

张利平 编著

液压气动技术

使用维护与故障排除



——实用培训教程

YEYA QIDONG JISHU

SHIYONG WEIHU YU GUZHANG PAICHU

SHIYONG PEIXUN

JIAOCHENG



化学工业出版社

液压气动技术使用维护与故障排除 ——实用培训教程

张利平 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

全书主要包括：液压系统及其使用维护与故障诊断排除总述，液压工作介质（油液）及其使用与管理，液压泵的使用维护与故障排除，液压缸与液压马达的使用维护及故障排除，液压控制阀的使用维护及液压基本回路，液压辅件的使用维护与故障排除，液压回路与系统常见故障现象及其诊断排除实例，液压系统的安装调试、运转维护及管理，液压传动系统的分析读图与简易设计方法，气动元件及系统的使用维护与故障排除，润滑技术与液体静压支承技术及其使用维护。为便于读者思考及巩固所学知识，各章末均配有相应工程实际背景的复习题，书末附有常用液压气动元件图形符号最新国家标准（GB/T 786.1—2009）、液压气动技术常用物理量单位及换算表可供读者在分析识读液压气动系统原理图及参数计算时查阅对照。

本书可作为液压气动技术的一线工作人员（如液压气动元件及系统的设计及加工制造人员、液压气动设备操作人员、液压气动设备安装调试和现场点检及维护人员、设备管理和营销人员、高职高专和技工学校相关课程的任课教师等）的短期培训、上岗培训及自学教材，也可供科研院所和工矿企业技术人员参考，还可以作为本科及高职高专院校液压相关专业的教学参考书或实训教材。

图书在版编目（CIP）数据

液压气动技术使用维护与故障排除——实用培训教程/
张利平编著. —北京：化学工业出版社，2012.5
ISBN 978-7-122-13902-3

I. 液… II. 张… III. ①液压系统-使用方法-教材
②液压系统-维修-教材③气压系统-使用方法-教材④气
压系统-维修-教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 058509 号

责任编辑：宋 薇
责任校对：顾淑云

文字编辑：项 激
装帧设计：张 辉

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 19¼ 字数 484 千字 2012 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：49.00 元

版权所有 违者必究



液压气动技术的应用及发展当今欣欣向荣、方兴未艾，主要源自于其功率密度大、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。随着技术的进步和应用领域扩展，液压气动技术的从业人员与日俱增，其中除了大量的液压气动机械设备的—线操作维护和点检定检人员外，还包括了为数众多的液压气动元件、系统和装置的设计研发、加工制造、安装调试、培训教育等人员。然而现实情况是，这些从业人员的教育背景和职业经历参差不齐，在液压气动技术的使用中，经常会被诸如介质使用管理、元件结构原理、回路系统图的识读、系统的简易设计及改装、安装调试方法等问题所困扰；特别是，如众所周知，由于液压气动元件和系统的介质工作在封闭的管路内，出现故障具有隐蔽性、多样性、随机性和因果关系复杂性等特点，因此，出现故障后不易查找原因。而液压气动设备一旦发生故障，不仅导致设备受损，产品质量下降，生产线瘫痪，而且可能危及人身安全、造成环境污染，带来巨大经济损失。所以如何正确使用液压气动元件及系统以保证主机正常运行，如何及时发现故障或提前发现故障征兆，出现故障后，如何用正确的思路与方法快速准确查明原因并迅速便捷排除之，都是当代液压气动技术各类从业人员非常重视且亟待解决的重要课题。为解决上述问题提供正确思路、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，提升我国液压气动技术短期培训的质量和水平，即为作者编著本书的主要动因。

本书以液压技术为主线，主要内容包括：液压系统及其使用维护与故障诊断排除总述，液压工作介质（油液）及其使用与管理，液压泵的使用维护与故障排除，液压缸与液压马达的使用维护及故障排除，液压控制阀的使用维护及液压基本回路，液压辅件的使用维护与故障排除，液压回路与系统常见故障现象及其诊断排除实例，液压系统的安装调试、运转维护及管理，液压传动系统的分析读图与简易设计方法，气动元件及系统的使用维护与故障排除，润滑技术与液体静压支承技术及其使用维护等共计 11 章，各章末均配有具有深刻工程实际背景的相应内容的复习题，以便于读者思考、练习及举一反三，灵活掌握巩固所学知识。书末的附录摘录了常用液压气动元件图形符号最新国家标准（GB/T 786.1—2009）并给出液压气动技术常用物理量单位及换算表，以便读者在分析识读液压气动系统原理图及参数计算时查阅对照。授课教师可以根据授课对象或时数的不同，全部或选择性地讲授其中部分章节内容。

