

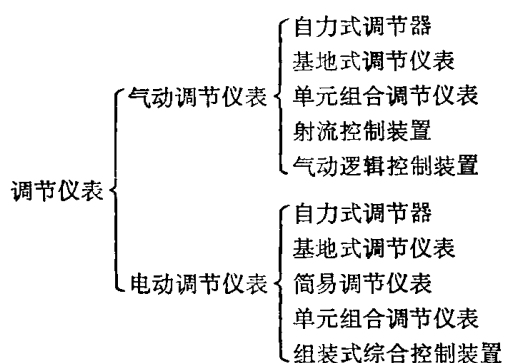
常用符号表

a, b ——气动逻辑元件输入信号	Q ——体积流量
C ——射流元件输入通道、弹簧刚度	Q_c ——射流元件切换流量
c ——气动逻辑元件输入信号	R ——电阻、气体常数、气阻
C_D ——微分电容	r ——半径、气阻
C_I ——积分电容	R_{cm} ——导线电阻
D ——波纹管外径、气单仪表的比例范围	R_D ——微分电阻
d ——波纹管外径、气动逻辑元件输入信号	R_f ——反馈电阻
E ——平均电势	R_I ——积分电阻
e ——瞬时或交流电势	Re_D ——雷诺数(管径为 D 的)
E_B ——电平移动电位	Re_k ——界限雷诺数
E_s ——给定电位	R_P ——比例电阻
E_{sr} ——输入电位	S ——位移、气动逻辑元件输出信号
E_{sc} ——输出电位	T ——绝对温度、时间常数、周期
F ——力、干扰系数、膜片有效面积	t ——温度、时间
F_{sr} ——输入信号力	T_D ——微分时间
G ——重量、重量流量	T_I ——积分时间
H ——脉冲占空比、液位高度	U_0 ——净输入电压
I_c ——平均电流	U ——平均电压
I_0 ——净输入电流	u ——瞬时或交流电压
I_{sr} ——输入电流	U_f ——反馈电压
I_h ——恒定电流	U_D ——微分电压
I_{sc} ——输出电流	U_{sr} ——输入电压(偏差电压信号)
I_f ——反馈电流	U_{sc} ——输出电压
i ——瞬时或交流电流	U_B ——偏值电压
J ——射流元件输出通道	U_α ——内偏值电压
K_0 ——开环放大倍数	U_β ——外偏值电压
K_D ——微分放大倍数	U_s ——给定电压
K_I ——积分放大倍数	γ ——重度
K_P ——比例放大倍数	γ_s ——毛细管内介质重度
l ——长度	γ_c ——被测介质重度
P ——压力、比例带	μ ——体积比系数、动力粘性系数
p_c ——气单仪表的输出压力、射流元件的切换压力	ν ——运动粘性系数
p_{c0} ——零位输出压力	ξ ——阻尼系数
p_G ——给定信号压力	η_p ——射流元件压力恢复系数
p_s ——射流元件气源压力	η_d ——射流元件流量恢复系数
p_r ——气单仪表气源压力	

概 论

自动调节仪表是工业生产过程自动控制系统中的一个重要组成部分,它把来自检测仪表的信号进行综合、按照预定的规律去控制执行器的动作,使生产过程中的各种被调参数,如温度、压力、流量、成分等,符合生产工艺的要求。

自动调节仪表按照所用的能源可分为气动仪表和电动仪表两大类;按照其结构和功能又可分为自力式调节器、基地式调节仪表、简易调节仪表、单元组合仪表、组装式综合控制装置以及由射流元件和气动逻辑元件组成的控制装置等,其分类大致如下表所示:



自力式调节器是以被调介质本身的力量或经简单的转换,去带动调节阀,实现自动控制。常见的品种有浮球式液位调节器,它是利用球在液面的浮力使调节阀动作的;还有热膨胀式温度调节器,它是利用温包或双金属的热膨胀作用,去带动调节阀或操作电接点,实现温度自动控制。带动电接点的自力式调节器一般归入电动调节仪表类。自力式调节器一般不带显示部分,它结构简单易于维修,适用于控制精度要求不高的单参数调节系统。

基地式调节仪表一般以指示、记录仪表为主体,附加调节机构而组成。它接受检测元件发出的信号,经指示、记录机构的动作,带动调节机构,发出控制信号,去操作执行器,实现自动控制。常见的品种有动圈式指示调节仪表和带有气动调节机构的电动记录仪表等。基地式调节仪表详见第45篇显示仪表。

简易调节仪表包括无指示调节器和TA型电子

调节器。它可直接配合热电偶、热电阻构成温度自动控制系统;也可接受来自压力、流量等变送器的直流毫伏信号,构成相应的自动控制系统。简易调节仪表的输出信号有二位式、三位式、直流0~10毫安三种,配合相应的执行器以适应不同场合的要求。TA型电子调节器除有定值刻度外还带有偏差指示;无指示调节器只有定值刻度,实际控制中的参数值需另行测量。简易调节仪表的结构比较简单,专用性较强,经济合理,适用于单参数自动控制系统。

上述几种仪表都比较简单,本篇不作重点介绍。

在大型机组的过程控制方面,要求比较复杂的调节规律,如大型锅炉的水位控制方面,至少需要综合蒸汽流量、水位、给水流量三个信号才能实现有效的控制;对于气体流量,往往需要加以温度、压力校正,才能实现质量流量控制;合成氨工业中的氢和氮必需保持一定的比例等等,这些控制系统都是单回路调节仪表不能完成的,因此就发展了单元组合仪表。

单元组合仪表是根据生产过程自动控制系统中各个环节应具有的不同功能,将整个系统划分成若干个具有独立作用的单元,各单元之间以统一信号互相联系。单元的品种虽不很多,但可按照生产工艺的需要加以组合,构成各种单参数的或多参数的自动控制系统。单元组合仪表有气动单元组合仪表和电动单元组合仪表两类,两者都经历了从最初的单元组合I型至现在的单元组合III型这样一个发展过程。气动单元组合仪表的三种型号,不同之处在于内部的结构原理,而外部性能却是一致的。电动单元组合仪表的三种型号,不仅内部结构不同,而且联络信号也变了。电动单元组合仪表的DDZ-I型以电子管为主要放大元件,以直流0~10毫安为统一信号,由于其外形较大,性能不够灵活,因此现已停止生产。电动单元组合仪表的DDZ-II型以晶体管为主要放大元件,以直流0~10毫安为统一信号,仪表小型化、标准化;调节器带有偏差指示、阀位指示和手动操作部件,可以在控制屏上密集安装,便于监视生产过程中各个被调量的偏差,必要时可投

入手动操作,并且可以无扰动地重新回复到自动控制,性能尚称灵活,品种比较齐全,目前正在各工业部门广泛使用。

在60年代后期,石油、化工方面的流程工业发展得相当迅速,冶金、电站方面的机组又向大型化发展,这要求自动调节仪表完成更复杂的自控作用,如大型机组的自动启停、全程调节以及与计算机的兼容性等等。在这种形势下,产生了电动单元组合仪表DDZ-III型。

DDZ-III型仪表以集成电路为主要放大元件;采用国际标准化直流4~20毫安和1~5伏为统一信号;变送器以二线制供电,具有本质安全防爆性能;调节器带有被调量的满量程指示,可在被控对象的启动、停车等异常情况下监视系统工况,并可实现自动 $\longleftrightarrow$ 手动双向非平衡即时无扰动切换,性能堪称灵便,单元品种又有新的发展,目前正在推广生产。

