



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 气液动控制技术

孙 兵 / 主 编  
朱龙彪 / 主 审

 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专机电类教材系列

# 气液动控制技术

孙 兵 主编

朱龙彪 主审

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书根据高职机电类专业教学要求编写,主要内容包括气液压传动的特点与系统结构组成,气液压传动中主要执行和控制元件的工作原理和使用方法,电子气动控制技术的分类、设计原理与开发方法,气动机器人与气动伺服技术,气液自动化仿真技术分类、使用及开发方法,气液动系统及其控制技术的应用实例分析等。每章均有一定数量的思考练习题。本书内容新颖、实用,并具有较强的针对性。

本书可作为高职机电一体化、新型纺织机电技术、机电设备维修与管理、机械设计制造及自动化以及电气自动控制等专业的教材,也可供相关专业技术培训班使用,还可供从事相关专业开发与设计的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

气液动控制技术 / 孙兵主编. —北京: 科学出版社, 2008  
(普通高等教育“十一五”国家级规划教材·高职高专机电类教材系列)  
ISBN 978-7-03-021449-2

I. 气… II. 孙… III. ①气体-液体流动-控制-高等学校-教材  
②气动技术-高等学校-教材 IV. O359 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 038891 号

责任编辑: 何舒氏 / 责任校对: 赵 燕  
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2008 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16  
2008 年 5 月第一次印刷 印张: 18 1/4  
印数: 1—3 000 字数: 435 000

定价: 29.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137154 (VT03)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

# 前 言

本书根据教育部有关高职高专教育机电类专业人才培养规格和课程体系改革与建设的基本要求、江苏省教育厅“新型纺织机电技术”省级特色专业建设的要求，结合作者多年从事机电类专业课程教学经验编写而成，可作为机电一体化技术、新型纺织机电技术、机械设计制造及自动化等机电类、机械类、近机类专业教学用书，也可供相关专业技术人员参考。

目前，气液动技术发展较快，应用领域日益广泛，在众多机电一体化设备中广泛使用。特别是近年来随着计算机技术的迅猛发展，气液动自动化控制技术日益先进、日益成熟，利用气液动自动化控制技术实现生产过程自动化，已成为工业自动化的一种重要技术手段。大力开展气液动技术，尤其是气动自动化技术在纺织设备（如清棉机、并条机、粗纱机、细纱机、整经机、浆纱机、喷气织机等）、机电设备（如自动生产线、数控机床、工业机器人等）中的应用教学对培养面向生产一线的机电技术人才十分重要，广大纺织企业和机电企业也十分需要懂得这类技术的复合型人才。然而，目前有关气液动自动化控制技术的高职教材不多，一般的液压与气动教材大多以液压技术为主，气动技术所占比例较少，且多为只介绍气动元器件及一般的阀控气动回路，极少介绍或根本没有与生产实际相结合的采用计算机控制的气动自动化技术及其应用实例。

因此，我们充分利用现有的实验实训条件，结合近年来取得的相关科研成果，在多年从事气液动技术教学和科研的基础上编写了这本具有实用价值和专业特色，并能反映气动控制技术最新发展的新教材。

本书的特点如下：

1. 在系统介绍气液动元件、气液动控制技术的同时，本教材内容上以气动技术为主，侧重于将气动控制、继电器控制、PLC控制与气动伺服控制技术相结合，突出气动自动化系统及其应用与实践。

2. 以培养工程技术应用性人才为目标，内容上贯彻基本理论以“必需、够用”为度的原则，删减了理论性较强的内容，突出了实用性强的特点。

3. 充分反映目前气动技术的最新发展与成果，使学生对气动自动化控制技术有较为全面和深入的认识。

4. 内容设置上适合采用多种方法和手段（如课堂教学、实训教学、现场教学等）

开展教学。

5. 密切联系生产实际,集中介绍气液动控制技术在纺织、制造以及其他机电设备中的应用,涉及面广,针对性强。

本教材参考学时数为48学时,各章的参考学时分配如下:

第1章 绪论	2学时
第2章 气源系统与气动执行元件	4学时
第3章 气动控制元件	4学时
第4章 气动控制技术	20学时
第5章 气动机器人与气动伺服技术	4学时
第6章 液压传动及其控制技术	6学时
第7章 气液动自动化仿真技术	4学时
第8章 气液动系统应用实例分析	4学时

参加本书编写的有:南通纺织职业技术学院孙兵(第1章第3~4节、第4章第2~8节、第5章、第7章、第8章第1~6节)、鲍燕伟(第1章第1~2节、第2章、第3章、第4章第1节)、孙凤鸣(第6章、第8章第7~8节),孙兵负责全书的总纂和统稿。

在本书的编写过程中,除了引入南通纺织职业技术学院自身的科研成果外,我们还参考和借鉴了国内外众多专家和学者的著述或研究成果,在此表示深深的谢忱!

南通大学朱龙彪教授主审本书时提出了许多宝贵的修改意见,在此作者向他表示衷心的感谢!

南通纺织职业技术学院邓海龙、赵斌、周琪甦对本书的撰写也提出了宝贵的建议,在此作者一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,缺点和不足在所难免,敬请读者批评指正。

# 目 录

## 前言

第 1 章 绪论	1
1.1 气动系统的基本结构与组成	1
1.1.1 气压传动系统的工作原理	1
1.1.2 气压传动系统的基本组成	1
1.1.3 气压传动系统的压力概念	2
1.2 液压传动的特点与系统组成	3
1.2.1 液压传动的特点	3
1.2.2 液压传动系统组成	3
1.3 气液压传动的应用	4
1.3.1 气液压传动的优缺点	4
1.3.2 气液压传动的应用	5
1.4 气液动自动化控制技术	5
1.4.1 采用气液动自动化的经济效果	6
1.4.2 气动自动化控制技术的特点	7
1.4.3 气动自动化系统的发展趋势	7
思考练习题	8
第 2 章 气源系统与气动执行元件	9
2.1 气源系统	9
2.1.1 气动系统对压缩空气品质的要求	9
2.1.2 气源系统的组成和布置	10
2.1.3 空气压缩机	10
2.1.4 冷却器	12
2.1.5 油水分离器	13
2.1.6 贮气罐	13
2.1.7 干燥器	14
2.1.8 辅助元件	14

2.2 气缸	23
2.2.1 分类	23
2.2.2 普通气缸	24
2.2.3 标准气缸	26
2.2.4 变型气缸	29
2.2.5 摆动气缸	33
2.2.6 无杆气缸	34
2.3 气马达	35
2.3.1 叶片式气马达	36
2.3.2 齿轮式气马达	36
2.4 气缸的选择与使用	36
2.4.1 气缸的选择	36
2.4.2 在特殊环境下工作的气缸选择	37
2.4.3 安全规范	37
2.4.4 工作环境	37
2.4.5 安装操作注意事项	38
2.4.6 维护保养	38
思考练习题	39
<b>第3章 气动控制元件</b>	<b>40</b>
3.1 压力控制阀	40
3.1.1 减压阀	40
3.1.2 顺序阀	43
3.1.3 安全阀	44
3.2 流量控制阀	45
3.2.1 节流阀和单向节流阀	45
3.2.2 排气节流阀	46
3.2.3 柔性节流阀	47
3.2.4 选择与使用	47
3.3 方向控制阀	47
3.3.1 方向控制阀的分类	47
3.3.2 单向型方向控制阀	49
3.3.3 换向型方向控制阀	51
3.4 阀岛	54
思考练习题	57
<b>第4章 气动控制技术</b>	<b>58</b>
4.1 气动基本回路	58
4.1.1 压力控制回路	58

