

# 工程机械基础

寇长青 主编



A0995230

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书主要介绍基本建设工程中,各种工程机械的基本构造、工作原理、技术性能和选择使用方法。

全书共分十三章。内容包括:总论、工程机械的动力装置、常用零件和机构、液压及液力传动、起重机械、运输车辆与机械、土方工程机械、桩工机械、石方工程机械、钢筋混凝土工程机械、装修机械及路面机械及铁道线路机械。

本书为高等学校工业与民用建筑、铁道工程、城市道路与桥梁专业本科试用教材,也可作为专科、职大和成人教育同类专业的教材或自学考试用书,同时可供从事基本建设工程的技术人员参考。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

工程机械基础 / 寇长青主编. —2版. —成都:西南交通大学出版社, 2001.1

ISBN 7-81022-203-1

I. 工... II. 寇... III. 工程机械 IV. T6

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第87616号

---

## 工 程 机 械 基 础

[第二版]

寇长青 编

\*

出版人 宋绍南

责任编辑 任继英

封面设计 肖勤

西南交通大学出版社出版发行

(成都市交大路148号 邮政编码:610031 发行科电话:7600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: [cbs@center2.swjtu.edu.cn](mailto:cbs@center2.swjtu.edu.cn)

四川森林印务有限责任公司印刷

\*

开本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 15

字数: 351千字 印数: 1~3000册

2001年1月第2版 2001年1月第1次印刷

ISBN 7-81022-203-1/T·068

定价: 19.00元

## 前 言

本书是按照 1982 年制订的工业与民用建筑专业《机械零件及建筑机械》课程教学大纲的要求，结合我院多年的教学实践编写的。

为促进国民经济的发展，加快建设速度，建设工程（工业与民用建筑、筑路、水利建设、农林开发、港口建设、国防工程等）机械化施工必须采用大量的工程机械与设备。本书重点介绍各种工程机械的基础理论、基本构造、工作原理、技术性能和选择使用方法。在内容安排上，构造、原理与选择运用并重。

本教材在编写过程中力求重点突出、深入浅出、通俗易懂，便于教学和自学，并尽可能反映现代新技术和新机型。全书采用国家法定计量单位，并用符号表示。

本书为高等学校工业与民用建筑、铁道工程、城市道路与桥梁专业本科试用教材，讲授 68 学时左右，也可作为专科、职大和成人教育同类专业的教材或自学考试用书。为适应多层次、多类型办学的需要，本书增加了工程机械动力装置、运输车辆、石方工程机械、装修机械、路面机械及铁道线路机械等章节，不同专业可根据需要选择讲授。

本书由长沙铁道学院机械工程系寇长青副教授任主编、李飞鹏副教授任副主编，长沙铁道学院土木工程系杨承析教授任主审。

参加本书编写的有：

长沙铁道学院寇长青（第一、七、八章），李飞鹏（第二、十三章），雷佑群（第三、九章），张荣华（第四、十二章），吕宁生（第五章），刘家骥（第六章），马坤荣（第十、十一章）。

本书在编写过程中，得到中国铁路工程总公司（原铁道部基本建设总局）、建设部长沙建筑机械研究所、长沙铁道学院教务处和土木工程系的大力支持和帮助，并提供了宝贵的资料，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们的水平有限，书中难免有不妥或错误之处，欢迎读者批评指正。

编 者

1989 年 12 月

# 目 录

第一章 总 论	1
绪 论	1
第一节 建设工程的机械化施工	2
第二节 工程机械的基本知识	3
第二章 工程机械的动力装置	11
第一节 概 述	11
第二节 内燃机	12
第三节 空气压缩机	23
第三章 常用零件和机构	28
第一节 机械零件和机构总论	28
第二节 零件的联接	30
第三节 传动零件及装置	34
第四节 轴及轴系零件	44
第四章 液压及液力传动	53
第一节 液压传动的基本原理	53
第二节 液压元件	55
第三节 液压传动的回路	63
第四节 液压系统的安全使用及维护	69
第五节 液力传动	70
第五章 起重机械	73
第一节 概 述	73
第二节 起重机械专用零、部件	75
第三节 简单起重机械	86
第四节 塔式起重机	88
第五节 自行式起重机	96
第六章 运输车辆与机械	103
第一节 自卸汽车	103
第二节 连续运输机	108
第三节 装卸机械	112
第七章 土方工程机械	115
第一节 土壤的切削与挖掘	115



第二节	铲土运输机械	116
第三节	挖掘机械	135
第四节	压实机械	140
<b>第八章</b>	<b>桩工机械</b>	<b>146</b>
第一节	桩工机械的功用与类型	146
第二节	柴油打桩机	147
第三节	振动沉拔桩机	154
第四节	灌注桩成孔机械	156
<b>第九章</b>	<b>石方工程机械</b>	<b>159</b>
第一节	凿岩机械	159
第二节	破碎、筛分和洗涤机械	167
<b>第十章</b>	<b>钢筋混凝土工程机械</b>	<b>174</b>
第一节	概 述	174
第二节	钢筋加工机械	175
第三节	混凝土机械	179
<b>第十一章</b>	<b>装修机械</b>	<b>193</b>
第一节	灰浆机械	193
第二节	地面修整机械	197
第三节	手持机具	198
<b>第十二章</b>	<b>路面机械</b>	<b>201</b>
第一节	概 述	201
第二节	沥青洒布机	201
第三节	沥青混凝土拌合机	208
第四节	沥青混凝土摊铺机	211
<b>第十三章</b>	<b>铁道线路机械</b>	<b>216</b>
第一节	概 述	216
第二节	捣固机械	217
第三节	道碴清筛机械	223
第四节	起、拨道机械	227
<b>附录</b>	<b>常用液压系统图形符号 (GB786—76)</b>	<b>232</b>

# 第一章 总 论

## 绪 论

### 课程的性质和任务

本课程是工业与民用建筑、铁道工程、城市道路与桥梁专业所必修的技术基础课程。它是研究机械通用零部件、工程机械主要机构和常用工程机械的工作原理、基本构造、主要技术性能、选择运用的一门学科。

本课程的主要任务是：

1. 使学生了解一般机械的基本知识；机械中通用零部件的工作原理、构造特点和选择使用方法；能对其强度或工作能力进行简单的校核计算；并能阅读和设计简单的机械传动装置系统图。
2. 初步了解液压传动的原理与特点；主要液压元件的基本构造、主要技术性能和选择使用的方法；并能阅读简单的液压系统图。
3. 初步掌握常用工程机械的特点、作用原理、基本构造、主要技术性能；能合理地选择、正确地运用这些工程机械，并能充分发挥其工作效能。
4. 通过本课程学习，应使学生具备满足机械化施工所需之机械及设备方面的知识，总体方案构思、提出设计任务与要求的能力和理论基础。

### 课程的特点和内容

本课程的特点是：涉及的理论范围广；机械零部件、机构及常用工程机械类型多；实践性强。在学习过程中，要求学生应着重于建立系统概念，掌握分析问题的方法，让工程机械更好地为施工服务。

本书的主要内容有基础知识和常用工程机械两大部分。基础知识包括机械总论，通用机械零部件，机械传动、液压传动、工程机械动力装置等；常用工程机械包括有起重机械，运输车辆与机械，土、石方、桩工机械，钢筋混凝土机械，装修机械，路面机械及铁道线路机械。

本书与同类教材相比有以下特点：

1. 以工程机械为主体来讲述基础知识，突出机械通用零部件，液压传动与机械的紧密结合。使学生学有所用，目的明确，避免了过去学习时枯燥、脱节、难学等问题。
2. 为满足拓宽专业面的要求，以适应现代机械化施工的需要，增写了运输车辆、石方工程机械等内容。

3. 为满足相近专业、不同层次的需要，本书增加了路面机械和铁道线路机械两章。
4. 全书各章内容紧密结合，结构紧凑，简明扼要。

## 第一节 基建工程的机械化施工

### 一、机械化施工在国民经济中的地位与作用

随着国民经济的发展，基本建设工程——工业与民用建筑、铁路与公路运输、水利与电力、矿山、港口等建筑设施将不断增加。为了加快基本建设工程的速度，必须走工业化的道路，也就是要用机械化的生产手段，通过科学地组织流水作业，进行基本建设工程的施工。

基本建设工程的机械化施工就是指应用现代科学管理手段，在对各种基本建设工程组织施工时，充分利用成套机械设备进行施工作业的全过程。

机械化施工是解决施工速度的根本出路，是衡量一个国家建筑行业水平的显著标志，它对加速发展国民经济起着重要的作用。基本建设工程机械化施工的实现，还能减轻大量繁重的体力劳动，提高劳动生产率；保证工程质量，降低工程造价；扩大施工范围，促进现代化建筑新结构和施工技术的进步与发展，为人类创造更加光辉的业绩。

### 二、衡量机械化施工水平的指标

评价机械化施工水平是一个很复杂的问题。因为它与施工条件、施工方法，机械性能、容量、可靠性，机械的管理、使用、维护、保养等许多因素有着密切的关系。目前以某项基本建设工程为对象，采用以下四项指标来衡量：

#### （一）机械化程度

这指采用机械完成的工作量占总工程量的比率，计算时可以核算为价值。机械化程度只能反映出使用机械代替人力或减轻劳动强度的程度。

#### （二）技术装备率

技术装备率一般以每千（或每个）施工人员所占有机械的台数、功率、重量或投资额来计算。技术装备率反映一个施工单位或对某项基本建设工程项目的装备水平。但对机械设备的配套性无法表示。

#### （三）设备完好率

这指机械设备完好台数与总台数的比率。设备完好率仅表示机械本身的可靠性、寿命与机械的管理、运用水平。

#### （四）设备利用率

这指机械设备实际运用的台班数与全年应出勤的总台班数的比率。设备利用率与施工任务饱满程度、管理水平高低及设备完好率有密切关系。

只有综合上述四项指标，对规模相当的同类工程，在施工条件相近的情况下，劳动生产率的高低，就标志着其机械化施工水平的高低。

## 第二节 工程机械的基本知识

### 一、工程机械的类型

目前,我国工程机械分为以下 14 种类型:

- (1) 挖掘机械。包括单斗挖掘机、多半挖掘机、挖掘装载机、隧道掘进机等。
- (2) 起重机械。包括塔式、汽车、轮胎、履带、桅杆、缆索、抓斗、管道起重机,卷扬机和施工升降机。
- (3) 铲土运输机械。包括推土机、铲运机、装载机、平地机、运输车、平板车和翻斗车。
- (4) 压实机械。包括静碾压路机、振动压路机、轮胎式压路机和夯实机。
- (5) 桩工机械。包括柴油打桩锤、柴油打桩架、振动打拔桩锤、振动打拔桩架、压桩机和钻孔机。
- (6) 钢筋和预应力机械。包括钢筋强化、加工、焊接机械,预应力加工机械及设备。
- (7) 混凝土机械。包括混凝土搅拌机、搅拌楼、搅拌站、搅拌运输车、输送泵、喷射机、浇注机和振动器。
- (8) 路面机械。它是公路路面施工及维修养护的机械。它包括沥青喷洒机、沥青混凝土摊铺机、混凝土摊铺机、混凝土振实机、道路翻松机、土壤拌合机、石料摊铺机、石屑撒布机等。
- (9) 装修机械。它是建筑装修机械,包括灰浆制备及喷涂机械、地面修整机械、装修升降平台及吊篮、手持机具等。
- (10) 凿岩机械与气动工具。包括各种凿岩机、凿岩台车、气动工具等。
- (11) 叉车。包括各种叉车和装卸机械。
- (12) 铁道线路机械。它是铁道线路施工及养护的专用机械。包括捣固机、起拨道机、清筛机、线路维修综合列车及其他线路养护机械。
- (13) 军用工程机械。
- (14) 其他专用工程机械。

### 二、工程(建筑)机械产品型号的编制方法

我国有关部委规定了工程(建筑)机械产品型号的编制方法。产品型号一般由类、组、型、特性代号(其代号不得超过 3 个字母)与主参数代号两部分组成。如需增添变型、更新代号时,其变型、更新代号置于原产品型号的尾部,如图 1-1 所示。

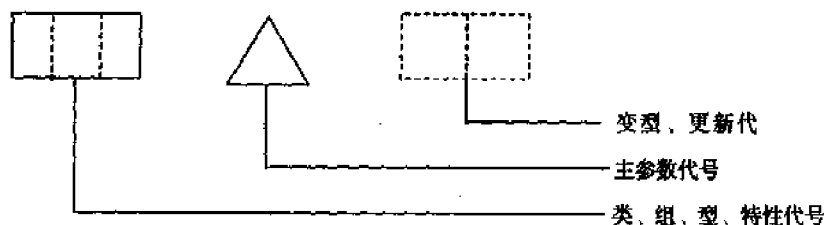


图 1-1 工程(建筑)机械产品型号的编制

产品型号是工程（建筑）机械产品名称、结构型式与主参数的代号，它供设计、制造、使用和管理等有关部门应用。

产品型号编制要求如下：

(1) 类、组、型代号与特性代号均用大写印刷体汉语拼音字母表示，该字母应是类、组、型与特性名称中有代表性汉语拼音字头。如与同类中其他型号有重复时，也可用其他字母表示。

(2) 主参数用阿拉伯数字表示。

(3) 当产品结构有重大改革，需重新试制和鉴定时，其变型或更新代号用大写汉语拼音字母 A、B、C……表示，置于原产品型号的尾部，以区别于原型号。

(4) 当产品的主参数、动力性能等有重大改变时，则应改变产品的型号。

(5) 工程（建筑）机械产品型号编制规定，可见表 1-1。

表 1-1 建筑机械产品型号编制规定（摘自 JJ29—85）\*

类	组	型	特性	代号	代号含义	主 参 数	
						名 称	代号表示法
挖 掘 机 械	单 斗 挖 掘 机 W (挖)	履 带 式	—	W	履带式机械单斗挖掘机	整 机 质 量	t
			D(电)	WD	履带式电动单斗挖掘机		
			Y(液)	WA	履带式液压单斗挖掘机		
			S(隧)	WS	履带式隧洞单斗挖掘机		
		轮 胎 式 L (轮)	—	WL	轮胎式机械单斗挖掘机		
			Y(液)	WLY	轮胎式液压单斗挖掘机		
	D(电)		WLD	轮胎式电动单斗挖掘机			
	多 斗 挖 掘 机 W (挖)	轮 斗 式 U (轮)	—	WU	机械轮斗挖掘机	生 产 率	m <sup>3</sup> /h
			Y(液)	WUY	液压轮斗挖掘机		
			D(电)	WUD	电动轮斗挖掘机		
链 斗 式 I (链)		—	WI	机械链斗挖掘机			
		Y(液)	WIY	液压链斗挖掘机			
		D(电)	WID	电动链斗挖掘机			
隧道掘进机 S、J(隧、掘)	—	—	SJ	隧道掘进机	刀盘直径	m	
挖掘装载机 W、Z(挖、装)	—	—	WZ	挖掘装载机	标准斗容积	m <sup>3</sup>	
起 重 机 械	塔 式 起 重 机 Q、T(起、塔)	上回转式	—	QT	上回转塔式起重机	额 定 起 重 力 矩	× 10kN·m
		上回转自升式 Z(自)	—	QTZ	上回转自升塔式起重机		
		下回转式 X(下)	—	QTX	下回转塔式起重机		
		快速安装式 K(快)	—	QTK	快速安装塔式起重机		

\* 工程机械产品型号编制方法可参照 JJ29—85 内规定执行。

续表 1-1

类	组	型	特性	代号	代号含义	主 参 数	
						名 称	代号表示法
起重机械	汽车起重机 Q(汽)	液压式 Y(液)	—	QY	液压式汽车起重机	最大额定 总起重量	t
	轮胎起重机 Q、L(起、轮)	越野式 U(越)	—	QLU	越野式轮胎起重机		
	履带起重机 Q、U(起、履)	机械式	—	OU	机械式履带起重机		
起重机械	卷扬机 J(卷)	单筒	K(快)	JK	单筒快速卷扬机	额定静拉力	$\times 10^{-1}$ kN
			M(慢)	JM	单筒慢速卷扬机		
			T(调)	JT	单筒调速卷扬机		
铲土运输机械	铲运机 C(铲)	自行轮胎式 L(轮)	—	CL	自行轮胎式铲运机	铲斗几何容积	m <sup>3</sup>
		链板轮胎式 L、L(轮、链)	—	CLL	链板轮胎式铲运机		
		拖式 T(拖)	Y(液)	CTY	液压拖式铲运机		
	平地机 P(平)	自行式	—	P	机械平地机	功 率	PS
			Y(液)	PY	液压平地机		
运输车 Y、C (运车)	单轴	—	YC	单轴牵引运输车	载重量	t	
		双轴 2(双)	—	2YC			双轴牵引运输车
压实机械	压路机 Y(压)	两轮式 2(两)	—	2Y	两轮压路机	最小工作质量	t
		三轮式 3(三)	—	3Y	三轮压路机	加载后质量	
	振动压路机 Y、Z(压、振)	组合式 Z(组)	—	YZZ	钢轮、轮胎组合振动压路机	工作质量	t
		两轮串联式 C(串)	—	YZC	两轮串联振动压路机		
		拖式 T(拖)	—	YZT	拖式振动压路机		
	夯实机 H(夯)	蛙式 W(蛙)	—	HW	蛙式夯实机	结构质量	kg
		快速冲击式 C(冲)	—	HC	快速冲击夯实机		
沥青喷洒机 P(喷)	汽车式 Q(汽)	—	PQ	汽车式沥青喷洒机	额定容积	L	
	轮胎式 L(轮)	—	PL	轮胎式沥青喷洒机			
路面机械	沥青混凝土摊 铺机 T、P (摊、铺)	轮胎式 L(轮)	—	TPL	轮胎式沥青混凝土摊铺机	摊铺宽度	mm
		履带式 U(履)	—	TPU	履带式沥青混凝土摊铺机		
		拖式 T(拖)	—	TPT	拖式沥青混凝土摊铺机		
	混凝土摊铺机 H、T(混、摊)	轨道式	—	HT	轨道式混凝土摊铺机		
		轮胎式 L(轮)	—	HTL	轮胎式混凝土摊铺机		

续表 1-1

类	组	型	特性	代号	代 号 含 义	主 参 数	
						名 称	代号表示法
桩 工 机 械	柴油打桩锤 D(打)	筒 式	—	D	筒式柴油打桩锤	冲击部分自重	$\times 10^{-2}$ kN
		导杆式 D(导)	—	DD	导杆式柴油打桩锤		
	振动打拔桩锤 D、Z(打、振)	机械式	—	DZ	机械振动打拔桩锤	功 率	kW
		液压式 Y(液)	—	DZY	液压振动打拔桩锤		
	压桩机 Y、Z (压、桩)	机械式 J(机)	—	YZJ	机械压桩机	最大压桩力	$\times 10^{-1}$ kN
钻孔机 Z、K (钻、孔)	长螺式 L(螺)	—	ZKL	长螺旋钻孔机	最大钻孔直径	mm	
混 凝 土 机 械	混凝土搅拌机 J(搅)	锥形反转 Z(转)	—	JZ	电动锥形反转出料混凝土搅拌机	额 定 容 积	L
			R(燃)	JZR	内燃锥形反转出料混凝土搅拌机		
		锥形倾翻 F(翻)	—	JF	锥形倾翻出料混凝土搅拌机		
		强制涡浆式 W(涡)	—	JW	强制涡浆式混凝土搅拌机		
		强制行星式 X(行)	—	JX	强制行星式混凝土搅拌机		
		连续式 L(连)	—	JL	连续式混凝土搅拌机		
	混凝土搅拌楼 H、L(混、楼)	自落式 Z(自)	—	HLZ	自落式混凝土搅拌楼	生 产 率	$m^3/h$
		强制式 Q(强)	—	HLQ	强制式混凝土搅拌楼		
	混凝土搅拌输送 车 J、C (搅、车)	汽车式	—	JC	汽车式混凝土搅拌运输车	额 定 容 积	$m^3$
		轨道式 G(轨)	—	JCG	轨道式混凝土搅拌运输车		
	混凝土输送泵 H、B(混、泵)	拖式 T(拖)	—	HBT	拖式混凝土输送泵		
		汽车式 Q(汽)	—	HBQ	汽车式混凝土输送泵		
	混凝土振动器 Z(振)	电 动	X(行)	ZX	电动软轴行星插入式振动器	棒头直径	mm
			P(偏)	ZP	电动软轴偏心插入式振动器		
		附着式 F(附)	—	ZF	附着式振动器	功 率	$\times 10$ kW
振动台 T(台)		—	ZT	振动台	台面尺寸	$m \times m$	

续表 1-1

类	组	型	特性	代号	代号含义	主 参 数	
						名 称	代号表示法
钢筋加工机械	钢筋强化机械 G、Q(钢、强)	冷拉 L(拉)	—	GQL	钢筋冷拉机	钢筋最大公称直径	mm
		冷拔 B(拔)	—	GQB	钢筋冷拔机		
	钢筋成型机械 G(钢)	调直切断 T(调)	—	GT	钢筋调直切断机	钢筋最小直径/ 钢筋最大直径	mm/mm
		弯曲 W(弯)	—	GW	钢筋变曲机	钢筋公称直径	
	钢筋焊接机械 G(钢)	点焊 H(焊)	D(多)	GHD	钢筋多头点焊机	公称容量	kVA
		对焊 D、H (对、焊)	—	GDH	钢筋对焊机		
	预应力钢筋镦头 机 D(镦)	固定式 G(固)	—	DG	固定式电动镦头机	钢筋最大直径	mm
		移动式 I(移)	—	DI	移动式电动镦头机		
		液压冷镦器 Y(液)	—	DY	液压冷镦器	镦头力	$\times 10^{-1}$ kN
	灰浆搅拌机 J (搅)	连续式	—	UJ	连续式灰浆搅拌机	生产率	m <sup>3</sup> /h
周期式 Z(周)		—	UJZ	周期式灰浆搅拌机	额定容积	L	

灰浆搅拌机



② QTZ80 型起重机。表示额定起重力矩为  $80 \text{ t}\cdot\text{m}$  ( $800 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ) 的上回转自升塔式起重机。

③ GX7 型铲运机。表示铲斗几何容量为  $7 \text{ m}^3$  的自行轮胎式铲运机。

④ 3Y12/15 型压路机。表示结构质量为  $12 \text{ t}$ ，加载后质量为  $15 \text{ t}$  的三轮压路机。

⑤ JZ150 型搅拌机。表示额定容量为  $150 \text{ L}$  的电动锥形反转出料混凝土搅拌机

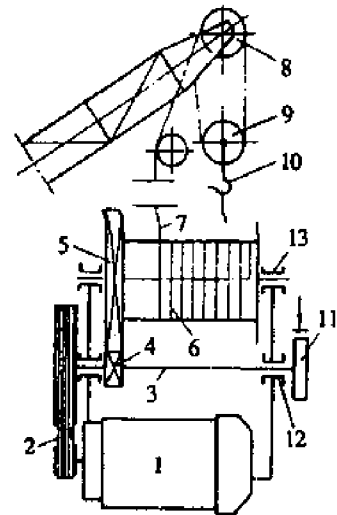
⑥ DZ20 型打拔桩锤。表示电动机功率为  $20 \text{ kW}$  的机械振动桩锤。

⑦ GT4/8 型钢筋调直切断机。表示调直切断钢筋的直径范围是  $4 \sim 8 \text{ mm}$  的钢筋调直切断机。

⑧ TPL3000 型摊铺机。表示摊铺宽度为  $3000 \text{ mm}$  的轮胎式沥青混凝土摊铺机。

### 三、工程机械的基本组成

工程机械同一般机械一样，是把某种形式的能（如热能、电能等）转换为机械功，从而完成某些生产任务的装置。如图 1-2 所示的卷扬机，它是建筑工地上最常用的一种提升机械。这种机械把电能经过电动机 1 转换为机械能，即电动机的转子转动输出。经三角带 2、轴 3、齿轮 4、5 减速速后再带动卷筒 6 旋转。卷筒卷绕钢丝绳 7 并通过滑轮组 8、9，使起重机吊钩 10 提升或落下载荷  $Q$ ，把机械能转变为机械功，完成载荷的垂直运输装卸工作。



1-2 卷扬机

1—电动机；2—三角皮带；3—传动轴；4、5—齿轮；6—卷筒；7—钢丝绳；8—定滑轮；9—动滑轮；10—起重机吊钩；11—制动器；12、13—轴承

图 1-3 是一台液压操纵式自卸汽车。它是利用液压油缸 1 推动车厢 2 绕铰销 3 转动，车厢后倾则物料靠自重卸出。这种液压操纵式自卸汽车，首先通过发动机带动液压泵，将燃料的热能转化为液体的压力能；再经操纵阀 5 的控制，可使液压油缸 1 的活塞杆伸出。此时，又将液压能转变为机械能并且做功，完成车厢绕铰销的倾翻，即物料的卸载工作。

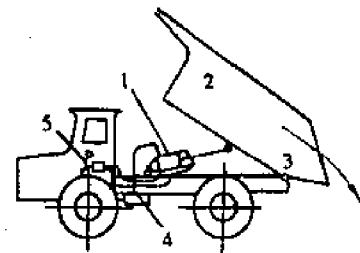


图 1-3

图 1-3 自卸式汽车

1—液压油缸；2—车厢；3—铰销  
4—液压泵；5—操纵阀

从以上两个例子的分析，可以明显地看到任何一台完整的工程机械是由动力装置、底盘及工作装置三部分组成。

#### (一) 动力装置

动力装置是机械发出动力的设备，常用的有电动机和内燃机。工程机械上还应用液压和气动装置，它们一般也都靠电动机或内燃机驱动，故称这类动力装置为复合动力装置。

#### (二) 底盘

底盘是工程机械车架和机械传动、行走、转向、制动、悬挂等系统的总称。底盘是整机的支承并能使整机以所需的速度和牵引力沿规定的方向行驶。

工程机械的底盘根据行走装置分为履带式、轮胎式和汽车式等。

底盘中最主要的是传动系统。它是动力装置和工作装置或行走机构之间的动力传动和操纵、控制机构组成的系统。传动系统根据动力传动形式分为机械传动、液力机械传动、液压传动、气力传动和电传动等。工程机械中最常用的是机械传动和液压传动。

机械传动是靠机械的零部件来传递动力的运动。如图 1-2 中的卷扬机是靠带、齿轮、轴及轴承、卷筒、钢丝绳滑轮组来进行传动的。机械的零部件将在第三章中进一步介绍。

液压传动是靠工作介质——液压油来传递动力和运动的，如图 1-3 中的车厢液压倾翻机构。这种液压传动靠液压元件——液压泵、液压缸、液压控制阀等来完成。液压技术是近几十年来迅速发展并在工程机械上获得广泛应用的高新技术。液压传动不仅能传送大的功率、扭矩，动作灵活、平稳，结构紧凑，而且改善和扩大了工程机械的使用性能。

由于工程机械种类繁多，底盘所包含的内容差异很大，有些底盘只有简单的机架和机械零部件，如图 1-2 所示的卷扬机；有些底盘却相当复杂，如图 1-3 所示的自卸汽车，它不仅包括机械传动系、行走系、转向系、制动系、悬挂系及车架，而且还有液压传动系的车厢倾翻装置。读者应根据具体的工程机械来进行分析。

### （三）工作装置

工作装置是工程机械中直接完成生产任务的部分。卷扬机的卷筒、钢丝绳滑轮组，自卸汽车的车厢，挖掘机的动臂、斗柄和铲斗，混凝土搅拌机的滚筒等都是工作装置。

工作装置是根据各种工程机械具体工作要求而设计的。例如推土机的推土装置是沿着地面来推送土壤，所以它是带刀片的推土板；挖掘机的挖掘装置是由铲斗、斗柄及动臂组成机构，由该机构经驱动力施于铲斗来实现挖掘、装卸土壤；自落式混凝土搅拌机是靠滚筒旋转来搅拌均匀混凝土拌合料；强制式混凝土搅拌机是靠旋转的叶片来搅拌。所以工程机械的工作装置必须满足基本建设施工中各种作业的要求，而且要达到高效、多能，否则随着科学技术的发展会被淘汰。例如中小型机械传动式单斗挖掘机目前已被液压传动式所取代。因为液压式单斗挖掘机的工作性能，不仅具有一般液压传动的优点，而且使挖掘机的挖掘力提高 30% 左右，整机质量降低 40% 左右，使用性能和用途均得到改善。

一般说来，在进行工程机械的设计时，首先是确定工作装置，随后才是动力装置和底盘的设计。因此作为基本建设工程的机械化施工技术人员应根据施工方法和施工作业的要求，能对工程机械工作装置的设计提出合理的要求或者同机械技术人员一起大胆构思，创造出新颖的工程机械，来满足机械化施工的需要，更好地为施工服务。

在研究和分析工程机械或设计工程机械时，为了突出表达工程机械的主要部分，特别是与运动有关方面的问题，一般用机械传动简图表示。机械传动简图就是将复杂的机械有简单的线条和规定的符号将其传动系统、零部件间的相互关系（连接和相对运动）和运动特性等内容用传动系统示意图进行表达的一种方式。图 1-2 为卷扬机的运动简图。机械传动简图，不仅能清晰地表达机械传动的方式及各种零部件和机构的相互关系，而且使机构的运动及受力情况分析变得简单明了。机械运动简图的画法及机构运动简图符号可参照 GB4460—84 中的规定。

工程机械的设计程序一般按下列步骤进行：

(1) 编制设计任务书。明确和规定工程机械的用途、主要性能参数范围、工作环境条件及其要求。设计任务书的编制应通过调查研究，建立在收集、整理、分析资料的基础上。当任务书确认、批准后，就拟订出切实可行的计划来实施。

(2) 技术设计。它是机械的本体设计，通过大量的计算、绘图把机械设计出来。这个阶段的任务是最主要和繁重的，需要一定的时间来完成。

(3) 审核设计方案和资料。

(4) 样机试制和试验。

(5) 使用考核和鉴定。

(6) 定型生产。

#### 四、工程机械的技术参数

工程机械的技术参数是表征机械性能、工作能力的物理量，简称为机械参数。机械参数均有量纲。工程机械的技术参数包括如下几类：

(1) 尺寸参数。有工作尺寸、整机外形尺寸和工作装置尺寸等。

(2) 质量参数（习惯称重量参数）。有整机质量、各主要部件（或总成）质量、结构质量、作业质量等。

(3) 功率参数。有动力装置（如电动机、内燃机）的功率、力（或力矩）和速度；液压和气力装置的压力、流量和功率等。

(4) 经济指标参数。有作业周期、生产率等。

一台工程机械有许多机械参数，其中重要者称为主要参数，或称基本参数。主要参数是标志工程机械主要技术性能的内容，一般产品说明书上均需明确注明，以便于用户选用。主要参数中最重要参数又称为主参数。工程机械的主参数是工程机械产品代号的重要组成部分，它反映出该机构的级别。各类建筑机械的主参数见表 1-1

为了促进我国工程机械的发展，有关部门对各类工程机械都制定了基本参数系列标准，使用或设计工程机械产品时都应符合标准中的规定。

#### 复习思考题

1. 机械化施工在国民经济中具有何种地位与作用？
2. 衡量机械化施工水平的指标有哪些？它们的含义如何？怎样表示？
3. 工程机械有哪些类型？它们的产品型号按什么规律编制？试说明 WY25、QTZ80、CL7、GT4/8 都表示什么？
4. 工程机械由哪几部分组成？试举例说明。
5. 什么是机械传动简图？机械运动简图和机构运动简图采用什么符号表示？试举例说明。
6. 工程机械的设计如何进行？
7. 什么叫机械参数？工程机械的技术参数有哪些？
8. 什么是主参数？它有什么用途？试举例说明之。

## 第二章 工程机械的动力装置

### 第一节 概 述

为工程机械提供动力的原动机称为动力装置。目前在工程机械上所采用的动力装置有：内燃机、电动机、蒸汽机及空气压缩机等。常用的为内燃机和电动机。

#### 一、内燃机

凡是把燃料燃烧时所放出的热能转变为机械功的机器，称为热力发动机（简称热机）。热机有内燃机和外燃机之分：内燃机是燃料和空气的混合物在发动机内部燃烧，并且放出热能而做功的原动机，它在工程机械上应用极其广泛。

#### 二、电动机

电动机是将电能转变为机械功的原动机，它在工程机械上应用甚广。

电动机有直流和交流电动机两类：

直流电动机有调速性能好及过载性能强等优点，但受直流电源限制，故只有大、中型设备（如大、中型起重机、挖掘机等）才采用。

交流电动机以其结构简单、质量轻、造价低、易操作、电源供应方便等优点而被工程机械广泛采用。常用的交流电动机有：

##### （一）Y 系列（鼠笼型）三相异步电动机

这是我国 20 世纪 80 年代新型电动机系列之一。其主要优点是结构简单、坚固耐用、效率高、造价低廉，在一般中、小型工程机械中应用最广。

##### （二）YZR 系列（绕线式）三相异步电动机

这是我国 20 世纪 80 年代的新型电动机系列之一。其主要优点是：有一定的调速性能、起动转矩大，能承受一定的冲击力。主要用于要求起动转矩大和有一定调速性能的设备（如起重机、卷扬机、挖掘机等）。

电动机与内燃机相比，有如下特点：

- （1）能承受短时超载及带载荷起动；
- （2）可以通过换相接线实现逆转，不需安装换向机构；
- （3）质量轻、体积小、结构简单、价格低廉、易操作；
- （4）噪声低、无废气污染等公害；
- （5）能源不能独立，工作中移动时要拖着电缆。

所以，当工程机械工作地点比较固定，又有稳定的电源供应时，普遍选用电动机作为动力装置。

### 三、空气压缩机

空气压缩机（简称空压机）是由内燃机或电动机所驱动的二次动力装置。它再以其制备的压缩空气直接驱动各种风动机具或工作装置，所以把它也列为工程机械的动力装置。

## 第二节 内燃机

燃料在汽缸内燃烧放出热能，通过活塞往复运动，使热能转变为机械功的机器，称为往复活塞式内燃机，简称内燃机（或发动机）。

### 一、内燃机的分类

内燃机的类型和分类方法很多：

按使用燃料的不同，可分为汽油机、柴油机、煤气机等；根据着火方式的不同，内燃机又可分为压缩着火的（压燃式）和强制点火的（点燃式）两类。柴油机属于前者；汽油机和煤气机则属于后者。

按照冷却方式的不同，内燃机还可分为水冷式和风冷式两种。

按照完成一个工作循环（指包括进气、压缩、膨胀和排气等过程的周而复始的循环）所需的行程数来分，有四冲程和二冲程内燃机。工程机械多用四冲程内燃机。

按照进气状态来分，内燃机又有非增压式和增压式之分。

按照其汽缸数或汽缸布置形式分类，内燃机可分为单缸、多缸；立式、卧式、对置式；直列式、V型等。

按照用途的不同，内燃机可分为固定式、移动式、工程机械用、汽车用、发电用等。

### 二、基本名词术语

图 2-1 为内燃机的基本结构。它包括汽缸、汽缸盖、活塞、活塞销、连杆、曲轴、飞轮、曲轴箱和进、排气门等。

活塞可在汽缸内上下往复运动。活塞销穿过活塞和连杆的上端，使活塞和连杆成为铰链似的连接。连杆下端（连杆大头）套在曲轴弯曲部分的曲柄销（连杆轴颈）上，也是铰链式的连接。

曲轴两端由曲轴箱上的轴承来支承，曲轴可在轴承中转动。

活塞在汽缸中往复运动时，曲轴则绕其轴线做旋转运动。很明显，曲轴每转一周，活塞向上向下各行一次（两个行程）

止点（死点）是活塞往复运动时，其顶面从一个方向转为相反方向的转变点。

上止点为活塞离曲轴中心线最远时的止点（图 2-2）；下止点是活塞离曲轴中心线最近时的止点。

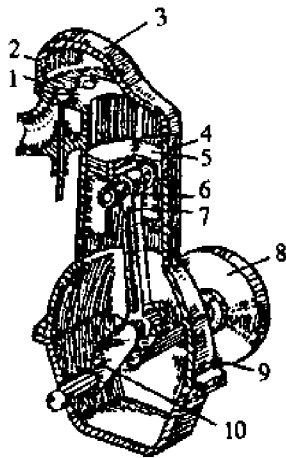


图 2-1 内燃机的基本机构

1—进气门；2—排气门；3—汽缸盖；4—汽缸；5—活塞；  
6—活塞销；7—连杆；8—飞轮；9—曲轴箱；10—曲轴

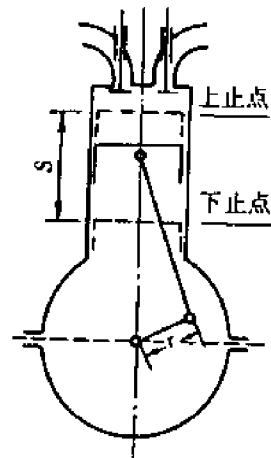


图 2-2 内燃机示意图

活塞运行的上、下两个止点的距离称为活塞行程  $S$ 。由图 2-2 可见，活塞行程  $S$  等于曲柄半径  $r$  的 2 倍，即

$$S = 2r$$

一个汽缸中活塞运动一个行程所扫过的容积称为汽缸工作容积  $V_h$ ，亦称活塞排量。它的大小由汽缸直径  $D$  和活塞行程  $S$  决定。

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S \times 10^{-6} \quad (\text{L}) \quad (2-1)$$

式中  $D$ ——汽缸直径 (mm)；  
 $S$ ——活塞行程 (mm)。

一台内燃机全部汽缸工作容积的总和称为汽缸工作总容积  $V_H$ ，亦称内燃机总排量。如一台内燃机有  $i$  个汽缸，则

$$V_H = \frac{\pi}{4} i D^2 S \times 10^{-6} \quad (\text{L}) \quad (2-2)$$

活塞在上止点时汽缸的容积，即汽缸的最小容积称为余隙容积（或燃烧室容积） $V_c$ 。活塞在下止点时汽缸的容积称为汽缸最大容积（或汽缸总容积） $V_a$ 。

$$V_a = V_h + V_c \quad (2-3)$$

汽缸最大容积与余隙容积的比值称为压缩比，亦称几何压缩比，即

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} \quad (2-4)$$

压缩比  $\varepsilon$  表示汽缸中的气体被压缩后体积缩小的倍数，它对内燃机的性能有重要的影响。

### 三、内燃机的总体构造

内燃机是一种复杂的机器。它由许多机构和系统组成，这些机构和系统共同保证内燃机很好地进行工作循环，实现能量转换，并使其连续正常工作。

虽然内燃机的结构形式很多，具体结构也各不相同，但其总体构造通常都是由下列机构和系统组成的。

### (一) 曲柄连杆机构

曲柄连杆机构是内燃机的基本机构。它的功用是将活塞的往复直线运动变成曲轴的旋转运动，以实现将热能转变为机械功。曲柄连杆机构的零部件包括：固定件与运动件两类。

固定件包括：汽缸盖、汽缸盖衬垫、汽缸体、汽缸套、曲轴箱、油底壳和机座等零部件。这些零部件组成内燃机的骨架，所有运动件和辅助系统都安装在这个骨架上面。

运动件包括：活塞连杆组和曲轴飞轮组。活塞连杆组由活塞、活塞环、活塞销及连杆等组成。活塞用来承受燃气的压力，并经过连杆将力传给曲轴。活塞是发动机中工作强度最高的机件之一。活塞环装在活塞头部的环槽中，它随活塞做往复直线运动，其运动速度很高。活塞环按其功用的不同，分为气环和油环两种。装在活塞头部上端的是气环，下端的1~2道是油环。气环与油环的功用和结构不同。气环主要用来密封汽缸，以使汽缸内的气体不漏入曲轴箱，同时可将活塞上部的热量传给汽缸壁（因活塞头部并不接触汽缸壁）。油环主要，是将汽缸表面多余的润滑油刮下，不让它窜入燃烧室，同时使汽缸壁上润滑油膜分布均匀，从而改善活塞组的润滑条件。连杆用来连接活塞和曲轴。它将活塞承受的力传给曲轴，并和活塞配合，把活塞的往复直线运动变为曲轴的旋转运动。在辅助行程中，连杆又将曲轴的旋转力传给活塞，带动活塞往复运动。

曲轴飞轮组由曲轴和飞轮等零件组成。曲轴的功用是将连杆传来的气体压力转变成扭矩，然后传给传动装置。发动机的各运动机构都是通过曲轴来驱动的。飞轮安装在曲轴的功率输出端（后端），起储能作用。

### (二) 配气机构

配气机构的功用是使燃油与空气所组成的可燃混合气（对汽油机而言）或新鲜空气（对柴油机而言）在一定的时刻被吸入汽缸，并使燃烧后的废气在一定的时刻被排出。配气机构包括进所门、排气门、挺柱、正时齿轮及凸轮轴等。

气门的开闭是由凸轮轴上的凸轮控制的，凸轮轴通常由曲轴通过齿轮来驱动。

根据气门安装位置的不同，配气机构的布置形式有顶置式（即气门安置在汽缸盖上，见图 2-3）和侧置式（即气门安置在汽缸体上，参见图 2-1）两种。侧置式气门过去常用于车用汽油机上，目前已逐渐被淘汰，只在一些小型汽油机上采用。顶置式气门广泛用在柴油机和车用汽油机上。

### (三) 供给系

供给系的功用是供给汽缸空气和燃油（或可燃混

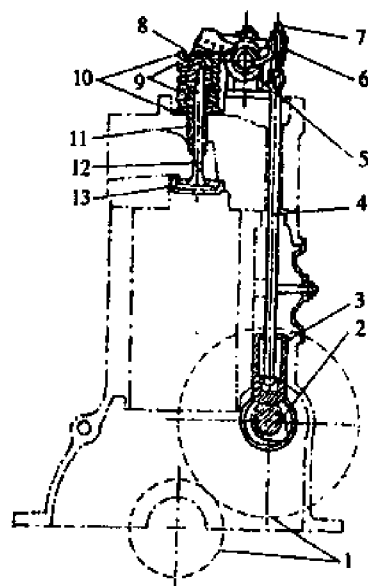


图 2-3 顶置式气门机构

- 1—正时齿轮；2—凸轮轴；3—挺柱；4—推杆；
- 5—摇臂轴；6—摇臂；7—调整螺钉；8—锁夹；
- 9—气门弹簧；10—弹簧座；11—气门导管；
- 12—气门；13—气门座

合气), 并排出燃烧后的废气。

供给空气(或可燃混合气)并排出废气的机件称为进排气系统。它主要由空气滤清器、进气管、排气管和排气消声器等组成。

### 1. 汽油机供给系

图 2-4 为一种汽油机的供给系。它主要由汽油箱、汽油滤清器、汽油泵及化油器等组成。汽油机工作时, 汽油泵将汽油箱中的汽油吸出, 经汽油滤清器滤清后压送到化油器; 同时空气经空气滤清器滤清后也进入化油器。在化油器中汽油被喷散, 并在很大程度上被蒸发, 汽油与空气混合后形成可燃混合气经进气管被吸入汽缸。燃烧产生的废气经排气管和排气消声器排入大气。

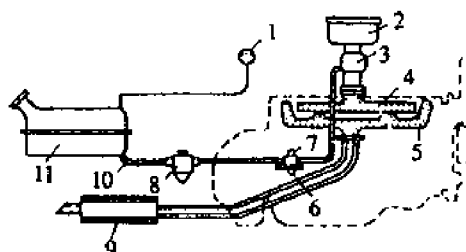


图 2-4 汽油机供给系

- 1—汽油油量表; 2—空气滤清器; 3—化油器;  
4—进气管; 5—排气管; 6—汽油泵; 7—汽油泵沉淀杯;  
8—汽油滤清器; 9—排气消声器; 10—油管;  
11—汽油箱

汽油泵的功用是把汽油箱内的汽油输送到化油器内。它多为膜片式, 即依靠橡胶膜片在一个膜盒里来回运动而吸油和压油。

化油器主要是按照喷散或雾化的原理来工作的。在化油器中开始了汽油的汽化和可燃混合气的形成过程。

化油器的工作原理与一般的喷雾器相类似。图 2-5 为一种简单化油器。它是一个能使汽油雾化的最简单的化油器, 它由浮子室、喉管、量孔和节气门等组成。

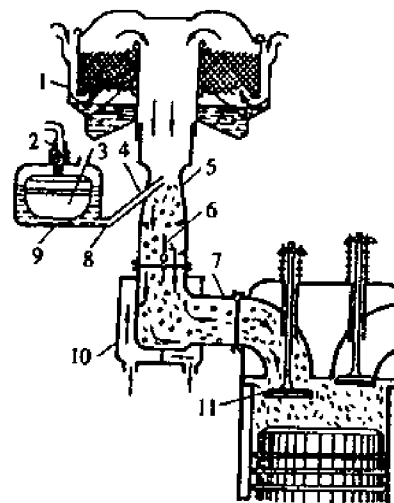


图 2-5 简单化油器

- 1—空气滤清器; 2—针阀; 3—浮子; 4—喷管;  
5—喉管; 6—节气门; 7—进气支管; 8—量孔;  
9—浮子室; 10—进气预热装置; 11—进气门

从汽油泵或汽油箱来的汽油经油管和开启着的针阀 2 进入浮子室 9。在浮子室的汽油中浮着一个浮子 3, 针阀的下端就靠在浮子上, 它们的功用是保持浮子室里的油面在一定的高度。浮子室通过它上面的一个小孔或用其他方法经常与大气相通。

当浮子室中的油面达到规定的高度时, 由于浮子的升起, 针阀就把进油口关上。在汽油机运转中, 根据汽油消耗的情况, 油面下降, 浮子也下落, 针阀随之开启到一定程度, 使适量的汽油进入浮子室, 以保持一定的油面高度。

喉管 5 把空气通道的断面缩小, 使空气流过时速度加快, 因而压力降低。也就是在喉管处产生一定的真空度。

汽油的喷管 4 开口在喉管的最窄部分, 而浮子室里是大气压力, 所以当空气流过喉管使该处的真空度达到一定程度时, 浮子室里的汽油就会因压力差从喷管喷出。喷出的汽油由于空气流动而被喷散, 而且部分被蒸发。

喷管 4 通过量孔与浮子室相通。量孔是一个有精确尺寸的小孔, 并有一定的形状。量孔的功用是控制流体(燃油、空气等)的流量。量孔往往做成螺塞形, 以装入化油器的某一部分。



节气门 6 是一个可以开闭的片状的门，由司机来操纵。它的功用是调节进入汽缸的可燃混合气的量，从而达到调节汽油机扭矩的目的。

上面所述是化油器的基本工作原理。在化油器的实际结构中，都在简单化油器的基础上加装了一系列的自动调配混合气浓度的装置。

## 2. 柴油机供给系

对于柴油机来说，供给系的功用是将柴油和空气按一定的要求分别送入汽缸，使之形成良好的可燃混合气，并将燃烧后的废气排出。

柴油机供给系的机件可分为供给燃油的和供给空气的两部分。图 2-6 为柴油机供给系简图。

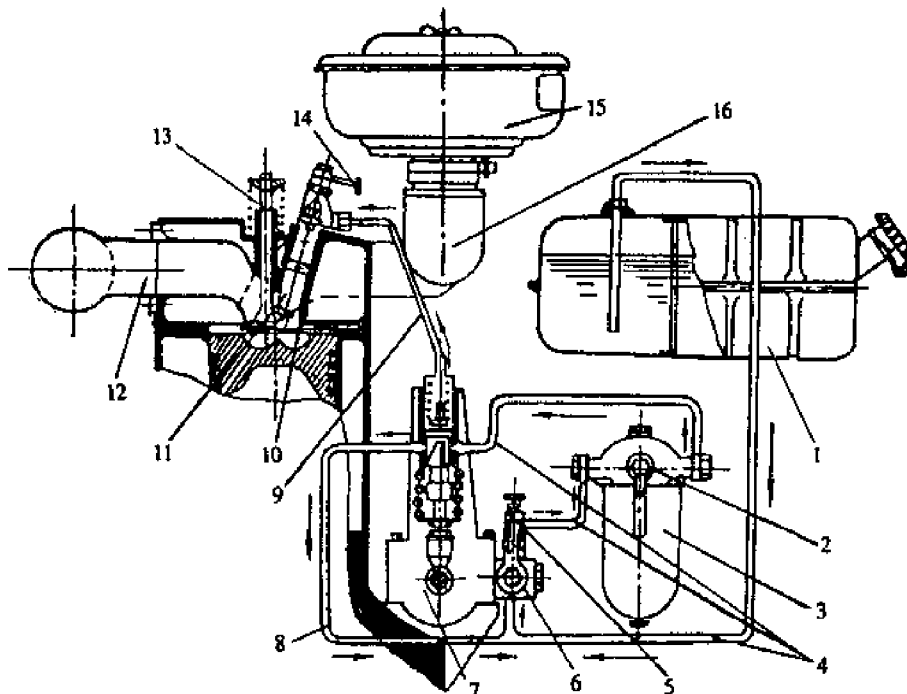


图 2-6 柴油机供给系简图

1—柴油箱；2—溢油网；3—柴油滤清器；4—油管；5—手压输油泵；6—输油泵；7—喷油泵；8—回油管；9—高压油管；10—燃烧室；11—喷油器；12—排气管；13—排气门；14—回油管；15—空气滤清器；16—进气管

柴油机工作时，新鲜空气经空气滤清器 15 和进气管 16 供入汽缸内。曲轴则通过正时齿轮驱动喷油泵 7 的凸轮轴，输油泵 6 安装在喷油泵体侧面，由喷油泵凸轮轴上的偏心轮驱动。柴油从柴油箱 1 经低压管 4 被吸入输油泵，并以  $0.05 \sim 0.1\text{MPa}$  的压力被压出，经柴油滤清器 3 滤清后送入喷油泵。柴油进入喷油泵后，一部分通过柱塞偶件的压缩使油压大大提高（约  $17\text{MPa}$ ），高压柴油按照各缸发火次序再经过高压油管 9 流向各缸喷油器，最后喷入燃烧室与压缩了的空气进行混合燃烧。多余的柴油则经回油管 8 流回输油泵（或柴油滤清器）。从喷油器针阀偶件间隙中泄漏的少量柴油经回油管 14 流回柴油滤清器。喷油泵供油量的大小，由安装在喷油泵上的调速器自动调节。它可以根据外界负荷的变化情况，自动调节喷油泵的供油量，以使柴油机保持在某一变化较小的转速范围内稳定运转。

通常人们把柴油机的供油装置分为两部分：从柴油箱至喷油泵以前的油路称为低压油路；经喷油泵泵油后至喷油器的油路称为高压油路。

#### (四) 点火系

点火系是汽油机所特有的一个系统。其功用是在规定的时刻，及时产生电火花点燃汽缸内被压缩了的可燃混合气。点火系可分为蓄电池点火系和磁电机点火系两种。蓄电池点火系广泛应用在车用汽油机上，而磁电机点火系一般应用在小型汽油机和轻便摩托车汽油机上。

图 2-7 为车用汽油机的点火线路。它由低压电路和高压电路两部分组成。低压电路的元件有：蓄电池 12、电流表 11、点火开关 10、附加电阻 3、点火线圈 4 中的初级线圈 6 及包括在分电器 2 中的断电器及与其并联的电容器组成。高压电路的元件有：点火线圈中的次级线圈 5、分电器中的配电器盖 7、高压线 8、火花塞电极 9 和阻尼电阻 18。

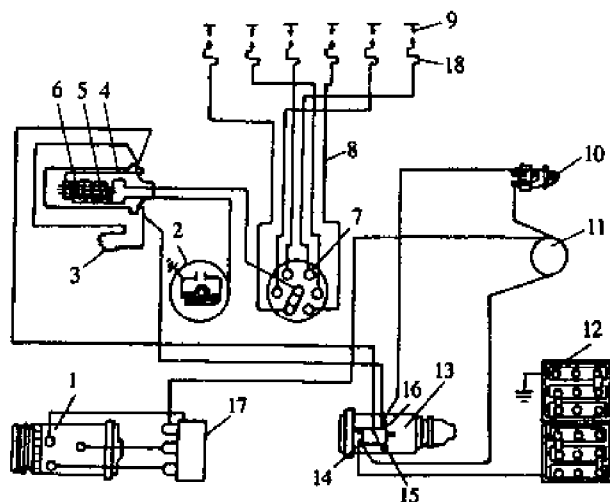


图 2-7 车用汽油机点火线路

- 1—发电机；2—分电器；3—附加电阻；4—点火线圈；5—次级线圈；6—初级线圈；7—配电器盖；8—高压线；9—火花塞电极；10—点火开关；11—电流表；12—蓄电池；13—起动机；14—起动机开关触点；15、16—起动机辅助触点；17—发动机调节器；18—阻尼电阻

图 2-8 为蓄电池点火系工作原理图。初级线圈 5 的一端经开关 6 与蓄电池相联，另一端则引至断电器的活动触点 7。活动触点 7 与固定触点 8 构成断电器（俗称“白金”），而固定触点是“搭铁”的，即与蓄电池另一端接通的。触点间并联一个容量约  $0.17 \sim 0.25 \mu\text{F}$  的电容器 9。电容器一极接活动触点，另一极是电容器的外壳，直接“搭铁”。断电器凸轮轴与配气机构的凸轮轴以同样的转速旋转，凸轮 10 每转 1 周，触点打开次数等于凸轮凸棱的数

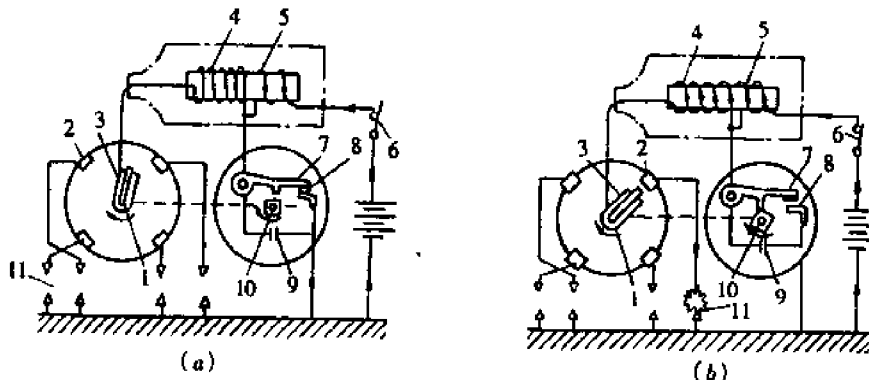


图 2-8 蓄电池点火系工作原理

- 1—配电器中心插孔；2—触点；3—配电臂；4—次级线圈；5—初级线圈；6—开关；7—活动触点；8—固定（白金）触点；9—电容器；10—凸轮轴；11—火花塞

目，亦即发动机汽缸数目。如解放牌汽车发动机共有 6 个汽缸，其断电器凸轮应有 6 个凸棱，凸轮转一周，触点打开 6 次。当点火开关 6 接通时，低压电流从蓄电池经点火开关 6 到点火线圈中的初级线圈 5、活动触点 7、白金触点 8，然后经搭铁至蓄电池，构成低压回路。由于断电器凸轮 10 被曲轴通过配气机构凸轮轴带动而在不停的转动，其凸棱就间歇地顶开触点 8，使低压电路断电或接通，而将蓄电池的直流电变为脉冲电流，从而使点火线圈内的次级线圈感应出高压电来（8 000 ~ 10 000 V）。这时在初级线圈中也会产生自感电势，这个自感电势所产生的电流方向和原来的初级电流相同，这就减慢了低压线圈中电流的切断及磁场变化的速度，使点火线圈次级高压降低，火花塞的火花也会变弱。由于此自感电势可达 300 V 左右，它还会使触点间产生强烈的火花，使触点迅速烧坏。所以在两触点间并联一电容器 9。这个电容器可使自感电势在触点打开的瞬间向电容器充电，减小触点火花；而当触点断开，电容器充电后，随即向低压线圈放电。所以，它能使低压电流加快消失，加快了磁场变化速度，使点火线圈次级高压得到相应提高。次级高压从点火线圈再经过配电器中心插孔 1 和配电臂 3（分火头）轮流分配给配电器上各触点 2 并通过高压线将其引到各缸火花塞，击穿火花塞的两个电极，发出足够能量的电火花来点燃混合气。

磁电机点火系只有磁电机和火花塞等元件。它与蓄电池点火系不同处在于：电源不是蓄电池，也不是发电机来的直流电，而是磁电机本身。它本身具有一个交流发电机，故其点火电源是交流电。另外，磁电机将点火线圈的低压线圈、高压线圈和断电器、配电器系统组成一体。磁电机点火系实际上除了火花塞、高压线外只有磁电机本身一个总成。

#### （五）润滑系

润滑系的功用是将润滑油（机油）送到内燃机各运动件的摩擦表面，起减磨、冷却、密封、防锈等作用，以减小摩擦阻力和磨损、并带走摩擦产生的热量，从而保证内燃机的正常工作，并延长使用寿命。润滑系主要由油底壳、机油泵、机油滤清器、机油冷却器、各种阀门及机油管道等组成。

由于机油在润滑系中的循环流动和飞溅，内燃机的运动件就得到了润滑。

#### （六）冷却系

冷却系的功用是将内燃机受热零件所吸收的多余热量及时地散到大气中去，以保持内燃机正常的工作温度（水温约 80 °C ~ 90 °C），不致因过热损坏机件而影响内燃机的工作。

多数内燃机采用水冷系。它包括汽缸体和汽缸盖中的水套、散热器（水箱）、水泵、风扇及节温器等。由于水泵的作用，冷却水就在水套和散热器间循环流动，将内燃机需要散出的热量通过散热器散入大气中。

也有的内燃机采用风冷系（空气冷却）。它主要由汽缸体及汽缸盖上的散热片、导流罩、风扇等组成。风冷系是利用吹过汽缸盖和汽缸体外表面的高速空气流，用空气直接冷却内燃机。

#### （七）起动装置

起动装置的任务是使静止的内燃机起动并投入自行运转工作。最简单的起动装置是手摇起动（利用摇手柄等），但这只适用于小型内燃机。而对功率较大的内燃机（特别是柴油机），

则必须采用起动电动机、起动汽油机或压缩空气起动设备等装置。此外尚须装设减压机构、预热塞、电热塞等辅助起动装置，以使起动迅速、容易。

#### 四、内燃机的基本工作原理

内燃机的每一个工作循环都包括：进气、压缩、燃烧-膨胀和排气等四个过程。四冲程内燃机的工作循环是在曲轴旋转两周，即四个行程中完成的；而二冲程内燃机的工作循环则是在曲轴旋转一周，即两个行程中完成的。

下面介绍四冲程内燃机的工作原理：

##### (一) 四冲程汽油机的工作原理

图 2-9 为四冲程汽油机的简图。

研究内燃机的工作循环时，可以利用一种表示汽缸内气体压力  $p$  和相当于活塞不同位置时的汽缸容积  $V$  之间的变化关系图。此图能表示一个工作循环中气体在汽缸内所做的功，所以称为示功图。图 2-10 是四冲程汽油机的示功图。

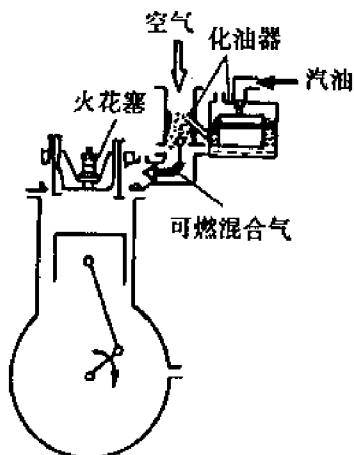


图 2-9 四冲程汽油机简图

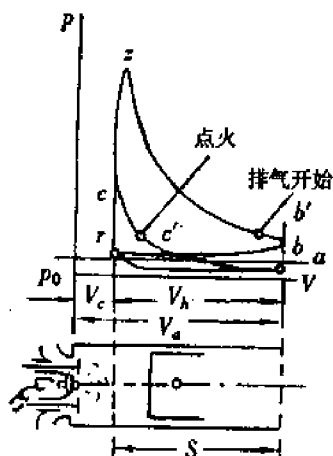


图 2-10 四冲程汽油机示功图

##### 1. 进气过程

在进气过程中，活塞从上止点向下止点移动，进气门开启，排气门关闭。这时活塞上方的汽缸容积增大，于是压力降低到小于大气压力，也就是产生了真空度。在外界大气压力的作用下，空气经空气滤清器进入化油器，在化油器中与汽油混合而成为可燃混合气，经进气管和进气门进入汽缸。由于进气系统对气流有阻力，所以进气终了时汽缸内的气体压力低于大气压力  $p_0$ 。进气过程在示功图上以曲线  $ra$  表示。

当活塞到达下止点时，进气终了，这时汽缸中的气体压力约为  $0.074 \sim 0.088 \text{ MPa}$ （当节气门完全开启时），温度为  $353 \text{ K} \sim 403 \text{ K}$ 。

##### 2. 压缩过程

为使汽缸中的混合气能迅速燃烧以产生较大的压力，从而使发动机发出较大的动力，必须在燃烧前将混合气压缩，使其容积缩小，密度增大，温度升高，即需要有压缩过程。

在进气过程终了后，进、排气门都关闭，曲轴继续旋转，活塞自下止点向上止点移动，

将汽缸中的混合气压缩，这是压缩过程。压缩过程在示功图上以曲线  $ac$  表示。随着气体容积的缩小，它的压力和温度就升高。压缩终了时气体的压力和温度主要视压缩比的大小而定，压力约为  $0.833 \sim 1.96 \text{ MPa}$ ，温度可达  $623 \text{ K} \sim 723 \text{ K}$ 。

压缩比越大，压缩终了时混合气的压力和温度也越高，混合气的燃烧速度以及燃烧过程的最高温度和压力就越高。因此，在其他条件相同时，发动机的功率越大，而经济性也越好。目前，汽油机的压缩比约为  $6 \sim 10$ 。但如压缩比过高时，将会引起不正常的燃烧——爆震。

### 3. 燃烧-膨胀过程

燃烧-膨胀过程是混合气燃烧、膨胀而做功的过程。

当压缩过程接近上止点时（图 2-10 中的  $c'$  点），火花塞发出电火花，点燃混合气。混合气燃烧时放出大量的热，汽缸内气体的温度和压力骤增（这时进、排气门都是关闭的），如曲线  $cz$  所示。在气体压力的作用下，活塞向下止点移动，并通过连杆使曲轴旋转而做功。

在燃烧开始时，汽缸中气体的压力约为  $2.94 \sim 4.91 \text{ MPa}$ ，温度可达  $2273 \text{ K} \sim 2773 \text{ K}$ 。随着活塞的下降，汽缸内容积增大，气体的压力和温度都随之下降（曲线  $zb$ ）。到膨胀终了时，压力降到  $0.294 \sim 0.392 \text{ MPa}$ ，温度降为  $1173 \text{ K} \sim 1473 \text{ K}$ 。

### 4. 排气过程

汽缸中的混合气燃烧后成为废气。为了使发动机能够继续不断的工作，就需要把废气排出汽缸，这才有可能进行下一个进气过程。所以在燃烧-膨胀过程后应该是排气过程。

排气过程中，活塞由下止点向上止点移动，排气门开启，进气门仍然关闭。由于燃烧室的存在，汽缸中的废气是不可能被完全清除的。残余废气约占进入汽缸的新鲜混合气的  $5\% \sim 15\%$ （以质量计）。

示功图上的曲线  $br$  表示排气过程。由于有排气阻力，排气过程中汽缸内气体的压力总是稍高于大气压力，约为  $0.103 \sim 0.123 \text{ MPa}$ ，此压力随发动机压缩比的增大和转速的降低而降低。排气终了时的废气温度约为  $773 \text{ K} \sim 1073 \text{ K}$ 。

汽油机工作时，在汽缸中连续不断周而复始地进行着上述过程。

## （二）四冲程柴油机的工作原理

四冲程柴油机和汽油机一样，每个工作循环也经历进气、压缩、燃烧-膨胀和排气四个过程。其工作过程与汽油机的不同之处在于可燃混合气的形成和着火的方法。在柴油机中吸进和压缩的是空气，燃油以很高的压力被喷入压缩后的高温空气中，形成混合气而自行着火燃烧。因此，柴油机的可燃混合气是在汽缸内部形成的，而不像汽油机那样在汽缸外面靠化油器形成的。

柴油机的混合气形成和着火之所以采用了与汽油机不同的方法，是由于柴油机所用的燃料（柴油）与汽油有着不同的性质。柴油的粘度比汽油大，不易挥发，而自燃温度却比汽油低。

图 2-11 和 2-12 分别为四冲程柴油机的简图和示功图。

由于柴油机是用压缩着火的，为使喷入汽缸的柴油可以迅速着火燃烧，压缩后空气的温度必须大大高于柴油的自燃温度。因此柴油机需采用较大的压缩比（ $12 \sim 22$ ）。压缩终了时，柴油机汽缸内气体的压力达  $2.94 \sim 4.90 \text{ MPa}$ ，温度约  $773 \text{ K} \sim 973 \text{ K}$ 。

在压缩过程中活塞接近上止点时（图 2-12 中  $c'$  点），柴油以喷油泵 1（图 2-11）将油压提高到  $9.8 \text{ MPa}$  以上，通过喷油器 2 以雾状喷入汽缸，在很短的时间内与高温空气混合，形

成混合气并迅速自行着火燃烧。汽缸内的气体压力急速上升到  $5.88 \sim 8.82 \text{ MPa}$ ，温度也升高到  $1773 \text{ K} \sim 2273 \text{ K}$ 。在高压气体推动下，活塞下行并推动曲轴旋转而做功。

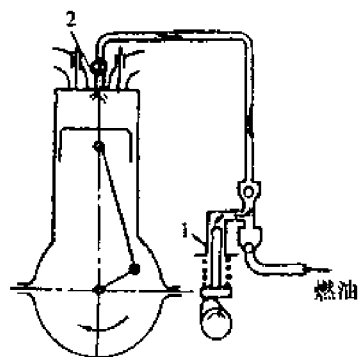


图 2-11 四冲程柴油机简图

1—喷油泵；2—喷油器

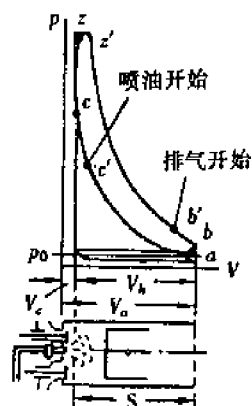


图 2-12 四冲程柴油机示功图

示功图（2-12）上刚过  $z$  点以后的压力下降不像汽油机那样急速。这是由于喷油不可能在一瞬间完成，而是要延续一段时间。此时，虽然活塞已向下移动，汽缸容积增大，但因柴油还在继续喷入和燃烧，所以压力在短时间内并不显著下降。

在排气过程中，废气经排气管排入大气。排气终了时的压力约为  $0.103 \sim 0.123 \text{ MPa}$ ，废气温度约为  $673 \text{ K} \sim 873 \text{ K}$ 。

由上述可见，四冲程内燃机在四个行程中只有一个行程是做功的，其他三个则是准备的行程。因此，在单缸发动机，曲轴每转两周中只有半周是由于膨胀气体的压力使曲轴旋转的，在其余的一周半中，曲轴是利用飞轮在做功行程中所储存的能量而旋转的。

很明显，做功行程中内燃机的转速将大于其他三个行程中内燃机的转速，所以单缸内燃机的工作是不平稳的。同时由于单缸机活塞往复运动所引起的惯性力难以平衡，所以工程机械上大多使用两缸以上的内燃机——多缸内燃机，用得最多的是四缸和六缸内燃机。

在多缸四冲程内燃机的每一个汽缸内，所有的工作过程是相同的并以同样的顺序进行，但各汽缸中的做功过程并不是同时发生的，而是把它们尽可能均匀地分布在曲轴旋转两周中。曲轴每转两周，每个汽缸做功一次。汽缸数越多，内燃机的工作就越平稳。

## 五、内燃机的主要性能指标和特性曲线

### （一）主要性能指标

内燃机的性能指标是用来评定其工作性能的好坏，主要有动力性能指标（一般为内燃机的功率、扭矩、转速）和经济性能指标（一般为燃油和润滑油的消耗）。

#### 1. 有效扭矩

有效扭矩是内燃机曲轴上实际输出的扭矩，用以克服外界负荷，通常以  $M_e$  表示，单位为  $\text{N} \cdot \text{m}$ ，可以通过测功器测得。

#### 2. 有效功率

有效功率是内燃机曲轴实际输出的功率。内燃机单位时间内所做的指示功称为指示功

率，它减去机械损失功率（消耗于内部零件的摩擦损失、泵气损失和驱动附件损失的功率）后所剩的功率即为有效功率。通常以  $N_e$  表示，单位为 kW。

如果内燃机曲轴每分钟旋转  $n$  转，曲轴输出的有效功  $W_e$  可表示为

$$W_e = 2\pi n M_e \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \quad (2-5)$$

则内燃机的有效功率为

$$N_e = \frac{2\pi n}{60} M_e \times 10^{-3} = \frac{\pi n M_e}{30\,000} \quad (\text{kW}) \quad (2-6)$$

由测功器测出有效扭矩  $M_e$  和转速  $n$  之后，即可由上式计算出有效功率的数值。

### 3. 燃油消耗率

燃油消耗率是内燃机每小时单位有效功率的燃油消耗量，简称油耗率。通常以  $g_e$  表示，单位为  $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

燃油消耗率一般是在试验台上测定有效扭矩  $M_e$ 、转速  $n$  的同时测算出每小时燃油的消耗量  $G_f$  ( $\text{kg}/\text{h}$ )，然后根据计算出来的有效功率  $N_e$ ，求出燃油消耗率  $g_e$ ，即

$$g_e = \frac{G_f}{N_e} \times 10^3 \quad [(\text{g}/\text{kW}\cdot\text{h})] \quad (2-7)$$

## (二) 特性曲线

内燃机的特性是指内燃机的主要性能参数在一定条件下的相互关系或随工况（转速和负荷）改变而变化的规律。常以曲线表示，称为特性曲线。

有了特性曲线，就可以评价内燃机在不同工况下的动力性和经济性，判断该发动机对于某种用途是否符合要求。并且可以分析在某工况下内燃机运行的可能性、适应性等，从而可以更合理地使用或选择发动机。

内燃机的特性有很多种，其中最主要的是速度特性。

当燃料供给调节机构（节气门或供油调节杆，一般简称油门）位置固定不变时，内燃机的性能参数（扭矩、功率、油耗率）随转速改变而变化的关系称为速度特性。

在速度特性中，当油门固定在全负荷位置时，试验测定所得的曲线亦称全负荷速度特性曲线（又称为外特性曲线，如图 2-13 所示）。它是该机在各种转速下最大的功率与扭矩界限。在正常工作时，不可能超过这些曲线的界限。一般来  $N_e$  ↓

(额)定扭矩  $M_H$ 。

由图 2-13 中的扭矩  $M_e$  曲线可以看出, 柴油机的扭矩曲线平坦。在低速区, 扭矩的变化很小, 由  $n_1$  到标定转速  $n_H$  之间的扭矩变化也不大。最大扭矩  $M_{\max}$  与标定扭矩  $M_H$  的比值称为扭矩适应性系数 (或扭矩储备系数)  $\mu_M$ , 它是内燃机的动力性能指标之一, 表示内燃机对外界阻力变化的适应能力。扭矩适应性系数  $\mu_M$  越高, 表示内燃机克服外界阻力的潜力越大。柴油机的扭矩适应性系数一般为 1.05 ~ 1.15, 采用校正器后可提高到 1.24 ~ 1.26 左右。

内燃机作为动力装置在工程机械上使用时, 尚须与变速器或液力变矩器等部件匹配工作, 从而使内燃机本身和工程机械均具有防止过负荷的能力, 有效地解决内燃机的特性与机械工作装置的要求不相适应的矛盾, 并使内燃机在高效区运转。

### 第三节 空气压缩机

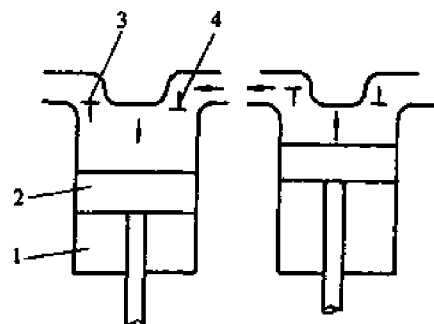
空气压缩机 (简称空压机) 是一种以内燃机或电动机为动力, 将空气压缩成高压空气的机械。它将压缩空气供给各类风动工具使用, 是一切风动工具的动力来源, 亦称为二次动力装置。目前在铁路、公路及水利电力施工中所采用的空压机, 根据其工作原理可分为活塞式和回转式两大类。回转式又有滑片式和螺杆式之分。下面主要介绍这几种空压机的工作原理:

#### 一、活塞式空压机

如前所述, 内燃机的工作是依靠燃料在气缸中燃烧与膨胀做功来实现的。此膨胀做功过程是通过气缸容积的变化 (由小变大) 而进行的。活塞式空压机的做功过程正好与内燃机的相反, 它虽然也是通过气缸容积的变化来将空气压缩成压缩空气的, 不过它的容积是由大变小的。图 2-14 为活塞式空压机的工作原理图。

活塞式空压机主要由气缸、活塞、曲轴-连杆机构以及进、排气阀等组成。活塞 2 是由外力 (内燃机或电动机通过空压机的曲轴-连杆机构传来) 驱使在气缸 1 内做往复运动。当它下行时, 气缸上部容积变大, 缸内形成部分真空, 于是在缸内外压力差的作用下, 进气阀 4 被打开, 空气被吸入气缸内, 此为吸气过程。当活塞上行时, 进气阀关闭, 此时由于气缸内容积逐渐由大变小, 缸内空气被压缩, 压力上升, 此为压缩过程。当缸内空气压力升高到足以克服排气阀 3 的背压 (包括弹簧力) 时, 排气阀便打开, 排出压缩空气。由此可知, 活塞在气缸内往返两个行程, 可完成吸气、压缩和排气三个过程, 这三个过程即构成了空压机的一个工作循环。活塞式空压机就是按这样的工作循环周而复始地工作着。

空压机在一个工作循环的各个过程中, 气缸内的空气压力是随着活塞在气缸内位置的不同



(a) 吸气过程 (b) 压缩与排气过程

图 2-14 活塞式空压机工作原理图

1—气缸; 2—活塞; 3—排气阀; 4—进气阀



(即缸内的容积变化)而发生变化的,其变化情况也像内燃机一样,可用 $p-V$ 图来表示(图 2-15)。图 2-15 (a) 为理论循环的 $p-V$ 图,它是假定空压机在没有余隙容积,没有进、排气阻力和没有热交换的情况下绘制的。直线 1-2 表示吸气过程,斜线 2-3 表示压缩过程,直线 3-4 表示排气过程,直线 4-1 表示下一循环吸气时的压力下降过程。 $p_1$ 、 $p_2$  分别代表进、排气压力, $V_1$ 、 $V_2$  分别代表进、排气时的容积。1-2-3-4 所包围的面积 $L_t$ 表示进行一次理论循环所耗的功。

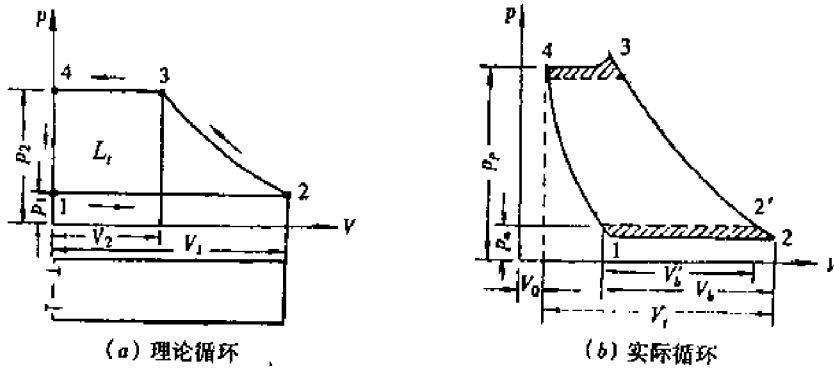


图 2-15 单级活塞式空压机的 $p-V$ 图

这种空压机的实际工作循环(见图 2-15 (b))与理论循环有很大的区别。因为实际上活塞不可能碰及缸盖,而要留有一定的余隙,此余隙所形成的容积 $V_0$ 称为余隙容积。图 2-15 (b) 中的 $p_a$ 表示大气压力。由于空气滤清器和进气管道等的阻力,实际进入气缸内空气的压力要稍低于大气压。 $p_p$ 为排入排气管道内气体的名义压力,由于排气阻力,排气时缸内的压力是稍高于 $p_p$ 的。 $V_1$ 表示活塞自上止点移动到下止点时的理论进气容积,但实际上活塞要下行到一定程度,让余隙容积中的压力下降到低于大气压时才能正式吸气,即从图 2-15 (b) 中所示的点 1 开始吸气。图 2-15 (b) 中的 1-2-3-4 所包围的面积是实际工作循环所耗的功,其下面与上面两块阴影线面积为耗于进、排气阻力的功。

空气在气缸内被压缩的过程是其分子剧烈运动和强烈摩擦的过程,势必伴随着温度的急剧升高,其升高的程度与压缩比成正比。由于吸入的空气是一个大气压,所以要求排出的压缩空气的压力越高,其温度将升得越高。这种高温的压缩空气将影响到它的使用。因此,现在对大、中排气量( $10 \text{ m}^3/\text{min}$  以上)而气压在  $0.686 \text{ MPa}$  以上的空压机大多进行两次以上的多级压缩。第一次先压缩到  $0.176 \sim 0.215 \text{ MPa}$ ,第二次再压缩到  $0.686 \text{ MPa}$ ,而在第一、二级压缩之间可进行一次中间冷却,以降低压缩空气的温度和所耗的功。图 2-16 为两级活塞式空压机的工作原理图。图 2-17 为其工作循环的 $p-V$ 图。由图 2-17 (a) 可以看出,第一次压缩后的气体容积 $V_2$ 经冷却后可缩小到 $V_3$ ( $p-V$ 图上由点 3 到点 3'),此气体再经第二次压缩后,从点 5 开始等压排气。折线 2-3-3'-5 表示经过中间冷却的两次压缩的全部压缩过程。3-3'-5-5'所包围的阴影线面积表示经过中间冷却所节省的功。直线 1-2 表示

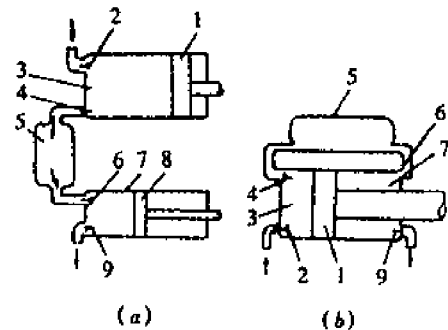


图 2-16 两级活塞式空压机的工作原理图  
1、8—活塞; 2、6—进气阀; 3—低压缸; 4、9—排气阀;  
5—中间冷却器; 7—高压缸

第一级的气缸容积  $V_1$ ，直线 4-3' 表示第二级气缸容积  $V_2$ ，显然它比第一级的要小得多。

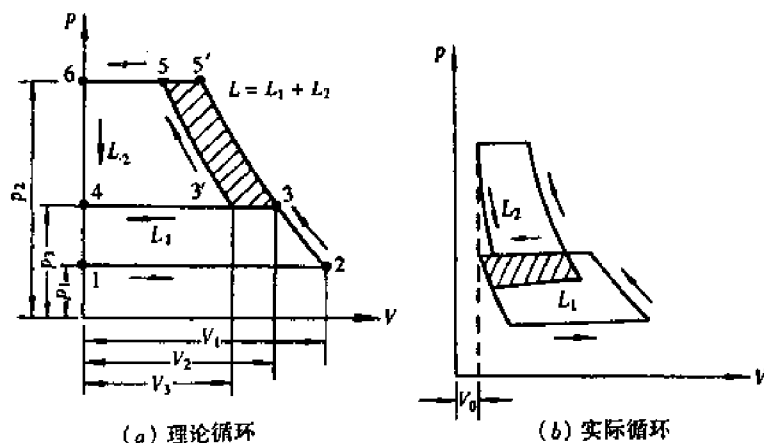


图 2-17 两级活塞式空压机工作循环的  $p$ - $V$  图

由上述可见，经过中间冷却的多级空压机具有下列优点：（1）节省所耗的功（这里的理论功以  $L_1$  和  $L_2$  表示）；（2）制备的压缩空气的温度较低；（3）容积利用系数得到改善；（4）经中间冷却可使空气中的一部分湿气析出，使之变得更为干燥。因此，现在用于基建工程中的活塞式空压机基本都采用两级式的。这种空压机根据气缸的排列情况又可分为直立型、V 型、W 型与 L 型几种。W 型的是两个低压缸排成 V 型，高压缸直立地排在两个低压缸之间；L 型的是高低压两缸成直角。目前在工程施工中采用较多的活塞式空压机有 4L-20/8 型电动空压机、VY-12/7 型内燃空压机。

## 二、螺杆式空压机

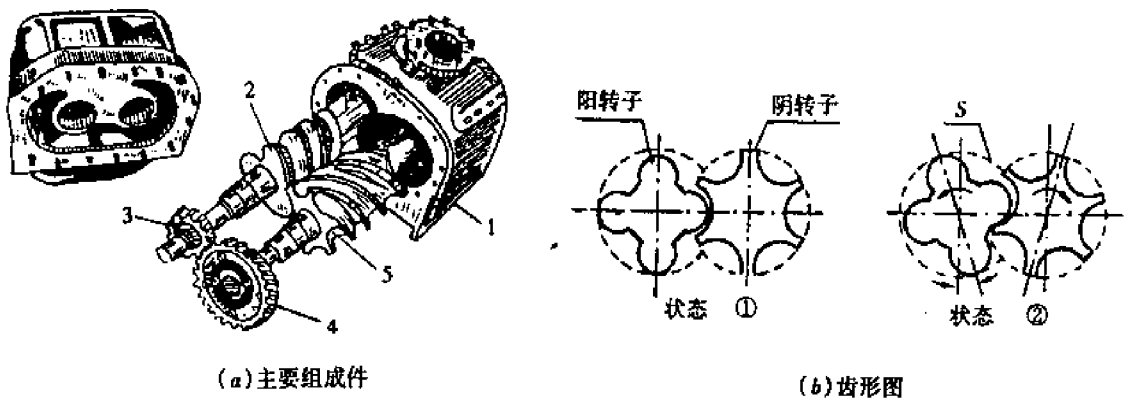
螺杆式空压机是回转式空压机的一种。回转式空压机与往复活塞式空压机一样，都是借气缸工作容积的变化来实现气体压缩的，故它们都属于容积式压缩机。回转式空压机的主要机件——转子，在气缸内做旋转运动，以实现气缸容积的变化，从而实现气体的压缩。

回转式空压机没有活塞、连杆及曲轴等往复运动机构，一般无气阀。零部件（特别是易损件）少，结构简单、紧凑、体积小、质量轻，操作维修方便，适应性强，其动力平衡性好，故压缩机的转速高、基础小、排气脉动小。它是一种近年来发展起来的新型压缩机。它的缺点是噪声大（尤其是螺杆式）、制造加工较复杂、耗能（电）较多。

螺杆式空压机由一个“∞”字形气缸体和两个平行配置在气缸内、反向旋转又相互啮合的螺旋形转子（螺杆）组成，如图 2-18 所示。其中一个具有凸齿的称阳转子（主动转子），另一个具有凹齿的称阴转子（从动转子）。其工作循环为吸气→压缩→排气三个过程。

### （一）吸气过程

当螺杆由原动机带动旋转时，阴阳螺杆吸气端的齿由相互啮合（见图 2-18 (b) 之状态①）而逐渐脱离，齿间空隙逐渐增大（见图 2-18 (b) 之状态②），并与机体吸气口相通，外界空气被吸入。随着螺杆的转动，螺杆齿沟与气缸壁间形成一个闭合空间而完成吸气过程。



(a) 主要组成件

(b) 齿形图

图 2-18 螺杆式空压机的组成件及其齿形图

1—气缸体；2—阳转子；3—驱动齿轮；4—传动小齿轮；5—阴转子

### (二) 压缩过程

由于螺杆的继续旋转，螺杆齿沟与气缸壁间所形成的闭合空间因齿的互相挤入而逐渐缩小，并继续向前推移，于是空气被压缩。

### (三) 排气过程

螺杆继续旋转，该闭合空间进一步缩小，当空气压缩至额定压缩比时，便从排气口排出。随着转子的继续旋转，上述过程又重复进行。

## 三、滑片式空压机

滑片式空压机也是回转式空压机的一种。与往复活塞式空压机相比，滑片式空压机具有结构简单，易损件少，操作和维修保养方便，几乎无振动等特点；与螺杆式空压机相比，它又具有加工工艺简单，噪声小的优点。

滑片式空压机的主要缺点是滑片与转子、气缸间的磨损较大，因此效率较低。

滑片式空压机也有单级和两级之分。

滑片式空压机的主要机件由气缸、转子及滑片等三部分组成，如图 2-19 所示。

滑片式空压机的转子偏心配置在气缸内，转子上开有若干纵向凹槽，在凹槽中装有能沿径向自由滑动的滑片（一般有 8 片）。

由于转子在气缸内偏心配置，气缸内壁与转子外表面间构成一个月牙形空间。转子旋转时，滑片受离心力的作用从槽中甩出，其端部紧贴在气缸内壁面上，月牙形空间被滑片分隔成若干扇形的小室——基元容积。

在转子旋转一周之内，每一基元容积将由最小值逐渐变大，直到最大值；再由最大值逐渐变小，变到最小值。随着转子的连续旋转，基元容积将周而复始的变化。

在气缸上开设有吸气口的排气口（见图 2-19 中的左、右侧）。

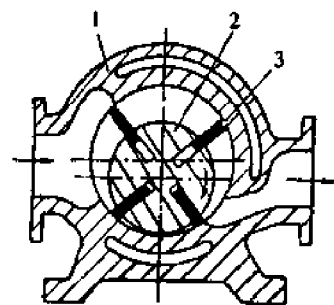


图 2-19 滑片式空压机的结构

1—气缸；2—转子；3—滑片

基元容积逐渐增大时，在左面与吸气口相通，开始吸入空气，直到基元容积达到最大，组成该基元容积的后一滑片（相对于旋转方向）越过吸气口的上边缘时吸气终止。之后，基元容积开始缩小，空气被压缩。当组成该基元容积的前一滑片到达排气口的上边缘时，基元容积开始与排气口相通，则压缩过程结束，排气开始。而在基元容积的后一滑片越过排气口的下边缘时，排气终止。之后，基元容积达最小值。转子继续旋转，基元容积又开始增大，此即转入下一循环的工作。

各种空压机都可由电动机或内燃机来驱动，而且都带有储气筒和气压自动调节装置以及安全阀、气压表等附属设备。

储气筒是用钢板焊成的圆筒，用来储备压缩空气，传输给风动机具使用。其功用可平衡波动的气流，使供气的气压稳定，分离出压缩空气中的油与水，还可降低一些压缩空气的温度。

空压机所生产的压缩空气是定量供入储气筒的。但是储气筒传输给风动机具的空气量却不一致，因为同时使用的风动机具数量常常是变动的。这样，当耗气量少于空压机的生产量时，储气筒内的压缩空气会不断增多，压力也随之升高。当压力升高到某一限值时，将会引起储气筒和整台空压机的爆炸。为此，任何型式的空压机都装有气压自动调节装置，使储气筒内的气压基本保持稳定。如对内燃压缩机来说，当筒内的气压超过上限值时，调节装置会使空压机处于卸载空转状态，同时也减小内燃机的供油量，使它处于怠速运转状态，以减少燃油消耗及机件的磨损；如筒内的气压因耗气过多而下降到下限值时，调节装置又会使内燃机与空压机都同时恢复载荷运转状态。上述过程是自动调节的，不需人工控制。气压自动调节装置的构造型式很多，工作原理也根据构造型式的不同而有所差异，但其卸载的基本原理有两种：一种是关闭空压机的进气路；另一种是使空压机的进气阀处于常开状态，同时减小内燃机的供油量。这些功能都是由气压来控制的。

各类型的空压机都有移动式、半固定式和固定式三种。

空压机的主要性能指标为排气量和排气压力。排气量是以每分钟吸入的空气转变为压缩空气来计量的（ $\text{m}^3/\text{min}$ ），排气压力是以储气筒中的气压为准，目前两级式的大多为0.686~0.784 MPa。

## 复习思考题

1. 工程机械常用的动力装置有哪些？
2. 何谓内燃机？内燃机的主要分类方法有哪些？
3. 解释下列名词术语：活塞行程、汽缸工作容积、内燃机总排量、燃烧室容积、上止点、下止点、压缩比。
4. 试述四冲程内燃机的基本工作原理。
5. 汽油机和柴油机在总体构造与工作原理上的主要差异是什么？
6. 何谓内燃机的有效扭矩、有效功率与燃油消耗率？其作用如何？
7. 内燃机特性曲线的意义何在？什么是内燃机的外特性？其功用是什么？
8. 试述活塞式、螺杆式和滑片式空压机的工作原理。

## 第三章 常用零件和机构

### 第一节 机械零件和机构总论

#### 一、机器、机构的组成

机械是机器和机构的总称。一台完整的机械包括动力装置、传动装置和工作装置三部分。动力装置是机械的动力来源；传动装置是把动力装置的动力和运动传递给工作装置的中间环节，如齿轮传动、带传动、链传动、蜗杆蜗轮传动和液压传动等；工作装置是直接完成生产任务的部分，一台机械的名称即由工作装置所担负的任务而定，如起重机、搅拌机、推土机等。

机器是由各种机构所组成的，如内燃机、推土机、起重机等工程机械都是由连杆机构、凸轮机构、齿轮机构等各种机构所组成的。而机构又是由各种构件和零件所组成的，如齿轮、轴、轴承等。为完成同一使命在结构上组合在一起的一套协同工作的零件总称为部件，如传动箱、减速器等。零件可分为通用零件（如齿轮、轴承、螺钉等）和专用零件（如起重机的滑轮、钢丝绳、吊钩等）。

本章研究通用的零件和部件。这些几乎在所有的机器里都会遇到，如螺钉、轴、轴承、联轴器、机械传动及其他等。

#### 二、机械的摩擦与润滑

在机械工作过程中，一些零件相对于另一些零件运动时，在接触表面上将产生切向阻力，即摩擦力。摩擦力数值为

$$F = Nf \quad (3-1)$$

式中  $N$ ——正压力；

$f$ ——摩擦系数，取决于材料和摩擦表面的状态。

如图 3-1 (a) 所示，摩擦力  $F$  的方向永远与相对运动速度  $v$  的方向相反。摩擦力与正压力的合力  $R$  称为全反力，全反力与正压力的夹角  $\varphi$  称为摩擦角，摩擦角的正切等于摩擦系数，即

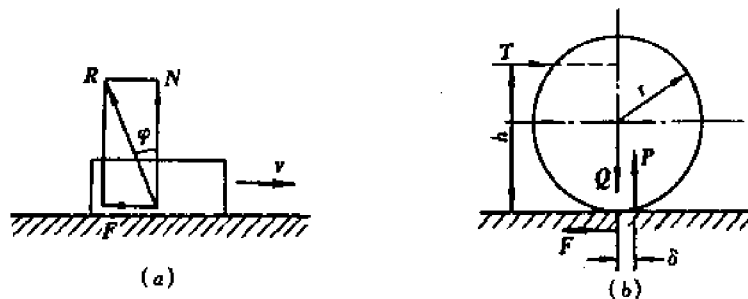


图 3-1 摩擦力示意图

$$\tan \varphi = f \quad (3-2)$$

摩擦引起零件表面磨损，使它们变热。在磨损与变热时将消耗能量，摩擦力越大，这种消耗就越大，机械效率就越低。为了减小摩擦力，用整体油膜层对摩擦表面进行润滑，这样的摩擦称为液体摩擦。摩擦表面无润滑时发生的摩擦称为干摩擦。液体摩擦系数比干摩擦系数小 10 倍。

不过摩擦并不总是有害的，许多机构（如制动装置、螺旋千斤顶、带传动和摩擦传动等）都是利用了摩擦力的原理工作的。

为了更多地减小某些结构内的摩擦力，可用滚动代替一个表面沿着另一个表面的相对滑动。如果一个物体沿着另一个物体表面滚动而无滑动，那么产生的阻力称为滚动摩擦阻力，如图 3-1 (b)。

由于摩擦的存在，它直接影响机械的效率。

一个机械系统或一个传动机构中，驱动力（或主动力）所做的功称为输入功，以  $A_p$  表示。克服生产力所做的功称为输出功，以  $A_q$  表示。而克服有害阻力（如摩擦阻力、空气阻力等）所做的功称为损耗功，以  $A_f$  表示。一般机械损耗的功主要形式是摩擦功。机械在稳定运转时期，输入功等于输出功与损耗功之和，即

$$A_p = A_q + A_f \quad (3-3)$$

若以功率形式表示，则有

$$N_p = N_q + N_f \quad (3-4)$$

即，输入功率等于输出功率与损耗功率之和。

将上式等号两边同除以输入功率  $N_p$ ，得

$$\frac{N_q}{N_p} = 1 - \frac{N_f}{N_p} \quad (3-5)$$

令式中  $N_q/N_p = \eta$ ，它表示输入功率消耗在克服有用的工作阻力上的比例（一般用百分数来表示），即表示输入功的有效利用率，称为机械效率。而  $N_f/N_p$  则反映输入功率消耗在克服有害阻力（一般为摩擦阻力）上的比例，即反映消耗程度。因此，机械效率的表达式为

$$\eta = 1 - \frac{N_f}{N_p} \quad (3-6)$$

在实际机械中总存在摩擦，即  $N_f$  总不可能等于零，因此，任何一个实际机械的效率总是小于 1 的，而且摩擦阻力越大，机械效率越低。因此，为了提高机械效率，应尽量减小摩擦损失。

为了减小摩擦和磨损，除以滚动摩擦代替滑动摩擦和采用耐磨材料外，通常在摩擦表面间使用润滑剂。润滑剂不但可以减小摩擦和磨损，还可降低表面工作温度。液体润滑剂还能带走摩擦所产生的热量，对降温更有效。此外，润滑剂有防锈、传递动力、清除污物、减振和密封等作用。

在工程机械中使用的润滑剂主要是各种润滑油和润滑脂（俗称黄油）。

### 三、公差与配合

在制造零件时，即使是同样的一批零件，它们的尺寸不可能做得绝对相同。为使零件能够互换，不需要进行附加的选择和修整，即可装到部件里，达到所需的配合，一定的零件应当制造成具有事先规定的公称尺寸偏差。最大和最小极限尺寸的差就称为公差。

根据对零件提出的要求，给予各种表示精度等级的公差值。国家一共规定了 20 个精度等级，从 IT01、IT00、IT1 到 IT18，其中 IT01 级精度最高，IT18 级精度最低。

根据工作条件，零件的配合有间隙配合、过盈配合和过渡配合。

间隙配合也称动配合。主要用于孔轴的活动联接，轴的直径小于孔的直径，轴、孔之间必设有间隙。

过盈配合也称压配合。主要用于轴孔的紧联接，轴的直径大于孔的直径，因而需用力把轴压入孔内。

在过渡配合时，零件的配合可以是过盈的联接，也可以带有间隙。

## 第二节 零件的联接

机械是由许多零、部件根据工作要求用各种不同的联接方法组合而成，以便于机械的制造、安装、维修和运输等。零件的联接分为可拆联接和不可拆联接。

下面介绍可拆的螺纹联接与键联接。

### 一、螺纹联接

#### (一) 螺纹的主要形式及主要参数

螺纹联接是利用带有螺纹的零件构成的可拆联接，其应用广泛。

螺纹结构可做成各种各样的。按螺纹牙型可分为矩形，如图 3-2 (a)、(c)，三角形如图 3-2 (b) 或梯形如图 3-2 (d)。按螺旋线的绕行方向，螺纹分为右旋螺纹和左旋螺纹。右

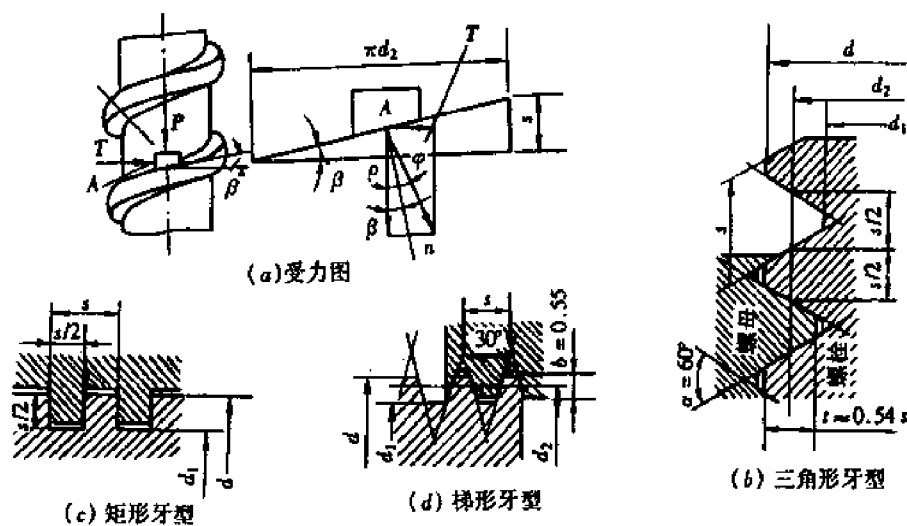


图 3-2 螺纹联接要素

旋螺纹的螺旋线方向是由左向右上升,而且将螺母旋入螺钉时是按顺时针方向旋转的如图 3-2 (a)。左旋螺纹的螺旋线方向是由右向左上升的。应用最多的是右旋螺纹。根据螺纹的数目,螺纹又可分为单头和多头螺纹。所有紧固螺纹都采用三角形的单头螺纹,多头(双头和三头)螺纹通常应用于螺旋机构中(如螺旋千斤顶)。

