

TUJIE YEYA QIDONG JISHU YU SHIXUN

图解 液压气动技术与实训

周曲珠 张立新 编著

双色版



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图解 液压气动技术与实训

TUJIE YEYA QIDONG JISHU YU SHIXUN

周曲珠 张立新 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

本书采用图解的形式由浅入深地介绍了液压与气动技术及其典型应用。全书共 11 章, 内容包括绪论、液压流体力学基本知识、液压基本回路、液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、辅助装置、典型液压系统、气压传动元件、气动回路及其应用以及液压与气动实训项目。本书旨在以最通俗、最直接有效的方式帮助广大读者理解和掌握液压与气动技术及其应用方面的知识。

本书可作为大中专院校机电一体化、自动化、机械制造专业师生的教材或参考用书, 还可作为工矿企业初、中级工程技术人员入门读物和工作参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

图解液压气动技术与实训 / 周曲珠, 张立新编著. —北京: 中国电力出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5123-6074-7

I. ①图… II. ①周…②张… III. ①液压传动-图解②气压传动-图解 IV. ①TH137-64②TH138-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 135913 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 [http: //www. cepp. sgcc. com. cn](http://www.cepp.sgcc.com.cn))

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 418 千字

印数 0001—3000 册 定价 39.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言



液压与气动技术是利用流体为工作介质进行能量转换的传动形式，在工业生产的各个领域都已经得到广泛的应用。机械及自动化技术人员在生产实践中会接触到各种各样的液压与气动系统原理图，这些原理图都比较抽象，本书从元件的工作原理、基本回路到典型系统的应用，都是以图为主，以图解的形式形象直观解读其工作原理，以帮助初学者和广大工程技术人员掌握液压与气动技术，提高大家识读液压、气动系统图的能力和技巧，本书突出了“新颖”和“实用”的特点。

本书第1章绪论部分介绍了液压与气压传动的特点、应用、组成、作用、图形符号及本书写作方法和特点，第2章介绍了流体力学方面的基础知识，第3章介绍了液压基本回路，由回路出发来认识液压元件的工作原理，第4章是液压动力元件，第5章是液压执行元件，第6章是液压控制元件部分，介绍了各种阀的工作原理，第7章是辅助装置，第8章介绍了典型的液压系统，第9章介绍了气压传动元件，第10章是关于气动回路及气动技术应用案例，第11章是液压与气动技术实训，用了九个项目内容来介绍液压与气动技术的实训，便于读者更易理解和掌握液压与气压传动原理。

本书的第1、2、6、8、11章由百得（苏州）精密制造有限公司的张立新编写，第3、4、5、7、9、10章由苏州经贸职业技术学院的周曲珠编写。

由于编者水平有限，书中难免有错误和不足之处，恳请广大读者批评指正，以便进一步地修改完善。

目 录



前言

第 1 章 绪论	1
1.1 液压系统的优缺点及应用	1
1.2 液压传动的工作原理及其组成	6
1.3 液压传动系统的图形符号	7
1.4 本书的写作方法和特点	8
1.5 如何识读液压系统图	10
1.6 液压图形符号的绘制规定与液压元件的图形符号	12
思考与练习	25
第 2 章 液压流体力学基础知识	26
2.1 流体静力学基础	26
2.2 流体动力学基础	30
2.3 液体在管道中的流动特性及压力损失	33
2.4 液体流经小孔及缝隙时的流量	36
2.5 液压冲击及空穴现象	41
2.6 液压油	42
思考与练习	45
第 3 章 液压基本回路	46
3.1 定值控制阀的基本回路	46
3.1.1 方向控制回路	46
3.1.2 速度控制回路	49
3.1.3 压力控制回路	61
3.1.4 多缸动作回路	65
3.2 插装元件的基本控制回路	72
3.2.1 逻辑方向控制回路	72
3.2.2 速度控制回路	75

3.2.3 压力控制回路	76
3.3 液压比例控制基本回路	78
3.3.1 比例压力控制回路	78
3.3.2 比例速度控制回路	79
思考与练习	81
第4章 液压动力元件	84
4.1 液压泵的概述	84
4.1.1 液压泵的工作原理和分类	84
4.1.2 常用液压泵种类和图形符号	85
4.1.3 液压泵的主要性能参数	85
4.1.4 液压泵的选用	88
4.1.5 液压泵的常见故障及排除	89
4.2 齿轮泵	90
4.2.1 外啮合齿轮泵	91
4.2.2 内啮合齿轮泵	92
4.2.3 螺杆泵	93
4.2.4 齿轮泵的常见故障及排除	94
4.3 叶片泵	95
4.3.1 单作用叶片泵	96
4.3.2 双作用叶片泵	97
4.3.3 叶片泵的常见故障及排除	99
4.4 柱塞泵	101
4.4.1 径向柱塞泵	101
4.4.2 轴向柱塞泵	102
4.4.3 柱塞泵的常见故障及排除	104
思考与练习	105
第5章 液压执行元件	107
5.1 液压缸	107
5.1.1 液压缸的类型和特点	107
5.1.2 单作用液压缸	108
5.1.3 双作用液压缸	109
5.1.4 组合液压缸	111
5.1.5 液压缸的常见故障及排除	114
5.2 液压马达	116
5.2.1 液压马达的特点、类型及工作原理	116
5.2.2 液压马达的性能参数	120

