、添加剂等选用不当，则会降低工件表面质量和刀具寿命。

②在施加切削液时，如果压力太小，或流量不合适，则不足以发挥切削液的作用，无助于促进排屑通畅和减缓刀具的磨损。

③在切削加工中，如果断断续续地间断式浇注切削液，切削液冷却作用不良，会使刀头热膨胀量不稳定，则造成工件尺寸及表面粗糙度值时大时小，同时刀头因冷却得不好，也会缩短使用寿命。

为了正确使用切削液，兴利除弊，应从两方面采取措施。

(1) 正确选用切削液

1) 粗加工时，加工余量和切削用量较大，所以会产生大量的切削热，这种情况下应以降低切削温度为主，选用乳化液；精加工时，为了提高加工质量，延长刀具的使用寿命，最好选用极压切削液或高浓度的极压乳化液。

2) 根据加工工件材料来选用切削液，通常情况是：

①对于钢件：粗加工选用乳化液；精加工选用极压切削液。

②对于铸铁、青铜等脆性金属：一般不加切削液，精加工时可选用黏度小的煤油或7%~8%乳化液。

③对于高强度钢和高温合金：选用极压切削液或极压乳化液。

④对于非铁金属：选用煤油或黏度小的切削液。

⑤对于镁合金：不可用切削液，以免燃烧起火；必要时可使用压缩空气冷却和排屑。

3) 根据刀具材料选用切削液，通常情况是：

①对于硬质合金刀具：一般情况下，不必用切削液；加工某些特殊材料时，如果需要加注切削液，可选用以冷却为主的切削液，如乳化液。但必须是连续、充足地浇注，不可断断续续地使用。

②对于高速钢刀具：粗加工时，选用极压乳化液，精加工时，选用极压乳化液或极压切削液。

(2) 正确使用切削液

1) 切削液的施加方法，通常采用浇注法。

2) 浇注切削液时，应将切削液浇注在切屑形成区和刀头上，并且流量应适当。

3) 切削液使用期间，不得中途加入其他品种的切削液，以避免切削液因品种混杂而变质，影响使用效果。

4) 变质的切削液不可使用，切削液中不可有杂物和尘埃等混入。

5) 切削液本身的温度应适宜，不可过高或过低。

13. 加工中出现“闷车”时的解决方法

在切削中，如果切削所需要的动力得不到满足，即切削功率 $P_m > P_{机} \eta_{总}$ ($P_{机}$ 为机床功

率, $\eta_{\text{总}}$ 为机床传动的总效率) 时, 便可能产生“闷车”现象。这种“闷车”现象多发生在中、小车床上, 高速车削时。

1) “闷车”现象发生后, 首先应检查是否是由于机床的自身原因引起的, 重点考虑部位如下:

①主传动系统的 V 带过松, 当切削负荷大时, 则 V 带打滑, 影响动力的传递。这时可调整张紧轮或电动机的位置; 使 V 带的松紧程度适当。

②离合器的摩擦片间隙偏大, 当切削负荷大时, 摩擦片间打滑, 则影响动力的传递。这时可停机调整摩擦片间隙, 使其工作正常。

③如果车床的主轴支承是滑动轴承, 也可能由于轴承间隙太小, 或者因缺油润滑不良, 摩擦发热后, 使主轴与轴瓦咬死。这时要调整轴承间隙, 并要加强润滑。

④交换齿轮箱中的某对齿轮啮合太紧, 使得运转消耗动力太大。这时应调整啮合太紧的齿轮副, 如三星齿轮或交换齿轮。

2) 其次, 应检查切削时选用的切削用量是否合适, 是否引起机床的功率不足。

切削功率 P_m 的计算公式为

$$P_m = \frac{F_t v}{60} \times 10^{-2} \quad (6-2)$$

式中, F_t 为主切削力 (单位为 N), 它是切削合力在切削速度方向上的分力, 垂直于基面, 其大小占总切削合力的 85% ~ 90%。由此可见, 主切削力 F_t 在切削过程中消耗的功率最多, 约占车削总功率的 90% 以上。主切削力 F_t 对刀具的作用是将刀头向下压; 当 F_t 过大时, 有可能使刀具崩刃, 也有可能使车床发生“闷车”现象。

由切削功率计算公式 (6-2) 可知, P_m 与 v (切削速度, 单位为 m/min) 和 P_t 成正比, 为了不出现“闷车”现象则应限制 v 及 P_t 。

如果切削速度提高, 虽然可提高生产率, 但由于引起 P_m 的增加, 就有可能引起“闷车”, 所以在保证必要的金属切除率的条件下, 要防止在高速切削时产生“闷车”现象。

为了提高生产率, 可适当增加进给量 f , 因为进给量 f 增加一倍, 而主切削力增加不到一倍; 也可适当地减小背吃刀量 a_p , 因为 a_p 增大一倍, 而主切削力也将增大一倍。所以, 在保证生产率的前提下, 适当地调整切削用量, 也可避免“闷车”现象的发生。

3) 再次, 可适当增大刀具前角, 以降低主切削力, 同样可以降低切削功率, 从而实现减少或避免产生“闷车”现象的目的。

二、圆柱孔与圆锥面车削

1. 加工套类零件的难度及应保证的精度要求

套类零件的共同特点是都具有内孔的加工, 不同用途的套类零件又具有各种不同的形状、尺寸要求和精度要求。因此, 车削套类零件比车削轴类零件更复杂, 更困难, 具体表现在以下方面:

1) 孔的内部空间狭小, 尤其对小孔更为显著, 所以切屑不易排出, 容易堵塞, 极易拉毛内孔表面。

2) 车刀在孔内切削, 加工情况不易观察, 尤其对小孔无法看清内部切削情况。因此,

加工过程很难控制。

3) 切削液不易注入到切削区, 刀具和工件不能及时被冷却, 切削温度高, 刀具容易磨损。

4) 薄壁套类零件刚性较差, 装夹时容易变形, 不易保证加工精度。

5) 孔加工刀具(车孔刀)受孔尺寸的限制不能制作得太粗。因此刚性较差, 加工出来的孔容易产生形状误差。

6) 内孔尺寸测量比外圆表面更困难。

套类零件的精度要求有以下几项:

1) 尺寸精度。对于作为轴承和跟零件配合的孔, 它的精度要求较高, 一般要求公差等级 IT7 ~ IT8 级。对于液压元件滑阀孔一般要求公差等级 IT6 级。

2) 表面形状精度。圆柱孔的表面形状精度有圆度和圆柱度等精度要求。

3) 相互位置精度。孔的相互位置精度有两端面的平行度、内外圆柱面同轴度、端面对内孔轴线的垂直度和圆跳动等精度要求。

4) 表面粗糙度。按加工图样上的规定要求达到相应表面粗糙度等级。支承孔或配合孔的表面粗糙度一般为 $R_a 3.2 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。

2. 车孔的关键技术及其对策

车孔的关键技术是解决车孔刀的刚性和排屑问题。

提高车孔刀刚性主要采取以下两项措施:

1) 尽量增加刀杆的截面积。

2) 采用可调节刀杆, 在满足孔深要求的情况下, 使刀杆的伸出长度尽可能短。

还应指出, 一个有孔的零件总是由内孔、外圆、平面等组成的, 因此除了孔本身的尺寸精度、形状精度和表面粗糙度外, 还有它们之间的相互位置精度要求, 例如内外圆柱面的同轴度、端面对孔轴线的垂直度以及两端面的平行度。所以, 在安装车孔刀时, 既应考虑刀杆的刚度, 又要保证这些位置精度的要求, 其注意事项如下:

1) 安装车刀时, 应保证刀尖与工件中心等高, 或稍高于工件中心。这样可防止切削力作用于刀杆上, 使刀杆产生弯曲, 刀尖扎入工件(称扎刀现象)。

2) 为增强车孔刀刀杆的刚性, 在保证加工孔深需要的前提下, 尽量缩短车孔刀在刀架上的悬伸长度。如果刀杆本身很长, 为了增强刀杆的刚度, 可在刀杆的下面与刀架之间垫一块垫铁, 用以支承刀杆, 如图 6-10 所示。

3) 安装不通孔车刀时, 要注意使主偏角大于 90° , 否则内孔底平面车不平, 如图 6-11 所示, 并且应保证刀尖与刀杆外侧距离 a 小于内孔半径 R 。

4) 在单件小批生产中, 可在工件的一次安装中, 把全部或大部分加工表面(如内、外圆柱面及端面)加工

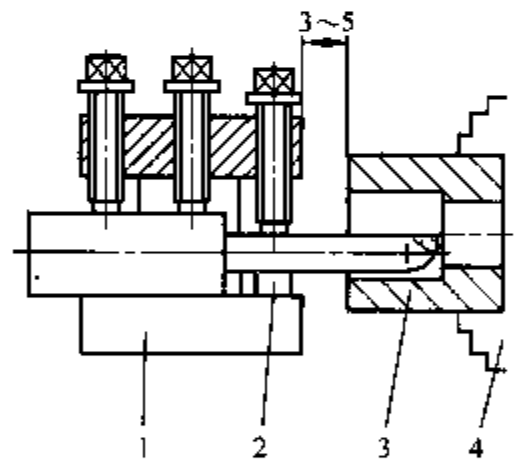


图 6-10 在刀杆与刀架间垫垫铁
1—刀架 2—垫铁 3—工件 4—卡盘

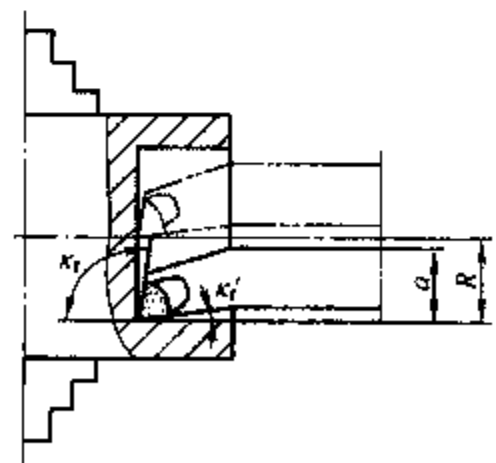


图 6-11 不通孔车刀

完，这样可获得较高的同轴度和垂直度。

5) 对一些中小型的轴套、带轮、齿轮等零件，可先将内孔或者内孔和一个端面进行精加工，然后以内孔为定位基准，将工件安装于心轴上，以保证工件同轴度和垂直度的要求。

6) 将工件的外圆和一个端面进行精车，然后以工件的外圆为定位基准，使用软爪（不易夹伤工件的定位表面）进行装夹工件，以保证相互位置精度。

7) 对于薄壁套筒的安装方法应特别注意，因为这种零件的刚性较差，夹紧后将变成为三角形，在车孔后，虽然得到的是一个圆柱孔（见图 6-12a），然而在松开卡爪取下零件后，由于弹性变形恢复，外圆又恢复为圆柱形，可是内孔却变成了弧形三边形，如图 6-12b 所示。这种情况下，使用内径千分尺测量时，各个方向量得的直径尺寸均相等，可在实际上已经不是圆了，通常将这种变形称为等直径变形。

为了减小薄壁套类零件的装夹变形，可采取下列措施：

① 工件在粗、精加工时，要分两次夹紧，即粗车时的夹紧力应大一些，在粗车后精车前将工件慢慢松开，然后再轻一些夹紧。这是考虑精车时的切削力较小，所以夹紧力可以小一些，以减小工件的夹紧变形。

② 采用开口套筒装夹工件（见图 6-13），由于开口套筒与工件外圆接触面积大，夹紧力均匀地分布在薄壁套整个圆周上，不容易产生夹紧变形。

③ 采用软卡爪卡盘装夹工件，所用的软卡爪为专用扇形卡爪，其接触面大，可减小夹紧变形。

解决排屑问题，主要是控制切屑的流出方向。精车孔时，要求切屑流向待加工表面（前排屑）；车不通孔时，要求切屑从孔口排出（后排屑）。切屑排出方向一般用刃倾角来控制：刃倾角 λ_1 取为正值时，切屑流向待加工表面（前排屑），刃倾角 λ_1 取为负值时，切屑流向已加工表面。所以说解决排屑问题即根据排屑方向要求来选择刃倾角。

此外还应注意，车内孔时要保持车刀的锋利，如果使用已磨钝的刀具进行内孔精加工，会因刀刃不锋利而产生让刀现象，使加工后的孔径外大里小。一般情况下，精加工时应采用高速钢车刀，其刃口锋利且修光刃长，并选用低速和大进给量，可以获得很好的表面质量和很高的生产率。

一般在精车前首先要降低工件的温度，待降到室温后再进行车削，即不可在切削温较高的情况下精车内孔，以避免由于热胀冷缩的原因，造成在较高温度时测量孔径合格，当温度变为室温后则孔径变小，形成超差产品。

车削铸铁件内孔要特别注意，因铸铁组织比较松弛，容易使油液渗入，如果用手去摸孔的内表面，如同在工件表面上涂了一层油膜。当背吃刀量较小时，则使刀具与工件之间产生滑动挤压，可加速刀具磨损。用不锋利的刀具车削，会引起冷作硬化层深度增加，这时再吃

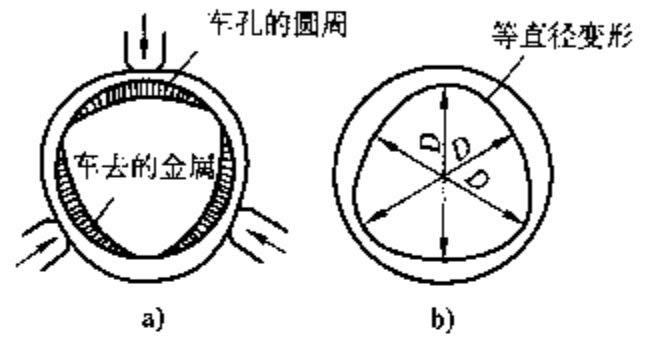


图 6-12 薄壁套筒零件的变形
a) 工件夹紧后 b) 松开卡爪后

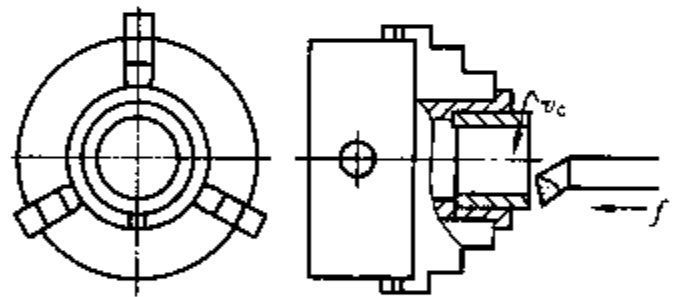


图 6-13 采用开口套筒装夹薄壁套筒件

刀,可能产生让刀现象。由此可提醒操作者,当铸铁孔加工到接近孔径尺寸时,不可用手去摸内表面,以防给切削造成困难。

3. 套类零件的车削步骤及精度检验

(1) 车削步骤

1) 车削短小的套类零件。为了保证相互位置精度,最好在工件的一次装夹中,完成全部或大部分加工,其加工步骤如下:

粗车端面→粗车外圆→钻孔→粗车孔→半精车孔→精车端面→精车外圆→倒角→切断。
然后调头,车削另一端面和倒角。

如果工件直径较大,壁较薄,棒料不能插入主轴孔内,则此时可增加工艺长度约20mm,用卡盘夹持。在车通孔时,注意不要把孔车通,以增加工件刚性,等到内、外圆及端面均加工完成后,再按尺寸切断。

2) 车削内、外圆同轴度要求严格的套类零件。加工步骤是:先加工内孔,把端面也精车一刀;然后将工件装夹在心轴上,以内孔定位,再加工外圆,这种方案不但能获得较高的同轴度,而且可保证端面与内孔的垂直度。

3) 车削精度要求较高的内孔。

①加工方案一:钻孔→粗车孔→半精车孔→精车端面→铰孔。

②加工方案二:钻孔→粗车孔→半精车孔→精车端面→磨孔。

4) 车平底孔。加工步骤是:先用钻头钻孔,再用平顶钻头把孔底铤平,最后用不通孔车刀精车内孔和底平面。

应当注意,孔内的沟槽应在内孔精车之前车出,但必须注意加工余量对槽深的影响。

(2) 精度检验 对于套类零件精度检验,其项目有尺寸精度检验、几何形状精度检验和相互位置精度检验三项。

1) 尺寸精度检验

①孔径尺寸检验。孔径尺寸精度要求不高时,可用游标卡尺直接进行测量;精度要求较高时,可用塞规检验(见图6-14)。若内孔较大也可用内径千分尺进行检验(见图6-15)。对单件小批生产,简单、常用的方法是用普通内卡钳测量内孔尺寸。

用普通内卡钳测量内孔尺寸时,首先用外径千分尺把内卡钳的张开尺寸调整到孔的最小极限尺寸 d ,把卡钳伸到孔内并摆正,一只爪固定不动,另一只爪左右摆动,根据爪的摆动距离来判断孔的实际尺寸是否在孔的极限尺寸之内。最大

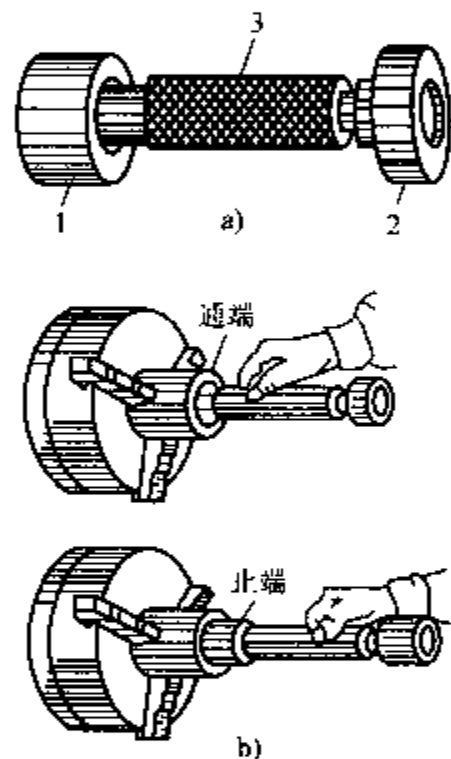


图6-14 塞规及用塞规检验孔

a) 塞规 b) 用塞规检验孔尺寸

1—通端 2—止端 3—柄

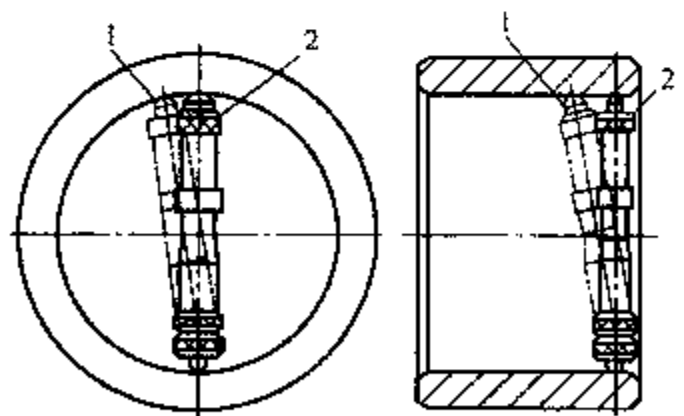


图6-15 用内径千分尺测量内孔

1—不正确(双点画线表示的) 2—正确(实线表示的)

摆动距离 S 可按下式计算 (参见图 6-16)

$$S = \sqrt{8d \times e}$$

式中 S ——内卡钳张开为孔的最小极限尺寸时, 动爪的最大摆动距离 (mm);

d ——孔的最小极限尺寸 (mm);

e ——孔的尺寸公差 (mm)。

若测量时, 动爪能摆动, 摆动距离小于 S , 说明孔的实际尺寸在两极限尺寸之内。

②内沟槽直径和宽度检验。内沟槽直径一般是在车削时用中滑板刻度盘来控制的, 车好后可用图 6-17a 所示的弹簧内卡钳进行测量。测量时, 先用弹簧内卡钳测好内沟槽直径, 然后将弹簧卡钳收缩从孔中取出来, 恢复到原来尺寸, 再用游标卡尺或外径千分尺测出弹簧卡钳的张开尺寸, 即内沟槽的直径。也可以采用特制的弯脚游标卡尺测量内沟槽直径, 如图 6-17b 所示。

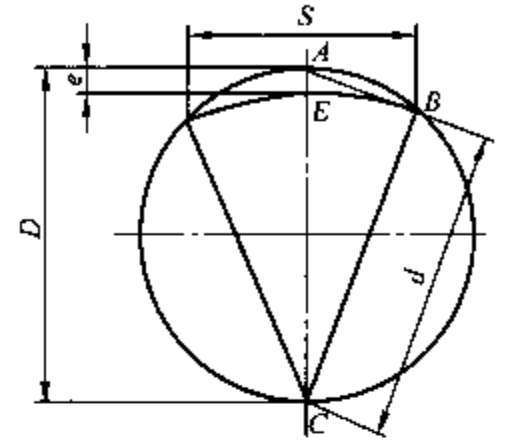


图 6-16 内卡钳的最大摆动量

内台阶的深度可用钢直尺 (图 6-18a) 或游标卡尺 (图 6-18b) 测量。内沟槽的宽度可用钢直尺 (图 6-18c)、游标卡尺 (图 6-18d) 或样板 (图 6-18e) 测量。

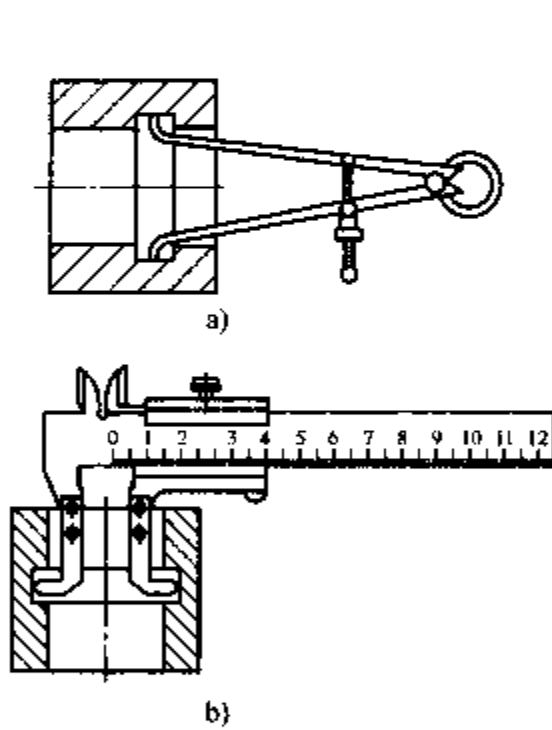


图 6-17 内沟槽直径尺寸的测量
a) 用弹簧内卡钳测量 b) 用弯脚游标卡尺测量

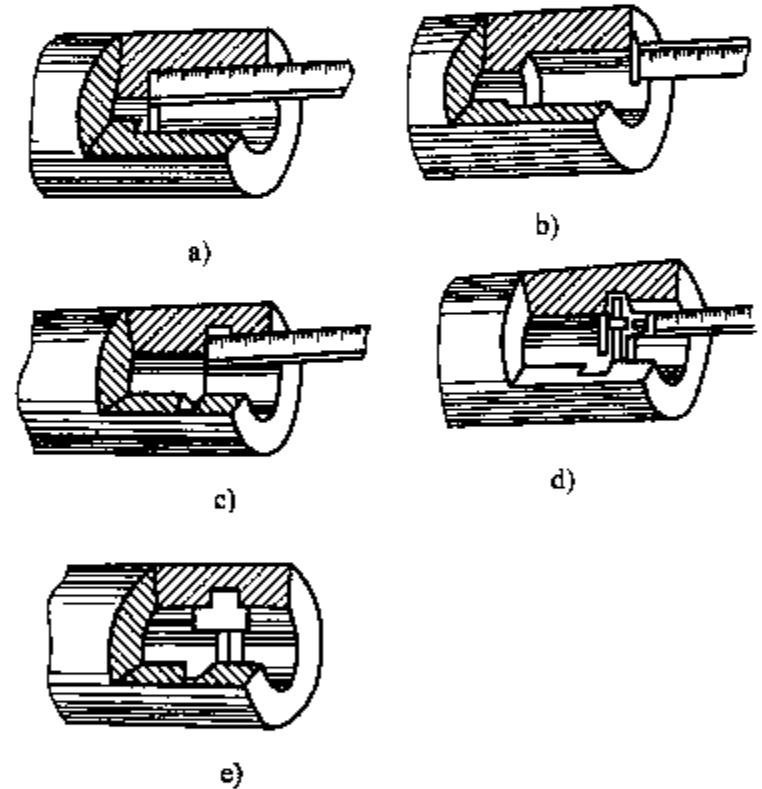


图 6-18 内台阶深度和内沟槽宽度的测量
a)、b) 内台阶深度测量 c)、d)、e) 内沟槽宽度测量

2) 几何形状精度检验

①内孔圆度误差。一般用测量直径尺寸的量具在圆周各个方向进行测量。在三、四个部位进行测量以后, 把所有测量的结果进行分析、比较, 得出圆度误差。

②内孔的锥度。可用内卡钳或其他内径尺寸量具, 在孔口测量直径尺寸以后, 再把量具沿工件轴线伸到里面去测量。根据前后两次测量的读数差值和两次测量的距离, 确定锥度误差的大小。

3) 相互位置精度检验

①内、外圆同轴度的检验。以内孔为基准，把工件装在两顶尖间的心轴上，用百分表检验外圆，如图6-19所示。在零件转一周的过程中，百分表读数差的一半就是内、外圆的同轴度误差。

内、外圆的同轴度也可用检查工件壁厚的方法来测量。用游标卡尺或外径千分尺，在不同位置测量工件壁厚，测出最大和最小壁厚，两壁厚差值的一半就是内、外圆的同轴度误差。

②端面圆跳动的检验。检验套类零件的端面圆跳动，也可将工件装在两顶尖间的心轴上（图6-19），将百分表的测量头靠在被测的端面上，转动心轴测得百分表的读数差，就是端面圆跳动的数值。

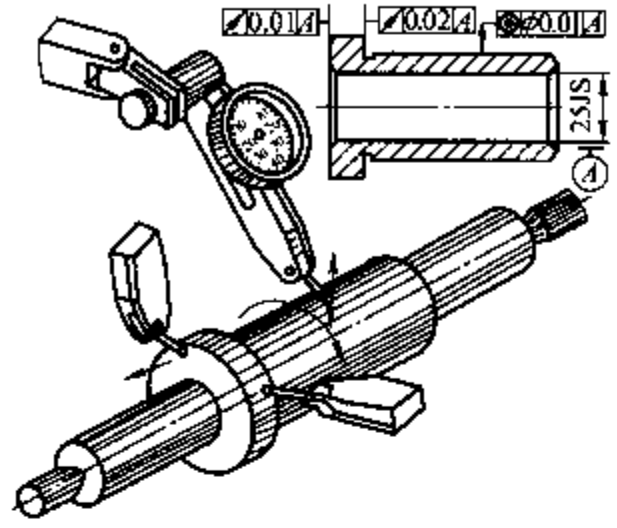


图6-19 检验同轴度误差

③端面对轴线垂直度误差的检验。如果端面是一个平面，可用端面圆跳动来确定零件端面对轴线的垂直度，如图6-20所示。若按图6-20a方法检验，百分表指针的最大变动量即是垂直度误差；若按图6-20b所示方法检验，百分表指针变动量的一半，才是垂直度误差。

4. 车削无阶台通孔、阶台孔的方法及注意事项

(1) 车削无阶台通孔

1) 关于车刀的安装应注意以下事项：

- ①一般刀尖应与工件中心线等高，在精车时可稍高些，以免刀杆受到切削力作用产生下弯，防止扎刀把孔径车大。
- ②刀杆与工件轴线应基本平行，以防车削到一定深度后刀杆与孔相碰。
- ③在刀架上安装车刀时，刀杆的伸出长度要尽量缩短，一般比孔深长出一个刀头宽度即可。

2) 车削要点。车孔与车外圆的方法类似，背吃刀量和进给量的选择视刀杆的刚度而定，一般以不产生振动为合适；车孔时也要进行试切和试测，其方法与试切外圆相同。即根据余量的一半用中滑板横向进给；然后车刀作纵向切削，在纵向进给约2mm时，将车刀纵向退出（此时横向不动），然后停机试测。这样，反复试切、试测几次，直至尺寸达到要求，再纵向进给车孔，直到车刀车出孔端一段距离为止。

3) 车孔时的注意事项如下：

- ①切记中滑板退刀方向与车外圆相反，否则会将孔车废。
- ②用内卡钳测量孔径尺寸时，两只量爪连线应与孔径轴线相垂直，并在自然状态下摆动，否则摆动量不准确，会出现测量误差。
- ③用塞规测量孔径时，孔壁应清洁，否则会影响塞规测量。
- ④塞规测量时，孔壁的温度不能很高，以防工件冷缩把塞规“咬死”在孔内。
- ⑤用塞规测量孔径时，塞规放置不可歪斜，用力要适当。
- ⑥铸铁件内孔车削时，在孔径即将达到尺寸要求时，不可用手去摸加工表面，以防给车

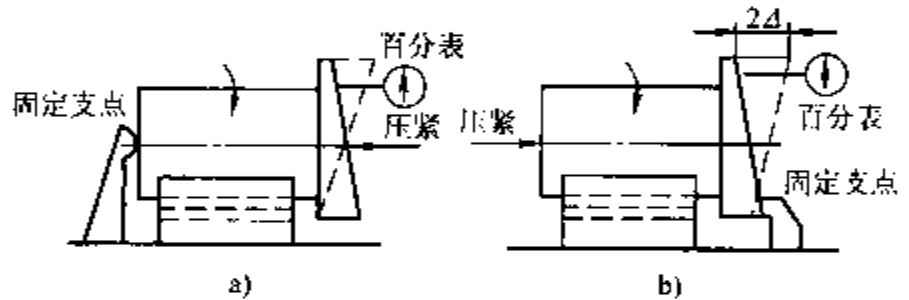


图6-20 零件端面圆跳动的检验

削造成困难。

⑦精车内孔时，应保持切削刃锋利，防止产生“让刀”现象。

⑧车小孔时，尤其要注意排屑问题，严防切屑阻塞，影响车孔质量。

(2) 车削阶台孔

1) 车刀的安装要点如下：

①内偏刀的主切削刃与端面的夹角为 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，如图 6-21 所示。在车削内端面时，必须保证足够的退刀空间。

②内孔车刀的刀尖应对准工件中心。

③刀杆在刀架上的安装时，刀杆伸出量应尽量得短，以提高抗弯强度。

2) 阶台孔车削要点如下：

①在车削直径较小的阶台孔时，因为操作者直接观察困难，所以尺寸精度不易掌握，这种情况下的加工顺序为：先粗、精车小孔，后粗、精车大孔。

②在车削直径较大的阶台孔时，在操作者观察不受影响的情况下，其加工顺序为：先粗车大孔和小孔，然后精车大孔和小孔。

③在车削孔径大小相差很大的阶台孔时，最好先用主偏角为 85° 的车刀进行车削；然后用内偏刀车平阶台端面，最后进行精车。

④阶台孔长度的控制方法，如图 6-22 所示。图 6-22a 为在刀杆上刻线来控制阶台孔长度；图 6-22b 为用深度千分尺测量来控制阶台孔的长度；图 6-22c 为用深度游标卡尺测量来控制阶台孔的长度。另外，还可用床鞍的刻度盘、挡铁定位、钢直尺等控制阶台孔的长度。

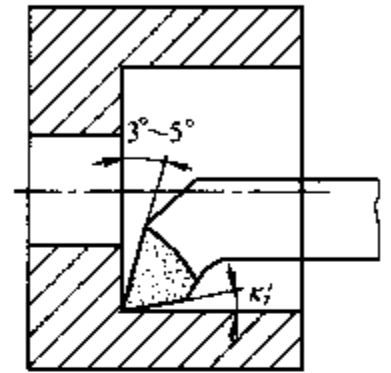


图 6-21 内偏刀的安装

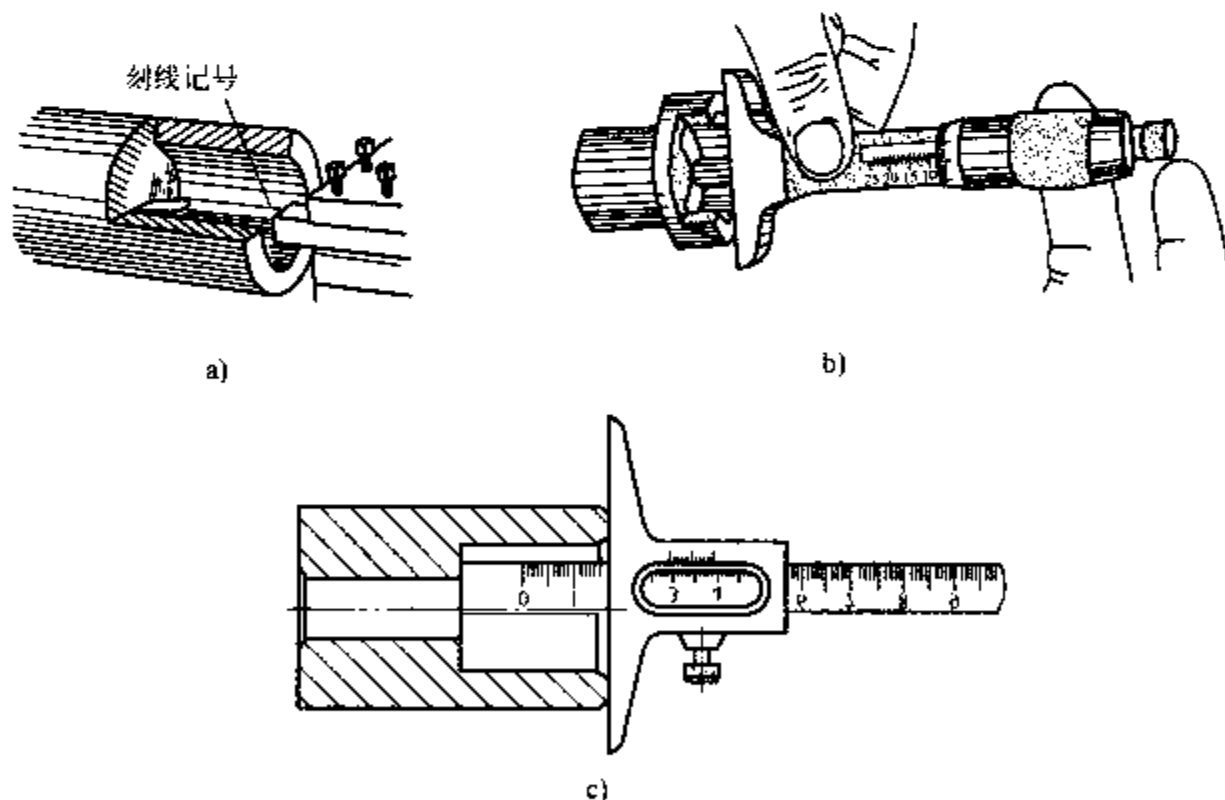


图 6-22 控制阶台长度的几种方法

a) 在刀杆上刻线 b) 用深度千分尺测量 c) 用深度游标卡尺测量

3) 车削和测量时的注意事项如下:

①孔口要防止产生喇叭口;内端面要垂直;孔壁与内端面交角处应清角。

②内径百分表使用要正确。即测量前,应对百分表进行检查,如测头有无松动,表针是否灵活,转动后是否回到“零”位等。在使用时千万不能超过弹性极限,强迫把表放入较小的孔中;并且注意百分表的读法,应将长、短针结合起来观察,防止多转一圈,“+、-”数值要判别正确、清楚。

5. 车孔时产生废品的原因及预防方法

车孔时常因孔径尺寸不正确、内孔不圆、内孔有锥度和表面粗糙度达不到要求而造成废品。其各自的具体原因及预防方法如下:

(1) 孔径尺寸不正确

1) 造成的原因:

①测量方法不正确或看错读数,造成孔径尺寸不正确。

②车孔刀的几何角度选择不合理。由于车孔刀几何角度选择不合理,当车到孔中间时,切屑不能顺利排出,而挤在刀杆和孔壁之间。这样,可能将车孔刀挤入工件把孔车大,或将车孔刀挤离工件把孔车小。

③刀杆刚性差,强度低,车孔过程中发生“让刀”现象。

④车孔刀安装不正确,车到一定深度时,刀杆和孔壁相碰。若刀杆外侧和孔壁相碰,将会使车孔刀挤入工件,结果把孔径车大;若刀杆里侧和孔壁相碰,将会使车孔刀离开工件,结果把孔径车小。

⑤切削过程中产生积屑瘤,增大了背吃刀量将孔径车大。

⑥工件热胀冷缩。由于车孔散热条件差,切削温度高,没有使用切削液冷却,车孔时又没有考虑热胀冷缩对内孔尺寸的影响,造成工件在受热状态下尺寸合格,待工件冷却至常温时,尺寸收缩变小。

2) 预防方法:

①测量前,合理选择量具和测量方法。测量时,正确使用和仔细调整量具。做到认真负责,一丝不苟。

②合理选择车孔刀的几何形状和角度,既能保证切削轻快,又能保证排屑顺利。

③正确选择刀杆尺寸,在可能的情况下,尽可能选择粗壮的刀杆,刀杆从刀架中伸出长度要尽量短些。车孔前,先把车孔刀在毛坯孔内预走一遍,检查是否有相碰现象。

④增大前角、研磨前面,恰当地选择切削速度,避免积屑瘤产生。若产生积屑瘤应及时用磨石磨掉。

⑤精车时,采用充足的切削液,或粗车后待工件冷至室温再精车,或事先考虑热胀冷缩的影响,将孔径尺寸略车大一些。

(2) 内孔不圆

1) 造成的原因:

①孔壁薄,刚性差,装夹时发生变形。

②轴承间隙太大,主轴轴颈椭圆,齿轮咬合太紧,接触不良。

③工件加工余量不均匀,材料组织不均匀。

2) 预防方法:

- ①改善薄壁件的装夹方法，减小装夹变形。
- ②检查、调整机床，或对机床进行大修。
- ③增加半精车工步，把不均匀的余量车去。对工件进行均匀组织的热处理。

(3) 内孔出现锥度

1) 造成的原因：

①刀具材料耐磨性差，磨损严重。车孔过程中刀具不断磨损，车出的孔径逐渐变小，出现锥度。

②刀杆尺寸小，刚性差，背吃刀量和进给量又较大，使切削力较大，造成刀杆变形，产生“让刀”现象。

③车孔刀安装不正确，切削过程中刀杆和工件孔壁相碰。

④车床主轴轴线和床身导轨不平行。

⑤床身导轨歪曲，或磨损严重。

2) 预防方法：

①提高刀具使用寿命，选择耐磨性能好的刀具材料。

②在孔径允许的情况下，尽量选择大尺寸的刀杆。适当减小切削用量，以减小切削力，使刀杆变形减小。

③正确安装车孔刀，避免刀杆和孔壁相碰。

④校正机床水平，检查机床精度，校正车床主轴轴线与床身导轨的平行度误差。

⑤若机床因年久失修，失去精度不能满足加工要求，则应对机床进行大修。

(4) 表面粗糙度达不到要求

1) 造成的原因：

①车孔刀过度磨损，切削中产生振动。

②车孔刀的刀面和切削刃研磨不好，表面粗糙，刃口有缺陷。

③车孔刀的几何角度选择不正确，造成切削不顺利，排屑不畅快。

④车孔刀安装不正确，刀尖装得低于工件中心，切削过程中产生“扎刀”现象。

⑤切削用量选择不当。

⑥刀杆太细，刚性差，在切削过程中产生振动。

2) 预防方法：

①重新刃磨车孔刀或更换新车孔刀。

②仔细研磨车孔刀的前、后刀面和切削刃，使表面粗糙度达 R_a 值在 $0.4\mu\text{m}$ 以下。注意检查刃口是否有缺陷。

③合理选择车刀的几何形状和角度，注意刃倾角的选择，控制好切屑排出方向。

④正确安装车孔刀，应使车孔刀刀尖略高于工件中心（高出距离不超过车孔直径的百分之一）。

⑤适当降低切削速度，减小进给量。

⑥尽量选择粗壮的刀杆，增强刀杆刚性。

6. 车内沟槽时产生废品的原因及预防方法

车内沟槽时，常因沟槽位置不正确、横宽尺寸不合适和槽深太浅造成废品。

(1) 沟槽位置不正确

1) 造成的原因:

①车刀定位尺寸计算错了, 或把位置尺寸看错了。

②对刀时, 把床鞍、小滑板刻度看错了。

2) 预防方法:

①认真计算, 仔细对刀, 对刀时不要忘记加上切槽刀宽度。

②用滑板刻度盘确定车刀位置时, 细致耐心观察刻度, 仔细计算刻度盘圈数。应注意避免出现多一圈或少一圈的现象。

(2) 槽宽尺寸不合适

1) 造成的原因:

①当用内孔切槽刀一次切出槽宽尺寸时, 刀头宽度不准确。

②当槽宽尺寸比刀头宽度尺寸宽时, 借刀尺寸不正确。

2) 预防方法:

①刃磨内孔切槽刀时, 注意测量刀头宽度尺寸。

②用借刀方法车宽槽时, 仔细计算借刀量, 注意调整车刀位置。

(3) 槽深太浅

1) 造成的原因:

①刀杆刚性差, 产生“让刀”现象。

②精车前车槽时, 内孔留有精车余量, 车槽时没有把余量考虑进去。

2) 预防方法:

①采用刚性较好的刀杆, 切到尺寸后不要马上退出车刀, 让车刀停留一会, 待没有切屑出来时再退出车刀。

②把精车余量对槽深的影响考虑进去, 这时的切槽深度应是原槽深再加上单边余量尺寸。

7. 车削薄壁类零件产生废品的原因和预防措施

(1) 孔径大于要求尺寸的产生原因和预防措施

①如果是用铰刀铰孔, 由于没有仔细检查铰刀直径, 特别是新铰刀, 如果没有刃磨过刃口, 它的直径尺寸一般要大于要求尺寸。所以要求在铰孔前应仔细检验铰刀, 一方面测量直径尺寸是否符合要求, 另一方面检查刃口是否锋利, 有否磕碰和卷刃等缺陷。

②铰刀没有对准工件中心使孔扩大, 所以要求铰刀安装时, 要保证铰刀轴线和工件轴线相重合, 或采用浮动刀杆。

③如果是车孔, 可能是由于测量时出差错, 或在车孔时没及时测量。所以要求操作者必须仔细、认真、一丝不苟。

④车孔时, 车孔刀没装好, 在车削过程中刀杆与孔壁相碰, 迫使车孔刀扎入工件把里边孔径车大。因此, 要求操作者装刀时, 要特别注意正确安装车孔刀。装好后应将车孔刀在毛坯孔内预走一遍, 仔细检查是否刀杆和孔壁相碰。

⑤由于产生积屑瘤, 增加了刀尖伸出长度, 结果把孔径车大, 所以应尽量避免产生积屑瘤, 若出现积屑瘤应及时用磨石磨掉。

⑥小刀架定位不准。由于套类零件需用多把车刀进行加工, 当车完其他表面更换车孔刀车孔时, 由于小刀架定位不准, 虽然中滑板进给手柄在相同的刻度数值上, 但车孔刀的位置

和前次的位置不同了,结果把孔车大。所以,要求操作者在换刀转动刀架时,注意不要乱碰小刀架,并注意小刀架的定位位置。若定位装置损坏应及时进行修复。

(2) 孔径小于要求尺寸的造成原因和预防措施

①铰刀磨损严重,直径尺寸小于要求尺寸。所以应及时检查铰刀磨损情况,当发现铰刀超过磨损限度时应及时更换铰刀。

②铰钢类工件时,由于加工余量太大,铰孔过程中的弹性变形过大,当铰刀退出后,内孔弹性恢复使孔径缩小。克服办法是在铰孔前检查铰孔余量是否符合加工要求。

③如果是车孔,由于切削温度太高,孔径受热膨胀,在热状态下孔径尺寸经检查符合要求,当工件卸下冷至室温时则收缩,使直径变小。所以,要求操作者在车孔时把热胀冷缩对孔径尺寸的影响事先考虑进去,加工时在热态下直径尺寸大出收缩量,待冷至室温正好符合尺寸要求。

④用塞规检验孔径尺寸时,使用已经磨损了的塞规。虽然通端能通过,但实际尺寸已小于最小极限尺寸。所以,应及时检查塞规尺寸,注意磨损情况,一旦报废及时更换。

⑤小刀架定位不准(原因与上述情况相同,不过是使尺寸车小了,克服办法同前述)。

(3) 车出来的孔呈多边形的原因

①由于机床齿轮啮合过紧,接触不良,使机床主轴转动不圆滑,而呈断断续续的折线,结果使车出的内孔呈多边形。

②主轴箱各轴松动,间隙过大,使机床主轴转动不均匀,反映到车削内孔表面上则呈现多边形。

③主轴轴颈本身精度低,呈多边形,结果反映给工件内孔也呈多边形。

(4) 车出来的孔呈椭圆形的原因

①主轴轴颈呈椭圆形,超出公差范围,反映给工件内孔也呈椭圆形。

②轴承外径与箱体轴承孔接触不良,加上主轴弯曲,产生周期性摆动,而造成车出来的内孔呈椭圆形。

③装夹时,将工件夹扁。

(5) 车出来的孔呈锥形的原因

①主轴轴颈与轴承之间的间隙过大,当车刀切削工件时,工件右端距轴承远,退让量大,造成车出来的孔径右端小左端大。

②主轴轴线与床身导轨不平行。

③机床安装不当,使床身导轨扭曲,或机床经长期使用,使导轨磨损过大且不均匀。

8. 车削薄壁套筒类零件预防变形和振动的技术措施

由于薄壁套筒类零件本身壁薄,刚性差,受力、受热易变形,易产生振动,所以在车削中预防变形和振动,以保证加工质量,则是车削薄壁套筒类零件的两大技术难点。

(1) 预防变形的技术措施 在车削时,倘若薄壁套筒类零件直接用三爪自定心卡盘装夹,常常会出现如图 6-23 所示的现象。

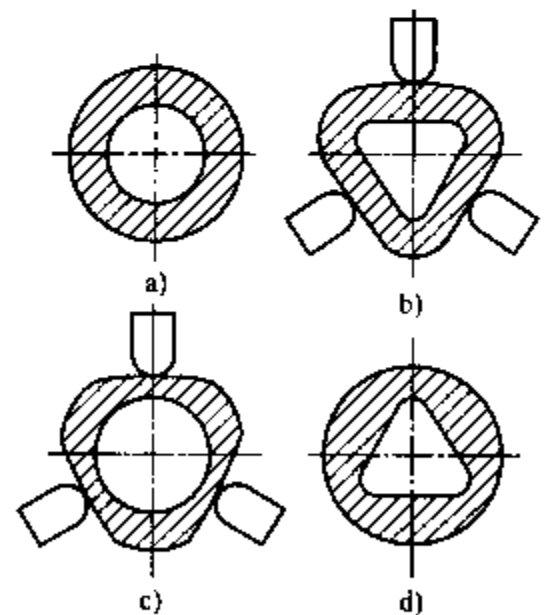


图 6-23 薄壁套筒类零件的装夹变形
a) 工件半成品形状 b) 工件夹紧后的形状 c) 车孔后的形状 d) 工件从三爪自定心卡盘上取下后的形状

刚性很差的薄壁套筒类零件，被三爪自定心卡盘夹紧后，则工件产生弹性变形，如图 6-23b 所示。在这种夹紧状态下，将孔车圆达到技术要求，此时工件的形状如图 6-23c 所示，内圆外不圆。当工件从三爪自定心卡盘上卸下后弹性变形恢复，使外圆恢复圆形，可是内孔却变为三角形，如图 6-23d 所示。这种装夹工件所造成的工件变形，将会影响加工零件的尺寸精度、形位精度以及表面粗糙度。

又由于工件壁薄，热容量小，所以切削热很容易引起工件热变形，使得工件尺寸难以控制。

车削薄壁类零件时，为防止或减小工件变形，可采取下列措施：

1) 粗、精车分开。由于切削力、夹紧力和切削热多方面的影响，会导致工件加工后产生变形，所以不宜在工件的一次装夹中完成全部加工，而是应粗、精车分开。

因为粗车时加工余量大，切削力和对工件的夹紧力也大，同时切削热也较多，所以要在粗车后，将工件慢慢地松开，调整一下夹紧力，以避免粗车时的受力变形和受热变形对精车的影响。在精车时，因为加工余量小，所以切削力不大，对工件的夹紧力也可以相对地小些，以减小夹紧变形。

2) 增加工件自身刚度。如图 6-24 所示，在薄壁套筒类零件一端增加一段尺寸较厚的工艺凸缘，则工件装夹时卡盘便夹在凸缘的部分，或采用一次装夹加工，待工件的内、外表面均车好后，再将工件切割下来。这样通过工艺凸缘，可增加工件自身刚度，减小工件受力时产生的变形。

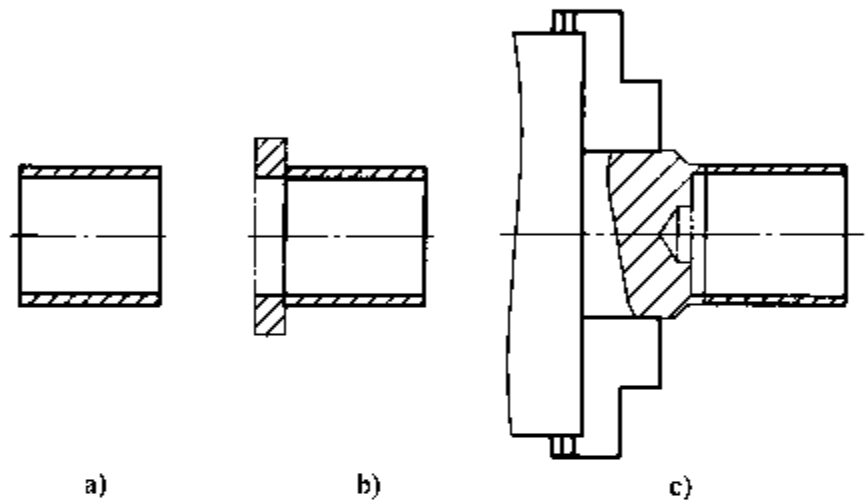


图 6-24 工件上增加工艺凸缘和一次装夹加工
a) 薄壁套 b) 工件上增加工艺凸缘 c) 一次装夹加工

图 6-25 所示为在薄壁套筒类零件两端增加工艺辐条，以增强工件的自身刚度，从而减小工件受力变形。

3) 采用合理的工件装夹方法

①工件一次装夹车削完毕。当车削长度短，形状精度和位置精度要求很高，并且加工数量不多时，对于这种情况下的薄壁套筒零件，可采用图 6-24c 所示的方法，在工件端增加一段尺寸较厚的工艺凸缘，用三爪自定心卡盘将毛坯夹紧，在一次装夹中完成全部加工，最后切断。采用这种装夹加工方法，可以获得较高的形状精度和相互位置精度，但是毛坯需要有一定长度的装夹部分，造成一定的材料浪费。

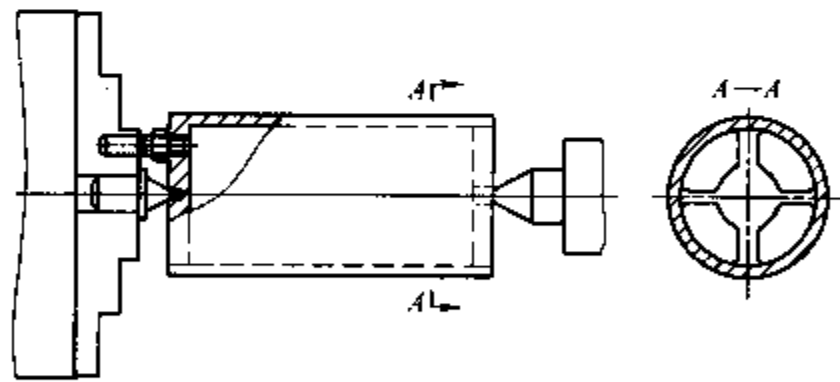


图 6-25 在薄壁套筒类零件两端增加工艺辐条

②用扇形软卡爪或开缝弹性套筒装夹工件。如果薄壁套筒类零件的加工工艺是先车好外圆，再以外圆为定位基准来加工内孔，可采用扇形软卡爪或开缝弹性套筒装夹工件，进行内孔车削，如图 6-26 所示。

图 6-26a 所示为用开口弹性套筒装夹薄壁套筒零件，它是将有开口的弹性套筒套在薄壁

套筒零件上，并且保证一定的间隙配合要求。然后用三爪自定心卡盘的卡爪夹紧弹性套筒，则弹性套筒便通过弹性变形抱紧被加工的薄壁套筒零件，从而避免或减轻其装夹变形。

图 6-26b 所示为用特制软卡爪装夹工件，它是将三爪自定心卡盘的三个卡爪换上三个特制的扇形软卡爪，以扇形软卡爪夹紧薄壁套筒零件的外圆进行车削内孔。这种扇形软卡爪增大了卡爪与工件的接触面积，所以可以减小或防止薄壁套筒类零件的装夹变形。

③轴向夹紧薄壁套筒零件。薄壁套筒零件在径向夹紧容易产生变形，如果采用轴向夹紧的办法，使夹紧力顺沿工件的轴向，则可以防止工件的夹紧变形。根据这个道理，可采用端面夹紧心轴装夹薄壁套筒零件，如图 6-27 所示。套筒零件以内孔为定位基准，套在两个可伸缩的锥形套筒 4 和 6 上，若拧紧螺母，则可通过夹紧滑套 2 和 8 压紧工件端面，将其夹紧。这种对工件的夹紧方式，由于端面心轴沿轴向将工件夹紧，于是改变了夹紧力的方向，不是作用在工件的径向上，所以可以减小夹紧变形。

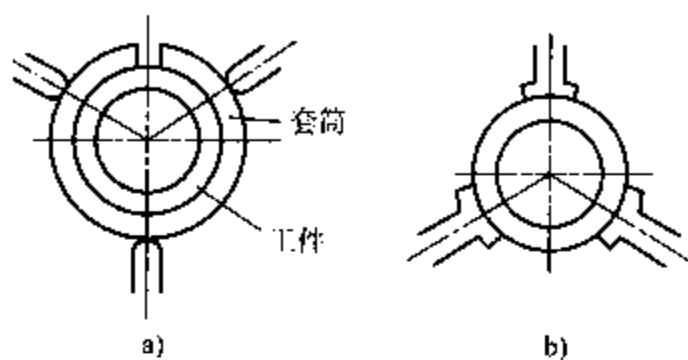


图 6-26 薄壁套筒类零件的装夹方法
a) 用开口套筒装夹 b) 用特制软卡爪装夹

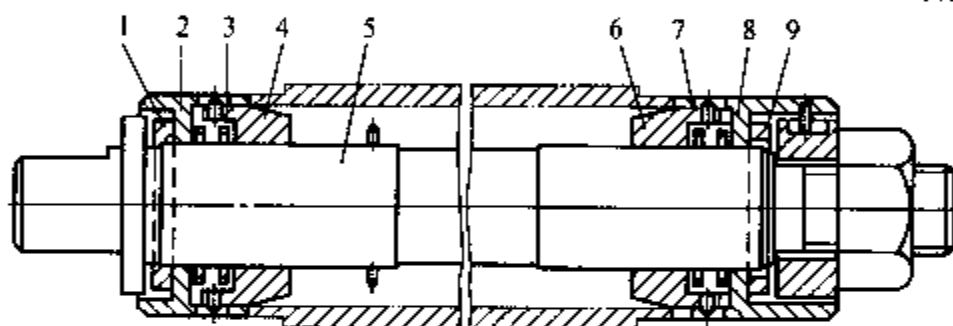


图 6-27 用端面夹紧心轴装夹薄壁套筒零件

1、9—球面垫圈 2、8—夹紧滑套 3、7—弹簧 4、6—锥形套筒 5—心轴体

除此之外，还有使用辅助支承、用弹簧心轴或液性塑料心轴等装夹工件的方法，其目的都是为了避免或减小薄壁套筒零件的装夹变形，以保证加工质量。

4) 合理地选择刀具几何角度及切削用量

①加工薄壁套筒类零件的刀具刃口必须锋利，不能使用钝刀车削，否则切削过程中会导致切削力、切削热增加，容易使工件变形。对刀具的几何角度推荐如下：

外圆精车刀： $\kappa_r = 90^\circ \sim 93^\circ$ ， $\kappa'_r = 15^\circ$ ， $\alpha_o = 14^\circ \sim 16^\circ$ ， $\alpha_{o1} = 15^\circ$ ， γ_o 适当增大。

内孔精车刀： $\kappa_r = 60^\circ$ ， $\kappa'_r = 30^\circ$ ， $\gamma_o = 35^\circ$ ， $\alpha_o = 14^\circ \sim 16^\circ$ ， $\alpha_{o1} = 6^\circ \sim 8^\circ$ ， $\lambda_s = 5^\circ \sim 6^\circ$ 。

例如，欲加工图 6-28a 所示工件，工件的材料为 45 或 Q235。所用的刀具材料为 YT15，外圆精车刀和内孔精车刀如图 6-28b、c 所示。

②在切削用量的三个要素中，背吃刀量对切削力的影响最大，过大的背吃刀量会使切削力增大，从而导致工件变形。加工中通常通过增加走刀次数或适当提高进给量，来防止薄壁套筒类零件变形。选择切削用量时，可参见表 6-1。

5) 使用切削液。加注切削液可以带走大量切削热，减少工件的温升，以减小工件的热变形；同时还可以减轻刀具与工件的摩擦，从而提高刀具的使用寿命及工件的加工质量。

6) 加工后的薄壁套筒类零件应于垂直方向放置。尽管在加工中可以采取很多防止变形

的放法，但是要切记不可将加工后的薄壁套筒类零件平放在平台上。如果是平放，由于工件与平台间为线接触，则这种情况下，任何一点受外力作用时，在内应力的影响下，都会使工件变形，从而降低了工件的精度。其正确的放置方法为：使加工后的薄壁套筒类零件的轴线处于垂直方向放置在平台上保存，以增大它与平台的接触面积，从而减小变形。

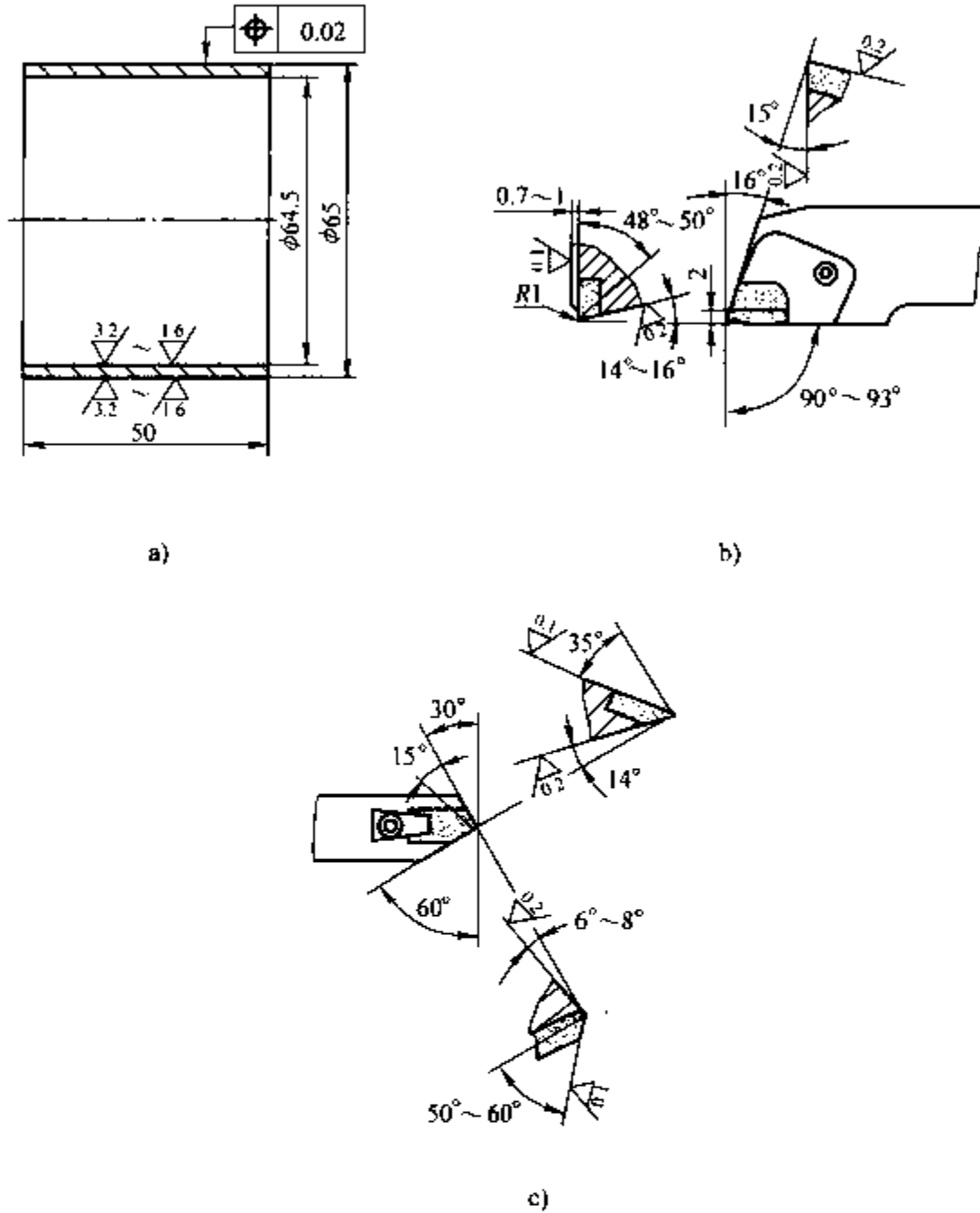


图 6-28 车削薄壁套筒零件的车刀

a) 薄壁套工件 b) 外圆精车刀 c) 内圆精车刀

表 6-1 精车薄壁套筒类零件的切削用量

工件材料	刀具材料	切削用量		
		$v/(m/min)$	$f/(mm/r)$	a_p/mm
45	YT15	100 ~ 130	0.08 ~ 0.16	0.05 ~ 0.5
铝合金	YA6 YG6X	400 ~ 700	0.02 ~ 0.03	0.05 ~ 0.1

(2) 预防振动的技术措施 除了防止变形之外，采取技术措施，减小或防止薄壁套筒类零件在车削过程中的振动，则是另一个技术难点。其措施如下：

1) 提高工艺系统刚性

①将车床主轴、滑板和刀架等有相对运动的零部件之间的间隙调整至最佳状态，不允许运动副有较大的间隙或较大的窜动。

②保证夹具和车刀有足够的刚性。

③选择刚性好的装夹工件方法。

2) 选择合理的车刀几何角度

①适当增大车刀前角、降低切削力,使切削轻快,可减小振动。

②为了减小切削力在径向的切削分力,以防止和减轻切削振动,可适当选用较大的主偏角及副偏角、较小的刀尖圆弧半径和负倒棱宽度。

③适当地减小后角或在后刀面上鑿出消振棱,可对振动起阻尼作用,有利于减小或防止车削过程中的振动。

3) 用橡胶片或橡胶管(带)减振

①薄壁套筒件外圆已加工好,在车削内孔时,为了减振和消振,可将橡胶管或橡胶带均匀地绕在工件的外圆面上,然后再进行车削内孔,这样可有助于车孔过程中减振。

②薄壁套筒件内孔已加工好,在车削外圆时,为了减振和消振,可将一块橡胶片卷成筒状塞入工件的孔内。这样,车削时,在离心力的作用下橡胶片紧贴孔壁,既可增加工件的刚性,又可吸收振动,从而实现减振和消振的作用。

9. 圆锥面的特点及车削圆锥时须做的有关计算

圆锥分为标准圆锥、一般用途圆锥和特殊用途圆锥三大类。常用的标准圆锥有两种,即莫氏圆锥(见表6-2)和米氏圆锥。

表 6-2 莫氏圆锥的锥度与圆锥角

莫氏圆锥	锥 度	圆 锥 角	莫氏圆锥	锥 度	圆 锥 角
No. 0	1:19.212	2°58'54"	No. 4	1:19.254	2°58'31"
No. 1	1:20.047	2°51'26"	No. 5	1:19.002	3°0'53"
No. 2	1:20.020	2°51'41"	No. 6	1:19.180	2°59'12"
No. 3	1:19.922	2°52'32"			

米氏圆锥按尺寸大小分为八个号码,即4、6、80、100、120、140、160和200号。其中号码数就是圆锥大端的直径,各号码圆锥的锥度均为1:20,圆锥角为2°51'51"。

国家标准(GB/T 157—2001)中规定的一般用途圆锥的锥度和圆锥角,见表6-3。

表 6-3 一般用途圆锥的锥度和锥角 (GB/T 157—2001)

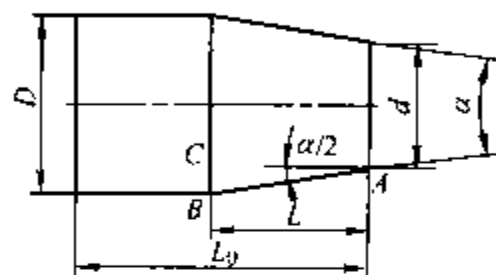
分类	基 本 值	圆 锥 角	锥 度 C	应 用 举 例
一 般 用 途 锥 度	1:100	0°34'23"		承受振动和交变载荷的连接零件
	1:50	1°8'45"		圆锥销、定位销、圆锥销孔的铰刀、镶条
	1:30	1°54'35"		锥形主轴颈、铰刀及扩孔钻的锥度
	1:20	2°51'51"		公制工具圆锥、锥形主轴颈、圆锥螺栓
	1:15	3°49'6"		受轴向力的锥形零件的接合面,主轴与齿轮的配合面
	1:12	4°46'19"		部分滚动轴承内环的锥孔
	1:10	5°43'29"		主轴滑动轴承的调整衬套,受轴向力、径向力及转矩的接合面,弹性圆柱销联轴器的圆柱销接合面
	30°		1:1.866	传动用摩擦离合器,弹簧卡头
	45°		1:1.207	管路连接中,轻型螺旋管接口的锥形密合
	60°		1:0.866	机床顶尖,工件中心孔
	75°		1:0.652	直径小于(或等于)8mm的丝锥及铰刀的反顶尖
	90°		1:0.500	沉头螺钉、沉头铆钉、阀门的锥度,重型工件的顶尖孔,重型机床顶尖,外螺纹、轴及孔的倒角
120°		1:0.280	螺纹的内倒角,中心孔的护锥	

圆锥表面是圆柱表面的特殊形式，它们的区别在于，圆柱表面的素线与其轴线平行，而圆锥表面的素线与其轴线成一定的角度。在机械制造产品中，圆锥表面被广泛用来作配合面。这种配合面有两个显著的特点：

- 1) 当圆锥表面的圆锥角较小时，可传递很大的转矩。
- 2) 圆锥表面接合的同轴度很高，并且拆卸方便。虽经多次装拆，仍能保持精确的定心作用。

车削圆锥表面时常做的计算列于表 6-4 中。

表 6-4 车削圆锥时所做的有关计算及其举例



D —最大圆锥直径(mm)
 d —最小圆锥直径(mm)
 α —圆锥角($^\circ$)
 $\alpha/2$ —圆锥半角($^\circ$)
 L_0 —圆锥体的全长(mm)
 L —圆锥体的锥形部分长度(mm)
 C —圆锥体的锥度

名称	计算公式	应用举例
最大圆锥直径 D	$D = d + CL$ $D = d + 2L \tan \alpha/2$	已知: $C = 1:16$, $L = 48\text{mm}$, $d = 18\text{mm}$ 。 求 $D = ?$ 解: $D = \left(18 + \frac{1}{16} \times 48 \right) \text{mm} = 21\text{mm}$
最大圆锥直径 D		已知: $\alpha/2 = 9^\circ 27' 44''$, $d = 30\text{mm}$, $L = 60\text{mm}$ 。 求 $D = ?$ 解: $D = (30 + 2 \times 60 \times \tan 9^\circ 27' 44'') \text{mm} = 50\text{mm}$
最小圆锥直径 d	$d = D - CL$ $d = D - 2L \tan \alpha/2$	已知: 有一圆锥孔, $C = 1:10$, $L = 30\text{mm}$, $D = 24\text{mm}$ 。 求 $d = ?$ 解: $d = \left(24 - \frac{1}{10} \times 30 \right) \text{mm} = 21\text{mm}$
		已知: $\alpha/2 = 5^\circ 44'$, $D = 45\text{mm}$, $L = 60\text{mm}$ 。 求 $d = ?$ 解: $d = (45 - 2 \times 60 \times \tan 5^\circ 44') \text{mm} = 33\text{mm}$
圆锥半角 $\alpha/2$	$\tan \alpha/2 = \frac{D - d}{2L}$ $\tan \alpha/2 = \frac{C}{2}$	已知: $D = 24\text{mm}$, $d = 22\text{mm}$, $L = 32\text{mm}$ 。 求 $\alpha/2 = ?$ 解: $\tan \alpha/2 = \frac{24 - 22}{2 \times 32} = 0.03125$ $\alpha/2 = 1^\circ 47'$
圆锥角 α	当 $\alpha < 6^\circ$ 时, 可采用下面的近似公式: $\alpha/2 \approx 28.7^\circ \times \frac{D - d}{L}$ $\alpha/2 \approx 28.7^\circ \times C$	用近似公式求解: $\alpha/2 \approx 28.7^\circ \times \frac{24 - 22}{32} = 1^\circ 47'$

(续)

名称	计算公式	应用举例
圆锥部分长度 L	$L = \frac{D-d}{C}$ $L = \frac{D-d}{2 \tan \frac{\alpha}{2}}$	已知: $D = 50\text{mm}$, $d = 30\text{mm}$, $\frac{\alpha}{2} = 9^{\circ}27'44''$ 求 $L = ?$ 解: $L = \frac{(50-30)\text{mm}}{2 \times \tan 9^{\circ}27'44''} = 60\text{mm}$
锥度 C	$C = \frac{D-d}{L}$ $C = 2M$ $C = 2 \tan \frac{\alpha}{2}$	已知: $D = 19\text{mm}$, $d = 18\text{mm}$, $L = 20\text{mm}$, 求 C 和 M . 解: $C = \frac{19-18}{20} = 1:20$ $M = \frac{19-18}{2 \times 20} = 1:40$
斜度 M	$M = \frac{D-d}{2L}$ $M = \frac{C}{2}$ $M = \tan \frac{\alpha}{2}$	已知: $\frac{\alpha}{2} = 9^{\circ}27'44''$. 求 C 和 M . 解: $M = \tan 9^{\circ}27'44'' = 1:6$ $C = 2M = 1:3$

10. 在车床上车削圆锥表面的四种方法及应用比较

在车床上车削圆锥表面的方法主要有四种, 即宽刀法、转动小滑板法、偏移尾座法和靠模法。各种车削方法的工作原理、特点及应用列于表 6-5 中。

表 6-5 四种圆锥表面车削方法及应用比较

车削方法	工作原理	特点及应用
宽刀法	宽刀车刀的主切削刃与工件轴线的夹角等于工件的圆锥半角 $\alpha/2$	1. 可车削内、外圆锥面 2. 受到刀刀长度限制, 只能车削短锥面
转动小滑板法	小滑板绕转盘转动被加工工件的圆锥半角 $\alpha/2$, 操作小滑板手柄, 则车刀即沿着工件母线车出锥面 小滑板转角 $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D-d}{2L}$	1. 可车削内、外圆锥面 2. 受小滑板行程限制, 只能车较短锥面 3. 圆锥半角 $\alpha/2$ 大小不限 4. 只能手动进给 5. 适用于单件小批生产
偏移尾座法	尾座偏移一个距离 S , 使工件锥面母线平行于车刀纵向进给方向 $S = \frac{D-d}{2L} L_0 \text{ 或 } S = \frac{C}{2} L_0$	1. 只能加工外锥面, 且圆锥角较小 2. 能车削较长的锥面 3. 能自动进给
靠模法	在车刀作纵向进给的同时, 还要作横向进给运动。这个横向进给运动, 依靠靠模来实现	1. 可车削内、外锥面 2. 能车削长锥面 3. 能自动进给 4. 加工质量好, 生产率高 5. 需要有靠模装置, 适合大批量生产

11. 采用转动小滑板法车削外圆锥的加工步骤和注意事项

在单件小批生产中，车削较短的圆锥面时，可用转动小滑板的方法。具体操作的关键点是，按工件的要求，将小滑板转动一定的角度，使车刀的运动轨迹一定与所要车削的圆锥素线平行。

(1) 加工步骤

1) 小滑板的调整

①小滑板转动角度计算。小滑板应转动的角度为圆锥半角 $\alpha/2$ ，可用下式计算

$$\tan\alpha/2 = \frac{C}{2} = \frac{D-d}{2L}$$

式中 $\alpha/2$ ——圆锥半角 ($^{\circ}$)；

C ——锥度；

D ——最大圆锥直径 (mm)；

d ——最小圆锥直径 (mm)；

L ——锥形部分长度 (mm)。

车削莫氏圆锥和标准圆锥时，小滑板应转动的角度见表 6-6。

表 6-6 小滑板转动角度

	名 称	锥 度	小滑板转动角度
莫氏圆锥	0	1:19.212	1°29'27"
	1	1:20.047	1°25'43"
	2	1:20.020	1°25'50"
	3	1:19.922	1°26'16"
	4	1:19.254	1°29'15"
	5	1:19.002	1°30'26"
	6	1:19.180	1°29'36"
标准圆锥	30°	1:1.866025	15°
	45°	1:1.207107	22°30'
	60°	1:0.866025	30°
	75°	1:0.651613	37°30'
	90°	1:0.500000	45°
	120°	1:0.288675	60°
	0°17'11.3"	1:200	0°08'36"
	0°34'22.6"	1:100	0°17'11"
	1°8'45.2"	1:50	0°34'23"
	1°54'34.9"	1:30	0°57'17"
	2°51'51.1"	1:20	1°25'56"
	3°49'5.9"	1:15	1°54'33"
	4°46'18.8"	1:12	2°23'09"
	5°43'29.3"	1:10	2°51'45"
	7°9'9.6"	1:8	3°34'35"
8°10'16.4"	1:7	4°05'08"	
11°25'16.3"	1:5	5°42'38"	
18°55'28.7"	1:3	9°27'44"	

②转动小滑板的方法。先将小滑板下面转盘上的螺母松开；然后把转盘转至所需要圆锥半角 $\alpha/2$ 的刻度上，与基准零线对齐；最后再把已松开的螺母拧紧。按图样上标注的角度，确定小滑板应转过的角度，应用举例如图 6-29 所示。

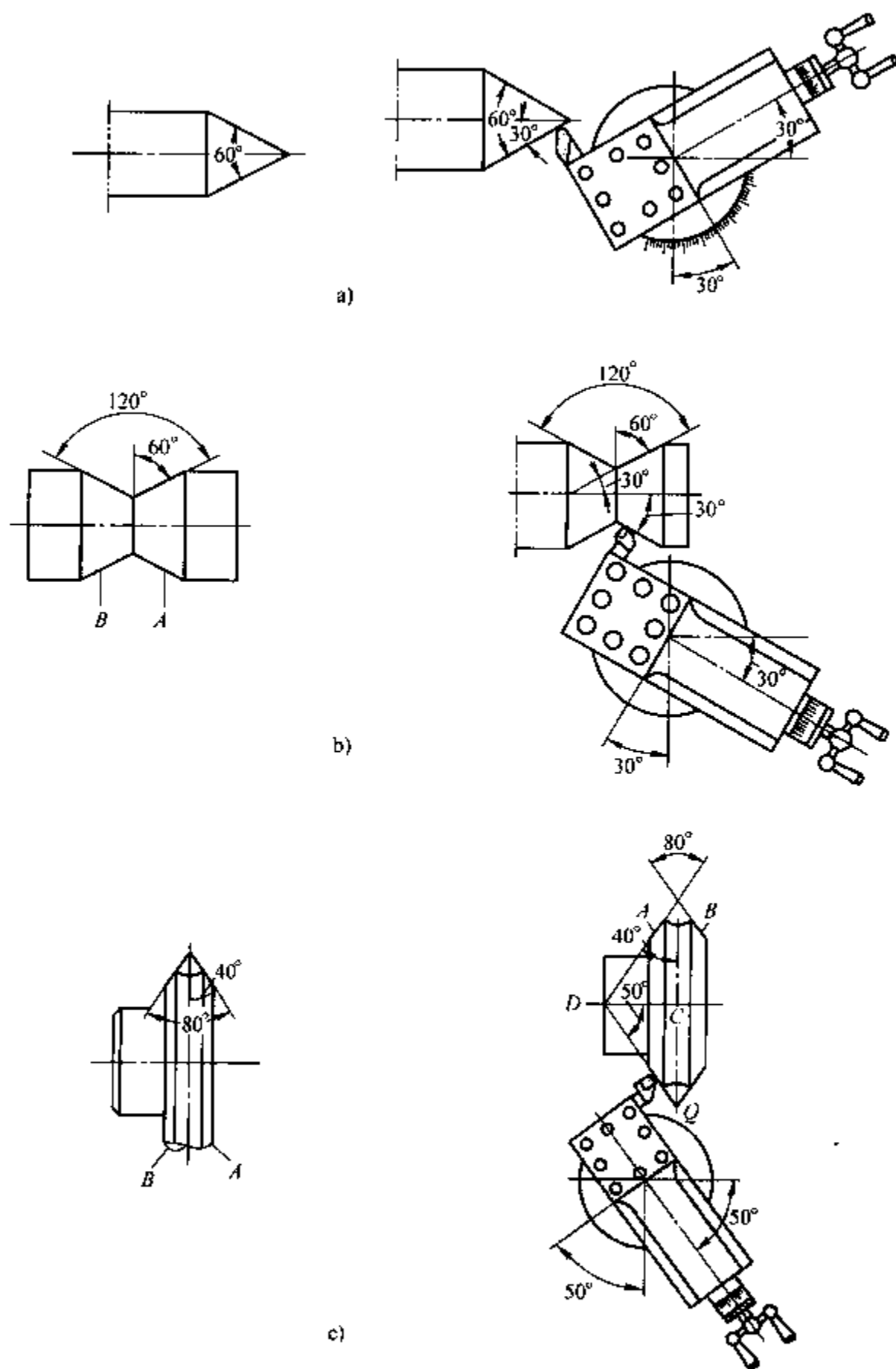


图 6-29 图样上标注的尺寸和小滑板应转过的角度

a) 小滑板应转的角度为 30° b) 小滑板应转的角度: A 面 30° , B 面 30°

c) 小滑板应转的角度: A 面 50° , B 面 50°

应当指出，当计算出的圆锥半角或图样上注明的圆锥半角不是整数时，如 $\alpha/2 = 2^\circ 28'$ ，这时小滑板的转角可在 $2^\circ \sim 3^\circ$ 间进行估计，试切后逐步校正。

③调整好小滑板镶条，使其松紧程度合适。

④根据工件锥面长度调整小滑板行程长度。

⑤车整外圆锥（工件大端靠主轴，小端靠尾座方向）时，小滑板应按逆时针方向转一个圆锥角。

2) 车削圆锥并控制尺寸。车削圆锥时，控制尺寸常用方法如下：

①用卡钳和千分尺测量，以控制尺寸。

②用圆锥量规控制尺寸。当锥度已校准，而大端或小端的尺寸还未能达到要求时，则需再进给车削。这种情况下控制背吃刀量的方法有两种：

一是计算法。根据量规阶台中心到工件小端的距离 a ，用下式计算背吃刀量 a_p （见图 6-30）。

$$a_p = a \tan \alpha / 2$$

或

$$a_p = a \frac{C}{2}$$

式中 a_p ——当圆锥量规划线或阶台中心面还未离开工件端面 a 长度时的背吃刀量（mm）；

$\alpha/2$ ——圆锥半角（°）；

C ——锥度。

二是移动床鞍法。根据量出长度 a ，使车刀轻轻接触工件小端表面，接着移动小滑板使车刀离开工件端面一个距离 a ，然后移动床鞍使车刀同工件端面接触，这时车刀已切入一个需要的深度。

3) 检验锥度

①使用游标万能角度尺检验锥度，它可以测量外圆锥 $0^\circ \sim 320^\circ$ 范围内的任何角度，其分度值为 $2'$ 。

图 6-31 所示为游标万能角度尺测量圆锥面的几种方法。即先把游标万能角度尺调整到要测量的角度，而后将游标万能角度尺的角尺面与工件端面通过工件中心靠平，再把游标万能角度尺的直尺与工件斜面接触。通过透光的大小来校准小滑板的角度的，反复多次，直至达到要求为止。

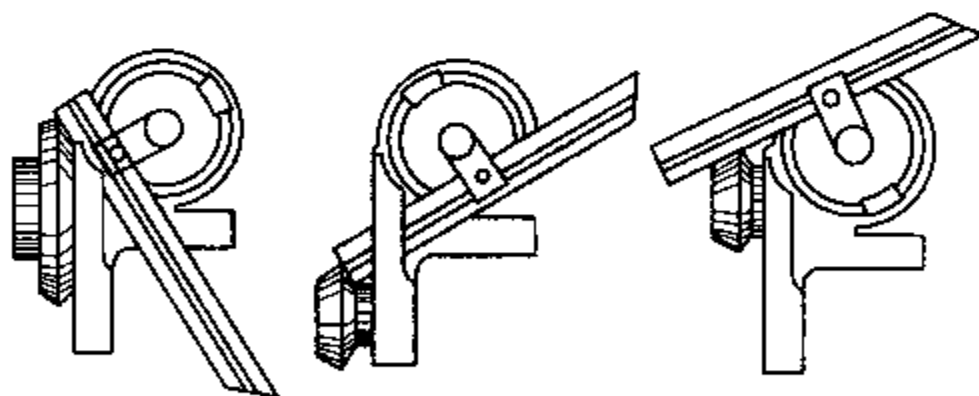


图 6-31 用游标万能角度尺检验锥度

②用量规检验锥度。这种方法的要点是：先在工件上顺着素线薄而均匀地涂上两条显示剂；然后将量规轻轻套在工件上，并在半圈之内转动；将量规从工件上取下，观察工件锥面上的摩擦痕迹，以此鉴别小滑板应转方向，并逐渐校准小滑板的角度的。

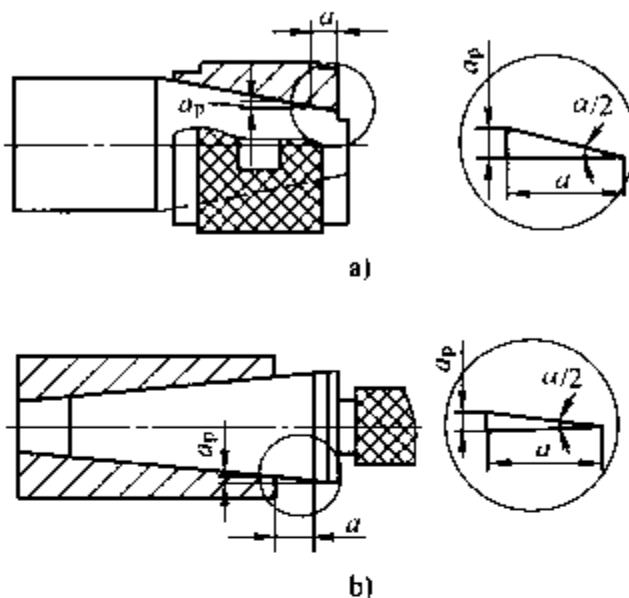


图 6-30 车圆锥控制尺寸的方法

a) 车外圆锥 b) 车内圆锥

③用角度样板检验锥度。在大批量生产中，可采用专用的角度样板来检验锥度。把测量刀口与被测表面紧密接触，用透光法检验圆锥角是否正确，如图 6-32 所示，精确的样板检验误差可小于 $5'$ 。

(2) 注意事项

1) 车刀刀尖必须对准工件旋转中心 (车刀刃磨后重新安装时，应重新调整刀垫的厚度)，避免产生双曲线 (素线不直) 误差。

2) 车削外圆锥前对圆柱直径的要求，一般应按外锥大端直径留余量约 1mm 。

3) 车刀切削刃要保持锋利，工件表面要一刀车出。

4) 手动小滑板进给应均匀。

5) 粗车时，背吃刀量不宜过大，应先校准锥度，以防工件车小而报废。通常留精车余量 0.5mm 。

6) 在转动小滑板时，应稍大于圆锥半角 $\alpha/2$ ，然后逐次校准。

7) 小滑板不宜过松，以防工件表面车削痕迹粗细不一。

8) 用游标万能角度尺检验锥度时，测量边应通过工件中心；用量规检验时，涂色应薄而均匀，转动量一般在半圈之内，多转容易造成误差。

12. 采用偏移尾座法车削外圆锥面及注意事项

在两顶尖之间车削圆柱体时，床鞍走刀方向是平行于主轴中心线移动的。如果将尾座横向移动距离 S 后 (见图 6-33)，则工件的旋转中心跟纵向走刀相交成一个角度，其大小等于工件的圆锥半角 $\alpha/2$ ，因此工件就被车成了圆锥体。

尾座偏移的方向应按下列原则进行：工件锥体的大端位于尾座处时，尾座应当向离开操作者的方向偏移；相反，当工件锥体的小端位于尾座处时，则尾座应当向靠近操作者的方向偏移。

尾座偏移距离 S 的计算公式为

$$S = \frac{D-d}{2L} L_0$$

或

$$S = \frac{C}{2} L_0$$

式中 S ——尾座偏移量 (mm)；

D ——大端直径 (mm)；

d ——小端直径 (mm)；

L ——工件圆锥部分长 (mm)；

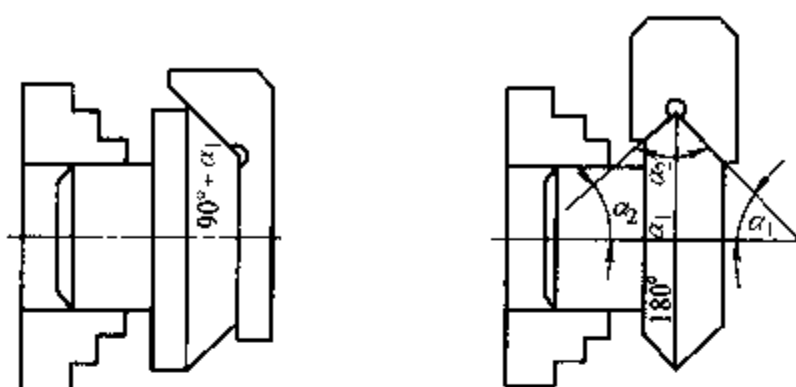


图 6-32 用角度样板检验锥度

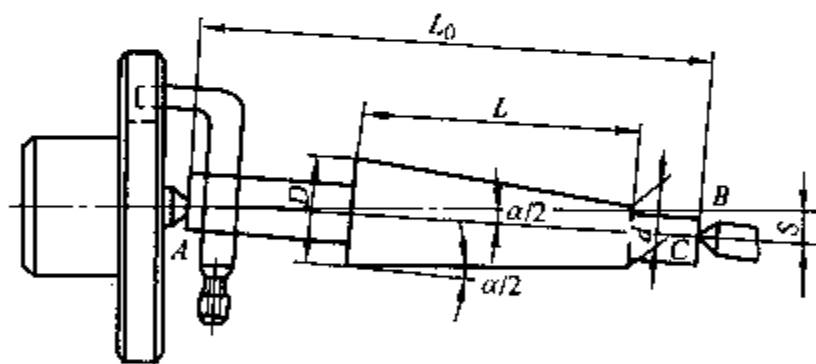


图 6-33 采用尾座偏移法车削外圆锥示意图

L_0 ——工件的总长 (mm)。

例3 有一圆锥体工件, 已知 $D = 80\text{mm}$, $d = 75\text{mm}$, $L = 100\text{mm}$, $L_0 = 120\text{mm}$, 求尾座偏移量 S 。

$$\text{解: } S = \frac{D-d}{2L} L_0 = \frac{80-75}{2 \times 100} \times 120\text{mm} = 3\text{mm}$$

(1) 常用的偏移尾座方法

1) 利用尾座的刻度偏移尾座 (图 6-34)。即先把尾座上下层零线对齐, 然后转动螺钉 1 和 2, 把尾座上层移动一个偏移量 S 。这种方法很简单, 一般尾座上有刻度的车床都能应用。

2) 利用百分表偏移尾座 (图 6-35)。即先把百分表装在刀架上, 使百分表的测头与尾座套筒接触, 然后偏移尾座, 当百分表指针移动至偏移量 S 时, 就把尾座固定。用这种方法偏移尾座比较准确。

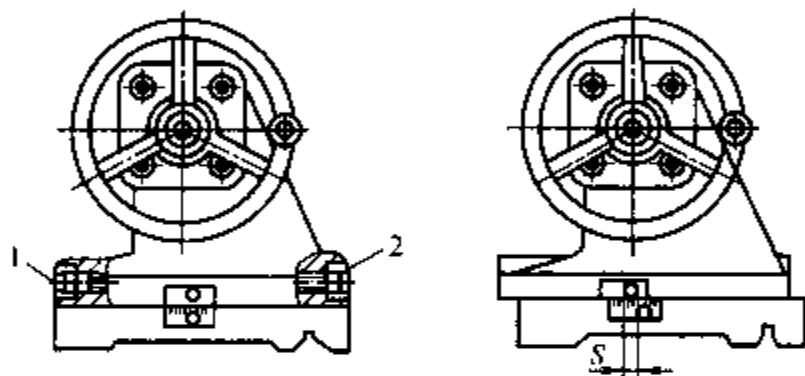


图 6-34 应用刻度偏移尾座的方法

1、2—螺钉

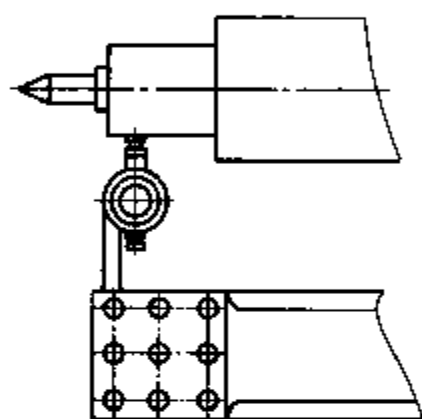


图 6-35 利用百分表

偏移尾座的方法

3) 应用锥度量棒 (或样件) 偏移尾座 (图 6-36)。把锥度量棒顶在两顶尖之间, 在刀架上装一个百分表, 使百分表测头与量棒接触, 并对准中心, 再偏移尾座, 然后移动床鞍, 注意观察百分表在量棒两端的读数是否相同。如果其读数不相同, 则再偏移尾座, 直至百分表在两端的读数相同为止。应当指出, 量棒的总长必须等于车削工件的总长, 否则校出的锥度也不会准确。

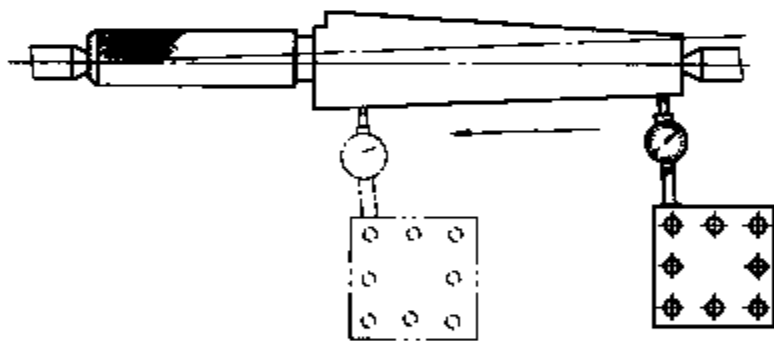


图 6-36 用锥度量棒偏移尾座的方法

用偏移尾座法车削外圆锥, 在任何卧式车床上都可以应用, 只适宜于加工锥度较小、长度又较长的工件。

4) 利用中滑板刻度偏移尾座 (图 6-37)。即在刀架上装一根铜棒, 摇进中滑板, 使铜棒与尾座套筒接触, 再根据刻度把铜棒退出 S 距离 (注意去掉丝杠和螺母的间隙), 然后把尾座偏移跟铜棒接触即可。

(2) 车削时的注意事项

- 1) 车刀应对准工件中心, 以防素线不直。
- 2) 粗车时, 背吃刀量不宜过大, 应先校准锥度, 以防因工件车小而报废。
- 3) 随时注意顶尖的松紧程度及磨损情况。

- 4) 用量规检验锥度时, 涂色应薄而均匀, 转动量不应超过半圈。
- 5) 偏移尾座时, 要注意它的偏移方向。
- 6) 对于成批工件, 其长度及中心孔的深浅应一致, 否则各工件的锥度不相等。

13. 用宽刀法和靠模法车削圆锥面

(1) 用宽刀法车削外圆锥 宽刀法车削外圆锥, 一般适用于车削较短的圆锥体, 如图 6-38 所示。如果工件的圆锥素线长度超过车刀切削刃长度, 也可以用多次接刀法加工, 但是接刀处必须平整。

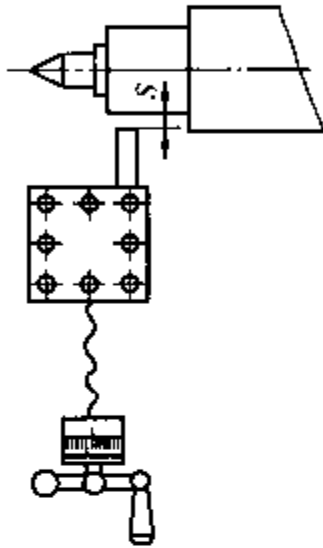


图 6-37 利用中滑板刻度
偏移尾座的方法

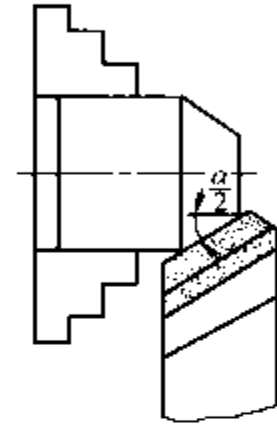


图 6-38 用宽刀法车削圆锥面

车削所用车刀的切削刃必须平直; 在装刀时, 应保证切削刃与车床主轴轴线的夹角等于工件的圆锥半角 $\alpha/2$; 同时要求机床、刀具和工件所组成的工艺系统有足够的刚性, 以防在加工中引起振动。

(2) 用靠模法车削圆锥面 当圆锥面长度较长、精度要求较高或生产批量较大时, 适用于靠模法车削。

1) 用靠模法车削圆锥面的工件原理如图 6-39 所示。在车床的床身后安装一块固定靠模板 1, 其斜角可根据工件的圆锥半角来调整。刀架 3 通过中滑板与滑块 2 刚性连接 (设无中滑板丝杠)。当床鞍纵向进给时, 滑块 2 沿着固定靠模板中的斜面移动, 并带动车刀作平行于靠模板的斜面移动, 其运动轨迹 $ABCD$ 为平行四边形, $BC \parallel AD$ 。因此, 车出了圆锥。

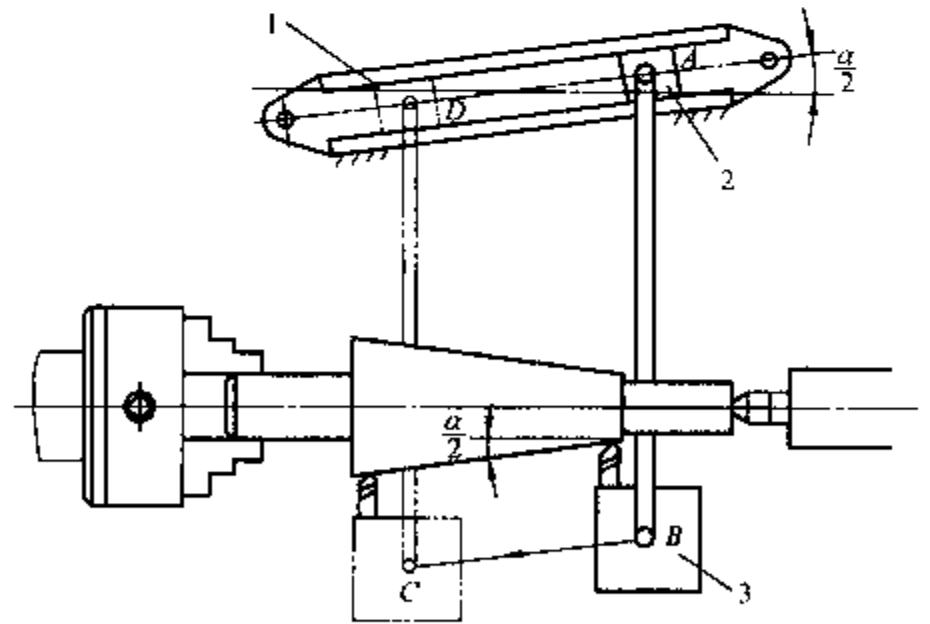


图 6-39 靠模法车削圆锥的工作原理

1—靠模板 2—滑块 3—刀架

2) 靠模装置的一般结构。图 6-40 为一种车削锥角小于 12° 的靠模装置, 它的靠模板支架 6 固定在车床床身上, 靠模板 4 装在靠模支架 6 上, 并可绕中心轴 2 旋转, 与被加工工件 8 的轴线成一尖角

β ，然后用两个螺钉1将靠模板4固定在所需要的位置上。滚轮3在弹簧7的作用下，紧靠在靠模板4的工作表面上。抽掉中滑板的丝杠，滚轮3由滚轮支架5同中滑板连接。当床鞍作纵向移动时，滚轮3则沿着靠模板4的斜面移动，从而实现车刀在作纵向进给的同时作横向进给运动。刀架转 90° ，车刀9安装于刀架上，并注意与主轴轴线相垂直。进刀时，转动手柄10即可。

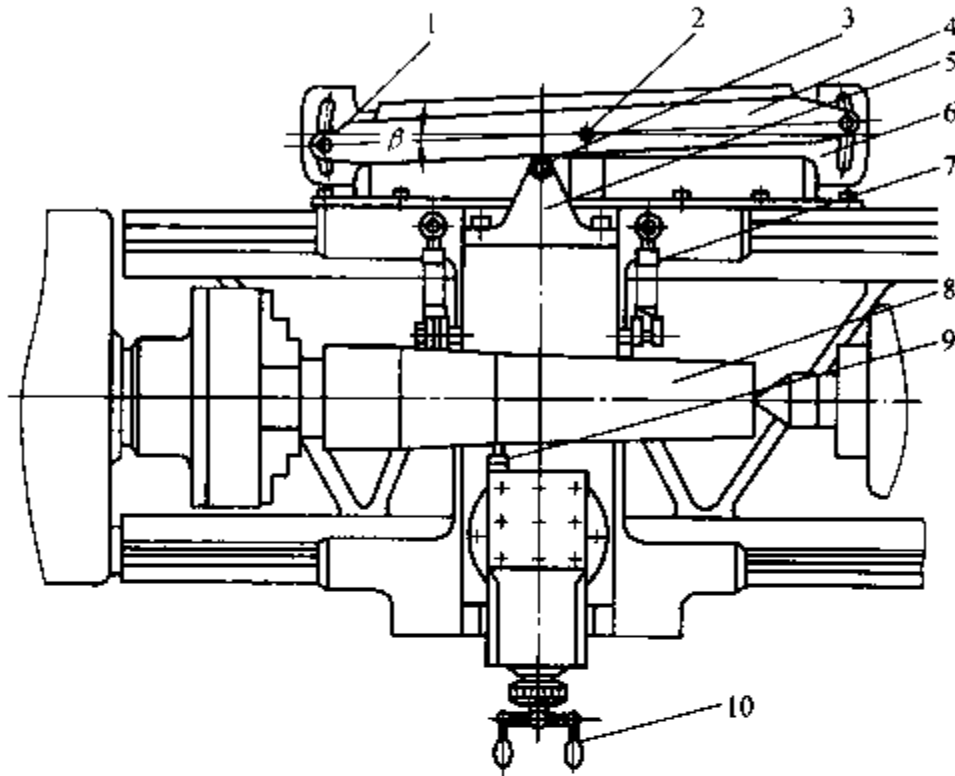


图 6-40 车削圆锥角小于 12° 的靠模装置

1—螺钉 2—中心轴 3—滚轮 4—靠模板 5—滚轮支架
6—靠模支架 7—弹簧 8—工件 9—车刀 10—手柄

用靠模法车削圆锥，锥度调整方便、准确，可自动进给车削内、外圆锥，车削的锥度质量高。但是，靠模装置的角度调节范围小，一般在 12° 以内。

14. 车削内圆锥的方法

(1) 转动小滑板法车削内圆锥 转动小滑板法车削内圆锥如图 6-41 所示。安装工件时，要将锥孔大端直径位置朝向外端。先用直径小于内锥孔小端直径 $1 \sim 2\text{mm}$ 的钻头钻孔；再用前面介绍的小滑板调整方法转动小滑板，使车刀的运动轨迹与工件轴线相交成圆锥半角 $\alpha/2$ ；然后进行车削内圆锥。

图 6-42 所示为车削配套圆锥面的方法。车削时，先把外圆锥车好，这时小滑板的位置不变，即小滑板转动的角度不变，可是要将车孔刀反装，使前刀面向下。主轴仍然正转，使车刀从外向里车削，直到车至需要的尺寸为止。

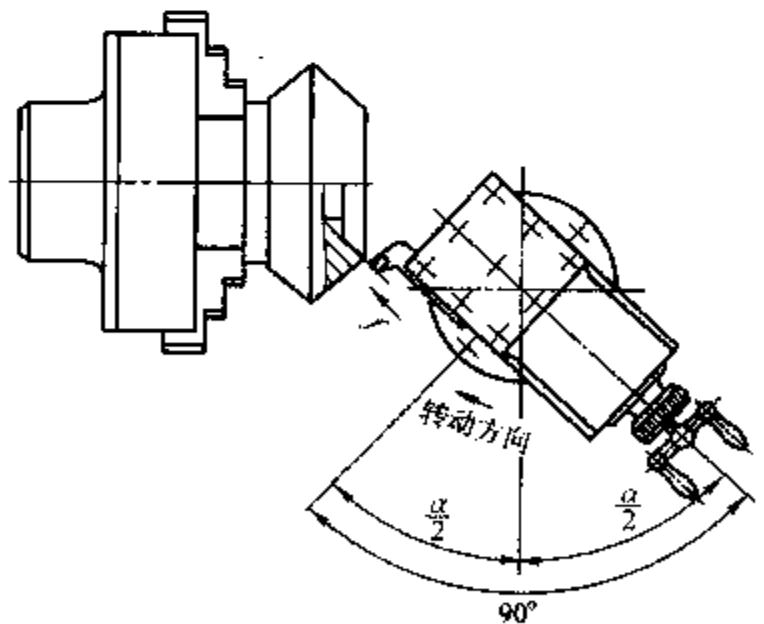


图 6-41 转动小滑板法车削内圆锥

用这种方法车削的圆锥表面，由于小滑板角度不变，所以可获得很准确的圆锥配合表面。

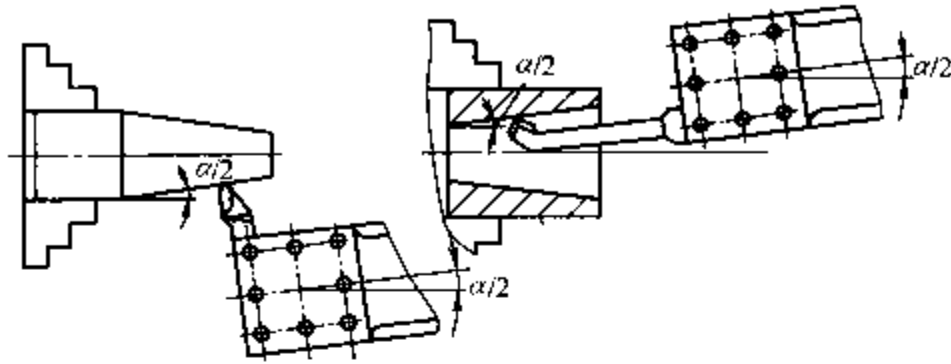


图 6-42 车削配套圆锥面的方法

图 6-43 所示为车削对称内圆锥的方法。先把外端内圆锥加工正确，不变动小滑板的角
度，把车孔刀反装，并摇向对面，再车削里面的内圆锥。用这种方法车削对称内圆锥，不但能保证两对称内圆锥的锥度相等，而且工件可在一次装夹中完成两对称内圆锥的加工，也能获得较高的同轴度。

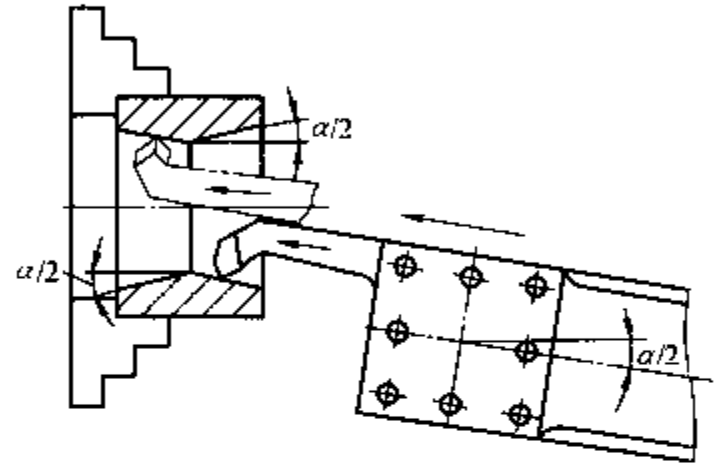


图 6-43 车削对称内圆锥的方法

(2) 用靠模法车削内圆锥 当工件内圆锥的圆锥半角较小时（通常 $\alpha/2$ 应小于 12° ），可采用图 6-40 所示靠模装置进行车削。但是，应将靠模板 4 转到与车外圆锥的相反位置。

15. 车削圆锥表面可能产生的质量问题及应对措施

(1) 锥度不准确 锥度不准确的主要原因是，小滑板转动角度不准确，尾座偏移量不准确，或者仿形板的角
度转得不准确。也有可能是在精车前、重新磨刀后，车刀不对中心而又没有再次检查工件锥度，致使工件锥度产生误差。因此，在加工时，必须反复多次地用显示剂检查工件锥度，很好地调整车床。刀具重新刃磨安装后，仍需用显示剂再次检查工件锥度。

(2) 锥度准确而尺寸不正确 锥度虽然正确，但大、小端直径尺寸不正确。主要原因是没有掌握好背吃刀量。所以，在进刀时，要控制好背吃刀量，仔细地操作。

(3) 圆锥素线不直 造成圆锥素线不直的原因，主要是由于车刀装得不对中，即高于或低于中心。所以，在车削外圆锥或内圆锥时，应特别注意对车刀的安装，一定要对准中心，否则一方面会使工件表面素线不直，变成一条曲线；另一方面还会使工件锥度变小，使小端直径尺寸增大，从而严重地影响了圆锥面的加工精度。

(4) 锥度和一端直径准确，而另一端直径不准确 主要原因是车削时没有注意长度。例如，当锥度准确以后，在长度 10mm 内，可以量得正确的大端直径（指外圆锥）在长度 20mm 内，也可量得这个大端直径的尺寸。同样在长度 30mm 内也可以量得这个尺寸。它们所不同的是，小端直径由于长度不同也不相同。所以车削过程中，必须很好地控制长度尺寸。

(5) 表面粗糙度不符合要求 除了车削轴类零件时造成表面粗糙度不符合要求的原因外，对于车削圆锥表面其表面粗糙度不合格，还有另一个原因，即用转动小滑板车削时，由

于手动进给不均匀所造成。因此，为了克服这个毛病，有些工厂将小滑板改装成自动进给。

三、成形面车削与表面滚花

机器上有些回转体零件，其表面素线不是直线，而是一种曲线，如各种手柄、圆球等，这些曲线表面叫做成形面，也称为特型表面。

1. 简单实用的车削成形面的方法

(1) 采用双手控制法车削成形面 所谓双手控制法就是用双手同时摇动中、小滑板的进给手柄，通过双手的协调动作，使车刀刀尖走出的轨迹为成形表面，即车削出所需要的成形表面。或者用双手同时控制中滑板和床鞍的进给运动，这两个运动的合成，则车削出所需要的成形表面。

这种双手控制法车削成形表面，适用于单件小批生产，并且简单、实用。

例4 如图6-44所示圆球，用双手控制法车削，说明其车削步骤。

解：1) 计算圆球部分尺寸 L 。按下式进行计算

$$L = \frac{1}{2}(D + \sqrt{D^2 - d^2})$$

式中 L ——圆球部分长度 (mm)；

D ——圆球直径 (mm)；

d ——柄部直径 (mm)。

2) 车削圆球直径 D 和柄部直径 d ，车削时应留精车余量0.2~0.3mm，并车出长度尺寸 L 。

3) 车削时，用左手握中滑板手柄，右手握小滑板手柄，两手配合先粗车成形，然后再精车。

双手控制法车成形面的关键技术是根据曲面各点的斜率来确定纵向、横向进给速度的快慢。在例4中，当车削 a 点时，中滑板进给速度要慢，而小滑板退刀速度要快；车到 b 点时，中滑板进给速度和小滑板退刀速度相等；车到 c 点时，中滑板进给速度要快，而小滑板退刀速度要慢。在这个车削过程中，中滑板的进给速度由慢到快，小滑板的退刀速度由快到慢，只要双手摇动手柄速度配合是合适的，就能车削出准确的球面。

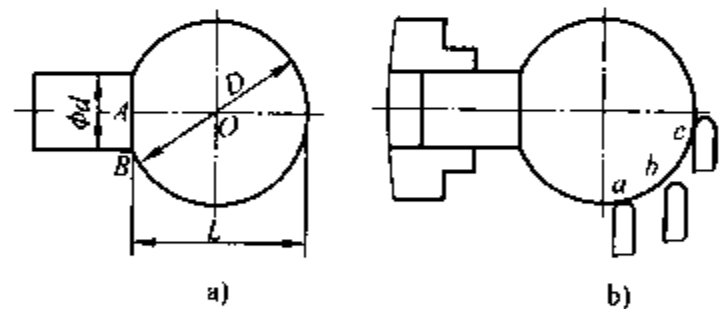


图6-44 双手控制法车削球面
a) 球面形状 b) 车球面的速度分析

4) 用锉刀修整和修光。用双手控制法车出的球面，由于手动进给不均匀，球面上总会留下高低不平的刀痕，而且形状也不十分精确。所以，在球面车好后还需用粗锉刀进行锉光和修整。形状修整准确后，再用细锉刀修光。

5) 球面经细锉刀修光，加工表面仍可能有细微的锉刀痕迹，为了获得更光洁的表面，可用砂布进行抛光。

例5 如图6-45所示手柄，用双手控制法车削，说明其步骤。

解：先把棒料装夹在三爪自定心卡盘上，伸出长度应尽量短（如果工件较长，则一端可用顶尖顶住）。调整好中、小滑板，其松紧程度要适当，使滑板移动轻松自如。然后把车

刀（见图 6-45b）装好，开动机床进行车削，其加工步骤如下：

- 1) 车 $\phi 24$ 外圆，留精车余量 $0.2 \sim 0.3\text{mm}$ （图 6-45c）。
- 2) 车 $\phi 16\text{mm}$ 外圆及 $\phi 10^{+0.012}_{-0.002}\text{mm}$ 外圆，并车好长度尺寸（图 6-45c）。

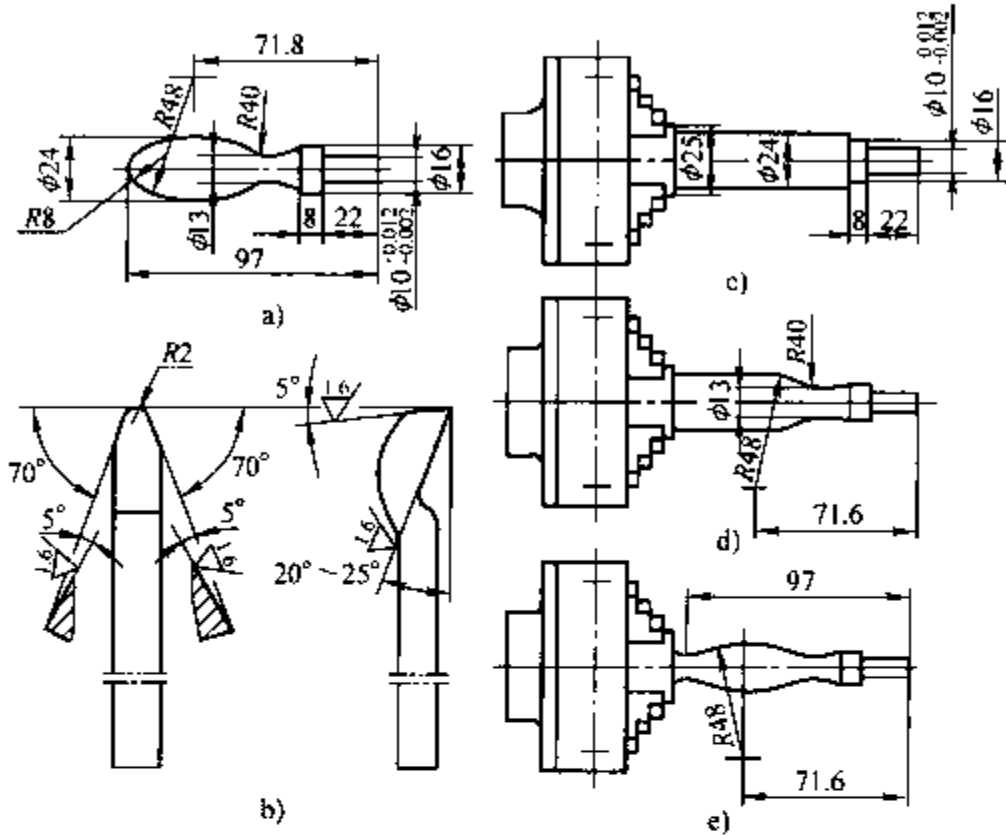


图 6-45 双手控制法车削手柄

a) 零件图 b) 车刀 c) 车外圆及阶台

d) 车距离卡盘较远的一段曲面 e) 车距离卡盘较近的一段曲面

3) 用双手控制法车削手柄曲面。车削曲面时，车刀最好由高处向低处进给，也可以用床鞍作自动纵向进给，中滑板向里作手动配合进给。为增加工件刚性，车削顺序是先车削距离卡盘较远的一段曲面（图 6-45d），后车削距离卡盘较近的一段曲面（图 6-45e）。车削中应注意进、退刀要均匀，不要把工件车出深沟。

4) 由于加工表面质量不好，要用锉刀修整和修光，注意先用粗锉刀修整外形，并锉去较粗的刀痕，然后用油光锉修光手柄表面。

5) 用油光锉修光后，再用砂布加些机油进行抛光，以获得很低的表面粗糙度值。

6) 砂布抛光后，按手柄长度要求切下工件。

7) 调头夹紧 $\phi 10$ 外圆处，用锉刀和砂布修光余下部分曲面。

通过上述用双手控制法车削成形面的两个例子，可以看出用这种方法车削时，不需要任何特殊工具，简单，实用，但要求操作者必须具有熟练的技巧，而且生产率很低。

(2) 用样板刀车削成形面 把车刀的切削刃制成与工件表面形状相同，则这样的车刀就叫做样板刀，又叫做成形刀。数量较多且尺寸较小的成形面零件，可用样板刀车削。

样板刀可按加工要求制成各种样式，如图 6-46 所示。

图 6-46a 所示为普通样板刀，它与普通车刀相似。精度要求较低时，可用手工刃磨；精度要求较高时，可在工具磨床上刃磨。

图 6-46b 所示为棱形样板刀，它由刀头和刀杆两部分组成。刀头的刃口按工件被加工表

面的形状，在工具磨床上用成形砂轮进行磨削，可制造得很精确。后部装夹在弹性刀杆的燕尾槽中，用螺钉紧固。刀杆上的燕尾槽做成倾斜，样板刀就产生了后角，当切削刃磨损后，只需刃磨刀头的前刀面。切削刃磨低后，可以把刀头向上拉起，直至刀头无法夹持为止。这种样板刀形状精度较高，但制造比较复杂。

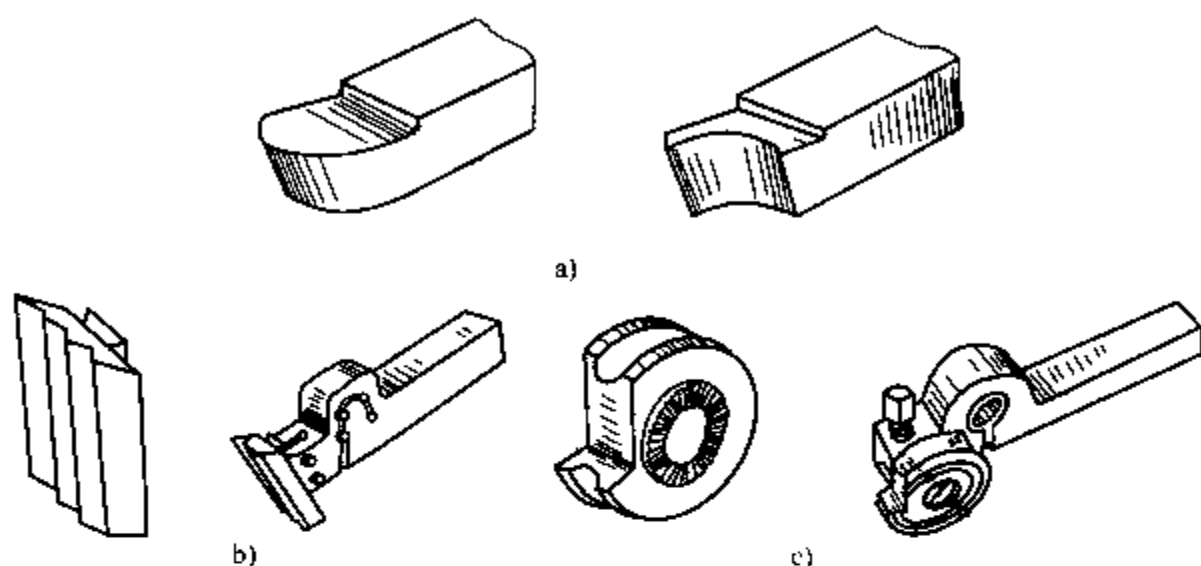


图 6-46 样板刀

a) 普通样板刀 b) 棱形样板刀 c) 圆形样板刀

图 6-46c 所示为圆形样板刀，将它做成圆轮形，装夹在弹性刀杆上。为了防止圆轮转动，在其侧面上做出端面齿。在圆轮上开有缺口，使它形成切削刃，前刀面必须比圆轮中心低一些，否则就没有后角了。

用样板刀车削成形面，其加工精度主要靠车刀的正确刃磨和正确安装来保证。切削时，由于车刀与工件接触面积大，切削抗力大，容易产生振动和工件位移，因此应采取措加以防止。常用的防振方法如下：

1) 由机床-刀具-工件组成的工艺系统，要有足够的刚度。

2) 样板刀尽量能装正对准中心，若装高容易扎刀，而装低又会引起振动。在必要时，可把样板刀反装进行车削；在这种情况下，注意车床主轴应是反转，使切削抗力跟主轴、工件重力方向相同，从而可减少振动。

3) 采用较小的进给量和切削速度。车削钢料时，必须施加切削液；车削铸铁工件时，可以不加或加煤油作切削液。

2. 在车床上车削椭圆轴、椭圆孔和椭圆盘
在生产中，可用旋风车削法又好又快车削椭圆面。

(1) 旋风车削椭圆轴和椭圆盘 图 6-47 所示为旋风车削法加工椭圆轴的示意图。具体操作要点如下：

1) 将旋风切削头安装在车床中滑板上。

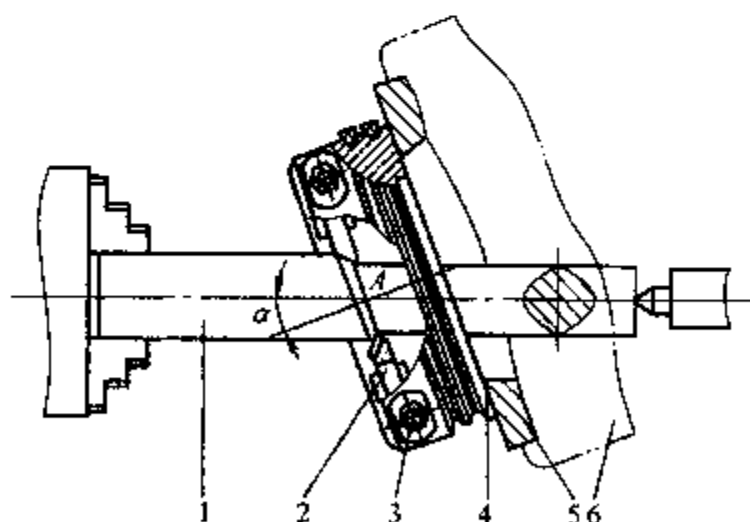


图 6-47 旋风车削椭圆轴

1—工件 2—车刀 3—螺钉 4—旋风刀盘
5—旋风轴 6—旋风切削头体

2) 工件安装时, 将其穿过旋风切削头内孔, 一端由卡盘夹紧, 另一端由顶尖支承; 应保证工件轴线与旋风刀盘轴线相交, 夹角 α 大小由椭圆短轴和长轴之比来决定。

3) 旋风刀盘由专门电动机带动旋转, 并由床鞍带动沿工件轴线进给 (工件不转动), 即可车削椭圆轴。

4) 刀具安装时, 应保证几把刀具刀尖的旋转直径等于被加工零件椭圆轴的长度; 还应保证刀具旋转轴线与工件轴线的交点在刀具刀尖回转平面内。否则由于中心偏离, 将会继续车削而把工件车坏。

5) 用旋风车削法车削椭圆轴时, 通常椭圆的短轴不宜大于 80mm。

如果将刀具安装在车床主轴法兰盘上, 并由车床主轴带动旋转, 然后把工件安装在小刀架上, 与刀具旋转中心成一夹角 α (见图 6-48), 并移动小刀架进给, 即可车出椭圆盘。