螺纹的要参数有(如图 3-2):

外径  $d$ ——螺纹的最大直径,并定为螺纹的公称直径。

内径  $d_1$ ——螺纹的最小直径,也是外螺纹危险剖面的直径。

中径  $d_2$ ——假想圆柱体直径,此圆柱体上的螺纹牙宽度和牙间的宽度相等。

螺距  $s$ ——沿螺纹轴线方向量得的相邻两螺纹牙间的距离。

牙型角  $\alpha$ ——通过螺纹轴线的平面内螺纹两侧边的夹角,如图 3-2 (b) 所示。

在紧固螺纹时,重要的是使沿螺栓或螺柱轴线有足够的力  $P$ ,以便零件联接或拉紧。如果把螺纹按平均直径  $d_2$  上的一圈如图 3-2 (a) 展开,根据附加圆周力  $T$  (旋转螺母的力) 就可求得  $P$  力的大小。展开图乃是直角三角形,其中,一直角边等于螺纹的螺距,另一直角边等于按平均直径计算的圆周长。螺旋角  $\beta$  等于

$$\tan \beta = \frac{s}{\pi d_2} \quad (3-7)$$

为了确定力  $P$  和拉紧时附加圆周力  $T$  之间的相互作用,可用滑块  $A$  代替螺母。在滑块位移时,也就是滑块沿斜面相对运动时,由于法向力(正压力)和摩擦力产生的合力(全反力)偏离法线一个摩擦角  $\varphi$ ,这个合力分解将得圆周力  $T$

$$T = \tan(\beta + \varphi) (N) \quad (3-8)$$

对不同牙型的螺纹来说,摩擦角  $\varphi$  值是不一样的,三角形螺纹的  $\varphi$  值比矩形螺纹的大。

螺旋副的采用不仅是为了紧固的目的,而且还用于起重机构(千斤顶),并供克服重力用。在螺旋副中,当推动螺母的圆周力停止起作用时,为了使提升的重物在装置停车时不放下,也就是使螺旋副具有自锁能力是非常重要的。自锁能力就是撤除了圆周力  $T$  的作用,作用在滑块  $A$  上的力  $P$  不论有多大,都不会使滑块  $A$  自行沿斜面下滑。当螺旋角  $\beta$  小于摩擦角  $\varphi$  时,就能获得自锁。

## (二) 螺纹联接件的主要类型及防松装置

螺纹联接件主要有螺栓、螺钉、螺柱和螺母。

螺栓和螺钉的一端有螺纹,以便拧入零件的螺纹孔内,而另一端有头:螺栓是有置于扳手的六角形或方形头部,如图 3-3 (a),而螺钉是有置于螺钉起子的半圆形、圆柱形或带槽埋头的头部,如图 3-3 (b)。螺栓和螺钉的直径,长度  $l$ ,被切螺纹的长度  $l_0$ ,置于扳手的尺寸  $s$  和头部的高度  $h$  都是标准化的。

螺柱如图 3-3 (c) 所示,没有头部,在两端形成螺纹。螺柱的一端拧入螺纹孔内,而在另一端旋上螺母。螺柱宜用于不便使用螺栓的地方,以及由铝制和轻合金制的零件联接中,因为这些零件中的螺纹会很快损坏。

螺母,所有螺栓和螺柱均需和螺母配合使用,螺母有各种不同的形状,通常采用六角螺母,方螺母和圆螺母用得较少。为了拧紧圆螺母,在圆螺母上做有凹槽或孔道,如图 3-3 (f) 所示。



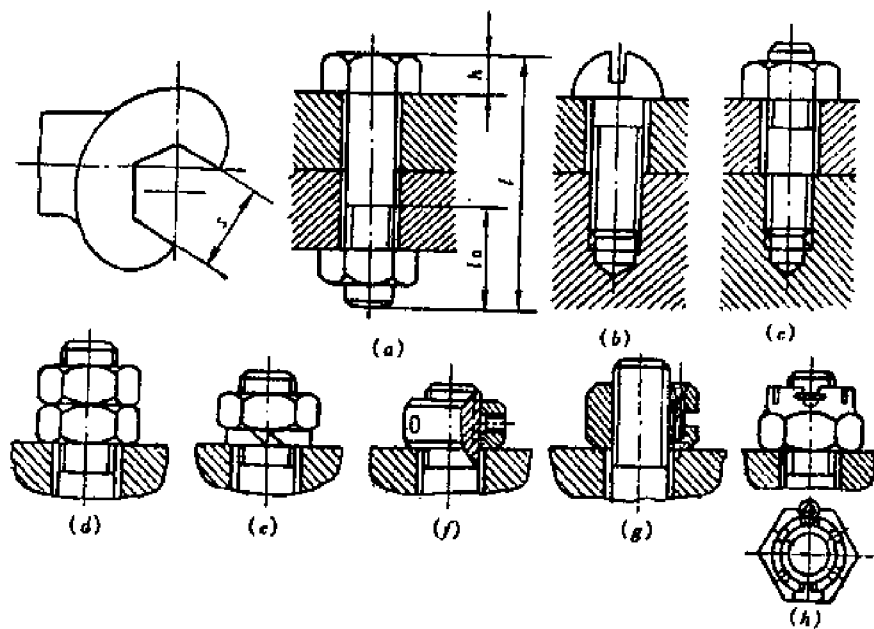


图 3-3 螺纹联接

为了防止螺母自行松脱，采用了各种锁紧方法，除了主螺母外，还装置了锁紧螺母，如图 3-3 (d) 所示。这种螺母使主螺母螺纹内产生了附加拉力和附加摩擦力，这就阻碍了螺母松脱。在其他情况下，在螺母下面装设弹簧垫圈，用以保持螺母和螺纹之间的摩擦力，如图 3-3 (e) 所示。在使用圆螺母时采用锁紧螺钉，如图 3-3 (g) 所示。也有的做成带开口销的专用螺母，如图 3-3 (h) 所示。

### (三) 螺栓联接的计算

(1) 螺栓工作时只承受拉力（例如，减速器的环首螺钉，如图 3-4 (a) 所示），其法向拉应力为

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{4P}{\pi d_1^2} \leq [\sigma] \quad (\text{MPa}) \quad (3-9)$$

式中  $P$ ——沿螺栓的作用力 (N)；  
 $A$ ——按螺纹内径计算的螺栓截面积 ( $\text{mm}^2$ )；  
 $d_1$ ——螺纹内径 (mm)。

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4P}{\pi[\sigma]}} \quad (\text{mm})$$

(2) 当安装螺栓时受有初始拉紧力的情况下，螺栓工作承受拉力和扭力。在这类螺栓中，除受拉力外，还有扭矩的作用。因为拧紧螺母时，在螺纹内产生了摩擦力，这力矩的数值取决于轴向力  $P$ ，螺旋角  $\beta$ ，摩擦角  $\varphi$ ， $\tan \varphi = f$ （其中， $f$  为螺纹联接的摩擦系数）及  $d_2$ 。

$$M_t = P \frac{d_2}{2} \tan(\beta + \varphi) \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (3-10)$$

式中  $d_2$ ——螺纹平均直径 (mm)。

扭转力矩的影响以换算当量公称应力  $1.3\sigma$  计算。

在这类联接里，螺栓装置在孔内具有间隙。扭紧螺栓所必须的力  $P$  应使联接零件接触表面上如图 3-4 (b) 的摩擦力等于或大于横向载荷  $T$ ，即

$$Pfi \geq T \quad (3-11)$$

式中  $f$ ——摩擦系数；  
 $i$ ——受摩擦力的平面数。

(3) 螺栓工作承受剪切和挤压(如图 3-4 (c))。在这类联接里，螺栓装置在孔内无间隙。剪应力和挤压应力在螺栓上引起横向力  $T$  的作用。这些应力可按下列公式确定

$$\tau = \frac{4T}{\pi d^2 zi} \leq [\tau] \quad (3-12)$$

$$\sigma_p = \frac{T}{zd\delta} \leq [\sigma_p] \quad (3-13)$$

式中  $i$ ——一个螺栓的剪切平面数；  
 $z$ ——螺栓数；  
 $\delta$ ——被联接件厚度中的最小厚度。

在螺纹联接里，按剪切和挤压计算螺纹。螺纹剪应力为

$$\tau = \frac{P}{\pi d_2 K H K_1} \leq [\tau] \quad (3-14)$$

式中  $K$ ——表征螺纹丰满度的系数 ( $K=0.5 \sim 0.75$ ，它取决于螺纹牙型)；  
 $H$ ——螺纹高度 (mm)；  
 $K_1$ ——考虑到螺纹圈载荷不均匀的系数 (取决于螺距和螺纹外径，在  $d/s \leq 16$  可采用  $K \approx 5s/d$ )。

螺纹挤压应力为

$$\sigma_p = \frac{4P}{\pi(d^2 - d_1^2)K_1 z} \quad (\text{MPa}) \quad (3-15)$$

式中  $z$ ——沿螺母高度的圈数 ( $z=H/s$ )。

## 二、键联接与花键联接

键联接与花键联接均为可拆联接。主要用于轴和带毂的零件 (如齿轮、蜗轮等)，实现周向固定以传递扭矩的轴毂联接。

### (一) 键联接 (图 3-5 (a))

键联接是从一个零件向另一个零件传递的力由键的侧面承受。这力使键受挤压和剪切。键的计算按挤压计算，采用力沿键整个长度和高度均匀分布的应力  $\sigma_p$ ，键承受的作用力的合力，其力臂等于  $d/2$ ，并且键在轴表面上方凸出  $0.5h$  ( $h$  为键的高度)。根据所传递的力矩  $M$  可确定  $\sigma_p$  和  $\tau$  值

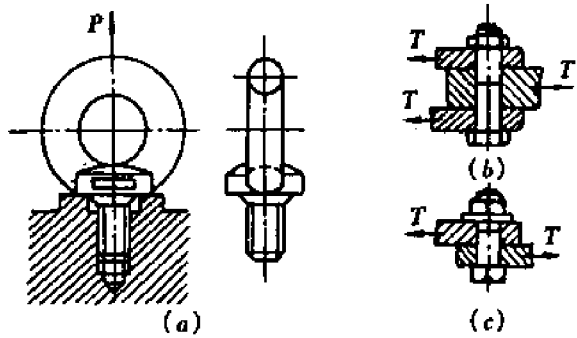


图 3-4 螺栓承受载荷的各种情况

$$\sigma_p = \frac{4M}{hl_p d} \leq [\sigma] \quad (3-16)$$

$$\tau = \frac{2M}{bl_p d} \leq [\tau] \quad (3-17)$$

在传递大扭矩时，在轴上需装置两个或三个键。

### (二) 花键联接 (图 3-5 (b))

花键联接可看做是多键槽联接。在被套装到轴上去的零件内部，拉制有与轴上凸缘（花键）相一致的槽。花键具有直线形、渐开线形的三角形牙型。这类联接通常有固定的和活动的两种，当零件可以沿轴线移动时为活动联接。

花键的侧面按挤压计算。准许施加在直径  $d_{cp}$  上的传递扭矩的力  $P$  为

$$P = \frac{2M_{tp}}{d_{cp}} \quad (\text{N}) \quad (3-18)$$

因为 
$$d_{cp} = \frac{(D+d)}{2}$$

那么 
$$P = \frac{4M_{tp}}{(D+d)}$$

所以 
$$\sigma_p = \frac{2P}{(D+d)lzk} = \frac{8M_{tp}}{(D^2+d^2)lzk} \leq [\sigma] \quad (3-19)$$

式中  $l$ ——花键长度 (mm);

$z$ ——花键数;

$k$ ——在花键之间负载分布不均匀的计算系数,  $k \approx 0.75$ 。

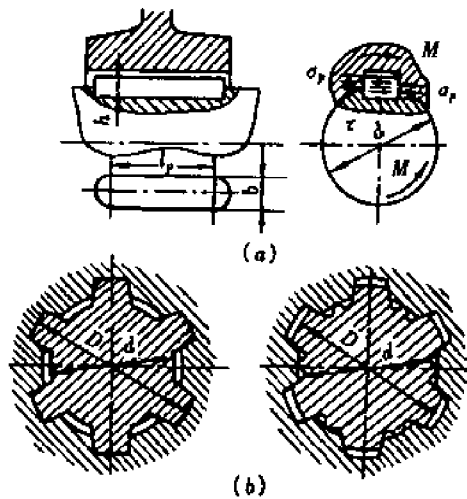


图 3-5 键联接和花键联接

## 第三节 传动零件及装置

### 一、概述

机器的工作机构、行走部分和其他部件的传动借助传动系统实现。传动系统不但传递运动，而且改变运动速度，有时候还改变运动的性质和方向。传动有机械传动、液压与液力传动、气力传动和电传动等形式。

机械传动分为摩擦传动（摩擦轮传动、带传动）和啮合传动（齿轮传动、蜗杆蜗轮传动及链传动）。在每种传动中，传出功率的构件称为主动件，而接受传来功率的构件则称为从动件。通常主动件的转速  $n_1$  和从动件的转速  $n_2$  是不一样的。 $n_1$  与  $n_2$  的比值称为传动比

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (3-20)$$

当  $i > 1$ , 即  $n_1 > n_2$  时, 传动是减速传动; 如果  $i < 1$ , 即  $n_1 < n_2$  时, 传动则是增速传动。因为传动装置的转速常比执行机构的转速高, 故多为减速传动。

机械传动的主要参数除传动比  $i$  和速度  $v$  外, 还有效率  $\eta$  和轴上转矩  $M$ 。

在进行计算时, 首先必须确定功率  $P$

$$P = Fv \quad (\text{W}) \quad (3-21)$$

式中  $F$ ——作用力 (N);

$v$ ——速度 (m/s)。

在旋转运动情况下

$$v = \frac{2\pi Rn}{60} \quad (\text{m/s}) \quad (3-22)$$

式中  $R$ ——车轮或滑轮半径 (m);

$n$ ——转速 (r/min)。

把  $v$  值代入功率的公式

$$P = \frac{2\pi RnF}{60} \quad (\text{W}) \quad (3-23)$$

因为  $FR=M$ , 因而

$$M = \frac{9.5P}{n} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (3-24)$$

在由主动轴经从动轴传递功率时, 有摩擦损失、热损失、气体动力损失和其他损失。因此, 从动轴上的功率总是小些。这种功率损失的程度即效率  $\eta$ , 用从动轴的功率  $P_2$  与主动轴的功率  $P_1$  的比值来确定

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (3-25)$$

从动轴上的扭矩值  $M_2$  等于主动轴上的扭矩值  $M_1$ 、传动比  $i$  和效率  $\eta$  的乘积

$$M_2 = M_1 i \eta \quad (3-26)$$

## 二、皮带传动

皮带传动用于两轴中心距较大的传动, 如图 3-6 (a) 所示。它们由两个皮带轮组成, 在皮带轮上套有无接头带 (平皮带、三角皮带 (梯形) 及圆形带)。

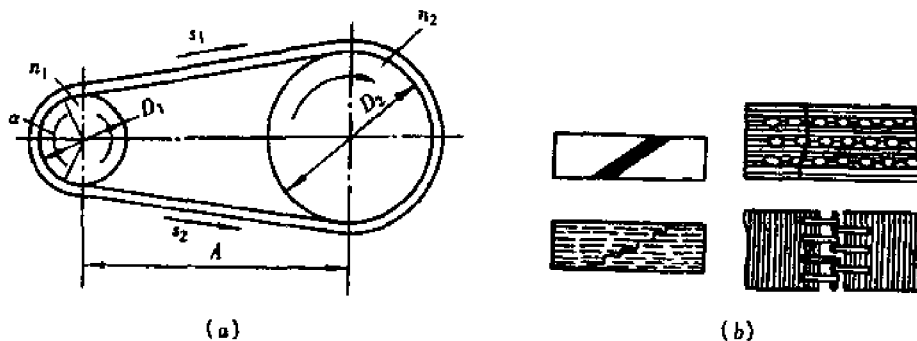


图 3-6 皮带传动

皮带所采用的材料，常是棉织带、胶布带（应用最普遍）。棉织带和聚酰胺带的强度比胶布带大 5 倍，而比普通皮带大 8~10 倍。

在主动皮带轮旋转时，由于皮带与皮带轮之间产生摩擦力，于是从动皮带轮就随主动皮带轮的旋转方向旋转。皮带与皮带轮之间摩擦力的数值，即拉力数值  $P$  由皮带松边和紧边之间的作用力  $S_1$  及  $S_2$  的差值确定

$$P = S_1 - S_2 \quad (3-27)$$

皮带传动可看成是圆柱体包络线的柔性纤维。为了确定这纤维的应力，导出了如下关系

$$\frac{S_1}{S_2} = e^{f\alpha} \quad (3-28)$$

式中  $S_1, S_2$ ——松边、紧边的拉力 (N)；

$e$ ——自然对数的底；

$f$ ——皮带（纤维）与皮带轮（圆柱体）表面间的摩擦系数；

$\alpha$ ——皮带在皮带轮上的包角（皮带与皮带轮圆周的切点所作半径之间的夹角）。

$S_1/S_2$  的比值在很大程度上取决于  $f$  和  $\alpha$ 。

皮带两端正确而可靠的接合具有重要的意义。平皮带和胶带用专用胶粘剂粘结起来，皮带的两端可用铆钉、U 形钉等联接，如图 3-6 (b) 所示。在联接的情况下，接合处强度为整带强度的 80%~85%；而在端部联接情况下，则为 25%~30%。

三角皮带获得广泛的应用，它们允许带轮轴线之间距离较小，如图 3-7 (a) 所示， $\varphi$  角为  $34^\circ \sim 40^\circ$ 。各种形式的三角皮带如图 3-7 (b) 所示。

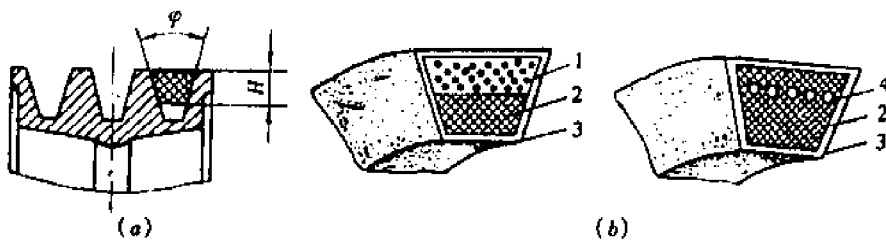


图 3-7 三角皮带

1—帘子线纤维；2—橡胶填充料；3—由涂胶纤维组成的封套；4—帘子线绳索

对平皮带来说，带轮轴线之间最适宜的距离为

$$A = 2(D_1 + D_2) \quad (\text{mm}) \quad (3-29)$$

式中  $D_1$ ——主动轮直径 (mm)；

$D_2$ ——从动轮直径 (mm)。

对三角皮带传动来说， $A$  值的选择取决于大皮带轮直径  $D_{\text{大}}$  和传动比  $i$ ，如表 3-1。

表 3-1 三角皮带传动值的选择

$i$	1	2	3	4	5	>6
$A$	$1.5D_{\text{大}}$	$1.2D_{\text{大}}$	$1D_{\text{大}}$	$0.95D_{\text{大}}$	$0.9D_{\text{大}}$	$0.85D_{\text{大}}$

最小距离为

$$A_{\min} = 0.55(D_1 + D_2) + H \quad (\text{mm}) \quad (3-30)$$

式中  $H$ ——带断面的高度 (mm)。

在平皮带传动中, 传动比允许达到 10; 在三角皮带传动中, 传动比允许达到 15。所传递的功率为 2 000 ~ 10 000 kW。

胶带传动速度可达 30 m/s, 皮带速度可达 45 m/s。三角皮带与带轮间的摩擦系数比平皮带大得多。

皮带传动的优点是: 结构简单, 并可用于较长距离的运动传递中。这种传动减轻了冲击振动, 故能限制相当大的过载发生。其缺点是: 外形尺寸大, 因皮带打滑不可能获得精确的传动比。传动比  $i$  可按式计算

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_2}{D_1(1-\varepsilon)} \quad (3-31)$$

式中  $\varepsilon$ ——表征相对滑动的比值, 它与皮带轮的材料有关 ( $\varepsilon = 0.2 \sim 0.3$ )。

在运用皮带传动时必须注意, 勿使润滑油落入皮带内或皮带表面, 因为它会使摩擦系数急剧下降, 因而影响牵引力  $P$  的数值。

皮带传动的工作能力取决于: (1) 牵引力或皮带与皮带轮的粘着力, 如果这些力不够, 那么皮带就开始打滑; (2) 皮带的寿命。

目前出现的齿轮-带传动, 新型人造材料得到了普遍应用, 如配钢筋的钢丝绳或聚酰胺绳。这种传动较紧凑, 工作时无噪声, 无滑动, 速度可达 80 m/s, 传递功率达 1 000 kW, 但制造安装的要求较高。

### 三、齿轮传动

齿轮传动是应用最广泛的一种传动方式。它由齿轮组成, 齿轮轴线布置的距离应使一个齿轮的轮齿进入另一齿轮的齿槽中。在一齿轮转动时, 齿轮轮齿的侧表面被另一齿轮轮齿的侧表面顶住, 因而第二个齿轮就被推向相反的方向转动。

假想有两个直径为  $d_1$  和  $d_2$  的圆盘, 安装后它们在  $P$  点相啮合 (图 3-8)。如果直径为  $d_1$  的圆盘每分钟的转速为  $n_1$ , 直径为  $d_2$  的圆盘在无滑动的情况下转动, 转速为  $n_2$ , 那么这两圆盘转动时的传动比为

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (3-32)$$

如果根据圆盘外径切齿并完成这些齿形, 要求这些齿形在齿轮转动时, 轮齿总是在圆点的切点  $P$  处相啮合, 轮齿之间只有滚动而无滑动, 那么这种齿轮传动的传动比为

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (3-33)$$

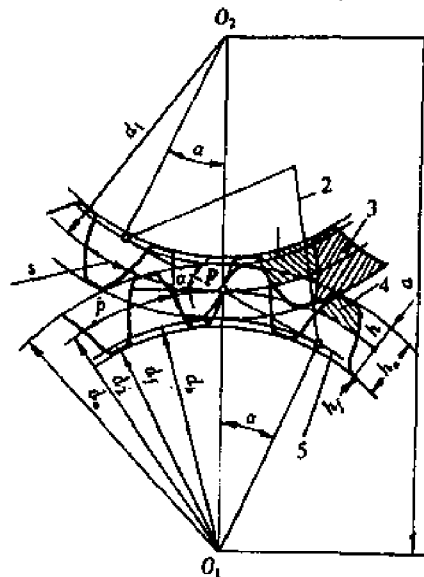


图 3-8 圆柱齿轮啮合图

1—齿根; 2—啮合线; 3—齿间; 4—齿顶; 5—基圆

### (一) 齿轮的尺寸及参数

齿轮齿形有渐开线、摆线和圆弧等,但最常用的为渐开线齿形。如图 3-8 所示,  $d_b$  为形成渐开线齿廓的基圆直径,  $d_{b1}$ 、 $d_{b2}$  分别小于  $d_1$ 、 $d_2$ 。

两基圆的内公切线(外啮合齿轮)称为啮合线,此线并通过圆盘切点  $P$ 。 $P$  点称为节点。直径为  $d_1$  和  $d_2$  的圆称为分度圆。

齿轮啮合传动的的基本参数是:

齿轮齿数  $z_1, z_2$ ;

$$\text{传动比 } i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1};$$

周节  $p$  在分度圆上一齿廓上的一点与相邻同侧齿廓的相应点的距离 (mm);

模数  $m = p/\pi$  (mm), 是齿轮啮合的基本参数;

齿顶高  $h_a = m$  (mm), 分度圆与齿顶圆间沿半径方向的高度;

齿根高  $h_f = 1.25m$  (mm), 分度圆与齿根圆间沿半径方向的高度;

齿高  $h = h_a + h_f = 2.25m$  (mm), 齿根圆与齿顶圆间沿半径方向的高度;

分度圆直径  $d = mz$  (mm);

齿顶圆直径  $d_a = d + 2h_a = m(z + 2)$  (mm);

齿根圆直径  $d_f = d - 2h_f = m(z - 2.5)$  (mm);

齿厚  $s$  (mm);

中心距  $a = \frac{d_1 + d_2}{2}$  (mm);

齿宽  $b$  直齿轮齿宽  $b = (6 \sim 10)m$  (mm);

节点  $P$  是固定点,两个相互接触的齿廓公法线通过此点,它又是两齿轮基圆的内公切线与两轮中心线的交点;

啮合线是一条直线,是两个相接触的齿廓切点的轨迹,它又是两个基圆的内公切线;

压力角  $\alpha$  是啮合线与连心线之间的夹角。

上述各参数值只对不变位的标准直齿圆柱齿轮适用。齿宽  $b$  和啮合的齿数  $z$  越多,可传递的功率就越大。

### (二) 齿轮传动的类型

在平行轴、相交轴和十字轴之间的传动采用齿轮传动。除了外啮合传动之外,还有内啮合传动。图 3-9 为齿轮传动的的基本类型。

为了增大啮合的  $b$  及  $z$  值,圆柱齿轮常做成斜齿轮、斜齿锥齿轮和圆弧锥齿轮。

传递空间两交错轴(既不平行又不相交)之间的传动时常采用蜗杆蜗轮传动(图 3-12)。

齿轮传动的优点是传动比准确、无打滑现象,外形尺寸小,效率高( $\eta$  达 0.98 ~ 0.99),速比恒定和适应性广,可靠性好,寿命高,功率可达 50 000 kW,速度达 150 m/s(一般为 12 ~ 15 m/s),速比可达 20。较为常用的速比是:圆柱齿轮传动达到 10,锥齿轮传动达到 5,蜗杆蜗轮传动达到 80。

斜齿轮传动的缺点是:会产生沿齿轮轴线方向的力(如图 3-9 (b)),因此需要安装止推轴承,以承受此轴向推力。为了消除此缺点,在功率大的传动里采用了人字齿轮,如图 3-9

(c) 所示。这时，由于轮齿倾斜相对布置，使其所产生的轴向力便相互抵消。

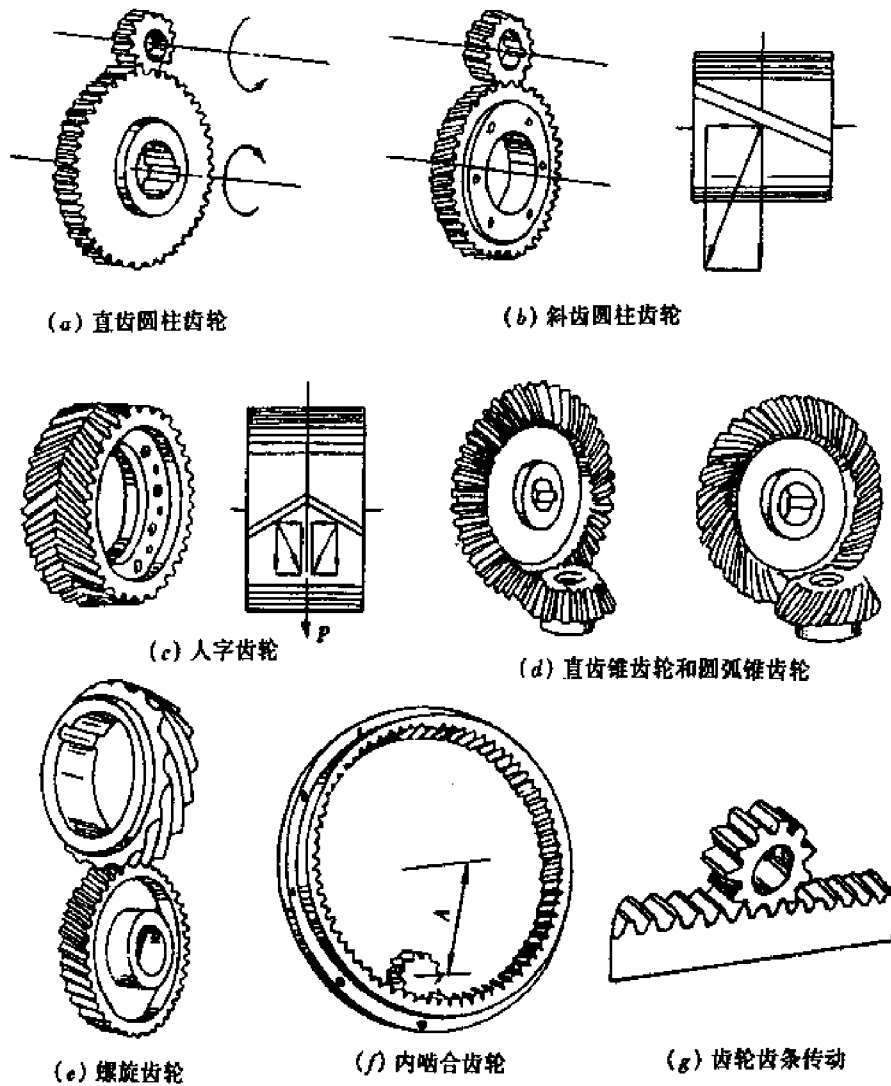


图 3-9 齿轮传动的类型

锥齿轮的齿距是变化的，而且向圆锥锥顶减小。

### (三) 齿轮强度计算方法

齿轮的尺寸、制造和装配精度、轴的刚度、工况及其他因素都将影响齿轮的工作。

在计算齿轮强度时，把轮齿视为受力的悬臂梁（图 3-10）。力  $Q$  的方向沿啮合线。考虑到制造、安装误差的影响，通常认为只有一对轮齿传递扭矩，那么  $Q$  值可由下式确定

$$Q = \frac{2M}{d} \quad (\text{N}) \quad (3-34)$$

在计算时，认为力  $Q$  施加于齿顶。为了便于计算，将此力沿作用线移至与轮齿中心线的交点，于是

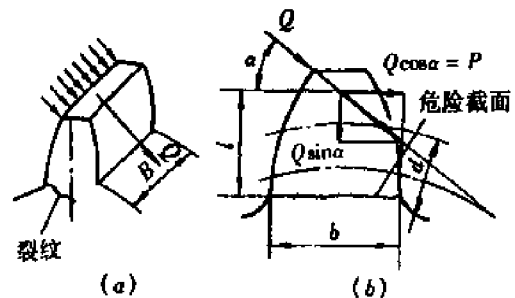


图 3-10 轮齿作用力图



$$P = Q \cos \alpha \quad (3-35)$$

式中  $P$ ——使轮齿弯曲的力。

沿轮齿中心线作用的垂直分力等于  $Q \sin \alpha$ ，它使轮齿受压。在齿根部产生的法向拉应力为

$$\sigma = \frac{Ql \cos \alpha}{W} - \frac{Q \sin \alpha}{A} \quad (\text{MPa}) \quad (3-36)$$

式中  $W$ ——剖面模量， $W = Bb^2$  ( $\text{mm}^3$ )；

其中  $B$ ——轮齿有效宽 ( $\text{mm}$ )，

$b$ ——危险截面齿厚 ( $\text{mm}$ )；

$l$ ——弯曲力力臂 ( $\text{mm}$ )；

$A$ ——危险剖面面积， $A = Bb$  ( $\text{mm}^2$ )。

把  $W$ 、 $F$  和  $Q = P/\cos \alpha$  值代入上式，并用模数  $m$  乘以分子及分母，得

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P}{mB \cos \alpha} \left( \frac{ml \cos \alpha}{b^2} - \frac{m \sin \alpha}{b} \right) \\ &= \frac{P}{mB} \left( \frac{ml}{b^2} - \frac{m}{b} \tan \alpha \right) \quad (\text{MPa}) \end{aligned} \quad (3-37)$$

括号里的两项表征了齿形，以  $Y$  表示，称为齿形系数。因而法向拉应力为

$$\sigma = \frac{P}{mB} Y \quad (\text{MPa}) \quad (3-38)$$

对于速度大于  $10 \text{ m/s}$  的传动装置来说，齿轮不仅只需计算弯曲应力，还由于制造安装精度、轴的刚度和工况等原因，在轮齿接触处会产生接触应力，此应力会导致齿面的磨损和点蚀，因此还要计算接触应力。

接触应力值取决于齿形、齿面间  $1 \text{ cm}$  接触长度上的单位载荷，以及齿轮材料的弹性模数。最大接触应力产生在节点处，齿面点蚀一般从这里开始。因此，齿轮传动不但要按弯曲应力计算，而且要按接触应力计算。在其他条件相同的情况下，齿根厚、齿高小的轮齿承受弯曲应力大。与标准齿轮相比，减小高度  $l$  制造的齿轮称为变位齿轮。

在齿轮传动中的一个齿轮必须有很少齿数（少于 17 齿）时，必须采用变位齿轮。因为在切削少于 17 个齿的标准齿轮时，轮齿的根部就会产生根切，强度就会被削弱。

图 3-11 为根切齿形和变位的齿形。加工变位齿轮只需移动刀具的位置即可。

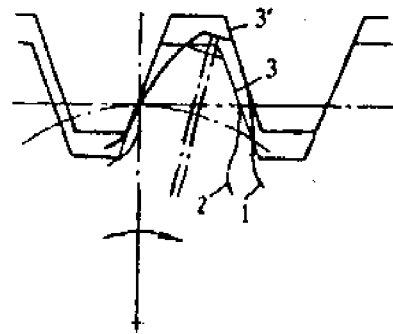


图 3-11 齿形

1—变位齿；2—非变位齿；3—刀具切削标准齿轮的位置；3'—刀具切削变位齿轮的位置

#### 四、蜗杆蜗轮传动

蜗杆蜗轮传动常用于传递空间两交错轴（既不平行又不相交）间的传动，如图 3-12 (a) 所示。

在蜗杆蜗轮传动(图 3-12)中,运动是根据螺旋副的原理来实现的。蜗杆是丝杆,通常具有梯形螺纹。蜗轮好像是螺母,在啮合时,蜗杆处在螺母中。蜗杆可以是单头的或多头的,在单头蜗杆蜗轮传动中,蜗杆每转一转,蜗轮被转过一个齿,或者转过与蜗杆头数相等的齿数。这样传动比可达 50~60,在个别情况下可达 200。

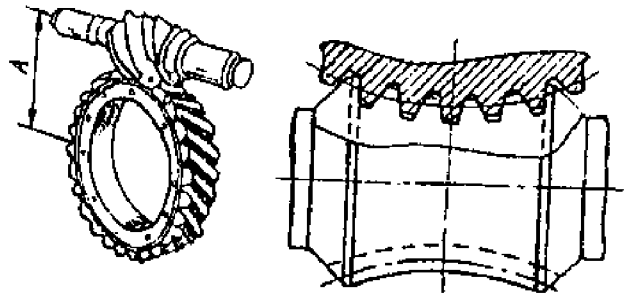


图 3-12 蜗杆蜗轮传动

传动装置的传动比

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (3-39)$$

式中  $z_1$ ——蜗杆头数;  
 $z_2$ ——蜗轮齿数;  
 $n_1$ ——蜗杆转速;  
 $n_2$ ——蜗轮转速。

蜗杆蜗轮传动可传递的功率达 750 kW,圆周速度可达 15 m/s,效率达 0.7~0.9。

## 五、轮系及减速器

### (一) 轮系的定义及类型

由两个相互啮合的齿轮所组成的齿轮机构是齿轮传动中最简单的形式。有时为了得到大传动比传动和换向传动等原因,在工程中常采用由一系列互相啮合的齿轮将主动轴与从动轴联接起来的传动,这种多齿轮的传动装置称为轮系。

轮系通常分为定轴轮系和周转轮系两种。如果轮系中所有齿轮轴线均固定,这种轮系称为定轴轮系(图 3-13)。如果轮系中有某些齿轮(最少应有一个齿轮)的轴线并不固定而绕其他的固定轴线回转,则这种轮系称为周转轮系(图 3-14)。

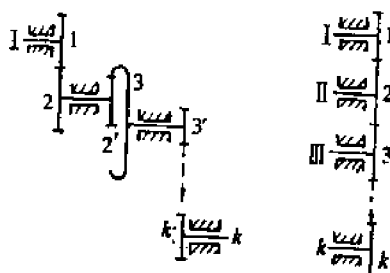


图 3-13 定轴轮系

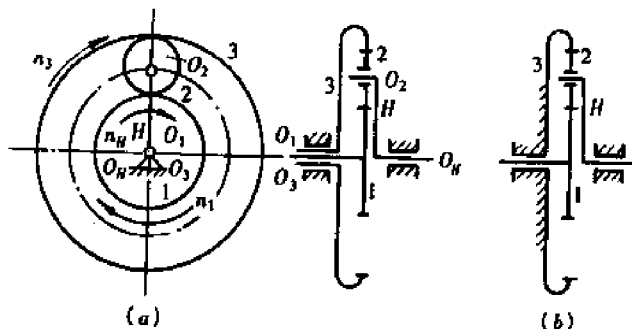


图 3-14 周转轮系

### (二) 轮系的传动比

#### 1. 定轴轮系的传动比

在图 3-13 左图所示的定轴轮系中,除第一主动轴与最末从动轴外,各中间轴上都同时装了两个齿轮,一个是由前一轴接收运动的从动轮,而另一个是把运动传给后一轴的主动轮,

这种轮系称为复式轮系。

设各轮的齿数为  $z_1, z_2, z_3, \dots, z_k$ ; 轮 1 的转速为  $n_1$ 、轮 2 和轮 2' 的转速为  $n_2$ 、轮 3 和轮 3' 的转速为  $n_3$ ，依此类推，则每一对互相啮合的齿轮传动比为

$$\begin{aligned} i_{12} &= \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \\ i_{23} &= \frac{n_2}{n_3} = \frac{z_3}{z_2'} \\ &\vdots \\ &\vdots \\ i_{(k-1)k} &= \frac{n_{k-1}}{n_k} = \frac{z_k}{z_{(k-1)'}} \end{aligned}$$

将以上各式连乘之，得

$$i_{12} \cdot i_{23} \cdots i_{(k-1)k} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{n_2}{n_3} \cdots \frac{n_{k-1}}{n_k} = \frac{n_1}{n_k} = \frac{z_2 \cdot z_3 \cdots z_k}{z_1 \cdot z_2' \cdots z_{(k-1)'}}$$

轮系的总传动比为

$$i_{1k} = \frac{n_1}{n_k} = i_{12} \cdot i_{23} \cdots i_{(k-1)k} = \frac{z_2 \cdot z_3 \cdots z_k}{z_1 \cdot z_2' \cdots z_{(k-1)'}} \quad (3-40)$$

上式表明轮系的总传动比等于组成该轮系的各对齿轮的传动比的连乘积，其值等于所有从动轮齿数的连乘积与所有主动轮齿数的连乘积之比。

现在来研究传动比的符号，通常规定若首末两轮的回转方向相同时，传动比取正号，若两轮回转方向相反时，则取负号。在一对齿轮所组成的传动中，若这对齿轮为内啮合，两轮回转方向相同，传动比取正号；若为外啮合，两轮回转方向相反，传动比取负号。因为一对齿轮传动时，齿轮回转方向极易看出，所以在这种情况下，一般都不加写符号。

轮系总传动比的符号可以这样来决定：设该轮系中有  $m$  对外啮合齿轮，那么从第一主动轮到最末从动轮，其回转方向应经过  $m$  次改变，因此，轮系总传动比的符号可用  $(-1)^m$  来决定，即

$$i_{1k} = \frac{n_1}{n_k} = (-1)^m \frac{z_2 \cdot z_3 \cdots z_k}{z_1 \cdot z_2' \cdots z_{(k-1)'}} \quad (3-41)$$

## 2. 周转轮系的传动比

周转轮系可分为差动轮系和行星轮系两种。如图 3-14 (a) 所示的轮系中，齿轮 1 和 3 以及构件  $H$  各绕固定的几何轴线  $O_1$ 、 $O_3$  (与  $O_1$  重合) 及  $O_H$  (与  $O_1$  重合) 回转；齿轮 2 活套在构件  $H$  的小轴上。当构件  $H$  回转时，齿轮 2 一方面绕自己的几何轴线  $O_2$  圆转 (自转)，同时又随构件  $H$  绕固定的几何轴线  $O_H$  回转 (公转)，这就是一个周转轮系。周转轮系中绕固定轴线回转的齿轮称为中心轮或太阳轮 (如图 3-14 (a) 中的齿轮 1 和 3)；而具有运动几何轴线的齿轮称为行星轮 (如图 3-14 (a) 中的齿轮 2)；支持行星轮的构件  $H$  称为转臂或系杆。转臂和中心轮又称为周转轮系的基本构件。基本构件的几何轴线必须互相重合，否则就不能转动。

周转轮系的传动比计算方法不同于定轴轮系，但它们之间又具有内在联系。如果我们对

图 3-14 (a) 所示的周转轮系加上一个大小为  $n_H$  而方向与  $n_H$  相反的公共转速时, 齿轮 1 和 3 的转速分别变为  $n_1^H = n_1 - n_H$  和  $n_3^H = n_3 - n_H$ , 而转臂  $H$  的转速变为  $n_H^H = n_H - n_H = 0$ , 即转臂  $H$  变为固定不动了, 这样便把周转轮系转化为定轴轮系了。我们把加上公共转速 ( $-n_H$ ) 后得到的定轴轮系称为周转轮系的转化机构。转化机构中各构件的转速为  $n_1^H$ 、 $n_3^H$  和  $n_H^H$ , 上标  $H$  是表示对于转臂  $H$  的相对转速。在周转轮系中轮 1 和轮 3 的相对转速为  $n_1 - n_3$ , 在转化机构中, 它们的相对转速是  $n_1^H - n_3^H = (n_1 - n_H) - (n_3 - n_H) = n_1 - n_3$ 。由此可见, 加上公共转速 ( $-n_H$ ) 后, 原机构各构件的相对运动并不改变。于是我们可以将求定轴轮系传动比的方法用于转化机构, 即得

$$i_{13}^H = \frac{n_1^H}{n_3^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = (-1)^k \frac{z_3}{z_1} = -\frac{z_3}{z_1}$$

整理后, 得

$$n_1 = n_H \left( 1 + \frac{z_3}{z_1} \right) - n_3 \frac{z_3}{z_1} \quad (3-42)$$

上式表明, 如果知道了周转轮系中任意两个构件的运动 (例如  $n_2$  和  $n_H$ ), 则第三个构件的运动 (例如  $n_1$ ) 便可求出。从而齿轮 1 和齿轮 3 (或 1 和  $H$ ) 之间的传动比  $n_1/n_3$  (或  $n_1/n_H$ ) 便完全确定了。这种凡需要已知两个构件的运动才能确定其他构件的周转轮系称为差动轮系。

如图 3-14 (b) 所示, 若齿轮 3 固定不动, 则

$$i_{13}^H = \frac{n_1^H}{n_3^H} = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = \frac{n_1 - n_H}{0 - n_H} = -\frac{z_3}{z_1}$$

整理后, 得

$$n_1 = n_H \left( 1 + \frac{z_3}{z_1} \right) \quad (3-43)$$

上式表明, 只要知道转臂  $H$  的转速  $n_H$ , 则轮 1 的转速  $n_1$  便完全确定了。这种有一个中心轮固定的轮系称为行星轮系。行星轮系可以用很少的齿轮得到很大的传动比。

将上述结论推广到一般情况, 设周转轮系中的两个中心轮分别为 1 和  $k$ , 转臂为  $H$ 。由于周转轮系的转化机构是定轴轮系, 所以转化机构的传动比计算式与定轴轮系传动比计算公式相同, 即

$$i_{1k}^H = \frac{n_1^H}{n_k^H} = (-1)^m \frac{z_2 \cdot z_3 \cdots z_k}{z_1 \cdot z_2 \cdots z_{(k-1)}}$$

对于差动轮系, 若已知两个构件的转速方向相反, 则代入公式时一个用正值而另一个用负值。上式也适用于锥齿轮所组成的周转轮系, 不过 1、 $k$  两轮和转臂的轴线必须互相平行, 且其转化机构传动比  $i_{1k}^H$  的正负号必须用画箭头的方法来确定。

【例】在图 3-15 所示的差动轮系中, 各轮的齿数为:  $z_1=15$ 、 $z_2=25$ 、 $z_2'=20$ 、 $z_3=60$ 。已知  $n_1=200$  r/min,  $n_3=50$  r/min, 转向如图上箭头所示。求转臂  $H$  的转速  $n_H$ 。

解 设转速  $n_1$  为正, 因  $n_3$  的转向与  $n_1$  相反, 故转速  $n_3$  为负, 则

$$i_{13}^H = \frac{n_1 - n_H}{n_3 - n_H} = (-1)^k \frac{z_2 \cdot z_3}{z_1 \cdot z_2'}$$

从而

$$\frac{200 - n_H}{-50 - n_H} = -\frac{25 \times 60}{15 \times 20}$$

解得

$$n_H = -8.33 \text{ (r/min)}$$

负号表示  $n_H$  的转向与  $n_1$  相反, 而与  $n_3$  相同。

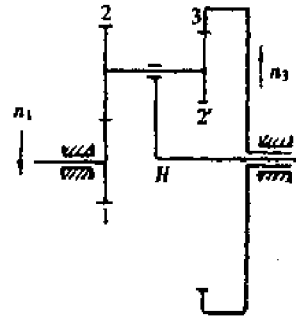


图 3-15 差动轮系

### (三) 减速器

减速器是作为单独总成的机构, 这种机构用于降低转速和增大扭矩。它们由一对或常常是几对齿轮或蜗杆蜗轮传动装置组成。

图 3-16 (a) 为传动比到 10 采用的单级减速器, 传动比 15~30 的采用两级减速器如图 3-16 (b)。如需更大的传动比, 则采用三级减速器如图 3-16 (c)。具有锥齿轮的减速器有单级减速器如图 3-16 (d), 或圆锥-圆柱齿轮两级减速器如图 3-16 (e)。蜗杆蜗轮传动为单级减速器如图 3-16 (f)。两级或三级减速器的传动比等于每对齿轮 (或蜗轮) 传动比的乘积。

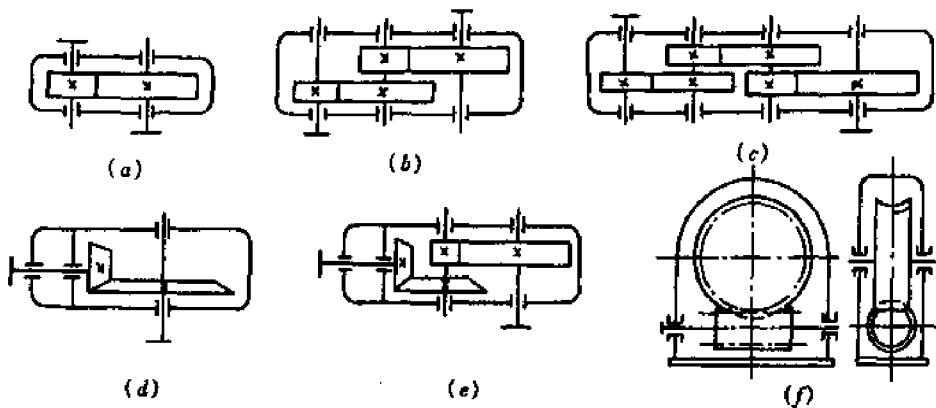


图 3-16 减速器

减速器的设计、制造都已经标准化与系列化, 使用时可根据其主要参数: 中心距  $A$ 、传动比  $i$ 、装配型式及轴端型式等来选择。应用时应注意加注润滑油, 以防止过热。

## 第四节 轴及轴系零件

### 一、轴

轴是组成机器的一个重要部件, 它用来支承旋转的机械零件 (如皮带轮、齿轮等)。轴有转轴和心轴之分。转轴总是与零件一起转动, 并传递扭矩。因此, 它不仅承受弯曲应力 (因要支承零件), 而且还要承受扭矩 (要传递扭矩)。心轴可以是转动的, 也可以是不转动的,

它只承受弯矩，不承受扭矩。

轴常是直轴、阶梯轴（图 3-17）和曲轴。当蜗杆或齿轮的直径接近轴的直径时，它们和轴就制成一体，即蜗杆轴、齿轮轴。

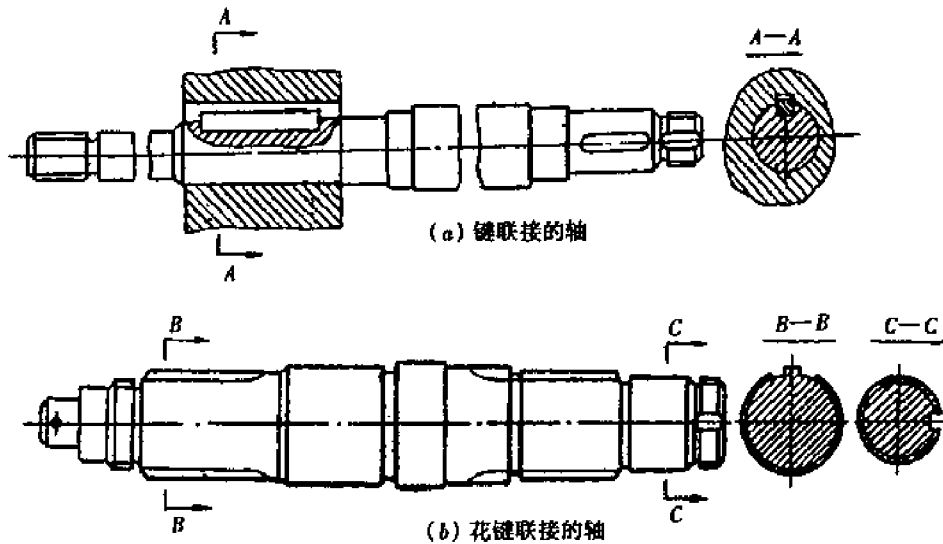


图 3-17 轴

转轴和旋转的心轴的轴颈安装在轴承内。承受轴向载荷的轴承称为止推轴承。

为把轴和旋转零件联接起来，采用了键或花键。在受大扭矩的传动轴上，安装有两个或三个键。

在计算时，把转轴或心轴看成是铰链支承上的梁，并进行强度计算。在危险截面内确定弯矩值和扭矩值。如果载荷作用在不同的面上，其合成弯矩为

$$M = \sqrt{M_r^2 + M_b^2} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (3-44)$$

式中  $M_r$ ——在水平面作用的力矩 ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )；

$M_b$ ——在垂直面作用的转矩 ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )。

扭矩  $M_k$  值按公式 ( $M = 9.5P/n$  ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )) 确定。计算截面的当量（换算）力矩

$$M' = \sqrt{M_k^2 + M^2} \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

受弯曲和扭转工作的轴径

$$d = \sqrt[3]{\frac{10\sqrt{M^2 + M_k^2}}{[\sigma]}} \quad (3-45)$$

仅受弯曲工作的轴径（即当  $M_k=0$  时）

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{10M^2}{[\sigma]}} \quad (3-46)$$

式中  $[\sigma] = \sigma_r / K$

其中  $\sigma_r$ ——屈服强度 (MPa)；

$K$ ——安全系数。

转轴和心轴也按刚度校核。轴的最大挠度值不应大于支承距离的 0.0003，而安装齿轮

的地方不大于齿轮模数的 0.03。扭转角不应超过一定值，它的选择与轴的长度和工作条件有关。对工程机械来说，1 m 轴长扭转角之值为  $15' \sim 30'$ 。

在进行转轴和心轴的强度计算时，应考虑应力变化的性质、材料疲劳的性质、应力集中的影响及制造质量等因素。把上述因素同时转化成一定的安全系数。

软轴，也称为钢丝软轴或挠性软轴。它可以把回转运动灵活地传递到任何位置（例如振动器的传动，机械化手持工具和其他机构的传动）。如图 3-18 所示，软轴是由几层密实地绕在芯子上的金属丝做成，而且每层卷向相反。软轴包覆的套不与软轴一起转动，它保护轴不受损坏，并保持润滑油在轴上，预防工作时轴被咬住。

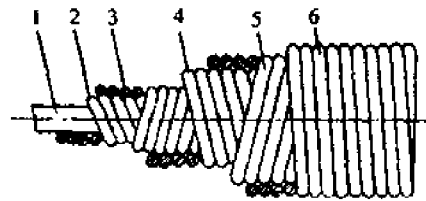


图 3-18 软轴

1—芯子；2—第一层绕线；3—第二层绕线；4—第三层绕线；5—第四层绕线；6—第五层绕线

## 二、轴 承

轴承是用来支持转轴或心轴的部件。轴承分为滑动轴承和滚动轴承。根据承受载荷的方向不同，轴承可发为：向心轴承——承受径向载荷；推力轴承——承受轴向载荷。

### (一) 滑动轴承

在向心轴承中，轴颈表面相对轴承内表面滑动，在相对摩擦表面之间，使用润滑剂形成层状润滑以减小摩擦力。在工作时，轴颈在轴承内处于偏心位置如图 3-1 (a)，因此，在轴承和轴颈表面之间形成了楔形润滑。轴颈旋转时，把润滑油引导到狭窄的间隙里，于是就构成了支承轴颈的润滑油层。如果用油泵把润滑油供到间隙处，同样也会建立起油层，把轴承和轴颈分开。图 3-19 (a) 画出了轴承四周液体动压力的图形。

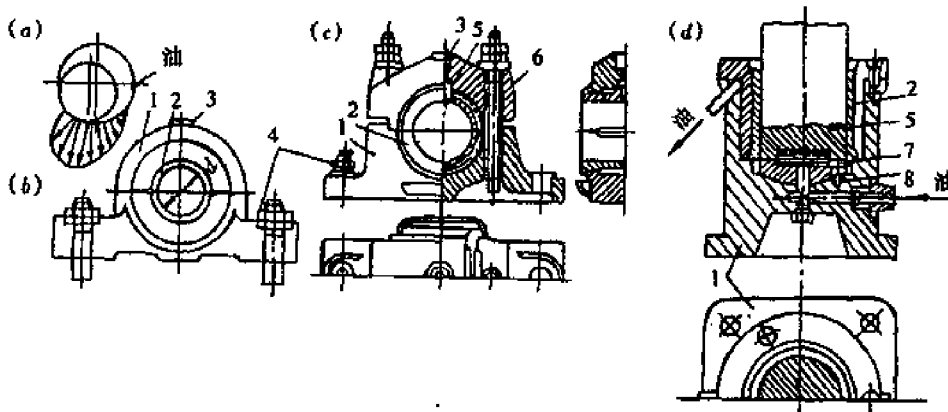


图 3-19 滑动轴承

1—轴承座；2—轴瓦；3—油杯；4—轴承座紧固螺栓；5—轴承盖；6—轴承盖紧固螺栓；7—支承轴瓦；8—止动销

滑动轴承由轴承座、轴瓦和润滑装置组成如图 3-19 (b) 和 (c)。图 3-19 (b) 所示的轴承座为整体式的，在轴承座内压入圆柱形轴瓦。图 3-19 (c) 为剖分式的轴承座和轴瓦的轴承，轴承座和轴瓦剖分为两半。整体式轴承座适用于直径不大的轴颈，剖分式轴承便于转轴的安装，还可以调整直径的大小。图 3-19 (d) 所示为推力轴承。

轴瓦通常用双金属材料制成。一般情况用铸铁或钢制轴瓦，在重要结构上则在青铜基体

上敷以耐磨材料——巴氏合金、铝青铜等。

非溶化耐磨材料（如耐磨铸铁、夹布胶木压合材料）是供制造整体式轴瓦用的，除了双金属轴瓦外，这种轴瓦同样在单件和小批生产中采用。柔软耐磨材料主要是巴氏合金，它是用浇铸的方法进行涂敷的。浇铸层的厚度为 0.5~1.5 mm，它取决于轴瓦的直径。当浇铸层厚度减小时，巴氏合金的疲劳强度就增大。轴承的长度  $l$  通常为 0.5~0.9  $d$ 。

滑动轴承按压强计算，这压强的数值应小于允许值  $[p]$

$$p = \frac{F}{dl} \leq [p] \quad (3-47)$$

式中  $F$ ——轴承所承受的最大径向载荷 (N)；

$d$ ——轴承的直径 (mm)；

$l$ ——轴承的长度 (mm)。

$p$ 、 $[p]$ ——计算压强值与许用压强值。

例如，对于锡基白合金浇铸的轴承来说， $[p]=2$  MPa；而对于用青铜浇铸的轴承来说， $[p]=20$  MPa。

滑动轴承的工作温度不应超过 60°C，重要用途的滑动轴承需按液体摩擦计算。液体摩擦是轴颈与轴瓦之间的润滑油膜足以承受全部载荷而不被破坏，如图 3-19 (a) 所示。

## (二) 滚动轴承

图 3-20 (I) 所示为滚动轴承，它由外圈 1、(带滚道 3 的) 内圈 2、滚动体 (球或滚子) 4 和保持架 5 所组成。保持架将滚动体彼此隔开，使其沿滚道均匀分布。滚动轴承应用广泛。它可分为三类：

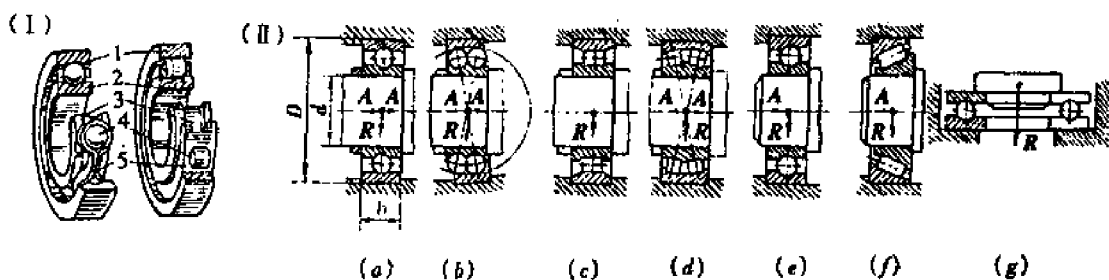


图 3-20 滚动轴承

(1) 向心轴承——主要承受径向载荷的作用，如图 3-20 (II) (a~b) 所示；

(2) 向心推力轴承——能同时承受径向载荷和轴向载荷的作用，如图 3-20 (II) (e, f) 所示；

(3) 推力轴承——只能承受轴向载荷的作用，如图 3-20 (II) (g) 所示。

### 2. 滚动轴承的代号

滚动轴承的结构类型和尺寸系列繁多，不可能一一命名，为了便于区别和选用，按照国家标准的规定，分别用数字和汉语拼音字母组成轴承代号，其代号组成如下：



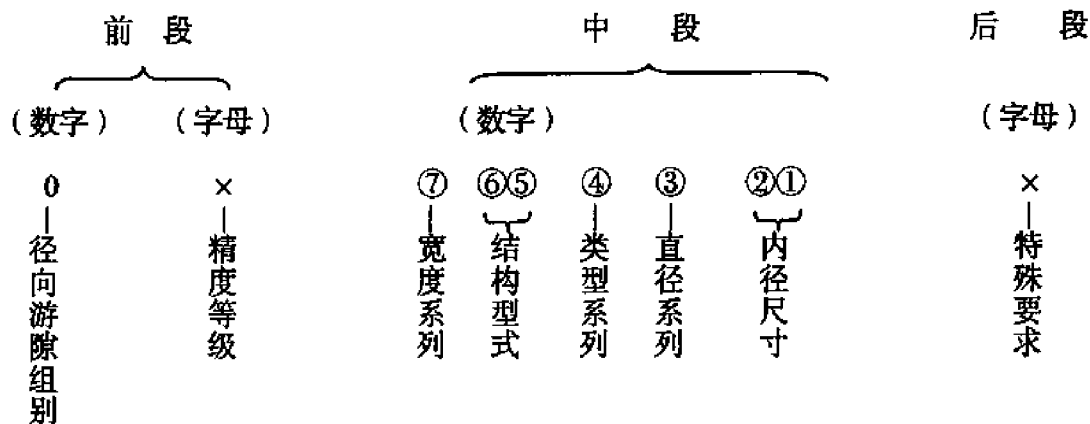
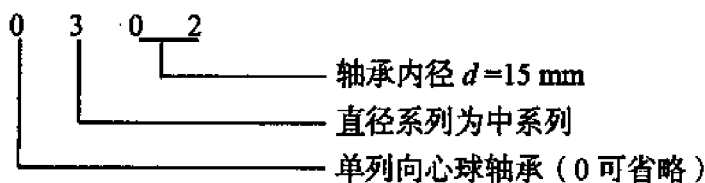
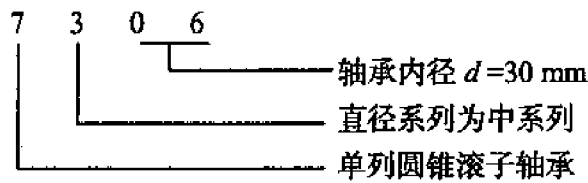


表 3-2 列出了滚动轴承代号中段七位数字所表示的涵义。由表中可以看出对于同一类型同一内径的滚动轴承，还派生了不同结构和外廓尺寸（直径和宽度）系列，以适应不同工作载荷和寿命的要求。实际上，使用最多的滚动轴承，其中段数字代号的右起第五、六、七位，一般皆为零，故一般仅以后四位数字标示滚动轴承，例如 0302 和 7306。

表 3-2 滚动轴承代号数字（中段）的涵义

中段数字位数（自右至左）										
⑦		⑥ ⑤		④		③		② ①		
宽度系列		结构型式		类 型		直径系列		内径系列		
8	特窄	表示由轴承的基型派生出的变型。例如“18”系指该轴承有两排滚子，其内孔带 1:12 锥度。其他代号参看有关手册	0	向心球轴承		8	超轻	(1) 内径 1~9 mm 时，右起第一位数字表示轴承内径，第二位数字表示直径系列，第三位数字是 0。例如 024 表示内径为 4 mm 的轻系列轴承 (2) 内径 10~17 mm 时，代号 00 01 02 03 内径(mm) 10 12 15 17 (3) 内径 20~495 mm 时，将此两位数字乘 5，即得轴承内径 (mm) (4) 内径大于 495 mm 时，用代号的分子直接表示内径(mm)，分子相当于轴承基本型号的第 ③~⑦位数		
0	窄		1	向心球面球轴承		9				特轻
7	正常		2	向心短圆柱滚子轴承		1	轻			
0			3	向心球面滚子轴承		7				轻宽
1			4	长圆柱滚子轴承或滚针轴承		2	中			
0	宽		5	螺旋滚子轴承		5				中宽
2			6	向心推力球轴承		3	重			
3			7	圆锥滚子轴承（向心推力滚子轴承）		6				重
4			特宽	8	推力球轴承或推力的向心球轴承		4			
5				9	推力滚子轴承或推力的向心滚子轴承					
9										
是指轴承内径尺寸相同，直径系列相同，但套圈宽度不同										





### 3. 滚动轴承的选择

滚动轴承是标准件。它的选用应根据具体使用条件和要求以及寿命，来确定滚动轴承的类型和尺寸系列。

在选择滚动轴承时，通常应知道：轴颈的直径  $d$  和转速  $n$ ；载荷大小、方向和性质；要求使用的期限（寿命）；结构上的要求，如轴承安装的位置和精度以及安装拆卸工艺要求等。

选择步骤：首先选择滚动轴承的类型；其次通过使用条件，作一定的验算，定出它的尺寸系列和具体参数，最后确定使用的型号。

为了保证滚动轴承在预期寿命中正常工作，滚动轴承根据其工作失效形式（一般都是疲劳损坏）的原因，建立计算条件，进行选择计算。

滚动轴承在使用中，润滑和密封十分重要。滚动轴承仍需润滑，以减小摩擦阻力和接触应力，另外润滑油还起到吸振和防锈作用。润滑一般在低速时用润滑脂，较高转速时用润滑油。滚动轴承的内外圈之间对灰尘、杂物的侵入非常敏感，润滑油也易从中流失，所以滚动轴承必须设置密封装置。对于转速不高的轴，一般表面线速度不超过  $4 \text{ m/s}$  时，多采用接触式密封，如毛毡圈或皮碗式密封结构。这种密封结构简单，密封性能好，在一般机械中广泛采用。

## 三、联轴器和离合器

联轴器和离合器是用来联接两轴、传递运动和扭矩的部件。用联轴器联接的两轴或两传动件只有在机器停车时，才能把它们分开；而用离合器联接，则可在机器工作时就能方便地将它们分开或接合。

### （一）联轴器

按轴的联接形式，联轴器可分为刚性联轴器和补偿联轴器（图 3-21）。

#### 1. 刚性联轴器

刚性联轴器又分为套筒联轴器和凸缘联轴器两类：

（1）套筒联轴器如图 3-21（a）所示，结构简单，外形尺寸小。它们的缺点是联接轴时，必须使两轴分开。

（2）凸缘联轴器通常是由两个带有凸缘的圆盘组成。它常有两类：在一类联轴器中，螺栓安装无间隙，如图 3-21（b）所示，这时螺栓工作承受剪切。在另一类联轴器中，螺栓安装有间隙，如图 3-21（c）所示。在这种情况下，扭矩是以摩擦力矩传递的，它是螺栓预紧而产生的力矩。

#### 2. 补偿联轴器

它可以补偿两轴因制造安装或工作时变形而产生的偏斜和位移。它有四种形式：

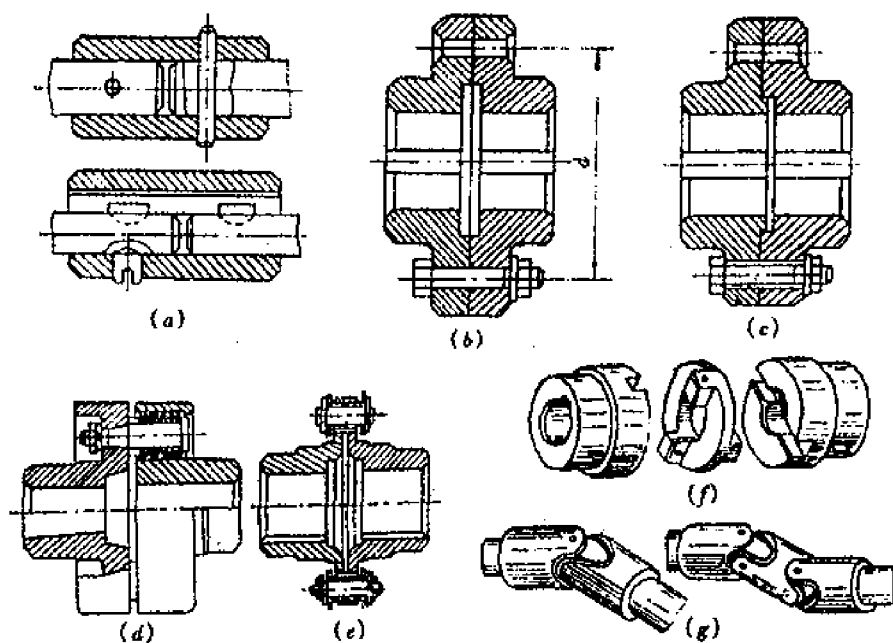


图 3-21 刚性联轴器与补偿联轴器

(1) 弹性柱销联轴器如图 3-21 (d) 所示, 它是最简单的补偿联轴器, 其构造和凸缘联轴器相似, 只是用套有弹性圈的柱销代替了联接螺栓。

(2) 链式联轴器如图 3-21 (e) 所示, 它由两个半联轴器-链轮组成, 在链轮上套有链。这种联轴器允许轴倾斜  $1.5^\circ$  以及径向位移  $2\text{ mm}$ , 尺寸较大的联轴器允许径向位移可达  $5\text{ mm}$ 。

(3) 十字滑块联轴器如图 3-21 (f) 所示, 允许有较大的轴线偏移。它由两半轴端面开有凹槽和一个两面都有凸榫的圆盘组成。当轴回转时, 圆盘两凸榫在两半轴的凹槽内相对滑动。因凸榫和凹槽的工作表面磨损大, 故这类联轴器只适用于低速, 且在工作面间要注入润滑油。

(4) 万向联轴器如图 3-21 (g) 所示, 它主要用于两轴有较大偏斜角 (最大可达  $35^\circ \sim 45^\circ$ ) 或较大角位移的地方。它在汽车、拖拉机等机械传动中得到广泛应用。

## (二) 离合器

离合器主要分为牙嵌式 (齿轮式) 离合器和摩擦式离合器两类。牙嵌式离合器应在主动轴停止转动或转动很慢时嵌入联接, 而且它们的离合次数不能频繁 ( $5 \sim 10$  次/分), 否则可能受到撞击损坏。摩擦式离合器可在两轴任何转速下联接, 离合次数可增多 (几秒钟一次), 并且因过载打滑而使其他零件免受损坏。

### 1. 牙嵌式离合器 (图 3-22 a)

它由两个半离合器组成, 在离合器端

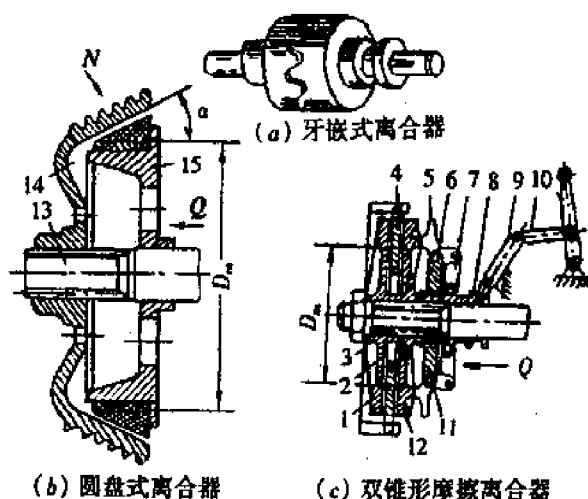


图 3-22 离合器

- 1—从动盘; 2—从动盘轮毂; 3—离合器轴; 4—主动盘;  
5—分离杠杆; 6—销钉; 7—吊耳; 8—套筒; 9—拉杆;  
10—操纵杆; 11—套筒十字轴; 12—压盘; 13—轴;  
14—从动锥体; 15—主动锥体

面有三角形、梯形或矩形的凸牙（牙齿）。当半离合器中的一个有轴向移动时，离合器就接合或分离。

牙嵌式离合器多用在驱动机构和传动装置中。通常用合金钢制成并经热处理，硬度达 250~270 HB。安装离合器时，要求具有较高的同轴度。

## 2. 摩擦式离合器

它可以实现平稳的接合，这类离合器主要有带式、圆盘式和圆锥式离合器，也有气室式离合器。

(1) 带式摩擦离合器常安装在离合器主动轮缘上的带式制动器抱合从动带轮来工作的。它的优点是离合器没有轴向力传到轴上，而只用微小的力供接合用。带式离合器用在功率约 750 kW 的机械上。

(2) 盘式摩擦离合器如图 3-22 (b) 所示，由在摩擦力作用下可以接合的主动圆盘和从动圆盘组成。在接合时，圆盘必须在一定的压力下相互压紧，这样才有可能在接合面上产生足够的摩擦力以传递扭矩。圆盘式摩擦离合器的缺点是在接合时必须要有相当大的轴压力，因此，它通常用于功率不大的机械上。

(3) 圆锥式摩擦离合器如图 3-22 (c) 所示。其工作原理是因为圆锥面由轴向力  $Q$  的作用而产生了比力  $Q$  大得多的法向压力  $N$ 。圆锥式离合器用于功率为 150 kW 的传动装置里。

## 复习思考题

1. 什么叫做机械？一台机械应由哪几部分组成？其各部分的功用如何？
2. 参看图 1-2 中的卷扬机，其起重量为  $Q$  (t)。起升速度为  $v$  (m/min)，试以算式表示。
  - (1) 电动机所需功率  $N=?$
  - (2) 卷筒上需要多大的扭矩？卷筒转速  $n_6$  的大小。
  - (3) 小齿轮轴上需多大扭矩？
  - (4) 电动机轴上有多大扭矩？

设小齿轮的转速为  $n_2$ ；电动机转速为  $n_1$ ；卷筒直径为  $D$ 。

3. 什么叫机械效率？为什么机械效率一定小于 1？题 2 中如何考虑效率？在各算式中应如何表示？

4. 什么是公差？什么是配合？配合有几种？各具有什么性质？
5. 螺纹联接主要类型有哪些？各有什么特点？
6. 为什么螺纹联接会自行松动？应采取哪些措施防止松动？
7. 螺栓联接如何计算？试举例说明。
8. 键与花键联接各有什么特点？
9. 带传动由哪些部分组成？为什么在水平传动时带松边放在上边？
10. 三角皮带有何特点？为什么它获得广泛的应用？
11. 齿轮传动有哪些类型？各有什么特点？
12. 直齿圆柱渐开线齿轮有哪些尺寸参数？它们如何计算？
13. 什么叫模数？为什么齿轮用模数作为主要参数？
14. 已知标准直齿圆柱齿轮齿数  $z=30$ ，模数  $m=3\text{mm}$ ，试确定齿轮的各部分几何尺寸。

15. 蜗杆蜗轮传动的特点及用途。
16. 什么是轮系？定轴轮系与周转轮系各有什么特点？
17. 减速器有什么用途？选择使用时应注意什么？
18. 轴有什么作用？心轴与转轴有什么区别？
19. 滑动轴承由哪几部分组成？轴瓦用什么材料制造？为什么？
20. 试述滚动轴承类型选择的原则。
21. 7201、8314、334 等代号的滚动轴承表示什么意义？
22. 什么是联轴器？什么是离合器？它们各有什么作用？如何选择使用？

## 第四章 液压及液力传动

### 第一节 液压传动的基本原理

液压传动是以液体为工作介质进行能量传递的一种方式。按其工作原理可分为两种类型：一种是容积式液压传动，即借助于运动着的液体的容积变化产生的压力能来进行工作的；另一种是动力式液压传动，即借助于运动着的液体的动能进行工作的。本章重点介绍容积式液压传动。

#### 一、液压传动的基本原理

图 4-1 所示的手动液压千斤顶是一种最简单的液压传动装置。其工作原理是：当手柄 11 向上提起时，带动小油缸柱塞 10 上移，小油缸容积增大而形成真空，油箱 2 内的油液经油管 8、单向阀 9 吸入小油缸中；当手柄 11 压下时，小柱塞下移，小油缸容积减小使液体压力增大，亦使单向阀 9 关闭，压力油经油管 7，推开单向阀 3 进入大油缸内，推动大油缸中的柱塞 1 向上运动。当不断提压手柄 11 时，油液便不断地经油箱 2、油管 8、单向阀 9、小油缸、油管 7、单向阀 3 进入大油缸中，使顶起重物的大油缸柱塞徐徐上升。单向阀 3 的作用在于保证大油缸内的油不倒流。若使重物下降，则拧开油螺塞 6，使大油缸的油经油管 4 和单向阀 5 流回油箱 2。控制放油口的大小，就可控制重物下降速度。由此可见，上述工作装置是以液体为工作介质实现能量传递的。小柱塞通过小油缸内容积的变化不断地完成吸油和压油的动作，将机械能转换为液体的压力能；而大柱塞则通过大油缸内容积的变化完成重物的上升，将液压能又转换成为机械能，实现了能量的转换。显然，液压千斤顶是典型的容积式液压传动的例子。

液压传动的理论根据是帕斯卡原理，即在密闭容器中的静止液体，施加于其上的压强（压力）将以等值同时传递到液体的各点。图 4-1 可以看成是密封装置。设上图小柱塞面积为  $A_1$ ，大柱塞面积为  $A_2$ ，在大柱塞上放有重物  $W$ ，在小柱塞上施加外力  $F_1$ ，则小油缸内油液的压强  $p = F_1/A_1$ 。根据帕斯卡原理，压强  $p$  将要传递到大柱塞上，故大柱塞上所受的作用力  $F_2 = pA_2$ （这是忽略管道、油缸和柱塞间的摩擦力而言的）。力  $F_2$  与  $F_1$  间的关系为  $F_2 = F_1 A_2/A_1$ 。如果  $F_2$  能足以克服重物  $W$  的重力，就可以将重物抬起。由此可见，若柱塞面积比值  $A_2/A_1$  越大，则抬起大柱塞的作用力

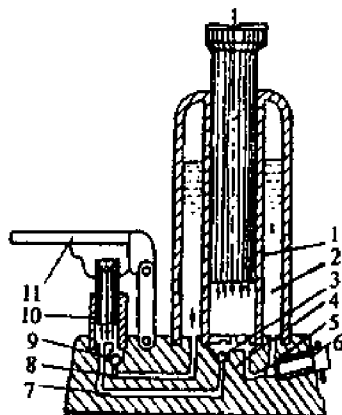


图 4-1 液压千斤顶简图

1—大油缸柱塞；2—油箱；3、5、9—单向阀；4、7、8—油管；6—螺塞；10—小油缸柱塞；11—手柄

$F_2$  就越大,即用较小的力施加在小柱塞上,就可以在大柱塞上得到较大的作用力,将重物抬起。

## 二、液压系统的组成

液压系统是为了完成某种特定任务而由各液压元件组成的回路。图 4-2 为推土机液压系统示意图。此系统由以下几部分组成:

(1) 动力元件——液压泵。其职能是将机械能转换成液体的压力能。

(2) 执行元件——液压缸或液压马达。其职能是将液体的压力能转换为机械能。液压缸用来完成往复运动,而液压马达用来完成旋转运动。

(3) 控制调节装置——各种液压阀。它们用来对液流的压力、流量、方向进行控制,以满足对传动性能的要求。

(4) 辅助装置——包括油箱、滤油器、油管、蓄能器和冷却器等。

(5) 工作介质——液压油。用来传递能量。

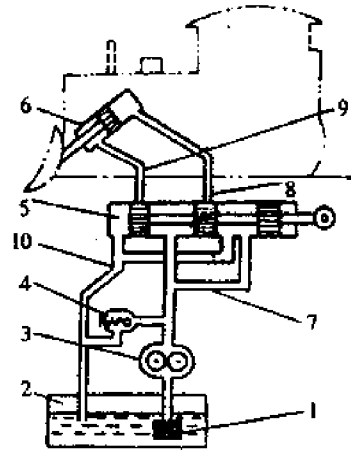


图 4-2 推土机的液压系统示意图

1—滤油器; 2—油箱; 3—液压泵; 4—安全阀;  
5—换向阀; 6—液压缸; 7、8、9、10—油管

图 4-2 是半结构式的工作原理图。工程实践中常

以各种符号来表示元件的职能,将各元件的符号用通路连接起来组成液压系统图,以表示液压传动及控制系统的原理。我国制定了图形符号标准(见本书附录)。图 4-3 就是用图形符号表示的图 4-2 的系统原理图。其序号表示的元件和图 4-2 完全一样。该系统图不能反映元件的具体结构及元件具体安装部位,只能表示其中一个动作时的油路状态。

## 三、液压传动的的基本参数

液压传动的的基本参数主要有压力、流量、平均流速和功率。

(1) 压力  $p$ 。液压传动中的压力是指单位面积上所受之力(如推土机液压系统图 4-3 中油缸内,当油泵泵油时,油液经管路进入油缸右腔而作用在受压面积为  $A$  的活塞上之压力),即

$$p = \frac{F}{A} \quad (\text{Pa}) \quad (4-1)$$

式中  $F$ ——有效面积上总作用力(N);

$A$ ——作用面积( $\text{m}^2$ )。

(2) 流量  $Q$ 。单位时间内流过某一截面的液体体积称为流量,即

$$Q = \frac{W}{t} \quad (\text{mL/s 或 L/s}) \quad (4-2)$$

(3) 平均流速  $v$ 。油液通过某一过流截面之流量称为平均流速,即

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{m/min 或 m/s}) \quad (4-3)$$

(4) 功率  $N$ 。如果图 4-3 中活塞向左移动距离为  $L$ ，不计摩擦及泄漏损失，则输入液压缸的液压功率应等于液压缸输出的机械功率，即

$$N = pAL/t = FL/t \text{ 或 } N = PQ/(Fv) \quad (\text{kW}) \quad (4.4)$$

上式表明机械功率  $Fv$  可以用液体压力  $p$  乘以流量  $Q$  表示。

#### 四、液压传动的优缺点

液压传动与其他传动方式（机械传动、电力传动、气压传动等）相比，具有许多独到的优点：

- (1) 体积小、质量轻，因此惯性小，反应较迅速；
- (2) 能无级调速，其调速范围达 100 : 1 至 2 000 : 1；
- (3) 采用油液作介质，工作平稳，零件使用寿命长；
- (4) 易于实现低速大扭矩，这对于工程机械来讲，是非常重要的特点；

(5) 操纵简便，易于实现自动化，特别是电液联合应用时，控制精度高而且灵敏；

(6) 易于实现过载保护；

(7) 元件易于实现标准化、系列化、通用化，给设计、制造和维修带来很大方便。

其主要缺点是容易漏油，影响传动效率，也难取得定比运动；工作受温度影响较大；液压元件制造精度要求高，因而其成本较高；液压系统出现故障不易查找和迅速排除，要求有较高技术水平的操作与维修人员。

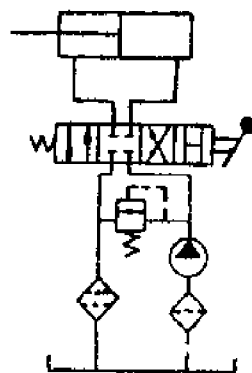


图 4-3 用职能符号表示的推土机液压系统图

## 第二节 液压元件

### 一、液压泵及液压马达

液压泵是将机械能转换为液体压力能的装置。液压马达是把油液的压力能转换为旋转运动的机械能的装置。从能量转换来说，两者具有可逆性，所以有些液压泵和液压马达的构造是相同的，可以互换使用。但是，由于它们各自的使用条件和工作要求不同，因此，有些类型的液压泵和液压马达在结构上仍有差异，一般不能互换使用。

液压泵和液压马达的结构型式很多，常用的有齿轮式、叶片式和柱塞式三种。按输出流量能否调节，它们又有定量式和变量式之分。齿轮式一般为定量式；叶片式和柱塞式有定量式也有变量式。

#### (一) 液压泵

##### 1. 齿轮泵

齿轮泵的工作原理如图 4-4 所示。在泵的壳

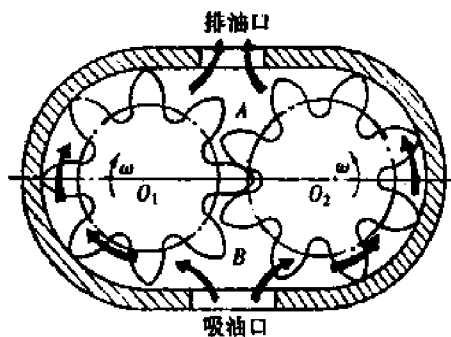


图 4-4 齿轮泵工作原理图



体内装有一对互相啮合的齿轮，齿轮的两端面靠泵的端盖来密封。这样，在壳体、端盖和齿轮的各个齿间形成了若干个密封的工作容积。泵体上有两个油口，一个吸油口，一个排油口。当电动机带动齿轮按图示方向旋转时，吸油腔  $B$  的密封容积随啮合轮齿逐渐脱开而增大，形成局部真空，油液被吸进油腔。随着齿轮的转动，油液被带到压油腔  $A$ 。由于  $A$  腔的轮齿不断进入啮合，使得  $A$  腔密封容积不断减小，油液通过排油口被排挤出去。齿轮不断旋转，齿轮泵就不断地吸油和排油。

齿轮泵结构简单、质量轻、制造容易、工作可靠及维修方便，因此广泛地应用于中速、作用力不太大、精度要求不高和工作环境不太清洁的工程机械上。

## 2. 叶片泵

叶片泵有单作用式和双作用式两大类：

(1) 单作用式叶片泵。图 4-5 为单作用式叶片泵工作原理。它由转子 1、定子 2、叶片 3 和两侧配流盘 4 等组成。叶片装在转子槽中并可自由滑动。定子内表面是圆柱形，定子与转子之间有偏心距  $e$ 。当电动机带动叶片泵的转子旋转时，叶片在离心力的作用下向外滑动并紧靠在定子内表面上。因此在定子、转子、叶片和配流盘间形成了若干个密封的工作容积。当转子按图示方向转动时，右侧的叶片逐渐伸出，密封容积不断增大，形成局部真空，油液从吸油口吸入；左侧的叶片逐渐压入槽内，密封容积不断减小，油液被压出压油口。这种泵转子每转一转，各密封容积只完成一次吸油和压油，因此称做单作用式叶片泵。它的最大特点是流量可随偏心距的改变而变化，故可用做变量泵。

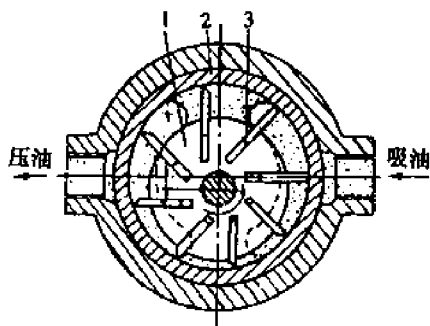


图 4-5 单作用式叶片泵工作原理

1—转子；2—定子；3—叶片；4—配流盘（图中未注）

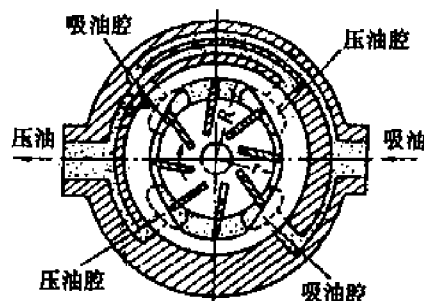


图 4-6 双作用式叶片泵工作原理

(2) 双作用式叶片泵。图 4-6 为双作用式叶片泵工作原理。这种双作用式叶片泵与单作用式叶片泵相比，没有偏心距，油量不能改变，只能用做定量泵。定子内表面形状近似椭圆。转子每转一转，各密封容积完成两次吸油和压油，故称为双作用式叶片泵。由于泵有两个吸油区和两个压油区处于对称位置，因此作用在转子上的径向压力互相平衡，故这种泵的工作压力较高，使用寿命较长，排油量较大。

叶片泵结构紧凑，且流量脉动小运转较平衡、噪声低、工作压力和容积效率较高，但对吸油条件要求严格，结构较复杂，零件制造精度要求较高。故一般用于中等压力、中等流量、精度要求较高的液压传动系统中。

## 3. 柱塞泵

柱塞泵按照柱塞排列的方向不同，可分为轴向柱塞泵及径向柱塞泵：

(1) 轴向柱塞泵。图 4-7 为斜盘式轴向柱塞泵的工作原理。这种泵由传动轴 1、斜盘 2、柱塞 3、缸体 4、配油盘 5 等组成。缸体上均匀分布着几个轴向柱塞孔，柱塞可在其中滑动，柱塞球形头部紧贴在斜盘上。斜盘和配油盘都固定不动。当传动轴带动缸体按图示方向旋转时，柱塞在其柱塞孔中做往复直线运动。当柱塞伸出时，柱塞底面下部的密封容积逐渐扩大，油液从配油盘上的配油窗口 *a* 吸入；反之则从配油窗口 *b* 压出。泵体每转一周，各柱塞往复运动一次，完成一次吸油和压油。泵体连续旋转，就可不断地输出压力油。如果改变斜盘倾角，柱塞行程也相应改变，输出油量就可变化，因此这种泵可作变量泵用。它的结构紧凑、径向尺寸小、质量轻、转动惯量小、易实现变量，故高压系统中用得较多。

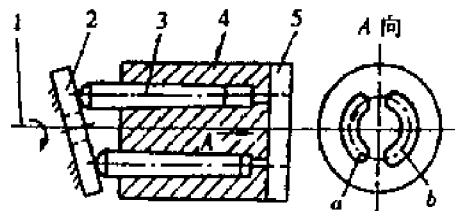


图 4-7 轴向柱塞泵的工作原理  
1—传动轴；2—斜盘；3—柱塞；4—缸体；5—配油盘

(2) 径向柱塞泵。图 4-8 是径向柱塞泵的工作原理。柱塞径向排列在转子的孔中，它靠离心力压紧在定子的内壁上。由于转子和转子轴心间有偏心距 *e*，所以当转子转动时，柱塞就在转子槽内做往复运动。转子每转一周，每个柱塞完成一次吸油和压油。如改变偏心距 *e* 的方向，就可改变排油方向。故这种泵可做成双向定量泵。

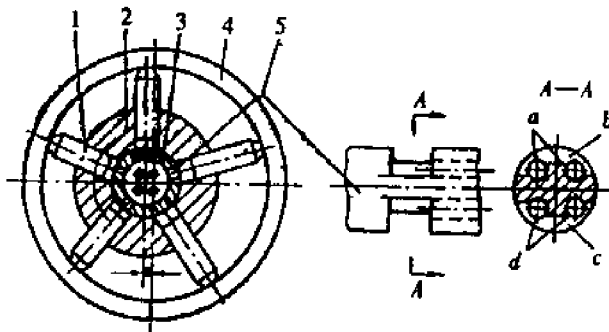


图 4-8 径向柱塞泵的工作原理  
1—柱塞；2—转子；3—配流衬套；4—定子；5—配流轴；*e*—偏心距；*a*、*b*—吸油、排油口

## (二) 液压马达

齿轮泵、叶片泵和柱塞泵都可作液

压马达用。图 4-9 为轴向柱塞式液压马达的工作原理。当向油马达输入压力油时，处在压力油腔位置的柱塞伸出，压在斜盘上。假设斜盘给柱塞的反作用力为 *N*，它可分解为两个分力，一个为轴向力 *P*，它和压力油作用在柱塞上的力平衡；另一个为切向分力 *T*，它和柱塞的轴线垂直，使缸体产生转矩。转矩的大小与柱塞在压力油区所处的位置有关，随着角度  $\alpha$  的变化，柱塞产生的转矩也随之改变。油马达所产生的总转矩为所有处在压油区的柱塞所产生的转矩之和。

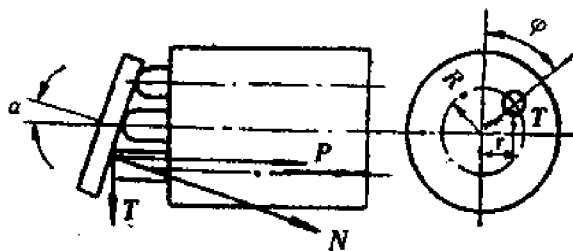


图 4-9 轴向柱塞式液压马达的工作原理

## 二、液压油缸

液压油缸是液压传动系统中将液压能转换为机械能的执行元件。主要用它来实现机构的往复直线运动和摆动。

液压缸种类很多，最常见的是单作用柱塞式和单杆双作用活塞式液压油缸。

### (一) 双作用单活塞杆式液压缸

图 4-10 所示为双作用单活塞杆式油缸的构造。它主要由缸底 1、缸筒 10、缸盖 14、活塞 7、活塞杆 11 等组成。其工作原理是：当压力油从油口 A 进入油缸左腔时，便推动活塞向右运动，右腔的油液被压出油口 B。由于活塞两侧受压面积不同，左侧大于右侧，故进油流量大于排油流量。当压力油从油口 B 进入油缸右腔时，活塞左移，左腔油液被挤压出 A 油口，油量变化与上述相反。若输送流量一定，则活塞右移速度比左移慢；输送压力一定，向右推力大于向左推力。

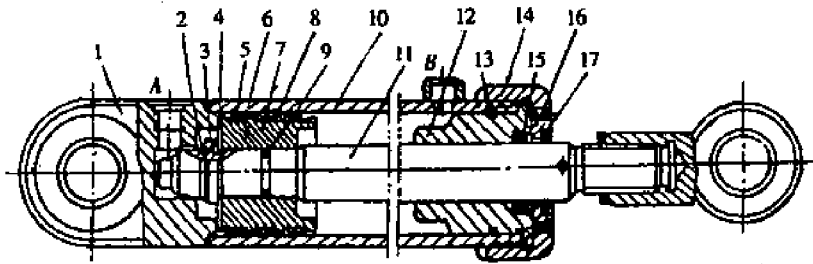


图 4-10 双作用单活塞杆液压缸

1—缸底；2—卡环；3—卡键帽；4—轴用卡键；5、15—小 Y 型密封圈；6、16—挡圈；7—活塞；8—支承环；9、13—O 型密封圈；10—缸筒；11—活塞杆；12—导向套；14—缸盖；17—防尘圈

双作用单活塞杆式油缸的速度和推力由以下公式计算：

当两腔供油量相等时，活塞杆外伸速度  $v_1$  及活塞杆返回速度  $v_2$  分别为

$$v_1 = \frac{Q\eta_v}{A_1} = \frac{4Q\eta_v}{\pi D^2} \quad (\text{m/s}) \quad (4-5)$$

$$v_2 = \frac{Q\eta_v}{A_2} = \frac{4Q\eta_v}{\pi(D^2 - d^2)} \quad (\text{m/s}) \quad (4-6)$$

式中  $Q$ ——输入油缸的流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )；  
 $A_1$ ——无杆腔活塞有效面积 ( $\text{m}^2$ )；  
 $A_2$ ——有杆腔活塞有效面积 ( $\text{m}^2$ )；  
 $D$ ——缸筒内径 ( $\text{m}$ )；  
 $d$ ——活塞杆直径 ( $\text{m}$ )；

$\eta_v$ ——油缸的容积效率，其值决定于密封形式。当采用耐油橡胶或聚氯乙烯密封圈时， $\eta_v=1$ 。

当往返运动的供油压力相等时，活塞杆外伸推力  $F_1$  和缩回拉力  $F_2$  分别为

$$F_1 = pA_1 - p_0A_2 = \frac{\pi}{4} [(p - p_0)D^2 + p_0d^2] \quad (\text{N}) \quad (4-7)$$

$$F_2 = pA_2 - p_0A_1 = \frac{\pi}{4} [(p - p_0)D^2 - p_0d^2] \quad (\text{N}) \quad (4-8)$$

式中  $p$ ——供油压力 ( $\text{MPa}$ )；  
 $p_0$ ——回油背压 ( $\text{MPa}$ )。

这种油缸多用在行程不太长，但要求工作进给时作用力大、速度慢，而且回程速度快和作用力小的地方。

## (二) 单作用柱塞式油缸

图 4-1 所示的千斤顶是单作用柱塞式油缸的典型机构，柱塞和油缸一般是直立安装的，柱塞仅做单向运动，反向运动常借助自重、载荷或其他外力作用。这种油缸结构简单、制造方便。适用于要求工作行程较长的地方。

## 三、液压控制阀

液压控制阀是用来控制液压传动系统中液压油的方向、压力和流量，保证液压执行元件完成预定的动作，以及保护系统安全可靠的工作。

液压控制阀按其作用分为方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀三大类。

### (一) 方向控制阀

方向控制阀用来控制液压系统中油流的方向。它分为单向阀和换向阀两大类。

#### 1. 单向阀

单向阀的作用是只允许油液向一个方向流动，不许倒流。图 4-11 (a) 为锥阀式单向阀，(b) 为液控式单向阀。它们主要由阀体、阀芯和弹簧等组成。液控式单向阀还有一个控制活塞及顶杆。当控制油口  $K$  不通压力油时，油可从油口  $P_1$  流入，打开单向阀从油口  $P_2$  流出。若压力油从油口  $P_2$  流入，单向阀会关闭，油流被截断；当控制油口  $K$  通压力油时，活塞 1 受压力油作用而右移，通过顶杆 2 打开单向阀，使油口  $P_1$  与  $P_2$  接通，因此油液能正、反两个方向流动。

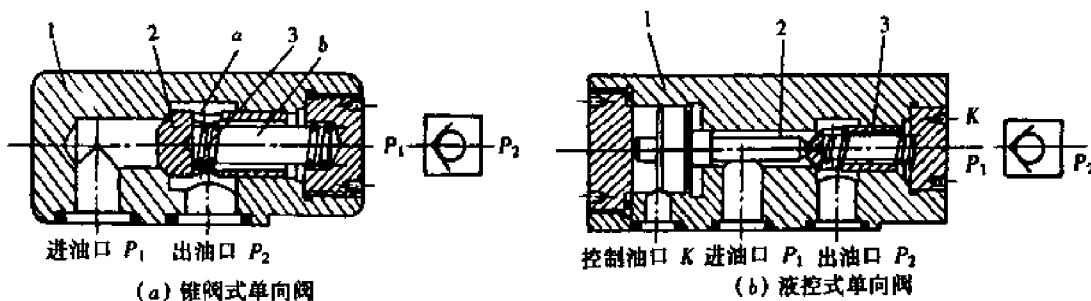


图 4-11 单向阀

#### 2. 换向阀

换向阀的作用是利用阀芯和阀体相对位置变化来变换阀体上各阀口间的连通关系，以达到接通、断开油路，控制油流的方向。换向阀的品种繁多，目前普遍用的是滑阀式换向阀，即阀芯在阀体的阀孔内做轴向运动。控制阀芯运动的动力和方法有人力、机械、电磁、液压、气压控制以及复合控制等。根据阀芯相对于阀体的不同工作位置数目称为“位”，可分为二位、三位、四位等。根据对外接通油孔数多少，可分为二通、三通、四通和多通换向阀。换向阀主要是以其工作位置和所控制的通道数来命名的。

图 4-12 为三位四通换向阀。阀体上有四道环形槽， $P$  通压力油入口， $A$  和  $B$  通工作油缸油路， $O$  通回油口并接通油箱。阀芯 1 上的  $a$  和  $b$  经轴向孔相通。当阀芯在中间位置时， $A$ 、 $B$ 、 $P$ 、 $O$  均不相通；当阀芯向右拉时， $P$  与  $B$ 、 $A$  与  $O$  接通；阀芯向左推时，则  $P$  与  $A$ 、

