

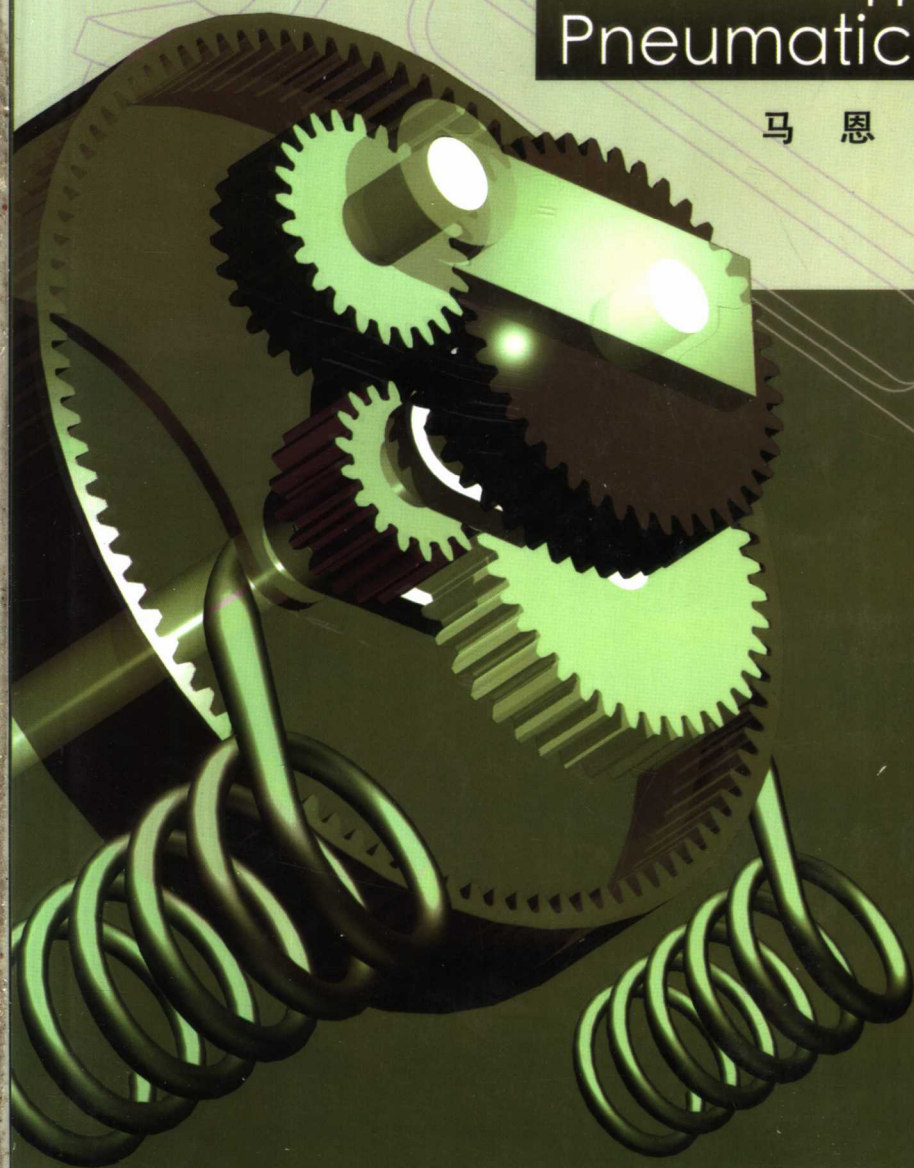
高等学校机电类规划教材

<http://www.phei.com.cn>

液压与气压传动

Hydraulic and
Pneumatic Transmission

马恩 主编 周志立 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等学校机电类规划教材

液压与气压传动

Hydraulic and Pneumatic Transmission

马 恩 主 编
梁秀山 张元越 副主编
周志立 主 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书包含液压传动和气压传动两部分内容,共 16 章。主要讲述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、组成、特性分析、运动分析、受力分析和结构特点;液压与气压传动基本回路和典型系统的组成与分析;液压与气压传动系统原理图的拟定、设计计算;液压与气压系统常见故障分析与排除方法。每章开始有学习指南,说明本章的主要内容、重点、难点、教学目的和要求;每章附有习题;每章结束有小结。附录中简明扼要地介绍了最新国家推荐性标准 GB/T786.1—2001 中规定的部分液压与气压传动图形符号。编有英文目录,附录 B 提供了关键词和术语的中英文对照,以利于提高学生国际交流能力和增强学生市场竞争能力。本书反映了本学科国内外的最新研究成果和发展趋势,体现了教学内容的系统性、实用性和时代前沿性等特点。

本教材是应用型本科“十一五”机电类规划教材之一,适用于应用型本科学校机械电子工程专业和机械工程及自动化专业的液压与气压传动课程教学;也可供有关本科学校机电类与机械类学生使用,同时可供有关工程技术人员参考。

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 / 马恩主编. —北京: 电子工业出版社, 2007.6

(高等学校机电类规划教材)

