



高等学校教材

气动调节仪表

(第二版)

夏焕彬 主编

55

化学工业出版社

内 容 提 要

本书是我国高等院校过程自动化专业一门专业课教材。书中除较深入地阐述了气动控制装置一般构成原理和主要环节以外,主要讲述了变送单元、调节单元、显示单元、计算单元、集装式调节仪表以及气动调节阀的构成原理和特性分析方法。考虑到工程技术人员的实际需要,对上述各单元仪表的调校原则和实际应用问题也做了必要的介绍。在气动调节阀一章,还给出了工程上实用的选择计算公式和图表。为了便于教学和同学自学,各章都附有章后小结和思考题。

本书由北京化工学院夏焕彬(第一、三章)、吴国熙(第七章)、华南理工大学胡孝光(第二章)、山东化工学院陈兴发(第四章)、华东化工学院雷国雄(第五、六章)共同编写,由北京科技大学黄友之、天津大学高紫光主审。

本书也可供从事过程控制的工程技术人员参考。

高 等 学 校 教 材 气 动 调 节 仪 表 (第 二 版)

夏焕彬 主编
责任编辑:徐世峰
封面设计:任 辉

化学工业出版社出版
(北京和平里七区十六号楼)
北京京辉印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $14\frac{3}{4}$ 字数368千字
1989年11月第1版 1989年11月北京第1次印刷
印 数 1—2,200
ISBN 7-5025-0629-2/G·167 (课)
定 价 3.10元

毛主席语录

打破洋框框,走自己工业发展道路。

我们不能走世界各国技术发展的老路,跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期内,把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平。

在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。因此,人类总得不断地总结经验,有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。

再 版 说 明

本书自1980年第一版发行以来，编者收到不少读者的来信，对本书给予充分肯定，同时指出了书中的错误和不足，并提出了修改意见。

当前，电子控制装置，特别是数字控制装置正飞速发展。由于它具有很多气动控制装置无法比拟的优点，所以今后在过程控制领域中必将占很大优势。但是气动控制装置也有它特有的优点，近年来也有较大发展。今后仍将是“气电共存”“相互补充”的局面。所以，有关院校仍有必要用一定学时讲授这部分内容。

本书第二版仍保持原书格局，书中涉及的各物理量全部改用国际单位制。第一、三、五、七章补充了一些新内容，做了较大改动，其余各章也做了一定修改与补充，以适应当前实际需要。

本书第二版修订工作由夏焕彬、胡孝光和吴国熙完成。

目 录

绪 言

第一章 气动仪表的基础知识	1
第一节 自动调节系统的组成及仪表的作用	1
第二节 气动仪表的元件与组件	2
一、气阻	2
二、气容及阻容元件	5
三、控制元件	9
四、功率放大器	14
第三节 气动仪表的构成原理	20
一、直接作用式气动仪表	20
二、反馈式气动仪表	20
本章小结	23
思考题	23
第二章 气动变送单元	24
第一节 概述	24
第二节 气动差压变送器	24
一、差压变送器的动作原理	24
二、差压变送器的基本结构及其分析	25
三、差压变送器的特性分析	31
四、差压变送器的装配和调校	34
五、差压变送器的应用	35
第三节 气动沉筒式液位变送器	43
一、检测部分	43
二、气动转换部分	44
三、特性分析	46
第四节 气远传转子流量计	47
一、测量部分	47
二、气动转换部分	49
三、特性分析	50
四、安装与使用	51
本章小结	52
思考题	54
第三章 气动调节单元	55
第一节 概述	55

一、调节器的构成原理	55
二、调节器的分类	56
三、调节器的基本概念	57
四、调节器的基本性能	65
第二节 膜片式气动调节单元	67
一、膜片式比例积分调节单元	67
二、膜片式比例微分调节单元	78
第三节 波纹管式气动调节单元	85
一、波纹管式三作用调节单元的结构特点	86
二、波纹管式三作用调节单元的特性分析	91
三、波纹管式三作用调节单元的调校原则	92
第四节 基地式气动调节仪表	94
一、整机构成及动作原理	94
二、特性分析	98
三、调校原则	99
本章小结	100
思考题	101
第四章 气动显示单元	102
第一节 三针记录调节仪	102
一、基本结构与工作原理	103
二、调校原则	112
第二节 气动色带指示仪	114
一、色带指示仪的结构与动作原理	115
二、测量机构的特性分析	115
第三节 气动积算器	118
一、气动积算器的结构	118
二、气动积算器的动作原理	119
三、气动积算器的使用	120
四、气动积算器的调整	120
本章小结	121
思考题	121
第五章 气动集装式调节仪表	123
第一节 气动集装式调节仪表的概况和特点	123
一、集装式调节仪表的现状和发展	123
二、集装式调节仪表的主要特点	123
三、集装式调节仪表的基型总框图	124
第二节 测量值显示单元和给定单元	125
一、矢量机构的显示单元	126
二、测量值与给定值的偏差显示单元	127

