

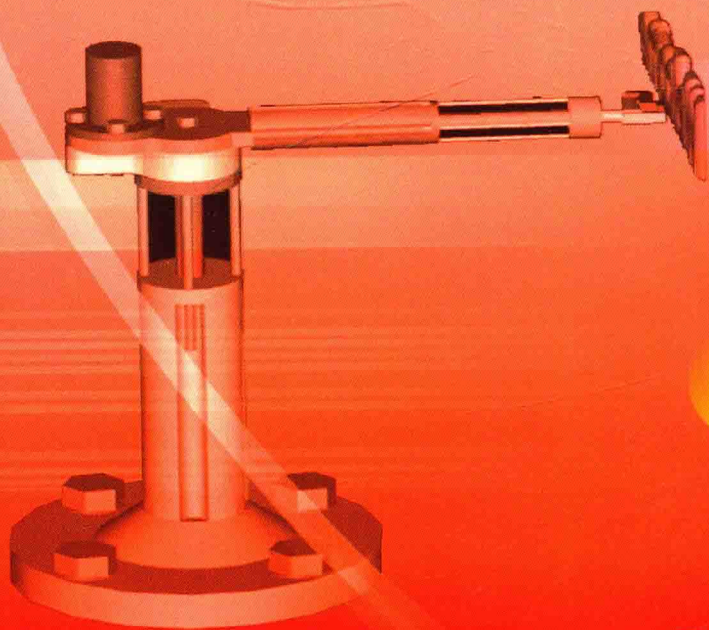


职业教育课程改革新教材

液压与气压传动

第2版

刘建明 何伟利 主编



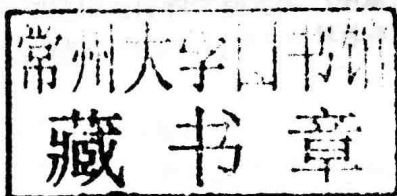
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

职业教育课程改革新教材

液 压 与 气 压 传 动

第 2 版

主 编 刘建明 何伟利
参 编 秦健西 吕尚礼



机 械 工 业 出 版 社

本书是2007年出版的《液压与气压传动》教材的修订本。本版采用了最新国家标准 GB/T 786.1—2009 [流体传动系统及元件图形符号和回路图],增加了液压与气动元件的实物图、新栏目、新习题,加强了教材的实用性,同时进一步完善了原有内容。全书共11章,主要介绍液压与气压传动的基础知识,液压与气压元件的结构及工作原理,液压与气压基本回路,典型系统,液压与气压传动系统的安装调试、故障分析及排除。

本书可作为职业院校机电类专业的教材,也可作为机电行业的技术人员岗位培训教材及自学用书。

为方便教学,本书配有免费电子教案,凡选用本书作为授课教材的学校,均可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com,免费注册下载,流程见本书最后一页。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/刘建明,何伟利主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2011.8(2014.1重印)

职业教育课程改革新教材

ISBN 978-7-111-35430-7

I. ①液… II. ①刘…②何… III. ①液压传动—职业教育—教材
②气压传动—职业教育—教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第149704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:高倩 责任编辑:张值胜

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2014年1月第2版第4次印刷

184mm×260mm·12.75印张·304千字

9 001—11 500册

标准书号:ISBN 978-7-111-35430-7

定价:26.00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

第2版前言

本书是2007年出版的《液压与气压传动》的修订本。经过几轮的教学实践,以及全国很多职业院校、技术岗位培训单位使用的反馈意见;结合深入企业的调研、液压与气动元件图形符号新标准实施和当前职业院校的教学实际,我们在第1版基础上编写了本书。

本次修订基本保留了原书的框架和特色,继续在培养实用型、技能型、技术应用型人才上下功夫,力求做到使教材“有用、实用、好用”,在内容的广度和深度的处理上,把方便学生学习放在首要位置。本次修订有以下特点:

1. 执行最新国家标准 GB/T 786.1—2009,更新了液压与气动元件图形符号和有关名词术语。

2. 增加了液压元件和气动元件的实物图,使学生能直观地了解液压元件和气动元件的形状和外形,有助于学生建立感性认识。

3. 在保留原书中【教学目的】、【技能要求】、【教学提示】等栏目的同时,增加了“想一想”栏目,目的在于进一步帮助学生巩固和加深理解所学知识内容。

4. 增加了部分章节习题的类型和内容,力求在每个知识点都能使学生得到充分的练习。

5. 补充了行业内的一些新型液压元件和气动元件,如充液阀、电磁溢流阀、电磁支撑阀、带磁性开关的气缸、带阀的组合气缸、气动机械手常用的气动手指气缸等,扩充学生知识量。

6. 对实验指导书进行了详细的补充,增加了实验的学时,目的在于有效地培养学生的动手能力。

本书建议教学学时为80学时,理论与实验学时和各章学时分配见下表(供参考)

