

第三章 机械修理中的零件测绘

第一节 零件测绘的工作过程和一般方法

一、机械设备修理零件中测绘的特点

机械设备修理测绘工作与设计测绘工作具有共性，但也有不同之处：

1. 修理测绘的对象一般都是磨损和破坏了零件。因此，测绘时要分析零件磨损和破坏了的原因，并采取适当的措施。而设计测绘的对象是新的设备。

2. 修理测绘的尺寸是实际所需要的尺寸。这个尺寸要保证零件的配合间隙和设备的精度要求。此外，对于哪些尺寸应该配作，也需作恰当的分析，否则容易造成废品。设计测绘的尺寸是基本尺寸。

3. 修理测绘工作要了解和掌握修理技术，要善于应用修理技术，以缩短修理时间，降低修理费用。

4. 修理测绘人员，不仅要为更换零件提供可靠的图样，还应根据磨损和破坏情况，积累知识找出规律，对原设备提出改进方案，扩大设备的使用性能，提高产品的加工质量。

二、修理零件测绘设计的程序

修理零件测绘设计的工作程序如图 3—1 所示。

三、机械设备修理测绘工作应注意的事项

测绘人员在测绘工作开始前，应熟悉有关机械设备的使用维护说明书，初步了解机械设备的结构性能、动作原理和使用情况。对被测绘的每一个零件，要清楚它在整机或某个部件中的地位 and 作用、受力状态和接触介质，以及与其它零件的关系。此外，还要大体了解被测零件的加工方法。

测绘所用的测绘工具须有合格证，在使用前应加以检查，以免影响测量准确度，从而减少测量工作的差错。

测绘零件时应注意下列各项：

1. 绘图时先绘制传动系统图及装配草图，然后再测绘零件图。绘制装配图时要根据零件实际安装位置及方向进行测绘；对于复杂的部件，不便绘制整个装配图时，可以分为几个小部件进行绘制；装配图及零件图的图形位置应尽可能与其安装位置一致；对于一些重要的装配尺寸应在拆卸部件前加以测量，作为以后装配工作的参考依据。

2. 测量零件尺寸时，要正确选择基准面。基准面确定后，所有要测量的尺寸均依此为准进行测量，尽量避免尺寸的换算，以减少误差。对于零件长度尺寸链的尺寸测量，也要考虑装配关系尽量避免分段测量。分段测量的尺寸只能作为核对尺寸的参考。

3. 测量磨损零件时，对其磨损原因应加以分析，以便在修理时加以改进。磨损零件测量位置的选择要特别注意，尽可能的选择在未磨损或磨损较少的部位。如果整个配合表面均已磨损，在草图上应加以说明。

4. 测绘零件的某一尺寸时，必须同时测量配合零件的相应尺寸，尤其是在只更换一个

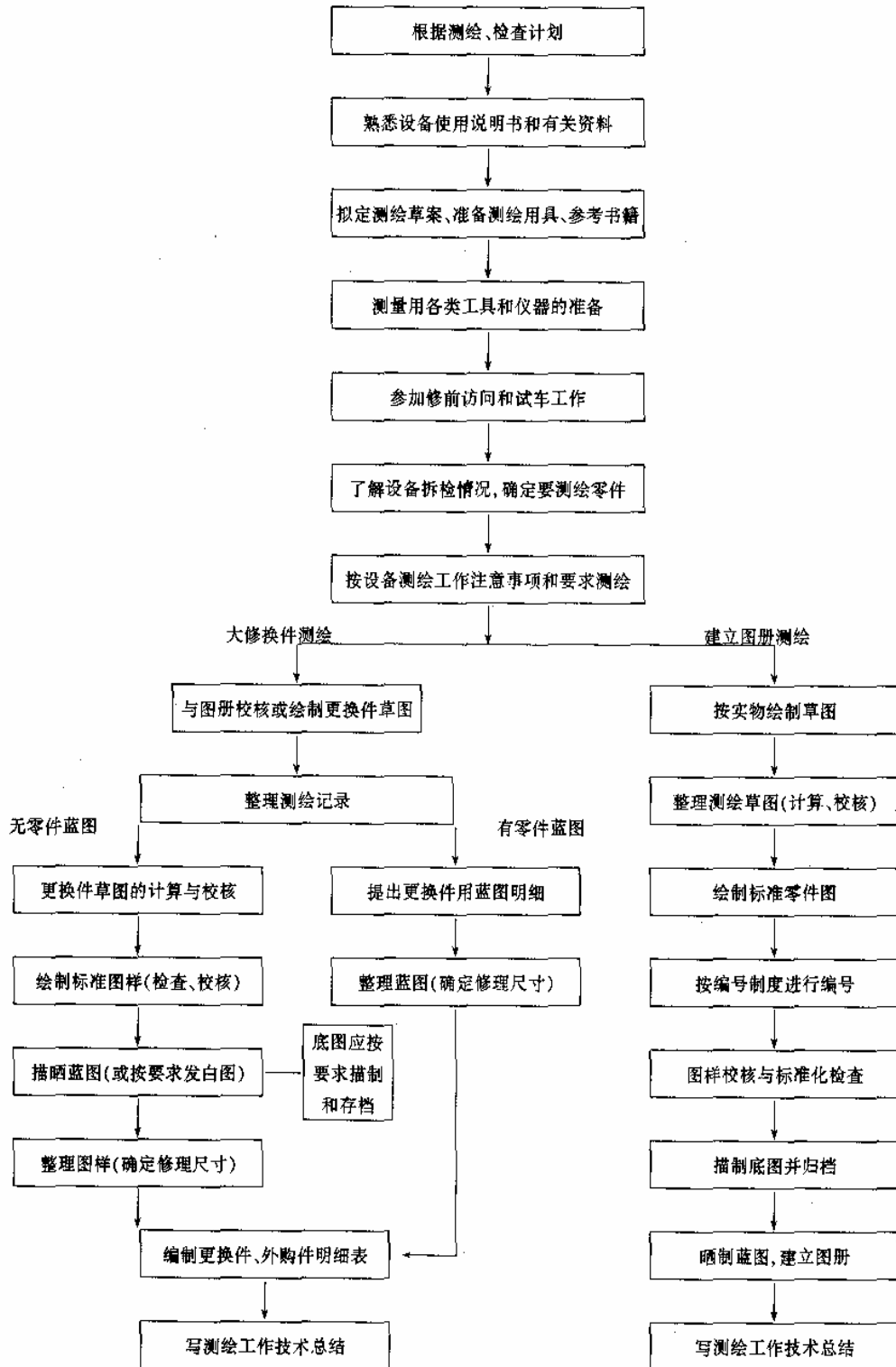


图 3—1 修理零件测绘工作程序

零件时更应如此。这样，既可以校对测量尺寸是否正确，减少差错，又可以为决定修理尺寸而提供依据。

5. 在尺寸的测量中要注意：

(1)要选择适当部位及多点位进行测量。如测量孔径时,采用四点测量法,即在零件孔的两端各测量两处。测量轴外径时,要选择适当部位进行,以便判断零件的形状误差,对于转动配合部分更应注意。

(2)要注意测量方向。如测量曲轴或偏心轴时,要注意其偏心方向和偏心距离。轴类零件的键槽要注意其圆周方向的位置。

(3)注意被测尺寸在零件中的地位和性质。如测绘蜗轮蜗杆时,要注意蜗杆的头数、螺旋方向和中心距。测绘螺纹及丝杠时,要注意其螺纹线数、螺旋方向、螺纹形状和螺距,对于锯齿形螺纹更要注意方向。测绘花键轴和花键套时,应注意其定心方式、花键齿数和配合性质。

(4)慎重判别被测尺寸是否属于标准系列的尺寸。如测量零件的锥度或斜度时,首先要检查是否是标准锥度或斜度。如果不是标准的,则要仔细测量,并分析其原因。

(5)各类零件的特殊参数测量应加以验算、核对。如齿轮尽可能要成对测量,滑移齿轮应注意其倒角的位置,对于变位齿轮及斜齿轮必须测量中心距,对于斜齿轮还要测量螺旋角并注意螺旋方向,然后根据其计算公式进行计算、核对。

(6)零件的配合公差、热处理、表面处理、材料及表面粗糙度要求等,在测绘草图时,都要注明。特殊零件要测量硬度,当零件表面已经磨损或者表面烧伤时,测量的硬度只能作为参考,应根据其使用情况进行确定。选用材料时,对于特殊零件如含油轴承、高强度零件的特殊钢材等,必要时应进行火花鉴别或取样分析,但必须注意不能破坏零件本体。

(7)机械设备经过大(中)修理后,其中个别零件的个别尺寸已与原出厂尺寸不符,如果无法恢复,测绘时必须在图样上加以说明,这样便于今后查考或作为制作备件依据。这对于基础件及主要零件尤为重要,如空气锤的气缸,镗缸后的直径必须在图样上加以注明。

(8)测绘进口设备的零件时,测绘前必须弄清设备的制造国家(因为世界各国采用的设计标准和计量制度不同),以便确定零件尺寸的计量单位,或进行必要的单位换算。

(9)对测绘图样必须严格审核(包括草图的现场校对),以确保图样质量。

四、草图的绘制

零件草图的绘制,一般是在测绘现场进行的,因绘图的条件不如办公室方便,特别是面对被测件,在没有尺寸的情况下进行画图工作,所以绝大多数是绘制草图。

(一)草图纸与图线的画法

为了加快绘制草图的速度,提高图面质量,最好利用特制的方格纸画图。方格纸上的线间距为5mm,用浅色印出,右下角印有标题栏,如图3—2所示。方格纸的幅面有420mm×300mm、600mm×420mm两种。如果需要再大的幅面时,可合并起来使用。如能充分利用方格纸上的图线绘制草图,不但画图的速度快而且效果也好。当无方格纸时,可在厚一些的白纸上绘制草图。

零件草图的图线,完全是徒手绘出的,也可借助圆规画圆,徒手画直线时,草图纸的位置不应固定,以画线顺手为宜,如图3—3所示。在方格纸上徒手画圆时,参看图3—4。

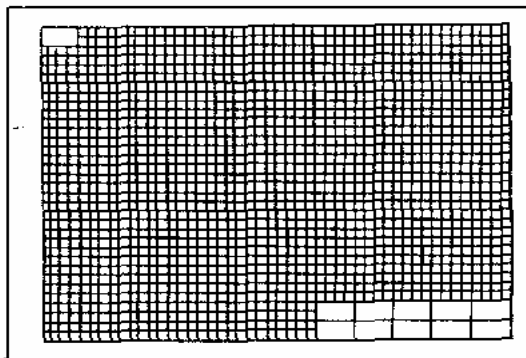


图3—2 草图纸的形式

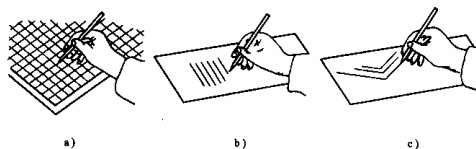


图 3—3 草图图线的画法

a) 水平线的画法 b) 虚线的画法 c) 斜线的画法

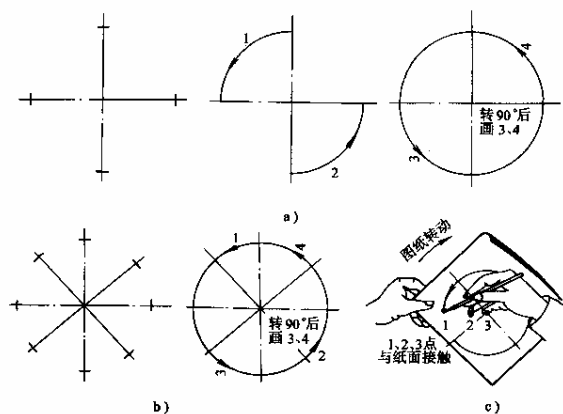


图 3—4 草图上圆的画法

a) 小圆的画法 b) 大圆的画法 c) 超大圆的画法

(二) 草图的绘制步骤

绘制草图的步骤大体如下：

1. 在画图之前，应深入观察分析被测件的用途、结构形成和加工方法。
2. 确定表达方案。
3. 绘图时，目测各方向比例关系，初步确定各视图的位置，即画出主要中心线、轴线、对称平面位置等的画图基准线。
4. 按由粗到细、由主体到局部的顺序，逐步完成各视图的底稿。
5. 按形体分析方法、工艺分析方法画出组成被测件的全部几何形体的定形和定位尺寸界线和尺寸线。
6. 测量尺寸，并标注在草图上
7. 确定公差配合及表面粗糙度等级（该项内容也可以在绘制装配图时进行）。
8. 填写标题栏和技术要求。
9. 画剖面线。
10. 徒手描深，描深时铅笔的硬度为 HB 或 B，削成锥形。

由草图的绘制过程和草图上的内容不难看出草图和零件图的要求完全相同，区别仅在于草图是目测比例和徒手绘制。值得提出的是：草图并不潦草，草图上线型之间的比例关系、尺寸标注和字体等均按机械制图国家标准规定执行。

第二节 一般零件的测绘方法

为了图示表达方便，通常将一般零件分为轴套类零件、轮盘类零件、叉架类零件和箱体类零件。

一、轴套类零件

(一) 轴套类零件视图的表达应注意如下几点

1. 轴套类零件主要是回转体，常用一个视图表达，轴线水平放置，并且将小头放在左边，便于看图，如图 3—5 所示。

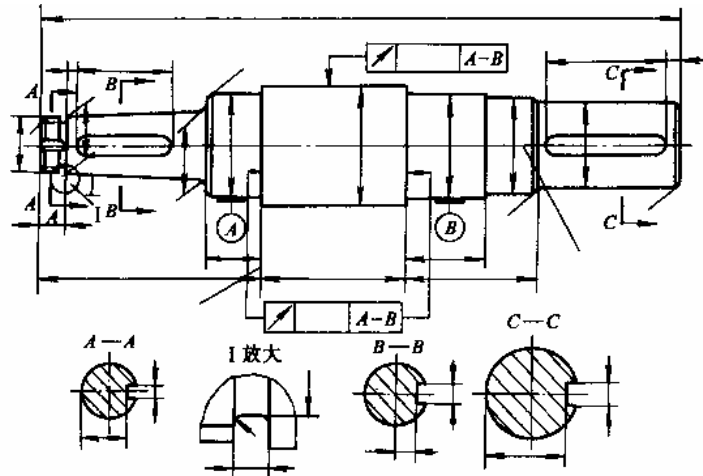


图 3—5 轴类零件的表达

2. 轴上的键槽应朝前画出。
3. 画出有关剖面图和局部放大图。
4. 对实心轴上的局部结构常用局部剖视表达。
5. 对外形简单的套类零件常采用全剖视，如图 3—6 所示。

