



中等职业教育国家规划教材
· 全国中等职业教育教材审定委员会审定

设备控制技术

(机械加工技术专业)

李 超 主编



机械工业出版社



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

设备控制技术

(机械加工技术专业)

主 编	李超		
参 编	赵世友	孙成普	
	曾燕飞	孙丽媛	
责任主审	罗圣国		
审 稿	郝安民	董 毅	



机械工业出版社

本书将液压传动和机床电气传动两个跨专业的知识与内容进行了有效融合,对传统内容进行了压缩,加强了液压传动与电气控制技术在工业生产一线设备中的实际应用,注重提高学生素质和继续学习的能力。本书主要内容有:液压和机床电气控制的特点、发展趋势、基础知识和常见的故障与排除方法;常用液压元件和电气元件的分类、工作原理、图形符号、结构特点、用途、基本回路和典型电路及应用实例;可编程控制器的特点、工作原理、应用、与继电器的区别、梯形图语言及控制应用实例;机-电-液联合控制实例等。

本书实训部分单独编写成册,与教材配套出版。

本书采用模块编写方式,可供中等职业学校3年制机械加工技术、机械类、机电类专业使用,也可作为各类成人中专、岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

设备控制技术/李超主编. —北京:机械工业出版社,

2002.6

中等职业教育国家规划教材·机械加工技术专业

ISBN 7-111-10315-7

I. 设… II. 李… III. 机械设备-控制系统-专业学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第039217号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:冯 铨 版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云

封面设计:姚 毅 责任印制:何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年7月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·11.75印张·285千字

0 001—3 000册

定价:14.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

封面无防伪标均为盗版

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

前 言

本书是根据 2000 年 12 月教育部颁发的中等职业学校机械加工技术专业 3 年制“设备控制技术课程教学大纲”(80 学时)编写的。本书主编参加了该教学大纲的起草、审定等全部工作。大纲中融入了机械加工技术专业及相关专业教改的有关经验和成果,同时参照了行业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准。设备控制技术是一门新设立的跨机和电两个专业的综合课程,为了能及时出台与新教学大纲配套的教材,在编制教学大纲的同时即着手考虑教材的编写工作。

本书在内容的选材和处理上,贯彻浅显易懂、少而精、理论联系实际和学以致用原则。在较全面地阐述液压与机床电气控制基本内容的基础上,力求多介绍一些反映我国液压与机床电气控制行业技术发展的最新动向。

本书在编写中力图体现以下特色:

1) 紧扣中等职业教育目标,对课程体系进行整体优化、精选内容,选取最基本的概念、工作原理、系统类型、元器件结构和用途、控制系统的组成及大量应用实例作为教学内容,以教学大纲要求为基础,编写内容以“必需、够用”为度,编写语言通俗易懂。

2) 以能力培养为主线,通过典型系统将跨学科的各部分教学内容有机联系、渗透和互相贯通;在课程结构上打破原有课程体系,以实训取代验证性的实验,提高学生理论联系实际的能力和作风,突出学生对所学知识的应用能力。

3) 加强感性认识,保证学生对基础知识的掌握,完全取消理论和元器件选择及控制系统设计的计算,通过强调基本元器件用途及系统常见故障与维护与保养等较实用的基本知识,引入新的国家标准以及当今行业对本课程的要求,体现教材的实用性、先进性及广泛适用性。

4) 增加新技术、新知识介绍的选修内容,开拓学生视野,满足不同经济发展地区或优秀学生的需要。

5) 强调课堂实物演示、拆装和现场教学等方法,加强教学的直观性和互动性,弥补学生基础较差的不足。

本书打 * 号的章节是选修内容,属于新大纲中选修模块,其余内容是新大纲必修的基础模块。

本书基础教学模块为 80 学时,学时方案建设见下表(供参考):

课程内容	学时合计	讲授学时	实训学时	机动学时
第一章	1	1		
第二章	6	4	1	1
第三章	12	8	3	1
第四章	10	6	2	2
第五章	4	4		
第六章	4	3		1