5.2.3 液压马达常见故障及排除方法	122
思考与练习	124
第6章 液压控制元件	125
6.1 液压控制阀的分类	125
6.2 方向控制阀	126
6.2.1 单向阀	126
6.2.2 单向阀的常见故障及排除方法	128
6.2.3 换向阀	132
6.2.4 换向阀的常见故障及排除方法	138
6.3 压力控制阀	138
6.3.1 溢流阀	138
6.3.2 减压阀	140
6.3.3 顺序阀	143
6.3.4 压力继电器	145
6.4 流量控制阀	147
6.4.1 节流阀	147
6.4.2 调速阀	149
6.5 插装阀	151
6.5.1 插装阀的工作原理	151
6.5.2 插装方向控制阀	151
6.5.3 插装压力控制阀	153
6.5.4 插装流量控制阀	154
6.6 电液伺服阀	155
6.7 比例阀	159
6.7.1 比例阀的工作原理	160
6.7.2 电液比例压力阀	160
6.7.3 电液比例流量阀	161
6.8 叠加阀	163
思考与练习	164
第7章 辅助装置	167
7.1 油箱	167
7.1.1 油箱的功能	167
7.1.2 油箱的结构特点	168
7.2 蓄能器	168
7.2.1 蓄能器的类型及典型结构	168
7.2.2 蓄能器的功用	169

7.2.3 蓄能器的使用和安装	170
7.3 滤油器	171
7.3.1 滤油器的主要性能指标——过滤精度	171
7.3.2 常见的滤油器及其特点	171
7.3.3 滤油器的选用和应用	173
7.4 密封装置	174
7.5 热交换器	176
7.6 管件及管接头	177
思考与练习	179
第8章 典型液压系统	180
8.1 铆接机液压系统	180
8.2 低空间落锤式自动打桩机液压系统	182
8.3 组合机床液压系统	185
8.4 X光隔室透视站位液压系统	189
8.5 QY-8型液压起重机液压系统	191
8.6 炼钢炉前操作机械手液压系统	196
8.7 YA32-200型四柱万能液压机液压系统	199
思考与练习	202
第9章 气压传动元件	203
9.1 空气压缩机	203
9.2 气动执行元件	207
9.2.1 气缸	207
9.2.2 气马达	212
9.3 气动控制元件	214
9.3.1 压力控制阀	214
9.3.2 方向控制阀	217
9.3.3 流量控制阀	222
9.4 气动逻辑元件	224
9.5 真空元件	226
9.5.1 真空元件介绍	227
9.5.2 真空元件回路	228
思考与练习	230
第10章 气动回路及其应用	231
10.1 气动常用回路	231
10.1.1 气液联动回路	231



第 1 章 绪 论

本章导读

- 理解液压千斤顶的工作原理，从而掌握液压传动的工作原理。
- 理解并掌握液压气动系统的四个主要组成部分：能源装置、执行装置、控制调节装置、辅助装置；掌握各部分的作用及对应的元件。
- 了解并熟悉液压气动系统的优缺点及应用。
- 了解本书的写作方法和特点，掌握如何识读液压系统图。
- 了解液压图形符号的绘制规定与液压元件的图形符号。

1.1 液压系统的优缺点及应用

液压技术至今已经有 200 多年的发展历史，但直到 20 世纪 30 年代才较普遍地应用于起重机、机床及工程机械。液压技术广泛应用于各种民用工业，它在现代农业、制造业、能源工程、化学与生化工程、交通运输与物流工程、采矿与冶金工程、油气探采与加工、建筑与公共工程、水利与环保工程、航天与海洋工程等领域获得了广泛的应用。

1. 液压传动的优点

液压传动之所以能得到广泛的应用，是因为它具有以下的主要优点：

(1) 由于液压传动是油管连接，所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构，这是比机械传动优越的地方。例如，在井下抽取石油的泵可采用液压传动来驱动，以克服长驱动轴效率低的缺点。由于液压缸的推力很大，又加之极易布置，在挖掘机等重型工程机械上，已基本取代了老式的机械传动，不仅操作方便，而且外形美观大方。

(2) 液压传动装置的质量轻、结构紧凑、惯性小。例如，相同功率液压马达的体积为电动机的 12% ~ 13%。液压泵和液压马达单位功率的质量指标，目前是发电机和电动机的 1/10，液压泵和液压马达可小至 0.002 5N/W，发电机和电动机则约为 0.03N/W。

