

高等职业教育“十二五”规划教材

液压气压 传动与控制

YEYA QIYA CHUANDONG YU KONGZHI

主 编 魏宏玲
副主编 吴雄喜 徐生



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

赠 电 子 课 件

教育部批准教育部“十二五”规划教材

液压气压 传动与控制

TEXTBOOK OF HYDRAULIC AND PNEUMATIC TRANSMISSION AND CONTROL

主编 曹建群
副主编 李海强 李海强 李海强



9 555 555 555

高等职业教育“十二五”规划教材

液压气压传动与控制

主 编 魏宏玲

副主编 吴雄喜 徐 生

参 编 刘 瑛 陈苏秧 胡美君



机械工业出版社

本书为高等职业教育“十二五”规划教材。内容包括认识液压气压传动与控制、液压传动基础知识、液压动力元件、液压执行元件、压力控制回路、速度控制回路、方向控制回路、典型液压传动系统、气压传动系统基础知识、气压传动控制元件及基本回路、典型气压传动系统、气压传动系统安装调试和故障分析及附录。

全书以液压气压回路的连接和故障排除为主线,将动力元件、执行元件、控制阀和系统故障等内容有机结合,体系完整,简明精练。本书强调对学生动手能力的培养,突出工学结合,并融入电气控制技术,注重现场解决实际问题的分析和解决具体方案,具有一定的科学性和先进性。

本书可作为高职高专院校机电类专业的教材,也可作为电视大学、职工大学、函授大学及中等专业学校教材及有关专业工程技术人员的参考用书。本书面向机电一体化技术、机械设计制造及其自动化、数控技术、模具设计与制造、检测技术及应用等高职高专各专业。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话: 010-88379375。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压气压传动与控制/魏宏玲主编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 8

高等职业教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-39651-2

I. ①液… II. ①魏… III. ①液压传动—高等职业教育—教材②气压传动—高等职业教育—教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 210092 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: 王海峰 责任编辑: 王海峰

版式设计: 姜 婷 责任校对: 申春香

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 张 楠

高教社(天津)印务有限公司印刷

2012 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11 印张 · 270 千字

0001-3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-39651-2

定价: 21.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

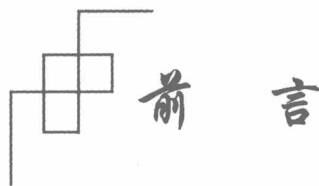
机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版



前

言



“液压气压传动与控制”课程是一门实践性很强的专业核心课程。本书主要包括液压和气压传动的认识、液压传动系统的工作原理及组成、典型液压传动系统、液压传动系统的安装调试和故障分析、气压传动系统的工作原理及组成、气压传动系统、气压传动系统安装调试和故障分析等内容，每章后均附有复习思考题。

本书在内容取舍上贯彻少而精、理论联系实际的原则。为体现高职高专教育的特点，基础知识部分以必需、够用为度，专业知识部分加强针对性和实用性，注意理论教学与实训环节的密切结合，注重学生在应用技术方面的能力的培养。本书在一定程度上也反映了国内外液压与气压领域比较成熟的技术和成果。本书可作为高职高专院校机电类专业的教材，也可作为电视大学、职工大学、函授大学及中等专业学校教材及有关专业工程技术人员的参考用书。

本书由杭州职业技术学院魏宏玲担任主编，浙江工业职业技术学院吴雄喜和浙江工贸职业技术学院徐生担任副主编，杭州职业技术学院刘瑛、陈苏秧和胡美君参加了编写工作。具体编写分工如下：魏宏玲编写第一章、第三章、第七章，吴雄喜编写第五章和第十一章，徐生编写第二章和第十二章，刘瑛编写第八章和第九章，陈苏秧编写第四章，胡美君编写第六章和第十章。

本书在编写过程中，得到了有关部门的大力支持，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和不妥之处，恳切希望同仁和广大读者批评指正。