(二) 轴套类零件的尺寸注法要注意以下几点

1. 长度方向的主要基准是安装的主要端面（轴肩），轴的两端一般是作为测量的基准，以轴线或两支承点的连线作为径向基准。

2. 主要尺寸应首先注出，其余各段长度尺寸多按车削加工顺序注出，轴上的局部结构，多数是就近轴肩定位。

3. 为了使标注的尺寸清晰，便于看图，宜将剖视图上的内、外尺寸分开标注，将车、铣、钻等不同工序的尺寸分开标注。

4. 对轴上的倒棱、倒角、退刀槽、砂轮越程槽、键槽和中心孔等结构，应查阅有关技术资料尺寸后再进行标注。

(三) 轴套类零件的材料和技术要求

1. 材料

(1) 一般传动轴多用 35 或 45 钢，调质到 230~260HBS。强度要求高的轴，可用 40Cr 钢，调质硬度达到 230~240HBS 或淬硬到 35~42HRC。在滑动轴承中运转的轴，可用 15 钢或 20Cr 钢，渗碳淬火硬度达到 56~62HRC，也可用 45 钢表面高频淬火。

(2) 不经最后热处理而获得高硬度的丝杠，一般可用抗拉强度不低于 $600\text{N}/\text{mm}^2$ 的中碳钢制造。如加入 0.15%~0.5% 铅的 45 钢。含硫量较高的冷拉自动机钢、45 和 50 中碳钢。精密机床的丝杠可用碳素工具钢 T10、T12 制造。经最后热处理而获得高硬度的丝杠，用 CrWMn 或 CrMn 钢制造时，可保证得到硬度 50~56HRC。

(3) 精度为 0、1、2 级的螺母可用锡青铜，3、4 级螺母可用耐磨铸铁。

2. 技术要求

(1) 配合表面公差等级较高，公差值较小，表面粗糙度数值 $Ra=0.63\sim 2.5\mu\text{m}$ 。非配合表面公差等级较低，不标注公差值，表面粗糙度数值 $Ra=10\sim 20\mu\text{m}$ 。

(2) 配合表面和安装端面应标注形位公差，常用径向圆跳动、全跳动、端面圆跳动等

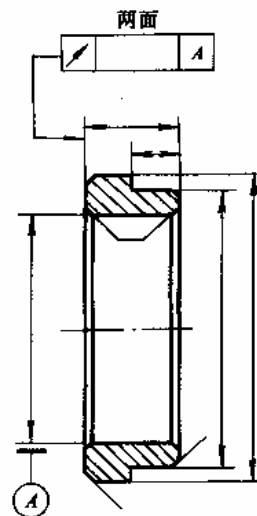


图 3—6 套类零件的表达

标注。对轴上的键槽等结构应标注对称度、平行度等形位公差。

(3) 对于花键轴和花键套、丝杠和螺母的技术要求，应查阅有关技术标准资料后进行标注。

(四) 轴套类零件测绘时的注意事项

1. 必须了解清楚该轴、套的用途及各个构成部分的作用，如转速大小、载荷特征、精度要求、相配合零件的作用等。

2. 必须了解该轴、套在部件中的安装位置所构成的尺寸链。

3. 测绘时在草图上详细注明各种配合要求或公差数值、表面粗糙度材料和热处理以及其它技术条件。

4. 测量零件各部分的尺寸是测绘工作的重要环节，应当注意以下几点：

(1) 测量轴、套的某一尺寸时，必须同时测量配合零件的相应尺寸。

(2) 测量轴的外径时，要选择适当部位，应尽可能测量磨损小的地方，对其相配孔径要仔细检查圆度、圆柱度等是否超过允差。

(3) 如轴上有锥体，应测量并计算锥度，看是否合乎标准锥度，如不合乎，应重新检查测量，并分析原因。

(4) 带有螺纹的轴要注意测量螺距，正确判定螺纹旋向、牙型、线数等，并加以注明，尤其是锯齿形螺纹的方向更应注意。

(5) 曲轴及偏心轴应注意偏心方向和偏心距。

(6) 花键轴要注意其定心方式及花键齿数。

(7) 长度尺寸链的尺寸测量，要根据配合关系，正确选择基准面，尽量避免分段测量和尺寸换算（分段测量可作为尺寸校核时参考）。

5. 需要修理的轴应当注意零件工艺基准是否完好（中心孔是否存留和完好，空心“堵头”是否切去）及零件热处理情况，以作为修理工艺的依据。

6. 细长轴（丝杠、光杆）应妥当放置，防止测绘时变形。

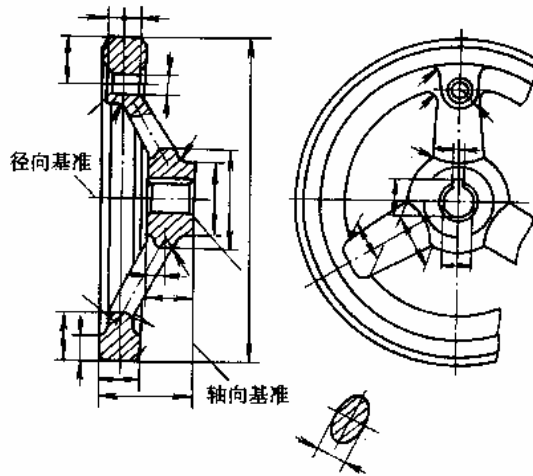


图 3—7 轮类零件的表达

二、轮盘类零件

(一) 轮盘类零件的视图表达

1. 轮盘类零件有手轮（参看图 3—7）、带轮、飞轮、端盖和盘座（参看图 3—8）等。这类零件一般在车床上加工，将其主要轴线水平放置。

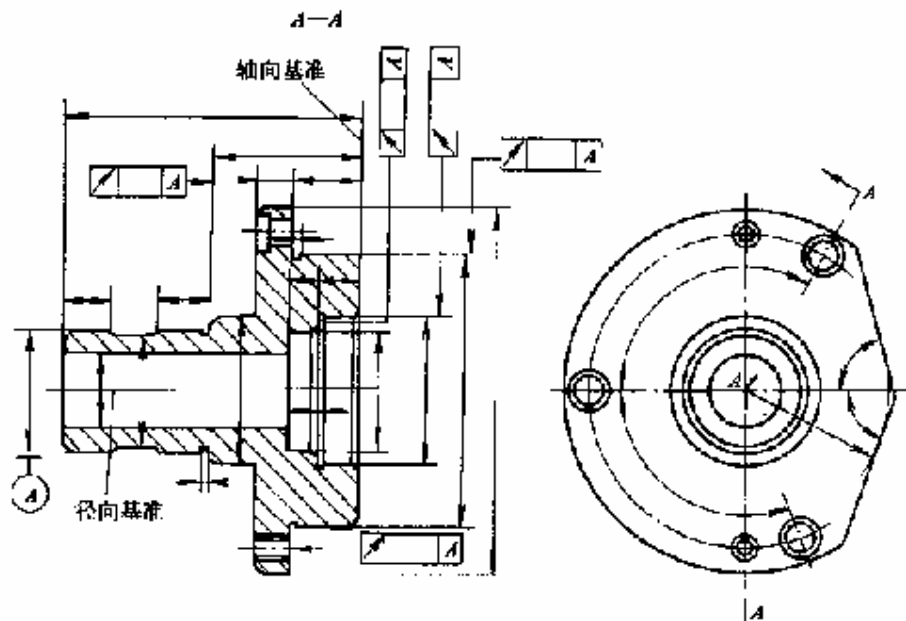


图 3-8 盘类零件表达

2. 常用两个视图表达。
3. 非圆视图多采用剖视的形式。
4. 某些细小结构采用剖面或局部剖面图。

(二) 轮盘类零件的尺寸注法

1. 以主要回转轴线作为径向基准，以要求切削加工的大端面或安装的定位端面作为轴向基准。
2. 内外结构尺寸分开并集中在非圆视图中注出。
3. 在圆视图上标注键槽尺寸和分布的各孔以及轮辐等尺寸。
4. 某些细小结构的尺寸，多集中在剖面图上标注出。

(三) 轮盘类零件的技术要求

轮盘类零件的技术要求与轴套类零件的技术要求大致相同。

三、叉架类与箱体类零件

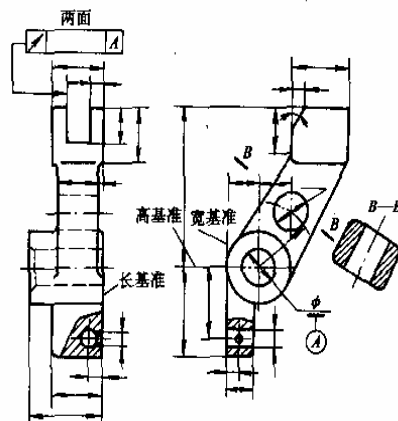
叉架类零件与箱体类零件用途不同形状差异悬殊，虽然所用的视图数量不同，但表达方法却很接近。

(一) 叉架类零件与箱体类零件的表达方法

1. 视图数量较多，一般都在三个以上，应用哪些视图要具体分析。
2. 常配备局部视图、剖面图。
3. 常出现斜视图、斜剖面图。
4. 各种剖视图应用得比较灵活，例如如图 3-9 用了两个基本视图和一个斜剖面图。

(二) 叉架类与箱体类零件的尺寸注法

1. 各方向以主要孔的轴线、主要安装面、对称平面作为尺寸基准。
2. 主要孔距等重要尺寸应首先标注。



3. 再按形体分析方法逐个标出组成该零件各几何体的定形尺寸和定位尺寸。
4. 标注尺寸时，应反映出零件的毛坯及其机械加工方法等特点。
- 5 有目的地将尺寸分散标注在各视图、剖视图、剖面图上，防止在一个视图上尺寸过分集中。
6. 相关联的零件的有关结构尺寸注法应尽量相同，这样看图方便，少出差错。如与图3—10所示的相配零件，其联接边缘尺寸 292mm×136 mm，孔径尺寸 $\phi 72H7$ ，螺孔定位尺寸 95、212、110 mm，锥销孔 $\phi 8$ mm 配作及定位尺寸等标注方法应完全相同。为了加速测量尺寸的进程，相关联的基本尺寸只测量一件，分别标注在有关的零件图上。

（三）叉架类与箱体类零件的技术要求

1. 一般用途的叉架零件尺寸精度、表面粗糙度、形位公差无特殊要求。
2. 多孔的支架和箱体类零件以主要轴线和主要安装面、对称平面作为定位尺寸的基准。
3. 孔间距、重要孔的尺寸公差等级和表面质量要求较高。
4. 有孔间距和孔间平行度、垂直度公差，有孔到安装面的尺寸公差和位置公差。

（四）叉架类与箱体类零件在测绘中的注意事项

1. 叉架类或箱体类零件壁厚各部加强肋的尺寸位置都应注明。
2. 润滑油孔、油标位置、油槽通路及放油口等要表达清楚。
3. 测绘时要特别注意螺孔是否是通孔，因为要考虑有润滑油的箱体类零件的漏油问题。
4. 因为铸件受内部应力或外力影响，常产生变形，所以测绘时应当尽可能将与该铸件箱体有关的零件尺寸也进行测量，以便运用装配尺寸链及传动链尺寸校对箱体尺寸。

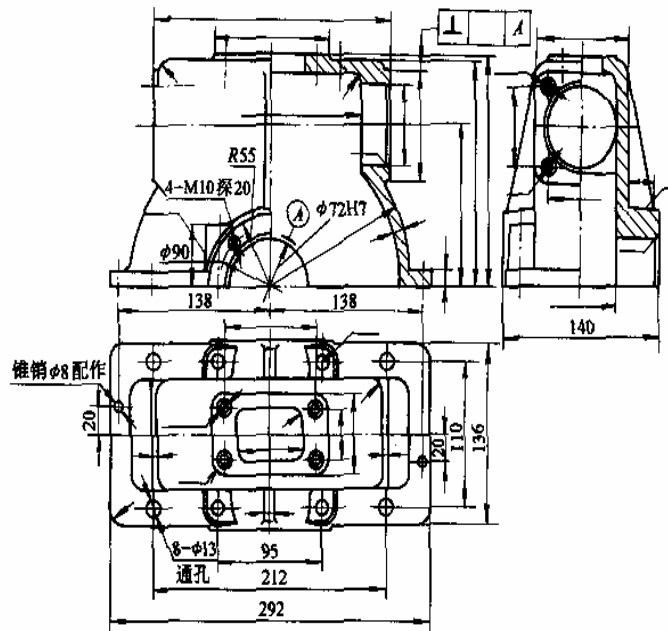


图 3—10 相关零件尺寸注法

四、曲面类零件

（一）分析曲面的性质

曲面类零件的形状比较复杂，其图形的绘制和尺寸的标注都有其独特的地方。曲面的性质、作用和加工方法，三者虽然不是一回事，但这三方面的内容均在曲面零件表面上综合

反映出来。因此，在测绘之前应分析曲面的性质、弄清其用途、观察出加工方法，这样方便测绘、便于画图。

(二) 曲面测绘的基本方法

虽然各种曲面的性质不同，其形状也各有差异，但其测绘的基本方法是相同的。就是将空间曲面变成成为平面曲线，测出曲线上一系列的点（或圆弧的圆心）的坐标，然后将各点的坐标绘制在白纸上，最后用曲线光滑连接各点，便完成了曲面的测绘工作。

