

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 赵国增
责任主审 罗圣国
审 稿 董 毅 郝安民



A1026271

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业教育国家规划教材,是根据教育部2001年颁发的《中等职业学校机械加工技术专业教学指导方案》中主干课程《设备控制技术教学基本要求》,并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准编写的。

在编写上,本书突出以能力培养为本位,加强实践性教学环节,以培养学生综合素质为目的;在内容取材上,充分体现了新知识、新技术、新工艺和新方法,并介绍了最新的设备控制技术方面的知识。全书共分八章,内容包括液压传动基础知识,液压元件与基本回路,典型液压传动系统、机床电气控制基础,基本控制电路,典型机床电气控制,可编程序控制器的原理及应用以及有关的实验与实训等内容。

本书可作为中等职业教育机械加工技术及相关专业的教材和职业技能鉴定及中级技术工人培训教材,也可供从事设备控制技术应用的工程技术人员、操作人员及自学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

设备控制技术/赵国增主编. —北京:高等教育出版社,2002.8

中等职业教育国家规划教材. 机械加工技术专业

ISBN 7-04-010903-4

I. 设... II. 赵... 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043787号

设备控制技术

赵国增 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

传 真 010-64014048

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京中科印刷有限公司

开 本 787×1092 1/16

印 张 15.25

字 数 350 000

版 次 2002年8月第1版

印 次 2002年8月第1次印刷

定 价 18.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

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

二〇〇一年十月

前 言

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校机械加工技术专业教学指导方案》中主干课程《设备控制技术教学基本要求》，并参照有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级标准编写的中等职业教育国家规划教材。

在内容取材上，本书注重体现新知识、新技术、新工艺和新方法。在进行广泛调查的基础上，认真研究岗位需求，介绍了新的液压传动、电气控制和可编程序控制器等设备控制技术的基本理论和典型应用案例；介绍了液压传动的基本知识、液压元件与辅助装置、液压传动的基本回路及典型液压传动系统的应用；介绍了机床电气控制的基础知识、基本控制电路和机床电气控制的实际应用；介绍了可编程序控制器基本原理和应用实例；加强了设备控制的维护与维修知识的传授与技能的培养，突出以能力培养为本位；加强了实践环节的教学，提供了八个实验与实训课题以培养学生的操作技能。通过教学，可使学生掌握设备控制技术的基本理论，并具有一定的控制设备的维护、维修及操作技能。

在编写上，本教材体现了当前中等职业教育改革的精神，加强基础培养，以够用为度、实用为主，注重培养学生实际操作技能、创新能力和创业精神，力求培养学生的综合素质，使学生毕业后既能胜任本岗位工作，又具有适应职业变化的能力，并为继续教育打下坚实的基础。在内容取材及安排上，本书体现了中等职业教育的培养目标，以新教学基本要求为依据，充分体现新教学基本要求的特色，并满足不同地域学校的需求。

本书的参考教学时数为 80 学时(见下表)，鉴于现代化教学手段的不断普及，各学校根据具体情况可进行调整，适当减少理论教学时数，增加实验与实训教学时数。

课时分配表

理 论 教 学		实验与实训		
章次	学时	章次	课题	学时
绪论	1	第 八 章	一	4
第一章	7		二	2
第二章	14		三	2
第三章	6		四	2
第四章	6		五	2
第五章	6		六	2
第六章	4		七	4
第七章	12		八	4
机动		2		
合计		80		

参加本书编写的有赵国增(绪论、第一、七章、第八章课题一、七、附录)、王玉(第二章、第八章课题二)、陈文杰(第三章、第八章课题三)、王增春(第四章、第八章课题四)、韩伟(第五章、第六章、第八章课题五、六、八)。本书由赵国增任主编。高等教育出版社聘请河北工业大学段国林教授审阅了全书,提出了许多宝贵的修改意见。本书在编写过程中得到了作者所在单位的领导和同行的大力支持。

本书通过全国中等职业教育教材审定委员会审定,由北京科技大学罗圣国教授担任责任主审,北京科技大学董毅、郗安民教授审稿。他们对书稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

设备控制技术课程是在液压传动、电气控制和可编程序控制器三门课程基础上的综合,是一门新的课程,由于编写时间紧及编者水平有限,加之设备控制技术仍处于发展之中,书中错误及不妥之处在所难免,恳请不吝指正。