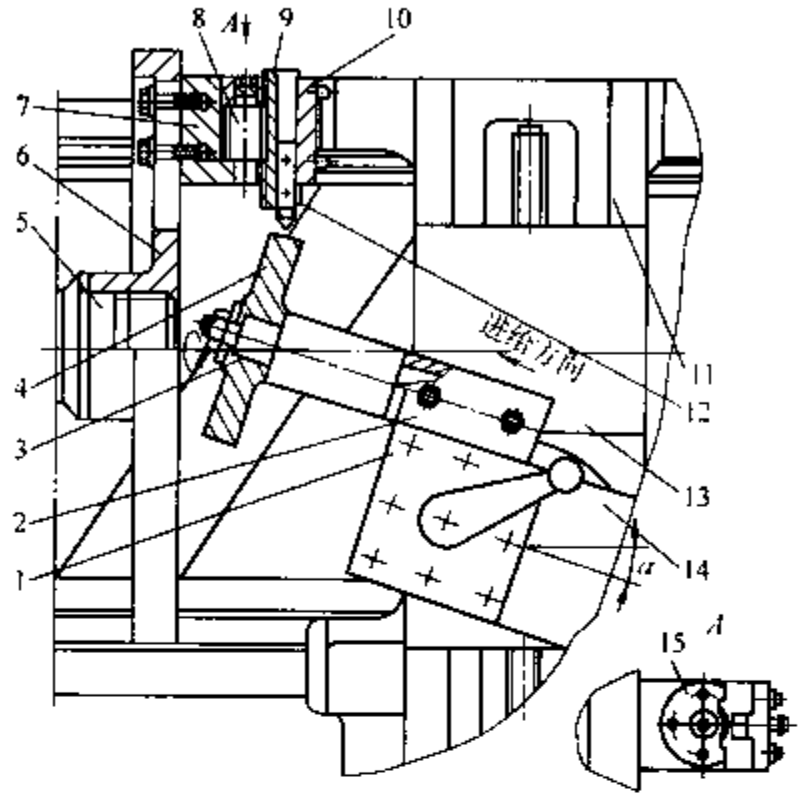


图 6-48 旋风车削椭圆盘

- 1—车床小刀架 2—夹具 3—心轴 4—工件
- 5—车床主轴 6—花盘 7—特殊刀架 8—螺杆
- 9—夹刀块 10—上盘 11—床鞍 12—车刀
- 13—中滑板 14—小滑板 15—顶盖

(2) 旋风车削椭圆孔 图 6-49 所示为在车床上旋风车削椭圆孔的示意图。具体操作要点如下:

1) 安装刀具的刀杆由支架 2 和 7 支承, 刀杆 6 经万向联轴器 3 与车床主轴连接, 并由机床主轴带动旋转。

2) 工件 4 安装在中滑板上固定不动, 由床鞍带动自动进给, 也可以手动进给。

3) 刀具的旋转轴线与工件轴线 (主轴轴线) 应成一夹角 α 。 α 角的大小由椭圆孔长、短轴的比值来决定, 所以改变夹角 α , 即可改变椭圆孔长、短轴的比例。

4) 刀具刀尖的旋转直径应等于被加工工件椭圆孔的长轴直径。

应当指出, 用旋风车削法在车床上加工椭圆轴和椭圆孔时, 应计算刀具旋转轴线与工件椭圆轴 (或孔) 轴线的夹角 α , 该角的大小由椭圆短轴 b 和长轴 a 的比值来决定 (见图 6-50), 具体数值由下式计算

$$\cos\alpha = \frac{b}{a}$$

式中 α ——刀具旋转轴线与工件轴线间的夹角 ($^{\circ}$);

b ——椭圆的短轴长度 (mm);

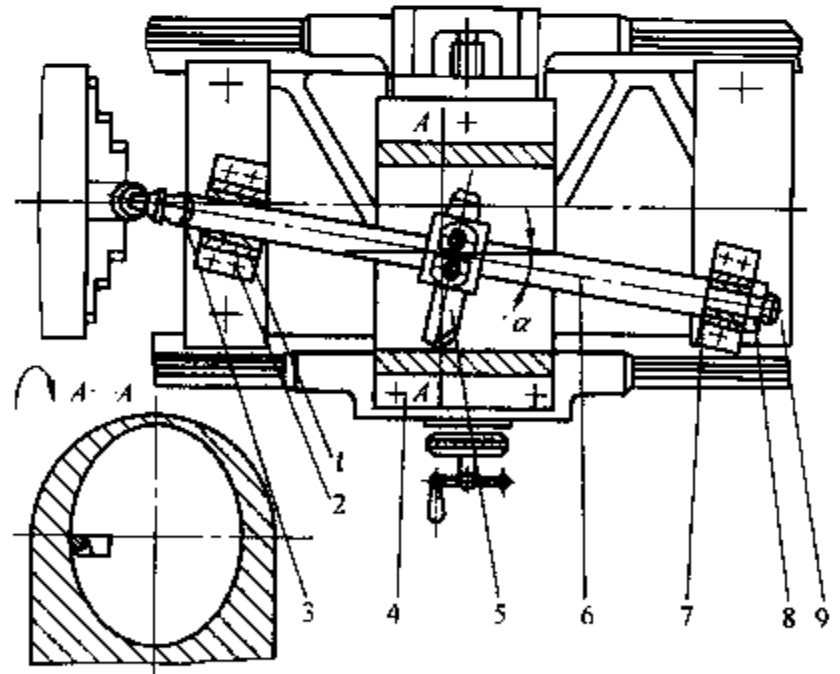


图 6-49 旋风车削椭圆孔

- 1—轴瓦 2、7—支架 3—万向联轴器 4—工件 5—车刀
- 6—刀杆 8—自锁螺母 9—底板

α ——椭圆的长轴长度 (mm)。

3. 车削球面的方法

在车床上车削球面的方法很多,下面介绍几种常用的车削球面的方法。

(1) 用筒形刀具精车球面 刀具结构如图 6-51a 所示。切削部分是一个圆筒,端面上磨出 15° 斜角,形成一个圆切削刃。圆筒后端铣扁,插入刀杆槽内,并用销子浮动联接,圆筒刀可在刀杆上左右摆动。

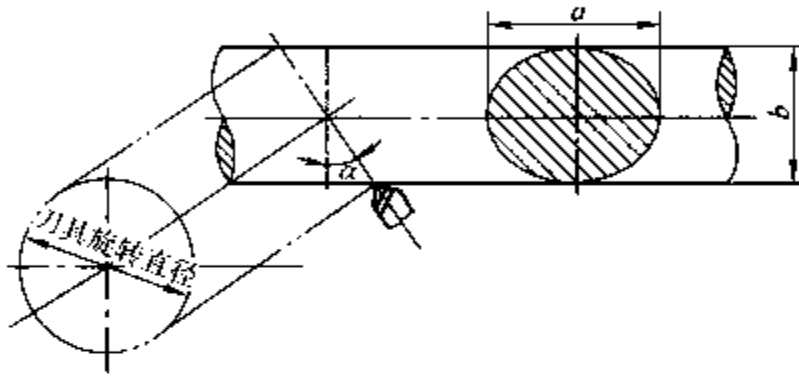


图 6-50 椭圆长、短轴与夹角的关系

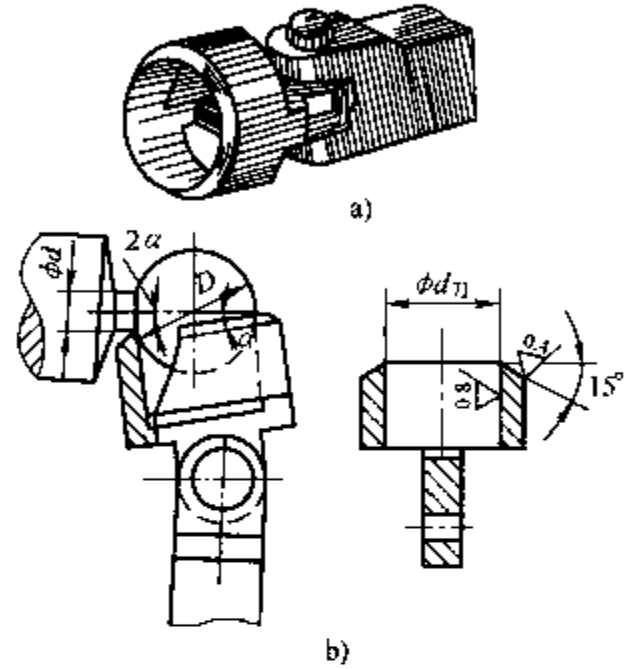


图 6-51 筒形刀具精车球面

a) 刀具结构 b) 加工简图

由图 6-51a 可看出,圆筒刀内孔直径 $d_{\text{刀}}$ 和工件球直径 D 及圆球连接柄直径 d 之间的关系为

$$d_{\text{刀}} = \frac{d}{2\sin\alpha}$$

$$\sin 2\alpha = \frac{d}{D}$$

式中 $d_{\text{刀}}$ ——圆筒刀内孔直径 (mm);

d ——球柄直径 (mm);

D ——工件球直径 (mm);

α ——圆筒形刀具的径向表面与主轴回转轴线的夹角 ($^\circ$)。

因此,只要按 d 和 D 的尺寸计算出 $d_{\text{刀}}$,然后将圆筒刀按 $d_{\text{刀}}$ 磨出内径,就可以加工出圆球直径 D 。

车削时,先用粗车刀大致车好球形表面,形状尽量准确,并留精车余量。然后,用筒形球面精车刀修光圆球表面,可获得准确的球面形状和较低的表面粗糙度值,如图 6-51 所示。

(2) 用旋风切削法加工球面 一般情况下,加工球面时大都采用双手控制法粗车球面,然后,用样板刀(如圆筒形样板刀)来进行精加工。这样的加工方法,不但工件质量难以提高,而且操作很费力;同时样板刀的制造和刃磨也比较困难。对于生产批量较大而且几何尺寸精度和表面粗糙度要求均比较高的球面,用旋风切削法加工,不但加工质量能得到保

证, 还能提高生产效率。

图 6-52 所示为旋风切削法加工球面的示意图。由图中可知, 工件由夹持在三爪自定心卡盘上的支承套 1 和由回转顶尖顶牢的支承套 2 夹紧。刀盘 3 由电动机 5 驱动旋转。刀盘轴线与工件轴线的交点便是球心, 刀尖切削刃到交点的距离则是球面半径。加工时, 电动机 5 驱动刀盘 3 高速旋转 (主运动), 机床主轴带动工件慢速旋转 (进给运动), 旋风切削头 4 由中滑板带动完成进刀运动, 于是就可以把球面加工出来了。

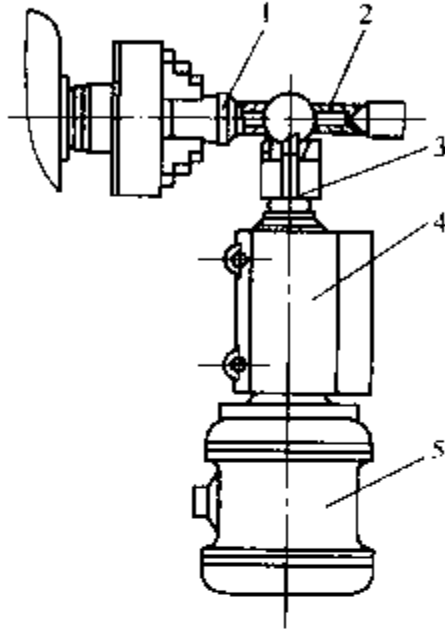


图 6-52 旋风切削法
加工球面示意图

1、2—支承套 3—刀盘
4—旋风切削头 5—电动机

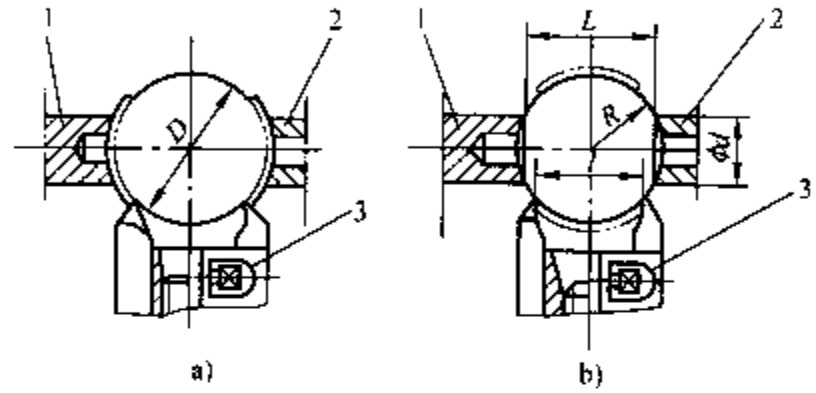


图 6-53 用旋风切削法加工完整球面
a) 先切削一部分 b) 转 90° 后再切削剩下部分
1、2—支承套 3—刀盘

$$R = \frac{D}{2}$$

利用旋风切削法, 既可加工完整球面, 也可加工带柄的球面。

1) 加工完整球面。如图 6-53 所示, 加工前, 将工件和旋风切削头按要求装好。切削时, 先切削一部分 (见图 6-53a), 即切削出一球面; 然后把工件转 90°, 再切削另一部分 (见图 6-53b)。经过两次切削后, 便把一个完整的球面加工完毕。

2) 加工带柄的球面 (见图 6-54)。加工前, 根据球体及球柄直径计算旋风切削头应转过的角度 α 以及相关尺寸。其计算公式如下

$$L_1 = \frac{1}{2}(D + \sqrt{D^2 - d^2})$$

$$\tan \alpha = \frac{d}{2L_1}$$

$$L = \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + L_1^2}$$

$$L = D \cos \alpha$$

或

式中 L_1 ——球面部分长度 (mm);

L ——刀盘上两相对刀刃间的距离 (mm);

α ——切削头应转过的角度 (°);

d ——球柄直径 (mm)。

加工时, 应把旋风切削头转 α 角, 然后即可进行加工。

(3) 利用齿条-齿扇传动装置加工球面 图 6-55 所示为利用齿条-齿扇传动, 机动进给车削内球面的工具。在大批量生产中, 用于加工差速器壳体的内球面, 表面粗糙度 R_a 值可达 $3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$, 球形误差在 $0.02 \sim 0.07 \text{mm}$ 范围内。

1) 工具特点如下:

①该工具是根据齿条-齿扇啮合传动原理设计制造的, 也就是以中滑板横向进给为动力推动齿条前进, 通过齿条和齿扇啮合传动使刀具作定轴转动, 实现车削内球面的进给运动。

②因为刀尖到回转中心的距离等于所加工球面的半径, 所以对刀具安装位置的调整, 可适用于车削一定范围的内球面。

③工具上有对刀样板和刀具微调机构, 使对刀和调刀方便。

④操作简单。

⑤该工具安装在车床尾座壳体上, 不用时连同尾座移至床身一端, 不影响其他车削加工。

2) 工具的结构和工作原理。车削球面时, 工件作旋转的主运动, 车刀应作旋转的进给运动。根据这个道理, 将工件 (汽车差速器壳体) 安装在夹具上, 由车床主轴带动旋转。如图 6-55 所示, 车刀安装在刀杆 12 的方孔中, 刀杆 12 安装在扇形齿板 11 里, 并由内六角平端紧定螺钉 1 紧定。当中滑板横向进给时, 方刀架顶齿杆 20 前进, 齿杆 20 与扇形齿板 11 相啮合传动, 使车刀绕其轴线 OO' 回转, 则工件和车刀各自的圆周运动就合成了所要求加工的球面。然后, 中滑板带动方刀架横向退回, 弹簧 8 推齿杆 20 后退, 通过齿杆 20 和扇形齿板 11 相互啮合传动, 刀杆 12 带动刀具退刀。

3) 工具的安装及其使用注意事项:

①安装 (见图 6-55)

a) 将尾座内的套筒、螺母、丝杠等零件拆掉, 在壳体的圆筒壁上装两个紧定螺钉, 用以紧定本体 9 的圆柱部分。

b) 把本体 9 的圆柱部分插入尾座壳体圆筒壁内, 用紧定螺钉紧定 (图中未画出紧定螺钉)。

c) 刀具安装在刀杆 12 的方孔内, 位置调好后, 用内六角平端紧定螺钉拧紧。

②使用

a) 参见图 6-55, 车刀刀尖到回转轴线 OO' 的距离, 即是球半径 SR , 所以刀具的位置直接关系着 SR 公差的大小。使用时, 先用对刀样板 14 初调, 经试切后, 根据加工误差的大小, 再用调整螺钉 18 微调, 直至 SR 误差在允许范围内为止。

b) 加工球面的位置精度用量块 2 保证, 即在装夹工件时, 使量块 2 卡在工件的止口和碰块 6 之间, 然后把车床尾座的位置固定好, 使工件与车内球面工具的相对位置一定, 以保证加工球面的位置精度。

c) 加工一定数量的工件后, 要及时地检查 SR 公差, 以确定是否因刀具磨损需要调刀, 确保加工质量。

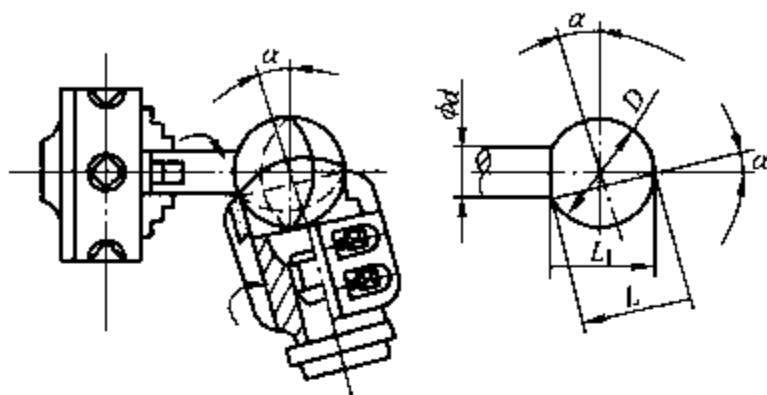


图 6-54 用旋风切削法加工带柄的球面

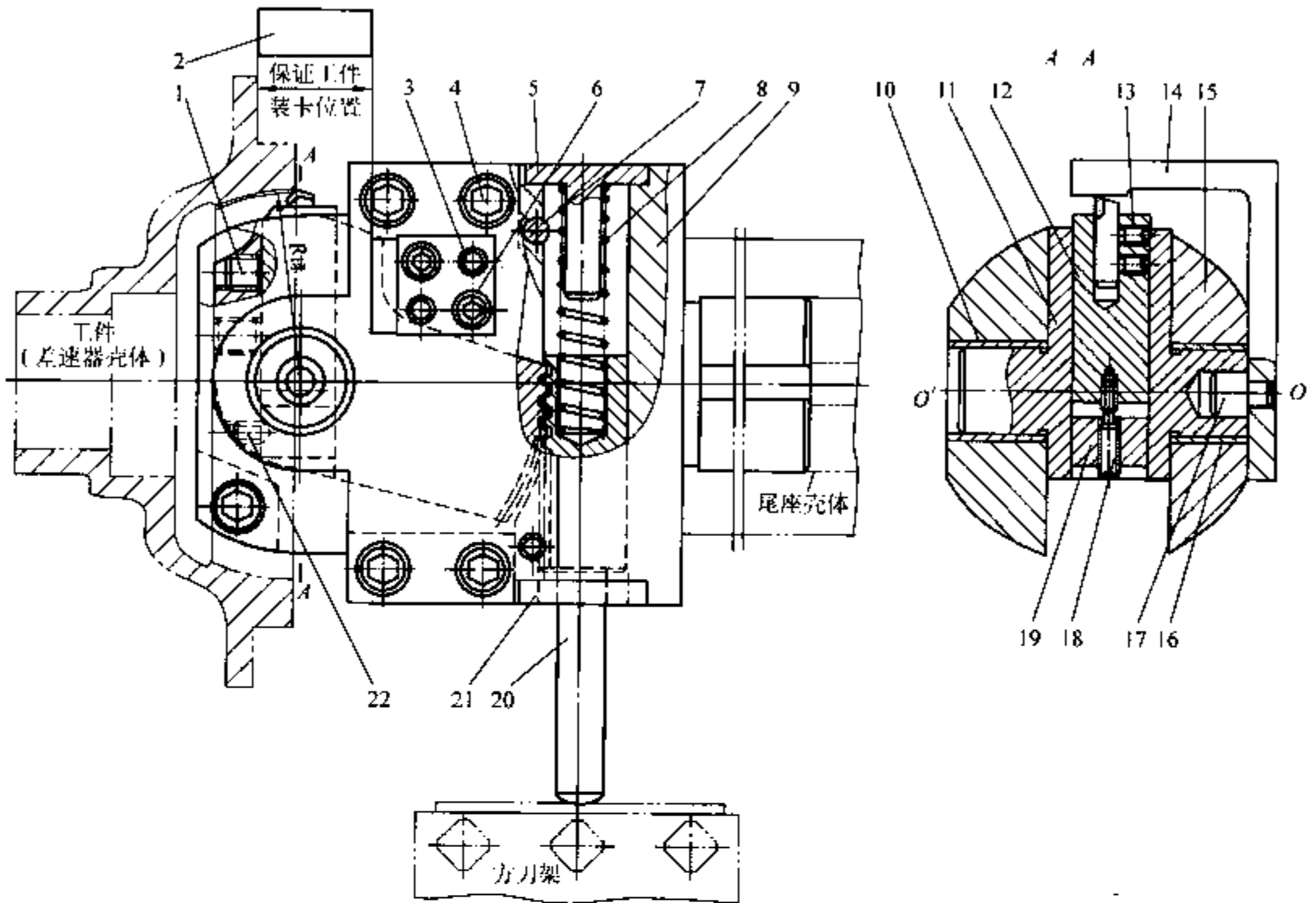


图 6-55 利用齿条-齿扇传动装置加工球面

- 1—内六角平端紧定螺钉 2—量块 3、7—销钉 4—内六角螺钉 5、21—盖板 6—碰块
 8—弹簧 9—本体 10、16—套 11—扇形齿板 12—刀杆 13—圆柱端紧定螺钉
 14—对刀样板 15—盖子 17—销子 18—调整螺钉 19—座圈
 20—齿杆 22—锥端紧定螺钉

4. 利用专用装置车削特殊型面

有些工件表面的素线不是直线，而是一种曲线，例如圆弧面、球面、成形面等。这些特殊型面的加工，可用专用机床、数控机床和通用机床。

用专用机床加工的优点是，加工精度高，生产率高；其缺点是生产品种范围小，调整麻烦，一般仅用于某些特殊型面工件的大批量生产。随着数控技术的发展，用数控机床加工特殊型面日益广泛，但考虑工件批量、工件复杂程度以及加工成本等因素，数控机床的应用仍然有一定的范围限制。用通用机床（主要是卧式车床）不需经过繁杂的调整，用双手控制、用样板刀或在车床上增添一些简单的装置，就能车削各种不同的特殊型面，仍然值得广泛推广。

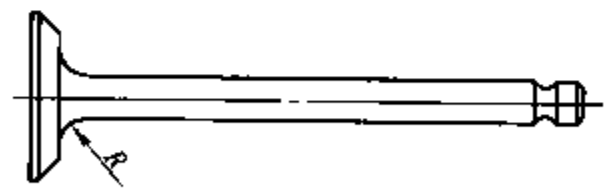


图 6-56 进气门

例 6 用回转刀架加工图 6-56 所示“进气门”零件上的 R 圆弧面，其加工示意图如图 6-57 所示。

1) 回转刀架的组成。由图 6-57 可知，车削 R 圆弧面的回转刀架主要组成有：端面定位

窝子、定位块、回转刀架和活顶尖等。

①端面定位窝子。端面定位窝子的结构如图 6-58 所示。心轴 1 用 45 钢制成，一端带有莫氏锥度，工作时将其插入车床主轴锥孔里；它的另一端固定着定位钉 6，其端面在安装工件时与进气门大端端面接触作为定位面。弹簧 3 的材料是 65Mn，夹紧工件时起缓冲作用。螺母 2 拧在心轴 1 上，用以固定弹簧 3 和调节弹簧力的大小。窝子 5 用 45 钢制成，套在心轴 1 上，并由销钉 4 联接。垫圈 7 用碳钢制成。

②回转刀架。回转刀架的结构如图 6-59 所示。由图中可见，轴承(7206)3 的间隙是通过调整螺母 1 来调整的。刀具高度用改变刀垫 7 的厚度来调整，并由紧定螺钉 9 紧固。摇把 8 不宜做得太短，以免摇动时费力和不方便。偏心轴 6 的偏心距 e ，是为了适应该回转刀架的结构，使车削圆弧面的 R 值尽量小些。对于该回转刀架， $R = l - e$ 。

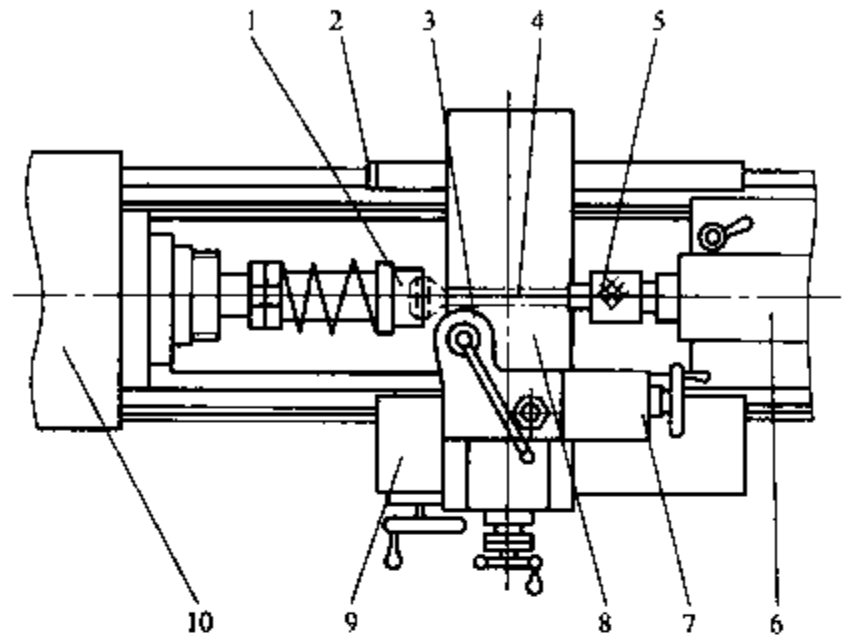


图 6-57 用回转刀架车削 R 圆弧面
1—端面定位窝子 2—定位块 3—回转刀架 4—工件
5—活顶尖 6—尾座 7—小滑板
8—中滑板 9—床鞍 10—主轴箱

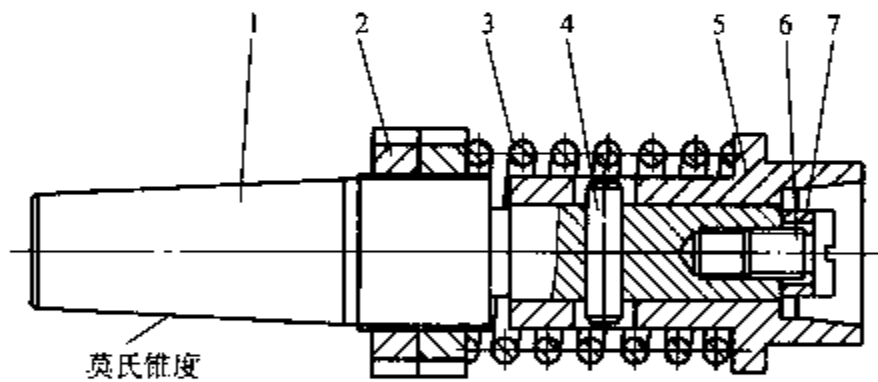


图 6-58 端面定位窝子
1—心轴 2—螺母 3—弹簧 4—销钉
5—窝子 6—定位钉 7—垫圈

③活顶尖。在车削 R 圆弧面的加工中，车床主轴的转速比较高，通常 $n_{主} = 1200r/min$ 左右，如果使用死顶尖，容易破坏和发热，因此采用活顶尖，其结构如图 6-60 所示。顶尖套 1 用 45 钢制成，它的一端为莫氏锥度，工作时插入车床尾座套筒里；另一端呈圆筒形，筒内装有轴承和反顶尖等件。反顶尖 9 用工具钢 (T10A) 制成， 60° 锥面是根据进气门小端形状设计制造的。

2) 在 R 圆弧面用的刀具。车 R 圆弧面用的刀具如图 6-61 所示，刀头材料为钨钴钛合金 (YT15)。刀具安装在回转刀架的刀垫上，其高度应与车床主轴等高，然后用紧定螺钉 9 紧固 (见图 6-59)。

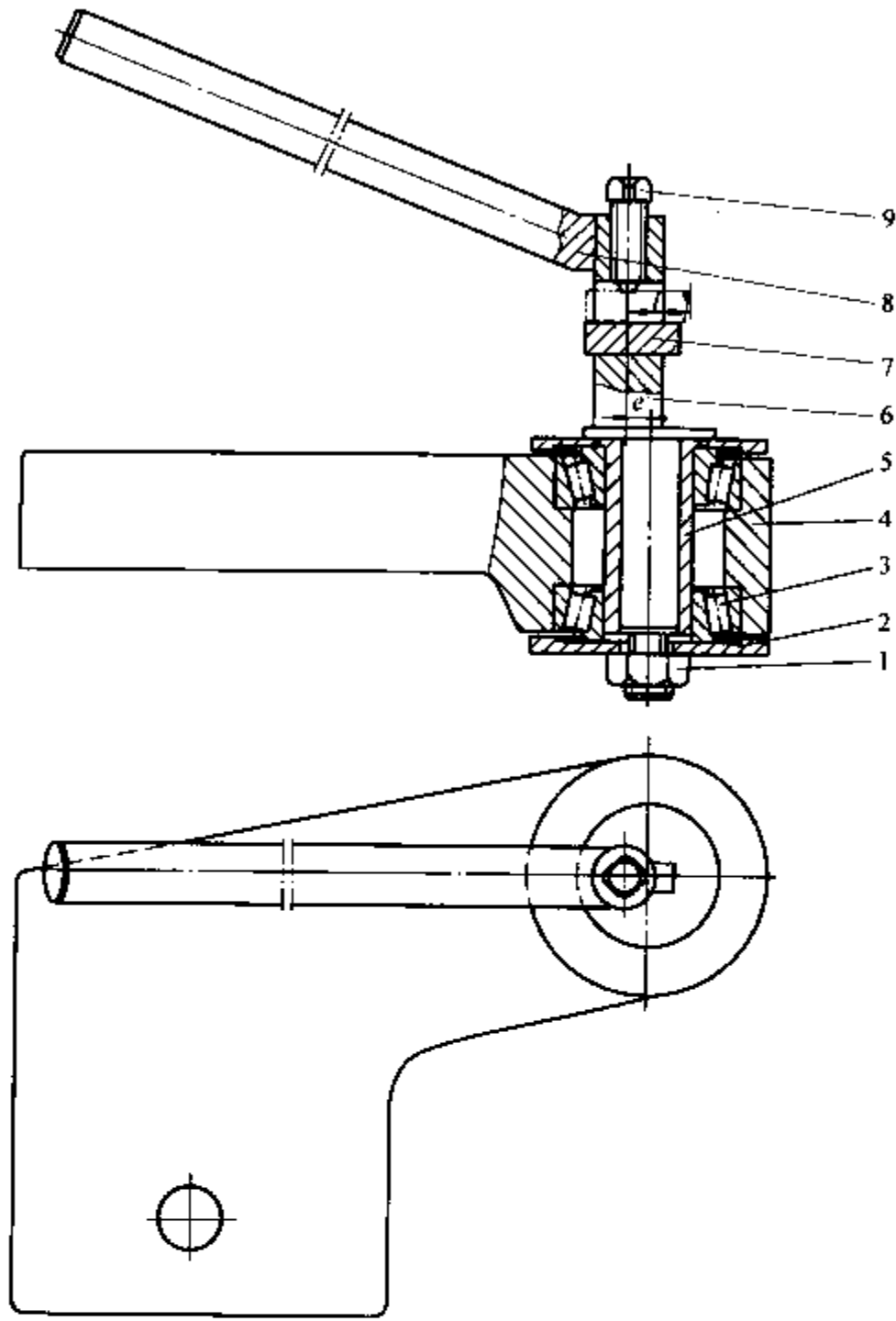


图 6-59 回转刀架

- 1—螺母 2—垫圈 3—轴承 (7206) 4—本体 5—套
6—偏心轴 7—刀垫 8—摇把 9—紧定螺钉

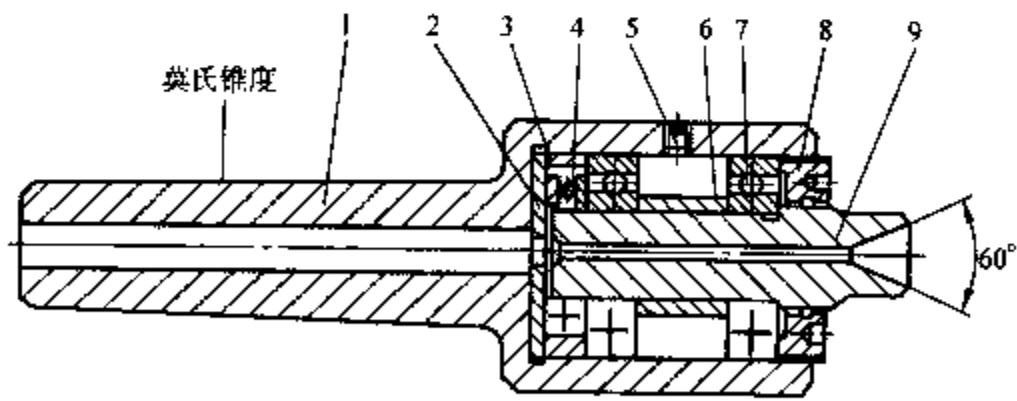


图 6-60 活顶尖

- 1—顶尖套 2—垫圈 3—套 4—单向推力球轴承 (8204) 5—螺母
6—轴套 7—轴承 (204) 8—压盖 9—反顶尖

3) 车 R 圆弧面时回转刀架的使用及注意事项。车 R 圆弧面回转刀架的使用情况见图 6-57。分别把端面定位窝子 1 和活顶尖插入主轴锥孔里和尾座套筒里。工件被安装于端面定位窝子 1 内，由活顶尖 5 顶紧。在安装回转刀架时，先把方刀架拆掉，然后用螺钉把回转刀架 3 固定在小滑板上。定位块 2 根据需要固定在后导轨的合适地方，对床鞍起着纵向定位作用。

大家都知道，物体绕一固定点回转，它的轨迹成一圆弧的道理，所以当摇动摇把 8（见图 6-59）时，刀具在回转刀架的带动下回转，刀尖的运动轨迹就是要加工的 R 圆弧。

使用本回转刀架时应注意以下几点：

①从理论上讲，刀具的安装应使 $R = l - e$ （见图 6-59）。但在实际操作时，按此公式调整刀具是困难的。生产中经常使用的刀具调整方法是：首先凭经验确定刀尖伸出刀架的长度，然后用试切法试切，根据试切情况再调整，直至加工出的圆弧 R 值完全合格为止，即刀具安装已经合适。

②由于改装结构的限制，比较适用于加工 R 大于 10mm 的圆弧面。当 R 小于 10mm 时，加工圆弧面的质量不甚理想。

③利用本改装加工圆弧面的表面粗糙度通常可达到 $R_a 3.2\mu\text{m}$ ；如要进一步地提高达到 $R_a 1.60\mu\text{m}$ ，在摇动摇把时速度必须要慢而均匀，也就是刀具的进给量尽可能地小和均匀。

生产实践表明，用本回转刀架加工 R 圆弧面的质量尚好，回转刀架的结构也比较简单，一般工厂都有能力设计与制造。如果将手动改为刀架自动回转，将手动活顶尖顶紧工件改为自动地顶紧或松开工件，将更有助于提高劳动生产率和减轻工人的劳动强度。

例 7 蜗杆蜗轮传动式车圆弧面的装置。图 6-62 所示为蜗杆蜗轮传动式车圆弧面的装置，使用时用螺钉固定在小滑板上，但一定要注意保证尺寸 H ，即保证刀具（指刀尖）7 和主轴轴线等高。再利用床鞍的纵向移动和中滑板的横向移动来调整车圆弧面的水平位置。当车圆弧面装置的位置确定后，就可以利用它来车削圆

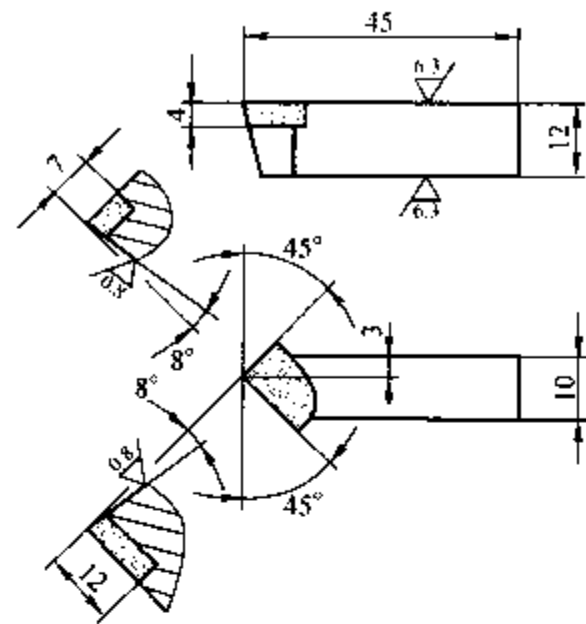


图 6-61 车 R 圆弧面用的刀具

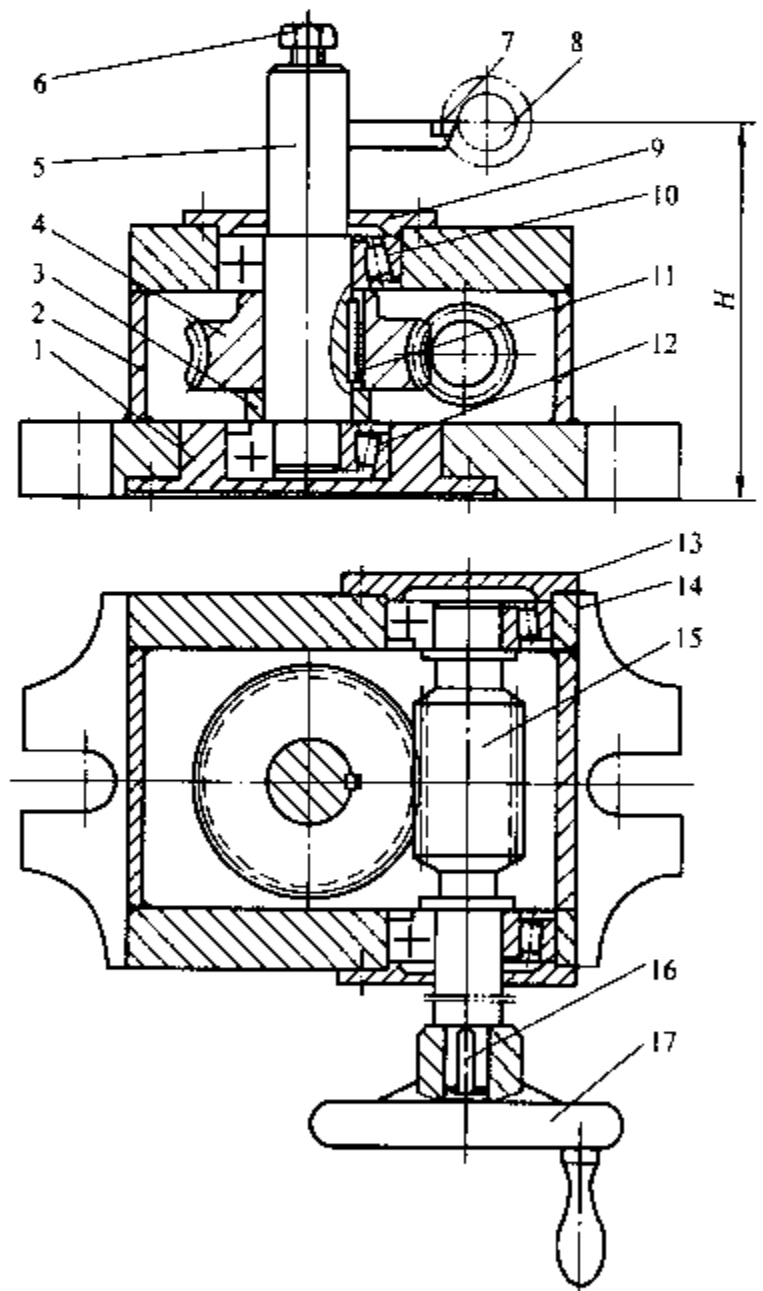


图 6-62 蜗杆蜗轮传动式车圆弧装置

- 1—轴承座 2—箱体 3—套 4—蜗轮 5—蜗轮轴
- 6—螺钉 7—刀具 8—工件 9—上盖
- 10、12、14—轴承 11、16—键
- 13—侧盖 15—蜗杆 17—手轮

弧面了。

这种蜗杆蜗轮传动式车圆弧装置的工作原理与例6一样，即车床主轴带动工件旋转是车削的主运动，摇动手轮17通过蜗杆蜗轮副使蜗轮轴5旋转，则刀具7随蜗轮轴5的转动是车削的进给运动，于是工件8与刀具7间相对运动的轨迹，就形成了被加工的圆弧面。

这种车圆弧面装置与前一种相比，虽然进给运动也是手动的，但经过蜗杆蜗轮副减速以后，相对来说它的进给速度要均匀些，因此加工的表面粗糙度等级也有所提高，一般可达到 $R_a 1.60\mu\text{m}$ 。

例8 利用靠模仿形加工6135型柴油机凸轮轴的12个凸轮。

目前虽然有数控机床，但是采用靠模仿形加工，对提高生产率、减轻劳动强度，仍然是一种简单、经济、可靠的有效办法。

某建筑机械厂为了满足生产的需要，利用靠模仿形加工的原理，将一台C620—1型卧式车床改装成凸轮车（图6-63），用以粗车6135型柴油机凸轮轴的12个凸轮。其结构由两部分组成。

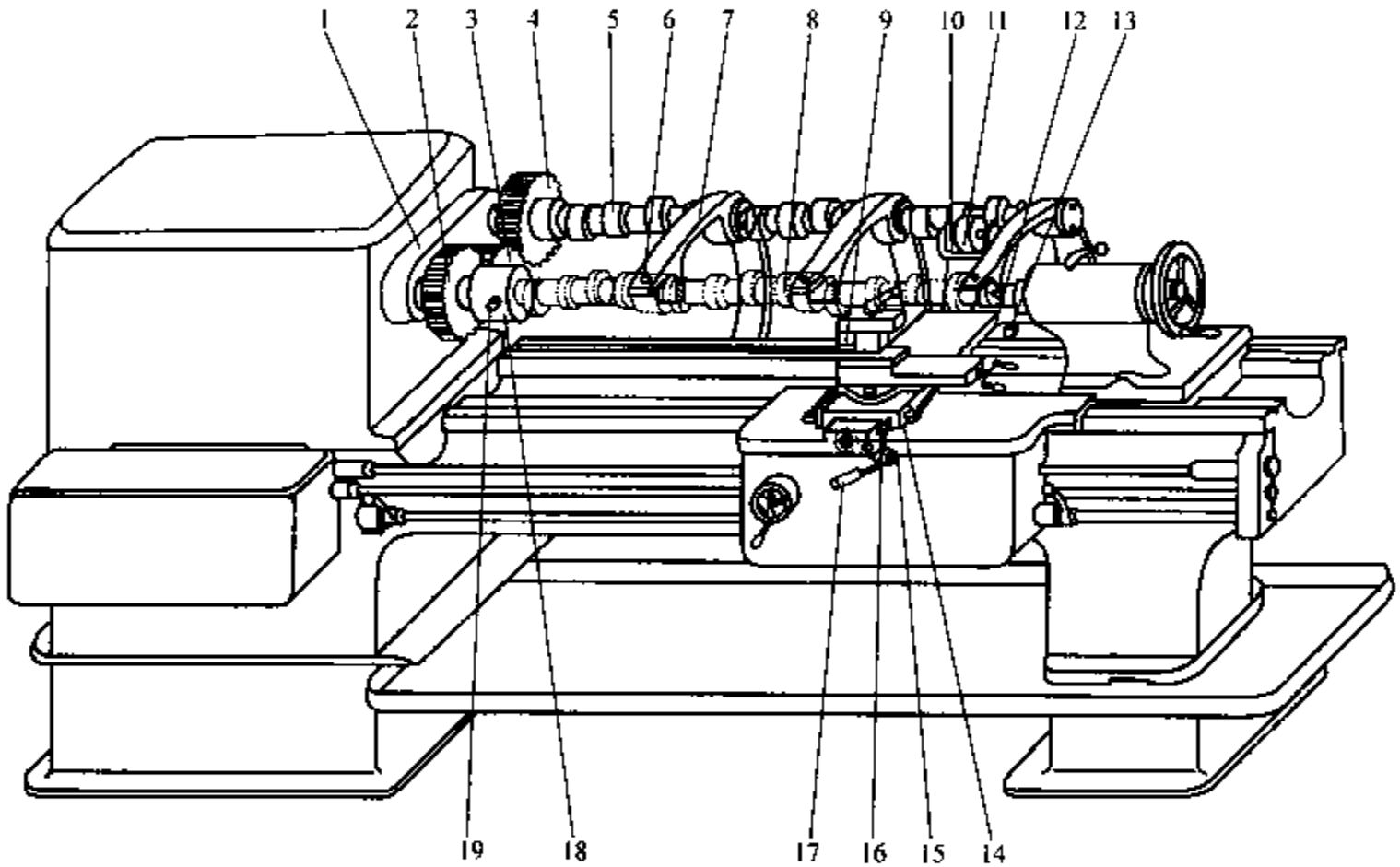


图6-63 卧式车床改装成凸轮车

- 1—连接板 2、3、4—齿轮 5—凸轮靠模 6—支承钉 7—支承架
8—工件 9—刀具 10—仿形架 11—仿形滚子 12—拉紧弹簧 13—座板
14—拉板 15—弯轴 16—操纵环 17—操纵杆 18—卡环 19—紧固螺钉

1) 凸轮靠模及工件装夹部分。凸轮靠模5是按6135型柴油机凸轮轴图样设计的，凸轮的尺寸比工件大。它的左端由装在连接板1内的推力轴承和含油轴套支承，右端和中间部分分别支承在支承架7内的含油轴套上，即凸轮靠模共有四个支承（中间的两个支承主要是为了增加凸轮靠模的刚度），如图6-64所示。支承架7

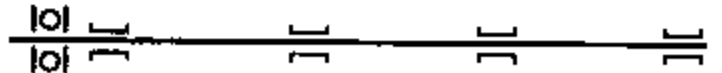


图6-64 凸轮靠模支承示意图

用螺钉固定在床身的后侧面上（见图 6-65）。工件 8 一端装入卡环 18 内，并由紧固螺钉 19 紧固，而另一端用尾座顶尖顶住。卡环 18 固定在齿轮 2 ($m = 3\text{mm}$, $z = 60$) 上，齿轮 2 固定在车床主轴上。齿轮 3 ($m = 3\text{mm}$, $z = 20$) 的转轴固定在连接板 1 上，齿轮 4 ($m = 3\text{mm}$, $z = 60$) 用键联接在凸轮靠模 5 上，连接板 1 用螺钉固定在中轴变速器箱体上。

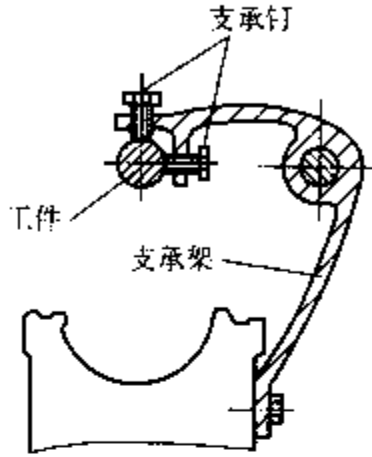


图 6-65 支承架与床身的固定方式

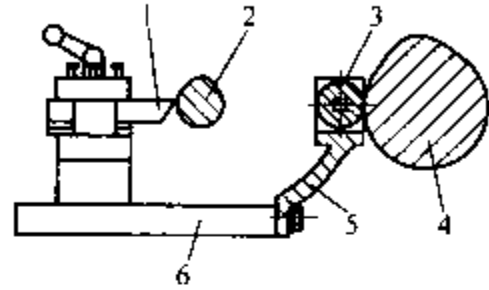


图 6-66 刀架仿形部分示意图

- 1—刀具 2—工件
- 3—仿形滚子 4—凸轮靠模
- 5—仿形架 6—中滑板

2) 刀架仿形部分。见图 6-63，拆掉中滑板上的横向进给丝杠，其上的两根拉紧弹簧 12（拉力约为 500N）一端钩在拉板 14 上，另一端钩在床鞍上的座板 13 上。仿形滚子 11（滚子宽大于凸轮宽）装在仿形架 10 前端的销轴上，并能绕销轴转动，同时在拉紧弹簧 12 的作用下紧紧地抵在凸轮靠模上。仿形架 10 的另一端固定在中滑板上（见图 6-66），操纵杆 17 前端插入其上的操纵环 16 内；操纵杆中部的圆柱孔套在床鞍的弯轴 15 上。

机床改装后的工作原理和操作方法如下（见图 6-63）：

动力由车床主轴传出，带动工件作旋转运动，转速为 46r/min，经齿轮 2、3 和 4 的啮合传动，使凸轮靠模 5 得到动力，与工件 8 同方向、等速旋转。由于拉紧弹簧 12 的作用，使仿形滚子 11 紧紧地抵在凸轮靠模上，当凸轮靠模转动时，迫使刀架随着凸轮靠模外形轮廓作仿形运动，即工件的横向进给运动。利用车床纵向走刀机构作纵向自动进给运动，于是利用横向进给和纵向进给及工件的旋转运动，就可以加工出一个个凸轮。在车完每一个凸轮的时候，操作者应用右手按下操纵杆 17，克服拉紧弹簧的作用，迫使仿形滚子 11 离开凸轮靠模 5 上的凸轮，这时操作者要用左手摇动溜板箱上的纵向进给手轮作快速纵向运动，直至进给到仿形滚子 11 刚好抵在凸轮靠模 5 上的下一个凸轮时，手动进给停止，同时右手也松开操纵杆 17，于是可以开始加工下一个凸轮。如此循环，直到加工完所有的凸轮。6135 型柴油机凸轮轴上共有 12 个凸轮，加工时由右端开始，向左端一个一个地加工，直到凸轮轴上的每个凸轮均加工完了，这根凸轮轴才算加工完毕。

类似于例 8 的靠模仿形加工，在实际生产中应用得很广泛。这种加工的关键是靠模形状，对加工精度影响很大。那么应当怎样设计靠模呢？现在，首先对例 8 作个分析，由图 6-66 可知，由凸轮靠模和仿形滚子组成了滚子从动件凸轮机构，由工件和刀具组成了尖顶从动杆凸轮机构，仿形滚子中心的运动轨迹与车刀的运动轨迹相同。可见，设计靠模的最简单方法是使靠模的理论轮廓同工件的形状完全一样，然后以滚子半径作等距曲线，即得到完全能满足运动要求的靠模实际轮廓。然而，所得到的靠模尺寸要比工件小，可是工件本来就不大，所以加工精度不易保证。如果把靠模做得大一些，可使靠模本身的误差反映到工件上时比较小，有利于提高靠模仿形加工精度，因此需要另行设计靠模。

设计靠模的思路是，把基圆放大，重新画一个工件轮廓，具体作法如图 6-67 所示。

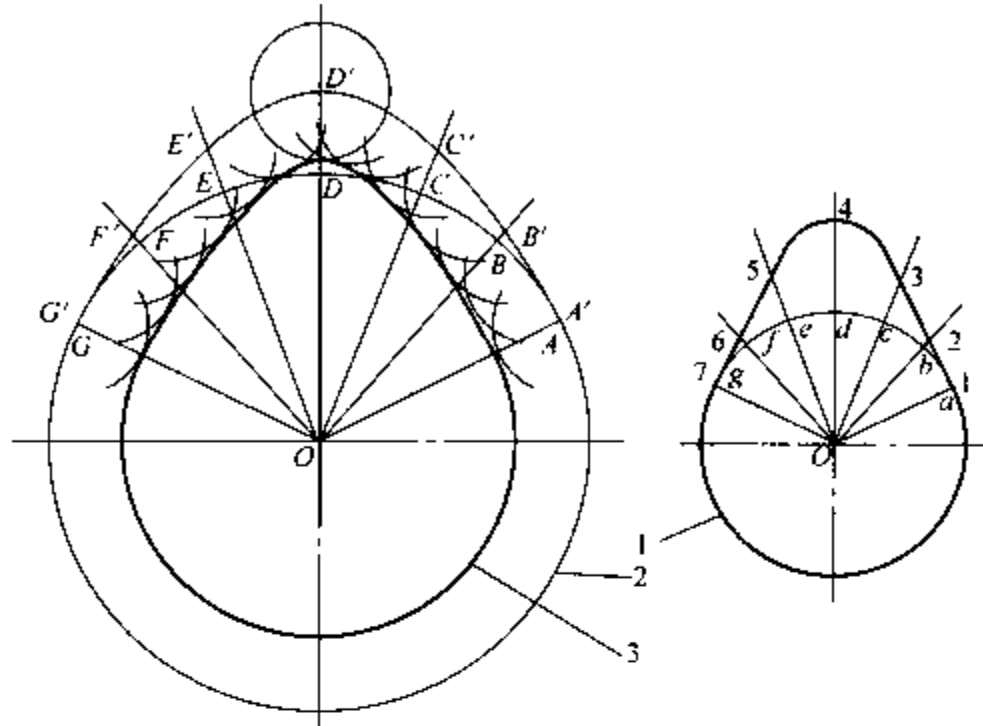


图 6-67 仿形车削靠模设计

1—工件轮廓 2—靠模理论轮廓 3—靠模实际轮廓

①以放大的半径作基圆，与工件作同样等分的径向线 OA' 、 OB' 、 OC' 、 \dots 。

②在径向线上截取 $AA' = a_1$ (a_1 为工件上对应的径向升程)， $BB' = b_2$ ， $CC' = c_3$ 、 \dots ，于是得到 A' 、 B' 、 C' 、 \dots 各点。用平滑的曲线连接这些点，即得到靠模的理论轮廓。

③以滚子半径为半径作理论轮廓的等距曲线，即得靠模的实际轮廓。

应当指出，如果图 6-66 所示的刀架仿形部分改为图 6-68 所示的情况，这时由凸轮靠模和仿形触针组成的凸轮机构以及由工件和刀具组成的凸轮机构，都是尖顶从动杆凸轮机构，因此凸轮靠模的轮廓与工件的形状完全一样，不需要专门设计靠模，只需按工件图做一个靠模就行了。

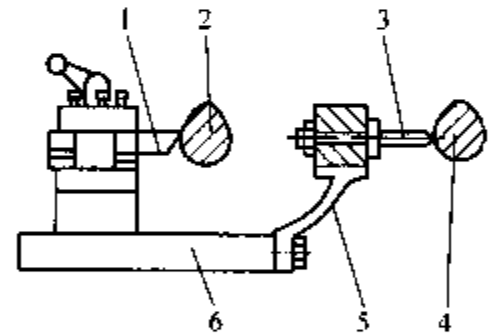


图 6-68 刀架仿形部分示意图

1—刀具 2—工件

3—仿形触针 4—凸轮靠模

5—仿形架 6—中滑板

5. 在车床上安装液压仿形刀架进行仿形加工

在车床上安装液压仿形刀架，可以加工外圆柱面、外圆锥面、端面及回转曲面等。这样，不仅能保证零件的加工精度，

还能缩短生产过程中的辅助时间，减轻操作者的劳动强度。因此，近年来在国内、外已经制造出多种不同类型和规格的车床用液压仿形刀架，作为机床附件供给用户使用。

(1) 几种应用比较广泛的液压仿形刀架

1) 单边控制液压仿形刀架 (见图 6-69)。仿形触销 1 通过回转支点与刀架固连在一起，靠模则固定在另外的支架上。工件由车床主轴带动旋转，刀架的纵向运动由进给液压缸或机械传动来实现。

该仿形刀架的工作原理是：来自液压泵的压力油由溢流阀限压，经过滤器通向液压缸 4 的腔 B，压力油通过活塞中的小孔 d 流到液压缸 4 的腔 A，然后引至滑阀 3，经小缝隙开口 δ 流回油箱。滑阀 3 开口量 δ 的大小决定了腔 A 的压力。加工时，设刀架带动仿形触销 1 沿靠

模的直线部分移动，这时滑阀3的开口量为 δ_0 ，液压缸4的油腔A和B的压力恰好使液压缸处于平衡状态。因此液压缸4不动，滑阀3所处的这个位置称为原始位置。当靠模上出现图6-69所示台阶时，仿形触销1绕其支点向顺时针方向偏转，发出误差信号，通过杠杆系统将误差信号放大（或缩小），使滑阀3压缩弹簧2。于是开口量 δ 增大，溢流作用增加，活塞小孔d的压力降随着流出量的增大而增加，使液压缸4的腔A的压力降低，则液压缸4A、B两腔的受力失去平衡，使液压缸4带动刀架实现向后退（图6-69所示为向下）的随动运动。这个运动与纵向进给运动合成，使刀尖仿出靠模的台阶形状。由于刀架后退，和刀架固定在一起的控制装置连同仿形触销1一起移离靠模，以减少甚至消除仿形触销的偏移信号误差。由于仿形触销1在弹簧2的作用下始终与靠模保持接触，当靠模出现凹下时，仿形触销便逆时针偏转，滑阀3在弹簧2的作用下后移，开口量 δ 减小，溢流作用减小，流过小孔d的压力降也减小，则液压缸腔A中的压力升高，使刀架向前移动，与纵向进给运动合成，使刀尖仿出凹下形状。靠模的形状为直线时，滑阀3的开口量 δ 保持原有大小（即 δ_0 ），系统恢复平衡状态，刀尖只有纵向进给运动，于是车出直径不变的圆柱面。因随动运动的速度和方向都是由滑阀一处的开口量 δ 的大小来控制的，所以叫做单边控制的液压随动系统。

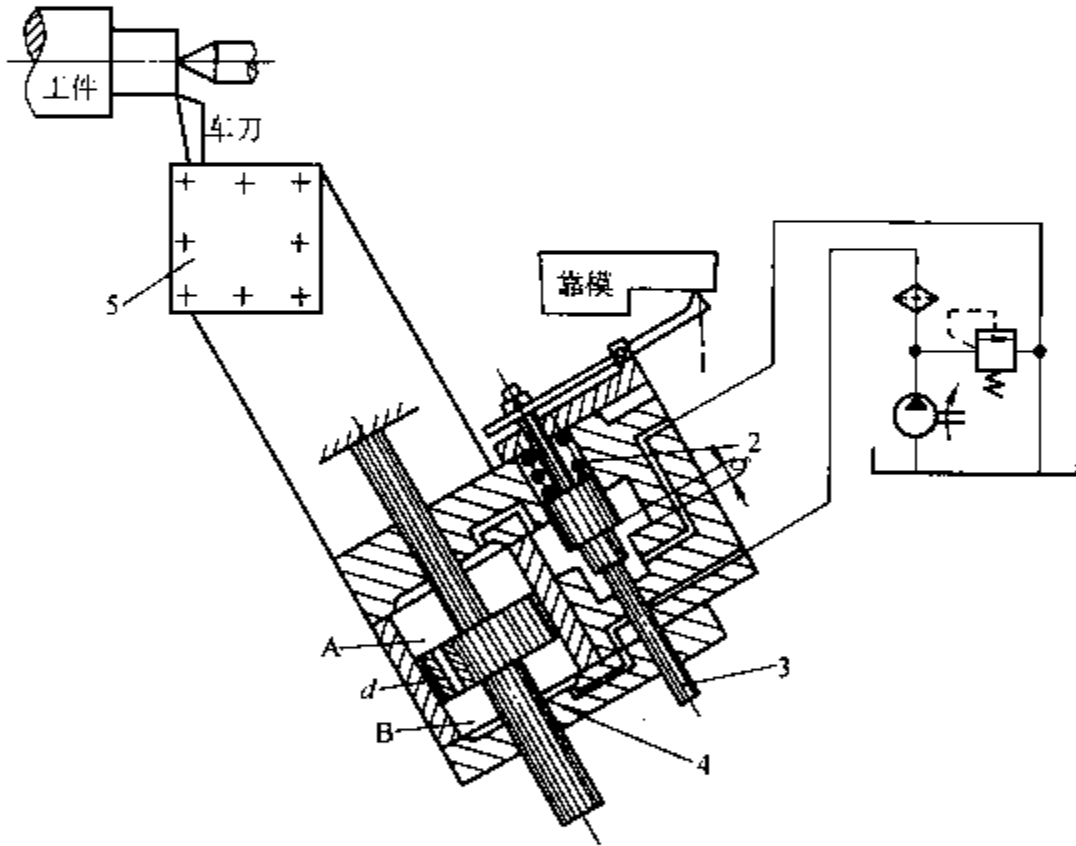


图 6-69 单边控制仿形刀架液压随动系统简图
1—触销 2—弹簧 3—滑阀 4—液压缸 5—刀架

2) 双边控制液压仿形刀架。图6-70为双边控制仿形刀架液压随动系统简图，其工作原理是：来自液压泵的压力油由溢流阀保证，通过过滤器后再经滑阀2，一路流经滑阀的开口缝隙 δ_2 ，另一路通至液压缸4前腔A，并保持恒定的作用力。液压缸4后腔B的压力油经滑阀的开口缝隙 δ_1 流回油箱。在原始位置时，控制边开口缝隙 δ_1 与 δ_2 的大小有一定的比例关系，以控制A、B两腔压力，使液压缸4处于平衡状态。在刀架带动仿形触销1一起进给的过程中，当靠模出现如图6-70所示台阶时，触销1便作逆时针方向偏转，发出误差信号，

使滑阀2压缩弹簧3, 则开口缝隙 δ_1 减小, δ_2 增大, 液压缸4后腔B的压力升高, A、B两腔失去平衡, 液压缸4带动刀架实现向后的随动运动。这个运动与纵向进给运动合成, 使刀尖仿出靠模的台阶形状。当靠模出现凹下时, 触销1作顺时针方向偏转, 滑阀2在弹簧3的作用下向后移动, 使开口缝隙 δ_1 增大, δ_2 减小, 液压缸4后腔B的压力降低, 使刀架向前移动, 与进给运动合成, 刀尖仿出靠模凹下的形状。当靠模是平行的直线时, 开口缝隙 δ_1 和 δ_2 又保持原来的比例, 随动系统恢复平衡状态, 于是刀尖只有纵向进给, 车出直径不变的圆柱面。这个系统运动的速度和方向, 是由开口缝隙 δ_1 和 δ_2 两者的大小来控制的, 故称为双边控制的液压随动系统。

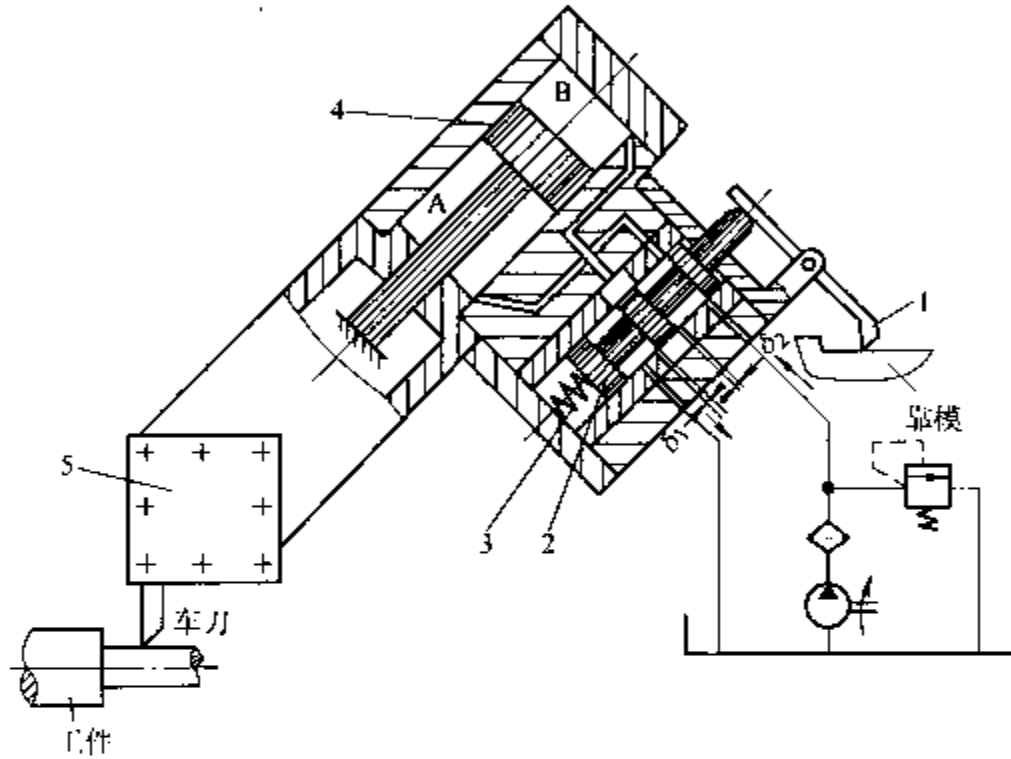


图 6-70 双边控制仿形刀架液压随动系统简图

1—触销 2—滑阀 3—弹簧 4—液压缸 5—刀夹

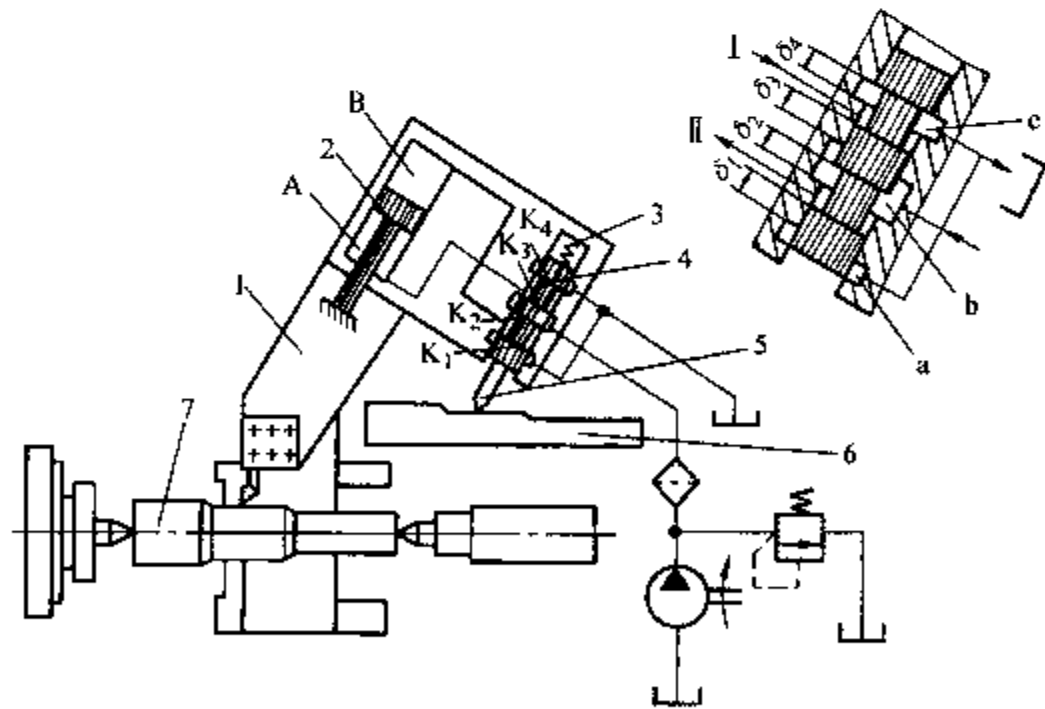


图 6-71 四边控制仿形刀架液压随动系统简图

1—刀架 2—液压缸 3—弹簧 4—滑阀 5—触销 6—靠模 7—工件

3) 四边控制液压仿形刀架。图 6-71 为四边控制仿形刀架液压随动系统简图。该仿形刀架由刀架 1、液压缸 2、弹簧 3、滑阀 4、触销 5、靠模 6 等组成。它的工作原理是：当触销 5 接触在靠模 6 的直线段时，则四个阀边 K_1 、 K_2 、 K_3 和 K_4 的缝隙 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 和 δ_4 处于平衡位置。液压缸 2 前腔 A 的作用力和后腔 B 的作用力与刀具的切削力之和相平衡，仿形刀架不再沿液压缸 2 的轴线方向移动，由床鞍带动仿形刀架作纵向进给，车出工件的外圆柱面，如图 6-72 中的 a 点。

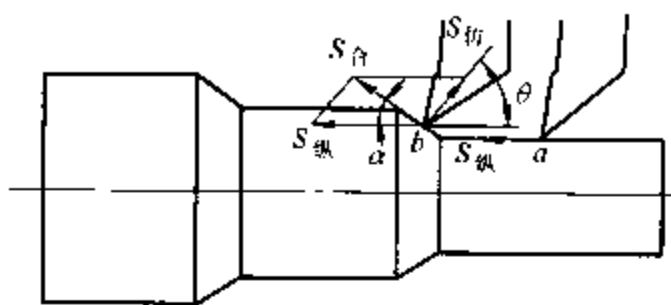


图 6-72 工件

如图 6-71 所示，当触销 5 沿靠模 6 开始上坡时，克服了弹簧 3 的压力，使滑阀 4 向后推移，则缝隙 δ_2 和 δ_4 打开， δ_1 和 δ_3 关闭。压力油经环槽 b 进入到液压缸后腔 B，液压缸前腔 A 中的压力油经环槽 c 流回油箱。此时后腔 B 的作用力大于前腔 A，于是刀架沿上坡切削（见图 6-72 中的 b 点）。

由于液压缸前腔 A 和后腔 B 的油压，在工作过程中随着四个阀边的缝隙 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 和 δ_4 的变化而变化，所以称为四边控制的液压随动系统。

上述单边、双边和四边控制仿形刀架的滑阀壳体与液压缸是刚性连接的。在加工过程中，刀具的输出信号虽然可以反馈到触销，但由于切削力、油的温度和粘度变化的影响，使得触销的位移量和刀具的随动位移量之间有个差值，这个差值越小，则仿形刀架的工作精度越高。一般来说，四边控制仿形刀架工作精度较高，双边控制次之，单边控制为最低。

(2) 仿形刀架在车床上的安装 通常，把仿形刀架固定在中滑板的后部，并使液压缸的轴向与床鞍的进给方向成一定的夹角 θ （即安装角）。根据经验，安装角 θ 可按下列方法选取：

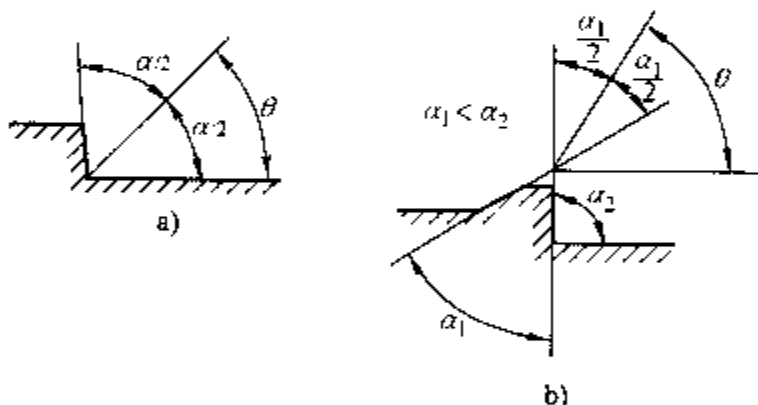


图 6-73 工件上的角度 α

当工件上只有一个角度（图 6-73a）时，取 $\theta = \alpha/2$ 。

当工件上有两个以上的角度（图 6-73b）时，取 $\theta = 90^\circ - \alpha_{\text{最小}}/2$ 。

(3) 仿形运动的死角 在液压仿形运动中，不可能达到的角度称为死角。由于死角的存在，限制了仿形刀架的使用范围，所以应尽量避免死角，这时工件上的过渡角应参照图 6-74 选取。

在图 6-74a 中，当 $\theta = 45^\circ \sim 60^\circ$ 时，下降坡度角最大不应超过 30° ；上升坡度角可取 $0^\circ \sim 90^\circ$ 。

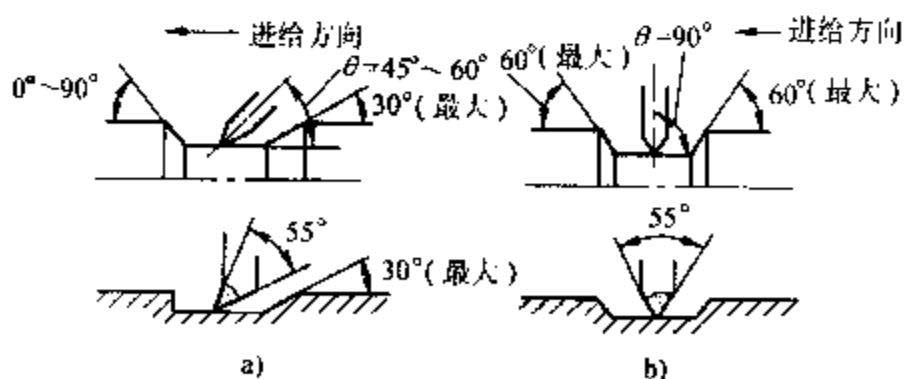


图 6-74 避免死角的工件过渡角度

在图 6-74b 中，当 $\theta = 90^\circ$ 时，下降坡度角和上升坡度角都不应超过 60° 。

(4) 样件（或样板、靠模） 进行仿形切削时，样板的精度高低对工件的加工精度影响很大，因此如何设

计与制作样板是一项很重要的工作。

1) 样板的设计与制作。图 6-75d 为被加工工件。图 6-75b 是加工该工件的样板，它的底面应光滑平直，是制造样板的基准面；它的两端均为长 10mm 的直面，用以安装、找正和保护尾座顶尖。

样板的材料一般是厚度为 3~5mm 的工具钢板。为了使样板接触面平直光滑，制作方便，通常该面倒出厚为 2mm、具有 30° 角的坡口，如图 6-75a 所示。

2) 样件的设计与制作。如图 6-75c 所示，在样件两端制成两个相同直径的圆柱面，用以安装时找正。也就是将百分表放在圆柱面上，测量素线位置时，可以准确地看出样件和床身导轨的平行性。样件两端还有过渡斜坡，其作用有两个：一是当工件直径过小时，可以避免碰伤尾座顶尖；二是为了逐步引导刀具趋近工件。

有时候，样件不必另行设计制造，而是用已加工合格的零件作为样件。

对上述两种情况，究竟应采取哪种方式，要从加工方便的角度去考虑。

(5) 应用液压仿形刀架实例 被加工零件（套管半轴），原来在 C620 型车床上半精车外圆柱阶梯表面时，生产效率降低，每班只能加工 40 件；测量加工尺寸须用六、七块卡板，工作很繁忙。现在仍然用这台车床，装上 YFD-100 型液压仿形刀架后，只用两块卡板检测尺寸，每个班可加工 70~80 件，生产率提高了一倍，工件加工表面粗糙度可达 R_a 值为 $6.3 \sim 3.2 \mu\text{m}$ ，还大大地减轻了工人的劳动强度。

1) 液压仿形刀架

① 液压仿形刀架的安装与调整。图 6-76 所示为装有仿形刀架的 C620 型车床的外观图。仿形刀架 4 用螺钉固定在中滑板 3 的后半部，保持了前面的方刀架，并且可使仿形刀架 4 随床鞍 5 作纵向移动，随中滑板 3 作横向移动。因此，在调整床鞍 5 或中滑板 3 的时候，也就使仿形刀架 4 在机床上的水平位置得到了调整。仿形刀架 4 在高度方向上的调整，通常用垫片厚度来保证，固定好后就不再调整了。

② 样件的安装与调整。被加工零件各阶梯圆柱面的半径相差甚小，所以样件的形状采用圆柱式，它的结构尺寸与被加工零件基本一样，只是在样件的两末端尺寸比被加工零件长

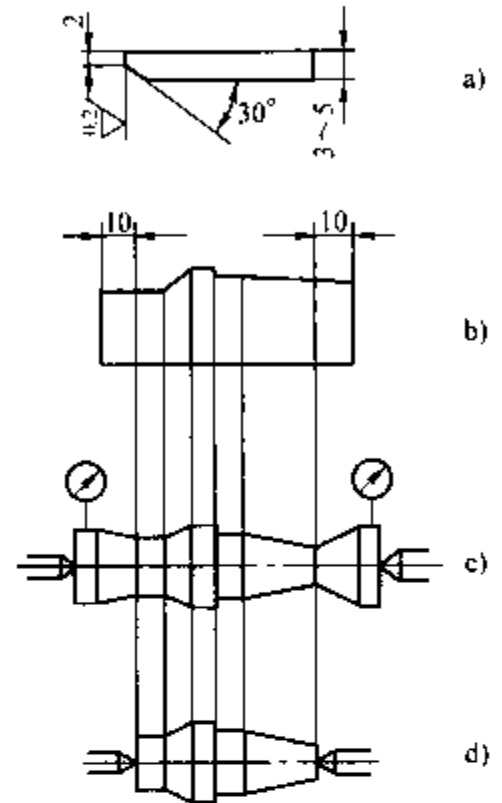


图 6-75 样件和样板

a) 样板侧面厚度
b) 样板 c) 样件 d) 工件

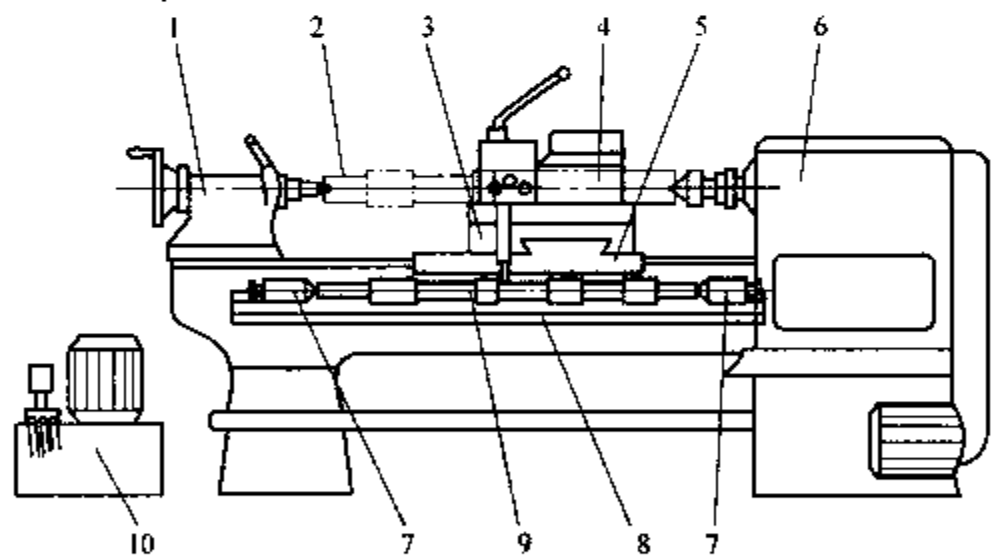


图 6-76 C620 型车床安装仿形刀架后的外观图

1—尾座 2—工件 3—中滑板 4—仿形刀架 5—床鞍 6—主轴箱
7—固定顶尖 8—固定座 9—样件 10—液压装置

50mm，用以引导刀具和作支承。

由图 6-76 可见，固定座 8 固定在床身的后侧面，两固定顶尖 7 固定在固定座 8 上，以使样件顶紧并定位。若样件的位置安装不合适，可拧动固定顶尖 7 上的旋钮进行微调，也可以改变固定顶尖 7 在固定座 8 上的位置进行大调整。

③工件的安装。工件安装于主轴顶尖与尾座顶尖之间，两顶尖都是根据工件要求特制的。

2) 仿形刀架的工作原理。仿形刀架采用四边控制、机械反馈伺服原理工作，如图 6-77 所示。活塞杆紧固在底板上（参见图 6-78），液压缸体作往复运动。由叶片泵 1 供给压力油，经过滤器 17 进入伺服阀 11。当伺服阀 11 在中间位置时，刀架处于平衡；当伺服阀 11 通过触销 14 被样件 15 推向上时，压力油经油管 16、9 进入液压缸后腔 8，前腔 6 的油经油管 4、13 流回油箱，则刀架后退，即仿形刀架上坡；当伺服阀 11 通过触销 14 被弹簧 10 压下时，压力油经油管 16、4 进入液压缸前腔 6，后腔 8 中的油经油管 9、13 流回油箱，则刀架前进，即刀架下坡。

从伺服阀两端渗出的油，经油管 12 流回油箱。推开手动开关 3 即可观测油的压力。

3) 仿形刀架的结构。仿形刀架的结构如图 6-78 所示。它由滑动壳体 6、刀架体 2、调刀机构 10、伺服阀 14 等组成。滑动壳体 6 与液压缸、燕尾导轨铸成一体，通过活塞杆 5、支架 4 与底板 3 相连接。刀架体 2 安装在滑动壳体 6 上，依靠下面两个定位器 1，可紧固在任意位置上。手轮 7 用以调整背吃刀量（当 $\alpha = 90^\circ$ 时，每格为 0.02mm），若手轮 7 发生窜动，可调节螺母 9（因螺母 9 是左旋螺纹，端头有四个槽，调整时，可用钳子夹紧使其变形，以消除螺母之间的间隙）。伺服阀 14 与调刀机构 10 连接在一起，通过两根软管 A'、B' 与液压缸前后腔连接。

导轨润滑油由螺钉 15 注入，从观察油孔 16 观察油标，每班加油一次，如清洁里面，将丝堵 17 卸下即可进行清理。

手柄 8、定位销 11、拨块 13 用以控制仿形刀架前进和后退。需要刀架前进时，将手柄 8 往上提，压缩弹簧 12，使定位销 11 脱离小孔，再将手柄 8 往左移动，使定位销 11 限入小凹面，则仿形刀架前进。反之，将手柄 8 往右移动，使定位销 11 重新插入小孔内，则仿形刀架后退。

6. 将卧式车床改装为半自动车床粗加工阶梯轴

为了满足生产的需要，某工厂利用液压仿形刀架将一台卧式车床改装为半自动车床，用于粗加工电机、砂轮机的转轴。生产实践证明，改装后的机床可以实现加工自动工作循环，大大地提高了生产率，并且降低了工人的劳动强度。

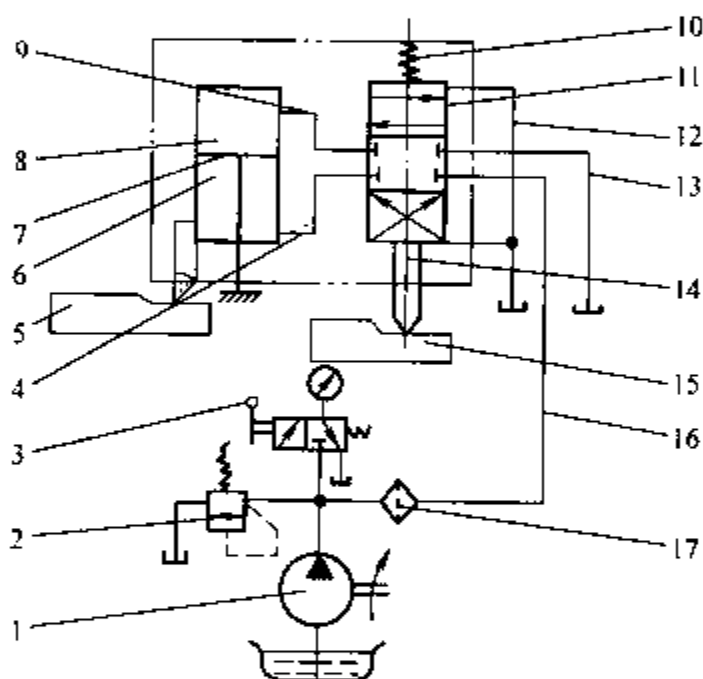


图 6-77 仿形刀架的工作原理
1—叶片泵 2—溢流阀 3—手动开关
4、9、12、13、16—油管 5—工件
6—液压缸前腔 7—活塞 8—液压缸后腔 10—弹簧 11—伺服阀
14—触销 15—样件 17—过滤器

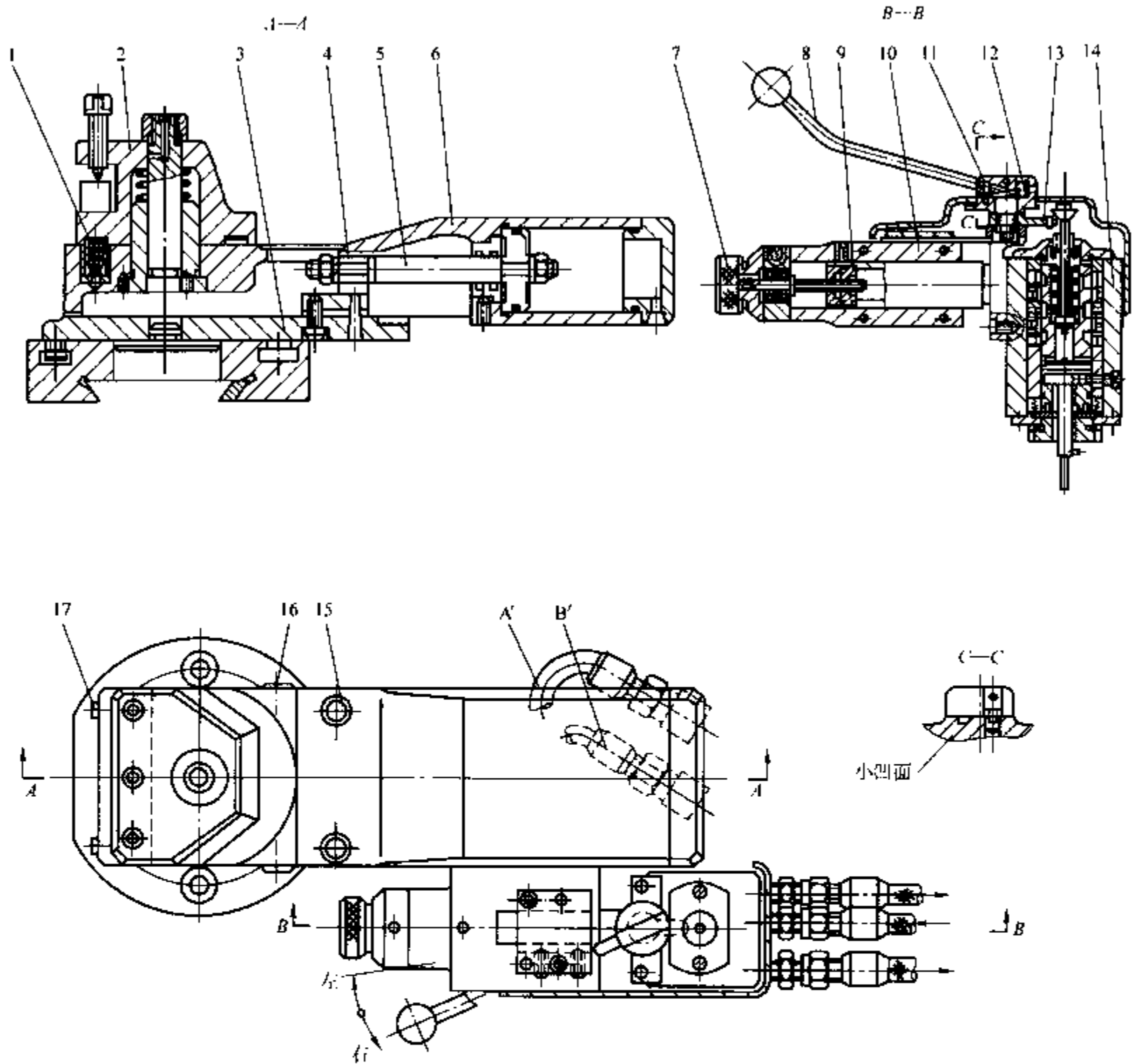


图 6-78 仿形刀架结构

- 1—定位器 2—刀架体 3—底板 4—支架 5—活塞杆 6—滑动壳体
 7—手轮 8—手柄 9—螺母 10—调刀机构 11—定位销 12—弹簧
 13—拨块 14—伺服阀 15—螺钉 16—观察油孔 17—丝堵 A'、B'—软管

图 6-79 是改装后的机床结构示意图。把原车床的方刀架和小滑板连同丝杠螺母拆掉，换成仿形刀架。转盘沿顺时针方向转动 45° 后固定，即液压缸轴线方向与纵向进给方向成 45° 。液压缸 10 固定在仿形刀架尾部，活塞杆固定在转盘上。在液压缸座上固定有伺服阀 8 和电磁铁。在床鞍上固定有二位四通阀 7、开关 K_5 、摆动液压缸和电液分配器 9、挡铁 3。在床身后侧面固定有开关 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 。在床身前侧面固定有弹簧挡销 6 和快速电动机 14，快速电动机通过超越离合器 13 与光杠 12 连接。电液分配器 9 上有六个定位柱 16，每个定位柱的长度是可调的，在第一个定位柱上固定有挡铁 15。

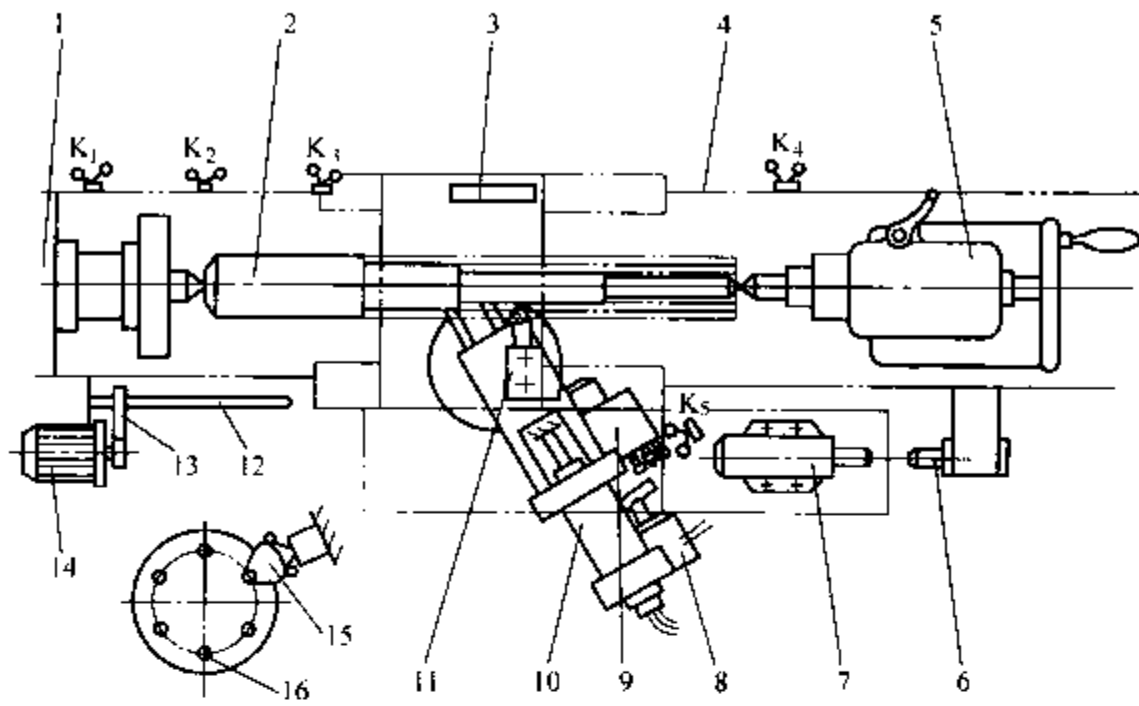


图 6-79 改装后的机床结构示意图

- 1—主轴箱 2—工件 3、15—挡铁 4—床身 5—尾座 6—弹簧挡销
 7—二位四通阀 8—伺服阀 9—摆动液压缸和电液分配器 10—液压缸
 11—刀架 12—光杠 13—超越离合器 14—快速电动机 16—定位柱
 K₁、K₂、K₃、K₄、K₅—开关

改装后机床的工作循环是：进刀→纵向进给→退刀→快速退回，如图 6-80 所示。经过一次循环即可车削一个阶梯圆柱面，重复三次即可完成三个阶梯圆柱面的加工。

由于每个阶梯的加工余量 a 较大，不能一次切去，需分为两次切完。即第一个工作循环加工出的阶梯轴没有达到要求的尺寸，每个阶梯还有一半的加工余量没有切掉；第二个工作循环切去剩下的余量，完成阶梯轴的车削加工。

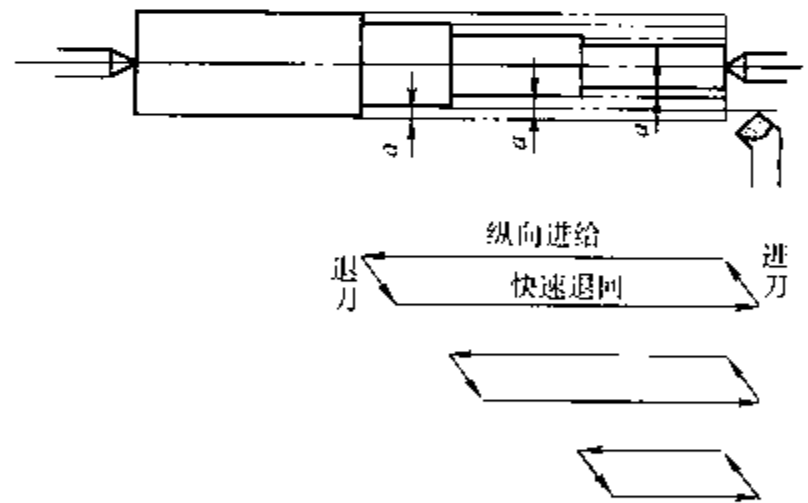


图 6-80 工作循环

机床的工作循环是由液压和电器配合动作实现的，其工作原理见图 6-81。

(1) 进刀 伺服阀 6 的阀芯在弹簧的作用下处于左端，b 口被阀芯封死，工作油路与油箱不通，因此液压缸 17 两腔间没有压力油流动，两腔的单位面积压力相等，即 $p_I = p_{II}$ ，而 $A_{II} > A_I$ ，所以 $p_I A_I < p_{II} A_{II}$ ，即 $F_I < F_{II}$ 。

- 式中 p_I —— I 腔单位面积上的压力；
 p_{II} —— II 腔单位面积上的压力；
 F_I —— I 腔的压力；
 F_{II} —— II 腔的压力；

A_I —— I 腔中活塞的有效面积;

A_{II} —— II 腔中活塞的有效面积。

在压差作用下, 液压缸体带动仿形刀架沿 45° 方向作进刀运动。随动刀架同时又被床鞍带动作纵向运动, 所以刀具的运动轨迹是上述两种运动的合成。

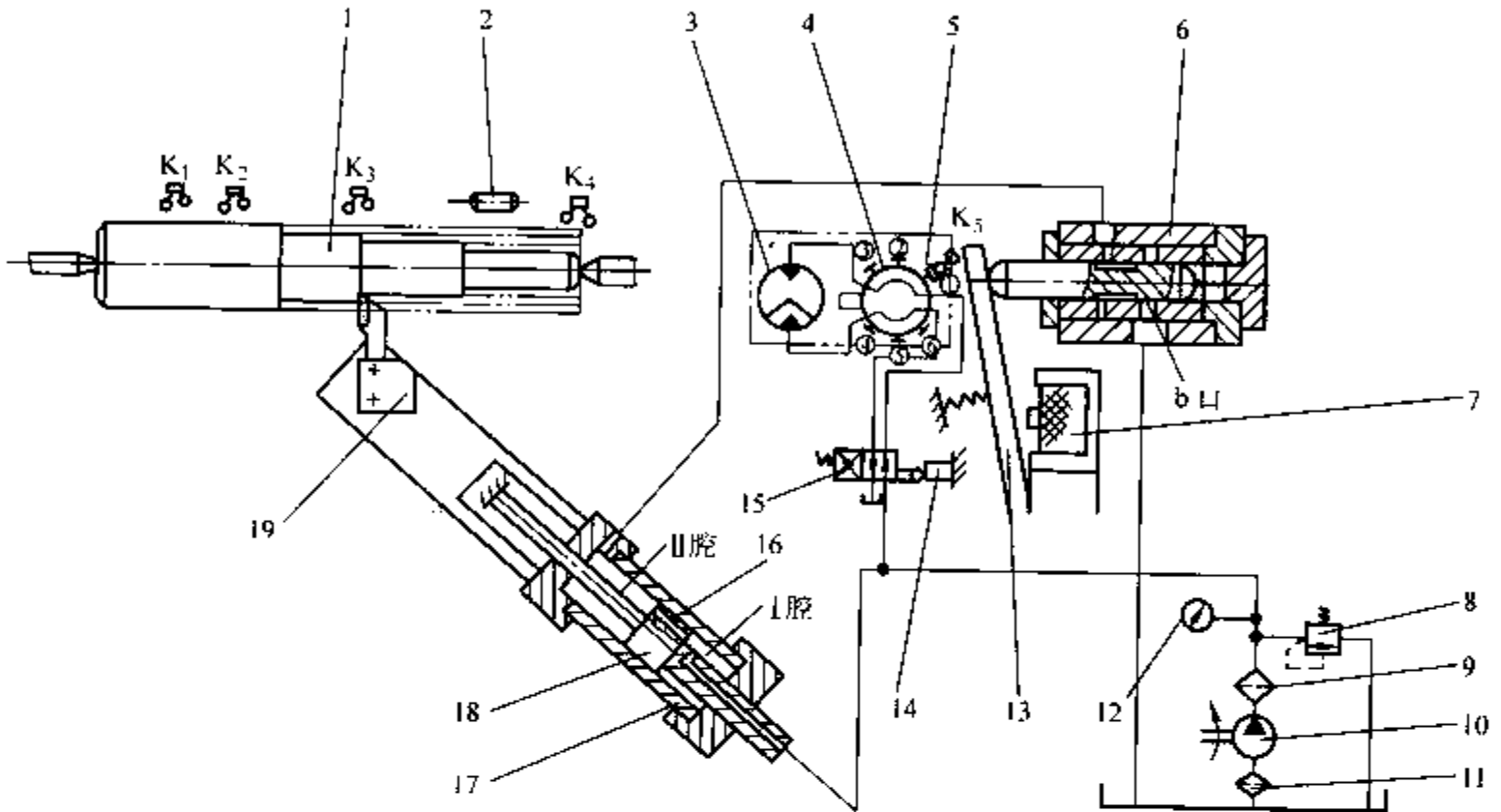


图 6-81 液压系统工作原理

- 1—工件 2、5—挡铁 3—摆动液压缸 4—电液分配器 6—伺服阀 7—电磁铁
 8—溢流阀 9、11—过滤器 10—液压泵 12—压力表 13—压板 14—死挡铁
 15—二位四通阀 16—阻尼小孔 17—液压缸 18—活塞 19—刀架
 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 、 K_5 —开关 ①、②、③、④、⑤、⑥—定位柱 b 口—油路口

当进刀到一定深度时, 伺服阀 6 碰上电液分配器 4 上的定位柱①, 阀芯在定位柱①的作用下, 克服弹簧的弹力向右移使 b 口打开一定的开度 δ , 如图 6-82 所示。这时, 工作油路与油箱相通, 工作油路中有压力油的流动。在液压缸的阻尼小孔 16 处产生了压力降 Δp , $p_I = p_{II} + \Delta p$, 所以 $p_I > p_{II}$ 。 p_I 是由溢流阀调定不变的; p_{II} 是由 b 口的开度 δ 决定的, δ 越大, 则 p_{II} 越小。当 b 口的开度 δ 达到一定值, 即满足 $p_I A_I = p_{II} A_{II}$ 时, 液压缸处于平衡状态, 则进刀完毕。

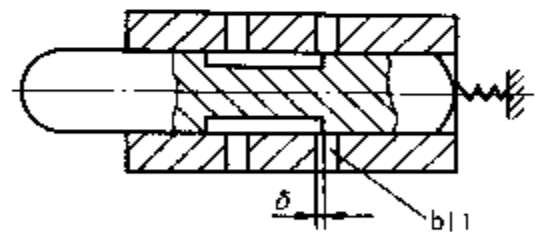


图 6-82 伺服阀 b 口打开

可见, 进刀的深浅是由电液分配器上定位柱的长短决定的, 即定位柱长, 进刀浅; 定位柱短, 进刀深。

(2) 纵向进给 进刀完成时, 液压缸处于平衡状态, 由它带动的仿形刀架也处于平衡状态。整个系统由床鞍带动作纵向进给运动。当刀具进入吃刀后, 产生了沿液压缸轴向的切削分力 F (负载), 破坏了原来的平衡。在 F 作用下液压缸稍为后退, 伺服阀也随之后退, 阀芯在弹簧的作用下, 把 b 口的开度关小些, 使液压缸 II 腔的压力升高, 又达到新的平衡,

即： $p_{II}A_{II} = p_I A_I + F$ 。在这种平衡状态下，由床鞍带动车削第一个阶梯圆柱面。

(3) 退刀和快速退回 当纵向进给到一定距离时，床鞍下的挡铁 2 压下开关 K_1 。 K_1 同时发出两个信号，一个使电磁铁通电；一个接通快速电动机。

电磁铁通电吸合压板，压板把伺服阀阀芯推到右端，如图 6-83 所示。b 口完全打开，液压缸中 II 腔的压力骤然下降，也就是 $p_{II}A_{II} < p_I A_I$ ，液压缸带动仿形刀架迅速后退，实现退刀。

快速电动机得电旋转，并通过超越离合器使光杠快速反转，驱使床鞍带动整个系统快速纵向退回，即实现快速退回。

退刀和快速退回两种运动是同时产生的，因此退刀轨迹是两运动的合成。

当挡铁 2 压下往返开关 K_4 时，快速退回停止。使电磁铁断电，随动阀阀芯在弹簧作用下回到左端位置。快速电动机也失电停止转动，机床主电机的动力与光杠接通，开始下次进刀运动。

(4) 电液分配器转位和摆动液压缸回位 当床鞍快退到原位时，二位四通阀碰上弹簧挡销，处于右端位置。液压泵输出的压力油一部分进入摆动液压缸，驱使电液分配器回转 60° ，换成定位柱②与伺服阀阀芯对应。电液分配器转位后，床鞍纵向进给使二位四通阀离开死挡铁，在弹簧作用下处于左端位置。压力油使摆动液压缸回位器封死此油路。但是，摆动液压缸回位不能带动电液分配器转动。

(5) 第二个阶梯圆柱面的形成 由于电液分配器转位，换成定位柱②与随动阀阀芯对应，而定位柱②比定位柱①短，所以第二次进刀比第一次深。

第二次纵向进刀时，挡铁 2 压下 K_2 就开始退刀，快速退回，而 K_2 比 K_1 近一段距离，二者的距离就是第一个阶梯圆柱面的长度。可见，第二次纵向进给所加工出的圆柱面比第一次加工的圆柱面直径小，并且纵向走刀近，因此形成了阶梯，此次走刀形成了第二个阶梯圆柱面。

依次形成第三个阶梯圆柱面。

到此阶梯已初步形成，但每个阶梯还有一半余量未切去。再继续一个循环才能把余量全部切掉，完成阶梯轴粗加工。

(6) 原位停止和装卸工件 由上述可知，一个工件要经过六次的“进刀→纵向进给→退刀→快速退回”，才加工完毕。在第六次快速退回后，床鞍上的挡铁 2 压下 K_4 ，弹簧挡销碰上二位四通阀，电液分配器转位使定位柱①与伺服阀对应，这时定位柱①上的挡铁 5 压下开关 K_5 。切断主电机，机床停转，装卸工件。

新工件装好后，按下起动电钮，机床开动，开始下个工件的加工。

7. 滚花加工及质量保证措施

某些工具和机床零件的握手部位，为了增加摩擦力或使零件美观，往往在零件表面上滚出各种不同的花纹。例如车床的刻度盘、外径千分尺的微分套筒以及铰、攻扳手等，这些花纹一般是在车床上用滚花刀滚压而成的。

滚花的花纹分直纹和网纹两种，并有粗细之分。花纹的粗细由节距 P 来决定，滚花的标注及节距 P 的选择见表 6-7。

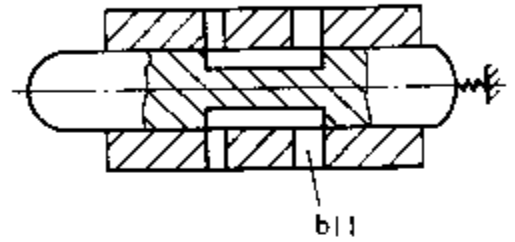
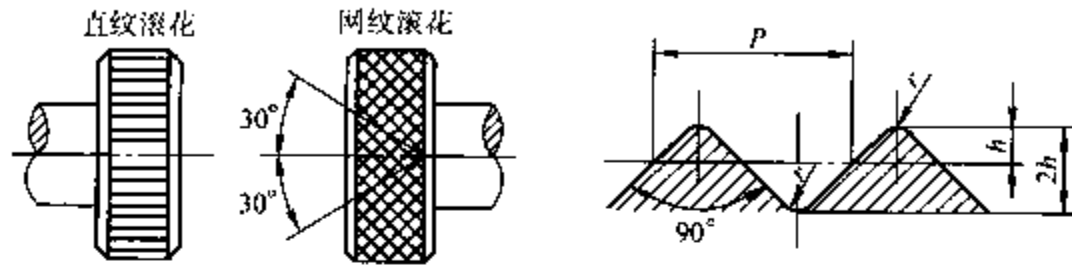


图 6-83 伺服阀 b 口完全打开

表 6-7 滚花



标记示例

1. 模数 $m = 0.3\text{mm}$ 直纹滚花: 直纹 $m0.3$
2. 模数 $m = 0.4\text{mm}$ 网纹滚花: 网纹 $m0.4$

滚花的尺寸规格

(mm)

模数 m	h	r	节距 P
0.2	0.132	0.06	0.628
0.3	0.198	0.09	0.942
0.4	0.264	0.12	1.257
0.5	0.326	0.16	1.571

(1) 滚花刀 滚花刀一般有单轮、双轮和六轮三种, 如图 6-84 所示。

图 6-84a 所示为单轮滚花刀, 通常用于滚压直纹。图 6-84b 所示为双轮滚花刀, 用于滚压网纹, 它是由节距相同的一个左旋轮和一个右旋轮组成的。图 6-84c 所示为六轮滚花刀, 它的六个轮以节距大小分为三组, 安装在同一个特制的刀杆上, 分为粗、中、细三种, 供操作者选用。一般来说, 工件直径和宽度较大时, 应选择粗花纹; 反之, 则选择细花纹。

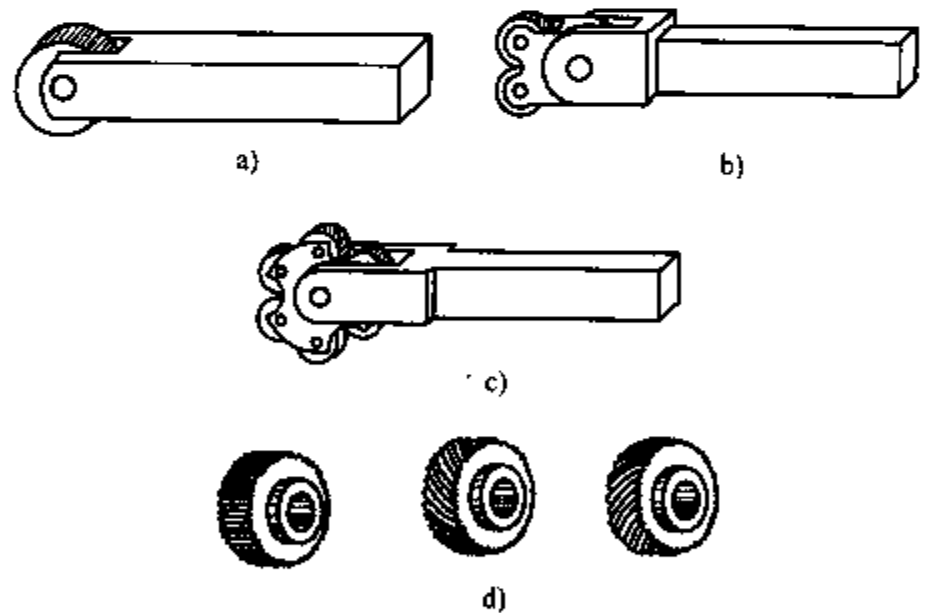


图 6-84 滚花刀

(2) 滚花原理和方法 图 6-85

所示为双轮滚花刀滚花示意图。在

a) 单轮滚花刀 b) 双轮滚花刀 c) 六轮滚花刀 d) 滚轮齿形

滚花前, 由于滚花时工件表面产生塑性变形, 所以在车削滚花外圆时, 应根据工件材料的性质和滚花节距 P 的大小, 将滚花部位的外圆车小 $(0.2 \sim 0.5)P$ 。滚花时, 将工件 2 装夹在三爪自定心卡盘 1 和顶尖 3 之间; 双轮滚花刀 4 固紧在刀架 5 上, 注意使滚花刀的表面与工件表面平行, 并保证中心高一致。在滚花刀接触工件开始进刀时, 应用较大的压力, 而且要猛一些 (否则易产生乱纹现象), 使工件圆周上一开始就形成较深的花纹。为了减少开始时

的径向压力,可用滚花刀宽度的 $1/2$ 或 $1/3$ 进行挤压,或者把滚花刀尾部装得略向左偏一些,使滚花刀与工件表面产生一个很小的夹角(见图6-86),有助于滚花刀顺利切入工件表面。当停机检查花纹符合要求后,即可纵向自动走刀,这样滚压一两次,使工件表面产生塑性变形而形成花纹。

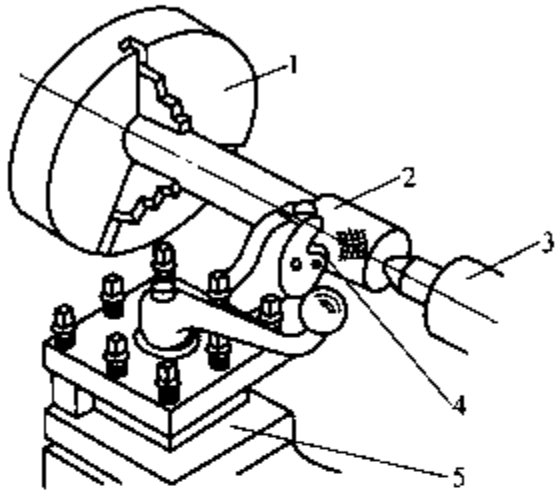


图 6-85 双轮滚花刀滚花示意图
1—三爪自定心卡盘 2—工件 3—顶尖
4—双轮滚花刀 5—刀架

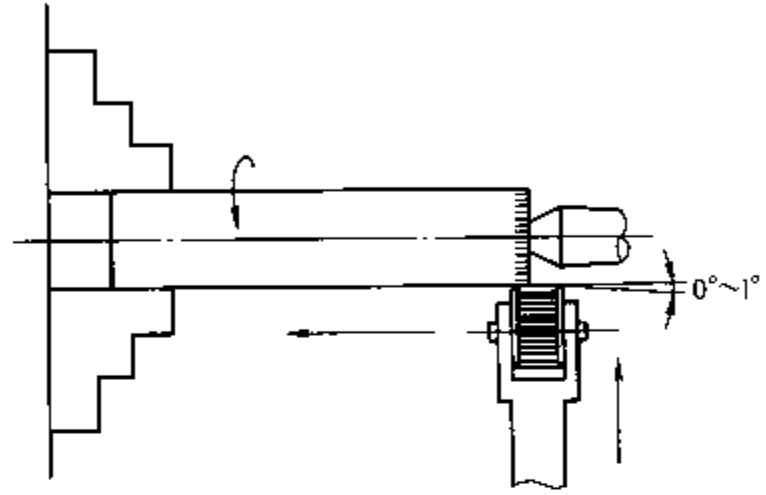


图 6-86 滚花刀的安装

(3) 滚花质量保证措施

1) 工件转速太高,滚花刀和工件表面产生滑动,会使网纹不清,所以滚花时应取较慢的转速。

2) 由于滚花时径向压力较大,所以工件装夹必须牢固。尽管如此,滚花时出现工件走动现象仍是难免的,因此在车削带有滚花的工件时,通常先滚花,再找正工件,然后再精车。

3) 在滚花过程中也会产生大量屑末,这些屑末夹杂在滚刀花和工件之间,不仅影响滚花质量,也影响滚花刀的寿命。因此滚花时应加注切削液,甚至还需要用毛刷清除工件表面的屑末。

4) 若采用正转滚花,则滚花轮与工件沿切线方向向下转动,这种情况下使用毛刷清除屑末,很容易咬住毛刷,屑末不易除掉,滚花表面质量粗糙,毛刷也易损坏。如果采用反转滚花,不论是滚花轮,还是工件齿槽中所积的屑末,都经过垂直向下的最低点,由于屑末的重量和切削液的冲洗,屑末容易及时掉落,使滚花刀与工件表面在较洁净的情况下对滚,以利于提高加工质量和延长滚花刀的寿命。另外,采用反转滚花,毛刷也不会被咬住。由此可见采用反转滚花比正转滚花质量好。

5) 在滚花过程中,不能用手或棉纱去接触工件的滚花表面,以防绞手伤人。

6) 细长工件滚花时,要防止顶弯。薄壁工件滚花时,要防止变形。

7) 滚直花纹时,滚花刀的齿纹必须与工件轴线平行,否则挤压的花纹不直。

8) 若工件外径周长不能被滚花刀节距 P 除尽,则在重复滚压时,滚花刀纹不能进入前次滚压的花纹内,造成乱纹。在这种情况下,可把外径再略车小一些重新滚压。

9) 压力过大,进给量过小时,往往会滚压出阶梯形凹坑。

四、特殊结构零件车削

在车削加工中，往往会遇到形状复杂、外形不规则、容易变形、相对位置要求较高的工件。在这些工件中，有的装夹很困难，有的测量很麻烦，有的需要配备专用工艺设备，从而增加了车削加工的难度。因此，对特殊结构零件的车削，无论是工艺安排还是实际操作，都要求比较高。

1. 车削偏心件的关键技术

在机械传动中，回转运动变为往复直线运动，或直线运动变为回转运动，一般都是用偏心轴或曲轴来完成的。对于外圆与外圆的轴线或内孔与外圆的轴线不在一条直线上（偏一个距离）的零件，则叫做偏心零件。如图 6-87a、b 所示，它们是外圆与外圆偏心的零件，叫做偏心轴或偏心盘，如图 6-87c 所示，它是内孔与外圆偏心的零件，叫做偏心套。两轴线间的距离叫做偏心距。

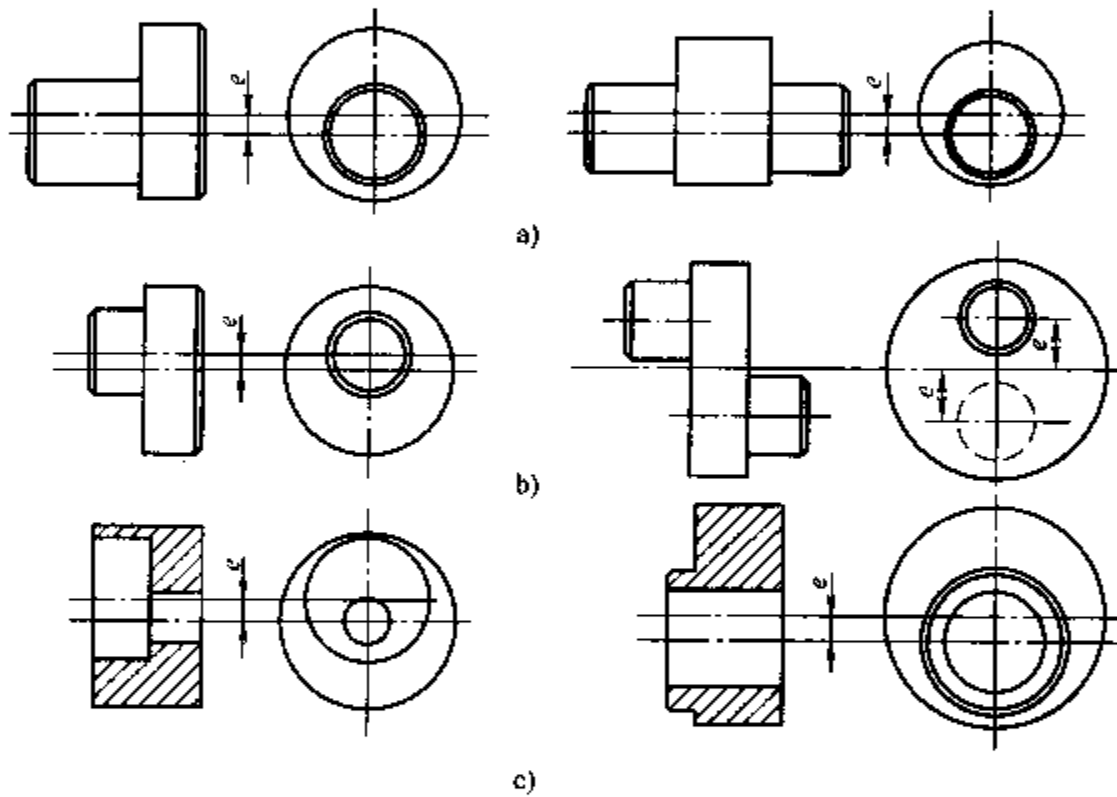


图 6-87 偏心工件

a) 偏心轴 b) 偏心盘 c) 偏心套

曲轴是形状比较复杂的偏心轴（见图 6-88）。其结构特点是，往往一根曲轴上有几个不同角度的偏心轴（曲柄颈）。

偏心轴、偏心盘、偏心套和曲轴通常在车床上加工。它们的加工原理基本相同，其关键技术是对工件的装夹，即把需要加工工件偏心部分的轴线，设法找正到与车床主轴旋转轴线重合，这样才能保证车削后工件的偏心距要求。

对于加工数量不多、精度要求不太高的偏心工件，可用划线的方法确定偏心轴（盘、孔）的轴线位置，然后装夹在两顶尖或四爪单动卡盘上加工。偏心件划线时，为保证划线的正确性，应做到“三不”：

1) 样冲眼不能打歪，以避免产生偏心距误差。

2) 不尖锐或软质的划针不能用。由于划针不尖锐, 其划线的线条粗大, 影响工件的安装找正, 容易产生安装误差。若划针的材质较软则划线时容易磨钝, 致使线条粗大或不均匀, 从而影响工件装夹的正确性。通常, 划针应进行热处理, 保证其硬度, 并将划针头部磨成 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 锥角, 保证锋利。

3) 划线平板或划针底盘不洁净不能用于划线, 否则会因灰尘、杂质等影响划线的精度。

在装夹工件和车削时, 还应注意以下几点:

1) 若用四爪单动卡盘装夹工件, 必须按已划好的偏心线和侧母线找正, 使偏心轴线与车床主轴轴线相重合。

2) 若用三爪自定心卡盘装夹工件, 由于要在其中一个卡爪上增加一块垫片, 因此对其厚度要经计算来确定, 对于精度要求较高的偏心件, 还要试切实测, 根据实测结果再调整厚度, 并选用较硬的材料; 垫片与卡爪的接触面不能是平面, 而应当是圆弧面。

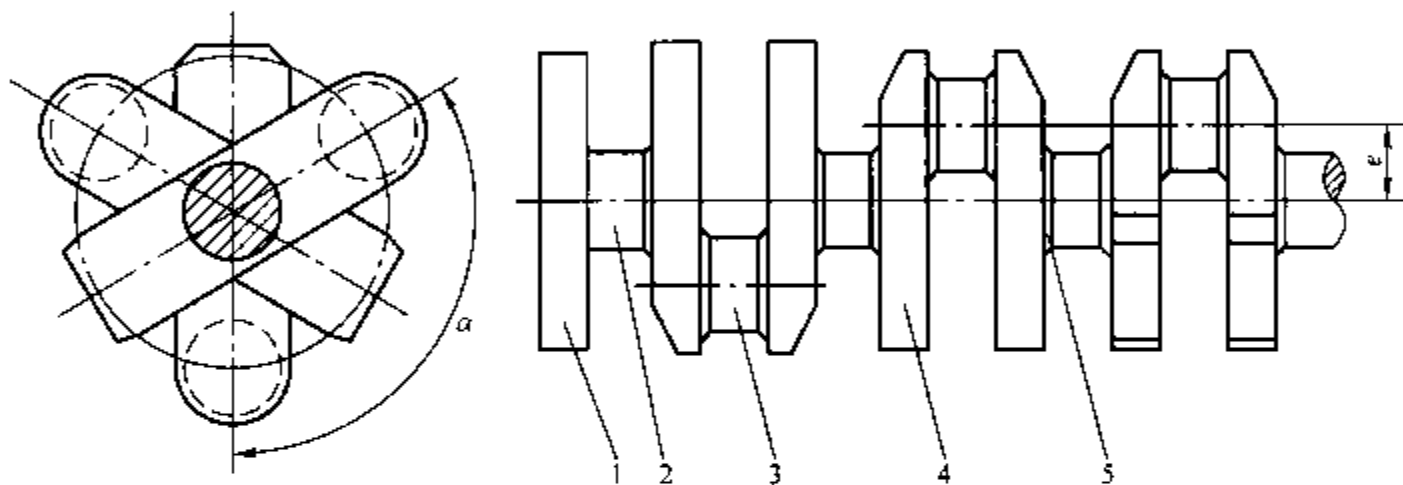


图 6-88 曲轴结构简图

1—法兰盘 2—主轴颈 3—曲柄颈 4—曲柄臂 5—轴肩 e —偏心距 α —曲柄夹角

3) 若用两顶尖装夹工件, 必须确保每组中心孔两中心线相重合, 并且两组中心孔的中心距应等于偏心距。

4) 一般说来, 装夹后的偏心工件, 其质量分布相对机床主轴中心不均匀, 因此导致转动起来的离心力也不均匀。主轴转速越高, 则离心力越大, 容易引起振动或造成零件损坏。所以, 车削偏心件时, 主轴转速不能太高, 尤其对形状不规则、偏心距又较大的工件, 主轴转速更应低些。

5) 车削偏心工件时, 无论采用哪种方法装夹, 工件偏心部分的轴线必须与车床主轴的轴线相重合, 因此工件轴线偏离了主轴轴线, 工件转动不规则, 所以车削时应特别注意, 车刀必须从最外处开始车削, 否则可能把车刀打坏 (崩刃或打刀), 或者造成“闷车”现象。

6) 对偏距较大的工件, 开始车削时是间断车削, 所以在选择车刀几何角度时, 要保证车刀的强度, 能够承受冲击载荷。同时, 进给量和背吃刀量也不宜过大。

2. 偏心工件的车削方法及操作禁忌

偏心工件的装夹和加工, 可根据工件的形状、数量、加工特点和精度要求, 相应地采取不同的方法。

(1) 车削方法

1) 在四爪单动卡盘上车削偏心件。若工件的数量较少, 长度较短, 又不便于两顶尖装夹, 则这种情况下可在四爪单动卡盘上装夹进行偏心加工, 如图 6-89 所示。

在工件装夹前, 应进行划线, 划好轴线和偏心圆的位置。装夹时, 由于卡盘的每个卡爪都能自由调节, 所以可根据工件的形状调节卡爪, 把工件装在正确位置, 即严格保证偏心轴线与车床主轴轴线重合。工件装好后, 即可车削。对于要求不高、偏心距较小的工件可不经划线, 直接在车床上用百分表找正要加工的偏心圆的轴线。

