

第 30 篇 气动单元组合仪表

主编单位:

广东仪表厂

合稿人:

关士雄

编写人:

黄定韶 李福宁 滕毓椿 关士雄

特约编辑:

吴本汉

C44/2803

常用符号表

<p>A——有效面积</p> <p>A_M——测量元件有效面积</p> <p>C——刚度、常系数</p> <p>C_θ、C_ϕ——角刚度</p> <p>D、d——直径</p> <p>d_{av}——平均直径</p> <p>F——作用力</p> <p>F_f——反馈力</p> <p>F_M——测量力</p> <p>F_s——给定力</p> <p>F_0——调零弹簧力</p> <p>G——质量流量、重量</p> <p>h——喷嘴挡板间的距离</p> <p>i——传动比</p> <p>K、k——增益、比例系数</p> <p>K_D——微分增益</p> <p>K_I——积分增益</p> <p>K_p——比例增益</p> <p>l——长度、力臂</p> <p>M——力矩</p> <p>M_M——测量力矩</p> <p>M_f——反馈力矩</p> <p>M_i——输入力矩</p> <p>N、n——转速</p> <p>P——压力</p> <p>p_f——反馈压力</p>	<p>p_H——高压侧被测压力</p> <p>p_i——输入压力</p> <p>p_I——积分室压力</p> <p>p_L——低压侧被测压力</p> <p>p_m——手操器的输出压力</p> <p>p_M——测量压力</p> <p>p_0——输出压力</p> <p>p_R——正反馈室压力</p> <p>p_s——给定压力</p> <p>p_{sr}——气源压力</p> <p>ΔP——压力差、差压</p> <p>Q——体积流量</p> <p>R_D、R_I、R_f、R_p——气阻（节流阀）</p> <p>r——半径</p> <p>S——位移</p> <p>t——温度、时间</p> <p>T——绝对温度、时间</p> <p>T_I——积分时间</p> <p>T_D——微分时间</p> <p>V——容积</p> <p>X_p——比例范围（比例度、比例带）</p> <p>α——温度系数、转角</p> <p>β、θ、ϕ——转角</p> <p>λ——位移</p> <p>ω——角速度</p> <p>e、Δ——偏差、增量</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

第1章 概 论

1 气动单元组合仪表的基本特点及技术指标

气动单元组合仪表是工业生产过程自动控制的成套装置之一。它以压力为 1.4kgf/cm^2 的压缩空气为能源,按检测、控制、显示、操作等功能划分成若干单元。根据生产过程的要求,可组合成各种各样的控制系统。各单元之间的联系均采用统一标准压力信号($0.2\sim 1\text{kgf/cm}^2$)。

1.1 气动单元组合仪表的特点

1) 结构简单,直观,便于使用和维护。

2) 工作稳定可靠,极少突发性事故。气动控制回路正确工作的百分率较高。总气源发生故障时,利用储存的有压气体,短时间内仪表仍可继续工作。

3) 输出零漂小。

4) 价格一般比相应的电动装置便宜。

5) 有本质安全防爆性能,可工作于易燃、易爆炸的场合,也可在具有电磁场、放射线等环境中使用。仪表工作时经常有少量空气排出,有利于仪表本身的防腐防尘。

6) 仪表的输出可直接驱动气动执行器。

7) 气动信号传送距离一般为60m。超过150m时需加继电器,响应速度较电动仪表慢。但可以满足普通流程控制的要求。

1.2 仪表的工作条件及主要技术指标

1) 仪表的工作条件

(1) 周围环境温度: $5\sim 40^\circ\text{C}$ (盘装及架装仪表), $-10\sim 60^\circ\text{C}$ (现场安装仪表);

(2) 周围空气的相对湿度: $10\sim 90\%$ 。

2) 气源与电源

气源压力额定值为 1.4kgf/cm^2 、露点温度至少应比仪表工作环境温度低 10°C 。

气源应经脱湿除油,含油量不大于 1ppm ;应

无腐蚀性和溶剂;所含固体微粒数量应小于 0.1g/m^3 ,微粒直径不应大于 $3\mu\text{m}$ 。

电源: 仪表同步电机的电源为 220V 、 50Hz ;

报警灯的电源为 24V 、DC或AC。

3) 输入、输出信号的工作范围: $0.2\sim 1\text{kgf/cm}^2$ 。

4) 基本误差及变差 当周围空气温度为 $20\pm 5^\circ\text{C}$ 和相对湿度不大于 85% 时,仪表的允许基本误差如表30.1-1所示。

表30.1-1 气动单元组合仪表
各种功能的基本误差

功 能	精确度等级	允许基本误差 (%)
指示	1	± 1
记录	1	± 1
比例积分控制	1	± 1
比例积分微分控制	1.5	± 1.5
手操	2.5	± 2.5
变送	1	± 1
定值、计算、辅助	1	± 1
转换	1	± 1

仪表的变差不超过允许基本误差的绝对值。

5) 气动调节器的整定参数范围

比例范围 $5\sim 500\%$

积分时间 $0.01\sim 50\text{min}$

微分时间 $0.01\sim 50\text{min}$

6) 稳定性 仪表的不稳定性不超过允许基本误差的绝对值。

7) 死区 仪表的死区不超过允许基本误差绝对值的 $1/5$ 。

8) 输出信号传送时间 当传送管路长60m、内径为 4mm 时,仪表输出信号传送时间不超过5秒。

9) 变送器的静压误差 当工作压力由零增大到额定值和从额定值下降到零时,变送器允许的静压误差如表30.1-2所示。

表30.1-2 各种工作压力变送器的静压误差

工作压力 (kgf/cm ²)	输出压力变化相对于输出压力范围的百分数 (%)
≤25	≤±1
≤64	≤±1.5; ±2(适用于低差压)
≤100	≤±2
≤160	≤±2.5
≤250	≤±3
≤320	≤±3.5

变送器在承受额定工作压力的单向负荷后,经调整仍能正常工作。

10) 超负荷 仪表能承受输入信号上限 125% 的负荷,当信号恢复正常后,仪表应仍能正常工作。

11) 环境温度影响 当周围空气温度从 t_1 改变到 t_2 时,仪表的总误差不得超过下式计算值:

$$\text{总误差 } \Delta = \pm [x + \alpha |t_2 - t_1|] \%$$

式中 x —— 允许基本误差的绝对值

α —— 温度系数,各类仪表的温度系数值见表30.1-3。

表30.1-3 温度系数值

类型	显示机构	调节器、报警器	变送器
$\alpha [1/^\circ\text{C}]$	0.04	0.025	0.06

12) 报警误差及报警变差 报警误差不超过气压信号工作范围 (0.8kgf/cm²) 的 ±1.5%,报警变差不超过报警误差绝对值的 2 倍。

2 气动单元组合仪表的构成与分类

气动单元组合仪表由变送单元、调节单元、显示单元、计算单元、给定单元、辅助单元、转换单元等七类单元组成。它们的组合关系如图30.1-1所示。

气动单元组合仪表系统的构成及品种分类如图30.1-2所示。

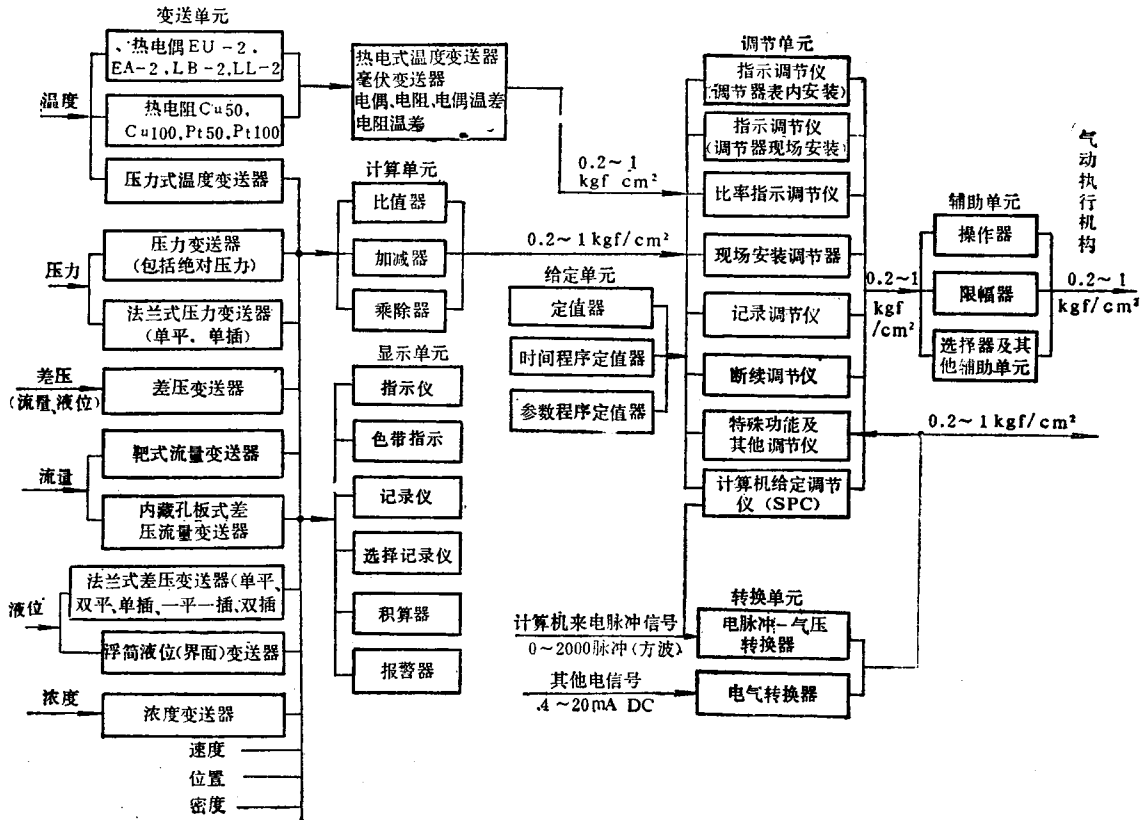


图30.1-2 气动单元组合仪表系统的构成及品种分类

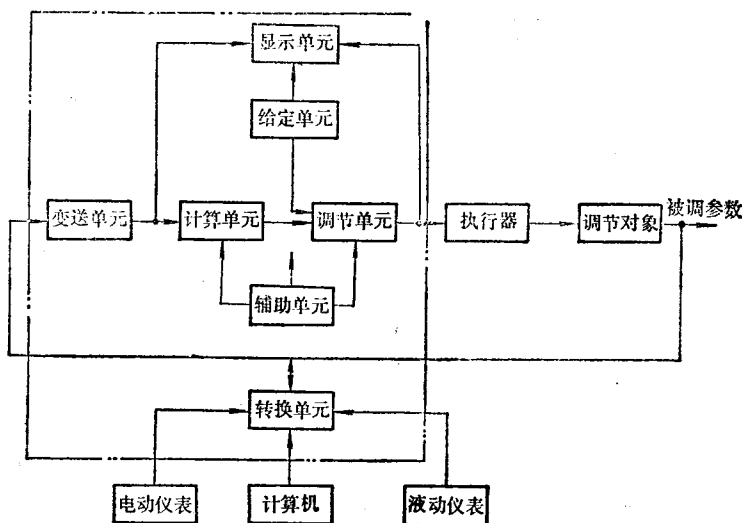


图30.1-1 气动单元组合仪表各单元组合关系

第2章 气动变送单元

气动变送单元将各种被测参数，如压力、差压、液位、重度、流量、温度等转换成标准的气压信号输送给其他单元。

气动变送单元的分类如表30.2-1所示。气动变送器大都采用力矩平衡原理，因此在结构上可分为

测量部分和力-气转换部分。测量部分把各种被测参数通过不同的检出元件转换为测量力，而力-气转换部分则把测量力转换成标准的气压信号输出，此部分在各品种中基本相同，零部件通用性较高。

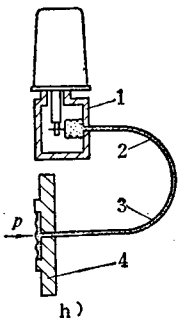
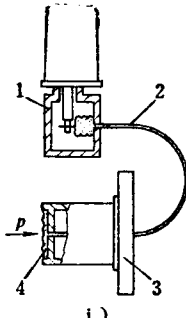
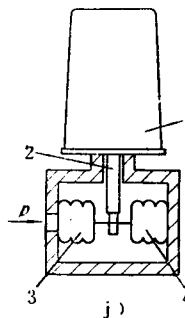
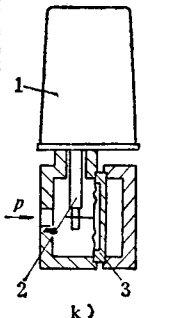
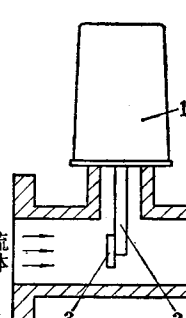
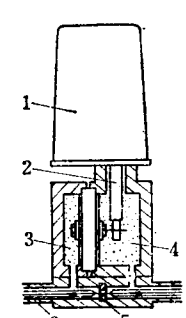
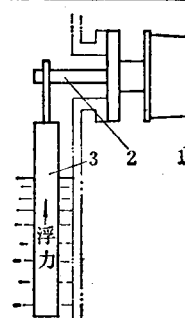
表30.2-1 气动变送单元分类表

分类	差 压 变 送 器		
	普通式差压变送器	单平法兰式差压变送器	单插法兰式差压变送器
示意图	<p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—膜盒 4—出轴密封膜片</p>	<p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—推杆 4—安装法兰 5—膜盒</p>	<p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—推杆 4—安装法兰 5—插入筒 6—膜盒</p>

(续)

