

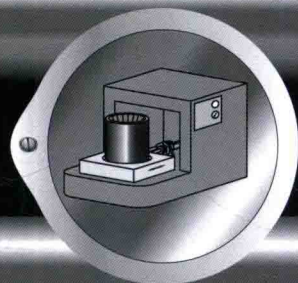
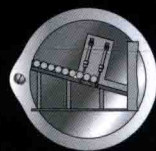
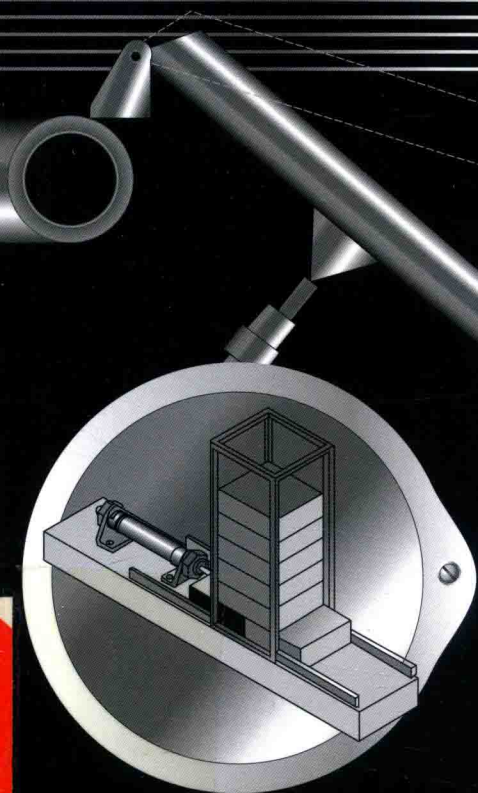
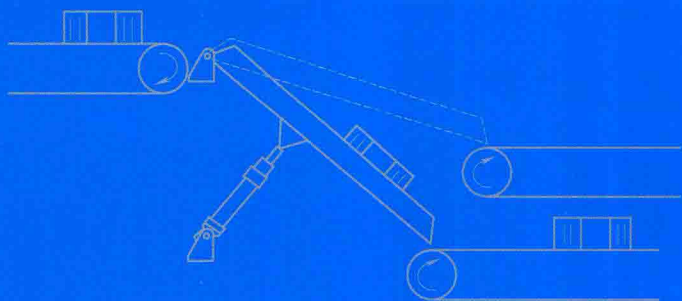
李丽霞 唐春霞 主编

图解

TUJIE

DIANQI QIDONG JISHU JICHU

电气气动技术基础



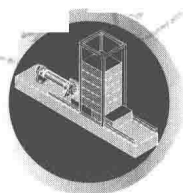
化学工业出版社

李丽霞 唐春霞 主编

图解

TUJIE
DIANQI QIDONG JISHU JICHU

电气气动技术基础



化学工业出版社

· 北京 ·

本书采用图解的形式,用生动的语言由浅入深地介绍了气动维修技能与气动系统组成及气动元件的外观、工作原理和内部结构等气动技术基础知识,阐述了气动元件、气动回路、气动系统的故障分析和排除,重点讲解了一般气动系统及电气气动逻辑系统的设计方法。

本书编写过程中,旨在以通俗、直接有效的方式帮助广大读者理解和掌握气动技术及其应用方面的知识,力求贯彻少而精和理论联系实际的原则。

本书适合从事气动维修工作的各类机电工程专业人员阅读,也可供职业技术学院机械相关专业师生参考,还可供培训机构作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

图解电气气动技术基础/李丽霞,唐春霞主编. —北京:化学工业出版社,2017.4
ISBN 978-7-122-29096-0

I. ①图… II. ①李… ②唐… III. ①气动控制器-图解 IV. ①TM571.3-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第029946号

责任编辑:黄 滢
责任校对:王 静

文字编辑:张燕文
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张11¼ 字数295千字 2017年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:45.00元

版权所有 违者必究

前言

液压与气压技术是机电一体化人才所应掌握的控制与伺服驱动技术的组成部分。气动技术更是生产过程自动化和机械化的有效手段之一,由于气动技术具有无污染、高效节能、结构简单、安全可靠等优点,目前广泛应用于各行各业,如机器人制造、微电子、原子能、生物工程、医药等领域。气动技术学习的任务是使各种专业技术人员掌握气压传动的基础知识,掌握气动元件的工作原理、特点、应用和选用方法,熟悉各类气动基本回路的功用、组成和应用场合,了解国内外先进技术成果在机械设备及自动生产线中的应用,以便更好地保证气动设备的正常运行。