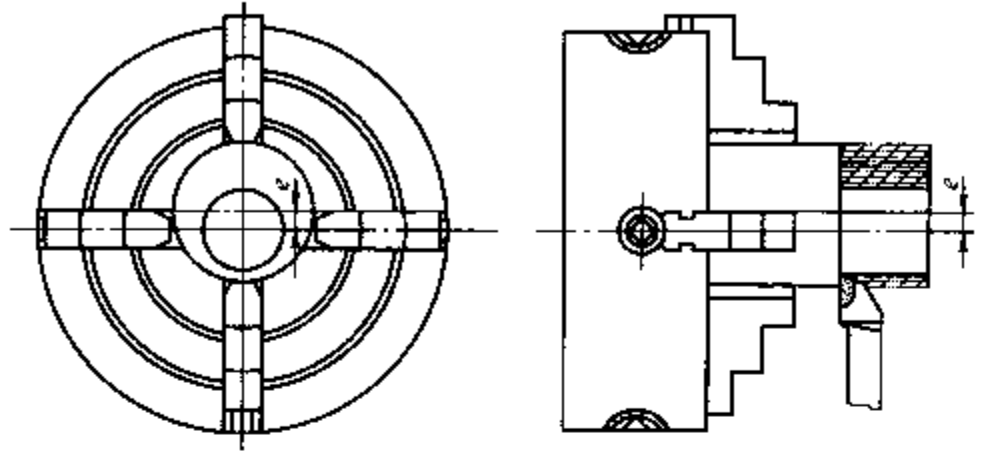


图 6-89 在四爪单动卡盘上车削偏心工件

由于装夹工件时保证的是偏心部分的轴线与主轴轴线相重合, 致使工件的轴线偏移了主轴轴线, 所以在开始车削偏心时, 工件圆周各处的切削量相差很多, 因此车刀应先远离工件后再启动主轴, 然后车刀从偏心的最外一点逐步向里车削, 避免因单边背吃刀量太大而发生事故。

2) 在三爪自定心卡盘上车削偏心工件。长度较短、偏心距较小 (通常 $e < 10\text{mm}$) 的偏心工件可在三爪自定心卡盘的一个卡爪上垫一块垫片, 使工件产生偏心进行车削, 如图 6-90 所示。

这种方法要求在装夹前, 应根据工件偏心距的大小计算出所用垫片的厚度 x , 其计算公式为

$$x = 1.5e \pm k$$

$$k \approx 1.5\Delta e$$

式中 e ——工件偏心距 (mm);

k ——偏心距修正值, 正负值按实测结果确定 (mm);

Δe ——试切后实测偏心距误差 (mm)。

例 9 用三爪自定心卡盘装夹偏心工件进行车削, 装夹处的外圆直径为 $\phi 80\text{mm}$, 偏心孔径为 $\phi 35\text{mm}$, 偏心距为 6mm , 求垫片的实际厚度。

解: 先不考虑偏心距修正值, 计算垫片厚度

$$x = 1.5e = 1.5 \times 6\text{mm} = 9\text{mm}$$

然后将 $x = 9\text{mm}$ 的垫片垫入三爪自定心卡盘的一个卡爪上, 夹紧工件试切。检验偏心距, 实测结果 $e = 5.85\text{mm}$, 则偏心距误差 $\Delta e = (6 - 5.85)\text{mm} = 0.15\text{mm}$ 。

于是垫片的实际厚度应为

$$x_{\text{实}} = 1.5e + k = (9 + 1.5 \times 0.15)\text{mm} = 9.225\text{mm}$$

3) 用两顶尖装夹车削偏心工件。一般偏心轴只要两端能钻出中心孔, 又有安装鸡心夹头的位置, 都可以用两顶尖装夹车削偏心工件, 如图 6-91a 所示。采用这种方法装夹车削偏心工件, 首先应根据偏心距的要求, 在工件两端的端面上钻出四个中心孔 (其中一组是偏

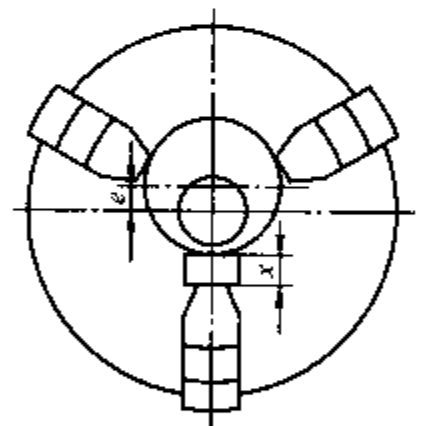


图 6-90 在三爪自定心卡盘上车削偏心件

心中心孔)。车削时，先顶住工件的基准中心孔车削基准外圆；再顶住偏心部分中心孔车削偏心外圆。

应当指出，当偏心工件的偏心距较小时，在工件两端钻中心孔，可能出现偏心部分中心孔与工件的基准中心孔相互干扰的现象。在这种情况下，可按图 6-91b 所示方法，把工件长度加长两个中心孔的深度，即

$$L_1 = l + 2h$$

式中 L_1 ——毛坯轴长度 (mm)；
 l ——偏心轴长度 (mm)；
 h ——中心孔深度 (mm)。

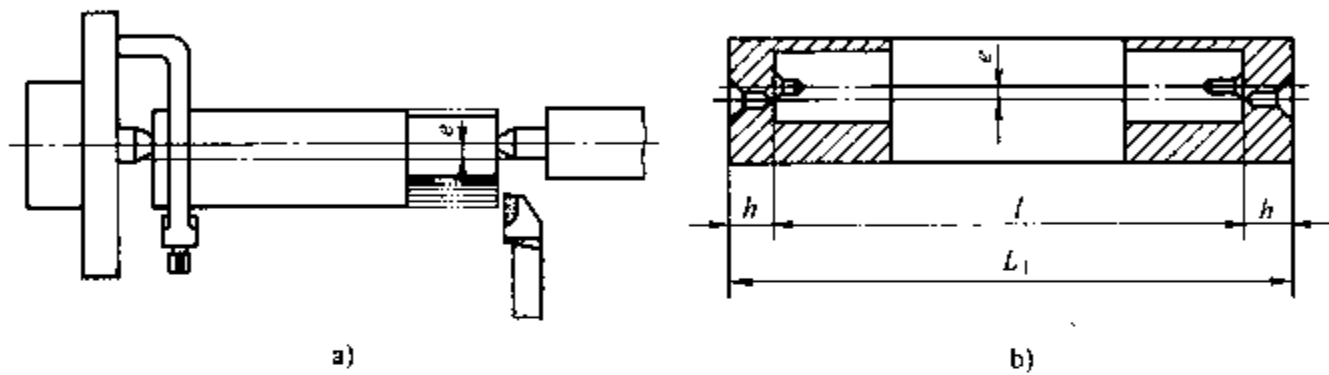


图 6-91 用两顶尖装夹车削偏心工件

a) 用两顶尖装夹车削偏心工件 b) 将毛坯加长后加工中心孔

还应指出，车削偏心工件时，顶尖受力不均匀，前顶尖容易损坏或窜动，因此必须经常检查。

4) 在串接卡盘上车削偏心工件。当偏心工件的批量很大又适合在卡盘上装夹时，如果每件都找正，则要消耗大量的辅助时间，严重地影响生产效率。为了提高生产率，可根据四爪单动卡盘和三爪自定心盘各自的特点，采用两者结合的办法，即将四爪单动卡盘安装上，再把三爪自定心卡盘装在三爪自定心卡盘上，利用四爪单动卡盘调整偏心距，使三爪自定心卡盘轴线与主轴轴线偏移一个偏心距 e ，如图 6-92 所示，利用三爪自定心卡盘装夹工件。在加工一批工件时，只须找正第一个工件，以后的加工工件用三爪自定心卡盘装夹，不必再找正。这样可节省大量辅助时间，能够提高劳动生产率。

应当指出，用这种方法车削偏心件，第一次找正比较困难，而且将两只卡盘串接在一起，刚度比较差，离心力很大，所以适用于车削偏心距不大、长度较短的偏心件。并且车削时所选用的切削用量不宜过大。

5) 在偏心卡盘上车削偏心工件。偏心卡盘的结构如图 6-93 所示。偏心卡盘分为两层，底盘 5 用螺钉固定在车床主轴的连接盘上，偏心体 2 与底盘燕尾槽相配合。偏心体 2 上装有三爪自定心卡盘 4。利用丝杠 1 调整卡盘的中心距，偏心距 e 的大小可在两个测量头 6 和 7 之间测得。偏心距为零时，测量头 6 和 7 正好相碰。转动丝杠 1 时，测量头 7 逐渐离开 6，离开的尺寸即是偏心距。如

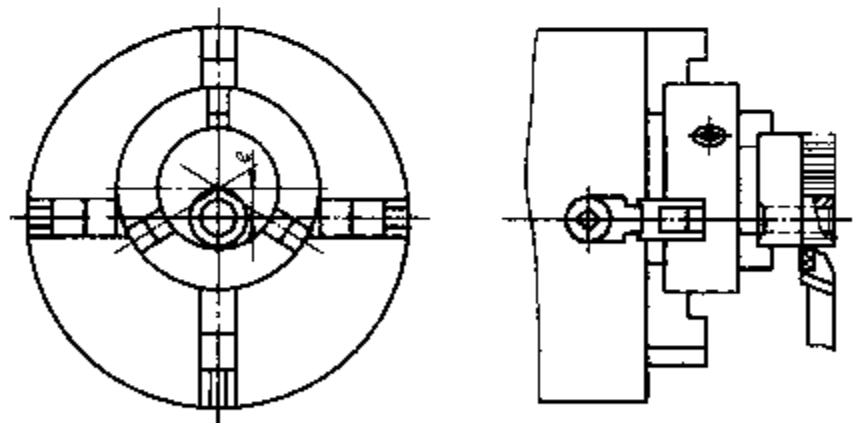


图 6-92 在串接卡盘上车削偏心件

测量头 6 和 7 正好相碰。转动丝杠 1 时，测量头 7 逐渐离开 6，离开的尺寸即是偏心距。如

果偏心距的精度要求较高，可在两测量头之间用量块测量。在偏心距调整好后，用四个T形螺钉3紧固，把工件装夹在三爪自定心卡盘4上，即可车削。

偏心卡盘调整方便，通用性强，可获得很高的偏心距精度，是一种理想的偏心车削夹具。

(2) 操作禁忌 车削偏心工件的操作禁忌如下：

1) 偏件划线时应做到“三不能”。

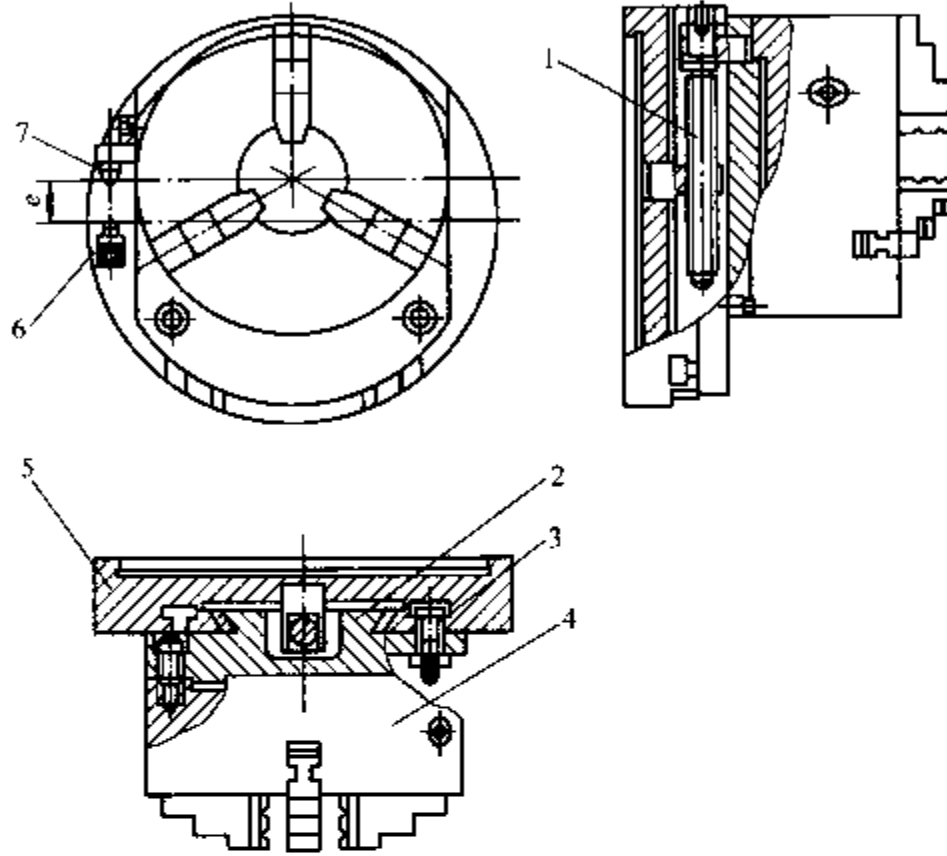


图 6-93 偏心卡盘

1—丝杠 2—偏心体 3—T形螺钉 4—三爪自定心卡盘 5—底盘 6、7—测量头

- ①样冲眼不能打歪。
- ②不能用已磨钝和软材质的划针划线。
- ③划线平板和划针底盘不整洁不能用。

2) 对于三爪自定心卡盘装夹工件时所用垫片应做到“四不宜”。

- ①对偏心距要求较高的偏心工件，计算垫片厚度时，其偏心距修正值不宜忽略不计。
- ②垫片材质的硬度不宜过低，以防止装夹时产生变形。
- ③垫片与卡爪接触的一面不宜做成平面，通常做成圆弧面，并且保证圆弧大小等于（或小于）卡爪脚圆弧。

④工件安装时，工件的轴线不宜歪斜，否则将会影响工件的形位精度。

3) 偏心距较大的工件不可采用串接卡盘安装。因为将三爪自定心卡盘和四爪单动卡盘串接在一起，刚度很差，并且离心力很大。如果工件偏心距较大，四爪单动卡盘夹住三爪自定心卡盘外圆上的作用点就分布不均匀，使夹紧力降低，而且离心力的影响也会增加，使夹紧变得不牢靠，所以不可采用串接卡盘安装偏心距较大的偏心工件。

4) 车削偏心工件时禁止从最低点开始进刀。因为在车削偏心工件时，工件的轴线总是偏离车床主轴轴线的，所以刀尖到工件表面各点间的距离都不相等。如果从最低点开始车

削, 则使切削力突然增大, 而产生撞击, 可能会产生崩刃、打刀或“闷车”现象, 所以车刀必须从最高点开始进入切削。

5) 车削偏心工件时的主轴转速不要过高。因为无论采用哪种方法装夹偏心工件, 工件的轴线都是偏离主轴轴线的, 使得质量分布相对机床主轴中心不均匀。因此, 转动起来所产生的离心力也不均匀, 并且转速越高, 不均匀的程度越严重, 容易引起振动和造成零件损坏。可见, 车削偏心工件的主轴转速不宜过高。对于外形不规则、偏心距较大的工件, 其主轴速更要选得低一些。

3. 偏心距的测量方法及偏心距超差的补救办法

(1) 偏心距的测量方法

1) 用游标卡尺测量。这是一种最简单的测量方法, 特别适用于精度要求不高的偏心孔类零件。例如, 测量偏心孔与外圆柱面的偏心距时, 可在偏心孔壁的最厚处(最大尺寸)和最薄处(最小尺寸)进行测量, 则两尺寸差值的一半即是偏心距。

2) 在两顶尖或两 V 形架间测量。两端有中心孔的偏心轴类零件, 如果偏心距不大, 可把工件安装在两顶尖之间, 使装在百分表架上的百分表测头接触工件, 转动偏心轴, 百分表上示出的最大值和最小值之差的一半即是偏心距, 如图 6-94a 所示。

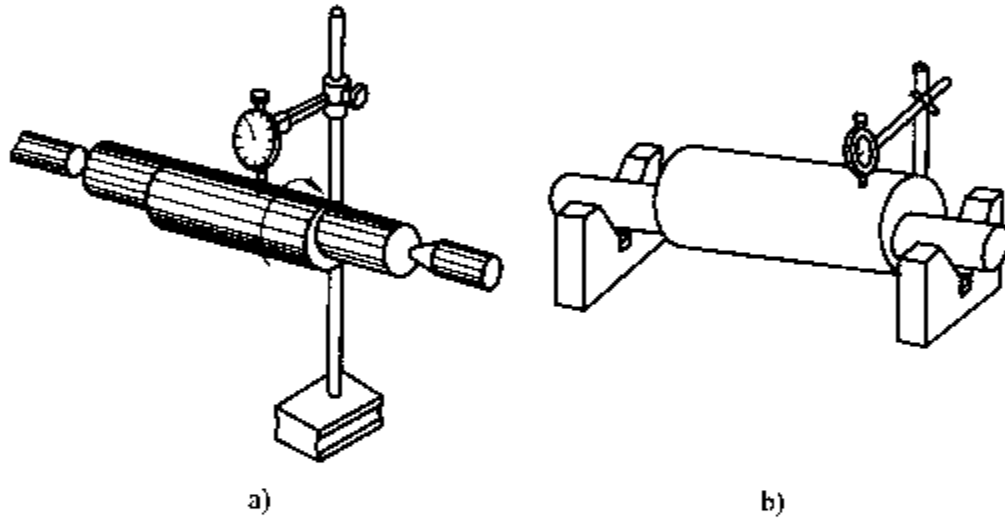


图 6-94 在两顶尖或两 V 形架间测量偏心距

a) 在两顶尖间测量偏心距 b) 在两 V 形架间测量偏心距

若两端无中心孔, 也可以用两个等高的 V 形架支承偏心轴颈, 用百分表测量偏心距, 方法和原理同上, 如图 6-94b 所示。

3) 偏心距的间接测量。对偏心距较大的工件, 因受百分表测量范围的限制, 不能直接测出偏心距的数值。在这种情况下, 可用图 6-95 所示的间接测量偏心距的方法进行测量。测量时, 把工件安放在 V 形架上, 转动偏心轴, 用百分表找偏心轴的最高点。待最高点确定后, 工件固定不动, 将百分表水平移动到基准轴(和 V 形架接触的圆柱面)外圆表面, 测出偏心轴外圆到基准轴外圆的距离 a , 然后用下述公式计算偏心距 e

$$\text{因为} \quad \frac{D}{2} = e + \frac{d}{2} + a$$

$$\text{所以} \quad e = \frac{D}{2} - \frac{d}{2} - a$$

式中 e ——偏心距 (mm);

- D ——基准轴直径 (mm);
- d ——偏心轴直径 (mm);
- a ——基准轴外圆与偏心轴外圆之间的最小距离 (mm)。

若工件较长, 可用放在平板上的两个等高 V 形架支承工件的两端轴颈, 如图 6-94b 所示。

4) 用百分表与车床中滑板配合测量。对于偏心距较大的工件, 还可以在车床上进行测量, 如图 6-96 所示。利用中滑板的刻度来补偿百分表测量范围的不足, 同样能得到精确的测量结果。测量时, 首先使百分表与工件偏心外圆接触, 找出偏心圆的最高点 (图 6-96 所示位置), 记下百分表的读数及中滑板的刻度值, 随后将工件转过 180° , 再摇进中滑板, 找出偏心圆的最低点, 使百分表与工件偏心圆的最低点接触, 并调整中滑板保持百分表的原读数。这时从中滑板的刻度盘上所得出的中滑板的移动距离即是两倍的偏心距, 也就是移动距离的一半即为偏心距。

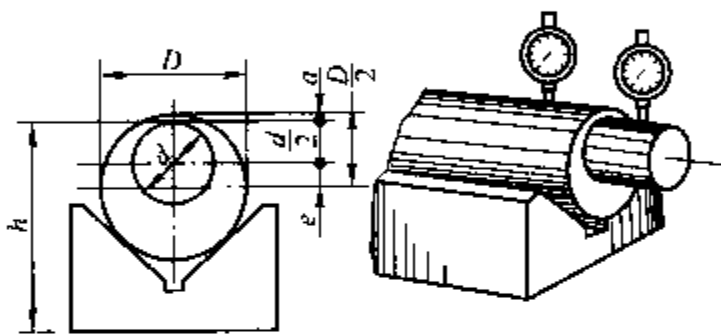


图 6-95 偏心距的间接测量

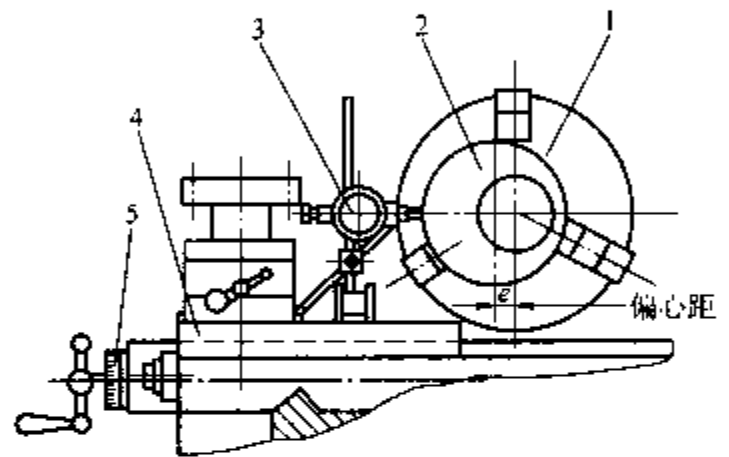


图 6-96 用百分表和中滑板刻度配合测量偏心距

- 1—三爪自定心卡盘 2—工件 3—百分表
- 4—中滑板 5—中滑板刻度盘

(2) 偏心距超差的补救方法

若用双顶尖装夹车削偏心轴类零件时, 粗加工后经检查发现偏心距超差, 则为了不使零件报废, 其补救办法以车削图 6-97 所示偏心轴为例来说明。

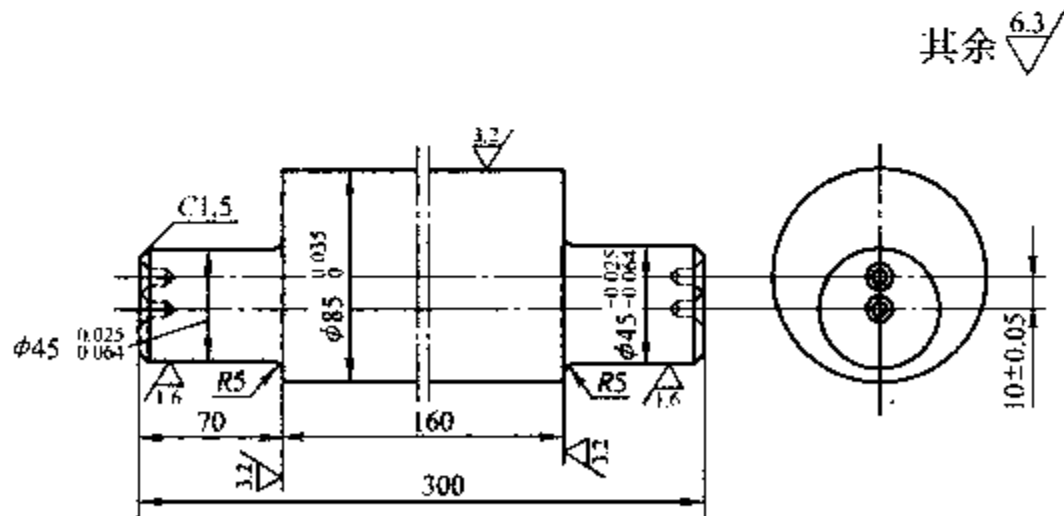


图 6-97 偏心轴

由于是用双顶尖装夹偏心轴, 故需要在偏心轴的端面上加工出两组 (共 4 个) 中心孔,

其中一组用来车削两端的支承轴颈，另一组用来车削中间的偏心轴颈。中心孔可在立式钻床、铣床、坐标镗床或中心孔工加工专用机床上加工。对于偏心距精度要求不高的偏心件，一般工厂多采用划线后在立式钻床或台式钻床或铣床上加工；偏心距精度要求较高的偏心件，中心孔可在坐标镗床上加工。由于在立式钻床或铣床上加工中心孔，中心距精度完全取决于划线的精确性和工人的操作技术水平，所以为保证偏心距精度应先使偏心轴颈（ $\phi 85\text{mm}$ 外圆）粗车一刀，检查一下偏心距是否符合要求，待检验偏心距符合要求后再车削。具体检查方法如下：

在车床上用双顶尖支承轴颈（ $\phi 45\text{mm}$ ），百分表装在刀架或中滑板上，先将百分表测头触到床头一端（记作 A 端）偏心轴颈外圆上，将偏心轴颈最高处转动水平位置与百分表测头接触，稍微转动偏心轴测得最高点，记下百分表读数，再将偏心轴回转 180° ，摇动横向进给手柄使刀架前移两倍偏心距（大约 20mm ），再用百分表测得最低点位置，并记下百分表读数。两读数之差的一半，即是两中心孔的中心距误差。然后将床鞍移到尾座一端（记作 B 端），将百分表测头触到偏心轴颈外圆上，用同样方法测出 B 端两中心孔的中心距误差，如图 6-98 所示。

若两端中心孔的中心距误差都在偏心距公差范围之内，可进行车削加工；若两中心孔的中心距误差其中一端（或两端）超出了偏心距的公差，说明车削后偏心距将超差。为了避免造成废品，可用修正偏心轴颈（ $\phi 85\text{mm}$ 外圆）中心孔的方法进行补救，其方法如下：

设两端中心孔中心距均超差，A 端中心孔中心距误差为 δ_A ，B 端中心孔中心距误差为 δ_B 。先用四爪单动卡盘夹住 A 端外圆（保证夹紧可靠的前提下尽量使夹持长度短一些），另一端用尾座顶尖顶住偏心轴颈中心孔，然后将百分表测头触到卡盘端外圆面上，调整四爪单动卡盘，用百分表校正偏心轴颈外圆。再用百分表控制零件在两中心孔连线的方向上相对主轴中心偏移 A 端两中心孔的中心距误差 δ_A （注意移动方向应与检测的中心距误差的正负相一致），然后再在靠近卡盘处车一小段外圆（宽度以能安装中心架为准）。再用同样方法，调头装夹 B 端，在 B 端靠近卡盘处车一小段外圆（要求同 A 端），这两段小外圆便是用来修正中心孔的基准。用卡盘夹住 A 端，中心架支承在 B 端已车外圆柱面上。调整四爪单动卡盘，用百分表校正使 A 端已车过的外圆面与主轴中心同心；调整中心架支承爪使 B 端已车过的外圆面与主轴中心同心。待两端都校正好后，将小刀架转动 30° ，用小刀架进刀修正 B 端中心孔，A 端中心孔也用同样方法进行修正。用修正过的一对中心孔车削偏心轴颈（ $\phi 85\text{mm}$ 外圆），用另一对中心孔车削支承轴颈（ $\phi 45\text{mm}$ 外圆）就能保证偏心距误差在允许的公差范围之内，从而避免了工件报废。

4. 曲轴加工的关键技术和破解技术难点的对策

曲轴是发动机、空气压缩机、曲柄压力机等机器中的主要零件。曲轴有单拐、两拐、三

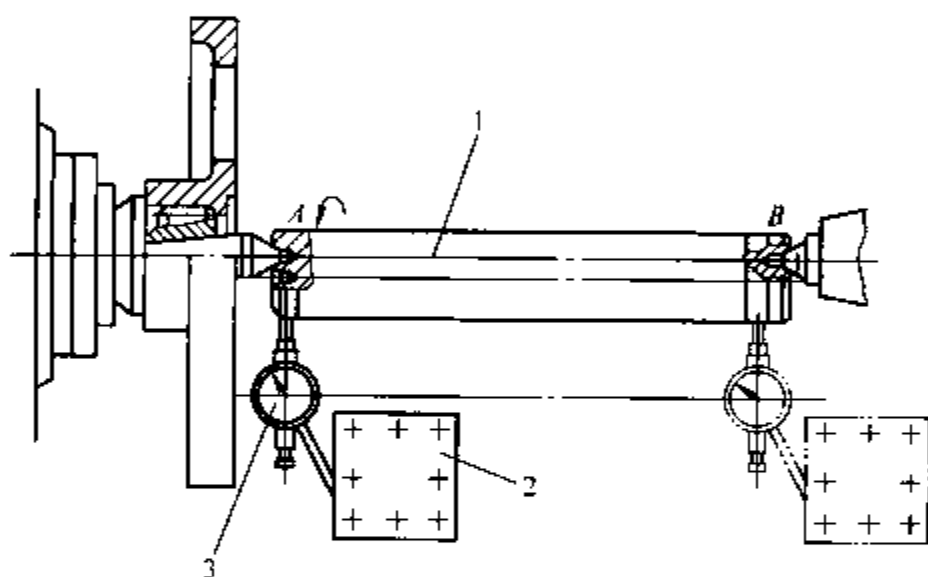


图 6-98 偏心距检测方法

1—偏心轴工件 2—方刀架 3—百分表

拐、四拐、六拐、八拐等几种。根据曲柄颈拐数不同，多拐曲轴的曲柄之间互成 90° 、 120° 、 180° 等角度。

多拐复杂的曲轴是一种难加工零件，车工主要是加工曲轴的主轴颈和曲柄颈。

曲轴的加工，因生产规模不同有很大区别。小批生产时，采用通用机床和通用夹具，配以必要的少量专用夹具；成批生产时，仍以通用机床为主，但需较多的应用专用夹具，以提高生产率和保证加工精度；大量生产时，广泛采用高效专用机床和专用夹具；有时候，大量生产中，也采用将卧式机床改装的方法加工曲轴，以解决设备投资。

加工曲轴的关键技术是：

(1) 解决定位问题 为保证各段主轴的同轴度，粗基准应选择主轴颈轴线，即以两顶尖孔为定位基准。为保证主轴颈相对曲柄板的位置要求，在加工顶尖孔时，应以曲柄板侧面定位。为保证主轴颈与曲柄轴颈的平行度与位置度，应选择主轴颈作精基准。

(2) 保证装夹符合要求 装夹时应认真校正工件的静平衡。通常，在车削前先用两顶尖将曲轴顶住，若在每个回转位置都能起步和停止，则可以进行车削。若粗车后发现曲轴静平衡误差增大，应重新校正，但必须保证工件有足够的加工余量。

在装夹条件允许的情况下，可将尾端装夹由后顶尖支顶改为外圆支承，以防由于顶尖顶得过紧，引起工件回转轴线弯曲，从而增大曲轴轴颈轴线相对于支承轴颈轴线的平行度误差。

(3) 增强工艺系统的刚性 具体措施如下：

1) 为提高曲轴的刚性，防止曲轴变形，可采取如图 6-99a 所示的办法，在曲轴的曲拐处用一对压板压牢；在有条件的工件上，压板可做有凸缘，配合在曲拐的两曲柄板平面之间，如图 6-99b 所示；如果不用压板，用几只支撑螺钉撑牢亦可，如图 6-99c 所示。

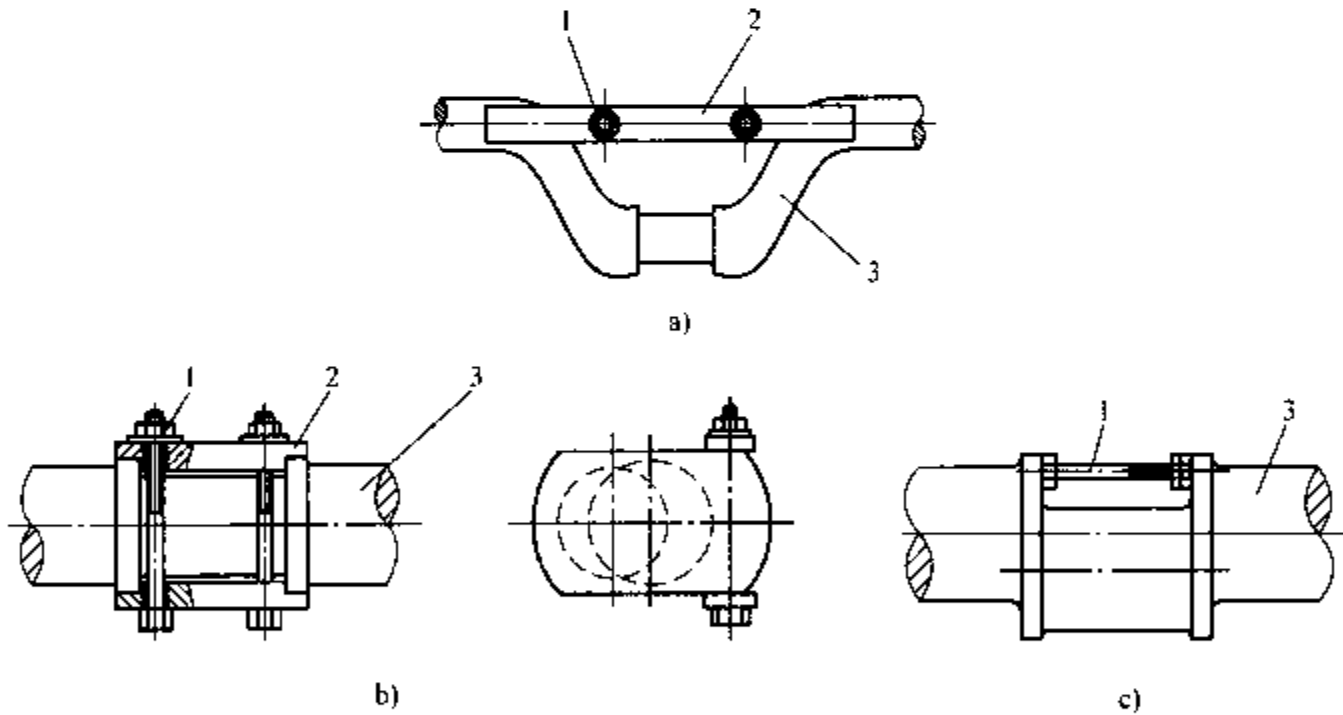


图 6-99 提高曲轴刚性的方法

a) 用普通压板压牢 b) 用带有凸缘的压板压牢 c) 用螺钉撑牢

1—螺栓螺母 2—上下压板 3—曲轴

2) 在曲轴用双顶尖定位装夹好后，在中间适当部位安装中心架（或偏心中心架），作为辅助支承，使支承之间的距离变短，以提高曲轴的刚性。

当车削主轴颈（支承轴颈）时，可在不加工的主轴颈处（中间部分的支承轴颈）安装一个或几个中心支架支承着主轴颈（辅助支承）。由于增加了曲轴的支承点，使支承点间的

距离变小，从而提高了曲轴的刚性。此时，中心架的安装和调整方法与车削一般轴类零件中心架的安装调整方法相同。

在车削曲柄颈（偏心轴颈）和曲柄侧面时，在曲轴中间部分增设一个或几个偏心中心架支承在不加工的曲柄颈上，如图 6-100 所示。和普通中心架一样，起到提高曲轴刚性的作用。偏心中心架套筒 4 中间是空的，以便穿越曲轴。安装时，先将偏心中心架套筒 4 套在曲轴主轴颈处，用压板 1 和螺钉 2 轻微压紧，开动机床带动曲轴低速旋转（或用手转动曲轴），校正套筒 4 的外圆，调整中心架支撑爪的位置，然后紧固螺钉 2 夹紧轴颈，即可车削。应当指出，由于偏心中心架是根据曲轴结构要求专门设计制造的，所以适用于批量生产。

3) 保证曲轴两端中心孔的同轴度误差不能过大，否则曲轴在回转时会产生轻微的摇晃，从而使轴颈产生圆度误差，也可导致轴颈和支承轴的平行度误差增大，有时还会损坏中心孔和顶尖，甚至会发生事故。因此，应认真进行每个中心孔的加工，确保两端相对应的中心孔在同一轴线上。

4) 在加工曲轴之前，调整好车床主轴的间隙，以避免由于主轴间隙过大，加剧离心力对加工质量的影响。

5. 曲轴的车削方法与测量

(1) 曲轴的车削方法 曲轴的车削方法应根据曲轴的结构、尺寸、精度、材质和生产批量等因素来考虑。尽管各种方法不尽相同，但都应遵守以下车削原则：

- 1) 根据零件工作图进行工艺分析，明确加工要求和车削中的难点。
- 2) 解决好前面所提到的三个关键技术，即定位问题、装夹问题和提高工艺系统刚性的问题。

3) 当轴向尺寸设计基准无法作为测量基准时，应把轴向尺寸链换算成便于测量的轴向工艺尺寸链。

4) 选用刚性好、抗振性强的车床加工曲轴，并且应调整主轴轴承间隙以及床鞍、中滑板、小滑板的间隙，以提高工艺系统刚性。

5) 粗车曲轴各轴颈的顺序是，一般先粗车的轴颈应该对后车的轴颈加工刚性降低较少为宜。

6) 精车各轴颈的顺序是，一般先精车在加工中最容易引起变形的轴颈，后精车影响变形最小的轴颈。

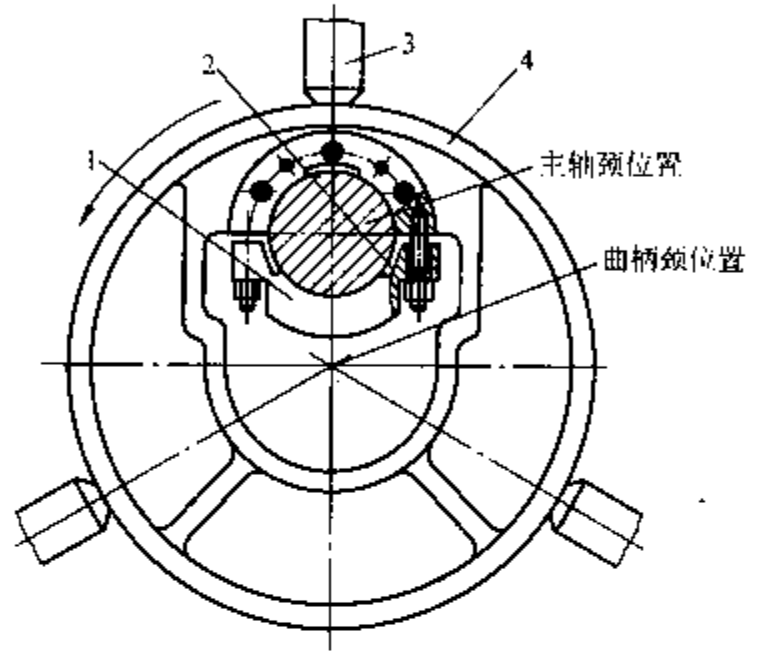


图 6-100 偏心中心架
1—压板 2—螺钉 3—大型中心架支承爪 4—套筒

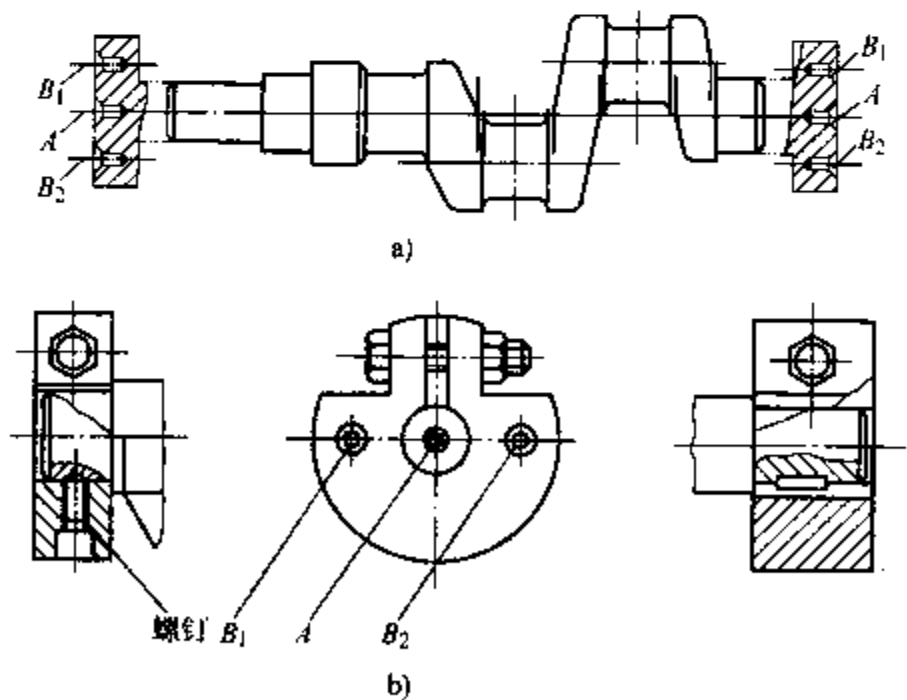


图 6-101 两拐曲轴的装夹
a) 用两顶尖装夹 b) 用偏心夹板装夹

7) 借助于千分表控制背吃刀量和精车曲柄臂间的轴颈。

现以如图 6-101a 所示两拐曲轴为例, 说明曲轴轴颈的车削方法。

两拐曲轴的曲柄颈之间互成 180° , 其加工原理与偏心轴基本相同, 用中心孔定位, 在两顶尖间装夹加工。根据两拐曲轴的结构, 需要在曲轴端加工三组中心孔, 即车削两段主轴颈的中心孔 A 组和车削两个曲柄颈的中心孔 B_1 、 B_2 组。可是, 曲轴两端主轴颈的尺寸较小, 若加工三组中心孔, 由结构尺寸限制是完全不可能的。在这种情况下, 可按图 6-91b 所示方法, 把曲轴长度加长两个中心孔的深度, 即增加工艺轴颈, 然后在工艺轴颈上按工件加工要求加工出三组中心孔 (见图 6-101a)。利用 A 组中心孔装夹工件, 车削曲轴两端的主轴颈外圆; 利用 B_1 组中心孔和 B_2 组中心孔装夹工件, 分别车削两曲柄颈。加工完成后, 将曲轴两端的工艺轴颈车掉, 保证总长尺寸。

如图 6-101b 所示用偏心夹板装夹车削时, 为保证各曲柄颈有足够的加工余量, 应进行找正, 其方法如图 6-102 所示, 将工件放在平板上的两个 V 形架上, 两端套上偏心夹板, 用高度游标卡尺根据偏心夹板上的偏心中心找正工件两曲柄颈中心, 然后紧固偏心夹板上的锁紧螺钉。

(2) 曲轴的测量 曲轴应检测的项目应包括尺寸精度、轴颈间的同轴度、平行度以及曲柄颈间角度的误差。前三方面精度的检测方法与一般轴类相似, 下面介绍关于曲柄颈间角度误差的测量。

1) 量块 (量块组) 测量法。用量块测量法测量曲柄颈间角度误差的方法, 如图 6-103 所示。首先, 将曲轴两端的主轴颈安放在一对等高的 V 形架上, 用百分表校正使主轴颈轴线平行于平板平面 (V 形架放在平板平面上); 然后, 在曲柄颈 A 下面垫进一组量块, 其高度为 h , 则使曲柄颈 A 中心和曲轴主轴颈中心的连线与水平面成角度 θ 。

其中, 量块组的高度 h 可用下式计算

$$h = M - \frac{D}{2} - e \sin \theta - \frac{d_1}{2} \quad (6-3)$$

式中 h ——量块组高度 (mm);
 M ——主轴颈外圆顶点高度 (mm);
 D ——主轴颈直径实际尺寸 (mm);
 d_1 ——曲柄颈 A 的实际尺寸 (mm);
 e ——曲柄偏心距 (mm);
 θ ——曲柄颈 A 中心和主轴颈中心连线与水平面的夹角 ($^\circ$)。

测量时, 使曲柄颈 A 与量块组靠紧,

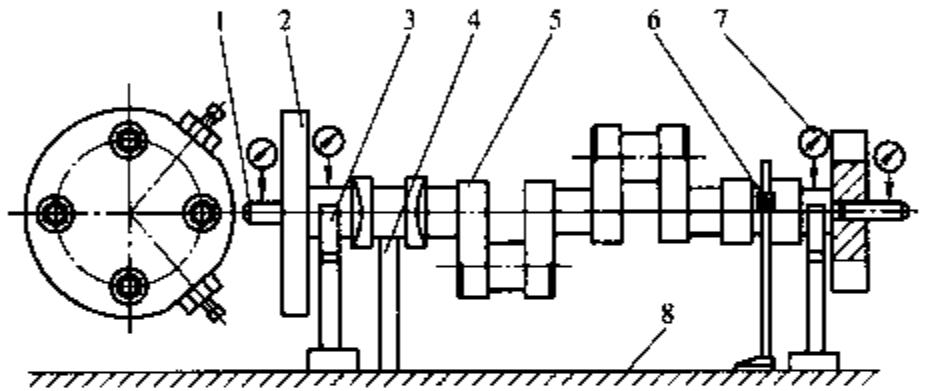


图 6-102 偏心夹板装夹曲轴

1—验棒 2—偏心板 3—V 形架 4—量块
 5—工件 6—高度游标卡尺
 7—百分表 8—平板

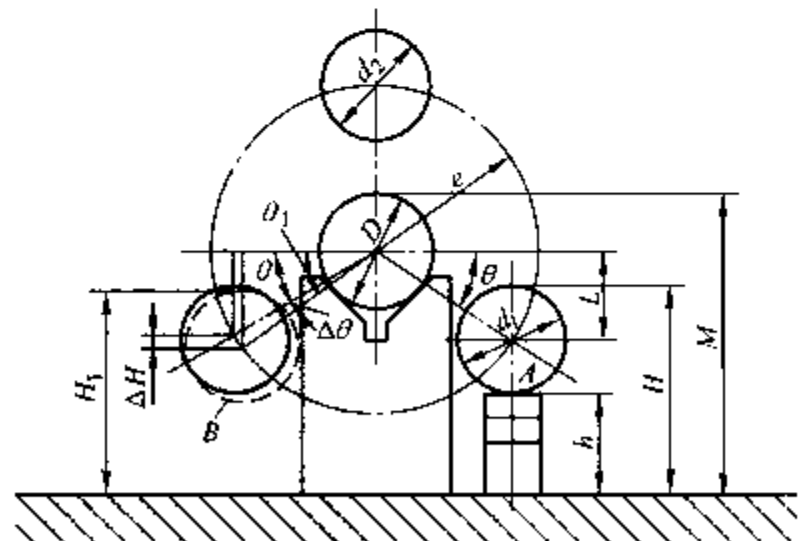


图 6-103 曲柄颈间角度的测量

测量出高度尺寸 H ；随后测量曲柄颈 B 的高度尺寸 H_1 。若 $H = H_1$ ，则说明曲柄颈 A 和 B 间的夹角正好为理论值（无误差）；若 $H \neq H_1$ ，则说明两曲柄颈间的夹角有误差，误差 $\Delta\theta$ 用下式计算

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta$$

$$\sin\theta = \frac{L}{e}, \quad L = M - \frac{D}{2} - \frac{d_1}{2} - h$$

$$\sin\theta_1 = \frac{L + \Delta H}{e}, \quad \Delta H = H - H_1$$

式中 $\Delta\theta$ ——曲柄颈 A 和 B 夹角的误差 ($^\circ$)；
 θ ——曲柄颈 A 与水平面的夹角 ($^\circ$)；
 θ_1 ——曲柄颈 B 与水平面的夹角 ($^\circ$)；
 L ——曲柄颈 A 中心与主轴颈中心在垂直方向的距离 (mm)；
 ΔH ——曲柄颈 A 和 B 中心高之差 (mm)。

例 10 有一六拐 120° 等分曲轴，主轴颈直径 $D = \phi 80\text{mm}$ ，两曲柄颈直径 $d = \phi 76\text{mm}$ ，偏心距 $e = 60\text{mm}$ ，在 V 形架上测得主轴颈顶点高度 $M = 150\text{mm}$ ，并且测得两曲柄颈顶点差为 0.35mm 。求量块组的高度及曲柄颈间夹角的误差。

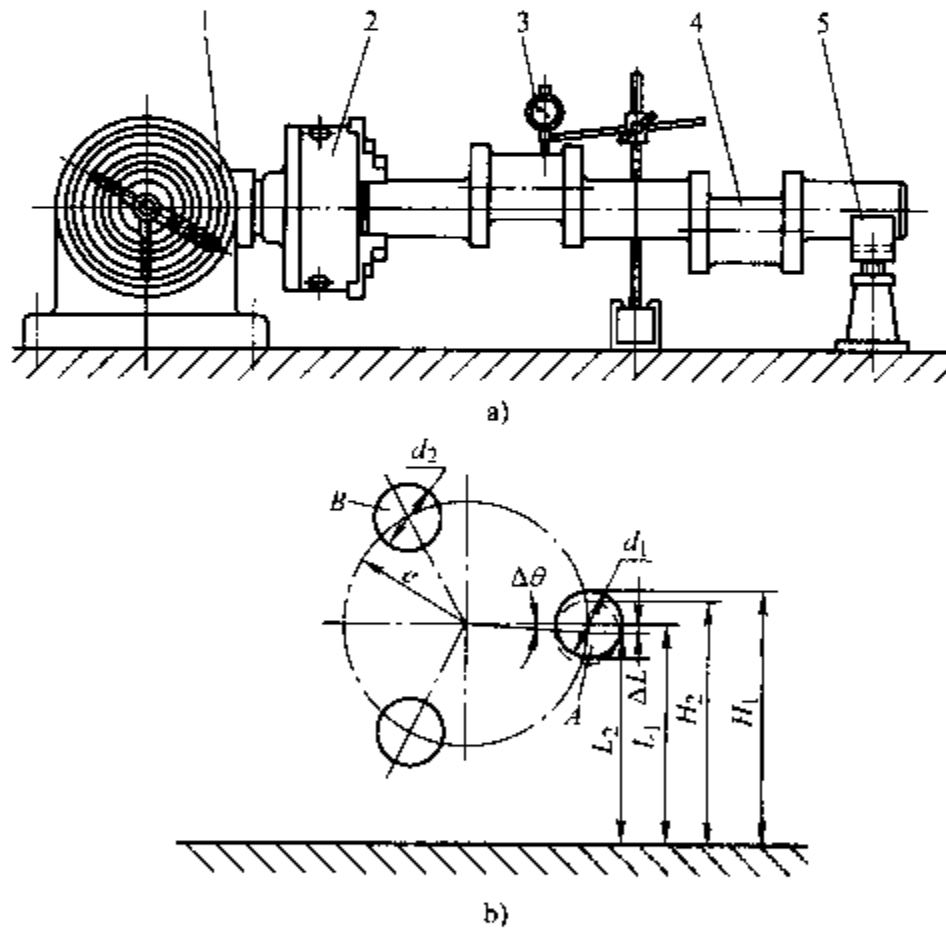


图 6-104 用分度头测量多拐曲轴角度误差

a) 测量曲柄颈间角度误差 b) 测量曲柄颈 B 的外圆顶点至平板平面间的距离
 1—分度头 2—三爪自定心卡盘 3—百分表 4—曲轴 5—可调 V 形架

解：根据量块组高度计算公式 (6-3)，计算量块组高度 h 为

$$h = M - \frac{D}{2} - e \sin\theta - \frac{d_1}{2}$$

因为
$$\theta = \frac{1}{2}(180^\circ - 120^\circ) = 30^\circ$$

所以
$$h = \left(150 - \frac{80}{2} - 60\sin 30^\circ - \frac{76}{2}\right) \text{mm} = 42 \text{mm}$$

$$L = e\sin\theta = 60 \text{mm} \times \sin 30^\circ = 30 \text{mm}$$

如图 6-103 所示, $H > H_1$ 所以有 $\theta_1 > \theta$ 。

$$\sin\theta_1 = \frac{L + \Delta H}{e} = \frac{30 + 0.35}{60} = 0.5058$$

$$\theta_1 = 30.38447^\circ \approx 30.38^\circ$$

于是
$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta = 30.38^\circ - 30^\circ = 0.38^\circ$$

2) 分度头测量法。测量时, 将铣床分度头放在平板上, 把曲轴一端主轴颈夹紧在分度头的三爪自定心卡盘上, 另一端的主轴颈支承在可调 V 形架上, 如图 6-104a 所示。通过调节可调 V 形架的高度, 并用百分表校正曲轴回转中心线, 使之与分度头中心线重合。然后, 将第一档曲柄颈 A 旋转至水平位置 (用百分表校正), 并测量出 H_1 值。再旋转曲轴使两曲柄颈间夹角为 θ , 并且使第二档曲柄颈 B 处在曲柄颈 A 的位置, 同时测量出 H_2 值, 如图 6-104b 所示。

由图可知

$$\sin\Delta\theta = \frac{L_1 - L_2}{e} = \frac{\Delta L}{e}$$

$$L_1 = H_1 - \frac{d_1}{2}$$

$$L_2 = H_2 - \frac{d_2}{2}$$

式中 $\Delta\theta$ ——两曲柄颈间夹角 θ 的误差值 ($^\circ$);
 d_1 ——曲柄颈 A 的实际直径尺寸 (mm);
 d_2 ——曲柄颈 B 的实际直径尺寸 (mm);
 L_1 ——曲柄颈 A 的中心高 (mm);
 L_2 ——曲柄颈 B 的中心高 (mm);
 H_1 ——第一档曲柄颈 A 外圆顶点至平板平面的距离;
 H_2 ——第二档曲柄颈 B 外圆顶点至平板平面的距离;
 ΔL ——两曲柄颈中心高之差 (mm);
 e ——偏心距 (mm)。

应当指出, 由于分度头和三爪自定心卡盘本身有较大的误差, 同时三爪自定心卡盘在分度头上还有安装误差, 所以测得的曲柄颈间夹角误差 $\Delta\theta$ 准确性不好。当曲柄颈间夹角精度要求较高时, 应采用高精度分度头。

6. 巧用花盘或辅助装置车削特殊结构零件

有些零件往往由于外形复杂, 或形状不规则, 或容易变形, 或相对位置要求比较高, 如图 6-105 所示, 所以不能用三爪自定心卡盘或四爪单动卡盘等夹持, 而必须使用一些附件 (见图 6-106) 或装夹在夹具上加工。

在花盘上加工工件比一般装夹方法复杂得多，必须妥善解决如下一些问题：

- 1) 正确选择定位基准和测量方法。
- 2) 采用既简便又牢固的方法装夹工件。
- 3) 恰当处理平衡问题。
- 4) 妥善解决生产安全问题。

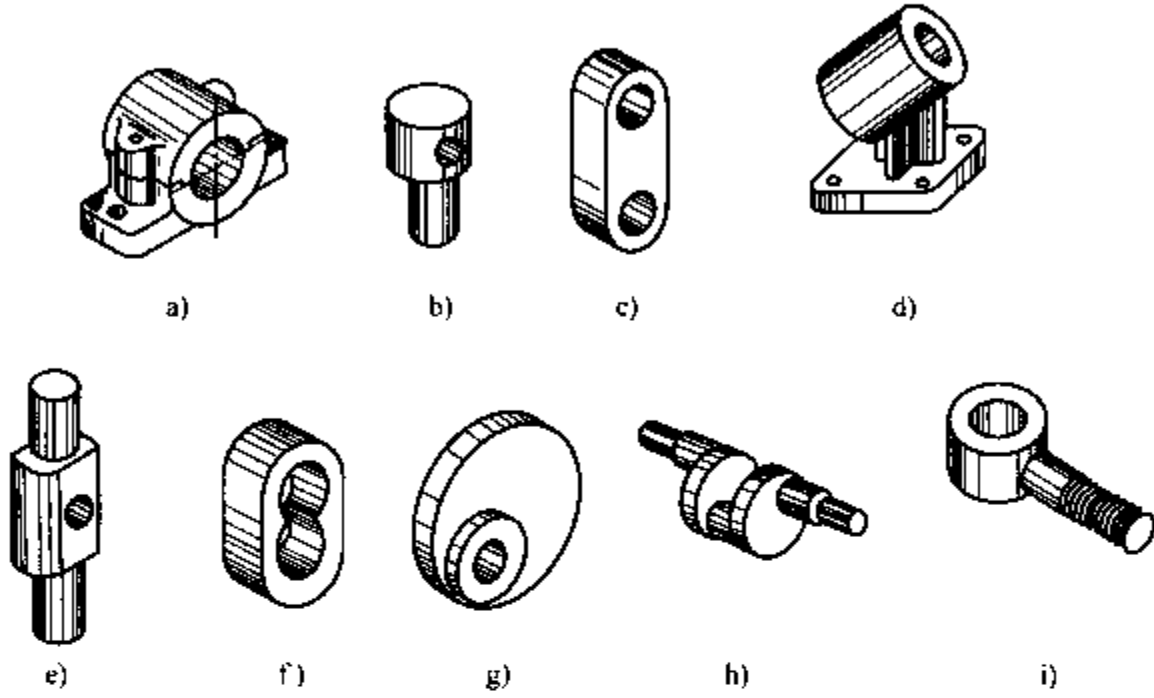


图 6-105 特殊结构零件举例

- a) 对开轴承 b)、e) 十字孔工件 c) 双孔连杆 d) 斜形支架
f) 齿轮式液压泵体 g) 偏心凸轮 h) 曲轴 i) 环首螺钉

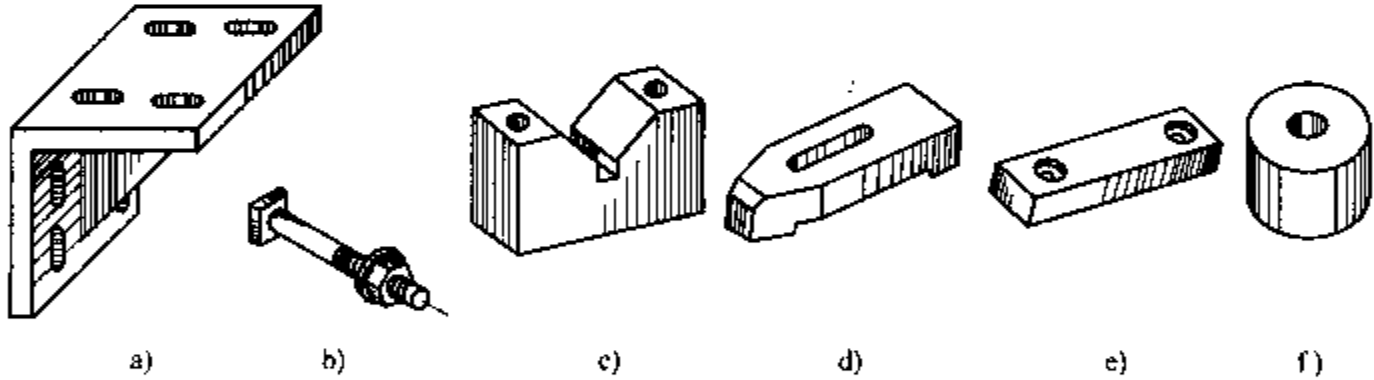


图 6-106 常用的附件

- a) 角铁 b) 方头螺钉 c) V形架 d) 压板 e) 平垫铁 f) 平衡铁

若工件外形复杂，而且被加工表面的回转轴线与基准面相互垂直，则可在花盘上车削。

(1) 花盘的安装与检查 花盘一般用铸铁浇铸而成，盘面上有辐射状的长短不同的穿通槽，用来安装各种螺钉，以紧固工件。

在车床主轴上安装花盘时，首先要检查定位轴颈、端面和联接部分有无脏物及毛刺，待擦净、去毛刺、加油后再把花盘装到车床主轴上。

在花盘上安装工件前，应先校正花盘平面是否平整，是否垂直于主轴轴线。检查方法如图 6-107 所示。

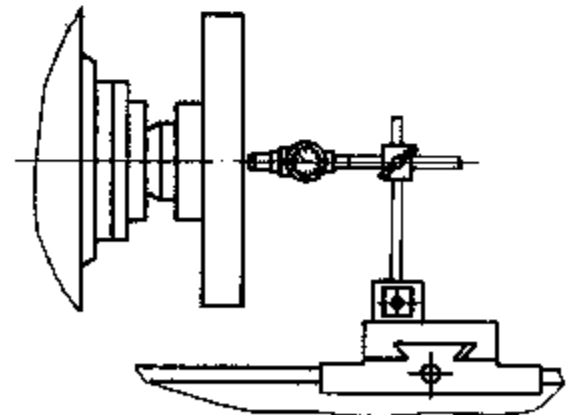


图 6-107 花盘校正

通常，花盘端面的圆跳动量应不大于 0.02mm ；花盘的端面只允许中间凹，其误差值应在 0.02mm 以内。若检查结果不符合要求，可把花盘面进行精车。车削花盘面时要固定床鞍。

因为在花盘上装夹车削的工件都是一些外形复杂、形状不规则的工件，而且这些工件的重心基本上与工件要加工的旋转表面的中心不重合，因此旋转起来会产生很大的离心力。这种离心力一方面会使机床主轴部件加剧磨损，严重时还会损坏机床零件；另一方面过大的离心力不但不安全，容易造成事故，还易引起振动，影响工件的加工精度。所以，一般说来除低速车削偏心不大、形状基本对称的工件外，在花盘上装夹车削工件时都需要加平衡铁，用以调整平衡。

目前，工厂广泛采用手动调整平衡的方法。将工件安装好后，主轴处在空档位置，转动工件，偏心一边一定落在最下方。这时，在对面（上方）安装平衡铁。用手转动工件，若平衡铁落到下侧，表明平衡铁位置靠外，需向内调平衡铁；若工件偏心部分仍然落在下侧，表明平衡铁的位置靠里了，需向外调平衡铁。经反复调整，待工件基本上可停留在任意位置时，则表明平衡已调好。

(2) 巧用花盘车削特殊结构工件实例

例 11 在花盘上加工十字轴内孔（图 6-108）。

该工件要求圆柱孔的轴线与两端轴的轴线相互垂直并相交。加工这类工件时，先选用两只等高的 V 形架，将其安装在花盘上，安装时按 V 形架中心找正位置，然后用螺钉紧固。装夹工件时，把工件的两端外圆置于 V 形槽内，利用工件轴肩作轴向定位，找正工件平面，并用压板压牢工件，然后便可以车削了。

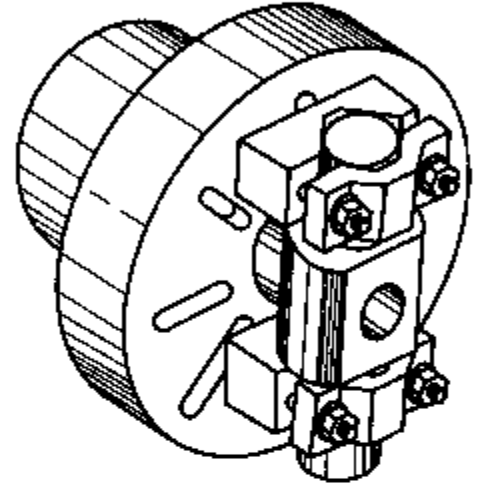


图 6-108 在花盘上加工十字轴内孔

用这种装夹方法加工成批工件时，当第一个工件找正后，其余各件只需校正平面即可进行加工。

例 12 在花盘上车削图 6-109 所示工件的两个孔。

第一步，对工件进行工艺分析。

1) 前面工序已经把周边铣好；两端面铣削后又进行了磨削加工；双孔已经进行了粗加工。

2) 本工序的任务：采用花盘装夹工件，精车两孔。

3) 应保证的公差要求：

① 孔径 $\phi 40\text{H}7$ 、 $\phi 50\text{H}7$ ；

② 中心距 (120 ± 0.05) mm；

③ 两孔轴线平行度 0.04mm ；

④ 两孔轴线对端面的垂直度

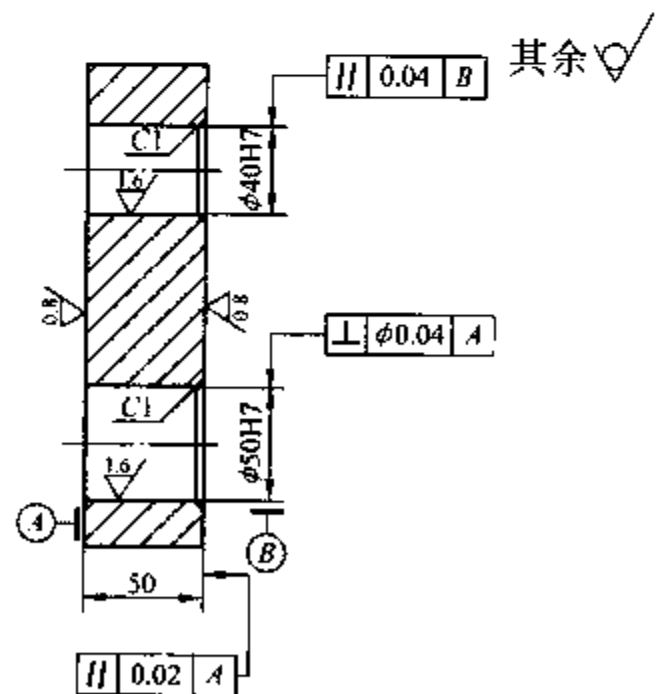
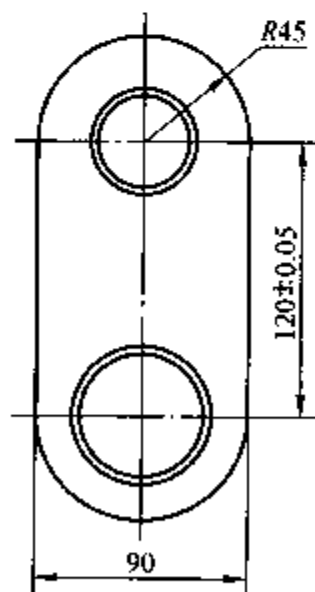


图 6-109 双孔连杆

$\phi 0.04\text{mm}$ 。

第二步，工件的装夹和车削过程。

1) 按前边所述方法安装校正花盘，并且应保证花盘本身的形位公差小于工件的形位公差的一半以上；还应保证有测量方法控制中心距的尺寸精度。

2) 工件加工前，对要车削的第一个孔进行划线。

3) 加工第一个孔的装夹方法如图 6-110 所示。为保证精度要求，除选择一个端面作主定位基准外，还需再选圆弧面作定位基准。为此，用一个 V 形架作定位元件固定在花盘上，与工件上的圆弧面定位基准相接触（见图 6-110）。装夹时，先把工件用压板装夹在花盘上，并按线校正第一孔。待第一孔校正完毕，将 V 形架紧靠工件圆弧基准面，并将 V 形架固定。然后还需要在适当的位置上装一个侧挡销，用以限制工件绕孔轴线摆动。最后用螺钉、压板将工件夹紧；并且要调整好平衡铁。

4) 用手转动花盘，如果转动时与其他部分没有碰撞现象，并且平衡恰当，即可车孔。

如果是批量生产，第一个工件校正以后，其余工件即可按 V 形架定位加工，不必再进行校正。

5) 车削工件第二个孔的装夹方法如图 6-111 所示。因为该工序的关键是保证两孔中心距 $(120 \pm 0.05)\text{mm}$ 的要求，因此在工件装夹之前，先在花盘上安装一个定位圆柱 1，其直径与第一个孔为间隙配合，再在车床主轴孔中安装一个已知尺寸的心轴 3，把心轴 3 校正好后，用千分尺测量出心轴 3 和定位圆柱 1 之间的尺寸 M ，然后用下式计算中心距

$$L = M - \frac{D + d}{2}$$

式中 L ——两中心孔距离 (mm)；

M ——千分尺测得的尺寸 (mm)；

D ——心轴 3 的直径 (mm)；

d ——定位圆柱直径 (mm)。

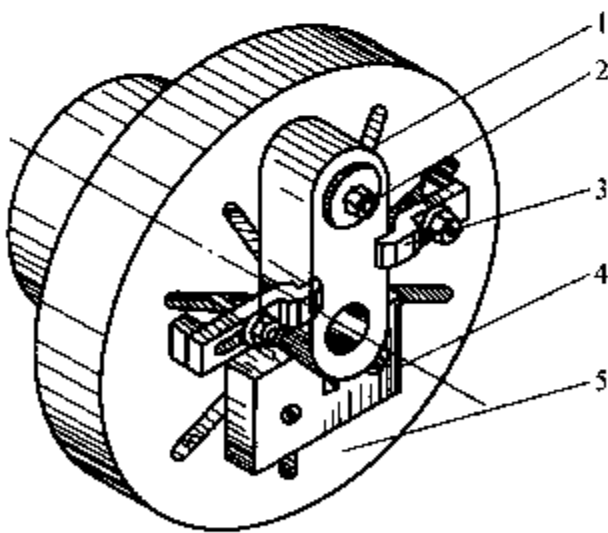


图 6-110 在花盘上装夹双孔连杆

1—工件 2—夹紧螺钉 3—压板
4—V 形架 5—花盘

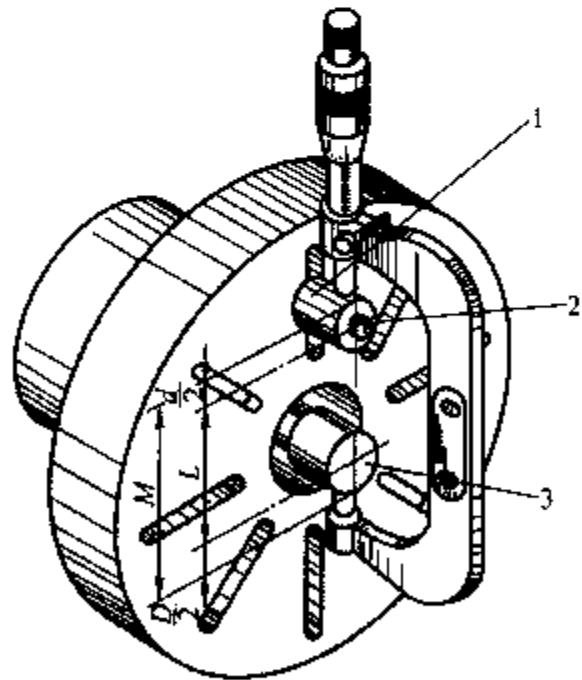


图 6-111 用定位圆柱校正中心距

1—定位圆柱 2—压紧螺母 3—心轴

当测得的两孔中心距 l 与加工要求不符时, 可微松定位圆柱上的压紧螺母 2, 并用铜棒轻微调整, 直至找正为止。

6) 中心距校正好后, 把心轴 3 取下, 再将工件已经车好的第一个孔与定位圆柱 1 配合, 找正外形, 再夹紧工件。

7) 车削工件上第二个孔。

(3) 容易产生的问题和注意事项

1) 形位精度要求较高的工件, 其主要定位基准必须经过磨削或刮研, 基准面要平直, 接触要良好, 以保证定位和安装精度。

2) 花盘上起定位作用的表面间的位置公差应小于工件相应位置公差的一半。

3) 为防止工件夹紧变形, 对其夹紧力的大小、方向和夹紧部位的选择要合理。

4) 工件安装后, 一定要仔细地调整平衡。

5) 对机床主轴部件和导轨进行检查和调整, 使它能保证工件的加工精度。

6) 车削工件前, 除重新严格检查所有压板、螺钉的紧固情况外, 还应把滑板移到最终工作位置, 用手小心转动花盘 1~2 周, 观察是否有碰撞的现象。

7) 压板螺钉应靠近工件, 垫铁的高低应与工件厚度一致。

8) 车削时, 主轴转速不宜过高, 否则离心力太大, 容易发生危险, 且车床也容易产生振动, 影响加工精度。

(4) 在车床上车削长臂连杆零件的两个孔 (图 6-112)。

1) 对工件进行工艺分析

①本工序的加工任务: 车削 $\phi 60^{+0.03}_0$ mm 和 $\phi 110^{+0.035}_0$ mm 两个孔。

②应保证的公差要求: 两孔中心距 (480 ± 0.05) mm; 孔中心线对两侧面的垂直度 ≤ 0.02 mm。

③确定加工方案。一般来说, 对图示长臂连杆的两个孔进行加工, 必须以其中的一个侧面作为主要定位基准, 并安装在花盘上进行车削。但仔细地研究这个工件的结构特点, 第一不难看出, 孔间距长达 480mm, 加上两端圆弧部分的尺寸, 总长约 600mm。若在花盘上装夹加工该工件, 则花盘的直径将近 1200mm 或大于 1200mm。对于如此大的花盘, 也必须选用相应的大型车床, 其机床的回转直径应大于 1200mm。第二不难看出, 该工件的厚度仅为 20mm, 宽度不足 200mm, 是一个长片状的零件。

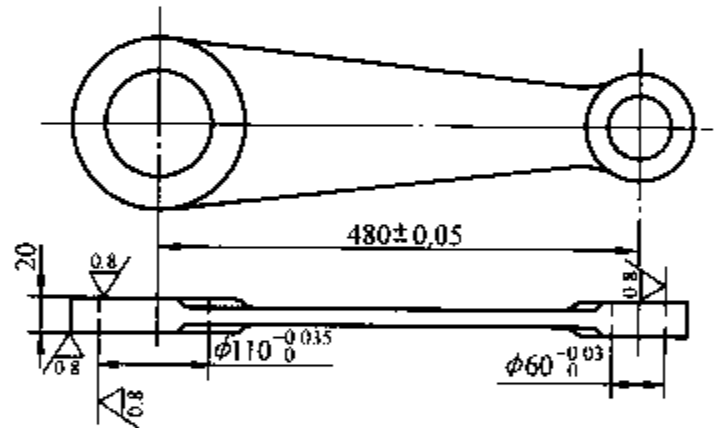


图 6-112 长臂连杆

对该零件的加工方案, 如果确定用车床, 则可把工件装夹在花盘上, 并由主轴带动花盘旋转为主运动, 车刀由刀架带动作进给运动, 完成对两个孔的车削。这个加工方案虽然可完成对两个孔的加工, 但是, 一个长片状的零件, 用一个大型的车床来加工, 不仅显得极不相称, 而且一般的工厂也没有这么大的车床。这种情况下, 对该零件的加工可换个思路来考虑: 将车刀装夹在车床主轴上, 由主轴带动作主运动; 利用辅助装置将长臂连杆工件装夹在车床的中滑板上, 由床鞍和滑板带动工件作进给运动, 完成孔的车削。这种加工方案的最大好处是, 在中、小型车床上就可以完成对工件两个孔的车削, 并且可采用类似的方法加工其

他形状的大型零件，从而解决了一般中、小企业无大型设备加工大型零件的难题。

2) 在车床滑板上利用辅助装置装夹长臂连杆车削两孔，其加工步骤如下：

①如图 6-113 所示，将辅助工作台 3、垫块 2 和角铁 1 安装在车床滑板上，并用百分表校正角铁 1 工作面相对于车床主轴轴线的垂直度，如图 6-113a 所示。然后将工件安装在角铁 1 上，按线找正车削 $\phi 60^{+0.03}_0$ mm 的孔，使之达到图样要求。

② $\phi 60^{+0.03}_0$ mm 的孔加工完毕后，卸下工件。在角铁 1 上加工另一个孔 ($\phi 110^{+0.035}_0$ mm)，工件的安装和孔中心距的控制方法同例 12。即在角铁 1 上加工一个 $\phi 10^{+0.01}_0$ mm 的孔，并在孔内装上测量用定位销 4，如图 6-113b 所示。然后，在角铁 1 的适当位置安装一个 $\phi 60^{+0.02}_0$ mm 带阶台的定位销 5。用千分尺检测定位销 4 和 5 的距离，并调整定位销 5 的位置，以保证两定位销的中心距为 (480 ± 0.015) mm，如图 6-113c 所示。中心距调好后将定位销 5 紧固，再把测量用定位销 4 卸下。

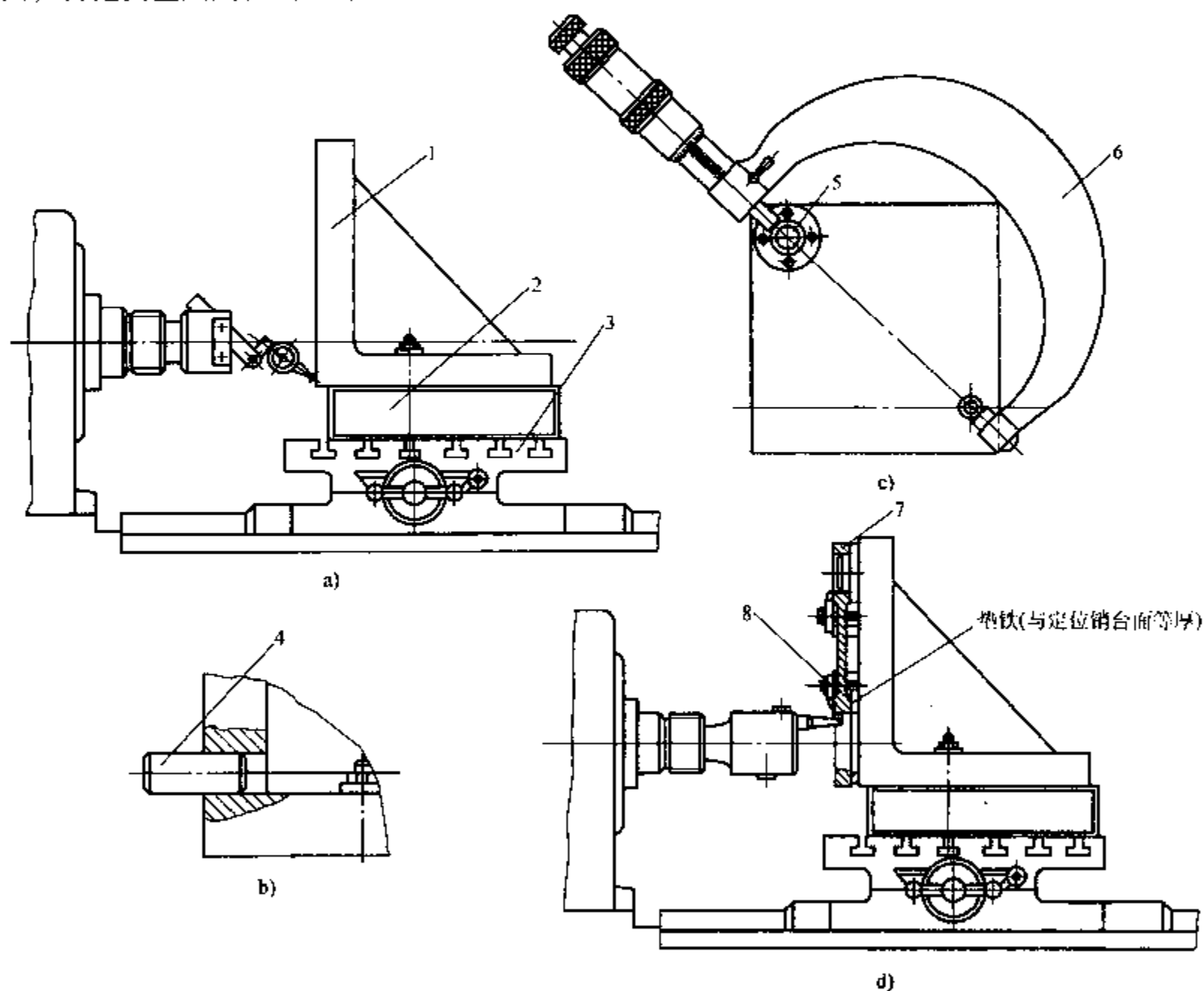


图 6-113 长臂连杆在车床滑板上装夹车削二孔

a) 用辅助装置在车床滑板上装夹工件 b) 在角铁上加工孔 $\phi 10^{+0.01}_0$ mm 并在孔内安装测量用圆柱销

c) 用千分尺检测两定位销的距离 d) 用压板压牢工件

1—角铁 2—垫块 3—工作台 4、5—定位销 6—千分尺 7—工件 8—压板

③长臂连杆工件以 $\phi 60^{+0.03}_0$ mm 的孔和侧面为定位基准，套在定位销 5 上，并靠在定位销的阶台面和另一块垫块上（垫块厚度与定位销阶台等高）。校正 $\phi 110^{+0.035}_0$ mm 毛坯孔的位

置，并用压板将工件压牢。

④开动车床进行车孔加工，如图 6-113d 所示。

7. 花盘和角铁并用车削特殊结构零件

所谓花盘和角铁并用车削特殊结构零件，即指将角铁装夹在花盘上，再把工件安装在角铁上进行车削加工。

通常，角铁上有两个主要工作面，其中一个工作面作为装夹在花盘上的定位基准面，另一个工作面作为装夹工件的基准面，所以对这两个工作面应经过平磨或精刮，以保证接触性良好。角铁两主要工作面间的夹角可作成直角，如图 6-114 所示，用于工件的被加工表面与基准面相互平行的情况下。

当被加工工件表面轴线与定位基准平面相交的角度为 α 时，角铁的角度应是 $90^\circ - \alpha$ ，如图 6-115 所示，以保证工件装夹时被加工表面轴线与车床主轴旋转轴线相重合。

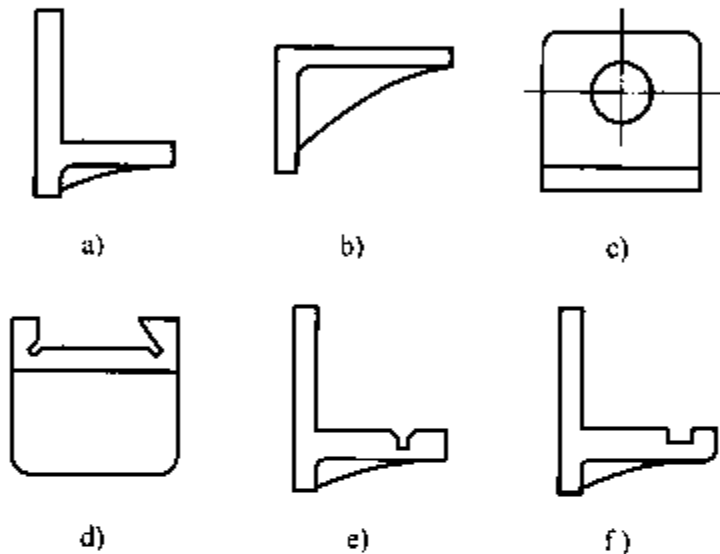


图 6-114 直角角铁

- a) 内角铁 b) 外角铁 c) 带圆孔角铁
d) 带燕尾槽角铁 e) 带 V 形槽角铁
f) 带凹槽角铁

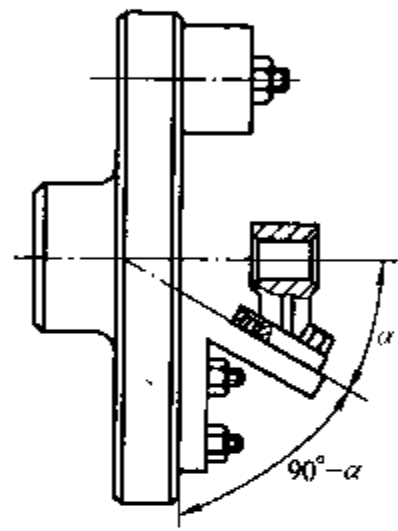


图 6-115 α 角角铁

上述直角角铁和 α 角角铁有一个共同的缺点，即找正第一个工件的中心比较困难，辅助时间很长。为克服这个缺点，可使用如图 6-116 所示的可调角铁。它有两条相互垂直的燕尾槽导轨，中间都有丝杠螺母。若转动丝杠 2 可使角铁上下移动；若转动丝杠 4 可使角铁左右移动。角铁被调整后用螺钉 1、3 把燕尾槽塞铁锁紧，装上工件便可进行车削加工了，这种可调角铁使用方便，适用于机修车间、工具车间等单件或小批小型工件的加工。应当指出，这种可调角铁的刚性较差。

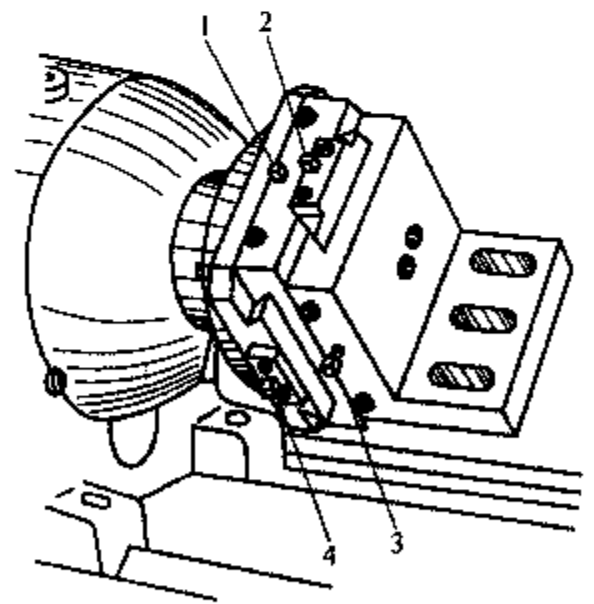


图 6-116 可调角铁
1、3—螺钉 2、4—丝杠

此外，还有用于加工体积很小、重量很轻、定位基准面到加工表面中心距离不大的小型特殊结构零件的微型角铁，如图 6-117 所示。这些微型角铁在结构上的共同特点是：角铁的柄部做成莫氏锥度，与主轴前端锥孔配合，头部做成圆柱体，并在圆

柱体上加工出一个角铁平面，工件就装夹在这个小平面上进行加工。由于微型角铁的柄部是直接插在主轴的前端锥孔内的，不需要花盘、角铁和配重，使用安全可靠，也不需要找正即可使用；同时回转直径较小，偏重现象不显著；另外，加工时可选择较高的转速。

(1) 在花盘上安装直角角铁 安装直角角铁前，首先要清除角铁与花盘结合处的脏物和毛刺，并校正花盘平面，再用螺钉将直角角铁固定在花盘的适当位置上。

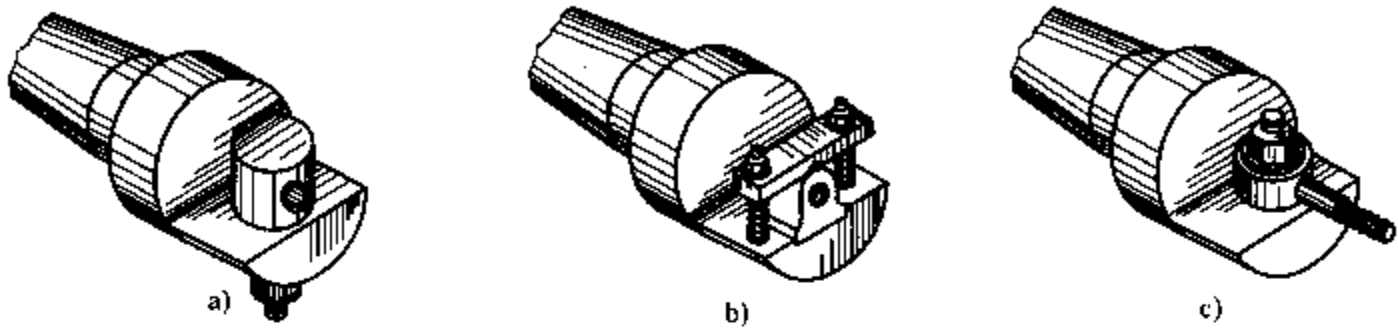


图 6-117 微型角铁

a) 用于加工小型十字孔零件的微型角铁 b) 用于加工移动螺母的微型角铁 c) 用于加工环首螺钉的微型角铁

直角角铁安装在花盘上后，用图 6-118 所示方法检查角铁工作面。先把百分表装在床鞍或中滑上，使测量触头与角铁的工作面轻轻接触，然后缓慢摇动床鞍，观察百分表指针的摆动值，即可得出测量结果。如果测量结果不符合要求（一般是工件公差的 $1/2 \sim 1/3$ ），应根据加工工件的数量而采取不同的措施：如果工件的数量不多，可在花盘和角铁的接触面间垫薄铜皮或薄纸来调整；如果工件的数量较多，则应卸下角铁，修刮角铁的工作面。

直角角铁工作面至主轴中心距离的检查与调整，如图 6-119 所示。在主轴孔中插入一根已知尺寸的心轴，然后用高度游标卡尺或量块组确定出心轴与角铁工作面间的尺寸 H_1 、 H_2 。则有

$$H_1 = H_0 - \frac{D}{2}$$

$$H_2 = H_0 + \frac{D}{2}$$

式中 D ——心轴直径 (mm)；

H_0 ——角铁工作面至主轴中心的距离 (mm)；

H_1 ——量块组尺寸 (mm)；

H_2 ——高度游标卡尺尺寸 (mm)。

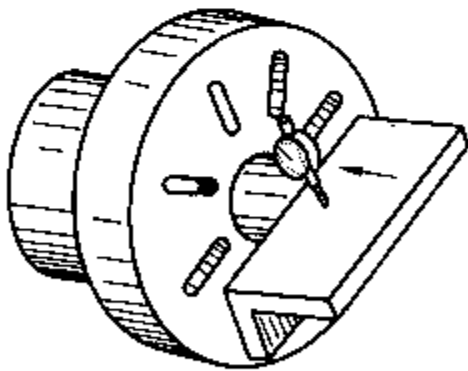


图 6-118 用百分表检查角铁工作面

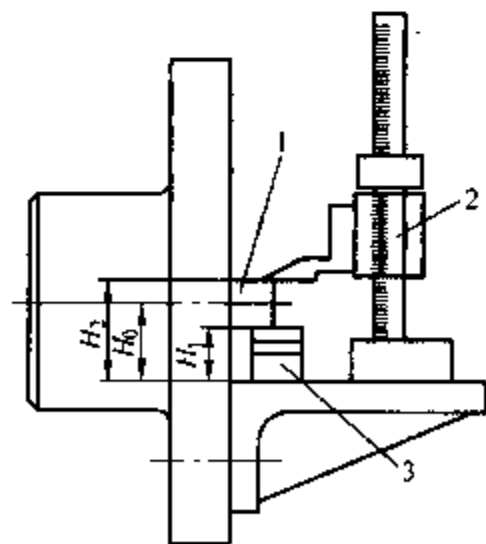


图 6-119 角铁工作面至主轴中心距离的测量

1—心轴 2—高度游标卡尺 3—量块组

另外，直角角铁工作面至主轴中心的距离，也可以在校正工件十字线的过程中，随工件一起调整和校正。

(2) 采用花盘角铁车削特殊结构零件举例

例 13 如图 6-120a 所示轴承座，加工孔 $\phi 32H9$ ，表面粗糙度为 $R_a 1.6\mu\text{m}$ 。

前面工序应完成铣平面，将 $\phi 11$ 的两孔加工至 $\phi 11H8$ 。本工序装夹工件以一面两销（其中一只销为削边销）定位。在角铁上根据工件的孔距要求，压入两只定位销，其中一只为削边销，这只削边销较长的对称轴垂直于两孔中心连线。当角铁安装在花盘后，应按前述方法准确地确定角铁工作面到主轴中心的距离。

装夹工件前，应将定位元件及工件的接触面清理干净，以一面两销定位装夹工件，则工件 6 个自由度全部被限制，然后用压板螺钉将工件紧固，并使其平衡。用手转动花盘，如果花盘平衡，也无碰撞之处，即可车削（见图 6-120b）。

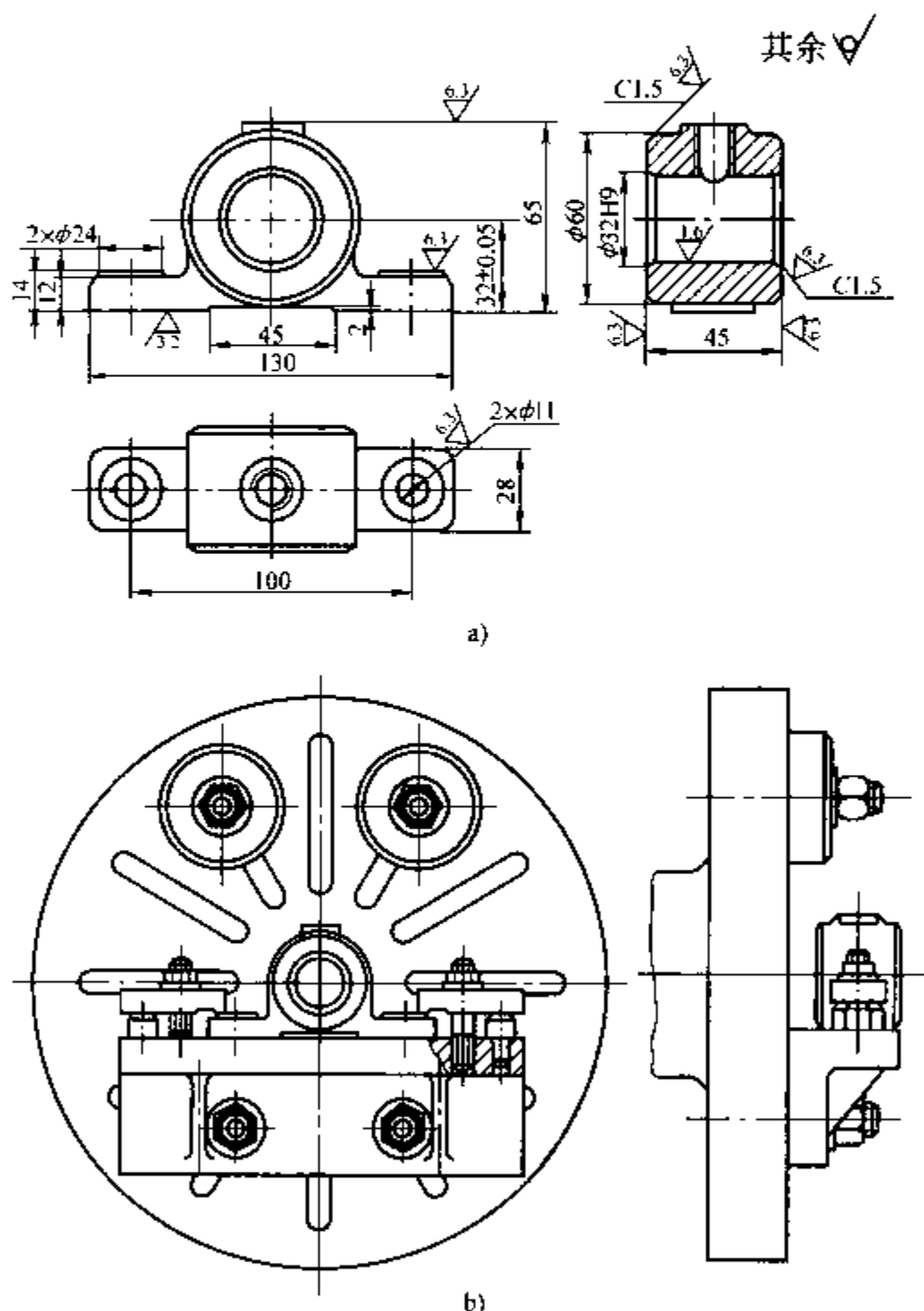


图 6-120 用花盘角铁装夹车削轴承座孔

a) 轴承座零件图 b) 在花盘角铁上装夹轴承座

例 14 如图 6-121a 所示零件，在花盘角铁上装夹，加工 M20 螺纹底孔。

如图 6-121b 所示，工件被装夹在花盘角铁上，以工件 U 形脚上的一个孔和端面为基准，

用心轴 5 和一平面定位, 限制 X 、 Y 、 Z 三个方向的移动自由度和 X 、 Y 两个方向的转动自由度 (共 5 个自由度), 再用可调定位螺钉 3 支撑在工件端部的外圆两侧面, 以限制 Z 方向的转动自由度, 于是工件的 6 个自由度全部被限制。另外, 可调定位螺钉 3 也起辅助夹紧的作用。采用这种装夹方法, 使工件定位既方便又准确, 能保证工件质量要求, 提高生产率。

应当指出, 在花盘角铁上装夹加工特殊结构零件时, 由于花盘上角铁回转半径大, 棱角也多, 容易产生碰撞现象, 所以要格外注意安全生产。又由于角铁、工件都是用螺钉、压板等紧固的, 工件容易窜动, 因此车床主轴的转速不宜过高。为保证安全, 在车削前, 操作者应将车孔刀在已有内孔中来回走一遍, 并且用手转动花盘 1~2 圈, 检查有无撞碰现象, 杜绝事故。

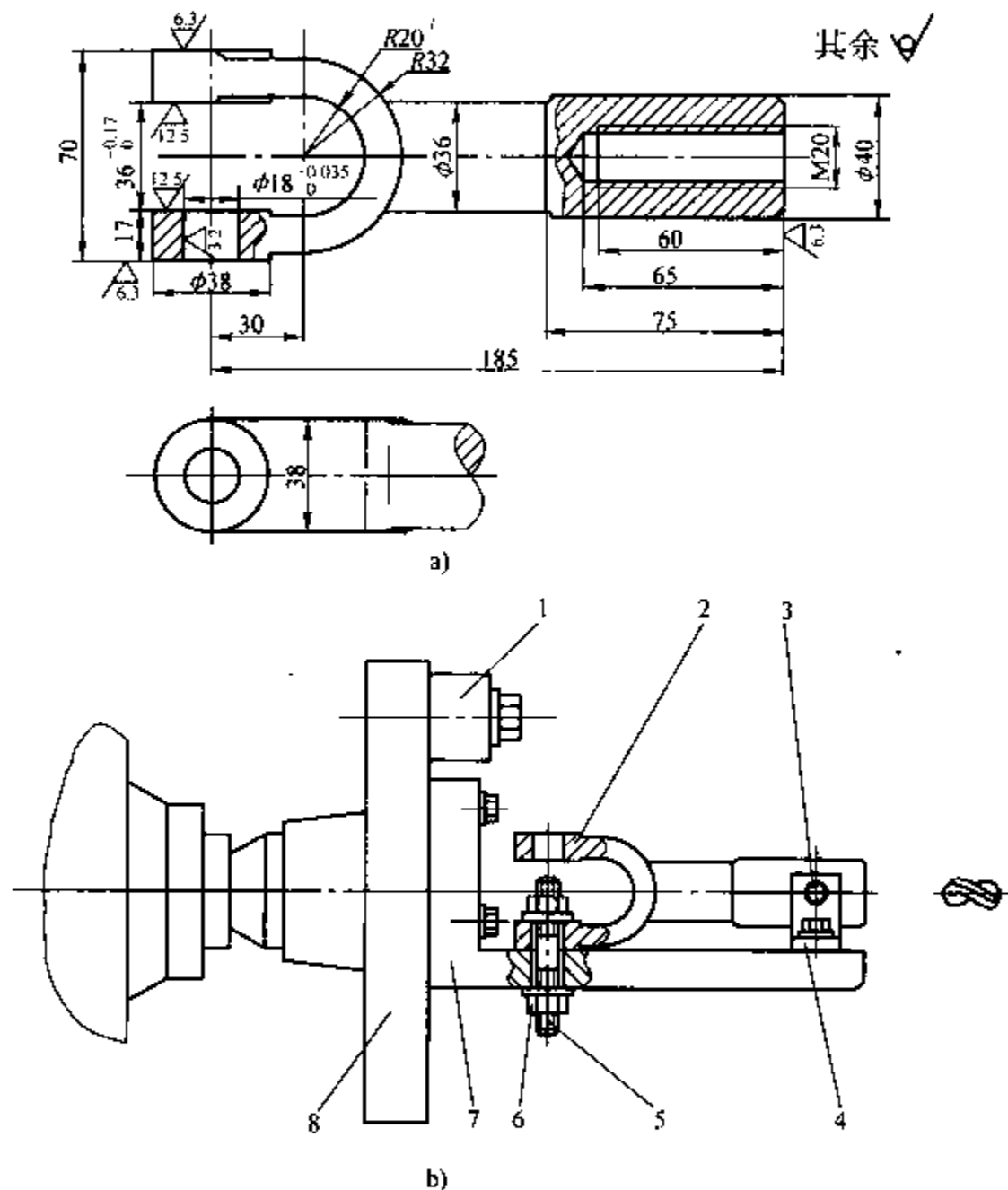


图 6-121 在花盘角铁上装夹车削螺纹底孔

a) 零件图 b) 装夹加工示意图

1—配重 2—工件 3—可调定位螺钉 4—小角铁 5—心轴 6—螺母 7—角铁 8—花盘

五、提高车削效率的几项技改成果

提高劳动生产率是每个劳动者极力追求的目标。同样, 提高车削效率也是车削操作者所

追求的目标。但是，任何提高车削效率的办法都必须以保证加工质量为前提，真正做到又好又快。

就提高车削效率而言，主要在于合理利用高效率的机床和工艺装备，采用先进的加工方法，从而减少各个工序的单件时间。对车削操作者来说，不应蛮干，而要善于学习，从别人的经验、方法和技巧中吸取知识和技术，举一反三，创造性地工作。为此在这里介绍一些简单可行，具有实效的技改成果，供参考使用。

1. 三种不停机夹具

(1) 简易不停机夹头 如图 6-122 所示为一种简易不停机夹头。车削时，工件 2 被有圆锥半角为 $7^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 的夹头 1 夹持，并带动旋转；工件的另一端由回转顶尖 3 顶住。由于后顶尖的轴向推力，使工件的一端卡入锥面产生自锁；轴向推力越大，则自锁性越好，于是工件被夹持越牢靠。当工件加工完毕时，可不必停机，只需要松开后顶尖，工件便自动下落（即工件卸下）；装上工件时，也不必停机。因此，使用这种简易不停机夹头，可缩短装夹工件的时间，提高车削效率，另外这种夹头制造很简单，使用方便。

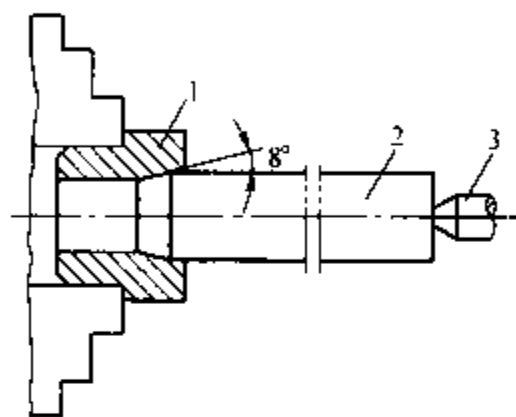


图 6-122 简易不停机夹头
1—夹头 2—工件 3—回转顶尖

(2) 不停机夹具 图 6-123 所示为不停机夹具，可用于车削短小轴类零件。不停机夹具的结构是，夹头体 7 插入车床主轴锥孔内，通过拉杆 5 及螺母 1、10 等件固定在主轴尾端法兰盘上。工作时，夹头体 7、弹簧夹头 8、拉杆 5、套 2 等与主轴同转，而螺母 10、螺杆 3、操纵杆 11 不转。扳动操纵杆 11，螺杆 3 便带动拉杆 5 左右移动，致使弹簧夹头夹紧或松开；用可调螺母 6 调节拉杆 5 的轴向位置，用以对工件进行轴向定位。

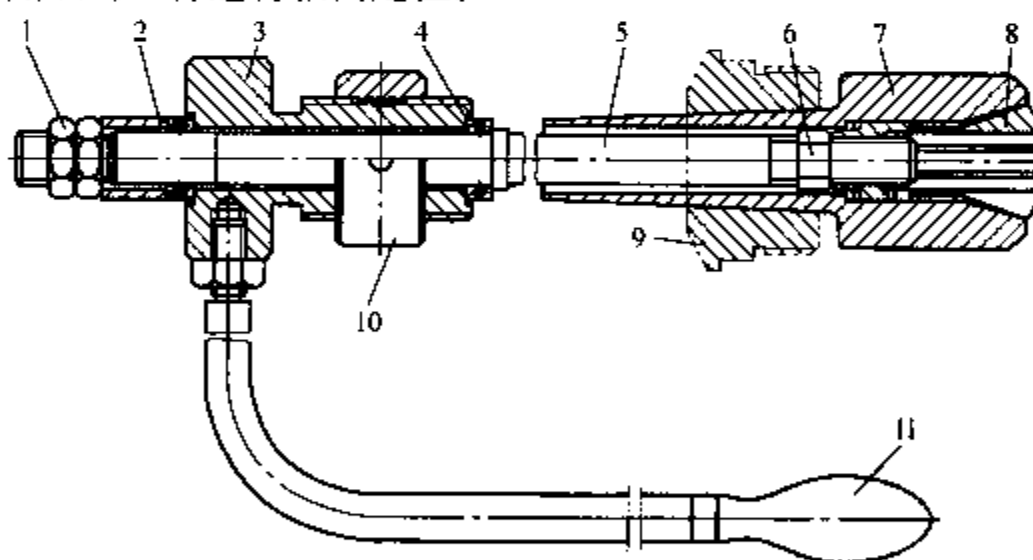


图 6-123 不停机夹具

1—紧固螺母 2—套 3—螺杆 4—推力球轴承 5—拉杆
6—可调螺母 7—夹头体 8—弹簧夹头 9—主轴 10—螺母 11—操纵杆

这种不停机夹具与三爪自定心卡盘相比，可缩短装拆工件的辅助时间，从而大大提高生产率。它适用于加工批量大、直径小于 $\phi 20\text{mm}$ 的圆棒料工件。如果将弹簧夹头 8 的夹持部分的形状加以改变，还可以用来装夹套类零件，车削内孔或外圆。

(3) 车削六角头螺栓的不停机夹具 图 6-124 所示为车六角头螺栓用的不停机夹具，使

用时需把夹具的锥柄插入车床主轴锥孔中，然后将螺栓的六角头放进夹具的内六角中，并用后顶尖顶住。当摇动尾座手轮时，则顶尖推动工件及套向左移动，迫使结合器1与2相结合，于是在主轴的带动下工件旋转，即可进行车削。加工完毕卸下工件时，需把后顶尖退出，于是在弹簧3的作用下，使结合器1和2分开，从而切断动力，工件就停止转动了。

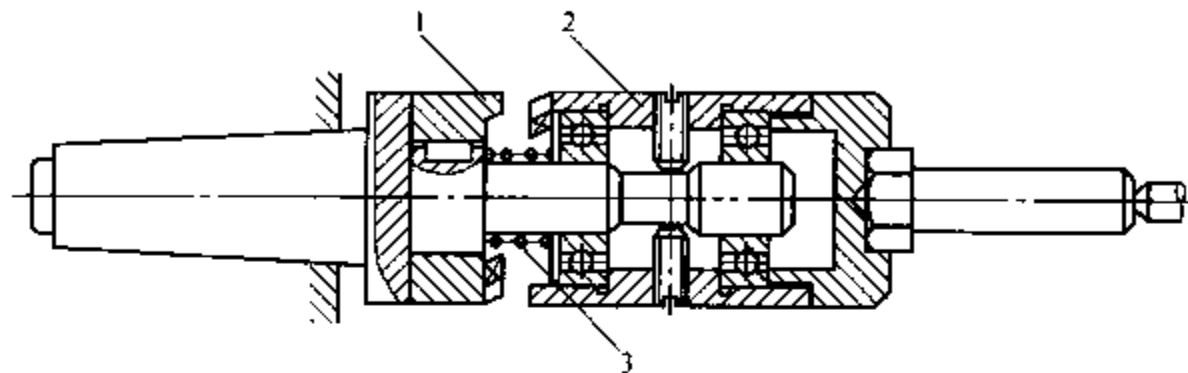


图 6-124 车削六角头螺栓用的不停机夹具
1、2—结合器 3—弹簧

2. 一组装夹特形头零件的夹具

1) 图 6-125a 所示为装夹六角头工件的夹具。该夹具在结构上最大的特点是，在夹具体上有内六角，即形状与工件头部六角头相一致。加工时，先将夹具装夹在车床卡盘上，然后把工件的六角头放入夹具体的内六角中，再用后顶尖顶住工件，便可开机加工。

2) 图 6-125b 所示为车削圆环螺钉的夹具。该夹具在夹具体上有与工件圆环头形状一致的凹形圆弧槽，装夹工件时就以这个凹形圆弧槽为定位面。加工时，先将夹具装夹在车床卡盘上，然后把工件的圆环头置入凹形圆弧槽内，再用后顶尖顶住工件，主轴旋转时夹具上的圆弧槽便带动工件旋转。

3) 图 6-125c 所示为车削方头工件的夹具。由图中可知，夹具有斜方孔，以适应工件方头尺寸的变动。使用时，把工件的方头置入夹具的斜方孔中，然后用顶尖顶住工件，依靠斜方孔带动工件旋转。

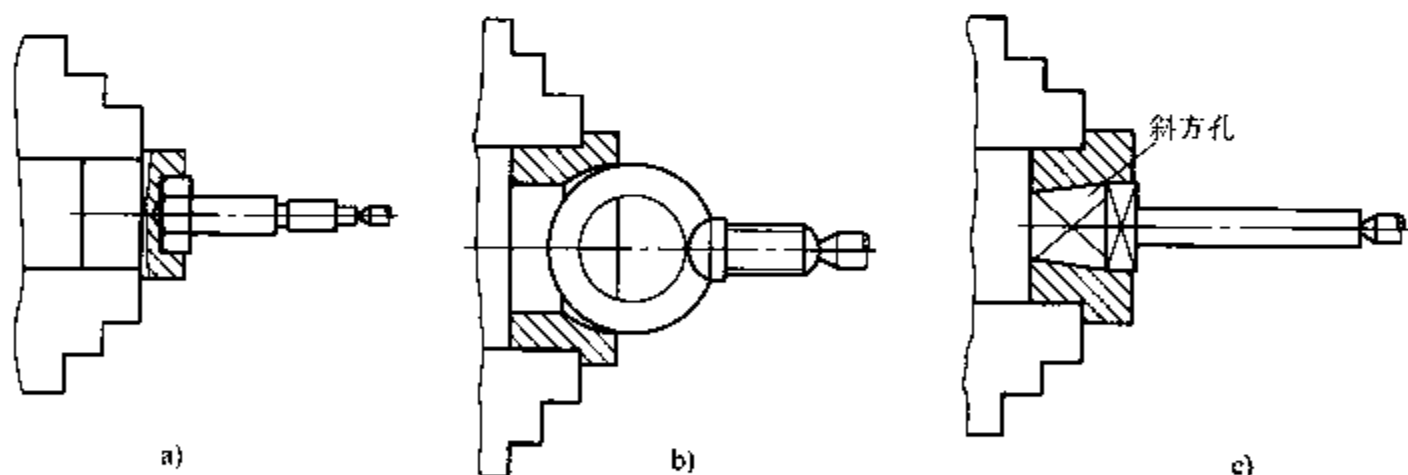


图 6-125 装夹特形头零件夹具

a) 装夹六角头工件夹具 b) 装夹圆环螺钉夹具 c) 装夹方头工件夹具

这组装夹特形头零件的夹具，成功地解决了诸如方头、六角头、圆环等零件由于头部结构形状特殊，使用通用夹具装夹困难、找正工件耗费时间多等问题，从而大大地提高了生产率。

3. 电磁吸盘和行星齿轮式三爪卡盘

辅助时间在单件工时中占有一定的比重，有时甚至可以超过基本时间的几倍。所以，对提高生产率来讲，缩短基本时间只能在一定范围内起作用，当辅助时间所占比重很大时，要

想提高劳动生产率就要从缩短辅助时间方面采取措施，其效果往往比较显著。基于这种理念，在装卸工件时，采用电磁吸盘或行星齿轮式三爪卡盘，均可使装卸工件的时间缩短，从而提高生产率。

(1) 电磁吸盘 图 6-126 所示为电磁吸盘。当线圈 1 通入直流电后，铁心上即产生一定的磁通 Φ ，磁力线避开隔磁圈 3，通过工件 2 形成闭合回路，如图 6-126 中虚线所示。由于磁力线在工件中通过，因此工件 2 被吸在盘面上。当断开线圈中电源后，电磁力消失，工件即可卸下。

电磁吸盘装卸工件迅速，一般多用于磨床，也用于车床。由于电磁吸盘产生的夹紧力不大，且分布均匀，故适用于切削力不大而又要求变形小的精加工工件。

(2) 行星齿轮式三爪卡盘 图 6-127 所示为行星齿轮式三爪卡盘。由图中可知，三个行星齿轮 4 同时与主动中心轮 2、固定中心轮 3 和可动中心轮 5 啮合。电动机经连接套 1 带动主动中心轮 2、行星齿轮 4、可动中心轮 5 转动。由可动中心轮 5 的端面结合子带动平面螺纹盘 6 转动，从而带动卡爪夹紧或松开工件。

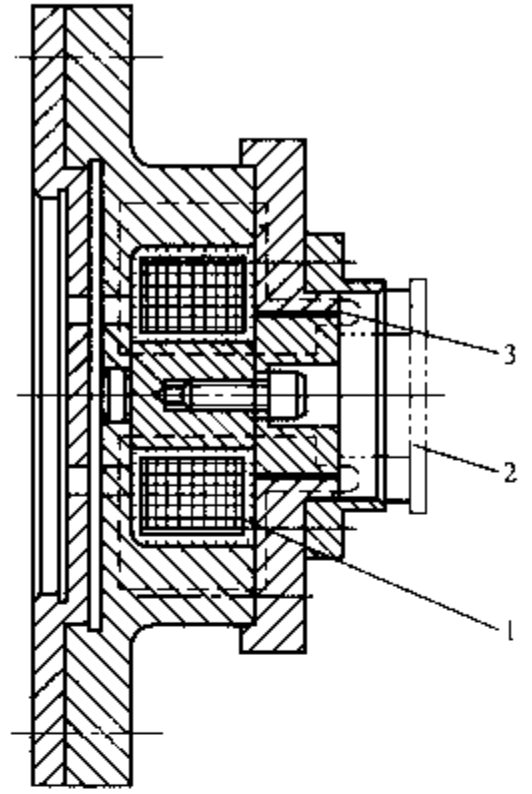


图 6-126 电磁吸盘
1—线圈 2—工件 3—隔磁圈

4. 用气动卡盘代替普通三爪自定心卡盘

目前，在大多数卧式车床上广泛使用三爪自定心卡盘夹持工件，效率很低，劳动强度大。采用气动卡盘代替普通三爪自定心卡盘，不仅操作方便省力，夹持工件安全可靠，而且效率也高。

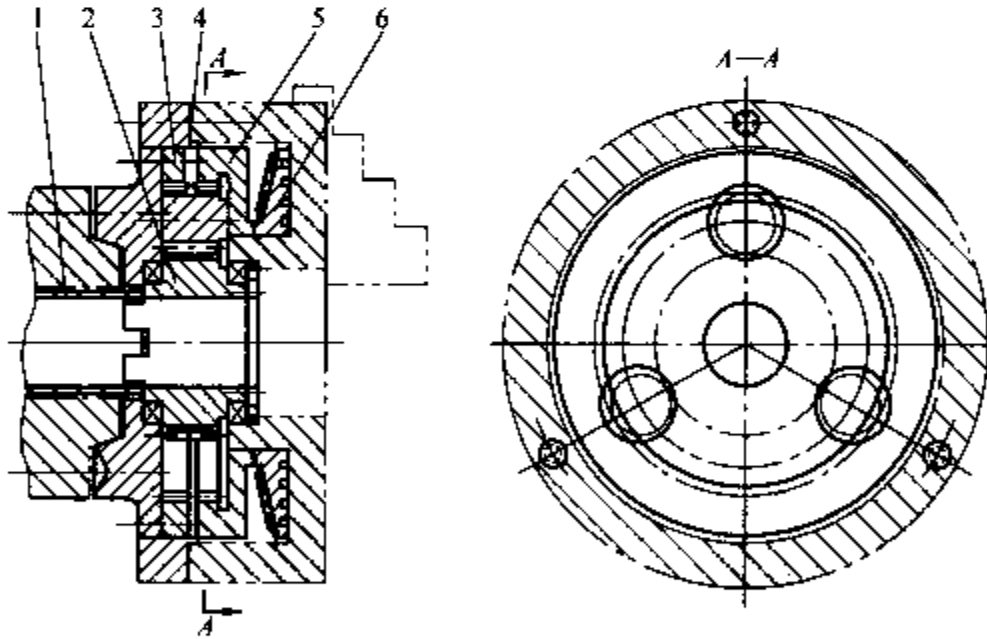


图 6-127 行星齿轮式三爪卡盘

1—连接套 2—主动中心轮 3—固定中心轮 4—行星齿轮 5—可动中心轮 6—平面螺纹盘

气动卡盘的工作原理如图 6-128 所示。车床主轴 7 的尾端用法兰盘固定一个气缸 4，压缩空气经过进气口 A、配气开关 11、气道 12 进入气缸 4 的右腔，活塞 5 向左移动，带动拉杆 6 和长臂杆 8 移动，则臂杆 9 使卡爪 10 夹紧工件。此时，气缸右腔的气体顺着气道 13、配气开关 11，由排气口 B 排出。

如果转动配气开关手柄，使进气口 A 与管道 13 接通，排气口 B 与管道 12 接通，于是

压缩空气向反向流动，卡盘自动松开。

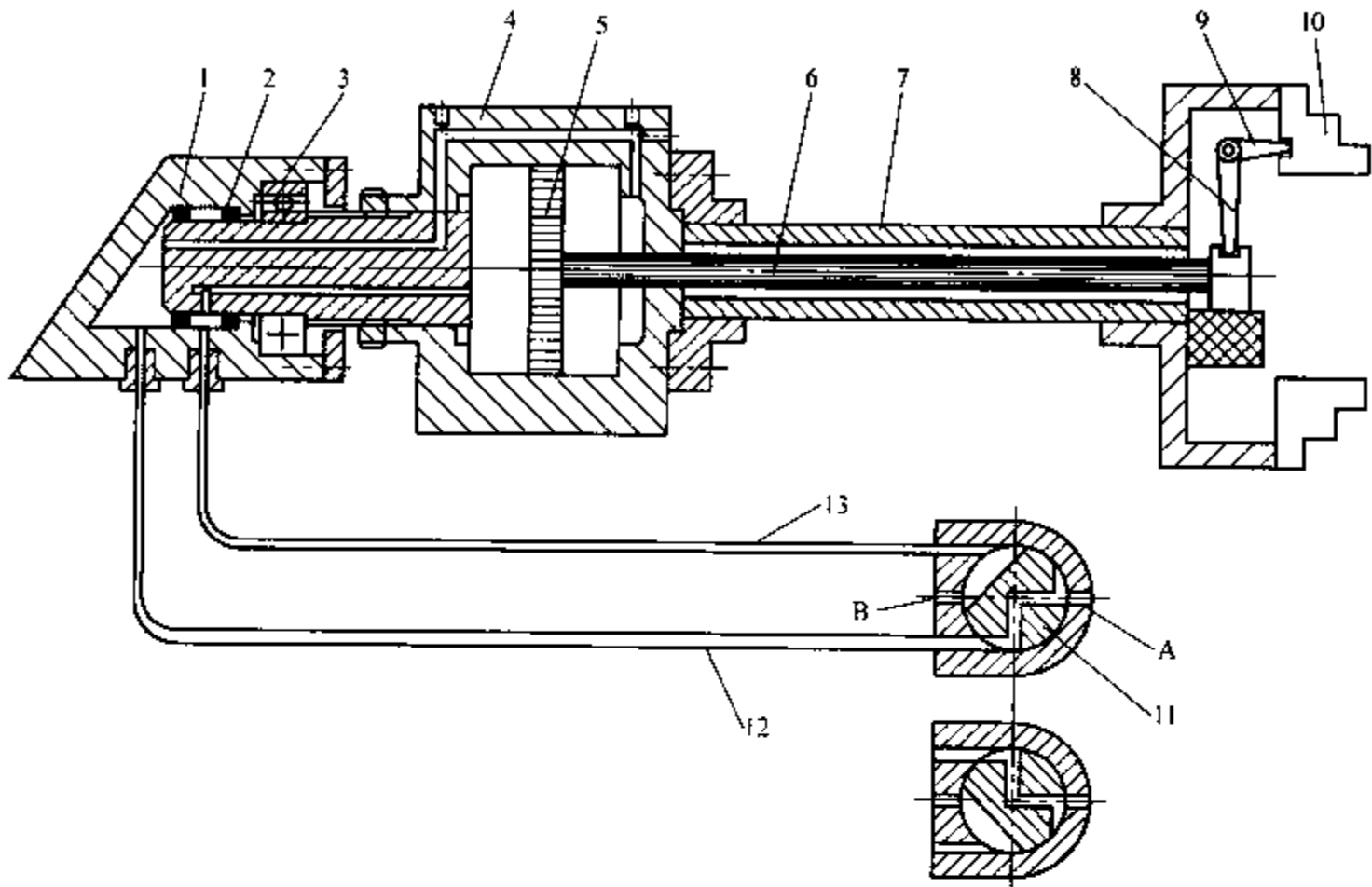


图 6-128 气动卡盘工作原理图

- 1—连接器 2—密封圈 3—轴承 4—气缸 5—活塞 6—拉杆 7—主轴 8—长臂杆
9—臂杆 10—卡爪 11—配气开关 12、13—气道 A—进气口 B—排气口

应当指出，气缸 4 是随主轴一同旋转的，气道连接器 1 是固定不动的，为了减少二者之间的摩擦，中间装一只滚动轴承 3，并装有密封圈 2 防止漏气。

5. 将卧式车床尾座改装成气动尾座

图 6-129 所示为卧式车床尾座改装成气动尾座的结构图。气缸 3 内的活塞 4 和套 2 连在一起；丝杠 1 用销子和螺纹紧固在轴 5 上；手轮 6 以键和螺母与轴 5 紧固在一起；轴 5 可在套 2 内转动，但不能作轴向移动。当压缩空气进入气缸 3 的左腔或右腔时，活塞 4 便带动套 2、轴 5 和顶尖套筒一起退或进。这种改装，比手工操作套筒顶尖退或进的时间大为减少，并且降低了工人的劳动强度。

