

新编职业教育课程改革规划系列教材

机电模具类

设备控制技术

S H E B E I K O N G Z H I J I S H U

主编 张仕军 王新成 主审 熊良温



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

新编职业教育课程改革规划系列教材(机电模具类)

设备控制技术

SHE BEI KONG ZHI JI SHU

主 编 张仕军 王新成

编写委员会名单

主 任:刘志刚 熊良猛

副主任:熊华云 黄科祥

编 委:(按姓氏笔画为序)

王道广	王新成	邓世祥	冯德学	刘先春	刘松林	刘大军
刘 军	杨胜先	杨伟桥	杨爱国	杨兴全	杨汉全	陈景春
陈 智	陈新华	陈国衡	张仕军	张小梅	张珍明	李京平
李兆学	李良教	何世勇	邹福召	邹鸿斌	邹友志	汪 彬
罗再芳	郑 华	范维庆	林 涛	周志文	徐明成	徐祥成
顾文波	黄继平	黄成金	曹海源	章 毅	税清勇	董才荣
程泽湘	蒋廷采	彭海清	熊大友	燕 宏		

总策划编辑:杨远恒

责任编辑:王安顺



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

设备控制技术/张仕军,王新成主编. —武汉:中国地质大学出版社,2007.12

ISBN 978-7-5625-2222-5

I. 设…

II. ①张…②王…

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(2007)第 177134 号

设备控制技术 张仕军 王新成 主编

责任编辑:王安顺 责任校对:戴莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电话:(027)87395799 67883511 传真:87399606 67883580

E-mail:chb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:382 千字 印张:15

版次:2007 年 12 月第 1 版

印次:2007 年 12 月第 1 次印刷

印刷:武汉市洪林印务有限公司

印数:1—1000 册

ISBN 978-7-5625-2222-5

定价:23.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

关于新编职业教育课程改革规划系列教材(机电模具类)

编写说明

为了贯彻落实《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》和教育部《关于实施职业院校技能型紧缺人才培养培训工程的通知》等文件精神,根据《面向21世纪教育振兴行动计划》和教育部制定的教学指导方案的要求,中国地质大学出版社在全国范围内组织部分相关的高职、中职院校的骨干教师编写新编职业教育课程改革规划系列教材。

多年以来,我国职业教育机电、模具类专业以往的课程教材体系一直沿用的是机械制图、机械工程力学、金属工艺学、机械设计基础、电工基础、公差配合与技术测量等课程的设置方式,实行传统的学科本位教学模式,这种文化基础课、专业基础课和专业课严格区分的“三段式”教学模式重理论,轻实践;重知识,轻技能;课程之间缺乏联系,学科之间不便交融;课程门类繁多,内容较深,学生很难理解和掌握;培养出的学生难以适用于社会。为此,本系列教材编写以职业需求为出发点,以职业岗位(岗位群)的需要为依据,以现行职业教育课程、教材的弊端为突破口,借鉴各高、中等职业院校的教学实际,广泛征求意见,确立了“以能力为本位”的指导思想,以“实用、够用”为培养原则,对课程内容进行了较大幅度的调整。如:把《极限配合与技术测量》的公差配合部分的内容并入到《机械制图》中,把技术测量部分内容并入到《机械制造技术》课程之中;把工程力学、金属材料、机械设计基础等内容,合编成《机械工程基础》;把《电工基础》与《电子技术》合编成《电工与电子技术基础》,删去以前较复杂的理论,加强了实训部分;同时为了与岗位需求相适应,在《机械制图》中增加了计算机绘图等内容。

本系列教材切实本着理论知识培养以“实用”、“够用”为培养原则,贯彻“知识与技能型”,着重培养学生的动手能力,实现职业技术岗位之间的“零距离”、“零适应期”的教学指导思想,使学生完全具备各个岗位的知识能力和各种操作能力,适用于机械加工技术专业及模具设计与制造专业的相关课程的教学需要。

