



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

液压与气压传动

第2版

主编 刘延俊 关浩 周德繁

高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

液压与气压传动

Yeya yu Qiya Chuandong

第2版

主编 刘延俊 关浩 周德繁

高等教育出版社·北京

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

全书共分两篇 15 章。第一篇为液压传动部分,第二篇为气压传动部分。液压传动部分主要包括液压传动的基本知识以及流体力学的基本理论,液压元件的结构、原理、性能以及选用,液压基本回路、典型液压系统的组成、功能、特点以及应用情况,液压系统的设计计算方法与实例,液压伺服元件与系统。气压传动部分主要包括气压传动基础知识、气动元件、气源装置以及辅件、气动回路、气动回路的设计方法与应用实例。为方便学生学习,每章末附有思考题与习题。

本书可作为普通工科院校机械类各专业的教材,也可作为各类成人高校、自学考试等机械相关专业的教材,亦可供从事流体传动与控制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/刘延俊,关浩,周德繁主编. —
2 版. —北京:高等教育出版社,2016. 5
ISBN 978 - 7 - 04 - 045252 - 5

I. 液… II. ①刘… ②关… ③周… III. ①液压传
动 - 高等学校 - 教材②气压传动 - 高等学校 - 教材 IV.
① TH137②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 089415 号

策划编辑	卢 广	责任编辑	杜惠萍	封面设计	钟 雨	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	陈旭颖	责任印制	耿 轩		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京宏信印刷厂		http://www.hepmall.com
开 本	787mm × 1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	21.5	版 次	2007 年 5 月第 1 版
字 数	520 千字		2016 年 5 月第 2 版
购书热线	010-58581118	印 次	2016 年 5 月第 1 次印刷
咨询电话	400-810-0598	定 价	33.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 45252-00

第2版前言

本书是高等学校机械类专业的专业教材之一，也是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，2008年10月被评为国家级精品教材，可作为高等学校机械设计制造及其自动化、过程装备与控制工程、材料成型及控制工程、车辆工程等专业本科生液压与气压传动课程的教材。全书共分两篇15章。第一篇为液压传动部分，其中，第1、2章主要介绍液压传动的基本知识以及流体力学的基本理论，第3~6章主要介绍液压元件的结构、原理、性能、选用，第7、8章介绍液压基本回路、典型液压系统的组成、功能、特点以及应用情况，第9章介绍液压系统的设计计算方法与实例。第10章介绍液压伺服元件与系统；第二篇为气压传动部分，其中，第11章介绍气压传动基础知识，第12章介绍气动元件，第13章介绍了气源装置和气动辅助元件，第14章介绍气动回路，第15章介绍气动回路的设计方法与应用实例。每章后附有思考题与习题，供读者巩固所学知识。

在本书的修订过程中，仍然贯彻少而精、理论与实践相结合的原则，针对机械类专业的需要和读者的意见反馈，将液压与气压传动部分分开，自成独立体系，以满足轻工业机械专业对气压元件及传动系统的教学需求；增加了液压系统在橡、塑行业的应用实例。

虽然流体传动系统的元件图形符号已有新国家标准（GB/T 786.1—2009）规定，但由于回路图的相关国家标准还未发布，为方便起见，所有元件图形符号和回路图仍沿用旧标准（GB/T 786.1—1993）。

本书由刘延俊、关浩、周德繁担任主编。参加本书修订的有：山东大学机械工程学院、高效洁净先进制造教育部重点实验室刘延俊（第1、8、9、14章，15.1~15.3节，附录），大连大学机械工程学院关浩（第3、5、7章），哈尔滨理工大学机械动力工程学院周德繁（第2、4、10章），洛阳理工学院机械工程学院吴锐（第6、13章），河南工业大学机电工程学院田勇（第11、12章），河南工业大学机电工程学院刘国锋（15.4、15.5节）。全书由山东大学机械工程学院、高效洁净先进制造教育部重点实验室刘延俊统稿并修改定稿。在本书的修订过程中，山东大学机械工程学院、高效洁净先进制造教育部重点实验室张募群、罗华清、贾瑞作了大量的文稿录入和插图的修订和绘制工作。

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

2016年1月

第1版前言

本书是高等学校机械工程及自动化的专业教材之一,可作为高等学校机械设计制造及其自动化、过程装备及控制工程、材料成形及控制工程、动力与车辆工程等专业本科生液压与气压传动课程的教材。全书共分两篇15章。第一篇为液压传动部分,第二篇为气压传动部分。第1章、第2章主要介绍液压传动的基本知识以及流体力学的基本理论,第3章至第6章主要介绍液压元件的结构、原理、性能、选用,第7章、第8章介绍液压基本回路、典型液压系统的组成、功能、特点以及应用情况,第9章介绍液压系统的设计计算方法与实例,第10章介绍液压伺服元件与系统;第11章介绍气压传动基础知识,第12章介绍气动元件,第13章介绍气源装置以及辅件,第14章介绍气动回路,第15章介绍气动回路的设计方法与应用实例。每章附有思考题与习题。

