



中等职业教育创新教材

液压与气压传动

《中等职业教育创新教材》编审委员会编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

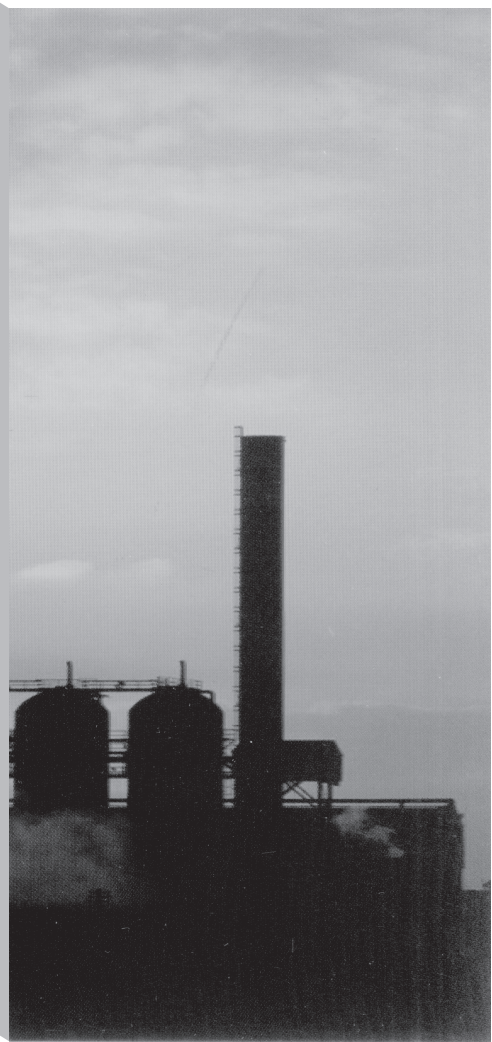
武汉大学出版社



中等职业教育创新教材

液压与气压传动

《中等职业教育创新教材》编审委员会编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/《中等职业教育创新教材》编审委员会编著. —武汉:武汉大学出版社, 2012. 10

中等职业教育创新教材

ISBN 978-7-307-10223-1

I. ①液… II. ①中… III. ①液压传动—中等专业学校—教材 ②气压传动—中等专业学校—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 240136 号

责任编辑:周颖异

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:三河市鑫鑫科达彩色印刷包装有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:291千字

版次:2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷

ISBN 978-7-307-10223-1/TH·32 定价:29.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

中等职业教育创新教材·机械系列

编审委员会

主 任 李小卓

副 主 任 戴爱国

委 员 叶 洪 崔红兴 姚丙申
张丽萍 蔡跃伟 张慧芳
余云志 严添明 施凤荣
黄亦欣 赵海全 周 静
杜 倩 王 晶 胡登纯
柴冬梅

内 容 简 介

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的指导精神,并结合教育部最新颁布的教学指导要求及中等职业技术学校教学特点编写而成的。本书内容全面,结构合理,通俗易懂。全书共分为3篇,12个项目,主要包括液压与气压传动概述、液压传动动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助元件、液压传动基本回路、液压传动系统实例、液压传动系统的使用与维护、气压传动元件、气压传动基本回路、气压传动系统实例、气压传动系统的使用与维护。

本书既可作为中等职业技术学校机械制造类专业教材,也可作为职工培训教材和职业技能鉴定指导教材。

前 言

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》的指导精神,以及教育部最新颁布的教学指导要求,并结合中等职业技术学校教学特点编写而成的。本书既可作为中等职业技术学校机械制造类专业教材,也可作为职工培训教材和职业技能鉴定指导教材。

本书在内容组织上紧扣职业技术学校学生的实际情况,具有深入浅出、通俗易懂、操作性强等特点。另外,本书尽可能多地在教材中充实新知识、新技术和新设备等方面的内容,力求教材具有鲜明的时代特征。在编写模式方面,尽可能多地使用图片、表格等形式将知识点生动地展示出来,力求给学生营造一个更加直观的认知环境。通过对本书的学习,能培养学生理论联系实际、严谨求实、团结协作的精神,能有效地提高学生独立分析和解决问题的能力。

本书坚持“以就业为导向、以能力为本位”的原则,力求体现职业教育特色。全书共分为3篇,12个项目,主要内容包括液压与气压传动概述、液压传动动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助元件、液压传动基本回路、液压传动系统实例、液压传动系统的使用与维护、气压传动元件、气压传动基本回路、气压传动系统实例、气压传动系统的使用与维护。

本书的课时分配建议如下:

项目	学时
项目1 液压与气压传动概述	4
项目2 液压传动动力元件	4
项目3 液压执行元件	3
项目4 液压控制元件	8
项目5 液压辅助元件	5
项目6 液压传动基本回路	6
项目7 液压传动系统实例	4
项目8 液压传动系统的使用与维护	3
项目9 气压传动元件	12
项目10 气压传动基本回路	4
项目11 气压传动系统实例	4
项目12 气压传动系统的使用与维护	3
合计	60

由于水平所限,加之时间仓促,书中不妥和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正,以便修订。

编 者

目 录

第一篇 液压与气压传动基础

项目 1 液压与气压传动概述	2	任务 4 液压与气动技术的基本理论	9
任务 1 液压与气压传动的基本原理	2	项目小结	22
任务 2 液压与气压传动系统的组成	4	项目习题	23
任务 3 液压与气压传动的优、缺点及 应用	6		

第二篇 液压传动系统

项目 2 液压传动动力元件	26	项目 5 液压辅助元件	92
任务 1 液压泵概述	26	任务 1 过滤器	92
任务 2 齿轮泵	31	任务 2 蓄能器	95
任务 3 叶片泵	34	任务 3 热交换器	97
任务 4 柱塞泵	37	任务 4 密封装置	99
项目小结	39	任务 5 其他辅助元件	102
项目习题	40	项目小结	105
项目 3 液压执行元件	41	项目习题	105
任务 1 液压缸	41	项目 6 液压传动基本回路	106
任务 2 液压马达	48	任务 1 方向控制回路	106
项目小结	55	任务 2 压力控制回路	108
项目习题	55	任务 3 速度控制回路	113
项目 4 液压控制元件	56	任务 4 多缸动作控制回路	120
任务 1 液压阀概述	56	项目小结	125
任务 2 方向控制阀	58	项目习题	126
任务 3 压力控制阀	66	项目 7 液压传动系统实例	127
任务 4 流量控制阀	77	任务 1 组合机床动力滑台液压系统	127
任务 5 其他控制元件	82	任务 2 汽车起重机液压系统	131
项目小结	90	任务 3 钣金冲床液压系统	134
项目习题	90		

项目小结	136
项目习题	136
项目 8 液压传动系统的使用与维护	137
任务 1 液压传动系统的安装、调试和 维护	137

任务 2 液压传动系统常见故障分析与 排除	141
项目小结	144
项目习题	144

第三篇 气压传动系统

项目 9 气压传动元件	146
任务 1 气源装置	146
任务 2 汽缸	152
任务 3 常用气动控制阀	158
任务 4 气动辅助装置	171
项目小结	175
项目习题	176
项目 10 气压传动基本回路	178
任务 1 方向控制回路	178
任务 2 压力控制回路	180
任务 3 速度控制回路	181
任务 4 其他回路	185
项目小结	189
项目习题	189

项目 11 气压传动系统实例	190
任务 1 气动机械手气压传动系统	190
任务 2 包装机械气动系统	192
任务 3 数控加工中心气动换刀系统	195
任务 4 车门气动控制系统	196
项目小结	198
项目习题	198

项目 12 气压传动系统的使用与 维护	199
任务 1 气压传动系统的安装、调试和 维护	199
任务 2 气压传动系统常见故障分析与 排除	202
项目小结	207
项目习题	208

