

赛迪培训教材

现代实用气动技术

第 四 版

赛迪(中国)有限公司 编

机械工业出版社

日本 株式会社是世界上最有代表性的气动元件研发、制造、销售的跨国公司之一，“精益求精的气动技术、应有的气动元件”是该公司引导世界气动技术发展的真实写照。本书介绍了各类新型气动元件的结构、原理、特点、选用方法和使用时的注意事项，阐述了典型气动回路及系统设计的基本方法，增编了气动回路的管理知识以及系统维护、故障分析方法和对策等。

本书可供气动设备的设计、生产、管理和维护人员参考，也可供高等院校、中等职业学校机电一体化工程和自动化专业的师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代实用气动技术 株式会社(中国)有限公司编 北京：机械工业出版社，

培训教材

陈亚秋 张世琴 张世琴 韩晶 编

I Ⅰ—Ⅱ Ⅲ Ⅳ Ⅴ

中国版本图书馆 CIP 数据核字 () 第 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 号 邮政编码 号)

策划编辑：张秀恩

责任编辑：张亚秋 版式设计：张世琴 责任校对：韩晶

封面设计：陈沛 责任印制：

印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

年 月第 版·第 次印刷

张·印张·插页·千字

册

定价：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 () 张·插页·千字

封面无防伪标均为盗版

前 言

加入 宰裁后的中国现代制造业，正在迎来工业自动化发展的勃勃生机。现代气动技术与电子技术的结合为大规模工业自动化生产线、生产系统与装备的实现，提供了更多的技术选择与应用平台。以汽车制造业为例，焊装生产线、夹具、机器人、输送设备、组装线、涂装线、发动机与轮胎生产装备上，气动技术无所不在，大显身手。气压传动以其洁净、小型轻量化、集成化等突出优点，作为易于推广、普及的机电一体化技术的代表，广泛地应用于机械、化工、电子气、纺机、医药食品、包装、印刷、轻工、汽车等现代制造领域。气动技术的发展、气动元件新产品的开发始终引起世界各国产业界的关注。

《现代实用气动技术》一书是为我公司技术人员及广大客户技术培训需求编写的，自 2005 年正式出版以来，深受广大工程技术人员好评。应广大读者的期望，决定再版发行。再版保留了第一版注重现场技术应用等特点，同时尽量反映近年来气动技术发展新成果、气动元件新产品及其应用。例如气动执行器中的高速气缸、正弦气缸、曲线气缸、各种气动滑台、电动执行器、新型的电气比例阀、调速阀及方向控制阀及真空元器件，增加了医药食品、化工、半导体制造业中广为应用的适于各种介质的流体阀、过滤器、气动隔膜泵等，介绍了在大规模自动化系统控制中应用的串送信号阀控技术等实用技术……，考虑到现场技术人员的需求，本书还增编了气动系统管理方面的知识与气动回路故障诊断、分析及解决对策等内容。

我相信，本书的再版能对各个行业相关工程技术人员进行气动回路设计与维护、气动元件选型方面能有所帮助，并真诚地希望它能成为中专、大学本科及相关专业研究生的一本较好的现代气动技术的基础与应用的教材和反映气动技术最新发展动向的参考书。

最后利用这个机会，对为全书编写、整理、审阅而付出艰辛劳动的徐文灿教授和彭光正教授、北京理工大学 气说气动技术中心的其他老师和研究生及本公司部分工程技术人员表示衷心感谢！

气说(中国)有限公司

总经理 赵彤
工学博士

2008 年 猿月

第 1 版前言

如果说 20 世纪 80 年代是现代化企业全球化的年代，那么 90 年代则是一个产品流通全球化的时代。应该看到：激烈的国际性竞争促进了工业自动化的飞速发展，而气动技术则是实现工业自动化的重要手段。

气压传动的动力传递介质是来自于自然界取之不尽的空气，环境污染小，工程实现容易，所以气压传动是一种易于推广普及的实现工业自动化的应用技术。近年来，气动技术在机械、化工、电子、电气、纺织、食品、包装、印刷、轻工、汽车等各个制造行业，尤其在各种自动化生产装备和生产线中得到了广泛的应用，极大地提高了制造业的生产效率和产品质量。作为重要机械基础件的气动元件及气动系统的应用，引起了世界各国产业界的普遍重视，气动行业已成为工业国家发展速度最快的行业之一。

90 年代以来，尤其是进入 21 世纪后，随着加工技术的不断提高，材料和密封技术的发展、新工艺的出现以及与电子技术的有效结合，气动元件向小型化、低消耗、集成化、高速化（高频度）、机电一体化发展。例如：采用低功耗电磁阀，以及利用计算机或可编程控制器信号的分时处理，在两条导线上直接驱动大量低功耗电磁阀的串送信号技术、各种新型的气动比例阀、实用的增压阀、高速气缸及控制技术、超低速气缸、平滑移动的低加速度气缸、与位移传感器一体化的行程可读气缸以及可在三坐标空间运动的曲线气缸、……，新型气动元件与技术的发展提高了气动技术的应用水平。另一方面，市场的需求和高速发展的自动化技术也促进了气动技术的不断发展。

