

第七篇 工业自动化仪表

主 编 史美纪

执 笔 吴钦炜 史美纪

主 审 吴钦炜

目 录

第31章 工业自动化仪表及其应用

- 31.1 工业自动化仪表定义及作用..... 7-3
- 31.2 工业自动化仪表分类..... 7-3
- 31.3 工业自动化仪表应用..... 7-4

第32章 检测仪表

- 32.1 检测仪表分类..... 7-5
- 32.2 温度测量仪表..... 7-5
- 32.3 压力测量仪表..... 7-10
- 32.4 流量测量仪表..... 7-12
- 32.5 物位测量仪表..... 7-17
- 32.6 机械量测量仪表..... 7-20
- 32.7 物性测量仪表..... 7-27
- 32.8 过程分析仪器..... 7-32

第33章 自动显示仪表

- 33.1 显示仪表分类..... 7-40
- 33.2 动圈指示调节仪表..... 7-40
- 33.3 前置放大式动圈指示调节仪表..... 7-42
- 33.4 力矩电机式指示调节仪表..... 7-42
- 33.5 动磁式指示调节仪表..... 7-43
- 33.6 自动平衡显示仪表..... 7-44

- 33.7 数字显示仪表..... 7-47
- 33.8 数据记录仪..... 7-50
- 33.9 巡回检测装置..... 7-53
- 33.10 屏幕显示器..... 7-54

第34章 自动控制仪表

- 34.1 控制仪表分类..... 7-57
- 34.2 自力式调节阀..... 7-57
- 34.3 气动基地式调节仪表..... 7-59
- 34.4 简易电动调节仪表..... 7-61
- 34.5 气动单元组合仪表..... 7-61
- 34.6 电动单元组合仪表..... 7-66
- 34.7 组装式电子综合控制装置..... 7-73
- 34.8 数字模拟式控制仪表..... 7-76
- 34.9 可编程序控制器..... 7-85
- 34.10 分散型控制系统..... 7-88
- 34.11 故障监测和诊断系统..... 7-92

第35章 自动执行器

- 35.1 执行器分类..... 7-93
- 35.2 气动执行器..... 7-93
- 35.3 电动执行器..... 7-99

参考文献

第七篇 工业自动化仪表

主 编 史美纪

执 笔 吴钦炜 史美纪

主 审 吴钦炜

目 录

第31章 工业自动化仪表及其应用

- 31.1 工业自动化仪表定义及作用..... 7-3
- 31.2 工业自动化仪表分类..... 7-3
- 31.3 工业自动化仪表应用..... 7-4

第32章 检测仪表

- 32.1 检测仪表分类..... 7-5
- 32.2 温度测量仪表..... 7-5
- 32.3 压力测量仪表..... 7-10
- 32.4 流量测量仪表..... 7-12
- 32.5 物位测量仪表..... 7-17
- 32.6 机械量测量仪表..... 7-20
- 32.7 物性测量仪表..... 7-27
- 32.8 过程分析仪器..... 7-32

第33章 自动显示仪表

- 33.1 显示仪表分类..... 7-40
- 33.2 动圈指示调节仪表..... 7-40
- 33.3 前置放大式动圈指示调节仪表..... 7-42
- 33.4 力矩电机式指示调节仪表..... 7-42
- 33.5 动磁式指示调节仪表..... 7-43
- 33.6 自动平衡显示仪表..... 7-44

- 33.7 数字显示仪表..... 7-47
- 33.8 数据记录仪..... 7-50
- 33.9 巡回检测装置..... 7-53
- 33.10 屏幕显示器..... 7-54

第34章 自动控制仪表

- 34.1 控制仪表分类..... 7-57
- 34.2 自力式调节阀..... 7-57
- 34.3 气动基地式调节仪表..... 7-59
- 34.4 简易电动调节仪表..... 7-61
- 34.5 气动单元组合仪表..... 7-61
- 34.6 电动单元组合仪表..... 7-66
- 34.7 组装式电子综合控制装置..... 7-73
- 34.8 数字模拟式控制仪表..... 7-76
- 34.9 可编程序控制器..... 7-85
- 34.10 分散型控制系统..... 7-88
- 34.11 故障监测和诊断系统..... 7-92

第35章 自动执行器

- 35.1 执行器分类..... 7-93
- 35.2 气动执行器..... 7-93
- 35.3 电动执行器..... 7-99

参考文献

第31章 工业自动化仪表及其应用

31.1 工业自动化仪表 定义及作用

自动化仪表是指在生产过程中进行检测、显示、控制、执行等作用的仪表的总称,并可简称为自动化仪表。按照国际电工委员会(IEC)的命名,应该称它为“过程检测控制仪表”。它的主要用途是实现生产过程自动化。随着自动化技术的不断发展,从广义上讲,仪表也包括其它一些有关装置。

“工欲善其事,必先利其器”。仪表是人们从事生产劳动时使用的技术工具。自动化仪表不仅能提高劳动生产率,而且还促使着生产技术发生变革。在机械化时代,人们用机械代替手工劳动,就开始有了仪表,当时发明的锅炉水位调节器和蒸汽机离心式调速器,对第一次工业革命起到了促进和推动作用。随后,人们为了减轻体力劳动,逐步研制出各种功能的仪表作为“耳目”和“手足”,帮助人们观察和操纵生产设备,使生产过程实现自动化,从此进入自动化时代。随着电子技术和计算机技术的迅速发展,人们又研制出能够模仿“头脑”,并具有记忆和分析判断能力的“智能”仪表。这样不仅延伸和扩展了人的耳目和手足的功能,还减轻或代替了人的部分脑力劳动。从而进入到智能化时代。可以预言,自动化仪表对生产技术的变革将带来极为深刻的影响。

