

SMC 培训教材

现代实用气动技术

第3版

SMC(中国)有限公司 编



SMC 培训教材

TH138/20=2

2008

现代实用气动技术

第3版

SMC (中国) 有限公司 编

图书在版编目(CIP)数据

现代实用气动技术 / SMC (中国) 有限公司编. — 3版. — 北京: 机械工业出版社, 2008.2

ISBN 978-7-111-23810-2

SMC 培训教材

I. 现… II. S… III. 气动技术—教材 IV. TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第041470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: 张淑惠 责任校对: 张晓蓉 封面设计: 陈沛沛

责任印制: 陈

北京市国英中印有限公司印刷

2008年8月第3版第1次印刷

184mm×260mm·49.25印张·13.5万字

0001-4000册

机械工业出版社

日本 SMC 公司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、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，特别对新型节能环保产品和节能回路进行了重点介绍。

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/SMC (中国) 有限公司编.—3 版.—北京: 机械工业出版社, 2008.5

SMC 培训教材

ISBN 978-7-111-23810-2

I. 现… II. S… III. 气压传动-技术培训-教材 IV. TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 041470 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: 张秀恩 责任校对: 张晓蓉 封面设计: 陈 沛

责任印制: 杨 曦

三河市国英印务有限公司印刷

2008 年 8 月第 3 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 49.25 印张 · 1 插页 · 1221 千字

0001-4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-23810-2

定价: 95.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379770

封面无防伪标均为盗版

第3版前言

“现代实用气动技术”是以气动自动化为主体，将机械自动化、电气自动化，有些场合还将液压自动化，紧密结合成一体的一种最先进的传动与控制技术。其应用领域已不局限于普通机械、机床、汽车等一般工业领域，还迅速向有超干燥、超洁净、高真空、节能环保、高速、高频、高精度、小型、轻量等要求的电子半导体、生命科学、食品饮料、精密机械等众多领域扩展。气动所控制的工作介质，虽然仍以压缩空气为主，但已经扩展到对高真空气体、水、水蒸气、油、酸、碱、有机溶剂等多种气体和液体的流动进行控制。故本书不仅编入各种典型的气动元件和新型的气动元件，如比例阀、超低功率电磁阀、高真空阀、高精度气缸、平稳运动气缸、高压气动元件等，还编入了与气动自动化相配合，以达到更高控制水平所需要的一些电气元器件，如电动执行器、温调器、静电消除器等；编入了适合对多种液体和气体进行控制的流体阀、化学液用阀、管接头、压力开关、流量开关、气动隔膜泵等。加上熟悉气动技术所必须的基本知识、基本回路、应用回路及气动回路系统设计方法方面的内容，及对气动元件及系统进行管理、维护和故障处理方面的内容，故本书是一本内容全面、技术先进、适用性强的气动技术专著。

书中介绍了世界各国常用的表达气动元件流量特性的各种参数，例如：流通能力 C_V 、 K_V 值，额定流量下的压力降，流量-压力降特性曲线，有效面积 A ，容量系数 A_V ，有效截面积 S ，流量系数 C_d ，声速流导 C 和临界压力比 b ，以及这些特性参数的相互联系和换算方法，并指出它们各自的特点和局限性，以便读者正确选用最适合的特性参数。书中介绍了如何计算并联和串联气动回路的流量特性参数，由此可推广计算任何复杂气动回路的流量特性参数。这样，给定各气动元件的流量特性参数，在一定压力差作用下，便可计算出通过各个气动元件，以及由这些元件组成的任何气动回路的流量。已知气动回路系统的流量特性参数，便可对该气动回路系统中的各类元件进行选型，并以实例加以说明。充放气特性一章，介绍固定容器在一定条件下的充放气时间计算和气动元件及气动回路系统的动态特性分析计算。压缩空气的能量一章，提出评价压缩空气有效能量的指标，可作为衡量气动系统的功率损失和评价节能的依据。