附 录

附表 1 管路与连接	209
附表 2 控制方法	209
附表 3 泵、马达和缸	210

附表 4 控制元件	211
附表 5 辅助元件	212

参考文献	214
------------	-----

第一篇

液压与气压传动基础

液压与气压传动技术是以流体—液压油液为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式。

液压与气压传动系统主要包括动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件等。掌握这些元件的结构、工作原理、应用是本学习本书重点掌握的内容。

本篇内容作为全书内容的基本理论,包括工作介质的物理性质、液体静力学与动力学的基本知识等。



项目 1

液压与气压传动概述

任务 1 液压与气压传动的基本原理

任务描述：掌握液压传动的工作原理；
掌握气压传动的工作原理。

任务分析：本任务结合液压千斤顶的工作过程，分析液压传动的工作原理。液压传动是指通过液体的压力能来传递运动和动力的传动方式，气压传动是指以压缩空气作为动力的传动方式。了解液压和气压传动的工作原理是本书学习的基础。

活动 1 概述

液压与气压传动技术是机械设备中发展速度最快的技术之一，特别是近年来，随着机电一体化技术的发展，通过与微电子、计算机技术相结合，液压与气压传动进入了一个新的发展阶段，已广泛地应用在机械制造业、起重设备、矿山机械、工程机械、农业机械、化工机械及军事行业中。例如，在机床行业中常应用液压与气压传动技术实现机床往复、机床回转、机床进给、机床仿形及各种辅助运动。

液压与气压传动技术是以流体—液压油液（或压缩空气）为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式，它们的工作原理基本相同。

活动 2 液压传动的工作原理

图 1-1(a)为液压千斤顶的工作原理图，图 1-1(b)为其简化模型图。液压千斤顶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。

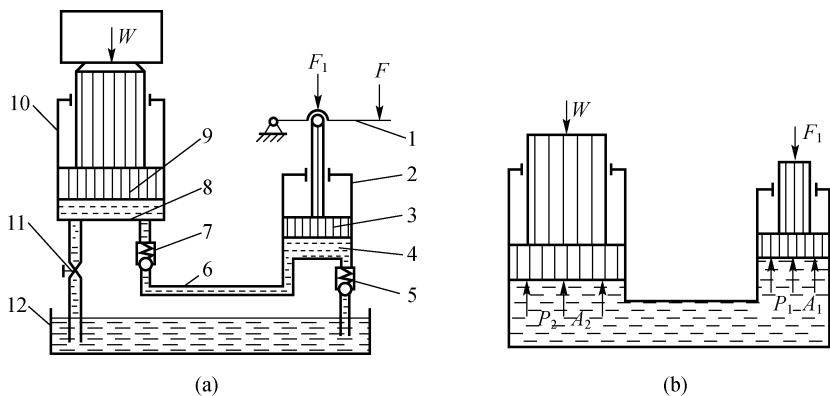


图 1-1 液压千斤顶

(a)工作原理图;(b)简化模型图

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

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 连同重物一起上升。反复上提、下压杠杆 1,油液就不断地被压入油腔 8,使大活塞 9 和重物不断上升。

若将放油阀 11 打开,油腔 8 与油箱 12 接通,油液在重物的作用下流回油箱,大活塞 9 下降并回到原位。

由上述分析可知,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,然后又将液压能转换为机械能,以驱动工作机构完成各种要求动作。

活动 3 气压传动工作原理

气压传动工作原理和液压传动基本相同,也是能量转换的过程,不同之处在于工作介质是空气,而不是液压油。下面以气动剪切机为例说明。如图 1-2 为气动剪切机的工作原理图。工料 11 被送到剪切机预定位置时,将推动行程阀 8 的阀芯右移,使换向阀 9 的控制腔 A 通过行程阀 8 与大气相通,换向阀 9 的阀芯在弹簧作用下能够向下移动。空气压缩机 1 产生压缩空气,经初步降温除水等净化后贮存于储气罐 4 中,再经过空气过滤器 5、减压阀 6、油雾器 7、换向阀 9 进入汽缸 10 下腔。而上腔的压缩空气经过换向阀 9 排入大气。汽缸活塞在气压力作用下带动剪切刃向上快速运动切断工料 11,随后松开行程阀 8 的阀芯,在弹簧作用下而复位。排气通道被封住,阀 9 的控制腔 A 中的气压升高,使阀芯上移,气路换向。汽缸 10 上腔进入压缩空气,下腔排气,活塞向下

运动,带动剪切刃复位,完成一个剪切循环,并进入下一次剪料的开始阶段。

由上述分析可知,气压传动的工作原理就是能量转换,即气动剪切机是利用空气压缩机将原动机提供的机械能转换为空气的压力能,再经过管道及控制元件进入汽缸,然后再将压力能转换为机械能做功而切断工料。图 1-2(b)是用图形符号表示的气动剪切机的工作原理图,是一种常用的表达形式。

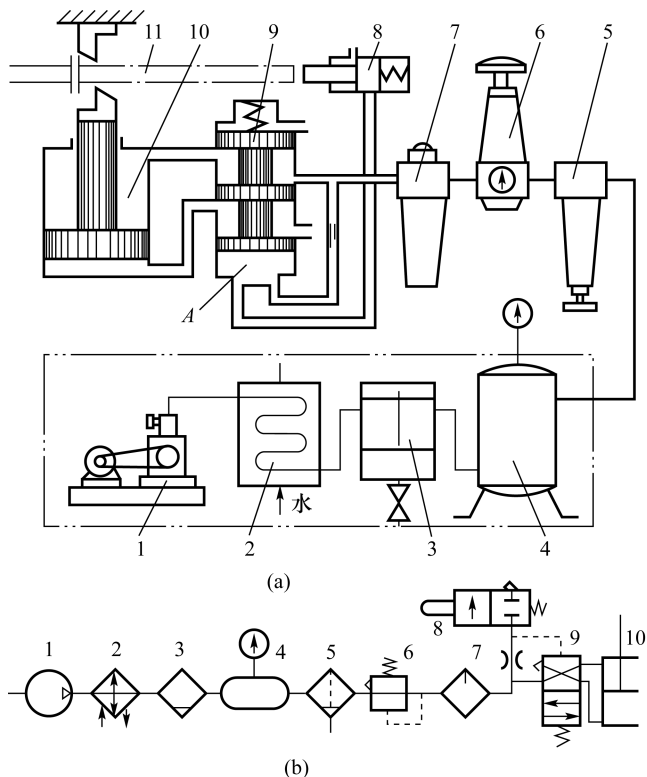


图 1-2 气动剪切机

(a)工作原理图;(b)符号简图

1—空气压缩机;2—后冷却器;3—分水排水器;4—储气罐;5—空气过滤器;
6—减压阀;7—油雾器;8—行程阀;9—换向阀;10—汽缸;11—工料

任务 2 液压与气压传动系统的组成

任务描述: 掌握液压传动系统的组成;

