

秦大同 谢里阳 主编

MODERN  
HANDBOOK  
MECHANICAL  
DESIGN

# 现代 机械设计手册

单行本

# 气压传动与控制设计



化学工业出版社

秦大同 谢里阳 主编

MODERN  
HANDBOOK  
OF MECHANICAL  
DESIGN

现代  
机械设计手册

单行本

# 气压传动与控制设计



化学工业出版社

· 北京 ·

《现代机械设计手册》单行本共 16 个分册,涵盖了机械常规设计的所有内容。各分册分别为:《机械制图及精度设计》、《零部件结构与禁忌》、《常用机械工程材料》、《连接件与紧固件》、《轴及其连接件设计》、《轴承》、《机架、导轨及机械振动设计》、《弹簧设计》、《机构设计》、《机械传动设计》、《润滑与密封设计》、《液力传动设计》、《液压传动与控制设计》、《气压传动与控制设计》、《机电系统设计》、《疲劳强度与可靠性设计》。

本书为《气压传动与控制设计》,主要介绍了气压传动技术基础、气动系统、气动元件的选型及计算、气动系统的维护及故障处理、气动元件产品、相关技术标准及资料等。本书可作为机械设计人员和有关工程技术人员的工具书,也可供高等院校有关专业师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

气压传动与控制设计/秦大同,谢里阳主编. —北京:  
化学工业出版社, 2013. 3  
(现代机械设计手册: 单行本)  
ISBN 978-7-122-16340-0

I. ①气… II. ①秦… ②谢… III. ①气压传动-设计-  
技术手册 IV. ①TH138-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 009436 号

---

责任编辑: 张兴辉 王 焯 贾 娜  
责任校对: 关雅君

装帧设计: 尹琳琳

---

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司  
装 订: 三河市万龙印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 27 $\frac{3}{4}$  字数 858 千字 2013 年 3 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: 58.00 元

版权所有 违者必究



## 《现代机械设计手册》单行本出版说明

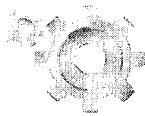
《现代机械设计手册》是化学工业出版社顺应现代机械设计时代发展要求而精心策划的大型出版项目，旨在将传统设计和现代设计有机结合，即结构设计、传动设计和控制设计有机融合，力求体现“内容权威、凸显现代、实用可靠、简明便查”的特色。

《现代机械设计手册》自 2011 年 3 月出版以来，赢得了广大机械设计工作者的青睐和好评，荣获 2011 年全国优秀畅销书和 2012 年中国机械工业科学技术奖。广大读者在给予《现代机械设计手册》充分肯定的同时，也指出了《现代机械设计手册》装帧厚重，不便携带和翻阅。为了给读者提供篇幅较小、便携便查、定价低廉、针对性更强的实用性工具书，根据读者的反映和建议，我们在深入调研的基础上，推出《现代机械设计手册》单行本。

单行本保留了《现代机械设计手册》的优势和特色，结合机械设计人员工作细分的实际状况，从设计工作的实际出发，将原来的 6 卷 33 篇进行合并、删减，重新整合为 16 个分册，分别为：《机械制图及精度设计》、《零部件结构与禁忌》、《常用机械工程材料》、《连接件与紧固件》、《轴及其连接件设计》、《轴承》、《机架、导轨及机械振动设计》、《弹簧设计》、《机构设计》、《机械传动设计》、《润滑与密封设计》、《液力传动设计》、《液压传动与控制设计》、《气压传动与控制设计》、《机电系统设计》、《疲劳强度与可靠性设计》。

《现代机械设计手册》单行本，是为了适应机械设计行业发展和广大读者的需要而编辑出版的，将与《现代机械设计手册》（6 卷本）一起，成为机械设计工作者、工程技术人员和广大读者的良师益友。

化学工业出版社



振兴装备制造业是中国由机械制造大国走向机械制造强国的必由之路。近年来，在国家大力发展装备制造业的政策号召和驱使下，我国的机械工业获得了巨大的发展，自主创新的能力不断加强，一批高技术、高性能、高精尖的现代化装备不断涌现，各种新材料、新工艺、新结构、新产品、新方法、新技术不断产生、发展并投入实际应用，大大提升了我国机械设计与制造的技术水平和国际竞争力。

但是，总体来看，我国的装备制造业仍处于较低的水平，距离世界发达国家还有很大的差距。机械设计是装备制造的龙头，是装备制造过程中的核心环节，因此全面提升我国机械设计人员的设计能力和技术水平非常关键。近年来，各种先进技术在机械行业的应用和发展，正在使机械设计的传统内涵发生巨大变化，这就给广大机械设计人员提出了更高的要求：一方面，当前先进的、现代化的机械装备都是机、电、液、光等技术的有机结合体，尤其是控制技术、信息技术、网络技术的发展和运用，使得设备越来越智能化、现代化，这已经成为现代机械设计的发展方向 and 趋势，如何实现这些技术的有机融合将至关重要；另一方面，各种现代的机械设计方法，已经突破前些年的理论研究阶段，正逐步应用于设计、生产实际，越来越发挥其重要的作用；还有，随着计算机硬件性能和软件水平的持续提高，计算机技术已全面深入地渗透到机械领域，各种设计技术、计算技术、设计工具在机械设计与制造中的广泛应用，使得设计人员的创造性思维得到前所未有的解放，设计手段极大丰富。

伴随着这些变化，传统的机械设计资料、机械设计工具书已逐渐呈现出诸多不足，不能完全满足新时期机械设计人员的实际工作需要。针对这种情况，化学工业出版社顺应时代发展的要求，在对高等院校、科研院所、制造企业的科研工作者和机械设计人员进行广泛调研的基础上，邀请众多国内机械设计界的知名专家合力编写了一套全新的、符合现代机械设计潮流的大型工具书——《现代机械设计手册》，这是一项与时俱进、有重大意义的创新工程，对推动我国机械设计技术的发展将发挥重要的作用。因其在机械设计领域重要的科学价值、实用价值和现实意义，《现代机械设计手册》荣获 2009 年国家出版基金资助。