元件篇介绍了各种元件的作用、种类、工作原理、技术参数、选用方法及使用注意等。因 SMC 公司有 10100 多个品种的气动元件，本书不可能完全介绍，只能介绍一些典型元件的结构原理、元件选用的一些大致原则和方法，以及主要的注意事项。读者掌握了这些知识，便可容易地阅读本公司各种元件的详细的样本，从这些样本中，了解你所关心的元件的结构、详细的选用方法和选用的图表资料等。

气动回路控制，目前大部分已使用可编程控制器 (PLC)。PLC 控制已有大量资料论述，本书不作介绍。对气动程序控制回路的设计，本书介绍了一种“信号-动作状态图法”。对初学者来说，此方法简单易懂，容易理解行程程序回路设计的主要关键所在，各执行元件与控制元件之间的相互联系也一目了然，有利于绘制气动回路图，也便于对气动回路的故障进行分析和采取对策。掌握了这些内容，对理解 PLC 控制气动回路系统是有帮助的。

与本书第2版相比,第3版删除了一些使用量小及已被新产品取代的老产品,增补了许多近几年来得到较多使用,以及为适应气动技术的最新发展而开发的新型元器件,增补了许多适用回路及气动系统完整的设计步骤和方法等。

本书所有元器件、大量应用回路及管理、故障分析内容,都来自SMC公司提供的产品样本和技术资料。基础篇除基本知识外,大部分为本书编者多年研究成果的总结。气动回路设计方法及其他少量内容,考虑到本书内容的完整性,参考或引用了其他书籍和刊物,已在参考文献中列出。

本书对气动系统的设计人员和选型人员,对气动应用现场的操作管理人员,对高等院校及中等技术学校的机电自动化等专业的师生了解气动自动化,都是一本十分有用的科技书。

本书第七章由SMC(中国)有限公司技术顾问、北京航空航天大学蔡茂林教授编写,其余部分由北方工业大学徐文灿教授编写。书中气动元件插图由SMC(中国)有限公司技术人员周敏杰、杨瑞诚、汪林昊制作。

SMC(中国)有限公司总经理、工学博士赵彤教授规划了本书编写的宗旨和框架,对各章节提出了许多指导性意见,为本书内容的完整性、先进性、实用性奠定了基础。

受到编者水平的限制,书中难免存在一些不足和错误,恳请读者批评指正。

主编

SMC(中国)有限公司技术顾问

徐文灿教授

2007年11月

第2版前言

加入 WTO 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/电气、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 1998 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 1 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合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，以及气动回路故障诊断、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 SMC 气动技术中心的其他老师和研究生，以及本公司部分工程技术人员表示衷心感谢！

SMC (中国) 有限公司

总经理 赵彤
工学博士

2003 年 3 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。

20世纪70年代以来，尤其是进入80年代后，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：0.5~1W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，另外，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SMC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SMC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。