本书是为我公司内部技术人员及广大用户教学培训需要编写的。其内容特点是从气动技术基础知识入手，以介绍诸多新型气动元件为例，着重介绍了当今气动技术的发展现状。本书的另一个特点是：各篇相对独立，适用于不同读者的需要，在强调作为气动技术分析所需要的理论基础的同时，着重于现场应用。我希望本书能对各行各业有关技术人员在进行气动元件与回路方面的设计时有所帮助，也衷心地希望它能从实用的角度，为中专、大学本科及相关专业研究生提供一本反映气动技术最新发展动向的参考书。

最后利用这个机会，对全书的编写、整理、审阅付出艰辛劳动的北方工业大学的徐文灿教授，北京理工大学气动技术中心的彭光正副教授及其他老师、研究生的协助表示衷心的感谢。

气悦株式会社

代表取缔役 社长：高田 芳行

平成 17 年 7 月

目 录

前言		
第 1 版前言		
第一篇 基础篇		
第一章 气动技术概述	员	
第一节 气动技术的应用现状	员	
第二节 气动技术的特点	圆	
第三节 广阔的气动市场	源	
第四节 气动元件与系统的基本构成	缘	
第二章 空气的物理性质	愿	
第三章 空气的热力学性质	员	
第一节 基本概念	员	
一、热力系统、闭口系统、开口系统、绝热系统	员	
二、状态参数、热力过程、准平衡过程	员	
三、完全气体及其状态方程	圆	
四、热量、功	猿	
五、热力学能、焓、熵	源	
六、可逆过程和不可逆过程	缘	
第二节 热力学第一定律	员	
一、闭口系统的能量方程	员	
二、开口系统的能量方程	员	
三、质量热容	员	
第三节 热力学过程	愿	
第四章 湿空气	圆	
第一节 绝对湿度、相对湿度、露点	圆	
第二节 压缩空气的相对湿度、压力露点	圆	
第五章 流体力学的基本知识	愿	
第一节 静止流体	愿	
第二节 流体流动的分类	愿	
第三节 不可压缩流动	猿	
一、流量和连续性方程	猿	
二、伯努利方程	猿	
三、压力损失	猿	
第四节 可压缩流动	猿	
一、声速 和 马赫数	猿	
二、基本方程组	猿	
三、一元定常等熵流动的特性分析	猿	
四、滞止状态、总参数与静参数的关系	猿	
五、临界状态、壅塞现象	源	
六、质量流量	源	
第六章 气动元件及回路的流量特性	源	
第一节 气动元件的流量特性	源	
第二节 气动回路的流量特性	缘	
第七章 充放气特性	缘	
第一节 充放气现象的基本方程	缘	
第二节 固定容器的充气特性和放气特性	缘	
第二篇 元件篇		
第八章 气源设备	缘	
第一节 空气压缩机	远	
第二节 后冷却器(匀和匀系列)	远	
第三节 气罐(粤系列)	源	
第四节 管路系统	猿	
第九章 气源处理元件	愿	
第一节 概述	愿	
第二节 自动排水器	愿	
一、气动自动排水器(粤和粤系列)	愿	
二、电动自动排水器(粤系列)	愿	
第三节 过滤器	愿	
一、主管路过滤器(粤系列)	愿	
二、空气过滤器(粤系列)	愿	
三、油雾分离器(粤和粤系列)	愿	
四、微雾分离器(粤和粤系列)	愿	
五、超微油雾分离器(粤系列)	猿	
六、除臭过滤器(粤系列)	猿	