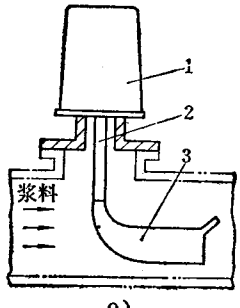
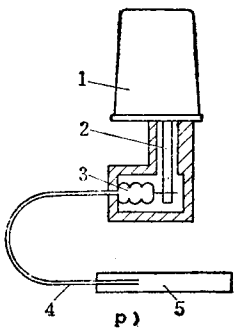
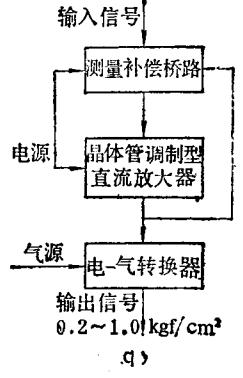
		差 压 变 送 器		
分 类	普通式差压变送器	单法兰式差压变送器	单插法兰式差压变送器	
	工作原理	被测压力信号 P_H 、 P_L 分别进入测量部分的高(+)、低(-)压室,作用在膜盒的两侧,通过膜盒转换成测量力,并作用于力-气转换部件,从而转换成标准气压信号输出		
测量元件	膜 盒			
测量范围	6mmH ₂ O~25kgf/cm ²	250mmH ₂ O~2.5kgf/cm ²	250mmH ₂ O~2.5kgf/cm ²	
备 注	1.常用于测量一般介质 2.与吹气法、吹液法配合使用,可测量高温介质、低温介质、高粘度、易结晶、易沉淀介质	常用于测量粘度大的介质	常用于测量易结晶、易沉淀介质	
分 类	差 压 变 送 器	压 力 变 送 器		
	双法兰式差压变送器	普 通 式		
		膜片式压力变送器	波纹管式压力变送器	弹簧管式压力变送器
示意图	<p>d)</p> <p>1—插入法兰 4—变送器主体 2—毛细管 5—平法兰 3—硅油</p>	<p>e)</p> <p>1—力-气转换部件 2—膜片 3—主杠杆</p>	<p>f)</p> <p>1—力-气转换部件 2—波纹管 3—主杠杆</p>	<p>g)</p> <p>1—力-气转换部件 2—弹簧管 3—主杠杆</p>
工作原理	被测压力信号 P_H 、 P_L 分别作用于高、低压侧测量法兰的膜片上,通过充满于毛细管及测量室内的硅油把压力传递至差压变送器主体内的膜盒上,膜盒再把压差转换成测量力,并作用于力-气转换部件,从而转换成标准气压信号输出	被测压力进入测量部分,通过测量元件膜片、波纹管、弹簧管转换成测量力并作用于力-气转换部件,从而转换成标准气压信号输出		
测量元件	膜 盒	膜 片	波 纹 管	弹 簧 管
测量范围	250mmH ₂ O~2.5kgf/cm ²	600~10000mmH ₂ O	0.1~40kgf/cm ²	6~2500kgf/cm ²
备 注	常用于测量高、低压都不易引压的高粘度、易结晶、易沉淀介质	1.常用于测量一般介质 2.为了克服自振现象,在力-气转换部分装有阻尼器		

(续)

分 类	压 力 变 送 器			绝对压力变送器
	负压变送器	法 兰 式		双 波 纹 管 式
		平法兰式压力变送器	插入法兰式压力变送器	
示意图	<p>与膜片式、波纹管式压力变送器相同</p>  <p>h)</p> <p>1—变送器主体 2—毛细管 3—硅油 4—平法兰</p>	 <p>i)</p> <p>1—变送器主体 2—毛细管 3—插入法兰 4—硅油</p>	 <p>j)</p> <p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—测量波纹管 4—基准波纹管</p>	
工作原理	<p>被测压力进入测量部分，通过测量元件膜片、波纹管、弹簧管转换成测量力并作用于力-气转换部件，从而转换成标准气压信号输出</p>	<p>被测压力作用于测量法兰的膜片上，通过充满于毛细管、波纹管及测量法兰内腔的硅油传递到变送器主体的测量元件转换成测量力，并作用于力-气转换部件，从而转换成标准气压信号输出</p>	<p>测量元件由同轴安装且有效面积相等的测量波纹管和基准波纹管组成，大气压对内腔真空的基准波纹管的作用力与被测表压对测量波纹管的作用力相迭加，相当于绝对压力产生的测量力作用于力-气转换部件，从而转换成标准气压信号输出</p>	
测量元件	膜片、波纹管	膜片、波纹管、弹簧管		波纹管
测量范围	0~ -760mmHg	1000mmH ₂ O~100kgf/cm ²		10~1600mmHg abs
备注	<p>负压变送器实质上是一个负迁移为100%的压力变送器</p>	<p>常用于测量粘度大的介质</p>	<p>常用于测量易结晶、易沉淀介质</p>	<p>1. 常用于测量一般介质的绝对压力 2. 为了克服自振现象，在力-气转换部件装有阻尼器</p>
分 类	绝对压力变送器	靶式流量变送器	内藏孔板差压流量变送器	浮筒液位变送器
	单膜片膜盒式			
示意图	 <p>k)</p> <p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—单膜片膜盒</p>	 <p>l)</p> <p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—圆形靶片</p>	 <p>m)</p> <p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—低压室 4—高压室 5—孔板 6—生产管道</p>	 <p>n)</p> <p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—浮筒</p>

(续)

分 类	绝对压力变送器	靶式流量变送器	内藏孔板差压流	浮筒液位变送器
	单膜片膜盒式		量 变 送 器	
工作原理	与双波纹管式的工作原理相同。单膜片膜盒的内腔抽真空，它承受被测表压和大气压的压力，产生相当于被测绝对压力产生的测量力，并作用于力-气转换部件，从而转换成标准气压信号输出	流体流经靶片时，产生一个与流量的平方成正比的冲击力并作用于力-气转换部件，从而转换成标准气压信号输出	流体流经仪表的内藏孔板时，在孔板前后产生一个与流量的平方成正比的差压信号进入差压变送部分，从而转换成标准的气压信号输出	浸在液体内的浮筒所受的浮力的大小，与液位成比例，这个浮力作用于力-气转换部件，从而转换成标准的气压信号输出
测量元件	单膜片膜盒	圆 靶	小 孔 板	浮 筒
测量范围	10mmHgabs~10kgf/cm ² abs	通径φ15~φ300 相当水流量2~950m ³ /h	相当水流量1~1000 l/h	重度0.5~1.5g/cm ³ 液位300; 500; 800; 1200; 1600; 2000mmH ₂ O
备 注	1.常用于测量一般介质的绝对压力 2.为了克服自振现象，在力-气转换部件装有阻尼器	1.常用于测量一般流体和带悬浮颗粒流体的流量 2.为了克服自振现象，在力-气转换部件装有阻尼器	常用于测量一般流体的小流量	1.常用于测量粘附力弱，翻腾少的液位 2.为了克服自振现象，在力-气转换部分装有阻尼器 3.为了平衡浮筒自重，在力-气转换部分装有迁移机构

分 类	纸浆浓度变送器	温 度 变 送 器	
		压力式温度变送器	电测温度变送器
示意图	 <p>o)</p> <p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—刀形板</p>	 <p>p)</p> <p>1—力-气转换部件 2—主杠杆 3—波纹管 4—毛细管 5—温包</p>	 <p>q)</p> <p>输出信号 0.2~1.0kgf/cm²</p>
工作原理	流动的纸浆在刀形板上产生一个与浆料浓度相对应的测量力，作用于力-气转换部件，从而转换成标准的气压信号输出	测量元件——温包内的气体在被测介质中受热后，气体压力与被测温度成比例地升高，作用于测量波纹管上产生测量力，再经力-气转换部件转换成标准的气压信号输出	被测温度由外接测量器件（热电偶、热电阻）转换为电信号输入，经电子线路转换成与温度成比例的直流电信号，再经过电气转换器转换成标准气压信号输出