本书采用图解的形式,用生动的语言由浅入深地介绍了气动维修技能、气动系统组成及各部件的工作原理,介绍了气动元件的外观和内部结构等气动技术基础知识,介绍了气动元件、气动基本回路、气动常用回路以及气动系统中常用元件的故障分析和排除,重点讲解了气动及电气气动逻辑系统的设计方法。

本书旨在以通俗、直接有效的方式帮助广大读者理解和掌握气动技术及其应用方面的知识,力求贯彻少而精和理论联系实际的原则,更好地满足气动维修工作的需要和各类机电工程专业的读者的需求。本书有如下一些写作特点。

① 气动基础知识 用实际应用中的典型实例引出气动系统的组成和基本概念,使初学者能理解并建立起气动系统的概念。

② 元件 主要介绍常用元件工作原理、常见故障诊断与维修,能使读者很快地掌握气动维修基本知识和操作技能。

③ 回路 主要分类介绍气动基本回路的组成、工作原理,使读者能够逐步把气动技术知识和技能有机结合起来,掌握回路设计技巧。

④ 系统 主要介绍气动逻辑系统设计方法、电气气动逻辑系统设计方法,让读者有章可循地掌握逻辑系统设计技巧,以求缩短工程设计人员设计周期,提高系统设计的正确率,并能正确调试和维修保养气动系统。

⑤ 典型实例训练 重在实际应用实例分析与气动专用设备操作技巧,使气动维修技术人员具备气动系统设计能力,具备系统组接、调试、排查故障等能力及基本操作安全知识,并能正确运用,安全工作。

全书包括5章,由李丽霞、唐春霞主编并统稿。参加本书编写的有李丽霞、王勤峰、王二敏(第1、第2章),陈庆华、马前帅(第3章),何敏禄、张晓光(第4章),唐春霞、李丽霞(第5章)。感谢王玉芳、张燕、苗红宇、张健等为本书出版提供的帮助。

本书可作为大中专院校机电一体化、自动化、机械制造等专业的教材或参考用书,也可作为成人高校、自学考试等有关机械类学生参考用书,还可作为企业初、中级工程技术人员的参考书。

限于水平,书中难免存在疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

第1章 气动技术基础

1

1.1 气动技术概述	2
1.1.1 气动系统组成及对应典型元件	2
1.1.2 气动系统构成	2
1.1.3 气动系统分类	2
1.1.4 气动技术应用及发展趋势	2
1.1.5 气动技术特点	3
1.1.6 气动技术与其他传动技术的比较	4
1.2 气动技术基础知识	5
1.2.1 空气的物理性质	5
1.2.2 气体的状态方程	6
1.2.3 理想气体的状态变化过程	7
1.2.4 气体流动规律	7
1.2.5 气动元件的通流能力	8
1.3 气动技术基础训练	8

第2章 气源装置及气动元件图形符号

10

2.1 气源装置	11
2.1.1 气源装置的组成	11
2.1.2 气动发生装置	11
2.1.3 气源装置应用训练	12
2.2 常用气动元件图形符号及意义	13
2.2.1 名词术语	13
2.2.2 符号构成	13
2.2.3 能量储存器及动力源符号	14
2.2.4 流体调节元件及净化设备符号	14
2.2.5 检测元件及其他元件符号	14
2.2.6 气缸和特殊能量转换器符号	16
2.2.7 控制机构和控制方法符号	16
2.2.8 常用控制阀符号	17
2.2.9 管路、管路接口和接头符号	18
2.3 管道系统	19
2.3.1 管路的分类	19
2.3.2 管道系统布置原则	19
2.4 气动三联件和气动辅件	20
2.4.1 气动三联件	20

2.4.2	气动辅件	21
2.4.3	分水过滤器的常见故障及排除方法	21
2.4.4	气动辅助元件应用训练	22
2.5	气动执行元件	22
2.5.1	气缸的分类	23
2.5.2	气缸的典型结构	23
2.5.3	气缸的工作特性	25
2.5.4	气缸的选择和使用要求	27
2.5.5	气动马达	28
2.5.6	气缸的常见故障及排除方法	30
2.6	气动控制元件	31
2.6.1	气动控制元件的分类及特性	31
2.6.2	方向控制元件	31
2.6.3	流量控制元件	36
2.6.4	压力控制元件	37
2.7	真空元件	39
2.7.1	真空发生器	39
2.7.2	真空吸盘	39
2.7.3	真空顺序阀	40
2.8	气动逻辑元件	40
2.8.1	气动逻辑元件的分类	41
2.8.2	气动逻辑元件的特点	41
2.8.3	气动逻辑元件的使用要求及原则	41
2.8.4	高压截止式逻辑元件	42
2.8.5	其他逻辑元件	44
2.9	气动系统主要元件常见故障及排除方法	45
2.9.1	方向阀常见故障及排除方法	45
2.9.2	压力阀常见故障及排除方法	45
2.10	气动元件应用典型实例	46
2.10.1	气动技术应用仿真软件介绍	46
2.10.2	气动训练设备介绍	58
2.10.3	梭阀应用	62
2.10.4	快速排气阀应用	63
2.10.5	双压阀应用	64
2.10.6	延时阀应用	65
2.10.7	压力顺序阀应用	67