(三) 曲面测绘的一般方法

曲面测绘的一般方法很多，常用的有如下几种方法：

1. 拓印法 拓印法适用于平面曲线，它是将被测部位涂上红印泥或紫色印泥，将曲线拓印在白纸上，然后在纸上求出曲线的规律，图 3—11 所示为拓印法求出的被测部位。

2. 直角坐标法 这种方法是将被测表面上曲线部分平放在白纸上，用铅笔描出轮廓，然后逐点求出点的坐标或曲线半径及圆心，

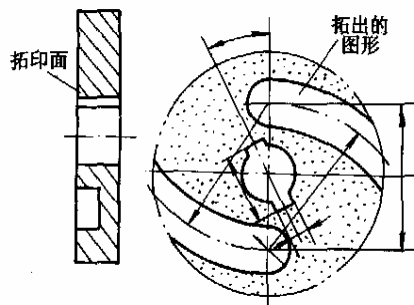


图 3—11 拓印法

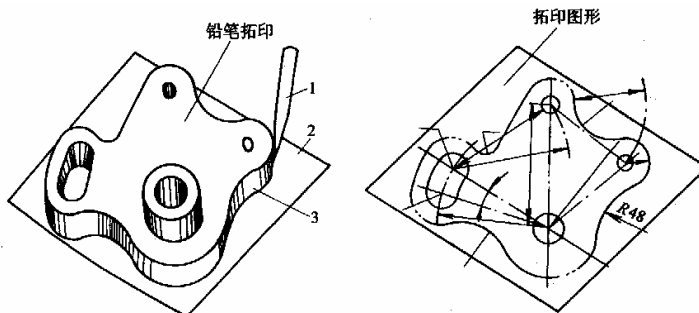


图 3—12 铅笔拓印

1—铅笔 2—白纸 3—被测部位

图 3—12 所示为铅笔拓印出的被测部位。如果曲线不容易在纸上描出，也可使用薄木板和做衣服的大号针代替，将针穿过木板，使针尖与被测表面接触，然后将各针尖的坐标测出即可，如图 3—13 所示。

3. 铅丝法 对于铸件、锻件等未经机械加工的曲面或精度要求不高的曲面，可将铅丝紧贴在被测件的曲面上。经弯曲或轻轻压合，使铅丝与被测曲线完全贴合后，轻轻地（保持形状不变）取出并将其平放在纸上，用铅笔把形状描出，然后在纸上求出被测曲面的规律，如图 3—14 所示。

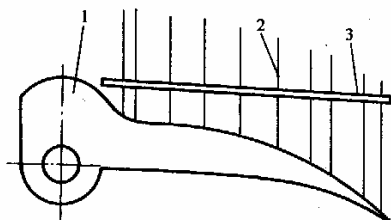


图 3—13 木板、钢针测曲面示意图

1—被测件 2—钢针 3—木板

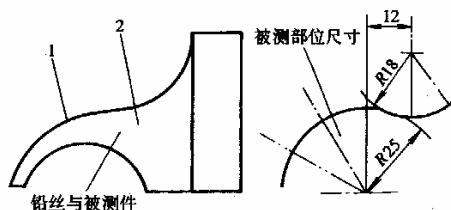


图 3—14 铅丝法

1—铅丝 2—被测件

4. 极坐标法 将被测件固定在分度头上，使分度头每转过一定角度时，便测出一个相

应的径向尺寸（参看图 3—15a），当分度头转一圈时，便测出一系列的转角与径向尺寸。将转角与径向尺寸绘出坐标曲线（参看图 3—15b），再根据坐标曲线绘制出被测件的曲线极坐标

点，逐点光滑连接，即为被测曲面轮廓图形。

5. 取印法 这种方法是利用石膏、石蜡、橡胶、打样膏取型。石膏、石蜡、打样膏等主要用在容易分离和易取型的场合，在不易分离或不易取型的场合，应用橡胶取型比较合适，橡胶弥补了石蜡、石膏模强度低、脆性大、取型易破碎等不足。

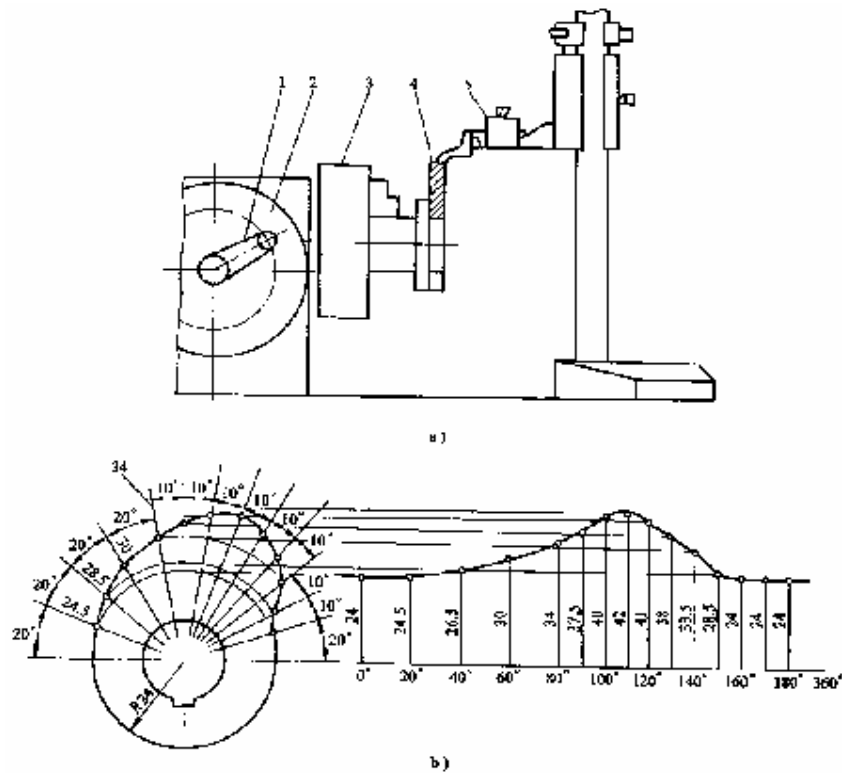


图 3—15 平面凸轮测绘示例

a) 测转角及径向尺寸 b) 直角坐标与极坐标图

1—分度手柄 2—分度头 3—卡盘 4—被测件 5—高度游标尺

五、零件测绘时应考虑的零件结构工艺性

零件的形状是结构设计的需要和加工工艺可能性的综合体现，零件的加工工艺性，包括铸造、锻造和机械加工对零件形状的影响，因此进行零件测绘时，应考虑零件的结构工艺性。

（一）铸造工艺对零件结构的影响

1. 铸造圆角 为了避免落砂和铸件冷却发生裂纹、缩孔等，在铸件的转角处制成圆角，外部圆角较大 ($R=a$)，内部圆角较小， $[R_1=(1/5\sim 1/3)a]$ ，(a 为壁厚)，如图 3—16 所示。

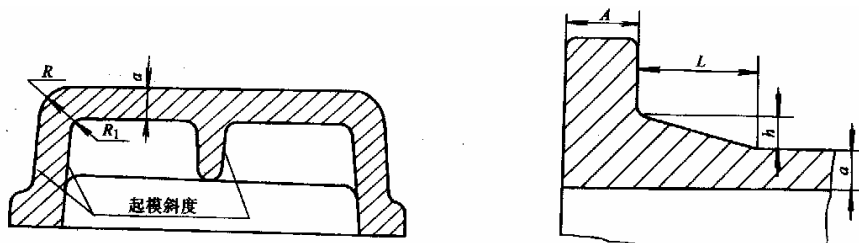


图 3—16 圆角、起模斜度与壁厚

2. **起模斜度** 为起模方便，铸件的内外壁沿起模方向有起模斜度。零件上的起模斜度大小不同，较小的起模斜度图上可以不画，较大的起模斜度应按几何形体画出（参看图 3—17）。

3. **壁厚均匀** 为保证铸件各处冷却速度相同（同时凝固成型），避免先后凝固不一，使后凝固部分金属缺欠而产生裂纹或缩孔，因而铸件的壁厚应是均匀等壁厚或尺寸相差不大（在 20%~25%之内）。当壁厚不同时，应逐步过渡，如图 3—17 所示（ $h=A-a$ ， $h/L < 1/4$ ），内部壁厚应小于外部壁厚（参看图 3—16）。

4. **为清砂方便使铸件内腔与外部相通** 图 3—18 为气体压缩机缸体的立体图，为了清砂方便，零件的上下左右都设计有通孔，可直接从外部清砂。

图 3—17 壁厚的过渡

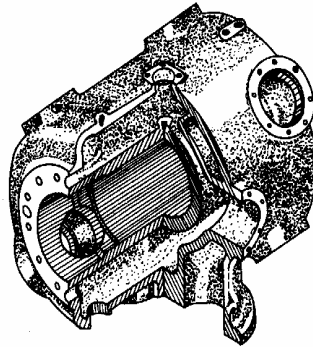


图 3—18 气体压缩机缸

（二）机械加工对零件结构的影响

1. 为减少机械加工工作量，便于装配，应尽量减少加工面和接触面，如图 3—19 所示。

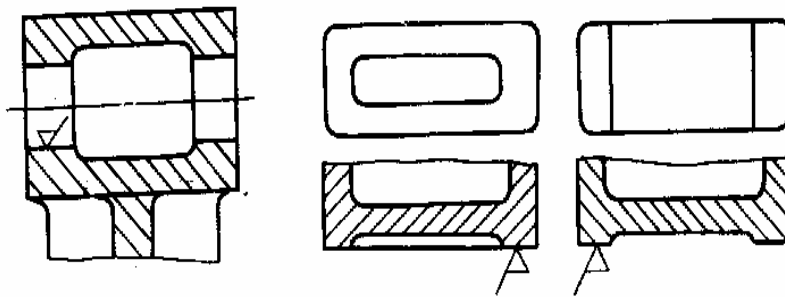


图 3—19 减少内孔、平面加工量

2. 为了加工工艺和装配的需要，零件上常设计有倒角、圆角、退刀槽与砂轮越程槽，参看图 3—20。

3. 结构应合理，图 3—21 所示的结构，是为防止钻头歪斜和折断，特意设计的凸台，使孔的端面垂直孔的轴线。

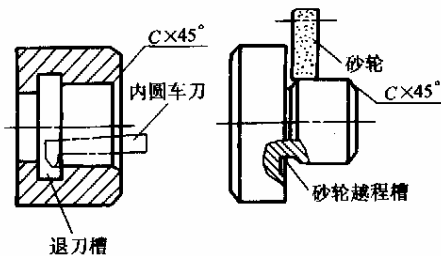


图 3—20 倒角、退刀槽与砂轮越程槽

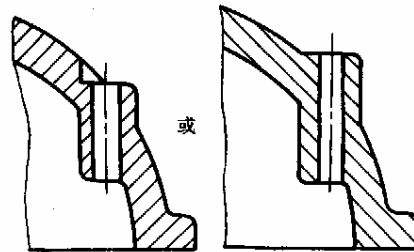


图 3—21 钻孔处的结构

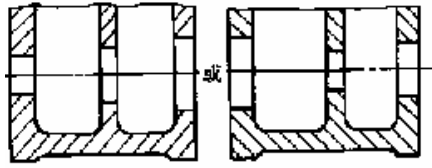


图 3—22 同一轴线上的孔

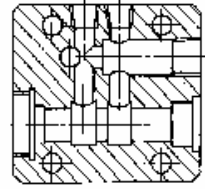


图 3—23 液压件上的孔

4. 为便于加工, 当同一轴线上有多个孔径时, 内部孔径尺寸应小, 外部孔径尺寸应大, 如图 3—22 所示。

5. 液压件的孔道联通与转折比较复杂, 测绘时应特别注意, 参看图 3—23。

6. 因加工误差的存在, 实际上一个方向上两零件只有一个接触面 (这在所测的结构上已经体现出来), 测绘时应特别注意区分接触面与非接触面, 图 3—24 上所标圆点为接触面。

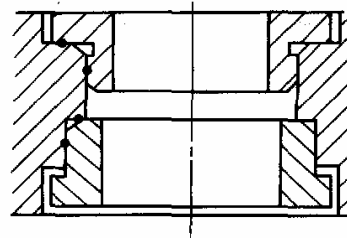


图 3—24 零件上的接触面

另外, 一个装配轴线上常出现一个调整环, 其尺寸是配作的, 也应该注意找出来, 并在有关图样上予以说明。

第三节 标准件和标准部件的处理方法

标准件和标准部件的结构、尺寸、规格等全部是标准化了的, 测绘时不需画图, 只要将其规定的代号确定出即可。

一、标准件在测绘中的处理方法

螺柱、螺母、垫圈、挡圈、键和销, V 带、链和轴承等, 它们的结构形状、尺寸规格都已经标准化了, 并由专门工厂生产, 因此测绘时对标准件不需要绘制草图, 只要将它们的主要尺寸测量出来, 查阅有关设计手册, 就能确定它们的规格、代号、标注方法和材料重量等, 然后将其填入到各部件的标准件明细表中即可。标准件明细表的格式可参考表 3—1。

对于整套机械设备的测绘, 应将所属部件明细表汇总成总标准件明细表。总标准件明细表的格式、内容与表 3—1 相同。

表 3—1 XX 部件标准件明细表

序 号	名 称	材 料	数 量	单 重	总 重	标 准 号

二、标准部件在测绘中的处理方法

标准部件包括各种联轴器、滚动轴承、减速器、制动器等。测绘时对它们的处理方法与标准件处理方法类同。

对标准部件同样也不绘制草图, 只要将它们的外形尺寸、安装尺寸、特性尺寸等测出

后，查阅有关标准部件手册，确定出标准部件的型号、代号等，然后将它们汇总后填入标准部件明细表中。标准部件明细表见表 3—2。

表 3—2 XX 标准部件明细表

序 号	名 称	规格、性能	数 量	重 量	标准代号

第四节 圆柱齿轮的测绘

一、齿轮测绘概述

根据齿轮及齿轮副实物，用必要的量具、仪器和设备等进行技术测量，并经过分析计算确定出齿轮的基本参数及有关工艺等，最终绘制出齿轮的零件工作图，这个过程称之为齿轮测绘。从某种意义上讲，齿轮测绘工作是齿轮设计工作的再现。

