



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

设备控制基础

(数控技术应用专业)

主编 李 超



高等教育出版社

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

设备控制基础

(数控技术应用专业)

主 编	李 超
副 主 编	李春鹏
责任主审	张世昌
审 稿	齐永顺 张海根

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数控技术应用专业教学指导方案,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。

本书将液压传动和气压传动技术相互贯通,并加入了机床电气控制部分的知识与内容,压缩了传统内容,加强了液压与气动及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:液压与气压传动和机床电气控制的特点、发展趋势,液压与气压传动的基础知识,液压、气动和机床电气系统的常见故障与排除方法;常用液压与气动和电气元件的分类、工作原理、图形符号、结构特点、用途和基本回路及应用实例;可编程控制器的分类、特点、工作原理、应用、与继电器之间的区别、梯形图语言及控制应用实例;典型电气控制电路和控制电路常见故障及机—电—液联合控制实例。

本书实训部分单独编写成册,与教材配套出版。

本书采用模块式编写方式,可作为中等职业学校数控技术应用专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

设备控制基础/李超主编. —北京:高等教育出版社,
2001.12

ISBN 7-04-010267-6

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 (2001) 第 088989 号

设备控制基础

李 超 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

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

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 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2001 年 12 月第 1 版

印 张 13

印 次 2001 年 12 月第 1 次印刷

字 数 300 000

定 价 15.90 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

本书根据教育部 2001 年颁发的中等职业学校数控技术应用专业“设备控制基础教学基本要求”(72~100 学时)编写。本书主编作为机械专业指导委员会设备控制基础课程教学改革小组成员,参加了该教学大纲的起草、审定全部工作,大纲融入了数控技术应用试点专业教改的有关经验和成果,同时参照了行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准。由于设备控制基础是一门新设立的跨机和电两个专业的综合课程,为了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,力求浅显易懂、少而精、理论联系实际和学以致用。在较全面地阐述有关液压与气压传动及机床电气控制的基本内容的基础上,力求多介绍一些反映我国液压与气动和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,以课程教学基本要求为基础,编写内容以“必需、够用”为度,编写语言通俗易懂。

2. 以能力的培养为主线,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的工作作风,突出培养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,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及维护和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、先进性及教学适用性。

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部分优秀学生的需要。

5. 以录像、CAI 多媒体课件等现代化教学手段和课堂实物演示、拆装及现场教学等方法,加强教学的直观性和互动性,弥补学生基础较差的不足。

本书加*号的章节是选学内容,属于教学基本要求中选用模块,其余内容是教学基本要求中必修的基础模块。

本书基础模块教学为 72 学时,学时方案建议见下表(供参考):

课程内容	合 计	讲 授	实 训	机 动
第一章 概述	2	2		
第二章 液压与气压传动基础	6	6		
第三章 液压元件与基本回路	24	16	6	2
第四章 气压元件与基本回路	16	10	4	2

续表

课程内容	合 计	讲 授	实 训	机 动
第五章 常用低压电器	2	2		
第六章 继电器—接触器基本控制电路	8	4	2	2
第七章 可编程控制器	8	6	2	
第八章 典型电气控制电路	6	4		2
合 计	72	50	14	8

本书基础模块加选学模块教学为 100 学时，学时方案建议见下表(供参考)：

课程内容	合 计	讲 授	实 训	机 动
第一章 概述	2	2		
第二章 液压与气压传动基础	8	6	2	
第三章 液压元件与基本回路	27	19	6	2
第四章 气压元件与基本回路	19	12	4	3
第五章 常用低压电器	2	2		
第六章 继电器—接触器基本控制电路	14	7	4	3
第七章 可编程控制器	17	10	2	5
第八章 典型电气控制电路	11	6	2	3
合 计	100	64	20	16