SMC株式会社

代表取缔役 社长：高田 芳行

1997年7月

目 录

第3版前言

第2版前言

第1版前言

第一篇 基础篇

第一章 气动技术概述 1

第一节 气动技术的应用现状 1

第二节 气动技术的特点 5

第三节 广阔的气动市场 7

第四节 气动元件与系统的基本构成 8

第二章 空气的热力学性质 11

第一节 空气的物理性质 11

第二节 热力学基本概念 13

第三节 热力学第一定律 18

第四节 热力学过程 20

第五节 准平衡过程的功能分析 23

第三章 湿空气 25

第一节 绝对湿度、相对湿度、露点 25

第二节 压缩空气的相对湿度、压力露点 26

第四章 流体力学的基本知识 31

第一节 静止流体 31

第二节 流体流动的分类 32

第三节 不可压缩流动 34

一、流量和连续性方程 34

二、伯努利方程 35

三、压力损失 36

第四节 可压缩流动 40

一、声速 c 和马赫数 M_a 40

二、基本方程组 41

三、一元定常等熵流动的特性分析 42

四、滞止状态、总参数与静参数 43

的关系 43

五、临界状态、壅塞现象 44

六、质量流量 44

第五章 气动元件及回路的流量特性 49

第一节 气动元件的流量特性 49

第二节 气动回路的流量特性 56

第六章 充放气特性 60

第一节 充放气现象的基本方程 60

第二节 固定容器的充气特性和放气特性 63

第七章 压缩空气的能量 70

一、概述 70

二、压缩空气的绝对能量——焓 71

三、压缩空气的相对能量——有效能 71

四、气动功率 73

五、损失分析 76

第二篇 元件篇

第八章 气源设备 81

第一节 空气压缩机 82

第二节 后冷却器 (HAA 和 HAW 系列) 85

第三节 气罐 (AT 系列) 88

第四节 管路系统 89

第九章 气源处理元件 94

第一节 概述 94

第二节 自动排水器 97

一、气动自动排水器 (AD、ADH

系列) 97

二、电动自动排水器 (ADM 系列) 101

第三节 过滤器 102

一、主管路过滤器 (AFF 系列) 102

二、空气过滤器 (AF 系列) 104

三、油雾分离器 (AM 和 AFM 系列) 106

四、微雾分离器 (AMD 和 AFD 系列) 108

五、超微油雾分离器 (AME 系列) 109

六、除臭过滤器 (AMF 系列) 109

七、水滴分离器 (AMG 系列) 110

八、洁净气体过滤器 (SF 系列) 111

九、过滤器的派生规格 111

第四节 干燥器 113

一、冷冻式干燥器 (IDF 和 IDU 系列) ...	113
二、吸附式干燥器 (ID 系列)	118
三、高分子隔膜式干燥器 (IDG 系列) ...	120
第五节 空气组合元件 (AC 系列)	124
第十章 气动执行元件	129
第一节 气缸	129
一、分类和特点	129
二、气缸的基本构造	136
三、标准气缸 (CJ2、CM2、CG1、MB、	
MB1、CA2、CS2 和 CS1 等系列)	140
(一) 单 (向) 作用气缸	140
(二) 双 (向) 作用气缸	141
(三) 气缓冲气缸	141
(四) 带磁性开关的气缸	143
四、省空间气缸	147
(一) 薄型气缸 (CQ2、CQS 系列) ...	147
(二) 自由安装型气缸	
(CUJ、CU 系列)	147
(三) 长圆形活塞气缸 (MU 系列) ...	147
五、气缸配套件	149
六、气缸的性能	150
七、气缸的选用	154
八、气缸的使用注意事项	170
九、带导杆气缸 (CQM、MG□、MTS、	
CXT 等系列)	173
十、气动滑台 (MX□系列)	179
十一、滑动装置气缸 (CXW 系列)	186
十二、双联气缸 (CXS 系列)	191
十三、无杆气缸	192
(一) 机械接合式无杆气缸 (MY□	
系列)	194
(二) 磁性偶合式无杆气缸 (CY□	
系列)	202
十四、止动气缸 (RS□系列)	209
十五、锁紧气缸 (CL、CN、ML、MN 系列)	
和端锁气缸 (CB 系列)	212
十六、夹紧气缸 (CK□系列)	222
十七、回转夹紧气缸 (MK 系列)	226
十八、定位器	228
(一) 气缸定位器 (IP200 系列)	228
(二) 气 - 气定位器 (IP5 ⁰ 00	
系列)	230
(三) 电 - 气定位器 (IP8 ⁰ 00	
系列)	231
十九、其他气缸	234
(一) 倍力气缸 (MGZ□系列)	234
(二) 行程可读出气缸 (CE□	
系列)	235
(三) 正弦气缸 (REC 系列)	236
(四) 高速气缸 (RHC 系列)	238
(五) 低摩擦气缸 (MQ□、	
□Q 系列)	240
(六) 平稳运动气缸 (□Y 系列)	244
(七) 低速气缸 (□X 系列)	245
(八) 不锈钢气缸 (CJ5. S、CG5. S 系列)	
和高耐水气缸 (HY□系列)	246
(九) 三位气缸 (RZQ 系列)	247
(十) 带阀气缸 (CV、MVGQ	
系列)	248
(十一) 曲线气缸 (MF 系列)	248
(十二) 气液增压缸	251
(十三) 常见扩展品种气缸	252
二十、特殊订货的气缸 (特注品)	258
第二节 气爪 (MH□、MIW/MIS 等	
系列)	262
第三节 摆动气缸	274
一、齿轮齿条式摆动气缸 (CRJ、CRJU、	
CRA1、CRQ2、MSQ、MSZ 系列)	274
二、叶片式摆动气缸 (CRB、MSU	
系列)	278
三、伸摆气缸 (MRQ 系列)	279
四、摆动气缸的选用	280
五、摆动气缸的使用注意事项	286
第十一章 气动控制元件	288
第一节 压力控制阀	288
一、减压阀	288
(一) 直动式减压阀 (AR 系列)	288
(二) 先导式减压阀 (AR□□5、IR 和	
VEX1 系列)	293
(三) 复合功能减压阀 (VEX5、AR□K、	
AW、AW□、AMR 系列)	297
(四) 集装式减压阀 (ARM 系列) ...	302
(五) 洁净型减压阀 (SR□系列)	303
(六) 隔板型减压阀 (ARB 系列)	307
(七) 选用	309
(八) 使用注意事项	309