齿轮测绘有纯测绘和修理测绘之分。凡为制造设备样机而需进行的测绘称为纯测绘；凡齿轮失去使用能力，为配换、更新齿轮所进行的测绘称修理测绘。设备修理时，齿轮的测绘是经常遇到的一项比较复杂的工作。要在没有或缺少技术资料的情况下，根据齿轮实物而且往往是已经损坏了的实物测量出部分数据，然后根据这些数据推算出原设计参数，确定制造时所需的尺寸，画出齿轮工作图。由于目前所使用的机械设备不能完全统一，有国产的也有从国外进口的，就进口设备而言在时间上也有早有晚，这就造成了标准不统一，因而给齿轮测绘工作带来许多困难。为使整个测绘工作进行，并得到正确的结果，齿轮的测绘一般可按如下几个步骤进行：

1. 了解被修设备的名称、型号、生产国、出厂日期和生产厂家。由于世界各国对齿轮的标准制度不尽相同，即使是同一个国家，由于生产年代的不同或生产厂家的不同，所生产的齿轮其各参数也不相同。这就需要在齿轮测绘前首先了解该设备的生产国家、出厂日期和生产厂家，以获得准确的齿轮参数。

2. 初步判定齿轮类别。知道了齿轮的生产国家即获得了一定的齿轮参数，如齿形角、齿顶高系数、顶隙系数等。除此以外，还需判别齿轮是否是标准齿轮、变位齿轮，或者是非标准齿轮。

3. 查找与主要几何要素（ m 、 α 、 z 、 β 、 x ）有关的资料。翻阅传动部件图、零件明细表以及零件工作图，若已修理配换过，还应查对修理报告等，这样可简化和加快测绘工作的进程，并可提高测绘的准确性。

4. 作被测齿轮精度等级、材料和热处理鉴定。

5. 分析被测齿轮的失效原因。分析齿轮的失效原因，这在齿轮测绘中是一项十分重要的工作。由于齿轮的失效形式不同，知道了齿轮的失效原因不但会使齿轮的测绘结果准确无误，而且还会对新制齿轮提出必要的技术要求，使之延长使用寿命。

6. 测绘、推算齿轮参数及画齿轮工作图。

二、直齿圆柱齿轮的测绘

（一）几何尺寸参数的测量

测绘渐开线直齿圆柱齿轮的主要任务是确定基本参数 m （或 P ）、 α 、 z 、 ha^* 、 c^* 、 x 。

为此,需对被测绘的齿轮作一些几何尺寸参数的测量。

1. 公法线长度 W 的测量 测量公法线长度的目的在于推算出基圆齿距 P_b , 进而判断被测齿轮是模数制, 还是径节制, 并确定其模数 m (或径节 P) 和齿形角 α 的大小。对于变位齿轮, 通过测量公法线长度还可以较方便地确定变位系数 x 。

测量公法线长度最常用的量器具有公法线千分尺及公法线测齿仪(若采用齿轮基节仪直接测出基节尺寸, 则不必另测公法线长度)。

为使测量准确, 除应正确选择跨齿数 k , 使量具的测量平面与分度圆附近的齿廓相切(参看图 3—25)外, 最好将大小齿轮

(指一对啮合齿轮)各测数次, 取其中出现次数最多的数值。一般说来, 大齿轮磨损较少, 所得数值较为精确。这里值得提出的是, 若对被测齿轮不能判明齿形角“ α ”值时, 应该利用基节仪直接测出基节尺寸, 或者先测出齿形角“ α ”值, 然后再测量公法线长度。

测量公法线长度时, 所跨齿数 k 可以通过计算或查表得到。计算方法如下式:

$$k = \frac{\alpha}{180^\circ} z + 0.5$$

式中, k 为测量公法线长度时所跨齿数; α 为被测齿轮的齿形角; z 为被测齿轮的齿数。

当 $\alpha = 20^\circ$ 时, 则

$$k = \frac{z}{9} + 0.5$$

为保证齿轮传动正常运转所需的齿侧间隙, 公法线长度都有所减小, 加之使用过程中的齿面磨损, 因而公法线长度的测量值应将实测值加上一个补偿值, 其补偿值的大小主要考虑齿面磨损程度和原始侧隙确定, 一般情况, 可取 0.08—0.25mm, 大齿轮取小值, 小齿轮取大值。

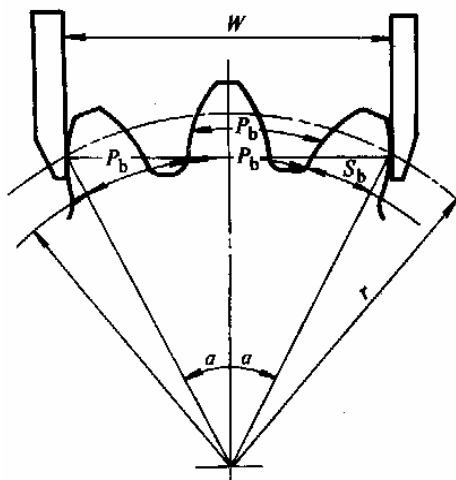


图 3—25 公法线长度的测量

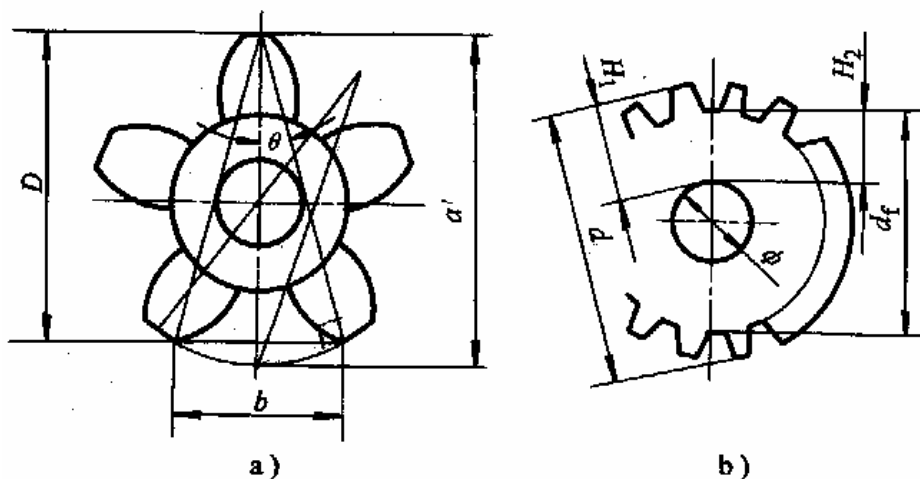


图 3—26 奇数齿 d 的测量

2. 齿顶圆直径 d_a 的测量 虽然齿顶圆制造误差较大,但其测量不受齿面磨损的影响,故其齿顶圆直径的实际尺寸对齿轮基本参数的计算和校验都很重要,因此要求尽量测得准确。

测量齿顶圆直径通常用精密游标卡尺或千分尺进行,测量时要求在不同的径向方位上测量几组数据,取其平均值。当齿数 z 为偶数时可直接测出;当齿数 z 为奇数时,则不能直接测量出,应进行间接测量并经必要的计算,如图 3—26 所示。

(1) 根据图 3—26 a 先测出 D 、 b , 然后经过计算得到所需尺寸 d_a 。

式中, D 为实测齿数齿顶圆直径; b 为相邻两齿的齿尖距。

(2) 当测绘有内孔的奇数齿齿轮时,根据图 3—26b, 测出孔壁到齿顶的距离 H_1 及齿轮内孔 ϕ 或相配轴的直径 d 后,可由下式计算出 d_a 。

$$d_a = d + 2 H_1$$

3. 啮合中心距 a' 的测量 被修理齿轮传动变位类型的判定,以及啮合参数的确定、校验都需要准确地测量出齿轮啮合中心距 a' 。最常用的简捷方法是测得齿轮副的最大外廓与最小外廓尺寸,然后再测量出相配轴的直径,通过换算求出中心距 a' ;也可以根据图 3—27 所示进行测算,其计算式为

$$a' = 0.5 (L_1 + L_2)$$

或

$$a' = L_3 + 0.5 (\phi_1 + \phi_2)$$

为提高测量的精度,需要注意下列三点:

(1) 直接测量孔距时,应事先检查两孔的形位公差(即圆度、锥度和平行度)。

(2) 用心轴检查测量中心距时,应检查心轴的圆度和锥度,并保证心轴与孔的配合间

$$\left. \begin{aligned} d_a &= \frac{D}{\cos^2 q} \\ q &= \arctan \frac{b}{2D} \end{aligned} \right\}$$

隙为最小。

(3) 应测量的数据需反复多次进行,然后取其平均值代入换算公式求 a' 。

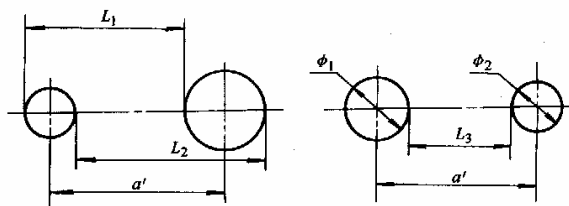


图 3—27 中心距的测量

当实际中心距测出后,一般可能有下列三种情况:

(1) 实测中心距 a' 等于计算中心距 a , 实测齿顶圆直径 d_a' 等于计算齿顶圆直径 d_a 时, 即

$$a = \frac{\pm z_1 + z_2}{2} m, \quad a = a'$$

$$d_a = (z \pm 2ha^*)m, \quad d_a = d_a'$$

式中,“+”表示外啮合传动齿轮;“—”表示内啮合传动齿轮。

这种情况说明该被测齿轮是标准齿轮，无需继续计算。

(2) 实测中心距 a' 等于计算中心距 a ，实测齿顶圆直径 d_a' 与计算齿顶圆直径 d_a 不相等时，即：

$$a = a' , \quad d_a \neq d_a'$$

这种情况说明该被测齿轮是高度变位齿轮，尚需继续计算。

① 实测齿顶圆直径 d_a' 计算变位系数 x

$$x_1 = 0.25 \left(\frac{d'_{a1} \mp d'_{a2}}{m} - 2z_1 \pm z_\Sigma \right)$$

式中， $z_\Sigma = z_1 + z_2$ ；“ \pm ”或“ \mp ”号，当采用上方符号时表示外啮合齿轮计算，当采用下方符号时表示内啮合齿轮计算。

$$x_2 = -x_1$$

② 计算齿顶圆直径 d_a 及公法线长 w_x

$$d_a = (z + 2h_a^* + x) m$$

$$w_x = w_k + 2x m \sin \alpha$$

式中， w_x 为被测变位齿轮的公法线长度； w_k 为非变位齿轮的公法线长度。

其中 w_k 可利用表 3—3 的简化公式计算。

(3) 实测中心距 a' 与计算中心距 a 不一致，实测齿顶圆直径 d_a' 等于计算齿顶圆直径 d_a 时，即：

$$a' \neq a, \quad d_a' = d_a$$

这种情况说明该被测齿轮是角度变位齿轮，应该继续计算。

表 3—3 公法线长度 w_x 简化计算公式

α	w_k	k (跨齿数)
20°	$m [2.952 (k - 0.5) + 0.014z]$	$0.111z + 0.5$
15°	$m [3.0345 (k - 0.5) + 0.00594z]$	$0.083z + 0.5$
14.5°	$m [3.0414 (k - 0.5) + 0.00537z]$	$0.08z + 0.5$

4. 固定弦齿厚 S_c 的测量 测量固定弦齿厚 S_c 可检定齿面磨损是否超限，还可以确定被测齿轮的模数、齿形角和变位系数。

对于外齿轮或大直径的内齿轮， S_c 可用齿厚卡尺进行测量。图 3—28 所示是用齿厚卡尺测量外齿轮固定弦齿厚的情形。内齿轮固定弦齿厚的测量方法与外齿轮固定弦齿厚的测量方

法基本相同，只是要注意其固定弦齿高 h_c 需要有一个增量值 Δh_c ，如图 3—29 所示。

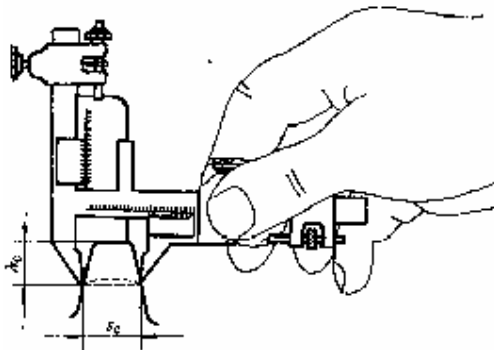


图 3—28 外齿轮固定弦齿厚的测量

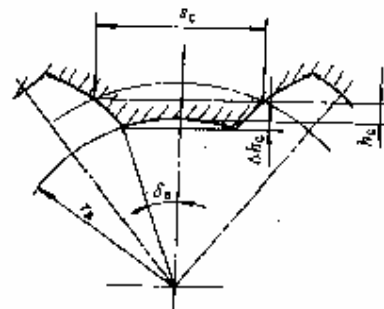


图 3—29 大直径内齿轮齿厚测量时固

(二) 直齿圆柱齿轮基本参数的测定

对于直齿圆柱齿轮，只要确定出模数 m (或径节 P)、齿形角 α 、齿数 z 、齿顶高系数 h_a^* 、齿顶间隙系数 c^* 和变位系数 x 等六个基本参数以后，齿轮的测绘问题便可以迎刃而解了。因此，研究 m 、 α 、 z 、 h_a^* 、 c^* 和 x 等六个基本参数的测定问题，便是整个齿轮测绘工作的中心内容。

1. 齿数 z 的确定 对于整圆齿轮，齿数 z 不需要计算，只要数出齿数即可。但是，对于非整圆的扇形齿轮，就需要进行计算。图 3—30 就是一个扇形齿轮，其齿数 z 可按下列方法计算：

- (1) 根据实物测量出跨 k 个齿距的弦长 L 及齿顶圆半径 r_a 。
- (2) 求出 k 个齿距的中心角 ψ ， ψ 角度按下式计算

$$\psi = \frac{\arcsin \frac{L}{r_a} \sqrt{4r_a^2 - L^2}}{2r_a}$$

当 $\psi > 90^\circ$ 时，用三角函数的诱导公式计算还原，即 $\sin(180^\circ - \psi) = \sin \psi$ 。

(3) 求出一整圈的齿数 Z ，齿数 Z 按下式计算：

$$z = \frac{360^\circ k}{\psi}$$

2. 齿顶高系数 h_a^* 及齿顶间隙系数 C^* 的确定 齿顶高系数 h_a^* 和齿顶间隙系数 C^* 取决于齿形制度，查明被测齿轮的生产国后一般可确定。必要时，要通过测量全齿高 h' 推算校验。