三、给定机构	128
第三节 调节单元	129
一、微分单元	129
二、比例积分调节单元	131
第四节 集装式仪表的双向无平衡无扰动切换	133
一、无平衡无扰动切换的意义	133
二、如何实现无平衡无扰动切换	133
第五节 集装式仪表的使用	137
一、关于积分饱和问题	137
二、报警装置	140
本章小结	141
思考题	142
第六章 气动计算单元及其它单元	144
第一节 气动加减器	144
一、力平衡式气动加减器	144
二、力矩平衡式气动加减器	148
第二节 气动乘除器	149
一、乘除器的构成原理	149
二、乘法器的运算原理	150
三、除法器的运算原理	151
四、开方器的运算原理	152
五、乘除器的调校原则	152
第三节 气动比值器	153
一、比值器的结构	153
二、动作原理	153
第四节 电-气转换器	153
一、电-气转换器的结构	154
二、动作原理	154
第五节 计算单元的应用	154
一、锅炉水位的自动调节系统	155
二、补偿法测量质量流量	156
第六节 气动辅助单元	157
一、气动继电器	157
二、气动遥控板	157
本章小结	158
思考题	159
第七章 气动调节阀	160
第一节 气动调节阀的作用及构成原理	160
一、执行器在自动调节系统中的作用	160

二、气动调节阀的构成原理及特点	160
第二节 调节阀的特性分析	169
一、调节阀的节流原理和流量系数	169
二、调节阀的可调比	171
三、调节阀的理想流量特性	173
四、调节阀的工作流量特性	176
五、空化作用及其避免	180
六、压力恢复能力和压力恢复系数	183
第三节 气动执行机构的特性分析	184
一、不平衡力和不平衡力矩	184
二、执行机构的输出力	186
三、允许压差的计算	188
四、执行机构的刚度与调节阀的稳定性	190
五、执行机构的静态特性和动态特性	191
第四节 气动调节阀的选择与计算	192
一、气动调节阀类型的选择	193
二、调节阀流量特性的选择	194
三、调节阀流量系数的计算	195
四、调节阀口径的确定	207
第五节 阀门定位器	210
一、阀门定位器的用途	210
二、阀门定位器的结构及特点	211
三、反馈凸轮的设计与修正	214
第六节 气动调节阀的测试、安装和维修	216
一、气动调节阀的测试	216
二、气动调节阀的安装	218
三、气动调节阀的维修	219
本章小结	219
思考题	220
附录	222
一、气动薄膜调节阀型号编制说明	222
二、气动薄膜直通单、双座调节阀基本参数	223
三、气动薄膜调节阀流量系数 C 值计算图表	224
四、气体压缩因数图	229

第一章 气动仪表的基础知识

第一节 自动调节系统的组成及仪表的作用

为了说明自动调节系统的概念，我们先来看一个化工生产过程液位调节的例子。

图1-1是一个贮罐，物料从进口阀1流入，从出口阀2流出。流入量用 $Q_{\text{入}}$ 表示，流出量用 $Q_{\text{出}}$ 表示，贮罐内液位用 H 表示。由于生产的需要，要求贮罐内的液位高度维持在 H_0 ，因此，就要对贮罐的流入量或流出量进行调节。假定，在稳定状态下，单位时间的流入量 $Q_{\text{入}}$ 等于流出量 $Q_{\text{出}}$ ，这时贮罐内的液位高度恰好在生产所需要的液位高度 H_0 上。如果由于工况的变化， $Q_{\text{出}}$ 增加了，此时 $Q_{\text{入}}$ 小于 $Q_{\text{出}}$ ，贮罐内液位 H 就要下降。为了维持贮罐液位在预定的高度 H_0 上，操作人员必须经常注意观察贮罐内液位 H 的变化情况，并把这一液位变化情况与生产所要求的液位高度 H_0 进行比较，并根据比较的结果作出判断，用手去开大进口阀1，使贮罐内液位高度重新保持在 H_0 。因为这一操作完全是靠人来完成的，故称之为人工调节。

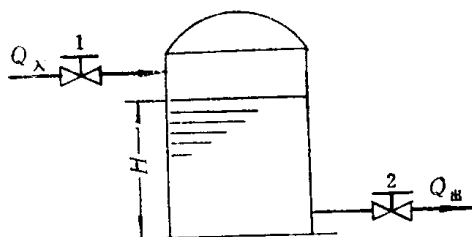


图 1-1 贮罐液位调节示意图

所谓生产过程自动化，就是采用某种自动化技术工具，部分地或全部地代替人来对生产过程进行控制。这不仅能把人从繁重的体力劳动中解放出来，而且可以大幅度的提高产品的产量和质量。

在上例中，只要我们给贮罐装上一个变送器、显示仪表和调节器，并将进口阀1换成自动调节阀，就可以实现液位自动调节。它的组成原理如图1-2所示。液位变送器把贮罐内液位的变化情况（称之为被调参数）送到显示仪表和调节器。显示仪表可以指示或记录液位变化情况，调节器则根据变送器送来的被调参数