化学工业出版社在机械设计大型工具书的出版方面历史悠久、经验丰富，深得广大机械设计人员和工程技术人员的信赖。为了扎实、高效地进行《现代机械设计手册》编写和出版工作，化学工业出版社组织召开了多次编写和审稿工作会议，充分考虑读者在手册使用上的特点和需求，确定了手册的整体构架、篇目设置、编写原则和风格，针对编写大纲进行了充分细致的研讨，对书稿内容的编、审工作进行了细致周密的安排，确保了整部手册的内容质量和工作进度。

《现代机械设计手册》的定位不同于一般技术手册，更不同于一般学习型的技术图书，



它是一部合理收集取舍、科学编排通用机械设计常用资料，符合现代机械设计潮流的综合性手册。具体来说，有以下六大特色。

### 1. 权威性 ★★★★★

《现代机械设计手册》阵容强大，编、审人员大都来自于设计、生产、教学和科研第一线，具有深厚的理论功底、丰富的设计实践经验。他们中很多人都是所属领域的知名专家，在业内有广泛的影响力和知名度，获得过多项科技进步奖、发明奖和技术专利，承担了许多机械领域国家重要的科研和攻关项目。这支专业、权威的编审队伍确保了手册准确、实用的内容质量。

### 2. 现代感 ★★★★★

追求现代感，体现现代机械设计气氛，满足时代的要求，是《现代机械设计手册》的基本宗旨。“现代”二字主要体现在：新标准、新技术、新结构、新工艺、新产品、现代的设计理念、现代的设计方法和现代的设计手段等几个方面。在体现现代元素的同时，也不是一味求新，而是收录目前已经普遍得到大家公认的、成熟的、实用的技术、方法、结构和产品。《现代机械设计手册》注意传统设计与现代设计的融合，注重机、电设计的有机结合，注重实用性的同时兼顾最新的研究应用成果。

在新技术方面，许多零部件的设计内容都兼顾了当前高新技术装备的设计，例如第13篇“带、链传动”介绍了金属带等新型的传动方式，第14篇“齿轮传动”收录了新型锥齿轮、塑料齿轮的设计和应用，第8篇“滑动轴承”收录了气体润滑轴承、箔片轴承、电磁轴承等新型轴承的设计和应用，第4篇“机械工程材料”收录了复合材料等目前已广泛应用的一些新型工程材料。

在现代设计手段的应用方面，例如机械零部件设计部分，注重现代设计方法（例如有限元分析、可靠性设计等）在机械零部件设计中的应用，并给出了相应的设计实例；第11篇“机构”篇中，平面机构的运动分析通过计算机编程来实现，并提供了相应的程序代码，大大提高了分析的准确性和设计效率；在产品的设计和选择方面，推荐了应用广泛的、节能的、可靠的产品。

在贯彻新标准方面，收录并合理编排了目前最新颁布的国家和行业标准。

### 3. 实用性 ★★★★★

即选编机械设计人员实际需要的内容。手册内容的选定、深度的把握、资料的取舍和章节的编排，都坚持从设计和生产的实际需要出发。例如第5卷机电控制设计中，完全站在机械设计人员的角度来写——注重产品如何选用，摒弃了控制的基本原理，突出机电系



统设计, 控制元器件、传感器、电动机部分注重介绍主流产品的技术参数、性能、应用场合、选用原则, 并给出了相应的设计选用实例; 第 6 卷现代机械设计方法中摒弃或简化了繁琐的数学推导, 突出了最终的计算结果, 结合具体的算例将设计方法通俗地呈现出来, 便于读者理解和掌握。

为方便广大读者的使用和查阅, 手册在具体内容的表述上, 采用以图表为主的编写风格。这样既增加了手册的信息容量, 更重要的是方便了读者的使用和查阅, 有利于提高设计人员的工作效率和设计速度。

#### 4. 通用性 ★★★★★

本手册以通用的机械零部件和控制元器件设计、选用内容为主, 不包括具体的专业机械设计的内容。主要包括机械设计基础资料、机械通用零部件设计、机械传动系统设计、液力液压和气压传动系统设计与控制、机构设计、机架设计、机械振动设计、光机电一体化系统设计以及控制设计等, 能够满足各类机械设计人员的工作需求。

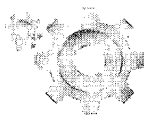
#### 5. 准确性 ★★★★★

本手册尽量采用原始资料, 公式、图表、数据准确, 方法、工艺、技术成熟。所有产品、材料和工艺方面的标准均采用最新公布的标准资料, 对于标准规范的编写, 手册没有简单地照抄照搬, 而是采取选用、摘录、合理编排的方式, 强调其科学性和准确性, 尽量避免差错和谬误。所有设计方法、计算公式、参数选用均经过长期检验, 设计实例、各种算例均来自工程实际。手册中收录通用性强的、标准化程度高的产品, 供设计人员在了解企业实际生产品种、规格尺寸、技术参数, 以及产品质量和用户的实际反映后选用。

#### 6. 全面性 ★★★★★

本手册一方面根据机械设计人员的需要, 按照“基本、常用、重要、发展”的原则选取内容; 另一方面兼顾了制造企业和大型设计院两大群体的设计特点, 即制造企业侧重基础性的设计内容, 而大型的设计院、工程公司侧重于产品的选用。本手册强调产品设计与工艺技术的紧密结合, 倡导结构设计与造型设计的有机统一, 重视工艺技术与选用材料的合理搭配, 使产品设计更加全面和可行。

三年多来, 经过广大编审人员和出版社的不懈努力, 《现代机械设计手册》将以崭新的风貌和鲜明的时代气息展现在广大机械设计工作者面前。值此出版之际, 谨向所有给过我们大力支持的单位和各界朋友们表示衷心的感谢!



