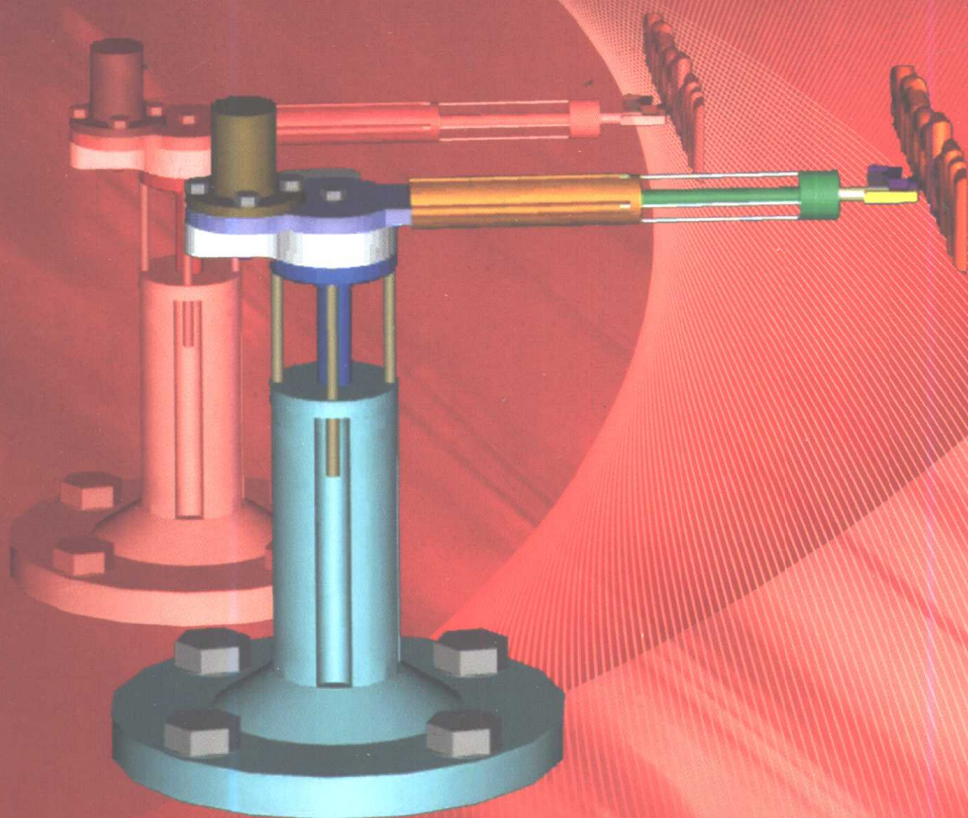




21世纪高职高专系列教材

液压与气压传动

中国机械工业教育协会 组编



机械工业出版社
China Machine Press

21 世纪高职高专系列教材

液 压 与 气 压 传 动

中国机械工业教育协会 组编

主 编 甘肃工业大学 李鄂民

副主编 山东工程学院 赵以强

参 编 甘肃工业大学 高钰堂

合肥联合大学 陈琪云

洛 阳 大 学 王长昕

主 审 武汉船舶职业技术学院 江秀坤



机 械 工 业 出 版 社

本书是根据高等职业技术和高等专科教育要求编写的。全书包含液压传动和气压传动两部分内容,共14章。主要论述了液压与气压传动的流体力学基础知识;液压、气动元件的工作原理和结构特点;液压、气动基本回路和典型系统的组成与分析;液压、气动系统的安装、调试和维护要点以及常见故障的分析与排除方法。

本书编写着重基本概念和原理的阐述,突出理论联系实际,加强针对性和实用性,注意引入新的技术内容,扩大适用面,旨在培养学生对液压与气动技术的全面了解和实际应用能力。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学、成人教育学院、夜大学、函授大学等大专层次的机电类及机械类专业的教学用书。也可供其它有关专科学校学生、工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/中国机械工业教育协会组编. —北京:机械工业出版社, 2001.6

21世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-08370-9

I. 液… II. 中… 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. TH13

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第030646号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:李铭杰 版式设计:冉晓华 责任校对:孙志筠

封面设计:姚毅 责任印制:路琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年7月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·15.5印张·382千字

0 001—4 000册

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、68326677—2527

21 世纪高职高专系列教材编委会名单

编委会主任 中国机械工业教育协会 郝广发

编委会副主任 (单位按笔画排)

山东工程学院 仪垂杰
大连理工大学 唐志宏
天津大学 周志刚
甘肃工业大学 路文江
江苏理工大学 杨继昌
成都航空职业技术学院 陈玉华

机械工业出版社 陈瑞藻 (常务)
沈阳工业大学 李荣德
河北工业大学 檀润华
武汉船舶职业技术学院 郭江平
金华职业技术学院 余党军

编委会委员 (单位按笔画排)

广东白云职业技术学院 谢瀚华
山东省职业技术教育师资培训中心 邹培明
上海机电技术高等专科学校 徐余法
天津中德职业技术学院 李大卫
天津理工学院职业技术学院 沙洪均
日照职业技术学院 李连业
北方交通大学职业技术学院 佟立本
辽宁工学院职业技术学院 李居参
包头职业技术学院 郑刚
北京科技大学职业技术学院 马德青
北京建设职工大学 常莲
北京海淀走读大学 成运花
江苏理工大学 吴向阳
合肥联合大学 杨久志