(3) 可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达，可以实现无级调速，调速范围可达 1 : 2000，并可在液压装置运行的过程中进行调速。



(4) 传递运动均匀平稳, 负载变化时速度较稳定。正因为此特点, 金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。

(5) 液压装置易于实现过载保护——借助于设置溢流阀等, 同时液压件能自行润滑, 因此使用寿命长。

(6) 液压传动容易实现自动化——借助于各种控制阀, 特别是采用液压控制和电气控制结合使用时, 能很容易地实现复杂的自动工作循环, 而且可以实现遥控。

(7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化, 便于设计、制造和推广使用。

2. 液压传动的缺点

(1) 液压传动是以液压油为工作介质, 在相对运动表面间不可避免地存在漏油等因素, 同时油液又不是绝对不可压缩的, 因此使得液压传动不能保证严格的传动比, 因而液压传动不宜应用在传动比要求严格的场合, 例如螺纹和齿轮加工机床的传动系统。

(2) 液压传动对油温的变化比较敏感, 温度变化时, 液体黏性变化, 引起运动特性的变化, 使得工作的稳定性受到影响, 所以它不宜在温度变化很大的环境条件下工作。

(3) 为了减少泄漏, 以及为了满足某些性能上的要求, 液压元件的配合件制造精度要求较高, 加工工艺较复杂。

(4) 液压传动要求有单独的能源, 不像电源那样使用方便。

(5) 液压系统发生故障不易检查和排除。

(6) 由于采用油管传输压力油, 距离越长, 沿程压力损失越大, 故不宜远距离输送动力。

总之, 液压传动的优点是主要的, 随着设计制造和使用水平的不断提高, 有些缺点正在逐步加以克服。液压传动有着广泛的发展前景。

3. 液压系统的组成及作用

一个完整的、能够正常工作的液压系统, 应该由能源装置、执行装置、控制调节装置和辅助装置四部分来组成, 如图 1-1 所示。

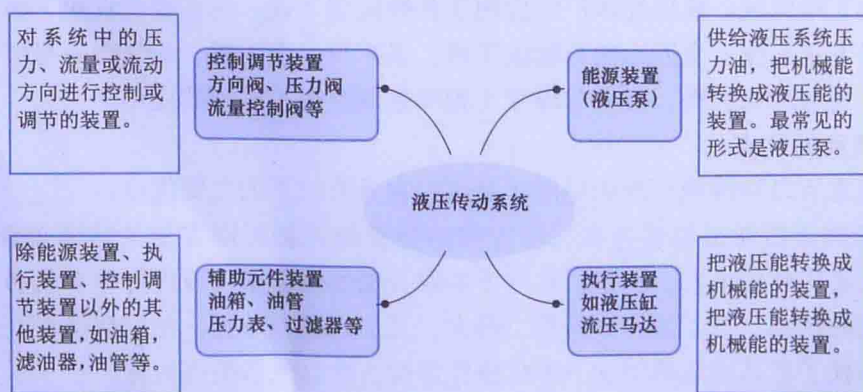


图 1-1 液压传动系统组成及作用

图 1-2 所示是以液压为动力驱动工作台运动的系统。工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力, 液压缸必须产生一个足够大的



推力，这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大，缸中的油液压力就越高；反之，压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力决定于负载。