B 通过小孔  $a$ 、 $b$  和  $O$  接通，使油流换向。阀的泄漏油由孔 2 经泄油口排出。手柄放松时，阀芯便在弹簧力作用下，自动恢复到中间位置，切断油路。因而操纵安全，广泛用于工程机械上。如果要求阀芯在三个工作位置上都能分别定位，只要把左端弹簧部分改为图 (b) 所示钢球定位结构。(c)、(d) 为它们的职能符号。

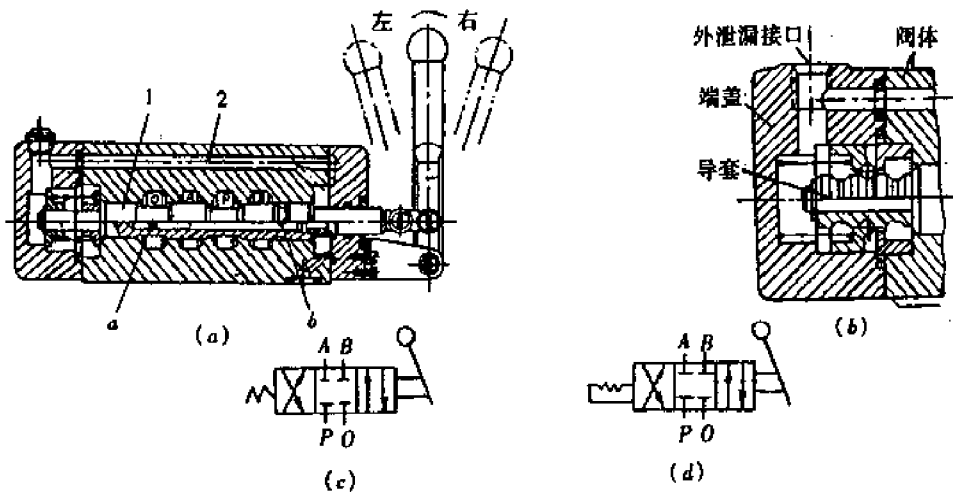


图 4-12

工程机械上广泛应用着多路换向阀，它实质上是以若干联换向阀为主体，加有单向阀、溢流阀等构成的阀组。这种阀有公共的进油口和出油口，各联换向阀又各有两个工作油孔去连接油缸或油马达。

按用途不同，多路换向阀间的油路连接形式有并联、串联、串并联及其他复合式等。

## (二) 压力控制阀

压力控制阀用来控制液压系统的压力，使系统能实现稳压、减压、调压、保压、增压或利用压力变化实现执行元件顺序动作等。它可分为溢流阀、顺序阀和减压阀等。

### 1. 溢流阀

溢流阀用来使液压系统压力保持稳定，防止系统的压力过载，保障系统安全。它有直动式和先导式两种。

图 4-13 为直动式溢流阀。它主要由阀体、阀芯、弹簧、上盖、调整螺帽等组成。当压力油从进油口  $P$  通过阴尼孔  $a$  作用在阀芯 7 的底部端面上，其油压力小于作用在阀芯上端的弹簧力时，阀关闭，进出油口  $P$ 、 $O$  隔断；反之  $P$ 、 $O$  连通，使多的油溢流回油箱。从而保持压力稳定。若调节调整螺帽 2 可改变弹簧压紧力，以调整溢流阀调定压力。

### 2. 减压阀

减压阀的作用是将其出口油压调节到低于它的进口油压。图 4-14 为先导式减压阀。该阀由先导阀和主阀两部分组成。高压油从油口  $P_1$  进入，经过主阀阀芯与阀体之间的节流口后减压成低压油从油口  $P_2$  流出。低压油通过小孔  $c$  进入主阀芯 1 的下腔，经主阀中心阻尼小孔  $b$  进入主阀芯 1 的上腔，又通过孔  $a$  作用在调压锥阀 3 上。当低压油的压力低于先导阀的调整压力时，锥阀 3 关闭，阴尼孔  $b$  中无油液流动，主阀芯上下两腔的油压作用力相等。在主弹簧 2 的作用下，主阀芯 1 向下移动，使节流口  $h$  增大，节流损失减小，于是低压油的

压力上升到所调整的压力。当低压油的压力超过先导阀的调整压力时，锥阀 3 被打开，少量低压油经锥阀从泄油口  $L$  排出。这时由于阻尼孔  $b$  的节流作用，使主阀芯上下端产生了压力差。当压力差所产生的作用力大于弹簧力时，主阀芯上移，使节流口  $h$  减小，从而增大节流损失，使出油口油压降低并稳定在调定值上。

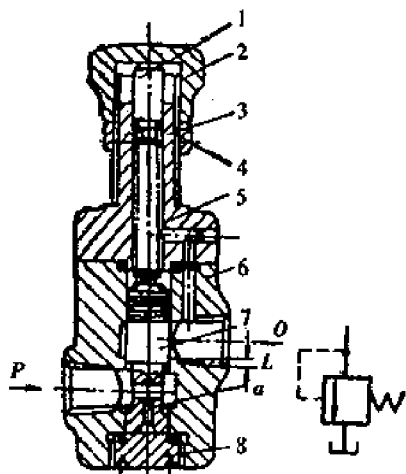


图 4-13 直动式溢流阀

1—顶杆；2—调整螺母；3—弹簧；4—螺母；5—上盖；  
6—阀体；7—阀芯；8—阀座；O—回油孔；a—阻尼小孔

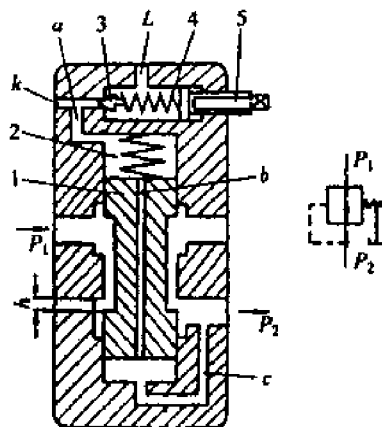


图 4-14 先导式减压阀工作原理和符号

1—主阀芯；2—弹簧；3—锥阀；4—弹簧；  
5—调压螺钉；L—泄油口

该阀的压力调整用调压螺钉 5 改变弹簧 4 的压缩量进行。控制油口  $K$  是作为远程控制而用的。与溢流阀相比，减压阀是利用出口油压来控制阀的节流口，从而保持出油口的油压稳定。减压阀节流口是常开的，采用外泄式泄油。

### 3. 顺序阀

顺序阀是利用液压系统中压力的变化控制油路通断，从而控制执行元件先后顺序动作。

顺序阀的结构和工作原理与溢流阀基本相同，唯一不同的地方是顺序阀的出口不是接通油箱，而是接到系统中继续用油之处。因此，顺序阀中的内泄漏油不能用通道直接引导到顺序阀的出油腔，而是由专门的泄油口经阀外油管通到油箱。

顺序阀也有直动式和先导式两种。它的控制方式有两种：一种是内控式，即直接利用阀本身的进油压力来控制顺序阀的通断；另一种是外控式，即利用外来的油液压力来控制顺序阀的通断。

图 4-15 为内控式顺序阀。它的工作原理是：当进油口的油液压力大于弹簧的调定压力时，阀芯上移，进油口  $P_1$  与出油口  $P_2$  接通，油液从进油口  $P_1$  流入并经出油口  $P_2$  流出。当进油口的油液压力低于弹簧的调定压力时，进油口  $P_1$  与出油口  $P_2$  关闭，油液不能经顺序阀流出。

### （三）流量控制阀

流量控制阀是靠改变阀口流通面积的大小或通道长短来变更液体阻力，从而控制通过阀口的

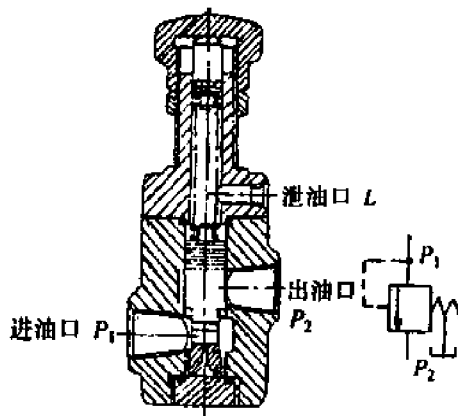


图 4-15 内控式顺序阀

流量，达到调节执行机构运动速度的目的。常用的流量控制阀有节流阀、调速阀等。节流阀是其他各种流量控制阀的基础，应用也最广泛。

节流阀靠改变节流口的通流面积来控制流量，从而调节执行机构的运动速度。节流口的几种形式如图 4-16 所示。图 4-17 为轴向三角槽式可调节流阀。油液从进油口  $P_1$  流入，经油孔  $b$  和阀芯 2 左端的三角形节流槽，再经油孔  $a$  从出油口  $P_2$  流出。调节手柄 4，借助推杆 3 可使阀芯 2 做轴向移动，改变节流口的流通面积，从而达到调节流量的目的。阀芯 2 在弹簧 1 的作用下始终紧压在推杆 3 上。由于这种阀节流结构形式近似薄壁小孔，油温变化对其流量影响较小，能够获得较为稳定的最小流量，且结构简单，调速范围较大，工程机械和矿山机械的液压系统采用较多。

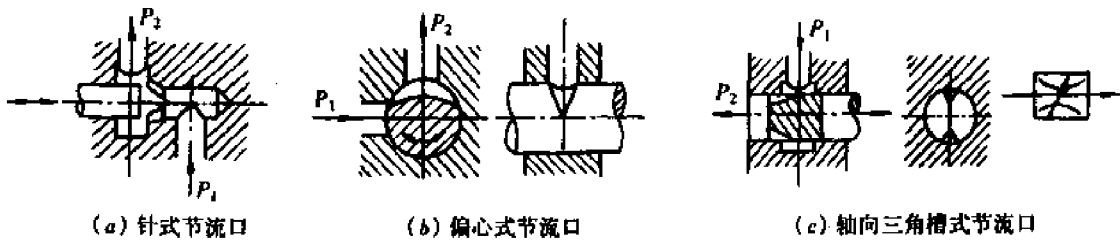


图 4-16 节流口的几种形式

由上述可见，节流阀实质上是串联在液流管道上的一个可变液阻。由于节流阀只起液阻作用，所以只有安装在定压液压源的主油路和定流量液压源的液压系统支路上，才能起流量调节作用。

#### 四、辅助装置

液压系统中的辅助装置有油箱、油管、滤油器、密封件等。它们是系统中不可少的组成部分，且对系统的工作性能、寿命、噪声和温升都有直接的影响。

##### (一) 油 箱

油箱的主要功用是储油，同时兼有散热、沉淀杂质、分离油中的水、气等作用。

油箱按使用特点可分为开式（液面与外部大气相接触）和充气式（液面与压缩空气相接触的闭式结构）两种。工程机械中均有使用。

##### (二) 油 管

油管是用来连接液压元件，保证工作介质循环流动以传递能量的纽带。

常用油管有紫铜管、钢管、橡胶软管以及塑料管和尼龙管等。

油管的直径、壁厚与油管接头等可根据管路通过的流量和压力大小，从有关手册上选择。

##### (三) 滤油器

滤油器的主要功用是滤去油液中的杂质污物，使油液保持清洁，以提高系统工作的可靠

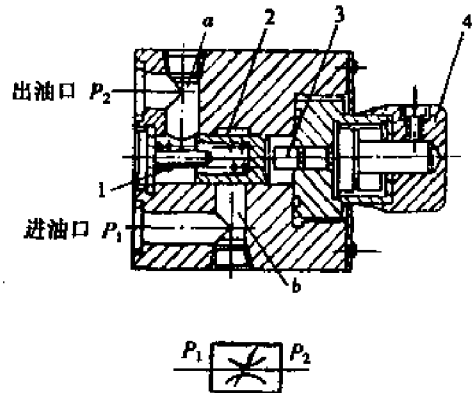


图 4-17 节流阀

性和液压元件的寿命。

#### (四) 密封装置

密封是保证液压系统正常工作的一个重要问题。如果密封不良，将会造成系统和元件的泄漏加大，使容积效率和工作油压降低，严重时将使液压系统不能工作。油液的外泄漏会污染环境。为防止流体泄漏和外部杂物侵入，因此对液压系统中采用的密封装置提出了一些基本要求：

- (1) 要有良好的密封性，随油压的增加，能自动提高密封性；
- (2) 密封装置对运动零件的摩擦阻力要小；
- (3) 耐磨性好，工作寿命长；
- (4) 抗腐蚀性好，制造简单，便于安装和维修。

密封的型式较多，目前常用的是用耐油橡胶制成的 O 型、Y 型、V 型密封圈，如图 4-18 所示。O 型密封圈结构最简单，密封性良好，易于制造，应用最广。它既可以用于固定连接，又可用于运动连接的密封；既可用于内径或外径密封，也可用于端面密封。

Y 型密封圈利用油压作用力使两层边张开起密封作用，故装配时唇边要面对有压力的油腔。Y 型密封圈摩擦力较小，对相对运动速度较高的密封表面也适用。

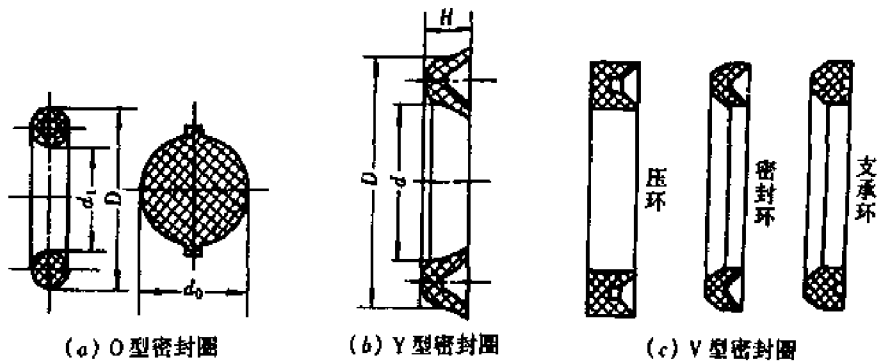


图 4-18 密封圈

V 型密封圈通常由压环、密封环和支承环组成，并且是三个迭在一起使用，如压力高时（一般大于 10 MPa）可增加中间的密封环的数量。安装要求同 Y 型，使唇边面对压力腔。V 型圈接触面虽较长、密封性也较好，但因摩擦力较大，多用于相对速度要求不高的密封处。

### 第三节 液压传动的基本回路

液压传动系统是由若干液压元件组成，以完成一定的动作，满足某一工作装置或机构的性能要求。现代工程机械的液压系统是十分复杂的。但是，它们都是由一些基本回路所组成。所谓回路是系统中由有关液压元件组成能满足特定功能的某一部分或全部。因此，掌握基本回路和它们的工作原理、组成和特性，就可以根据装置或机构的性能要求，正确设计和阅读分析液压系统。

一个液压系统，不论其复杂程度如何，总是围绕着控制液流的流量、压力及方向等所组



成的基本回路。本节介绍几种常用的基本回路。

### 一、方向控制回路

在液压系统中，利用控制进入执行元件液流的通、断及换向来实现执行元件的起动、停止或改变运动方向功能的回路，称为方向控制回路。

方向控制回路在工程机械中常用的有换向回路、制动回路和锁紧回路等。

换向回路的作用主要是变换执行机构的运动方向。在开式系统中，运用各种换向阀来实现的。制动回路是要使执行元件的运动迅速停止，除了利用换向阀进行换向制动外，还可以利用压力阀（如溢流阀）在执行元件的回路上造成很大的背压来迫使其停止。图 4-19 是用溢流阀实现制动的回路。当换向阀上位工作时，马达出油口通油箱，马达正常运转，泵的最大输出油压同溢流阀调定；当换向阀下位工作时，泵卸荷，马达由于惯性仍继续转动，但回油由于溢流阀受阻，背压升高，马达被迅速制动，其最大制动力由溢流阀调定；当换向阀中位工作时，泵卸荷，马达因机械摩擦缓慢停止。

关于锁紧回路，其作用在于使执行机构停止在一定位置上。如液压起重机起吊重物时，其支腿必须锁紧，否则一个支腿软腿缩回，就可能引起翻车。图 4-20 为汽车起重机液压支

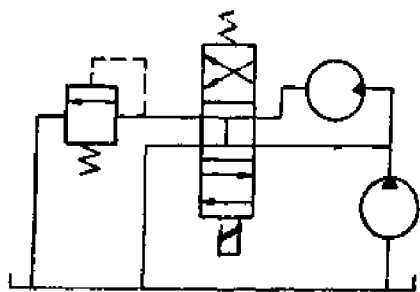


图 4-19 制动回路

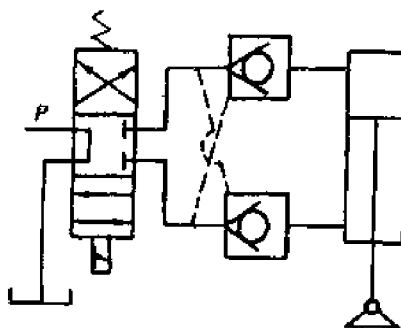


图 4-20 锁紧回路

腿的锁紧回路。如单用 M 型换向阀的滑阀机能将油缸进、回油路锁闭，因换向阀有内漏，锁紧不能长久，不适用于起重机液压支腿。为了使支腿长时间保持不动，采用了图 4-20 所示的液控单向阀锁紧。支腿油缸在支撑期间，必须将上腔油路锁紧，防止软腿缩回。当汽车起重机提起支腿在行驶途中，又须将下腔油路锁紧，以免支腿自行沉降。当伸腿时，压力油进入油缸的上腔，并通过控制油路打开下腔单向阀使下腔回油。同样在缩腿时，压力油进入下腔，并打开上腔单向阀，使上腔回油。当换向阀处于中位时，上、下腔油路均被锁紧，液压缸不动。这种回路结构简单，锁紧效果好。

### 二、压力控制回路

利用压力控制阀来实现液压系统的调压、减压、增压、卸荷及顺序动作等的回路称为压力控制回路。

压力控制回路有调压、减压、增压、顺序等回路。

### (一) 调压回路

调压回路根据工作需要要有单级调压回路和多级调压回路之分。当工作机构需要两种以上不同油压时,可采用多级调压回路。图 4-21 为二级调压回路。在图示位置时,油泵供给系统油液的压力由先导式溢流阀 1 的调整压力来决定。当电磁阀通电时,溢流阀 1 的遥控口和远程调压阀 2 相通,这时油泵的供油压力就由远程调压阀 2 的调整压力来决定。

### (二) 减压回路

工程机械的液压传动大多选取高压系统。但系统中有部分油路,如控制油路、夹紧油路、离合油路的制动油路等一些辅助油路需要使用低压。为节省油泵,这时可考虑采用减压回路来满足要求。

图 4-22 为减压回路。油泵出来的油分两路:一路经顺序阀 2 到工作机构的主油路;另一路经减压阀 3 减压后,再经手动换向阀 4,液控单向阀 5 到起重离合器的操纵油缸 6。当操纵油缸进油时,离合器接合,起重机便可起吊重物。设置液控单向阀和换向阀是为了防止离合器松开重物下落,只有在换向阀接右位时,操纵油缸才能在弹簧的作用下使离合器脱开。顺序阀的作用是当液压泵的压力达到顺序阀的调定压力时,压力油才能引进工作机构,防止负载压力低于减压阀的调定压力时,造成减压阀出口压力下降,致使离合器不能接合。

### (三) 压力控制顺序动作回路

这种回路是用顺序阀来控制执行机构的顺序动作。图 4-23 为顺序回路。当换向阀 1 处于图示位置时,油泵输出的压力油先进入油缸 6 的左腔,活塞按箭头①所示的方向右移,至接触工作,油压升高,在达到足以打开顺序阀 4 时,油液才能进入油缸 7,使活塞沿箭头②所示的方向右移。当油缸 6 的活塞右移时,其右腔排出的油液,经单向阀 3 和换向阀 1 回油箱,这时顺序阀 2 不起作用。当换向阀处于右位时,压力油先进入油缸 7 的右腔,活塞按箭头③的方向左移,到终点时右腔油压增高,顶开顺序阀 2,进入油缸 6 的右腔,推动活塞按箭头④的方向左移。油缸 7 的活塞左移时,其左腔排出的油流经单向阀 5 和换向阀回油箱,这时顺序阀 4 不起作用。这样一来,两个油缸按①、②、③、④顺序动作,主要是靠油压变化而自动控制的,只需按时扳动换向阀即可。

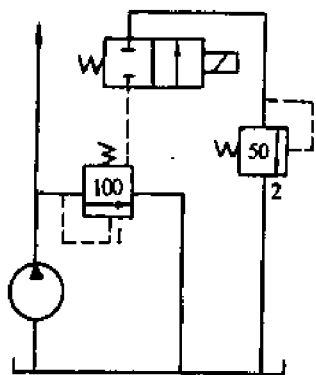


图 4-21 调压回路

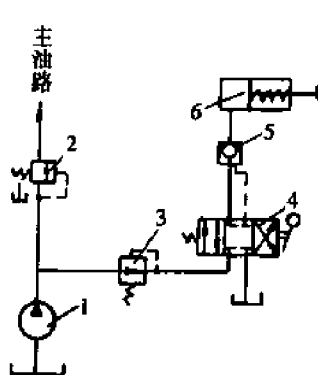


图 4-22 减压回路

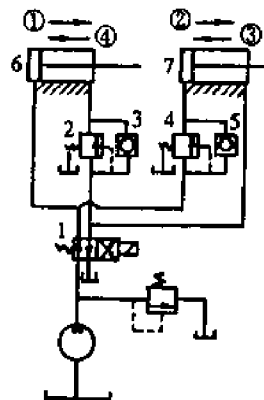


图 4-23 顺序回路

1—液压泵; 2—顺序阀; 3—减压阀;  
4—换向阀; 5—液控单向阀; 6—液压缸

### 三、速度控制回路

在液压系统中，控制执行元件的速度，是通过控制输入执行元件的流量来实现的。常采用节流调速和容积调速来控制执行元件的速度。

#### (一) 节流调速回路

图 4-24 为采用节流阀的节流调速回路。节流调速是应用节流阀和调速阀来实现的，其原理是在油路上装设可调节的液阻，将液泵输出的油量加以控制，使其一部分进入执行元件，多余的流量经过溢流阀流回油箱。图 4-24 (a) 为进油节流调速回路，节流阀装在液压缸的进油路上。进入液压缸的流量由节流阀调节，多余的油液从溢流阀溢走。若增大节流阀的开口面积，进入液压缸的流量增加，液压缸的运动速度也增大了。这种回路的特点是液压缸回油腔压力较低，因此液压缸可以获得较大的作用力和较低的运动速度。但由于回油路上无背压，当载荷突然减小时，液压缸可能产生突然的快进，影响了运动速度的平稳性。图 4-24 (b) 为回油节流调速回路，节流阀装在液压缸的回油路上。改变节流阀的通流面积，可以调节液压缸的运动速度。这种调速回路的特点是回油路上有较大的背压，因此液压缸的运动速度较平稳。图 4-24 (c) 为旁路节流调速回路，节流阀装在旁路上，一部分油进入液压缸，其余的油液则经过节流阀流回油箱。溢流阀在回路中做安全阀用，在系统超载时起保护作用。这种回路中油缸运动速度受载茶影响较大，低速时会出现不稳定现象。

#### (二) 容积调速回路

容积调速回路是指通过改变液压泵或液压马达的排量来达到调节速度的回路。在容积调速回路中，执行元件多为液压马达。

图 4-25 是由变量泵和定量马达组成的容积调速回路。它是利用改变液压泵 3 的排量来

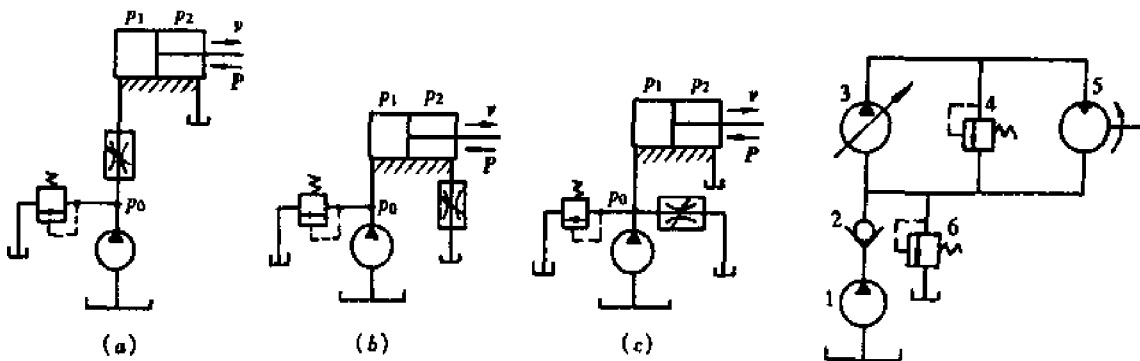


图 4-24 采用节流阀的节流调速回路

图 4-25 变量泵-定量马达调速回路

调节液压马达的转速。阀 4 做安全阀用。阀 6 可控制小流量的辅助泵 1 的供油压力。辅助泵主要用来补充因变量泵、液压马达及管路的泄漏而损失的油液，防止空气的渗入和空穴现象（即泵内吸油不充分而出现的抽空现象），并能不断地将油箱中经过冷却的油液送入油路，使发热的油液经溢流阀 6 流回油箱。

如果忽略液压泵、液压马达和管路的泄漏，那么当液压马达轴上的负载恒定时，则回路的工作压力和液压马达的输出转矩也是恒定的。而转速和功率随变量泵排量的变化而变化。

这种调速回路称为恒转矩调速回路。

此外还有定量泵和变量马达、变量泵和变量马达组成的容积调速回路。

### (三) 同步回路

在液压系统中，若要求几个油缸同步运动，则要采用同步回路。它主要有串联、并联两种。图 4-26 为油缸串联的同步回路。由于两油缸的有效面积相同，第一缸排出的油进入第二个缸，因此两个缸输入的流量是相等的，故能保持同步运动。图 4-27 是并联油缸同步回路。调节调速阀 2 和 4，使油缸 5 和 6 获得同步运动。前种油路较简单，但同步精度较低；后面的回路同步精度较高。

## 四、液压系统实例

### (一) 自升式塔式起重机的液压系统

图 4-28 为自升塔式起重机的顶升液压系统图。当塔身爬升时，需要高压油进入液压缸

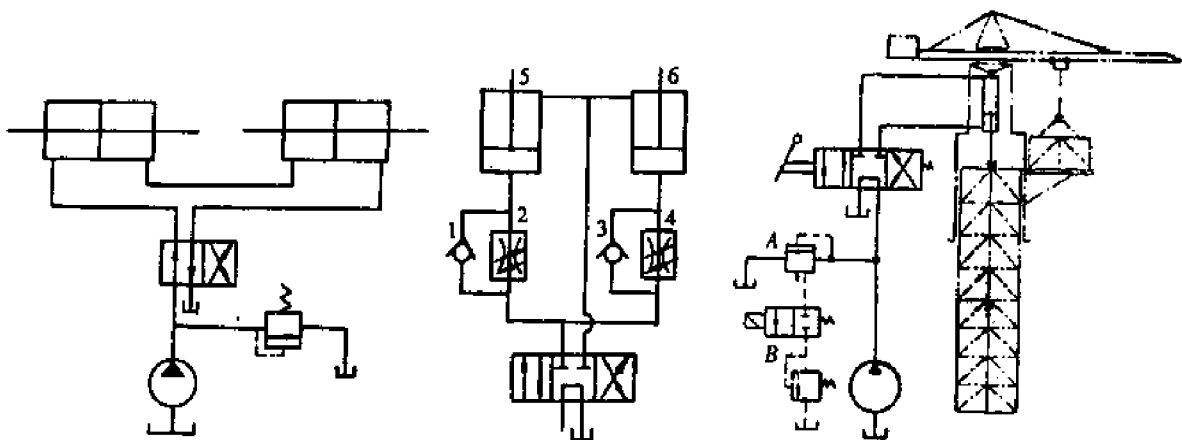


图 4-26 液压缸串联同步回路 图 4-27 液压缸并联同步回路 图 4-28 塔式起重机顶升液压系统图

的上腔，这时由高压溢流阀 *A* 控制系统工作油压力；当爬升完毕，需要提升活塞杆以便引入塔身的中间节时，只需低压油进入液压缸下腔，故可操纵二位电磁阀使阀 *A* 的远控口接通低压先导阀 *B*，于是系统压力改由阀 *B* 控制。当压力上升到阀 *B* 的调定值时，阀 *A* 即溢流。由于溢流损失相对较小，故可节约部分动力，减少油发热。

### (二) 滑升模板施工液压系统

滑升模板施工是浇灌钢筋混凝土工程中一项先进技术，目前广泛应用于高层建筑和竖井、水塔、多层框架等施工中。

滑模施工是在建筑物底部按照其结构平面，沿其中具有竖向轮廓线的构件周边，一次装设一定高度的模板，利用一套提升设备将模板不断向上滑升，同时浇灌混凝土，筑成混凝土墙体。滑升模板装置的全部载荷通过提升架传给液压千斤顶，再由千斤顶支承杆承受。

滑模液压系统的作用是使滑模装置不断上升，如图 4-29 所示。工作时，电动机 3 带动油泵 4，压力油经换向阀 9、可变节流阀 10、一级分油器 11、换向阀 12、二级分油器 13、

手动节流阀 6 等，经管路送至各并联的液压千斤顶 14。液压千斤顶在油压力作用下，带动模板系统沿钢筋支承杆向上滑升。当它滑升到某一位置时，换向阀换向，千斤顶内油液排回油箱。照此反复地给油回油，千斤顶不断地带动滑模上升。

### (三) BYQ 型液压起拨道机的液压系统

BYQ 型液压起拨道机的起、拨道作业的全部动作是采用液压操纵来完成的。其液压系统如图 4-30 所示。

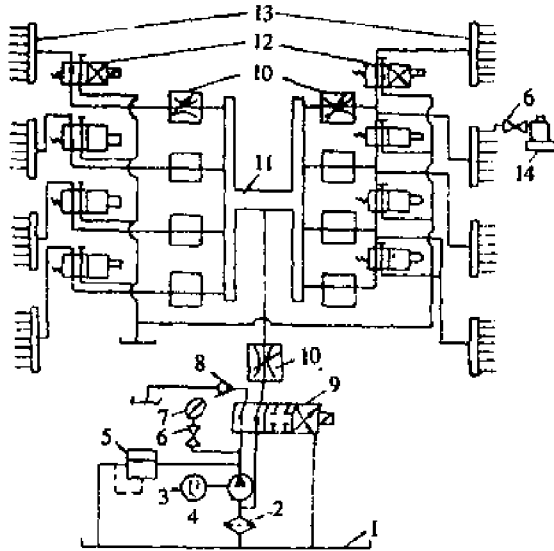


图 4-29 液压千斤顶滑模施工系统图

- 1—油箱；2—滤油器；3—电动机；4—齿轮油泵；  
5—溢流阀；6—手动节流阀；7—压力表；8—单向阀；  
9—电磁换向阀；10—可变节流阀；11—总分油器；  
12—电磁换向阀；13—二级分油器；14—液压千斤顶

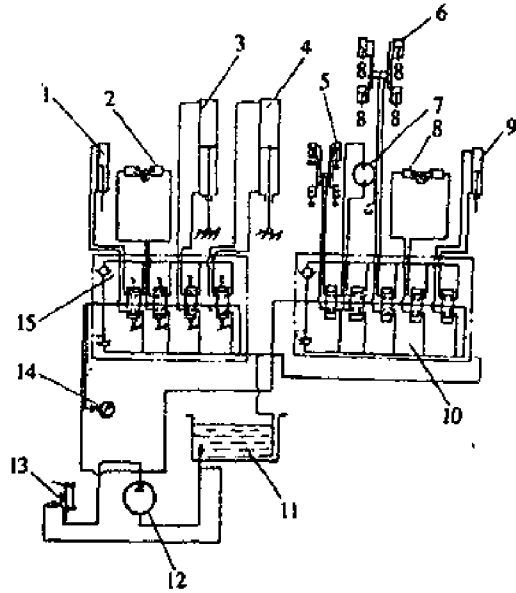


图 4-30 BYQ 型液压起拨道机液压系统

- 1—左垫碴油缸；2—左偏斜油缸；3—左起道油缸；  
4—右起道油缸；5—下道油缸；6—抓轨油缸；7—  
齿轮油马达；8—右偏斜油缸；9—右垫碴油缸；10—  
多路换向阀 A 组；11—油箱；12—齿轮油泵；13—手  
压油泵；14—压力表；15—多路换向阀 B 组

齿轮油泵压出的高压油借助附有溢流阀和单向阀的多路换向阀调整系统的工作压力，分别控制起道油缸、垫碴油缸、偏斜油缸、抓轨油缸完成起、拨道，垫碴和抓轨的动作，并控制齿轮油马达完成行走动作，控制下道油缸完成下道动作。

起、拨道作业前，操纵多路换向阀使四个抓轨油缸同时工作，通过抓轨钳夹紧轨头，使机器和轨排形成一体后，便可进行起、拨道作业。

起道时，使两个起道油缸处于垂直位置，高压油经多路换向阀进入起道油缸的上腔，迫使两个活塞杆同时下降并使底座顶在道碴上而将机器连同轨排一起顶起，而进行线路的起道作业。

起道后，用多路换向阀操纵两个垫碴油缸同时伸缩，通过垫碴杆、垫碴掌将石碴由枕木两端头垫入枕木底部，完成垫碴作业。若进行轨排单股起道垫碴作业时，只需通过多路换向阀操纵单面的起道油缸和垫碴油缸。

当需要向左或向右拨道时，则需将左或右起道油缸借助偏斜油缸倾斜一定角度，再使其活塞杆下降，底座顶在道碴上，这时机器连同轨排向左或向右斜向被抬起，使轨排横移了一个位置，从而完成拨道作业。

起、拨道完毕，通过多路换向阀操纵抓轨油缸，使抓轨钳松开轨头。  
 齿轮油马达是用来驱动液压起拨道机的行走装置。使其能沿轨道向前或向后运动。  
 本机需下道时，则可操纵多路换向阀使下道油缸动作，通过下道装置完成下道作业。  
 系统中手压油泵是安全保险装置。当机器在作业过程中遇到发动机或齿轮油泵发生故障时，可以用手压油泵作为动力，借助多路换向阀使各油缸逐个地完成单向动作。

## 第四节 液压系统的安全使用及维护

### 一、液压系统的使用和维护

正确地使用和维护液压系统是延长使用寿命，保证工作稳定、灵敏、可靠的必要条件。使用时应注意以下几点：

- (1) 使用前应检查液压系统各元件安装是否正确、可靠。
- (2) 确认液压系统装配无误后，要进行试压运转，检查回路的漏油和耐压程度。当系统中出现不正常的噪声时，应立即停止试运转，彻底检查，待找出原因并消除后再继续进行运转。
- (3) 保持液压系统和液压油的清洁，并定期检查，定期换油。
- (4) 防止空气进入液压系统。
- (5) 防止油温过高。
- (6) 对液压系统加强日常检查和定期检查。

### 二、液压系统常见故障与排除方法

液压系统常见故障与排除方法见表 4-1。

表 4-1 液压系统常见故障与排除方法

故障现象	产生原因	排除方法
液压泵转向不对	电动机接错相位	调整电动机相位
液压泵过度发热	液压泵磨损或损坏	修理或更换
油温太高	油的粘度过高、冷却不足或冷却中断	使用推荐液压油，改进或调整冷却系统
液压泵转速过低或功率太小	皮带打滑、联轴器与原动机出故障	排除故障
压力油从高压腔向低压腔泄漏	压力调整错误 安全阀不关闭，存在污物或阀座磨损， 换向阀阀芯与阀套拉伤严重 液压缸内壁拉伤 活塞杆或活塞处密封圈损坏；密封圈材 料和液压油不相适应或密封装置不合理	重新调整 清洗阻尼孔或换新，修理或换新 修理 更换密封圈 更换密封圈材料 改进密封装置
液压泵吸油不足	滤油器堵塞	清洗滤油器
液压泵故障	齿轮泵的齿形精度低，泵的轴向间隙磨 损量增大，输油量不足 叶片泵困油 泵的型号不对，转速过高	两齿对研，达到精度要求，修磨 轴向间隙 修正配油盘槽至消除困油为止 检查更正

续表 4-1

油泵吸空	泵的进口管路漏气, 吸油管径过小, 管道过长 油泵吸油高度过高, 滤油器堵塞或通流面积小, 油箱不透空气, 油液粘度过大	用涂黄油法找到漏油处并排除 更换管道 泵心吸油高度应小于 500 mm 清洗滤油器 油箱应与大气自由相通, 换合适粘度的油液
溢流阀动作失灵	油液脏物堵塞阻尼小孔, 弹簧变形、卡死、损坏, 阀座损坏、配合间隙不合适	清洗换油、疏通阻尼孔、检查更换弹簧 检查主阀芯是否卡死, 修研阀座
机械振动	油管互相撞击, 油管振动 液压泵与电动机安装不同心	较长油管彼此分开, 适当加设支承管夹、重新安装, 同心度要小于 0.1 mm
系统进入空气	停车时, 空气渗入系统	利用排气装置排气, 开车后快速全行程往返数次排气
空气进入系统, 引起系统低速爬行	油泵吸空造成系统进气活塞杆处, 密封圈太松	排除方法与油泵吸空同, 调整螺母
液压元件故障	节流阀性能不好, 板式阀体内部串腔, 液压缸拉毛	更换节流阀, 检查排除, 修磨液压缸

## 第五节 液力传动

液力传动是以液体的动能进行能量传递。图 4-31 是液力传动示意图。它的基本组成构件只有一个离心泵和一个涡轮机。

### 一、液力传动的工作原理

如图 4-31 所示, 原动机 1 通过传动轴 2 驱动离心泵 3 高速旋转, 将充满装置中的工作液体吸入泵的叶轮中, 叶轮使液体获得能量后输出, 沿连接导管 4 流入涡轮机 5, 并冲击涡轮机叶片使涡轮旋转。从而使涡轮轴 6 输出机械能。由涡轮中排出的油液, 经回油导管 7 重新被吸入泵的叶轮中去。工作液体如此不断地在整个装置中循环流动, 形成一个闭式系统, 从而将原动机的能量传递到涡轮的输出轴; 再带动一定形式的工作机构的负载转动。

### 二、液力传动装置

根据上述原理制成的液力传动装置主要有液力变矩器和液力偶合器。在建筑与工程机械上, 液力变矩器代替主机离合器用得较多, 液力偶合器代替机械联轴器用得较多。

#### (一) 液力偶合器

图 4-32 为液力偶合器的结构示意图。它主要由泵轮 2、泵轮壳 3、涡轮 4 等组成。两轮直径相同, 又称工作轮。工作轮里面有许多半圆形的径向叶片, 在各叶片间充满工作油液。两轮装合后的相对端面之间约有 2~5 mm 的间隙。它们的内腔共同构成圆形或椭圆形的环状空腔, 此环状空腔称为循环圆。

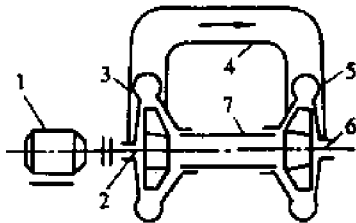


图 4-31 液力传动示意图

1—原动机；2—传动轴；3—离心泵；  
4—导管；5—涡轮机；6—涡轮轴

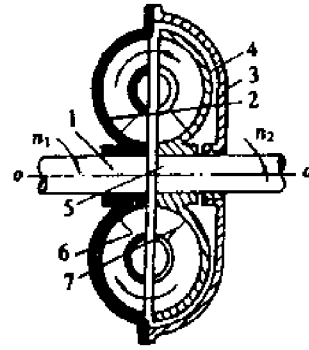


图 4-32 液力耦合器简图

1—输入轴；2—泵轮；3—泵轮壳；4—涡轮；  
5—输出轴；6、7—尾端切去

当发动机通过输入轴 1 带动泵轮旋转时，其中的工作油液也被叶片带着一起旋转，液体既绕泵轮轴线做圆周运动，同时又在离心力作用下从叶片内缘向外缘流动。此时，外缘的压力较高，而内缘的压力较低，其压力差取决于泵轮的半径和转速。这时，如果充满工作油液的涡轮仍处于静止状态，则涡轮的外缘与中心的压力相同。涡轮外缘的压力低于泵轮外缘的压力，而涡轮中心的压力则高于泵轮中心的压力。由于两轮封闭在一个壳体内，所以这时被甩到泵轮外缘的工作油液就冲到涡轮的外缘，沿着涡轮叶片向内缘流动，又返回到泵轮，被泵轮再次甩到外缘。工作油液就这样在循环圆内循环流动。在循环过程中，泵轮接受发动机传来的机械能，传给工作液，使其动能提高。然后再由工作液将动能传给涡轮，使涡轮带动输出轴 5 旋转，实现了将工作液的部分动能转换成机械能的任务。因此，液力耦合器实现传动的必要条件是两工作轮转速不等，离心力也就不等，使两轮叶片的外缘处产生液压差所致。故液力耦合器在正常工作时，泵轮转速总是大于涡轮转速。如果二者转速相等，液力耦合器就不起传递作用。

由于液力耦合器用液体作为传动介质，泵轮和涡轮之间没有刚性联系，二者之间允许有很大的转速差。因此装用液力耦合器，可以保证工程机械平稳地起步和加速，衰减发动机传给传动系的扭转振动，防止传动系和发动机过载，还可以减小换挡次数以及在暂时停车时不换挡而维持发动机怠速运转，从而延长传动系和发动机有关零部件的寿命。

液力耦合器只能传递扭矩，不能改变扭矩的大小，因此，有时也称做液力联轴节。

## (二) 液力变矩器

图 4-33 为最简单的液力变矩器。它主要由泵轮 1、涡轮 2 和导轮 3 等组成。三轮都装在一个封闭的充满工作油液的空腔中。泵轮 1 由发动机驱动，涡轮 2 经涡轮轴 5 同车辆的传动系相连并传出动力，导轮 3 则固定在壳体上。

当泵轮旋转时，工作油液自泵轮 a 端进入泵轮叶片间的通道，自 b 端甩出，冲向涡轮 2 叶片，使涡轮转动。油从涡轮的 c 端流出后，

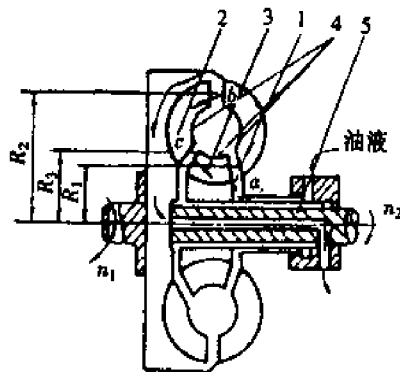


图 4-33 三元件液力变矩器简图

1—泵轮；2—涡轮；3—导轮；4—工作轮内环；5—涡轮轴



经导轮再进入泵轮的  $a$  端。与液力偶合器中泵轮的作用相同，液力变矩器的泵轮也是将发动机曲轴输出的机械能，转换成工作液体的动能。具有一定动能的工作液体，再去冲击涡轮，使涡轮旋转，液体的动能又转变成机械能，自涡轮轴输出。而导轮由于固定不动，因此没有能量输出。但由于有了固定不动的导轮，当工作油液冲向导轮叶片时，它就给油液一定的反作用力矩，这个力矩和泵轮给油液的力矩加在一起，全部都传给了涡轮。因此涡轮轴上的力矩与泵轮轴上的力矩不等，从而达到变矩的目的。

装有液力传动的工程机械，具有自动适应性；能吸收并消除发动机和外载荷的振动和冲击，从而保护发动机和机械传动系统，提高机械使用寿命；提高了加速性能和通过性能，并可使发动机起动平稳及有载起动，同时可避免由于外载突然增大而使发动机熄火；可实现无级调速，使发动机的动力范围增大，简化机械的操纵，提高机械的舒适性。因此，目前在工程机械上，如铲土运输机械、汽车起重机、塔式起重机等得到广泛应用。

### 复习思考题

1. 何谓液力及液压传动？
2. 液压传动系统由哪些部分组成？各部分的作用是什么？
3. 试述液压传动系统的基本原理。其基本参数有哪些？
4. 试述齿轮式、叶片式和斜盘式轴向柱塞泵的工作原理。
5. 试述双作用单活塞杆式油缸的工作原理。
6. 液压控制阀有哪几类？它们的作用是什么？
7. 试述直动式溢流阀、定压减压阀、手动三位四通换向阀的工作原理，并绘出它们的图形符号。
8. 液压传动的基本回路有哪些？各自的作用是什么？
9. 试述液力传动的工作原理。液力变矩器和液力偶合器的功用是什么？它们在结构上的主要区别是什么？
10. 绘制一个简单的液压传动系统图。
11. 参看图 4-28 指出各液压元件的名称、作用，并说明自升式塔式起重机顶升过程中液压系统的工作原理。

# 第五章 起重机械

## 第一节 概 述

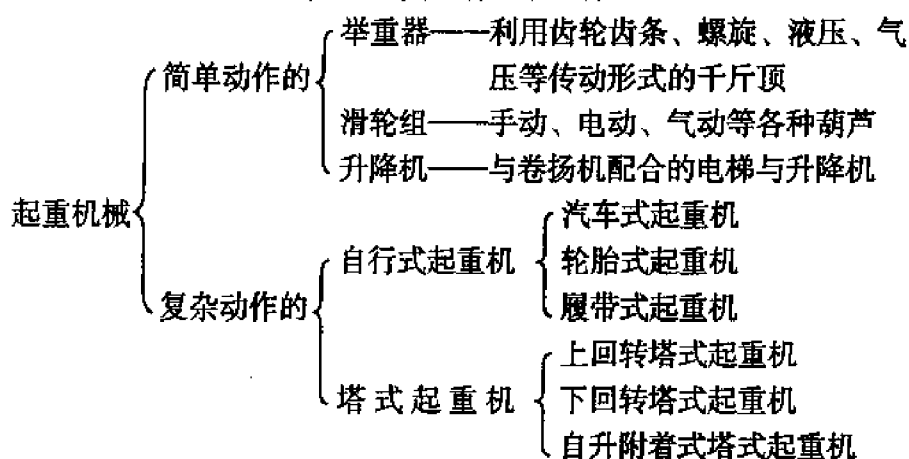
### 一、起重机械在工程中的应用

起重机械主要是用做垂直运输的设备，有行走机构的还可兼做短距离内的水平运输。起重机械是一种循环作业的机械，在建筑施工中，特别是在高层建筑、大型厂房日益普遍的情况下，用起重机完成垂直运输与结构吊装已是必不可少的设备。另外，对于减轻工人繁重的体力劳动，降低施工成本，提高生产率，缩短施工周期，实现施工机械化等都有着十分重要的作用。

起重机械是一种间歇动作的机械。它的特点是通过重复短时的的工作循环来完成提升工作（如千斤顶、电动葫芦、卷扬机等小型起重机械），或是在提升的同时还能进行移动（如缆索式、桥式、龙门式起重机械）、回转（如桅杆式起重机）以及多功能动作（如塔式、轮胎式、汽车式、履带式起重机）的吊装工作。

### 二、起重机械的类型

在建筑施工中，常用起重机械来架设工业与民用建筑的房屋构架、安装设备、吊运各种建筑材料和零件。起重机械的主要类型有以下几种：



### 三、起重机的主要性能参数

#### 1. 起重量 ( $Q$ )

起重机在各种工况下安全工作所允许起吊的最大重量称为额定起重量。起重量一般不包括吊钩、吊环之类吊具的重量，但包括抓斗、电磁吸盘的重量。对于塔式起重机则包括吊具

的重量。能改变幅度的起重机，其起重量是随着幅度的改变而变化的，这时起重机的起重量是指起重机在最小工作幅度下所允许起吊的最大重量。对于自行式起重机其名义起重量（即起重机铭牌上标定的起重量）通常都是以最大额定起重量表示的。有些大吨位的起重机，最大额定起重量往往没有实际意义，因为幅度太小，当支腿跨距较大时，重物在支腿内侧。它只是标志起重机名义上的起重能力，实际使用意义不大。

起重量大的起重机通常有两套起升机构，一套为主起升机构（即主钩），另一套为副起升机构（即副钩），主钩起重量常为副钩起重量的 3~5 倍。主、副钩起重量以分数表示，例如 15/3，表示主钩起重量为 15 t，副钩起重量为 3 t。

汽车式、轮胎式起重机的起重量已经制定了系列标准。表 5-1 是摘自 GB783—65 和 JB1375—74 部分常见的起重量。

表 5-1 起重量系列 (t)

轮胎式起重机		5 (2)	8 (3)	12 (5)	16 (6.5)	25 (7.5)	40 (12)	65 (20)	100 (30)
汽车式起重机	3	5	8	12	16	25	40	65	100

注：起重量均为使用支腿时的数值，括号中的数值为不用支腿时的起重量。

## 2. 幅度 (R)

臂架回转起重机取物装置中心线至回转中心线间的距离称为幅度，单位为 m。它与起重臂的长度和仰角有关。臂架起重机不移位时的工作范围，由最大幅度  $R_{max}$  和最小幅度  $R_{min}$  决定。

起重机的有效幅度 (A) 是指在使用支腿侧向工作、臂架位于最小幅度时，吊钩中心线到该侧支腿中心线的水平距离。有效幅度可能为正或负，它表明起重机利用最大起重量作业的实际可能性，见图 5-1。

## 3. 起重力矩 (M)

起重机的工作幅度与相应于此幅度下的起重量的乘积称为起重力矩，通常用  $M$  表示，则  $M=QR$ ，单位为  $N \cdot m$ 。它是综合起重量与幅度两个因素的参数。所以起重力矩比较全面和确切地反映了起重机的起重能力，特别是塔式起重机的起重能力通常是以起重力矩的  $N \cdot m$  值来表示。对于塔式起重机，我国是以基本臂最大工作幅度与相应的起重量乘积作为起重力矩的标定值。

## 4. 起升高度 (H)

起升高度是指从地面或轨道顶面至取物装置上极限位置的距离（对吊钩取钩孔中心，对抓斗和起重电磁铁取其最低点），单位为 m。如果取物装置可以降落到地面以下，地面以下的深度称为下放深度，此时总起升高度等于地面上高度及地面下深度之和，二者应分别标明。

对于臂架起重机，起升高度随臂长和幅度而变，通常以不同臂长时的最大起升高度表示。

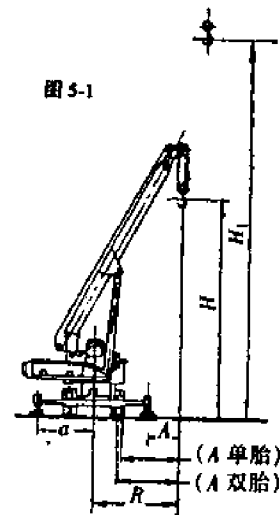


图 5-1 起重机幅度与起升高度

我国臂架类起重机的起升高度已有标准（见 GB791—65 和 JB1375—74）。

### 5. 工作速度 ( $v$ )

起重机的工作速度主要包括：起升、变幅、回转和行走的速度。对于伸缩臂式起重机还包括起重臂伸缩速度和支腿收放速度。

起升速度是指起重吊钩或取物装置上升（或下降）速度，单位为  $m/min$ ；变幅速度是指起重吊钩或取物装置从最大幅度移到最小幅度时的平均线速度，单位为  $m/min$ ；回转速度是指起重机转台每分钟的转数，单位为  $r/min$ ；行走速度是指整个起重机的移动速度，单位为  $m/min$ （对于自行式起重机因行走距离长，则以  $km/h$  为单位）。

对于大起重量的起重机，主要矛盾是解决重件吊装问题，速度不是主要的。为了降低驱动功率和增加工作的平稳性，其工作速度一般取得很低，甚至要求实现微动速度（ $< 1 m/min$ ）。

此外，起重臂伸缩和支腿收放所需的时间，单位通常取为  $s$ 。

### 6. 生产率 ( $P$ )

生产率是起重机装卸和吊运物品能力的综合指标。常是综合起重量、工作行程及工作速度等基本参数为一个基本参数——生产率来表示，常用单位为  $t/h$ 。

起重机吊运成件物品的生产率为

$$P = nQ_m \quad (t/h) \quad (5-1)$$

起重机吊运散状物料的生产率为

$$P = nV\gamma\psi \quad (t/h) \quad (5-2)$$

式中  $n$ ——每小时吊运物品的循环次数；  
 $\psi$ ——满载率（或称充满系数）；  
 $V$ ——抓斗额定容积（ $m^3$ ）；  
 $\gamma$ ——散装物料容重（ $t/m^3$ ）；  
 $Q_m$ ——每次吊运物品的平均重量（ $t$ ）；

$$Q_m = \psi(Q - Q_0)$$

其中  $Q$ ——额定起重量（ $t$ ），  
 $Q_0$ ——取物装置的重（ $t$ ）。

### 7. 外形尺寸及重量

起重机的外形尺寸及重量也是其重要参数。它与起重机的转移、安装及建筑物有密切关系，在一定程度上反映了起重机的通过性能和经济性。起重机各部分的外形尺寸应符合运输条件的要求。

## 第二节 起重机械专用零、部件

图 5-2 是一台简单起重机的示意图。原动机 1 通过联轴器 2、减速机 3、离合器 6、驱动卷筒 4 和钢丝绳滑轮组 7，带动吊钩 8 以一定的速度做垂直的直线运动。离合器的作用是切断或传递动力。当离合器使卷筒失去原动机动力时，在重物自重的作用下，使卷筒反转以

加大重物或吊钩的下降速度。制动器 5 的作用是控制重物下降速度或使重物停止在空中某一位置。以下分别介绍钢丝绳、滑轮及滑轮组、卷筒、吊钩、制动器等起重机械的专用零、部件。

## 一、钢丝绳

钢丝绳（简称钢绳）是起重机械中最常用的挠性构件。由于它具有强度高、自重轻、挠性好、运动平稳，极少突然断裂等优点，而被广泛用在起升机构、变幅机构、牵引机构中，有时也用于旋转机构。钢丝绳还用做司索绳、桅杆起重机的张紧绳及缆索起重机的承载绳等。

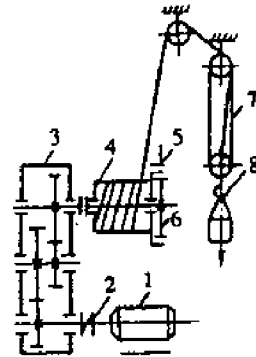


图 5-2 简单起重机示意图

1—原动机；2—联轴器；3—减速箱；4—卷筒；  
5—制动器；6—离合器；7—滑轮组；8—吊钩

### （一）钢绳的构造和类型

钢绳由一定数量的钢丝和绳芯经过捻绕而成。采用高强度优质碳素钢，由直径约为 6 mm 的圆钢，经过多次冷拉、热处理得到直径为 0.5~2 mm 的高强度钢丝。钢绳由股绕成绳时，绳的中央加绳芯，以充填中央断面并增加绳的挠性。绳芯可以采用有机芯、石棉芯、金属芯等。

根据捻绕的次数，分为单绕、双绕和三绕钢绳。单绕绳是由若干断面相同或不同的钢丝一次捻绕而成。圆形断面的钢丝捻绕成的钢绳，僵性大，挠性差，强度高，适用于不绕过滑轮的情况，如张紧绳。异形断面的钢丝捻绕成的钢绳，称为封闭绳。虽然僵性大，但表面光滑，承受横向载荷能力强，常用做缆索起重机的承载绳。双绕绳先由钢丝绕成股，再用股绕成绳。由于它强度高，挠性好，制造又不复杂，因此所有起重机上都广泛采用。三绕绳把双绕绳作为股，再用这种股绕成绳。它的挠性最好，但制造复杂，外层钢丝细，易磨损破断，起重机上很少采用。

根据钢绳捻绕的方向，分为顺绕、交绕和混绕绳。顺绕绳由钢丝绕成股和由股绕成绳的绕向相同。它的挠性好，寿命长，但容易自行松散，扭转，打结，适用于有刚性导轨（如电梯）和经常保持张紧的地方，如牵引小车的牵引绳。交绕绳由钢丝绕成股和由股绕成绳的绕向相反。钢丝基本上顺着绳的轴线方向，股间外层钢丝接触不良，挠性较差，寿命较低，但不易松散和扭转，普遍用于起升机构中。混绕绳是由两种相反绕向的股绕成的钢绳。其性能介于交、顺绕绳之间，但制造复杂，很少采用。

根据钢丝在股中的相互接触状态，分为点接触、线接触和面接触绳。

点接触钢绳（D 型）股中钢丝直径相同，由里层向外层钢丝数目的排列为 1, 6, 12, 18……为使钢丝受力均匀，每层钢丝的螺旋升角近似相等，但内、外层钢丝的节距不同，互相交叉，在交叉点上接触，故名点接触。钢绳中的钢丝在反复弯曲时容易磨损折断，但制造工艺简单，价廉。过去我国起重机多用此种钢绳。

线接触钢绳（X 型）股内钢丝直径不同，但每层钢丝的节距相同，外层钢丝位于里层钢丝之间的沟槽里，内外层钢丝的接触形成一条螺旋线。因此，钢丝间接触力小，磨损小，钢绳寿命长；钢丝平行排列，弯曲时容易相对滑动，钢绳挠性好，钢绳断面充填系数高，承载

能力强。它广泛用于各种起重机中。根据绳股断面的结构，线接触钢绳分为三种：

(1) X-T 型，外粗型，又称西尔型 (X)，股中同一层钢丝的直径相同，不同层钢丝直径不同，内层细，外层粗，钢绳耐磨。

(2) X-Y 型，粗细型，又称瓦灵吞型 (W)，外层采用粗、细两种钢丝，粗丝位于内层钢丝的沟槽中，细丝位于粗丝之间，断面充填系数高，挠性好，承载能力大。

(3) X-C 型，密集型，又称填充型 (T)，在股中内、外层钢丝形成的沟槽中，充填细丝，增加了股中钢丝的数量，断面充填系数更高，挠性更好，承载能力更大。

面接触钢绳，为达到捻绕后面接触，钢丝必须制成异形断面。其优点与线接触绳相同，且更显著。缺点是制造工艺复杂，价格昂贵，较少采用。

钢绳股的断面形状除圆形外，还有三角形、椭圆形、扁形等。异形股钢绳与卷绕装置接触良好，寿命长，但制造复杂，较少采用。

钢绳一般由 6 股绕成，也有 8 股，18 股或更多股数。股越多与卷绕装置接触越好，不仅钢绳寿命长，也减少了卷绕装置的磨损。如果内外层的钢丝绕向相反，还可以制成不扭转钢绳。

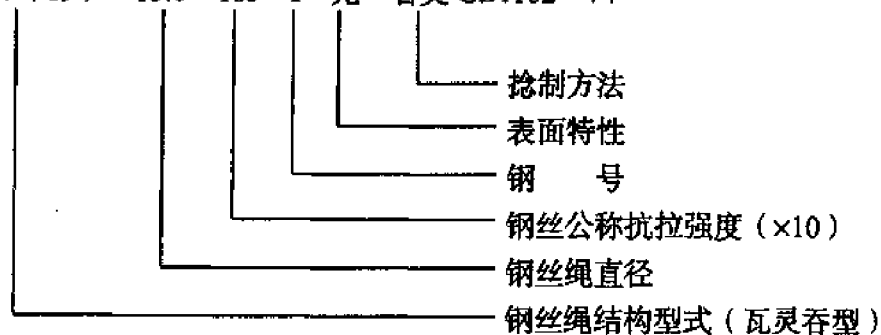
为了减少钢丝在捻绕过程中的残余应力和变形，捻绕前把钢丝加工成绕在钢绳中的形状，这种预变形钢绳，钢丝的内应力极小，挠性好，不松散，寿命长（可提高 50%）。预变形顺绕绳，性能良好，有推广前途。

常用钢绳的绳芯有纤维芯和金属芯等。纤维芯常用麻或棉等制成，具有较高的挠性和弹性，但不能耐高温；由石棉制成的绳芯可耐高温，但不能承受横向压力。金属芯多用软钢丝制成，不仅能耐高温，而且能承受较大的横向压力，但挠性较差。

钢绳根据股绕成绳时的绕制螺旋方向，还可分为左旋绳，以 S 表示；右旋绳，以 Z 表示。其特性无差异，一般常用右旋绳。

钢绳的国家标准为 GB1102—74。标记方法如下：

钢丝绳 6W(19)—15.0—185—I—光—右交 GB1102—74



表示 6 股，每股 19 丝瓦灵吞型线接触钢丝绳，公称抗拉强度为 1850 MPa，I 号光面钢丝制成的直径为 15 mm，右旋交绕钢丝绳。

钢绳工作时必须与其他承载零件联接，以便传递动力。联接方法很多，一般有以下 4 种：即编结法如图 5-3 (a)，此法是将钢丝绳一端绕套环后与自身编结在一起并用细钢丝扎紧；楔块联接法如图 5-3 (b)，此法是将钢绳绕过楔块，利用楔块在套筒内的锁紧作用使钢绳固定；锥形套筒联接法如图 5-3 (c)，此法是将钢丝绳的一端头松散后切去绳芯，将头部钢丝弯成小钩，装入锥形套后灌入熔铅，凝固即成；骑马螺钉联接法如图 5-3 (d)，此法将钢绳

绕过套环后，用特制的钢绳卡头——骑马螺钉固定，绳卡数量不得少于3个，此法简便可靠，应用广泛，而且钢绳卡头已有标准，可查有关手册。

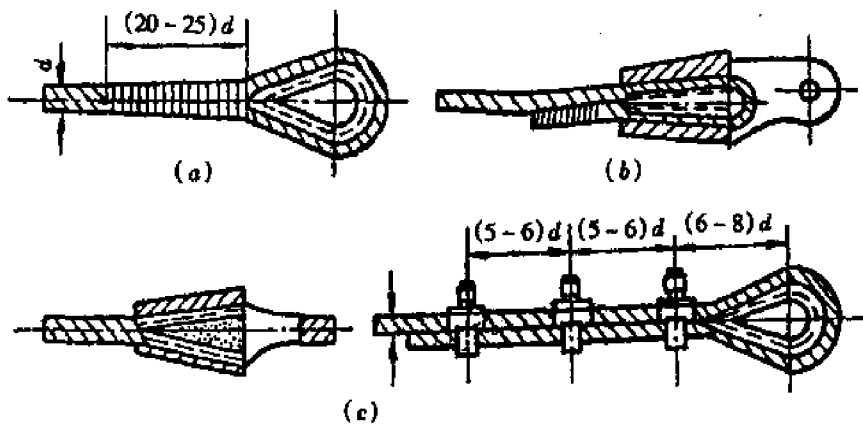


图 5-3 钢丝绳端头的固接

### (二) 钢绳直径的确定

钢绳工作时，受力复杂多变，同时承受拉伸、弯曲、扭转和挤压应力，而且影响钢丝绳寿命的因素很多：如钢绳直径、滑轮或卷筒直径  $D$  与钢绳直径  $d$  的比值  $e$ ，绳芯材料，滑轮与卷筒的材料等。因此，从理论上难以推导出完整而准确的计算钢绳直径的公式。通常，先根据要求选定适用的钢绳型式和确定钢绳工作时承受的最大静拉力  $F_{\max}$  来确定钢绳的直径。

$$F_b \geq \frac{KF_{\max}}{\phi} \quad (5-3)$$

式中  $F_b$ ——钢绳中钢丝破断拉力总和 (N)，可以从有关手册中查到；

$F_{\max}$ ——钢绳工作时承受的最大拉力 (N)；

$K$ ——由工作类型决定的安全系数，可查表 5-2；

$\phi$ ——钢绳破断拉力折减系数，可查表 5-3。

表 5-2 安全系数  $K$  及工作类型系数  $e$

工作类型		$K$	$e$
人力驱动		4.5	18
机械驱动	轻级	5.0	20
	中级	5.5	25
	重级	6.0	30

表 5-3 钢绳破断拉力折减系数  $\phi$

钢绳结构	$\phi$
1×7、1×19、1X(36)等	0.90
1×37、6×19、6X(19)、6W(19)、6T(25)等	0.85
6×37、6W(35)、6X(36)等	0.82

为了保证钢绳有一定的使用寿命，则滑轮或卷筒等承载零件必须有

$$D_{滑(卷)} \geq ed_{绳} \quad (\text{mm}) \quad (5-4)$$

式中  $D_{滑(卷)}$ ——滑轮或卷筒的直径；  
 $e$ ——工作类型系数，见表 5-2；  
 $d_{绳}$ ——钢绳直径 (mm)。

1978 年通过的起重机钢绳选择的国际规范 ISO/DIS4308 规定：起升机构的钢绳，根据所受拉力和使用条件，按与钢绳结构、材料有关的钢绳选择系数或与使用条件有关的钢绳利用系数来选择钢绳。

## 二、滑轮及滑轮组

### (一) 滑 轮

滑轮的主要作用是改变钢绳的走向，如果多个滑轮构成滑轮组，可达到省力、增速或省时的目的。

根据滑轮轴线是否运动分为：动滑轮和定滑轮。只利用滑轮的转动来均衡钢绳拉力的叫均衡滑轮。按滑轮的制造工艺可分为：锻造、铸造和焊接滑轮三种。

滑轮一般由三部分组成：有绳槽的轮缘、轮辐和轮毂。小滑轮的轮辐制成整体辐板，铸造中型滑轮制成带减重孔的整体辐板，大型滑轮制成若干条椭圆断面或工字形断面的轮辐，焊接滑轮的轮辐可用角钢或扁钢制成。

滑轮通常支承在心轴上，大多采用滚动轴承。低速滑轮或均衡滑轮也可采用滑动轴承。

滑轮可采用灰口铸铁、球墨铸铁、铸钢、尼龙、铝合金等材料制造。建筑安装起重机一般采用铸铁材料制造的滑轮，其工艺性好，易于加工，价廉，对钢绳寿命有利，但强度较低，易脆断。

为了提高钢绳寿命，必须降低钢绳绕过滑轮时的弯曲应力和挤压应力，因此滑轮直径不能过小。一般按下式计算轮槽槽底直径

$$D \geq (e-1)d \quad (\text{mm}) \quad (5-5)$$

式中  $e$ ——工作类型系数，见表 5-2；  
 $d$ ——钢绳直径 (mm)。

均衡滑轮的直径可以稍小一些，一般为普通滑轮直径的 0.6~0.8 倍。

滑轮绳槽形状和尺寸应保证：钢绳与绳槽有足够的接触面积；钢绳偏斜一定的角度（角度的正切约为 1/10）时，不脱槽，不磨边，能正常工作。

根据实践经验，绳槽的形状和尺寸如较 5-4 所示。 $R \approx (0.53 \sim 0.6)d$ ； $\alpha \approx 35^\circ \sim 40^\circ$ 。

钢绳绕过滑轮时，产生钢绳僵性阻力和轴承摩擦阻力，故钢绳绕出时的拉力大于绕入时的拉力。滑轮的效率为

$$\eta = \frac{S_{入}}{S_{出}} = \frac{S}{S+W} = \frac{S}{S+KS} = \frac{1}{1+K} \approx 1-K \quad (5-6)$$

式中  $K$ ——滑轮阻力系数， $K=0.02$ （滚动轴承）或  $K=0.04$ （滑动轴承）。

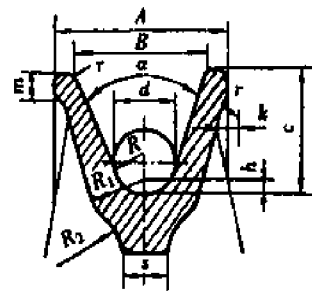


图 5-4 滑轮绳槽



当滑轮支承为滚动轴承时， $\eta=0.98$ ；当滑轮支承为滑动轴承时， $\eta=0.96$ 。

## (二) 滑轮组

钢绳绕过若干定滑轮、动滑轮时就构成滑轮组。按其作用可分为：省力滑轮组和增速滑轮组。

省力滑轮组如图 5-5 (a) 所示，通过它可以用较小的驱动力起升较大的货重，它是起升机构中最常用的滑轮组。

增速（省时）滑轮组如图 5-5 (b) 所示，它可以使被驱动的对象获得高于驱动部件的速度，或者说驱动部件以较小的行程可以得到被驱动对象较大的行程。叉车的起升机构就采用这种滑轮组。

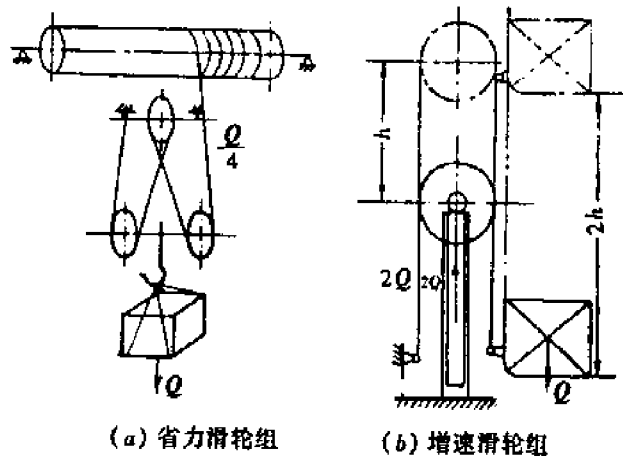


图 5-5 滑轮组

无论是省力还是增速滑轮组都遵循能量守恒定律。如果不计摩擦力，省力滑轮组省力几倍，钢绳走的距离比货物起升的高度就大几倍；增速滑轮组增速几倍，驱动部件所用的力比被驱动的货物重力就大几倍。

滑轮组的倍率 $\alpha$ 就是其省力或增速的倍数，也就是滑轮组的速比。

对于省力滑轮组

$$\alpha = \frac{\text{起升载荷 } Q}{\text{理论钢绳拉力 } S_0} = \frac{\text{钢绳卷绕速度 } v_{\text{钢}}}{\text{货物起升速度 } v_{\text{货}}} = \frac{\text{承载重物分支数 } Z_0}{\text{绕入卷筒分支数 } Z_r}$$

滑轮组的效率 $\eta_{\text{组}}$ 与倍率 $\alpha$ 和滑轮效率 $\eta$ 等有关，各种倍率时的滑轮组效率见表 5-4。

表 5-4 滑轮组效率

轴承型式	$\eta$	$\eta_{\text{组}}$						
		倍率 $\alpha$						
		2	3	4	5	6	8	10
滑动	0.96	0.98	0.95	0.93	0.90	0.88	0.84	0.80
滚动	0.98	0.99	0.985	0.98	0.97	0.96	0.95	0.92

## 三、卷筒

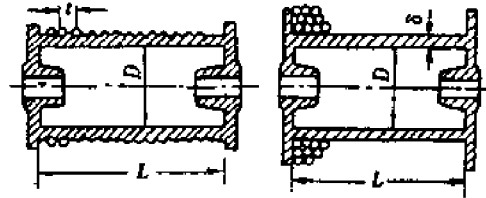
卷筒的作用是卷绕、收存钢绳，传递动力，并把旋转运动变为直线运动。

### (一) 卷筒的构造

起重机中常用的卷筒多为圆柱形,按照不同的作业要求,也可以把卷筒做成圆锥形或曲线形。

卷筒可分为槽面卷筒和光面卷筒(图 5-6)。钢绳在槽面卷筒上通常为单层卷绕。这种卷筒由于表面有螺旋槽,使得钢绳与卷筒的接触面积增加,减小了接触应力,同时防止相邻钢绳互相摩擦,从而提高了钢绳的使用寿命。绳槽的尺寸已有标准,可查有关手册。

光面卷筒上的钢绳为多层卷绕,故容绳量大。工程起重机中随着起升高度的增大,起升机构采用尺寸较小的多层绕卷筒,对于减小机构尺寸是有利的。但多层卷绕的钢绳所受的挤压力大,相互间摩擦力大,使钢绳寿命降低。在慢速或工作类型为轻、中级的起升高大的起重机上采用它较为合适。卷筒两端必须有侧板以防钢绳脱出,其高度比最外层钢绳高  $(1 \sim 1.5)d_{\text{绳}}$ 。



(a) 槽面卷筒 (b) 光面卷筒  
图 5-6 卷筒构造图

卷筒材料一般采用不低于 HT200 的灰口铸铁。铸钢卷筒成本高,而且由于铸造工艺的要求并不能使壁厚减薄多少,除工作繁重和矿山机械上用的卷筒外,一般很少采用。重要卷筒可用不低于 QT450-5 的球墨铸铁铸造。大型卷筒多用 Q215 或 16 Mn 钢板弯卷焊接而成,这种卷筒重量轻,宜于单件生产。

### (二) 卷筒尺寸的确定

卷筒的主要尺寸是:槽底直径  $(D)$ 、长度  $(L)$  及筒壁厚度  $(\delta)$ ,如图 5-6 所示。

卷筒直径  $D$  的大小影响钢绳弯曲的程度,为了提高钢绳寿命,要求  $D$  越大越好。但是,在起升速度和电动机转速一定的情况下,卷筒直径越大,要求卷筒转速越低,这样就必须加大减速器速比,增大减速器结构尺寸。

按照现行规范,卷筒直径与滑轮直径基本相同。可按下式计算卷筒绳槽槽底直径

$$D \geq (e-1)d \quad (\text{mm}) \quad (5-7)$$

式中  $e$ ——工作类型系数,见表 5-2;

$d$ ——钢绳直径 (mm)。

卷筒长度  $L$  主要取决于起升高度和滑轮组倍率(即容绳量  $l$ )。

单层卷绕钢绳的圈数  $Z$  为

$$Z = (l/\pi D_1) + Z_0 \quad (5-8)$$

式中  $D_1$ ——卷筒的计算直径,  $D_1 = D + d$ ;

$Z_0$ ——钢绳与卷筒联接所需的安全圈数,它绕在卷筒上不放出,一般  $Z_0 = 2 \sim 3$  圈。

单层绕卷筒的长度  $L_{\text{单}}$  按下式计算

$$L_{\text{单}} = Zt + 2L_0 = [(l/\pi D_1) + Z_0]t + 2L_0 \quad (\text{mm}) \quad (5-9)$$

式中  $t$ ——绳槽节距 (mm),查有关手册;

$L_0$ ——卷筒两端空余部分的长度 (mm),视工艺和结构需要而定。

多层绕光面卷筒的长度  $L_{\text{多}}$  与卷绕钢绳总长度  $l$  (其中包括需留的安全圈长度及钢绳工作长度) 和卷绕层数  $m$  有关。

当卷绕的层数为  $m$  时，钢绳绕圈的平均计算直径  $D_c$  为： $D_c = D + md$

绕  $m$  层时每一绕圈的平均周长为： $\pi D_c = \pi (D + md)$

设每层卷绕的圈数为  $Z$ ，则绕  $m$  层时，可绕钢绳的总长度为： $l = Zm\pi (D + md)$

因而  $Z = l / [m\pi (D + md)]$

多层绕卷筒长度为

$$L_{\text{多}} = 1.1Zd = 1.1ld / [\pi m (D + md)] \quad (\text{mm}) \quad (5-10)$$

式中，1.1 为钢绳排列不均匀系数。

卷筒壁厚  $\delta$  一般先按经验公式初步确定，然后进行强度校核。

对于铸铁卷筒： $\delta \approx 0.02D + (6 \sim 10)$  (mm) (5-11)

对于铸钢卷筒： $\delta \approx d$  (mm) (5-12)

式中  $D$ ——卷筒直径 (mm)；

$d$ ——钢绳直径 (mm)。

### (三) 钢绳在卷筒上的固定

钢绳在卷筒上的固定必须安全可靠，便于检查与更换钢绳，并且在固定处不应使钢绳过分弯曲。现行采用的固定方法均是利用摩擦力来固定，如图 5-7 所示。

压板固定是最常用的方法，如图 5-7 (a) 所示。它的构造简单，检查装拆方便，但需要增加卷筒长度，不能用于多层卷绕。采用楔块固定，如图 5-7 (b) 所示，其结构紧凑，但卷筒制造复杂，多用于多层卷绕。将钢绳引入卷筒内部或端部再用压板固定，如图 5-7 (c) 所示，适用于多层绕卷筒。

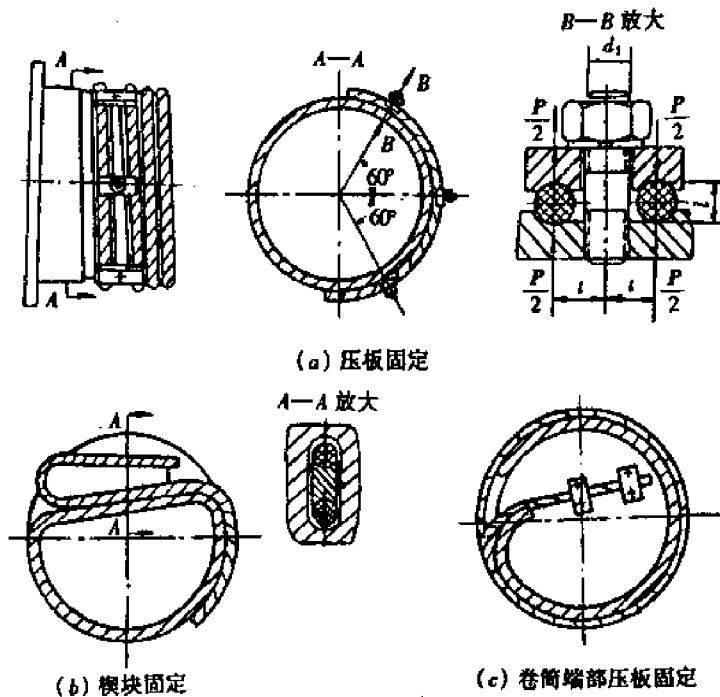


图 5-7 钢绳绳端固定法

压板固定的计算在于保证钢绳不从压紧处松脱。为了减小固定处的钢绳拉力，钢绳在卷筒上有 1.5~3 圈的减载圈，利用钢绳与卷筒绳槽之间的摩擦，可减小钢绳拉力。根据欧拉

公式，钢绳在固定处的拉力  $S'$  为

$$S' = S_{\max} / e^{\mu\alpha} \quad (\text{N}) \quad (5-13)$$

式中  $\mu$ ——钢绳与卷筒绳槽之间的摩擦系数， $\mu=0.1 \sim 0.6$ ；

$\alpha$ ——减载圈钢绳与卷筒的包角；

$e$ ——自然对数的底， $e \approx 2.718$ 。

如取  $\mu=0.16$ ， $\alpha=4\pi$ ，则  $S'=0.134S_{\max}$  (N)。

楔形块固定法用于直径较小的钢绳 ( $d \leq 12 \text{ mm}$ ) 固定中，为了满足自锁条件，楔形块斜度一般为  $1:4 \sim 1:5$ 。

#### 四、吊钩

吊钩是起重机械中最常用的取物装置。与滑轮组中的动滑轮组合成吊钩组。和起升机构的钢绳联系在一起。吊钩在起升重物时要经受起升机构的起动与制动引起的冲击，因此吊钩材料应具有较高的韧性，一般采用 20 号钢、16 Mn、20 Mn 锻造而成，大型起重机的吊钩常采用由若干不小于 20 mm 厚的 20 号钢、16 Mn 钢钢片铆合成的叠片式吊钩。铸造的吊钩及焊接制造或修复的吊钩，均不能满足使用的安全性要求，故不允许使用。

吊钩钩身的截面形状有圆形、方形、梯形或 T 字形。从受力情况分析，以 T 字形截面最为合理，但锻造工艺较复杂。梯形截面受力较合理，锻造容易。片式吊钩的断面呈矩形，断面的承载能力未能充分利用，因而比较笨重。

工程起重机中常用梯形截面的锻造单钩。通用吊钩已经标准化，可按额定起重量从手册中选取。对于轮胎式起重机，希望吊钩重量尽可能小一些，故选用时可选用低一级的吊钩。当采用非标准吊钩或需对所选吊钩进行强度验算时，可按照材料力学中所学内容进行。

图 5-8 为吊钩装置图。它将起升滑轮组中的动滑轮与吊钩联系在一起，通常分为短型和长型两种。短型吊钩装置将滑轮与吊钩装在同一根轴上，采用专门的长钩如图 5-8 (a)；长型吊钩装置则把滑轮和吊钩上下分别装在三根轴上，采用普通型的短钩，如图 5-8 (b)。当起重量相同时，短型吊钩装置的外形高度比较小，从而可以增大起重机的有效起升高度。但其横梁的重量大，整个横向外形尺寸大。在工程起重机中，特别是在大起重量时多采用长型吊钩装置。

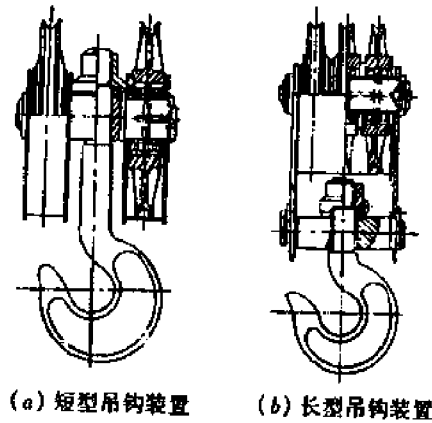


图 5-8 吊钩装置

#### 五、制动器

为了保证起重机工作的安全和可靠，在起升机构中必须装设制动器，而在其他机构中视工作要求也要装设制动器。起升机构中的制动器使重物的升降运动停止并使重物保持在空中，或用制动器来调节重物的下降速度。而在回转和行走机构中则可用制动器以保证在一定行程内停住机构。归纳起来，制动器的主要作用有：(1) 支持制动，当重物的起升和下降动

作完毕后，使重物保持不动；（2）停止制动，消耗运动部分的动能，使其减速直到停止；（3）下降制动，消耗下降重物的位能，以调节重物的下降速度。

### （一）制动器的种类及其比较

制动器按其工作状态可以分为：常闭式和常开式。常闭式制动器经常处于上闸状态，机构工作时，借外力使制动器松闸。常开式制动器经常处于松闸状态，当需要制动时，借外力使制动器上闸制动。一般在起升和变幅机构中采用常闭式制动器，以保证工作安全可靠。而回转和行走机构中则多采用常开式制动器，以达到工作平稳的目的。

制动器按其构造型式可以分为：带式制动器、块式制动器和盘式制动器。

带式制动器结构简单，紧凑，制动力矩较大，可以安装在低速轴上并使起重机的机构布置得很紧凑，在轮胎式起重机中应用较多。其缺点是制动时制动轮轴上产生较大的弯曲载荷，制动带磨损不均匀。

块式制动器构造简单，工作可靠，两个对称的瓦块磨损均匀，制动力矩大小与旋转方向无关，制动轮轴不受弯曲作用。但制动力矩较小，宜安装在高速轴上，与带式制动器相比构造尺寸较大。在电动的起重机械中应用较普遍。

盘式制动器的上闸力为轴向压力，制动平稳，制动轮轴不受弯曲作用，可用较小的轴向压力产生较大的制动力矩。

### （二）带式制动器

带式制动器靠制动带压紧制动轮产生摩擦力矩来实现制动。

图 5-9 所示的带式制动器由制动带 1、与机构相连的制动轮 2、连杆 3、松闸油缸 4 及上闸弹簧 5 组成。弹簧的拉力使连杆将制动带拉紧并压紧制动轮实现制动，为常闭式制动器。需要松闸时，高压油进入油缸左腔，推动活塞向右运动并克服弹簧的上闸力，制动带松开，实现松闸。

制动器的制动带通常用薄钢带制成。为了增大摩擦系数，在带的工作表面上钉有摩擦材料，如木片、皮革、石棉和鞣压带等。当制动器松闸时，应使制动带与制动轮之间形成  $1 \sim 1.5 \text{ mm}$  的径向间隙。为了使制动带均匀脱开，沿制动带包角圆弧段上装有固定挡圈与调整螺栓。当制动带离开制动轮时，即与调整螺栓相接触，这时可拧动螺栓来调整间隙。

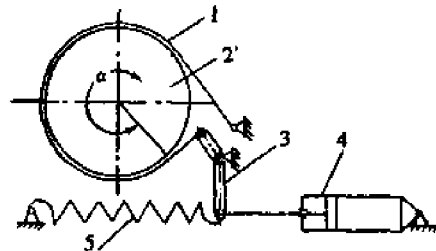


图 5-9 带式制动器

1—制动带；2—制动轮；3—连杆；  
4—松闸油缸；5—上闸弹簧

### （三）块式制动器

块式制动器目前已有系列产品，并有多种类型可供选用。如 JWZ 型短行程交流电磁铁块式制动器、JCZ 型长行程交流电磁铁块式制动器、YWZ 型液压推杆块式制动器、YDWZ 液压电磁块式制动器等。

现以短行程交流电磁铁块式制动器的构造简图来说明其工作原理。如图 5-10 所示，图中直径为  $D$  的圆周表示与机构传动轴相联系的制动轮，制动瓦块 2 与制动臂 1 铰接，主弹簧 4 用来产生制动力矩。主弹簧右端顶在框架 6 上，框架 6 与左制动臂固接在一起。推杆 5

与右制动臂联系在一起。上闸制动时，主弹簧的压力左推推杆 5、右推框架 6，从而带动左右制动臂及其瓦块压向制动轮，实现制动。当机构工作时，机构电动机接通，与电动机相联系的电磁铁 7 也通电而产生磁力，磁铁吸引衔铁 8 绕铰点做反时针转动，并压迫推杆向右移动，使主弹簧进一步压缩，这时在副弹簧及电磁铁自重偏心的作用下，左、右制动臂张开，制动器松闸。如果一旦发生事故，电动机断电，制动器也立即上闸。这是一种常闭式制动器。这种短行程制动器的松闸装置（电磁铁）直接装在制动臂上，使制动器结构紧凑、制动快。但由于电磁铁尺寸限制，其制动力矩较小（制动轮直径一般不大于 300 mm），但在工作时冲击及响声较大。

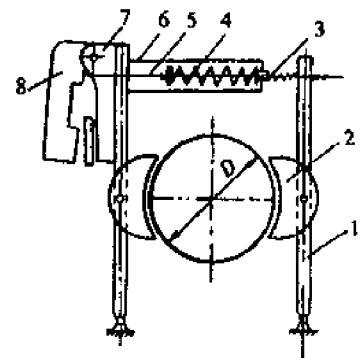


图 5-10 短行程交流电磁铁块式制动器  
1—制动臂；2—制动瓦块；3—副弹簧；4—主弹簧；5—推杆；6—框架；7—电磁铁；8—衔铁；

块式制动器的松闸装置可以是：制动电磁铁、电动液压推杆、液压电磁推杆、电动离心推杆等。

制动电磁铁根据激磁电流的种类分为直流电磁铁与交流电磁铁，使用时分别与直流电动机或交流电动机配套。根据行程的大小，制动电磁铁有长行程与短行程之分。制动电磁铁的优点是构造简单，工作安全可靠。但在动作时产生猛烈冲击，引起传动机构的机械振动。同时由于起重机的起动、制动次数频繁，电磁铁吸上和松开时发出较大的撞击响声。电磁铁的使用寿命较低，经常需要修理和更换。

#### （四）盘式制动器

盘式制动器是利用轴向力使固定摩擦盘与转动摩擦盘间产生摩擦制动力矩而实现制动，其构造如图 5-11 所示。轴向压力可以由人力、弹簧、气力、油压、货物重量等产生。为了增大摩擦系数，在固定圆盘的摩擦面上，铆接有用摩擦材料制作的衬垫。

近年来，盘式制动器在工业和交通部门获得了广泛的应用。它具有以下优点：

（1）盘式制动器可以通过增加圆盘数目来增大制动力矩。在相同的外形尺寸下，盘式制动器的摩擦面积比块式制动器大得多，从而使摩擦面之间的正压力减小，磨损减轻，维护简单，寿命增长。

（2）无径向制动载荷作用，制动轮轴不受弯曲。

（3）由于摩擦面系平面接合，与带式制动器比较，磨损均匀，制动力矩大小与旋转方向无关。

（4）热膨胀的主要方向与摩擦面的移动方向垂直，不影响摩擦衬垫的接合。

（5）易于防尘、防潮，可以制成封闭型式。

缺点是摩擦面的散热条件次于块式和带式，温度较高，有时需要采用热稳定性好的特殊摩擦材料。

近来有一种新型盘式制动器，它与普通盘式制动器相比，其优点是：轴向力自行平衡，

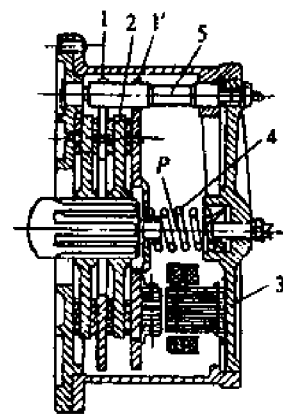


图 5-11 盘式制动器  
1—固定圆盘；1'—加压圆盘；2—转动圆盘；3—电磁铁；4—制动弹簧；5—固定圆盘移动导轨

在制动盘的圆周方向增加制动夹抱装置的数目，就可以增大制动力矩，而不需增加圆盘个数。

### 第三节 简单起重机械

#### 一、卷扬机

卷扬机是起重机械中最简单的常用起重设备。它既可以单独使用，也可作为各种起重机械的主要机构。卷扬机的主要特点是：价格便宜，制造容易，操纵简单，维修保养方便。除用于建筑工程外，在工厂、矿山、码头、货场、油田、森林集材等地广泛应用。

卷扬机与滑轮组配合使用，在建筑施工中能完成重大构筑物的吊装任务。与起重机配合使用，能对大型设备或建筑构件进行整体吊装，不仅能加快施工进度，而且能保证质量。

卷扬机的种类很多，主要有电动快速卷扬机、电动慢速卷扬机以及手动卷扬机；按卷筒数分为单卷筒和多卷筒两种。

电动卷扬机按控制卷筒方式的不同，分为电动可逆式与电动摩擦式两种：

##### 1. 电动可逆式卷扬机

图 5-12 为电动可逆式卷扬机的传动示意图。它主要由电动机 1、电磁铁块式制动器 2、减速箱 3、卷筒 4 以及机架等组成。工作时，电动机经二级齿轮减速，驱动卷筒做正、反转，电动机停止转动时，可利用电磁铁块式制动器使卷筒立即停止。

这种电动可逆式卷扬机采用封闭式减速箱和电磁铁块式制动器，工作平稳可靠，操作简单方便，但调速较困难。

常用的电动可逆式卷扬机的牵引力一般为 5~100 kN，牵引速度一般为 0.15~0.7 m/s，容绳量为 100~350 m。

国产单卷筒卷扬机大多是电动可逆式的，其型号有 JJK-0.5、JJK-1、JJM-3、JJM-5 等。

##### 2. 电动摩擦式卷扬机

图 5-13 为电动摩擦式卷扬机的传动示意图。由电动机 1、皮带传动 2、齿轮传动 3、摩擦离合器 4、带式制动器 5、卷筒 6、停止器 7、合闸手柄 8 和轴 9 等组成。工作时，电动机经皮带传动 2、齿轮传动 3 两级减速后，通过接合摩擦式离合器 4，驱动卷筒 6 回转，以起

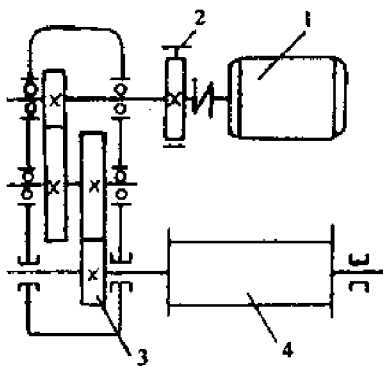


图 5-12 电动可逆式卷扬机传动示意图  
1—电动机；2—制动器；3—减速箱；4—卷筒

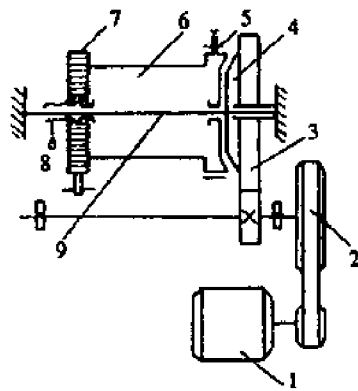


图 5-13 电动摩擦式卷扬机传动示意图  
1—电动机；2—皮带传动；3—齿轮传动；4—离合器；  
5—制动器；6—卷筒；7—停止器；8—合闸手柄；9—轴

升重物，松开离合器，重物自由下降，卷筒在重物作用下逆转，不需电动机逆转来驱动。

电动摩擦式卷扬机主要优点是：一台电动机能驱动多个卷筒，能在空载下起动和不需要逆转，重物下降速度快，且不消耗功率。但是重物下降时制动器磨损大，下降速度难控制，工作可靠性小。

常用电动摩擦式卷扬机的牵引力一般为 5~50 kN；牵引速度为 0.4~0.75 m/s；重物下降速度达 2 m/s 或更大；容绳量为 100~500 m。

常用型号为：单卷筒卷扬机有 JJK-0.75、JJK-0.9、JJK-2、JJK-3、JJK-5 等；双卷筒卷扬机有 JJ<sub>2</sub>K-1、JJ<sub>2</sub>K-3、JJ<sub>2</sub>K-5 等。

## 二、建筑升降机

建筑升降机是用来垂直提升各种建筑材料和建筑构件的一种起重设备。常用的大都具有敞露的起重平台，其上放置拟提升的物品，通过卷扬机与钢绳滑轮系统来实现平台的升降运动。另外，也可用吊斗代替平台，来提升散碎及浆液状的物料（如混凝土）。

升降机简单，制造容易，造价低，用它来辅助或代替（在砖混结构建筑中）塔式起重机可大大降低建筑物的投资。

建筑升降机按照构造可分为门式、导架式和井式等几种。

门式升降机（图 5-14）是在建造高度为 50 m 以下的民用建筑及公用建筑中，用来提升各种建筑材料的一种升降机。块状及条状物品可直接放于起重平台上，散粒状物料、混凝土拌合物和灰浆的提升，则是装在手推小车或其他容器内进行提升。

门式升降机是由单个节段金属桅杆及顶架装配起来的门架、起重平台、卷扬机及钢绳滑轮组系统等组成。

如图 5-14 所示，门架 1 安装在靠近建筑物的混凝土基础之上，可分段与建筑物用拉杆锚固或装有多根缆风绳 8。起重平台 2 在导向滚轮 9 的引导下可沿门架桅杆上下运动，平台的升降是靠安装在地面的卷扬机 3 及钢绳滑轮系统来实现的。钢绳的一端固定在门架顶端上，另一端绕过起重平台上的滑轮 5、门架横梁上的滑轮 6 和 7、并经门架底部滑轮 4 连到卷扬机卷筒上。

起重平台不能在水平面内回转，因此长降机应这样布置：门架平行于建筑物，并使起重平台有一边直接靠近建筑物，以利于在楼层上或是窗孔中卸载。

金属桅杆式导架是由型钢焊成断面为矩形或三角形的桁架，每节长 3.5~5 m，彼此用螺栓联接，以适应不同安装高度的需要，门架的顶架多采用两根型号较大的工字钢或槽钢组成。

起重平台由槽钢和角钢等制成，其上设有四组滚轮，滚轮可沿着门架桅杆滚动。平台上铺有木板，两侧有围护以确保安全。

人力推车进入门式升降机平台的方向是垂直于建筑物的，使用安全性好，工作方便，这

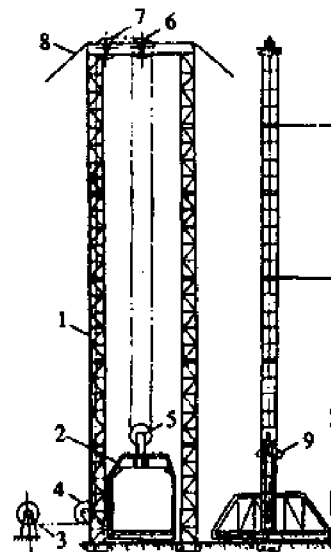


图 5-14 门式升降机外形示意图

1—门架；2—起重平台；3—卷扬机；  
4、5、6、7—滑轮；8—缆风绳；9—滚轮



是其最大优点。这种升降机的卷扬机可以离开导架 20~30 m，常使用快速卷扬机，并可以重力下降平台，以提高生产率。

#### 第四节 塔式起重机

塔式起重机简称塔机或塔吊，是工业与民用建筑结构及设备安装工程的主要施工机械之一。广泛用于多层、高层等装配式框架结构的吊装施工中，建筑物的高度在 40 m 以下时，一般采用行走式起重机，超过 40 m 时，通常采用自升式或内爬式起重机。

塔式起重机的起升高度一般为 40~60 m，最高达 160 m；旋转半径大，一般为 20~30 m，最大达 60 m，塔式起重机的工作多为电力操纵，各种动作设有极限开头，故工作平稳，安全可靠。

塔式起重机整机重量大，转移工地麻烦、拆除、安装费用高，占地面积大，要求严格，对于轨道式起重机，还需铺设行走轨道。

塔式起重机的基本参数系指直接影响塔式起重机的工作性能、结构设计、制造成本的各种参数。它们是：起重力矩、起重量、工作幅度、起升高度、轨距和各种机构的工作速度等。

塔式起重机的类型较多，但其共同特点是：都有一个直立的塔身，在塔身上部装有起重臂形成“Γ”形工作空间，且幅度可变，有较高的有效吊装高度及较大的工作空间，故在高层建筑施工中，它的幅度利用率比其他类型的起重机高。图 5-15 为塔式起重机和轮式起重机的幅度利用率比较。塔式起重机由于能靠近建筑物，其幅度利用率可达 80%，普通履带式、轮式起重机幅度利用率不超过 50%，而且随着建筑物高度的增加还要急剧减小。轮式起重机加装副臂时，条件虽有所改善，但起重机离建筑物的距离仍不得小于建筑物高度的 20%。因此塔式起重机在高层工业和民用建筑施工的使用中一直处于领先地位。应用塔式起重机对于加快施工进度、缩短工期、降低工程造价起着重要的作用。由于塔式起重机性能参数不断完善，使建筑工艺也有可能进行许多重大改革，如采用大型砌块、大板结构甚至箱

