

中等职业技术教育规划教材

杨柳青 主编

液压与气动

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 编
机电专业委员会



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业技术教育规划教材

液压与气动

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会 编
机 电 专 业 委 员 会

主编 杨柳青



机械工业出版社

本书是为适应中等职业学校机电类专业教学改革需要而编写的。主要内容包括液压传动概述、液压元件、液压系统基本回路、液压传动系统应用举例、气压传动概述、气压传动元件、气动系统基本回路、典型气压传动系统及主要元件故障排除等。

本书通俗易懂、详略得当、图文并茂、注重实用，可作为中等职业技术学校机电类各专业及相关专业统编教材，也可作职业技能培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气动/杨柳青主编 —北京：机械工业出版社，
2005.6

中等职业技术教育规划教材

ISBN 7-111-16744-9

I. 液... II. 杨... III. ①液压传动—专业学校—教材
②气压传动—专业学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 063685 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：荆宏智

责任编辑：王振国 版式设计：霍永明 责任校对：李秋荣

封面设计：姚毅 责任印制：杨曦

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·5.875 印张·154 千字

0 001—5 000 册

定价：12.00 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) 68326294

封面无防伪标均为盗版

“中等职业技术教育规划教材” 编审委员会名单

主 任	郝广发				
副 主 任	周学奎	刘亚琴	李超群	何阳春	
	林爱平	李长江	付 捷		
	单渭水	王兆山	张仲民		
委 员	(按姓氏笔画排序)				
	于 平	王 珂	王 军	王洪琳	付元胜
	付志达	刘大力 (常务)	刘家保	许炳鑫	
	孙国庆	李木杰	李稳贤	李鸿仁	李 涛
	何月秋	杨柳青 (常务)	杨耀双	杨君伟	
	张跃英	林 青	周建惠	赵杰士 (常务)	
	郝晶卉	荆宏智 (常务)	贾恒旦	黄国雄	
	董桂桥 (常务)	曾立星	甄国令		
本书主编	杨柳青				
参 编	蔡微波	曹新然	戴宽强	李超容	
本书主审	黄佳章				

前 言

为贯彻落实“全国职业教育工作会议”精神，克服原有的教材专业设置落后，缺乏新的专业和复合专业，技术内容比较陈旧，理论课内容偏深、偏难的弊端，更好地满足中等职业技术教育教学改革的需要，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织编写了这套适合新形势的中等职业技术教育规划教材。首批所选五个专业为机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修。本套教材的编写指导思想是：贯彻党的教育方针，依据《劳动法》、《职业教育法》的规定和《国家职业标准》的要求，更新教学内容，突出技能训练，强化创新能力的培养，以培养具备较宽理论基础和复合型技能的人才，使培养的人才适应科技进步、经济发展和市场的需要。其宗旨是：促职业教育改革，助技能人才培养。

为实现这一宗旨，中国机械工业教育协会和全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会联合组织了 30 多所高、中级技工学校参加了首批五个专业教学计划、教学大纲的制定和教材的编审工作。各学校对新教材的专业选择、课程设置、学时安排、教学计划和教学大纲的制定、教材定位、编写方式等，参照《国家职业标准》相关工种中级工的要求和各校实际，经过三次会议进行了广泛的讨论和充分论证，首先完成了教学计划和教学大纲的制定和审定工作。在教材的编写过程中，贯彻了“简明、实用、够用”的原则，反映了新知识、新技术、新工艺和新方法，体现了科学性、实用性、代表性和先进性，正确处理了理论知识与技能的关系。同时通过对原有教材进行评价，针对其不足并在编写过程中进行了改进，以充分反映学校

的实际需要。新教材的价值在于兼顾了学生学习真本事与达到职业技能鉴定考试两种要求。

综上所述,本套教材具有以下特色:

1) 职业性 专业设置参照有关专业目录,并根据职业发展变化和社会实际需求确定。

2) 科学性 教学内容与现代科学技术发展和先进技术装备、技术水平相适应,体现了科学性和先进性。

3) 实践性 重视实践性教学环节,加强了技能训练和生产实习教学,努力实现产教结合。

4) 衔接性 与企业培训和其他类型教育相沟通,与国家职业资格证书体系相衔接。

5) 实用性 教学内容符合职业标准及企业生产实际需要,有利于培养实用型人才。

与本教材配套的还有相应教材的习题集。

本套教材的编写工作得到了各学校领导的重视和支持,参加教材编审的人员均为各校的教学骨干,保证了本套教材能够按计划有序地进行,并为编好教材提供了良好的技术保证,在此对各个学校的支持表示感谢。

