

设备控制基础

SHEBEI KONGZHI JICHU

主 编 朱成华

副主编 罗垂敏 郑向华 柏淑红

主 审 邱士安



电子科技大学出版社

ISBN 7-312-01000-1 00001 1000 101 10101 101010100 0 101 0111 101 0000

01101010 00001 1000 101 101001

设备控制基础

主 编 朱成华

副主编 罗垂敏 郑向华 柏淑红

主 审 邱士安

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

设备控制基础 / 朱成华主编. —成都: 电子科技

大学出版社, 2013.1

ISBN 978-7-5647-1417-8

I. ①设… II. ①朱… III. ①机械设备—控制系统

IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 001850 号

设备控制基础

主 编 朱成华

副主编 罗垂敏 郑向华 柏淑红

主 审 邱士安

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 张 鹏

责任编辑: 张 鹏

主 页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 河北永清县晔盛亚胶印有限公司

成品尺寸: 170mm×240mm 印张 14.75 字数 287 千字

版 次: 2013 年 3 月第一版

印 次: 2013 年 3 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-1417-8

定 价: 45.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

目 录

第1章 设备控制概论	1
【学习目标】	1
1.1 液压传动概论	1
1.1.1 液压传动的工作原理	1
1.1.2 液压传动系统的组成	2
1.1.3 液压传动的优缺点及发展应用	4
1.1.4 液压传动系统的安装、调试、使用与维护	6
1.2 气压传动概论	11
1.2.1 气压传动的工作原理	11
1.2.2 气压传动系统的组成	12
1.2.3 气压传动的优缺点及发展应用	13
1.2.4 气动系统的安装、调试、使用与维护	15
1.3 电气控制技术概论	17
1.3.1 电气控制原理及发展概况	17
1.3.2 安全用电常识	19
【本章小结】	20
【习题】	21
第2章 液压传动基础	22
【学习目标】	22
2.1 液 压 油	22
2.1.1 液压油的主要物理性质	22
2.1.2 对液压油的要求	24
2.1.3 液压油的选用	25
2.2 液体的基本力学性质	27
2.2.1 静止液体的力学性质	27
2.2.2 流体动力学	29
【本章小结】	42

【习题】	42
第3章 液压泵与液压马达	44
【学习目标】	44
3.1 液压泵与液压马达的概述	44
3.1.1 液压泵与液压马达的工作原理	44
3.1.2 液压泵的性能参数	45
3.1.3 液压泵的分类及图形符号	47
3.2 液 压 泵	48
3.2.1 齿轮泵	48
3.2.2 叶片泵	50
3.2.3 柱塞泵	52
3.2.4 液压泵的选用及常见故障分析	56
3.3 液 压 马 达	59
3.3.1 液压马达的特点及分类	59
3.3.2 液压马达的工作原理	61
3.3.3 液压马达的选用及常见故障分析	63
【本章小结】	66
【习题】	66
第4章 液压控制阀	67
【学习目标】	67
4.1 概 述	67
4.2 压力控制阀	68
4.2.1 溢流阀	69
4.2.2 减压阀	71
4.2.3 压力继电器	74
4.3 方向控制阀	75
4.3.1 单向阀	76
4.3.2 换向阀	77
4.4 顺 序 阀	85
4.4.1 直动型顺序阀	85

4.4.2 先导式顺序阀	87
4.5 流量控制阀	88
4.5.1 节流阀	88
4.5.2 调速阀	90
【本章小结】	92
【习题】	92
第 5 章 液压缸与液压辅助装置	94
【学习目标】	94
5.1 液 压 缸	94
5.1.1 液压缸的类型和特点	94
5.1.2 活塞式液压缸	95
5.1.3 柱塞式液压缸	98
5.1.4 摆动式液压缸	99
5.1.5 液压缸的典型结构和组成	99
5.1.6 液压缸常见故障及排除方法	101
5.2 液压辅助装置	102
5.2.1 油箱	102
5.2.2 蓄能器	103
5.2.3 滤油器	104
5.2.4 密封装置	105
5.2.5 其他辅助装置	107
【本章小结】	108
【习题】	109
第 6 章 液压系统的基本回路	110
【学习目标】	110
6.1 压力控制回路	110
6.1.1 调压回路	111
6.1.2 减压回路	113
6.1.3 增压回路	116