(续)

课程内容	学时合计	讲授学时	实训学时	机动学时
第七章	14	8	4	2
第八章	7	4	2	1
第九章	20	10	8	2
第十章	2	2		
总 计	80	50	20	10

本书由沈阳市机电工业学校李超主编（编写第一、二、十章及第五章第一、二节和第九章第六节）。参加编写工作的还有沈阳市机电工业学校赵世友（编写第三章、第四章和第五章第三节），沈阳市机电工业学校孙成普（编写第六章），广东省机械学校曾燕飞（编写第七章和第八章），沈阳市机电工业学校孙丽媛（编写第九章第一～第五节）。本书由河南工业职业技术学院王廷才高讲，广东省机械学校李锡雯高讲、高峰高讲和沈阳市机电工业学校沈向东高讲审阅，提出了许多宝贵的意见，对提高本书的质量起到很好的作用。在编写过程中，还得到了广东省机械学校朱焕池、长白集团计算机外部设备厂何东宇工程师的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者学识和水平有限，错漏之处在所难免，敬请批评指正。

编 者

2001 年 12 月

目 录

前 言

第一章 概述	1	第二节 继电器	72
第一节 设备控制技术的应用、特点及发展趋势	1	第三节 熔断器	80
第二节 本课程的性质、任务和基本要求	3	第四节 开关与主令电器	82
习题与思考题	3	习题与思考题	86
第二章 液压传动基础	4	第七章 继电器-接触器基本控制线路	88
第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号	4	第一节 电气控制系统图文字、图形符号和绘图原则	88
第二节 液压传动的工作介质	5	第二节 三相笼型异步电动机的直接起动控制电路	90
第三节 液体静力学	9	第三节 三相笼型异步电动机减压起动控制电路	95
第四节 液体动力学	11	第四节 组合机床控制电路的基本环节	98
第五节 液体流经小孔和间隙的流量	14	第五节 三相笼型异步电动机制动控制电路	100
第六节 液压系统的调试和常见故障分析与排除方法	15	习题与思考题	103
第七节 液压系统的维护保养	17	第八章 典型电气控制系统	105
习题与思考题	18	第一节 电气图的识图方法和步骤	105
第三章 液压元件	20	第二节 CA6140 车床的电气控制线路	106
第一节 液压泵和液压马达	20	第三节 铣床的电气控制线路	108
第二节 液压缸	26	*第四节 摇臂钻床的电气控制线路	117
第三节 液压控制阀	30	*第五节 常用机床控制线路的分析和维修	122
第四节 其他液压阀	38	习题与思考题	123
第五节 辅助元件	40	第九章 可编程序控制器	125
习题与思考题	46	第一节 概述	125
第四章 液压基本回路	48	第二节 PLC 的结构及工作原理	127
第一节 方向控制回路	48	第三节 可编程序控制器的指令系统	136
第二节 压力控制回路	49	第四节 程序编写方法与编程器的使用	143
第三节 速度控制回路	53	第五节 可编程控制器的应用	146
*第四节 多缸工作控制回路	57	*第六节 PLC 控制交通信号灯及电梯实例	149
习题与思考题	61	习题与思考题	155
第五章 典型液压传动系统	62		
第一节 组合机床动力滑台液压系统	62		
第二节 装卸堆码机液压系统	65		
第三节 数控机床液压系统	66		
第六章 常用低压电器	69		
第一节 接触器	69		

第十章 机—电—液联合控制

实例 156

附录 1 常用液压与气动图形符号摘录
 (GB/T 786.1—1993) 163

附录 2 电气图常用图形及文字符号新旧
 对照表 170

参考文献 178

第一章 概 述

设备控制技术是对生产现场中所使用的各种设备进行控制,使设备按照规定的加工与制造工艺的要求完成相应动作的技术。它包括机械传动、液压传动、气压传动和电气传动与控制等实用技术。这些技术的集成使用,可以大大提高生产设备的制造能力、技术水平和控制的自动化程度,有效地保证产品质量,提高经济效益。因此,设备控制技术在生产过程及其他领域中应用十分广泛。本教材只研究设备控制技术中的液压传动和电气传动与控制部分。

