



现代气动系统使用维护 及故障诊断

XIANDAI QIDONG XITONG SHIYONG WEIHU
JI GUZHANG ZHENDUAN

张利平 编著



化学工业出版社



现代气动系统使用维护 及故障诊断

XIANDAI QIDONG XITONG SHIYONG WEIHU
JI GUZHANG ZHENDUAN

张利平 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书重点介绍气动元件(含工作介质)与系统的使用维护和故障诊断方法要点,共分8章,选材和论述以系统、先进和实用为目标,突出体现新系统、新技术、新结构和新设备(如真空吸附技术、气动阀岛、气动手指、气动人工肌肉)及可操作性等。全书以“介质(压缩空气)→元件(空压机及真空泵、真空发生器,压缩空气净化元件,管道及密封件,气缸、气马达等)→回路→系统”的体系线索进行介绍,书中给出了多个行业领域(如机械、轻工、化工、包装、冶金、烟草、航空、工程机械、家电家具、医疗等)富有参考价值的大量典型气动系统及气动故障诊断排除的工程实际案例,并对气动系统的设计要点进行了简介。全书气动回路与系统原理图全部采用现行国标 GB/T 786.1—2009 规定的图形符号进行绘制。

本书可供各行业气动设备与系统的一线工作人员(科研设计、加工制造、安装调试、现场操作、使用维护与设备管理)参阅,还可作为液压气动系统使用维护与故障诊断技术的短期培训、上岗培训教材及自学读本,也可供大专院校相关专业及方向的教师和研究生、大学生在科研及教学或实训中参考,同时可供气动技术爱好者学习参阅。

图书在版编目(CIP)数据

现代气动系统使用维护及故障诊断/张利平编著. —北京:
化学工业出版社, 2015. 12
ISBN 978-7-122-25315-6

I. ①现… II. ①张… III. ①气压系统-使用方法②气压系统-维修③气压系统-故障诊断 IV. ①TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 236125 号

责任编辑: 黄 澄
责任校对: 边 涛

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 王晓宇

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: 三河市延凤印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 280 千字 2016 年 2 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前言

Foreword

随着国民经济和工业技术的发展,作为工业自动化的重要手段,气动技术的应用与日俱增,各行业的气动技术的一线工作人员急需了解和掌握气动技术的使用维护及故障诊断方法要点。为此,笔者在总结多年从事液压气动技术教学科研特别是为企业解决使用维护难题的经验基础上,编写成《现代气动系统使用维护及故障诊断》一书。本书通过紧凑的篇幅,在介绍现代气动技术组成与基本原理基础上,重点介绍了气动元件(含工作介质)与系统的使用维护和故障诊断方法要点。为气动技术的各类从业人员正确合理地使用气动系统,避免或减少使用维护工作中的失误,提高工作效率,提高各类气动机械设备及装置的工作品质、技术经济性能和使用效益等提供帮助,以适应现代气动技术发展并满足气动技术工作者的需要。

全书共8章。选材和论述以系统、先进和实用为目标,突出体现新系统、新技术、新结构和新设备(如真空吸附技术、气动阀岛、气动手指、气动人工肌肉)及可操作性等。全书以“介质(压缩空气)→元件(空压机及真空泵、真空发生器,压缩空气净化元件,管道及密封件,气缸、气马达等)→回路→系统”的体系线索进行介绍;书中给出了多个行业领域(如机械、轻工、化工、包装、冶金、烟草、航空、工程机械、家电家具、医疗等)富有参考价值的大量典型气动系统及气动故障诊断排除的工程实际案例,并对气动系统的设计要点进行了简介。全书气动回路与系统原理图全部采用现行国标 GB/T 786.1—2009 规定的图形符号进行绘制。

本书可供各行业气动设备与系统的一线工作人员(科研设计、加工制造、安装调试、现场操作、使用维护与设备管理)参阅,还可作为液压气动系统使用维护与故障诊断技术的短期培训、上岗培训教材及自学读本,也可供大专院校相关专业及方向的教师和研究生、大学生在科研及教学或实训中参考,同时可供气动技术爱好者学习参阅。

本书由张利平编著。张津、山峻、张秀敏和王伟参与了本书的前期策划、标准资料的搜集、文稿的录入整理及部分插图绘制工作,参与本书插图绘制和相关工作的还有史琳、甄依、王宝松、郭号、王慧霄、李珊、李丽琳、王金业、樊志涛、顾敬伟、李震、赵丽娜、田贺、朱林丽、向其兴、耿卫晓、冯德兵、岳玉晓、窦赵明。

本书的编写工作得到了全国各地多位业内同仁及笔者的同事和学生的支持、帮助,在此对他们以及参考文献的各位作者表示诚挚谢意。因水平所限及编写时间仓促,书中疏漏之处在所难免,欢迎同行专家及广大读者批评指正。