本书的具体编写分工如下:绪论由杨柳青编写,第一、五章由蔡微波编写,第二、四章由曹新然编写,第三章由戴宽强编写,第六、七、八章由李超容编写。全书由杨柳青主编,黄佳章主审。

由于时间仓促和编者水平有限,书中难免存在缺点或错误,敬请读者批评指正。

中国机械工业教育协会
全国职业培训教学工作指导委员会
机电专业委员会

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第一篇 液压传动	3
----------------	---

第一章 液压传动概述	3
------------------	---

第一节 液压传动原理及其系统组成	3
------------------------	---

第二节 液压油的物理性质及选用	8
-----------------------	---

第三节 液压传动系统的流量和压力	13
------------------------	----

第四节 液压传动的压力、流量损失和功率计算	20
-----------------------------	----

第五节 液压冲击和空穴现象	24
---------------------	----

复习思考题	25
-------------	----

第二章 液压元件	27
----------------	----

第一节 液压泵	27
---------------	----

第二节 液压缸	36
---------------	----

第三节 液压控制阀	47
-----------------	----

复习思考题	79
-------------	----

第三章 液压系统基本回路	81
--------------------	----

第一节 方向控制回路	81
------------------	----

第二节 压力控制回路	83
------------------	----

第三节 速度控制回路	89
------------------	----

第四节 顺序动作回路	95
------------------	----

第五节 同步控制回路	100
------------------	-----

复习思考题	102
-------------	-----

第四章 液压传动系统应用举例	105
第一节 组合机床动力滑台液压系统	106
第二节 万能液压机液压系统	110
复习思考题	113
 第二篇 气压传动	 115
第五章 气压传动概述	115
第一节 气压传动系统的工作原理及组成	115
第二节 气压传动的优缺点	117
第三节 我国气动技术的发展概况	118
复习思考题	118
 第六章 气压传动元件	 119
第一节 动力元件及辅助元件	119
第二节 执行元件	126
第三节 压力控制阀	131
第四节 方向控制阀	135
第五节 流量控制阀	142
第六节 逻辑元件*	144
复习思考题	147
 第七章 气动系统基本回路	 148
第一节 压力、方向、速度控制回路	148
第二节 其他常用气动回路*	152
复习思考题	156
 第八章 典型气压传动系统及主要元件故障排除	 157
第一节 典型气压传动系统	157
第二节 气动系统主要元件的常见故障及排除*	161
复习思考题	164

附录 常用液压及气动元（辅）件图形符号（摘自 GB/T 786.1—1993）	166
参考文献	176

注：有 * 号的为选学内容。

绪 论

液压与气压传动是以流体（如液压油或压缩空气）为工作介质，利用流体的压力能进行能量传递和控制的一种传动形式。液压传动所采用的工作介质为液压油或其他合成液体，气压传动所采用的工作介质为压缩空气。

液压与气压传动技术在工业生产的各个部门均得到了广泛应用。例如，工程机械（挖掘机）、矿山机械、压力机械（压力机）和航空工业中大量采用液压传动，机床上的传动系统也普遍采用液压传动；而在电子工业、包装机械、印染机械、食品机械等方面对气压传动的应用比较普遍。

近年来，随着机电一体化技术的不断发展，液压与气动技术开始向更广阔的领域渗透。它已成为实现工业自动化的一种重要手段，而且具有更为广阔的发展前景。液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、高性能、高度集成化、模块化、智能化的方向发展。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）、计算机直接控制（DDC）、计算机实时控制技术、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向也是当前液压传动及控制技术发展和研究的方向。气压传动技术在科技飞速发展的当今世界发展更加迅速，随着工业的发展，应用领域已从汽车、采矿、钢铁、机械工业等行业迅速扩展到化工、轻工、食品、军事工业等各行各业，已发展成包含传动、控制与检测在内的自动化技术。由于工业自动化技术的发展，气动控制技术以提高系统可靠性，降低总成本为目标，研究和开发系统控制技术和机、电、液、气综合技术。气动元件当前发展的特点和研究方向主要是节能化、小型化、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技术。