第3章 气动基本回路和常用回路

69

3.1	气动系统回路符号表示方法	70
3.1.1	定位回路图符号绘制	70
3.1.2	不定位回路图符号绘制	70
3.1.3	气动元件与气动回路对应关系	70

3.1.4	回路图内元件的命名	70
3.1.5	元件的绘图规则及位置定义	72
3.1.6	管路的表示	72
3.1.7	气动回路的组成	73
3.2	压力和力控制回路	73
3.2.1	压力控制回路	73
3.2.2	力控制回路	75
3.3	方向控制回路	77
3.3.1	单作用气缸换向回路	78
3.3.2	双作用气缸换向回路	78
3.3.3	气马达换向回路	80
3.4	速度控制回路	80
3.4.1	气阀控制调速回路	81
3.4.2	气液联动速度控制回路	82
3.5	气动逻辑回路	84
3.6	常用回路	85
3.6.1	安全保护回路	85
3.6.2	振荡回路	87
3.7	气动回路应用典型实例	88
3.7.1	换向控制回路应用	88
3.7.2	速度控制回路应用	90
3.7.3	压力控制回路应用	91

第4章 气动逻辑控制系统设计

94

4.1	非时序逻辑系统设计	95
4.1.1	非时序逻辑设计步骤	95
4.1.2	逻辑代数设计法	95
4.1.3	卡诺图设计法	96
4.1.4	非时序逻辑系统设计实例	97
4.2	时序逻辑系统设计	99
4.2.1	时序逻辑系统简介	99
4.2.2	时序逻辑系统特点及组成	100
4.2.3	气动行程程序控制系统设计简述	100
4.2.4	障碍信号的消除方法	102
4.2.5	气动行程程序设计步骤	104
4.2.6	气动行程程序经验设计法	105
4.2.7	气动行程程序串级设计法	108
4.3	多执行元件逻辑回路应用实例	115
4.3.1	元件分离气动系统设计	115
4.3.2	塑料焊接机气动系统设计	117
4.3.3	矿石分类气动系统设计	119
4.3.4	压实机气动系统设计	121

4.3.5	工件夹紧气动系统设计	122
4.3.6	自动化磨床气动系统设计	124
4.3.7	打标机应用实例	127
4.3.8	二级管路时序逻辑系统设计	130
4.3.9	三级管路时序逻辑系统设计	130
4.3.10	多重重复程序逻辑系统设计	131
4.3.11	逻辑系统设计训练题	131

