



河南省“十二五”普通高等教育规划教材



普通高等教育“十二五”机电类规划教材



液压与气压传动技术及应用 (修订版)

田 勇 主 编

王宗才 高长银 副主编

- 精品课程配套教材
- 采用国家最新标准
- 配套习题、答案、课件等教学资源
- 教学资源请登录华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 免费获取



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

河南省“十二五”普通高等教育规划教材
普通高等学校“十二五”机电类规划教材

液压与气压传动 技术及应用 (修订版)

田 勇 主 编

王宗才 高长银 副主编

安爱琴 王彦林 周亚军 郭宏亮 贾建涛 参 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

内 容 简 介

本书第一版于 2009 年出版,根据近几年的教学实践成果,本教材在被评选为 2014 年河南省“十二五”普通高等教育规划教材本科立项教材后加以修订而成。

全书共分四篇 15 章,其中第 1 章为绪论,第一篇液压传动基础共 6 章,分别介绍液压传动基础、液压动力元件、液压执行元件、液压控制元件、液压系统辅助元件、液压基本回路;第二篇气压传动基础共 3 章,主要介绍气压传动的基本知识、常用气压传动元件、气压基本回路;第三篇液压传动系统的设计与应用共 3 章,介绍典型液压系统、液压系统设计、集成式液压系统及阀块设计;第四篇气压传动系统的设计与应用共 2 章,为气动逻辑系统设计简介、气压传动系统应用与分析。每章附有思考题与习题。本书元件的图形符号、回路,以及系统原理图全部按照国家最新图形符号绘制,并摘录于附录中。

本书适用于普通工院校机械类、动力与车辆工程、自动化类各专业,也适用于各类成人高校、自学考试等相关专业的学生,也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

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。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动技术及应用 / 田勇主编. —修订本. —北京:电子工业出版社, 2015.5
河南省“十二五”普通高等教育规划教材 普通高等教育“十二五”机电类规划教材
ISBN 978-7-121-25927-2

I. ①液… II. ①田… III. ①液压传动—高等学校—教材②气压传动—高等学校—教材 IV. ①TH137
②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 081672 号

策划编辑:李 洁

责任编辑:李 洁 文字编辑:康 霞

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:19.5 字数:499 千字

版 次:2011 年 7 月第 1 版

2015 年 5 月第 2 版

印 次:2015 年 5 月第 1 次印刷

定 价:39.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前言

《《《《 PREFACE

本书是普通工科院校机械、动力与车辆工程、自动化类各专业教材之一，也适用于各类成人高校、自学考试等相关专业的学生，也可供从事流体传动与控制技术的工程技术人员参考。

本书第一版根据 2009 年电子工业出版社组织的“普通高等学校‘十二五’机电类规划教材”出版交流研讨会的精神而编写，根据近几年的教学实践成果，本教材在被评选为 2014 年河南省“十二五”普通高等教育规划教材本科立项教材后加以修订而成，精简了部分内容，同时也增添了集成式液压系统及阀块设计，每章小结中增加授课重点讨论和学习方法介绍。适用于教学学时为 40~64，其中实验学时为 6~12 使用。本书主要有以下特点。

【1】全书共分四篇，篇与篇既有并列关系，也有递进关系。

第一篇液压传动基础、第二篇气压传动基础为并列关系，均是基础知识，是液压与气动课程必须牢固掌握的。第三篇液压传动系统的设计与应用、第四篇气压传动系统的设计与应用为并列关系，它们与前两篇是递进关系，讲述如何把基础知识初步运用到工程实际中，是建立工程概念和设计训练的起步，使用者可以根据教学需要合理选用。

【2】液压传动与气压传动分开讲述，以液压传动为主线，气压传动强调其特色部分和与液压传动的不同之处，同时考虑其自身体系的完整性。

【3】适当淡化纯理论分析，强调标准原件的选型和常见故障及排除方法；丰富了图表等设计资料，加强学生工程设计能力的培养；课本中经常出现留给读者思考的问题，每章配有习题，便于灵活教学和自学。

【4】重点介绍液压与气压传动在机床工业、工程机械、橡塑机械、汽车工业、轻工业等行业的应用实例，并加入能耗、环保等绿色、可持续发展的思想理念。

【5】在液压元件选择上，突出新（新技术、新元件），本书元件的图形符号、回路及系统原理图全部按照国家最新图形符号绘制，并摘录于附录中。

本书第 1 版由河南工业大学田勇（第 1 章、第 11 章、第 12 章）、郑州航空工业管理学院高长银（第 5 章）担任主编；河南工业大学王宗才（第 13~17 章）、河南科技学院安爱琴（第 7 章 3~5 节、第 10 章）、河南工业大学王彦林（第 8、9 章）担任副主编、参编人员有黄河科技学院周亚军（第 6 章，第 7 章 1、2 节）、新乡学院郭宏亮（第 3、4 章）、华北水利水电学院贾建涛（第 2 章、附录）等。修订稿由田勇担任主编并负责统稿，王宗才、高长银担任副主编，第 13 章由王宗才编写。参编人员有安爱琴、王彦林、周亚军、郭宏亮、贾建涛等。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