ISBN 978-7-121-04206-5

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 048128 号

策划编辑: 田领红

责任编辑: 朱兆武 范子瑜

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂

装 订:

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: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 550 千字

印 次: 2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 29.00 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 zlt@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

本书是应用型本科“十一五”机电类规划教材之一,适用于应用型本科院校机械电子工程专业和机械工程及自动化专业的液压与气压传动课程教学;也可供有关本科院校机电类与机械类学生使用,同时可供有关工程技术人员参考。

本书是作者为了适应现代工业自动化飞速发展的要求,为了满足教学需要,在多年教学、科研和生产实践的基础上,总结同类教材的编写经验,引用本学科国内外的最新研究成果,精心组织编写的。

本书包含液压传动和气压传动两部分内容,共 16 章。主要讲述了液压与气压传动的流体力学基础知识;液压与气动元件的工作原理、组成、特性分析、运动分析、受力分析及结构特点;液压与气压传动基本回路和典型系统的组成与分析;液压与气压传动系统原理图的拟定、设计计算;液压与气压传动系统常见故障分析与排除方法。在每章开始有学习指南,说明本章的主要内容、重点、难点、教学目的和要求;每章附有习题;每章结束有小结。附录中简明扼要地介绍了最新国家推荐性标准 GB/T786.1—2001 中规定的部分液压与气压传动图形符号。编有英文目录,附录 B 提供了关键词和术语的中英文对照,以利于增强学生市场竞争能力和提高国际交流能力,这是目前国内同类教材所不具备的内容。本书反映了本学科国内外的最新研究成果和发展趋势,体现了教学内容的系统性、实用性和时代前沿性等特点。

本书为了适应目前的教育教学改革需要,在内容取舍上贯彻少而精、理论联系实际的原则,把理论教学和实训教学有机地结合起来,注重学生在知识的应用和解决实际问题的能力 & 工程应用素质等方面的培养。

本书由马恩教授主编,梁秀山副教授和张元越副教授为副主编。参加本书编写的有:南阳理工学院马恩教授和洛阳拖拉机研究所李素敏高级工程师(第 1、3 章,附录 A、B),长春工程学院于雷讲师(第 2 章),徐州工程学院李清伟讲师(第 5、6 章),宿迁学院唐友亮讲师(第 4、7 章),徐州工程学院张元越副教授(第 8~10 章),南阳理工学院梁秀山副教授(第 11~13 章),南阳理工学院张力重高级工程师(第 14~16 章)。全书由马恩教授完成英文翻译、统稿和修改定稿。

本书由河南科技大学博士生导师周志立教授主审。周教授对书稿进行了细致详尽的审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者
2007 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论 (Introduction)	(1)
1.1 液压与气压传动的工作原理和图形符号 (Diagram symbols and operating principles of hydraulic and pneumatic transmission)	(1)
1.1.1 液压与气压传动的工作原理 (Operating principles of hydraulic and pneumatic transmission)	(1)
1.1.2 液压与气压传动的图形符号 (Diagram symbols of hydraulic and pneumatic transmission)	(4)
1.2 液压与气压传动的组成 (Components of hydraulic and pneumatic transmission)	(4)
1.3 液压与气压传动的优缺点 (Advantages and disadvantages of hydraulic and pneumatic transmission)	(4)
1.4 液压与气压传动的应用和发展 (Application and development of hydraulic and pneumatic transmission)	(5)
本章小结 (Summary)	(6)
思考题和习题 (Review Questions)	(6)
第 2 章 液压传动流体力学基础知识 (Hydro-mechanics basic knowledge of hydraulic transmission)	(7)
2.1 液压油的性质和选择 (Characteristics and selection of hydraulic oil)	(7)
2.1.1 液压油的性质 (Characteristics of hydraulic oil)	(8)
2.1.2 液压油的选择 (Selection of hydraulic oil)	(11)
2.2 液体静力学基础知识 (Hydro-static mechanics basic knowledge)	(15)
2.2.1 液体的静压力和分布 (Static pressure and spread of liquids)	(15)
2.2.2 液体静压力的传递 (Hydro-static pressure transmission)	(16)
2.2.3 静止液体中的绝对压力、相对压力和真空度 (Absolute pressure, relative (gauge) pressure and vacuum within stationary liquid)	(17)
2.2.4 静止液体作用在固体壁面上的力 (Force in stationary liquids acting on surfaces of the container)	(17)
2.3 液体动力学的基础知识 (Hydro-dynamics basic knowledge)	(18)
2.3.1 基本概念 (Basic concepts)	(18)
2.3.2 连续性方程 (Continuity equation)	(20)
2.3.3 伯努利方程 (Bernoulli's equation)	(20)
2.3.4 动量方程 (Momentum equation)	(22)