第5章 电气气动控制系统设计

133

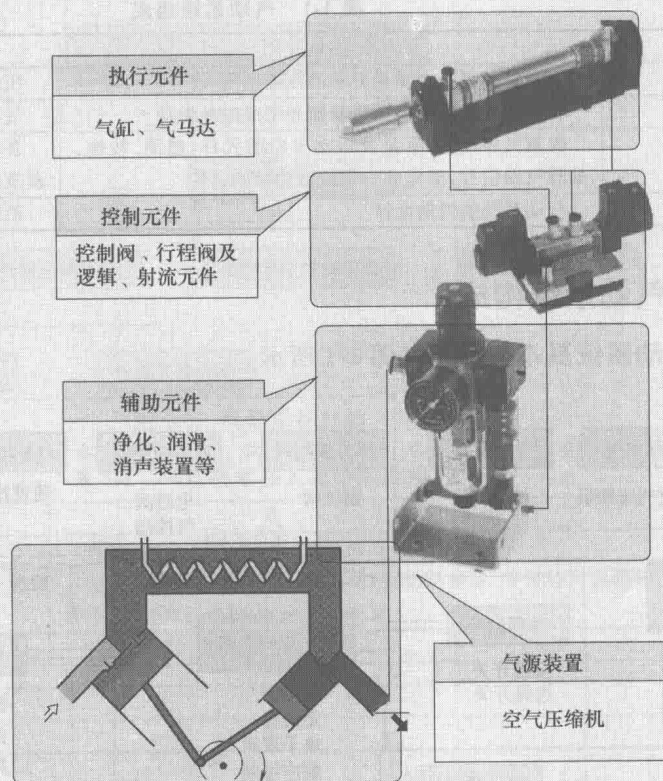
5.1	基本电气控制原理	134
5.1.1	电气原理图设计原则	134
5.1.2	电气原理图绘制方法和原则	137
5.1.3	常用低压电气元件分类	138
5.1.4	常用低压电气元件外形与符号	139
5.1.5	常用控制线路基本回路	142
5.1.6	电气控制典型电路	142
5.1.7	典型继电器基本控制电路	145
5.1.8	时间继电器和计数器控制电路	146
5.1.9	FESTO 常用电气元件	147
5.2	电气气动程序回路设计	149
5.2.1	电气气动程序设计方法	149
5.2.2	经验法设计电气控制回路	150
5.2.3	逻辑法设计电气控制回路	155
5.2.4	单缸缓冲回路电气气动程序设计	156
5.2.5	单缸调速回路电气气动程序设计	159
5.2.6	多缸电气气动程序设计	161
5.2.7	多执行元件程序步进法设计	162
5.3	电气气动行程程序系统设计应用实例	165
5.3.1	经验法设计连续往复运动系统	165
5.3.2	步进法设计双电控多缸时序系统	167
5.3.3	步进法设计单电控电磁阀多缸电气气动系统	168
5.3.4	步进法设计传感器、时间继电器控制时序系统	168

附录

170

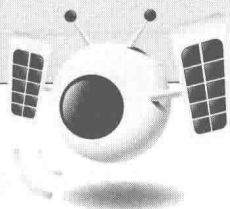
参考文献

172



本章重点内容

- 了解气动系统分类
- 了解气动系统的结构及各部分的典型元件名称
- 了解气动系统应用领域
- 熟悉气动系统的特点





1.1 气动技术概述

1.1.1 气动系统组成及对应典型元件

气动（气压传动）系统是一种能量转换系统，其工作原理是将原动机输出的机械能转变为空气的压力能，利用管路、各种控制阀及辅助元件将压力能传送到执行元件，再转换成机械能，从而完成直线运动或回转运动，并对外做功。气动系统组成见表 1-1。

表 1-1 气动系统组成

系统组成	工作原理、作用	典型元件
气源装置	为系统提供符合质量要求的压缩空气	压缩空气发生、储存、净化装置
执行元件	将气体压力能转换成机械能并完成对外做功	气缸、气马达
控制元件	控制气体压力、流量及运动方向的元件，感测、转换、处理气动信号，能完成一定逻辑功能的元件	各种阀类、气动逻辑元件、气动传感器及信号处理装置
辅助元件	气动系统的辅助元件	消声器、管道、接头、过滤器、油雾器

1.1.2 气动系统构成

（1）气动系统基本构成 如图 1-1 所示。

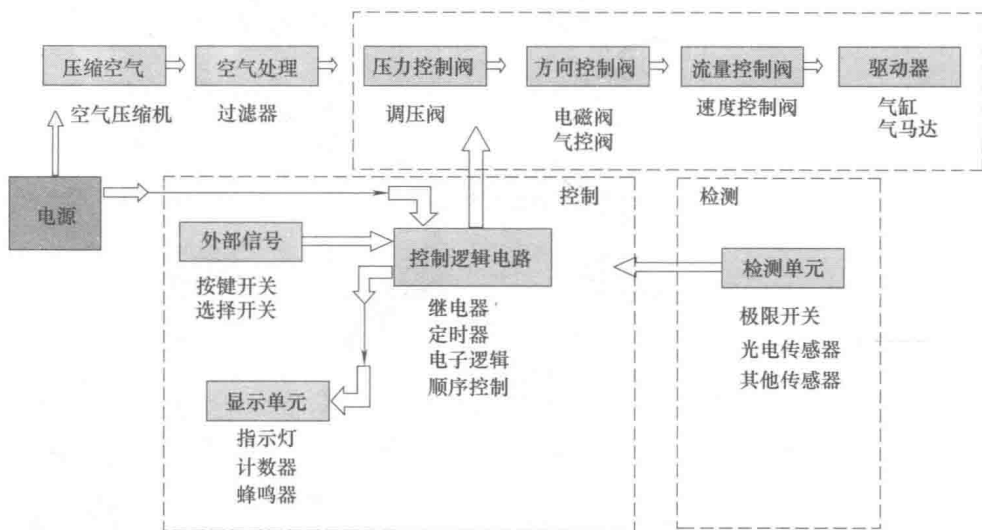


图 1-1 气动系统基本构成

（2）气动系统结构及气动信号流动方向 如图 1-2 所示。

1.1.3 气动系统分类

按对控制元件的选用，气动系统分类如图 1-3 所示。

1.1.4 气动技术应用及发展趋势

（1）气动技术在工业中的应用 气动技术用于简单的机械操作中已有相当长的时间了，最近几年随着气动自动化技术的发展，用气动自动化控制技术实现生产过程自动化，是工业自动化的一种重要技术手段，也是一种低成本自动化技术。气动技术在工业中的应用见表 1-2。