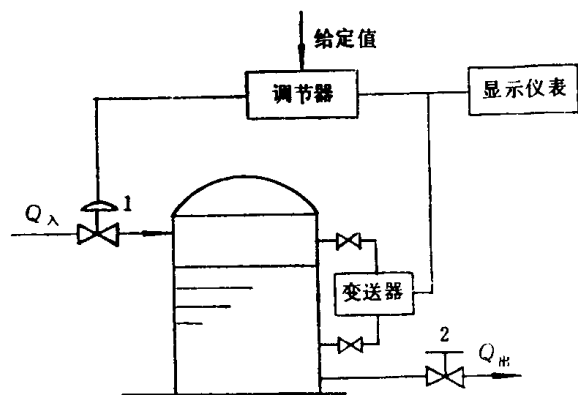


图 1-2 贮罐液位自动调节原理图

1—气动调节阀；2—出料阀

H 与预期的液位高度 H_0 （称之为给定值）进行比较，并根据这一比较所得到的偏差信号发出相应的输出信号给执行器——气动调节阀。调节阀则根据调节器的输出信号改变贮罐的流入量 $Q_{\text{入}}$ ，使液位高度保持在给定值。这就叫做自动调节。

从上述的液位调节系统的分析中可以看出，自动调节系统包括以下几个部分：被调对象（如贮罐）、变送器、显示仪表、调节器和执行器。为了研究问题的方便，并能一目了然地看出自动调节系统中各组成环节之间的相互关系，通常都把各组成环节用一个方框来表示，各部分的相互联系用带箭头的线条来表示。这样一来，图1-2的液位调节系统原理就可以用图1-3的方框图来表示。图中各方框的意义如下：

被调对象——简称对象，就是被调节的设备，如上例中的贮罐。

变送器——将被调参数转换成与其成比例的统一信号。气动变送器的统一信号为 $0.2 \sim 1.0 \times 10^2 \text{ kPa}$ 气压信号。

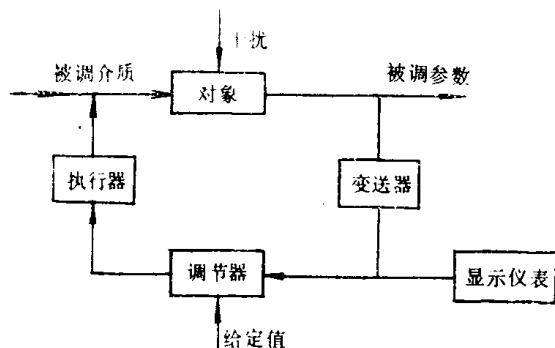


图 1-3 自动调节系统方框图

调节器——把变送器送来的测量信号与给定器送来的给定信号进行比较，并把所得的偏差信号按照一定调节规律运算放大之后，输出一个相应的控制信号去指挥执行器。

显示仪表——指示、记录被调参数、给定值和调节器输出信号。

执行器——包括执行机构和调节阀。执行机构将调节器的输出信号转变成推力，用以推动调节阀；调节阀则改变被调介质的流入量或流出量。常见的执行器是气动薄膜执行器。

上述每一个方框，除对象之外，从仪表的角度来看都可以构成一个独立的单元，也可以把变送器、显示仪表和调节器组装在同一个壳体内构成基地式调节仪表。

第二节 气动仪表的元件与组件

气动仪表的种类很多，在结构上也千差万别，但是它们都是由为数不多的几种基本元件和组件按一定的原则组合而成。常见的元件有气阻、气容。常见的组件有阻容耦合元件、喷嘴挡板机构、功率放大器等。在研究气动仪表之前，深入的分析这些基本元件和组件的结构和特性是很必要的。

在本书以后的论述与计算中，均采用国际单位制。我国原来采用工程单位制的压力单位是 kgf/cm^2 。国际单位制与工程单位制压力单位的换算关系如表1-1所示。

表 1-1 压力单位换算表

kgf/cm^2	bar	N/m^2 (Pa)	atm	mH_2O	mHg	lbf/in^2
工程大气压	巴	牛顿/米 ²	标准大气压	米水柱	米汞柱	磅力/英寸 ²
1	0.980665	0.980665×10^5	0.9678	10	0.7356	14.22
1.0197	1	1×10^5	0.9869	10.197	0.7501	14.50
1.0197×10^{-5}	1×10^{-5}	1	0.9869×10^{-5}	1.0197×10^{-4}	7.501×10^{-6}	1.450×10^{-4}
1.0332	1.01325	1.01325×10^5	1	10.332	0.760	14.70
0.10000	0.09806	9.80665×10^4	0.09678	1	0.07355	1.422
1.3595	1.3332	1.3332×10^5	1.3158	13.60	1	19.34
0.07031	0.06895	6.895×10^4	0.06805	0.7031	0.05171	1

为了简化计算，我们在以后的论述中都取 $1 \text{ kgf/cm}^2 = 100 \text{ KPa}$ 。这种近似的换算关系在工程上是可以接受的。

一、气 阻

气动仪表中所用的恒节流孔、比例针阀、积分针阀、微分针阀等统称为气阻。图 1-4 是常见气阻的结构原理图。气阻的作用和电路中的电阻相似，起着产生压降和调节所通过气体流量的作用。这种作用称之为节流作用。因此又把气阻叫做节流元件。如果：