# 气压传动与控制设计

## 第 1 章 气压传动技术基础

- 1.1 气动系统的特点及构成 ..... 3
- 1.2 空气的性质 ..... 6
- 1.3 气体的基本热力学与动力学规律 ..... 9
  - 1.3.1 气体的状态变化及其热力学过程 ..... 9
  - 1.3.2 气体的基本动力学规律 ..... 10
  - 1.3.3 气体通过收缩喷嘴或小孔的流动 ..... 10
  - 1.3.4 容器的充气 and 放气特性 ..... 11
  - 1.3.5 气阻和气容的特性及计算 ..... 13
  - 1.3.6 管路的压力损失 ..... 14
- 1.4 气动技术常用术语及图形符号 ..... 16
  - 1.4.1 气动技术常用术语 ..... 16
  - 1.4.2 气动技术图形符号 ..... 16
- 1.5 气动技术基础事项 ..... 27
  - 1.5.1 气动元件及系统公称压力系列 ..... 27
  - 1.5.2 气动元件的流通能力的表示方法 ..... 27
    - 1.5.2.1 气动元件流量特性的测定 (GB/T 14513) ..... 27
    - 1.5.2.2 气动元件流通能力的其他表示方法 ..... 30
  - 1.5.3 空气的品质 ..... 31
  - 1.5.4 密封 ..... 33
  - 1.5.5 气动元件气口螺纹 ..... 35
- 1.6 气动技术常用计算公式和图表 ..... 40

## 第 2 章 气动系统

- 2.1 气动基本回路 ..... 42
  - 2.1.1 换向回路 ..... 42
  - 2.1.2 速度控制回路 ..... 44
  - 2.1.3 压力与力控制回路 ..... 45
  - 2.1.4 位置控制回路 ..... 48
- 2.2 典型应用回路 ..... 50

- 2.2.1 同步回路 ..... 50
- 2.2.2 延时回路 ..... 51
- 2.2.3 自动往复回路 ..... 51
- 2.2.4 防止启动飞出回路 ..... 52
- 2.2.5 防止落下回路 ..... 53
- 2.2.6 缓冲回路 ..... 53
- 2.2.7 真空回路 ..... 54
- 2.2.8 其他回路 ..... 54
- 2.2.9 应用举例 ..... 55
- 2.3 气动系统的控制 ..... 59
  - 2.3.1 气动顺序控制系统 ..... 59
    - 2.3.2.1 常用继电器控制电路 ..... 60
    - 2.3.2.2 典型的继电器控制气动回路 ..... 62
  - 2.3.2 继电器控制系统 ..... 60
    - 2.3.3 可编程控制器控制系统 ..... 66
      - 2.3.3.1 可编程控制器的组成 ..... 66
      - 2.3.3.2 可编程控制器工作原理 ..... 67
      - 2.3.3.3 可编程控制器常用编程指令 ..... 68
      - 2.3.3.4 控制系统设计步骤 ..... 70
      - 2.3.3.5 控制系统设计举例 ..... 71
  - 2.3.4 全气动控制系统 ..... 72
    - 2.3.4.1 梯形图符号集 ..... 72
    - 2.3.4.2 设计流程 ..... 74
    - 2.3.4.3 基本回路 ..... 75
    - 2.3.4.4 应用回路 ..... 75
    - 2.3.4.5 应用实例 ..... 83

## 第 3 章 气动元件的选型及计算

- 3.1 气源设备 ..... 84
  - 3.1.1 空气压缩机 ..... 84
  - 3.1.2 后冷却器 ..... 85
  - 3.1.3 主管道过滤器 ..... 86
  - 3.1.4 贮气罐 ..... 87



3.1.5	干燥器	88
3.1.6	自动排水器	90
3.2	气动执行元件	91
3.2.1	气动执行元件的分类	91
3.2.2	气缸	93
3.2.2.1	气缸的分类	93
3.2.2.2	气缸的常用安装方式	97
3.2.2.3	气缸的结构	98
3.2.2.4	气缸特性	114
3.2.2.5	理论出力表	116
3.2.2.6	气缸相关标准选摘	119
3.2.2.7	气缸的选择	122
3.2.3	气马达	122
3.2.3.1	气马达的结构原理及特性	122
3.2.3.2	气马达的特点	125
3.2.3.3	气马达的选择	126
3.2.4	摆动气缸	126
3.2.5	气爪	128
3.3	气动控制元件	128
3.3.1	方向控制阀	128
3.3.1.1	换向阀	128
3.3.1.2	其他方向控制阀	137
3.3.2	压力控制阀	138
3.3.2.1	减压阀	138
3.3.2.2	安全阀	144
3.3.2.3	增压阀	145
3.3.3	流量控制阀(节流阀)	145
3.3.3.1	流量控制阀的分类、结构和 工作原理	146
3.3.3.2	节流阀的典型流量特性	148
3.3.3.3	节流阀的选择	148
3.4	气动管路设备及气动附件	148
3.4.1	过滤器	148
3.4.2	油雾器	151
3.4.3	气源处理三联件	151
3.4.4	管接头	152
3.4.5	气管	153
3.4.6	消声器	155
3.5	真空元件	156
3.5.1	真空系统的构成、分类及 应用	156
3.5.2	真空发生器	158
3.5.3	真空吸盘	159
3.5.4	其他真空元件	161
3.6	气动比例(伺服)控制元件	163
3.6.1	气动比例(伺服)控制系统	163
3.6.2	气动比例(伺服)阀	165
3.6.2.1	气动比例(伺服)阀的 分类	165

3.6.2.2	气动比例(伺服)阀的主要 构成部件及其工作原理	166
3.6.2.3	典型电-气比例阀	171
3.6.3	气动比例(伺服)系统应用 举例	176