本书配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

编 者



目 录

前言	1	第二节 速度控制回路	74
第一章 认识液压气压传动与控制	1	复习思考题	79
第一节 概括了解液压传动与控制	1	第七章 方向控制回路	80
第二节 概括了解气压传动	5	第一节 方向控制阀	80
复习思考题	7	第二节 方向控制回路	87
第二章 液压传动基础知识	8	第三节 多执行组件的动作控制回路	89
第一节 液压油的认识及选用	8	复习思考题	92
第二节 液体静力学基础	11	第八章 典型液压传动系统	94
第三节 液体动力学基础	13	第一节 注塑机液压系统	94
第四节 液压冲击和空穴现象	16	第二节 数控车床液压系统	97
复习思考题	17	第三节 液压系统的使用与维护	99
第三章 液压动力元件	19	复习思考题	104
第一节 液压泵工作原理及选用	19	第九章 气压传动系统基础知识	105
第二节 齿轮泵	21	第一节 气压传动的工作介质	105
第三节 叶片泵	25	第二节 气源装置	107
第四节 柱塞泵	31	第三节 气动执行元件	117
第五节 泵的拓展知识	34	复习思考题	124
能力训练 液压泵的拆装	36	第十章 气压传动控制元件及基本回路	125
复习思考题	39	第一节 气压传动控制元件的工作原理及选用	125
第四章 液压执行元件	40	第二节 气压传动基本回路的组成原理及气路连接	139
第一节 液压缸	40	复习思考题	147
第二节 液压马达	49	第十一章 典型气压传动系统	148
第三节 液压缸和液压马达的拓展知识	52	第一节 气动机械手的气压传动系统	148
能力训练 液压缸的拆装	54	第二节 数控加工中心的气动换刀系统	149
复习思考题	55	第三节 工件夹紧的气压传动系统	150
第五章 压力控制回路	56	第四节 气-液动力滑台的气压传动系统	151
第一节 压力控制阀	57	第五节 气动生产线气压传动系统	151
第二节 压力控制回路	63		
复习思考题	68		
第六章 速度控制回路	70		
第一节 流量控制阀	70		

第十二章 气压传动系统安装调试和故障分析	154	附录 B 控制机构和控制方法	160
第一节 气压传动系统安装与调试	154	附录 C 泵、马达和缸	161
第二节 气动系统的使用和维护	154	附录 D 控制元件	163
附录 常用液压与气压图形符号	160	附表 E 附件	167
附录 A 符号要素、管路	160	参考文献	170

第一章 认识液压气压传动与控制

第一节 概括了解液压传动与控制

液压传动是利用液体压力能实现运动和动力的传动。液压传动是基于流体力学的帕斯卡原理，主要利用流体压力能来进行能量传递和控制的传动方式，因而所有液压传动系统实现传动和控制的方法基本相同，都是利用各种组件组成具有所需功能的基本回路，再由若干基本回路组合成传动和控制系统，从而实现能量的转换、传递和控制。因此，了解传动介质的基本物理性质及其力学特性，研究各类组件的结构、工作原理和性能，以及各种基本回路的性能和特点，并在此基础上形成对传动及控制系统的分析、设计和使用，就是本学科的研究对象。

一、液压传动系统的工作原理

图 1-1 所示是手动液压千斤顶的工作原理图，液压千斤顶主要用于换轮胎等举升工作。

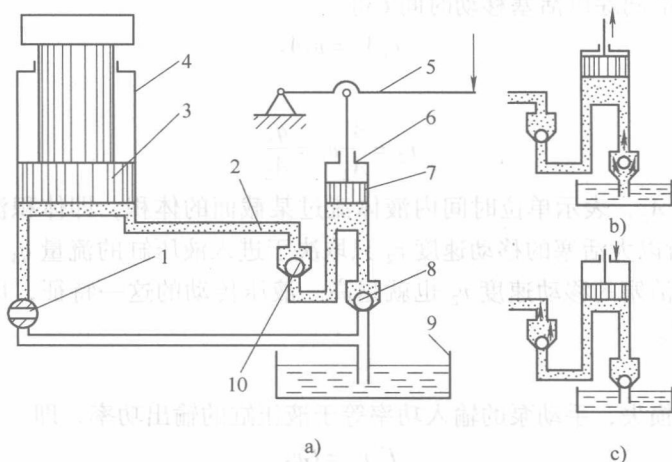


图 1-1 手动液压千斤顶的工作原理图

a) 工作原理图 b) 泵的吸油过程 c) 泵的压油过程

1—放油阀 2—油管 3—大活塞 4—缸体 5—杠杆 6—泵体
7—小活塞 8—进油单向阀 9—油箱 10—排油单向阀

当手动杠杆摆动时，小活塞作往复运动。小活塞上移，泵腔内的容积扩大而形成真空，油箱中的油液在大气压力的作用下，经进油单向阀进入泵腔内；小活塞下移，泵腔内的油液顶开排油单向阀进入液压缸内使大活塞带动重物一起上升。反复上下扳动杠杆，重物就会逐步升起。手动泵停止工作，大活塞停止运动；打开放油阀，油液在重力作用下排回油箱，大活塞落回原位。