测量全齿高尺寸，可利用精密游标卡尺测量从齿轮的孔壁到齿顶的距离 H_1' 和到齿根的距离 H_2' ，如图 3—31 所示，其全齿高 h' 可按下式计算

$$h' = H_1' - H_2'$$

或者测量齿顶圆直径 d_a' 和齿根圆直径 d_f' 。这时，全齿高 h' 可按下式计算

$$h' = 0.5 (d_a' - d_f')$$

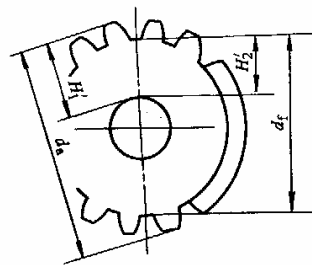
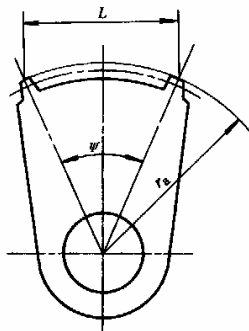
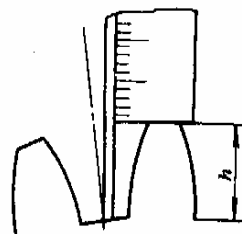


图 3—30 扇形齿轮齿数的计算
图 3—31 间接测量全齿高

另外，还可利用深度尺直接测量全齿高尺寸，如图 3—32 所示。这种方法测得的结果不够准确，只能作为参考。



齿顶高系数 h_a^* 可以根据测量的全齿高 h' 按下式计算
 式中的 C^* 可按有关资料的数值加以估计选择。如果求出的 h_a^* 为 1, 则齿轮为标准齿形;

$$h_a^* = \frac{h' - mc^*}{2m}$$

若 h_a^* 小于 1, 则齿轮为短齿形。

3. 模数 m (或径节 P) 和齿形角 α 的确定 齿轮测绘中的模数 m (或径节 P) 和齿形角 α 是互相关联的两个齿形要素, 因此在测绘中要同时加以考虑。各国所采用的模数 (或径节) 和齿形角不同。中国、苏联、日本、联邦德国、捷克、法国和瑞士等国多采用模数制, 而英、美等国则采用径节制。采用模数制的国家其齿形角 α 大多数为 20° , 而采用径节制的国家 (特别是英国和美国), 齿形角 α 多混合使用, 如 14.5° 、 16° 、 20° 、 22.5° 、 25° 等。

测定模数 (或径节) 和齿形角可采用的测量方法较多, 各种方法的特点及适用场合参见表 3—4。

生产实践中, 广泛采用表 3—4 中的 1、2、4 等三种方法:

(1) 测公法线长度法 分别跨测 k 、 $k-1$ 或 $k+1$ 个齿得公法线长度 w'_k 、 w'_{k-1} 、 w'_{k+1} (需考虑补偿值 $0.08 \sim 0.25\text{mm}$); 计算基圆齿距 $P_b = w'_k - w'_{k-1}$ 或 $P_b = w'_{k+1} - w'_k$ 。根据 $P_b = \pi m \cos \alpha$, 初步测定 m (或 P) 和 α , 用其它测定方法如齿形卡板法或标准齿轮滚刀对滚法校验确定 m (或 P) 和 α 。

表 3—4 模数 (或径节 P) 和齿形角 α 测定方法的特点及应用场合

序号	测定方法	特点及应用场合
1	测公法线长度法	测量方法简便, 不需要测量基准, 其测量精度不受齿顶圆制造精度的影响, 也不受变位系数大小的限制, 但受齿面磨损影响; 最适合齿面磨损较小齿轮的测绘
2	齿形卡板法	方法简单, 不需计算, 可得 m 、 α , 适用于齿面磨损较小, 塑性变形不大齿轮的测绘, 通常用作校验 m 、 α
3	标准齿轮滚刀对滚法	
4	测齿顶圆直径法	测量精度不受齿面磨损影响, 但由于齿顶圆加工误差较大, 若补加量确定不合适, 造成测绘误差较大, 扇形齿轮, 多齿严重打牙, 塑性变形大或特大尺寸的齿轮不宜采用
5	近似测量齿距 p 法	简单易行, 测绘精度不高, 只能近似测定 m 或 p , 不能测定 α , 适用于大尺寸齿轮的测绘
6	测固定弦齿厚法	测量方法简单, 但因旧齿轮固定弦位置难精确找到, 而影响测绘精度, 适用于齿宽较大的斜齿轮或公法线不宜测量的大齿轮

注: 方法 1、4、6 还可用来测变位系数。

(2) 齿形卡板法 同一个齿形角 α 而模数 m 不同的齿形卡板按基准齿形制造成一套, 如图 3—33 所示。当已知被测齿轮的生产国之后, 可用齿形卡板去卡被测齿轮的轮齿而得到模数 m 和齿形角 α 。

(3) 测齿顶圆直径法 测绘齿轮时, 要判定该齿轮是模数制还是径节制齿轮, 也可以通过已经测定的齿顶圆直径 $d a'$ 和齿数 z , 按啮合公式计算初定 m (或 P) 和 α 。

$$m = \frac{d a'}{Z + 2 h_a^*}$$

或

$$p = \frac{(z + 2ha^*) \times 25.4}{da'}$$

按啮合公式计算的结果，如果 m 值是标准值，则为模数制。如果 P 值是标准值，则为径节制。否则，这个齿轮可能是变位齿轮。

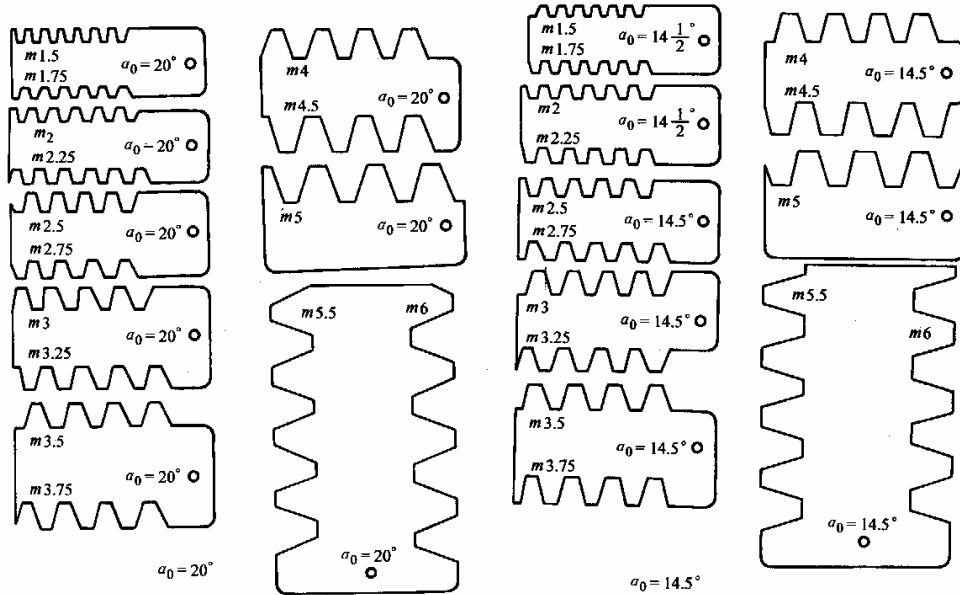


图 3—33 齿形卡板

4. 变位系数 x 及直齿圆柱齿轮传动类型的确定 测绘齿轮之初，被测齿轮是否经过变位修正，一般是不清楚的，对于变位齿轮需测定变位系数 x 之后才能进行几何尺寸计算，而变位系数 x 值与被测齿轮的传动类型有关，故需采用一定的方法正确判别，确定齿轮传动的类型及变位系数。

(1) 当被测齿轮的图样资料尚存时，可直接查得变位系数 x_1 和 x_2 ，然后由变位系数之和 x_Σ ，确定其传动类型。

$$x_\Sigma = x_1 + x_2$$

(2) 当被测齿轮副的变位系数未知，其公法线长度又难测出时，可采用测量固定弦齿厚的方法，由下式分别推算出两轮的变位系数 x_1 和 x_2 ，然后再判断其传动类型。

$$x = \frac{\overline{s_c} - 0.5pm \cos^2 a}{2m \cos^2 atga}$$

(三) 画齿轮工作图

有关的齿轮测绘工作完成后，需绘制正规的齿轮工作图。绘制齿轮工作图应注意以下几点：

1. 画齿轮工作图所用的参数应该是通过最后计算得到的所有参数，不能简单地使用实测数据，有些参数的计算结果需要圆整到标准值。

2. 齿轮的精度等级可按有关资料选定。对于各公差组的精度选择，可以根据该齿轮具体工作条件性能确定。

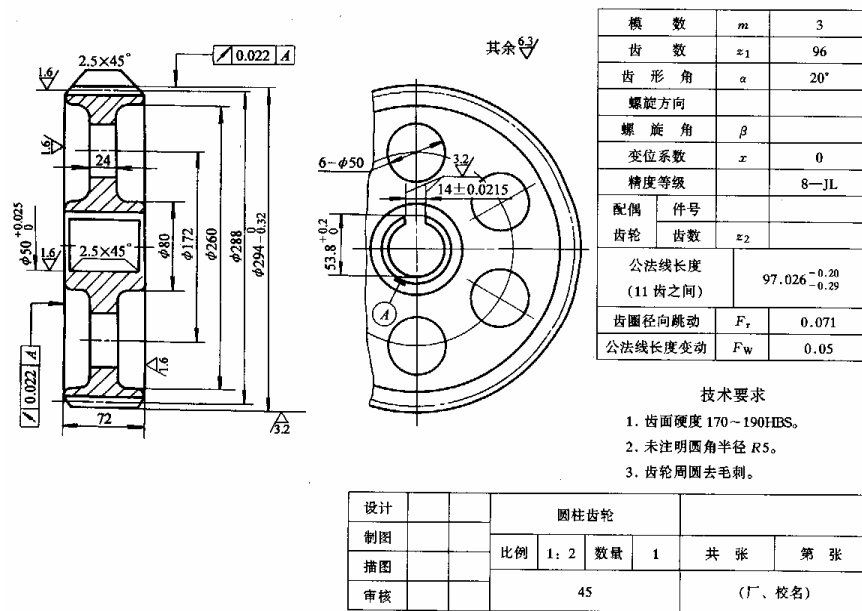


图 3—34 直齿圆柱齿轮工作图

3. 齿轮工作图上的形位公差、尺寸公差及表面粗糙度，可以采取类比法根据公差与配合的有关标准给出。

4. 齿轮工作图上的技术条件，一般需给出齿轮或齿面热处理情况及齿面硬度等。图 3—34 所示是直齿圆柱齿轮的工作图。

(四) 直齿圆柱齿轮测绘的主要程序

综上所述，测绘直齿圆柱齿轮的主要程序参见图 3—35。

三、斜齿圆柱齿轮的测绘

斜齿圆柱齿轮的基本参数与直齿圆柱齿轮比较，多了一个分度圆螺旋角 β ，而且 m 、 α 、 ha^* 、 c^* 、 x 有端、法面之分。

当斜齿圆柱齿轮的标准制度知道后，其 ha^* 、 c^* 一般是可以确定的。故斜齿圆柱齿轮的测绘任务主要是确定 m_n 、 α_n 、 x_n 及螺旋角 β 。

(一) 分度圆螺旋角 β 的测定

采用适当的方法准确地测出螺旋角 β 是斜齿圆柱齿轮测绘的关键，因为螺旋角 β 测绘不准确不但影响其它参数测绘的准确度，而且还影响修理齿轮传动的啮合性能。

测定斜齿圆柱齿轮分度圆螺旋角 β 的方法有滚印法、轴向齿距法、正弦尺法、中心距推算算法、精密测量法、模拟切齿法等，其中精密测量法、中心距推算算法及模拟切齿法应用较广泛，其余几种测量方法的测量精度不高，一般不采用，只是在需要初定螺旋角时用。

1. 精密测量法 可以采用精密仪器直接测量出螺旋角 β 的精确值。目前较常用的仪器有齿向仪、导程仪和螺旋角检查仪。当然也可以用万能工具显微镜或光学分度头等通用测量仪器来测量螺旋角 β 。对于螺旋角较小、精度低于 6 级的斜齿圆柱齿轮，可以用齿向仪测量螺旋角。对于高精度的斜齿圆柱齿轮应采用导程仪测量螺旋角。

