

液压气动元件 与系统使用及 故障维修

张利平◎编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

液压气动元件 与系统使用及 故障维修

张利平◎编著

常州大学图书馆
藏书章



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全书以液压元件与系统的使用及故障维修为主线,并用专门章节介绍气动元件与系统的使用及故障维修,内容包括:液压元件与系统的使用及故障维修总述、液压工作介质的使用与管理、液压泵的使用及故障维修、液压马达与液压缸的使用及故障维修、液压阀的使用及故障维修与液压基本回路的应用及故障排除、液压辅件的使用及故障维修、液压系统共性故障的诊断排除方法及典型液压故障的诊断排除案例、液压系统的安装调试与运转维护、气动元件与系统的使用及故障维修,各章末均配有相应内容的复习题,书末摘录有常用液压气动元件图形符号(GB/T 786.1—2009)。

本书基础与提高并重,选材与叙述紧密结合工程实际和当代液压气动技术的发展及应用状况,以体现其实用性、系统性、先进性和多样性的特点。全书叙述和表达深入浅出,图文并茂,案例丰富,新颖翔实,便于读者自学及触类旁通。本书既可作为各行业液压气动技术的一线工作人员的短期培训和上岗培训教材及自学读本,也可供科研院所和工矿企业技术人员及操作维护人员参阅,同时可作为本科院校及高职高专院校相关专业及方向的教学参考书或实训教材,并可供液压气动技术爱好者学习参阅。

图书在版编目(CIP)数据

液压气动元件与系统使用及故障维修/张利平编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 6

ISBN 978-7-111-42298-3

I. ①液… II. ①张… III. ①液压元件—使用②液压元件—故障修复③气动元件—使用④气动元件—故障修复 IV. ①TH137.5②TH138.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第086412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:赵海青 责任编辑:赵海青 李超

版式设计:潘蕊 责任校对:陈延翔

封面设计:马精明 责任印制:张楠

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2013年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·21.75印张·589千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-42298-3

定价:59.00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

进入新世纪以来, 液压气动技术在原有基础上, 借助其功率密度大、系统结构布局自由度大、便于实现机电整合及控制、易于远程控制和过载保护等优势, 取得了令人瞩目的进步并迅速扩展其应用领域。随之, 从业人员与日俱增, 包括了为数众多的液压气动系统及液压机械的设计研发、加工制造、安装调试、操作维护和点检定检、管理营销和培训教育等人员。然而, 这些从业人员的教育背景和职业经历参差不齐。为解决一线工作人员(设计研发、加工制造、安装调试、操作维护和点检定检、管理营销和培训教育等人员)在液压气动技术的使用与维护中遇到的各类问题, 提供正确思路、策略和方案, 提供科学合理且可操作性强的实用方法与技巧, 以提高相关企业及人员的液压气动技术应用能力和水平, 同时为了满足液压气动技术短期培训之需, 提升短期培训的质量和水平, 作者在总结近 40 年液压气动技术教学(培训)科研和为企业解决难题过程中的经验基础上, 利用短期旅居境外及在国内十几个大中城市讲学之便, 收集了一些实用材料编写而成《液压气动元件与系统使用及故障维修》一书。考虑到气动技术与液压技术在原理及构成诸方面的相似性, 为了节省篇幅及避免重复, 全书以液压为主线, 气动单独成章, 内容包括: 液压元件与系统的使用及故障维修总述、液压工作介质的使用与管理、液压泵的使用及故障维修、液压马达与液压缸的使用及故障维修、液压阀的使用及故障维修与液压基本回路的应用及故障排除、液压辅件的使用及故障维修、液压系统共性故障的诊断排除方法及典型液压故障的诊断排除案例、液压系统的安装调试与运转维护、气动元件与系统的使用及故障维修, 各章末均配有相应内容的复习题, 书末摘录了常用液压气动元件图形符号(GB/T 786.1—2009)。

全书基础与提高并重, 选材与叙述紧密结合工程实际和当代液压气动技术的发展及应用状况, 以体现其实用性、系统性、先进性和多样性的特点。全书叙述和表达深入浅出, 图文并茂, 案例丰富, 新颖翔实, 便于读者自学及触类旁通。

本书既可作为各行业液压气动技术的一线工作人员的短期培训和上岗培训教材及自学读本, 也可供科研院所和工矿企业技术人员及操作维护人员参阅, 同时可作为本科院校及高职高专院校相关专业及方向的教学参考书或实训教材, 并可供液压气动技术爱好者学习参阅。

本书由河北科技大学张利平编著。张津、山峻参与了本书的前期策划, 张秀敏参与了标准资料的搜集整理及部分插图的绘制和文稿的录入校对整理工作, 作者的学生向其兴参与了液压故障诊断查询系统软件的编制工作; 参与本书相关工作的还有周湛学、周兰午、颜一平、黄涛、史玉芳、牛振英、吴宗哲等。

本书的编写出版工作得到了国内外众多厂家(公司)以及作者的学生和受训学员的热心支持与帮助, 他们提供了最新的技术成果、信息、经验, 以及翔实生动的现场资料或建设性意见。作者还参阅了国内外同行的部分参考文献及多家生产厂互网站中的电子样本及产品图片, 不便一一列举, 在此一并表示诚挚谢意。限于作者水平, 书中不妥之处在所难免, 欢迎液压界专家、同行及广大读者批评指正。