对于从事机械加工、机械维修以及机械操作的技术工人来说，了解和掌握基本的液压与气压传动技术，具备一定的理论知识和操作技能，在工作中能对机械设备进行调试、维护和检修，就是我们学习这门课程的目的。

《液压与气动》是一门重要的技术基础课，本书的主要内容有：

1. 液压与气压传动的基本知识 主要讲述液压与气压传动的基本工作原理、系统的基本组成，流量、压力、功率的有关计算等基础知识，以及对液压油的要求及选用等。

2. 液压与气压传动元件 讲述常用液压与气压传动元件的功能、作用、特点以及使用场合。

3. 液压与气压传动系统的基本回路 通过对液压与气压传动系统中的基本回路进行分析，熟悉和掌握基本回路的结构组成、工作原理和功能，为设计和使用液压与气压传动系统和分析系统故障奠定必要的基础。

4. 液压与气压传动应用举例 通过实例分别介绍液压与气压系统的具体应用，加深理解各种元件在系统中的功用和各种基本回路的合理组成，进而学会阅读和分析液压与气压系统的方法和步骤。

学习本课程时，除了要掌握基本的概念、基础理论和基本计算方法，以及基本回路的分析之外，还应更多地注意理论与实践相结合，注重实习、实验等环节。通过到生产现场进行教学和实习，可进一步加深对基本理论的理解，逐步培养学生灵活运用所学知识分析和解决问题的能力。

第一篇 液压传动

第一章 液压传动概述

第一节 液压传动原理及其系统组成

液压传动是以液体（通常是油液）作为工作介质，利用液体压力来传递动力和进行控制的一种传动方式。它通过液压泵将原动机的机械能转换为压力能，又通过管路、控制阀等元件，经执行元件（如液压缸或液压马达）将液体的压力能转换成机械能，以驱动负载。

一、液压传动原理

图 1-1 为液压千斤顶的工作原理图。液压千斤顶主要由手动柱塞液压泵（杠杆 1、泵体 2、活塞 3）和液压缸（活塞 11、缸体 12）两大部分构成。大、小活塞与缸体、泵体的接触面之间具有良好的配合，既能保证活塞顺利移动，又能形成可靠的密封。

液压千斤顶的工作过程是：工作时，关闭放油阀 8，作用力 F 向上提起杠杆 1，活塞 3 被带动上移，如图 1-1b 所示，泵体油腔 4 的工作容积逐渐增大，由于单向阀 7 受油腔 10 中油液的作用力而关闭，油腔 4 形成真空，油箱 6 中的油液在大气压力的作用下，推开单向阀 5 的钢球，进入并充满油腔 4。作用力向下压杠杆 1，活塞 3 被带动下移，如图 1-1c 所示，泵体油腔 4 的工作容积减小，其内的油液在外力的挤压作用下压力增大，迫

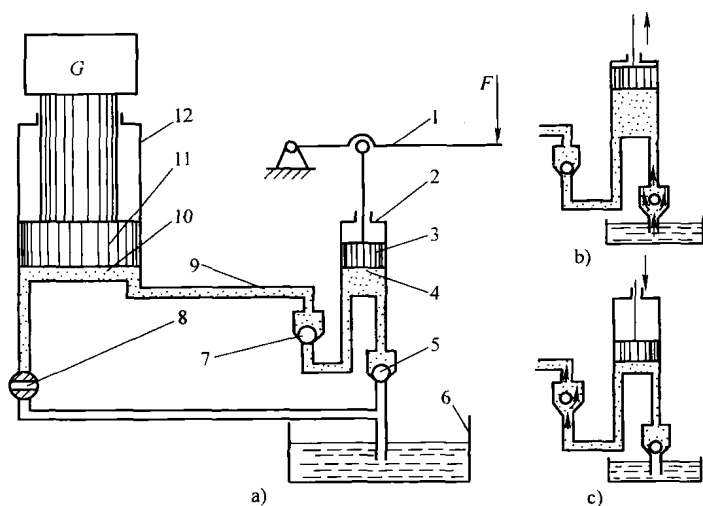


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

a) 工作原理图 b) 泵的吸油过程 c) 泵的压油过程

1—杠杆 2—泵体、3、11—活塞 4、10—油腔 5、7—单向阀

6—油箱 8—放油阀 9—油管 12—缸体

使单向阀 5 关闭，而单向阀 7 的钢球被推开，油液经油管 9 进入缸体油腔 10，缸体油腔的工作容积增大，推动活塞 11 连同重物 G 一起上升。反复提、压杠杆，就能不断从油箱吸入油液并压入缸体油腔 10，使活塞 11 和重物不断上升，从而达到起重的作用。提、压杠杆的速度越快，单位时间内压入缸体油腔 10 的油液越多，重物上升的速度越快；重物越重，下压杠杆的力就越大。停止提、压杠杆，单向阀 7 被关闭，缸体油腔中的油液被封闭，此时，重物保持在某一位置不动。