2014 年于郑州

目录

<<<< CONTENTS

第1章 绪 论

1.1 液压与气压传动的应用及发展概况····· 1	1.3 液压与气压传动系统的组成及工作原理·· 5
1.1.1 液压与气压传动的应用····· 1	1.3.1 液压传动系统的工作原理····· 5
1.1.2 液压与气压传动的发展概况····· 1	1.3.2 液压与气压系统的组成····· 7
1.2 液压与气压传动的特点····· 3	1.4 液压与气压系统的职能符号····· 8
1.2.1 液压与气压传动的优点····· 3	1.5 本章小结····· 8
1.2.2 液压与气压传动的缺点····· 4	1.6 思考题与习题····· 9

第一篇 液压传动基础

第2章 液压传动流体力学基础

2.1 液压油的主要物理性质及选用····· 10	2.3.4 动量方程····· 23
2.1.1 液压油的主要性质····· 10	2.4 液体流动阻力和能量损失····· 24
2.1.2 液压油的类型与选用····· 12	2.4.1 流态与雷诺数····· 24
2.1.3 油液的污染及控制····· 14	2.4.2 管路中的压力损失····· 25
2.2 液体静力学基础····· 15	2.5 液体流经小孔和间隙的流量····· 26
2.2.1 液体的压力及表示方法····· 15	2.5.1 液体流经小孔的流量····· 26
2.2.2 静压力基本方程及应用····· 16	2.5.2 液体流过间隙的流量····· 27
2.2.3 帕斯卡定律····· 17	2.6 空穴现象和液压冲击····· 29
2.2.4 静压力对固体壁面的作用力····· 18	2.6.1 空穴现象····· 29
2.3 液体动力学基础····· 19	2.6.2 液压冲击····· 30
2.3.1 基本概念····· 19	2.7 本章小结····· 30
2.3.2 连续性方程····· 20	2.8 思考题与习题····· 31
2.3.3 伯努利方程····· 21	

第3章 液压动力元件

3.1 液压泵概述····· 33	3.3.1 单作用式叶片泵····· 40
3.1.1 液压泵的工作原理····· 33	3.3.2 双作用式叶片泵····· 41
3.1.2 液压泵的性能参数····· 34	3.3.3 限压式变量叶片泵····· 42
3.1.3 液压泵的分类····· 36	3.4 柱塞泵····· 44
3.2 齿轮泵····· 36	3.4.1 轴向柱塞泵····· 44
3.2.1 齿轮泵的工作原理····· 37	3.4.2 径向柱塞泵····· 45
3.2.2 齿轮泵的结构特点····· 38	3.5 液压泵的性能比较及应用····· 46
3.3 叶片泵····· 40	3.6 液压泵的安装、常见故障及排除方法·· 47

3.7 本章小结	51	3.8 思考题与习题	51
----------------	----	------------------	----

第4章 液压执行元件

4.1 液压缸	53	液压泵的比较	63
4.1.1 液压缸的工作原理	53	4.2.3 叶片马达	64
4.1.2 液压缸的类型	54	4.3 液压缸与液压马达的选用	65
4.1.3 液压缸的典型结构	58	4.4 液压缸的安装、调整、常见故障和排除方法	66
4.2 液压马达	62	4.5 本章小结	68
4.2.1 液压马达的工作原理及与液压泵的比较	62	4.6 思考题与习题	68
4.2.2 液压马达的主要性能参数及与			

第5章 液压控制元件

5.1 液压控制阀概述	70	5.4.1 流量控制原理	90
5.1.1 液压阀的分类	70	5.4.2 节流阀	91
5.1.2 液压阀的基本结构及共同要求	71	5.4.3 调速阀	93
5.1.3 液压阀的性能参数	71	5.5 其他液压控制阀	94
5.2 方向控制阀	72	5.5.1 插装阀(逻辑阀)	95
5.2.1 单向阀	72	5.5.2 叠加阀	97
5.2.2 换向阀	74	5.5.3 比例阀	98
5.3 压力控制阀	80	5.5.4 数字阀	101
5.3.1 溢流阀	81	5.6 液压阀连接	102
5.3.2 减压阀	85	5.7 液压阀的安装、常见故障及排除方法	103
5.3.3 顺序阀	87	5.8 本章小结	106
5.3.4 压力继电器	89	5.9 思考题与习题	107
5.4 流量控制阀	90		

第6章 液压辅助元件

6.1 油管及管接头	110	6.3.2 储能器的类型与结构	118
6.1.1 油管	110	6.3.3 储能器的安装与使用	119
6.1.2 管接头	111	6.3.4 储能器常见故障及处理方法	119
6.1.3 油管及管接头常见故障及排除方法	113	6.4 压力表及压力表开关	120
6.2 过滤器	113	6.4.1 压力表的作用及精度	120
6.2.1 过滤器的主要性能指标	113	6.4.2 压力表的使用注意事项	120
6.2.2 过滤器的种类、特点及使用场合	114	6.4.3 压力表开关	120
6.2.3 过滤器的安装	116	6.4.4 压力表开关常见故障与排除方法	122
6.2.4 过滤器常见故障和排除方法	117	6.5 油箱	122
6.3 储能器	117	6.5.1 油箱功用	122
6.3.1 储能器的功用	117	6.5.2 油箱容积的确定	123
		6.5.3 油箱常见故障和排除方法	124

