



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)

第2版

于凤丽 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)

第 2 版

主 编	于凤丽	
副主编	宋爱民	詹贵印
参 编	张向东	郑志英
主 审	鲍风雨	



机械工业出版社

本书将液压传动、机床电气控制和可编程序控制器三方面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、电气控制技术和可编程序控制器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。

本书作为中等职业学校相关专业教材,也可作为技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

设备控制技术/于凤丽主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2009.8

中等职业教育国家规划教材. 机械加工技术专业
ISBN 978-7-111-27761-3

I. 设… II. 于… 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(2009)第119772号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:崔占军 责任编辑:冯 铤

版式设计:张世琴 责任校对:纪 敬

封面设计:姚 毅 责任印制:李 妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009年9月第2版第1次印刷

184mm×260mm·12印张·295千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27761-3

定价:22.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379201

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是在中等职业教育国家规划教材《设备控制技术》第1版的基础上,为更好地贯彻当前职业教育教学改革精神,而组织编写的适合机械加工技术、机械制造与控制等机械类专业的修订版教材。书中融入了机械加工技术及相关机械类专业教学改革的有关经验和成果,同时参照了行业技能鉴定规范及中级技术工人考核标准。

本书在内容的选材和处理上,尽量采用通俗易懂的语言,达到少而精,并遵循理论联系实际和学以致用原则。在较全面阐述设备控制技术基本内容的基础上,减少了大量的计算和公式推导过程,重视结论性的阐述,适当采用实例教学进行综合训练,及时反映设备控制技术的新标准,兼顾了学生学习真本领与达到职业技能鉴定考试两种要求。

综上所述,本书编写具有以下特色:

1) 紧扣中等职业教育教学目标,对课程体系进行了整体优化、精选内容,选取最基本的概念、典型元件和结构的工作原理及大量的实例教学,以“2+1”教学大纲为基础,编写内容力求做到“必需、够用”,并考虑到各学校课时不一致,适当增加了选讲内容。

2) 以能力培养为主线,通过典型项目训练,理论联系实际,提高学生解决实际设备控制技术问题,突出培养学生对所学知识的应用能力。

3) 增加新技术、新知识,开拓学生视野,满足学生的更高要求。

4) 强调课堂实例教学,结合液压元件、电气元件拆装,弥补学生读图能力差的先天不足。

本书基础教学为78课时,建议分配如下:

序号	课程内容	教学时数			
		合计	讲授	实验与实训	机动
1	第一章	2	2		
2	第二章	8	8		
3	第三章	12	8	4	
4	第四章	8	6	2	
5	第五章	4	4		
6	第六章	6	6		
7	第七章	10	4	4	2
8	第八章	8	4	2	2
9	第九章	18	10	6	2
10	第十章	2	2		
	合计	78	54	18	6

本书由沈阳铁路机械学校于凤丽担任主编(编写第一章、第八章、第九章),襄樊机电工

IV

程学校宋爱民担任副主编(编写第二章、第五章),沈阳铁路机械学校詹贵印担任副主编(编写第六章、第七章),襄樊机电工程学校张向东参加编写第八章、第十章,襄樊机电工程学校郑志英参加编写第三章、第四章。本书由沈阳铁路机械学校校长鲍风雨担任主审。主审对文稿提出了许多宝贵意见。在编写过程中,还得到了沈阳铁路机械学校程显吉老师的帮助,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中错误在所难免,敬请批评指正。

编 者

第1版前言

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 and 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		

(续)

课程内容	学时合计	讲授学时	实训学时	机动学时
第六章	4	3		1
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