章	学时数		章	学时数	
	理论	实验		理论	实验
第1章 液压传动基础	6	2	第7章 气源装置及辅助元件	3	1
第2章 液压泵和液压马达	6	4	第8章 气动执行元件	2	1
第3章 液压缸	2		第9章 气动控制阀及基本回路	8	7
第4章 液压辅助元件	2		第10章 气压传动系统实例	4	
第5章 液压控制阀及基本回路	12	10	第11章 液压与气压传动系统安装调试与维护	4	
第6章 液压传动系统实例	6		合计	55	25

本书由刘建明、何伟利担任主编并统稿。第1、5章、实验指导书和附录由河南机电职业学院刘建明编写;第2、3、4、8章由郑州牧业高等专科学校何伟利编写;第7、9、10章由广西机电工程学校秦健西编写;第6、11章由南阳工业学校吕尚礼编写。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。编者 E-mail: hnmeljm@yahoo.com.cn。

编 者

第 1 版前言

本书是中等职业教育“十一五”规划教材，也可作为机电行业的中级技术工人培训教材。本书编写过程中力求反映中职教育教学改革的思路和实效，并努力做到由浅入深、通俗易懂、简明扼要，着重培养学生理解和分析液压与气动系统、维护和排除系统故障的能力。

本书是按照“以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念，强化应用为教学重点”的原则编写，精选教学内容，力求体现实用性和先进性。本书有以下特点：

(1) 各章均设有醒目的【教学目的】和【技能要求】，使学生明确本章的学习要求，做到有的放矢。

(2) 在重点、难点所在之处，设有【提示】和【要点】等栏目，以帮助学生理解和掌握。

(3) 各章都有“本章小结”及精选的习题，题型种类多，覆盖所有知识点。

本书建议教学学时数为 55 学时，各章学时分配见下表（供参考）。

章	学时数	章	学时数
第 1 章 液压传动基础	6	第 7 章 气源装置及辅助元件	3
第 2 章 液压泵和液压马达	6	第 8 章 气动执行元件	2
第 3 章 液压缸	2	第 9 章 气动控制阀及基本回路	8
第 4 章 液压辅助元件	2	第 10 章 气压传动系统实例	4
第 5 章 液压控制阀及基本回路	12	第 11 章 液压与气压传动系统安装调试与维护	4
第 6 章 液压传动系统实例	6	共 计	55

本书由河南机电学校刘建明担任主编。第 1、5、6、11 章、实验指导和附录由刘建明编写；第 7、8、9、10 章由广西机电工程学校秦健西编写；第 2、3、4 章由郑州牧业高等专科学校何伟利编写。

河南工业职业技术学院兰建设老师为本书的主审。本书编写过程中曾得到兄弟学校的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。电子邮件请发至 hnmelj@ yahoo. com. cn。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 液压传动基础	1
1.1 液压传动的基本知识	1
1.2 液压油	4
1.3 液压传动的主要参数	7
本章小结	11
本章习题	11

第2章 液压泵和液压马达	14
2.1 液压泵概述	14
2.2 齿轮泵	17
2.3 叶片泵	20
2.4 柱塞泵	24
2.5 液压泵的选用	27
2.6 液压马达	28
本章小结	30
本章习题	30

第3章 液压缸	32
3.1 液压缸的分类和特点	32
3.2 液压缸的结构	38
本章小结	41
本章习题	41

第4章 液压辅助元件	43
4.1 油管及管接头	43
4.2 过滤器	44
4.3 蓄能器	48
4.4 油箱和热交换器	49
4.5 压力表及压力表开关	51
4.6 密封装置	52
本章小结	54
本章习题	54

第5章 液压控制阀及基本回路	55
5.1 液压阀的分类	55
5.2 方向控制阀及方向控制回路	56
5.3 压力控制阀及压力控制回路	68
5.4 流量控制阀及速度控制回路	81
5.5 多缸工作控制回路	90
5.6 其他液压控制阀及其应用	94
本章小结	101
本章习题	102

第6章 液压传动系统实例	107
6.1 组合机床动力滑台的液压系统	107
6.2 数控车床的液压系统	110
6.3 汽车起重机液压系统	112
本章小结	116
本章习题	116

第7章 气源装置及辅助元件	119
7.1 气压传动的工作原理及组成	119
7.2 气源装置	121
7.3 辅助元件	126
本章小结	131
本章习题	131

第8章 气动执行元件	134
8.1 气缸	134
8.2 气动马达	140
本章小结	142
本章习题	142

第9章 气动控制阀及基本回路	143
9.1 方向控制阀及换向回路	143
9.2 压力控制阀及压力控制回路	149
9.3 流量控制阀及速度控制回路	153
9.4 其他常用气动回路	155
本章小结	157

本章习题	157	附录	178
第10章 气压传动系统实例	159	附录A 实验指导书	178
10.1 气动机械手气压传动系统	159	实验1 液压系统压力形成	178
10.2 数控加工中心气动换刀系统	161	实验2 液压泵的拆装	178
10.3 气液动力滑台	162	实验3 液压控制阀的拆装	179
10.4 工件夹紧气压传动系统	163	实验4 液压基本回路实验	180
本章小结	164	实验5 气源装置和气动元件认识	183
本章习题	164	实验6 气压传动基本回路实验	183
第11章 液压与气压传动系统安装调试 与维护	166	附录B 常用液压与气动元件图形符号 (摘自 GB/T786.1—2009)	187
11.1 液压系统的安装调试与维护	166	附录C 常用液压与气动元件在两种 国标中的图形符号	194
11.2 气压系统的安装调试与维护	172	参考文献	196
本章小结	176		
本章习题	177		