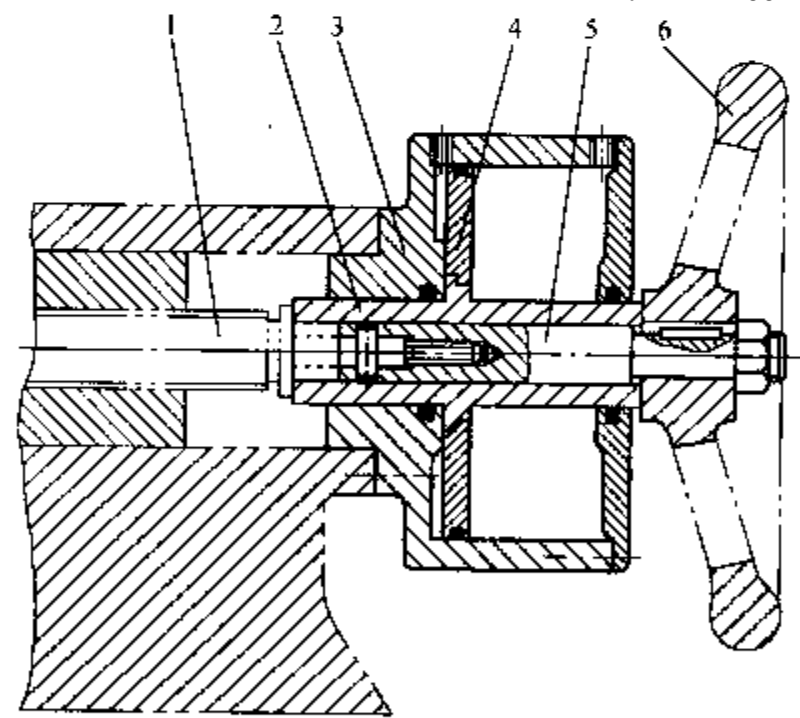


图 6-129 卧式车床尾座改装成气动尾座

- 1—丝杠 2—套 3—气缸 4—活塞 5—轴 6—手轮

上述气动卡盘和气动尾座都是以压缩空气为动力来夹紧工件的气动装置，其主要优点是：

由于工作介质是空气，来源于大气，废气也排入大气，所以管理也方便，管路中的泄漏除引起功率损失外，没有其他不良影响；空气粘度小，在管路中的压力损失小，便于集中供应

和远距离输送,气动的动作迅速,有利于缩短辅助时间,提高生产率;与液压传动相比,气压夹紧装置维护简单,管道不易阻塞,也不存在介质的变质、弄脏和补充更换等问题。

但是,气动夹紧装置也有不足之处:因为空气是可以压缩的,所以夹紧刚性较差,在切削力很大的情况下,不如液压夹紧可靠;压缩空气的工作压力较小,一般为 $0.4 \sim 0.6 \text{ MPa}$,对于同样大的夹紧力来说,气动夹紧的气缸比液压缸尺寸大。

6. 液压夹紧装置与气动液压联动夹紧装置

(1) 液压夹紧装置 图6-130所示为后退压板式液压夹具。该夹具采用液压传动,当压力油推动活塞杆1上升时,在活塞杆1和摆叉3的作用下,压板2的右端压缩弹簧5向右和向下移动,压紧工件。当工件松开时,压力油推动活塞杆1下降,在摆叉3和弹簧5的作用下,使压板2向左向后退。

图6-131所示是液压夹紧装置的液压传动系统图,它以压力油为动力推动活塞移动,再由活塞杆推动夹紧机构实现对工件的夹紧和松开动作。

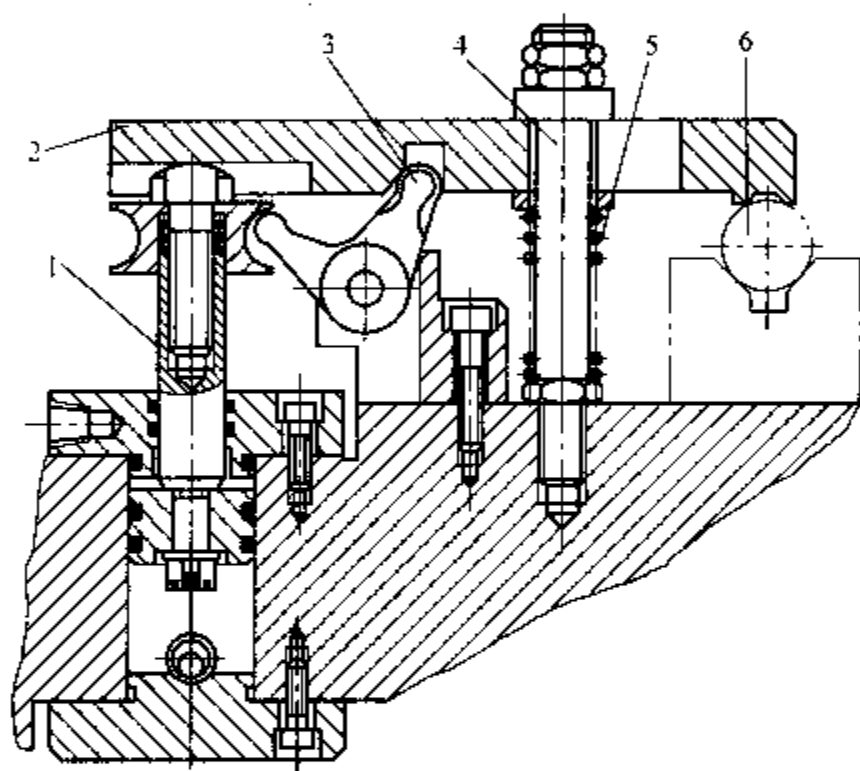


图 6-130 后退压板式液压夹具

1—活塞杆 2—压板 3—摆叉 4—螺栓
5—弹簧 6—工件

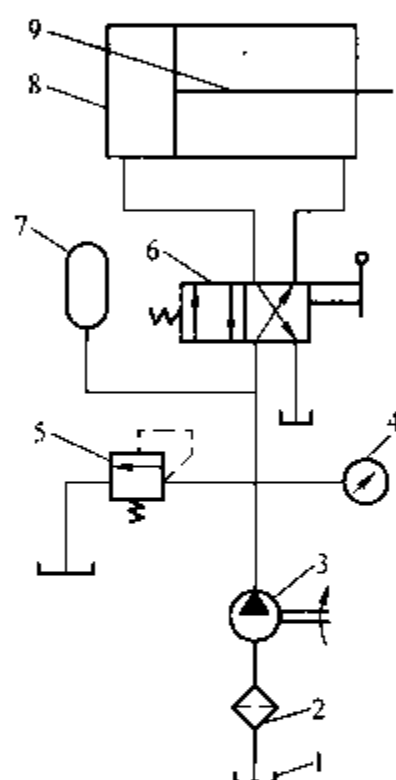


图 6-131 液压夹紧装置的液压传动系统图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵
4—压力表 5—溢流阀 6—换向阀 7—蓄能器
8—液压缸 9—活塞杆

液压夹紧的工作原理如下。

活塞杆左移:油箱1→过滤器2→液压泵3→换向阀6(右位)→液压缸9右腔→活塞杆9左移。这时候,液压缸左腔内油液经换向阀6流入油箱1。

活塞杆右移:油箱1→过滤器2→液压泵3→换向阀6(左位)→液压缸8左腔→活塞杆9右移。这时候,液压缸右腔内油液经换向阀6流回油箱1。

系统中的溢流阀5是用来调节液压系统的恒定压力的,并在夹具夹紧工件而活塞停止运动后,使液压泵3输出的压力油从溢流阀5流回油箱1。蓄能器7的功能是储蓄压力油,在单独使用夹紧装置进行夹紧的情况下,常用它来提高液压泵电动机的使用效率,即液压泵工作时,压力油进入蓄能器储存起来,当达到夹紧力使工件夹紧后,液压泵电动机可停止工作,靠蓄能器补偿漏油,保持夹紧。

应当指出，具有液压夹紧装置的夹具为液压夹具，主要用于有液压设备的机床上；在要求夹紧装置体积小，而又要产生较大夹紧力时，采用液压夹紧装置较为适合。

(2) 气动液压联动夹紧装置 气动液压联动夹紧装置，通常由一个气动传动机构和一个液压增力机构所组成。这种装置综合了气动和液压夹紧装置的优点，可以增大夹紧力，而又不需增设液压动力设备；力源仍然是压缩空气，液压只起增力作用。

气动液压联动夹紧装置的工作原理如图 6-132 所示。气缸的活塞杆 (d) 又是液压系统的柱塞，它进入工作液压缸中，并对液压油施加压力。由于液压油是不可压缩的液体，因而气缸活塞杆 (d) 通过液体将压力传给液压缸的活塞 (D)，最后传给夹紧元件来夹紧工件。

由图 6-132 可见，工作液压缸的活塞面积比气缸活塞杆（即柱塞）的端面积大得多，所以液压缸活塞得到很大的作用力，增力的倍数计算如下：

柱塞 (d) 作用于液压油的单位压力为

$$p' = \frac{4F_1}{\pi d^2}$$

因为

$$F_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} p$$

所以

$$p' = \frac{4}{\pi d^2} \times \frac{\pi D_1^2}{4} p = \left(\frac{D_1}{d}\right)^2 p$$

液压缸活塞杆所产生的作用力为

$$\begin{aligned} F &= \frac{\pi D^2}{4} p' \eta = \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{D_1}{d}\right)^2 p \eta \\ &= \left(\frac{D}{d}\right)^2 \times \frac{\pi D_1^2}{4} p \eta = \left(\frac{D}{d}\right)^2 F_1 \eta \end{aligned} \quad (6-4)$$

式中 d ——柱塞直径；

D_1 ——气缸活塞直径；

D ——液压缸活塞直径；

F ——液压缸活塞杆所产生的作用力；

F_1 ——气缸活塞所产生的作用力；

p ——压缩空气单位压力；

p' ——高压液压油的单位压力；

η ——机械效率，通常为 0.85 ~ 0.90。

由式 (6-4) 可见：液压缸所产生的作用力约为气缸的 $\left(\frac{D}{d}\right)^2$ 倍。由于 D^2 比 d^2 大得多，所以 F 也远远大于 F_1 。

值得注意的是，液压缸活塞的作用力增大多少倍，相应行程就减少多少倍。其证明如

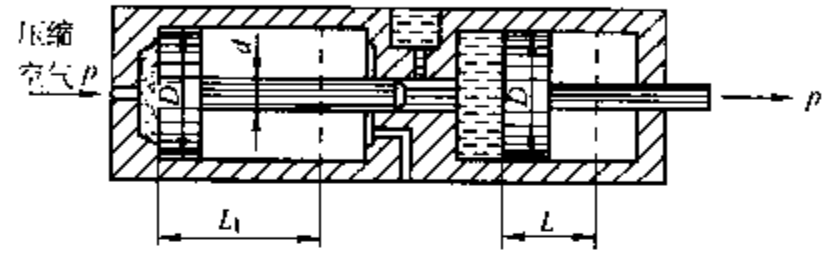


图 6-132 气动液压联动夹紧原理

下：根据在密封容器内柱塞 d 的移动容积和液压缸活塞 D 的移动容积相等的原理，则有

$$\frac{\pi d^2}{4} L_1 = \frac{\pi D^2}{4} L$$

于是

$$L = \left(\frac{d}{D}\right)^2 L_1$$

或

$$L_1 = \left(\frac{D}{d}\right)^2 L$$

式中 L_1 ——柱塞行程；

L ——液压缸活塞杆行程。

上述证明说明， F 是 F_1 的 $\left(\frac{D}{d}\right)^2$ 倍， L_1 是 L 的 $\left(\frac{D}{d}\right)^2$ 倍。在设计气液联合夹紧装置时，为保证液压缸活塞杆有适当的行程长度，通常取 $\frac{D}{d} = 1.75 \sim 2.5$ 。

7. 几项效果显著的技改装置

(1) 自动走刀钻孔工具 为实现在普通卧式车床上钻孔自动进给，以提高生产率和降低劳动强度，需设计一个钻头座，其结构如图 6-133 所示。

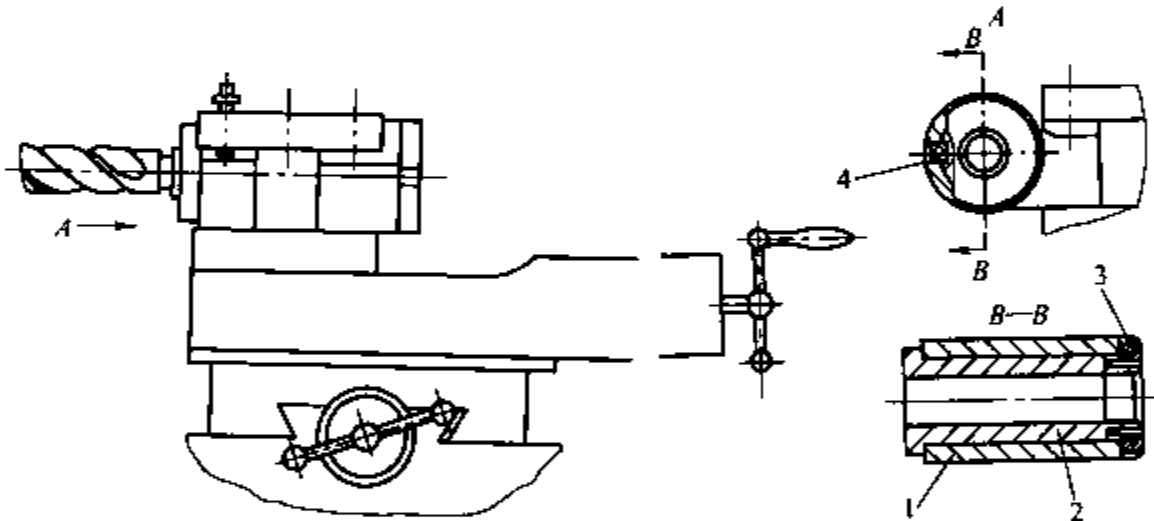


图 6-133 钻头座

1—钻头座体 2—套筒 3—螺母 4—键

钻头座由钻头座体 1、套筒 2、螺母 3 和键 4 所组成。其中，套筒 2 内孔的锥度与钻柄相适应，钻头就安装在该套筒内。

钻孔时，钻头座安装在方刀架上，经调整使套筒 2 轴线与主轴轴线相重合，然后利用床鞍带动作自动进给。

但是，必须指出，由于进给机构的限制，进给量不宜选择过大，工件的孔径也不应太大。主轴转速可以高一些。

(2) 车床用倒角刀架 某工厂大批量加工轴端倒角，并装上倒角刀，使加工轴端倒角与加工电机轴某一段外圆时的工步重合，从而缩短了基本时间，提高了生产率。

倒角刀架的结构如图 6-134 所示。刀架体 5 内装有螺杆 3 和螺母 4，螺杆 3 下端有一道环形槽，通过两根连接销 7 和滑套 6 连接。当摇动手把 1 时，螺杆 3 即在滑套 6 内转动，并

带动滑套6上下移动。此时，由于导向螺钉8的作用，滑套6不会发生转动。滑套6的下端与刀具10用螺纹联接。因此，倒角刀的进给和退回是由螺杆3带动滑套6作上下移动，来完成进刀和退刀的。

另外，在刀架体5的适当位置上有两个小孔，供装配时打进连接销7使用。

使用这个倒角刀架时，调整刀具须注意两点：①在与工件轴线垂直面内的调整，先松开螺母13，转动螺栓轴14，使其位置正确后，再将螺母13拧紧。②在其水平面的调整，通过改变调整垫9的厚度，使刀具处于正确的加工位置。

(3) 尾座四头钻装置 在车床尾座锥孔中安装钻头、铰刀、丝锥等刀具可以对工件进行钻孔、铰削和攻螺纹等加工。可是，由于尾座的结构限制，其锥孔中只能安装一把刀具，当需要完成两个以上工步时，如钻、扩、铰、攻螺纹等，则需要多次更换刀具，用去许多辅助时间。

这种情况下可采用图6-135所示的尾座四头钻装置，因它上面有四个装刀具的位置，可同时装夹四把刀具。当需要更换刀具时，先拔出定位销1，然后转动圆盘2，把所需刀具转到水平位置，再将定位销1插入相应的锥孔内，即可进行加工。从而解决了多次换刀的麻烦，避免了多次装夹刀具所需时间的浪费，大大地提高了生产率。

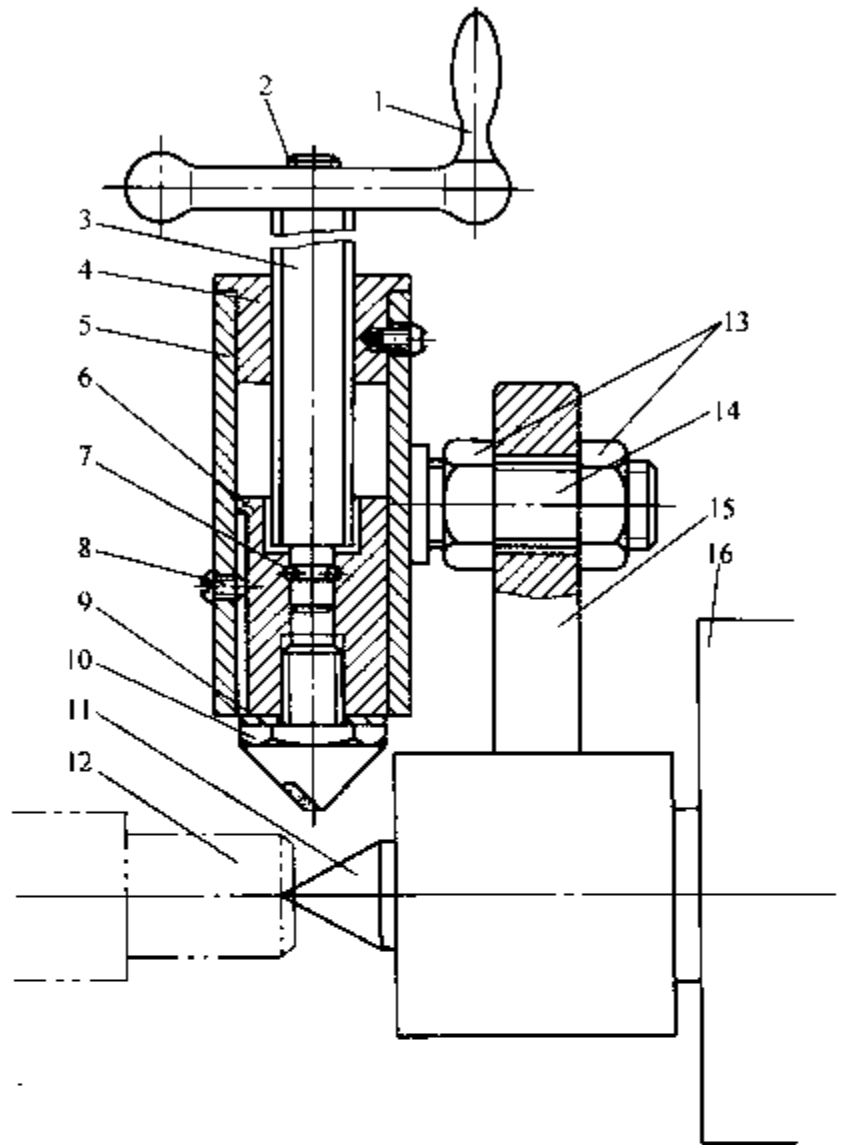


图6-134 车床用倒角刀架结构图

- 1—手把 2—连接键 3—螺杆 4—螺母 5—刀架体
- 6—滑套 7—连接销 8—导向螺钉 9—调整垫
- 10—刀具 11—活顶尖 12—工件（轴类） 13—螺母
- 14—螺栓轴 15—固定架 16—尾座

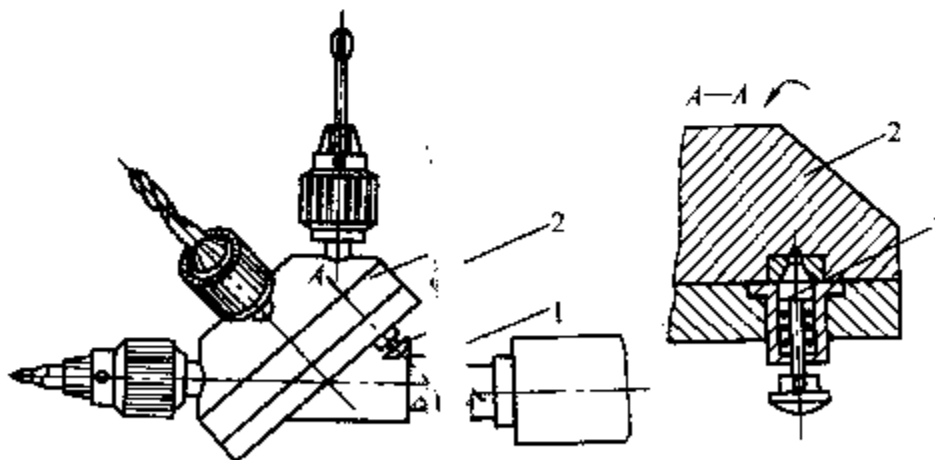


图6-135 尾座四头钻装置

- 1—定位销 2—圆盘

六、分度头在铣削加工中的应用

所谓“分度”即指在铣削工作中，工件在铣过一次之后，需要转过一个角度，然后再进行铣削，这种工作就是分度，如铣削花键、离合器、齿轮等都需要进行分度。用来完成分度工作的铣床附件就是分度头，通常有直接分度头、简单分度头、万能分度头和光学分度头等类型。其中以万能分度头比较常见，它的主要用途是：

- 1) 能够将工件作任意的圆周等分或直线移距分度。
- 2) 可把工件轴线放置成水平、垂直或倾斜的位置。
- 3) 通过交换齿轮，可使分度头主轴随纵向工作台的进给运动连续旋转，以铣削螺旋面和等速凸轮的型面。

可见，许多工件在铣削时是离不开分度头的，所以正确使用分度头也就成了铣削操作的重要技术，尤其是一些分度计算难度较大，往往成为某些工件铣削的关键技术。

为了使分度头处于良好的技术状态，正确使用和维护非常重要，通常应注意以下各点：

1) 分度头蜗杆和蜗轮的啮合间隙应保持在 0.02 ~ 0.04mm 范围内，过小易使蜗轮磨损；过大易使工件的分度精度因铣削力等因素而受到影响。间隙的调整可通过调整螺母来进行。

2) 在分度头上夹持工件时，最好先锁紧分度头主轴。在紧固工件时，切忌用管子套在扳手上施力，以免损坏蜗杆和蜗轮。

3) 调整分度头主轴仰角时，切不可将基座上靠近主轴前端的两个内六角螺钉松开，否则会使主轴位置的零位走动，并严禁用榔头等物敲打。此外，在搬运分度头时，不能碰撞，以免损坏分度头两端锥孔的安装底面。

4) 分度时，在一般情况下，分度手柄应向顺时针方向摇，在摇的过程中，尽量使速度均匀。一旦手柄摇过头，应将它退回半圈以上，然后再按原来方向摇到规定位置。

5) 分度时，要先松开主轴锁紧手柄，分度结束后再重新锁紧。但是，在加工螺旋面工件时，由于分度头主轴要在加工过程中连续旋转，因此不能锁紧。

6) 分度时，手柄上的定位销应慢慢地插入分度盘的孔内，切勿突然撒手，而使定位销自动弹入，以免损坏分度盘的孔眼。

7) 要经常保持分度头的清洁。在使用前应清除表面的脏物，并将安装底面和主轴锥孔擦拭干净。存放时，应在外露的金属表面涂防锈油。

8) 经常注意分度头各部分的润滑，并按说明书的规定，定期加油。

1. 简单分度法及其应用

简单分度法又叫单式分度法，凡是工件的等分数能分解成符合分度盘上所具有的孔数时，都可以用这种方法进行分度。

常用的 FW250 型分度头及其他各种型号的万能分度头，其分度头的定数基本上均采用 40，所以简单分度的计算公式为

$$n = \frac{40}{z}$$

式中 n ——每等分一次分度手柄应转过的转数；

40——分度头的定数；

z ——工件的等分数（齿数或边数）。

为了省略计算，也可应用表 6-8 所示简单分度表，直接查出分度头手柄应转过的孔数。

表 6-8 简单分度表

工件 等分数	分度盘 孔数	手柄转数	手柄转过 的孔距数	工件 等分数	分度盘 孔数	手柄转数	手柄转过 的孔距数
2	任意	20	—	42	42	—	40
3	24	13	8	43	43	—	40
4	任意	10	—	44	66	—	60
5	任意	8	—	45	54	—	48
6	24	6	16	46	46	—	40
7	28	5	20	47	47	—	40
8	任意	5	—	48	24	—	20
9	54	4	24	49	49	—	40
10	任意	4	—	50	25	—	20
11	66	3	42	51	51	—	40
12	24	3	8	52	39	—	30
13	39	3	3	53	53	—	40
14	28	2	24	54	54	—	40
15	24	2	16	55	66	—	48
16	24	2	12	56	28	—	20
17	34	2	12	57	57	—	40
18	54	2	12	58	58	—	40
19	38	2	4	59	59	—	40
20	任意	2	—	60	42	—	28
21	42	1	38	62	62	—	40
22	66	1	54	64	24	—	15
23	46	1	34	65	39	—	24
24	24	1	16	66	66	—	40
25	25	1	15	68	34	—	20
26	39	1	21	70	28	—	26
27	54	1	26	72	54	—	30
28	42	1	18	74	37	—	20
29	58	1	22	75	30	—	16
30	24	1	8	76	38	—	20
31	62	1	18	78	39	—	20
32	28	1	7	80	34	—	17
33	66	1	14	82	41	—	20
34	34	1	6	84	42	—	20
35	28	1	4	85	34	—	16
36	54	1	6	86	43	—	20
37	37	1	3	88	66	—	30
38	38	1	2	90	54	—	24
39	39	1	1	92	46	—	20
40	任意	1	—	94	47	—	20
41	41	41	40	95	38	—	16

(续)

工件等分数	分度盘孔数	手柄转数	手柄转过的孔距数	工件等分数	分度盘孔数	手柄转数	手柄转过的孔距数
96	24	—	10	148	37	—	10
98	49	—	20	150	30	—	8
100	25	—	10	152	38	—	10
102	51	—	20	155	62	—	16
104	39	—	15	156	39	—	10
105	42	—	16	160	28	—	7
106	53	—	20	164	41	—	10
108	54	—	20	165	66	—	16
110	66	—	24	168	42	—	10
112	28	—	10	170	34	—	8
114	57	—	20	172	43	—	10
115	46	—	16	176	66	—	15
116	58	—	20	180	54	—	12
118	59	—	20	184	46	—	10
120	66	—	22	185	37	—	8
124	62	—	20	188	47	—	10
125	25	—	8	190	38	—	8
130	39	—	12	192	24	—	5
132	66	—	20	195	39	—	8
135	54	—	16	196	49	—	10
136	34	—	10	200	30	—	6
140	28	—	8	204	51	—	10
144	54	—	15	205	41	—	8
145	58	—	16	210	42	—	8

例 15 利用 FW250 型万能分度头进行分度, 铣削一个 $z=60$ 的齿轮, 求每分一齿时手柄应转过的转数。

1) 根据简单分度计算公式计算

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3} = \frac{44}{66}$$

2) 根据简单分度表查阅。在“工件等分数”一栏查找到 60, 然后向右横移于“分度盘孔数”一栏为 42, 而“手柄转数”一栏为“—”, “手柄转过的孔距数”为 28。这表明: 每分一齿时, 手柄应转过的转数不足一转; 在具有 42 孔的孔圈内摇 28 个孔距即可。

2. 角度分度法及其应用

角度分度法实际上是简单分度法的另一种形式, 只是计算的依据不同。简单分度法是以工件的等分数 z 作计算依据, 而角度分度法则是以工件所需要的角度 θ 作为计算依据, 所以在具体计算方法上有些不同。

角度分度法的应用场合是: 在铣削工件时, 当需要根据角度来分度时, 就可以用角度分度法, 其精度可精确到几分、几秒。

1) 当工件要求分度的单位为“°”的情况下,分度手柄转数的计算公式为

$$n = \frac{X}{\theta} = \frac{X}{9^\circ}$$

2) 当工件要求分度的单位为“′”的情况下,分度手柄转数的计算公式为

$$n = \frac{X}{540'}$$

3) 当工件要求分度的单位为“″”的情况下,分度手柄转数的计算公式为

$$n = \frac{X}{32400''}$$

必须注意,应用以“′”或“″”为分度单位计算分度手柄转数计算公式时,须将被分度的角度一律化成“′”或“″”,代入公式作计算。所得整数部分就是分度手柄的整数转,尾数(小数部分)可从表6-9中查到分度盘的孔圈数和分度手柄应摇过的孔距数。表中的小数是分度孔距数和分度盘孔数的商值。

表 6-9 角度分度表

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.0152	1	66	0.0392	2	51	0.0652	3	46
0.0161	1	62	0.0400	1	25	0.0667	2	30
0.0169	1	59	0.0408	2	49	0.0678	4	59
0.0172	1	58	0.0417	1	24	0.0690	2 或 4	29 或 58
0.0175	1	57	0.0426	2	47	0.0698	3	43
0.0185	1	54	0.0435	1 或 2	23 或 46	0.0702	4	57
0.0189	1	53	0.0454	3	66	0.0714	2	28
0.0196	1	51	0.0465	2	43	0.0714	3	42
0.0204	1	49	0.0476	1 或 2	21 或 42	0.0732	3	41
0.0213	1	47	0.0484	3	62	0.0741	2 或 4	27 或 54
0.0217	1	46	0.0488	2	41	0.0755	4	53
0.0233	1	43	0.0500	1	20	0.0758	5	66
0.0238	1	42	0.0508	3	59	0.0769	3	39
0.0244	1	41	0.0513	2	39	0.0784	4	51
0.0256	1	39	0.0517	3	58	0.0789	3	38
0.0263	1	38	0.0526	1 或 2	19 或 38	0.0800	2	25
0.0270	1	37	0.0526	3	57	0.0806	5	62
0.0294	1	34	0.0541	2	37	0.0811	3	37
0.0303	1 或 2	33 或 66	0.0556	1 或 3	18 或 54	0.0816	4	49
0.0323	1 或 2	31 或 62	0.0566	3	53	0.0833	2	24
0.0333	1	30	0.0588	1 或 2	17 或 34	0.0847	5	59
0.0338	2	59	0.0588	3	51	0.0851	4	47
0.0345	1 或 2	29 或 58	0.0606	2 或 4	33 或 66	0.0862	5	58
0.0351	2	57	0.0612	3	49	0.0870	2 或 4	23 或 46
0.0357	1	28	0.0625	1	16	0.0877	5	57
0.0370	1 或 2	27 或 54	0.0638	3	47	0.0882	3	34
0.0377	2	53	0.0645	2 或 4	31 或 62	0.0909	3 或 6	33 或 66

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.0926	5	54	0.1333	2或4	15或30	0.1754	10	57
0.0930	4	43	0.1351	5	37	0.1765	3或6	17或34
0.0943	5	53	0.1356	8	59	0.1765	9	51
0.0952	2或4	21或42	0.1364	9	66	0.1774	11	62
0.0968	3或6	31或62	0.1378	7	51	0.1786	5	28
0.0976	4	41	0.1379	4或8	29或58	0.1795	7	39
0.0980	5	51	0.1395	6	43	0.1818	6或12	33或66
0.1000	2或3	20或30	0.1404	8	57	0.1839	9	49
0.1017	6	59	0.1429	4	28	0.1842	7	38
0.1020	5	49	0.1429	3或6	21或42	0.1852	5或10	27或54
0.1026	4	39	0.1439	7	49	0.1860	8	43
0.1034	3或6	29或58	0.1452	9	62	0.1864	11	59
0.1053	2或4	19或38	0.1463	6	41	0.1875	3	16
	或6	或57	0.1471	5	34	0.1887	10	53
0.1061	7	66	0.1481	4或8	27或54	0.1892	7	37
0.1064	5	47	0.1489	7	47	0.1897	11	58
0.1071	3	28	0.1500	3	20	0.1905	4或8	21或42
0.1081	4	37	0.1509	8	53	0.1915	9	47
0.1087	5	46	0.1515	5或10	33或66	0.1930	11	57
0.1111	2	18	0.1522	7	46	0.1935	6或12	31或62
0.1111	3或6	27或54	0.1525	9	59	0.1951	8	41
0.1129	7	62	0.1538	6	39	0.1957	9	46
0.1132	5	53	0.1552	9	58	0.1961	10	51
0.1163	6	43	0.1569	8	51	0.1970	13	66
0.1176	2或4	17或34	0.1579	3或6	19或38	0.2000	3或5	15或25
	或6	或51	0.1579	9	57	0.2000	4或6	20或30
0.1186	7	59	0.1600	4	25	0.2034	12	59
0.1190	5	42	0.1613	5或10	31或62	0.2037	11	54
0.1200	3	25	0.1622	6	37	0.2041	10	49
0.1207	7	58	0.1628	7	43	0.2051	8	39
0.1212	4或8	33或66	0.1633	8	49	0.2059	7	34
0.1220	5	41	0.1667	3或11	18或66	0.2069	6或12	29或58
0.1224	6	49	0.1667	9	54	0.2075	11	53
0.1228	7	57	0.1667	7	42	0.2083	5	24
0.1250	2或3	16或24	0.1667	5	30	0.2093	9	43
0.1277	6	47	0.1667	4	24	0.2097	13	62
0.1282	5	39	0.1695	10	59	0.2105	4或8	19或38
0.1290	4或8	31或62	0.1698	9	53		或12	或57
0.1296	7	54	0.1702	8	47	0.2121	7或14	33或66
0.1304	3或6	32或46	0.1707	7	41	0.2128	10	47
0.1316	5	38	0.1724	5或10	29或58	0.2143	6或9	28或42
0.1321	7	53	0.1739	4或8	23或46	0.2157	1	51

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.2162	8	37	0.2593	7 或 14	27 或 54	0.3030	10 或 20	33 或 66
0.2174	5 或 10	23 或 46	0.2609	6 或 12	23 或 46	0.3043	7 或 14	23 或 46
0.2195	9	41	0.2619	11	42	0.3051	18	59
0.2203	13	59	0.2632	5 或 10	19 或 38	0.3061	15	49
0.2222	4 或 6 或 12	18 或 27 或 54	0.2642	14	53	0.3065	19	62
0.2241	13	58	0.2647	9	34	0.3077	12	39
0.2245	11	49	0.2653	13	49	0.3095	13	42
0.2258	7 或 14	31 或 62	0.2667	4 或 8	15 或 30	0.3103	9 或 18	29 或 58
0.2264	12	53	0.2683	11	41	0.3125	5	16
0.2273	15	66	0.2703	10	37	0.3137	16	51
0.2281	13	57	0.2712	16	59	0.3148	17	54
0.2308	9	39	0.2727	9 或 18	33 或 66	0.3158	6 或 12 或 18	19 或 38 或 57
0.2326	10	43	0.2742	17	62	0.3171	13	41
0.2333	7	30	0.2745	14	51	0.3182	21	66
0.2340	11	47	0.2759	8 或 16	29 或 58	0.3191	15	47
0.2353	4 或 8	17 或 34	0.2766	13	47	0.3200	8	25
0.2353	12	51	0.2778	5 或 15	18 或 54	0.3208	17	53
0.2368	9	38	0.2791	12	43	0.3214	9	28
0.2373	14	59	0.2800	7	25	0.3220	19	59
0.2381	5 或 10	21 或 42	0.2807	16	57	0.3226	10 或 20	31 或 62
0.2391	11	46	0.2821	11	39	0.3235	11	34
0.2400	6	25	0.2826	13	46	0.3243	12	37
0.2407	13	54	0.2830	15	53	0.3256	14	43
0.2414	7 或 14	29 或 58	0.2857	8 或 14	28 或 49	0.3261	15	46
0.2419	15	62	0.2857	6 或 12	21 或 42	0.3265	16	49
0.2424	8 或 16	33 或 66	0.2879	19	66	0.3276	19	58
0.2432	9	37	0.2881	17	59	0.3333	6 或 8	18 或 24
0.2439	10	41	0.2895	11	38	0.3333	5 或 10 或 13	15 或 30 或 39
0.2449	12	49	0.2903	9 或 18	31 或 62	0.3333	7 或 14 或 17	21 或 42 或 51
0.2453	13	53	0.2917	7	24	0.3333	9 或 18 或 19	27 或 54 或 57
0.2456	14	57	0.2927	12	41	0.3333	11 或 22	33 或 66
0.2500	4 或 6 或 5 或 7	16 或 24 或 20 或 28	0.2931	17	58	0.3387	21	62
0.2542	15	59	0.2941	15 或 5 或 10	51 或 17 或 34	0.3390	20	59
0.2549	13	51	0.2963	8 或 16	27 或 54	0.3396	18	53
0.2553	12	47	0.2973	11	37	0.3404	16	47
0.2558	11	43	0.2979	14	47	0.3415	14	41
0.2564	10	39	0.2982	17	57	0.3421	13	38
0.2576	17	66	0.3000	6 或 9	20 或 30	0.3443	10 或 20	29 或 58
0.2581	8 或 16	31 或 62	0.3019	16	53			
0.2586	15	58	0.3023	13	43			

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.3469	17	49	0.3889	7或21	18或54	0.4314	22	51
0.3478	8或16	23或46	0.3898	23	59	0.4324	16	37
0.3485	23	66	0.3902	16	41	0.4333	13	30
0.3488	15	43	0.3913	9或18	23或46	0.4340	23	53
0.3500	7	20	0.3922	20	51	0.4348	10或20	23或46
0.3509	20	57	0.3929	11	28	0.4355	27	62
0.3514	13	37	0.3939	13或26	33或66	0.4359	17	39
0.3519	19	54	0.3947	15	38	0.4375	7	16
0.3529	6或12 或18	17或34 或51	0.3953	17	43	0.4386	25	57
0.3548	11或22	31或62	0.3962	21	53	0.4390	18	41
0.3559	21	59	0.3966	23	58	0.4394	29	66
0.3571	10或15	28或42	0.4000	6或10	15或25	0.4400	11	25
0.3585	19	53	0.4000	8或12	20或30	0.4407	26	59
0.3590	14	39	0.4032	25	62	0.4412	15	34
0.3600	9	25	0.4035	23	57	0.4419	19	43
0.3617	17	47	0.4043	19	47	0.4444	8或12 或24	18或27 或54
0.3621	21	58	0.4048	17	42	0.4468	21	47
0.3636	12或24	33或66	0.4054	15	37	0.4474	17	38
0.3659	15	41	0.4068	24	59	0.4483	13或26	29或58
0.3667	11	30	0.4074	11或22	27或54	0.4490	22	49
0.3673	18	49	0.4082	20	49	0.4500	9	20
0.3684	7或14	19或38	0.4091	27	66	0.4510	23	51
0.3684	21	57	0.4103	16	39	0.4516	14或28	31或62
0.3696	17	46	0.4118	7或14	17或34	0.4524	19	42
0.3004	10或20	27或54	0.4118	21	51	0.4528	24	53
0.3710	23	62	0.4130	19	46	0.4528	24	53
0.3721	16	43	0.4138	12或24	29或58	0.4545	15或30	33或66
0.3725	19	50	0.4146	17	41	0.4561	21	57
0.3729	22	59	0.4151	22	53	0.4565	26	46
0.3750	6或9	16或24	0.4167	10	24	0.4576	27	59
0.3774	20	53	0.4186	18	43	0.4583	11	24
0.3784	14	37	0.4194	13或26	31或62	0.4595	17	37
0.3788	25	66	0.4211	8或16	19或38	0.4615	18	39
0.3793	11或22	29或58	0.4211	24	57	0.4630	25	54
0.3810	8或16	21或42	0.4237	25	59	0.4634	19	41
0.3824	13	34	0.4242	14或28	33或66	0.4643	13	28
0.3830	18	47	0.4255	20	47	0.4651	20	43
0.3846	15	19	0.4259	23	54	0.4655	14	30
0.3860	22	57	0.4286	12或9 或18	28或21 或42	0.4667	7或27	15或58
0.3871	12或24	31或62	0.4286	21	49	0.4677	29	62
0.3878	19	49	0.4310	25	58	0.4681	22	47
						0.4694	23	49

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.4697	31	66	0.5152	17 或 34	33 或 66	0.5588	19	34
0.4706	8 或 16	17 或 34	0.5161	16 或 32	31 或 62	0.5593	33	59
0.4706	24	51	0.5172	15 或 30	29 或 58	0.5600	14	25
0.4717	25	53	0.5185	14 或 28	27 或 54	0.5606	37	63
0.4737	9 或 27	19 或 57	0.5200	13	25	0.5610	23	41
0.4746	28	59	0.5217	12 或 24	23 或 46	0.5614	32	57
0.4762	10 或 20	21 或 42	0.5238	11 或 22	21 或 42	0.5625	9	16
0.4783	11 或 22	23 或 46	0.5254	31	59	0.5641	22	39
0.4800	12	25	0.5263	10 或 20	19 或 38	0.5645	35	62
0.4814	26	54		或 30	或 57	0.5652	13 或 26	23 或 46
0.4815	13	27	0.5283	28	53	0.5660	30	53
0.4828	14 或 28	29 或 58	0.5294	9 或 18	17 或 34	0.5667	17	30
0.4839	15 或 30	31 或 62	0.5294	27	51	0.5678	21	37
0.4848	16 或 32	33 或 66	0.5303	35	66	0.5686	29	51
0.4865	18	37	0.5306	26	49	0.5690	33	58
0.4872	19	39	0.5319	25	47	0.5714	16	28
0.4878	20	41	0.5323	33	62	0.5714	12 或 24	21 或 42
0.4884	21	43	0.5333	8 或 16	15 或 30	0.5714	28	49
0.4894	23	47	0.5345	31	58	0.5714	31	54
0.4898	24	49	0.5349	23	43	0.5745	27	47
0.4902	25	51	0.5357	15	28	0.5758	19 或 38	33 或 66
0.4906	26	53	0.5366	22	41	0.5763	34	59
0.4912	28	57	0.5370	29	54	0.5789	11 或 22	19 或 38
0.4915	29	59	0.5385	21	39	0.5789	33	57
0.5000	8 或 12	16 或 24	0.5405	20	37	0.5806	18 或 36	31 或 62
0.5000	9 或 14	18 或 28	0.5417	13	24	0.5814	25	43
0.5000	10 或 15	20 或 30	0.5424	32	59	0.5833	14	24
	或 17	或 34	0.5435	25	46	0.5849	31	53
0.5000	19 或 21	38 或 42	0.5439	31	57	0.5854	24	41
	或 23	或 46	0.5455	18 或 36	33 或 66	0.5862	17 或 34	29 或 58
0.5000	27 或 29	54 或 58	0.5472	29	53	0.5870	27	46
0.5000	31 或 33	62 或 66	0.5476	23	42	0.5882	10 或 20	17 或 34
0.5085	30	59	0.5484	17 或 34	31 或 62		或 30	或 51
0.5088	29	57	0.5490	28	51	0.5897	23	39
0.5094	27	53	0.5500	11	20	0.5909	39	66
0.5098	26	51	0.5510	27	49	0.5918	29	49
0.5102	25	49	0.5517	16 或 32	29 或 58	0.5926	16 或 32	27 或 54
0.5106	24	47	0.5526	21	38	0.5932	35	59
0.5116	22	43	0.5532	26	47	0.5946	22	37
0.5122	21	41	0.5556	10 或 15	18 或 27	0.5952	25	42
0.5128	20	39		或 30	或 54	0.5957	28	47
0.5135	19	37	0.5581	24	43	0.5965	34	57

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.5968	37	62	0.6415	34	53	0.6829	28	41
0.6000	9 或 15	15 或 25	0.6429	18 或 27	28 或 42	0.6842	13 或 26	19 或 38
0.6000	12 或 18	20 或 30	0.6441	38	59	0.6842	39	57
0.6034	35	58	0.6452	20 或 40	31 或 62	0.6852	37	54
0.6038	32	53	0.6471	11 或 22	17 或 34	0.6863	35	51
0.6047	26	43		或 33	或 51	0.6875	11	16
0.6053	23	38	0.6481	35	54	0.6897	20 或 40	29 或 58
0.6061	20 或 40	33 或 66	0.6486	24	37	0.6905	29	42
0.6071	17	28	0.6491	37	57	0.6923	27	39
0.6078	31	51	0.6500	13	20	0.6935	43	62
0.6087	14 或 28	23 或 46	0.6512	28	43	0.6939	34	49
0.6098	25	41	0.6515	43	66	0.6949	41	59
0.6102	36	59	0.6522	15 或 30	23 或 46	0.6957	16 或 32	23 或 46
0.6111	11 或 33	18 或 54	0.6531	32	49	0.6970	23 或 46	33 或 66
0.6122	30	49	0.6552	19 或 38	29 或 58	0.6977	30	43
0.6129	19 或 38	31 或 62	0.6579	25	38	0.6981	37	53
0.6140	35	57	0.6585	27	41	0.7000	14 或 21	20 或 30
0.6154	24	39	0.6596	31	47	0.7018	40	57
0.6170	29	47	0.6604	35	53	0.7021	33	47
0.6176	21	34	0.6610	39	59	0.7027	26	37
0.6190	13 或 26	21 或 42	0.6613	41	62	0.7037	19 或 38	27 或 54
0.6207	18 或 36	29 或 58	0.6667	12 或 16	18 或 24	0.7059	12 或 24	17 或 34
0.6212	41	66	0.6667	10 或 20	15 或 30	0.7059	36	51
0.6216	23	37		或 26	或 39	0.7069	41	58
0.6226	33	53	0.6667	14 或 28	21 或 42	0.7073	29	4
0.6250	10 或 15	16 或 24		或 34	或 51	0.7083	17	24
0.6270	37	29	0.6667	18 或 36	27 或 54	0.7097	22 或 44	31 或 62
0.6275	32	51		或 38	或 57	0.7105	27	38
0.6279	27	43	0.6667	22 或 44	33 或 66	0.7119	42	59
0.6290	39	62	0.6724	39	58	0.7121	47	66
0.6296	17 或 34	27 或 54	0.6735	33	49	0.7143	20	28
0.6304	29	46	0.6739	31	46	0.7143	15 或 30	21 或 42
0.6316	12 或 24	19 或 38	0.6744	29	43	0.7143	35	49
0.6316	36	57	0.6757	25	37	0.7170	38	53
0.6327	31	49	0.6765	23	34	0.7174	33	46
0.6333	19	30	0.6774	21 或 42	31 或 62	0.7179	28	39
0.6341	26	41	0.6780	40	59	0.7193	41	57
0.6364	21 或 42	33 或 66	0.6786	19	28	0.7200	18	25
0.6379	37	58	0.6792	36	53	0.7209	31	43
0.6383	30	47	0.6800	17	25	0.7222	13 或 39	18 或 54
0.6400	16	25	0.6809	32	47	0.7234	34	47
0.6410	25	39	0.6818	45	66	0.7241	21 或 42	29 或 58

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.7255	37	51	0.7667	23	30	0.8108	30	37
0.7258	45	62	0.7674	33	43	0.8113	43	53
0.7273	24 或 48	33 或 66	0.7692	30	39	0.8125	13	16
0.7288	43	59	0.7719	44	57	0.8136	48	59
0.7297	27	37	0.7727	51	66	0.8140	35	43
0.7317	30	41	0.7739	41	53	0.8148	44	54
0.7333	11 或 22	15 或 30	0.7742	24 或 48	31 或 62	0.8158	31	38
0.7347	36	49	0.7755	38	49	0.8163	40	49
0.7353	25	34	0.7759	45	58	0.8182	27 或 54	33 或 66
0.7358	39	53	0.7778	14	18	0.8205	32	39
0.7368	14 或 28	19 或 38	0.7778	21 或 42	27 或 54	0.8214	23	28
0.7368	42	57	0.7797	46	59	0.8226	51	62
0.7381	31	42	0.7805	32	41	0.8235	14 或 28	17 或 34
0.7391	17 或 34	23 或 46	0.7826	18 或 36	23 或 46		或 42	或 51
0.7407	20 或 40	27 或 54	0.7838	29	37	0.8246	47	57
0.7414	43	58	0.7843	40	51	0.8261	19 或 38	23 或 46
0.7419	23 或 46	31 或 62	0.7857	22 或 33	28 或 42	0.8276	24 或 48	29 或 58
0.7424	49	66	0.7872	37	47	0.8293	34	41
0.7436	29	39	0.7879	26 或 52	33 或 66	0.8298	39	47
0.7442	32	43	0.7895	15 或 30	19 或 38	0.8302	44	53
0.7447	35	47		或 45	或 57	0.8305	49	59
0.7451	33	51	0.7903	49	62	0.8333	15 或 20	18 或 24
0.7458	44	59	0.7907	34	43		或 25	或 30
0.7500	12 或 18	16 或 24	0.7917	19	24	0.8333	35 或 45	42 或 54
0.7500	15 或 21	20 或 28	0.7925	42	53		或 55	或 66
0.7544	43	57	0.7931	23 或 46	29 或 58	0.8367	41	49
0.7547	40	53	0.7941	27	34	0.8372	36	43
0.7551	37	49	0.7949	31	39	0.8378	31	37
0.7561	31	41	0.7959	39	49	0.8387	26 或 52	31 或 62
0.7568	28	37	0.7963	43	54	0.8400	21	25
0.7576	25 或 50	33 或 66	0.7966	47	59	0.8421	32 或 16	38 或 19
0.7581	47	62	0.8000	16 或 20	20 或 25		或 48	或 57
0.7586	22 或 44	29 或 58	0.8000	12 或 24	15 或 30	0.8431	43	51
0.7593	41	54	0.8030	53	66	0.8448	49	58
0.7600	19	25	0.8036	41	51	0.8462	33	39
0.7609	35	46	0.8043	37	46	0.8475	50	59
0.7619	16 或 32	21 或 42	0.8049	33	41	0.8478	39	46
0.7627	45	59	0.8065	25 或 50	31 或 62	0.8485	28 或 56	33 或 66
0.7632	29	38	0.8070	46	57	0.8491	45	53
0.7647	13 或 26	17 或 34	0.8085	38	47	0.8500	17	20
0.7647	39	51	0.8095	17 或 34	21 或 42	0.8511	40	47
0.7660	36	47	0.8103	47	58	0.8519	23 或 46	27 或 54

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.8529	29	34	0.8947	17 或 34	19 或 38	0.9375	15	16
0.8537	35	41		或 51	或 57	0.9388	46	49
0.8548	53	62	0.8966	26 或 52	29 或 58	0.9394	31 或 62	33 或 66
0.8571	24	28	0.8974	35	39	0.9412	16 或 32	17 或 34
0.8571	18 或 36	21 或 42	0.8980	44	49		或 48	或 51
0.8571	42	49	0.8983	53	59	0.9434	50	53
0.8596	49	57	0.9000	18 或 27	20 或 30	0.9444	17 或 51	18 或 54
0.8605	37	43	0.9020	46	51	0.9459	35	37
0.8621	25 或 50	29 或 58	0.9024	37	41	0.9474	18 或 36	19 或 38
0.8627	44	51	0.9042	28 或 56	31 或 62		或 54	或 57
0.8636	57	66	0.9048	19 或 38	21 或 42	0.9483	55	58
0.8644	51	59	0.9057	48	53	0.9487	37	39
0.8649	32	37	0.9070	39	43	0.9492	56	59
0.8667	13 或 26	15 或 30	0.9074	49	54	0.9500	19	20
0.8679	46	53	0.9090	30 或 60	33 或 66	0.9512	39	41
0.8684	33	38	0.9118	31	34	0.9516	59	62
0.8696	20 或 40	23 或 46	0.9123	52	57	0.9524	20 或 40	21 或 42
0.8704	47	54	0.9130	21 或 42	23 或 46	0.9535	41	43
0.8710	27 或 54	31 或 62	0.9138	53	58	0.9545	63	66
0.8718	34	39	0.9149	43	47	0.9565	22 或 44	23 或 46
0.8723	41	47	0.9153	54	59	0.9574	45	47
0.8750	14 或 21	16 或 24	0.9167	22	24	0.9583	23	24
0.8772	50	57	0.9184	45	49	0.9592	47	49
0.8776	43	49	0.9189	34	37	0.9600	24	25
0.8780	36	41	0.9194	57	62	0.9608	49	51
0.8788	29 或 58	33 或 66	0.9200	23	25	0.9623	51	53
0.8793	51	58	0.9211	35	38	0.9630	26 或 52	27 或 54
0.8800	22	25	0.9216	47	51	0.9643	27	28
0.8810	37	42	0.9231	36	39	0.9649	55	57
0.8814	52	59	0.9242	61	66	0.9655	28 或 56	29 或 58
0.8824	15 或 30	17 或 34	0.9245	49	53	0.9661	57	59
	或 45	或 51	0.9259	25 或 50	27 或 54	0.9667	29	30
0.8837	38	43	0.9268	38	41	0.9677	30 或 60	31 或 62
0.8868	47	53	0.9286	26 或 39	28 或 42	0.9697	32 或 64	33 或 66
0.8871	55	62	0.9298	53	57	0.9706	33	34
0.8889	16 或 24	18 或 27	0.9302	40	43	0.9730	36	37
	或 48	或 54	0.9310	27 或 54	29 或 58	0.9737	37	38
0.8913	41	46	0.9322	55	59	0.9744	38	39
0.8919	33	37	0.9333	14 或 28	15 或 30	0.9756	40	41
0.8929	25	28	0.9348	43	46	0.9762	41	42
0.8936	42	47	0.9355	29 或 58	31 或 62	0.9767	42	43
0.8939	59	66	0.9362	44	47	0.9783	45	46

(续)

手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数	手柄转数 (小数)	转过的 孔距数	选用分度 盘的孔数
0.9787	46	47	0.9815	53	54	0.9839	61	62
0.9796	48	49	0.9825	56	57	0.9848	65	66
0.9804	50	51	0.9828	57	58			
0.9811	52	53	0.9831	58	59			

例 16 装夹在分度头三爪自定心卡盘上的工件，铣削时要求偏转 $21^{\circ}5'12''$ ，求分度手柄的转数。

解： $X = (21 \times 60 + 5) \times 60'' + 12'' = 75912''$

$$n = \frac{75912''}{32400''} = 2.3429r$$

根据尾数 0.3429 从表 6-9 中查得近似数值 0.3421，对应的分度盘孔数是 38，孔距数是 13。即分度时要用 38 孔的分度盘，分度手柄应摇过 2 转零 13 个孔距。

3. 差动分度法及其应用

差动分度法就是在分度头主轴后面装上交换齿轮轴，用交换齿轮把主轴和侧轴联系起来，然后松开分度盘紧固螺钉，这样，当转动分度手柄时，分度盘也随分度手柄以相同或相反的方向转过一个角度，从而实现差动分度。

当有些工件的等分数（如 61、63、101、127 等）不能使用简单分度法进行分度，并且分度的精度要求又较高时，可采用差动分度法。

差动分度法的交换齿轮配置和传动系统如图 6-136 所示。

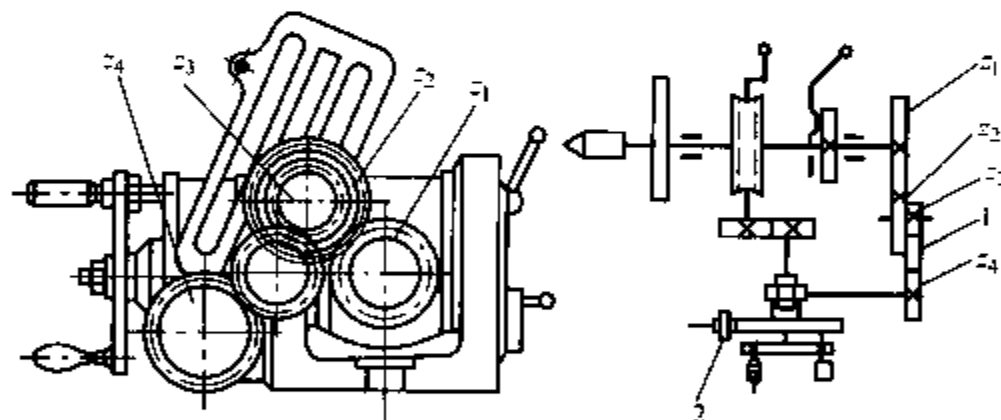


图 6-136 差动分度法的交换齿轮配置和传动系统

1—介轮 2—紧固螺钉

差动分度法的计算公式是

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40(z' - z)}{z'}$$

$$n' = \frac{40}{z'}$$

式中 z_1 、 z_3 ——主动交换齿轮齿数；

z_2 、 z_4 ——从动交换齿轮齿数；

z' ——假定等分数;

z ——实际等分数;

n' ——分度手柄相对分度盘的转数。

由计算公式可知,当 $z' < z$ 时,交换齿轮传动比是负值;反之为正值。这里的正负号仅说明分度盘和分度手柄两者转向是相同还是相反。若 $z' < z$,两者转向相反;若 $z' > z$,则两者转向相同。在具体使用时,尽可能采用 $z' < z$,即分度盘和分度手柄转向相反,以避免分度头传动间隙的影响,使分度均匀。

差动分度的具体计算步骤如下:

①选定一个能用简单分度法实现的假定齿数 z' ,要使 z' 与分度数 z 相接近,并且尽量使 $z' < z$ 。

②计算分度手柄应转的转数 n' 并确定所用的分度盘孔数

$$n' = \frac{40}{z'}$$

③选择交换齿轮,按下式计算

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40(z' - z)}{z'}$$

交换齿轮应从备用齿轮中选取,并规定 $\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{1}{6} \sim 6$,以保证交换齿轮相互啮合。

④上述计算中,在备用交换齿轮里如选不到应有的齿数,则应另选 z' ,重新计算。

⑤确定中间轮数目, $z' < z$ 时(为负值)中间轮的数目应保证分度手柄和分度盘转向相反;当 $z' > z$ 时(为正值)应保证分度手柄和分度盘转向相同。

例 17 在 FW250 型分度头上铣一齿数为 111 的正齿轮,试确定分度手柄的转数,选取交换齿轮,并决定分度手柄与分度盘的转向。

解: 1) 选取 $z' = 110$ 。计算 n' 及确定所用的分度盘孔数,则有

$$n' = \frac{40}{z'} = \frac{40}{110} = \frac{4}{11} = \frac{24}{66}$$

即每分一次度,分度手柄应在 66 孔的分度盘上摇 24 个孔距。

2) 计算交换齿轮

$$\begin{aligned} \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} &= \frac{40(z' - z)}{z'} = \frac{40(110 - 111)}{110} \\ &= \frac{-40}{110} = -\frac{20}{55} = -\frac{20 \times 2}{55} \times \frac{25}{50} \\ &= -\frac{40}{55} \times \frac{25}{50} \end{aligned}$$

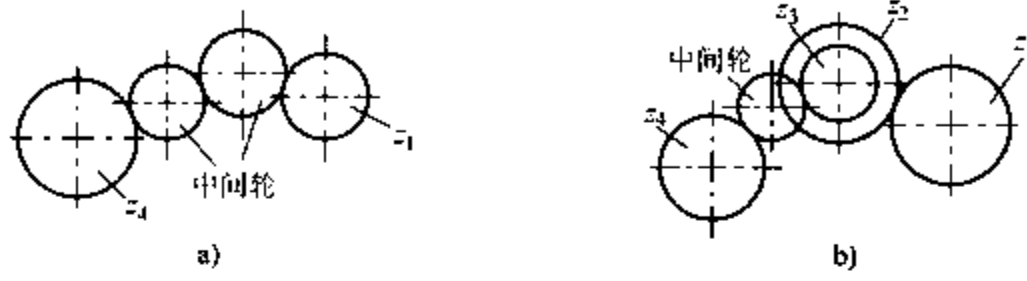
即取 $z_1 = 40$, $z_2 = 55$, $z_3 = 25$, $z_4 = 50$ 。因为 $z' < z$, $\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4}$ 为负值,所以取中间轮的数目应保证分度盘与分度手柄转向相反。

在实际使用差动分度法时,为方便起见,可在表 6-10 中直接查取差动分度各项数据,并按 $z' < z$ 的原则计算。它适用于定数为 40 的任何型号的分度头,但在配置介轮时,应使分度盘和分度手柄的转向相反。

差动分度法的缺点是调整比较麻烦，而且在铣削锥齿轮或螺旋槽时，因受到结构的限制，无法应用。

表 6-10 差动分度表 (分度头传动定数为 40)

示 图



工件等分数	假定等分数	分度盘孔数	转过的孔距数	交换齿轮齿数				FW250 型分度头配置交换齿轮型式
				z_1	z_2	z_3	z_4	
61	60	30	20	40			60	a
63	60	30	20	60			30	a
67	64	24	15	90	40	50	60	b
69	66	66	40	100			55	a
71	70	49	28	40			70	
73	70	49	28	60			35	a
77	75	30	16	80	60	40	50	b
79	75	30	16	80	50	40	30	b
81	80	30	15	25			50	a
83	80	30	15	60			40	a
87	84	42	20	50			35	a
89	88	66	30	25			55	a
91	90	54	24	40			90	a
93	90	54	24	40			30	a
97	96	24	10	25			60	a
99	96	24	10	50			40	a
101	100	30	12	40			100	a
103	100	30	12	60			50	a
107	100	30	12	70			25	a
109	105	42	16	80	70	40	30	b
111	105	42	16	80			35	a
113	110	66	24	60			55	a
117	110	66	24	70	55	50	25	b
119	110	66	24	90	55	60	30	b
121	120	54	18	30			90	a
122	120	54	18	40			60	a
123	120	54	18	25			25	a
126	120	54	18	50			25	a
127	120	54	18	70			30	a
128	120	54	18	80			30	a

(续)

工件等 分数	假定等 分数	分度盘 孔数	转过的 孔距数	交换齿轮齿数				FW250 型分度头 配置交换齿轮型式
				z_1	z_2	z_3	z_4	
129	120	54	18	90			30	a
131	125	25	8	80	50	30	25	b
133	125	25	8	80	50	40	25	b
134	132	66	20	50	55	40	60	b
137	132	66	20	100	55	25	30	b
138	135	54	16	80			90	a
139	135	54	16	80	30	40	90	b
141	140	42	12	40	50	25	70	b
142	140	42	12	40			70	a
143	140	42	12	30			35	a
146	140	42	12	60			35	a
147	140	42	12	50			25	a
149	140	42	12	90	25	50	70	b
151	150	30	8	40	50	30	90	b
153	150	30	8	40			50	a
154	150	30	8	40	60	80	50	b
157	150	30	8	70	30	40	50	b
158	150	30	8	80	30	40	50	b
159	150	30	8	90	30	40	50	b
161	160	28	7	25			100	a
162	160	28	7	25			50	a
163	160	28	7	30			40	a
169	160	28	7	60			40	a
167	160	28	7	70			40	a
169	160	28	7	90			40	a
171	168	42	10	50			70	a
173	168	42	10	100	35	25	60	b
174	168	42	10	50			35	a
175	168	42	10	50			30	a
177	176	66	15	40	55	25	80	b
178	176	66	15	40	55	50	80	b
179	176	66	15	60	55	50	80	b
181	180	54	12	40	90	25	50	b
182	180	54	12	40			90	a
183	180	54	12	40			60	a
186	180	54	12	40			30	a
187	180	54	12	40	60	70	30	b
189	180	54	12	50			25	a
191	180	54	12	80	60	55	30	b
193	192	24	5	30	90	50	80	b

(续)

工件等分数	假定等分数	分度盘孔数	转过的孔距数	交换齿轮齿数				FW250 型分度头配置交换齿轮型式
				z_1	z_2	z_3	z_4	
194	192	22	5	25			60	a
197	192	44	5	100	30	25	80	b
198	192	24	5	50			40	a
199	192	24	5	70	30	50	80	b

例 18 铣削 $z=67$ 的正齿轮, 试确定交换齿轮齿数和分度盘孔数, 并决定分度手柄的转数。

查差动分度表表 6-10, 首先在“工件等分数”一栏查到 67, 再由 67 处向右查可知, 每分一齿分度手柄在分度盘的 24 孔数上转 15 个孔距; z' 为 64, 各交换齿轮齿数分别为: $z_1=90, z_2=40, z_3=50, z_4=60$; FW250 型分度头配置交换齿轮型式为 b 型。

4. 直线移距分度法及其应用

所谓直线移距分度法, 即把分度头和纵向工作台丝杠用交换齿轮联系起来, 在移距时只要转动分度头手柄, 通过交换齿轮传动, 则可使工作作精确的移距。直线移距分度法一般有三种: 主轴交换齿轮法、侧轴交换齿轮法和侧轴定轮法。

直线移距分度法的应用场合是: 当工件需要在直线上进行等分, 如铣削齿条、刻制钢尺时, 便可采用直线移距分度法移距, 不仅操作方便, 而且可以提高移距精度。

(1) 主轴交换齿轮法及应用 主轴交换齿轮法计算交换齿轮的公式为

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40S}{nP_{\text{丝}}} \quad (6-5)$$

式中 n ——每次分度时手柄的转数;

$P_{\text{丝}}$ ——纵向工作台丝杠螺距 (mm);

S ——工件每格距离 (mm);

z_1, z_3 ——主动齿轮齿数;

z_2, z_4 ——被动齿轮齿数。

应用主轴交换齿轮法的注意事项如下:

1) 这种主轴交换齿轮法只适用于要求移距间隔较小的工件。

2) 计算交换齿轮时, 计算公式中的 n 虽然可以任意取, 但要保证交换齿轮的传动比尽可能不大于 2.5, 以使交换齿轮传动平稳。通常 n 的取值范围为 1~10 之间。

例 19 在 X62W 型卧式万能铣床上进行刻线, 工件每格距离 $S=0.35\text{mm}$, 铣床工作台纵向丝杠的螺距 $P_{\text{丝}}=6\text{mm}$, 求分度手柄转数和交换齿轮齿数。

解: 取分度手柄转数 $n=1$, 根据式 (6-5), 代入数据, 则有

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40S}{nP_{\text{丝}}} = \frac{40 \times 0.35}{1 \times 6} = \frac{14}{6} = \frac{14 \times 5}{6 \times 5} = \frac{70}{30}$$

即主动齿轮 $z_1=70$, 被动齿轮 $z_4=30$ 。每次分度只要拔出定位销, 将分度手柄摇一转, 再把定位销插入即可。

(2) 侧轴交换齿轮法及应用 侧轴交换齿轮法计算交换齿轮的公式为

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{S}{nP_{\text{丝}}} \quad (6-6)$$

式中 n ——每次分度时手柄的转数；

$P_{\text{丝}}$ ——纵向工作台丝杠螺距 (mm)；

S ——工件每格距离 (mm)；

z_1 、 z_3 ——主动齿轮齿数；

z_2 、 z_4 ——被动齿轮齿数。

将主轴交换齿轮法与侧轴交换齿轮法的计算交换齿轮公式相比较，二者的区别是后者在公式中没有 40。这个 40 是分度头的定数，也就是分度头的蜗杆蜗轮的传动比，表明侧轴交换齿轮法将其交换齿轮配置在分度头的侧轴与纵向丝杠之间，不通过 1:40 的蜗杆蜗轮减速。

这种侧轴交换齿轮法适用于直线移距间隔较大的工件。必须指出，按公式计算交换齿轮时， n 一般可取 1~10 以内的整数，并保证交换齿轮传动比不大于 2.5。

例 20 把 525mm 长的工件分成 100 等份，铣床工作台纵向丝杠螺距 $P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$ ，求分度手柄转数及交换齿轮的齿数。

解：采用侧轴交换齿轮法在工件上移距。

由于工件长 525mm，共分成 100 等份，所以每格的间距 $S = \frac{525}{100}\text{mm} = 5.25\text{mm}$ 。

取分度手柄转数 $n = 1$ ，根据式 (6-6) 则有

$$\begin{aligned} \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} &= \frac{S}{nP_{\text{丝}}} = \frac{5.25}{1 \times 6} = \frac{4 \times 5.25}{4 \times 6} = \frac{21}{24} \\ &= \frac{3 \times 7}{4 \times 6} = \frac{30 \times 70}{60 \times 40} \end{aligned}$$

即主动齿轮 $z_1 = 30$ 、 $z_3 = 70$ ；被动齿轮 $z_2 = 60$ 、 $z_4 = 40$ 。每次分度时分度手柄摇 1 转。

(3) 侧轴定轮法及应用 在生产实践中，有时会遇到工件所需的移距值 S 是一个不能分解因子的数值，如斜齿条的齿距，在这种条件下可采用侧轴定轮法。其传动形式与侧轴交换齿轮法相同，所不同的是：

1) 交换齿轮传动比 i 固定不变，一般取 $i = 1$ 。

2) 分度手柄转数 n 取决于移距 S ，其计算结果往往是一个带有小数的值，分度时其小数部分可由表 6-9 选取相近小数值所对应的孔数和转过的孔距数。

3) 在实际操作时，将分度头主轴锁紧，使分度手柄的位置固定，并松开分度盘的紧固螺钉。每次移距时，只要先将定位销从孔盘孔眼中拔出，然后用扳手转动装有被动交换齿轮的侧轴，使分度盘相对分度手柄转过所需要的孔距后，重新将分度手柄定位销插入分度盘的孔眼中即可。

由于取 $i = 1$ ，所以侧轴定轮法的计算公式为

$$n = \frac{S}{P_{\text{丝}}} \quad (6-7)$$

式中 n ——每次分度时手柄的转数；

S ——工件每格距离 (mm)；

$P_{\text{丝}}$ ——纵向工作台丝杠螺距 (mm)。

例 21 在 X62W 型卧式万能铣床 ($P_{\text{丝}} = 6\text{mm}$) 上加工斜齿条, 齿的移距 $S = 13.37\text{mm}$, 确定分度盘相对于分度手柄的转数 n 。

解: 采用侧轴定轮法, 根据式 (6-6) 则有

$$n = \frac{S}{P_{\text{丝}}} = \frac{13.37}{6} = 2.2283$$

由表 6-9 可知, 0.2283 相近小数值 0.2281 所对应的分度手柄转数为 $13/57$, 即每次移距时分度盘相对分度手柄转 $2\frac{13}{57}$ 转。

例 22 有一刻度环, 利用分度头刻角度线, 要求每格读数是 2° , 并且每隔 5 条 (或 10 条) 刻线有一条长线。

刻角度线时的具体操作步骤如下:

- 1) 使分度头主轴与铣床工作台纵向平行, 安装好分度头。
- 2) 根据工件的具体结构形状, 或利用心轴将工件装夹在心轴上, 或装夹在分度头的三爪自定心卡盘上, 校正径向圆跳动后夹紧工件。
- 3) 用一把磨得较尖的高速钢车刀, 夹紧在铣床刀轴上, 使刻线刀轴线垂直于工作台台面。
- 4) 使刀尖与工件中心对准, 升起工作台, 使刀尖在工件适当深度吃刀以后开始刻第一条线。
- 5) 第一条线刻好后, 纵向退出工件。
- 6) 将分度手柄转过一定转数, 接着刻第二条线。

分度手柄转过转数的计算方法是:

因工件旋转一周是 360° , 所以工件每格为 1° 时, 分度手柄的转数

$$n = \frac{40}{360} = \frac{1}{9} = \frac{3}{27}$$

即在分度盘上选用 27 孔的孔圈, 分度手柄应转过 3 个孔距。

现要求工件每格读数为 2° , 则在分度盘上选用 27 孔的孔圈, 其分度手柄应转过的孔距数是

$$\frac{3}{27} \times 2 = \frac{6}{27}$$

即分度手柄在分度盘 27 孔的孔圈内转过 6 个孔距。

7) 根据要求在刻线中每隔 5 条 (或 10 条) 刻线有一条长线。为使长线和短线不至于刻错, 可将所有长线刻好后再刻短线。为保证线的整齐, 如所有短线都一样长, 可在刻第一条短线到达终点时, 用粉笔在铣床纵向滑板与底座之间划一条线, 再刻以后各根短线时, 只要工作台进给到上下两条粉笔线重合处, 刻线长度就合适。

七、用一把三面刃槽铣刀或组合三面刃铣刀铣花键

通常, 花键轴是用花键滚刀以展成法在专用的花键铣床或滚齿机上加工的。如果工件的数量很少, 为了避免制造专用花键滚刀的麻烦, 可在普通卧式铣床上加工。另外, 为了降低

制造成本，不设计制造圆盘铣刀，可采用一把三面刃槽铣刀或组合三面刃铣刀铣削花键。

1. 在卧式铣床上用一把三面刃槽铣刀铣削花键轴

在铣床上用单刀铣花键，主要用于单件生产，其加工步骤如下：

- 1) 在铣床上安装分度头和尾座。
- 2) 在分度头和尾座之间装夹工件。
- 3) 对工件进行找正。用百分表从三方面进行找正：一是工件的径向圆跳动量；二是工件的上素线相对于工作台台面的平行度；三是工件的侧素线相对于工作台纵向轴线的平行度。

值得说明的是，找正工件上素线相对于工作台台面的平行度时，也可用铣刀在工件两端微微吃刀后，比较切削面积的大小来进行。

工件找正后，将工件紧固在两顶尖之间。对于细长的花键轴，由于刚性较弱，在工件中间位置的下面，需要用千斤顶支撑住。

- 4) 将三面刃槽铣刀装夹于刀轴上。

5) 对刀。用单刀铣花键轴时，是用铣刀的侧切削刃切削花键齿的侧面。为保证铣刀侧切削刃通过花键齿侧，可以采用的对刀方法有四种。

①先使铣刀侧切削刃对正尾座顶尖，装好工件后，再使横向工作台移动 $b/2$ (b 为键宽) 的距离。

②侧面接触法。使铣刀侧切削刃刚刚与工件侧面接触 (图 6-137)，再垂直退出工件，然后横向移动工作台，使工件向铣刀方向移动一个距离 S

$$S = \frac{D}{2} - \frac{b}{2} = \frac{D-b}{2}$$

式中 S ——工作台横向移动距离 (mm)；

D ——工件外径 (mm)；

b ——花键齿宽 (mm)。

③切痕对刀法。首先把铣刀调整得大致在工件中心的上面，开动铣床使铣刀旋转 (不喷射切削液)，再慢慢上升工作台，使铣刀把工件表面切出如图 6-138 所示的切痕来，然后再仔细地把工件上的椭圆形切痕调整在铣刀的中间即可。

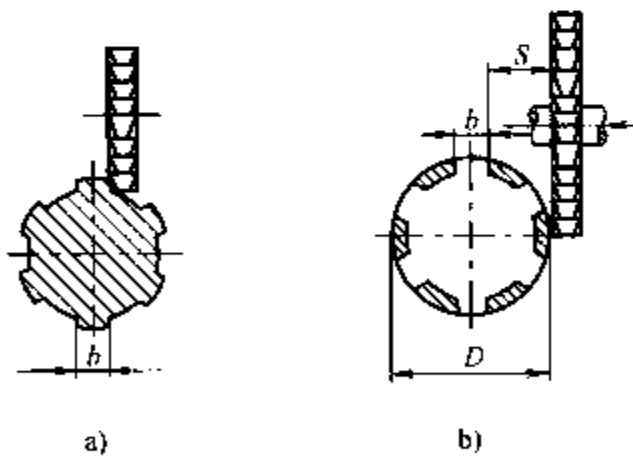


图 6-137 铣刀侧面接触法对刀
及用侧切削刃铣花键轴

- a) 用铣刀侧切削刃铣花键轴
- b) 用铣刀侧面接触法对刀

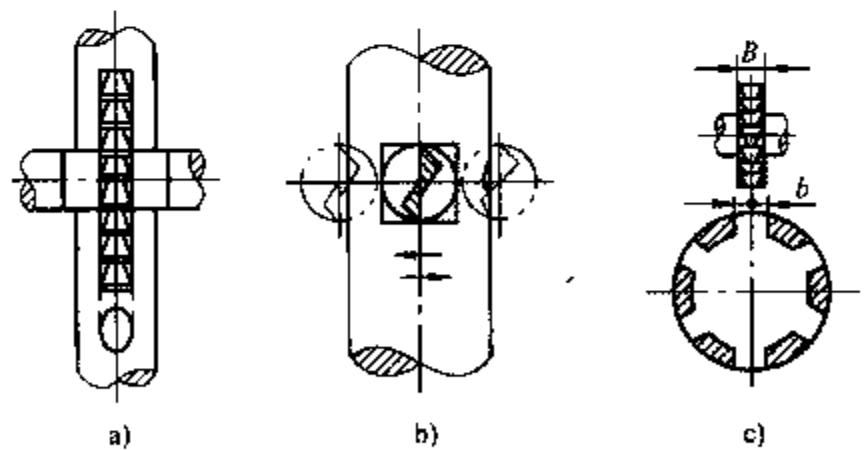


图 6-138 切痕对刀和划线对刀

- a) 用盘铣刀加工 b) 用立铣刀
或键槽铣刀加工 c) 用划线法对刀

④划线法。首先将高度游标卡尺量爪大致对正工件中心，然后在工件两侧面各划一条线。再将分度头主轴转过半转（ 180° ），并用高度游标卡尺划一条线。如果两条线不重合，则调整高度游标卡尺，使量爪处于两线之间，然后再划线，重复以上做法，直至两线完全重合为止。此线就是与工件中心线等高的母线，通过这两条线的平面是平行工作台的。划好线以后，使分度头转过 90° （分度手柄转数 $n = \frac{90^\circ}{9^\circ} = 10$ ），这时工件上已划好的母线位于垂直方向的上方，移动横向工作台，使铣刀中心面与工件划好的母线对准（见图 6-138c），再使横向工作台移动距离 S

$$S = \frac{b - B}{2}$$

式中 S ——工作台横向移动距离（mm）；

B ——铣刀宽度（mm）；

b ——花键齿宽（mm）。

6) 调整机床。将横向工作台固定，再纵向退出工件，上升工作台达到所要求的键深，然后固紧。

7) 铣削花键齿两侧面。如图 6-139 所示，先铣削 1~6 面，这时分度手柄每次转数 $n = \frac{40}{6} = 6 \frac{2}{3} = 6 \frac{36}{54}$ 。铣完 1~6 面后，纵向退出工件，横向移动工作台，使工件向铣刀方向移动一个距离 S

$$S = B + b$$

式中 B ——铣刀宽度（mm）；

b ——花键齿宽（mm）。

先试铣，用游标卡尺测量花键齿宽。如果尺寸符合要求，则固定横向工作台，即可铣削花键齿的另一侧齿面 7~12 面。

实践经验表明，在铣削花键齿两侧面时，对背吃刀量的控制建议比计算的理论值再增加约 0.5mm。这样做的目的是，避免铣削后的槽底圆弧面与键侧面的交接处出现凸起的棱边，防止因此造成花键轴与花键孔配合时发生干涉。

8) 铣削花键槽底。花键齿的两侧铣好后，在凹槽中的余量可以用锯片铣刀铣掉。这时槽底呈多边形，因此要多铣几刀。铣削次数越多，多边形的边数越多，则越接近于一个圆。另外，凹槽的余量也可以用成形铣刀铣掉。

2. 用组合三面刃铣刀铣削花键轴

当工件数量较多时，可采用组合铣刀铣削，具有生产率高、操作简单、加工质量稳定等优点。所谓组合铣刀铣花键，即指在刀轴上安装两把三面刃铣刀铣削。铣削方法有两种：

(1) 铣削同一花键齿的两侧面 用组合铣刀铣削时，工件的装夹和找正与单刀铣花键相同。

选用两把直径相同的铣刀，先在刀轴上装上第一把，然后套上宽度等于齿宽的中间垫

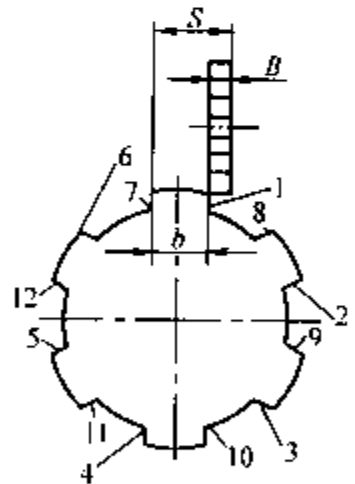


图 6-139 铣削顺序

圈，再装上第二把铣刀，并用螺母拧紧，经试切，应保证齿宽在公差范围内。

对刀的方法与采用组合铣刀铣多面体时相类似（见图 6-140a），若以铣刀侧面切削刃与工件圆柱面相切后，则工作台横向移动距离为

$$S = \frac{D}{2} + B + \frac{b}{2}$$

式中 D ——花键外径（mm）；

B ——一把铣刀的宽度（mm）；

b ——花键齿宽（mm）。

对刀完成后，把横向工作台固紧，再按键深升起工作台，将升降台固紧后即可铣削（见图 6-140b）。

铣削过程中，每次分度手柄转过的转数为

$$n = \frac{40}{6} = 6 \frac{36}{54}$$

应当指出，采用组合铣刀铣花键键侧和槽底时，可将工件经过两次装夹分别铣削，这样可避免每铣一根花键轴都要移动横向工作台和调整铣削深度的麻烦。

(2) 用组合铣刀外圆齿铣花键（见图 6-141） 这种方法是用两把直径严格相等的三面刃铣刀外圆齿，一次铣出两个相对齿的上齿侧面，通过分度，依次铣出其他齿侧面。

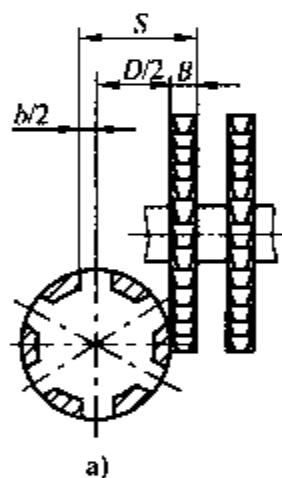


图 6-140 用组合三面刃铣刀铣削花键
a) 对刀法 b) 铣削花键

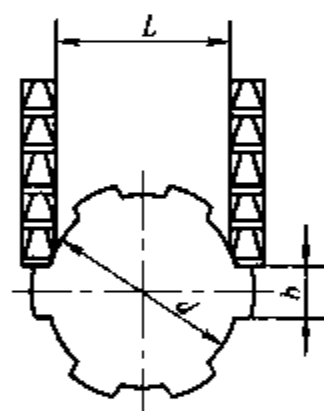
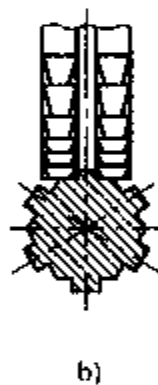


图 6-141 用组合铣刀
外圆齿铣花键

两铣刀间的距离 L ，可用下式计算

$$L \approx \sqrt{d^2 - b^2} - 1 \text{ mm}$$

式中 L ——两铣刀间距离（mm）；

d ——花键轴底径尺寸（mm）；

b ——花键键宽（mm）。

铣削时，采用碰刀法进行铣刀对中，使铣刀两边切削刃同时切到工件外圆。这种铣削方法易于保证键宽的对称度，这是因为铣键宽时由升降手轮来控制，当一刀铣完后，将工件转过 180° 后再铣一刀，测量其宽。第二次铣削深度 H 用下式计算

$$H = \frac{b_1 - b}{2}$$

式中 H ——第二次铣削深度 (mm);

b_1 ——实际测得键宽 (mm);

b ——花键键宽尺寸。

这种铣花键方法的缺点是:

1) 由于受到分度头尾座顶尖的松紧影响, 调整不慎, 键宽两端尺寸有时会不一致。

2) 组合铣刀的直径比较大, 否则无法铣削, 而刀具直径过大, 侧面的偏摆量也会增大, 所以要影响铣削精度, 机床消耗动力也大。

还应指出, 为避免每铣一根花键轴都要移动横向工作台及调整铣削深度的麻烦, 通常要将花键的键侧和槽底分为两次装夹, 分两次铣削。

八、铣削离合器及保证加工质量的技术对策

离合器是机械传动系统中的重要零件之一。为了把一根轴的转动沿轴向传递给另一根轴, 可通过离合器进行结合和分离, 使被动轴转动或停止, 或者变速换向。

离合器主要有齿式离合器 (或称牙嵌式离合器)、摩擦式离合器等。齿式离合器的齿形有直齿、梯形齿、尖齿 (等边尖齿和锯齿形) 等。这些离合器的齿形, 一般可在卧式铣床或立式铣床上铣削。

1. 铣削直齿离合器的方法及保证加工质量的技术措施

从结构上看, 直齿离合器每个齿的侧面都必须通过轴的中心, 即齿侧必须是径向的, 因为只有这样才能保证两离合器的正确啮合。从离合器的操作上看, 为使其工作时能顺利地接合和脱开, 离合器的齿侧应有一定的间隙。考虑上述两个要求, 在铣削中如何采取技术措施, 是铣削直齿离合器的核心技术。

离合器的齿数又分奇数齿 (单数) 和偶数齿 (双数) 两种, 它们的切齿方法也有所不同, 下面分别叙述。

(1) 奇数齿离合器的铣削

1) 选择铣刀。铣削奇数齿离合器, 用三面刃盘铣刀或立铣刀。为了不致切到相邻齿, 盘形铣刀的宽度 (或立铣刀的直径) 应当等于或小于齿槽的最小宽度, 如图 6-142a 所示。从图中可见, 铣刀宽度 b (或立铣刀直径) 可按下式计算

$$b \leq \frac{d_1}{2} \sin \alpha = \frac{d_1}{2} \sin \frac{180^\circ}{z} \quad (6-8)$$

式中 d_1 ——离合器的孔径 (mm);

α ——齿槽角 ($^\circ$);

z ——离合器的齿数。

按式 (6-8) 计算, b 可能不是整数, 或不符合铣刀的尺寸规格, 这时应取整数, 并满足铣刀的尺寸规格要求。

2) 工件的装夹与调整。工件装夹在分度头的三爪自定心卡盘上 (图 6-142b), 用百分表的测头触及离合器外圆, 转动三爪自定心卡盘, 测量工件的径向圆跳动量, 误差应在允许范围内。由于离合器的齿侧总是径向的, 因此铣削时圆盘铣刀的侧切削刃或立铣刀的圆周刀刃必须通过工件的中心。为满足这一要求, 可由钳工划线, 利用分度头划线以后, 按线对中

铣削，也可不经划线直接铣削。

3) 对刀。在铣削时，不论是奇数齿离合器还是偶数齿离合器都必须保证铣刀侧刃通过工件中心，从而保证离合器的齿侧是径向的，所以对刀这一操作步骤十分关键。常用的对刀方法是：使旋转的盘铣刀侧刃刃（或立铣刀的圆周刀刃）与工件的圆周表面微微接触，然后下降工作台，并使工件向铣刀方向横向移动一段距离，这个距离应等于工件的半径。对刀完成后，再按齿深调整工作台垂直距离，并将横向和纵向工作台紧固，同时将对中时的切伤部分转至齿槽位置，然后即可开始铣削。

4) 铣削方法。图 6-142c 所示为用盘形铣刀铣削奇数齿离合器的情况。铣削时，铣刀每次进给（图中 1、2、3）可以穿过离合器的整个端面，而铣刀的进给次数恰好等于离合器的齿数（或槽数）。例如，铣三齿离合器时，作三次进给。每次分度，分度手柄的转数为

$$n = \frac{40}{3} = 13 \frac{1}{3} = 13 \frac{13}{39}$$

若铣五齿离合器，则作五次进给。每次分度，分度手柄的转数为

$$n = \frac{40}{5} = 8$$

同理可见，其他奇数齿离合器的铣削，也按照这一规律进行。

为保证离合器的齿侧有一定的间隙，在铣齿时可采取的技术措施有两种：

①在对刀时，将铣刀的侧面刀刃向齿侧方向偏过工件中心一点距离（0.1~0.5mm）。这种作法虽然能保证离合器接合后在齿间有一定间隙，便于操纵离合器时的接合和脱开，但是会使离合器齿略微减小，使齿侧面偏离轴线，从而使齿侧面在工作时的接触面积减小，影响其承载能力。

②按上述方法，在离合器铣齿完成后，将工件转动 $2^{\circ} \sim 4^{\circ}$ ，再作一次铣削。这种作法的结果，使得离合器齿的尺寸要小于齿槽的尺寸，于是保证了两离合器接合后齿间有一定的间隙，有利于离合器在操纵时接合与脱开；同时，又能保证离合器齿侧面是径向的，使齿侧面贴合较好。这种作法的缺点是，铣齿过程中增加了铣削的次数，所以这种技术措施一般在要求较高的离合器铣齿加工中才采用。

(2) 偶数齿离合器的铣削 图 6-143a 所示为铣削偶数齿离合器的示意图。铣削时，铣刀的选择、分度头的安装与调整、工件的装夹与对中均与铣削奇数齿离合器相同。其不同点是，铣削偶数齿离合器时，铣刀的进给不应当穿过离合器的整个端面，即齿槽的铣削只能在一部分端面上进行，以保证齿面不被铣刀切伤。但应注意，进给时刀轴轴线应超过离合器内圆，以保证铣出的槽底是平面。

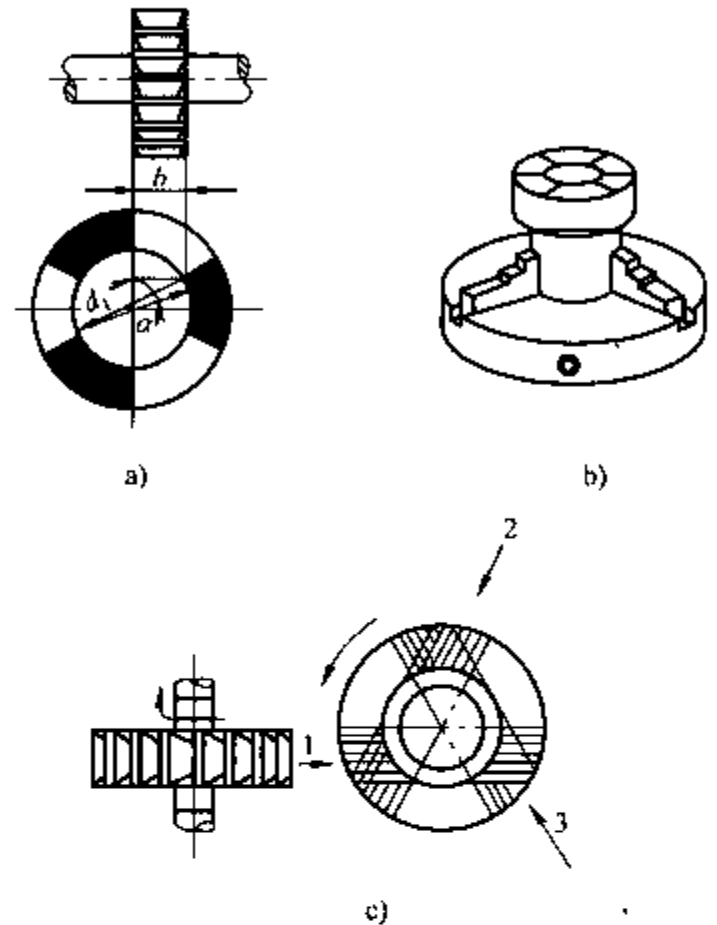


图 6-142 奇数齿离合器的铣削
a) 铣刀宽度计算图 b) 离合器毛坯的装夹
c) 铣削奇数齿离合器

由图 6-143a 可见, 铣削时, 先分别按 1、2、3 和 4 方向进给。每次分度, 分度手柄转过的转数为

$$n = \frac{40}{4} = 10$$

1~4 次进给, 铣刀只能铣出每个齿槽的一个侧面, 并且是用铣刀的 I 侧面对工件的中心进行铣削的。1~4 次进给完成后, 为了铣削每个齿槽的另一侧面, 必须把工作台横向移动一个铣刀宽度 (或立铣刀的直径) 的距离。同时, 分度头主轴应偏转等于

离合器齿槽角的角度 $\left(\frac{360^\circ}{2z}\right) + 30'$ 。经过这样调整

后, 铣刀的 II 侧面通过工件中心, 就可以分别按 5、6、7、8 方向进给, 铣出每个齿槽的另一侧面。由此可见, 铣削偶数齿离合器时, 铣刀的进给次数是离合器齿数的两倍, 并且要经过两次对刀; 还可以看出, 在铣削小直径的偶数齿离合器时, 适宜用立铣刀加工, 因为用三面刃盘铣刀加工会切伤相对的另一齿, 如图 6-143b 所示。

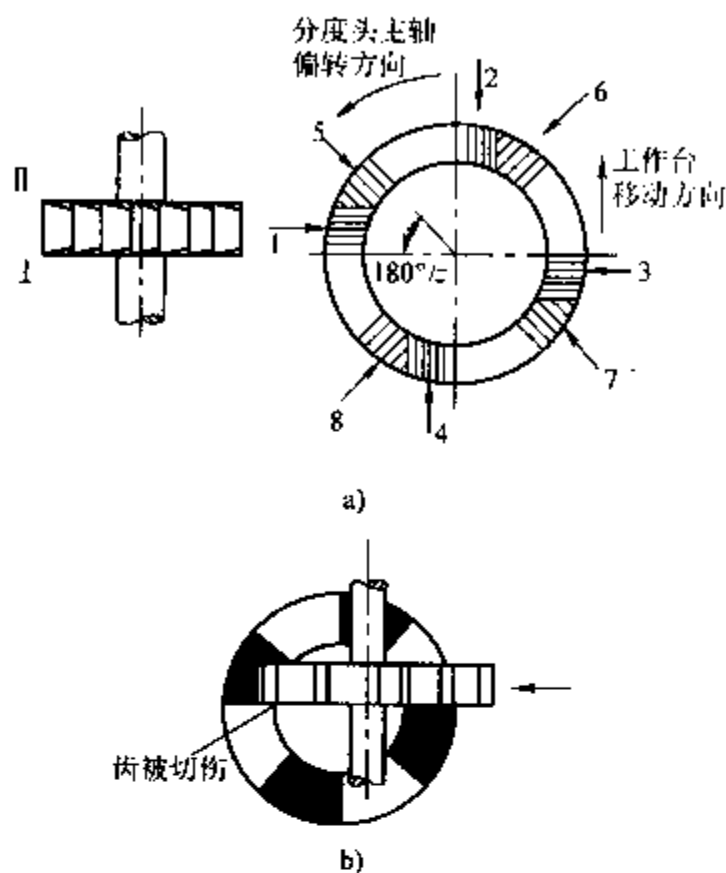


图 6-143 铣削偶数齿离合器

应当指出, 由于偶数齿离合器的铣削方法所致, 其加工工艺性比奇数齿离合器差; 铣削时的进刀次数多; 为了避免盘形铣刀切伤对面的齿, 对铣刀直径应有一定的限制, 即

$$D \leq \frac{d_1^2 - 4b^2 + T^2}{T}$$

式中 D ——盘形铣刀直径 (mm);
 d_1 ——离合器齿部内径 (mm);
 T ——离合器的齿深 (mm);
 b ——铣刀宽度 (mm)。

例 23 铣削一直齿离合器, 齿数 $z=4$, 齿深 $T=10\text{mm}$, 离合器的孔径 $d_1=50\text{mm}$, 试确定铣刀宽度 b 和直径 D 。

解: 1) 求铣刀的宽度 b

$$\begin{aligned} b &< \frac{d}{2} \sin \frac{180^\circ}{z} = \frac{50\text{mm}}{2} \times \sin \frac{180^\circ}{4} \\ &= \frac{50\text{mm}}{2} \times \sin 45^\circ = 25 \times 0.707\text{mm} \\ &= 17.68\text{mm} \end{aligned}$$

按铣刀尺寸规格, 取铣刀宽度 $b=16\text{mm}$ 。

2) 求铣刀直径 D

$$D = \frac{d_1^2 - 4b^2 + T^2}{T}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{50^2 - 4 \times 16^2 + 10^2}{10} \text{mm} \\
 &= 157.60 \text{mm}
 \end{aligned}$$

铣刀直径小于 157.60mm 即可。

例 24 在卧式铣床上，用盘形槽铣刀铣削六齿直齿离合器，其齿部外径 $d = 50\text{mm}$ ，齿部内径 $d_1 = 28\text{mm}$ ，齿深 $T = 10\text{mm}$ ，试确定盘形槽铣刀的规格。

解：1) 求铣刀的宽度 b

$$\begin{aligned}
 b &< \frac{d_1}{2} \sin \frac{180^\circ}{z} \\
 &= \frac{28\text{mm}}{2} \sin \frac{180^\circ}{6} \\
 &= 7\text{mm}
 \end{aligned}$$

查表 6-11 确定铣刀宽度 b 为 6mm。

表 6-11 盘形槽铣刀的尺寸规格

(单位: mm)

外 径	63	80	100
宽 度	4、5、6、8	6、8、10、12、14	8、10、12、14、16

2) 求铣刀外径 D

$$\begin{aligned}
 D &\leq \frac{d_1^2 - 4b^2 + T^2}{T} \\
 &= \frac{28^2 - 4 \times 6^2 + 10^2}{10} \text{mm} \\
 &= 74\text{mm}
 \end{aligned}$$

查表 6-11，根据盘形铣刀的尺寸规格，取 $b = 6\text{mm}$ ， $D = 63\text{mm}$ 。

2. 铣削尖齿及梯形收缩齿离合器

对于尖齿和梯形收缩齿离合器的齿形，从端面上观察齿侧都是径向的，也就是说它们的齿侧延伸线都通过零件的中心，所以它们的齿槽宽度必须由外圆向中心逐渐变窄（图 6-144a）。可想而知，如果在铣削它们的齿时，仍然把分度头心轴放成垂直位置，这样铣出的齿（图 6-144b）仅仅是在靠近圆周部分能密合，而在靠中心的部分就会有间隙。为了避免这种现象，必须把分度头主轴相对于工作台平面倾斜一个角度，使齿根线处于水平位置，离合器的齿在圆周和中心处铣出不等的深度，这样便可以获得径向的齿侧。因此，铣削尖齿和梯形收缩齿离合器时，将分度头主轴倾斜一个角度是非常重要的操作步骤。确定分度头主轴倾斜角度的方法有两种：

(1) 计算法 分度头主轴倾角的大小，可从图 6-144c 推导出计算公式。设梯形齿或等边尖齿离合器齿数为 z ，齿槽角为 γ ，分度头主轴倾角为 α ，因此

$$\angle B'OO' = \angle B'MO = \alpha$$

$$\text{在 } \triangle MB'O \text{ 中 } MB' = MO \cos \alpha$$

$$\text{在 } \triangle MM'B' \text{ 中 } MB' = MM' \cot \frac{\gamma}{2}$$

所以

$$MO \cos \alpha = MM' \cot \frac{\gamma}{2}$$

又因为

$$MM' = MO \tan \frac{360^\circ}{4z} = MO \tan \frac{90^\circ}{z}$$

所以

$$MO \cos \alpha = MO \tan \frac{90^\circ}{z} \cot \frac{\gamma}{2}$$

即

$$\cos \alpha = \tan \frac{90^\circ}{z} \cot \frac{\gamma}{2} \quad (6-9)$$

式中 α ——分度头主轴相对于工作台台面的倾斜角度；

z ——离合器的齿数；

γ ——离合器的齿槽角。

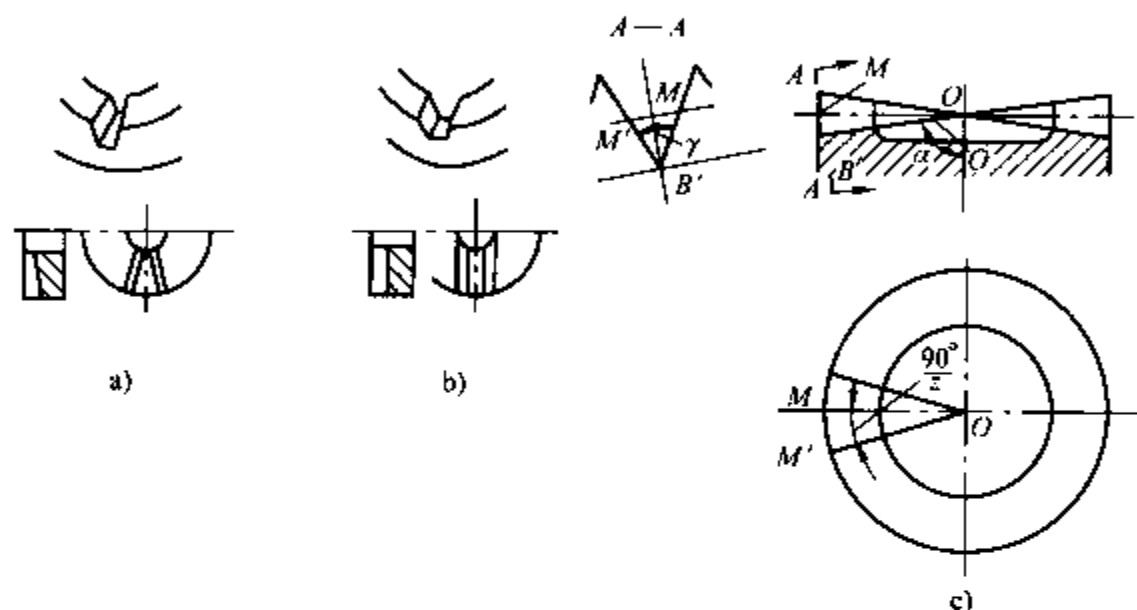


图 6-144 离合器的齿槽及分度头主轴倾角计算

a) 要求的齿槽情况 b) 铣出不符合要求齿槽的情况 c) 计算分度头主轴倾角

(2) 查表法 根据离合器的齿数 z 及铣刀的廓形角 θ 在表 6-12 中查出分度头主轴的倾角 α 值。

表 6-12 铣尖齿及梯形收缩齿离合器时分度头主轴的倾角 α

离合器 齿数 z	铣刀廓形角 θ (= 工件齿槽角 γ)				离合器 齿数 z	铣刀廓形角 θ (= 工件齿槽角 γ)			
	40°	45°	60°	90°		40°	45°	60°	90°
5	26°47'	38°20'	55°45'	71°02'	16	74°18'	76°15'	80°10'	84°21'
6	42°36'	49°42'	62°21'	74°27'	17	75°15'	77°04'	80°46'	84°41'
7	51°10'	56°34'	66°42'	76°48'	18	76°05'	77°48'	81°17'	84°59'
8	56°22'	61°18'	69°50'	78°31'	19	76°50'	78°28'	81°44'	85°15'
9	61°01'	64°48'	72°13'	79°50'	20	77°31'	79°03'	82°10'	85°29'
10	64°12'	67°31'	74°04'	80°53'	21	78°07'	79°33'	82°32'	85°42'
11	66°44'	69°41'	75°35'	81°44'	22	78°40'	80°03'	82°53'	85°53'
12	68°48'	71°28'	76°49'	82°26'	23	79°10'	80°30'	83°11'	86°04'
13	70°31'	72°57'	77°51'	83°01'	24	79°38'	80°54'	83°29'	86°14'
14	71°58'	74°13'	78°44'	83°31'	25	80°03'	81°16'	83°45'	86°23'
15	73°13'	75°18'	79°30'	83°58'	26	80°26'	81°36'	83°59'	86°31'

(续)

离合器 齿数 z	铣刀廓形角 θ (= T.件齿槽角 γ)				离合器 齿数 z	铣刀廓形角 θ (= T.件齿槽角 γ)			
	40°	45°	60°	90°		40°	45°	60°	90°
27	80°48'	81°55'	84°12'	86°39'	68	86°22'	86°48'	87°42'	88°40'
28	81°07'	82°12'	84°25'	86°47'	69	86°25'	86°51'	87°44'	88°41'
29	81°26'	82°29'	84°36'	86°53'	70	86°28'	86°53'	87°46'	88°42'
30	81°43'	82°44'	84°47'	86°59'	71	86°31'	86°56'	87°48'	88°43'
31	81°59'	82°58'	84°57'	87°05'	72	86°34'	86°59'	87°50'	88°45'
32	82°15'	83°11'	85°07'	87°11'	73	86°36'	87°01'	87°51'	88°46'
33	82°29'	83°24'	85°16'	87°16'	74	86°39'	87°03'	87°53'	88°47'
34	82°42'	83°36'	85°24'	87°21'	75	86°42'	87°06'	87°55'	88°48'
35	82°55'	83°47'	85°32'	87°25'	76	86°44'	87°08'	87°56'	88°48'
36	83°07'	83°57'	85°40'	87°29'	77	86°47'	87°10'	87°58'	88°49'
37	83°18'	84°07'	85°47'	87°33'	78	86°47'	87°12'	88°00'	88°50'
38	83°29'	84°16'	85°53'	87°37'	79	86°52'	87°15'	88°01'	88°51'
39	83°39'	84°25'	85°59'	87°41'	80	86°54'	87°17'	88°03'	88°52'
40	83°48'	84°33'	86°05'	87°44'	81	86°56'	87°19'	88°04'	88°53'
41	83°57'	84°41'	86°11'	87°48'	82	86°59'	87°21'	88°05'	88°54'
42	84°06'	84°49'	86°17'	87°51'	83	87°01'	87°23'	88°07'	88°54'
43	84°14'	84°56'	86°22'	87°54'	84	87°03'	87°24'	88°08'	88°55'
44	84°22'	85°03'	86°27'	87°57'	85	87°05'	87°26'	88°09'	88°56'
45	84°30'	85°10'	86°32'	87°59'	86	87°07'	87°28'	88°11'	88°57'
46	84°37'	85°16'	86°36'	88°02'	87	87°09'	87°30'	88°12'	88°57'
47	84°44'	85°22'	86°41'	88°05'	88	87°11'	87°31'	88°13'	88°58'
48	84°50'	85°28'	86°44'	88°07'	89	87°13'	87°33'	88°14'	88°59'
49	84°57'	85°34'	86°49'	88°09'	90	87°15'	87°35'	88°16'	89°00'
50	85°03'	85°38'	86°52'	88°11'	91	87°17'	87°36'	88°17'	89°00'
51	85°09'	85°44'	86°56'	88°14'	92	87°18'	87°38'	88°18'	89°01'
52	85°14'	85°48'	86°59'	88°16'	93	87°20'	87°39'	88°19'	89°01'
53	85°20'	85°53'	87°03'	88°18'	94	87°22'	87°41'	88°20'	89°02'
54	85°25'	85°58'	87°06'	88°19'	95	87°23'	87°42'	88°21'	89°03'
55	85°30'	86°02'	87°09'	88°21'	96	87°25'	87°44'	88°22'	89°03'
56	85°35'	86°07'	87°13'	88°23'	97	87°27'	87°45'	88°23'	89°04'
57	85°40'	86°11'	87°15'	88°25'	98	87°28'	87°47'	88°24'	89°04'
58	85°44'	86°15'	87°18'	88°26'	99	87°30'	87°48'	88°25'	89°05'
59	85°48'	86°19'	87°21'	88°28'	100	87°31'	87°49'	88°26'	89°06'
60	85°53'	86°22'	87°24'	88°30'	101	87°33'	87°50'	88°27'	89°06'
61	85°57'	86°26'	87°26'	88°31'	102	87°34'	87°52'	88°28'	89°07'
62	86°01'	86°29'	87°29'	88°32'	103	87°36'	87°53'	88°29'	89°07'
63	86°04'	86°33'	87°31'	88°34'	104	87°37'	87°54'	88°30'	89°08'
64	86°08'	86°36'	87°33'	88°35'	105	87°38'	87°55'	88°30'	89°08'
65	86°12'	86°39'	87°36'	88°36'	106	87°40'	87°57'	88°31'	89°09'
66	86°15'	86°42'	87°38'	88°38'	107	87°41'	87°58'	88°32'	89°09'
67	86°18'	86°45'	87°40'	88°39'	108	87°42'	87°59'	88°33'	89°10'

(续)

离合器 齿数 z	铣刀廓形角 θ (= 工件齿槽角 γ)				离合器 齿数 z	铣刀廓形角 θ (= 工件齿槽角 γ)			
	40°	45°	60°	90°		40°	45°	60°	90°
109	87°43'	88°00'	88°34'	89°10'	115	87°51'	88°06'	88°38'	89°13'
110	87°45'	88°01'	88°34'	89°10'	116	87°52'	88°07'	88°39'	89°13'
111	87°46'	88°02'	88°35'	89°11'	117	87°53'	88°08'	88°40'	89°13'
112	87°47'	88°03'	88°36'	89°11'	118	87°54'	88°09'	88°40'	89°14'
113	87°48'	88°04'	88°37'	89°12'	119	87°55'	88°10'	88°41'	89°14'
114	87°49'	88°05'	88°37'	89°12'	120	87°56'	88°11'	88°42'	89°15'

例 25 铣削齿槽角 $\gamma = 90^\circ$ 、齿数 $z = 50$ 的尖齿离合器，试确定分度头主轴的倾角 α 和对称双角铣刀的廓形角 θ 。

解：采用计算法，用分度头主轴倾斜角的计算公式（式 6-9）计算

$$\begin{aligned}\cos\alpha &= \tan \frac{90^\circ}{z} \cot \frac{\gamma}{2} \\ &= \tan \frac{90^\circ}{50} \cot \frac{90^\circ}{2} \\ &= 0.0314\end{aligned}$$

查三角函数表得 $\alpha = 88^\circ 12'$ 。

选取双角铣刀的廓形角 $\theta = \gamma = 90^\circ$ 。

例 26 铣削齿槽角 $\gamma = 60^\circ$ 、齿数 $z = 60$ 的尖齿离合器，试确定分度头主轴的倾角 α 。

解：1) 采用计算法。利用分度头主轴倾斜角公式式（6-8）计算

$$\begin{aligned}\cos\alpha &= \tan \frac{90^\circ}{z} \cot \frac{\gamma}{2} \\ &= \tan \frac{90^\circ}{60} \cot \frac{60^\circ}{2} \\ &= 0.0454\end{aligned}$$

查三角函数表得 $\alpha = 87^\circ 24'$ 。

2) 采用查表法。根据尖齿离合器的齿数及齿槽角，查表 6-12 得 $\alpha = 87^\circ 24'$ 。

用上述两种方法确定的分度头主轴倾斜角 α 值一致。

3. 铣削尖齿离合器的方法步骤及注意事项

(1) 选择铣刀 尖齿离合器通常采用对称双角铣刀铣削，并要求双角铣刀的角度应与离合器的齿槽角相符。一般在尖齿离合器的工作图上，齿槽角 γ 都标注在离合器外圆柱的展开面上。严格地说，铣刀的廓形角 θ 并不等于离合器的齿槽角 γ ，但它们之间的差别很小，而且一对离合器是用同一把双角铣刀铣削，完全可以保证加工后齿面接触良好，所以在选择双角铣刀时，可取 $\theta = \gamma$ 。

(2) 对刀 铣削时，必须注意使双角铣刀的刀尖通过工件轴线，否则刀尖过低或过高，都会使铣刀的廓形角不等于离合器的齿槽角，从而影响铣出齿形的贴合精度。

在实际生产中，一般都采用试切法对刀，即先使刀尖大致对准工件中心，在工件表面铣

一条浅痕；退出工件，使工件转 180° ，再铣一条浅痕。如果两条浅痕不重合，就调整横向工作台，摇过一齿再铣浅痕，直到两条浅痕重合为止。

(3) 确定分度头主轴倾斜角度 确定分度头主轴倾斜角度采用前述的计算法和查表法均可。

1) 计算分度头主轴倾斜角的公式为

$$\cos\alpha = \tan \frac{90^\circ}{z} \cot \frac{\gamma}{2}$$

式中 α ——分度头主轴倾斜角度；

z ——离合器的齿数；

γ ——离合器的齿槽角。

2) 铣削尖齿离合器及梯形收缩齿离合器时分度头主轴的倾斜角 α 见表 6-12。

应当注意，尖齿离合器接合时能否保证齿面良好啮合，其关键在于离合器的整个齿形收缩点是否落在轴线上。因此，铣削这类离合器时，分度头的主轴必须倾斜一个角度，使齿槽底处于水平位置，而齿面向轴线收缩。由此可见，确定分度头的主轴倾斜角以及调整这个角度，则是铣削尖齿离合器非常重要的操作步骤，必须做好。

(4) 铣削 铣削尖齿离合器时，不论其齿数是奇数还是偶数，每分度一次只能铣出一条齿槽。调整铣削深度，应当按大端齿深在外径进行。为防止齿形太尖，保证一对离合器接合时齿顶与槽底接触，一般采用试切法调整铣削深度，使大端齿顶预留一定的平面，确保齿形工作面接触。

4. 铣削梯形齿离合器的方法步骤及注意事项

铣削梯形齿离合器时，切记梯形收缩齿离合器的加工方法不同于梯形等高齿离合器的加工方法。

(1) 铣削梯形收缩齿离合器的方法步骤及注意事项 梯形收缩齿离合器的铣削方法、步骤与铣削尖齿离合器基本相同。分度头主轴倾斜角 α 的计算公式与铣削等边尖齿离合器相同，即

$$\cos\alpha = \tan \frac{90^\circ}{z} \cot \frac{\gamma}{2}$$

但是铣削梯形收缩齿离合器与铣削尖齿离合器也有差异。

1) 选择铣刀。梯形收缩齿离合器一般用梯形槽成形铣刀铣削。铣刀的廓形角 θ 等于离合器的齿槽角 γ ，铣刀的齿顶宽度 B 应等于离合器的槽底宽度 b ，而铣刀有效工作高度 H 则必须大于离合器外圆处的齿高 T 。

若缺少这种成形铣刀，可利用与离合器齿槽角相同的双角铣刀改制。改制时，须将双角铣刀的刀尖磨掉，使铣刀的齿顶宽度 B 等于离合器槽底宽度 b 。

2) 对刀。一般采用图 6-145 所示方法对刀。对刀时，应使梯形槽铣刀廓形的对称线通过工件中心。即先使分度头主轴垂直向上，并由操作者以目测使铣刀的廓形对称线大致对准工件中心，并按齿高的 $1/2$ 左右在工件径向试铣一刀，同时记下升降台手轮刻度盘的读数。然后降低工作台，退出工件，将工件转过 180° ，并纵向移动工作台，使铣刀仍处于已铣出的齿槽的上方，再慢慢将升降台升高，同时注意观察铣刀两侧与齿槽两侧的接触情况。若铣

刀两侧与齿槽两侧同时接触，说明铣刀廓形对称线已通过工件中心，如果铣刀一侧先与齿槽接触，则说明对刀不准，还需要调整刀具。在这种情况下，可根据升降台手轮刻度盘读数和试铣时刻度盘读数的差值，确定铣刀齿顶到槽底的距离 x ，然后再根据 x 值计算出铣刀廓形对称线偏离工件中心的距离 e 。

由图 6-145 可知

$$e = \frac{x}{2} \tan \frac{\theta}{2}$$

式中 e ——铣刀廓形对称线偏离工件中心的距离；
 x ——铣刀齿顶到槽底的距离；
 θ ——铣刀的廓形角。

e 值确定后，便可移动横向工作台，使工件齿槽与铣刀接触的一侧退离铣刀一个距离 e 。

对刀结束后，把分度头主轴扳转 α 角，并调整好铣削深度，然后可开机铣削。

应当指出，如果离合器的齿距比较小，这时可采用试切对刀法。具体的对刀步骤与铣削尖齿离合器时的试切对刀法大致相同。所不同的是，需先在试件上铣一条适当深度的槽，然后将试件转 180° 后，再铣一刀，并观察铣刀是否同时接触齿槽两侧。如果是同时接触，则说明对刀是准确的；如果只是一侧接触，就表明对刀不准，这时需移动横向工作台来调整铣刀相对试件的位置，直至铣刀的廓形对称线和试件的轴心重合为止。

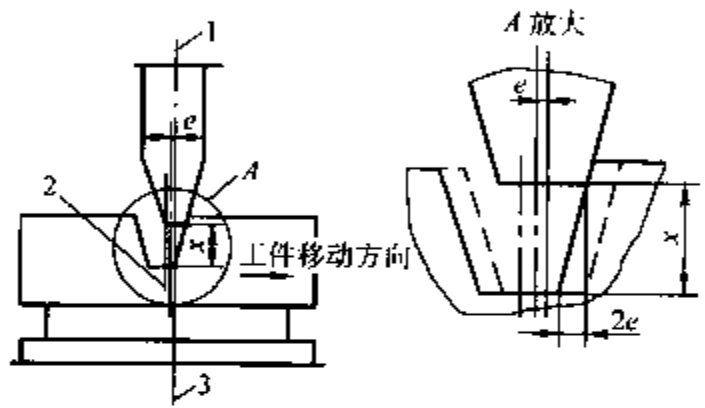


图 6-145 铣削梯形收缩齿离合器的对刀方法
 1—铣刀廓形对称线 2—第一次试切齿槽轴线
 3—齿槽正确轴线

(2) 铣削梯形等高齿离合器的方法步骤及注意事项 从结构上看，梯形等高齿离合器齿形的特点是：齿顶面与槽底面平行，即离合器齿是等高的；齿顶宽度和齿槽宽度均由外向里收缩，齿侧的高度是不变的；所有齿侧的中性线（齿深 $1/2$ 高度处的线）均通过离合器的轴线。

梯形等高齿离合器与梯形收缩齿离合器的加工方法不同。而梯形等高齿离合器的加工，因采用的刀具不同，通常有两种方法。

1) 用成形铣刀铣削。这种方法采用专用铣刀铣削，一般在卧式铣床上进行，适用于生产批量较大的场合。

具体的铣削步骤和方法如下：

① 工件装夹。工件的装夹方法与直齿离合器相同，分度头主轴必须与铣床工作台垂直。

② 对刀。铣削时，应使铣刀侧切削刃上的 K 点通过工件齿侧中心线（见图 6-146a）。对刀时可先按照铣削梯形收缩齿离合器的对刀方法，使铣刀的廓形对称线通过工件中心，然后再移动横向工作台一段距离 e 。

e 值可用下式计算

$$e = \frac{B}{2} + \frac{T}{2} \tan \frac{\theta}{2} \quad (6-10)$$

式中 B ——铣刀齿顶的宽度 (mm)；

T ——离合器齿高 (mm);
 θ ——铣刀廓形角 ($^{\circ}$)。

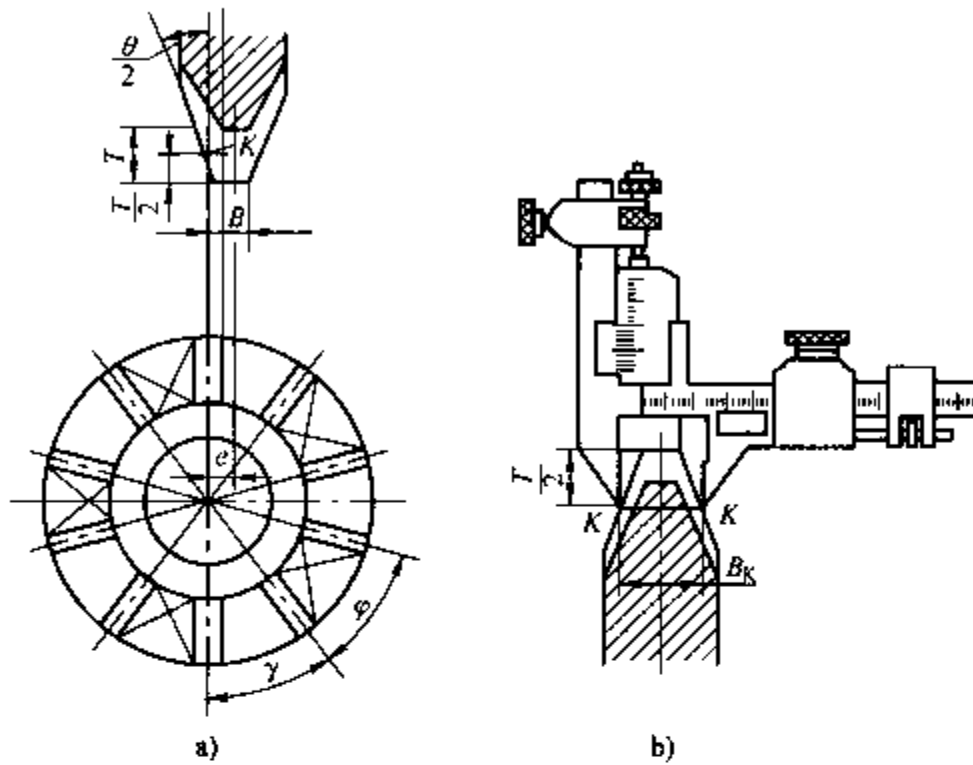


图 6-146 对刀及测量铣刀 K 点的廓形宽度

a) 铣削梯形等高齿离合器时的对刀 b) 用齿厚游标卡尺测量铣刀 K 点的廓形宽度

当铣刀的齿顶宽度不易正确测量时,应用式(6-10)就无法求得较为准确的横向工作台移动距离 e 。此时可用齿厚游标卡尺直接测量铣刀在 K 点处的廓形宽度 B_k (见图 6-146b),使横向工作台移动距离 $\frac{B_k}{2}$ 即可。

对刀结束后,应将工件偏转一角度,以使对刀时在工件上切出的齿槽铣去,然后调整好铣削深度,就可开始铣削。

③铣削方法。通常,梯形等高齿离合器设计成奇数齿,因此与铣削直齿奇数齿离合器一样,铣刀每次行程可铣出相对两齿侧,也就是铣削次数等于离合器齿数时,便可将所有的齿侧铣好。

应当指出,有时遇到的梯形等高齿离合器的齿槽角 γ 大于齿面角 φ (见图 6-146a),则应在将齿槽按上述方法铣好后,根据齿槽角的要求,把工件偏转 $\frac{\gamma - \varphi}{2}$ 角度,将各齿槽的左侧或右侧再铣去一刀。

2) 用三面刃铣刀铣削。这种方法采用三面刃铣刀铣削,一般在立式铣床上进行,适用于小批量生产或没有专用铣刀的场所。铣削过程分为铣削槽底和铣削齿侧斜面两步进行,具体的铣削方法和步骤如下:

①铣梯形齿槽底。在立式铣床上铣削梯形齿槽底时,立铣头主轴呈垂直位置,而分度头主轴要处于水平位置,工作作横向进给。其铣削方法与铣削直齿离合器略有不同,只是将三面刃铣刀偏离工件中心一个距离 e 。可用下式计算 e 值

$$e = \frac{T}{2} \tan \frac{\gamma}{2}$$

式中 e ——铣刀侧刃偏离工件中心的距离 (mm);
 T ——梯形等高齿离合器的齿深 (mm);
 γ ——梯形等高齿离合器的齿槽角 ($^{\circ}$)。

②铣削梯形齿侧斜面。其加工方法如图 6-147 所示, 立铣头主轴由原来的垂直位置改为倾斜放置, 倾斜角 α 应等于齿槽角的一半 ($\alpha = \frac{\gamma}{2}$)。移动纵向工作台, 使三面刃铣刀刀尖 1 与已铣好的槽底 2 刚刚接触, 然后调整升降工作台, 再使刀尖 1 正好切到槽底角 3。调整完毕, 即可逐齿分度进行铣削。

5. 铣削锯齿形离合器的方法步骤及注意事项

锯齿形离合器具有传动的单向性, 其齿槽角有 60° 、 70° 、 75° 、 80° 和 85° 几种。它的齿形与尖齿离合器一样, 也向轴线上一点收缩, 因此铣削的方法步骤大致与尖齿离合器相同。其不同点有两方面: 一是选用的铣刀不一样; 二是分度头主轴倾斜角 α 的计算方法不一样。