31.2 工业自动化仪表分类

任何生产过程基本上都是由“物质流程”和“信息流程”组织起来的。信息流程是人们管理物质流程所必需的,这是因为在生产中为了进行有目的的操作,人们必需对生产过程中的各种信息,先进行测量、分析、判断,然后再由生产管理者下令到操作机构进行控制。实现自动化的途径就是把人们对生产过程的测量控制作用移交给自动化仪表去完成。所以,自动化仪表实质上是一种信息机器,它和动力机器不同,其主要功能是信息形式的

转换,而动力机器的主要功能是能量形式的转换。

信息不同于信号。任何事物都有自己的特征,这就是信息。信号则是在变换传输处理过程中用来体现事物状态(即信息)的物质形式,或者说信号是信息的载体。从信息的角度来看,根据生产过程中信息流程的基本形式,可将自动化仪表划分为以下几类:

(1) 检测仪表——信息获得和转换的工具,即传感器、变送器、转换器、放大器等。检测仪表是利用物理的和化学的各种效应来实现各种信息参数的测量的。工业生产过程需要检测的变量很多,一般再有热工量、电工量、机械量、物性与成分量、状态量五类(见表31-1)。这里面有许多是非电变量,它们是从基本量派生出来的。主要的基本量有:位移、力、速度、时间、温度等;而长度、宽度、厚度、位置、应变、振幅等都是从位移基本量派生出来的,物性与成分量是需要检测的重要变量,因为生产自动化的目的往往要求在规定的工艺条件下保持被控物质的物性与成分为规定值。

检测仪表是自动化系统中的感觉器官,没有它们正确地获取各种生产信息,要建立自动化系统是不可能的。

(2) 显示仪表——信息显示的工具。即指示仪、记录仪、积算仪、报警器、信号器、屏幕显示器等。显示仪表在生产过程自动控制系统中承担着人机联系的任务,在对各种变量的检测、控制及操纵过程中都需要通过显示仪表将各种数据、图形、趋势、动态及为操作人员所关心的工作情况,如局部流程图等显示出来,以便进行必要的处理,所以,显示仪表既是对以前操作结果的检验,又是以后进行再操作的依据。

显示仪表可分为模拟式显示仪表、数字式显示仪表和字符图形显示仪表三大类,目前在工业生产过程中,从结构简单的动圈指示仪表、自动平衡式记录仪、数字直读式仪表到字符图形显示器都被广泛采用着,而且均在原有的基型产品基础上不断改进和发展,构成较完整的显示仪表系列;其附加

表 31-1 工业生产过程检测变量分类

热 工 量	温度、热量、热流、压力、真空度、压差、流速、流量、质量流量、物位、液位、界面等
电 磁 量	电压、电流、电功率、电阻抗、频率、磁场、射线量(α 、 β 、 γ)等
机 械 量	位移、角位移、速度、转速、加速度、力、应力、力矩、重量、振动、振幅、长度、宽度、厚度、椭圆度、光洁度、硬度等
物性与成分量	气体成分、液体成分、固体成分、浓度、粘度、粒度、浊度、白度、湿度、水分、露点、密度、比重、酸碱度、分子量、转化率等
状 态 量	机械运转状态、启停、震动、位移、声音、产品在线检查、表面质量、形状等设备异常状态；过热、泄漏、变形、裂纹、磨损、管道堵塞、过负载等

功能装置和变型品种比较多，可以适应不同的要求和使用场合。在选用时应根据所需测量精确度、可靠性、可扩展性、以及使用条件和价格等加以综合考虑。

(3) 控制仪表——信息处理的工具，即控制器、调节器、计算器、可编程序控制器、工业控制计算机、以及通信遥测遥控装置、安全联锁保护装置、数据通信装置等。控制仪表是把来自检测仪表的信号值与所要求的值进行比较或综合，按照预定的调节规律，发出控制信号去操纵执行器的动作，使生产过程中的某个被控变量符合生产工艺规定的预期值。若控制系统为闭环时，常称为调节系统。控制仪表的作用方式很多，一般有连续控制、位式控制、比例控制、积分控制、PID控制、程序控制、联锁保护控制、批量控制等。如果按照作用原理来分，则有模拟控制仪表和数字控制仪表两大类。如果按照所用能源来分有气动式、电动式、液动式等。如果按照仪表结构和功能特征来分，有自力式调节器、基地式调节器、简易控制仪表、单元组合式控制仪表、功能组件组装式控制仪表，以及程序控制装置、异常监视报警装置、安全联锁报警装置等。工业控制计算机也是一类控制装置，它在生产过程中不仅实现离线的数据处理，还能实现在线的直接数字控制和综合监督控制。

随着微型计算机在仪表中的推广应用，现代控制理论进入了实用阶段，从而出现了具有计算和存储功能的单回路和多回路数字调节器，以及由微型计算机为基础的分散型综合控制装置等较为齐全的数字控制系统，并促使这类数字控制仪表向着小型

化、智能化方向发展。

(4) 执行器——信息执行的工具，即气动、电动、液动执行机构、调节阀、电磁阀、液动阀等。执行器是安装在生产现场直接改变操纵变量的仪表，有时亦称终端控制元件。其工作条件比较恶劣，尤其是被控介质具有高温、高压、强腐蚀、易燃、易爆、剧毒和易结晶等不同特点时，执行器能否保持正常工作将直接影响自动控制系统的安全性和可靠性。

执行器一般是由执行机构和调节机构两部分组成。执行机构接受控制信号，并将信号转换成位移，以驱动调节机构。按照工作原理可分为气动执行机构、电动执行机构和液动执行机构三大类。调节机构可直接改变操纵变量，它们都设计成为多种通用型式，品种较多。应根据控制功能要求进行选择配用。气动执行机构使用最多，但数字式电动执行机构配用于计算机控制系统中将会有较快发展。