希望各职业院校积极推广和选用本系列教材,并在使用过程中,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

编委会

2007年7月

前言

本书是根据《国务院批转教育部 2003—2007 年教育振兴行动计划的通知》，针对中职业教育的特点，结合当前中等职业学校生源素质情况而编写的。主要介绍液压传动控制技术，电器控制技术，可编程序控制器(PLC)的应用，机-电-液联合控制技术的应用等。

本书主要突出以下特色：

1. 在内容上以设备控制技术为主线，以职业岗位技能要求为出发点，从应用角度讲述电器控制技术、PLC 应用技术、液压控制技术。

2. 紧扣中等职业教育目标，理论上以“实用、够用”为度，章节编排上力求简明扼要，言简意赅，并配有大量图表，使教材图文并茂，便于记忆和理解。旨在教师好教，学生好学。

3. 本书注重实用性，强调理论联系实际，教材各章节相对独立，可以灵活组织教学，以适应当前多种形式、不同层次的办学需要。

4. 利用仿真软件和实物进行现场教学，加强教学的直观性，弥补学生基础差的不足。

本课程的参考教学时数为 70~90 学时(包括实训课)。

参加本书编写的有：襄樊市机电工程学校张仕军(第一、第七章)，孝感市工业学校王新成、武汉机电工程学校杨汉全(第九章、第十章、第十一章)，襄樊市机电工程学校宋爱民(第二章、第三章)，湖北省自动化工程学校刘元春(第四章)，襄阳机电工程学校马超(第五章)，桂林机电工程学校刘次福(第六章)，四川遂宁民进中专陈智(第八章)。张仕军、王新成担任主编。全书由襄樊市机电工程学校高级讲师熊良猛主审。

本书部分章节的编写参考了有关资料，在此对参考文献的作者们表示衷心的感谢。

由于编者学识水平有限，错漏之处在所难免，敬请使用本书的师生批评指正。

编者

2007 年 12 月

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 设备控制技术的应用、特点及发展趋势	(1)
第二节 本课程的性质、任务和基本要求	(4)
复习思考题	(6)
第二章 液压传动基础	(7)
第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号	(7)
第二节 液压油	(9)
第三节 液体静力学	(16)
第四节 液体动力学	(18)
第五节 液体流经管路及阀门的压力损失	(22)
第六节 液体流经小孔和间隙的流量	(23)
第七节 液压冲击和空穴现象	(26)
复习思考题	(27)
第三章 泵和马达、液压缸及辅助元件	(29)
第一节 液压泵和液压马达	(29)
第二节 液压缸	(38)
第三节 辅助元件	(44)
复习思考题	(49)
第四章 液压控制阀及基本回路	(51)
第一节 方向控制阀及方向控制回路	(51)
第二节 压力控制阀及压力控制回路	(57)
第三节 流量控制阀及速度控制回路	(63)
第四节 多缸工作控制回路	(68)
复习思考题	(71)
第五章 典型液压传动系统与使用维护	(73)
第一节 组合机床动力滑台的液压系统	(73)
第二节 注塑机液压系统	(77)
第三节 数控机床液压系统	(82)
第四节 液压系统的使用、维护与故障排除	(85)
复习思考题	(94)
第六章 常用低压电器	(95)
第一节 电器的基本知识	(95)