全书围绕突出体现实用性、系统性、先进性和多样性的目标，进行了以下几个方面尝试和努力：①从满足各行业液压气动元件系统及设备的加工制造、安装调试、现场操作、使用维护与设备管理的一线工作人员的短期培训或上岗需要，并突出体现实用性角度出发编写。②对各种常用液压气动元件在简要介绍其结构原理基础上，侧重介绍其使用中的常见故障排

除及其拆装维修方法，以提高读者的动手能力。按照元件特别是液压气动控制阀和回路的从属关系，将元件和回路紧密结合起来，以克服内容脱节与重复现象，使之更加符合认知规律。③作为一线工作人员的培训教程，全书紧密结合实际，注重实用，体现培训教程的特点，全书很多内容及实例选自编著者在液压气动技术教学和科研工作〔包括科研开发、制造安装调试、故障排除及维修、技术培训（公开课和内训课）和技术服务与咨询〕近35年中，所涉足的多种行业及企业、多类国内外设备、多种元件及系统中的问题及其对策、成果、工作经验、体会及讲义等。④全书尽量避开一些繁杂高深的数学处理，力求使读者容易理解和掌握所介绍的内容；在叙述和表达方式上，努力做到深入浅出，图文并茂，直观易懂，以使读者能够触类旁通。⑤全书选材贯彻少而精又兼顾行业的多样性和代表性精神，所述内容和实例涉足了机械制造与金属材料、车辆与工程机械、矿山与冶金工程、建材和建筑施工、石油化工和轻纺医药等众多领域和新兴产业，并力求反映当代液压气动技术的新成果和新进展，以拓展读者视野；同时增加了液压系统设计要点及润滑技术与液体静压支承技术使用维护等内容，以满足部分企业和读者的需求。⑥元件和系统采用最新图形符号标准绘制。

本书主要作为液压气动技术的一线工作人员（如液压气动元件及系统的设计及加工制造人员、液压气动设备操作人员、液压气动设备安装调试和现场点检及维护人员、设备管理和营销人员、高职高专和技工学校相关课程的任课教师等）的短期培训教程或上岗培训教程及自学教材（全部讲授约需25~30学时），读者对象可以隶属于液压气动、机械制造、矿山冶金、工程施工、农林牧渔、建筑建材、煤炭电力、石油化工、轻工家电、航空航海及军用装备等任一行业。本书也可作为科研院所和工矿企业技术人员的参考书，也可作为本科高等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。

本书由河北科技大学张利平编著。张津、山峻和张秀敏参与了本书的前期策划及部分插图的绘制及文稿的录入校对和整理工作，陈建中、曹可力、李珊、李丽琳等参与了本书标准资料的搜集整理及编写工作，向其兴和娄瑞娟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。

在本书的编写出版过程中，得到了国内外许多厂家（公司）的热心支持与帮助，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，其中有：博世力士乐中国 Lonnie Zhao 工程师，HYDAC TECHNOLOGY (SHANGHAI) LTD，天津格特斯检测设备技术开发有限公司蔡志雄总经理，山东潍柴动力集团李德胜工程师和刁志强工程师，广东大鹏液化天然气有限公司接收站项目部李峰经理、宋思运工程师和陈怡凡女士等，郑州新大方重工科技有限公司任瑞芬高级工程师，山东景昂机电有限公司柳春兰工程师，利乐包装（呼和浩特）有限公司姜海鹰先生、云南铜业电解分厂相元杰先生，洛阳理工学院刘和平老师，黑龙江工商职业技术学院张春东老师，以及多家相关培训机构的领导、老师和广大学员等，作者在此一并表示诚挚谢意。作者参阅了国内外同行的部分参考文献及多家生产厂互联网站中的电子样本及产品图片，特此感谢。

应当说明的是，因培训之需，书中一些符号与系统（回路）可能与现行标准存在差异。尽管作者精心组织材料并投入极大热情来完成本书的编著，但由于水平所限及编写时间匆促，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，以使其日臻完善。