在编写本书过程中,力求贯彻少而精、理论与实践相结合的原则,针对机械类专业的需要,着重考虑了以下辩证关系:

1. 液压与气动,液压传动与气压传动分开讲述,以液压传动为主,气压传动则强调其特色部分,同时对每一部分内容都考虑到了其体系的完整性;

2. 元件与系统,紧密结合液压与气动技术的最新成果,许多元件采用最新结构形式,在讲透元件工作原理的基础上,着重介绍其在系统中的应用,使元件与系统有机结合;

3. 通用与专用,重点放在通用元件、回路的工作原理、特点和应用上,注重对工程技术应用方面的人才培养以及对学生创新能力的培养,对于专用元件及回路则在习题中有所补充,或作为专题来讲解;

4. 传统与发展,保留“元件—回路—系统”的传统体系,顺应液压与气压传动的发展趋势。

本书中有关元件的图形符号、回路以及系统原理图全部采用了国家最新图形符号标准(GB/T 786.1—1993)。

本书由刘延俊、关浩、周德繁主编;参加本书编写的有:山东大学机械工程学院刘延俊(第1、8、9、14章、附录)、孔祥臻(第15章第1~3节),大连大学机械系关浩(第3、5、7章),哈尔滨理工大学机械动力工程学院周德繁(第2、4、10章),洛阳大学机械系吴锐(第6、13章),河南工业大学机电工程学院田勇(第11、12章)、刘国锋(第15章第4、5节)。本书由济南大学机械工程学院李宏伟审阅。

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

2006年8月

目 录

第一篇 液 压 传 动

第 1 章 绪论	1	2.3.1 基本概念	20
1.1 液压传动的发展概况	1	2.3.2 连续性方程	22
1.1.1 液压传动技术的历史进展与 发展趋势	1	2.3.3 伯努利方程	23
1.1.2 我国液压传动技术的发展现状	2	2.3.4 动量方程	27
1.2 液压传动的工作原理及其组成 部分	3	2.4 流动阻力和能量损失 (压力损失)	29
1.2.1 液压传动的工作原理	3	2.4.1 流动阻力及能量损失(压力损失) 的两种形式	29
1.2.2 液压传动的组成部分与图形符号 ..	5	2.4.2 流体的两种流动状态	31
1.3 液压传动的优、缺点	6	2.4.3 圆管层流	32
1.4 液压传动在机械中的应用	8	2.4.4 圆管湍流	33
思考题与习题	9	2.4.5 沿程阻力系数 λ	35
第 2 章 液压流体力学基础	10	2.4.6 局部阻力系数 ξ	36
2.1 液压油	11	2.5 孔口和缝隙流量	38
2.1.1 液压油的种类	11	2.5.1 孔口流量	38
2.1.2 液压油的性质	11	2.5.2 缝隙流量	39
2.1.3 对液压油的要求	14	2.6 空穴现象和液压冲击	41
2.1.4 液压油的选择	15	2.6.1 空穴现象	41
2.1.5 液压油的污染与防污	15	2.6.2 液压冲击	42
2.2 液体静力学	16	思考题与习题	44
2.2.1 静压力及其特性	16	第 3 章 液压泵及液压马达	47
2.2.2 重力作用下静止液体中的压力 分布(静力学基本方程)	17	3.1 液压泵概述	47
2.2.3 压力的表示方法和单位	17	3.1.1 液压泵的基本工作原理	47
2.2.4 静止液体中压力的传递 (帕斯卡原理)	18	3.1.2 液压泵的分类	48
2.2.5 液体静压力作用在固体壁面 上的力	19	3.1.3 液压泵的图形符号	48
2.3 液体动力学	20	3.1.4 液压泵的主要性能参数	48
		3.1.5 液压泵特性及检测	50
		3.2 齿轮泵	50
		3.2.1 外啮合齿轮泵的结构及工作	