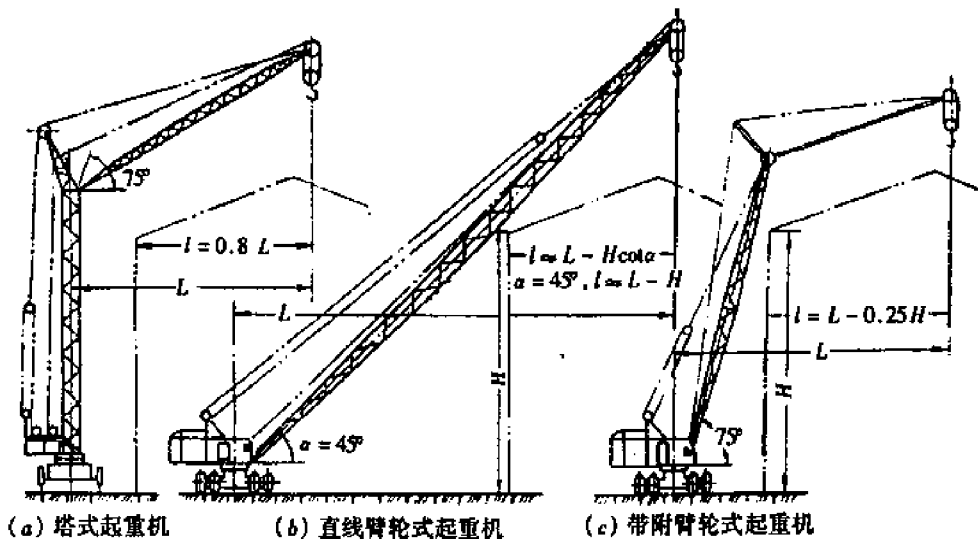


图 5-15 幅度利用率比较

形结构后，建筑物结构件的预制装配化、工厂化达到了很高的水平。同时，随着这些新工艺、新技术应用的不断扩大，反过来又对塔式起重机的性能和参数提出了更高的要求。为了适应这些要求，现代塔式起重机必须具有下列特点：

- (1) 起升高度和工作幅度较大，起重力矩大；
- (2) 工作速度快，具有安装微动性能及良好的调速性能；
- (3) 要求装拆、运输方便迅速，以适应频繁转移工地之需要。

## 一、塔式起重机的类型

依其结构与性能特点，可将塔式起重机分为两大类：一般塔式起重机与自升塔式起重机。

### (一) 一般塔式起重机

按回转方式可以分为：

(1) 上回转式塔式起重机。塔身不回转，而是利用通过支承装置安装在塔顶上的转塔（由起重臂、平衡臂和塔帽组成）回转。按回转支承构造型式，上回转部分的结构可分为塔帽式、转柱式和转盘式三种。

这种塔式起重机的优点是可回转 360°，且方向有受限制，塔身不回转，从而使塔身与下部门架联接简单，塔身的整体刚性好。缺点是整机重心较高，必须在塔身下部增加较大的压重，使重心下移，因平衡臂的影响，当建筑物高度超过塔身时，限制了起重机的回转。

(2) 下回转式塔式起重机。起重臂和塔身一起回转，回转支承装置安装在塔身下部。小型的下回转式塔式起重机，多采用整体拖运的方式，为减小拖运长度，常将塔身做成伸缩式，即将塔身分为上、下两部分，使上塔身装在下塔身内部，通过钢绳滑轮组实现自动伸缩。

这种塔式起重机整机重量较轻，由于全部机构都布置在塔身下部的回转平台上，因而重心低、稳定性好，且便于维护；重物永远处于司机正前方，操作方便，操纵室位置较高，视野清晰。但是，这种塔式起重机回转支承装置的结构较为复杂。

按变幅方式可以分为：

(1) 动臂变幅式塔式起重机，起重臂与塔身相铰接，是通过改变起重臂的俯、仰角度大小来变幅的，因而在变幅的同时也改变了起升高度。

这种塔式起重机的优点是起重臂为压杆式臂架，重量较轻，起重臂架能仰起，故可使起重机的起升高度增大。缺点是最小幅度较大，吊装构件就位操作比较复杂。

国产 QT-45、QT-16、QT-60/80 等塔式起重机都是动臂变幅的。

(2) 小车变幅式塔式起重机。起重臂永远处于水平状态，通过位于起重臂上的起重小车往复行走而实现变幅。

这种塔式起重机的优点是可以带载变幅，在吊装构件安装就位时非常方便，最小幅度小，变幅迅速安全，工作平稳可靠。缺点是重物使臂架受弯，起重臂自重大，结构比较复杂。

(3) 综合变幅式塔式起重机。起重臂是可折叠式的铰接两用臂架（图 5-16），其上装有起重小车。必要时可将起重臂后一节铰接臂或整个起重臂俯、仰，以提高起升高度。

这种塔式起重机的最大优点是能适应场地要求，当地面受限制时，可迅速改变起重臂回转半径。

按行走装置可以分为：

(1) 轨道式塔式起重机。起重机安装在地面轨道上，最大特点是可以沿轨道带载行走。

(2) 轮式塔式起重机。它是一种采用轮式底盘的移动式塔式起重机，本身无行走机构，靠牵引行驶，工作时要打支腿。

(3) 履带式塔式起重机。它是采用装有行走机构的履带底架的移动式塔式起重机。

## (二) 自升式塔式起重机

按塔身高度的变化方式可以分为：

(1) 塔身自升式塔式起重机。这种塔式起重机是通过加装标准节以接高塔身的塔式起重机。其接高方式可采用液压顶升机构或机械升或机构。对于塔身固定在地面基础上的固定式起重机，为改善塔身的受力，在塔身全高的适当位置处，以一定的间隔与建筑物相锚固，故又称为外部附着式塔式起重机。

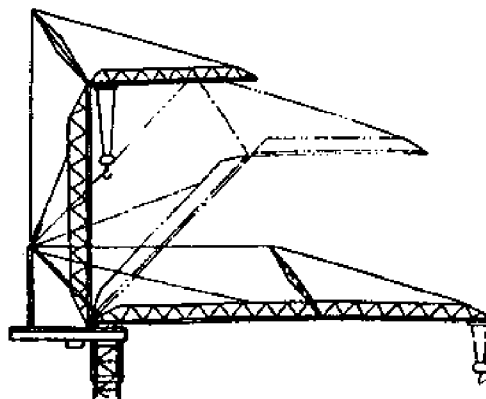


图 5-16 综合变幅式机构

(2) 爬升式塔式起重机。这种塔式起重机的塔身长度一定，底架通过伸缩支座支承在建筑物上（主要通过电梯井进行安装），塔身可以随建筑物升同而升高，故又称楼层自升式塔式起重机（或称内爬式塔式起重机）。

按起重量大小可以分为：

(1) 轻型塔式起重机。起重量在 0.5~3 t，一般用于 5 层以下民用建筑施工，如 QT-2 型塔式起重机。

(2) 中型塔式起重机。起重量在 3~15 t，适用于工业建筑的综合吊装和民用高层建筑施工，如 QT1-6 型、QT-60/80 型塔式起重机。

(3) 重型塔式起重机。起重量在 20~40 t，适用于重工业厂房的施工和高炉等设备的吊装，如 QT-25 型塔式起重机。

## 二、塔式起重机的基本结构

塔式起重机的基本结构由金属结构、机械传动系统（各工作机构）、电力拖动和控制系统以及液压顶升系统等组成。

### (一) 金属结构部分

金属结构包括：塔身、起重臂、平衡臂、回转平台和支承部分（门架或底座）等。自升

俯仰式受压起重臂，如 QT-16、QTG-60 等塔式起重机的起重臂；水平压弯起重臂，如 QT-80 型塔式起重机的起重臂。

### 3. 平衡臂

平衡臂一般用于上回转式塔式起重机，安装在塔顶部分起重臂相对的一侧。其上安装平衡块，以保持塔式起重机空载时的平衡和工作中的稳定性。

### 4. 回转平台

它是下回转式塔式起重机塔身的支承，也是起升机构、变幅机构、回转机构的安装基础。平台后面放置平衡重块，对整机起平衡和稳定作用。

### 5. 门架底座（支承部分）

支承门架和底座，承受起重机的全部自重和载荷。所有荷重由它通过走行轮和钢轨传至地面，因此必须具备足够的强度和刚度。

## （二）工作机构部分

塔式起重机的工作机构一般包括：起升机构、变幅机构、回转机构和行走机构。对于自升式塔式起重机还有液压顶升机构。

### 1. 起升机构

起升机构是起重机的主要工作机构之一，通常由电动机、减速箱、卷筒和制动器等组装在机架上的卷扬机上，通过钢绳实现对重物的上升或降落。

### 2. 变幅机构

它与起升机构一样，通常由卷扬机、导向滑轮、变幅滑轮组和钢绳等组成。在水平起重臂的塔式起重机中利用变幅小车实现变幅。图 5-17 为小车变幅式变幅机构。它由变幅卷扬机卷筒 1、塔帽根部导向滑轮 2、起重小车 3、起重臂头部滑轮 4 和起重臂中部导向滑轮 5 等组成。

### 3. 回转机构

塔式起重机的回转机构由电动机 1、蜗轮减速箱 2、大小齿轮 3、4、5 等组成。图 5-18 为上回转式回转机构传动示意图。

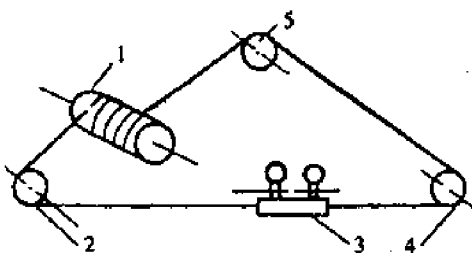


图 5-17 小车式变幅机构

1—卷筒；2、4、5—滑轮；3—小车

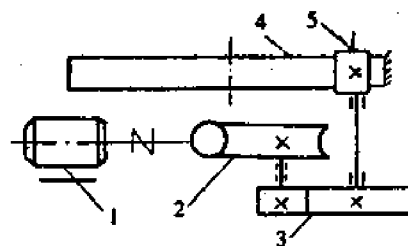


图 5-18 回转机构

1—电动机；2—减速器；3、4、5—齿轮

### 4. 行走机构

轨道式塔式起重机在专门铺设的轨道上行驶。行走机构由电动机、减速箱、制动器和行走轮等组成。其作用是驱动起重机沿轨道行驶，以扩大起重机的作业范围。

### (三) 电力拖动与控制部分

#### 1. 电力拖动

电力拖动即指动力装置，是起重机的动力源，塔式起重机的动力源一般为电动机。

#### 2. 控制系统

控制系统一般有离合器、制动器、停止器和各种操纵机构。其作用是用以改变起重机的运动特性，实现各机构的起动、变速、换向、制动和停止，以达到起重机作业所要求的各种动作。

### (四) 液压顶升系统

在自升式（内爬式或附着式）塔式起重机中，都配有液压顶升机构。它由电动机、油泵、控制阀、顶升油缸以及其他液压元件等组成。

下面介绍两种常用的塔式起重机：

#### 1. QT-45 型塔式起重机

图 5-19 为 QT-45 型塔式起重机的示意图。它是一种结构新颖、转移方便、架设迅速的起重机械。这种起重机设有上、下两个驾驶室，上、下均可操纵。

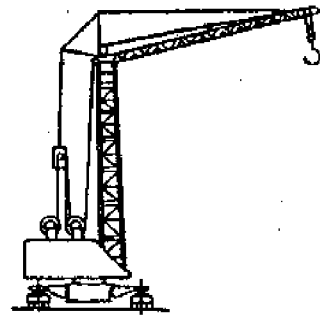


图 5-19 QT-45 型塔式起重机

QT-45 型塔式起重机属于中型塔机，它的最大起重量为 6 t，最大起升高度为 34 m，最大工作幅度（18 m）时的起重量为 2.5 t。

QT-45 型塔式起重机在结构上采用下旋式全回转，动臂式变幅，轨道式行走机构。起重臂是由角钢焊接制成的矩形截面格构式结构。根部通过两根轴销与塔身顶部铰接，头部装有两个起升钢绳导向滑轮和一个起升高度限制器。全长 16 800 mm，分两节，并用四个轴销联接，动臂头部可拆下。

全塔的拆放和架设均采用液压机构。由于采用液力偶合器，因而行走和回转动作很平稳，起升机构装有能耗制动装置，可以实现缓慢就位。

#### 2. QT-80 型塔式起重机

QT-80 型塔式起重机是一种上回转自升式、一机多用的塔式起重机，如图 5-20 所示。起重力矩为 800 kN·m，起重量为 3.2~8 t，最大工作幅度为 25 m，用加长臂时，工作幅度可达 30 m 和 35 m。

起升高度按使用要求不同而不同，如果用做轨道式自升塔式起重机时，起升高度为 45.5 m；用做附着式时，则可达 70 m；用做内爬式时，最大起升高度可达 140 m；如果将其底架直接安装在独立的混凝土基础上，而用做独立式时，最大起升高度为 45.5 m。

由于 QT-80 型塔式起重机具有以上特点，因而适用于高层民用建筑、多层工业厂房以及采用滑模法施工的高大烟囱和筒仓等吊装工作。

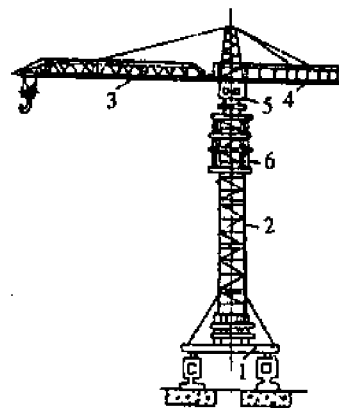


图 5-20 QT-80 型塔式起重机  
1—底架；2—塔身标准节；3—起重臂；  
4—平衡臂；5—回转塔架；6—爬升架

这种塔式起重机采用小车变幅。起重小车的牵引机构采用少齿差减速器，结构紧凑，安装在起重臂的尾端。起重臂为格构式三棱柱结构，小车沿下弦杆运动。

回转机构是由电动机通过摆线针轮减速器及输出端小齿轮，驱动回转支在齿圈，从而使上塔身回转。

行走机构安装在底架的下部，共有 4 个台车。在主动台车的驱动机构中，采用了液力偶合器，使起动和制动平稳，从而改善了电动机的工作条件。每台车有两个行走轮，台车的轨距和轴距均为 5 m，因而整机的各向稳定性均等。

为了保证起升机构工作时安全可靠，采用电子力矩限制器、高度限制器等安全装置。

### 三、塔式起重机的顶升过程

一般高度超过 50 m 的高层建筑，用行走式塔式起重机是不能胜任的，因为这种塔机的塔身高度太大时，会使钢结构过于笨重，给起重机的安装和架设带来困难。而自升式塔式起重机由于它具有专门的顶升装置，能将其塔身逐节升高，以满足高层建筑的需要。

目前生产的塔式起重机有两种基本型式：一种是内爬自升式塔式起重机，另一种是附着式（外爬式）塔式起重机。

下面介绍附着式塔式起重机的顶升过程：

附着式自升塔式起重机的顶升是利用液压系统的作用，如图 5-21 所示。顶升顺序如下：

#### 1. 顶升前的准备工作

确定顶升高度，将标准节吊运到摆渡小车 8 上，并将原塔架与套架联接螺栓卸下，检查并调整油缸、滚轮等位置，接通油泵电动机电源，准备顶升。

#### 2. 开动油泵

使高压油进入油缸上部，油抵下部的油路与回油路相通，将套架与上部结构顶起，升高至超过一个标准节（一般为 3.3 m 即可），用定位销将套架锁紧，此时套架以上的全部重量由定位销传到塔身。

#### 3. 引进标准节（标准节高 2.5 m）

先将液压千斤顶的活塞杆缩进去，形成引进空间，然后将装有标准节 7 的摆渡小车 8 开进引进空间内。

#### 4. 安装塔身，联接标准节

利用液压千斤顶将标准节稍微提起，退出摆渡小车，再将标准节用活塞杆压下，平稳地放落到下面的塔身上，并用螺栓将它们联接起来。

#### 5. 拔出定位销 10

将过渡节与新的标准节、塔身联接成整体。升高一个标准节高度后停止，便可进行新的工作，如图 5-21 (b) 所示。

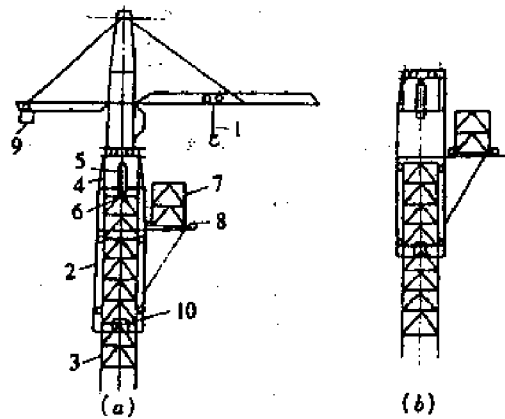


图 5-21 附着式塔式起重机顶升示意图

1—载重小车；2—外套架；3—内塔身；4—过渡节；  
5—顶升油缸；6—横梁；7—待加标准节；8—摆渡小车；  
9—平衡重；10—定位销

#### 四、塔式起重机的稳定性计算

塔式起重机的高度与其支承轮廓尺寸的比值很大，因而保证整体稳定性是一个非常重要的问题。它一旦失去稳定就可能造成重大的“翻车”、“倒塔”等事故，故对塔式起重机要进行稳定性计算。它的稳定性计算和轮式起重机相类似，所不同的是，由于塔式起重机具有幅度大、高度大的特点，所以计算公式一般都考虑风载荷、惯性载荷和地面轨道倾斜度的影响。不但要进行工作状态稳定性（起重稳定性）验算，而且要进行非工作状态稳定性（自身稳定性）和安装、拆卸时的稳定性验算。稳定性的大小都以相对于倾覆边缘的稳定力矩（复原力矩）和倾覆力矩的比值，即所谓安全系数来表示，即

$$K = \frac{M_{\text{稳定}}}{M_{\text{倾覆}}} \quad (5-14)$$

式中  $K$ ——稳定安全系数；  
 $M_{\text{稳定}}$ ——稳定力矩（ $N \cdot m$ ）；  
 $M_{\text{倾覆}}$ ——倾覆力矩（ $N \cdot m$ ）。

##### （一）工作状态稳定性

工作状态稳定性一般按下列两种工况计算：

（1）带载稳定回转时，重物升降起动或制动。计算简图如图 5-22 所示（动臂垂直于轨道）。

此时起重机在最大幅度起吊额定起重量（ $Q+q$ ），单位为  $N$ ；轨道前低后高（动臂方向称为前）——建筑用塔式起重机轨道高度差取  $100\text{ m}$  或  $\gamma=2^\circ$ ，混凝土路基  $\gamma=0$ ；作用着最大工作风压和对稳定性不利的升降起、制动惯性力以及回转时的离心力。在这种情况下，稳定力矩仅是起重机自重  $G$ （不计吊具重但包括平衡重）对倾覆边引起的力矩；而使起重机倾翻的力矩有：吊重和吊具产生的力矩、风力矩、坡度力矩、回转

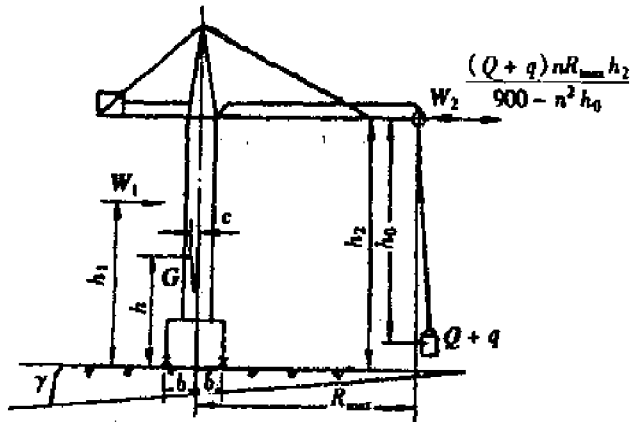


图 5-22 工作状态稳定性（横向）

离心力矩、起升惯性力矩等。在实际计算时，把吊重力矩作为唯一的倾翻力矩，而把其他倾覆力矩当作使稳定力矩减少的因素加以考虑。由于坡角  $\gamma$  较小，可认为  $\cos \gamma \approx 1$ ，则稳定性验算必须满足下式

$$K_1 = \frac{G(b+c) - Gh \sin \gamma - W_1 h_1 + W_2 h_2 + \frac{(Q+q)v_1}{g} (R_{\max} - b)}{(Q+q)(R_{\max} - b)} + \frac{\frac{(Q+q)n^2 R_{\max} h_2}{900 - n^2 h_0}}{(Q+q)(R_{\max} - b)} \geq 1.15 \quad (5-15)$$

式中  $G$ ——起重机自重，不计吊具重量，但包括配重和起重小车自重（ $N$ ）；

- $(Q+q)$  —— 起重机额定起重量和吊具重量 (N);  
 $c$  —— 起重机最大幅度时自重  $G$  的重心离回转中心的距离 (m);  
 $h$  —— 最大幅度时起重机自重重心高度 (m);  
 $\gamma$  —— 起重机横向倾斜角 ( $^{\circ}$ );  
 $n$  —— 起重机回转速度 (r/min);  
 $v_1$  —— 起升速度 (m/s);  
 $t_1$  —— 起升机构起动时间 (s);  
 $W_1$  —— 作用在起重机上的风力 (N);  
 $W_2$  —— 作用在重物上的风力 (N);  
 $h_0$  —— 起重臂端部至重物重心最低位置时的距离 (m);  
 $h_1$  —— 风力作用点高度 (m);  
 $h_2$  —— 起重机最大幅度时动臂端部高度 (m);  
 $2b$  —— 轨距 (m);  
 $R_{\max}$  —— 起重机最大幅度 (m);  
 $g$  —— 重力加速度 ( $m/s^2$ )。

(2) 吊着额定载荷在倾斜道上行走, 并突然制动, 计算简图如图 5-23 所示 (动臂平行于轨道)。

计算公式为

$$K_2 = \frac{G(a+c) - Gh \sin \gamma - \left\{ W_1 h_1 + W_2 h_2 + \frac{v_2}{gt_2} [Gh + (Q+q)h_2] \right\}}{(Q+q)(R_{\max} - a)} \geq 1.15 \quad (5-16)$$

- 式中  $v_2$  —— 起重机行走速度 (m/s);  
 $t_2$  —— 起重机行走机构起动 (或制动) 时间 (s);  
 $\gamma$  —— 轨道倾斜角, 一般取  $2^{\circ}$ ;  
 $2a$  —— 轮距 (m)。

### (二) 非工作状态稳定性

非工作状态稳定性的计算工况为: 动臂垂直于轨道、处于最小幅度、轨道向后倾斜、最大风力向后吹。计算简图如图 5-24 所示。

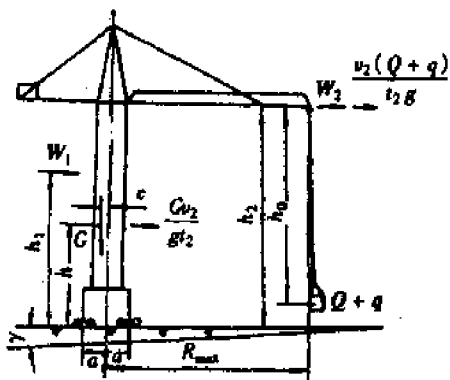


图 5-23 工作状态稳定性 (纵向)

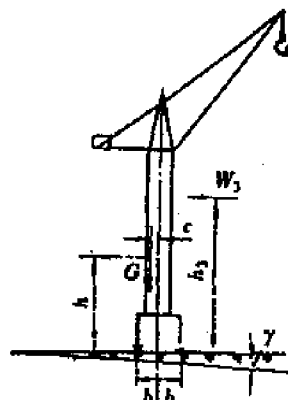


图 5-24 自身稳定性计算



风力和坡度引起的力矩使起重机向后倾翻，起重机自重引起的力矩则是稳定力矩。计算时往往把坡度引起的力矩作为稳定力矩的减少因素考虑，其公式为

$$K_3 = \frac{G(b - c_1 - h \sin \gamma)}{W_3 h_3} \geq 1.15 \quad (5-17)$$

式中  $G$ ——起重机自重，但此处包括吊钩重量 (N)；  
 $W_3$ ——非工作状态最大风力 (N)；  
 $\gamma$ ——最大坡角，一般取  $2^\circ$ ；  
 $c_1$ ——空载最小时，起重机重心到回转中心的距离 (m)。

在计算自身稳定性时，安全夹轨装置不考虑在内。

此外还应考虑安装（拆卸）时的稳定性。

起重机必须同时满足上述三种情况，才是安全可靠的。但当天气预报有八级以上大风时，须加缆风绳临时锚固。

起重机构的起、制动时间  $t_1$ ，应按实际计算数值代入公式，但一般应在  $2 \sim 5$  s 之间。

行走机构的起、制动时间  $t_2$ ，应按计算值代入公式，但一般应在  $8 \sim 15$  s 之间。

作用在起重机上的风力  $W_1$  可参考有关资料进行计算。

## 第五节 自行式起重机

自行式起重机就是具有行走装置的起重机。主要有汽车式起重机、轮胎式起重机、履带式起重机等。它们具有行走机构、起升机构、变幅机构和回转机构。这类起重机灵活性大，能整体拖运，快速安装，能服务于整个施工现场。本节仅对汽车式起重机、轮胎式起重机作简要介绍，履带式起重机参考土方机械中的单斗挖掘机部分。

汽车式起重机和轮胎式起重机（包括越野轮胎式起重机）的工作机构及其工作设备均安装在自行式充气轮胎底盘上，统称为轮式起重机。这两者的区别见表 5-5。

表 5-5 汽车式起重机与轮胎式起重机的区别

项目	汽车式	轮胎式
底盘来源	通用汽车底盘或加强式专用汽车底盘	专用底盘
行驶速度	汽车原有速度，可与汽车编队行驶，速度 $\geq 50$ km/h	速度 $\leq 30$ km/h，越野型可 $> 30$ km/h
发动机位置	中、小型采用汽车原有发动机；大型的在回转平台上再设一发动机，供起重机作业用	一个发动机，设在回转平台或底盘上
驾驶室位置	除汽车原有驾驶室外，在回转平台上再设一操纵室，操纵起重作业	通常只有一个驾驶室，一般设在回转平台上
外形	轴距长，重心低，适于公路行驶	轴距短，重心高
起重性能	使用支腿吊重，主要在侧方和后方 $270^\circ$ 范围内工作	$360^\circ$ 范围内全回转作业，能吊重行驶
行驶性能	转弯半径大，越野性差，轴压符合公路行驶要求	转弯半径小，越野性好（越野型）
支腿位置	前支腿位于前桥后	支腿一般位于前、后桥外侧
使用特点	可经常移动于较长距离的工作场地间，起重和行驶并重	工作场地比较固定，在公路上移动较少，以起重为主，兼顾行驶

随着这两种起重机的发展，它们之间的差别正在逐渐缩小。特别是近年来，由于越野式轮胎起重机的出现，大大提高了行驶速度（可达 60 km/h），并采用了动力换档，全轮转向减小了回转半径，从而提高了越野性和机动性，使轮胎式起重机逐步向汽车起重机靠拢。

轮胎式起重机按起重量大小分为小型、中型、大型、特大型四种。起重量在 12t 以下为小型；起重量在 16t 到 40t 为中型；起重量大于 40t 的为大型；起重量为 100t 以上的为特大型。

按起重臂型式，起重机可分为桁架臂和箱形臂两种。

按传动装置型式不同，轮胎式起重机可分为机械传动、电力-机械传动和液压-机械传动三种。三种传动型式性能比较，见表 5-6。

表 5-6 轮胎式起重机传动型式性能比较

项 目	机 械 传 动	电 力 传 动	液 压 传 动
传动元件尺寸、重量	一般	较大	较小
整个传动装置重量	重	较轻	轻
传动效率	高	一般	低
过载性能	有、较复杂	好	有、易实现
调速性能	有级	无级	无级
维修要求	一般	较高	高
机械加工要求	量大，精度一般	量小	量一般，精度高
对环境敏感性	低	不高	高
起重臂、支腿伸缩	不易实现	不易实现	易实现
电压或液压大小	—	直流 0~380 V	16~32MPa
噪音	大	小	较大

### 一、汽车式起重机

汽车式起重机为安装在标准式或特制汽车底盘上的起重设备。底盘以上回转部分称为上车部分，底盘称为下车部分。驾驶室有两个，即除汽车原有的驾驶室外，在回转平台上另设一操纵作业的驾驶室。大型汽车式起重机（40t 以上）一般在其上、下车部分有各自的发动机，上车发动机供起重作业使用，下车发动机供行驶使用。而中、小型汽车式起重机只有一台发动机。其行驶速度高（ $\geq 50$  km/h），一般可与汽车编队行驶，转移迅速方便。

汽车式起重机的轮压、外形尺寸均应符合公路行驶要求。

大多数液压汽车起重机上、下车共用一台发动机。

常用的汽车式起重机有  $Q_1$  型（机械传动和操纵）； $Q_2$  型或  $QY$  型（全液压传动和伸缩起重臂）； $Q_3$  型（直流电机分别驱动）。

汽车式起重机一般采用机械传动和液压传动两种型式。

机械传动式由发动机通过齿轮传动变速箱，直接驱动起升、变幅和回转机构，结构复杂，是一种落后的淘汰机型，如解放  $Q_1-5$  型汽车式起重机。

液压传动式由发动机带动高压油泵，驱动液压马达和油缸完成起升、变幅、回转以及起重臂伸缩、支腿收放等动作。液压传动其动作灵活，操纵轻便平稳，使用安全、省时、省

力，为当前汽车式起重机所普遍采用。

图 5-25 和图 5-26 分别为 QY-16 型液压全回转箱形伸缩臂式汽车起重机的外形图和液压系统图。该机额定起重量为 16t，起重幅度可在 3.5~18 m 范围内变动，最大起升高度为 20 m。

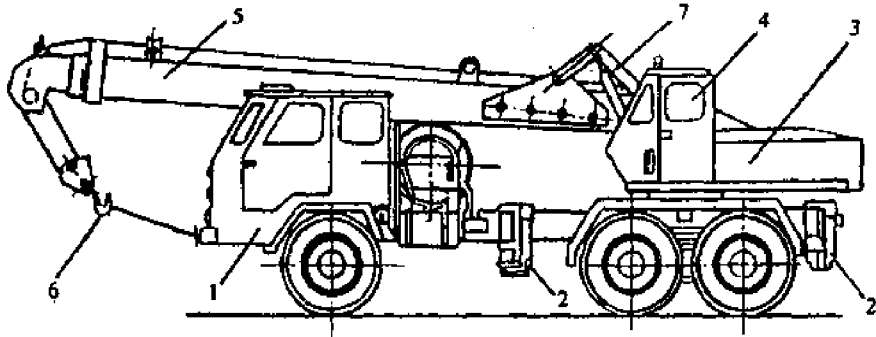


图 5-25 QY-16 型汽车式起重机

1—专用汽车底盘；2—支腿；3—回转平台；4—起重机操纵室；5—起重臂；6—起重钩；7—变幅油缸

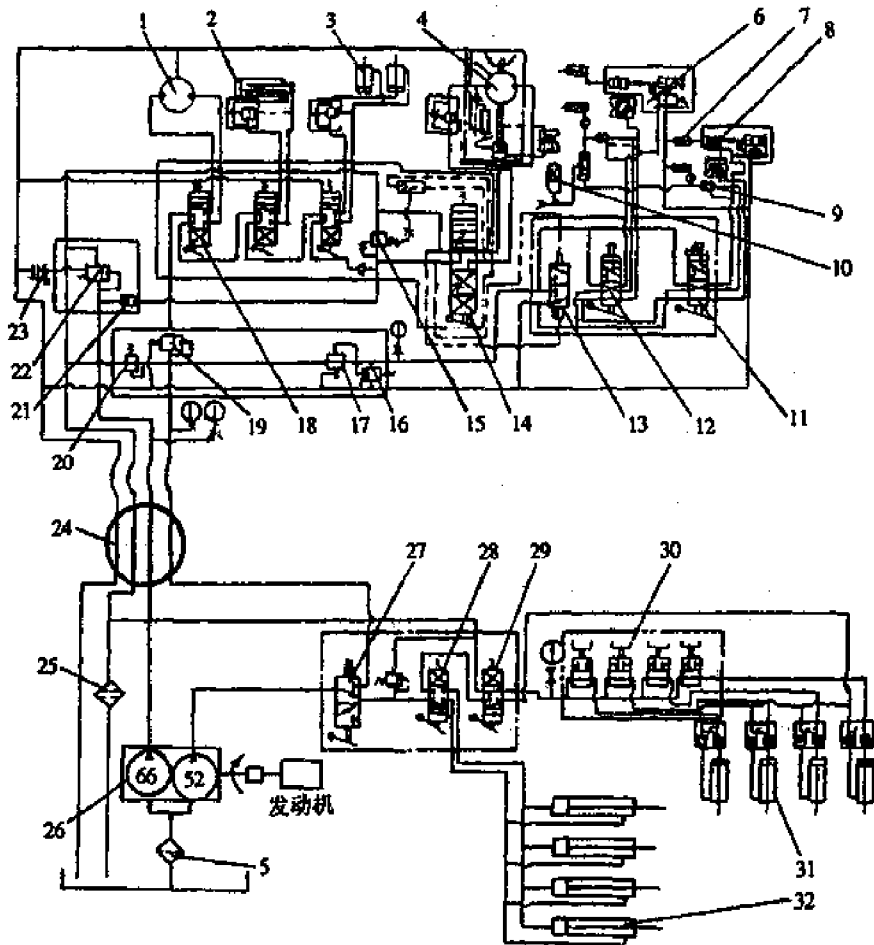


图 5-26 QY-16 型汽车式起重机液压系统

1—回转油马达；2—起重臂伸缩油缸；3—变幅油缸；4—起升油马达；5、25—滤油器；6—液压助力器；7—制动器油缸  
8—制动总泵；9—液控单向阀；10—蓄能器；11、12—手动操纵阀；13—液控操纵阀；14—起升操纵阀；15—节流阀；  
16、20、22—溢流阀；17—减压阀；18—三联操纵阀组；19—顺序阀；21—单向阀；23—带开关单向阀；24—中心回转接头；  
26—双联齿轮油泵；27—分配阀（二位三通）；28、29—手动操纵阀；30—转阀；31—支腿升降油缸；32—支腿伸缩油缸

QY-16 型汽车式起重机的构造特点是：在三桥驱动的专用汽车底盘上装有回转平台 3，起升机构置于其尾部，其上还铰接着起重臂 5，起重臂的俯仰由前支拉杆式液压刚性变幅机构完成。起重臂是三节伸缩式箱形断面结构，其中两节是套装伸缩臂，两节臂的伸缩均靠装在一节臂末了的一个单级伸缩油缸完成。起重机移动时，油缸收进使臂架最短，并落至车架上，故结构紧凑，行动方便。工作时使用装在回转平台上的起重机操纵室，首先在臂架内的伸缩油缸推动下，使套装的伸缩臂伸出，然后再在变幅油缸推动下使起重臂仰起即可进行工作。起重机工作时为了使车身稳定，并使车轮等行走部件不受力，在底架下装有四个可以伸缩的 H 型支腿。工作时水平油缸向外伸出，然后垂直油缸往下伸出，四个支腿着地，整个车身悬起，这时由于起重机的支承范围扩大，提高了稳定性。当起重机行走时，支腿油缸缩回，四个支腿紧凑地靠近车架，以减小行驶宽度。

在汽车式起重机中，其起升、变幅和回转机构与一般起重机相类似。现将比较特殊的起重臂伸缩机构和液压支腿简介如下：

### 1. 起重臂伸缩机构

汽车式起重机为减少行驶时纵向尺寸，保证有足够的起升高度、工作幅度，起重臂一般多做成几节套装在一起的伸缩式起重臂。其中最外面的一节称为基本臂，它与回转平台及动臂液压缸铰接。起重臂的节数一般为 2~4 节，其中间装有一套伸缩机构，以使起重臂在工作时伸长，不工作时收回，使结构变得紧凑。

起重臂伸缩机构的结构类型很多，但使用较多的有多个液压缸式和液压缸与钢丝绳滑轮组式两种。图 5-27 为液压缸与钢丝绳滑轮组组成的两节伸缩臂的结构与原理图。这种伸缩臂用一个单级液压缸，活塞杆通过销轴 9 与基本臂铰接。液压缸缸体通过销轴 8 与第二节臂铰接。在缸体头部装有两个动滑轮 1，钢丝绳 2 绕过基本臂上的平衡滑轮 10 及液压缸头部动滑轮 1，两个端头最后都通过销轴 4 固定在第三节臂上。这样当液压缸活塞杆伸出时不但第二节臂伸出，而且在钢丝绳作用下，第三节臂也相对第二节臂伸出，故两节臂同时外伸。缩回的动作是这样实现的：在第二节臂上装有滑轮 7，钢丝绳 6 的一端固定在基本臂上，另一端固定在第三节臂上，当第二节臂在液压缸的作用下缩回时，滑轮 7 作用于钢丝绳 6，使第三节臂同时缩回。

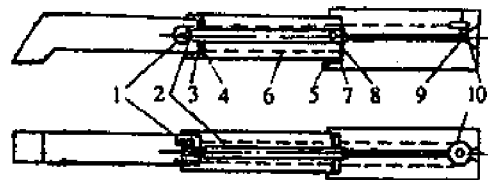


图 5-27 液压缸钢丝绳滑轮组伸缩机构原理图  
1—动滑轮；2、6—钢丝绳；3、4、5—销轴；7—滑轮；  
8、9—销轴；10—平衡滑轮

### 2. 液压支腿

汽车式和轮胎式起重机上装有能伸缩的支腿，可使起重机工作时扩大支承点的距离增加稳定性。另外，因为支腿刚性地支承于地面下，这样在起吊重物时可减小弹性振动，并能避免将轮胎及弹簧等压坏。

支腿结构型式常见的有三种：

蛙式支腿。图 5-28 为常见的滑槽式蛙式支腿的工作原理图。支腿和液压缸铰接在机架上，液压缸活塞杆头部卡在支腿摇臂的滑槽中，当活塞杆收缩时支腿收起。液压缸活塞杆推出时，支腿放下。当支腿着地后，活塞杆头部继续沿滑槽外滑，使液压缸作用臂从  $r$  增加到  $R$ ，以提高液压缸的支承能力。这种支腿每个均由一个液压缸操纵。由于蛙式支腿收回时要

翻转上去，因而受尺寸限制使得支腿跨距（ $2a$ ）不能很大。故此种型式支腿一般用于小型起重机上。

**H 型支腿。**图 5-29 所示为 H 型支腿，每个支腿分别装有水平和垂直两个液压缸，前者可使支腿在水平方向伸缩以增加跨距，后者可使支腿支承于地面。支腿外伸后呈 H 型。为使支腿有足够的外伸距离，左右支腿交错布置。H 型支腿对于地面适应性好，外伸距离大，故一般用于大、中型起重机中。

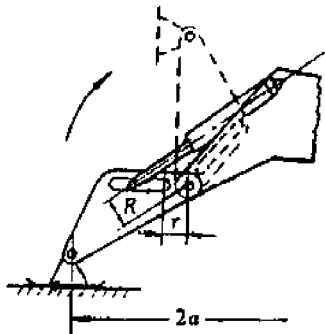


图 5-28 滑槽式蛙式支腿

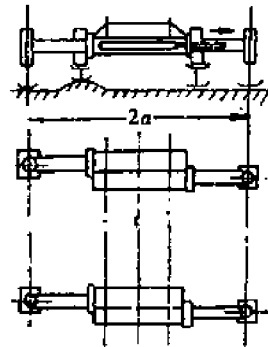


图 5-29 H 型支腿

**X 型支腿。**图 5-30 所示为 X 型支腿，固定支腿 4 一端铰接于车架上，中间与垂直液压缸 1 的活塞杆相铰接，套装在其内的伸缩支腿靠装在二者中央的伸缩液压缸 3 外端。因此当垂直液压缸伸出时，左右支腿着地，轮胎离开地面，两支腿呈 X 型，这种支腿外伸距离较大。X 型支腿也常与 H 型支腿混合使用。

汽车式起重机的缺点主要是：起重机的布置受汽车底盘的限制，通常车身都较长，转弯半径较大，在进行吊装作业时几乎都要将支腿放下，并且只能在起重机左右两侧和后方工作，从而限制了起重机在吊装作业时的活动范围。

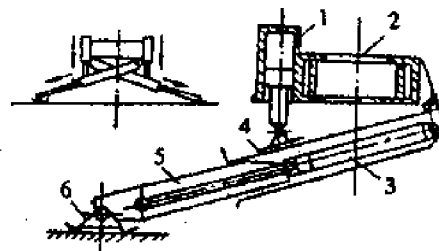


图 5-30 X 型支腿

1—垂直液压缸；2—车架；3—伸缩液压缸；  
4—固定腿；5—伸缩腿；6—支脚

## 二、轮胎式起重机

装在专用轮胎式行走底盘上的起重机，称为轮胎式起重机。

一般轮胎式起重机不与汽车在公路上编队行驶，故其最高行驶速度，大都不超过 30 km/h。其底盘系专门设计、制造，轮距和轴距配合适当，横向尺寸较大，故横向稳定性好，能四面作业，在一定条件下，可在平坦场地上吊重行驶。轮胎式起重机通常只有一个司机室，装在回转平台上，操纵所有机构。对于作业地点相对固定而作业量较大的场合，采用轮胎式起重机更为合适。它能在 360° 范围内作业，因此最适用于港口、码头及建筑工地狭小的地方工作。

轮胎式起重机的驱动装置一般采用内燃机（或内燃-电动机），以保证其良好的机动性和独立性。

轮胎式起重机的传动方式，有机械式、液压-机械式、电力式及液压式等。

目前我国批量生产的轮胎式起重机有  $QL_1$  型（集中机械传动，操纵以气力为主，液压和杠杆为辅）； $QL_2$  型（中  $QLY$  型，液压传动和操纵）； $QLD$ （直流电机分别驱动）。

### （一）桁架臂轮胎式起重机

图 5-31 为  $QL_3-25$  型轮胎起重机。

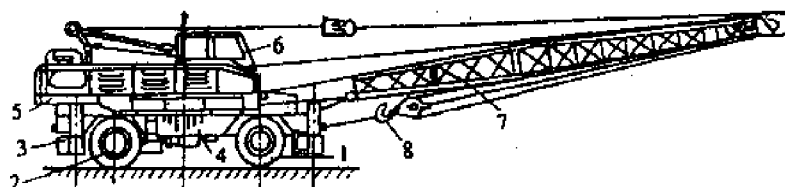


图 5-31  $QL_3-25$  型轮胎起重机

1—前轮；2—后轮；3—支腿；4—车架；5—回转平台；6—驾驶室；7—起重臂；8—吊钩

$QL_3-25$  型轮胎式起重机为全回转自行式桁架臂起重机。其驱动方式为柴油机-直流发动机-多电机分别驱动。最大起重量为 25 t，最大起升高度可达 33.7 m，最大行驶速度可达 18 km/h。

起重臂为分段式，其标准臂长为 12 m，根据需要可以组成 17、22、27、32 m，头部可接装 5 m 的副臂，以增加起升高度和工作幅度。

起重机的前后桥均可驱动，高速驱动时后桥单独驱动，重载低速行驶时前后桥同时驱动。这样使起重机既有良好的行驶性能，又有较强的爬坡能力。

柴油机-直流发动机组发出的直流电通过配电室分别输送给各直流电动机以驱动起升、变幅、回转和行驶等机构。各机构均采用改变柴油机-发动机的转速来实现无级调速。

起重机有主、副两套起重钩，同一卷筒牵引，通常由钢丝绳牵引主起重钩，如需用副起重钩，可将主钩卸下，通过副臂牵引副钩。重物自由下降采用了在钢绳卷筒端部内侧装有常闭内涨式离合器及外部装有常开式制动机构。离合器由气缸控制，制动机构由脚踏气动助力装置及杠杆操纵。当离合器脱开时，重物即能自由下降；当外制动器工作时，重物即能有效地制动，它保证了起重机具有良好的微动性能和较高的作业效率。

人字架采用活动式钢管结构，当使用 12~27 m 起重臂时，用低支架；当使用 22 m 以上的起重臂以及 32+5 m 副臂时，用高支架。高支架可增大力臂，从而减小了变幅钢绳的负载。

回转支承采用外齿式单排交叉滚柱盘，以降低起重机重心。

该机除在后桥车轮中装有制动器外，还在后传动轴与后桥主减速器之间装有中央制动器，采用压缩空气控制，保证起重机在行驶过程中制动的平稳性和紧急刹车的可靠性。

### （二）伸缩臂轮胎式起重机

图 5-32 为  $QL_2-8$  轮胎起重机的外形及工作特性曲线。

该起重机兼有轮胎起重机和汽车起重机二者的优点。起重臂和各工作机构及传动形式与液压伸缩臂汽车起重机大体相同。行走部分采用专用轮胎底盘，其上装有解放牌 CA10B 型汽油机。

从上图可以看出，在幅度为 3.2 m 时最大起重量为 8 t。各机构在轻负荷下能同时动作，并可任意回转，当吊重超过 3 t 时须用液压支腿。液压伸缩臂可在 4.4~7 m 范围内工作，并

允许吊重时伸缩起重臂，工作机构均能无级调速，具有微动性并装有多种安全装置。  
近年来小吨位的轮胎起重机已被汽车起重机所代替。

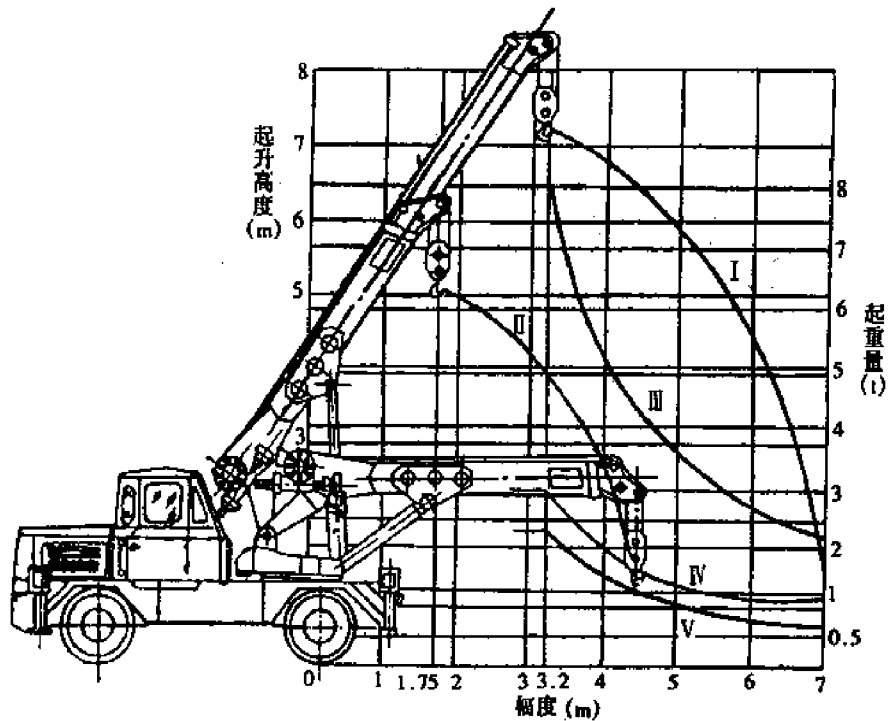


图 5-32 QL<sub>2</sub>-8 型轮胎起重机外形及工作特性曲线

I—起重臂全伸时起升高度曲线；II—起重臂全缩时起升高度曲线；III—使用支腿时的起重曲线；  
IV—不使用支腿正向时的起重曲线；V—不使用支腿侧向时的起重曲线

### 复习思考题

1. 试解释下列定义：起重量  $Q$ 、幅度  $R$ 、起重力矩  $M$ 、起升高度  $H$ 。
2. 如何确定钢丝绳的直径？钢丝绳如何标注？
3. 何为滑轮组的倍率  $\alpha$ ？省力滑轮组和增速滑轮组的倍率  $\alpha$  如何表示？
4. 卷筒的作用是什么？
5. 说明带式制动器和块式制动器的工作原理。
6. 说明电动可逆式卷扬机的组成和工作原理。
7. 塔式起重机的特点如何？
8. 简述上、下回转式塔式起重机的区别、特点和应用场合。
9. 塔式起重机的变幅方式有哪几种？各有什么特点并举例说明。
10. 塔式起重机的工作机构包括哪几部分？
11. 对照图说明自升式塔式起重机的液压系统（指出液压系统中各元件的名称，简述液压系统在顶升过程中的作用原理）。
12. 塔式起重机的工作状态稳定性按哪两种工况计算？
13. 自行动臂式起重机的工作机构包括哪几部分？

## 第六章 运输车辆与机械

在各类基建工程的施工中，需要装运大量的土石方、建筑材料、构件和设备。为完成这些繁重的工作，除起重机械外还必须装备一定数量的运输车辆和机械，这类机械主要是运输车辆、连续运输机和装卸机械。

工程运输车辆是长距离或工地内部的运输工具。它有轮胎式和履带式两大类，其中轮胎式车辆又有汽车式底盘和专用轮胎式底盘，目前应用最普遍的是汽车式底盘，如载重汽车、自卸汽车、牵引汽车和挂车。翻斗车通常采用轮胎式底盘，工作装置——斗大多布置在前方，它公适用于工地内短距离的运输。

运输机械包括：连续运输机和装卸机械。连续运输机以连续不停的循环运动，在水平、倾斜或垂直平面内输送物料。连续运输机主要运输散堆物料，如砂、石、水泥、混凝土拌合料等。连续机类型很多，通常按构造特征和作用原理分为：有牵引构件的和无牵引构件的。带式、链板、刮板、悬挂输送机，斗式提升机，自动扶梯等均属有牵引构件的，胶带和链条是牵引构件；螺旋、振动、辊子输送机和气力输送装置等均属无牵引构件的。

装卸机械一般归属于运输机械类。它包括叉车、单斗装载机、翻车机、装车机和卸车机等。叉车和单斗装载机应用最广，叉车是成件货物的搬运机械。单斗装载机以装卸散堆物品和土石方为主，这也是铲土运输机械中的一种机型（本章中不予介绍）。翻车机、装车机和卸车机是装卸煤、砂的专用设备，广泛用于铁路站场、码头和仓库等场合。

### 第一节 自卸汽车

自卸汽车是在汽车底盘的基础上改装而成。它不仅机动性和越野性好，爬坡能力强，而且装有金属车厢，在升降机的顶推作用下，可将车厢装载的物料一次倾卸干净，卸载迅速，节省大量劳力，在建筑、筑路和露天矿山中被普遍采用。图 6-1 为东风 EQ340 型自卸汽车。

#### 一、自卸汽车的类型

目前使用的自卸汽车种类繁多，其类型如下：

(1) 按用途分为公路型与非公路型两种：① 公路型也称通用型或建筑型。它是工矿企业使用的普通自卸汽车，载重量一般在 1~8t 之间。在一般公路、桥梁、涵洞上行驶，多为载重汽车的变型车，用来装运煤、砂、土、建筑材料等。与装载机配合使用，以实现快装快卸，减轻工人劳动强度。如东风 EQ340 型自卸汽车。② 非公路型，又称矿用型。用于运输土石方、混凝土、砂浆、块石、大型预制块等。它是露天和井下矿山、隧道及大型建筑工程的重要设备。其载重量大于 8t，而且向大型化发展，目前国内最大达 154t 级，国外已发



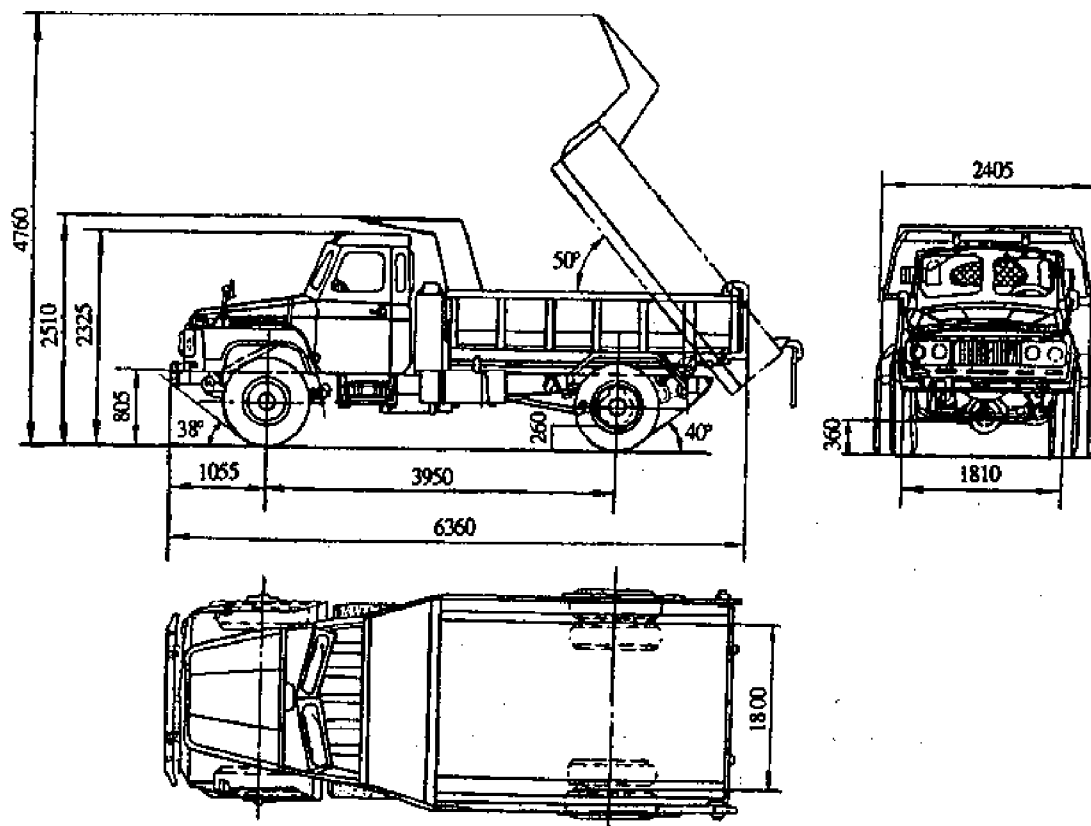


图 6-1 东风 EQ340 型自卸汽车

展到 300 t 级。图 6-2 为重型矿用自卸汽车的构造简图。

(2) 按载重量分为：轻型（载重 2 t 以下）、中型（载重 2.5~8 t）、重型（载重 8~20 t）、超重型（载重一般大于 20 t）。

(3) 按车厢倾斜方向分为：后倾卸式、侧倾卸式、三面倾卸式和底卸式。

(4) 按车厢结构形状分为：平形厢底三面开放式、平形厢底-侧开放式、船形厢底式和铲斗形车厢。

(5) 按车架型式分为：整体式和铰接式。

此外还可按发动机型式、操纵方式、牵引方式来分类。

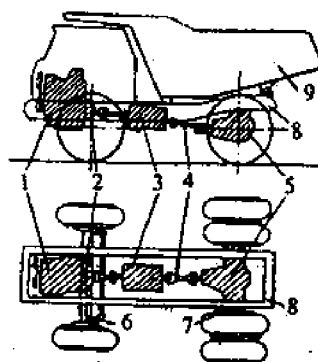


图 6-2 重型矿用自卸汽车

1—发动机；2—离合器；3—变速箱；  
4—万向传动轴；5—主传动和差速器；  
6—前桥；7—后桥；8—车架；  
9—自卸车厢

## 二、自卸汽车的基本构造

自卸汽车主要由载重汽车底盘和自卸车厢组成。

### (一) 载重汽车底盘

载重汽车底盘由发动机、传动系、行驶系、操纵机构等组成。

发动机是自卸汽车的动力装置，大型矿用汽车几乎都采用柴油机，中小型多用汽油机。

传动系如图 6-2 所示，它包括离合器、变速箱、万向传动轴、主传动差速器、后桥及车轮等装置。传动系是动力装置与驱动轮之间传动部件的总称。它将动力装置的输出功率传给

后桥驱动车轮，并带动工作装置的液压泵工作。

行驶系如图 6-3 所示，它是支持整个汽车并保证汽车行驶的装置。行驶系由车架 1、前桥 2、悬架 3、车轮 4、后桥 5 等组成。

操纵机构包括：转向系和制动系两大部分。

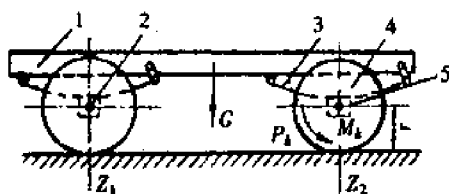


图 6-3 载重汽车行驶系的构造

1—车架；2—前桥；3—悬架；4—车轮；5—后桥

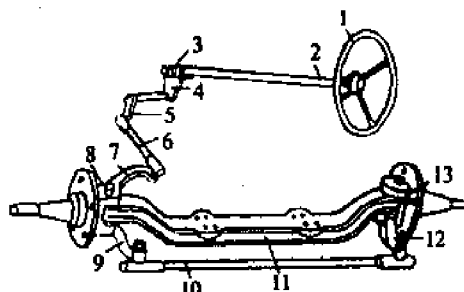


图 6-4 转向系示意图

1—方向盘；2—转向轴；3—蜗杆；4—齿扇；5—转向垂臂；6—转向直拉杆；7—转向直拉杆臂；8—主销；9、12—转向节臂；10—转向横拉杆；11—前轴；13—转向节

转向系的功用是控制汽车保持直线行驶或改变方向行驶。一般载重汽车采用前轮转向，其构造如图 6-4 所示。这种转向系由方向盘 1、转向轴 2、传动副（互相啮合的蜗杆 3 和齿扇 4）及转向传动装置（转向垂臂 5、转向直拉杆 6、转向直拉杆臂 7、转向节臂 9、12、转向横拉杆 10）等组成。转动方向盘时，可以使左右两转向节 13 绕主销 8 转动，从而实现了前桥车轮的偏转，达到汽车的转向。

制动系的功用是对行驶中的汽车施加阻力，使其行驶速度降低或停止，以保证汽车的安全性能。制动系由制动传动及制动器组成，图 6-5 为气力传动的制动系统。

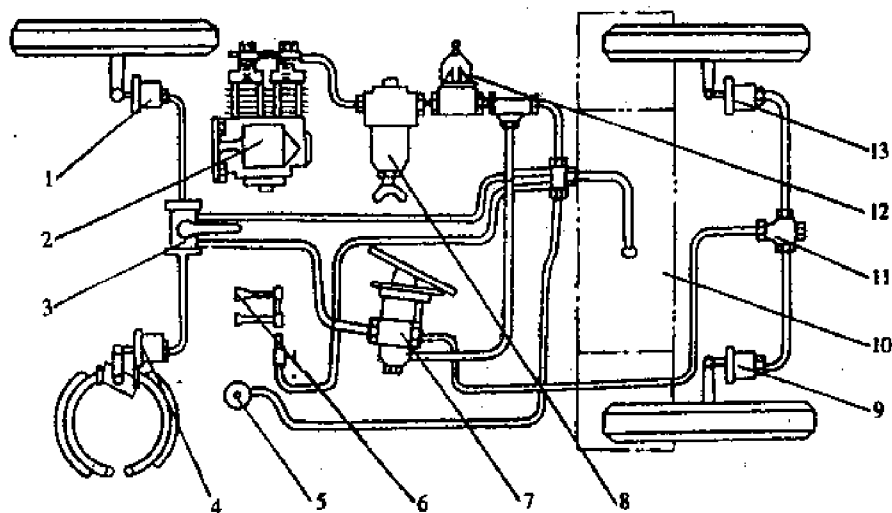


图 6-5 气力制动系统简图

1—前右气室；2—空压机；3—气动转向阀；4—前左气室；5—气压表；6—气喇叭；7—制动阀；8—油水分离器；9—后左气室；10—储气筒；11—快速放气阀；12—压力控制器；13—后右气室

操纵机构的方向盘、制动踏板及各种仪表都装在驾驶室内，由司机集中控制。

## (二) 自卸车厢

自卸汽车的车厢都由金属焊接而成，在举升机构的顶推作用下倾卸物料。

车厢的举升目前均采用液压传动，通常采用一个或两个柱塞式液压油缸。柱塞式液压油缸可做成单级或多级式，要求密封性好。车厢举升时间对于 15 t 以下，一般小于 15 s；对于 15~25 t 的，一般为 15~30 s；对于 25 t 以上的，一般为 40~60 s。

图 6-6 为东风 EQ340 型自卸汽车液压倾卸机构的工作原理图。它比东风 EQ140 型载重汽车增加了取力箱 6 和油泵 26、分配阀 19、油缸 22、油箱 14 等液压元件组成的液压系统。

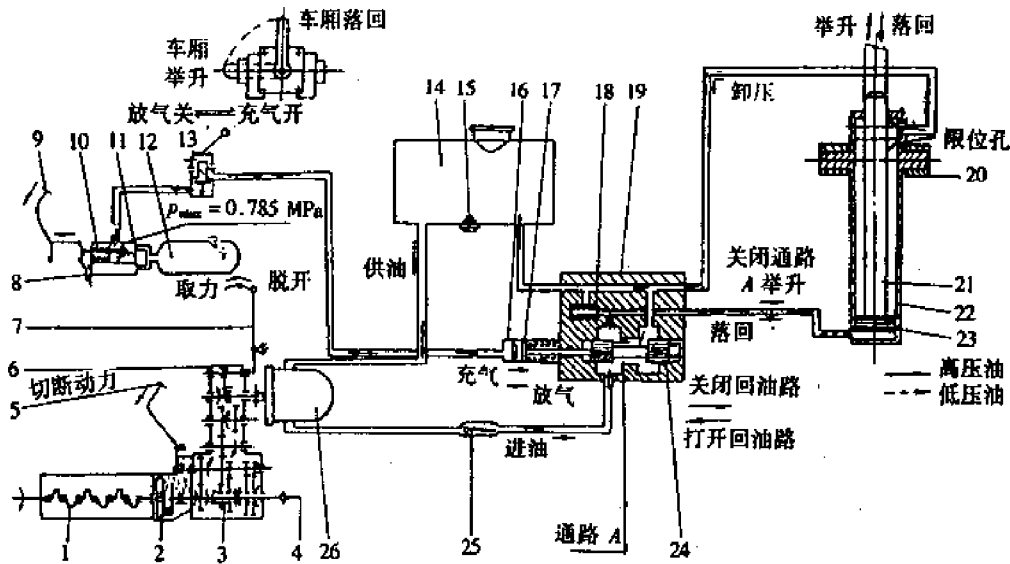


图 6-6 东风 EQ340 型汽车液压倾卸机构工作原理

1—发动机；2—离合器；3—变速器；4—传动轴；5—离合器踏板；6—取力箱；7—取力箱操纵杆；8—复合式制动阀；9—制动踏板；10—平衡弹簧；11—复合式制动阀的挂车制动阀；12—储气筒；13—手动气阀；14—油箱；15—带磁铁的放油螺塞；16—气缸；17—活塞及挺杆；18—限压阀；19—分配阀；20—支架；21—活塞杆；22—油缸；23—活塞；24—滑阀；25—单向阀；26—油泵

东风 EQ340 型自卸汽车液压倾卸装置的操作过程是：

### 1. 准备

踏下离合器踏板 5，切断动力，将取力箱操纵杆 7 向前推，当取力箱内的齿轮进入啮合位置以后，缓慢松开离合器踏板，接通动力，油泵 26 转动，压力油经分配阀 19 流回油箱 14，液压系统作空循环。

### 2. 举升

当手动气阀 13 的手柄在充气位置时（手柄方向与汽车前进方向一致），压力空气由储气筒 12 经复合式制动阀的挂车制动阀 11 和手动气阀进入气缸 16，推动活塞 17 运动，分配阀 19 中的滑阀 24 随气缸活塞 17 右移而关闭通路 A，压力油进入举升油缸 22，活塞 23 推动车厢举升倾卸。当活塞上升到限位孔时油缸卸载，举升停止。

### 3. 保持

当手动气阀 13 在接通充气位置，把取力箱操纵杆 7 往后拉，动力切断，油泵停止工作时，车厢可以在任意位置停留。

### 4. 降落

降落方法有三种：

(1) 正常降落。车厢卸料后，油泵工作不停止，用手动气阀关闭压力气通路（气阀手柄处

于垂直于汽车前进方向的放气位置), 气缸 16 与大气相通, 气缸活塞 17 返回, 滑阀 24 左移, 通路 A 开启, 举升油缸中的油通过分配阀流回油箱, 活塞 23 带动车厢落下。

(2) 断续降落。在举升过程中由于某种原因车厢未来得及卸料, 或未来得及卸料而需要负载降落时, 不得使用手动气阀, 否则车厢降落太快, 将造成事故甚至损坏车辆。此时, 应缓缓踩动汽车制动踏板 9 (不要猛力踩下), 复合制动阀的挂车制动阀 11 中的平衡弹簧 10 被逐渐压缩, 挂车制动阀输出管路中的气压逐步降低, 滑阀 24 左移, 通路 A 慢慢开启, 从而使车厢缓慢降落。

(3) 加快降落。当需要加快空车降落速度, 可先拉回取力箱操纵杆, 使油泵停止工作, 再用手动气阀使车厢降落。

自卸汽车的车厢在倾卸时, 设有安全插销和定位孔, 可以确保车厢不致自行落下, 以便进行维修和保养。

### 三、自卸汽车的选用及生产率的计算

#### (一) 自卸汽车的选用

自卸汽车的应用随着机械化施工水平的提高会大力发展。但是由于施工的特点不同, 选择使用必须注意以下几点:

(1) 自卸汽车的车厢容积 (或承载吨位) 应与工程选用的装载机械配套。一般认为, 自卸汽车车厢容积 (或载重量) 应为装载机械斗容 (或每次装载重量) 的 2~4 倍为宜, 具体视物料容重等情况而定。

(2) 按照实际情况和经济效益合理选择车型。地面坚实的平原地区和施工场地开阔的山区, 可以选用中、重型自卸汽车; 山区峡谷河床宜选用中、轻型自卸汽车; 在卸料场地狭长处, 宜选用侧卸式、底卸式自卸汽车, 或选用轴距小、车厢短的矿用车; 在巷道或峡谷车道出碴时, 宜选用双向汽车; 在地下施工时, 最好用电动自卸汽车或带有废气净化装置的内燃自卸汽车; 在重车上坡运行较长的地区, 只宜用车尾有挡板的或铲斗形车厢加挡板的自卸汽车。

从技术管理、物质供应、设备维修和技工培训等管理方面来考虑, 选用的车型规格越少越好, 最好是标准化、系列化、成批定型生产的汽车。

(3) 根据工程量大小, 工期和施工强度、运距等确定自卸汽车的需用量。从机械化施工的合理配套考虑, 在合理的施工组织下, 投产的自卸汽车台数, 应以充分发挥挖掘 (或装载) 机械的效能为原则, 一般以每一台挖掘机前始终停有 1~2 辆自卸汽车待装为佳。

在工程量大、工期紧、场地大、施工强度高而条件许可的地方, 尽可能选用大容量的自卸汽车。

#### (二) 自卸汽车生产率的计算

自卸汽车运输的运用计算包括以下内容:

(1) 自卸汽车每一辆工作循环时间

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad (\text{min}) \quad (6-1)$$

式中  $t_1$ ——装车时间 (min);

$t_2$ ——载重行驶时间，即从装车地点运到卸车地点的时间（min），可用下式计算

$$t_2 = \frac{60L}{v_1} \quad (\text{min}) \quad (6-2)$$

其中  $L$ ——运距（km），

$v_1$ ——重载时的平均速度（km/h）；

$t_3$ ——卸车时间（min）；

$t_4$ ——空车返回装车地点的时间（min），可用下式计算

$$t_4 = \frac{60L}{v_2} \quad (\text{min}) \quad (6-3)$$

其中  $v_2$ ——空车时的平均速度（km/h）；

$t_5$ ——等候停留时间（min）。

(2) 汽车在计划阶段时间内的生产率

$$Q = \frac{TqK_1K_2}{T_0\gamma} \quad (\text{m}^3) \quad (6-4)$$

式中  $T$ ——计划阶段时间（min）：对于小时生产率  $T=60$ （min），对于每台班生产率  $T=60 \times 8$ （min），对于年生产率  $T=60 \times B$ （min）；

其中  $B$ ——年工作小时数；

$q$ ——自卸汽车载重量（t）；

$K_1$ ——吨位利用系数，应按实际测定值来选用；

$K_2$ ——时间利用系数；

$\gamma$ ——所运物料容量（ $\text{t/m}^3$ ）。

(3) 自卸汽车需要量的计算。当自卸汽车与单斗挖掘机联合工作时，所需自卸汽车数量为

$$n = \frac{t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{t_1 + t_6} \quad (\text{辆}) \quad (6-5)$$

式中  $t_6$ ——空车进入装料点并对准挖斗时间（min），如果  $t_{12} > t_6$  时，应用  $t_{12}$  代入  $t_6$ ；其余符号同前。

## 第二节 连续运输机

以连续方式运输物品的运输装置，称为连续运输机械或输送机械。它的工作特点是在整个工作期间内，沿着一定的路线无停歇地运输散粒物料（如砂、碎石、水泥）或轻型件货。当设备的重量和成本相同时，连续运输机的生产率比周期动作的其他设备（如起重机、挖掘机、装载机与自卸汽车或翻斗车）要大得多。

连续运输机的用途很广，类型繁多，通常按连续运输机的动作原理分为两大类：

(1) 具有牵引构件的输送机。这类连续运输机依靠封闭的挠性牵引构件传递动力，承载的工作构件可以独立存在，也可以与牵引构件合而为一。其代表机械是带式输送机和斗式提升机。

(2) 没有牵引构件的输送机。这种类型连续运输机的典型机种是螺旋输送机和气力输送设备。

## 一、带式输送机

### (一) 带式输送机的类型和应用

带式输送机能在水平方向或坡度不大（一般在  $20^\circ$  左右）的倾斜方向运输各种散粒物料或小体积的成件物品。由于它的结构简单、工作可靠、生产率高、动力消耗低、运输距离长，且不受道路条件限制等优点，在国民经济各部门中得到广泛应用。在基建工程施工中主要用于运送土、砂、石料。带式输送机既可作为独立的运输设备和装载设备，也可以作为其他机械上的一种运输装置。例如轮斗挖掘机、卸车机、道床清筛机上的输送带。它在使用上的缺点是机身较长不便随意移动，带条昂贵且容易磨损。

带式输送机按其结构和移送方式，可分为固定式、移动式 and 节段式三种类型。固定式是在运输量大和使用期限长的情况下采用，它的机架和部件不能任意拆移，其长度一般为  $50 \sim 300 \text{ m}$ 。移动式是在距离短、运输量不大且施工地点经常变动的场合下采用，如建筑工地，有时也用于运输线末端散料或装载用。移动式的构造特点比较轻便，并装有车轮或轮胎随意移动，如图 6-7 所示。节段式的机架由  $2.5 \sim 5 \text{ m}$  的短机架拼装而成，通常用于运输长度经常改变和移动的场合。

### (二) 移动式带式输送机的组成

移动式带式输送机（见图 6-7）由输送带（又称带条）8、托辊 7、驱动装置（3、4、5）、张紧装置 10、装载料斗 11、机架（1 和 2）及调速装置 9、行走装置（6 和 12）等组成。

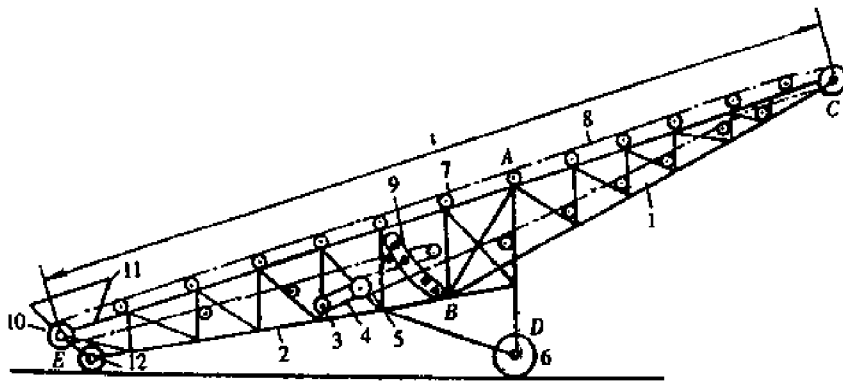


图 6-7 移动式带式输送机

1—前机架；2—后机架；3—电动机；4—三角皮带传动；5—驱动滚筒；6—行走轮；7—托辊；  
8—输送带；9—调速装置；10—张紧装置；11—装载料斗；12—导向轮

输送带既是牵引构件又是承放货物的承载构件，一般采用橡胶输送带。带宽的选择取决于输送机的生产率和带的速度。

托辊能减少输送带的垂度和运行中的摆动现象，常用的有槽形托辊和平托辊，在输送机上的有载分支与无载分支段都需要装设。

带式输送机的驱动装置由电动机 3，三角带传动 4 和驱动滚筒 5 组成。驱动装置借助驱

动滚筒与输送带之间的摩擦作用产生牵引力来工作。滚筒一般为圆柱形。

张紧装置的作用是使输送带具有足够的初张力，限制输送带在各托辊间的垂度并补偿输送带在载荷作用下的伸长。张紧装置有螺旋式、车式和垂直式三种。移动式带式输送机一般采用螺旋式，它结构简单，张紧力不能保持恒定，工作一段时间后需要调整螺旋机构。

装载料斗用于装载散状物料时避免材料撒落。

移动式带式输送机的机架由前、后两部分通过调速装置 9 来固紧，以满足不同装卸高度的要求。行走装置由行走轮和导向轮组成，移动时靠其他机械牵引或人工拖曳。

### (三) 带式输送机生产率的计算

带式输送机的生产率可按以下两种情况计算：

输送散状物料时

$$Q = K \gamma v C B^2 \quad (\text{t/h}) \quad (6-6)$$

式中  $K$ ——断面系数，与带面上的物料堆积角有关；  
 $\gamma$ ——物料堆积容重 ( $\text{t/m}^3$ )；  
 $v$ ——带速 ( $\text{m/s}$ )；  
 $C$ ——倾角系数；  
 $B$ ——带宽 ( $\text{m}$ )。

输送成件物料时

$$Q = 3.6 \frac{Gv}{t} \quad (\text{t/h}) \quad (6-7)$$

式中  $G$ ——单件物料重量 ( $\text{kg}$ )；  
 $t$ ——物件在输送带上的间距 ( $\text{m}$ )。

### (四) 带式运输机的使用要求

(1) 带式输送机的工作环境温度 and 被运送物料的温度一般不得高于  $50^\circ\text{C}$  和低于  $-10^\circ\text{C}$ 。普通橡胶带不能输送含酸、碱性、油脂类以及含有机溶剂的物料。

(2) 输送机工作前应检查运动部分、连接部分和防护装置是否正常。开机时必须空车启动，逐渐加载。多台衔接时，应从卸料端开始顺序启动。

(3) 移动机械时，如遇大风，须将前机架放到最低位置，以减小风的倾覆力矩。移动调整后，应将联接螺母拧紧。

## 二、斗式提升机

斗式提升机用于垂直方向或在很陡的斜坡上连续输送散粒物料，如储存水泥与水泥制品、粮食加工、化工联合企业等部门。它的特点是占地面积小，结构紧凑，提升高度大（一般是  $15 \sim 20 \text{ m}$ ，最高可达  $60 \text{ m}$ ），密封性较好，生产率高。缺点是功率消耗大，斗链容易磨损。

斗式提升机的构造如图 6-8 所示，它由牵引构件 1 和固定其上的料斗 2，驱动滚筒式链轮 3、张紧装置 4、驱动装置和带有出料口 7 及进料口 6 的机罩 5 等组成。

斗式提升机的牵引构件有输送带和链条两种。带式适用于高速（0.8 ~ 3.5 m/s）输送粉状或粒状物料；链式速度较低（0.4 ~ 1.2 m/s），仅适合于大块与潮湿等难于挖取的物料和任务繁重的场合。

料斗用焊接或冲压的方法制造，料斗形状有深斗（用于输送干燥、易流动的物料）；浅斗（用于潮湿与不易流动的物料）和导槽料斗（用于输送沉重、大块磨磋性强的物料）三种。料斗固定在牵引构件上。

驱动装置、张紧装置等与带式输送机相类似，此处不再赘述。

机罩 5 一般由头部、中间段和基座组成。机罩的中间段可以是两个牵引构件所共有的，也可以制成是每个分支单独的管状外罩。机罩的头部设有出料口 7，当料斗经上部滚筒时物料卸入提升机上部的卸载导管内，经出料口 7 出料。机罩的基座上有进料口 6，用它装载物料到各个斗中。为了观察运行部分的工作情况，机罩的相应部分上设有观察孔。

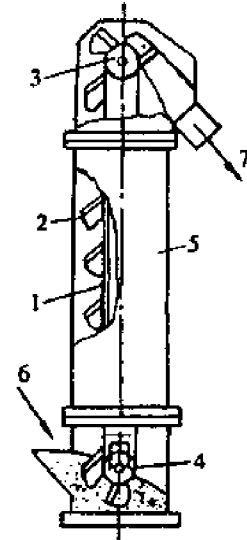


图 6-8 斗式提升机

1—牵引构件；2—料斗；3—驱动滚筒式链轮；4—张紧装置；5—机罩；6—进料口；7—出料口

### 三、螺旋输送机

螺旋输送机是一无挠性牵引构件的连续输送设备。它的工作原理与传动螺杆相似，被运物料相当于螺母，螺杆旋转时，如果限制螺母的转动那么就做轴向移动，则物料被运走。

螺旋输送机可沿水平或小于 20° 倾斜度的方向运输散货，如煤、水泥等小块料状物料。螺旋输送机结构简单，造价低，易于维修管理，能够实现密封运输，特别适合于输送粉尘大的物料。由于它在工作过程中，对物料有研碎作用，功率消耗大（与相同生产率的带式输送机比较，功率可大 8 倍），故只适合小生产率的短距离输送，如沥青混凝土摊铺机中。

螺旋输送机的构造如图 6-9 所示，螺旋 2 在料槽内旋转，螺旋由几段拼成接头部分支承在倒挂的中间轴承 10 上，螺旋的轴 1 支承在轴承 3 上。6 为加料口，7 为卸料口，有的中间设有卸料口，不用时可将闸门关闭。料槽上设有观察孔 9。螺旋的轴直接由电动机 4、减速器 5 驱动，螺旋的轴转速一般为 80 ~ 200 r/min。

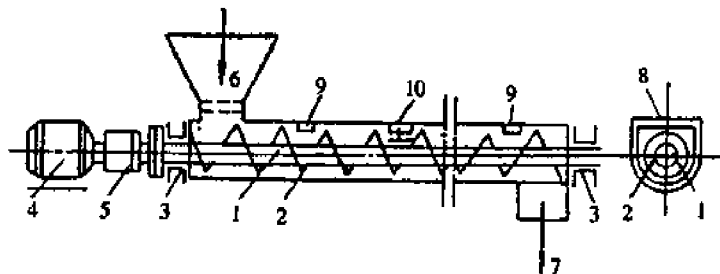


图 6-9 螺旋式输送机

1—轴；2—螺旋；3—轴承；4—电动机；5—减速器；6—进料口；7—卸料口；8—盖板；9—观察孔；10—中间轴承



### 第三节 装卸机械

凡是运输货物向车、船上进行装卸，对货场、库房内货物进行堆垛、转动的机械统称为装卸机械。这种机械除起重机械和连续运输机外，还有装卸搬运车辆和专用装卸机械，其中最常见的是叉车和卸车机。

#### 一、叉 车

##### (一) 叉车的功用及类型

叉车又称铲车，它由自行驱动的轮式底盘和叉车取物工作装置组成。叉车主要用于成件包装货物的装卸搬运，也可以搬运集装箱和其他散堆物料。

叉车按动力装置分为内燃式和电瓶式两大类。根据构造特点分为平衡重式、插腿式、前移式、四向走行式、侧面式和跨车等多种。平衡重式叉车是叉车中数量最多、最为典型的。

平衡式叉车的工作装置位于叉车的前方，可完成对货物的托取、升降、堆放、码垛等工序，是叉车最重要的部件。自行专用轮式底盘，一般采用前桥驱动，后桥转向。为了平衡货叉上货物产生的倾覆力矩，在车体尾部装有平衡重块。

##### (二) 叉车工作装置的构造

平衡重式叉车的工作装置包括：取物装置、起升机构、门架、门架倾斜机构以及液压系统，如图 6-10 所示。

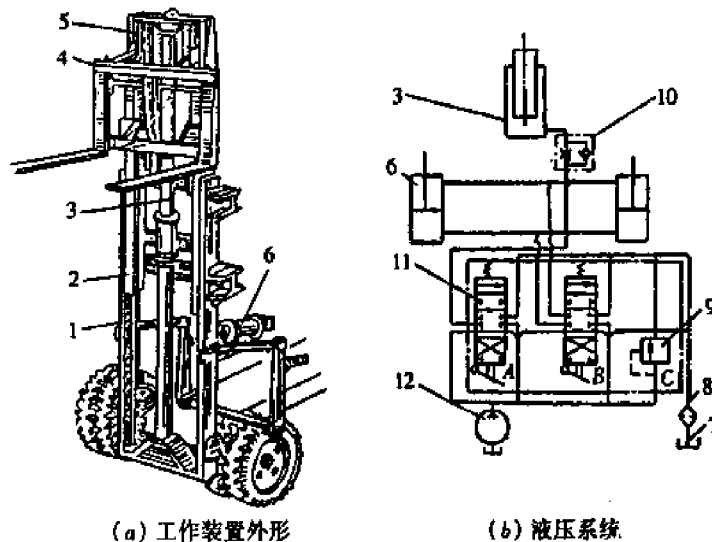


图 6-10 叉车工作装置及液压系统

1—外门架；2—内门架；3—起升油缸；4—滑架；5—链传动；6—倾斜油缸；7—油箱；8—滤油器；9—溢流阀；10—单向节流阀；11—操纵阀；12—液压泵

#### 1. 货叉及滑架

货叉是叉车最基本的取物装置，一般叉车都装有两个同样的货叉。滑架是用来安装货叉或其他可更换的属具。货叉上货物的重量通过滑架传给起重链条，货物重量产生的力矩通过它传给门架，当链条带动它升降时，它能可靠地沿着门架的导轨运动。

## 2. 起升机构

起升机构由起升油桶 3、链传动 5、滑架等组成。起升油桶顶起滑轮，带动链条，链条牵引滑架，使滑架升降，从而实现货叉和货物的升降动作。它是典型的增速（省时）滑轮组。

## 3. 门架

门架是起升机构的骨架，是滑架运动的导轨。门架的工作高度要比货叉起升高度大一定尺寸。为了减小叉车的货叉放下时的外形高度，使叉车有可能通过仓库或车间的门，门架一般做成伸缩式的。大部分门架是两节，外侧的一节是不升降的，称为外门架；内侧的一节可以沿着外门架上下伸缩，称为内门架。外门架的下部铰接在底盘的车架上或前桥上，外门架的另一支点通过倾斜油缸再与车架铰接。

## 4. 门架倾斜机构

门架倾斜机构就是倾斜油缸，倾斜油缸的伸缩即实现门架前倾和后倾，亦即实现货叉的前俯和后仰，以使货叉便于叉起和卸下货物，并保证叉车运行时货物在货叉上保持稳定，制动时不致从货叉上滑下。

由于货物的升降动作是短距离的直线运动，门架的倾斜动作是小角度的前后摆动，所以叉车工作装置都采用液压传动系统，如图 6-10 (b) 所示。它结构紧凑，布置方便合理，是一种理想的传动系统。

叉车是按照在特定的有限区域内（如车站、港口、仓库）工作设计的，对货物有进行装卸和运送的功能，它减轻了繁重的体力劳动，具有明显的经济效益，是提高装卸工作机械化程度的重要设备。

## 二、卸车机与装车机

卸车机和装车机（或称卸煤机和装砂机）是目前铁路车辆用来装卸散堆货物（煤、砂等）最主要的机械设备之一。它效率高，节省劳力，同时也大大缩短了货物装卸车的时间，加快了车辆的周转，有效地降低了装卸成本。

卸车机和装车机无论在工作原理、结构和外形轮廓上，均无原则上的差异。两者之间的主要区别在于卸车机的整车高度要较装车机大；卸车机的带式输送机长度大并可逆转，以达到可向线路两侧卸货的目的，这在装车机上是不需要的；卸车机上的斗式提升机由于从车厢内卸货，其轮廓长度短，料斗数目较少，因此卸车机的提升机和卷扬机的驱动功率均比装车机小；另外卸车机没有挡板机构也不配料槽，它比装车机增加了清车底装置和除尘设备。

卸车机主要有链斗式和螺旋式两种类型。链斗式使用最为普遍，它的基本构造如图 6-11 所示。

链斗式卸车机是由钢结构 1、斗式提升机 2、带式输送机 3、卷扬机构 8 和运行机构 7 等五个主要部分组成。空间“门”形金属结构是卸车机的承载构件，载货车辆可从此结构下通过。卸车时，由钢绳滑轮组支承的链斗式提升机下落到敞车的

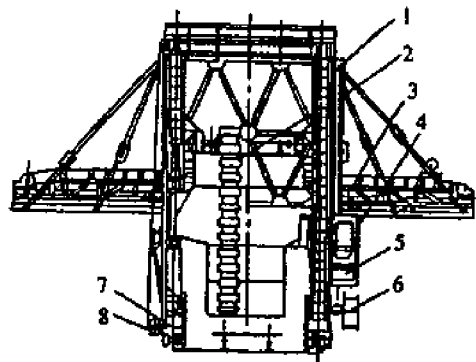


图 6-11 卸车机

- 1—钢结构；2—斗式提升机；3—带式输送机；  
4—司机室；5—电气设备；6—电缆卷绕装置；  
7—运行机构；8—卷扬机构

货堆中，链斗取料，物料从提升机上部抛到与轨道方向垂直的带式输送机上，由带式输送机将物料卸向轨道的任一侧。卸料时，运行机构驱动整机低速前进。运行机构与起升机构的协同动作来保证料斗的正常取料。

卸车机采用拖缆供电方法，故设有电缆卷绕装置用以绕放电缆。

卸车机还附带有顶起器和夹轨器等辅助设备，以便于维修和安全停放。

### 复习思考题

1. 运输车辆与机械有哪些类型？它们应用于哪些场合？
2. 自卸汽车由哪些部件总成组成？各部件有哪些功用？
3. 东风 EQ340 型自卸倾翻机构是如何工作的？
4. 自卸汽车在土石方施工中选用的原则有哪些？
5. 移动带式输送机由哪些部分组成？其生产率如何？使用中应注意哪些事项？
6. 斗式提升机与螺旋输送机各有什么特点？它们各自适应哪些工作场合？
7. 平衡重式叉车的工作装置由哪些部分组成？
8. 试根据图 6-10 分析叉车液压系统图中液压元件的类型及工作原理。
9. 卸车机与装车机在结构上有哪些异同点？

## 第七章 土方工程机械

在基本建设工程施工时，无论是工业与民用建筑，还是修筑铁路、公路、机场，建设矿山、水电工程等，土方是整个工程中最主要、最基本的作业内容之一。土方工程的特点是工程量大，工期较长，施工条件复杂，而且劳动强度大，占用的劳动力多，因此必须实现土方工程的机械化施工。

土方工程主要是对土壤的挖掘、铲运、填筑、平整、压实等作业。

土方工程应根据地质状况、工程量、工程特点、预计工期等条件，制定出最佳的施工方案。依据施工方案，来正确选择适宜的土方工程机械，并在机械品种、容量、性能和数量上作出合理的技术经济分析，采用最佳的机械配套方案，进行土方工程作业。实现土方工程的机械化施工有着十分重要的意义，它不但可以提高劳动生产率、加快施工进度、保证工程质量、降低工程成本，而且还可以减轻繁重的体力劳动，节省大量的劳动力。

土方工程机械是对土壤或其他材料进行切削、挖掘、铲运（短距离运输）的机械，也包括对现场表面进行处理的机械，其中主要是挖掘机械、掘土运输机械和压实机械。

土方工程机械大多以履带式工业拖拉机或轮胎式“基础车”为主机，根据不同的作业要求，配置各种不同的工作装置而组成。因此本章仅介绍常用的土方工程机械。

### 第一节 土壤的切削与挖掘

#### 一、土壤切削的基本概念

土方机械采用各种不同的切削装置铲挖土壤，其形式基本上有刀形、齿轮和斗形，如图 7-1 所示。

土壤的切削是利用水平或者垂直方向移动的楔形切削刃，把土块或土层从土体中剥离出来的过程。土壤的切削是一个很复杂的过程。土在楔形刀具的压力作用下受到挤压和剪切而开始变形，当压力继续增大，土体的原始结构被破坏，土块或土层便被切离，如图 7-2 所示。

土方机械的工作装置能把土从土体剥离下来并进行运送。如果只把土从土体剥离下来，这叫做切削过程；如果把土从土体剥离下来，并装入工作装置（挖掘机和铲运机的斗）或者由工作装置运送（推土机、平地机的推土板），这个全过程叫做挖掘过程。

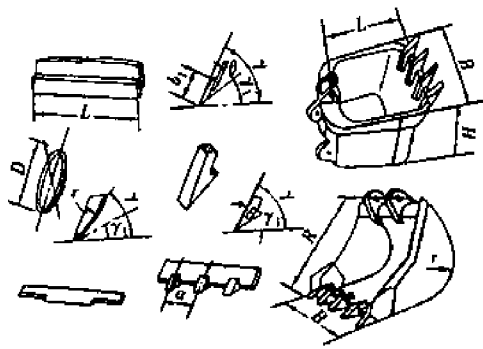


图 7-1 切削装置的基本形式

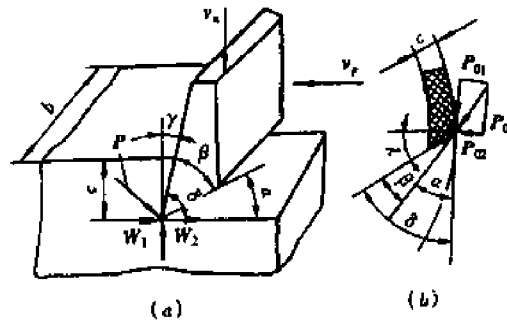


图 7-2 楔切削土壤的有关参数

## 二、切削阻力与挖掘阻力的确定

为了设计和合理地运用土方机械必须研究在切削和挖掘过程中产生的阻力。这些力与切削断面的宽度  $b$  和深度  $c$ ，即切削面积  $F=bc$  有关，与土的物理、机械性质和切削装置切削部分的几何参数（尖角  $\beta$ ，后角  $\alpha$ ，切削角  $\delta=\alpha+\beta$  和前角  $\gamma$ ）有关。

根据国内外许多学者的试验研究，已建立了土壤切削的基本理论，并提出了理论计算公式。但由于计算工作繁杂，不很成熟，实用上还是采用试验数据或利用经验公式来确定切削和挖掘阻力的数值。

切削装置切削土壤时的切削阻力通常以单位切开面积的阻力来表示，称为切削比阻力（ $P_a$ ）。斗型装置挖掘土时，除需克服切削阻力外，还需克服土流进铲斗而产生的土与土间及土与斗壁间挤压和磨擦的附加阻力（或称装土阻力），因此以单位挖掘面积的阻力来计算，称为挖掘比阻力（ $P_a$ ）。切削与挖掘比阻力系通过实验统计而得出，是分析计算的基本数据，具体数值可查阅有关资料。

确定切削阻力的作用点和大小，通常认为这个力作用在切削边缘，并将它分解为切向切削阻力  $W_1$  和法向切削阻力  $W_2$ （图 7-2 (a)），其值大小为

$$W_1 = Kbh \quad (\text{N}) \quad (7-1)$$

式中  $K$ ——切削比阻力（ $P_a$ ）；  
 $b$ ——切削宽度（ $m$ ）；  
 $h$ ——切削深度（ $m$ ）。

$$W_2 = W_1\psi \quad (\text{N}) \quad (7-2)$$

式中  $\psi$ ——系数， $\psi=f(\gamma, \varphi)$  为常数。

同样采取把挖掘状态下产生的阻力  $P_0$ ，如图 7-2 (b) 分解为：沿运动轨迹切线方向上的挖掘切向力  $P_{01}$  和沿运动轨迹法线方向上的挖掘法向力  $P_{02}$ 。其值大小确定的方法与上面相同，但要采用挖掘比阻力  $K_0$  和系数  $\psi$ 。

## 第二节 铲土运输机械

铲土运输机械是指利用刀型或斗型切削装置在走行中铲掘、切削土石方，并能把铲削的土石方运送到一定距离自行卸掉的机械。

铲土运输机械是工程机械中的一大类型，主要有推土机、装载机、铲运机、平地机等。它们能完成刮削、铲运、装卸堆积物料、平整场地、修筑边坡、露天矿场剥离等大量平面性的土石方工程作业，也是工程准备工作的主要机械。

## 一、推土机

### (一) 概述

推土机是带有推土装置的拖拉机，如图 7-3 所示。推土机的主参数是拖拉机的功率，单位是 kW (或 PS)。我国履带式推土机的产品系列规定为：100, 140, 200, 320, 420, 600PS 共六种。

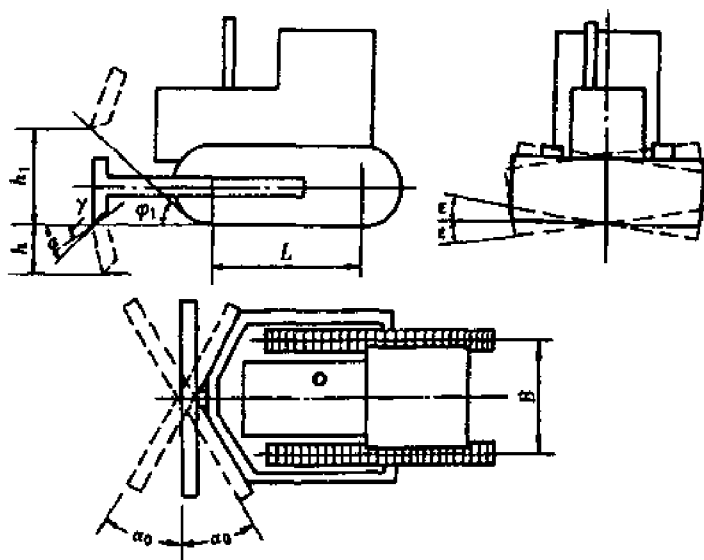


图 7-3 履带式推土机基本参数示意图

$B$ —履带中心距； $L$ —履带接地长度； $h_1$ —推土板最大提升高度； $h$ —最大切入深度； $e$ —垂直面倾斜角； $\alpha_0$ —推土板左右回转角； $\gamma$ —推土刀片铲切角； $\alpha$ —推土板后角，刀片刃刃和推土板背面凸出部分连线与水平面间的夹角； $\phi_1$ —驶入角

推土机的类型很多，按传动方式分为：机械式和液力机械式；按推力装置的型式分为：直铲倾斜式和角铲式；按推土装置的操纵方式分为：钢绳-滑轮式和液压式等。目前应用最普遍的是机械传动、液压操纵、履带式推土机。

世界上最新型的是美国 D11N 型推土机。它的特点是：动力传动系统装置在机架下部；采用三角形履带驱动装置及特殊的弹性悬挂底盘；推土板采取附加拉杆机构；松土器直接装在机架上等。这种推土机牵引力大，稳定性好，推土平稳，质量高，能破碎坚硬的地面，司机视野好。

### (二) 履带式推土机的构造

履带式推土机是由履带式工业拖拉机配置推土装置和松土器而构成。

#### 1. 履带式拖拉机

履带式拖拉机是工程机械底盘的一种重要型式。它与轮胎式相比其优点是：接地比压小，牵引性能和通过性好，可以牵引或拖曳各种土方工程机械，因此应用很广泛。

履带式拖拉机由发动机、传动系、行走系、操纵机构和动力输出装置等组成。

发动机目前都采用柴油机。

传动系如图 7-4 所示。这是一种最通用的机械式传动系统，它由主离合器 1、变速箱 2、主传动 3 和由转向机构 4、最终传动 5、驱动链轮 6 构成的驱动桥 7 等部件组成。

为了操纵或挖掘工作装置，动力输出轴 8 装置在变速箱后。新颖的动力输出，即在发动机后设置动力分动箱，工作油泵安装在动力分动箱上。

最新履带式拖拉机采用液力机械传动系统，它是用液力变矩器和动力换挡变速箱取代了主离合器和变速箱。从而改善了拖拉机的牵引性能、通过性能，提高了机械的可靠性，减轻了司机的劳动强度。