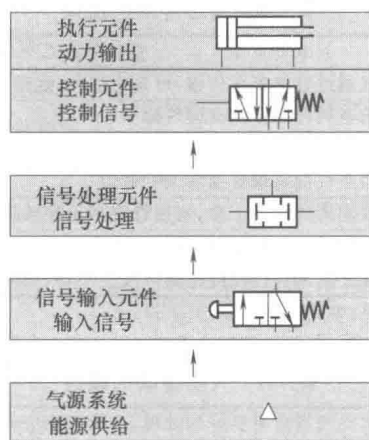


图 1-2 气动系统结构及信号流动方向

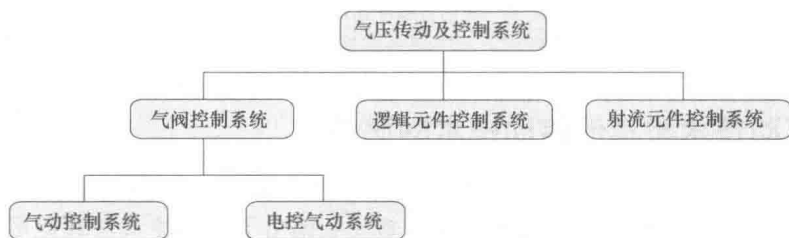


图 1-3 气动系统分类

表 1-2 气动技术在工业中的应用

应用范围		工业应用实例
气动技术	物料输送装置	夹紧、传送、定位、定向、物料流分配
	一般应用	包装、填充、测量、锁紧、轴的驱动、物料输送、零件转向及翻转、零件分拣、元件堆垛、元件冲压或模压标记、门控制
	物料加工	钻削、车削、铣削、锯削、磨削、光整
气动系统	自动装卸生产	
	气动机械手	

(2) 气动技术的发展趋势 见表 1-3。

表 1-3 气动技术的发展趋势

气动技术发展趋势	气动系统特点及应用	气动元件具体发展方向
模块化、集成化	具有单独元件组合能力	元件从单元功能性向多功能系统、通用化模块发展
	各种不同大小的控制器、不同功率的控制元件都具有随意组合性	具有向上或向下兼容性
功能增强、体积缩小、元件微型化和系列化	微型气动元件用于精密机械加工、电子制造、制药、医疗技术、包装技术	气缸直径小于 2.5mm, 气阀和辅助元件宽度小于 10mm
智能气动	智能气动是指具有集成微处理器, 并具有处理指令和程序控制功能的元件和单元	最典型的智能气动是内置可编程控制器的阀岛、以阀岛和现场总线技术的结合实现的气电一体化

1.1.5 气动技术特点

(1) 气压传动的优点 见表 1-4。



表 1-4 气压传动的优点

获取	空气是取之不尽用之不竭的
输送	空气通过管道容易传输,可集中供气,远距离输送
存储	压缩空气可以存储在储气罐中
温度	压缩空气对温度的变化不敏感,从而保证运行稳定
防爆	压缩空气没有爆炸及着火的危险
洁净	无油润滑的排气干净,通过管路和元件排除的气体不会污染空气
元件	气动元件结构简单,价格相对较低
过载安全	气动工具和执行元件超载可停止不动,而无其他危害

(2) 气压传动的缺点 见表 1-5。

表 1-5 气压传动的缺点

处理	压缩空气需要有良好的处理,不能有灰尘和湿气
可压缩性	由于压缩空气的可压缩性,执行机构不易获得均匀恒定的运动速度
输出力要求	只有在一定的推力要求下,采用气动技术才比较经济,在正常工作压力下(0.6~0.7MPa)按照一定的行程和速度,输出力为 40000~50000N
噪声	排气噪声较大,但随着噪声吸收材料及消声器的发展,此问题已得到解决

1.1.6 气动技术与其他传动技术的比较

空气的可压缩性大大限制了气动技术的应用,当需要很大力或连续大量消耗压缩空气时,成本也是一个制约气动技术应用的因素。表 1-6 列出了气动技术与其他形式的传动技术应用的比较。