编著者

2011年11月于石家庄

目 录

第 1 章 液压系统及其使用维护与故障诊断排除总述	1
1.1 传动类型与液压传动	1
1.2 液压传动基本原理、液压系统组成 部分与表示	1
1.2.1 液压传动基本原理及工作 特征	1
1.2.2 液压系统组成部分	2
1.2.3 液压系统的图形符号	3
1.3 液压系统的类型	3
1.3.1 开式系统和闭式系统	3
1.3.2 中开型系统和中闭型系统	3
1.3.3 固定设备用系统和行走设备用 系统	5
1.3.4 阀控制系统、泵控制系统和执行 元件控制系统	5
1.4 液压技术的特点及应用	5
1.5 液压系统基本参数及其简要计算	6
1.5.1 压力	6
1.5.2 流速与流量	8
1.5.3 功率	9
1.5.4 液压管路系统的功率损失	9
1.6 液压系统使用维护与故障诊断 总述	12
1.6.1 液压元件及系统使用维护的 一般注意事项	12
1.6.2 液压系统常见故障类型与 特点	13
1.6.3 液压系统的故障诊断策略、 方法技巧及注意事项	14
1.6.4 液压系统故障现场快速诊断仪器 简介	19
1.6.5 液压元件故障诊断与维修中拆解 时的注意事项	21
复习题	21
第 2 章 液压工作介质（油液）及其使用与管理	23
2.1 液压工作介质的功用和性质	23
2.1.1 功用	23
2.1.2 物理性质	23
2.2 对液压工作介质的要求	25
2.3 工作介质的命名、代号含义与种类 及特性	26
2.4 液压油液的选用	28
2.5 工作介质的使用与管理	30
2.5.1 液压油（液）合理使用要点	30
2.5.2 液压油液的更换（换油）方法 及注意事项	31
2.5.3 液压介质的污染及其控制	32
复习题	38

第3章 液压泵使用维护与故障排除 39

3.1 液压泵概述	39	3.3.4 安装与使用	44
3.1.1 作用与基本工作原理	39	3.3.5 故障排除	44
3.1.2 类型及图形符号	39	3.3.6 检修与装配	45
3.2 主要性能参数	40	3.4 叶片泵	46
3.2.1 工作压力、额定压力和最高允许压力	40	3.4.1 双作用叶片泵	46
3.2.2 排量、流量和转速	40	3.4.2 单作用叶片泵	47
3.2.3 容积效率、机械效率和总效率	40	3.4.3 叶片泵的性能特点	48
3.2.4 驱动功率	41	3.4.4 叶片泵的安装与使用	48
3.2.5 自吸能力	41	3.4.5 叶片泵的故障排除	49
3.3 齿轮泵	41	3.4.6 叶片泵的检修与装配	50
3.3.1 工作原理	42	3.5 轴向柱塞泵	51
3.3.2 结构要点	42	3.5.1 斜盘式轴向柱塞泵	51
3.3.3 性能特点	43	3.5.2 斜轴式轴向柱塞泵简介	56
		3.6 常用液压泵性能比较	57
		复习题	58

第4章 液压缸与液压马达使用维护及故障排除 59

4.1 液压缸	59	4.2.2 类型特点及图形符号	67
4.1.1 作用及分类	59	4.2.3 主要性能参数	67
4.1.2 结构原理	59	4.2.4 液压马达工作原理	68
4.1.3 一般构成	60	4.2.5 性能特点	69
4.1.4 性能参数	61	4.2.6 安装、使用与维护	70
4.1.5 安装与使用	61	4.2.7 故障排除	72
4.1.6 故障排除	62	4.3 摆动液压马达（摆动缸）	73
4.1.7 检修与装配	65	4.3.1 作用与类型	73
4.2 液压马达	66	4.3.2 叶片式摆动液压马达工作原理	73
4.2.1 液压马达作用及其与液压泵的区别	66	复习题	74

第5章 液压控制阀使用维护及液压基本回路 75

5.1 液压阀及液压基本回路概述	75	回路	88
5.1.1 液压阀概述	75	5.3.1 溢流阀及调压回路	88
5.1.2 液压基本回路及其分类	78	5.3.2 减压阀及减压回路	92
5.2 方向控制阀的使用维护及方向控制回路	78	5.3.3 顺序阀及多缸顺序动作控制回路	95
5.2.1 单向阀及锁紧回路和保压回路	79	5.3.4 压力继电器及用压力继电器的顺序动作回路、换向回路和限压回路	97
5.2.2 滑阀式换向阀及换向回路	83	5.4 流量控制阀的使用维护及其应用	
5.3 压力控制阀的使用维护及压力控制			