编著者

目 录

前言	1.8.2 专用诊断仪器	22
第1章 液压元件与系统的使用及故障维修总述	1.8.3 综合诊断仪器	22
1.1 液压系统的组成与表示	复习题	23
1.1.1 液压传动的定义	第2章 液压工作介质的使用与管理	25
1.1.2 液压系统的组成部分及功用	2.1 液压工作介质的功用和性质	25
1.1.3 液压系统原理图及图形符号	2.2 对液压工作介质的要求	26
1.1.4 液压系统原理图的绘制和分析识读	2.3 液压工作介质的命名、代号含义与组成、特性、应用场合	27
1.2 液压系统的分类	2.4 液压工作介质的选用要点	29
1.2.1 按油液循环方式分类	2.5 液压工作介质的使用与管理	32
1.2.2 按主换向阀在中位时液压泵的状态分类	2.5.1 液压油(液)合理使用要点	32
1.2.3 按用途分类	2.5.2 液压油(液)的更换方法及注意事项	33
1.2.4 按执行元件的速度调节控制方式分类	2.5.3 进口液压设备换用国产液压油(液)的要点	34
1.3 液压系统基本参数及其简要计算	2.5.4 液压介质的污染及其控制	36
1.3.1 压力	2.5.5 废旧液压油(液)的再生处理	42
1.3.2 流量	复习题	43
1.3.3 液压功率	第3章 液压泵的使用及故障维修	45
1.3.4 液压管路系统的功率损失	3.1 概述	45
1.4 液压元件与系统使用及故障维修的一般注意事项	3.1.1 液压泵的作用与基本工作原理	45
1.5 液压元件故障诊断与维修中拆解时的注意事项	3.1.2 容积式液压泵的构成条件	45
1.6 液压系统的故障及其类型与特点	3.1.3 液压泵类型及图形符号	45
1.6.1 液压故障的定义	3.2 液压泵的主要性能参数	46
1.6.2 液压系统的常见故障类型	3.2.1 工作压力、额定压力和最高允许压力	46
1.6.3 液压系统的故障特点	3.2.2 排量、转速和流量	46
1.7 液压系统的故障诊断策略、方法及注意事项	3.2.3 容积效率、机械效率和总效率	46
1.7.1 液压系统故障诊断策略	3.2.4 驱动功率	47
1.7.2 液压系统的故障诊断方法	3.2.5 自吸能力	47
1.7.3 液压系统故障排除一般注意事项	3.3 齿轮泵的使用与维修	47
1.8 液压系统故障现场快速诊断仪器简介	3.3.1 工作原理	48
1.8.1 通用诊断仪器	3.3.2 结构要点	48
	3.3.3 典型结构	49
	3.3.4 性能特点	50
	3.3.5 常用产品	51
	3.3.6 安装与使用	51
	3.3.7 常见故障及其诊断排除方法	52

3.3.8 检修与装配	53	4.3.2 简要计算	88
3.4 叶片泵的使用与维修	54	4.3.3 典型结构和一般构成	89
3.4.1 工作原理	54	4.3.4 性能特点	92
3.4.2 结构要点	55	4.3.5 常用产品	92
3.4.3 典型结构	57	4.3.6 安装与使用	92
3.4.4 性能特点	58	4.3.7 常见故障及其诊断排除方法	94
3.4.5 常用产品	59	4.3.8 检修与装配	98
3.4.6 安装与使用	59	复习题	99
3.4.7 常见故障及其诊断排除方法	60	第5章 液压阀的使用及故障维修	
3.4.8 检修与装配	61	与液压基本回路的应用及	
3.5 斜盘式轴向柱塞泵的使用与维修	62	故障排除	100
3.5.1 工作原理	63	5.1 液压阀及液压基本回路概述	100
3.5.2 结构要点	63	5.1.1 液压阀功用、分类与基本参数	
3.5.3 典型结构	65	及要求	100
3.5.4 性能特点	67	5.1.2 液压基本回路及其分类	103
3.5.5 常用产品	68	5.2 方向控制阀的使用及故障维修与	
3.5.6 安装与使用	68	其应用回路的故障排除	103
3.5.7 常见故障及其诊断排除方法	70	5.2.1 单向阀及锁紧回路和保压、	
3.5.8 检修与装配	72	卸压回路	103
3.6 斜轴式轴向柱塞泵简介	74	5.2.2 滑阀式换向阀及其换向回路	109
3.6.1 工作原理与特点	74	5.3 压力控制阀的使用及故障维修与	
3.6.2 典型结构	74	其应用回路的故障排除	119
3.7 常用液压泵性能比较与应用范围		5.3.1 溢流阀及调压回路	119
及选择要点	75	5.3.2 减压阀及减压回路	125
复习题	77	5.3.3 顺序阀结构原理与使用	129
第4章 液压马达与液压缸的使用		5.3.4 压力继电器及其换向回路	133
及故障维修	78	5.4 流量控制阀的使用及故障维修与	
4.1 液压马达的使用与维修	78	其应用回路的故障排除	135
4.1.1 液压马达的作用及与液压泵		5.4.1 节流阀及节流调速回路	135
的区别	78	5.4.2 调速阀及其调速回路	139
4.1.2 类型特点及图形符号	78	5.4.3 分流集流阀(同步阀)结构	
4.1.3 主要性能参数	79	原理及使用	142
4.1.4 原理与结构	79	5.5 其他常用液压基本回路及其故障	
4.1.5 性能特点	80	诊断排除方法	144
4.1.6 常用产品	81	5.5.1 卸荷回路	144
4.1.7 安装、使用与维护	83	5.5.2 平衡回路	146
4.1.8 常见故障及其诊断排除方法	85	5.5.3 容积调速回路	148
4.2 摆动液压马达的使用与维修	86	5.5.4 容积节流调速回路	150
4.2.1 作用与类型	86	5.5.5 快速运动回路(增速回路)	150
4.2.2 叶片式摆动液压马达的工作		5.5.6 速度换接回路(减速回路)	152
原理及典型结构	86	5.5.7 双缸顺序动作回路	154
4.3 液压缸的使用与维修	87	5.5.8 同步动作回路	156
4.3.1 工作原理	87	5.6 叠加阀的使用及故障维修	160

