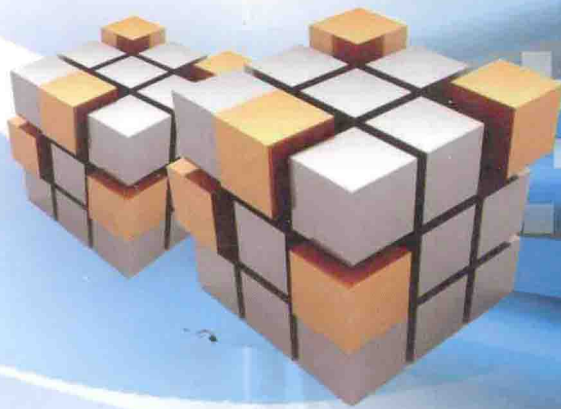


普通高等教育“十二五”规划教材

液压气压传动与控制

徐瑞银 苏国秀 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

液压气压传动与控制

主 编 徐瑞银 苏国秀

参 编 李东民 周连伶 王荣杰

主 审 肖林京

机械工业出版社

本书是根据教育部机电类专业本科教育人才培养目标和培养方案及教学大纲的要求编写的。全书共 13 章,第 1 章介绍液压与气压传动的基本概念及其工程应用,第 2 章介绍液压介质及其液压流体力学基础知识,第 3~6 章主要介绍液压泵、液压马达、液压缸、液压阀和液压辅助元件的典型结构、工作原理及性能特点,第 7 章介绍液压基本回路的分类、构成和功能,第 8 章介绍典型液压系统的原理、特点及分析液压系统的方法,第 9 章介绍液压系统的设计与计算,第 10 章介绍液压控制系统的基本理论、液压伺服阀和液压动力机构的结构、特性及其分析方法等,第 11~13 章介绍气压传动基础知识、气源装置与气动元件、气动基本回路与气动系统的组成、工作原理、分析及设计方法。

本书适用于高等院校机械类、机电类、动力工程类等各专业,也可供从事液气气压传动与控制的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

液气气压传动与控制/徐瑞银,苏国秀主编. —北京:机械工业出版社,2014.8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-46887-5

I. ①液… II. ①徐…②苏… III. ①液压传动-高等学校-教材
②气压传动-高等学校-教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 141449 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:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 李超 余皞

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:张静 责任印制:李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15.75 印张·378 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-46887-5

定价:32.00 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

本书是根据教育部机电类专业本科教育人才培养目标和培养方案及教学大纲的要求编写的。

流体传动、机械传动与电气传动一起组成了三大动力传动与控制技术，在机械工程、动力工程、自动化等领域起着基础性及其关键性的作用。流体传动包括液压、气压传动与控制，液力传动，是机械类、自动化类、动力类等理论应用型人才知识结构的重要组成部分。

全书共分十三章，按照概念准确、分析透彻、结构典型、理论联系实际、体现新成果的原则编写，主要阐述了液压、气压传动与控制两个部分的内容，包括液压（气压）传动基础知识、液压（气压）元件、液压（气压）基本回路、典型液压传动系统、液压伺服和电液比例控制技术、液压（气压）传动系统设计方法的基本知识体系。为了方便教学和学生学学习，本书还配有教学课件供授课教师选用，教师可通过 www.cmpedu.com 下载使用。

本书由徐瑞银、苏国秀任主编。参加本书编写的有：山东科技大学徐瑞银（第1、4、6、7章）、李东民（第2、8、9章），山东农业大学苏国秀（第3、5章，附录），江苏师范大学周连佺（第10、11章），龙岩学院王荣杰（第12、13章）。

山东科技大学博士生导师肖林京教授担任主审，对章节内容作了详细审阅，对本书的编写提出了许多宝贵的意见和建议。本书在编写过程中，得到了许多同行老师和企业同行专家的帮助，也参阅了以往其他同类教材和文献资料，在此一并表示感谢。