第1章 液压传动基础

【教学目的】

掌握：1. 液压传动的工作原理，液压传动系统的组成和各部分的功用。

2. 压力和流量的计算。

理解：液压系统压力的形成与传递。

了解：1. 液压传动的特点及应用。

2. 压力损失。

【技能要求】

掌握：正确地选择液压油。

了解：液压油的性质和牌号。

你知道吗？什么是液压传动？液压传动是以液体为工作介质，利用密闭的系统传递液体压力能的一种形式。如在各类建筑工地上，我们见到的自行卸货的汽车，在汽车货厢的下部就安装了液压缸，液压泵输送的压力油进入液压缸，压力油推动缸的活塞向上顶起货厢，使货厢倾斜，这就完成了液压能与机械能的转换。与机械传动、电气传动相比，液压传动有许多独特的优点，被广泛地应用于机械制造、工程机械、建筑、航天航空、军事、冶金等领域。尤其随着计算机技术的发展，机、电、液技术紧密结合，液压传动技术日显重要。

1.1 液压传动的基本知识

1.1.1 液压传动的工作原理

【实例分析】

1. 液压千斤顶的工作原理

液压千斤顶是以液体为工作介质实现动力传递的典型装置，以它为例来说明液压传动的工作原理。图 1-1 所示为液压千斤顶的工作原理图，液压缸 2、8 中分别装有活塞 3、9，并形成密封腔 A 和 B。当提升杠杆 1 时，活塞 3 上移，密封腔 A 容积增大，腔内压力下降，形成局部真空。这时，油箱 12 中的油液在大气压力作用下，通过吸油管 5 进入 A 腔，实现吸油。当压下杠杆 1 时，活塞 3 下移，密封腔 A 容积减小，腔内压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 开启，油液进入 B 腔，推动活塞 9 上移，将重物顶出一段距离。如果反复提升和压下杠杆 1，就能使油液不断地被压入液压缸 8，使重物不断升高，达到起重的目的。如打开放油阀 11 使 B 腔与油箱接通时，B 腔内的油液流回油箱，活塞 9 在外力作用下向

下运动。

[提示] 从液压千斤顶的工作原理可知,它是通过密封腔A容积的变化把机械能转换为液体的压力能,再经密封腔B容积的变化,把液体的压力能转换为机械能输出,也就是依靠液体在密封容积变化中的压力能来实现能量传递。

2. 机床工作台液压传动工作原理

图1-2所示为机床工作台液压传动系统,液压泵10由电动机驱动旋转,从油箱12中吸油,经过过滤器11进入液压泵,经换向阀5压入液压缸2的左腔,推动活塞及工作台向右移动,这时液压缸右腔的油液经换向阀5排回油箱。当换向阀5处于图1-2b所示状态时,油液经换向阀压入液压缸右腔,推动活塞及工作台向左移动,此时液压缸左腔的油液经换向阀5排回油箱。通过换向阀改变油液的通路,便能实现工作台液压缸的运动换向。

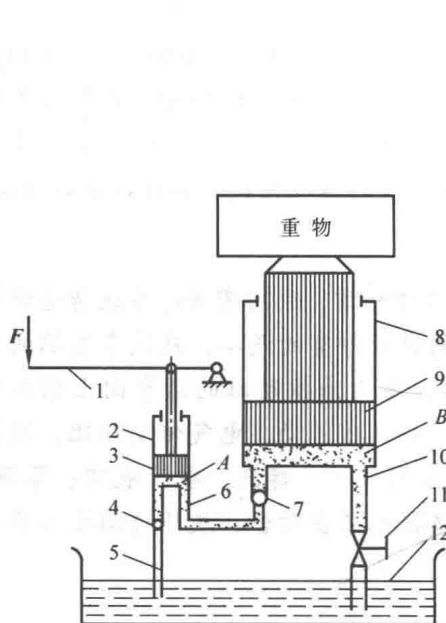


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆 2、8—液压缸
3、9—活塞 4、7—单向阀
5、6、10—油管 11—放油阀 12—油箱