31.3 工业自动化仪表应用

工业生产过程可分为断续生产和连续生产两大类。从整个系统来说，生产过程的连续化和综合化乃是现代化生产技术发展的共同趋势，这就对自动化技术和自动化仪表不断提出新的任务和要求。现就五种不同控制对象的典型生产中自动化仪表的应用特点作概要说明。

第一类：单件产品的生产——这主要有机械、电器、电子、仪表、轻工、食品等工业生产。这类生产的自动化是循环动作或流水作业的，要求对加工过程的各阶段自动检查工件的位置、尺寸、形

状、姿态、性能等,要求对零部件装配、运送、包装、贮存等作业能够按照程序进行操作,同时还要解决不同加工机械间的传动控制和协调工作问题。

第二类:液态和气态产品的生产——这主要有化学、炼油、石油化工、热力发电、食品、轻工等工业生产。这类生产的工艺条件常常具有高温、高压、深冷、腐蚀、真空等特点,要求能在特殊工艺条件下对主要操作参数进行自动检测和控制,对反应物质进行在线的成分分析,并实现多回路复杂调节、批量控制、最优控制、集中监督控制和生产设备的安全监视。

第三类:固态和纤维状产品的生产——这主要有冶炼、轧钢、纺织、造纸、玻璃、橡胶等工业生产。这类生产基本上是自动连续进行的。为了使各个生产装置保持规定的工况条件,要求能连续自动检查和控制各个工况参数及产品的规格性能,要求各个生产装置能协调地实现程序控制和安全联锁保

护。

第四类:粉粒料产品的生产——这主要有水泥、建筑材料、煤炭、选矿、制药、食品、饲料等工业生产。这类生产的自动化要求设计出各种特殊测量仪表,如粉粒流量、贮仓料位、高精度称量、各种物性测量、多相介质流量测量、不同物料的混和配比调节、定量包装及计算机控制装置。

第五类:物料输送和调度管理——这主要有油田和气田的开采,油气管线的长距离输送、港口和物流枢纽的精密称重计量管理,冷藏库、散装料仓库、油库、油码头的自动发货计量管理,城市上下水道、煤气、供热的集中测量调度管理等。这类生产过程要求提供遥测、遥信、遥调、遥控装置,要求设计各种精密的连续计量仪表和定量控制装置,要求各种高性能的调节控制阀,还要求采用电子计算机进行系统控制管理。

第32章 检测仪表

32.1 检测仪表分类

检测仪表是能确定所感受的被测变量大小的仪表。它可以是传感器、变送器或自身兼有检出元件和显示装置的仪表。其分类见第31章31.2节。

本章介绍热工量、机械量、物位量、成分量各种测量仪表。

32.2 温度测量仪表

32.2.1 温度测量

建立在热平衡定律基础上,通常利用一个标准物体(温度计)与被测对象进行热交换,待两者建立热平衡时,根据标准物体的某种随温度而变化的物理性质来确定被测对象的温度。

32.2.2 温度测量方法

常用的温度测量方法有:

(1) 利用物体热胀冷缩的物理现象测量温度

如固体膨胀:双金属温度计;液体膨胀:玻璃液体温度计、压力式温度计(充液式);气体压力:压力式温度计(充气体或饱和蒸汽)。

(2) 利用导体或半导体的电阻随温度变化的物理现象测量温度 如金属热电阻:铜电阻、铂电阻、镍电阻等;半导体热敏电阻:锗电阻、碳电阻、氧化物半导体热敏电阻等。

(3) 利用两种不同材料相接触而产生的热电动势随温度变化的物理现象测量温度 如金属热电偶:铜-康铜、镍铬-考铜、铁-康铜、镍铬-镍硅、铂铑₁₀-铂、铂铑₃₀-铂铑₆、钨铼、钨钼等;非金属热电偶:石墨、硅化物、碳化物-碳化物等。

(4) 根据被测对象所发射的辐射能量随温度变化的物理现象测量温度 如亮度法:隐丝式光学温度计、恒亮式光学高温计、电子式光学高温计等;辐射法(全辐射或部分辐射):简易式辐射温度计、放大式辐射温度计、偏差式辐射温度计、零平衡式辐射温度计;比色法:单通道比色温度计、双通道比色温度计。

32.2.3 温度测量仪表分类与性能

按其测量方式,可分为接触式和非接触式两大类。温度测量仪表分类与性能比较见表32-1,其测量范围见表32-2。

表 32-1 温度测量仪表分类与性能比较

测温方式	仪表名称	测温原理	精度等级	主要特点	应用范围
接触式	双金属温度计	固体热膨胀	1, 1.5, 2.5	结构简单、坚固、可小型化、指示清晰、容易维护、读数方便。精度比玻璃液体温度计低，不能远距离测量	为无汞仪表，可部分代替水银温度计测量介质温度
	压力式温度计	体积变化 气体、液体热膨胀	1, 1.5, 2.5	结构简单，防爆、防腐，显示仪表可安装在远达20m处，输出信号可用于自动记录、报警和控温。密封系统不易修理，易产生附加误差。如温包高度不当，可引起附加压力，毛细管受环境温度影响可引起误差	防爆、防腐性能良好，特别适用于生产过程中测量各种管道、容器、介质温度
	玻璃液体温度计	液体热膨胀	0.5~2.5	结构简单、使用方便、价格便宜、精度较高。玻璃管易损坏，水银温度计可能引起汞害，测量结果不能远传和记录，热惯性较大	一般用在实验室或现场管路上测量和控制蒸汽和空气的温度
	热电阻	电阻变化 金属热电阻 半导体热敏电阻	0.5~3	较容易实现准确的测量，输出信号可以远传、自动记录、报警和控温。需外接电源	测量各种液体、气体和蒸汽介质温度，低温热电阻的测温下限为1K左右，可用于超导发电装置中测量极低温
	热电偶	热电效应 普通金属热电偶 贵金属热电偶 难熔金属热电偶 非金属热电偶	0.5~1	测温范围较宽，测量精度较高，输出信号可以远传、自动记录、报警和控温。灵敏度比热电阻低	测温范围为269~2800℃，除了用于一般介质测温外，适用于测量难熔金属的高温和超导装置的极低温
	光学高温计	辐射测温 亮度法	1~1.5	结构简单、轻巧便携、精度比较高，光路上介质吸收及对象发射率的影响比辐射温度计小。人眼进行比较和判断容易有主观误差，不能实现自动记录和控制温度	用于金属熔炼、浇铸、热处理、锻压、玻璃熔融等方面