二、溢流阀 (AP100 系列)	310	(VY1 系列)	415
三、增压阀 (VBA 系列)	310	四、比例电磁铁型电气比例阀 (VEF、	
第二节 流量控制阀	316	VEP、VER 系列)	420
一、单向节流阀 (速度控制阀)		五、使用注意事项	423
(AS 系列)	316	六、应用实例	425
二、带消声器的排气节流阀		第五节 特殊用途电磁阀	429
(ASN2 系列)	324	第十二章 气动辅助元件	434
三、带消声器的快排型排气节流阀 (ASV		第一节 润滑元件	434
系列)	325	一、油雾器	434
四、防止活塞杆急速伸出阀 (SSC		(一) 普通型油雾器 (AL 系列)	434
系列)	325	(二) 自动补油型油雾器 (ALF	
五、节流阀 (ASR/ASQ 系列)	328	系列)	438
第三节 方向控制阀	329	二、集中润滑元件	439
一、分类	329	(一) 差压型油雾器 (ALD 系列)	439
二、电磁换向阀 (EVS、S、SJ、SQ、SV、SY、		(二) 增压型油雾器 (ALB 系列)	442
SYJ、SZ、V、VEX3、VF、VFR、VFS、VG、		第二节 消声器和排气洁净器	442
VK、VKF、VP、VQ、VQC、VQD、VQZ、VS、		一、消声器 (AN 系列)	442
VT、系列)	336	二、排气洁净器 (AMC·AMP 系列)	445
(一) 电磁铁	336	(一) AMC 系列	445
(二) 直动式电磁换向阀	339	(二) AMP 系列	446
(三) 先导式电磁换向阀	343	第三节 气动位置传感器 (ISA2 系列)	447
(四) 电磁阀的配管、配线及附件	360	第四节 磁性开关 (D-□系列)	453
(五) 单体阀和集装阀的规格一览表	383	一、有触点式磁性开关	453
三、气控换向阀 (□A 系列)	389	二、无触点式磁性开关	457
四、机械控制换向阀 (VM 系列)	392	三、磁性开关的选用	461
五、人力控制换向阀 (VM、VH		第五节 压力开关 (含真空压力开关)	463
系列)	395	一、电子式压力开关 (ISE/ZSE、	
六、单向型方向阀	400	PS1□00 系列)	464
(一) 单向阀 (AK 系列)	400	二、机械式压力开关	485
(二) 梭阀 (VR12□0·12□0F		(一) 磁性舌簧式压力开关	
系列)	401	(IS1000 系列)	485
(三) 双压阀 (XT92-59、VR1211F		(二) 通用压力开关 (ISG 系列)	486
系列)	401	(三) 气动压力开关 (IS3000	
(四) 快速排气阀 (AQ 系列)	402	系列)	486
七、方向阀的主要技术参数和选用	402	(四) 气电转换器 (VR3200 系列)	487
(一) 主要技术参数	402	三、压力开关的应用举例	488
(二) 选型	407	第六节 流量开关	490
八、使用注意事项	409	一、数字式流量开关 (PF2A、PF2W、	
第四节 电气比例阀	411	PF2D、PFM 系列)	490
一、概述	411	二、机械式流量开关 (IFW、IF 系列)	499
二、先导式压力型电气比例阀 (ITV		三、流量开关的应用举例	500
系列)	412	第七节 管道及管接头	501
三、高速开关阀式复合型电气比例阀		一、管道 (T□系列)	501