张利平

目录

Contents

Chapter 1

第 1 章 气动技术使用维护与故障诊断总论	1
1.1 气动系统组成与表示	1
1.1.1 气动技术的定义与原理	1
1.1.2 气动系统的组成部分及功用	1
1.1.3 气动系统原理图及图形符号	2
1.1.4 气动系统原理图的绘制与分析识读	3
1.2 气动系统的分类	4
1.3 气动技术的特点、应用及发展	4
1.3.1 气动技术的特点	4
1.3.2 气动与其他传动方式的综合比较	5
1.3.3 气动技术的应用	6
1.3.4 气动技术的发展	6
1.4 气动系统基本参数	7
1.4.1 压力	7
1.4.2 流量	8
1.4.2 温度	8
1.5 气动元件与系统使用维修的一般注意事项	8
1.6 气动系统的故障诊断	9
1.6.1 气动故障及其诊断定义	9
1.6.2 做好液压故障诊断及排除应具备的条件	9
1.6.3 气动系统的常见故障类型	10
1.6.4 气动系统的故障特点	10
1.7 气动系统的故障诊断策略及一般步骤	11
1.7.1 气动系统故障诊断策略与常用方法	11
1.7.2 故障诊断排除的一般步骤	11
1.8 气动系统故障诊断常用方法	12
1.9 气动系统故障诊断仪器简介	12

Chapter 2

第 2 章 压缩空气的使用管理及气体力学基础	14
2.1 空气的组成及其形态	14
2.2 空气的主要物理性质	14
2.3 压缩空气的使用管理	15
2.4 气体力学基础	16
2.4.1 理想气体状态方程	16
2.4.2 理想气体的状态变化过程	17
2.4.3 气体在管内的定常流动规律	18
2.4.4 容器的充气与排气计算	19

Chapter 3

第 3 章 气动能源与辅件的使用维护与故障诊断	21
-------------------------	----

3.1 气动能源装置的使用维护与故障诊断	21
3.1.1 气源的组成	21
3.1.2 空压机	22
3.1.3 真空泵	25
3.1.4 真空发生器	29
3.2 气动辅件的使用维护与故障诊断	30
3.2.1 空气净化元件	30
3.2.2 其他辅助元件	37

Chapter 4

第4章 气动执行元件的使用维护与故障诊断	48
4.1 功用类型及特点	48
4.2 气缸的使用维护与故障诊断	48
4.2.1 类型	48
4.2.2 常用性能参数	50
4.2.3 一般组成与典型结构	52
4.2.4 典型产品	59
4.2.5 使用要点	60
4.2.6 故障诊断	61
4.3 气动手指的使用维护与故障诊断	63
4.3.1 功用特点	63
4.3.2 类型及组成	63
4.3.3 典型结构	63
4.3.4 主要技术参数与典型产品	64
4.3.5 选择与使用要点	65
4.4 气马达的使用维护与故障诊断	65
4.4.1 功用类型及性能特点	65
4.4.2 结构原理	66
4.4.3 典型产品	68
4.4.4 使用要点	68
4.4.5 故障诊断	69
4.5 摆动气马达（摆动气缸）	69
4.5.1 功用与分类	69
4.5.2 结构特点	70
4.5.3 典型产品	71
4.5.4 使用维护要点	71
4.6 真空吸盘	71
4.6.1 功用及结构原理	71
4.6.2 类型特点	72
4.6.3 性能参数	72
4.6.4 典型产品	73
4.6.5 选用要点	73
4.7 气动肌肉	73
4.7.1 结构原理及优点	73
4.7.2 主要类型特点	74

4.7.3 主要技术参数及产品	75
-----------------------	----

Chapter 5

第5章 气动控制元件及应用回路的使用维护与故障诊断	76
5.1 功用与种类	76
5.2 方向控制阀及其应用回路使用维护与故障诊断	77
5.2.1 功用种类	77
5.2.2 单向型方向阀及其应用回路	78
5.2.3 换向型方向阀及换向回路	81
5.2.4 使用维护要点	86
5.2.5 故障诊断	87
5.3 压力控制阀及应用回路的使用维护与故障诊断	88
5.3.1 安全阀(溢流阀)	88
5.3.2 减压阀	90
5.3.3 顺序阀	94
5.3.4 压力控制回路	95
5.4 流量控制阀及应用回路的使用维护与故障诊断	96
5.4.1 功用类型	96
5.4.2 结构原理	96
5.4.3 性能参数及典型产品	97
5.4.4 使用要点	98
5.4.5 速度控制回路	98
5.5 其他气动基本回路	101
5.5.1 多缸动作控制回路	101
5.5.2 安全保护与操作回路	102
5.5.3 计数回路	103
5.5.4 真空吸附回路	104
5.6 气动逻辑控制元件	106
5.6.1 功用、分类、组成与表示	106
5.6.2 结构原理	106
5.6.3 性能参数及典型产品	108
5.6.4 选择与使用要点	108
5.6.5 基本逻辑控制回路	108
5.7 气动比例阀与气动伺服阀简介	110
5.7.1 气动比例阀	110
5.7.2 气动伺服阀	111
5.8 气动阀岛	112
5.8.1 阀岛的由来	112
5.8.2 阀岛的特点	113
5.8.3 阀岛的类型及其特点	113
5.8.4 性能参数及典型产品	115
5.8.5 选用与安装	115