编者

2002年5月

目 录

绪论	1
第一章 液压传动基础	4
第一节 液压传动的工作原理及组成	4
第二节 液压油	8
第三节 液体静力学基础	14
第四节 液体动力学基础	15
第五节 管路内液体压力损失计算	18
第六节 液压冲击和空穴现象	19
思考题与习题一	20
第二章 液压元件与基本回路	22
第一节 液压泵	22
第二节 液压马达	28
第三节 液压缸	29
第四节 液压阀	32
第五节 液压辅助装置	50
第六节 液压基本回路	59
思考题与习题二	68
第三章 典型液压传动系统	70
第一节 组合机床液压系统	70
第二节 注塑机液压系统	73
第三节 液压系统的使用、维护与故障排除	76
思考题与习题三	83
第四章 机床电气控制基础	84
第一节 机床电气控制电路的基本组成	84
第二节 接触器	88
第三节 继电器	91
第四节 熔断器	99
第五节 开关与主令电器	102
思考题与习题四	106
第五章 基本控制电路	108
第一节 电气控制系统图形、文字符号和绘图原则	108
第二节 三相异步电动机单向旋转全电压控制电路	110
第三节 三相异步电动机可逆旋转控制电路	114
第四节 三相笼型异步电动机降压启动控制电路	117
第五节 三相笼型异步电动机的制动控制	122
第六节 三相异步电动机的调速控制	128

思考题与习题五	129
第六章 典型机床电气控制	131
第一节 普通车床电气控制	131
第二节 铣床电气控制	135
第三节 组合机床电气控制	141
思考题与习题六	146
第七章 可编程控制器(PLC)的原理与应用	147
第一节 可编程控制器概述	147
第二节 可编程控制器的组成与工作原理	149
第三节 可编程控制器编程	156
第四节 可编程控制器指令系统	159
第五节 FX-20P-E 可编程控制器的使用	173
第六节 典型电路应用	184
思考题与习题七	188
第八章 实验与实训	190
课题一 液压泵、液压缸及液压阀的拆装	190
课题二 液压基本回路性能	191
课题三 液压系统的安装与故障分析	195
课题四 电动机单向旋转及点动控制电路	202
课题五 三相异步电动机 Y- Δ 降压启动控制电路	204
课题六 X62W 铣床电气控制电路	206
课题七 可编程控制器应用	212
课题八 综合能力训练	215
附录 A 液压图形符号表(GB/T 786.1—1993 摘录)	219
附录 B 电气图形符号表(GB/T 4728—1984 摘录)	226
参考文献	232

结 论

一、本课程的性质、内容和基本要求

设备控制技术是机械加工技术专业的一门重要专业课。本课程主要内容是介绍设备控制技术中普遍应用的液压传动与控制、电气控制和可编程控制器等控制设备的结构、工作原理及程序编制的基本理论和基本知识,并通过实验与实训,掌握控制设备的安装、维修、保养及应用的基本技能。本课程内容涉及各种设备的控制。在机械加工技术中,尤其以机床控制的应用最为广泛。

机床是机械制造业中的主要加工设备,它的质量、自动化程度以及应用先进技术的状况,直接反映了机械工业的发展水平,机床加工自动化对提高生产率、改进产品质量和减轻体力劳动都起着重要的作用。现代科学技术的发展,为机床与生产的自动化的进一步发展创造了有利条件。控制技术、微电子技术和计算机技术等领域中的一些最新研究成果,在机床控制设备中都迅速得到了应用。从所采用的液压传动与控制、电气控制和可编程控制器技术的先进性、复杂性来看,机床是机械制造业中各类机械设备最典型的代表。因此,掌握好机床的控制技术,可起到举一反三的目的,对掌握各种设备控制技术打下一个坚实的基础。

通过本课程的学习,学生应达到以下要求:

- (1) 了解液压传动与控制、机床电气控制及可编程控制器的基本知识。
- (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) 了解典型液压传动系统。
- (4) 了解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。
- (5) 了解机床电气控制系统。
- (6) 了解可编程控制器的基本指令、原理、编程基本规则。
- (7) 了解可编程控制器典型电路在工业控制中的应用。

通过本课程的学习,学生应达到以下目标:

- (1) 具有阅读简单液压系统图和电气控制线路图的能力。
- (2) 具有可编程控制器简单程序的编制能力。
- (3) 具有常用设备控制系统的正确安装、维修、保养及使用的能力。

二、设备控制技术的应用和发展

随着科学技术的发展,生产和工艺不断进步,设备控制技术及装置也不断更新。设备控制在控制方法上主要从手动控制到自动控制;在控制功能上,从简单控制到复杂控制;在装备上由笨重到轻巧;在控制系统中,从传统的继电器控制系统转为以微处理器为中心的软、硬件控制系统。随着新的控制理论和新型电器及电子元件的出现,不断地推动着设备控制技术的发展。

液压传动与控制是从17世纪中叶帕斯卡提出静压传递原理、18世纪末英国制成世界上第一台水压机算起,已有二三百年的历史。近代液压传动与控制在工业上的真正推广使用只是20世纪中叶以后的事,至于它和微电子技术密切结合,得以在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以精确控制,更是近十几年内出现的新技术。

由于在液压传动系统中使用原油炼制品来作为传动介质,因此可以说它是由19世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的。最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器,其后才出现了液压六角车床和磨床。由于缺乏成熟的液压元件,一些通用机床到20世纪30年代才用上液压传动。第二次世界大战期间,在一些兵器上用上了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置,它大大提高了兵器的性能,也大大促进了液压技术的发展。战后,液压技术迅速转向民用,并随着各种标准的不断制订和完善,各类液压元件的标准化、规格化、系列化在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制造等行业中推广开来。20世纪60年代后,原子能技术、空间技术、计算机技术(微电子技术)等的发展再次将液压技术推向前进,使它发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术,它在国民经济的各方面都得到了应用。液压传动在某些领域内甚至已占有压倒性的优势。例如,国外当今生产的95%的工程机械、90%的数控加工中心、95%以上的自动化生产线都采用了液压传动与控制技术。因此,采用液压传动的程度现在已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。

当前,液压技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、经久耐用、高度集成化等各项要求方面都取得了重大的进展,在完善比例控制、伺服控制、数字控制等技术上也有许多新成就。此外,在液压元件和液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真技术和优化以及微机控制等开发性工作方面,更日益显示出显著的成绩。

在20世纪20年代至30年代,借助继电器、接触器、按钮行程开关等组成继电器—接触器控制系统,实现对机械设备的起动、停车、有级调速等控制。继电器—接触器控制的优点是结构简单、价格低廉、维护方便、抗干扰能力强,因此广泛用于各类机械设备。采用它不仅可以实现生产过程的自动化,而且还可以实现集中控制和远距离控制。目前,继电器—接触器控制仍然是我国机械设备控制最基本的电气控制形式之一。继电器—接触器控制系统的缺点是,由于是固定接线形式,故在进行程序控制时,改变控制程序不方便,灵活性差;采用有触点开关,动作频率低,触点易损坏,可靠性差。20世纪40年代到50年代出现了交磁放大机—电动机控制,这是一种闭环反馈系统,当输出量与给定量发生偏差时就自动调整,系统的控制精度、快速性都有了提高。20世纪60年代出现了晶体管—晶闸管控制,发展到20世纪70年代成为集成电路放大器—晶闸管控制。由晶闸管供电的直流调速系统和交流调速系统不仅调速性能大为改善,而且减少了机电设备的占地面积,耗电量少,效率高,已完全取代了交磁放大机—电动机控制系统。

在实际生产中,由于大量存在一些用开关量控制的简单程序控制过程,而实际生产工艺和流程又是经常变化的,因而传统的继电器—接触器控制系统不能满足这种需要。电子计算机控制系统的出现,提高了设备控制的灵活性和通用性,其控制功能和控制精度都得到了很大提高。然而,在其初期存在着系统复杂、使用不便、抗干扰能力差、成本较高等缺陷,尤其对上述简单的过程控制有“大材小用”和不经济等问题。因而,20世纪60年代出现了一种能够根据需要进行,可方便地改变控制系统而又远比计算机系统结构简单、价格低廉的自动化装置——顺