同济大学 孙章
机械工业出版社 李超群 余茂祚 (常务)
沈阳建筑工程学院 王宝金
佳木斯大学职业技术学院 王跃国
河北工业大学 范顺成
哈尔滨理工大学工业技术学院 线恒录
洛阳大学 吴锐
洛阳工学院职业技术学院 李德顺
南昌大学 肖玉梅
厦门大学 朱立秒
湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪
彭城职业大学 陈嘉莉
燕山大学 刘德有

序

1999年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议，作出了“关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定”的重大决策，强调教育在综合国力的形成中处于基础地位，坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务；以适应社会需要为目标；以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案；以“应用”为主旨和特征来构建课程和教学内容体系；高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求；教材可以“一纲多本”，形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求，中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本（书目附书后）已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制（总学时1600~1800）、兼顾2年制（总学时1100~1200）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为重点；专业课加强了针对性和实用性，强化了实践教学。为了扩大使用面，在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的，但每本教材又有各自的独立性。因此各地区院校可根据自己的教学特点进行选择使用。

为了提高质量，真正编写出有显著特色的21世纪高职高专系列教材，组织编写队伍时，采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿，以便实践教学和理论教学能相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验，出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材，在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合21世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

前 言

本书是为高等职业技术和高等专科机电类及机械类专业编写的液压与气压传动教学用书。

全书包含液压传动和气压传动两部分内容，共14章。前九章主要论述了液压传动的流体力学基础知识，液压元件的工作原理和结构特点，液压基本回路的组成和典型系统分析，液压系统的设计简介和安装、调试、维护保养要点；后五章主要论述了气压传动的基础知识，气源装置和气动元件的工作原理以及结构特点，气动基本回路和气动系统分析，气动系统的安装、调试和维护保养要点。并对液压与气动系统常见故障的分析与排除方法作了适当的介绍。

本书在内容取舍上贯彻少而精、理论联系实际的原则。为体现高职高专教育的特点，基础知识部分以必需、够用为度，专业部分加强针对性和实用性，注意理论教学与实训教学的密切结合，注重学生在应用技术方面的能力培养。并在一定程度上反映了国内外液压与气动比较成熟的新技术和新成果。为便于学生阅读和理解，介绍元件工作原理多配以简化的原理图，典型结构示例配以常用新型的结构图；各章末均附有复习思考题。液压气动图形符号全部采用新的国家标准。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人教育学院、职工大学、夜大学、函授大学等大专层次的机电类及机械类专业的教学用书。也可供其它有关专科学校学生、工程技术人员参考。本书中液压传动和气压传动两部分内容既有联系，又相互独立，各校可根据需要选用。

本书由李鄂民主编，赵以强为副主编。参加编写工作的有：甘肃工业大学李鄂民（第1、7、8、9、14章），山东工程学院赵以强（第5章），甘肃工业大学高钰堂（第10、11、12、13章），合肥联合大学陈琪云（第2、4章），洛阳大学王长昕（第3、6章）。全书由李鄂民统稿。

本书由武汉船舶职业技术学院江秀坤主审，他对本书的编写大纲提出了十分有益的建议，对全稿进行了细致详尽的审阅，提出了许多宝贵的修改意见，编者在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在缺点和不妥之处，恳切希望同仁和广大读者批评指正。

编 者

第一批 21 世纪高职高专系列教材目录

高等数学（理工科用）	汽车电器与电子设备	会计基础
高等数学学习指导书 （理工科用）	公路运输与安全	财务会计
高等数学（文科用）	汽车检测与维修	成本会计
计算机应用基础	工程制图（非机械类用）	财务管理
应用文写作	工程制图习题集（非机械类用）	会计电算化
经济法概论	电路基础	管理会计
C 语言程序设计	单片机原理与应用	会计模拟实验
工程制图（机械类用）	电力拖动与控制	审计学
工程制图习题集（机械类用）	可编程序控制器及其应用	中国税制及实务处理
几何量精度设计与检测	工厂供电	市场营销学
工程力学	微机原理与应用	建筑制图
金属工艺学	模拟电子技术	建筑制图习题集
机械设计基础	数字电子技术	建筑力学
工业产品设计	计算机网络技术	建筑材料
液压与气压传动	多媒体技术及其应用	建筑工程测量
电工与电子基础	操作系统	钢筋混凝土结构及砌体结构
机械制造基础	数据结构	房屋建筑学
数控技术	软件工程	土力学及地基基础
专业英语（机械类用）	微型计算机维护技术	建筑设备
金工实习	汇编语言程序设计	建筑施工
数控机床及其使用维修	网络应用技术	建筑工程概预算
数控加工工艺及编程	数据库基础及其应用	建筑装修装饰材料
机电控制技术	电子商务	建筑装修装饰构造
计算机辅助设计与制造	电工与电子实验	建筑装修装饰设计
微机原理与接口技术	专业英语（电类用）	楼宇智能化技术
机电一体化系统设计	秘书学原理及实务	建设工程监理
冷冲模设计及制造	公共关系原理及实务	建设工程招标与合同管理
塑料模设计及制造	档案管理学	房地产法规与案例分析
模具 CAD/CAM	统计学及统计实务	建设法规与案例分析
汽车构造		钢结构

