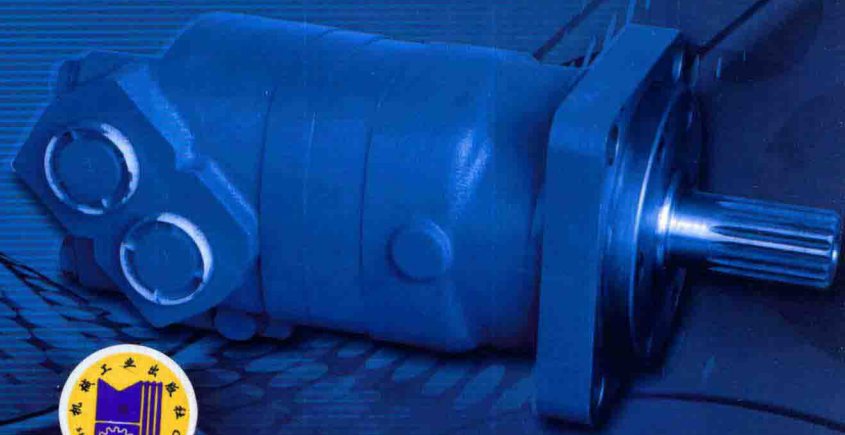


液压与气压传动

刘军营 主 编
韩克镇 许同乐 副主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

液压与气压传动

主 编 刘军营

副主编 韩克镇 许同乐

参 编 尹明富 贺利乐 宋凤敏

刘同义 孟建兵



机械工业出版社

本书共 13 章, 内容包括: 液压流体力学基础、液压泵、液压执行元件、液压控制元件、液压辅助元件、液压传动基本回路、典型液压传动系统分析、液压传动系统的设计计算、液压控制技术、气压传动等。书后附录编入了常用液压气动图形符号。

本书在体系上按照“液压传动基础理论—液压元件—液压基本回路—液压典型系统—液压系统设计—气压传动”的顺序编写, 以反映学科发展状况并适应读者的认知规律为出发点, 内容深入浅出、图文并茂, 资料丰富、新颖翔实, 力图反映液压传动与气压技术在元件、系统设计分析方法上的一些新发展和新成果, 并特别注意加强基础理论、拓宽专业口径及对读者实践能力的培养。

本书内容精炼, 突出工科教学特色, 注重加强学生工程技术能力的训练。

本书为高等院校机械类专业教材, 也可作为各类成人高校、自学考试等机械类专业学生的基础教材, 同时可供工矿企业及科研院所从事液压传动与气动技术的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动/刘军营主编. —北京: 机械工业出版社, 2015. 2
ISBN 978-7-111-49276-4

I. ①液… II. ①刘… III. ①液压传动—教材②气压传动—教材
IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 023810 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: 舒 雯 责任编辑: 舒 雯

版式设计: 赵颖喆 责任校对: 肖 琳

封面设计: 陈 沛 责任印制: 李 洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 19.5 印张 · 479 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-49276-4

定价: 49.00 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

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

编辑热线: 010-88379733

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

“液压与气压传动”是高等学校机械类专业的一门重要技术基础课，是机械类专业人才必备的重要知识之一。为了顺应高等院校专业及课程调整的趋势，满足教学及教改的需要，及时反映液压与气压传动技术的新发展，编者结合多年教学和科研实践经验，在搜集并参考国内外相关资料的基础上，编写了《液压与气压传动》一书。

通过本书的学习，学生可以掌握各种液压与气动元件的工作原理、结构、应用及选用方法，熟悉液压与气动基本回路的组成、类型和应用，了解国内外先进的液压与气动技术成果。

本书在选材上力图少而精，并注意反映当代液压传动与控制技术在元件、系统设计分析方法上的一些新发展和新成就；在内容上，突出重点和共性问题，力求深入浅出，条理清楚，以便于学习和施教。

本书共 13 章。在体系上，按照“液压传动基础理论—液压元件—液压基本回路—液压典型系统—液压系统设计—气压传动”的顺序进行编写，其中液压传动系统与气压传动均单独成章，以满足不同学校对内容和课时的具体要求。

书中的元件图形符号、回路和系统原理图符合中华人民共和国标准 GB/T 786.1—2009。

本书适用于普通工科院校机械类各专业学生，也适用于各类成人高校、自学考试等机械类专业学生，同时可供工矿企业及科研院所从事液压传动及气动技术的工程技术人员参考。

本书由刘军营任主编，韩克镇和许同乐任副主编，编者都是从事本课程教学工作的教师。具体编写分工如下：

第 1 章由山东理工大学刘军营编写，第 2、9 章由山东理工大学韩克镇编写，第 3、4 章由西安建筑科技大学贺利乐编写，第 5 章由山东理工大学许同乐编写，第 6 章由山东理工大学孟建兵编写，第 7、11 章由刘军营与天津工业大学尹明富共同编写，第 8 章由山东理工大学刘同义编写，第 10 章由山东理工大学韩克镇、刘军营共同编写，第 12、13 章由刘军营与山东水利职业学院宋凤敏编写。全书由刘军营统稿。

本书得到山东理工大学教材建设项目支持，在此表示感谢。

限于编者水平，书中难免有错漏、不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录 (Contents)