4.1.2	速度控制回路	60
4.1.3	方向控制回路	62
4.1.4	安全保护回路	62
4.1.5	逻辑控制回路	64
4.1.6	同步回路	65
4.2	电子气动控制的基本知识	66
4.2.1	常用控制继电器	66
4.2.2	位置检测及行程控制	68
4.3	继电器气动控制技术	71
4.3.1	基本电气回路	72
4.3.2	经验法设计继电器气动控制回路	75
4.3.3	步进法设计继电器气动控制回路	80
4.4	PLC 气动控制技术	90
4.4.1	PLC 系统组成与工作原理	90
4.4.2	PLC 控制系统设计步骤	96
4.4.3	PLC 在气动控制中的应用	99
4.5	电子气动控制系统实例分析	103
4.5.1	气动物料分拣装置结构组成	103
4.5.2	物料分拣装置气动系统	104
4.5.3	基于继电器的气动物料分拣控制系统	104
4.5.4	基于 PLC 的气动物料分拣控制系统	105
4.6	气动自动化综合系统及应用	108
4.6.1	概述	108
4.6.2	上料检测站（第一站）	113
4.6.3	搬运站（第二站）	114
4.6.4	加工站（第三站）	116
4.6.5	安装站（第四站）	116
4.6.6	安装搬运站（第五站）	121
4.6.7	分类站（第六站）	123
4.7	现场总线技术在气动自动化系统中的应用	126
4.7.1	现场总线技术简介	126
4.7.2	CC-Link 总线	129
4.7.3	CC-Link 总线在气动自动化系统中的应用	132
4.8	触摸屏及组态软件在气动自动化系统中的应用	136
4.8.1	触摸屏技术在气动自动化系统中的应用	136
4.8.2	组态软件在气动自动化系统中的应用	139
	思考练习题	148



<b>第 5 章 气动机器人与气动伺服技术</b> .....	150
5.1 气动机器人（机械手）的模块化和集成化.....	150
5.1.1 机器人与机械手的定义.....	150
5.1.2 气动机器人（机械手）的发展.....	151
5.1.3 智能阀岛.....	154
5.1.4 气动机器人与气动机械手的模块化拼装.....	158
5.2 常用模块化气动机械手.....	159
5.2.1 立柱型气动机械手.....	159
5.2.2 门架型气动机械手.....	160
5.2.3 滑块型气动机械手.....	160
5.2.4 模块化连接方式.....	161
5.3 气动比例伺服控制阀.....	164
5.3.1 分类.....	165
5.3.2 比例伺服控制阀的构成.....	165
5.3.3 气动比例伺服控制阀的类型.....	166
5.4 气动伺服定位系统.....	169
5.4.1 气动伺服定位系统的成套化.....	169
5.4.2 气动伺服定位系统实际组成.....	170
5.4.3 气动伺服定位系统应用实例.....	172
5.5 气动机器人（机械手）应用实例.....	175
5.5.1 简单气动机械手的 PLC 控制.....	175
5.5.2 具有气动伺服控制功能的电-气混合驱动机械手.....	177
5.5.3 气动肌肉驱动的机械手.....	182
思考练习题.....	191
<b>第 6 章 液压传动及其控制技术</b> .....	192
6.1 液压油.....	192
6.1.1 液压油的用途.....	192
6.1.2 液压油的种类.....	192
6.1.3 液压油的性质.....	193
6.1.4 液压油的污染与保养.....	193
6.2 液压泵与液压马达.....	194
6.2.1 齿轮泵.....	194
6.2.2 叶片泵.....	195
6.2.3 柱塞泵.....	196
6.2.4 液压马达.....	197
6.2.5 液压泵、液压马达的图形符号.....	197
6.3 液压缸.....	198