2. 中心距推算法 此法适用于非变位或高度变位的斜齿圆柱齿轮传动。在法面模数 m_n

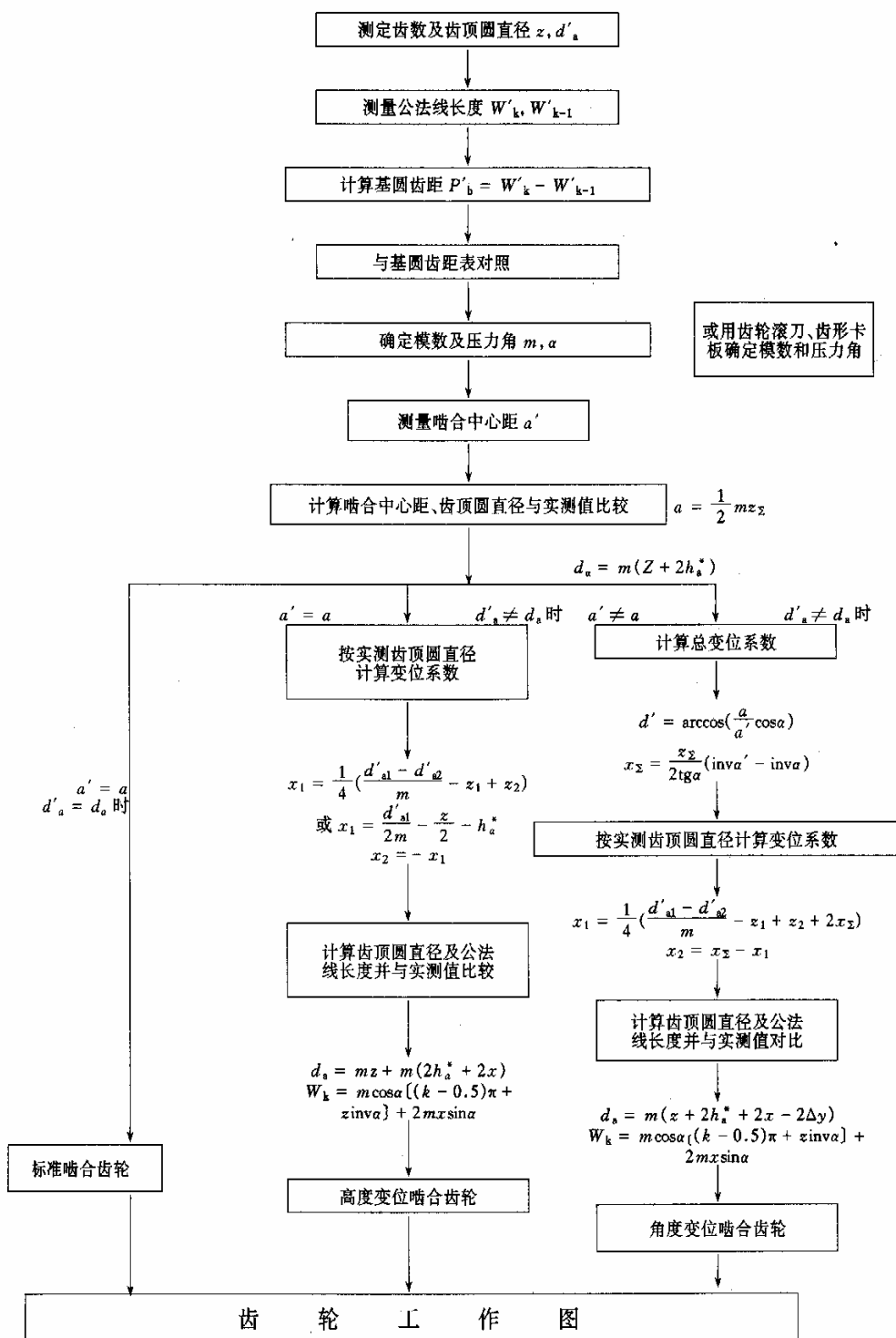


图 3—35 直齿圆柱齿轮测绘程序

确定之后，实测啮合中心距 a' ，由下式可推算出螺旋角 β

$$\cos \beta = \frac{m_n(z_1 + z_2)}{2a'}$$

测绘时，需要注意的是相啮合的两个齿轮的螺旋角必须成对考虑确定，使之满足正确啮合条件。

3. 模拟切齿法 模拟切齿法的测定工作是利用滚切斜齿圆柱齿轮的原理，在配有分度头的较新铣床或车床上，也可以在精度较高的滚齿机或螺纹加工机床上进行。其测定的步骤为：

- (1) 实测齿轮顶圆直径 da' ，并近似测出齿顶圆螺旋角 $\beta a'$ 。
- (2) 计算导程的近似值， $T' = \pi da' / \text{tg} \beta a'$ 。

(3) 根据 T' 选配交换齿轮，如图 3—36 所示，安装好被测斜齿圆柱齿轮，用千分表压在齿面上（千分表表头可压齿面的任意部位，尽管沿齿高各点齿面上的螺旋角不同，但导程都相同，不影响测量结果）和顶住安放在工作台侧面的量块（以控制铣床工作台移动的距离）。

测量时，转动手柄使工作台移动，并带动分度头使被测斜齿圆柱齿轮转动。若千分表的指针基本不动，则说明近似导程 T' 与切制轮齿时的实际导程完全一致。若千分表的指针摆动较大，表示 $\beta a'$ 有误差，造成导程误差 ΔT 。根据千分表指针摆动的读数 Δe ，可以求出近似导程 T' 与实际导程 T 的误差 ΔT ，其关系式如下（参见图 3—37）：

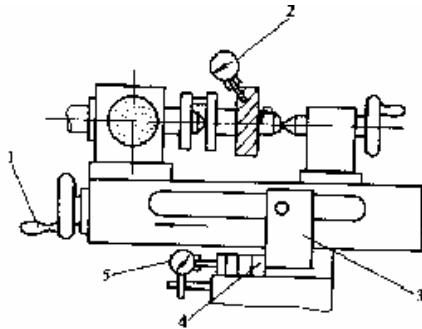


图 3—36 在铣床上测量螺旋角

1—手柄 2—千分表 3—挡块 4—量块 5—千分表

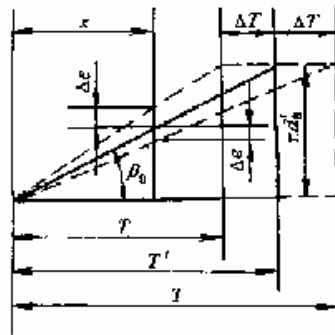


图 3—37 螺旋线展开图

$$\Delta T = \frac{T'^2 \Delta e}{pd'_a l - T' \Delta e}$$

式中， l 为工作台移动的距离； Δe 为千分表的读数。

实际导程 T 则为

$$T = T' \pm \Delta T$$

必须指出，实际导程比近似导程大（减表）， ΔT 应取正值，实际导程比近似导程小（加表）， ΔT 应取负值。

其实际齿顶圆螺旋角 β 则为

$$\text{tg} \beta_a = \frac{pd'_a}{T}$$

或

$$\text{ctg} \beta_a = \text{ctg} \beta'_a \pm \frac{\Delta T}{pd_a}$$

经过反复核准，即更换选配不同的交换齿轮，可以得到较准确的 β_a 。

(4) 根据 β_a 经换算得到分度圆螺旋角 β ，其计算式为

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{d}{d'_a} \operatorname{tg} \beta_a = \frac{pd}{T}$$

(二) 法面模数 m_n (或径节 P) 及法向齿形角 α_n 的确定

测定斜齿圆柱齿轮的 m_n (或 P) 和 α_n 的方法，与测定直齿圆柱齿轮的 m (或 P) 和 α 的方法基本相同，较广泛采用的是测公法线长度法 (但斜齿圆柱齿轮的齿宽 b ，必须满足条件 $b > W_n \sin \beta$ 才能使用，否则，应另用其它方法测定)，参见图 3—25，其步骤是：

1. 分别跨 k 、 $k-1$ (或 $k+1$) 个齿，实测出法面公法线长度 $W_{k'}$ 、 $W_{k-1'}$ 、(或 $W_{k+1'}$)。
2. 计算法面基圆齿距 P_{bn}' ：
 $P_{bn}' = W_{k'} - W_{k-1'}$ 或 $P_{bn}' = W_{k+1'} - W_{k'}$ 。
3. 查基圆齿距数值表，经分析初定 m_n (或 P) 和 α_n 。
4. 改用其它方法，校验初测值的准确性，并最后确定 m_n 及 α_n 。

第五节 圆锥齿轮的测绘

一、圆锥齿轮传动的类型

圆锥齿轮的轮齿分布在截锥体表面上，主要用于相交两轴间的运动和动力传递。其类型较多，因无统一分类方法，故名称叫法不尽相同，最为常见的分类方法是以齿线 (参见图 3—38) 和齿高 (参见图 3—39) 的形式进行分类。

二、圆锥齿轮测绘的特点

1. 机械设备中所用圆锥齿轮的类别和齿形，在我国处于多品种并存现状，其圆锥齿轮传动除极少数情况外，都为变位啮合传动。其常用的变位制主要是美国的格利森制、苏联的埃尼姆斯制及德国的克林贝格制等。因为圆锥齿轮传动是变位制，所以测绘的关键问题是辨别变位形式及齿形制。

2. 模数的准确测定较圆柱齿轮困难，因圆锥齿轮的模数只是作为初始参数用于轮齿的几何计算及机床的调整计算，经过切齿后，齿轮的实际模数有时与初始数据有所区别。另外，有些圆锥齿轮，特别是孤齿圆锥齿轮的大端模数不一定是整数，也不一定符合标准模数或径节系列，这就需要在测绘时，除准确测定一些必要尺寸参数进行计算外，还需要结合齿轮加工方法、生产厂家和分析原设计意图，方可较准确获得圆锥齿轮实物的原设计模数或径节。

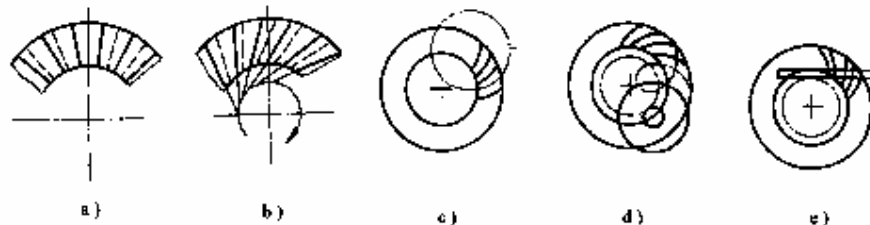


图 3—38 圆锥齿轮的齿线形式

a) 直齿 b) 斜齿 c) 弧线齿 d) 延伸外摆线 e) 准渐开线

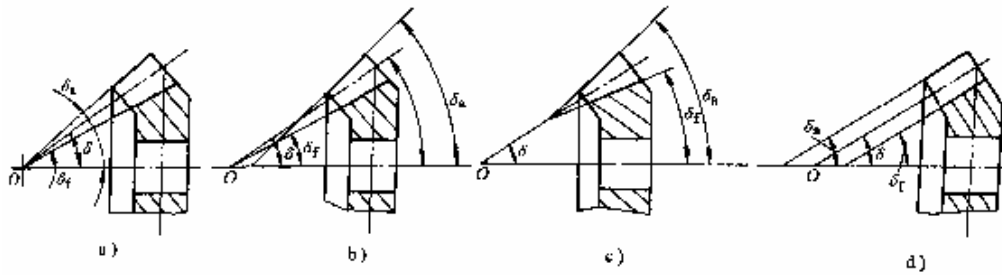


图 3—39 圆锥齿轮的齿高形式

a) 普通收缩齿 b) 等顶隙收缩齿 c) 双重收缩齿 d) 等高齿

3. 圆锥齿轮，尤其是弧齿圆锥齿轮本身无互换性，是成对设计制造和使用的，故对修理而言，成对更换的圆锥齿轮可以改制、改型进行配换设计计算。因此测绘时，需要测定的参数并不多，主要是模数和螺旋角。

三、测绘圆锥齿轮的一般程序和方法

测绘圆锥齿轮的一般程序和方法为：

1. 取得齿轮实物的原始数据，以简化测绘并提高测绘的准确性。此项工作主要是全面了解被测齿轮的来源，是原件还是配件；查明生产国甚至生产厂家及出厂日期；查阅说明书、传动系统及零件明细表等，寻找模数 m 、齿形角 α 、螺旋角 β 和轴交角 Σ 等有关要素。

2. 获得必要的齿轮实物印迹图。圆锥齿轮印迹图有两种，即齿廓印迹图和齿线印迹图，它们对齿形制判别及螺旋角测定起着重要的辅助作用。

齿廓印迹图，主要用作近似测定齿形角。其获得的方法是：在轮齿大端背锥上涂上红丹油，用较薄的白纸复盖，轻轻用手抚抹（最好向同一方向抹，以免使纸皱折），然后将纸展平，印下五个左右的齿的印迹即可。

齿线印迹图，主要用作近似测定螺旋角。其印迹的取得可以用上述方法，在顶锥上印下 60° 左右的印迹，或将顶锥面在纸上滚压（注意不要产生滑动），也可形成印迹。

需要注意的是，印迹的图形均与实物方向相反，如左、右旋向；凸、凹面等。在印迹图上应标明大、小齿轮的旋向及凸、凹面等，以防弄错。

3. 经多方分析，辨认齿形及传动类型，并根据需要测量有关尺寸要素，确定圆锥齿轮的基本参数。

4. 根据所测绘的圆锥齿轮传动的类型及变位制作相应的齿形参数与几何尺寸计算。

5. 确定齿轮的精度等级、使用材料和热处理规范。

6. 与齿轮实物逐项核对，校验测绘的准确性，最后绘制出齿轮工作图。

经核对，若与实物有较大差别，则应根据修理实际，考虑是否需要重新选择主要参数及系数，进行设计计算，以求尽量满足修理要求。

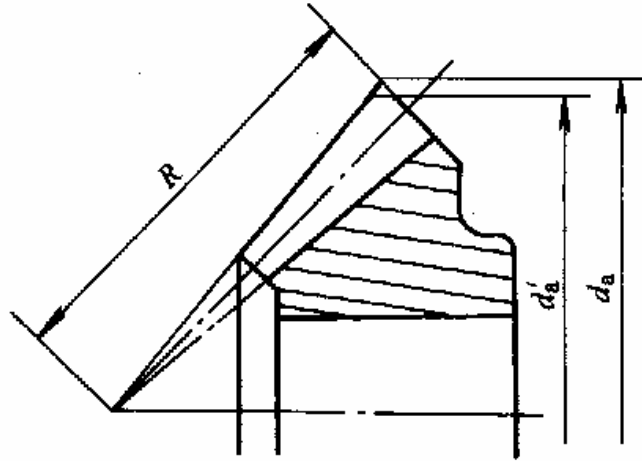


图 3-40 有倒角或倒圆的圆锥齿轮的 d_a 测量

四. 圆锥齿轮及其齿轮副几何尺寸和有关数据的测定

测绘圆锥齿轮时，需要测量的几何尺寸及数据有：齿数 Z 、轴交角 Σ 、齿顶圆直径（理论外径） d_a 、外锥距 R 、轮冠距 H_0 及齿厚等。

1. 齿数 z 与齿数比 μ z_1 、 z_2 一般可直接数得，若轮齿损坏严重或有一齿轮丢失，需作推算。齿数比 $\mu = z_2 / z_1$ 。

2. 轴交角 Σ 大多数情况为正交，即 $\Sigma = 90^\circ$ 。若非正交，则应在齿轮传动装置的支承孔内插入芯棒，再用量角器等测出 Σ 值。

3. 齿顶圆直径（理论外径） d_a d_a 的测量方法同圆柱齿轮。测量时，需考虑齿顶圆的加工误差、损坏程度而作适当的补偿。若被测齿轮有倒圆或倒角，则应制作样板，或用填料将倒角或倒圆补齐，以便测量，如图 3-40 所示。