回路	99	5.7.3 使用与维护	117
5.4.1 节流阀及节流调速回路	100	5.8 电液伺服阀	118
5.4.2 调速阀及其调速回路	101	5.8.1 功用及结构原理	118
5.4.3 分流集流阀(同步阀)及其同步 控制回路	102	5.8.2 伺服阀的规格、主要技术性能、 特点	121
5.5 其他常用液压基本回路	104	5.8.3 典型电液伺服控制系统	121
5.5.1 卸荷回路	104	5.8.4 电液伺服阀的选择与使用 要点	125
5.5.2 平衡回路	105	5.9 电液比例阀	127
5.5.3 容积调速回路	106	5.9.1 功用与基本原理	127
5.5.4 容积节流调速回路	107	5.9.2 特点与分类	128
5.5.5 快速运动回路(增速回路) ..	107	5.9.3 电液比例阀的选择与使用 要点	128
5.5.6 速度换接回路(减速回路) ..	108	5.10 常用液压阀性能比较	130
5.5.7 同步动作回路	109	5.11 新型液压阀简介	130
5.6 叠加阀	111	5.11.1 电液数字阀	130
5.6.1 原理与结构	111	5.11.2 微型液压阀	131
5.6.2 应用场合与系统特点	111	5.11.3 水压控制阀	131
5.6.3 使用要点	111	复习题	131
5.7 二通插装阀	113		
5.7.1 结构原理	113		
5.7.2 典型组合	114		

第6章 液压辅件使用维护与故障排除

133

6.1 液压油箱	133	6.3.4 故障排除	142
6.1.1 作用与分类	133	6.4 热交换器	142
6.1.2 开式油箱	133	6.4.1 冷却器	142
6.1.3 故障排除	135	6.4.2 加热器	143
6.2 蓄能器	135	6.5 油管 and 管接头	144
6.2.1 作用与种类	135	6.5.1 油管	144
6.2.2 皮囊式蓄能器的结构原理	136	6.5.2 管接头	145
6.2.3 蓄能器的应用	136	6.5.3 油管、管接头和油路块的故障 排除	147
6.2.4 安装与使用	137	6.6 压力表及压力表开关	147
6.2.5 故障排除	139	6.6.1 压力表	147
6.3 过滤器	140	6.6.2 压力表开关及其故障排除	148
6.3.1 作用及过滤精度	140	复习题	149
6.3.2 结构类型	140		
6.3.3 安装与使用	141		

第7章 液压回路与系统常见故障现象及其诊断排除实例

150

7.1 液压基本回路常见故障及其排除 举例	150	7.1.1 压力控制回路常见故障 排除	150
--------------------------------	-----	------------------------------	-----

7.1.2 速度控制回路常见故障排除	153	7.2.6 液压系统的冲击及其控制	166
7.1.3 方向控制回路常见故障排除	158	7.2.7 气穴现象及其防止	166
7.1.4 多执行元件动作回路常见故障排除	160	7.2.8 液压卡紧及其消除	167
7.2 液压系统常见故障现象及其诊断排除方法	162	7.2.9 开环控制系统和闭环控制系统常见故障诊断	168
7.2.1 液压执行元件动作失常故障及其排除方法	162	7.3 液压系统故障诊断排除案例	170
7.2.2 液压系统压力失常故障及其排除方法	163	7.3.1 压力加工机械(液压机)液压系统故障分析与排除	170
7.2.3 液压系统流量失常故障及其排除方法	164	7.3.2 建材生产机械(砖坯推进机)液压系统故障分析与排除	174
7.2.4 液压系统异常振动和噪声故障及其排除方法	165	7.3.3 冶金机械(铝型材挤压机)液压系统故障分析与排除	175
7.2.5 液压系统过热故障及其排除方法	165	7.3.4 纺织机械(毛呢罐蒸机)液压系统故障分析与排除	176
		7.3.5 石油化工机械(石棉水泥管卷压成形机)液压系统故障分析与排除	178
		复习题	181

第8章 液压系统的安装调试、运转维护与管理 182

8.1 液压系统的安装	182	8.2.5 总体调试	197
8.1.1 安装准备	182	8.2.6 液压系统的调整	199
8.1.2 安装程序与方案的确定	182	8.3 液压传动系统的运转维护及管理	199
8.1.3 液压元件和管件的质量检查	183	8.3.1 运转维护的一般注意事项	200
8.1.4 液压系统的安装及其要求	184	8.3.2 液压系统的检查(点检)	200
8.2 液压系统的调试	194	8.3.3 液压系统的定期维护内容与要求	202
8.2.1 调试目的	194	8.3.4 液压系统(元件)的检修	203
8.2.2 调试类型及准备	194	8.3.5 液压系统的泄漏与密封	204
8.2.3 调试的一般顺序	194	复习题	210
8.2.4 出厂试验	195		