第二节 开关电器	(100)
第三节 熔断器	(102)
第四节 主令电器	(104)
第五节 接触器	(109)
第六节 继电器	(112)
复习思考题	(119)
第七章 继电器——接触器控制电路	(121)
第一节 电气控制系统图文字符号、图形符号和绘图原则	(121)
第二节 三相笼型异步电动机的直接启动控制电路	(124)
第三节 三相笼型异步电动机降压启动控制电路	(132)
第四节 三相笼型异步电动机制动控制电路	(136)
第五节 三相异步电动机调速电路	(142)
第六节 组合机床的基本控制电路	(143)
复习思考题	(146)
第八章 典型设备控制电路分析	(148)
第一节 电气图的读图方法和步骤	(148)
第二节 车床控制电路分析	(150)
第三节 铣床控制电路分析	(153)
第四节 钻床控制电路分析	(159)
第五节 常用电气设备控制电路的分析与维修	(162)
复习思考题	(168)
第九章 可编程序控制器	(169)
第一节 PLC 概述	(169)
第二节 PLC 控制器的硬件组成	(171)
第三节 FX 系列 PLC 的软件组成	(177)
第三节 PLC 的工作原理	(181)
第四节 FX 系列 PLC 的基本指令系统	(182)
第五节 梯形图的画法及程序编写	(190)
第六节 PLC 控制实例	(198)
复习思考题	(206)
第十章 机-电-液联合控制	(210)
第十一章 FXGP 编程软件的应用	(217)
附录 A 常用液压元(辅)件图形符号(GB 786—1993)	(224)
附录 B 电气图常用图形及文字符号	(228)
参考文献	(233)

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。

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、农业机械及各种加工机床,轻工业机械,机械手与机器人、飞行器、舰艇等装备和行业中都有着广泛的应用。

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,操作方便、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。由于系统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) 液压油的黏度随油温而变化,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—压力能—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。

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。

随着微电子技术的发展,由小型或微型计算机加上通用或专用大规模集成电路组成的计算机数控装置,将越来越多地用于机床控制,给机床电气控制技术开辟了新的前景。

三、可编程序控制器的特点及发展趋势

1. 特点

可编程序控制器之所以得到迅速的发展和越来越广泛的应用,是因为它具有如下一些良好的特点。

(1)功能完善 PLC的输入/输出系统功能完善,性能可靠,能够适应于各种形式和性质的开关量及模拟量信号的输入和输出。在PLC内部具备许多控制功能,诸如时序、计数器、主控继电器以及移位寄存器、中间继电器等。由于采用了微处理机,它能够很方便地实现延时、锁存、比较、跳转和强制I/O等诸多功能,它不仅具有逻辑运算、算术运算、数制转换以及顺序控制功能,而且还具备模拟运算、显示、监控、打印及报表生成等功能。此外,它还可以和其他微型计算机系统、控制设备共同组成分布式或分散式控制系统,还能够实现成组数据传送、矩阵运算、闭环控制、排序与查表、函数运算及快速中断等功能。因此PLC具有极强的适应性;

能够很好地满足过程控制的需要。

(2)模块化结构,硬、软件开发方便 PLC 的硬件结构全部采用模块化结构,可以适应大规模不同、功能复杂程度及现场环境各异的各种控制要求。硬件系统安装方便,接线简单,连接可靠,为控制系统的硬件设计提供了方便、快捷的途径,可以大大缩短硬件系统的开发周期。

软件编程支持梯形图,逻辑语言直观、方便,只要有了通常的继电器梯形图、逻辑图或逻辑方程,就等于有了 PLC 系统用户程序,大大减轻了系统软件开发的工作量。另外,这一特点对于 PLC 系统取代原继电器控制系统,进行老设备改造是十分有利的。

总之,使用 PLC 可以大大缩短整个系统设计、生产、调试周期,节约系统投资。

(3)操作方便,维护、改造容易 PLC 的输入/输出系统能够直观地反映现场信号的变化状态,PLC 还能够通过各种方式直观地反映控制系统的运行状态,如内部工作状态、通信状态、I/O 点状态、异常状态、电源状态等均有醒目的指示,非常有利于运行、维护人员监视系统的工作状态。