6.6 热交换器.....	124	6.7.2 接触式密封.....	127
6.6.1 冷却器.....	124	6.7.3 密封装置的选用及安装.....	129
6.6.2 加热器.....	125	6.7.4 密封装置常见故障及排除.....	130
6.7 密封装置.....	126	6.8 本章小结.....	130
6.7.1 间隙密封.....	126	6.9 思考题与习题.....	131

第7章 液压基本回路

7.1 方向控制回路.....	132	7.2.8 缓冲回路.....	143
7.1.1 换向回路.....	132	7.3 速度控制回路.....	144
7.1.2 锁紧回路.....	134	7.3.1 调速回路.....	144
7.2 压力控制回路.....	134	7.3.2 快速运动回路.....	156
7.2.1 调压回路.....	135	7.3.3 速度换接回路.....	157
7.2.2 减压回路.....	136	7.4 多缸工作控制回路.....	158
7.2.3 保压回路.....	137	7.4.1 顺序运动回路.....	158
7.2.4 增压回路.....	138	7.4.2 同步运动回路.....	159
7.2.5 卸荷回路.....	139	7.4.3 快慢速互不干扰回路.....	160
7.2.6 平衡回路.....	141	7.5 本章小结.....	161
7.2.7 卸压回路.....	142	7.6 思考题与习题.....	161

第二篇 气压传动基础

第8章 气压传动基本知识

8.1 空气的物理性质及气体流动的特点.....	164	8.1.7 气阻与气容.....	170
8.1.1 空气的组成、密度、压力.....	164	8.1.8 气体的高速流动及噪声.....	171
8.1.2 空气的压缩与膨胀性.....	166	8.2 气体状态方程.....	171
8.1.3 空气的湿度与含湿量.....	166	8.2.1 理想气体状态方程.....	171
8.1.4 空气的黏度.....	167	8.2.2 理想气体的状态变化过程.....	171
8.1.5 气体的流速.....	168	8.3 本章小结.....	173
8.1.6 气体在管道中流动时的压力 损失.....	170	8.4 思考题与习题.....	173

第9章 常用气压传动元件

9.1 气源装置及气动辅助元件.....	174	9.3.1 气动控制元件分类.....	198
9.1.1 气源装置.....	174	9.3.2 方向控制元件.....	199
9.1.2 气源净化装置.....	178	9.3.3 压力控制元件.....	205
9.1.3 气动辅助元件.....	183	9.3.4 流量控制元件.....	209
9.1.4 供气系统的管道设计.....	186	9.4 气动转换元件.....	211
9.2 气动执行元件.....	189	9.5 气动逻辑元件.....	215
9.2.1 气缸.....	189	9.6 本章小结.....	220
9.2.2 气动马达.....	196	9.7 思考题与习题.....	220
9.3 气动控制元件.....	198		

第 10 章 气压传动基本回路

10.1 方向控制回路	222	10.3.1 一次压力控制回路	226
10.1.1 单作用气缸方向控制回路	222	10.3.2 二次压力控制回路	226
10.1.2 双作用气缸方向控制回路	222	10.4 安全保护回路	227
10.2 速度控制回路	223	10.4.1 过载保护回路	227
10.2.1 单作用气缸速度控制回路	223	10.4.2 互锁回路	227
10.2.2 双作用气缸速度控制回路	223	10.4.3 双手同时操作回路	228
10.2.3 快速往复运动回路	224	10.5 其他回路	228
10.2.4 速度换接回路	224	10.5.1 往复运动回路	228
10.2.5 缓冲回路	225	10.5.2 延时回路	229
10.2.6 气液联动速度控制回路	225	10.6 本章小结	230
10.3 压力控制回路	226	10.7 思考题与习题	230

第三篇 液压传动系统的设计与应用

第 11 章 典型液压传动系统

11.1 液压系统图的阅读分析方法	231	11.3.2 YB32—200 型液压机液压系统的特点	239
11.2 YT4543 型液压动力滑台	232	11.4 SZ—250A 型塑料注射成型机液压系统	240
11.2.1 概述	232	11.4.1 SZ—250A 型塑料注射成型机液压系统	240
11.2.2 YT4543 型动力滑台液压系统工作原理	234	11.4.2 注塑机液压系统的特点	244
11.2.3 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	235	11.5 本章小结	245
11.3 压力机液压系统	236	11.6 思考题与习题	245
11.3.1 YB32—200 型液压机的液压系统	237		