## 第 4 章 气动系统的维护及故障处理

4.1	维护保养	178
4.2	维护工作内容	180
4.3	故障诊断与对策	181
4.4	常见故障及其对策	183

## 第 5 章 气动元件产品

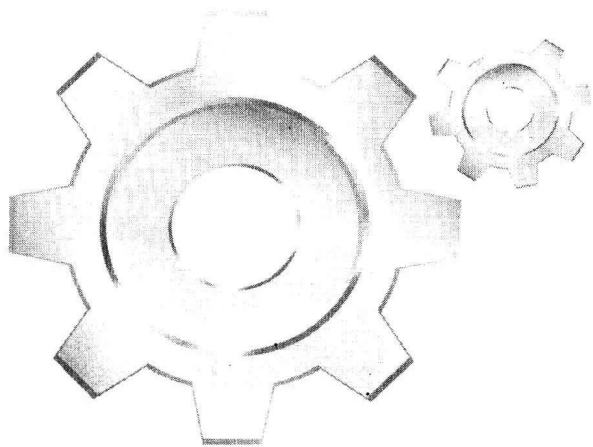
5.1	气动执行器	188
5.1.1	普通单活塞杆气缸	188
5.1.1.1	PB 系列单活塞杆气缸 ( $\phi 4\sim 16$ )	188
5.1.1.2	QCJ2 系列微型单活塞杆 气缸( $\phi 6\sim 16$ )	193
5.1.1.3	10Y-1 系列小型单活塞杆 气缸( $\phi 8\sim 50$ )	198
5.1.1.4	QGP 笔型单活塞杆气缸 ( $\phi 10, \phi 16$ )	202
5.1.1.5	QC85 系列标准小型单活塞 杆气缸(ISO 6432) ( $\phi 10\sim 25$ )	206
5.1.1.6	MA 系列单活塞杆气缸 ( $\phi 16\sim 63$ )	208
5.1.1.7	QGBX 小型单活塞杆气缸 (ISO 6432)( $\phi 20\sim 32$ )	214
5.1.1.8	QGX 小型单活塞杆气缸 ( $\phi 20\sim 40$ )	216
5.1.1.9	QCM2 系列小型单活塞杆 气缸(日本规格) ( $\phi 20\sim 40$ )	222
5.1.1.10	QC75 系列小型单活塞杆气缸 (欧洲规格)( $\phi 32\sim 40$ )	225
5.1.1.11	QDNC 系列标准方型单活塞杆 气缸(ISO 6431) ( $\phi 32\sim 100$ )	227
5.1.1.12	QSC 系列标准单活塞杆气缸 (ISO 6430)( $\phi 32\sim 100$ )	230
5.1.1.13	QGBZ 中型单活塞杆气缸 (ISO 15552)( $\phi 32\sim 125$ )	233
5.1.1.14	QC95 系列单活塞杆标准气缸 (ISO 6431)( $\phi 32\sim 200$ )	239

5.1.1.15	10B-5 系列无拉杆气缸 ( $\phi 32 \sim 200$ )	242	5.1.4	摆动气缸	305
5.1.1.16	QGZ 中型单活塞杆气缸 ( $\phi 40 \sim 100$ )	245	5.1.4.1	ACK 系列摆动气缸 ( $\phi 25 \sim 63$ )	305
5.1.1.17	QGC 系列重载单活塞杆气缸 ( $\phi 80 \sim 160$ )	250	5.1.4.2	QGHJ 系列回转夹紧气缸 ( $\phi 25 \sim 63$ )	306
5.1.1.18	JB 系列缓冲单活塞杆气缸 ( $\phi 80 \sim 400$ )	251	5.1.4.3	QGK 系列无给油润滑 齿轮齿条摆动气缸 ( $\phi 20 \sim 125$ )	307
5.1.1.19	QGD 大型单活塞杆气缸 ( $\phi 125 \sim 350$ )	254	5.1.4.4	QRC 系列摆动气缸 ( $\phi 40 \sim 125$ )	310
5.1.2	普通双活塞杆气缸	262	5.1.4.5	QGH 摆动(回转)气缸 ( $\phi 50 \sim 100$ )	311
5.1.2.1	XQGA <sub>x2</sub> 系列小型双活塞杆 气缸( $\phi 12 \sim 32$ )	262	5.1.5	其他特殊气缸	312
5.1.2.2	QGY (EW) 系列双活塞杆 薄型气缸( $\phi 20 \sim 125$ )	262	5.1.5.1	无活塞杆气缸	312
5.1.2.3	QGEW-2 系列无给油润滑双 活塞杆气缸( $\phi 32 \sim 160$ )	263	5.1.5.2	行程可调气缸	318
5.1.2.4	10A-3EW 系列双活塞杆缓冲 气缸( $\phi 32 \sim 400$ )	265	5.1.5.3	增力气缸	320
5.1.2.5	XQGA <sub>y2</sub> (B <sub>y2</sub> ) 系列轻型双 活塞杆气缸( $\phi 40 \sim 63$ )	266	5.1.5.4	步进气缸	321
5.1.2.6	QGEW-3 系列无给油润滑双 活塞杆气缸( $\phi 125 \sim 250$ )	266	5.1.5.5	带导杆气缸	325
5.1.3	薄型气缸	267	5.1.5.6	冲击气缸	337
5.1.3.1	QCQS 系列薄型气缸(日本 规格)( $\phi 12 \sim 25$ )	267	5.1.5.7	气液缸	338
5.1.3.2	ACP 系列薄型气缸 ( $\phi 12 \sim 100$ )	269	5.1.5.8	膜片气缸	340
5.1.3.3	ACQ 系列超薄型气缸 ( $\phi 12 \sim 100$ )	273	5.2	方向控制阀	341
5.1.3.4	SDA 系列超薄型气缸 ( $\phi 12 \sim 100$ )	281	5.2.1	4通、5通电磁换向阀	341
5.1.3.5	QCQ2 系列薄型气缸(日本 规格)( $\phi 12 \sim 100$ )	288	5.2.1.1	3KA2 系列电磁换向阀 (R <sub>c</sub> 1/8)	341
5.1.3.6	QGDG 系列薄型带导杆气缸 ( $\phi 12 \sim 100$ )	291	5.2.1.2	M3KA2 系列电磁换向阀 (R <sub>c</sub> 1/8~R <sub>c</sub> 1/4)	343
5.1.3.7	QCN 系列薄型气缸(欧洲规格) ( $\phi 16 \sim 100$ )	293	5.2.1.3	3KA3 系列换向阀 (R <sub>c</sub> 1/4)	344
5.1.3.8	QADVU 系列紧凑型短行 移薄型气缸( $\phi 16 \sim 100$ )	296	5.2.1.4	M3KA3 集装型电磁换向阀 (R <sub>c</sub> 1/4, R <sub>c</sub> 3/8)	346
5.1.3.9	QGY 系列无给油润滑薄型 气缸( $\phi 20 \sim 125$ )	300	5.2.1.5	QDI 系列电控换向阀 (DN6~DN25)	347
5.1.3.10	QGY-M 系列杆端外螺纹 薄型气缸( $\phi 20 \sim 125$ )	301	5.2.1.6	4V100 系列电磁换向阀 (M5~R <sub>c</sub> 1/8)	348
5.1.3.11	QGS 短行程/紧凑型薄型 气缸( $\phi 32 \sim 100$ )	302	5.2.1.7	4M100-300 系列电磁换向阀 (R <sub>c</sub> 1/8~R <sub>c</sub> 3/8)	350
5.1.3.12	QGY (Z) 系列带导杆防 转薄型气缸( $\phi 32 \sim 100$ )	304	5.2.1.8	XQ 系列二位五通电控换 向阀(G1/8~G1/2)	353
			5.2.1.9	XQ 系列三位五通电控换 向阀(G1/8~G1/4)	354
			5.2.2	2通、3通电磁换向阀	355
			5.2.2.1	Q23DI 型电磁先导阀 (DN1.2~DN3)	355
			5.2.2.2	3V100 系列电磁换向阀 (M5~R <sub>c</sub> 1/8)	356
			5.2.3	气控换向阀	358