了解气压传动系统的组成。

任务分析: 本任务通过对组合机床液压系统的工作原理的说明,介绍液压传动系统的组成部分,并结合气动剪切机的工作系统流程图介绍气压传动系统的组成。

活动 1 液压传动系统的组成

图 1-3(a)为一简化的组合机床液压传动系统,其工作原理如图 1-3(b)所示。

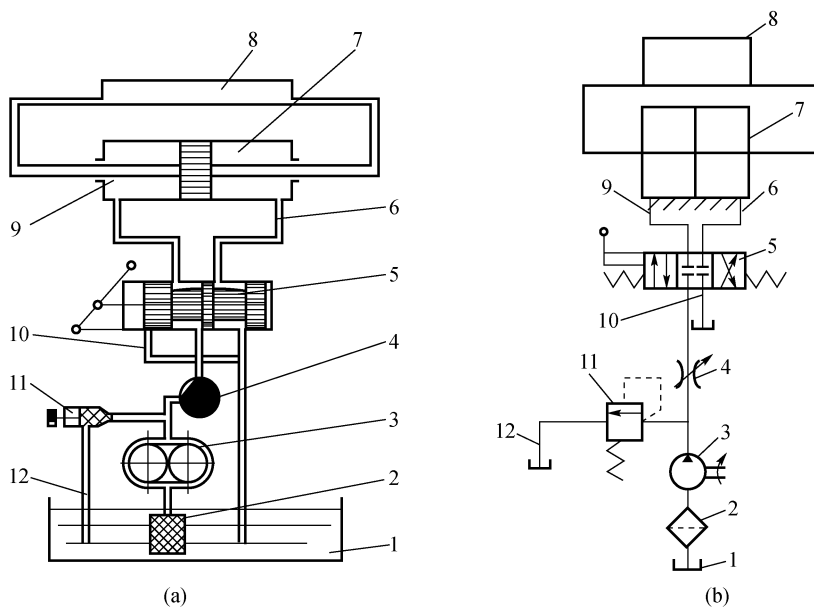


图 1-3 简化了的组合机床液压系统图

(a) 系统简图; (b) 工作原理

1—油箱; 2—滤油器; 3—定量液压泵; 4—流量控制阀; 5—换向阀; 7—液压缸; 8—工作台; 6, 9, 10, 12—管道; 11—溢流阀

从上述例子可以看出,液压传动系统除工作介质外,主要由动力元件、执行元件、控制调节元件和辅助元件 4 部分组成。

1. 动力元件

动力元件主要是指液压泵,其作用是将原动机输入的机械能转换为液压能,为液压系统提供压力油,是液压系统的动力源。

2. 执行元件

执行元件主要是指液压缸、液压马达,其作用是将液体的压力能转换为机械能,在压力油的推动下输出力和速度,以驱动工作部件。

3. 控制调节元件

控制调节元件主要包括各种阀类元件,如溢流阀、节流阀、换向阀等,其作用是控制液压系统中液压油的压力、流量和流动方向,以保证执行元件完成预期的工作运动。

4. 辅助元件

辅助元件主要包括油箱、油管、管接头、滤油器、压力计、流量计等,其作用是散热、贮油、

输油、连接、过滤、测量压力和流量,以保证系统正常工作。

活动 2 气压传动系统的组成

由图 1-2 可知气压传动系统主要由 4 部分组成。

1. 气源装置

气源装置是获得压缩空气的设备与装置,包括空气压缩机、储气罐、空气净化装置等。其主体部分是空气压缩机,它将原动机提供的机械能转变为气体的压力能。对于应用气动设备较多的厂矿,一般集中建立压缩空气站,再由压缩站统一向各用气点分配输送压缩空气。

2. 执行元件

执行元件是将气体的压力能转换为机械能的能量装置,包括汽缸(直线运动)和气动马达(回转运动)。

3. 控制元件

控制元件是用来控制压缩空气的压力、流量、方向,以便执行元件完成预定运动的元件,主要包括压力阀、流量阀、方向阀、逻辑元件和行程阀等。

4. 辅助元件

辅助元件是将压缩空气净化、润滑、消声以及元件间连接等所需的不可缺少的元件装置,包括过滤器、油雾器、消声器以及管件等。

任务 3 液压与气压传动的优、缺点及应用

任务描述: 了解液压与气压传动的优点;

了解液压与气压传动的缺点;

了解液压与气压传动的应用与发展状况。

任务分析: 液压与气压传动在机械设备中的应用非常广泛。本任务通过对比其他传动方式,介绍液压传动与气压传动的优、缺点及应用现状。

活动 1 液压传动的优、缺点

1. 液压传动的优点

液压传动与机械传动、电气传动相比具有以下优点。

(1)在传递同等功率的情况下,液压传动装置的体积小、重量轻、结构紧凑。据统计,液压马达的重量只有同功率电动机重量的10%~20%,而且液压元件可在很高的压力下工作,因此液压传动能够传递较大的力或力矩。

(2)液压装置由于质量小、惯性小、工作平稳、换向冲击小,易实现快速启动,制动和换向频率高。对于回转运动每分钟可达500次,直线往复运动每分钟可达400~1 000次。这是其他传动控制方式无法比拟的。

(3)液压传动装置易实现过载保护,安全性好,不会有过负载的危险。

(4)液压传动装置能在运动过程中实现无级调速,调速范围大(可达范围1:2 000),速度调整容易,而且调速性能好。

(5)液压传动装置调节简单、操作方便,易于自动化,与电气控制相配合,可方便地实现复杂的程序动作和远程控制。

(6)工作介质采用油液,元件能自行润滑,故使用寿命较长。

(7)元件已标准化、系列化和通用化,便于设计、制造、维修和推广使用。

(8)液压装置比机械装置更容易实现直线运动。

2. 液压传动的缺点

同其他传动方式相比,液压传动有以下几方面缺点。

(1)由于接管不良等原因造成液压油外泄,它除了会污染工作场所外,还有引起火灾的危险。

(2)液压系统大量使用各种控制阀与接头,为了防止泄漏损耗,元件的加工精度要求较高。

(3)液压传动不能保证严格的传动比,这是由于液压油的可压缩性和泄漏造成的。

(4)油温上升时,黏度降低;油温下降时,黏度升高。油的黏度发生变化时,流量也会随之改变,造成速度不稳定。

(5)系统将机械能转换成液体压力能,再把液体压力能转换成机械能做功,能量经两次转换损失较大,能源使用效率比传统机械低。

(6)液压传动由于在两次能量转换过程中存在机械摩擦损失、液体压力损失和泄漏损失等,故不宜远距离传输。

(7)液压传动装置出现故障时不易追查原因,不易迅速排除。

活动 2 气压传动的优、缺点

1. 气压传动的优点

同其他传动方式相比,气压传动有以下几方面的优点。

(1)采用空气作为传动介质,来源方便,取之不尽,用后直接排入大气而不污染环境,且不需回气管路。

(2) 气动系统结构较简单, 安装自由度大, 使用、维护方便, 使用成本低。

(3) 空气对环境的适应性强, 特别是在高温、易燃、易爆、高尘埃、强磁、辐射及振动等恶劣环境中, 比液压、电气及电子控制都优越。

(4) 空气的黏度很小, 在管路中流动时的压力损失小, 管道不易堵塞, 空气也没有变质问题, 所以节能、高效。它适用于集中供气和远距离输送。

(5) 与液压传动相比, 气压传动反应快, 动作迅速, 一般只需 $0.02 \sim 0.03$ s 就可建立起需要的压力和速度。因此, 它特别适用于实现系统的自动控制。

(6) 调节控制方便, 既可组成全气动控制回路, 也可与电气、液压结合实现混合控制。

2. 气压传动的缺点

同其他传动方式相比, 气压传动有以下几方面的缺点。

(1) 由于空气的可压缩性大, 所以气动系统的稳定性差, 负载变化时对工作速度的影响较大, 速度调节较难。

(2) 由于工作压力低, 且结构尺寸不宜过大, 所以气动系统不易获得较大的输出力和力矩。因此, 气压传动不适用于重载系统。

(3) 空气无润滑性能, 故在系统中需要润滑处应设置润滑给油装置。

总体来说, 液压与气压传动的优点是主要的, 其缺点将随着科学技术的发展会不断得到克服。例如, 将液压传动、气压传动、电力传动、机械传动合理地联合使用, 构成气液、电液(气)、机液(气)等联合传动, 以进一步发挥各自的优点, 可相互补充, 弥补某些不足之处。

活动 3 液压与气动技术的应用与发展概况

液压与气压传动相对于机械传动来说是一门新兴技术。在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床行业中, 液压技术得到了普遍的应用。随着原子能、空间技术、电子技术等方面的发展, 液压技术向更广阔的领域渗透, 发展成为包括传动、控制和检测在内的一门完整的自动化技术。现今, 采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业化发展水平的重要标志之一。例如, 发达国家生产的 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、95% 以上的自动生产线都采用了液压传动。