5.6.1	结构原理	160	6.4.1	冷却器	205
5.6.2	应用场合与特点	162	6.4.2	加热器	207
5.6.3	使用要点	162	6.5	油管和管接头的使用及故障维修	208
5.7	插装阀的使用及故障维修	164	6.5.1	油管	208
5.7.1	结构原理	164	6.5.2	管接头	208
5.7.2	典型组合	166	6.5.3	常见故障及其排除方法	211
5.7.3	常用产品及其使用与故障维修	168	6.6	压力表	212
5.8	电液伺服阀的使用及故障维修	170	复习题		213
5.8.1	结构原理	170	第7章 液压系统共性故障的诊断排除方法及典型液压故障的诊断排除案例		
5.8.2	典型结构及特点	172	7.1 液压系统共性故障及其诊断排除方法		
5.8.3	规格、主要技术性能、特点及常用产品	174	7.1.1 液压执行元件动作失常故障及其排除方法		
5.8.4	典型电液伺服控制系统	175	7.1.2 液压系统压力失常故障及其排除方法		
5.8.5	选择、使用与故障排除	178	7.1.3 液压系统流量失常故障及其排除方法		
5.9	电液比例阀使用及故障维修	179	7.1.4 液压系统异常振动和噪声故障及其排除方法		
5.9.1	基本构成与原理	179	7.1.5 液压系统过热故障及其排除方法		
5.9.2	特点与典型结构及常用产品	181	7.1.6 液压系统的冲击及其控制		
5.9.3	选择、使用与故障排除	187	7.1.7 气穴现象及其防止		
5.10	常用液压阀性能比较	188	7.1.8 液压卡紧及其消除		
5.11	新型液压阀简介	188	7.1.9 开环控制系统和闭环控制系统常见故障诊断		
5.11.1	电液数字阀	188	7.2 典型液压系统故障诊断排除案例		
5.11.2	微型液压阀	190	7.2.1 金属切削机床(YT4543型组合机床动力滑台)液压系统故障诊断及分析排除		
5.11.3	水压控制阀	190	7.2.2 压力加工机械(液压机)液压系统故障分析与排除		
复习题		190	7.2.3 建材生产机械(砌块推板机)液压系统故障分析与排除		
第6章 液压辅件的使用及故障维修			7.2.4 型材生产机械(铝型材挤压机)液压系统故障分析与排除		
6.1 油箱的使用及故障维修			7.2.5 纺织机械(毛呢罐蒸机)液压系统故障分析与排除		
6.1.1 分类			7.2.6 石油化工机械(石棉水泥管卷压成型机)液压系统故障分析与排除		
6.1.2 开式油箱及其结构					
6.1.3 开式油箱容量的确定					
6.1.4 开式油箱的加工和安装					
6.1.5 常见故障及其诊断排除方法					
6.2 蓄能器的使用及故障维修					
6.2.1 囊式蓄能器的结构原理					
6.2.2 蓄能器的应用					
6.2.3 常用产品					
6.2.4 安装与使用					
6.2.5 常见故障及其诊断排除方法					
6.3 过滤器的使用及故障维修					
6.3.1 过滤精度及结构类型					
6.3.2 安装与使用					
6.3.3 常用产品					
6.3.4 常见故障及其诊断排除方法					
6.4 热交换器的使用及故障维修					

7.2.7 剪板机插装阀液压系统故障 分析与排除	235	9.1.4 气动系统的故障类型	276
7.2.8 冶金机械(炼铁高炉液压泥炮) 液压系统故障分析与排除	236	9.1.5 气动系统故障诊断策略与常用 方法	277
7.2.9 行走机械(汽车起重机)液压 系统故障分析与排除	238	9.1.6 气动系统故障诊断仪器简介	278
7.2.10 河海机械(船用锚链绞车) 液压系统故障分析与排除	239	9.2 气动工作介质及其使用管理	278
复习题	240	9.2.1 空气的主要物理性质	278
第8章 液压系统的安装调试与运转 维护	242	9.2.2 压缩空气的使用和管理	279
8.1 液压系统的安装	242	9.3 气动元件的使用及故障维修	279
8.1.1 安装准备	242	9.3.1 气动能源元件的使用及故障 维修	279
8.1.2 确定安装程序与方案	242	9.3.2 气动辅助元件的使用及故障 维修	286
8.1.3 液压元件和管件的质量检查	243	9.3.3 气动执行元件的使用及故障 维修	290
8.1.4 液压系统的安装	244	9.3.4 气动控制元件与气动基本回路 的使用及故障维修	296
8.2 液压系统的调试	255	9.4 气动系统共性故障诊断排除方法	314
8.2.1 调试目的	255	9.5 典型气动故障诊断排除案例	314
8.2.2 调试类型及准备	255	9.5.1 金属切削机床(HT6350卧式 加工中心)气动系统故障排除	314
8.2.3 调试的一般顺序	256	9.5.2 压力加工机械(挤压机接料 小车)气动系统故障排除	315
8.2.4 出厂试验	256	9.5.3 冶金机械(连铸连轧设备)气动 系统故障排除	317
8.2.5 总体调试	260	9.5.4 轻工机械(通过式磨革机)气动 系统故障排除	321
附 液压控制系统的调试要点	260	9.5.5 纺织机械(祖克浆纱机)气动 系统故障排除	322
8.2.6 液压系统的调整	261	9.5.6 医疗器械(FCC7KCi-C型 ⁶⁰ Co 治疗机)气动系统故障排除	323
8.3 液压传动系统的运转维护及管理	262	9.6 气动系统的安装调试与运转维护	324
8.3.1 运转维护的一般注意事项	262	9.6.1 气动系统的安装、吹污及试压	324
8.3.2 液压系统的检查	262	9.6.2 气动系统的调试	325
8.3.3 液压系统的定期维护内容与 要求	264	9.6.3 气动系统的运转维护及管理	325
8.3.4 液压元件与系统的检修	264	9.7 气动系统设计要点	326
8.3.5 液压系统的泄漏与密封	266	复习题	326
复习题	272	附录 常用液压气动元件图形符号 (GB/T 786.1—2009)	327
第9章 气动元件与系统的使用及 故障维修	274	参考文献	337
9.1 气动元件与系统的使用及故障维修 总述	274		
9.1.1 气动系统的组成	274		
9.1.2 气动技术的特点、应用及发展	275		
9.1.3 气动元件与系统使用维护的 一般注意事项	276		

第 1 章 液压元件与系统的使用及故障维修总述

1.1 液压系统的组成与表示

1.1.1 液压传动的定义

众所周知，一部完整的机器都是由原动机（电动机或内燃机）、传动装置和工作机三部分组成的。由于原动机的功率和转速范围等限制，通常需在原动机和工作机之间设置传动装置，用来实现机器动力的传递、转换与控制，以满足工作机对操作力、位置和工作速度的不同要求。机械传动、电气传动、流体传动等是目前机械设备常见的传动类型，其主要差别在于所采用的传动件（或工作介质）不同。液压传动属流体传动范畴，它是以受压液体（油或油水混合物）作为工作介质，来进行动力的传递、转换与控制的一种传动方式。