七、水滴分离器(粤源系列)	源	(六) 夹紧气缸(悦运系列)	源
第四节 干燥器	源	(七) 曲线气缸(云系列)	源
一、冷冻式干燥器(限云和限裁系列)	源	(八) 常见扩展品种气缸	源
二、吸附式干燥器(限系列)	源	十八、特殊订货的气缸	源
三、高分子隔膜式干燥器(限源系列)	源	第二节 气爪(云系列)	源
第五节 空气组合元件(粤悦系列)	源	第三节 摆动气缸	源
第十章 气动执行元件	源	一、齿轮齿条式摆动气缸(悦源员 悦源圆 云系列)	源
第一节 气缸	源	二、叶片式摆动气缸(悦月 云裁 系列)	源
一、分类和特点	源	三、伸摆气缸(云系列)	源
二、气缸的基本构造	源	四、摆动气缸的选用	源
三、标准气缸(悦圆 悦源 悦员 云月 悦员和 悦员等系列)	源	五、摆动气缸的使用注意事项	源
(一) 单(向)作用气缸	源	第十一章 气动控制元件	源
(二) 双(向)作用气缸	源	第一节 压力控制阀	源
(三) 气缓冲气缸	源	一、减压阀	源
(四) 带磁性开关的气缸	源	(一) 直动式减压阀(粤源系列)	源
四、省空间气缸	源	(二) 先导式减压阀(粤源系列和 源系列)	源
(一) 薄型气缸(悦圆 悦源系列)	源	(三) 大流量精密减压阀(云源员 系列)	源
(二) 自由安装型气缸(悦裁系列)	源	(四) 复合功能减压阀	源
(三) 椭圆形活塞气缸(云裁系列)	源	(五) 选用	源
五、气缸配套件	源	(六) 使用注意事项	源
六、气缸的性能	源	二、增压阀(云源系列)	源
七、气缸的选用	源	第二节 流量控制阀	源
八、气缸的使用注意事项	源	一、单向节流阀(速度控制阀) (粤源系列)	源
九、带导杆气缸(云系列)	源	二、带消声器的排气节流阀 (粤源系列)	源
十、无杆气缸	源	三、具有固定节流孔和急速供气机能的速 度控制阀(云源系列)	源
(一) 机械接合式无杆气缸(云再 系列)	源	第三节 方向控制阀	源
(二) 磁性偶合式无杆气缸(悦员 系列)	源	一、分类	源
十一、锁紧气缸(悦源 悦源系列)和端锁气缸 (悦源系列)	源	二、电磁换向阀	源
十二、滑动装置气缸(悦源系列)	源	(一) 电磁铁	源
十三、双联气缸(悦源系列)	源	(二) 直动式电磁换向阀	源
十四、止动气缸(云源系列)	源	(三) 先导式电磁换向阀	源
十五、回转夹紧气缸(云源系列)	源	(四) 电磁阀的配管、配线及附件	源
十六、气动滑台(云源系列)	源	三、气控换向阀	源
十七、其他气缸	源	四、机械控制换向阀(云源系列)	源
(一) 倍力气缸(云源系列)	源	五、人力控制换向阀(云源 云源系列)	源
(二) 行程可读出气缸(悦源系列)	源	六、单向型方向阀	源
(三) 正弦气缸(云源系列)	源		
(四) 高速气缸(云源系列)	源		
(五) 带阀气缸	源		

(一) 单向阀 (粤云系列)	猿源	一、数字式流量开关 (孕粤 孕宰系列) ...	猿猿
(二) 梭阀 (灾明园 灾明园 灾明园系列)	猿缘	二、机械式流量开关 (陨宰 陨系列) ...	猿猿
(三) 双压阀 (葬魏园 葬魏园 和 灾明园 灾明园系列)	猿远	第七节 管道及管接头	猿源
(四) 快速排气阀 (粤远系列)	猿苑	一、管道	猿源
七、方向阀的主要技术参数和选用	猿愿	二、管接头	猿苑
(一) 主要技术参数	猿愿	三、使用注意事项	猿愿
(二) 选型	猿员	第八节 其他元件	猿猿
八、使用注意事项	猿源	一、气动显示器 (灾砸系列)	猿猿
第四节 电气比例阀	猿远	二、压力表、真空压力表和差压表 (郟系列)	猿源
一、概述	猿远	三、小型数字式压力计 (孕粤系列)	猿缘
二、先导式压力型电气比例阀 (陨灾系列)	猿苑	第九节 气液转换单元 (悦悦系列)	猿远
三、高速开关阀复合型电气比例阀 (灾再系列)	猿怨	第十节 液压缓冲器 (砸日系列)	源园
四、比例电磁铁型电气比例阀 (灾云 灾孕 灾砸 灾砸系列)	猿缘	第十三章 真空元件	源愿
五、使用注意事项	猿愿	第一节 概述	源愿
第十二章 气动辅助元件	猿园	第二节 真空吸盘 (在孕系列)	源怨
第一节 润滑元件	猿园	第三节 真空发生器 (在日 在哉系列)	源园
一、油雾器	猿园	第四节 真空用气阀	源源
(一) 普通型油雾器 (粤蕴系列)	猿园	第五节 真空压力开关 (在系列)	源愿
(二) 自动补油型油雾器 (粤云 系列)	猿源	第六节 真空过滤器 (在云系列)	源园
二、集中润滑元件 (粤翻系列)	猿缘	第七节 真空组件 (在云 在哉 在砸 在蕴系列)	源员
第二节 消声器和排气洁净器	猿愿	第八节 其他真空用元件	源苑
一、消声器 (粤宰系列)	猿愿	第九节 真空用元件的选定	源怨
二、排气洁净器 (粤悦系列)	猿园	第十节 使用注意事项	源园
第三节 气动位置传感器 (陨粤系列)	猿员	第十四章 其他元器件	源源
第四节 磁性开关 (阅原 系列)	猿缘	第一节 流体阀 (灾悦 灾灾 灾载 灾粤系列) ...	源源
一、有触点式磁性开关	猿缘	一、流体阀的工作介质	源源
二、无触点式磁性开关	猿怨	二、流体阀的几种典型结构	源源
三、磁性开关的选用	猿猿	三、主要技术参数	源园
第五节 压力开关 (含真空压力开关)	猿源	四、选型	源园
一、无触点式压力开关 (陨灾 陨灾 陨灾 系列)	猿源	五、使用注意事项	源愿
二、有触点式压力开关 (陨灾 陨灾 陨灾 系列) ...	猿园	第二节 工业用过滤器	源怨
三、通用压力开关 (陨灾 陨灾 系列)	猿猿	一、不用更换滤芯的工业用过滤器 (云粤 系列)	源怨
四、气动压力开关 (陨灾 陨灾 和 陨灾 陨灾 系列)	猿源	二、快速更换滤芯型过滤器 (云粤 系列)	源猿
五、气电转换器 (灾砸 灾砸 灾砸 系列)	猿缘	三、小流量的工业用过滤器 (云陶 系列)	源远
第六节 流量开关	猿缘	四、洗净液用高精度过滤器 (云陶 系列)	源愿
		五、吸水过滤器 (云粤 系列)	源怨