本书主要作为高等院校液压气压传动与控制类课程的教学用书，也可作为普通高等院校其他相关专业的教材或参考书，还可作为各类职工大学、职业技术学院、函授大学、电视大学等相关专业的教材或参考书，并可供该专业的工程技术人员和科技工作者参考使用。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏及缺点，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第1章 概论	1
1.1 液压传动基础	1
1.1.1 液压传动的工作原理	1
1.1.2 液压传动系统的组成	2
1.1.3 液压传动系统的图形符号	3
1.2 液压传动的特点	4
1.2.1 液压传动的优点	4
1.2.2 液压传动的缺点	4
1.3 液压传动的应用与发展趋势	4
1.3.1 液压传动的应用	4
1.3.2 液压传动的发展趋势	5
1.4 气压传动基础	5
1.4.1 气压传动的工作原理与系统组成	5
1.4.2 气压传动的特点	6
1.4.3 气压传动的应用与发展	7
思考与练习	9
第2章 流体力学基础	10
2.1 液压传动的工作介质	10
2.1.1 液压油的功能与基本要求	10
2.1.2 液压油的特性	11
2.1.3 液压油的质量指标与选择	13
2.1.4 液压油污染与控制	15
2.2 流体静力学	17
2.2.1 静压力及其特性	17
2.2.2 静压力基本方程式	18
2.2.3 压力的表示方法与测量	19
2.2.4 静压力的传递	20
2.2.5 静压力对固体壁面的作用力	20
2.3 流体动力学	21
2.3.1 基本概念	21
2.3.2 连续性方程	22
2.3.3 伯努利方程	23
2.3.4 动量方程	25
2.4 管路中流体的能量损失	25
2.4.1 流体流动的状态与雷诺数	25
2.4.2 流体流动的压力损失	27
2.5 孔口流动	29
2.5.1 流体流经孔口的压力-流量特性	29
2.5.2 锥阀阀口压力-流量特性	30
2.6 缝隙流动	31
2.6.1 平行平板缝隙流动	31
2.6.2 环形缝隙流动	32
2.7 流体流动过程中的冲击与气穴和气蚀现象	33
2.7.1 流体流动的冲击	33
2.7.2 气穴和气蚀现象	34
思考与练习	35
第3章 液压泵	37
3.1 液压泵概述	37
3.1.1 液压泵的工作原理	37
3.1.2 液压泵的主要参数	37
3.1.3 液压泵的分类	39
3.1.4 液压泵的图形符号	39
3.2 齿轮泵	40
3.2.1 齿轮泵的工作原理与流量计算	40
3.2.2 齿轮泵的结构特点	41
3.2.3 内啮合齿轮泵	44
3.2.4 螺杆泵	44
3.2.5 齿轮泵的选择与使用	45
3.3 叶片泵	45

3.3.1 单作用叶片泵	45	5.5.1 压力表	87
3.3.2 双作用叶片泵	48	5.5.2 压力表开关	87
3.3.3 叶片泵的选择与使用	51	5.6 密封装置	88
3.4 柱塞泵	51	5.6.1 对密封装置的要求	88
3.4.1 径向柱塞泵	51	5.6.2 密封装置的类型及特点	88
3.4.2 轴向柱塞泵	52	思考与练习	90
3.5 液压泵的选用	57	第6章 液压控制阀	91
思考与练习	58	6.1 方向控制阀	91
第4章 液压执行元件	60	6.1.1 单向阀	91
4.1 液压马达	60	6.1.2 换向阀	93
4.1.1 液压马达的类型	60	6.1.3 多路换向阀	102
4.1.2 液压马达的主要参数	60	6.2 压力控制阀	106
4.1.3 液压马达的图形符号	62	6.2.1 溢流阀	106
4.2 液压马达的结构与工作原理	62	6.2.2 减压阀	110
4.2.1 高速小转矩液压马达	62	6.2.3 顺序阀	112
4.2.2 低速大转矩液压马达	65	6.2.4 溢流阀、减压阀与顺序阀的 比较	113
4.3 液压缸	67	6.2.5 压力继电器	113
4.3.1 液压缸的类型与应用	67	6.3 流量控制阀	114
4.3.2 液压缸的典型结构	71	6.3.1 节流阀	114
4.3.3 液压缸的设计	74	6.3.2 调速阀	115
思考与练习	75	6.3.3 分流集流阀	117
第5章 液压辅助元件	77	6.4 叠加阀与插装阀	118
5.1 蓄能器	77	6.4.1 叠加阀	118
5.1.1 蓄能器的类型及特点	77	6.4.2 二通插装阀	119
5.1.2 蓄能器的功用	78	6.5 电液比例控制元件	123
5.1.3 蓄能器的安装及使用	79	6.5.1 比例电磁铁	123
5.1.4 蓄能器的参数计算	79	6.5.2 比例放大器	123
5.2 过滤器	80	6.5.3 比例阀的典型结构	124
5.2.1 过滤器的功用和过滤精度	80	6.6 电液数字阀	126
5.2.2 过滤器的类型及其选用	80	6.6.1 电液数字阀的工作 原理与组成	126
5.2.3 过滤器的安装位置	82	6.6.2 电液数字阀的典型结构	126
5.3 油管及管接头	83	思考与练习	127
5.3.1 油管	83	第7章 液压基本回路	129
5.3.2 管接头	84	7.1 压力控制回路	129
5.4 液压油箱	85	7.1.1 调压回路	129
5.4.1 油箱的功用及类型	85	7.1.2 减压回路	129
5.4.2 油箱的结构	85		
5.5 压力表及压力表开关	87		