1.1.2 液压系统的组成部分及功用

通过一个例子来说明。图 1-1 所示为机床工作台的液压系统原理结构图，当液压泵 3 由原动机驱动旋转时，从油箱 1 经过滤器 2 吸油。当换向阀 7

（有 P、T（ T_1 ）、A、B 四个油口和三个工作位置）的阀芯处于图示工作位置时，压力油经管路 14、节流阀 5、换向阀 7（P→A）和管路 11 进入液压缸 9 的左腔，推动活塞（杆）及工作台 10 向右运动。液压缸右腔的油液经管路 8、换向阀 7（B→T）和管路 6、4 排回油箱。如果扳动换向手柄 12 使换向阀 7 的阀芯处于左端工作位置，则液压缸活塞（杆）向左运动。如果使换向阀 7 的阀芯处于中间位置时，则液压缸在任意位置停止运动。调节和改变节流阀 5 的开口大小，可以调节进入液压缸 9 的流量，从而控制液压缸活塞及工作台的运动速度。节流阀 5 的开口大，工作台速度快；反之，节流阀 5 开口小，工作台速度慢。在满足工作台速度要求之后，液压泵 3 排出的多余油液经管路 15、溢流阀 16 和管路 17 流回油箱。溢流阀 16 用来调节液压泵 3 的压力。因为要使工作台运动，必须克服切削力、摩擦力和回油背压力等阻力（统称负载），而且这些阻力是变化的，所以，调节压力应根据最大负载来调整。这样，当系统压力低于这一调节压力时，溢流阀 16 关闭，当负载大，压力升高到调节压力时，溢流阀 16 打开，对系统起到超载保护作用。如将图 1-1 中的液压缸 9 垂直安装，用于驱动压力机压头滑块，即可实现垂直挤压运动的控制；如将液压缸换为液压马达，即可实现回转运动的控制。

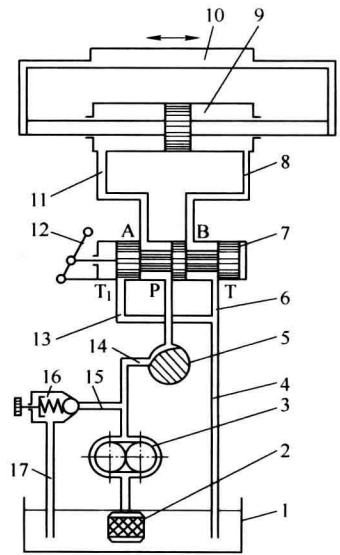


图 1-1 机床工作台液压系统原理结构图

- 1—油箱 2—过滤器 3—液压泵
- 4、6、8、11、13、14、15、17—管路
- 5—节流阀 7—换向阀 9—液压缸
- 10—工作台 12—换向手柄 16—溢流阀

提示

上例表明，液压传动以具有连续流动性的油液作为工作介质，通过液压泵将驱动泵的原动机的机械能转换成液体的压力能，然后经过封闭管路及液压控制阀，进入液压缸，转换为机械能去推动工作机构实现所需的运动。工作机构推力的大小，取决于油液的压力高低和液压缸活塞面积的大小；而工作机构运动速度的快慢，取决于在一定时间内进入液压缸内的油液容积（流量）的多少。

由图 1-1 可以看出，液压系统是由各种功能的液压元件有机地组合而成的。不论一个液压系统如何简单，一般都是由能源元件、执行元件、控制调节元件和辅助元件四个部分（统称为液压元件）组成的，各部分的作用见表 1-1。一般来讲，能够实现某种功能的液压元件的组合，称为液压回路（按功能不同，有压力控制、速度控制、方向控制和多缸动作等多种回路）。为了实现对某一液压机械的工作要求，将若干特定的液压回路按一定方式连接或复合而成的总体称为液压系统。液压系统种类繁多，其形式因主机类型及工艺目的不同而异。

表 1-1 液压系统的组成部分及作用

组成部分		作用	备注
液压元件	能源元件 液压泵及其原动机	将原动机（电动机或内燃机）供给的机械能转变为流体的压力能，输出具有一定压力的油液	1. 液压元件的基本参数有公称压力（MPa）、通径（mm）（主油口名义尺寸）或公称流量（L/min） 2. 液压元件都已经系列化、通用化和标准化，为液压元件及系统的制造、选用和维护提供了方便 3. 液压元件产品铭牌设计和包括的内容规定主要有：① 元件铭牌设计应美观大方、线字清晰，并应符合产品铭牌的有关规定；② 铭牌应端正、牢固地装于元件的明显部位；③ 铭牌内容至少应包括：元件名称、型号及图形符号，元件主要技术参数，制造厂名称，出厂年月；④ 对有方向要求的元件（如液压泵、马达的转向等）应在明显部位用箭头或相应记号标明
	执行元件 液压缸、液压马达和摆动液压马达	将工作介质（液体）的压力能转变为机械能，用以驱动工作机构的负载做功，实现往复直线运动、连续回转运动或摆动	
	控制调节元件 各种压力、流量、方向控制阀及其他控制元件	控制调节系统中从动力源到执行元件的液体压力、流量和方向，从而控制执行元件输出的力、速度和方向，以保证执行元件驱动的主机工作机构完成预定的运动规律	
	辅助元件 油箱、过滤器、管件、热交换器、蓄能器及指示仪表等	用来存放、提供和回收工作介质（油液），滤除介质中的杂质、保持系统正常工作所需的介质清洁度，实现元件之间的连接及传输载能介质，显示系统压力、温度等	
工作介质	油或油水混合物	传递能量和工作及故障信号，对管路和元件进行冷却、润滑等	

1.1.3 液压系统原理图及图形符号

描述液压系统的基本组成、工作原理、功能、工作循环及控制方式的说明性图样称为液压系统原理图。系统原理图有多种表示方法，但一般采用标准图形符号绘制系统原理图，而不采用图 1-1 所示的半结构图绘制。由于图形符号只表示液压元件的功能、操作（控制）方法及外部连接口，并不表示液压元件的具体结构、参数、连接口的实际位置及元件的安装位置，故用来表示系统中各种元件的作用和整个系统的组成、油路联系和原理，简单明了，便于画图、看图和技术交流。

我国迄今先后于 1965 年、1976 年、1993 年和 2009 年颁布了液压图形符号标准。目前执行的标准是 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分：用于常规用途

和数据处理图形符号》(本书附录列出了常用液压气动元件图形符号备查)。它规定了液压元件标准图形符号和绘制方法。在 GB/T 786.1—1993 基础上, GB/T 786.1—2009 对每个图形符号按 GB/T 20063—2006《简化图形符号》赋以唯一注册号: V1、V2、V3 等; 符号的样品用 X 标示, 流体传动技术领域的范围为 X10000-X39999; 除了基本符号要素及其应用规则外, 增加了二通盖板式插装阀图形符号以及 CAD 符号等。图 1-2 所示即为按 GB/T 786.1—2009 绘制的图 1-1 所示的机床工作台液压系统原理图; 图 1-3 所示为按 GB/T 786.1—2009 绘制的另一液压系统原理图(执行元件为双向液压马达)。