目 录

第 2 版前言	
第 1 版前言	
第一章 概述	1
第一节 设备控制技术的应用、特点和发展	1
第二节 本课程的性质、任务和要求	3
思考题与习题	4
第二章 液压传动基础	5
第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号	5
第二节 液压传动的工作介质	7
第三节 液体静力学	12
第四节 液体动力学	14
第五节 液体流经小孔和间隙的流量	17
思考题与习题	20
第三章 液压元件	22
第一节 液压泵和液压马达	22
第二节 液压缸	33
第三节 液压控制阀	38
第四节 辅助元件	53
思考题与习题	58
第四章 液压基本回路	61
第一节 方向控制回路	61
第二节 速度控制回路	62
第三节 压力控制回路	67
第四节 多缸工作控制回路	70
思考题与习题	74
第五章 典型液压传动系统	76
第一节 组合机床动力滑台的液压系统	76
第二节 注射机液压系统	79
第三节 数控机床液压系统	85
第四节 液压系统的安装、维护与常见故障排除	87
思考题与习题	97
第六章 常用低压电器	99
第一节 接触器	99
第二节 继电器	100
第三节 熔断器	104
第四节 开关与主令电器	105
思考题与习题	110
第七章 继电器-接触器基本控制线路	111
第一节 电气控制系统的图形、文字符号、回路标号和绘图原则	111
第二节 三相笼型异步电动机的起动控制电路	116
第三节 组合机床控制电路的基本环节	119
第四节 三相笼型异步电动机制动控制电路	120
思考题与习题	121
第八章 典型电气控制系统	123
第一节 电气控制系统图的分析方法和步骤	123
第二节 CA6140 卧式车床的电气控制电路	124
第三节 X62W 卧式万能铣床的电气控制电路	127
第四节 Z3032 摇臂钻床的电气控制电路	132
第五节 机床电气控制线路故障检查与维修	135
思考题与习题	138
第九章 可编程序控制器	139
第一节 概述	139
第二节 PLC 的结构与工作原理	144
第三节 可编程序控制器的指令系统	147
第四节 程序编写方法及程序设计	162

思考题与习题·····	166	附录 A 常用液压与气动元件图形符号·····	172
第十章 电液联合控制实例 ·····	167	附录 B 电气图常用图形及文字符号新旧对照表·····	177
第一节 电液控制简介·····	167	参考文献 ·····	183
第二节 PLC 在电液控制中的应用·····	169		
思考题与习题·····	171		
附录 ·····	172		

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,使设备按照要求的加工与制造工艺完成相应动作的技术。这种技术包括机械传动、液压传动、气压传动、电气传动等实用技术。把这些技术有效集成,可以大大提高生产设备的制造能力和水平,提高自动化程度,保证产品质量,提高企业的经济效益。因此,设备控制技术在生产过程及其他领域都得到了广泛的应用。本书将液压传动和机床电气传动知识有效融合在一起,对硬继电器控制和软继电器控制 PLC 进行对比讲授,压缩传统内容,加强液压传动、电气控制技术和 PLC 控制在工业生产一线设备中实际应用知识的讲述。本书主要内容包括: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—液联合控制实例与设备控制综合实训等。

第一节 设备控制技术的应用、特点和发展

一、液压传动控制技术

液压传动是以液体为工作介质来传递能量的一种传动形式。液压传动广泛应用于工程机械、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、纺织机械、加工机床、飞行器、机械手与机器人、水运船舶机械、航空机械等装备和行业。如液压机、推土机等。

液压传动应用如此广泛,其主要原因在于其有以下优点:

- 1) 液压传动装置工作平稳,反应速度快,冲击小,能快速起动、制动和适应频繁换向。
- 2) 液压传动装置体积小、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) 在很大范围内实现无级变速,调速范围可达 100:1 至 2000:1。
- 5) 控制调节比较简单,操作方便、省力,系统结构空间的自由度大,易于实现自动化。如与电气控制相配合,可较方便地实现复杂的程序动作和远程控制。
- 6) 液压系统易于实现过载保护,又因采用油液作为传动介质可自行润滑,元件使用寿命有效延长。
- 7) 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化,便于设计、制造及选用。

液压传动技术在应用过程中也有局限性,其主要原因在于其存在以下缺点:

- 1) 液压系统无法实现严格的定比传动。这主要是由于系统中油液的泄漏和可压缩性造成的。

2) 液压系统在高温和低温条件下工作困难,一般工作温度在 $-15 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内比较合适。这主要是由于液压油的粘度随油温的变化而变化所致。

3) 液压元件的制造工艺和维修工艺要求较高。

4) 液压系统对油液的污染比较敏感,系统出现故障时不易查找原因。

5) 液压传动中的能量需要两次转换,即机械能 \rightarrow 压力能 \rightarrow 机械能,因而系统总效率较低。当管路长和流速大时,压力能损失增大,故液压传动不适宜于进行单独的远距离传动。

总之,液压传动的优点是主要的,在工业生产的各个领域其应用的出发点是不尽相同的。例如,工程机械、矿山机械、压力机械和航空工业中采用液压传动的主要原因是其结构简单、体积小、重量轻、输出力大;机床上采用液压传动的主要原因是其能在工作过程中方便地实现无级调速,易于实现频繁换向,易于实现自动化;在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械多采用的是以空气为传动介质的气压传动,主要取其操作方便、无污染的特点。这里对气压传动不作介绍。