随着液压机械自动化程度的不断提高, 液压元件应用数量急剧增加, 元件小型化、系统集成化是发展的必然趋势。特别是近十年来, 液压技术与传感技术、微电子技术密切结合, 出现了许多如电液比例控制阀、数字阀、电液伺服液压缸等机(液)电一体化元器件, 使液压技术在高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、使用寿命、高度集成化等方面取得了重大进展。另外, 液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助试验(CAT)和计算机实时控制也是当前液压技术的发展方向。

近年来气动技术的应用领域已从汽车、采矿、钢铁、机械工业等重工业迅速扩展到化工、轻工、食品、军事工业等各行各业。和液压技术一样, 当今气动技术也发展成包含传动、控制

与检测在内的自动化技术,成为柔性制造系统(FMS)在包装设备、自动生产线和机器人等方面不可缺少的重要手段。工业自动化以及 FMS 的发展,要求气动技术以提高系统可靠性、降低总成本与电子工业相适应为目标,进行系统控制技术和机电液气综合技术的研究和开发。

显然,气动元件的微型化、节能化、无油化是当前的发展特点,与电子技术相结合产生的自适应元件,如各类比例阀和电气伺服阀,使气动系统从开关控制进入到反馈控制。计算机的广泛普及与应用为气动技术的发展提供了更加广阔的前景。

任务4 液压与气动技术的基本理论

任务描述: 掌握液压油的有关物理性质和选用方法;

了解液体静力学基础内容;

了解液体动力学基础内容;

了解实际管路中的液体流动。

任务分析: 液压油是液压传动的工作介质,了解液压油的工作性质,掌握其正确的选用方法,才能保证系统可靠有效地工作。在液压传动中液体是不断地流动的,研究流体流动的规律为本任务的主要内容。

活动1 液压油的有关物理性质

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,用 ρ 表示,即

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

式中 m ——液体的质量,单位为 kg;

V ——液体的体积,单位为 m^3 。

2. 可压缩性

液体受压力作用后其体积减小的性质称为液体的可压缩性。

液体的可压缩性很小,一般情况下可以忽略不计。但在高压下或受压体积较大以及对液压系统进行动态分析时,要考虑液体的可压缩性。

3. 黏性和黏度

液体在外力作用下流动时,液体分子间的内聚力阻碍其分子间的相对运动而产生内摩

擦力,这种特性称为液体的黏性。

液体流动时,由于液体和固体壁面间的附着力以及液体本身的黏性,会使液体内部各液层间的速度大小不等。如图 1-4 所示,两个平行板之间充满液体,下平板固定不动,上平板以速度 u_0 向右平移。在附着力的作用下,紧贴于上平板的极薄一层液体随着上平板一起以 u_0 的速度向右移动,紧贴着下平板的极薄一层液体和下平板一起保持不动,而中间各层液体则从上到下按递减的速度向右移动。这是因为相邻两薄层液体间的分子内聚力对上层液体起阻滞作用,而对下层液体则起拖曳作用。当两平行板间的距离较小时,各液层的速度按线性规律分布。

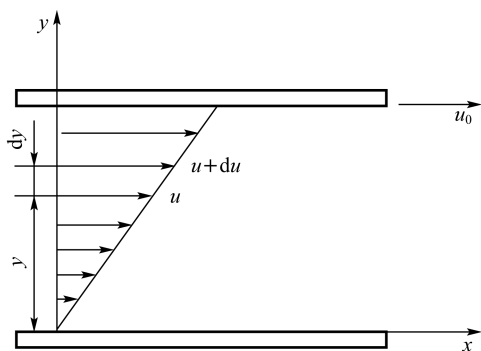


图 1-4 黏性示意图

由实验测定,液体流动时,相邻液层间的内摩擦力 F 与液层的接触面积 A 、液层相对速度 du 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比,即

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

式中 μ ——比例系数,又称为黏性系数或黏度;

$\frac{du}{dy}$ ——速度梯度,即液层相对速度对液层距离的变化率。

在静止液体中,由于速度梯度 $\frac{du}{dy} = 0$,内摩擦力 F 为零,因此静止液体不呈现黏性,只有流动(或有流动趋势)的液体才呈现黏性。式(1-2)称为牛顿的液体内摩擦定律。

若用单位面积上的内摩擦力 τ (即应力)来表示,则上式为

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{N/m}^2) \quad (1-3)$$

液体黏性的大小用黏度来表示。常用的液体黏度有动力黏度、运动黏度和恩氏黏度。

(1) 动力黏度。动力黏度又称绝对黏度,由式(1-3)得到

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy} \quad (\text{N} \cdot \text{s/m}^2)$$

由此可知动力黏度 μ 的物理意义是:液体在单位速度梯度下流动时,单位面积上产生的内摩擦力。

动力黏度的单位为帕·秒(Pa·s),以前沿用的单位为泊(P),它们之间的换算关系为 $1\text{P}=0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

(2)运动黏度。动力黏度 μ 和液体密度 ρ 之比值称为运动黏度,即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-4)$$

运动黏度 ν 没有明确的物理意义,只是在液压系统分析和计算时常用到这个量。

运动黏度的单位为平方米/秒(m^2/s),以前沿用的单位为斯(St)和厘斯(cSt),它们之间的换算关系为 $1\text{m}^2/\text{s}=10^4\text{St}=10^6\text{cSt}$ 。

液压油的牌号就是指这种油液在 40°C 时运动黏度(mm^2/s)的平均值,如牌号为L-HL22的普通液压油,就是指该油液在 40°C 时的运动黏度的平均值为 $22\text{mm}^2/\text{s}$ 。

(3)恩氏黏度。恩氏黏度由恩氏黏度计测定,即将 200cm^3 的被测液体装入底部有 $\phi 2.8\text{mm}$ 小孔的恩氏黏度计的容器中,在某一特定温度 $t^\circ\text{C}$ 时,测定其液体在自重下流过小孔所需的时间 t_1 和同体积蒸馏水在 20°C 时流过同一小孔所需的时间 t_2 之比值,便是该液体在 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏黏度。恩氏黏度用符号 $^\circ E_t$ 表示,即

$$^\circ E_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1-5)$$

4. 黏度与温度、压力的关系

温度对油液的黏度影响较大,随着温度升高,油液的黏度将下降。

当液体所受的压力增加时,其分子间的距离减小,内聚力增大,黏度也随之增大。对于一般液压系统,当压力在 20MPa 以下时,压力对黏度的影响不大,通常忽略不计。

活动 2 液压油的选用

液压油在液压传动中不仅起传递能量的作用,而且还对液压传动中液压元件起润滑、冷却和防锈的作用。液压油的选择主要是指根据工作条件选用适宜的黏度。

(1)环境温度。环境温度较高时,宜选用黏度较大的液压油。

(2)液压系统的工作压力。系统工作压力较高时,宜选用黏度较大的液压油,以减少泄漏。

(3)运动速度。执行元件运动速度较高时,宜选用黏度较小的液压油,以减少由于液体摩擦而造成的损失。

(4)液压泵的类型。在液压系统的所有元件中,以液压泵对液压油的性能最为敏感。因此常根据液压泵的类型及要求来选择液压油的黏度。

液压油的产品牌号由类别、品种和数字3部分组成,其中,数字表示工作介质黏度等级,用温度为 40°C 时的运动黏度平均值(mm^2/s)表示。例如,L-HL46号液压油是指这种油在 40°C 时的运动黏度平均值为 $46\text{mm}^2/\text{s}$ 。

L-HL型常用液压油的代号及运动黏度见表1-1。表1-2为按液压泵类型推荐用油表,可供选取油液时参考。

表 1-1 L-HL 型常用液压油的代号及运动黏度

代号	L-HL7	L-HL10	L-HL15	L-HL22	L-HL32	L-HL46	L-HL68	L-HL100	L-HL150
运动黏度 (mm ² /s)	4.14~ 5.06	6.12~ 7.48	13.5~ 16.5	19.8~ 24.2	28.8~ 35.2	41.4~ 50.6	61.2~ 74.8	90.0 ~110	135 ~165
主要用途	本产品为精制矿物油,常用于低压液压系统,也适用于要求换油期较长的轻负荷机械的非循环润滑系统								