Chapter 6

第6章 典型气动系统分析及气动系统设计要点	116
6.1 典型气动系统分析的意义与要点	116

6.2 机械制造装备中的气动系统	116
6.2.1 铸造机械——四柱砂型震压造型机气动系统	116
6.2.2 数控加工中心气动换刀系统	118
6.2.3 气液驱动组合机床动力滑台系统	119
6.2.4 机床夹具气动系统	120
6.3 全气控通用机械手系统	120
6.4 包装机械气动系统	122
6.4.1 液体自动灌装机气动系统	122
6.4.2 粒状物料计量装置气动系统	124
6.5 建材机械——16 工位石材连续磨机气动系统	125
6.6 家电家具机械气动系统	127
6.6.1 制冷家电气动胀管机系统	127
6.6.2 家具力学性能试验机电-气控制系统	128
6.7 真空吸附系统	130
6.7.1 钢板真空吸附搬送系统	130
6.7.2 高速芯片焊接机真空吸附系统	130
6.8 行走工程机械——挖掘机气控系统	132
6.9 航空器械——飞机供油车气动刹车联锁系统	133
6.10 医疗器械——颈椎治疗仪气动控制系统	134
6.11 气动伺服及气动比例控制系统	136
6.11.1 气液伺服纠偏器系统	136
6.11.2 带材(板材)卷绕机张力电-气比例控制系统	137
6.12 气动系统设计要点	137

Chapter 7

第 7 章 气动系统共性故障诊断排除方法及气动故障诊断排除

典型案例	139
7.1 气动系统共性故障诊断排除方法	139
7.2 气动故障诊断排除典型案例	139
7.2.1 HT6350 卧式加工中心主轴换刀慢及空气污染故障诊断排除	139
7.2.2 压力加工机械(挤压机接料小车)气动系统换向故障诊断排除	140
7.2.3 化工机械(膨化硝铵炸药膨化过程)气动系统气源故障诊断排除	141
7.2.4 烟草样品制作机气动系统压力故障诊断排除	142
7.2.5 冶金机械(连铸连轧设备)气动系统故障排除	143
7.2.6 轻工机械(通过式磨革机)气动系统漏气故障诊断排除	146
7.2.7 纺织机械(祖克浆纱机)气动系统泄漏故障排除	147
7.2.8 工程机械(挖掘机)气动系统空压机常见故障诊断排除	148
7.2.9 医疗器械(FCC7KCi-C 型 ⁶⁰ Co 治疗机)气动系统常见故障诊断排除	149

Chapter 8

第 8 章 气动系统的安装调试与运转维护及管理

8.1 气动系统的安装	152
-------------------	-----

	8.1.1 安装内容及准备工作	152
	8.1.2 气动元件和管道安装总则	152
	8.2 气动系统的调试	155
	8.2.1 调试准备	155
	8.2.2 气密性试验	155
	8.2.3 总体调试	155
	8.3 气动系统的运转维护及管理	155
	8.3.1 气动系统使用维护的一般注意事项	155
	8.3.2 运转要点	155
	8.3.3 维护保养及检修	155
Appendix	附录 常用液压气动图形符号	158
Reference	参考文献	163

第 1 章

气动技术使用维护与故障诊断总论

1.1 气动系统组成与表示

1.1.1 气动技术的定义与原理

以压缩空气作为工作介质进行动力传递和实现控制的技术称为气动技术，包括气压传动技术和真空吸附技术。

如图 1-1 所示，气动系统的工作原理是通过气压发生装置将原动机输出的机械能转变为空气的压力能，通过管路、各种控制阀及辅助元件将压力能传送到对外做功的执行元件，再转换成机械能，驱动机械设备的工作机构以直线运动或回转运动形式进行生产或作业。

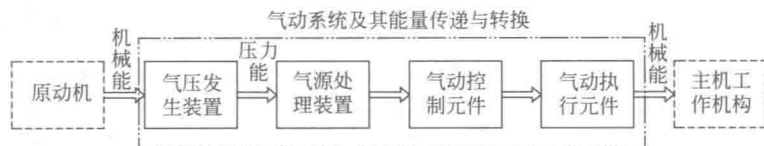


图 1-1 气动系统的工作原理框图

1.1.2 气动系统的组成部分及功用

图 1-2 和图 1-3 所示分别为单缸气动系统和双缸气动系统，一般都是由能源元件、执行元件、控制元件、辅助元件和工作介质等几部分所组成，这几部分统称为气动元件，各部分的功能作用如表 1-1 所示。