R ——气阻阻值;

Q ——流过气阻的气体的体积流量, cm^3/s ;

Δp ——气阻两端的压力降, kPa 。

在不考虑气体可压缩性的影响时, 上述三者之间的关系可以写成:

$$R = \frac{\Delta p}{Q}, \quad \frac{\text{kPa} \cdot \text{s}}{\text{cm}^3} \quad (1-1)$$

按结构可将气阻分为恒气阻和可调气阻。恒气阻如图1-4中(a)、(b)、(c)所示。可调气阻如图1-4中的(d)、(e)、(f)、(g)所示。所谓恒气阻就是气阻值不可变的气阻; 可调气阻就是阻值可根据需要随意调整的气阻。可调气阻在气动仪表中常做为各种整定参数的节流阀, 因此又把可调气阻叫做节流阀。

我们研究各种气阻要着重讨论它们的流量特性, 即气阻前后的压降与所通过的流量的关系。图1-5是常见气阻的流量特性曲线。

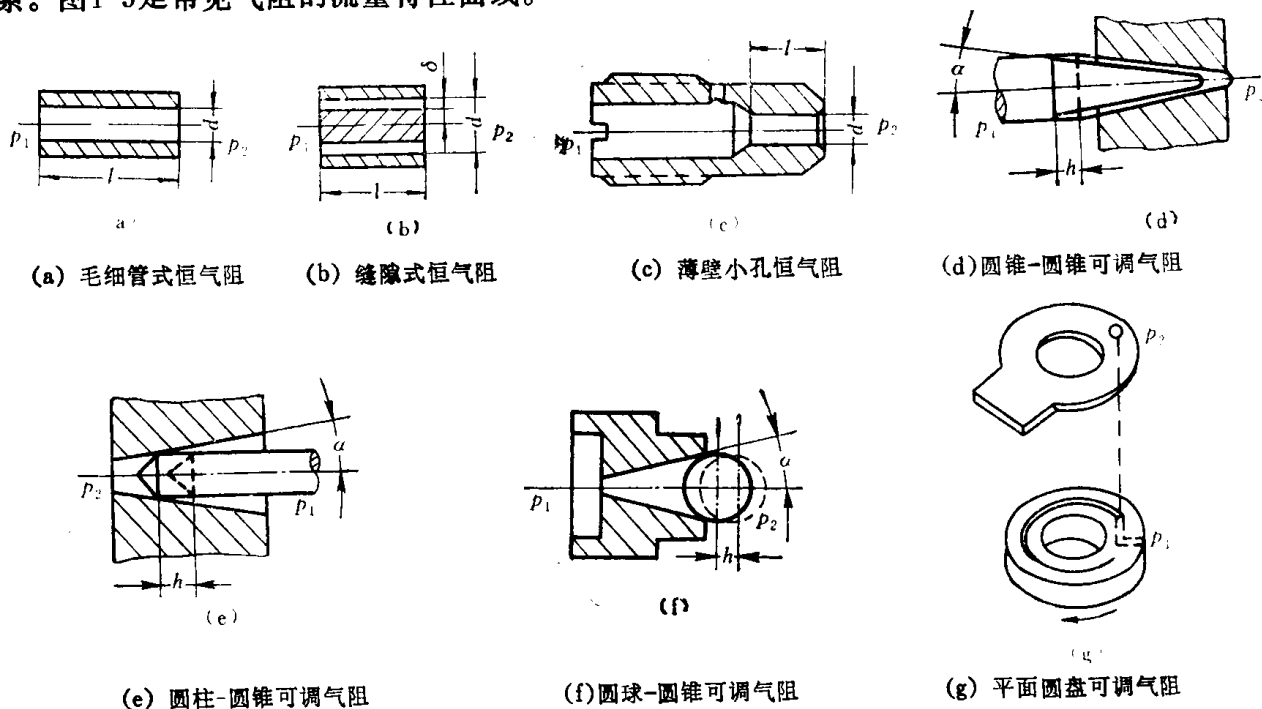
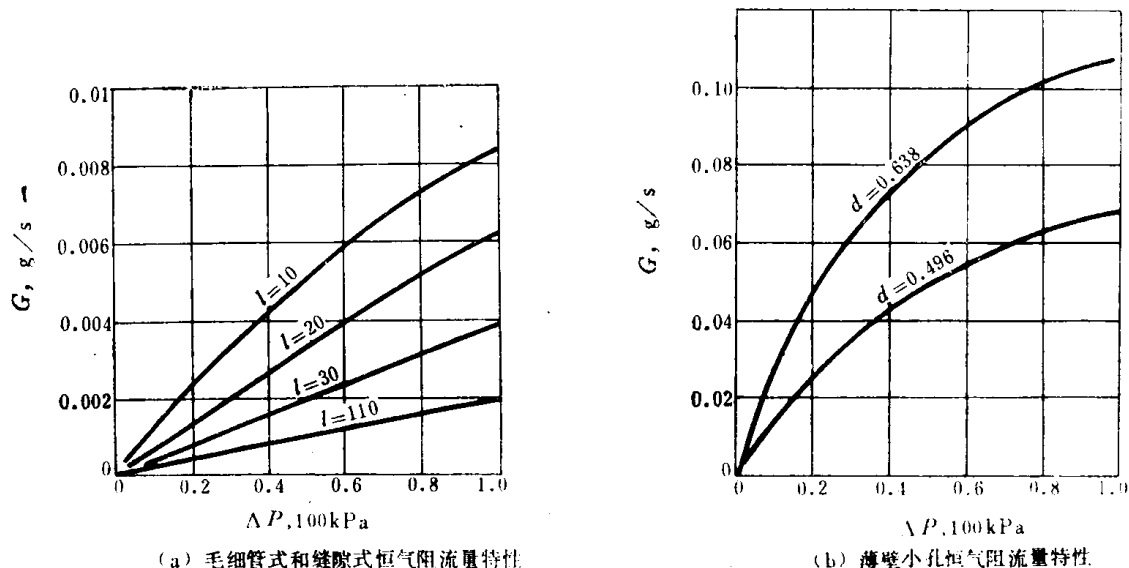
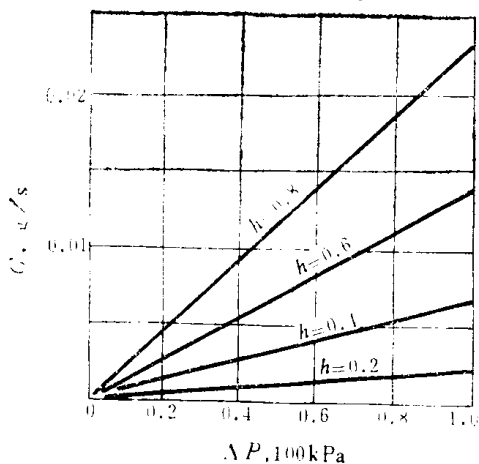
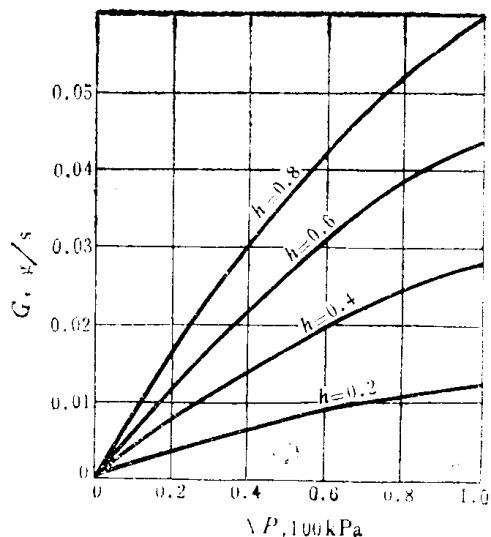