如果将放油阀 8 旋转 90° ，缸体油腔直接连通油箱，油腔 10 中的油液在重物的作用下流回油箱，活塞 11 下降并恢复到原位。

从上面这个简单的例子中可以看出，液压传动的工作原理是：液压传动是以液体作为工作介质，通过密封容积的变化来传递运动；通过液体的内部压力能来传递动力。

二、液压传动系统的组成

液压传动系统除工作介质油液外，一般由以下四部分组成：

(1) 动力部分 将机械能转换为油液压力能（液压能）的装置。能量转换元件为液压泵，在液压千斤顶中为手动柱塞泵。

(2) 执行部分 将油液的液压能转换成机械能的装置。执行元件有液压缸和液压马达，在液压千斤顶中为液压缸。

(3) 控制部分 用来控制和调节油液的压力、流量和流动方向。控制元件有各种压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等，在液压千斤顶中为放油阀、单向阀。

(4) 辅助部分 将前面三部分连接在一起，组成一个系统，起贮油、过滤、测量和密封等作用，保证系统正常地工作。辅助元件有管路和接头、油箱、过滤器、蓄能器、密封件和控制仪表等，在液压千斤顶中为油管、油箱。

图 1-2a 所示为一简化了的机床工作台液压传动系统。其动力部分为液压泵 3；执行部分为双活塞杆液压缸 6；控制部分有人力控制（手动）三位四通换向阀 7、节流阀 8、溢流阀 9；辅助部分包括油箱 1、过滤器 2、压力计 4 和管路等。

液压泵由电动机驱动进行工作，油箱中的油液经过过滤器被吸入液压泵，并经液压泵向系统输出。油液经节流阀、换向阀的 P—A 通道（换向阀的阀心在图示的左边位置）进入液压缸的右腔，推动活塞连同工作台 5 向左运动，液压缸左腔的油液则经换向阀的 B—O 通道流回油箱。改变节流阀开口的大小可以调节油液的流量，从而调节液压缸连同工作台的运动速度。由于节流阀开口较小，在开口前后油液存在压力差。当系统压力达到某一数值时，溢流阀被打开，使系统中多余的油液经溢流阀开口流回油箱。当换向阀的阀心移至右边位置时，来自液压泵的压力油液经换向阀的 P—B 通道进入液压缸的左腔，推动活塞连同工作台向右运动，液压缸右腔的油液则经换向阀的 A—O 通道流回油箱。

当换向阀的阀心处于中间位置时，换向阀的进、回油口全

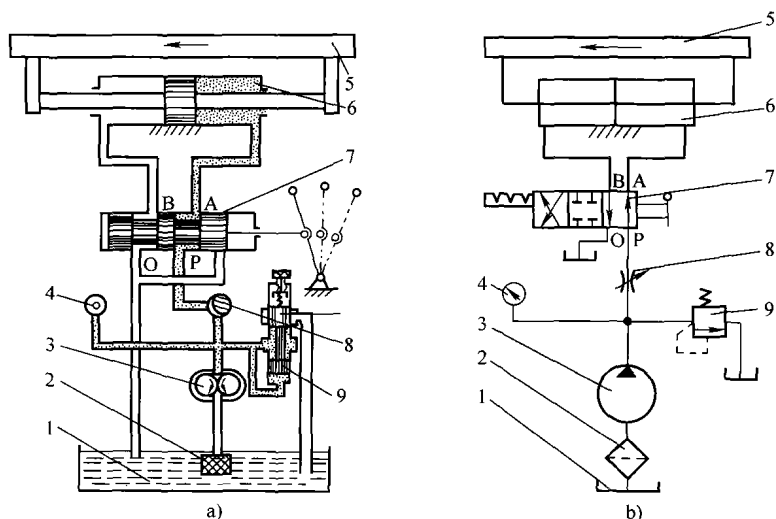


图 1-2 机床工作台液压传动系统

a) 结构原理图 b) 用图形符号绘制的系统图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—压力计 5—工作台