第9章 液压传动系统的分析读图与设计要点 211

9.1 分析识读液压传动系统原理图的方法步骤	211	9.2.1 设计内容	212
9.1.1 识读意义及要求	211	9.2.2 液压系统功能原理设计	213
9.1.2 识读方法步骤及注意事项	211	9.2.3 液压系统施工设计	219
9.2 液压系统的设计要点	212	复习题	221

第10章 气动元件及系统的使用维护与故障排除 222

10.1 气动技术概述	222	伺服加载系统	255
10.1.1 气动技术及气动系统的组成	222	10.3.6 张力电-气比例控制系统	255
10.1.2 气动技术特点及发展和应用	223	10.4 气动系统的安装调试与使用维护及管理	256
10.2 气动元件使用维护及故障排除 ...	224	10.4.1 气动系统的安装、吹污及试压	256
10.2.1 气动能源元件的使用维护 ...	224	10.4.2 气动系统的调试	257
10.2.2 气动辅助元件的使用维护 ...	228	10.4.3 气动系统的使用维护及管理	257
10.2.3 气动执行元件的使用维护 ...	231	10.5 气动系统常见故障及其诊断排除方法	259
10.2.4 气动控制元件的使用维护及气动基本回路	236	10.5.1 故障种类	259
10.3 典型气动系统	253	10.5.2 常见故障诊断排除方法	259
10.3.1 机床夹具气动系统	253	10.5.3 故障诊断排除实例	260
10.3.2 动力滑台气液驱动系统	253	10.5.4 气动系统组成元件的常见故障及其排除方法	261
10.3.3 十六工位石材连续磨机气动系统	254	复习题	261
10.3.4 旋转门自动开闭气动系统 ...	255		
10.3.5 汽车方向盘疲劳试验机电-气			

第11章 润滑技术与液体静压支承技术及其使用维护 262

11.1 润滑技术及其使用维护	262	11.2 液体静压支承技术及其使用维护	279
11.1.1 摩擦、磨损与润滑的基本概念	262	11.2.1 基本概念	279
11.1.2 流体润滑原理与种类	263	11.2.2 液体静压轴承	280
11.1.3 润滑状态的判别	264	11.2.3 液体静压导轨	284
11.1.4 润滑材料及应用	264	11.2.4 液体静压丝杠-螺母	286
11.1.5 润滑装置与系统	272	复习题	287

附录 288

附录一 常用液压气动元件图形符号 ...	288	及换算表	293
附录二 液压气动技术常用物理量单位			

参考文献 295

第1章

液压系统及其使用维护与故障诊断排除总述

1.1 传动类型与液压传动

一部完整的机器都是由原动机、传动装置和工作机三部分组成。其中，原动机（包括电动机或内燃机）是整个机器的动力来源；工作机是完成机器工作任务的直接工作部分〔如车床的车刀、压力机的滑块（压头）、挖掘机的铲斗等〕。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。传动就是动力（或能量）的传递，传动装置用来实现机器动力的传递、转换和控制，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（液压与气动技术的统称）等是目前机械设备和装置常见的传动类型，其主要差别在于所采用的传动件（或工作介质）不同。随着现代科学技术和工业技术的发展，机械设备的功能、结构日趋多样化和复杂化，其传动装置往往由机、电、液、气复合而成，称为复合传动。

液压传动是以液体（油或油水混合物）作为工作介质，靠密封管路系统内的液体压力能，来进行动力的传递、转换和控制的一种传动方式。

1.2 液压传动基本原理、液压系统组成部分与表示

1.2.1 液压传动基本原理及工作特征

(1) 基本原理。液压传动基本原理可用图 1-1 所示的千斤顶及其等效简化模型来说明。小液压缸 10 与阀 3、4 一起组成手动液压泵，完成吸油与排油功能。当向上抬起杠杆时，小活塞 1 向上运动，小活塞的下部容腔 a 的容积增大形成局部真空，使排油单向阀 3 关闭，油箱 8 中的油液经吸油管道 5 顶开吸油单向阀 4 进入 a 腔，填充增大的容积。当小活塞 1 在力 F_1 作用下向下运动时，a 腔的容积减小，油液因受挤压，故压力升高，于是，被挤出的液体将吸油单向阀 4 关闭，而将排油单向阀 3 顶开，经排油管道 6 进入大液压缸 11 的容腔 b，推动大活塞 2 上移举升重物（负载 F_2 ）。手摇泵的小活塞 1 不断上下往复运动，重物逐渐被举升。当重物被举升到规定位置后，停止小活塞 1 的运动，则大液压缸 11 的 b 腔内油液压力将使排油单向阀 3 关闭，b 腔内的液体被封锁死，大活塞 2 连同重物一起被闭锁不动。此时，截止阀 9 关闭。如打开截止阀 9，则大液压缸 11 的 b 腔内液体便经回油管道 7 排回油箱 8，于是大活塞 2 将在自重作用下向下移动回复到原始位置。