第一节 设备控制技术的应用、特点及发展趋势

一、液压传动的应用、特点及发展趋势

液压传动在工程机械、交通运输机械、起重机械、矿山机械、建筑机械、钢铁冶炼与轧制机械、钻探机械、农业机械、各种加工机床、轻工业机械、机械手与机器人、飞行器、舰艇等装备和行业中有广泛的应用。

液压传动之所以能获得广泛的应用,是因为它具有如下的特点:

(1) 液压传动的优点

- 1) 液压传动装置工作平稳,反应速度快,冲击小,能快速启动、制动和频繁换向。
- 2) 在输出功率相同的条件下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑、运动惯性小。
- 3) 易于实现直线往复运动、旋转运动和摆动。
- 4) 液压传动装置可方便地实现无级调速,调速范围最大可达 $1:2000$ (一般为 $1:100$)。
- 5) 液压传动装置的控制、调节比较简单,操纵方便、省力,易于实现自动化。如与电气联合控制时,能实现复杂的自动工作循环和远距离控制。
- 6) 液压系统易于实现过载保护。又由于采用油液作为传动介质,液压元件能自行润滑,故元件使用寿命长。
- 7) 液压元件易于实现标准化、系列化、通用化,便于设计、制造和选用。

(2) 液压传动的缺点

- 1) 液压系统中油液的泄漏和可压缩性使得液压系统无法实现严格的定比传动。
 - 2) 液压油的粘度随油温而变化,使液压系统在高温和低温条件下工作都有困难。一般工作温度在 $-15\sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内较合适。
 - 3) 液压元件的制造工艺和维修工艺要求比较高。
 - 4) 对油液的污染比较敏感,系统出现故障时也不易查找原因。
 - 5) 液压传动中的能量需要两次转换(机械能 $\rightarrow$ 压力能 $\rightarrow$ 机械能),系统总效率较低。当管路长和流速大时,压力能损失增大,故液压传动不适宜进行单独的远距离传动。
- 总的来说,液压传动的优点是主要的。随着计算机技术的发展,液压技术得到了很大的

发展,并渗透到各个工业领域中。液压技术开始向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、低能耗、经久耐用、高度集成化等方向发展。同时,新型液压元件和液压系统计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机辅助直接控制(CDC)、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面,也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。

二、机床电气传动控制的应用、特点及发展趋势

机床电气控制主要应用在各种机床设备中。机床因其组成部件的运动情况和生产工艺有所不同,其电气控制也显现出不同的特点。总的看来,传统的继电器-接触器式的机床电气控制的特点是:

(1) 机床电气控制的优点

- 1) 控制器件结构简单,制造方便,价格低廉,维护方便,抗干扰能力强。
- 2) 控制方式直接,操作方便、简单。
- 3) 可以方便地使机床实现生产过程自动化,还可实现集中控制和远距离控制。
- 4) 产品已标准化、系列化。
- 5) 无需高级技术,系统设计简单。

(2) 机床电气控制的缺点

- 1) 因触点动作寿命的限制,可靠性差,维修不易。
- 2) 设备体积庞大,耗电量和噪声较大。
- 3) 控制输入-输出的能力范围较窄。
- 4) 控制接线固定,灵活性差,难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要。
- 5) 在易燃、易爆场合必须设置保护装置,避免因打火导致事故发生。
- 6) 控制方式不能连续、准确地反映信号,达不到机床对高精度加工的要求。

随着大规模集成电路及微型计算机技术的发展,给机床电气控制技术开辟了新的前景。微型计算机体积小、重量轻、耗电省、可靠性高且维护方便的特点,使其广泛应用于机床的局部控制或整机控制,减少了机械部件,提高了生产效率,减轻了工人的劳动强度,成为机床电气控制系统的发展方向之一。数控机床的控制系统就是应用的典型例子。