PLC 采用梯形图逻辑编程,有利于电气操作人员对 PLC 的编程,使得操作人员可以方便地调整系统的编程和组态。

另外,PLC 的模块化结构,可以允许维护人员很方便地更换故障模块或在生产工艺流程改变时更改系统的结构和配置。

(4)性能稳定,可靠性高 PLC 产品都有其严格的技术标准,这些标准保证了 PLC 在恶劣的工业环境下的正常运行。它在电子线路、机械结构以及软件结构上都吸取了生产厂家长期积累的生产控制经验,主要模块均采用大规模与超大规模集成电路,I/O 系统设计有完善的通道保护与信号调理电路,在机械结构上对耐热、防潮、防尘、抗震等都有精心考虑,所有这些使得 PLC 具有较好的性能和较高的可靠性。一般平均无故障时间可达几万小时以上。

另外,PLC 还具有较完善的自诊断、自测试功能。

(5)具有较高的性能/价格比。

2. 发展趋势

随着微处理器技术的发展,可编程序控制器也得到了迅速发展,其技术和产品日趋完善。它不仅以其良好的性能特点满足了工业生产控制的广泛需要,而且将通信技术和信息处理技术融为一体,使得其功能日趋完善。目前的高档 PLC 产品的功能已经可以和集散控制系统(DCS)相媲美,在很多应用场合下,大有取而代之的趋势。事实上,PLC 和 DCS 的发展相互渗透,相互融合,最终将合二为一,是 PLC 和 DCS 发展的总趋势。就目前来看,PLC 在 DCS 中所占比例越来越大,甚至在很多过去由 DCS 控制的系统中,现在 PLC 控制系统完全可以胜任。

目前,PLC 技术和产品的发展非常快,各厂家不同类型的 PLC 品种繁多,各具特色,各有千秋。综合起来看,PLC 的发展趋势有以下几个方面。

(1)系统功能完善化 现今的 PLC 在功能上已有很大发展,它不再是仅仅能够取代继电器控制的简单逻辑控制器,而是采用了功能强大的高档微处理器加上完善的输入/输出系统,使得系统的处理能力和控制功能得到大大增强。同时它还采用了现代数据通信和网络技术,配以交互图形显示及信息存储、输出设备,使得 PLC 系统的功能日趋完美,足以能够满足绝大多数的生产控制需要。

(2)体系结构开放化及通信功能标准化 大多数 PLC 系统都采用了开放性体系结构,通

过制定系统总线接口标准、扩展和通信接口标准,使得 PLC 系统能够根据应用需求的大小任意扩展。绝大多数公司推出的硬件产品均采用模块化、单元化结构,根据应用需求确定模块的数量,这样既减少了系统投资,又保证了今后系统升级、扩展的需要。

目前各公司的总线、扩展接口及通信功能均是各自独立制定的,还没有一个适合所有公司产品的统一标准,但为满足用户多变主环境下的广泛需求,制定一个统一的、标准化的总线和扩展接口标准势在必行。在通信接口上虽然大多数产品采用了标准化接口,但在通信功能上大多是非标准化的。为适应应用环境要求,制定统一的、规范化的 PLC 产品标准是今后发展的必然趋势。

(3) I/O 模块智能化及安装现场化 为了提高系统的处理能力和可靠性,大多数 PLC 产品均采用了智能化 I/O 模块,以减轻主 CPU 的负担,同时也为 I/O 系统的冗余带来了方便。另一方面,为了减少系统配线,减少 I/O 信号在长线传输时引入的干扰,很多 PLC 系统将其 I/O 模块直接安装在控制现场,使得现场仪表、传感器、执行器和智能 I/O 模块一体化。现场安装的 I/O 模块通过通信电缆或光缆与主 CPU 进行数据通信,完成信息的交换。

(4) 功能模块专用化 为满足控制系统的特殊要求,提高系统的响应速度,很多 PLC 公司推出了专用化功能模块,以满足系统诸如快速响应、闭环控制、复杂控制模式等特殊要求,从而解决了 PLC 周期扫描时间过长的矛盾。如 OMRON 公司的位置控制单元、高速计数单元、模糊控制单元和 ID 传感器单元等均属专用化模块单元。

