

21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



21st CENTURY
实用规划教材

液压与气压传动技术

主 编 袁 广 张 勤
副主编 王 霞 张晓旭 高桂云 邵林波



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

液压与气压传动技术

主 编 袁 广 张 勤
副主编 王 霞 张晓旭
高桂云 邵林波
参 编 宇海英



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本教材是为了满足高职高专机械工程类专业或近机类专业教学需要而编写的。

本书共分 18 章, 主要内容为液压传动概述、液压传动基础、液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助装置、液压基本回路、典型液压传动系统、液压传动系统的设计计算、液压伺服系统、气压传动概述、气压传动基础知识、气源装置及气动辅助元件、气动执行元件、气动控制元件、气动基本回路、气压传动系统实例和实验实训项目。本书各章后面有本章小结与习题, 以便学生更好地巩固与掌握所学的内容。为增强学生的实际动手能力, 提升理论联系实际的水平, 在本书第 18 章附有实验、实训教学内容, 以供各学校选用。

本书适合作为高职高专机械工程类专业教材, 亦可作为成人教育、职业培训和中等职业学校机械工程类专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动技术/袁广, 张勤主编. —北京: 北京大学出版社, 2008.8

(21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-13582-2

I. 液… II. ①袁… ②张… III. ①液压传动—高等学校: 技术学校—教材 ②气压传动—高等学校: 技术学校—教材 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 045127 号

书 名: 液压与气压传动技术

著作责任者: 袁 广 张 勤 主编

责任编辑: 赖 青

标准书号: ISBN 978-7-301-13582-2/TH·0093

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.25 印张 340 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 24.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

《21世纪全国高取高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

主任 傅水根

副主任 (按拼音顺序排名)

陈铁牛	李 辉	刘 涛	祁翠琴
钱东东	盛 健	王世震	吴宗保
张吉国	郑晓峰		

委员 (按拼音顺序排名)

蔡兴旺	曹建东	柴增田	程 艳
丁学恭	傅维亚	高 原	何 伟
胡 勇	李国兴	李源生	梁南丁
刘靖岩	刘瑞己	刘 铁	卢菊洪
马立克	南秀蓉	欧阳全会	钱泉森
邱士安	宋德明	王世辉	王用伦
王欲进	吴百中	吴水萍	武昭辉
肖 珑	徐 萍	喻宗泉	袁 广
张 勤	张西振	张 莹	周 征

丛书总序

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始, 伴随我国高等教育的快速发展, 高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内, 我国高等职业技术教育的规模, 无论是在校生数量还是院校的数量, 都已接近高等教育总规模的半壁江山。因此, 高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式提供高素质技能型人才的重任。随着我国经济建设步伐的加快, 特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变, 现代制造业急需高素质高技能的专业人才。

为了使高职高专机电类专业毕业生满足市场需求, 具备企业所需的知识能力和专业素质, 高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要, 努力建立培养企业生产第一线所需的高等职业技术应用型人才的教学体系和教材资源环境, 不断更新教学内容, 改进教学方法, 积极探讨机电类专业创新人才的培养模式, 大力推进精品专业、精品课程和教材建设。因此, 组织编写符合高等职业教育特色的机电类专业规划教材是高等职业技术教育发展的需要。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容, 高质量的教材是培养合格人才的基本保证。大力发展高等职业教育, 培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高素质技能型人才, 要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设, 编写和出版具有高等职业教育自身特色的教材。近年来, 高职教材建设取得了一定成绩, 出版的教材种类有所增加, 但与高职发展需求相比, 还存在较大的差距。其中部分教材还没有真正过渡到以培养技术应用能力为主的体系中来, 高职特色反映也不够, 极少数教材内容过于肤浅, 这些都对高职人才培养十分不利。因此, 做好高职教材改革与建设工作刻不容缓。

北京大学出版社抓住这一时机, 组织全国长期从事高职高专教学工作并具有丰富实践经验的骨干教师, 编写了高职高专机电系列实用规划教材, 对传统的课程体系进行了有效的整合, 注意了课程体系结构的调整, 反映系列教材各门课程之间的渗透与衔接, 内容合理分配; 努力拓宽知识面, 在培养学生的创新能力方面进行了初步的探索, 加强理论联系实际, 突出技能培养和理论知识的应用能力培养, 精简了理论内容, 既满足机械类专业对理论、技能及其基础素质的要求, 同时提供选择和创新的空間, 以满足学有余力的学生进修或探究学习的需求; 对专业技术内容进行了及时的更新, 反映了技术的最新发展, 同时结合行业的特色, 缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离, 具有鲜明的高等职业技术人才培养特色。