组装式综合控制装置简称组装式仪表,它是在单元组合仪表的基础上发展起来的,但与单元组合仪表有着不同的作用。简单地说,它是把单元组合仪表的各个单元做成插件形式,集中供电,然后针对一项大型机组或过程控制的全部自控系统,选择各种插件,并将这些插件组合起来构成一个专用的控制柜。各插件间的联接线全在柜内,改变系统结构也比较方便。显示操作部分是分离安装在操作台上的,便于运行人员在操作台上同时掌握多个机组的工况。由于组装式仪表的单元插件品种丰富,联接灵活,还具有逻辑控制和顺序控制等部件,故便于构成各种复杂的调节系统,如前馈调节,多参数解耦、超驰调节、全程调节等等。为了提高整个装置的可

靠性,还设置了监控部件,在故障报警的同时,能将控制系统自动地切换到安全位置。此外,对于接受计算机的设定值控制(SPC)和联接图象显示(CRT)方面也具有比较完善的功能。

射流技术是气动、液动自动化技术的新发展,射流元件是利用流体流动的物理现象工作的,与其他自动化元件相比有其独特之处,特别是射流检测和以对象介质作为工作介质的功率射流更为优越,射流元件与其他有关器件相配合,就能组成各种射流检测与控制装置,如简单的射流液位控制器、比较复杂的射流程控机等。

气动逻辑元件与射流元件不同,它是以压缩空气作为工作介质,通过一种可动部件的动作,对流路进行切换,从而实现一定的逻辑功能。它与其他器件配合使用,可组成各种自动控制装置。

调节仪表的调节规律,目前仍以位式调节、比例调节、比例积分调节、比例微分调节和比例积分微分调节为主,其他的调节规律,如前馈调节、极值调节、采样调节、超驰调节和非线性调节等,有些已制成了专用调节器,如极值调节器;有些则属于组装式仪表能够适应的范围,如超驰调节器。

自70年代以来,微型计算机正在逐步推广,现代控制理论已进入了实用阶段,国外已经出现了具有计算、存贮等功能的数字调节器,这种调节器可以实现多种控制规律,并且可与计算机、图象显示器和数据通道等组成新型控制系统。在此基础上,新型的分散控制系统和分级控制系统正在发展。这些自控系统的建立,必将在现代化工业所需的高效率、高速度、多参数、大规模的综合控制中发挥重要作用,对工业企业的科学管理方面也将有所促进。

第1章 气动单元组合仪表

1 概述

以压缩空气作能源进行工作的气动仪表已有近九十年的历史,19世纪末出现了气动薄膜调节阀;20世纪初出现了指示、记录型调节仪表,当时采用大型圆图记录纸,可进行两位、比例调节;20世纪30年代又增加了积分、微分调节作用,并发展了气

动变送器,使简单的基地式仪表功能进一步完善化;40年代末出现了尺寸为6"×6"的指示记录调节仪表,并带有自动 $\longleftrightarrow$ 手动切换机构,将过去的那种大而全的基地式仪表按功能划分成若干独立工作的单元;60年代发展了以条形、密集安装、偏差指示、与计算机可联用为特点的新型气动单元组合仪表,它与电动单元组合仪表共存,且外形尺寸趋向于统一

化; 70年代气动单元组合仪表在电动单元组合仪表和控制计算机迅速发展前提下, 仍在不断改进和提高。

我国60年代在总结国内外先进经验的基础上, 以工厂、研究所和高等院校三结合的形式研制成功的气动单元组合仪表(以下简称QDZ型仪表)已在各工业部门得到了广泛的应用。

QDZ型仪表是按照自动检测与自动调节系统中各组成部分的功能和现场使用要求, 划分成七类独立作用的单元, 各单元间的联系采用 $0.2\sim 1\text{ kgf/cm}^2$ 的统一标准压力信号, 用这些单元通过适当地组合可构成多种多样的自动检测与自动调节系统。

1.1 特点

QDZ型仪表的特点如下:

(1) 采用力平衡原理, 可动部分的工作位移极小, 无机械摩擦, 因此, 精度高, 灵敏度高, 工作可靠、寿命长。

(2) 整套仪表按组合原理设计, 在构成系统时, 具有较大的灵活性和通用性。

(3) 在结构设计方面, 贯彻了“三化”的原则, 因此, 便于大批生产, 维修方便。

(4) 输出功率、反应速度都较基地式仪表有所提高, 适合集中控制, 也能现场使用, 尤其可用于防爆、防火、防核辐射等场合。

(5) 能直接驱动气动执行器, 工作平稳, 又能通过转换单元与电动单元组合仪表配用。

(6) 气路较简单, 价格便宜。

(7) 需要一套去除油分、水分、尘埃的气源净化装置。

(8) 信号的传送速度比电动仪表慢得多, 且传送距离短。最大传送距离可达300米, 在传送距离大于60米时, 必须加中间继电器。

(9) 与电子计算机配用不便。

1.2 成套性

QDZ型仪表由以下七大类单元组成:

(1) 变送单元 测量温度、压力、流量、物位等工艺参数, 并转换成 $0.2\sim 1\text{ kgf/cm}^2$ 的标准压力信号, 传送给其他单元。

(2) 调节单元 根据被调参数的测量值与给定值的偏差, 实现各种调节规律(比例、积分、微分等),

并向执行器发出 $0.2\sim 1\text{ kgf/cm}^2$ 的调节信号。

(3) 显示单元 用于指示、记录或积算被测量, 带有调节单元的显示单元, 具有调控中心的作用。

(4) 计算单元 用于实现多种代数运算, 例如加、减、乘、除、开方等。

(5) 定值单元 用于提供调节单元的给定值, 实现调节系统的定值调节和程序调节等。

(6) 辅助单元 配合其他单元完成发信、切换和手操等辅助作用。

(7) 转换单元 完成电 $\rightarrow$ 气的信号转换, 将 $0\sim 10$ 毫安或 $4\sim 20$ 毫安的直流电流信号转换成 $0.2\sim 1\text{ kgf/cm}^2$ 的标准压力信号, 以组合气、电混合调节系统。

以上各单元及其相互关系如图46.1-1所示。

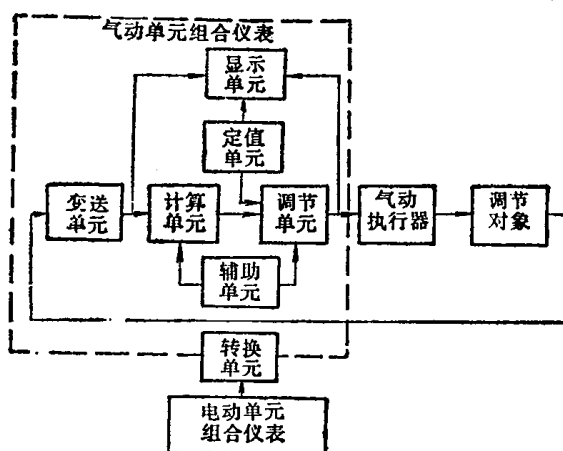


图 46.1-1 各组成单元及其相互关系

1.3 主要技术指标

QDZ型仪表的共同技术指标为:

- 1) 气源压力 $\ominus$ 1.4 kgf/cm^2
- 2) 单元间的传递信号 $0.2\sim 1\text{ kgf/cm}^2$
- 3) 基本精度 分别为输出压力范围的 $\pm 0.5\%$, $\pm 1\%$, $\pm 1.5\%$ 等
- 4) 灵敏限 $0.05\sim 0.2\%$
- 5) 传送时间 小于5秒(在直径为4毫米, 长为60米的管道中)

$\ominus$ 要求进入仪表前的压缩空气中含尘微粒直径小于20微米; 供气管线中不得生成凝结水, 干燥空气的露点应控制在比环境最低温度还低 $5\sim 10^\circ\text{C}$; 压缩空气含油量不大于15ppm(即15毫克/米³)。

- 6) 工作环境 温度 $-20\sim 60^{\circ}\text{C}$
湿度小于 95%

另外,关于气动仪表的标准压力信号,国际电工委员会(IEC)1971年推荐的数值为 $0.2\sim 1\text{ bar}$ (巴),其换算关系见表 46.1-1。

表 46.1-1 气动仪表标准压力信号
常用单位换算表

bar	0.2	1	0.1961	0.9807
kgf/cm ²	0.2039	1.0197	0.2	1

1.4 调节仪表的选用

电动仪表与气动仪表的选用要视具体情况而定,当要求控制速度快、控制距离远(大于 150 米)已有大量电子设备等情况下,宜用电动仪表;当控制距离在 150 米以内,且要求防火、防爆、运行安全可靠时,则宜用气动仪表。在现代大型企业中,有时是两种仪表并用,互为补充。

气动仪表正在逐步克服其缺点而发展,例如,新的显示调节仪内就具有自动 $\longleftrightarrow$ 手动无扰动切换机构,能作远程和本机给定;带有报警机构和计算机给定机构,并能密集安装等。

2 变送单元

在自动调节系统中,变送器将过程变量即各种物理量转换成标准压力信号。

气动变送器的品种如表 46.1-2 所示。

气动变送器绝大多数由两个基本部分组成。

(1) 测量部分

感受被测物理量,并将其转换为测量力 P , 见图 46.1-2。

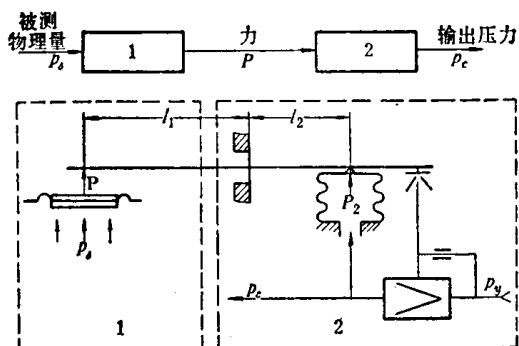


图 46.1-2 气动变送器构成原理图(单杠杆)

1—测量部分 2—力-气转换部分

表 46.1-2 气动变送器品种

被测物理量	名 称
压 力	压力变送器 负压变送器 绝对压力变送器
差 压	(普通)差压变送器 单晶硅差压变送器 双晶硅差压变送器
流 量	差压孔板流量变送器 靶式流量变送器
液 位	浮筒液位变送器
温 度	压力膨胀式温度变送器 气动电测温度(温差)变送器
浓 度	纸浆浓度变送器
位 移	线位移变送器 角位移变送器
成 分	成分变送器

将被测变量转换为力常用的检测元件如表 46.1-3 所列。

随着新型检测元件的出现,变送器的品种将日臻完善。

用电动变送器把被测变量变换为标准电信号(直流 $0\sim 10\text{ mA}$ 、 $4\sim 20\text{ mA}$ 或 $0\sim 10\text{ mV}$),再采用电-气转换器把标准电信号转换成标准的压力信号,可扩大 QDZ 型仪表的应用范围。

(2) 力-气转换部分

将测量力 P 转换成标准压力信号,见图 46.1-2。

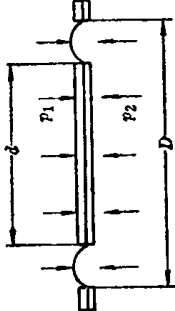
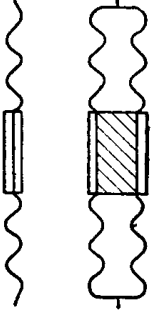
变送器的力-气转换部分尽管结构形式较多,但基本原理大体可分为力平衡式及位移平衡式两种。目前大多数是按力平衡(或力矩平衡,通称力补偿)原理设计的。仪表受测量力 P 作用后,在杠杆上产生力矩,使杠杆绕支点转动,从而改变喷嘴-挡板的间隙,于是喷嘴背压发生变化,经功率放大器放大后成为输出信号,进入反馈波纹管。在杠杆上形成反馈力矩,与测量力 P 在杠杆上形成的力矩进行比较,直到平衡为止。当杠杆平衡后,整个杠杆基本上恢复至原来位置。

在杠杆上可列出力矩平衡方程式:

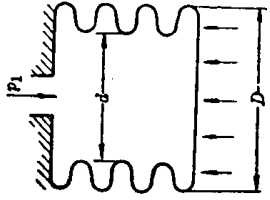
$$P l_1 = P_2 l_2$$

$$\therefore P_2 = p_c F$$

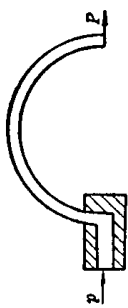
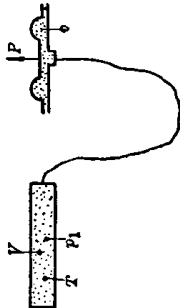
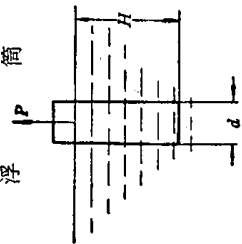
表 46.1-3 把被测物理量转换为力的检测元件

序号	检测元件	被测物理量	所用材料	计算公式	使用范围			说明
					压力或差压	介质	温度 °C	
1	薄膜 	压力 负压 差压	丁腈混炼橡胶	合力 $P = \Delta P \cdot F$ $\Delta P = p_1 - p_2$ 有效面积 $F = \frac{\pi}{12} (D^2 + D\delta + \delta^2)$	0~4 mm H ₂ O 至 0~2 kgf/cm ²	空气、天然气、一般酸、碱、但不宜长期与机油、汽油、苯等介质接触	-20~+50	1. 公式是在薄膜基本上没有位移时才成立, 当位移增大时, 有效面积随着改变 2. 所能受的静压力的大小与保护装置有关, 一般在 6 kgf/cm ² 以下
2	膜片或膜盒 	压力 负压 差压	耐酸钢 1Cr18Ni9Ti		0~60 mm H ₂ O 至 0~25 kgf/cm ²	硝酸(各种浓度) 硫酸 2% 78% 硫酸+(0.5~6%) 硝酸 磷酸 10~50% 醋酸(各种浓度) 氢氧化钠 30% 氨气 醋酸+乙烯(各种浓度) 空气	20 <50 20~90 沸腾 沸腾 80 -15~8 -194~400	在 -60~80°C 范围内温度误差稳定
			耐酸钢 Cr18Ni12Mo2Ti Cr18Ni12Mo3Ti			硫酸 <40% 盐酸 <5% 磷酸 <80% <45% 氢氧化钠 40~78% 尿液、氨、二氧化碳、水(200 个大气压) 干燥氯气	20 20 20 沸腾 120 180 20	