为便于教师指导教学及学生使用，本书实训部分单独编写成册，与本教材配套出版。

本书由沈阳市机电工业学校李超担任主编(编写第一、四章和第二章第一节~第四节、第三章第一节~第七节、第八章的第五节)，黑龙江省教育学院李春鹏担任副主编(编写第五、六章和第七章第一节~第四节、第六节及第八章第一节~第四节)，参加编写工作的还有沈阳市机电工业学校关颖(编写第二章第五节)、胡玉辉(编写第二章第六节)、于春月(编写第三章第八节)、河北机电学校曾聪敏(编写第七章第五节)。本书由北京市机械局职工大学孙建东、李玉兰、庄严老师审阅，三位老师提出许多宝贵的修改意见，为提高本书的质量起到很好的作用。在编写中还得到了辽宁省教育学院李世维，河北机电学校王明耀，广东机械学校朱焕池以及长白集团计算机外部设备厂李开武总工程师、何东宇工程师的帮助，在此一并表示感谢。

本教材通过全国中等职业教育教材审定委员会审定，由天津大学张世昌教授担任责任主审，天津大学齐永顺教授、张海根副教授审稿。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，错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2001年6月30日

目 录

第一章 概述	1	第四节 熔断器	111
第二章 液压与气压传动基础	4	习题与思考题	113
第一节 液压与气压传动概述	4	第六章 继电器—接触器基本控制电路	114
第二节 液压与气压传动工作介质	5	第一节 电气控制系统图图形符号、文字	
第三节 流体静力学基础	8	符号和绘图原则	114
第四节 流体动力学基础	10	第二节 三相异步电动机直接起动控制电路 ...	115
第五节 液体流经小孔和间隙的流量	13	第三节 三相异步电动机降压起动控制电路 ...	121
第六节 液压冲击与空穴现象	14	第四节 三相异步电动机制动控制电路	124
习题与思考题	15	* 第五节 电气控制电路设计	126
第三章 液压元件与基本回路	17	* 第六节 设计方法举例	129
第一节 液压泵	17	习题与思考题	131
第二节 液压缸	23	第七章 可编程控制器	135
第三节 液压控制阀	29	第一节 概 述	135
第四节 液压辅助元件	40	第二节 PC 的结构与工作原理	136
第五节 液压基本回路	44	第三节 可编程控制器的指令系统	142
第六节 典型液压传动系统	51	第四节 编写方法和编程器的使用	151
第七节 液压系统的故障分析与排除	56	* 第五节 可编程控制器的安装	155
习题与思考题	58	* 第六节 可编程控制器的应用	159
第四章 气压元件与基本回路	60	习题与思考题	164
第一节 气源装置	60	第八章 典型电气控制电路	166
第二节 气动执行元件	61	第一节 电气图的识图方法和步骤	166
第三节 气动控制元件	65	第二节 CA 6140 车床电气控制线路	167
第四节 气动辅助元件	75	第三节 M 7120 平面磨床电气控制线路	170
第五节 气动基本回路	79	第四节 Z 3040 摇臂钻床电气控制线路	176
第六节 典型气压传动系统	86	* 第五节 机—电—液联合控制实例	180
第七节 气动系统的故障分析与排除	87	习题与思考题	187
* 第八节 气动控制回路的设计	89	附录 1 液压与气动常用图形符号	
习题与思考题	92	(摘自 GB/T 786.1—1993)	189
第五章 常用低压电器	94	附录 2 电气图常用图形符号(摘自	
第一节 开关与主令电器	94	GB/T 4728)	194
第二节 接触器	99	参考文献	196
第三节 继电器	103		

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,从而使设备按照规定的加工与制造工艺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及其控制等实用技术。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。本教材研究设备控制技术中的液压传动、气压传动和电气传动部分。

一、设备控制技术的应用、特点及发展趋势

1. 液压传动的应用、特点及发展趋势

液压传动在交通运输机械、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都有广泛的应用。

与其他传动装置相比,液压传动有如下特点:

(1) 由于液压传动的工作压力较高,因此容易获得较大的力或力矩;在输出功率相同的条件下,液压传动装置体积小、质量小、结构紧凑、惯性小。

(2) 易于实现直线往复运动、旋转运动和摆动,运动比较平稳,冲击小;易于实现无级调速,调速范围大;易于实现自动化和过载保护;不易实现定比传动。

(3) 液压系统的运动部件在油液中工作,润滑性好、寿命长;但因液压油的粘度随油温的不同而变化,使得液压系统在高温和低温条件下工作都有困难。

(4) 能量的获得与传送远不如电能方便;液压元件的制造工艺和维修工艺要求比较高。

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。

2. 气压传动的应用、特点及发展趋势

气压传动广泛应用于机械、电子、轻工、纺织、食品、医药、包装、冶金、石化、航空、交通运输等多个工业部门。

气压传动与机械、电气、液压传动相比,有以下特点:

(1) 由于工作介质是空气,来源方便,用后可直接排入大气,但伴有较大的排气噪声;空气的粘度小(只有油粘度的万分之一),其流动中的压力损失很小,省能、高效,便于远距离输送和集中供气。

(2) 易于实现快速直线往复运动、摆动和高速转动,反应迅速,维护简单,调速方便,可直接利用气压信号实现系统的自动控制。

(3) 工作环境适应性好。无论在易燃、易爆、多尘埃、强磁等恶劣环境，还是在食品加工、纺织、印刷、精密检测等高净化、无污染场合都具有良好的适应性，且工作安全可靠，过载时能实现自动保护。

(4) 因工作压力低(0.2~1.0 MPa)，不易获得较大的输出力或转矩。又由于空气具有可压缩性，载荷变化时运动平稳性稍差。

(5) 气动元件结构简单，制造简便，成本低，寿命长，易于实现标准化、系列化和通用化。

随着工业的发展，气压传动的应用范围也在日益扩大。与此相适应，应努力开发更多的、性能良好的气动系统，以满足气动装置多样化及机械电子工业快速发展的要求。目前，为了提高系统的可靠性并降低成本，气压传动正向着无油化、节能化、小型化和轻量化、位置控制的高精度化以及与电子学相结合的综合控制的方向发展。

3. 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。因组成部件的运动情况和生产工艺有所不同，机床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特点是：

- (1) 操作简单，用途广泛，适于远距离控制，抗干扰能力强；并能完成相对固定的生产工艺要求。
- (2) 要设有保护装置，避免因打火导致事故发生。
- (3) 灵活性差，生产效率低下，加工精度不高。
- (4) 体积、质量和耗电量较大。
- (5) 结构较复杂，工作寿命较短，维护较难。

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、质量小、耗电省、可靠性高且维护方便，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，其中数控机床和数控系统就是典型的例子。可编程控制器(PC)把计算机的编程灵活、功能齐全、应用面广等优点与继电器控制系统的控制简单、方便灵活、抗干扰能力强等特点结合起来，在工业生产过程控制中的应用已十分广泛，这也极大地促进了机床电气控制技术的发展。表1-1是液压、气动、电气及机械传动与控制的性能比较。

表 1-1 几种传动方式性能比较表

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	较小	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 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

• 2 •

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。

二、本课程的性质、任务和基本要求

“设备控制基础”是数控技术应用专业的一门主干专业课程。设备控制技术在生产过程、科学研究及其他各个领域的应用十分广泛。本课程主要以液压传动、气压传动及机床电气控制为研究对象，介绍液压与气压传动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，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，辅以多媒体电化教学等现代化教学手段，讲授上述几方面的内容，以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掌握液压与气压传动和机床电气控制的基本原理，会分析与排除设备机、电、液、气控制系统的常见故障，并为提高有关专业能力打下基础。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) 了解液压、气压和电气元件的工作原理及其特性，会选用常用元器件；
- (2) 掌握液压与气压传动系统的基本原理；
- (3) 掌握设备电气控制系统的基本原理；
- (4) 会阅读设备传动控制系统图，初步掌握设备传动控制系统故障的分析和排除方法；
- (5) 会拆装、维修设备的简单传动控制系统。