(续)

测温方式	仪表名称	测温原理	精度等级	主要特点	应用范围
非接触式	辐射温度计	辐射测温	全辐射法 1.5	结构简单、性能稳定,不需外接电源,输出信号可自动记录、报警和控制温度。示值受光谱上的介质吸收及对象表面发射率的影响较大,刻度不均匀,下限灵敏度较低	测量运动物体或不宜安装热电偶的高、中温对象的表面温度,如钢包予热温度、机械零件热处理温度及高温熔炉温度
	部分辐射温度计		利用某一段辐射能量法 1~1.5	精度较高,稳定性较好,测温下限低,输出信号可自动记录和控制温度。结构较复杂,光路上介质吸收及对象表面发射率的影响比光学高温计大	测量快速运动物体,或温度瞬变的对象表面温度,例如,热轧钢板、镀锌铁板锻件、流动钢水铁水等
	比色温度计		比色法 1	测非黑体时,发射率影响很小,测得的温度接近真实温度。结构比较复杂,在光路上若介质对波长有明显的吸收峰时,反射光对示值影响较大	测量在发射率较低,精度要求较高、或粉尘、烟雾较大的场所中各种对象表面温度

表 32-2 各类温度测量仪表的测量范围

名 称		可 能 范 围(℃)			
		↓ 常用范围(℃) ↓			
膨胀式温度计	双金属温度计	-185	-60	+300	+620
	玻璃液体温度计	-200	-100	+500	+600
	压力式温度计	-120	-80	+400	+620
热电阻	铜电阻	-200	-50	+150	+150
	铂电阻	-258	-200	+650	+1100
	镍电阻	-150	-60	+180	+300
	热敏电阻	-50	-40	+150	+300
热电偶	铜-康铜	-200	-200	+400	+400
	镍铬-镍硅	-50	-50	+1000	+1200
	镍铬-考铜	-50	-50	+600	+800
	铂铑 ₃₀ -铂铑 ₆	0	+300	+1600	+1800
	铂铑 ₁₀ -铂	0	+300	+1300	+1600
辐射测温仪表	光学高温计	+700	+800	+2000	+3200
	辐射高温计	<0	+20	+2000	+3000
	比色温度计	<0	+50	+2000	+3200