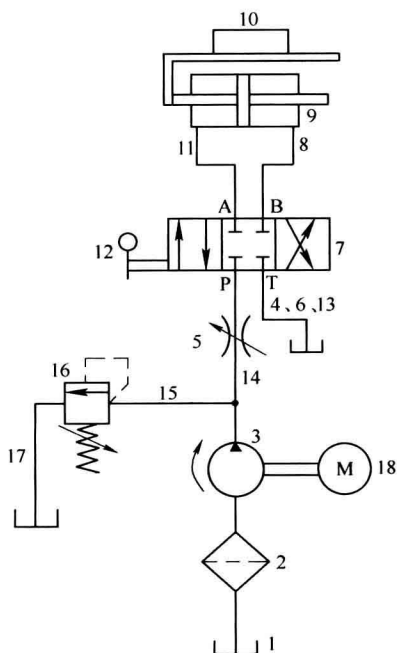


图 1-2 用图形符号绘制的机床工作台液压系统原理图

1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4、6、8、11、13、14、15、17—管路 5—节流阀 7—换向阀 9—液压缸 10—工作台 12—换向手柄 16—溢流阀 18—电动机

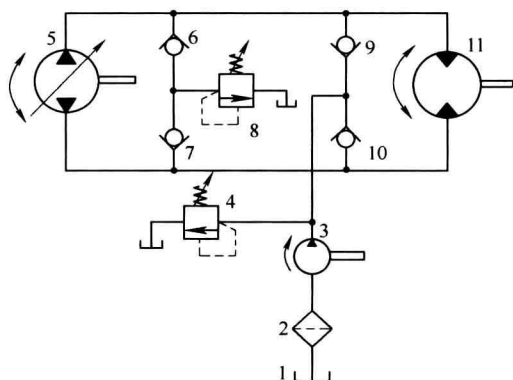


图 1-3 用图形符号绘制的液压系统原理图(执行元件为双向液压马达)

1—油箱 2—过滤器 3—单向定量液压泵 4、8—溢流阀 5—双向变量液压泵 6、7、9、10—单向阀 11—双向定量液压马达

1.1.4 液压系统原理图的绘制和分析识读

提示

按 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第1部分:用于常规用途和数据处理图形符号》绘制液压系统原理图时的注意事项为:①元件图形符号的大小可根据图纸幅面大小按适当比例增大或缩小绘制,以清晰美观为原则;②元件的状态一般以未受激励的非工作状态(例如电磁换向阀应为断电后的工作位置)画出;③元件的方向在不改变标准定义的初始状态含义的前提下,可视具体情况水平翻转或 90° 旋转进行绘制,但液压油箱必须水平绘制且开口向上。

(1) 识读意义及要求 正确、迅速地分析和阅读液压系统原理图,对于液压机械的设计制造、安装调试、使用维修及故障诊断排除均具有重要的指导作用。但是,要能正确而又迅速地阅

读液压系统图，首先必须掌握各类液压元件及各种基本回路的构造、原理、特点与综合应用，了解液压系统的控制方式、图形符号及其相关标准。其次，结合实际液压机械及其系统原理图，尽可能多地识读和练习，积累分析经验和技巧，掌握各种典型液压系统的特点，这对于今后识读新的液压系统，可起到举一反三、触类旁通和熟能生巧的作用。

(2) 识读方法步骤及注意事项

① 全面了解液压机械（主机）的功能、结构、工作循环及对液压系统的主要要求。例如组合机床动力滑台液压系统，它是以速度转换为主的系统，除了能实现滑台的快进→工进→快退等基本工作循环外，还要特别注意速度转换的平稳性等指标；再如液压机液压系统，它是以压力变换和控制为主的系统，其主缸除了能驱动滑块实现快进→慢速加压→保压释压→快退的基本工作循环外，还要了解其保压性能指标及主缸与顶出缸的动作互锁关系。同时要了解系统的控制信号源及其转换和电磁铁动作表等。

② 查阅组成液压系统原理图中的所有元件及其连接关系，分析它们在系统中的具体作用及其组成回路的功能。对一些用半结构图表示的专用元件（如磨床液压系统中由机-液换向阀组成的液压操纵箱），要特别注意它们的结构及工作原理，要读懂各种控制装置及变量机构。

③ 分析液压系统工作原理，仔细分析并写出各执行元件的动作循环和各工况下系统的油液流动路线或油流表达式。为便于阅读，最好先将液压系统中的各条油路分别进行编码，然后按执行元件划分读图单元，每个读图单元先看动作循环，再看控制回路、主油路。要特别注意系统从一种工作状态转换到另一种工作状态时，是由哪些元件发出的信号，又是使哪些控制元件动作并实现的。

④ 分析归纳出液压系统的特点。在读懂原理图基础上，还应进一步对系统做一些分析，以便评价液压系统的优缺点，使所使用或设计的液压系统不断完善。分析归纳时应考虑以下几个方面：液压基本功能回路是否符合主机的动作及性能要求，各主油路之间、主油路与控制油路之间有无矛盾和干涉现象，液压元件的代用、变换与合并是否合理、可行、经济，液压系统性能的改进方向。

提示

识读液压系统原理图时的注意事项为：

① 应对液压泵、执行元件、液压控制阀及液压辅助元件等元件的结构原理有所了解或较为熟悉。

② 分清主油路和控制油路。主油路的进油路起始点为液压泵压油口，终点为执行元件的进油口；主油路的回油路起始点为执行元件的回油口，终点为油箱（开式循环油路）或执行元件的进油口（液压缸差动回路）或液压泵吸油口（闭式循环油路）。控制油路也应弄明来源与控制对象。

③ 可借助主机动作循环图和动作循环表，用文字叙述描述或用油流表达式写出其油液流动路线。

例如图 1-2 所示液压系统在工作台右行时，用油流表达式写出的油液流动路线如下。

进油路：液压泵 3→管路 14→节流阀 5→换向阀 7（P→A）→管路 11→液压缸 9（左腔）。

回油路：液压缸 9（右腔）→管路 8→换向阀 7（B→T）→管路 4→油箱 1。

1.2 液压系统的分类

1.2.1 按油液循环方式分类

(1) 开式系统 在开式系统中，液压泵从油箱吸油，执行元件回油返回油箱；工作液在油

箱中冷却及沉淀后再进入工作循环；系统需要较大容积的油箱；执行元件换向和调速一般采用液压阀。这种系统应用最为普遍（在固定设备和行走设备中都有应用）。图 1-2 所示即为一个开式系统，液压泵 3 经过滤器 2 从油箱 1 中吸油，经节流阀 5、换向阀 7 进入液压缸 9（也可是液压马达），液压缸的回油经换向阀 7 排回油箱。