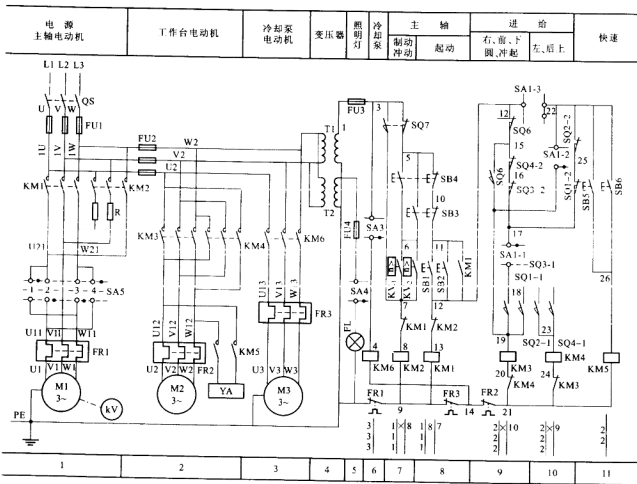


图 6-4 X62W 机床电气控制电路

第一章 液压传动基础

第一节 液压传动的工作原理及组成

一、液压传动的工作原理

以液压千斤顶为例说明液压传动的工作原理。如图 1-1 所示, 杠杆手柄 1、小缸体 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵; 大缸体 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。当向上提起杠杆手柄 1 时, 手动液压泵的小活塞 3 向上运动, 小缸体 2 下腔容积增大, 形成局部真空, 单向阀 7 关闭, 油箱 12 中的油液在大气压的作用下, 经吸油管 5 顶开单向阀 4 进入小缸体的下腔。当向下压杠杆手柄 1 时, 小缸体 2 下腔容积减小, 油液受挤压, 压力升高, 这时单向阀 4 关闭, 受挤压的油液顶开单向阀 7, 经油管 6 进入大缸体 9 的下腔, 推动大活塞 8 向上移动, 从而顶起重物。如此不断上下搬动杠杆手柄, 油液就不断进入举升液压缸使重物不断被提升。如果打开截止阀 11, 举升液压缸下腔的油液将通过管道 10 流回到油箱 12 中, 大活塞在重物和自重的作用下向下移动, 回到原始位置。

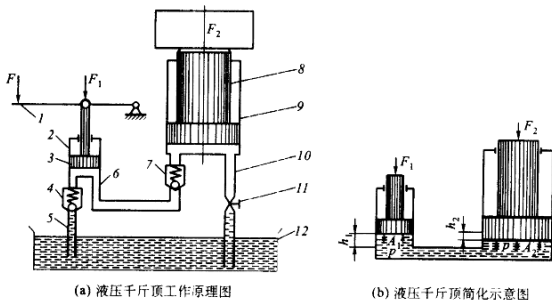


图 1-1 液压千斤顶

1—杠杆手柄; 2—小缸体; 3—小活塞; 4、7—单向阀; 5—吸油管;
6、10—管道; 8—大活塞; 9—大缸体; 11—截止阀; 12—通大气式油箱

由液压千斤顶的工作原理可知, 手动液压泵完成吸油与排油功能, 将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出。举升液压缸将油液的压力能转换为机械能输出, 将重物提起。大小液压缸组成了最简单的液压传动系统, 实现了液压系统中压力和运动速度的传递。

1. 压力传递原理

在图 1-1b 中, 设大活塞面积为 A_2 , 作用其上面的负载为 F_2 , 该负载在液压缸中产生的液压力为 $p = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理“在密闭容器内, 施加于静止液体上的压力将以等值同时传递到液体各点”。因此, 要顶起大活塞及其负载 F_2 , 在小活塞下腔就必须产生一个等值压力 p , 也就是在小活塞上必须施加力 F_1 。设小活塞面积为 A_1 , 则

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

当 A_1 、 A_2 一定时, 负载力 F_2 越大, 液体工作压力 p 也就越高, 所需的作用力 F_1 也就越大, 即系统的工作压力与外负载密切相关。

由此得出液压传动的第一个重要特征: 液压传动系统中的工作压力取决于外负载。

2. 运动速度的传递

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、管路的变形, 液压泵排出的液体体积必须等于进入液压缸的液体体积。设液压泵活塞的位移为 h_1 , 液压缸活塞的位移为 h_2 , 则