目 录

序	
前言	
第1章 绪论	1
1.1 液压与气压传动的研究对象	1
1.2 液压与气压传动的工作原理	1
1.3 液压与气压传动系统的组成及类型	2
1.4 液压与气压传动的优缺点	4
1.5 液压与气动技术的发展及应用	5
复习思考题	7
第2章 液压传动基础知识	8
2.1 液体的性质	8
2.1.1 液体的密度	8
2.1.2 液体的可压缩性	8
2.1.3 液体的粘性	8
2.1.4 液压油(液)的选用	10
2.2 液体静力学基础	12
2.2.1 液体的静压力及其性质	12
2.2.2 液体静力学的基本方程	13
2.2.3 压力的传递	13
2.2.4 绝对压力、相对压力、真空度	14
2.2.5 液体作用在固体壁面上的力	14
2.3 液体动力学基础	15
2.3.1 基本概念	15
2.3.2 连续性方程	16
2.3.3 伯努利方程	16
2.3.4 动量方程	18
2.4 管道内的压力损失	19
2.4.1 层流、紊流和雷诺数	20
2.4.2 沿程压力损失	21
2.4.3 局部压力损失	22
2.4.4 管道系统中的总压力损失	22
2.5 液体流经小孔和间隙的流量	22
2.5.1 液体流经小孔的流量	23
2.5.2 液体流经间隙的流量	24
2.6 液压冲击和空穴现象	26
2.6.1 液压冲击	26
2.6.2 空穴现象	26
复习思考题	27
第3章 液压动力元件	29
3.1 液压泵概述	29
3.1.1 液压泵的工作原理和类型	29
3.1.2 液压泵的基本性能参数	29
3.2 齿轮泵	31
3.2.1 外啮合齿轮泵	31
3.2.2 内啮合齿轮泵	33
3.3 叶片泵	34
3.3.1 单作用叶片泵	34
3.3.2 双作用叶片泵	35
3.3.3 限压式变量叶片泵	37
3.4 柱塞泵	37
3.4.1 斜盘式轴向柱塞泵	38
3.4.2 斜轴式轴向柱塞泵	40
3.4.3 径向柱塞泵	42
3.5 液压泵的主要性能和选用	43
3.5.1 液压泵的主要性能和选用	43
3.5.2 液压泵常见故障的分析和排除方法	43
复习思考题	44
第4章 液压执行元件	45
4.1 液压马达概述	45
4.1.1 液压马达的特点与分类	45
4.1.2 液压马达的主要性能参数	45
4.2 高速马达	47
4.2.1 齿轮马达	47
4.2.2 叶片马达	47
4.2.3 轴向柱塞马达	48

4.3 低速马达	48	和排除方法	93
4.3.1 曲轴连杆式径向柱塞马达	49	复习思考题	95
4.3.2 多作用内曲线径向柱塞马达	50	第6章 液压辅助元件	97
4.4 液压缸	51	6.1 蓄能器	97
4.4.1 液压缸的类型和特点	51	6.1.1 蓄能器的类型、结构和 工作原理	97
4.4.2 液压缸的结构形式及安装方式	55	6.1.2 蓄能器的功用	97
4.4.3 液压缸常见故障的分析和 排除方法	58	6.1.3 蓄能器的安装和使用	98
复习思考题	58	6.2 过滤器	98
第5章 液压控制元件	60	6.2.1 过滤器的主要性能指标	98
5.1 液压阀概述	60	6.2.2 过滤器的种类和结构特点	99
5.1.1 液压阀的分类	60	6.2.3 过滤器的选用	100
5.1.2 液压阀的共性问题	60	6.2.4 过滤器的安装	100
5.1.3 液压阀的基本参数	62	6.3 油箱	101
5.2 压力控制阀	63	6.3.1 油箱的结构	101
5.2.1 溢流阀	63	6.3.2 油箱的设计要点	102
5.2.2 减压阀	67	6.4 管道及管接头	103
5.2.3 顺序阀	68	6.4.1 管道的种类和材料	103
5.2.4 压力继电器	70	6.4.2 管道的尺寸	104
5.3 流量控制阀	70	6.4.3 管接头	104
5.3.1 节流口的形式和流量特性	70	6.5 密封件	106
5.3.2 节流阀	72	6.5.1 接触密封	106
5.3.3 调速阀	73	6.5.2 间隙密封	108
5.3.4 溢流节流阀	74	复习思考题	109
5.4 方向控制阀	75	第7章 液压基本回路	110
5.4.1 单向阀	75	7.1 压力控制回路	110
5.4.2 换向阀	76	7.1.1 调压回路	110
5.5 叠加阀和插装阀	83	7.1.2 减压回路	111
5.5.1 叠加阀	83	7.1.3 增压回路	111
5.5.2 二通插装阀	83	7.1.4 卸荷回路	112
5.6 电液比例控制阀	87	7.1.5 平衡回路	113
5.6.1 比例电磁铁	88	7.2 速度控制回路	114
5.6.2 比例压力控制阀	89	7.2.1 调速回路	114
5.6.3 比例流量控制阀	89	7.2.2 速度变换回路	123
5.6.4 比例方向控制阀	90	7.3 方向控制回路	125
5.6.5 比例控制阀的主要 性能指标	92	7.3.1 换向回路	125
5.7 液压阀的选择与使用	92	7.3.2 锁紧回路	126
5.7.1 液压阀的选择	92	7.3.3 浮动回路	126
5.7.2 液压阀的安装	93	7.4 多执行元件动作控制回路	126
5.7.3 液压阀常见故障的分析		7.4.1 顺序动作回路	126