2.4	管路中液体流动时压力损失 (Pressure losses at the pipes' surfaces and within the liquids as liquids move in pipes)	(23)
2.4.1	液体的层流、紊流和雷诺数 (Laminar flow, turbulent flow and Reynold's number of liquids)	(23)
2.4.2	沿程压力损失 (Pressure losses at the pipes' surfaces and within the liquids)	(25)
2.4.3	局部压力损失 (Pressure losses at a particular location)	(27)
2.4.4	管路系统总压力损失 (Total pressure losses in pipe-system)	(28)
2.5	液体流经小孔和缝隙的流量 (Flow of liquid moving through orifice and narrow clearance)	(28)
2.5.1	液体流经小孔的流量 (Flow of liquid moving through orifice)	(28)
2.5.2	液体流经缝隙的流量 (Flow of liquid moving through narrow clearance)	(30)
2.6	液压冲击和空穴现象 (Pressure shock and cavitation)	(34)
2.6.1	液压冲击 (Pressure shock)	(34)
2.6.2	空穴现象 (Cavitation)	(38)
	本章小结 (Summary)	(39)
	思考题和习题 (Review Questions)	(39)
第3章	液压传动动力元件 (Power components of hydraulic transmission)	(41)
3.1	液压泵概述 (Hydraulic pumps introduction)	(41)
3.1.1	液压泵的工作原理和种类 (Operating principles and type of hydraulic pump)	(41)
3.1.2	液压泵的性能参数及其关系式 (Property parameters and equations of hydraulic pump)	(42)
3.2	齿轮泵 (Gear pumps)	(44)
3.2.1	外啮合齿轮泵的工作原理 (Operating principles of external gear pumps)	(44)
3.2.2	外啮合齿轮泵的结构特点 (Construction characteristics of external gear pumps)	(45)
3.2.3	渐开线内啮合齿轮泵 (Involute internal gear pumps)	(46)
3.2.4	摆线内啮合齿轮泵 (Orbit internal gear pumps)	(46)
3.2.5	螺杆泵 (Screw pumps)	(47)
3.3	叶片泵 (Vane pumps)	(48)
3.3.1	单作用叶片泵 (Single-acting vane pumps)	(48)
3.3.2	限压式变量叶片泵 (Pressure limited variable displacement vane pumps)	(49)
3.3.3	双作用叶片泵 (Double-acting vane pumps)	(50)
3.4	柱塞泵 (Piston pumps)	(52)
3.4.1	轴向柱塞泵 (Axial piston pumps)	(52)
3.4.2	径向柱塞泵 (Radial piston pumps)	(55)
3.5	液压泵的主要性能及应用 (Main properties and applications of hydraulic pumps)	(56)
	本章小结 (Summary)	(57)
	思考题和习题 (Review Questions)	(57)

第 4 章 液压传动执行元件 (Actuators of hydraulic transmission)	(58)
4.1 液压马达概述 (Hydraulic motors introduction)	(58)
4.1.1 液压马达的分类和特点 (Types and characteristics of hydraulic motors)	(58)
4.1.2 液压马达的主要性能及其参数 (Main properties and parameters of hydraulic motors)	(59)
4.1.3 齿轮液压马达 (Gear hydraulic motors)	(61)
4.1.4 叶片液压马达 (Vane hydraulic motors)	(61)
4.1.5 轴向柱塞液压马达 (Axial piston hydraulic motors)	(62)
4.1.6 多作用内曲线径向柱塞液压马达 (Multi-acting internal curves radial piston motors)	(63)
4.1.7 单作用曲轴连杆径向柱塞液压马达 (Single-acting crankshaft connecting rod radial piston motors)	(64)
4.2 液压缸 (Hydraulic cylinders)	(65)
4.2.1 液压缸的种类和特点 (Types and characteristics of hydraulic cylinders)	(65)
4.2.2 液压缸的结构 (Construction of hydraulic cylinders)	(71)
4.2.3 液压缸的设计 (Design of hydraulic cylinders)	(76)
4.2.4 液压缸的安装、调整、维护、常见故障分析及排除方法 (Installation, adjusting, maintenance, troubleshooting and repairing of hydraulic cylinders)	(80)
4.3 模拟控制液压缸和数字控制液压缸 (Simulative and digital control hydraulic cylinders)	(82)
4.3.1 模拟控制液压缸 (Simulative control hydraulic cylinders)	(82)
4.3.2 数字控制液压缸 (Digital control hydraulic cylinders)	(83)
本章小结 (Summary)	(84)
思考题和习题 (Review Questions)	(85)
第 5 章 液压传动控制元件 (Control components of hydraulic transmission)	(87)
5.1 液压控制阀概述 (Hydraulic control valves introduction)	(87)
5.1.1 液压控制阀的分类 (Types of hydraulic control valves)	(87)
5.1.2 液压控制阀的主要性能参数 (Main properties and parameters of hydraulic control valves)	(89)
5.2 压力控制阀 (Pressure control valves)	(89)
5.2.1 溢流阀 (Pressure relief valves)	(90)
5.2.2 减压阀 (Pressure reducing valves)	(94)
5.2.3 顺序阀 (Pressure sequence valves)	(97)
5.2.4 压力继电器 (Hydro-electric pressure switch)	(99)
5.3 流量控制阀 (Flow control valves)	(100)
5.3.1 节流口的流量特性 (Flow characteristics of throttle ports)	(100)
5.3.2 节流阀 (Throttle valves)	(102)
5.3.3 调速阀 (2-way flow control valves with pressure compensators)	(104)
5.3.4 溢流节流阀 (3-way flow control valves with pressure compensators)	(106)