最后, 我们感谢参加本系列教材编著和审稿的各位老师所付出的大量卓有成效的辛勤劳动, 也感谢北京大学出版社的领导和编辑们对本系列教材的支持和编审工作。由于编写的时间紧、相互协调难度大等原因, 本系列教材还存在一些不足和错漏。我们相信, 在使用本系列教材的教师和学生的关心和帮助下, 不断改进和完善这套教材, 使之成为我国高等职业技术教育的教学改革、课程体系建设和教材建设中的优秀教材。

《21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材》

专家编审委员会

2007 年 7 月

前 言

《液压与气压传动技术》是为了适应高职高专机电类专业教学需要而编写的。

本教材在编写过程中，遵循的指导思想是：阐明基本原理，理论联系实际，注重实用性与针对性，以能力为本位，着重培养学生理解问题、分析问题和实际应用的综合能力。为此，在教材内容的选取与整合上，坚持“必须、够用”的原则，做到内容简练、重点突出、层次清楚。并充分考虑到高职高专学生基础理论薄弱且差异性较大的特点，弱化理论深度，强化实际应用，对多数公式直接给出，只对少数公式作了简单推导。力求使本教材能够适应高职高专教育的需要，并能较好地体现高职高专教育的特点与特色。

本教材教学时数为 60 学时，各校可根据实际情况作适当的增减。书中选学部分的内容用*号表示，第 18 章为实验实训项目，以供各校选用。

本教材由袁广、张勤任主编，王霞、张晓旭、高桂云、邵林波任副主编，宇海英任参编。全书由袁广统稿和定稿。

本教材第 1、2、10 章由内蒙古机电职业技术学院袁广编写；第 3、4、6 章由内蒙古机电职业技术学院王霞编写；第 5、9、18 章由内蒙古机电职业技术学院高桂云编写；第 7 章由昆明冶金高等专科学校邵林波编写；第 8 章由黑龙江农业经济职业学院宇海英编写；第 11、12、13、14 章由辽宁信息职业技术学院张晓旭编写；第 15、16、17 章由郑州铁路职业技术学院张勤编写。

本教材在编写过程中得到了有关院校的大力支持与帮助，内蒙古机电职业技术学院苏月对本教材在绘图与校对方面给予了帮助，在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者
2008 年 6 月

目 录

第 1 章 液压传动概述1	2.6 液压冲击和空穴现象 24
1.1 液压传动工作原理1	2.6.1 液压冲击 24
1.2 液压传动系统的组成及图形符号.....2	2.6.2 空穴现象 24
1.2.1 液压传动系统的组成.....2	本章小结 25
1.2.2 液压系统的图形符号.....3	习题 25
1.3 液压传动的优缺点3	第 3 章 液压动力元件 27
1.4 液压技术的发展概况3	3.1 概述 27
本章小结5	3.1.1 液压泵的工作原理与分类 27
习题5	3.1.2 液压泵的主要性能参数 28
第 2 章 液压传动基础6	3.2 齿轮泵 30
2.1 液压传动的工作介质6	3.2.1 外啮合齿轮泵..... 31
2.1.1 液压油的主要物理性质.....6	3.2.2 内啮合齿轮泵..... 33
2.1.2 对液压油的要求7	3.3 叶片泵 33
2.1.3 液压油的分类及选择.....8	3.3.1 单作用叶片泵..... 34
2.2 液体静力学9	3.3.2 限压式变量叶片泵..... 35
2.2.1 液体静压力及其特性.....10	3.3.3 双作用叶片泵..... 36
2.2.2 压力的表示方法及单位.....10	3.4 柱塞泵 37
2.2.3 液体静力学基本方程.....10	3.4.1 轴向柱塞泵的工作原理 38
2.2.4 静止液体中的压力传递 (帕斯卡原理).....11	3.4.2 排量和流量计算..... 38
2.2.5 静止液体对固体壁面的 作用力12	3.4.3 柱塞泵的应用特点..... 39
2.3 液体动力学13	3.5 液压泵的性能比较与选用 39
2.3.1 基本概念 13	本章小结 40
2.3.2 连续性方程15	习题 40
2.3.3 伯努利方程15	第 4 章 液压执行元件 41
2.3.4 动量方程18	4.1 液压缸的类型与特点..... 41
2.4 液体流动时管路内压力损失计算.....19	4.1.1 液压缸的分类..... 41
2.4.1 沿程压力损失19	4.1.2 特殊液压缸..... 44
2.4.2 局部压力损失19	4.2 液压缸的典型结构..... 46
2.4.3 管路中的总压力损失.....20	4.2.1 缸筒与缸盖的连接..... 46
2.5 液体流经孔口及缝隙的流量.....20	4.2.2 活塞与活塞杆的连接..... 47
2.5.1 流经小孔的流量20	4.2.3 液压缸的密封..... 48
2.5.2 液体流经间隙的流量.....22	4.2.4 液压缸的缓冲装置与排气 装置 51