7.4.2 同步控制回路	127	10.1.2 空气的基本状态参数	157
复习思考题	129	10.1.3 压缩空气的相对湿度、压力 露点和密度	159
第8章 液压传动系统	131	10.2 气体状态方程	159
8.1 典型液压传动系统分析	131	10.2.1 理想气体状态方程	159
8.1.1 压力机液压系统	131	10.2.2 状态变化过程	160
8.1.2 组合机床动力滑台液压系统	134	10.3 气体流动规律	161
8.1.3 塑料注射成形机液压系统	136	10.3.1 连续性方程	161
8.1.4 挖掘机液压系统	139	10.3.2 伯努利方程	161
8.2 液压传动系统的设计简介	141	10.3.3 声速与气体在管道中的流动 特性	163
8.3 液压系统的安装和调试	142	10.3.4 气动元件的流通能力	164
8.3.1 液压系统的安装	142	复习思考题	167
8.3.2 液压系统的调试	144	第11章 气源装置和气动辅助 元件	168
8.4 液压系统的使用与维护	145	11.1 气源装置	168
8.4.1 液压系统的使用要求	145	11.1.1 压缩空气站的组成	168
8.4.2 液压设备的维护和保养	145	11.1.2 气源净化装置	169
8.5 液压系统常见故障的分析和 排除方法	146	11.2 其它附件	173
8.5.1 液压系统发生故障的规律	146	11.2.1 润滑元件	173
8.5.2 液压系统常见故障的分析和 排除方法	146	11.2.2 消声器	175
复习思考题	148	11.2.3 转换器	176
第9章 液压伺服控制系统	149	11.2.4 管件及管路系统	179
9.1 概述	149	复习思考题	181
9.1.1 液压伺服控制系统的工作原理	149	第12章 气动执行元件	182
9.1.2 液压伺服控制系统的组成和 分类	149	12.1 气缸	182
9.2 液压伺服阀的基本类型	150	12.1.1 气缸的分类	182
9.2.1 滑阀	150	12.1.2 常见气缸的输出力和耗气量 计算	182
9.2.2 喷嘴挡板阀	151	12.1.3 标准化气缸简介	183
9.2.3 射流管阀	152	12.1.4 几种常用特殊气缸	184
9.3 电液伺服阀	152	12.1.5 气缸的选择和使用要求	186
9.4 液压伺服控制系统举例	153	12.2 气马达	187
9.4.1 机液伺服系统	153	12.2.1 气马达的分类和工作原理	187
9.4.2 电液伺服控制系统	154	12.2.2 气马达的选择和使用要求	189
复习思考题	156	复习思考题	190
第10章 气压传动基础知识	157	第13章 气动控制元件	191
10.1 空气的性质	157	13.1 压力控制阀	191
10.1.1 空气的组成	157	13.1.1 减压阀	191

13.1.2 单向顺序阀	195	14.1.4 气液联动回路	213
13.1.3 安全阀(溢流阀)	195	14.1.5 往复动作回路	214
13.2 流量控制阀	195	14.1.6 气动基本逻辑回路	215
13.2.1 节流阀	195	14.2 气动行程程序控制回路	217
13.2.2 比例流量方向阀	196	14.2.1 障碍信号的产生	217
13.3 方向控制阀	197	14.2.2 X—D线图法	218
13.3.1 单向型控制阀	197	14.3 气压传动系统举例	222
13.3.2 换向型控制阀	199	14.3.1 工件夹紧气动系统	222
13.3.3 方向控制阀的选用	205	14.3.2 机械手气动系统	223
13.4 气动逻辑元件	206	14.4 气动系统的安装、调试、使用	
13.4.1 气动逻辑元件的分类及特点	206	与维修	225
13.4.2 高压截止式逻辑元件	206	14.4.1 气动系统的安装与调试	225
复习思考题	210	14.4.2 气动系统的使用与维修	225
第14章 气动基本回路和气动		14.4.3 气动系统常见故障的分析与	
系统	211	排除方法	226
14.1 气动基本回路	211	复习思考题	230
14.1.1 压力控制回路	211	附录 常用液压与气动图形符号	
14.1.2 换向回路	211	(摘自 GB/T786.1—1993)	231
14.1.3 速度控制回路	212	参考文献	237