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

上式两边同除以运动时间 τ 得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2$$

式中: v_1 、 v_2 ——液压泵活塞和液压缸活塞的平均运动速度;

q_1 、 q_2 ——液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

由上述可知: 液压传动是靠密闭工作容器的容积变化相等的原则实现运动(速度和位移)的传递的。调节进入液压缸的流量 q 大小, 即可以调节活塞的运动速度 v 。

由此得出液压传动工作原理的第二个重要特征: 活塞的运动速度只取决于输入流量的大小, 而与外负载无关。

由液压千斤顶的工作过程分析可知, 液压传动是以液体为工作介质, 利用液体的压力来传递动力的一种形式, 液压传动的过程是机械能进行传递和转换的过程。

二、液压系统的组成

以磨床工作台液压传动系统为例说明液压传动系统的组成, 如图 1-2 所示。它由油箱 1、滤油器 2、液压泵 4、溢流阀 7、开停阀 9、换向阀 15、液压缸 18 以及连接这些元件的油管组成。液压泵 4 在电动机的驱动下工作, 将油箱 1 中的油液经过滤器 2 吸入液压泵, 在图 1-2a 所示状态下, 由液压泵输出的压力油通过压力管 10、开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 左腔, 推动活塞 17 和工作台 19 向右移动, 液压缸 18 右腔的油液经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。如果将换向阀手柄 16 换成图 1-2b 所示的状态, 则压力油进入液压缸 18 的右腔, 推动活塞 17 和工作台 19 向左移动, 液压缸 18 左腔的油液经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。如果将开停阀手柄 11 换成图 1-2c 所示的状态, 压力管 10 中的压力油将经过开停阀 9 和回油管 12 排回油箱, 这时工作台处于停止状态。

工作台 19 的移动速度是由节流阀 13 来调节的。在图示系统中, 液压泵出口处的油液压力是由溢流阀 7 决定的。

通过上面分析可知, 液压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的, 因

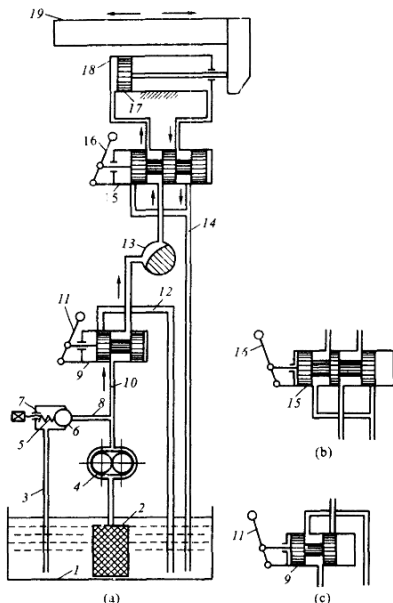


图 1-2 磨床工作台液压油系统工作原理图

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

此液压传动和液压控制常常难以截然分开。

一个完整的液压系统主要由以下五部分组成：

- (1) 能源装置 把机械能转换成油液液压能的装置。最常见的形式就是液压泵。
- (2) 执行装置 把油液的液压能转换成机械能的装置。如液压缸和液压马达。
- (3) 控制调节装置 对系统中的油液压力、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 保证系统正常工作所需要的其他装置。如油箱、油管、管接头、滤油器、压力表、流量表等。
- (5) 工作介质 传递能量的液体，通常为液压油。

三、液压系统的图形符号

图 1-2 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图。这种图形直观性强, 容易理解, 但图形比较复杂, 绘制起来比较麻烦。在实际工作中, 一般采用 GB/T 786.1—1993 所规定的液压元件图形符号(参见附录 A)来绘制液压系统工作原理图, 如图 1-3 所示

四、液压传动的优缺点

1. 液压传动的主要优点

(1) 在同等功率情况下, 液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。例如, 同等功率的液压马达的体积和重量只有电动机的 10%~20%。

(2) 液压装置工作比较平稳。由于重量轻、惯性小、反应快, 液压装置易于实现快速启动、制动和频繁换向。

(3) 液压系统能实现大范围无级调速, 调速范围可达 1:2000, 它还可以在运行过程中进行调速。

(4) 操作简单、方便, 易于实现自动化。当液压控制和电气控制、电子控制或气动控制结合起来使用时, 能实现复杂自动工作循环和远距离控制。

(5) 易于实现过载保护。液压缸和液压马达都能在长期失速状态下工作而不会过热, 这是电气传动装置和机械传动装置无法实现的。

(6) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化, 便于液压系统的设计、制造、维修和使用。液压元件的排列布置也具有较大的机动性。