前言	
第1章 绪论 (Introduction)	1
学习指南 (Study Guide)	1
1.1 流体传动概况 (Outline of Fluid Power Transmission)	1
1.2 流体传动的工作原理与组成 (Principles and Components of Fluid Power Transmission)	3
1.2.1 流体传动的工作原理 (Principles of Fluid Power Transmission)	3
1.2.2 流体传动的组成 (Components of Fluid Power Transmission)	4
1.2.3 流体传动的图形符号和系统图 (Diagram Symbols and System Diagram of Fluid Power Transmission)	5
1.3 流体传动的特点及应用 (Characteristics and Application of Fluid Power Transmission)	6
1.3.1 流体传动的特点 (Characteristics of Fluid Power Transmission)	6
1.3.2 液压和气压传动的应用 (Application of Fluid Power Transmission)	7
小结 (Summary)	7
习题 (Exercises)	8
第2章 液压流体力学基础知识 (Fundamental Knowledge of Hydraulic Fluid Mechanics)	9
学习指南 (Study Guide)	9
2.1 液压工作介质 (Hydraulic Working Medium)	9
2.1.1 液压工作介质种类 (Types of Hydraulic Working Medium)	9
2.1.2 液压工作介质性质 (Performances of Hydraulic Working Medium)	11
2.1.3 液压介质使用要求和选用 (Requests and Choice of Hydraulic Working Medium)	15
2.1.4 液压介质污染及控制 (Pollution and Control of Hydraulic Working Medium)	16
2.2 液体静力学基础 (Basic Knowledge of Hydrostatics)	18
2.2.1 液体静压力及特征 (Characteristics of Hydrostatics)	19
2.2.2 液体静压力基本方程 (Basic Formula of Hydrostatics)	19
2.2.3 压力的表示方法及单位 (Definition and Units of Pressure)	20
2.2.4 帕斯卡原理 (Principle of Pascal)	20
2.2.5 液体作用于固体表面上的力 (Effect of Fluid Pressure on Curved Surfaces)	21
2.3 液体动力学基础 (Basic Knowledge of Hydrodynamics)	22
2.3.1 流动液体的基本概念 (Fundamental Concepts of Fluid Flow)	22
2.3.2 流量连续性方程 (Equation of Continuity)	24
2.3.3 伯努利方程 (Bernoulli Equation)	25
2.3.4 动量方程 (Equation of Momentum)	28
2.3.5 液体流动时的压力损失 (Pressure Losses of Fluid Flow)	29
2.4 液体流经孔口和缝隙流量 (Flow Rate for Liquid Through Orifice and Clearance)	33
2.4.1 液体流经孔口流量 (Flow Rate of Liquid Through Orifice)	33

2.4.2 液体流经缝隙流量 (Flow Rate of Liquid Through Clearance)	35
2.5 液压冲击和空穴现象 (Hydraulic Shock and Cavitation)	38
2.5.1 液压冲击 (Hydraulic Shock)	38
2.5.2 空穴现象 (Cavitation)	40
小结 (Summary)	41
习题 (Exercises)	41
第3章 液压泵与液压马达 (Hydraulic Pump and Hydraulic Motor)	43
学习指南 (Study Guide)	43
3.1 概述 (Outline)	43
3.1.1 液压泵和液压马达的工作原理 (Working Principle of Hydraulic Pump and Motor)	43
3.1.2 液压泵与液压马达的主要性能参数 (Main Performance Parameters of Hydraulic Pump and Hydraulic Motor)	44
3.2 齿轮泵 (Gear Pump)	45
3.2.1 外啮合齿轮泵 (External Gear Pump)	46
3.2.2 内啮合齿轮泵 (Internal Gear Pump)	49
3.2.3 螺杆泵 (Screw Pump)	49
3.3 叶片泵 (Vane Pump)	50
3.3.1 单作用叶片泵 (Single Acting Pump)	50
3.3.2 双作用叶片泵 (Double Acting Vane Pump)	53
3.4 柱塞泵 (Piston Pump)	54
3.4.1 斜盘式轴向柱塞泵 (Swash Plate Axial Piston Pump)	54
3.4.2 斜轴式轴向柱塞泵 (Bent Axis Piston Pump)	59
3.4.3 径向柱塞泵 (Radial Piston Pump)	60
3.5 齿轮马达 (Gear Motor)	62
3.6 叶片马达 (Vane Motor)	63
3.7 柱塞马达 (Piston Motor)	64
3.7.1 轴向柱塞马达 (Axial Piston Motor)	64
3.7.2 径向柱塞马达 (Radial Piston Motor)	65
3.8 液压泵与液压马达的选择与应用 (Selection and Application of Hydraulic Pump and Hydraulic Motor)	68
3.8.1 液压泵的选择 (Selection of Pump)	69
3.8.2 液压马达的选择 (Selection of Hydraulic Motor)	69
3.8.3 液压泵和液压马达的使用 (Use of Hydraulic Pump and Motor)	70
小结 (Summary)	71
习题 (Exercises)	71
第4章 液压缸 (Hydraulic Cylinder)	73
学习指南 (Study Guide)	73
4.1 液压缸的主要类型及特点 (Main Types and Characteristics of Hydraulic Cylinder)	73
4.1.1 液压缸的工作原理 (Working Principle of Hydraulic Cylinder)	73
4.1.2 液压缸的分类及工作特点 (Classification and Working Characteristics of Hydraulic Cylinder)	74
4.2 液压缸的结构及运动分析 (Structure and Motion Analysis of Hydraulic Cylinder)	76
4.2.1 单杆活塞式液压缸 (Single-Rod Piston Hydraulic Cylinder)	76
4.2.2 柱塞式液压缸 (Plunger Hydraulic Cylinder)	78