第 1 章 绪 论

1.1 液压与气压传动的研究对象

液压与气压传动（或称流体传动及控制）是研究以有压流体为传动介质来实现各种机械的传动和控制的学科。液压与气压传动都是基于流体力学的帕斯卡原理，主要利用流体的压力能来进行能量传递和控制的传动方式，因而它们实现传动和控制的方法基本相同，都是利用各种元件组成具有所需功能的基本回路，再由若干基本回路有机组合成传动和控制系统，从而实现能量的转换、传递和控制。因此，了解传动介质的基本物理性质及其力学特性，研究各类元件的结构、工作原理和性能，以及各种基本回路的性能和特点，并在此基础上形成对传动及控制系统的分析、设计和使用，这就是本学科的研究对象。

液压传动所用的介质是液体（主要是矿物油），气压传动所用的是空气。由于这两种流体的性质不同，所以液压与气压传动又有各自的特点。液压传动传递动力大（液体工作压力高），运动平稳，但液体粘性较大，流动过程中阻力损失大，因而不宜作远距离的传动和控制；气压传动由于空气的可压缩性大，工作压力低（通常在 1MPa 以下），故传递动力较小，运动也不够平稳，但空气粘性小，流动过程中阻力小、速度快、反应灵敏，因而能用于较远距离的传动和控制，且组成系统的成本较低。为了综合利用两者的优势，也可采用以气压为动力的气液联合传动，以获得既经济又平稳的传动效果。

1.2 液压与气压传动的工作原理

液压与气压传动的工作原理基本相似，现以图 1-1 所示的手动液压千斤顶为例，说明它们的工作原理。由大缸体 5 和大活塞 6 组成举升液压缸；由手动杠杆 4、小缸体 3、小活塞 2、进油单向阀 1 和排油单向阀 7 组成手动液压泵。

当手动杠杆摆动时，小活塞作往复运动。小活塞上移，泵腔内的容积扩大而形成真空，油箱中的油液在大气压力的作用下，经进油单向阀 1 进入泵腔内；小活塞下移，泵腔内的油液顶开排油单向阀 7 进入液压缸内使大活塞带动重物一起上升。反复上下扳动杠杆，重物就会逐步升起。手动泵停止工作，大活塞停止运动；打开截止阀 8，油液在重力的作用下排回油箱，大活塞落回原位。这就是液压千斤顶的工作原理。

下面以图 1-1 所示为例，分析两活塞之间的力关系、运动关系和功率关系，说明液压传动的基本特征。

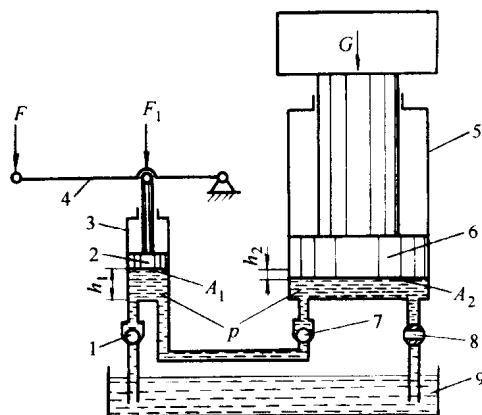


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

- 1—进油单向阀 2—小活塞 3—小缸体
4—手动杠杆 5—大缸体 6—大活塞
7—排油单向阀 8—截止阀 9—油箱

1. 力的关系 当大活塞上有重物负载时, 其下腔的油液将产生一定的液体压力 p , 即

$$p = G/A_2 \quad (1-1)$$

在千斤顶工作中, 从小活塞到大活塞之间形成了密封的工作容积, 依帕斯卡原理“在密闭容器内, 施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体各点”, 因此要顶起重物, 在小活塞下腔就必须产生一个等值的压力 p , 即小活塞上施加的力为

$$F_1 = pA_1 = \frac{A_1}{A_2} G \quad (1-2)$$

可见在活塞面积 A_1 、 A_2 一定的情况下, 液体压力 p 取决于举升的重物负载, 而手动泵上的作用力 F_1 则取决于压力 p 。所以, 被举升的重物负载越大, 液体压力 p 越高, 手动泵上所需的作用力 F_1 也就越大; 反之, 如果空载工作, 且不计摩擦力, 则液体压力 p 和手动泵上的作用力 F_1 都为零。液压传动的这一特征, 可以简略地表述为“压力取决于负载”。

2. 运动关系 由于小活塞到大活塞之间为密封工作容积, 小活塞向下压出油液的体积必然等于大活塞向上升起缸体内扩大的体积, 即 $A_1 h_1 = A_2 h_2$ 。

上式两端同除以活塞移动时间 t 得

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 \quad (1-3)$$

或

$$v_2 = \frac{A_1}{A_2} v_1 = \frac{q}{A_2} \quad (1-4)$$

式中 $q = v_1 A_1 = v_2 A_2$, 表示单位时间内液体流过某截面的体积。由于活塞面积 A_1 、 A_2 已定, 所以大活塞的移动速度 v_2 只取决于进入液压缸的流量 q 。这样, 进入液压缸的流量越多, 大活塞的移动速度 v_2 也就越高。液压传动的这一特征, 可以简略地表述为“速度取决于流量”。