1. 力的关系

当大活塞上有重物负载时，其下腔的油液将产生一定的液体压力 p ，即

$$p = G/A_2 \quad (1-1)$$

在千斤顶工作中，小活塞与大活塞之间形成了密封的工作容积，依帕斯卡原理“在密闭容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体各点”，因此要顶起重物，在小活塞下腔就必须产生一个等值的压力 p ，即小活塞上施加的力为

$$F_1 = pA_1 = \frac{A_1}{A_2}G \quad (1-2)$$

式中， A_1 、 A_2 分别为小活塞与大活塞的作用面积。可见在活塞面积 A_1 、 A_2 一定的情况下，液体压力 p 取决于举升的重物负载，而手动泵上的作用力 F_1 取决于压力 p 。所以被举升的重物负载越大，液体压力 p 越高，手动泵上所需的作用力 F_1 也就越大；反之，如果空载工作，且不计摩擦力，则液体压力 p 和手动泵上的作用力 F_1 都为零。液体传动的这一特征可以简略地表述为“压力取决于负载”。

2. 运动关系

由于小活塞与大活塞之间为密封工作容积，小活塞向下压出油液的体积必然等于大活塞向上升起缸体内扩大的体积，即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2 \quad (1-3)$$

式 (1-3) 两端同除以活塞移动时间 t 得

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

或

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{q_v}{A_2} \quad (1-4)$$

式中， $q_v = v_1 A_1 = v_2 A_2$ ，表示单位时间内液体流过某截面的体积，即体积流量。由于活塞面积 A_1 、 A_2 已定，所以大活塞的移动速度 v_2 只取决于进入液压缸的流量 q_v 。这样，进入液压缸的流量越多，大活塞的移动速度 v_2 也就越高。液压传动的这一特征，可以简略地表述为“速度取决于流量”。

3. 功率关系

若不考虑能量损失，手动泵的输入功率等于液压缸的输出功率，即

$$F_1 v_1 = G v_2$$

或

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p q \quad (1-5)$$

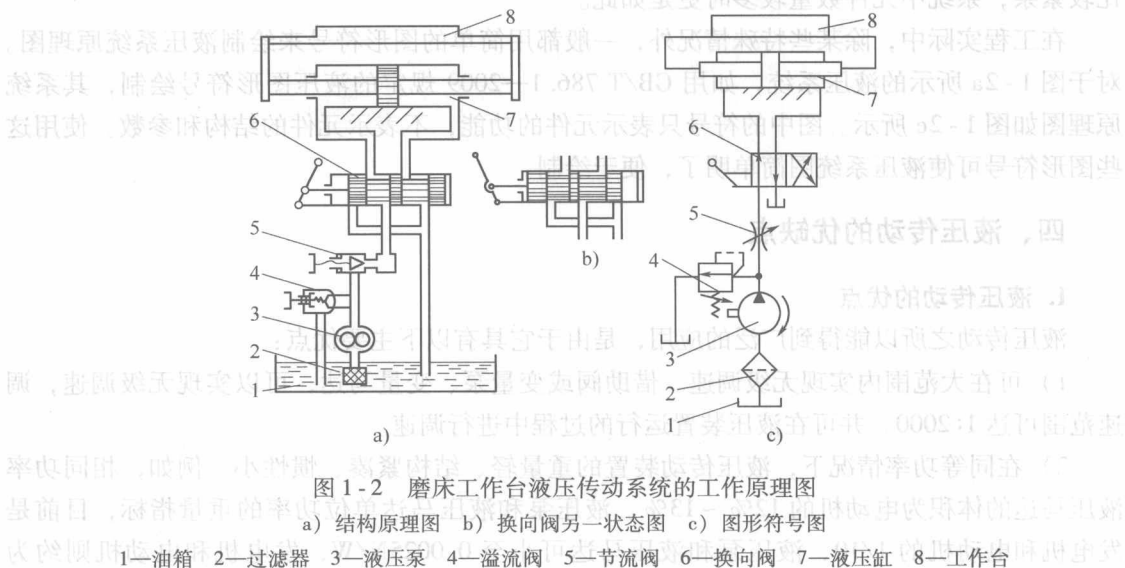
可见，液压传动的功率 P 可以用液体压力 p 和流量 q 的乘积来表示，压力 p 和流量 q 是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