第 12 章 液压系统设计与计算

12.1 明确液压系统设计要求及工况分析	246	12.6 绘制工作图和编制技术文件	256
12.1.1 明确系统的设计要求	246	12.7 液压系统设计计算示例	258
12.1.2 工况分析	247	12.7.1 负载分析	258
12.2 确定执行元件主要参数	249	12.7.2 液压缸主要参数的确定	259
12.2.1 初选执行元件的工作压力	249	12.7.3 液压系统图的拟定	260
12.2.2 执行元件流量的确定	250	12.7.4 液压元件的选择	263
12.2.3 执行元件的工况图	250	12.7.5 液压系统的性能验算	264
12.3 拟定系统工作原理图	251	12.8 本章小结	265
12.4 液压元件的计算和选择	252	12.9 思考题与习题	265
12.5 液压系统的性能验算	254		

第 13 章 集成式液压系统及阀块设计

13.1 集成式液压系统的组成及特点	266	13.2.2 液压阀块设计的一般原则	268
13.1.1 集成式液压系统的组成	266	13.2.3 液压阀块的设计过程	269
13.1.2 集成式液压系统的特点	267	13.3 本章小结	271
13.2 集成式液压阀块设计	267	13.4 思考题与习题	271
13.2.1 液压阀块的结构	267		

第四篇 气压传动系统的设计与应用

第 14 章 气动逻辑系统设计简介

14.1 非时序逻辑控制系统设计	272	14.2.2 气控行程顺序控制系统的设计	276
14.2 时序逻辑控制系统设计	274	14.3 本章小结	283
14.2.1 时序逻辑控制的特点及分类	274	14.4 思考题与习题	284

第 15 章 气压传动系统应用与分析

15.1 液体自动定量灌装气动系统	285	15.4 香皂装箱气动系统	290
15.2 气动机械手气动系统	286	15.5 本章小结	291
15.3 气液动力滑台气动系统	289	15.6 思考题与习题	291

附录 A 常用液压与气压元件图形符号	294
参考文献	300

第 1 章 绪 论

在开始学习本课程之前，先让我们了解一下什么是液压与气压传动，它们的特点是什么，它们有哪些应用及发展概况，这些概念对学习本课程至关重要。

一般工程技术中使用的动力传递方式有机械传动、电气传动、流体传动（液体传动和气压传动）（常被称为“三大传动”方式），以及由它们组合而成的复合传动。通常一部机器主要由动力装置、传动装置、操纵或控制装置、工作执行装置四部分构成。动力装置的性能一般都不可能完全满足执行装置各种工况（力、力矩、速度、功率等）的要求，这种矛盾常常由传动装置来解决。

液压与气压传动是以流体（液压油或压缩空气）作为工作介质对能量进行传递和控制的一种传动形式。以液体作为工作介质进行能量（动力）传递的传动方式称为液体传动，液体传动又可以分为液力传动和液压传动两种形式。液力传动主要利用液体的动能来传递能量（略）；而液压（气压）传动则主要利用液体（气体）的压力能来传递能量。本书主要介绍液压与气压传动技术及应用。

1.1 液压与气压传动的应用及发展概况

1.1.1 液压与气压传动的应用

液压传动由于优点很多，所以在国民经济各部门中都得到广泛应用，但各部门应用液压传动的出发点不同。工程机械、压力机械采用液压传动的原因是结构简单，输出力量大；航空工业采用的原因是质量轻，体积小；机床中采用液压传动主要是可实现无级变速，易于实现自动化，适于换向频繁的往复运动；在电子工业、包装机械、食品机械等方面应用气压传动主要取其操作方便，且无污染的特点。

液压与气压传动在机械行业中的应用见表 1.1。

1.1.2 液压与气压传动的发展概况

1. 液压传动的发展概况

液压传动相对机械传动来说是一门新的传动技术。如果从世界上第一台水压机问世算起，至今已有 200 余年的历史。然而，直到 20 世纪 30 年代液压传动才真正推广应用。

在第二次世界大战期间，由于军事工业需要反应快、精度高、功率大的液压传动装置而推动了液压技术的发展。战后，液压技术迅速转向民用，在机床、工程机械、农业机械、汽车等行业中逐步得到推广。20 世纪 60 年代后，随着原子能、空间技术、计算机技术的发展，液压技术也得到很大发展，并渗透到各个工业领域中。我国的液压技术始于 20 世纪 50 年代，液压元

件最初应用于机床和锻压设备，后来又用于拖拉机和工程机械。特别是 20 世纪 80 年代初期引进美国、日本、德国的先进技术和设备，使我国的液压技术水平有了很大的提高。目前，我国的液压产品已形成系列，在认真消化、推广国外引进先进液压技术的同时，大力研制、开发国产液压件新产品，加强产品质量可靠性和新技术应用的研究，积极采用国际标准。