行驶系如图 7-5 所示。它包括机架、行走装置和悬架三大部分。

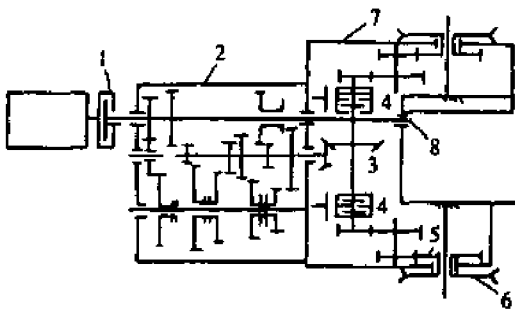


图 7-4 履带式拖拉机传动系统

1—主离合器；2—变速箱；3—主传动；4—转向机构；5—最终传动；6—驱动链轮；7—驱动桥；8—动力输出轴

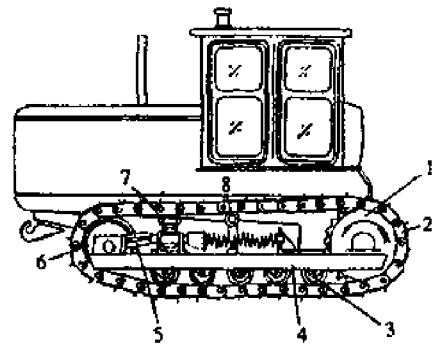


图 7-5 履带行走装置

1—驱动轮；2—履带；3—支重轮；4—台车架；5—张紧装置；6—导向轮；7—悬架的平衡装置；8—托带轮

行走装置由履带 2、驱动轮 1、支重轮 3、托带轮 8、导向轮 6 和张紧装置 5 等组成。

导向轮、张紧装置、支重轮、托带轮均安装在台车架上，驱动轮靠轴承座与台车架连接，履带包绕在上述四种轮子之外。工作时驱动轮转动，轮齿拉动履带，地面即产生反作用力，使台车架相对地面产生运动，整个拖拉机亦运行。

每台拖拉机上设有左右两个履带台车架。台加架将机身重量通过支重轮传到履带下方，使履带下方紧压在地面上。推土机工作装置与台车架连接，以传递牵引力和运动。

履带式行走装置比轮胎式行走装置的接地面大，拉地比压小；履带所支承的全机重量是附着重量；加之大多数履带支承面上制有履刺，可以深入土内，使土壤产生剪切力。因此其附着牵引性能和通过性能都比轮胎式好得多，这种性能在松软地面上尤其显著，例如使用在沼泽地带的湿地推土机和挖掘机。但是履带行走装置的结构比较复杂，重量大，运动惯性大，不像轮胎那样能缓冲减振。因此，它的速度不高，机动性差，同时在使用过程中磨损严重，维修量较大。

操纵机构包括：转向离合器和转向制动器两部分。

履带式车辆的转向是靠改变两侧驱动轮上的驱动力矩来实现的，如图 7-6 所示。

这种操纵机构在需要拖拉机向一侧转向时，减小这一侧驱动轮的驱动力矩，就可以转大弯；如果切断这侧

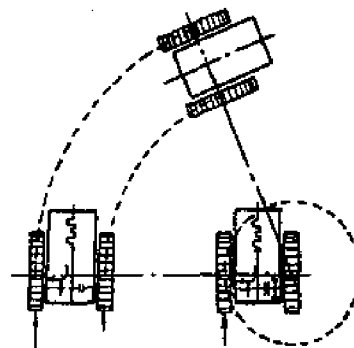


图 7-6 履带式拖拉机转向原理

驱动轮的驱动力矩，即可转小弯；切断动力后再制动驱动轮，可以转急弯。

转向机构的作用可分为两个阶段：第一阶段逐渐减小以至切断一侧驱动轮的驱动力矩，使该侧履带所产生的驱动力逐渐减小，直至降为零；第二阶段逐渐对驱动轮施加制动，直至完全刹住，使这侧履带不仅没有驱动力而且产生与拖拉机行驶相反的制动力。前者由转向离合器来完成；后者由制动器完成。

转向离合器因传递扭矩大，故目前大多采用湿式、多片、铜基粉末冶金摩擦衬面、弹簧压紧、油压分离式。

转向制动器采用带式制动器，并以转向离合器的从动鼓为制动鼓，其结构紧凑而简单。转向制动器还可以实现在纵向坡上临时停车或停放的制动装置。制动带与制动鼓之间的均匀间隙为 0.5 mm，间隙靠拉杆上的调整螺钉调整。制动踏板行程为 140 ~ 160 mm。

动力输出装置。图 7-7 为机械操纵工作装置用的 A542 型绞盘传动系统。它安装在驱动桥后桥壳上，由司机室内的操纵杠杆控制。

## 2. 推土工作装置

推土机的工作装置也称铲刀，它包括推土板、顶推架和操纵装置。

(1) 直铲倾斜式推土装置。它又称固定式推土装置，如图 7-8 所示。推土板与拖拉机纵向轴线固定为直角，当同时改变左右斜撑杆的长度就可以调整推土装置刀片与地面的夹角，即切削角。当顶推架与履带台车架球铰连接时，相反调节左右斜撑杆长度，可以改变推土板在垂直面内的倾角。一般来说，从推土装置的坚固性及经济性考虑，小型及经常重载作业的推土机宜用这种型式。

(2) 角铲式推土装置。它又称回转式推土装置，如图 7-9 所示。推土板能在水平面内回转一角度，它也能调整切削角和倾斜角。

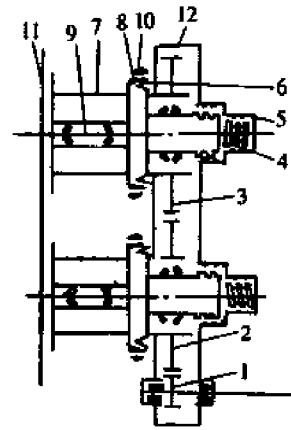


图 7-7 A542 型绞盘传动系统

- 1—主动齿轮；2、3—右、左被动齿轮；4—螺  
杆；5—螺母；6、8—主、被动锥形盘；  
7—卷筒；9—卷筒轴；10—制动带；  
11—后平板；12—绞盘壳体

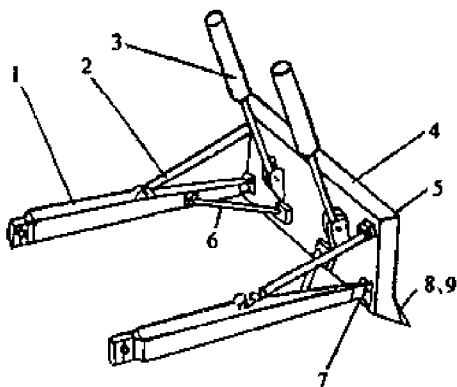


图 7-8 直铲式推土装置

- 1—顶推架；2—斜撑杆；3—升降油缸；4—推土板；  
5—球铰；6—水平撑杆；7—连接销；  
8、9—刀片

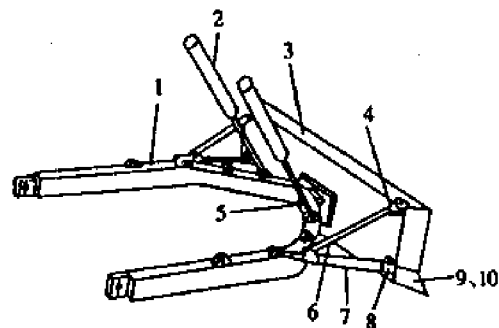


图 7-9 角铲式推土装置

- 1—顶推门架；2—升降油缸；3—推土板；4、8—万向节  
联接；5—销联接；6—支杆；7—斜撑杆；  
9—刀片；10—两侧刀片



角铲式推土装置的推土板比直铲倾斜式推土板低而宽，左右侧板的前缘和刀面平切，刀面曲率半径较小。另外要满足推土板在水平和垂直平面内的安装角度，在推土板与顶推门架的连接处采用中央环铰，与撑杆的连接处采用球铰。角铲式推土装置的顶推架采用门形，在顶推门架的左右两侧各有三个耳座，推土板的斜撑杆安装于相应的耳座时，推土板呈直铲或侧铲形式，回转角通常为  $20^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 。

角铲式推土装置的推土机作业范围较广，侧铲可向一侧排土，适宜平地作业及横坡推土。另外它较易改装为除荆机、除根机等。

### 3. 松土器

推土机的后部往往都悬挂松土器，以提高推土机的利用率，扩大使用范围。如图 7-10 所示，松土器由横梁 3、齿杆 4、齿尖镶块 5、升降油缸 2 和铰座 1 等组成。

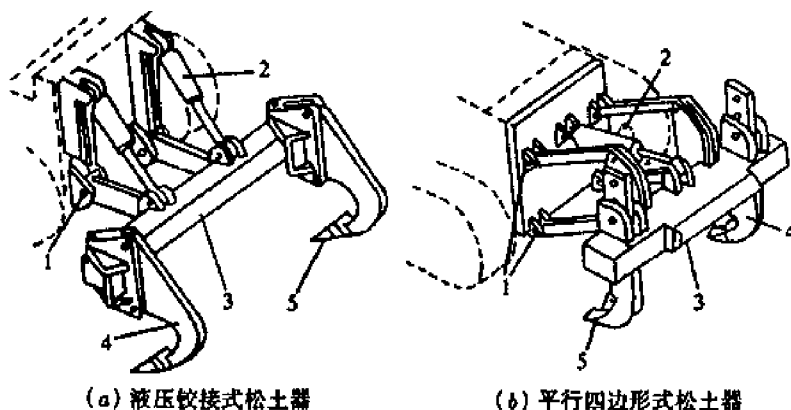


图 7-10 松土器

1—铰座；2—油缸；3—横梁；4—齿杆；5—齿尖镶块

松土器专门用来疏松坚硬的土、破碎需要翻修的路面、软岩层等。用松土器作业比钻孔爆破效率高、成本低且安全，目前超重型松土器可以松动中等硬度的岩石。松土器与推土机配合作业，对硬土层的剥离以及破冻土最为适合。松土器一般能凿裂软岩和翻松土层的厚度为  $0.5 \sim 1 \text{ m}$ 。

### 4. 液压操纵系统

液压操纵式推土机切土力强，作业性能好，尤其在平地作业时质量较高。液压操纵机构具有摩擦件少、结构紧凑、操纵轻便、重量轻等优点。图 7-11 为典型的液压系统。

液压操纵系统由油泵、工作油缸、操纵阀、安全阀、过载阀、补油阀及辅助元件等组成。

该系统采用开式、并联回路。推土装置升降油缸布置在离油泵最近的位置。高压油经四位六通换向阀 3 控制推土板的升降动作。该阀设有推土板的浮动装置  $D$ ，此时推土板以自重压在地面上并随作业地面的高低而浮动。三位六通换向阀 4 和 5 分别控制松土器的升降以及调节推土板的侧面倾斜角度。

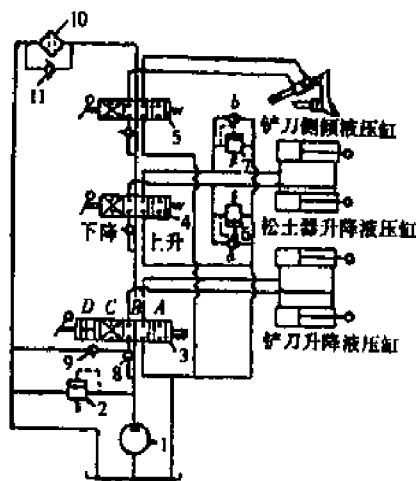


图 7-11 推土机液压操纵系统

1—液压泵；2—安全阀；3—四位六通换向阀；  
4、5—三位六通换向阀；6、7—双作用安全阀；  
8、9、11—单向阀；10—滤油器

安全阀 2 能限制油泵 1 的最高工作压力，起安全保护作用。

单向阀 8 用来防止当油泵停止工作时，液压系统中的油液倒流和进入空气，它也用来防止操纵阀在转换工作位置过程中，由于推土板自重而下降。

双作用安全阀 6、7 是由过载阀与单向补油阀组成，它接在松土器油缸的油路中。当松土作业时，换向阀 4 处于中间位置，松土器油缸呈封闭状态。如果松土耙齿碰到障碍物，受到突然载荷时，迫使耙齿向下，活塞杆有被拉出的趋向。此时油缸小腔油液被压缩，压力剧增，当达到过载阀的调定压力时，过载阀开启，油液流入液压油缸大腔。由于活塞杆被拉出，油缸大腔容积增大，形成局部真空，从而通过单向阀向油缸大腔补油；反之亦然。

当推土板下降时，因自重影响使油缸大腔形成局部真空，这时单向补油阀 9 可向油缸大腔补油。

为保持液压油的清洁，设置滤油器 10。单向阀 11 是保护滤油器的，当滤油器阻力超过 0.12 MPa 时打开，油液流回油箱。

### (三) 推土机的运用和生产率的计算

#### 1. 作业过程

推土机铲运土方作业过程如下：

(1) 切土过程。在推土机前进的同时推土板放下切入土中，从地表切削的土屑聚集在推土板前。此时通常采用 I 档行驶速度，其行程为 6~10 m。

(2) 运土过程。铲土过程结束后，推土板在运行中提升到地面高度，将土推运送到卸土地点。此时可采用 II~III 档的行驶速度，液压操纵系统的换向阀处于浮动位置。一般运距在 100 m 以内。

(3) 卸土过程。卸土方法有两种：一种是弃土法，即推土机将土运至卸土处，将推土板提升后返回，卸掉的土壤无一定的堆放要求；另一种是按施工要求分层铺卸土壤，此时推土机将土运至卸土地点后，将推土板提升一定高度，推土机继续前进，土壤即从推土板下方卸掉，然后将推土板略提高一些返回。

(4) 返回过程。推土机由卸土地点以最高的速度返回铲土地点。为了缩短空行程时间，在 30~50 m 的运距内，应以最高的倒档速度退回。

#### 2. 选择作用

履带式推土机能对土壤、石碴、带卵石的混合土进行推运作业；也可以在条件较差的地段和沼泽地进行作业；对 IV 级以下土壤可直接进行推运作业，而在 IV 级以上土壤和冻土作业时，必须预松。

推土机的作业方法如下：

(1) 直铲作业法。它是推土机的主要作业方法，能对土壤、石碴进行推运和场地的平整。

经济运距：小型履带式推土机为 50 m 以内；中型履带式推土机为 50~100 m，也可达 120 m；大型履带式推土机为 50~100 m，也可达 150 m；轮式推土机为 50~80 m，也可达 150 m。在经济运距内比铲运机有更高的生产率。

(2) 斜铲作业法。它用于填土、铲土、单侧弃土或落方推运。此时推土板水平回转（左、右极限转角 25°）。运距宜短，生产效率低。

(3) 侧铲作业法。对坡度不大的切削硬土、掘沟作业，推土板可以在垂直平面内转动 9° 作业。工作场地纵向坡度不大于 30°，横向坡度不大于 25° 为宜。

(4) 松土器的劈松作业。松土器用于劈开表层硬土和冻土层,也可以劈松风化、有裂缝或节理发达的岩石,其适用条件可见表 7-1。

表 7-1 小松公司几种履带式推土机松土器的适用条件

履带式推土机			岩石物理性质		
型号	功率(kW)	松土器型式	抗压强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	脆硬度
D455A-1	463	单齿	<140	<16	<90
D355A-3	306	单齿	<120	<14	<80
D150A-1, D155A-1	224, 239	单齿	<100	<12	<70
D80A-18, D85A-18	164	单齿	<90	<10	<60

近年来由于超重型松土机的出现,可对中等硬度的岩石进行耙松,从而免去钻眼爆破法带来的危险性作业,同时也大大提高了作业的经济效益。

国产推土机的应用见表 7-2。

表 7-2 国产推土机的应用条件

类别	型号	功率(kW)	结构重量(kg)	推土装置			松土器		经济运距(m)	接地比压( $\times 10^4$ Pa)	最大牵引力(kN)	
				推土板(长 $\times$ 高)(mm)	安装方式	操纵方式	切土深度(mm)	型式				松土深度(mm)
履带式推土机	T2-60(东方红60)	56	5900	2280 $\times$ 788	固定式	液压	290			$\leq 50$	36(额定)	
	移山-80	67	14900	3100 $\times$ 1100 3720 $\times$ 1040	固定式 回转式	机械				50~100	6.9	99
	T <sub>1</sub> -80			3030 $\times$ 1100	固定式	机械	180			50~100		
	T <sub>1</sub> -100(T <sub>3</sub> -100)	67	13400	3030 $\times$ 1100	回转式	机械	180			50~100		90(额定)
	T <sub>2</sub> -100(DY <sub>2</sub> -100)	67	16000	3800 $\times$ 860	回转式	液压	650	4~5齿	550	50~100	6.8	90(额定)
	T <sub>2</sub> -100	104	16900	3910 $\times$ 1000	回转式	液压	300			50~100	6.29	117
	T <sub>2</sub> -120(上海120)	90	16200	3760 $\times$ 1000	回转式	液压	300			50~100	6.5	118
	TY-180(T180)	134	21800	4200 $\times$ 1100	回转式	液压	530	3齿式	620	50~100	8.05	187
	TY-240	180	36500	4200 $\times$ 1600	回转式	液压	600				50~100	
	TY-320	239	37000	4200 $\times$ 1600	回转式	液压	609	多齿式	1100	50~100	9.8	320 350
湿地推土机	TS-120	90	16900	4000 $\times$ 960	回转式	液压	400				2.8	112
轮式推土机	TL-160	110	12800	3190 $\times$ 998	回转式	液压	400			50~80		85
水陆两用推土机		90	14000	4000 $\times$ 950						作业水深 3m	陆地0.2, 水下0.15	

### 3. 生产率的计算

推土机在推土时的生产率与土壤性质、运输距离和推土装置的技术参数有关，一般按下式计算

$$Q = \frac{3600VK_h K_l K_p}{T} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (7-3)$$

式中  $V$ ——推土板一次推动土壤的体积，其最大值按图 7-12 的体积计算。

$$V = \frac{B(H-h_p)^2 K_z}{2 \tan \varphi K_s} \quad (\text{m}^3) \quad (7-4)$$

式中  $B$ 、 $H$ 、 $h_p$ ——见图 7-12 所示，单位 (m)；  
 $\varphi$ ——土壤自然坡角；  
 $K_s$ ——土壤松散系数，可取 1.08 ~ 1.50；  
 $K_z$ ——土壤充盈系数，可取 0.5 ~ 1.2；  
 $K_h$ ——时间利用系数，一般取 0.85 ~ 0.90；  
 $K_l$ ——土壤漏损系数，取决于运土距离；  
 $K_p$ ——坡度作业影响系数，可按表 7-3 选取；  
 $T$ ——一个作业循环的时间 (s)。

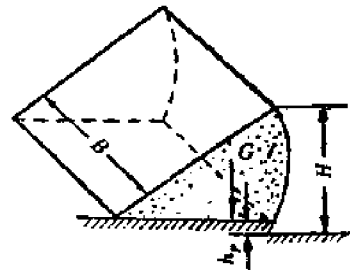


图 7-12 推土板前积土体积计算简图

表 7-3 坡度影响系数

坡度 (%)	上坡			下坡			
	0~5	5~10	10~15	0~5	5~10	10~15	15~20
$K_p$	1.0~0.67	0.67~0.5	0.5~0.4	1.0~1.33	1.33~1.94	1.94~2.25	2.25~2.68

作业循环时间  $T$  与施工现场条件、推土机性能以及驾驶员的操纵技术等多方因素有关。  
 $T$  按下式计算

$$T = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2} + \frac{s_1 + s_2}{v_3} + 2t_5 + t_6 \quad (\text{s})$$

式中  $s_1$ ——切土距离，一般为 6 ~ 10 m；  
 $s_2$ ——运土距离 (m)；  
 $t_5$ ——推土机转弯调头时间，可取  $t = 10$  s；  
 $t_6$ ——换档时间，人力换档  $t = 4 \sim 5$  s，动力换档  $t$  可不计；  
 $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ ——切土、运土和返回速度 (m/s)。

为了提高推土机的生产率可以采用以下措施：

- (1) 下坡推土。这不仅可以缩短切土时间，而且对于每次推运的土方量也有所增加。
- (2) 槽式推土法。利用推土机连续多次在同一处切土推运形成的浅槽，在槽内推运可以减少漏失。
- (3) 采用分段运送法。当推运距离较长时，将运距分为二段或三段，开始将土推送到一半或三分之一的地方，中间转运段应积蓄 100 ~ 200 m<sup>3</sup> 的土，然后接着推运。用这种方法可以减少漏损，生产率可提高 5% ~ 10%。

(4) 采用推土机串联或并联作业法。例如两台推土机并联，它们的间距在 I、II 类土中

保持在 0.25 ~ 0.3 m, 在Ⅲ类土中保持在 0.5 m, 则漏损量减少, 作业生产率会提高 10% ~ 15%。

## 二、铲运机

### (一) 概述

铲运机是一种能够独立完成铲土、运土、卸土, 填筑土方工程的机械。它具有较高的效率和经济性。例如一台斗容 10 m<sup>3</sup>, 自重为 15 t 的铲运机 (需一名司机操纵) 所完成的工作量等于一台斗容量为 1 m<sup>3</sup>, 自重为 40 t 的单斗挖掘机, 再配 4 台载重量为 10 t、自重为 8 t 的自卸汽车 (需要 6 名司机操纵) 所完成的工作量。

铲运机广泛用于开挖路堑、填筑路堤和堤坝、大面积的场地平整、露天矿的剥离等工程中。铲运机一般适于开挖较松软土壤, 在硬土上作业时预先疏松。拖式铲运机适宜的运距为 80 ~ 1 500 m, 自行式铲运机适宜的运距为 800 ~ 5 000 m。

铲运机的主参数是铲斗的几何容积, 单位是 m<sup>3</sup>; 基本参数有发动机功率, 铲运机重量等。

铲运机的种类很多, 其分类如下:

按斗容量分为: 小型 3 m<sup>3</sup> 以下, 中型 4 ~ 14 m<sup>3</sup>, 大型 15 ~ 25 m<sup>3</sup> 或更大;

按卸土方式分为: 强制式、半强制式和自由卸土式三种;

按工作装置操纵方式分为: 钢丝绳式或液压式两种;

按行走机构分为: 拖式和自行式;

按铲斗装载方式分为: 普通装载式和链板升运装载式。

美国是最早使用铲运机的国家, 目前每年由铲运机完成的土方量约占总土方工程的 40% 左右; 美国也是自行式铲运机最多、技术最先进的国家。现代铲运机的发展趋势主要是向大型化发展, 例如轮式铲运机斗容量增加到 25 ~ 40 m<sup>3</sup>, 牵引车发动机功率提高到 735 ~ 880 kW, 车速可达到 50 ~ 70 km/h; 为提高自行式铲运机的牵引性能, 出现了双发动机铲运机、链板装载式铲运机; 为提高运行速度安装有缓冲装置; 为提高铲运机的铲装效率、铲斗充满程度和缩短装斗时间增大了铲斗容量, 改进了铲斗结构和刀片型式。

### (二) 自行式铲运机的构造

图 7-13 为我国生产的 CL7 型自行式铲运机。它的斗容量为 7 m<sup>3</sup>, 液压操纵、强制卸土、普通装载的自行式铲运机。它由单轴牵引车 8、转向枢架和铲运斗 6 三大部分组成。

#### 1. 单轴牵引车

单轴牵引车是自行式铲运机的动力牵引部分。其上由发动机、传动系、转向系、制动系、轮胎行走装置、车架、驾驶室及操纵控制系统等组成。

图 7-14 为单轴牵引车的传动系统, 它采用液力机械式传动。其传动路线是:

发动机 5 → 功率输出轴 6 → 前传动轴 8 → 液力变矩器 2 → 行星动力换档变速箱 3 → 加力箱 4 → 后传动轴 12 → 主传动 11 → 差速器 10 → 轮边减速器 9 → 车轮。

#### 2. 转向枢架

转向枢架是单轴牵引车与铲运斗之间的牵引连接和实现铲运机转向的部件。转向枢架通过一对垂直轴与铲运斗的辘架铰接起来。它在两个转向油缸和转向连杆机构的作用下, 可以使牵引车相对于铲运斗向左右各转 90°; 转向枢架还用一根纵向水平轴和牵引车底架铰接,

这使得牵引车可绕水平铰轴线相对于铲运斗左右摆动  $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，以保证铲运机在不平的地面上四轮同时着地。

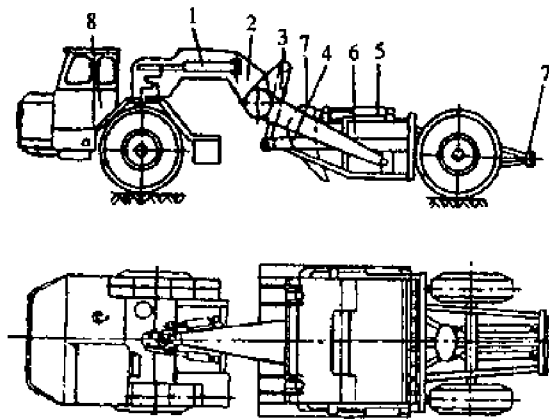


图 7-13 CL7 型自行式铲运机

- 1—转向液压缸；2—轱架；3—提斗液压缸；  
4—梁；5—斗门液压缸；6—铲运斗；  
7—顶推架；8—单轴牵引车

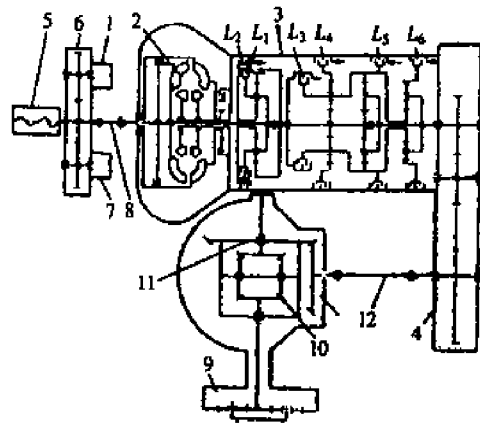


图 7-14 单轴牵引车的传动系统

- 1—工作油泵；2—液压变矩器；3—行星动力换挡变速箱；  
4—加力箱；5—发动机；6—功率输出箱；7—转向  
油泵；8—前传动轴；9—轮边减速器；10—差  
速器；11—主传动；12—后传动轴

### 3. 铲运斗

铲运斗是铲运机的工作装置，它由轱架、铲斗体、斗门、卸土板、尾架、后轮和液压系统等组成（参看图 7-13）。

轱架是转向枢架与铲斗体间的连接构件，它将牵引车的牵引力传给铲斗。轱架由拱架、横梁、左右大臂焊接起来，其上有固定转向油缸和铲斗升降油缸的支座。

铲斗体做成矮宽型以减少铲装阻力。铲斗体由斗底、侧壁和横梁等组焊而成。斗底前缘用螺栓固定有四块呈阶梯形的刀片，侧壁下缘有侧刀片，利用这些刀片对土进行分层切削。铲斗体前面装有斗门，斗门在斗门油缸的作用下可以启闭，开启时应有一定高度以保证斗门下缘与刀片之间有  $0.5 \sim 0.7 \text{ m}$  的间隙。铲运斗的后壁为一块可沿铲斗体侧壁导轨移动的卸土板，在卸土油缸的作用下推出卸土板可将装在斗内的物料强制推卸掉。

尾架是一个组焊在铲斗体后面具有足够强度的刚架。其上装有可沿导槽滑动的卸土板及卸土油缸和后轮装置。尾架后端可承受助推机所传递的顶推力。

自行式铲运机工作装置液压操纵系统如图 7-15 所示。它由齿轮油泵、多路换向阀、铲斗升降油缸、斗门启闭油缸、卸土板进退油缸及液压辅助元件等组成。多路换向阀内设有三组三位六通换向阀、单向阀和溢流阀。

液压操纵的铲运机不仅操纵轻便灵活，结构简单，而且能使刀片强制切土，应用广泛。

### 4. 转向系统

自行式铲运机一般都采用铰接车架式转向系统，即在转向时牵引车通过转向枢架相对于铲运斗向左或右转动  $90^{\circ}$ 。这种转向可得到较小的转向幅（转弯半径），便于机器在狭窄的路堤上调头。

CL7 型自行式铲运机的转向系统如图 7-16 所示。它由转向架、转向液压系统和转向连杆机构等组成。两个转向液压油缸与转向连杆机构分别与铲运斗的拱架、转向枢架铰接起来（参看图 7-13）。

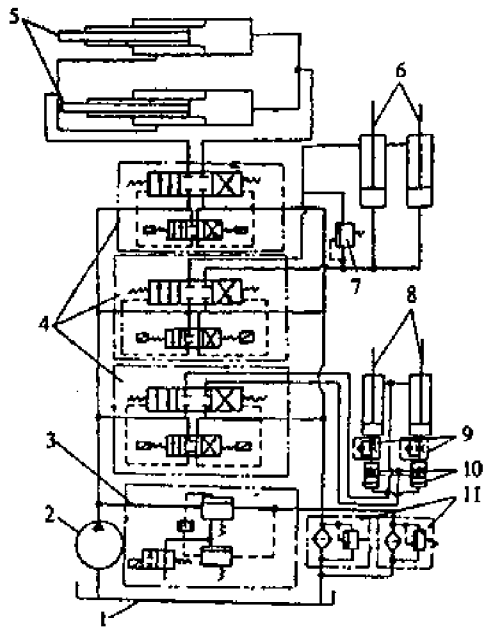


图 7-15 铲运机工作装置液压系统

- 1—油箱；2—液压泵；3—溢流阀；4—三位六通换向阀；  
5—卸土板进退油缸；6—斗门启闭油缸；7—溢流阀；8—铲斗升降油缸；9—节流阀；  
10—液压锁；11—滤油器

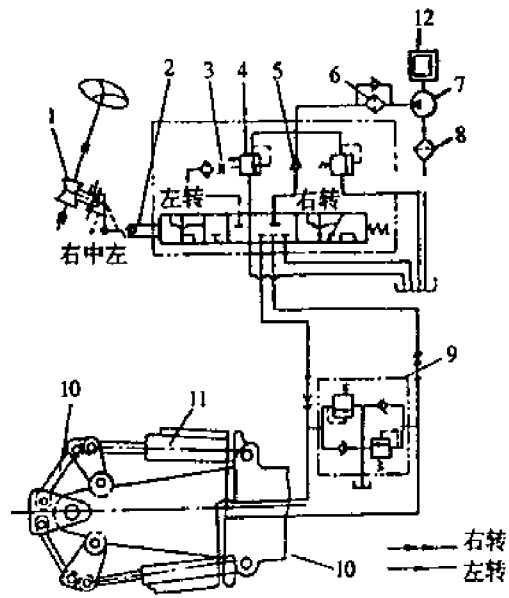


图 7-16 CL7 型自行式铲运机转向系统

- 1—转向器；2—转向阀；3—节流孔板；4—安全阀；  
5—单向阀；6—精滤油器；7—齿轮泵；8—粗滤油器；9—双作用安全阀；10—转向连杆机构；  
11—转向液压缸；12—柴油机

转向时，转动方向盘在转向器的作用下打开转向阀，使得由转向油泵来的压力油经双作用安全阀分别进入两个转向油缸的大、小腔内。这时，一边油缸产生推力，另一边油缸产生拉力。这两个力通过连杆机构传递到转向枢架上，对转向枢架的垂直轴形成一个转向力矩，由于铲运斗所承受的稳定性力矩较大，因此迫使转向枢架绕垂直轴相对于铲运斗转动，从而带动牵引车转动，实现了铲运机的转向。

### (三) 作业过程及生产率的计算

#### 1. 作业过程

铲运机适于在大中型土方工程中机群作业。在施工中应合理地选择机型，配备助铲机或推土机，选择运行路线，采用有效的施工方法。

铲运机的作业过程由铲土、运土、卸土和返回过程组成，如图 7-17 所示。

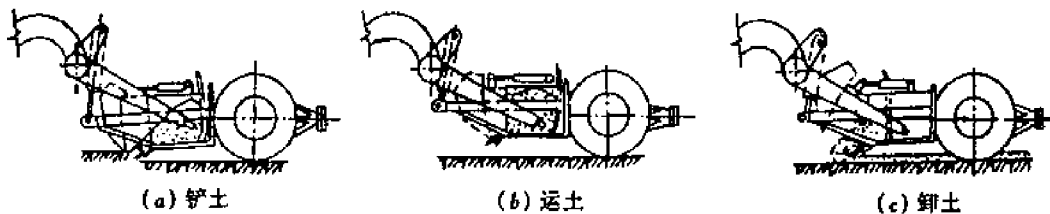


图 7-17 铲运机的工作过程

(1) 铲土过程。铲土时卸土板在铲斗体的最后位置，牵引车挂一档，全开斗门，随着装土阻力的增加逐渐加大油门。铲土时，铲运机应保持直线行驶，并应始终保持助铲机的推力与铲运机行驶的方向一致。应尽量避免转弯铲土或在大坡度上横向铲土。

在铲土过程中，铲斗装填过程与土壤性质有关，如图 7-18 所示。以粘性土壤为例，在铲斗开始装土阶段，所切下土屑沿斗底向后移动，逐渐形成区域 I；当铲斗后部装满到一定程度，即  $\alpha$  角达到  $75^\circ \sim 80^\circ$  时，由于滑移阻力增大，所切下土屑进入铲斗后开始向前移动，装入铲斗前部，逐渐形成区域 II；最后进入铲斗的土屑，不断顶开位于区域 I 与 II 之间的土形成一条通道像喷泉一样装满铲斗的上部，形成区域 III。因此，斗门开度大小对装满程度和装土时间有很大影响。

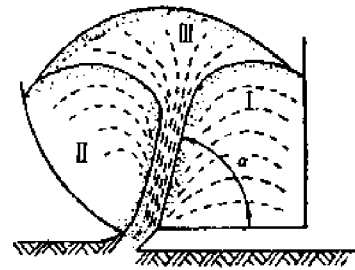


图 7-18 铲土时铲斗装填过程

一般斗门开度在铲装开始时开度最大，中间阶段关闭小些，以便于被切土屑挤入铲斗，装土最后阶段斗门开度应稍大些，使斗内堆土上升。当堆土挤满铲斗时，即可关闭斗门，提升铲斗进入运输状态。

(2) 运土过程。铲斗装满土后运往卸土地点，此时应尽量降低车辆重心，增加行驶的平稳性和安全性。一般不宜把铲斗提得过高。运输时应根据道路情况尽可能选择适当的车速。

(3) 卸土过程。铲运机运输到卸载地点后，卸土时应将斗门开启，卸土板前移将铲斗内土壤卸出。如果需要分层铺筑路基时，则应先将铲斗下降到所需铺填高度，选择适当车速（I 档或 II 档），打开斗门，卸土板将土推出。此时，卸土板前移速度应与车辆前进速度相配合，从而使土壤连续卸出。

(4) 返回过程。卸土完毕后，提升铲斗，卸土板复位，并根据路面情况尽量选择高档车速返回到铲土作业区段。为了减少辅助时间，铲运斗各机构的操纵可在回程中进行。

铲运机作业时，满载重量较大，运输时必然对土壤产生压实作用，因此合理地选择施工路线可以得到满意的压实效果。

## 2. 选择运用

铲运机适用于对 I ~ IV 级土壤作铲运作业。并要求作业区没有树根、树桩、大的石块和过多的杂草。在对 III 级以上土壤和冻土作业时必须预松。

(1) 作业方式的选用。铲运机的工作效率决定于每一工作循环所需要的时间，其影响因素很多，其中作业方式的研究，主要是尽量减少运土和回程的时间。也就是说，作业时选择铲土和卸土之间距离最短，花费时间要少。

例如，在修筑路堤（从土坑取土）或是开挖路堑（土弃到土堆中）以及平整场地时，大多用环形（如图 7-19 (a)）路线；当挖填的深度较大（大于 1.5 m）时，可采用“8”字形或“之”字形路线（如图 7-19 (b、c)）；如果在移挖作填的纵向运土时，多采用沿中心线平行的方法（如图 7-19 (d)）或挖、填顺次交错的路线（如图 7-19 (e)）作业。

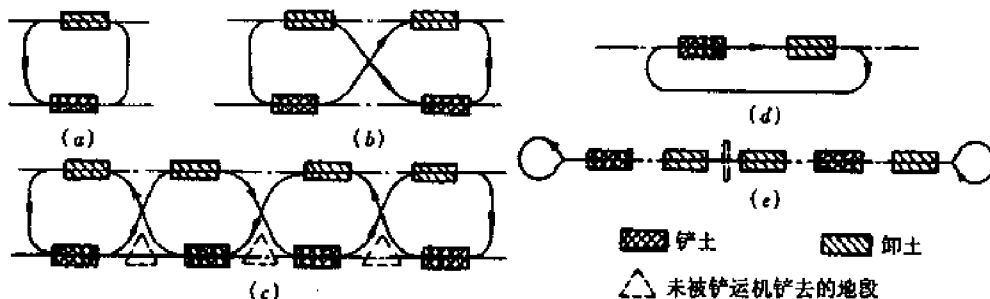


图 7-19 铲运机作业运行路线



(2) 铲运机的选用原则。选用铲运机主要是根据使用条件：土壤性质、运距、行驶道路、坡度和施工场地情况等等。

① 普通铲运机，适合对含水量不大的轻级或中级土壤作业（含水量在 25% 以下）。当铲装过湿和粘性很大的土壤时，装和卸都很困难；当装干散砂土又不易装满铲斗时，最好不用铲运机。

② 链板装斗式铲运机，适用于较难铲装的土壤，如砂、砂砾石和级配均匀有小石碴的土壤。但不能用在鹅卵石、石碴和潮湿粘土的地段作业。

③ 推土机助铲，用普通铲运机在未轻预松的密实土壤中作业时，或牵引功率不足时，用推土机或助铲机进行助铲。一台推土机或助铲机可循环对多台铲运机助铲。这样能使铲斗装得满，提高了铲斗装满系数；能减小铲土距离，缩短工作循环的延续时间；节省油料，提高生产效率。

④ 铲运机的推挽作业，两台以上全驱动的铲运机作业时，可省去推土机或助铲机，节省设备、油料和人力。

作业时两台机械通过推挽机构连接（每台机械前都设有液压推挽机构），前面一台铲装时后面那台助推，前面一台装满后拖拉后面那台进行铲装。两台都装满后推挽机构脱开各自分别运土。

(3) 铲运机的经济运距。铲运机适用于中等运距（100 ~ 2 000 m）、坡度不大和大土方量转移的工程中。各种铲运机的运用范围及使用条件见表 7-4 和表 7-5。

表 7-4 各种铲运机的适用范围

类别			堆装斗容 (m <sup>3</sup> )		经济运距 (m)		道路坡度 (%)
			一般	最大	一般	最佳	
拖式铲运机			2.5 ~ 18	24	100 ~ 500	100 ~ 300	15 ~ 25
自行式铲运机	单发动机	普通装载式	10 ~ 30	50	200 ~ 2 000	200 ~ 1 500	5 ~ 8
		链板装载式	10 ~ 30	35	200 ~ 1 000	200 ~ 600	5 ~ 8
	双发动机	普通装载式	10 ~ 30	50	200 ~ 2 000	200 ~ 1 500	10 ~ 15
		链板装载式	9.5 ~ 16	34	200 ~ 1 000	200 ~ 600	10 ~ 15
	履带式铲运推土机		6		100 ~ 300		15 ~ 25

表 7-5 几种国产铲运机的使用条件

型号	斗容量 (m <sup>3</sup> )	牵引方式及功率 (kW)	操纵方式	卸土方式	切土深度 (mm)	卸土深度 (mm)	最大运距 (m)	经济运距 (m)
拖式铲运机	C <sub>3</sub> 6A	6 ~ 8	履带式拖拉机 58 ~ 74	机械式	强制式	300	380	100 ~ 500
	C <sub>4</sub> 2.5	2.5	履带式拖拉机 40 ~ 55	液压式	自卸式	150		300
自行式铲运式	CL7	7 ~ 9	单轴轮胎牵引车 118	液压式	强制式	300	400	800 ~ 3 500
		6 ~ 8	单轴轮胎牵引车 58	机械式	强制式	300	380	500 ~ 3 500

### 3. 生产率的计算

铲运机的运用生产率为

$$Q = \frac{3600 V_c K_m K_h K_s}{K_s T} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (7-5)$$

式中  $V_c$ ——铲斗几何斗容量 ( $\text{m}^3$ );  
 $K_m$ ——铲斗装满系数, 一般  $K_m = 0.6 \sim 1.25$ ;  
 $K_h$ ——时间利用系数,  $K_h = 0.85 \sim 0.90$ ;  
 $K_s$ ——土壤松散系数,  $K_s = 1.1 \sim 1.4$ ;  
 $T$ ——铲运机一个工作循环的延续时间 (s)。

工作循环延续时间可用下式计算

$$T = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} + \frac{l_3}{v_3} + \frac{l_4}{v_4} + t_5 + t_6 + 2t_7 \quad (\text{s}) \quad (7-6)$$

式中  $l_1, l_2, l_3, l_4$ ——铲土、运土、卸土、返程的距离 (m);  
 $v_1, v_2, v_3, v_4$ ——铲土、运土、卸土、返程时车辆的平均运行速度 (m/s);  
 $t_5$ ——等待助铲时间,  $t_5 = 10 \sim 30 \text{ s}$ ;  
 $t_6$ ——换档所需时间,  $t_6 = 6 \sim 10 \text{ s}$ ;  
 $t_7$ ——铲运机转向所需时间,  $t_7 = 15 \sim 20 \text{ s}$ 。

为了提高铲运机的生产率可以采取如下措施:

- (1) 铲土前应清除树根、石块等杂物, 对坚硬土质进行疏松 (Ⅲ级以上土壤);
- (2) 掌握发动机的运转规律, 充分利用发动机的能力, 提高铲土效率;
- (3) 充分利用重力、惯性力或助铲机械的助推力, 增加牵引能力, 以提高铲土效率;
- (4) 压缩运土、回程和卸土时间, 使铲运机行走路线短, 周期循环时间短, 效率达到最高。

## 三、装载机

### (一) 概述

装载机是在轮式或履带式底盘上装有带铲斗工作装置的机械。20 世纪 60 年代以前的装载机, 其功率和结构强度均不大, 主要用于装载和搬运松散物料。近些年来的装载机无论在结构、传动、材料和轮胎等方面都有了改进和提高, 许多轮式装载机已能用于露天矿、采石场和隧道等工程中。装载机不仅可进行土方工程作业, 而且更换工作装置后可以成为起重机或叉车等机械, 同时还可以作牵引车用, 是一种适应性较强的一机多用的工程机械, 如图 7-20 所示。

装载机的主参数是额定装载重量。我国已经制定了轮胎式装载机产品系列和基本技术参数的标准。

装载机按行走装置分为轮胎式和履式两类; 按车架结构的不同分为整体式和铰接式; 按工作装置结构的不同分为有铲斗托架式和无铲斗托架式。此外, 按卸载方式, 又可分为前卸式、后卸式、侧卸式和回转式四种。最普通的是轮胎、铰接、无铲斗托架、反转六连杆机构、前卸式单斗装载机, 如 ZL50 型。

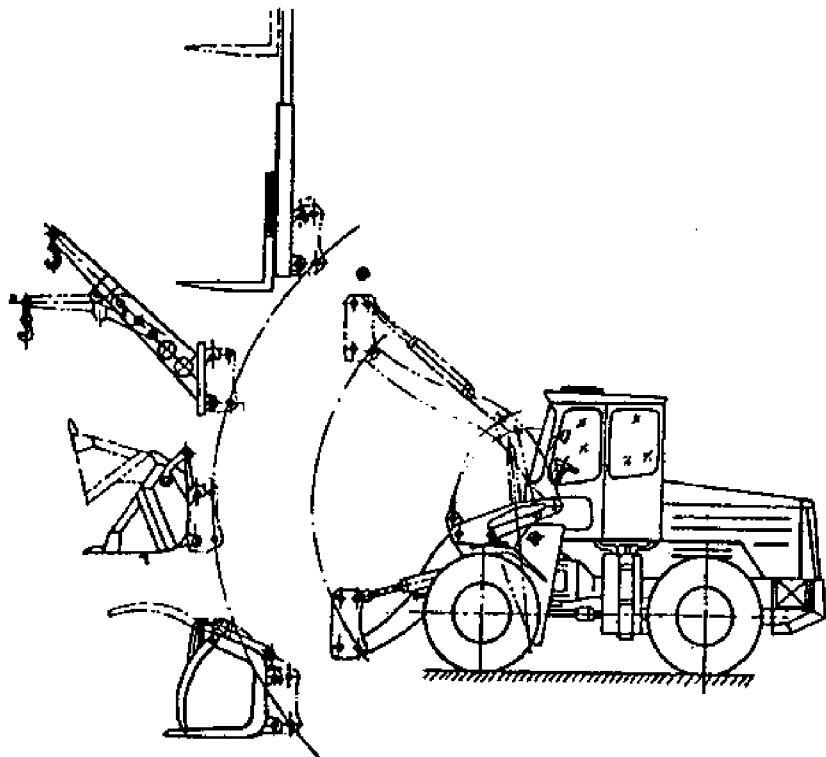


图 7-20 装载机可更换工作装置

## (二) 装载机的工作装置

### 1. 基本构造

ZL50 型单斗装载机的工作装置主要由铲斗 1、动臂 2、连杆 3、摇臂 4、铲斗油缸 5、动臂油缸 6 等连杆机构组成，如图 7-21 所示。

ZL50 型装载机工作装置属于无铲斗托架反转连杆机构。它在装载机工作时实现：当动臂处于某种作业位置不动时，在铲斗油缸作用下，连杆机构可使铲斗绕其铰点转动；当铲斗油缸闭锁时，动臂在动臂油缸作用下提升或下降铲斗过程中，连杆机构能使铲斗保持平移或斗底平面与地面的夹角变化控制在很小的范围内，以免装满物料的铲斗由于铲斗倾斜而撒落；当动臂下降时，能将铲斗放平在地面上。

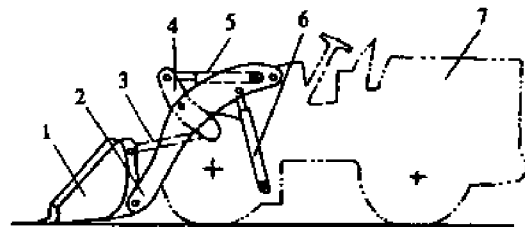


图 7-21 ZL50 型装载机的工作装置

1—铲斗；2—动臂；3—连杆；4—摇臂；5—铲斗油缸；  
6—动臂油缸；7—轮式基础车

铲斗是工作装置铲装物料的工具，它是一个较复杂的焊接件。在铲斗的切削边上焊有主刀板和侧刀板，为了减小铲掘阻力和延长主刀板的寿命，在主刀板上装有楔形斗齿，斗齿与主刀板之间用螺钉联接，磨损后应随时更换。

铲斗应根据铲装的物料来选择，标准铲斗通常用来铲装砂、土之类松散材料。此外还有适用于铲装岩石的岩石铲头、装载疏松物料的加大型铲斗、隧道中铲装岩石的侧卸铲斗等。

### 2. 液压操纵系统

ZL50 型装载机工作装置的液压系统如图 7-22 所示。它是一个开式串联的液压系统。它

的动力元件是压力为 15 MPa、流量为 320 L/min 的 CB-G 型齿轮泵 1，执行元件是一对铲斗油缸 7 和一对动臂油缸 6，控制元件有操纵铲斗油缸的方向阀 4（三位六通阀）、操纵动臂油缸的方向阀 5（四位六通阀）、安全阀 2、双作用安全阀 3，辅助元件有滤油器和油箱等。

该液压系统特点是保证铲斗有前倾、保持与后倾三个动作及动臂的上升、保持、下降和浮动四个动作。这种回路当铲斗翻转时，铲斗回路中的油液不能流向提升回路，而直接流向油箱，所以不能提升动臂，同样提升动臂时也不能转铲斗。因此铲斗与动臂不能进行复合动作，这样铲斗和动臂油缸的推力较大，以利进行铲掘作业。并联在铲斗油缸油路上的两个双作用安全阀 3，是由安全阀和单向阀组成，它的作用是在动臂升降过程中，使转斗油缸自动进行少量的泄油和补油。从而避免连杆机构运动不协调而出现的“爬行”现象。

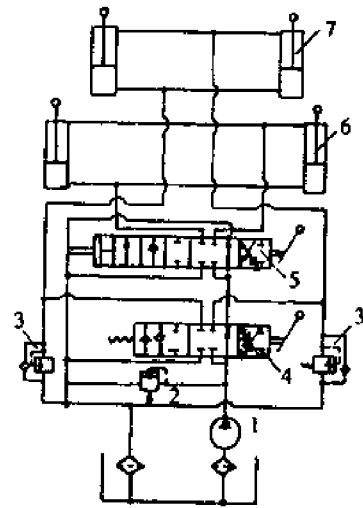


图 7-22 ZL50 型装载机工作装置液压系统  
1—齿轮泵；2—安全阀；3—双作用安全阀；4—铲斗方向控制阀；5—动臂方向控制阀；6—动臂油缸；7—铲斗油缸

### （三）作业方法及生产率

#### 1. 作业方法

装载机的用途十分广泛，采用铲斗可以完成装卸作业、铲运作业、推运作业、刮平作业及牵引作业。现仅以装卸作业来说明其作业过程，装卸作业的循环过程是：铲装→运送→装车（或卸载）→返回，如图 7-23 所示。

（1）铲装过程。装载机铲装物料一般有两种方法：一次插入铲装法和边插入边提斗铲装法（又称复合铲装法）。一次插入铲装法：首先将铲斗放置到与地面接触的水平位置，机械以 I 档速度前进，使铲斗插入料堆一定深度，然后转斗并将满载的铲斗提升到运输装置；边插入边提升铲装法：利用多次边插入边提斗的复合动作来完成装满物料的。复合铲装法可以缩短作业循环时间，因此采用较多。

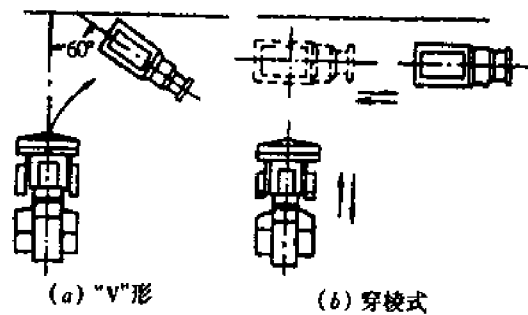


图 7-23 装载机装卸作业方式

（2）运送。装载机铲装完毕后即满斗后，退离开料堆，然后再向运输工具方向前进并开始举升铲斗。

（3）装车卸载。装载机向自卸汽车内装载时，动臂将铲斗举升到卸料位置，即铲斗前翻时不能碰到车厢的侧边，然后前倾翻卸载。

装载机装车时与自卸汽车的配合方式对作业循环时间的长短有很大影响。装载机装车时工地的布置，随装载机的型式、场地的宽窄和地面路面状况而定，一般原则是尽量缩短运距和减少转弯。最常用的有两种方式，即“V”形运行方式和穿梭式，如图 7-23 所示。

“V”形方式是自卸车停在与铲装工作面成一定角度的位置后不动。装载机满载运行时要转向，然后对准车厢卸载，卸载后装载机仍需转向退回原处，再返回工作面进行下一次铲装。

穿梭式也称“I”形方式，装载机只在垂直于工作面的方向前进和后退，而汽车则在装载机和工作面之间穿梭来回接装物料。

这两种方式各有特点，使用时要根据具体工地条件来选用。

装载机装车时，运输工具的容量（或载重量）应该是装载机的斗容量（或物料重量）的2~5倍，否则机械利用率不高。

### 2. 选择运用

装载机对土、石碴等松散物料能自行进行铲、装、运等多种作业，还可以用做推土、起重、牵引等多功能作业。它与单斗挖掘机相比机动性好。

根据国外使用经验，在整个装运作业循环时间不小于3 min时，把装载机作为自铲运设备使用，经济上不合理的。

可用每10 kN生产能力的固定费用和生产费用的方法来衡量，如图7-24所示。

图7-24是把装载机与自卸汽车配合和自铲运设备时，每10 kN生产费用进行比较：AB线的下方表示装载机作为自铲设备经济合理运距；

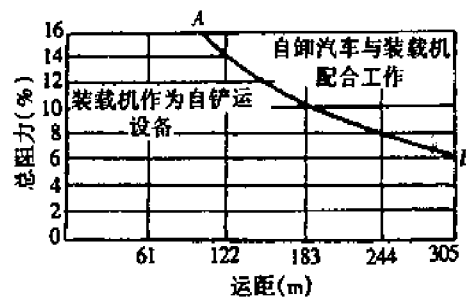


图7-24 装载机作为自铲运设备时的合理运距

AB线以上为与自卸汽车配合作为装载设备用的装载机合理运距。如在A点，当总阻力为16%时，经济合理运距为92 m；在B点，当总阻力<6%时，经济合理运距在300 m以上。

装载机代替挖掘机，与自卸汽车配合作业的合理运距见表7-6。

表7-6 轮胎式装载机与自卸汽车配合采运土石方的合理运距

年产量 (kt)	10	30		50		80		100 以上	
挖掘机斗容 (m <sup>3</sup> )	2.25	2.25	4	2.25	4	2.25	4	2.25	4
汽车载重量 (t)	10	10	27	10	27	10	27	10	27
装载机载重量 (t)	装载机合理运距 (m)								
2	470	170	260	110	160	80	110	71	65
4	760	280	450	190	280	130	190	118	108
5	920	350	540	240	340	170	230	155	143
9		800	1 190	560	750	400	520	384	347
16		890	1 330	630	830	440	570	432	387

### 3. 生产率的计算

装载机的运用生产率Q是指在规定时间内装卸物料的重量(t/h)，可用下式计算

$$Q = \frac{3600qK_m K_A}{TK_s} \quad (\text{t/h}) \quad (7-7)$$

式中  $q$ ——装载机额定载重量 (t);  
 $K_m$ ——铲斗充满系数, 它反映不同物料能装满铲斗的程度,  $K_m = 0.7 \sim 1.3$ ;  
 $K_h$ ——时间利用系数,  $K_h = 0.75 \sim 0.80$ ;  
 $K_s$ ——物料松散系数, 视物料状态而定, 一般取  $K_s = 1.25$ ;  
 $T$ ——一个作业循环的时间 (s), 可用下式计算

$$T = t_c + \frac{L_y}{V_y} + t_x + \frac{L_h}{V_h} \quad (\text{s}) \quad (7-8)$$

其中  $t_c$ 、 $t_x$ ——铲装时间和卸载时间 (s);  
 $L_y$ 、 $L_h$ ——重车运行和回程距离 (m);  
 $V_y$ 、 $V_h$ ——重车运行和回程运行的平均速度 (m/s)。

为了提高装载机的生产率, 除提高时间利用系数外, 还应提高充满系数和缩短循环时间。对于某种特定物料, 装满程度取决于所采用的铲装方法和司机熟练程度。影响作业循环时间的因素有: 物料的性质、装载机的型号和大小、工作场地状态以及司机的熟练程度等等。因此, 按照具体情况选择合适的机械和铲装方法, 采用有效的装车方式, 保持良好的工作场地, 提高司机的操纵技术, 对提高生产率都有重要作用。

#### 四、平地机

##### (一) 概述

平地机是用铲刀 (刮土板) 对土壤刮削、平整和摊铺的土方作业机械。主要用于公路、铁路、机场、农田、水利建设中大面积的松软土面上作业。它具有高效能、高精度的平面刮削、平整作业能力。如在筑路中切削并能作侧向移土, 刮削路堑的里、外斜坡, 搅拌并摊平大量铺路材料等, 是土方工程机械化施工中的一种重要工程机械。

平地机的类型很多, 按行走方式分为: 自行式和拖式; 按发动机功率和刮土板长度分为: 轻、中、重和超重型四种; 按操纵方式分为: 机械式和液压式两种。目前应用最多的是自行中、重型液压操纵式平地机。

自行式平地机的表示方法是: 车轮总对数 (或总轴数)  $\times$  驱动轮对数 (轴数)  $\times$  转向轮对数 (轴数)。如六轮  $3 \times 2 \times 1$ , 即为前轮转向、中、后轮驱动; 四轮  $2 \times 2 \times 2$ , 即为全轮转向, 全轮驱动。平地机的主参数, 以发动机的功率 (kW 或 PS) 表示。

##### (二) 平地机的工作装置

自行式平地机由动力装置、轮式底盘、工作装置和操纵机构等组成, 其构造如图 7-25 所示。

平地机工作装置安装在由前、后桥支承的车架上。工作装置主要是平地装置和耙松装置, 推土装置与扫雪犁根据需要临时安装。

平地装置由铲刀 3、铲刀倾斜机构 4、倾向移动机构 5、铲斗升降油缸 12、倾角调整装置 13、回转装置 14 等组成。因此铲刀位置的改变, 不仅能升降、变换铲土角, 而且能够侧向引出、倾斜和在水平面内回转  $360^\circ$ , 这些机构的动作均采用液压传动来实现。所以平地装置不仅可以进行平整作业, 还可以进行挖沟、刮坡、移土等作业。

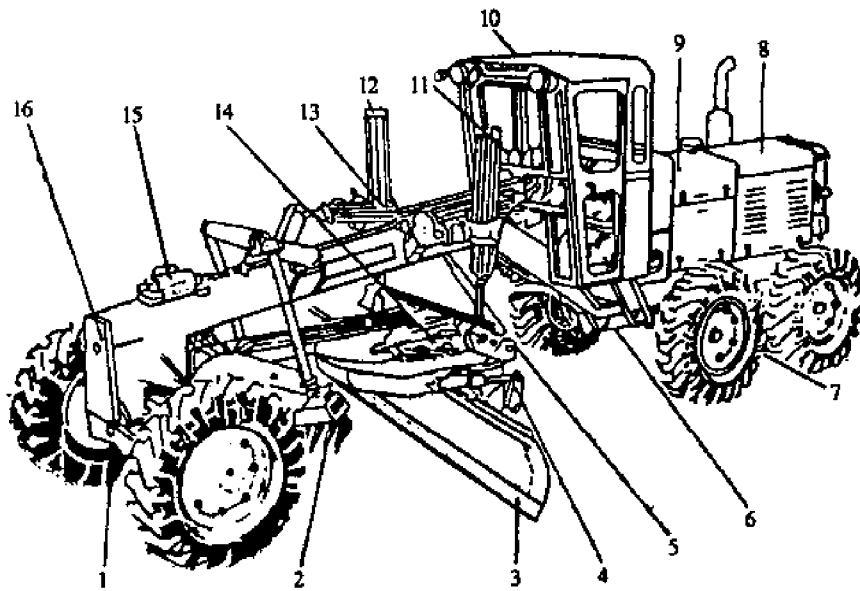


图 7-25 平地机的构造

- 1—可倾式前桥；2—松土器；3—刮土板（铲刀）；4—铲刀倾斜机构；5—倾向移动机构；6—变速器；  
 7—四轮驱动及全浮动轴；8—发动机；9—保养中心；10—驾驶室；11—液压操纵机构；  
 12—铲斗升降液压缸；13—铲刀倾角调整装置；14—回转机构；  
 15—液压助力转向机构；16—扫雪犁或推土板安装板

耙松装置由耙齿、耙子架、弯板、油缸等组成，它可将地面耙松。

### （三）平地机的作业及生产率的计算

#### 1. 平地机的作业方式

正确地操纵平地机的工作装置，利用铲刀升降、引出、倾斜及回转，耙子升降，铲土角调整，前后轮转向等动作或其相互组合动作，即可得到平地机的多种作业状态，以进行平地、挖沟、刮坡、疏松、推土等作业。

图 7-26 为平地机在道路建设中，作路堤整形、路基刮削、路碴摊铺等作业的方法。图 7-26 中的 (b) 和 (f) 是为提高作业效率所采用的循环作业方式及穿梭作业方式。

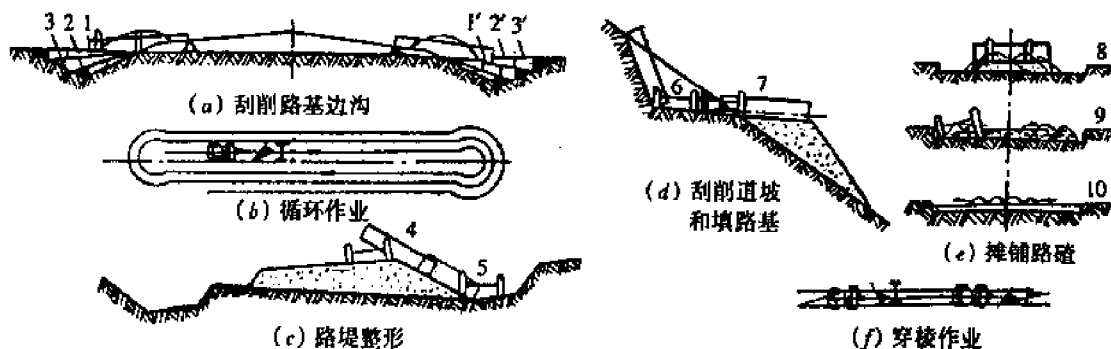


图 7-26 平地机的作业方法

1~10 (1'~3')—作业程序

#### 2. 生产率的计算

平地机生产率按切土土壤的体积来计算，一般采用下式

$$Q = \frac{1000LFK_b}{2L\left(\frac{N_k}{v_1} + \frac{N_n}{v_2} + \frac{N_0}{v_3}\right) + 2t_{n0}(N_k + N_n + N_0)} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (7-9)$$

式中  $L$ ——工作路程长度 (m);  
 $F$ ——填土截面面积 (m<sup>2</sup>);  
 $K_b$ ——工作时间利用系数,  $K_b = 0.85 \sim 0.90$ ;  
 $N_k$ ——切土行程次数;  
 $N_n$ ——运土行程次数;  
 $N_0$ ——修整行程次数;  
 $v_1, v_2, v_3$ ——切土、运土、修整时实际运行平均速度 (km/h);  
 $t_{n0}$ ——平地机调头时间,  $t_{n0} = 0.08 \sim 0.1$  (min)。

### 第三节 挖掘机械

#### 一、挖掘机械的类型与功用

挖掘机械是工程机械中的又一大类型,是开挖土、石方的重要机械设备。

挖掘机械是指用斗形工作装置挖取土壤、矿石,或用于剥离土层的机械。

挖掘机械的类型与构造型式繁多,可按照挖掘工作原理与过程、用途、构造特征等进行划分。

(1) 按挖掘作业过程分为:周期式和连续式。周期式是各种单斗挖掘机,如图 7-27、图 7-28 所示。连续式包括多斗挖掘机、滚切式挖掘机及隧道掘进机,如图 7-29 所示。

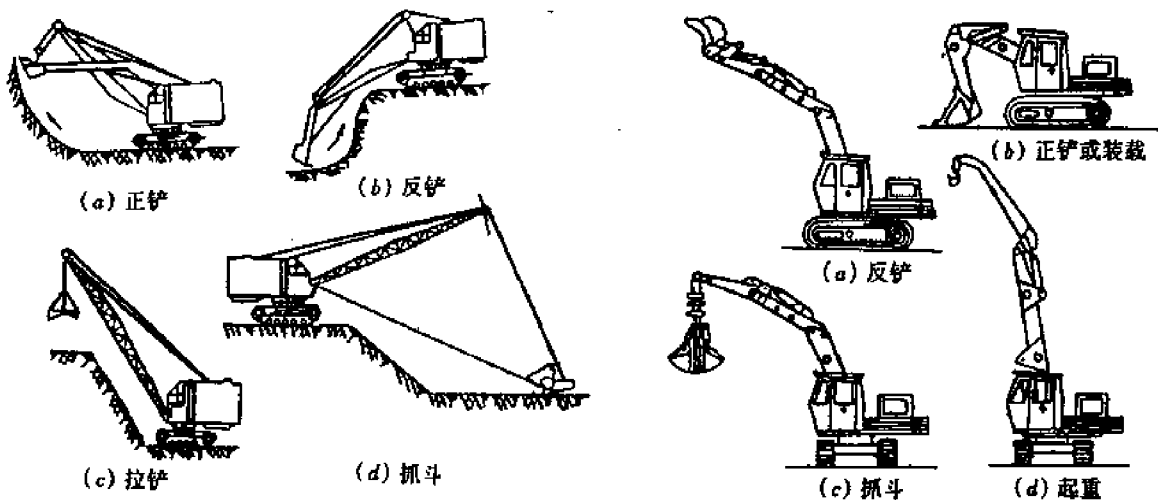


图 7-27 机械式单斗挖掘机工作装置的主要型式

图 7-28 单斗液压挖掘机工作装置的主要型式

(2) 按用途单斗挖掘机又分为:建筑型、采矿型、剥离型、隧洞专用型等。

(3) 按动力装置分为:电力驱动、内燃驱动和混合驱动三种。

(4) 按传动方式分为:机械式、液压式和混合式。

(5) 按行走装置分为:履带式、轮胎式、汽车式、步行式、轨道式、浮式等。



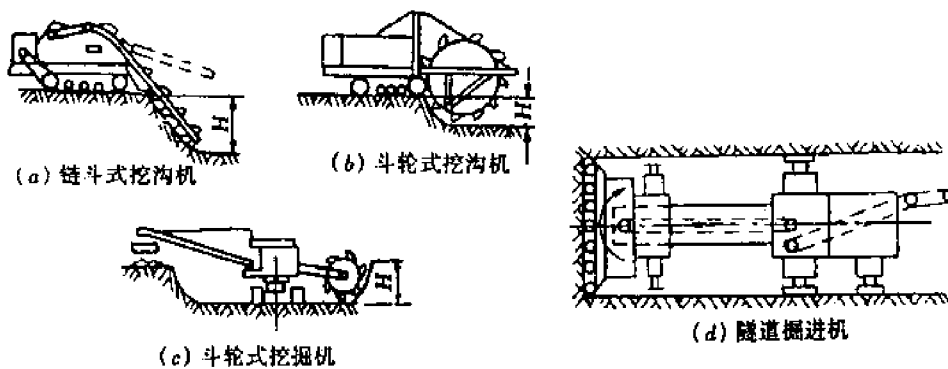


图 7-29 多斗挖掘机的主要型式

此外，还可按工作装置型式来划分。如多斗挖掘机还可分为链斗式、斗轮式、滚切式和隧道掘进机等，如图 7-29 所示。

建筑工程使用最多、最基本的型式是建筑型单斗挖掘机。图 7-27 和 7-28 为它们工作装置的主要型式。由于建筑型单斗挖掘机一般可更换多种工作装置，进行挖掘、装载、起重、打桩等多种作业，故通常称为通用型（或万能型）挖掘机，本节重点介绍该类型机械。

单斗挖掘机的主参数有斗容量（ $m^3$ ）、机重（ $t$ ）和发动机功率（ $kW$ ）。因为通过这三个参数可以从使用要求、机械本身的技术性能和技术经济指标、动力装置和配套、国际上统一的标准以及传统习惯等方面反映出挖掘机的级别。选择使用时应符合我国《液压挖掘机基本参数》标准中的要求。

## 二、单斗液压挖掘机

### （一）主要工作装置的结构和工作特点

液压挖掘机的工作装置常用的有：正铲、反铲、装载、抓斗和起重等装置。其基本构造和工作特点如下：

#### 1. 正铲装置

正铲是通用挖掘机的主要型式，它有两种基本型式：专用铲斗式用于斗容量在  $1 \sim 2 m^3$  以上的液压挖掘机上。通用铲斗式往往与中小型反铲式液压挖掘机通用，将反铲斗反过来安装就成为正铲装置。

专用铲斗式正铲装置由动臂 6、斗杆 4、铲斗 1 以及动臂油缸 7、斗杆油缸 5、铲斗油缸 3 和连杆机构 2 等组成，如图 7-30 所示。其构造特点是各部件之间的联系全部采用铰接，通过液压缸的伸缩来实现挖掘过程中的各种动作。

动臂 6 的下铰点与履带式基础车的回转平台铰接，并以动臂油缸 7 来支承和改变动臂的倾角。当油缸伸缩时，此时动臂绕下铰点转动而升降。斗杆 4 铰接于动臂的上端，斗杆与动臂的相对位置由斗杆油缸 5 控制，当斗杆油缸伸缩时，斗杆便可绕动臂上铰点转动。铲斗 1 与斗杆前端铰接，并通过铲斗油缸 3 伸缩使铲斗

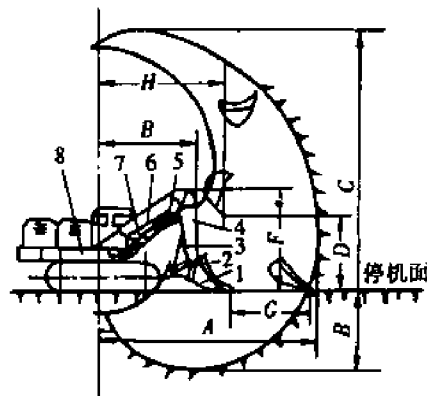


图 7-30 液压挖掘机正铲（装载）装置

- 1—铲斗；2—连杆机构；3—铲斗油缸；
- 4—斗杆；5—斗杆油缸；6—动臂；
- 7—动臂油缸；8—回转平台

绕该点转动。为了增大铲斗的转角，通常用连杆机构与铲斗连接。

正铲主要用于挖掘停机面以上土壤（上工作面）或经爆破后的矿石等。其挖掘轨迹决定于各油缸的运动及其相互配合的情况。当正铲装置的结构及尺寸确定后（包括动臂、斗杆、铲斗尺寸、铰点位置、相对的允许转角或各油缸的行程等），即可用作图法求得挖掘机轨迹的包络线图。它反映出挖掘机在任一正常工作位置时，所能控制到的工作范围，如图 7-30 所示。图上各控制尺寸即液压挖掘机正铲装置的工作尺寸，对于正铲装置主要的工作尺寸为最大挖掘高度  $C$  和最大挖掘半径  $A$ 。

正铲装置作业时，由于土质较硬，工作面较大，并受挖掘方向和整机稳定性能因素的限制，一般均采用斗杆油缸工作进行挖掘，动臂油缸有时也进行配合。铲斗油缸主要用以调节切削角、切削厚度、清除障碍以及挖掘结束时为装满铲斗而进行的装载动作。

为了增加卸载高度，节省卸载时间，大中型挖掘机正铲斗多采用开启斗底式卸土，斗底的开闭亦用油缸操纵。

## 2. 反铲装置

反铲装置是中小型液压挖掘机的主要工作装置，如图 7-31 所示。目前广泛应用的斗容量在  $1.6 \text{ m}^3$  以下。

反铲装置的组成和挖掘原理与正铲相似，不同点主要在于挖掘方向相反以及相应引起各油缸工作方向的改变。此外，反铲装置主要用于挖掘停机面以下的土壤（基坑、沟壑等）。最大挖掘深度  $B$  和最大挖掘半径  $A$  是反铲装置的主要工作尺寸。其挖掘轨迹包络线图如图 7-31 所示。

液压挖掘机的反铲装置都采用转斗卸土，卸载较准确、平稳，便于装车。

## 3. 装载装置

液压挖掘机的装载装置主要用于装载土壤、松散物料和矿石等。

通用的装载装置与正铲装置相互通用，如图 7-30 所示。它们的区别在于铲斗部分，由于装载作业阻力小于挖掘阻力，故装载铲斗的容量可增大，斗形也更适合于装载作业要求。

挖掘装载装置工作时机体不动，而靠工作装置——动臂、斗杆、斗的配合动作铲入物料，并靠回转机构将物料运到卸载地点。这与一般的轮式或履带式前端装载机不同，后者靠机器向前运行时的冲力使斗插入物料，靠整机前进、后退等运动将物料运到卸载地点。因此在一定条件下，挖掘装载装置比前端装载机的作业效率高，并且可以减少行走装置的磨损。挖掘装载机的斗容量和作业范围受机器稳定性和地面附着性能约束，和相同重量等级的前端装载机相比，虽然挖掘装载机的斗容量较小，但它挖掘力较大，特别是水平铲入方式的实现，使功能在不断增加和完善，作业范围远胜于前端装载机，因此在建筑工程和矿山采掘中广泛采用。

## (二) 液压系统

图 7-32 为常用的液压挖掘机传动示意图。柴油机 1 驱动双联油泵 2，压力油可进入两个

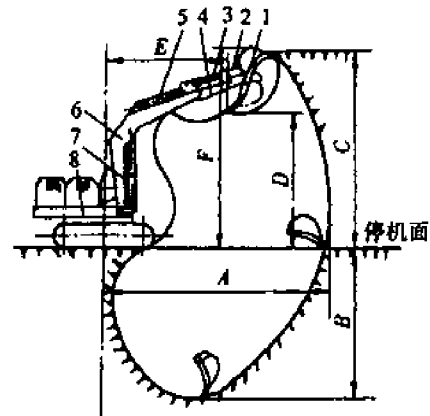


图 7-31 液压挖掘机反铲装置

- 1—铲斗；2—连杆机构；3—铲斗油缸；
- 4—斗杆；5—斗杆油缸；6—动臂；
- 7—动臂油缸；8—回转平台

分配阀组 6 和 13 中。操纵分配阀可将压力油送往有关执行元件（油缸或油马达），这样就可驱动相应的工作机构，以完成所需的运动。

### （三）液压挖掘机的特点

（1）挖掘力及牵引力大，传动平稳，传动比大，作业效率高。不需要庞大复杂的中间传动，简化了机构，重量可比同级的机械传动挖掘机减轻 30%，降低了接地比压，因而大大改善了挖掘机的技术性能。

（2）各元件可相对独立布置，各零部件位置同心度无严格要求，可达到结构紧凑，合理布局，易于改进变型。更换工作装置时简单方便，扩大了使用范围。

（3）液压传动有防止过载的能力，使用安全可靠，操纵简便、灵活、省力，使司机工作条件得到改善。

液压挖掘机的缺点：

（1）液压元件加工精度要求高，装配要求严格，制造较为困难。使用中维修保养要求技术较高，难度较大。

（2）液压油受温度影响较大，总效率较低，有时有噪音和振动。

随着科学技术的发展，会使液压挖掘机在结构和性能上不断提高和完善，更好地为国民经济各部门服务。

## 三、单斗挖掘机的运用和生产率的计算

### （一）单斗挖掘机的作业

在基本建设工程中，单斗挖掘机主要用来进行下列工作：开挖建筑物或厂房基础；开挖路堑、填筑路堤；剥除采石场或采矿场的覆盖物；挖掘沟渠、运河、疏通水道；在采石场、隧洞和堆料场中装载等。更换工作装置后，还可进行浇筑、起重、安装、打桩、夯土等作业。

下面仅介绍正铲装置的基本作业方法：

单斗挖掘机正铲装置按其开挖方式可分为：侧向开挖和正向开挖两种方法。

#### 1. 侧向开挖

如图 7-33 所示，挖掘机沿着挖土区的一侧边向前开挖，汽车的装土位置在挖掘机前进方向的侧面（也可以在另一侧的后面）。挖土的宽度通常为最大宽度的 60%~70%。这种开挖方式挖掘机平均转角较小，效率较高，同时汽车可以一辆接一辆地依次装车，不必倒车。这种开挖方式挖掘机的移位次数较多。

#### 2. 正向开挖

如图 7-34 所示，挖掘机通常以最大宽度在挖土断面上直通挖掘，汽车在机后两侧装土。

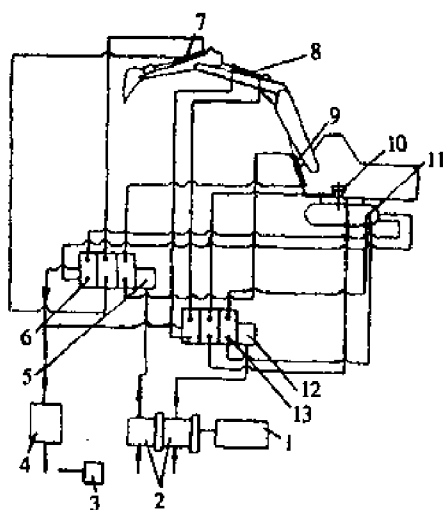


图 7-32 液压挖掘机传动示意图

1—柴油发动机；2—油泵；3—滤清器；5、12—安全阀；  
6、13—分配阀；7—转斗油缸；8—斗杆油缸；  
9—动臂油缸；10—回转马达；  
11—行走马达

这种开挖方式挖掘机的平均转角较大，汽车也常需要打倒车开到装车位置，效率较低。这种方法只限于挖掘进口处时使用。

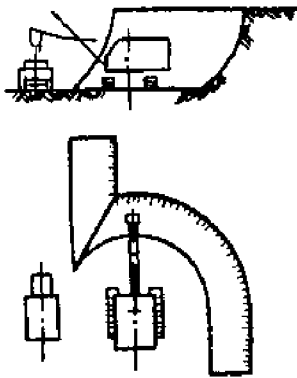


图 7-33 侧向开挖法

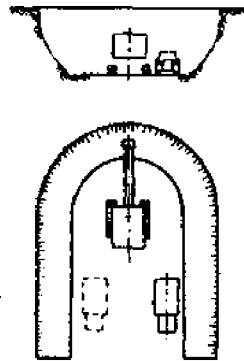


图 7-34 正向开挖法

## (二) 单斗挖掘机的选用原则

### 1. 单斗挖掘机的适用范围

单斗挖掘机各种工作装置适用范围如下：

(1) 正铲挖掘机用于挖掘停机面以上的土壤。挖掘和推压能力（机械式）较大，适用在 I ~ IV 级土壤或爆破后 V ~ VI 级岩石中工作。

(2) 反铲挖掘机用于挖掘停机面以下的土壤，可在 I ~ IV 级土壤或爆破后 V ~ VI 级岩石中工作。反铲装置带有吊钩也用于管道的敷设作业。

(3) 拉铲挖掘机宜于挖掘停机面以下掌子，并适合水下作业。拉铲的挖掘能力受铲斗自重的限制，一般只能挖掘 I ~ IV 级土壤。

(4) 抓斗挖掘机可在提升高度和挖掘深度范围内用来挖掘停机面以上或以下的掌子，特别适合挖掘深而边坡陡直的基坑和深井，可进行水下作业，其挖掘深度一般比拉铲大 20% ~ 40%，抓斗的挖掘能力因受自重限制，只能挖掘一般土料、砂砾和松散物料。

### 2. 单斗挖掘机的选型

单斗挖掘机的品种型式很多。由于工程规模、施工条件、使用场合各不相同，对挖掘机的要求也不一样。选择适合于具体情况，优质、高效率的挖掘机，对于提高施工质量、加快施工进度、降低工程造价、改善劳动条件都有很大作用。单斗挖掘机的选型主要从如下三方面考虑：

(1) 根据设计的总工程量、高峰工程量、施工期限、工程造价、设备投资、自然条件、施工法等方面的因素，来选择合适的机型。

(2) 根据土壤的性质、级别、施工方法、掌子位置等因素来选择工作装置的类型。

(3) 根据施工现场的动力供应条件，地层的稳定性和抗陷系数，内部道路质量和坡度大小以及非运输性行走距离和频繁程度等因素，来确定单斗挖掘机的动力装置和行走装置的类型。

## (三) 单斗挖掘机生产率的计算

单斗挖掘机的生产率是指单位时间内，挖掘机从工作面挖掘并装到运输工具上或卸至土堆中的土方量（按实方计算）。

生产率的单位一般用  $\text{m}^3/\text{h}$  表示，其计算公式如下

$$Q = qn \frac{K_m}{K_s} K_w K_h \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (7-10)$$

式中  $q$ ——铲斗容量 ( $\text{m}^3$ )；  
 $n$ ——每小时理论工作循环次数；  
 $K_m$ ——铲斗装满系数，它与铲斗的种类、土的性质以及司机熟练程度有关，如正铲， $K_m = 0.75 \sim 1.50$ ；  
 $K_s$ ——土壤松散系数，一般  $K_s = 1.1 \sim 1.50$ ；  
 $K_w$ ——土壤挖掘阻力系数， $K_w = 0.05 \sim 1.0$ ；  
 $K_h$ ——时间利用系数，考虑到机械的保养和在工作面中移动所损失的时间，一般取  $K_h = 0.7 \sim 0.85$ 。

每小时理论工作循环次数  $n$  根据每一工作循环时间  $T$  而定， $T$  值主要包括：(1) 挖掘时间  $t_1$ ；(2) 满载斗回转到卸载位置所需时间  $t_2$ ；(3) 卸载时间  $t_3$ ；(4) 空斗转回到工作面的时间  $t_4$ ；(5) 铲斗下降到工作面的时间  $t_5$  等（均以 s 计）。循环次数可用下式计算

$$n = \frac{3600}{T} = \frac{3600}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5} \quad (7-11)$$

$n$  和  $T$  的理论值是根据工作装置结构与传动系的参数来确定。例如，对一般斗容  $3 \text{ m}^3$  以下的正铲挖掘机，在回转角为  $90^\circ$ 、挖掘 I 级土壤时，工作循环时间为  $16 \sim 17 \text{ s}$ ，每小时工作循环次数为  $210 \sim 225$  次。

提高单斗挖掘机生产率的主要方法是尽量缩短工作循环时间，一般可采用如下措施：

(1) 在挖土时，工作装置即斗与斗杆不要离工作面过远（如机械式的斗柄不要伸出过长，最好不超过全行程的  $2/3$ ），这样能保证铲斗具有足够的挖掘力和提升力，缩短挖土时间。

(2) 保持斗齿锋利，形状正确。试验表明，磨损的斗齿虽然还能使用，但切削阻力会增加  $60\% \sim 90\%$ ，因此要及时更换磨钝的斗齿。

(3) 采用合理的开挖方法，以获得较小的回转角，并保证适当的工作面，减少机械移位次数。

(4) 采用多种工序联合操纵方式。例如，在挖土完毕向卸土位置回转的同时把铲斗提升到卸土位置。

挖掘机挖土装车时，要合理确定自卸汽车的容量和辆数。自卸汽车的容量不要小于铲斗容量的  $3 \sim 4$  倍，否则由于装满一车的时间太短，汽车不容易配合；同时自卸汽车承载过小时也容易受到损坏。自卸汽车的辆数应保证挖掘机能连续地进行挖装，它等于自卸汽车装运一次的循环时间与挖掘机装一车的时间之比。由于自卸汽车行驶速度不会很均衡，因此实际配备的自卸汽车应较计算出的要多加一两辆。

## 第四节 压实机械

### 一、压实机械的类型及应用

压实机械是对铺筑材料或土壤进行密实作业的机械。在土石坝填筑、建筑物基础、路基

和路面工程施工中，进行压实，以提高建筑物的强度和承载能力，降低沉陷量和透水性，保证其稳定性。

压实机械按照压实力作用原理，大致可分为三类：

### （一）静作用碾压机

静作用碾压机就是用沉重的滚轮碾压土壤，使其在静力作用下产生永久变形而密实，如图 7-35 (a) 所示。碾压式的压实机械对土壤的加载时间长，有利于土壤塑性变形，对粘土等压实效果较好，尤其对大面积压实的效率也较高，故适用于大型建筑和筑路工程中。

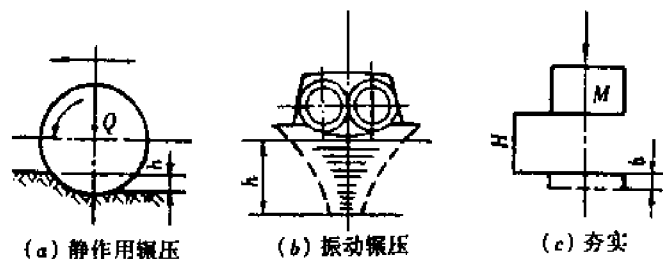


图 7-35 压实作业原理图

### （二）振动式压实机械

振动式压实机械就是把机械产生的高频振动传给土壤，使其土壤颗粒重新排列而密实，如图 7-35 (b) 所示。这种机械对于非粘性土压实效果较好。如果将碾压和振动相结合，可使受压层同时受到静作用力和激振力的综合作用，压实效果更为理想。

### （三）夯实机械

夯实机械即利用夯实机具的冲击力，使土壤在动载作用下产生永久形变而得到密实，如图 7-35 (c) 所示。它主要用于狭窄工作面的土层压实，适应于粘性较低的土壤。

压实机械还可按行走方式分为手扶式、拖式和自行式；按碾压力轮的材料和表面形状分为钢制光面压轮、凸块压轮、羊足压轮、格栅压轮和充气轮胎橡胶压轮等。

选用压实机械时应综合考虑以下因素：土壤的性质和状态、压实层的厚度、施工工作面的情况、机械的特性及生产率等。

## 二、压实机械的构造

### （一）静作用压路机

静作用压路机有自行式和拖式两种。自行式压路机按照其压轮数目和轴数有两轮、三轮和三轴式三种；拖式压路机有光轮及羊足式压路机。

#### 1. 三轮压路机

图 7-36 (a) 为 3Y12/15 型三轮压路机的外形图。这种压路机主要由发动机、行走轮、传动系统、机架及操纵机构等组成。整机净重为 12 t，如前、后轮加砂后共重 15 t。

图 7-36 (b) 为这种压路机的传动系统简图。发动机 2 为 4135 型柴油机，动力经主离合器 3 传至变速箱 4，再经锥齿轮传动的换向机构 5 传至差速器 6，最后经两侧的齿轮 7、8 驱动行走轮 9，使压路机行走，完成压实作业。

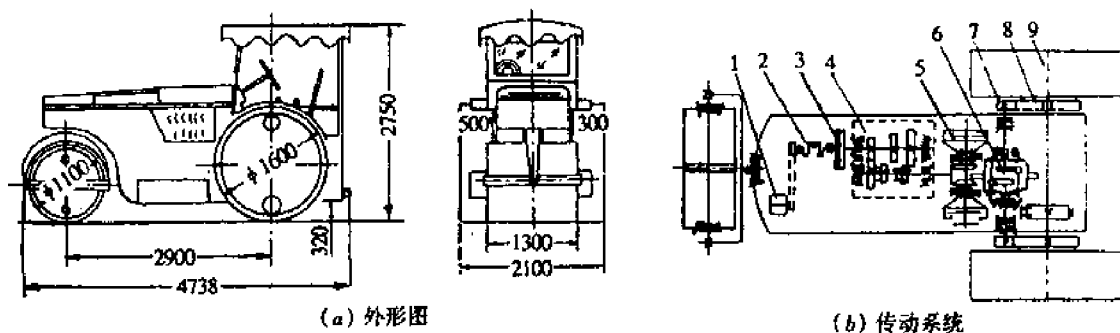


图 7-36 3Y12/15 型三轮压路机

1—起动机；2—发动机；3—主离合器；4—变速箱；5—换向机构；6—差速器；7、8—减速齿轮；9—行走轮

变速箱共有四种速度。它与逆转机构配合可以得到前进四档和后退四档的速度。

压路机前轮为转向轮，它由两个相同尺寸的轮子组成。转向轮靠液压转向系统控制，液压转向系统由摆线式转向器、叶片油泵、油箱及转向油缸等组成。

## 2. 拖式羊足碾

图 7-37 为拖式羊足碾的外形图。它一般都由履带式拖拉机牵引。

羊足碾是在普通光碾的表面上加装许多羊足状或凸块滚压构件而成。羊足支承端面形状常见的有圆形、长方形和菱形等多种，其中长方形的羊足也叫凸块。羊足在碾轮上一般按梅花形布置，以每平方米面积上安置 20~25 个羊足较为合适。羊足的高度与碾重和压实深度有关，羊足高度和碾轮直径之比一般为 1:8~1:5。有些重型羊足高度可以调节，以适应较大的铺土厚度。

羊足碾适用于土坝、围堰、堤防和各种路面工程粘性土壤的压实作业。

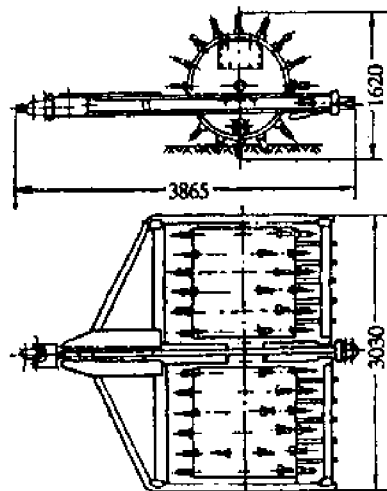


图 7-37 拖式羊足碾

## (二) 振动压路机

振动压实机械系利用偏心块高速旋转时所产生的离心力作用对材料进行振动压实。产生这种高频离心力的装置称为振动装置。将振动装置装在一平板上，仅仅依靠振击力来振实的设备称为振动平板，它主要适用于面积不太大的分层填土的基础工程上。将振动装置装在压路机上称为振动压路机，实际上它是振动捣实机械和静作用压实机械的一种综合结构。

振动压路机有拖式和自行式两种，自行式又有两轮两轴式、摆振式和铰接式三种。

图 7-38 是 YZ-45 型振动压路机，它属于两轮两轴自行式。这种振动压路机由机架 6、工作行走装置（振动轮 1 与转向轮 4）、传动系统和操纵机构 5 等组成。

机架 6 是整体式，它与振动轮通过减振环 8 联接，以减轻对司机及整个机体产生的振动。传动系统中采用柴油机驱动并借助皮带传动至分动箱。分动箱 2 传出的动力分为两路：一路再通过变速箱 7、链传动、最终齿轮传动驱动压路机行驶；另一路通过皮带使振动轮的振动器振动。振动轮的驱动与振动互不影响，各由单独的操纵机构来操纵。该机设有无级调频

装置，根据工作要求其振动轮可调成不振、弱振或强振等不同状态。

振动压路机和静力式压路机相比较具有生产率高、压实层厚度大、重量轻和适应性好等优点。它适用于一般道路和山区小型道路的建筑和维修工程。

### (三) 蛙式夯实机

蛙式夯实机是我国独特的冲击式压实机械。它具有结构简单、体积小、夯实效果好、生产率高及操作维护方便等特点。适用于夯实灰土和素土地基、地坪及场地平整建筑工地。

蛙式夯实机如图 7-39 所示。它由夯头 3，夯头架 5、6，传动系统（包括电动机），拖盘 8 等三部分组成。工作时，电动机经二级减速（三角皮带传动）使夯头上的偏心块旋转。由于偏心块在旋转中产生离心力，使夯头架的动臂绕轴销摆动，夯头架便带动夯头做上下运动，对土层进行夯实；同时实现夯实机的自由前进，由于行进时像青蛙一样蹦跳，故名为蛙式夯实机。

## 三、压实机械的使用及生产率的计算

### (一) 压实机械的使用

在使用压实机械时，首先应根据施工对象来选择压路机的吨位，开始时使用轻型，随着被压材料的密实度的增加而更换中型或重型。碾压时应保持方向的直线性。对于拖式碾滚，一般采用螺旋运行路线功效较高，狭窄区域也可进行穿梭碾压。对于自行式压路机，一般都采用穿梭式进行。到了一区段的尽头应迅速换向，以免该处的过多下沉。左右相邻两压实带应有 1/3 的重叠，碾压终了时要取样检查。

各种压路机的应用范围见表 7-7 和表 7-8。

表 7-7 压路机按重量分类的应用范围

按重量分类	加载后重量 (t)	单位直线压力 (MPa)	应用范围
特轻型	0.5~2.0	0.8~2.0	压实人行道和修补黑色路面
轻型	≥2~5	≥2.0~4.0	压实人行道、简易沥青混凝土路面、公园小道、体育场和土路路基
中型	≥5~10	≥4.0~6.0	压实路基、砾石、碎石铺砌层，黑色路面，沥青混凝土路面和土路基础
重型	≥10~15	≥6.0~8.0	压实砾石、碎石路面或沥青混凝土路面的终压作业以及路基或路面底层
特重型	≥15~20	≥8.0~12.0	压实大块石堆砌基础和碎石路面

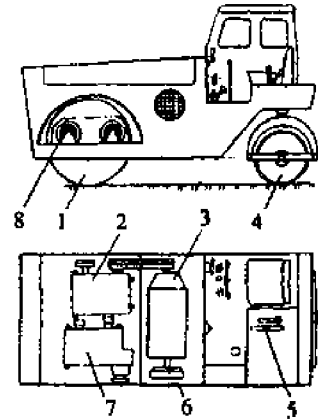


图 7-38 YZ-45 型振动压路机

- 1—振动轮（驱动轮）；2—分动箱；3—柴油油箱；4—转向轮；5—操纵机构；6—机架；7—变速箱；8—减振环

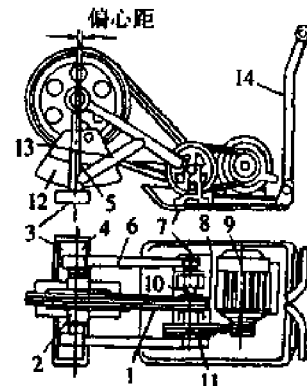


图 7-39 蛙式打夯机

- 1—三角皮带；2—心轴；3—夯头；4—轴承；5、6—夯头架；7—座；8—拖盘；9—电动机；10—传动轴；11—三角皮带；12—偏心块；14—撑架；14—扶手



表 7-8 振动压路机的应用范围<sup>①</sup>

型 式	块 石	砂、砾石		粉土、粉质土、冰碛土		粘 土	
		优良级配	均匀粒级	粉质砂、粉质砾石、冰碛土	粉土、砂质粉 土	低、中强度粘土	高强度粘土
3 t 以下振动光轮		△	△	△	△		
3 ~ 5 t 振动光轮		○	○	△	△	△	
5 ~ 10 t 振动光轮	△	○	○	○	△	△	△
10 ~ 15 t 振动光轮	○	○	○	○	△	△	△
振动凸块式			△	△	○	○	○
振动羊足式			△	△	△	○	○

注：表中○——适用；△——可用。

## (二) 生产率的计算

压实机械生产率可按下式计算

$$Q = \frac{3600(b-c)LhK_b}{\left(\frac{L}{v} + t\right)n} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (7-12)$$

- 式中
- $b$ ——碾压带宽度 (m);
  - $c$ ——相邻两碾压带的重叠宽度, 一般  $c \approx 0.15 \sim 0.25$  (m);
  - $L$ ——碾压地段长度 (m);
  - $h$ ——铺土层压实后厚度 (m);
  - $v$ ——碾压行驶速度 (m/s);
  - $t$ ——转弯掉头或换档时间, 转弯时间一般为 15 ~ 20 s; 换档时间一般为 2 ~ 5 s;
  - $n$ ——在同一点需碾压的遍数;
  - $K_b$ ——时间利用系数, 一般为 0.8 ~ 0.9。

## 复习思考题

1. 土方工程机械有哪些功用? 包括哪些类型的机械与设备?
2. 土壤切削装置有哪些基本型式? 切削阻力与挖掘阻力如何确定?
3. 什么是铲土运输机械? 它包括哪些机种? 各用于哪些场合?
4. 履带式拖拉机由哪些部分组成? 各部分有哪些功用? 并分析其作用原理。
5. 推土机工作装置有哪些主要部件组成? 固定式与回转式推土装置在构造上有什么特点? 适用于什么范围?
6. 参看图 7-11, 试分析推土机液压系统的工作原理。
7. 推土机是如何作业的? 其生产率如何计算? 在施工中可采用哪些措施提高生产率?
8. 自行式铲运机由哪几部分组成? 铲运机有哪些主要机构? 其作用原理如何?
9. 参看图 7-15, 试分析铲运机工作装置液压系统的工作原理?