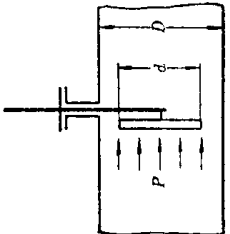
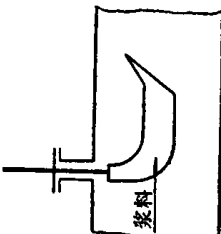
(续)

序号	检测元件	被测量	所用材料	计算公式	使用范围			说明
					压力或差压	介质	温度 °C	
2		压力 负压 差压	高弹性合金 Ni36CrTiAl			硝酸 10% 磷酸 15% 稀氢氧化钠	50	在 -60~80°C 范围内温度误差稳定
			高弹性合金 Co40NiCrMo			空气	最高 250	
			恒弹性合金 Ni42CrTi			良好的耐腐蚀性能	400	
			铍 青铜 QBe2				-40~80	
			锡 磷 青铜 QSn6.5~0.1			对大气及海水有良好的耐腐蚀性	-60~150	
3	波纹管		黄 铜 H80			能耐大气腐蚀	110	波纹管受力后产生位移, 位移量与受力的大小成比例、波纹管受压力的大小及位移量的大小均有限制, 见一机部标准 JB1111~1112-68
			锡 磷 青铜 QSn6.5~0.1	合力 $P = \Delta p F$ $\Delta p = p_1 - p_2$ 有效面积 $F = \frac{\pi}{16} (D + d)^2$		能耐大气腐蚀	100	
			铍 青 铜 QBe2 耐 酸 钢 1Cr18Ni9Ti			同 上	同 上	

(续)

序号	检测元件	被测物理量	所用材料	计算公式	使用范围			说明
					压力或差压	介质	温度 °C	
4	波登管 	压力	铬钒钢 50CrV _A		0~100 kgf/cm ² 至 0~2500 kgf/cm ²	大气、氨水等		P——波登管的径向张力
		负压	耐酸钢 1Cr18Ni9Ti		同上	见序号2同栏		
			黄铜 H80		0~1 kgf/cm ² 至 0~60 kgf/cm ²	能耐大气腐蚀	100	
5	温包 	温度	耐酸钢 1Cr18Ni9Ti	$\Delta p = \frac{p_1}{273} \cdot \frac{1+\mu}{\frac{1}{T} + \frac{\mu}{T_r}}$ 合力 $P = \Delta p F$ $\mu = \frac{v}{V}$		见序号4同栏	-100~300 200以上少用	公式是假设材料不膨胀的情况下才成立 F——弹性元件的有效面积 p ₁ ——温包系统的原始压力 Δp——温包系统的压力增量 T——介质的绝对温度 T _r ——环境的绝对温度 V——温包体积 v——毛细管及弹性元件体积
6	浮筒 	液位 重度	耐酸钢 1Cr18Ni9Ti	合力 $P = \frac{\pi d^2}{4} H \gamma$ P——浮力 H——液位 γ——液体重度	-1~64 kgf/cm ²	见序号4同栏	200	当液体重度固定时，浮力的变化就反映液位的变化 当液位固定时，浮力的变化就反映重度的变化

(续)

序号	检测元件	被测物理量	所用材料	计算公式	使用范围			说明
					压力或差压	介质	温度 °C	
7	靶 	流量	耐 酸 钢 1Cr18Ni9Ti	体积流量 $Q = K e \alpha \sqrt{\frac{P}{\gamma}} \quad \text{m}^3/\text{h}$ 重量流量 $G = K e \alpha \sqrt{P \gamma} \quad \text{kgf/h}$ 系数 $K = 14.29 D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right)$ 靶径比系数 $\beta = \frac{d}{D}$ 雷诺数 $Re_D = 354 \times 10^3 \frac{Q}{\gamma D}$ $= 354 \frac{G}{\mu D}$	400 kgf/cm ² (取决于管道结构)	见序号 4 同栏	400	e ——与温度有关的系数 靶部介质温度 °C e 值 -40~73 1.000 74~117 1.001 118~175 1.002 176~234 1.003 235~292 1.004 293~350 1.005 351~399 1.006 α ——流量系数 γ ——介质重度 kgf/m ³ ν ——运动粘性系数 CP μ ——动力粘性系数 CP
	刀形板 	纸浆浓度 2~5%	同 上		同 上	见序号 4 同栏, 还有各种纸浆、人造纤维、硝化纤维、化学纤维、赛璐珞等	60	浆料流动在刀形板上产生剪切力, 其大小与浓度的准确关系由实验决定

$$F = \frac{\pi}{16} (D+d)^2$$

$$\therefore p_o = P \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{16}{\pi (D+d)^2} \quad (46.1-1)$$

式中 p_o ——输出压力 kgf/cm^2

P_2 ——反馈波纹管形成的作用力 kgf

l_1, l_2 ——分别为测量力和反馈力到杠杆支点的距离 cm

D, d ——反馈波纹管的外径和内径 cm

即输出压力与输入信号 P 成比例, 实现了力-气转换。转换的比例系数为 K_1

$$K_1 = \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{16}{\pi (D+d)^2}$$

当仪表的结构决定以后, 只有尺寸 l_2 和 D, d 是可以改变的。由于仪表尺寸的限制, 一般可变范围为 1:3。

图 46.1-2 为单杠杆式结构, 其特点是结构简单, 但测量范围窄, 要扩大测量范围, 除改变 l_2 的长度外, 还须更换不同尺寸的反馈波纹管。使用起来不够方便, 因此较少采用。

常见的是双杠杆结构, 如图 46.1-3 所示。它与单杠杆的区别在于增加了一个副杠杆, 支点可以在副杠杆上移动, 两杠杆在顶部固结起来。当 P 作用在主杠杆上时, 主杠杆带动挡板相对喷嘴移动, 引起喷嘴背压改变, 经过放大后输出压力反馈至波纹管, 在副杠杆上形成反馈力矩, 与输入信号形成的力矩相平衡, 使输出压力稳定在相应的数值上。

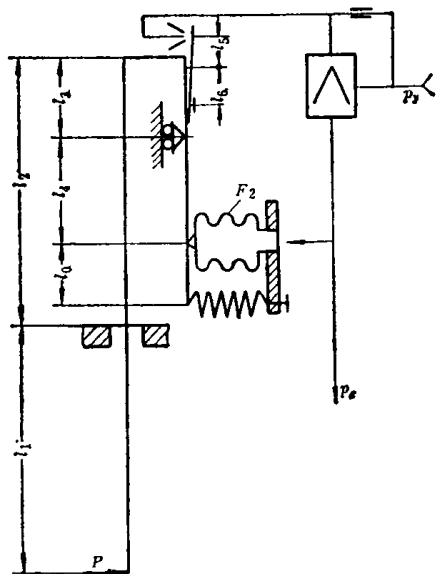


图 46.1-3 气动变送器原理图(双杠杆)

同样, 可列出下列平衡方程:

$$p_o = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4 F_2} P = K_2 P \quad (46.1-2)$$