表 1-2 按液压泵类型推荐用油表

名称		黏度范围/(mm ² /s)		工作压力/MPa	工作温度/°C	推荐用油
		允许	最佳			
叶片泵	叶片泵 (1 200r/min)	16~220	26~54	7	5~40	L ^① -HH ^② 32、L-HH46
					40~80	L-HH46、L-HH68
	叶片泵 (1 800r/min)	20~220	25~54	14 以上	5~40	L-HL ^③ 32、L-HL46
					40~80	L-HL46、L-HL68
齿轮泵		4~220	25~54	12.5 以下	5~40	L-HL32、L-HL46
					40~80	L-HL46、L-HL68
				10~20	5~40	L-HL46、L-HL68
					40~80	L-HM ^④ 46、L-HM68
				16~32	5~40	L-HM32 ^⑤ 、L-HM68
					40~80	L-HM46、L-HM68
柱塞泵	径向柱塞泵	10~65	16~48	14~35	5~40	L-HM32、L-HM68
					40~80	L-HM46、L-HM68
	轴向柱塞泵	4~76	6~47	35 以上	5~40	L-HM32、L-HM68
					40~80	L-HM68、L-HM100

注:①石油产品的总分类代号。

②HH 精制矿物油;无添加剂的石油型液压油。

③HL 普通液压油;HH 抗氧化剂、防锈剂的石油型液压油。

④HM 抗磨液压油;HL 抗磨剂的石油型液压油。

⑤数字表示工作介质的黏度等级。

活动 3 液体静力学

1. 静压力

当液体处于相对静止时,液体单位面积上所受的力称为静压力,在物理学中称为压强,通常用 p 表示。若在面积为 A 的液体上作用力为 F ,则静压力的计算公式为

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-6)$$

在SI制中压力的单位为Pa(N/m²)。由于Pa单位太小,工程上常用kPa、MPa表示,其换算关系为1MPa=10³kPa=10⁶Pa。

液体静压力具有下列两个特性。

- (1)液体静压力垂直于其受压平面,且方向与该面的内法线方向一致。
- (2)静止液体内任意点处所受到的静压力在各个方向上都相等。

2. 压力的表示方法

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。相对压力为绝对压力与大气压力之差。

当绝对压力低于大气压力时,比大气压力小的那部分数值称为真空度。

绝对压力、相对压力和真空度的相对关系如图1-5所示。

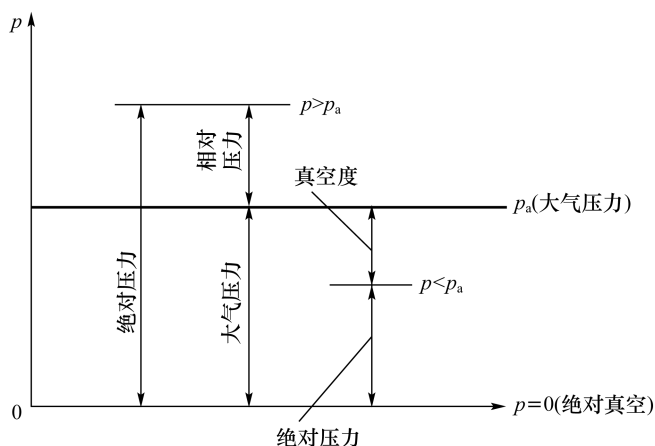


图 1-5 绝对压力、相对压力和真空度的相对关系

3. 压力的传递——帕斯卡原理

由静力学基本方程式 $p = p_0 + \rho gh$ 可知,静止液体内任一点处的压力都包含液面上的压力 p_0 ,这说明在密闭容器中,由外力作用所产生的压力可以等值地传递到液体内部的所有各点。这就是帕斯卡原理,又称为静压传递原理。

4. 液体作用在固体壁面的力

静止液体和固体壁面相接触时,固体壁面上各点在某一方向上所受静压力作用力总和即液体在该方向上作用于固体壁面上的力。在液压传动计算中质量力 ρgh 可以忽略,静压力处处相等,所以可认为作用于固体壁面上的压力是均匀分布的。

当固体壁面是一个平面时,面积 A 为平面上的承压面积。当固体壁面为曲面时,面积 A 为在这个作用力方向上的投影面积。液体作用在固体壁面的力的计算式为

$$F = pA \quad (1-7)$$

活动 4 液体动力学

液体动力学是研究作用在液体上的力与液体运动之间的关系。本阶段主要讨论流动液体的 3 个基本方程,即连续性方程、伯努利方程、动量方程。

1. 基本概念

(1)理想液体。既无黏性又不可压缩的假想液体称为理想液体。既有黏性又可压缩的液体称为实际液体。

(2)稳定流动。液体流动时,若液体中任一点处的压力、速度和密度都不随时间而变化的流动称为稳定流动(又称为定常流动、恒定流动)。反之,只要压力、速度和密度中有一个随时间而变化的流动,就称为非稳定流动(又称为非定常流动、非恒定流动)。

(3)过流断面、流量和平均流速。

①过流断面。液体流动时,垂直于液体流动方向的截面称为过流断面(或称通流截面),常用 A 表示。

②流量。单位时间内流过某过流断面液体的体积称为流量,用 q 表示,即

$$q = \int_A u dA \quad (1-8)$$

式中 A ——过流断面面积,单位为 m^2 ;

u ——平均流速,单位为 m/s ;

q ——通过过流断面的液体流量,单位为 m^3/s 。

③平均流速。在实际流动中,过流断面上各点的流速是不同的。距过流断面中心越近,点的流速越大,平均流速是过流断面上各点流速的平均值,用 u 表示,可用下式计算

$$u = \frac{q}{A}$$

本书中所指的流速(除特别指出外)均指平均流速。

(4)层流、紊流和雷诺数。19 世纪末,雷诺(Reynolds)首先通过实验观察了水在圆管内的流动情况,发现当流速变化时,液体流动状态也变化。在低速流动时,着色液流的线条在注入点下游很长距离都能清楚看到;当流动受到干扰时,在扰动衰减后流动还能保持稳定;当流速大时,由于流动是不规则的,故使着色液体迅速扩散和混合。前一种状态称为层流,在层流时,液体质点互不干扰,液体的流动呈线性或层状,且平行于管道轴线;后一种状态为紊流,在紊流时,液体质点的运动杂乱无章,除了平行于管道轴线的运动外,还存在着剧烈的横向运动。图 1-6(a)为层流;图 1-6(b)为层流状态受到破坏,液流开始紊乱;图 1-6(c)为紊流。

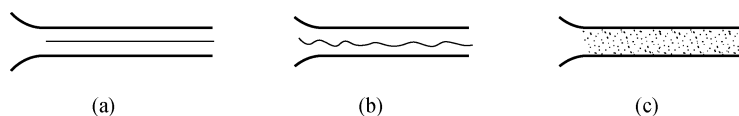


图 1-6 液流状态

(a)层流;(b)层流受到扰动;(c)紊流

层流和紊流是两种不同性质的流动状态。层流时,液体流速较低,质点受到黏性制约,不能随意运动,黏性力起主导作用。紊流时,因液体流速较高,黏性的制约作用减弱,因而惯性力起主导作用。液体流动时须用雷诺数来判别是层流还是紊流。

实验表明,液体在圆管中的流动状态不仅与管内的平均流速 u 有关,还和管道直径 d 、液体的运动黏度 ν 有关,而以上 3 个因数所组成的一个无量纲数就是雷诺数,用 Re 表示,即

$$Re = \frac{ud}{\nu} \quad (1-9)$$

这就是说,液体流动时的雷诺数若相同,则它的流动状态也相同。另一方面,液体由层流转变为紊流时的雷诺数和由紊流转变为层流的雷诺数是不相同的,后者数值小,所以一般都用后者作为判别液流状态的依据,简称临界雷诺数 Re_0 ,当液流的实际流动时的雷诺数小于 Re_0 时(即 $Re < Re_0$),液流为层流,反之液流为紊流,常见的液流管道的 Re 可由实验求得,见表 1-4。