液压传动技术自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,但其真正的发展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,液压技术也得到了很大的发展,并渗透到各个工业领域中。当前液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、低消耗、经久耐用、高集成化方向发展。同时,新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、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、可靠性技术和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、机床电气控制

机床电气控制是采用各种自动控制元件、自动装置,对机床进行自动操纵,包括自动启动、停止、换向、调速、改变工作位置、自动维持功率或转矩恒定以及工作循环自动化等,主要应用于各种机床设备中。机床因其组成部件的运动情况和生产工艺有所不同,其电气控制也具有不同的特点。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) 操作方便、简单。
- 3) 可方便地实现机床自动化,还可实现集中控制和远程控制。
- 4) 产品已标准化、系列化。
- 5) 系统设计简单。

(2) 机床电气控制的缺点

- 1) 受触点动作寿命的限制,存在机械磨损、电弧烧伤等,可靠性和可维修性差。
- 2) 设备体积大,连线多且复杂,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,难以适应复杂和多变的控制对象。
- 5) 在易燃、易爆场合必须设置安全保护装置,避免因打火导致的事故发生。
- 6) 控制方式不能连续、准确地反映信号,满足不了机床的高精度加工要求。

机床的电气自动控制对于现代机床的发展有着非常重要的作用。虽然目前机床使用各种

不同的动力设备，如液压装置、气压装置及电气设备等，但其中电气设备应用最为广泛，是主要的动力设备。20世纪初由于电动机的出现，使机床的动力由电动机代替了蒸汽机，且由一台电动机拖动若干台机床，即成组拖动；20世纪20年代，出现了一台电动机拖动一台机床的单独拖动形式；随着生产的发展，出现了由多台电动机分别拖动各运动机构的多电机拖动。机床电气控制方面，最初是采用手动控制，后来发展到继电器—接触器的传统控制方式。但这种控制方式满足不了对程序经常改变、控制要求比较复杂的系统。

三、可编程序控制器控制

随着大规模集成电路及微型计算机技术的发展，使机床电气控制技术发展到一个新的水平，一种新型的控制装置——可编程序控制器，得到了迅速发展。它通过编码、逻辑组合来改变程序，实现对程序需要经常变动的控制要求，使机床控制系统具有更大的灵活性和通用性。正是由于它具有通用性强、程序可变、编程容易、体积小、重量轻、耗电少、可靠性和维修性好等特点，在机床的局部控制和整机控制中得到了广泛的应用，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新型控制技术的典型应用实例。

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，充分发挥各种控制方式的优点，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，不断提高设备的自动化程度。

第二节 本课程的性质、任务和要求

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、控制元件、实际控制线路以及常见故障和排除方法，以控制元件的基本结构、作用、主要参数、应用范围和选用为基础，注重培养学生对设备控制系统正确使用、维护、分析和排除常见故障并正确选用常用元器件的基本应用能力。

本课程的主要任务是使学生具备设备控制技术的基本知识和基本技能，为今后工作和继续学习打下坚实的基础。本课程内容涉及面广，综合性和实践性较强，必须理论联系实际，结合综合训练，才能做到融会贯通。

学生学后应达到如下基本要求：

(1) 知识目标

- 1) 了解液压传动、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知识。
- 3) 了解常用低压控制电器元件的基本结构、工作原理和基本控制电路知识。
- 4) 掌握常用液压元件和低压控制电器元件的用途、图形符号及应用场合知识。
- 5) 了解可编程序控制器的基本指令、工作原理及其在工业控制中的应用。

(2) 能力目标

- 1) 具有阅读简单的液压系统图和电气控制电路图的能力。
- 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操作、调试和维护的能力。

思考题与习题

- 1-1 液压传动的优点、缺点是什么？
- 1-2 传统的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和能力目标是什么？