6.1.4	卸荷回路	117
6.1.5	平衡回路	119
6.1.6	缓冲回路	120
6.1.7	制动回路	121
6.2	速度控制回路	122
6.2.1	调速原理	122
6.2.2	调速回路	123
6.2.3	快速运动回路	127
6.3	方向控制回路	128
6.3.1	换向回路	128
6.3.2	锁紧回路	131
6.4	顺序控制回路	132
【本章小结】		134
【习题】		135
第7章 典型液压传动系统应用		137
【学习目标】		137
7.1	典型液压系统的应用	137
7.1.1	单臂仿形刨床液压系统.....	137
7.1.2	低空间落锤式打桩机液压系统.....	141
7.1.3	叉车液压系统	146
7.2	液压系统常见故障及其排除方法.....	149
7.2.1	液压元件的漏油	150
7.2.2	管路连接的漏油	153
7.2.3	液压系统常见故障及其排除方法总结表.....	155
【本章小结】		157
【习题】		158
第8章 气动辅助装置与执行元件.....		160
【学习目标】		160
8.1	气源装置及辅助元件	160

8.1.1	空气压缩机	160
8.1.2	气源净化装置及辅助装置	164
8.2	传输压缩空气的管道系统	177
8.2.1	终端管道	177
8.2.2	第二级管道	178
8.2.3	环状管道	178
8.3	气动执行元件	179
8.3.1	气缸的分类	179
8.3.2	常见气缸的工作原理及用途	182
8.3.3	气缸的常见故障及排除方法	186
8.3.4	气动马达	187
【本章小结】		188
【习题】		188
第9章	气动控制元件	190
【学习目标】		190
9.1	压力控制阀	190
9.1.1	减压阀（调压阀）	191
9.1.2	溢流阀（安全阀）	195
9.1.3	压力顺序阀	197
9.2	流量控制阀	198
9.2.1	节流阀	198
9.2.2	排气阀	199
9.2.3	流量控制阀的使用	200
9.3	方向控制阀	201
9.3.1	单向型方向控制阀	202
9.3.2	换向型方向控制阀	203
9.3.3	方向控制阀的选用	207
9.3.4	方向阀常见故障及其排除方法	208
【本章小结】		209
【习题】		209

第 10 章 气压传动基本回路及 应用实例	211
【学习目标】	211
10.1 压力控制基本回路	211
10.1.1 一次压力控制回路.....	211
10.1.2 二次压力控制回路.....	212
10.2 速度控制回路	212
10.2.1 单作用气缸速度控制回路.....	213
10.2.2 双作用气缸速度控制回路.....	213
10.2.3 快速往复动作回路.....	214
10.3 方向控制回路	214
10.3.1 单作用气缸换向回路.....	214
10.3.2 双作用气缸换向回路.....	215
10.4 气液联动回路	215
10.4.1 气液阻尼缸速度控制回路.....	215
10.4.2 气液增压缸增力回路.....	217
10.4.3 气液缸同步回路.....	217
10.5 液压传动应用实例	218
10.5.1 拉门自动开闭系统.....	218
10.5.2 液位的气动控制系统.....	219
10.5.3 气液动力滑台	220
10.5.4 气动机械手	222
【本章小结】	224
【习题】	225

第 1 章 设备控制概论

【学习目标】

1. 熟悉液压传动与气压传动各自的工作原理及组成、优缺点及其应用，掌握其安装、调试维护方法。
2. 熟悉电气控制的基本原理及发展概况，掌握安全用电常识。

20 世纪 60 年代以来，生产的自动化、省力化得到迅速发展。自动化、省力化的主要方式有：机械方式、电气方式、电子方式、液压方式和气动方式等。这些方式都有各自的优缺点及其最适合的使用范围。任何一种方式都不是万能的，在实现生产设备、生产线的自动化、省力化时，必须对各种技术进行比较，扬长避短，选出最适合的方式或几种方式的恰当组合，以使设备做到更可靠、更经济、更安全、更简单。为此，必须掌握液压传动系统、气压传动系统、电气控制系统的原理、组成等相关理论知识。