表 1-4 常见液流管道的临界雷诺数表

管道的形状	临界雷诺数 Re_0	管道的形状	临界雷诺数 Re_0
光滑的金属圆管	2 000~2 300	有环槽的同心环状缝隙	700
橡胶软管	1 600~2 000	有环槽的偏心环状缝隙	400
光滑的同心环状缝隙	1 100	圆柱形滑阀阀口	260
光滑的偏心环状缝隙	1 000	锥阀阀口	20~100

2. 连续性方程

连续性方程是质量守恒定律在流体力学中的一种表达形式。如图 1-7 所示,液体在一个不等截面的圆管中做稳定流动,且不可压缩,若两个过流断面的面积分别为 A_1 和 A_2 ,平均流速和密度分别为 u_1 、 ρ_1 和 u_2 、 ρ_2 。根据质量守恒定律,在单位时间内,流入与流出此圆管的液体质量应相等,即 $m_1 = m_2$,则得到

$$\begin{aligned} \rho u_1 A_1 &= \rho u_2 A_2 = \text{常量} \\ u_1 A_1 &= u_2 A_2 = \text{常量} \end{aligned} \quad (1-10)$$

上式即理想液体的连续性方程式。这个方程表明:

- (1)同一管路中无论过流断面 A 和流速 u 怎样变化,液体流过任一截面的流量都相同。
- (2)过流断面 A 与流速 u 成反比关系,即管径大的地方流速小,管径小的地方流速大。

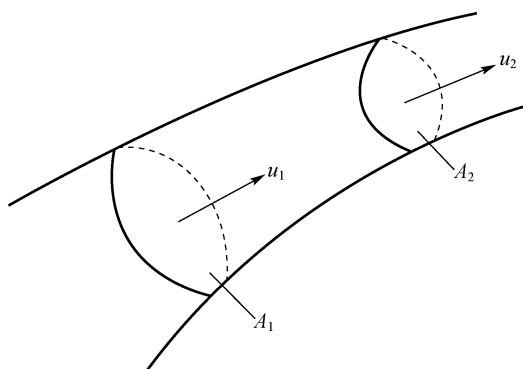


图 1-7 液体的连续性原理

3. 伯努利方程

伯努利方程是能量守恒定律在流体力学中的一种表达形式。

(1) 理想液体的伯努利方程。流动的液体不仅有压力能、势能,而且由于有一定的流速而具有动能。如图 1-8 所示,假定液体为理想液体,且做稳定流动,质量为 m 的液体流经该管的任意两个断面 A_1 、 A_2 ,设两断面处的流速分别为 u_1 和 u_2 ,压强为 p_1 和 p_2 ,高度为 h_1 和 h_2 。若在很短的时间内,液体通过两过流断面的距离为 Δl_1 和 Δl_2 ,根据能量守恒定律可以得到

$$p_1 A_1 \Delta l_1 + mgh_1 + \frac{1}{2} m u_1^2 = p_2 A_2 \Delta l_2 + mgh_2 + \frac{1}{2} m u_2^2 \quad (1-11)$$

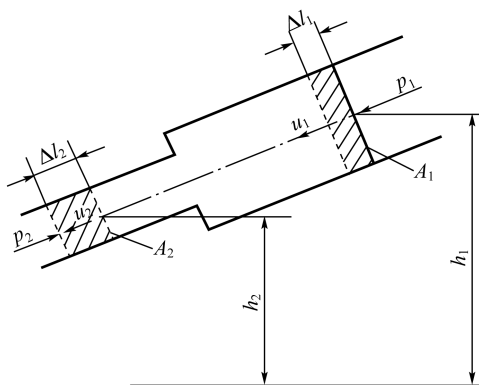


图 1-8 液流能量方程示意图

若令 ΔV_1 、 ΔV_2 分别为通过过流断面 A_1 、 A_2 的液体微小体积,由 $\Delta V = A \Delta l$ 和液流的连续性原理可知

$$\Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V$$

将式(1-11)各项分别除以该段液体的体积 ΔV (或重量 mg),经整理后得

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 \quad (1-12)$$

因 A_1 和 A_2 两过流断面是任意取的,所以上式对管道内任意两断面都适用。

式(1-12)即理想液体的能量方程,也称为伯努利方程。伯努利方程的物理意义是:在密闭管道内做稳定流动的理想液体,在任意断面处都具有3种形式的能量,即压力能、势能和动能。在沿管道流动的过程中,3种能量之间可以互相转换,但3种能量的总和是一常数。

(2)实际液体的伯努利方程。实际液体在管道中流动时,由于液体具有黏性,液体各质点之间以及液体与管壁之间会产生摩擦,另外液体在通过变截面管路及各种阀孔时,会产生撞击、分离、脱流、漩涡等现象,这些都会引起能量损失。现设 h_w 为单位体积液体的能量损失。

由于实际流速 u 在过流断面上的分布是个变量,若用平均流速 u 来代替实际流速计算动能时,必然会产生偏差,为了补偿这个偏差,需引入动能修正系数 α 。因此,实际流体的伯努利方程为

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho\alpha_1 u_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho\alpha_2 u_2^2 + h_w \quad (1-13)$$

式中 α_1, α_2 ——动能修正系数,在同一液压系统中,一般取 $\alpha_1 = \alpha_2$;

h_w ——油液从一断面到另一断面单位体积(或重量)液体的能量损失。

4. 动量方程

动量方程是刚体力学中的动量定理在流体力学中的具体应用。动量方程是用来分析流动液体与限制其流动的固体壁面间相互作用力的大小及方向的。动量定理指出:作用在物体上的力的大小等于物体在力所作用方向上的动量变化率,即

$$F = \frac{d(mu)}{dt} \quad (1-14)$$

将 $m = \rho V$ 和 $q = \frac{dV}{dt}$ 代入上式得

$$F = \rho q(\beta_2 u_2 - \beta_1 u_1) \quad (1-15)$$

式中 ρ ——流动液体的密度;

q ——液体的流量;

β ——动量修正系数,为简化计算, β 值常取1。

上式即流动液体的动量方程。方程的左边 F 为所有作用在液体上的外力总和,而等式右边表示流出控制表面和流入控制表面液体动量变化率之差。

活动 5 液体在实际管路系统中的流动

1. 压力损失

由于液体具有黏性,在管路中流动时又不可避免地存在着摩擦力,所以液体在流动过程中必然要损耗一部分能量。这部分能量损耗主要表现为压力损失。

压力损失有沿程损失和局部损失两种类型。沿程损失是当液体在直径不变的直管中流

过一段距离摩擦而产生的压力损失。如图 1-9 所示,圆管中沿程损失为

$$h_f = \lambda \frac{l \rho u^2}{2d} \quad (1-16)$$

式中 λ ——沿程阻力系数;
 l ——液流管道长度;
 u ——液体在管道中的平均流速;
 d ——管道直径;
 ρ ——液体密度。

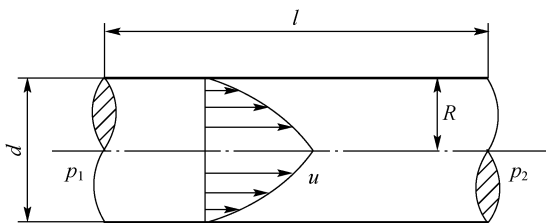


图 1-9 圆管层流速度分布示意图

式(1-16)适用于层流和紊流状态的沿程压力损失计算,只是 λ 取值不同。层流时, λ 的理论值为 $\frac{64}{Re}$,但由于油液黏度较大及管道进口起始段流动的影响,实际值更大些,如油液在金属管路中流动时,取 $\lambda = \frac{75}{Re}$,对于橡胶软管则取 $\lambda = \frac{80}{Re}$ 。紊流是一种很复杂的流动, λ 值需按具体情况来确定。