7.1.3	增压回路	130	8.5.3	VP1050 型立式加工中心液压系统	164
7.1.4	卸荷回路	130		思考与练习	165
7.1.5	平衡回路	132	第 9 章 液压系统设计与计算	167	
7.1.6	保压回路	133	9.1	设计要求与运动负载分析	167
7.2	速度控制回路	135	9.1.1	明确设计要求	167
7.2.1	节流调速回路	135	9.1.2	执行组件运动分析与负载分析	167
7.2.2	容积调速回路	138	9.2	执行组件主要参数的确定	169
7.2.3	容积节流调速回路	140	9.2.1	初选执行组件的工作压力	169
7.3	多缸动作控制回路	142	9.2.2	确定执行组件的主要机构参数	170
7.3.1	顺序动作回路	142	9.2.3	验算执行组件的工作压力	170
7.3.2	同步动作回路	144	9.2.4	绘制执行组件的工况图	171
7.3.3	互不干扰回路	145	9.3	液压系统原理图的拟订	171
	思考与练习	146	9.3.1	确定油路类型	171
第 8 章 典型液压系统分析		148	9.3.2	选择液压回路	171
8.1	YT4543 型组合机床动力滑台液压系统	148	9.3.3	绘制液压系统原理图	172
8.1.1	动力滑台功能结构	148	9.4	液压组件的计算和选择	172
8.1.2	液压系统组成及工作原理	148	9.4.1	选择液压泵	172
8.1.3	液压系统与运动过程	149	9.4.2	选择阀类组件	173
8.1.4	液压系统的特点	150	9.4.3	选择液压辅助组件	173
8.2	M1432 型万能磨床液压系统	150	9.4.4	阀类组件配置形式的选择	174
8.2.1	液压系统的功能	150	9.5	液压系统技术性能的验算	174
8.2.2	液压系统与运动过程	151	9.5.1	系统压力损失的验算	175
8.2.3	液压系统的特点	154	9.5.2	系统发热温升的验算	175
8.3	1m ³ 履带式全液压单斗挖掘机液压系统	155	9.6	绘制正式工作图和编制技术文件	176
8.3.1	主机功能结构	155	9.6.1	绘制正式工作图	176
8.3.2	液压系统与运动过程	155	9.6.2	编制技术文件	176
8.4	YT32-315 型压力机液压系统	157	9.7	液压系统设计计算举例	176
8.4.1	主机功能与要求	157	9.7.1	明确液压系统设计要 求	177
8.4.2	液压系统与运动过程	157	9.7.2	分析液压系统工况	177
8.4.3	液压系统的特点	159	9.7.3	确定液压缸的主要参数	177
8.5	数控机床液压系统	160	9.7.4	拟订液压系统原理图	178
8.5.1	MJ-50 型数控车床液压系统	160	9.7.5	选择液压组件	179
8.5.2	TND360 型数控车床液压系统	162	9.7.6	液压系统性能的验算	180
				思考与练习	180

第 10 章 液压控制系统	182	12.2 气动执行元件	210
10.1 液压控制系统概述	182	12.2.1 气缸	210
10.1.1 液压控制系统的工作原理和组成	182	12.2.2 气动马达	213
10.1.2 液压控制系统的分类	183	12.3 气动控制元件	215
10.2 液压控制元件	184	12.3.1 压力控制阀	215
10.2.1 液压伺服阀的结构与分类	184	12.3.2 流量控制阀	217
10.2.2 零开口四通滑阀的静态特性	188	12.3.3 方向控制阀	217
10.2.3 喷嘴挡板阀的静态特性	191	12.3.4 气动比例阀及伺服阀	221
10.3 液压控制系统实例	194	12.4 气动逻辑控制元件与阀岛	223
10.3.1 液压仿形刀架控制系统	194	12.4.1 气动逻辑元件的基本功能与分类	223
10.3.2 机械手手臂伸缩控制系统	195	12.4.2 高压截止式逻辑元件	223
10.3.3 压铸机数字阀控制系统	196	12.4.3 气动阀岛	225
思考与练习	197	思考与练习	225
第 11 章 气压传动基础知识	198	第 13 章 气动基本回路及其系统	226
11.1 空气的性质	198	13.1 气动基本回路	226
11.1.1 空气的物理性质	198	13.1.1 压力控制回路	226
11.1.2 湿空气及其参数	198	13.1.2 换向控制回路	227
11.2 气体状态方程式	199	13.1.3 速度控制回路	227
11.2.1 理想气体状态方程	200	13.1.4 气液联动控制回路	228
11.2.2 气体状态变化热力过程	200	13.2 典型气动控制系统气动控制回路设计	230
11.2.3 气体流动基本方程	201	13.2.1 典型气动控制系统	230
11.2.4 声速与马赫数	203	13.2.2 气动控制回路设计	232
思考与练习	204	思考与练习	234
第 12 章 气源设备与气动元件	205	附录 常用液压气动元件图形符号 (摘自 GB/T 786.1—2009)	235
12.1 气源设备与辅助元件	205	参考文献	242
12.1.1 气源设备	205		
12.1.2 辅助元件	208		