(2) **闭式系统** 在闭式系统中，执行元件排出的油液返回到泵的进口；需用补油装置补油，并用冲洗阀换油进行热交换；执行元件换向和调速常采用双向变量泵；系统效率较高。此类系统多用于车辆、起重运输机械、船舶绞车、造纸和纺织等机械设备中。图 1-3 所示即为一个闭式系统，双向变量液压泵 5 的吸油管路直接与双向定量液压马达 11 的回油管路相连通，形成一个闭合回路，单向定量液压泵 3 经单向阀 9 或 10 向低压侧补油，以补偿系统中各液压元件的泄漏损失。双向定量液压马达 11 通过改变液流方向与流量实现换向和调速。

1.2.2 按主换向阀在中位时液压泵的状态分类

(1) **中开型系统** 中开型系统的主换向阀在中位时，换向阀使液压泵卸荷（泵在极低功率 P_p 下运转，即 $P_p = p_p q_p \approx 0$ 。 p_p 和 q_p 分别为泵的供油压力和供油流量），液体低压返回油箱（故系统的主换向阀为 M 型、H 型等中位机能）。此类系统一般采用定量泵油源；换向阀在中位时，能量传递从基本为零的低值开始，换向后能量就上升，使压力液体进入执行元件，去克服负载；换向阀在中间位置时，内泄漏极小。通常在能满足同一功能情况下，中开型系统能耗较低。中开型系统多用于需间歇运动或支承负载而又不希望频繁起停原动机等工况类型。图 1-4 和图 1-5 所示均为中开型系统。

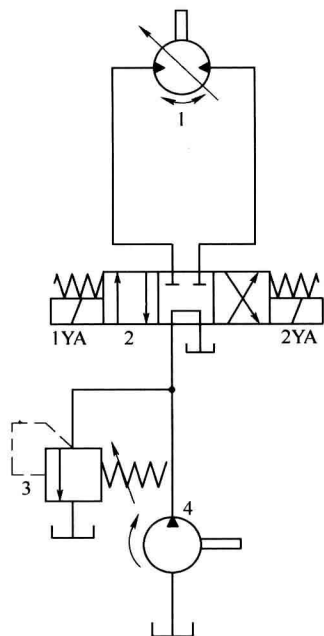


图 1-4 执行元件为变量马达的中开型系统

1—变量液压马达 2—三位四通电磁换向阀
3—溢流阀 4—定量液压泵

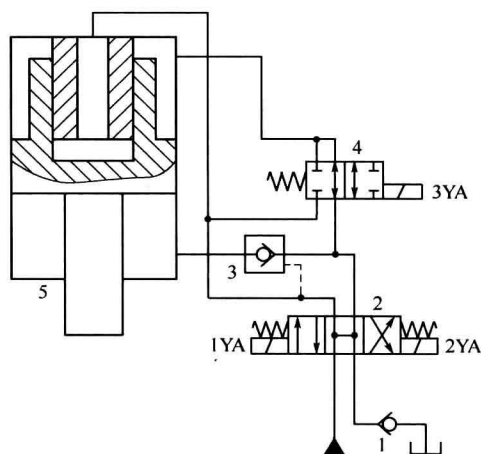


图 1-5 执行元件为三腔复合液压缸的中开型系统

1—单向阀 2—三位四通电磁换向阀 3—液控单向阀
4—二位四通电磁换向阀 5—复合液压缸

(2) **中闭型系统** 中闭型系统的主换向阀在中位时，换向阀所有油口均封闭（O 型中位机能），如果采用定量泵供油，则液压泵的液体经溢流阀高压返回油箱（图 1-6a）。换向阀在中位

时，能量传递从高值开始，即从系统的最大调压值开始，只要换向，其能量就可以为执行元件所利用；换向阀在中间位置时，有时承受系统的全部压力，因此内泄漏量比中开型系统要大。通常，在能满足同一功能情况下，中闭型系统能耗较高，但如果增加中位压力卸荷措施（例如采用电磁溢流阀，如图 1-6b 所示）或流量卸荷措施（例如采用压力补偿式变量泵供油，如图 1-6c 所示），则可大大降低中闭时的能耗。中闭型液压系统在多种主机设备中均有应用。

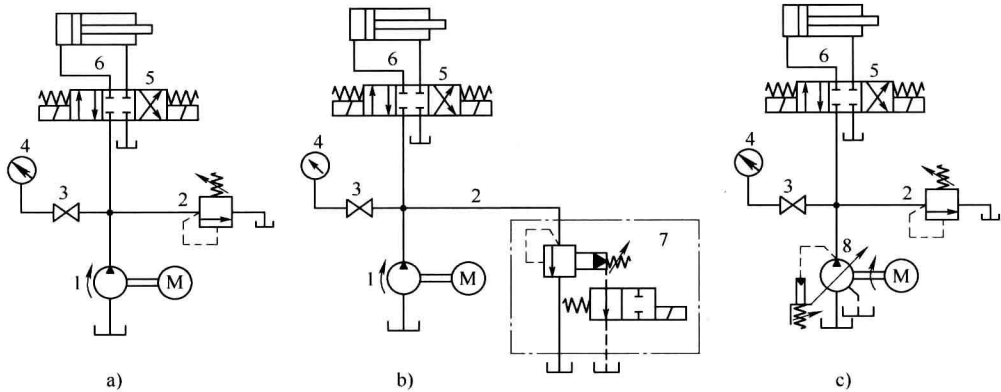


图 1-6 中闭型系统

- a) 定量泵 + 溢流阀 b) 定量泵 + 电磁溢流阀 c) 压力补偿式变量泵 + 溢流阀
 1—定量泵 2—溢流阀 3—压力表开关 4—压力表 5—三位四通电磁换向阀
 6—液压缸 7—电磁溢流阀 8—压力补偿式变量泵

1.2.3 按用途分类

(1) **固定设备用系统** 固定设备用系统多为开式系统，包括用于各类工业设备如机床（工件夹紧、工作台进给、换向、主轴驱动）、压力机（压制、压边、剪切、换向、工件顶出），压铸机及注塑机（合模、脱模、预塑、注射机构）甚至公共设施如医疗器械、垃圾压榨等机械设备和装置中的系统。

(2) **行走设备用系统** 行走设备用系统既有开式系统也有闭式系统，包括用于车辆行驶（行走驱动、转向、制动及其工作装置），物料传送装卸搬运设备（传递机构、转位机构）以及航空、航天、航海工程中的各种系统。