6—液压缸 7—换向阀 8—节流阀 9—溢流阀

被堵死，使液压缸两液腔既不进油也不回油，活塞停止运动。此时，液压泵输出的压力油液全部经过溢流阀流回油箱，即不在液压泵继续工作的情况下，也可以使工作台停止在任意位置。

三、液压元件的图形符号

图 1-1 和图 1-2a 所示的液压千斤顶和机床工作台液压系统结构原理图具有直观性强、容易理解的特点，但绘制较复杂，特别是当系统中元件较多时，绘制更为困难。如果采用图形符号来代表各液压元件，绘制液压系统原理图将方便且清晰。图 1-2b 就是用图形符号绘制的机床工作台液压系统图。图中的图形符号只表示元件的功能、操作（控制）方法及外部连接口，不表示元件的具体结构及参数、连接口的实际位置和元件的安装位置。GB/T 786.1—1993《液压气动图形符号》对液压及气动元（辅）件的图形符号作了具体规定。常用液压元件及液压

系统其他有关装置或元件的图形符号见附录。

四、液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点 与机械传动、电力传动相比较，液压传动具有以下优点：

1) 液压传动的各种元件，可根据需要方便、灵活地来布置。

2) 重量轻、体积小、运动惯性小、反应速度快。

3) 液压元件操纵控制方便，可实现大范围的无级调速（调速范围达 2000:1）。

4) 出现故障时可自动实现过载保护。

5) 一般采用矿物油作为工作介质，相对运动面可自行润滑，使用寿命长。

6) 很容易实现直线运动。

7) 易实现机器的自动化。

2. 液压传动的主要缺点

1) 由于液体流动的阻力损失和泄漏较大，所以效率较低。泄漏不仅污染环境，而且还可能引起火灾等事故。

2) 性能易受温度变化的影响，因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。

3) 液压元件的制造精度要求较高，因而价格较贵。

4) 受液体介质的泄漏及可压缩性影响，不能得到严格的定比传动。液压传动出现故障时不易找出原因；使用和维修时要求技术人员具有较高的技术水平。

五、液压传动发展概况

液压传动相对于机械传动来说是一门新技术，从帕斯卡提出静压传递原理、英国人制成世界上第一台水压机算起，也已有二百年历史了。液压传动在工业上的真正推广使用是 20 世纪中叶以后的事，最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器，其后才出现液压转塔车床和磨床。随着液压技术迅速的转向民用，各种标准的不断制订和完善，各类元件的标准化、系列化，以及在机械制造、工程机械、农业机械、汽车制

造等行业中的推广，液压技术已发展成为包括传动、控制、检测在内的一门完整的自动化技术。目前，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。目前，在先进工业国家中 90% 以上的自动生产线都采用了液压传动。因此，液压技术应用、规模和水平的高低已成为衡量一个国家工业化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。比例控制、伺服控制、数字控制等自动控制技术取得了许多新成就。在液压元件和液压系统的计算机辅助设计、计算机仿真和优化以及微机控制等开发性工作也取得了显著的成绩。

我国的液压工业开始于 20 世纪 50 年代，其产品最初只用于机床和锻压设备，后来才用到拖拉机和工程机械上。自 1964 年从国外引进一系列液压元件生产技术，并同时开始自行设计液压产品以来，我国液压元件的生产规模和水平发展很快，并在各种机械设备上得到了广泛的使用。20 世纪 80 年代我国加快了对西方先进液压产品和技术有计划引进、消化、吸收和国产化工作的步伐，使我国的液压技术在产品质量、经济效益、人才培养、研究开发等方面均获得了全方位的发展。

第二节 液压油的物理性质及选用

液压传动系统的工作介质液体。最常用的是液压油。在液压技术不断发展、各种液压系统对液压介质的要求越来越多的情况下，如何正确选用液压油就显得尤为重要。

一、液压油的物理性质

1. 可压缩性 液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。一般情况下，油液的可压缩性可以忽略不计。但在进行精确计算时，尤其是在考虑系统的动态过程时，油的可压缩性是一个很重要的影响因素。液压传动用油的可压缩性