10. 铲运机是如何作业的？选择使用铲运机的原则是什么？
11. 铲运机的生产率如何计算？在施工中采用哪些措施来提高生产率？
12. ZL50 型装载机的工作装置由哪些部分组成？试绘出机构简图并说明工作原理。
13. 参看图 7-22，试分析 ZL50 装载机工作装置液压系统的作用原理。
14. 装载机有哪些作业法？如何选用装载机施工？
15. 平地机可以完成哪些作业？它具有哪些工作装置？
16. 单斗液压挖掘机的工作装置有哪几种？正铲、反铲、挖掘装载等装置在构造上有什么区别？在选择使用上各有什么特点？
17. 单斗挖掘机的生产率如何计算？如何配备自卸汽车的容量与辆数？
18. 压实机械有哪些作用？按照压实力作用原理压实机械分为几类？它们适用于哪些场合？
19. 振动压路机为什么获得广泛应用？它由哪些部分组成？试述其作用原理。

## 第八章 桩工机械

### 第一节 桩工机械的功用与类型

桩基础是目前基础工程中应用较广泛、发展最迅速的一种基础形式。这种基础比其他形式的基础具有更大的承载能力，而且施工也较为方便，因此在工业与民用建筑、港口、桥梁、海上井台的基础工程中广泛应用。

用于完成预制桩的打入、沉入、压入、拔出或灌注桩的成孔等作业的机械称为桩工机械。根据施工预制桩或灌注桩的不同而把桩工机械分为两大类。

#### 一、预制桩施工机械

施工预制桩主要有三种方法：打入法、振动法和压入法。

##### 1. 打入法

打入法是用打桩机靠桩锤冲击桩头，在冲击瞬间桩头受到一个很大的力，使桩贯入土中。

打桩机由桩锤和桩架组成。打入法的桩锤有四种型式：落锤——是最古老的桩工机械，构造简单，使用方便。但贯入力低，生产效率低，对桩的损伤较大。柴油桩锤——其工作原理类似柴油机，是目前最常用的打桩设备，但公害（噪声及污染）较为严重。气动桩锤——过去以蒸汽为动力。当柴油桩锤发展起来后被逐渐淘汰。现在以压缩空气为动力又获新生，而且向大型方向发展，以满足许多大型基础施工的要求。液压桩锤——是一种新型打桩机械，由液压缸提升或驱动锤体产生冲击力沉桩。它具有冲击频率高，冲击能量大，公害少等优点，但构造复杂，造价高。

##### 2. 振动法

振动法是用振动沉拔桩机，靠振动桩锤使桩身产生高频振动，使桩尖处和桩身周围的阻力大大减小，桩在自重或稍加压力的作用下贯入土中。

##### 3. 压入法

压入法采用静力压拔桩机对桩施加持续静压力，把桩压入土中。这种施工方法噪声极小，桩头不受损坏。但是压桩机本身比较笨重，组装、迁移都较困难。

除以上几种施工方法外，还有钻孔插入法、射水沉拔法和空心桩的挖土沉桩法等。

#### 二、灌注桩施工机械

灌注桩的施工关键在成孔。成孔方法有挤土成孔法和取土成孔法。

##### 1. 挤土成孔法

挤土成孔法是把一根钢管打入土中，至设计深度后将钢管拔出，即可成孔。这种施工方法中常用振动桩锤，因为振动桩锤即可将钢管打入，还可将钢管拔出。

## 2. 取土成孔法

取土成孔法主要采用的成孔机械有：全套管钻孔机、回转斗钻孔机、反循环钻孔机、螺旋钻孔机和钻扩机等。

# 第二节 柴油打桩机

## 一、概述

柴油打桩机由柴油桩锤和打桩架组成。图 8-1 为安装在履带式打桩架上的筒式柴油桩锤的工作情况。

履带式打桩架是在履带式底盘的基础上设计而成的。由于这种桩架的立柱是由两个斜撑（支在附加液压支腿横梁的球座上）和下部托架支持着，也称为三点式履带打桩架。这种打桩架的优点是稳定性好，承受横向载荷的能力大。由于斜撑是伸缩式的（用液压油缸调节），所以立柱可以倾斜，以适应打斜桩的需要。

打桩时，桩锤的冲击力通过桩帽传给桩。桩锤装在打桩架的立柱上，由起升机构提升和起落，桩锤起落时，起升机构松放，桩锤沿立柱将桩打入地下。

柴油桩锤是柴油打桩机的主要部件，按构造不同分为导杆式和筒式两种。导杆式构造简单，造价低，但打击效率不高；筒式柴油锤是目前广泛采用的打桩设备，我国已制定了柴油锤的系列标准。现在世界上最大型的柴油锤冲击部分重达 15t，打下去的单桩承载力可达 10kN 以上。

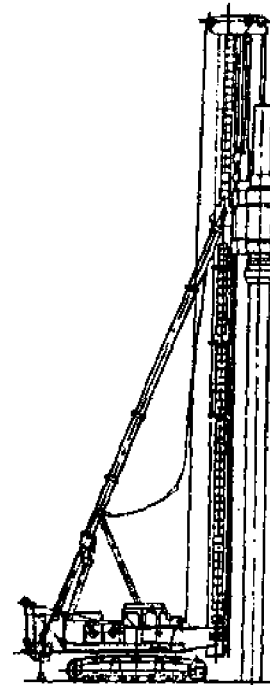


图 8-1 筒式柴油桩锤的工作情况

## 二、筒式柴油桩锤的工作原理

柴油桩锤的工作原理与二冲程柴油机相同。它利用柴油在气缸内燃烧时产生的爆发压力将锤头抛起，然后落下进行打击。

图 8-2 是筒式柴油桩锤的简单构造和工作循环图。筒式柴油桩锤是活塞做往复运动，气缸固定着。气缸 1 是上活塞 2（也就是桩锤）的导向装置，其上安装着燃油供给系统和冷却系统；下活塞 3 用于封住气缸的下端，还承受上活塞的冲击力，俗称“砧子”；桩帽 5 是一个缓冲垫（用木料或塑料），它保护桩头，使冲击力较均匀缓和地传给桩 6。

筒式柴油桩锤的工作循环及原理如下（见图 8-2）：

(a) 扫气、喷油——上活塞在重力作用下降落，进行扫气。当上活塞继续下降触及油泵的曲臂，便把适量的燃油射入下活塞凹形球碗内。

(b) 压缩——上活塞继续下降，把吸排气口关闭，气缸内的空气被压缩，空气的压力、温度升高，为燃烧爆发做好准备。

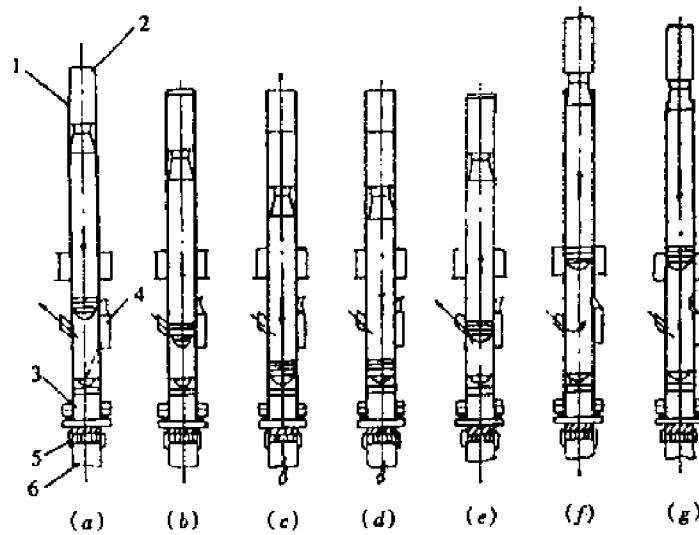


图 8-2 筒式柴油桩锤工作循环

1—气缸；2—上活塞；3—下活塞；4—燃油泵；5—桩帽；6—桩

(c) 冲击——上活塞继续下降，与下活塞相碰撞，产生强大的冲击力，使桩下沉。这一冲击力是沉桩的主要作用力。

(d) 爆发——上活塞在冲击下活塞的同时，下活塞的球碗中的燃油受冲击而飞溅雾化（这一过程叫“冲击雾化”）。雾化的燃油与高温气体混合而爆发燃烧。爆发所产生的压力又给桩一个下沉力；同时，使上活塞向上跳起。

(e) 排气——上活塞升至一定高度时，吸排气口打开。燃烧的废气在膨胀压力作用下，由吸排气口排出。当上活塞越过油泵的曲臂以后，曲臂在弹簧作用下恢复原位，吸入一定量的燃油，准备下一次喷油。

(f) 吸气——由于惯性作用，活塞继续上升。这时气缸内产生负压，新鲜空气被吸入气缸内。

(g) 降落——上活塞的动能全部转化成位能后，又再次下降，重复上述各过程。

从上面循环过程可以看出，柴油桩锤是靠活塞的往复运动产生冲击进行沉桩的。而活塞往复运动的能量来源是不断喷入的柴油。

### 三、筒式柴油桩锤的构造

筒式柴油桩锤主要由锤体、燃油供给系统、润滑系统、冷却系统及起落架等部分组成，如图 8-3 所示。

#### (一) 锤 体

锤体是桩锤的主要部件，它包括上、下气缸，上、下活塞及导向装置等。从图 8-3 中可看到气缸分为上、下两部分：上气缸 2 主要是在上活塞跳动时起导向作用，在上气缸后侧开有一条起吊上活塞的长槽，在上气缸外面还焊有控制起落架高度的磁块。下气缸是桩锤的工作气缸，需采用耐高温材料，它与活塞配合，因此，内壁的几何精度及表面加工精度要求较高。在下气缸中部开有六个孔，焊有六根进、排气管 25。下气缸外壁装有燃油箱 5 及燃油

泵 8。此外为了冷却缸筒还设有上水箱 24 及下水箱 10。下气缸后面还焊有导向板的连接板，使柴油桩锤能顺着主柱导轨滑动。

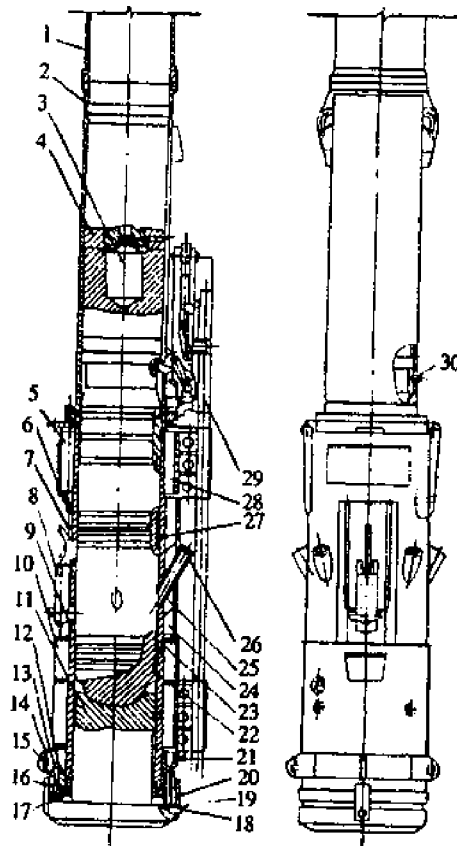


图 8-3 筒式柴油锤

1—导向缸；2—上气缸；3—润滑油室；4—上活塞；5—燃油箱；6—燃油滤清器；7—输油管；8—燃油泵；9—下气缸；10—下水箱；11—下活塞；12—锥头螺栓；13—锥形螺母；14—月牙垫；15—半圆铜套；16—连接盘；17—缓冲胶垫；18—螺钉；19—连接套；20—卡板；21—润滑油泵；22—活塞环；23—阻挡环；24—上水箱；25—进排气管；26—盖；27—导向环；28—润滑油箱；29—起落架；30—安全螺栓

上活塞为自由活塞，在下气缸内工作。上活塞分为头部、防漏带、导向带和顶部等。头部是一个球面，它与下活塞 11 的凹形球面相配合。由于下活塞凹槽球面半径比头部球面半径 2 mm，因此上、下活塞碰击时，形成一环状楔形间隙，存在凹槽内的燃油溅向四周、充分雾化。防漏带装有六道活塞环 22，起密封作用。阻挡环 23 比其他活塞环稍厚，除起密封作用外，还可防止上活塞跳出缸口，确保桩锤安全工作。导向带在上活塞的中部，装有五道能承受强烈震动和耐磨性好的铝铁锰青铜导向环 27，它保证上活塞沿缸体中心上、下运动。顶部设有润滑油室 3，油室周围开有许多小孔，当上活塞工作时，润滑油靠惯性作用从顶部四周小孔中溢出。油量大小用调节油塞来调整。

下活塞为承受上活塞强烈冲击，将此冲击力传给桩帽使桩下沉的部件。下活塞可分为头部、防漏带、导向带、底部等部分。底部是连接桩帽传递冲击能量的，在它的两侧各有一螺钉孔，用以安装安全卡板 20。

## (二) 燃油供给系统

它由燃油箱 5、滤油器 6、输油管 7、燃油泵 8 等组成。这里仅介绍燃油泵。

燃油泵为低压柱塞式，如图 8-4 所示。它的工作过程如下：上活塞跳起高度超过曲臂 1 时，在弹簧 5 的作用下摆进下气缸内，柱塞 10 也同时向上移动，打开柱塞套 9 上的油孔，把燃油吸入柱塞下方空间，这是吸油过程。当上活塞下落时，将曲臂推出，通过压杆 6 将柱塞向下压。在柱塞套上的油孔封闭后，柱塞下的燃油受压。当油压升高到足以克服弹簧 18 的弹力时，锥头 16、滑阀 17 开放。燃油在一定压力下经注油嘴射入下活塞的球碗内，这是压油过程。当上活塞上、下跳动工作时，燃油泵就不断地吸油、喷油，维持桩锤的工作。

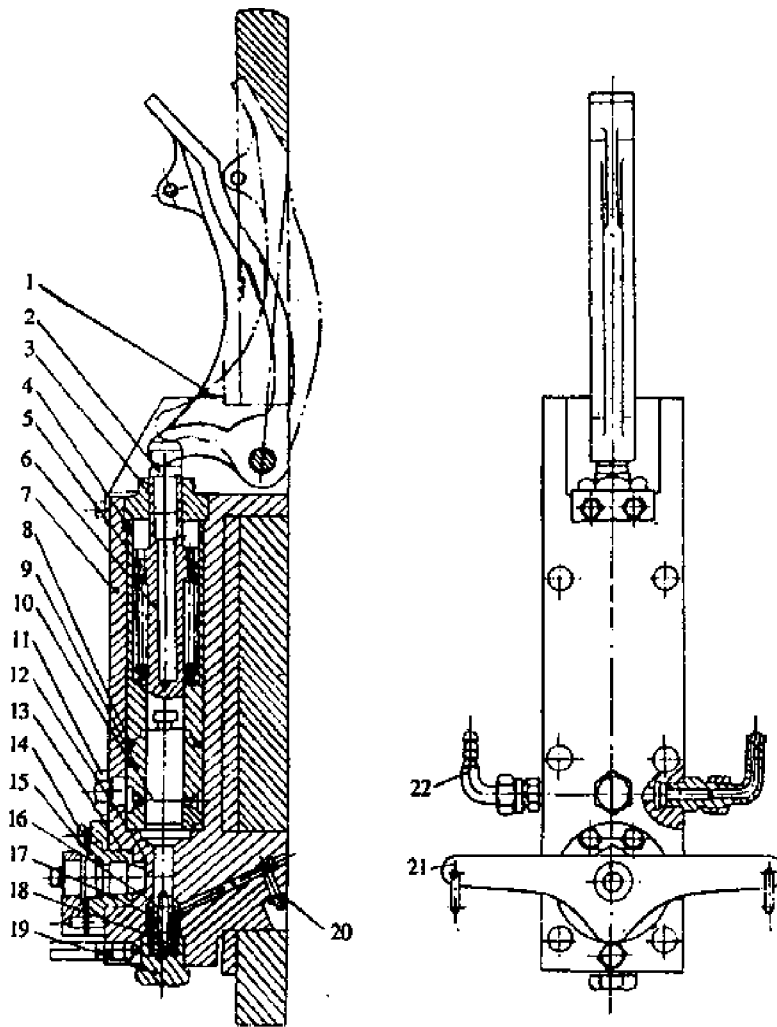


图 8-4 燃油泵

- 1—曲臂；2—顶销；3—压紧螺母；4—套筒；5、18—弹簧；6—压杆；7—泵体；8—密封圈；9—柱塞套；10—柱塞；  
11—放气螺钉；12—回油孔；13—调节锥阀；14—O 型密封圈；15—螺母；16—锥头；17—滑阀；19—阀体；  
20—注油嘴；21—调节杠杆；22—球面接管

燃油泵注入缸内的油量可以用调节杠杆 21 来调整。当调节杠杆顺时针转动时，调节锥阀 13 的锥面与泵体 7 锥孔之间的空隙逐渐减小，直至完全关闭；反之，则空隙逐渐加大。桩锤工作时，燃油泵的柱塞行程保持不变，所以每次泵出的油量是一定的。当锥阀 13 的锥面与泵体 7 锥孔间有空隙时，一部分燃油便经此空隙通过回油孔 12 回到柱塞套 9 的外部。随着空隙的增大，回到柱塞套外的油量也就增大，从而使射入气缸内的油量减少，直至完全中断。拉住曲臂，不让它返回缸体内，也可以中断燃油供应。调节杠杆和曲臂的操纵是用三

根绳索，这样即使桩锤在离地很高时，也能很方便地操纵。

### (三) 起落架

起落架是用来提升上活塞进行起动和提升整个桩锤的，其构造如图 8-5 所示。提升上活塞是利用钩子 10。当整个起落架下降时，杠杆 12 碰到气缸上的下碰块时，杠杆 12 向上抬起（如图上实线所示）。摆杆 17 顺时针摆动，推动连接板 11 使钩子抬起并伸入气缸内。当起落架上升时，钩子就钩在活塞的凸肩上，并把上活塞提起。当杠杆 12 碰到气缸体的上碰块时，摆杆 17 逆时针摆动，使钩子退回，如图上虚线位置，上活塞脱钩下落，柴油桩锤起动工作。

在钩子的两侧还有提升桩锤的齿条凸块各一块。这一对凸块可以在操纵绳的控制下伸出挂住桩锤，将其提升起来或者缩回，把桩锤释放，使之自由地坐在桩头上，随桩的下沉而下降。

## 四、柴油桩锤工作参数及其选择

### (一) 柴油桩锤主要工作参数

柴油桩锤的主要工作参数是：冲击部分重量  $W$ 、行程  $H$ 、一次冲击最大能量  $E$  和每分钟冲击次数  $n$ 。

#### 1. 冲击部分重量 $W$

冲击部分重量对筒式柴油桩锤来说就是上活塞的重量。 $W$ （单位为  $N$ ）是标定柴油桩锤系列的主参数，是选用柴油桩锤的主要依据。

#### 2. 行程 $H$

行程  $H$  是指锤体的最大降落高度。筒式柴油桩锤的行程是上活塞跳起的最大降落高度。桩锤的冲击能量决定于行程的大小。但行程过大，容易将桩打坏，使气缸构造复杂，加工困难，同时会使冲击频率减小，打桩效率降低。现在筒式柴油桩锤的行程一般为  $2 \sim 2.5$  m。

#### 3. 一次冲击最大能量 $E$

一次冲击最大能量  $E$  是指桩锤在一个循环内使锤体获得的最大机械能。目前采用如下近似公式计算

$$E = 12WH \quad (N \cdot m) \quad (8-1)$$

打斜桩时

$$E = 12WH \left( \cos \theta - \frac{\mu}{12} \sin \theta \right) \quad (N \cdot m) \quad (8-2)$$

式中  $\theta$ ——桩锤轴线与垂线的夹角；  
 $\mu$ ——上活塞与气缸间的摩擦系数。

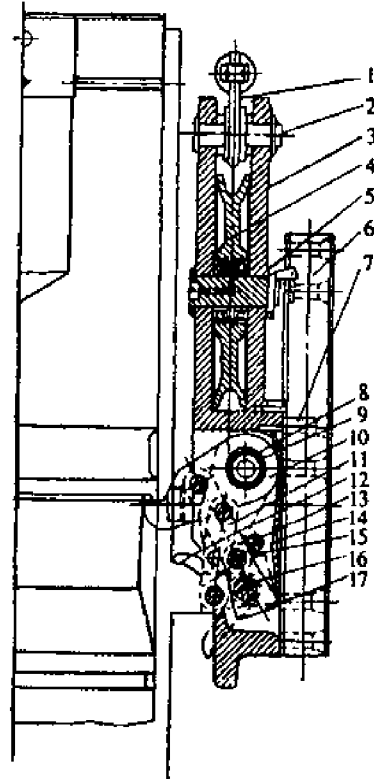


图 8-5 起落架

1—钢丝绳；2—小轴；3—机架；4—滑轮；5—滑轮轴；6—导向板；7—埋头螺栓；8—铜套；9—轴套；10—钩子；11—连接板；12—杠杆；13—挡轴；15—销子；16—杠杆轴；17—摆杆



#### 4. 冲击频率 $n$

冲击频率  $n$  是指锤体每分钟平均冲击的次数。若设筒式柴油桩锤上活塞完成一个循环的时间为  $t$ ，按下落物体和上抛物体计算，则每一循环的时间可由下式近似求得

$$t = \sqrt{H} \quad (\text{s}) \quad (8-3)$$

则每分钟冲击次数为

$$n = \frac{60}{\sqrt{H}} \quad (8-4)$$

打斜桩时

$$n = 60 \sqrt{\frac{\cos \theta}{H}} \quad (8-5)$$

### (二) 沉桩计算及桩锤选择

#### 1. 沉桩力

在打桩过程中，沉桩阻力随桩的下沉而不断增加，最后阻力与桩锤作用在桩上的力相平衡，桩即停止下沉。在实际应用时，一般以每十次击桩的下沉量小于 5 mm，为桩停止下沉的标志，并认为这时作用在桩上的沉桩力（即作用在桩上的冲击力） $P$  等于沉桩阻力  $R$ 。而沉桩阻力可取为桩的极限承载力。所以，计算沉桩力对桩的设计与施工都很重要。

如果柴油桩锤所发挥的能量  $E$  全部用于克服沉桩阻力  $R$  做功而没有其他损失，那么  $RS = E$ ，其中  $S$  为贯入度。但实际上桩锤所发挥的能量只有一部分用于沉桩，而另一部分在锤击过程中损失掉。所以沉桩阻力计算如下

$$R = \frac{1000E}{S + (C_1 + C_2 + C_3)/2} \eta \quad (\text{N}) \quad (8-6)$$

式中  $E$ ——柴油桩锤的冲击能量 ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )；

$S$ ——最终贯入度 ( $\text{mm}$ )；

$C_1$ ——锤击时桩帽、桩头的弹性变形 ( $\text{mm}$ )，其值见表 8-1；

$C_2$ ——锤击时桩身的弹性变形 ( $\text{mm}$ )，其值见表 8-2；

$C_3$ ——锤击时桩周围和端部土壤的弹性变形 ( $\text{mm}$ )，其值见表 8-3；

$\eta$ ——锤击效率。

表 8-1  $C_1$  值 ( $\text{mm}$ )

桩 的 材 料	容易贯入 $P_1^* = 35$	中等程度 $P_1 = 70$	难贯入 $P_1 = 105$	极难贯入 $P_1 = 140$
木 桩	1.3	2.5	3.8	5.1
预制混凝土桩，有桩帽	0.6	1.3	1.9	2.5
钢桩及钢板桩，有木制桩帽	1.0	2.0	3.0	4.0
钢桩，无桩帽	0	0	0	0

\*  $P_1 = 0.1(R/A_0)$  (MPa)，其中  $A_0$ ——桩头截面积 ( $\text{cm}^2$ )，应先估计  $R$  值，方能在表中查找  $C_1$  值。

表 8-2  $C_2$  值 (mm)

桩的材料	木桩及混凝土桩	容易贯入 $P_2 = 35$	中等程度 $P_2 = 70$	难贯入 $P_2 = 105$	极难贯入 $P_2 = 140$
	钢 桩	$P_2^* = 525$	$P_2 = 1050$	$P_2 = 1575$	$P_2 = 2100$
木桩 $E = 10^4$ (N·m)		0.30L**	0.61L	0.91L	1.21L
混凝土桩 $E = 2.1 \times 10^4$ (N·m)		0.15L	0.30L	0.46L	0.61L
钢桩 $E = 2.1 \times 10^5$ (N·m)		0.23L	0.46L	0.68L	0.91L

\*  $P_2 = 0.1(R/A_s)$  (MPa), 其中  $A_s$ ——桩身截面积 ( $\text{cm}^2$ ), 应先估计  $R$  值, 方能在表中查找  $C_2$  值。

\*\*  $L$ ——桩头至桩入土部分中心距离 (m)。

表 8-3  $C_3$  值 (mm)

桩的截面种类	容易贯入 $P_3^* = 35$	中等程度 $P_3 = 70$	难贯入 $P_3 = 105$	极难贯入 $P_3 = 140$
对所有等截面桩	0~2.5	2.5	2.5	2.5

\*  $P_3 = 0.1(R/A_s)$  (MPa), 其中  $A_s$ ——对端承桩为桩尖的水平投影面积 ( $\text{cm}^2$ ); 对摩擦桩为桩身沉入土壤内部分的表面积 ( $\text{cm}^2$ ); 应先估计  $R$  值, 方能在表中查找  $C_3$  值。

当  $W \geq Q\varepsilon$  时

$$\eta = \frac{W + \varepsilon^2 Q}{W + Q} \quad (8-7)$$

当  $W < Q\varepsilon$  时

$$\eta = \frac{W + \varepsilon^2 Q}{W + Q} - \left( \frac{W - \varepsilon^2 Q}{W + Q} \right)^2 \quad (8-8)$$

其中  $Q$ ——桩重 (N),

$\varepsilon$ ——恢复系数, 见表 8-4。

表 8-4  $\varepsilon$  恢复系数

桩 的 类 型	$\varepsilon$	桩 的 类 型	$\varepsilon$
钢桩, 无桩帽	0.5	混凝土桩, 有桩帽, 有垫层	0.4
混凝土桩, 无桩帽, 有垫层		木 桩	

## 2. 桩锤的选择

选择桩锤的主要依据是桩的承载能力, 另外还应考虑施工效率和锤击时桩头、桩身的应力。

从式 (8-6) 中可以明显看出桩的承载能力主要决定于桩锤的冲击能量  $E$ 。因此, 承载能力大的桩必须用冲击能量大的锤来打。用小锤打大桩, 桩将很快停止下沉, 而桩的承载能力还远没有达到设计要求。所以, 在选择桩锤时应根据最终贯入度来检验其冲击能量是否满足要求。当桩锤选定后, 应将所选桩锤的冲击能量值代入式 (8-6), 反过来求贯入度  $S$ , 以便在施工时加以控制。

为了提高锤击效率  $\eta$ , 理论上应使所选桩锤的重量大于桩的重量, 而且是大得越多则锤击效率越高。但是, 选用过大的桩锤不仅不经济, 而且往往会把桩打坏。

综合上述各种因素, 选择桩锤时可参考表 8-5。

表 8-5 桩锤选择条件

等级 (0.1t)	13 ~ 14	23 ~ 25	33 ~ 35	43 ~ 45	60 ~ 70	80	150
桩重 (t)	1.0 ~ 1.5	1.7 ~ 5.5	2.3 ~ 8.0	3.3 ~ 10.0	5.2 ~ 14.0	6 ~ 16	10 ~ 45
钢管桩	φ300 ~ 450	φ400 ~ 600	φ500 ~ 800	φ600 ~ 1000	φ800 ~ 1500	φ1500 以下	φ2200 以下
混凝土桩	φ250 ~ 400	φ350 ~ 500	φ400 ~ 600	φ500 ~ 800	φ700 ~ 1200	φ1000 以下	φ1400 以下
I、H 型钢桩	250 ~ 400	300 ~ 400	350 ~ 400	>400	—	—	—
木 桩	>φ300	—	—	—	—	—	—

### 第三节 振动沉拔桩机

#### 一、概 述

振动沉拔桩机由振动桩锤和通用桩架或通用起重机械组成。

振动桩锤系利用机械振动法使桩沉入或拔出。振动桩锤按作用原理分为：振动式和振动冲击式；按动力装置与振动器连接分为：刚性式和柔性式；按振动频率分为：低、中、高和超高频等。

由于振动桩锤是靠减小桩与土壤间摩擦力达到沉桩目的的，所以在桩和土壤间摩擦力减小的情况下，可以用稍大于桩和锤重的力即可将桩拔起。因此振动桩锤不仅适合于沉桩，而且适合于拔桩。沉桩、拔桩的效率都很高，故称这种桩机为振动沉拔桩机。

振动桩锤一般为电力驱动，因此必须有电源，且需要较大的容量。振动桩锤的优点是工作时不损伤桩头；噪声小，不排出任何有害气体；使用方便，可不用设置导向桩架，用普通起重机吊装即可工作；不仅能施工预制桩，而且也适合施工灌注桩，所以应用也很广泛。

#### 二、振动桩锤的工作原理

振动桩锤是使桩身产生高频振动（频率一般为 700 ~ 1800 次/min）并传给桩周围的土壤，在振动作用下破坏桩和土壤的粘结力，减小阻力使桩在自重作用下下沉。振动桩锤的主要工作装置是一个振动器，它是产生振动的振源。

机械式振动器由两根带有偏心块的高速轴组成。两轴的转向相反，转速相等，如图 8-6 (b) 所示。

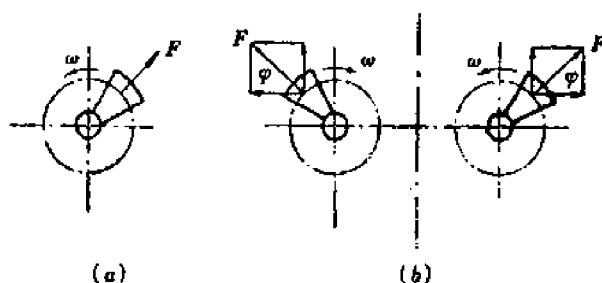


图 8-6 振动器工作原理

对于一根带有偏心块的高速轴，如图 8-6 (a) 所示，其旋转时偏心块产生的离心力为

$$F = mr\omega^2 \times 10^{-3} \quad (\text{N}) \quad (8-9)$$

式中  $m$ ——偏心块的质量 (kg);  
 $\omega$ ——角速度 (rad);  
 $r$ ——偏心块质心至回转中心的距离 (mm)。

由于离心力  $F$  的方向是变化的, 形成一种圆振动。如果将两根带有偏心块的高速轴组合在一起, 使其转向相反、转速相等, 如图 8-6 (b) 所示。这时两根轴上的偏心块所产生的离心力, 在水平方向上的分力互相抵消, 而在其垂直方向上的分力则叠加起来, 其合力为

$$P = 2mr\omega^2 \sin \varphi \times 10^{-3} \quad (\text{N}) \quad (8-10)$$

式中  $\varphi$ ——离心力与水平方向的夹角。

这个力  $P$  一般称为“激振力”。激振力的方向是沿振动器两轴连线的垂直方向, 大小随  $\varphi$  角而变化。它通过轴承、机壳传给桩, 使桩身沿其轴向产生强迫振动。

### 三、振动桩锤的构造

振动桩锤主要由原动机、振动器、夹桩器和吸振器等组成。图 8-7 是国产 DZ<sub>1</sub>-8000 型振动桩锤的外形图。

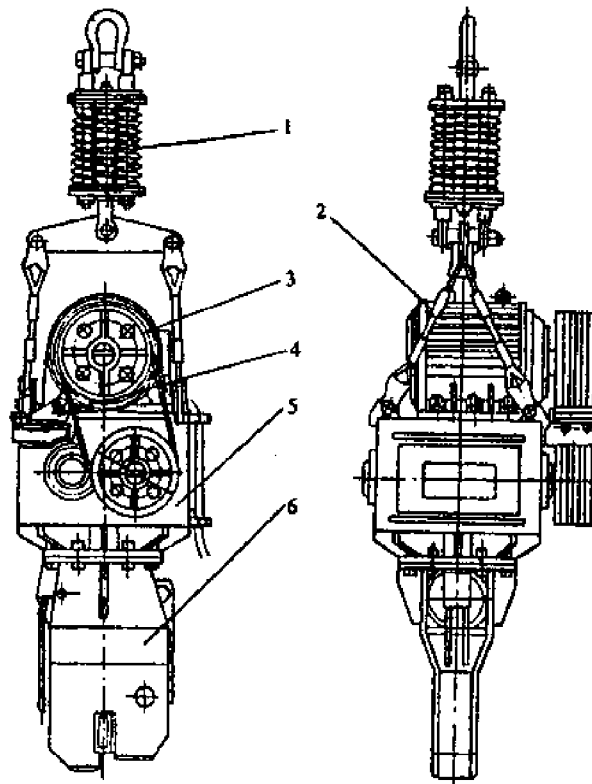


图 8-7 DZ<sub>1</sub>-8000 型振动桩锤

1—吸振器; 2—电动机; 3—皮带轮; 4—张紧机构; 5—振动箱体; 6—夹桩器

#### (一) 振动器

DZ<sub>1</sub>-8000 型振动桩锤系采用单电机驱动的双轴振动器, 如图 8-8 所示。

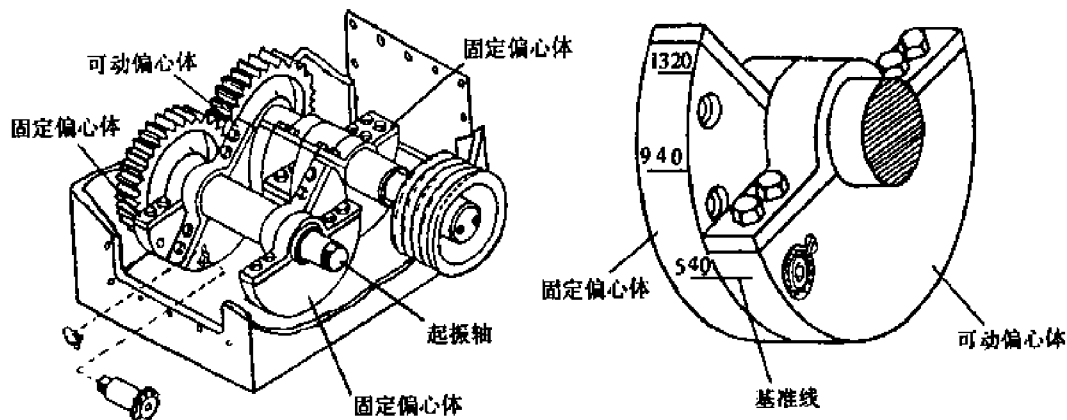


图 8-8 双轴振动器

振动器由耐震电动机通过三角皮带，将动力传给振动箱内的一对相互啮合的圆柱齿轮的两根传动轴上，轴上装有可调节静偏心力矩的四组偏心块。偏心块旋转即产生激振力。

每组偏心块均由一个固定偏心块与一个活动偏心块用定位销轴来固定它们的相互位置。为了防止松动，活动偏心块上装有止动臂，用以锁紧定位销。改变两偏心块的重合角度，即可达到调整静偏心力矩的目的。

振动器的频率可以通过改变主、从动皮带轮的直径来实现。箱体内的齿轮与轴承是靠偏心块打油飞溅润滑的。

### (二) 夹桩器

夹桩器为桩锤与桩刚性相连的夹具，它应将振动无滑动地传给桩。

夹桩器分为：液压式、气动式、手动（杠杆或液压）式等。DZ<sub>1</sub>-8000 型采用液压夹桩器，其主要组成部分是油缸、倍率杠杆和夹钳。夹钳根据桩的形状能作相应的变换，图 8-7 所示的夹钳适用于夹持型钢、板桩等。液压夹桩器夹持力大，操纵迅速，相对重量轻。

### (三) 吸振器

吸振器是为避免将振动桩锤的振动传给吊钩的一组弹性悬挂装置。吸振器一般由几组螺旋弹簧组成，如图 8-7 所示。

吸振器在沉桩时受力较小，但在拔桩时则受到较大的载荷。在拔桩时，超载会使螺旋弹簧被压密而失效，使振动传至吊钩。因此，吸振器应根据拔桩力的大小来设计。

## 第四节 灌注桩成孔机械

### 一、挤土成孔设备

挤土成孔是把一根与孔径相同的钢管打入土中，然后把钢管拔出即可成孔。挤土成孔设备是由打桩架和振动桩锤组成。打、拔管通常是用振动桩锤，而且是采取边拔管边灌注混凝土的方法，这样大大提高了灌注质量。

图 8-9 是振动灌注成孔桩的示意图。在振动桩锤 1 的下部装有一根与桩径相同的桩管 4，桩管上部有一加混凝土的加料口 3，桩管下部为一活瓣桩尖 5。桩管就位后开始振动桩锤，

使桩管沉入土中。这时活瓣桩尖由于受到端部土压力的作用，紧紧闭合。一般桩管较轻，所以常常要加压使桩管下沉到设计标高，如图 8-9 (b) 所示。达到设计标高以后，根据要求可放钢筋笼，然后用上料斗 6 将混凝土从加料口注入桩管内，如图 8-9 (c) 所示。这时再启动振动桩锤，逐渐将桩管拔出。拔管时活瓣桩尖在混凝土重力的作用下打开，混凝土落入孔内，由于一面拔管一面振动，所以孔内混凝土浇注得很密实，如图 8-9 (d) 所示。最后形成桩，如图 8-9 (e) 所示。

采用振动挤土成孔法还可以施工爆扩桩。在成孔后，在孔底放置适量的炸药，然后注入混凝土。引爆后，孔底扩大，混凝土靠自重充满扩大部分，最后放置钢筋笼浇注其余部分混凝土。

采用挤土的方法一般只适于直径为 50 cm 以下的桩。对于大直径桩采用取土成孔的方法。

## 二、长螺旋钻孔机

取土成孔中钻孔成桩可采用长螺旋钻孔法，它由长螺旋钻孔机来完成。长螺旋钻孔机如图 8-10 所示，它装在履带式桩架上。

长螺旋钻孔机由电动机 1、行星齿轮减速器 2、钻杆 2 和钻头 4 等组成。

长螺旋钻孔机大都采用电力驱动。因为钻机经常是在满负荷下工作，而且常常由于土质的变化或操作不当（如钻进过量）而超载。电动机适合于在满载工况下运转，同时具有较好的过载保护装置。

钻机上部的减速器大都采用立式行星减速器。在减速器朝向桩架的一侧装有导向装置，使钻具能沿钻架上的导轨上下滑动。

钻杆 3 的作用是传递扭矩并向上输土。钻杆的中心是一根无缝钢管，在管外焊有螺旋叶片。螺旋叶片的外径  $D$  等于桩孔的直径，螺旋叶片的螺距一般取为  $(0.6 \sim 0.7) D$ 。钻杆的长度应略大于桩孔的深度。当钻杆较长时，可以分段制作，各段钢管之间用法兰相连，连接处的螺旋叶片采用搭接形式。

钻头 4 是钻具上带有切削刃的部分。钻头的形式是多种多样的，常用的一种构造如图 8-10（右上角放大图）所示。钻头的刀片 8 是一块扇形钢板，它用接头 7 装在钻杆上，以便于更换。在刀板的端部装有切削刃 10。切削软土时应装硬质锰钢刀刃，切削冻土时必须装合金刀头。切削刃的前角  $\gamma$  为  $20^\circ$  左右，后角  $\alpha$  为  $8^\circ \sim 12^\circ$ 。钻头工作时，左右刃应同时进

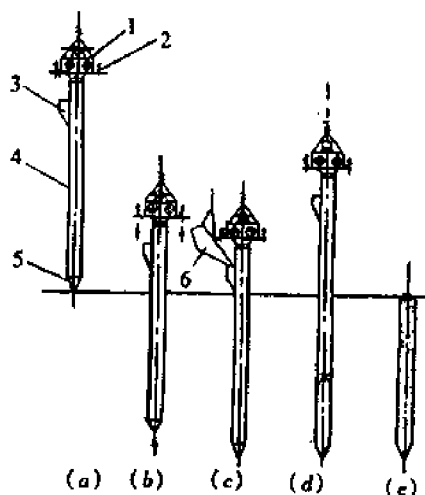


图 8-9 振动灌注桩工艺过程

1—振动锤；2—减振弹簧；3—加料口；4—桩管；  
5—活瓣桩尖；6—上料斗

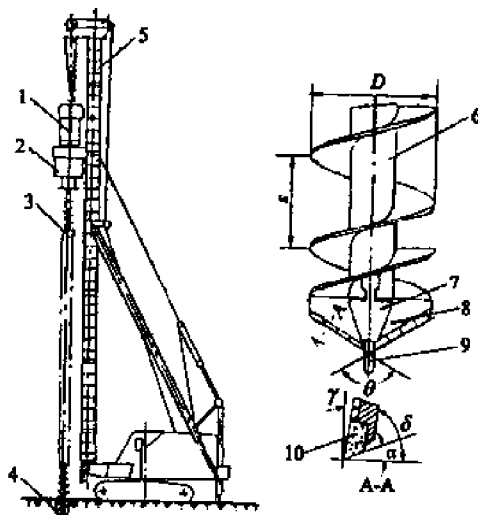


图 8-10 长螺旋钻孔机

1—电动机；2—行星齿轮减速器；3—钻杆；4—钻头；  
5—钻架；6—无缝钢管；7—钻头接头；  
8—刀片；9—定心尖；10—切削刃

行切削，为了使切下来的土能及时输送到输土螺旋叶片上，钻杆端部有一小段双头螺旋部分。在钻头的前端装有定心尖，它起导向定位作用，防止钻孔歪斜。

这种钻机可钻 8 ~ 15 m 的深孔，钻进速度可选 1.5 ~ 2 m/min。

### 复习思考题

1. 施工预制桩和灌注桩各采用哪些方法？有哪些机械与设备？
2. 筒式柴油打桩锤由哪些部分组成？各部分的构造有什么特点？
3. 试述筒式柴油打桩锤的作用原理。
4. 试述振动桩锤的构造与振动沉桩的工作原理。
5. 机械式振动桩锤的激振力是如何产生的？怎样计算？
6. 试述挤土成孔灌注桩的施工过程。

## 第九章 石方工程机械

在基本建设工程中，地下工程的掘进和石料的开采，碎石、砾石、砂等建筑材料的破碎、筛分和洗涤等工作都是非常繁重的劳动。为了改善劳动条件，减轻劳动强度，加快施工进度，提高生产效率，设计使用着各种类型的石方工程机械。下面主要介绍凿岩机械、破碎机械和筛选设备。

### 第一节 凿岩机械

在隧道和地下工程的施工中，工程上常用的掘进方法有：钻孔爆破法、掘进机法和盾构法。其中钻孔爆破法是最主要、最基本的掘进方法。钻孔爆破法首先是用凿岩机械在岩石的工作面上开凿一定深度和孔径的炮孔，然后装入炸药进行爆破，爆破后的碎石由装岩运输机械运送的指定地点。在凿岩作业中，凿岩机和凿岩台车是国内外应用最广泛的机械。

#### 一、凿岩机的作用原理及类型

凿岩机主要用在中硬和坚硬的岩石中钻凿炮孔。图 9-1 为冲击转动式凿岩机工作原理。在轴向力（冲击力） $P$  的作用下，钻头凿入岩石一个深度为  $c$  的槽，其破碎岩石的面积为 I-I'。然后将钎头转动一个角度  $\beta$  再进行冲击，相应的破碎面积为 II-II'，如此往复循环运动，即形成具有一定深度的圆形炮孔。在两次冲击之间留下来的岩瘤，被钎头切削刃上所产生的水平分力  $T$  剪碎。此外，为保证钎杆能持续有效地凿岩钻孔，还必须把凿岩过程中的粉尘从炮孔中及时排出。

凿岩机按驱动的动力分为：风动、电动、内燃和液压等类型。风动凿岩机是以压缩空气为动力，其优点是结构简单、工作可靠。其缺点是配套设备多、效率低、噪声大，但目前现场仍普遍使用。电动凿岩机，因动力获得方便，故效率高，主要应用在软岩石的钻孔中。内燃凿岩机是以小型内燃机为动力，虽结构复杂，但因其本身带有动力机构，使用灵活，适用于无其他能源条件的地区。液压凿岩机是以高压油为驱动力，它功率消耗少、噪声低、效率高，是逐渐推广、发展迅速的一种新型凿岩机械。

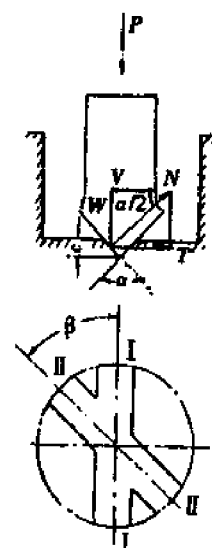


图 9-1  
冲击转动式凿岩机工作原理



## 二、风动凿岩机

### (一) 风动凿岩机的类型

风动凿岩机根据其重量大小、安装方式、推进方式分为以下几种：

#### 1. 手持式凿岩机

手持式凿岩机重量为 10 ~ 35 kg，常用在中硬或坚硬岩石上钻孔。可用手操作打向下的、水平的和倾斜方向的炮孔，钻孔深度可达 5 m。

#### 2. 气腿式凿岩机

气腿式凿岩机重量为 25 ~ 50 kg，其打孔能力较大，主要用在坚硬岩石上打水平的和倾斜的炮孔。其特点是使用可伸缩气腿来支撑和推进凿岩机的工作，如图 9-2 所示。

#### 3. 导轨式凿岩机

导轨式凿岩机重量为 40 ~ 80 kg。它不仅需要支架来支撑其重量使其能钻凿各个方向的炮孔，而且还架设在导轨上，用手动的或动力的推进装置，使凿岩机在冲击钻进的同时，沿导轨不断地向前推进。导轨式凿岩机主要与单柱导轨架和钻孔台车配套，在中硬以上岩石中使用。钻孔孔径为 50 ~ 70 mm，孔深为 20 ~ 50 m。

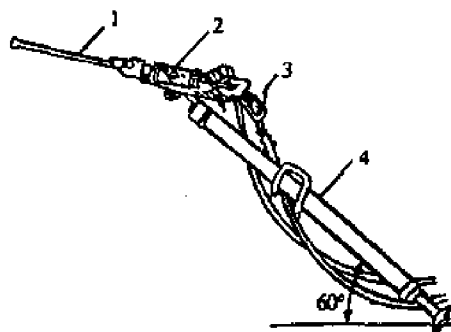


图 9-2 气腿式凿岩机

1—钢钎；2—凿岩机；3—注油器；4—气腿

### (二) 风动凿岩机的构造

风动凿岩机的钻孔过程是属于冲击转动凿岩。要在岩体上钻成圆形炮孔，一方面需要使钎头频繁地往复冲击岩体，不断破碎岩石；另一方面还要在每冲击一次之后，使钎头旋转一个角度，以改换钎刃冲击的位置，这样才能提高钻进速度，并使钻孔呈圆形。此外，还需要将破碎的岩屑排出孔外，保证钻孔的顺利进行。

图 9-3 为风动凿岩机的外形和剖视图。它由圆柱形的气缸 1、气缸盖 2 和机头 3 组成，机头与气缸用螺栓 4 联接起来。压缩空气由进风管 5 进入配气机构。用来直接钻凿岩石的钎子则安装在托钎器 7 上。

在图 9-3 的剖视图上说明了凿岩机的构造和部件安装位置。它由起动装置、配气和冲击机构、转钎机构、排粉装置和润滑装置等部分组成。

#### 1. 起动装置

它装在气缸盖上，由进气管 5、节气阀 19 和节气阀操纵手柄 20 组成。扳动手柄 20 可使凿岩机处于三个位置：慢速工作、正常工作和不工作。

#### 2. 配气和冲击机构

由节气阀进入的压缩空气，借助配气机构的作用使气缸内的活塞产生往复运动以冲击钎尾。图 9-4 表示一种具有环形滑阀配气冲击机构的动作原理。

工作行程开始时如图 9-4 (a) 所示，滑阀 1 和活塞 2 均处于左边位置，由节气阀 4 进入的压缩空气沿箭头所示方向经棘轮环 9 上的孔、阀座 6 及阀箱 8 上的气道进入配气机构的环形室，经阀盖 7 与环形滑阀 1 之间的空隙进入气缸 3 的左腔。压缩空气的压力作用在活塞 2 的左端。气缸 3 右腔这时经排气孔与大气相通。因此活塞右端面上的压力比左端面低，故活塞向右运动，到活塞行程终点时冲击钎尾，工作行程结束。

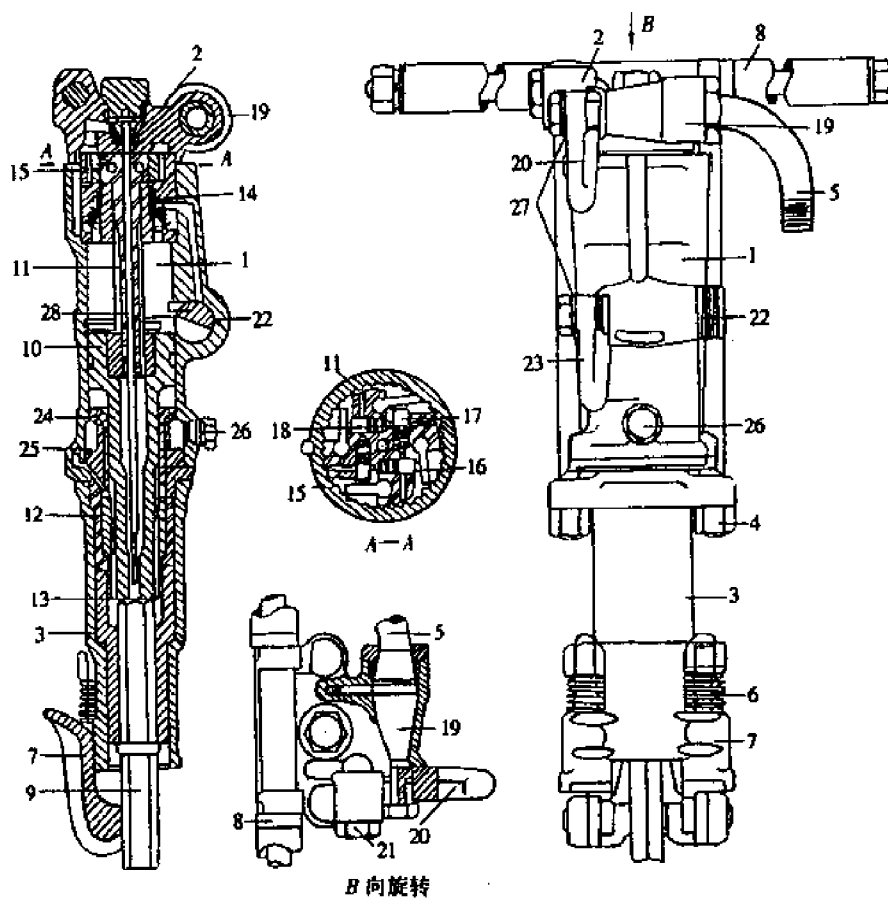


图 9-3 风动冲击转动凿岩机

- 1—气缸；2—气缸盖；3—机头；4—螺栓；5—进气管；6—托钎器弹簧；7—托钎器；8—手柄；9—钎子；10—活塞；  
 11—螺旋转（往复杆）；12—格条套筒；13—钎尾套筒；14—环形滑阀；15—棘轮环；16—棘爪；17—销子；18—棘爪销子弹簧；19—节气阀；20—节气阀操纵手柄；21—进水管塞栓；22—排气阀；23—排气阀把手；  
 24—活塞杆导套；25—油池；26—油池螺旋；27—防震垫圈；28—水针

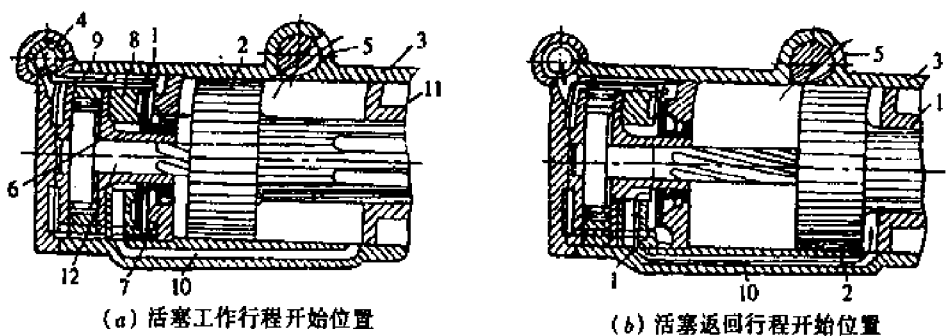


图 9-4 环形滑阀配气机构

- 1—环形滑阀；2—活塞；3—气缸；4—节气阀；5—排气孔；6—阀座；7—阀盖；8—网箱；  
 9—棘轮环；10—返程气道；11—格条套筒；12—螺旋棒

当活塞 2 向右移动越过排气孔 5 后，气缸左腔便与排气孔 5 相通。此时，气缸右腔的废气被压缩。废气压力逐渐升高后，沿返程气道 10 进入环形滑阀的左面。由于环形滑阀右面与大气相通，故滑阀在废气压力作用下自左移到极右位置，关闭通至气缸左腔的气道，而将

通至右腔的气道打开。由节气阀来的压缩空气即可沿箭头所示气路经过返程气道 10 进入气缸右腔，从右向左施加压力于活塞的右端，使活塞向左运动，实现返回行程。

返回行程开始时如图 9-4 (b) 所示，滑阀和活塞均处于极右位置。活塞返回时，其右端关闭排气孔 5 后，气缸左腔的废气被压缩而压力升高。当活塞右端打开排气孔 5，气缸右腔压力下降，作用在滑阀 1 左面的压力也降低，故滑阀在废气压力作用下，自右向左移动，关闭返回行程气路，返回行程结束，活塞将开始下一次冲击。

### 3. 转钎机构

转钎机构的作用是使钎子每受一次冲击之后，转动一个角度，改变钎刃钻凿的位置，使钎刃在冲击力作用下对岩石产生剪切力。

如图 9-3 所示，转钎机构由棘轮环 15、螺旋棒 11、下部有直格条的活塞 10、格条套筒 12 和钎尾套筒 13 等组成。螺旋棒 11 与活塞 10 内的螺旋套组成螺旋副。格条套筒 12 内有与活塞上的格条相啮合的格条槽。钎尾套筒 13 有六角形内断面，与六角钢钎尾相啮合。格条套筒与钎尾套筒之间是由凸出的牙嵌合在一起，二者能一起转动。在螺旋棒 11 上端的铣槽内嵌有四个棘爪 16，它与固定不动的棘轮环 15 相啮合。棘爪由棘爪销子 17 和销子弹簧 18 顶出，因此螺旋棒在棘轮环内只能朝一个方向转动。

工作冲程时，活塞向下移动。由于活塞的作用，使它与螺旋棒产生相对轴位移，迫使螺旋棒转动一个角度。这时棘爪顺着棘轮环，允许它转动，而钎子在受到冲击却未转动。当活塞返回时，活塞向上移动，并迫使螺旋棒企图向反方向转动。但是由于棘爪抵在棘轮环的齿槽上，不允许螺旋棒朝反方向转动，故反而迫使活塞本身沿螺旋棒转动一个角度 ( $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ )。于是活塞带动格条套筒和钎尾套筒，也带动钎子旋转同样的角度。

### 4. 排粉装置

由钻孔底部排出岩粉的方法有两种：用压力水冲洗的湿法和用压缩空气吹刷的干法。由图 9-3 可知，用湿法时压力水是由气缸盖顶部进水管 5 引入的，经水针 28 直达钎子 9 的尾部，再由钎子中心孔送到炮孔底部，将岩粉冲洗出来并使钎头冷却。供水的压力应低于压缩空气压力，以免水侵入凿岩机内部。

当需要强烈吹扫孔底时，可使用干法。这时应关闭排气阀 22，使活塞停止冲击，将压缩空气引入经水针或不经水针（视构造而定）直达孔底，把岩粉吹出。用干法排粉时，为防止岩粉污染环境，应设捕尘器，以降低空气的含尘量。

### 5. 润滑装置

一般均采用自动润滑系统，不间断地对活塞进行均匀润滑。润滑油是储存在活塞杆导套 24 内的油池 25 中。打开螺塞 26 可向油池补充润滑油料。另一种自动润滑方式是将自动注油器串联在进风管路上，使形成的雾状油粒与压缩空气一道进入凿岩机进行润滑。

## (三) 凿岩工具

凿岩机所用的凿岩工具是钎子。钎子套在凿岩机的机头托钎架上，用以直接冲击岩石。钎子按其构造不同可分为整根钎子和组合钎子两种。整根钎子是由整根钢材制成，其钎头、钎杆和钎尾是合成一体的，如图 9-5 (a) 所示。组合钎子由可更换的活钎头与钎杆组合而成，钎头如图 9-5 (b)、(c) 所示。钎子是由六角形断面的棒料制成，其中心有孔道，压力水和压缩空气通过这一孔道进到孔底冲洗岩粉。钎尾的形状和尺寸应与凿岩机的钎尾套筒相适

应。钎头上的刀片有一字形、十字形和六角星形等几种。在中硬岩石钻孔作业中，一字形钎头较为适宜，但遇岩石隙缝较多时容易卡钎。十字形和星形钻头则不易卡钎，在各种岩石中均可应用，但钻进速度不如一字形快。

组合钎子应用较广泛，活钎头均用优质钢或镶嵌硬质合金刀片制成。活钎头与钎杆的连接方式有螺旋和圆锥形两种，更换均要简便易行。

### 三、液压凿岩机

#### (一) 液压凿岩机的类型

按液压凿岩机冲击机构的配油方式可分为有阀和无阀两大类。

##### 1. 有阀类

这类液压凿岩机的结构与有阀配气的风动凿岩机类似，用配油阀配油来发迹油缸两腔的压力油或回油状况，以驱动活塞做往复运动。有阀配油是目前国内外的液压凿岩机的主要结构型式。

##### 2. 无阀类

这类凿岩机是以活塞本身的运动进行配油的。活塞是冲击机构唯一的运动件，它既起冲击作用又起配油作用。无阀配油的凿岩机正在研制阶段，目前只有美国生产的两种型号。

#### (二) 液压凿岩机的结构和工作原理

液压凿岩机是在风动凿岩机的基础上发展起来的。它与风动凿岩机一样，也是利用压力差作用，推动活塞在缸体内做往复运动，冲击钎子破碎岩石的。它具有与风动凿岩机类似的各种机构（冲击机构、转钎机构、排粉机构、推进机构、操纵机构及润滑机构）。所不同的是，液压凿岩机由液压马达使钎杆做旋转运动，而活塞的往复运动则由活塞与滑阀的相互作用实现，其工作原理如图9-6所示。

当活塞 I 与滑阀 II 分别处于图 9-6 (a) 所示位置，压力油经滑阀室、油道 2 入机体及腔 1，迫使活塞右行。前腔 7 内的油液则经油道 6、滑阀室排入油箱，此时活塞撞击钎尾。

当活塞 I 右行到图 9-6 (b) 所示位置，

进入后腔机体的压力油就经由油道 3 进入左推阀油室 8，此时右推阀油室 9 则经油道 6 进入

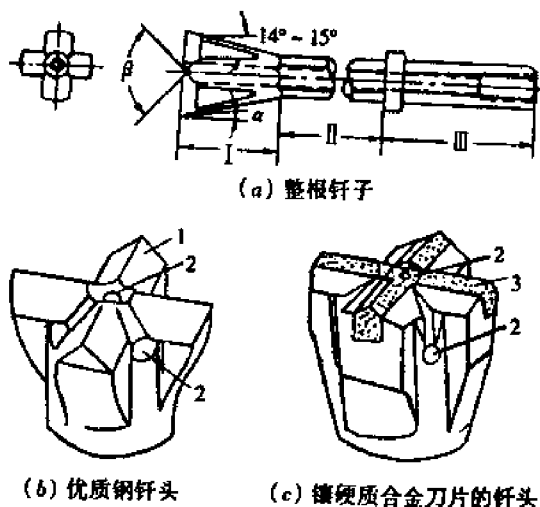


图 9-5 整根钎子和组合钎子的活钎头  
I—钎头；II—钎托；III—钎尾； $\alpha$ —敲角； $\beta$ —钎头的刃角；  
1—刀片；2—排气孔；3—硬质合金刀片

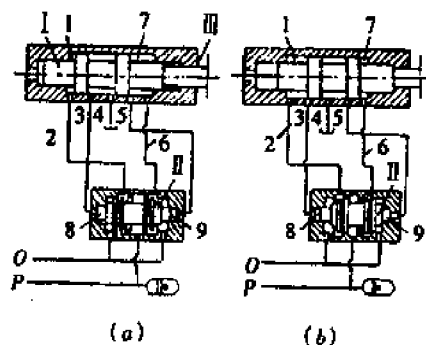


图 9-6 YYG-80 型液压凿岩机的作用原理

1—腔；2、3、4、5、6—油道；7—前腔；  
8—左推阀油室；9—右推阀油室；  
I—活塞；II—滑阀；III—钎尾

机体的前腔 7，迫使活塞左行。与此同时，机体前腔内的油液则经油道 2、滑阀室排入油箱，于是活塞又右行。

当活塞 I 左行到图 9-6 (a) 所示位置，在机体前腔的压力油经油道 5 进入右推阀油室 9，此时左推阀油室 8 则经油道 3、4 与回油道通连，于是又将滑阀 II 推回到图 9-6 (a) 所示之左位，从而又发迹通向机体的供油回油油路，活塞又开始右行，重新开始下一个循环。如此往复实现液压凿岩机活塞的往复冲击动作。在液压系统中设有蓄能器，它起到储放能量、稳定系统压力的作用。

### (三) 液压凿岩机的发展概况

液压凿岩机是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型高效率的凿岩设备。它的出现使凿岩机在机械动力和效率方面有了新的发展。因此液压凿岩机是凿岩机械产品中新一代。

液压凿岩机采用循环的高压油为动力，克服了风动凿岩机存在的一系列问题和缺陷。它与风动凿岩机比，有以下优点：

(1) 动力消耗少，能量利用率高。液压凿岩机动力消耗仅为风动凿岩机的  $1/4 \sim 1/3$ ，并且不用压气设备和风管。

(2) 机械性能好、凿岩速度高。由于油压比风压高几十倍，所以凿岩机的冲击功、冲击频率和能量传递效率等性能指标都大为提高，凿岩速度也比同类型风动凿岩机高出一倍以上。

(3) 采用液压为动力便于根据岩石情况调整性能参数，实现程序控制和自动控制。

(4) 能够和柴油机驱动的液压凿岩台车配套，实现能源单一化，提高设备的机动性和台班工效。

(5) 消除了排气噪声和油雾，改善了劳动条件。

(6) 所有运动件都浸在油液中工作，润滑条件好，延长了零件的使用寿命。

液压凿岩机和风动凿岩机相比的缺点是：需要与液压台车配套使用，投资大，单位功率的重量大，技术要求和维护费用较高，目前我国只能作为其他凿岩设备的补充。随着技术的进步与发展，液压凿岩机有可能逐渐取代风动凿岩机。

## 四、凿岩台车

当采用钻孔爆破法开挖岩石隧洞时，需按照爆破布孔的要求在开挖面上布置成群的炮孔，其数量由几十个到数百个。钻凿数量很多和技术要求较高的炮孔，往往费时。因此，在大断面隧洞开挖施工中，多采用装有多台凿岩机的钻孔台车和锚杆支撑等新技术，以缩短钻孔时间，加快掘进速度。

钻孔台车按行车方式分为：轨道式、汽车式、轮胎式和履带式等几种。大断面隧洞开挖多采用门架轨道式台车，出碴的矿车能从台车腹下通过。架设在汽车车架上的台车，调动使用均较方便，但在隧洞内需有让车位置，以利出碴车辆通过。轮胎式钻孔台车具有自行和自备动力，有液压和气压装置等特点，使用十分方便。但它能带凿岩机的台数较少，一般为 2~4 台。如瑞典 TH286-2 型四臂液压凿岩台车，仅带 4 台液压凿岩机，但它的作业范围高达 10.6 m，宽 13.2 m，是 20 世纪 80 年代世界上最先进的轮胎液压式凿岩台车。现代的钻孔台

车无论采用何种行车方式，大都采用液压钻臂以支撑凿岩机和定位孔，因而它也是一个主要部件。本节主要介绍这种装有液压钻臂的钻孔台车。

图 9-7 为 CGJ15-3 型铁路隧道全断面钻孔台车。该台车在结构和性能上也适于大断面的水工隧洞开挖工作。

### 1. 总体布置

台车采用三层门架轨道式结构，共安装凿岩机 15 台。底层 6 台，每侧 3 台；中层有 5 台，均匀布置；顶层有 4 台，根据开挖断面的高度决定安装方式。全断面钻孔最大范围：高 7.9 m，宽 6.5 m。在台车中部顶层安装有 3 台用来打锚杆孔的液压锚杆钻臂，可向已成隧洞段的拱部打锚杆孔。在台车尾部还设有起重量为 450 kg 的风动小吊车。台车中层布置有油泵站、油箱和变配电箱。在底层安放有 2 个水包，供应湿式凿岩用的高压水。台车采用轨道式，由 8 t 电瓶机车牵引。台车轨距 3 580 mm。车架由型钢用螺栓拼装而成，装拆方便。总重量为 38 t。

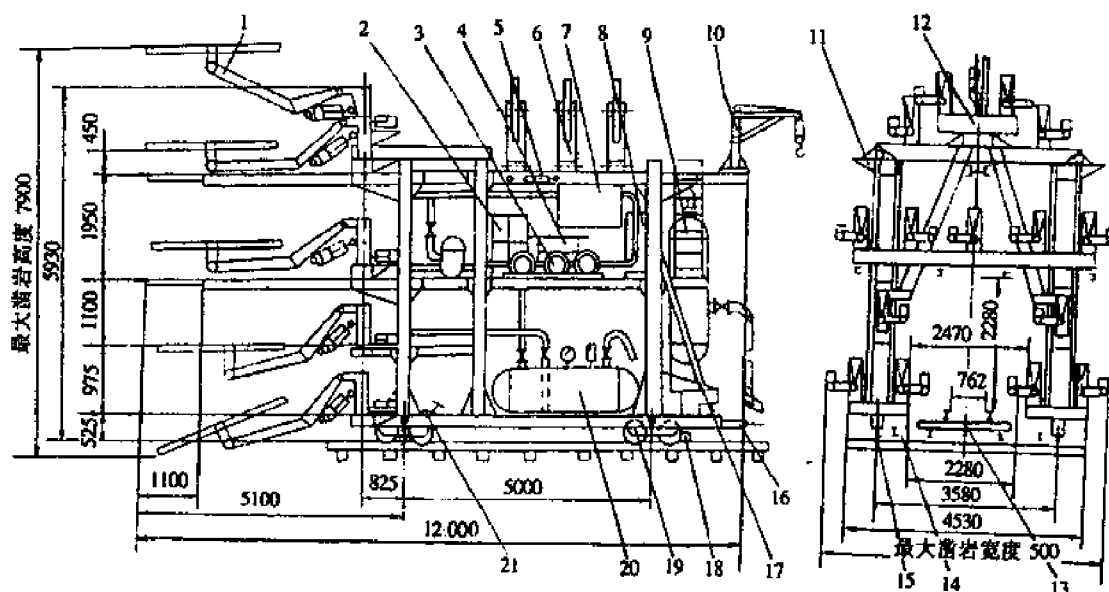


图 9-7 CGJ15-3 型钻孔台车

1—液压钻臂；2—工具柜；3—油泵站；4—工作台；5—锚杆钻臂纵向移动机构；6—锚杆钻臂；7—油箱；8—变配电箱及照明系统；9—风包；10—风动小吊车；11—翻转踏板；12—加高件；13—浮放道岔；14—洞内运输线路；15—台车轨道；16—牵引杆；17—梯子；18—止车器；19—后轮对；20—水包；21—前轮对及制动器

### 2. 液压钻臂

液压钻臂是凿岩机导轨的支撑和移动对孔位的机械手，是台车的主要工作部件，如图 9-8 所示。

导轨 1 是凿岩机 2 的跑道，其后部装有推进凿岩机用的风动马达 4，它通过丝杆螺母机构 3 控制进退。为了减少换钎次数，导轨一次最大推进进程为 2 m。凿岩机采用 YG-40 型导轨凿岩机。钻臂由臂杆 7、钻臂回转支座 10 及 4 个液压油缸组成。4 个液压油缸是：臂杆升降油缸 12、臂杆平转油缸 11、导轨仰俯油缸 8 和导轨平转油缸 9。其中油缸 12 与油缸 8 在设计上使之分别处于两相似三角形  $\triangle ABC$  和  $\triangle DEF$  的两条对应边上，并采用串联联动油路，使两个三角形在变动过程中的相似比不变，即

$$\angle A = \angle D, \angle B = \angle E, \angle C = \angle F$$

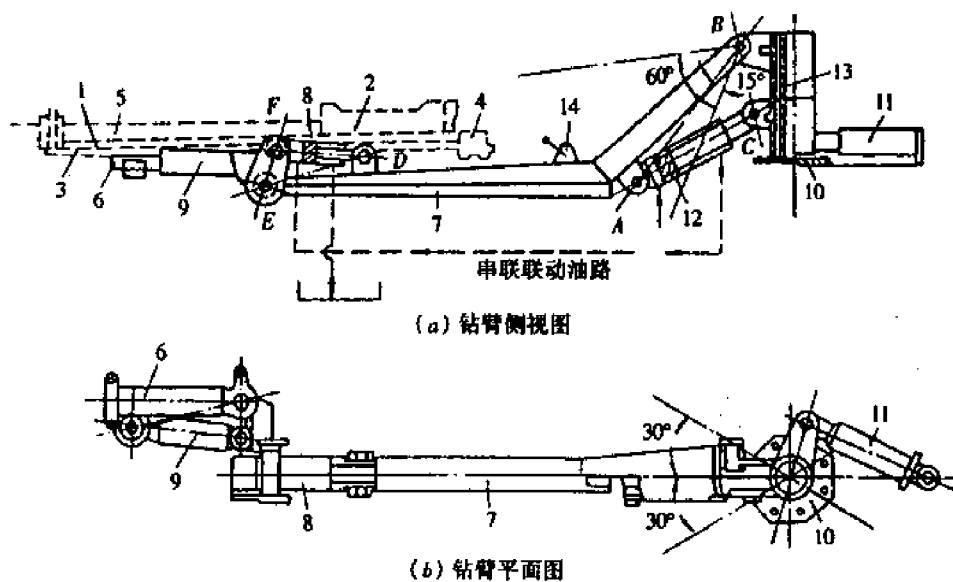


图 9-8 液压钻臂

1—导轨；2—凿岩机；3—丝杆螺母机构；4—推进器风动马达；5—钎子；6—导轨托架；7—臂杆；8—导轨仰俯油缸；9—导轨平转油缸；10—钻臂回转支座；11—臂杆平转油缸；12—臂杆升降油缸；13—回转套；14—平动操纵杆

所以钻臂移动后，导轨及凿岩机在新的位置上仍平行于原来的位置。这样使钻凿出来的炮孔能相互平行。如果需要打斜孔，可单独调整导轨仰俯油缸 8，使其达到合乎要求的炮孔角度。臂杆平转油缸 11 和导轨平转油缸 9，同样也利用相似三角形原则和串联联动油路，使导轨在钻臂做水平移动过程中仍保持相互平行位置。

为使  $\triangle ABC \sim \triangle DEF$ ，设计上应保证

$$\frac{BC}{EF} = \frac{AC}{DF} = \frac{AB}{DE} = K \text{ (常数)}$$

在油路上，使油缸 12 和 8 串联联动，使油缸 12 小腔的排油全部进入油缸 8 的大腔（见图 9-8 中虚线），即进出两缸的流量相等，并且使

$$\frac{\text{油缸 12 小腔的有效油压面积 } S}{\text{油缸 8 大腔的有效油压面积 } S'} = \frac{1}{K}$$

每台钻臂的钻孔范围为：高 2.8 m，宽 3.0 m。

### 3. 臂杆钻臂

锚杆钻臂是支托锚杆凿岩机的工作机构，能使凿岩机沿隧洞纵向移动和对隧洞拱部做圆弧摆动动作。钻臂主要由纵移轨、臂杆和 4 个油缸组成。锚杆凿岩机采用 YG-40 型导轨凿岩机，风动马达丝杆推进。一次有效行程为 1.14 m。

### 4. 液压系统

液压系统由 3 台 YBC-45/80 型齿轮油泵和 TM-10 型风动马达并联组成油泵站。根据需要，可以只开动 1 台或同时开动 2 台或 3 台。工作压力为 6.3 MPa，最大流量为 135 L/min。

## 第二节 破碎、筛分和洗涤机械

### 一、概述

碎石、砾石、砂等是最主要的建筑材料，开采、加工这些材料，要经过破碎、筛分和洗涤等工序。这些工序的劳动强度大、劳动条件差，必须选用合适的机械来代替人的劳动。

开采后岩石的破碎方法如图 9-9 所示。其中有：(a) 压碎；(b) 冲击破碎；(c) 磨碎；(d) 劈碎等。在许多场合下破碎出现有压碎和磨碎的同时作用，如图 9-9 (e) 所示。

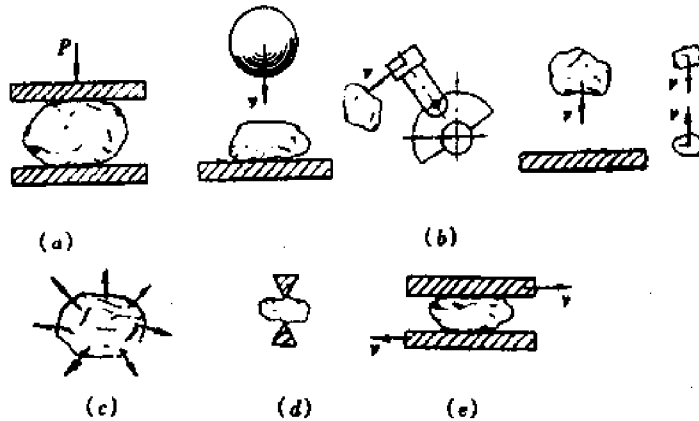


图 9-9 岩石破碎方法

破碎分为粗碎、中碎、细碎和微碎。下面为评定各种石质破碎材料的范围表 (表 9-1)。

破碎产品的颗粒通常呈不规则形状，它们的尺寸大小以  $L$  (长)、 $B$  (宽) 和  $H$  (高) 来表示。据统计，对于爆破岩石的石块， $L : B : H = 1.5 : 1 : 0.65$ 。用于实际计算一块石料的尺寸，是以石块通过的孔径来确定。对于破碎产品，这些尺寸是以  $d$  标记，而对原始材料以  $D$  标记。一块石料的体积  $q$  按它的重量  $G$  和容量  $\gamma$  来确定，即

$$q = \frac{G}{\gamma}$$

表 9-1 评定各种破碎的范围表

破碎范围	最大的粒度 (mm)	
	原始材料	破碎产品
粗碎	1 000 ~ 1 200	100 ~ 300
中碎	100 ~ 300	30 ~ 70
细碎	30 ~ 50	10 ~ 30
微碎	1 ~ 10	< 0.1

体积根据尺寸  $d$  确定时，则  $q$  可近似等于  $0.5d^3$ ，对带棱角的六方体的体积则等于  $0.8d^3$ 。

为了分析原始材料和破碎产品的质量，除尺寸外还必须知道对混合物的评定。例如，对破碎的材料通过带 30 mm 孔的筛子 (图 9-10)，而阻止在孔为 15 mm 的筛子上，那么可以筛分部分为 15 ~ 30 mm。



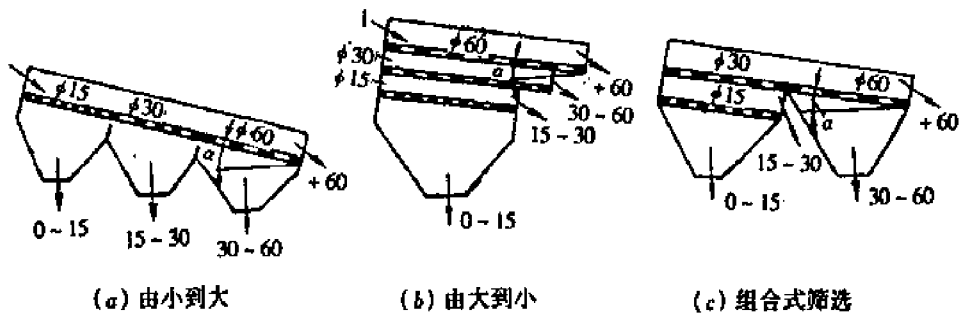


图 9-10 筛分机上筛子配置方式

其加权平均值的尺寸为

$$d_{cb} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \gamma_i}{100} \quad (\text{mm}) \quad (9-1)$$

式中  $d_i$ ——算术平均尺寸所谓小范围的产品 (mm);  
 $\gamma_i$ ——通过的粒度级 (%)。

破碎主要指标之一是破碎级  $i$ , 它等于原始材料加权平均值的尺寸  $D_{cb}$  与破碎产品加权平均值的尺寸  $d_{cb}$  的比。为简便起见, 破碎级可按式决定

$$i = \frac{D_{\max}}{d_{\max}} \quad (9-2)$$

将碎石和砾石分为三个主要的粒度级: 细粒级 (5~10 mm 和 10~20 mm), 中粒级 (20~40 mm) 和粗粒级 (40~70 mm)。也有两种混合物或较近的粒度级 (例如 5~20 mm 或者 5~40 mm)。

筛分分为三类: (1) 初筛, 即在大量石块破碎后进行的, 它将过分粗的和过分细的颗粒分离出去; (2) 中筛, 即靠这种筛子将破碎的材料分离出较粗的块, 以便送到二次 (或下次) 的破碎机里破碎; (3) 终筛, 即将块状或粒状材料分别达到产品所要求的颗粒级。

材料筛选有两种途径: 一种如图 9-10 (a) 所示, 材料的分选由细到粗, 这种方法简单, 可保证按储料舱分选材料, 配置较好; 另一种如图 9-10 (b) 所示, 分选是由粗到细, 因为这种方法的单位筛面生产率较高, 筛分级数较多, 而筛子磨损较小, 故被普遍采用。综合以上两种优点, 可采用图 9-10 (c) 组合式筛选。

## 二、破碎机

破碎机如图 9-11 所示。破碎机主要技术性能参数是破碎产品的最大粒度 (mm)、破碎级、能量耗 (kW·h/m<sup>3</sup> 或 kW·h/t) 以及生产率 (m<sup>3</sup>/h 或 t/h)。

各种破碎机所允许的破碎级是: 颞式  $i=2\sim8$ ; 滚筒式  $i=1.5\sim10$ ; 对粗碎的圆锥式 (倾斜度大的)  $i=3\sim8$  (一般  $i=3\sim4$ ); 对中、细碎圆锥式 (倾斜度小的)  $i=2.5\sim6.0$ ; 槌式  $i=5\sim30$ 。

如果要求高的破碎级, 而初始材料又具有大的直径尺寸, 那么必须要经过二至三个阶段, 采用不同型式的破碎机来破碎这种材料。图 9-12 为两种不同方式的循环破碎系统。

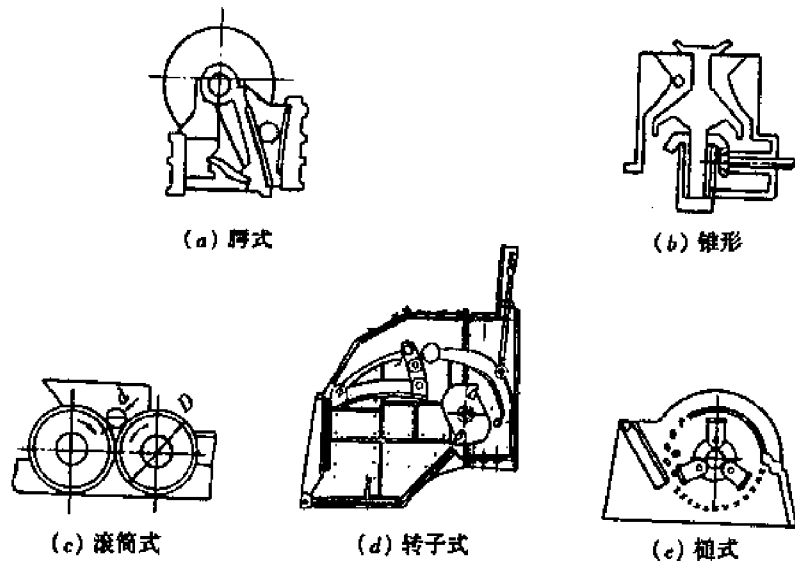


图 9-11 破碎机

腭式破碎机在各类破碎设备中应用最为广泛。它的特点是结构简单，维修和使用方便，可用于粗、中和细颗粒的破碎。

腭式破碎机利用两块腭板来破碎石块，其中一块腭板固定不动，另一块腭板的一端铰接悬挂在轴上，可以绕轴摆动称为活动腭板。在破碎室里（两腭板之间）充满破碎块石，当腭板每次接近时，块石材料被破碎；而在活动腭板离开时，破碎材料经过腭板之间下面的间隙（即出料间隙）排出（落下）。

腭式破碎机腭板出口的间隙宽度可以调节，间隙大小决定于破碎产品的粒度和破碎机的生产率。出口间隙宽度对细碎的破碎机为 20~80 mm，对中碎的为 40~120 mm，粗碎的为 100~250 mm。

现代的腭式破碎机按腭板运动性质分为：腭板简单运动式和复杂运动式的两种，如图 9-13 所示。

腭板简单运动式破碎机，如图 9-13 (a) 所示。它由电动机带动皮带轮 2 和其上安装有连杆 4 的偏心轴 3 转动。连杆末端具有特殊的槽，在槽里自由地嵌入推力板 11 和 9 的一端。板 11 的另一端同悬挂在轴上的腭板 12 铰接。板 9 的另一端支撑在调节装置的支撑里。连杆向上运动时，带动其上推力板的端头向

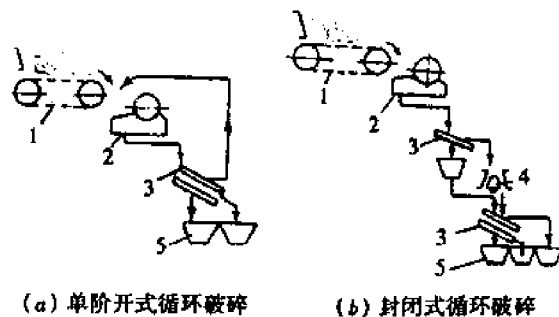


图 9-12 多级破碎循环系统

1—给料机；2—腭式破碎机；3—筛分机；  
4—圆锥式破碎机；5—料舱

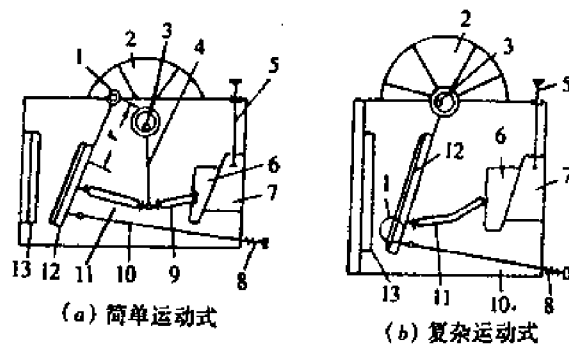


图 9-13 腭式破碎机工作原理

1—销轴；2—皮带轮；3—偏心轴；4—连杆；5—螺杆；  
6、7—楔块；8—弹簧；9、11—推力板；10—牵引杆；12—活动腭板；13—固定腭板

上运动，使活动腭板 12 向固定腭板 13 靠近。当连杆向下运动时，推力板端头向下落，活动腭板在其自重和尾端装有弹簧 8 的牵引杆 10 的作用下离开固定腭板 13。牵引杆和弹簧不仅保证活动腭板的返回运动，而且使推力板不从其支座中脱落。由楔块 6 和 7 及螺旋 5 组成的调节装置来改变出口间隙的宽度。

活动腭板的运动阻力在工作行程的时间内不固定，在空行程时急剧下降。因此，要破碎机比较均匀的工作，在偏心轴上装有两个飞轮 2，其中之一为皮带轮。

腭板简单运动式破碎机的特点是：可以加工高强度材料和磨料（ $\sigma_b$  达 350 MPa），因为石块的碾碎很小行程的垂直分量就足够，所以碎石板磨损是不显著的。

腭板复杂运动式破碎机（如图 9-13（b））与腭板简单运动式的区别，就是活动腭板 12 直接铰接在偏心轴 3 上，而不是铰接在固定不动的机架上。因此，当偏心轴 3 旋转时，活动腭板不仅向固定腭板靠近或离开，而且还向上或向下运动，也就是实现复杂的运动。活动腭板下端具有铰座，其上嵌入推力板 11 的一端，推力板 11 的另一端嵌入在调整装置楔块 6 的铰座里。在其他的结构方面与简单运动式的相似。然而，腭板复杂运动式破碎机比简单运动式结构简单，外形尺寸和重量都比较小。

腭式破碎机的主要技术性能参数是（图 9-14）入料口尺寸  $B$ ；出料口间隙  $b$ ；间隙长  $L$ （图中未注  $B$ 、 $L$ ）；在下面点上的压缩行程  $s_H$ 。

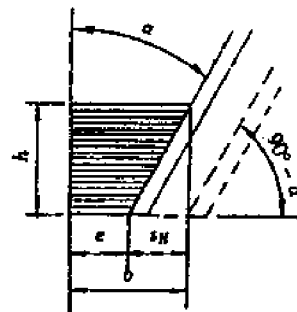


图 9-14 腭式破碎机生产率的确定

装入破碎机内的石块尺寸  $D_{max}$  应当小于  $0.85B$ ，而当破碎机在自动线上工作时， $D_{max}$  应当小于  $0.5B$ 。

腭式破碎机的生产率和破碎粒度取决于出口间隙尺寸  $b$ 、腭板夹角  $\alpha$  和摆动腭板摆动的次数  $2n$ （ $n$  为传动轴每分钟转速，传动轴转一周，腭板摆动两次，一次为工作行程，另一次为返回行程）。

如图 9-14 所示，梯形的高为

$$h = \frac{s_H}{\tan \alpha} \quad (\text{mm}) \quad (9-3)$$

高度  $h$  上的棱体落下时间等于（如自由落体）

$$t = \sqrt{2h/g} \quad (\text{s}) \quad (9-4)$$

式中  $g$ ——重力加速度（ $\text{cm/s}^2$ ）。

因腭板离开时间应与棱体落下时间相适应，则上式可写成

$$\frac{60}{2n} = \sqrt{2h/g}$$

所以 
$$n = \frac{30}{\sqrt{2h/g}} \quad (\text{r/min})$$

将  $h$  值和  $g = 981 \text{ cm/s}^2$  代入上式后，就得到

$$n = 30 / \sqrt{\frac{2s_H}{g \tan \alpha}} = 665 \sqrt{\frac{\tan \alpha}{s_H}} \quad (9-5)$$

实际上，材料不是自由落下，因为要克服摩擦力，所以增加了落下持续的时间。因此转动次数将减少 5%~10%，近似地改为

$$n \approx (600 \sim 630) \sqrt{\frac{\tan \alpha}{s_H}} \quad (\text{r/min}) \quad (9-6)$$

生产率取决于筛板每两次摆动推出的石料容积  $q$  乘以转动次数 (r/min)

$$Q = 60 \frac{(2e + s_H) s_H}{2 \tan \alpha} L n k_p \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (9-7)$$

式中  $L$ ——间隙长度 (mm);  
 $k_p$ ——材料的松散系数,  $k_p = 0.4 \sim 0.45$ 。

### 三、筛分和洗涤机械

#### (一) 筛分机

筛分机分为不动的和活动的两种。不动的工作机构应用炉算式格筛, 如图 9-15 (a) 所

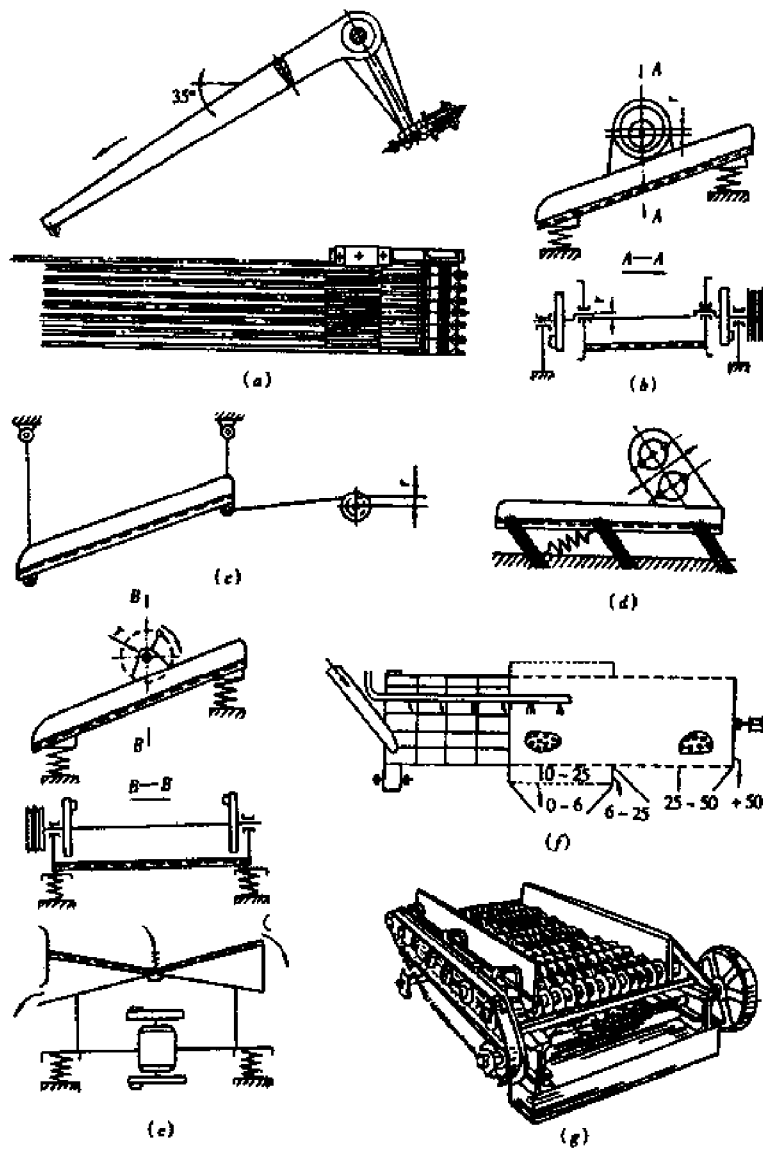


图 9-15 金属的筛分机工作原理

示；而活动的带筛或格筛类型的工作机构靠强制运动来实现。

活动的筛分机分为筛网（或格筛）水平（或倾斜）配置平面式的如图 9-15 (c) ~ (d)，滚筒式的如图 9-15 (f) 和滚子式的如图 9-15 (g)。平面式的筛分机分为摆动式的如图 9-15 (c) 和振动式的如图 9-15 (b), (d), (e)。

振动式的筛分机按传动的性质分为：偏心式的如图 9-15 (b)，惯性式的如图 9-15 (d)，(e)。按工作机构运动的轨迹分为：带定向摆动式、封闭环式和椭圆式振动筛分机。平面惯性式的和平面偏心式的筛分机应用较广。

不动的炉算式筛分机乃是炉算式格筛，通常用于粗筛（多半用于初筛），同时为了保证材料均匀地供到破碎机里，缝隙不小于 25 ~ 30 mm。有时也采用间隙小的不动的筛分机。

平面式筛分机的生产率取决于筛子的有效面积（筛子尺寸范围从 0.75 m×2 m 到 1.5 m×3 m）；材料里不同粒度的颗粒的百分比含量；材料的容重；筛子摆动的频率和振幅。它们的生产率为 10 ~ 300 m<sup>3</sup>/h，传动功率为 4 ~ 15 kW。

## (二) 洗涤机械

作为混凝土的填充料使用的材料：石子、沙的混合物，沙、碎石都应该洗净，以消除粘土、有机混合物和灰尘。

在筛分机筛选的过程中可以洗净，为此由配置在筛分机表面上管子的自来水来冲洗材料。这种方法要求材料的粒度不超过 70 mm，很少被堵塞。

粒度为 300 ~ 500 mm 的材料在由筒开筛分机和洗涤部分组成的筒形洗砾-筛分机上洗涤，如图 9-16 所示。这种机械的生产率为 100m<sup>3</sup>/h，清洗材料每 1 m<sup>3</sup> 耗水为 2 t，旋转周数为 23 r/min，安装功率为 45 kW。

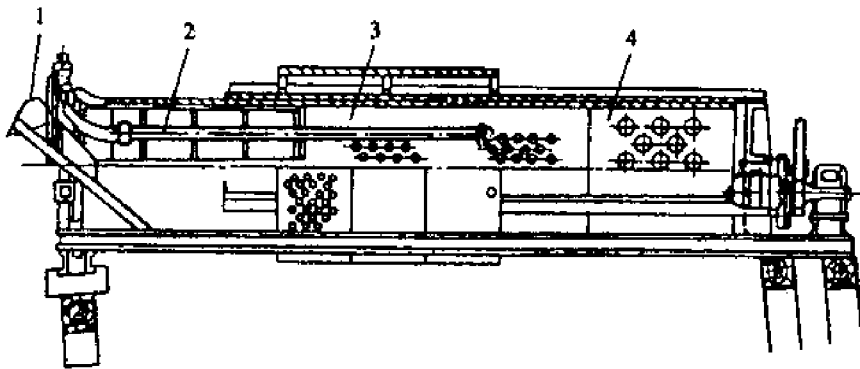


图 9-16 洗砾-筛分机

1—装料口；2—自来水管；3—洗涤部分；4—筛分部分

为了洗涤粒度不大于 110 mm 很脏的碎石与粘土的混合物，常采用叶片式洗砾机。带叶片的面面对面的两根轴在斜槽里旋转，它们拌合石子并推动它顺槽向卸载口。在两轴之间安装管子，水顺着管子流到槽里。洗砾机的生产率为 10 ~ 50 m<sup>3</sup>/h，叶片转速为 16 r/min，每 1 m<sup>3</sup> 碎石耗水为 2 t，传动功率为 16 kW。

同样采用筒形洗砾机，在其内表面上带有叶片的滚筒安装在传动轴上活动的滚子上，使其旋转起来的滚子靠摩擦力转动滚筒，顺着管子往滚筒内供水。当滚筒内径为 2 000 mm 和滚筒工作长度为 3 600 mm 时，洗砾机的生产率大约是 100 m<sup>3</sup>/h，传动功率为 55 kW。

在采石场里，为了破碎石块以及加工石料而采用移动式破碎-筛分设备。图 9-17 为小型破碎-筛分设备。

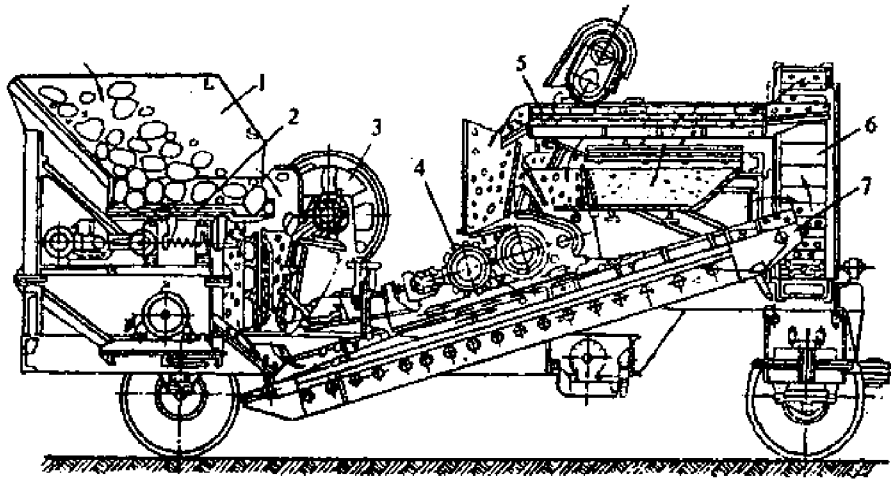


图 9-17 小型破碎-筛分设备

1—接受舱；2—排水槽的给料机；3—腭式破碎机；4—滚筒破碎机；5—振动筛分机；6—斗式提升机；7—输送带

石料由接受舱落到排水槽的给料机上，再送到腭式破碎机里；破碎的石块由输送带和转动的斗式提升机送到振动筛分机上。通过筛分机的筛子将没有筛下的颗粒级送入筒式破碎机里进行二次破碎。

### 复习思考题

1. 冲击转动式凿岩机的作用原理是什么？试比较各种凿岩机的特点及适应范围。
2. 风动凿岩机由哪些部分组成？配气和冲击机构、转钎机构是怎样工作的？
3. 试述液压凿岩机的作用原理。
4. 凿岩台车由哪几部分组成？液压钻臂如何保证钻孔的要求？
5. 岩石的破碎有哪些方法？各有什么特点？
6. 什么叫破碎级 $i$ ？如何确定？
7. 在材料的筛选时，筛子的配置有几种方式？各有哪些优缺点？
8. 参看图 9-13，指出腭板简单运动式和腭板复杂运动式破碎机的主要组成部件和它们的作用原理。
9. 小型移动式破碎-筛分设备由哪些部分组成？它具有哪些特点？

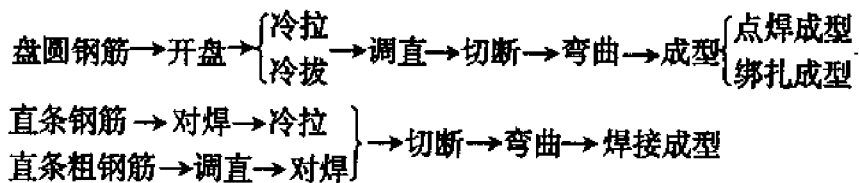
# 第十章 钢筋混凝土工程机械

## 第一节 概 述

钢筋混凝土结构在现代建筑工程中已得到了广泛采用，因而在整个建筑工程中，钢筋的加工及混凝土工程的制备、运送和振捣成型等，不仅工程数量巨大，而且劳动强度也大。为了提高生产效率，保证工程质量，加速施工进度，实现钢筋加工及混凝土工程的机械化作业，已成为现代建筑工业发展的必然趋势。

我国生产的钢筋，直径在 10 mm 以下的都是以盘圆方式出厂的，称为盘圆钢筋；直径在 10 mm 以上的钢筋大都切成 8~9 m 长的线材出厂，以便运输、保管和使用。

钢筋加工的生产程序大致如下：



钢筋加工机械是用于钢筋调直、切断、成型、强化、张拉和镦头等作业的机械。目前，钢筋的处理和加工机械主要有：

钢筋强化机械——如钢筋冷拉、冷拔、扭筋及冷轧等机械，其中冷轧机械现已很少应用；

钢筋成型机械——如钢筋剪切、弯曲、调直及除锈等机械；

钢筋焊接机械——如钢筋点焊机、对焊机等；

预应力钢筋机械——如预应力千斤顶、油泵、张拉机及镦头机等。

混凝土工程是一种工序多、工艺性强的生产过程。其施工工序一般如下：材料准备 → 配料 → 搅拌 → 运输 → 密实成型 → 养护。其中配料和搅拌、运输、密实成型等工序，要求连续作业，技术性较强。

目前，混凝土工程机械的品种和机型很多，按照混凝土工程的主要工序，可以把混凝土工程机械划分为以下三大类：

混凝土制备机械——按配合比量配各种混凝土的原材料，并均匀拌合成新鲜混凝土的生产机械；

混凝土运输机械——按新鲜混凝土从制备地点输送到建筑结构的成型现场及至模板中去的专用运输机械；

混凝土密实成型机械——使混凝土密实地填充在模板中或喷涂在构筑物表面，使之最后成型而制成建筑结构或构件的机械。

## 第二节 钢筋加工机械

### 一、钢筋强化机械

钢筋强化是提高钢筋的屈服强度、增加钢筋的承载能力、节约钢材的一种有效措施。施工实践表明，使用经过强化的钢筋可节约钢材 10%~20%。目前常用的钢筋强化机械主要有钢筋冷拉机和钢筋冷拔机。