原理	51	4.3.3 强度及稳定性校核	83
3.2.2 外啮合齿轮泵的流量计算	51	4.3.4 缓冲计算	85
3.2.3 齿轮泵结构中存在的问题及 解决措施	52	思考题与习题	85
3.2.4 内啮合齿轮泵	53	第5章 液压控制阀	88
3.2.5 齿轮泵的优、缺点	54	5.1 液压控制阀概述	88
3.3 叶片泵	54	5.1.1 液压阀的分类	88
3.3.1 双作用式叶片泵	54	5.1.2 对液压阀的基本要求	89
3.3.2 单作用式叶片泵	56	5.2 方向控制阀	89
3.3.3 双级叶片泵和双联叶片泵	59	5.2.1 单向阀	89
3.3.4 叶片泵的优、缺点	61	5.2.2 换向阀	90
3.4 柱塞泵	61	5.3 压力控制阀	96
3.4.1 径向柱塞泵	61	5.3.1 溢流阀	97
3.4.2 轴向柱塞泵	62	5.3.2 减压阀	101
3.4.3 柱塞泵的优、缺点	64	5.3.3 顺序阀	103
3.5 螺杆泵	64	5.3.4 压力继电器	104
3.6 液压马达简介	65	5.4 流量控制阀	105
3.6.1 液压马达的分类	65	5.4.1 节流口的流量特性	105
3.6.2 液压马达的工作原理	65	5.4.2 节流阀	107
3.6.3 液压马达的主要性能参数	66	5.4.3 调速阀	109
3.6.4 液压马达的图形符号	67	5.4.4 温度补偿调速阀	110
3.7 液压泵的性能比较及应用	68	5.4.5 溢流节流阀	110
思考题与习题	68	5.4.6 分流集流阀	112
第4章 液压缸	70	5.5 其他类型的控制阀	113
4.1 液压缸的种类及特点	70	5.5.1 比例控制阀	113
4.1.1 活塞缸	70	5.5.2 插装阀(逻辑阀)	117
4.1.2 柱塞缸	72	5.5.3 叠加阀	119
4.1.3 摆动缸	73	思考题与习题	121
4.1.4 其他形式液压缸	74	第6章 液压辅助装置	123
4.2 液压缸的结构	75	6.1 蓄能器	123
4.2.1 缸筒与缸盖组件	75	6.1.1 蓄能器的功用	123
4.2.2 活塞和活塞杆组件	78	6.1.2 蓄能器的分类	124
4.2.3 缓冲装置	79	6.1.3 蓄能器的容量计算	125
4.2.4 排气装置	80	6.1.4 蓄能器的安装和使用	126
4.3 液压缸的设计与计算	80	6.2 油箱及热交换器	127
4.3.1 液压缸的设计依据和步骤	81	6.2.1 油箱的作用和结构	127
4.3.2 缸主要尺寸的确定	81	6.2.2 油箱的设计要点	127

6.2.3 油箱容积的确定	128	第 8 章 典型液压系统	168
6.2.4 热交换器	128	8.1 液压系统图的识读和	
6.3 过滤器	130	分析方法	168
6.3.1 过滤器的功用	130	8.1.1 液压系统图的识读	168
6.3.2 过滤器的性能指标	130	8.1.2 液压系统图的分析	168
6.3.3 过滤器的典型结构	131	8.2 YT4543 型液压动力滑台	169
6.3.4 过滤器的选用	133	8.2.1 概述	169
6.3.5 过滤器的安装	133	8.2.2 液压系统的工作原理	169
6.4 连接件	134	8.2.3 液压系统的特点	171
6.4.1 油管	134	8.3 YB32-200 型压力机液压系统	171
6.4.2 管接头	135	8.3.1 概述	171
6.5 密封装置	137	8.3.2 液压系统的工作原理	172
6.5.1 接触密封	137	8.3.3 液压系统的主要特点	174
6.5.2 间隙密封	139	8.4 XS-ZY-250A 型注塑机比例	
思考题与习题	140	液压系统	174
第 7 章 液压基本回路	141	8.4.1 概述	174
7.1 速度控制回路	141	8.4.2 比例液压系统的工作原理	175
7.1.1 调速回路	141	8.4.3 比例液压系统的特点	178
7.1.2 快速运动回路	151	8.5 MLS3-170 型采煤机及其	
7.1.3 速度换接回路	152	液压牵引系统	178
7.2 压力控制回路	153	8.6 Q2-8 型汽车起重机液压系统	183
7.2.1 调压回路	153	8.6.1 概述	183
7.2.2 减压回路	154	8.6.2 液压系统的工作原理	183
7.2.3 增压回路	154	8.6.3 液压系统的特点	185
7.2.4 保压回路	155	8.7 XLB1800×10000 平板硫化机	
7.2.5 卸荷回路	156	液压系统	185
7.2.6 平衡回路	156	8.7.1 概述	185
7.2.7 锁紧回路	156	8.7.2 液压系统的工作原理	185
7.3 方向控制回路	157	8.7.3 液压系统的特点	187
7.3.1 简单方向控制回路	157	思考题与习题	188
7.3.2 复杂方向控制回路	157	第 9 章 液压系统的设计与计算	189
7.4 多执行元件控制回路	159	9.1 液压系统的设计步骤	189
7.4.1 顺序动作回路	159	9.1.1 明确系统的设计要求	189
7.4.2 同步回路	161	9.1.2 分析工况及编制负载图	190
7.4.3 多缸工作运动互不干扰回路	164	9.1.3 确定系统的主要参数	192
思考题与习题	165	9.1.4 拟订系统原理图	193