第 1 章

概 论

1.1 液压传动基础

1.1.1 液压传动的工作原理

传动即动力的传递，是把原动机的能量通过某种方式传送到执行机构，带动执行机构实现一定的运动。按照传动部件（或工作介质）的不同，传动分为机械传动、电气传动、流体传动（液体传动和气体传动）及复合传动等类型。液体传动又包括液力传动和液压传动。液力传动是以液体的动能实现能量传动的液体传动；液压传动是以液体为工作介质，并以压力能进行动力（或能量）的传递、转换与控制的液体传动。

液压千斤顶是应用液压传动原理进行工作的简单而常用的机械设备，现以图 1-1 所示液压千斤顶为例说明液压传动系统的工作原理。

在图 1-1 中，小液压缸 2、单向阀 5、7、小活塞 3 构成手动液压泵，实现系统的吸油与排油。当提起杠杆 1 时，活塞 3 向上移动，油腔 4 的工作容积增大，形成局部真空，单向阀 5 开启，油箱 6 中的油液在大气压力的作用下进入油腔 4（此时单向阀 7 关闭）；当压下杠杆 1 时，小活塞 3 向下移动，油腔 4 下腔的容积缩小，油液的压力升高，打开单向阀 7，关闭单向阀 5，油腔 4 的油液进入工作液压缸 12 的油腔 10（此时截止阀 8 关闭），使大活塞 11 向上运动，将重物升起一段距离。如此反复提压杠杆 1，就可以使重物不断上升，达到提起重物的目的。工作完毕，打开截止阀 8，使油腔 10 中的油液通过管路直接流回油箱 6，大活塞 11 在外力或自重作用下实现回程，恢复到原始位置。

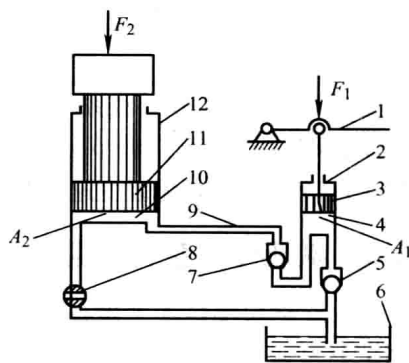


图 1-1 千斤顶液压传动原理图

- 1—杠杆 2—小液压缸 3—小活塞
- 4、10—油腔 5、7—单向阀 6—油箱
- 8—截止阀 9—油管 11—大活塞
- 12—工作液压缸

从液压千斤顶的工作原理可以看出，液压传动具有以下特性：

1) 液压传动以液体作为能量传递的工作介质，由动力装置（液压泵）把机械能转换为液体的压力能，通过执行元件（液压缸、液压马达）把液体的压力能转换为机械能对外做功。

2) 液压传动的能量转换过程必须在密闭的系统中进行，且密封的工作容积必须发生变化。

3) 力的传递是由液体的压力实现的，液压系统的工作压力取决于负载的大小。

在图 1-1 中, 设 F_2 为作用在大活塞 11 上的负载力, A_2 表示大活塞 11 的面积, p_2 表示 F_2 在油腔 10 中产生的液体压力; F_1 为作用在小活塞 3 上的原动力, A_1 表示小活塞 3 的面积, p_1 表示 F_1 在油腔 4 中产生的液体压力。根据液体静压力形成原理可得

$$\left. \begin{aligned} F_2 &= p_2 A_2 \\ F_1 &= p_1 A_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

在不考虑管路的压力损失的情况下, 液压泵排出的液体压力 p_1 与油腔 10 中的液体压力 p_2 相等, 即

$$p_2 = p_1 = p \quad (1-2)$$

所以, 系统的输出力 F_2 为

$$F_2 = p_2 A_2 = p A_2 = \frac{F_1}{A_1} A_2 \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 可知, 液压系统的排出压力, 即系统的工作压力 p 是由负载力 F_2 的大小确定的, 负载越大, 系统的工作压力就越大; 系统在进行力的传递过程中也完成了力的放大, 也就是液压系统省力的机理。

4) 工作机构的运动速度取决于液压泵排出的液体的流量。设小活塞 3 的位移为 S_1 , 大活塞 11 的位移为 S_2 , 在不考虑液体压缩性及其泄漏、管道变形的情况下, 两活塞运动时两缸中的容积变化相等, 即

$$A_1 S_1 = A_2 S_2 \quad (1-4)$$

式 (1-4) 两边同除以运动时间 t , 整理后得

$$q_1 = A_1 v_1 = A_2 v_2 = q_2 \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 可知, 在系统结构参数理想情况下, 执行元件的运动速度取决于输入流量的大小, 即 $v_2 = q_2 / A_2$, 调节进入到液压缸中的油液流量 q_2 即可改变负载活塞运动速度 v_2 , 这就是液压系统具有无级变速的基本原理。

1.1.2 液压传动系统的组成

图 1-2 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, 溢流阀打开, 对系统起到超载保护作用。如将图 1-2 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。