4.2.3 伸缩套筒缸 (Telescopic Cylinder)	79
4.2.4 摆动式液压缸 (Swing Cylinder)	80
4.3 液压缸的设计 (Design of Hydraulic Cylinder)	81
4.3.1 液压缸主要参数的设计计算 (Design Calculation of Main Parameters of Hydraulic Cylinder)	81
4.3.2 液压缸的强度计算与校核 (Strength Calculation and Check of Hydraulic Cylinder)	83
小结 (Summary)	86
习题 (Exercises)	86
第5章 液压控制阀 (Hydraulic Control Valve)	88
学习指南 (Study Guide)	88
5.1 概述 (Outline)	88
5.2 方向控制阀 (Directional Control Valve)	89
5.2.1 单向阀 (One-Way Valve)	90
5.2.2 换向阀 (Directional Control Valve)	93
5.3 压力控制阀 (Pressure Control Valve)	102
5.3.1 溢流阀 (Relief Valve)	102
5.3.2 减压阀 (Reducing Pressure Valve)	108
5.3.3 顺序阀 (Sequence Valve)	111
5.3.4 压力继电器 (Pressure Relay)	112
5.4 流量控制阀 (Flow Control Valve)	114
5.4.1 节流阀 (Throttle Valve)	114
5.4.2 调速阀 (Speed Control Valve)	117
5.4.3 溢流节流阀 (Overflow Throttle Valve)	119
5.4.4 分流-集流阀 (Shunt and Collecting Flow Valve)	120
5.5 插装阀与多路换向阀 (Cartridge Valve and Multi Way Directional Valve)	123
5.5.1 插装阀 (Cartridge Valve)	123
5.5.2 多路换向阀 (Multi Way Directional Valve)	125
小结 (Summary)	127
习题 (Exercises)	127
第6章 液压辅助元件 (Auxiliary Components for Hydraulic System)	130
学习指南 (Study Guide)	130
6.1 蓄能器 (Accumulator)	130
6.2 过滤器 (Filter)	133
6.3 密封元件 (Sealing Components)	136
6.4 油管及管接头 (Tubing and Pipe Joint)	141
6.5 油箱 (Oil Tank)	144
6.6 热交换器和仪表 (Heat Exchanger and Instrument)	145
小结 (Summary)	146
习题 (Exercises)	147
第7章 液压传动基本回路 (Basic Circuit of Hydraulic Transmission)	148
学习指南 (Study Guide)	148
7.1 方向控制回路 (Directional Control Circuit)	148
7.1.1 换向回路 (Directional Circuit)	148
7.1.2 制动回路 (Drake Circuit)	149

7.1.3 锁紧回路和往复直线运动换向回路 (Locked Circuit and Reciprocating linear Motion Reversing Circuit)	150
7.2 压力控制回路 (Pressure Control Circuit)	152
7.2.1 调压回路 (Pressure Adjusting Circuit)	152
7.2.2 减压回路 (Pressure Reducing Circuit)	153
7.2.3 保压回路 (Pressure-Holding Circuit)	154
7.2.4 增压回路 (Pressure Increasing Circuit)	155
7.2.5 平衡回路 (Pressure Balancing Circuit)	156
7.2.6 卸荷回路 (Pressure Venting Circuit)	157
7.3 速度控制回路 (Speed Control Circuit)	159
7.3.1 节流调速回路 (Throttle Speed-Adjusting Circuit)	159
7.3.2 容积调速回路 (Volume Speed-Adjusting Circuit)	165
7.3.3 容积节流调速回路 (Volume and Throttle Speed-Adjusting Circuit)	170
7.3.4 快速回路和速度换接回路 (Fast-Speed Circuit and Speed Shift Circuit)	172
7.4 多执行元件运动控制回路 (Multi-Actuator Motion Control Circuit)	175
7.4.1 顺序动作回路 (Sequence Motion Circuit)	175
7.4.2 同步运动回路 (Synchronization Circuit)	176
7.4.3 互不干扰回路 (No Mutual Interference Circuit)	178
小结 (Summary)	180
习题 (Exercises)	181
第8章 液压系统实例分析 (Example Analysis of Hydraulic System)	183
学习指南 (Study Guide)	183
8.1 液压系统分类与分析步骤 (Classification and Analysis Step of Hydraulic System)	183
8.2 组合机床动力滑台液压系统 (Hydraulic System of Power Slipway for Combine Machine Tool)	184
8.3 塑料注射成型机液压系统 (Hydraulic System of Plastic Injection Molding Machine)	187
8.4 液压压力机液压系统 (Hydraulic System of Press Machine)	190
8.5 汽车起重机液压系统 (Hydraulic System of Truck Crane)	193
8.6 M1432A 型万能外圆磨床液压系统 (Hydraulic System of M1432A Type Universal Cylindrical Grinder)	196
小结 (Summary)	199
习题 (Exercises)	200
第9章 液压系统的设计计算 (Design of Hydraulic Transmission System)	201
学习指南 (Study Guide)	201
9.1 概述 (Outline)	201
9.2 液压系统的设计步骤 (The Approach for Design of Hydraulic System)	202
9.2.1 液压系统的设计要求与工况分析 (Determination of Design Requirements and Analysis of Working Conditions)	202
9.2.2 执行元件主要参数的确定 (Determination of Main Parameters of the Actuator)	204
9.2.3 拟定液压系统原理图 (Determination of Hydraulic System Diagram)	207
9.2.4 液压元件的计算和选择 (Calculation and Selection of Hydraulic Components)	208
9.2.5 液压系统的性能验算 (Performance Check for a Hydraulic System Designed)	211
9.2.6 绘制液压系统工作图和编写技术文件 (Drawing of Working Diagrams and Technical Documents)	213