(5) 编程组态软件图形化 为了给用户提供一个友好、方便、高效的编程组态界面,大多数 PLC 公司均开发了图形化编程组态软件。该软件提供了简捷、直观的图形符号以及注释信息,使得用户控制逻辑的表达更加直观、明了,操作和使用也更加方便。

(6) 硬件结构集成化、冗余化 随着专用集成电路(ASIC)和表面安装技术(SMT)在 PLC 硬件设计上的应用,使得 PLC 产品硬件元件数量更少,集成度更高,体积更小,其可靠性更高。同时,为了进一步提高系统的可靠性,PLC 产品还采用了硬件冗余和容错技术。用户可以选择 CPU 单元、通信单元、电源单元或 I/O 单元甚至整个系统的冗余配置,使得整个 PLC 系统的可靠性得以进一步加强。

(7) 控制与管理功能一体化 为了更进一步满足控制需要,提高工厂自动化水平,PLC 产品广泛采用了计算机信息处理技术、网络通信技术和图形显示技术,使得 PLC 系统的生产控制功能和信息管理功能融为一体,进一步提高了 PLC 产品的功能,更好地满足了现代化大生产的控制与管理需要。

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”是一门实用性很强的专业课。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,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。

一、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。

二、实训能力目标

- (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。

三、本课程的性质和任务

本课程是一门实用性很强的专业课。主要内容是以电动机或其他执行电器为控制对象,介绍继电接触器控制系统和可编程序控制器控制系统的工作原理,典型设备的电气控制系统和电气控制系统的设计方法。现在可编程序控制器应用越来越广泛,已成为实现工业自动化的重要手段。所以,本课程的重点是可编程序控制器控制系统,但这并不意味着继电接触器控制系统就不重要了。首先,继电接触器控制在小型电气控制系统中还普遍使用,而且它是组成电气控制系统的基础;其次,尽管可编程序控制器取代了继电器,但它取代的主要是逻辑控制部分,而电气控制系统中的信号采集和驱动输出部分仍要由电器元器件及控制电路来完成。所以,对继电接触器控制系统的学习仍是非常必要的,是基础的知识。本课程的目的是让学生掌握非常实用的工业控制技术以及培养和提高学生的实际应用和动手能力,为后续学习打下坚实基础。

本课程的基本任务是:

- (1)熟悉常用低压电器的结构原理、用途及型号,达到正确使用和选用的目的。
- (2)熟练掌握电气控制电路的基本环节,具备阅读和分析电气控制电路的能力,能设计简单的电气控制电路,较好地掌握电气控制电路的简单设计方法。
- (3)了解电气控制电路分析的方法和步骤,熟悉典型生产设备的电气控制电路的工作原理。
- (4)熟悉可编程序控制器的基本工作原理及应用发展概况。
- (5)熟练掌握可编程序控制器的基本指令系统和典型电路的编程,掌握可编程序控制器的程序设计方法,掌握和熟悉可编程序控制器功能指令的使用。
- (6)了解可编程序控制器的网络和通信原理。
- (7)了解可编程序控制器实际应用程序的设计方法和步骤。

复习思考题

1. 液压传动的优点、缺点是什么?
2. 机床电气控制的优点、缺点是什么?
3. PLC 控制的优点、缺点是什么?
4. “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

液压传动与机械传动、电气传动相比,具有许多优点,所以在各类机械设备中被广泛采用。特别是近年来,液压与微电子技术、计算机技术相结合,使液压技术的发展进入了一个新的阶段。数控机床和数控加工中心等现代加工设备基本上都用到了液压传动控制技术。

本章主要介绍液压传动的工作原理、组成、液压油及常用液压元件。

第一节 液压传动的工作原理、系统组成及图形符号

一、简单机床的液压传动系统

如图 2-1 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 2-1(a)]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,将其阀芯推至右端[图 2-1(b)],使管路 P 和 A 通, B 和 T 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 2-1(c)],使管路 P 和 B 通, A 和 T 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。当挡块 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。