1.1 液压传动概论

1.1.1 液压传动的工作原理

用液体作为工作介质，在密封的回路里，以液体的压力能进行能量传递的传动方式，称之为液压传动。液压传动的工作原理，可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

如图 1-1 所示是液压千斤顶的工作原理：大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5，经油管 6 从油箱 12 中吸油，进入小油缸 2；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，

单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 10 输入举升油缸 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会下落。不断地往复扳动手柄，就能不断地把油液压入举升缸下腔 9，使重物逐渐升起。如果打开截止阀 11，举升缸下腔的油液通过截止阀 11、管道 5 流回油箱，重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

通过对上面的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如下：利用有压力的油液作为传递动力的工作介质，压下杠杆 1 时，小油缸 2 吸入压力油，将机械能转换成油液的压力能，压力油经过管道 6 及单向阀 7，推动大活塞 8 举起重物，它是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油容积的多少。由此可见，液压传动是一个不同能量的转换过程。

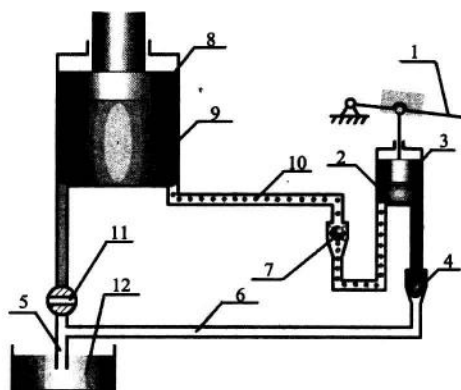


图 1-1 液压千斤顶工作原理

1-杠杆手柄；2-小油缸；3-小活塞；4、7-单向阀；5-吸油管

6、10-管道；8-大活塞；9-大油缸；11-截止阀；12-油箱

1.1.2 液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置。下面分析一种驱动机床工作台的液压传动系统。如图 1-2 所示，它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头组成。

其工作原理如下：液压泵由电动机驱动后，从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵，油液由泵腔的低压侧吸入，从泵的高压侧输出，在如图 1-2（a）所示状态下，通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔，压力油推动活塞连同工作台向右移动。这时，液压缸右腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

如果将换向阀手柄转换成如图 1-2（b）所示状态，那么压力管中的油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔，压力油推动活塞连同工作台向左移动，并使液压缸左腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀 7 来调节的。当节流阀开大时，进入液压缸的油量增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，进入液压缸的油量减小，工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时受到的各种阻力，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即压力决定于负载。从机床工作台液压系统的工作过程可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统，应该由以下五个主要部分来组成：