5.3.5 分流(集流)阀(Flow divider/combiners)	(107)
5.4 方向控制阀(Directional control valves)	(109)
5.4.1 单向阀(Check valves)	(109)
5.4.2 换向阀(Directional valves)	(111)
5.5 插装阀和叠加阀(Cartridge valves and modular valves)	(120)
5.5.1 插装阀(Cartridge valves)	(120)
5.5.2 叠加阀(Modular valves)	(125)
5.6 电液数字控制阀(Electro-hydraulic digital control directional spool valves)	(125)
5.7 电液比例控制阀(Electro-hydraulic proportional control valves)	(128)
5.7.1 电液比例控制阀的主要性能参数(Main properties and parameters of electrohydraulic proportional control valves)	(128)
5.7.2 电液比例压力控制阀(Electro-hydraulic proportional pressure control valves)	(131)
5.7.3 电液比例流量控制阀(Electro-hydraulic proportional flow control valves)	(131)
5.7.4 电液比例方向控制阀(Electro-hydraulic proportional directional control valves)	(132)
本章小结(Summary)	(133)
思考题和习题(Review Questions)	(133)
第6章 液压传动辅助元件(Accessories of hydraulic transmission)	(136)
6.1 蓄能器(Accumulators)	(136)
6.1.1 蓄能器的用途(Application of accumulators)	(136)
6.1.2 蓄能器的类型及其工作原理(Types and operating principles of accumulators)	(137)
6.1.3 蓄能器参数的选择和计算(Parameters selection and calculation of accumulators) ..	(138)
6.1.4 蓄能器的使用和安装(Application and installation of accumulators)	(141)
6.2 过滤器(Filters)	(142)
6.2.1 过滤器的种类和结构特点(Types and construction characteristics of filters)	(142)
6.2.2 过滤器的选用(Selection of filters)	(144)
6.2.3 过滤器的安装(Installation of filters)	(144)
6.3 油箱、密封件、油管及管接头(Oil tanks, seals, pipes and pipe fittings)	(145)
6.3.1 油箱(Oil tanks)	(145)
6.3.2 密封件(Seals)	(147)
6.3.3 油管及管接头(Pipes and pipe fittings)	(152)
6.4 加热器和冷却器(Heaters and coolers)	(156)
6.4.1 加热器(Heaters)	(156)
6.4.2 冷却器(Coolers)	(157)
本章小结(Summary)	(158)
思考题和习题(Review Questions)	(158)
第7章 液压传动基本回路(Basic circuits of hydraulic transmission)	(159)
7.1 速度控制回路(Speed control circuits)	(159)

7.1.1	节流调速回路 (Throttle adjusting speed control circuits)	(159)
7.1.2	容积调速回路 (Volume adjusting speed control circuits)	(164)
7.1.3	容积节流调速回路 (Volume and throttle adjusting speed control circuits)	(168)
7.1.4	速度换接回路 (Speed conversion control circuits)	(171)
7.2	压力控制回路 (Pressure control circuits)	(173)
7.2.1	调压回路 (Pressure adjusting control circuits)	(173)
7.2.2	增压回路 (Pressure increasing control circuits)	(175)
7.2.3	减压回路 (Pressure reducing control circuits)	(176)
7.2.4	平衡回路 (Pressure balancing control circuits)	(177)
7.2.5	卸荷回路 (Load pressure releasing control circuits)	(178)
7.2.6	保压回路 (Circuits for pressure protecting)	(180)
7.3	方向控制回路 (Directional control circuits)	(182)
7.3.1	换向回路 (Directional circuits)	(182)
7.3.2	浮动与锁紧回路 (Circuits for brake releasing and braking)	(183)
7.4	多执行元件运动控制回路 (Multi-actuators motion control circuits)	(186)
7.4.1	同步运动回路 (Synchronizing motion control circuits)	(186)
7.4.2	顺序运动回路 (Sequence motion control circuits)	(188)
	本章小结 (Summary)	(191)
	思考题和习题 (Review Questions)	(191)
第 8 章	典型液压传动系统 (Typical hydraulic transmission systems)	(197)
8.1	组合机床动力滑台液压传动系统 (Hydraulic transmission system of power work table in combining machine tool)	(198)
8.1.1	概述 (Introduction)	(198)
8.1.2	YT4543 型组合机床动力滑台的液压传动系统及其工作原理 (Hydraulic transmission system and operating principles of power work table in YT4543 combining machine tool)	(199)
8.1.3	YT4543 型组合机床动力滑台液压传动系统的特点 (Characteristics of hydraulic transmission system of power work table in YT4543 combining machine tool)	(202)
8.2	液压机液压传动系统 (Hydraulic transmission system of press machine)	(202)
8.2.1	概述 (Introduction)	(202)
8.2.2	3150kN 万能液压机液压传动系统的工作原理 (Operating principles of hydraulic transmission system of the 3150kN universal press machine)	(204)
8.2.3	3150kN 万能液压机液压传动系统的主要特点 (The main characteristics of hydraulic transmission system of the 3150kN universal press machine)	(206)
8.2.4	3150kN 万能液压机插装阀集成液压传动系统工作原理 (Operating principles of cartridge valves hydraulic transmission system of the 3150kN universal press machine)	(207)
8.3	挖掘机液压传动系统 (Hydraulic transmission system of excavator)	(210)
8.3.1	概述 (Introduction)	(210)
8.3.2	单斗液压挖掘机的组成及作业程序 (Components and operating procedures of	