上述千斤顶的工作过程，就是将手动机械能转换为液体压力能，又将液体压力能转换为机械能输出的过程。

综上所述，可归纳出液压传动的基本特征是：以液体为工作介质，依靠处于密封工作容积内的液体压力能来传递能量；压力的高低取决于负载；负载速度的传递是按容积变化相等的原则进行的，速度的大小取决于流量；压力和流量是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

二、液压传动系统的组成

磨床工作台的液压传动系统涵盖的液压组件种类比较全，其工作原理图如图1-2所示。



磨床工作台液压传动系统由液压泵、溢流阀、节流阀、换向阀、液压缸、油箱以及连接管道等组成。

液压泵3由电动机（图中未示出）带动旋转，从油箱1经过滤器2吸油，液压泵排出的压力油先经节流阀5再经换向阀6（设换向阀手柄向右扳动，阀芯处于右端位置）进入液压缸7的左腔，推动活塞和工作台8向右运动。液压缸右腔的油液经换向阀6和回油管道返回油箱；若换向阀阀芯处于左端位置（手柄向左扳动），则活塞及工作台反向运动。改变节流阀5的开口大小，可以改变进入液压缸的液压油流量，实现工作台运动速度的调节，多余的液压油流量经溢流阀4和溢流管道排回油箱。液压缸的工作压力由活塞运动所克服的负载决定。液压泵的工作压力由溢流阀调定，其值略高于液压缸的工作压力。由于系统的最高工作压力不会超过溢流阀的调定值，所以溢流阀还对系统起到过载保护的作用。

液压传动系统由能源装置、执行装置、控制组件、辅助组件和工作介质组成。

(1) 能源装置 液压泵（又称动力组件）的功能是将原动机输出的机械能转换成液体的压力能，为系统提供动力。

(2) 执行装置 液压缸或液压马达的功能是将液体的压力能转换成机械能，以带动负载进行直线运动或旋转运动。

(3) 控制组件 压力、流量和方向控制阀的作用是控制和调节系统中液体的压力、流量和流动方向，以保证执行组件达到所要求的输出力（或力矩）、运动速度和运动方向。

(4) 辅助组件 辅助组件是保证系统正常工作所需要的辅助装置，包括管道、管接头、油箱、过滤器和指示仪表等。

三、液压传动系统的图形符号

图 1-2a 所示是液压系统的半结构式工作原理图，其直观性强，易于理解，但绘制起来比较繁杂，系统中元件数量较多时更是如此。

在工程实际中，除某些特殊情况外，一般都用简单的图形符号来绘制液压系统原理图。对于图 1-2a 所示的液压系统，如用 GB/T 786.1—2009 规定的液压图形符号绘制，其系统原理图如图 1-2c 所示。图中的符号只表示元件的功能，不表示元件的结构和参数。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了，便于绘制。

四、液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点

液压传动之所以能得到广泛的应用，是由于它具有以下主要优点：

- 1) 可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达，可以实现无级调速，调速范围可达 1:2000，并可在液压装置运行的过程中进行调速。
- 2) 在同等功率情况下，液压传动装置的重量轻、结构紧凑、惯性小。例如，相同功率液压马达的体积为电动机的 12% ~ 13%。液压泵和液压马达单位功率的重量指标，目前是发电机和电动机的 1/10，液压泵和液压马达可小至 0.0025N/W，发电机和电动机则约为 0.03N/W。
- 3) 传递运动均匀平稳，负载变化时速度较稳定。正因为此特点，金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。
- 4) 液压传动装置的控制、调节比较简单，操纵比较方便、省力，易于实现自动化，与电气控制配合使用能实现复杂的顺序动作和远程控制。
- 5) 液压传动装置易于实现过载保护，系统超负载，油液经溢流阀回油箱。由于采用油液作为工作介质，能自行润滑，所以寿命长。
- 6) 液压传动易于实现系列化、标准化、通用化，易于设计、制造和推广使用。
- 7) 液压传动易于实现回转、直线运动，且由于液压传动是油管连接，所以借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构。
- 8) 在液压传动中，由于功率损失所产生的热量可由流动着的油带走，所以可避免在系统某些局部位置产生过度升温。