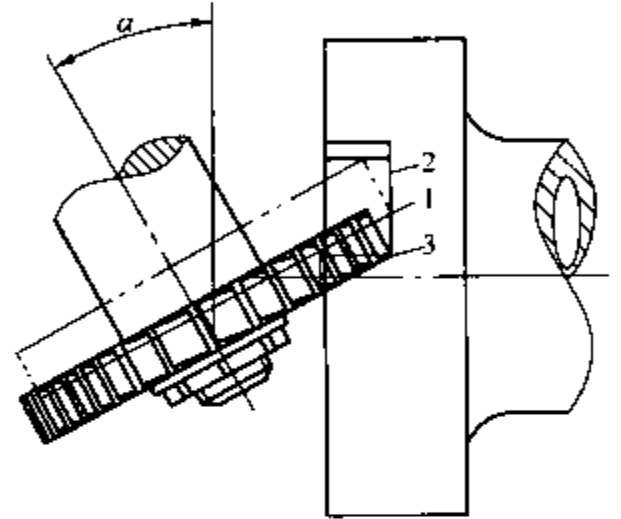


图 6-147 铣削梯形齿侧斜面
 1—铣刀刀尖 2—槽底
 3—槽底角

(1) 选择铣刀 锯齿形齿离合器的一侧齿面为向心平面, 因此通常选用单角铣刀铣削, 铣刀的廓形角 θ 也可等于离合器的齿槽角 γ 。

(2) 对刀 对刀时, 应使单角铣刀的端面侧刃准确地通过工件中心。对实际操作时, 除了采用铣削尖齿离合器时的试切法对刀外, 还可采用下述对刀法: 先使工件外圆表面与单角铣刀的侧刃刚刚接触, 然后退出工件, 再使工件朝铣刀方向移动, 其距离等于工件外圆半径 R 。

(3) 计算分度头主轴的倾斜角 α 铣削锯齿形齿离合器与铣尖齿离合器一样, 也应使分度头主轴倾斜一个 α 角, 计算公式是

$$\cos\alpha = \tan \frac{180^{\circ}}{z} \cot\gamma$$

式中 α ——分度头主轴倾斜角;
 z ——锯齿形齿离合器的齿数;
 γ ——齿槽角。

此外, 分度头主轴倾斜角 α 还可利用查表法求得, 表 6-13 为铣削锯齿形齿离合器分度头倾斜角 α 值。

表 6-13 铣削锯齿形齿离合器分度头倾斜角 α 值

离合器齿数 z	分度头倾斜角 α				
	铣刀廓形角 θ (= 工件齿槽角 γ)				
	60°	70°	75°	80°	85°
5	* $65^{\circ}12'$	$74^{\circ}40'$	$78^{\circ}47'$	$82^{\circ}12'$	$86^{\circ}21'$
6	* $70^{\circ}32'$	$77^{\circ}52'$	$81^{\circ}6'$	$84^{\circ}9'$	$87^{\circ}6'$
7	$73^{\circ}50'$	$79^{\circ}54'$	$82^{\circ}35'$	$85^{\circ}10'$	$87^{\circ}35'$
8	$76^{\circ}10'$	$81^{\circ}20'$	$83^{\circ}38'$	$85^{\circ}48'$	$87^{\circ}55'$
9	$77^{\circ}52'$	$82^{\circ}23'$	$84^{\circ}24'$	$86^{\circ}19'$	$88^{\circ}22'$

(续)

离合器齿数 z	分度头倾斜角 α				
	铣刀廓形角 θ (= 工件齿槽角 γ)				
	60°	70°	75°	80°	85°
10	79°12'	83°13'	85°	86°43'	88°22'
11	80°14'	83°54'	85°29'	87°4'	88°32'
12	81°6'	84°24'	85°53'	87°18'	88°39'
13	81°49'	84°51'	86°13'	87°30'	88°46'
14	82°26'	85°12'	86°30'	87°42'	88°51'
15	82°57'	85°34'	86°44'	87°51'	88°56'
16	83°24'	85°51'	86°57'	87°59'	89°
17	83°48'	86°6'	87°08'	88°7'	89°4'
18	84°9'	86°19'	87°17'	88°13'	89°7'
19	84°30'	86°31'	87°26'	88°19'	89°10'
20	84°46'	86°42'	87°34'	88°24'	89°12'
21	85°1'	87°51'	87°41'	88°29'	89°15'
22	85°13'	87°	87°48'	88°33'	89°17'
23	85°27'	87°8'	87°53'	88°37'	89°19'
24	85°38'	87°15'	87°59'	88°40'	89°20'
25	85°49'	87°22'	88°4'	88°43'	89°22'
26	85°59'	87°28'	88°8'	88°46'	89°24'
27	86°8'	87°34'	88°12'	88°50'	89°25'
28	86°16'	87°39'	88°16'	88°52'	89°26'
29	86°24'	87°44'	88°20'	88°54'	89°27'
30	86°31'	87°48'	88°23'	88°56'	89°28'
31	86°39'	87°53'	88°25'	88°59'	89°29'
32	86°44'	87°56'	88°29'	89°	89°30'
35	87°1'	88°7'	88°37'	89°5'	89°32'
36	87°6'	88°10'	88°39'	89°6'	89°33'
38	87°15'	88°16'	88°43'	89°9'	89°35'
40	87°23'	88°21'	88°47'	89°12'	89°36'
45	87°41'	88°32'	88°55'	89°17'	89°38'
50	87°55'	88°41'	89°2'	89°21'	89°41'

注：带 * 号者少用。

6. 铣削螺旋齿离合器的方法步骤及注意事项

螺旋齿离合器又称安全离合器。其齿形特点与梯形等高齿离合器大致相同，不同之处在于用螺旋面代替斜面。正是这个原因，造成了铣削螺旋齿离合器的难度比较大，其加工步骤

主要是铣削槽底和铣削螺旋面。

(1) 铣削槽底 单件小批量生产时,可在立式铣床上加工。加工刀具选用三面刃铣刀,铣刀的宽度按下式计算

$$\beta = \frac{d_1}{2} \sin \gamma$$

式中 β ——铣刀宽度 (mm);

d_1 ——离合器齿部位的内径 (mm);

γ ——离合器的齿槽角 ($^\circ$)。

铣削时,分度头主轴应按水平位置放置。

具体加工方法与铣削偶数齿直齿离合器的加工方法相同。

(2) 铣削螺旋面 加工时,选用立铣刀为加工刀具,但是立铣刀的直径应等于或小于三面刃铣刀宽度。

为使将要被铣去的槽侧面处于垂直位置,需将工件旋转 90° 。

为了减少干涉现象,获得较精确的径向直廓螺旋面,需调整横向工作台,使立铣刀中心偏离工件中心一个距离 e , e 值用下式计算

$$e = R_f \sin \left[\frac{1}{2} \left(\arctan \frac{L}{\pi D} + \arctan \frac{L}{\pi d_1} \right) \right]$$

式中 R_f ——立铣刀半径 (mm);

d_1 ——工件铣齿部位内径 (mm);

D ——工件铣齿部位外径 (mm);

L ——螺旋面导程 (mm)。

根据螺旋面的形成原理,要铣出螺旋面,必须把工件的等速转动和等速直线运动联系起来,所以要在工作台纵向进给丝杠与分度头侧轴间配上一套交换齿轮,并保证工件转一圈,工作台必须移动一个导程。也就是说,使分度头主轴随纵向工作台的进给运动作连续旋转,以铣削螺旋面。

交换齿轮的齿数可用查表法确定,即先计算出螺旋面的导程,再根据导程,查导程交换齿轮表可得知交换齿轮的齿数。应当注意,螺旋面有左旋与右旋之分,所以安装交换齿轮时,应注意工件的转向,如果转向不对,可增加或减少中间介轮来纠正。当检查螺旋方向正确后,即可开始铣削螺旋面。

铣削时,一般分粗、精两次进行。

7. 加工齿式离合器时预防出现质量问题的对策

1) 防止齿侧工作表面表面粗糙度等级低的技术措施如下:

- ① 铣刀应锋利,忌用钝刀铣削。
- ② 进给量不宜过大。
- ③ 工件装夹牢固。
- ④ 调整机床传动系统的间隙,使间隙不能过大。
- ⑤ 切削液选用合适,并且应保证浇注充分。

2) 防止槽底不平、有明显凸台(铣直齿、梯形等高齿时)的技术措施如下:

- ①保证铣刀刃口无缺陷。
- ②保证立铣头轴线垂直于工作台台面。
- ③防止升降工作台走动,刀轴松动或刚性差。

3) 防止各齿在外圆处弦长不等(铣各种齿)的技术措施如下:

- ①保证分度均匀。
- ②保证分度头精度合格。
- ③保证工件装夹的同轴度。

4) 防止一对离合器接合后接触齿数太少或无法嵌入的技术措施如下:

- ①保证分度正确。
- ②齿槽角不能铣得太小。
- ③工件装夹应保证同轴度。
- ④对刀应准确。

对于螺旋齿来说,要保证各螺旋面起始位置准确,还要保证各螺旋面等高。

5) 防止一对离合器接合后贴合面不够的技术措施如下:

- ①铣削各种齿形时,都应保证工件装夹正确,对刀准确。
- ②铣削斜齿面齿形时,应确保刀具廓形角正确,分度头主轴倾斜角的计算和调整不能有错误。

③铣削螺旋齿时,要保证偏移距离 e 的计算和调整应正确无误。

6) 防止一对离合器(尖齿、锯齿形齿)接合后齿侧不贴合的技术措施如下:

- ①不能铣得太深,造成齿顶过尖。
- ②保证分度头主轴倾斜角的计算和调整正确无误。

九、铣削齿轮及保证加工质量的技术对策

齿轮是机械传动中的重要组成部分。加工齿轮齿形的方法很多,但基本上可分为两大类,一是仿形法,二是展成法。

在铣床上加工齿轮采用的是仿形法,即利用切削刃形状与齿槽形状相同的刀具来切制齿形。

采用这种方法加工齿形,其精度要比展成法差。但是,它不需要专用的机床和价格昂贵的展成刀具。因此,对一些精度要求不高的齿轮,在单件生产或没有专用机床和刀具的情况下,便可采用仿形法,利用齿轮盘铣刀和指形齿轮铣刀在升降台铣床上加工。可见,齿形的仿形法加工是铣削工作的重要任务,也是铣削操作者必须掌握的重要技术。

1. 铣削直齿圆柱齿轮及注意事项

在卧式铣床上,采用标准盘形齿轮铣刀铣削直齿圆柱齿轮的方法步骤如下:

(1) 熟悉齿轮的工作图 要认真读懂齿轮工作图,以此为根据对齿轮进行加工和检查,验收是否合格。

(2) 检查齿坯 主要检查内容有:

1) 齿顶圆尺寸。

- 2) 齿坯孔径尺寸。
- 3) 齿坯外圆与内孔的同轴度。
- 4) 齿坯的端面与孔轴线的垂直度。

(3) 安装分度头和尾座 安装分度头和尾座时,要严格保证前后顶尖的中心连线与工作台面平行,并与工作台纵向进给方向一致。

(4) 分度计算与调整 设被加工齿轮的齿数 $z=32$, 所以分度头手柄的转数应是

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{32} = 1 \frac{1}{4} = 1 \frac{6}{24}$$

即分度手柄摇一整转后,再于 24 孔的孔圈上按 6 孔距调整分度叉。

(5) 检查机床 开动机床,检查各运动部分是否正常,如有不正常的地方、应加以调整。

(6) 选择和装夹铣刀 在铣床上铣齿是一种仿形加工,由于齿轮的齿形是由渐开线组成的,所以铣刀刀口形状也必须是渐开线。渐开线的形状与基圆大小有关,而基圆又与模数 m 、压力角 α 和齿数 z 有关,其关系为

$$d_b = mz \cos \alpha$$

式中 $\alpha=20^\circ$ 是标准值,因此同一模数的齿轮,基圆直径的大小取决于齿数,齿数不同就需要用不同的铣刀来加工。这样齿轮铣刀的数量就需要很多,而实际是办不到的。所以,在生产中,可将齿轮 12 齿以上的齿数进行分组,当 $m=1 \sim 8\text{mm}$ 时,分成 8 组;当 $m=9 \sim 16\text{mm}$ 时,分成 15 组,每组齿轮都用同一把铣刀加工。

为了保证加工出来的齿轮在啮合时不会卡住,各组铣刀的齿形都按这一组内最少齿数的齿轮制作。这样,同一模数、齿数相近的齿轮,使用同一把铣刀加工所产生的齿形误差,对于在万能铣床上所能加工出的齿轮精度来说是完全允许的。

表 6-14 是标准齿轮铣刀号数表。选刀时,先按所铣齿轮的齿数从表中查得铣刀号数,再选择与工件相同模数的铣刀。

表 6-14 标准盘形齿轮铣刀号数表

铣刀刀号		1	1 $\frac{1}{2}$	2	2 $\frac{1}{2}$	3	3 $\frac{1}{2}$	4	4 $\frac{1}{2}$	5	5 $\frac{1}{2}$	6	6 $\frac{1}{2}$	7	7 $\frac{1}{2}$	8
加工齿数范围	8 把一套	12 ~ 13		14 ~ 16		17 ~ 20		21 ~ 25		26 ~ 34		35 ~ 54		55 ~ 134		135 ~ ∞
	15 把一套	12	13	14	15 ~ 16	17 ~ 18	19 ~ 20	21 ~ 22	23 ~ 25	26 ~ 29	30 ~ 34	35 ~ 41	42 ~ 54	55 ~ 79	80 ~ 134	135 ~ ∞

例如,若直齿圆柱齿轮齿数 $z=24$, 模数 $m=3\text{mm}$, 压力角 $\alpha=20^\circ$, 则选用加工铣刀时可根据 $z=24$, 在表 6-14 中查得 4 号铣刀, 即应选用 $m=3\text{mm}$, $\alpha=20^\circ$ 的 4 号直齿轮铣刀。

选好铣刀, 把它装夹在刀轴上并固紧。

(7) 对中 在生产实践中,常用切痕法和划线法对中,使铣刀齿形的中心对准齿轮坯的中心。

1) 切痕对中法。这种对中法可分为三步进行:

①升高工作台，直到齿坯接近铣刀为止，摇动工作台横向进给手柄，凭目测调整铣刀平面中心大致对准齿轮坯中心(见图 6-148a)。

②开动机床，慢慢地升高工作台，使铣刀稍微切削齿坯，并按图 6-148b 中所示箭头方向来回移动工作台，在齿坯上铣出一个很小的椭圆刀痕，如图 6-148b 所示。

③移动横向工作台，调整铣刀刀刃中心对准刀痕中心，到此切痕法对中的工作完毕。

生产实践表明，采用切痕法对中，其切痕不能切深，否则不易对准，这是必须注意的。一旦切痕深了，其补救办法是，将分度头转到铣第二个齿的位置上，按上述方法重新采用切痕法对中。

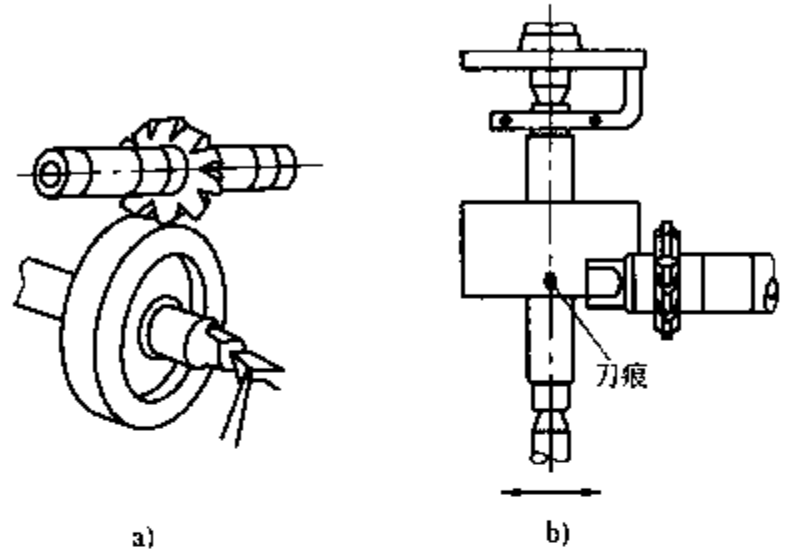


图 6-148 切痕法对中

2) 划线对中法。这种对中法可分四步进行：

①按图 6-149a 所示，将划针盘针尖调整到接近分度头中心的高度，然后在工件上划一条线 AB 。

②摇动分度头手柄，使工件旋转 180° ，在划针高度不变的情况下，将划针移到另一边又划出一条线 CD 。

③将工件转 90° ，使在工件上划的线朝向上方与铣刀相对(见图 6-149b)。

④仔细调整工作台，使铣刀对准 AB 与 CD 两线的中间即可(见图 6-149c)。

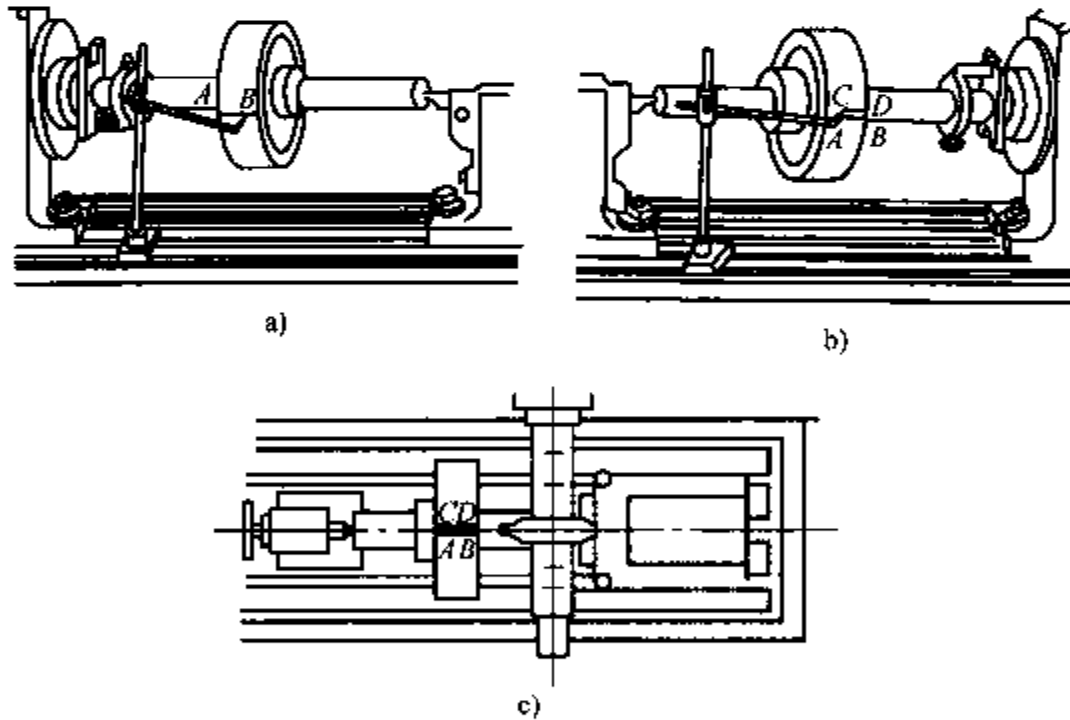


图 6-149 划线对中法

(8) 选择切削速度和进给量 通常情况下，选取的切削速度应比普通铣削略低，实际选用时可查取表 6-15 中数据，将查取的数值再乘以 $0.75 \sim 0.85$ 的修正系数。

进给量的大小与齿坯材料、模数、机床刚度、夹具和刀具等有关，一般在粗加工时可取较大的进给量，精加工时进给量应小些。

表 6-15 铣直齿轮的切削速度

齿轮材料	45 钢	合金钢 40Cr	合金钢 20Cr	铸铁、150~180HBW 硬青铜	中等硬青铜黄铜
切削速度 /(m/min)	粗 铣				
	32	30	22	25	40
	精 铣				
	40	37.5	27	31	50

注：铣床主轴转速可按下式求出： $n = \frac{1000v}{\pi D}$ ，式中 D 为铣刀直径。

(9) 选取切削液 粗加工钢料时，应选用乳化油、肥皂水或轻柴油等切削液，并对准刀具充分浇注。

(10) 试铣 先铣浅刀痕，然后检查刀痕数是否与所铣齿数相同。这时，如果在齿轮全周按齿数把全部试切刀痕都铣出来，实在太麻烦了。为了节省时间，可铣出 2~3 个浅痕，以后按图 6-150 所示，用游标卡尺在外圆测量距离 S ，距离 S 近似地用下式计算

$$S \approx \frac{3.14d_s}{z}$$

式中 d_s ——齿顶圆直径；

z ——齿数。

若游标卡尺测量的距离与计算的结果相符，证明分度中手柄转数是正确的。

(11) 铣削深度的调整与补充进刀值的确定 对于齿面的表面粗糙度要求不高或模数较小的齿槽，可一次铣出全齿深(2.25m)。在实际工作中，为保证齿面的表面粗糙度和齿厚精度，往往分粗铣和精铣。大部分余量在粗铣中切去，精铣时根据粗铣后的实际余量，再作第二次进刀。补充进刀值按下面三种情况计算：

1) 分度圆弦齿厚的补充进刀值 $\Delta \bar{S}$

当 $\alpha = 20^\circ$ 时， $\Delta \bar{S} = 1.37(\bar{S}_{\text{实}} - \bar{S})$ 。

2) 固定弦齿厚的补充进刀值 $\Delta \bar{S}'$

当 $\alpha = 20^\circ$ 时， $\Delta \bar{S}' = 1.17(\bar{S}'_{\text{实}} - \bar{S}')$ 。

3) 公法线长度的补充进刀值 ΔW

当 $\alpha = 20^\circ$ 时， $\Delta W = 1.462(W_{\text{实}} - W)$ 。

式中 $S_{\text{实}}$ ——粗铣后测量的实际分度圆弦齿厚；

$S'_{\text{实}}$ ——粗铣后测量的实际固定弦齿厚；

$W_{\text{实}}$ ——粗铣后测量的实际公法线长度。

(12) 铣削注意事项

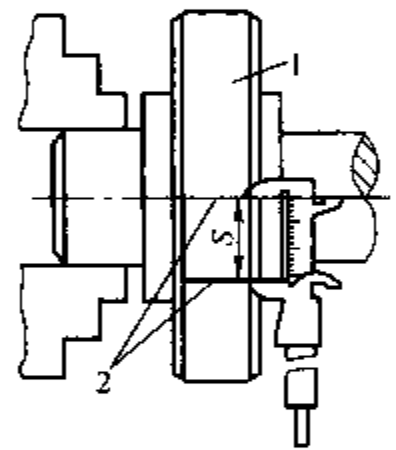
1) 当齿坯靠向铣刀时，应注意观察它是否与试铣时的刀痕重合，若不重合，必须重新对准刀痕，并检查分度有无错误。

2) 切削时，必须拧紧蜗轮副的固紧手柄，以免由于蜗轮副的间隙而使齿坯在切削中发生摆动。另外，在摇动分度手柄时，如果不小心多转了，应注意抵消蜗轮副的间隙。

3) 在铣两三个齿后，必须用齿厚游标卡尺检查齿的深度和齿厚，如果合格才能铣削。

2. 铣削直齿圆柱齿轮可能出现的质量问题及对策

(1) 齿数与图样要求不符

图 6-150 测量距离 S

1—齿轮 2—浅刀痕

1) 产生原因:

- ①看错图样。
- ②选错了孔圈, 分度叉使用不当或分度计算错误。

2) 预防措施:

- ①看图样要仔细。
- ②仔细进行分度计算和正确使用分度头。

(2) 齿厚不等, 周节误差过大

1) 产生原因:

- ①分度错误, 多转或少转了孔圈。
- ②没有消除分度头间隙。
- ③工件径向圆跳动大。

2) 预防措施:

- ①仔细进行分度计算, 手柄向一个方向均匀转动, 并正确使用分度叉。
- ②当分度手柄多转时, 应消除分度蜗杆副间隙。
- ③要仔细校正工件。

(3) 齿高和齿厚不正确

1) 产生原因:

- ①铣削深度调整不对。
- ②铣刀模数或刀号选错。

2) 预防措施:

- ①铣削深度调整应准确。
- ②仔细选择铣刀。

(4) 轮齿偏斜(困牙)

1) 产生原因: 铣刀没有对准齿坯中心。

2) 预防措施: 要正确对中。

(5) 齿面不光洁

1) 产生原因:

- ①铣刀变钝。
- ②进给量太大。
- ③铣刀或心轴有摆差, 工件装夹不稳。
- ④分度头主轴松动。
- ⑤机床振动。

2) 预防措施:

- ①使用锋利铣刀。
- ②合理选择铣削用量。
- ③认真做好铣削前的准备工作。
- ④铣削时固紧分度头主轴。
- ⑤修理或调整机床。

3. 铣削直齿锥齿轮及注意事项

直齿锥齿轮也叫伞齿轮或八字轮，用于传递两相交轴之间的回转运动。一般情况下，两轴夹角为 90° ，也有两轴夹角小于或大于 90° 的情况。

从结构上观察，其特点是锥齿轮的齿均匀分布在圆锥体表面，齿形由大端到小端逐渐减小。直齿锥齿轮的齿是直的。

通常情况下，精度高的直齿锥齿轮在锥齿轮刨齿机床上用展成法加工。精度较低或生产批量较小时，往往用锥齿轮铣刀在卧式铣床上加工。

在卧式铣床上，铣削直齿锥齿轮的方法步骤如下：

(1) 熟悉图样 铣削直齿锥齿轮应达到的工艺要求包括如下内容：

- 1) 大端齿形要求准确。
- 2) 为保证锥齿轮运动精度，要求齿圈径向圆跳动误差在允许范围内。
- 3) 为保证锥齿轮工作平稳性，要求齿轮齿距误差在允许范围内。
- 4) 为保证锥齿轮侧隙，要求大端和小端齿厚误差在允许范围内。
- 5) 为保证锥齿轮接触精度，要求齿向误差在允许范围内。
- 6) 齿面的表面粗糙度应达到要求。

(2) 检查齿坯 按图样要求，检验齿坯角度、端平面与轴线的垂直度、齿坯外径等。

(3) 安装并校正分度头 将分度头安装在铣床工作台上。为保证加工精度，对分度头要进行以下两方面校正：

- 1) 分度头主轴轴线与铣床工作台台面平行度的校正。
- 2) 分度头主轴与铣刀杆垂直度的校正。

(4) 铣刀的选择与装夹 锥齿轮铣刀的齿形曲线是根据锥齿轮的当量齿数 z_v 设计的，在同一模数中也按齿数划分号数。因此，在铣削圆锥齿轮时，必须根据锥齿轮的当量齿数来选择铣刀的号数。

当量齿数 z_v 的计算公式是

$$z_v = \frac{z}{\cos\delta}$$

式中 z ——齿轮齿数；

δ ——分锥角 ($^\circ$)。

依据当量齿数 z_v 从表 6-16 和表 6-17 中选取相应的刀号。

表 6-16 8 把一套的铣刀号数表

刀号	1	2	3	4	5	6	7	8
当量齿数	12 ~ 13	14 ~ 16	17 ~ 20	21 ~ 28	29 ~ 34	35 ~ 54	55 ~ 134	≥ 135

表 6-17 15 把一套的铣刀号数表

刀号	1	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	6	$6\frac{1}{2}$	7	$7\frac{1}{2}$	8
当量齿数	12	13	14	15 ~ 16	17 ~ 18	19 ~ 20	21 ~ 22	23 ~ 25	26 ~ 29	30 ~ 34	35 ~ 41	42 ~ 54	55 ~ 79	89 ~ 134	135 以上

例 27 铣削一个模数 $m = 2.5\text{mm}$ ，齿数 $z = 32$ ，分锥角 $\delta = 42^\circ$ 的直齿锥齿轮，试选择铣刀号数。

根据公式计算当量齿数 z_v ，

$$z_v = \frac{z}{\cos\delta} = \frac{32}{\cos 42^\circ} = \frac{32}{0.743} = 43$$

查表 6-16，应选用模数为 2.5mm 的第 6 号锥齿轮铣刀。

铣刀选好后，将铣刀装夹在刀杆上，校正后固牢。

(5) 调整齿坯与铣刀对中 铣削锥齿轮，对刀是最关键的操作步骤，如果铣刀廓形对称线不对准齿坯的中心，将会造成齿形不对称和齿向误差，这是严重的质量问题。

常用的对中方法有两种，一是划线对中法，二是切痕对中法，这些已在直齿圆柱齿轮铣削对中时讲过，不再叙述。实践经验表明，由于锥齿轮的齿坯为一倾斜面，采用切痕对中法调整很不方便，并且对中精度较低，所以不宜采用。生产中多采用划线对中法。

(6) 分齿计算与调整分度头主轴转动角度 根据齿轮齿数 z ，用下式计算分度手柄转数 n

$$n = \frac{40}{z}$$

然后确定孔圈的孔数及分度手柄转过的孔距数。如果遇到齿数用简单分度法无法分度时，则用其他分度法进行分度。

铣削锥齿轮时，还要将分度头主轴扳转一个根锥角 δ_f (俗称铣削角)。

(7) 铣削 在卧式铣床上铣削直齿锥齿轮，通常需要分三步进行。

1) 铣齿槽中部。将铣刀刀齿中心与齿坯中心对正后，使铣刀刀齿外圆切削刃轻轻擦划齿坯大端外径，然后使铣刀退离工件，将工作台台面升到全齿高，依次铣出全部齿槽。

2) 铣大端齿槽右侧。铣削时，将工作台向右横向移动距离 E ，如图 6-151 实线箭头所示。 E 值可按下式计算

$$E = \frac{mb}{2R}$$

式中 m ——模数(mm)；

b ——齿宽(mm)；

R ——锥距(mm)。

工作台移动 E 值后，还要通过分度头分度手柄使齿坯逆时针方向旋转一定角度(图 6-151 中实线箭头方向)，以使铣刀的右侧切削刃切去大端齿槽右侧部分余量。分度头分度手柄旋转量，以铣刀刚碰小端齿槽的右侧，并未碰小端齿槽左侧为宜。

铣完一个大端齿槽右侧后，要用齿厚游标卡尺测量大端齿厚，测量的尺厚应与下式计算的齿厚 s' 比较

$$s' = s + \frac{s'' - s}{2}$$

式中 s' ——应测得的齿厚尺寸(mm)；

s ——图样上要求的齿厚尺寸(mm)；

s'' ——实际测得的齿厚尺寸(mm)。

若实际测得的齿厚 s'' 大于应测得的齿厚 s' ，说明还有余量，分度手柄应按箭头方向再旋转，直至合适为止，并依次将各齿右侧铣完。若实际测得的齿厚 s'' 小于 s' ，说明轮齿已被铣薄。

3) 铣大端齿槽左侧。铣削时，必须将工作台向左横向移动 $2E$ 值，如图 6-151 中虚线箭头所示。但这时应注意消除丝杠间隙的影响，同时分度手柄要按顺时针方向旋转（图 6-151 中虚线箭头所示）。然后按铣削右侧齿槽的方法，将齿槽左侧余量切除，直到用齿厚游标卡尺测量满足图样齿厚要求为止，依次将左侧齿形铣完。

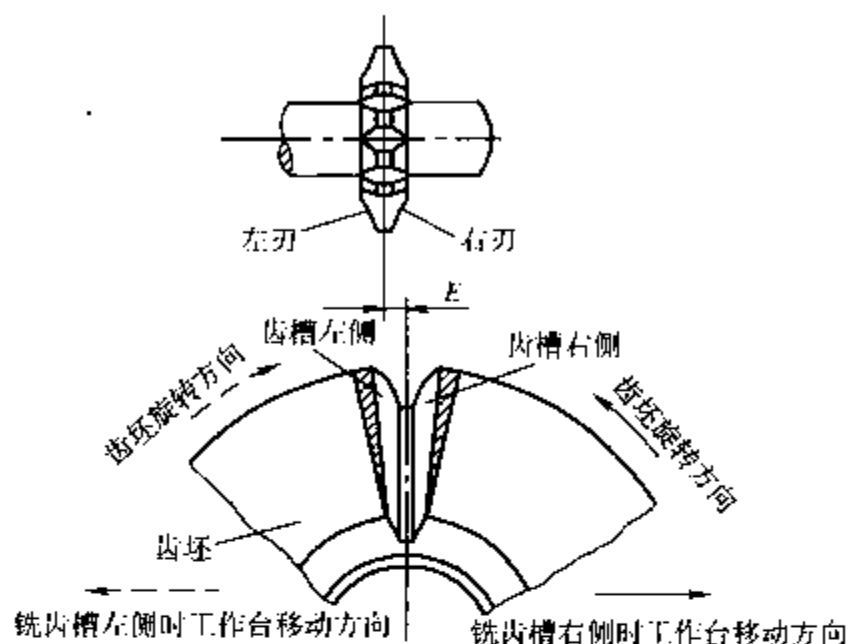


图 6-151 直齿锥齿轮铣削方法

在生产实践中，由于这种铣削方法的计算简单，应用得很普遍。其缺点是加工出来的齿轮，小端齿

顶及齿根部分有些余量未被切除，齿形显得“肥胖”，故影响齿轮的啮合性能。为此，通常在铣削后还需将小端齿的齿形加以修锉，但这项工作比较费工，同时也不易保证质量。为解决上述问题，在铣削操作中也可通过调整位移量 E 值的办法来解决，即使小端的齿厚有一定的减薄量。

当锥齿轮的精度要求较高时，可采用将分度头在水平面内偏转角度与工作台横向移动相结合的方法，铣削锥齿轮。用这种方法铣齿时，一定要保证分度头底座应有回转机构，或将分度头置于圆转台上。

铣销时，工件、刀具的安装和调整与上述的加工方法相同。然后按小端齿槽宽度铣完所有齿槽，再去铣左、右两侧。

在铣削左、右两侧余量时，需把分度头偏移一个 λ 角。设锥齿轮大端槽宽为 A ，小端槽宽为 B ，则

$$\sin\lambda = \frac{A - B}{2b}$$

式中 b ——锥齿轮宽。

分度头角度转好后加以紧固，然后将齿坯靠近铣刀。先在横向工作台手柄刻度盘工作一记号作为移动的起点，再横向移动工作台，直到小端齿槽一侧与铣刀刀齿侧面接触为止。记下移动格数（设此格数为 k ），接着进行铣削。铣完所有齿槽一侧后，再将分度头以相反方向转过 2λ 角，同时横向工作台反向移动，移动格数为 $2k$ ，铣出所有齿形的另一侧齿面，于是齿形已被铣成。

采用这种方法铣削，若工作台横向移动量调整适当，锥齿轮大端和小端在分度圆上的厚度是可以达到要求的。对于小端齿形，因比铣刀的齿廓形状弯曲，故需修整一下。

另外，在铣削过程中，当铣出 2~3 个齿的大端和小端时，需用齿厚游标卡尺测量齿厚，检查是否合格。若齿厚不准确，则需再进行调整。当齿厚符合要求后，将分度头的偏转角和

横向刻度盘的格数记下来，作为正式铣削时的依据。

使用齿厚游标卡尺测量齿厚时，一定要牢记：虽然计算弦齿厚与弦齿顶高的方法和圆柱齿轮相同，但公式中的齿数必须是当量齿数，并要求齿厚游标卡尺应在大端部位上进行测量。

4. 铣削直齿锥齿轮可能出现的质量问题及对策

(1) 防止齿面表面粗糙度超差的对策

- 1) 不能使用钝刃铣刀进行铣削，而要保持铣刀锋利。
- 2) 选用的铣削用量要合适、不可过大。
- 3) 刀杆应有足够的刚度和强度，防止因刀杆强度下降而引起铣刀径向圆跳动过大。

4) 防止机床导轨斜铁松动，保证机床导轨斜铁间隙适宜。

5) 防止主轴的轴向窜动过大。

6) 铣刀轴挂架的轴承间隙不能过大。

7) 铣削时分度头主轴应固紧。

8) 保证工件热处理适宜。

(2) 预防齿向误差过大的对策

1) 在铣削前，应确保刀具对中准确。

2) 在铣削齿大端两侧时，要保证偏移量相等。

3) 保证心轴与齿坯孔配合误差符合要求。

4) 保证齿坯基准端面与轴线的垂直度符合要求。

(3) 预防周节误差超差的对策

1) 选用精度符合要求的分度头。

2) 操作分度头时不能有错误。

3) 保证工件的装夹精度。

4) 操作分度头时，应排除蜗杆蜗轮副的间隙。

(4) 防止齿圈径向圆跳动超差的对策

1) 装夹齿坯时，齿坯孔与分度头主轴的同轴度不得超差。

2) 齿坯锥面与内孔同轴度必须符合要求。

3) 分度头主轴轴线与工件回转轴线的同轴度不应超差。

(5) 防止齿厚超差的对策

1) 铣削时，若小端齿厚已达到要求，而大端仍有余量，则应适当增加分度手柄回转量和横向工作台移动量，但要保证小端齿厚不再被铣去。

2) 铣削大端齿厚两侧余量时，若分度手柄多转一孔，则齿厚要减薄；而少转一孔齿厚又过厚。此时可松开分度盘紧固螺钉，使分度盘作微量转动，不要移动横向工作台单边铣削使齿厚变薄，否则齿形对称性差。

3) 确保测量和读数正确。

5. 铣削斜齿轮及注意事项

(1) 斜齿轮的特点 斜齿轮是圆柱斜齿轮的俗称，其特点如下：

1) 斜齿轮的齿不平行于轴线，传动时有几对齿相啮合，各对齿在齿面上都是逐渐接

触，逐渐分开。因此它受力均匀，传动平稳，噪声小，使用寿命长。

2) 斜齿轮不但可用于两轴平行传动，还能用于两轴交错传动。斜齿轮两轴平行传动时，螺旋角相同，螺旋线方向相反。两轴交错传动时，螺旋线方向相同，两齿轮螺旋角的和等于两轴的交角。

3) 斜齿轮的铣削方法，与铣削直齿轮及螺旋槽的方法大致相同。其不同点体现在如下方面：

①铣床工作台必须按螺旋线方向转动一个斜齿轮的螺旋角。

②交换齿轮确定及安装不同(后面将进行介绍)。

③进行导程计算时，以分度圆直径为计算导程的参数。然而，一般螺旋槽计算导程时是以工件外径为计算参数的。

④铣削斜齿轮时不应按齿轮的实际齿数选用刀号，而应按当量齿数选用铣刀。

(2) 当量齿数的计算与铣刀的选择 铣削斜齿轮时，也是根据不同模数和齿数来选择刀号，但是这个刀号不能按实际齿数来选，而是要按当量齿数来选。实践证明，用当量齿轮的渐开线铣刀铣削斜齿轮的法面齿形时，齿形误差微小，对精度不高的斜齿轮是允许的。

计算斜齿轮当量齿数的方法如下：

1) 利用数学公式计算，即

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

式中 z ——斜齿轮实际齿数；

β ——斜齿轮的螺旋角；

z_v ——斜齿轮当量齿数。

2) 首先按斜齿轮螺旋角 β 的大小从表6-18中查出 K 值；然后用 K 乘以斜齿轮的实际齿数 z ，就得到当量齿数，即

$$z_v = Kz$$

表 6-18 求当量齿数的 K 值表

β	K	β	K	β	K
0°0'	1.000	7°30'	1.026	15°0'	1.110
0°30'	1.000	8°0'	1.030	15°30'	1.118
1°0'	1.001	8°30'	1.034	16°0'	1.127
1°30'	1.001	9°0'	1.038	16°30'	1.136
2°0'	1.002	9°30'	1.042	17°0'	1.145
2°30'	1.003	10°0'	1.047	17°30'	1.154
3°0'	1.004	10°30'	1.052	18°0'	1.163
3°30'	1.005	11°0'	1.057	18°30'	1.172
4°0'	1.007	11°30'	1.062	19°0'	1.182
4°30'	1.009	12°0'	1.068	19°30'	1.193
5°0'	1.011	12°30'	1.074	20°0'	1.204
5°30'	1.013	13°0'	1.080	20°30'	1.216
6°0'	1.016	13°30'	1.087	21°0'	1.228
6°30'	1.019	14°0'	1.094	21°30'	1.241
7°0'	1.022	14°30'	1.102	22°0'	1.254

(续)

β	K	β	K	β	K
22°30'	1.268	42°30'	2.495	62°30'	10.160
23°0'	1.282	43°0'	2.557	63°0'	10.69
23°30'	1.297	43°30'	2.621	63°30'	11.27
24°0'	1.312	44°0'	2.687	64°0'	11.87
24°30'	1.328	44°30'	2.756	64°30'	12.55
25°0'	1.344	45°0'	2.828	65°0'	13.25
25°30'	1.360	45°30'	2.904	65°30'	14.03
26°0'	1.377	46°0'	2.983	66°0'	14.86
26°30'	1.395	46°30'	3.066	66°30'	15.80
27°0'	1.414	47°0'	3.152	67°0'	16.76
27°30'	1.434	47°30'	3.242	67°30'	17.84
28°0'	1.454	48°0'	3.336	68°0'	18.98
28°30'	1.474	48°30'	3.436	68°30'	20.31
29°0'	1.495	49°0'	3.540	69°0'	21.72
29°30'	1.517	49°30'	3.650	69°30'	23.33
30°0'	1.540	50°0'	3.767	70°0'	25.00
30°30'	1.563	50°30'	3.887	70°30'	26.88
31°0'	1.588	51°0'	4.012	71°0'	28.97
31°30'	1.613	51°30'	4.144	71°30'	31.40
32°0'	1.640	52°0'	4.284	72°0'	33.88
32°30'	1.667	52°30'	4.433	72°30'	36.92
33°0'	1.695	53°0'	4.586	73°00'	40.06
33°30'	1.724	53°30'	4.752	73°30'	43.88
34°0'	1.755	54°0'	4.925	74°0'	47.79
34°30'	1.787	54°30'	5.106	74°30'	52.36
35°0'	1.819	55°0'	5.295	75°0'	57.68
35°30'	1.853	55°30'	5.497	75°30'	64.15
36°0'	1.889	56°0'	5.710	76°0'	70.65
36°30'	1.926	56°30'	5.940	76°30'	79.20
37°0'	1.963	57°0'	6.190	77°0'	87.84
37°30'	2.003	57°30'	6.447	77°30'	99.50
38°0'	2.044	58°0'	6.720	78°0'	111.30
38°30'	2.086	58°30'	7.010	79°0'	144.00
39°0'	2.130	59°0'	7.321	80°0'	191.20
39°30'	2.177	59°30'	7.650	81°0'	261.40
40°0'	2.225	60°0'	8.000	82°0'	370.60
40°30'	2.275	60°30'	8.380	83°0'	552.40
41°0'	2.326	61°0'	8.780	84°0'	876.40
41°30'	2.380	61°30'	9.209	85°0'	1510.80
42°0'	2.436	62°0'	9.664	86°0'	2940.00
				87°0'	6990.00

例 28 有一斜齿轮，它的螺旋角 $\beta = 30^\circ$ ，齿数 $z = 18$ ，模数 $m_n = 3.5\text{mm}$ ，求其当量齿数 z_v 。

解：1) 第一种方法，用公式计算为

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta} = \frac{18}{\cos^3 30^\circ} = 27.72$$

2) 第二种方法, 根据 $\beta = 30^\circ$, 查表 6-18 得 $K = 1.540$, 则有

$$z_v = Kz = 1.540 \times 18 = 27.72$$

根据斜齿轮当量齿数选择铣刀刀号的方法有两种:

1) 查表法。此方法分以下两步进行:

①用当量齿数 z_v 的计算公式 $z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$ 计算出斜齿轮的当量齿数 z_v 。也可用公式 $z_v =$

Kz 。求当量齿数 z_v 。

②根据当量齿数由表 6-16 和表 6-17 中查得铣刀刀号。

本例查表 6-17 应选取 $m_n = 3.5\text{mm}$ 的 5 号铣刀。

2) 查图法。即根据斜齿轮的螺旋角和实际齿数由图 6-152 中查出铣刀号数。

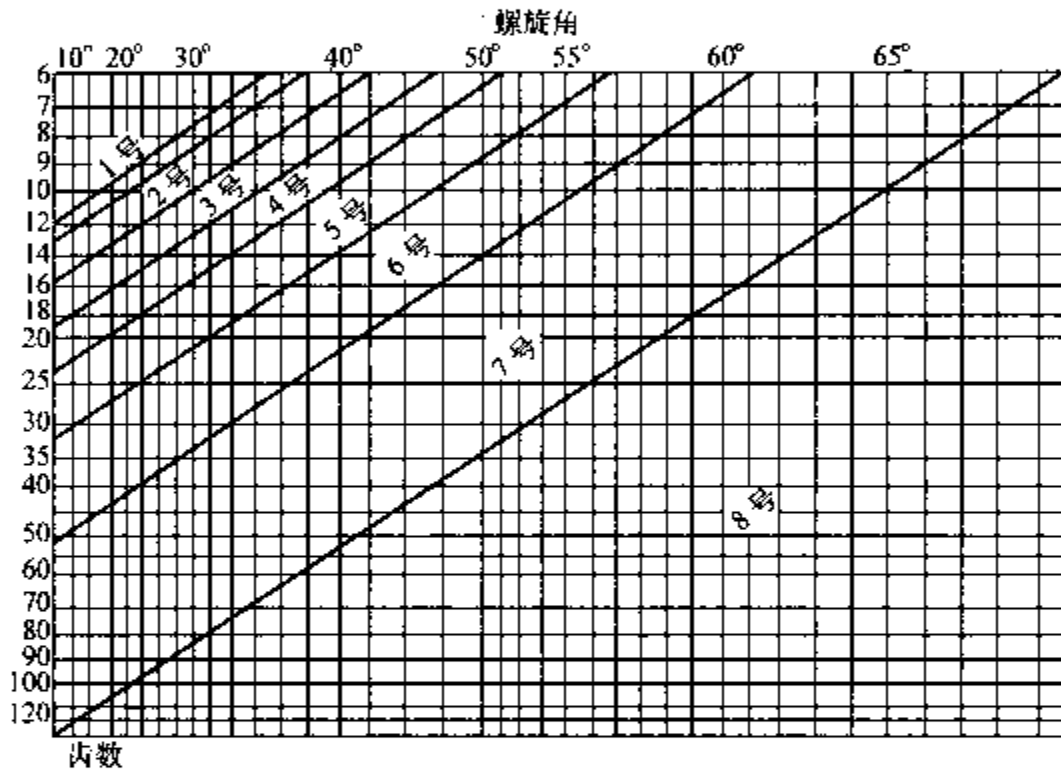


图 6-152 斜齿轮铣刀号数选用图

查图的方法如下: 在图中的横坐标上找到螺旋角度数, 再于纵坐标上找到齿轮的齿数, 则纵、横坐标的交点所在范围, 即是选择的铣刀的刀号区。

本例再采用查图法查取铣刀号数, 由图 6-152 所示斜齿轮铣刀刀号选用图查得的铣刀号数为 5 号, 即选用 5 号铣刀。这个结果与查表法选取的铣刀号数相同。

3) 交换齿轮的确定及安装 确定交换齿轮的方法有两种:

①计算法(参见图 6-153)。计算交换齿轮的公式为

$$i = \frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{40 P_{\text{丝}}}{L}$$

式中 i ——传动链的传动比;

z_1 、 z_2 、 z_3 、 z_4 ——分别为各交换齿轮的齿数;

$P_{\text{丝}}$ ——工作台纵向丝杠螺距(mm);

L ——工件导程(mm);

40——分度头常数。

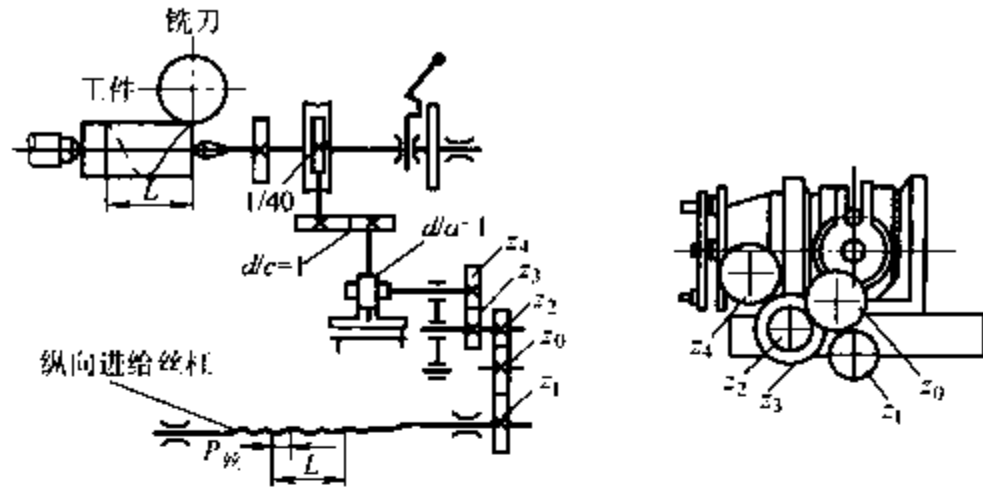
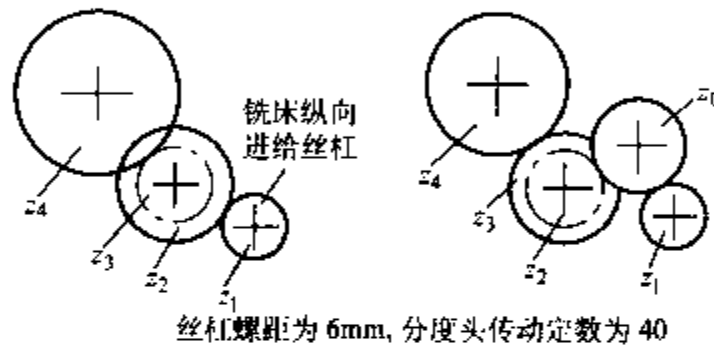


图 6-153 交换齿轮配置关系

②查表法。首先计算出工件螺旋槽的导程，再根据导程，从表 6-19 中即可查得交换齿轮。应当指出，这些表格的计算是近似的，但在一般情况下可以满足精度要求。

表 6-19 导程交换齿轮表



导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
16.67	100	25	90	25	32.14	80	25	70	30
18.75	100	25	80	25	32.73	100	25	55	30
20.00	100	25	90	30	33.33	90	25	60	30
20.83	90	25	80	25	34.09	80	25	55	25
21.43	100	25	70	25	34.28	100	25	70	40
22.50	100	25	80	30	35.00	100	25	60	35
23.33	100	25	90	35	35.71	70	25	60	25
23.81	90	25	70	25	36.00	100	30	70	35
25.00	100	25	60	25	36.36	90	25	55	30
25.71	100	25	70	30	36.67	100	25	90	55
26.25	100	25	80	35	37.33	100	35	90	40
26.67	100	25	90	40	37.50	100	25	80	50
26.79	80	25	70	25	38.10	90	25	70	40
27.27	100	25	55	25	38.18	100	25	55	35
27.78	90	25	60	25	38.89	90	25	60	35
28.00	100	30	90	35	38.96	70	25	55	25
28.57	90	25	70	30	40.00	100	30	90	50
29.17	90	25	80	35	40.91	80	25	55	30
30.00	100	25	70	35	41.14	100	30	70	40
30.30	90	25	55	25	41.25	100	55	80	25
31.25	80	25	60	25	41.67	90	25	80	50
31.50	100	30	80	35	42.00	100	30	60	35
32.00	100	30	90	40					

(续)

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
42.42	90	25	55	35	60.61	90	25	55	50
42.86	100	25	70	50	61.09	100	35	55	40
43.64	100	25	55	40	61.11	90	25	60	55
43.75	80	25	60	35	61.22	70	25	35	25
44.00	100	30	90	55	61.71	100	30	70	60
44.44	90	25	60	40	62.22	90	35	60	40
45.00	100	25	80	60	62.34	70	25	55	40
45.45	60	25	55	25	62.50	80	25	60	50
45.71	90	30	70	40	62.86	90	30	70	55
45.82	100	30	55	35	63.00	100	30	80	70
45.83	90	25	80	55	63.64	60	25	55	35
46.67	90	35	80	40	64.00	100	40	90	60
46.75	70	25	55	30	64.17	90	35	80	55
46.88	80	25	40	25	64.29	80	25	70	60
47.14	100	25	70	55	65.33	100	35	90	70
47.62	90	25	70	50	65.45	80	30	55	40
47.73	80	25	55	35	66.00	100	35	70	55
48.00	100	60	90	30	67.20	100	35	50	40
48.49	90	25	55	40	67.50	100	25	80	90
49.50	100	30	80	55	67.88	90	35	55	40
50.00	100	25	60	50	68.18	80	25	55	60
50.40	100	30	50	35	68.57	100	25	70	80
50.91	90	30	55	35	68.75	80	25	60	55
51.33	100	35	90	55	70.00	80	35	60	40
51.43	100	25	70	60	70.71	80	30	70	55
52.36	100	30	55	40	71.43	70	25	60	50
52.50	100	25	80	70	72.00	100	40	80	60
53.33	100	25	90	80	72.73	90	25	55	60
53.57	80	25	70	50	73.33	90	40	80	55
54.00	100	30	80	60	73.47	70	25	35	30
54.55	80	25	55	40	73.50	100	35	80	70
55.00	90	30	80	55	74.67	100	35	90	80
55.56	90	25	60	50	74.81	70	30	55	40
56.00	100	30	90	70	75.00	100	25	40	50
56.25	80	25	40	30	75.43	100	40	70	55
56.57	100	30	70	55	76.19	90	25	70	80
57.14	70	25	60	40	76.36	80	35	55	40
57.27	80	30	55	35	77.00	100	35	60	55
57.60	100	30	50	40	77.14	80	30	70	60
57.75	100	35	80	55	77.78	90	25	60	70
58.18	90	30	55	40	77.92	70	25	55	50
58.33	90	25	80	70	78.55	100	30	55	60
58.67	100	40	90	55	78.57	70	25	60	55
58.93	80	25	70	55	78.75	80	30	40	35
60.00	100	40	80	50	79.20	100	30	50	55

(续)

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
80.00	100	50	90	60	104.70	100	30	55	80
81.00	100	30	80	60	104.76	90	25	35	55
81.67	90	35	80	70	105.00	100	50	80	70
81.82	80	25	55	60	105.60	100	40	50	55
82.29	100	30	70	80	106.67	100	50	90	80
82.50	100	50	80	55	106.91	100	35	55	70
83.33	60	25	30	25	107.14	80	25	70	100
83.81	90	40	70	55	108.00	100	40	80	90
84.00	100	40	80	70	108.89	90	35	60	70
84.85	90	25	55	70	109.09	80	40	55	50
85.56	90	35	60	55	109.71	100	40	70	80
85.71	100	25	35	50	110.00	80	40	60	55
86.40	100	30	50	60	111.11	50	25	60	100
87.27	90	30	55	60	112.00	100	60	90	70
87.50	80	25	60	70	112.21	70	30	55	60
88.00	100	55	90	60	112.50	80	25	60	90
88.89	90	25	60	80	113.14	100	55	70	60
90.00	100	50	80	60	114.29	90	30	70	100
90.91	60	25	55	50	114.55	80	30	55	70
91.43	90	30	70	80	115.20	100	30	50	80
91.64	100	30	55	70	115.50	100	55	80	70
91.67	90	50	80	55	115.71	80	30	70	90
92.40	100	35	50	55	116.36	90	30	55	80
92.57	100	30	70	90	116.67	90	35	80	100
93.33	100	50	90	70	117.33	100	55	90	80
93.51	70	25	55	60	117.55	70	30	35	40
93.75	80	25	40	50	117.60	100	35	50	70
94.29	100	50	70	55	117.82	100	30	55	90
94.50	100	35	80	90	117.86	80	50	70	55
95.24	90	25	70	100	120.00	90	30	40	60
95.45	80	25	55	70	121.21	90	25	55	100
96.00	100	35	70	80	121.91	90	40	70	80
96.25	80	35	60	55	122.18	100	35	55	80
96.97	90	25	55	80	122.22	90	50	60	55
97.78	90	40	60	55	122.45	70	25	35	50
97.96	70	25	35	40	122.50	80	35	60	70
98.00	100	35	60	70	122.73	80	25	55	90
98.18	80	30	55	60	123.43	100	40	70	90
99.00	100	55	80	60	123.75	80	30	40	55
100.00	80	40	60	50	124.44	90	35	60	80
100.80	100	30	50	70	124.68	70	25	55	80
101.82	90	35	55	60	125.00	80	25	60	100
102.67	100	55	90	70	125.71	70	40	60	55
102.36	100	50	70	60	126.00	100	60	80	70
103.13	80	25	40	55	127.27	60	25	55	70

(续)

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
128.00	100	60	90	80	155.84	70	25	55	100
128.33	90	55	80	70	157.09	100	40	55	90
128.57	70	25	60	90	157.14	70	50	60	55
129.60	100	50	50	90	157.50	80	35	60	90
130.67	90	35	50	70	158.40	100	55	50	60
130.91	80	40	55	60	160.00	100	50	60	80
131.25	80	25	40	70	161.63	70	30	35	55
132.00	100	25	25	55	162.00	100	60	80	90
133.33	90	40	80	100	163.33	90	35	40	70
133.64	80	35	55	70	163.64	60	25	55	90
134.40	100	35	50	80	164.57	100	60	70	80
134.69	70	25	35	55	165.00	100	50	40	55
135.00	80	35	70	90	166.67	90	50	80	100
135.76	90	35	55	80	167.62	90	55	70	80
136.36	80	25	55	100	168.00	100	35	40	80
137.14	100	50	70	80	168.31	70	30	55	90
137.45	100	35	55	90	168.75	80	25	40	90
137.50	80	50	60	55	169.70	90	35	55	100
139.64	100	40	55	80	169.71	100	55	70	90
140.00	90	60	80	70	170.67	90	40	50	80
140.26	70	25	55	90	171.11	90	55	60	70
141.43	80	30	35	55	171.43	80	40	70	100
142.22	90	40	60	80	171.82	80	35	55	90
142.86	70	25	60	100	172.80	100	40	50	90
144.00	100	40	60	90	174.55	100	50	55	80
144.38	80	35	40	55	175.00	80	35	60	100
145.45	90	30	55	100	176.00	90	55	50	60
146.67	90	25	25	55	178.33	70	30	35	60
146.94	70	25	35	60	177.78	90	40	60	100
147.00	100	35	40	70	178.18	60	35	55	70
147.27	80	30	55	90	180.00	80	40	60	90
148.50	100	55	80	90	181.82	60	25	55	100
149.33	100	70	90	80	182.86	90	60	70	80
149.61	70	30	55	80	183.27	100	60	55	70
150.00	80	35	70	100	183.33	90	55	60	100
150.86	100	40	35	55	183.75	80	35	40	70
151.00	90	30	35	70	184.80	100	55	50	70
151.20	100	35	50	90	185.14	100	60	70	90
152.38	90	40	70	100	186.67	90	35	50	100
152.73	100	50	55	70	187.01	70	30	55	100
153.60	100	40	50	80	187.50	80	25	40	100
154.00	100	55	60	70	188.57	80	40	35	55
154.29	100	50	70	90	189.00	100	70	80	90
155.15	90	40	55	80	190.48	90	50	70	100
155.56	90	35	60	100	190.91	80	35	85	100

(续)

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
192.00	100	40	35	70	235.10	70	30	35	80
192.50	80	55	60	70	235.20	100	35	25	70
192.86	80	50	70	90	235.64	100	60	55	90
193.94	90	40	55	100	235.71	80	55	70	100
195.56	90	55	60	80	236.25	80	35	40	90
195.92	70	25	35	80	237.60	100	55	50	90
196.00	100	35	30	70	240.00	80	40	25	50
196.36	100	50	55	90	242.42	90	50	55	100
198.00	100	55	60	90	243.81	90	40	35	80
199.48	70	70	55	80	244.36	100	70	55	80
200.00	90	60	80	100	244.44	90	55	60	100
201.60	100	60	50	70	244.90	70	25	35	100
202.50	80	30	40	90	245.00	80	35	30	70
203.64	90	60	55	70	245.45	80	50	55	90
205.33	90	55	50	70	246.86	100	80	70	90
205.71	100	50	35	60	247.50	80	55	60	90
206.25	80	50	40	55	248.89	90	70	60	80
209.45	100	60	55	80	249.35	70	40	55	100
209.62	90	55	70	100	250.00	80	50	60	100
210.00	100	50	40	70	251.43	70	55	60	80
211.20	100	55	50	80	252.00	100	70	60	90
212.14	80	55	70	90	254.55	60	35	55	100
213.33	90	40	50	100	256.00	90	60	50	80
213.82	55	35	50	70	256.67	90	55	40	70
214.29	80	50	70	100	257.14	80	60	70	100
215.51	70	40	35	55	259.20	100	60	50	90
216.00	100	25	25	90	261.33	90	35	25	70
217.78	90	35	30	70	261.72	60	40	55	90
218.18	80	40	55	100	262.50	80	35	40	100
219.43	100	40	35	80	264.00	100	55	40	80
220.00	90	55	40	60	264.49	70	30	35	90
220.41	70	25	35	90	266.67	90	50	35	70
222.22	90	50	60	100	267.27	55	35	40	70
224.00	90	60	50	70	268.80	100	70	50	80
224.42	70	40	55	90	270.00	100	50	40	90
225.00	80	50	60	90	271.52	90	70	55	80
226.29	100	55	35	60	272.73	80	50	55	100
228.57	90	60	70	100	274.29	100	50	35	80
229.09	80	60	55	70	274.91	100	70	55	90
230.40	100	60	50	80	275.00	80	55	60	100
231.00	100	55	40	70	279.27	55	40	50	80
231.43	80	60	70	90	280.00	90	60	40	70
232.73	90	60	55	80	280.52	70	50	55	90
233.33	90	70	80	100	282.86	70	55	60	90
234.67	90	55	50	80	284.44	90	40	30	80

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
285.71	70	50	60	100	347.62	90	40	35	100
288.00	100	80	60	90	349.09	55	40	50	100
288.75	80	55	40	70	350.00	80	70	60	100
290.91	60	40	55	100	352.00	100	55	30	80
293.33	90	55	50	100	352.65	70	40	35	90
293.88	70	30	35	100	355.56	90	80	60	100
294.00	80	35	25	70	356.36	55	35	30	70
294.55	80	60	55	90	360.00	80	60	35	70
297.00	100	55	40	90	363.64	55	25	30	100
298.67	90	70	50	80	366.71	90	60	35	80
299.22	70	60	55	80	366.55	55	60	50	70
300.00	80	50	35	70	366.67	90	55	40	100
301.71	100	55	35	80	369.60	100	55	25	70
302.40	100	70	50	90	370.29	100	60	35	90
304.76	90	80	70	100	371.25	80	55	40	90
305.45	55	35	50	100	373.33	90	70	50	100
307.20	100	40	25	80	374.03	70	60	55	100
308.00	100	55	30	70	375.00	80	50	40	100
308.57	100	50	35	90	377.14	70	55	30	60
311.11	90	70	60	100	378.00	100	70	40	90
311.69	70	50	55	100	380.95	90	50	35	100
313.47	70	40	35	80	381.82	80	70	55	100
314.18	100	80	55	90	384.00	100	70	35	80
314.29	70	55	60	100	385.00	80	55	30	70
315.00	80	70	60	90	385.71	80	90	70	100
316.80	100	55	25	60	387.88	90	80	55	100
320.00	90	60	50	100	391.11	90	55	30	80
323.27	70	55	35	60	391.84	70	40	35	100
324.00	100	60	40	90	392.00	60	35	25	70
326.67	60	35	30	70	392.73	55	25	25	90
327.27	80	60	55	100	396.00	100	55	30	90
329.14	100	60	35	80	398.96	55	40	35	80
330.00	80	55	35	70	400.00	90	60	40	100
333.33	90	50	40	100	403.20	100	60	25	70
335.24	90	55	35	80	405.00	80	60	40	90
336.00	100	70	40	80	407.27	60	70	55	80
336.62	70	60	55	90	410.67	90	55	25	70
337.50	80	50	40	90	411.43	70	80	60	90
339.39	90	70	55	100	412.50	80	55	40	100
339.43	100	55	35	90	418.91	55	60	50	80
341.33	90	40	25	80	419.05	90	55	35	100
342.22	90	55	30	70	420.00	80	60	30	70
342.86	80	40	35	100	422.40	100	55	25	80
343.64	80	70	55	90	424.29	80	55	35	90
345.60	100	80	50	90	426.67	90	80	50	100

(续)

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
427.64	55	35	25	70	523.64	60	80	55	90
428.57	80	50	35	100	525.00	80	70	40	100
431.02	70	55	35	80	528.98	70	60	35	90
432.00	100	80	40	90	533.33	90	80	40	100
436.36	55	50	40	80	537.60	100	70	25	80
438.86	70	40	25	80	538.77	70	55	35	100
440.00	60	50	25	55	540.00	80	70	35	90
444.44	90	50	30	100	545.45	55	50	40	100
448.00	100	70	30	80	548.57	70	60	30	80
448.83	70	80	55	90	549.82	55	70	50	90
450.00	80	90	60	100	550.00	80	55	30	100
452.57	70	55	25	60	558.55	55	40	25	80
457.14	70	80	60	100	560.00	60	35	25	100
458.18	60	70	55	90	561.04	70	90	55	100
460.80	100	60	25	80	565.71	70	55	30	90
462.00	80	55	25	70	571.43	70	50	30	100
462.86	80	60	35	90	576.00	100	80	30	90
465.45	55	40	30	80	581.82	60	80	55	100
466.67	90	70	40	100	586.67	90	55	25	100
469.33	90	55	25	80	587.71	70	60	35	100
470.20	70	60	35	80	588.00	40	35	25	70
470.40	50	35	25	70	594.00	80	55	25	90
471.27	55	60	50	90	596.00	60	55	25	70
471.43	80	55	35	100	597.85	90	70	25	80
472.50	80	70	40	90	598.44	55	60	35	80
475.20	100	55	25	90	600.00	80	70	35	100
480.00	80	40	25	100	603.43	70	55	25	80
484.90	70	55	35	90	604.80	100	70	25	90
488.73	55	70	50	80	609.52	90	80	35	100
488.89	90	55	30	100	610.91	55	70	50	100
489.80	70	50	35	100	614.40	50	40	25	80
490.00	40	35	30	70	617.14	70	60	30	90
490.91	80	90	55	100	622.22	90	70	30	100
493.71	70	40	25	90	623.38	55	50	35	100
495.00	80	55	30	90	628.36	55	80	50	90
497.78	90	70	30	80	628.57	70	55	30	100
498.70	70	80	55	100	630.00	80	70	30	90
500.00	80	50	30	100	633.60	50	55	25	60
502.86	70	55	30	80	640.00	90	60	25	100
504.00	100	70	80	90	648.00	80	60	25	90
509.09	60	70	55	100	654.55	60	90	55	100
512.00	90	60	25	80	658.29	70	60	25	80
513.33	60	55	30	70	660.00	80	55	25	100
514.29	80	60	35	100	666.67	60	50	30	100
518.40	100	60	25	90	672.00	50	35	25	100

(续)

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
673.25	55	60	35	90	905.14	35	55	25	60
675.00	80	60	40	100	914.29	70	80	30	100
678.86	70	55	25	90	916.36	55	70	30	90
685.71	40	80	70	100	921.60	50	60	25	80
687.28	55	70	40	90	924.00	40	55	25	70
691.20	100	80	25	90	925.71	40	60	35	90
698.18	55	80	50	100	933.33	60	70	30	100
700.00	80	70	30	100	940.80	25	35	25	70
704.00	60	55	25	80	942.55	55	60	25	90
711.11	90	80	30	100	942.86	40	55	35	100
720.00	80	60	25	100	950.40	50	55	25	90
727.27	55	50	30	100	960.00	60	80	30	90
731.43	35	40	30	80	977.45	55	70	25	80
733.09	55	60	25	70	981.82	55	90	40	100
733.33	60	55	30	100	987.43	70	80	25	90
739.20	50	55	25	70	990.00	40	55	30	90
740.57	70	60	25	90	997.40	55	80	35	100
746.67	90	70	25	100	1000.00	40	50	30	100
748.05	55	60	35	100	1005.71	35	55	30	80
754.29	70	55	25	100	1008.00	60	70	25	90
756.00	80	70	25	90	1018.18	55	70	30	100
763.64	55	70	40	100	1024.00	30	40	35	80
768.00	50	40	25	100	1028.57	70	90	30	100
770.00	40	55	30	70	1036.80	50	60	25	90
771.43	80	90	35	100	1047.27	55	80	30	90
783.67	70	80	35	100	1056.00	50	55	25	100
785.45	55	90	50	100	1066.67	60	80	30	100
792.00	60	55	25	90	1075.20	50	70	25	80
800.00	60	50	25	100	1080.00	80	90	25	100
806.40	50	60	25	70	1097.14	70	80	25	100
814.55	55	70	30	80	1099.64	55	70	25	90
822.86	70	80	30	90	1100.00	40	55	30	100
837.82	55	60	25	80	1120.00	60	70	25	100
840.00	80	70	25	100	1122.08	55	90	35	100
844.80	50	55	25	80	1134.43	35	55	30	90
848.57	40	55	35	90	1142.86	35	50	30	100
853.33	90	80	25	100	1152.00	60	80	25	90
857.14	40	50	35	100	1163.64	55	80	30	100
872.73	55	80	40	100	1188.00	40	55	25	90
877.71	35	40	25	80	1200.00	60	90	30	100
880.00	60	55	25	100	1206.86	35	55	25	80
881.63	70	90	35	100	1209.60	50	70	25	90
896.00	60	70	25	80	1221.82	55	70	25	100
897.66	55	80	35	90	1228.80	25	40	25	80
900.00	40	50	30	90	1232.00	30	55	25	70

(续)

导程 /mm	交换齿轮				导程 /mm	交换齿轮			
	z_1	z_2	z_3	z_4		z_1	z_2	z_3	z_4
1234.29	70	90	25	100	1728.00	50	90	25	100
1256.73	55	80	25	90	1760.00	30	55	25	100
1257.14	35	55	30	100	1792.00	30	80	25	70
1260.00	40	70	30	90	1800.00	40	90	30	100
1267.20	25	55	25	60	1828.57	35	80	30	100
1280.00	60	80	25	100					
1296.00	40	60	25	90	1843.20	25	60	25	80
1309.09	30	90	55	100	1900.80	25	55	25	90
1316.57	35	60	25	80	1920.00	40	80	25	100
1320.00	40	55	25	100	1974.86	35	80	25	90
1344.00	50	70	25	100	2016.00	30	70	25	90
1357.71	35	55	25	90					
1371.43	40	80	35	100	2057.14	35	90	30	100
1382.40	50	80	25	90	2073.60	25	60	25	90
1396.36	55	80	25	100	2112.00	25	55	25	100
1400.00	40	70	30	100	2150.40	25	70	25	80
1408.00	30	55	25	80	2160.00	40	90	25	100
1440.00	40	80	30	90					
1478.40	25	55	25	70	2194.29	35	80	25	100
1418.14	35	60	25	90	2240.00	30	70	25	100
1508.57	35	55	25	100	2304.00	30	80	25	90
1512.00	40	70	25	90	2419.20	25	70	25	90
1536.00	50	80	25	100	2468.57	35	90	25	100
1542.86	40	90	35	100					
1570.91	55	90	25	100	2560.00	30	80	25	100
1584.00	30	55	25	90	2688.00	25	70	25	100
1600.00	40	80	30	100	2764.80	25	80	25	90
1612.80	25	60	25	70	2880.00	30	90	25	100
1645.71	35	80	30	90	3072.00	25	80	25	100
1680.00	40	70	25	100	3456.00	25	90	25	100
1689.60	25	55	25	80					

例 29 在 X62W 铣床上用 FW250 分度头加工一螺旋槽，工件外径 $D = 26\text{mm}$ ，螺旋角 $\beta = 4^\circ 24'$ ，试选择交换齿轮。

解：第一步求工件导程 L

$$L = \pi D \cot \beta = 3.1416 \times 26\text{mm} \times \cot 4^\circ 24' = 1061.534\text{mm}$$

第二步查表 6-19。由表可知，计算所得导程与表中 1066.67 最相近，故取交换齿轮为

$$\frac{z_1 z_3}{z_2 z_4} = \frac{60 \times 30}{80 \times 100}$$

即 $z_1 = 60$ ， $z_2 = 80$ ， $z_3 = 30$ ， $z_4 = 100$ 。

应用这套交换齿轮，工件螺旋角就会产生一定的误差，所以采用这套交换齿轮时的实际螺旋角可计算得

$$\cot\beta = \frac{L}{\pi D} = \frac{1066.67}{3.1416 \times 26} = 13.0589$$

即得

$$\beta = 4^{\circ}22'$$

可见，螺旋角误差是 $2'$ ，这对一般用途的螺旋槽来说是允许的。

安装交换齿轮的注意事项如下：

1) 主动齿轮和从动齿轮的位置不能安错；有时为便于搭配，主动齿轮 z_1 和 z_3 的位置可以互换，同样，从动齿轮 z_2 和 z_4 的位置也可以互换。

2) 齿轮之间应保持一定的啮合间隙，切勿过紧或过松。

3) 由于工件螺旋槽有左旋和右旋之分，所以安装交换齿轮时应注意工件的转向，如转向不对，可增加或减少中间介轮来纠正。

4) 交换齿轮安装后，要检查交换齿轮的计算和搭配是否正确，通常可用如下方法检验：在纵向工作台和床鞍之间用粉笔划一标记，然后摇动工作台手轮，使工件旋转 360° ，检验工作台是否移动了一个导程。当工件导程较大时，可使工件转 180° 或 90° ，然后检验工作台是否移动了 $1/2$ 或 $1/4$ 的导程。

(4) 在铣床上铣削斜齿轮的方法步骤

1) 认真阅读斜齿轮工作图。

2) 检查齿坯尺寸、几何精度和相互位置精度，各项应符合图样要求。

3) 计算导程、交换齿轮、当量齿数(并选择铣刀刀号)、分度手柄转数、铣削深度及刻度格数等。

4) 安装分度头、尾座及交换齿轮，并加以调整。

5) 安装工件。安装时应根据工件的几何形状特点而定。如对于有中心孔的齿轮坯，一般采用心轴定位，以螺母紧固，装在两顶尖之间；对于齿轮轴，则用一夹一顶的方式装夹。

6) 调整工作台，即把工作台根据螺旋角的大小和方向转过一个角度，并调整工作台横向位置，使床身与工作台有适当的距离，以保证工作台运动时不致碰到床身。

7) 安装铣刀，其安装位置应与工作台和床身之间的距离相适应，不可装得太靠里。

8) 对中。常用两种方法，一是先对中后扳角度，二是先扳角度后对中。通常前一种方法应用较多。

9) 确定铣削用量。由于铣削斜齿轮时分度头主轴不能紧固，易产生振动，所以相比铣削直齿圆柱齿轮的铣削用量略低些。

10) 开动机床，检查分度头主轴的旋转方向和交换齿轮传动是否正常。

11) 进行铣削。铣好一齿后，降低工作台并退回原处分度，再铣第二齿。

(5) 铣削斜齿轮时的注意事项

1) 交换齿轮计算必须正确，工作前应当用手摇动进给手柄观察心轴转动方向及交换齿轮的啮合情况是否正常。

2) 要拔出分度盘后面的定位销，松开分度头侧面的紧固螺钉。

3) 因机床进给系统中有间隙存在，所以工作台回程时必须下降工作台，以防擦伤已铣好的齿槽。

4) 工作台转动后与床身应有适当的距离，否则将有损坏机床的危险。

5) 在没有正式铣削之前，必须进行试铣，观察交换齿轮、导程、分度等是否正确。

6. 铣削斜齿轮可能出现的质量问题及对策

(1) 防止齿面表面粗糙度值过大的对策

- 1) 确保铣刀锋利, 不用钝铣刀切削。
- 2) 保证刀杆的刚度足够, 防止铣刀摆差过大。
- 3) 粗、精铣最好分开, 铣削用量选择要合适。
- 4) 传动系统的刚性要好。

(2) 防止齿顶或齿根有干涉过切现象的对策

- 1) 保证铣刀号数选取得正确无误。
- 2) 选取铣刀号数时不能用实际齿数, 而是依据当量齿数, 所以应保证当量齿数的计算要正确。

(3) 防止导程不准的对策

- 1) 在正式铣削前, 可在齿坯上切出浅刀痕, 检查导程正确后再正式铣削。
- 2) 确保交换齿轮计算无误, 安装正确。

7. 铣削蜗轮的方法步骤

蜗杆蜗轮传动主要用于传递两垂直交错轴间具有固定传动比的回转运动和功率, 其交错角通常为 90° 。由于降速比大, 结构紧凑, 传动平稳, 所以应用非常广泛。

蜗杆通常在车床上加工。蜗轮一般都在滚齿机上用蜗轮滚刀以展成法加工, 加工精度和生产效率都很高。对于单件生产或小批量精度较低的蜗轮也可在铣床上铣削。

铣削蜗轮需要两道工序, 即用模数盘铣刀粗铣齿槽, 再用滚刀精铣。具体加工步骤如下:

(1) 用模数盘铣刀粗铣蜗轮

①装夹工件与校正分度头。先将蜗轮毛坯装在有中心孔的心轴上, 再将心轴装夹在前后顶尖之间。然后校正径向圆跳动, 并通过卡箍和前顶尖拨盘把心轴固定在分度头主轴上。

②选择与安装铣刀。铣削蜗轮的铣刀直径应等于与蜗轮啮合的蜗杆直径, 再加两倍的径向齿隙。如果没有这样的铣刀, 则要用直径较大的铣刀, 切不可采用比蜗杆直径还小的铣刀进行铣削。代用的盘铣刀号数应按蜗轮的当量齿数 z_v 来选用。当量齿数 z_v 的计算公式为

$$z_v = \frac{z}{\cos^3 \beta}$$

式中 z ——蜗轮的实际齿数;

β ——蜗轮的螺旋角。

铣刀选好后, 把它安装在心轴上。

③铣刀对中。为保证铣刀准确地对准蜗轮的中心, 必须对蜗轮坯进行两个方面的调整: 一是移动横向工作台, 使蜗轮坯轴线在铣刀厚度的对称中心面内(见图 6-154a), 以免铣出的齿形偏斜。二是移动纵向工作台, 使铣刀的轴线在蜗轮的中心平面内(见图 6-154b)。

具体的调整方法有两种:

第一种方法。先用直尺靠在蜗轮坯的一个侧面上, 移动纵向工作台, 使直尺与铣刀杆接触, 然后再将工作台移

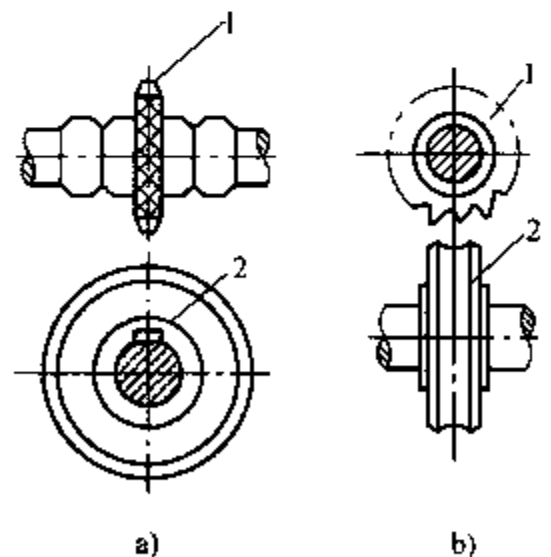


图 6-154 铣蜗轮时铣刀与蜗轮坯的中心位置
1—铣刀 2—蜗轮坯

动一个距离 B_1 ，如图 6-155a 所示。 B_1 可按下式计算

$$B_1 = \frac{D - b}{2}$$

式中 D ——刀杆直径(mm)；
 b ——蜗轮坯宽度(mm)。

第二种方法。先目测，大致将铣刀与蜗轮坯厚度中心对正，然后调整好工作台和分度头。开动机床，将工作台慢慢升高，使铣刀在蜗轮坯圆弧中切削(见图 6-155b)，如果两弧尖 A 与 B 均吃刀，则为正确位置；否则可移动纵向工作台调整。

④工作台扳转角度。因为蜗轮的轮齿与轴线倾斜一个螺旋角 β ，所以铣削蜗轮时，为了使铣刀的旋转平面和齿槽方向一致，必须将工作台旋转一个角度 β 。切记：蜗轮轮齿右旋时，工作台逆时针旋转，轮齿左旋时，工作台顺时针旋转。

⑤铣削。开动机床后，首先将工作台慢慢升起，这时铣刀从蜗轮坯圆弧的两弧尖开始铣削，并使两弧尖均匀吃刀。当铣刀微微碰到圆弧最低点时，记住升降工作台上行的起始值，切深到接近全齿高时，在槽深上留约 0.5mm，作为精铣的余量。记住两个位置的值，目的是铣削以后各齿时能保证同一尺寸。第一个齿槽铣完后，降下工作台，通过分度手柄分齿，用同样方法依次铣完各齿。

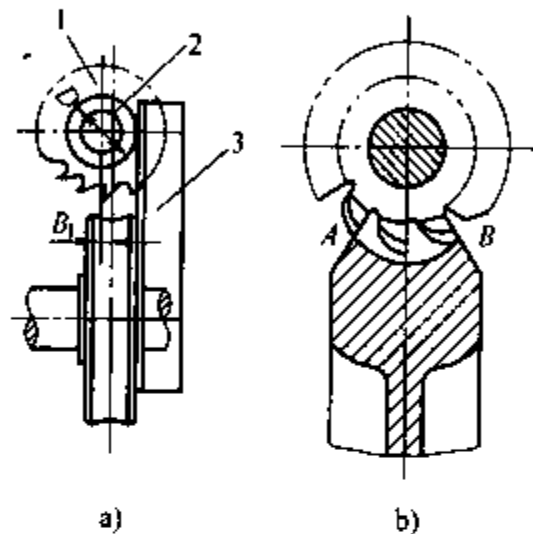


图 6-155 调整蜗轮坯与铣刀对中
 a) 调整铣刀与蜗轮厚度中心
 b) 切痕调整中心
 1—铣刀 2—刀轴 3—直尺

(2) 用滚刀精铣蜗轮

①拆下粗铣铣刀，装上一把模数相同、直径与同蜗轮啮合的蜗杆直径相等的滚刀。

②将蜗轮心轴上的鸡心夹头拆下，使蜗轮坯能自由转动。

③把工作台扳动一个适当的角度，当滚刀导程角与蜗轮螺旋角相等，滚刀螺旋线和蜗轮螺旋线方向相同时，工作台不需要扳动任何角度；当滚刀的导程角和螺旋方向与蜗轮的螺旋角和轮齿方向不同时，工作台需要扳动的角度和方向如图 6-156 所示。

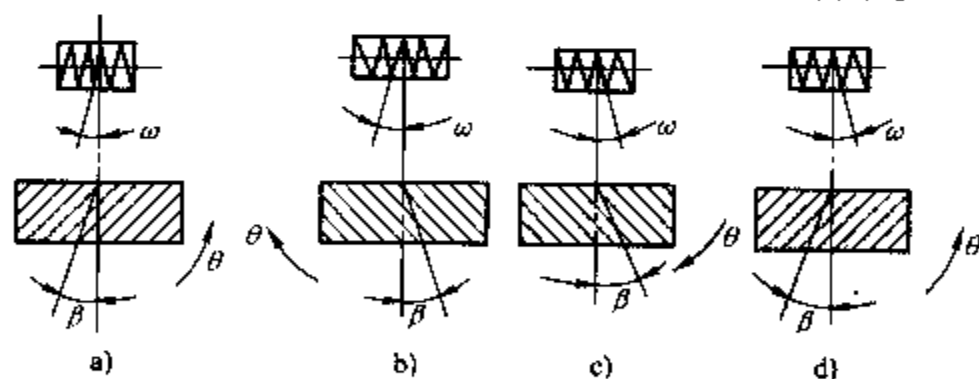


图 6-156 精铣蜗轮时工作台的转动方向

- a) 用右旋滚刀铣右旋蜗轮
- b) 用右旋滚刀铣左旋蜗轮
- c) 用左旋滚刀铣左旋蜗轮
- d) 用左旋滚刀铣右旋蜗轮

用右旋滚刀铣右旋蜗轮(图 6-156a)时，工作台应转的角度 θ 为

$$\theta = \beta - \omega$$

当 $\beta > \omega$ 时,工作台逆时针方向转动;反之,工作台顺时针方向转动。
用右旋滚刀铣左旋蜗轮(图 6-156b)时,工作台应顺时针转过一个角度 θ

$$\theta = \beta + \omega$$

用左旋滚刀铣左旋蜗轮(图 6-156c)时,工作台应转过的角度 θ 为

$$\theta = \beta - \omega$$

当 $\beta > \omega$ 时,工作台应顺时针方向旋转;当 $\beta < \omega$ 时,应逆时针方向旋转。

用左旋滚刀铣右旋蜗轮(图 6-156d)时,工作台应逆时针转过一个角度 θ

$$\theta = \beta + \omega$$

④把工作台升高,使滚刀与粗铣过的蜗轮微微啮合,然后开动铣床,使滚刀旋转,则蜗轮也随着一起转动。这时,慢慢地将工作台升高,蜗轮在转动过程中,即可铣出齿来。直到工作台升高到齿全高,再使蜗轮在这个位置转动数转后,蜗轮的精铣就完成了。

⑤检验。

8. 断续分度飞刀铣蜗轮

飞刀铣蜗轮的应用场合是,工件数量不多,或者没有蜗轮滚刀,或者缺少滚齿机,在这些情况下就可以采用飞刀加工精度要求不高、模数较小和蜗杆线数较少的蜗轮。用这种方法加工蜗轮,刀具简单,制造方便。只要飞刀齿形正确,操作得当,加工精度可接近用蜗轮滚刀加工蜗轮的精度。缺点是操作较麻烦,生产率较低。

(1) 飞刀铣蜗轮的工作原理 当蜗杆和蜗轮啮合传动时,沿蜗杆轴向剖面内,相当于齿轮和齿条的啮合。蜗杆转动一圈,相当于齿条沿轴向移动一个齿距(单线蜗杆)或几个齿距(多线蜗杆),蜗轮则相应转过一个齿或几个齿。蜗杆继续转动,蜗轮也继续转过相应的齿数。倘若蜗杆具有切削刃,就可以进行切削(滚刀滚切蜗轮即如此),所以取其一齿就是一把飞刀。用它来展成蜗轮,同样满足上述运动关系,也就是说,飞刀切削刃沿轴向移动一个齿距时,蜗轮相应转过一个齿,这个运动称为展成运动。但在铣床上,飞刀的轴向运动由

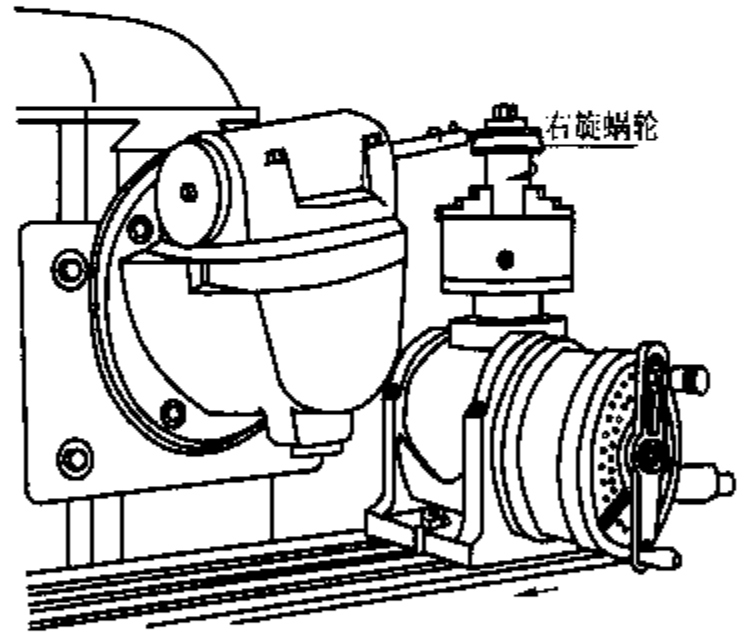


图 6-157 在铣床上飞刀铣蜗轮

工作台带动蜗轮移动一个齿距来代替。为了切出蜗轮所有的齿,除了展成运动外,蜗轮相对于飞刀还必须作分齿运动,由于刀具与工件间没有固定联系,只能断续分度。

图 6-157 所示为在铣床上飞刀铣蜗轮的简图。

(2) 飞刀铣蜗轮的方法步骤

1) 把分度头安装在工作台上的适当位置,并将分度头主轴转至垂直位置,然后把蜗轮坯装在三爪自定心卡盘内,并校正其外圆与分度头主轴的同轴度。

2) 将飞刀刀头安装在刀杆上,使飞刀的旋转半径等于蜗杆半径加上径向齿隙。再把刀杆装入主轴孔内,用拉杆拉紧。

3) 把铣头扳转一个角度,使刀杆的轴线与工作台平面的夹角等于蜗轮的螺旋角 β 。铣头扳转角度的方向按表 6-20 选择。

表 6-20 铣头扳角度方向和工件旋转方向及中间轮配置

刀具位置		在工件外边	在工件里边
铣头扳角度方向	右旋蜗轮	顺时针	逆时针
	左旋蜗轮	逆时针	顺时针
工作台运动方向	右旋蜗轮与左旋蜗轮一致		
工件旋转方向		逆时针	顺时针
两对齿轮		不加中间轮	加一中间轮
三对齿轮		加一中间轮	不加中间轮

4) 使刀杆中心线在蜗轮中心平面内。

5) 分齿计算, 与正齿轮时相同。

6) 搭配展成运动交换齿轮, 注意蜗轮坯转向与工作台转向, 参阅表 6-20 确定是否加中间轮。

7) 检查交换齿轮的齿数和搭配位置是否正确, 在蜗轮坯及工作台纵向手轮的刻度盘上同时各做一个记号, 然后转动纵向手轮, 使工作台纵向移动蜗轮圆周长度(πmz), 看蜗轮是否转一圈, 若不是转一圈, 则说明交换齿轮的齿数或搭配位置有错误。

8) 试铣。用飞刀法铣蜗轮时, 由于螺旋角受飞刀旋转与蜗轮坯旋转的展成运动的影响而产生一定的转角误差, 因此在试铣时使飞刀稍微切到轮坯, 便得一条浅痕。先检查刀痕螺旋方向是否正确, 然后再用游标万能角度尺测量刀痕的螺旋角是否正确, 若误差较大, 可扳转铣头加以调整。

9) 铣削。每铣完一齿后应停机。由于飞刀转动与齿坯转动之间没有固定联系, 因而不能连续分齿, 要在切出一齿后, 将刀头转向上方, 工作台退回原位, 分度后铣第二齿。吃刀次数可根据具体情况决定, 但至少应分粗精两次。

10) 检验。铣完第一齿后, 可用齿厚游标卡尺在蜗轮喉径上测量齿厚, 并根据测量结果调整飞刀中心线到蜗轮中心的距离, 合格后再依次铣出其余各齿。

第七章 数控难加工技术

一、多拐曲轴的加工

1. 曲轴类零件

如图 7-1 所示为曲轴类零件的实例。

曲轴的加工工艺复杂，特别是轴颈有很高的尺寸和形位公差要求，一般按 6 级精度制造，表面粗糙度不高于 $R_a 0.8 \mu\text{m}$ 。轴颈表面需要热处理以提高其耐磨性，常用的热处理形式为渗氮和高频感应淬火。

曲轴有一拐、两拐、三拐、四拐、六拐、八拐等几种，曲柄颈之间分别互成 90° 、 120° 、 180° 等角度。曲轴车削时，主要的车削部位是主轴颈和曲柄颈。必须解决的问题是增加曲轴的刚性和曲轴的装夹问题。

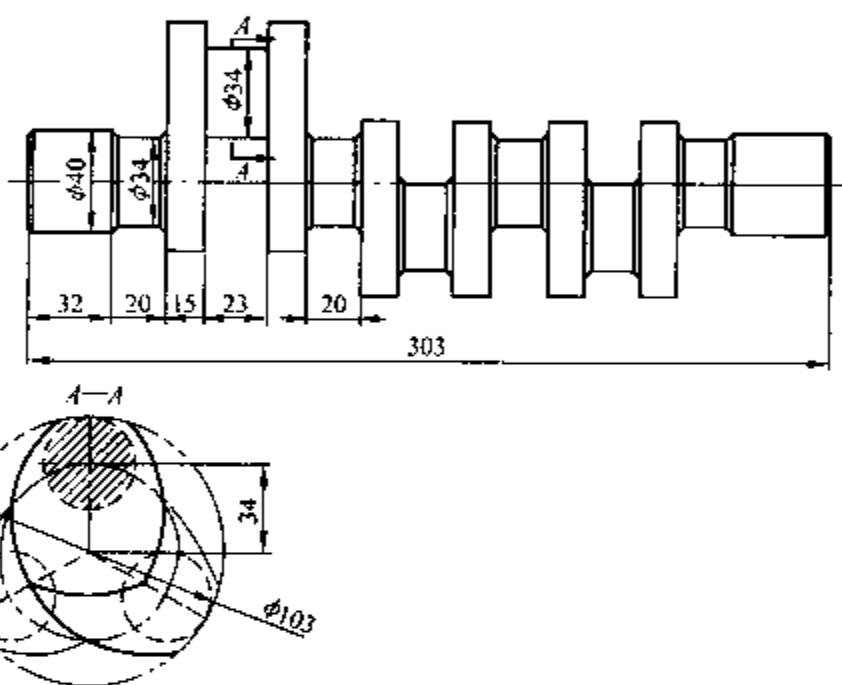
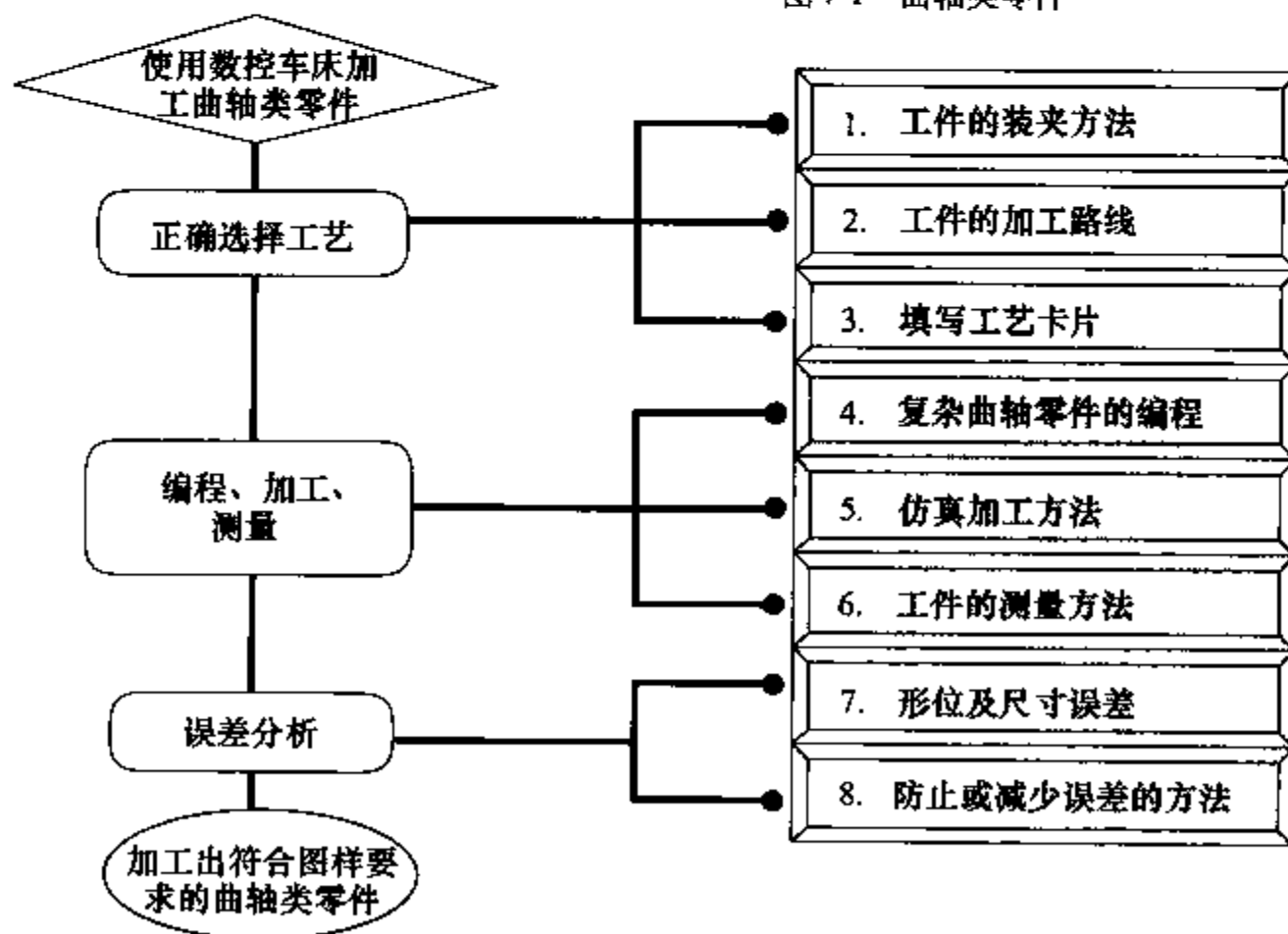


图 7-1 曲轴类零件

2. 工艺安排



3. 工艺过程

(1) 图样分析 如图 7-1 所示为三拐曲轴，其加工内容并不复杂，关键在于解决其安装方法。

主要技术要求如下：

- 1) 主轴颈， $\phi 34\text{mm}$ ；曲柄颈， $\phi 34\text{mm}$ 。
- 2) 曲柄颈与主轴颈距离(偏心距) $(34 \pm 0.1)\text{mm}$ ，曲柄颈夹角 $120^\circ \pm 15'$ 。
- 3) 各曲柄颈中心距离 $(73 \pm 0.15)\text{mm}$ 。

(2) 工艺分析

1) 材料为 45 钢调质圆料，使曲轴内部金属材料向有利的方向排列，提高了曲轴强度和可加工性。

2) 车曲柄颈时，采用偏心夹板保证曲柄颈与主轴颈间的距离、曲柄颈夹角。用偏心中心架支承，车曲柄颈和扇板开档，增加曲轴刚性。

3) 车削前，应进行平衡，以保证各轴颈圆度。

4) 曲柄颈和主轴颈精车后挤压，以降低表面粗糙度值和提高硬度，也可用曲轴磨床加工。

5) 曲轴精加工后应进行超声波探伤和动平衡实验。

6) 曲轴的长径比较大，又具有 6 个连颈，因此刚性较差。为防止变形，在加工过程中应当采取下列措施：选用有较高刚性的机床、刀具及夹具等，并用中心架来增强刚性，从而减少变形和振动；合理安排工序以减少加工变形；增设矫直工序。

7) 形状复杂，主轴颈和曲柄颈不在同一根轴线上，在曲柄颈加工中易产生不平衡的现象，应配备能迅速找正连颈的偏心夹具，且应加平衡块。

8) 技术要求高。曲轴的技术要求是很高的，其机械加工工艺过程随生产纲领和曲轴的复杂程度的不同而有很大的区别，但一般均包括以下几个主要阶段：定位基准的加工；粗、精车和粗磨各主颈及其他外圆；车曲柄颈；钻油孔；精磨各主轴颈及其他外圆；精磨曲柄颈；大、小头及键槽加工；轴颈表面处理；动平衡、磁粉检测。

可以看出，主轴颈或曲柄颈的车削工序都与磨削工序分开，往往中间安排一些不同的加工面或不同性质的工序。粗加工后会发生变形，因此常把粗、精加工分开，并在切削力较大的工序后面安排矫直工序，以保证加工精度。为了减小切削力所引起的变形，保证精加工的精度要求，精磨各轴颈时，一般采用单砂轮依次磨削。轴颈的加工要求高，主颈和连颈采用多次加工，使加工余量越来越小，切削力逐渐降低；同时由于粗、精加工工序分开进行，后工序就有可能消除前工序的误差，最终获得很高的精度和很低的表面粗糙度值。

(3) 定位基准选择

1) 粗基准的选择。为了保证中心孔钻在主颈毛坯外圆面的轴线位置上，选用主颈的外圆面为粗基准。同时为了保证所加工的基准面的轴向尺寸，一般选用第四主颈两侧扇板面为轴向粗基准。

2) 辅助粗基准的选择。在扇板上铣出两个工艺平面，作为加工曲柄颈时所用的辅助粗基准。

3) 精基准的选择。加工主颈及与其同轴的轴颈外表面时，以中心孔为精基准。加工曲柄颈时，用加工的法兰和小头的外圆及曲柄颈外圆作为精基准基面，这样便于保证技术要

求。此外，轴向定位基准采用第四主颈的两个台阶面，与设计基准一致。

(4) 系统分析 完善的工艺技术条件是为了满足产品的技术要求，故工艺技术条件应切实可行，便于操作。现作系统分析如下（具有通用性，并不针对本样件）：

1) 铣端面工序有两个作用：保证曲轴的总长；保证中心孔的质量。若端面不平，则中心钻上两个切削刃的受力不均，钻头引偏而折断。这也是“先面后孔”原则的具体应用。

2) 中心孔的重要性：中心孔除影响曲轴的质量分布外，其重要性还在于它是曲轴加工的重要精基准，直接影响曲轴的加工精度，因此中心孔必须满足其质量要求。但工件经过粗加工后，中心孔的精度往往不可避免地受到影响，所以在精加工之前，必须对中心孔进行修研，确保符合其技术要求。可用磨石或橡胶砂轮修研。

3) 打中心孔是通过找出曲轴的几何中心来代替质量中心，是以毛坯的外表作为基准的。毛坯外表光洁圆整，则打出的中心孔位置误差就小。

4) 比如一六拐曲轴，必须先粗车和粗磨第四主颈。第四主颈是加工长度尺寸的一个基准，其两侧扇板的厚度应分布均匀，否则极易使整根曲轴的轴向尺寸发生偏移，即单边，致使曲轴各扇板厚度不一而报废。

5) 因曲轴刚性差，故车主轴颈时应采用前后刀架同时横向进给的一次加工成形的机床，必须注意刀排分布应合理，车刀应常换常磨，进刀量应适中。

6) 铣定位面。为了使车连颈时角度分布均匀，按照铸造毛坯六拐曲轴的角度均布原理去掉铸造余量，故必须铣好定位面。不论定位面向哪边有所偏移，都会严重改变铸件曲轴工序余量的均匀分布，偏移严重的还可能致使连颈加工不足而报废。

7) 粗磨连颈是一道重要工序。粗磨连颈要进行曲轴 120° 的三等分，保证中心高尺寸。磨床首尾两端偏心夹具的移动会引起主连轴颈中心高的变化，应仔细调整至合适之处反锁固定。此外若中心架调整不恰当会引起曲轴变形而致使中心高超差，而砂轮进刀太快则会引角度偏移，甚至曲轴断裂。

8) 国家颁布的《曲轴技术条件》明确规定，每根曲轴必须经磁粉检测并且执行严格的磁粉检测标准，它是曲轴加工过程中唯一可较直观地检查曲轴浅表层质量的工序；注意探伤后曲轴必须退磁。

9) 钻斜油孔使用的是专用钻床，主要保证钻斜油孔的角度和它的进出口位置。斜油孔的作用是在轴颈与轴瓦相对运动时提供润滑油，如果油孔口偏移，那么进入轴瓦油道的润滑油减少，造成发动机整体燃油经济性下降，甚至有可能造成早期磨损、轴瓦抱死等严重事故。所以，在加工时首先要保证直油孔与斜油孔交接口足够大，其次要保证直油孔在轴颈方向不偏移，因此对斜油孔钻模应常进行检查。钻头进入到与直油孔口交接处应减慢进刀速度，避免钻头折断。

10) 精磨主轴颈时应把两顶尖孔倒角处抹干净，去掉砂粒、油泥，确保加工基准——中心孔的精度，必要时进行修研。精磨开始前，要提前起动机床，使砂轮运转一定时间后，利用修整器修整砂轮的厚度和圆弧。修好圆弧后应用圆弧规检查，看圆弧是否和两侧面相切，如不相切，要检查表面修整器是否有偏心或其他问题，问题找出并解决后再重新修圆弧至合格。砂轮的圆周表面要修细致，否则不能保证磨削后轴颈的表面粗糙度而形成螺旋纹印。因为曲轴较长，必须用中心架作为一个辅助支承，进入精磨后，先磨一个轴颈至合适尺寸（留至比成形尺寸大 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ ），使支中心架有一个合适的基准面。为了使整根曲轴

在加工运转时的刚性和紧固性增强,可采用 V 形夹具来装夹曲轴主颈一、主颈七的位置。测量时,应将千分尺和表架上的千分表结合起来使用。

11) 钻法兰孔采用多工步的加工方法。各螺纹孔相互之间的位置度由钻模和钻套保证,销孔的位置度由可调定位销保证。此工序易出现的质量问题是法兰各孔漏攻螺纹和攻螺纹深度不够。

12) 在万能铣床上铣键槽是用 V 形夹具支承的,连颈一的外径靠在可调定位销上定位。键槽的对称度从两个方面要求:一是对连颈一中心线的对称度,二是对主轴颈的对称度。对称度是通过调整 V 形夹具和定位销来保证的。

13) 油孔口抛光工序相当重要,因为如果油孔口有毛刺,则会刮伤轴瓦,造成早期拉毛现象;如果油孔口有尖角,则曲轴运转时应力集中形成裂纹影响其使用寿命;特别是如果主油孔口与斜油孔口交接处过渡不圆整,表面粗糙度低,更容易形成应力集中。

14) 随着技术的发展,曲轴动不平衡的要求越来越严格。动不平衡量越小,曲轴工作时运转越平稳,噪声越小,磨损越少,寿命越长。

(5) 工艺过程 从该任务实际出发制订曲轴加工工艺过程,机械加工工艺过程卡见表 7-1。

表 7-1 机械加工工艺过程卡片

机械加工工艺过程卡片				产品名称	图号
				零件名称	共 1 页
				六拐 3 曲轴	第 1 页
材料牌号		45 钢		零件名称	
				六拐 3 曲轴	
工序	工种	工步	工序内容		设备
工艺装备					
1	锻		锻造毛坯		
2	热		正火		
3	钻		划右端主轴颈中心线,钻中心孔 A5		Z3025
4	车	1	粗车主轴颈轴线上各档外圆,留加工余量 2mm,各扇板面留加工余量 1mm		CK6136
		2	搭中心架,粗车总长		
5	钳		在曲拐垫块上划曲柄颈和扇板开档线,去除各档曲柄颈处的多余坯料		Z3025
6	热		调质		
7	车	1	搭中心架,车端面,钻中心孔 A5		CK6136
		2	调头,车总长至尺寸 303,钻中心孔 A5,四爪单动卡盘,找正,一夹一顶		
		3	车 $\phi 103\text{mm}$ 外圆至尺寸		
		4	半精车各档主轴颈,留加工余量 1mm		
		5	半精车两端处外圆,留加工余量 1mm		
8	车	1	两端装偏心夹板,找正曲柄颈轴线,两顶尖装夹粗车各曲柄颈,留加工余量 1mm		CK6136
9	车	1	四爪单动卡盘,找正,一夹一顶		CK6136
		2	车各档主轴颈外圆至图样尺寸		
10	车	1	两端装偏心夹板,找正曲柄颈轴线,两顶尖装夹		CK6136
		2	精车各曲柄颈,扇板开档、各曲柄颈中心距离至图样尺寸		
11	车	1	精车主轴颈各外圆、扇板两侧面至图样尺寸		CK6136
12	检				

1) 车刀的选择

- Ⓐ选择使用4mm宽的切刀。
- Ⓑ切削刃能保证切70mm的深度。
- Ⓒ刀具的前角和后角不要太大，以防断刀。

2) 切削参数的选择

Ⓐ切削曲柄颈时由于偏心，造成余量不均匀，出于安全的考虑和圆度的加工精度，转速选择400r/min。

Ⓑ用切刀切削时，由于径向切削力比较大，容易断刀，故进给量选择0.05~0.1mm/r。

Ⓒ用G75指令切削时每层背吃刀量选择在3mm，而且中间退刀断屑。

(6) 数控车部分的数控加工程序（仅供参考）

00001;	两端主轴颈粗加工程序
G28U0W0;	机床返回参考点
T0101;	调用1号刀具补偿
G97G99M03S400;	机床初始状态
G00X150.;	快速定位
Z-4.;	快速定位
X120.;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令
G75X40.Z-40.P3000Q3000F0.07;	终点坐标及切槽参数指定
G00X150.;	快速退刀
Z100.;	快速退刀
T0100;	取消刀具补偿
M30;	取消刀具补偿
00002;	中间4个轴颈粗加工程序
G28U0W0;	机床返回参考点
T0101;	调用1号刀具补偿
G97G99M03S400;	机床初始状态
G00X150.;	快速定位
Z-36.;	快速定位
X120.;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令
G75X34.Z-52.P3000Q3000F0.06;	终点坐标及切槽参数指定
G00X120.;	快速定位
Z-109.;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令
G75X34.Z-125.P3000Q3000F0.06;	终点坐标及切槽参数指定
G00X120.;	快速定位
Z-182.;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令

G75X34. Z-198. P3000Q3000F0.06;	终点坐标及切槽参数指定
G00X120. ;	快速定位
Z-255. ;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令
G75X34. Z-271. P3000Q3000F0.06;	终点坐标及切槽参数指定
G00X150. ;	快速定位
Z200. ;	快速定位
T0100;	取消刀具补偿
M30;	程序结束
00003;	3个曲柄颈粗加工程序
G28U0W0;	机床返回参考点
T0101;	调用1号刀具补偿
G97G99M03S400;	机床初始状态
G00X150. ;	快速定位
Z-71. ;	快速定位
X120. ;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令
G75X34. Z-90. P3000Q3000F0.06;	终点坐标及切槽参数指定
G00X120. ;	快速定位
Z-144. ;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令
G75X34. Z-163. P3000Q3000F0.06;	终点坐标及切槽参数指定
G00X120. ;	快速定位
Z-217. ;	快速定位
G75R0.5;	调用切槽循环指令
G75X34. Z-236. P3000Q3000F0.06;	终点坐标及切槽参数指定
G00X200. ;	快速定位
Z200. ;	快速定位
T0100;	取消刀具补偿
M30;	程序结束

精加工时, 同样使用该规格刀具, 用支承螺钉增加刚性, 重新装夹, 用直线插补功能指令 G01 完成每段加工即可, 注意考虑刀宽。

(7) 操作注意事项

1) 为防止工件变形, 精车时应使夹紧力尽量小, 减小夹紧力引起的变形。粗车后, 应进行时效处理, 消除内应力引起的变形。

2) 因工件分粗、精车, 工件存在多次调头装夹, 工件原点设置应尽量与设计基准重合。顶尖要与卡盘同心。

3) 粗车时, 应保持刀刃锋利, 进给速度不要过大, 否则易产生振动打刀。

4) 刀具的几何角度要合理, 否则刀具磨损过快。

(8) 质量误差分析 (见表 7-2)

表 7-2 质量误差分析

零件误差	产生原因	零件误差	产生原因
径向尺寸不合格	对刀不准确或程序错误	圆度不合格	转速过高
长度尺寸不准确	对刀不准确或程序、刀宽错误	同轴度不合格	装夹位置不准确
表面粗糙度值过大	有振动或刀具磨损过大	工件弯曲	无时效或顶尖力过大

二、多线螺纹配合件加工

1. 多线螺纹配合件举例

加工如图 7-2、图 7-3 所示的多线螺纹配合件, 确保多线螺纹的加工, 使之符合精度和公差要求。此套配合工件共加工 1000 套, 每套工时 0.5h, 要求 30 天交货, 每加工 5 件检测尺寸的合格情况, 检查刀具磨损情况, 及时更换刀具。

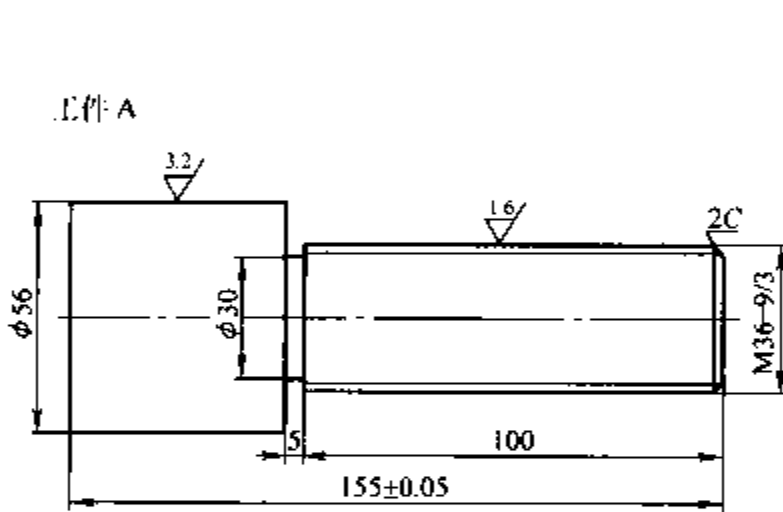


图 7-2 多线螺纹配合件 A

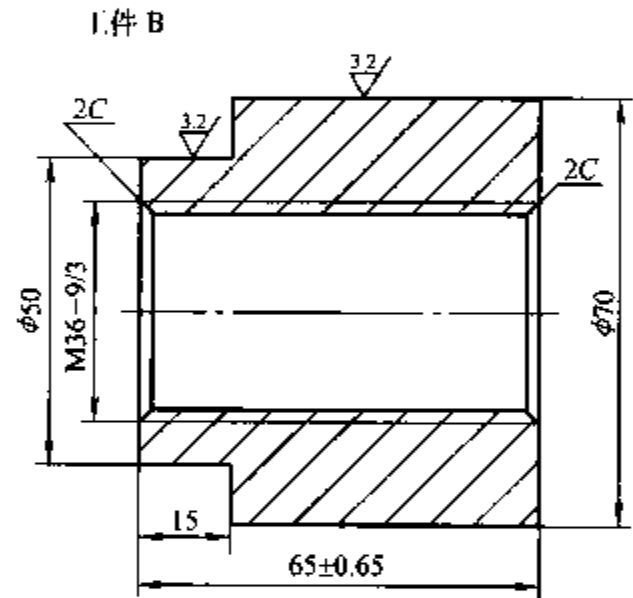


图 7-3 多线螺纹配合件 B

其中工件材料为 45 钢, 毛坯尺寸 A: $\phi 60\text{mm} \times 157\text{mm}$, B: $\phi 72\text{mm} \times 67\text{mm}$ 。

加工完成后实体图如图 7-4 所示。

2. 样件分析

多线螺纹的加工特点与普通螺纹一样, 车削力比较大, 刀具的磨损大, 要求加工机床的功率要足够等。多线螺纹与普通螺纹加工最大的区别在于加工多线螺纹时的分线方法及螺纹的精度控制, 配合加工对内外螺纹

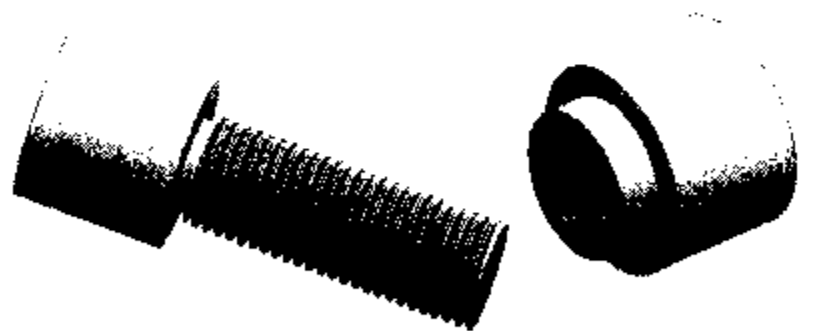


图 7-4 多线螺纹配合件实体图

的加工精度有较高的要求。又由于本任务是生产 2000 件, 属小批量生产, 为了满足螺纹螺距的精度要求, 需要采用数控车床加工。为了更好地控制加工时间, 需要先进行工件的试切, 保证获得准确的加工效率和得到刀具切削此种工件的使用寿命, 使生产过程更容易控制, 满足交货期的要求。

3. 制作过程

(1) 图样分析 如图 7-2、图 7-3 所示的多线螺纹配合件共两件：外螺纹工件 A、内螺纹工件 B，材料均为 45 钢，毛料尺寸为径向净料，轴向有 2mm 的余料。牙型角默认为通用 60°。该零件为 M36 三线螺纹的配合加工，螺纹导程为 9mm，螺距 3mm，螺纹小径为 32.7mm，单边高度 1.65mm。我们采用多线螺纹车削指令 (G33) 来编程，1.65mm 高度用三次加工完成，分别依次加工 0.8mm、0.6mm、0.25mm。

此配合件的加工不是特别复杂，关键在于刀具的选择和加工工艺路线的确定。

(2) 确定工件的装夹方案 工件 A 由于长径比较大，螺纹切削时会产生很大的径向切削力，所以可采用将长度尺寸加工到净尺寸后，利用尾座一夹一顶的装夹方案。

工件 B 的长度不大，由于是内螺纹，所以可采用通用的卡盘夹持外表面的方法，尽量多夹持外表面，保证工件的稳固性。

(3) 确定加工路线 工件 A/B 为配合件，可采用基孔制的原则：先加工内螺纹件 B，后加工外螺纹件 A。

对于工件 B，先用钻头钻出底孔，分别用外圆车刀加工出端面 and 外形，用内孔车刀加工出内螺纹小径，最后用螺纹车刀加工内螺纹。

对于工件 A，先用外圆车刀加工端面和外螺纹大径，再用切断刀加工退刀槽，最后用螺纹车刀加工外螺纹。

(4) 填写加工刀具卡和工艺卡 为了保证加工的合理进行，使车间各方面的加工过程统一，保证加工过程的工艺控制和各工序的质量控制，对工件 A 和 B 应分别建立刀具卡片和工艺卡片。

此配合工件由外形内孔和相应的螺纹构成，外形的加工分别采用外圆车刀和内孔车刀，可分为粗加工和精加工两种；退刀槽采用外圆切断刀；螺纹则分别选择螺纹的外圆车刀和内孔车刀。

关于刀具参数的选择，根据 45 钢的特点、采用的合金刀具的性能和实际的加工经验，在粗加工时，为了尽快地去除余料，一般采用较低的转速、较大的背吃刀量；而在精加工时，为了得到精确的尺寸和较好的表面质量，一般采用较高的转速和小的背吃刀量。对于切断刀，应根据实际的情况进行选择，防止切削过大造成刀具折断。对于螺纹刀具，一般采用分层进刀，逐层减小进给量，保证最终螺纹的加工质量。

具体情况见表 7-3、表 7-4。

表 7-3 工件 A 刀具工艺卡

零件图号	数控车床加工工艺卡			机床型号	CK6130
零件名称	工件 A			机床编号	
刀 具 表				量 具 表	
刀具号	刀补号	刀具名称	刀具参数	量具名称	规格
T01	01	93°外圆车刀		游标卡尺	0~200mm/0.02mm
T02	02	外圆切断刀	刀宽 5mm, 切深 15mm		
T03	03	60°螺纹车刀			

(续)

工序	工艺内容	切削用量			加工性质
		$S/(r/min)$	$F/(mm/r)$	a_p/mm	
机加工	普通车削备料	400	0.5		
数控车	粗精加工工件	600	0.2	1	
数控车	加工退刀槽	200	0.15		
数控车	加工螺纹	100	9		

表 7-4 工件 B 刀具工艺卡

零件图号		数控车床加工工艺卡		机床型号	CK6130
零件名称				工件 B	机床编号
刀 具 表				量 具 表	
刀具号	刀补号	刀具名称	刀具参数	量具名称	规格
T01	01	93°外圆车刀		游标卡尺	0 - 200mm/0.02mm
T02	02	93°内孔车刀	直径 < $\phi 30mm$	内径百分表	20 - 40mm/0.02mm
T03	03	60°螺纹车刀			
工序	工艺内容	切削用量			加工性质
		$S/(r/min)$	$F/(mm/r)$	a_p/mm	
机加工	普通车削备料,加工直径 $\phi 30mm$ 的通孔	400	0.5		
数控车	粗、精加工工件外形	600	0.2	1	
数控车	粗、精加工工件内孔	600	0.2		
数控车	加工螺纹	100	9		

(5) 编写加工程序

1) 程序的设计思路

①对工件的整体形状进行加工,这个过程非常关键,通常采用机夹式刀具对工件外形进行粗、精加工,保证整个工件的所有尺寸和表面精度要求。

②将螺纹的退刀槽加工出来。

③螺纹加工。多线螺纹的加工注意分线方法的不同,此例题的分线方法采用了 G33 指令的圆周度数分线。

2) 编写加工程序。表 7-5、表 7-6 为本任务的参考加工程序,注意领会表中程序说明的意思。

(6) 进行加工

1) 装刀。根据刀具工艺卡片,准备好要用的刀具,机夹式刀具要认真检查刀片与刀体的接触和安装是否正确无误,螺钉是否已经拧牢固。按照刀具卡的刀号分别将相应的刀具安装至刀盘中。装刀时要一把一把地装,通过试切工件的端面,不断调整垫刀片的高度,保证

刀具的切削刃与工件的中心在同一高度的位置,然后将刀具压紧。

表 7-5 工件 A 的加工程序

程序内容	程序说明
O0001;	主程序
T0101 M03 S600;	换 1 号刀,主轴正转,600r/min
G00 X58.0 Z2.0;	快速运动刀循环起点
G94 X-2.0 Z0. F0.2;	切端面循环
G71 U1.0 R2.0;	外圆粗车循环, $a_p = 1.0\text{mm}$
G71 P10 Q20 U0.2 W0.1 F0.5 S400;	粗车留单边余量 0.1mm
N10 G42 G00 X28.0;	精车起始行,加入刀具半径补偿
G01 X36.0 Z-2.0 F0.2	倒角
Z-105.0;	螺纹大径
X57.0;	端面车削
N20 G40 G01 X60.0;	取消刀具半径补偿
G70 P10 Q20 S600;	精车循环
G00 X100.0 Z100.0;	退到安全换刀点
T0100;	取消 1 号刀补
T0202;	换 2 号刀,加入刀补
G00 X58.0 Z-105.0 S120;	切槽起点
G01 X30.0 F0.08;	切槽
G04 X1.0;	槽底暂停
G01 X58.0 F0.3;	切出
G00 X100.0 Z100.0;	退到安全换刀点
T0200;	取消 2 号刀补
T0303;	换 3 号刀,加入刀补
G00 X34.4 Z10.0 S100;	螺纹车削点
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 0;	车螺纹第一刀,第一线
G00 X38.0;	
Z10.0;	
X34.4;	
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 120000;	第一刀,第二线
G00 X38.0;	
Z10.0;	
X34.4;	
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 240000;	第一刀,第三线
G00 X38.0;	
Z10.0;	
X33.2;	
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 0;	第二刀,第一线
G00 X38.0;	
Z10.0;	
X33.2;	

(续)

程序内容	程序说明
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 120000; G00X38.0; Z10.0; X33.2;	第二刀,第二线
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 240000; G00X38.0; Z10.0; X32.7;	第二刀,第三线
G33Z-102.0 F9.0 P3 = 0; G00X38.0; Z10.0; X32.7;	第三刀,第一线
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 120000; G00X38.0; Z10.0; X32.7;	第三刀,第二线
G33 Z-102.0 F9.0 P3 = 240000; G00X38.0; G00X100.0Z100.0; T0300; M30;	第三刀,第三线 退刀至安全位置 取消刀补 主轴停止,程序结束返回程序头

表 7-6 工件 B 的加工程序 (螺纹部分)