从机床工作台液压系统的工作过程可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统，应该由以下五个主要部分组成：

(1) 动力元件 供给液压系统压力油，把原动机的机械能转换为液体的压力能，输出具有一定压力和流量的液压油液，动力元件在液压系统中称为液压泵。

(2) 执行元件 把液压能转换为机械能的装置，其形式有作直线运动的液压缸和作旋转运动的液压马达。

(3) 控制调节元件 完成对液压系统中工作液体的压力、流量和流动方向的控制和调节。

(4) 辅助元件 如各种管接头、油管、油箱、蓄能器、过滤器和压力计等。

(5) 工作介质 即液压油，作为能量传递的载体，实现运动和动力的传递。

1.1.3 液压传动系统的图形符号

为简化液压系统的表示方法，一般采用图形符号来绘制液压系统原理图。图1-3所示是用图形符号表示的机床工作台液压传动系统原理结构图。图形符号脱离了液压元件的具体结构，只表示其职能，直观性强、容易理解，便于分析和检查液压元件可能发生的故障。

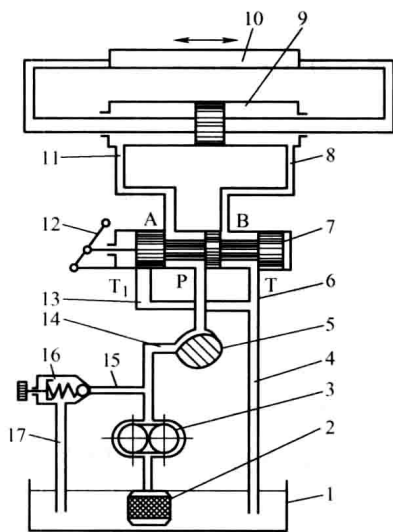


图 1-2 机床工作台液压系统原理结构图

- 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

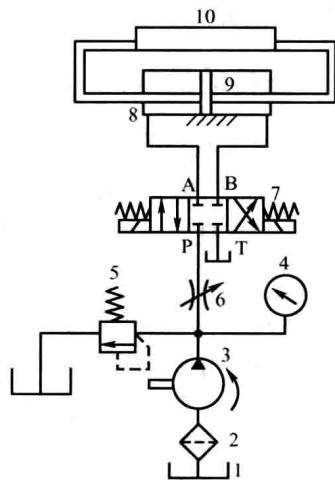


图 1-3 机床工作台的液压传动系统

- 1—油箱 2—过滤器 3—液压泵 4—压力表
5—溢流阀 6—节流阀 7—换向阀 8—管路
9—液压缸 10—工作台

我国制定有 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》，在液压系统设计中，要严格执行这一标准。

1.2 液压传动的特点

1.2.1 液压传动的优点

- 1) 液压传动的各种元件可根据需要进行方便、灵活地布置，不受空间位置的限制，容易按照机器设备的需要通过管路实现系统中各元件的连接。
- 2) 输出相同功率的情况下，液压传动装置的体积小、重量轻、传动惯性小、反应速度快。
- 3) 通过流量控制，操作方便，可实现大范围的无级调速，调速范围（最大速度与最小速度之比）达 2000。
- 4) 液压系统操作控制方便，易于实现自动控制、远距离遥控和过载保护；采用矿物油为工作介质，可以实现相对运动部件的润滑，易于散热和延长使用寿命。
- 5) 液压技术容易与电气、电子控制技术相结合，组成机电液一体化复合系统，实现自动工作循环与控制。
- 6) 用液压传动容易实现工作机构的直线运动或旋转运动，相比机械传动，系统装置更加简单。
- 7) 液压系统设计、制造和维护方便，液压元件属于机械工业基础件，已实现了标准化、系列化和通用化，方便系统设计与制造，有利于降低设计制造成本。

1.2.2 液压传动的缺点

- 1) 由于液体流动的阻力损失和泄漏较大，所以传动效率较低，如果处理不当，泄漏不仅污染场地，而且还可能引起火灾和爆炸事故。
- 2) 工作稳定性易受温度变化的影响，液压系统性能对温度较为敏感，不宜在很高或很低的温度条件下工作。
- 3) 液压元件的制造精度要求较高，因而价格较贵。
- 4) 由于液体介质的泄漏及可压缩性影响，不能得到严格的定比传动。
- 5) 液压传动系统出现故障时不易查找原因，要求具有较高的使用和维护技术水平。

1.3 液压传动的应用与发展趋势

1.3.1 液压传动的应用

液压传动技术作为机械传动的补充，由于它具有功率密度高、结构小巧、配置灵活、组装方便及可靠耐用等特点，并能以最小的空间、最灵活的途径传递较大的动力，动态特性好，因此在国民经济生产中发挥着无可替代的作用，成为现代机械工程、机电一体化技术中的基本构成技术和现代控制工程中的基本技术要素，在国民经济各行业得到了广泛的应用。表 1-1 列举了液压传动系统在工程中的应用实例。