根据 Re 的取值范围, λ 值可用下列经验公式计算

$$\begin{aligned} \lambda &= 0.316 Re^{-0.25} \quad (10^5 > Re > 4\ 000) \\ \lambda &= 0.32 + 0.221 Re^{-0.237} \quad (3 \times 10^6 > Re > 10^5) \\ \lambda &= \left[1.74 + 2 \lg \left(\frac{d}{\Delta} \right) \right]^2 \quad (Re > 3 \times 10^6 \text{ 或 } Re > 900 \frac{d}{\Delta}) \end{aligned} \quad (1-17)$$

式中 Δ ——管壁粗糙度,其值与制造工艺有关。计算时可考虑下列取值:铸铁管取 0.25mm,无缝钢管取 0.04mm,冷拔铜管取 0.001 5~0.01mm,铝管取 0.001 5~0.06mm,橡胶软管取 0.03 mm。

局部损失是由于管子截面形状突然变化、液流方向改变或其他形式的液流阻力而引起的压力损失。液体流经各种阀的局部压力损失由阀的产品技术规格中查得,其计算式为

$$h_j = \xi \frac{\rho u^2}{2} \quad (1-18)$$

式中 ξ ——局部阻力系数(由实验确定,具体数据查阅有关手册)。

总的压力损失等于总的沿程损失 $\sum h_f$ 和局部损失 $\sum h_j$ 之和,即

$$\sum h = \sum h_f + \sum h_j \quad (1-19)$$

2. 液体在小孔中的流动

(1) 液体流经薄壁小孔的流量。当小孔的通流长度和孔内径之比 $\frac{l}{d} \leq 0.5$ 时,称为薄壁小孔;当 $0.5 < \frac{l}{d} \leq 4$ 时,则称为短孔或厚壁孔;当 $\frac{l}{d} > 4$ 时,称为细长孔。

图 1-10 为液体流经薄壁小孔的情况。当液流流经薄壁小孔时,左边通流截面 1—1 处的液体均向小孔汇集,因 $D > d$,通流截面 1—1 处的流速较低,流经小孔时液体质点突然加速,在惯性力作用下,使通过小孔后的液流形成一个收缩截面 $c-c$,然后再扩散。这一收缩和扩散的过程,会造成很大的能量损失,即压力损失。

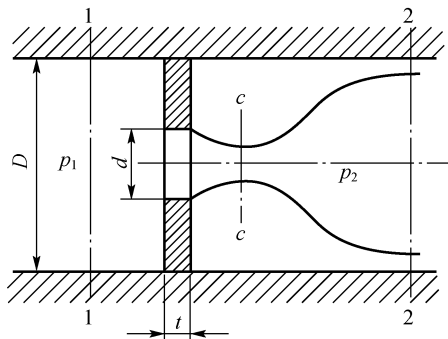


图 1-10 液体流经薄壁小孔的情况

液流收缩的程度取决于雷诺数、孔口及其边缘的形状、孔口离管路侧壁的距离等因素。

由伯努利方程推导出液体通过薄壁孔的流量公式为

$$q = C_q A \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1-20)$$

式中 C_q ——收缩系数,一般由实验确定,其大小取决于液流收缩的程度;

Δp ——小孔前、后的压力差, $\Delta p = p_1 - p_2$ 。

由式(1-20)可知,流经薄壁小孔的流量不受黏度变化的影响,而只与小孔前后的压差 Δp 的平方根以及小孔面积 A 有关。因此,流量控制阀的节流孔常加工成薄壁小孔,使流量不受黏度变化的影响。

(2) 液体流经短孔的流量。液体流经短孔的流量计算可使用薄壁小孔的流量公式,但 C_q 不同。短孔比薄壁小孔加工容易,适用于要求不高的节流元件。

(3) 液体流经细长孔的流量。液体流经细长孔时,由于液体内摩擦力的作用较突出,故多为层流。细长孔的流量计算公式为

$$q = \frac{\pi d^4 \Delta p}{128 \mu l}$$

由上式可知,液体流经细长孔的流量会随液体黏度变化(油温变化和油液氧化等都会引起其黏度变化)而变化,故流量受油温影响较大。细长孔可用于控制阀中的阻尼孔。

3. 缝隙液流特性

(1) 平行平板的间隙流动。平行平板的间隙流动包括压差流动和剪切流动,如图 1-11、图 1-12 所示。

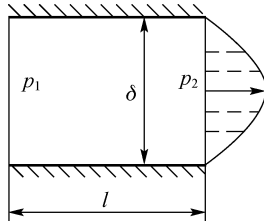


图 1-11 固定平板缝隙中的液流(压差流动)

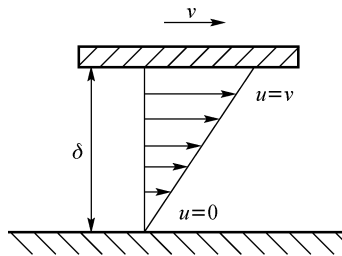


图 1-12 相对运动的两平行板间的液流(剪切流动)

在压差作用下,液体流经相对运动平行平板缝隙的流量为压差流动和剪切流动两种流量的叠加,即

$$q = \frac{\delta^3 b}{12\mu l} \Delta p \pm \frac{v}{2} b \delta$$

(2) 液体流经环形缝隙的流量。如图 1-13 所示,环形缝隙的流量公式为

$$q = \frac{\pi D \delta^3 \Delta p}{12\mu l} (1 + 1.5\epsilon^2)$$

$$\epsilon = \frac{e}{\delta}$$

式中 D ——大圆直径, $D=2R$;

δ ——无偏心时环形缝隙值。

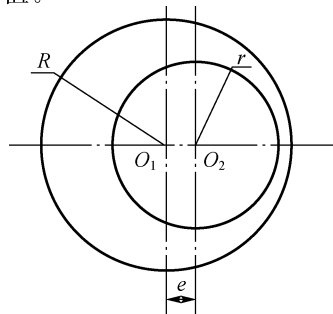


图 1-13 偏心环形缝隙中的液流

由上式可以看出,当两圆环同心,即 $e=0$ 时, $\epsilon=0$,可得到同心环缝隙的流量公式;当 $\epsilon=1$ 时,可得到完全偏心时的缝隙流量公式。因此,偏心越大,泄漏量越大,完全偏心时的泄漏量为同心时的2.5倍,故在液压元件中柱塞式阀芯上都开有平衡槽,使其在工作时靠液压力自动对中,以保持同心,减少泄漏。

(3)流量损失。在液(气)压系统中,各液(气)压元件都有相对运动的表面,如液压缸内表面和活塞外表面,因为要有相对运动,所以它们之间都有一定的间隙,如果间隙的一边为高压油,另一边为低压油,则高压油就会经间隙流向低压区,从而造成泄漏。同时由于液(气)压元件密封不完善,一部分流体也会向外部泄漏。这种泄漏造成实际流量有所减少,这就是通常所说的流量损失,如液压泵、液压缸、油箱、控制阀及管道、接头连接处元件之间的泄漏。

4. 液压冲击和气穴现象

在液压传动中,液压冲击和气穴现象都会给液压系统的正常工作带来不利的影响,因此需要了解这些现象产生的原因,并采取相应的措施以减小其危害。

(1)液压冲击。在液压系统中,因某种原因引起液体压力在一瞬间突然升高,产生很高的压力峰值,这种现象称为液压冲击。

产生液压冲击的原因主要有以下几个方面。

①液压冲击多发生在液流突然停止运动的时候。液流通路(如阀门)迅速关闭使液体的流动速度突然降为零,这时液体受到挤压,使液体的动能转变为液体的压力能,于是液体的压力急剧升高,从而引起液压冲击。