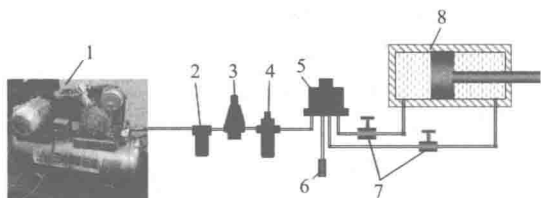


图 1-2 单缸气动系统

- 1—气源；2—过滤器；3—压力阀；4—油雾器；
5—换向阀；6—消声器；7—流量阀；8—气缸

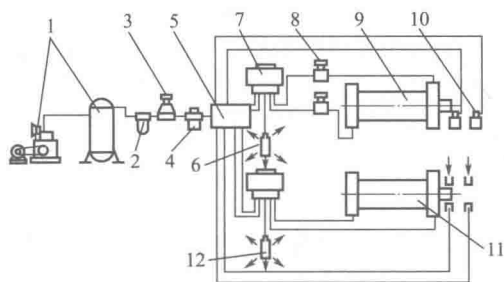


图 1-3 双缸气动系统

- 1—气源；2—过滤器；3—压力阀；4—油雾器；
5—逻辑控制元件；6, 12—消声器；7—方向阀；
8—流量阀；9, 11—气缸；10—行程开关

一般而言，能够实现某种特定功能的气动元件的组合，称为气动回路。为了实现对某一机器或装置的工作要求，将若干特定的基本功能回路按一定方式连接或复合而成的总体称为气动系统。

表 1-1 气动系统的组成部分及作用

组成部分			作用	备注
气动元件	能源元件	空气压缩机及其原动机	将原动机(电动机或内燃机)供给的机械能转变为气压传动系统所需的气体压力能	1. 气动元件的基本参数有公称压力(MPa)、通径(mm)(主通气口名义尺寸) 2. 气动元件一般都是标准化元件,根据使用条件直接从产品样本或手册选用即可 3. 在气动系统设计中,也都用规定的图形符号(见GB/786.1—2009)表示
		真空泵	将原动机(电动机或内燃机)供给的机械能转变为真空吸附系统所需的负压气压能	
		真空发生器	将作为动力源的压缩空气转变为真空吸附系统所需的负压气压能	
	执行元件	气缸、气马达和摆动气马达	将气压能转变为机械能,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	
		真空吸盘 人工肌肉	将真空气压能变为机械能,用以吸附搬运夹持负载做功	
	控制元件	各种压力、流量、方向控制阀及其他控制元件(电-气伺服阀及电气比例阀与气动逻辑控制元件)	控制调节气动系统中压缩气体或真空的压力、流量和方向,从而控制执行元件输出的力、速度和方向,以保证执行元件驱动的主机工作机构完成预定的运动规律	
工作介质	辅助元件	分水滤气器、干燥器、消声器、管道、接头等	用来存储/净化压缩空气,为系统提供符合质量要求的工作介质	气动系统的工作介质为干空气,其可压缩性较液体大得多
		压缩空气或真空气体	作为系统的工作媒介,传递能量和工作及故障信号等	

1. 1. 3 气动系统原理图及图形符号

(1) 气动系统的表示方法

气动系统原理可有两种图样表示法：一是图 1-2 和图 1-3 所示的半结构形式表示法，其特点是表达形象、直观，元件的结构特点清楚明了，但对于复杂系统，图形绘制繁杂难辨；二是标准图形符号表示法，此法由于图形符号仅表示气动元件的功能、操作（控制）方法及外部连接口，并不表示气动元件的具体结构、性能参数、连接口的实际位置及元件的安装位置，故用来表达系统中各类元件的作用和整个系统的组成、管路联系和工作原理，简单明了，便于绘制和技术交流。利用专门开发的计算机图形库软件，还可大大提高气动系统原理图的设计、绘制效率及质量。除非采用了一些特殊元件，气动行业大多采用图形符号来绘制和表达气动系统原理图。

(2) 我国液压气动图形符号标准（GB/T 786.1—2009）

我国迄今先后四次（分别于 1965 年、1976 年、1993 年和 2009 年）颁布了液压与气动图形符号标准。现行标准为 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》（与同名的国际标准 ISO 1219-1：2006 等效），它建立了各种符号的基本要素（包括线、连接和管接头、流路和方向指示、机械基本要素、控制机构要素、调节要素等），并制定了液压气动元件（液压：阀、泵和马达、缸、附件；气动：阀、空压机和马达、缸、附件）和回路图表中符号的设计应用规则（含常规符号、阀、泵和马达、缸、附件），以资料性附录形式对 CAD 符号进行了介绍，该标准中规定的常用液压气动图形符号见附录。

1.1.4 气动系统原理图的绘制与分析识读

(1) 采用图形符号绘制气动系统原理图时一般应注意的事项

① 元件图形符号的大小可根据图纸幅面大小按适当比例增大或缩小绘制，以清晰美观为原则。

② 元件和回路图一般以未受激励的非工作状态（如电磁换向阀应为断电后的工作位置）画出。

③ 在不改变标准定义的初始状态含义的前提下，元件的方向可视具体情况水平翻转或90°旋转进行绘制，但油箱必须水平绘制且开口向上。

(2) 示例

图 1-4 所示为用图形符号绘制的铜管管端挤压胀形的胀管机气压传动系统，空压机 1 及储气罐 3 经过滤器 4 和油雾器 6 向合模气缸 13 和胀形气缸 9 提供压缩空气，两个气缸的活塞杆在压缩空气作用下推动负载运动；胀形气缸 9 和合模气缸 13 的动作方向变换分别由换向阀 7 和 11 控制。而胀形气缸 9 的伸出速度可通过单向流量控制阀 8 的开度调节，气缸工作压力可以根据负载大小通过减压阀 5 调节；整个系统的最高压力由安全阀 2 限定。消声器 10 和 12 用于降低换向阀的排气噪声。如将图 1-4 中的胀形气缸 9 垂直安装，则可用于实现升降运动控制；也可将气缸换为气马达用于回转运动的控制。