4.3 液压缸结构尺寸的设计	52	6.1.2 管接头	87
4.3.1 液压缸工作压力的确定	52	6.2 滤油器和油箱	88
4.3.2 液压缸主要尺寸的确定	53	6.2.1 滤油器	88
4.3.3 液压缸、活塞杆长度的 确定	54	6.2.2 油箱	90
4.3.4 液压缸其他尺寸的确定	54	6.3 蓄能器	91
4.4 液压马达	55	6.3.1 蓄能器的功能	91
4.4.1 轴向柱塞式液压马达工作 原理	55	6.3.2 蓄能器的类型和结构特点	93
4.4.2 液压马达的主要性能参数	55	6.3.3 蓄能器的安装及使用注意 事项	94
本章小结	56	6.4 其他辅助装置	95
习题	56	6.4.1 流量计	95
第 5 章 液压控制元件	58	6.4.2 压力表	95
5.1 液压阀概述	58	6.4.3 压力表开关	96
5.1.1 液压阀的分类	58	本章小结	96
5.1.2 对液压阀的基本要求	58	习题	96
5.2 方向控制阀	59	第 7 章 液压基本回路	97
5.2.1 单向阀	59	7.1 方向控制回路	97
5.2.2 换向阀	60	7.1.1 换向回路	97
5.3 压力控制阀	66	7.1.2 锁紧回路	98
5.3.1 溢流阀	67	7.2 压力控制回路	99
5.3.2 减压阀	70	7.2.1 调压回路	99
5.3.3 顺序阀	72	7.2.2 减压回路	100
5.3.4 压力继电器	74	7.2.3 增压回路	101
5.4 流量控制阀	75	7.2.4 保压回路	102
5.4.1 节流口的流量特性和形式	75	7.2.5 卸荷回路	103
5.4.2 节流阀	77	7.2.6 平衡回路	104
5.4.3 调速阀	77	7.3 速度控制回路	105
5.4.4 溢流节流阀	79	7.3.1 调速回路	105
5.5 叠加阀、插装阀和比例阀	79	7.3.2 快速运动回路	115
5.5.1 叠加阀	79	7.3.3 速度切换回路	117
5.5.2 插装阀	81	7.4 多缸动作回路	119
5.5.3 电液比例阀	83	7.4.1 顺序动作回路	119
本章小结	85	7.4.2 同步回路	121
习题	85	7.4.3 多缸快慢速互不干涉回路	123
第 6 章 液压辅助装置	87	本章小结	124
6.1 油管与管接头	87	习题	124
6.1.1 油管	87	第 8 章 典型液压传动系统	128
		8.1 组合机床动力滑台液压系统	128
		8.1.1 液压系统的工作原理	129