2. 液压传动的缺点

- 1) 液体为工作介质，易泄漏，油液可压缩，故不能用于传动比要求准确的场合。
- 2) 液压传动中有机械损失、压力损失、泄漏损失，效率较低，所以不宜作远距离传动。
- 3) 液压传动对油温和负载变化敏感，不宜在低温、高温下使用，对污染很敏感。
- 4) 液压传动需要有单独的能源（例液压泵站），液压能不能像电能那样从远处传来。
- 5) 液压组件制造精度高，造价高，所以必须组织专业生产。
- 6) 液压传动装置出现故障时不易追查原因，不易迅速排除。

五、液压传动的应用与发展

自18世纪末英国制成世界上第一台水压机算起,液压传动技术已有二三百年的历史。直到20世纪30年代,它才较普遍地用于起重机、机床及工程机械。在第二次世界大战期间,由于战争需要,出现了由响应迅速、精度高的液压控制机构所装备的各种军事武器。第二次世界大战结束后,液压技术迅速转向民用工业,液压技术不断应用于各种自动机及自动生产线。

20世纪60年代以后,液压技术随着原子能、空间技术、计算机技术的发展而迅速发展。因此,液压传动真正的发展也只是近四五十年之事。当前液压技术正向迅速、高压、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时,新型液压组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(CDC)、机电一体化技术、可靠性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。

我国的液压技术最初应用于机床和锻压设备上,后来又用于拖拉机和工程机械。现在,我国的液压组件生产随着从国外引进一些液压组件、生产技术以及进行自行设计,现已形成了系列,并在各种机械设备上得到了广泛的使用。

驱动机械运动的机构以及各种传动和操纵装置有多种形式。根据所用的部件和零件,可分为机械的、电气的、气动的、液压的传动装置。经常还将不同的形式组合起来运用。由于液压传动具有很多优点,这种新技术发展得很快。液压传动应用于金属切削机床也不过四五十年历史。航空工业在1930年以后才开始采用液压技术。特别是最近二三十年以来,液压技术在各种工业中的应用越来越广泛。

在机床上,液压传动常用于以下装置:

(1) 进给运动传动装置 磨床砂轮架和工作台,车床、六角车床、自动车床的刀架或转塔刀架,铣床、刨床、组合机床的工作台等,这些部件有的要求快速移动,有的要求慢速移动,有的则既要求快速移动,也要求慢速移动。这些运动多半要求有较大的调速范围,要求在工作中无级调速,有的要求持续进给,有的要求间歇进给,有的要求在负载变化下速度恒定,有的要求有良好的换向性能等。所有这些要求都是可以用液压传动来满足的。

(2) 往复主体运动传动装置 龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕,由于要求作高速往复直线运动,并且要求换向冲击小、换向时间短、能耗低,因此都可以采用液压传动。

(3) 仿形装置 车床、铣床、刨床上的仿形加工可以采用液压伺服系统来完成。精度可达 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。此外,磨床上的成形砂轮修正装置也可采用这种系统。

(4) 辅助装置 机床上的夹紧装置、齿轮箱变速操纵装置、丝杠螺母间隙消除装置、垂直移动部件平衡装置、分度装置、工件和刀具装卸装置、工件输送装置等,采用液压传动后,有利于简化机床结构,提高机床自动化程度。

(5) 静压支承 重型机床、高速机床、高精度机床上的轴承、导轨、丝杠螺母机构等采用液体静压支承后,可以提高工作平稳性和运动精度。

第二节 概括了解气压传动

气压传动是以压缩气体为工作介质,靠气体的压力传递动力或信息的流体传动。传递动

力的系统是将压缩气体经由管道和控制阀输送给气动执行组件,把压缩气体的压力能转换为机械能而做功;传递信息的系统是利用气动逻辑组件或射流组件以实现逻辑运算等功能,也称气动控制系统。

气压传动的特点是:工作压力低,一般为 $0.3 \sim 0.8 \text{ MPa}$;气体粘度小,管道阻力损失小,便于集中供气和中距离输送;使用安全,无爆炸和电击危险;有过载保护能力。但气压传动速度低,需要气源。