(2) 工作特征。上述液压千斤顶中的手动液压泵和举升液压缸组成了最简单的液压传

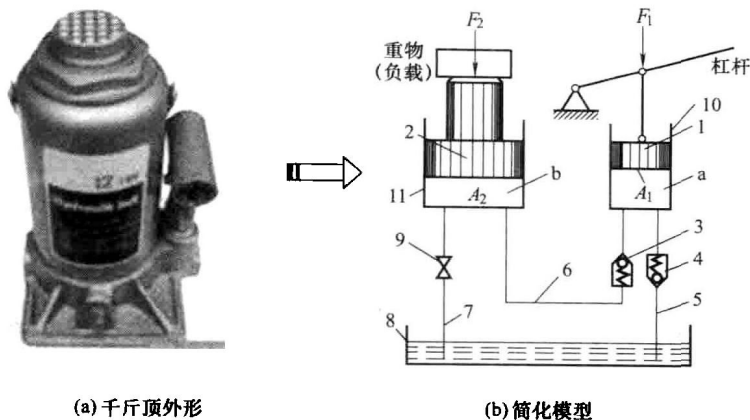


图 1-1 液压传动基本原理

1—小活塞；2—大活塞；3—排油单向阀；4—吸油单向阀；5—吸油管道；6—排油管道；7—回油管道；8—油箱；9—截止阀；10—小液压缸；11—大液压缸

动系统，其中手动液压泵将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出，完成吸油与排油；大液压缸将油液的压力能转换为机械能输出，举起重物，从而实现了动力的传递与转换。其工作特征如下：

- ① 力的传递靠液体压力实现，系统工作压力 p 取决于负载 F 。
- ② 运动速度的传递靠容积变化相等原则实现，运动速度 v 取决于流量 q 。
- ③ 系统的动力传递符合能量守恒定律，压力与流量的乘积等于功率。
- ④ 液压与气动可以省力但不省功。

上述特征的定量分析及说明详见本章 1.6 节。

1.2.2 液压系统组成部分

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）及工作介质组成，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，将若干特定的基本功能回路按一定方式连接或复合而成的总体称为液压系统。

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
	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

1.2.3 液压系统的图形符号

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原理图称为液压系统原理图。系统原理图有多种表示方法。为了便于画图和进行交流，一般采用标准图形符号绘制系统原理图。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，所以，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，便于画图和看图。

我国目前执行的标准是 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的图形符号》。它规定了液压元件标准图形符号和绘制方法。

本书附录列出了常用液气动压元件的标准图形符号备查。按 GB/T 786.1 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。



1.3 液压系统的类型

液压系统种类繁多，可以按多种方式进行分类，具体见图 1-2。

1.3.1 开式系统和闭式系统

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）。

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。

1.3.2 中开型系统和闭型系统

中开型系统的主换向阀在中位时，可使液压泵卸荷，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，内泄漏极微。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启停原动机等工况类型。图 1-3 和图 1-4 所示系统均为中开型系统。