1. 能源装置

它是供给液压系统压力油，把机械能转换成液压能的装置。最常见的形式是液压泵。

2. 执行装置

它是把液压能转换成机械能的装置。其形式有作直线运动的液压缸和作回转运动的液压马达，他们又称为液压系统的执行元件。

3. 控制调节装置

它是对系统中的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。

4. 辅助装置

上述三部分之外的其他装置，例如油箱、滤油器、油管等。它们对保证系统正常工作是必不可少的。

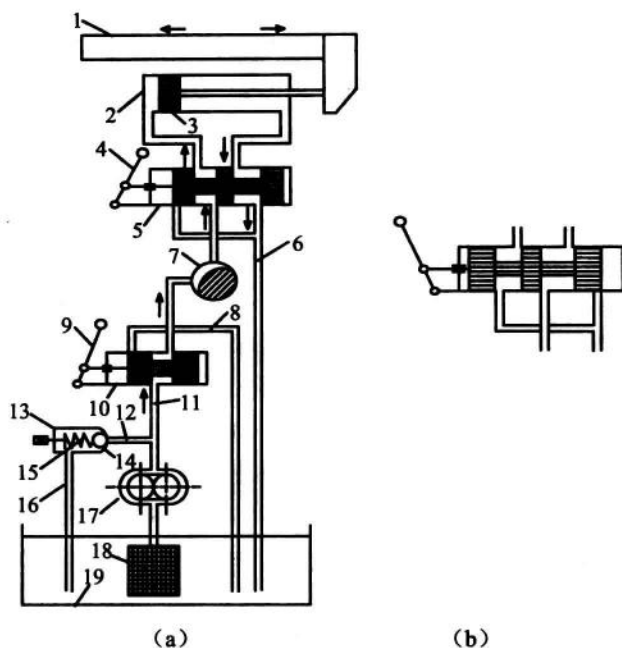


图 1-2 机床工作台的液压传动系统工作原理图

1-工作台；2-液压缸；3-活塞；4-换向手柄；5-换向阀；6，8，16-回油管；7-节流阀；9-开停手柄
10-开停阀；11-压力管；12-压力支管；13-溢流阀；14-钢球；15-弹簧；17-液压泵；18-滤油器；19-油箱

5. 工作介质

传动能量的流体，即液压油等。

1.1.3 液压传动的优缺点及发展应用

1. 液压传动的主要优点

(1) 液压传动借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构，这比机械传动优越。

(2) 液压传动装置的重量轻、结构紧凑、惯性小。

(3) 液压传动装置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 1：2 000，并可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 液压装置传递运动均匀平稳, 且当负载变化时速度较稳定。因此金属切削机床中的磨床传动现在几乎均采用液压传动。

(5) 液压装置借助于设置溢流阀等易于实现过载保护, 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, 在相对运动表面间很难避免漏油等因素, 同时油液又是可以压缩的, 因此使得液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 液压传动对油温的变化比较敏感, 温度变化时, 液体黏度发生变化, 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) 液压系统发生故障不易检查和排除。

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

3. 液压传动的发展及应用

液压技术自 18 世纪末英国制成世界上第一台水压机算起, 已有 300 年的历史了, 其真正的发展只是在第二次世界大战后 50 余年的时间内, 战后液压技术迅速转向民用工业, 在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业中逐步推广。20 世纪 60 年代以来, 随着原子能、空间技术、计算机技术的发展, 液压技术得到了很大的发展, 并渗透到各个工业领域中, 液压传动发展为一门完整的自动化技术。当前液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时, 新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计 (CAD/CAM)、计算机辅助测试 (CAT)、计算机直接控制 (CDC)、计算机实时控制技术、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术、可靠性技术, 以及污染控制技术等方

发展和研究的方向。现在国外 95%的工程机械、90%的数控加工中心、95%以上的自动线采用液压传动。采用液压传动的程度成为衡量一个国家工业水平的重要标志。

由于液压传动具有很多的优点，因而在各行业中得到了广泛的应用。如表 1-1 所示是液压传动在一些机械工业部门的应用情况。

1.1.4 液压传动系统的安装、调试、使用与维护

一个设计良好的液压系统与复杂程度大致相同的机械式、电气式的机构相比，故障发生率是较少的；如果安装、调试、使用和维护不当，也会出现各种故障，以致严重影响生产。因此，安装、调试、使用和维护的优劣，直接影响设备的使用寿命和工作性能。所以，液压系统的安装、调试、使用和维护在液压技术中占有非常重要的地位。

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
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、皮带运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
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、模拟驾驶仓、机器人等

1. 液压系统的安装

液压传动系统的安装包括液压管路、液压元件及辅助元件的安装等内容，一般的安装步骤分为：

① 预安装（试装配）弯管、组对油管 and 元件、点焊接头、整个管路定位；

- ② 第一次清洗（分解清洗）酸洗管路、清洗油箱和各类元件；
- ③ 第一次安装连接成清洗回路及系统；
- ④ 第二次清洗（系统冲洗）用清洗油清洗管路；
- ⑤ 第二次安装组成正式系统；
- ⑥ 调整试车灌入实际工作用油，进行正式试车。

（1）液压管路的安装

液压管路是连接液压泵、各种液压阀和执行元件的通道，液压系统的安装就是用管路把液压元件连接起来组成回路。

安装吸油管时，吸油管路要尽量短、弯曲少，管径不能过细。各种液压泵对吸程高度要求有所不同，一般不超过 500mm。吸油管连接处不得漏气，以免液压泵在工作时吸进空气，产生噪音，以致无法吸油。除了个别泵外（产品说明书样本中有说明），一般在吸油管路上应安装粗滤油器，滤油器的通油能力至少是液压泵的额定流量的两倍，同时要考虑清洗时拆装方便。