二、管接头 (K□系列)	505	第五节 工业用过滤器	597
三、使用注意事项	515	一、不用更换滤芯的工业用过滤器	
第八节 其他元件	516	(FN1 系列)	597
一、喷枪 (VMG 系列)	516	二、快速更换滤芯型过滤器 (FQ1	
二、气动显示器 (VR31□0 系列)	518	系列)	601
三、压力表、真空压力表和差压表		三、小流量的工业用过滤器 (FGD	
(G 系列)	518	系列)	604
四、小型数字式压力计 (PPA 系列)	520	四、滤芯	606
第九节 气液转换单元 (CC 系列)	520	第六节 气动隔膜泵 (PA、PB、PAX、	
第十节 液压缓冲器 (RB 系列)	527	PAF 系列)	607
第十三章 真空元件	533	一、适合输送的液体	607
第一节 概述	533	二、气动隔膜泵的工作原理	608
第二节 真空吸盘 (ZP 系列)	534	三、气动隔膜泵的使用方法	609
第三节 真空发生器 (ZH、ZU 系列)	538	四、主要技术参数	611
第四节 真空用气阀	540	五、选型方法	612
第五节 真空压力开关 (ZS□系列)	543	六、使用注意事项	613
第六节 真空过滤器 (ZF、AMJ 系列)	545	第七节 电动执行器 (LX□、LJ1、LG1、	
第七节 真空组件 (ZM、ZX、ZMA、ZR、		e-MY2、LTF、LZ _C ^B 系列)	614
ZL、ZQ、ZA 系列)	547	一、概述	614
第八节 其他真空用元件	553	二、动作原理	617
第九节 真空用元件的选定	555	三、控制系统 (LC□系列)	619
第十节 使用注意事项	558	四、使用注意事项	625
第十四章 其他元器件	561	第八节 温调器 (HE□、HRW、HRG、	
第一节 流体阀 (VC、VD、VX、VN		HRZ 系列)	627
系列)	561	一、概述	627
一、流体阀的工作介质	561	二、工作原理	628
二、流体阀的几种典型结构	561	三、主要技术参数	630
三、主要技术参数	569	四、选用	630
四、选型	569	第九节 静电消除器 (ISZ3□系列)	632
五、使用注意事项	575	一、概述	632
第二节 化学液用阀 (LV□、SRF		二、静电消除器装置	632
系列)	576	三、除静电模式	633
一、概述	576	四、主要技术参数	635
二、适合工作介质及结构原理	576	五、使用注意事项	635
三、主要技术参数	576	六、用途举例	637
第三节 高压气动元件 (VCH 系列)	585		
第四节 高真空阀 (XL、XM、XY		第三篇 回路篇	
系列)	589	第十五章 气动基本回路和应用回路	638
一、高真空阀的应用	589	第一节 气动换向回路	638
二、高真空阀的特长	590	第二节 压力 (或力) 控制回路	646
三、高真空阀的动作原理	593	第三节 速度控制回路	658
四、高真空阀的规格	594	第四节 位置 (角度) 控制回路	669
五、使用注意事项	594		