8.1.2 系统特点	130	10.1.2 液压伺服系统的特点	149
8.2 万能外圆磨床液压系统	131	10.1.3 液压伺服系统的类型及组成	149
8.2.1 液压系统的工作原理	132	10.2 液压伺服阀及其应用	150
8.2.2 系统特点	134	10.2.1 机液伺服阀	150
8.3 机械手液压传动系统	135	10.2.1 电液伺服阀	153
8.3.1 机械手的作用、动作及组成	135	本章小结	155
8.3.2 机械手臂各动作工作原理	137	习题	156
8.3.3 系统特点	138	第 11 章 气压传动概述	157
本章小结	138	11.1 气压传动系统的工作原理及组成	157
习题	138	11.2 气压传动的优缺点	157
第 9 章 液压传动系统的设计计算	139	11.2.1 气压传动的优点	157
9.1 液压系统设计要求和工况分析	139	11.2.2 气压传动的缺点	158
9.1.1 明确液压系统设计要求和工况分析	139	11.3 气压传动的应用和发展	158
9.1.2 进行工况分析	140	本章小结	159
9.2 确定系统的主要参数	141	习题	159
9.2.1 系统工作压力的确定	141	* 第 12 章 气压传动基础知识	160
9.2.2 执行元件主要结构参数的确定	141	12.1 空气的物理性质	160
9.2.3 执行元件流量的确定	141	12.2 气体的状态方程	163
9.2.4 绘制执行元件的工况图	142	12.3 气体流动的基本方程	165
9.3 确定液压系统方案与拟定液压系统原理图	142	12.3.1 连续性方程	165
9.4 液压元件的计算和选择	143	12.3.2 伯努利方程	166
9.4.1 液压泵的选择	143	本章小结	166
9.4.2 液压控制阀的选择	144	习题	166
9.4.3 液压辅助元件的选择	145	第 13 章 气源装置及气动辅助元件	168
9.5 液压系统性能验算	145	13.1 气源装置	168
9.5.1 管路系统压力损失的验算	145	13.1.1 空气压缩机的分类	169
9.5.2 系统发热温升的验算	145	13.1.2 空气压缩机的工作原理	169
9.6 绘制工作图与编制技术文件	146	13.1.3 空气压缩机的选择	169
9.6.1 绘制工作图	146	13.2 气动辅助元件	170
9.6.2 编写技术文件	146	13.2.1 后冷却器	170
本章小结	147	13.2.2 除油器	171
习题	147	13.2.3 储气罐	171
第 10 章 液压伺服系统	148	13.2.4 空气干燥器	172
10.1 液压伺服系统概述	148	13.2.5 过滤器	173
10.1.1 液压伺服系统工作原理	148	13.2.6 油雾器	174

13.2.7 消声器.....	175	16.3 速度控制回路.....	200
本章小结.....	176	16.3.1 单作用汽缸速度控制回路.....	200
习题.....	176	16.3.2 双作用汽缸速度控制回路.....	200
第 14 章 气动执行元件.....	177	16.3.3 快速往返回路.....	201
14.1 汽缸.....	177	16.3.4 气液转换速度控制回路.....	201
14.1.1 普通汽缸.....	177	16.3.5 气液阻尼缸速度控制回路.....	202
14.1.2 特殊汽缸.....	179	16.4 其他常用基本回路.....	202
14.2 气动马达.....	181	16.4.1 延时回路.....	202
本章小结.....	182	16.4.2 安全保护回路.....	203
习题.....	182	16.4.3 双手操作回路.....	203
第 15 章 气动控制元件.....	183	16.4.4 顺序动作控制回路.....	204
15.1 方向控制阀及换向回路.....	183	本章小结.....	205
15.1.1 单向型方向控制阀.....	183	习题.....	205
15.1.2 换向型方向控制阀.....	184	第 17 章 气压传动系统实例.....	207
15.2 压力控制阀.....	187	17.1 工件夹紧气压传动系统.....	207
15.2.1 气动压力控制阀的分类.....	187	17.2 气动控制机械手.....	208
15.2.2 安全阀(溢流阀).....	188	17.3 其他气动系统简介.....	210
15.2.3 减压阀.....	188	17.3.1 数控加工中心换刀系统.....	210
15.2.4 顺序阀.....	189	17.3.2 工件尺寸自动分选机气动系统.....	211
15.3 流量控制阀.....	190	本章小结.....	211
15.3.1 节流阀.....	190	习题.....	212
15.3.2 单向节流阀.....	190	第 18 章 实验实训项目.....	213
15.3.3 排气节流阀.....	191	实验一 小孔压力—流量特性实验.....	213
15.3.4 柔性节流阀.....	191	实验二 液压泵性能实验.....	214
* 15.4 气动逻辑元件简介.....	192	实验三 溢流阀特性实验.....	215
15.4.1 气动逻辑元件.....	192	实验四 节流调速回路性能实验.....	216
15.4.2 气压逻辑回路.....	194	实训一 液压基本回路动作实训.....	218
本章小结.....	195	实训二 泵结构的拆装实训.....	219
习题.....	195	实训三 阀的拆装实训.....	219
第 16 章 气动基本回路.....	197	实训四 气动基本回路动作实训.....	220
16.1 方向控制回路.....	197	附录 A 常用液压与气动元件图形符号.....	222
16.1.1 单作用汽缸换向回路.....	197	附录 B 常用单位符号.....	226
16.1.2 双作用汽缸换向回路.....	197	参考文献.....	227
16.2 压力控制回路.....	198		
16.2.1 一次压力控制回路.....	199		
16.2.2 二次压力控制回路.....	199		
16.2.3 高低压转换回路.....	199		