六、滤芯	源园
第三节 气动隔膜泵(孕鸩 孕月 孕鸩 系列)	源园
一、适合输送的液体	源园
二、气动隔膜泵的工作原理	源猿
三、气动隔膜泵的使用方法	源源
四、主要技术参数	源远
五、选型方法	源苑
六、使用注意事项	源愿
第四节 电动执行器(蕴戠、蕴员 蕴员 系列)	源愿
一、概述	源愿
二、动作原理	源园
三、控制系统	源员
四、使用注意	源苑
第三篇 回路篇	
第十五章 气动基本回路和应用回路	源愿
第一节 气动换向回路	源愿
第二节 压力(力)控制回路	源源
第三节 速度控制回路	源园
第四节 位置(角度)控制回路	源源
第五节 气动逻辑回路	源愿
第六节 气动往复回路	缘园
第七节 气缸同步动作回路	缘缘
第八节 安全保护回路	缘愿
一、双手操作回路	缘愿
二、过载保护回路	缘愿
三、互锁回路	缘愿
四、缓冲回路	缘怨
五、防止起动时活塞杆“急速伸出” 的回路	缘园
六、防止落下回路	缘园
第九节 其他回路	缘员
一、终端瞬时加压回路	缘员
二、计数回路	缘员

第十六章 气动程序控制回路的设计	缘猿
第一节 概述	缘猿
一、行程程序控制	缘猿
二、行程程序的表示方法	缘源
三、行程程序回路设计中的主要矛盾	缘远
第二节 单往复程序的回路设计方法	缘苑
一、绘制“信号原动作状态图”	缘愿
二、判断障碍信号,消除障碍,确定 执行信号	缘园
三、绘制控制回路图	缘源
四、单控主控阀控制回路的设计方法	缘愿
第三节 多往复程序的回路设计方法	缘园
一、多往复运动的特点和处理方法	缘园
二、多往复程序裁原图的画法	缘猿
三、判别障碍,消除障碍,确定执行 信号	缘源

第四篇 管理、维护和故障处理篇

第十七章 气动系统的管理	缘远
第一节 对使用气动系统的要求	缘远
第二节 气动系统的安装工作	缘远
第三节 调试工作和作业完成工作	缘怨
第四节 非正常停止的处理	缘怨
第十八章 维护保养	缘园
第一节 经常性的维护工作	缘园
第二节 定期的维护工作	缘园
第十九章 故障诊断与对策	缘缘
第一节 故障种类	缘缘
第二节 故障诊断方法	缘缘
第三节 常见故障及其对策	缘园
第二十章 维修工作	缘园
附录	缘源
附录 粤 部分新产品简介	缘源
附录 月 常用气动图形符号	缘远

第一篇 基础篇

第一章 气动技术概述

气动（~~气~~）是“气动技术”或“气压传动与控制”的简称。气动技术是以空气压缩机为动力源，以压缩空气为工作介质，进行能量传递或信号传递的工程技术，是实现各种生产控制、自动控制的重要手段之一。

第一节 气动技术的应用现状

人们利用空气的能量完成各种工作的历史可以追溯到远古，但作为气动技术应用的雏形，大约开始于 ~~1859~~ 年 ~~先~~ ~~由~~ ~~詹姆斯~~ ~~瓦特~~ 发明能产生 ~~1~~ 个大气压左右压力的空气压缩机。 ~~1859~~ 年，人们第一次利用气缸做成气动刹车装置，将它成功地用到火车的制动上。 ~~19~~ 世纪 ~~70~~ 年代初，气动技术成功地应用于自动门的开闭及各种机械的辅助动作上。进入到 ~~20~~ 年代尤其是 ~~20~~ 年代初，随着工业机械化和自动化的发展，气动技术才广泛应用在生产自动化的各个领域，形成现代气动技术。

下面简要介绍生产技术领域应用气动技术的一些例子。

1. 汽车制造行业

现代汽车制造工厂的生产线，尤其是主要工艺的焊接生产线，几乎无一例外地采用了气动技术。如：车身在每个工序的移动；车身外壳被真空吸盘吸起和放下，在指定工位的夹紧和定位；点焊机焊头的快速接近、减速软着陆后的变压控制点焊，都采用了各种特殊功能的气缸及相应的气动控制系统。高频率的点焊、力控的准确性及完成整个工序过程的高度自动化，堪称是最有代表性的气动技术应用之一。另外，搬运装置中使用的高速气缸（最大速度达 ~~10~~）、复合控制阀的比例控制技术都代表了当今气动技术的新发展。