第五节 气动逻辑回路	675	第三节 多往复程序的回路设计方法	717
第六节 气动往复回路	680	一、多往复运动的特点和处理方法	717
第七节 气缸同步动作回路	684	二、多往复程序 X-D 图的画法	718
第八节 安全保护回路	687	三、判别障碍、消除障碍、确定执行 信号	719
一、双手操作回路	687	第四节 气动系统的设计	721
二、过载保护回路	687	一、气动系统的设计步骤	721
三、互锁回路	687	二、气动系统的设计举例	721
四、缓冲回路	687	第四篇 管理、维护和故障处理篇	
五、防止起动时活塞杆“急速伸出” 的回路	688	第十七章 气动系统的管理	730
六、防止落下回路	689	第一节 气动系统的使用要求	730
七、残压释放回路	690	第二节 气动系统的安装工作	730
第九节 其他回路	692	第三节 调试工作和作业完成工作	733
一、洁净压缩空气系统	692	第四节 非正常停止的处理	733
二、计数回路	692	第十八章 维护保养	735
三、节能回路	693	第一节 经常性的维护工作	735
第十六章 气动程序控制回路的设计	698	第二节 定期的维护工作	735
第一节 概述	698	第十九章 故障诊断与对策	738
一、行程程序控制	698	第一节 故障种类	738
二、行程程序的表示方法	699	第二节 故障诊断方法	738
三、行程程序回路设计中的主要矛盾	701	第三节 常用故障及其对策	743
第二节 单往复程序的回路设计方法	702	第二十章 维修工作	763
一、绘制“信号-动作状态图”	703	附录 常用气动图形符号	767
二、判断障碍信号、消除障碍、确定 执行信号	705	参考文献	773
三、绘制控制回路图	709		
四、单控主控阀控制回路的设计方法	713		

第一篇 基础篇

第一章 气动技术概述

气动 (PNEUMATIC) 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 1776 年 John Wilkinson 发明能产生 1atm 左右压力的空气压缩机。1880 年,人们第一次利用气缸做成气动制动装置,将它成功地用到火车的制动上。20 世纪 30 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 60 年代,尤其是 70 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,见图 1-1。

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。例如:利用自动冲压机,把按尺寸切断的钢板冲压成车顶、底盘、车门、发动机仓盖等多种板形零件;利用大量吸着(真空吸盘)、夹持(气爪)及搬送(各类气缸)用气动元件,将它们传送到指定工位,进行定位和夹紧。机器人令点焊机焊头快速接近、减速软着陆于焊点后,进行变压力控制点焊。这需要采用抗(焊渣)飞溅、抗磁场、抗振动、大夹持力等各种特殊要求的气缸及相应的控制系统。需要耐焊渣的难燃性接头及连接管。高频率的点焊,输出力的准确控制(根据工件的材质、厚度、重叠层数等要自动调节压力)和整个工序过程的高度自动化,堪称是最具代表性的气动技术应用之一。搬送装置中使用的高速气缸(最大速度可达 3m/s)、复合控制阀的比例控制技术,代表了当今气动技术的新发展。

组装的车身经充分清洗后,进行底漆喷涂、中层漆喷涂、面漆喷涂和 3~4 次烤漆作业。这个过程需在无尘烤漆房中进行。喷漆中使用的气动系统,需采用适应多种涂料颜色变化的喷涂阀,适应无油、无污染(洁净型)、防爆、耐溶剂的环境,还需远程控制、比例控制的



图 1-1 气动技术的应用例

各种电磁阀、流量开关、软管等气动元件。

在发动机、变速箱等动力部件和其他零部件的加工、输送和自动组装工作中，大量使用了气动技术。需使用串行传送系统读取各传感器发出的信号和对多个电磁阀进行串行控制，以提高自动化水平。加工过程中的冷却处理，需使用冷却液用阀及耐水性强的气缸。为了环保节能，可使用不用更换滤芯的工业过滤器，使用节能型喷嘴、冷却液喷嘴和喷枪进行加工后的清洗、吹扫；使用压力开关、流量开关等进行合理的压力管理和流量管理。

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。

在半导体、液晶产品的制作过程（如保护膜处理、洗净、晶片平坦化及晶片搬送等）中，伴随着图形尺寸的微细化，要求稳定提供低露点（大气压露点达 $-20 \sim -70^{\circ}\text{C}$ ，相当于饱和水蒸气密度大约是 $1.07 \sim 0.01\text{g}/\text{m}^3$ ）、低发尘（ $0.1\mu\text{m}$ 以上的粒子在 1 个以下）的洁净空气系统。为了得到低露点，需使用各种干燥器（IDF + IDG + ID 系列）的组合。为了

