

微机气动控制技术

微机气动控制技术

刘 明 主 编
朱龙彪 副主编



出版社

南京大学出版社

TH138

L69

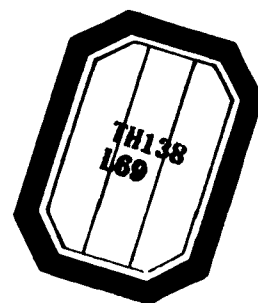
441995

微机气动控制技术

刘 明 主 编
朱龙彪 副主编



00441995



南京大学出版社

1996 · 南京

内 容 简 介

微机控制的气压传动和控制技术近年来在机械制造、冶金、化工、军工行业和轻工食品行业得到了较为广泛的应用,本书结合微机气动控制技术的特点,介绍了微机气动控制系统的主要组成部分的原理、结构,并介绍了已得到成功应用的微机气动控制系统的实例。

本书可作为机械电子工程专业、机械制造工艺及设备专业、机械设计及制造专业主要教学参考书,也可为机械制造、冶金、化工行业和轻工食品行业从事机电一体化技术工作的工程技术人员提供参考。

DY58/06



微机气动控制技术

刘 明 主编 朱龙彪 副主编

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内 邮政编码: 210093)

江苏省新华书店发行 南京京新印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 9.5 字数: 237 千

1996年9月第1版 1996年9月第1次印刷

印数: 1 2000

ISBN7-305-02005-1 TP·146

定价: 14.80 元

前 言

采用微机控制的气压传动和控制技术近年来在机械制造、冶金、化工、军工行业和轻工食品行业得到了较为广泛的应用，本书结合微机气动控制技术的特点，介绍了常用的气动元器件的原理、结构，基本气动控制回路，控制系统设计的基本原则，可编程序控制器的原理、编程，并介绍了得到成功应用的微机气动控制系统的实例。

本书可作为机械电子工程专业、机械制造工艺及设备专业、机械设计及制造专业“气压传动”或“气压传动及控制”课程的主要教学参考书，也可作为机械制造、冶金、化工行业和轻工食品行业从事机电一体化技术工作的工程技术人员提供参考。

此书由南通工学院测试控制教研室刘明担任主编，朱龙彪担任副主编。第一、二、五、八章由刘明编写；第三、四章由严晓照编写；第六、七章由朱龙彪编写。张远圻对全书进行了审阅，提出了许多宝贵意见。南通工学院测试控制教研室的其他同志对本书的编写工作给予了许多帮助和支持，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，欢迎读者提出批评指正。

编 者

1995 年 12 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 机电一体化技术的发展和微机气动控制技术的应用.....	1
一、气压传动和气动控制	1
二、机电一体化技术的发展和微机气动控制技术的兴起	1
三、微机气动控制技术的应用场合	2
第二节 学习和掌握好微机气动控制技术.....	2
第二章 气动系统与压缩空气	4
第一节 基本气动系统的构成.....	4
一、压缩空气生产系统	4
二、压缩空气消耗系统	5
第二节 压缩空气的理论.....	6
一、压力	6
二、气体的特性	7
三、流量	8
四、伯努利 (Bernoulli) 方程.....	8
五、空气的湿度	8
六、相对湿度	9
第三节 空气的压缩与输送.....	9
一、压缩机	9
二、空气的干燥	14
三、空气的输送	17
第四节 空气处理	24
一、过滤.....	24
二、空气的品质	26
三、压力调节	28
四、压缩空气的润滑	30
第三章 气动执行元件	33
第一节 直线型气缸	33
一、直线型气缸	33
二、专用气缸的选择	35
三、气缸的选择与安装	37