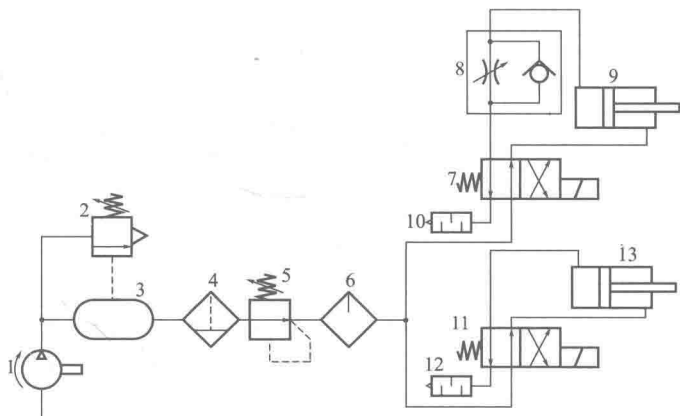


图 1-4 用图形符号绘制的胀管机气动系统原理图

1—空压机；2—安全阀；3—储气罐；4—过滤器；5—减压阀；6—油雾器；7,11—换向阀；
8—单向流量控制阀；9—胀形气缸；10,12—消声器；13—合模气缸

图 1-5 所示为用图形符号绘制的电视机包装机气动真空系统原理图，气缸 5 和气缸 10 配合可实现垂直与水平两个方向的动作，气压源 1 的压缩空气经真空发生器 3 产生真空，靠两个真空吸盘 4 将电视机产品从装配生产线搬下，放上包装材料后，置于纸箱中，完成电视机的包装作业。气缸 5 和 10 的运动方向变换分别由二位四通电磁换向阀 8 和 13 控制，运动速度分别由单向节流阀 6、7、11 和 12 控制。

(3) 气动系统原理图的识读

在分析气动系统的气流路线时，最好先将系统中的各条气路分别进行编码，然后按执行元件划分气路单元，每个单元先看动作循环，再看主气路、控制气路。主气路的进气路起始点为气源的排气口，终点为执行元件的进气口；主气路的回气路起始点为执行元件的回气口，终点一般通向大气。控制气路也应弄明来源与控制对象。要特别注意系统从一种工作状态转换到另一种工作状态时，其信号源（即发信元件）是哪些，又是使哪些控制元件动作并实现的。

对于因故没有原理图的气动系统，需结合说明书等文档资料或实物进行推断分析。

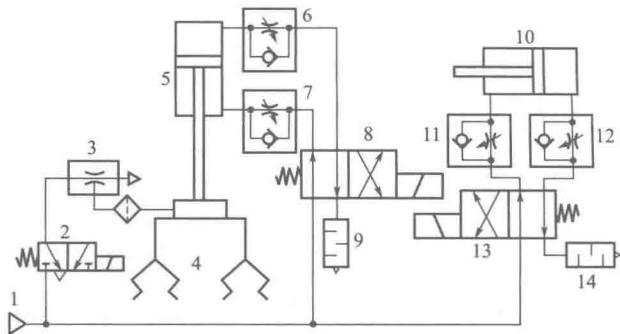


图 1-5 用图形符号绘制的电视机包装机气动真空系统原理图

1—气压源；2—二位三通电磁阀；3—真空发生器；4—真空吸盘；5,10—气缸；
6,7,11,12—单向节流阀；8,13—二位四通电磁阀；9,14—消声器

1.2 气动系统的分类（表 1-2）

表 1-2 气动系统的类型及特点

分类方式	类型	特点
按工作特征分类	传动系统	一般为不带反馈的开环系统,以传递动力为主,以信息传递为次,追求传动特性的完善。系统的工作特性由各组成气动元件的特性和它们的相互作用来确定,其工作质量受工作条件变化的影响较大。气压传动系统应用较为普遍,大多数工业设备气动系统属于此类
	控制系统	多为采用电-气比例阀或电-气伺服阀等元件组成的带反馈的闭环系统,以传递信息为主,以传递动力为次,追求控制特性的完善。由于加入了检测反馈,故系统可用一般元件组成精确的控制系统,其控制质量受工作条件变化的影响较小。气动控制系统在高精数控机床、冶金、航空、航天、机器人等领域应用广泛
	真空吸附系统	以真空吸盘作为主要执行元件,与气缸配合,用于具有平面的物料、工件或产品(如玻璃、电视机等)进行吸附(吊)作业。系统工作压力为负压,以真空泵或真空发生器为真空源
按用途分类	固定设备用系统	此类液压系统多为开式循环系统,包括用于各类工业设备如机床(工件夹紧、工作台进给、换向、主轴驱动)、压力机(压制、压边、换向、工件顶出)、压铸机及注塑机(合模、脱模、预塑、注射机构)甚至公共设施如医疗器械、垃圾压榨等机械设备和装置中的系统
	行走设备用系统	此类液压系统既有开式循环系统也有闭式循环系统,包括用于车辆行驶(行走驱动、转向、制动及其工作装置)、物料传送装卸搬运设备(传递机构、转位机构)以及航空、航天、航海工程中的各种系统