5.2.3.1	3A100 系列气控换向阀 (M5~R <sub>c</sub> 1/8) .....	358	5.5.1.1	QAF1000~5000 系列空气 过滤器 (M5~G1) .....	382
5.2.3.2	4A100 系列气控换向阀 (M5~R <sub>c</sub> 1/8) .....	360	5.5.1.2	QAFM3000~4000 油雾分离器 (G1/4~G1/2) .....	384
5.2.3.3	3KA2 系列 5 通气控阀 (M5~R <sub>c</sub> 1/8) .....	361	5.5.1.3	QAFD3000~4000 系列微雾 分离器 (G1/4~G1/2) .....	385
5.2.3.4	3KA3 系列 5 通气控阀 (R <sub>c</sub> 1/8~R <sub>c</sub> 1/4) .....	362	5.5.1.4	QAMG3000~4000 系列水 滴分离器 (G1/4~G1/2) .....	386
5.2.3.5	3KA4 系列 5 通气控阀 (R <sub>c</sub> 1/8~R <sub>c</sub> 3/8) .....	363	5.5.1.5	QSLA 系列空气过滤器 (DN3~DN15) .....	387
5.2.4	手控、机控换向阀 .....	365	5.5.2	油雾器 .....	388
5.2.4.1	$\frac{2}{3}$ 4R8 系列四通手动转阀 (G1/8~G3/4) .....	365	5.5.2.1	QAL1000~5000 系列空气 油雾器 (M5~G1) .....	388
5.2.4.2	S3 系列机械阀 (M5~R <sub>c</sub> 1/4) .....	367	5.5.2.2	QYWA 系列油雾器 (DN3~DN15) .....	390
5.2.5	单向阀 .....	369	5.5.3	过滤减压阀 .....	391
5.2.5.1	KA 系列单向阀 (DN3~DN25) .....	369	5.5.3.1	QAW1000~4000 系列空气 过滤减压阀 (M5~G3/4) .....	391
5.2.5.2	KAB 系列可控型单向阀 (DN8~DN25) .....	370	5.5.3.2	QFLJB 系列空气过滤减压阀 (DN8~DN25) .....	393
5.2.6	其他方向控制阀 .....	371	5.5.4	过滤器、减压阀、油雾器三联件 (二联件) .....	394
5.2.6.1	QS 系列梭阀 (DN3~DN25) .....	371	5.5.4.1	QAC1000~5000 系列空气过 滤组合 (M5~G1) .....	394
5.2.6.2	KP 系列快速排气阀 (DN3~DN25) .....	372	5.5.4.2	QFLJWA 系列三联件 (DN3~DN25) .....	397
5.2.6.3	KSY 系列双压阀 (DN3~DN15) .....	372	<b>第 6 章 相关技术标准及资料</b>		
5.2.6.4	XQ 系列二位三通、二位五 通气控延时换向阀 (G1/8~G1/4) .....	373	6.1	气动相关技术标准 .....	399
5.3	流量控制阀 .....	374	6.2	IP 防护等级 .....	405
5.3.1	QLA 系列单向节流阀 (DN3~DN25) .....	374	6.3	关于净化车间及相关受控环境空气 等级标准及说明 .....	406
5.3.2	ASC 系列单向节流阀 (R <sub>c</sub> 1/8~R <sub>c</sub> 1/2) .....	376	6.4	关于静电的标准及说明 .....	409
5.4	压力控制阀 .....	377	6.5	关于防爆的标准及说明 .....	412
5.4.1	减压阀 .....	377	6.5.1	目前的标准 .....	412
5.4.1.1	QAR1000~5000 系列空气 减压阀 (M5~G1) .....	377	6.5.2	关于“爆炸性气体环境用电气设备 第 1 部分:通用要求”简介 .....	412
5.4.1.2	QTYA 系列空气减压阀 (DN3~DN15) .....	380	6.5.3	关于“爆炸性气体环境用电气设备 第 14 部分:危险场所分类” 简介 .....	418
5.4.1.3	QPJM2000 系列精密减压阀 (G1/4) .....	381	6.6	食品包装行业相关标准及说明 .....	423
5.4.2	顺序阀 .....	382	6.7	用于电子显像管及喷漆行业的不含铜 及聚四氟乙烯的产品 .....	427
5.5	气动管路设备 .....	382	<b>参考文献</b> .....		
5.5.1	空气过滤器 .....	382			

# 气压传动与控制设计

主 编 包 钢 杨庆俊  
撰 稿 包 钢 杨庆俊 向 东  
审 稿 熊 伟





# 第1章 气压传动技术基础

## 1.1 气动系统的特点及构成

气压传动与控制技术简称气动技术,是指以压缩空气为工作介质来进行能量与信号的传递,实现生产过程机械化、自动化的一门技术,它是流体传动与控制学科的一个重要组成部分。从广义上看,气动技术范畴,除空气压缩机、空气净化器、气动马达、各类控制阀及辅助装置以外,还包括真空发生装置、真空