9.1.5 选取液压元件	195	10.2.1 滑阀	217
9.1.6 系统性能的验算	202	10.2.2 射流管阀	218
9.1.7 绘制工作图及编制技术文件	206	10.2.3 喷嘴挡板阀	219
9.2 液压系统设计计算示例	207	10.3 电液伺服阀	219
思考题与习题	213	10.4 液压伺服系统实例	221
第10章 液压伺服系统	214	10.4.1 钢带卷取机光电液伺服 跑偏控制系统	221
10.1 概述	214	10.4.2 电液伺服阀两液压缸同步 控制系统	222
10.1.1 液压伺服系统的工作原理	214	10.4.3 汽轮机调节系统	223
10.1.2 液压伺服系统的构成	216	10.4.4 电液速度伺服控制系统	224
10.1.3 液压伺服系统的分类	217	思考题与习题	226
10.2 典型的液压伺服控制元件	217		

第二篇 气压传动

第11章 气压传动基础知识	227	12.2.1 气动控制元件的分类及特性 ...	247
11.1 气压传动概述	227	12.2.2 压力控制元件	247
11.1.1 气压传动的应用	227	12.2.3 流量控制元件	250
11.1.2 气压传动的优、缺点	228	12.2.4 方向控制元件	251
11.1.3 气压传动的发展概况及 发展趋势	229	12.3 气动逻辑元件	258
11.1.4 气压传动的组成	229	12.3.1 概述	258
11.2 空气的性质及基本计算	231	12.3.2 高压截止式逻辑元件	258
11.2.1 空气的性质	231	12.3.3 高压膜片式逻辑元件	261
11.2.2 气压传动的基本计算	233	12.3.4 逻辑元件的选用	262
11.3 气体在管道中的流动特性	238	12.4 气动转换元件及比例控制	263
11.3.1 音速	238	12.4.1 气动传感器	263
11.3.2 马赫数	239	12.4.2 转换器-压力开关	264
11.3.3 变截面管道中的亚音速和 超音速流动	239	12.4.3 气动放大器	265
思考题与习题	240	12.4.4 气动变送器	265
第12章 气动元件	242	12.4.5 气动测量系统	266
12.1 气动执行元件	242	12.4.6 气动比例控制系统	267
12.1.1 气缸	242	思考题与习题	268
12.1.2 气动马达	246	第13章 气源装置和气动辅助元件	269
12.2 气动控制元件	246	13.1 气源装置	269
		13.1.1 压缩空气品质对气动系统的 影响	269
		13.1.2 气动系统对压缩空气的要求 ...	269

13.1.3 气源装置的组成和布置	270	14.2.3 其他回路	292
13.1.4 空气压缩机及选用	270	思考题与习题	294
13.2 压缩空气净化设备	271	第 15 章 气动系统的设计	295
13.2.1 后冷却器	271	15.1 概述	295
13.2.2 油水分离器	272	15.1.1 程序控制的分类	295
13.2.3 空气过滤器	273	15.1.2 行程程序的表示方法	296
13.2.4 干燥器	274	15.1.3 干扰信号及其分类	297
13.2.5 贮气罐	275	15.2 多缸单往复行程程序 回路设计	298
13.3 油雾器	276	15.3 多缸多往复行程程序 回路设计	308
13.4 气动三联件	277	15.4 气压传动应用实例分析	313
13.5 消声器	278	15.4.1 气动传动机械手气压 传动系统	313
13.6 管道连接件	280	15.4.2 香皂装箱机气压系统	314
思考题与习题	280	15.4.3 2ZZ862 型射芯机	316
第 14 章 气动回路	281	15.4.4 气压伺服系统	318
14.1 基本回路	281	15.4.5 加压控制伺服系统	319
14.1.1 压力控制回路	281	15.5 气动系统设计的内容及步骤 ...	320
14.1.2 方向控制回路	282	思考题与习题	323
14.1.3 速度控制回路	284		
14.2 常用回路	288		
14.2.1 安全保护回路	288		
14.2.2 往复运动回路	290		
附录 常用液压与气动元（辅）件图形符号	324		
参考文献	330		