表 1-6 气动技术与电气、液压技术应用的比较

应用项目	电气技术	液压技术	气动技术
能量的产生	主要是水力、火力和核能发电站	液压泵用电动机驱动(很少用内燃机驱动),根据所需压力和流量选择类型	空气压缩机由电动机和内燃机驱动,根据所需压力和容量选择压缩机类型
能量的存储	只能存储很少的能量(电池、蓄电池),能量存储很困难且复杂	仅在存储少量能源时比较经济,能量存储能力有限,需要压缩气体作为辅助介质	存储的能量可以驱动气缸,能大量存储能量,是非常经济的存储方式
能量输送	容易实现远距离能量传送	可通过管道输送,输送距离 1000m,有压力损失	较易通过管道输送,输送距离 1000m,有压力损失
泄漏	导电体与其他导电物体接触时,有能量损失,高压时有生命危险	有能量损失,油液泄漏有污染,会造成危险事故	压缩空气排放到空气中,有能量损失,无其他危害
产生能量成本	成本最低		与其他两种系统动力相比,产生气动能的成本较高,且随压缩机类型和使用效率而变化
环境影响	绝缘性能较好时,对温度变化不敏感,在易燃易爆区需增加保护措施	对温度变化敏感,油液泄漏易燃	压缩空气对温度变化不敏感,无着火和易爆危险,在湿度大、流速快的低温环境中,气体中的冷凝水易结冰
直线运动	采用电磁线圈和直线电动机可做短距离直线运动,通过机械机构可将旋转运动变为直线运动	采用液压缸方便地实现直线运动,低速时很容易控制	采用气缸方便地实现直线运动,工作行程可达 2000mm,具有较好的加速和减速性能,速度为 10~1500mm/s



续表

应用项目	电气技术	液压技术	气动技术
摆动	通过机械机构可将旋转运动转化为摆动	用液压缸和摆动执行元件可很容易地实现摆动,摆动角度可达360°或更大	用气缸、齿条和齿轮可以很容易实现摆动,摆动气缸性能参数与直线气缸相同,摆动角度很容易达到360°
旋转运动	对于旋转运动的驱动方式,其效率最高	用各种类型的液压马达可以很容易地实现旋转运动,与气马达相比,液压马达转速范围窄,但在低速时很容易控制	用各种类型的气马达可以很容易地实现旋转运动,转速范围宽,可达500000r/min或更高,实现反转方便
推力	因为推力需要机械机构来传递,所以效率低、超载能力差,空载时能量消耗大	因为工作压力高,所以能量消耗大,超载能力由起安全作用的溢流阀设定,保持力时有持续的能量消耗	因为工作压力低,所以调压范围窄,保持力时无能量消耗,推力取决于工作压力和气缸缸径,当推力为1N~50kN时,采用气动技术最经济
力矩	过载能力差,力矩范围窄	在停止时会有全力矩,但能量消耗大,超载能力由安全溢流阀设定,力矩范围宽	超载时可停止不动,无其他危害,力矩范围窄,空载时能量消耗大
控制能力	控制方式较复杂	在较宽范围内,推力可以很方便地通过压力来控制。低速时,可以很好地实现速度控制,且控制精度较高	在1:10范围内,根据负载大小,推力可以很方便地通过压力(减压阀)来控制。用节流阀或快速排气阀可以很方便地实现速度控制,但低速时实现速度控制较难
操作程度	需要专业知识,有偶然事故和短路的危险,错误连接很容易损坏设备和控制系统	与气动系统比较,液压系统更复杂,高压时要考虑安全性,存在泄漏和密封等问题	无需很多专业知识就能很好地操作,便于构造和运行开环控制系统
噪声	存在较大电磁线圈和触点的激励噪声,但均在车间噪声范围内	高压时泵的噪声很大,且可通过管道传播	排气噪声大,通过安装消声器可大大降低排气噪声

1.2

气动技术基础知识

气压传动是以压缩空气作为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式。应用非常广泛,尤其是轻工、食品工业、化工。但空气的可压缩性极大地限制了气压传动传递的功率,一般工作压力较低(0.3~1MPa),总出力不宜大于10~40kN,且工作速度稳定性较差。压缩空气在气动系统中的主要作用是决定传感器的状态、处理信号、通过控制元件控制执行机构、实现动作(执行元件)。