1.2.4 按执行元件的速度调节控制方式分类

(1) **阀控制系统** 阀控制系统通过换向阀改变执行元件的运转方向，通过改变阀的节流口开口大小控制流量，从而控制执行元件的速度。由于存在节流和溢流损失，通常效率较低。阀控制系统几乎用于各种机械设备。阀控制系统示例如图 1-2 所示，通过改变节流阀 5 的节流口开口大小控制流量，从而控制液压缸 9 的速度。

(2) **泵控制系统** 泵控制系统又分为泵排量及泵流量控制系统和泵转速控制系统（变频调速泵控制系统）。其中，泵排量控制系统通过改变变量泵的排量进行速度无级控制（例如图 1-3 所示的采用变量泵的泵控制系统，通过改变变量液压泵 5 的排量来控制流量，从而控制液压马达 11 的转速）；泵流量控制是指通过多台定量泵组合供液来控制流量进行有级速度控制（例如图 1-7 所示的两台定量泵组合供液系统，通过两个二位二通电磁换向阀 3 和 4 的通断电实现不同的组合，使系统输出不同等级的流量，从而满足系统在不同工况下不同瞬时流量的要求）。泵排

量及泵流量控制系统由于无节流和溢流损失，故效率较高，主要用于压力加工机械、橡胶塑料机械等大功率液压设备。图 1-8 所示为泵转速控制（变频调速）系统，通过改变驱动泵的原动机的转速改变泵的输出流量，实现系统的流量调节和执行元件的速度控制，由于可减小油箱容量和介质消耗，能量损失小，运行成本低，是一种极具发展前景的控制方式。

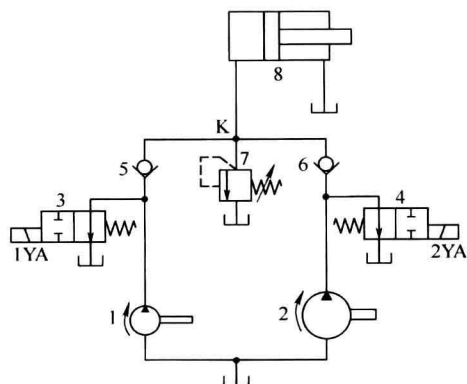


图 1-7 多定量泵组合供液系统

1、2—定量液压泵 3、4—二位二通电磁换向阀
5、6—单向阀 7—溢流阀 8—液压缸

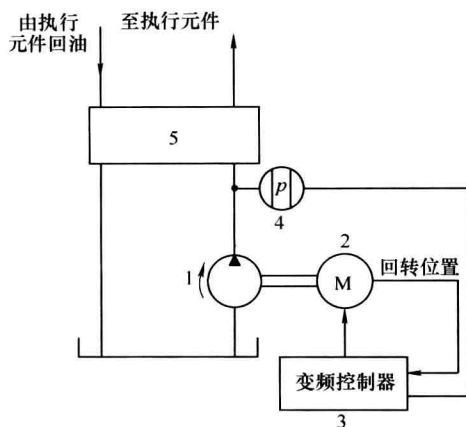


图 1-8 泵转速控制系统

1—定量泵 2—电动机 3—变频控制器
4—压力传感器 5—换向阀

执行元件控制系统通过改变变量液压马达的排量（图 1-4）或通过改变复合液压缸的作用面积来控制流量（图 1-5），从而控制速度。与泵控制系统类似，此类系统由于无节流和溢流损失，故效率较高。主要用于行走机械及压力加工机械等液压设备。

提示

与其他传动技术相比较，液压传动在拖动负载能力及操纵控制方面具有显著优势，例如出力大，功率密度大，力质量比大，操作方便、省力，便于大范围无级调速，易于自动化，易于实现过载保护等，因而在人们的日常生活和工农业生产、国防及科学技术的发展中获得了广泛应用，且仍将发挥不可替代的作用。但液压元件及系统存在着成本较高、因泄漏难于实现严格的定比传动、工作稳定性对温度较为敏感及故障不易查找排除等不足，这是采用液压技术时需要注意的。

1.3 液压系统基本参数及其简要计算

1.3.1 压力

(1) 压力的定义、计算与单位 液压系统中的压力是指液体在单位面积上所受的力。静止液体中的压力 p （图 1-9）按静压力基本方程计算，即

$$p = p_0 + \rho gh = F/A + \rho gh \quad (1-1)$$

式中， p_0 为液面上的压力， $p_0 = F/A$ ； F 为液面上的法向作用力（N）； A 为液体的受压面积（ m^2 ）； ρgh 为液体自重所形成的压力； ρ 为液体密度（ kg/m^3 ）； g 为重力加速度（ m^2/s ）； h 为液面至计算点的高度。

压力 p 的单位 N/m^2 称为帕 (Pa); 液压工程中常用 MPa (兆帕) 作为压力的计量单位, $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

我国以前曾长期采用过的压力单位有 kgf/cm^2 (公斤力/厘米²)、bar (巴)、大气压、水柱高或汞柱高等, 而美国则一直采用英制的 $1\text{bf}/\text{in}^2$ (磅力/英寸²)。这些压力单位的换算关系如下:

$$1\text{kgf}/\text{cm}^2 \approx 1\text{bar} = 10^5\text{Pa} = 0.1\text{MPa}$$

$$1\text{标准大气压} = 1.01325 \times 10^5\text{Pa} = 10.33\text{m水柱高} = 760\text{mm汞柱高}$$

$$1\text{工程大气压} = 1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 98066.5\text{Pa}$$

$$1\text{bf}/\text{in}^2 = 6894.757293\text{Pa} = 0.068\text{工程大气压}$$

(2) 压力的分级 为了便于液压元件及系统的制造及使用, 工程上通常将压力分为几个不同等级 (表 1-2)。

表 1-2 液压元件及系统的压力分级

压力等级	低 压	中 压	中 高 压	高 压	超 高 压
压力范围/MPa	≤ 2.5	2.5 ~ 8	8 ~ 16	16 ~ 32	> 32

例 1-1 图 1-9 所示的容器内充满密度 $\rho = 900\text{kg}/\text{m}^3$ 的液压油液, 活塞上的外作用力 $F = 1000\text{N}$, 活塞面积 $A = 1 \times 10^{-3}\text{m}^2$, 忽略活塞的质量。试计算活塞下方深度 $h = 0.5\text{m}$ 处的静压力 p 。

解 根据公式 (1-1), 活塞与油液接触面上的压力

$$p_0 = F/A = 1000/(1 \times 10^{-3})\text{Pa} = 10^6\text{Pa}$$

则深度 $h = 0.5\text{m}$ 处的液体压力为

$$p = p_0 + \rho gh = (10^6 + 900 \times 9.8 \times 0.5)\text{N}/\text{m}^2 = 1.0044 \times 10^6\text{N}/\text{m}^2 \approx 10^6\text{N}/\text{m}^2 = 1\text{MPa}$$