第 1 章 液压传动概述

教学目标与要求:

- 理解液压传动的工作原理
- 掌握液压传动系统的组成及图形符号
- 掌握液压传动的优缺点
- 了解液压技术的发展概况

教学重点:

- 液压传动的工作原理
- 液压传动系统的组成
- 液压传动的优缺点

液压传动是以液压油为工作介质,利用各种元件组成所需的基本回路,再由若干回路有机地组成能完成一定控制功能的传动系统来进行能量的传递与转换,以实现各种机械传动和自动控制的传动形式。本章主要介绍液压传动的工作原理和液压传动系统的组成及图形符号。

1.1 液压传动工作原理

液压传动是利用静压传动原理来工作的,工作介质为液体。液压千斤顶的传动原理如图 1.1 所示。图中大、小液压缸 6 和 3 内分别装有活塞 7 和 2,活塞与缸体有良好的配合关系。其中小液压缸是液压系统的动力元件,大液压缸是液压系统的执行元件。当用手提起杠杆 1 时,小活塞也随之上升,小液压缸下腔的密闭容积增大,压力下降,形成部分真空,油箱的油液在大气压力的作用下,经油管 and 单向阀 4 进入小液压缸,此时单向阀 5 关闭。接着压下杠杆 1,小活塞下移(此时单向阀 4 关闭,油液不能流回油箱),腔内压力升高。当压力达到一定大小时,油液便打开单向阀 5,进入大液压缸 6 的下腔,推动大活塞上移将重物 G 举起。若如此反复上述动作,则重物就会不断升起,直至达到要求的位置。由此可知,液压千斤顶力与运动的传递就是通过液压缸内的液体来实现的。

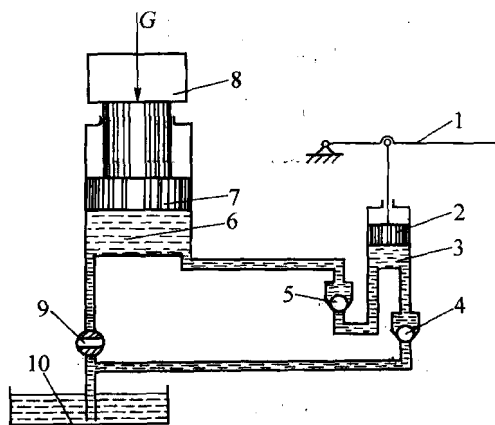


图 1.1 液压千斤顶工作原理简图

1—杠杆; 2—小活塞; 3、6—液压缸; 4、5—单向阀;
7—大活塞; 8—重物; 9—放油阀; 10—油箱

1.2 液压传动系统的组成及图形符号

1.2.1 液压传动系统的组成

图 1.2 是一台简化了的磨床工作台液压系统的工作原理图。电动机带动液压泵 3 从油箱 1 吸油，并将压力油送入管路。从液压泵输出的压力油就是推动工作台往复运动的能量来源。

当换向阀处于图 1.2(a)所示位置时，压力油首先经过节流阀 5，再经换向阀 6、油管，然后进入液压缸 9 左腔，推动活塞 7 并带动工作台 8 向右运动。液压缸右腔的油液被排出，经油管、换向阀 6 和油管流回油箱。

当换向阀处于图 1.2(b)所示位置时，由液压泵输出的液压油经节流阀 5、换向阀 6、油管，进入液压缸 9 的右腔，推动活塞并带动工作台向左运动，而液压缸左腔的油液经油管、换向阀 6、油管流回油箱。