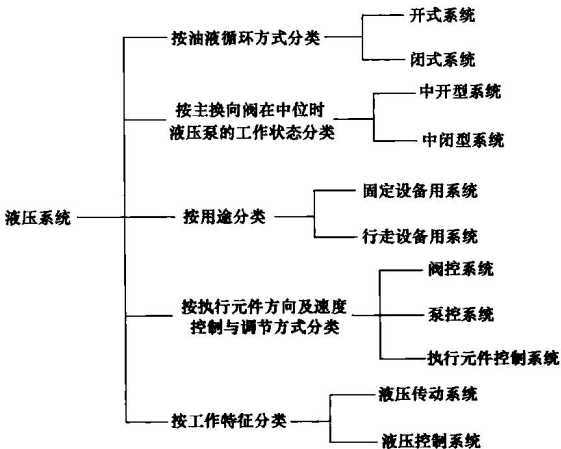


图 1-2 液压系统分类

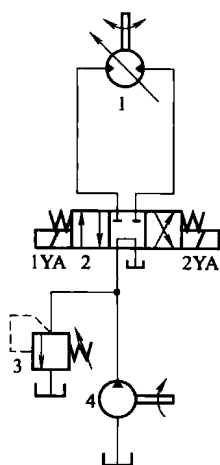


图 1-3 执行元件为变量马达
的中开型系统

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

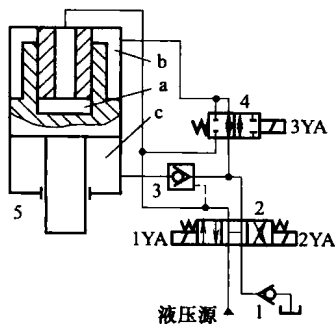
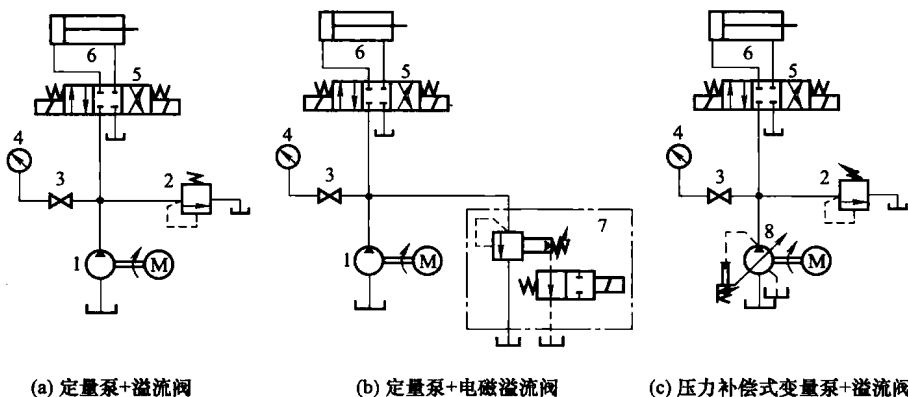


图 1-4 执行元件为三腔复合
液压缸的中开型系统

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



(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

图 1-5 中闭型系统

1—定量泵；2—溢流阀；3—压力表开关；4—压力表；5—三位四通电磁换向主阀；
6—液压缸；7—电磁溢流阀；8—压力补偿式变量泵

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 1-5 (a)]。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 [采用电磁溢流阀，如图 1-5 (b) 所示] 或流量卸荷措施 [采用压力补偿式变量泵供油，如图 1-5 (c) 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。

1.3.3 固定设备用系统和行走设备用系统

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、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工作装置中的系统。

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。

1.3.4 阀控制系统、泵控制系统和执行元件控制系统

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,故通常效率较低。阀控系统几乎用于各种机械设备。

泵控制系统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;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(如图1-7所示为多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。泵转速控制系统通过改变驱动泵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(图1-6),由于可以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。

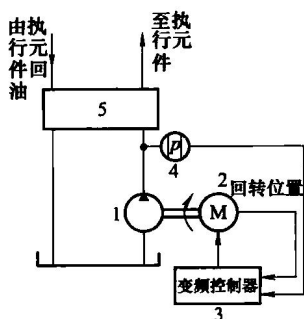


图 1-6 泵转速控制系统原理图

1—定量泵; 2—电动机; 3—变频控制器;
4—压力传感器; 5—换向阀

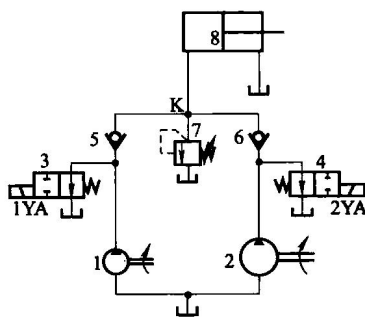


图 1-7 多定量泵组合供液系统

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

执行元件控制系统是通过改变变量液压马达排量或通过改变复合液压缸作用面积来控制流量来控制速度。与泵控系统类似,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机械。

1.4 液压技术的特点及应用

与其他传动技术相比较,尽管存在成本较高、传动效率偏低、难于实现严格定比传动、工作稳定性对温度较为敏感及故障不易寻找排除等不足,但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,因而使其获得了广泛应用。液压传动与其他传动方式的综合比较见表1-2。液压技术的用途见表1-3。