得到低发尘, 必须使用多级过滤器 (AFM + AFD + AM + AME + AMF + SF 系列) 的组合。为了得到稳定的压力, 需使用洁净型减压阀。为了控制超洁净压缩空气的通断, 需使用超洁净型气控阀 (LVA 系列)。为了调节流量大小, 需使用洁净型节流阀 (10 - AS□ - X21 系列)。管路连接需使用洁净型管接头 (10 - KQ、10 - KG、10 - KF、10 - M/MS、KP□、LQ□ 等系列) 及管子 (10 - TU、TP□、TL 系列)。为了压力管理及流量管理, 需使用洁净型压力开关 (10 - ISE40 系列) 及流量开关 (PF2A 系列)。

洁净空气系统也可作为气浮滑台和气浮轴承的供气系统。加上温度控制器, 在一定温度设定范围 (如 $0 \sim 10^{\circ}\text{C}$)、达到一定控制精度 (如 $\pm 1^{\circ}\text{C}$)、便可提高位置控制精度。

在半导体制作过程中, 蚀刻装置、溅镀装置、离子注入装置和 CVD (化学气相沉积) 装置都普遍地在真空室 (绝对压力为 $1 \times 10^{-6}\text{Pa}$ 左右) 内, 对晶片和 LCD (液晶基板) 进行处理。用干燥泵从真空室抽出空气, 使真空室内压力更低的排气管路, 以及向真空室供给大气压力的供气管路上所使用的高真空阀、减压阀等气动元件, 都要求不泄漏 (外泄漏应小于 $10^{-11}\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)、洁净、抗蚀, 且使用时不会生成任何污染物。

为了提高晶片及液晶基板上薄膜形成时的厚度均匀性, 防止晶片凹蚀, 清除生成物, 应对晶片及液晶基板进行温度控制。为了提高晶片及印制板上膜厚的均匀性, 应对显像液、抗蚀液进行温控。为了使晶片及液晶基板的洗净度一定, 应对洗净液进行温控。这些温控都需使用温控器。温度控制范围 ($-20 \sim 90^{\circ}\text{C}$) 及温度控制精度 ($\pm 0.01 \sim \pm 1^{\circ}\text{C}$) 有多种, 可供选用。

在真空室内对晶片等进行搬送时, 必须是洁净搬送, 即要求发尘少, 故应选用洁净型气缸和洁净规格的电动执行器。洁净型无杆气缸的滑台与缸筒不接触, 故不存在滑动引起的发尘。晶片搬送系统对加速度有十分严格的要求, 故应选用平稳加减速 ($5\text{m}/\text{s}^2$ 以内) 的 SIN (正弦) 气缸。这种气缸具有特殊的加减速机能, 可以平稳地将盛满水的水杯从 A 点送到 B 点, 保证水不溢出。使用这种气缸, 在保持生产率高 (因缸速可达 $500\text{mm}/\text{s}$) 的同时, 仍可消除始动及行程末端存在的冲击。

3. 机床行业

在各行各业都广泛使用的通用机床和专业机床上, 大量采用了气动控制系统。为配合这些控制系统的需要, 设计出品种繁多、要求各异的各类气动元件。如用高速气缸 (速度可达 $3\text{m}/\text{s}$) 快速开闭数控机床的门, 其缓冲能力是普通气缸的 $10 \sim 20$ 倍, 故关门时无冲击。使用能平稳传送 (加速度可低至 $0.25\text{m}/\text{s}^2$)、且定位精度高 (重复定位精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$) 的电动执行器。利用集中润滑单元, 可进行多点润滑, 供给稳定的微雾, 且润滑油消耗少。使用冷却液冷却刀具及加工件、清除切削末的场合, 可使用耗电省 (0.35W)、寿命长、使用压力高 (可达 1.6MPa) 的冷却液用阀对冷却液进行控制。在冷却液的氛围中, 可使用耐水性强的气缸。为符合环保要求, 可使用不用更换滤芯的工业过滤器对冷却液进行过滤。为了抓起、夹持处于不同工作环境、具有不同形状的工件, 可提供不同品种规格的气爪和真空吸盘, 组成各种形式的气动机械手。利用气动位置传感器, 可检测出工件的加工精度 (能检出 $0.01 \sim 0.5\text{mm}$ 的间隙)。