工作台在作往复运动时，其速度由节流阀 5 调节，克服负载所需的工作压力由溢流阀 4 控制。

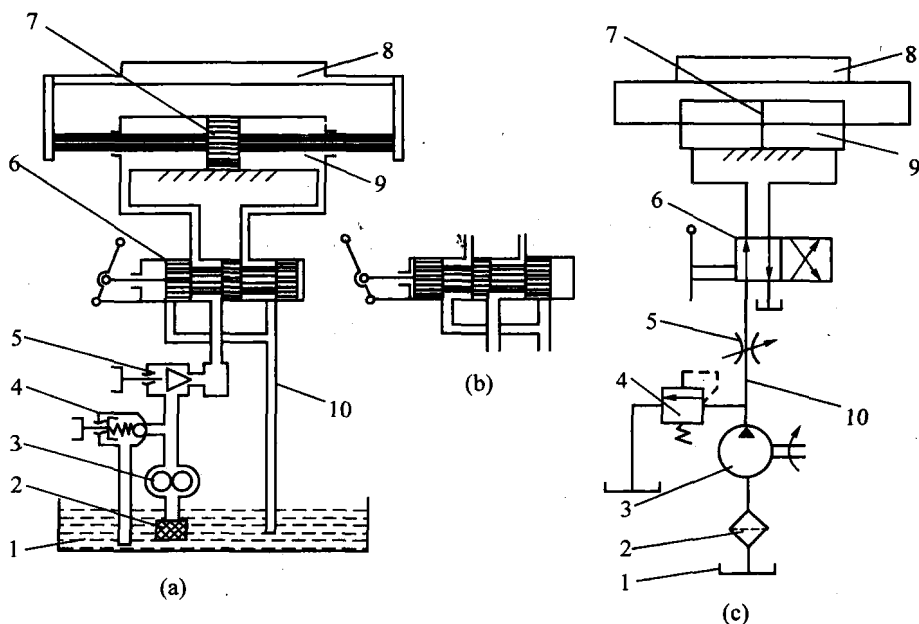


图 1.2 液压系统工作原理图

1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；5—节流阀；6—换向阀；7—活塞；8—工作台；9—液压缸；10—油管

从上面的例子可知，液压传动系统由以下 4 个主要部分组成。

(1) 动力元件(液压泵)。它向液压系统供给压力油，将电动机输出的机械能转换为液体的压力能。

(2) 执行元件(液压缸、液压马达)。它将液体的压力能转换为机械能。

(3) 控制元件。它控制液体的压力、流量和方向，保证执行元件完成预期的动作要求。如压力阀、流量阀、方向阀等。

(4) 辅助元件。如油管、油箱、滤油器、压力表等，其功能为连接、储油、过滤、测量作用等。上述这些液压元件将在以后各节中分别进行介绍。

1.2.2 液压系统的图形符号

如图 1.2(a)所示的液压系统工作原理图，其中各元件的图形基本上表达了它的结构原理，故称为结构原理图。其优点是直观、便于理解，但结构复杂、难于绘制。在实际工作中，一般用图形符号来绘制，如图 1.2(c)所示。图形符号只表示元件的功能，并不表示元件的具体结构和参数，具有图形简单、原理明了的优点，便于阅读、分析、设计和绘制。

1.3 液压传动的优缺点

液压传动之所以能得到广泛的应用，是由于其具有如下优点：

(1) 液压传动与机械传动、电气传动方式相比，在输出相同功率的条件下，具有体积小、重量轻、惯性力小、动作灵敏的特点。

(2) 工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。这是机械设备中尤其是金属切削机床常用液压传动的主要原因。

(3) 可以在较大的调速范围内较方便地实现无级调速。

(4) 操作简单，便于实现自动化。

(5) 液压装置易于实现过载保护，能自润滑，使用寿命长。

(6) 液压元件易于实现系列化、标准化、通用化，便于设计、制造和推广使用。

任何事物都是一分为二的，液压传动也存在如下缺点：

(1) 由于液压传动的泄漏与液体的可压缩性，因此液压传动不宜用在传动比要求严格的传动中。

(2) 液压传动能量损失大，因此传动效率低。

(3) 液压传动对温度变化比较敏感，故不易在低温或高温下工作。

(4) 发生故障不易检查和排除。

随着科学技术的发展，这些缺点正在被逐步克服。

1.4 液压技术的发展概况

液压技术从 1795 年英国制造出第一台水压机起，已有 200 多年的历史。然而在工业上的真正推广使用却是在 20 世纪 60 年代中叶。20 世纪 60 年代以来，随着原子能、航空航天技术、微电子技术的发展，液压技术在更深、更广阔的领域得到了发展。20 世纪 60 年代出现了板式、叠加式液压阀系列，发展了以比例电磁铁为电气—机械转换器的电磁比例控制阀并被用于工业控制中；70 年代出现了插装式系列液压元件；80 年代以来，液压技术与现代数学、力学、计算机技术等相结合，出现了电子放大器、传感测量元件和液压控制单元相互集成的机电一体化产品；近 20 年来，人们又重新认识和研究以纯水作为工作介质