表 1-2 液压传动与其他传动方式的综合比较

性 能	液 压 传 动	气 压 传 动	机 械 传 动	电 气 传 动
输出力	大	稍大	较大	不太大
速度	较高	高	低	高
质量功率比	小	中等	较小	中等
响应性	高	低	中等	高
负载引起特性变化	稍有	很大	几乎无	几乎无
定位性	稍好	不良	良好	良好
无级调速	良好	较好	较困难	良好
远程操作	良好	良好	困难	特别好
信号变换	困难	较困难	困难	容易
调整	容易	稍困难	稍困难	容易
结构	稍复杂	简单	一般	稍微复杂
管线配置	复杂	稍复杂	较简单	不特别
环境适应性	较好,但易燃	好	一般	不太好
危险性	注意防火	几乎无	无特别问题	注意漏电
动力源失效时	可通过蓄能器完成若干动作	有余量	不能工作	不能工作
工作寿命	一般	长	一般	较短
维护要求	高	一般	简单	较高
故障诊断	困难	较困难	容易	较容易
价格	稍高	低	一般	稍高

表 1-3 液压技术的用途

应 用 场 合	采用液压技术的机器设备和装置
机械制造	离心铸造机、液压机、焊接机、淬火机、金属切削机床及数控加工中心、机械手及机器人等
能源与冶金工业	电站锅炉、煤矿液压支架及钻机、海洋石油钻井平台及石油钻机、船装液化天然气的卸料臂、高炉液压泥炮、轧机及板坯连铸机等、铝型材连续挤压生产线等
铁路和公路交通	铺轨机、隧道工程衬砌台车、汽车维修举升机、架桥机等
建材、建筑、工程机械及农林牧机械	陶瓷高压注浆成形机、钢筋弯箍机及校直切断机、混凝土泵、液压锤、碎石器、打桩机、越野起重机、各类挖掘机械、联合收割机、球果采集机器人、饲草打包机及压块机等
家用电器与五金制造	显像管玻壳剪切机、电冰箱压缩机电机转子叠片机、冰箱箱体折弯机、电冰箱内胆热成形机、制冷热交换器管件成形机、制钉机、门锁成形压机等
轻工、纺织及化工	表壳热冲压成形机、皮革熨平机、人造板热压机、木家具多向压机、纸张复卷机、骨肉分割机、纺丝机、印花机、卷染机、轧光机、注塑机、吹塑机、橡胶硫化机、乳化炸药装药机等
航空航天工程、河海工程及武器装备	大型客机、飞机场地面设备、卫星发射等航空航天设备、河流穿越设备、舵机、水下机器人及钻孔机、波浪补偿起重机、水库闸门启闭装置、炮塔仰俯装置、地空导弹发射装置等
计量质检、装置、特种设备、公共设施及抢险救灾设备	万能试验机、电梯、纯水灭火机、客运索道、剧院升降舞台、各类游艺机、捆钞机、医用牵引床、垃圾破碎机和压磨机、污泥自卸车、万吨高层建筑物的整体平移工程、破碎剪(锤)等



1.5 液压系统基本参数及其简要计算

1.5.1 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法向

作用力。静止液体中的压力 p (图 1-8) 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 ——液面上的压力, $p_0 = F/A$;

F ——液面上的法向作用力, N;

A ——液体的受压的面积, m^2 ;

ρgh ——液体自重所形成的压力;

ρ ——液体密度, kg/m^3 ;

g ——重力加速度, m^2/s ;

h ——液面至计算点的高度。

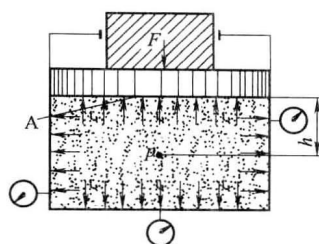


图 1-8 液体静压力的产生与分布

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 lb/in^2 (磅力/英寸²)。这些压力单位的换算关系如下:

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

$$1\text{标准大气压}(\text{atm}) = 1.01325 \times 10^5\text{Pa} = 10.33\text{mH}_2\text{O} = 760\text{mmHg}$$

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

$$1\text{lb}/\text{in}^2 = 6894.757293\text{Pa} = 0.068\text{工程大气压}(\text{at})$$

(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表 1-4 所列几个不同等级。

表 1-4 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	$> 2.5 \sim 8$	$> 8 \sim 16$	$> 16 \sim 32$	> 32

(3) 压力的传递。液压系统中压力的传递服从静压力传递原理 (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 1-8 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, 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 1-9)。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平衡的, 所以用普通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。

由图 1-9 可见, 绝对压力和相对压力的关系为:

$$\text{绝对压力} = \text{大气压} + \text{相对压力} = \text{大气压} + \text{表压力}$$

当液压系统中的绝对压力小于大气压时, 就称系统出现了真空, 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:

$$\text{真空度} = \text{大气压} - \text{绝对压力}$$

由图 1-9 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。