excavator)	(210)
8.3.3 单斗全液压挖掘机液压传动系统的工作原理 (Operating principles of hydraulic transmission system of excavator)	(211)
8.3.4 单斗全液压挖掘机液压传动系统的特点 (Characteristics of hydraulic transmission system of excavator)	(213)
8.4 塑料注射成型机液压传动系统 (Hydraulic transmission system of plastic injection machine)	(213)
8.4.1 概述 (Introduction)	(213)
8.4.2 塑料注射成型机液压传动系统的工作原理 (Operating principles of hydraulic transmission system of plastic injection machine)	(214)
8.4.3 塑料注射成型机液压传动系统的特点 (Characteristics of hydraulic transmission system of plastic injection machine)	(218)
本章小结 (Summary)	(218)
思考题和习题 (Review Questions)	(219)
第9章 液压传动系统的设计计算 (Design and calculation of hydraulic transmission system)	(220)
9.1 液压传动系统的设计 (Design of hydraulic transmission system)	(220)
9.1.1 明确设计要求, 进行工况分析 (Understanding design requirements and analyzing operating load condition)	(221)
9.1.2 液压系统主要性能参数的确定 (Determining main properties and parameters of hydraulic transmission system)	(223)
9.1.3 拟定液压系统原理图 (Drawing schematic illustration of operating principle of hydraulic transmission system)	(225)
9.1.4 液压元件的计算和选择 (Calculation and selection of hydraulic components)	(226)
9.1.5 液压系统的性能验算 (Properties calculation of hydraulic transmission system)	(227)
9.1.6 绘制工作图和编写技术文件 (Drawing schematic illustration of operating principle and compiling technical files)	(229)
9.2 液压传动系统的设计计算举例 (Examples of design and calculation of hydraulic transmission system)	(229)
本章小结 (Summary)	(237)
思考题和习题 (Review Questions)	(238)
第10章 液压传动伺服控制系统 (Servo control system of hydraulic transmission)	(239)
10.1 概述 (Introduction)	(239)
10.1.1 液压传动伺服控制系统的工作原理 (Operating principles of servo control system of hydraulic transmission)	(239)
10.1.2 液压传动伺服控制系统的组成和种类 (Components and types of servo control system of hydraulic transmission)	(243)

10.2 液压传动伺服控制元件种类 (Types of servo control component of hydraulic transmission)	(245)
10.2.1 滑阀 (Spool valves)	(245)
10.2.2 喷嘴挡板阀 (Nozzle flapper servo valves)	(247)
10.2.3 射流管阀 (jet-flow pipe valves)	(248)
10.3 伺服阀 (Servo control valves)	(249)
10.4 液压传动伺服控制系统举例 (Examples of servo control system of hydraulic transmission)	(250)
本章小结 (Summary)	(253)
思考题和习题 (Review Questions)	(253)
第 11 章 气压传动基础知识 (Basic knowledge of pneumatic transmission)	(254)
11.1 气压传动工作介质的性质 (Operating medium characteristics of pneumatic transmission)	(254)
11.2 气压传动气体静力学 (Gas-statics of pneumatic transmission)	(256)
11.2.1 理想气体状态方程 (Ideal gas condition equation)	(256)
11.2.2 静止气体状态变化过程 (Stationary gas condition varying process)	(256)
11.3 气压传动气体动力学 (Gas-dynamics of pneumatic transmission)	(258)
11.3.1 气体流动的连续性方程 (Continuity equation of flowing gas)	(258)
11.3.2 气体流动的伯努利方程 (Bernoulli's equation of flowing gas)	(258)
11.3.3 声速和气体在管路中的流动特性 (Flow characteristics of sonic and gas in pipes)	(259)
11.3.4 气压传动元件的流通能力 (Passing flow ability of components of pneumatic transmission)	(261)
本章小结 (Summary)	(262)
思考题和习题 (Review Questions)	(263)
第 12 章 气压传动气源装置和辅助元件 (Pneumatic power source units and Accessories of pneumatic transmission)	(264)
12.1 气源装置 (Pneumatic power source units)	(264)
12.1.1 气源装置的组成 (Components of pneumatic power source units)	(264)
12.1.2 气源净化装置 (Pneumatic power source cleaning units)	(266)
12.2 辅助元件 (Accessories)	(268)
12.2.1 分水滤气器 (Separators)	(268)
12.2.2 油雾器 (Lubricators)	(268)
12.2.3 消声器 (Mufflers)	(269)
12.2.4 管件及管路系统 (Pipes and pipe systems)	(270)
本章小结 (Summary)	(273)
思考题和习题 (Review Questions)	(273)