表 1-1 液压与气压传动在机械行业中的应用

行 业 名 称	应用场合举例
机床工业	磨床、铣床、刨床、拉床、压力机、自动机床、组合机床、数控机床、加工中心等
工程机械	挖掘机、装载机、推土机等
汽车工业	环卫车、自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车起重机等
农业机械	联合收割机的控制系统、拖拉机的悬挂装置等
轻工、化工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、胶片冷却机、造纸机等
冶金机械	电炉控制系统、轧钢机控制系统、压力机等
起重运输机械	起重机、叉车、装卸机械、液压千斤顶等
矿山机械	开采机、提升机、液压支架等
建筑机械	打桩机、平地机、液压千斤顶等
船舶港口机械	起货机、锚机、舵机等
铸造机械	砂型压实机、加料机、压铸机等
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤
灌装机械	食品包装机、真空镀膜机、化肥包装机
纺织机械	织布机、抛砂机、印染机

当前液压技术正向着高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化、复合化、小型化，以及轻量化等方向发展。同时，新型液压元件和液压系统的计算机辅助测试（CAT）、计算机直接控制（CDC）、计算机仿真和优化设计技术、绿色设计、可靠性技术，以及污染控制等是当前发展和研究的方向。

2. 气压传动的发展概况

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 个大气压左右的空气压缩机。1880 年，人们第一次利用气缸做成气动刹车装置，将它成功用到火车的制动上。20 世纪 30 年代初，气动技术成功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，气动技术才广泛应用在生产自动化的各个领域，形成现代气动技术。

从各国的行业统计资料来看，近二十多年来，气动行业发展很快。20 世纪 70 年代，液压与气动元件的产值比约为 9：1，30 多年后的今天，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液压行业。从地区划分，美洲（以美国为中心）、欧洲（欧洲各工业发达国家）和亚太地区（以日本为中心）三分天下。作为气动行业的知名企业，有日本的 SMC、德国的 FESTO、英国的 NORGREN 和美国的 PARKER 等。SMC 公司在世界 30 个国家建有海外子公司和海外生产工厂，1996 年在世界的市场占有率已达 16%。2012 年气动元件的基本生产品种达 9100 种及 6 300 000 种不同的规格，在筑波技术中心有 500 多名技术人员研

制开发气动新产品，是世界最大的气动企业之一。

中国改革开放以来，气动行业发展很快。1986年至1993年间，气动元件产值的年递增率达24.2%，大大高于中国机械工业产值平均年递增率10.5%。1996年全国气动行业的产值约6000万美元。虽然中国的基础工业离世界先进工业国家还有一定差距，但在气动行业同行的努力下，中国的气动技术正在得到快速发展和提高。

综观世界气动行业的发展趋势，气动元件的发展动向可以归纳为以下方面。

- (1) 高质量。电磁阀的寿命可达3 000万次以上，气缸的寿命可达2000~5000 km。
- (2) 高精度。定位精度达0.5~0.1 mm，过滤精度可达0.01 μm ，除油率可达1 m³标准大气中的油雾在0.1 mg以下。
- (3) 高速度。小型电磁阀的换向频率可达几十赫兹，气缸最大速度可达3 m/s。
- (4) 低功耗。电磁阀的功耗可降至0.1 W。
- (5) 小型化。元件制成超薄、超短、超小型。例如，宽6 mm的电磁阀、缸径2.5 mm的单作用气缸、缸径4 mm的双作用气缸、M3的管接头和内径2 mm的连接管等。
- (6) 轻量化。元件采用铝合金及塑料等新型材料制造，零件进行等强度设计。如已出现质量为4 g的低功率电磁阀。
- (7) 无给油化。不供油润滑元件组成的系统，不污染环境，系统简单，维护也简单，节省润滑油，且摩擦性能稳定，成本低、寿命长，适合食品、医药、电子、纺织、精密仪器、生物工程等行业的需要。
- (8) 复合集成化。减少配线、配管和元件，节省空间，简化拆装，提高工作效率。
- (9) 机电一体化。典型的是“可编程序控制器+传感器+气动元件”组成的控制系统。

1.2 液压与气压传动的特点

1.2.1 液压与气压传动的优点

1. 液压传动的主要优点

液压传动与机械传动、电力传动、气压传动相比，主要具有下列优点。

- (1) 便于实现无级调速，调速范围比较大，可达100:1~2000:1。
- (2) 在同等功率的情况下，液压传动装置的体积小、质量轻、惯性小、结构紧凑（如液压马达的质量只有同功率电动机质量的10%~20%），而且能传递较大的力或扭矩。
- (3) 工作平稳，反应快，冲击小，能频繁启动和换向。易于实现回转、直线运动，且元件排列布置灵活。液压传动装置的换向频率，回转运动每分钟可达500次，往复直线运动每分钟可达400~1000次。
- (4) 控制、调节比较简单，操纵比较方便、省力，易于实现自动化，与电气控制配合使用能实现复杂的顺序动作和远程控制。
- (5) 易于实现过载保护，系统超负载，油液经溢流阀流回油箱。由于采用油液做工作介质，能自行润滑，功率损失所产生的热量可由流动着的油带走，故可避免机械本体产生过度温升，所以寿命长。