一、气压传动的组成及工作原理

气压传动的组成如图 1-3 所示。

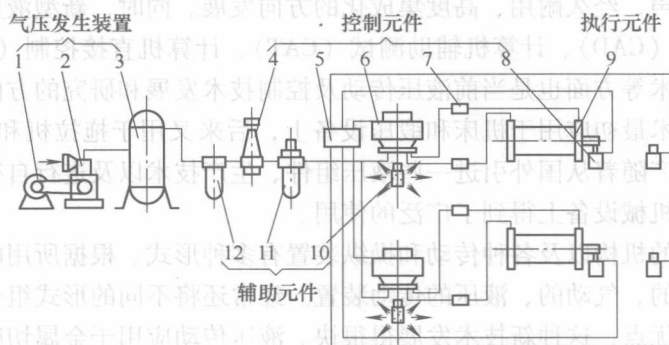


图 1-3 气压传动及控制系统的组成

- 1—电动机 2—空气压缩机 3—气罐 4—压力控制阀 5—逻辑组件 6—方向控制阀
7—流量控制阀 8—行程阀 9—气缸 10—消声器 11—油雾器 12—分水滤气器

(1) 气源装置 气源装置是指获得压缩空气的装置。其主体部分是空气压缩机,它将原动机供给的机械能转变为气体的压力能。

(2) 控制组件 控制组件是用来控制压缩空气的压力、流量和流动方向的装置。其使执行机构完成预定的工作循环,它包括各种压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。

(3) 执行组件 执行组件是将气体的压力能转换成机械能的一种能量转换装置。它包括实现直线往复运动的气缸和实现连续回转运动或摆动的气马达或摆动马达等。

(4) 辅助组件 辅助组件是保证压缩空气的净化、组件的润滑、组件间的连接及消声等所必需的装置。它包括过滤器、油雾器、管接头及消声器等。

二、气压传动的优缺点

气动技术在国外发展很快,在国内也被广泛应用于机械、电子、轻工、纺织、食品、医药、包装、冶金、石化、航空、交通运输等各个领域。气动机械手、组合机床、加工中心、生产自动线、自动检测和实验装置等已大量涌现,它们在提高生产率、自动化程度、产品质量、工作可靠性和实现特殊工艺等方面显示出极大的优越性。气压传动有以下特点:

1. 气压传动的优点

1) 工作介质是空气,与液压油相比可节约能源,而且取之不尽、用之不竭。气体不易堵塞流动通道,用后可将其随时排入大气中,不污染环境。

2) 空气的特性受温度影响小。在高温下能可靠地工作, 不会发生燃烧或爆炸。且温度变化时, 对空气的粘度影响极小, 故不会影响传动性能。

3) 空气的粘度很小(约为液压油的万分之一), 所以流动阻力小, 在管道中流动的压力损失较小, 所以便于集中供应和远距离输送。

4) 相对液压传动而言, 气动动作迅速、反应快, 一般只需 $0.02 \sim 0.3\text{s}$ 就可达到工作压力和速度。液压油在管路中流动速度一般为 $1 \sim 5\text{m/s}$, 而气体的流速最小也大于 10m/s , 有时甚至达到声速, 排气时还达到超声速。

5) 气体压力具有较强的自保持能力, 即使压缩机停机, 关闭气阀, 装置中仍然可以维持一个稳定的压力。液压系统要保持压力, 一般需要能源泵继续工作或另加蓄能器, 而气体通过自身的膨胀性来维持承载缸的压力不变。

6) 气动组件可靠性高、寿命长。电气组件可运行百万次, 而气动组件可运行 $2000 \sim 4000$ 万次。

7) 工作环境适应性好, 特别是在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣环境中, 比液压、电子、电气传动和控制优越。

8) 气动装置结构简单, 成本低, 维护方便, 过载能自动保护。

2. 气压传动的缺点

1) 由于空气的可压缩性较大, 气动装置的动作稳定性较差, 外载变化时, 对工作速度的影响较大。

2) 由于工作压力低, 气动装置的输出力或力矩受到限制。在结构尺寸相同的情况下, 气压传动装置比液压传动装置输出的力要小得多。气压传动装置的输出力不宜大于 $10 \sim 40\text{kN}$ 。

3) 气动装置中的信号传动速度比光、电控制速度慢, 所以不宜用于信号传递速度要求十分高的复杂线路中。同时实现生产过程的遥控也比较困难, 但对一般的机械设备, 气动信号的传递速度是能满足工作要求的。