1.3 气动技术的特点、应用及发展

1.3.1 气动技术的特点（表 1-3）

表 1-3 气动技术的特点

	序号	性 能	详细描述
主要优点	1	介质提取处理便利	工作压力较低(通常不超过 1MPa),空气提取容易,无介质费用和供应上的困难,用后的气体排入大气,处理方便,一般不需回收管道和容器,介质清洁,不会污染环境,管道不宜阻塞,不存在介质变质及补充等问题
	2	能源可储存	压缩空气可储存在储气罐中,突然断电等情况时,主机及其工艺流程不致突然中断

	序号	性 能	详细描述
主要优点	3	动作迅速,反应灵敏	一般只需 0.02~0.3s 即可建立起所需压力和速度,能实现过载保护,便于自动控制
	4	阻力损失和泄漏小	压缩空气传输过程中的阻力损失一般仅为油路的千分之一,空气便于集中供应和远距离输送;外泄漏不会像液压传动那样造成压力明显降低和环境污染
	5	成本低廉	工作压力低,气动元辅件的材料和制造精度低,制造容易,成本较低
	6	工作环境适应性好	气动元件可以根据不同场合,采用相应材料,使元件能够在强振动、强冲击、多尘埃、强腐蚀和强辐射等恶劣的环境下进行正常工作,不会因温度变化影响其传动控制性能
	7	维护简单,使用安全	无油的气动控制系统特别适用于无线电元器件的生产过程及食品或医药生产过程
主要缺点	1	出力小	因工作压力较低,且结构尺寸不宜过大,故气动系统出力较小,且传动效率低
	2	动作稳定性稍差	空气的压缩性远大于液压油的压缩性,因此在动作的响应能力、工作速度的平稳性方面不如液压传动,但若采用气-液复合传动装置即可取得满意效果
	3	工作频率和响应速度远不如电子装置	气压传动装置的信号传递速度限制在声速(约 340m/s)范围内,所以它的工作频率和响应速度远不如电子装置,并且信号要产生较大的失真和延滞,也不便于构成较复杂的控制回路,但这一缺点对工业生产过程不会造成困难

1.3.2 气动与其他传动方式的综合比较（表 1-4）

表 1-4 气压传动与其他传动方式的综合比较

性能	气压传动	液压传动	机械传动	电气传动
输出力(或力矩)	稍大	大	较大	不太大
速度	高	较高	低	高
重量功率比	中等	小	较小	中等
传动效率	低	中	高	高
响应性	低	高	中等	高
负载引起特性变化	很大	稍有	几乎无	几乎无
定位性	不良	稍好	良好	良好
无级调速	较好	良好	较困难	良好
远程操作	良好	良好	困难	特别好
信号变换	较困难	困难	困难	容易
调整	稍困难	容易	稍困难	容易
结构	简单	稍复杂	一般	稍微复杂
安装自由度	大	大	小	中
环保性	良	有污染,但水压传动无污染	中	良
管线配置	稍复杂	复杂	较简单	不特别
环境适应性	好	较好,但易燃	一般	不太好
危险性	几乎无	注意防火	无特别问题	注意漏电
动力源失效时	有余量	可通过蓄能器完成若干动作	不能工作	不能工作
工作寿命	长	一般	一般	较短
维护要求	一般	高	简单	较高
价格	低	稍高	一般	稍高

1.3.3 气动技术的应用

气动技术与液压技术一起和现代社会中人们的日常生活、工农业生产、科学研究活动有着日益密切的关系，已成为现代机械设备和装置中的基本技术构成、现代控制工程的基本技术要素和工业及国防自动化的重要手段，并在国民经济各行业以及几乎所有技术领域日益广泛应用，表 1-5 按应用领域列举了气动技术的众多用途。

表 1-5 气动技术的用途

应用领域	采用气动技术的机器设备和装置
机械制造	组合机床、动力头、真空吸附工作台、工业机械手和机器人、造型机、压力机等
能源与冶金工业	热电站锅炉房通风设备、核电站的燃料和吸收器进给装置、露天和地下矿场的矿石开采的辅助设备、轧钢机、捆绑机、熔炉辅助设备、切断机和锯机的夹紧和驱动装置、卷线机、打标机等
铁路和公路交通	公共汽车车门启闭、喷砂控制、紧急制动锁、十字门控制和驱动器；入口门控制；路标装置等；车轮防空转装置
建材、建筑、工程机械及农林牧机械	砖块、毛坯石和瓷砖的成形机、吹型机、喷漆装置、挖掘机、推土机、穿孔器、田间作业设备的倾斜、提升和旋转装置、农作物保护和杂草控制设备、动物饲养饲料计量和传送装置、粪便收集和清除装置、蛋类分选系统、通风设备、剪羊毛和屠宰设备、收割机、水果和蔬菜分选设备等
家用电器与五金制造	印刷电路板自动上料机、阴极套筒切口机、显像管转运机械手、穿芯电容测试仪、钢制家具的装配辅助设备、冲压机、切断机、压边机等
轻工、纺织及化工	伐木机、家具制造机及试验机、造纸机、印刷机、皮革加工机、制鞋机、纺纱机和编织机、混合器和硫化压机中的关闭装置、测试设备等
航空航天工程、航海工程及武器装备	飞机供油车气动联锁装置、飞行体主推力喷嘴摆角控制系统、船舶前进倒车的转换装置、导弹自动爬行气动系统、气动布雷装置及鱼雷发射管系统
计量质检装置、特种设备及公共设施	计量和称量控制、供水系统水位控制；教育、广告策划可视系统、投影屏幕和黑板操作、示范及训练模型，“绝对深度”等游艺机；包装灌装机和挤压机、废金属打包机、眼玻璃体注吸切割器等