第二节 特殊类型的气缸	40
一、无活塞杆气缸	40
二、滑动单元	42
三、空心活塞杆气缸	42
四、气夹盘	42
五、回转式执行元件	42
第四章 控制阀	44
第一节 阀的功能与型式	44
一、阀的功能	44
二、阀的型式	44
三、阀的流量大小	49
第二节 阀的操作与安装	50
一、阀的操作	50
二、阀的安装	54
第三节 辅助阀	55
一、单向阀	55
二、单向节流阀（速度控制阀）	55
三、梭阀	56
四、快速排气阀	56
第五章 基本气动控制回路	58
第一节 基本功能	58
一、流量放大	58
二、信号切换	58
三、选择性	59
四、记忆功能	59
第二节 延时功能	60
一、延时 ON	60
二、延时 OFF	60
三、脉冲 ON	60
四、脉冲 OFF	61
第三节 气缸控制	62
一、手动控制	62
二、程序控制	66
第六章 可编程序控制器的基本原理	71
第一节 可编程序控制器概述	71
一、从继电器控制到可编程控制	71
二、可编程序控制器的特点	72
三、可编程序控制器与 MC 及继电器盘的区别	72
第二节 可编程序控制器的组成和基本工作原理	75

一、可编程序控制器的组成	75
二、可编程序控制器的基本工作原理	77
三、F 系列可编程序控制器简介	78
第三节 器件及其编号	83
一、输入继电器 (X)	83
二、输出继电器 (Y)	84
三、辅助继电器 (M)	84
四、移位寄存器 (M)	85
五、专用辅助继电器 (M)	85
六、定时器 (T)	86
七、计数器 (C)	87
第七章 程序设计	89
第一节 可编程序控制器的基本顺序指令	89
一、LD、LDI、OUT 指令	89
二、AND、ANI 指令	90
三、OR、ORI 指令	91
四、ORB 指令	92
五、ANB 指令	92
六、S、R 指令	93
七、PLS 指令	94
八、RST 指令	95
九、SFT 指令	96
十、MC、MCR 指令	98
十一、NOP 指令	99
十二、CJP、EJP 指令	100
十三、END 指令	103
第二节 可编程序控制器的程序编制	105
一、程序编制的基本步骤	105
二、梯形图作图基本规则	105
三、梯形图设计过程中的注意点	105
四、常用基本电路的编程	107
第三节 编程器的使用	108
一、编程器 F1-20P-E 使用说明	108
二、编程器面板布置 F1-20P-E 编程器	108
三、可编程序控制器 RAM 的清零	109
四、程序的写入	109
五、用步序读出程序	111
六、程序搜索	111
七、程序的修改、删除、插入	112

八、元素监控	113
第八章 微机气动控制系统应用实例	115
第一节 板式工件移置控制系统	115
一、机械结构与控制要求	115
二、输入/输出分配	116
三、程序设计与工作过程分析	116
第二节 移置机械手和步进工作台组成的自动装箱工作台	120
一、步进工作台及移置机械手	120
二、控制系统	122
三、构造组合式工件移置系统的设想	126
第三节 微机控制立体花色冰淇淋成型机	128
一、工艺方案分析	128
二、微机系统设计	129
三、气动系统设计	131
附录	135
一、图形符号	135
二、用于气动的 IS 单位制	143

第一章 绪 论

第一节 机电一体化技术的发展和微机气动控制技术的应用

一、气压传动和气动控制

气动技术是一门古老的技术，在生产高度发展的今天获得了新的发展，其发展的进程与人类的文明历史有着密切的联系。

早在 2000 多年以前，埃及人首先扬帆远航，逆尼罗河而行舟，直至 18 世纪中叶未发明蒸汽机以前，江河湖泊的水运交通，几乎都直接依靠风力。现在气动技术 (Pneumatics) 一词的词根，就是来源于古代希腊的“风吹”(Pneuma) 的意思。大约公元 640 年我国最先发明了水平转向的卧式风车，这是最早的风动机械应用于农业和灌溉，而欧洲人直至 1200 年左右才造出了立式风车，最早的简单空气压缩设备始于青铜器时代，当人们在遥远的古代发现了空气可以助燃后，制造了往复式风箱，用于冶炼。

18 世纪英国的工业革命促进了社会生产的发展。瓦特发明了单作用式蒸汽发动机，1842 年纳斯米士发明了蒸汽锤，1855 年发明了空气压缩机，1871 年开始在采矿业采用气动风镐。