4. 食品饮料行业

食品中的“细菌”和“异物混入”问题，已逐渐引起社会各界的广泛关注。因此，需经常对产品实施安全检查，设备每天至少清洗一次。应用于此环境中的 SMC 公司产品，在材质、形状、构造、润滑剂方面，都采取了与一般产品不同的设计。可在强喷溅、高温、低温、高速及高频等恶劣条件下使用，以确保生产出安全、高品质的食品。

典型的食品制作过程如图 1-2 所示。在该制作过程中，放入原材料需使用控制食品量的电磁阀。制作灌装食品的容器 PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）瓶，需使用一些高压气动元件。在包装工序中，为防止贴标签时失误，需使用静电消除器消除静电。在产品检查时，查出不良品，需使用响应快的阀，控制适当的气爪、气缸将不良品快速推出传送带。在捆包装箱作业时，需使用各种真空吸盘及各类气缸等。

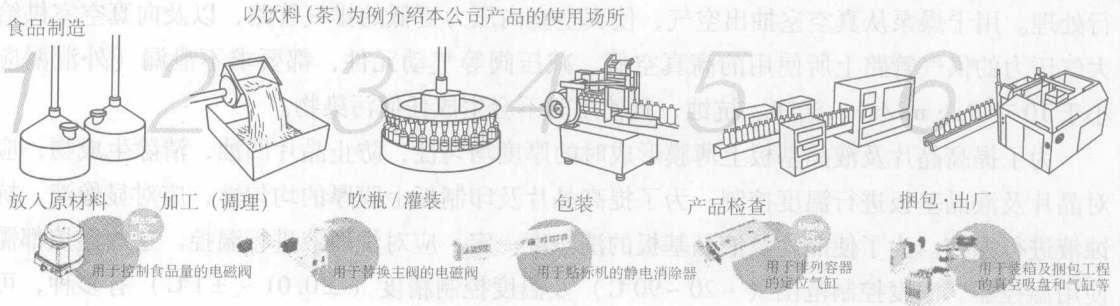


图 1-2 典型的食品制作过程

食品机械中，经常要使用耐水性强的不锈钢气缸和卫生级气缸（HY□系列），HY□系列比普通型防水气缸的耐水能力增大约 5 倍。

对米、茶叶、豆类等食品进行品质鉴别的气动色选机，需使用高频阀（最高频率可达 1000Hz）以极快速度吹除不良品。此外，还有对大葱、葱头之类的蔬菜进行剥皮的气动剥皮机。

5. 生命科学领域

在生命科学领域，如制药、医疗器械领域的相关设备、医疗设备领域（如医疗检查、牙科治疗及灭菌设备等）、一般分析领域、环境分析领域（如环境分析仪用于检查大气及水的品质）。

在生物工程分析领域，气动元件的应用越来越多，对气动元件的要求也越来越高。例如：使用液体隔膜泵供应多种液体的工作介质；对工作介质的过滤精度要求极高的过滤器；用温控器对冷库进行精密温度控制；用干燥器对工作介质除湿；对氧气、空气、氮气等多种气体进行压力控制（比例控制）的减压阀（比例阀）；能检测多种流体的压力、流量和温度的各类传感器；适合多种流体（包括蒸汽）、不同压力、温度（可达 200℃）的各类洁净型管接头及连接管子，具有 8 通口的转阀用来控制多通道；适合化学液、氧气、蒸汽（灭菌）专用的电磁阀，有时需使用超小型电磁阀及防爆型电磁阀；搬送用的各种气动执行器、电动执行器及气爪等。

6. 生产自动化的实现

20 世纪 60 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。

7. 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)、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

20世纪80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1-1给出了各种动力传动与控制方式的比较。任何一种方式都不是万能的,在实现生产设备、生产线的自动化和省力化时,必须对各种技术进行比较,扬长补短,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1-1 各种传动与控制方式的比较

主要方式	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kN以上)	稍大(可达数十kN)
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70℃普通	小于100℃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