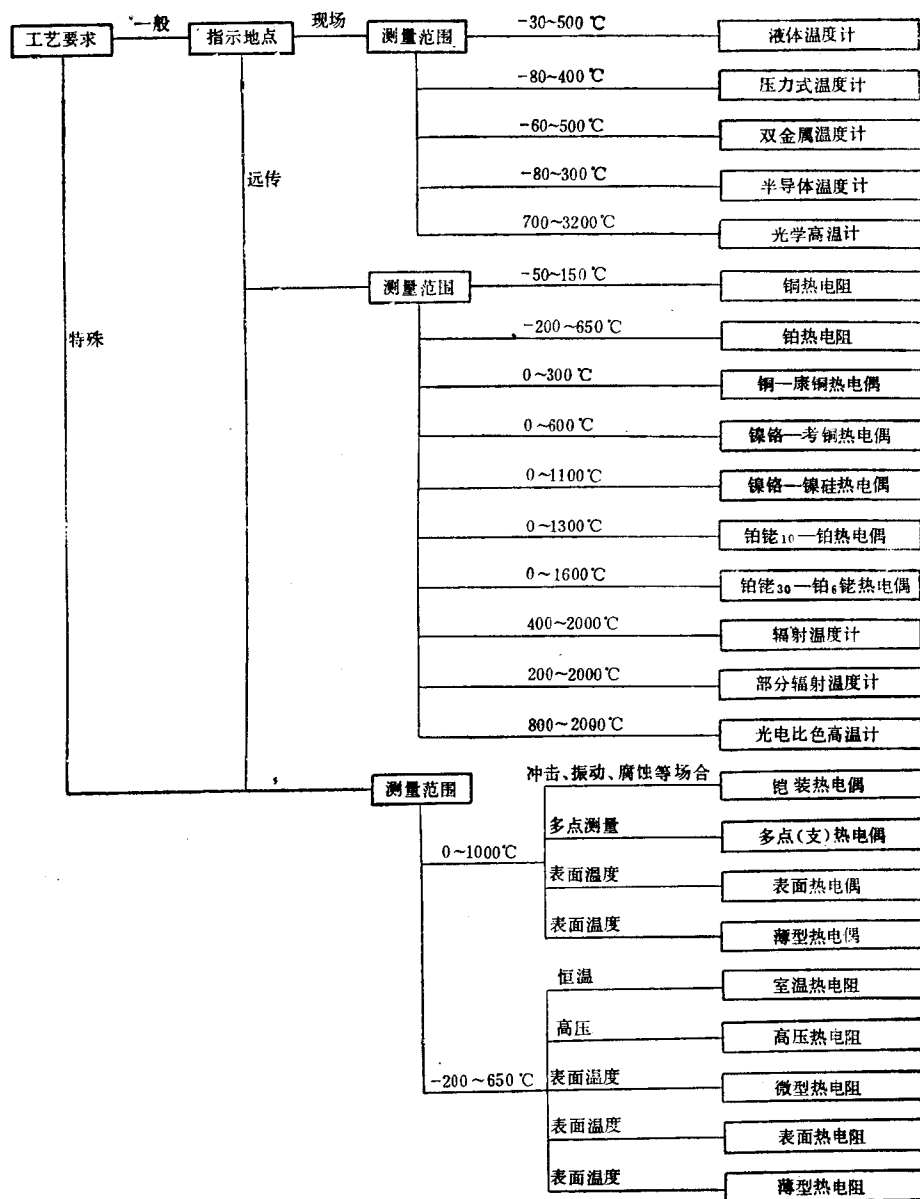


图 32-1 温度测量仪表选择

32.2.4 温度测量仪表的选用

温度测量仪表的选择见图32-1。在选用时，应根据工艺要求，正确选择仪表的量程和精度。正常温度的使用范围一般应取量程的30%~90%。

(1) 接触式温度仪表 包括玻璃液体温度计、压力式温度计、双金属温度计、热电阻、热电偶等。选用时应注意以下问题：

1) 玻璃液体温度计 用于指示精度较高和没

有震动的场合。在使用时应避免急热急冷，注意断液和气泡，注意视觉误差。

2) 压力式温度计 用于测量对温包无腐蚀作用的流体温度。在安装使用时，应将温包全部插入被测介质中，以减小因导热引起的误差；毛细管应引直，每隔300mm应用轧头固定，毛细管的最小弯曲半径不应小于50mm；对于充液体的压力式温度计，安装时其温包与指示部分应在同一水平面上，以减

少由于液体静压力引起的误差。

3) 双金属温度计 用于指示清晰、有震动的场合。这类仪表为无汞仪表,可部分代替玻璃水银温度计。

4) 热电阻 按材料可分为金属导体热电阻与半导体热电阻两类。常用的金属导体热电阻有铜热电阻、铂热电阻、镍热电阻三种。金属导体热电阻按结构和用途可分为普通工业用热电阻、铠装热电阻、专用热电阻三种。铠装热电阻具有外径小、响应速度快、可承受较强烈的振动和冲击、具有较大的可绕性、寿命长等优点。专用热电阻包括微型热电阻、薄型热电阻、表面热电阻、室温热电阻等。热电阻的引出线有二线制、三线制两种,可供外连线时选择。常用的半导体热电阻是热敏电阻温度计,主要用于断续测量固体表面温度和液体温度。

5) 热电偶 按材料可分为贱金属、贵金属、难熔金属和非金属四大类。我国已有定型产品的热电偶是铜-康铜、镍铬-考铜、镍铬-镍硅、铂铑₁₀-铂、铂铑₃₀-铂铑₆₀等。热电偶按结构和用途可分为普通工业用热电偶、铠装热电偶、专用热电偶三种。铠装热电偶具有外径小、可绕性、响应速度快、耐强烈的振动与冲击、寿命长等优点,若测量端损坏可将损坏部分截去重新焊接使用。专用热电偶包括表面热电偶、多点热电偶等。热电偶的测量位置与显示仪表距离较远,需采用与热电偶相近似的温差电动势的补偿导线。热电偶补偿导线类型见表32-3。表中I类——通常是和所配用的热电极相同的合金;II类——通常是和所配用热电极不相同的合金。

(2) 非接触式测温仪表 主要指辐射型温度

表 32-3 热电偶补偿导线类型

热 电 偶 类 型	补偿导线类型	合金材料		温度范围 (°C)	磁 性	
		正 极	负 极		正极	负极
贱 金 属 镍铬-考铜 铁-康铜 镍铬-镍硅(镍铝) 铜-康铜	I类型 镍铬-考铜补偿导线 铁-康铜 镍铬-镍硅(镍铝) 铜-康铜	镍 铬	考 铜	0~150	无	无
		铁	康 铜	0~150	有	无
		镍 铬	镍 硅 (镍铝)	0~150	无	有
		铜	康 铜	0~150	无	无
贵金属 铂铑 ₁₀ -铂	II类型 铜-康铜补偿导线 铜-铜镍硅 铜-铜镍合金	铜	康 铜	0~150	无	无
		铜	铜镍合金 (CuNi18)	0~150	无	无
		铜	铜镍合金 (CuNi0.6)	0~150	无	无

计,包括光学高温计、辐射温度计、部分辐射温度计和比色温度计。选用时应注意以下问题:

1) 光学高温计 分隐丝式和恒亮式两类。影响光学高温计正确读数的主要因素有:被测对象(非黑体)的光谱发射率;中间介质(灰尘、水汽、烟雾、二氧化碳等)的吸收;外来光(灯光、日光、炉壁反射光等)的干扰;光学系统受沾污致使透明度降低等。上述因素除被测对象发射率外,其他因素在现场应尽量避免。在理论上,光学高温计的示值应不受距离影响,但由于中间介质的吸收随距离增加而增大,因此测量距离最好在0.7~5m以内。