1880 年美国乔治·威斯汀豪斯利用压缩空气可以快速驱动的特点，制造了机车的刹车装置，第一次显示了气压传动安全、可靠、简单和快速的优点，从而开创了现代气压传动技术应用的先河。

在早期的应用中，气压传动的主要目的是传递动力并作功，如冶金矿山的风动机械、机械行业的锻压机床、交通运输的刹车装置等。二战以后，由于各国科技发展和经济繁荣，迫切 need 提高生产机械化和自动化的水平，以提高劳动生产率，工业生产部门纷纷寻求高效、低耗、安全可靠又有较长使用寿命的自动化技术及相应的元件，气动控制技术就应运而生了，由于气动元件能适应上述几方面的要求，且元件本身可采用压铸、注塑等高效工艺大批生产，气动执行机构可适应空间各种复杂动作，促使气动控制技术在各行各业开始得到广泛的应用。在这一阶段，出现了采用继电接触控制的气动系统。

二、机电一体化技术的发展和微机气动控制技术的兴起

机电一体化技术是近十几年来国际上发展很快的高新技术，它已渗透到国民经济的各领

域，无论是国防工业还是民用工业，乃至人们的日常生活中，机电一体化技术都已得到了应用；采用机电一体化技术就是发挥以微机为核心的微电子技术优势，对于一般机械而言，可使机械结构简化且控制更为灵活、细致；对于采用气动元件作为执行机构的机械设备而言，较之采用继电接触控制更为可靠、方便，增加了柔性；微型计算机及以微机为核心的专用控制机的推广应用，使得构成微机气动控制系统成为可能，采用微机控制的便捷、灵活和可靠等优势与采用气压传动的简单、快速和安全的优势的相互结合，使得微机气动控制技术应运而生。微机气动控制技术是机电一体化技术的一个重要组成部分，由于它在机械手和工业机器人中的成功应用，使得这项技术的推广具有了良好而广阔的前景。

三、微机气动控制技术的应用场合

1. 在机械工业中，如加工中心机床和组合机床的控制、轴承的加工、零件的检测以及汽车生产线上已得到广泛的应用。
2. 在冶金工业中，金属的冶炼、烧结、冷轧、热轧及打捆包装等自动机械中已有大量应用。
3. 在轻工、纺织、食品工业中，缝纫机、自行车、手表、电视机、纺织机械、洗衣机及食品加工等生产线上已得到广泛应用。
4. 在化工、军工工业中，对于化工原料的输送、有害液体的灌装、炸药的包装及石油钻采等设备上已有大量应用；因气动除能承受辐射、高温外还能承受大的加速度，所以在火箭、导弹的控制装置中得到了广泛的应用。

第二节 学习和掌握好微机气动控制技术

在传统的气动技术教科书中，较多地介绍了气压传动以及采用机控阀和气控阀组成的气动控制回路，也涉及到一些较为复杂的回路的设计，介绍的回路设计中采用消除障碍的方法较为详尽和全面。而在本书中，把微机气动控制技术在系统设计中的应用作为介绍的重点，基本内容分为两个方面。一方面，结合微机气动控制技术的特点介绍气动的一些基本概念、常用元件和基本回路；另一方面，介绍了应用较为普遍的可编程序控制器的基本原理、器件、指令和编程方法。在应用实例中，侧重于从系统设计的角度，从机电一体化设备的要求出发，介绍微机气动控制系统的设计方法。

学习和掌握微机气动控制技术，对于机械电子工程专业、机械制造工艺及设备专业和机械设计制造专业的学员来说，已基本具备了机和电两方面的基础知识，如果我们把气动的知识摆在“机”的范畴，则学习和掌握微机气动控制技术的一个非常重要的方面就是如何解决好机、电有机结合的问题，解决问题的关键就是要确立“系统”的观点，机电一体化设备本身是一个系统，微机气动控制系统是设备的一个子系统，在微机气动控制系统中，微机系统和气动系统又分别是它的子系统，这当中，微机系统的功能是控制，而气动系统的功能是控制和执行兼而有之；就控制功能而言，两个子系统存在部分的功能交叠，就执行功能而言，气动系统与设备本身的另一个子系统——执行机构也存在部分的功能交叠，能否恰当