程序内容	程序说明
O0002; T0101 M03 S600;	主程序 换 1 号刀,主轴正转,600r/min (程序略)请自行编写
T0303; G00X34.3Z10.0 S100; G33Z-68.0 F9.0 P3 = 0; G00X30.0; Z10.0; X34.3;	换 3 号刀,加入刀补 螺纹车削点 车螺纹第一刀,第一线
G33 Z-68.0 F9.0 P3 = 120000; G00X30.0; Z10.0; X34.3;	第一刀,第二线
G33 Z-68.0 F9.0 P3 = 240000; G00X30.0; Z10.0; X35.5;	第一刀,第三线
G33Z-68.0 F9.0 P3 = 0	第二刀,第一线

程序内容	程序说明
G00X30.0; Z10.0; X35.5; G33 Z-68.0 F9.0 P3 = 120000; G00X30.0; Z10.0; X35.5; G33 Z-68.0 F9.0 P3 = 240000; G00X30.0; Z10.0; X36.0; G33Z-68.0 F9.0 P3 = 0; G00X30.0; Z10.0; X36.0; G33 Z-68.0 F9.0 P3 = 120000; G00X30.0; Z10.0; X36.0; G33 Z-68.0 F9.0 P3 = 240000; G00X30.0; Z10.0; G00X100.0Z100.0; T0300; M30;	第二刀,第二线 第二刀,第三线 第三刀,第一线 第三刀,第二线 第三刀,第三线 退出工件 退刀至安全位置 取消刀补 主轴停止,程序结束返回程序头

注意刀盘中刀具与刀号的关系一定要与刀具卡一致,否则程序调用刀具时,如果相应的刀具错误,将会发生碰撞危险,造成工件报废,机床受损,甚至人身伤害。

2) 对刀。数控车床的对刀一般采用试切法,用所选的刀具试切零件的外圆和端面,经过测量和计算得到零件端面中心点的坐标值。这种方法首先要知道进行程序编制时所采用的编程坐标系原点在工件的什么地方,然后通过试切,找到所选刀具与坐标系原点的相对位置,把相应的偏置值输入刀具补偿的寄存器中。

常用的方法是对每一把刀具分别对刀,将刀具偏移量分别输入寄存器。

步骤如下:

- ①选择一把刀具。
- ②试切端面,保持Z方向不动,从X向退出刀具。
- ③通过测量得到刀具当前位置相对于编程原点的Z向偏移 ΔZ 。
- ④进入刀具偏置寄存器的形状补偿。
- ⑤在相应的刀补号中输入 ΔZ ,按面板的“测量”按钮,将Z向的偏移值输入刀补中。
- ⑥同样试切外径,得到偏移 ΔX 。
- ⑦输入 ΔX ,按面板的“测量”按钮,将X向的偏移值输入刀补中。

接着调用下一把刀具,重复以上操作将相应的偏置值输入刀具补偿中,直到完成所有刀

具偏移值的输入。

内孔车刀是试切内孔来测量偏移值，道理与外圆一样。

螺纹车刀是用刀尖来对刀，如图 7-5 所示，方法同其他刀具一样，不再重复。

需要说明的是，以用手动脉冲的方法，在已经加工的工件面上进行对刀时，一定要注意在靠近工件后，应该采用小于 0.01mm 的移动量来移动刀具，直至碰到工件为止，注意不要切削过大造成工件报废。

3) 程序模拟仿真。当所有的准备工作完成时，先不要急于加工工件，程序的模拟仿真是个不能省略的过程，为了使得程序的质量得到保证，在加工之前先要对程序进行模拟验证，检查程序。

有些车床有自己的模拟功能，那样最好在机床上直接模拟，查看刀具的运动路线是否和想要的路线一致。如果一致，则可以加工；如果不一致，说明可能存在错误，应当检查程序，直到模拟的结果正确为止。

对于没有模拟功能的车床，可以在计算机上利用仿真软件进行模拟，直到程序无误，方可进行加工。

4) 加工操作、监控。当一切准备就绪后，即可开始加工工件。

先将“快速进给”和“进给速率调整”的倍率打到“零”上，启动程序，慢慢地调整“快速进给”和“进给速率调整”旋钮，直至刀具切削到工件。这一步的目的是检验车床的各种设置是否正确，如果不正确有可能发生碰撞现象，我们可以迅速地停止车床的运动。

当切到工件后，通过调整“进给速率调整”和“主轴转速”旋钮，使切削三要素进行合理的配合，然后就可以持续地进行加工了，直到程序运行完毕。

在加工中，要实时地检查刀具的磨损情况、工件的表面加工质量，保证加工过程的正常进行，避免事故的发生。每运行完一个程序后，应检查程序的运行效果，对有明显过切或表面粗糙度达不到要求的，应立即进行必要的处理，并在机床交接记录本上详细记录。

5) 配合检验。加工完成后的工件实体如图 7-4 所示，对于工件 B，按照图样的要求进行检测，特别是对于螺距的检查要使工件达到要求，否则不能拆件，可以在车床上继续修整加工，直到尺寸合格，方可拆件。

对于工件 A，要用工件 B 进行螺纹的配合检查，进行适时的修整，保证内外螺纹配合良好，活动自如，达到设计的要求。

(7) 操作注意事项

1) 多线螺纹的导程比较大，使得进给量的值非常大，加工时注意主轴转速要尽量选择得比较低，同时也要防止主轴编码器发生过冲现象。

2) 为了保证加工基准的一致性，在多把刀具对刀时，可以先用一把刀具加工出一个基准，其他各个刀具依此为准进行对刀。

3) 内孔车刀的选择注意内孔的大小，不要使车刀的背面与工件发生干涉。

4) 车内螺纹时，注意排屑和冷却，防止刀具发生崩刃现象，使螺纹切削不准确，发生乱牙现象。

5) 在进行第二、第三线的螺纹切削时，注意刀具的磨损，看是否能满足螺距均匀的要

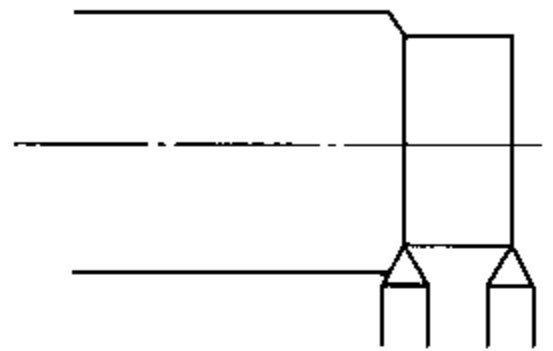


图 7-5 用刀尖对刀

求，如果不行，注意及时更换刀片。

(8) 质量误差分析 螺纹加工中经常遇到以下现象，在加工中要注意调整 and 解决。

1) 螺距不均匀，有明显的误差。这主要是伺服系统的滞后效应和刀具的磨损造成的。解决的主要办法是增加螺纹的升、降速段的长度，并及时地更换刀片或者采用更加耐磨的刀具来进行切削。

2) 螺纹的表面质量差。这主要是切削三要素的不匹配造成的，可以适当调高主轴转速，合理选取进给量，并选取合适的切削液。

3) 螺纹的牙顶有锯齿状的现象。这说明螺纹的分线出了问题，是由工件的松动造成的，注意检查工件的装夹，保证工件的装夹应该稳固。

4) 牙型过平和底部过宽现象。前者是由于螺纹的切深不够造成的，后者是由于刀具的磨损比较严重，另外注意螺纹的对刀是否有误差，调整以上三者可以解决此问题。

5) 内外螺纹配合时，开始能配合，随着螺纹的拧入，配合出现问题，甚至无法配合。这是由于螺距不均匀或刀具磨损使局部螺纹加工不到位造成的。

三、复杂工装类零件的加工 (一)

1. 复杂工装类零件——支架的车削

加工如图 7-6 所示的支架，使之符合精度和公差要求。此支架工件共加工 150 件，每加工 5 件检测尺寸的合格情况及刀具的磨损情况，及时更换刀具。

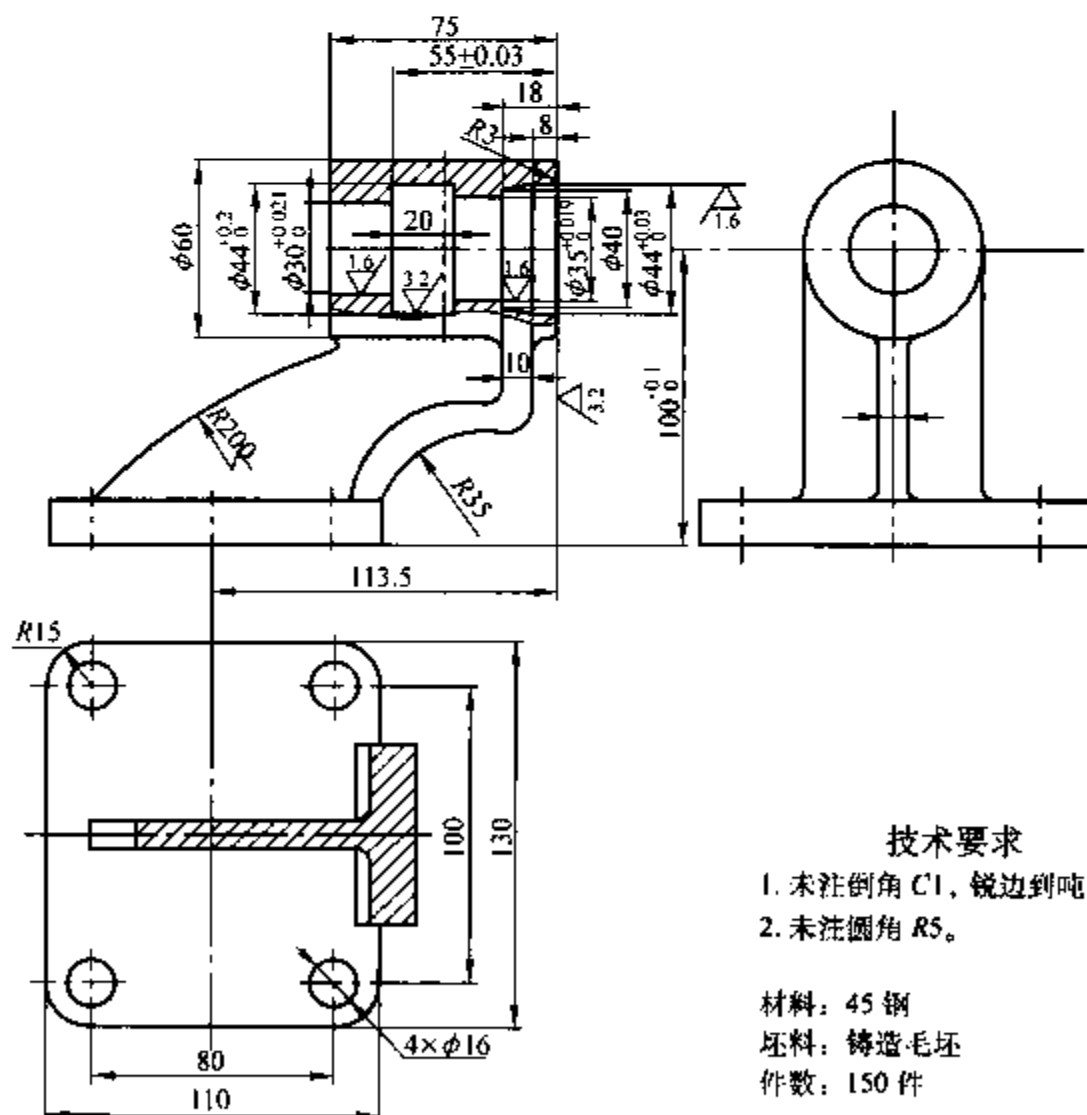


图 7-6 支架零件图

加工完成后的实体图如图 7-7 所示。

2. 样件分析

对于这类零件的加工,当工件数量较少时,通常要选用四爪单动卡盘装夹加工。当工件数量较多时,为提高加工效率,保证加工精度,通常在花盘、角铁(弯板)或专用工装夹具上,经过装夹和找正,来达到加工精度要求。这种加工,技术要求比较高,需有综合的操作技能。使用数控车床加工如图 7-6 所示的支架零件,其加工部位的要求并不难,但这类零件外形复杂、不规则,并且孔的轴线到支座底平面有 100mm 的高度要求,工件数量为 150 件,所以这类零件不能用常规的三爪和四爪夹具装夹加工。为保证工件的加工要求,提高加工效率,需在花盘、角铁上装夹,车削支架零件的内孔、内锥及内沟槽等加工表面,才能满足图样要求。

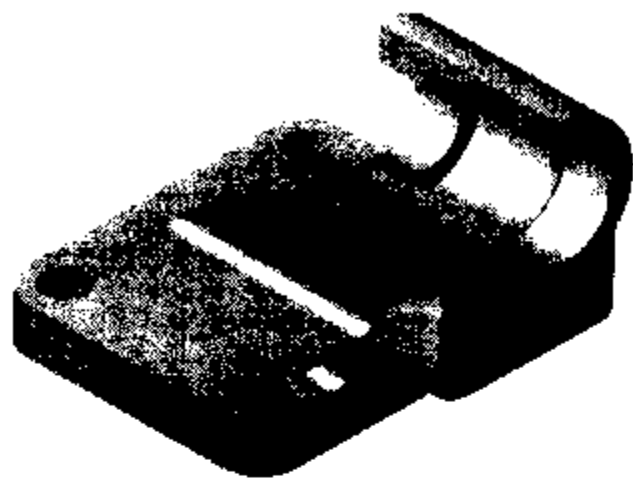


图 7-7 支架零件实体图

3. 制作过程

(1) 图样分析 如图 7-6 所示的支架零件,工件材料为铸钢毛坯,并预铸 $\phi 25$ 孔,要求加工支座孔的右端面、 $\phi 44^{+0.03}_0$ 孔、内锥孔、 $\phi 35^{+0.019}_0$ 及 $\phi 30^{+0.021}_0$ 阶台孔和 $\phi 44^{+0.20}_0 \times 22$ 的内沟槽,除 $\phi 44^{+0.03}_0$ 孔、内锥面、 $\phi 35^{+0.019}_0$ 及 $\phi 30^{+0.021}_0$ 阶台孔面表面粗糙度 $R_a 1.6 \mu\text{m}$ 外,其余加工表面粗糙度 $R_a 3.2 \mu\text{m}$ 。

此零件的加工要求并不难,关键在于确定异形零件的装夹方法、加工工艺路线和刀具的选择。

(2) 确定加工路线

1) 粗车加工工艺路线。车右端面(控制工件总长 50mm)→粗车内孔部分,留精车余量 0.5mm。

2) 精车路线

①精车 $R3$ →精车内孔 $\phi 44^{+0.03}_0 \times 8$ →精车内锥(控制小端直径 $\phi 40 \times 18$)→倒角 $C1$ →精车内孔 $\phi 35^{+0.019}_0 \times (55 \pm 0.03)$ →精车内孔 $\phi 30^{+0.021}_0 \times 77$ 至尺寸要求。

②切内沟槽 $\phi 44^{+0.20}_0 \times 20$ 至尺寸要求。

(3) 确定数控加工刀具卡及加工工艺卡 数控加工刀具卡及加工工艺卡见表 7-7。

表 7-7 刀具卡及加工工艺卡

零件图号	数控车床加工工艺卡		机床型号	CK6140
零件名称	支 架		系统型号	FANUC-0i
刀 具 表			量 具 表	
刀具号	刀补号	刀具名称	量具名称	规 格
T01	01	93°菱形外圆车刀	游标卡尺	0~150mm/0.02mm
T02	02	内孔粗车刀	内径百分表	
T03	03	内孔精车刀	内径百分表	
T04	04	内沟槽切刀		

数控加工工艺卡

工序	工艺内容	刀具	切削用量			加工性质
			$S/(r/min)$	$F/(mm/r)$	a_p/mm	
1	粗、精车右端面	T1	600	0.1~0.2	2	
2	粗车内圆弧、内锥及内孔	T2	400	0.2	2	
3	精车内圆弧、内锥及内孔	T3	600	0.1	0.5	
4	切内沟槽	T4	400	0.1		

(4) 编写加工程序

1) 加工程序的设计思路。加工如图 7-6 所示的支架零件, 其内部形状并不复杂, 编程时可考虑用 G71 循环指令完成内形表面的粗车, 对于内沟槽的加工, 因其沟槽宽度较宽, 为了简化程序, 可考虑 G75 循环指令加工。

2) 编写加工程序 (见表 7-8)。

表 7-8 加工程序及说明



程序内容	说 明
O0001; G40 G97 G99 T0101 M03 S600; G00 X65. Z1.; G01 X20. F0.2; G00 X65. Z2.; Z0.; G01 X20. F0.1; G00 Z200.; X100.; T0202 S400; G00 X25. Z2.; G71 U2. R0.5; G71 P10 Q20 U-0.5 W0.1 F0.2; N10 G41 G00 X50. S600; G01 Z0. F0.1; G02 X44.015 Z-3. R3.; G01 Z-8.; X40. Z-18.; X37.; X35.01 Z-19.; Z-55.; X30.01; Z-77.; N20 G40 X25.;	程序名 换 1 号外圆车刀, 主轴正转 粗、精车右端面 换 2 号内孔粗车刀 粗车内圆弧、内锥及内孔


(续)

程序内容	说明
G00 Z150. ; X100. ; T0303 ; G00 X25. Z2. ; G70 P10 Q20 ; G00 Z150. ; X100. ; T0404 S400 ; G00 X29. Z10. ; Z-55. ; G75 R0.5 ; G75 X44.1 Z-35. P2500 Q2500 F0.05 ; G00 Z10. ; Z150. ; X100. ; M30 ; %	换 3 号内孔精车刀 精车内圆弧、内锥及内孔 换 4 号内沟槽切刀 切内沟槽 程序结束


(5) 支架零件的加工

1) 开机完成回零等准备操作。

2) 输入表 7-8 中的零件加工程序。按下主功能的程序键  和 ，进入加工程序编辑。在此状态下可通过手动数据输入方式或 RS-232 接口将加工程序输入机床系统。

3) 进行程序校验及加工轨迹仿真。按下主功能的图形模拟键 ，进入图形模拟加工状态。如加工路径有错，可回到加工程序编辑状态进行修改，并再次进行模拟加工，直至刀具路径完全正确为止。

4) 装夹、找正支架零件。因工件形状不规则，安装完后应仔细检查工件的静平衡状态，工件、夹具、刀具是否发生干涉，调整无误后方可进行后续操作。

5) 装刀，并进行对刀操作录入刀补值。按照工件图合理选择好所需加工刀具，并按程序调用的先后次序依次安装，仔细检查刀具与工件、夹具是否干涉。然后在  功能下完成每把刀具的刀补参数的设定。

6) 在自动方式下自动加工并测量、调整尺寸。加工后的零件实体图如图 7-7 所示。

(6) 车削支架零件时的注意事项

- 1) 花盘上的角铁回转半径大，棱角多，容易产生碰撞现象。
- 2) 夹具必须在车床上进行静平衡试验，以避免车床主轴因载荷不均而被损坏。
- 3) 由于角铁、工件等都是用螺钉紧固的，工件易走动，因此转速不宜过高，以防在离心力和切削力的作用下，影响工件精度，甚至造成事故。
- 4) 在加工中易产生振动和变形的工件，可增加可调支承或工艺撑头。
- 5) 车削前，镗刀应在已有的孔内，从孔的一端移到另一端，同时用手转动角铁一、二

圈，检查有无碰撞，以防发生危险。

6) 用内径百分表测量前，应首先检查整个测量装置是否正常，并用外径千分尺校对至“零”位。

四、复杂工装类零件的加工（二）

1. 复杂工装类零件——蜗轮壳体车削

加工如图 7-8 所示的蜗轮壳体，使之符合图样标注的精度和公差要求。此蜗轮壳体工件共加工 200 件，每加工 5 件检测尺寸的合格情况及刀具磨损情况，及时更换刀具。

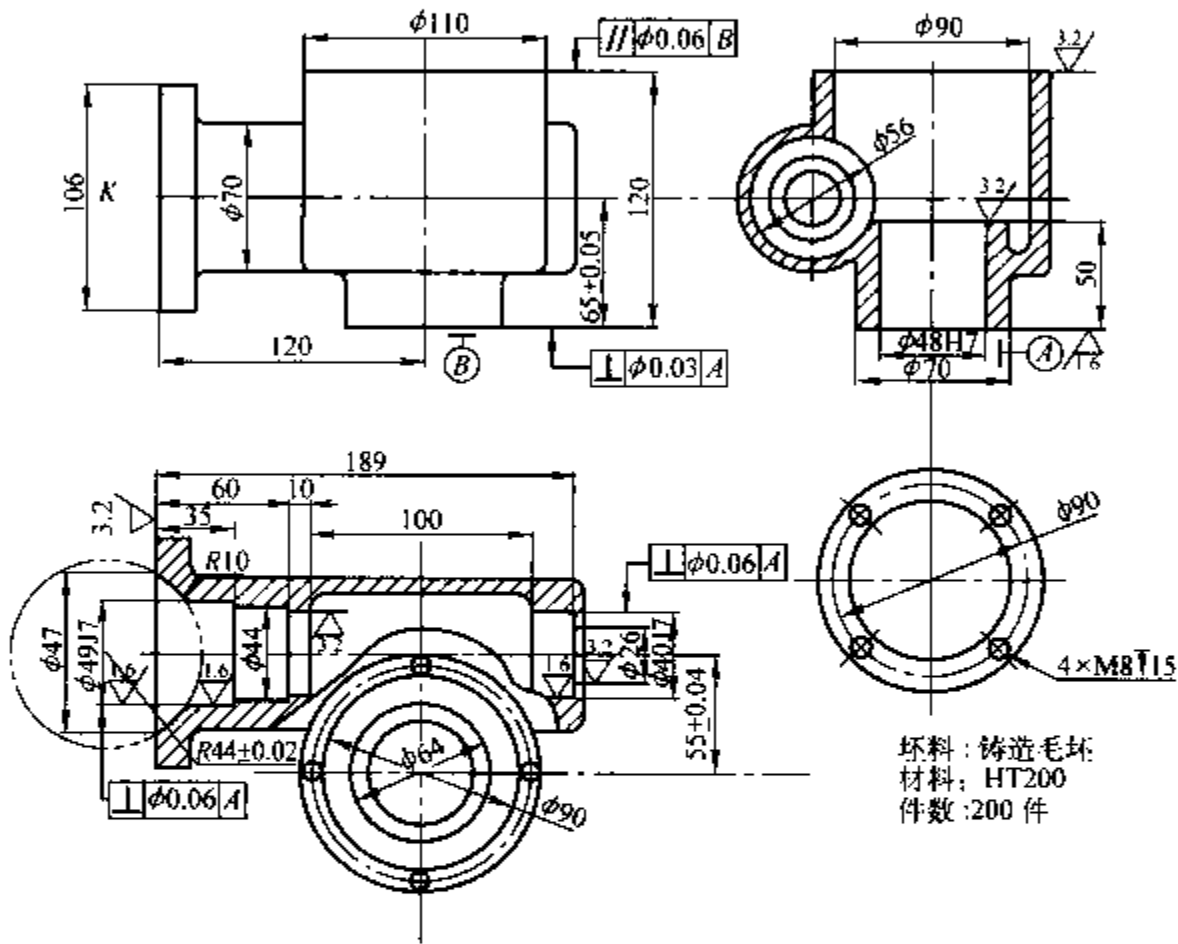


图 7-8 蜗轮壳体零件图

其中工件材料为 HT200，毛坯为铸造件。

加工完成后的实体图如图 7-9 所示。

2. 样件分析

使用数控车床加工如图 7-8 所示的蜗轮壳体零件，蜗轮壳体形状复杂，采用铸造毛坯，材料为 HT200，工件数量为 200 件，需机械加工表面的直径余量为 5mm，为消除铸件内应力，在粗加工前应进行退火处理。因零件形状复杂，加工过程中轮廓回转尺寸较大，需选用 CK6150 型机床进行装夹加工，又因为此零件加工部位较多，为提高加工效率，保证产品质量，所以该零件用常规夹具四爪单动卡盘结合专用夹具装夹，并分三道工序进行加工，即能满足零件图样的加工要求。

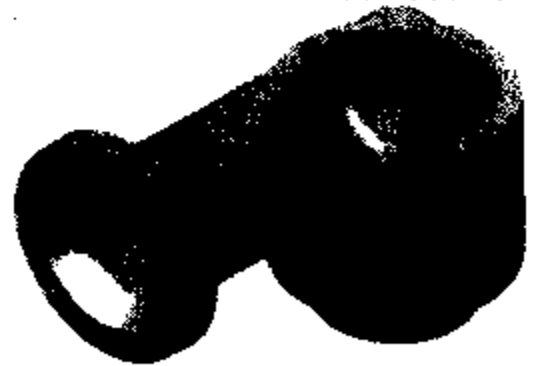


图 7-9 蜗轮壳体零件实体图

3. 制作过程

(1) 确定工件的装夹方法 通过以上分析来看，因图

7-9 所示蜗轮壳体这类零件外形复杂、不规则，且相互的形位精度要求较高，工件数量较多，所以该零件用常规夹具四爪单动卡盘结合专用夹具装夹加工（见图 7-10），能满足零件图样的加工要求，提高加工效率。

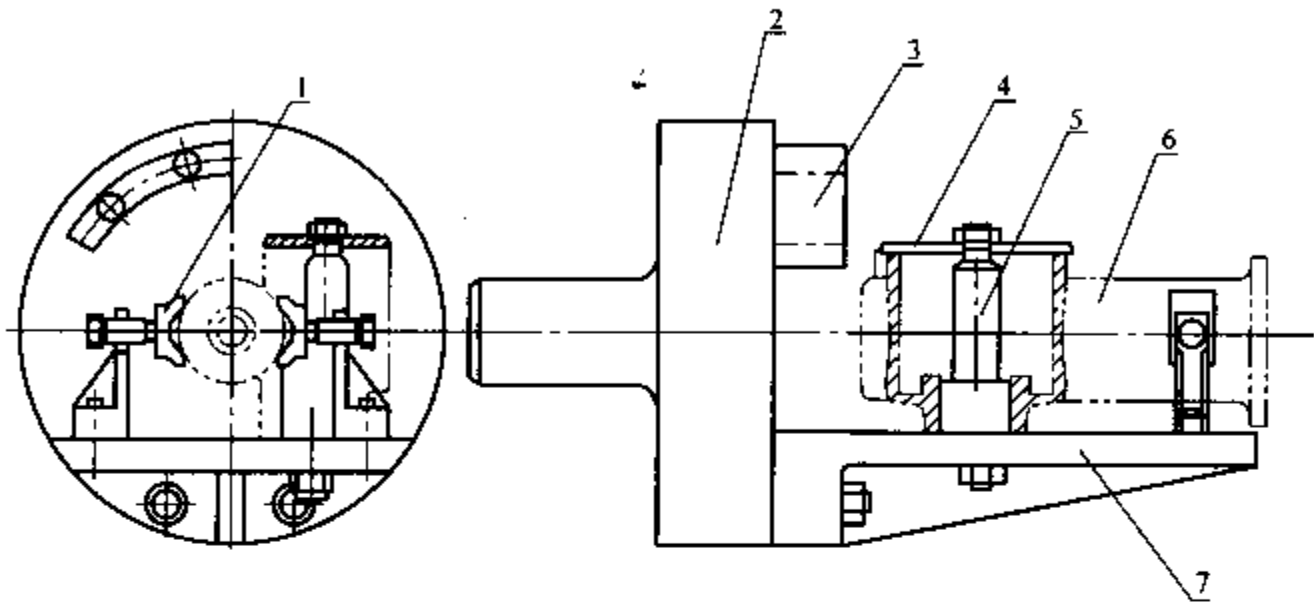


图 7-10 蜗轮壳体安装示意图

1—可调支承 2—过渡盘 3—平衡铁 4—紧固压板 5—定位心轴 6—工件 7—角铁座

1) 该夹具的结构原理及使用方法。该夹具如图 7-10 所示，主要由可调支承 1、过渡盘 2、平衡铁 3、紧固压板 4、定位心轴 5、角铁座 7 和紧固螺栓等元件组成。过渡盘 2 安装在数控车床主轴上。角铁座 7 由螺栓和螺母固定在过渡盘 2 上，根据工件的 $\phi 49\text{J7}$ 和 $\phi 40\text{J7}$ 孔轴线与 $\phi 48\text{H7}$ 孔底部端面的距离为 $(65 \pm 0.05)\text{mm}$ ，用高度尺结合主轴心轴调节好角铁座 7 底面至机床主轴轴线高度尺寸 $(65 \pm 0.02)\text{mm}$ 至要求，并找正定位心轴 5 的轴线相对于主轴轴线的中心距 $(55 \pm 0.04)\text{mm}$ ，工件的定位由定位心轴 5 和角铁座 7 完成，用可调支承 1 辅助支承 $\phi 70$ 外圆表面以提高工件安装刚性。工件的夹紧则由紧固压板 4 和紧固螺栓来实现。

2) 夹具的制造和使用注意事项如下：

①为了降低夹具的安装误差，必须先安装过渡盘 2，且过渡盘 2 平面最好在本身机床上精车出来，角铁座 7 必须经过精刮。且垂直度误差不得超过 0.02mm 。定位心轴 5 可选用 T8 材料制作，与角铁座的垂直度误差不超过 0.02mm 。

②由于车削的回转速度高，惯性较大，而该夹具偏重现象又较严重。因此，平衡铁 3 绝不可少，在制造时要根据具体工件而定，夹具必须在车床上进行静平衡试验，以避免车床主轴因载荷不均而被损坏。

(2) 图样分析 根据图 7-8 所示蜗轮壳体零件图可知，工件需机械加工的部位包括 $\phi 48\text{H7}$ 内孔直径及 $\phi 70$ 端面， $\phi 64$ 圆端面， $\phi 110$ 外圆端面， $\phi 106$ 外圆端面及其内部型腔所包含的 $R44 \pm 0.02$ 、 $R10$ 的圆弧表面，锥角为 10° 的内锥面和 $\phi 49\text{J7}$ 、 $\phi 44$ 、 $\phi 40\text{J7}$ 阶台孔。其余表面由铸造直接得到。

$\phi 110$ 外圆端面相对于 $\phi 48\text{H7}$ 孔底部端面的平行度公差为 0.06mm ， $\phi 48\text{H7}$ 孔轴线与底部端面的垂直度公差为 0.03mm ， $\phi 49\text{J7}$ 、 $\phi 40\text{J7}$ 阶台孔轴线与 $\phi 48\text{H7}$ 孔轴线的垂直度公差都为 0.06mm 。 $\phi 49\text{J7}$ 和 $\phi 40\text{J7}$ 孔轴线与 $\phi 48\text{H7}$ 孔底部端面的距离为 $(65 \pm 0.05)\text{mm}$ ， $\phi 49\text{J7}$ 和 $\phi 40\text{J7}$ 孔轴线与 $\phi 48\text{H7}$ 孔轴线距离为 $(55 \pm 0.04)\text{mm}$ 。

加工部位中的 $\phi 48H7$ 孔, $R44 \pm 0.02$ 、 $R10$ 圆弧面, 10° 的内锥面, $\phi 49J7$ 、 $\phi 40J7$ 阶台孔表面的表面粗糙度 $R_a = 1.6 \mu\text{m}$, 其余各处 $R_a = 3.2 \mu\text{m}$ 。

(3) 确定加工路线

1) 首先应加工基准面, 即先用四爪单动卡盘夹 $\phi 110$ 外圆, 按划线找正侧素线和孔中心线, 在一次装夹中车削 $\phi 48H7$ 孔、 $\phi 70$ 端面及 $\phi 64$ 端面。因在一次装夹完成该处加工, 所以能很好地保证 $\phi 70$ 端面对 $\phi 48H7$ 孔轴线的垂直度公差 0.03mm 。

2) 在车床主轴孔中安装 $\phi 48g6 \times 50$ 心轴, 并与 $\phi 48H7$ 孔和 $\phi 70$ 端面配合定位, 车 $\phi 110$ 端面至要求。保证 $\phi 110$ 外圆端面相对于 $\phi 48H7$ 孔底部端面的平行度公差 0.06mm 。

3) 在如图 7-10 所示专用夹具上, 以 $\phi 48H7$ 孔和 $\phi 70$ 端面定位, 用可调支承辅助支承 $\phi 70$ 外圆并找正 $\phi 106$ 外圆素线。车削 $\phi 106$ 外圆端面及其内部型腔所包含的 $R44 \pm 0.02$ 、 $R10$ 圆弧面, 锥角为 10° 的内锥面和 $\phi 49J7$ 、 $\phi 44$ 、 $\phi 40J7$ 阶台孔。保证 $\phi 49J7$ 、 $\phi 40J7$ 阶台孔轴线与 $\phi 48H7$ 孔轴线的垂直度都为 0.06mm ; $\phi 49J7$ 和 $\phi 40J7$ 孔轴线与 $\phi 48H7$ 孔底部端面的距离为 $(65 \pm 0.05)\text{mm}$, $\phi 49J7$ 和 $\phi 40J7$ 孔轴线与 $\phi 48H7$ 孔轴线距离为 $(55 \pm 0.04)\text{mm}$ 。

(4) 确定数控加工刀具卡及加工工艺卡 数控加工刀具卡及加工工艺卡见表 7-9。

表 7-9 刀具卡及加工工艺卡

零件图号		数控车床加工工艺卡		机床型号	CK6150	
零件名称	蜗轮壳体			系统型号	FANUC-0i	
刀 具 表				量 具 表		
刀具号	刀补号	刀具名称	量具名称	规 格		
T01	01	93°菱形外圆车刀	游标卡尺	0~150mm/0.02mm		
T02	02	内孔粗车刀	内径百分表			
T03	03	内孔精车刀	内径百分表			
T04	04	内沟槽刀				
数控加工工艺卡						
工序	工艺内容	刀具	切削用量			加工性质
			S/(r/min)	F/(mm/r)	a_p/mm	
1	车削 $\phi 70$ 端面	T1	600	0.1~0.2	2	
	车削 $\phi 48H7$ 孔	T2	400~600	0.1~0.2	2	
	车削 $\phi 64$ 端面	T4	400	0.1	2	
2	车 $\phi 110$ 端面至要求	T1	600	0.1~0.2	2	
3	粗车 $\phi 106$ 外圆端面及其内部型腔各部分尺寸	T2	400	0.2	2	
	精车 $\phi 106$ 外圆端面及其内部型腔各部分尺寸	T3	600	0.1~0.2	0.5	

(5) 编写加工程序

1) 加工程序的设计思路。加工如图 7-8 所示的蜗轮壳体零件, 需要加工的表面和部位形状并不复杂, 编程时可考虑用单一编程指令结合 G71、G70 等循环指令完成加工, 并分别

对每道工序进行编程加工。

2) 编写加工程序

①车削 $\phi 48H7$ 孔、 $\phi 70$ 端面及 $\phi 64$ 端面。程序编写见表 7-10。

表 7-10 加工程序及说明

程序内容	说 明
O0001; G40 C97 G99 T0101 M03 S600; G00 X80. Z0; G01 X40. F0.2; G00 Z150. ; X150. ; T0202; G00 X40. Z2. S400; G90 X44. Z-55. F0.2; X47.5; G00 X50. S600; G41 G01 Z0 F0.1; X48.01 Z-1. ; Z-55. ; G00 X45. Z10. ; Z150. ; X150. ; T0404; G00 X45. Z10. S400; Z-50. ; G01 X68. F0.1; G00 X45. Z-53. ; Z10. ; X150. ; Z150. ; M30; %	程序名 换 1 号外圆车刀, 主轴正转 车 $\phi 70$ 底平面 换 2 号内孔车刀 粗、精车 $\phi 48H7$ 内孔 换 4 号内沟槽刀 车 $\phi 64$ 端面 程序结束

②车 $\phi 110$ 端面。程序编写见表 7-11。

表 7-11 加工程序及说明

程序内容	说 明
O0002; G40 C97 G99 T0101 M03 S600; G00 X115. Z1. ; G01 X85. F0.2; G00 X115. Z2. ; Z0. ; G01 X85. F0.1; G00 X100. ; Z200. ; M30; %	主程序 换 1 号外圆车刀, 主轴正转 粗、精车 $\phi 110$ 外圆端面 程序结束



③车削 $\phi 106$ 外圆端面及其内部型腔各部分尺寸。程序编写见表 7-12。


表 7-12 加工程序及说明

程序内容	说明
00001;	主程序
G40 G97 G99 T0101 M03 S600;	换 1 号刀, 主轴正转
G00 X112. Z1.;	
G01 X35. F0.2;	车削 $\phi 106$ 外圆端面
G00 X112. Z2.;	
Z0.;	
G01 X35. F0.1;	
G00 Z200.;	
X100.;	
T0202 S400;	换 2 号内孔粗车刀
G00 X25. Z2.;	
G71 U2. R0.5;	粗车内部型腔所包含的 $R44 \pm 0.02$ 、 $R10$ 圆弧表面, 锥角为 10° 的内锥面和 $\phi 49J7$ 、 $\phi 44$ 、 $\phi 40J7$ 阶台孔
G71 P10 Q20 U-0.5 W0.1 F0.2;	
N10 G41 G00 X74. S600;	
G01 Z0. F0.1;	
G03 X59.03 Z-8.71 R44.;	
G02 X52.45 Z-15.29 R10.;	
G01 X48.99 Z-35.;	
Z-60.;	
X44.;	
Z-75.;	
X39.99 Z-165.;	
Z-189.;	
X26.;	
N20 G40 X25.;	
G00 Z150.;	换 3 号内孔精车刀
X150.;	
T0303;	精车内部型腔
G00 X25. Z2.;	
G70 P10 Q20;	
G00 Z150.;	程序结束
X150.;	
M30;	
%	

(6) 蜗轮壳体的加工


1) 开机完成回零等准备操作。

2) 输入表 7-10、表 7-11、表 7-12 中的零件加工程序。按下主功能的程序键  和 , 进入加工程序编辑。在此状态下可通过手动数据输入方式或 RS-232 接口将加工程序输入机床系统。

3) 进行程序校验及加工轨迹仿真。按下主功能的图形模拟键 , 进入图形模拟加工状态。如加工路径有错, 可回到加工程序编辑状态进行修改, 并再次进行模拟加工, 直至刀

具路径完全正确为止。

4) 安装夹、找正蜗轮壳体零件。因工件形状不规则, 安装完后应仔细检查工件的静平衡状态, 工件、夹具、刀具是否发生干涉, 调整无误后方可进行后续操作。

5) 装刀, 并进行对刀操作录入刀补值。按照工件图合理选择好所需加工刀具, 按程序调用的先后次序依次安装, 并仔细检查刀具与工件、夹具是否干涉。然后在功能下完成每把刀具的刀补参数的设定。

6) 在自动方式下自动加工并测量、调整尺寸。

(7) 车削蜗轮壳体时的注意事项

1) 花盘上的角铁回转半径大, 棱角多, 容易产生碰撞现象。

2) 由于角铁、工件等都是用螺钉紧固的, 工件易走动, 因此转速不宜过高, 以防在离心力和切削力的作用下, 影响工件精度, 甚至造成事故。

3) 在加工中易产生振动和变形的工件, 可增加可调支承或工艺撑头。

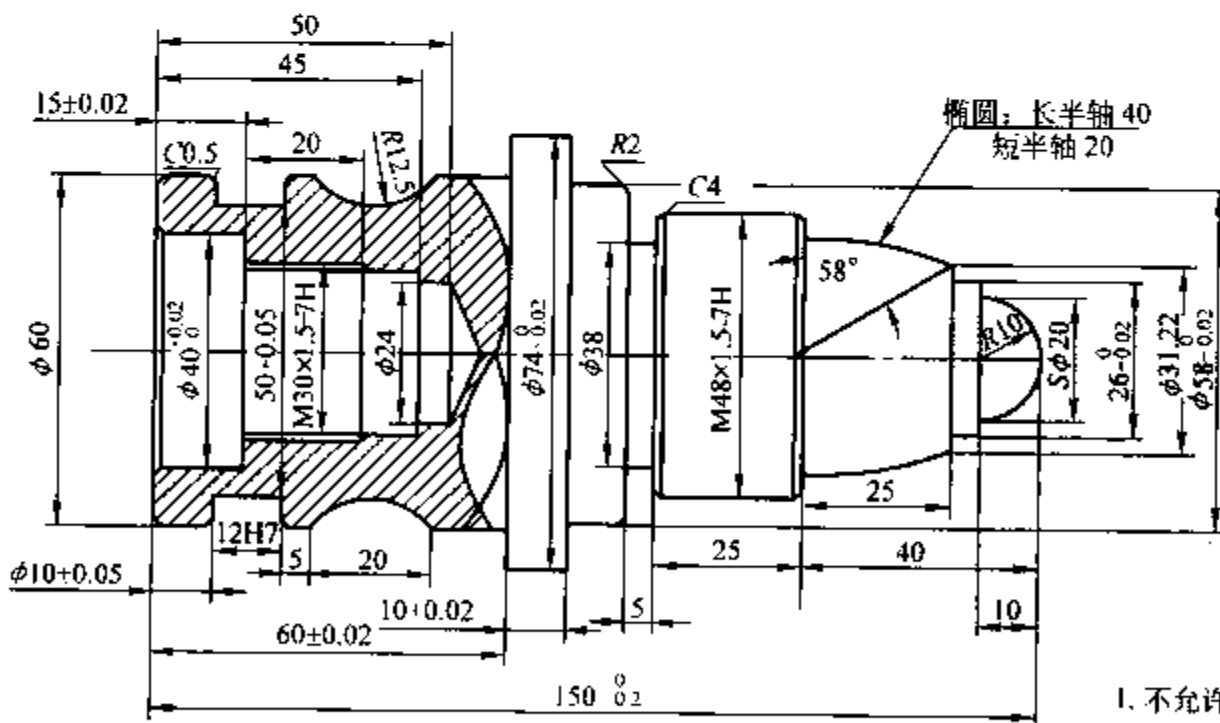
4) 车削前, 镗刀应在已有的孔内, 从孔的一端移到另一端, 同时用手转动角铁一、二圈, 检查有无碰撞, 以防发生危险。

5) 夹具必须在车床上进行静平衡试验, 以避免车床主轴因载荷不均而被损坏。

五、用户宏程序 (一)

1. 椭圆零件的加工

加工如图 7-11 所示带有椭圆形状的零件, 此零件为某模具生产厂一模具零部件, 生产批量为 100 件, 该厂拥有数控车床设备型号为 CK6136, 工件材料为 H13 模具钢, 毛坯尺寸为 $\phi 56\text{mm} \times 154\text{mm}$ 。



技术要求

1. 不允许使用纱布和锉修整表面。
2. 未注倒角为 C1。
3. 未注公差为 ± 0.02 。

图 7-11 联接轴

加工完成后的实体图如图 7-12 所示。

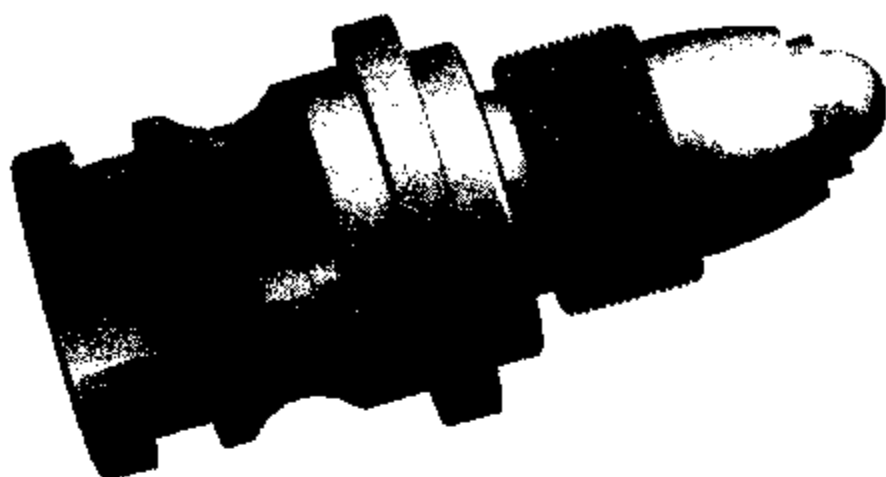


图 7-12 联接轴实体图

2. 样件分析

在生产加工中有时会遇到一些椭圆、抛物线等二次曲线零件的加工，而数控系统一般只提供直线及圆弧插补指令，而很少有椭圆、抛物线等插补指令，这时可利用系统提供的宏程序功能将椭圆、抛物线编制成宏指令，存储在数控系统内，加工时直接调用即可。

如图 7-12 所示，零件右部有一个长半轴为 40mm、短半轴为 20mm 的椭圆，则可利用数控系统本身提供的指令代码将右部除椭圆以外形状加工完成，然后利用已编辑好的椭圆宏指令程序对椭圆进行粗、精加工。

3. 制作过程

(1) 图样分析 如图 7-12 所示零件，主要由内外圆柱面、内外螺纹及沟槽和椭圆型面组成。椭圆型面采用宏程序加工。

(2) 装夹方法 精车削完左端后，以软爪夹持车削椭圆端。

(3) 确定零件的加工路线

1) 使用三爪自定心卡盘夹持毛坯，外部悬伸长度为 100mm，粗车右端面及零件右端 $\phi 58\text{mm}$ 和 $\phi 26\text{mm}$ 外圆柱面、 $S\phi 20\text{mm}$ 半圆球面，留单边精加工余量 0.2mm， $40\text{mm} \times 20\text{mm}$ 椭圆型面加工成 $\phi 40.4\text{mm}$ 外圆柱面。

2) 调头，夹持右端 $\phi 58\text{mm}$ 外圆柱面，加工左端，钻 $\phi 24\text{mm}$ 孔。

3) 粗车左端面 $\phi 60\text{mm}$ 及 $\phi 74\text{mm}$ 外圆柱面、12H7 沟槽、 $R12.5\text{mm}$ 圆弧槽。留单边加工余量 0.2mm。

4) 粗车 $\phi 40\text{mm}$ 内孔留精加工余量， $M30 \times 1.5-H7$ 内螺纹大径至尺寸。

5) 精车 $\phi 40\text{mm}$ 内孔及 $M30 \times 1.5H7$ 内螺纹至尺寸。

6) 精车左端面 $\phi 60\text{mm}$ 及 $\phi 74\text{mm}$ 外圆柱面、12H7 沟槽、 $R12.5\text{mm}$ 圆弧槽至尺寸。

7) 调头，使用软爪夹持零件左端，精车零件右端 $\phi 58\text{mm}$ 和 $\phi 26\text{mm}$ 外圆柱面、 $S\phi 20\text{mm}$ 半圆球面、5mm 螺纹退刀槽、 $M48 \times 1.5-H7$ 外螺纹至尺寸。

8) 粗、精车 $40\text{mm} \times 20\text{mm}$ 椭圆型面至尺寸。

(4) 确定数控加工工艺卡及刀具卡。

1) 数控加工工艺卡。根据“先粗后精”工艺安排原则，制订加工工艺，见表 7-13。

2) 数控加工刀具卡。根据加工要求，选 35° 菱形外圆粗、精车刀，外圆粗、精切槽刀和 60° 内、外螺纹刀， $\phi 24\text{mm}$ 钻头、镗孔刀各一把。因左端面有一 $R12.5\text{mm}$ 凹圆弧，所以

选取 35° 菱形外圆车刀。镗孔刀注意选取最大刀杆直径及最小刀杆长度，使其具有足够的刚度及强度。具体刀具选择见表 7-14。

表 7-13 数控加工工艺卡

工 序	名 称	工 艺 要 求		工 作 者	备 注
1	下料	φ76mm × 155mm			
2	数控车	工步	工步内容	刀具号	
		1	粗车右端面及外圆各尺寸、椭圆，留精车余量	T01	
		2	调头，夹持右端钻孔 φ24mm 至尺寸	T02	
		3	粗车左端面、外圆及 R12.5mm 凹圆弧，留精车余量	T01	
			粗车槽 12H7，留精车余量	T06	
		4	粗车内孔，留精车余量	T03	
		5	精车内孔至尺寸	T03	
			粗、精车内螺纹	T04	
			精车左端面及外圆各部至尺寸	T05	
			精车槽至尺寸	T08	
			调头精车端面、外圆及椭圆，并控制总长至尺寸	T05	
			车退刀槽	T06	
	粗、精车外螺纹	T07			
3	检验	6			

表 7-14 刀 具 表

刀具号	刀具规格名称	刀尖圆弧半径 /mm	加 工 内 容	主轴转速 /(r/min)	进给速度 /(mm/r)	备 注
T01	35° 菱形外圆粗车刀	0.8	粗车工件外轮廓	800	0.3	
T02	φ24mm 钻头		钻孔	280	0.1	
T03	粗镗孔刀	0.8	粗车内轮廓	600	0.15	
T04	60° 内螺纹车刀		粗、精车内螺纹	500	1.5	
T05	35° 菱形外圆精车刀	0.4	精车工件外轮廓	1200	0.15	
T06	外圆粗车槽刀		粗车槽	600	0.08	刀宽 4mm
T07	60° 外螺纹车刀		粗、精车外螺纹	750	1.5	
T08	外圆精车槽刀	0.4	精车外轮廓	900	0.05	

(5) 编写加工程序 这里只编写了粗、精加工椭圆的宏程序，对于加工图 7-13 以外其他部分的程序，在前面已经介绍了，这里就不再叙述了。

宏程序椭圆粗加工轨迹如图 7-14 所示。

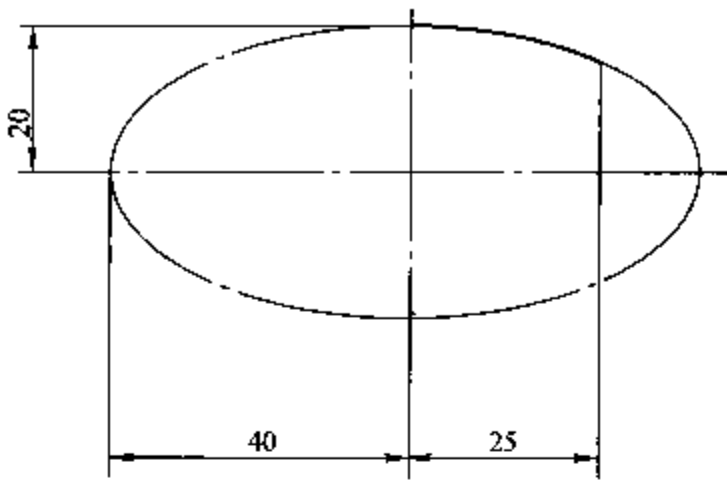


图 7-13 椭圆尺寸简图

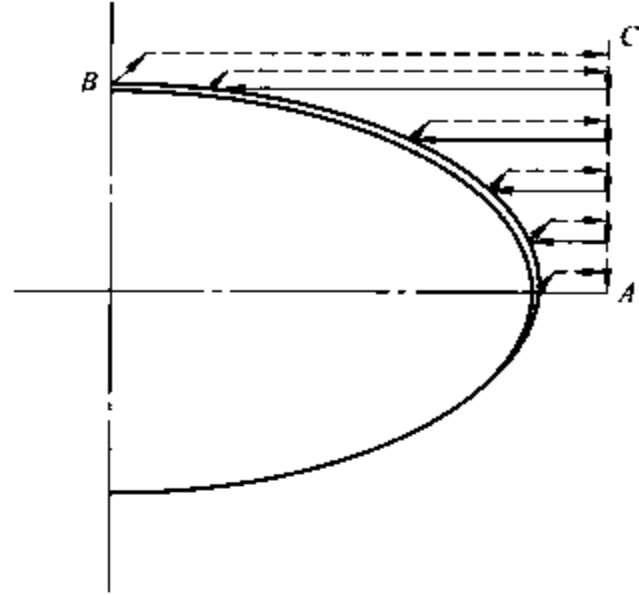


图 7-14 椭圆粗加工轨迹路线图

O9001 程序为椭圆粗、精加工程序。加工程序及说明见表 7-15。

G65P9001X(#24)OZ(#26)-40. A(#1)20. B(#2)40. C(#3)30. D(#7)0U(#21)0.2W(#23)0.2Q(#17)

G65P9001X(#24)OZ(#26)-40. A(#1)20. B(#2)40. C(#3)30. D(#7)0U(#21)0W(#23)0R(#18)0.1

F(#9)0.2.....精加工程序

X(#24).....椭圆中心 X 轴坐标(半径值)

Z(#26).....椭圆中心 Z 轴坐标

A(#1).....短半轴

B(#2).....长半轴

C(#3).....Z 轴起点距椭圆圆心长度

D(#7).....Z 轴终点距椭圆圆心长度

F(#9).....进给量

U(#21).....X 向精加工余量

W(#23).....Z 向精加工余量

Q(#17).....粗加工 X 向背吃刀量

R(#18).....精加工步距

表 7-15 加工程序及说明

O9001	说 明
<pre> IF[#21EQ0]GOTO10 #10=#1*SQRT[1-#3*#3/#2*#2]; #12=#1*SQRT[1-#7*#7/#2*#2] G00 X[[#1+#24]*2+2] Z[#3+#26+2.]; WHILE[#12GT#10]DO1 #12=#12-#17 IF[#12GT#10]COTO1 #12=#10 N1#15=SQRT[1-#12*#12/#1*#1]*#2*#2] #13=[#26+#15+#23] #14=[#12+#21+#24]*2.0 </pre>	<p>当 U 为“0”时,执行椭圆精加工</p> <p>X 轴起点坐标半径值</p> <p>X 轴终点坐标半径值</p> <p>刀具快速移动至起刀点</p> <p>代入公式计算</p> <p>粗加工椭圆上一点的 Z 坐标值</p> <p>粗加工椭圆上一点的 X 坐标值</p>

(续)

O9001	说 明
<pre> G00 X#14 G01 Z#13 F#9 U2.0 W1.0; G00 Z[#3 + #26 + 2.] END1 N4#19 = #1 * SQRT[1-#3 * #3/[#2 * #2]] #16 = #26 + #3 + #23 #20 = [#19 + #21 + #24] * 2.0 G01 X#20 Z#16 F#9 IF[#3EQ#7]GOTO3 #3 = #3-#18 IF[#3GT#7]GOTO4 #3 = #7 GOTO4 N3 G01 U2.0 F#9 GOTO16 N10 G00 X[#24 + #1] * 2.0 + 2.0 Z[#26 + #3 + 2] #27 = #1 * SQRT[1.0-#3 * #3/[#2 * #2]] #28 = [#27 + #24] * 2.0 G00 X#28 #29 = #26 + #3 G01 G42 Z#29 F#9 N11#30 = #1 * SQRT[1-#3 * #3/[#2 * #2]] #31 = [#30 + #24] * 2.0 #32 = #26 + #3 G01 X#31 Z#32 F#9 IF[#3EQ#7]GOTO15 #3 = #3-#18 IF[#3GT#7]GOTO11 #3 = #7 GOTO11 N15 G01 G40 U2.0 N16 G00 X100. Z100. M99;</pre>	<p>直线粗加工切削循环 直线粗加工切削循环 45°退刀 退刀</p> <p>半精加工循环</p> <p>退刀 粗加工和半精加工结束转到 N16 段 椭圆精加工程序段 刀具快速移动至起刀点 精加工椭圆上第一点的 X 坐标值</p> <p>进刀 精加工椭圆上第一点的 Z 坐标值</p> <p>加入圆弧半径补偿 精加工椭圆上一点的 X 坐标值 精加工椭圆上一占的 Z 坐标值</p> <p>如果#3 等于#7 到 N15 Z 坐标一次递增一个步距 如果#3 大于#7 到 N11 让#3 = #7 退刀取消圆弧半径补偿</p> <p>子程序结束</p>

此加工椭圆宏程序说明:

- ①宏程序只适用于加工小于或等于 90°的椭圆弧。
- ②粗加工时平行于轴线进行粗车。
- ③精加工时注意输入正确的刀尖圆弧半径。
- ④当 U 为“0”时, 执行椭圆精加工。

六、用户宏程序 (二)

1. 正弦螺纹零件的加工

根据图 7-15 所示零件图进行分析, 可使用数控车床加工此零件。此零件为单件生产, 作为柱塞泵轴备件, 定额为 120min, 加工主要内容包括 M16 粗牙螺纹、 $\phi 20H7$ 轴承定位面, 2mm × 2mm 螺纹退刀槽、两中心孔和正弦曲线螺纹等内容。此零件重点是加工正弦曲线螺

纹部分,加工方法为采用编制宏程序的加工程序。

其中工件材料为 45 调质钢,硬度为 25 ~ 3245HRC,毛坯尺寸分别是 $\phi 35\text{mm} \times 95\text{mm}$ 。加工完成后的实体图如图 7-16 所示。

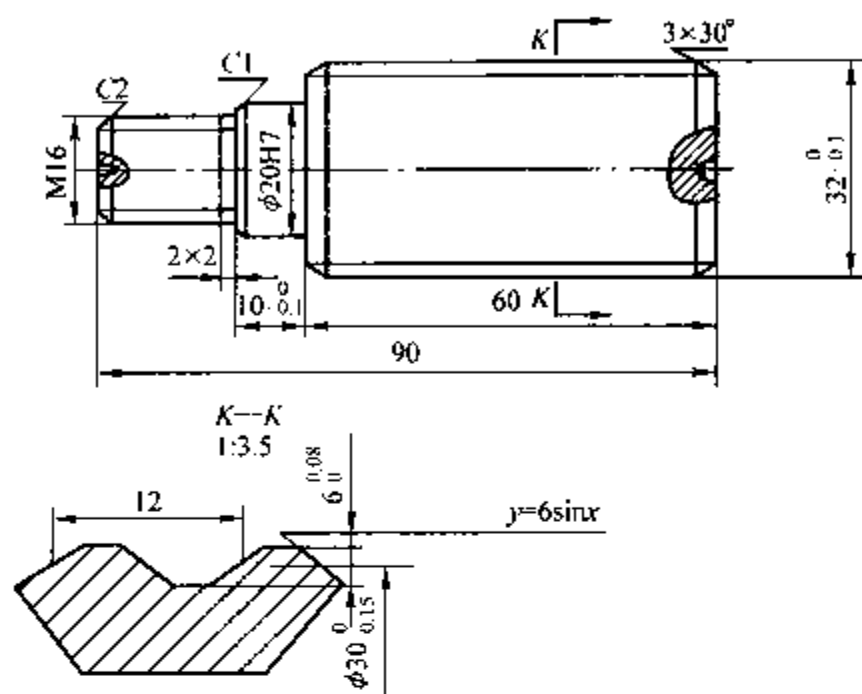


图 7-15 柱塞泵零件图

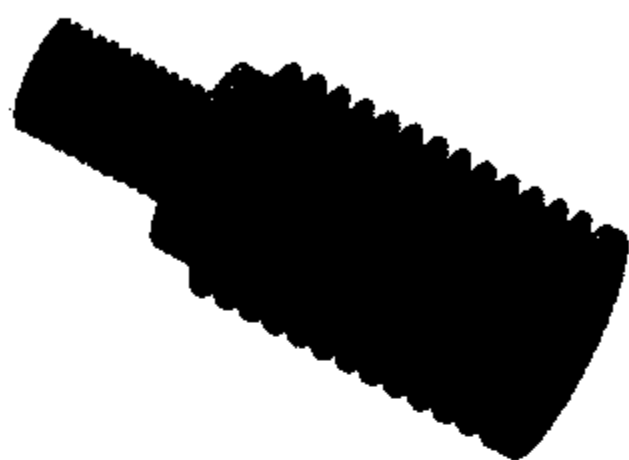


图 7-16 柱塞泵实体图

2. 样件分析

在生产中,经常要加工一些螺距较大牙型的零件。由于其工件螺距大,切削力大,如果采用常规的切削加工方法,受切削力、刀具角度和切削热的影响,易产生扎刀、刀具磨损、振动等现象,影响工件精度,很难达到技术要求,产品合格率极低。牙型是曲线形状,加工车刀不能采用成形刀具,车削大螺距异形螺纹零件的关键在于如何编写加工程序,防止扎刀和刀具磨损现象。

该零件螺纹部分形状是正弦曲线,采用一个周期 360° 正弦宏程序编程,将该曲线分成 240 条线段,用直线拟合,走螺纹插补,每段直线的间距为 0.05mm,相对应的正弦曲线的角度增加为 $360^\circ/240$ 。根据公式计算出牙型曲线上每一线段终点的 X 坐标值, $X = 26 + 6\sin\alpha$ 。

3. 制作过程

(1) 图样分析 图 7-15 所示为大螺距正弦曲线螺纹零件,工件材料为 45 钢,该零件表面由 M16 普通三角形螺纹、 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 螺纹退刀槽、 $\phi 20\text{H7}$ 轴承定位面和牙型为正弦曲线的螺纹组成,加工内容并不复杂,可分为两道工序加工,关键在于加工牙型为正弦曲线的螺纹。

(2) 确定工件的装夹方法

1) 工序一

①用三爪自定心卡盘、顶尖车削工件左端。用 93° 偏刀车端面打中心孔,采用一顶一夹定位加工外圆台阶,切槽刀加工 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 螺纹退刀槽, 60° 螺纹车刀加工 M16 螺纹,如图 7-17 所示。

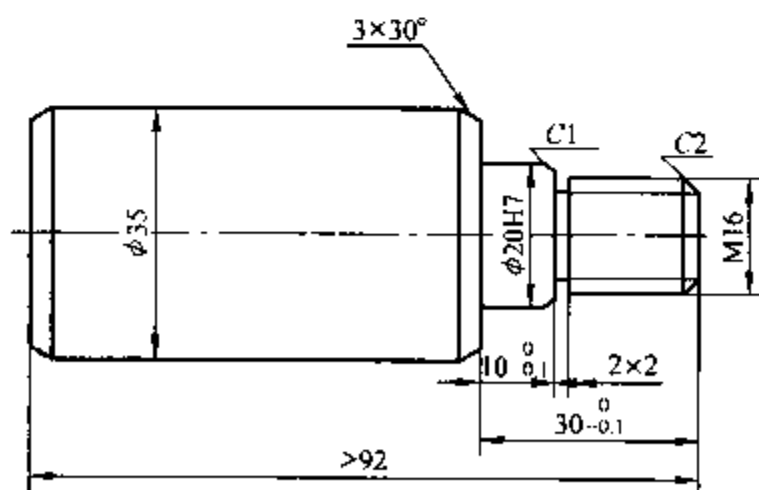


图 7-17 柱塞泵工序一加工图

②确定数控加工刀具及加工工艺卡。用三爪自定心卡盘、顶尖车削工件左端的刀具及加工工艺卡见表 7-16。

表 7-16 工序一的刀具及加工工艺卡

零件图号		数控车床加工工艺卡		机床型号	CK6136	
零件名称	球头蜗杆			机床编号	01	
刀具表				量具表		
刀具号	刀补号	刀具名称	刀具参数	量具名称	规格	
T01	01	90°粗精车偏刀	PCLNR2020M16	游标卡尺	0~200mm/0.02mm	
T02	02	中心钻	A3			
T03	03	切槽刀	VPCLNR2020M16		0~200mm/0.02mm	
T04	04	螺纹刀	S16R-SCLCR09-M16	环规	M16	
工步	工艺内容		切削用量			加工性质
			S/(r/min)	F/(mm/r)	a_p /mm	
1	加工端面		800	0.3	2.5	
2	钻中心孔		800	0.15		
3	粗车外圆		800	0.25	2.5	
4	精车外圆		1200	0.15	0.5	
5	切槽		400	0.05		
6	车螺纹		600	2		

2) 工序二

①用三爪自定心卡盘、顶尖车削工件右端。用三爪自定心卡盘夹住 M16 螺纹外圆，用 2mm 铜皮垫住，用 93°偏刀车端面，打中心孔用顶尖顶住，车采用 35°车刀 $\phi 32$ 外圆，编制宏程序加工正弦曲线螺纹，如图 7-18 所示。

②确定数控加工刀具及加工工艺卡。用三爪自定心卡盘、顶尖车削工件右端的刀具及加工工艺卡见表 7-17。

(3) 各工序加工路线

1) 工序一加工路线和方法如下：

- ①手动车左端面。
- ②打中心孔。
- ③车外圆 $\phi 16$ 、 $\phi 20H7$ 、倒角 $C1$ 、 $C2$ 、 $3 \times 30^\circ$ 。

④切 2mm × 2mm 螺纹退刀槽。

⑤用 G92 加工 M16 螺纹。

2) 工序二加工路线和方法如下：

- ①一夹一顶粗加工右端外轮廓。
- ②精加工右端外轮廓至尺寸要求。

③宏程序加工正弦曲线螺纹。

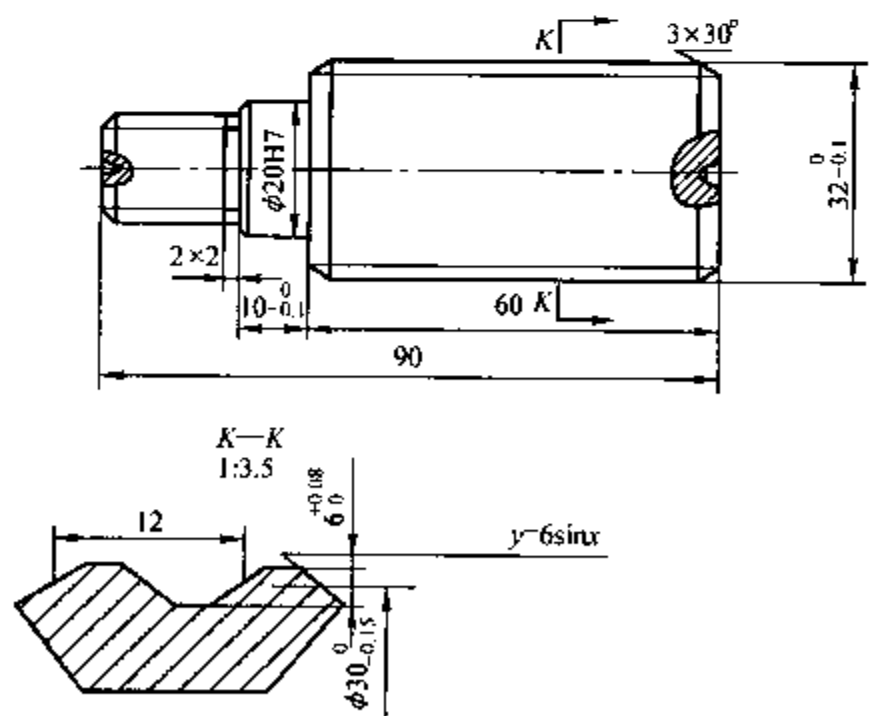


图 7-18 柱塞泵工序二加工图

表 7-17 工序二的刀具及加工工艺卡

零件图号		数控车床加工工艺卡		机床型号	CK6136	
零件名称	球头蜗杆			机床编号	01	
刀 具 表				量 具 表		
刀具号	刀补号	刀具名称	刀具参数	量具名称	规格	
T01	01	90°粗精车偏刀	PCLNR2020M16	游标卡尺	0~200mm/0.02mm	
T02	02	35°车刀	PDJNR2020M15	千分尺	0~200mm/0.02mm	
工步	工 艺 内 容		切 削 用 量			加 工 性 质
			S/(r/min)	F/(mm/r)	a _p /mm	
1	粗车外圆		800	0.25	2.5	
2	宏程序加工正弦曲线螺纹		200	12		

(4) 编写加工程序 表 7-18 和表 7-19 是各工序在 FANUC Oi-MateTC 系统的 CKA6150 型数控车床上使用的加工程序及其说明 (车端面打中心孔采用手动方式操作, 加工程序略)。

表 7-18 工件左轮廓加工程序及说明

程 序	说 明 (工 件 左 轮 廓)
00001;	程序名
M3S800T0101;	外圆车刀
G0X38.Z2.;	快速接近工件
G71U2.R1.;	外圆粗加工循环
G71U0.5W0.1P1Q2F0.25;	
N1G0G42X12.;	加入刀尖圆弧半径补偿,定位到倒角 X 轴起点
G1Z0.;	靠近端面
G1X16.Z-2.;	加工倒角
Z-20.;	加工 φ16 外圆
X20.;	到达 φ20H7 外圆起点
Z-30.;	加工 φ20H7 外圆
X21.6W-3.;	倒角 3×30°
X36.;	推出
N2G40X38.;	取消刀尖圆弧半径补偿
G70P1Q2S1200F0.15;	外圆精加工循环
G0X200.;	
Z20.;	退到安全位置
N3M3S600T0202;	切槽刀 2mm 宽
G0X18.Z-20.;	到达切槽位置
G1X12.F0.05;	切槽至 φ12
G0X200.;	
Z20.;	退到安全位置
M3S600T0303;	60°螺纹车刀
G0X20.Z2.;	螺纹起点
G92X15.5Z-19.F2.;	螺纹加工循环
X15.;	
X14.5;	
X14.;	
X13.6;	
X13.4;	
G0X200.;	
Z20.;	退到安全位置
M30;	程序结束

表 7-19 工件右轮廓加工程序及说明

程 序	说明(工件右轮廓)
O0002; M3S800T0101; G0X36. Z0. ; G1X-2. F0. 2; G0Z2. ; X21. 6; G1Z0; X32. Z-3. ; Z-62. ; X36. ; G0X200. ; Z200. ; M3S200T0202; G0X32. Z15. ; #1 = 90; #2 = -270; #4 = 15; N1#3 = 26 + 6 * SIN[#1]; G1X#3Z#4; G32Z-65. F12. ; G0X50. ; Z#4; #1 = #1 - 0. 9; #4 = #4 - 0. 03; IF[#1GE#2]GOTO1; G0X200. ; Z200. ; M30; %	程序名 93°外圆车刀 加工端面 倒角 3 × 30° 加工 φ32 外圆 退到安全位置 35°外圆车刀主偏角 72. 5° 加工正弦曲线螺纹初始位置 正弦曲线螺纹开始角 90° 正弦曲线螺纹终止角 -270° Z 轴坐标初始值 正弦曲线螺纹加工 X 轴退刀 Z 轴退刀到起始位置 角度增加为 -0. 9° Z 坐标增加为 -0. 03 循环跳转 退到安全位置 程序结束

(5) 进行加工

1) 装刀。根据刀具工艺卡片,准备好要用的刀具,机夹式刀具要认真检查刀片与刀体的接触和安装是否正确无误,螺钉是否已经拧牢固。按照刀具卡的刀号分别将相应的刀具安装至刀盘中。装刀时要一把一把地装,通过试切工件的端面,不断调整垫刀片的高度,保证刀具的切削刃与工件的中心在同一高度的位置,然后将刀具压紧。

注意刀盘中的刀具与刀号的关系一定要与刀具卡一致,否则程序调用刀具时,如果相应的刀具错误,易发生碰撞危险,造成工作报废,机床受损,甚至人身伤害。

2) 对刀。数控车床的对刀一般采用试切法,用所选的刀具试切零件的外圆和端面,经过测量和计算得到零件端面中心点的坐标值。使用这种方法首先要知道进行程序编制时所采用的编程坐标系原点在工件上的位置,然后通过试切,找到所选刀具与坐标系原点的相对位置,把相应的偏移值输入刀具补偿的寄存器中。

常用的方法是对每一把刀具分别对刀,将刀具偏移量分别输入寄存器。步骤如下:

- ①选择一把刀具。
- ②试切端面，保持 Z 方向坐标不动，从 X 向退出刀具。
- ③通过测量，得到刀具当前位置相对于编程原点的 Z 向偏移 ΔZ 。
- ④进入刀具偏置寄存器的“形状补偿”，在相应的刀补号中输入 ΔZ 。
- ⑤按面板上的“测量”按钮，将 Z 向的偏移值输入到刀补中。
- ⑥同样试切外径，保持 X 方向坐标不动，从 Z 向退出刀具，得到偏移 ΔX 。
- ⑦按面板的“测量”按钮，将 X 向的偏移值 ΔX 输入刀补中。

接着调用下一把刀具，重复以上操作，将相应的偏移值输入刀具补偿中，直到完成所有刀具偏移值的输入（内孔车刀对刀时试切内孔来测量偏移值，与外圆一样）。

3) 程序模拟仿真。当所有的准备工作完成时，先不要急于加工工件，程序的模拟仿真是一个不能省略的过程。为了使得程序的质量得到保证，在加工之前先要对程序进行模拟验证，检查程序。

如果车床系统本身有模拟功能，那最好在机床上直接模拟，查看刀具的运动路线是否和想要的路线一致。如果一致，则可以加工；如果不一致，说明存在错误，应当检查程序，直到模拟的结果正确为止。

对于没有模拟功能的车床，可以在计算机上利用仿真软件进行模拟，直到程序无误，方可进行加工。

4) 加工操作。当以上一切准备工作就绪后，就可以加工工件了。

先将“快速进给”和“进给速率调整”的倍率打到“零”位置。启动程序，慢慢地调整“快速进给”和“进给速率调整”旋钮，直至刀具切削到工件。这一步的目的是检验车床的各种设置是否正确，如果不正确有可能发生碰撞，可以迅速地停止车床的运动。

当切到工件后，通过调整“进给速率调整”和“主轴转速”旋钮，使得切削三要素进行合理的配合，就可以持续地进行加工了，直到程序运行完毕。

在加工中，要实时地检查刀具的磨损情况、工件的表面加工质量，保证加工过程的正确，避免事故的发生。每运行完一个程序后，应检查程序的运行效果，对有明显过切或表面粗糙度达不到要求的部位，应立即进行必要的处理，并在机床交接记录本上详细记录。

七、现代车削中心的加工

1. 端盖的加工

使用车削中心（也称车铣中心）加工如图 7-19 所示的零件，使之符合图样要求。该零件为中、小批量生产，毛坯尺寸为 $\phi 125\text{mm} \times 33\text{mm}$ ，工时定额 120min。每加工 5 件检测尺寸的合格情况及刀具磨损情况，及时更换刀具。

其中工件材料为 2A12 超硬铝，毛坯尺寸 $\phi 125\text{mm} \times 33\text{mm}$ 。

加工完成后的实体图如图 7-20 所示。

2. 样件分析

使用车削中心加工图 7-19 所示零件，材料为 2A12 超硬铝，需要加工端面、外圆，钻孔，镗孔，加工螺纹及铣外六方和圆弧。毛坯为直径 $\phi 125\text{mm}$ 、长 33mm 的铝料。对于这类零件首先按数控车削编程，46mm 六方的加工可先车至直径 $\phi 53\text{mm}$ 的外圆，然后再用极坐

标的方法铣削六方，铣圆弧，并按零件的长度确定装夹方法。

短轴（通常将长度与直径比值小于4（ $L/D < 4$ ）的轴类零件称为短轴）可以用三爪自定心卡盘装夹一端进行车削加工。

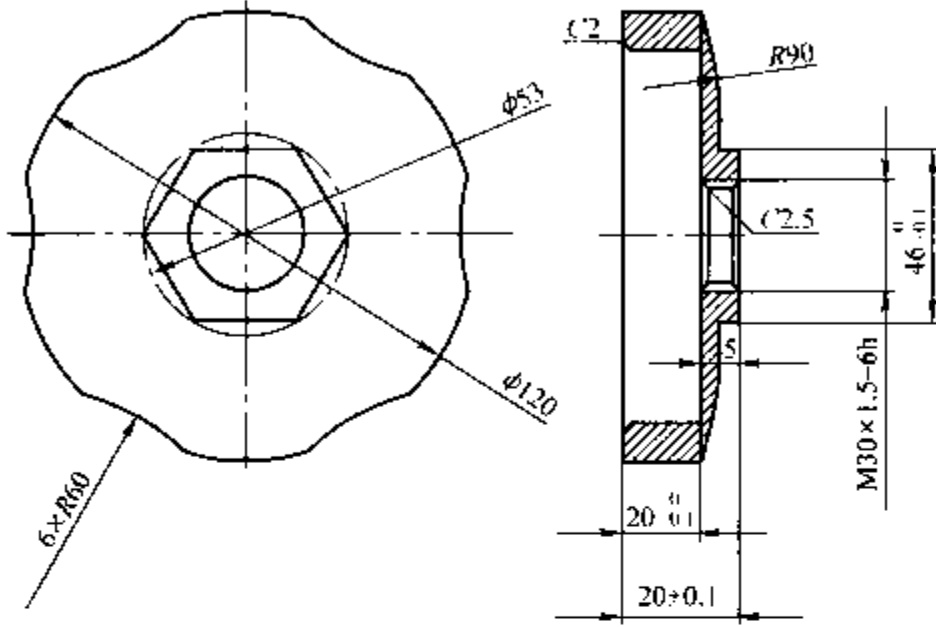


图 7-19 端盖零件图

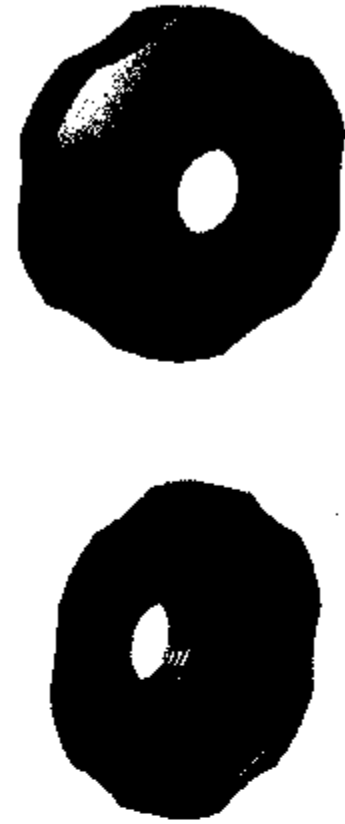


图 7-20 零件实体图

3. 相关知识

车削中心设备外形如图 7-21 所示。

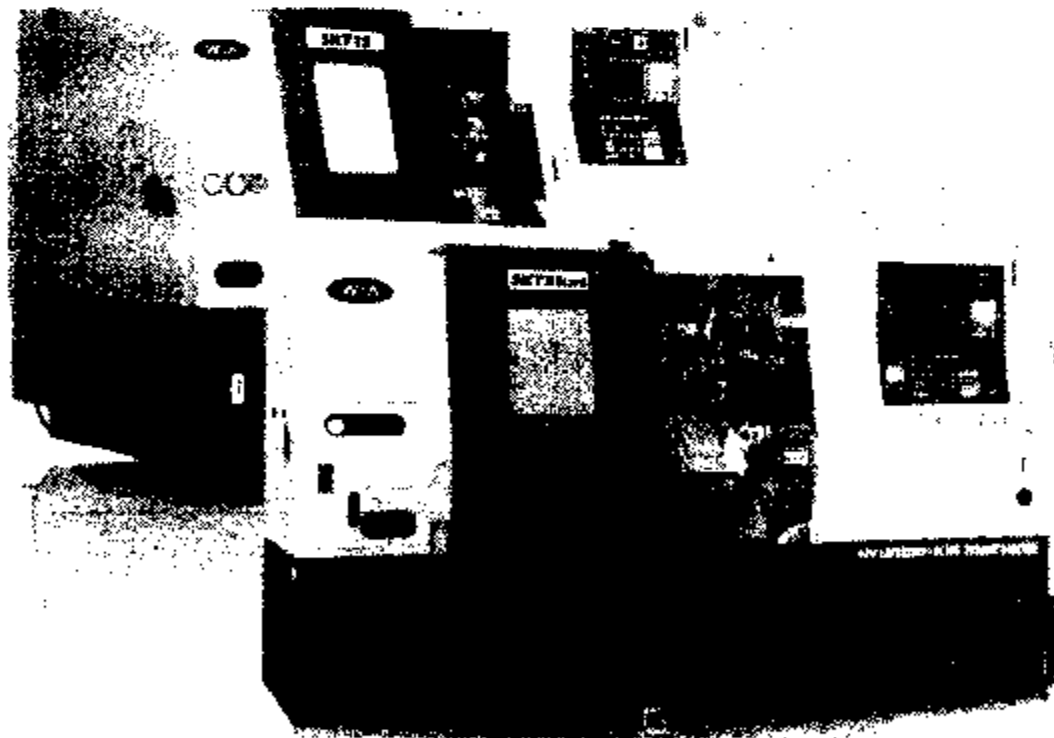


图 7-21 车削中心外形

(1) CNC 指令基本规格说明

1) G 机能：G 功能代码与以前所学的数控车 G 代码完全相同，只是在数控车 G 代码基础上又增加了一些在车削中心上使用的特殊 G 代码。

①轴向（端面）钻孔循环 G83。端面钻孔循环是在端面上钻孔时使用的循环指令，可以钻单个孔也可钻一组孔。

指令格式：

G83X(U)___C(H)___Z(W)___R___Q___P___F___M___;

X、C 表示孔的位置坐标；

Z 表示孔底位置坐标；

R 以增量值指令的起始点至 R 点的距离，有正负；

Q 每次进刀量；

P 孔底暂停时间；

F 进给量；

M C 轴夹紧代码。

轴向钻孔：

a) 零件分析。如图 7-22 所示，在零件端面上，轴向均匀分布四个 $\phi 8\text{mm}$ 、深 60mm 的孔，孔中心不与零件轴线重合，孔间位置夹角均为 90° 。

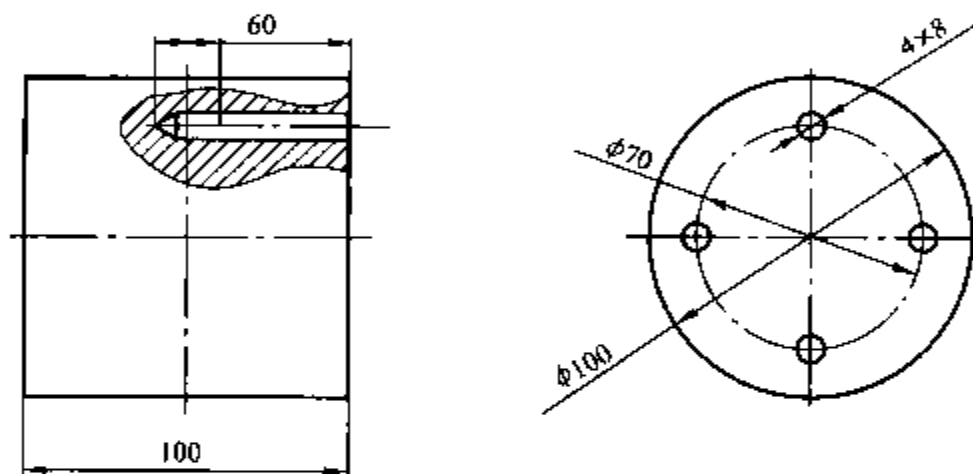


图 7-22 轴向钻孔零件图

b) 确定工件的装夹方法。用三爪自定心卡盘装夹。

c) 数控加工工序。可采用 G83 指令钻削，因 G83 为模态码，每次钻孔时保持其余参数不变，只要改变孔的位置，即改变 C 轴旋转角度，指定的钻孔指令可重复执行，数控加工工艺卡见表 7-20。

表 7-20 数控加工工艺卡

工步号	工步内容	刀具	切削用量		
			背吃刀量/mm	主轴转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
1	钻 $4 \times \phi 8\text{mm}$ 孔	T05		100	100

工件坐标系原点选择如下：

X 轴原点：工件的轴线。

Z 轴原点：工件的轴向尺寸基准在工件的右端面，所以选择工件的右端面为 Z 轴原点。

换刀点：设在工件尺寸之外，与工件、尾座、床身等不发生碰撞的位置。

d) 数控程序。钻削程序见表 7-21。

表 7-21 钻削圆周向分布轴向孔的程序

程 序	说 明
O0001;	程序号
T0505;	换 5 号刀具 5 号刀补
G98M80;	每分钟进给, 主轴变成 C 轴状态
G28H0;	快速定位到 C 轴 0 点
S1000M83;	第二主轴(动力刀塔)1000r/min 正转
G00X70.0Z20.0;	快速定位到铣削起点(70,20)
G83Z-60.0R-15.0Q5000F100M88;	以进给速度 100mm/min 钻第一个孔
C90.0M88;	旋转到 90° 钻第二个孔
C180.0M88;	旋转到 180° 钻第三个孔
C270.0M88;	旋转到 270° 钻第四个孔
G80;	固定循环取消
G00X150.0Z150.0;	快速返回换刀点
M85;	第二主轴停转
M82;	C 轴变主轴
M30;	程序结束

e) 输入零件加工程序。

f) 进行程序校验及加工轨迹仿真。

g) 进行对刀操作。

h) 在自动方式下自动加工并测量修调。

② 径向钻孔循环 G87: 径向钻孔循环是指在零件的圆周上进行钻孔的一种循环指令。
指令格式:

G87Z(W)___C(H)___X(U)___R___Q___P___F___M___;

Z、C 表示孔的位置坐标;

X 表示孔底位置坐标;

R 以增量值指令的起始点至 R 点的距离, 有正负;

Q 每次进刀量;

P 孔底暂停时间;

F 进给量;

M C 轴夹紧代码。

径向钻孔:

a) 零件分析。如图 7-23 所示, 在零件外表面上, 径向均匀分布四个 $\phi 15\text{mm}$ 、深 30mm 的孔, 孔的轴线间夹角均为 90° 。

b) 确定工件的装夹方法。用三爪自定心卡盘装夹。

c) 数控加工工序。可采用 G87 指令钻削, 因 G87 为模态码, 每次钻孔时保持其余参数不变, 只要改变孔的位置, 即改变 C 轴旋转角度, 指定的钻孔指令可重复执行, 数控加工工艺卡见表 7-22。

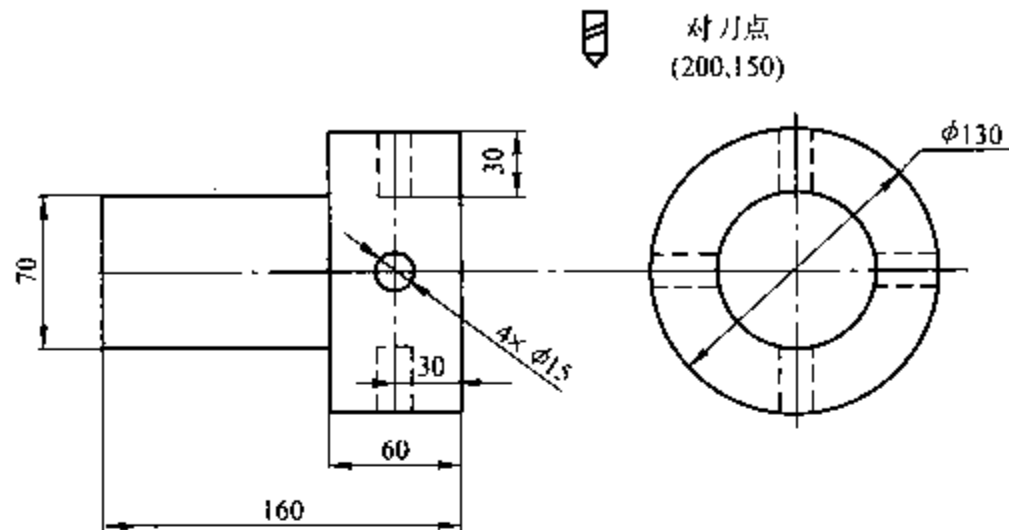


图 7-23 径向钻孔零件图

表 7-22 数控加工工艺卡

工步号	工步内容	刀具	切削用量		
			背吃刀量/mm	主轴转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)
1	钻 4 × $\phi 15$ mm 孔	T04		1000	100

工件坐标系原点选择如下:

X 轴原点: 工件的轴线。

Z 轴原点: 工件的轴向尺寸基准在工件的右端面, 所以选择工件的右端面为 Z 轴原点。

换刀点: 设在工件尺寸之外, 与工件、尾座、床身等不发生碰撞的位置。

d) 数控程序。钻削程序见表 7-23。

表 7-23 钻削圆周向分布径向孔的程序

程 序	说 明
O0001;	程序号
T0404;	换 4 号刀具 4 号刀补
G98M80;	每分钟进给, 主轴变成 C 轴状态
G28H0;	快速定位到 C 轴 0 点
S1000M83;	第二主轴(动力刀塔)1000r/min 正转
G00X170.0;	快速定位到钻孔初始平面, 该平面距离工件圆柱面 20mm
G87Z-30.0X70.0R-15.0Q5000F100M88;	以进给速度 100mm/min 钻第一个孔
C90.0M88;	旋转到 90° 钻第二个孔
C180.0M88;	旋转到 180° 钻第三个孔
C270.0M88;	旋转到 270° 钻第四个孔
G80;	固定循环取消
G00X150.0Z150.0;	快速返回换刀点
M85;	第二主轴停转
M82;	C 轴变主轴
M30;	程序结束

- e) 输入零件加工程序。
- f) 进行程序校验及加工轨迹仿真。
- g) 进行对刀操作。
- h) 在自动方式下自动加工并测量修调。

③端面攻螺纹指令 G84：用于端面攻螺纹时的指令，可用于中心孔和偏心孔的螺纹加工。

指令格式：

G84X(U)___C(H)___Z(W)___R___P___F___M___;

④径向攻螺纹指令 G88：用于圆周上各孔螺纹的加工。

指令格式：

G88Z(W)___C(H)___X(U)___R___P___F___M___;

⑤端面镗孔指令 G85：在端面上镗孔时的指令，可镗中心孔、偏心孔等。

指令格式：

G85X(U)___C(H)___Z(W)___R___P___F___M___;

⑥径向镗孔指令 G89：在圆周上镗孔时的指令。

指令格式：

G89Z(W)___C(H)___X(U)___R___P___F___M___;

⑦极坐标插补 (G12.1、G13.1)：极坐标插补功能是将轮廓控制由直角坐标系中编程的指令转换成一个直线轴运动 (刀具的运动) 和一个回转轴的运动 (工件的回转)。这种方法用于在车削中心上铣削平面和凸轮轴等零件。

G12.1：启动极坐标插补方式。指令直角坐标系中的直线或圆弧插补，直角坐标系由直线轴和回转轴组成。

G13.1：极坐标插补方式取消。可用 G112 和 G113 分别代替 G12.1 和 G13.1。

a) 极坐标插补平面：G12.1 启动极坐标插补方式并选择一个极坐标插补平面 (图 7-24)，极坐标插补在该平面上完成。当接通电源或系统复位时，极坐标插补被取消 (G13.1)。

用于极坐标插补的直线轴和回转轴必须预先设在参数中。

注意：在 G12.1 指令之前使用的平面 (由 G17、G18 或 G19 选择的平面) 被取消。当指令 G13.1 (取消极坐标插补) 后，该平面恢复。当系统复位时，极坐标插补被取消，并使用由 G17、G18 或 G19 指定的平面。

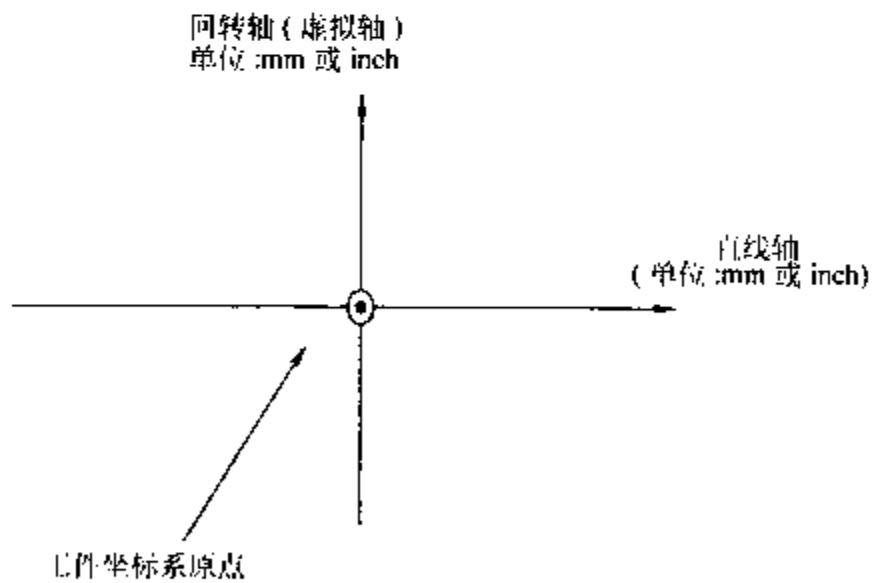


图 7-24 极坐标插补平面

极坐标插补的移动距离和进给速度：虚拟轴与线性轴坐标单位相同 (mm 或 inch)。

在极坐标插补方式，程序指令是在极坐标平面上用直角坐标指令。回转轴的地址作为平面中第二轴 (虚拟轴) 的地址。平面中的第一轴无论是用直径值指令或者用半径值指令，对于回转轴都是一样的，即回转轴与平面中第一轴的规格无关。当指令 G12.1 时，极坐标

插补的刀具位置是从 0° 开始的。

进给速度单位一般为 mm/min 或 inch/min 。

F 指令的进给速度是与极坐标插补平面（直角坐标系）相切的速度（工件和刀具间的相对速度）。

在极坐标插补方式中，可以指令的 G 代码有：

G01 直线插补

G02, G03 圆弧插补

G04 暂停

G40, G41, G42 刀具半径补偿（极坐标插补用于刀具补偿后的轨迹）

G65, G66, G67 用户宏程序指令

G98, G99 每分钟进给，每转进给

b) 极坐标平面中的圆弧插补：在极坐标插补平面中为圆弧插补（G02 或 G03）指令圆弧半径的地址取决于插补平面中的第一轴（直线轴）。

当直线轴是 X 轴或其平行轴时，在 X-Y 平面中用 I 和 J。

当直线轴是 Y 轴或其平行轴时，在 Y-Z 平面中用 J 和 K。

当直线轴是 Z 轴或其平行轴时，在 Z-X 平面中用 K 和 I。

圆弧半径也可用 R 指令。

在极坐标插补方式沿非极坐标插补平面中轴的运动：刀具能沿这些轴正常移动而与极坐标插补开关。

极坐标插补方式中的当前位置显示实际坐标值。然而，程序段中剩余要走的距离则根据极坐标插补平面（直角坐标）中的坐标显示。

c) 注意事项：

①在指令 G12.1 之前，必须设定一个工件坐标系，回转轴中心是该坐标系的原点。在 G12.1 方式中，坐标系绝对不能改变（G92, G52, G53, 相对坐标复位, G54 ~ G59 等）。

②在刀具半径补偿方式（G41 或 G42）不能启动或取消（G12.1 或 G13.1）极坐标插补方式。必须在刀具半径补偿取消方式（G40）指令 G12.1 或 G13.1。

③对于 G12.1 方式中的程序段，不能进行程序的再启动。

④极坐标插补将直角坐标系中的刀具运动转换为回转轴（C 轴）和直线轴（X 轴）的刀具运动。当刀具移动到快接近工件中心时，进给速度的 C 轴分量变大，会超过 C 轴的最大切削进给速度，产生报警。为防止 C 轴分量超过 C 轴最大切削进给速度，应降低 F 地址指令的进给速度，或者编制程序使刀具（当应用刀尖半径补偿时是刀具中心）不能接近工件中心。

插补误差如图 7-25 所示，考察直线 L_1 、 L_2 和 L_3 。 ΔX 是刀具在直角坐标系中进给速度为 F 的单位时间内移动的距离。当刀具从 L_1 移动到 L_2 到 L_3 时，刀具在直角坐标系中对应于 ΔX 每单位时间移动角度从 37°

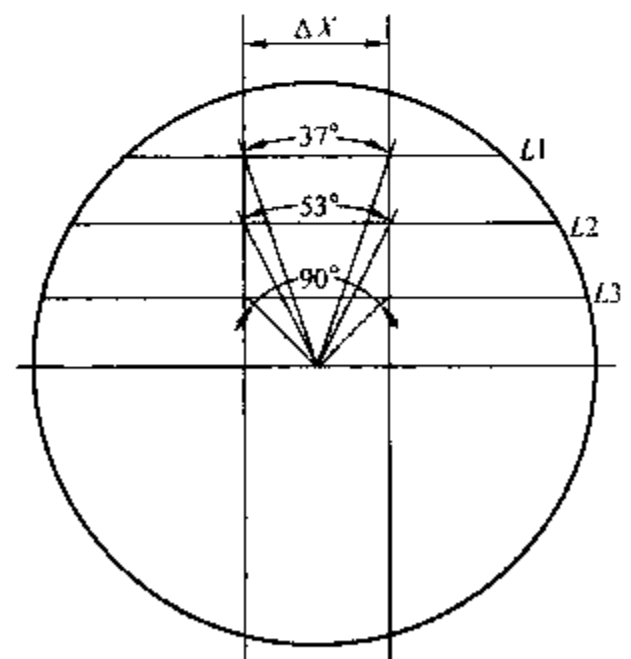


图 7-25 插补误差

增加到 53° 到 90° 。换句话说,进给速度的 C 轴分量在刀具接近工件中心时变大了。因为在直角坐标系中的刀具运动已经转换为 C 轴和 X 轴的刀具运动,进给速度的 C 分量会超过 C 轴的最大切削进给速度。

于是,在极坐标插补中可以用地址 F 指令的速度可由下式给出。指令的速度允许值,由该公式计算。该公式提供理论值;实际上,由于计算误差,必须使用比理论值稍小一些的值。

$$F < L \times R \times \pi / 180$$

式中 L ——当刀具中心接近工件时刀具中心和工件之间的距离 (mm);

R —— C 轴的最大切削进给速度 (deg/min)。

③即使直线轴(X 轴)用直径编程,回转轴(C 轴)仍用半径编程。

下面举一个基于 X 轴(直线轴)和 C 轴(回转轴)的极坐标插补程序实例。

如图7-26所示零件图,材料为45钢,毛坯规格为 $\phi 70\text{mm} \times 50\text{mm}$ 。

在车削中心上加工,先用外圆车刀将零件车至 $\phi 57\text{mm} \times 10\text{mm}$ 台阶,然后使用 $\phi 20\text{mm}$ 立铣刀,铣削 $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 及两个 $R10\text{mm}$ 的圆弧,铣削深度为 10mm 。

示例程序见表7-24。

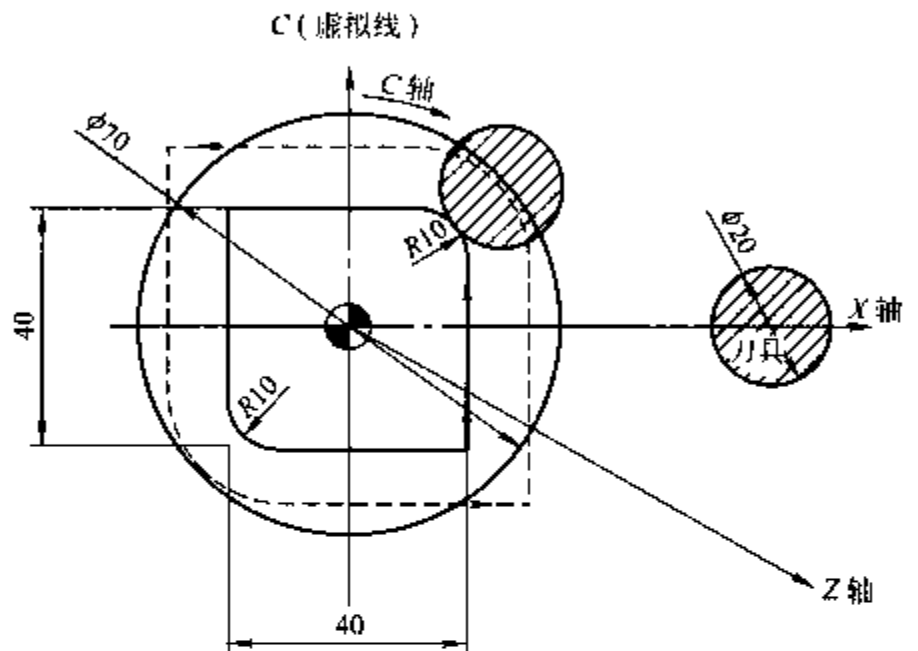


图7-26 零件图

表7-24 示例程序及说明

程 序	说 明
O0001;	程序编号 00001
G99G97G40G113;	每转进给,恒转速,取消刀补,取消极坐标插补
T0101;	使用机床坐标系,1号刀具1号刀补
S1000M03;	指定恒转速 1000r/min,主轴逆时针旋转(正转)
G00X72.0Z0;	快速定位到点(72,0)
G01X-1.0F0.15;	以进给率0.15mm/r车端面
G00X70.0Z2.0;	快速定位到外圆粗车循环起点(70,2)
G71U2.0R1.0;	粗车循环,背吃刀量2mm
G71P10Q20U0.8W0.1F0.3;	精车余量 X 方向0.8mm, Z 方向0.1mm
N10G00X57.0;	快速到 X 方向精车起始点
G01Z-10.0	以进给率0.3mm/r到 Z 精车起始点
N20X72.0;	程序段号N10到N20定义工件
G70P10Q20F0.1;	精车切削路线
G00X100.0Z100.0;	快速返回换刀点
T0202;	换2号刀具2号刀补
G98M80;	每分钟进给,主轴变成 C 轴状态

程 序	说 明
G28H0;	快速定位到 C 轴 0 点
S600M83;	第二主轴(动力刀塔)600r/min 正转
G00X90.0;	快速定位到铣削起点(90, -10)
Z-10.0;	
G112;	进入极坐标插补
G01G42X40.0F100;	以进给速度 100mm/min 进入第一个铣削点
C10.0;	第二点
G03X20.0C20.0R10.0;	第三点
G01X-40.0;	第四点
C-10.0;	第五点
G03X-20.0C-20.0R10.0K0;	第六点
G01X40.0;	第七点
C1.0;	第八点
G01G40X120.0F500;	脱离工件取消刀补
G113;	极坐标取消
G00Z150.0	快速返回换刀点
X150.0;	
M85;	第二主轴(动力刀塔)停转
M82;	C 轴变主轴
M30;	程序结束

2) M 功能(辅助机能)。在数字控制机床上,常常有一些单纯的开/关(ON/OFF)动作,这些动作皆归类于辅助功能中,在同一单节中若有两个辅助机能时,会产生报警。M 指令代码见表 7-25。

表 7-25 M 功能表

代码	说 明
M00	当程式执行 M00 时,程式暂停,主轴停止,如欲再启动程式则按循环启动键继续执行
M01	当程式执行 M01 时,须看 OSP 键是否按下,若是,则状态动作同 M00;若否,则继续下一单节
M02	当程式执行 M02 时,程序停止,主轴状态不变,欲回到程式前端必须按 CRT 上的 RESET 键(此时主轴停止)
M03	当程式执行 M03 时,主轴正转,转速依 S 的命令值旋转
M04	当程式执行 M04 时,主轴反转,转速依 S 的命令值旋转
M05	当程式执行 M05 时,主轴停止
M06	当程式执行 M06 时,切削液喷出(面板上的切削液自动开关须为启动状态)
M07	当程式执行 M07 时,切削液停止
M08	当程式执行 M08 时,切削液喷出(面板上的切削液自动开关须为启动状态)
M09	当程式执行 M09 时,切削液停止
M10	当程式执行 M10 时,夹头夹紧(当主轴停止时)
M11	当程式执行 M11 时,夹头松开(当主轴未停止时,欲执行 M11 之前,须先执行 M31)
M12	当程式执行 M12 时,尾座心轴伸出(主轴必须停止旋转)
M13	当程式执行 M13 时,尾座心轴退回尾座内(主轴必须停止旋转)
M14	当程式执行 M14 时,侦测臂往下伸
M15	当程式执行 M15 时,侦测臂往上伸

(续)

代码	说 明
M16	
M17	当程式执行 M17 时,门自动关闭
M18	当程式执行 M18 时,门自动打开
M19	当程式执行 M19 时,主轴定位
M20	当程式执行 M20 时,取消主轴定位
M21	当程式执行 M21 时,门打开时,程式继续执行
M22	当程式执行 M22 时,门打开时,程式会停止
M23	当程式执行 M23 时,工件收集器打开,准备接料
M24	当程式执行 M24 时,工件收集器关闭
M25	当程式执行 M25 时,单节删除 ON
M26	当程式执行 M26 时,单节删除 OFF
M27	当程式执行 M27 时,可程式尾座之联接插销推出与 Z 轴结合且程式尾座松开
M28	当程式执行 M28 时,可程式尾座之联接插销缩回与 Z 轴脱离且程式尾座锁紧
M29	当程式执行 M29 时,启动刚性攻牙功能
M30	当程式执行 M30 时,程式停止且程式停止灯亮,加工程式再回到程式前端
M31	当程式执行 M31 时,无论夹头是否夹紧,主轴依然可旋转
M32	当程式执行 M32 时,若夹头未夹紧,则主轴无法旋转
M33	当程式执行 M33 时,若程式遇到 G76,可作倒角功能(角度由参数 P109(0-TC/D)、P5130(18-TC)THDCH 设定)
M34	当程式执行 M34 时,若程式遇到 G76,无倒角功能
M35	当程式执行 M35 时,还没等到轴向位移完全停止,即执行下一个品段的轴向位移
M36	当程式执行 M36 时,须等到轴向位移完全停止,才执行下一个品段轴向位移
M37	当程式执行 M37 时,无论主轴是否旋转,皆可执行 M12 或 M13
M38	当程式执行 M38 时,主轴旋转中,不可执行 M12 或 M13
M39	当程式执行 M39 时,进给率调整功能无效
M40	当程式执行 M40 时,进给率调整功能有效
M41	当程式执行 M41 时,不检查主轴是否旋转,或转速是否到达(只限该单节有效)
M42	可程式尾座指令 M 码
M43	当程式执行 M43 时,主轴正转且切削液喷出(M43 = M03 + M08)
M44	当程式执行 M44 时,主轴反转且切削液喷出(M44 = M04 + M08)
M45	当程式执行 M45 时,主轴停止且切削液停止(M45 = M05 = M09)
M46	当程式执行 M46 时,NC 会等待自动送料机送料完成
M47	当程式执行 M47 时,NC 会等待机械手夹材完成
M48	当程式执行 M48 时,NC 会等待机械手取材完成
M49	当程式执行 M49 时,NC 会等待机械手置材完成
M50	当程式执行 M50 时,NC 会等待机械手离开完成
M51	当程式执行 M51 时,副夹头夹紧工件(当副主轴停止时)
M52	当程式执行 M52 时,副夹头松开(当副主轴停止时且执行 M52 之前先执行 M31)
M53	当程式执行 M53 时,主轴吹气启动
M54	当程式执行 M54 时,主轴吹气解除
M55	当程式执行 M55 时,主轴负载侦测功能启动
M56	当程式执行 M56 时,主轴负载侦测功能解除
M57	当程式执行 M57 时,副主轴吹气启动
M58	当程式执行 M58 时,副主轴吹气解除
M59	
M60	当程式执行 M60 时,X 轴镜像启动
M61	当程式执行 M61 时,X 轴镜像取消
M62	8 个 M 码辅助功能 当程式执行 M62 时,车床通知自动送料机停止推料

代码	说 明
M63	8 个 M 码辅助功能 当程式执行 M63 时,车床通知自动送料机换新棒料
M64	当程式执行 M64 时,8 个 M 码辅助功能
M65	当程式执行 M65 时,8 个 M 码辅助功能
M66	当程式执行 M66 时,8 个 M 码辅助功能
M67	当程式执行 M67 时,8 个 M 码辅助功能
M68	当程式执行 M68 时,8 个 M 码辅助功能
M69	当程式执行 M69 时,8 个 M 码辅助功能
M70	当程式执行 M70 时,主轴齿轮档位换至低档
M71	当程式执行 M71 时,主轴齿轮档位换至中档
M72	当程式执行 M72 时,主轴齿轮档位换至高档
M73	当程式执行 M73 时,副主轴正转 当程式执行 M73 时,排屑机正转动作
M74	当程式执行 M74 时,副主轴反转 当程式执行 M74 时,排屑机停止动作
M75	当程式执行 M75 时,副主轴停止旋转
M76	当程式执行 M76 时,主轴及副主轴同期正转
M77	当程式执行 M77 时,主轴及副主轴同期反转
M78	当程式执行 M78 时,主轴及副主轴同时停止旋转
M79	当程式执行 M79 时,主轴齿轮档换至空档
M80	当程式执行 M80 时,主轴变为 C 轴功能
M81	
M82	当程式执行 M82 时,主轴变为主轴功能
M83	当程式执行 M83 时,第二主轴(动力刀塔)正转
M84	当程式执行 M84 时,第二主轴(动力刀塔)反转
M85	当程式执行 M85 时,第二主轴(动力刀塔)停止
M86	当程式执行 M86 时,第二主轴正转改变成反转,反转改变成正转
M87	当程式执行 M87 时,解除 M86 功能,第二主轴恢复正常转向
M88	当程式执行 M88 时,C 轴高档刹车启动
M89	当程式执行 M89 时,C 轴高档刹车解除
M90	当程式执行 M90 时,C 轴低档刹车启动
M91	当程式执行 M91 时,C 轴低档刹车解除
M92	
M93	当程式执行 M93 时,主轴夹头压力切换(夹头二次压力)
M94	当程式执行 M94 时,主轴夹头压力恢复(开机时的夹头压力)
M95	视窗功能
M96	视窗功能
M97	当程式执行 M97 时,工件数量加一
M98	当程式执行 M98 时,执行呼叫副程式
M99	当程式执行 M99 时,表示副程式结束,回到主程式

(2) 铣削功能 车削中心回转刀架上安装的自动驱动铣削刀具,分别为 X 向铣刀和 Z 向铣刀。其中 X 向铣刀主要完成铣削平面、螺旋槽、键槽、径向孔等加工任务;Z 向铣刀主要完成铣削端面圆弧槽、直线槽,铣削在端面上分布的平行于工件轴线的孔等加工任务。铣削刀具加工时,C 轴(主轴)只能作分度运动,铣刀在旋转的同时,随回转刀架沿 X 轴或 Z 轴进给。

例如：铣削端面圆弧槽时，第一步是铣刀旋转并移动，定位在铣槽的起始点；第二步是铣刀进给，切到图样上要求的槽底深度；第三步是C轴分度进给。铣削螺旋槽与铣削端面圆弧槽的过程类似，但是要求C轴转动的角度与铣刀Z向进给的距离保持传动关系，而铣刀进给的速度只影响加工的效率。

4. 制作过程

(1) 工件的装夹方法 用三爪自定心卡盘装夹工件。卡盘能自动定心，工件装夹后一般不需要找正，装夹效率高，但只限于装夹圆柱形、正三角形、六边形等形状规则的零件。如果工件是精基准表面，为防止夹伤工件表面，可以使用软爪。如果工件伸出卡盘较长，则仍需找正。三爪自定心卡盘上一般有一副正反都可使用的卡爪，各卡爪都有编号，在装配卡爪时应按编号顺序安装。

(2) 工件（图7-19）的加工路线 装夹毛坯（直径 $\phi 125\text{mm}$ ，长 20mm ）→车一端端面→钻 $\phi 26\text{mm}$ 孔→镗螺纹底孔 $\phi 28.5\text{mm}$ →镗螺纹底孔 $\phi 99\text{mm}$ →倒角 $C2$ →倒角 $C2.5$ →车 $M30 \times 2.0$ 螺纹→车 $M100 \times 1.0$ 螺纹→调头车端面，保持总长 30mm →车 46mm 六方外圆至 $\phi 53\text{mm}$ →车圆弧 $R90\text{mm}$ →车大外圆 $\phi 120\text{mm}$ 至尺寸→铣削六方 46mm →铣削 $6 \times R90\text{mm}$ 。

(3) 选择坐标系原点 编写程序前需要根据工件的情况选择工件原点，X轴工件原点通常设在工件轴线上。Z轴原点的选择一般根据工件的设计基准，选择在工件轴向的右端面，铣削部分的原点与车削部分的原点相同。

(4) 编写工艺卡片 根据零件的加工要求，粗、精车端面及外圆用 90° 硬质合金机夹偏刀；钻孔用 $\phi 26\text{mm}$ 钻头，根据螺纹底孔的大小，选择小于底孔 $1 \sim 2\text{mm}$ 的钻头；镗孔时的余量不大（单边 1.25mm ），所以安排一次粗车，然后精车，镗刀尽可能采用不通孔镗刀；车内螺纹时合理选择分刀次数，最后一刀尺寸应为螺纹公称直径尺寸（ $\phi 30\text{mm}$ ）；铣六方采用 $\phi 16\text{mm}$ 立铣刀，粗铣采用逆铣分层铣削，单边留 0.5mm 余量；精铣采用顺铣一次铣削完成，以确保加工表面粗糙度要求。刀具及加工工艺卡见表7-26。

表 7-26 数控刀具及加工工艺卡

零件图号	数控车削中心加工工艺卡			机床型号		
零件名称	六角螺母				机床编号	
刀具表				量具表		
刀具号	刀补号	刀具名称	刀具参数	量具名称	规格	
T01	01	90° 偏刀		游标卡尺	$0 \sim 150\text{mm}$	
T02	02	中心钻	$\phi 1.5\text{mmA}$ 型			
T03	03	钻头	$\phi 26\text{mm}$ ，长 50mm			
T04	04	镗孔刀		游标卡尺	$0 \sim 150\text{mm}$	
T05	05	内螺纹车刀	公制 60°	螺纹塞规	$M30 \times 1.5$	
T06	06	立铣刀	$\phi 16\text{mm}$	游标卡尺	$0 \sim 150\text{mm}$	

(续)

工步号	工步内容	切削用量			加工性质
		$S/(r/min)$	$F/(mm/r)$	a_p/mm	
1	车端面	1000 ~ 1500	0.15		
2	粗、精车外圆	1000 ~ 1500	0.1 ~ 0.3	2.5	
3	打中心孔	1200	0.05		
4	钻孔	300 ~ 400	0.08		
5	镗孔	800 ~ 1000	<0.15	1.5	
6	车内螺纹	<720	2.0		
7	粗铣六方	500 ~ 600	150mm/min	2	
8	精铣六方	800 ~ 1000	100mm/min	0.5	
9	粗铣圆弧	500 ~ 600	100mm/min	4	
10	精铣圆弧	800 ~ 1000	100mm/min	0.5	

(5) 编写数控加工程序 车外圆采用一次粗车，一次精车。钻孔采用 G83 指令。G83 指令是一种钻孔循环指令，钻孔时采用的是 R 点回归进给方式，有利于排屑，得到广泛使用。铣圆弧、铣六方采用极坐标插补指令 G112、G113。极坐标插补是在车削中心上广泛使用的一种在车床上实现铣削功能的指令，它可以使机床在极坐标状态下，实现两轴半联动，从而加工出所需要的零件形状。镗孔采用 G71、G70 粗精加工循环指令。车螺纹采用 G92 指令，G92 指令适用于螺距小于 3mm 的螺纹加工，其进刀方式是直进式，程序编写进给量比较直观，而且便于记忆。

圆弧节点及加工路线如图 7-27 所示。

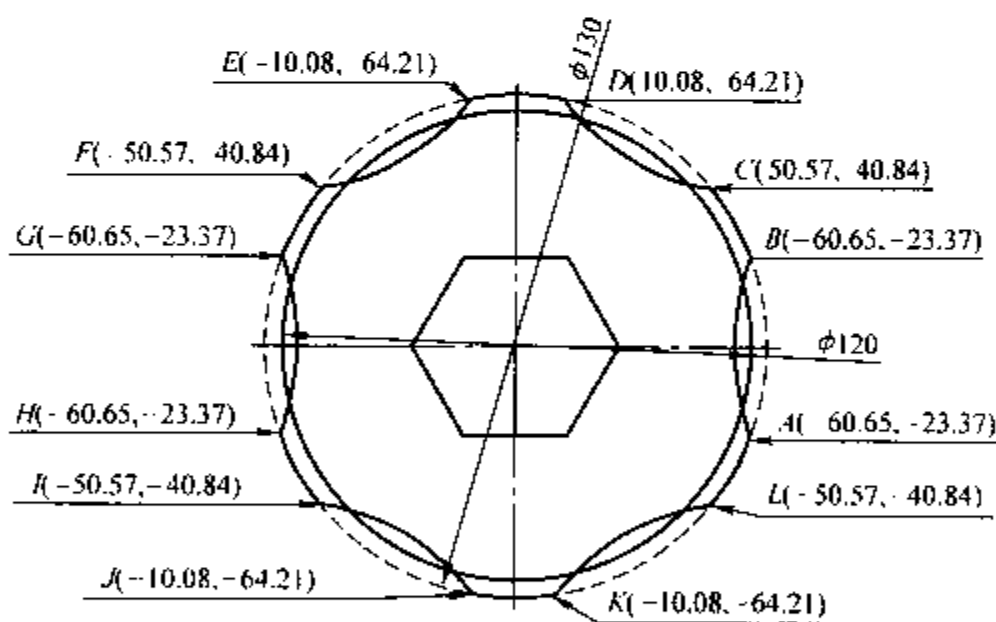


图 7-27 节点计算图

现以 (FANUC—18T) 机床为例，数控程序编写见表 7-27。

表 7-27 端盖加工程序

程 序	说 明
O0001;	左端程序编号 00001
T0101; (外圆车刀)	使用机床坐标系、1 号刀具 1 号刀补
G40 G99 G97 S1000 M03;	指定恒定转速 1000r/min; 主轴逆时针旋转 (正转) 每转进给
G00 X127.0 Z0;	快速定位到点 (127, 0)

(续)

程 序	说 明
G01 X-1.0 F0.15;	以进给速度 0.15mm/r 车端面
G00 X150.0 Z100.0;	快速返回到换刀点 (150, 100)
T0202; (中心钻)	换 2 号刀具 2 号刀补
S1200 M03;	恒定转速 1200r/min, 主轴逆时针旋转 (正转)
G00 X0 Z10.0;	快速定位到打中心孔起点
Z1.0;	快速接近工件安全距离
G01 Z-2.0 F0.05;	以进给速度 0.05mm/r 打中心孔
G00 Z100.0;	快速退回工件
X100.0;	返回换刀点
T0303; ($\phi 26$ 钻头)	换 3 号刀具 3 号刀补
S300 M03;	恒定转速 300r/min, 主轴逆时针旋转 (正转)
G00 X0 Z10.0;	快速定位到打孔起点
G83 Z-38.0 R-8.0 Q3000 F0.08;	用钻孔循环钻孔至 38mm 深
G00 X100.0 Z100.0;	快速返回换刀点
T0404; (镗孔刀)	换 4 号刀具 4 号刀补
S800 M03;	恒定转速 800r/min, 主轴逆时针旋转 (正转)
G00 X26.0 Z2.0;	快速定位到镗孔起点
G71 U1.5 R1.0;	粗车循环, 背吃刀量 1.5mm
G71 P30 Q40 U-0.6 W0.05 F0.15;	精车余量 X 方向 0.6mm, Z 方向 0.05mm
N30 G00 X103.0	快速到 X 方向精车起始点
G01 G41 Z0;	以进给速度 0.15mm/r 到 Z 精车起始点
X99.0 Z-2.0;	程序段号 N30 到 N40 定义工件
Z-20.0;	精车切削路线
X33.0;	
X28.0 W-2.5;	
Z-32.0;	
N40 G40 X25.0;	
G70 P30 Q40 F0.08;	粗车后的精车循环
G00 X100.0 Z100.0;	快速返回换刀点
T0505; (内螺纹车刀)	换 5 号刀具 5 号刀补
S450 M03;	恒定转速 450r/min, 主轴逆时针旋转 (正转)
G00 X97.0 Z2.0;	快速定位螺纹循环起点
G92 X99.5 Z-18.0 F1.0;	加工螺纹到 (99.5, -18), 螺距 1.0mm
X99.8;	
X100.0;	
X100.1;	加工到螺纹底径 (100.1, -18)
G00 X27.0;	快速定位螺纹循环起点
Z-17.0;	
G92 X29.5 Z-32.0 F2.0;	加工螺纹到 (29.5, -32), 螺距 2.0mm
X29.8;	
X30.0;	

程 序	说 明
X30.1;	加工到螺纹底径 (30.1, -32)
G00 Z2.0;	快速返回换刀点
G00 X100.0 Z100.0;	快速返回换刀点
O0002;	右端程序编号 00002
T0101; (外圆车刀)	使用机床坐标系, 1号刀具1号刀补
G40 G97 S1000 M03;	指定恒定转速 1000r/min, 主轴逆时针旋转 (正转)
G00 X127.0 Z0;	快速定位到点 (127, 0)
G01 X-1.0 F0.15;	以进给速度 0.15mm/r 车端面
G00 X125.0 Z2.0;	快速定位到外圆粗车循环起点 (125, 2)
G71 U2.0 R1.0;	粗车循环, 背吃刀量 2mm
G71 P10 Q20 U0.8 W0.05 F0.3;	精车余量 X 方向 0.8mm, Z 方向 0.05mm
N10 G00 X51.0;	快速到 X 方向精车起始点
G01 G42 Z0;	以进给速度 0.3mm/r 到 Z 精车起始点
X53.0 Z-1.0;	程序段号 N10 到 N20 定义工件
Z-5.0;	精车切削路线
X50.0;	精车切削路线
G03 X120.0 Z-10.0 R90.0;	精车切削路线
Z-32.0;	精车切削路线
N20 G40 X127.0;	取消刀补
G70 P10 Q20 F0.1;	粗车后的精车循环
G00 X100.0 Z100.0;	快速返回换刀点
T0606; ($\phi 16$ 立铣刀)	换 6 号刀具 6 号刀补
G98 M80;	每分钟进给, 主轴变成 C 轴状态
G00 G28 H0;	快速定位到 C 轴 0 点
S1000 M83;	第二主轴 (动力刀塔) 1000r/min 正转
G00 X73.0 Z0;	快速定位到铣方起点
W-5.0;	铣削深度 5mm
G112;	进入极坐标状态
G01 G41 X53.5 F100;	以进给速度 100mm/min 进入第一个铣削点
X27.0 C-23.5;	第二点
X-27.0;	第三点
X-53.5 C0;	第四点
X-27.0 C23.5;	第五点
X27.0;	第六点
X53.5 C0;	第七点
X55.0;	退离工件
G40 X73.0;	取消刀补
G113;	极坐标取消
G00 X150.0;	快速定位到铣 R 起点
G00 G28 H0;	快速定位到 C 轴 0 点
H-20.0;	快速定位到 C 轴 0 点

(续)

程 序	说 明
Z-32.0;	铣削深度 32mm
G112;	进入极坐标状态
G01 G42 X121.3 C-23.37 F500;	A 点坐标 (121.3, -23.37)
G03 C23.37 R60.0 F300;	B 点坐标 (121.3, 23.37)
G01 X101.14 C40.84;	C 点坐标 (101.14, 40.84)
G03 X20.16 C64.21 R60.0;	D 点坐标 (20.16, 64.21)
G01 X-20.16;	E 点坐标 (-20.16, 64.21)
G03 X-101.14 C40.84 R60.0;	F 点坐标 (-101.14, 40.84)
G01 X-121.3 C23.37;	G 点坐标 (-121.3, 23.37)
G03 C-23.37 R60.0;	H 点坐标 (-121.3, -23.37)
G01 X-101.14 C-40.84;	I 点坐标 (-101.14, -40.84)
G03 X-20.16 C-64.21 R60.0;	J 点坐标 (-20.16, -64.21)
G01 X20.16;	K 点坐标 (20.16, -64.21)
G03 X101.14 C-40.84 R60.0;	L 点坐标 (101.14, -40.84)
G01 G40 X150.0 F500;	取消刀补
G113;	极坐标取消
M85;	第二主轴 (动力刀塔) 停转
M82;	C 轴变主轴
G00 X150.0 Z100.0;	快速返回换刀点
M30;	程序结束