第二章 液压与气压传动基础

第一节 液压与气压传动概述

一、液压与气压传动工作原理

1. 液压千斤顶的组成

液压千斤顶是一个简单的液压传动装置，如图 2-1 所示。它由液压泵和液压缸两部分构成。液压泵(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。

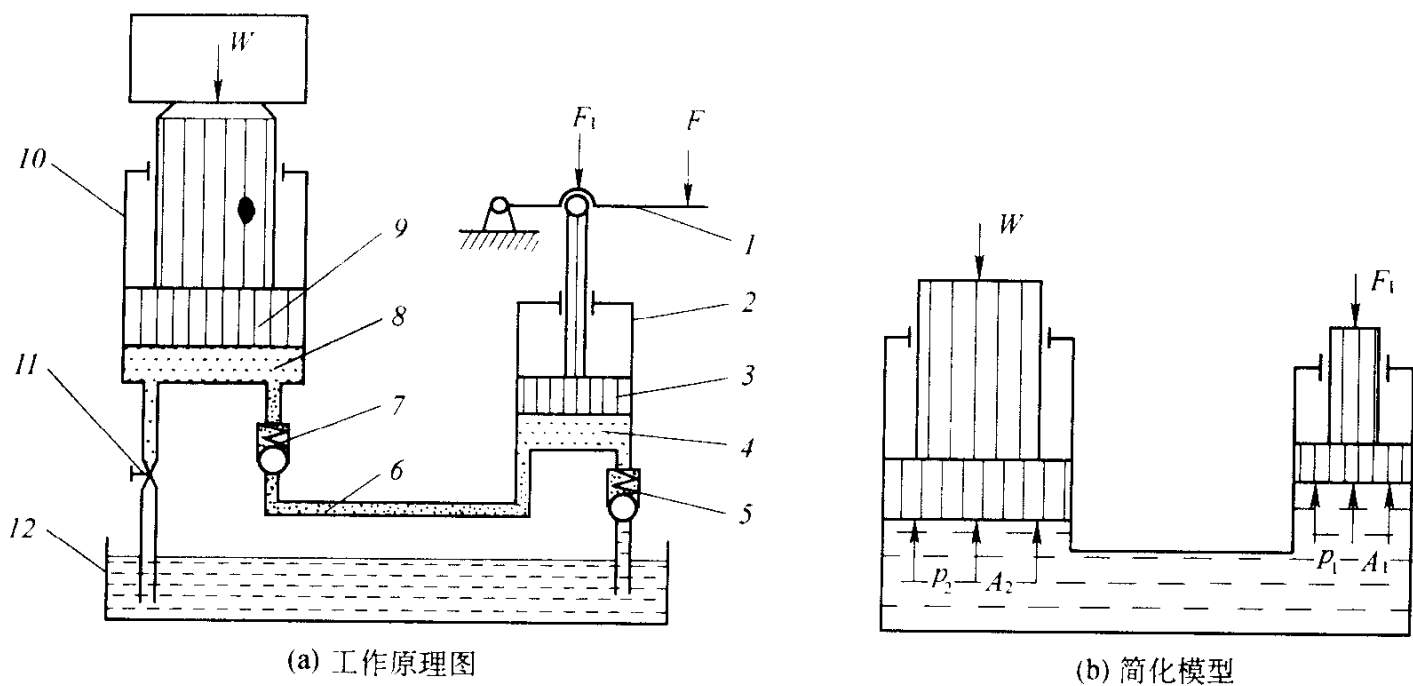


图 2-1 液压千斤顶

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，油液就不不断地被压入油腔 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 的最下部)。

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的油液换成气体，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、液压与气压传动系统的组成

通过对液压千斤顶工作原理的分析，可以看出，液压与气压传动系统除工作介质(液压油与空气)外，主要由动力元件、执行元件、控制调节元件、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见表 2-1。