4. 外锥距 R 当 $\Sigma = 90^\circ$ 时，在圆锥齿轮拆装前或复装后，直接从圆锥齿轮副上量出 $2R$ 值，如图 3-41a 所示。或者将被测齿轮副装在滚动检查仪上直接量得 $2R$ 值。

单个齿轮测量时，可用钢尺按图 3-41b 所示直接测出 R 值。若受齿轮结构限制，不能直接测出 R 值时，可按图 3-41c 所示间接测量求出 R 值。

$$R = \frac{R_0 d_a}{d_a - d_0}$$

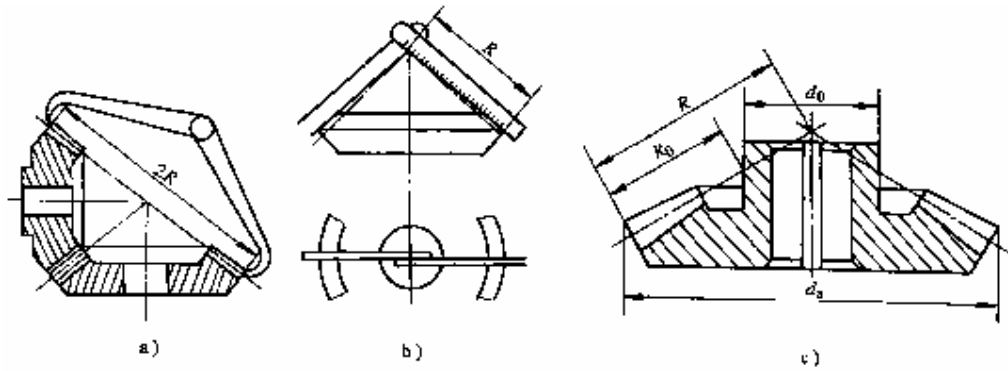


图 3—41 外锥距 R 的测量

5. 轮冠距（基冠距） H_0 与安装距 A 轮冠距 H_0 是控制轮坯精度的主要尺寸。其测量方法如图 3—42a 所示，将被测齿轮安放在平台上，用高度尺直接在 180° 对称位置上各量一次，取其平均值。若顶锥有倒角，可用填料补齐成尖角后再进行测量。

安装距 A_1 、 A_2 应尽可能测量准确，以保证修配的齿轮可以成对安装。安装距 A 常用的测量方法有两种：

①在滚动检查仪上测量，如图 3—42b 所示，安装距尺寸 A_1 、 A_2 直接从检查仪刻度尺上读出。

②在原传动装置壳体上测量，如图 3—42c 所示，先测出尺寸链中各个尺寸，然后进行计算，为使测量准确，可将零部件拆卸后再测量。

6. 齿厚 测量齿厚及其偏差，可检查旧齿轮齿面磨损的严重程度，检定新配齿轮副的侧隙大小。齿厚可用齿厚游标卡尺在齿宽中点分度圆处沿法向测量。

五、圆锥齿轮基本参数的确定

圆锥齿轮的基本参数指模数 m 、齿数 z 、齿形角 α 、螺旋角 β 、齿顶高系数 h_a^* 、齿顶高间隙系数 c^* 和变位系数 x 、 τ 等。其中 α 、 h_a^* 、 c^* 、 x 、 τ 主要根据被测齿轮的齿形制度和变位制查阅有关资料确定。当由齿形制度难判断 α 的具体值时，需用其它方法近似测出 α 值，作为齿形判别的参考值。模数 m 和螺旋角 β 是圆锥齿轮测绘时，应测定的重要参数。

（一）模数 m 的测定

圆锥齿轮的模数是计算圆锥齿轮几何尺寸的基础，一般以大端端面模数 m_t 作为基准。对于等高齿圆锥齿轮还有采用中点法向模数 m_n ，作为计算齿高、齿圈中点法向齿厚等尺寸参数的基准的。下面介绍直齿圆锥齿轮的大端模数 m 的测定方法。

直齿圆锥齿轮的大端模数大多数是符合标准系列的，其测定的方法较多，如成对测量外径推算法、测外推距推算法、测齿距弦长法、测全齿高推算法、测根径及根锥宽推算法等。

常用的三种方法有：

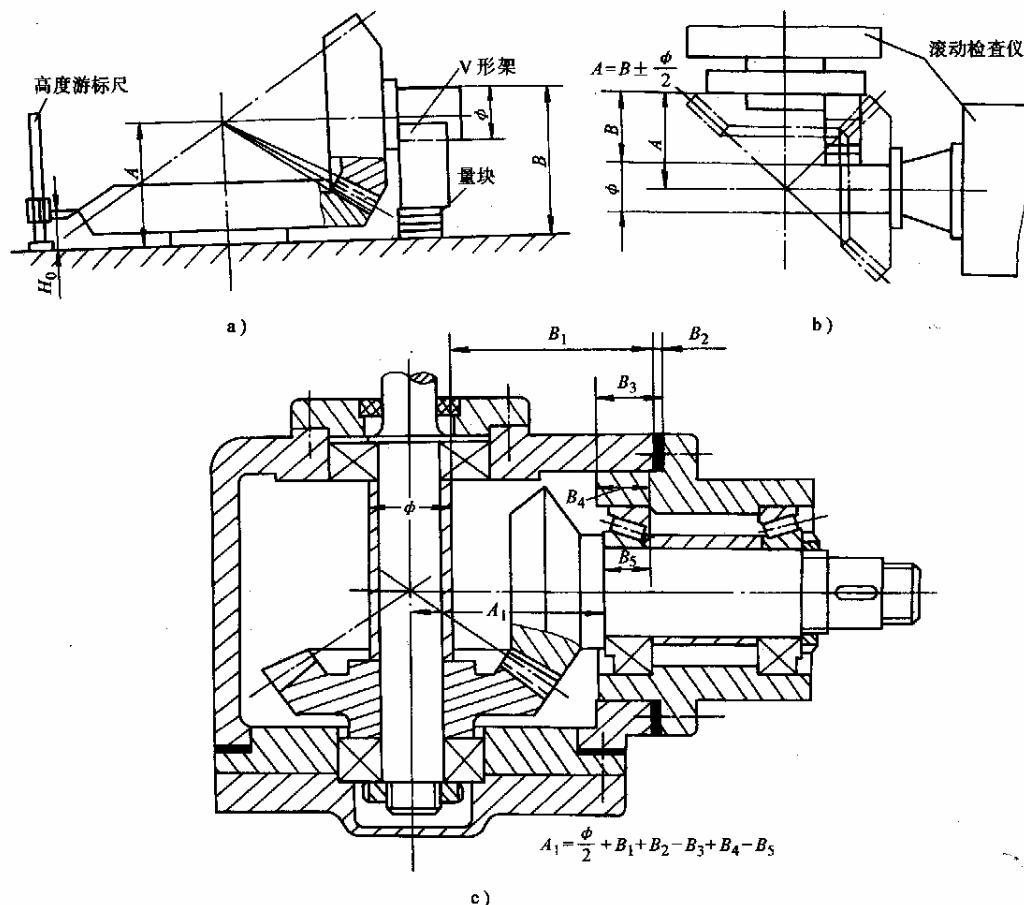


图 3—42 轮冠距与安装距的测量

a) 轮冠距 H_0 的测量 b) 用滚动检查仪测量安装距 A c) 在原传动装置上测量安装距 A

(1) 成对测量外径推算法 已知齿形制、齿数 z 、分锥角 δ ，其步骤是：

① 实测出齿轮的 d_{a1}' 和 d_{a2}'

② 分别计算两齿轮大端端面模数 m_{t1} 及 m_{t2} 。

$$\left. \begin{aligned} m_{t1} &= \frac{d'_{a1}}{z_1 + 2h_a^* \cos \delta_1} \\ m_{t2} &= \frac{d'_{a2}}{z_2 + 2h_a^* \cos \delta_2} \end{aligned} \right\}$$

③ 将求得的 m_{t1} 及 m_{t2} 与最接近的标准模数比较，经过圆整即为所求的模数 m_t 。

若为径节制，其径节 $P = 25.4 (z + 2h_a^* \cos \delta) / d_a'$ 。

(2) 测外锥距 R (分锥母线长) 推算法

$$m_t = 2R / z_g$$

式中， z_g 为冠轮齿数， $z_g = \sqrt{z_1^2 + z_2^2}$

若 m_t 与最为接近的标准值 m 相差较少 (小于 0.10mm)，则 m_t 即为被测齿轮的模数。否则，其模数可能为非标准值。

(3) 测齿距弦长法 对于情况不明的圆锥齿轮，可先用钢尺测量出大端背锥上的齿距弦长 $P_{弦}$ ，然后除以 π 即得模数。

（二）圆锥齿轮螺旋角 β 的测定

有些圆锥齿轮的螺旋角 β 可由其齿形制查阅有关资料确定, 如格利森制收缩齿弧齿圆锥齿轮, 其 β 为 35° 。而有些圆锥齿轮, 如埃尼姆斯制收缩齿弧齿圆锥齿轮就不能简单地查阅资料确定, 而一定要经过必要的测量, 才能求出 β 的近似值, 作为确定 β 的依据。

测量 β 时, 一般是对齿轮副中的大齿轮进行测绘, 测绘时需要齿线印迹图。

斜齿圆锥齿轮 β 的测定如图 3—43 所示, 在被测齿轮的齿线印迹图上, 将几条齿线印迹延长, 并作出它们的内切圆, 找出切点 T , 量取 $\angle OAT$ 即为 β 值。

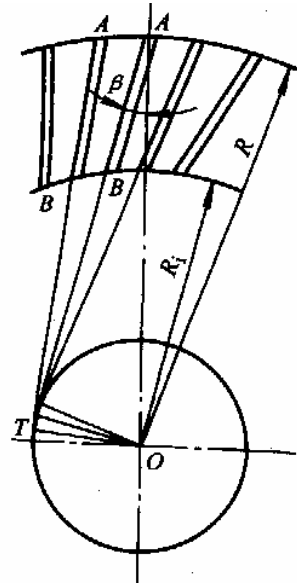


图 3—43 斜齿圆锥齿轮螺旋角 β 的测量

（三）圆锥齿轮齿形角 α 的近似测定

对于直齿圆锥齿轮, 一般是确定大端的端面齿形角 α_t ; 对于斜齿、弧齿圆锥齿轮, 通常是确定法面齿形角 α_n 。

齿形角 α 一般由齿形制和变位制经查阅有关资料便可确定, 但有时由齿形制还不能确定 α 的具体数值, 遇到这种情况时, 可用下列方法测出 α 的近似值, 然后圆整归纳为标准值。

1. 公法线测定推算法 如图 3—44 所示, 当齿数比 $u = z_2 / z_1 < 2.5$ 时, 可利用齿廓印迹图, 用公法线测定推算法求出 α 。

2. 固定弦切线法 如图 3—45 所示, 当齿数比 $u = z_2 / z_1 > 2.5$ 时, 因齿廓接近于齿条形, 可用固定弦切线法测定 α , 其步骤为:

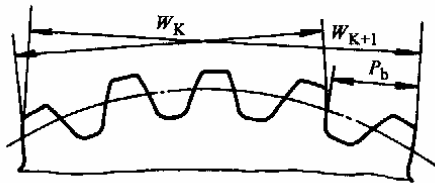


图 3—44 圆锥齿轮公法线长度测量

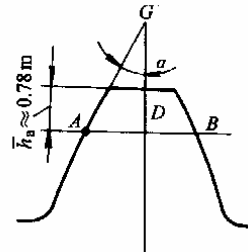


图 3—45 用固定弦切线法测齿形角

- (1) 在齿轮大端背锥齿廓印迹展开图上, 选择一个较清晰的齿形图, 作出对称中心线。
- (2) 从齿顶量取平均固定弦齿高 $h_a \approx 0.78m$, 近似确定固定弦位置 AB 。
- (3) 分别作 A 、 B 两点的切线交对称中心线于 G 。
- (4) 量取切线 GA 、 GB 所夹角度值, 即为两倍齿形角的近似值, 即 $2\alpha = \angle AGB$ 。

六、圆锥齿轮的简化测绘

圆锥齿轮, 特别是弧齿圆锥齿轮的配对加工与使用, 而使其没有互换性, 因而圆锥齿轮的修理测绘和配换往往要成对进行。另外, 有时为适应本单位圆锥齿轮加工设备的特点, 也不过于考虑原设计的齿形选择和原设计意图, 而成对配换圆锥齿轮。于是, 测绘的主要目的是保证原有传动比、安装距、大端端面模数等不变, 至于采用何种齿形制, 有时对传动并无重大影响。这样, 就可省去辨别齿形的繁难步骤, 对于齿形角、螺旋角和大端端面模数也不

一定要测绘得相当准确，从而使测绘程序大为简化。

简化测绘的步骤大致为：

1. 判定被测齿轮的类别（直齿、斜齿、弧齿）和齿高形式（等高齿、收缩齿）。
2. 测定轴交角 Σ ，齿数 z_1 、 z_2 ，齿宽 b ，安装距 A_1 、 A_2 。
3. 测定模数 m 。
4. 选定配换齿轮的齿形制及变位制，确定 α 、 h_a^* 、 c^* 、 x 、 τ 及 β 。
5. 根据齿轮的传动类型、齿形制及变位制，进行全部几何参数计算、并将计算结果与实物相比较，核实各主要尺寸（如外锥距 R 、齿顶圆直径 d_a 及与原装配尺寸有关的尺寸 A_1 、 A_2 等），若符合修配要求，最后完善测绘，并画出齿轮工作图。