注：各行业和部门应用气动技术的出发点是不同的。如轻工、包装等小负载机械设各则主要应用气动技术反应快、实现逻辑控制和便于安装维护的优点等。

1.3.4 气动技术的发展

与液压技术比较，气动技术的发展要晚。在 19 世纪后期才出现了利用压缩空气输送信件的气动邮政，并将气动技术用于舞台灯光设备驱动、印刷机械、木材、石料与金属加工设备、牙医钻具和缝纫机械等。第二次世界大战后，为了解决宇航、原子能等领域中电子技术难于解决的高温、巨震、强辐射等难题，加速了气动技术的研究。自 20 世纪 50 年代末，美军 Harry Diamond 实验室首次公开了某些射流控制的技术内容后，气动技术作为工业自动化的廉价、有效手段受到人们的普遍重视，各国竞相研制、推广。20 世纪 60 年代中期，法国 LECO 等公司首先研制成功了对气源要求低、动作灵敏可靠的第二代气动元件，继之各工业发达国家在气动元件及系统的研究、应用方面都取得了很大进展，各种结构新颖的气缸、新型气源处理装置等新型气动元件、辅件也不断涌现。随着工业技术的发展和生产自动化要求的提高，气动控制元件也有不少改进，气动逻辑元件和真空元件的研究和应用也取得了很大进展。随之，气动技术的应用领域也得到迅猛扩展，涵盖了机械、汽车、电子、冶金、化工、轻工、食品、军事各行业。

随着当代 IT 工业及互联网+、通信技术、传感技术的不断发展，以及新技术、新产品、新工艺、新材料等在工业界的应用，气动技术及产品作为主机配套的重要基础件正在发生革命性变化，其发展趋势见表 1-6。

表 1-6 气动技术及产品的发展趋势

序号	项目	举 例
1	标准化	气缸和电磁阀作为气动技术的基础产品,其标准化大大影响气动产品质量和气动技术的应用发展,故新的 ISO 15552 标准结合过去 ISO 6432 标准,使得占整个气动驱动器用量 80% 以上的气缸都归入了 ISO 标准的范畴;新的 ISO 15407 标准,结合过去 ISO 5599/1-2 标准(1~6 号阀的二位五通板式连接界面尺寸标准),也使得占整个电磁阀用量 55% 以上的板式电磁阀归入了 ISO 标准的范畴
2	微型化	气动驱动器内置滚珠导轨,零壁厚片状电磁阀。作为整体发展规划的“微气动技术”已在国际上各大公司悄悄展开
3	模块化	气动执行元件的模块化已经逐渐成为一种趋势,设计者只需要查找产品样本中驱动器允许的推力、行程、许用径向力、许用扭矩等数据,分析其是否能满足实际工况要求,不必再设计带导轨的驱动机构,缩短了设计者在自动流水线的设计制造、调试及加工的周期
4	集成化	目前的气动元件已牵涉到各种技术的互相融合和精确的配合,常见的是气动与材料、电子、传感器、通信、日益壮大的机电一体化等其他技术的紧密结合,使得过去根本意想不到的具有综合特性的集成化气动产品(如气动手指、气动人工肌肉和气动阀岛等)不断涌现出来;将来新的集成化气动产品会更多地替代传统的气动元件
5	系统化	通过制造商提供的系统整体解决方案,用户不必再考虑如何选择气动元件,如何装配、调试,而是把需求提出来,即可得到它并应用于系统,即插即用(插上气源、电源就可使用)
6	智能化、状态监测/可诊断	气动技术将与 IT、传感器、通信技术密不可分,阀岛技术越来越趋向于成熟,可实现对阀岛的供电、供气故障进行诊断,电气部分的输入/输出模块中的工作状态控制,传感器-执行器的故障诊断等
7	以太网和芯片技术的应用	随着芯片的大量生产、成本降低,将来以太网和微芯片在分散装置中的应用越来越普遍,以太网将成为工业自动化领域的传递载体,其一端与计算机控制器相接,另一端接到智能元件(如阀岛、伺服驱动装置等),数千里之外,完全可实现设备的遥控、诊断和调整