这里需要着重指出, 以上两个特征是独立存在的, 互不影响。不管液压千斤顶的负载如何变化, 只要供给的流量一定, 活塞推动负载上升的运动速度就一定; 同样, 不管液压缸的活塞移动速度怎样, 只要负载一定, 推动负载所需的液体压力则确定不变。

3. 功率关系 若不考虑各种能量损失, 手动泵的输入功率等于液压缸的输出功率, 即

$$F_1 v_1 = G v_2$$

或

$$P = pA_1 v_1 = pA_2 v_2 = pq \quad (1-5)$$

可见, 液压传动的功率 P 可以用液体压力 p 和流量 q 的乘积来表示, 压力 p 和流量 q 是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

上述千斤顶的工作过程, 就是将手动机械能转换为液体压力能, 又将液体压力能转换为机械能输出的过程。

综上所述, 可归纳出液压传动的基本特征是: 以液体为工作介质, 依靠处于密封工作容积内的液体压力能来传递能量; 压力的高低取决于负载; 负载速度的传递是按容积变化相等的原则进行的, 速度的大小取决于流量; 压力和流量是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

1.3 液压与气压传动系统的组成及类型

图 1-2 所示为一机床工作台的液压传动系统, 它由液压泵、溢流阀、节流阀、换向阀、

液压缸、油箱以及连接管道等组成。

其工作原理是：液压泵 3 由电动机带动旋转，从油箱 1 经过滤器 2 吸油，液压泵排出的压力油先经节流阀 4 再经换向阀 6（设换向阀手柄向右扳动，阀芯处于右端位置）进入液压缸 7 的左腔，推动活塞和工作台 8 向右运动。液压缸右腔的油液经换向阀 6 和回油管道返回油箱。若换向阀阀芯处于左端位置（手柄向左扳动）时，活塞及工作台反向运动。改变节流阀 4 的开口大小，可以改变进入液压缸的液压油流量实现工作台运动速度的调节，多余的液压油流量经溢流阀 5 和溢流管道排回油箱。液压缸的工作压力由活塞运动所克服的负载决定。液压泵的工作压力由溢流阀调定，其值略高于液压缸的工作压力。由于系统的最高工作压力不会超过溢流阀的调定值，所以溢流阀还对系统起到过载保护的作用。

图 1-2a 所示的液压系统工作原理图是半结构式的，其直观性强，易于理解，但绘制起来比较繁杂。图 1-2b 所示是用液压图形符号绘制成的工作原理图，其简单明了，便于绘制，图中的符号可参见书末附录常用液压与气动图形符号（GB/T 786.1—1993）。

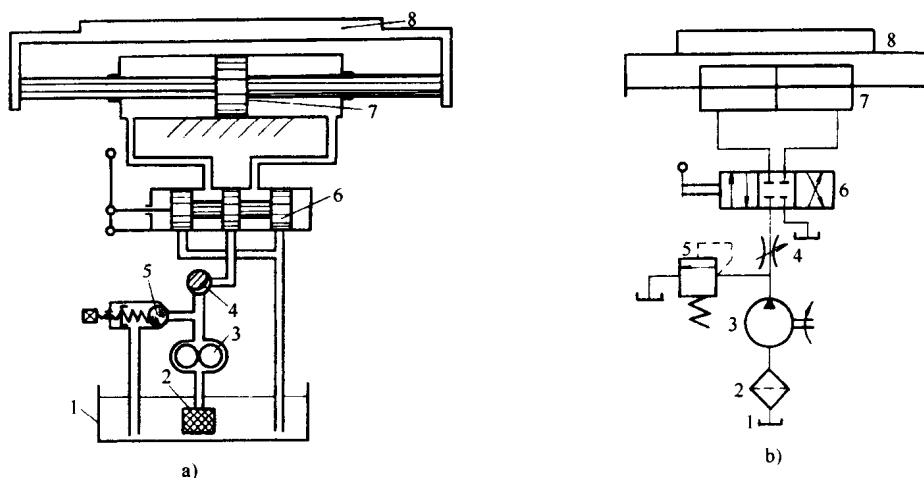


图 1-2 机床工作台液压系统的工作原理图

a) 结构原理图 b) 图形符号图

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

图 1-3 所示为气动剪切机的系统工作原理图。空气压缩机 1 由电动机驱动，产生的压缩空气经冷却器 2、油水分离器 3 进行降温及初步净化后，送入贮气罐 4 备用；再经气动三联件（分水滤气器 5、减压阀 6 和油雾器 7）、换向阀 9（阀芯在压缩空气作用下处于图示位置）到达气缸 10，活塞处下位。剪切机此时剪口张开，处于预备工作状态。当送料机构将原材料 12 送入剪切机并到达预定位置（将行程阀的触头向左推）时，换向阀下腔经行程阀 8 与大气连通，在弹簧作用下阀芯下移，使气缸上腔连通大气而下腔进入压缩空气，活塞连同动剪刀 11 快速向上运动将坯料切下。坯料落下后，行程阀复位，换向阀下腔气压上升，阀芯恢复到图示位置，活塞下移处下位，剪切机再次处于预备工作状态。此外，还可根据需要，在气路中加设节流阀来控制动剪刀的运动速度。