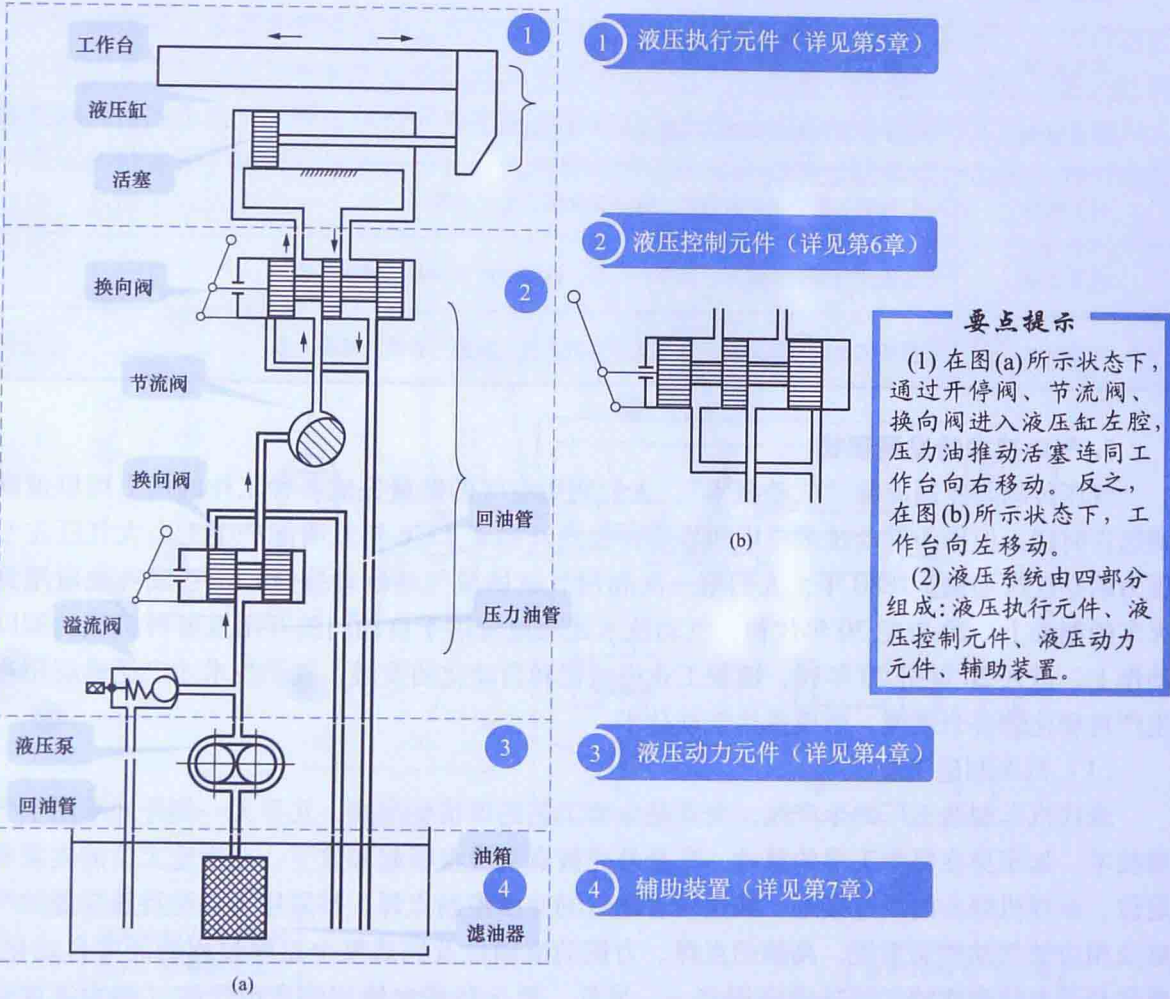


图 1-2 半结构式磨床工作台液压系统的工作原理图

4. 液压传动在机械中的应用

液压传动在其他机械工业部门的应用情况如表 1-1 所示。

表 1-1 液压传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用场所举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
起重运输机械	汽车吊、港口龙门吊、叉车、装卸机械、带式运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等

续表

行业名称	应用场所举例
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	电炉炉顶及电极升降机、轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

5. 气动技术的发展现状

气压传动与控制简称“气动技术”。人们利用空气的能量完成各种工作的历史可以追溯到远古时代，但作为气动技术应用的雏形，大约开始于 1776 年发明能产生 1 个大气压左右压力的空气压缩机。1880 年，人们第一次利用气缸做成气动制动装置，将它成功地应用到火车的制动上。20 世纪 30 年代初，气动技术成功地应用于自动门的开闭及各种机械的辅助动作上。进入 20 世纪 70 年代，随着工业机械化和自动化的发展，气动技术才广泛地应用在生产自动化的各个领域，形成现代气动技术。

(1) 汽车制造业。

现代汽车制造工厂的生产线，尤其是主要工艺的焊接生产线，几乎无一例外地采用了气动技术。如车身在每个工序的移动、车身外壳被真空吸盘吸起和放下、在指定工位的夹紧和定位、点焊机焊头的快速接近、减速软着陆后的变压控制点焊，都采用了各种特殊功能的气缸及相应的气动控制系统。高频的点焊、力控的准确性及完成整个工序过程的高度自动化，堪称是最有代表性的气动技术应用之一。另外，搬运装置中使用的高速气缸（最大速度达 3m/s）、复合控制阀的比例控制技术都代表了当今气动技术的新发展。

(2) 电子、半导体制造行业。

在彩电、冰箱等家用电器产品的装配生产线上，在半导体芯片、印制电路等各种电子产品的装配流水线上，可以看到各种大小不一、形状不同的气缸、气爪，以及许多灵巧的真空吸盘将物品轻轻吸住，运送到指定位置上。对加速度限制十分严格的芯片搬运系统，采用了平稳加速的 SIN 气缸。

(3) 生产自动化的实现。

气动技术主要用于比较繁重的作业领域作为辅助传动。在缝纫机、手表、自行车、洗衣机、自动和半自动机床等许多行业的零件加工和组装生产线上，工件的搬运、转位、定位、夹紧、进给、装卸、装配、清洗、检测等许多工序中都使用气动技术。