6.3.1	双出杆活塞缸	198
6.3.2	单出杆活塞缸	199
6.3.3	柱塞缸	199
6.3.4	液压缸的图形符号	200
6.4	液压阀	200
6.4.1	方向控制阀	200
6.4.2	压力控制阀	202
6.4.3	流量控制阀	205
6.4.4	电液比例控制阀	206
6.4.5	插装阀	207
6.5	常用回路	208
6.5.1	压力控制回路	208
6.5.2	换向回路	209
6.5.3	速度控制回路	210
6.5.4	多缸顺序动作回路	213
	思考练习题	215
<b>第 7 章</b>	<b>气液动自动化仿真技术</b>	<b>217</b>
7.1	气液动自动化仿真软件	217
7.1.1	气动自动化仿真软件	217
7.1.2	仿真软件应用实例	228
7.2	基于 PLC 控制的气动系统仿真技术	249
7.2.1	仿真系统硬件配置	250
7.2.2	仿真系统软件结构	250
7.2.3	仿真软件开发步骤	251
	思考练习题	256
<b>第 8 章</b>	<b>气液动系统应用实例分析</b>	<b>257</b>
8.1	机床气动系统	257
8.1.1	八轴仿形铣加工机床简介	257
8.1.2	气动控制回路的工作原理	258
8.1.3	气控回路的主要特点	259
8.2	清棉机气动系统	260
8.3	细纱机气动系统	262
8.3.1	理管机构气路	262
8.3.2	落纱机构气路	262
8.4	织机气动系统	264
8.5	气动自动冲饮线系统	267
8.5.1	气动自动冲饮线的工作原理及结构	267

8.5.2	气动系统工作原理	268
8.5.3	控制系统结构	269
8.5.4	软件设计方法	270
8.6	气动控制称量包装装置	270
8.6.1	工作原理	270
8.6.2	气动系统设计	271
8.6.3	PLC 硬件配置	273
8.6.4	PLC 软件程序设计	274
8.7	整经机气动与液压系统	275
8.7.1	整经机液压系统	275
8.7.2	整经机制动控制装置	276
8.8	SFJ-1 浆纱机液压系统	278
8.8.1	浆纱机液压驱动控制系统工作原理	279
8.8.2	浆纱机车头和浆槽液压控制系统工作原理	280
	思考练习题	281
	主要参考文献	282

气压传动和液压传动（简称气液压传动）技术分别是以压缩空气和液体为工作介质来传递动力和控制信号，控制和驱动各种机械和设备，以实现生产过程机械化、自动化的专门技术，是流体传动及控制学科的重要分支。气液压传动具有结构简单、机件重量轻、成本低、劳动强度小等特点，气压传动还具有防火、防爆、防电磁干扰，抗振动、冲击、辐射，无污染等优点，因此气液压传动与机械、电气和电子技术结合在一起，互相补充，已发展成为提高工作效率、实现生产过程自动化的重要手段，在机械工业、冶金工业、轻纺食品工业、建筑、化工、交通运输、航空航天、国防建设等多个部门得到了广泛的应用。

## 1.1 气动系统的基本结构与组成

### 1.1.1 气压传动系统的工作原理

气压传动系统的工作原理，是利用空气压缩机将电动机或其他原动机输出的机械能转变成空气的压缩能，然后在控制元件的控制下和其他辅助元件的配合下，通过执行元件把空气的压缩能转换为机械能，从而完成直线或回转运动并对外做功。

### 1.1.2 气压传动系统的基本组成

气动系统的基本工作过程包括：压缩空气的产生、压缩空气的传输、压缩空气的消耗（工作机）。典型的气压传动系统由气压发生装置、执行元件、控制元件和辅助元件四个部分组成，如图 1.1 所示。