1.4 气动系统基本参数

压力、流量、温度是气动系统的主要参数。

1.4.1 压力

(1) 压力的定义和单位

压力是气体分子热运动而互相碰撞,从而在单位面积上产生的力的统计平均值,用 p 表示。

压力 p 的法定计量单位 N/m^2 , 称为帕 (Pa); 有时气动元件或系统用 MPa (兆帕) 作为压力的计量单位。

$1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$

以前曾常用的压力单位有 kgf/cm^2 (公斤力/厘米²)、bar (巴)、大气压、水柱高或汞柱高等, 而美国则一直采用英制的 lbf/in^2 (磅力/英寸²)。这些压力单位的换算关系如下。

$1\text{Pa}=10^{-5}\text{bar}=1.021\times10^{-5}\text{kgf/cm}^2=1.45\times10^{-4}\text{lbf/in}^2=7.5\times10^{-3}\text{mm(汞柱高)}=0.102\text{mm(水柱高)}$

$1\text{bar}=10^5\text{Pa}=0.1\text{MPa}=1.02\text{kgf/cm}^2=14.5\text{lbf/in}^2=750\text{mm(汞柱高)}=1.02\times10^4\text{mm(水柱高)}$

$1\text{kgf/cm}^2=0.981\times10^5\text{Pa}=0.981\text{bar}=14.22\text{lbf/in}^2=735.6\text{mm(汞柱高)}=10^4\text{mm(水柱高)}\approx0.1\text{MPa}$

$1\text{lbf/in}^2=6.9\times10^3\text{Pa}=0.069\text{bar}=0.07\text{kgf/cm}^2=51.71\text{mm(汞柱高)}=703\text{mm(水柱高)}$

柱高) ≈ 0.068 (工程大气压)

1 标准大气压 (Pa) $= 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} = 101.325 \text{ kPa} = 0.101 \text{ MPa} = 10.33 \text{ m}$ (水柱高) $= 760 \text{ mm}$ (汞柱高)

1 工程大气压 $= 1 \text{ kgf/cm}^2 = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa}$

(2) 压力的度量

根据度量起点的不同, 同一位置的气体压力分为绝对压力和相对压力 (图 1-6)。以绝对真空 (绝对零压) 为基准度量的气体压力, 称为绝对压力, 经常在压力数值之后标注 “ABS”。以大气压力 p_a 为基准度量的压力, 称为相对压力。因为大气中的物体受大气压的作用是自相平衡的, 所以用普通压力表测出的压力数值是相对压力, 故相对压力也常称为表压力。在气动技术中所提到的压力, 如不特别指明, 一般均为表压力。

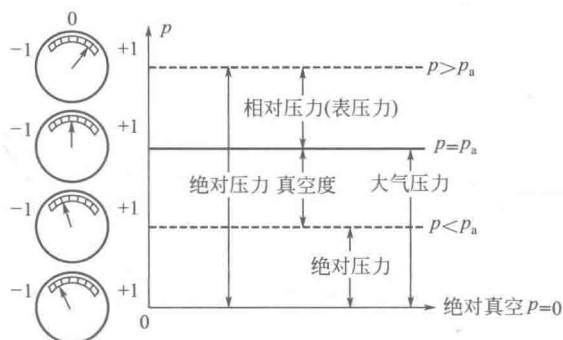


图 1-6 压力的度量

由图 1-6 可见, 绝对压力和相对压力的关系为绝对压力 = 大气压 + 相对压力 = 大气压 + 表压力。

当液压系统中的绝对压力小于大气压时, 称系统出现了真空, 其真空的程度用真空度表示, 数值是比大气压力低的压力值。此时相对压力为负值, 即真空度 = 大气压 - 绝对压力。真空吸附技术正是利用了吸盘真空而将工件吸吊起来的。

由图 1-6 还可见, 以大气压为基准计算压力时, 基准处的压力为零压力, 基准

以上的正值是表压力, 基准以下的负值就是真空度。

1.4.2 流量

单位时间内通过某截面的气体量称流量。

当气体量用体积表示时, 称为体积流量, 用 q 表示, 单位为 m^3/s 或 L/min 。

当气体量用质量表示时, 称为质量流量, 用 q_m 表示, 单位为 kg/s 。

1.4.3 温度

温度是气体分子热运动的统计平均值。

以气体分子停止运动时的最低极限温度为起点测量的温度称绝对温度, 用 T 表示, 单位为 K。

常用的其他温度单位有摄氏温度 (单位为 $^{\circ}\text{C}$)、华氏温度 (单位为 $^{\circ}\text{F}$)，它们的换算关系如下。

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273.16$$

$$t(^{\circ}\text{F}) = 1.8t(^{\circ}\text{C}) + 32$$

1.5 气动元件与系统使用维护的一般注意事项

① 在开车前要检查各调节旋钮是否在正确位置, 行程阀、行程开关、挡块的位置是否正确、牢固。对导轨、活塞杆等外露部分的配合表面进行擦拭。开车前、后要放掉系统中的冷凝水。

② 正确使用和管理工作介质, 随时注意压缩空气的清洁度, 要定期清洗分水滤气器的滤芯, 定期给油雾器加油。

③ 熟悉元件控制机构操作特点, 严防调节错误造成事故; 注意各元件调节旋钮的旋向