图 1-4 常见气阻结构原理图

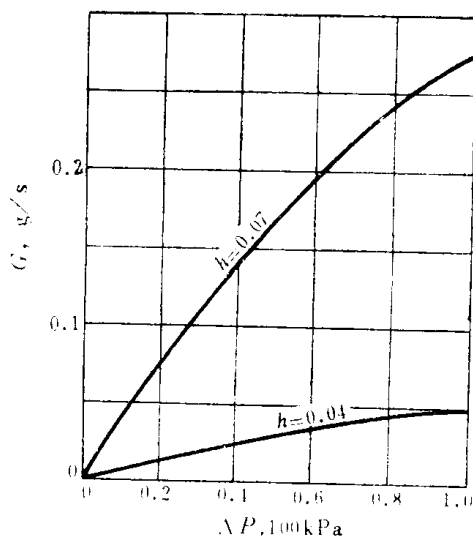




(c) 圆锥-圆锥型和平面圆盘型可调气阻流量特性



(d) 圆柱-圆锥型可调气阻流量特性



(e) 圆球-圆锥型可调气阻流量特性

图 1-5 气阻流量特性

(一) 线性气阻

从图1-5的(a)(d)可以看出,毛细管式恒气阻和圆锥-圆锥式可变气阻(此外还有缝隙式恒气阻和平面圆盘式可变气阻),在一般情况下,通过气阻的气流呈层流状态,流过气阻的流量与其两端压降成线性关系。为了进一步讨论气阻的流量特性,我们可以用图1-6的 oa 线段表示这种线性关系。层流状态的压力降 Δp 主要是气流对管壁的摩擦损失。

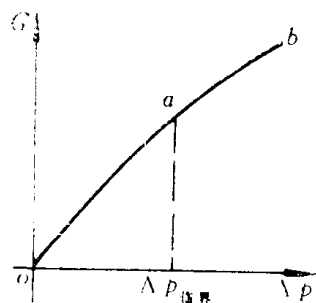


图 1-6 气阻的流量特性

如果压力降 Δp 增大到一定程度,气阻中空气流由层流状态变为紊流状态,压力降 Δp 与流量 G 成非线性关系,如图1-6中 ab 线段所示。 a 点所对应的压力降 $\Delta p_{\text{临界}}$ 称为临界压力降。