第二章 液压传动基础

液压传动是以液体压力能传递动力的传动方式。液压传动具有很多优点，广泛应用于各类机械设备的控制技术中。

本章主要介绍液压传动的工作原理、组成、工作介质及液体在静止和流动时的规律。

第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号

一、液压传动的工作原理

1. 液压千斤顶

液压千斤顶的工作原理如图 2-1 所示。缸体 3 和活塞 4 组成举升缸；杠杆手柄 6、缸体 8、活塞 7、单向阀 5 和 9 组成手动液压泵。活塞和缸体之间保持良好的配合关系，又能实现可靠的密封。当抬起杠杆手柄 6，使活塞 7 向上移动，活塞下腔密封容积增大形成局部真空时，单向阀 9 打开，油箱中的油在大气压力的作用下通过吸油管进入活塞下腔，完成一次吸油动作。当用力压下手柄时，活塞 7 下移，其下腔密封容积减小，油压升高，单向阀 9 关闭，单向阀 5 打开，油液进入举升缸下腔，驱动活塞 4 使重物 G 上升一段距离，完成一次压油动作。反复地抬、压杠杆手柄，就能使油液不断地被压入举升缸，使重物不断升高，达到起重的目的。如将放油阀 2 旋转 90° （在实物上，放油阀旋转角度是可以改变的），活塞 4 可以在自重和外力的作用下实现回程。这就是液压千斤顶的工作过程。

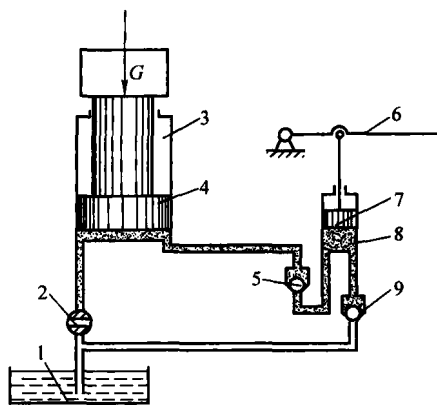


图 2-1 液压千斤顶的工作原理

1—油箱 2—放油阀 3、8—缸体 4、7—活塞
5、9—单向阀 6—杠杆手柄

2. 简单机床的液压传动系统

图 2-2 所示为一台简化了的机床液压传动系统图。液压缸 8 固定在床身上，活塞 9 连同活塞杆带动工作台 10 作往复运动。液压泵 3 由电动机驱动，从油箱 1 中吸油并把压力油输入管路，经节流阀 6 至换向阀 7。当换向阀两端的电磁铁均不通电，其阀芯在两端弹簧力作用下处于中间位置（图 2-2a）时，管路中， P 、 A 、 B 、 T 均不相通，液压缸两腔油路被封闭，活塞及工作台停止不动。

若换向阀左端的电磁铁通电，衔铁吸合，将阀芯推至右端（图 2-2b），使管路 P 和 A 相通、 B 和 T 相通，液压缸进油路为：泵 3→节流阀 6→换向阀 ($P \rightarrow A$)→液压缸左腔；回油路

为：液压缸右腔→换向阀($B \rightarrow T$)→油箱。这时，活塞9连同工作台10在左腔液压力推动下向右移动。当工作台上的挡铁11与行程开关12相碰时，控制左侧电磁铁断电，右侧电磁铁通电，换向阀芯移至左端(图2-2c)，使管路P和B相通、A和T相通，液压缸进油路为：泵3→节流阀6→换向阀($P \rightarrow B$)→液压缸右腔；回油路为：液压缸左腔→换向阀($A \rightarrow T$)→油箱。这时，活塞带动工作台向左移动。当挡铁13再碰到行程开关时，又可控制电磁铁通断，使换向阀芯换位，从而实现工作台自动往复运动。