第一篇 液 压 传 动

第 1 章

绪 论

1.1 液压传动的发展概况

1.1.1 液压传动技术的历史进展与发展趋势

从公元前 200 多年前到 17 世纪初,包括希腊人发明的螺旋提水工具和中国出现的水轮机等,可以说是液压技术最古老的应用。然而,液压传动直到 20 世纪 30 年代才真正得到推广应用。19 世纪工业上所使用的液压传动装置是以水作为工作介质,因其密封问题一直未能很好解决以及电气技术的发展和竞争,曾一度导致液压技术停滞不前。直到 1905 年美国人詹涅(Janney)首先将矿物油代替水作液压介质后才开始改观。20 世纪 30 年代后,由于车辆、航空、舰船等功率传动的推动,相继出现了斜轴式及弯轴式轴向柱塞泵、径向和轴向液压马达;1936 年 Harry Vickers 发明了先导控制压力阀为标志的管式系列液压控制元件。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,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-机械转换器的电液比例控制阀并被广泛用于工业控制中,提高了电液控制系统的抗污染能力和性能价格比。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、力学和微电子技术、计算机技术、控制科学等紧密结合,出现了微处理机、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(如美国 Lee 公司研制的微型液压阀等),提高了液压系统的智能化程度和可靠性,并应用计算机技术开展了对液压元件和系统的动、静态性能数学仿真及结构的辅助设计和制造(CAD/CAM)。如前所述,随着科学技术的进步和人类对环保、能源危机意识的提高,近 20 年来人们重新认识和研究历史上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持续稳定地复苏和发展,正在逐步成为现代液压传动技术中的热点技术和新的发展方向之一。

今天,为了和最新技术的发展保持同步,液压技术不断创新,不断地提高和改进元件、系统的性能,以满足日益变化的市场需求。液压技术的持续发展主要体现在以下几个方面:

1) 提高元件性能,创制新型元件,体积不断缩小。为了能在尽可能小的空间内传递尽可

能大的功率，液压元件的结构不断地在向小型化方向发展。

2) 高度的组合化、集成化和模块化。液压系统由管式配置经板式配置、箱式配置、集成块式配置发展到叠加式配置、插装式配置，使连接的通道越来越短。也出现了一些组合集成件，如把液压泵和压力阀做成一体，把压力阀插装在液压泵的壳体内；把液压缸和换向阀做成一体，只需接一条高压管与液压泵相连，一条回油管与油箱相连，就可以构成一个液压系统。这种组合件不但结构紧凑，工作可靠，而且使用简单，也容易维护保养。

模块化发展也是非常重要的方面，完整的模块以及独立的功能单元，对用户而言，只需简单地组装即可投入使用，这样不仅可以大大节约用户的装配时间，同时用户也无须配置各种专门培训的技术人员。

3) 和微电子结合，走向智能化。液压技术从 20 世纪 70 年代中期起就开始和微电子工业接触，并相互结合。在迄今不到 30 年的时间内，结合层次不断提高，从简单拼装、分散混合到总体组合，出现了多种形式的独立产品，如数字液压泵、数字阀、数字液压缸等。其中的高级形式已发展到把编了程序的芯片和液压控制元件、液压执行元件或是能源装置、检测反馈装置、数模转换装置、集成电路等汇成一体。这种汇在一起的联结体只要一收到微处理机或微型计算机送来的信息，就能实现预定的任务。

液压技术的智能化阶段已经开始，从实践成功的事例来看，成果诱人。例如，驾驶舱模拟器能通过微型计算机控制 6 个液压缸，实现快速的（每秒钟 20 次）协调动作，以使受训练的波音民航喷气客机驾驶员不用上天就可以经历 6 个自由度的颠簸摇摆、座椅振动、着陆弹跳等项的运动感觉，并能对驾驶员的操作做出拟真的响应。液压技术与微电子技术紧密结合后，在微型计算机和微处理机的控制下，可以进一步拓宽它的应用领域。

表 1.1 列出了国内外液压技术发展的主要动向。

表 1.1 国内外液压技术发展的主要动向

发展 内容	国内	国外	发展 内容	国内	国外
	小型化、集成化、 多样化	机电一体化集成元 件和系统		高效、节能、环保	高精度数字控制 元件和系统
	高度、高速、高精 度、高可靠性	智能化自动控制元 件和系统		机电一体化	水介质元件和 系统

1.1.2 我国液压传动技术的发展现状

我国的液压技术开始于 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。1964 年从国外引进一些液压元件生产技术，同时自行设计液压产品，经过 20 多年的艰苦探索和发展，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。到目前为止，我国的液压行业已形成了一个门类比较齐全，有一定生产能力和技术水平的工业体系。我国的液压件已从低压到高压形成系列，并生产出许多新型的元件，如插装式锥阀、电液比例阀、电液数字控制阀等。液压产品有 1 200 个品种、10 000 多个规格(含液力产品 60 个品种、500 个规格)，已基本能适应各类主