近年来，气动行业发展很快。20 世纪 70 年代，液压与气动元件的产值比约为 9 : 1，30 多年后的今天，在工业技术发达的欧美、日本等国家，该比例已达 5 : 4，甚至接近 5 : 5。

由于气动元件的单价比液压元件便宜，在相同产值的情况下，气动元件的使用量及使用范围已远远超过了液压行业。气动行业的知名企业有日本的 SMC、德国的 FESTO、英国的 NORGREN 和美国的 PARKER 等。

6. 气压传动系统的组成

气压传动，是以压缩空气为工作介质进行能量传递和信号传递的一门技术。气压传动的工作原理是利用空气压缩机把电动机或其他原动机输出的机械能转换为空气的压力能，然后在控制元件的作用下，通过执行元件把压力能转换为直线运动或回转运动形式的机械能，从而完成各种动作，并对外做功。因此，气压传动系统和液压传动系统类似，也是由四部分组成的，如图 1-3 所示。

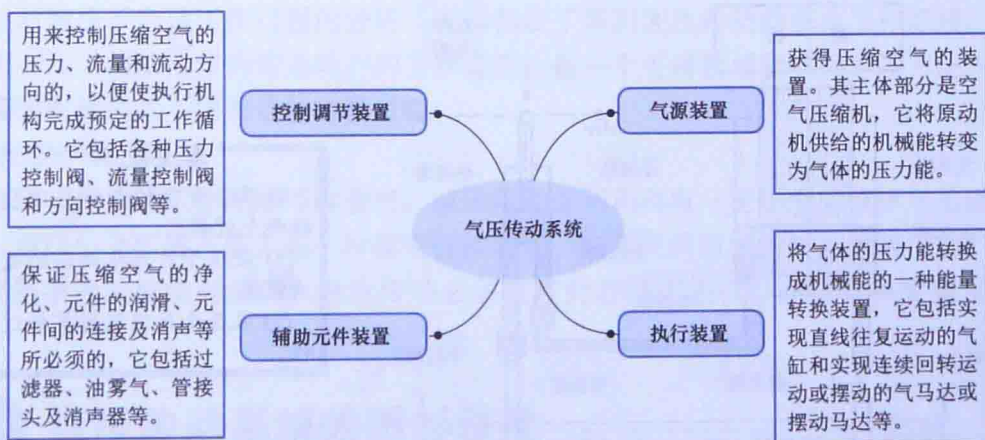
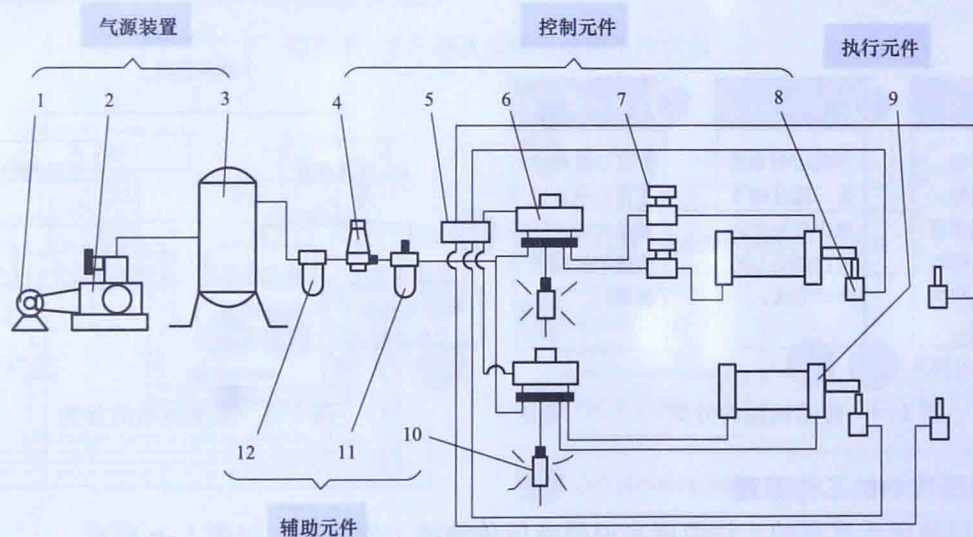


图 1-3 气压传动系统的组成

1—电动机；2—空气压缩机；3—储气罐；4—压力控制阀；5—逻辑元件；6—方向控制阀；
7—流量控制阀；8—行程阀；9—气缸；10—消声器；11—油雾器；12—空气过滤器



1.2 液压传动的工作原理及其组成

1. 概述

一般,一部完整的机器主要由三部分组成,即原动机、传动机构和工作机。原动机包括电动机、内燃机等。工作机是完成该机器工作任务的直接部分,如车床的刀架、车刀、卡盘等。为适应工作机工作力和工作速度变化反应较宽的要求以及其他操作性能(如停止、换向等)的要求,在原动机和工作机之间设置了传动装置(或称传动机构)。