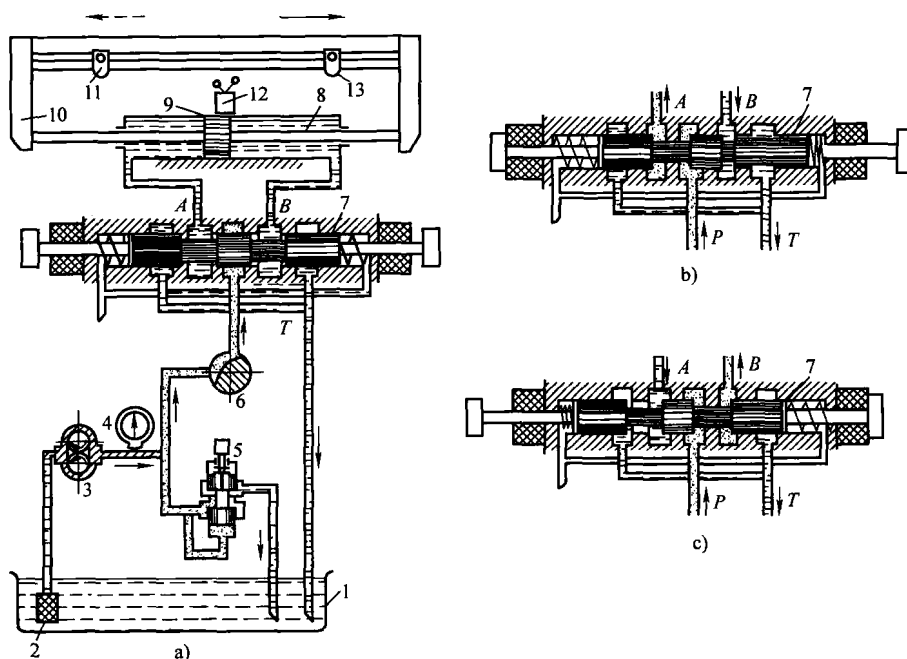


图2-2 简单机床的液压传动系统图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—压力计 5—溢流阀 6—节流阀 7—换向阀
8—液压缸 9—活塞 10—工作台 11、13—挡铁 12—行程开关

工作台的移动速度通过节流阀6调节。当节流阀6开口较大时，进入液压缸的流量大，工作台移动速度较高。关小节流阀开口，工作台的移动速度即减慢。

工作台移动时需克服的负载(如切削力、摩擦力等)不同时，为适应不同阻力的需要，液压泵输出油液的压力应能调整。另外，由于工作台速度要改变，所以进入液压缸的流量也在改变。一般情况下，液压泵输出的压力油多于液压缸所需要的油，因此，多余的油应能及时排回油箱。调节溢流阀5弹簧的预紧力，就能调整液压泵出口油液的最高工作压力；系统中多余的油液在达到相应压力时，可由打开的溢流阀溢回油箱。因此，溢流阀5起调压、溢流作用。图中2为过滤器，起过滤和净化油液的作用；4为压力计，用以测定液压泵出口的油压。需要指出的是，当工作台停止运动时该系统不能卸荷。这时，液压泵输出的油液在溢流阀调定的最高工作压力下溢回油箱。持续下去将会使系统油温上升、泄漏增加。

二、液压系统组成

从上述例子可以看出，液压传动系统由以下五个部分组成：

(1) 动力元件 动力元件即液压泵。它是将原动机(电动机或发动机等)输入的机械能

转换为液压能的装置，其作用是为液压系统提供压力油，是液压系统的动力源。

(2) 执行元件 执行元件是指液压缸和液压马达，它是将液体的压力能转换为机械能的装置，其作用是在压力油的推动下输出力和速度(或力矩和转速)，以驱动工作部件。

(3) 控制调节元件 控制调节元件是指各种阀类元件，如溢流阀、节流阀、换向阀等。它们的作用是控制液压系统中油液的压力、流量和方向，以保证执行元件完成预期的工作运动。

(4) 辅助元件 辅助元件是指油箱、油管、管接头、过滤器、压力计、流量计等。这些元件分别起散热贮油、输油、连接、过滤、测量压力和测量流量等作用，以保证系统正常工作，是液压系统不可缺少的组成部分。

(5) 工作介质 工作介质即传动液体，通常为液压油，其作用是实现运动和动力的传递。

三、液压传动系统的图形符号

图 2-1、图 2-2 所示的液压系统图，是一种半结构式的工作原理图。这种图形比较直观，易为初学者接受，但图形比较复杂，不易绘制。为此，都广泛采用元件的图形符号来绘制液压系统原理图。图 2-3 所示即为用元件符号绘制的图 2-2 所示液压传动系统。图形符号不考虑元件的具体结构和安装位置，只表示元件的职能，使系统图简化，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。但某些部位，液压元件无法用图形符号表达时，也允许采用结构原理图表示。

附录 A 中部分摘录了我国目前采用的液压元件图形符号(GB/T 786.1—1993)。

第二节 液压传动的工作介质

在液压系统中，液压油是传递动力和运动的工作介质，是液压系统的重要组成部分。液压系统能否可靠有效地工作，在很大程度上取决于系统中所用的液压油。因此，了解油液的基本性质，对于正确理解液压传动原理和正确使用液压传动技术控制机械设备都是非常必要的。