表 2-1 液压与气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、空气压缩机	把机械能转换成流体的压力能，用以推动执行元件运动	手动柱塞泵
2	执行元件	直线运动的液压(气)缸、回转运动的液压(气)马达	把流体的压力能转换成机械能	液压缸
3	控制调节元件	溢流阀、节流阀、换向阀等	对液(气)压系统中流体的压力、流量和流动方向进行控制和调节	放油阀 11 单向阀 5、7
4	辅助元件	油箱、过滤器、分水滤气器、油雾器、蓄能器、接头、密封件等	对工作介质进行储存、过滤、输送、密封等	油箱 12 油管 6

三、液压与气压传动系统的图形符号

图 2-1a 反映的是一种结构式的工作原理图。它直观性强，容易理解，但绘制较复杂。我国根据国际标准化组织(ISO)制定的液压气动图形符号标准，在 GB/T 786.1—1993 中作出了明确规定，可以方便而清晰地表达各种类型的液压、气动系统。常用液压气动元件的图形符号见附录 1。

第二节 液压与气压传动工作介质

液压传动的工作介质是液压油，气压传动的工作介质是空气。

一、工作介质的性质

1. 密度

体积为 V 、质量为 m 的流体的密度 ρ 为

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ kg/m}^3 \quad (2-1)$$

液压与气压传动的工作介质的密度都随温度上升而减小，随压力的增加而增大。但液压油的密度随温度和压力变化的变动值很小，可以近似认为是常数，而空气的密度受温度和压力变化的影响较大。

2. 粘性

流体在流动时，在其分子间产生内摩擦力的性质，称为流体的粘性，粘性的大小用粘度表示。

(1) 动力粘度 表征液体粘性的内摩擦系数(又称绝对粘度)，用 μ 表示。在国际单位制 SI 中的单位为 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ (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 中的单位是 m^2/s (米²/秒)。工程上常用 St (托克斯, 简称斯)(cm^2/s)、cSt (厘斯)(mm^2/s) 作为度量单位。

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

习惯上常用运动粘度来标志液体粘度。液压油的牌号，采用温度为 40℃ 时的运动粘度的平均值(单位为 mm^2/s)来表示。例如，L—H32 号液压油，指这种油在 40℃ 时的运动粘度的平均值为 32 mm^2/s 。

液压油粘度对温度的变化十分敏感，温度升高，粘度下降。一般在中低压时，液压油粘度可视为常数，但当压力大于 10 MPa 时，则需考虑压力对粘度的影响。

空气粘度随温度变化而变化，压力变化对粘度的影响可忽略不计。

二、液压油的选用

由于液压传动中的液压油是传递运动和动力的工作介质，因此液压油的性能如何，直接影响液压系统工作的好坏。

液压油的品种由代号和后面的数字组成，代号中 L 是石油产品的总分类号，H 表示液压系统用的工作介质，数字表示该工作介质的某个粘度等级。石油型液压油是最常用的液压系统工作介质，其各项性能都优于全损耗系统用油 L—AN (原称机械油)，HL 液压油已成为不再生产的机械油的升级换代产品。表 2-2 是石油型液压油的使用范围。

表 2-2 石油型液压油的使用范围

名 称	代 号	组成和特性	应 用
精制矿物油	L—HH	无抗氧剂	循环润滑油，低压系统
普通液压油	L—HL	HH 油，并改善其防锈和抗氧性	一般液压系统
抗磨液压油	L—HM	HL 油，并改善其抗磨性	低、中、高压液压系统，特别适合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 ~ -40℃ 的低温环境中工作，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

续表

名 称	代 号	组成和特性	应 用
液压导轨油	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

选择液压油的牌号, 主要根据工作条件选用适宜的粘度。应主要考虑以下几个方面:

(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, 低温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液压油粘度。表 2-3 为按液压泵类型推荐用油的粘度表, 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 $\nu_{40}/(\text{mm}^2/\text{s})$	
		液压系统温度 5 ~ 40℃	液压系统温度 40 ~ 80℃
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

因气压传动的工作介质是压缩空气, 取自大自然, 故不用选择。

* 三、工作介质污染与控制

液压油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。空气污染一般是指空气中混入或产生某些污染物质, 使空气本来具有的清洁性受到不良影响。

液压或气压系统工作一段时间后, 由于使用、维护等原因, 液压油或空气会受到不同程度的污染。由于液压系统或气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. 液压油污染的原因

(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. 液压油污染的控制

为了延长液压元件的使用寿命,保证液压系统可靠工作,防止液压油污染,除合理选用滤油器外,平时的科学维护与管理,也是十分重要的。下面介绍几种控制液压油污染的方法。

(1) 力求减少外来污染 液压元件不要轻易拆卸。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、棉纱等杂质粘附于元件。

(2) 油箱中油液应定期更换 一般累计工作时间 1 000 h 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) 控制液压油的温度 避免液压油工作油温过高,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) 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) 滤除系统产生的杂质 系统有关部位的滤油器应定期清洗。

3. 空气污染的原因

(1) 灰尘 约 100 μm 以下的固体颗粒,如烟尘(包括金属颗粒)和纤维。

(2) 液雾 约 10 μm 以下的液体颗粒,也包括油雾。

(3) 烟尘 通常为几微米以下的液滴微粒,也包括灰尘和雾的复合物体。

(4) 微生物颗粒 有生命的颗粒、花粉和细菌等。

4. 空气污染的控制

空气污染的控制方法有:控制环境中的浮游颗粒和气动元件吸进的微粒。为除去空气中的浮游微粒,使用空气净化装置是最有效的方法。为除去气动元件吸气中所含的污染物,可以在气动元件前设置空气过滤器、后冷却器、油水分离器、储气罐、干燥器、过滤器等。

第三节 流体静力学基础

流体分为液体和气体两种。液体一般视为不可压缩的流体(认为密度为常数),气体则是可压缩的流体(密度随压力或温度变化而变化)。气体的压缩性大约为液体的 10 000 倍。

一、流体静压力

当流体处于静止时,单位面积上所受的力简称为压力,在物理学中称为压强,通常用 p 表示。若在面积 A 上作用力为 F ,则压力的计算公式为

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

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。

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

二、压力的度量标准

按国家标准规定，压力单位为 Pa (帕)。1 Pa = 1 N/m² (牛/米²)，工程上的常用单位是 MPa (兆帕)，1 MPa = 10⁶ Pa。我国过去曾使用的压力单位有 kgf/cm² (千克力/厘米²) 和 bar (巴)。

作为计量单位，MPa、kgf/cm² 和 bar (巴)之间的换算关系是

$$1 \text{ bar} = 1.02 \text{ kgf/cm}^2 = 0.1 \text{ MPa}$$

三、帕斯卡原理

在密闭容器内，施加于静止流体上的压力将以相等的数值传到流体的各点，这就是帕斯卡原理或称为静压传递原理。

现在我们来分析图 2-1b 中大活塞所受到的工作压力与其承受的负载之间的关系。当大活塞 9 加上负载 W 时，其下腔的油液产生一定的压力 p_2 ，由式(2-2)可得 $p_2 = W/A_2$ 。根据帕斯卡原理，在小活塞下腔也会产生一个等值的压力 p_1 ，即 $p_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2} = p_2$ ，由此可得

$$\frac{W}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \quad (2-3)$$

式中： A_1 、 A_2 ——分别为小活塞和大活塞与油腔中油液直接接触表面的投影面积(常称为有效作用面积)；

W ——液压千斤顶承受的负载，单位 N (牛)；

F_1 ——杠杆手柄作用在小活塞上的力，单位 N (牛)。

从式 $p_2 = W/A_2$ 中可以看出，只要负载 W 增大，油液的工作压力 p_2 也会增大。根据帕斯卡原理，在同一密闭容器中的各处压力都相等，因 $p_1 = F_1/A_1 = p_2$ ，结果是 F_1 也随之增大；反之，负载 W 减小，油液的工作压力 p_2 降低， F_1 就减小。