传动机构通常分为机械传动、电气传动和流体传动,如图1-4所示。其中流体传动的分类如图1-5所示。

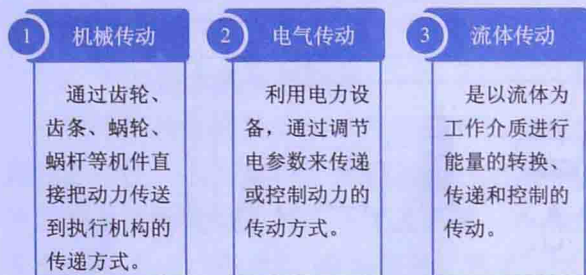


图 1-4 传动机构的分类

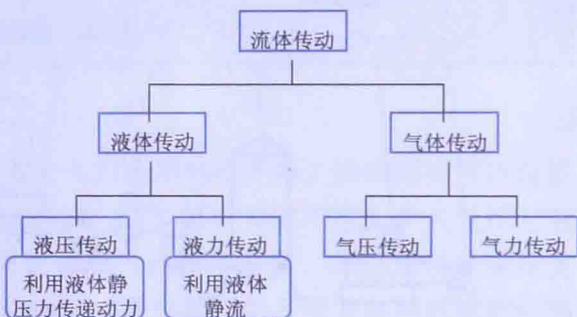


图 1-5 流体传动的分类

2. 液压传动的工作原理

本节以液压千斤顶的工作原理来说明液压传动的工作原理,如图1-6所示。

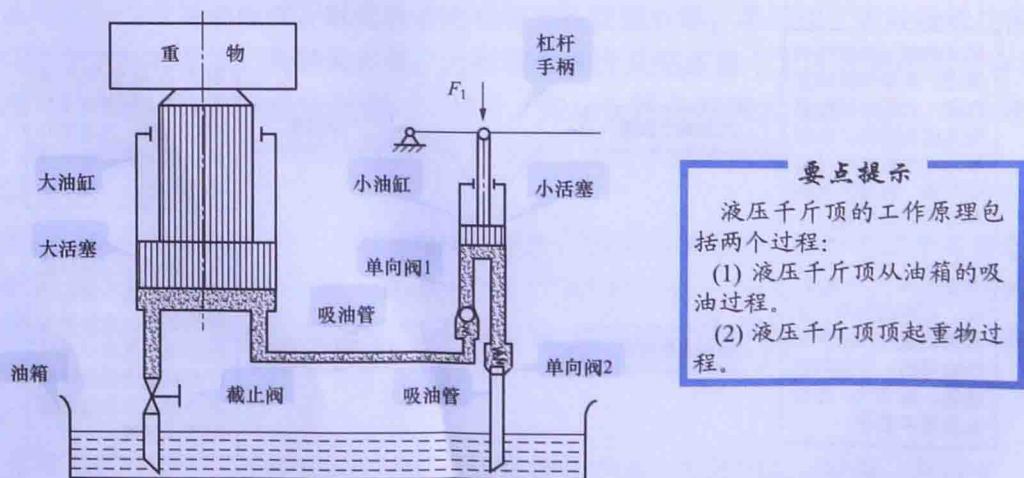


图 1-6 液压千斤顶的工作原理

其动作过程可以采用对应的工作状态展开图表示,如图1-7和图1-8所示。

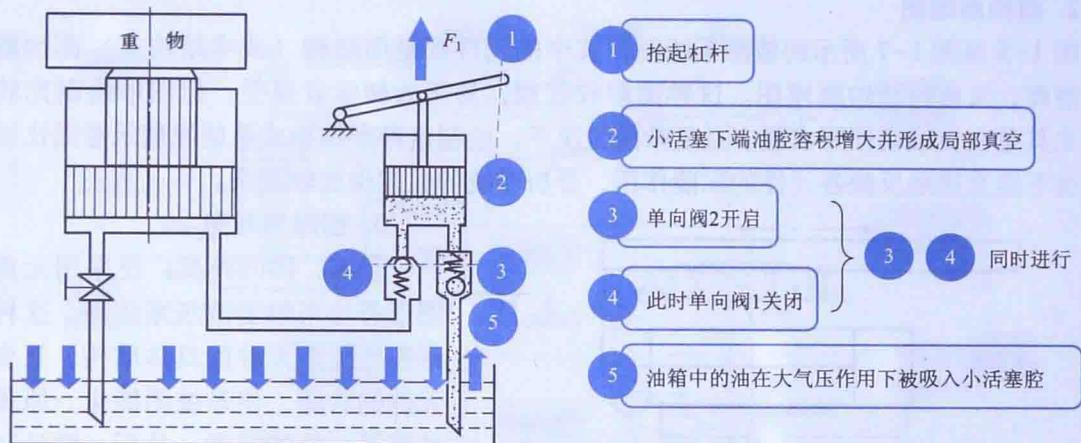


图 1-7 千斤顶从油箱吸油的工作状态

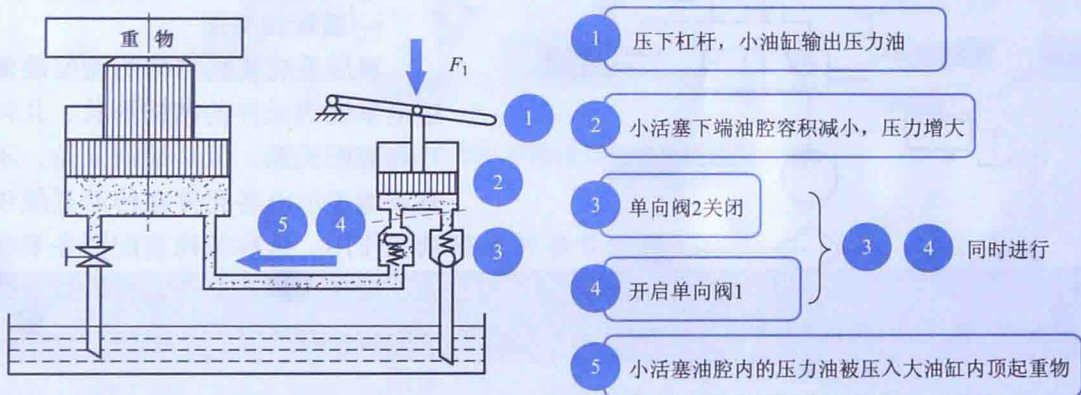


图 1-8 压力油从小油缸压入大油缸中, 顶起重物的工作状态

通过对液压千斤顶工作过程的分析, 可以初步了解到液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质, 是一个先将机械能转换为压力能, 又将压力能转换为机械能的不同能量的转换过程。

3. 液压传动的特点