9.3 液压系统设计计算举例 (A Design Example of Hydraulic System)	213
9.3.1 明确系统设计要求 (Determination of Design Requirements)	213
9.3.2 分析系统工况 (Analysis of Working Conditions)	213
9.3.3 确定执行元件的主要参数 (Determination of Main Parameters of the Actuator)	214
9.3.4 拟定液压系统原理图 (Determination of Hydraulic System Diagram)	215
9.3.5 选择液压元件 (Selection of Hydraulic Components)	216
9.3.6 液压系统性能验算 (Performance Check for Hydraulic System)	218
小结 (Summary)	218
习题 (Exercises)	219
第10章 现代液压控制技术 (Modern Hydraulic Control Technology)	220
学习指南 (Study Guide)	220
10.1 概述 (Outline)	220
10.2 电液伺服控制 (Electro-Hydraulic Servo Control)	221
10.2.1 电液伺服阀 (Electro-Hydraulic Servo Valves)	222
10.2.2 电液伺服控制系统 (Electro-Hydraulic Servo Control System)	228
10.2.3 电液伺服系统应用举例 (Example of Electro-Hydraulic Servo Control System)	229
10.3 电液比例控制 (Electro-Hydraulic Proportional Control)	230
10.3.1 电液比例阀 (Electro-Hydraulic Proportional Valves)	230
10.3.2 电液比例控制系统 (Electro-Hydraulic Proportional Control System)	233
10.3.3 电液比例系统应用举例 (Example of Electro-Hydraulic Proportional Control System)	234
10.4 计算机-液压控制技术简介 (Brief Introduction of Computer-Hydraulic Control Technology)	235
小结 (Summary)	236
习题 (Exercises)	236
第11章 气压传动基础知识 (Basic Knowledge of Pneumatic Transmission)	238
学习指南 (Study Guide)	238
11.1 气压传动概述 (Pneumatic Transmission Outline)	238
11.2 空气的物理性质 (Physical Properties of The Air)	240
11.2.1 空气的组成 (Composition of the Air)	240
11.2.2 空气的密度与黏度 (Density and Viscosity of the Air)	240
11.2.3 空气的压缩性与膨胀性 (Compression and Expansion of the Air)	240
11.2.4 空气的湿度 (Humidity of the Air)	241
11.3 理想气体状态方程 (State Equation of Ideal Gas)	241
11.3.1 理想气体的状态方程 (State Equation of Ideal Gas)	241
11.3.2 其他状态变化过程 (Other State Change Process of Ideal Gas)	242
11.4 气体的流动规律 (Law of Gas Flow)	243
11.4.1 气体流动基本方程 (General Equation of Gas Flow)	243
11.4.2 声速与马赫数 (Sound Velocity and Maher Number)	244
11.4.3 气体在变截面管道中的流动特性 (Flow Characteritics in Variable Cross-Section Pipeline of Gas)	245
11.4.4 气体元件的流通能力 (Flow Capacity of the Pneumatie Components)	245
小结 (Summary)	247
习题 (Exercises)	247

第 12 章 气源装置与气动元件 (Air Supply Device and Pneumatic Components)	248
学习指南 (Study Guide)	248
12.1 气源装置 (Air Supply Device)	248
12.1.1 气压发生装置 (Air Pressure Generating Device)	248
12.1.2 压缩空气的净化装置 (Compressed Air Purifying Device)	250
12.1.3 管道系统 (Pipeline System)	254
12.2 气动辅助元件 (Pneumatic Auxiliary Components)	256
12.2.1 分水滤气器 (Air Filter)	256
12.2.2 油雾器 (Oil Mist Lubrication)	256
12.2.3 消声器 (Muffler)	257
12.3 气动控制元件 (Pneumatic Control Components)	258
12.3.1 压力控制阀 (Pressure Control Valve)	258
12.3.2 流量控制阀 (Flow Control Valve)	261
12.3.3 方向控制阀 (Direction Control Valve)	263
12.4 气动执行元件 (Pneumatic Actuator)	270
12.4.1 气缸 (Pneumatic Cylinder)	270
12.4.2 气马达 (Air Motor)	276
小结 (Summary)	277
习题 (Exercises)	277
第 13 章 气动基本回路与应用实例分析 (Analysis of the Basic Pneumatic Circuit and Application Examples)	279
学习指南 (Study Guide)	279
13.1 气动基本回路 (Basic Pneumatic Circuit)	279
13.1.1 压力控制回路 (Pressure Control Circuit)	279
13.1.2 换向回路 (Direction Control Circuit)	280
13.1.3 速度控制回路 (Speed Control Circuit)	281
13.1.4 位置控制回路 (Position Control Circuit)	283
13.2 气动常用回路 (Pneumatic Common Circuit)	284
13.2.1 安全保护回路 (Safety Protection Circuit)	284
13.2.2 同步回路 (Synchronous Circuit)	285
13.2.3 往复动作回路 (Reciprocating Action Circuit)	286
13.2.4 振荡回路 (Oscillating Circuit)	287
13.2.5 计数回路 (Counting Circuit)	287
13.3 气动系统实例分析 (Example Analysis of Pneumatic Transmission System)	288
13.3.1 廊门自动开闭系统 (Automatic Opening and Closing System of Door)	288
13.3.2 气动机械手 (Pneumatic Manipulator)	289
13.3.3 组合机床动力滑台控制系统 (Control System of Power Sliding Table in Combination Machine Tool)	291
小结 (Summary)	292
习题 (Exercises)	293
附录 液压及气动常用图形符号 (摘自 GB/T 786.1—2009)	294
参考文献	300