第 13 章 执行元件 (Actuators)	(274)
13.1 气缸 (Pneumatic cylinders)	(274)
13.1.1 气缸的种类 (Types of pneumatic cylinders)	(274)
13.1.2 气缸的输出力和耗气量计算 (Output force and consumption calculation of pneumatic cylinders)	(277)
13.2 气马达 (Pneumatic motors)	(279)
13.2.1 气马达的种类和特点 (Types and characteristics of pneumatic motors)	(279)
13.2.2 气马达的工作原理和应用 (Operating principles and application of pneumatic motors)	(279)
本章小结 (Summary)	(280)
思考题和习题 (Review Questions)	(280)
第 14 章 气动控制元件 (Control components of pneumatic transmission)	(281)
14.1 压力控制阀 (Pressure control valves)	(281)
14.1.1 溢流阀 (Pressure relief valves)	(281)
14.1.2 减压阀 (Pressure reducing valves)	(282)
14.1.3 顺序阀 (Pressure sequence valves)	(283)
14.2 流量控制阀 (Flow control valves)	(284)
14.2.1 节流阀 (Throttle valves)	(284)
14.2.2 调速阀 (2 way flow control valves with pressure compensators)	(285)
14.3 方向控制阀 (Directional control valves)	(285)
14.3.1 单向阀 (Check valves)	(285)
14.3.2 换向阀 (Directional control valves)	(287)
14.4 气动逻辑元件 (Logic components of pneumatic transmission)	(292)
14.4.1 气动逻辑元件的分类及特点 (Types and characteristics of logic components of pneumatic transmission)	(292)
14.4.2 高压截止式逻辑元件 (Shut-off logic components with high pressure)	(292)
14.5 比例阀 (Proportional control valves)	(296)
14.5.1 比例流量方向阀 (Proportional flow directional control valves)	(296)
14.5.2 比例压力阀 (Proportional pressure valves)	(296)
本章小结 (Summary)	(297)
思考题和习题 (Review Questions)	(297)
第 15 章 气压传动基本回路 (Basic circuits of pneumatic transmission)	(299)
15.1 速度控制回路 (Speed control circuits)	(299)
15.1.1 供气节流调速回路 (Intake throttle adjusting speed control circuits)	(299)
15.1.2 排气节流调速回路 (Outlet throttle adjusting speed control circuits)	(300)
15.1.3 单作用气缸的节流调速回路 (Throttle adjusting speed control circuits of Single-acting piston pneumatic cylinders)	(300)

15.1.4	双作用气缸的双向调速回路 (Two-way throttle adjusting speed control circuits of double-acting and single-piston-rod pneumatic cylinders)	(301)
15.2	压力控制回路 (Pressure control circuits)	(301)
15.2.1	一次压力控制回路 (First grade pressure control circuits)	(301)
15.2.2	二次压力控制回路 (Second grade pressure control circuits)	(302)
15.2.3	高低压选择回路 (High-low pressure selection control circuits)	(302)
15.3	方向控制回路 (Directional control circuits)	(302)
15.4	往复运动回路 (Reciprocating circuits)	(303)
15.4.1	一次往复运动回路 (Interrupted reciprocating circuits)	(303)
15.4.2	连续往复运动回路 (Uninterrupted reciprocating circuits)	(304)
15.5	气—液联动回路 (Hydraulic and pneumatic acting circuits)	(304)
15.5.1	气—液联动的速度控制回路 (Speed control circuits of hydraulic and pneumatic acting)	(304)
15.5.2	气—液增压回路 (Hydraulic and pneumatic pressure increasing control circuits)	(305)
15.5.3	气—液缸同步动作控制回路 (Synchronizing motion control circuits of hydraulic and pneumatic cylinders)	(305)
15.6	气压传动基本逻辑回路 (Basic logic control circuits of pneumatic transmission)	(306)
	本章小结 (Summary)	(307)
	思考题和习题 (Review Questions)	(308)
第 16 章	气压传动控制系统 (Control system of pneumatic transmission)	(309)
16.1	气压传动控制系统实例 (Examples of control system of pneumatic transmission)	(309)
16.1.1	工件夹紧气压传动控制系统 (Control system of pneumatic transmission used in workpiece clamped on the tooling and fixture)	(309)
16.1.2	某型数控加工中心气压传动控制换刀系统 (Exchanging control tool system of pneumatic transmission on numerical control machine center)	(310)
16.2	气压传动系统设计 (Design of pneumatic transmission system)	(311)
16.2.1	X-D 线图法的设计步骤 (Design procedures of X-D method)	(311)
16.2.2	气压传动行程程序控制回路设计举例 (Design examples of distance programmable control of pneumatic transmission system)	(312)
16.3	气压传动控制系统的安装、调试、使用与维修 (Installation, adjusting, application and maintenance of pneumatic transmission control system)	(314)
	本章小结 (Summary)	(316)
	思考题和习题 (Review Questions)	(316)
附录 A	部分液压与气压传动图形符号	(317)
附录 B	液压与气压传动主要符号、关键词和术语中英文对照	(322)
	参考文献	(327)