(7) 液压传动可以输出较大的推力。因此, 可以实现低速大吨位运动, 这是其他传动所无法比拟的突出优点。

2. 液压传动的主要缺点

(1) 由于液压油的可压缩性和泄漏等原因, 液压传动不能保证严格的传动比。

(2) 液压传动对油温变化比较敏感, 它的工作稳定性很容易受到温度的影响, 因此它不宜在很高和很低的温度条件下工作。一般工作温度在 $-15 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围比较合适。

(3) 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失、溢流损失、节流损失等), 故系统效率较低, 长距离传动更为严重。

(4) 为了减少泄漏, 液压元件在制造精度上要求较高, 因此它的造价较高, 且对油液的污染比较敏感。

(5) 液压传动出现故障时不易找出原因。

总的说来, 液压传动的优点是突出的, 而它的一些缺点随着科学技术水平的提高正在被逐步克服, 因此液压传动在现代生产中有着十分广阔的前景。

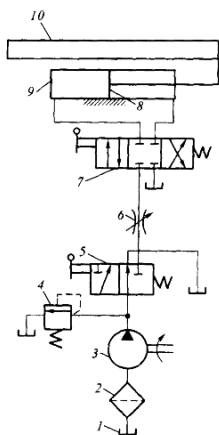


图 1-3 磨床工作台液压系统的图形符号图

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

第二节 液 压 油

在液压传动系统中, 液压油是传递动力和运动的工作介质。同时, 它还起到润滑、冷却和防锈的作用。

一、液压油的物理特性

液压油的一些基本性质可在有关资料中查到, 液压油最重要的性质是它的粘性和可压缩性。

1. 粘性

液体在外力作用下流动时, 分子间的内聚力会阻碍分子间的相对运动而产生一种内摩擦力。这一特性称为液体的粘性。粘性的大小用粘度表示, 粘性是液体的重要特性, 也是选择液压油的主要依据。液体只有在流动时才会呈现粘性, 静止的液体不呈现粘性。

粘度是衡量流体粘性的指标, 常用的粘度有动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 表示液体粘性的内摩擦系数或绝对粘度, 用 μ 表示。

在国际单位制(SI)中, 动力粘度的单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (帕·秒)。

(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。

在 SI 中运动粘度的单位是 m^2/s 。

就物理意义来说, ν 不是一个粘度的量, 但习惯上常用它来标志液体粘度, 例如机械油的牌号就是以机械油在 40°C 时运动粘度 ν (以 mm^2/s 计) 的平均值来标志的。

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

恩氏粘度是用恩氏粘度计测定的。其方法是: 将 200 mL 温度为 t (以 $^\circ\text{C}$ 为单位) 的被测液体装入粘度计容器中, 经其底部 $\phi 2.8$ 的小孔流出, 测出流尽所需时间 τ_1 , 再测出 200 mL 温度为 20°C 的蒸馏水在同一粘度计中流尽所需时间 τ_2 ; 这两个时间的比值即为被测液体在温度 t 下的恩氏粘度, 即

$$^\circ\text{E}_t = \frac{\tau_1}{\tau_2}$$

工业上常用 20°C 、 50°C 、 100°C 作为测定恩氏粘度的标准温度, 其相应的恩氏粘度分别用 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 、 $^\circ\text{E}_{100}$ 表示。

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

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

(4) 粘度与压力的关系 液体所受压力增加时, 其分子间的距离将减少, 于是内聚力增加, 粘度也略随之增大, 但在一般液压系统使用的压力范围内, 增大的数值很小, 可以忽略不计。当压力较高(大于 10 MPa)或压力变化较大时, 则需要考虑压力对粘度的影响。

(5) 粘度与温度的关系 液压油的粘度对温度变化十分敏感, 温度升高, 粘度下降。液压油的粘度随温度变化的性质称为粘温特性。它的变化率大小直接影响液压油液的使用, 其重要性不亚于粘度本身。几种国产液压油的粘温特性曲线如图 1-4 所示。