学习指南 (Study Guide)

流体传动是以流体作为工作介质进行能量转换、传递与控制的。本章主要介绍流体传动系统的基本组成、工作原理、性能特点、应用等知识。流体传动工作系统的原理、组成、图形表示方法等是本章的重点内容。通过学习应该掌握液压与气压传动系统的工作原理和组成,掌握液压与气压传动系统的图形表示方法,了解液压与气压传动的发展概况、特点与应用。

在接受课堂授课的基础上,认真思考和解答复习题,并借助网络和图书馆,查阅与本章内容相关的资料,扩展对液压与气压传动知识和应用的了解,激发学习兴趣。

1.1 流体传动概况 (Outline of Fluid Power Transmission)

“液压与气压传动 (Transmission of Hydraulics and Pneumatics)”是高等学校机械类各专业一门重要的专业技术基础课程,是研究以有压流体为工作介质,实现能量传递与控制的学科。

流体分可压缩流体和不可压缩流体两类,可压缩流体是气体,不可压缩流体是液体,它们都是可以用做能量传递的介质。流体通过各种元件组成的不同功能的基本回路,形成具有一定功能的传动系统。

在各类机械设备上,传动是将指能量或动力由发动机向工作装置的传递,通过不同的传动方式使发动机的转动变为各种工作装置的不同运动形式。根据传递能量的工作媒介不同,传动可分为机械传动、电气传动、流体传动等。流体传动是以流体为工作介质进行能量传递和控制的一种传动方式,是利用流体的压力能来传递能量的,具体分为液压传动 (Hydraulics) 和气压传动 (Pneumatics)。

流体传动相对于机械传动而言还是一门较新的学科,从 17 世纪中叶法国人帕斯卡 (B. Pascal) 提出液体压力传递的基本定律算起,液压传动已有近四百年的发展历史。这期间随着科学技术的不断发展,流体传动技术本身也在不断发展,18 世纪末 (1795 年) 英国人制造出世界上第一台液压机,1905 年美国 Janney 首先将矿物油作为传动介质引入液体传动,改善了液压元件的摩擦和润滑,并研制了第一台轴向柱塞泵。特别是在第二次世界大战期间及战后,由于军事及民用需求的刺激,流体传动技术得到了迅猛发展,出现了以电液伺服系统为代表的反应快、精度高的液压元件和控制系统。20 世纪 50 年代以后,随着战后

世界各国经济的恢复和发展、生产过程自动化的不断增长,流体传动技术很快转人民用工业。与此同时,流体传动在随动和伺服方面的研究取得了很大进展,美国麻省理工学院(MIT)出版了著名的《液压气动控制》一书。20世纪60年代出现了板式、叠加式液压系列阀。流体传动随着原子能技术、空间技术、计算机技术的产生而迅速发展。当前流体技术正向快速、高压、大功率、高效、低噪声、经久耐用、高度集成化的方向发展。特别是近二十年航空航天技术、控制技术、微电子技术、材料科学技术等学科的发展,使得流体传动技术已发展成为集传动、控制和检测于一体的一门完整的复合传动技术,同时,新型液压元件、气压元件和传动系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助测试(CAT)、计算机直接控制(CDC)、机电一体化技术、可靠性技术等也是当前流体传动及控制技术研究的主要内容和发展方向。流体传动技术在国民经济的各个部门都得到了广泛的应用,如建设工程机械、机械制造业、航空航天、石油化工等都离不开流体传动技术。流体传动技术的发展水平和应用程度已经成为衡量一个国家工业化程度的重要标志之一。

我国的液压工业开始于20世纪50年代,从仿制苏联产品起步,1952年上海机床厂试制出我国第一台液压泵。我国的液压和气动技术经历了创业奠基,体系建立,成长壮大,引进提高等发展阶段,最初应用于机床和锻压设备上,后来又用于拖拉机和工程机械。目前,我国已和美国、日本、德国等国家的著名厂商合资或由外国厂商独资建立了多家生产柱塞泵(马达)、转向器、液压控制阀、液压系统、静液传动装置、液压件铸造、橡塑密封等产品的企业。同时,国内还自行研制成功了电液比例复合阀、电液数字阀系列的中高压阀,同期还有叠加阀系列、低功耗电磁阀、凸轮转子泵、低噪声叶片泵及新原理电液比例阀、电液集成块等成果,并广泛使用在各类设备上。但是我国产品在产品品种、性能、可靠性等方面与国外发达国家还有一定的差距,尚不能满足主机配套和国民经济发展的需求。目前需要提高液压元件的制造精度,进一步开发质量稳定、可靠性好、技术含量高、互换性好、具有高度集成化、模块化、智能化和网络化的液压元件和系统,以满足整个国民经济的需求。

我国在流体标准化建设与科研方面也取得了显著成绩,我国液压与气动行业的标准化已覆盖了全行业。截至2013年1月,国家已经颁布了液压与气动方面的标准107项,另外还有行业标准65项。国家标准已经和国际标准化组织(ISO)所颁布的同类标准一致,满足了国际间技术和产品交流的需要。发行的专业期刊有《液压与气动》《液压气动与密封》《机床与液压》《流体传动与控制》等。