地界定微机系统和气动系统的功能，就在于我们能否正确地把握设备这个系统的目标，也是微机气动控制系统设计成败的关键所在！

在微机气动控制系统中，微机系统本身的构成也有多样的选择，如可以采用 MCS-51 系列的工控机，也可以采用各类可编程序控制器。在工业控制中，基本的被控制量不外乎两种：开关量和模拟量（以前者为最普遍），其基本控制功能不外乎时间、计数和逻辑功能（包括顺序控制、主令控制、移位寄存等），以及模拟量的 PID 调节或其他数学运算功能等。工业控制系统的用户所需要的并非真正“万能”的，可完成科学计算、文字处理和商业管理的计算机，而仅仅是“万能”的工业控制装置。因此，融合了常规逻辑控制概念和现代微机技术的可编程序控制器便脱颖而出，并以其软、硬件的模块化结构来充分满足用户的各种可能的要求。目前，可编程序控制器已经并且不断地吸取其他工控机的长处，例如分布或递阶网络系统结构、通讯和图形功能等，其他机型也在吸取它的长处，如模块化结构、梯形图编程语言等等，互相都在竞争和学习中迅速发展。从长远看，可编程序控制器与其他工控机的界限将越来越不明显，以至消失。本书准备在知识中，重点介绍了使用较为普遍的 F 系列可编程序控制器，在应用实例的介绍中，有关于可编程序控制器应用的内容，也有采用 MCS-51 工控机的实例，以便于读者熟悉各类系统的构成。

需要着重提出的是，设计和研制微机气动控制系统，不仅要有微机、气动以及如何构成系统的知识，熟悉和掌握控制对象的工艺流程是必不可少的一个重要环节，不懂工艺，谈何控制！