表 1-1 液压传动系统在工程中的应用实例

应用领域	应用实例
工程机械	挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
起重运输机械	汽车起重机、港口龙门起重机、叉车、装卸机械、皮带运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、汽车中的转向器、减振器等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、机器人等

1.3.2 液压传动的发展趋势

机电一体化是国际公认的机械工业发展方向，液压技术正是弱电控制和机械强大功率输出之间的理想放大环节，故机电一体化（Mechatronics）问世不久，机电液一体化、电液一体化术语也相继出现，作为一种重要的接口器件，例如电磁阀、伺服阀、比例阀和数字阀等，将随着机电一体化发展，不断地得到完善、充实和更新。

传统的机械制造业正在向高新技术方向发展，作为最简单可靠的机电接口的液压技术也遇到了良好的发展机遇。例如多自由度大型运动模拟器、试验台、大型娱乐器材等，在国外已获得了成功的应用。

液压技术总的发展趋势是与高新技术紧密结合，特别是微电子技术、计算机技术和传感器技术等。此外，液压技术更重视：可靠性、能量利用率、减轻操作者负担、增强环境适应性等综合质量指标的提高；功能上的一体化、复合化；结构上的集成化、小型微型化；品种上的多样化、特色化；继续扩大应用领域，采用最先进的设计和制造技术以及灵活的经营策略。液压技术将成为内涵更丰富的、完整的综合自动化技术。

电液技术的融合，促进了一些产品及其系统的发展，这些新产品将液压、电子、传感技术融于一体，兼备了电气和液压技术的双重优势，在航天、军工等行业机械中得到了广泛应用。

1.4 气压传动基础

1.4.1 气压传动的工作原理与系统组成

气压传动与控制技术是指以压缩空气为工作介质来进行能量与信号的传递，实现生产过程机械化、自动化的一门技术，它是流体传动与控制学科的一个重要组成部分。从广义上看，气动技术范畴除空气压缩机、空气净化器、气动马达、各类控制阀及辅助装置以外，还包括真空发生装置、真空执行元件以及各种气动工具等。

由于气动技术相对于机械传动、电传动及液压传动而言有许多突出优点，因而近年来发展十分迅速，现在气动技术结合了液压、机械、电气和电子技术的众多优点，并与它们相互补充，成为实现生产过程自动化的一个重要手段，在机械、冶金、纺织、食品，化工、交通

运输以及航空航天、国防建设等各个部门得到了广泛的应用。典型的气压传动系统的组成如图 1-4 所示，由四部分组成。

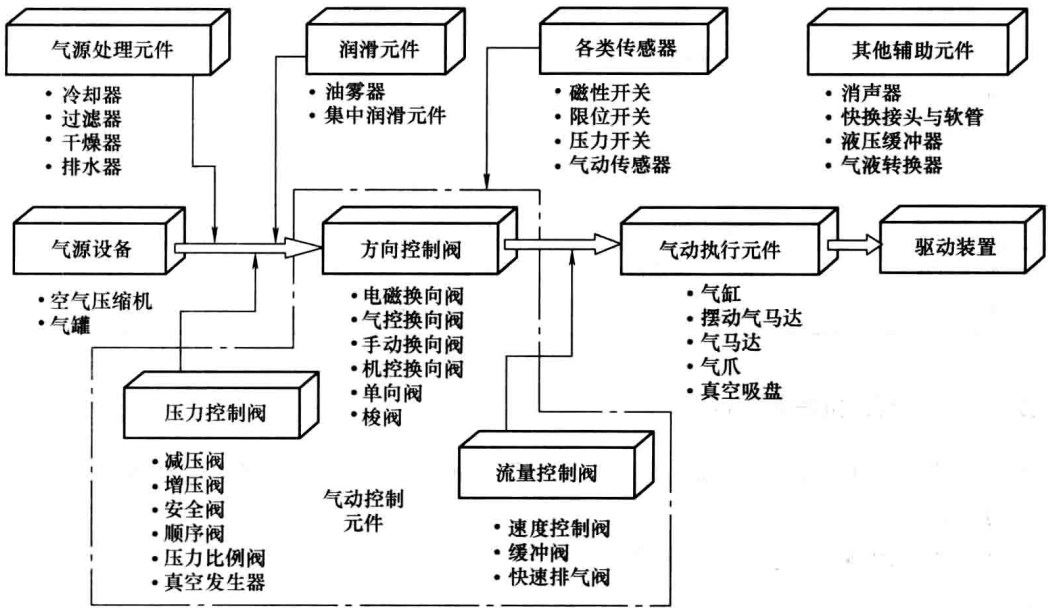


图 1-4 典型的气压传动系统的组成

1. 气源设备

气源设备由空气压缩机或真空泵构成，为了满足使用要求，对有些设备还配有气罐、气源处理元件及冷却器等附属设备，它将原动机提供的机械能转变为气体的压力能，带动执行元件对外做功。在工矿企业，气源设备一般作为气压站运行，根据需要将气压输送到各个用气工作点。