(续)

分类	纸浆浓度变送器	温度变送器	
		压力式温度变送器	电测温度变送器
测量元件	刀形板	温包	(外接热电偶、热电阻)
测量范围	纸浆浓度2~6%	0~300°C	-200~+1600°C
备注	1.常用于测量纸浆、人造纤维、硝化纤维、赛璐珞等料液的浓度 2.为了克服自振现象,在力-气转换部分装有阻尼器	可在有爆炸危险的场合测量介质温度	一般不应在有爆炸危险的场合下测量介质的温度

1 力-气转换部件

力-气转换部件主要有三种结构型式:双杠杆、单杠杆和矢量式,如表 30.2-2 所列。力-气转换部

件由杠杆系统、喷嘴挡板机构、功率放大器、反馈波纹管等四个主要部分和迁移机构、阻尼器等两个附加部分组成。结构型式的区分主要在于杠杆系统。

表30.2-2 几种结构型式的力-气转换部件

结构型式	双杠杆结构	单杠杆结构	矢量式结构	
			小力矩式	一般力矩式
示意图				
测量力矩	90~900kgf·mm	80~500kgf·mm	9~90kgf·mm	80~800kgf·mm
优点	1.量程比大 2.量程调整简单 3.结构较简单	1.结构最简单 2.量程调整较简单	1.检测力矩小 2.量程调整最简单 3.稳定性好	1.量程调整最简单 2.稳定性好
缺点	1.检测力矩较大 2.量程调整后,零位有变化	1.量程比小,要借助于双层反馈波纹管来扩大测量范围 2.量程调整要移动反馈波纹管,调整后零位易变化	1.精确度稍低 2.结构稍复杂 3.量程比小,要借助于双层反馈波纹管来扩大测量范围	1.结构稍复杂 2.量程比小,要借助于双层反馈波纹管来扩大测量范围

1.1 双杠杆力-气转换部件

如图30.2-1所示,由检出元件获得的测量力 F_M 通过主杠杆1传递给力-气转换部件。主杠杆是由上、下杠杆用螺纹连接而成,中间夹紧出轴密封膜片2,此膜片固定于变送器的基体上,作为主杠杆的弹性转动支点,并密封被测介质。主杠杆下端用螺母来紧固测量元件的传动簧片。主杠杆的上端通过畸形簧片7与副杠杆5连接。工作时,畸形簧片始终承受拉力。在主、副杠杆两侧各有两根主、副拉条。主拉条用来承受被测介质静压作用于出轴密封膜片上的力,使该膜片在高静压作用下不致破坏。主、副拉条的布置,使整个杠杆系统除垂直挡板方向外的各个方向的刚度都很大,从而增加变送器的稳定性。副杠杆上端与畸形簧片连接,下端与反馈波纹管12和调零弹簧13连接,中部装有可上下移动的行程支点4,改变支点上下位置可以改变变送器的量程。喷嘴8和挡板9固定在支架3上,通过副杠杆上的挡板顶针6带动挡板位移。

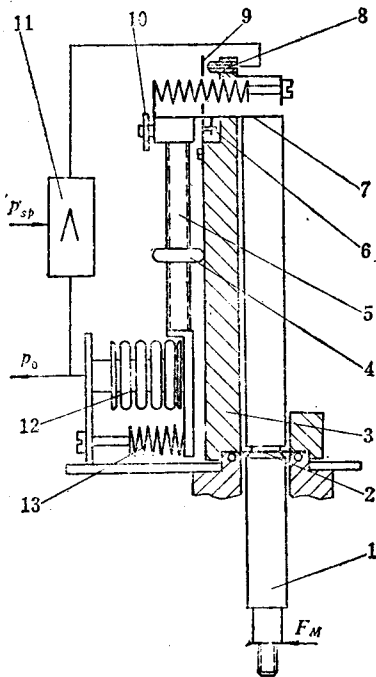


图30.2-1 双杠杆力-气转换部件结构原理图
 1—主杠杆 2—出轴密封膜片 3—支架 4—量程支点 5—副杠杆 6—挡板顶针 7—畸形簧片 8—喷嘴 9—挡板 10—静压轮 11—放大器 12—反馈波纹管 13—调零弹簧

测量力 F_M 作用于主杠杆1的下端,产生以出轴膜片2为支点的力矩 M_M ,使主杠杆作顺时针方向偏转,并通过畸形簧片7带动副杠杆也沿着顺时针方向偏转,固定在副杠杆上的挡板顶针6使挡板9靠近喷嘴8,从而使喷嘴背压增大。背压信号经放大器11放大后,一方面作为变送器的输出信号 P_0 ,另一方面进入反馈波纹管12,产生的反馈力 F_f 作用于副杠杆5上,形成绕量程支点4的逆时针方向力矩 M_f ,通过畸形簧片7传递到主杠杆上,使挡板离开喷嘴。当作用在主杠杆上的两个力矩相等时,主杠杆在新的位置上获得平衡,喷嘴挡板间的间隙随即不变。这样,放大器就输出一个与测量信号成比例的气压信号。

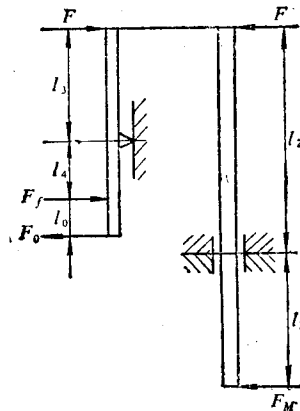


图30.2-2 双杠杆力-气转换部件受力简图

图30.2-2是双杠杆力-气转换部件的受力简图。式(30.2-1)为双杠杆力-气转换部件的静特性方程:

$$P_0 = KF_M + 0.2 \text{ kgf/cm}^2 \quad (30.2-1)$$

式中 $K = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4 A_f}$ —— 双杠杆力-气转换部件的增益。

1.2 矢量式力-气转换部件

如图30.2-3所示,被测信号通过感测元件所产生的测量力 F_M 作用在主杠杆2的下端,使主杠杆绕出轴碗形膜片3转动。并对矢量机构6产生作用力 F 。矢量机构将力 F 分解为两个分力 F_1 和 F_2 , F_1 使反馈杠杆8绕支点7逆时针方向转动,使挡板5靠近喷嘴4,因而喷嘴背压增大,经放大器10放大后一方面作为变送器的输出压力 P_0 ,另一方