执行元件以及各种气动工具等。

由于气动技术相对于机械传动、电传动及液压传动而言有许多突出优点,因而近年来发展十分迅速,现在气动技术结合了液压、机械、电气和电子技术的众多优点,并与它们相互补充,成为实现生产过程自动化的一个重要手段,在机械、冶金、纺织、食品、化工、交通运输、航空航天、国防建设等各个部门已得到广泛的应用。

表 1-1

气动技术的优缺点

优点	①无论从技术角度还是成本角度来看,气缸作为执行元件是完成直线运动的佳形式。如同用电动机来完成旋转运动一样,气缸作为线性驱动可在空间的任意位置组建它所需要的运动轨迹,运动速度可无级调节
	②工作介质是取之不尽、用之不竭的空气,空气本身无需花钱(但与电气和液压力相比产生气动能量的成本最高),排气处理简单,不污染环境,处理成本低
缺点	③空气的黏性小,流动阻力损失小,便于集中供气 and 远距离的输送(空压机房到车间各使用点);利用空气的可压缩性可储存能量;短时间释放以获得瞬时高速运动
	④气动系统的环境适应能力强,可在 $-40\sim+50^{\circ}\text{C}$ 的温度范围、潮湿、溅水和有灰尘的环境下可靠工作。纯气动控制具有防火、防爆的特点
	⑤对冲击载荷和过载载荷有较强的适应能力
	⑥气缸的推力在 $1.7\sim 48230\text{N}$ ,常规速度在 $50\sim 500\text{mm/s}$ 范围之内,标准气缸活塞可达到 $1500\text{mm/s}$ ,冲击气缸达到 $10\text{m/s}$ ,特殊状况的高速甚至可达 $32\text{m/s}$ 。气缸的低速平稳目前可达 $3\text{mm/s}$ ,如与液压阻尼缸组合使用,气缸的最低速度可达 $0.5\text{mm/s}$
	⑦气动元件可靠性高、使用寿命长。阀的寿命大于3000万次,高的可达1亿次以上;气缸的寿命在5000km以上,高的可超过10000km
	⑧气动技术在与其它学科技术(计算机、电子、通信、仿生、传感、机械等)结合时有良好的相容性和互补性,如工控机、气动伺服定位系统、现场总线、以太网AS-i、仿生气动肌腱、模块化的气动机械手等
缺点	(1)由于空气具有压缩性,气缸的动作速度易受载荷的变化而变化。采用气液联动方式可以克服这一缺陷
	(2)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
	(3)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

表 1-2

气动、液压、电气和机械四种传动与控制的比较

传动方式	气 动	液 压	电 气	机 械
能量的产生和取用	(1)有静止的空压机房(站)或可移动的空压机 (2)可根据所需压力和容量来选择压缩机的类型 (3)用于压缩机的空气取之不尽	(1)有静止的液压泵站或可移动的液压泵站 (2)可根据所需压力和容量来选择泵的类型	主要是水力、火力和核能发电站	靠其他原动机实现
能量的储存	(1)可储存大量的能量,而且是相对经济的储存方式 (2)储存的能量可以作驱动甚至作高速驱动的补充能源	(1)能量的储存能力有限,需要压缩气体作为辅助介质,储存少量能量时比较经济 (2)储存的能量可以作驱动甚至作高速驱动的补充能源	(1)能量储存很困难,而且很复杂 (2)电池、蓄电池能量很小,但携带方便	靠飞轮等可以存储部分能量
能量的输送	通过管道输送较容易,输送距离可达1000m,但有压力损失	可通过管道输送,输送距离可达1000m,但有压力损失	很容易实现远距离的能量传送	近距离、当地实现能量传送
能量的成本	与液压、电气相比,产生气动能量的成本最高(空压机效率低)	介于气动和电气之间	成本最低	视原动机而定

续表

传动方式	气 动	液 压	电 气	机 械
泄漏	(1)能量的损失 (2)压缩空气可以排放在空气中,一般无危害	(1)能量的损失 (2)液压油的泄漏会造成危险事故并污染环境	与其他导电体接触时,会有能量损失,此时碰到高压有致命危险并可能造成重大事故	无
环境的影响	(1)压缩空气对温度变化不敏感,一般无隔离保护措施, $-40 \sim +80^{\circ}\text{C}$ (高温气缸 $+150^{\circ}\text{C}$ ) (2)无着火和爆炸的危险 (3)湿度大时,空气中含水量较大,需过滤排水 (4)对环境有腐蚀作用的气缸或阀应采取保护措施,或用耐腐蚀材料制成气缸或阀 (5)有扰人的排气噪声,但可通过安装消声器大大降低排气噪声	(1)油液对温度敏感,油温升高时,黏度变小,易产生泄漏, $-20 \sim +80^{\circ}\text{C}$ (高温油缸 $+220^{\circ}\text{C}$ ) (2)泄漏的油易燃 (3)液压的介质是油,不受温度变化的影响 (4)对环境有腐蚀作用的油缸和阀应采取保护措施或采用耐蚀材料制成油缸或阀 (5)高压泵的噪声很大,且通过硬管传播	(1)当绝缘性能良好时,对温度变化不敏感 (2)在易燃、易爆区域应采用保护措施 (3)电子元件不能受潮 (4)在对环境有腐蚀作用的环境下,电气元件应采取隔离保护措施。就总体而言,电子元件的抗腐蚀性最差 (5)在较多电流线圈和接触电气频繁的开关中,有噪声和激励噪声,但可控制在车间范围内	有一定的噪声
防振	稍加措施,便能防振	稍加措施,便能防振	电气的抗振性能较弱,防振也较麻烦	可防振
元件的结构	气动元件结构最简单	液压元件结构比气动稍复杂(表现在制造加工精度)	电气元件最为复杂(主要表现在更新换代)	稍复杂
与其他技术的相容性	气动能与其他相关技术相容,如电子计算机、通信、传感、仿生、机械等	能与相关技术相容,比气动稍差一些	与许多相关技术相容	与许多相关技术相容
操作难易性	无需很多专业知识就能很好地操作	与气动相比,液压系统更复杂,高压时必须要考虑安全性,应严格控制泄漏和密封问题	(1)需要专业知识,有偶然事故和短路的危险 (2)错误的连接很容易损坏设备和控制系统	易于操作
推力	(1)由于工作压力低,所以推力范围窄,推力取决于工作压力和气缸缸径,当推力为 $1\text{N} \sim 50\text{kN}$ 时,采用气动技术最经济 (2)保持力(气缸停止不动时),无能量消耗	(1)因工作压力高,所以推力范围宽 (2)超载时的压力由溢流阀设定,因此保持力时也有能量消耗	(1)推力需通过机械传动转换来传递,因此效率低 (2)超载能力差,空载时能量消耗大	由小到大均可
力矩	(1)力矩范围小 (2)超载时可以达到停止不动,无危害 (3)空载时也消耗能量	(1)力矩范围大 (2)超载能力由溢流阀限定 (3)空载时也消耗能量	(1)力矩范围窄 (2)过载能力差	由小到大均可
无级调速	容易达到无级调速,但低速平稳调节不及液压	容易达到无级调速,低速也很容易控制	稍困难	困难
维护	气动维护简单方便	液压维护简单方便	比气动、液压要复杂,电气工程师要有一定技术背景	中等