第六节 凸轮的测绘

凸轮是一个具有曲线轮廓或凹槽的构件。凸轮通常作等速转动，但也有作往复摆动或直线往复移动的。被凸轮直接推动的构件称为推杆。凸轮机构是由凸轮、推杆和机架三个主要构件所组成。当凸轮运动时，通过其曲线轮廓与推杆的接触，而使推杆得到预期的运动。

凸轮机构的最大优点是：只要适当地设计出凸轮的轮廓曲线，就可以使推杆得到各种预期的运动规律，而且机构简单、紧凑。凸轮机构的缺点是：凸轮轮廓与推杆之间为点接触或线接触，故易于磨损，所以凸轮机构不能用在传递力较大的场合。

一、凸轮的分类：

1. 盘状凸轮 这种凸轮是一个径向尺寸变化的盘状构件。当其转动时，可推动推杆在垂直于凸轮的平面内运动，如图3—46a所示。

当盘状凸轮的径向尺寸为无穷大时，则凸轮将作直线移动，通常称之为移动凸轮，如图3—46b所示。当移动凸轮作直线往复运动时，将推动其推杆在同一运动平面内作往复运动。有时也可以将凸轮固定，而使推杆相对于凸轮运动。

2. 圆柱凸轮 这种凸轮是在圆柱面上加工有曲线凹槽，如图3—47a所示。这样可使推杆得到较大的行程，故可用于要求行程较大的传动中。也有的圆柱凸轮是在圆柱端面上作出曲线轮廓的，如图3—47b所示。

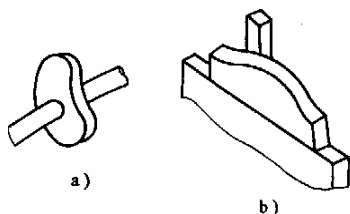


图3—46 盘状凸轮

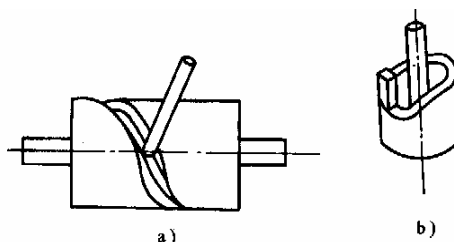


图3—47 圆柱凸轮

二、凸轮常用的曲线

凸轮的曲线是根据推杆的运动规律要求设计而成的，常用推杆的运动规律有：等速运动、等加速或等减速运动、余弦加速度运动和正弦加速度运动。为了满足推杆的各种运动规律，常用的凸轮曲线有直线、抛物线、阿基米德曲线等，如表3—5所示。

表3—5 常用凸轮曲线

凸轮类型	曲线类型	适用范围
圆柱凸轮	直线 ^① (螺旋线)	可使推杆得到等速运动, 并能得到相等的压力角
	抛物线	用于推杆作等加速运动
	圆弧	用于近似地代替各种形状复杂的曲线
平面凸轮	阿基米德曲线	用于推杆获得等速运动, 并常用以代替对数螺线
	对数螺线	用于推杆要求获得不变的压力角
	伸展渐开线	当采用偏心推杆时, 推杆可获得等速运动, 也可以近似地代替对数螺线
	圆弧	用来近似地代替各种复杂曲线

①对圆柱凸轮曲线形状而言, 是指沿圆周展开后所得的平面曲线形状。

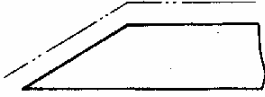
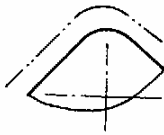

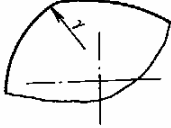
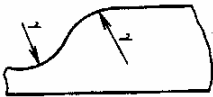
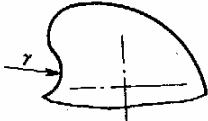

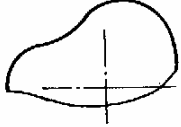
凸轮上由工作行程曲线到空行程曲线之间有过渡曲线, 过渡曲线常用的几种形式见表 3—6。

三、凸轮测绘的步骤

在机械设备修理中, 测绘磨损了的凸轮可按下列步骤进行:

1. 首先须按设备传动系统图或结构图对凸轮进行运动分析, 找出凸轮在运动中所要实现的推杆运动规律及工作循环, 弄清凸轮的作用和凸轮曲线的性质。
2. 选择出凸轮测绘设计基准。基准选择的正确, 不但可以使测绘工作进行, 而且也能保证测绘的质量。原则上应使设计基准与凸轮的装配基准一致。一般地说, 可以选用凸轮的内孔键槽、凸轮上的刻线及定位端面作为基准。
3. 按照实物进行测绘。主要测绘凸轮轮廓曲线。每一个凸轮的轮廓曲线都是由几个线段组成的, 而每一线段的形状均由凸轮机构在该线段所对应的时间内要完成的运动规律所决定。

表 3—6 常用凸轮过渡曲线

凸轮曲线的特点	凸 轮 型 式	
	圆柱形凸轮	盘形凸轮
1. 轮廓由折线组成, 各段轮廓的连接处没有圆角		
2. 轮廓由圆弧及直线连接组成		
3. 两段曲线用圆弧连接		
4. 两段曲线直接连接		

四、凸轮的测绘方法

(一) 平面凸轮的测绘方法

这种凸轮的测绘方法有分度法和摹印法两种:

1. 分度法 分度法测绘平面凸轮的步骤如下:

(1) 将凸轮装在心轴上, 并用分度头进行分度, 在凸轮端面上划出若干条等分圆周的射线 (对圆弧线段可少划射线)。

(2) 用卡尺测出各射线与轮廓交点到凸轮中心的距离尺寸, 并记入草图上相对应的尺寸线上。

(3) 将测绘的草图按比例绘制在图纸上, 连接各射线上的交点成平滑曲线, 即得所测绘的凸轮轮廓实际形状。

(4) 按所绘制的形状和理论分析凸轮应有的曲线形状, 最后确定或修正凸轮轮廓。

采用分度法可以比较准确地测得凸轮磨损后的实际形状, 所以在最后确定曲线形状时, 还应当考虑到凸轮的磨损量。

测绘时, 圆周等分越多, 则所得的结果越接近实际形状。对一般的凸轮测绘时, 分度值采用 $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 就可以满足要求。

2. 摹印法 将凸轮清洗干净后, 在其端面上轻轻涂一层红丹粉, 用白纸摹印下凸轮轮廓形状和内孔, 按照摹印的形状绘制凸轮工作图 (可按分度法绘制)。对凸轮精度要求不高时, 用摹印法测绘是比较方便的。但在一般情况下, 摹印法仅做为测绘参考和校对用。尤其是当凸轮有倒角时, 印得的凸轮曲线形状误差很大。

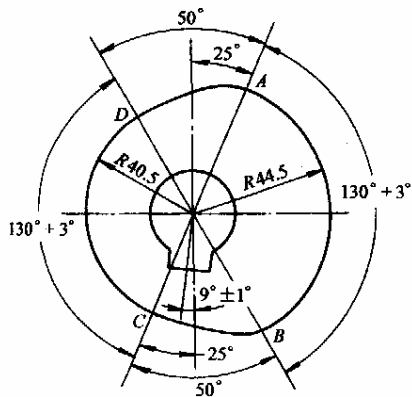


图 3—48 插齿机让刀凸轮

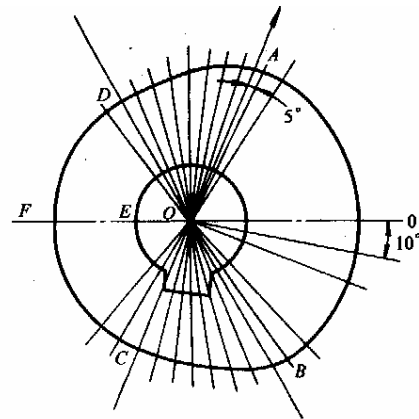


图 3—49 用分度法测绘凸轮

如图 3—48 所示，为插齿机上的让刀凸轮。根据插齿机工作的要求，插齿刀作一次往复运动，工作台也应带着工件送进和让刀一次。让刀凸轮经过一系列推杆和杠杆带动工作台作送进运动和让刀运动。工作台退回是由弹簧的压力实现的。插齿刀往复一次，让刀凸轮就旋转一周，当插齿刀下插时，凸轮以其 AB 段曲线（等半径 $R=44.5$ ）使工作台不移动，以便切削。当插齿刀切削终了要返回时，由 BC 段曲线使工作台带着工件快速离开插齿刀，至 CD 段曲线，保持退回的距离（等半径 $R=40.5$ ）。插齿刀再次下插时，由 DA 段曲线使工作台带着工件再送进到插齿刀下。它们的关系是：

插刀运动，切入一切削一切出一回程

工作台运动，送进—固定—退离—固定

对应的凸轮曲线，DA—AB—BC—CD

测绘插齿机让刀凸轮可采用分度法作出实物曲线。

(1) 将凸轮安装在标准心轴上，用分度头进行分度。据分析，其应有两段等半径圆弧，可用百分表找出。以 AB 段中点为零度点，在凸轮上作“+”字线，从 0° 开始每隔 10° 作一等分射线（见图 3—49）。两段等半径圆弧可少画几条射线。注意找出四个过渡点 A、B、C、D，其是否落在射线上，如果出入很大，则采用更小的分度值（如 5° ），在过渡点附近进行分度，确定其近似位置。

(2) 用卡尺测量各射线长度，如 $OF=OE+EF$ ，孔半径 OE 及 EF 可直接测量得到。

(3) 画出凸轮轮廓曲线，画曲线时，所选坐标轴和分度值同测量时所选用的相同，然后将各射线（如 OF）分别描绘在图纸上，连接各射线之端点，即为所测绘之凸轮轮廓曲线。画图比例尽可能采用 1:1。

最后修正凸轮曲线，画出零件图：

①确定过渡点 A、B、C、D 的位置，以 5° 等分时，A、B、C、D 四点大致落在射线上。

②AB 线段和 CD 线段圆心应为零件安装中心。以线段上测得的值（距圆心最大的）为半径，画 CD、AB 圆弧曲线。

③凸轮过渡曲线 AD、BC 理论上应为阿基米德曲线，可由作图法求得的曲线近似代替，需光滑地与 AB、CD 圆弧曲线连接。

（二）圆柱凸轮测绘

圆柱凸轮的测绘方法与平面凸轮相似，所不同的是圆柱凸轮轮廓曲线是在圆柱面上，测绘时需要把圆柱面展开成一个平面。

采用分度法时（也在分度头上进行分度），在圆柱凸轮上沿轴线画出若干等分线（编号），然后用高度尺或卡尺测量各相应线段长度，依据测量结果画出凸轮曲线。以滚子直径为距离，

作出凸轮凹槽的另一面曲线，测量方法如图 3—50 所示。圆柱凸轮也可用摹印法直接印出展开的曲线形状。

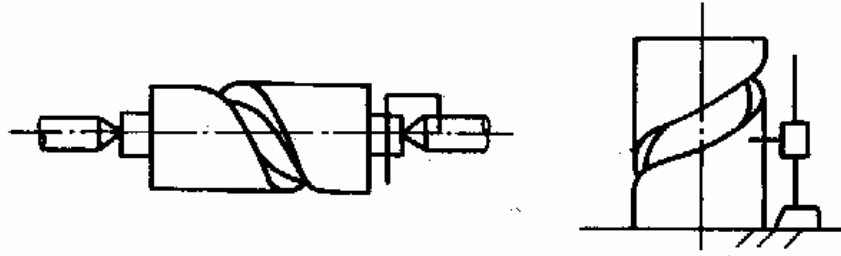


图 3—50 圆柱凸轮的测量

(三) 凸轮曲线的检查和修正

凸轮的磨损和测量误差使测得的曲线产生误差，因而必须对按实物测得的凸轮实际曲线作必要的修正，即把描绘的或摹印得到的曲线与理论分析的形状进行对比，按对比分析，对曲线形状、平滑度、过渡曲线及曲线的相应位置作最后修正。

(四) 凸轮材料的选择

凸轮的工作表面必须要有高的耐磨性，并能承受较大的表面应力。在选择凸轮材料时，主要是考虑凸轮机构所承受的冲击载荷和磨损等问题。通常凸轮用 45 号钢或 40Cr 钢制造；淬硬至 52~58HRC。要求更高时，可用 15 号钢或 20Cr 钢渗碳并淬火至 56~62HRC，渗碳深度一般为 0.8~1.5mm。或采用可进行氮化处理的钢材，经氮化处理后，使表面硬度达到 60~67HRC，以增强凸轮表面的耐磨性。

对于轻载凸轮，也可以使用优质灰铸铁，或 45 号钢调质处理到 22~26HRC。

应该注意的是，凸轮机构中的滚子所选用的材料。滚子比凸轮容易制造，而且损坏后更换也很方便，当滚子采用与凸轮相同的材料和热处理方法时，在工作中滚子总比凸轮先磨损，故滚子可用与凸轮相同的材料制造，也可采用 20Cr 钢经渗碳处理，其表面硬度达 56~62HRC，渗碳深度达 1~1.5mm，或用碳素工具钢 T8 等淬硬到 55~59HRC。

(五) 凸轮公差的选择

凸轮的公差应根据工作要求来确定。对于一般用于低速进给的凸轮和操纵用的凸轮等，公差可以取大些，而对于要求较高的凸轮，如高速凸轮，因其轮廓曲线的误差对机构的性能影响较大，所以对公差的要求也应严格些。在凸轮工作图上通常要标出向径公差和基准孔（凸轮与轴配合的孔）公差。对于向径在 300~500mm 以下的凸轮，其公差可以参考表 3—7 选取。对于只要求保证推杆行程大小的凸轮，可以给出起始和终止点向径公差，而且公差可取偏大的数值。

表 3—7 凸轮公差和表面粗糙度

凸轮精度	极限偏差			表面粗糙度 $R_a/\mu\text{m}$	
	向径/mm	基准孔	凸轮槽宽	盘状凸轮	凸轮槽
高精度	$\pm (0.05\sim0.1)$	H7	H8 (H7)	0.4	0.8
一般精度	$\pm (0.1\sim0.2)$	H7 (H8)	H8	0.8	1.6
低精度	$\pm (0.2\sim0.5)$	H8	H8 (H9)	0.8	1.6