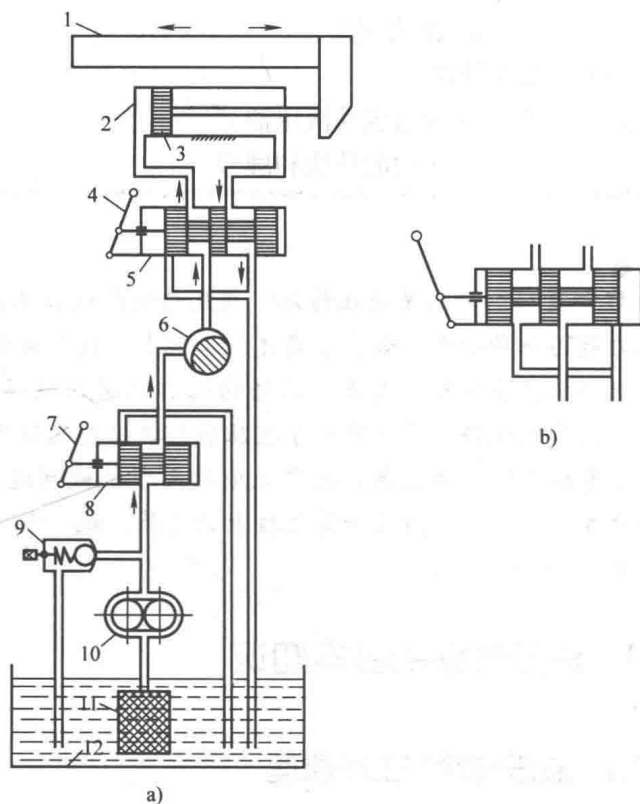


图 1-2 机床工作台液压传动系统

1—工作台 2—液压缸 3—活塞
4、7—换向手柄 5、8—换向阀 6—节流阀
9—溢流阀 10—液压泵 11—过滤器 12—油箱

调节节流阀6的开口大小可改变进入液压缸的油液体积,从而调节工作台的移动速度。开口大,进入液压缸的流量大,工作台运动速度就高;开口小则运动速度低。工作台在运动时,要求油液具有一定的压力,通过溢流阀9可调定液压泵输出油液的压力。

在图1-2中,组成液压系统的各个元件的图是用半结构式图形画出来的,称为结构原理图。这种图直观性强、容易理解,但图形比较复杂,较难绘制。通常用国家标准规定的

图形符号来绘制液压系统原理图,使系统图简化,便于阅读、分析、设计和绘制。附录中部分摘录了我国目前采用的液压与气压元件图形符号(GB/T786.1—2009)。

1.1.2 液压传动系统的组成

从机床工作台液压传动系统可知,液压传动系统一般由以下5个部分组成。

- 1) 动力元件:功用是把机械能转换成流体压力能,动力元件就是液压泵。
- 2) 执行元件:功用是把液体的压力能转换成机械能,执行元件指作直线运动的液压缸和作回转运动的液压马达。
- 3) 控制调节元件:功用是控制和调节液压系统中流体的压力、流量和流动方向,如溢流阀、节流阀、换向阀等。
- 4) 辅助元件:各种油管、油箱、过滤器等元件,它们是保证系统正常工作不可缺少的组成部分。
- 5) 工作介质:传递能量的液体,通常指液压油。



“想一想”

1. 在图 1-1 所示的液压千斤顶中,动力元件、执行元件、控制调节元件、辅助元件分别是哪些元件?
2. 在日常生活中,你还见过哪些机械中采用了液压传动,举例说明。

1.1.3 液压传动的优缺点及应用

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下优缺点:

1. 液压传动的优点

- 1) 能方便地实现无级调速,且调速范围大,调速比最高可达 2000 以上。
- 2) 容易实现较大的力和转矩的传递。在输出功率相同时,液压传动装置的体积小、重量轻、运动惯性小。
- 3) 液压传动装置工作平稳,反应速度快,换向冲击小,便于实现频繁换向,液压马达的换向频率可达 500 次/min,液压缸的换向频率可达 100 次/min。
- 4) 易于实现过载保护,而且工作油液能实现自行润滑,从而提高元件的使用寿命。
- 5) 操作简单,易于实现自动化,尤其是和电气控制相结合,能方便地实现复杂的自动工作循环。
- 6) 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化,便于设计、制造和推广应用。

2. 液压传动的缺点

- 1) 液体的泄漏和可压缩性使液压传动难以保证严格的传动比。
- 2) 在工作过程中经过两次能量形式的转换,能量损失较大,传动效率较低。
- 3) 对油温变化比较敏感,不宜在很高或很低的温度下工作。
- 4) 液压传动出现故障时,不易诊断。

3. 液压传动的应用与发展

20 世纪 60 年代以来,随着原子能、空间技术、计算机技术的发展,液压传动技术得

到了很大的发展，并渗透到了各个工业领域中。各种液压元件的迅速发展和性能的日趋完善，特别是精度高及响应快的伺服阀和伺服控制系统的出现，以及电子技术和计算机技术进入液压技术领域后，使它得到了更蓬勃的发展。当前，液压技术正向高压、高速、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。同时，新型液压元件和液压系统的计算机辅助设计、机电一体化技术、计算机仿真和优化设计技术等也是当前液压传动及控制发展的研究方向。表 1-1 是液压与气压传动在各类机械行业中的应用举例。

表 1-1 液压与气压传动在各类机械中的应用情况

行业名称	应用举例	行业名称	应用举例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机	灌装机械	食品包装机、化肥包装机
矿山机械	凿石机、开掘机、提升机、液压支架	汽车工业	自卸式汽车、汽车起重机
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机	铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机
冶金机械	轧钢机、压力机、步进加热炉	纺织机械	织布机、抛砂机、印染机
锻压机械	压力机、横锻机、空气锤	智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻
机械制造	组合机床、冲床、自动线		练机、模拟驾驶舱、机器人等
轻工机械	打包机、注塑机		