毛细管式线性气阻的阻值可用下式计算:

$$R = \frac{128 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot d^4}, \quad \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{cm}^6} \quad (1-2)$$

缝隙式线性气阻的阻值可用下式计算:

$$R = \frac{12 \cdot \eta \cdot l}{\pi d \delta^3}, \quad \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{cm}^4} \quad (1-3)$$

式中 η ——工作状态下空气的动力粘度, $\frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$;

l ——毛细管或缝隙式恒气阻的长度, cm;

d ——毛细管或缝隙式恒气阻内径, cm;

δ ——缝隙式恒气阻的缝隙宽度, cm。

从上述两式可知, 气阻值与气阻的结构参数有关, 与工作介质的动力粘度成正比。动力粘度与环境温度有关, 因此严格来讲, 气阻值也受环境温度的影响。

(二) 非线性气阻

图 1-4 中的薄壁小孔式恒气阻、圆柱-圆锥式可调气阻, 圆球-圆锥式可调气阻, 在一般工作条件下, 流过气阻的流量与其两端压力降成非线性关系, 流过气阻的气流呈紊流状态。如图 1-5 (b)、(d)、(e) 所示。在紊流状态下, 气阻压力降主要由流束的收缩与膨胀以及涡流等动力损耗所造成。

如果认为是等温过程, 而且流体的密度不变化, 非线性气阻的流量方程可表示为:

$$Q = \alpha A \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}, \quad \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \quad (1-4)$$

式中 Q ——流体的体积流量, $\frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$;

α ——流量系数 (与气阻的结构有关, 通常由实验确定);

A ——气阻的流通截面积, cm^2 ;

ρ ——节流孔后流体的密度, $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$;

p_1 、 p_2 ——节流孔前后的绝对压力, $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ 。

非线性气阻的特性虽然较差, 但由于结构简单所以用途仍然很广。

必须指出, 线性气阻与非线性气阻之差别, 主要是由流体的流动状态所决定, 即由雷诺准数所决定。一般地说, 当气阻两端压降足够小时, 任何形式的气阻都可表现出线性流量特性。反之, 如果使气阻两端压力降超过临界压力降, 原来的线性气阻也会变成非线性气阻。此外还应指出, 精确的计算气阻的阻值是困难的, 实际应用的气阻, 一般都是由实验确定, 但上述计算公式对于了解影响气阻值的各种因素, 从而指导正确设计和使用是有一定意义的。

二、气容及阻容元件

(一) 气容

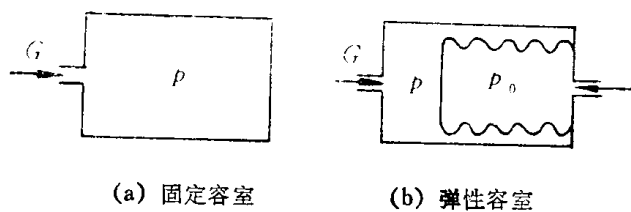
气容也是气动仪表的基本元件, 它常与气阻耦合用于反馈回路, 实现比例作用、积分作用和微分作用。凡是在气路中能贮存或放出气体的容室都可称为气容。为了能定量的表示容室 (也称气室) 贮存或放出气体能力的大小, 可把气容定义为每升高单位压力所需增加的气体体积流量。如果用 C 表示气容, 则

$$C = \frac{\int Q dt}{d p} \quad (1-5)$$

气动仪表中的容室按其气压和容量是否变化可分为两种。

(1) 固定容室 容室中压力变化，容积不变。

(2) 弹性容室 容室中压力和容积都变化。其结构原理如图1-7所示。



(a) 固定容室

(b) 弹性容室

图 1-7 气容结构原理图

从(1-5)式可以看出，对于固定容室来说，当流量 Q 一定时，容室越大气体压力变化速度越慢。在气动仪表中，我们正是利用容室的这种性质构成了各种非周期环节。

容室气容 C 的大小可以根据气态方程式确定。如果容室在充、放气之前的状态是：

$$V = V_0, \quad p = p_0, \quad \rho = \rho_0$$

充、放气之后的状态是：

$$V = V_1, \quad p = p_1, \quad \rho = \rho_1$$

式中 V ——容室的容积；

V_0, V_1 ——充、放气前、后容室的容积；

p ——容室的压力；

p_0, p_1 ——充放气前、后容室的压力；

ρ ——气体的密度；

ρ_0, ρ_1 ——充放气前、后气体的密度。

整个过程进入容室的气体质量 m 是：

$$m = \rho_1 \int Q dt = \rho_1 V_1 - \rho_0 V_0 \quad (1-6)$$

如果认为是等温过程，则

$$\frac{\rho_0}{p_0} = \frac{\rho_1}{p_1} = \text{常数} \quad (1-7)$$

充放气后气室的体积变为：

$$V_1 = V_0 + \frac{dV}{dp} (p_1 - p_0) \quad (1-8)$$

将(1-6)、(1-7)代入(1-8)式经整理可得：

$$\begin{aligned} \Delta p [V_1 \rho_0 + \rho_0 \left(\frac{dV}{dp} \right) p_0] &= p_0 \rho_1 \int Q dt \\ \Delta p &= \frac{p_0 \rho_1}{V_1 \rho_0 + \rho_0 \left(\frac{dV}{dp} \right) p_0} \cdot \int Q dt \\ &= \frac{p_1}{V_1 + \left(\frac{dV}{dp} \right) p_0} \cdot \int Q dt \end{aligned} \quad (1-9)$$