4) 噪声较大, 尤其是在超声速排气时, 要加消声器。

三、气压传动的应用与发展

1829 年出现了多级空气压缩机, 为气压传动的发展创造了条件。1871 年风镐开始用于采矿。1868 年美国人 G. 威斯汀豪斯发明气动制动装置, 并在 1872 年用于铁路车辆的制动。后来, 随着武器、机械、化工等工业的发展, 气动机具和控制系统得到广泛的应用。1930 年出现了低压气动调节器。20 世纪 50 年代用于导弹尾翼控制的高压气动伺服机构研制成功。20 世纪 60 年代出现了射流和气动逻辑组件, 使气压传动得到很大的发展。

复习思考题

1. 何谓液压传动? 液压传动系统由哪几部分组成? 各部分的作用是什么?
2. 气压传动与液压传动有什么不同?

第二章 液压传动基础知识

第一节 液压油的认识及选用

液压油是液压传动系统中的传动介质,而且还对液压装置的机构、零件起着润滑、冷却和缓蚀作用。了解液压油的种类、物理性质,掌握流体的静力学特征、运动学和动力学规律,对于理解液压传动工作原理、合理选用液压组件和正确使用液压系统是非常有必要的。

一、液压油的性质

1. 密度 ρ

密度是单位体积液压油的质量。其计算公式为

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-1)$$

式中, m 是液体的质量 (kg); V 是液体的体积 (m^3)。

密度随着温度或压力的变化而变化,但变化不大,通常忽略不计,一般矿物油的密度为 $850 \sim 960 \text{ kg/m}^3$ 。

2. 液体的可压缩性

液体受压力作用而体积减小的特性称为液体的可压缩性。液体可压缩性的大小通常以体积压缩率 κ (m^2/N) 来度量。它表示当温度不变时,在单位压强变化下液体体积的相对变化量,即

$$\kappa = -\frac{\Delta V}{\Delta p V_0} \quad (2-2)$$

式中, V_0 是液体加压前的体积 (m^3); ΔV 是加压后液体体积变化量 (m^3); Δp 是液体压强变化量 (N/m^2)。

当压强增大时,液体体积总是减小,所以式 (2-2) 中加一负号以使压缩系数为正值。液体的压缩率 κ 的倒数称为液体的体积模量,以 K (N/m^2) 表示,其值为

$$K = 1/\kappa \quad (2-3)$$

液压油的体积模量为 $(1.4 \sim 1.9) \times 10^9 \text{ N/m}^2$ 。对液压系统而言,由于压力变化引起的液体体积变化很小,一般认为油液不可压缩。但当液体中混有空气时,其压缩性显著增加,并影响系统的工作性能。若分析动态特性或压力变化很大的高压系统,则必须考虑可压缩性的影响。

3. 液体的粘性

液体在外力作用下流动时,由于液体分子间的内聚力而产生一种阻碍液体分子之间进行相对运动的内摩擦力,液体的这种产生内摩擦力的性质称为液体的粘性。粘性是液体重要的物理特性,也是选择液压油的主要依据。液体粘性示意图 2-1 所示。

若两平行平板间充满液体，下平板固定，而上平板以速度 u 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，紧靠着上平板的液体层速度为 u ，而中间各层液体速度则从上到下按递减规律呈线性分布。

试验表明

$$F = \mu A \frac{du}{dy} \quad (2-4)$$

牛顿液体内摩擦定律：液层间的内摩擦力 F 与液层接触面积 A 及液层之间的相对速度 du 成正比，而与液层间的距离 dy 成反比。 μ 是比例系数，也称为液体的粘性系数或动力粘度。

以 $\tau = F/A$ 表示切应力，则有

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2-5)$$

粘性的大小可用粘度来衡量。

(1) 动力粘度 μ 当速度梯度 $du/dy = 1$ 时，单位面积上的内摩擦力的大小，即

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} \quad (2-6)$$

动力粘度单位 在国际单位制中为牛顿·秒/米² ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$) 或帕·秒 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。

(2) 运动粘度 ν 运动粘度是动力粘度 μ 与密度 ρ 的比值

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2-7)$$

运动粘度没有明确的物理意义，它是液体力学分析和计算中常遇到的一个物理量。因其单位中只有长度与时间的量纲，故称为运动粘度。运动粘度单位是米²/秒 (m^2/s)。还可使用 CGS 制单位：斯 (托克斯)，符号为 St，斯的单位太大，应用不便，常用厘斯来表示，符号为 cSt，故