续表

传动方式	气 动	液 压	电 气	机 械
驱动的控制 (直线、摆动和 旋转运动)	<p>(1)采用气缸可以很方便地实现直线运动,工作行程可达2000mm,具有较好的加速度和减速特性,速度约为10~1500mm/s,最高可达30m/s</p> <p>(2)使用叶片、齿轮齿条制成的气缸很容易实现摆动运动。摆动角度最大可达360°</p> <p>(3)采用各种类型气动马达可很容易实现旋转运动,实现反转方便</p>	<p>(1)采用液压力缸可以很方便地实现直线运动,低速也很容易控制</p> <p>(2)采用液压力缸或摆动执行元件可很容易地实现摆动运动。摆动角度可达360°或更大</p> <p>(3)采用各种类型的液压马达可很容易地实现旋转运动。与气动马达相比,液压马达转速范围窄,但在低速运行时很容易控制</p>	<p>(1)采用电流线圈或直线电动机仅做短距离直线移动,但通过机械机构可将旋转运动变为直线运动</p> <p>(2)需通过机械机构将旋转运动转化为摆动气缸</p> <p>(3)对旋转运动而言,其效率最高</p>	可实现摆动、直线、旋转等运动

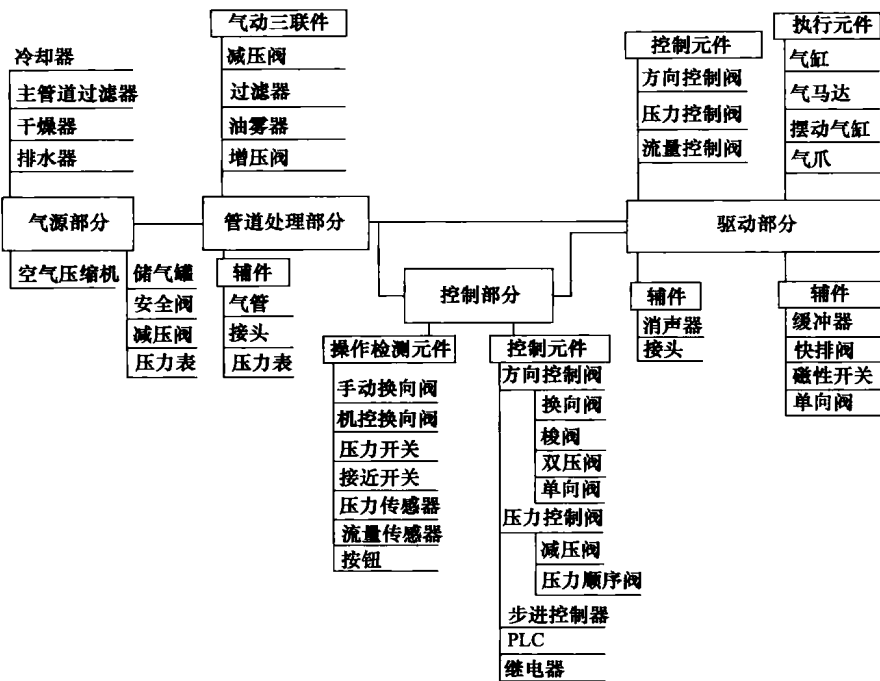


图 1-1 气动系统的构成

表 1-3

气动系统的构成

气动系统按功能可分为气源部分、管道处理部分、驱动部分及控制部分四个部分	
气源部分	气源部分是产生气动系统所需要的清洁压缩空气的设备。主要以空气压缩机产生的压缩空气存入储气罐为开始,安全阀、减压阀和压力表为安全保障,经过冷却、过滤、干燥和排水等过程为气动系统提供相对纯净的压缩空气
管道处理部分	管道处理部分完成设备级压缩气体的过滤、减压、增压及增加油雾以供润滑等功能。主要由气动三联件、增压阀及接头、压力表等组成
驱动部分	驱动部分作为气动系统的核心部分,实现气动系统中执行机构的操作。主要包含控制元件、执行元件及其相应辅件。控制元件由方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀等组成;执行元件包含气缸、气马达、摆动气缸和气爪等
控制部分	控制部分完成气动系统的逻辑功能及信号的检测、输入及输出。可由电气系统构成,如 PLC 和继电器等;也可由方向控制阀、压力控制阀及气动步进控制器等气动元件构成。由手动换向阀、机控换向阀、接近开关及传感器等实现信号的检测和输入