2. 电子、半导体制造行业

在彩电、冰箱等家用电器产品的装配生产线上，在半导体芯片、印制电路等各种电子产品的装配流水线上，不仅可以看到各种大小不一、形状不同的气缸、气爪，还可以看到许多灵巧的真空吸盘将一般气爪很难抓起的显像管、纸箱等物品轻轻地吸住，运送到指定位置上。对加速度限制十分严格的芯片搬运系统，采用了平稳加速的 ~~10~~ 气缸。这种气缸具有特殊的加减速机构，可以平稳地将盛满水的水杯从 ~~10~~ 点送到 ~~10~~ 点，并保证水不溢出。为了提高试验效率和追求准确的试验结果，摩托罗拉采用了由 ~~10~~ 小型气缸和控制阀构成的携带式电话的性能寿命试验装置，不仅可以随意地改变按键频度，还可以根据需要，随时改变按键的力度。对环境洁净度要求高的场所，可以选用洁净系列的气动元件，这种系列的气缸、

气阀及其它元件有特殊的密封措施。

圆生产自动化的实现

圆世纪 远年代，气动技术主要用于比较繁重的作业领域作为辅助传动。现在，在工业生产的各个领域，为了保证产品质量的均一性，为了能减轻单调或繁重的体力劳动、提高生产效率，为了降低成本，都已广泛使用了气动技术。在缝纫机、自行车、手表、洗衣机、自动和半自动机床等许多行业的零件加工和组装生产线上，工件的搬运、转位、定位、夹紧、进给、装卸、装配、清洗、检测等许多工序中都使用气动技术。气动木工机械可完成挂胶、压合、切割、刨光、开槽、打榫、组装等许多作业。自动喷气织布机、自动清洗机、冶金机械、印刷机械、建筑机械、农业机械、制鞋机械、塑料制品生产线、人造革生产线、玻璃制品加工线等许多场合，都大量使用了气动技术。

圆包装自动化的实现

气动技术还广泛应用于化肥、化工、粮食、食品、药品等许多行业，实现粉状、粒状、块状物料的自动计量包装。用于烟草工业的自动卷烟和自动包装等许多工序。用于对粘稠液体（如油漆、油墨、化妆品、牙膏等）和有毒气体（如煤气等）的自动计量灌装。

由上面所举例子可见，气动技术在各行各业已得到广泛的应用。

第二节 气动技术的特点

圆世纪 愿年代以来，自动化、省力化得到迅速发展。自动化、省力化的主要方式有：机械方式、电气方式、电子方式、液压方式和气动方式等。这些方式都有各自的优缺点及其最适合的使用范围。表 员员给出了各种动力传动和控制方式的比较。任何一种方式都不是万能的，在实现生产设备、生产线的自动化、省力化时，必须对各种技术进行比较，扬长避短，选出最适合方式或几种方式的恰当组合，以使装备做到更可靠、更经济、更安全、更简单。

表 员员 各种传动与控制方式的比较

	机械方式	电气方式	电子方式	液压方式	气动方式
驱动力	不太大	不太大	小	大（可达数百 噶以上）	稍大（可达数十 噶）
驱动速度	小	大	大	小	大
响应速度	中	大	大	大	稍大
特性受负载的影响	几乎没有	几乎没有	几乎没有	较小	大
构造	普通	稍复杂	复杂	稍复杂	简单
配线，配管	无	较简单	复杂	复杂	稍复杂
温度影响	普通	大	大	小于 苑益普通	小于 苑益普通
防潮性	普通	差	差	普通	注意排放冷凝水
防腐蚀性	普通	差	差	普通	普通
防振性	普通	差	特差	普通	普通
定位精度	良好	良好	良好	稍良好	稍不良

(续)

	机械方式	电气方式	电子方式	液压方式	气动方式
维护	简单	有技术要求	技术要求高	简单	简单
危险性	没有特别问题	注意漏电	没有特别问题	注意防火	几乎没有问题
信号转换	难	易	易	难	较难
远程操作	难	很好	很好	较良好	良好
动力源出现故障时	不动作	不动作	不动作	若有蓄能器， 能短时间应付	有一定应付能力
安装自由度	小	有	有	有	有
承受过载能力	较难	不行	不行	尚可	好
无级变速	稍困难	稍困难	良好	良好	稍良好
速度调整	稍困难	容易	容易	容易	稍困难
价格	普通	稍高	高	稍高	普通
备注	由凸轮、螺钉、 杠杆、连杆、齿 轮、棘轮、棘爪 和传动轴等机件 组成的驱动系统。 主要动力源为电 动机	驱动系统作为 动力源和其他的 电磁离合器、制 动器等机械方式 并用 控制系统是由 限位开关、继电 器、延时器等组 成	由半导体元件 等组成的控制方 式	驱动系统是 由液压缸等组 成 控制系统是 由各种液压控 制阀等组成	驱动系统是 由气缸等组成 控制系统是由 各种气动控制 阀等组成

气动技术与其他传动和控制方式相比，其主要优缺点如下。

优点：

㊦ 气动装置结构简单、轻便、安装维护简单。压力等级低，故使用安全。

㊧ 工作介质是取之不尽、用之不竭的空气，空气本身不花钱。排气处理简单，不污染环境，成本低。

㊨ 输出力及工作速度的调节非常容易。气缸动作速度一般为 $3\sim 8\text{m/s}$ ，比液压和电气方式的动作速度快。

㊩ 可靠性高，使用寿命长。电器元件的有效动作次数约为数百万次，而 $3\sim 5\text{MPa}$ 的一般电磁阀的寿命大于 10^6 万次，小型阀超过 10^7 次。