1.2.1 空气的物理性质

含水蒸气的空气称为湿空气(大气中的空气基本都是湿空气),不含水蒸气的空气称为干空气。

(1) 干空气的组成 见表1-7。



表 1-7 干空气的组成

成分	氮气 N ₂	氧气 O ₂	氩 Ar	二氧化碳 CO ₂	其他气体
体积分数/%	78.03	20.93	0.932	0.03	0.078
质量分数/%	75.50	23.10	1.28	0.045	0.075

注：标准状态，即温度为 0℃、压力为 0.1013MPa_a。

(2) 空气的物理性质 见表 1-8。

表 1-8 空气的物理性质

物理性质	定义及公式	
空气密度	单位体积内空气的质量	
	$\rho=\frac{m}{V}$ $\rho=\rho_0\times\frac{273}{273+t}\times\frac{p}{0.1013}(\text{干空气})$ 式中, m 为空气的质量, kg; V 为空气的体积, m^3 空气的体积与温度、压力有关, 三者满足气体状态方程式	
空气黏度	比液体的黏度小很多, 且随温度的升高而升高	
空气压缩性和膨胀性	体积随压力和温度而变化的性质分别表征为压缩性和膨胀性。空气的压缩性和膨胀性远大于固体和液体的压缩性和膨胀性	
露点	在规定的空气压力下, 当温度一直下降到成为饱和状态时, 水蒸气开始凝结的那一刹那的温度	大气露点(大气压下水分的凝结温度, 如空气压缩机的吸入口)
		压力露点(指气压系统在某一高压下的凝结温度, 如空气压缩机的输出口)
压缩空气析水量	压缩空气一旦冷却下来, 相对湿度将大大增加, 温度降到露点后, 水蒸气就凝析出来	
湿度和含湿量	绝对湿度是指单位体积的湿空气所含水蒸气的质量	
	$x=\frac{m_s}{V}$ 式中, x 为绝对湿度, kg/m^3; m_s 为湿空气中水蒸气的质量, kg; V 为湿空气的体积, m^3	
	相对湿度是指在某温度和总压力下, 绝对湿度与饱和绝对湿度之比	
	$\phi=\frac{x}{x_b}\times100\%\approx\frac{p_s}{p_b}\times100\%$ 式中, p_s 为蒸气的分压力 当空气绝对干燥时, $p_s=0, \phi=0$; 当空气达到饱和时 $p_s=p_b, \phi=100\%$; 一般湿空气的 ϕ 值在 0~100% 之间变化。气动技术中规定各种阀用空气的相对湿度应小于 90%	

1.2.2 气体的状态方程

气体的三个状态参数是压力 p 、温度 T 和体积 V 。气体状态方程是描述气体处于某一平衡状态时, 这三个参数之间的关系。

理想气体是指没有黏性的气体。一定质量的理想气体在状态变化的某一稳定瞬时, 气体状态方程, 如式 (1-1)、式 (1-2) 所示。

$$\frac{pV}{T} = \text{常量} \quad (1-1)$$

$$p = \rho RT \quad (1-2)$$

式中, p 为气体在某一状态下的绝对压力, Pa; V 为气体在某一状态下的体积, m³; T 为气体在某一状态下的热力学温度, K; ρ 为气体的密度 (kg/m³); R 为气体常数, J/(kg·K)。其中, 干空气 $R_g=287.1\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, 湿空气 $R_s=462.05\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ 。

由于实际气体具有黏性, 因而严格地讲它并不完全符合理想气体方程式。理想气体状态方程式适用 (空气、氧气、氮气) 参数性能范围见表 1-9。



表 1-9 理想气体状态方程式适用参数性能范围

适用范围		不适用范围	
绝对压力	温度	压力	温度
不超过 20MPa	不低于 20℃	高压	低温

1.2.3 理想气体的状态变化过程

ρ 、 V 、 T 的变化决定了气体的不同状态,在状态变化过程中加上限制条件时,理想气体的状态变化过程见表 1-10。

表 1-10 理想气体的状态变化过程

过程名称	状态变化情况	应用实例	状态方程
等温过程 (波义耳定律)	无内能变化,加入系统的热量全部变成气体所做的功	气动系统中气缸工作、管道输送空气等均可视为等温过程	$pV = \text{常量}$
绝热过程	一定质量的气体与外界没有热量交换时的状态变化过程	气动系统中快速充、排气过程可视为绝热过程,系统靠消耗自身内能对外做功	$pV^k = \text{常量}$ 式中, k 为绝热指数,空气 $k = 1.4$
等容过程 (查理定律)	一定质量的气体,在体积不变的条件下,进行的状态变化过程		$\frac{p}{T} = \text{常量}$ 压力升高,温度升高
等压过程 (盖·吕萨克定律)	一定质量的气体,在压力不变的条件下,进行的状态变化过程		$\frac{V}{T} = \text{常量}$ 温度上升,体积膨胀