学习和掌握微机气动控制技术，是一个实践的过程，读者要在掌握基本内容的基础上，通过不断的实践，丰富自己的知识和经验。

第二章 气动系统与压缩空气

第一节 基本气动系统的构成

直线型气缸、回转执行元件、气马达是大多数气压传动和气动控制系统中常用的执行元件。

操作和控制这些执行元件，还需要其他的气动元件，即：使用空气处理元件去净化压缩空气，使用一些气阀或方向阀去控制执行元件的压力、流量及方向。

基本的气动系统的构成如图 2-1 所示，它有两个主要的部分：

- (a) 压缩空气的生产和输送系统；
- (b) 压缩空气消耗系统。

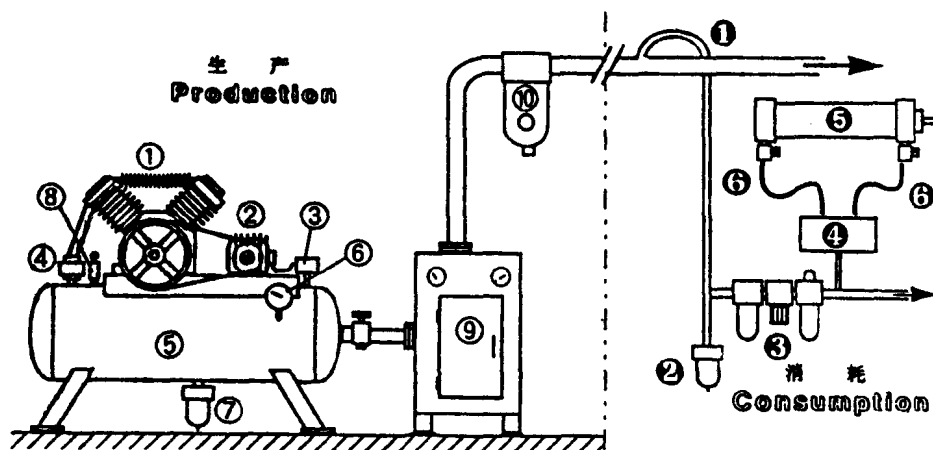


图 2-1 基本的气动系统

一、压缩空气生产系统

各元件及其主要功能如下：

- 1. 压缩机

将大气压力的空气压缩并以较高的压力输给气动系统，这样就把机械能转化为气压能。

2. 电动机

把电能转变成机械能并提供给压缩机。

3. 压力开关

用储气罐内的压力来控制电动机。达到调定的最高压力，电动机就停止转动，而当储气罐内的压力跌到调定的最低压力时就重新启动电动机。

4. 单向阀

让压缩空气从压缩机进入气罐，当压缩机关闭时，阻止压缩空气反方向流动。

5. 储气罐

贮存压缩空气，它的尺寸大小由压缩机的容量来决定，储气罐的容积愈大，压缩机运行时间间隔就愈长。

6. 压力表

显示储气罐内的压力。

7. 自动排水器

无需人手操作，排掉凝结在储气罐内所有的水。

8. 安全阀

当储气罐内的压力超过允许限度，可将压缩空气排出。

9. 冷冻式空气干燥器

包括了后冷却器和空气干燥部分，将压缩空气制冷到零下若干度，使大部分空气中的湿气凝结，这就避免了水份进入后面的系统。

10. 主管道过滤器

在主要管路中，主管道过滤器必须具有油雾分离能力和最小的压力降，以清除管道内的灰尘、水份和油。

二、压缩空气消耗系统

1. 压缩空气的输出

压缩空气要从主管道顶部输出，这样，偶尔出现的凝结水仍将留在主管道里，当压缩空气到达低处时，水流到管子的下部，进入自动排水器内，将凝结水去除。

2. 自动排水器

每一根下接管的末端都应有一个排水器，安装自动排水器是除去管道中积水的最有效的方法。

3. 空气处理元件

使压缩空气保持清洁和合适压力，以及将润滑油加到需要润滑的零件中以延长这些气动元件的寿命。

4. 方向控制阀

通过对气缸两个接口交替地加压和排气，来控制运动的方向。

5. 执行元件

把压缩空气的压力能转变为机械能，可以是一个直线气缸，也可以是回转执行元件或气

动马达等。

6. 速度控制阀

能简便实现执行元件的无级调速。

在了解压缩空气的原理后，我们将在第三章和第四章详细讨论这些元件，这对了解气动系统的工作原理来说是必需的。

第二节 压缩空气的理论

一、压力

必须注意 ISO 规定的压力单位是帕斯卡 (Pa)

$$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2 \text{ (牛顿/米}^2\text{)}$$