2) 辐射温度计 包括感温器、显示仪表和辅助装置。感温器按光学系统结构分为透射式和反

射式两种。辅助装置分轻型和重型两种。使用辐射温度计时,需注意以下几点:①为了得到正确示值,根据显示仪表的品种,选择适当的外接电阻;②根据辐射感温器距离系数要求,选择测量距离;③安装辐射感温器地点的温度太高时,在感温器外装设冷却水套或风套,降低感温器工作环境温度;④测量炉膛温度时,可在炉内插入一支封底陶瓷管,深度为40~50cm,辐射感温器镜头应瞄准陶瓷管管底;⑤当被测物体是非黑体时,辐射温度计测出的是辐射温度而不是真实温度。其误差与被测物体的全辐射率有关。其修正公式如下:

$$T = T_F \sqrt[4]{\frac{1}{\epsilon_r}} \quad (32-1)$$

式中 T_F ——真实温度;

T_F ——用辐射温度计测量的温度;

ε_r ——全辐射率。

3) 部分辐射温度计 按基本结构形式可分为直接显示式、调制放大式、偏差式、零平衡式等;按工作波段分为紫外光、可见光、红外光等。部分辐射温度计从原理上讲,比辐射温度计的测量准确度高(主要是指被测对象发射率的影响小),响应时间短。使用部分辐射温度计时,要注意两点:①适当选择仪表的检测波段或波长。例如,测量玻璃、塑料等透明体的温度时,波段要选在透明体的光谱透过率最低的波长或波段;为避开太阳光在物体表面反射的影响,波段要选在大气介质的吸收峰;测量被烘烤透明工件温度时要选在长波。②考虑仪表的视野、光学系统的透过率、检出元件的光谱灵敏度、光电信号转换率以及电子线路放大率等各项因素的影响。

4) 比色温度计 按分光 and 信号检测方法可分为单通道式与双通道式两类。单通道比色温度计又分为单光路和双光路两种;双通道比色温度计又分为不带光调制和带光调制两种。比色温度计的波长选得合适,在工业现场使用时可减少被测对象表面发射率变化而引起的误差,尤其适用于测量发射率较低的光亮表面,或者光路上存在着烟雾、尘埃等中性介质的场所。

32.3 压力测量仪表

32.3.1 压力测量

有根据静力平衡原理,使被测压力产生的力和液柱的重量相平衡的液柱式压力计,或者使之和弹性元件的弹性变形力相平衡的弹性式压力表。此外,还有把被测压力转换成物体或液体的体积变化、压电变化、电阻变化、磁致伸缩变化的各种传感器以及活塞式压力计。压力测量仪表的分类与比较见表32-4。

32.3.2 压力测量仪表选用

压力测量仪表的选择见图32-2。压力测量仪表一般应根据工艺要求和测量范围来选用。在测量稳定压力时,最大量程应为测定值的1.5倍;在测量变化压力时,最大量程应为测定值的2倍,这样可以延长敏感元件的使用寿命。在工业生产过程中,仪表精度一般用1.0级、1.5级、2.5级;在需要精密测量和校验压力表时,则需用0.4级以上的精密压力表或标准压力表。在易燃易爆场合,使用电动

压力仪表时,应选择防爆型。测量脉动压力时需装减震器或阻尼阀。测量带粉尘气体的压力时需装置除尘器。测量强腐蚀、带固体颗粒、粘稠介质压力时,应采用吹气、冲液或充隔离液等措施。盘装仪表应选用轴向有边、径向有边或矩形压力表。盘装仪表的表面直径一般选用 $\phi 150\text{mm}$,现场指示仪表的表面直径一般选用 $\phi 100\text{mm}$ 。在照明条件差,安装位置高,示值看不清楚的情况下,用直径为 $\phi 200\sim 250\text{mm}$ 的仪表。

(1) 液柱式压力计 一般用来测量较小的压力或真空度。常用的液柱式压力计有U形管、单管、斜管三种结构。液柱式压力计在使用时应注意以下几点:1) 为了提高读数准确度,可采用多种辅助装置,如放大尺、游标尺或光学读数装置;2) 为了减少视差,需正确读取液面位置,如用水、乙醇等浸润液体作工作介质需读其凹面的最低点;反之如用水银等非浸润液体作工作介质需读其凸面的最高点;3) 测量较高压力时,可采用重度较大的工作液,如水银,反之,测量较低压力时,可采用重度较小的工作液,如水、乙醇;4) 从测压点到压力计之间的连接管应尽量短,一般在3~20m之间。U形管压力计一般使用的液柱高度不超过1.5m;5) 充填工作液时其重度需与原来压力计所标称的一致,必要时可进行换算;6) 单管式液柱压力计作为标准仪器使用时,需根据使用条件进行温度和重力加速度修正。

(2) 弹性式压力表 它是应用十分广泛的测压仪表,按照弹性元件的形式,可分为弹簧管式(包括单圈和多圈两种)、膜片式、膜盒式、波纹管式和板簧式等压力表。若增设附加装置则可进行记录(压力记录仪)、远传(电阻远传压力表、电感远传压力表和光电编码远传压力表等)或控制报警(电接点压力表、压力控制器、压力信号器等)。若采取一些特殊措施,还可用于抗震、抗硫、耐腐蚀、防爆等特殊条件下的压力测量。弹性式压力表在使用时应注意以下几点:1) 安装的高度:普通压力表应与一般人的视线平,即1.5~1.6m;高压压力表应高于人头,即1.7~1.8m;2) 安装地点:尽可能选择温度为0~40℃,相对湿度小于80%,震动小,灰尘少,腐蚀性气氛不强的场合;3) 安装方式:垂直安装;4) 测量温度高于60℃的流体介质时,可在仪表与设备间装一U形管或盘旋管,存贮一部分冷却介质,避免启动仪表时,高温