㊪ 利用空气的可压缩性，可贮存能量，实现集中供气。可短时间释放能量，以获得间歇运动中的高速响应。可实现缓冲。对冲击负载和过负载有较强的适应能力。在一定条件下，可使气动装置有自保持能力。

㊫ 全气动控制具有防火、防爆、耐潮的能力。与液压方式相比，气动方式可在高温场合使用。

㊬ 由于空气流动损失小，压缩空气可集中供应，远距离输送。

缺点：

㊭ 由于空气有压缩性，气缸的动作速度易受负载的变化而变化。采用气液联动方式可

以克服这一缺陷。

- 圆 气缸在低速运动时，由于摩擦力占推力的比例较大，气缸的低速稳定性不如液压缸。
- 獭 虽然在许多应用场合，气缸的输出力能满足工作要求，但其输出力比液压缸小。

第三节 广阔的气动市场

从各国的行业统计资料来看，近 獭 多年来，气动行业发展很快。 獭 世纪 苑 年代，液压与气动元件的产值比约为 怨 苑 ； 獭 多年后的今天，在工业技术发达的欧美、日本等国家，该比例已达 远 源 ，甚至接近 缘 缘 。由于气动元件的单价比液压元件便宜，在相同产值的情况下，气动元件的使用量及使用范围已远远超过了液压行业。从地区划分，可以说美洲（以美国为中心）、欧洲（欧洲各工业发达国家）和亚太地区（以日本为中心）三分天下。作为气动行业的知名企业，有日本的 獭 说 、德国的 去 说 、英国的 晕 说 和美国 孕 说 等。 獭 说 公司在世界 獭 个国家建有海外子公司和海外生产工厂。 怨 苑 年，在日本国内的市场占有率已超过 远 缘 ，在世界上的市场占有率已达 员 缘 。气动元件的基本生产品种达 怨 苑 种及 缘 苑 种不同的规格。在筑波技术中心有 缘 苑 多名技术人员研制开发气动新产品，是世界上最大的气动企业之一。

中国改革开放以来，气动行业发展很快。 怨 苑 年至 怨 苑 年间，气动元件产值的年递增率达 园 缘 ，高于中国机械工业产值平均年递增率 员 缘 的水平。 怨 苑 年全国气动行业的产值约在 远 苑 亿美元左右。虽然中国的基础工业离世界先进工业国家还有一定的差距，但在气动行业同行的努力下，中国的气动技术一定会很快得到发展和提高。

纵观世界气动行业的发展趋势，气动元件的发展动向可归纳为：

- 高质量 电磁阀的寿命可达 獭 苑 万次以上，气缸的寿命可达 圆 苑 缘 缘 。
- 高精度 定位精度达 园 缘 缘 ，过滤精度可达 园 苑 缘 ，除油率可达 员 獭 标准大气中的油雾在 园 苑 以下。
- 高速度 小型电磁阀的换向频率可达数十赫兹，气缸最大速度可达 獭 苑 。
- 低功耗 电磁阀的功耗可降至 园 苑 。
- 小型化 元件制成超薄、超短、超小形。如：宽 远 缘 的电磁阀；缸径 圆 苑 缘 的单作用气缸；缸径 源 苑 的双作用气缸， 怨 苑 的管接头和内径 圆 苑 缘 的连接管等。
- 轻量化 元件采用铝合金及塑料等新型材料制造，零件进行等强度设计。如已出现 源 苑 重的低功率电磁阀。
- 无给油化 不供油润滑元件组成的系统不污染环境，系统简单，维护也简单，节省润滑油，且摩擦性能稳定，成本低、寿命长，适合食品、医药、电子、纺织、精密仪器、生物工程等行业的需要。
- 复合集成化 减少配线、配管和元件，节省空间，简化拆装，提高工作效率。
- 机电气一体化 典型的是“可编程序控制器 垣 传感器 垣 气动元件”组成的控制系统。

第四节 气动元件与系统的基本构成

气动系统的基本构成

气动系统的基本构成如图 员原员所示。

组成的气动回路是为了驱动用于各种不同目的的机械装置，其最重要的三个控制内容是：力的大小、运动方向和运动速度。与生产装置相连接的各种类型的气缸，靠压力控制阀、方向控制阀和流量控制阀分别实现对三个内容的控制，即