由此例可看到, 由于 1 个大气压 $\approx 0.1\text{MPa} = 10\text{m}$ 水柱

高, 故液体自重所产生的静压力 ρgh 与液压系统在外负载力作用下所产生的几个、几十个乃至上百个兆帕的工作压力相比很小, 计算中可以忽略不计。因而认为整个静止液体内部的压力近乎相等, 这是一个普遍的结论 (事实上, 由于 1 个大气压 $\approx 0.1\text{MPa} = 10\text{m}$ 水柱高, 即便液压工程中系统中元件安装高差达数十米, 产生的压力也微不足道)。

(3) 压力的传递 液压系统中压力的传递服从帕斯卡原理: 静止液体内的压力等值地向液体中各点传递。

例如图 1-9 所示的密闭容器, 在面积为 A 的活塞上施加作用力 F 时, 液体内部即产生压力 $p = F/A$ 。若在缸壁上任意三处接通压力表, 则压力表指针指示的压力值都相同。

(4) 压力的度量 根据度量起点的不同, 同一位置的液体压力分为绝对压力和相对压力 (图 1-10)。以绝对真空 (绝对零压) 为基准度量的液体压力, 称为绝对压力。以大气压力 p_a 为基准度量的压力, 称为相对压力。因为大气中的物体受大气压的作用是自相平衡的, 所以用普通

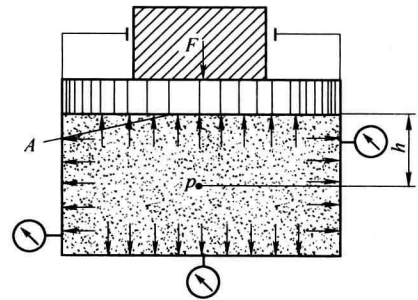


图 1-9 液体静压力的产生与分布

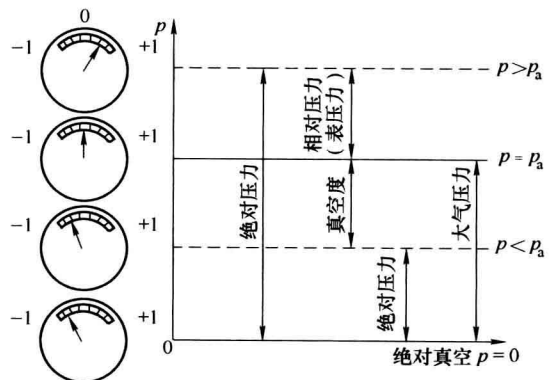


图 1-10 压力的度量

压力表测出的压力数值是相对压力，故相对压力也常称为表压力。在液压技术中所提到的压力，如不特别指明，一般均为表压力。

当液压系统中的绝对压力小于大气压时，我们称系统出现了真空，其真空的程度用真空度表示。其数值是绝对压力不足于大气压力的那部分压力值。此时相对压力为负值，即真空度 = 大气压 - 绝对压力。液压泵正是利用了工作时吸油腔容积增大产生真空而将油箱中的油液经管道吸入的。

由图 1-10 还可见，以大气压为基准计算压力时，基准处的压力为零压力，基准以上的正值是表压力，基准以下的负值就是真空度。

(5) 压力与负载的关系 如图 1-11 所示，作为输入装置的小液压缸（柱塞直径为 d_1 ，面积为 A_1 ）和输出装置的大液压缸（柱塞直径为 d_2 ，面积为 A_2 ）由中间的管道连接构成液压挤压装置，施加在小柱塞上的力为 F_1 ，由帕斯卡原理，两液压缸及其连接管路中的液体压力 p 相等，当忽略重力及摩擦力时，可获得大柱塞上较大的挤压力 F_2 ，即

$$p = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} \quad (1-2)$$

$$\text{改写为} \quad F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1} = F_1 \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 可知：

1) 由于大小柱塞面积比 $A_2/A_1 > 1$ ，故用一很小的输入力 F_1 ，即可推动一个比较大的负载 F_2 ，液压系统可看作一个力的放大机构。利用这个放大的力 F_2 可以举升重物（液压千斤顶）、压力加工（液压机）和车辆制动（液压制动闸）等。

2) 若只有外界负载 F_2 的作用，而没有小柱塞的输入力 F_1 ，即 $F_1 = 0$ ，则液体在失去“后推”的情况下，不论负载 F_2 多大，也不会产生压力；反之，若移去负载 F_2 ，即负载 $F_2 = 0$ ，不计柱塞自重及其他阻力，则液体在失去“前阻”的情况下，不论怎样推动小柱塞（即不论推力 F_1 多大），也不能在液体中产生压力，这说明液压系统中的压力是在“前阻后推”条件下产生的，而且系统压力大小取决于外界负载，即负载越大，压力越大；负载越小，压力越小。

1.3.2 流量

液压系统工作时是靠流动着的有压液体完成动力的传递的。油液在管道、液压缸等元件内流动的快慢即为流速。由于液体具有粘性，故流动液体在管道、液压缸的通流截面上各点的流速 u 不完全相等，如图 1-12 所示，通常，用平均流速 v 表示液流的快慢，其单位为 m/s 。这样，即可认为在通流截面上各点的流速相等。在液压技术中，一般所说的流速都指平均流速。

流速 v 和通流截面积 A 的乘积表示单位时间内流过通流截面的液体的体积，称为流量，用 q 表示，其单位是 m^3/s 或 L/min 。即

$$q = vA \quad (1-4)$$

或写为

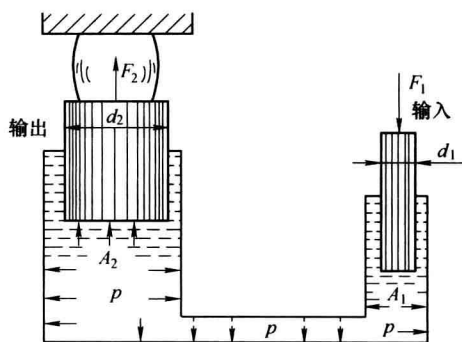


图 1-11 压力与负载的关系

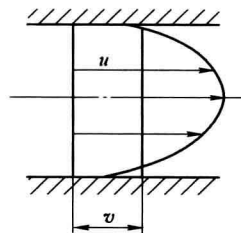


图 1-12 管道中液体的流速