[小节习题]

- (1) 图 1-1 中液压千斤顶的小缸将_____转换_____。
- (2) 液压系统由_____、_____、_____、_____和_____ 5 部分组成。
- (3) 液压泵在液压系统中属于_____元件。
- (4) 液压缸是将液体的压力能转变为_____的能量转换元件，液压马达是将液体的压力能转变为_____的能量转换元件。
- (5) 液压阀的功用是控制液压系统中液体的_____、_____和_____。
- (6) 液压传动有哪些优缺点？

1.2 液压油

1.2.1 液压油的主要性质

液压系统中一般使用矿物油作为工作介质，它的基本性质可在有关资料中查到，如矿物油在 15℃ 时的密度为 900kg/m³。液压油最重要的性质为粘性和可压缩性。

1. 液体的粘性

液体在外力的作用下流动时，由于液体分子间内聚力（称为内摩擦力）的作用，而产生阻止液层间的相对滑动，液体的这种性质称为粘性。液体只有在流动时才呈现粘性，静止液体不呈现粘性。粘性大的液体看上去“稠”，粘性小的液体看上去“稀”。粘性的大小用粘度来表示，常用的粘度有动力粘度、运动粘度和相对粘度。

(1) 动力粘度 μ 它是表示液体粘性的内摩擦系数，由实验得出。流动液体液层间的内摩擦力的大小与液层间的接触面积、液体的动力粘度 μ 、液层间相对速度成正比，而与液层间的相对距离成反比，即动力粘度越大，流动的液体内摩擦力也越大。

(2) 运动粘度 ν 动力粘度与该液体密度的比值称为运动粘度, 即

$$\nu = \mu / \rho$$

在国际单位制 (SI) 中运动粘度的单位为 m^2/s 。液压油的牌号就是以 40°C 时运动粘度 (mm^2/s) 的平均值来标号的。例如, L-HL32 普通液压油在 40°C 时运动粘度的平均值为 $32\text{mm}^2/\text{s}$ 。

(3) 相对粘度 又称条件粘度, 是采用特定粘度计在规定的条件下测量出来的粘度。由于测量仪器和条件不同, 各国采用的相对粘度单位也不同, 我国及欧洲部分国家采用恩氏粘度 ($^\circ\text{E}$)、美国采用赛氏粘度 (SSU)、英国采用雷氏粘度 (R)。

恩氏粘度 ($^\circ\text{E}$) 用恩氏粘度计测定, 其方法是: 将 200cm^3 被测液体装入粘度计的容器内, 容器周围充水, 电热器通过水使液体均匀升温到温度 t , 测出液体由容器底部 $\phi 2.8\text{mm}$ 的小孔流尽所需的时间 t_1 , 再测出同体积蒸馏水在 20°C 时流过同一小孔所需时间 t_2 (通常 t_2 平均值为 51s), 这两个时间的比值即为被测液体在温度 t 的恩氏粘度 $^\circ\text{E}_t$, 即

$$^\circ\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2}$$

恩氏粘度与运动粘度之间可用下面经验公式换算

$$\nu = \left(7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \right) \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$$

液压油的粘度对温度变化十分敏感, 温度升高, 粘度将显著降低; 温度降低, 粘度升高。液压油的粘度随温度变化的性质称为粘温特性, 不同种类的液压油具有不同的粘温特性。当液体所受压力增大时, 其分子间距离减小, 内聚力增大, 粘度也随之增大。但在一般的中、低压系统中, 液压油的粘度受压力变化的影响甚微, 可忽略不计。

2. 液体的可压缩性

液体受到压力作用后其容积发生变化的性质, 称为液体的可压缩性。对一般的中、低压液压系统, 其液体的可压缩性是很小的, 通常可以认为液体是不可压缩的。而在压力变化很大的高压系统中, 就需要考虑液体可压缩性的影响。当液体混入空气时, 其可压缩性将增大, 从而影响液压系统的工作性能。

1.2.2 液压油的选用

1. 液压油的种类

液压油主要有石油型、乳化型和合成型三大类。石油型液压油又分为: 基础液压油、普通液压油、液压导轨油、抗磨液压油、低温液压油、高粘度指数液压油。石油型液压油具有润滑性能好、腐蚀性小、粘度较高和化学稳定性好等优点, 在液压传动系统中应用最为广泛。

乳化型液压油分为水包油乳化液 (L—HFAE) 和油包水乳化液 (L—HFB) 两大类。合成型液压油主要有水-乙二醇、磷酸酯液和硅油等。在一些高温、易燃、易爆的工作场合, 为了安全, 应使用乳化型或合成型液压油。