其中 l_2, l_4 均可以改变, 比较容易使比例系数 K_2 变化为 1:10。

双杠杆结构由于测量范围大, 使用方便, 性能稳定可靠, 因此得到广泛应用。

矢量机构的力-气转换部件如图 46.1-4 所示。它有一个主杠杆, 一个副杠杆和一个矢量杠杆。当 B 点沿垂线上下移动时, 矢量杠杆与副杠杆的夹角 β 则改变。主副杠杆之间用簧片连结。当输入信

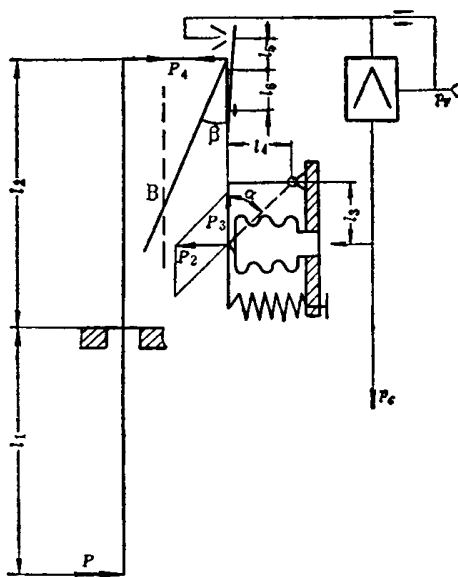


图 46.1-4 气动变送器原理图(矢量机构)

号 P 改变以后, 主杠杆摆动, 带动挡板相对喷嘴移动, 使喷嘴背压变化, 经放大后成为输出压力, 同时通过反馈波纹管, 使反馈力 P_2 作用在副杠杆上, 由于铰链的作用, 使它的向上分力为

$$P_3 = P_2 \cot \alpha = P_2 \frac{l_3}{l_4}$$

$$P_2 = p_o F = p_o \frac{\pi}{16} (D+d)^2$$

在矢量机构上可列出下列式子:

$$\frac{P_4}{P_3} = \tan \beta$$

在主杠杆上可列出下列式子:

$$P l_1 = P_4 l_2 = P_3 l_2 \tan \beta$$

$$\therefore p_o = P \frac{l_1 l_4}{l_2 l_3} \cdot \frac{16}{\pi (D+d)^2} \cot \beta$$

$$= K_3 P \quad (46.1-3)$$

其中 K_3 为比例系数

$$K_3 = \frac{l_1 l_4}{l_2 l_3} \cdot \frac{16}{\pi (D+d)^2} \operatorname{ctg} \beta$$

当机构的尺寸 l_1 、 l_2 、 l_3 、 l_4 确定以后, 调整 B 点位置就可以改变 β 角, 改变比例系数 K_3 , 从而调整仪表的测量范围。一般角度 $\beta = 2^\circ \sim 15^\circ$, 由于角度很小, 因此矢量机构可以测量微小的力。

2.1 差压变送器

差压变送器是无刻度的仪表, 它能把流量、液位、分界面、比重等物理量变换为标准压力信号 ($0.2 \sim 1 \text{ kgf/cm}^2$)。

2.1.1 工作原理

如图 46.1-5 所示, 被测信号 (p_1 和 p_2) 分别引入正、负压力室, 作用在膜盒上, 膜盒两侧有效面积相等, 因此作用在膜盒上的合力正比于压力差 $\Delta p_0 (p_1 - p_2)$ 。

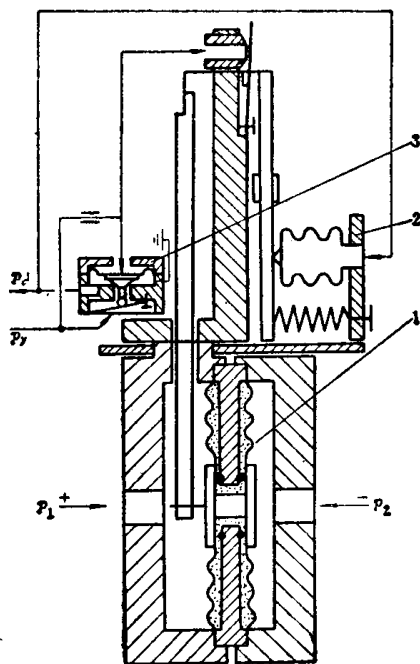


图 46.1-5 气动差压变送器原理图

1—测量部分 2—转换部分 3—放大器

差压作用在膜盒上的合力加在力-气转换部分杠杆的下端, 产生 $0.9 \sim 9 \text{ kgf-cm}$ 的标准力矩信号, 经转换放大成为仪表的输出压力。同时经反馈波纹管形成反馈力矩, 达到新的平衡。

2.1.2 结构

a. 测量部分 差压变送器的测量部分是由膜盒和壳体组成, 如图 46.1-6 所示。整个膜盒由两个膜片、保护座、硬心及硅油等组成。

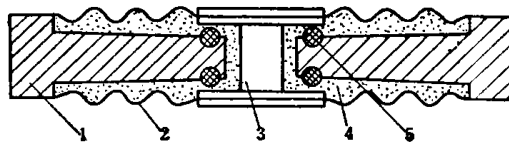


图 46.1-6 膜盒结构原理图

1—膜盒座 2—膜片 3—硬心 4—硅油 5—密封环

膜片波纹形状有正弦形、锯齿形、梯形或圆形等。膜片波纹的形状直接影响膜盒的特性。

膜盒保护座的两侧带有相应于膜片波纹的波形, 或只有微小锥度的波形, 这是为了保护膜片在高压下不受变形损坏。

空腔内充满硅油, 由于空腔体积小, 所以硅油引起的温度附加误差也很小。

充硅油前, 膜盒空腔应抽真空达 10^6 托, 否则当膜盒承受高压时, 残留气体将降低其可靠性, 并增加温度附加误差。

膜盒的位移量、有效面积、承载压力等均列于表 46.1-4 中。

b. 力-气转换部分 差压变送器的力-气转换部分采用双杠杆结构, 如图 46.1-3 所示。当考虑弹簧力后, 公式 (46.1-2) 应写成

$$p_c = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4 F_2} P + \frac{P_0 (l_0 + l_4)}{l_4 F_2} \quad \text{kgf/cm}^2 \quad (46.1-4)$$

式中 P_0 ——调零弹簧力 kgf

F_2 ——反馈波纹管有效面积 cm^2

当输入信号为零时 (即 $P=0$ 时), 输出零位为

$$p_{c0} = \frac{P_0 (l_0 + l_4)}{l_4 F_2} = 0.2 \quad \text{kgf/cm}^2$$

$$\therefore p_c = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4 F_2} P + 0.2 \quad \text{kgf/cm}^2 \quad (46.1-5)$$

此式为差压变送器输出压力与输入信号 P 的关系式。

c. 放大器 放大器的任务是把喷嘴-挡板间的位移变换成气压信号, 并进行功率放大, 使之成为仪表的输出压力。

其原理如图 46.1-7 所示, 当喷嘴-挡板间的距

表 46.1-4 差压变送器各种膜盒参数

名 称	高差压膜盒	中差压膜盒	小差压膜盒	低差压膜盒
测量范围	0~0.4~2.5 kgf/cm ²	0~1000~6000 mm H ₂ O	0~250~1600 mm H ₂ O	0~60~400 mm H ₂ O
有效面积 cm ²	7.8	26	66	115
最大工作压力 kgf/cm ²	-1~400	-1~400	-1~100	-1~64
最大位移 mm	0.5	0.6	1	1
膜片材料	耐酸钢 Cr18Ni12Mo2Ti 或高弹性合金 Ni36CrTiAl			