压力控制阀——控制气缸输出力的大小

方向控制阀——控制气缸的运动方向

速度控制阀——控制气缸的运动速度

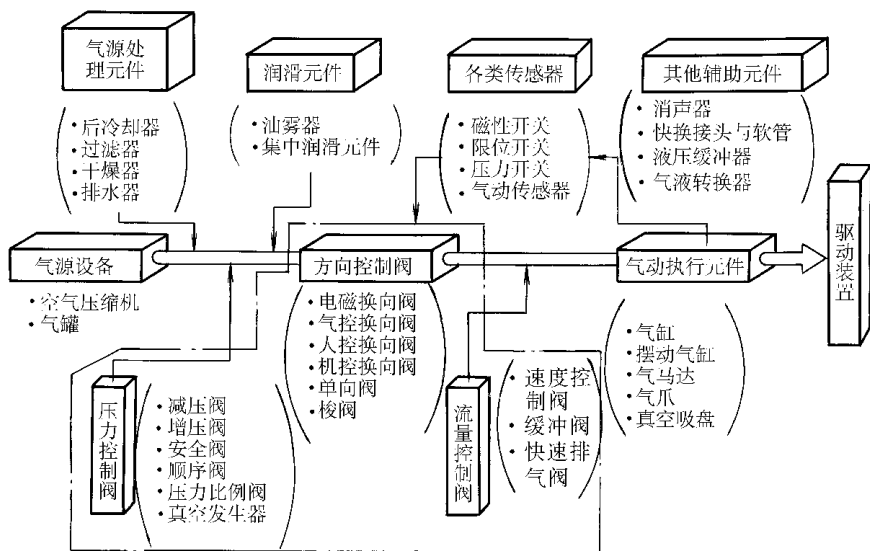


图 员原员 气动系统的基本构成

气动元件的基本品种

表 员原圆所列 为气动元件的基本品种，可以把这些品种再划分成几大类。如从不同的角度来划分，同一品种可能归入不同的类别。譬如，后冷却器作为空气压缩机的附属设备，则应归入气源设备类；若作为独立元件，按其功能，应属于气源处理元件。再譬如，从功能讲，快速排气阀应属于流量控制阀，但也可把它归入单向型方向控制阀内。

表 员原圆 气动元件的基本品种

类别	品种	说明
气源设备	空气压缩机	作为气压传动与控制的动力源，常使用 员原原 压力等级
	后冷却器	清除压缩空气中的固态、液态污染物
	气罐	稳压和蓄能

类别	品种		说明
气源处理元件	过滤器		清除压缩空气中的固态、液态和气态污染物,以获得洁净干燥的压缩空气,提高气动元件的使用寿命和气动系统的可靠性 根据不同的使用目的,可选择过滤精度不同的品种
	干燥器		进一步清除压缩空气中的水分(部分水蒸气)
	自动排水器		自动排除冷凝水
气动执行元件	气缸		推动工件作直线运动
	摆动气缸		推动工件在一定角度范围内作摆动
	气马达		推动工件作连续旋转运动
	气爪		抓起工件
	复合气缸		实现各种复合运动,如直线运动加摆动的伸摆气缸
气动控制元件	压力阀	减压阀	降压并稳压用
		增压阀	增压用
	流量阀	单向节流阀	控制气缸的运动速度
		排气节流阀	装在换向阀的排气口,用来控制气缸的运动速度
		快速排气阀	可使气动元件和装置迅速排气
	方向阀	电磁阀	能改变气体的流动方向或通断的元件。其控制方式有电磁控制、气压控制、人力控制和机械控制等
		气控阀	
		人控阀	
		机控阀	
		单向阀	气流只能正向流动不能反向流动
梭阀		两个进口中只要有一个有输入,便有输出	
	双压阀	两个进口都有输入时才有输出	
	比例阀	输出压力(或流量)与输入信号(电压或电流)成比例变化	
气动辅助元件	润滑元件	油雾器	将润滑油雾化,随压缩空气流入需要润滑的部位
		集中润滑元件	可供多点润滑的油雾器
		消声器	降低排气噪声
		排气洁净器	降低排气噪声,并能分离掉排出空气中所含的油雾和冷凝水
		压力开关	当气压达到一定值,便能接通或断开电触点
		管道及管接头	连接各种气动元件用
		气液转换器	将气体压力转换成相同压力的液体压力,以便实现气压控制液压驱动
		液压缓冲器	用于吸收冲击能量,并能降低噪声
		气动显示器	有气信号时予以显示的元件
	气动传感器	将待测物理量转换成气信号,供后续系统进行判断和控制。可用于检测尺寸精度、定位精度、计数、尺寸分选、纠偏、液位控制、判断有无等	

类别	品种	说明
真空元件	真空发生器	利用压缩空气的流动形成一定真空度的元件
	真空吸盘	利用真空直接吸吊物体的元件
	真空压力开关	用于检测真空压力的电触点开关
	真空过滤器	过滤掉从大气中吸入的灰尘等，保证真空系统不受污染

第二章 空气的物理性质

在气压传动与控制系统中，工作介质是压缩空气，故需对空气的物理性质作必要的介绍。

空气的组成

在地球表面，存在一个大气层。大气层的重量压在海平面上，在单位面积上所受的力称为“大气压力”。把高于大气压力的压力称为“空气压”。

自然界的空气是由若干种气体混合而成的，表 2-1 列出了地表附近空气的组成。在城市和工厂区，由于烟雾及汽车排气，大气中还含有二氧化硫、亚硝酸、碳氢化合物等。空气里含有少量水蒸气。含有水蒸气的空气称为湿空气，完全不含水蒸气的空气叫干空气。