2. 液压油的选用

选用液压油时, 一般根据液压元件产品样本和说明书所推荐的工作介质来选, 或者根据液压系统的工作条件 (系统压力、运动速度、工作温度) 和环境条件等全面考虑。通常

是先确定粘度范围，再选择液压油品种，同时注意液压系统的特殊要求。如在低温条件下工作的系统宜选用粘度较低的油液，高压系统则选用抗磨性好的油液。当系统的工作压力较高、环境温度较高、工作部件运动速度较低时，为了减少系统的泄漏量，宜选用粘度较高的液压油。工作压力较低、环境温度较低、运动速度较高时，为了减少系统的功率损失，宜选用粘度较低的液压油。可参考表 1-2 选择液压油。

表 1-2 液压油的主要品种、特性和用途

类型	名 称	代 号	特性和用途
石 油 型	基础液压油	L-HH	无添加剂的精制矿物油，主要用于机械润滑，可用于一般的低压液压系统
	普通液压油	L-HL	精制矿物油中加添加剂，提高了抗氧化和防锈性能，适用于室内一般设备的中、低压液压系统
	抗磨液压油	L-HM	L-HL 油加添加剂，改善抗磨性能，适用于高、中、低压液压系统
	低温液压油	L-HV	L-HM 油加添加剂，改善粘温特性，可用于环境温度为 -40 ~ -20℃ 的高、中、低压液压系统
	高粘度指数液压油	L-HR	L-HL 油加添加剂，改善粘温特性，适用于工作条件恶劣的低压液压系统
	液压导轨油	L-HG	L-HM 油加添加剂，改善粘滑特性，适用于机床中的液压和导轨润滑合用系统
乳 化 型	水包油乳化液	L-HFAE	抗燃、粘温特性好，有一定的防锈能力，润滑性差，易泄漏。适用于有抗燃要求、液压油用量大的液压系统
	油包水乳化液	L-HFB	具有石油型液压油抗磨、防锈性能，又具有抗燃性，适用于有抗燃要求的中压液压系统
合 成 型	水-乙二醇液	L-HFC	抗燃、粘温特性和耐蚀性好，能在环境温度 -30 ~ 60℃ 中使用，适用于有抗燃要求的中低压液压系统
	磷酸酯无水合成液	L-HFDR	抗燃、润滑、抗磨性能和抗氧化性能良好，能在环境温度 -54 ~ 135℃ 中使用，缺点是有毒。适用于有抗燃要求的高压精密液压系统

3. 液压油的使用与维护

(1) 液压油污染及危害 液压油污染是指液压油中含有水分、空气、微小固体颗粒及胶质状生成物等杂质。液压油污染后将产生以下危害：

- 1) 堵塞过滤器，使液压泵吸油困难，产生噪声；堵塞阀类元件小孔或缝隙，使阀动作失灵；微小固体颗粒还会加剧零件磨损，擦伤密封件，使泄漏增加。
- 2) 水分和空气混入会降低液压油的润滑能力，加速氧化变质，产生气蚀，还会使液压系统出现振动、爬行等现象。

(2) 液压油污染的原因 液压油的污染物主要来源于外界侵入和使用中产生这两个方面。外界侵入主要有液压装置组装时的残留物，从周围环境中混入的空气、尘埃等。使用中产生的污染物主要是金属微粒、锈斑、液压油变质后的胶状物等。

(3) 液压油污染的控制 保证液压系统可靠工作，防止液压油污染，在实际工作中可采用下列措施来控制污染：

- 1) 严格清洗元件和系统。

2) 尽量减少外来污染物。液压油必须经过过滤器注入, 油箱通大气处要加空气滤清器, 液压缸活塞杆端部应装防尘密封。

3) 控制液压油的温度, 一般系统的工作温度应控制在 65°C 以下, 机床液压系统则应控制在 55°C 以下。

4) 采用高性能的过滤器, 并定期检查、清洗和更换滤芯。

5) 定期检查和更换液压油。应根据液压设备使用说明书要求和维护保养规程, 定期检查更换液压油, 换油时应将油箱和管道清洗干净。

[小节习题]

(1) 液体流动时, _____ 的性质, 称为液体的粘性。

(2) 液体粘性用粘度表示, 常用的粘度有____、____、____。

(3) 液体的动力粘度 μ 与其密度 ρ 的比值称为____, 用符号____表示, 其国际单位为____, 常用单位为____。

(4) 工作部件运动速度较高时, 为减少与液体摩擦而造成能量损失, 宜选用____的液压油。

(5) 我国液压油的牌号是采用____ $^{\circ}\text{C}$ 时____的平均值来表示, 单位是____。

(6) 液压油分为____、____和____三种类型。

(7) 液压油污染是指液压油中含有____、____、____及____等杂质。

(8) 液压油污染后将产生什么危害?

(9) 采用哪些措施来控制液压油污染?