安装回油管时，执行元件的主要回油路及溢流阀的回油管应伸到油箱液面以下，以防止油液飞溅而混入气泡。溢流阀的回油管不允许与液压泵的进油口直接相通，可单独接回油箱，也可与主回油管冷却器相通，避免油温上升过快。具有外部泄露的减压阀、顺序阀、电磁阀等的泄油口与回油管连通时，不允许有背压，否则，应单独接回油箱，以免影响阀的正常工作。安装管路过长时，每 500mm 应固定一个夹持油管的管夹。

安装压油管时，压油管的安装位置应尽量地靠近设备，同时又要便于支管的连接和检修。为了防止压力油管振动，应将管路安装在牢固的地方，在振动时，要加阻尼来消振。平行或交叉的管路之间应有 10mm 以上的空隙，以防止干扰和振动。

安装橡胶管时，要避免急转弯，其弯曲半径 R 应大于 9~10 倍外径，至少应在离接头 6 倍直径处弯曲。软管的弯曲同软管接头的安装应在同一运动平面上，以防扭转。软管在安装和工作时，不应有扭转现象，不应与其他管路接触，以免磨损破裂；在连接处应自由悬挂，以免受其自重而产生弯曲。软管应有一定余量，但过长或承受急剧振动的情况下应用夹子夹牢。

由于软管在高温下工作时寿命短，所以尽可能地使软管安装在远离热源的地方，不得已时要装隔热板。

(2) 液压元件的安装

安装液压阀类元件时,在安装前,对于拆封的液压元件,如果是手续完备的合格产品,又不是长期露天存在而内部已经锈蚀的产品,不需要做实验,也不需要重新清洗拆装。试车出了故障,在判断准确时才对元件重新拆装,尤其对外国产品更不允许随意拆装,以免影响产品精度。在安装时,注意各阀类元件进油口的方位,安装的位置无规定时,应安装在便于使用、维修的位置上,一般方向阀应保持轴线水平安装。有些阀件为了制造、安装方便,往往开有相同作用的两个孔,安装后不用的一个要堵死。需要调整的阀类,通常按顺时针方向旋转,增加流量和压力;反时针方向旋转,减少流量或压力。在安装时,若有些阀件及连接件购置不到时,允许用通过流量超过其额定流量为40%的液压阀代用。

安装液压缸时,液压缸的安装应牢固可靠,配管连接不得有松弛现象,缸的安装面与活塞的滑动面应保持足够平行度和垂直度。对于脚座固定式的移动缸的中心轴线,应与负载作用力的中线同心,以免引起侧向力,侧向力容易使密封件磨损及活塞损坏。对于移动物体的液压缸安装时,使缸与移动物体在导轨面上的运动方向保持平行,其不平行度一般不大于0.05mm/m。安装液压缸体的密封压盖螺钉,其拧紧程度以保证活塞在全行程上移动灵活,螺钉拧得过紧,会增加阻力,加速磨损;螺钉拧得过松,会引起漏油。

安装液压泵时,液压泵一般不允许承受径向负载,因此,常用电动机直接通过弹性联轴器来传动。安装时要求电动机与液压泵的轴线应有较高的同心度,其偏差应在0.1mm以下,倾斜角不得大于1°,以免增加泵轴的额外负载并引起噪音,液压泵吸油口的安装高度通常距离液面不大于0.5mm,有些泵规定吸油口必须低于液面,个别无自吸能力的泵则需要另设辅助泵供油。安装液压泵时还应注意:液压泵的进口、出口和旋转方向应符合泵上标明的要求,不得反接。安装联轴器时,不要用力敲打泵轴,以免损伤泵的转子。

2. 液压系统的调试

(1) 空载试车

在正式试车前,加入实际运转时所用的工作油液,间隙启动液压泵,使整个系统得到充分的润滑,使液压泵在卸荷状况下运转。

其次,使系统在无负载状况下运转,先使液压缸活塞顶在缸盖上,或