1.2.4 气体流动规律

(1) 气体流动基本方程 见表 1-11。

表 1-11 气体流动基本方程

名称	成立条件	方程式
连续性方程	注意 $\rho_1 \neq \rho_2$	$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$
伯努利方程	按绝热状态计算[因气体可以压缩($\rho \neq \text{常数}$),气体流动很快,来不及与周围环境进行热交换,按绝热状态计算]	$\frac{v^2}{2} + gz + kp/(k-1) + ghv = \text{常数}$ 在低速流动时,气体可认为是不可压缩的($\rho = \text{常数}$),则有 $\frac{v^2}{2} + gz + p/\rho = \text{常数}$

(2) 声速与马赫数 见表 1-12。

表 1-12 声速与马赫数

声速	定义	声音引起的波称为声波,声波在介质中的传播速度称为声速
	规律	①声音传播过程属于绝热过程 ②声音在理想气体中传播的相对速度只与气体的温度有关 ③气体的声速 c 是随气体状态参数的变化而变化的
马赫数	定义	气流速度与当地声速($c = 341\text{m/s}$)之比称为马赫数, ($Ma = v/c$),它是气体流动的重要参数,集中反映了气流的压缩性
	规律	Ma 越大,气流密度变化越大 当 $v < c$, $Ma < 1$ 时,称为亚声速流动;当 $v = c$, $Ma = 1$ 时,称为声速流动,也称临界状态流动;当 $v > c$, $Ma > 1$ 时,称为超声速流动



(3) 气体在管道中的流动特性 见表 1-13。

表 1-13 气体在管道中的流动特性

在亚声速流动时 ($Ma < 1$)	在超声速流动时 ($Ma > 1$)
当 $v \leq 50\text{m/s}$ 时, 不必考虑压缩性。在气动装置中, 气体流动速度较低, 且经过压缩, 可以认为不可压缩。 当 $v \approx 140\text{m/s}$ 时, 应考虑压缩性。自由气体经空气压缩机压缩的过程中是可压缩的	

1.2.5 气动元件的通流能力

气动元件的通流能力是指单位时间内通过阀、管路等的气体质量。目前通流能力可以采用有效截面积 S 和质量流量 q 表示。通流能力的表示参数见表 1-14。

表 1-14 通流能力的表示参数

参数	有效截面积	不可压缩气体通过节流小孔的流量
公式	对于阀口或管路有效截面积的简化计算 $S = aA$ 式中, a 为收缩系数, 由相关图查出; A 为孔口实际面积	工程中常采用近似公式: $q_m = \epsilon c A [2\rho(p_1 - p_2)]^{1/2}$ 式中, ϵ 为空气膨胀修正系数; c 为流量系数; A 为节流孔面积
规律	串联元件 $1/S_R^2 = \sum 1/S_i^2$ 并联元件 $S_R = \sum S_i$	当气体以较低的速度通过节流小孔时, 可以不计其压缩性, 将其密度视为常数

1.3 气动技术基础训练

(1) 目标要求 理解气动系统工作原理及特点, 了解系统的组成, 掌握系统工作特征、主要参数。

(2) 实例任务

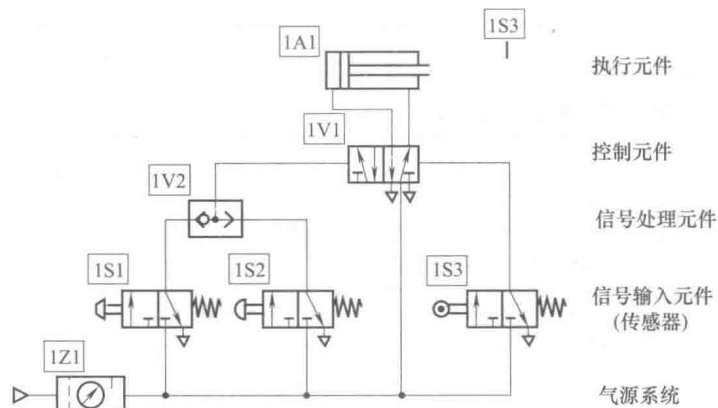


图 1-4 气动系统图



① 说明系统各装置中的典型元件及其简单的功用。

② 气动系统中的压力取决于什么? 执行元件的运动速度取决于什么?

③ 分析图 1-4 所示气动系统图, 并填写表 1-15。



表 1-15 系统组成部分及组成元件名称

序号	系统组成部分	组成元件名称
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		