一、液压油的主要物理性质

一般液压油(矿物油)单位体积内的质量称为该液压油的密度，通常用 ρ 表示，在 15℃ 时的密度 ρ 约为 $900\text{kg}/\text{m}^3$ 。下面介绍液压油的几个重要物理性质。

1. 粘性

液体在外力作用下流动时，分子间的内聚力要阻止分子间的相对运动而产生一种内摩擦

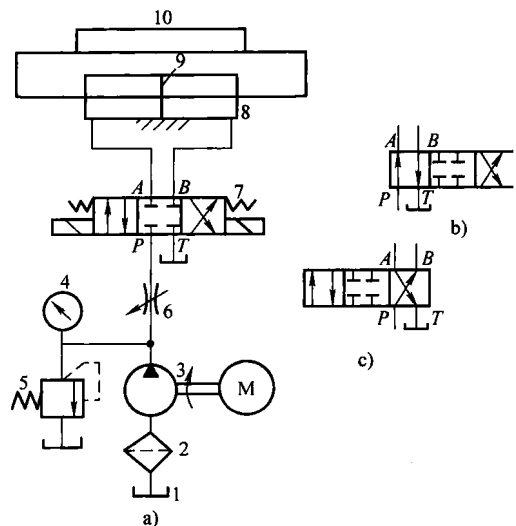


图 2-3 液压传动系统图(用图形符号绘制)

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—压力计 5—溢流阀
6—节流阀 7—换向阀 8—液压缸 9—活塞 10—工作台

力，这一特性称为液体的粘性。它是液体的重要物理性质。液体只有在流动时才会呈现粘性，静止液体不呈现粘性。

以图 2-4 为例，若两平行平板间充满液体，下平板固定，而上平板以 u_0 向右平动，由于液体的粘性作用，紧靠着下平板的液体层速度为零，紧靠上平板的液体层速度为 u_0 ，而中间各层液体速度则从上到下递减，呈线性规律分布。

牛顿通过实验测定指出：液体流动时相邻液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 、液层间相对运动的速度梯度 du/dy 成正比。换言之，液层间在单位面积上的内摩擦力与液层间相对运动的速度梯度 du/dy 成正比，这就是牛顿内摩擦定律，即

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-1)$$

式中 μ ——比例常数，又称为粘性系数或动力粘度。

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-2)$$

式中 τ ——内摩擦切应力。

以上两式，就是牛顿液体内摩擦定律的表达式。

液体粘性的大小用粘度来表示。常用的粘度表达方式有三种：动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 即液体在单位速度梯度下流动时接触液层间的内摩擦切应力，用 μ 表示。动力粘度 μ 的单位为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(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。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-3)$$

因为在其单位中只有长度与时间的量纲，类似于运动学的量，所以称为运动粘度。它是液体压力的分析和国产液压油命名的依据。

运动粘度 ν 的单位是 m^2/s ，它与常用单位 St (沱)和 cSt (厘沱)之间的关系是

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

液压油常采用在 40°C 温度下运动粘度的平均 cSt (厘沱)值来标号。例如 N32 号液压油，即指这种油在 40°C 时的运动粘度平均值为 32cSt 。我国的液压油旧牌号则是采用按 50°C 时运动粘度的平均 cSt 值表示的。液压油新旧牌号对照如表 2-1 所示。

表 2-1 液压油新牌号(40℃运动粘度等级)与旧牌号(50℃运动粘度等级)对照

新牌号	N7	N10	N15	N22	N32	N46	N68	N100	N150
旧牌号	5	7	10	15	20	30	40	60	80

(3) 相对粘度 相对粘度又称条件粘度。由于测量仪器和条件不同，相对粘度的含义也不同，而我国、德国和俄罗斯则采用恩氏粘度 $^\circ E$ 。恩氏粘度 $^\circ E$ 用恩氏粘度计测定。即将

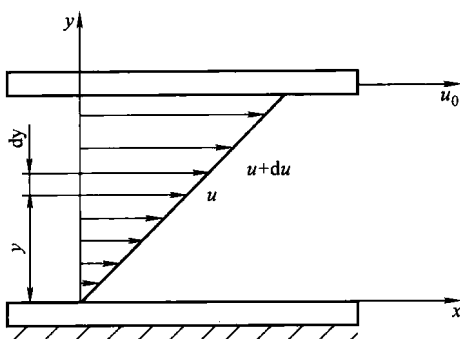


图 2-4 液体的粘性示意图