表 1-1 所示为液压、气压、电气及机械传动与控制的性能比较。

表 1-1 液压、气压、电气及机械传动与控制的性能比较

比较项目 传动方式		操作力	动作 快慢	环境 要求	构造	负载变 化影响	操纵 距离	无级 调速	工作 寿命	维护	价格
液压传动		最大	较慢	不怕振动	复杂	有一些	短距离	良好	一般	要求高	稍贵
气压传动		中等	较快	适应性好	简单	较大	中距离	较好	长	一般	便宜
电气传动	电气	中等	快	要求高	稍复杂	几乎没有	远距离	良好	较短	要求较高	稍贵
	电子	最小	最快	要求特高	最复杂	没有	远距离	良好	短	要求更高	最贵
机械传动		较大	一般	一般	一般	没有	短距离	较困难	一般	简单	一般

总之,设备控制技术正在向机、电、液、气技术相结合的方向发展,充分发挥每一种控制方式的优点,在尽可能降低制造成本和维护方便的基础上,满足不同的控制要求,不断提高设备控制的自动化程度。

第二节 本课程的性质、任务和基本要求

“设备控制技术”是机械加工技术专业的一门主干课。本课程主要以液压传动和机床电气控制为研究对象，介绍液压和机床电气控制的基本原理、实际控制线路及常见故障与排除方法，以控制元件的基本结构、作用、主要技术参数、应用范围、选用为基础，从应用角度出发，讲授上述几方面的内容，培养学生对设备控制系统进行日常维护、分析排除常见故障及正确选用常用元器件的基本能力。

本课程的主要任务是使学生具备机械加工高素质操作者所必要的设备控制技术的基本知识和基本技能，为学生毕业后胜任岗位工作，增强适应职业变化能力和继续学习打下一定的基础。本课程内容涉及面较广，实践性很强，只有通过理论联系实际的学习和训练，才能对所学知识理解得深入透彻，并达到下列基本要求：

(1) 知识目标

- 1) 了解液压传动和机床电气控制及可编程序控制器的基本知识。
- 2) 了解常用液压元件的基本结构、工作原理和液压基本回路。
- 3) 了解常用低压控制电器元件的基本结构、工作原理和电气控制基本电路。
- 4) 掌握常用液压元件和低压控制电器元件的用途、图文符号及适用场合。
- 5) 了解可编程序控制器的基本指令和原理及其在工业控制中的应用。

(2) 能力目标

- 1) 具有阅读简单液压系统图和电气控制线路图的能力。
- 2) 具有可编程序控制器简单程序编制的能力。
- 3) 具有常用设备控制系统的维护能力。

习题与思考题

- 1-1 液压传动的优点、缺点是什么？
- 1-2 机床电气控制的优点、缺点是什么？
- 1-3 “设备控制技术”课程的知识目标、能力目标是什么？

第二章 液压传动基础

液压传动是利用密闭系统中的受压液体来传递运动和动力的一种传动方式。密闭系统无论处于静止状态或是匀速、匀加速运动状态都没有关系。

下面先通过实例讲述液压传动的工作原理和系统组成，然后研究液压传动工作介质的性质及其力学规律，为以后分析和使用液压传动系统打下必要的理论基础。

第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号

一、液压传动工作原理

1. 液压千斤顶的组成

图 2-1a 所示为液压千斤顶的工作原理图，图 2-1b 是其简化模型图。液压千斤顶由液压泵和液压缸两部分构成。液压（手动柱塞泵）由杠杆 1、泵体 2、小活塞 3 及单向阀 5 和 7 组成。液压缸由缸体 10 和大活塞 9 组成。为确保液压千斤顶正常工作，活塞与缸体、活塞与泵体接触面之间的配合既要使活塞在缸体和泵体中移动，又要形成可靠的密封。