#### (一) 钢筋冷拉机

钢筋冷拉是在常温下对钢筋进行强力拉伸的一种工艺。经冷拉后，钢筋的屈服强度可提高 20%~25%，拉直后的长度可以增长 3%~8%，同时还起到平直钢筋及除掉钢筋表面部分氧化铁皮的作用。粗细钢筋皆可进行冷拉，但粗钢筋拉直所需拉力甚大，一般以冷拉细钢筋为多。

冷拉机的类型有：卷扬机式、液压式、丝杆式及阻力轮式等 4 种。

##### 1. 卷扬机式冷拉机

卷扬机式冷拉机的机构简单，维护方便，冷拉行程不受设备限制，被冷拉的钢筋不受长度和直径的限制，因此在钢筋冷拉中被普遍采用。

图 10-1 为我国生产的 JJM 型卷扬机式冷拉机。它主要由地锚 1、卷扬机 2、定滑轮组 3、导向滑轮组 4 及测力装置 10 等组成。

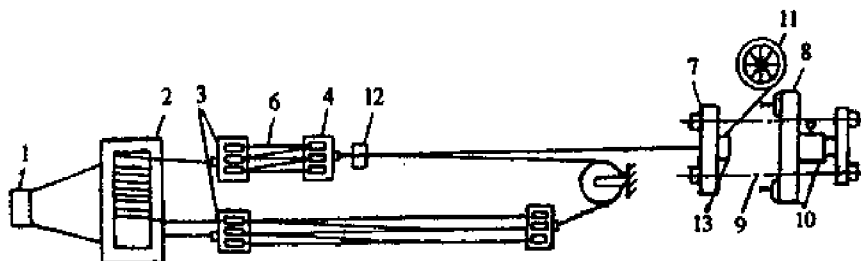


图 10-1 JJM 型卷扬机式冷拉机

1—地锚；2—卷扬机；3—定滑轮组；4—导向滑轮组；5—定滑轮；6—钢丝绳；7—活动横梁；  
8—固定横梁；9—传力杆；10—测力装置；11—架盘；12、13—夹具

工作原理：接通电源后卷扬机转动，由于卷筒上钢丝绳 6 的两端是正反向穿绕在两个滑轮组上，由架盘 11 上引入的钢筋被夹具 12、13 夹持着，当卷扬机旋转时，夹持着钢筋的动滑轮组被拉向卷扬机，钢筋即被拉伸。与此同时，另一个动滑轮组放松，被拉向导向滑轮 5，以便下一次拉伸。如此周而复始交替使用。钢筋所受的拉力是通过活动横梁 7 及固定横梁 8 经传力杆 9 传给测力装置 10，以测取拉力值。拉伸长度可用标尺直接测量或用行程开关控制，这样既可单控又可双控，是一种较好的机型。

卷扬机：它是冷拉钢筋的主要设备，冷拉粗钢筋时用 JJM-5 型，冷拉细钢筋时用 JJM-3 型。一般都采用电动慢速卷扬机。为了提高冷拉能力和降低冷拉速度，均需与滑轮组配合使用。

##### 2. 液压式冷拉机

图 10-2 是液压式冷拉机的示意图。它由固定梁 1、活动梁 6 和 8、拉杆与夹头 4 及液压



系统组成。液压式冷拉工艺与丝杆式冷拉工艺相同，它是用液压拉伸机和夹具来代替丝杆式冷拉机的变速箱和丝杆，由此易于控制冷拉率和应力，而且操作平稳、噪音小。但由于液压油缸和丝杆的拉伸行程较短，故两者的使用范围受到一定限制。

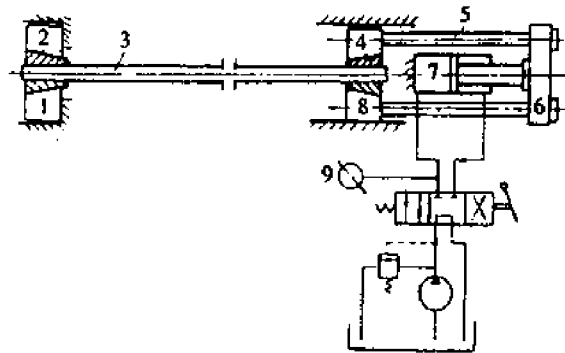


图 10-2 液压式张拉钢筋

1—固定梁；2、4—夹头；3—钢筋；5—拉杆；6、8—活动梁；7—活塞；9—压力表

工作原理：压力油通过三位四通阀进入活塞的左腔时，通过拉杆 5、活动梁 8、卡头 4 张拉钢筋。将三位四通阀换到右位时，可以使活动梁迅速返回。

### （二）钢筋冷拔机

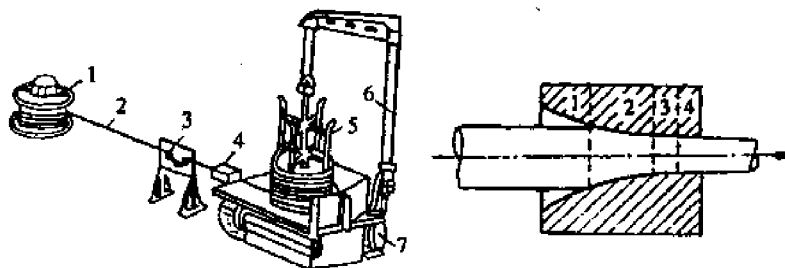
钢筋冷拔是在常温下将钢筋通过钨合金拔丝模进行强力拉拔的一种工艺。钢筋经冷拔后屈服强度可提高 40%~90%，长度也大幅度增加，而且还进行了除锈。

拔丝模的孔径一般比原钢筋直径小于 0.5~1.0 mm；如将钢筋连续地经过几个拔丝模进行拉拔，则可将其拉拔成直径更小的钢筋。

被冷拔的钢筋是直径 6~10 mm 的 I 级光面圆钢筋。

钢筋冷拔机按卷筒的布置方式，有立式和卧式两种，每种又有单卷筒和双卷筒之分。

图 10-3 (a) 为立式单卷筒冷拔机工作示意图。它由电动机通过蜗轮蜗杆减速器带动立轴回转，使安装在立轴上的拔丝卷筒跟着回转，卷绕强行通过拔丝模的钢筋成为冷拔丝。当冷拔丝套绕到一定圈数后，用附设的小吊车将绕丝取下，然后继续绕拔。



(a) 立式单卷筒拔丝机工作示意图

(b) 拔丝模

1—盘料架；2—钢筋；3—阻轮；4—拔丝模；5—卷筒；6—支架；7—电动机

1—进口区；2—锥形挤压工作区；3—定径区；4—出口区

图 10-3 立式拔丝机工作示意图

图 10-3 (b) 为拔丝模工作区示意图。它是进行冷拔的主要工作部件。拔丝模用硬质合金（或白口铸铁）制成，拔丝模分以下几个工作区：(1) 进口区，呈喇叭形，以便钢筋送入；

(2) 锥形挤压工作区, 是使钢筋截面受挤压后缩小, 挤压区角度为  $14^{\circ} \sim 18^{\circ}$  ( $\phi 4$  为  $14^{\circ}$ ;  $\phi 5$  为  $16^{\circ}$ ; 大于  $\phi 5$  为  $18^{\circ}$ ); (3) 定径向, 是使钢筋保持一定的截面, 其长度小于所拔钢丝的直径 (约为直径的一半)。

## 二、钢筋成型机械

钢筋成型主要是对钢筋进行调直、切断和弯曲等作业。常用的钢筋成型机械有钢筋调直机、切断机和弯曲机等。

### (一) 钢筋调直机

盘形的细钢筋和经过冷拔的低碳钢丝, 使用前都需进行调直。因为曲折不直的钢筋会影响构件质量和受力性能, 致使构件提前发生裂缝。另外还会影响切断长度的控制。

钢筋调直机能对钢筋进行自动调直并除锈, 带有切断设备的还可以在调直后按照所需长度自动切断。目前定型的钢筋调直机有 GJ4-4/14 和 GJ6-4/8 两种, 其技术性能见表 10-1。

表 10-1 钢筋调直机技术性能

型 号	调直钢筋的直径 (mm)	自动剪切长度 (mm)	生产能力 (Uc (班))						调直速度 (m/min)	电动机功率 (kW)	机器自重 (kg)
			$\phi 4$	$\phi 5$	$\phi 6$	$\phi 8$	$\phi 10$	$\phi 12$			
GJ4-4/14	4~14	300~7000	2.5	4	5.5	10	12	14	14~30	调直 4 切断 5	1420
GJ6-4/8	4~8	300~6000	2.5	4	5.5	10			40	5.5	1000

这两种钢筋调直机的工作原理大致相同, 区别仅在于切断钢筋的方式。GJ6-4/8 型钢筋调直机为下切剪刀式, 如图 10-4 (a) 所示; 而 GJ4-4/14 型为旋转剪刀式, 如图 10-4 (b) 所示。

调直机的工作原理: 如图 10-4 所示, 机器开动前, 先将盘料架 1 中之钢筋送至调直筒 2 与牵引辊 3 之间, 随后旋转手轮, 传动牵引辊将钢筋夹紧; 此时, 开动电动机, 钢筋在连续旋转的牵引辊 3 的牵引下, 通过调直筒 2 和切断剪刀 4 中间, 进入受料部的架上, 当达到一定的定尺长度时, 钢筋碰触到定长装置 5 的定位板, 拉动定尺拉杆, 接通控制电路, 使剪刀动作切断钢筋。然后剪刀又恢复原来的空档位置, 使钢筋继续通过。

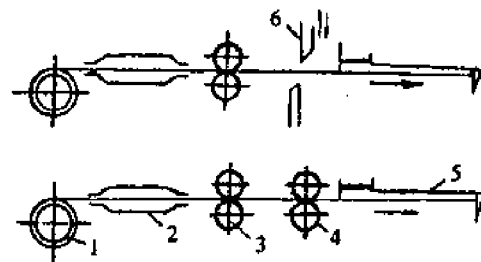


图 10-4 钢筋调直机工作原理

1—盘料架; 2—调直筒; 3—牵引辊; 4—旋转式剪刀  
5—定长装置; 6—下切式剪刀

### (二) 钢筋切断机

在钢筋混凝土构件中, 按作用不同配置有各种规格、形状和长度的钢筋。钢筋切断机就是把钢筋原材和已矫直的钢筋切成所需长度的专用机械。

钢筋切断机按使用方式不同分为: 固定式、移动式及手提式三种; 按传动方式分为: 机械传动和液压传动两种, 均以电动机驱动。近年来, 还设计生产了一种 YQW-32 型钢筋切断弯曲联合机。

### 1. 机械式钢筋切断机

目前常用的机械式钢筋切断机有 GJ5-40 型和 GJ40-1 型两种。它们都是固定式钢筋切断机。图 10-5 为 GJ5-40 型钢筋切断机的传动系统。电动机 1 通过三角皮带传动，经两级减速齿轮减速后，偏心轴 5 以 30 r/min 左右的转速旋转，并带动活动刀片 6 在导槽内做水平往复直线运动，与固定的机座上的固定刀片 7 相对剪切来切断钢筋。两刀刃间应有 0.5~1 mm 的间隙，间隙过大会使切断钢筋的端部产生马蹄形切口。

这种切断机可以切断直径 22~40 mm 的钢筋，对直径 6~20 mm 的钢筋可以多根成排切断，见表 10-2。

### 2. 液压式钢筋切断机

图 10-6 为 YQW-32 型液压钢筋切断弯曲机的液压系统原理图。该机主要由油箱、油泵、溢流阀、三位四通电磁换向阀、切断装置（内设复位阀）、弯曲装置等几个部件组成。本机液压系统流量的大小取决于切断装置液压缸和弯曲装置液压缸中齿轮齿条的运动速度。液压缸的面积与负载大小及油泵的压力有关。为了减轻整机重量，适当提高系统压力，液压缸内活塞面积就会减小。根据国外资料，一般认为系统压力为 35 MPa 时，经济性最好。但考虑到国内现有液压元件的水平，把系统的最高压力限制在 32 MPa。

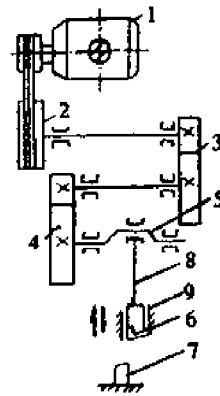


图 10-5 GJ5-40 型钢筋切断机传动系统

1—电动机；2—皮带轮；3、4—减速齿轮；  
5—偏心轴；6—活动刀片；7—固定刀片；  
8—连杆；9—滑块

表 10-2 GJ5-40 型钢筋切断机切断根数

钢筋直径 (mm)	6	8	10	12	14~16	18~20	22~40	备注
每次切断根数	15	10	7	5	3	2	1	Q215 级钢筋

### (三) 钢筋弯曲机

钢筋弯曲机是将钢筋弯曲成各种形状的机械。例如弯曲成端部弯钩、环箍、梁类弓铁等以适应钢筋混凝土构件或结构的需要。

图 10-7 为钢筋的弯曲原理。其弯曲过程为：先将钢筋平放在工作盘心轴 1 与成型轴 2

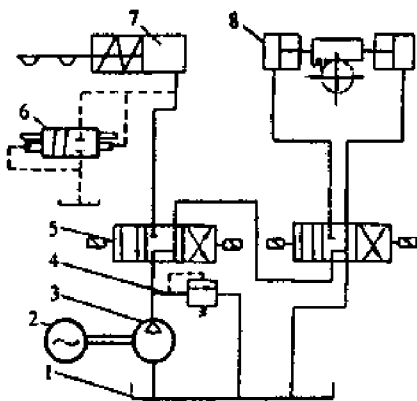


图 10-6 YQW-32 型钢筋切断弯曲机液压系统

1—油箱；2—电动机；3—油泵；4—溢流阀；5—三位四通电磁换向阀；6—二位二通电磁阀；7、8—工作油缸

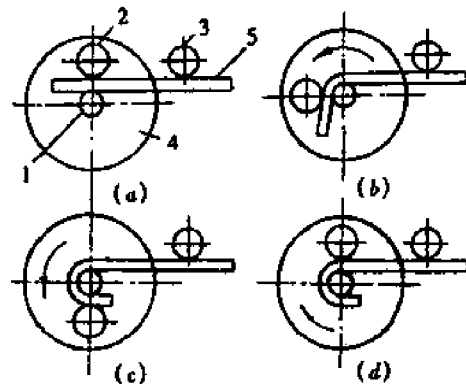


图 10-7 钢筋弯曲原理

1—心轴；2—成型轴；3—挡铁轴  
4—工作盘；5—钢筋

之间，以及挡铁轴 3 的内侧见图 10-7 (a)，然后拨动开关于“正转”位，工作盘 4 在蜗轮带动下旋转。心轴和成型轴亦随着工作盘一起转动。由于成型轴与工作盘不同心，成型轴做圆弧运动。同时钢筋被挡铁轴阻止，不能转动，这样就把钢筋弯曲成型，见图 10-7 (b) 和 (c)。钢筋成型后，迅速将开关拨至“停止”位置，再拨至“反转”位置。待工作盘反转至起始位置时停止，即可取出弯好的钢筋，如图 10-7 (d) 所示。

### 三、钢筋焊接机械

在钢筋混凝土构件中的钢筋网和骨架，现已广泛采用焊接的方法来完成。这样可以大大提高钢筋成型加工的工厂化和机械化水平，减轻劳动强度，提高生产率，保证钢筋网和骨架的刚度，还可以节省绑扎用的细钢丝。采用焊接方法，还可以充分利用钢筋的短头剩料，以短接长，既保证接头质量，又节省钢材。

金属焊接的方法有熔化焊和加压焊两大类。在建筑工程中常用的是加压焊，加压焊的焊接机械有对焊机和点焊机两种。

对焊机的工作原理是：两个电极分别装在固定平板和滑动平板上，滑动平板可沿机身上的导轨移动，电流通过变压器次级线圈传到电极上；当推动压力机构使两根钢筋端头接触到一起时，形成接触电阻，短路而产生热量，到一定温度时再加压使两根钢筋牢固地焊接在一起。

点焊机用于交叉钢筋间的焊接成型上，其工作原理与对焊相同。

## 第三节 混凝土机械

### 一、混凝土搅拌机械

混凝土混合料的搅拌是混凝土生产工艺过程中极重要的一道工序。搅拌的均匀程度直接影响制品的质量。因此，对混凝土搅拌的均匀程度在规范中都有规定。

混凝土搅拌机是把混凝土混合料均匀搅拌混合的一种专用机械。它比人工搅拌混凝土效率高、质量好、进度快。

#### (一) 混凝土搅拌机的分类和应用

为了适应不同混凝土的拌合要求，混凝土搅拌机的种类和型号很多。其分类方法一般有 2 种：

#### 1. 按搅拌工作原理可分为：自落式和强制式两大类

(1) 自落式搅拌机工作原理如图 10-8 (a) 所示，搅拌机工作部分为一绕水平轴线旋转的搅拌筒。筒内壁径向焊有若干弧形叶片，当筒体旋转时，叶片不断地将拌合料带到一定高度，然后靠自重作用沿叶片重新滑落入底部的拌合料中，如此周而复始，使拌合料得到均匀的拌合。在筒内还设有一组斜向叶片，可使拌合料在拌合过程中逐渐由进料口向出料口移动。这类搅拌机的优点是结构简单、工作能耗较低、叶片和筒体的磨损慢、寿命长，使用维护也较简单。其主要缺点是转筒的转速受到临界转速的限制，需要较长的搅拌时间，生产效率低，

只适用于拌合一般骨料的塑性混凝土，对于硬性混凝土和轻骨料混凝土不能产生良好的搅拌效果。

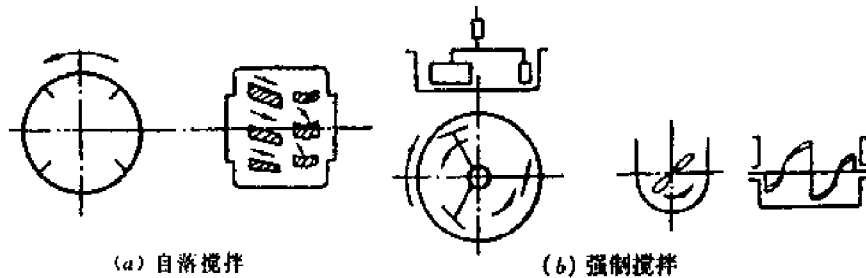


图 10-8 搅拌机工作原理

(2) 强制式搅拌机工作原理如图 10-8 (b) 所示。搅拌机的主要工作部分是由垂直或水平设置在搅拌筒内的转轴，在轴上装有若干叶片组成。工作时，搅拌筒固定不动，转轴带动叶片强制拨动筒内的物料，形成交叉的料流，使之产生剧烈的相对运动，从而使混凝土得到均匀的拌合。这种搅拌由于作用强烈，故搅拌质量好，效率高，特别适合拌合干硬性混凝土和轻质骨料的混凝土。但与自落式搅拌机相比，其结构比较复杂，能耗增大，叶片易磨损或被粗骨料卡住，故一般不宜拌制骨料粒径较大的混凝土。

#### 2. 按搅拌机的卸料方式可分为：不倾翻式和倾翻式两类

不倾翻式搅拌机，它的旋转轴线固定不变。拌筒为鼓形或双锥形，它的两端各有一个开口，一端供装料用，另一端供卸料用。根据出料方法的不同，又可分为反转卸料式和斜槽卸料式两种。

倾翻式搅拌机的搅拌筒轴线位置是可变的。卸料时需将搅拌筒倾翻至一定角度，从而使拌合料从搅拌筒内卸出。根据搅拌筒的形状不同，又可分为单锥形（梨形）和双锥形两种。倾翻式单锥形搅拌机只有一个开口供装、卸料共用。这类搅拌机的特点是工作容积利用率大、卸料迅速而干净，并可搅拌骨料粒径大的混凝土。

#### 3. 按搅拌机的工作过程可分为：周期式和连续式两大类

周期式搅拌机的加料、搅拌、出料是按周期分批进行的。这类搅拌机的优点是构造较为简单，容易准确控制混凝土的配比和保证搅拌质量，所以目标在建筑工程上使用较多。

连续式搅拌机的加料、搅拌、出料均连续进行。因此，生产率较高。但是混凝土配比和搅拌质量不易控制。这类搅拌机大多用在道路或水利工程施工中。

#### 4. 搅拌机还可分为：固定式和移动式两类

固定式搅拌机生产容量较大，一般出料容量在  $0.35 \text{ m}^3$  以上，多数用于大型工地和混凝土制品工厂中。

移动式搅拌机又可分为牵引式和自行式两种。牵引式搅拌机可由汽车牵引移动，用于工程较小、工期较短的工程和移动式预制厂中。自行式搅拌机是装在汽车上的搅拌机，如混凝土运输车，用于搅拌和输送塑性混凝土。

### (二) 混凝土搅拌机的基本构造

各种类型的搅拌机一般由下列主要部分组成：

搅拌装置。它是搅拌机的工作装置，由搅拌筒（搅拌轴）和搅拌叶片组成。

上料机械。它是向搅拌筒装料的机构，一般有翻转式料斗、提升式料斗、固定式漏斗等型式。

卸料机构。它是将搅拌好的混凝土拌合料从搅拌筒中卸出的机构，有斜槽式、倾翻式、螺旋叶片式等。

传动系统。它是动力装置和搅拌机各工作装置（如上料机构、搅拌筒和水泵等）之间的动力传动机构，一般有机传动和液压传动两大类。

配水系统。按混凝土配比要求，定量供给搅拌用水的装置。目前使用的有水泵-配水箱系统、水泵-水表系统和水泵-时间继电器系统等。

### 1. 自落式搅拌机

按搅拌筒结构可以分为鼓形、锥形反转出料、锥形倾翻出料等型式。但鼓形已属淘汰产品，它已被锥形反转出料搅拌机所代替。

锥形反转出料搅拌机的出料是通过改变搅拌筒的旋转方向来实现的，它省去了倾翻机构，在中、小容量的范围内（ $0.15 \sim 1.0 \text{ m}^3$ ）是一种较实用的机型。它适用于拌制骨料最大粒径在  $80 \text{ mm}$  以下的塑性和低塑硬性混凝土，可供各种建筑工程和中、小型混凝土制品厂使用。目前我国生产的这种搅拌机，出料容量  $0.15 \sim 0.35 \text{ m}^3$  的多为移动式；出料容量  $0.5 \text{ m}^3$  的多为固定式。

图 10-9 是近年来我国研制的 JZY200 型搅拌机的外形。它由搅拌筒、液压进料机构、搅拌筒摩擦轮驱动系统、水泵-时间继电器配水系统和单轴拖式底盘组成。

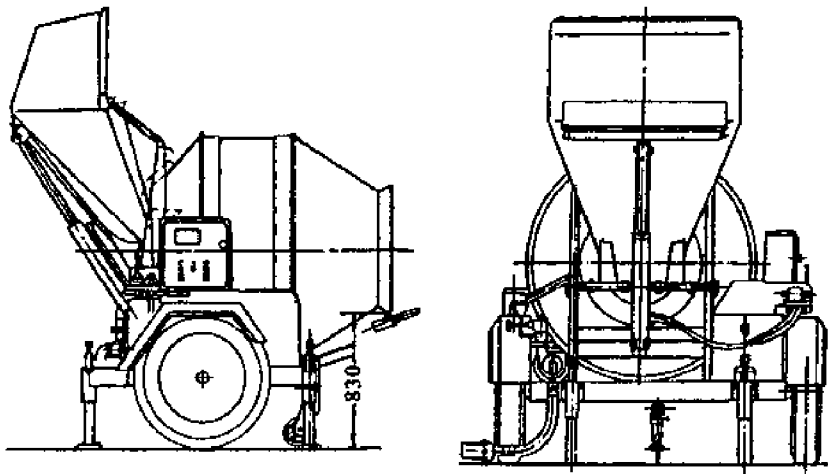


图 10-9 JZY200 型混凝土搅拌机

搅拌筒。锥形反转出料式搅拌机的搅拌筒如图 10-10 所示。圆柱筒和两个相对的截圆锥筒由钢板焊接而成，筒内中部焊有两组交叉布置的搅拌叶片，两组叶片与筒轴线有一定倾斜角，且方向相反。其中一组较短的叶片由撑脚架起称高叶片或副叶片；另一组较长叶片则直接与筒壁相连，称低叶片或主叶片。在筒体展开图上两组叶片相间交替布置，因而当搅拌筒转动时，叶片不仅有提升物料的作用，而且强迫物料沿斜面做轴向窜动。由于叶片的交叉布置和两端锥体筒形的协助，使物料在洒落的同时又形成沿轴向往返的交叉料流，因而强化了搅拌作用，使搅拌的效率和质量都得到提高。在搅拌筒的出料锥一侧直到锥口，对称地布置了 2 块（或 3 块）与低叶片倾斜方向一致的螺旋形出料叶片。搅拌筒正转时，螺旋运动的方向

向朝里，将物料推向筒内，协助搅拌叶片工作；搅拌筒反转时，出料叶片螺旋运动方向朝外，因而在低叶片协助下将搅拌筒内的混凝土卸出。这种搅拌机省去了卸料机构，只需搅拌筒能够逆转即可，因此简化了结构，卸料性能也较鼓形搅拌机高。

上料机构。这种类型搅拌机的上料机构仍采用翻转式箕形上料斗，但翻转驱动采用了液压缸顶升，如图 10-11 所示。该图表示了上料斗和液压缸的布置结构以及两个工作位置，虚线位置是料斗装料装置，液压缸回缩；当液压缸大腔进入压力油，活塞杆外伸将顶推料斗绕其铰点上移翻转，直至上部极限位置料斗向搅拌筒卸料。这种液压驱动料斗的机构也大大简化了上料系统。图 10-11 (b) 是这个驱动系统的液压原理图。

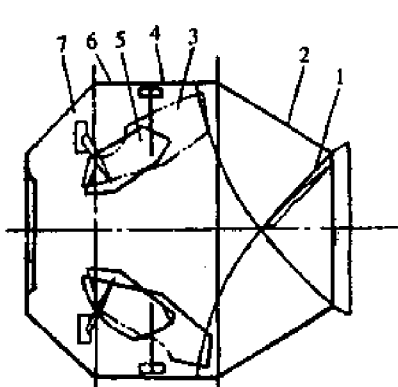
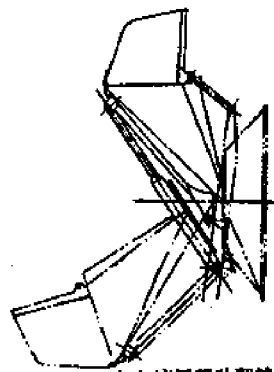
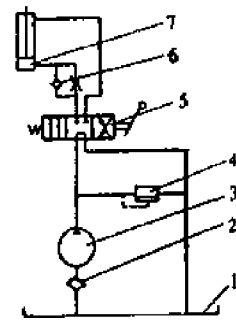


图 10-10 锥形反转出料搅拌筒

1—出料叶片；2—出料锥；3—低叶片；4—筒；  
5—高叶片；6—滚圈；7—进料锥



(a) 液压驱动翻转式上料斗



(b) 上料斗液压驱动系统

图 10-11 锥形反转出料式搅拌机的上料机构

1—油箱；2—滤油器；3—齿轮泵；4—溢流阀；5—手动三位四通换向阀；6—单向节流阀；7—油缸

传动系统。目前，国内生产的锥形反转出料式搅拌机，其传动方式有两种：摩擦轮传动系统和齿轮传动系统。对这种搅拌机的搅拌筒、上料机构、配水系统的驱动，一般采用集中和分散相结合的方式，主要取决于搅拌筒和进料系统的驱动结构。本机采用了液压驱动上料和搅拌筒摩擦轮传动方式，如图 10-12 所示。电动机通过三级齿轮减速箱，在输出轴两伸出端分别联接摩擦轮，依靠与搅拌筒滚道的接触摩擦驱动搅拌筒转动，同时经过减速箱第二根轴右端啮合的小齿轮进行升速，驱动液压泵，以供给上料斗的液压驱动动力。由于卸料工况需要电动机反转，以带动搅拌筒反转，而液压齿轮泵是不允许反转的，此时进料机构也不需要动力，所以在齿轮箱输出轴和齿轮泵的联接中使用了一个单向超越离合器，以防止齿轮泵逆转。上述传动结构十分紧凑，但安装和调整、维护不太方便。

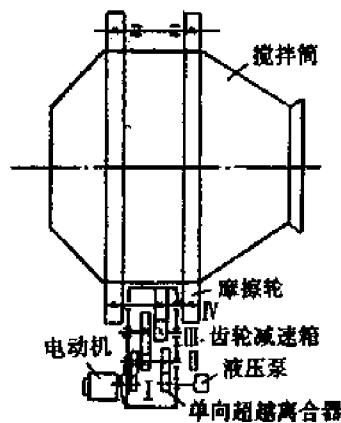


图 10-12 JZY200 型搅拌机传动系统

摩擦轮传动结构是以 4 个橡胶轮代替原来搅拌筒的托轮，其中由减速箱输出轴带动的一对为主动摩擦轮，为了防止搅拌筒在转动时的轴向窜动，与摩擦轮接触的搅拌筒外圆圈上，两侧分别设置了导向挡圈。摩擦轮传动的特点是传动平稳，噪音较小，结构紧凑简单，但遇油、水容易打滑而降低生产率，当摩擦轮与搅拌筒的支承夹角安排不当时，搅拌筒反转时将产生跳动，摩擦轮磨损也较严重。所以锥形反转出料搅拌机目前采用如鼓形搅拌机一样的齿轮齿圈传动也很多，这里不再赘述。

配水系统。JZY200型锥形反转出料式搅拌机的配水系统采用了微型离心水泵和时间继电器控制电动机供水流量的结构，如图10-13所示。这种配水系统结构最简单，机械部分只有配套供应的电动机-水泵、进排水管以及入水口的单向水阀和排水口调节流量的闸阀。但这种系统的供水精度是建立在水泵的稳定流量和时间继电器的精确计时，因而对水源、水泵的排量特性以及上下两个水阀都有严格要求。

整机安装在一个单轴拖式底盘上，短途可低速（< 20 km/h）拖行，也可整机装在载重汽车上转场。底盘设有4个套筒式支腿，由上部设置的丝杠顶升，以保证停车或工作时的稳定性。

锥形反转出料式搅拌机构造简单、重量轻，不需要设卸料机构，只要控制电动机的正、反转，易实现自动控制，更重要的是搅拌质量和效率比鼓形搅拌机都显著提高。缺点是反转出料时电动机需重载起动，对电动机性能和控制电器有一定要求。

表10-3列出了目前国产几种锥形反转出料搅拌机的型号和基本性能参数。

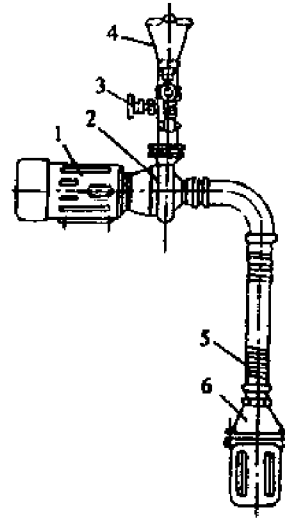


图 10-13 时间继电器控制的配水系统  
1—交流电动机；2—离心式水泵；3—闸阀；4—加水柄；5—吸水软管；6—底盘和滤网

表 10-3 锥形反转出料搅拌机的性能参数

机 型	JZ150	JZ200	JZ250	JZ350
基本参数				
出料容量 (L)	150	200	250	350
进料容量 (L)	240	320	400	560
最大生产率 (m <sup>3</sup> /h)	4~6	6~8	7.5~10	11~13
骨料最大粒径 (mm)	60	60	60	60
套电机功率 (kW)	4 (搅拌提升)	4 (搅拌提升)	4 (搅拌) 3 (提升)	5.5 (搅拌) 4 (提升)
搅拌筒转速 (r/min)	19	16	16	14

## 2. 强制式搅拌机

按结构特点不同有涡浆式、行星转子式和行星转盘式三种搅拌机。目前我国成批生产的主要是涡浆式搅拌机，出料容易为 0.25、0.35 和 1.00 m<sup>3</sup> 等几种。这种强制式搅拌机适用于拌制干硬性混凝土。

涡浆式搅拌机是一种立轴强制式搅拌机。中小容量的在我国工地上已得到推广使用。图 10-14 是 JW250 型强制式搅拌机的外形。它由搅拌装置、上料机构、卸料机构、传动系统、配水系统和底盘等组成。

搅拌装置。它由搅拌盘和垂直安装在搅拌盘中心的搅拌转子组成，如图 10-15 所示。搅



拌盘为一环槽形圆盘，由不同直径的两个圆筒同心放置与底板焊接而成，故其工作容积为一环形槽。搅拌筒上部为一钟形罩盖，设加料口。在环形槽的底部边缘上开有卸料口，由活动闸门控制。搅拌筒环形工作容积的内表面装贴着一层耐磨衬板。搅拌转子由转鼓、搅拌臂和在搅拌臂端安装的搅拌叶片及内、外刮板等组成，是强制式搅拌机的主要工作部件。转鼓为搅拌臂的支架和驱动主体，其底部通过轴线上的法兰与转动轴相连，工作时绕垂直轴线回转，带动搅拌臂和叶片在环形盘槽内做搅拌运动。围绕转鼓圆周可对称地安装若干组搅拌臂和

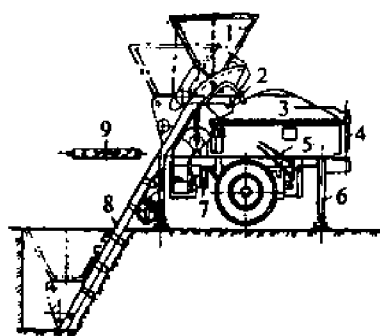


图 10-14 JW250 型涡浆式搅拌机

1—上料斗；2—给水管；3—搅拌装置；4—卸料机构；  
5—上料斗升降控制手柄；6—支腿；7—水泵及配水  
表；8—上料斗导轨；9—牵引杆

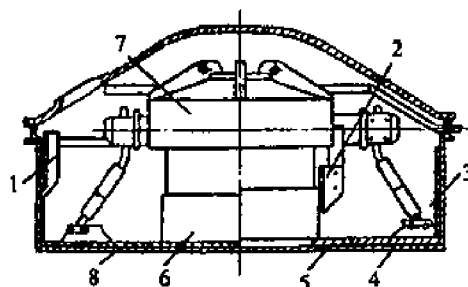


图 10-15 搅拌装置

1—外刮板；2—内刮板；3—外衬板；4—搅拌叶片；  
5—底衬板；6—内衬板；7—转子；8—搅拌盘

内、外刮板，搅拌臂与转鼓采用弹性连接，防止卡料时造成机件的损坏。耐磨合金制成的搅拌叶片安装在搅拌臂端部，占据不同径向位置而且与搅拌盘径向和盘底平面成一定夹角，叶片必须与盘底保持适当间隙，叶片磨损后的间隙可调整或整体更换。内、外刮板与环形竖壁相对，用以清除其上粘料。

JW250 型强制式搅拌机的其他装置及机构与自落式基本相当，此处不再赘述。

表 10-4 列出了一些涡浆式强制混凝土搅拌机的主要性能参数。

表 10-4 涡浆式强制混凝土搅拌机的性能参数

基本参数	机 型		基本参数	机 型	
	JW250	JW500		JW250	JW500
出料容量 (L)	250	500	骨料最大粒径 (mm)	40	60
进料容量 (L)	400	800	动力设备型号	JO <sub>3</sub> -1605-40	JO <sub>3</sub> -200M-6-L <sub>4</sub>
搅拌筒尺寸 (mm)	1 700×516	6 500×2 040	功率 (kW)	15	30
搅拌轴转速 (r/min)	36	29	转速 (r/min)	1 460	970
额定生产率 (m <sup>3</sup> /h)	10~12	20~25			

### (三) 混凝土搅拌机的生产率计算

根据搅拌机的出料容量 (或进料容量) 按下列公式计算搅拌机的生产率  $Q$

$$Q = \frac{3.6V}{t_1 + t_2 + t_3} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

式中  $t_1$ ——装料时间：在双阶式中为 20~30 s，在单阶式中为 10~15 s；  
 $t_2$ ——搅拌时间 (s)，搅拌时间因混凝土的坍落度 (或工作度)、搅拌机的大小而不同；  
 $t_3$ ——卸料时间：倾翻卸料 10~20 s，非倾翻卸料 25~35 s。

#### (四) 搅拌机的选用

选用搅拌机必须考虑以下主要因素：(1) 所需混凝土的总数量；(2) 一次所需混凝土的最大数量；(3) 混凝土的品种、流动性和骨料的粒径；(4) 输送混凝土的方式；(5) 搅拌机的使用年限。

表 10-5 和表 10-6 为不同容量的搅拌机适用范围和自落式搅拌机容量与骨料最大粒径之间的关系，供选用时参考。

表 10-5 不同容量的搅拌机适用范围

出料容量 (m <sup>3</sup> )	进料容量 (L)	适用范围	出料容量 (m <sup>3</sup> )	进料容量 (L)	适用范围
0.05	80	实验室	0.70	1 200	大型工地，拆装式混凝土搅拌站和大型混凝土搅拌楼
			1.00	1 600	
0.15	240	修缮工程和小型工地	1.50	2 400	大型堤坝、水利工程的搅拌楼
			3.00	4 800	
0.35	560	小型工地，小型移动式搅拌站，中、小型混凝土预制厂			
0.50					

表 10-6 自落式搅拌机容量与骨料最大粒径的关系

出料容量 (m <sup>3</sup> )	最大粒径 (mm)	出料容量 (m <sup>3</sup> )	最大粒径 (mm)
0.35 以下	60	1.50	150
0.75	80	3.00	250
1.00	120		

## 二、混凝土输送机械

在建筑施工中，为了把混凝土从制备地点及时送到施工现场进行浇灌，必须使用各种运输机械，特别是在商品混凝土大力发展的情况下，广泛采用混凝土输送车和混凝土泵等专用机械和设备。

### (一) 混凝土搅拌运输车

混凝土搅拌运输车是安装在自行式底盘上的专门用于搅拌、输送混凝土拌合料的车辆，如图 10-16 所示。它集运输和搅拌功能于一体，可边运边拌，从而可以在远距离运送中仍能保证混凝土质量，使混凝土不发生离析和失水初凝。这种运输车每次装料量大 (以 6 m<sup>3</sup> 为标准型)，机动性高 (通常采用

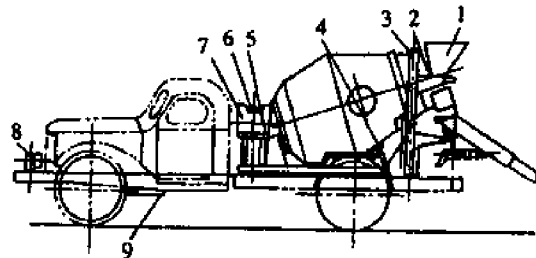


图 10-16 混凝土搅拌运输车

1—进、出料斗装置；2—搅拌装置；3—机架；4—操纵机构；  
5—马达减速箱；6—供水系统；7—液压系统；  
8—车前传动装置；9—取力箱

普通载重汽车底盘改装), 是商品混凝土生产必不可少的配套运输机械。

这种机械按运距和施工对混凝土质量的要求, 可采用不同的工作方式: 当运距不太长、对混凝土质量有严格要求的情况下, 搅拌输送车只从混凝土工厂接受已搅拌好的混凝土, 在运途中, 搅拌筒以低速转动 (1~3 r/min) 搅拌混凝土, 防止离析。当运距较长, 运输时间可能超过混凝土的初凝时间时, 搅拌输送车可在配料站装入量配好的拌合料及水, 在运途中, 搅拌筒以较高转速 (8~12 r/min) 进行搅拌作业, 待到工地卸出已经拌好的混凝土, 这样可以适当延长运距, 但混凝土拌合质量不如混凝土工厂生产的好。如果运距更长, 甚至可以携带干拌合料, 在运途的适当时候再加水搅拌。但是, 从输送的质量和运输的合理性、经济性考虑, 目前大多数搅拌输送车采用第一种工作方式, 平均运距控制在 8~12 km。

混凝土搅拌输送车的主要结构是由搅拌装置, 进、卸料机构, 传动系统和配水系统等组成。

搅拌装置的组成与一般搅拌机相似。搅拌筒为梨形, 采用单口进、卸料, 反转出料方式。整个搅拌筒通过两个滚轮和筒底中心轴组成三个支点斜卧在机架上, 其轴线斜置角为 16°~20°。动力一般都通过汽车分动箱上的驱动油泵产生的压力油带动油马达使搅拌筒转动。

搅拌筒内从筒口到筒底对称地安装着两条连续的带状螺旋叶片, 如 10-17 所示。按照搅拌筒的不同转向可以实现搅拌和卸料两种工况。当搅拌筒正转时, 叶片的螺旋运动朝向筒底, 将拌合料推向筒底而得到翻动搅拌, 这时可以进行加料搅拌, 搅拌强度和进料速度由搅拌筒的正转速度来控制; 当搅拌筒反转时, 叶片的螺旋运动朝向筒口, 因而可推送拌合好的混凝土从筒口卸出, 卸料速度由不同的反转速度来控制。

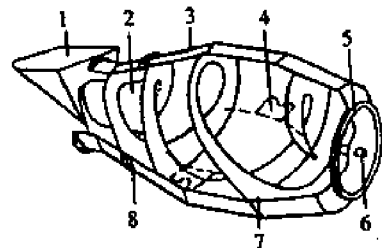


图 10-17 搅拌筒内构造

1—加料斗; 2—进料导管; 3—搅拌筒壳体;  
4—辅助搅拌叶片; 5—链轮; 6—中心轴;  
7—带状螺旋叶片; 8—环形滚道

表 10-7 为国产混凝土搅拌输送车的技术性能。

表 10-7 国产搅拌输送车的技术性能

性能参数	车型	JH1.5	JC <sub>2</sub>	JCY <sub>6</sub>
搅拌筒几何容积 (L)		3 000	5 700	8 900
额定混凝土装载量 (L)		1 500	2 000	6 000
搅拌筒轴线斜置角 (°)		18	18	16
进料口尺寸 (mm)		800×800	1 000×1 000	1 000×1 000
搅拌筒直径×长度 (mm)		1 650×2 410	2 020×2 813	2 160×3 500
搅拌筒转速 (r/min)		6~12	8~12	6~10
搅 动		2~4	2~4	1~3
卸 料		6~12	6~12	3~10
水箱容量 (L)		120	250	250
卸料时间 (坍落后 > 8 cm) (min)		2~5	2~4	—
外形尺寸 (长×宽×高) (mm)		6 965×2 284×2 830	7 440×2 406×3 400	7 875×2 490×3 460
全机重量 (空车) (kg)			9 500	10 500

## (二) 混凝土输送系统及布料装置

### 1. 混凝土输送泵

混凝土输送泵是一种通过管道将混凝土拌合料连续压送到浇注现场的专用设备，简称混凝土泵。它可用于浇灌采用模板支撑定型的各种体积巨大的混凝土构筑物，如隧道、混凝土结构框架和混凝土基础等。其优点是：(1) 把输送和浇灌工序合二为一，节省劳力和时间；(2) 同时完成水平和垂直输送，可省去起重设备；(3) 能连续作业，保证混凝土的质量，缩短工期和降低工程造价；(4) 与搅拌运输车配合，使混凝土输送过程完全机械化，大大提高输送效率；(5) 混凝土损耗极少，有利于文明施工。目前混凝土输送泵输送混凝土的距离，最大水平距离可达 800 m，最大垂直距离可达 300 m，输送能力已达到 100 m<sup>3</sup>/h。

混凝土输送泵按其工作原理主要有活塞式和挤压式两类。其驱动方式有机械的、液压的和气压的三种。整个泵可装在固定机架上、拖式底盘上或载重汽车底盘上。目前以液压驱动的活塞式混凝土泵使用最广泛，在工作性能和使用寿命等方面都有较高的指标。

液压双缸活塞式混凝土泵的工作原理如图 10-18 所示。它由两个活塞式混凝土缸 1、混凝土活塞 2、料斗 6、分配阀（吸入阀 7 及排出阀 8）、液压缸 3、液压缸活塞 4、活塞杆 5、Y 形管 9 和水箱 10 等几部分组成。

混凝土工作缸与液压驱动的油缸串联，两个混凝土工作活塞分别由两个油压活塞驱动，交替地进行吸入和排出混凝土。在混凝土缸的前端设有进料口和排料口，分别与料斗和 Y 形输送管相通，并由闸板式进料阀和排料阀控制其接通和切断两种状态。两个闸板阀也分别由两个液压油缸驱动，与混凝土缸的行程相配合，交替更换位置。

液压活塞式混凝土泵运转平稳，压力高，容量大，输送距离长，很适合在高层建筑和一些大型建筑工程中使用。

### 2. 泵送混凝土的布料装置

目前采用的布料装置大都类似一台动臂式起重机。在其臂架上附装着混凝土输送管，由此可以随臂架伸缩、俯仰和回转，在一定范围内变更浇灌位置，小范围的混凝土摊铺则可由人力摆动出口处橡胶软管来完成。

布料装置的基本结构由折叠式臂架、回转盘和输送管等组成。整个布料装置安装在固定机架或行走底盘上。折叠式臂架一般由 3~4 节组成，各节间通过空心销轴铰接，相邻两节间设驱动油缸，以带动两节做相对转动，输送钢管贴着臂架布置，通过两节臂架铰点时，管子穿过空心销轴孔，并以活动管接头联接，使之能与臂架一起折转。臂架基节固定在回转盘上，整个臂架可随回转盘转动。混凝土输送管通过转台中心与下边的固定管道相接。

混凝土布料装置可以放置在井架或塔架上，也可与混凝土泵一起装在普通载重汽车底盘上，组成所谓混凝土泵车。布料装置的设置方式见图 10-19。布料装置不工作时，布料臂架可折叠放平；工作时，打开折叠臂架，将臂架末端伸向浇灌地点然后进行泵送。图 10-20 为

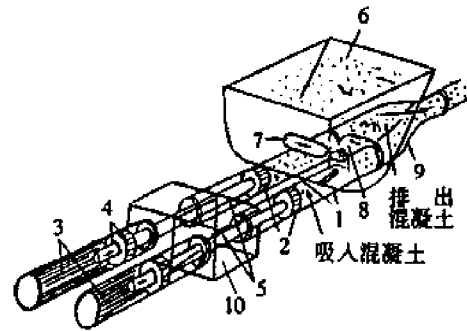


图 10-18 双缸活塞泵的工作原理

1—混凝土缸；2—混凝土活塞；3—液压缸；4—液压缸活塞；5—活塞杆；6—料斗；7—吸入阀；8—排出阀；9—Y形管；10—水箱

混凝土布料杆泵车。它具有机动性好，使用方便等优点，是目前常用的泵兼布料的机型。它适用于基础工程，6层以下房屋建筑和圆形结构（如筒仓、冷却塔等）的混凝土工程施工，在城市建设中更显出其优越性。

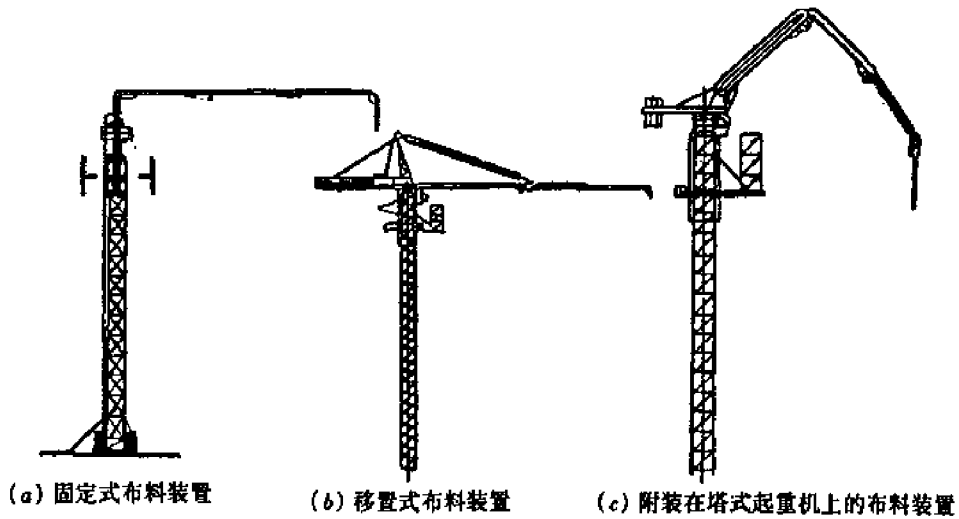


图 10-19 布料装置的设置

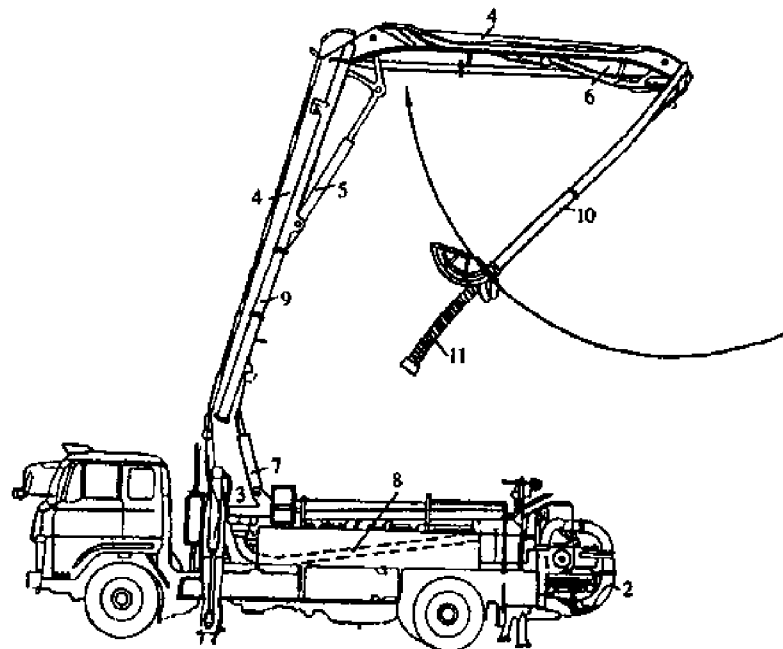


图 10-20 布料杆泵车

1—混凝土泵；2—输送管；3—布料杆回转支承装置；4—布料杆臂架；5、6、7—液压缸；8、9、10—输送管；11—橡胶软管

装在混凝土泵车上的布料装置，受汽车底盘承载能力和稳定性的限制，臂长一般不超过 25 m。工作时，要打支腿，以保持车身的稳定。

### 三、混凝土振捣密实机械

在混凝土工程施工中，无论是浇灌在模板中或敷砌在构筑物表面的混凝土，都要求振捣

密实成型，才能达到预期的强度和工作要求。因此，振捣密实成型是混凝土工程施工中的一道重要工序。完成这道工序常用的机械有混凝土振动器和混凝土喷射机。

### (一) 混凝土振动器

混凝土振动器是一种对浇灌的混凝土进行振捣密实的机械。这种机械工作时能产生微幅（振幅一般在 0.4 ~ 3 mm 之间）的机械振动并传给混凝土，使受振混凝土呈现出所谓“重质液体状态”，从而大大提高了混凝土的流动性，使之迅速而密实地填充在模板中。利用振动器密实混凝土的工艺方法称为振动法。此外，还有挤压法、离心法、滚压法等，其中尤以振动法最有效，故应用亦最广泛。

目前工地上经常使用的混凝土振动密实机械有插入式振捣器及附着式振动器两大类。它们大多用电动机驱动，也有用内燃机或压缩空气驱动的。

#### 1. 插入式振捣器

插入式振捣器是一种内部振实机械。工作部分常做成棒形或片状，以便插入混凝土内部直接传递振动，所以效率较高。适用于垂直方向尺寸较大的混凝土体，如梁、柱、墙、厚板、桩和基础等的振实。

这种振捣器按其激振器的结构和工作原理的不同，主要有偏心式和行星式两种。图 10-21 (a) 为偏心轴式振捣器。它是利用具有偏心质量的转轴产生离心力，从而带动工作部分振动的。图 10-21 (b) 为行星式振动器的原理图。它是使转轴沿一定的轨道做行星运动而使工作部分产生振动的。

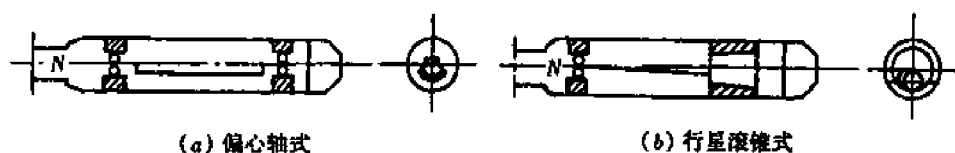


图 10-21 振动器振动原理示意图

插入式振捣器按其工作部件（振动棒或片）与动力设备联接形式的不同，有直联式和软轴式两种。直接式的振动棒与电动机联成一体，由电动机直接驱动激振转轴。这种结构虽然紧凑，但工作部分重量加大，不利于手持作业，一般多为大型振动棒，由机械悬吊作业，水利工程中经常使用这种型式。

另一种是电动机通过一段软轴驱动振动棒，即所谓软轴式振捣器。这种型式由于电动机与振动棒分开，手持作业轻便，同时可根据建筑结构和混凝土对振动的不同要求而更换不同直径的振动棒。

目前，在一般建筑工地上使用最多的是电动软轴偏心式和行星式振捣器。这两种振捣器在外观上基本一样，如图 10-22 所示。它们都是由电动机、软轴和振动棒三部分组成，一般采用普通交流异步电动机驱动。

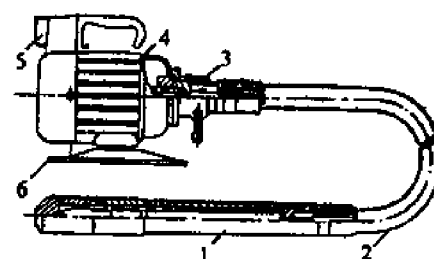


图 10-22 电动软轴插入式振捣器

1—振动棒；2—软轴；3—防逆转装置；4—电动机；5—电器开关；6—电动机座

#### 2. 附着式振动器

附着式振动器属于外部振动器，它所产生的机械振动是通过模板或振动板从表面传给混凝土的，因而振实效果不如插入式振捣器，只适用于大

面积板形构件或混凝土体的捣实，如地坪、墙、楼板、路面、机场跑道及某些板形预制构件。

这种振动器的构造极为简单，如图 10-23 所示。其外形似一台电动机，实际是在电动机轴 2 的两端外伸部分同向安装着两个相同质量的偏心块，电动机转动时，偏心块产生离心力，通过电动机轴、轴承传递给机座。工作时，通过螺钉、机座将整个振动器固定在振动板或模板上，从而将振动力传给混凝土。

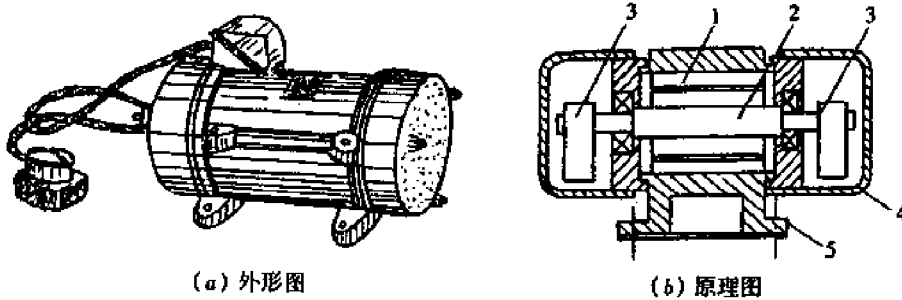


图 10-23 附着式振动器

1—电动机；2—轴；3—偏心块；4—护罩；5—机座

这种振动器为低频式的，振动效果不太理想，自出现变频机组供电装置后，其振动频率已提高到每分钟 10 000 次以上，振实效果大大提高，适应性也扩大了。振实后的混凝土体表面十分平整光洁，不必再修整。

### 3. 振捣器的主要性能参数

振捣器的主要性能参数包括：(1) 振动棒的振动参数：振动频率、振幅和振动力；(2) 结构参数：振动棒的直径、长度；(3) 振捣部分的质量。此外还有配用动力的功率等。

在选用振捣密实机械时，应针对混凝土的性质（骨料的粒径、坍落度等）和施工条件，对振动密实机械的振动参数和结构参数进行恰当的选择，以求获得预期的使用效果。

## (二) 混凝土喷射机

混凝土喷射机是将混凝土拌合料喷向建筑物表面，使建筑物表面得到加强和保护的一种机械。

在实际施工中，对一些重要的施工工作面采用混凝土喷锚支护，这是一种混凝土被敷支护工艺。所谓喷锚支护就是对重要的施工工作面，在喷射混凝土前先锚以钢筋，然后喷射混凝土，喷射后使钢筋、工作面及混凝土结为一个整体，这种加锚杆的喷敷工艺称为喷锚支护。这种工艺在建筑（特别是地下工程）、煤炭、冶金、铁路和水电等系统的井巷、隧道、涵洞等工程的衬砌施工中，已得到广泛应用，并取得了良好效果。

用于喷射施工的混凝土喷射机，按其工作方式可分为：干式和湿式两类。由混凝土拌合料的输送机械和喷射器（喷嘴）组成。干式混凝土喷射机是将混凝土的干拌合料沿管道输送到喷嘴，在喷嘴混合室内与水混合成混凝土射出。湿式混凝土喷射机则是输送和喷出已经搅拌好的混凝土。尽管后者在施工质量、节约材料和劳动保护等方面比前者有较多优点，但由于混凝土易在喷射机上粘结，使可靠性还不如前者，因而不如干式混凝土喷射机使用广泛。

### 1. 双罐式混凝土喷射机

双罐式混凝土喷射机是干式混凝土喷射机的一种机型。如图 10-24 所示，其干拌合料由皮带输送机送到上钟形阀 2 处；上罐 5 为给料室，起储料作用；下罐 6 为压缩空气输送室，起排

料作用。两罐串联，上罐和下罐的罐口都可由钟形的阀门封闭，工作时以压缩空气为动力。

当喷射混凝土时，首先打开上罐钟形阀，皮带输送机将干拌合料送满上罐，然后关闭上罐钟形阀，皮带输送机停止送料；随之打开下钟形阀，使拌合料落入下罐。当关闭下罐钟形阀并通入压缩空气时，一路通到罐底的搅拌给料叶轮处以吹松干料，另一路从下罐的上部吹入罐中，压挤拌合料从罐底排料孔和管道输送到喷嘴。当下罐在吹送时，可同时打开上罐钟形阀送料，为下罐的吹送做准备，如此循环工作。如配合得当、熟练，可使吹喷工作不间断的进行。

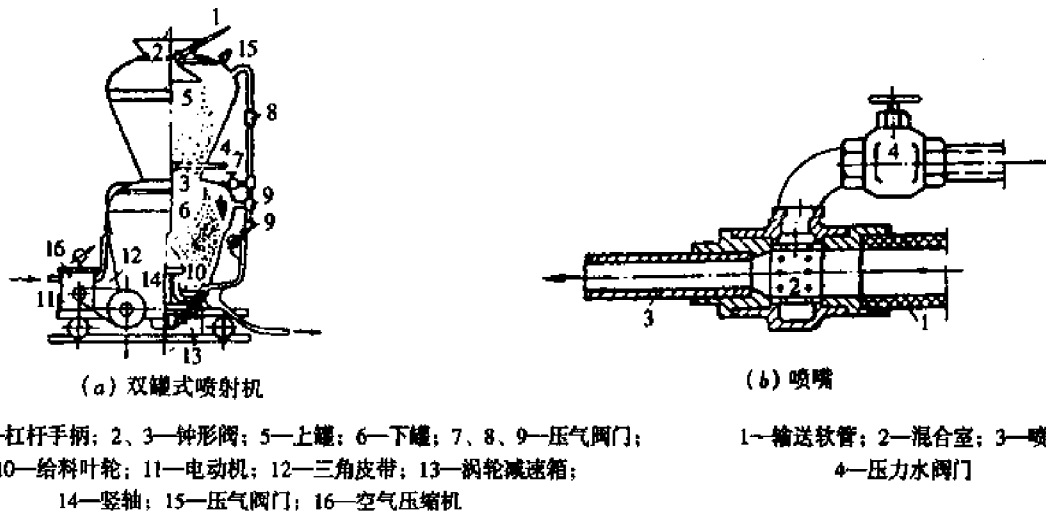


图 10-24 双罐式混凝土喷射机

干式混凝土喷嘴是使干拌合料与水混合，并由压缩空气将混凝土喷射出去进行布料喷涂的工具，它联接在干料输送管的末端，同时联接着压力水管。施工时，可以手持，也可以用机械手操纵。图 10-24 (b) 为喷嘴的构造图。压力水经水阀有控制地进入混合室，混合室为铜或塑料制成的多孔圆形套管与环形进水道组成。拌合料压送至此与水混合成湿润状态经喷嘴口射出，进行布料喷涂。

这种喷射机结构简单，使用可靠，消耗功率小，使用比较普遍。

## 2. 转子式混凝土喷射机

这种喷射机也属于干式混凝土喷射机。它由转子式给料压送机构、料斗和驱动系统组成。

这种喷射机所用的喷嘴与双罐式的相同。这种喷射机对拌合料的输送距离较远，水平可达 200 m，垂直可达 100 m。出料基本连续，操作简便，但密封胶板等为易损件，应注意更换。另外其转子料孔制作较麻烦，当堵塞时清理不方便。

由上述可见，混凝土喷射施工，并不是喷射机单机作业所能完成的，它还需要搅拌、运输、上料（到喷射机）、供压气、供压力水等机械相配合。为了提高喷射效率，常将上料运输机械、喷射机、喷射器和机械手等组合在一起，制成喷射机组或喷射台车进行工作，不但减轻操作人员的劳动强度，而且也减弱了粉尘对操作人员的危害。

## 复习思考题

1. 钢筋加工机械是对钢筋做哪些作业的机械？
2. 钢筋的处理和加工机械主要有哪些？各有什么用途？



3. 混凝土工程的施工工序一般是怎样的？混凝土工程机械可分为几大类？各有什么用途？
4. 强化钢筋有什么作用？目前常用的钢筋强化机械有哪些？
5. 试比较钢筋冷拉与冷拔在工艺上有何不同？钢筋经冷拉、冷拔后有何优点？
6. 简述钢筋调直的工作原理。
7. 简述钢筋切断机的工作原理及常用类型。
8. 简述钢筋弯曲机的用途及弯曲的工作原理。
9. 简述对焊机与点焊机在焊接原理上有何区别？各用于什么场合？
10. 试述混凝土搅拌机的分类方法有几种？
11. 自落式搅拌机与强制式搅拌机在拌合原理上有何不同？各适用于搅拌哪类混凝土？
12. 混凝土搅拌机的基本结构由哪几部分组成？
13. 为什么锥形反转出料式搅拌机的搅拌质量比鼓筒式的好？
14. 选用搅拌机时必须考虑哪些主要因素？
15. 简述混凝土搅拌输送车的主要结构组成及搅拌、卸料的工作原理。
16. 混凝土输送泵有哪些类型？泵送混凝土有何优点？
17. 混凝土振捣密实成型机械有哪几种？各适用于什么场合？
18. 何为混凝土喷锚支护工艺？该工艺采用哪些机械设备？

# 第十一章 装修机械

装修工程是建筑物主体结构完成后的主要施工任务，特别是民用建筑和公共建筑，主体工程一般只占总工程量的 30%~40%，而内外装修以及水、电、卫生设备等的安装，却要占总工程量的 60%~70%。所以装修工程对于建筑物的美观、防潮、隔热、耐久性、抗蚀性以及能否提前使用都是非常关键的。

装修工程主要包括：灰浆、石灰膏的制备，灰浆的输送，抹灰，水磨石地面、墙裙、踏步的磨光，地面结碴的清除，壁板的钻孔以及内外墙面的装饰等。其特点是工程技术复杂、劳动强度大，传统上多靠手工操作，工效低，大型机械的使用又不方便，因此发展小型的、手持式的轻便机具，确实是装修工程机械化最理想的途径。

目前使用的装修机械主要有以下几类：

- (1) 灰浆制备及输送机械：灰浆材料加工机械、灰浆搅拌机、灰浆泵、灰浆喷射器等；
- (2) 涂料机械：涂料喷刷机、涂料弹涂机等；
- (3) 地面修整机械：地面抹光机、水磨石机、地板刨平机、地板磨光机等；
- (4) 装修平台及吊篮：装修升降平台、装修吊篮等；
- (5) 手持机具：冲击钻、射钉枪、穿孔器、切筋机、弯管机等。

## 第一节 灰浆机械

灰浆机械是用于灰浆材料加工、灰浆搅拌、灰浆输送、墙体抹灰、表面装饰等工作的机械。经过抹灰、装饰处理的建筑物，会更加坚固耐用，造型美观，居住舒适、明亮，同时对结构也起到保护和延长使用寿命的作用。

### 一、淋灰机

淋灰机是用来淋制石灰膏的机械，将石灰通过水淋，去掉渣子及石块，经过沉淀池沉淀为石灰膏，作为粉刷墙壁及砌砖灰浆的原料。

淋灰机的类型有锤式、螺旋桨式及鼓筒式等几种。目前建筑工地应用最普遍的是锤式的，即粉碎淋灰机。

淋灰机的构造及工作原理：图 11-1 为 FL-16 型粉碎淋灰机，电动机 1 经皮带传动使主轴 20 以 720 r/min 左右的转速旋转，4 个甩锤支撑板 19 通过键与主轴 20 联接，各支撑板之间均布并贯穿着 4 根（或 3 根）甩锤轴 18，每个甩锤轴上铰接着 6 个甩锤 16，甩锤的端部焊接着钢筋段形成锤头。甩锤的外缘被筒体 15 包围，筒体内面镶有锯齿形的衬铁 10（共四块，铸铁制成）。当石灰由进料斗 7 放入时，即受到高度旋转甩锤的打击而粉碎，加料口周边设有淋水花管 6，内侧有许多小孔，喷水时既冲洗石灰又防止灰粉飞扬。筒体下部设有筛

板 12，板上布满 3~5 mm 的圆孔，石灰浆即由此漏出至沉淀池。当筛面上积压较多的难碎石块时，可通过筛底手把 8 打开筛板将碎石刮出。有的机械在甩轴上还装有翻渣叶片 17，将沉积在筒底的渣块翻起重复锤打，可使石灰的利用率提高到 98% 以上。

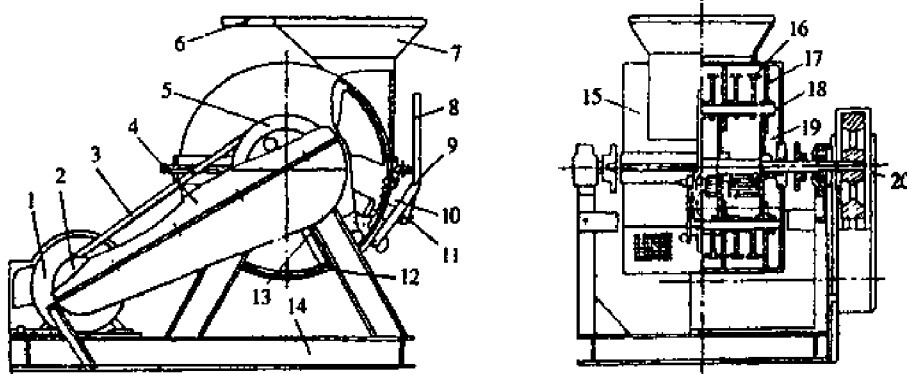


图 11-1 FL-16 型粉碎淋灰机

1—电动机；2—主动皮带轮；3—三角皮带；4—防护罩；5—被动皮带轮；6—淋水花管；7—进料斗；8—筛底手把；9—筛底手把连杆；10—衬铁；11—筛底手把座；12—筛板；13—防护罩支架；14—底架；15—筒体；16—甩锤；17—翻渣叶片；18—甩锤轴；19—甩锤支承板；20—主轴

使用淋灰机应注意以下几点：

- (1) 使用前应检查机械各部分状态是否完好、各摩擦副是否已加油润滑；
- (2) 主轴应按筒体上箭头所示的方向回转，不得逆转；
- (3) 勿使木块、铁件、铅丝等物料进入筒体；
- (4) 淋灰前应先给石灰块浇水化开；开始淋灰时，应先打开水阀再加石灰；停止淋灰时，应后关水阀。

## 二、纸筋-麻刀拌合机

纸箱-麻刀拌合机是用来拌制墙壁抹面中各纤维灰膏的机械。这种拌合机的结构组成如图 11-2 所示。

工作原理：如图 11-2 所示，电动机 13 通过三角皮带 1、2 传动，减速后带动主轴以 600 r/min 左右的转速旋转，主轴上自加料口向出料口依次地焊接着螺旋铰刀 4、打灰叶片 7 及刮灰叶片 8。混合后的纸筋或麻刀与石灰膏由加料口进入后与来自水管接头 5 的清水一起在筒内受到螺旋铰刀的搅拌、输送，随之被打灰叶片打成糊状灰膏，自筒体右端由刮灰叶片 8 刮出，经斜槽流到储料斗中。

这种机械能连续生产，结构简单，一般机修厂皆可制造。

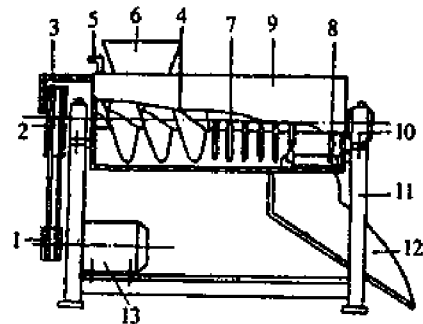


图 11-2 纸筋-麻刀拌合机

1、2—皮带传动；3—防护罩；4—螺旋铰刀；5—水管接头；6—进料斗；7—打灰叶片；8—刮灰叶片；9—筒体；10—轴承；11—机架；12—出料料槽；13—电动机

### 三、筛砂机

灰浆在搅拌前必须筛除 6 mm 以上的粗砂及杂物。当砂中含水量高时人工筛砂效果不佳。筛面做高频振动的传动方式有两种，即曲柄连杆机构传动及偏心块的转动传动。后者的筛分效率较高。

图 11-3 为一台偏心式振动筛。电动机轴上固装着偏心块 10，以 2 800 r/min 的转速振动筛网，筛架由 4 个螺旋弹簧支持，砂子加到筛网后部，在振动力作用下，大于 6 mm 的砂子及杂物由出料口 8 卸出。

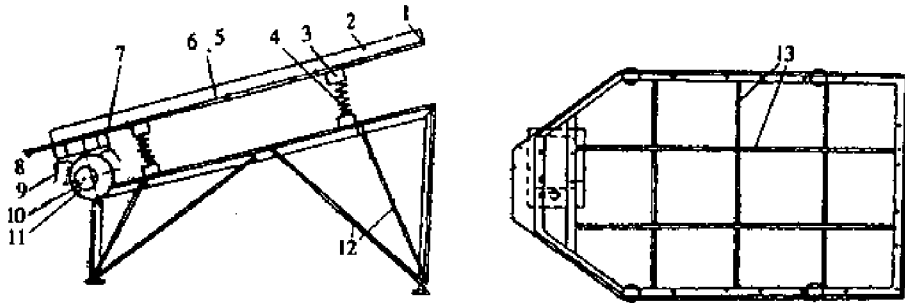


图 11-3 偏心振动筛

1—角钢架 (∠25×3); 2—挡板; 3—支座; 4—弹簧 (φ40×3); 5—压条 (20×5); 6—筛网; 7—电动机支座;  
8—出料口; 9—电动机罩; 10—偏心块; 11—电动机; 12—机架拉杆 (φ10); 13—筛网撑条

这种简易振动筛，总重约 30 kg，便于搬移，可以比人工筛沙提高工效 3~5 倍。但这种筛砂机由于经常移动，不便装上料装置，故仍需人工上料。

### 四、灰浆搅拌机

目前工地上使用的灰浆搅拌机都是强制搅拌式的，尽管灰浆中无大骨料，但有粘性较大的石灰膏，所以不能用自落式搅拌。这种搅拌机的工作过程是按周期进行的，故也可称为周期式灰浆搅拌机。其最大特点是搅拌出的灰浆质量可靠。

灰浆搅拌机由机械传动系统，搅拌装置（搅拌轴、搅拌筒和搅拌叶片），卸料机构和底座组成。按照出料容量的不同，上料及卸料的方式亦不同，出料容量 200 L 的灰浆搅拌机是人工上料，拌筒倾翻卸料；出料容量 325 L 的灰浆搅拌机，常需机械装料装置，卸料为活动卸料式，即拌筒不动，在拌筒下方装有一个活动出料门，用手扳动进行卸料。为了防止大块物料及装料铁锹不慎绞入，在拌筒的顶部装有钢条制成的格栅。

图 11-4 为 HJ<sub>1</sub>-200 型灰浆搅拌机的传动系统。主轴 10 上用螺栓固定着叶片 6 并以 30 r/min 的转速旋转，转速不能过高，否则灰浆会被甩出筒外。由实验得出：叶片对主轴的夹角为 40° 时，不仅搅拌效果好，而且节省动力。两组叶片对称安装，搅拌时使

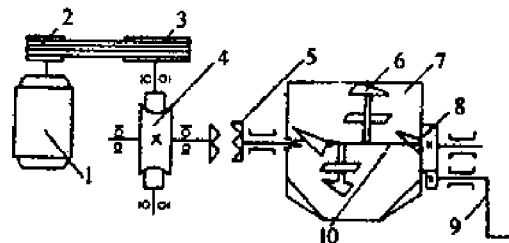


图 11-4 HJ<sub>1</sub>-200 型灰浆搅拌机传动系统

1—电动机; 2、3—小、大皮带轮; 4—蜗轮减速器; 5—十字滑块联轴节; 6—叶片; 7—搅拌筒; 8—扇形内齿轮;  
9—摇把; 10—主轴

拌合料既产生周向运动又能产生轴向运动，使之既搅拌又互相掺合，从而获得良好的拌合效果。

卸料时，转动摇把 9，通过小齿轮带动固定在筒体上的扇形齿圈，使拌筒以主轴为中心进行倾翻，此时叶片仍继续转动，协助将灰浆卸出。

这种搅拌机经常产生的问题是轴端密封不严，造成漏浆，流入轴承座而卡塞轴承，烧毁电动机。因此，使用时应多加注意。

## 五、灰浆泵

灰浆泵是沿管道连续压送的灰浆输送机械。它若与喷射装置配合使用，能进行墙面及屋顶面的喷涂抹灰作业。

目前常用的灰浆泵有柱塞式和挤压式两种。

### (一) 柱塞式灰浆泵

柱塞式灰浆泵按结构不同有直接作用式及隔膜式两种。直接作用式的柱塞在工作缸中与灰浆直接接触，构造简单，但柱塞与缸口磨损严重。隔膜式的构造略复杂，但保护了柱塞与缸口。

图 11-5 为隔膜式灰浆泵的传动系统。

穿过泵室 7 的圆筒形橡胶隔膜 8，其上下两端固定在钢质凸缘上并各装有球形阀门 9、13，泵室中充满液体（通常为水），当电动机通过齿轮 17、16、2、3 减速带动曲轴使柱塞 6 自泵室中抽出时，室内压力降低，于是装在灰浆斗 11 中的灰浆因受大气压力作用顶开球阀 9 进入圆筒隔膜内，同时球阀 13 则紧紧地封住圆筒隔膜上口。

当曲轴继续回转，柱塞压入泵室 7 时，室内液体压力增大，球阀封住圆筒隔膜下口，同时隔膜被压凹而使筒内灰浆挤开球形阀门 13 进入气罐 14，继而从排浆口送入输送管路中。

气罐 14 的上端是密封的，并装有气压表。气罐顶部被灰浆压缩的空气，使罐内的灰浆常保持一定的压力，这样可使灰浆的输送比较连续。

柱塞是在液体中工作的，不与灰浆接触，因此柱塞及与其相配合的缸口磨损小。

这种型式的灰浆泵结构坚固、耐用，但自重（约 550 ~ 650 kg）大，出料连续性差。

### (二) 挤压式灰浆泵

这种灰浆泵由泵壳、耐磨橡胶管、滚轮架、挤压滚轮、调整轮、进料及出料输送胶管、料斗以及电气控制系统等构成。其挤压原理见图 11-6 所示，当轮架按箭头所示的方向开始旋转

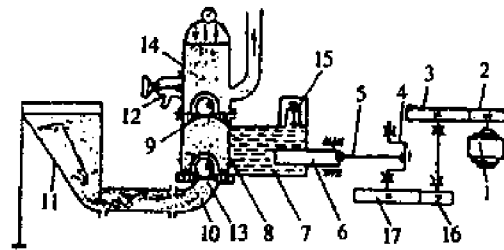


图 11-5 隔膜式柱塞泵的传动系统

- 1—电动机；2、3、16、17—减速齿轮；4—曲轴；5—连杆；  
6—柱塞；7—泵室；8—圆筒形隔膜；9、13—球形阀门；  
10—吸入支管；11—灰浆斗；12—返浆阀；  
14—气罐；15—安全阀

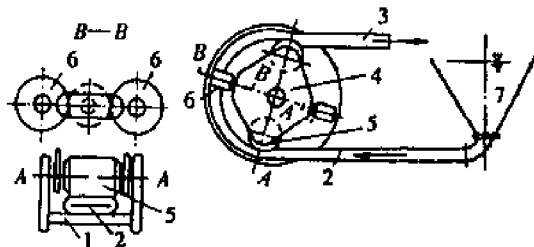


图 11-6 挤压式灰浆泵原理图

- 1—泵壳；2—进料口；3—出料口；4—滚轮架；  
5—滚轮；6—调整轮；7—灰浆斗

时，进料口 2 处的胶管被滚轮挤扁，管中的空气被压，从出料口 3 排往大气，而随之转来的调整轮 6 却把橡胶管整形复原，所以灰浆在大气压力作用下，由灰浆斗流向管口 2，因此，滚轮开始挤压灰浆，使灰浆流向出料口 3 并进入管路。

灰浆泵的输送距离，垂直可达 45 m，水平可达 120 m。自重不过 300 kg，其功率消耗及自重都远比柱塞式的低。

这种泵输送管的末端装以喷嘴，可以对屋顶、墙面进行抹灰，其附着情况优于人手，但喷涂后的表面仍需人工收光。

这种泵的传动系统中如装设无级变速装置或应用调速电动机来调整滚轮架的转速，则可改变灰浆的排量。

使用中万一发生堵塞时，可利用“返泵”（滚轮架倒转），将管路中的灰浆返送回灰浆斗。

## 第二节 地面修整机械

水泥、水磨石及天然石料铺设的地面、墙面，通常采用地板抹光机或磨石机进行抹光和磨光；木质地板则用地板刨平机和磨光机来修整。

### 一、地面抹光机

水泥地面抹光机的构造如图 11-7 所示，工作机构为一个由电动机驱动的抹刀转子，在转子中部的十字架底面上装有 2~4 片抹刀。抹刀 6 倾斜方向与转子旋转方向一致，转子外缘装有三角皮带，由电动机带动。

操作时，先握住操作手柄 1，起动电动机，抹刀旋转，即可对水泥地面进行抹光作业。

69-1 型地坪抹光机每小时能抹光 100~300 m<sup>2</sup>，与人工抹光比较，可以提高工效 3 倍以上。

### 二、单盘水磨石机

图 11-8 为单盘水磨石机，该机的工作机构是一个由电动机通过减速箱带动旋转的磨石转盘，转盘底部装有 2~3 套磨石夹具能夹牢 2~3 块三角形磨石，当转盘旋转磨光地板时，要用水管向磨石喷注清水，进行助磨和冷却。磨盘周围包以橡胶制的护圈，以防泥水飞溅。

磨盘的后部有一对带橡胶衬面的移动滚轮，在人力通过手柄、操纵杆的推动下行走。磨盘离地面的高度可通过调节手轮或踏板调整。

根据地表的粗细情况，应更换磨石。如去掉磨石，换上蜡块可用于地板打蜡。

这种磨石机主要用于大面积地面、台阶等的水磨作业。

此外，还有双盘水磨石机和侧式磨光机等。

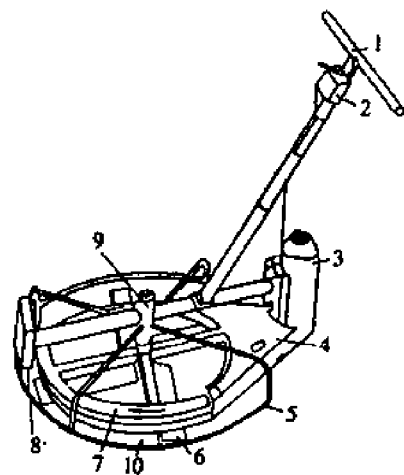


图 11-7 地坪抹光机

1—操纵手柄；2—电气开关；3—电动机；4—防护罩；5—保护圈；6—抹刀；7—抹刀转子；8—配重；9—轴承架；10—三角皮带

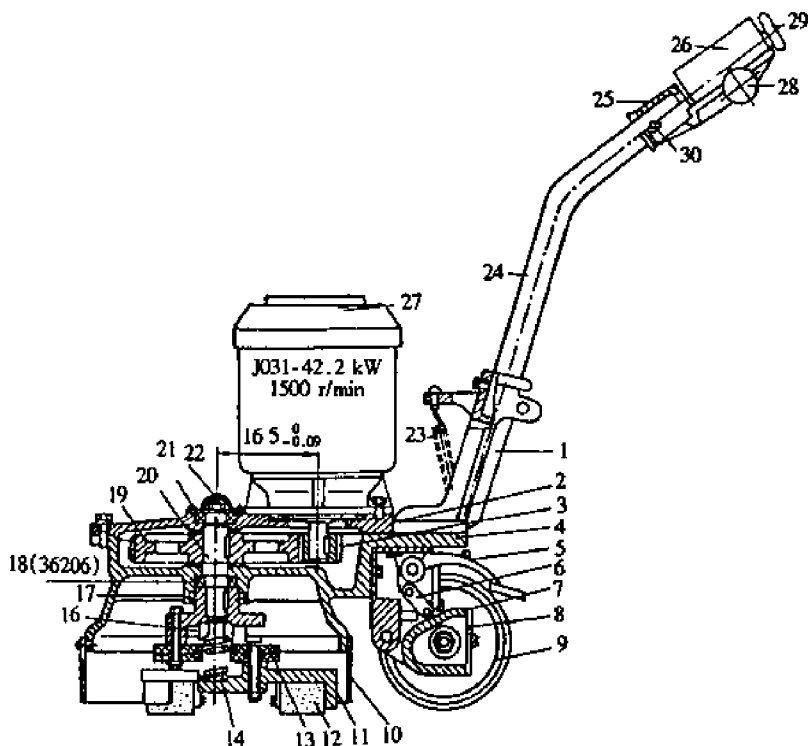


图 11-8 单盘水磨石机

1—操纵杆座；2—箱盖；3、19—齿轮；4—机体；5—踏板；6—联接板；7—行走轮座；8—盖；9—行走轮；10—护圈；11—磨盘；12—磨石；13—橡胶垫；14、23—弹簧；15、30—螺钉；16—螺帽；17—毡圈；18、21—轴承；20—轴承盖；22—轴承盖；24—操纵杆；25—手柄座；26—开关；27—电动机；28—手柄；29—开关把

### 第三节 手持机具

在建筑施工中，水、暖、气管道和电气设备的安装，砖、石、混凝土上打孔、开槽，打毛，螺帽的拆卸，膨胀螺钉的安装，固定管线，破碎石块，清理地面及捣实土壤等，常使用各种电（气）动手工具完成。这些电动工具往往都可以一机多用，产品带有多种工作头，机壳采用尼龙、聚碳树脂、聚甲醛及高温聚酰胺等塑料，不但重量轻而且耐热、耐冲击、耐腐蚀、绝缘性好。金属件多采用镁合金。这些机具的使用大大减轻了劳动强度，提高了工作效率和工程质量。

#### 一、电动冲击钻

冲击钻是一种能使工具产生冲击和旋转复合运动的多用途手持机具。有电动和气动两种。电动冲击钻其外观如图 11-9 所示。图中的直接工作工具为一钻头，工作时一手握手柄 6、一手执把手 4，按下开关 7 即可进行钻孔。

工作原理：冲击运动是由电动机经齿轮传动，带动曲柄、连杆，使压气活塞在冲击活塞缸中做往

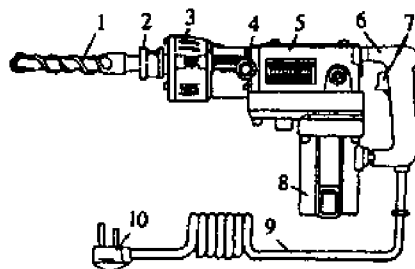


图 11-9 电锤外观

1—钻头；2—定位器；3—前部壳体；4—把手；5—壳体；6—手柄；7—开关；8—电动机；9—电缆；10—插销

复运动，压缩气体推动冲击活塞缸锤头以较高的冲击频率打击工具的尾端，使工具向前冲打。旋转运动为一般的齿轮传动，由电动机经齿轮传动而带动六角形的工具尾端使工具产生旋转运动的。当超负荷时离合器打滑，起到了安全保护作用。当使用硬质合金钻头在砖头、混凝土上打孔时，钻头旋转并冲击，操作者无需施加压力；当用于开槽、夯实、打毛等工作时，放松离合器，工具不进行旋转，只做冲击运动。

这种以空气作为压气活塞与冲击缸头的中间介质，形成两者弹性结合，因而减小了对工作机构的有害作用，使工具具有结构简单、使用寿命长、加工方便等优点。

冲击缸头的返回是靠活塞在缸中形成的真空作用，使冲击缸头恢复到原来位置，从而补气以进行第二次冲击。

这种电动冲击钻可以根据用途不同更换各种不同的工具，如表 11-1 所示。当更换工具时，应打开定位器，插入工具后再闭合定位器，卡住工具尾端凸台，以防止脱落。

表 11-1 电动冲击钻的用途

编号	工具名称	用途
1	硬质合金钻头	用于砖、石、混凝土上打孔，便于建筑物内水、暖、气、电管线和机械设备安装
2	夯实工具	用于地面夯实、捣固
3	打毛工具	用于老混凝土地面打毛以便加铺新的混凝土
4	尖嘴凿	用于砖、石、混凝土破碎
5	平扁凿	用于砖、石、混凝土面上开浅槽
6	宽平扁凿	用于清理毛面和脏物
7	安装膨胀螺丝专用工具	用于打紧膨胀螺丝
8	空心钻	用于砖墙上打 $\phi 60$ 孔，以便穿过水、暖、气管等

## 二、角向磨光机

角向磨光机可用于水磨石地面、墙裙以及其他边角处的磨光，也可用于机械零件去毛刺、焊缝磨光、金属去锈及漆面磨光、抛光等工作。这种磨光机的传动方式有电动（如 SIMJ-125 型电动角向磨光机）及风动两种，风动的自重比电动的还要轻些。

图 11-10 为 FM7801 型风动磨光机。其工作原理是当压缩空气吹动叶片时，风马达就旋

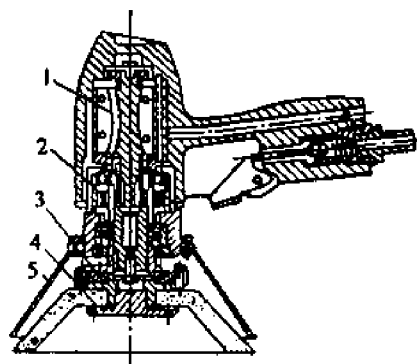


图 11-10 FM7801 型风动磨光机

1—风马达；2—行星齿轮传动；3—柔性联轴器；4—碗形砂轮；5—防护罩



转，经行星齿轮传动减速，通过柔性联轴器（橡胶板）带动碗形砂轮回转。压缩空气由手柄处接入，手柄下有控制阀。

使用中为了保持砂轮表面的锋利，以提高生产率，应该做到：（1）在满足光洁度的条件下，尽量选用粗砂轮；（2）磨软材料时用硬质砂轮，磨硬材料时用软质砂轮。

### 复习思考题

1. 装修工程对建筑物有哪些作用？
2. 装修机械主要有哪几类？
3. 灰浆机械有哪几种？各有什么用途？
4. 为什么灰浆搅拌机不能采用自落式搅拌？使用时应注意易发生哪些问题？
5. 常用的灰浆泵有哪几种？简述隔膜式灰浆泵的工作原理。
6. 简述地面修整机械常用的有哪些？各有什么用途？
7. 在装修工程中，常用的电（气）动手工具，你能说出哪几种？各有什么用途？

## 第十二章 路面机械

### 第一节 概 述

路面机械是用于处理和铺筑各种路面材料的机械。

目前我国公路路面正由低级、中级、次高级向高级路面——沥青混凝土路面、水泥混凝土路面发展，重点是沥青混凝土路面。

混凝土路面施工用的机械与设备是以混凝土机械为主，这里不再赘述。本章主要介绍沥青类路面施工机械。

沥青类路面通常有两种施工工艺：(1) 表面处治式和贯入式，采用这种工艺时常用沥青洒布车洒布沥青；(2) 拌合式，采用这种工艺时，先用沥青混凝土制备机械把碎石、砂和石粉等拌成热混合料，而后用摊铺机摊铺热混合料。

### 第二节 沥青洒布机

沥青洒布机是用来将热态沥青或冷态煤焦油洒布在碎石层上，以修筑沥青路面。

沥青洒布机有手推式、拖式和汽车式沥青洒布车三类。由于沥青洒布车具有机动性好、洒布速度快、洒布质量也较易掌握等优点，因此广泛采用。

#### 一、沥青洒布车的构造

图 12-1 和图 12-2 为沥青洒布车的外形图。它的整个工作部分都装在汽车的底盘上。它

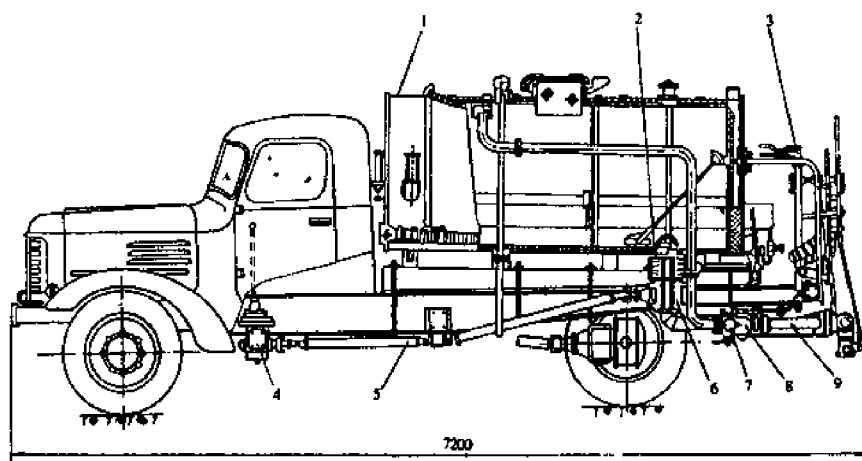


图 12-1 沥青洒布车外形图 (一)

1—沥青箱；2—主三通阀；3—洒油操纵机构；4—输力箱；5—传动系统；6—沥青泵；  
7—放油口；8—左管道三通阀；9—管道系统

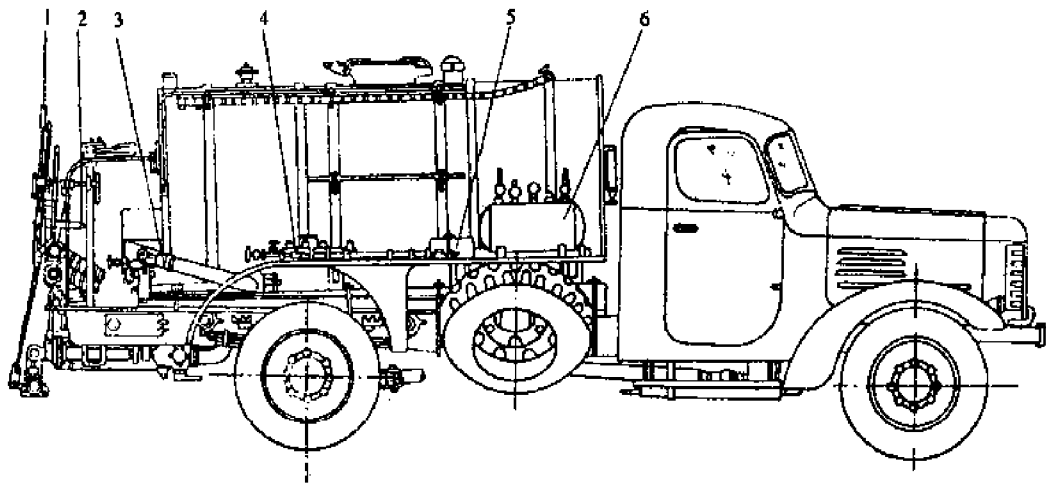


图 12-2 沥青洒布车外形图(二)

1—洒布管角度调整机构；2—洒布管升降机构；3—加油管；4—手提洒布器；5—手提式喷灯；6—燃油箱

除了汽车本身外，主要由沥青箱、加热系统、传动系统、循环洒布系统、操纵系统以及检查、计量仪表设备等组成。

### (一) 沥青箱

图 12-3 为沥青箱结构图。它由箱体、外罩、总阀门、液面指示器和玻璃绒组成。它主要用来储存热态液体沥青，并有保温作用。

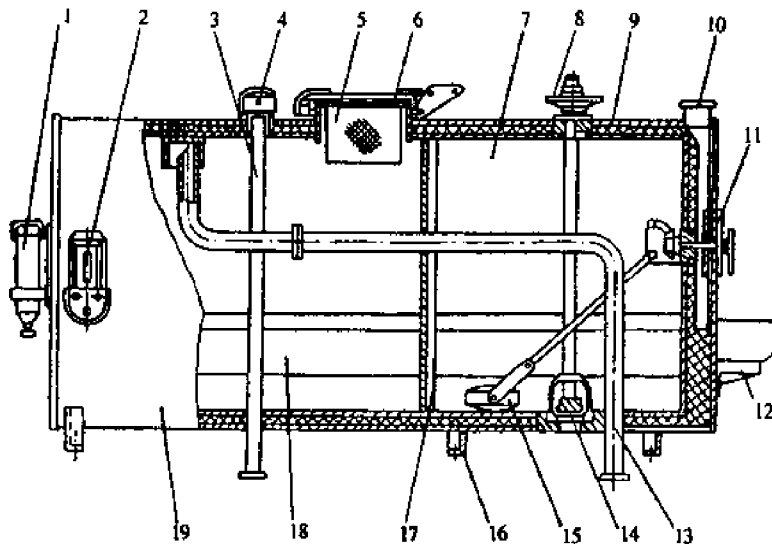


图 12-3 沥青箱

1—灭火器；2—温度计；3—溢流管；4—排气盖；5—进料滤网；6—进料口盖；7—沥青箱体；8—总阀门手轮；  
9—玻璃绒；10—排烟口；11—刻度盘；12—固定喷灯；13—进油管；14—总阀门；15—浮标；  
16—箱体固定架；17—隔板；18—加热带；19—沥青箱外罩

箱体 7 是用 4~4.5 mm 厚的钢板焊接成的一个椭圆形的封闭长筒。筒体外包有一层约 50 mm 厚的由玻璃绒 9 制成的隔热层，其外再包一层薄铁皮外罩 19。隔热层可使箱内的热态液体沥青在外界温度为 12°C~15°C 时，其冷却速度为每小时 0.5°C 左右。箱体中部装有一道隔板 17，以减缓箱内液料在洒布车行驶时产生的冲击振荡和加强箱体的坚固性。为使

被隔板分隔成前后两室的液料在箱底仍能自由流通，板的底部开有缺口。箱顶中部有带进料滤网 5 的大圆口，作为向箱内直接倾注液料之用，同时也供维修时进入箱内之用。平时大圆口用盖 6 盖住。进油管 13 自箱的后底部通入，作为向箱内吸入沥青液之用。箱底后部开有出油孔，孔内置有总阀门 14，它由箱顶上总阀门手轮 8 通过长杆使阀开闭。在出油孔的下面接装着一个主三通阀与沥青泵。

在吸油或加油作业时，对于超量的液料可通过穿出箱底外的溢流管 3 溢出沥青箱外。由于管的上口高过沥青箱顶，故它也可作为通气用。为了测定箱内的液量，在箱内装有浮标 15，它通过杆件等与箱后壁外的刻度盘 11 上的指针连接，从而可测得箱内液面的高度。

为了加热箱内的沥青液料，在箱内中下部还装有两根 U 形的加热带管 18。两根火管的进口端各装有一个固定式喷灯 12，另一端则通过箱体后壁与排烟口 10 相通。

### (二) 加热系统

加热系统如图 12-4 所示。它由一个燃油箱、两个固定式喷灯、一个手提式喷灯、两根装在沥青箱内的 U 形火管，以及带有滤清器的油管系统所组成。

在沥青箱后壁上固定的两根 U 形火管，其进口一端伸向燃烧室，出口一端连通沥青箱后壁的烟箱，将废气排出。燃烧室是用耐火材料砌筑，并装设两个火油喷嘴。燃油箱中的燃油在汽车制动系统储气箱的压缩空气（压力限制在 0.29 MPa 以下）的压力下通向喷嘴并由此喷出，形成雾状进行燃烧。火焰绕过 U 形火管加热沥青，最后废气经烟箱由沥青箱上部排出。每个喷嘴设单独阀门，以调节燃油数量或停止供油。另一个手提式喷灯是作为修补路面用的。