流体传动技术已经与自动控制技术、计算机技术、微电子技术、摩擦磨损技术、可靠性技术及新工艺和新材料等技术深度渗透和糅合,使液压系统和元件的质量、水平有了快速的提高。21世纪的液压技术将向高性能、高质量、高可靠性、系统成套性、低能耗、低噪声、低振动、无泄漏以及污染控制、应用水基介质等适应环保要求的方向发展。液压器件积极采用新工艺、新材料和电子、传感等高新技术,开发出高集成化高功率密度、智能化、机电一体化以及轻型、小型和微型液压元件。气动技术向着体积小、重量轻、功耗低、组合集成化方向发展,执行元件向种类多、结构紧凑、定位精度高方向发展。气动元件与电子技术相结合,向智能化方向发展,元件性能向高速、高频、高响应、高寿命、耐高温、耐高压方向发展,并普遍采用无油润滑器件和自润滑材料。

1.2 流体传动的工作原理与组成 (Principles and Components of Fluid Power Transmission)

1.2.1 流体传动的工作原理 (Principles of Fluid Power Transmission)

图 1-1 所示为磨床驱动工作台的液压系统。当液压泵 3 由电动机驱动旋转时，油液从油箱 1 经过滤器 2 吸入。当换向阀 7（有 P、T（T₁）、A、B 四个油口和三个工作位置）的阀芯处于图 1-1 所示位置时，压力油经管路 14、流量控制阀 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 9 右腔的油液经管路 8、换向阀 7（B→T）和管路 6、4 排回油箱；通过扳动换向手柄 12 切换向阀 7 的阀芯，使之处于左端工作位置，则液压缸活塞反向运动；切换阀 7 的阀芯工作位置，使之处于中间位置，则液压缸 9 在任意位置停止运动。调节和改变流量控制阀 5 的开度大小，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。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。液压缸 9 的工作压力取决于负载。液压泵 3 的最大工作压力由溢流阀 16 调定，其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液流经各类阀和管路的压力损失之和。从上例可看出，由于液压传动中的工作介质是在受控制和受调节的状态下进行工作，所以液压传动不仅有“传动”之用，而且还有“控制”之用，二者很难完全分开。

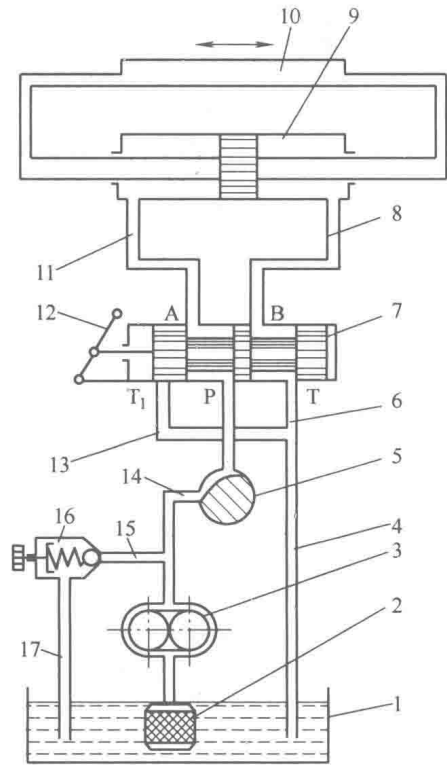


图 1-1 磨床工作台液压系统原理结构示意图

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

从图 1-1 中可以看出, 液压泵输出的压力油分为两路: 一路通向流量控制阀 5、换向阀 7 进入液压缸 9, 驱动工作台 10 移动, 另一路通向溢流阀 16。从定量液压泵输出的油液除进到液压缸 9 外, 其余部分通过溢流阀 16 返回油箱。

这里溢流阀 16 起着过载安全保护和配合流量控制阀 5 改变进到液压缸的油液流量的双重作用。当溢流阀 16 中的钢球在弹簧力的作用下将阀口堵住时, 压力油不能通过溢流阀 16; 如果油液的压力增高到使作用在钢球上的液压作用力能够克服弹簧的作用力而将钢球顶开时, 压力油就通过溢流阀 16 和管路 17 直接流回油箱, 油液的压力就不会继续升高。因此, 只要调定溢流阀 16 中弹簧的压紧力大小, 就可改变压力油顶开溢流阀钢球时压力的大小, 这样也就控制了液压泵输出油液的最高压力, 使系统具有过载安全保护作用。

此系统中换向阀 7 用来控制工作台运动的方向, 流量控制阀 5 控制工作台运动的速度; 由溢流阀 16 来控制液压泵的输出压力。图 1-1 中, 2 为网式过滤器, 液压泵从油箱吸入的油液先经过过滤器, 以滤清油液, 保护整个系统不受污染。

气压传动与控制系统的组成如图 1-2 所示, 气压发生器是产生和储存压缩气体的装置, 气缸是系统的执行装置, 除此之外还有控制压缩气体压力、流量、流动方向的控制元件和压缩空气净化、润滑、消声和传输所需要的一些装置。

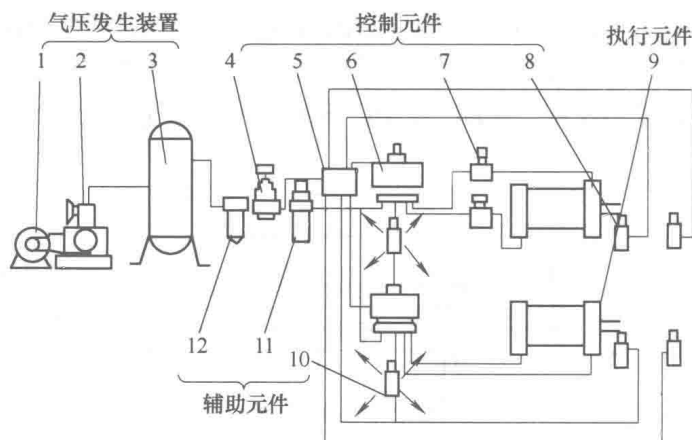


图 1-2 气压传动与控制系统的组成

- 1—电动机 2—空气压缩机 3—气罐 4—压力控制阀 5—逻辑元件 6、7—控制阀
8—行程阀 9—气缸 10—消声器 11—油雾器 12—分水滤气器

通过以上两个实例可以得出:

- 1) 流体传动是以液体或者气体为工作介质传递动力的。
- 2) 流体传动是用流体的压力能传递动力的, 系统的工作压力取决于负载, 运动速度取决于流量。
- 3) 流体传动中的工作介质 (液体或者气体) 是在受控制和调节的状态下进行工作的, 因此流体传动与流体控制是融为一体的。

1.2.2 流体传动的组成 (Components of Fluid Power Transmission)

一个完整的流体传动系统通常要包括五个组成部分:

- (1) 动力元件 即能源装置, 液压系统一般是液压泵或蓄能器、气动系统是空气压缩

机和贮气罐，其作用是将原动机输出的机械能转换成流体压力能，并向系统或用气点供给压力流体。

(2) 执行元件 包括液压缸或气缸、液压马达或气马达，前者实现往复运动，后者实现旋转运动，其作用是将流体压力能转化成机械能，输出到工作机构上。

(3) 控制元件 包括压力控制阀、流量控制阀、方向控制阀等，其作用是控制和调节流体系统的压力、流量和液流方向及信号转换、逻辑运算、放大等功能，以保证执行元件能够得到所要求的力（或转矩）、速度（或转速）和运动方向（或旋转方向）。

(4) 辅助元件 包括油箱、管路、管接头、过滤器、消声器、油雾器、滤气器及各种仪表等，这些元件也是流体系统所必不可少的。

(5) 工作介质 用以传递能量，同时还起散热和润滑作用。液压系统用液压油作为工作介质，气动系统用压缩空气作为工作介质。

1.2.3 流体传动的图形符号和系统图 (Diagram Symbols and System Diagram of Fluid Power Transmission)

由图 1-1 和图 1-2 可以看出，流体传动结构式原理图近似于实物的剖面图，虽然直观性强、比较容易理解，当液压系统出现故障时根据此原理图进行检查、分析也比较方便，但是绘制麻烦，特别是当系统中元件较多时，绘制非常不方便，并且反映不出元件的职能作用，必须根据元件的结构进行分析才能了解其作用。另有一种图形符号式液压与气压系统原理图，能极大地简化液压和气压系统原理图的绘制。在这种原理图中，各类元件都用符号表示，这些符号只表示元件的职能和连接系统的通路，并不表示元件的具体结构，这对专利元件结构更具有保密性。我国制定的流体传动系统及元件图形符号和回路图（GB/T 786.1—2009）就是采用职能式符号，其中规定符号都以元件的静止位置或零位置表示。所以图 1-1 所示的液压系统结构式原理图可用图形符号表示成图 1-3，图 1-2 所示的气压系统结构式原理图可用职能式符号表示成图 1-4。

在图 1-3 中，换向阀 7 处于中间位置，其压力油口、通液压缸的两个油口及回油口，均被阀芯堵住。这时液压泵输出的油液全部通过溢流阀 16 流回油箱，磨床工作台 10 不动。如操纵手柄将换向阀 7 阀芯向右推，这时液压缸 9 左腔通压力油，右腔通油箱，液压缸活塞带动工作台向右运动。如将换向阀 7 阀芯向左推，工作台向左运动。溢流阀 16 上的虚线代表控制油路，控制油路中油液的压力即为液压泵的出口油压，当该压力油的作用力能够克服弹簧力时，压下溢流阀的阀芯使液压泵的出口与回油管构成通路，产生溢流作用。

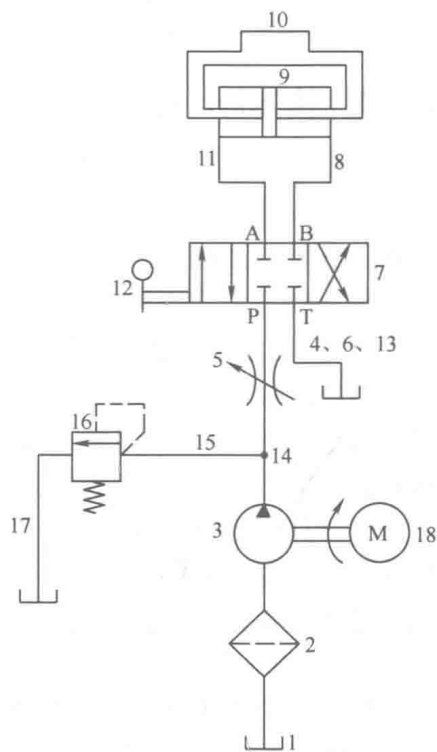


图 1-3 磨床工作台液压系统
图形符号原理图

- 1—油箱 2—过滤器 3—液压泵
- 4, 6, 8, 11, 13, 14, 15, 17—管路
- 5—流量控制阀 7—换向阀 9—液压缸
- 10—磨床工作台 12—换向手柄
- 16—溢流阀 18—电动机