表 32-4 压力测量仪表分类与比较

仪表类别	液柱式压力计	活塞式压力计	弹性式压力表	压力传感器
主要特征及优缺点	按其工作原理和结构形式,可分为U型管式、倾斜式、杯式和补偿式等 结构简单,使用方便 测量精度受工作液的毛细作用、重度及视差等因素影响 若工作液灌装的是水银,则容易引起水银中毒 测量范围较窄,只能测量低压和微压	按其活塞的形式,可分为单活塞式和双活塞式两种 测量精度很高,可达0.05~0.02% 测量精度受浮力、温度和重力加速度的影响,故使用时需作修正 结构较复杂,价格较贵	按其弹性元件的形式,可分为弹簧管式(包括单圈和多圈弹簧管)、膜片式、膜盒式、波纹管式和板簧式等 使用范围广,测量范围宽(可以测量真空度、微压、低压、中压和高压) 结构简单,使用方便,价格低廉 若增设附加机构(如记录机构、控制元件或电气转换装置)则可制成压力记录仪、电接点压力表、压力控制报警器和远传压力表	按其作用原理,可分为电位器式、应变式、电感式、霍尔式、振频式、压阻式、压电式和电容式等 输出信号根据不同的原理,可以是电阻、电流、电压或频率等 输出信号需要通过测量线路或信号处理装置配合使用 适用范围广,发展迅速,但品种系列及质量尚需进一步完善和提高
主要用途	用来测量低压及真空度,或作标准计量仪器	用来检定低一级的活塞式压力计或检验精密压力表。是一种主要的压力标准计量仪器	用来测量压力及其真空度,可以就地指示,也可以远传、集中控制、记录或报警发信 若采取膜片式或隔膜式结构,尚可测量易结晶及腐蚀性介质的压力或真空度	多用于压力信号的远传、发信或集中控制。若和显示、调节、记录仪表联用,则可组成自动调节系统,广泛用于工业自动化和航空工业中
精 度	1.5% 1% 0.5% 0.2% 0.05% 0.02%	一等 二等 三等 0.02% 0.05% 0.2%	一般压力表 精密压力表 2.5% 1.5% 0.4% 0.25% 1% 0.16% 0.1%	0.2~1.5%
测量范围	0~15至0~2000mmH ₂ O (0~150至0~20000Pa) 0~15至0~2000mmHg (0~2000至0~26664Pa) ±25~±800mmH ₂ O (±250~±8000Pa) ±25~±800mmHg (±3333~±106658Pa)	-0.1~0.25MPa 至5~250MPa	-0.1~0MPa ±8~±4000mmH ₂ O (±80~±40000Pa) 0~0.06MPa至 0~1000MPa	$7 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^8 \text{ MPa}$

介质直接进入仪表; 5) 测量腐蚀性介质时, 除选取有防腐性能的仪表外, 应设隔离容器; 6) 测量脉动压力, 须在压力表前面装节流器; 7) 测量含尘或沉淀物介质压力时, 为了避免管道堵塞, 应在取压装置及仪表前装除尘器。

(3) 活塞式压力计 是精度很高的压力标准计量仪器, 分为单活塞式和双活塞式两类, 用于检定低一级的活塞式压力计或检验精密压力表。活塞式压力计的精度等级及相应的误差如下: 一等, 误差为0.02%; 二等, 误差为0.05%; 三等, 误差为0.2%。活塞式压力计使用时需注意以下几点: 1)

工作环境温度为 $20 \pm 5^\circ\text{C}$; 2) 使用前必须校准水平, 拧动调整螺钉使水平仪的气泡处于中心位置; 3) 因出厂时砝码、底盘及活塞的重量均按标准重力加速度计算, 使用时须按当地重力加速度进行修正; 4) 压力计的活塞杆、活塞筒、底盘和砝码等须根据其出厂的编号配套使用, 不能互换; 5) 为了减小摩擦, 保证测量精度, 使用时必须给活塞一个外加力矩, 使其不断旋转, 并保持在规定的高度; 6) 使用一至二年, 须送计量部门进行检定。

(4) 压力传感器 能检测压力信号, 并能转换成供远传的电信号。压力传感器可分为电位器

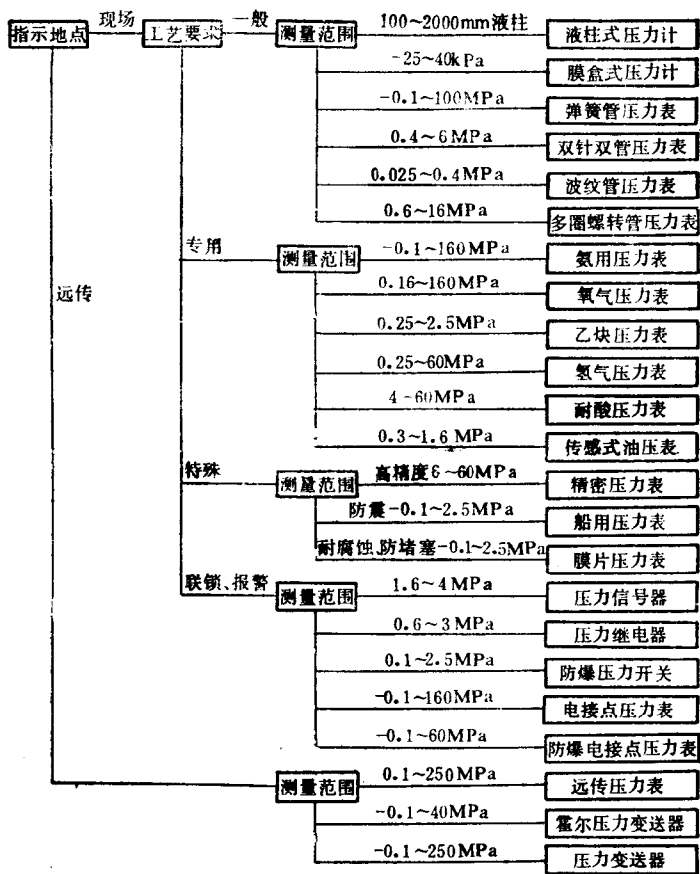


图 32-2 压力测量仪表选择

式、应变式、霍尔式、电感式、电容式、振频式、压阻式和压电式等；信号输出有电阻、电流、电压、频率等形式。常用的压力传感器的性能比较见表32-5。

32.4 流量测量仪表

32.4.1 流量、平均流量和总量

流量是指单位时间内流经封闭管道或明渠有效截面的流体量。这一流体量可以用体积或质量来表示，分别称为体积流量（ m^3/h 或 l/h ）或质量流量（ t/h 或 kg/h ）。两者的换算关系为