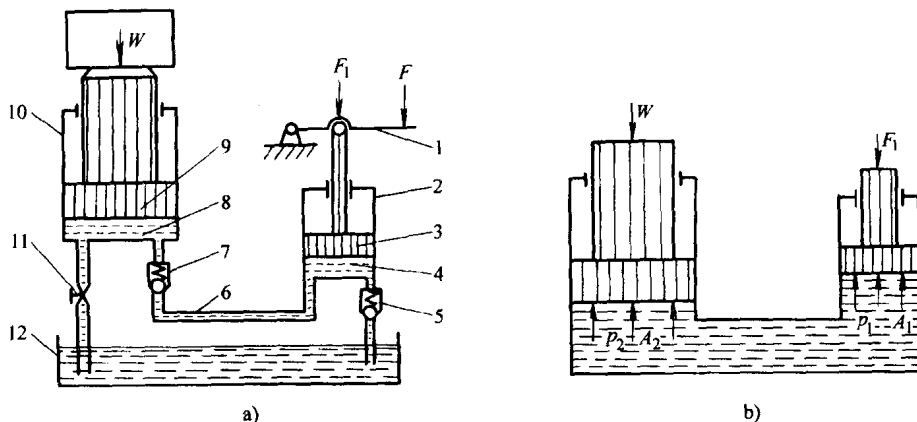


图 2-1 液压千斤顶

1—杠杆 2—泵体 3—小活塞 4、8—油腔 5、7—单向阀
6—油管 9—大活塞 10—缸体 11—放油阀 12—油箱

2. 液压千斤顶的工作原理

液压千斤顶工作时，先关闭放油阀 11，上提杠杆 1，小活塞 3 被带动上升使油腔 4 的密封容积增大，此时单向阀 7 因受油腔 8 中的油液压力作用而关闭，使油腔 4 形成局部真空，油箱 12 中的油液在大气压力作用下，推开单向阀 5，沿着吸油管道进入油腔 4。接着下压杠杆 1，小活塞 3 下移，油腔 4 的密封容积减少，油液受到外力挤压作用而产生压力，迫使单向阀 5 关闭；当压力大于油腔 8 中的油液对单向阀 7 的作用力时，单向阀 7 打开，油腔 4 中的油液经油管 6 被压入油腔 8，迫使它的密封容积变大，从而推动大活塞 9 连同重物 W 一起上升。反复上提、下压杠杆 1，油液不断地被压入油腔 8，使大活塞 9 和重物 W 不断上升。

若将放油阀 11 打开，油腔 8 与油箱 12 接通，油液在重物 W 的作用下，使油腔 8 中的油液流回油箱，大活塞 9 下降并回到原位（即油腔 8 的下部）。

从液压千斤顶的工作过程可得出如下结论：液压传动是依靠密封容积的变化来传递运动，依靠油液内部的压力来传递动力的。液压传动装置实质上就是一种能量转换装置，它先将机械能转换为便于输送的液压能，然后将液压能转换为机械能，以驱动工作机构完成要求的各种动作。

如果将液压千斤顶中油液换成气体，就是气压传动的工作原理，且上面得到的结论也同样适用于气压传动。

二、液压系统的组成

通过对液压千斤顶的工作原理分析，可以看出，液压传动系统除工作介质外，主要由动力元件、执行元件、控制调节元件和辅助元件四部分组成。各部分的名称和所包含的主要液压元件及作用如表 2-1 所示。

表 2-1 液压传动系统的组成及各部分作用

序号	组 成		作 用	图 2-1 中 对应元件
1	动力元件	液压泵	将原动机输入的机械能转换为液压能，为液压系统提供压力油，是液压系统的动力源	手动柱塞泵
2	执行元件	液压缸、液压马达	将液体的压力能转换为机械能，在压力油的推动下输出力和速度，以驱动工作部件	液压缸
3	控制调节 元件	各种阀类元件，如溢流阀、节流阀、换向阀等	控制液压系统中液压油的压力、流量和流动方向，以保证执行元件完成预期的工作运动	放油阀 11 单向阀 5、7
4	辅助元件	油箱、油管、管接头、滤油器、压力计、流量计等	散热、贮油、输油、连接、过滤、测量压力和测量流量，以保证系统正常工作	油箱 12 油管 6