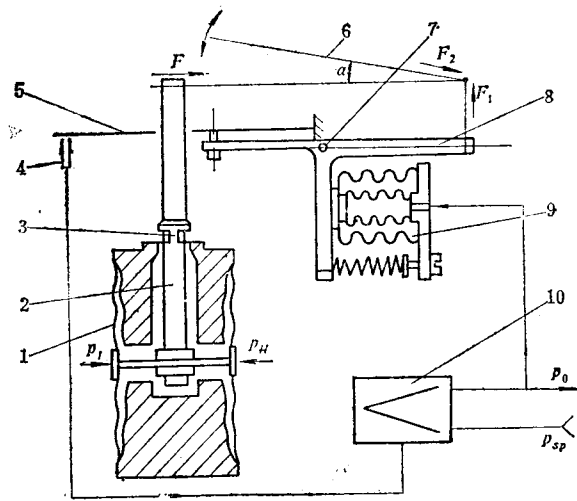


图30.2-3 矢量式力-气转换部件结构原理图

- 1—测量膜盒 2—主杠杆 3—出轴碗形膜片 4—喷嘴
5—挡板 6—矢量机构 7—支点 8—反馈杠杆 9—反馈波纹管 10—放大器

面进入反馈波纹管9，产生反馈力 F_f 作用于反馈杠杆上。当测量力与反馈力在反馈杠杆上产生的力矩相平衡时，喷嘴挡板的间隙保持不变，从而获得一个与测量力成比例的输出压力。

为了适应较宽的量程可调范围，采用双重反馈波纹管，反馈压力的通道是由选择阀的安装位置所决定，当反馈压力仅通向小波纹管时， A_f 较小，因而 K 较大。当反馈压力同时加到大小两波纹管时， A_f 较大，因而 K 较小。从而实现粗调量程。当改变矢量角 α 时， K 值随之改变，从而实现微调量程。

1.3 迁移机构

在实际应用中，由于测量方法或提高仪表实际测量准确度的需要，常常需要保持变送器的量程不变，而将测量的下限值移动某一数值，这一做法称为迁移。移动的数值称为迁移量，数值大于零者称为正迁移量，小于零者称为负迁移量。

为了实现迁移，在力-气转换部件上部加装一个迁移机构，如图30.2-5。迁移机构实质上是一个调节能力特别强的调零机构，它利用迁移弹簧附加一个作用于主杠杆上，以平衡迁移量产生的起始测量力，使变送器的输出压力仍以 0.2kgf/cm^2 为零位。

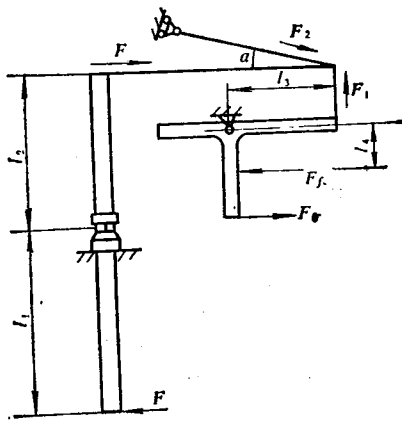


图30.2-4 矢量式力-气转换部件受力简图

图30.2-4是矢量式力-气转换部件的受力简图。式(30.2-2)是矢量式力-气转换部件的静态特性方程：

$$p_0 = KF_M + 0.2 \text{ kgf/cm}^2 \quad (30.2-2)$$

式中 $K = \frac{l_1 l_3}{l_2 l_4 A_f t g \alpha}$ 矢量式力-气转换部件的增益

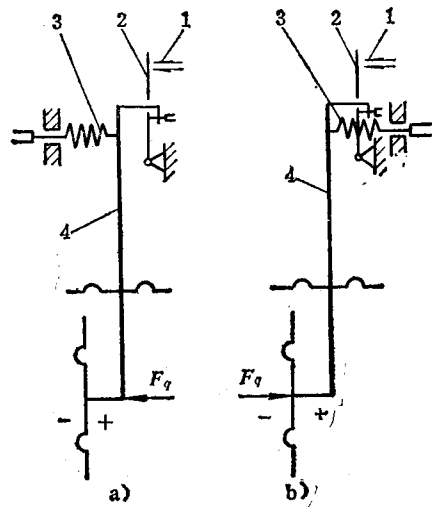


图30.2-5 正、负迁移原理图

a) 正迁移 b) 负迁移

- 1—喷嘴 2—挡板 3—迁移弹簧 4—主杠杆
 F_q —迁移量产生的起始测量力

迁移范围的大小主要取决于仪表的结构，特别是测量元件的线性范围。迁移后的测量上、下限值的绝对值，应小于变送器可调范围的上限值。

图30.2-6表示正负迁移特性：曲线1表示无迁移；曲线2表示负迁移；曲线3表示正迁移；曲线4表示负迁移量为校定量程100%的变送器，当不加信号时，其输出压力刚好为1 kgf/cm²。显然，带正迁移的变送器在不加信号时的输出压力小于0.2 kgf/cm²，带负迁移的变送器在不加信号时的输出压力大于0.2 kgf/cm²。

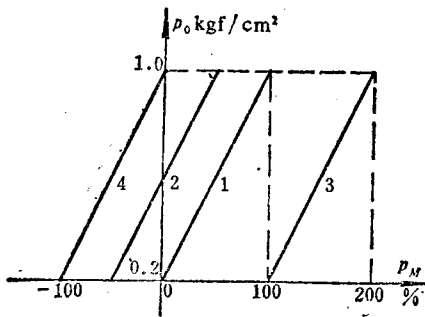


图30.2-6 正、负迁移特性

2 差压变送器

差压变送器可以用来测量压差、正压、负压、液位、界面、重度等参数，和节流装置配合还可以测量连续流动的液体、气体和蒸汽的流量。

2.1 测量部件

根据测量部件的结构特点，差压变送器分为普通式、单法兰式和双法兰式。根据使用上的需要，又有阻尼型、防腐型和高温型等特殊型式的变送器。

- 1) 出轴密封型式
 - ① 压紧平膜片结构型式：如表30.2-1中普通式差压变送器示意图，出轴密封膜片4，压紧一个O型密封环，把被测介质与外界隔离开来，并利用膜片4的柔性起到主杠杆的活动支承作用，把测量力通过主杠杆传递到力-气转换部件。要求出轴密封膜片有一定的耐蚀性、高的强度和弹性，通常采用高强度弹性合金材料（Co40 NiCrMo）制作，厚度不超过0.2mm。工作压力在100kgf/cm²以下，使用一片；工作压力在100kgf/cm²以上，一般使用2~3片迭合起来，以提高强度。
 - ② 全焊接出轴碗形密封膜片结构型式如图30.2-7所

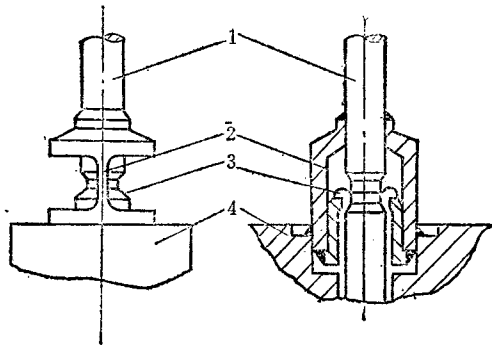


图30.2-7 全焊接出轴碗形密封膜片结构原理图

示，主杠杆1、拉条2与碗形密封膜片3焊接成一体。

2) 膜盒 膜盒的作用是把高、低压室的压力差转换成测量力。由于操作错误、管道堵塞、泄漏或断裂等原因，将使差压变送器的高压室或低压室单向承受工作压力。而这个单向压力往往大大超过变送器的测量范围。如果没有特别的保护措施，膜盒上的膜片会产生永久变形或破坏。因此膜盒结构必须有承受单向静压的保护措施。