工作台的移动速度通过节流阀 6 调节。当阀 6 开口较大时,进入液压缸的流量大,工作台移动速度较快;关小节流阀,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,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,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。滤油器 2 起过滤和净化油液的作用,压力表 4 用以测定泵出口的油压。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。

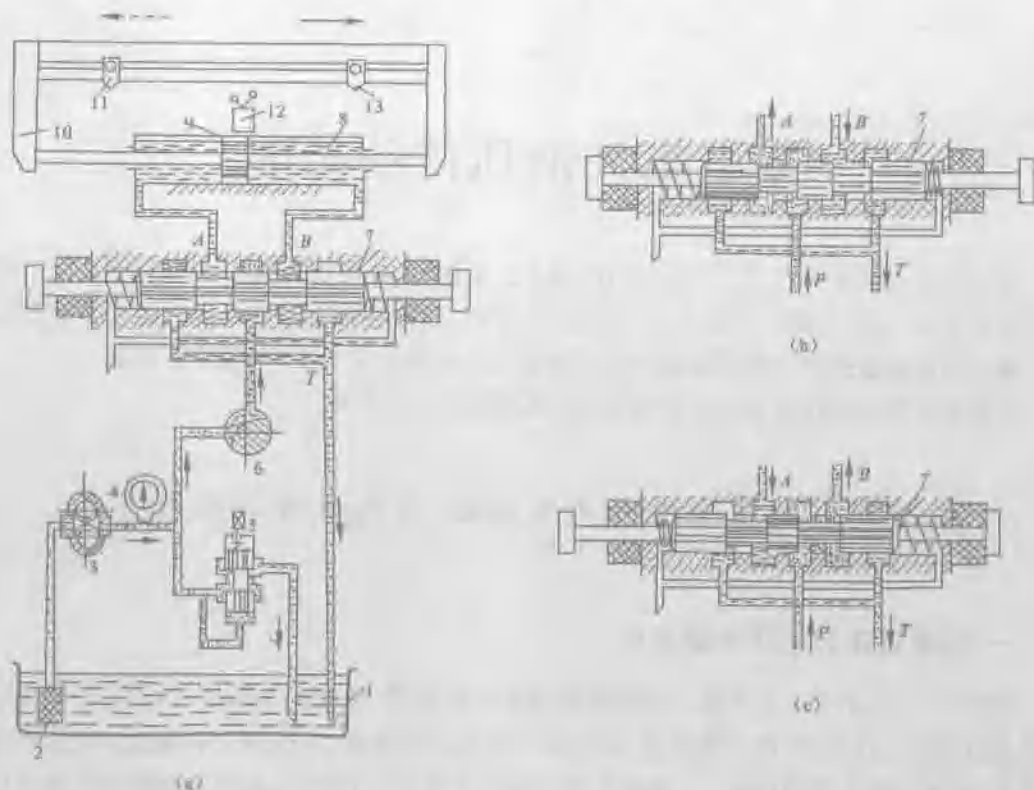


图 2-1 简单机床的液压传动系统图

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—压力表；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

二、液压传动系统的组成

液压传动系统由以下五个部分组成：

(1) 动力元件——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,其作用是提供压力油,它是液压系统的动力源。

(2) 执行元件——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——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——油箱、油管、管接头、滤油器、压力表、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——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

如图 2-1 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,当液压元件较多时就显得繁琐,也不易绘制。为此,国内外都广

泛采用元件的图形符号来绘制液压系统原理图。图 2-2 即为用元件符号绘制的如图 2-1 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。