三、液压系统的图形符号

图 2-1 反映的是一种结构式的工作原理图。它虽然直观性强，易为初学者接受，但因图形比较复杂，元件较多时就显得更加繁琐，也不易绘制。为此，国内外广泛采用元件的图形符号来绘制液压系统工作原理图。附录 1 中部分摘录了我国目前采用的液压元（辅）件的图形符号（GB/T 786.1—1993）。

图形符号脱离了元件的具体结构，只表示元件的职能，使系统图大大简化，工作原理简单明了，便于阅读、分析、设计和绘制。按照规定，液压元件图形符号应以元件的静止位置或零位来表示；液压元件无法用图形符号表达时，仍允许采用结构式的工作原理图表示。

第二节 液压传动的工作介质

液体是液压传动的工作介质。最常用的工作介质是液压油。此外，还有乳化型传动液和合成型传动液。

一、液压油的性质

1. 密度

液体单位体积内的质量称为该液体的密度, 通常用 ρ 表示

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中, m 是液体的质量 (kg); V 是液体的体积 (m^3)。

2. 粘性

液体在外力作用下流动时, 其分子间产生内摩擦力的性质, 称为液体的粘性。粘性的大小用粘度表示。粘性是液体重要的物理特性, 也是选择液压油的主要依据。

液压系统中常用的粘度有动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 表征液体粘性的内摩擦系数或绝对粘度, 用 μ 表示。

在 SI 制中的单位为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (牛·秒/米²) 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ (帕·秒)。

在 CGS 制中的单位为 $\text{dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$ (达因·秒/厘米²), 又称 P (泊)。 $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 10\text{P} = 10^3\text{CP}$ (厘泊)。

(2) 运动粘度 动力粘度 μ 与其密度 ρ 的比值, 称为运动粘度, 用 ν 表示。习惯上用运动粘度来标志液体粘度。

在 SI 制中的单位是 m^2/s (米²/秒)。

在 CGS 制中的单位是 St (斯, cm^2/s) 或 cSt (厘斯, mm^2/s), 也是工程上的常用单位。

$$1\text{m}^2/\text{s} = 10^4\text{St} = 10^6\text{cSt}$$

(3) 相对粘度 $^\circ\text{E}$ 相对粘度又称条件粘度。根据测量条件不同, 各国采用的相对粘度的单位也不同。我国、德国采用恩氏粘度, 而美国采用赛氏粘度 SSU , 英国采用雷氏粘度 R 。

工程中常采用先测出液体的相对粘度, 再根据关系式换算出动力粘度或运动粘度的方法。恩氏粘度和运动粘度的换算关系式为

$$\nu = \left(7.31^\circ\text{E}_t - \frac{6.31}{^\circ\text{E}_t} \right) \times 10^{-6} \quad (2-2)$$

3. 液体的可压缩性

液体受压力作用而体积缩小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性用体积压缩系数 k 表示。设体积为 V 的液体, 其压力变化量为 Δp , 液体体积减小 ΔV , 则

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \frac{\Delta V}{V} \quad (2-3)$$

体积压缩系数 k 的单位为 m^2/N 。由于压力增大时液体的体积减小, 因此式(2-3)右边须加负号, 以使 k 为正值。液体的可压缩性很小, 多数情况下可忽略不计。常用液压油的压缩系数 $k = (5 \sim 7) \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{N}$ 。

4. 其他性质

(1) 粘度与压力的关系

液体分子间的距离随压力增加而减小, 分子间相对运动时的内摩擦力增大, 其粘度也随之增大。一般在中低压时粘度可视为常数, 但当压力大于 10MPa 时, 压力变化对粘度的影响需要考虑。