这个单位非常小，为了避免很大的数字，用相当于 100000Pa 的单位为 1bar (巴) 作为压力单位，这个单位在工业中应用更合适些：

$$100000\text{Pa} = 100\text{KPa} = 1\text{bar (巴)}$$

相应地也使用老的公制单位 kgf/cm^2 、 kP/cm^2 以满足实际需要。

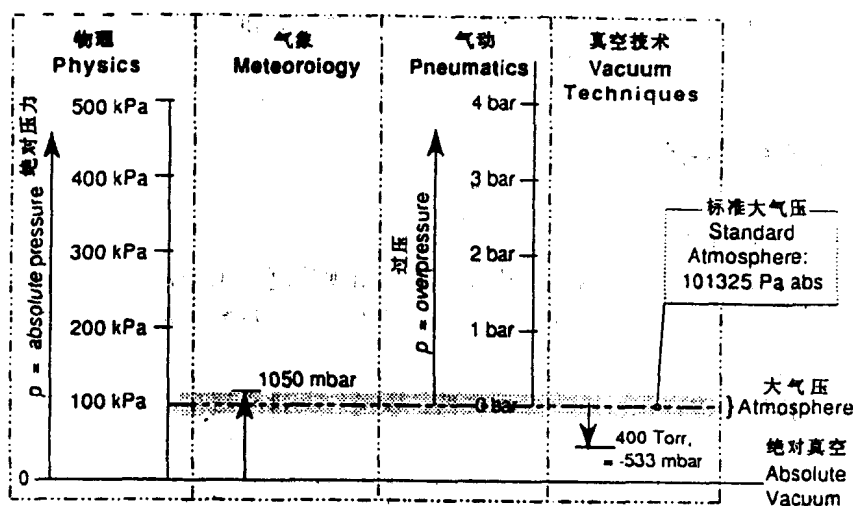


图 2-2 压力表示的各种系统

在气动方面压力指的是表压，即高于大气压的那部分压力，通常叫做表压力(GA)。

压力也能用绝对压力 (ABS) 表示，即相对于绝对真空的压力。在真空技术中，也使用低于大气压的压力即真空度。

图 2-2 中，把标准大气压 (1013mbar) 作为基准，列出了压力的各种表示方法。注意标准

大气压不是 1bar，当然在常规的气动计算时，这个差别也可以忽略。

二、气体的特性

1. 波义尔 (Boyles) 定律

“对于一定质量的气体，在温度不变的条件下，压力和它的体积成反比。”如果绝对压力为 100kPa (1barABS)，体积 $V_1=1\text{m}^3$ 的气体在温度不变下，被压缩体积为 $V_2=0.5\text{m}^3$ ，那么

$$P_1 V_1 = P_2 V_2, P_2 = P_1 V_1 / V_2$$

即

$$P_2 = 100\text{KPa} \cdot 1\text{m}^3 / 0.5\text{m}^3 = 200\text{KPa} \text{ (2barABS)}$$

又如果体积 V_1 在 100KPa 下压缩到 $V_3=0.2\text{m}^3$ ，那么

$$P_3 = P_1 V_1 / V_3 = 100\text{KPa} \cdot 1\text{m}^3 / 0.2\text{m}^3 = 500\text{KPa} \text{ (5barABS)}$$

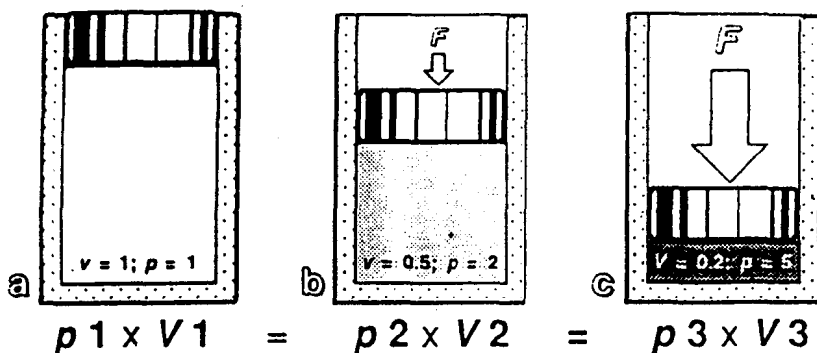


图 2-3 波义尔定律和图解

2. 查理 (Charles) 定律

“在一定压力下，温度每升高 1℃，对于一定质量的气体，其体积增加 1/273。”

3. 基路沙 (Gaylussac) 定律

“压力不变，气体体积的增加与温度成正比。”即 $V_1/V_2 = T_1/T_2$ 和 $V_2 = V_1 T_2 / T_1$ ，或表达为：在体积不变时，压力和温度成正比：

即

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \text{ 和 } P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1}$$

在上面公式中，必须使用绝对温度，即 $^\circ\text{C} + 273 = \text{K}$ 。

前面的关系式可结合为理想气体状态方程式：

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

这个定律是设计和选择气动装置的主要理论基础之一，当温度有变化时也就必须考虑。

有时需要所有空气的体积的数据用以标准立方米 (m^3) 作为单位的标准体积来表示。1 标准立方米，温度为 0℃ 时，空气质量为 1.293kg。

三、流量

流量 (Q) 的基本单位是标准立方米每秒 (m^3/s)。在气压传动中流量实际表示为每升每分钟 (l/min), 或标准立方分米每分钟 (dm^3/min), 表示流量的非公制单位为标准立方英尺每分钟 (scfm)。

四、伯努利 (Bernoulli) 方程

伯努利方程是这样叙述的:

“水平流动的流体流过管径不同的管道时, 在点 1 和点 2 的总能量相同。”