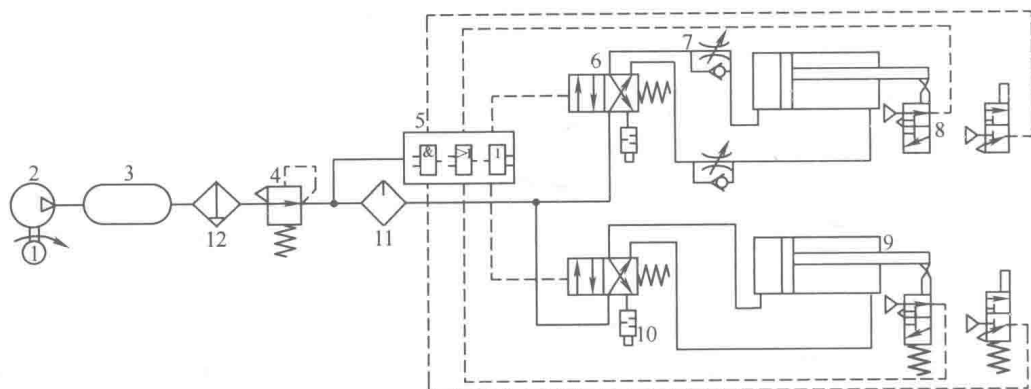


图 1-4 气压传动与控制系统图形符号原理图

1—电动机 2—空气压缩机 3—气罐 4—压力控制阀 5—逻辑元件 6、7—控制阀
8—行程阀 9—气缸 10—消声器 11—油雾器 12—分水滤气器

1.3 流体传动的特点及应用 (Characteristics and Application of Fluid Power Transmission)

1.3.1 流体传动的特点 (Characteristics of Fluid Power Transmission)

与其他各种传动方式相比，流体传动的优点是：

1) 液压和气压传动操作控制方便，易于实现无级调速而且调速范围大，调速范围可达数百，最大至 2000 : 1。

2) 液压传动的单位功率的质量轻，单位质量输出功率大，质量一般只有同功率电动机的十分之一，容易获得较大的力和力矩，具有运动惯性小、动态性能好的优点。因而起动、制动迅速，运动平稳，利于相关部件和控制系统的小型化和微型化。如轴向柱塞泵的质量仅是同功率直流发电机质量的 10% ~ 20%，前者尺寸仅为后者的 12% ~ 13%。对于工程建设机械，这个优点表现得尤为突出。

3) 可以简便地与电控部分结合，组成电液控制或气电控制或气液控制的传动和控制一体化系统，实现各种自动控制优势互补，这种控制既具有流体传动输出功率适应范围大的特点，又具有电子控制方便灵活的特点。现代机械装备已越来越多地采用了这种方法。

4) 工作安全性好，具有实现过载保护功能，并有自润滑作用。

5) 易于实现标准化、系列化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

流体传动的主要缺点是：

1) 液压和气压传动经过两次能量转换，传动效率低，再加上受泄漏和流动阻力的影响，其传动效率一般为 75% ~ 85%。

2) 液压与气动元件的制造和维护要求较高，价格也较贵，液压系统容易泄漏，液压和气压传动系统出现故障时检修困难。

3) 液压传动的性能受温度影响大，不能在高温情况下工作，温度波动影响其工作性能，当油液中有空气和水分时会影响系统的传动比。

4) 当载荷变化时, 气动系统的动作稳定性差, 且输出功率较小。

1.3.2 液压和气压传动的应用 (Application of Fluid Power Transmission)

液压和气压传动是一种较新的传动方式, 流体传动广泛应用于金属切削机床也不过近百年的历史, 航空工业在 1930 年以后才开始应用。但是, 流体传动具有独特的特点和技术优势, 成为了现代机械工程的基本技术构成和现代控制工程的基本技术要素, 特别是最近三四十年来, 在各种工业行业中的应用与日俱增, 越来越广泛。

在国防军事工业中, 海、陆、空各种作战武器常采用液压和气动技术。如飞机起落架和机翼动作及控制, 舰艇炮塔运动及控制, 导弹导向飞行及控制, 雷达动作及控制等。

在工程建设施工设备方面, 从挖掘机、装载机、推土机、铲运机、平地机到混凝土泵车、振动压路机等都实现了液压和气动化。这些机械采用流体技术后外形尺寸减小、重量减轻、产品性能提高、操作简化轻巧、灵便, 提高了作业效率和作业质量, 尤其是提高了机械设备的使用可靠性、操作安全性、舒适性和使用寿命, 使其适应性更强。

在机床上, 磨床砂轮架和工作台的进给运动大部分采用液压传动; 车床、转塔车床、自动车床的刀架或转塔刀架; 铣床、刨床、组合机床等的工作台进给运动也都采用了液压传动; 龙门刨床的工作台、牛头刨床或插床的滑枕, 由于要求作高速往复直线运动, 并且要求换向冲击小、换向时间短、能耗低, 因此都可以采用液压传动; 仿形装置车床、铣床、刨床上的仿形加工常采用液压伺服系统来完成, 其精度可达 0.01 ~ 0.02mm; 机床上的夹紧装置、齿轮箱变速操纵装置、丝杆螺母间隙消除装置、垂直移动部件平衡装置、分度装置、工件和刀具装卸装置、工件输送装置等, 也采用气压或液压机构。在机床上采用液压和气压机构利于简化机床结构, 提高机床自动化程度。尤其是近年来, 微电子技术在流体技术上的应用, 使各类机械装置的综合自动化水平越来越高, 提升了机械设备的使用可靠性、操作安全性、舒适性和使用寿命。

液压和气压传动在各类机械行业中的应用实例见表 1-1。

表 1-1 流体传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用场所举例
起重运输机械	汽车吊、港口龙门吊、叉车、装卸机械、传动带运输机等
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
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	电炉炉顶及电极升降机、轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

小结 (Summary)

本章介绍了流体传动的基本概念、工作原理、流体传动系统的组成以及流体传动的发展概况、特点和应用。