(2) 粘温特性

液体粘度随温度变化的性质称为粘温特性。温度变化对液体的粘度影响较大, 液体的温度升高其粘度下降。

二、工作介质的产品分类和选用

液压油不仅在液压传动中起传递能量的作用，而且还对液压系统中液压元件起润滑、冷却和防锈的作用。因此，液压油质量的优劣及选用是否合适将直接影响液压系统的工作性能。

1. 产品分类

液压油的产品由类别、品种和数字三部分组成。类别代号中的 L 表示润滑油，H 表示液压系统用的工作介质，数字表示该工作介质粘度等级，用温度为 40℃ 时的运动粘度平均值 (mm^2/s) 表示。表 2-2 为参照 GB/T 7631.2—1987 标准的液压油产品分类表。

表 2-2 液压油产品分类

分类	名称	代号	组成和特性	应用
石油型	精制矿物油	L-HH15 L-HH22 L-HH32 L-HH46 L-HH68 L-HH100	无（或含有少量） 抗氧剂的精制矿油	适用于对润滑油无特殊要求的一般循环润滑系统，如低压液压系统、滑动轴承和滚动轴承等油浴式循环系统。无本产品时可选用 L-HL 油
	普通液压油	L-HL15 L-HL22 L-HL32 L-HL46 L-HL68 L-HL100	精制矿油，并改善 其防锈和抗氧性	适用于低压液压系统，或要求换油期较长的轻负荷机械的油浴式非循环润滑系统。无本产品时可用 L-HM 油或用其他抗氧防锈型润滑油
	抗磨液压油	L-HM15 L-HM22 L-HM32 L-HM46 L-HH68 L-HH100 L-HM150	HL 油，并改善其 抗磨性	适用于低、中、高压液压系统，或其他中等负荷机械润滑部位，特别适合于有防磨要求带叶片泵的液压系统。对油有低温性能要求或无产品时，可选用 L-HV 和 L-HS 油
	低温液压油	L-HV15 L-HV22 L-HV32 L-HV46 L-HV68 L-HV100	HM 油，并改善其 粘温性	适用于户外工作的低、中、高压液压系统和其他中等负荷的机械润滑部位。对油有更好的低温性能要求或无本产品时，可选用 L-HS 油
	高粘度指数液压油	L-HR15 L-HR32 L-HR46	HL 油，并改善其 粘温性	适用于环境温度变化较大和工作条件恶劣的低压系统和其他轻负荷机械的润滑部位，如数控机床液压系统和伺服系统
	液压导轨油	L-HG32 L-HG68	HM 油，并具有粘 -滑性	适用于液压和导轨润滑系统共用一种油品的机床，或其他要求良好粘附性的机械润滑部位
乳化型	水包油 乳化液	L-HFAE7 L-HFAE10 L-HFAE15 L-HFAE22 L-HFAE32	水包油型 (O/W) 乳化液	适用于液压支架静压和其他不要求回收废液和不要求有良好润滑性及用油量特别大的液压系统。使用温度为 5 ~ 50℃

(续)

分类	名称	代号	组成和特性	应用
乳化型	油包水 乳化液	L-HFB22 L-HFB32 L-HFB46 L-HFB68 L-HFB100	油包水型 (W/O) 乳化液	适用于冶金、煤矿等行业的中压和高压，高温和易燃场合的液压系统。使用温度为 5~50°C
合成型	水-乙二 醇液	L-HFC15 L-HFC22 L-HFC32 L-HFC46 L-HFC68 L-HFC100	含聚合物水溶液	适用于冶金、煤矿、飞机的低压和中压液压系统。使用温度为 -20~50°C
	磷酸酯 液	L-HFDR15 L-HFDR22 L-HFDR32 L-HFDR46 L-HFDR68 L-HFDR100	磷酸酯无水合成 液	适用于冶金、火力发电、燃气轮机等设备在高温高压下工作的液压系统。使用温度为 -20~100°C