的纯水液压传动技术，并在理论和应用研究上都得到了发展，逐渐成为液压技术中的热点技术和新的发展方向。

液压技术的应用领域，几乎涵盖了国民经济的各个部门。从机械加工及装配线到材料压延和塑料成型设备；从建筑及工程机械到农业及环境保护设备；从电力、煤炭等能源机械到石油天然气探采及各类化工设备；从矿山开采机械到钢铁冶金设备；从橡胶、皮革、造纸等轻工机械到家用电器、电子信息产品自动生产线及印刷、办公自动化设备；从食品机械及医疗器械到娱乐休闲及体育训练器械；从航空航天到船舶、铁路和公路运输车辆；等等。液压传动与控制已成为现代机械工程的基本要素和工程控制的关键技术之一。

21世纪将是信息化、网络化、知识化和全球化的世纪。随着信息技术、生物技术、纳米技术等新科技的日益发展，将对液压传动与控制技术带来革命性的变化。

当前，液压技术正向高压、高速、高效、低噪声、低能耗、经久耐用、数字化、高度集成化、机电一体化等方向发展。

我国的液压技术是随着新中国的建立、发展而发展起来的。1952年，上海机床厂试制出了我国第一台液压齿轮泵，1959年国内成立了首家专业化液压制造企业——天津液压件厂。1965年为适应液压机械从中低压向高压方向的发展，成立了榆次液压件厂，并同时引进了日本和美国的液压元件及制造设备。1966—1968年以原广州机床研究所为主联合开发出包括方向、压力、流量三大类液压阀、液压泵及液压马达等共187个品种、1000余个规格，并相继批量投产。至此已基本形成了一个独立的液压元件制造工业体系。

20世纪70年代，我国为了赶超世界先进水平，在高压液压阀品种规格逐渐增多的情况下，由众多科研院所、高等院校组成联合设计组，完成了高压阀新系列图纸的设计，使100多个品种、3000多个规格在安装尺寸等与国际相应标准实现了统一，至此液压元件在标准化、系列化和通用化方向迈出了较大的步伐。几乎与此同时，广州机床厂、上海液压件一厂、大连组合机床研究所、北京机床研究所、济南铸锻机械研究所先后研究开发成功并生产出了电液比例溢流阀和电液比例流量阀、电液伺服阀和电液脉冲马达，以及插装阀等液压元件，使我国的液压技术得到了大力发展。可以说，20世纪70年代是我国液压元件与品种发展最多的时期之一，也是成就最辉煌的时期之一。

进入20世纪80年代，在国家改革开放方针的指引下，为适应机械工业发展的需要，先后引进了40余项国外先进液压技术，并及时进行了消化吸收与批量生产，多数成为企业的主导产品，从此我国液压技术又进入了一个快速发展的时期。1991—1998年，国家、地方和企业共计投资约16亿元，加大了企业的技术改造力度，一批主要企业的技术水平得到了进一步提高、工艺装备得到了很大改善，为形成高起点、专业化、批量生产打下了良好的基础。特别是近几年，在国家多种所有制共同发展方针的指引下，使液压技术得到了更为快速的发展。尤其是对外出口增长显著，对外合作关系与领域也得到了进一步的加强和拓展。经过半个多世纪的努力，我国液压行业已形成了门类比较齐全、有一定生产能力和技术水平的工业体系。目前，液压产品有1200多个品种、10000多个规格，能适应各类机电产品的一般需要，为重大成套装备的品种配套率逐年提高。据2004年统计，液压行业工业总产值达到103亿元，创历史最高水平。

我国的液压元件制造业已能为金属材料工程、机床与汽车工业、电力与煤炭工业、石油天然气探采与化工装备、矿山及冶金机械、国防及武器装备、航空与河海工程、轻工纺织、工程机械及农业机械等行业提供较为齐全的液压元件产品。虽然取得了举世瞩目的成就，但同时还应当看到我们的不足，主要反映在以下几个方面：

(1) 产品品种少(例如约为美国的 1/6、德国的 1/5)、水平低、质量不稳定、早期故障率高、可靠性差。

(2) 专业化程度低、规模小、经济效益低。

(3) 科研开发力量上较薄弱，技术进步缓慢。

(4) 液压气动产品国际市场容量大，而我国的出口量与先进国家相比所占份额仍然很小，发展余地很大。

随着我国综合国力的增强，科学技术的进步及产业与产品结构的大力调整，我们相信，我国的液压技术将会得到更大的发展，对我国和世界液压工业将会做出更大的贡献。

本章小结

(1) 液压传动是以液体作为工作介质来传递运动和动力。

(2) 液压传动系统是由动力元件、执行元件、控制调节元件、辅助元件 4 个部分组成。

习 题

1-1 试述液压传动的工作原理及其组成。

1-2 液压传动与机械传动相比有哪些优缺点？

1-3 试述液压传动的发展概况。

第2章 液压传动基础

教学目标与要求:

- 掌握液压传动工作介质的可压缩性和粘性
- 了解液压油的分类和选择
- 掌握液体静力学规律
- 掌握液体动力学规律
- 掌握液体流动时管路内压力损失计算
- 掌握液体流经孔口及缝隙时的流量计算
- 了解液压冲击和空穴现象

教学重点:

- 液压油的可压缩性和粘性, 粘度与压力、温度的关系
- 液体静压力的特性、压力的表示方法和静力学基本方程
- 液体的连续性方程、伯努利方程和动量方程
- 液体流动时的压力损失计算
- 液体流经孔口及缝隙的流量

教学难点:

- 压力的表示方法及绝对压力、相对压力和真空度之间的关系
- 液体的连续性方程和伯努利方程所表示的物理意义及应用

液体是液压传动的工作介质, 了解液体的性质、液体的静力学和动力学规律, 对于正确理解液压传动原理, 以及合理设计、使用和维修液压系统是十分重要的。

2.1 液压传动的工作介质

液体作为液压传动的工作介质, 最常用的工作介质是液压油。液压油的基本性质和合理选用对液压系统的工作状态影响很大。

2.1.1 液压油的主要物理性质

1. 可压缩性

液体受压力的作用发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。液体的可压缩性可用体积压缩系数 β 来表示, 即

$$\beta = -\frac{1}{\Delta p} \times \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2-1)$$

式中： β ——体积压缩系数；

ΔV ——液体的体积变化量；

V_0 ——液体的初始体积；

Δp ——压力变化值。

式中的负号是为使 β 为正值而取的，因为 $\Delta p > 0$ 时， $\Delta V < 0$ 。

由式(2-1)可知，液体体积压缩系数 β 越大，说明液体受压后，可压缩性大；反之，体积变化小，可压缩性小。

液体的可压缩性对液压系统的动态性能影响较大，因此对高压系统或对液压系统进行动态特性分析和计算时，必须考虑液体可压缩性的影响；对于中、低压液压系统，因液体的可压缩性很小，一般认为液体是不可压缩的。当液体中混入空气时，其可压缩性将显著增加，并将严重地影响液压系统的工作状态。

2. 粘性

液体在外力作用下流动(或有流动趋势)时，由于分子间的内聚力要阻止分子间相对运动，会产生一种内摩擦力，通常把液体的这种特性称为粘性。液体只有在流动(或有流动趋势)时才呈现粘性，静止液体不呈现粘性。粘性是液体的重要物理性质，也是选择液压油的主要依据。

液体粘性的大小用粘度来表示，粘度是液压油划分牌号的主要依据。我国液压油的牌号就是用液压油在 40°C 时运动粘度的平均值表示的。如L-HL-46液压油，是指这种油液在 40°C 时的运动粘度平均值为 $46\text{mm}^2/\text{s}$ 。

对液体粘度影响的主要因素是压力和温度：

(1) 压力。当工作压力增大时，液体分子间的距离减小，内摩擦力增大，即粘度也将随之增大；但在一般液压系统使用的压力范围内，粘度增大的数值很小，故可忽略不计。

(2) 温度。液压油的粘度对温度十分敏感，温度升高，粘度下降。我国把液压油的粘度随温度变化的性质称为粘温特性。通常情况下低温应选择粘度小的油液，以减小摩擦；高温应选择粘度大的油液。几种国产液压油的粘温特性曲线如图2.1所示。

2.1.2 对液压油的要求

在液压传动系统中，为了更好地传递运动和动力，液压油应满足下列要求：

- (1) 合适的粘度 $\nu=(15\sim 68)\times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$ ，良好的粘温特性。
- (2) 润滑性能好，质地纯净，杂质少。
- (3) 对热、氧化、水解和剪切都有良好的稳定性。
- (4) 有良好的抗泡沫性和抗乳化性，对金属和密封件有良好的相容性。
- (5) 体积膨胀系数、流动点和凝固点低，比热、闪点和燃点高。
- (6) 对人体无害，对环境污染小，成本低。