由以上两例可见，液压与气压传动系统由以下四部分组成：

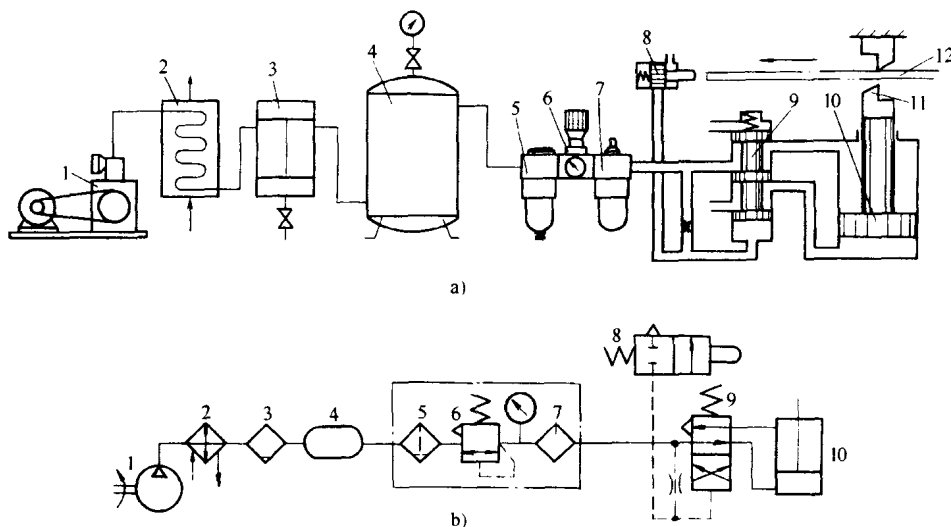


图 1-3 气动剪切机系统的工作原理图

a) 结构原理图 b) 图形符号图

1—空气压缩机 2—冷却器 3—油水分离器 4—贮气罐 5—分水滤气器 6—减压阀
7—油雾器 8—行程阀 9—换向阀 10—气缸 11—动剪刀 12—原材料

(1) 能源装置 液压泵（又称动力元件）或气源装置，其功能是将原动机输出的机械能转换成液体或气体的压力能，为系统提供动力。

(2) 执行元件 液压缸或气缸、液压马达或气马达，它们的功能是将液体或气体的压力能转换成机械能，以带动负载进行直线运动或旋转运动。

(3) 控制元件 压力、流量和方向控制阀，它们的作用是控制和调节系统中液体或气体的压力、流量和流动方向，以保证执行元件达到所要求的输出力（或力矩）、运动速度和运动方向。

(4) 辅助元件 保证系统正常工作所需要的辅助装置，包括管道、管接头、油箱或贮气罐、过滤器和指示仪表等。

1.4 液压与气压传动的优缺点

1. 液压传动的优缺点

(1) 液压传动的主要优点

1) 体积小、重量轻，单位重量输出的功率大。这是由于液压传动可以采用很高的压力（一般已达 32MPa，个别场合更高），因此具有体积小、重量轻的特点。如在同等功率下，液压马达的外形尺寸和重量为电动机的 12% 左右。在中、大功率以及实现直线往复运动时，这一优点尤为突出。

2) 可在大范围内实现无级调速，且调节方便。调速范围一般可达 100:1，甚至高达 2000:1。

3) 操纵控制方便，与电子技术结合更易于实现各种自动控制和远距离操纵。

4) 由于体积小、重量轻，因而惯性小，响应速度快，起动、制动和换向迅速。如一个中等功率的电动机起动需要几秒钟，而液压马达只需 0.1s。

5) 因执行元件的多样性(如液压缸、液压马达等)和各元件之间仅靠管路连接,使得机器的结构简化,布置灵活方便。

6) 易于实现过载保护,安全性好;采用矿物油作工作介质,自润滑性好。

(2) 液压传动的主要缺点

1) 液压传动系统中存在的泄漏和油液的压缩性,影响了传动的准确性,不易实现定比传动。

2) 由于油液粘度随温度变化,容易引起工作性能的变化,所以液压传动不宜在温度变化范围较大的场合工作。

3) 由于受液体流动阻力和泄漏的影响,液压传动的效率还不高。

4) 液压传动系统对油液的污染比较敏感,必须有良好的防护和过滤措施。

2. 气压传动的优缺点

(1) 气压传动的主要优点

1) 以空气为传动介质,取之不尽,用之不竭,无介质费用,成本低;用过的空气直接排到大气中,处理方便,不污染环境。

2) 空气的粘度很小,因而流动时阻力损失小,便于集中供气、远距离传输和控制。

3) 工作环境适应性好,特别是在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射及振动等恶劣环境中工作,比液压、电子、电气控制优越。

4) 维护简单,使用安全可靠,过载能自动保护。

(2) 气压传动的主要缺点

1) 由于空气的可压缩性大,因而气压传动工作速度的稳定性较液压传动差,但采用气液联合可得到较满意的效果。

2) 因工作压力低($\leq 1\text{MPa}$),且结构尺寸不宜过大,气缸的输出力一般不大于 50kN 。

3) 排气噪声较大,在高速排气时要加消声器。

液压与气压传动的优点是主要的,液压与气动元件已标准化、系列化和通用化,便于系统的设计、制造和推广应用。因此液压与气压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前途和应用前景。