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2$$

若流速不超过 330m/s 左右时, 则此方程对气体也适用。

伯努利方程的表述如图 2-4 所示。

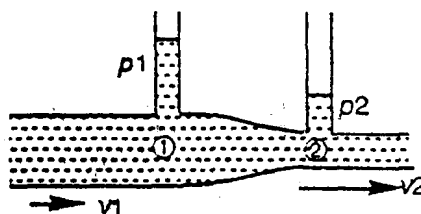


图 2-4 伯努利方程的表述

五、空气的温度

大气中通常含有一定百分比的水蒸汽。水份的含量取决于大气的湿度和温度。

当大气冷却时, 大气将达到某一点, 即水份达到饱和, 这一点称为露点。如果空气继续冷却, 那么它不能保留所有的水份, 过量的水份以小液滴的形式凝结出来形成冷凝水。

水份的实际数量完全取决于温度, 1m^3 压缩空气只能包含 1m^3 大气所能含有的相同量的水蒸汽。

表 2-1 列出了从 -40°C 到 $+40^\circ\text{C}$ 的温度范围内每立方米大气所含有水份的克数, 所有大气的含量都用标准体积表示, 可以不必计算。

在气动适用的范围内, 下表给出了确切的数据。上半部表示了 0°C 以上的温度情况, 下半部表示了 0°C 以下的温度情况。在给定的温度下, 上行为标准立方米的含湿量, 下行为容积含湿量。

表 2-1 饱和空气的水分 (露点)

温度 $^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40
g/m^3 (标准)	4.98	6.99	9.86	13.76	18.99	25.94	35.12	47.19	63.03
g/m^3 (大气压)	4.98	6.86	9.51	13.04	17.69	23.76	31.64	41.83	54.108
温度 $^\circ\text{C}$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
g/m^3 (标准)	4.98	3.36	2.28	1.52	1	0.64	0.4	0.25	0.15
g/m^3 (大气压)	4.98	3.42	2.37	1.61	1.08	0.7	0.45	0.29	0.18

六、相对湿度

除了急剧的恶劣天气情况外，例如温度突然下降，否则大气绝对不会饱和，实际水份含量和露点时水份含量的比值叫做相对湿度，以百分数表示

$$\text{相对湿度 (r. h.)} = \frac{\text{实际水含量}}{\text{饱和水含量 (露点)}} \times 100\%$$

例 1 温度为 25℃，r. h. 65%，1m³ 大气中含有多少水份？

$$24\text{g/m}^3 \cdot 0.65 = 15.6\text{g/m}^3$$

当空气被压缩时，它能含有水份的容量只是体积减少后的容量。因此，除了温度升高之外，水份将大量的凝结出来。

例 2 10m³ 的大气，温度为 15℃，相对湿度 (r. h.) 为 65%，被压缩为 6 巴表压力。温度允许升高到 25℃，问将有多少水凝结出来？

查表 2-1 可知，15℃，1m³ 空气能最多含有 13.04g 水，那么 10m³ 中含有 130.4g 水，在 65% r. h. 空气的含水量为：

$$130.4\text{g} \times 0.65 \approx 84.9\text{g} \quad (\text{a})$$

压缩到 6 巴时减少后的体积为

由

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

即

$$\frac{P_1}{P_2} V_1 = V_2$$

亦即

$$\frac{1.013\text{bar}}{6 + 1.013} \times 10\text{m}^3 \approx 1.44\text{m}^3$$

由表 2-1 可知，1.44m³ 空气在 25℃ 时最大含水量为：

$$23.76\text{g} \times 1.44 \approx 34.2\text{g} \quad (\text{b})$$

从空气中水份的总量减去压缩空气所吸收的，即 (a) - (b) = 84.9 - 34.2 = 50.7g，所以将有 50.7g 水被凝结出来。

凝结出的水在压缩空气输送前应该除去，以避免对气动系统中元件产生有害的影响。

图 2-5 给出了从 -30℃ 到 +80℃ 的露点温度。

第三节 空气的压缩与输送

一、压缩机

压缩机能将电机或内燃机的机械能转化为压缩空气的压力能。

空气压缩机分为两大类：往复式与回转式。

图 2-6 表示了压缩机的基本类型。