1.3 液压传动的主要参数

1.3.1 压力

1. 压力的定义及单位

液体在单位面积上所受的垂直力称为压力, 用 p 表示。

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

在国际单位制 (SI) 中, 压力的单位为 Pa ($1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$)。由于 Pa 单位太小, 在工程上常用 kPa、MPa。

$$1\text{MPa} = 10^3\text{kPa} = 10^6\text{Pa}$$

2. 液体静力学基本方程

如图 1-3 所示, 密度为 ρ 的液体在容器内处于静止状态, 作用在液面上的压力为 p_0 , 如计算距液面深度为 h 处 A 点的压力 p , 取出一个底面包含 A 点、面积为 ΔA 、高度为 h 的垂直小液柱作为研究体。由于液柱处于平衡状态, 于是有

$$p\Delta A = p_0\Delta A + \rho gh\Delta A$$

故 $p = p_0 + \rho gh$ (1-2)

式(1-2)称为液体静力学基本方程。由方程可知:

1) 静止液体内任一点处的压力由两部分组成;一部分是液面上的压力 p_0 , 另一部分是液柱和重力所产生的压力 ρgh 。当液面上只受大气压力 p_a 时, 则

$$p = p_a + \rho gh$$

2) 静止液体内部的压力随液体深度呈线性规律递增。

3) 距液面深度相同的各点压力相等。由压力相等的各点组成的面称为等压面。在重力场中静止液体等压面是一个水平面。

3. 压力的传递

由液体静力学基本方程可知, 静止液体内任一点处的压力都包含了液面上的压力 p_0 。这说明在密封容器内, 施加于静止液体上的压力, 能等值地传递到液体中各点, 这就是液体压力传递原理, 也称为帕斯卡原理。

在液压传动中, 由外力所产生的压力要比液体自重形成的压力大得多, 为此可将静力学基本方程中的 ρgh 项忽略不计, 而认为静止液体内各点的压力相等。

例 1-1 图 1-4 所示, 在两个相互连通的液压缸密封腔中充满油液, 已知大缸的内径 $D = 100\text{mm}$, 小缸内径 $d = 20\text{mm}$, 大活塞上放一重物 $G = 2 \times 10^4\text{N}$ 。问在小活塞上应加多大的作用力 F 才能使大活塞顶起重物?

根据帕斯卡原理 $p_1 = p_2$, 则有

$$\frac{4F}{\pi d^2} = \frac{4G}{\pi D^2}$$

顶起重物时在小活塞上应加的力为

$$F = \frac{d^2}{D^2} G = \frac{20^2}{100^2} \times 2 \times 10^4\text{N} = 800\text{N}$$

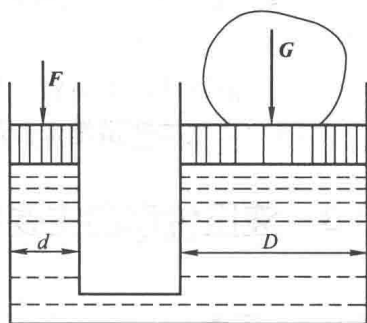


图 1-4 帕斯卡原理应用

若 $G = 0$, 则 $p = 0$, 表示液压缸内压力建立不起来。 G 越大, 则液压缸的压力也越大, 由此得出一个重要的概念: 系统的压力取决于负载。

由上式可知, 当作用力 F 一定时, 两活塞的面积比值越大, 能克服的负载 G 也越大。这种机构又称为力的放大装置, 当在小活塞上施加一个较小的力时, 就可以通过大活塞顶起负载较大的物体。



“想一想”

同一台液压起重机提升重量不同的物体时, 液压缸的工作压力是否相同?

4. 压力表示方法

压力表示方法有两种, 即绝对压力和相对压力。绝对压力是以绝对真空作为基准所表

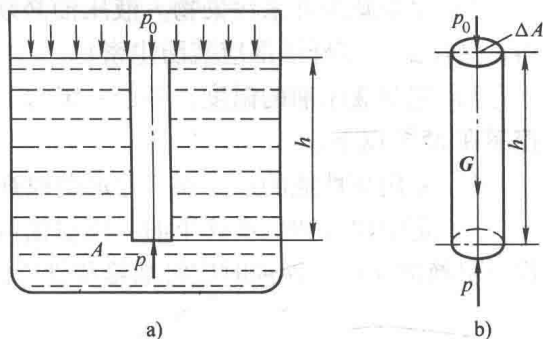


图 1-3 液体中的静压力

示的压力,而相对压力是以大气压力作为基准所表示的压力。当测量基准为大气压力时,所得的压力值称为相对压力。相对压力为正值时称为表压力,为负值时称为真空度。由于大多数测压仪表所测得的压力都是相对压力,在液压和气压传动系统中,除非作特别说明,压力均指相对压力。绝对压力、相对压力和真空度的相对关系如图1-5所示。

绝对压力 = 相对压力 + 大气压力

真空度 = 大气压力 - 绝对压力

5. 静止液体作用在固体壁面上的力

在密封容器内的静止液体,如果不考虑液体自重所产生的压力,液体内部各点压力是相等的,并且垂直于承受压力的表面。液体作用在固体表面某一方向的力,就等于固体表面各点在该方向上所受压力的总和。