1.5 液压与气动技术的发展及应用

1. 液压技术的发展及应用 液压技术从 1795 年英国制成世界上第一台水压机算起,已有二百多年的历史了,然而在工业上的真正推广使用却是 20 世纪中叶的事。第二次世界大战期间,在一些武器装备上用上了功率大、反应快、动作准的液压传动和控制装置,大大提高了武器装备的性能,也大大促进了液压技术本身的发展。战后,液压技术迅速由军事转人民用,在机械制造、工程机械、锻压机械、冶金机械、汽车、船舶等行业中得到了广泛的应用和发展。20 世纪 60 年代以后,原子能技术、空间技术、电子技术等的迅速发展,再次将液压技术向前推进,并在各个工业领域得到了更加广泛的应用。

现代液压技术与微电子技术、计算机技术、传感技术的紧密结合已形成并发展成为一种包括传动、控制、检测在内的自动化技术。当前,液压技术在实现高压、高速、大功率、经久耐用、高度集成化等各项要求方面都取得了重大的进展;在完善发展比例控制、伺服控制、开发数字控制技术上也有许多新成绩。同时,液压元件和液压系统的计算机辅助设计

(CAD) 和测试 (CAT)、微机控制、机电液一体化 (Hydromechatronics)、液电一体化 (Fluitronics)、可靠性、污染控制、能耗控制、小型微型化等方面也是液压技术发展和研究的方向。而继续扩大应用服务领域,采用更先进的设计和制造技术,将使液压技术发展成为内涵更加丰富完整的综合自动化技术。

目前,液压技术已广泛应用于各个工业领域的技术装备上,例如机械制造、工程、建筑、矿山、冶金、军用、船舶、石化、农林等机械,上至航空、航天工业,下至地矿、海洋开发工程,几乎无处不见液压技术的踪迹。液压技术的应用领域大致上可归纳为以下几个主要方面:

1) 各种举升、搬运作业。尤其在行走机械和较大驱动功率的场合,液压传动已经成为一种主要方式。例如,从起重、装载等工程机械到消防、维修、搬运等特种车辆;船舶的起货机、起锚机;高炉、炼钢炉设备;船闸、舱门的启闭装置;剧场的升降乐池和升降舞台;各种自动输送线等。

2) 各种需要作用力大的推、挤、压、剪、切、挖掘等作业装置。在这些场合,液压传动已经具有垄断地位。例如,各种液压机;金属材料的压铸、成型、轧制、压延、拉伸、剪切设备;塑料注射成型机、塑料挤出机等化工机械;拖拉机、收割机以及其它砍伐、采掘用的农林机械;隧道、矿井和地面的挖掘设备;各种船舶的舵机等。

3) 高响应、高精度的控制。例如,火炮的跟踪驱动、炮塔的稳定、舰艇的消摆、飞机和导弹的姿态控制等装置;加工机床高精度的定位系统;工业机器人的驱动和控制;金属板材压下、皮革切片的厚度控制;电站发电机的调速系统;高性能的振动台和试验机;多自由度的大型运动模拟器和娱乐设施等。

4) 多种工作程序组合的自动操纵与控制。例如,组合机床、机械加工自动线等。

5) 特殊工作场所。例如,地下、水下、防爆等特殊环境的作业装备。

2. 气动技术的发展及应用 自 1855 年英国发明了空气压缩机后,1871 年开始在采矿业使用气动风镐,1880 年美国研制了火车的气压刹车装置,显示了气压传动简单、快速、安全、可靠的优点,开创了气压传动早期的应用局面。但这些装置的目的主要是传递动力并做功。二次世界大战以后,由于各国生产的迅速发展和经济繁荣,迫切需提高生产的自动化水平,以提高产品质量和增加劳动生产率,工业界在寻求高效、低成本、安全可靠又有较长使用寿命的自动化手段,于是气动技术应运而生,并随着生产过程自动化的需求增加而得到了迅速的发展,已经成为最基本的自动化技术之一。特别是其低成本的优势和能在各种特殊环境中工作,使得它的应用范围日益扩大,又被人们称为“廉价的自动化技术”。

当前,气动技术在不断提高气动元件本身的性能的基础上,在小型微型化、轻量化和高度集成化等方面已取得长足的进展,同时,在无给油化、节能化、位置控制的高精度化、功能复合集成化以及进一步与微电子技术、计算机技术、传感技术相结合的综合控制技术等方面进行研究和发展。

气动技术的传统应用领域主要在矿山机械、汽车制造、机床、冶金、石油及铁路交通等行业。而新型气动元件和系统的出现,配合电子控制使得气动技术在更多的领域得到了应用。包装灌装机械、食品饮料机械、造纸、印刷机械是气动技术广泛应用的市场,各种注塑机、成型机也离不开气动技术,家用电器行业、纺织机、服装生产线、皮革制鞋机械、木材加工和家具制造机械已经大量采用了气动技术,至于电子行业,从显像管的制造、电视机的