从液压千斤顶的工作原理可以看出, 液压传动是利用具有一定压力的液体来传递运动和动力的; 液压传动装置本质上是一种能量转换装置, 它首先将机械能转换为液压能, 然后将液压能转换为机械能而做功; 液压传动必须在密封容器内进行, 并且容积要能发生交替变化。

1.3 液压传动系统的图形符号

1. 液压系统图的定义和类型

在液压传动和控制技术中, 一般用标准图形符号或半结构式将各个液压元件及它们之间的连接与控制方式画在图纸上, 这就是液压系统图。液压系统及其组成元件可采用装配结构图、结构原理图和图形符号等表达方法。

2. 结构原理图

图 1-5 至图 1-7 所示的液压系统图, 其中的元件都是用结构 (或半结构式) 图形画出的示意图, 又称为结构原理图。这种图形较直观, 易于为初学者接受, 但图形绘制比较复杂, 尤其是在负载动作要求较多且复杂的情况下, 绘制这种半结构式系统原理示意图比较困难, 也不能直接地反映各元件的职能作用, 分析系统的性能也比较复杂。

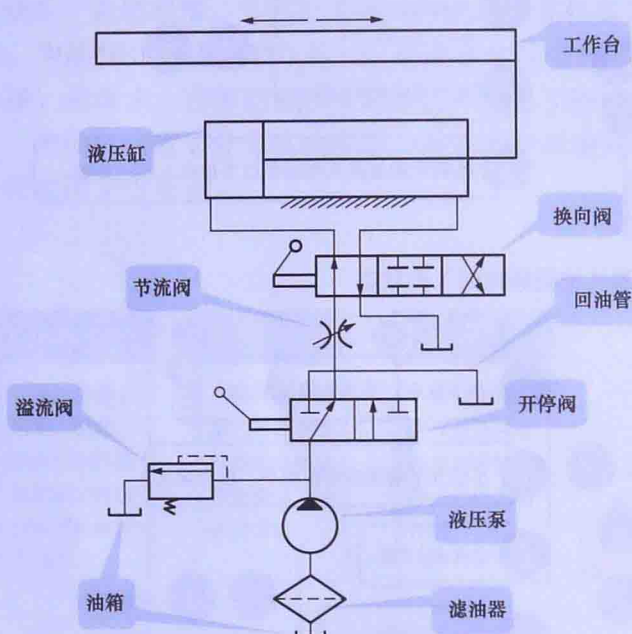


图 1-9 机床工作台液压系统的工作原理图 (图形符号)

3. 图形符号图

目前, 国内外都广泛采用元件的图形符号来绘制液压系统图, 这种图形符号脱离元件的具体结构, 只表示元件的功能, 使系统图简化, 原理简单明了, 便于阅读、分析、设计和绘制。图 1-9 即为用图形符号绘制的图 1-2 所示的液压系统原理图。