## 1.2 空气的性质

表 1-4

空气的性质

名称	符号	含义、公式、数据	符号意义																																										
空气的物理性质																																													
压力	$p$	<p>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为气体的压力,用 <math>p</math> 表示</p> <p>工程上有两种计压方法:以绝对真空为计压起点所计压力称为绝对压力,以 <math>p_{\text{abs}}</math> 表示;以“大气压力”为计压起点所计压力称为表压力。压力表所测得的压力就是表压力,用符号 <math>p_g</math> 表示。设“大气压”为 <math>p_a</math>,则</p> $p_{\text{abs}} = p_g + p_a$ <p>由海平面到高度为 <math>z</math> 时的标准大气可由下式表示。其中, <math>t</math>、<math>p</math> 以及 <math>\rho</math> 分别为空气的温度<math>^{\circ}\text{C}</math>、压力及密度,下标 0 表示海平面时所对应的值</p> $t_0 = 15^{\circ}\text{C}, p_0 = 101.3\text{kPa} = 760\text{mmHg} = 1.033\text{kgf/cm}^2, \rho_0 = 1.225\text{kg/m}^3.$ <p style="text-align: center;"><math>z &lt; 11\text{km}</math> 时(对流层)</p> $t = t_0 - 6.5z$ $\left. \begin{aligned} p/p_0 &= (1 - 0.02257z)^{5.256} \\ \rho/\rho_0 &= (1 - 0.02257z)^{4.256} \end{aligned} \right\} \quad (\text{a})$ <p style="text-align: center;"><math>z &gt; 11\text{km}</math> 时(平流层)</p> $t = -56.5$ $\left. \begin{aligned} p/p_0 &= 1.262e^{-0.1578z} \\ \rho/\rho_0 &= 1.684e^{-0.1578z} \end{aligned} \right\} \quad (\text{b})$ <p style="text-align: center;">各种压力单位的换算关系</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>帕 Pa</th> <th>巴 bar</th> <th>标准大气压 atm</th> <th>千克力/厘米<sup>2</sup> kgf/cm<sup>2</sup></th> <th>米水柱 mH<sub>2</sub>O</th> <th>毫米汞柱 mmHg</th> <th>磅力/英寸<sup>2</sup> lbf/in<sup>2</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>10<sup>-5</sup></td> <td>0.99 × 10<sup>-5</sup></td> <td>1.02 × 10<sup>-5</sup></td> <td>10.2 × 10<sup>-5</sup></td> <td>75 × 10<sup>-4</sup></td> <td>14.5 × 10<sup>-5</sup></td> </tr> <tr> <td>10<sup>5</sup></td> <td>1</td> <td>0.986</td> <td>1.02</td> <td>10.2</td> <td>750.2</td> <td>14.5</td> </tr> <tr> <td>101325</td> <td>1.013</td> <td>1</td> <td>1.033</td> <td>10.33</td> <td>760</td> <td>14.7</td> </tr> <tr> <td>98070</td> <td>0.981</td> <td>0.968</td> <td>1</td> <td>10</td> <td>736</td> <td>14.22</td> </tr> <tr> <td>6894.8</td> <td>0.0689</td> <td>0.068</td> <td>0.07</td> <td>0.703</td> <td>51.71</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	帕 Pa	巴 bar	标准大气压 atm	千克力/厘米 <sup>2</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	米水柱 mH <sub>2</sub> O	毫米汞柱 mmHg	磅力/英寸 <sup>2</sup> lbf/in <sup>2</sup>	1	10 <sup>-5</sup>	0.99 × 10 <sup>-5</sup>	1.02 × 10 <sup>-5</sup>	10.2 × 10 <sup>-5</sup>	75 × 10 <sup>-4</sup>	14.5 × 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>5</sup>	1	0.986	1.02	10.2	750.2	14.5	101325	1.013	1	1.033	10.33	760	14.7	98070	0.981	0.968	1	10	736	14.22	6894.8	0.0689	0.068	0.07	0.703	51.71	1	<p>国际单位制中,压力单位为 Pa, 1Pa=1N/m<sup>2</sup></p> <p>工程计算中,为简化计算,常取 <math>p_a = 0.1\text{MPa}</math></p>
		帕 Pa	巴 bar	标准大气压 atm	千克力/厘米 <sup>2</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	米水柱 mH <sub>2</sub> O	毫米汞柱 mmHg	磅力/英寸 <sup>2</sup> lbf/in <sup>2</sup>																																					
1	10 <sup>-5</sup>	0.99 × 10 <sup>-5</sup>	1.02 × 10 <sup>-5</sup>	10.2 × 10 <sup>-5</sup>	75 × 10 <sup>-4</sup>	14.5 × 10 <sup>-5</sup>																																							
10 <sup>5</sup>	1	0.986	1.02	10.2	750.2	14.5																																							
101325	1.013	1	1.033	10.33	760	14.7																																							
98070	0.981	0.968	1	10	736	14.22																																							
6894.8	0.0689	0.068	0.07	0.703	51.71	1																																							
密度或 比重	$\rho$ 或 $v$	<p>单位体积空气所具有的质量称为密度</p> $\rho = \frac{M}{V} = \frac{1}{v} \quad (\text{kg/m}^3)$ <p>单位质量气体所占的体积称为比容</p> $v = \frac{V}{M} = \frac{1}{\rho} \quad (\text{m}^3/\text{kg})$ <p>空气的密度与其所处的状态有关</p> <p>对于干空气</p> $\rho = 3.482 \times 10^{-3} p/T \quad (\text{kg/m}^3)$ <p>对于湿空气</p> $\rho = 3.482 \times 10^{-3} (p - 0.378\varphi p_b)/T \quad (\text{kg/m}^3)$	<p><math>M</math>——均质气体的质量,kg</p> <p><math>V</math>——均质气体的体积,m<sup>3</sup></p> <p><math>p</math>——空气的绝对压力,Pa</p> <p><math>T</math>——空气的热力学温度,K</p> <p><math>\varphi</math>——相对湿度,%</p> <p><math>p_b</math>——湿度为 273K 时饱和水蒸气分压力,Pa</p>																																										
温度	$t$ 或 $T$	<p>表示气体分子热运动动能的统计平均值称为气体的温度。国际上常用两种温标</p> <p>(1)摄氏温度 这是热力学百分度温标,规定在标准大气压下纯水的凝固点是 0<math>^{\circ}\text{C}</math>,沸点是 100<math>^{\circ}\text{C}</math></p> <p>(2)热力学温度 热力学温度的间隔与摄氏温度相同</p> $T = 273 + t \quad (\text{K})$	<p><math>t</math>——摄氏温度,<math>^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>T</math>——热力学温度,K</p>																																										