2. 工作介质的选用原则

液压系统工作介质的选用原则，主要是根据工作条件选用适宜的粘度，并结合以下几个方面加以考虑：

(1) 液压系统的工作压力 工作压力高的液压系统宜选用粘度较高的液压油，以减少泄漏。工作压力较低时，宜用粘度较低的液压油，以减少压力损失。

(2) 环境温度 液压系统温度高时应选用粘度较高的液压油，温度低时应选粘度较低的液压油。

(3) 工作部件的运动速度 工作部件运动速度较高时，为减少液流的摩擦损失，宜选用粘度较低的液压油。反之，则选用粘度较高的液压油。

此外，也可根据液压泵类型及工作情况选择工作介质的粘度。表 2-3 所示为按液压泵类型推荐用工作介质的粘度，可供选择液压油时参考。

表 2-3 按液压泵类型推荐用工作介质的粘度

液压泵类型		工作介质粘度 $\nu_{40}/\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	
		液压系统温度 5~40°C	液压系统温度 40~80°C
齿轮泵		30~70	65~165
叶片泵	$p < 7.0 \text{ MPa}$	30~50	40~75
	$p \geq 7.0 \text{ MPa}$	50~70	55~90
径向柱塞泵		30~80	65~240
轴向柱塞泵		40~75	70~150

* 三、工作介质污染与控制

工作介质污染是指液压油中含有水分、空气、微小固体物、橡胶粘状物等杂质。

液压系统工作一段时间后，由于使用、维护等原因，液压油会受到不同程度的污染。由

于液压系统中多数故障与工作介质的污染有关，因此，控制工作介质的污染是十分重要的。

1. 工作介质污染的原因

1) 液压元件在装配、加工、存放和搬运过程中，砂粒、切屑、磨料、焊渣、锈片和灰尘等在液压系统尚未工作前已被带入。

2) 从周围环境混入的灰尘、砂粒、空气、水滴等。它们从可侵入渠道进入系统，造成油液污染。

3) 液压系统工作过程中产生的金属或密封材料的磨损颗粒，过滤材料脱落的颗粒或纤维，以及油液因油温升高后氧化变质而生成的胶状物等。

2. 工作介质污染的控制

为了延长液压元件的使用寿命，保证液压系统可靠工作，防止工作介质污染，除合理选用过滤装置外，平时的科学维护与管理，也是十分重要的。下面介绍几种控制工作介质污染的方法。

(1) 力求减少外来污染 不要轻易拆卸液压元件。如必须拆卸时，应将洗涤后的零件放在干净的地方，在重新装配时要防止金属屑、棉纱等杂质粘附在元件上。

(2) 定期更换油液 一般累计工作时间 1000h 左右应当换油。也可规定每隔半年或一年换油一次。比较科学的方法是定期取样化验。

(3) 控制工作介质的温度 避免工作油温过高，防止油液氧化变质，产生各种生成物。一般液压系统的工作温度最好控制在 60℃ 以下，机床液压系统应更低些。

(4) 安装过滤装置 油箱通大气处要加空气滤清器，向油箱灌油时应通过滤油器。

(5) 定期清洗 系统中滤油器应定期清洗。

第三节 液体静力学

液体静力学是研究液体处于相对平衡状态下的力学规律和这些规律的实际应用。所谓“相对平衡”，是指液体内部各质点间没有相对运动，即不呈现粘性。对液体的整体可以看成是刚体在作各种运动。

一、液体的静压力

当液体处于相对静止时，液体单位面积上所受的力称为压力，在物理学中称为压强，通常用 p 表示。若在面积为 A 的液体上作用力为 F ，则压力的计算公式为

$$p = \frac{F}{A} \quad (2-4)$$

液体静压力具有下列两个特性：

- 1) 液体静压力垂直于其受压平面，且方向与该面的内法线方向一致。
- 2) 静止液体内部任意点处所受到的静压力在各个方向上都相等。

二、压力的表示方法及度量单位

压力的表示方法有两种，即绝对压力和相对压力。绝对压力是以零压力为基准的压力；相对压力是以大气压力为基准的压力。绝大多数测压仪表所测得的压力都是相对压力，所以相对压力也称为表压力。相对压力与绝对压力的关系为

$$\text{相对压力} = \text{绝对压力} - \text{大气压力}$$