4. 装配结构图

液压系统装配结构图能准确地表达出系统和元件的结构形状、几何尺寸和装配关系, 但是绘制复杂, 不能直观地表示出各元件在传动系统中的功能作用。这种结构装配图主要用于施工设计、制造、安装和拆卸及维修等场合, 而在分析系统时一般不需要采用。

1.4 本书的写作方法和特点

为了帮助读者更好地读懂本书和有效地使用本书, 本书在描述上特作如下约定。

(1) 为了更好地贯彻行业技术规范 and 便于技术资料的交流、传播, 本书所采用的液压图形符号均采用国家统一规定的符号。

(2) 液压传动油路三种状态的表示方法。为了读图清晰直观, 所有元器件的常态按国家标准画出且背景色为白色, 对于高压管路、中压管路、低压回油路分别用黑色实线来表示, 控制油路用虚线表示, 流动液体用红色箭头 (进油路用红色实线箭头, 回油路用红色虚线箭头) 加以区分, 如图 1-10 所示。

(3) 采用在液压控制回路图上添加注释的描述方法。为了简化文字描述, 在液压控制原理图中各元器件的旁边注明了其名称, 从而使图文对照更加方便直观, 如图 1-9 所示。

(4) 对于典型的液压系统, 根据其工作过程采用油路进出顺序文字描述和工作状态展开图画法的描述方法, 来形象地描述油路的各种工作状态 (每幅油路图对应一种特定的工作状态), 动作过程较多的系统采用电磁铁动作顺序表。如图 1-10 所示的 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统的电磁铁动作顺序见表 1-2, 其主缸快速下行的工作状态如图 1-11 所示。

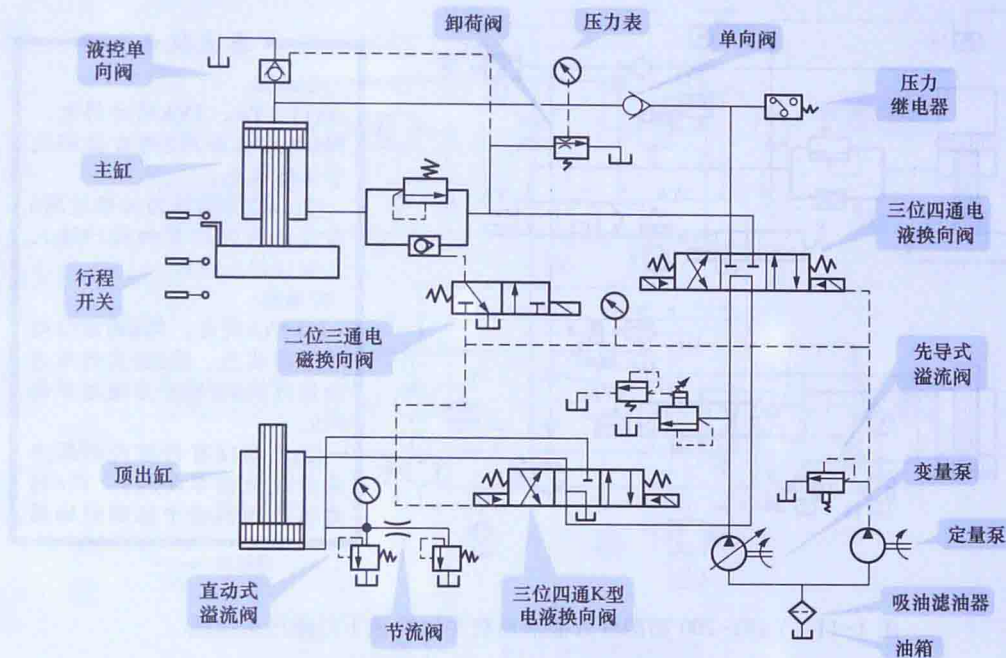


图 1-10 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统

表 1-2

电磁铁的动作顺序

元件		1YA	2YA	3YA	4YA	5YA
动作						
主 缸	快速下行	+	-	-	-	+
	慢速加压	+	-	-	-	-
	保 压	-	-	-	-	-
	泄压回程	-	+	-	-	-
	停 止	-	-	-	-	-
顶出缸	顶 出	-	-	+	-	-
	退 回	-	-	-	+	-
	压 边	+	-	±	-	-

注 “+”表示电磁铁得电，“-”表示电磁铁失电。

主缸的快速下行过程：按下启动按钮，电磁铁 1YA、5YA 得电，阀 7 切换到右位，并经过阀 8 右位开启液控单向阀 9。

进油路：泵 1→阀 6 右位→单向阀 13→主缸 16 上腔。

回油路：主缸 16 下腔→液控单向阀 9→阀 6 右位→阀 21 中位→油箱。

此时，主缸 16 在自重作用下快速下降，置于液压缸顶部的充液箱 15 内的油液经液控单向阀 14 进入主缸上腔补油。