机产品的需要,为重大成套装备的品种配套率也可达60%以上,并开始有少量出口。据统计,2004年液压行业的总产值约达103亿元,首次突破100亿元,创历史最高水平。目前,我国的液压元件制造业已能为包括金属材料工程、铁路与公路运输、建材建筑、工程机械及农林牧机械、家电五金、轻工纺织、航空与河海工程、计量质检与特种设备、国防及武器装备、公共设施与环保等行业在内的多种部门提供较为齐全的液压元件产品。我国机械工业在认真消化、推广国外引进的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,合理调整产品结构,对一些性能差而且不符合国家标准的液压件产品,采用逐步淘汰的措施。

尽管我国液压工业已取得了很大的进步,但与主机发展需求及世界先进水平相比,还存在不少差距,主要反映在:①产品品种少(例如约为美国的1/6、德国的1/5);液压技术使用率较低(据统计资料表明,世界上先进国家液压工业产值占机械工业产值的2%~3%,而我国仅占0.8%~1%);水平低,质量不稳定,早期故障率高,可靠性差。例如齿轮泵的工作压力,国内一般为14~20 MPa,国外为21~28 MPa;柱塞泵的寿命国产的为5 000 h,比国外低1/2,噪声比国外高5~10 dB(A);液压阀的寿命为国外的1/2;特别是机电一体化的元件和系统,国内尚未广泛应用。②专业化程度低,规模小,经济效益差。③科研开发力量尚较薄弱,技术进步缓慢(例如国内各企业虽然政策规定可以提取销售额的1%用于企业的科研开发,但很多企业无力支付,而各大著名跨国公司用于科技开发的资金占其销售额的5%,甚至高达10%)。④本行业产品尚未打开国际市场。液压产品国际市场容量很大,但我国的出口刚刚起步,发展余地很大。

总之,液压技术应用广泛,它作为工业自动化的一种重要基础件,已经与传感技术、信息技术、微电子技术紧密结合,形成并发展成为包括传动、检测、在线控制的综合自动化技术,其内涵较之传统的液压技术更加丰富而完整。21世纪是一个高度自动化的社会,随着科技的发展和人类的新需要,大型智能型行走机器人将应运而生。液压技术作为能量传递或做功环节是其中必不可少的一部分,无论现在还是将来,液压技术在国民经济中都占有重要的一席之地,发挥着无法替代的作用。我们只有奋起直追,才能缩小我国与先进国家在液压技术研究与应用方面的差距。

1.2 液压传动的工作原理及其组成部分

1.2.1 液压传动的工作原理

为便于理解,列举两个例子来介绍液压传动系统的工作原理。

(1) 以实现往复运动的平面磨床的半结构式液压传动系统为例

图1.1与图1.2分别为液压传动系统工作原理示意图及其职能符号图。图1.1中,电动机带动液压泵4旋转,液压泵4从油箱1经过滤油器2吸油,当开停阀9、换向阀15的手柄处于图1.1a所示的位置时,液压油通过开停阀9、节流阀13、换向阀15进入液压缸18的无杆腔;液压缸18有杆腔的液压油经回油管14回到油箱1,这时活塞17带动工作台19向右运动。