(6) 易于实现系列化、标准化、通用化，易于设计、制造和推广使用。

2. 气压传动的主要优点

气压传动与其他传动和控制方式相比，其主要优点如下。

(1) 气动装置简单、轻便，安装维护简单。

(2) 压力等级低，使用安全。

(3) 工作介质——空气取之不尽，用之不竭；排气处理简单，泄漏不会污染环境，成本低。

(4) 输出力及工作速度的调节非常容易；气缸动作速度一般为 $50\sim 500\text{ mm/s}$ ，比液压和电气方式的动作速度快。

(5) 可靠性高，使用寿命长；电气元件的有效动作次数约为数百万次，而新型电磁阀（如 SMC 的一般电磁阀）的寿命大于 3000 万次，小型阀超过 2 亿次；适于标准化、系列化、通用化。

(6) 可短时间释放能量，以获得间歇运动中的高速响应；可实现缓冲；对冲击负载和过负载有较强的适应能力；在一定条件下，可使气动装置有自保持能力。

(7) 具有防火、防爆、耐潮湿的能力；与液压方式相比，气动方式可在恶劣环境（高温、强振动、强冲击、强腐蚀和强辐射等）下进行正常工作。

(8) 由于空气的黏性很小，流动的能量损失远小于液压传动，可压缩性大，可储存能量，宜于远距离输送和控制，压缩空气可集中供应。

1.2.2 液压与气压传动的缺点

1. 液压传动的主要缺点

(1) 液体为工作介质，易泄漏，且具有可压缩性，故难以保证严格的传动比。

(2) 液压传动中有较多的能量损失（摩擦损失、压力损失、泄漏损失），效率低，所以不宜作远距离传动。

(3) 液压传动对油温和负载变化敏感，不宜在很低或很高温度下工作。

(4) 液压传动需要有单独的能源（如液压泵站），液压能不能像电能那样从远处传来。

(5) 液压元件制造精度高，造价高，须组织专业化生产。

(6) 对污染很敏感，液压传动装置出现故障时不易查找原因，不易迅速排除。

2. 气压传动的主要缺点

(1) 由于空气有压缩性，气缸的动作速度易受负载的影响，平稳性不如液压传动，采用气液联动方式可以克服这一缺陷。

(2) 目前气动系统的压力一般小于 0.8 MPa ，系统的输出力较小，且传动效率低。

(3) 气压传动装置的信号传递速度限制在声速（约 340 m/s ）范围内，所以它的工作频率和响应速度远不如电子装置，并且信号会产生较大的失真和延滞，也不便于构成较复杂的回路，但这个缺点对工业生产过程不会造成困难。

(4) 工作介质——空气没有润滑性，系统中一般要进行给油润滑。

(5) 噪声大，尤其在超声速排气时需要加装消声器。

1.3 液压与气压传动系统的组成及工作原理

首先介绍液压传动系统的工作原理和组成，气压传动系统的工作原理和组成将在第二篇气压传动基础中介绍。

1.3.1 液压传动系统的工作原理

1. 液压千斤顶的工作原理

液压千斤顶是常见的一种起升重物的工具，也是液压传动装置中的一种，它利用帕斯卡原理（在密闭容积内，施加在静止液体边界上的压力在液体内部所有方向等值地传递到液体各点）成功地传递了动力并且放大了力，难怪我们能够如此轻松地用一只手的力量就能抬起一辆汽车或几吨重的物体。图 1-1 为其工作原理示意图。图中，大小两个液压缸 II 和 I 内分别装有活塞，活塞可以在缸内滑动，且密封可靠。要举升重物 12 时，截止阀 8 应关闭。当向上提起杠杆 1 时，小活塞向上移动，缸 I 下腔的密封容积增大，腔内压力下降，形成一定的真空度，这时排油单向阀 3 关闭，油箱 5 中的油液在大气压力的作用下推开吸油单向阀 4 进入液压缸 I 的下腔，从而完成一次吸油过程。接着，压下杠杆 1，小活塞下移，液压缸 I 下腔密封容积减小，油液受到挤压，压力上升，关闭吸油单向阀 4，压力油推开排油单向阀 3 进入液压缸 II 的下腔，从而推动大活塞克服重物 12 的重力 G 上升而做功。如此反复地提压杠杆 1 就可以将重物 12 逐渐升起，从而达到起重的目的。若杠杆 1 不动，液压缸 II 中的液压力使单向阀 3 关闭，大活塞不动。当需要将大活塞放下时，可打开截止阀 8，液压油在重力的作用下经截止阀 8 排回油箱 5，大活塞下降到原位。