第1章 绪 论

Introduction

本章指南

本章主要内容：主要讲述了液压与气压传动的工作原理、图形符号、组成、优缺点，以及其应用和发展。

本章重点：掌握与运用“系统压力取决于外负载”和“外负载的运动速度取决于流量”这两个重要特征。

本章难点：正确理解液压与气压传动的两个重要特征的相互独立性。

本章教学目的和要求：通过学习液压千斤顶和某机床工作台液压传动系统的工作原理，正确理解帕斯卡原理，从而学会对液压和气压传动系统的应用。

1.1 液压与气压传动的工作原理和图形符号(Diagram symbols and operating principles of hydraulic and pneumatic transmission)

1.1.1 液压与气压传动的工作原理 (Operating principles of hydraulic and pneumatic transmission)

液压与气压传动（或称流体传动与控制）是研究用压力流体作为工作介质来实现各种机械传动和控制的学科。液压传动所用的工作介质是液体（主要是矿物油），气压传动所用的工作介质是空气。液压与气压传动的工作原理基本相似，以图 1-1 所示的液压千斤顶（手动液压泵）为例，说明液压传动的工作原理。

当液压千斤顶的压杆 1 向上抬起时，小活塞 3 上移，排油单向阀 10 关闭，小液压缸 2 无杆腔内的容积增大形成局部真空。在大气压作用下，油箱 7 中液体经吸油管 5 打开进油单向阀 4 流入小液压缸 2 无杆腔；当压杆 1 向下运动时，小活塞受力 F_1 下移 s_1 ，小液压缸 2 无杆腔容积减小，油液受挤压，压力升高，关闭进油单向阀 4，小液压缸 2 无杆腔中的油液压力 p 推开排油单向阀 10，油液经压油管 6 进入大液压缸 12 无杆腔，使大活塞 11 上移 s_2 ，克服重物（外负载）13 的重力 F_2 而做功；当需要大活塞 11 停止运动时，停止压杆 1

的运动, 大液压缸 12 中的油压使排油单向阀 10 关闭, 大活塞 11 就自锁不动; 当需要大活塞 11 向下返回时, 打开截止阀 9, 在 F_2 的作用下, 大活塞 11 即可复位。

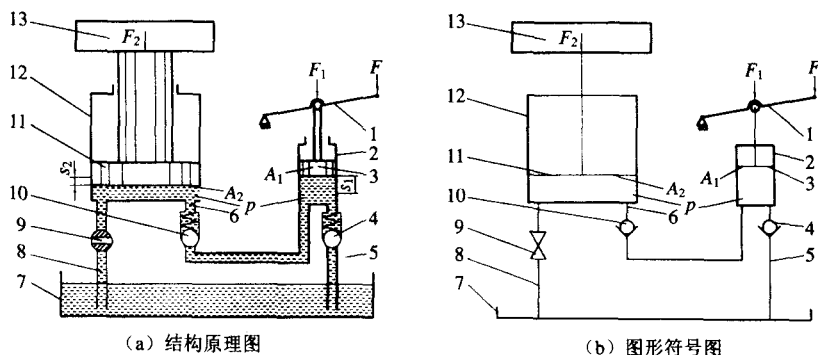


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

1—压杆 2—小液压缸 (手动液压泵) 3—小活塞 4—进油单向阀 5—吸油管 6—压油管 7—油箱
8—回油管 9—截止阀 10—排油单向阀 11—大活塞 12—大液压缸 13—重物 (外负载)

液压与气压传动区别于其他传动方式主要有以下两个基本特征。

1. 力 (或力矩) 的传递按照帕斯卡原理 (静压传递原理) 进行

在液压千斤顶工作中, 从小活塞通过管路到大活塞之间形成了密闭的工作容积, 根据帕斯卡原理 “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”, 因此小活塞和大活塞上所受的力平衡方程式为

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

式中 p ——液体压力;

F_1 ——外力;

F_2 ——外力;

A_1 ——小活塞面积;

A_2 ——大活塞面积。

可见在活塞面积 A_1 、 A_2 一定的情况下, 液体的压力 p 由外负载建立, 也可以简略地表述为 “系统压力取决于外负载”。这是液压与气压传动工作原理的第一个重要特征。

2. 速度或转速的传递按 “容积变化相等” 的原则进行

小活塞向下排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

$$A_1 s_1 = A_2 s_2 = V \quad (1-2)$$

式中 V ——体积;

s_1 ——小活塞移动距离;

s_2 ——大活塞移动距离。

上式两端同除以活塞移动时间 Δt 得

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = \frac{V}{\Delta t} \quad (1-3)$$