若将换向阀15的手柄16推至图1.1b所示的位置,这时液压油进入液压缸18的有杆腔;液压缸18无杆腔的液压油经回油管14回到油箱1,这时工作台19向左移动。

若将换向阀15的手柄16推至图1.1c所示的位置,这时液压油经溢流阀7、回油管3回到

油箱 1，工作台 19 停止运动。

若将开停阀 9 的手柄 11 推至图 1.1d 所示的位置，这时液压油经开停阀 9、回油管 12 回到油箱 1，整个系统卸荷。

由此可见，由于设置了换向阀 15，所以可改变压力油的通路，使液压缸不断换向实现工作台的往复运动。

工作台 19 的速度 v 可通过节流阀 13 来调节。节流阀的作用是利用改变节流阀开口大小来调节通过节流阀油液的流量，以控制工作台的速度。

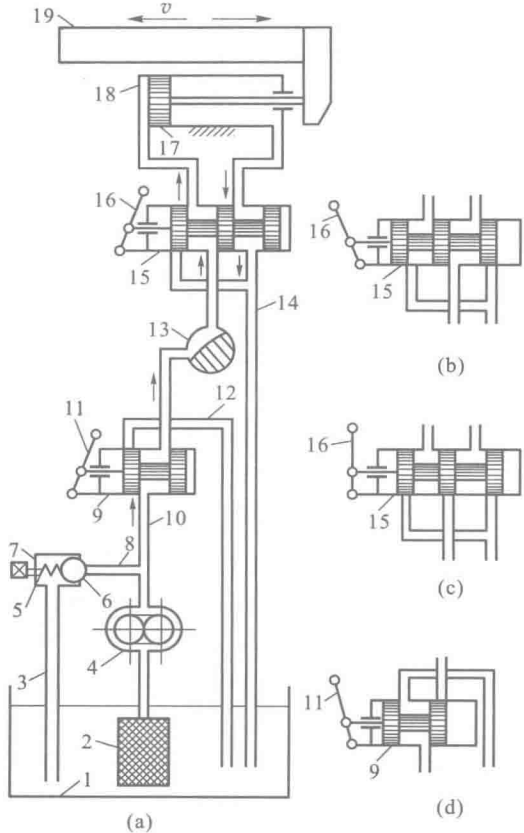


图 1.1 液压传动系统工作原理图

- 1—油箱；2—滤油器；3、12、14—回油管；4—液压泵；
5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；8—压力支管；9—开停阀；
10—压力管；11—开停阀手柄；13—节流阀；
15—换向阀；16—换向阀手柄；17—活塞；
18—液压缸；19—工作台

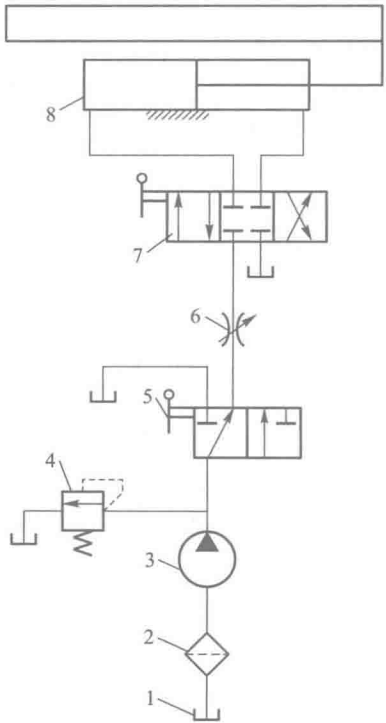


图 1.2 液压传动系统工作原理图对应的职能符号图

- 1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；5—开停阀；
6—节流阀；7—换向阀；8—液压缸

工作台运动时要克服阻力，克服切削力和相对运动件表面的摩擦力等，这些阻力由液压泵输出油液的压力能来克服，根据工作情况的不同，液压泵输出油液的压力应该能够调整。另外一般情况下，液压泵排出的油液往往多于液压缸所需油液，多余的油液经溢流阀 7 流回油箱。

(2) 以液压千斤顶的原理示意图为例(图 1.3)

当向上提手柄 1 使小缸 2 内的活塞上移时，小缸下腔因容积增大而产生真空，油液从油箱

5 通过吸油阀 4 被吸入并充满小缸容积。当按压手柄使小缸活塞下移时，则刚才被吸入的油液通过压油阀 3 输到大缸 7 的下腔。油液被压缩，压力立即升高，当油液的压力升高到能克服作用在大活塞上的负载(重物)所需的压力值时，重物就随手柄的下按而同时上升，此时吸油阀是关闭的。为要把重物能从举高的位置放下，系统中专门设置了截止阀(放油螺塞)6。

通过对上面系统的分析可见：

- 1) 液压传动是依靠运动着的液体的压力能来传递动力的，它与依靠液体的动能来传递动力的“液力传动”不同。
- 2) 液压系统工作时，液压泵将机械能转变为压力能，执行元件(液压缸)将压力能转变为机械能。
- 3) 液压传动系统中的油液是在受调节、控制的状态下进行工作的，液压传动与控制难以截然分开。
- 4) 液压传动系统必须满足它所驱动的机床部件(工作台)在力和速度方面的要求。
- 5) 有工作介质，液压传动是以液体作为工作介质来传递信号和动力的。

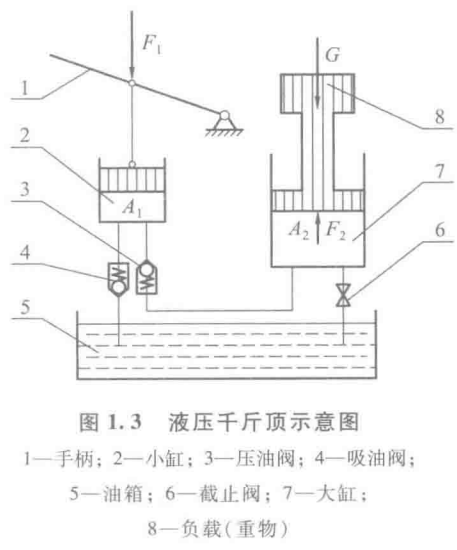
1.2.2 液压传动的组成部分与图形符号

1. 系统的组成及其功用

在液压传动与控制的机械设备或装置中，其液压系统大部分使用具有连续流动性的液压油等工作介质，通过液压泵将驱动泵的原动机机械能转换成液体的压力能，经过压力、流量、方向等各种控制阀，送至执行器(液压缸、液压马达或摆动液压马达)中，转换为机械能去驱动负载。这样的液压系统一般都是由动力装置、执行装置、控制阀、液压辅件及液压工作介质等几部分组成，各部分功能作用见表 1.2。