膜盒单向静压保护有如图30.2-8所示的三种方法。图a) 膜盒座2的两端面加工成波纹，其形状与膜片4受压变形后的波纹形状相同。当膜片在单向静压作用下变形到一定程度，就完全紧贴在膜盒座上，从而保护膜片不产生永久变形或破坏。图b) 在膜盒座上有密封环5，当膜片在单向静压作用下，硬芯3位移动到一定程度就压在密封环上，使膜片4与膜盒座2之间形成两个密封腔，两腔内硅油互不流通，利用液体不可压缩性使膜片不会产生永久性变形或破坏。图c) 为由双膜片中间出轴带温度补偿的膜盒。其两膜片的连杆夹紧在温度补偿调整块的斜面内，腔室内充满硅油，其静压保护原理与图a)同。

常用膜盒的有关参数见表30.2-3。

3) 法兰结构 为了测量大粘度、易结晶、易沉淀介质，需要将变送器的高、低压容室做成带有法兰的形式，并用膜盒或膜片将容室与介质传输管道隔开，以防止被测介质沉淀、堵塞在容室内。仅高压容室带有法兰的叫单法兰差压变送器，高、低压容室都带有法兰的叫双法兰差压变送器。如表30.2-1所示。

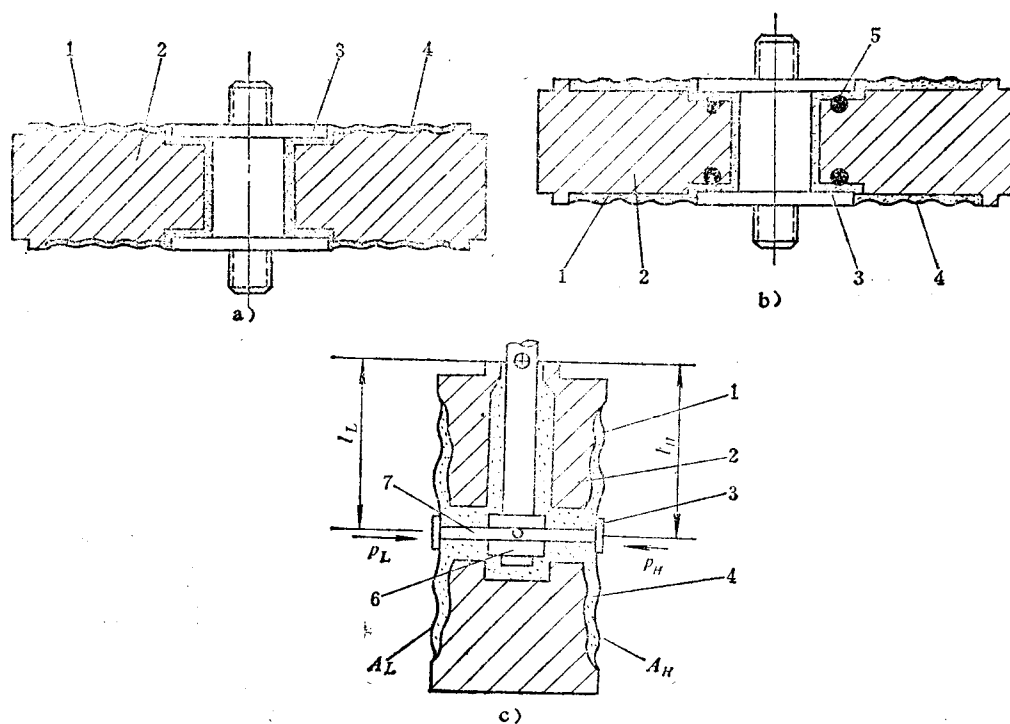


图30.2-8 膜盒的单向保护结构

a) 带波纹保护座的膜盒 b) 带密封环的膜盒 c) 带波纹保护座、双膜片中间出轴的膜盒
 1—硅油 2—膜盒座 3—硬芯 4—金属波纹膜片 5—O形密封环 6—调整块 7—连杆

表30.2-3 常用膜盒的参数

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至0~2.5 kgf/cm ²	0~1000至0~6000 mmH ₂ O	0~250至0~1600 mmH ₂ O	0~60 至 0~400 mmH 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			

双法兰差压变送器还有以下特点：

(1) 测量法兰安装位置的高、低直接影响变送器的输出，因此在安装后需要调整零位。但变送器的主体安放位置不影响变送器的输出，因而给安装带来方便。

(2) 由于硅油的阻尼作用，使变送器具有抗测量信号的高频干扰性能。

(3) 变送器主体内的测量膜盒不与介质直接接触，故变送器对介质具有较好的耐热性能。

4) 特殊结构

(1) 阻尼型：用于测量波动较剧烈的介质。阻尼型的膜盒灌充的是高粘度的硅油。

(2) 防腐型：主要用于测量腐蚀性介质。它有三种结构形式：与介质接触的部分用不受该介质腐蚀的材料制造；与介质接触部分喷涂防腐材料，形成保护膜；防腐塑料制成的波纹膜片紧贴于测量膜片上，以起保护作用。

(3) 高温型：在双法兰差压变送器毛细管

充以高温油，用于测量200~300°C的高温介质。

2.2 特性及误差分析

2.2.1 特性分析

差压变送器基于力矩平衡原理工作。理论上测量力矩和反馈力矩相平衡时应完全相等，但实际上反馈力矩与测量力矩相比较有一微小差值 ΔM ，用以克服系统刚度使主杠杆偏转一弧长 $\widehat{\Delta A}$ （膜盒微小位移），如将 $\widehat{\Delta A}$ 折算到挡板偏转弧长 $\widehat{\Delta C}$ ，则由图30.2-9可得：

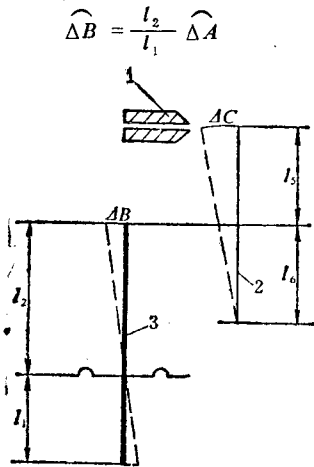


图30.2-9 位移折算图

1—喷嘴 2—挡板 3—主杠杆

由于力矩平衡系统的工作位移很小，所以弧长可近似地认为是直线，即：

$$\Delta B = \frac{l_2}{l_1} \Delta A$$

又因

$$\frac{\widehat{\Delta B}}{l_0} = \frac{\widehat{\Delta C}}{l_5 + l_6}$$

所以

$$\Delta C = \frac{l_5 + l_6}{l_0} \Delta B \quad (30.2-3)$$

图30.2-10为差压变送器框图。其传递函数为：

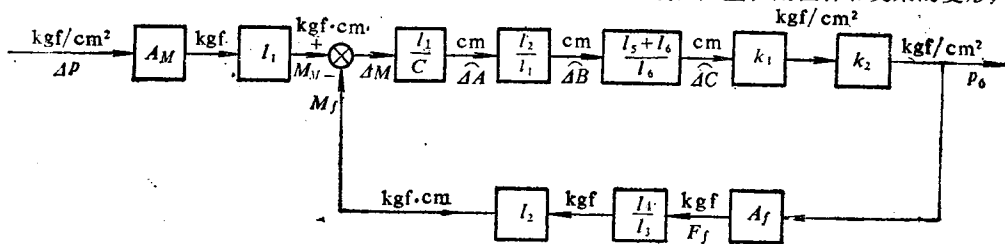


图30.2-10 差压变送器框图

C—力矩传递系统的折算刚度 k_1 —喷嘴挡板机构的增益 k_2 —气动放大器的增益

$$W(s) = \frac{\frac{l_2(l_5+l_6)}{Cl_0} k_1 k_2 A_M l_1}{1 + \frac{l_2(l_5+l_6)}{Cl_0} k_1 k_2 \frac{l_2 l_4}{l_3} A_f}$$