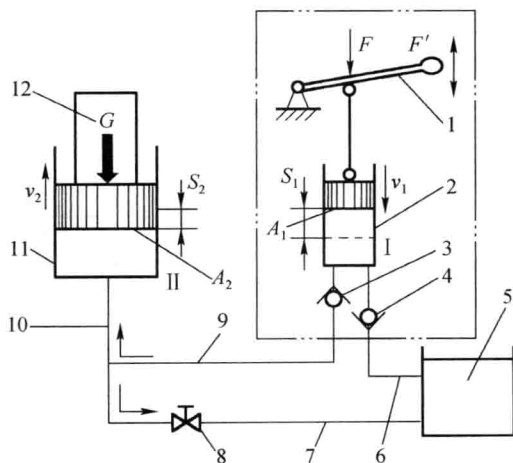


图 1-1 液压千斤顶的工作原理

1—杠杆；2—液压缸 I；3—排油单向阀；4—吸油单向阀；5—油箱；6、7、9、10—油管；

8—截止阀；11—液压缸 II；12—重物

那么，为什么作用在杠杆上的较小的力 F' 就能够在液压缸 II 的下腔产生那么大的力克服重

力 G 呢？仔细分析一下就明白了，其实，在这个过程中力通过机械传动（杠杆）和液压传动（连通的液压缸 I 和液压缸 II）实现了两次放大。

杠杆放大作用不再赘述，简要分析一下液压传动情况。

密闭连通的液压缸 I 和液压缸 II，作用在液压缸 I 活塞上的力 F 使液压缸 I 内部产生压力， $p_1=F/A_1$ 。根据帕斯卡原理，此时液压缸 II 内部的压力也是 p_1 。但是，液压缸 II 的活塞面积是 A_2 ($A_2>A_1$)，可以产生 p_1A_2 的力（显然 $p_1A_2>F=p_1A_1$ ），当它能够克服重力 G 时，便可以抬起重物了。

那么，此时液压缸 I 和液压缸 II 所做的功相同吗？它们的运动速度又怎么样呢？请读者思考。关于单向阀 3 和 4 的工作原理后面有详细讲解。

2. 磨床工作台液压传动系统的工作原理

图 1-2 为磨床工作台液压传动系统的工作原理图。这个系统可使工作台做直线往复运动，并且可以调节工作台的运动速度。图中，液压泵 3 由电动机驱动旋转，从油箱 1 中吸油，油液经过滤器 2 进入液压泵。当液压油从液压泵输出进入油管后，通过节流阀 4 流至换向阀 6。换向阀 6 有左、中、右三个工作位置。当换向阀的阀芯处于中位时 [见图 1-2 (a)]，由于所有油口 P 、 T 、 A 、 B 均封闭，油路不通，液压油不能进入液压缸 8，活塞 9 停留在某个位置上，所以工作台 10 不动。此时，液压泵输出的液压油只能在一定压力下通过溢流阀 5 流回油箱。

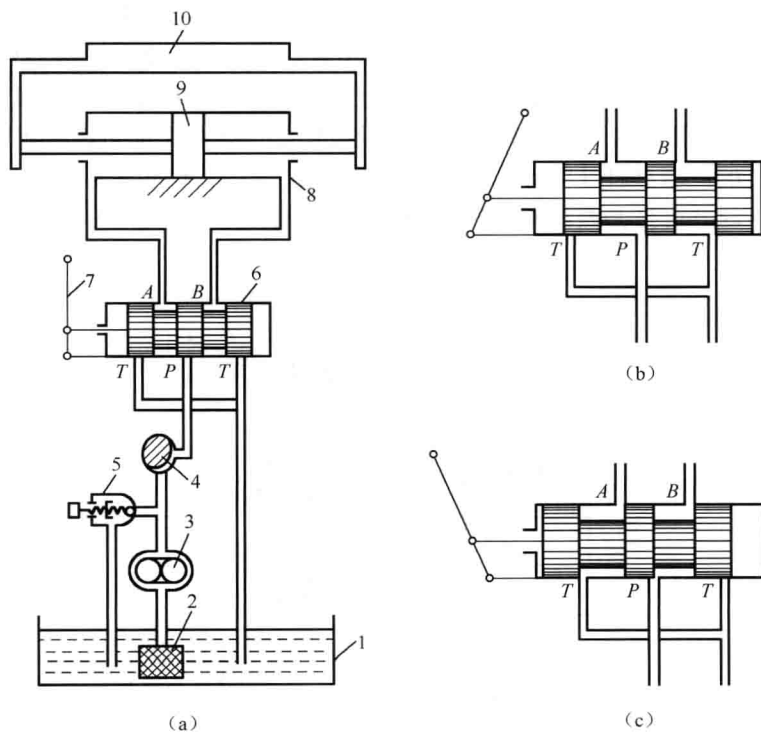


图 1-2 磨床工作台液压传动系统的工作原理图

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

若将阀芯推到右边（如图 1-2 (b) 所示），液压泵 3 输出的液压油将流经节流阀 4、换向阀

6 的 P 口、 A 口进入液压缸 8 左腔，推动活塞（和工作台固连成为一体）向右移动。与此同时，液压缸右腔的油液经换向阀 6 的 B 口、 T 口经回油管排回油箱。

若将阀芯推到左边 [见图 1-2 (c)]，则液压油经 P 口、 B 口进入液压缸 8 右腔；液压缸左腔的液压油经 A 口、 T 口排回油箱，工作台向左移动。

由此可见：由于设置了换向阀 6，可改变液压油的流向，使液压缸换向实现工作台的往复运动。工作台的运动速度可通过节流阀 4 来调节。节流阀的作用是通过改变节流阀开口量的大小来调节通过节流阀油液的流量，从而控制工作台的运动速度，此时，液压泵输出的多余的油液通过溢流阀 5 流回油箱。当节流阀口开大时，进入液压缸的油液增多，工作台移动速度增大，当节流阀口关小时，进入液压缸的油液减少，工作台的移动速度减小。