②在液压系统中,高速运动的工作部件突然制动或换向时,因工作部件的惯性也会引起液压冲击。例如,液压缸做高速运动突然被制动,油液被封闭在两腔中,由于惯性力的作用,液压缸仍继续向前运动,因而压缩回油腔的液体,油液受到挤压,瞬时压力急剧升高,从而引起液压冲击。

③由于液压系统中某些元件反应动作不够灵敏,也会引起液压冲击。例如,溢流阀在高压下不能迅速打开,限压式变量液压泵在油温升高时不能及时减少输油量等,都会引起液压冲击。

液压冲击时产生的压力峰值往往比正常工作压力高好几倍,这种瞬间压力冲击不仅引起震动和噪声,使液压系统产生温升,有时会损坏密封装置、管路和液压元件,并使某些液压元件(如顺序阀、压力继电器等)产生错误动作,造成设备损坏。

减少液压冲击的措施有如下。

- ①延长阀门开、闭和运动部件制动换向的时间,可采用换向时间可调的换向阀。
- ②限制管路流速及运动部件的速度,一般将管路流速控制在4.5m/s以内。
- ③正确设计阀门或设置缓冲装置(如阻尼孔),使运动部件制动时速度变化比较均匀。
- ④适当增大管径,不仅可以降低流速,而且可以减小压力传播速度。
- ⑤尽量缩短管道长度,可以减小压力波的传播时间。

⑥在容易发生液压冲击的地方采用橡胶软管或设置蓄能器,以吸收冲击的能量;也可以在容易出现液压冲击的地方,安装限制压力升高的安全阀。

(2)气穴现象。在液压系统中,如果某点处的压力低于液压油的空气分离压力时,原先溶解在液体中的空气就会分离出来。如果液体的压力进一步降低到液体的饱和蒸气压时,液体将迅速汽化,产生大量蒸气气泡,这些气泡混杂在油液中,产生空穴,使原来充满管道或液压元件中的油液成为不连续的状态,这种现象称为气穴现象。

气穴现象多发生在阀口和液压泵的吸油口处。在阀口处,一般由于过流断面较小使液流的速度增大,根据伯努利方程,该处的压力会大大降低,以致产生气穴。在液压泵的吸油过程中,吸油口绝对压力会低于大气压力,如果泵的安装高度过大,吸油口处过滤器的阻力和管路阻力太大,油液黏度过高或泵的转速过高,造成泵入口处的真空度过大,亦会产生气穴。

当液压系统中出现气穴现象时,大量的气泡破坏了液流的连续性,造成流量和压力的脉动,当带有气泡的液流进入高压区时,周围的高压会使气泡迅速破灭,使局部产生非常高的温度和冲击压力,引起振动和噪声。当附着在金属表面上的气泡破灭时,局部产生的高温和高压会使金属表面疲劳,时间长了就会造成金属表面的剥蚀。这种由于气穴造成金属表面的腐蚀作用称为气蚀。气蚀会使液压元件的工作性能变差,并大大缩短液压元件的使用寿命。

在液压系统中,只要液体压力低于空气分离压力,就会产生气穴现象。如想完全消除是十分困难的。为减少气穴和气蚀的危害,通常采取下列措施。

①减小阀孔或其他元件通道前后的压力降。一般希望小孔和间隙前后的压力比为 $p_1 : p_2 < 3.5$ 。

②保持液压系统中的油压高于空气分离压力。例如,可尽量降低液压泵的吸油高度,采用内径较大的吸油管并少用弯头,吸油管的过滤器容量要大,以减小管路阻力,液压泵转速不能过高以防止吸油不充分,必要时应对高压泵采用辅助泵供油。

③降低液体中气体的含量。例如,各元件的连接处要密封可靠,以防止空气进入。

④对容易产生气蚀的元件,采用抗腐蚀能力强的金属材料,增强元件的机械强度,减小表面粗糙度值,提高液压元件的抗气蚀能力。

项目小结

1. 在液压传动技术中,传动的工作介质是液压油。液压油的黏度有绝对黏度、运动黏度和恩氏黏度3种。选用液压油,首先要确定液压油品种,其次考虑黏度,根据黏度等级,再选择油液牌号。确定油液黏度时,应考虑工作压力、工作速度、环境温度和液压泵类型等因素。

为确保液压油的使用性能,应避免受到污染。

2. 液体压力有两种表示方法,即绝对压力和相对压力。液体静力学基本方程表明了重力作用下静止液体中的压力分布规律。静压传递原理是指施加于静止液体上的压力能等值传递到液体各点。

3. 连续性方程是质量守恒定律在流体力学中的表现形式,它说明理想液体在通道中稳定流动时,流过各截面的流量相等。伯努利方程是能量守恒定律在流体力学中的表现形式,它反映了动能、势能、压力能3种能量之间的转换。动量方程是动量定理在流体力学中的表现形式,可以用于计算流动液体作用在固体壁面上的力。

4. 在液压传动系统中,能量损失主要表现为压力损失,包括沿程压力损失和局部压力损失两种类型。液体流经小孔、缝隙的流量特性是节流调速、液压伺服系统工作原理的基础,缝隙的流量特性是计算分析液压系统泄漏的根据。

5. 在液压传动系统中,液压冲击和空穴现象的出现将会严重影响系统的工作性能,应针对产生原因积极采取预防措施。

项目习题

1-1 简述液压系统的组成。

1-2 简述液压系统与气压系统的特点。

1-3 什么是液体的黏性,其物理意义是什么? 常用黏度的表示方法有哪几种?

1-4 什么叫绝对压力、相对压力和真空度? 它们之间有什么关系?

1-5 说明连续性方程、伯努利方程的物理意义。

1-6 产生液压冲击的原因有哪些? 应如何避免?

1-7 产生空穴现象的原因有哪些? 应如何避免?

1-8 如图 1-14 所示,在两个相互连通的液压缸中,已知大缸内径 $D=100\text{mm}$,小缸内径 $d=20\text{mm}$,大缸活塞上放置的物体质量为 $5\ 000\text{kg}$ 。在小缸活塞上所加的力 F 应多大才能使大缸活塞顶起重物?

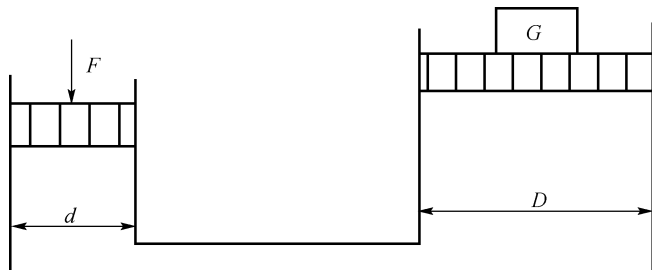


图 1-14 题 1-8 图

1-9 如图 1-15 所示, 液压泵的流量 $q=32\text{L}/\text{min}$, 吸油管(金属)直径 $d=20\text{mm}$, 液压泵吸油口距离液面高度 $h=500\text{mm}$, 液压油运动黏度为 $20\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$, 油液密度为 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$, 求液压泵吸油口的真空度。

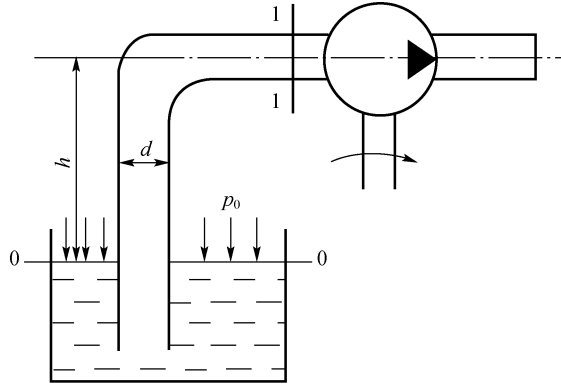


图 1-15 题 1-9 图