#### 1. 气压发生装置

气压发生装置简称气源装置，是获得压缩空气的能源装置，其主体部分是空气压缩

机，另外还有气源净化设备。

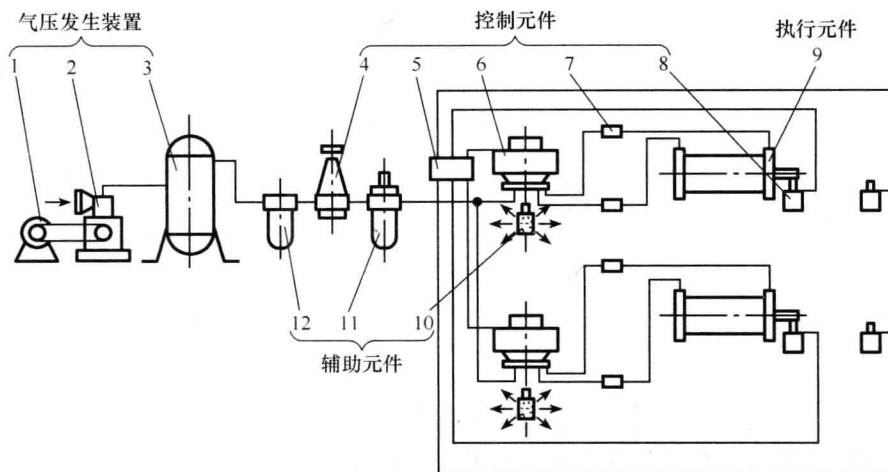


图 1.1 气动系统的组成示意图

1. 电动机；2. 空气压缩机；3. 储气罐；4. 压力控制阀；5. 逻辑元件；6. 方向控制阀；7. 流量控制阀；  
8. 机控阀；9. 气缸；10. 消声器；11. 油污器；12. 空气过滤器

空气压缩机将原动机供给的机械能转化为空气的压力能；而气源净化设备用以降低压缩空气的温度，除去压缩空气中的水分、油分以及污染杂质等。使用气动设备较多的厂矿常将气源装置集中在压气站（俗称空压站）内，由压气站再统一向备用气点、分厂、车间和用气设备等分配供应压缩空气。

## 2. 执行元件

执行元件是以压缩空气为工作介质，并将压缩空气的压力能转变为机械能的能量转换装置。它包括作直线往复运动的气缸，作连续回转运动的气马达和作不连续回转运动的摆动气缸等。

## 3. 控制元件

控制元件又称操纵、运算、检测元件，用来控制压缩空气流的压力、流量和流动方向等，以便使执行机构完成预定运动规律。它包括各种压力阀、方向阀、流量阀、逻辑元件、射流元件、行程阀、转换器和传感器等。

## 4. 辅助元件

辅助元件是使压缩空气净化、润滑、消声以及元件间连接所需要的一些装置。它包括分水滤气器、油雾器、消声器以及各种管路附件等。

### 1.1.3 气压传动系统的压力概念

压强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。在 ISO 标准中压强的单位为帕斯卡（ $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ ），由于这个单位非常小，为了阅

读和表达方便,常用 0.1MPa (1bar) 为气压单位,这个单位适合在工业中应用。

$$1\text{MPa}=10^3\text{kPa}=10^6\text{Pa}$$

$$0.1\text{MPa}=100\text{kPa}=1\text{bar}$$

在工程上有时也使用公制单位:  $\text{kgf}/\text{cm}^2$  (千克力每平方米)、atm (atmosphere, 大气压)、 $\text{lbf}/\text{in}^2$  (psi, 磅力每平方英寸) 等以满足实际需要。

与气压有关的几个概念如下:

- 1) 绝对压力: 相对于真空的压力。
- 2) 表压力: 高于大气压的那部分压力。
- 3) 真空度: 低于大气压的压力。
- 4) 标准大气压:  $1013\text{mbar} = 760\text{Torr}$  (1Torr 为 1mm 汞柱产生的压力)。

## 1.2 液压传动的特点与系统组成

### 1.2.1 液压传动的特点

气动系统中的能量传递介质为干燥的压缩空气, 液压传动中的能量传递介质则为液压油。液压系统相对于气动系统有如下特点:

1) 液压油黏度大, 能量传递过程中能量损失大, 故不能远距离传递。通常设备上要有独立的动力装置, 如液压泵等。

2) 通常液压系统的压力比气动系统高很多, 故较高压力的工作场合通常使用液压传动。而工作压力较低的工作场合可使用气动系统。

3) 液压油的压缩性较小, 使用中要防止空气混入。

4) 油液对污染敏感, 液压油中的杂质会引起系统故障, 另外液压油的外泄, 会对环境造成污染, 故液压系统要有良好的密闭环境。

### 1.2.2 液压传动系统组成

液压传动系统与气动系统类似, 也是由动力元件 (如油泵)、执行元件 (如油缸和油马达)、控制元件 (如液压阀)、辅助元件 (如油箱和滤油器) 等四部分组成。简单的液压系统如图 1.2 所示。

当电动机带动齿轮泵 3 运转时, 油箱 1 中的油液经滤油

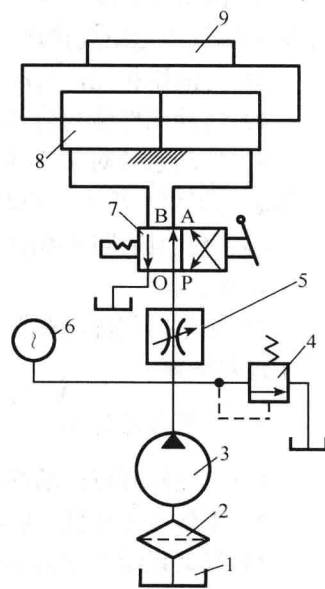


图 1.2 简单液压系统

1. 油箱; 2. 滤油器; 3. 齿轮泵;
4. 溢流阀; 5. 节流阀; 6. 压力表;
7. 换向阀; 8. 液压缸; 9. 工作台

器 2 被吸入。输出的压力油通过节流阀 5, 经换向阀 7 的 P、A 阀口进入液压缸 8 的右腔, 推动活塞带动工作台 9 向左移动, 缸 8 左腔的油液经 B、O 阀口流回油箱。通过手柄切换换向阀, 使滑阀向右移动, 这时, P 与 B、A 与 O 阀口接通, 泵输出的油液便经 P、B 阀口进入缸 8 左腔, 使工作台向右移动。缸 8 右腔油液经 A、O 阀口流回油箱。

调节节流阀 5, 可改变进入液压缸油液的流量, 以控制工作台的运动速度。

调节溢流阀 4, 可控制泵的出口压力。

## 1.3 气液压传动的应用

### 1.3.1 气液压传动的优缺点

#### 1. 气压传动的优点

1) 空气随处可取, 取之不尽, 节省了购买、贮存、运输介质的费用和麻烦, 用后的空气直接排入大气, 对环境无污染, 处理方便, 不必设置回收管路, 因而也不存在介质变质、补充与更换等问题。