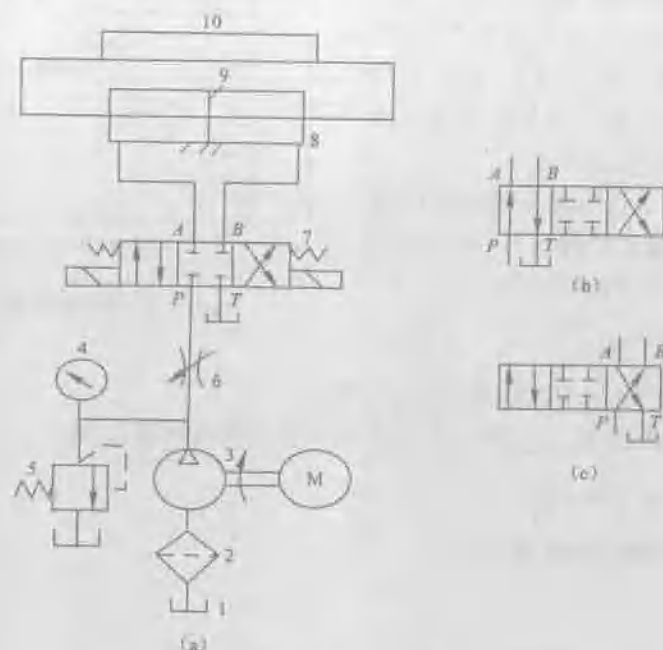


图 2-2 液压传动系统图(用图形符号绘制)

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

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(GB786—1993)目前采用的液压元(辅)件图形符号。

第二节 液压油

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和主要规律,对于正确理解液压传动原理、规律及正确使用液压系统都是非常必要的。

一、液压油的主要物理性质

(一)黏性

1. 牛顿液体内摩擦定律

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

力,这一特性称为液体的黏性,它是液体的重要物理性质。液体只在流动时才会呈现黏性,静止液体不呈现黏性。以图 2-3 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,由于液体的黏性作用,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。

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

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

式中: μ ——比例常数,又称为黏性系数或动力黏度。

若以 τ 表示内摩擦切应力,即液层间在单位面积上的内摩擦力,则

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

式(2-2)为牛顿液体内摩擦定律。

2. 黏度

液体黏性的大小用黏度来表示,常用的黏度有三种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

(1) 动力黏度 表征流体黏性的内摩擦系数或绝对黏度,用 μ 表示,即

$$\mu = \frac{F}{A \frac{du}{dy}} = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2-3)$$

由式(2-3)可知,动力黏度 μ 的物理意义是: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(单位面积上的内摩擦力)。

在 SI 制中动力黏度单位为 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 运动黏度 动力黏度 μ 与其密度 ρ 的比值,称为运动黏度,用 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-4)$$

运动黏度 ν 无明确的物理意义,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,所以称为运动黏度。它是液体压力的分析和国产液压油的命名中常遇到的一个物理量。

在 SI 制中运动黏度的单位是 m^2/s ,它与单位 cm^2/s 、 mm^2/s 之间的关系是

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

液压油的牌号,采用它在 40°C 温度下运动黏度平均值来标号,例如 N32 号液压油,指这种油在 40°C 时的运动黏度平均值为 $32 \times 10^6 \text{ mm}^2/\text{s}$ 。我国的液压油旧牌号则是采用按 50°C 时运动黏度的平均值表示的。液压油新旧牌号对照见表 2-1。

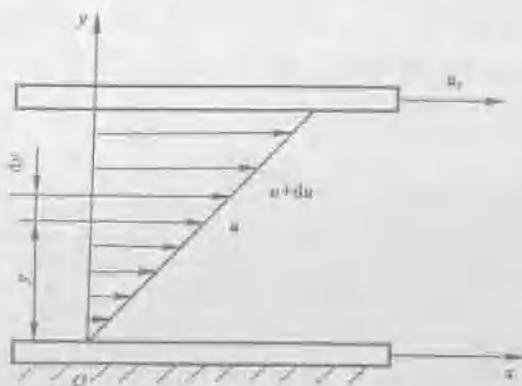


图 2-3 液体的黏性示意图