式中 v_1 ——小活塞移动速度;

v_2 ——大活塞移动速度。

考虑流体力学中把单位时间内流过某一过流断面的流体体积叫做流量。则流量

$$q = \frac{V}{\Delta t} \quad (1-4)$$

则式 (1-3) 可变为

$$v_2 = \frac{q}{A_2} \quad (1-5)$$

由于活塞的面积 A_1 、 A_2 已定, 所以大活塞的移动速度正比于进入其内的流量 q , 与外负载无关。也可简略地表述为“外负载的运动速度取决于流量”。这是液压与气压传动工作原理的第二个重要特征。

在图 1-1 中, 若不考虑各种能量损失, 液压千斤顶 (手动液压泵) 的输入功率等于液压缸的输出功率, 即

$$P = F_1 v_1 = F_2 v_2 = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p A_2 \frac{q}{A_2} = p q \quad (1-6)$$

式中, 压力 p 的单位为 Pa, 流量 q 的单位为 m^3/s , 功率的单位为 W。由此可见, 液压系统工作压力与流量之积就是功率, 称之为液压功率。

从图 1-1 中还可以看出, 液压千斤顶 (手动液压泵) 是将手动机械能转变为液体压力能, 又将液体压力能转变为机械能的元件。

图 1-2 所示的是一比较完善的某机床工作台液压传动系统, 其工作原理是: 电动机 3 驱动液压泵 4 旋转, 液压泵 4 经过滤器 2 从油箱 1 中吸油, 液压泵排出的压力油先经节流阀 5 再经手动换向阀 7 (假设手动换向阀左位工作) 进入液压缸 8 的右腔, 推动活塞和工作台 9 向左运动。液压缸左腔的油液经手动换向阀左位和回油管道流回油箱。若使手动换向阀右位工作, 液压缸活塞和工作台反向向右运动。

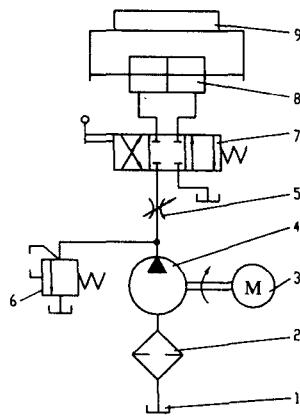


图 1-2 某机床工作台液压传动系统的工作原理图

1—油箱 2—过滤器 3—电动机 4—液压泵 5—节流阀
6—溢流阀 7—手动换向阀 8—液压缸 9—工作台

改变节流阀 5 的开口大小, 可以改变进入液压缸的流量, 即可控制液压缸活塞的运动速度, 实现工作台运动速度的调节。液压泵排出多余的压力油经溢流阀 6 和溢流管道流回油箱。液压缸的工作压力由活塞运动所克服的外负载决定, 液压泵的最大工作压力由溢流阀 6 调定, 其值应为液压缸最大工作压力及系统中油液流经阀和管道的压力损失的总和。

因为系统的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。

1.1.2 液压与气压传动的图形符号 (Diagram symbols of hydraulic and pneumatic transmission)

图 1-1 (a) 所示液压千斤顶的液压系统图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。图 1-1 (b) 所示液压千斤顶和图 1-2 所示某机床工作台的液压传动系统图都是采用国标 GB/T786.1—2001 所规定的液压与气压传动符号 (参见附录 A) 来绘制的。图形符号表示元件的功能，而不表示元件的具体结构和参数。使用图形符号既便于绘制，又可使液压与气压传动系统简单明了。

1.2 液压与气压传动的组成 (Components of hydraulic and pneumatic transmission)

液压千斤顶和某机床工作台的液压传动系统是较完整又简单的液压传动系统。液压与气压传动系统由以下四部分组成。

(1) 动力元件：液压泵或气源装置，是将原动机输出的机械能转换成液体或气体压力能的元件，向系统提供压力油或压力气体。

(2) 执行元件：液压缸或气缸，液压马达或气马达，是将液体或气体的压力能转换成机械能的元件，以驱动外负载进行直线运动或旋转运动。

(3) 控制元件：压力、流量和方向等控制阀，是对执行元件的作用力、运动速度、方向等控制的元件。

(4) 辅助元件：上述三个组成部分以外的其他元件，如管道、接头、油箱、滤油器等。

1.3 液压与气压传动的优缺点 (Advantages and disadvantages of hydraulic and pneumatic transmission)

1. 液压传动的主要优点

- (1) 借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构。
- (2) 体积小，重量轻，单位重量输出的功率大。
- (3) 运动平稳，惯性小，响应速度高。
- (4) 可方便地实现无级调速，调速范围大，100:1~2000:1。
- (5) 液压元件实现了标准化、系列化、通用化。
- (6) 操作简单方便，易于实现自动化。
- (7) 液压系统借助安全阀等可自动实现过载保护。