对于弹性气室

$$C = \frac{\int Q dt}{\Delta p}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{V_1 + \left(\frac{dV}{dp}\right)p_0}{p_1} = \frac{V_0 + \left(\frac{dV}{dp}\right)\Delta p + \left(\frac{dV}{dp}\right)p_0}{p_1} \\
 &= \frac{V_0 + p_1\left(\frac{dV}{dp}\right)}{p_1} \quad (1-10)
 \end{aligned}$$

可见, 弹性气室的气容 C 不仅与气室的初始体积、最终压力有关, 而且与气室的结构参数有关。

对于定容气室,

$$\begin{aligned}
 \because \quad & \frac{dV}{dp} = 0 \\
 \therefore \quad & C = \frac{V_0}{p_1} \quad (1-11)
 \end{aligned}$$

可见, 定容气室的气容仅与气室的初始体积及最终压力有关。

(二) 阻容耦合元件

在气动仪表中, 气容很少单独使用, 一般常与导管和气阻相耦合构成阻容耦合元件。常见的阻容耦合元件有节流通室和节流盲室, 其组成原理如图1-8所示。

1. 节流通室由可调气阻、流通气室和恒气阻串联而成, 如图1-8(a)所示。节流通室的两个气阻, 一般工作在层流状态, 中间流通气室的容积很小, 所以可以不考虑它充放气的过渡过程, 仅研究中间气室压力 p_2 与输入压力 p_1 和输出压力 p_3 的稳态关系。

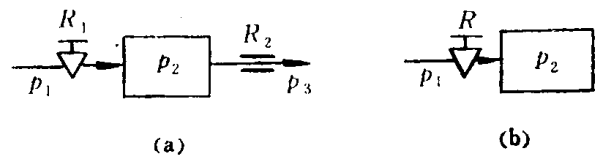


图 1-8 节流通室和节流盲室结构原理图

(a) 节流通室; (b) 节流盲室

根据流体的连续性定律, 通过可调气阻 R_1 的气体质量流量 G_1 必定等于通过恒气阻 R_2 的气体质量流量 G_2 。如果气体密度 ρ 在气阻前后保持不变, 则

$$G_1 = \frac{p_1 - p_2}{R_1} \rho = G_2 = \frac{p_2 - p_3}{R_2} \rho$$

于是

$$p_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} p_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} p_3 \quad (1-12)$$

如果 p_3 为大气压力, 即 $p_3 = 0$ 上式简化为:

$$p_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} p_1 = K p_1$$

式中 K ——比例系数, $K = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ 。

分析式(1-12)可知:

(1) 当气阻 R_1 、 R_2 一定时, 比例系数 K 值也一定, p_2 随 p_1 成比例的变化。

(2) 当输入压力 p_1 不变时, 改变可调气阻 R_1 就可以改变 p_1 与 p_2 的比值, 所以节流通室就是一个分压器。在气动调节器中用它来调整比例范围。

应当说明, 理论上讲节流通室处于层流状态时, 比例系数 K 为常数。但在实际使用时, 因为压力损失、空气密度的变化以及气阻加工质量的影响, 特别是因为层流状态的流量较

小, 充满气室的时间常数较大, 往往难以保持式 (1-12) 的线性关系。因此, 目前气动仪表的节流通室多半采用紊流型可调气阻。此时的比例系数 K 可按下述方法求得:

流经气阻 R_1 、 R_2 的流量可按公式 (1-4) 表示为:

$$G_1 = \alpha_1 F_1 \sqrt{2g^2 \rho (p_1 - p_2)}$$

$$G_2 = \alpha_2 F_2 \sqrt{2g^2 \rho (p_2 - p_3)}$$

式中 F ——流通截面积。

稳态时, $G_1 = G_2$ 。即

$$\alpha_1 F_1 \sqrt{2g^2 \rho (p_1 - p_2)} = \alpha_2 F_2 \sqrt{2g^2 \rho (p_2 - p_3)}$$

当压降不大时, 可以认为气体的密度 ρ 不变, 即

则

$$\alpha_1 F_1 \sqrt{(p_1 - p_2)} = \alpha_2 F_2 \sqrt{(p_2 - p_3)}$$

如果 p_3 为大气压力, 整理上式得:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{\left(\frac{\alpha_1 F_1}{\alpha_2 F_2}\right)^2}{1 + \left(\frac{\alpha_1 F_1}{\alpha_2 F_2}\right)^2} = K \quad (1-13)$$