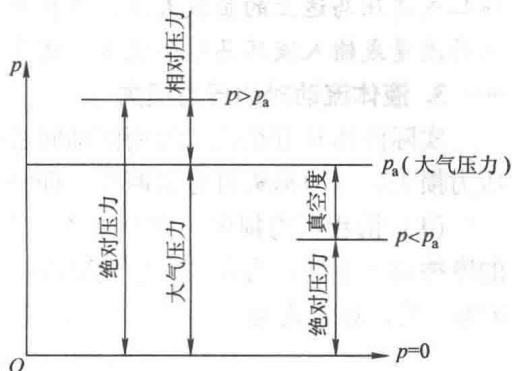


图1-5 绝对压力、相对压力和真空度的相对关系

(1) 作用在平面上的力 静止液体作用在平面上的力 F 等于静压力 p 与平面面积 A 的乘积,其方向垂直于该平面。

$$F = pA \quad (1-3)$$

(2) 作用在曲面上的力 当固体壁面为一曲面时,静止液体在 x 方向对该曲面的作用力 F_x 等于静压力 p 与曲面在 x 方向上投影面积 A_x 的乘积。

$$F_x = pA_x$$

1.3.2 流量

1. 定义和单位

流量是指单位时间内流过某一通道截面的液体体积。一般用符号 q 来表示,即 $q = V/t$ 。在国际单位制(SI)中,流量的单位为 m^3/s ,工程上常用 L/min ,两者的换算关系为

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

2. 流量连续性原理

假定液体不可压缩,则液体在单位时间内流过通道任一通流截面的液体质量应相等。设液体在图1-6所示的通道内流动。任取两截面1和2,其截面积分别为 A_1 和 A_2 ,并且在两截面处的流速分别为 v_1 和 v_2 。根据连续性原理可知,在单位时间内流过两截面的液体的体积应相等,即

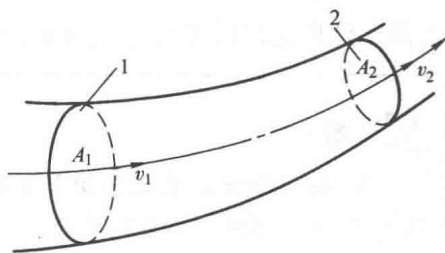


图1-6 液流的连续性原理

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = \text{常量} \quad (1-4)$$

$$q = vA$$

平均流速

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-5)$$

式(1-4)表明流速与通流面积成反比,内径大则流速低,内径小则流速快。式(1-5)表明活塞面积一定时,活塞运动速度取决于输入液压缸的流量的大小,流量大,速度

就大。这是与压力取决于负载同样重要的又一基本概念。

[要点] 在液压传动中, 压力和流量是两个重要的参数。系统的压力取决于作用于液压缸或液压马达上的负载大小, 负载大, 压力就大; 执行元件的运动速度取决于进入液压缸的流量或输入液压马达的流量, 流量大, 速度就大。

3. 液体流动时的压力损失

实际液体具有粘性, 因而流动时必然要损耗一部分能量, 这种能量损耗表现为液体的压力损失。压力损失可分为两类, 即沿程压力损失和局部压力损失。

(1) 沿程压力损失 它是液体在等径直管中流动时, 因粘性引起的摩擦和液体与管壁的摩擦而产生的压力损失。它主要取决于液体流速 v 、动力粘度 μ 、管路的长度 l 以及内径 d 等。其计算公式为

$$\Delta p_\lambda = \frac{32\mu lv}{d^2} \quad (1-6)$$

(2) 局部压力损失 液体流经管路的弯头、接头、突变截面以及阀口时, 致使流速的方向和大小发生剧烈变化, 形成旋涡, 使液体质点相互撞击, 造成能量损失, 称为局部压力损失。局部压力损失计算公式为

$$\Delta p_\xi = \frac{\xi \rho v^2}{2} \quad (1-7)$$

式中 ξ ——局部阻力系数, 其值可查有关手册;

ρ ——液体密度;

v ——液体流速。

(3) 管路系统的总压力损失 管路系统的总压力损失为所有沿程压力损失和所有局部压力损失之和, 即

$$\sum \Delta p = \sum \Delta p_\lambda + \sum \Delta p_\xi \quad (1-8)$$

液压传动中的压力损失, 会造成功率损耗、油液发热、泄漏增加, 从而影响系统的工作性能, 应尽量减少压力损失。通常采取减小流速, 缩短管道长度, 减少管道截面突变和弯曲, 合理选用阀类元件等措施, 将压力损失控制在较小范围内。



“想一想”

1. 某一个液压系统推动负载运动, 液压缸所需工作压力为 15MPa, 如液压泵的工作压力正好是 15MPa, 液压泵的这个工作压力能否推动负载运动?

2. 减少液压系统的压力损失有哪些办法?

4. 液体流经小孔及间隙的流量

液压传动系统中常利用液体流经阀的小孔或缝隙来控制流量和压力, 以达到调速和调压目的。

(1) 液体流经小孔的流量 根据理论和实验, 各种孔口的流量计算公式为

$$q = KA\Delta p^m \quad (1-9)$$

式中 q ——通过小孔的流量;

K ——由小孔的形状、尺寸和液体性质决定的系数;