离改变时,引起喷嘴背压 p_D 改变,推动膜片和阀杆,从而改变气阻 R_1 (球阀与阀座的间隙)、 R_2 (锥阀与阀座的间隙)的阻值,一部分空气从 A 室进入 B 室,另一部分经 R_2 进入 C 室,并排入大气。其余成为输出压力。由于 R_2 的阻值不大,因而工作时排气量比较大,故称为泄气型放大器。

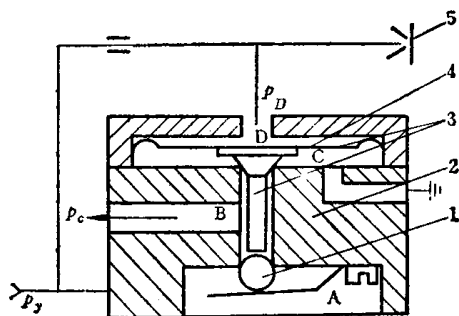


图 46.1-7 放大器原理图

1—球阀 2—阀座 3—阀杆 4—膜片 5—喷嘴-挡板

当阀杆的长度固定后, R_1 增大, 必然 R_2 减小, 此时排气量增大, 输出流量变小。

放大器的放大倍数一般为 6~30。可以认为是一个放大系数为常数的纯放大环节。放大系数取决于膜片刚度和 R_1 、 R_2 的数值。

d. 迁移机构 变送器经常带有迁移机构, 迁移机构作用的实质是附加一个弹簧力, 使变送器的特性沿信号压力的轴向平移, 如图 46.1-8 所示。

变送器在下述两种情况下需装上迁移机构:

(1) 变送器开始工作时的信号压力不是从零开始, 而是预先承受一个负荷(正或负), 因而必须用迁移机构事先进行补偿。

(2) 为了提高仪表测量精度, 缩小测量范围, 采用迁移机构预先进行补偿。

沿信号正方向迁移的叫正迁移, 往负方向迁移的叫负迁移。

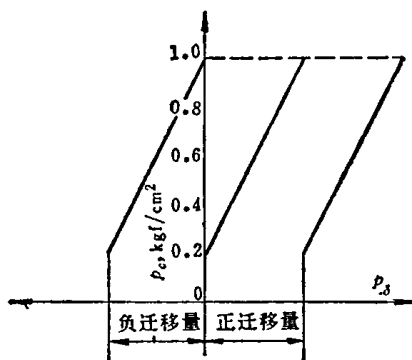


图 46.1-8 迁移特性

带有迁移机构的变送器, 输出压力与输入信号的关系为:

$$p_o = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4 F_2} P + 0.2 + p_T \quad (46.1-6)$$

因此实际迁移量的大小为

$$p_{cc} = \frac{p_T l_2 l_4 F_2}{l_1 l_3}$$

式中 p_T ——迁移弹簧的相当压力

实际的迁移量只能在一定的范围内调整, 称为允许迁移范围, 它除受上述几何尺寸的影响外, 还取决于膜盒的允许位移量。迁移后差压变送器所承受的最大差压值应小于该变送器的最大测量范围。

2.1.3 特性方程

a. 静特性方程 压力差作用在膜盒上, 形成合力

$$P = \Delta p_s F_1$$

式中 Δp_s ——压力差

F_1 ——膜盒有效面积

代入式(46.1-5)中可得

$$p_o = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4} \frac{F_1}{F_2} \Delta p_s + 0.2 \quad \text{kgf/cm}^2 \quad (46.1-7)$$

b. 动特性方程 差压变送器传递函数的方框图如图 46.1-9 所示。

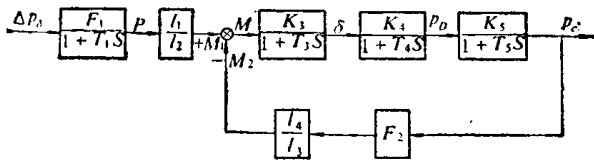


图 46.1-9 差压变送器传递函数方框图

图中 $\frac{F_1}{1+T_1S}$ ——膜盒的传递函数

F_1 ——膜盒的有效面积

$\frac{K_3}{1+T_3S}$ ——弹性系统的传递函数

$\frac{K_4}{1+T_4S}$ ——喷嘴-挡板的传递函数

$\frac{K_5}{1+T_5S}$ ——放大器的传递函数

K_3 ——弹性元件的换算系数

K_4 ——喷嘴-挡板的放大系数

K_5 ——放大器的放大系数

δ ——挡板位移

T_1, T_3, T_4, T_5 ——分别为时间常数

当忽略时间常数的三次项后, 总的传递函数近似式为

$$W(S) = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4} \times \frac{F}{F_2(1+T_1S)} \times \frac{\omega_0^2}{S^2 + 2\xi\omega_0 S + \omega_0^2} \quad (46.1-8)$$

式中自然频率

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{K_3 K_4 K_5 F_2 \frac{l_4}{l_3}}{T_3 T_4 + T_3 T_5 + T_4 T_5}} \quad (46.1-9)$$

阻尼系数

$$\xi = \frac{T_3 T_4 T_5}{\sqrt{\left(K_3 K_4 K_5 F_2 \frac{l_4}{l_3}\right)(T_3 T_4 + T_3 T_5 + T_4 T_5)}} \quad (46.1-10)$$

从式(46.1-8)可知, 若

$$\frac{\omega_0^2}{S^2 + 2\xi\omega_0 S + \omega_0^2} \approx 1$$

则

$$W(S) \approx \frac{l_1 l_3 F_1}{l_2 l_4 F_2 (1+T_1S)}$$

由于 T_1 是很小的数值, 所以此变送器是一个比例环

节, 其比例值与仪表的几何尺寸 $l_1, l_2, l_3, l_4, F_1, F_2$ 等数值有关。

2.1.4 法兰式差压变送器

把正、负压的感测部分做成法兰的形式, 就称为法兰式差压变送器。只把正压的感测部分做成法兰的叫单法兰差压变送器; 正、负压的感测部分都做成法兰形式的叫双法兰差压变送器。法兰的形式还分为平法兰和插入式法兰两种。

法兰的尺寸采用 JB82-59 标准。插入式法兰的深度一般为 150 毫米。

法兰式差压变送器工作在粘度大、有结晶、腐蚀性强的介质中时, 不存在堵塞取压管的问题。

2.1.5 差压变送器的应用

a. 流量测量 利用差压变送器测量孔板等节流装置前后的压力差, 可以测量气体、液体等介质的流量。但不宜测量浓度大、易结晶和腐蚀性强的介质。

b. 液位或界面测量 测量容器上部与下部之间的压力差, 可以测量液位或界面。

对于易结晶的介质, 宜用法兰型差压变送器。

c. 重度测量 当液位不变时, 测量容器上部、下部之间的压力差, 可以测量液体的重度。

差压变送器应用举例列于表 46.1-5 中。

2.2 压力变送器

它能把液体或气体的压力、负压和绝对压力转换成标准压力信号。

气动压力变送器的品种如表 46.1-6 所示。

气动压力变送器的原理如图 46.1-10 所示, 其结构由测量部分和力-气转换部分组成, 后者与差压变送器的完全相同。

采用压力变送器时应注意以下几点:

(1) 当测量压力为负压或者压力低于 0.1 kgf/cm² 时, 可采用差压变送器代替压力变送器, 或采用带负迁移机构的压力变送器。

(2) 由于被测介质粘度大, 有结晶、腐蚀性强, 而容易堵塞取压管时, 应加隔离容器或采用法兰式差压变送器。

(3) 当介质温度高时应采用隔离器。

表 46.1-5 差压变送器应用例

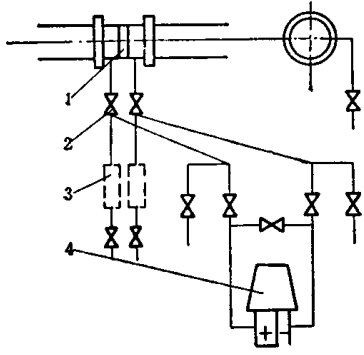
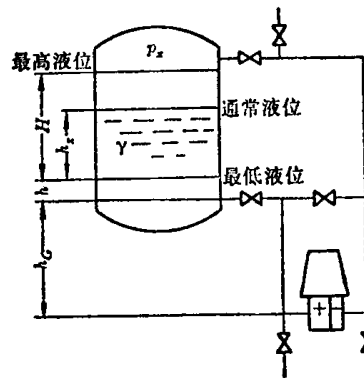
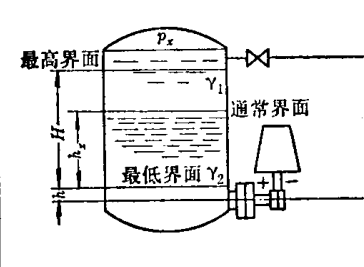
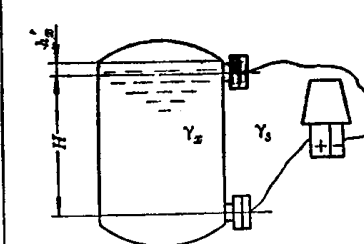
被测量	测量原理	选用仪表	仪表特性	说明
流量		差压变送器	量程 Δp 按所选节流装置和被测介质流量进行计算	1. 孔板 2. 截止阀 3. 沉降器 4. 差压变送器
液位		差压变送器 (带正迁移)	量程: $\Delta p = H\gamma$ 正迁移量为: $\gamma(h + h_G)$ 输出特性: $p_c = 0.8 \frac{h_x}{H} + 0.2$	p_c ——变送器输出压力 γ ——介质重度 h_x ——被测液位 p_x ——静压
液位 (分界面)		单法兰差压变送器 (带正迁移)	量程: $\Delta p = H(\gamma_2 - \gamma_1)$ 正迁移量为: $h(\gamma_2 - \gamma_1)$, 输出特性: $p_c = 0.8 \frac{h_x}{H} + 0.2$	h_x ——被测界面高度 γ_1, γ_2 ——两种介质的重度 H ——最高界面
重度		双法兰差压变送器	量程: $\Delta p = H(\gamma_{\max} - \gamma_{\min})$ 迁移量为: $H(\gamma_{\min} - \gamma_s)$ 输出特性: $p_c = 0.8 \frac{\gamma_x - \gamma_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}} + 0.2$	γ_s ——双法兰毛细管内充填硅油的重度 $\gamma_{\max}$ ——重度的最大值 $\gamma_{\min}$ ——重度的最小值

表 46.1-6 气动压力变送器品种

名称	型式	量程	检测元件	
			规格	材料
气动压力变送器	普通型 平砧兰型 插入砧兰型	绝对压力 0~60~400 mm H ₂ O 绝对压力 0~250~1600 mm H ₂ O	膜片有效面积 115 cm ² 膜片有效面积 66 cm ²	耐 酸 钢 Cr18Ni12Mo2Ti 或高弹性合金 Ni36CrTiAl
		0~0.1~0.6 0~0.4~2.5 0~1.6~10 } kgf/cm ²	波纹管有效面积 14.19 4.24 1.77 } cm ²	耐 酸 钢 1Cr18Ni9Ti 或 黄 铜 80
		0~6~40 0~25~160 0~100~600 0~1000~2500 } kgf/cm ²	波 登 管	耐 酸 钢 1Cr18Ni9Ti 或 铬 钒 钢 50CrVA

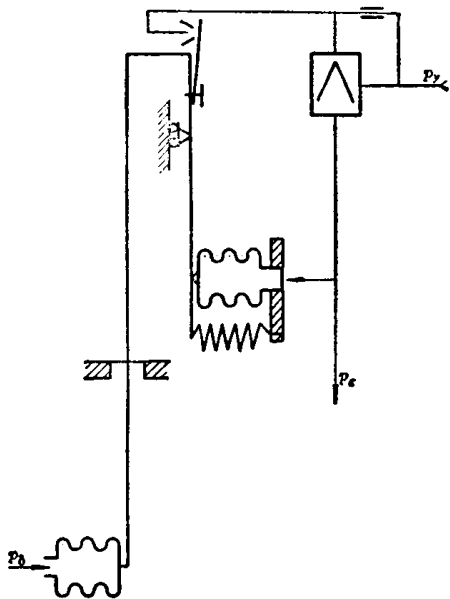


图 46.1-10 气动压力变送器工作原理图

2.3 浮筒式液位变送器

它能把液位、分界面、液体重度等物理量变换为标准压力信号。

变送器的原理如图 46.1-11 所示，其结构由测量部分和力-气转换部分组成，后者与差压变送器完全相同。

检测元件为浸入液体中的浮筒，它把液位或重度的变化变换为浮力的变化。

当液位或重度变化时(浮筒位置不变)，浮筒的

浮力为

$$P = \gamma V \quad (46.1-11)$$

式中 P ——浮力

γ ——液体的重度

V ——浮筒浸入液体中的体积

当浮筒采用圆柱体时

$$V = H \frac{\pi d^2}{4}$$

$$\therefore P = \frac{\pi d^2}{4} H \gamma \quad (46.1-12)$$

由此可见，当液体的重度不变时，液位(H)与浮力是成正比的，反之，当 H 不变时，也可利用此式测 γ 。

浮筒液位变送器的品种列于表 46.1-7 中。

测量液位既可采用差压变送器，也可采用浮筒

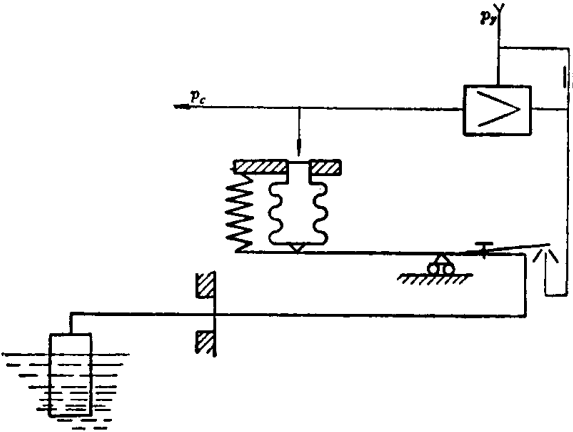


图 46.1-11 气动浮筒液位变送器原理图

表 46.1-7 气动液位变送器品种

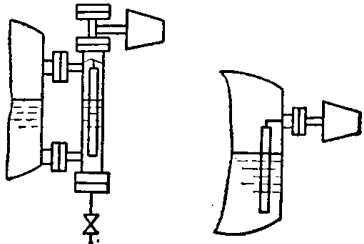
名 称	量 程		静 压 kgf/cm ²	材 料	形 式
	液位 mm H ₂ O	重度 τ /m ³			
气 动 浮 筒 液 位 变 送 器	300	} 0.5~1.5	64 160 320 共三种	耐 酸 钢 1Cr18Ni9Ti	 a) 外浮筒 b) 内浮筒
	500				
	800				
	1200				
	2000				