由于分母中 $\frac{l_2(l_5+l_6)}{Cl_0} k_1 k_2 \frac{l_2 l_4}{l_3} A_f \gg 1$ ，故忽略分母中的第一项，则上式可简化为：

$$W(s) = \frac{l_1 l_3 A_M}{l_2 l_4 A_f} = K \quad (30.2-4)$$

由传递函数得输出信号与输入信号的关系为：

$$\frac{\Delta P_0}{\Delta P} = K$$

考虑到输出信号的零位为0.2kgf/cm²，可得：

$$P_0 = K \Delta P + 0.2 \text{ kgf/cm}^2$$

从公式(30.2-4)可以看出：

1) l_1 、 l_2 是常数。当量程支点选定后， l_3 、 l_4 也是常数。欲使输出压力与输入信号呈线性关系，必须保证在测量范围内，膜盒与反馈波纹管的有效面积为常数。

2) 增大测量膜盒的有效面积 A_M 时， K 值增大，量程减小。反馈波纹管有效面积 A_f 愈大， K 值愈小，量程愈大。

3) 改变量程支点位置，即改变 l_3 与 l_4 之比， K 值也跟着改变。因此变送器具有量程可调的特点。

4) 从公式(30.2-4)推导过程中可看出，必须保证 $\frac{l_2(l_5+l_6)}{Cl_0} k_1 k_2 \frac{l_2 l_4}{l_3} A_f \gg 1$ 。这样可以大大降低对喷嘴挡板，放大器及主回路中弹性元件的线性要求。

2.2.2 非线性误差

变送器测量力矩的绝大部分被反馈力矩所平衡，小部分用以克服各种摩擦力和变形力，这是产生非线性误差的原因之一。此外，喷嘴挡板、功率放大器的非线性，主、副杠杆和支架的变形，测量

膜盒、反馈波纹管有效面积的变化等都将使公式(30.2-4)的K值成为变数,从而引起非线性误差。因此,减小非线性误差的途径有:

1) 适当提高放大器的增益(一般为6~10倍),来缩小挡板的工作行程,从而可减小喷嘴挡板的非线性影响。并可减少测量膜盒及反馈波纹管的位移,使它们的有效面积变化减小,从而减小K值的变化。

2) 减小测量元件、反馈元件及出轴密封元件的刚度,亦即减小系统刚度C,有助于使 $\frac{l_2(l_3+l_4)}{Cl_6} k_1 k_2 \frac{l_2 l_4}{l_3} A_f \gg 1$,从而减小K值的变化。

3) 增强主、副杠杆和支架的刚度,防止在高载荷时产生的变形过大,严重引起膜盒有效面积的变化,导致K值的变化。

2.2.3 温度附加误差

温度附加误差不仅和仪表的结构、材料、元件特性有关,而且与装配、调试有关。温度附加误差一般表现为两种形式:一为零位随温度而变化;二为量程随温度而变化。

产生温度误差的原因在于温度的改变引起元件的材料性能及几何尺寸的变化,如各种材料膨胀系数不同;弹性元件的刚度随温度而变化;测量部件中膜盒内的硅油的膨胀随温度变化;各零部件的装配应力随温度而变化等等。根据上述原因,可以从下列途径减小温度误差。

1) 增大变送器的增益。但增益的增加有一定限度,增益过大将恶化动态性能,易产生振荡。

2) 增强负反馈深度。但也有一定限度。力矩过大将引起杠杆、支架的变形过大,产生非线性误差。

3) 仪表元件的材料应适当选择。

4) 制造膜盒时要注意:膜盒两侧的膜片厚度、刚度、有效面积应尽量相等;膜盒内充油量要尽量少,为此可将膜盒座制成与膜片形状相吻合的波纹座,以减少灌充的硅油量;在膜盒内加一芯杆,将膜盒两侧的膜片连接起来,以防止硅油膨胀时使膜片中心向两个方向移动。

5) 仪表装配过程中力求避免零部件和弹性元件存在扭曲和装配应力,以免温度变化引起元件间

的应力变化,从而造成温度附加误差。

6) 仪表装配完毕后,进行一定的温度时效处理。实践证明,这对于改善温度误差,增加工作稳定性是极其有效的方法。

如果测量机构是双膜片中间出轴的膜盒,其高、低压侧测量力对主杠杆转动支承(出轴密封膜片)的力臂(l_H 、 l_L)可由调整块进行调整,使两侧力臂与膜片有效面积(A_H 、 A_L)的乘积相等。当温度变化引起膜盒腔内压力变化时,不会对力-气转换部件产生附加的作用力矩。

2.2.4 静压误差

向变送器高、低压容室同时输入相同的压力(或称静压),变送器的输出零位会产生偏移,而且随着静压的变化,输出零位也会发生变化,这种由于静压而产生的误差称为静压误差。

静压误差产生的原因是由于在静压作用下杠杆上产生一个附加力矩而造成的。其原因有:

1) 由于主杠杆、出轴密封膜片、支架、基体等加工和装配出现的误差,使得静压作用于出轴密封膜片上的合力F不通过主杠杆的轴线,如图30.2-11所示。因而合力F对主杠杆产生一个附加力矩,合力绕x轴产生的力矩为 M_x ,绕y轴产生的力矩为 M_y 。由图30.2-11可知:

$$M_x = FOA \sin \theta$$

$$M_y = FOA \cos \theta$$

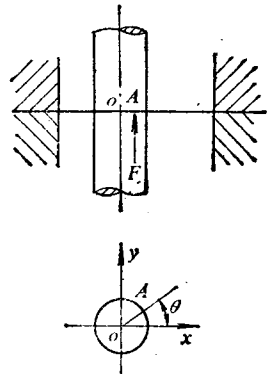


图30.2-11 偏心产生静压误差的示意图

由于主拉条在y面上的刚度很大,主杠杆不易绕x轴偏转,因而 M_x 引起静压误差的影响很小。静压误差主要是由 M_y 使主杠杆在x面(即喷嘴挡板方向)转动产生。

2) 主杠杆的轴线不在两根主拉条所构成的平面内, 形成一夹角 θ , 如图 30.2-12 所示。这样, 主杠杆受到两个力的作用: 静压作用力 F 和拉条的拉力 F_1 。这两个力的合力为 F_2 。由 F_2 构成的附加力矩 M 使喷嘴、挡板间隙变化, 产生静压误差。附加力矩:

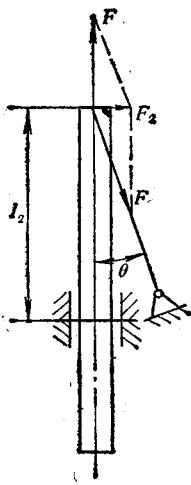


图30.2-12 夹角产生静压误差的示意图

$$M = F_2 l_2 = F l_2 \tan \theta$$

由于 F 、 l_2 比较大, 所以, 虽然 θ 很小, 附加力矩 M 仍是不可忽略的。

3) 膜盒两侧膜片有效面积不等, 在静压作用下会产生静压误差。当充灌的硅油中有残存气体时, 在静压作用下, 残存气体被压缩, 膜片可产生向里弯曲的变形, 连接两膜片的芯杆会向有效面积较小的膜片一边微移, 形成附加的测量力矩, 产生静压误差。

4) 固定主杠杆的支架制造或安装不好, 使主杠杆和基座不垂直; 连接高、低压侧基体的螺栓拧得不紧或松紧不均, 在静压作用下, 高、低压侧基体有微小位移, 通过膜盒传至主杠杆, 也都会造成静压误差。

减小静压误差的途径有 (见图 30.2-13):

1) 在加工中要严格控制主杠杆、出轴密封膜片、支架, 基体的配合尺寸, 使得出轴密封膜片上的静压合力作用线与主杠杆的轴线的偏心距尽可能小。

2) 在装配中要注意如下几点: ①上、下杠杆夹紧出轴密封膜片时, 应保证膜片垂直主杠杆及不

产生翘曲。②保证主拉条与主杠杆及与支架紧固后, 主拉条不会产生扭曲。即保证主杠杆上端的 A 面与支架的 B 面平行。③支架 3 装配在基体 4 上时既要保证出轴密封, 又要保证主杠杆、支架对基体 4 垂直。因此, 支架上三个紧固螺钉要逐次拧紧。④拉条组件装配时要注意平直度, 要使左右两主拉条在同一平面上。图 30.2-13 的 C 处必须靠紧, 无间隙。使得静压作用下被主拉条拉住的主杠杆不产生位移, 保证出轴密封膜片不被损坏。

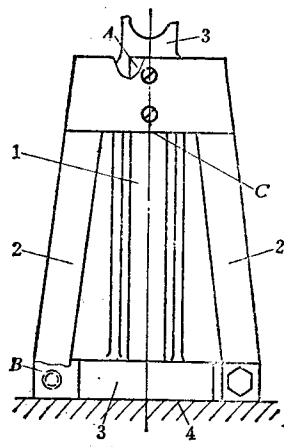


图30.2-13 与静压误差有关的装配零件图

1—主杠杆 2—主拉条 3—支架 4—基体

3) 在力-气转换部件中设置供调整静压误差的机构。如图 30.2-1, 调整静压轮 10, 可以使主杠杆在喷嘴挡板方向偏转一个角度, 造成出轴密封膜片、主拉条等弹性元件变形, 在静压作用下产生一个力矩来抵消引起静压误差的附加力矩。

对全焊接出轴碗形密封膜片结构 (见图 30.2-7) 为减少静压误差, 由加工和焊接精确保证主杠杆和出轴密封膜片同心。由于膜片的直径小, 在工作压力下产生的轴向推力小, 而且平衡轴向推力的拉条较短, 拉条的中间点就在密封膜片的平面上, 从而减小静压误差。

3 靶式流量变送器

靶式流量变送器可以测量一般气体、液体及蒸汽的流量, 更适合于测量高粘度或带有悬浮颗粒的流体流量。

3.1 特点

1) 靶式流量变送器适用于测量低雷诺数的流体, 其测量精确度比其它流量计高。

2) 不必采用隔离、吹气或吹液的方法。

3) 不需用孔板和导压管, 测量元件——靶直接与介质接触, 不存在凝液和液封的传递过程。

4) 能够简单地从工艺管路上取下, 使检修、清洗、校正都很方便。

3.2 测量力的计算

根据流体力学, 流体作用在靶上的力为:

$$F_M = K \left(\frac{\gamma V_{av}^2}{2g} \right) A_b$$

式中 F_M ——流体作用在靶上的测量力 kgf

K ——常数

γ ——工作状态下被测介质重度 kgf/m³

V_{av} ——流体经过靶与管道间隙时的平均流速 m/s

g ——重力加速度 m/s²

A_b ——靶的面积 m²

则

$$V_{av} = \sqrt{\frac{2gF_M}{KA_b\gamma}}$$

根据流体连续方程, 有:

$$Q = V_{av} A_h$$

式中 Q ——体积流量 m³/s

A_h ——靶与管道间的环形间隙面积 m²

又

$$A_b = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$A_h = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

式中 D ——管道直径 m

d ——靶的直径 m

联立解上述四式得:

$$Q = \frac{D^2 - d^2}{d} \sqrt{\frac{1}{K}} \sqrt{\frac{\pi g}{2}} \sqrt{\frac{F_M}{\gamma}}$$

令

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{K}}, \quad \beta = \frac{d}{D}, \quad K' = \sqrt{\frac{\pi g}{2}}$$

则上式变为:

$$Q = K' \alpha D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right) \sqrt{\frac{F_M}{\gamma}}$$

式中 α 为流量系数。实验证明, α 是一个只与雷

诺数有关的系数, 在雷诺数大于界限雷诺数时, α 可当作常数。

实际使用时, 体积流量的单位一般用 m³/h, 管道内径及靶径单位采用 mm, 将 K' 的计算值代入上式并进行单位换算, 可得体积流量的实用公式为:

$$Q = 14.129 \alpha D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right) \sqrt{\frac{F_M}{\gamma}} \text{ m}^3/\text{h} \quad (30.2-5)$$

变送器在高温情况下测量时, 由于靶及靶室的材料产生热膨胀, 应引入温度修正系数 K_t , 则上式变为:

$$Q = 14.129 \alpha K_t D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right) \sqrt{\frac{F_M}{\gamma}} \text{ m}^3/\text{h} \quad (30.2-6)$$

在测量气体时, 体积流量常从工作状态换算为标准状态, 其相互关系为:

$$Q\gamma = Q_N\gamma_N$$

式中 Q ——工作状态下的体积流量

Q_N ——标准状态下的体积流量

γ ——工作状态下的介质重度

γ_N ——标准状态下的介质重度

这时, 体积流量的实用公式转换为:

$$Q_N = 14.129 \alpha K_t D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right) \sqrt{\frac{F_M \gamma}{\gamma_N}} \text{ Nm}^3/\text{h} \quad (30.2-7)$$

为了计算方便, 令 $M = 14.129 D \left(\frac{1}{\beta} - \beta \right)$, 则流体作用在靶上的测量力

$$F_M = \left(\frac{Q}{M \alpha K_t} \right)^2 \gamma \text{ kgf} \quad (30.2-8)$$

或

$$F_M = \left(\frac{Q_N \gamma_N}{M \alpha K_t} \right)^2 \frac{1}{\gamma} \text{ kgf} \quad (30.2-9)$$

式中 M 和 α 的数值见表30.2-4, K_t 值见表30.2-5。

3.3 靶式流量变送器

被测介质是标准状态的水时, 可直接选用。但当被测介质不是水时, 则需要经计算后再选用恰当的规格。其计算过程如下:

1) 把被测介质工作状态下的流量, 折算成 20°C 的水流量, 再选用恰当的规格。