表 1.2 液压系统的组成部分及功用

组 成 部 分		功 能 作 用
动力装置	原动机(电动机或内燃机)和液压泵	将原动机产生的机械能转变为液体的压力能，输出具有一定压力的油液
执行装置	液压缸、液压马达和摆动液压马达	将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
控制阀	压力、流量、方向控制阀及其他控制元件	控制调节液压系统中从泵到执行器的油液压力、流量和方向，以保证执行器驱动的主机工作机构完成预定的运动规律



续表

组 成 部 分		功 能 作 用
液压辅件	油箱、管件、过滤器、热交换器、蓄能器及指示仪表等	用来存放、提供和回收液压介质，实现液压元件之间的连接及传输载能液压介质，滤除液压介质中的杂质，保持系统正常工作所需的介质清洁度，系统加热或散热，储存、释放液压能或吸收液压脉动和冲击，显示系统压力、油温等
液压工作介质	各类液压油(液)	作为系统的载能介质，并能在传递能量的同时起润滑冷却作用

2. 液压系统的图形符号

图 1.1 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图，直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦，系统中元件数量多时更是如此。对于这些液压系统中的各种元件，我国国家标准 GB/T 786.1—1993 对其图形符号做出了规定。采用图形符号，既可简化液压元件及液压系统原理图的绘制，又可简单明了地反映和分析液压系统的组成、油路联系和工作原理，如图 1.2 所示。

必须指出，用图形符号绘制的液压系统图并不表示各元件的具体结构及其实际安装位置和管道布置。

1.3 液压传动的优、缺点

1. 液压传动的优点

1) 在同等的体积下，液压装置能比电气装置产生出更大的动力。在同等的功率下，液压装置体积小，重量轻，功率密度大，结构紧凑。统计资料表明，液压泵和液压马达单位功率的重量只有发电机和电动机的 1/10，液压泵和液压马达可小至 0.002 5 N/W，而同等功率的发电机和电动机则约为 0.03 N/W。至于尺寸，前者约为后者的 12%~13%。就输出力而言，用泵很容易达到极高压力的液压油液，将此油液传送至液压缸后即可产生很大的作用力。所以，液压技术有利于机械设备及其控制系统的微型化、小型化，并进行大功率作业。

2) 液压装置工作比较平稳。由于重量轻、惯性小、反应快，液压装置易于实现快速启动、制动和频繁的换向，往复回转运动的换向频率可达 500 次/min，往复直线运动的换向频率高达 1 000 次/min；油液具有弹性，可吸收冲击，故液压传动传递运动均匀平稳。

3) 液压装置易于实现过载保护。液压缸和液压马达都能长期在堵转状态下工作而不会过热，这是电气传动装置和机械传动装置无法办到的。

4) 液压传动易于自动化，对液体压力、流量或流动方向易于进行调解或控制。当将液压控制和电气控制、电子控制或气动控制结合起来使用时，整个传动装置能实现很复杂的顺序动作，也能方便地实现远程控制。

5) 液压装置能在大范围内实现无级调速(调速范围可达 2 000:1)，它还可以在运行过程中进行调速。

6) 液压系统设计、制造和使用维护方便。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，因此便于液压系统的设计、制造和使用维护，有利于缩短机器设备的设计制造周期并降低制造成本。

7) 用液压传动实现直线运动远比用机械传动简单。

8) 布局灵活方便。液压元件的布置不受严格的空間位置限制，容易按照机器的需要通过管道实现系统中各部分的连接，布局安装具有很大的柔性，能够组成其他方法难以组成的复杂系统。

2. 液压传动的缺点

1) 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失(摩擦损失、泄漏损失等)，传动效率偏低，长距离传动时更是如此。

2) 不能保证定比传动。由于液体的压缩性和泄漏等因素的影响，液压技术不能严格保证定比传动。

3) 液压传动对油温变化比较敏感，它的工作稳定性很易受到温度的影响，因此它不宜在很高或很低的温度条件下工作，采用石油基液压油作传动介质时还需要注意防火问题。

4) 造价较高。为了减少泄漏，液压元件在制造精度上的要求较高，因此它的造价较高，而且对工作介质的污染比较敏感。

5) 故障诊断困难。液压元件与系统容易因液压油液污染等原因造成系统故障，且发生故障不易诊断。

液压传动与其他传动方式的综合比较见表 1.3。

表 1.3 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
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
价格	稍高	低	一般	稍高
危险性	稍高	几乎无	无特别问题	注意漏电