2. 气动执行元件

气动执行元件把压缩空气的压力能转换成驱动装置的机械能，直接对外做功，如往复直线运动的气缸、摆动气马达和气动马达分别输出直线运动、回转摆动和旋转的机械能。真空吸盘可以完成各种吸吊工作等。

3. 气动控制元件

气动控制元件用来调节和控制压缩空气的压力、气体流动方向及其流量的大小。常用的有方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀，在一些控制要求复杂的气压传动系统中还包括各种逻辑元件和阀岛智能控制元件等。

4. 气动辅助元件

气动辅助元件主要有润滑元件、消声器、管道与接头、压力开关以及气液转换器等，实现气压与电气信号转换、显示、放大，完成气压的检测等。

1.4.2 气压传动的特点

1. 气压传动的优点

1) 工作介质为取之不尽、用之不竭的空气，来源方便，用过后直接排入大气，不会污

染环境。

2) 可靠性高,使用寿命长。气动元件的有效动作次数为数百万次,而优良的气动阀的寿命大于3000万次,小型阀岛的使用寿命超过1亿次。

3) 工作环境适应性好,在易燃、易爆、多灰尘、辐射、强磁、振动、冲击等恶劣的环境中,气压传动系统工作安全可靠。与液压系统相比,气压系统可在高温场合使用,尤其对于要求高净化、无污染场合,如食品加工、印刷、精密检测等更具有独特的适应能力。

4) 空气黏度小,流动阻力小,便于介质集中供应和远距离输送,便于设备集中管理与维护。

5) 气动控制动作迅速、反应快,气缸动作速度一般为 $50 \sim 500\text{mm/s}$,可在较短时间内达到所需要的压力和速度。

6) 气动元件结构简单,易于加工制造,使用寿命长,可靠性高。

7) 维护简单,管道不易堵塞,不存在介质变质、补充和更换等问题。

2. 气压传动的缺点

1) 由于气体的可压缩性强,气缸的运动速度易随负载的变化而变化,尤其负载变化较大时会影响到执行元件的定位精度。采用气液结合可以有效解决这一问题。

2) 气缸在低速运动时,由于摩擦力占推力的比例较大,故气缸的低速稳定性不如液压缸。

3) 由于受气体可压缩性影响,气动系统的压力极低(一般小于 0.8MPa),总的输出功率不大,输出力比液压系统要小。

4) 空气作为工作介质没有润滑性,系统中必须采取措施对元件进行润滑。

5) 噪声大,尤其在超声速排气时,需要加装消声器。

1.4.3 气压传动的应用与发展

1. 气压传动技术的应用

人们利用空气的能量完成各种工作的历史可以追溯到远古,但作为气动技术应用的雏形,大约开始于1776年John Wilkinson发明能产生1个大气压左右压力的空气压缩机。1880年,人们第一次利用气缸做成气动制动装置,将它成功地用到火车的制动上。20世纪30年代初,气动技术成功地应用于自动门的开闭及各种机械的辅助动作上。进入20世纪60年代尤其是70年代初,随着工业机械化和自动化的发展,气动技术才广泛应用于生产自动化的各个领域,形成现代气动技术。

(1) 汽车制造业 现代汽车制造工厂的生产线,尤其是主要工艺的焊接生产线,几乎无一例外地采用了气动技术。例如:车身在每个工序的移动;车身外壳被真空吸盘吸起和放下,在指定工位的夹紧和定位;点焊机焊头的快速接近、减速软着陆后的变压控制点焊,都采用了各种特殊功能的气缸及相应的气动控制系统。高频率的点焊、力控的准确性及完成整个工序过程的高度自动化,堪称最有代表性的气动技术应用之一。另外,搬运装置中使用的高速气缸(最大速度达 3m/s)、复合控制阀的比例控制技术都代表了当今气动技术的新发展。

(2) 半导体电子及家电业 在彩电、冰箱等家用电器产品的装配生产线上,在半导体芯片、印制电路等电子产品的装配流水线上,不仅可以看到各种大小不一、形状不同的气

缸、气爪，还可以看到许多灵巧的真空吸盘将一般气爪很难抓起的显像管、纸箱等物品轻轻地吸住，运送到指定位置上。对加速度限制十分严格的芯片搬运系统，采用了平稳加速的SIN气缸。这种气缸具有特殊的加减速机构，可以平稳地将盛满水的水杯从A点送到B点，并保证水不溢出。摩托罗拉采用的SMC小型气缸和控制阀构成的携带式电话的性能寿命试验装置，可以随意地改变按键频度，还可以根据需要，随时改变按键的力度。对环境洁净度要求高的场所，可以选用洁净系列的气动元件，这种系列的气缸、气阀及其他元件有特殊的密封措施。