由此，可以得出如下结论：液压与气压传动的工作压力取决于负载，而与流入的流体多少无关。

例 2-1 如图 2-1b 所示液压千斤顶，已知活塞的有效作用面积 $A_1 = 1.13 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ， $A_2 = 9.62 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ ，杠杆施加在小活塞上的力 $F_1 = 5.78 \times 10^3 \text{ N}$ 。问千斤顶能顶起多重的重物？

解：小活塞所在液压缸内的压力 p_1 为

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{5.78 \times 10^3}{1.13 \times 10^{-4}} \text{ Pa} = 5.12 \times 10^7 \text{ Pa}$$

根据帕斯卡原理，作用在大活塞上压力 p_2 应等于作用在小活塞上的压力 p_1 ，即 $p_2 = p_1$ ，则 W 为

$$W = p_2 \cdot A_2 = p_1 \cdot A_2 = 5.12 \times 10^7 \times 9.62 \times 10^{-4} \text{ N} = 4.92 \times 10^4 \text{ N}$$

因此液压千斤顶能顶起 $4.92 \times 10^4 \text{ N}$ 的重物。

通过液体压力的传递，作用力放大了 $\frac{W}{F_1} \approx 8.5$ 倍。

第四节 流体动力学基础

本节主要介绍流体的一些基本概念,流体的连续性方程和伯努利方程。这两个方程是刚体力学中质量守恒定律、能量守恒定律在流体力学中的具体应用,用来解决压力、流速和流量之间的关系。

一、基本概念

1. 理想液体、气体和稳定流动

既无粘性、又无压缩性的液体,称为理想液体。不计粘度,并将气体分子仅看作质点的气体,称为理想气体。

流体流动时,若流体中任一点处的压力、速度和密度都不随时间而变化,就称为稳定流动(或恒定流动)。

2. 流量和平均流速

流量和平均流速是描述流体流动时的两个主要参数。流体在管道中流动时,通常将垂直于流体流动方向的截面称为通流截面或称为过流断面。

(1) 流量 指单位时间内流过某过流断面流体的体积,用 q 表示,单位为 m^3/s (米³/秒)。它与常用单位 L/min (升/分)之间的换算关系是

$$1 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \times 10^4 \text{ L}/\text{min}$$

流量计算公式如下

$$q = \frac{V}{t} \quad (2-4)$$

式中: V 、 t ——分别表示流经过流断面的流体体积(单位 m^3)及所用时间(单位 s)。

(2) 平均流速 由于流体粘性的影响,流体在管道中流动时同一截面上各点的流速实际上不可能完全相等。为计算方便引入了平均流速的概念,即假设同一通流截面上各点流体的流速都相等。流速是指流体质点在单位时间内流过的距离,通常用 v 表示,单位为 m/s (米/秒)或 m/min (米/分)。计算公式为

$$v = \frac{s}{t} \quad (2-5)$$

若把上式分子和分母各乘以过流断面面积 A ,并把式(2-4)代入其中,则

$$v = \frac{s}{t} = \frac{sA}{tA} = \frac{V}{tA} = \frac{q}{A} \quad (2-6)$$

式中: v ——流体的平均流速,单位 m/s ;

s ——流体在管道中流过的距离,单位 m ;

t ——流体流过距离 s 所用的时间,单位 s ;

q ——在管道中流体的流量,单位 m^3/s ;

A ——管道的过流断面面积,单位 m^2 。

如果改变式(2-6)中 q 值大小(调节进入缸体的流量),那么液(气)压缸的活塞运动速度 v 就会发生变化,这就是液压传动与气压传动系统能实现无级调速的基本原理。