(6) 进行加工

1) 装刀。在车削中心上除了可以安装车刀、钻头外, 还可以安装铣刀等工具。车刀的安装与数控车床相同, 刀具安装以后调整刀具刀位点在主轴中心与 X 轴向导轨平行的平面内; 钻头可以安装在圆盘式刀架的刀位孔内, 加工刀位孔的中心刚好在主轴中心与 X 轴向导轨平行的平面内。钻头安装以后钻头的刀位点刚好在此平面内, 只需调整 X 坐标轴在此平面内移动就能找到工件中心 (主轴回转中心)。铣刀的装刀是装在动力刀头上, 动力刀头安装在盘式刀架的刀位孔内。在车削中心上动力刀头可分为轴向和径向两种, 使用时可根据零件加工形状的具体要求选择轴向还是径向的动力刀头, 也可同时选用。

2) 对刀。车削中心的对刀与数控车床的对刀基本是相同的, 都是使刀具建立工件坐标系的过程。车削中心上可以安装钻头和铣刀, 它是利用动力刀头 (第二主轴) 的自转与主轴的旋转, 还有 X 轴、Z 轴的移动来完成工件的铣削过程。铣刀的对刀过程与车刀对刀的过程大致相同, 就是使刀位点 (铣刀的刀位点在刀具的轴线与刀刃平面的交汇处) 与工件原点重合的过程。

3) 程序校验。高档的数控机床都有图形模拟仿真功能, 可以在输入完程序后, 将机床锁住, 进行图形模拟, 以校核程序的正确性。图形模拟只能检查零件的形状, 而不能检查零件的精度。

4) 加工操作。开始操作时, 把快速进给倍率调整慢约 25%, 单段运行, 边检查边操作, 确认无误时, 方可调快进给倍率正常操作。

八、数控铣削的现代加工技术

1. 数控铣床加工的主要对象

数控铣削是机械加工中最常用和最主要的数控加工方法之一，它除了能铣削普通铣床所能铣削的各种零件表面外，还能铣削普通铣床不能铣削的需要多坐标联动的各种平面轮廓和立体轮廓。根据数控铣床的特点，从铣削加工角度考虑，适合数控铣削的主要加工对象有以下几类。

(1) 平面类零件 加工面平行或垂直于定位面，或加工面与水平面的夹角为定角的零件称为平面类零件（图 7-28）。目前在数控铣床上加工的大多数零件属于平面类零件，其特点是各个加工面是平面，或可以展开成平面。

平面类零件是数控铣削加工中最简单的一类零件，一般只需用三坐标数控铣床的两坐标联动（即两轴半坐标联动）就可以把它们加工出来。

(2) 变斜角类零件 加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件，如图 7-29 所示的飞机变斜角梁缘条。

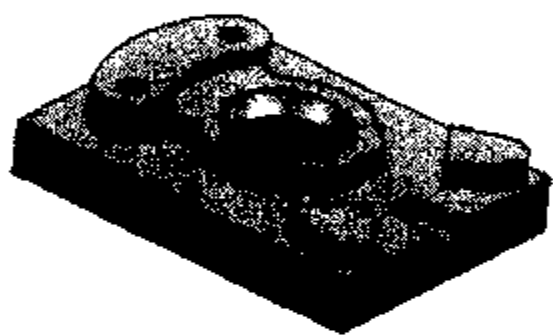


图 7-28 平面类零件

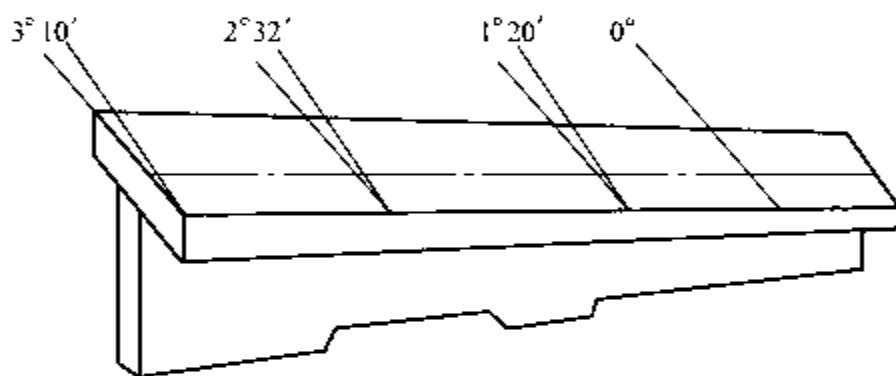


图 7-29 飞机上的变斜角梁缘条

变斜角类零件的变斜角加工面不能展开为平面，但在加工中，加工面与铣刀圆周的瞬时接触为一条线。最好采用四坐标、五坐标数控铣床摆角加工，若没有上述机床，也可采用三坐标数控铣床进行两轴半近似加工。

(3) 曲面类零件 加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件，如模具、叶片、螺旋桨等。曲面类零件不能展开为平面。加工时，铣刀与加工面始终为点接触，一般采用球头刀在三轴数控铣床上加工。当曲面较复杂、通道较狭窄、会伤及相邻表面或需要刀具摆动时，要采用四坐标或五坐标铣床加工，铣削叶轮如图 7-30 所示。



图 7-30 铣削叶轮

(4) 箱体类零件 箱体类零件一般是指具有一个以上孔系，内部有

一定型腔或空腔，在长、宽、高方向有一定比例的零件。

箱体类零件一般都需要进行多工位孔系、轮廓及平面加工，公差要求较高，特别是形位公差要求较为严格，通常要经过铣、钻、扩、镗、铰、铰、铰、攻螺纹等工序，需要刀具较多，在普通机床上加工难度大，工装套数多，费用高，加工周期长，需多次装夹、找正，手工测量次数多，加工时必须频繁地更换刀具，工艺难以制订，更重要的是精度难以保证。这类零件在数控铣床上加工，一次装夹可完成普通机床 60% ~ 95% 的工序内容，零件各项精度一致性好，质量稳定，同时节省费用，缩短生产周期。

当加工工位较多、需工作台多次旋转角度才能完成的箱体类零件时，一般选卧式数控铣床加工。当加工的工位较少，且跨距不大时，可选立式数控铣床，从一端进行加工。

箱体类零件的加工方法，主要有以下几种：

- 1) 当既有面又有孔时，应先铣面，后加工孔。
- 2) 所有孔系都先完成全部孔的粗加工，再进行精加工。
- 3) 一般情况下，直径 $> \phi 30\text{mm}$ 的孔都应铸造出毛坯孔。在普通机床上先完成毛坯的粗加工，给数控铣床加工工序的留量为 4 ~ 6mm（直径），再上数控铣床进行面和孔的粗、精加工。通常分“粗镗→半精镗→孔端倒角→精镗”四个工步完成。
- 4) 直径 $< \phi 30\text{mm}$ 的孔可以不铸出毛坯孔，孔和孔的端面全部加工都在数控铣床上完成。可分为“铰平端面→（打中心孔）→钻→扩→孔端倒角→铰”等工步。有同轴度要求的小孔（ $< \phi 30\text{mm}$ ），须采用“铰平端面→（打中心孔）→钻→半精镗→孔端倒角→精镗（或铰）”工步来完成，其中打中心孔需视具体情况而定。
- 5) 在孔系加工中，先加工大孔，再加工小孔，特别是在大小孔相距很近的情况下，更要采取这一措施。
- 6) 对于跨距较大的箱体的同轴孔加工，尽量采取调头加工的方法，以缩短刀辅具的长径比，增加刀具刚性，提高加工质量。
- 7) 螺纹加工，一般情况下，M6 以上、M20 以下的螺纹孔可在数控铣床上完成。可在数控铣床上完成底孔加工，攻螺纹可通过其他手段加工。因数控铣床的自动加工方式在攻小螺纹时，不能随机控制加工状态，小丝锥容易折断，从而产生废品，由于刀具、辅具等因素影响，在数控铣床上攻 M20 以上大螺纹有一定困难。但这也不是绝对的，可视具体情况而定，在某些机床上可用镗刀片完成螺纹切削（用 G33 代码）。

2. 数控铣床加工工艺分析

在选择并决定数控铣床加工零件及其加工内容后，应对零件的数控铣床加工工艺性进行全面、认真、仔细的分析。主要内容包括产品的零件图样分析、零件结构工艺性分析与零件毛坯的工艺性分析等内容。

1) 零件图工艺分析。首先应熟悉零件在产品中的作用、位置、装配关系和工作条件，搞清楚各项技术要求对零件装配质量和使用性能的影响，找出主要的和关键的技术要求，然后对零件图样进行分析。

针对数控铣削加工的特点，下面列举出一些经常遇到的工艺性问题，作为对零件图进行工艺性分析的要点参考。

①图样尺寸的标注方法是否方便编程，构成工件轮廓图形的各种几何元素的条件是否充要，各几何元素的相互关系（如相切、相交、垂直和平行等）是否明确，有无引起矛盾的

多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。

②零件尺寸所要求的加工精度、尺寸公差是否都可以得到保证，不要以为数控机床加工精度高而放弃这种分析。特别要注意过薄的腹板与缘板的厚度公差，“铣工怕铣薄”，数控铣削也是一样，因为加工时产生的切削拉力及薄板的弹性退让，极易产生切削面的振动，使薄板厚度尺寸公差难以保证，其表面粗糙度也将恶化或变坏。根据实践经验，当面积较大的薄板厚度小于3mm时就应充分重视这一问题。

③内槽及缘板之间的内转接圆弧是否过小。

④零件铣削面的槽底圆角或腹板与缘板相交处的圆角半径是否太大？

⑤零件图中各加工面的凹圆弧是否过于杂乱，是否可以统一。因为在数控铣床上多换一次刀要增加不少新问题，如增加铣刀规格、计划停车次数和对刀次数等，不但给编程带来许多麻烦，增加生产准备时间而降低生产效率，而且也会因频繁换刀增加工件加工面上的接刀阶差而降低了表面质量。所以，零件上这种凹圆弧半径在数值上的一致性对数控铣削的工艺性能相当重要。一般来说，即使不能寻求完全统一，也要力求将数值相近的圆弧半径分组靠拢，达到局部统一，以尽量减少铣刀规格与换刀次数。

⑥零件上有无统一基准，以保证两次装夹加工后其相对位置的正确性。有些工件需要在铣完一面后再重新安装铣削另一面。由于数控铣削时不能使用通用铣床加工时常用的试削方法来接刀，往往会因为工件的重新安装而接不好刀（即与上道工序加工的面接不齐或造成本来要求一致的两对应面上的轮廓错位）。为了避免上述问题的产生，减小两次装夹误差，最好采用统一基准定位，因此零件上最好有合适的孔作为定位基准孔。如果零件上没有基准孔，也可以专门设置工艺孔作为定位基准（如在毛坯上增加工艺凸耳或在后续工序要铣去的余量上设基准孔）。如实在无法制出基准孔，起码也要用经过精加工的面作为统一基准。如果连这也办不到，则最好只加工其中一个最复杂的面，另一面放弃数控铣削而改由通用铣床加工。

⑦分析零件的形状及原材料的热处理状态，会不会在加工过程中变形，哪些部位最容易变形。因为数控铣削最忌讳工件在加工时变形，这种变形不但无法保证加工的质量，而且经常造成加工不能继续进行下去，这时就应当考虑采取一些必要的工艺措施进行预防，如对钢件进行调质处理，对铸铝件进行退火处理，对不能用热处理方法解决的，也可考虑粗、精加工及对称去余量等常规办法。此外，还要分析加工后的变形问题，采取什么工艺措施来解决。

2) 零件的结构工艺性分析。零件的结构工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下制造的可行性和经济性。良好的结构工艺性，可以使零件加工容易，节省工时和材料。而较差的零件结构工艺性，会使加工困难，浪费工时和材料，有时甚至无法加工。因此，零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点。

①零件的内腔和外表最好采用统一的几何类型和尺寸，这样可以减少刀具规格和换刀次数，使编程方便，提高生产效率。

②内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小，所以内槽圆角半径不应太小。零件结构工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转角圆弧半径的大小等因素有关。零件转角圆弧半径大，可以采用较大直径的立铣刀来加工；加工平面时，进给次数也相应减少，表面加工质量也会好一些，因而工艺性较好。通常 $Ra < 0.2\mu\text{m}$ 时，可以判定零件该部位的工艺性不好。

③零件铣槽底平面时，槽底圆角半径 r 不要过大。铣刀端面刃与铣削平面的最大接触直

径 $d = D - 2r$ (D 为铣刀直径), 当 D 一定时, r 越大, 铣刀端面刃铣削平面的面积越小, 加工平面的能力就越差, 效率越低, 工艺性也越差。当 r 大到一定程度时, 则必须用球头铣刀加工, 这是应该尽量避免的。

④应采用统一的基准定位。在数控加工中若没有统一的定位基准, 则会因工件的二次装夹而造成加工后两个面上的轮廓位置及尺寸不协调现象。另外, 零件上最好有合适的孔作为定位基准孔。若无法制出工艺孔, 最起码也要用精加工表面作为统一基准, 以减少二次装夹产生的误差。

3) 零件毛坯的工艺性分析。零件在进行数控铣削加工时, 由于加工过程的自动化, 使余量的大小、如何装夹等问题在设计毛坯时就要仔细考虑好。否则, 如果毛坯不适合数控铣削, 加工将很难进行下去。根据经验, 下列几方面应作为毛坯工艺性分析的要点。

①毛坯(毛坯主要指锻件、铸件)应有充分、稳定的加工余量。因模锻时的欠压量与允许的错模量会造成余量的多少不等; 铸造时也会因砂型误差、收缩量及金属液体的流动性差不能充满型腔等造成余量的不等。此外, 锻造、铸造后, 毛坯的挠曲与扭曲变形量的不同也会造成加工余量不充分、不稳定。因此, 除板料外, 不论是锻件、铸件还是型材, 只要准备采用数控铣削加工, 其加工面均应有较充分的余量。经验表明, 数控铣削中最难保证的是加工面与非加工面之间的尺寸, 这一点应该引起特别重视, 在这种情况下, 如果已确定或准备采用数控铣削加工, 就应事先对毛坯的设计进行必要的更改或在设计时就加以充分考虑, 即在零件图样注明的非加工面处也增加适当的余量。

②分析毛坯的装夹适应性。主要考虑毛坯在加工时定位和夹紧的可靠性与方便性, 以便在一次安装中加工出较多表面。对不便于装夹的毛坯, 可考虑在毛坯上另外增加装夹余量或工艺凸台、工艺凸耳等辅助基准。如图 7-31 所示, 该工件缺少合适的定位基准, 可在毛坯上铸出两个工艺凸耳, 在凸耳上制出定位基准孔。

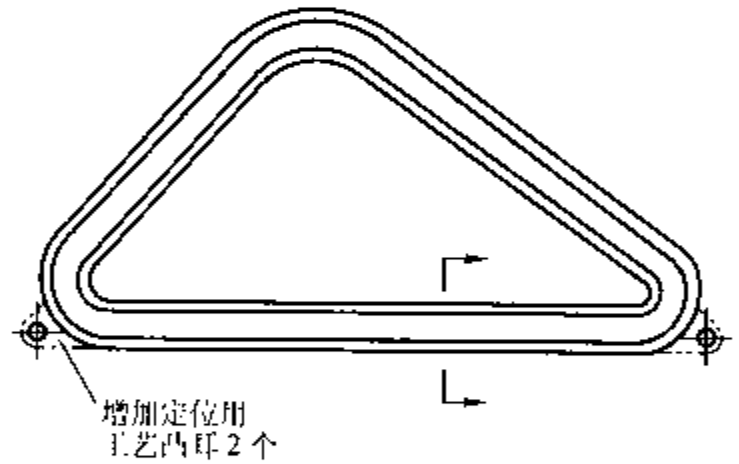


图 7-31 增加辅助基准示例

③分析毛坯的变形、余量大小及均匀性, 分析毛坯加工中与加工后的变形程度, 主要是考虑在加工时要不要分层切削, 分几层切削。也要分析加工中与加工后的变形程度, 考虑是否应采取预防性措施与补救措施。如对于热轧中、厚铝板, 经淬火时效后很容易在加工中与加工后变形, 这时最好采用经预拉伸处理的淬火板坯。

3. 数控铣床加工工艺路线的拟订

铣削加工工艺路线的拟订是制订铣削工艺规程的重要内容之一, 其主要内容包括: 选择各加工表面的加工方法, 划分加工阶段, 划分工序以及安排工序的先后顺序等。设计者应根据从生产实践中总结出来的一些综合性工艺原则, 结合本厂的实际生产条件, 提出几种方案, 通过对比分析, 从中选择最佳方案。

(1) 加工方法的选择 对于数控铣床, 应重点考虑几个方面: 能保证零件的加工精度和表面粗糙度的要求; 使走刀路线最短, 既可简化程序段, 又可减少刀具空行程时间, 提高加工效率; 应使数值计算简单, 程序段数量少, 以减少编程工作量。

1) 内孔表面加工方法的选择。在数控铣床上加工内孔表面的方法主要有钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和攻螺纹等,应根据被加工孔的加工要求、尺寸、具体生产条件、批量的大小及毛坯上是否有预制孔等情况合理选用。

①加工精度为 IT9 级的孔,当孔径小于 10mm 时,可采用钻-铰方案;当孔径大于 10mm 小于 30mm 时,可采用钻-扩方案;当孔径大于 30mm 时,可采用钻-镗方案。工件材料为淬火钢以外的各种金属。

②加工精度为 IT8 级的孔,当孔径小于 20mm 时,可采用钻-铰方案;当孔径大于 20mm 时,可采用钻-扩-铰方案,此方案适用于淬火钢以外的各种金属,但孔径应在 20~80mm 之间,此外,也可采用最终工序为精镗的方案。

③加工精度为 IT7 级的孔,当孔径小于 12mm 时,可采用钻-粗铰-精铰方案;当孔径在 12~60mm 范围时,可采用钻-扩-粗铰-精铰方案。当毛坯上已铸出或锻出孔,可采用粗镗-半精镗-精镗方案。最终工序为铰孔,适用于未淬火钢、铸铁和非铁金属。

④加工精度为 IT6 级的孔,最终工序可采用精细镗,工件材料为非淬火钢。

2) 平面加工方法的选择。在数控铣床上加工平面主要采用端铣刀和立铣刀加工。粗铣的尺寸精度和表面粗糙度一般可达 IT11~IT13, $R_a 6.3 \sim 25 \mu\text{m}$; 精铣的尺寸精度和表面粗糙度一般可达 IT8~IT10, $R_a 1.6 \sim 6.3 \mu\text{m}$ 。需要注意的是:当零件表面粗糙度要求较高时,应采用顺铣方式。

3) 平面轮廓加工方法的选择。平面轮廓多由直线和圆弧或各种曲线构成,通常采用三坐标数控铣床进行两轴半坐标加工。图 7-32 所示直线和圆弧构成的零件平面轮廓 ABCDEA, 采用半径为 R 的立铣刀沿周向加工,虚线 A'B'C'D'E'A' 为刀具中心的运动轨迹。为保证加工面光滑,刀具沿 PA' 切入,沿 A'K 切出。

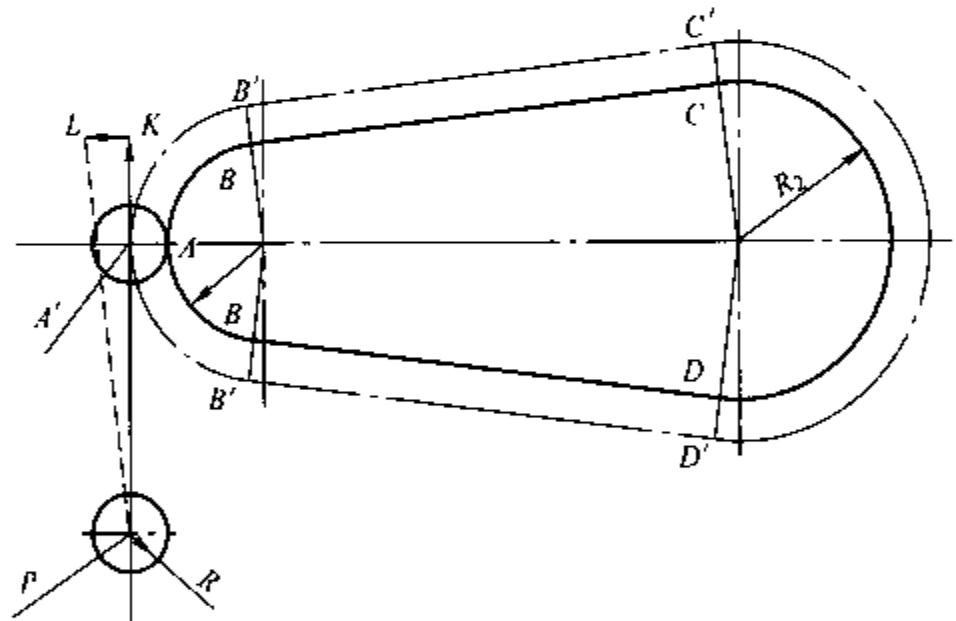


图 7-32 平面轮廓铣削

4) 固定斜角平面加工方法的选择。固定斜角平面是与水平成一固定夹角的斜面,常用的加工方法如下:

①当零件尺寸不大时,可用斜垫板垫平后加工;如果机床主轴可以摆角,则可以摆成适当的定角,用不同的刀具来加工(如图 7-33 所示),零件尺寸很大,斜面斜度又较小时,常用行切法加工,但加工后会在加工面上留下残留面积,需要用钳修方法加以清除,用三坐标数控立铣刀加工飞机整体壁板零件时常用此法。当然,加工斜面的最佳方法是采用五坐标数控铣床,主轴摆角后加工,可以不留残留面积。

②对于图 7-33 所示斜面,一般可用专用的角度成形铣刀加工。其效果比采用五坐标数控铣床摆角加工好。

5) 变斜角面加工方法的选择如下:

①对曲率变化较小的变斜角面,选用 X、Y、Z 和 A 四坐标联动的数控铣床,采用立铣

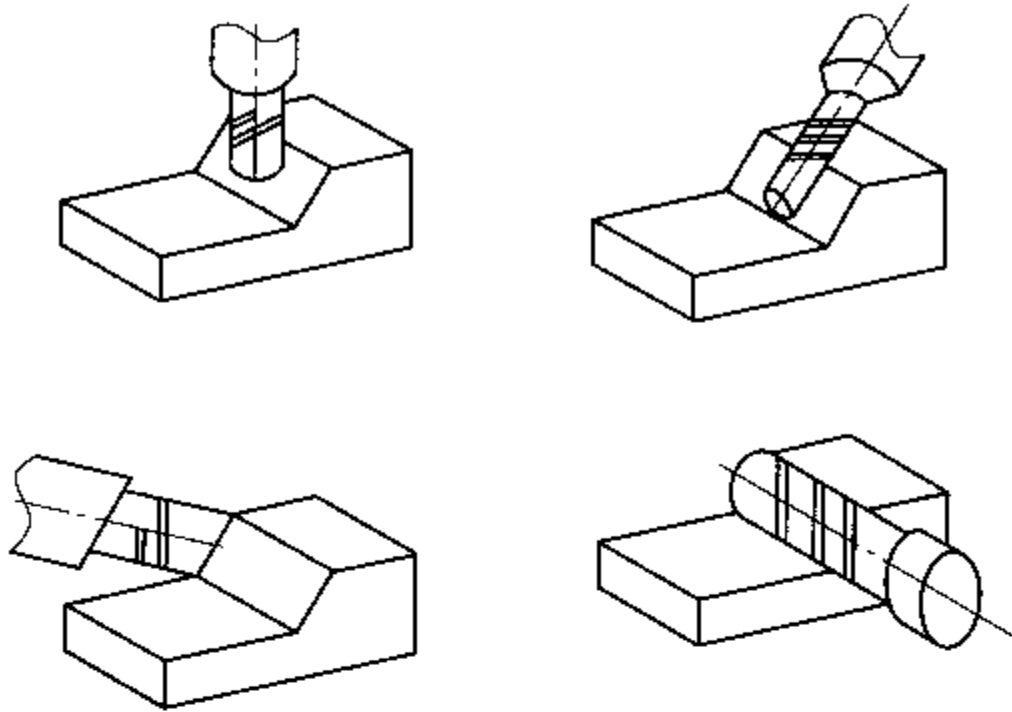


图 7-33 主轴摆角加工固定斜面

刀（但当零件斜角过大，超过机床主轴摆角范围时，可用角度成形铣刀加以弥补）以插补方式摆角加工，如图 7-34 所示。加工时，为保证刀具与零件型面在全长上始终贴合，刀具绕 A 轴摆角度。

②对曲率变化较大的变斜角面，用四坐标联动加工难以满足加工要求，最好用 X 、 Y 、 Z 、 A 和 B （或 C 转轴）的五坐标联动数控铣床，以圆弧插补方式摆角加工，如图 7-35 所示。图中刀轴与 X 轴的夹角和刀轴与 Y 的夹角分别是零件斜面母线与 Z 坐标轴夹角 α 在 ZOY 平面上和 XOY 平面上的分夹角。

③另外还可采用三坐标数控铣床两坐标联动，利用球头铣刀和鼓形铣刀，以直线或圆弧插补方式进行分层铣削加工，加工后的残留面积用钳修方法清除。图 7-36 所示是用鼓形铣刀铣削变斜角面。由于鼓形铣刀的鼓径可以做得比球头铣刀的球径大，所以加工后的残留面积高度小，加工效果比球头刀好。

6) 曲面轮廓加工方法的选择。立体曲面的加工应根据曲面形状、刀具形状及精度要求采用不同的铣削加工方法，如两轴半、三轴、四轴及五轴等联动加工。

①对曲率变化不大和精度要求不高的曲



图 7-34 四坐标数控铣床加工零件变斜角面



图 7-35 五坐标数控铣床加工零件变斜角面

面的粗加工，常用两轴半坐标的行切法加工，即 X 、 Y 、 Z 三轴中任意两轴作联动插补，第三轴作单独的周期进给。如图 7-37 所示，将 X 向分成若干段，球头铣刀沿 YOZ 面所截的曲线进行铣削，每一段加工完后进给 ΔX ，再加工另一相邻曲线，如此依次切削即可加工出整个曲面。在行切法中，要根据轮廓表面粗糙度的要求及刀头不干涉相邻表面的原则选取 ΔX 。球头铣刀的刀头半径应选得大一些，有利于散热，但刀头半径应小于内凹曲面的最小曲率半径。

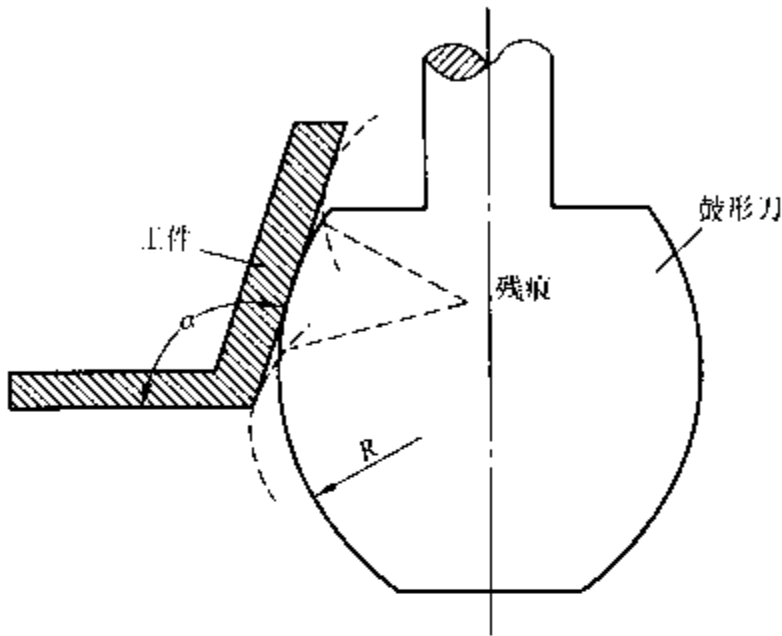


图 7-36 用鼓形刀分层铣削变斜角

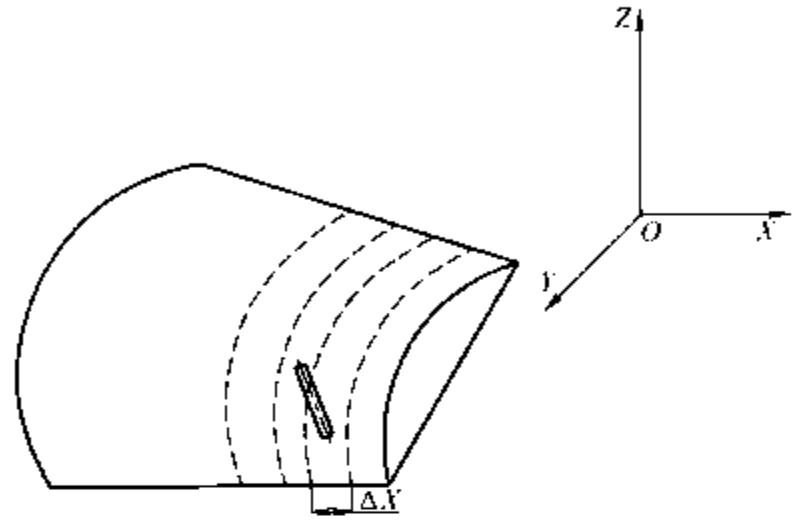


图 7-37 两轴半坐标行切法加工曲面

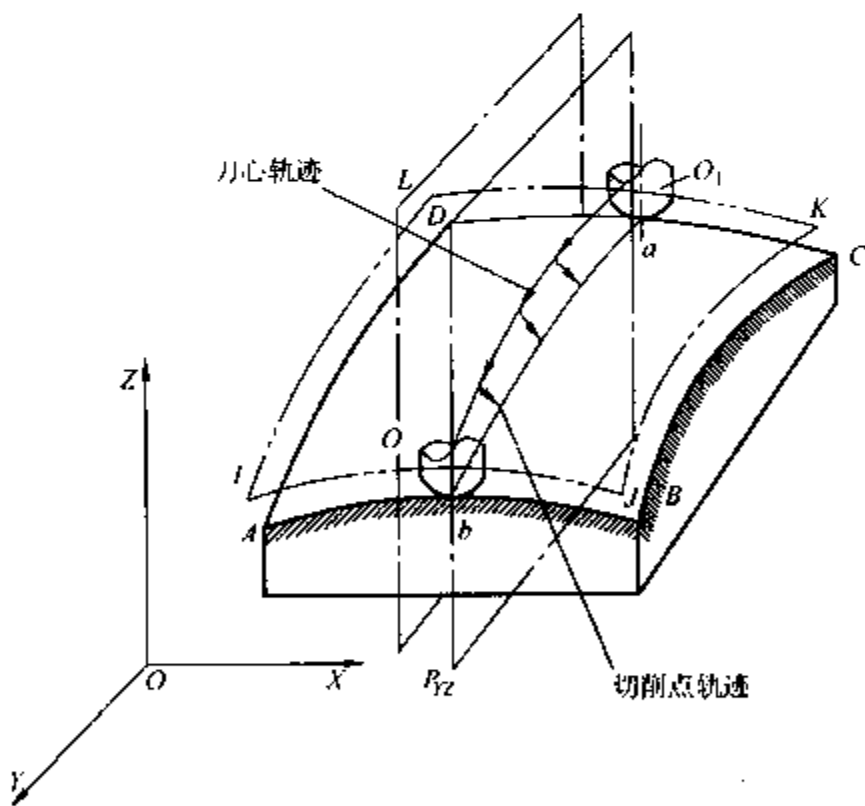


图 7-38 两轴半坐标行切法加工的切削点轨迹

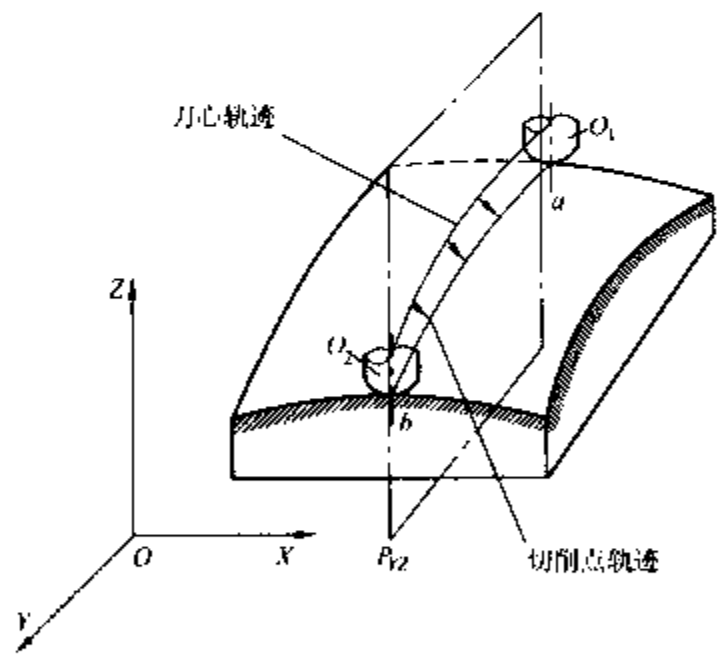


图 7-39 三轴联动行切法加工曲面的切削点轨迹

两轴半坐标加工曲面的刀心轨迹 O_1O_2 和切削点轨迹 ab 如图 7-38 所示。图中 $ABCD$ 为被加工曲面， P_{YZ} 为平行于 YZ 坐标平面的一个行切面，刀心轨迹 O_1O_2 为曲面 $ABCD$ 的等距面 $IJKL$ 与行切面 P_{YZ} 的交线，显然是 O_1O_2 一条平面曲线。由于曲面的曲率变化，改变了球头刀与曲面切削点的位置，使切削点的连线成为一条空间曲线，从而在曲面上形成扭曲的残留

沟纹。

②对曲率变化较大和精度要求较高的曲面的精加工，常用 X 、 Y 、 Z 三坐标联动插补的行切法加工。如图7-39所示， P_{yz} 平面为平行于坐标平面的一个行切面，它与曲面的交线为 ab 。由于是三坐标联动，球头刀与曲面的切削点始终处在平面曲线 ab 上，可获得较规则的残留沟纹。但这时的刀心轨迹 O_1O_2 不在 P_{yz} 平面上，而是一条空间曲线。

③对像叶轮、螺旋桨这样的零件，因其叶片形状复杂，刀具容易与相邻表面干涉，常用五坐标联动加工。其加工原理如图7-40所示。半径 R_i 的圆柱面与叶面的交线 AB 为螺旋线的一部分，螺旋角为 ψ_i ，叶片的径向叶形线（轴向割线） EF 的倾角 α 为后倾角，螺旋线 AB 用极坐标加工方法，并以折线段逼近。逼近段 mn 是由 C 坐标旋转 $\Delta\theta$ 与 Z 坐标位移 ΔZ 的合成。当 AB 加工完后，刀具径向位移 ΔX （改变 R_i ），再加工相邻的另一条叶形线，依次加上即可形成整个叶面。由于叶面的曲率半径较大，所以常采用立铣刀加工，以提高生产率并简化程序。为保证铣刀端面始终与曲面贴合，铣刀还应作由坐标 A 和坐标 B 形成的 θ_1 和 α_1 的摆角运动。在摆角的同时，还应作直角坐标的附加运动，以保证铣刀端面中心始终位于编程值所规定的位置上，所以需要五坐标加工。这种加工的编程计算相当复杂，一般采用自动编程。

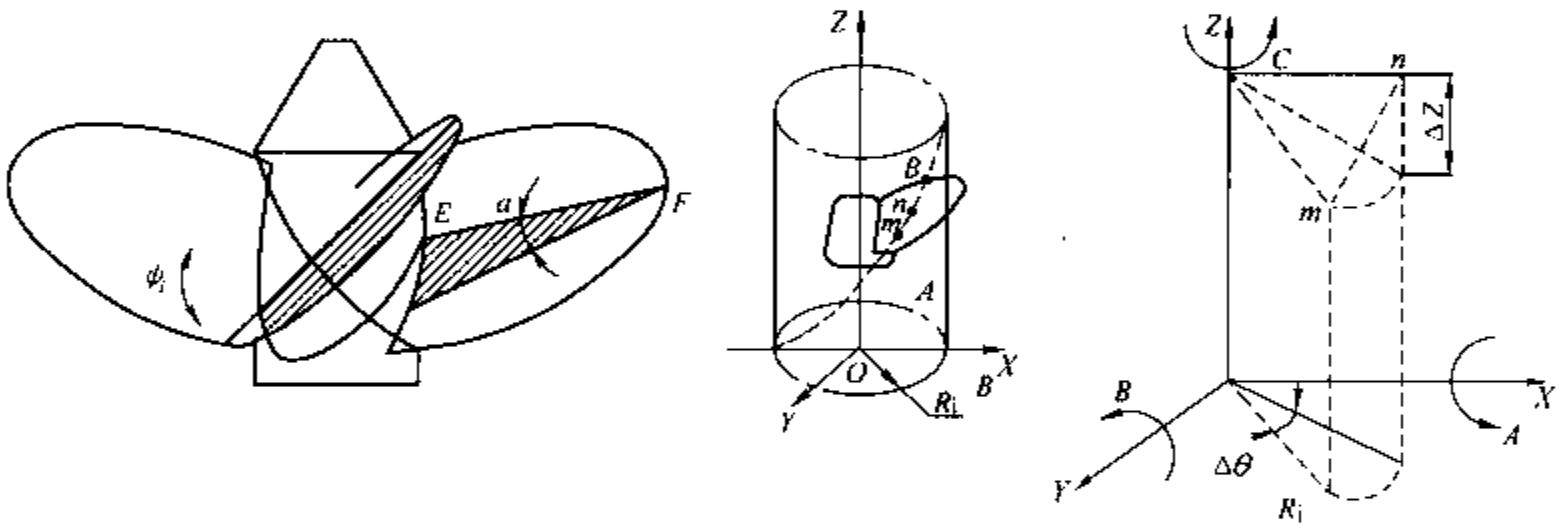


图7-40 曲面的五坐标联动加工

(2) 加工路线的确定 在确定走刀路线时，针对数控铣床的特点，应重点考虑以下几个方面。

1) 保证零件的加工精度和表面粗糙度。如图7-41所示，当铣削平面零件外轮廓时，一般采用立铣刀侧刃切削。刀具切入工件时，应避免沿零件外廓的法向切入，而应沿外廓曲线延长线的切向切入，以避免在切入处产生刀具的刻痕而影响表面质量，保证零件外廓曲线平滑过渡。同理，在切离工件时，也应避免在工件的轮廓处直接退刀，而应该沿零件轮廓延长线的切向逐渐切离工件。

铣削封闭的内轮廓表面时，若内轮廓曲线允许外延，则应沿切线方向切入切出。如内轮廓曲线不允许外延（见图7-42），则刀具只能沿内轮廓曲线的法向切入切出，此时刀具的切入切出点应尽量选在内轮廓曲线两极和元素的交点处。当内部几何元素相切无交点时，如图7-43a所示，取消刀补会在轮廓拐角处留下凹口，应使刀具切入切出点远离拐角，如图7-43b所示。

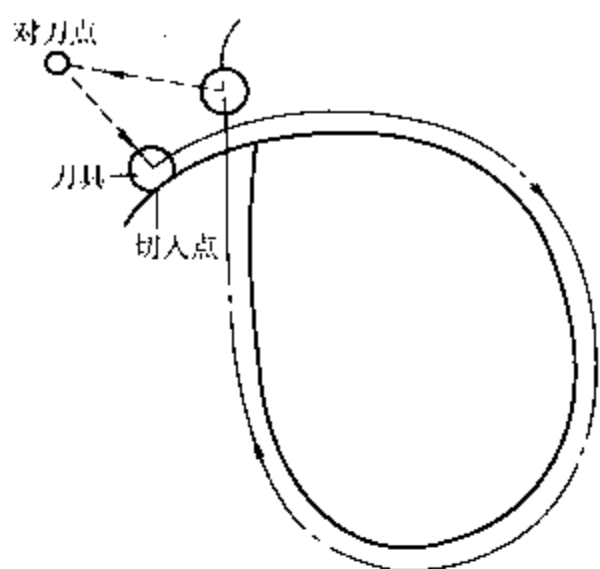


图 7-41 外轮廓加工刀具的切入和切出

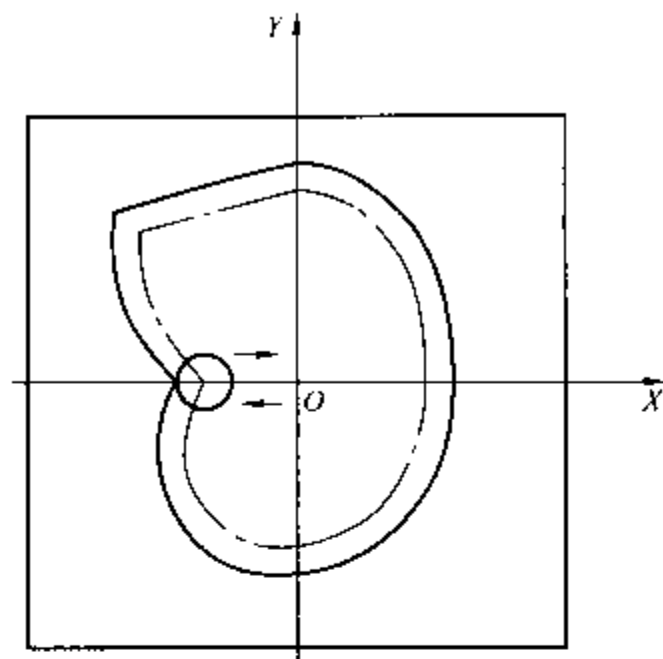


图 7-42 内轮廓加工刀具的切入和切出

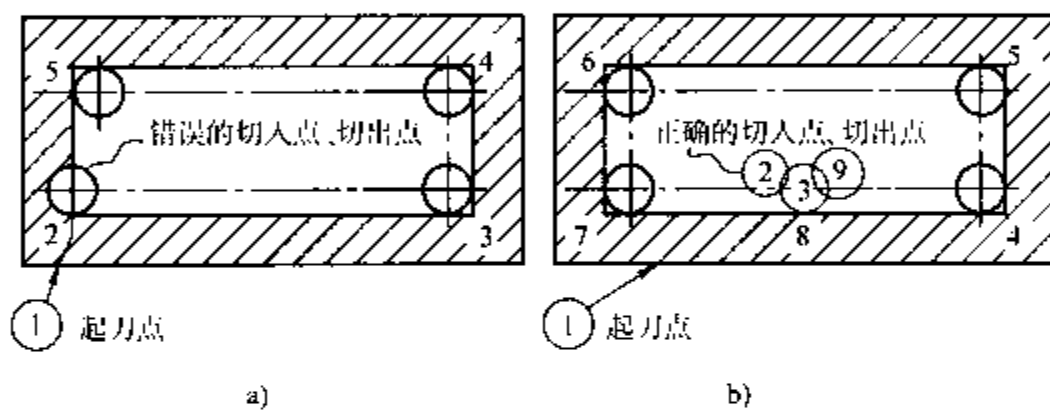


图 7-43 无交点内轮廓加工刀具的切入和切出

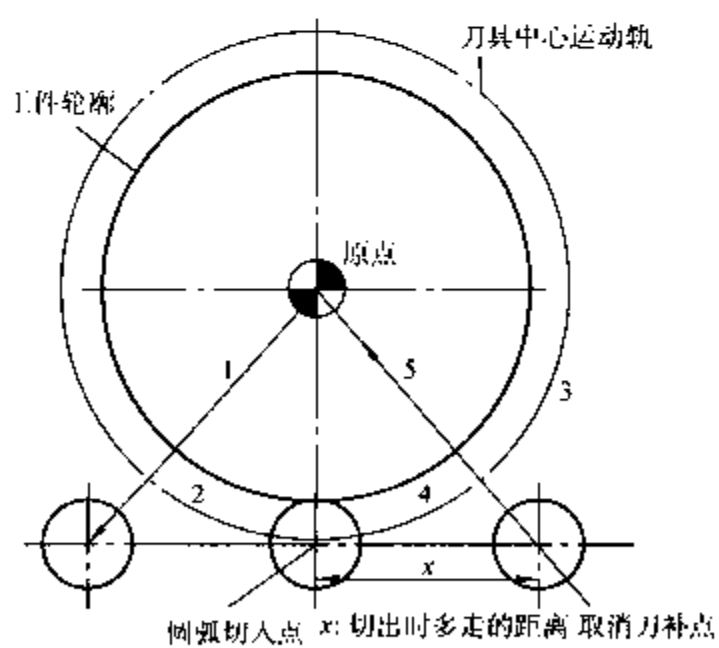


图 7-44 外圆铣削

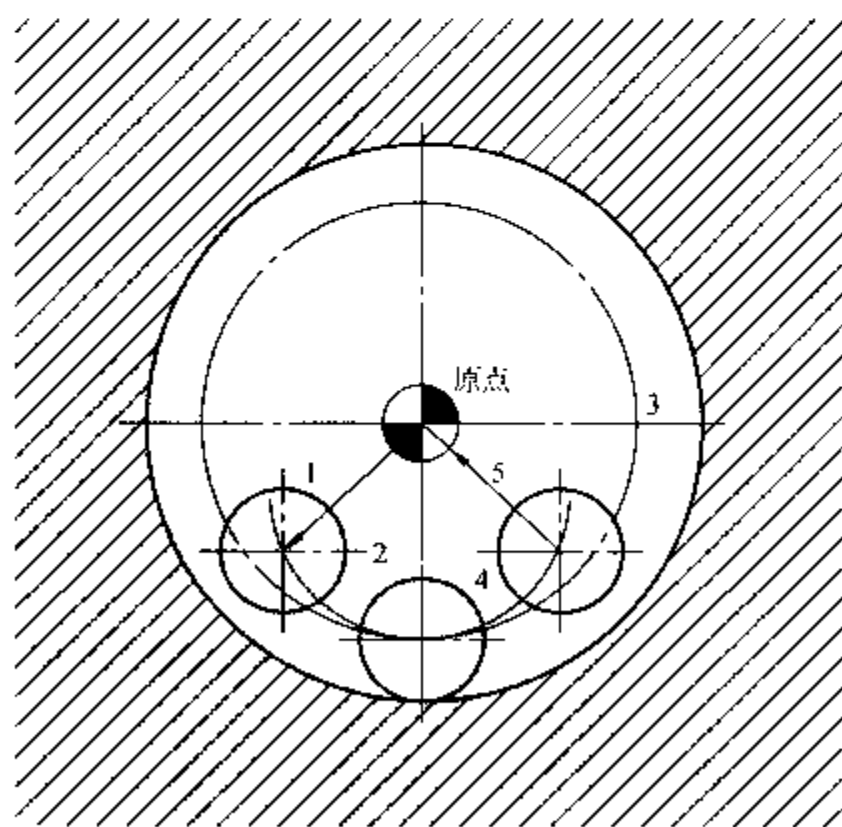


图 7-45 内圆铣削

图 7-44 所示为圆弧插补方式铣削外整圆时的走刀路线。当整圆加工完毕时，不要在切点处直接退刀，而应让刀具沿切线方向多运动一段距离，以免取消刀补时刀具与工件表面相碰，造成工件报废。铣削内圆弧时也要遵循从切向切入的原则，最好安排从圆弧过渡到圆弧的加工路线（见图 7-45），这样可以提高内孔表面的加工精度和加工质量。

对于孔位置精度要求高的零件，在精镗孔系时，镗孔路线一定要注意各孔的定位方向一致，即采用单向趋近定位点的方法，以避免传动系统反向间隙误差或测量系统的误差对定位精度的影响。如图 7-46a 所示的孔系加工路线，在加工孔 D 时，X 方向的反向间隙将会影响 C、D 两孔的孔距精度；如果改为图 7-46b 所示的加工路线，可使各孔的定位方向一致，从而提高了孔距精度。

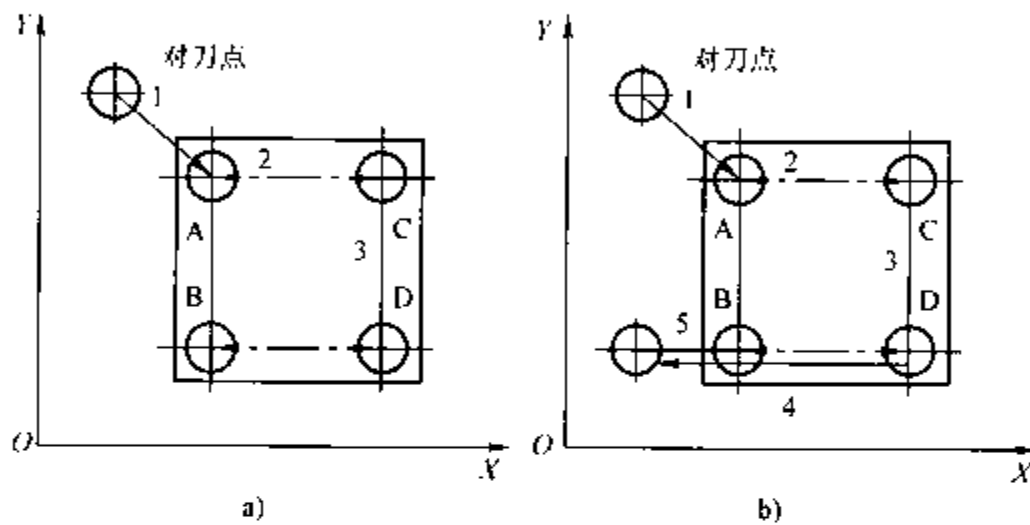


图 7-46 孔系加工路线方案比较

铣削曲面时，常采用球头刀行切法进行加工。对于边界敞开的曲面加工，可采用两种走刀路线。图 7-47 所示的发动机大叶片，当采用图 7-47a 所示的加工方案时，每次沿直线加工，刀位点计算简单，程序少，加工过程符合直线面的形成，可以准确保证母线的直线度；当采用图 7-47b 所示的加工方案时，符合这类零件数据给出情况，便于加工后检验，叶形的准确度较高，但程序较多。由于曲面零件的边界是敞开的，没有其他表面限制，所以边界曲面可以延伸，球头刀应由边界外开始加工。

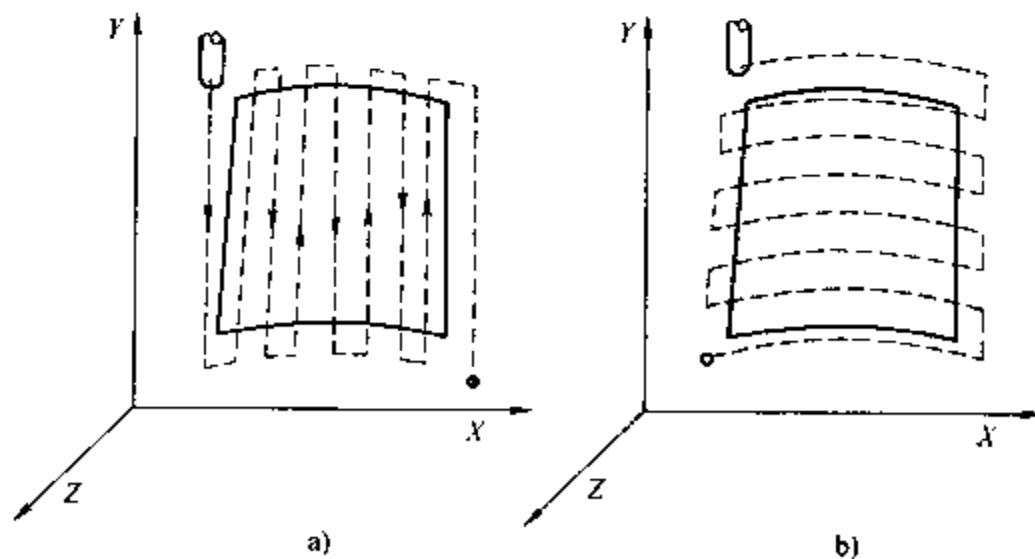


图 7-47 曲面加工的走刀路线

此外，轮廓加工中应避免进给停顿。因为加工过程中的切削力会使工艺系统产生弹性变形并处于相对平衡状态，进给停顿时，切削力突然减小，会改变系统的平衡状态，刀具会在进给停顿处的零件轮廓上留下刻痕。

为提高工件表面的精度和减小表面粗糙度值，可以采用多次走刀的方法，精加工余量一般以 $0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$ 为宜。而且精铣时宜采用顺铣，以减小零件被加工表面的表面粗糙度值。

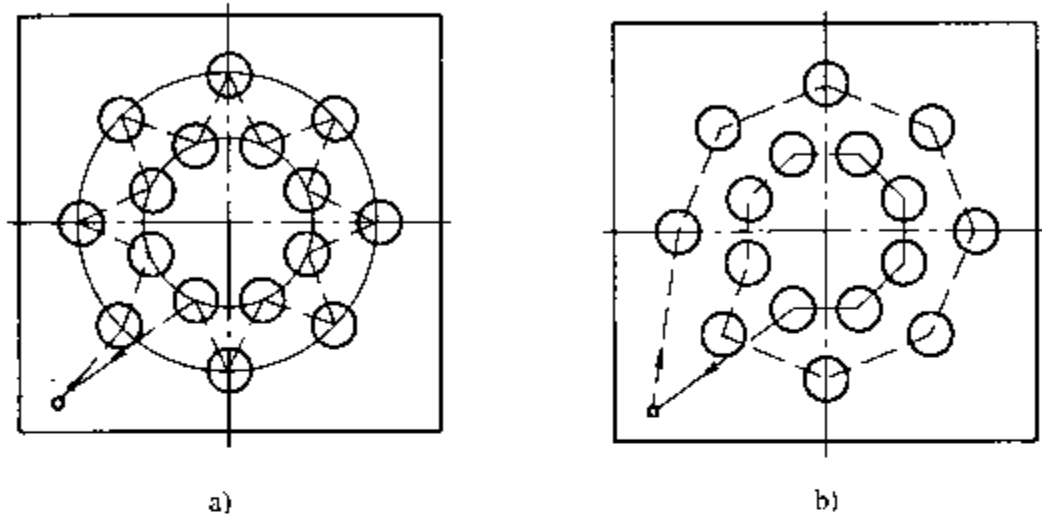


图 7-48 最短加工路线选择

2) 走刀路线最短，减少刀具空行程时间，提高加工效率。如图 7-48a 所示，在工件上加工孔，按照一般习惯，总是先加工均布于同一圆周上的八个孔，再加工另一圆周上的孔。但是对点位控制的数控机床而言，要求定位精度高，定位过程尽可能快，因此这类机床应按空程最短来安排走刀路线，如图 7-48b 所示，以节省加工时间。

4. 数控铣削加工工艺设计

(1) 夹具的选择 数控铣床可以加工形状复杂的零件，但数控铣床上的工件装夹方法与普通铣床一样，所使用的夹具往往并不很复杂，只要求有简单的定位、夹紧机构就可以了。但要将加工部位敞开，不能因装夹工件而影响进给和切削加工。选择夹具时，应注意减少装夹次数，尽量做到在一次安装中能把零件上所有要加工的表面都加工出来。

(2) 刀具的选择 对刀具的基本要求主要有两点：

1) 铣刀刚性要好。要求铣刀刚性好的目的，一是满足为提高生产效率而采用大切削用量的需要，二是为适应数控铣床加工过程中难以调整切削用量的特点。在数控铣削中，因铣刀刚性较差而断刀并造成零件损伤的事例是经常有的，所以解决数控铣刀的刚性问题是至关重要的。

2) 铣刀的寿命要高。当一把铣刀加工的内容很多时，如果刀具磨损较快，不仅会影响零件的表面质量和加工精度，而且会增加换刀与对刀次数，从而导致零件加工表面留下因对刀误差而形成的接刀台阶，降低零件的表面质量。

除上述两点之外，铣刀切削刃几何角度参数的选择与排屑性能等也非常重要。切屑粘刀形成积屑瘤在数控铣削中是十分忌讳的。总之，根据被加工工件材料的热处理状态、切削性能及加工余量，选择刚性好、寿命高的铣刀，是充分发挥数控铣床的生产效率并获得满意加工质量的前提条件。

(3) 切削用量的选择 影响切削用量的因素有：

1) 机床。切削用量的选择必须在机床主传动功率、进给传动功率以及主轴转速范围、进给速度范围之内。机床-刀具-工件系统的刚性是限制切削用量的重要因素。切削用量的选择应使机床-刀具-工件系统不发生较大的“振颤”。如果机床的热稳定性好,热变形小,可适当加大切削用量。

2) 刀具。刀具材料是影响切削用量的重要因素。表 7-28 是常用刀具材料的性能比较。

表 7-28 常用刀具材料的性能比较

刀具材料	切削速度	耐磨性	硬 度	硬度随温度的变化
高速钢	最低	最差	最低	最大
硬质合金	低	差	低	大
陶瓷刀片	中	中	中	中
金刚石	高	好	高	小

数控机床所用的刀具多采用可转位刀片(机夹刀片),并具有一定的寿命。机夹刀片的材料和形状尺寸必须与程序中的切削速度和进给量相适应,并存入刀具参数中去。不同的工件材料要采用与之适应的刀具材料、刀片类型,要注意到可加工性。可加工性良好的标志是,在高速切削下有效地形成切屑,同时具有较小的刀具磨损和较好的表面加工质量。较高的切削速度、较小的背吃刀量和进给量,可以获得较好的表面粗糙度。合理的恒切削速度、较小的背吃刀量和进给量可以得到较高的加工精度。切削液冷却时具有冷却和润滑作用。带走切削过程产生的切削热,降低工件、刀具、夹具和机床的温升,减少刀具与工件的摩擦和磨损,提高刀具寿命和工件表面加工质量。使用切削液后,通常可以提高切削用量。切削液必须定期更换,以防因其老化而腐蚀机床导轨或其他零件,特别是水溶性切削液。铣削加工的切削用量包括:切削速度、进给速度、背吃刀量和侧吃刀量。从刀具寿命出发,切削用量的选择方法是:先选择背吃刀量或侧吃刀量,其次选择进给速度,最后确定切削速度。

①背吃刀量 a_p 或侧吃刀量 a_e 。背吃刀量 a_p 为平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸,单位为 mm。端铣时, a_p 为切削层深度;而圆周铣削时,为被加工表面的宽度。侧吃刀量 a_e 为垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸,单位为 mm。端铣时, a_e 为被加工表面宽度;而圆周铣削时, a_e 为切削层深度,如图 7-49 所示。

背吃刀量或侧吃刀量的选取主要由加工余量和对表面质量的要求决定:

当工件表面粗糙度值要求为 $R_a 12.5 \sim 25 \mu\text{m}$ 时,如果圆周铣削加工余量小于 5mm,端面铣削加工余量小于 6mm,粗铣一次进给就可以达到要求。但是在余量较大、工艺系统刚性较差或机床动力不足时,可分为两次进给完成。

当工件表面粗糙度值要求为 $R_a 3.2 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 时,应分为粗铣和半精铣两步进行。粗铣时背吃刀量或侧吃刀量选取同前。粗铣后留 0.5 ~ 1.0mm 余量,在半精铣时切除。

当工件表面粗糙度值要求为 $R_a 0.8 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 时,应分为粗铣、半精铣、精铣三步进行。半精铣时背吃刀量或侧吃刀量取 1.5 ~ 2mm;精铣时,圆周铣侧吃刀量取 0.3 ~ 0.5mm,面铣刀背吃刀量取 0.5 ~ 1mm。

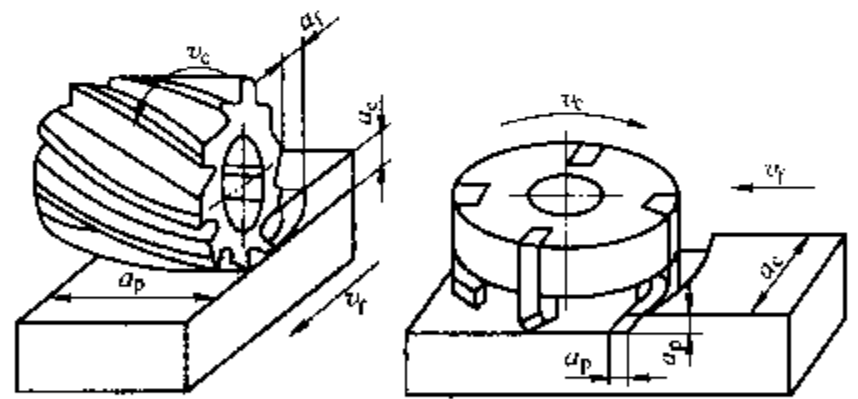


图 7-49 铣削加工的切削用量

②进给量 f 与进给速度 v_f 的选择。铣削加工的进给量 f (单位为 mm/r) 是指刀具转一周, 工件与刀具沿进给运动方向的相对位移量; 进给速度 v_f (mm/min) 是单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移量。进给速度与进给量的关系为 $v_f = nf$ (n 为铣刀转速, 单位 r/min)。进给量与进给速度是数控铣床加工切削用量中的重要参数, 根据零件的表面粗糙度、加工精度要求、刀具及工件材料等因素, 参考切削用量手册选取; 或通过选取每齿进给量 f_z , 再根据公式 $f = zfz$ (z 为铣刀齿数) 计算。每齿进给量 f_z 的选取主要依据工件材料的力学性能、刀具材料、工件表面粗糙度等因素。工件材料强度和硬度越高, f_z 越小; 反之则越大。硬质合金铣刀的每齿进给量高于同类高速钢铣刀。工件表面粗糙度要求越高, f_z 就越小。每齿进给量的确定可参考表 7-29 选取。工件刚性差或刀具强度低时, 应取较小值。

表 7-29 铣刀每齿进给量参考值

工件材料	每齿进给量 f_z/mm			
	粗铣		精铣	
	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

③切削速度 v_c (m/min)。铣削的切削速度与刀具的寿命、每齿进给量、背吃刀量、侧吃刀量以及铣刀齿数成反比, 而与铣刀直径成正比。其原因是当 f_z 、 a_p 、 a_e 和 z 增大时, 刀刃负荷增加, 而且同时工作的齿数也增多, 使切削热增加, 刀具磨损加快, 从而限制了切削速度的提高。为提高刀具寿命允许使用较低的切削速度。

但是加大铣刀直径则可改善散热条件, 可以提高切削速度。

铣削加工的切削速度 v_c 可参考表 7-30 选取, 也可参考有关切削用量手册中的经验公式通过计算选取。

表 7-30 铣削加工的切削速度参考值

工件材料	硬度 HBW	切削速度 $v_c/(\text{m/min})$	
		高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	<225	18~42	66~150
	225~325	12~36	54~120
	325~425	6~21	36~75
铸铁	<190	21~36	66~150
	190~260	9~18	45~90
	260~320	4.5~10	21~30

5. 数控铣削典型零件加工工艺分析

(1) 槽形凸轮零件的数控铣削工艺分析 图 7-50 所示为槽形凸轮零件, 在铣削加工前, 该零件是一个经过加工的圆盘, 圆盘直径为 $\phi 280\text{mm}$, 带有两个基准孔 $\phi 35\text{mm}$ 及 $\phi 12\text{mm}$ 。 $\phi 35\text{mm}$ 及 $\phi 12\text{mm}$ 两个定位孔和 X 面已在前面加工完毕, 本工序是在数控铣床上加工槽。该零件的材料为 HT200, 试分析其数控铣削加工工艺。

1) 零件图工艺分析。该零件凸轮轮廓由 HA 、 BC 、 DE 、 FG 和直线 AB 、 HG 以及过渡圆弧 CD 、 EF 所组成。组成轮廓的各几何元素关系清楚, 条件充分, 所需要基点坐标容易求得。凸轮内外轮廓面对 X 面有垂直度要求。材料为铸铁, 切削工艺性较好。

根据分析, 采取以下工艺措施: 凸轮内外轮廓面对 X 面有垂直度要求, 只要提高装夹精度, 使盖面与铣刀轴线垂直, 即可保证。

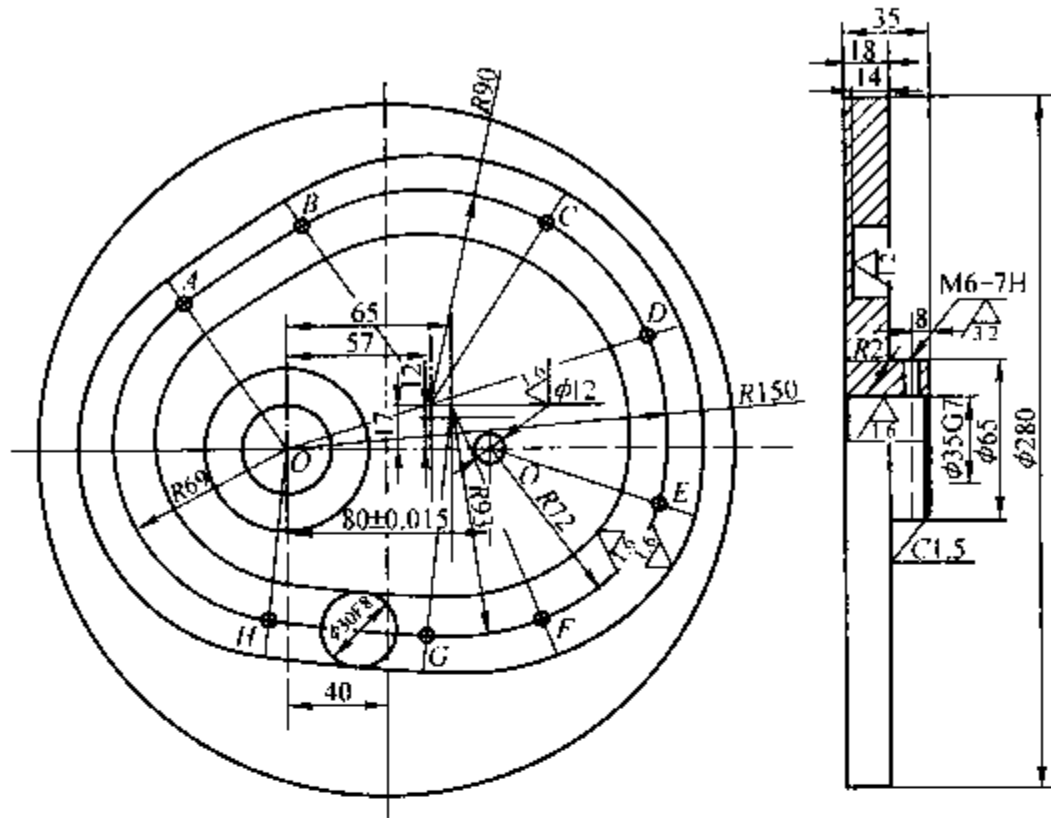


图 7-50 槽形凸轮零件

2) 选择设备。加工平面凸轮的数控铣削, 一般采用两轴以上联动的数控铣床, 因此首先要考虑的是零件的外形尺寸和重量, 使其在机床的允许范围以内。其次考虑数控机床的精度是否能满足凸轮的设计要求。第三, 看凸轮的最大圆弧半径是否在数控系统允许的范围之内。根据以上三条即可确定所要使用的数控机床为两轴以上联动的数控铣床。

3) 确定零件的定位基准和装夹方式。定位基准采用“一面两孔”定位, 即用圆盘 X 面和两个基准孔作为定位基准。

根据工件特点, 用一块 $320\text{mm} \times 320\text{mm} \times 40\text{mm}$ 的垫块, 在垫块上分别精镗 $\phi 35\text{mm}$ 及 $\phi 12\text{mm}$ 两个定位孔 (当然要配定位销), 孔距离 $(80 \pm 0.015)\text{mm}$, 垫板平面度为 0.05mm , 该零件在加工前, 先固定夹具的平面, 使两定位销孔的中心连线与机床 X 轴平行, 夹具平面要保证与工作台面平行, 并用百分表检查。

4) 确定加工顺序及走刀路线。整个零件加工顺序的拟订按照基面先行、先粗后精的原则确定。因此应先加工用作定位基准的 $\phi 35\text{mm}$ 及 $\phi 12\text{mm}$ 两个定位孔和 X 面, 然后再加工凸轮槽内外轮廓表面。由于该零件的 $\phi 35\text{mm}$ 及 $\phi 12\text{mm}$ 两个定位孔和 X 面已在前面工序加工完毕, 在这里只分析加工槽的走刀路线, 走刀路线包括平面内进给走刀和深度进给走刀两部分路线。平面内的进给走刀, 对外轮廓是从切线方向切入; 对内轮廓是从过渡圆弧切入。在数控铣床上加工时, 对铣削平面槽形凸轮, 深度进给有两种方法: 一种是在 XZ (或 YZ) 平面内来回铣削逐渐进刀到既定深度; 另一种是先打一个工艺孔, 然后从工艺孔进刀到既定深度。

进刀点选在 $P(150, 0)$ 点, 刀具来回铣削, 逐渐加深到铣削深度, 当达到既定深度后, 刀具在 XY 平面内运动, 铣削凸轮轮廓。为了保证凸轮的轮廓表面有较高的表面质量, 采用顺铣方式, 即从 P 点开始, 对外轮廓按顺时针方向铣削, 对内轮廓按逆时针方向铣削。

5) 刀具的选择。根据零件结构特点, 铣削凸轮槽内、外轮廓 (即凸轮槽两侧面) 时, 铣刀直径受槽宽限制, 同时考虑铸铁属于一般材料, 加工性能较好, 选用 $\phi 18\text{mm}$ 硬质合金

立铣刀, 见表 7-31。

表 7-31 数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××	零件名称	槽形凸轮	零件图号	×××	
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		备 注
1	T01	φ18mm 硬质合金立铣刀		1	粗铣凸轮内外轮廓		
2	T02	φ18mm 硬质合金立铣刀		1	精铣凸轮内外轮廓		
编制	×××	审核	×××	批准	×××	共 页	第 页

6) 切削用量的选择。凸轮槽内、外轮廓精加工时留 0.2mm 铣削用量, 确定主轴转速与进给速度时, 先查切削用量手册, 确定切削速度与每齿进给量, 然后利用公式 “ $v_c = \pi dn / 1000$ ” 计算主轴转速 n , 利用 $v_f = n z f$ 计算进给速度。

7) 填写数控加工工序卡片, 见表 7-32。

表 7-32 槽形凸轮的数控加工工艺卡片

单位名称	×××	产品名称或代号		零件名称	材 料	零件图号	
		×××		典型轴	45 钢	×××	
工序号	程序编号	夹具名称		夹具编号	使用设备	车 间	
×××	×××	螺旋压板		×××	XK5025	×××	
工步号	工步内容	刀具号	刀具规格 /mm	主轴转速 /(r/min)	进给速度 /(mm/min)	背吃刀量 /mm	备 注
1	来回铣削逐渐加深铣削深度	T01	φ18	800	60		分两层铣削
2	粗铣凸轮槽内轮廓	T01	φ18	700	60		
3	粗铣凸轮槽外轮廓	T01	φ18	700	60		
4	精铣凸轮槽内轮廓	T02	φ18	1000	100		
5	精铣凸轮槽外轮廓	T02	φ18	1000	100		
编制	×××	审核	×××	批准	×××	共 1 页	第 1 页

(2) 异形件的数控铣削工艺分析 图 7-51 为某机床变速器中操纵机构上的拨动杆, 用来把转动变为拨动, 实现操纵机构的变速功能。材料为 HT200, 该零件的生产类型为中批量生产。

数控铣削工艺分析如下:

1) 零件图工艺分析。先对拨动杆零件进行精度分析。对于形状和尺寸 (包括形状公差、位置公差) 较复杂的零件, 一般采用化整体为部分的分析方法, 即把一个零件看作由若干组表面及相应的若干组尺寸组成。然后分别分析每组表面的结构及其尺寸、精度要求, 最后再分析这几组表面之间的位置关系。

2) 设备的选择。该零件加工表面较多, 用普通机床加工, 工序分散, 工序数目多。采用数控铣床可以将普通机床加工的多个工序在一个工序完成, 提高生产率, 降低生产成本。因此选用数控铣床。

3) 确定零件的定位基准

①精基准的选择。精基准选择的顺序是, 首先考虑以什么表面为精基准定位加工工件的主要表面, 然后考虑以什么面为粗基准定位加工出精基准表面, 即先确定精基准, 然后选出

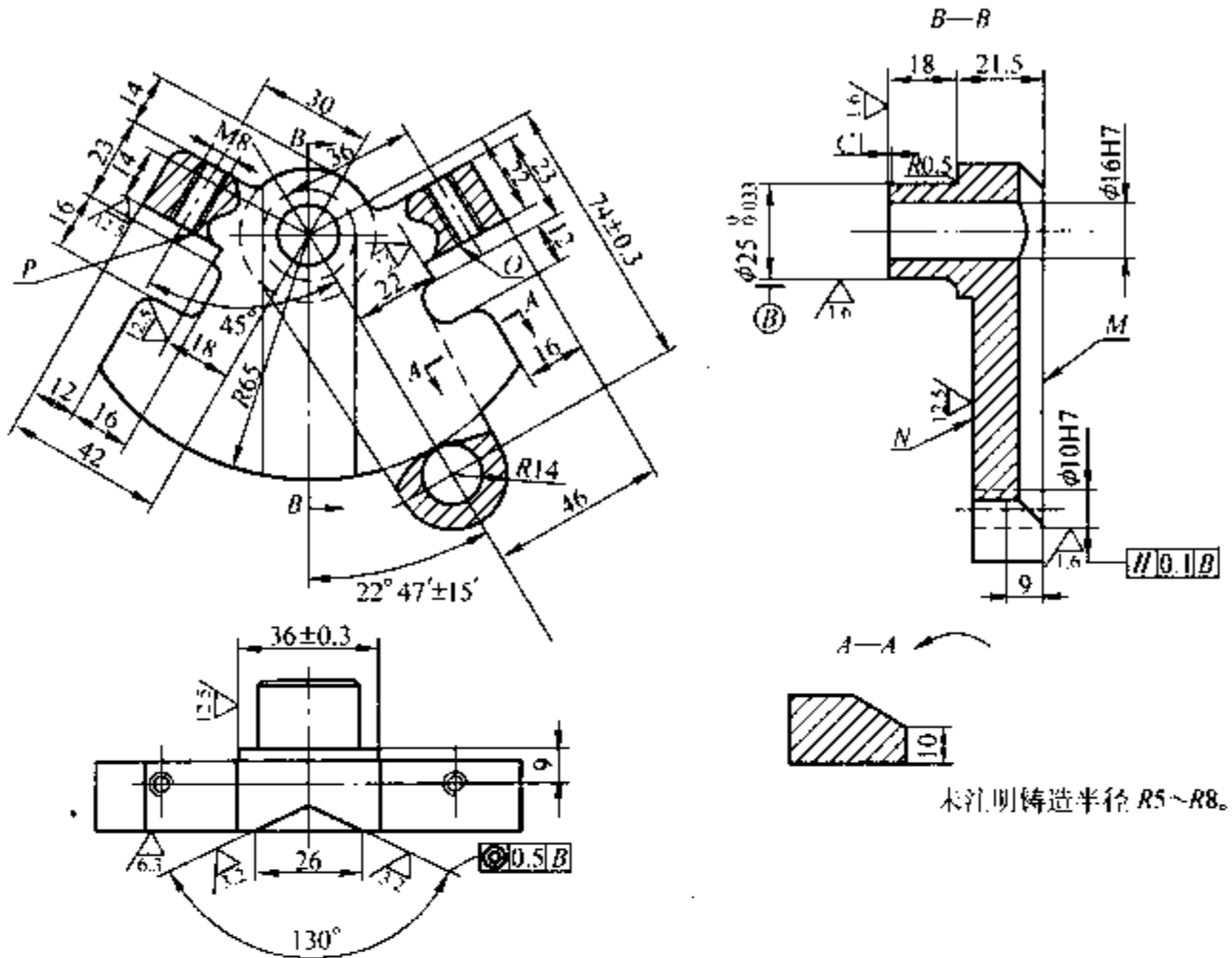


图 7-51 拨动杆零件简图

粗基准。由零件的工艺分析可知，此零件的设计基准是 M 平面、 $\phi 16\text{mm}$ 和 $\phi 10\text{mm}$ 两孔中心的连线，根据基准重合原则，应选设计基准为精基准，即以 M 平面和两孔为精基准。由于多数工序的定位基准都是一面两孔，因此上述的选择也符合基准统一原则。

②粗基准的选择。根据粗基准选择应合理分配加工余量的原则，应选 $\phi 25\text{mm}$ 外圆的毛坯面为粗基准（限制四个自由度），以保证其加工余量均匀；选平面 N 为粗基准（限制一个自由度），以保证其有足够的余量；根据要保证零件上加工表面与不加工表面相互位置的原则，应选 $R14\text{mm}$ 圆弧面为粗基准（限制一个自由度），以保证 $\phi 10\text{mm}$ 孔轴线在 $R14\text{mm}$ 圆心上，使 $R14\text{mm}$ 处壁厚均匀。

(3) 工艺路线的拟定 加工工艺路线安排如下：

1) 以 $\phi 25\text{mm}$ 外圆（四个自由度）、 N 面（一个自由度）、 $R14\text{mm}$ （一个自由度）为粗基准定位，采用数控铣床加工，工步内容为：铣 M 面；粗铣、精铣角度为 130° 的槽；铣 P 、 Q 面到尺寸；钻-扩-铰加工 $\phi 16\text{H}7$ 、 $\phi 10\text{H}7$ 两孔。为消除粗加工（钻孔）所产生的力变形及热变形对精加工的影响，在钻孔后，插入铣 P 、 Q 面的工步，以使钻孔后的表面有短暂的散热时间，最后安排孔的半精加工（扩孔）、精加工（铰孔）工步，以保证加工精度。

2) 以 M 面、 $\phi 16\text{H}7$ 和 $\phi 10\text{H}7$ （一面两孔）定位，车 $\phi 25\text{mm}$ 外圆到尺寸，车 N 面到尺寸。

3) 以 M 面、 $\phi 16\text{H}7$ 和 $\phi 10\text{H}7$ （一面两孔）定位，钻、攻螺纹，加工 $2 \times \text{M}8$ 螺孔。

由以上分析可以看到，只需要三道工序就可以完成零件的加工，工序集中，极大提高了生产率，充分地反映了采用数控加工的优越性、先进性。

6. 对特殊材料进行深孔螺纹加工

对特殊材料零件进行深孔螺纹加工是比较困难的。例如，在一个钛合金零件上进行深孔攻

螺纹是非常具有挑战性的。如果在一个接近完工的零件上，由于丝锥破损产生的刮削作用而导致零件报废，这是非常不经济的。因此，为避免刮削，要求使用正确的刀具和攻螺纹技术。

首先需要定义什么是深孔，为什么它需要特殊的考虑。在钻削中，那些孔深大于3倍孔径的孔称为深孔。而深孔攻螺纹意味着攻螺纹深度大于丝锥直径的1.5倍以上。如当用一只直径为1/4"的丝锥加工深度为3/8"的螺纹时，这种情况通常称为深孔攻螺纹。

加工一个深孔螺纹，意味着刀具与工件之间需长时间的接触。同时，在加工过程中会产生更多的切削热和更大的切削力。因此在特殊材料（如钛金属类零件）的小深孔中进行攻螺纹容易产生刀具破损和螺纹的不一致性。

为解决这个问题，可以采用两种方案：即增大攻螺纹前孔的直径和使用专为深孔攻螺纹设计的丝锥。

(1) 增大攻螺纹前孔的直径 合适的螺纹底孔对于螺纹加工是十分重要的。一个尺寸稍大的螺纹底孔能有效降低攻螺纹过程中产生的切削热和切削力。但它也会减小螺纹的接触率。

国家标准和技术委员会规定：在深孔中，允许在孔壁上只攻出螺纹全高的50%。这一点在对特殊材料和难加工材料的小孔攻螺纹时尤其重要。因为尽管由于孔壁上螺纹高度的减少导致螺纹接触率下降，但由于螺纹长度的增加，因此仍可保持螺纹可靠的连接。

螺纹底孔的直径增量主要取决于所要求的螺纹接触率和每英寸的螺纹线数。根据上述两值，利用经验公式可计算出正确的螺纹底孔直径。

(2) 切削参数 由于钛金属零件难于加工，因此需要对切削参数和刀具几何尺寸作充分考虑。

1) 切削速度。由于钛合金具有大的弹性和变形率，因此需要采用相对较小的切削速度。在加工钛合金零件的小孔时，推荐采用的圆周切削速度为10~14in/min。我们不推荐采用更小的速度，因为那样会导致工件的冷作硬化。另外，也需注意刀具破损而导致切削热。

2) 容屑槽。在深孔攻螺纹时，需减少丝锥槽数，使每个槽的容屑空间增大。这样，当丝锥退刀时，可以带走更多的铁屑，减小由于铁屑堵塞而造成刀具破损的机会。但另一方面，丝锥容屑槽的加大使得心部直径减小，因此，丝锥强度受到影响。所以这也会影响切削速度。另外，螺旋槽丝锥比直槽丝锥更易排屑。

3) 前角和后角。小前角可提高切削刃强度，从而增加刀具寿命；而大前角有利于切削长切屑的金属。因此在对钛合金加工时，需综合考虑这两个方面的因素，选用合适的前角。

大后角可以减小刀具和切屑之间的摩擦，因此有时要求丝锥后角为40°。在加工钛金属时，在丝锥上磨出大的后角，有利于排屑。另外，全磨制丝锥和刃背铲磨的丝锥也有利于攻螺纹。

4) 切削液。当加工特殊材料时，必须保证切削液到达切削刃。为改进切削液的流量，推荐在丝锥的刃背上开冷却槽。如果直径足够大的话，可考虑采用内冷却丝锥。

7. 数控磨床与数控铣床磨削加工比较

数控铣床不但能进行铣削加工，还可以代替磨床进行磨削加工。下面对单轴外圆磨削进行介绍。在实践中，可以使用FANUC系统提供的用户宏程序，编制单轴的磨削循环功能。下面根据机床的具体结构，就编制砂轮手动修整、自动补偿及手动测量工件、自动补偿的控制功能，将数控磨床与数控铣床磨削加工进行比较。

(1) 数控磨床进行磨削加工

1) 外圆磨削循环。磨床由于只有径向控制轴 (X 轴), 无法实现连续进给磨削, 只能实现两端进给的轴向磨削循环。因此在左右两端各设一个轴向行程识别开关, 如图 7-52 所示。

当砂轮移到工件的左端时, 左端行程开关闭合, 发出到位信号, 程序中用接口输入变量 $\#1005 = 1$ 表示。控制系统接到该信号后, 发出 X 轴进给移动指令, 砂轮前进一个 A 值; 同理, 当系统接到右端行程开关发出的到位信号时, 程序中用接口输入变量 $\#1006 = 1$ 表示, 砂轮前进一个 B 值。依次循环, 直到到达指令的位置。

实现给定磨削量的磨削加工, 可以按 A 、 B 两值相加为一个循环, 将被磨除量均分。砂轮快速移至 R 点, 经 n 次 ($A + B$) 磨削之后, 其剩余量为 h' 。若砂轮在工件左端, 且 $h' < A$ 时, 按 h' 进给, 否则按 A 值进给。若在工件右端, 且 $h' < B$ 时, 按 h' 进给, 否则按 B 值进给。软件必须保证只在工件两端进给, 中间不得进给。当磨除量变为零时, 必须磨到另一端才能退砂轮。整个磨削过程分粗磨、精磨和光磨。在实际使用中, 在 R 点设置一个暂停, 操作者可以插入手动磨削, 以利于修活使用, 也可以再转为自动磨削。磨削初值用现在位置变量 $\#5041$ 取值。

2) 测量值的自动补偿。在粗磨结束后, 精磨开始前插入手动测量, 操作者将测量结果输入到系统中, 系统根据指令值与实测值之差, 对磨削量进行补偿。

是否需要测量, 由面板上的开关设置, 此开关状态用接口输入信号 $\#1007$ 输入系统。当开关接通, 即信号为“1”时进行测量。当开关断开, 即信号为“0”时, 则不进行测量, 直接进行精磨加工。当实测值与指令值相同时, 可以不输入实测值, 此时, 系统不修正磨削量, 仍按原磨削量进行磨削。如需测量, 在测量之前安排光磨加工, 以求与完成零件磨削的状态相同。

3) 砂轮修整量的自动补偿。根据机床采用普通金刚笔修整砂轮、手动进给、手动换向修整这样的操作, 软件自动计算修整量, 并修正工件坐标原点设定值。砂轮修整之后, 不需对刀, 即可进行磨削加工。

在面板上设置砂轮修整开关, 此开关状态用接口输入信号 $\#1004$ 输入系统。当修整开关合上, 即信号为“1”时, 执行砂轮修整服务程序。当开关断开, 即信号为“0”时, 系统执行磨削加工。

(2) 软件框图 按主程序、子程序结构编制软件。

1) 主程序 (00001), 如图 7-53 所示。

2) 砂轮修整子程序 (00020), 如图 7-54 所示。

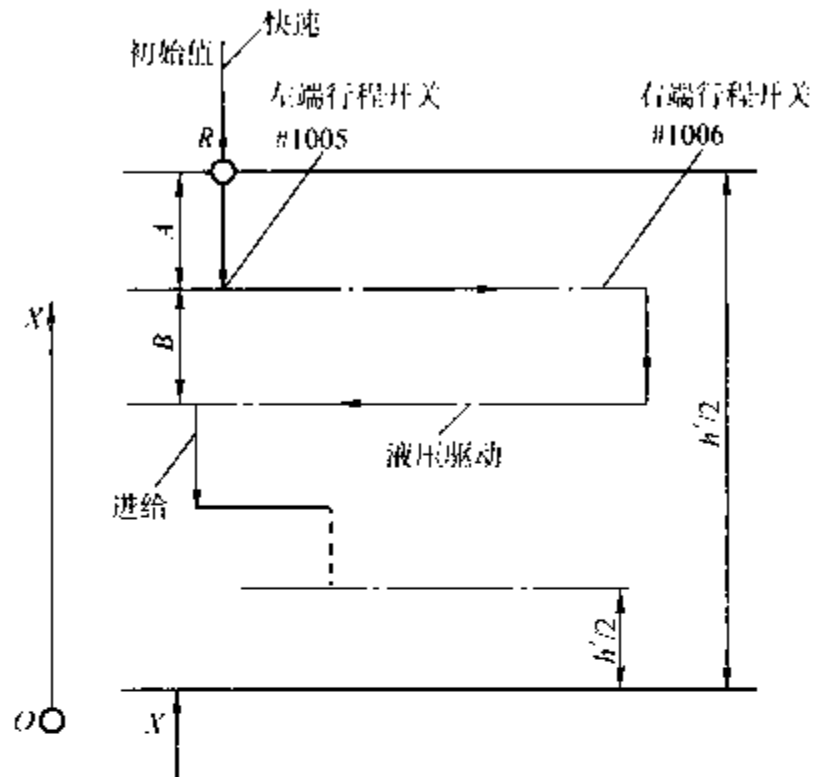


图 7-52 磨削循环示意图

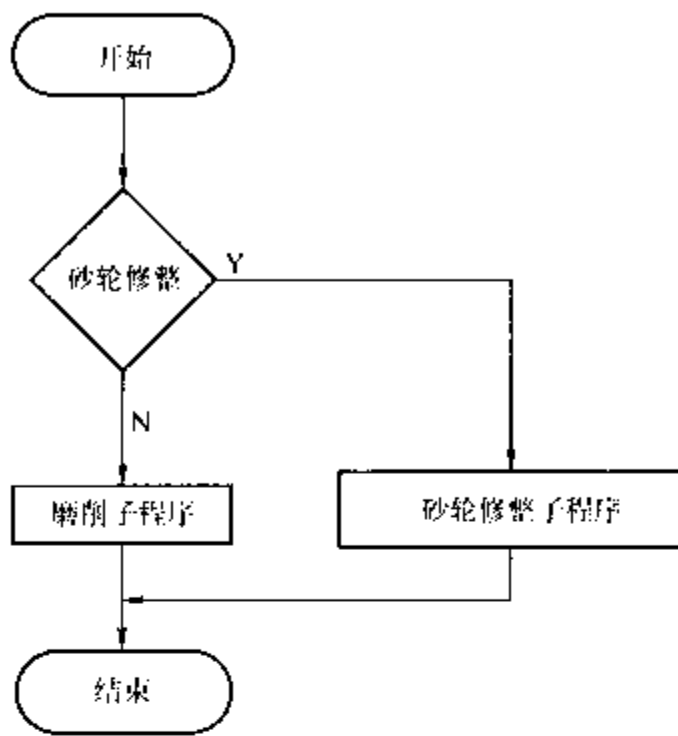


图 7-53 主程序框图

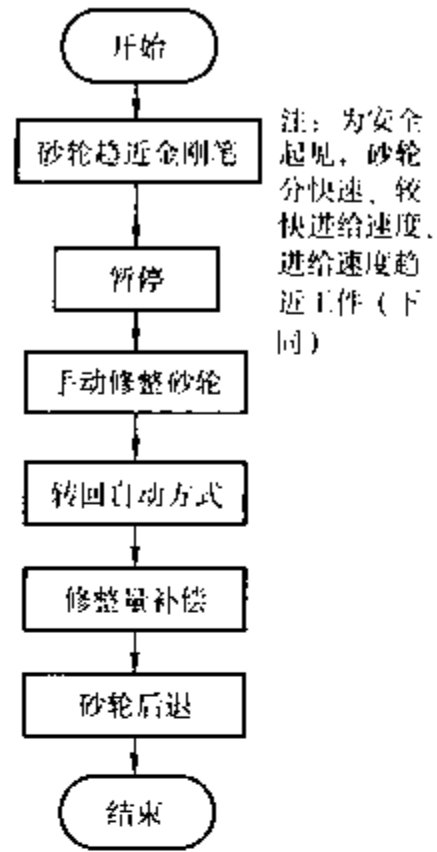


图 7-54 砂轮修整子程序框图

3) 磨削子程序 (00010), 如图 7-55 所示。

4) 测量子程序 (00030), 如图 7-56 所示。

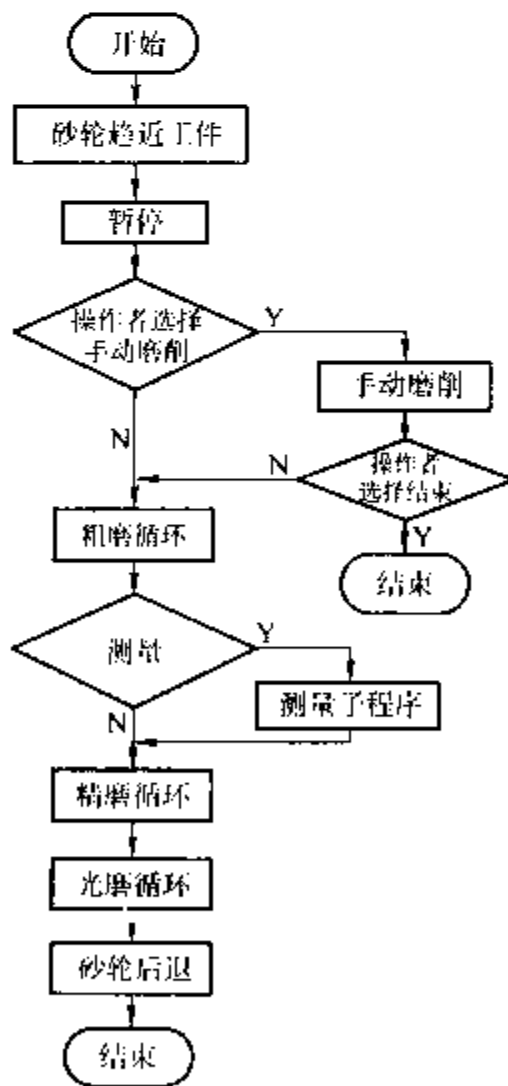


图 7-55 磨削子程序框图

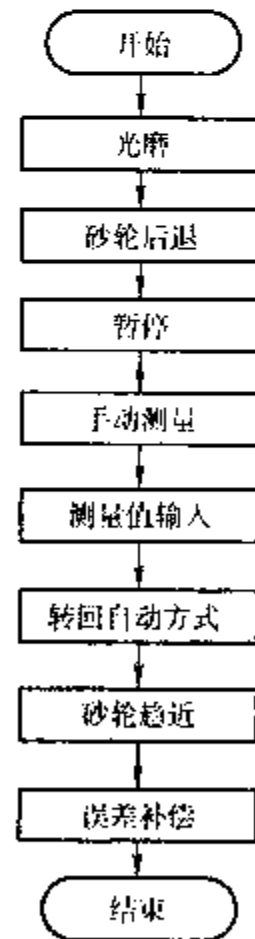


图 7-56 测量子程序框图

(3) 数控铣床进行磨削加工 可以实现 X 、 Y 、 Z 三个方向上的同时进给, 无须设定行程开关, 完全由机床和程序来保证砂轮加工时移动的准确性。只需要对砂轮的磨损程度进行测量, 在建模和自动出程序的时候, 将砂轮的磨损考虑进去, 就能实现对外圆的磨削, 并能得到与磨床加工同等精度的零件。

8. 圆柱凸轮的加工

(1) 圆柱凸轮加工的工艺分析 如图 7-57 所示圆柱凸轮机构可以实现任意复杂的运动形式, 从动件运动机构在行程中可停留或运动, 同时具有结构简单、体积小的优点, 广泛应用于内燃机、包装机械、纺织机械、计算机外围设备以及自动控制系统等众多领域。

该圆柱凸轮的材料为 40Cr, 其基圆半径为 32mm, 槽宽为 12mm, 工作面表面粗糙度 $R_a 1.6\mu\text{m}$, 凸轮槽展开线如图 7-58 所示 (包括凸轮槽中心线及上下轮廓线)。两端面的平行度误差不大于 0.01mm, $\phi 32\text{H7}$ 孔的尺寸精度为 0.025mm, 圆跳动度不大于 0.01mm, 外圆与内孔的同轴度精度为 0.01mm。凸轮进行数控铣之前, 将其外圆、内孔及键槽先加工到要求尺寸和表面粗糙度。凸轮槽的加工是凸轮加工的关键。

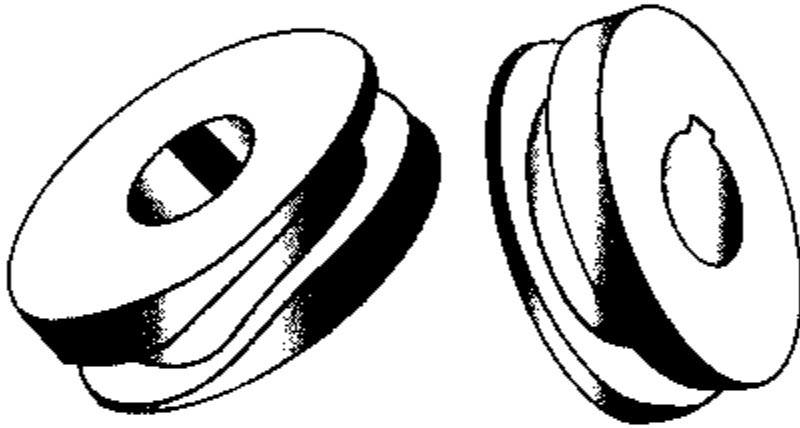


图 7-57 圆柱凸轮

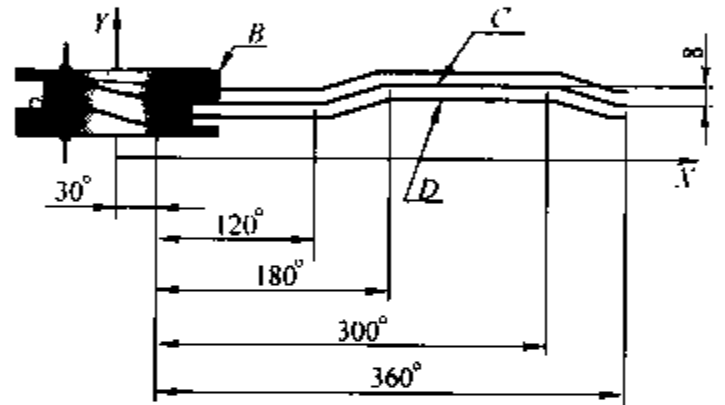


图 7-58 凸轮槽展开线

圆柱凸轮槽的数控铣削加工必须满足以下要求, 以确保滚子在圆柱凸轮槽中平稳运动:

- 1) 圆柱凸轮槽的工作面即两个侧面的法向截面线必须严格平行。
- 2) 圆柱凸轮槽在工作段必须等宽。

圆柱凸轮槽宽度不大时, 通常选择相应直径的立铣刀沿槽腔中心线进行加工, 可比较容易加工出符合上述要求的圆柱凸轮槽。

编制圆柱凸轮的程序是依据其展开线为依据的。

(2) 三坐标数控铣床的改造 三坐标数控铣床只具有 X 、 Y 、 Z 三个直线移动坐标, 无法加工圆柱凸轮类零件。为在数控铣床上铣削圆柱凸轮, 需要增加精密分度头, 通过回转轴和直线轴的联动实现凸轮槽的加工。

自行加工一个带有台阶的心轴, 在心轴上加工一槽, 通过键与圆柱凸轮连接, 心轴的小端车有螺纹和中心孔, 通过螺母、垫圈压紧凸轮。心轴粗端装在分度头的三爪自定心卡盘上, 小端用尾座顶尖和其中心孔配合紧固。

东西都准备齐全后, 将分度头装在工作台上, 用弹性联轴器将分度头的一头和步进电动机的主轴相连接, 根据工件尺寸调整好分度头的传动比, 再将步进电动机的数据线与数控系统的驱动器相连接, 将电源线接好, 进行调试。

(3) 加工前的准备工作及工艺安排 铣加工前,先用钻头在凸轮槽中心线铣刀起始位置上预钻一工艺孔,并用 $\phi 11.7\text{mm}$ 平底钻修整底部。

由于凸轮槽的公差较小,表面粗糙度较小,加工时粗精加工分开进行,首先用 $\phi 10\text{mm}$ 立铣刀沿凸轮槽中心线切削,深度分层,然后利用该刀具对凸轮的上下轮廓线进行半精加工,留精加工余量。精加工刀具选用 $\phi 12\text{mm}$ 立铣刀,以保证尺寸公差及表面粗糙度。

精加工刀具半径应小于凸轮的展开线拐角半径,否则需要清角加工。尽管凸轮槽已预钻一工艺孔,原则上不需要采用键槽铣刀,但实际加工中精加工最好仍采用键槽铣刀,否则槽底将不平而上凸,刀具越大,上凸越大。

铣削深度方向的进给,要在旋转轴静止不动时一次进给到所需的加工深度,如果边旋转边沿深度方向进给,将在侧面上形成明显的螺旋切痕,最好采用相切进刀的方式。

加工之前一定要将机床回零,确保有相同的加工起点。

(4) 程序的编制 钻好预孔的加工件在数控机床上找正位置后,手动方式加工,不需再编程,以下为铣加工的程序编制过程。

1) 粗加工。选择“刀具路径→外形铣削→串连”命令,用鼠标单击凸轮槽中心线的展开线,选完后单击“执行”,弹出图 7-59 所示对话框。

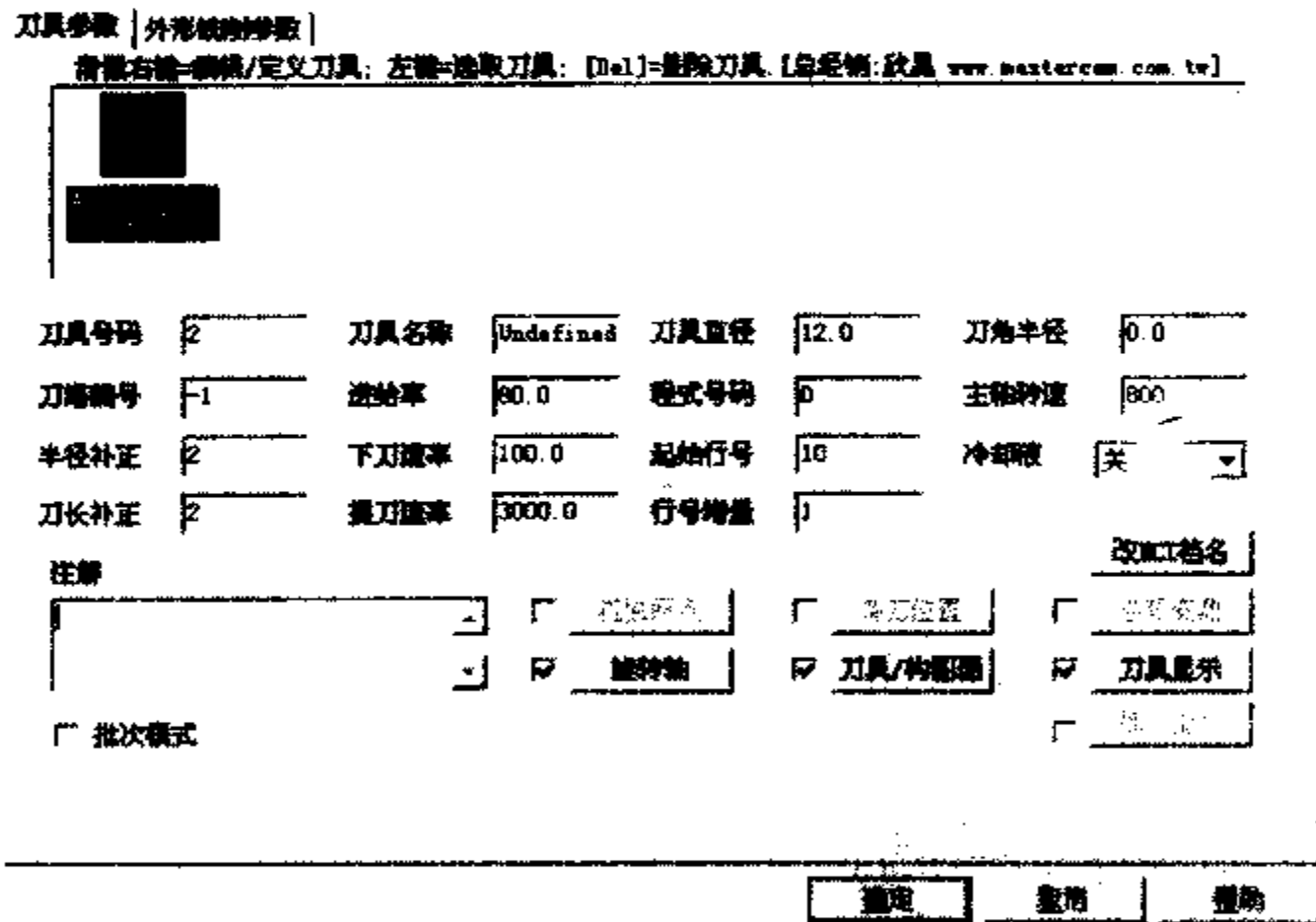


图 7-59 刀具参数设定

刀具参数设定如图 7-59 所示。

单击“旋转轴”按钮,弹出图 7-60 所示对话框,用以设定工件的旋转轴,设定参数如图 7-60 所示。

外形铣削参数如图 7-61 所示。

参数设定完后单击“确定”按钮,系统自动生成刀具路径。

2) 半精加工。半精加工采用与粗加工相同的数控程序和刀具，用靠铣的方法加工上下工作表面。在长手动方式下，将原来对刀后的数据中的 Y 坐标加、减 0.85mm，即偏移上、下轴线 0.85mm 加工工件表面，还留有 0.15mm 的精加工余量。切削参数通过机床操作面板上的倍率调整开关修调。

3) 精加工。如果精加工按粗加工相同的方式，则刀具在进/退刀位置会留下明显切痕，因此，将凸轮槽中心线的展开线平移一次，即将原来的展开线的起点平移至终点形成两条展开线。选择“刀具路径→外形铣削”命令，串联凸轮槽中心线的两条展开线。精加工实际上是沿凸轮槽中心线走了两刀，这样可减少 $\phi 12\text{mm}$ 键槽铣刀进/退刀对加工表面的影响。

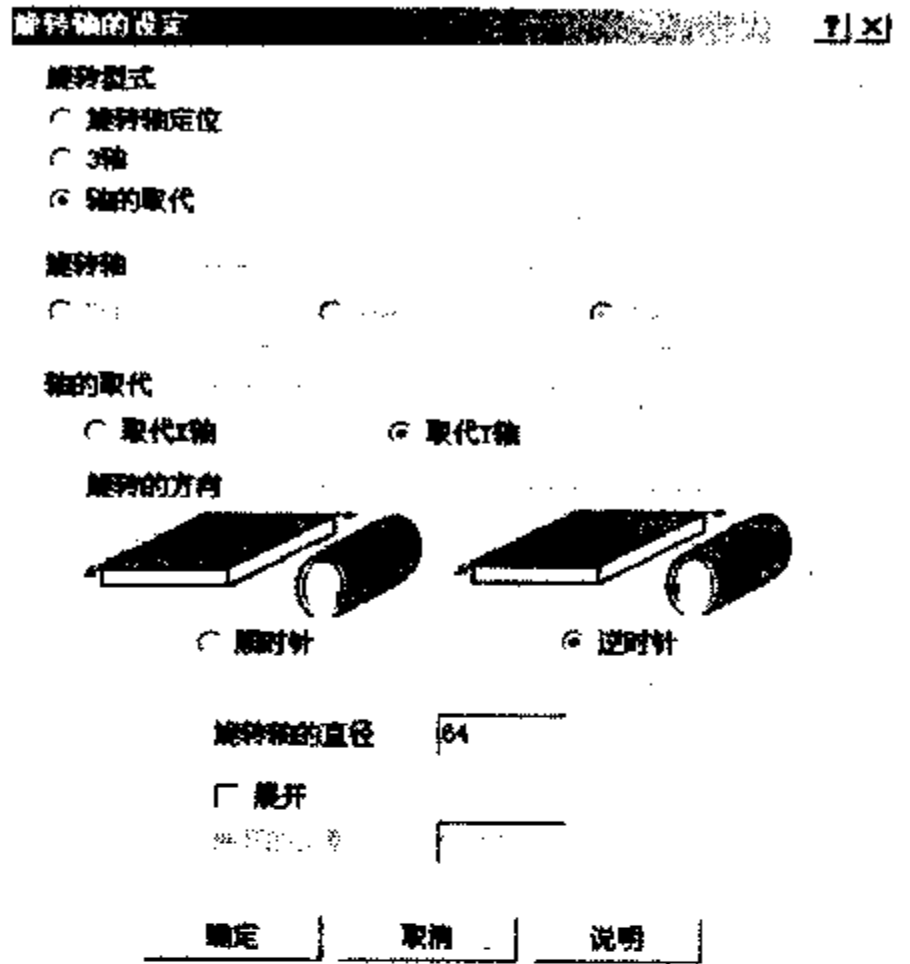


图 7-60 “旋转轴的设定”对话框

(5) 后处理的编辑 Mastercam 中带有许多数控系统的后处理文件，不同的数控系统就要采用不同的后处理文件，Mastercam 中后处理文件的扩展名为 PST。

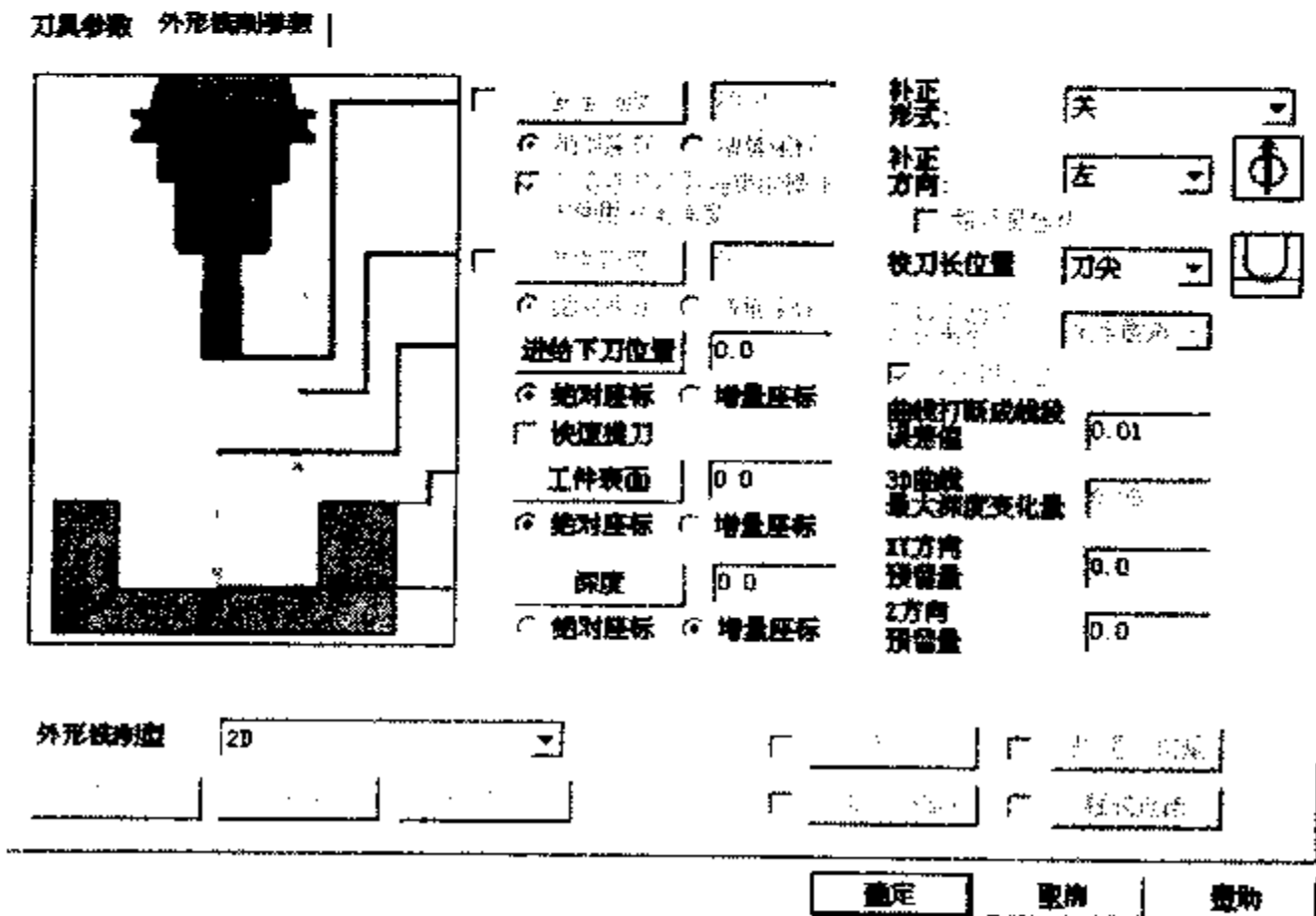


图 7-61 外形铣削参数设定

由于这里使用的为华中世纪星数控系统，且用 A 轴代替了 Y 轴，所以需对相应的后处理文件作出修改，以适合相应机床加工。

用记事本将 MPFAN.PST 文件打开，将第六行改为“YES”，如图 7-62 所示。

```
文件(E) 编辑(E) 格式(O) 帮助(H)
-----
# Post Name       : MPFAN
# Product        : MILL
# Machine Name   : GENERIC FANUC
# Control Name   : GENERIC FANUC
# Description    : GENERIC FANUC MILL POST
# 4-axis/Axis subs. : YES
# 5-axis        : NO
# Subprograms    : YES
# Executable     : MP v9.10
#
# WARNING: THIS POST IS GENERIC AND IS INTENDED FOR MODIFICATION T
# THE MACHINE TOOL REQUIREMENTS AND PERSONAL PREFERENCE.
#
# -----
# Revision log:
# -----
# Programmers Note:
# CNC 01/12/01 - Initial post update for U0.1
# CNC 07/02/01 - Add context to cancel drill and tool retract
# CNC 01/09/02 - Initial post update for U9.0
```

图 7-62 打开并修改文件

(6) 加工中注意的几个问题

1) 刀具实际切削速度。圆柱凸轮加工中，使用了分度头，产生了旋转运动。对于旋转运动，指定速度即为旋转角速度。因此，刀具的实际切削（线）速度随回转中心与刀具间的距离变化而变化，在编程时应考虑这一距离，本例为等槽深圆柱凸轮， r 为定值。

2) 深度控制。由于该圆柱凸轮材料为 40Cr，槽深 $(84 - 64) \text{ mm} / 2 = 10 \text{ mm}$ 不能一次加工到位，而圆柱凸轮编程时，设定凸轮槽曲线环绕 $\phi 64 \text{ mm}$ 的圆柱（基圆直径）即最深尺寸走刀，因此，加工时是对刀找正后通过调整工件坐标系的 Z 坐标来手动控制走刀次数的，粗加工可按每刀加工 3mm 深度来控制。

3) 宽槽圆柱凸轮加工控制。对于等宽的曲线沟槽，在留有加工余量的粗铣、半精铣之后，最好用直径和沟槽宽度相同的铣刀一次精铣出两个侧面，而不要用小直径刀具采用两边靠铣的方法分别加工出两个侧面。原因之一是后者的铣刀只受一个方向的切削力而呈悬臂状态，会因刀具变形而影响铣削精度；而前一种情况的铣刀受力基本对称，不会产生上述变形，从而保证了加工精度。

九、电火花加工

1. 电火花加工的基本原理和特点

(1) 电火花加工的基本原理 电火花是一种自激放电，它不同于弧光放电、辉光放电等其他形式的自激放电。电火花加工是基于脉冲放电的蚀除原理，所以，也称放电加工或电蚀加工。

电火花加工机床示意图如图 7-63 所示。

放电蚀除的物理过程是电磁学、热力学、流体动力学等综合作用的过程，可以大致分为电离、放电、热熔、金属抛出、消电极等阶段。

工件 4 与工具电极 3 分别接脉冲电源 1 的两个输出端。伺服系统 2 使工具电极和工件间经常保持一个很小的放电间隙。电极的表面（微观）是凹凸不平的，当脉冲电压加到两极（工具和工件）上时，当时条件下某一相对间隙最小处或绝缘强度最低处的工作液（绝缘介质）将最先被电离为负电子和正离子而被击穿，形成放电通道，电流随即剧增，在该局部产生火花放电，瞬时高温使工件和工具表面都蚀除掉一小部分金属，单个脉冲经过上述过程，完成了一次脉冲放电，

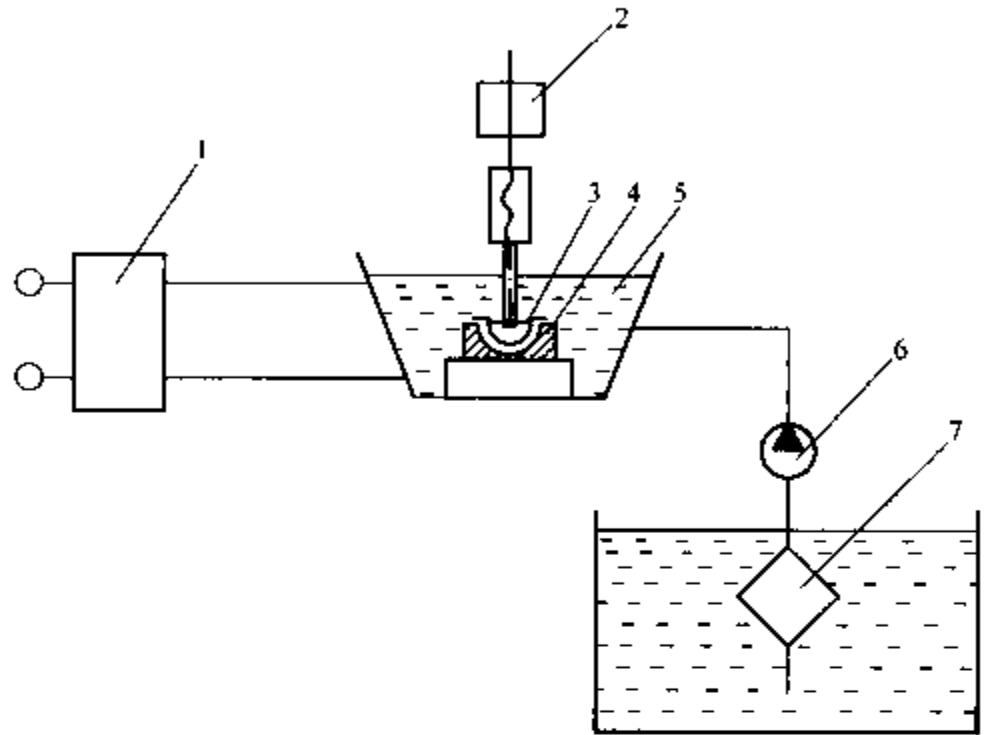


图 7-63 电火花加工机床示意图

1—脉冲电源 2—伺服系统 3—工具电极
4—工件 5—工作液 6—泵 7—过滤器

而在工件表面留下一个带有凸边的小凹穴，这样以很高频率连续不断地重复放电，工具电极不断地向工件进给，就可将工具的形状复制在工件上，加工出所需要的零件。

脉冲放电现象应用于“尺寸加工”，应具备如下条件：

1) 工具电极和工件之间必须维持合理的距离，即相应于脉冲电压和相应于介质的绝缘强度的距离在该距离范围内，既可以满足脉冲电压不断击穿介质，产生火花放电，又可以适应在火花通道熄灭后介质消电离以及排出蚀除产物的要求。若两极距离过大，则脉冲电压不能击穿介质，不能产生火花放电；若两极短路，则在两电极间没有脉冲能量的消耗，也不可能实现电腐蚀加工。由此可见，两电极间的合理距离必须较小，但又不可短路。

在电火花加工中，工具电极与工件电极之间的距离是否合理，受到脉冲电压、火花通道的能量以及介质的介电常数等很多因素制约。

2) 两电极之间必须充入介质。在进行电火花尺寸加工时，两极间为液体介质（如煤油或火花油等）；在进行材料电火花表面强化时，两极间为气体介质。两极间没有介质（即真空）的自激放电属于辉光放电，不能实现电火花加工。

3) 输送到两电极间的脉冲能量密度应足够大。在火花通道形成后，脉冲电压变化不大，因此，通道的电流密度可以表征通道的能量密度。能量密度足够大，才足以使被加工材料局部熔化或气化，从而在被加工材料表面形成一个蚀除痕（凹坑），实现火花加工。因而，通道一般必须有 $10^5 \sim 10^6 \text{ A/cm}^2$ 的电流密度。放电通道必须具有足够大的峰值电流，通道才可以在脉冲期间得到维持，一般情况下，维持通道的峰值电流不小于 2A。

4) 放电形式应是脉冲的，脉宽一般为 $0.1 \sim 300 \mu\text{s}$ ，使脉冲放电时产生的绝大部分热量来不及从极微小的局部加工区扩散到非加工区。

5) 在每次脉冲放电之间的脉冲间隔内, 电极间的介质必须来得及消电离, 使下一个脉冲能在两极间另一“相对最靠近点”处击穿放电, 从而使工件的形状尺寸逐点无限趋近于工具电极的形状尺寸。

6) 必须把加工过程中所产生的电蚀产物(包括加工屑、焦油、气体)及余热等从微小的电极间隙中排除出去, 否则加工将无法正常地连续进行。在电火花加工的生产实际中, 上述过程通过两个途径完成: 一方面, 火花放电以及电腐蚀过程本身具备将蚀除产物排离的固有特性, 蚀除物以外的其余放电产物(如介质的气化物)也可以促进上述过程; 另一方面, 还必须利用一些人为的辅助工艺措施, 例如工作液的循环过滤, 加工中采用的冲、抽油措施等。

(2) 放电蚀除的极性效应 放电蚀除时, 阳极和阴极表面分别受到电子和离子的轰击即瞬时热源的作用, 因此它们都遭到电蚀除, 但阴阳两极的电蚀除量是不一样的, 这种两极蚀除量不一样的现象称为极性效应。一般认为电子的质量小, 加速度大, 在短时间内可获得较大的速度。即使放电时间很短(即脉冲宽度小), 大量电子也能达到阳极表面而进行轰击。离子的质量大, 加速度小, 如果放电时间短, 部分离子就来不及到达并轰击阴极表面, 所以在放电时间短时, 离子对阴极的轰击程度不如电子对阳极的轰击程度。但是, 当放电时间长到一定程度时, 离子也有足够的时间到达阴极表面, 并可获得较大的速度。由于离子的质量大, 因而离子对阴极的轰击程度要远远大于电子对阳极的轰击程度。

阴阳两极的蚀除量不仅与放电时间(脉冲宽度)有关, 而且还与电极材料及单个脉冲能量等因素有关。在电火花加工过程中, 极性效应愈显著愈好, 应尽量充分地利用极性效应, 合理选择加工极性, 以提高加工效率和减少工具电极的损耗。

通常, 把工件接正的加工称为正极性加工, 工件接负的加工称为负极性加工。

(3) 电火花加工的基本工艺规律

1) 电火花加工的电规准(或称电参数), 是指选用的电加工用量、电加工参数, 主要是电脉冲的参数, 如图 7-64 所示。

①脉冲宽度 t_i (μs) 简称脉宽, 是加到工具和工件上放电间隙两端的电压脉冲的持续时间。电火花加工采用断续的脉冲电压, 粗加工时可用较大的脉宽, $t_i > 100\mu\text{s}$; 精加工时采用较小的脉宽, $t_i < 50\mu\text{s}$ 。

②脉冲间隔 t_0 (μs) 简称脉间或间隔, 是两个电压脉冲之间的间隔时间, 脉间时间过短, 放电间隙来不及消电离和恢复绝缘, 容易产生电弧放电, 烧伤工具电极和工件; 脉间时间过大, 将降低加工效率。

③峰值电压 u_i (V) 是间隙开路时电极间最高电压, 等于电源的直流电压, 一般晶体管方波脉冲电源的峰值电压 $u_i = 80 \sim 100\text{V}$, 高低压复合脉冲电源的高压峰值电压为 $175 \sim 300\text{V}$, 峰值电压高时放电间隙大, 生产率高, 但加工成形精度稍差。