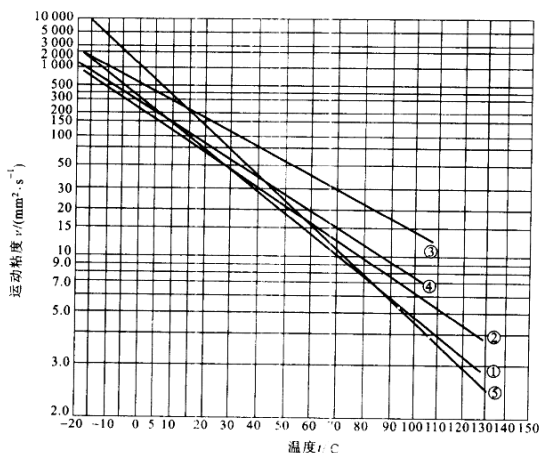


图 1-4 典型液压油的粘度-温度特性曲线

①—石油型普通液压油; ②—石油型高粘度指数液压油; ③—抗燃性水包油乳化液;

④—抗燃性水-乙二醇液; ⑤—抗燃性磷酸酯液

2. 液体的可压缩性

液体受压力作用而使其体积发生变化的性质, 称为液体的可压缩性。液体的可压缩性约比钢大 100 ~ 150 倍。

对于一般液压系统, 压力不高时液体的可压缩性很小, 因此可以认为液体是不可压缩的, 而在压力变化很大的高压系统中就需要考虑液体可压缩性的影响。当液体中混入空气时, 其可压缩性显著增加, 并将严重影响液压系统的工作性能, 故在液压系统中应使油液中的空气含量减小到最低限度。

3. 其他性能

液压油还有一些其他性质, 如稳定性(热稳定性、氧化稳定性、水解稳定性、剪切稳定性等)、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、润滑性以及相容性(对接触的金属、密封材料、涂料等的作用程度)等, 都对它的选择和使用有重要的影响。

二、液压油的要求及分类

1. 液压油的要求

不同的工作机械、不同的使用情况对液压油液的要求有很大不同,为了很好地传递运动和动力,液压系统使用的液压油应具备如下性能:

- (1) 合适的粘度, $\nu = (11.5 \sim 41.3) \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 或 $2 \sim 5.8 \text{ } \mathbb{E}_{50}$, 并且具有较好的粘温特性。
- (2) 质地纯净, 杂质少。
- (3) 润滑性能好。
- (4) 对金属和密封件具有良好的相容性。
- (5) 对热、氧化、水解和剪切都有良好的稳定性。温度低于 57°C 时, 油液的氧化进程缓慢, 之后, 温度每增加 10°C 氧化的程度增加一倍。所以, 控制液压传动工作介质的温度特别重要。
- (6) 抗泡沫好, 抗乳化性好, 腐蚀性小, 防锈性好。
- (7) 体积膨胀系数小, 比热容大。
- (8) 流动点和凝固点低, 闪点(明火能使油面上的油蒸气闪燃, 但油本身不燃烧的温度)和燃点高。
- (9) 对人体无害, 成本低。

对轧钢、压铸机、挤压机和飞机等液压系统则须突出耐高温、热稳定、不腐蚀、无毒、不挥发、防火等要求。

2. 液压油的分类

液压油的品种很多, 主要分为三大类型: 石油型、合成型和乳化型, 见表 1-1。

表 1-1 液压油分类及应用

分类	名 称	代号	组成和特性	应 用
石油型	精制矿物油	L-HH	无抗氧剂	循环润滑油, 低压液压系统
	普通液压油	L-HL	HH 油, 并改善其防锈和抗氧化性	一般液压系统
	抗磨液压油	L-HM	HL 油, 并改善其抗磨性	低、中、高压系统, 特别适用于有防磨要求带叶片泵的液压系统
	低温液压油	L-HV	HM 油, 并改善其粘温特性	能在 $-20 \sim -40^\circ\text{C}$ 的低温环境下工作, 用于户外工作的工程机械和船用设备的液压系统
	高粘度指数液压油	L-HR	HL 油, 并改善其粘温特性	粘温特性优于 L-HV 油, 用于数控机床液压系统和伺服系统
	液压轨道油	L-HG	HM 油, 并具有粘-滑特性	适用于导轨和液压系统共用一种油品的机床, 对导轨有良好的润滑性和防爬性
	其他液压油		加入多种添加剂	用于高品质的专用液压系统
乳化型	水包油乳化液	L-HFAE	需要难燃液的情况	
	油包水乳化液	L-HFB		
合成型	水-乙二醇液	L-HFC		
	磷酸酯液	L-HFDR		