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

(3) 相对粘度 (赛氏粘度、雷氏粘度、恩氏粘度) 恩氏粘度的测定方法如下：某一温度下测定 200cm³ 的被测液体在自重作用下流过直径为 2.8mm 小孔所需的时间 t_1 ，然后测出同体积的蒸馏水在 20℃ 时流过同一孔所需时间 t_0 ($t_0 = 50 \sim 52 \text{ s}$)， t_1 与 t_0 的比值即为流体的恩氏粘度值。恩氏粘度用符号 $^\circ\text{E}$ 表示。被测液体温度为 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏粘度用符号 $^\circ\text{E}_t$ 表示。

$$^\circ\text{E}_t = \frac{t_1}{t_0} \quad (2-8)$$

工业上一般以 20℃、50℃ 和 100℃ 作为测定恩氏粘度的标准温度，并相应地以符号 $^\circ\text{E}_{20}$ 、 $^\circ\text{E}_{50}$ 、 $^\circ\text{E}_{100}$ 来表示。

已知恩氏粘度，利用下列经验公式可将恩氏粘度换算成运动粘度，即

$$\nu = 7.31^\circ\text{E}_t - \frac{6.31}{^\circ\text{E}_t} \times 10^{-6} \quad (2-9)$$

(4) 压力对粘度的影响 粘度随着压力的变化而变化的特性称为粘压特性。液体的压

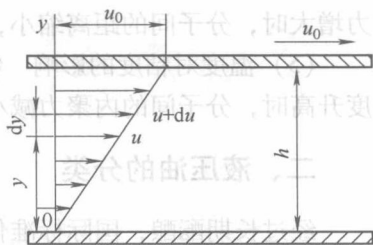


图 2-1 液体的粘性示意图

力增大时，分子间的距离缩小，内聚力增大，其粘度也随之增大。

(5) 温度对粘度的影响 粘度随着温度的变化而变化的特性称为粘温特性。当液体温度升高时，分子间的内聚力减小，粘度就随之降低。液压油的粘度对温度的变化比较敏感。

二、液压油的分类

经过长期酝酿，国际标准化组织于 2009 年推出了液压油产品的最新标准——ISO11158:2009《润滑剂、工业用油及相关产品标准 - 液压油规格 HH、HL、HM、HV、HG》。液压油的各部分含义如下：



液压油一般有矿油型、合成型及乳化型三大类，主要类型及其特性和用途见表 2-1。

表 2-1 液压油的主要类型及特性和用途

类型	名称	ISO 代号	特性和用途
矿油型	通用液压油	L-HL	精制矿油加添加剂，提高抗氧化和缓蚀性能，适用于室内一般设备的中低压系统
	抗磨型液压油	L-HM	L-HL 油加添加剂，改善抗磨性能，适用于工程机械、车辆液压系统
	低温液压油	L-HV	可用于环境温度在 $-40 \sim -20^{\circ}\text{C}$ 的高压系统
	高粘度指数液压油	L-HR	L-HL 油加添加剂，改善粘温特性，VI 值达 175 以上，适用于对粘温特性有特殊要求的低压系统，如数控机床液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM 油加添加剂，改善粘温特性，适用于机床中液压和导轨润滑合用的系统
	全损耗系统用油	L-HH	浅度精制矿油，抗氧化性、抗泡沫性较差，主要用于机械润滑，可作液压代用油，用于要求不高的低压系统
	汽轮机油	L-TSA	深度精制矿油加添加剂，改善抗氧化性、抗泡沫性，为汽轮机专用油，可作液压代用油，用于一般低压系统
乳化型	水包油乳化液	L-HFA	难燃，粘温特性好，有一定的缓蚀能力，润滑性差，易泄漏，适用于有抗燃要求、油液用量大且泄漏严重的系统
	油水乳化液	L-HFB	既具有矿油型液压油的耐磨、缓蚀性能，又具有抗燃性，适用于有抗燃要求的中压系统
合成型	水—乙二醇液	L-HFC	难燃，粘温特性和抗蚀性好，能在 $-30 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 温度下使用，适用于有抗燃要求的中低压系统
	磷酸酯液	L-HFDR	难燃，润滑、抗磨和抗氧化性能良好，能在 $-54 \sim 135^{\circ}\text{C}$ 温度范围内使用，缺点是有毒。适用于有抗燃要求的高压精密系统