表 46.1-8 测量液位和重度时选用仪表的注意事项

名 称	型 式	测量范围 mm H ₂ O	使 用 场 合
差压变送器	普 通 型	1,000~10,000	1. 一般场合 2. 加隔离装置可测介质温度高达 100°C
	吹 气 法		1. 开口容器 2. 吹气源压力应稳定,且压力大于容器内压力,吹气对被测介质应无影响 3. 介质易沉淀,粘度高,腐蚀性强
	吹 液 法		1. 吹液源压力应稳定,且压力大于容器内压力,吹液对被测介质应无影响 2. 介质易沉淀,粘度高,腐蚀性强
	砵 兰 型	1,000~6,000	1. 介质易结晶,易沉淀,粘度高,腐蚀性强 2. 温度不宜高于 200°C
浮筒液位变送器		0~300~800	1. 介质重度应在 0.5~1.5 τ /m ³ 范围内 2. 温度不大于 200°C 3. 不宜有浮游物

液位变送器,选用时的注意事项如表 46.1-8 所列。

2.4 靶式流量变送器

气动靶式流量变送器能把介质(气体、蒸气、液体)的流量,特别是高粘度或带有悬浮颗粒介质的流量连续变换成统一的压力信号。

变送器的原理如图 46.1-12 所示,其结构由测量部分及力-气转换部分组成,后者与差压变送器完全相同。

检测元件为靶片,当流体通过时,在靶片上产生的作用力 P 与流量 Q 的关系为

$$Q=K e \alpha \sqrt{\frac{P}{\gamma}} \quad \text{m}^3/\text{h} \quad (46.1-13)$$

$$G=K e \alpha \sqrt{P \gamma} \quad \text{kgf/h} \quad (46.1-14)$$

式中的符号和数值见表 46.1-9,而温度系数 e 的数值见表 46.1-3 的第 7 栏。

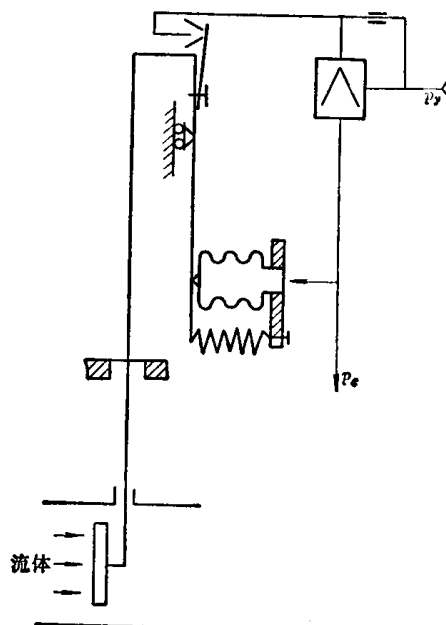


图 46.1-12 气动靶式流量变送器原理图

表 46.1-9 气动靶式流量变送器品种和参数

公称管径 mm	系数 β	测 量 范 围 (按水流量) m^3/h	流量 系数 α	界 限 雷诺数 Re_k	精度 %	静 压 kgf/cm^2	靶上 受力 kgf	温度 $^{\circ}\text{C}$	材 料	备 注
15	0.866	0~2.07	0.836	5000	± 5	25 及 160	1 或 1.3	100 或 400	耐 酸 钢 1Cr18Ni9Ti	当介质温度为 100 $^{\circ}\text{C}$ 时, 靶上 受力P为1.3~8 kgf 400 $^{\circ}\text{C}$ 时, 靶 上受力P为1~6 kgf
25	0.8	0~4.15~9.6	0.725	3500	± 5		1.3~8 或 1~6			
40	0.8	0~6.3~15.8	0.696	1500	± 3					
	0.7	0~9.99~24.8	0.629	2500						
50	0.8	0~7.489~18.577	0.654	1300						
	0.7	0~11.931~29.594	0.644	2000						
80	0.8	0~11.87~28.98	0.630	2500						
	0.7	0~19~47.89	0.644	1500						
	0.6	0~29.1~71.27	0.655	6000						

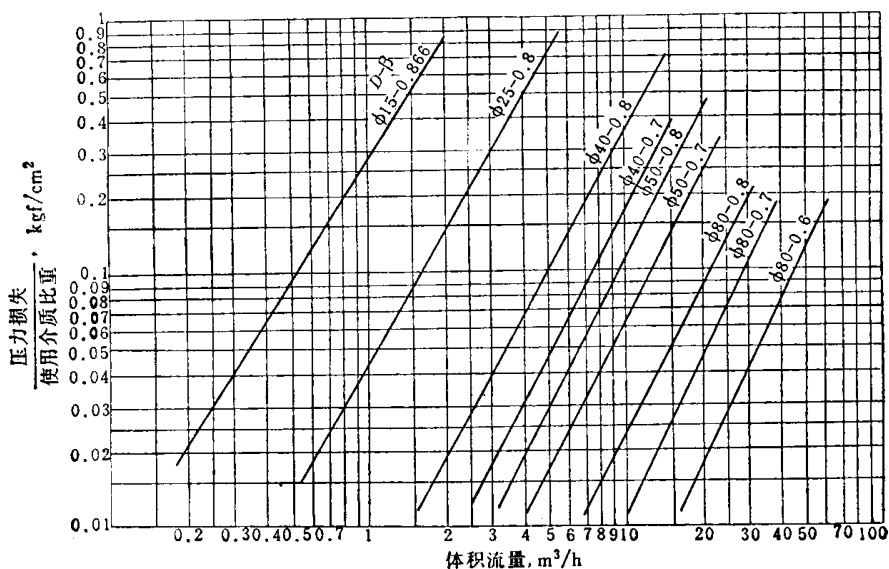


图 46.1-13 流量压力损失曲线

流体流靶式变送器产生的压力损失比流过孔板产生的压力损失小，其流量压力损失曲线如图 46.1-13 所示。

仪表可直接安装在管道上，介质不易被堵塞，特别适用于粘度大，腐蚀性强的介质。但仪表精度不高，难以准确计量。适用于流量调节系统。

2.5 纸浆浓度变送器

能把在管道中流动的各种纸浆、人造纤维、硝化纤维、赛璐珞等料液的浓度变换成标准压力信号。

变送器的原理如图 46.1-14 所示，其结构由测

量部分及力-气转换部分组成，后者与差压变送器完全相同。

检测元件为刀形平板，按照流体力学，物料在管内低速流动时，管壁上的料液静止不动，形成料液与液料之间有相对流动；在达到临界速度时，分层流动的物料流变为一个物料塞，与管壁作滑动，并形成水层，即水环现象。

刀形平板置于流动物料的管道中，受两个力的作用，即纤维与板壁的剪切力（有效面积为 F' ）和水层与板壁的剪切力（有效面积为 W ），见图 46.1-15。

当液料处于低速时，水层未形成，即 $W=0$ ，平