(3) 生产自动化的实现 20世纪60年代，气动技术主要用于比较繁重的作业领域作为辅助传动。现在，在工业生产的各个领域，为了保证产品质量的均一性，减轻单调或繁重的体力劳动，提高生产率，降低成本，已广泛使用了气动技术。在缝纫机、自行车、手表、洗衣机、自动和半自动机床等许多行业的零件加工和组装生产线上，工件的搬运、转位、定位、夹紧、进给、装卸、装配、清洗和检测等许多工序中都使用了气动技术。气动木工机械可完成挂胶、压合、切割、刨光、开槽和组装等许多作业；自动喷气织布机、自动清洗机、冶金机械、印刷机械、建筑机械、农业机械、制鞋机械、塑料制品生产线、人造革生产线和玻璃制品加工线等许多场合，都大量使用了气动技术。

(4) 包装自动化生产企业 气动技术还广泛应用于化肥、化工、粮食、食品和药品等许多行业实现粉状、粒状、块状物料的自动计量包装，烟草工业的自动卷烟和自动包装，以及对黏稠液体（如油漆、油墨、化妆品和牙膏等）和有毒气体（如煤气等）的自动计量灌装等。

(5) 其他领域 在车辆制动、车门开闭，鱼雷、导弹的自动控制以及各种气动工具等方面都有重要的应用。

2. 气压传动技术的发展趋势

气压传动与控制作为现代传动与控制的重要技术，有着广泛的应用。据统计，20世纪70年代，液压与气动元件的产值比约为9:1，20世纪90年代，在工业技术发达的欧美、日本等国家，该比例已达6:4，甚至接近5:5。由于气动元件的单价比液压元件便宜，在相同产值的情况下，气动元件的使用量及使用范围已远远超过了液压元件。以美国、欧洲和日本为中心的气动技术企业有日本的SMC、德国的FESTO、英国的NORGREN和美国的PARKER等。气动元件的基本生产品种达6400种及400000种不同的规格。

中国气动技术研究与应用始于20世纪60年代中后期，“八五”期间，由国内有关单位承担了不供油同轴截止式电气换向阀、冷冻式压缩空气干燥器、模块式气源处理装置、高频电磁阀和低功率电磁阀等7项国家重点技术开发项目。一些气动企业开发了微型气缸、米型气缸、大通径同轴截止式换向阀、安全型气源处理组合件、自动往复气缸、振动气缸、气动激振器、列车专用气控阀、气动夹和伸出回转气缸等新产品。同时还引进吸收日本、德国电磁阀产品及制造技术，发展形成了我国的气动产品。

“九五”以来，国内加大了新产品开发力度，先后开发了椭圆缸筒气缸、平行双杆气缸、多级伸缩气缸、新型气液阻尼气缸、节能增压缸、振动缸、新型夹紧气缸、气控先导减压阀、低功率电磁阀、气电转换器和阀岛等通用产品；汽车尾气净化系统、环保汽车燃气系统、电力机车受电弓升降气控系统、汽车制动气控电磁阀、高速列车喷脂电磁阀、纺织与印刷用高频电磁阀；铁路、石化、有色金属等行业的专用气缸等某些行业专用的产品。

当前气动元件及技术发展的趋势是：轻型化、微型化、模块化、智能化、无给油化、组集成化、机电一体化、系统成套化、节能环保化，以及低功耗、低噪声、高精度、高速度、高响应、高可靠、高寿命、高安全；注重采用新材料、新工艺，综合应用新技术；在机电结合的系统装备中，突出气动技术与光电、信息、控制等最新技术的结合应用。气动和其他传动与控制方式的比较见表1-2。

表1-2 气动和其他传动与控制方式的比较

控制方式	机械方式	电气方式	电子方式	液压方式	气动方式
驱动力	不太大	不太大	小	大	稍大
驱动速度	小	大	大	小	大
响应速度	中	大	大	大	稍大
特性受载荷的影响	几乎没有	几乎没有	几乎没有	较小	大
系统构造	普通	稍复杂	复杂	稍复杂	简单
温度影响	普通	大	大	小于70℃，普通	小于100℃，普通
定位精度	良好	良好	良好	稍良好	稍差
信号转换	难	易	易	难	较难
无级变速	稍困难	稍困难	良好	良好	稍良好
速度调整	稍困难	容易	容易	容易	稍困难
价格	普通	稍高	高	稍高	普通

思考与练习

- 1-1 液压传动与气压传动有什么特点？
- 1-2 液压传动系统与气压传动系统分别由哪几部分组成？说明各部分的作用。
- 1-3 列举你所熟悉的液压与气压传动在工程中的应用。
- 1-4 熟悉液压元件与气压元件的图形符号。
- 1-5 液压传动与气压传动的发展趋势有哪些？
- 1-6 液压传动与气压传动在工程机械中的综合应用包括哪些内容？