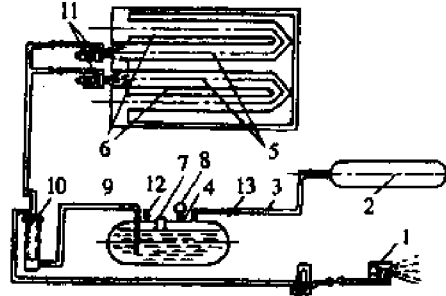


图 12-4 洒布车加热系统

- 1—可携式喷灯；2—汽车制动系统的储气箱；3—输气管；4—燃料箱；5—烟管（进管）；6—烟管（排管）；7—装油口及滤清器；8—气压表；9—燃料输送管；10—燃料滤清器；11—固定式喷雾器；12—放气口；13—燃料箱进气开关

### (三) 动力传动系统

沥青洒布车的传动系统除了汽车本身的传动部分使车辆行驶外，还要驱动沥青泵进行工作。其传动系统如图 12-5 所示。

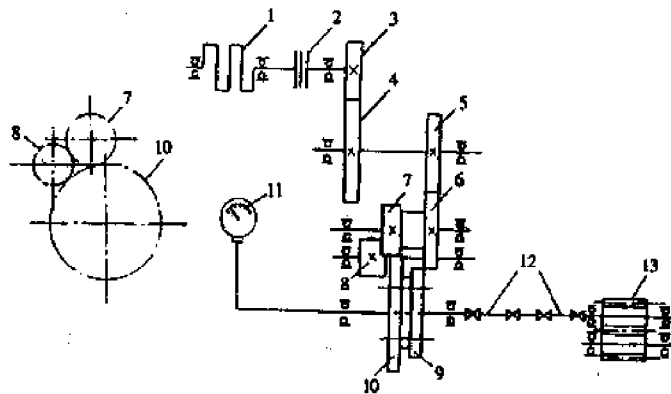


图 12-5 沥青洒布车传动系统简图

- 1—汽车发动机曲轴；2—离合器；3—变速箱输入轴齿轮；4—中间轴常啮合齿轮；5—中间轴传动齿轮；6—分动箱高速档主动齿轮；7—分动箱低速档主动齿轮；8—分动箱倒档齿轮；9—分动箱高速档从动齿轮；10—分动箱低速档从动齿轮；11—转表；12—传动轴；13—沥青泵齿轮

#### (四) 循环-洒布系统

循环-洒布系统是完成洒布车全部作业过程的基本部分。其作用是使沥青箱内的热态液体沥青在运输过程中能保持均匀的温度。因为伸入沥青箱内的火管的热表面只是与箱内的一部分液体接触，为了使箱内的全部沥青都能加热，必须使箱内的液体通过循环管道不断循环。此外，还向箱内供热态沥青，放空箱内液料或洒布管的余料及传输、洒布热态液体沥青等作业。

图 12-6 为循环-洒布系统。它主要由沥青泵、控制阀和喷管等组成。循环与洒布作业都是靠沥青泵来执行的。通过转动三通阀的位置以及沥青泵的正反转，可使沥青洒布车有如图 12-7 所示的各种作业情况。洒布管中央一节是固定的，两侧可以临时接装活动洒布管。根据路面施工宽度，调节洒布管的节数来适应 2~7 m 宽的路面喷油。在各洒布管上装有许多开有长缝的喷嘴。

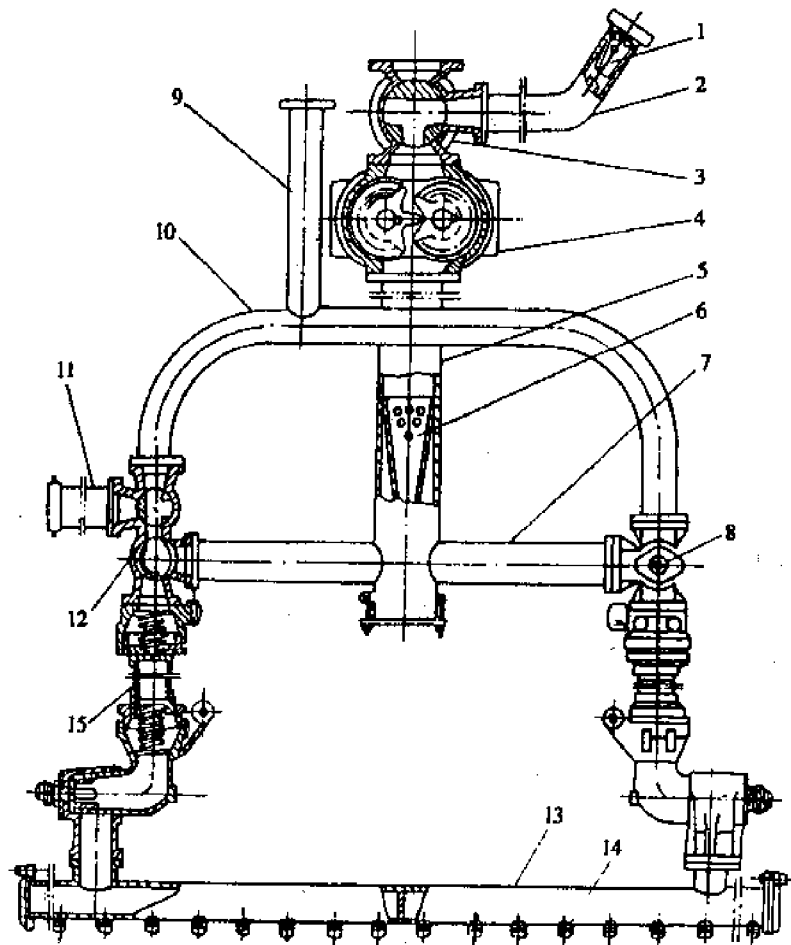


图 12-6 循环-洒布系统

1—加油管滤网；2—吸油管；3—主三通阀；4—沥青泵；5—输油总管；6—输油总管滤网；7—横管道；8—右管道三通阀；  
9—进油管；10—循环流动管；11—放油管；12—左管道双三通阀；13—洒布管；14—喷嘴；15—球头连接管

#### (五) 操纵系统

各个三通阀位置的转动、洒布管的升降以及分动箱的高低档变速等的操纵，都是由工人在操纵台上通过手轮或操纵杆来进行的。

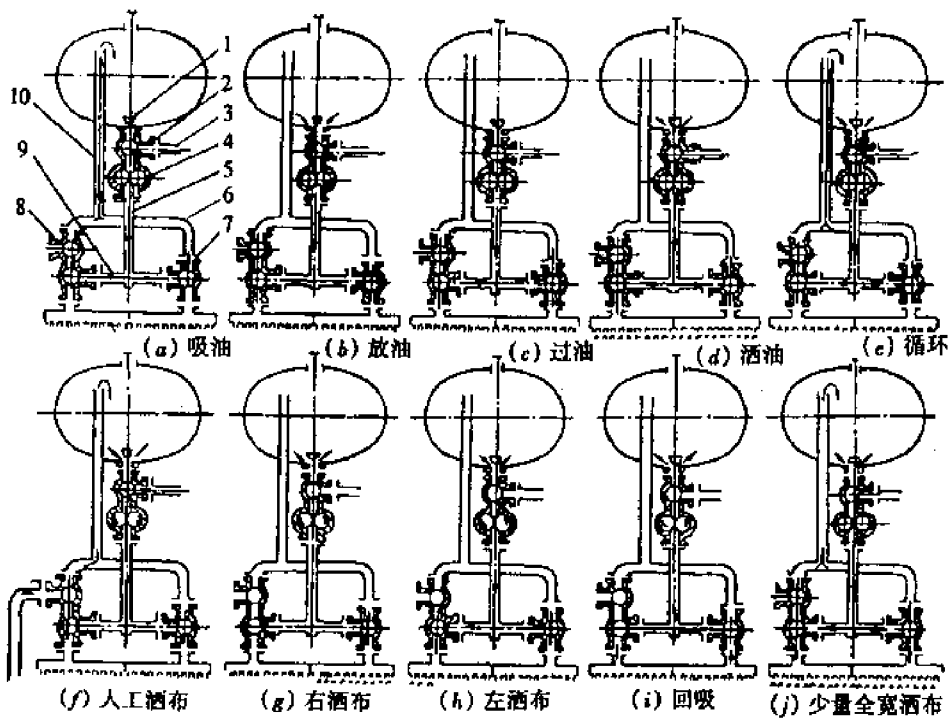


图 12-7 沥青洒布车各种作业示意图

1—沥青箱总阀门；2—主三通阀；3—吸油管；4—沥青泵；5—输油总管；6—循环流动管；  
7—横管道三通阀；8—放油三通阀；9—横管道；10—进油管

## 二、沥青洒布车的运用

选择沥青洒布车技术性能的主要指标是：最大洒布宽度、沥青箱的容量、工作时行驶速度、沥青泵的流量与转速以及洒布定额等。

在使用沥青洒布车中要注意的问题：每次洒布完毕都要将循环-洒布管道中的残余沥青抽回箱内，如果工作后当天不再使用时还要用柴油或煤油清洗沥青箱、沥青泵和管道，以免沥青凝固在各处，影响下一次使用。此外，在使用前都要检查沥青泵是否被冷沥青所凝固。如发现有凝固现象，应用于提式喷灯将它烤热熔化，直到泵的齿轮能灵活转动为止。

沥青洒布车是边行驶边洒油的。稳定的行驶速度是保证洒布质量的重要因素，当行驶速度发生变动时，喷油量也照样发生变动。所以喷油量和汽车的行驶速度有很大的关系。同时它也和洒布的宽度、沥青泵的流量有关。反映它们之间关系的数学式为

$$Q = vLP$$

式中  $Q$ ——沥青泵的流量 (L/min)；  
 $v$ ——洒布车的行驶速度 (m/min)；  
 $L$ ——洒布管长度 (m)；  
 $P$ ——喷油量 (L/m<sup>2</sup>)。

沥青泵的流量  $Q$  是已知的。洒布管的长度  $L$  根据施工路面的总宽度分一次或几次喷洒的，每次洒多宽，这在施工前已确定好了。喷油量  $P$  也根据公路工程施工的技术要求确定了 (见表 12-1 和表 12-2)。显然，只有行驶速度  $v$  是待定的。

$$v = \frac{Q}{LP} \quad (\text{m/min})$$

通常行驶速度的单位是 km/h, 经换算后, 得

$$v = \frac{60Q}{1000LP} \quad (\text{km/h})$$

利用这个公式, 可以根据已确定的沥青泵流量、洒布管长度  $L$  和喷油量  $P$ , 计算出所需要行驶的速度来。

表 12-1 贯入式施工的沥青用量表

路面宽度 (m)	沥青用量 (kg/m <sup>2</sup> )		
	第一次	第二次	第三次
4	2.5~3.0	1.2~1.4	—
5	3.0~3.5	1.2~1.4	—
6	3.5~4.0	2.0~2.5	1.0~1.2
7	4.0~5.0	2.0~2.5	1.0~1.2
8	5.0~6.0	2.0~2.5	1.0~1.2

表 12-2 表面处治法施工的沥青用量表

沥青用量 (kg/m <sup>2</sup> )	表面处治种类					
	单层式	双层式		三层式		
		第一次	第二次	第一次	第二次	第三次
透层	0.8~1.0					
主层	1.1~1.4	1.4~1.8	1.0~1.2	1.6~1.8	1.1~1.3	1.0~1.2

使用表 12-1、12-2 时应注意:

(1) 凡施工季节气温较低, 所用沥青的标号较高, 或施工时采用手动式沥青洒布车喷洒沥青, 应采用表内规定的高限; 反之应采用低限。

(2) 沥青用量以石油沥青为准, 如采用其他沥青, 应按沥青的比重折算; 采用沥青乳液时, 乳液 (沥青含量为 50%~55%) 用量按沥青用量的 145%~160% 计算。

(3) 当采用表面处治法对旧有的黑色路面、清扫干净的碎石路面、块料路面以及大部分露出骨料的泥结碎石路面进行改良的, 可以不用透层沥青, 但第一次沥青用量需酌情予以增加 (约 10%~20%)。

表 12-3 反映上述四个因素之间的关系, 供施工时参考。它所列的喷油量是采用槽宽为 4 mm 的喷嘴进行喷洒时的喷油量。当需要小于表列数量的喷油量时, 可采用 2.5 mm 槽宽的喷嘴。当需要大于表列数量的喷油量时, 可要用 6 mm 槽宽的喷嘴。如果需要表中没有的在两个数字之间的喷油量时, 可通过调整主三通阀和左、右管道三通阀阀芯和阀座的相对位置来控制适宜的喷油量。喷油量的允许变动范围一般要求为规定量的 ±15% 左右, 所以行驶速度的变化, 最好也要控制在这个范围内。

在洒油作业时, 要求司机动作协调, 掌握好洒布质量, 否则会影响洒油的均匀性, 造成

油头和空白等缺点。同时要注意前后两次喷油的接缝，一般纵向应重叠 10~15 cm，横向应重叠 20~30 cm。

表 12-3 沥青洒布车在各种行驶速度下的喷油量

洒布宽度 (m)	喷油量 (L/m <sup>2</sup> )							
	分动箱排档							
	高速档				低速档			
	汽车变速箱排档							
	1	2	3	4	1	2	3	4
1.0				4.6			5.7	3.1
1.5			5.7	3.1		6.7	3.8	2.0
2.0		7.3	4.2	2.25	9.4	4.9	2.85	1.51
2.5		5.3	3.4	1.79	7.5	4.0	2.3	1.26
3.0		4.85	2.8	1.51	6.2	3.3	1.9	1.0
3.5	7.7	4.2	2.4	1.30	5.4	2.85	1.59	0.87
4.0	6.9	3.7	2.0	1.12	5.4	2.5	1.32	0.77
4.5	6.0	3.15	1.86	1.08	4.2	2.2	1.26	0.67
5.0	5.4	2.8	1.79	0.9	3.7	2.0	1.13	0.63
5.5	5.0	2.6	1.61	0.81	3.4	1.9	1.03	0.57
6.0	4.6	2.4	1.46	0.72	3.1	1.69	0.95	0.50
6.5	4.3	2.2	1.36	0.68	2.7	1.59	0.87	0.47
7.0	3.8	2.1	1.21	0.63	2.6	1.49	0.82	0.44

沥青洒布车的生产率与运输距离和施工组织有关，每个台班以 8 小时计，生产率可按下列式计算

$$H = EK_1N \quad (\text{L/台班}) \quad (12-1)$$

式中  $H$ ——沥青箱容量 (L)；

$K_1$ ——沥青箱充满系数：

$$K_1 = \frac{E_{\text{实际容量}}}{E_{\text{几何容量}}}$$

$N$ ——每台班一部洒布车的喷洒次数：

$$N = \frac{8 \times 60 \times K_2}{T}$$

其中  $K_2$ ——每班工作时间的利用系数（一般为 0.85~0.9）；

$T$ ——洒布车每次行程所需的总时间，

$$T = t_1 + \frac{S}{v_1} + \frac{S}{v_2} + t_2 + t_3 + t_4$$

$t_1$ ——沥青箱吸满油所需的时间（一般为 10~15 min），



- $S$ ——沥青熔化基地与施工现场的距离 (km),  
 $v_1$ ——洒布车重载的行驶速度 (一般为 20 ~ 25 km/h),  
 $v_2$ ——洒布车空车的行驶速度 (一般为 30 ~ 40 km/h),  
 $t_2$ ——喷油时间 (一般为 4 ~ 6 min),  
 $t_3$ ——洒布车每次行程中汽车调头时间 (一般为 5 min),  
 $t_4$ ——洒布车准备喷油的时间 (一般为 5 ~ 10 min)。

由以上可看出,一部洒布车生产率的高低,取决于行程时间的多少和工作时间利用的好坏。

如已知一部洒布车的喷洒次数,根据路面施工工程每班的生产率  $H_p$ ,还可以估算出沥青洒布车的需要量  $n$

$$n = \frac{H_p}{NEK_1} \quad (12-2)$$

式中  $H_p$ ——台班生产率,即每日所需喷洒沥青的数量 (L/台班)。

一部沥青洒布车一次喷洒路段的长度可用下式计算

$$L_1 = \frac{EK_1}{PB} \quad (12-3)$$

式中  $L_1$ ——一次喷洒路段的长度 (m);

$E$ ——沥青箱容量 (L);

$P$ ——喷油量 (L/m<sup>2</sup>);

$B$ ——喷洒宽度 (m);

$K_1$ ——喷洒宽度重叠系数 (0.90 ~ 0.95)。

### 第三节 沥青混凝土拌合机

沥青混凝土是一种由碎石、砂、填充材料 (石粉) 和有机结合材料 (沥青) 拌成的混合物,拌制这种混合料的机械称为沥青混凝土拌合机。

沥青混合物都是在热态下 (具有 110°C ~ 160°C 的工作温度) 摊铺在预先整修好的路基上,因此拌制工程程序是:将碎石与砂烘干并加热到 180°C ~ 200°C,准确地配定矿物材料 (碎石、砂与填充材料石粉) 的数量;将沥青或渣油加热到 120°C ~ 160°C,并按容量或重量称好比例分量;将定量的热沥青喷洒在定量的矿料上并仔细拌合。

沥青混凝土拌合机按完成上述程序的型式有三种:循环作业式、连续作业式和综合作业式。三种方法中以连续作业式的生产率最高,但它只是对湿料进行容量称量,沥青由沥青泵匀速打入,所以各材料的配合比不准确,影响成品的质量。可是由此省去一套较复杂的称量设备,可使机组结构简单。循环作业式的也因它只对烘干前的冷砂石料称量,由于各料的含水量不同,不能获得准确的配合比;此外生产率较低,烘干用的燃料消耗也较多。综合作业式,即混合物中各砂石料的供给与烘干加热过程是连续的,而砂石料与沥青的称量、拌合以及成品的出料则按份周期式进行。它消除了循环作业式的缺点,从而可以保证准确的配合比,降低了燃料消耗率,其生产率介于其他两种型式之间。

拌合机按其移动情况又可分为固定式、半固定式和移动式三种。固定式沥青混凝土拌合

机安装得很高，容许运输车到其下面直接受料，故又称为拌合楼。它属于混凝土工厂的大型设备，适用于城市道路建筑。半固定式沥青混凝土拌合机是将全部设备分装在数辆特制的平板挂车上，在工地上可由4个支腿将挂车连同其上面的设备一起顶升起来，并迅速拼装好相应的升运机就可以进行工作。转移工地时也可迅速拆除，分别进行拖运。移动式沥青混凝土拌合机是将所有设备都安装在一辆特制平板挂车上或一辆小四轮（二轮）车上。它们的生产能力大多是20 t/h以下，不用拆卸就可以拖运。

沥青混凝土拌合机按拌合方式不同有自由拌合式和强制拌合式之分。

### 一、沥青混凝土拌合机的构造

图12-8为我国西安筑路机械厂制造的移动式沥青混凝土拌合机原理示意图。这种机械虽然是移动式的，但现在城市中使用时多作为固定式设备。它由两个主要机组组成：即干燥机组与拌合机组。干燥机组由干燥转筒3（出料口处装有热电偶温度计），冷料输送机2，燃烧系统（火焰喷射器5、烟道6，烟囱9）以及其他辅助设备（如料坑1、四管除尘器7、柴油供应和鼓风机等）。全部干燥机组安装在焊接的机架上。拌合机组主要由热料提升机10，平面振动筛11，石粉集料提升机14，石粉仓15，沥青输送管19，热石料集料斗12，称料斗（石、砂、石粉称料斗18、沥青称料斗20），双轴强制式拌合机22以及辅助设备（大石块卸料管17、热沥青供应管21、螺旋送粉器16等）和仪表（如热电偶温度计、电磁阀、电动秤等）。全部拌合机组安装在焊接的机架上。

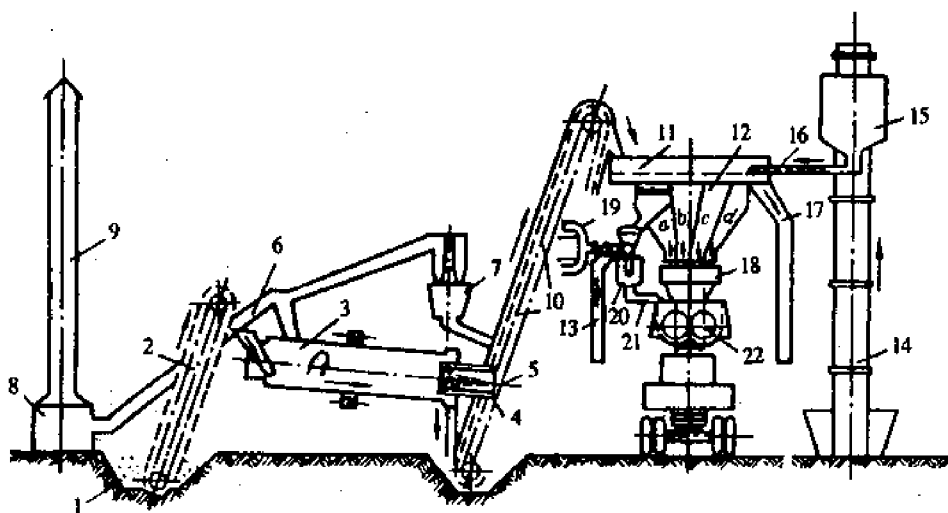


图12-8 沥青混凝土拌合机示意图

- 1—料坑；2—冷料输送机；3—干燥转筒；4—燃烧箱；5—火焰喷射器；6—烟道；7—四管除尘器；8—泡沫除尘器；  
 9—烟囱；10—热料提升机；11—平面振动筛；12—热石料集料斗；13—过量落料管；14—石粉集料提升机；  
 15—石粉仓；16—螺旋送粉器；17—大石块卸料管；18—矿物称料斗；19—沥青输送管；  
 20—沥青称料斗；21—沥青供应管；22—拌合机

沥青混凝土拌合机工作时，冷料输送机（机架与水平方向成75°倾斜角）自料坑中将碎石料和砂升送到干燥转筒（与水平方向约成5°倾斜角）的进料口，石料和砂自转筒进料口（高端）向转筒出料口（低端）移动，受到迎面而来的火焰喷射器喷出的火焰加热到220℃左右。加热用的燃料为柴油，它由鼓风机吹散呈雾状。加热的温度可视材料干湿程度和天气

等调节鼓风机风量来控制。经过加热的石料和砂由热料提升机送到平面振动筛中进行筛分，将石料、砂分为三种粒径（6.5 mm 以下、6.5 ~ 18 mm、18 ~ 38 mm）的配料，分别落入三个集料斗中，不合格的粗料则由过量落料管卸出。石粉由石粉集料提升机送到石粉仓中，再由螺旋送粉器输送到石粉集料斗中。此后将热石料和砂以及石粉分别过秤定量，再送到双轴强制式拌合机中预先拌合。然后将预先送到沥青仓中的由沥青锅炉加热到 130°C 的热沥青从沥青仓流进沥青称料斗定量，再加入拌合机与矿料一起拌合。拌合好的热沥青混凝土的混合料（140°C ~ 160°C），由拌合机卸料闸门卸在运料车上运走。

拌制沥青混凝土用的双轴强制式拌合机的工作原理与前面介绍的拌制混凝土用的双轴强制式拌合机工作原理基本相同，不同的是进入前者的拌合料是热沥青、碎石、砂和石粉，进入后者的拌合料是水泥、碎石和砂。

沥青混凝土拌合机中各集料斗底部均有扇形活门，是由操纵室内的操纵人员用电磁阀再将材料卸入称料斗中。称料均由电动秤分别称量。拌合机容量为 500 kg，在 50 s 左右的时间里即可以拌合一次。

## 二、沥青混凝土拌合机的运用

沥青混凝土拌合机在使用中的主要工作是工作前的检查与准备，运载中按规程启动和停车以及工作结束后的清洗。

运转前要进行一次全面检查：检查各紧固件是否松动，特别是拌合机中拌料的桨臂与桨叶的紧固情况，它们的松动会导致拌合机发生事故；检查拌合机内有无积存余料；检查沥青管路各个接头，不让吸油管有漏气现象等。

对于移动式拌合机，就位后应放下前后支腿，使平板车抬起来，轮胎卸荷。此时应注意使车架处于水平位置，以使烘干筒仍能保持设计的倾斜度，从而保证砂石料在烘干加热过程的出料速度。

运转中，为了控制砂石料的加热温度，要注意输入烘干筒的砂石料数量与速度必须保持稳定，不要忽多忽少；应经常注意消除聚集在集尘斗中的尘土，清除后要关严斗门；检查砂石料仓的储料情况，如果发现各斗内的储料不平衡时，应及时停止或减少上料，以防满仓和串仓斗；检查振动筛的橡皮避振块，发现有裂纹时及时更换；石粉要根据用料情况上料，防止上料过多或卡住机器；不使沥青从沥青仓中溢出；在拌合机正式拌合成品之前要用热砂石料预拌 2 ~ 3 次，以预热壳体；砂石与石粉在拌合机内应预先干拌 10 ~ 15 s 后再喷入沥青，沥青喷入后搅拌 40 ~ 45 s 就可基本拌匀（指循环作业按份拌合时）。

拌合机在停机之前应先停止供给砂石料和少上粉料，使烘干筒空转 3 ~ 5 min，待筒内出完余料后再停止筒的转动。在筒空转时还应加大喷燃器的风门，尽快驱除筒内的废气和尽快使筒冷却，然后关闭喷燃器的油门和燃油泵的总油门。停机后石粉仓和石粉升运机内不得有余料。在停止拌合之前应先停止喷沥青，使料仓内的余料继续进入拌合机内，干拌几分钟后放净，以便刷净拌合机内的残余沥青。

拌合机在工作结束后必须立即用柴油清洗沥青系统，以防止沥青堵塞管路与卡死沥青泵等。其办法是利用柴油清洗吸油管路系统与出油管路系统。

沥青混凝土拌合机的生产率是根据最后一道工序拌合机的生产率来确定。其计算式为

$$Q = nqK \quad (\text{t/h}) \quad (12-4)$$

式中  $n$ ——每小时拌合次数,  $n = 60/T$ ,  $T$ 为每次拌合所需时间 (min);  
 $q$ ——每次拌合重量 (t);  
 $K$ ——机械的时间利用系数,  $K = 0.85 \sim 0.90$ 。

这种机械由一系列机构组成, 因此每工作班约需操纵管理人员 8~10 人, 其中操纵室操纵员 2 人, 通过电气开关管理机械运转、称料、卸料和温度控制等工作, 管理进料坑喂料等工作 4 人, 管理火焰喷射器喷油、鼓风和燃烧的工作 1 人, 运送石料铲车的司机 1 人以及辅助工作的 1~2 人。工作人员必须互相配合, 以提高生产率。

#### 第四节 沥青混凝土摊铺机

沥青混凝土摊铺机是摊铺沥青混凝土的专用机械。它可将已拌制好的沥青混合料按一定要求 (横断面形状和厚度) 迅速而均匀地摊铺在已整好的路基或底层面上, 并予以初步捣实和整平。应用摊铺机施工, 可加速施工进度, 又可节省成本 (可减少压路机的滚压遍数达 2/3), 而且能提高铺筑路面的质量。

现代的沥青混凝土摊铺机大多为自行式的。按其行驶装置的不同, 分为轮胎式和履带式两种。前者因其机动性较大, 构造也较简单, 所以目前国内外用得较多。

##### 一、沥青混凝土摊铺机的构造及工作原理

轮胎式与履带式沥青摊铺机的构造, 除底盘不同外, 其他部分基本相似。

图 12-9 为轮胎式沥青混凝土摊铺机的组成及工作过程简图。它由轮胎式底盘 (机架、传动系统和轮式行走装置组成), 动力装置 (柴油机), 供料设备 (料斗、输送器和闸门), 工作装置 (螺旋摊铺器、振捣器和熨平装置) 及其操纵机构等组成。其发动机、传动系、工作装置、转向机构、供料设备以及操纵机构等均装在机架上。发动机发出的动力通过传动系统给驱动轮, 驱使机械行驶。同时再通过操纵机构与液压系统, 使工作装置进行摊铺工作。传动系由离合器、变速箱、传动轴、减速器、传动链、联轴节等组成。

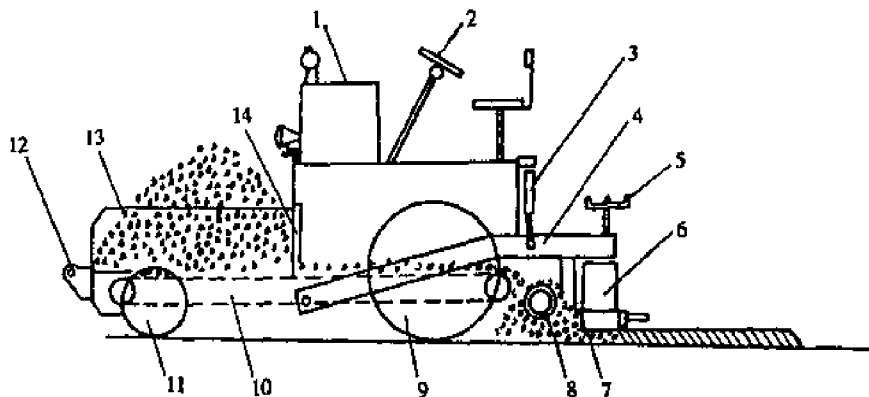


图 12-9 轮胎式沥青混凝土摊铺机的组成部分及工作过程简图

1—发动机; 2—方向盘; 3—侧臂提升油缸; 4—侧臂; 5—熨平器升降操纵手把; 6—熨平器; 7—振捣器; 8—螺旋摊铺器;  
 9—驱动轮; 10—刮板输送机; 11—转向轮; 12—推滚; 13—料斗; 14—闸门

料斗 13 置于机械前面，用来接受汽车所卸下的混合料。它由铁板做的前壁、左右侧壁及连同其毗连的部分底板组成。斗后面以闸门 14 作为后壁，闸门有左右二扇，可以分别上下升降，以控制刮板输送机 10 向后输送混合料的数量。闸门开启的大小在上面有标志，驾驶人员可在驾驶室内观察到。刮板输送机装于斗底中部，作为斗底的组成部分，它由一块与斗底共用的底板（此板一直向后延伸到摊铺室）和两副装在链条上的许多刮板所组成。链条的转动就使刮板沿底板向后移动，将斗内的料不断向后刮送到摊铺室内并卸下。

螺旋摊铺器 8 实际上是两根大螺距、大叶片的螺旋输送机。左右两根螺旋方向相反、转向相同，转动时，能把送入摊铺室的混合料左右分开并均匀分布在摊平板前。

振捣器 7 是左右两块矩形板，因此也可称为振捣板。它们由液压驱动的偏心轴来驱使做上下振动，对所铺混合料进行初步振实。

熨平器（摊平板）6 紧贴在振捣器的后面，也分左右二块，由角铁、铁板焊接而成，用来对摊铺层进行整形（使具有一定横截面形状）、整平与抹光，还可调整摊铺层的厚度。熨平器由竖板与箱形纵截面的底座组成，箱形底座中可通入热气（由燃料燃烧的燃气）来加热底板，以便气温低时熨平混合料（热天可不通燃气）。

螺旋摊铺器、振捣器与熨平器三者的左右外侧都可接装加长段，以便摊铺更宽的路面。

摊铺机工作时是以前面的推滚 12 顶推着挂空档的自卸汽车前进的。从汽车上卸入料斗内的混合料，由刮板输送机向后送入摊铺室内，在那里由螺旋摊铺器向两侧摊铺开来。随着机械的继续前进，这些铺开的混合料就被振捣器初步捣实，接着再由后面的熨平器按规定（事先已调整好）的摊铺层厚度整修成适当的横截面并予以熨平。这样自卸汽车不断卸料，摊铺机不断摊铺前进，新的路面不断延长，再经过压路机压实后，新沥青混凝土路面即铺成。

摊铺机在工作过程中，由于路面或底层的凹凸起伏，对于摊铺层的厚度在进行调整，以做补偿性校平。调整摊铺层厚度的办法是改变熨平底座在纵截面上的角度（即对水平面所形成的夹角），这个角度一般是通过转动厚度控制器的手把来调整的。此控制器是在左右两块熨平器的侧端各有一根带手把 5 的螺杆式升降机构，转动手把可使熨平器的后端上下升降，从而改变两块熨平底板对水平面的倾斜角。这样这可以改变摊铺层的厚度。其工作原理如图 12-10 所示。

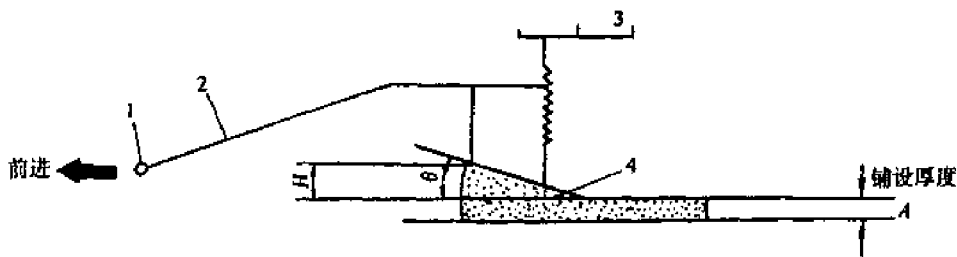


图 12-10 调整摊铺层厚度的工作原理图

1—前枢铰；2—左右侧臂；3—熨平器手动升降操纵机构；4—熨平器

摊铺机工作过程中熨平器悬浮在摊铺层上，其底座将整个振捣-熨平设备连同侧臂后部的重量传于摊铺层上，并被向前拖移。从图 12-9 中可以看出这种工况，因为螺旋摊铺器是固定在机架后面进行旋转而工作的，振捣器和熨平器则悬挂在左右侧臂 4 的后端，该侧臂的前端铰接在机架的外侧。为了减小熨平底座的前移阻力，它与水平面之间具有一个微小的仰

角 $\theta$  (约  $15' \sim 40'$ )。若仰角 $\theta$ 增大, 熨平器前移时所受阻力范围 $H$ 随之增大, 亦即摊铺层对熨平器的抬升力(浮力)增大。于是熨平器连同振捣器整个地绕着侧臂前枢铰1被抬升起来, 直到它所传递的重力与此抬升力在较高的位置上达到平衡为止。因为熨平器与升降操纵机构的螺杆下端是铰接的, 所以它在被抬升过程中料层给它的阻力会使仰角 $\theta$ 逐渐减小, 直到重力与反力达到平衡为止。此时摊铺层的厚度 $A$ 已增加到 $H$ 。反之如果使仰角 $\theta$ 减小, 甚至成为俯角, 按照类似原理, 摊铺层厚度将随之减小。

这种摊铺层厚度调整工作是由操纵人员站在熨平器后端的长踏板上, 根据对路面的观察情况用手转动操纵手把3, 通过螺杆使熨平器的后端抬升或下降, 此时熨平器就可向前俯倾或向后仰倾。这是一种粗调整方法, 用以校对路基或底层的过大不平或发变摊铺层厚度。

熨平器通过左右侧臂铰接于机架两侧的悬挂方式还可以起自动校平的作用。自动校平工作是根据射线原理来完成的, 即根据侧臂与熨平器二者的不同长度, 成比例地减小熨平器的垂直升降度。摊铺机自动补偿不平度的工作原理如图12-11所示。以熨平器底座的后下缘为支承点, 其前下缘至后下缘的距离为 $b$ , 侧臂前枢铰点到熨平器底座后下缘的水平距离为 $a$ 。如果机械越过高堆或凹坑时, 将使底盘带着前枢铰也上升或下降 $H$ 距离。自上升或下降顶点连一直线到熨平器底座后下缘, 并在枢铰点和熨平器底座前缘各画一垂线, 则构成两个相似三角形, 此两个三角形的垂直边与底边之比为

$$\frac{h}{H} = \frac{b}{a}$$

于是

$$h = \frac{bH}{a}$$

由于熨平器底座的前后长度 $b$ 比侧臂长度 $a$ 小得多(通常为 $1:5.5$ ), 所以 $h$ 值也比 $H$ 值小得多。这就意味着铺设后的摊铺层的不平度只是路基或底层原来不平度的 $b/a$ , 通常 $h = H/5.5$ 。

同理, 在摊铺第二层或第三层时,  $h$ 值将为 $h = b^2H/a^2$ 或 $h = b^3H/a^3$ 。这就是说, 越铺到上层, 所能补偿路基原来的不平度越大。因此, 在使用摊铺机铺筑路面时, 不要一次摊铺到设计厚度, 最好分二层进行。这样自动校平的程度好一些, 使所铺路面更平整。

从上述情况可看出, 为了使摊铺层很平坦, 必须随时根据路基或底层的不平度做出仔细的校正。如果使侧臂的前枢铰随着地形的起伏而相应的升降, 就不致引起熨平器也发生升降, 使它始终处于水平状态, 从而达到很平坦的摊铺层, 这种措施叫做自动找平。为此, 要将侧臂的前枢铰制成能自由升降的活动铰, 由自动找平装置来执行其升降动作。自动找平装置有依靠电传感器控制的电动执行机构和用激光控制的液压操纵机构。前一种较简便, 我国已有应用, 后一种较复杂, 正在试用。前一种的工作原理是在熨平器上放置着传感器, 而将侧臂前枢铰通过一个电动执行机构悬挂在机架侧壁上。路基或底层的不平度影响着熨平器上的传感器, 通过它传给电动执行机构的力矩电动机, 使它做不同程度的正向或反向旋转, 从而也不同程度地自动升降侧臂的前枢铰, 自动调整熨平器底座的仰角。

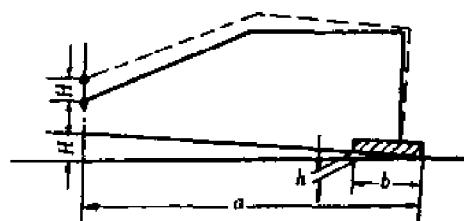


图 12-11 摊铺机自动校平的工作原理图

摊铺机上的调拱机构配合左右两边的手动厚度控制器对熨平器两外端作不同程度的升降调节，可使底座下平面成为水平的、双斜坡的和单斜坡的（向左或右一边倾斜）三种不同的曲面形状。从而使摊铺层也具有此三种不同的横截面形状，如图 12-12，以适应设计要求。调拱机构由两根六角螺杆、锁紧螺母和标尺等组成。拧转六角螺杆，可使熨平器的框架上端分开或靠拢一些，以改变熨平器底座下平面的曲拱度。此曲拱度的大小可从标尺示出。一般可作±3%的调整。对于摊铺层的横截面形状经一次确定后一般不再调整，但是对于摊铺层的厚度由于路基或底层的凹凸不平，在摊铺过程中要进行调整。

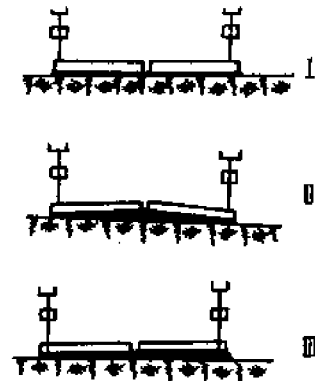


图 12-12 摊铺机横截面调整示意图  
I—水平横截面；II—双斜坡拱形横截面；  
III—单斜坡横截面

## 二、沥青混凝土摊铺机的运用

摊铺机技术性能的主要选用指标有：料斗容量、摊铺宽度（最小到最大范围）、最大摊铺厚度、工作速度、运输速度、发动机功率和最大生产能力（t/h）等。

摊铺宽度的选择是根据路面的总宽度以及算好所需摊铺带的条数和每条摊铺带的应有宽度，并据此来选用不同长度的加宽装置。在计算摊铺宽度时应注意两条毗邻摊铺带的纵向接缝可重叠 30~50 mm，但不重叠过多；否则由于混合料的前后凝固情况不同，会形成一条凸缝，此处也往往引起裂隙。

摊铺层厚度的确定是在各条摊铺带新开铺之前，在熨平器两头的下面各放置一块同厚的木块作为基准高度，木块的厚度应比碾压后的路面厚度约厚 15%~20%。这样新摊铺层经过振捣顶压和随后的滚压，就能使摊铺层达到要求的厚度。图 12-13 是利用木块来确定摊铺层厚度。如在铺筑 5 cm 厚的沥青混凝土路面时，在熨平器下可顺行驶方向放置两块厚 6 cm、长 30 cm 的木块。放好木块后，拉起熨平器提升油缸的操纵杆，使油缸卸荷，熨平器以自重下落到完全搁置在木块上为止。此时载荷全由木块支承；要注意保持油缸的操纵杆仍处于拉起位置，以免油液进入油缸下端而抬起熨平器，以影响厚度。

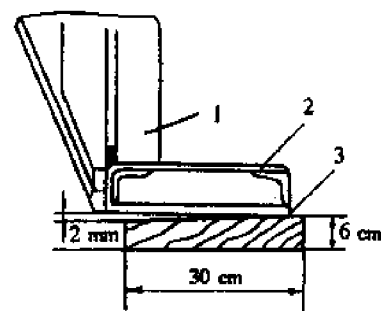


图 12-13 利用木块确定摊铺层厚度  
1—振捣器；2—熨平器；3—木块

熨平器搁置好后，还要转动厚度调节手柄，使熨平器底座的前端稍微抬升到具有微小的仰角，以减小熨平器底座的前移阻力。一般情况下，熨平器前端底面（即振捣器的下止点）应高出木块顶面 2 mm。这样，当熨平器随机械前移而滑下木块时，就可在与木块同厚的半实摊铺层上继续向前滑移，这个摊铺层也就可以达到所需厚度。

摊铺机的生产率是按每小时所摊铺混合料的重量  $Q$  计算的，其计算公式为

$$Q = hbv\gamma K_s \quad (\text{t/h}) \quad (12-5)$$

式中  $h$ ——摊铺带的厚度 (m)；

- $b$ ——摊铺带的宽度 (m);
- $v$ ——摊铺的工作速度 (m/h);
- $\gamma$ ——混合料容重 ( $t/m^3$ );
- $K_s$ ——时间利用率。

在使用摊铺机摊铺沥青混合料时,为了获得良好的摊铺层,很重要的一条是保证摊铺室内的混合料数量恒定。这个数量的最佳值的标准范围是混合料高过螺旋摊铺器的中心线以上,直到完全盖住螺旋叶片为止。混合料过少,将使摊铺层达不到要求的厚度;过多,除易损坏螺旋输送器外,材料涌积到螺旋输送器两头过多,积聚在端面板处将会被挤实而易冷凝变硬。这样将会使摊铺带的两边缘形成隆起的一条,影响路面的平坦度。如果为了避免此种现象而稍微抬升一点熨平器,使混合料多向后移送一位,则又会造成波浪形的摊铺层。因此在摊铺过程中应随时注意摊铺室内的材料数量,调整闸门的开度使供料适当。还要选择恰当的摊铺速度。

为了获得平坦的路面,首先必须把路基或底层做得坚实平整,绝不能在松散的碎(砾)石料层上进行摊铺;否则,摊铺层将七高八低,压实后也是很平坦的。对于轮胎式摊铺机来说,根本无法在松散碎石层上进行摊铺工作,因为其料斗下的小转向轮无法在松碎石上滚动。因此,对机械化施工的公路,在路基与路面的设计上应注意机械的工作特点,不能仍按人工施工时的办法来设计。其次,施工前要按照发动机和轮式机械的操作规程进行准备,保证机械以最大的设计能力并在良好的工况下进行工作。进行摊铺工作时,要掌握供料的均匀性,适当调整熨平器的高低以及随时清除汽车泄漏在路基上的混合料。此外,在正常供料的情况下,不要随便从摊铺室内取料去修补路边,因为这样会使摊铺室内材料减少而影响摊铺层的厚度。摊铺过程应连续铺完一条摊铺带,不要中途停止,以免影响摊铺质量。摊铺过程中,调整摊铺层厚度时每次应转动熨平器的厚度调整手把 1~2 个刻度,待到重测厚度后必要时再调整一次。不要一下子转动很多转,以免造成阶梯形的铺层。再有要使毗邻摊铺带纵向接缝处有适当的重叠量,横向接缝处要平直。

### 复习思考题

1. 沥青洒布车主要由哪几部分组成?各自的作用是什么?
2. 沥青洒布车的主要技术性能指标有哪些?使用前和使用中应注意什么?
3. 沥青洒布车的行驶速度和生产率应怎样计算?
4. 沥青混凝土拌合机主要由哪几部分组成?试述其工作过程和使用的注意事项,并写出生产率的计算式。
5. 沥青混凝土摊铺机由哪几部分组成?试述其工作原理。
6. 摊铺层厚度怎样调整?试述摊铺机自动补偿不平度的工作原理。
7. 摊铺机上的调拱机构有什么作用?
8. 写出摊铺机生产率的计算式。为获得平坦的路面和良好的摊铺层应注意什么问题?



## 第十三章 铁道线路机械

### 第一节 概 述

铁道线路是一种特殊的工程结构物。它在使用过程中，除出现一般工程建筑物所共有的弹性变形、磨损、破损、腐蚀、脏污、老化等现象外，还具有一个特性，即允许发生和保留一定程度的残余变形。

为了对线路的老化、磨损和残余变形等进行事前预防和事后整治，人们必须对线路进行严格的更新、修理和养护维修工作，这项工作一般称为养路工作。过去养路工作都是用手工操作的，不但劳动强度大，而且维修工作折质量差、效率低，不能适应日益增长的铁路运输任务的需要。而做这种工作，一般通用的工程机械又难以胜任，必须采用适合于这种特殊结构的专用设备——线路机械，我国又称为养路机械。

线路机械与通用工程机械相比的最大不同点是：它必须在列车运行条件下进行作业。基于这个特点，人们一般把线路机械分为两大类：一类为小型机械或称轻型机械，作业时不要求封闭线路，不借助任何附属设备，可以随时上下道；另一类为大型机械或称重型机械，体重、形大、效率高，工作时需要占据线路，要在列车运行图中预留一定的列车间隔时间（即开“天窗”作业）。除以上两种外，也有在大、小型之间加一个中型档次，指的是必须借助附属设备才能上下道的机械。

线路机械按用途一般可分为如下十三大类：

(1) 运输设备：包括轻、重型轨道车，长轨运输列车，轨排运输列车，自动倾卸车，卸碴车、宿营车等。

(2) 装卸设备：包括单、双臂吊机，门式吊机等。从动力上分，有内燃、电动和蒸汽三种；从走行方式分，有轨行、轮胎、履带、混合等四种。

(3) 检测设备：包括轨道检查车，轨距、水平检查小车，钢轨探伤车、钢轨探伤仪等。

(4) 路基机械：包括开沟平路机、挖沟机等。从走行方式分为轨行式和履带式。

(5) 道床机械：包括道碴清筛机，配碴整形车，大型电动铺碴机，小型整碴机，道床夯实车，动力稳定车，小型道床夯实机等。道碴清筛机有的有轨行式和履带式两种，其他的大型道床机械均为轨行式。

(6) 铺轨机械：包括轨道铺设列车，悬臂式或龙门式铺轨排机，铺轨条机，无缝线路铺轨小车，无缝线路应力调整器，长轨条拉伸器等。

(7) 修轨机械：包括磨轨列车，磨轨机，锯轨机，直轨器，钢轨调直机，钢轨整形机等。

(8) 轨枕机械：包括铺枕机，换枕机，木枕削平机，方枕器，起钉器等。

(9) 整道机械：包括自动抄平-起拨道-捣固车，液压捣固车，中小型液压捣固机，起拨道机，手提电动捣固机，液压轨缝调整器，螺钉、螺栓拆装机等。

(10) 焊接设备：包括固定式、移动式电阻焊机等。

(11) 防护设备：包括列车接近报警器等。

(12) 除雪除砂设备：包括除雪机、除砂机等。

(13) 除草、植草设备：包括割草机、植草机等。

本章主要讲述几种常用的线路机械，如液压捣固机、液压起拨道机及道碴清筛机等。

## 第二节 捣固机械

铁道线路由于长期运营的结果，部分道碴陷入路基内，使钢轨的一侧或两侧下沉，形成小坑及三角坑，出现了线路走行断面高低不平顺的现象，影响列车的安全运行。为了保持两股钢轨经常处于水平位置，就必须将凹下去的轨面重新抬至原有高度，这项工作称为起道。起道之后，必须在轨枕底部补充足够的新石碴，并串实打紧，此项工作称为捣固。

新建铁路在铺轨后，为了使钢轨达到规定的设计标高，道床具有规定的承载能力，也需要起道、补充新石碴及进行捣固作业。所谓捣固作业就是使轨枕底部道碴密实，以达到枕下具有一定的承载能力，又有一定的弹性和稳定性的作业。由此可见，无论是运营铁路还是新建铁路，捣固作业都是必不可少的。它的工作量大，过去一直利用洋镐进行捣固，现在这种繁重的体力劳动已逐渐被机械所代替。

捣固机械就是使轨枕底部的石碴重新级配，紧密排列，以达到枕下支承力量均衡的一种铁道线路作业机械。它是线路机械中最主要的一种。

根据实现捣固的基本原理不同，捣固机械可分为冲击式、振动式及振动夹持式三类。冲击式捣固机是利用捣镐的冲击力（动载荷）将道碴密实的，其基本原理是冲击密实。振动式捣固机是利用振动动载荷将道床的道碴密实的，其基本原理是振动密实。振动夹持式捣固机的基本原理是联合密实。它利用捣镐的动载荷与静载荷配合作用将石碴密实。

振动夹持式捣固机可分为强制振动和非强制振动两种。前者是偏心轴振动，后者是偏心块振动。偏心块振动的捣固机，当捣镐插入道床后，振动的衰减较大（即振动力减小，振幅及频率都可能减小），捣固质量较差。

根据夹持方式的不同，振动夹持式捣固机还可分为同频捣固和异步捣固两种。所谓同步捣固，就是在捣固时每个镐头上所承受的压力不同，但镐头所走的行程相等。而异步捣固则是在捣固时，镐头所承受的压力相同，但镐头所走的行程不等。异步捣固比同步捣固优点较多，在国内外已普遍采用。

实践证明，振动式和振动夹持式捣固机具有结构简单、捣固质量好、效率高及石碴破碎率低等优点，目前在国内外已广泛使用。

常用的捣固机械有电镐、电镐捣固架、液压捣固机以及捣固车等。

### 一、液压捣固机

液压捣固机是用电动机或小型内燃机作动力，利用偏心块振动，产生一定的振动力，并利用液压传动使镐头插入道床并夹实道碴，以此完成捣固作业。

液压捣固机的类型较多，但它们的工作原理基本相同。表 13-1 为几种液压捣固机的主

要技术性能。目前推广使用的为 XYD-2 型单缸小型液压捣固机，它具有结构简单合理、捣固效率高、节约原材料、降低成本等优点。

表 13-1 液压捣固机的主要技术性能

项 目	YD-2 型	YD-3 型	XYD-1 型	XYD-2 型
原 动 机	175F 型汽油机	175F 型汽油机	175F 型汽油机	电动机*
原动机功率 (kW)	4.85	4.85	4.85	4
振动频率 (Hz)	56.67	62.5	66.67	66.67
振动力 (kN)	14.90	17	19.6	19.6
工作油压 (MPa)	4.41	3.43	2.45 ~ 3.43	3.43 ~ 4.41
捣固深度 (mm)	轨枕下 100	轨枕下 100	轨枕下 80 ~ 100	轨枕下 80 ~ 100
捣固宽度 (mm)	钢轨两侧 400	轨枕两侧 400	钢轨两侧 450	轨枕两侧 450
下插力 (kN)	14.7	13	11.76	9.8 ~ 12.45
夹实力 (kN)	2×9.31	2×8.33	2×5.5	2×6.22
生产率 (根/h)	180	180	150 ~ 180	200 ~ 220
外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	1 355×846×1 850	1 542×780×1 645	956×650×1 460	1 130×670×1 300
重 量 (kg)	530	453	280	295

\* XYD-2 型液压捣固机近年来部分采用了柴油机作动力。沈阳工务修配厂和齐齐哈尔电力机械厂采用的是 R175 型柴油机，什邡养路机械厂采用的是 SF180 型柴油机。

### (一) YD-2 型液压捣固机

YD-2 型液压捣固机用汽油机作动力，通过皮带传动驱动振动轴高速旋转，使捣固机产生振动；同时汽油机驱动液压油泵产生压力油。利用液压传动，使捣镐升降和夹紧。振动的捣镐插入道床后，道碴受到振动，相互间的摩擦阻力减小或被克服，出现“流动状态”。道碴在相对运动中重新排列密实，在镐头夹实时填满枕下空隙，以达到捣固的目的。

图 13-1 是捣固机的工作原理图。由此图可见，液压捣固机是把振动力和液压力（下插和夹实）结合在一起工作的。

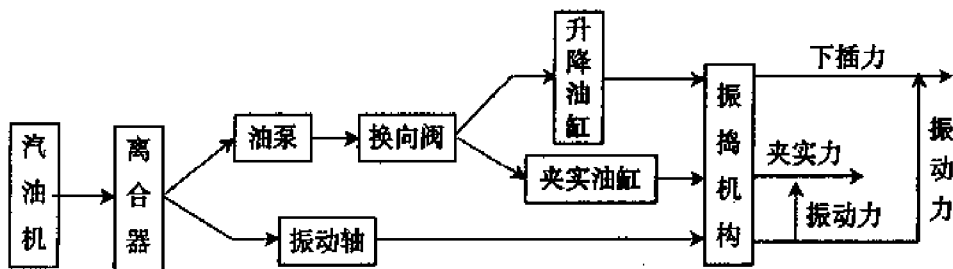


图 13-1 液压捣固机的工作原理图

图 13-2 为 YD-2 型液压捣固机的构造。它由动力和机械传动系统、液压系统、振动架和减振器、底架及走行架和下道架等主要部件组成。

(1) 动力和机械传动系统。动力和机械传动系统包括原动机、离心式离合器、减速箱、皮带传动装置等，它们安装在捣固机的油箱盖上。图 13-3 为捣固机传动示意图。

① 原动机。原动机采用 175F 型单缸、立式、风冷、四冲程汽油机，额定功率为 4.85 kW，额定转速为 3 000 r/min，净重 37 kg。

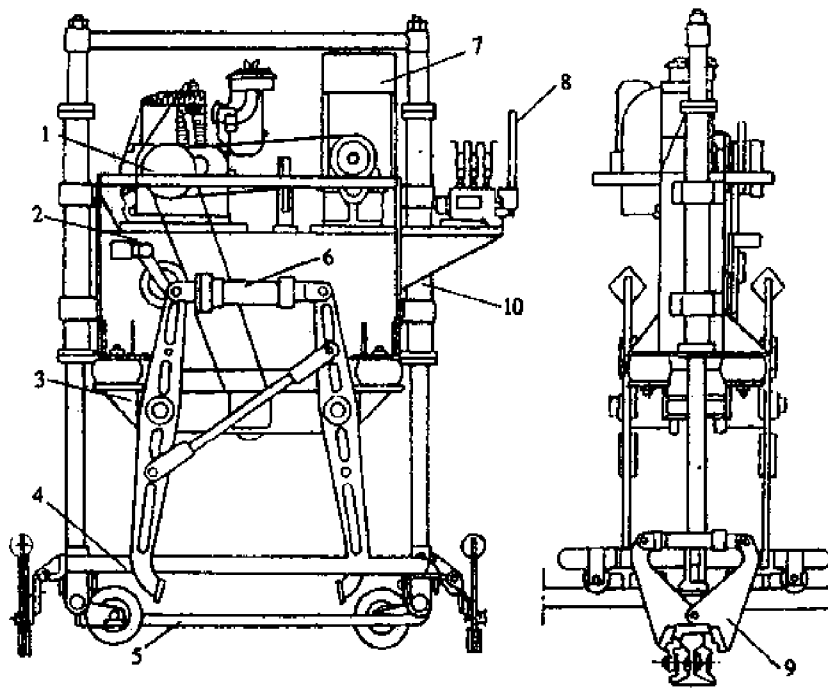


图 13-2 YD-2 型液压捣固机

1—机械传动；2—机架；3—振动架；4—底架；5—走行架；6—夹实油缸；  
7—汽油缸；8—液压传动系统；9—夹轨装置；10—升降油缸

② 离心式离合器。它是联接汽油机和传动系的部件。起接合或切断动力的作用，并能避免发动机怠速运转时与捣固机产生共振现象。离合器安装在发动机曲轴上，其外壳就是主皮带轮。当发动机转速为 2 560 r/min 时，离合器自动接合，驱动液压油泵和振动轴；转速为 1 540 r/min 时则自动分离。

③ 减速箱。减速箱为单级减速箱，其作用是传递功率，把发动机转速变为液压油泵的额定转速。

④ 皮带传动装置。振动轴的旋转是通过离合器的皮带轮，用单级三角皮带传动的。

(2) 液压系统。液压系统是操纵和控制捣固作业的主要部件，如机械的升、降，捣固杆的张、合，夹轨器夹轨等。液压系统包括液压油泵、手压油泵、多路换向阀、顺序阀、滤油器、液压油箱、升降油缸、夹实油缸、夹轨油缸和各种油管、接头等。液压系统油路如图 13-4 所示。

(3) 振动架和减振器。振动架和减振器承载着捣固机的振动载荷。

(4) 底架。底架承载着捣固机的全部重力和载荷。

(5) 走行架和下道架。它是捣固机的附属装置。

## (二) 捣固周期和效率计算

捣固效率的高低取决于捣固周期的长短。所谓捣固周期是指使用一组捣固机捣固一根轨枕所需的时间。捣固周期可按式计算

$$T = \sum t_i = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 \quad (13-1)$$

式中  $t_1$ ——镐头张开的的时间（以全程计，s）；  
 $t_2$ ——捣固镐头夹实的时间（以全程计，s）  
 $t_3$ ——夹实时的持续时间（s）；

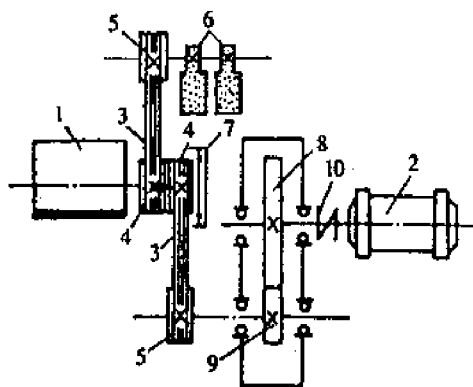


图 13-3 捣固机传动示意图

1—汽油机；2—叶片泵；3—三角皮带；4—主动轮；  
5—从动轮；6—偏心块；7—离心式离合器；8—  
从动齿轮；9—主动齿轮；10—弹性联轴节

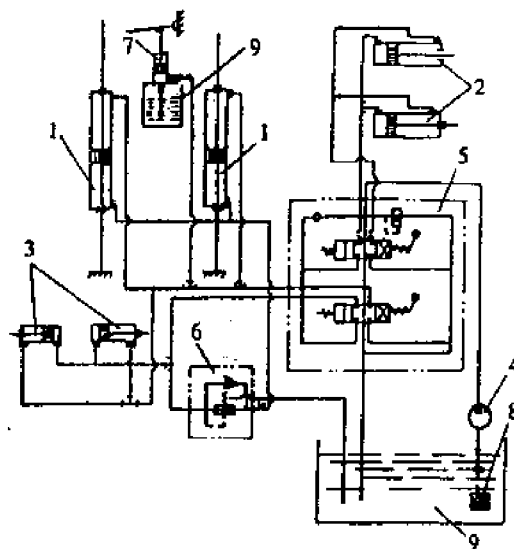


图 13-4 液压系统油路图

1—升降油缸；2—夹实油缸；3—夹轨油缸；  
4—叶片泵；5—多路换向阀；6—顺序阀；  
7—手油泵；8—滤油器；9—油箱

- $t_4$ ——捣固杆的下插时间 (s)；
- $t_5$ ——捣固杆的提升时间 (s)；
- $t_6$ ——把一组捣固机从一根轨枕推向下一根轨枕的时间 (s)；
- $t_7$ ——捣固机操作者的协作时间 (s)。

捣固效率是指一组捣固机每小时能捣固的轨枕数。捣固效率可按下式计算

$$\eta = \frac{3600}{T} \quad (\text{根/h}) \quad (13-2)$$

式中  $\eta$ ——组捣固机的效率 (根/h)；  
 $T$ ——捣固周期，捣固一根轨枕所需的时间 (s/根)。

## 二、捣固车

为适应日益繁忙的铁路运输任务和新建铁路的铺架速度，对轨枕的捣固作业提出了高质量和高速度的要求。因此，小型捣固机械已难以满足生产的需要，而发展了多镐的轨枕捣固车。目前捣固车又从 16 把捣镐改进为 32 把、64 把，可以同时捣固 1 根、2 根乃至 4 根轨枕。生产率从 1956 年的 300~350 根/h 提高到 1200~1300 根/h，甚至达到 3000 根/h (约 2000 m/h)。并且除了捣固机构外，又增加了起道、拨道、自动抄平及夯实装置，大大提高了作业能力和质量，向一机多能的综合性方向发展。国外生产捣固车的著名厂家有：瑞士马蒂萨 (Matisa) 公司、奥地利普拉塞-陶依尔 (Plasser & Theurer) 公司等。马蒂萨公司生产的捣固车有 B-27 型、60 系列 (B-60、BN-60、BNT-60 型等)、80 系列 (B-80、BNRI-80、BMNRI-80 型等)、85 系列 (BNRI-85、BMNRI-85 型等)、B124 及 B133 型等；普拉塞公司生产的捣固车有 06、07、08 三个系列，每个系列根据捣固装置的不同，又分为 16 把捣镐的单轨枕捣固车、32 把捣镐的双轨枕捣固车和镐头能折弯的道岔捣固车，并且可以带拨道、起道抄平、夯实装置，目前使用较多的为 07-32 型带拨道、起道抄平及夯实装置的双轨枕捣固车。

捣固车的基本构造由动力装置、机械传动装置、液压传动装置、捣固装置、走行装置、车架及下道装置等组成。近期生产的捣固车还增加了起道、拨道装置、抄平量测装置和夯实装置等。图 13-5 为普拉塞公司生产的 07-32 型捣固车。

捣固车大多数采用内燃机为原动机，以驱动液压油泵、空气压缩机，为某些工作机构提供动力。内燃机以柴油机为主，少数采用汽油机，功率为 58.82 ~ 294 kW。

捣固装置是捣固车的主要工作装置，它随着碴捣固的方法不同而有相应的装置。

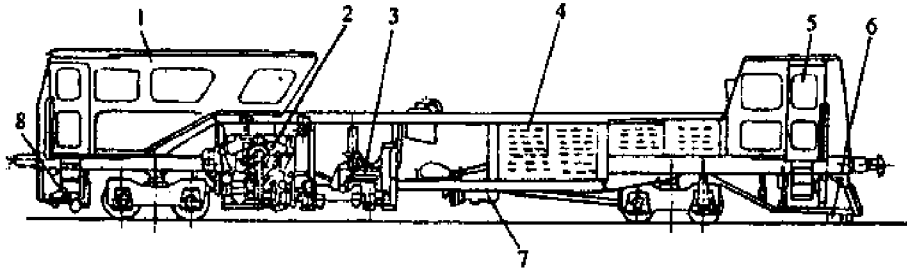


图 13-5 07-32 型捣固车

- 1—主驾驶室；2—捣固装置；3—起道、拨道装置；4—发动机；5—副驾驶室；  
6—前检测小车；7—区间行走驱动装置；8—后检测小车

目前捣固道碴的方法有三种：同步捣固法、异步捣固法、交叉插入和静压作用捣固法。

同步捣固的捣固车，它的捣固镐以规定的频率进行振动，用蜗轮蜗杆及螺旋传动使捣固镐张合，捣固镐的夹实力在捣固镐之间传递，以达到枕下道碴密料的目的。夹实力的大小与捣固镐所遇到的阻力成正比。

同步捣固法要想达到较好的捣固质量，特别是在原有道床比较脏污、起道量又不大的情况下，应具备下列条件：轨枕必须垂直于钢轨；捣固镐的位置必须以轨枕为中心，两侧对称下插；道碴的粒径大致相同；捣固镐应夹住相同数量的石碴。否则同步捣固将使捣固质量下降。

异步捣固的捣固车，捣固镐的张合由液压缸代替螺旋传动，使捣固质量大大提高。这是由于异步捣固时，捣固镐的夹实力是相同的，而它们在道床中推进的距离是不相同的。当捣固镐遇到大的阻力（如道碴脏污、粒径大）时走的距离小；当遇到的阻力较小时（如道碴清洁、粒径适当）则走的距离大；当两个捣固镐上的阻力相等时，它们就同时工作了。其结果是在所有的捣固镐上很快地就达到相同的压力。因此，异步捣固就克服了同步捣固的缺点。普拉塞公司的 06、07、08 系列捣固车即采用了异步捣固法。

交叉插入和静压作用的道碴捣固法是以特制的工作机构为基础的，如图 13-6 所示。

有一个捣固装置由叉形体、两个惰性电机和两个装有镐头的捣固杆所组成。叉形体和捣固装置的液压机构相连，捣固装置能垂直和水平移动，每一个捣固杆装着一个带有偏心块和镐头的惰性电机，镐头有垂直的和水平的镐板。当镐头下插时，依靠振动作用及压力作用使枕下石碴密实。

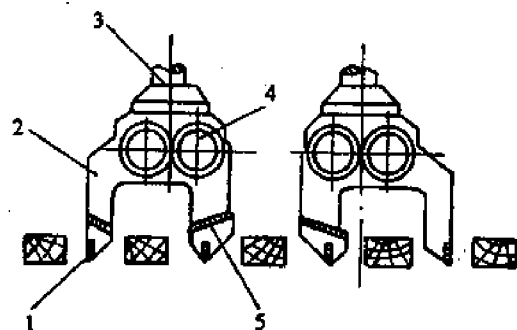


图 13-6 工作机构图

- 1—垂直板；2—叉形捣固头；3—捣固镐下插油缸；  
4—振动器；5—倾斜板

综上所述，捣固车的捣固装置必须由三部分组成：捣固镐振动机构（偏心轴振动或偏心块振动）、夹实机构（蜗轮蜗杆和螺旋传动或液压缸）以及捣固镐下插机构（液压缸）。

捣固装置在每股钢轨下有一组，可以独立作业，也可以与另一股钢轨上的一组联合作业。每组捣固装置有 16 把、8 把、4 把捣固镐，即在每股钢轨的内、外侧分别为 8 把、4 把及 2 把捣固镐，如图 13-7 所示。

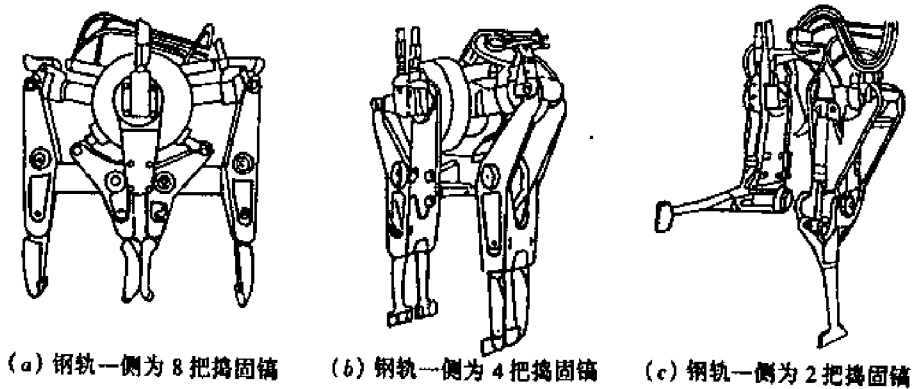


图 13-7 捣固装置

一组捣固装置中具有 16 把捣固镐的，可以同时捣固两根轨枕。有的捣固车在每股钢轨具有前后两组捣固装置，每组为 16 把捣固镐，可以同时捣固四根轨枕。

为了适应道岔捣固，有的捣固镐可以横向移动，有的捣固头还能向钢轨外侧转动  $85^\circ$ ，向钢轨内侧转动  $15^\circ$ ，见图 13-7 (c)。

捣固车一般都是轨行式的。它的走行装置包括台车（转向架与走行轮）、驱动装置、制动装置等。台车的中心距是不相同的。当捣固一根轨枕时，一般采用前后两轴，轴距为  $2 \sim 2.7 \text{ m}$ ；同时捣固两根或两根以上轨枕的捣固车，则采用双轴台车，台车中心距为  $7 \sim 10 \text{ m}$ 。驱动装置要适应区间高速运行和作业时低速运行的需要，一般有液压马达、直流电动机和机械直接驱动等三种型式。制动装置多数仍属于在车轮轮缘踏面上的闸瓦制动，也有在驱动轴上安装单独的制动盘进行制动。制动动力的类型有空气动力和液压机械式等。

车架是捣固车的构架，大多数采用特制车底架，由型钢焊接而成，其型式决定于捣固装置的位置。

近代捣固车为了整修线路，还安装了整修线路所必需的起道、拨道和抄平测量装置。在整修线路水平方面，有使用水平泡尺、摆式（重锤式）水平尺、摆式水平仪、陀螺仪等；在纵断面及平面整修方面广泛采用红外线装置、激光装置、光电转换自动控制装置、钢弦整平装置等。

我国自行设计制造的 TYD-16 型捣固车，采用 6135Q 型柴油机为动力，利用机械与液压传动使捣固镐插入道床，在振动力和夹实力的作用下将道碴捣固密实。在作业过程中，车体可以传动，使捣固镐在曲线地段也能对正线路进行捣固作业。机械的作业过程可根据情况进行手动、半自动、全自动操作，具有较高的工作效率和捣固质量。TYD-16 型捣固车装有独立的走行系统，由柴油机驱动，通过机械传动可以变速与变向，进行区间运行。

08-32 型抄平、起道、拨道捣固车是奥地利普拉塞-陶依尔公司在 06、07 系列基础上进

一步改进和发展起来的新产品，是一种具有较高技术水平的机型。

这种捣固车具有自动抄平系统和拨道测量装置，能同时进行抄平、起道、拨道和捣固等多种作业。它具有以下特点：

(1) 技术先进。本机在机械上采用全液压装置；在抄平装置上采用激光准直系统；在拨道和外轨超高值的自动调节机构中采用模拟电子计算机控制。

(2) 作业效率高。它可以同时捣固两根轨枕，生产率可达 1 000 ~ 1 200 m/h，这对于我国铁路行车密度大、封锁时间短的情况下，尤其显得重要。

(3) 作业质量高。该捣固车的使用范围较广，既可用于线路大、中修工程，也可在线路维修中开“天窗”进行作业，同时也适用于新建铁路。

近年来，普拉塞-陶依尔公司又研制和开发出一种更新的 09-32 型抄平、起道、拨道捣固车。该机的主要特点是连续不停地捣固，即在捣固装置跨越轨枕作业时，整台机械始终连续不间断地前进。这样，它的生产率就会更高，可以达到 1 700 ~ 1 800 m/h。

### 第三节 道碴清筛机械

道床质量对铁路线路状态有很大的影响。脏污的道床能使线路降低弹性及排水性能，造成线路病害。因此，碎石或卵石道床，其不洁程度按重量超过 25% 时，必须进行清筛。

道床清筛是一项很繁重的作业。过去采用手工作业时，效率低、劳动强度大、清筛质量也差。为了解决这些问题，我国先后研制成功四种类型的清筛机：边坡清筛机、小型全断面枕底清筛机、大型轨行式清筛机和大揭盖式（即拆除轨排清筛道床）道碴清筛机。

#### 一、边坡清筛机

边坡清筛机只能清筛道床边坡石碴。它有转子式、滚筒式、可拆分式及链耙式等类型。链耙式边坡清筛机具有结构简单、清筛质量高，且不影响列车运行等优点，已被选型推广。

链耙式边坡清筛机有两种型式：一种以电动机为动力，机械传动系统，链耙为成型链；另一种以内燃机为动力，液压传动系统，链耙为套筒滚子链。

成型链的材料要求高，加工困难，但比较牢固。滚子链易购买，但强度低。

成型链与滚子链的边坡清筛机构造与原理基本相同，图 13-8 为成型链清筛机的结构。

##### (一) 动力

由两台三相交流电动机作动力，一台为 5.5 kW，作为挖掘与清筛的动力；另一台为 1 kW，作为走行动力。

##### (二) 挖掘清筛部分

挖掘清筛部分主要由挖掘框架、传动链轮、链耙筛板、接灰板及螺旋锥齿轮组成。

电动机通过皮带传动带动螺旋锥齿轮驱动链轮，使成型链耙运动，把脏污石碴送入筛槽，链耙继续回转，推动石碴前进，污物与废碴在移动及离心力作用下，通过筛槽上的孔眼而漏到接灰板再落到路肩上，而清碴靠链耙的回转回填到道床的边坡。



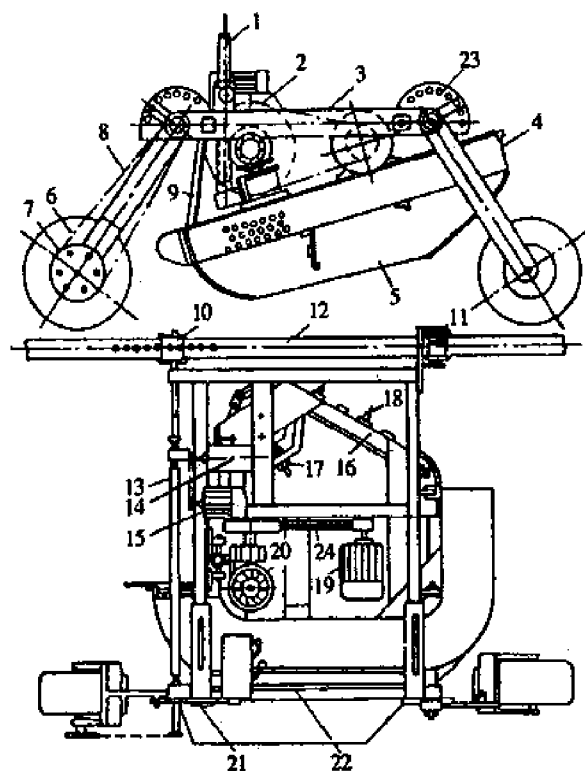


图 13-8 成型链清筛机

- 1—升降丝杠；2—电气开关箱；3—主框架；4—筛槽；5—接灰板；6—路肩走行轮；7—链轮；8—链条；9—筛槽连接撑杆；  
 10、11—走行轮；12—枕头走行轨；13—走行驱动轴；14—减速箱；15—电动机；16—挖掘框架；  
 17—链轮张紧丝杠；18—成型链耙；19—电动机；20—螺旋锥齿轮；21—走行轮调整丝杠；  
 22—框架；23—调整高低定位器；24—皮带传动

为了使清筛机能适应不同厚度的道床，挖掘框架采用丝杠调整，调整的深度为 0.2 ~ 0.35 m，挖掘框架的倾斜角为 20° ~ 25°。

### (三) 走行部分

链耙式边坡清筛机不侵入限界，走行部分有两种走行轮。一种是在路肩上利用橡胶轮走行，另一种是利用铁轮在预先铺设于轨枕头部的走行轨上走行。两种走行轮是通过走行电动机、经减速箱与连传动来驱动的，其走行速度一致，不易造成清筛机歪斜或脱轨。

### (四) 机 架

机架用槽钢焊接而成，要求在足够的强度与刚度条件下，尽可能使体积小、重量轻。

## 二、枕底清筛机

枕底清筛机能清筛轨枕底下及边坡的道床石碴，因此也称为全断面道床清筛机。

小型枕底清筛机分双边和单边两种型式，是在不封锁线路的情况下对道床进行全断面清筛作业的一种机械。

双边小型枕底清筛机主要适用于单线线路和线间距大于 5.5 m 的双线地段；单边小型枕底清筛机主要适用于双线线路。这种清筛机均在轨枕头部铺设的走行轨上走行，因不侵入限界，列车可以顺利通过作业地段，但必须慢行。

大型枕底清筛机有自行式的，也有机车牵引式的，使用时必须封锁线路。

小型枕底清筛机都是由挖掘、清筛、回填、走行及升降、污土清扫、电气控制等六部分组成，工作原理基本相同。

挖掘电动机通过减速装置带动链轮，使挖掘链运转，对道床进行挖掘，并由连续运动的扒板将污碴输入清筛机构。清筛电动机带动清筛链运转，对挖掘机构送来的污碴，进行离心筛分。污土经刮板运送，由污土清扫装置抛到路肩以外；筛网内的洁碴以筛带同等的线速度飞落到回填输送带上，由回填电动机驱动的回填输送带不断地将筛分过的洁碴经分碴板的分流作用，均匀地回填到道床上。由于走行机构地不断运转，机械不停地前进，使清筛作业得以连续进行。

双边和单边小型枕底清筛机的结构是不同的。

双边小型枕底清筛机左右对称。除电气操纵台外，每侧都有独立的挖掘、清筛、回填、走行及升降、污土清扫机构，而且均与线路中心线对称。它的构造如图 13-9 所示。

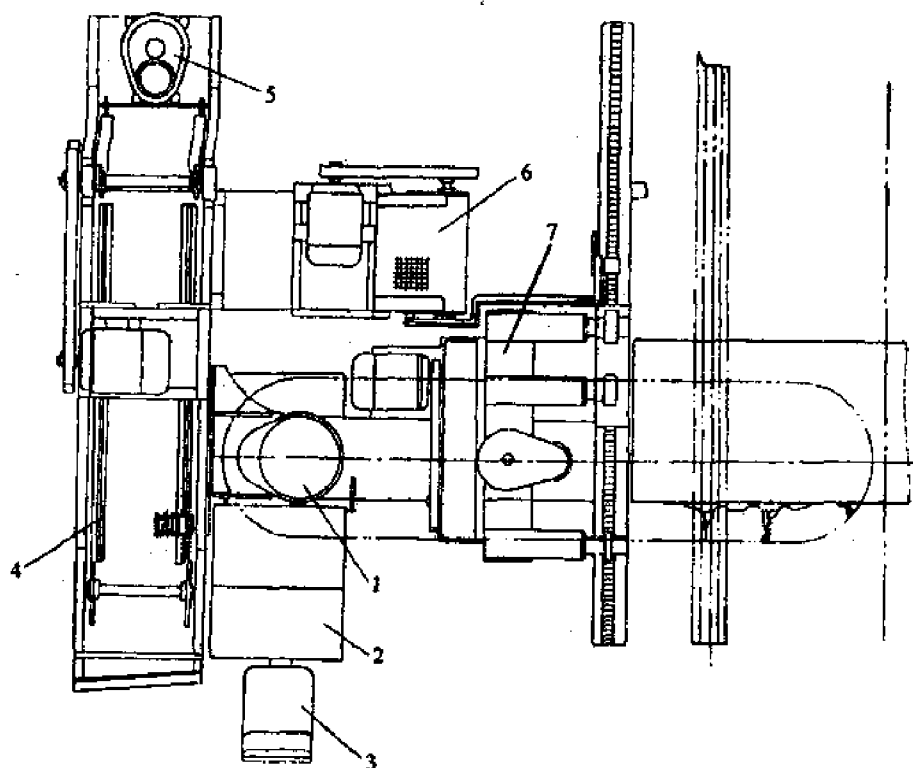


图 13-9 双边小型枕底清筛机

1—挖掘机构；2—电动操纵台；3—座椅；4—清筛机构；5—污土清扫器；6—回填机构；7—走行及升降机构

单边小型枕底清筛机主要由挖掘机构、离心清筛机构、回填机构、走行及升降机构、排污土机构和电气控制系统等组成。该机仅一面筛进行工作，两侧不对称。

### 三、轨行式清筛机

随着无缝线路的迅速发展和线路大修施工日进度的不断提高，需要有一种效率较高的轨行式清筛机来代替人工清筛。这种清筛机采用枕底全断面清筛方式，主要工作机构采用链式挖掘机构及振动筛。其传动方式有的清筛机以电传动为主，有的则以液压传动为主。

轨行式清筛机适用于单线、双线区间及站线的大、中修清筛作业。由于作业时不需拆除轨排，因而对于无缝线路地段尤为适宜。机械本身具有区间运行的快速走行能力和作业时慢速走行能力，也可与列车连挂。由于作业时需占用线路，故必须封锁线路进行施工。

轨行式清筛机的主要结构由车体、挖掘机构、振动筛、输送机构、走行机构、动力装置、液压系统、电气系统及制动系统等组成。

清筛机依靠挖掘链的回转切削运动和走行机构的推进运动，将坚实的道床破碎，并把脏碴从枕下挖出，通过上升链槽提升至集碴仓，由筛上输送机送至振动筛顶，经过筛分后的清碴或直接从筛子出口落到道床上，或由回填输送机往复回摆，均匀地铺撒到道床上。而筛出的污土则由筛下输送机送至污土输送机抛送到路基外侧（或装运车辆）。在翻浆冒泥地段，脏碴可不经振动筛而从筛上输送机顶的翻板漏斗直接进入污土输送机，抛到线路外。

#### 四、RM-80 型道碴清筛机

RM-80 型是奥地利普拉塞-陶依尔公司生产的一种轨行式、全断面、枕底道碴清筛机，施工时必须封锁线路，是一种高效率的清筛机构。RM-80 型道碴清筛机全部采用液压传动，既适合于线路大、中修工程的道碴清筛工作，也可以在线路维修作业中用来清筛道碴。

清筛机由车架，动力及传动装置，走行装置，工作装置（含挖掘链、筛子、清碴分配、污土输送装置、起拨道装置、整平链、道碴犁等），操纵系统等组成。

该机的总体布置是：在两个两轴转向架上安设着车架，车架两端各安装一台柴油机及前、后两个司机室，车架中部则安装着挖掘装置、筛子、清碴分配装置、污土输送装置等。在筛子后面还安装着一个中间司机室，车架下则安装着起拨道装置及整平链等。

##### （一）动力及传动

该传动力为两台德国道依茨（Deutz）公司生产的 BF12L413F 型风冷柴油机，分别安装在清筛机的前、后部，均与前、后司机室分开安装。其中前部的柴油机是清碴分配装置和污土输送装置的动力，同时也向前转向架提供作业和区间运行所需的动力。后部柴油机则向挖掘装置和筛子提供动力，同时也向后转向架提供作业和区间走行时所需的动力。

柴油机借万向节传动轴驱动分动齿轮箱，再由分动齿轮箱驱动各个液压泵，液压泵泵出高压油供应各液压马达或工作油缸。全部采用液压传动。

##### （二）走行装置

走行装置由两台两轴式转向架组成。

走行驱动无论是作业还是区间运行，全部采用容积式传动——静液压传动，即在转向架的每根轴上均安装有液压马达和液压多片式离合器。

每个转向架上均安装有制动装置、撒砂装置及减振弹簧悬挂装置等。

制动器采用闸瓦式。制动系统和普通铁路车辆一样，采用排风制动，共有三个司机阀，即两个紧急制动阀和一个一次缓解分配阀。

##### （三）挖掘装置

挖掘装置为一条呈五边形的循环挖掘链。安装在两转向架间的车体中部。其主要功用是

将枕底以下的脏污石碴挖掘出来并提升和运输到筛子里，以供筛子筛分，它是清筛机的主要工作机构之一。

#### (四) 筛分装置

筛子是一个三层的直线振动筛。筛子的激振器为两根偏心相对的轴。当这两根轴以相同的转速同步异向旋转时，平行于筛面方向的振动即相互抵消，垂直于筛面方向的振动相互叠加，故仅存在这种垂直于筛面的直线振动，因而称之为直线振动筛。它的技术性能、清筛效率和清筛质量（即筛过石碴的清洁度）与常用的圆振动筛相比，要优越得多。

筛子的振动频率与挖掘链的工况相联系，是可变的。当挖掘链工作时，筛子的最大振频为 20 Hz；当挖掘链不工作时，筛子的振频自动降到 8 Hz。筛子的最大振幅约为 6 mm。

#### (五) 清碴分配装置

本装置为两条清碴分配的输送带，位于筛子的末端。筛子上有一个液压控制的活门，当活门居于中间位置时，清筛过的清洁石碴或直接落至轨道中心，或落至两条清碴分配输送带上，由输送带将之带往前方，使它均匀地回填到挖掘链以后的道床断面上。这两条输送带是可以调节的，既可以固定不动，又可以自动的往复摆动。

#### (六) 污土输送装置

污土输送装置共有两条污土输送带，一条是主污土输送带，另一条是旋转式污土输送带。污土从筛子下面落入主污土带上，然后转送到位于机器前部的旋转式污土带上。旋转式污土输送带可以旋转一定角度，可将污土排到路肩两侧，或运至位于邻线的装载污土的车厢里，也可排放至与本清筛机连挂在一起的装载污土的车中。旋转式污土输送带在长途运输或在区间运行时可以折叠起来，连挂车辆时无需配备中间车。

#### (七) 起道、横移装置及其他辅助工作装置

起道装置是为了减少挖掘链在挖掘道碴时的阻力以及减小挖掘深度，以适应本机在道床断面较薄地段时的作业需要而设的。横移装置则是为了在作业时能够避开线路中的障碍物而设的。

其他辅助工作装置包括道碴犁和整平链。道碴犁位于清碴分配装置之后，其作用是把钢轨及轨枕上残留的石碴移走扫尽。整平链是一个链条和链杆的组合件，安装在后转向架前，由液压控制，其作用是整形轨枕以下的石碴，以提高工作质量，有利于整修清筛后的线路。

起道和横移装置在一般情况下不宜采用。

## 第四节 起、拨道机械

铁路线路由于长期使用的结果，道碴陷入路基，使线路纵断面发生高低不平顺，同时也使线路在平面内直线发生曲折或曲线发生不圆顺的变化。当此变化值超过线路规定的标准值时，需在线路维修作业中进行校正，以恢复线路的正常位置。校正线路纵断面的位置称起道；校正线路平面位置称拨道。

起、拨道作业不仅是线路维修，同时也是线路大、中修和新建线路中的一项主要工序。长期以来，起、拨道作业都是以齿条起道机和撬棍为工具。随着钢筋混凝土轨枕、重型钢轨、无缝线路的铺设，行车速度的提高，行车密度的增大，使用这类机具进行作业，不仅工作效率低，劳动强度大，齿条起道机还经常发生撞机事故和手把打伤人的人身伤亡事故。为适应我国铁路发展的需要，近年来研制了一些新型机具，如激光准直液压起拨道机、OB-20 型液压起拨道机、YQB-1 型液压起拨道器、YQ-1 型液压起道器等。

### 一、激光准直液压起拨道机

激光准直液压起拨道机是由我国铁路有关单位联合设计制造的一种适用于新建或大修线路起、拨道作业的专用机械。它由 JZ-2 型激光准直仪和 BYQ 型液压起拨道机组成。JZ-2 型激光准直仪是用于线路的水平、高纸、方向的抄平与定向。BYQ 型液压起拨道机是采用液压操纵来完成起、拨道作业的全部动作。

#### (一) 构造

BYQ 型液压起拨道机的构造如图 13-10 所示。全机可分为：动力及传动系统、起拨道及垫碴机构、抓轨装置、走行机构、车架和下道装置。

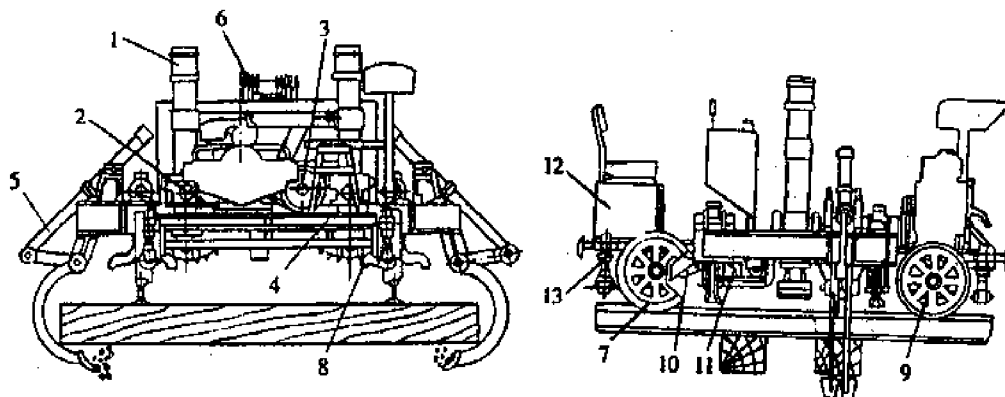


图 13-10 BYQ 型液压起拨道机结构示意图

1—起道油缸；2—偏斜机构；3—机械传动系统；4—车架；5—垫碴机构；6—液压传动系统；7—轮对；8—抓轨装置；9—轴箱；10—刹车装置；11—走行减速器；12—座椅油箱总成；13—下道装置总成

#### 1. 动力及传动系统

该机以 270F 型汽油机为动力。

传动系统主要由机械传动和液压传动两个系统组成。汽油机的动力通过三角皮带传递给齿轮油泵产生高压油，通过液压系统的操纵部分来驱动液压系统中的工作油缸或油马达动作，实现起拨道机的起、拨道作业或行走。

液压系统由以下四部分组成：

- (1) 产生动力部分——齿轮油泵；
- (2) 能量转换部分——各类油缸（起、拨道油缸，偏斜油缸，垫碴油缸，抓轨油缸以及下道油缸）和齿轮油马达等；
- (3) 控制部分——附有溢流阀和单向阀的多路换向阀等各类阀；

(4) 辅助部分——滤油器、管接头、软管和硬管、手压泵、油箱、压力表及开关等。

油泵压出的高压油借助附有溢流阀和单向阀的多路换向阀调整系统的工作压力为 11.5 MPa 后，分别控制起道油缸、垫碴油缸、偏斜油缸、抓轨油缸完成起、拨道，垫碴和抓轨的动作，并控制齿轮油马达完成走行动作，控制下道油缸完成下道动作。

## 2. 起拨道及垫碴机构

这部分包括左右两个带有机械锁的起道油缸，左右两个偏斜油缸和齿轮、齿条组成的起拨道机构，以及左右两个垫碴油缸和垫碴杆、垫碴掌组成的垫碴机构。可完成轨排的起道、垫碴、拨道的动作，并分别进行左右单股轨道的起道、垫碴作业以适应曲线地段起道时单股超高的要求。

## 3. 抓轨装置

在车架下方四个走行轮的内侧，装有四个抓轨钳。借助四个抓轨油缸的升降，使抓轨钳同时松开或夹紧轨头。当轨钳夹紧时，机器和轨排就形成一体，此时便可进行起、拨道作业。当松开时，轨钳离开钢轨，机械就可以走行。

此外，还有走行装置、车架及下道装置等。

## (二) 工作原理

### 1. 起道工序原理

起、拨道用的工作油缸共有两个，铰接在机架上，另有四个抓轨钳与机架相固接。起道时，抓轨钳抓住钢轨，工作油缸处在垂直于道床的位置，当油缸内进入高压油后，使活塞杆垂直向下伸出，直到顶紧道床为止。当油缸内继续进入压力油时，油缸连同机架并通过抓轨钳将整个轨排一起向相反方向运动，达到起道的目的。此时压力油给活塞一个推力  $P$ （决定于外阻力的大小），油缸本身也受一个大小相等、方向相反的力  $P'$ ，如图 13-11 所示。

当轨排抬到一定高度后，为使轨排在松开抓轨钳时而不落回原处，必须用垫碴机构将道碴填入到抬起的轨枕底下，将轨排垫起来，然后进行捣固作业。

在曲线或其他需要单股起道的地方，只需操作一侧工作油缸（靠近需要起道股的油缸）即可达到目的。

### 2. 拨道工作原理

拨道时，将根据线路拨动方向的要求作业。若需向左拨道，就将左侧工作油缸向左倾转一个角度  $\alpha$ （若向右拨道，就将右侧工作油缸向右倾转一个角度  $\alpha$ ），另一个工作油缸保持垂直位置。当倾斜的工作油缸进入压力油后，活塞杆顶紧道床不能再继续推进时，工作油缸便连同机械和轨排向相反的方向运动。由于拨道时工作油缸与水平面有一初始倾角  $\alpha$ ，故作用于油缸上的力  $P'$  便可分解为垂直分力  $P_y$  和水平分力  $P_x$ 。 $P_y$  使机架连同轨排向上抬起； $P_x$  可使机械连同轨排向水平方向移动。为了使轨排能够座落在移动后的位置上，在拨道过程中工作油缸与机架间的倾角  $\alpha$  必须随时改变，即在拨道过程中工作油缸必须继续向水平方向倾转，最后使初始倾角  $\alpha$  达到最小极限值  $\alpha_1$ ，或使活塞杆的外伸量达极限值，直至机械连同轨

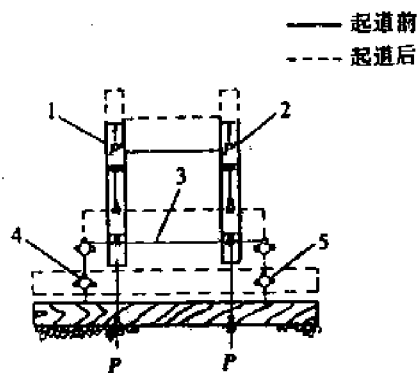


图 13-11 起道示意图

1、2—起道油缸；3—车架横梁；4、5—抓轨钳

排一起移到了所需要的拨动位置，这样就完成了一次拨道动作，如图 13-12 所示。

### (三) 激光准直仪与液压起拨道机配合使用

激光是一种新型光源，它具有亮度高、颜色纯、方向性好等特点。因此，常用激光的光束来作为准直基准光线进行定位、定向。

BYQ 型液压起拨道机即配有 JZ-2 型激光准直仪。

激光准直仪与液压起拨道机配合使用时，将激光接收器（磨砂有机玻璃接收靶）安装在起拨道机上，激光发射器安装在起拨道机前方专用小车上。根据铁道线路起、拨道作业的要求，将激光发射器发出的红色光束调整到应有高度。当激光束照射到磨砂有机玻璃靶上时，司机根据靶上的红点位置来操纵液压起拨道机，直至与光点中心相吻合，此时即表明线路方向和水平达到设计要求，如图 13-13 所示。

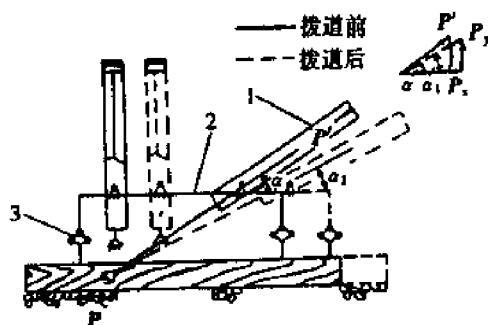


图 13-12 拨道示意图

1—拨道油缸；2—车架；3—弧轨钳

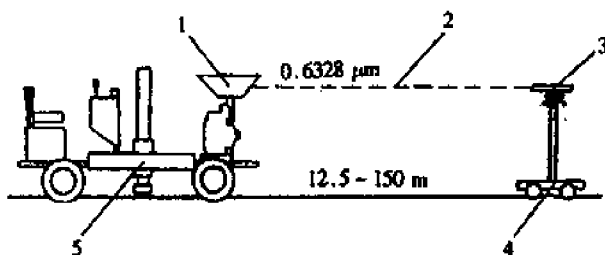


图 13-13 激光准直仪与液压起拨道机配合使用示意图

1—激光接收器；2—红光 ( $0.6328 \mu\text{m}$ )；3—激光发射器；4—激光发射小车；5—液压起拨道机

## 二、YQB-1 型液压起拨道器

YQB-1 型液压起拨道器现已批量生产，并在全路推广使用。

该机主要由工作油缸、柱塞泵、拨杆、底盘、顶轮、油箱、缸座等部件组成。整个结构呈三铰点四连杆机构，具有三级增力效果。其突出优点是起、拨道两用，安全高效，不侵入限界。适用于  $40 \sim 60 \text{ kg/m}$  钢轨的线路养护维修，起、拨道作业。

### 复习思考题








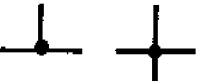


1. 何谓线路机械？它与一般工程机械的主要差异是什么？
2. 线路机械的类型有哪些？
3. 捣固机的功用是什么？有哪些类型？常用的是哪些？
4. YD-2 型液压捣固机由哪几大部分组成？试述其工作原理。
5. 什么是同步捣固法、异步捣固法、交叉插入和静压捣固法？
6. 试述捣固车的用途与组成。

7. 试述枕底清筛机的组成与工作原理。
8. RM-80型道碴清筛机各装置的功用是什么？
9. 何谓起道、拨道？激光准直起拨道机的组成和作用是什么？













## 附录 常用液压系统图形符号 (GB786—76)

### 一、管路及连接

名称	符号	名称	符号
工作管路		软管连接	
控制管路			
泄漏管路		管口在油箱油面之上	
管路连接点		管口在油箱油面之下	
连接管路		堵头	
交叉管路			

### 二、泵、马达及油缸

名称	符号	名称	符号
单向定量液压泵		单向定量液压马达	
双向定量液压泵		单作用柱塞式油缸	
单向变量液压泵		双作用单活杆式油缸	
双向变量液压泵		双作用伸缩式套筒油缸	
摆动马达		单作用伸缩式套筒油缸	



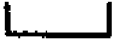



### 三、控制方式

名称	符号	名称	符号
手柄式人工控制		直控液压控制	
脚踏式人工控制		先导式液压控制	
转动式人工控制		单线圈式电磁控制	

### 四、控制阀

名称	符号	名称	符号
直控溢流阀		常闭式二位二通阀	
定压减压阀		单向元件	
		单向阀	
直控顺序阀		液(气)控单向阀	
固定式节流阀		开关	
可调节节流阀		液压锁	
二位三通阀		常通式二位二通阀	
		三位四通手动换向阀	
二位四通阀		三位四通电磁换向阀	

### 五、辅助元件

名 称	符 号	名 称	符 号
蓄能器		粗过滤器	
一般油箱		精过滤器	
充压油箱			
冷却器		指针式压力表	