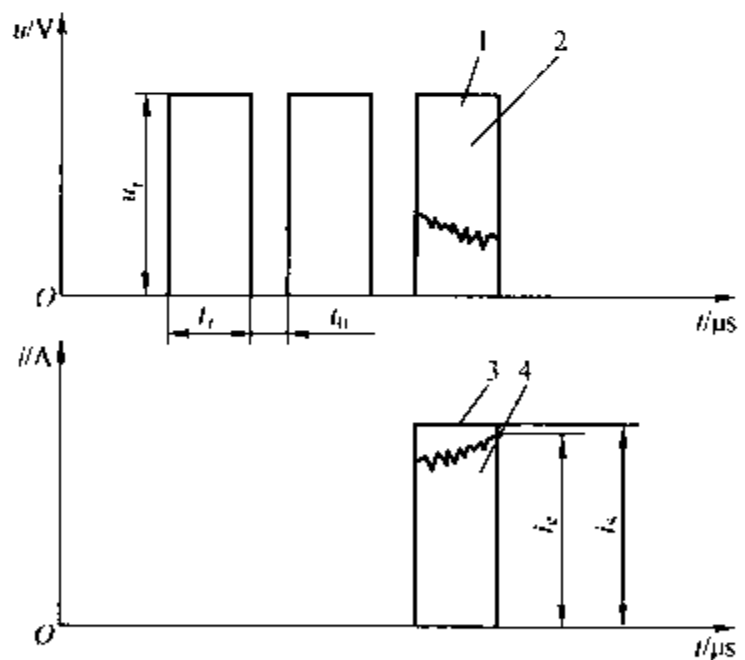


图 7-64 方波脉冲电源电脉冲参数

1—空载(开路)电压波形 2—火花放电电压波形

3—短路电流波形 4—火花放电电流波形

t_i —脉宽 t_0 —脉间 u_i —峰值电压

i_i —峰值电流 i_s —短路峰值电流

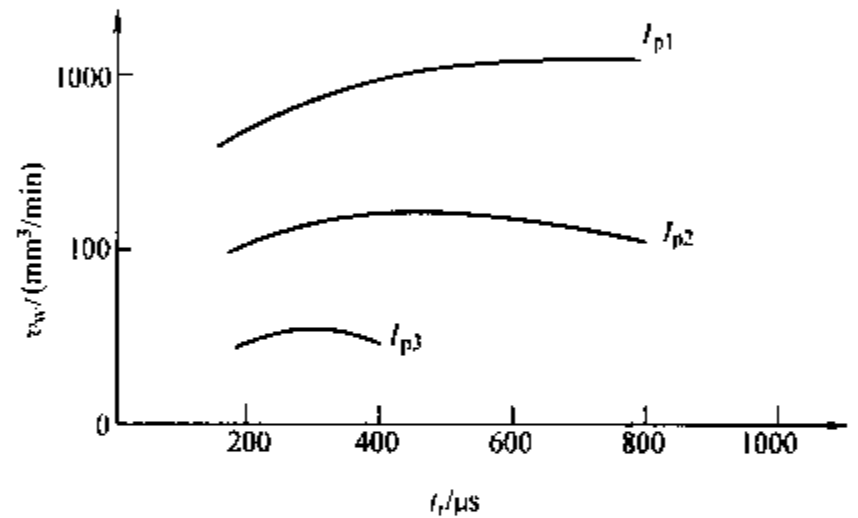
④峰值电流 i_p (A) 是间隙火花放电时脉冲电流的最大值 (瞬时值), 它是影响生产率、表面粗糙度等指标的重要参数。但是峰值电流不容易直接测量, 在设计制造脉冲电源时, 每一功率放大管的峰值电流是预先选择计算好的, 为 2~3A, 电源说明书中也有说明可以按此规格选定粗、半精、精加工时的峰值电流 (实际上是选定几个功率管进行加工)。

2) 影响加工速度的主要因素。加工速度 v_w (或加工生产率) 指在单位时间内的工件蚀除量 (金属体积或金属质量), 在电火花线切割加工中, 一般用 mm^3/min 为单位, 大功率脉冲电源粗加工时的加工速度大于 $500\text{mm}^3/\text{min}$, 电火花精加工时通常低于 $20\text{mm}^3/\text{min}$ 。影响加工速度的主要因素有以下几种:

①平均功率在加工正常的情况下, 加工速度与平均功率成比例增加。增大单个脉冲能量 (增大脉冲峰值电流和峰值电压) 以及减小脉冲间隔, 一般都有利于提高加工速度。但是当脉冲放电电流超过某临界值后, 增大脉冲放电电流时, 电火花成形加工速度呈下降的趋势。

②脉冲间隙加工速度并不因单位时间内脉冲数的增多而无止境地加快, 当脉冲间隔缩小到某一临界值后, 加工速度也有所下降, 通常脉冲间隔的最小值不能小于 $1\sim 2\mu\text{s}$ 。

③脉宽。脉冲宽度 (或脉宽) 对加工速度有很大的影响。在峰值电流不变的情况下, 当脉冲宽度由小增大时, 有一个获得最高加工速度的最佳脉宽。增大峰值电流, 最佳脉宽也相应增大。脉宽太小, 加工速度会下降。这是因为气态蚀除的比例增大, 耗损在气化潜热上的能量增大; 脉宽太大, 加工速度也会下降, 这是因为脉宽愈大, 扩散掉的能量愈多。脉冲宽度对加工速度的影响, 如图 7-65 所示。



④极性。火花通道对两电极的能量分布与传递是不均匀的, 因此, 在电火花成形加工时, 加工极性对加工速度具有极大的影响。在相同的工件材料、工具电极材料、电规准和加工条件下, 如果加工极性按照通道能量分布规律的有利方式安排, 则会获得较高的加工速度; 反之, 则不利于获得较高的加工速度。在一般情况下, 高频 (脉宽小) 时将工件接正极, 而低频 (脉宽大) 时将工件接负极, 有利于加工速度的提高和工具电极损耗的降低。而“钢打钢”时, 不论脉宽大小, 工件都接负极, 才有利于加工速度的提高。

⑤平均电流密度。电火花加工的平均电流密度在合理的范围内, 对电火花成形加工速度没有明显的影响。但是当平均电流密度过大时, 则会造成排屑条件恶化, 甚至由于能量的过分集中, 产生的气体过多, 排斥液体介质, 形成气体介质放电, 这都是造成加工不稳定和降低加工速度的原因。因此, 在一般情况下, 电流密度不可过大, 通常为

$$J_m = I/S \leq 33\text{A}/\text{cm}^2$$

式中 J_m ——平均电流密度 (A/cm^2);

I ——加工电流 (A);

S ——有效放电面积 (cm^2)。

但是, 对不同的工件材料和不同的电极材料, 加工平均电流密度的范围不能一概而论。

在电火花成形加工的实际过程中，加工电流密度平均值的选取和确定，应以电流密度最大值的50%为最佳值。表7-33是几种电极对的理想平均电流密度。

表 7-33 几种电极对的理想平均电流密度

电极材料	工件材料	平均电流密度/(A/cm ²)
纯铜	钢	15~25
纯铜	硬质合金	15~25
石墨	钢	10~15
铜钨合金	钢	10~15
铜钨合金	硬质合金	15~25

⑥工具电极材料和工件材料的性能。在相同的加工条件下，加工相同的工件材料，采用不同材料的工具电极，可获得不同的电火花成形加工速度。在相同的加工条件下采用相同的工具电极材料，对不同的工件材料进行电火花成形加工，也可获得不同的加工速度。这就说明工具电极材料可以影响电火花成形加工速度，同时，加工速度与工件材料的性能（熔点、沸点、热导率、热容量、熔解和气化的潜热等）有关，但是不受它的硬度、强度等性能的影响。工件材料的熔点和沸点愈高，热容量、熔化和气化潜热愈大，加工速度就愈低。导电性能好，一般不利于加工速度的提高，材料的组织结构对加工速度也有一定的影响。一般说来，工具和工件这一电极对是否能稳定地进行电火花成形加工，是一个影响加工速度的重要因素。在实际加工过程中，较为理想的电极对有石墨-钢、纯铜-钢和纯铜-硬质合金等。

⑦面积效应。当加工电流一定时，面积过小会导致加工速度的降低，如图7-66所示。这是因为加工电流密度过大时，脉冲放电过分集中，致使电极间气泡及蚀除产物排除不畅。改善排屑条件有利于增大加工电流密度，提高加工速度。

⑧工作液种类。在相同的加工条件下，工作液的种类不同，电火花成形的加工速度也不相同，例如采用油类工作液时，加工中产生大量炭黑，不利于加工稳定性，对电火花成形加工速度不利；而采用去离子水或蒸馏水作为工作液时，不起弧，加工稳定，加上部分电解作用，电火花成形加工速度就比较高。工作液流动性的好坏，也影响加工速度，例如煤油比机油流动性好，煤油工作液的电火花成形加工速度就相对较快。

3) 影响表面质量的主要因素。表面质量包括表面粗糙度、表面组织变化层以及表面微观裂纹。

①表面粗糙度。电火花加工后的工件表面粗糙度沿用机械切削加工中的表面粗糙度，一般以算术平均偏差 R_a 表示，其单位为 μm 。表面粗糙度主要决定于单个脉冲能量，单个脉冲能量愈大，表面粗糙度数值愈大。电火花加工后的工件表面，是脉冲放电时所形成的大量凹穴的重叠结果。电火花加工一般粗加工表面粗糙度数值为 $80 \sim 10\mu\text{m}$ ，而精加工表面粗糙度数值为 $1.25 \sim 0.32\mu\text{m}$ ，微精加工则可达 $0.08\mu\text{m}$ 。加工熔点较高的硬质合金等材料可获得比钢更小一些的表面粗糙度。由于工具电极与工件作相对运动，侧壁表面粗糙度比端面表面粗糙度数值小。

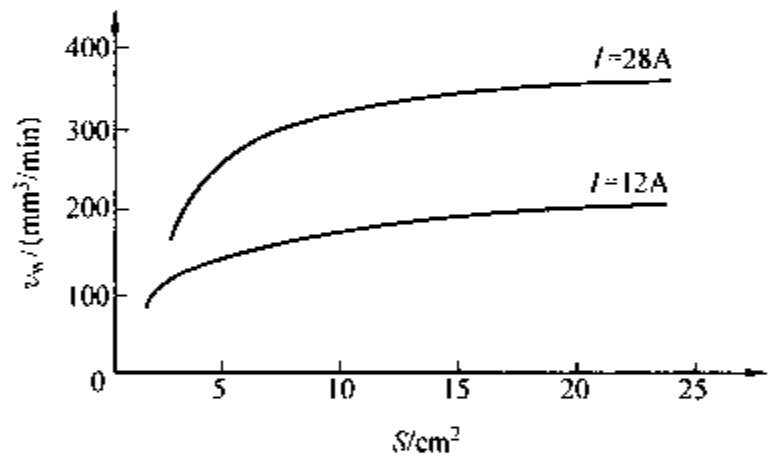


图 7-66 加工面积和加工速度的关系

②表面组织变化层。电火花加工后，工件表面的物理、化学和力学性能有所变化，在表面变化层中存在着金相组织、晶粒的变化，有时还有渗碳（工作液和石墨电极在电腐蚀过程中分解或析出的碳元素）、渗金属（工具电极材料的金属元素）、显微裂纹和气孔等现象。表面变化层的厚度与工件材料的种类和电火花加工时的电参数有关，单个脉冲能量愈大，脉冲宽度愈宽，变化层就愈深。粗加工时变化层一般为0.1~0.5mm，精加工时一般为0.01~0.05mm。

未经淬火的钢材在电火花加工后表面有淬火现象，硬度变高而耐磨。淬火钢经电火花加工后，表面出现二次淬火层和热影响层。由于电参数、冷却条件及工件材料的原始热处理不同，工件表面的硬度有时降低，有时有不同程度的提高。

③表面微观裂纹。加工硬质合金和金属陶瓷等硬脆材料时，容易产生表面裂纹。工件材料愈脆，单个脉冲能量愈大，脉冲宽度愈宽，愈容易产生裂纹；反之，则不容易产生裂纹。根据不同的工件材料，合理地选择脉冲参数及工艺过程，可以妥善地解决电火花加工中的表现裂纹问题。

4) 影响加工精度的主要因素。电火花成形加工精度包括尺寸精度和仿形精度。影响加工精度的因素很多，除电火花加工机床的机械结构、机械传动以及装夹定位的误差外，还有以下几个主要方面：

①放电间隙（加工间隙）。它是指电火花加工时工具和工件之间产生火花放电的一层距离间隙，单位为mm，它的大小一般在0.01~0.5mm之间，粗加工时较大，精加工时较小。加工时又分为端面间隙和侧面间隙，对穿孔或冲模加工来说又可分为入口间隙和出口间隙。侧面间隙的变化是影响加工精度的主要因素。恒定的侧面间隙可以不影响加工精度，但在实际加工过程中，有关参数将会发生变化，特别是排屑条件及放电间隙中的电蚀产物浓度的变化，将导致各处二次放电机会不同，造成侧面间隙的不均匀，形成斜度和不圆度。提高脉冲峰值电压及增大单个脉冲能量，都会导致侧面间隙的增大。粗加工时，因脉冲峰值电流大，脉宽大，所以侧面间隙也大；精加工时，侧面间隙较小。

②工具电极的损耗。工具电极的损耗直接影响加工精度，损耗愈小，加工精度愈高。

③尖角与棱边倒圆。由于尖端部分电场强度大而出现尖端放电现象，因此尖角和棱边外的工具电极损耗比较大，影响仿形精度。脉冲电压愈高，单个脉冲能量愈大，影响就愈大。尖角与棱边倒圆有损耗方面的原因，同时也有工艺方式方面的原因。例如在型腔加工中采用的“平动”和“摇动”加工工艺，在很多情况下，都以圆弧轨迹为运动方式，在型腔修光的同时又产生了尖角棱边倒圆的副作用，因此平动工艺只适宜在对清角不高的型腔模的加工中使用。至于对尖角棱边要求较高的冲模和部分型腔模，则只能采用增加工具电极穿透深度或更换工具电极的加工方法来实现。

5) 影响工具电极损耗的主要因素。衡量工具电极损耗大小，一般用工具电极的相对损耗率（或称损耗率） γ 来表示，即

$$\gamma = \frac{m}{M} \times 100\% = \frac{q}{Q} \times 100\%$$

式中 γ ——工具电极的相对损耗率；

m ——工具电极的绝对损耗（ mm^3/min ）；

M ——工件的加工速度（ mm^3/min ）；

q ——工具电极的蚀除量（ mm^3 ）；

Q ——工件的蚀除量 (mm^3)。

工具电极的损耗率与工具电极材料、工件材料、电极极性、脉冲参数、工作液成分、排屑条件等有关。电极损耗率小于1%时称低损耗加工,长脉宽负极性粗加工时可达到低损耗加工,精加工时电极损耗率较大,一般大于5%~10%。

①工具电极材料。在电火花加工中,工具电极材料的熔点、沸点愈高,熔化潜热和气化潜热愈大,导热性能愈好,其损耗率一般愈小。工具电极材料的绝对损耗取决于其材料本身的电腐蚀性能(与材料熔点有关),纯铜和石墨是损耗较小的工具电极材料。 $m(\text{Ag}):m(\text{W})=35\%:65\%$ 的银钨合金, $m(\text{Cu}):m(\text{W})=30\%:70\%$ 的铜钨合金都是高档工具电极材料,可以在相同条件下获得更小的工具电极损耗。工具电极相对损耗与工具电极材料的关系具有相当大的离散性,它取决于电极对电腐蚀性能的相互关系。如果两个电极的电腐蚀性能悬殊(例如银钨合金和钢),工具电极的相对损耗可以获得很理想的指标;反之,若两个电极材料的电腐蚀性能相近(例如冲模加工时的钢对钢加工),则很难获得理想的工具电极相对损耗。

②脉冲放电时间。在一定范围内,脉冲宽度越宽,工具电极的相对损耗越小。一般情况下,只要满足 $t_c > 2.6i_c^{0.6}$ (t_c 为脉冲放电时间, i_c 为脉冲放电电流)这一临界条件,当脉冲放电时间大于 $500\mu\text{s}$ 时,工具电极的相对损耗可以维持在1%以下(采用纯铜或石墨电极,负极性加工)。图7-67是典型的脉冲放电时间对工具电极相对损耗的影响曲线。

其中加工条件为:电极材料— $\phi 40\text{mm}$ 的纯铜棒;工件材料—CrWMn;加工极性—负(工件)。

③放电电流。为了实现低相对损耗的电火花成形加工,必须使脉冲放电电流和脉冲放电时间相适应,在各种脉冲放电时间的条件下,脉冲放电电流达到相当大的某值后就不能获得低损耗。同时随脉冲放电时间的加大,低损耗的条件允许放电电流值也随之适当加大。

④加工面积。在电火花成形加工中,平均电流密度若大于某一临界值,则工具电极的相对损耗将增大。由于电流密度与加工面积成反比(条件是固定电规准),因此加工面积一旦小于某一临界值(实质还是平均电流密度增大),工具电极的相对损耗就加大了,加工面积对工具电极相对损耗的影响如图7-68所示。

其中加工条件为:工具电极材料—纯铜;工件材料—CrWMn钢;加工极性—负

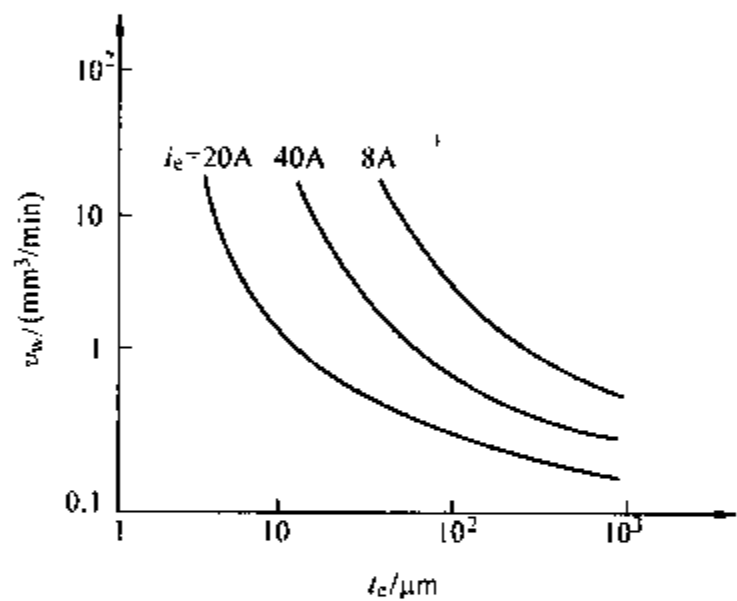


图7-67 脉冲放电时间对电火花成形加工工具电极相对损耗的影响

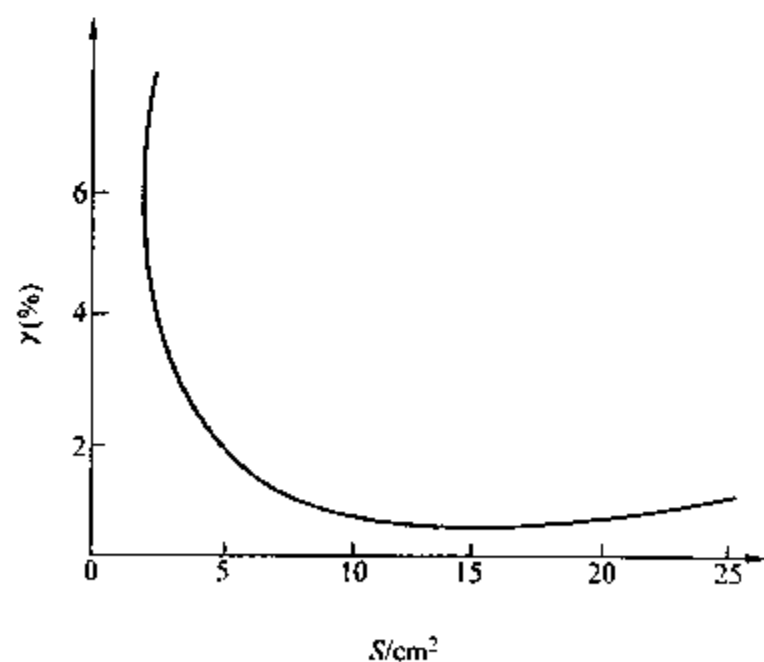


图7-68 加工面积与工具电极相对损耗率的关系

(工件); 加工介质—煤油; 电源—晶体管电源; 脉冲峰值电流—48A; 平均电流—32A; 脉宽—1000 μ s。

⑤加工极性。因极性效应,为获得较低的电极相对损耗率,粗加工时采用负极性,精加工时采用正极性,唯有“钢打钢”时,不论粗、精加工,都采用负极性,才能获得低的电极损耗。

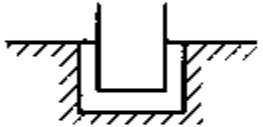
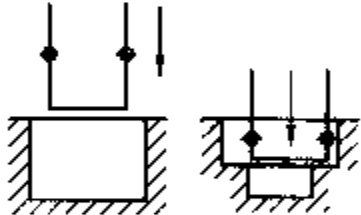
2. 电火花成形加工方法

成形加工方法主要指锻模、压铸模、挤压模和塑料模等型腔模的加工。这些型腔模均属不通孔类加工,工作液循环和电蚀产物排除条件差,工具电极损耗无法靠进给补偿精度。型腔模电火花加工常用单电极平动法、多电极更换法和分解电极加工法等。

(1) 型腔模电火花加工的工艺方法

1) 单电极平动法。单电极平动法只需一个电极,一次装夹定位,精度可达 $\pm 0.05\text{mm}$,便于清除电蚀产物,不足之处是难于加工出清角的型腔,难以获得高精度、准确的型腔模。单电极平动法是用一个电极来完成型腔的粗加工、半精加工和精加工的。其工艺过程见表7-34。当采用数控电火花加工机床时,可利用工作台按一定轨迹作微量移动来修光侧面,通常称为摇动。由于摇动轨迹是靠数控控制的,所以有更多样的灵活模式,有小圆、方形、十字形运动,还可以做到尖角处的清根,适应复杂型腔侧面修光,还可以加工复杂曲面、螺旋面等,如图7-69所示。

表 7-34 平动(或球动)加工方法

工 序	工艺过程	简 图
型腔粗加工	平动偏心量为零,粗加工基本成形	
改变加工规范	先修底面,提起电极调节偏心量平动,向下进给,直到修到底面为止 如果侧面粗加工规范仍未修光,则再提起电极,增大偏心量,重复上述加工,直至达到要求为止	
继续改变规范,直至全部修光到最高的表面质量	仍先修底面,重复上述工序,增大偏心量,直至全部修光	

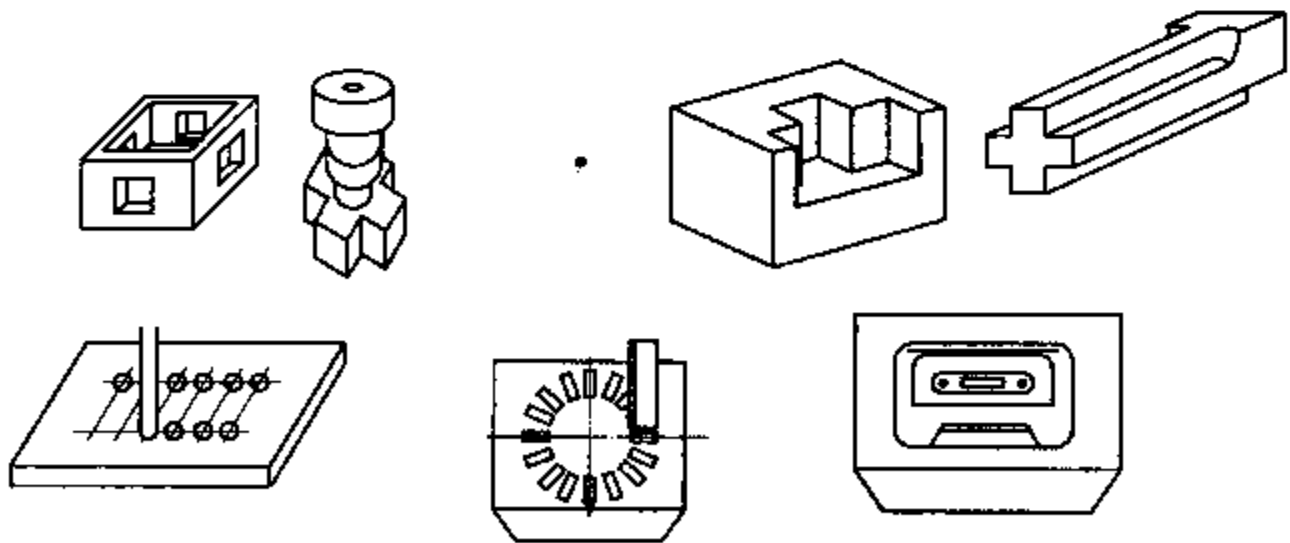


图 7-69 几种典型的摇动模式和加工实例

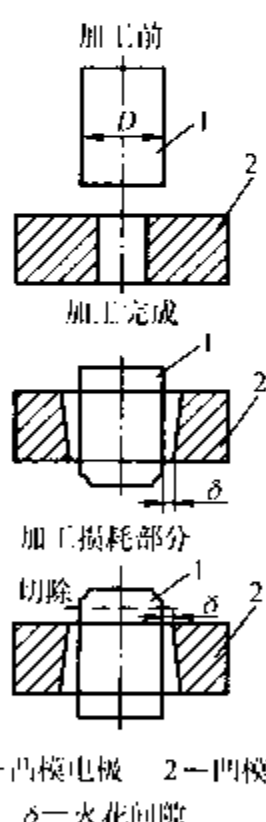
2) 多电极更换法。此种方法是用多个电极依次更换加工同一个型腔, 一般常用两个电极进行粗加工和精加工来满足要求。当型腔精度和表面质量要求很高时, 需用三个电极或更多个电极加工。多电极加工仿形精度高, 但是要求多个电极有良好的一致性, 制造精度高, 更换电极时定位装夹精度高, 一般常用于精密型腔加工。

3) 分解电极法。此种方法是单电极平动和多电极更换加工方法的综合应用。根据型腔形状把电极分解为主型腔和副型腔两个电极, 分别制造, 先加工主型腔, 再加工副型腔。这种方法可根据型腔的不同条件, 合理选择不同的加工规准, 相应简化电极制造, 提高加工速度和质量。目前使用 3~5 个坐标数控电火花机床, 可以将复杂型腔分解为简单表面, 并制造出电极, 编好程序自动加工。在自动加工的过程中实现自动更换电极和规准, 实现复杂型腔的加工。

(2) 模具穿孔的加工方法 在模具加工中利用电火花穿孔常见的有四种方法, 即间接法、直接法、混合法和二次电极法。在选用上述几种加工方法时, 要根据被加工工件的具体要求和工艺可能性而定。

1) 直接法。根据模具凹模尺寸制造电极, 然后进行凹模加工, 加工完去掉电极损耗部分成为凸模, 就是说加工凹模用的电极为凸模, 这种方法的特点及应用见表 7-35。

表 7-35 直接法电火花穿孔

图 示	配合间隙与适用范围	优 缺 点
 <p>1—凸模电极 2—凹模 δ—火花间隙</p>	<p>凹、凸模配合间隙即为火花放电间隙, $G = \delta$</p> <p>适用于形状复杂的凹模或多型孔凹模的加工, 如电机定转子硅钢片模具等单面间隙通常在 0.02~0.08mm 之间, 以 0.025~0.05mm 为佳</p>	<p>优点: ①从工艺角度看为最合理, 加工后间隙配合均匀, 近年来“钢打钢”等工艺均属此例; ②无需另外制造电极</p> <p>缺点: ①电极材料不能自由选择, 因而电加工性能较差, 有时要在电源和工艺上采取一定措施; ②电极较长, 磨削时精度较难保证</p>

2) 间接法。根据凹模尺寸设计、制造电极, 然后加工凹模, 再根据冲模间隙配做凸模, 这种方法是将凸、凹模电极分开制造, 其特点见表 7-36。

3) 混合法。把电极与凸模 (冲头) 连接在一起成为一个整体, 一起进行加工, 然后再对凹模进行电加工, 最后拆卸电极, 这种方法称为混合法。其特点及应用见表 7-37。

4) 二次电极法。利用第一次电极制造二次电极并且加工出凸、凹模的方法称为二次电极法。这种工艺方法较为复杂, 但此方法便于调整火花间隙, 可以加工出无间隙或小间隙的精冲模具, 对制造硬质合金材料的模具效果很好。

表 7-36 间接电火花穿孔

图 示	配合间隙与适用范围	优 缺 点
<p>1—凸模电极 2—凹模 3—凸模 δ—火花间隙 D—凸模尺寸 d—电极尺寸 G—凹、凸模配合间隙</p>	<p>凹、凸模配合间隙： $G = \frac{d + 2\delta - D}{2}$ 适用于：G < 0.01mm 和 G > 0.10mm 者</p>	<p>优点：①电极材料可自由选择，因此电加工性能好；②配合间隙可根据需要而定；③凹模多件生产时，一个电极可加工几个凹模 缺点：由于电极与凸模分开做，因而间隙很难做得均匀</p>

表 7-37 混合电火花穿孔

图 示	配合间隙与适用范围	优 缺 点
<p>1—凸模 2—电极 3—凹模 δ—间隙</p>	<p>同直接法，但截面小的电极连接困难，不常采用</p>	<p>优点：①此法生产上使用较多，电极材料可较自由选择，故电加工性能好；②间隙配合均匀，具有直接法之长处 缺点：①电极与凸模需连接；②二者连在一起加工时，长度较长，材料可加工性不同，影响磨削精度</p>

3. 电火花加工时工具电极的安装和找正

为了能正确地加工出工件，确保质量，必须将工具电极牢固可靠地装夹在主轴电极夹具

上,通过调整使其与工作台台面垂直,并与主轴轴线平行,可按 z 、 y 坐标和扭转角度,找正工具电极与工件的相对位置。在安装工具电极时要保证加工时不会松动和变形,电极装夹要方便,并具有良好的接触面积,减少电能损耗,同时还要保证电极装置的中心线应与主轴轴线同轴,尽量减少偏心力矩。日前在使用中电极装夹方法很多,常用的有球面铰链工具电极夹头、带调整角装置的球面铰链工具电极夹头等。如图7-70所示为常用电极夹头,装夹方便可靠,精度高,易于保证加工质量。

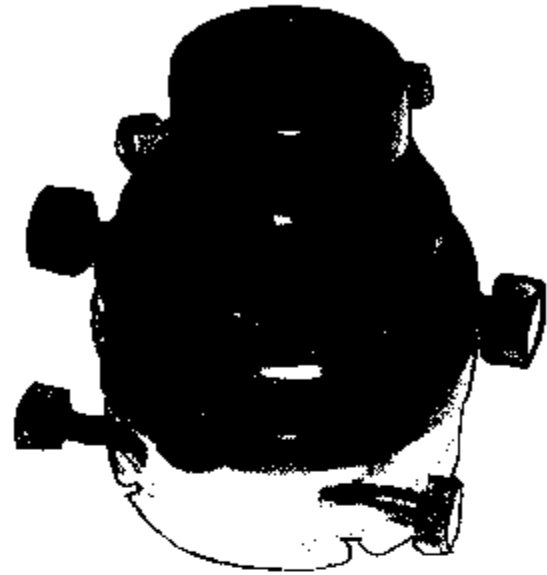


图7-70 常用电极夹头

4. 电火花加工机床常见故障

电火花加工机床一般故障有机械部分故障、液压部分故障和电气部分故障,并且相互关联,需要认真观测才能发现。常见故障产生原因及措施见表7-38。

表7-38 电火花机床故障产生原因及措施

一般故障	产生原因及措施
液压主轴头只能向上回升,不能向下进给;或回升速度大大快于向下进给速度,调节进给旋钮也不起太大作用	<p>①喷嘴挡板间距离过大,一般大于0.4mm,使一侧液压缸的压力过低。解决办法是调节电与机械转换器中喷嘴挡板间的距离,如果是弹簧片变形,就应更换新的簧片</p> <p>②电与机械转换器中工作线圈(动圈)断线或放大器发生故障,电压、电流达不到要求;或平衡线圈(励磁线圈)检修后方向接反,应予以对症修理</p> <p>③节流孔(一般为0.6mm)被脏物堵塞,使节流孔之后,喷嘴挡板之间和单侧液压缸(上或下液压缸)内的油压很低,造成单向运动速度高,故障排除办法是清除脏物,疏通节流孔,还应进一步检查过滤器是否完好,必要时更换液压油</p> <p>④可能喷嘴连接处有泄漏,喷嘴下端螺纹联接处的软金属密封垫圈损坏而漏油,也会造成压力偏低而使主轴头上行快,下行慢,此时应更换垫圈</p>
液压主轴头只能向下进给,不能向上回升;或向下快,向上慢	<p>①喷嘴挡板间距离过小,小于0.2mm,使上液压缸(或下液压缸)单侧的压力过高,偏向于向下进给。解决办法是重新调节喷嘴挡板间距离,如果是弹簧变形,则应更换</p> <p>②喷嘴孔被油污堵塞,使单侧液压缸的压力过高,主轴只下不上。解决办法是清除脏物,疏通喷嘴孔</p> <p>③有时工具电极、半动头等负载过重(尤其是加工较大的型腔时)或液压油泵压力偏低,也会出现主轴下行快,上行慢。这时应调节溢流阀,提高液压泵的压力,如果液压泵磨损、老化漏油,而引起压力上不去,则应更新液压泵</p>
主轴头上下不灵活	<p>液压缸活塞或活塞杆等配合表面拉毛,或活塞杆被撞弯,弯曲变形后运动中阻力增大,要对症修理解决</p>
工作液供应压力偏低,流量不足	<p>①工作液箱内煤油储量不足,吸不上油或煤油中混有大量空气泡,应添加煤油</p> <p>②工作液压泵有泄漏、堵塞等故障,应检修</p> <p>③三通阀管道有泄漏或堵塞等故障,应检修</p> <p>④过滤器堵塞,油压阻力及压降太大,应清洗更换过滤器或煤油</p>

(续)

一般故障	产生原因及措施
停机后液压主轴头向下掉，工具电极碰工件，甚至被顶弯	①如果主轴没有退回到最高点就停机，则由于活塞与液压缸间配合不严密，上下液压缸之间漏油、串油，主轴会很慢下降，这是正常现象。如果下降速度过快，则电液系统中截止阀可能有故障或漏油，活塞与液压缸的配合过松导致上下串油过快，应予检修。一般每次长时间停机之前，应把主轴退回到最高点，靠悬挂机构自动锁住 ②如果主轴退回最高点后仍下落，则是由于悬挂自锁机构有故障，应予修理
停机后第二天开机继续加工时，发现电极与工件的位置发生变化	①工作台没有锁紧或锁不紧，有人碰触摇动手把 ②热胀冷缩变形所引起。长期加工中液压油和工作液煤油发热升温，使主轴头、电极、工作台、工件膨胀变形，第二天开机时温度低，电极与工件的相对位置因各部件的收缩变形而发生变化(0.01~0.1mm)。防止办法是开机空运转一段时间再加工，对重要精密工件应一次连接加工完成
电极损耗过大	①正负极性接反，粗加工时工件应接负极 ②冲油压力、流速过大，应降低 ③脉宽、峰值电流参数选择不当，应参照工艺规律曲线来选择电参数
加工极不稳定，火花颜色异常，冒白烟	①个别功率管击穿而常导通，实际输出的是直流电，应更换损坏的功率管 ②主振级参数变化失调(电阻、电容变质或脱焊)使脉冲间隔过小或脉冲宽度过大，相似于用直流加工，可用示波器观察波形，更换损坏的元件
加工不稳定，反复开路、短路，生产率很低，甚至出现拉弧	①参数选择不当，如峰值电流过大，脉间过小，加工面积过小等，应按工艺规律曲线选择电参数 ②加工面积过大，冲油排屑不良，应增加定期抬刀次数和幅度，加大冲油压力

5. 电火花线切割加工

电火花线切割加工是在电火花加工基础上发展起来的一种工艺。它采用细金属丝作为工具电极，依靠火花放电对工件进行切割。在加工中由于能看到大量的电火花，故称为电火花线切割，简称线切割。

由于线切割加工具有无需制作成形的工具电极，可切割高硬度的导电材料和形状极其复杂的零件，切割中几乎没有切削力，可采用套料加工等一系列优点，因而获得了广泛应用。目前国内外的线切割机床已占电加工机床的60%以上。

(1) 电火花线切割加工原理 电火花线切割加工的基本原理是：利用一根运动着的金属丝(直径为 $\phi 0.02 \sim \phi 0.3\text{mm}$ 的钼丝或黄铜丝)作为工具电极，在金属丝与工件间施加脉冲电流，产生放电腐蚀，对工件进行切割加工，图7-71所示为线切割加工原理图。

工件接高频脉冲电源的正极，电极丝接负极，即采用正极性加工，电极丝缠绕在贮丝筒上，电动机带动贮丝筒运动，

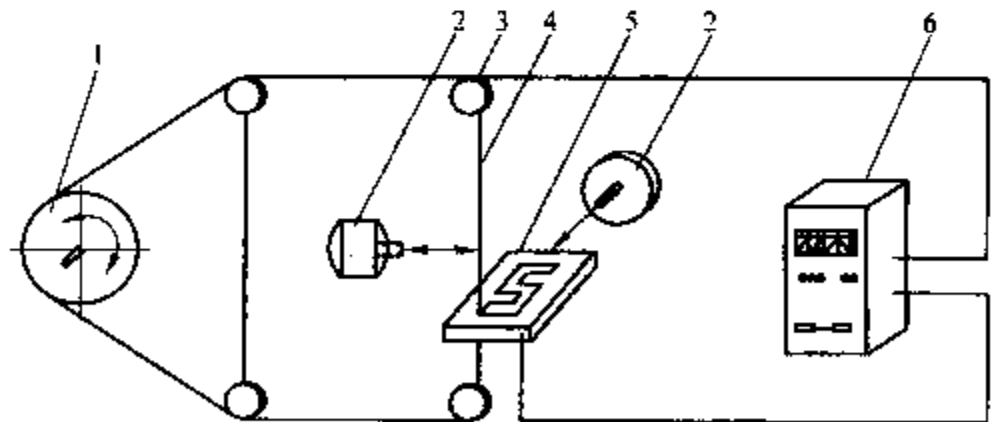


图 7-71 电火花线切割原理

1—贮丝筒 2—工作台驱动电动机 3—导轮 4—电极丝
5—工件 6—脉冲电源

致使电极丝不断地进入和离开放电区域，电极丝与工件之间浇注工作液介质。当高频脉冲电源通电后，随着工作液的电离、击穿，形成放电通道，电子高速奔向正极，正离子奔向负极，于是电能转变为动能，粒子间的相互碰撞以及粒子与电极材料的碰撞，又将动能转变为热能。在放电通道内，正极和负极表面分别成为瞬时热源，达到很高的温度，使工作液介质气化、热裂分解、金属材料熔化、沸腾、气化。在热膨胀、局部微爆炸、电动力、流体动力等综合作用下，蚀除下来的金属微粒随着电极丝的移动和工作液的冲洗而被抛出放电区，于是在金属表面形成凹坑。在脉冲间隔时间内工作液介质消电离，放电通道中的带电粒子复合为中性粒子，恢复了工作液的绝缘性。由于加工过程是连续的，步进电动机受控制系统的控制，使工作台在水平面沿两个坐标方向伺服进给运动，于是工件就逐步被切割成各种形状。

(2) 电火花线切割走丝系统 电火花线切割的走丝系统主要由电极丝，贮丝筒或收、放丝卷筒，导轮，电极丝保持器，张力装置及电动机等构成。它使电极丝保持一定的张力和直线度，确保电极丝以一定的速度稳定运动。

某一高速走丝系统示意图如图 7-72 所示。电极丝平整地缠绕在贮丝筒上，丝的张力与缠绕时的拉紧力有关，为了提高加工精度，配有恒张力装置，如配重块，给电极丝一个恒定的张力，减少电极丝的振动。贮丝筒通过联轴器与驱动电动机连接。为了反复使用该段电极丝，电动机由专门的换向装置控制其正反交替运转。电极丝由丝架、导轮、电极丝保持器支撑定位，使电极丝与工作台垂直或在锥度切割时保持一定的几何倾角。

低速走丝系统如图 7-73 所示，未使用的金属丝缠绕在放丝卷筒上，靠收丝卷筒使电极丝以较低的速度移动，通过机械式或电磁力张力机构使电极丝张紧，减少振动。在走丝机构中，电极丝、导轮、电极丝保持器对线切割加工精度影响较大。

1) 电极丝材料应具有良好的耐蚀性、良好的导电性、高熔点、高抗拉强度和良好的直线度。生产中常用的电极丝材料及其加工性能见表 7-39。

表 7-39 常用的电极丝及其加工性能

电极丝材料	加工特点	适用范围
黄铜丝	生产率较高，加工过程稳定，但抗拉强度低，易断	靠模线切割机床等
钼丝	生产率较黄铜丝低，但抗拉强度高，不易断	光电跟踪和数控线切割机床
钨钼丝	抗拉强度较高，不易断	光电跟踪和数控线切割机床

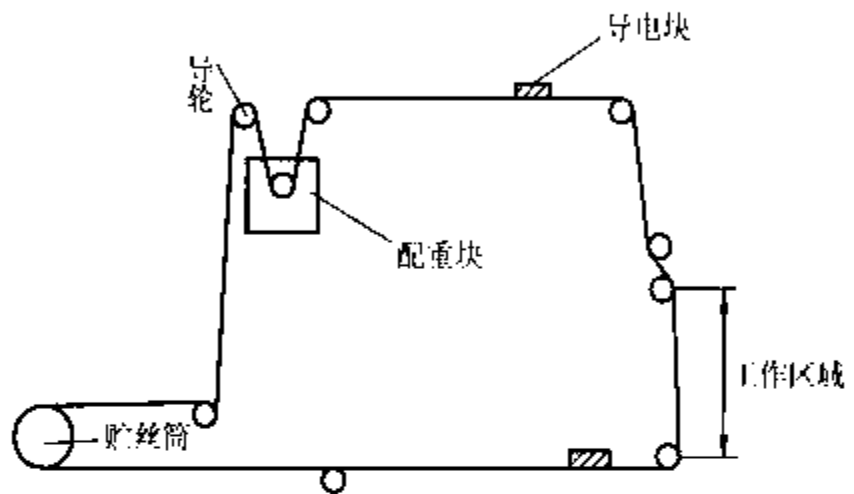


图 7-72 高速走丝系统示意图

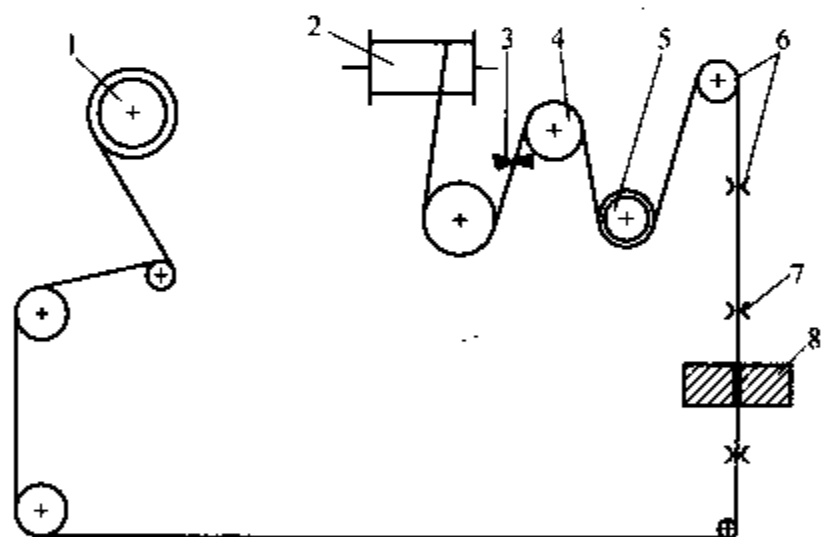
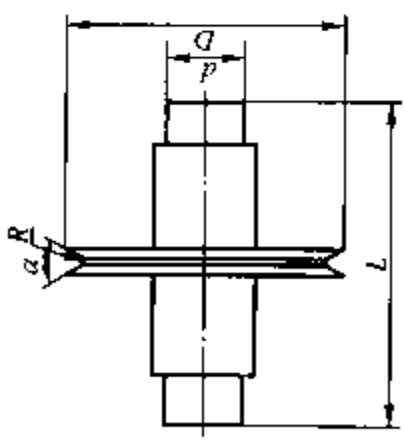
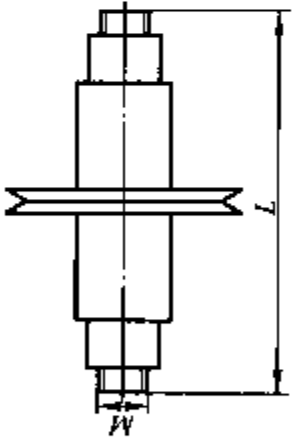
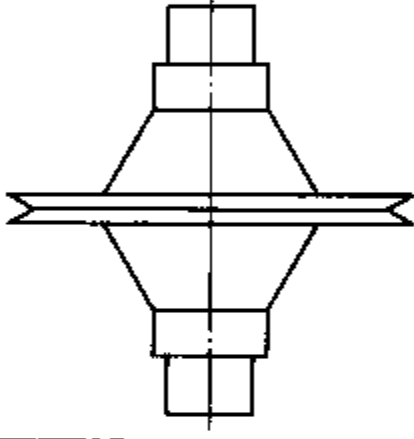
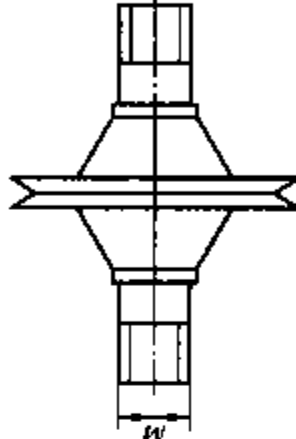
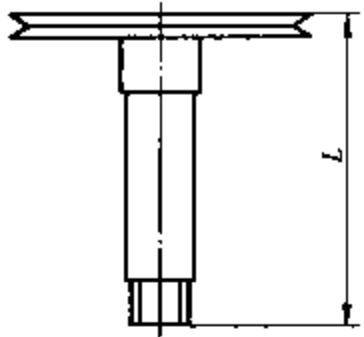


图 7-73 低速走丝系统示意图

- 1—收丝卷筒 2—放丝卷筒 3—拉丝模 4—张力电动机
- 5—张力调节轴 6—退火装置 7—导向装置 8—工件

表 7-40 导轮的主要形式及参数

项 目	四种双支承导轮				单支承导轮
	A	B	C	D	
导轮 结构图					
外径 D/mm	30	30	30	30	30
轴径 d/mm	4	4	4	4	4~5
V形槽角度 $\alpha/(\circ)$	≤ 60	≤ 60	≤ 60	≤ 60	≤ 60
槽底圆弧 半径 R/mm	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
总长度 L/mm	26	34	26	34	32
螺纹		M4 × 0.5		M4 × 0.5	M4 × 0.5
锥度			1:0.866		
V形槽表面粗糙度	$R_a < 0.625 \mu\text{m}$				

2) 导轮部件线切割加工时, 电极丝直线位置的稳定性对线切割精度影响很大, 提高导轮部件的精度可以提高电极丝直线位置的精度。

导轮主要形式及参数见表 7-40。


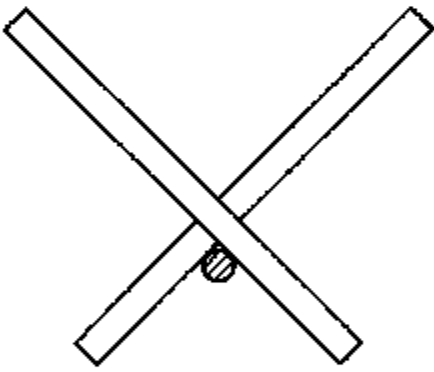
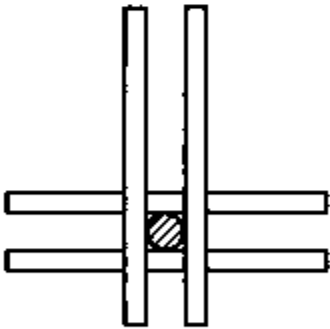
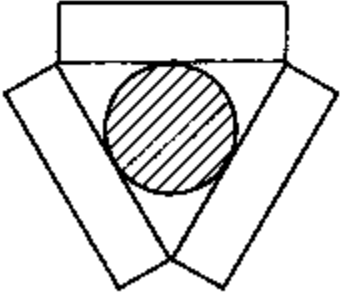
导轮材料及使用寿命见表 7-41。

表 7-41 导轮材料及使用寿命

材 料	硬 度	价 格	绝缘强度	使用寿命
Cr12 钢	58 ~ 62HRC	低	不绝缘	3 个月左右
陶 瓷		低	绝缘	6 个月左右
人造宝石	>1740HV	比陶瓷贵一倍	$4.8 \times 10^6 \text{ V/cm}$	7 年以上

3) 极丝保持器。为了减小电极丝在高速运动时产生的振动, 有的工厂装了电极丝保持器。保持器的形式、材料及特点见表 7-42。

表 7-42 保持器的形式、材料及特点

形 式	简 图	材 料	特 点
一形		一根红宝石 $\phi 2 \sim \phi 3 \text{ mm}$, 长 10 ~ 15mm	结构简单, 限位减振效果不好
V 形		两根红宝石 $\phi 2 \sim \phi 3 \text{ mm}$, 长 10 ~ 15mm	限位及减振效果较一形好
#形		四根红宝石 $\phi 2 \sim \phi 3 \text{ mm}$, 长 10 ~ 15mm	结构复杂, 限位及减振效果较好, 但丝的机械磨损较大
△形		三条聚晶金刚石	结构复杂, 与吸振泡沫橡胶同时使用, 限位及减振效果都很好, 聚晶金刚石特别耐磨, 寿命长

(3) 工件的装夹和位置找正

1) 对工件装夹的基本要求如下:

①工件的装夹基准面应清洁无毛刺, 经过热处理的工件, 在穿丝孔或凹模类工件扩孔的台阶处, 要清理热处理液的氧化膜表面及渣物。

②夹具精度要高。工件至少用两个侧面固定在夹具或工件台上。

③装夹工件的位置要有利于工件的找正, 并能满足加工行程的需要。工作台移动时, 不得与丝架相碰。

④装夹工件的作用力要均匀, 不得使工件变形或翘起。

⑤批量加工时最好采用专用夹具, 以提高效率。

⑥细小、精密、薄壁工件应固定在辅助工作台或不易变形的辅助夹具上。

2) 工件的装夹方式如下:

①悬臂支撑方式。悬臂支撑通用性强, 装夹方便。但由于工件单端压紧, 另一端悬空, 使得工件不易与工作台平行, 所以易出现上仰或倾斜的情况, 致使切割表面与工件上下平面不垂直或达不到预定的精度。因此, 只有在工件的技术要求不高或悬臂部分较小的情况下才能采用。

②两端支撑方式。两端支撑是把工件两端都固定在夹具上。这种方法装夹支撑稳定, 平面定位精度高, 工件底面与切割面垂直度好, 但对较小的零件不适用。

③桥式支撑方式。如图 7-74 所示, 桥式支撑是在双端夹具体下垫上两个支撑垫铁。其特点是通用性强, 装夹方便, 对大、中、小工件装夹都比较方便。

④板式支撑方式。如图 7-75 所示, 板式支撑夹具可以根据经常加工工件的尺寸而定, 可呈矩形或圆形孔, 并可增加 X 和 Y 两方向的定位基准, 装夹精度较高, 适用于常规生产和批量生产。

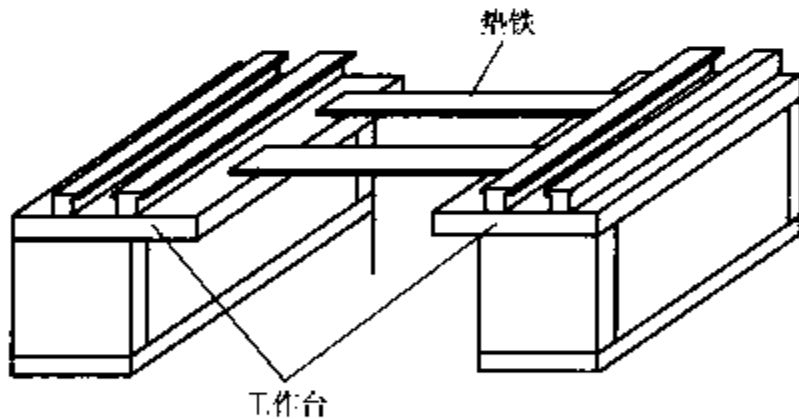


图 7-74 桥式支撑夹具

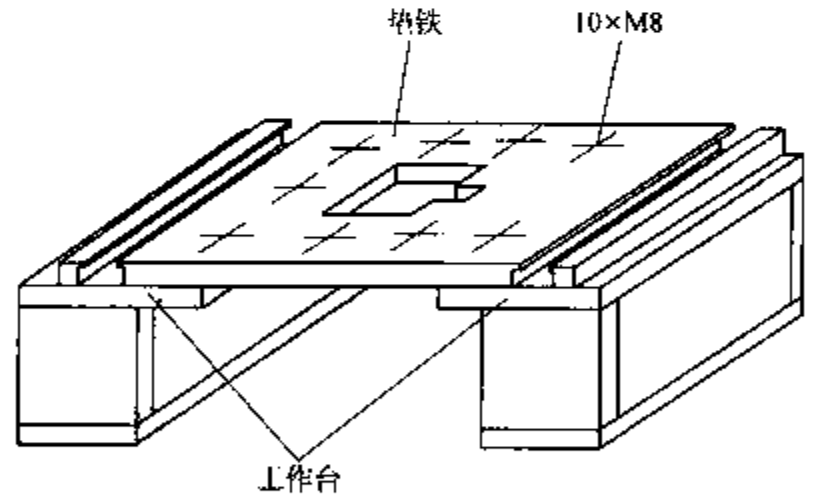


图 7-75 板式支撑方式夹具

⑤复式支撑方式。如图 7-76 所示, 复式支撑夹具是在桥式夹具上, 再装上专用夹具组合而成的。该方式装夹方便, 特别适用于成批零件加工, 既可节省工件找正和调整电极丝相对位置等辅助工时, 又保证了工件加工的一致性。

3) 常用夹具的名称、规格和用途如下:

①压板夹具。压板夹具主要用于固定平板状的工件, 对于稍大的工件要成对使用。夹具上如有定位基准面, 则加工前应预先用划针或百分表将夹具定位基准面与工件台对应的导轨

校正平行，这样在加工批量工件时较方便，因为切割型腔的划线一般是以模板的某一面为基准的。夹具的基准面与夹具底面的距离是有要求的，夹具成对使用时两件基准面的高度一定要相等，否则切割出的型腔与工件端面不垂直，造成废品。在夹具上加工出 V 形的基准，则可用以夹持轴类工件。

②磁性夹具。采用磁性工作台或磁性表座夹持工件，不需要压板和螺钉，操作快速方便，定位后不会因压紧而变动，如图 7-77 所示。

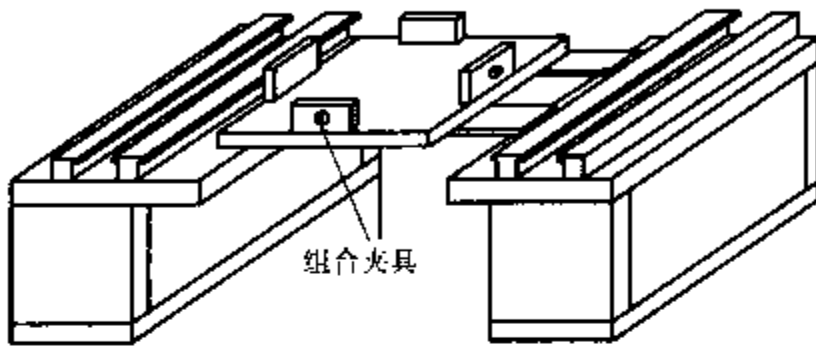


图 7-76 复式支撑夹具

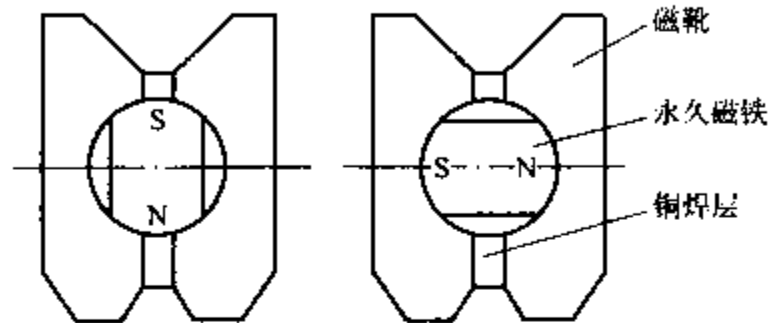


图 7-77 磁性夹具工作原理

要注意保护上述两类夹具的基准面，避免工件将其划伤或拉毛。压板夹具应定期修磨基准面，保持两件夹具的等高性。因有时绝缘体受损造成绝缘电阻减小，影响正常的切割，故夹具的绝缘性也应经常检查和测试。

③分度夹具。分度夹具是根据加工电机转子、定子等多型孔的旋转形工件设计的，可保证高的分度精度。近年来，因微机控制器及自动编程机对加工图形具有对称、旋转等功能，所以分度夹具用得较少。

4) 工件的找正

①拉表法。如图 7-78 所示，拉表法是利用磁力表架，将百分表固定在线架或其他“接地”位置上。百分表触头接触在工件基面上，然后旋转纵（或横）向丝杠手柄使滑板往复移动，根据百分表指示数值相应调整工件，找正应在三个坐标方向上进行。

②划线法。如图 7-79 所示，固定在线架上的一个带有顶丝的零件将划针固定，划针尖指向工件图形的基准线或基准面，移动纵（或横）向滑板，根据目测调整工件找正。

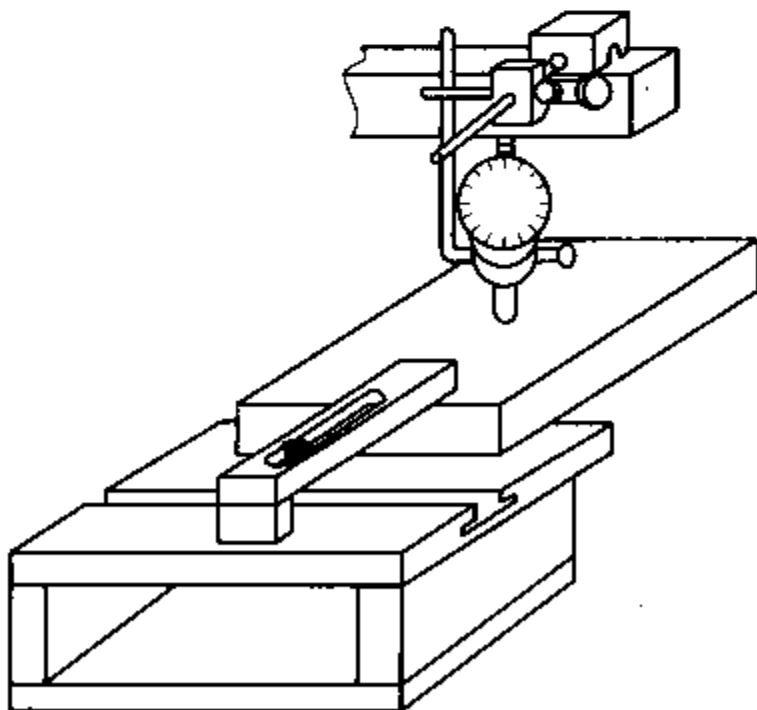


图 7-78 拉表法找正

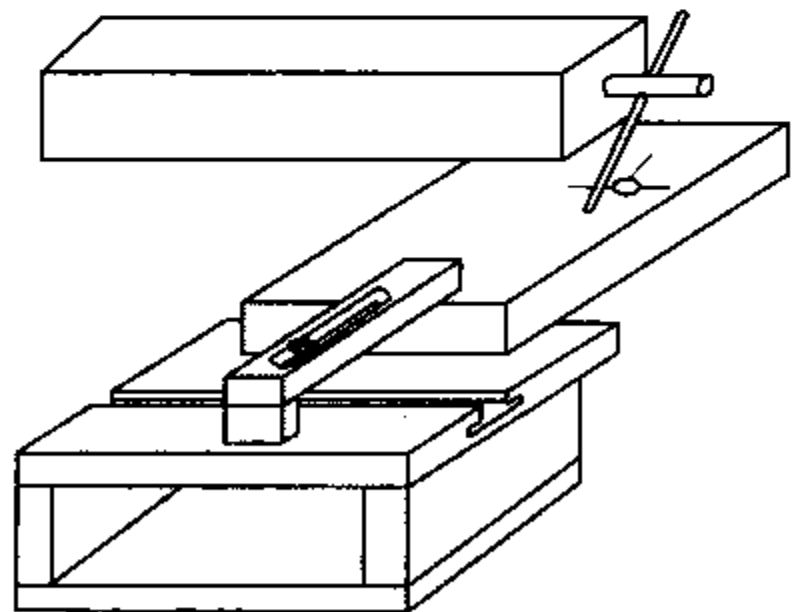


图 7-79 划线法找正

第一，线切割加工型腔的位置和其他已成形的型腔位置要求不严时，可靠紧基面后，按划线定位、穿丝。

第二，当同一工件上型孔之间的相互位置要求严，但与外形要求不严，又都是在同一道线切割工序加工时，也可按基面靠紧，按划线定位、穿丝。切割一个型孔后卸丝，走一段规定的距离，再穿丝切第二个型孔，如此重复，直到加工完毕。

③固定基面靠定法。利用通用或专用夹具纵、横方向的基准面，经过一次找正后，保证基准面与相应坐标方向一致。于是具有相同加工基准面的工件可以直接靠定，这就保证了工件的正确加工位置（见图7-80）。

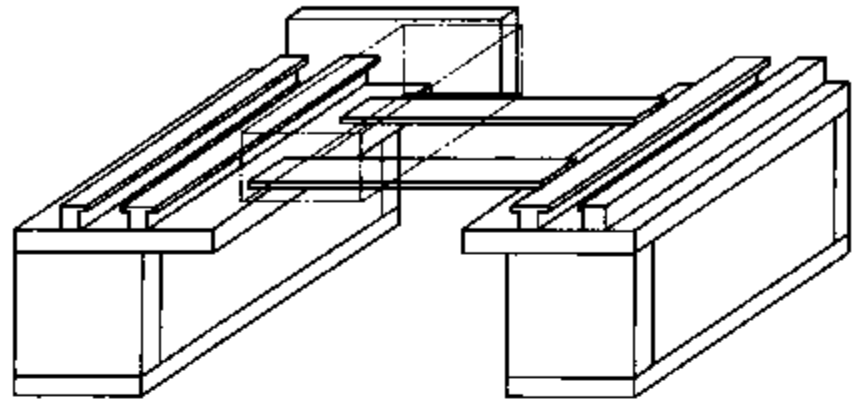


图 7-80 固定基面靠定法找正

(4) 确定电极丝坐标位置的方法 在数控线切割中，需要确定电极丝相对于工件的基准面、基准线或基准孔的坐标位置，可按下列方法进行：

1) 目视法。对加工要求较低的工件，确定电极丝和工件有关基准线和基准面的相互位置时，可直接目视或借助于2~8倍的放大镜来进行观测。

①观测基准面。如图7-81所示，工件装夹后观测电极丝与工件基面初始接触位置，记下相应的纵、横坐标。但此时的坐标并不是电极丝中心和基面重合的位置，两者相差一个电极丝半径。

②观测基准线。如图7-82所示，利用钳工或镗床等在工件的穿丝孔处划上纵、横方向的十字基准线，观测电极丝与十字基准线的相对位置。摇动纵或横向丝杠手柄，使电极丝中心分别与纵、横方向基准线重合，此时的坐标就是电极丝的中心位置。

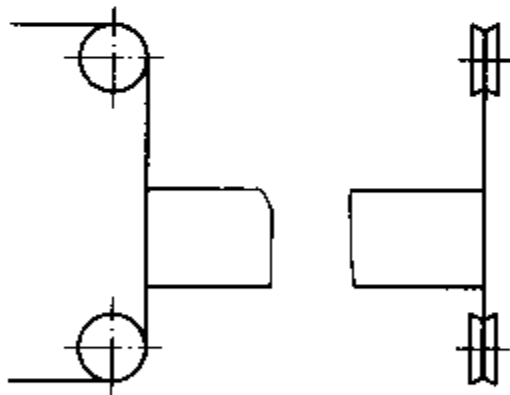


图 7-81 观测基准面确定电极丝位置

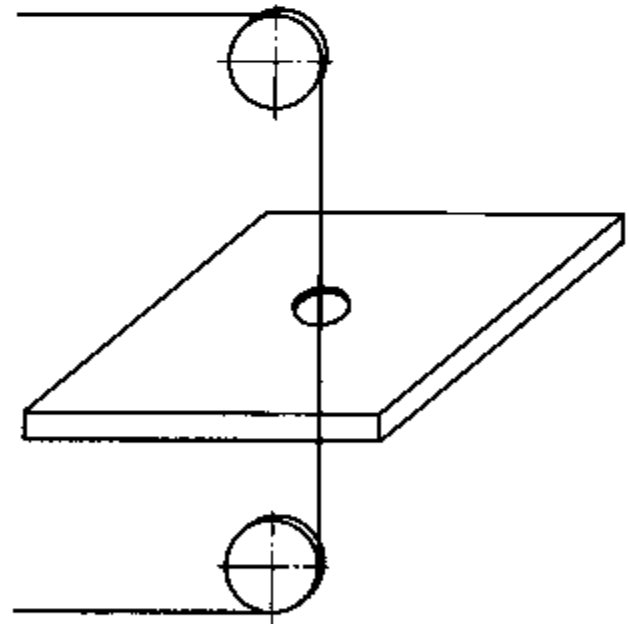


图 7-82 观测基准线确定电极丝位置

2) 火花法。如图7-83所示，是利用电极丝与工件在一定间隙下发生放电的火花来确定电极丝坐标位置。摇动拖板的丝杠手柄，使电极丝逼近工件的基准面，待开始出现火花时，记下拖板的相应坐标。该方法简便、易行，但电极丝逐步逼近工件基准面时，开始产生脉冲放电的距离往往并非正常加工条件下电极丝与工件间的放电距离。

3) 自动找中心法。目的是为了电极丝在工件的孔中心定位。具体方法是：移动横向

床鞍，使电极丝与孔壁相接触，记下坐标 X_1 ；反向移动床鞍至另一导通点，记下相应坐标 X_2 ；将滑板移至 X_1 与 X_2 的绝对值之和的一半处。同理，移动纵向床鞍，记下坐标 Y_1 、 Y_2 ，将滑板移至 Y_1 与 Y_2 的绝对值之和的一半处，即可找到电极丝与基准孔中心相重合的坐标，如图 7-84 所示。

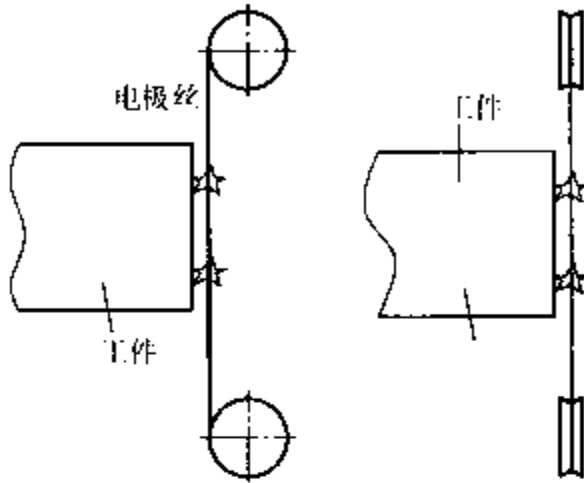


图 7-83 火花法确定电极位置

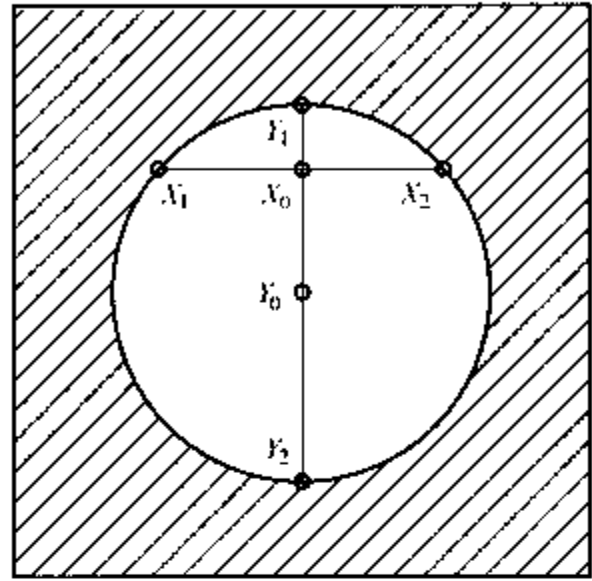


图 7-84 自动确定电极位置

6. 电火花线切割控制系统与编程

(1) 电火花线切割控制系统 控制系统在电火花线切割加工中起重要作用，它不仅精确地控制电极丝相对于工件的运动轨迹，使零件获得所需的形状和尺寸，而且可对加工状态进行控制，如控制伺服进给速度、电源装置、工作液循环系统、走丝机构等，协调各机构的运转，保持正常的稳定切割加工。即控制系统可进行轨迹控制和加工控制，因此控制系统的准确性、稳定性、可靠性及自动化程序均直接影响加工精度和劳动强度。

靠模仿形和光电跟踪仿形控制需制作精密的模板或绘制精确的放大图，而数字程序控制则是根据图样上的形状和尺寸，编写程序，输入计算机，利用计算机直接控制加工，因而零件的加工精度更高。现在绝大多数线切割机床采用数字控制技术，在此仅介绍数字程序控制的原理及编程。

1) 轨迹控制原理机械零件图一般是由直线与圆弧组合而成的，数控线切割大多采用较为简单的逐点比较法来控制直线与圆弧的组合轨迹，其前提条件是工作台在水平两坐标轴 X 、 Y 方向不能同时进给，只能按直线的斜度或圆弧的曲率来交替地一步 $1\mu\text{m}$ 地分步“插补”进给，每次插补过程都须进行如下四拍：

①第一拍，偏差判别。判别加工点与规定图形的偏离位置，以此确定工作台拖板走向。

②第二拍，滑板进给。根据偏差判别的结果控制 X 拖板或 Y 拖板运动，每进给一步，即移动 $1\mu\text{m}$ ，便向规定尺寸靠拢一些。

③第三拍，偏差计算。对新的加工点进行计算，得出能反映偏离位置情况的偏差，作为下一拍判别的依据。

④第四拍，终点判断。每当进给一步并完成偏差计算后，判断是否到达图线的终点。若已到达终点，则停止加工；否则重复上面的节拍从第一拍开始继续加工，直至终点。

2) 加工控制。电火花线切割的加工控制主要有以下几种：

①进给控制根据加工间隙的平均电压或放电状态自动调节伺服进给速度，保持电极丝与工件之间合适的放电间隙。

②短路回退。当发生短路时，改变加工条件并沿原路快速回退一段，消除短路。

③间隙补偿。从已知的工作轮廓自动向外偏或向内偏一个数值，从而减少人工编程的工作量。

④自动找中心。电极丝在规则孔中能自动找正中心，并停在该处。

此外控制系统还有图形的放缩、平移及故障安全自动诊断等功能。

(2) 电火花线切割的编程。为了使机器接受指令，必须按一定的格式编写程序，这些格式有 3B、4B、5B 及 ISO 和 EIA 等，我国使用最多的是 3B 格式及 ISO 格式。

1) 3B 格式程序格式见表 7-43。

表 7-43 3B 程序格式

B	X	B	Y	B	J	G	Z
	X 坐标		Y 坐标		计数长度	计数方向	加工指令

①分隔符 (B)。B 将 X、Y、J 三项数码分隔开，以免执行指令时发生混淆。

②坐标值 (X, Y)。X、Y 为坐标的绝对值，单位 μm 。当 X 或 Y 为零时可以不写，但分隔符“B”须保留。加工圆弧时，取圆心作切割坐标的原点，X、Y 值为圆弧起点的坐标绝对值；加工直线时，取直线起点作切割坐标的原点，X、Y 值为直线终点坐标绝对值，也可将两者同时放缩相同倍数。

③计数方向 (G)。计数方向的选取应保证加工精度，一般线切割机床是通过控制从起点到终点某个拖板进给总长度 J 的数值来达到的，即把加工该线段的拖板进给总长度 J 的值预先置入计数器中，加工时当被确定为计数长度 J 这个坐标的拖板每进给一步，J 计数器减 1，直至 J 为零，该直线或圆弧加工完毕，而计数方向 X 或 Y 的选择依图形特点而定。

加工直线时，计数方向按图 7-85 选择。当直线终点坐标 (X_c, Y_c) 在阴影区域 (45° 为界) 内时，计数方向为 G_x ，否则为 G_y 。若正好在 45° 线上，计数方向任取，即

$|X_c| > |Y_c|$ ，取 G_x $|X_c| < |Y_c|$ ，取 G_y $|X_c| = |Y_c|$ ，任取

加工圆弧时，计数方向按图 7-86 选择。当圆弧终点坐标 (X_c, Y_c) 在阴影区域内时，计数方向为 G_x ，否则为 G_y 。若终点正好在 45° 线上，计数方向任取，即

$|X_c| > |Y_c|$ ，取 G_x $|X_c| < |Y_c|$ ，取 G_y $|X_c| = |Y_c|$ ，任取

圆弧与斜线计数方向相反。

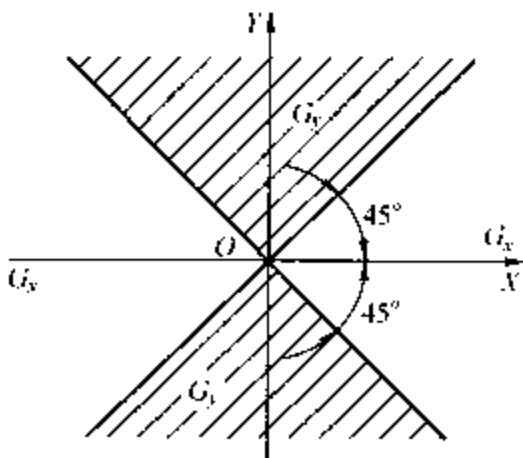


图 7-85 加工直线的计数方向

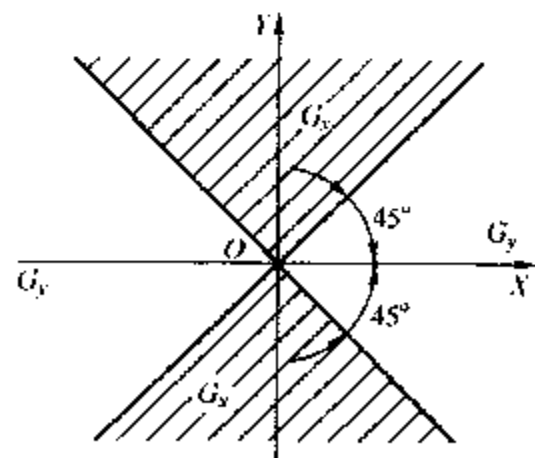


图 7-86 加工圆弧的计数方向

④计数长度 (J)。计数长度 J 为计数方向上从起点到终点拖板移动的总距离，即加工图线在计数方向上投影长度的总和，单位为 μm 。 J 的数值必须填满六位数，不足的位数前面补零。某直线如图 7-87 所示，其计数方向为 G_x ，计数长度 $J = |X_c|$ ；某圆弧如图 7-88 所示，其计数方向为 G_y ， $J = J_{y1} + J_{y2} + J_{y3}$ 。

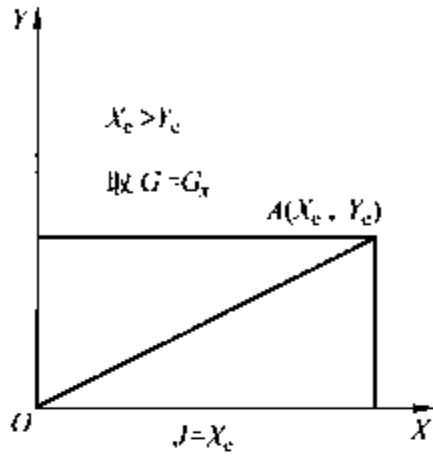


图 7-87 斜线的 G 、 J

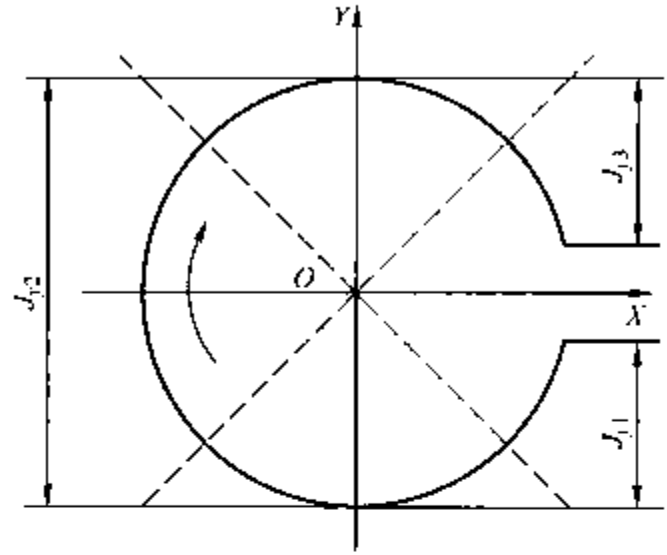


图 7-88 圆弧的 G 、 J

⑤加工指令 (Z)。加工指令 Z 共有 12 种，其中圆弧指令 8 种，直线指令 4 种，如图 7-89 所示。当被加工的直线在 I、II、III、IV 象限时，分别用 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 表示。

当被加工的圆弧在 I、II、III、IV 象限，加工点按顺时针方向运动时，分别用 SR_1 、 SR_2 、 SR_3 、 SR_4 表示。

当被加工的圆弧在 I、II、III、IV 象限，加工点按逆时针方向运动时，分别用 NR_1 、 NR_2 、 NR_3 、 NR_4 表示。

对于与坐标轴重合的直线段，正 X 轴为 L_1 ，正 Y 轴为 L_2 ，负 X 轴为 L_3 ，负 Y 轴为 L_4 。

⑥编程实例。下面举两个编程实例。

例 1 加工图 7-90a 所示的线段，终点 $X_c = 3.926\text{mm}$ ， $Y_c = -6.8\text{mm}$ ，其程序为

```
B3926B86800B006800Gy L4
```

例 2 加工 $1/4$ 圆弧 (图 7-90b)，从 A 到 B ，起点 $A(0.707, 0.707)$ ， $B(-0.707, 0.707)$ ，程序为

```
B707B707B001414GxNR1
```

又由于终点恰在 45° 线上，故亦可取

```
Gy 即 B707B707B001414GyNR1
```

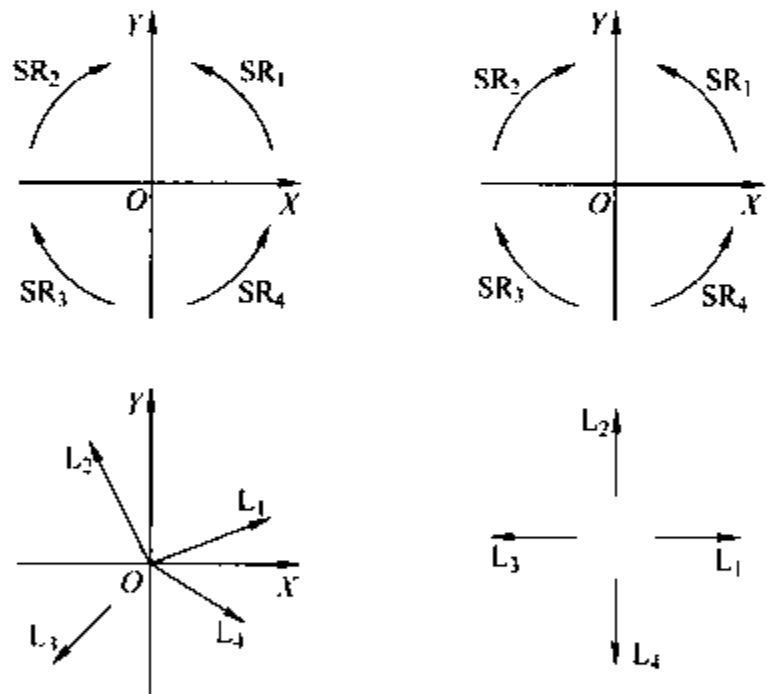


图 7-89 加工指令

⑦间隙补偿 (f)。数控线切割加工时，控制台所控制的是电极丝中心移动的轨迹。为了使具有一定直径的电极丝按理论给定的轮廓尺寸加工时获得一个与之相等的形状和尺寸，数控系统把电极丝实际走过的轨迹放大或缩小一个补偿值，以弥补电极丝直径和放电间隙对尺

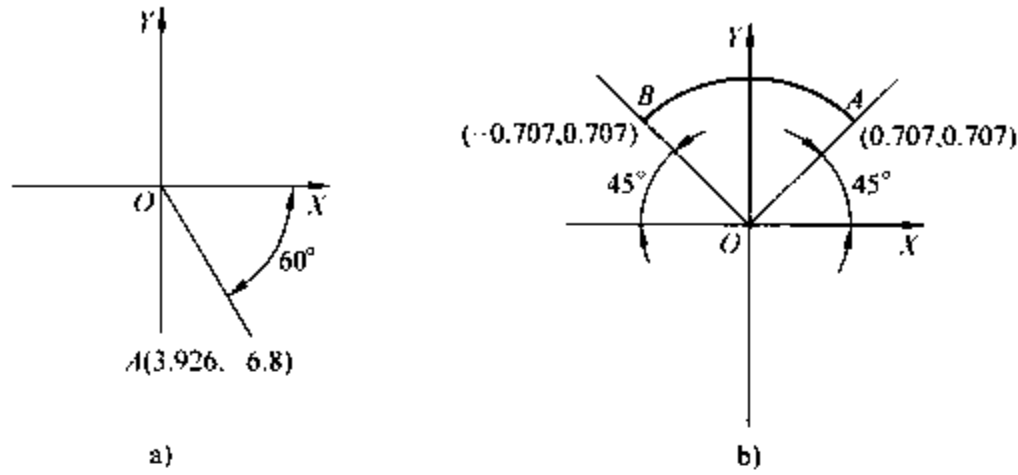


图 7-90 加工斜线和加工圆弧

a) 加工斜线 b) 加工圆弧

寸的影响，这个补偿量即为间隙补偿 (f)，见图 7-91，图中虚线指电极丝中心轨迹，实线为理论轨迹。

$$F = \text{电极丝直径} + \text{单边放电间隙}$$

由于需要考虑间隙补偿，若采用人工计算，计算效率低并需要有较高的数字知识和熟练的计算技巧，我国早已成功研制出带有间隙补偿的线切割机床，只需编制一条程序即可得到均匀的间隙补偿，大大减轻了工作量。

2) ISO 格式。国际上通用的线切割程序格式是 ISO 格式，我国生产的线切割系统正逐步采用 ISO 格式，其代码为 G 指令、M 指令。

以下使用的 G 指令、M 指令与国际上使用的基本一致。

①G 指令。G 代码指令又称准备功能指令，由字母 G 和两位数字组成，用来规定多种加工操作。G 指令有坐标系的选择：是直线插补还是圆弧插补；是顺时针方向还是逆时针方向加工；间隙补偿是左偏还是右偏等。

- G00 (快速定位指令)

在机床不放电的情况下，使指定的某轴以最快速度移动到指定位置。若程序中有 G02、G03，则 G00 无效。

格式：G00X ___ Y ___

下横线代表数字，单位 μm 。

例如：G00 X1000 Y2000

- G01 (直线插补指令)

该指令能在坐标平面内加工任意斜率的直线轮廓和用直线段逼近的曲线轮廓。

格式：G01X ___ Y ___ U ___ V ___

例如：G01 X1000 Y1000

- G02、G03 (圆弧插补)

G02 为顺时针圆弧插补，G03 为逆时针圆弧插补。

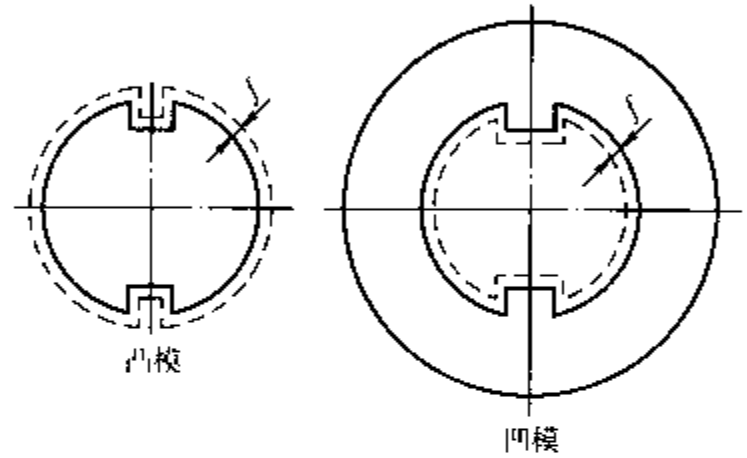


图 7-91 电极丝的中心轨迹与间隙补偿

格式: G02X ___ Y ___ I ___ J ___
G03X ___ Y ___ I ___ J ___

其中, X、Y 表示圆弧终点坐标, I、J 表示圆弧起点相对于圆心的矢量(矢量方向指向起点)在 X、Y 坐标上的分量, I、J 为 0 时可以省略。

例如: G02 X50 Y60 I40
G03 X80 Y30 I30

● G04、G41、G42 (偏移指令)

为了消除电极丝半径及放电间隙对加工精度的影响,需偏移一值。这由偏移指令完成: G41 为左偏指令, G42 为右偏指令, G40 为间隙补偿撤消指令。如图 7-92 所示,沿着电极丝运动的方向前进,电极丝中心在编程路径左边时为左偏,在编程路径右边时为右偏。

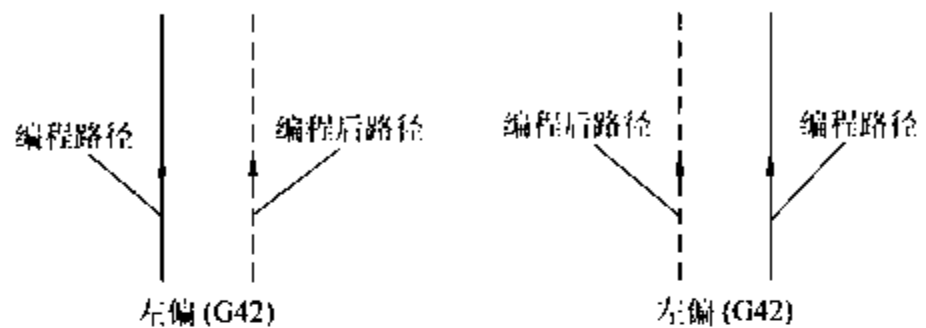


图 7-92 偏移指令示意图

格式: G41 D ___

其中 D 后的数为间隙补偿值。

例如: G42 D100 (100 为电极丝半径与放电间隙之和)
G40

● G50、G51、G52 (锥度加工指令)

G50 为消除锥度, G51 为锥度左偏, G52 为锥度右偏。顺时针加工时,锥度左偏加工出来的工件上大下小,锥度右偏加工出来的工件上小下大;逆时针加工时,锥度左偏加工出来的工件上小下大,锥度右偏时加工出来的工件上大下小。

格式: G52A ___

其中, A 后数字为锥度值。不同机床,最大加工锥度不同。

例如: G52 A6

G50 (指锥度右偏移 6°)

● G05、G06、G07、G08、G09、G10、G11、G12 (镜像及交换指令)

这些指令对于加工一些对称性好的工件,可以利用原来的程序产生,节省时间。

G05: Y 轴镜像。函数关系为: $X = -X$ 。示意图见图 7-93a。

G06: X 轴镜像。函数关系为: $Y = -Y$ 。示意图见图 7-93b。

G07: X、Y 轴交换。函数关系为: $X = Y, Y = X$ 。示意图见图 7-93c。

G08: X 轴镜像, Y 轴镜像, 即 $G08 = G05 + G06$ 。示意图见图 7-93d。

G09: Y 轴镜像, X、Y 轴交换, 即 $G09 = G05 + G07$ 。示意图见图 7-93e。

G10: X 轴镜像, X、Y 轴交换, 即 $G10 = G06 + G07$ 。示意图见图 7-93f。

G11: X 轴镜像, Y 轴镜像, X、Y 交换, 即 $G11 = G05 + G06 + G07$ 。示意图见图 7-93g。

G12: 消除镜像。每个程序镜像、交换结束后,都要加上该指令。

● G90、G91、G92 (坐标指令)

G90: 绝对坐标指令,该指令表示程序段中的编程尺寸是按绝对坐标给定的。

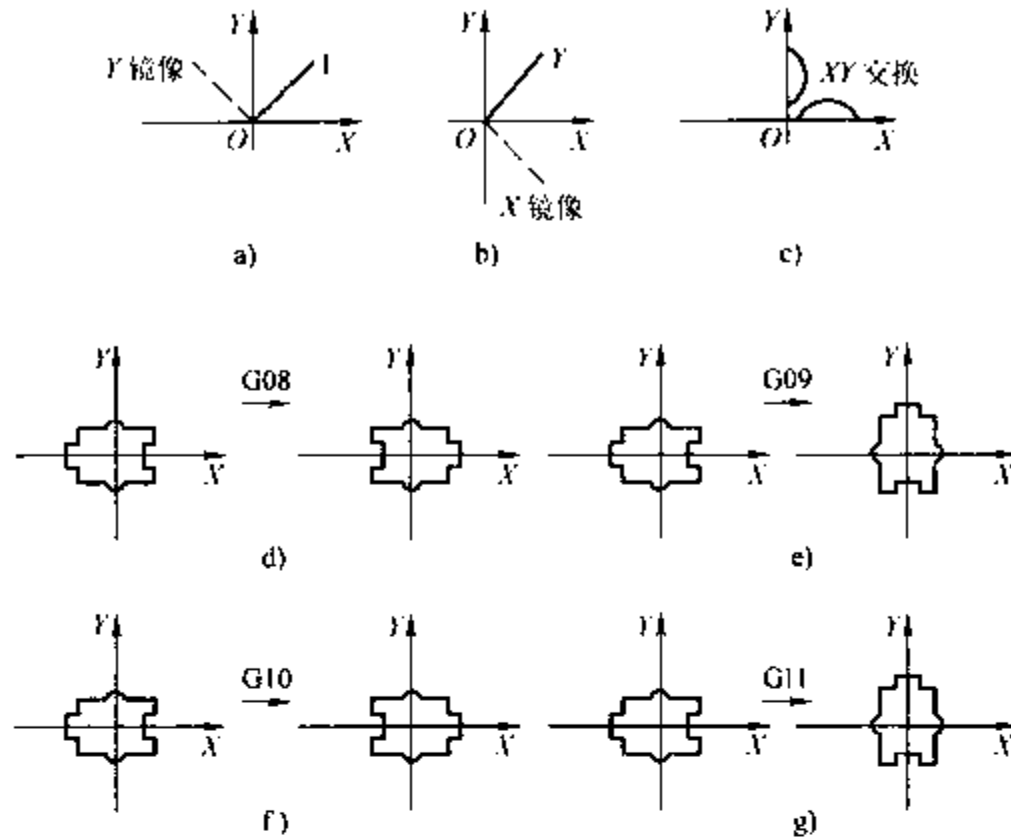


图 7-93 镜像、交换指令示意图

格式: G90

G91: 相对坐标指令, 该指令表示程序段中的编程尺寸是按相对坐标给定的。

格式: G91

G92: 定起点指令, 指定电极丝起点坐标值。

格式: G92X ____ Y ____

● G54、G55、G56、G57、G58、G59 (工作坐标系)

可供选择的工件坐标系共有 6 个, 在定起点坐标之前可以用 G54 ~ G59 选择坐标。

例: G53

G92 X0 Y0

G54

G00 X100 Y100

G55

G92 X0 Y0

工作坐标系图如图 7-94 所示。

程序说明: 在 G53 系统下起点为 (0, 0),

快速移动到 (100, 100), 定 (100, 100) 为 G54 的坐标起点。如果不选工作坐标系, 则自动设定为当前坐标系。

● G74、G75 (块移动停止指令)

当重复加工某一形状曲线时, 为了使编程简单可使用块移动的方法重复加工。

②M 指令 (辅助功能指令)

● M00: 程序暂停, 按“回车”键继续执行。

● M02: 程序结束, 加工完毕。

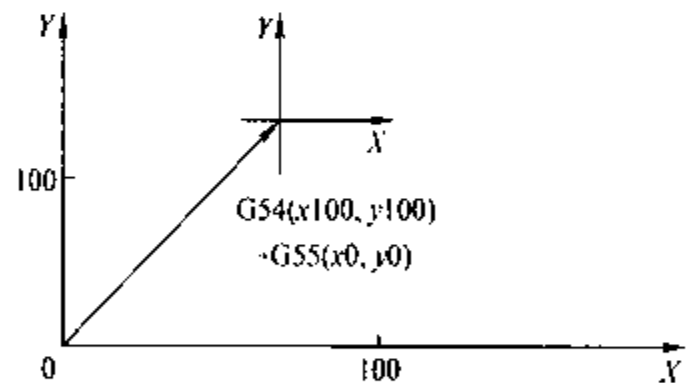


图 7-94 工作坐标系

- M96：主程序调用文件程序。

格式：M96 文件名

- M97：主程序调用文件程序结束。

- M98：子程序调用。

- M99：子程序调用结束。

③实际编程举例

例3 带偏移的镜像加工程序。如图 7-95 所示，若想加工此图（钼丝直径 $\phi 0.18\text{mm}$ ），程序为

```
G92 X0 Y0
G41 D100
G01 X2000 Y0
G01 X2000 Y2000
G01 X4000 Y2000
G02 X6000 Y2000 I1000 J0
G01 X8000 Y2000
G01 X6000 Y-2000
G01 X5000 Y-1000
G01 X4000 Y-2000
G01 X2000 Y-2000
G01 X2000 Y0
G40
G01 X0 Y0
M02
```

若想再加工图 7-95，则只需在上一程序的最前面加一句：G05，在 M02 前加一句：G12，即

```
G05
G92 X0 Y1
G01 X2000 Y0
⋮
G01 X0 Y0
G12
M02
```

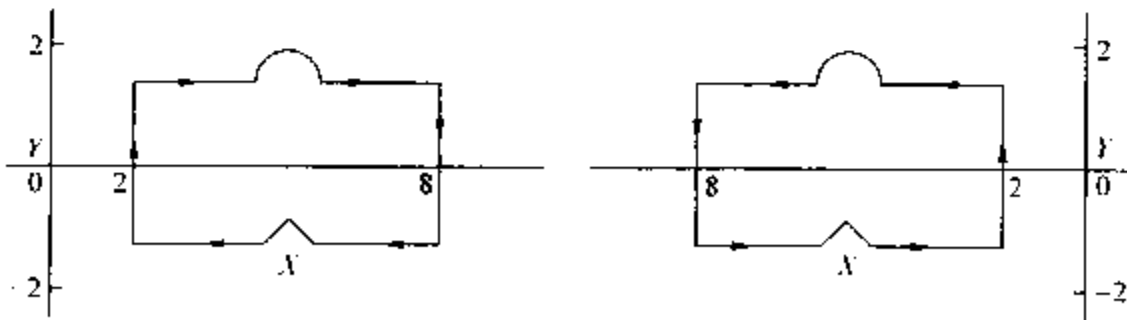


图 7-95 带偏移的镜像加工实例

例4 子程序调用,如图7-96所示,程序为

```
G92 X0 Y0
G01 X5000 Y0
G01 X5000 Y5000
M98 N10 I4
G75
G01 X50000 Y5000
G01 X50000 Y0
G01 X0 Y0
M02
```

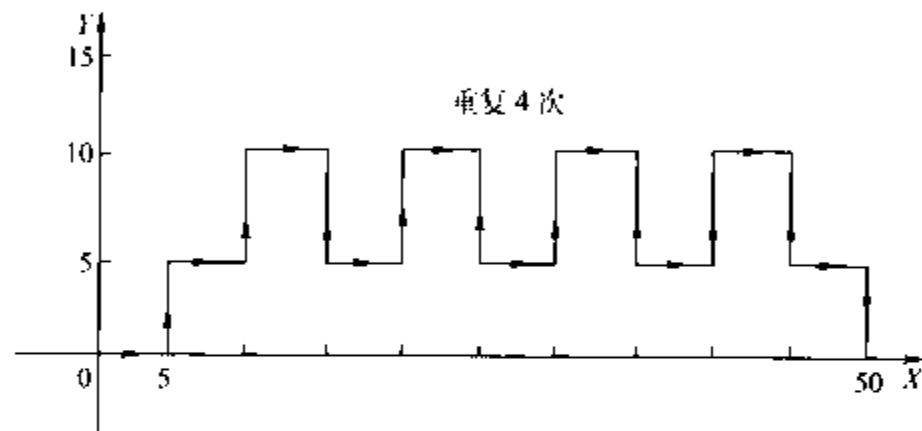


图7-96 子程序调用

子程序为

```
G01 X10000 Y5000
G01 X10000 Y10000
G01 X15000 Y10000
G01 X15000 Y5000
G74
G99
```

例5 文件调用编程,如图7-97所示。

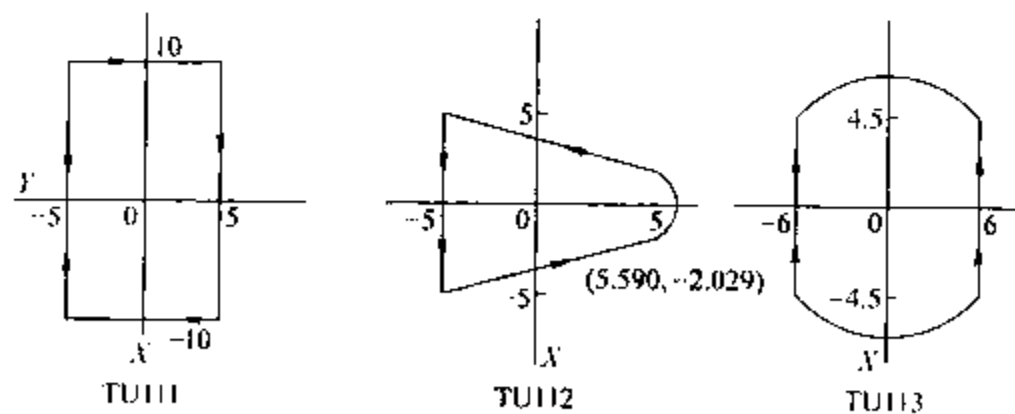


图7-97 文件调用实例

```

G90
G54
G92 X0 Y0
M00
G00 X10000 Y10000
G54
M96 TU111
M00
G00 X50000 Y20000
G54
M00
M96 TU112
G54
M00
M96 TU113
M97
M02

```

①TU111 程序为

```

G55
G92 X0 Y0
G01 X-5000 Y0
G01 X-5000 Y10000
G01 X5000 Y10000
G01 X5000 Y-10000
G01 X5000 Y10000
G01 X5000 Y0
M02

```

②TU112 程序为

```

G55
G92 X0 Y0
G01 X-5000 Y0
G01 X-5000 Y-5000
G01 X5590 Y-2429
G03 X7500 Y0 I-590 J2429
G03 X5590 Y2429 I-2500 J0
G01 X-5000 Y5000
G01 X-5000 Y0
M02

```

③子程序 TU113 为

```

G55
G92 X0 Y0
G01 X6000 Y0
G01 X6000 Y4500
G02 X6000 Y4500 I6000 J4500
G01 X-6000 Y4500
G02 X6000 Y4500 I6000 J4500
G01 X6000 Y0
M02

```

线切割自动编程是线切割加工中的重要工作之一,采用手工编程极其繁杂,而且很容易出错。由于计算机技术的飞速发展,近些年来研制出多种自动编程方法,一般都是采用微型计算机。

7. 影响线切割工艺指标的若干因素

(1) 线切割加工的主要工艺指标

- 1) 切割速度 (v_w)。在保持一定的表面粗糙度的前提下,单位时间内电极丝中心在工件上切过的面积总和即为切割速度,单位为 mm^2/min 。
- 2) 表面粗糙度。我国和欧洲常用轮廓算术平均偏差 R_a (μm) 来表示,日本常用 R_{max} 表示。
- 3) 电极丝损耗量。对高速走丝机床,用电极丝在切割 10000mm^2 面积后其直径的减少量来表示,一般减小量不应大于 0.01mm 。
- 4) 加工精度。加工精度指所加工工件的尺寸精度、形状精度和位置精度的总称。

(2) 影响线切割工艺指标的若干因素 影响线切割工艺指标的因素很多,也很复杂,主要包括以下几个方面。

1) 走丝速度对工艺指标的影响。对于高速走丝线切割机床,在一定的范围内,随着走丝速度的提高,有利于电极丝把工作液带入较大厚度的工件放电间隙中,有利于放电通道的消电离和电蚀产物的排除,保持放电加工的稳定,从而提高切割速度;但走丝速度过高,将加大机械振动,降低加工精度和切割速度,表面粗糙度也将恶化,并且易断丝。

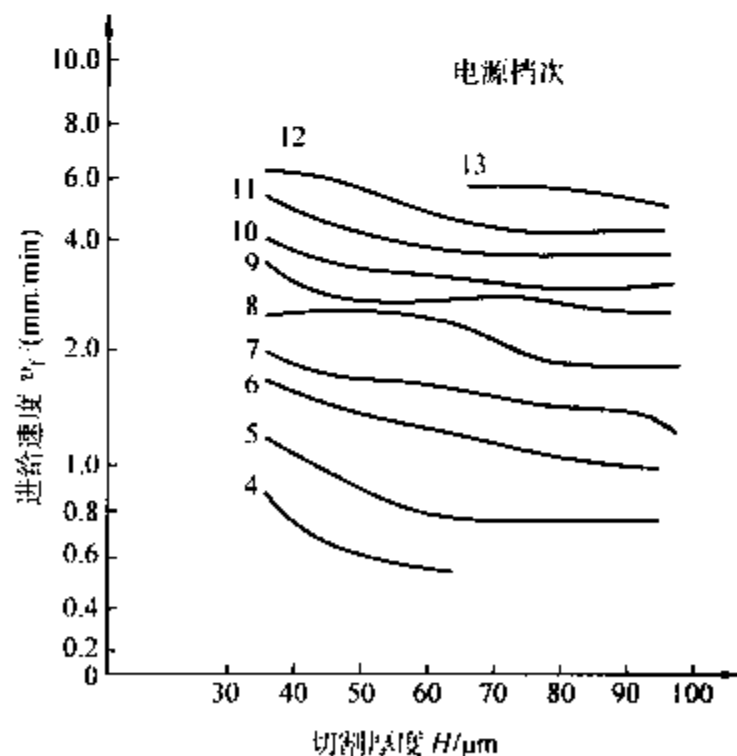


图 7-98 切割厚度与进给速度的关系

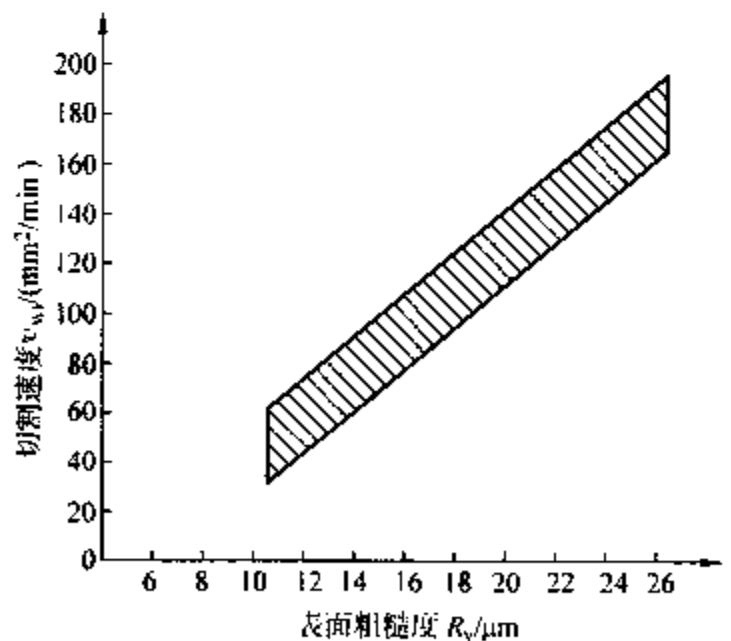


图 7-99 表面粗糙度与切割速度关系

低速走丝时由于电极丝张力均匀, 振动较小, 电极丝直径较小, 因而加工稳定性、表面粗糙度及加工精度等均很好。在日本三菱电动机低速走丝线切割机床上切割时, 若干因素对加工工艺指标及各因素之间的相互关系如图 7-98 和图 7-99 所示。其中电极丝进给速度 v_f 与切割速度 v_w 的关系为: 切割速度 v_w 等于进给速度 v_f 与切割厚度 H 的乘积。

瑞士阿奇公司线切割机床的切割操作是在瑞士阿奇公司的低速走丝电火花线切割机床上完成的, 表 7-44 可供参考。

表 7-44 低速走丝线切割加工工艺效果

工件材料	电极丝直径 d/mm	切割厚度 H/mm	切缝宽度 s/mm	表面粗糙度 $R_z/\mu\text{m}$	切割速度 $v_w/(\text{mm}^2/\text{min})$	电极丝材料
碳钢铬钢	0.1	2~20	0.13	0.2~0.3	7	黄铜丝
	0.15	2~50	0.198	0.35~0.5	12	
	0.2	2~75	0.259	0.35~0.71	25	
	0.25	10~125	0.34	0.35~0.71	25	
	0.3	75~150	0.378	0.35~0.5	25	
铜	0.25	2~40	0.32	0.35~0.7	19.4	
硬质合金 ($w_{\text{Co}} = 15\%$)	0.1	2~2	0.19	0.15~0.24	3.5	
	0.15	2~30	0.229	0.24~0.25	7.1	
	0.25	2~50	0.361	0.2~0.5	12.2	
石墨	0.25	2~40	0.351	0.35~0.6	12	
铝	0.25	2~40	0.34	0.5~0.83	60	
碳钢铬钢	0.08	2~10	0.105	0.35~0.55	5	钼丝
	0.1	2~10	0.125	0.47~0.59	7	
硬质合金 ($w_{\text{Co}} = 15\%$)	0.08	2~12.7	0.105	0.078~0.23	4	
	0.1	2~12.7	0.135	0.118~0.23	6	

试验条件: 工件为 SKD-11 材料, 厚度 40~100mm, 电极丝材料为黄铜丝, 直径 $\phi 0.25\text{mm}$; 加工电源位于 4~13 挡。

试验条件: 工件为 SKD-11 材料, 厚度 50mm, 电极丝材料为黄铜丝, 直径 $\phi 0.25\text{mm}$; 加工电源位于 8 挡。

2) 工件厚度及材料对工艺指标的影响。工件薄时, 工作液容易进入并充满放电间隙, 有利于排屑和消电离, 加工稳定性好; 但工件太薄时, 电极丝容易产生抖动, 对加工精度和表面粗糙度不利, 且脉冲利用率低, 切割速度因而下降。工件厚时, 工作液难于进入和充满放电间隙, 加工稳定性差, 但电极丝不易抖动, 因而加工精度和表面粗糙度较好; 但过厚时排屑条件差, 导致切割速度下降。图 7-100 为工件厚度对

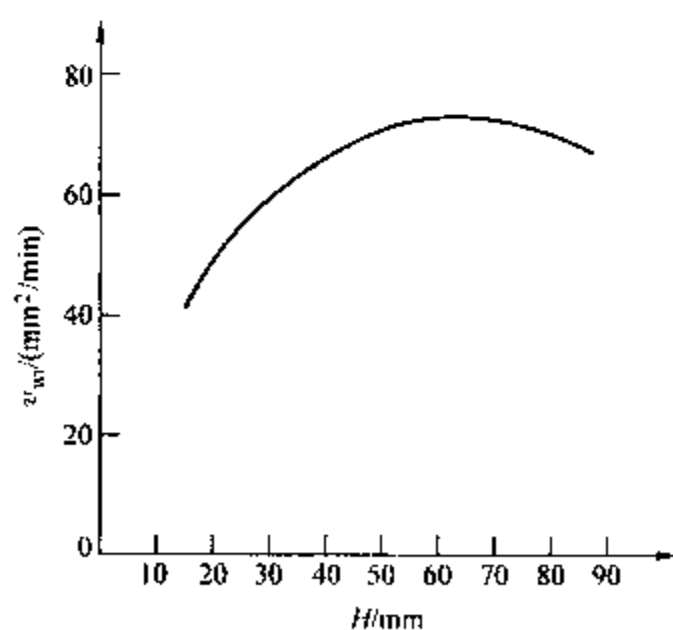


图 7-100 工件厚度对切割速度的影响

切割速度的影响。

3) 电极丝材料及直径对加工指标的影响。高速走丝用的电极丝材料应具有良好的导电性、较大的抗拉强度和良好的耐电腐蚀性能,且电极丝的质量应该均匀,不能有弯折和打结现象。采用钨丝可获得较高的切割速度,但放电后电极丝会变脆,容易断丝,所以极少应用。钼丝比钨丝的熔点和抗拉强度都低,但韧性好,放电后不易变脆,不易断丝,因而应用广泛。钨钼丝(钨、钼的质量分数各占50%的合金丝)的加工效果比钨丝、钼丝好,但抗拉强度较差,价格较贵,故应用较少。黄铜丝加工稳定,切割速度高,但电极丝损耗大。低速走丝线切割机床上常采用 $\phi 0.2\text{mm}$ 的黄铜丝,也可采用钨丝、钼丝。电极丝直径大时,能承受较大的电流,从而使切割速度提高,同时切缝宽,放电产生的腐蚀物排除条件得到改善而使加工稳定,但加工精度和表面粗糙度下降。但当直径过大时,切缝过宽,需要蚀除的材料增多,导致切割速度下降。另一缺点是难以加工出内尖角的工件。高速走丝时电极丝的直径可在 $\phi 0.1 \sim \phi 0.25\text{mm}$ 之间选用,常用的电极丝为 $\phi 0.12 \sim \phi 0.18\text{mm}$;低速走丝直径可在 $\phi 0.076 \sim \phi 0.3\text{mm}$ 之间,最常采用的为 $\phi 0.2\text{mm}$ 。

4) 线切割电源波形和电参数对工艺指标的影响,主要包括以下几方面。

①矩形波电源的影响:

第一,开路电压对切割速度和表面粗糙度的影响。开路电压增大时,放电间隙略为增大,切割速度提高,表面粗糙度变差,加工精度有所降低。精加工时取的开路电压比粗加工低,切割大厚度工件时取较高的开路电压。

第二,脉冲宽度 t_i 对切割速度 v_{wi} 和表面粗糙度 R_a 的影响。脉冲宽度增大时,单个脉冲能量增多,切割速度提高,表面粗糙度数值变大,放电间隙增大,加工精度有所下降。粗加工时取较大的脉宽,精加工时取较小的脉宽,切割厚大工件时取较大的脉宽。

第三,脉冲间隔对加工工艺指标的影响。脉冲间隔增大,单个脉冲能量降低,切割速度降低,表面粗糙度数值有所增大,粗加工及切割厚大工件时脉冲间隔取宽些,而精加工时取窄些。

第四,放电峰值电流对工艺指标的影响。放电峰值电流增大,单个脉冲能量增多,切割速度迅速提高,表面粗糙度数值增大,加工精度有所下降。粗加工及切割厚件时取较大的放电峰值电流,精加工时取较小的放电峰值电流。

②高频分组脉冲电源的影响。高频分组脉冲电源对工艺指标的影响见表7-45,其单个脉冲能量较小,主要电参数对工艺指标的影响与矩形波电源类似。

表 7-45 分组波电源电参数对工艺指标的影响

编号	开路电压 u_i/V	小脉冲宽度 $t_i/\mu\text{s}$	小脉冲间隔 $t_0/\mu\text{s}$	分组脉冲 宽度 $T_i/\mu\text{s}$	分组脉冲 间隔 $T_0/\mu\text{s}$	加工电流 I/A	切割速度 $v_{wi}/(\text{mm}^2/\text{min})$	表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$
1	70	2.5	2.5	80	30	1.6	16	1.1
2	80	2.5	2.5	80	30	1.65	19	1.15
3	90	2.5	3.5	450	30	2.1	34	1.27
4	90	3.5	3.5	450	30	2.3	38	1.57
5	90	3.5	2.5	450	30	3	47	2.3
6	90	3.5	2.5	450	30	3.5	59	2.7
7	75	1.5	4	240	40	1.5	10	1

(续)

编号	开路电压 u_i/V	小脉冲宽度 $t_i/\mu s$	小脉冲间隔 $t_0/\mu s$	分组脉冲 宽度 $T_i/\mu s$	分组脉冲 间隔 $T_0/\mu s$	加工电流 I/A	切割速度 $v_{wi}/(mm^2/min)$	表面粗糙度 $R_a/\mu m$
8	75	2.5	4	240	40	2.2	20	1.9
9	90	2.5	7	240	40	2.8	28	2.2
10	90	2.5	4	240	40	3.5	34	2.4
11	105	4	7	240	40	4	60	2.8
12	105	6	7	240	40	4.8	80	3.4

③工件材料内部残留应力对工艺指标的影响。对热处理后的坯料进行线切割时，由于大面积去除金属和切断加工，材料内部残留应力的相对平衡状态受到破坏，从而产生很大的变形，零件的加工精度下降，有的零件甚至在切割中出现裂纹、断裂。

减少变形和裂纹的措施如下：

a) 改善热处理工艺，减少内部残留应力。

b) 减少切割体积，在淬火前先用切削加工方法把中心部分材料切除或预钻孔，使热处理均匀发生，如图 7-101 所示。精度要求高的，采用二次切割法。第一次加工单边留下余量 0.1~0.5mm，余量大小根据淬硬程度、工件厚度、壁厚等确定。第二次加工时将第一次加工的变形切除，如图 7-102 所示。

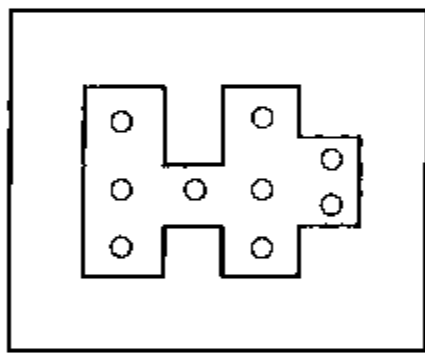


图 7-101 减少切割面积

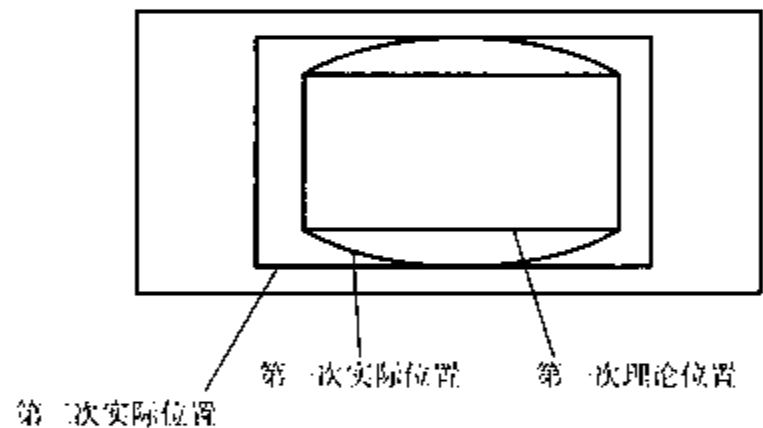


图 7-102 二次切割法

c) 切割路径，使夹持部分通常位于程序的最后一条加工语句处，如图 7-103 所示。进入点的选择要尽量避免留下接刀痕，如图 7-104 所示，当接刀痕不可避免时，应尽量把进刀点放在尺寸精度要求不同或容易钳修处，如图 7-105 所示。

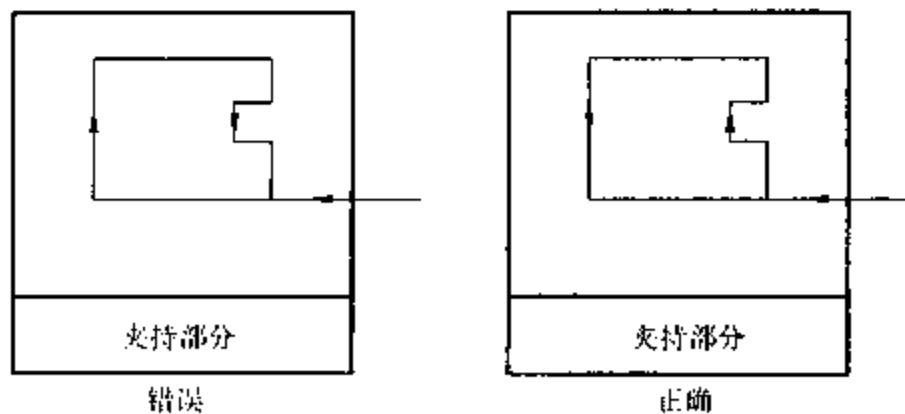


图 7-103 夹持部分安放

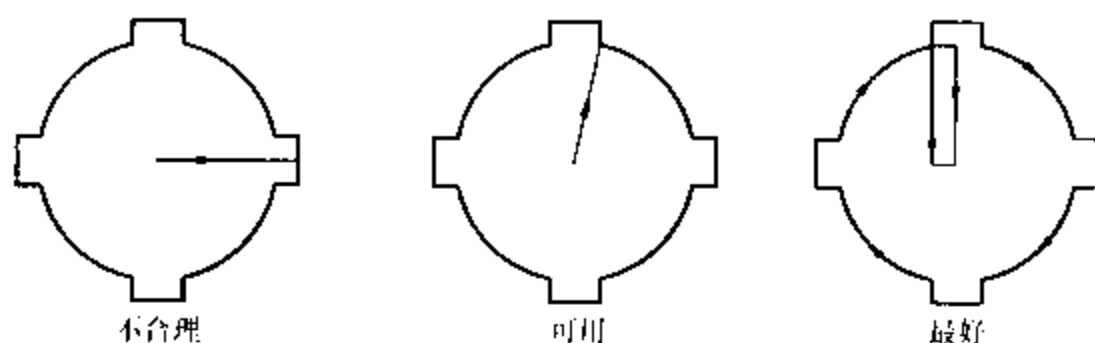


图 7-104 进刀点避免留下刀痕

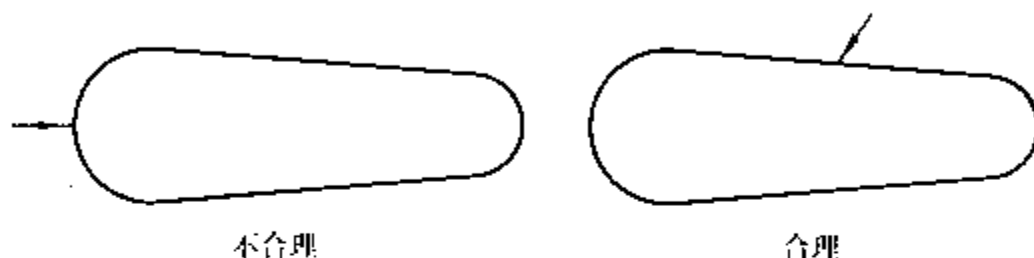


图 7-105 进刀点易于钳修

d) 若精度要求高, 应先在坯料内钻穿丝孔, 以免当从坯料外切入时引起坯料切开处变形。

e) 工件上的剩磁会使内应力不均匀, 且加工时对排屑不利, 因此平磨过的工件应先充分去磁。

(3) 数控线切割加工工艺路线图 在数控线切割机床上进行线切割加工时的工艺路线图, 如图 7-106 所示。

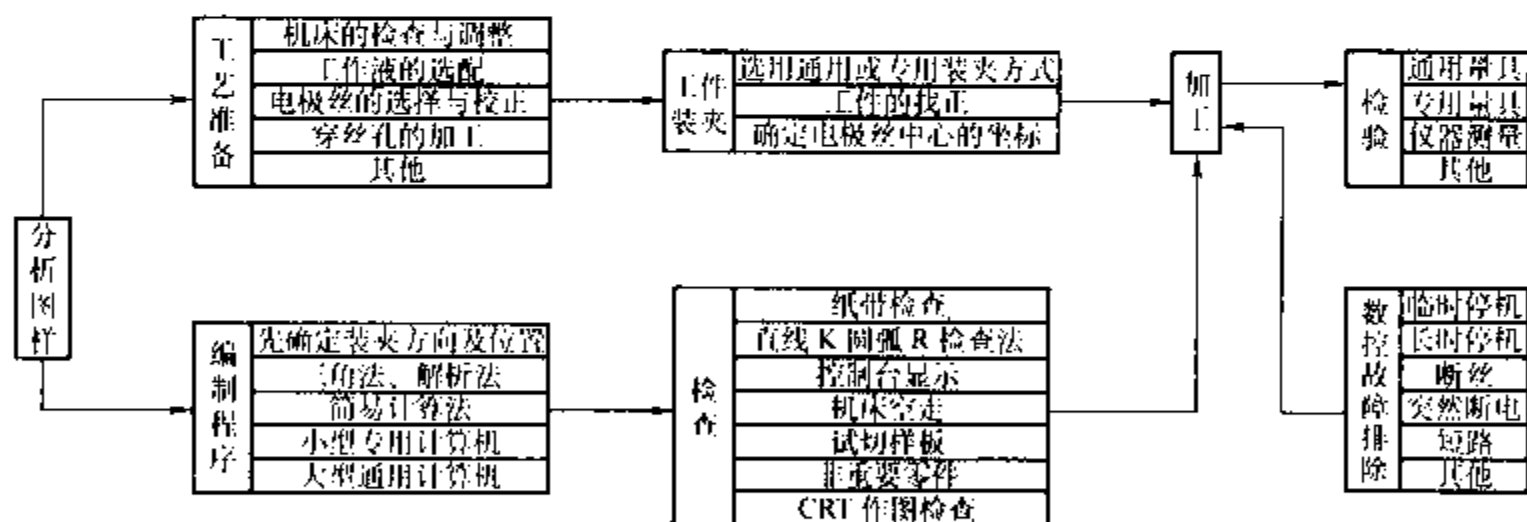


图 7-106 数控线切割加工工艺路线图

参 考 文 献

- [1] 陈榕林, 等. 怎样车削螺纹和细长轴 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [2] 劳动部培训司. 金属切削机床 [M]. 北京: 中国劳动出版社, 1993.
- [3] 张磊, 陈榕林. 机床改装技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [4] 陈榕林, 等. 新编车工考工题解 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [5] 张学询, 等. 车削疑难问题解 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [6] 吴国梁. 高级车工技术与实例 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2006.
- [7] 陈野, 等. 新编铣工考工题解 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1994.
- [8] 刘春. 数控加工工艺学 [M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006.
- [9] 冯志刚. 数控宏程序编程方法技巧与实例 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [10] 张建华. 精密与特种加工技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.