工作台运动时要克服阻力，主要是磨削力和工作台与导轨之间的摩擦力等，这些阻力由液压油的压力能来克服；要克服的阻力越大，液压缸内的油压越高，反之压力就越低。压力取决于负载。根据工作情况的不同，液压泵输出油液的压力可以通过溢流阀 5 进行调整。

综上所述，可以得出如下结论：液压传动系统是依靠液体在密封油腔容积变化中的压力能来实现运动和动力传递的。液压传动装置从本质上讲是一种能量转换装置，它先将机械能转换为便于输送的液压能，然后再将液压能转换为机械能做功。

读者此时可能会感到理解这些液压系统的工作原理，特别是液压阀的工作原理有一定困难，这是很正常的现象。随着我们一步一步地学习，这些问题自然会迎刃而解！现在只是给读者建立一个液压系统如何工作的基本概念，同时为了解液压与气压系统的组成打下必要的基础。

1.3.2 液压与气压系统的组成

1. 液压传动系统

由以上例子可以看出，液压传动系统主要由以下五部分组成。

(1) 动力元件。动力元件是指液压泵。它的作用是把原动机（电动机）的机械能转变成油液的压力能给液压系统提供压力油，是液压系统的动力源。

(2) 执行元件。执行元件指各种类型的液压缸、液压马达。其作用是将油液压力能转变成机械能，输出一定的力（或力矩）和速度（或角速度），以驱动负载。

(3) 控制调节元件。控制调节元件主要指各种类型的液压控制阀，如上例中的溢流阀、节流阀、换向阀等。它们的作用是控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向，从而保证执行元件能驱动负载，并按规定的方向运动，以获得规定的运动速度。

(4) 辅助装置。辅助装置是指油箱、过滤器、储能器、密封、油管、管接头、压力表等。它们对保证液压系统可靠、稳定、持久地工作具有重要作用。

(5) 工作介质。工作介质指各种类型的液压油。

2. 气压传动系统

气压传动系统的组成与液压传动系统相近，由以下五部分组成。

(1) 动力源装置。动力源装置即压缩空气站。它由空气压缩机、气源净化装置等组成。它的作用是把空气处理成为气压系统可用的洁净且压力稳定的压缩空气。与液压传动有比较明显的不同。

(2) 执行元件。执行元件指各种类型的气缸、气压马达。与液压传动类似。

（3）控制调节元件。控制调节元件主要指各种类型的气压控制阀，如减压阀、节流阀、换向阀等。与液压传动类似。

（4）辅助装置。辅助装置是指过滤器、冷却器、干燥器、储能器、油雾器、消音器、管路、管接头、压力表等。与液压传动有比较明显的不同。

（5）工作介质。工作介质即压缩空气。

1.4 液压与气压系统的职能符号

图 1-2 是采用半结构式图形表示的液压系统原理图。这种原理图直观性强，容易理解，但图形较复杂，绘制很不方便。为简化原理图的绘制，在工程实际中，除某些特殊情况外，系统中各元件一般采用国家标准规定的图形符号来表示，这些符号只表示元件的职能，不表示元件的结构和参数，通常称为“职能符号”。GB/T786.1—2001 规定了液压与气压传动职能符号。

图 1-3 所示为用职能符号绘制的上述磨床工作台液压传动系统原理图。

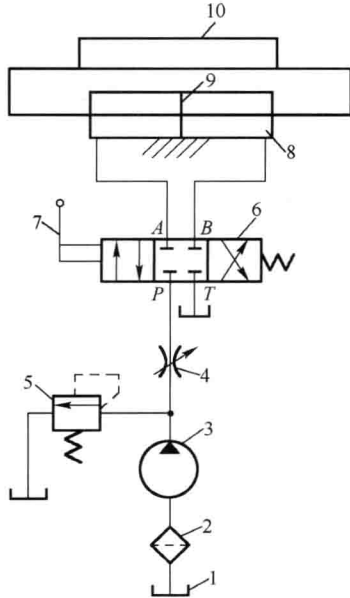


图 1-3 用职能符号绘制的上述磨床工作台液压传动系统原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—节流阀；5—溢流阀；7—手柄；8—液压缸；9—活塞；10—工作台

需要说明的是，液压元件职能符号表示的是元件的常态（静止状态）或零位，未必是其工作状态。元件图形符号只表示元件的职能和连接系统的通路，不表示元件的具体结构和参数，也不表示系统管路的具体位置和元件的安装位置，它的大小也以清晰、美观为原则。

1.5 本章小结

液压与气压传动是以流体（液压油或压缩空气）作为工作介质对能量进行传递和控制的一种传动形式，对比介绍了它们与机械传动、电气传动不同的特点。液压与气压传动系统主要由