从公式 (1-13) 中可见, 如果可调气阻的流量系数 α_1 与恒气阻的流量系数 α_2 之比值为常数, 那么比例系数 K 也是常数, 改变可调气阻的流通截面 F_1 即可达到调整 p_2/p_1 的目的。实践证明, 如果选择合适的结构参数, 用紊流型可调气阻和恒气阻组成的节流通室, 不仅静态特性可以达到满意的使用要求, 而且可以克服层流型节流通室的缺点, 提高仪表的质量。

2. 节流盲室

用可调气阻和一个气容串联即构成节流盲室。图 1-8 (b) 是节流盲室构成原理图。当 $p_1 > p_2$ 时对节流盲室充气; 当 $p_2 > p_1$ 时节流盲室放气。如果气阻 R 是线性气阻, 流过的气体流量为:

$$Q = \frac{1}{R} (p_1 - p_2)$$

这个流量应等于流进气室的流量。根据 (1-5) 式气容的定义可求得:

$$Q = C \cdot \frac{dp_2}{dt}$$

于是

$$\frac{1}{R} (p_1 - p_2) = C \cdot \frac{dp_2}{dt}$$

由此求得节流盲室的动态方程:

$$RC \cdot \frac{dp_2}{dt} + p_2 = p_1$$

令 $RC = T$ 称为节流盲室的时间常数, 则

$$T \frac{dp_2}{dt} + p_2 = p_1 \quad (1-14)$$

若 p_1 为阶跃变化, 对 (1-14) 式求解得:

$$p_2 = p_1 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (1-15)$$

公式(1-15)称为节流盲室的特征方程。它描述了节流盲室在充气过程中,压力随时间变化的函数关系。图1-9(a)是节流盲室充气过程的特性曲线。

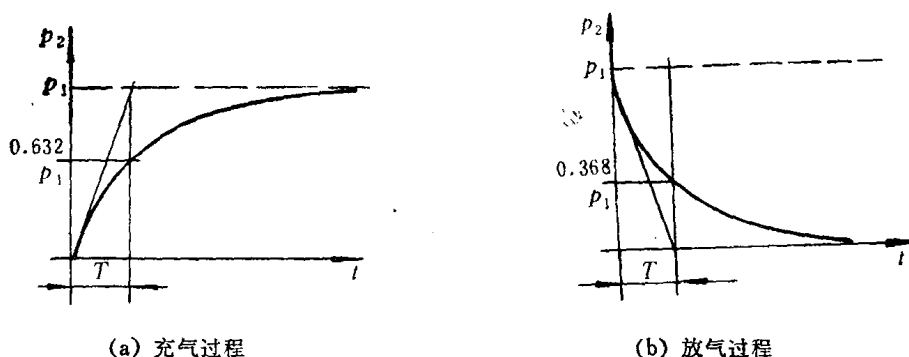


图 1-9 节流盲室特性曲线

用同样方法可以推导出放气过程的特征方程为:

$$p_2 = p_1 e^{-\frac{t}{T}} \quad (1-16)$$

图1-9(b)是节流盲室放气过程的特性曲线。

从以上分析,节流盲室的特性可归纳为:

(1) 如果压力 p_1 为阶跃输入信号,节流盲室内压力 p_2 随时间的变化规律是一个指数函数关系。从理论上讲,只有当 $t = \infty$ 时, $p_2 = p_1$,但从实用角度来看,当 $t = 3T$ 时,可以认为 $p_2 \approx p_1$;

(2) 从特征方程(1-15)、(1-16)可以看出,当 $t = T$ 时。

对于充气过程 $p_2 = p_1(1 - e^{-1}) = 0.632 p_1$

对于放气过程 $p_2 = p_1 e^{-1} = 0.368 p_1$

由此得出节流盲室时间常数 T 的定义:当 p_1 为阶跃输入时,节流盲室压力 p_2 由原稳态上升到 p_1 的63.2%所经历的时间就是充气过程的时间常数;当 p_1 为阶跃变化时,节流盲室压力 p_2 由原稳态值下降到 p_1 的36.8%所经历的时间就是放气过程的时间常数。

理论上可以证明,过渡过程曲线上任意一点的切线与渐近线的交点在时间轴上的投影值都等于时间常数 T 。

(3) 节流盲室压力 p_2 的变化速度取决于时间常数 T 的大小。由 $T = RC$ 可知, C 为固定容室的气容,若气体密度认为不变时 C 为常数,所以只要改变可调气阻 R 就可调整节流盲室的时间常数 T 。

(4) 我们用 $R = \Delta p / Q$ 定义气阻时,就曾指出这只有不考虑气体可压缩性的影响,即认为气阻前后流体密度不变时才成立。节流盲室在充气 and 放气过程中,气阻后的气体密度并非常数,所以充气 and 放气过程的气阻 R 以及节流盲室的时间常数 T 也略有不同。

三、控 制 元 件

在气动仪表中,常把各种形式的喷嘴挡板机构称之为控制元件。就本质而言,喷嘴挡板机构就是由恒气阻、可调气阻和一个气室组成的节流通室。喷嘴挡板机构的作用,是把微小的位移转换成相应的压力信号,因此有时也把喷嘴挡板机构称为转换元件或放大环节。图