2) 因空气黏度小 (约为液压油的万分之一), 在管内流动阻力小, 压力损失小, 便于集中供气和远距离输送。即使有泄漏, 也不会像液压油一样污染环境。

3) 与液压相比, 气动反应快, 动作迅速, 维护简单, 管路不易堵塞。

4) 气动元件结构简单、制造容易, 适于标准化、系列化、通用化。

5) 气动系统对工作环境适应性好, 特别在易燃、易爆、多尘埃、强磁、辐射、振动等恶劣工作环境中工作时, 安全可靠性能优于液压、电子和电气系统。

6) 空气具有可压缩性, 使气动系统能够实现过载自动保护, 也便于贮气罐贮存能量, 以备急需。

7) 排气时气体因膨胀而温度降低, 因而气动设备可以自动降温, 长期运行也不会发生过热现象。

#### 2. 气压传动的缺点

1) 空气具有可压缩性, 所以气缸的动作速度易受负载变化影响。

2) 工作压力较低 (0.4~0.8MPa), 因而气动系统输出力较小。

3) 气动系统有较大的排气噪声。

4) 工作介质空气本身没有润滑性, 需另加装置进行给油润滑。

#### 3. 液压传动的优点

1) 体积小、重量轻、结构紧凑。外形尺寸是同功率电机的 12%, 重量是同功率电

机的 10%~20%。

- 2) 可以实现无级调速。
- 3) 传递运动平稳、润滑好、寿命长。
- 4) 易于实现自动化。
- 5) 易于实现过载保护。
- 6) 传动简单。

#### 4. 液压传动的缺点

- 1) 有泄漏，效率低。
- 2) 油温变化时对传动性能有影响。
- 3) 制造精度要求高。
- 4) 故障不易查找。

### 1.3.2 气液压传动的应用

气液压传动在各领域中的应用见表 1.1。

表 1.1 气液压传动在各领域中的应用

应用领域	应用实例
工程机械	推土机、挖掘机、压路机
纺织机械	清棉机、并条机、粗纱机、细纱机、整经机、浆纱机中的气动加压装置、喷气织机中的喷气引纬、印花机
起重运输	汽车吊、叉车、港口龙门吊
矿山机械	凿岩机、提升机、液压支架
建筑机械	打桩机、平地机、液压千斤顶
农业机械	拖拉机、联合收割机
冶金机械	压力机、轧钢机
锻压机械	压力机、模锻机、空气锤
机械制造	组合机床、冲床、自动线、气动扳手
轻工机械	打包机、注塑机
汽车工业	汽车中的转向器、减振器、自卸汽车
智能机械	模拟驾驶舱、机器人

## 1.4 气液动自动化控制技术

气液动自动化控制技术是利用压缩空气/液体作为传递动力或信号的工作介质，配合气动和液压元件，与机械、电气、电子（包含 PLC 控制和微机控制）等部分或全部综合



构成的控制回路,使气液动元件按生产工艺要求的工作状况,自动根据设定的顺序或条件动作的一种自动化技术。用气液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,是一种低成本自动化技术。本书主要介绍气动自动化控制技术。

#### 1.4.1 采用气液动自动化的经济效果

所谓低成本自动化技术是指将人工操作改为自动化操作后,对于单位产品的投资较低,即降低了生产成本。一种情况是,在已有的人工操作基础上,投入少量资金,用标准规格的气液动元件或装置,将其改装成自动或半自动生产设备。另一种情况是,采用各种标准规格的气液动元件或装置重新设计并构成自动化系统,虽然前期的设备投资较大,但因生产效率提高,产量增加,因而每个产品的成本亦大为降低。无论何种情况,气液动自动化的快速、安全、可靠、低成本等特点已为现代工业生产所认识,并被广泛应用。因此,采用气液动自动化可以获得如下的经济效果:

- 1) 提高生产速度,增加产量,提高产品品质。
- 2) 减少产品的废品率,降低产品成本。
- 3) 提高管理的有效性。
- 4) 提高生产设备的利用率,提高材料的使用率,减少损耗。
- 5) 减轻对熟练技工的需求,减少员工的培训时间,节省费用。

为更好地发挥气液动自动化控制技术的作用,表 1.2 给出了各种控制方式的对比,便于系统设计时进行方案比较。

表 1.2 各种控制方式的比较

项 目	机 械 式	电 气 式	电 子 式	液 压 式	气 动 式
输出力	中等	中等	很小	很大 (达 10t 以上)	大 (约 3t 以下)
动作速度	低	很高	很高	稍高 (约 1m/s)	高 (约 17m/s)
信号响应	中等	很快	很快	快	慢
位置控制	很好	很好	很好	好	好
遥控	不好	很好	很好	很好	好
安装的限制	很大	小	小	小	小
速度控制	不好	很好	很好	很好	好
无级变速	不好	好	很好	很好	好
元件结构	普通	稍复杂	复杂	稍复杂	简单
动力源中断时	无法动作	无法动作	无法动作	附蓄能器时可动作	可动作
管线	无	比较简单	复杂	复杂	稍复杂
保养需求	高	中等	中等	中等	低
保养技术	简单	需要	特别需要	简单	简单
危险性	几乎没有	注意漏电	几乎没有	注意引火性	几乎没有
体积	大	中等	小	小	小