表 2-1 空气的组成

成分	氮 (N ₂)	氧 (O ₂)	氩 (Ar)	二氧化碳 (CO ₂)	氢 (H ₂)	水蒸气、氖 (Ne)、氦 (He)、氟 (F ₂)、氯 (Cl ₂)、氙 (Xe)、氡 (Rn) ...
体积分数 (%)	78.09	20.95	0.94	0.03	0.01	0.0001

空气的基本状态参数

(1) 密度 ρ 和质量体积 v

单位体积内所含气体的质量称为密度，用 ρ 表示，单位为 kg/m³。

密度的倒数称为质量体积，用 v 表示，单位为 m³/kg。它表示单位质量的气体所占有的体积，单位为 m³/kg。

(2) 压力 p

压力是由于气体分子热运动而互相碰撞，在容器的单位面积上产生的力的统计平均值，用 p 表示。

压力的法定计量单位是 Pa，较大的压力单位用 MPa 或 GPa 或 kPa 表示。Pa 和各种压力单位的换算见表 2-2。

表 2-2 各种压力单位的换算

	Pa	MPa	bar	atm	mmHg	mmH ₂ O
Pa (N/m ²)	1	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1.01325 × 10 ⁻⁵	7.5006 × 10 ⁻⁶	1.0197 × 10 ⁻⁶
MPa		1	10	10.1325	75.006	10.197
bar			1	1.01325	7.5006	1.0197
atm				1	760	10.336
mmHg					1	13.6
mmH ₂ O						1

注：1 atm = 1.01325 × 10⁵ Pa，1 bar = 10⁵ Pa，1 mmHg = 133.322 Pa，1 mmH₂O = 9.80665 Pa。

压力可用绝对压力、表压力和真空度等来度量。

绝对压力：以绝对真空作为起点的压力值。一般需在表示绝对压力的符号的右下角标注“绝对”，即 p_{abs}

表压力：高出当地大气压的压力值。由压力表测得的压力值即为表压力。表示表压力的符号，一般不作标注，必要时可在其右下角标注“表”，即 p_g

真空度：低于当地大气压力的压力值。

真空压力：绝对压力与大气压力之差。真空压力在数值上与真空度相同，但应在其数值前加负号。

绝对压力、表压力和真空度的相互关系如图 圆原员 所示。

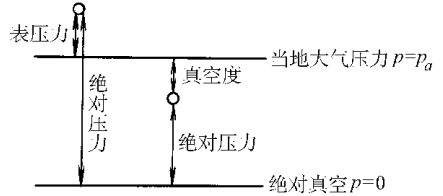


图 圆原员 绝对压力、表压力和真空度之间的关系

在工程计算中，常将当地大气压力用标准大气压力代替，即令 $p_a = p_{std}$

猿 温度

温度表示气体分子热运动动能的统计平均值，有热力学温度、摄氏温度等。

热力学温度用符号 T 表示，其单位名称为开 [尔文]，单位符号为 K

摄氏温度用符号 t 表示，其单位名称为摄氏度，单位符号为 $^{\circ}C$ 。摄氏温度的定义是： $t = T - 273.15$ 。华氏温度用符号 F 表示，其单位名称为华氏度，单位符号为 $^{\circ}F$ 。华氏温度和摄氏温度的关系为

$$F = \frac{9}{5}t + 32$$

猿 压缩性

一定质量的静止气体，由于压力改变而导致气体所占容积发生变化的现象，称为气体的压缩性。由于气体比液体容易压缩，故液体常被当作不可压缩流体，而气体常被称为可压缩流体。气体容易压缩，有利于气体的贮存，但难以实现气缸的平稳运动和低速运动。

猿 粘性

流体的粘性是指流体具有抗拒流动的性质。实际气体都具有粘性，由于气体具有粘性，才导致在它流动时的能量损失。

流体的粘性用动力粘度 μ 来表示，其法定计量单位是 $Pa \cdot s$ 。空气的动力粘度 μ 与温度 t 的关系见表 圆原猿 可见温度对空气粘度的影响不大。气体比液体的动力粘度小得多。譬如 $t = 20^{\circ}C$ 时，空气的 $\mu = 1.8 \times 10^{-4} Pa \cdot s$ 而某液压油的 $\mu = 0.1 Pa \cdot s$ 因此，在管道内流动速度相同的条件下，液压油的流动损失比空气的流动损失大得多。

表 圆原猿 空气的动力粘度

t / $^{\circ}C$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
μ / $Pa \cdot s$	1.71×10^{-4}	1.72×10^{-4}	1.73×10^{-4}	1.74×10^{-4}	1.75×10^{-4}	1.76×10^{-4}	1.77×10^{-4}	1.78×10^{-4}	1.79×10^{-4}

没有粘性的气体称为理想气体（ $p = \rho R T$ ）。在自然界中，理想气体是不存在的。当气体的粘性较小，沿气体流动方向的法线方向的速度变化也不大时，由于粘性产生的粘性力与流体所受的其他作用力（如压差力）相比可以忽略，这时的气体便可当作理想气体。由于忽略了粘性的作用，使解题大为简化，并可得到基本正确的结果。必要时粘性力的作用，可对计