$$G = \gamma Q \quad (32-2)$$

式中 G ——质量流量；

γ ——一定温度和压力下流体的密度；

Q ——体积流量。

单位时间内的流量叫做瞬时流量，用公式表示为

$$Q = \frac{dV}{dt} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (32-3)$$

式中 dV ——瞬时流过管道的量；

Δt ——瞬时时间间隔。

平均流量的关系式为：

$$\bar{Q} = \frac{V}{t} \quad (32-4)$$

式中 $\bar{Q}$ ——平均流量。

总量是指在一段时间间隔内流经封闭管道或明渠有效截面的流体量之总和。总量分体积总量（ m^3 、 l ）和质量总量（ t 、 kg ）。体积重量的关系式为

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q dt \quad (32-5)$$

32.4.2 流量测量仪表分类和性能

按照工作原理可以分为差压流量计、浮子流量计、容积流量计、速度流量计、靶式流量计、电磁

表 32-5 常用压力传感器的性能比较

类 别			精度等级	测量范围	输出信号	温度影响	抗振动冲击性	体 积	安装维护
电位器式			1.5	低中压	电 阻	小	差	大	方便
应变式	粘贴式	膜片式	0.2	中 压	20mV	大	好	小	方便
		弹性梁式 (波纹管)	0.3	负压及中压	24mV	小	差	较大	方便
		应变筒式 (垂链膜片)	1	中高压	12mV	小	好	小	利用强制水冷,有较小的温度误差,测量方便
	非粘贴式	张丝式	0.5	低 压	10mV	小	好	小	方便
霍 尔 式			1.5	低中压	30mV	大	差	大	方便
电感式	气 隙 式		0.5	低中压	200mV	大	较好	小	复杂
	差动变压器式		1	低中压	10mA① (30mV)①	小	差	大	方便
压 电 式			0.2	微低压	1~5V①	小	较好	小	方便
压 阻 式			0.2	低中压	100mV	大	好	小	方便
电 容 式			0.2	低中高压	1~3V① (20mA)	大	好	较大	复杂
振 频 式			0.5	低中高压	频率	大	差	小	复杂

① 表示输出信号经过放大。

流量计、旋涡流量计、冲量式流量计等。流量测量仪表分类和性能见表32-6。

32.4.3 流量测量仪表选用

流量测量仪表的选择见图32-3。流量测量仪表

的选用依据：1) 被测流体的种类(液体、气体、蒸气、浆液、粉粒体等)；工况条件(工作温度、工作压力等)；流动状态(层流、紊流、瞬变流、脉动流等)；物性参数(密度、粘度、电导率、酸碱

表 32-6 流量测量仪表的分类与性能

类别		性能	被测介质	管 径 mm	流量范围 m ³ /h	工作压力 MPa	工作温度 ℃	精度等级	量程比	安装要求
节 流 装 置	孔 板	液体 气体 蒸汽	50~1000	1.5~9000 1.6~100000 —	20	500	1~2	3:1	需直管段	
	喷 嘴	液体 气体 蒸汽	50~400	5~2500 50~26000 —	20	500	1~2	3:1	需直管段	
	文丘利管	液体 气体 蒸汽	150~400	30~1800 240~1800	2.5	500	1~2	3:1	需直管段	
转 子 流 量 计	玻璃管转子 流量计	液体 气体	4~100	0.001~40 0.016~100	1.6	120	1~2.5	10:1	垂直安装	
	金属管转子 流量计	液体 气体	15~150	0.012~100 0.4~3000	6.4	150	2	10:1	垂直安装	

(续)

类别	性能	被测介质	管 径 mm	流量范围 m ³ /h	工作压力 MPa	工作温度 ℃	精度等级	量程比	安装要求
容积式计 量表	椭圆齿轮流量计	液体	10~250	0.005~500	6.4~10	60	0.5	10:1	装过滤器
	旋转活塞流量计	液体	15~100	0.2~90	6.4	120	0.2~0.5	10:1	装过滤器
	腰轮流量计	液体 气体	15~300	0.4~1000 —	6.4	60	0.2~0.5	10:1	装过滤器
	皮囊式流量计	气体	15~25	0.2~10	0.4	40	2	10:1	
速度式叶 轮计 量表	水表	液体	15~600	0.045~3000	1	40~100	2	>10:1	水平安装
	涡轮流量计	液体 气体	4~500 10~50	0.04~6000 2~200	6.4	120	0.5~1	10:1	需直管段及过滤器
靶式流量计		液体 气体 蒸汽	15~200 — —	0.8~400 — —	6.4	200	1~4	3:1	需直管段
电磁流量计		导电液体	6~1200	0.1~12500	1.6	100	1	10:1	无要求
旋 涡 流量 计	旋进旋涡型	气体	50~150	10~5000	1.6	60	1	30:1	需较短的直管段
	卡门旋涡型	气体	150~1000	1~30m ³ /h	6.4	150	1	30:1	需直管段,不准倾斜

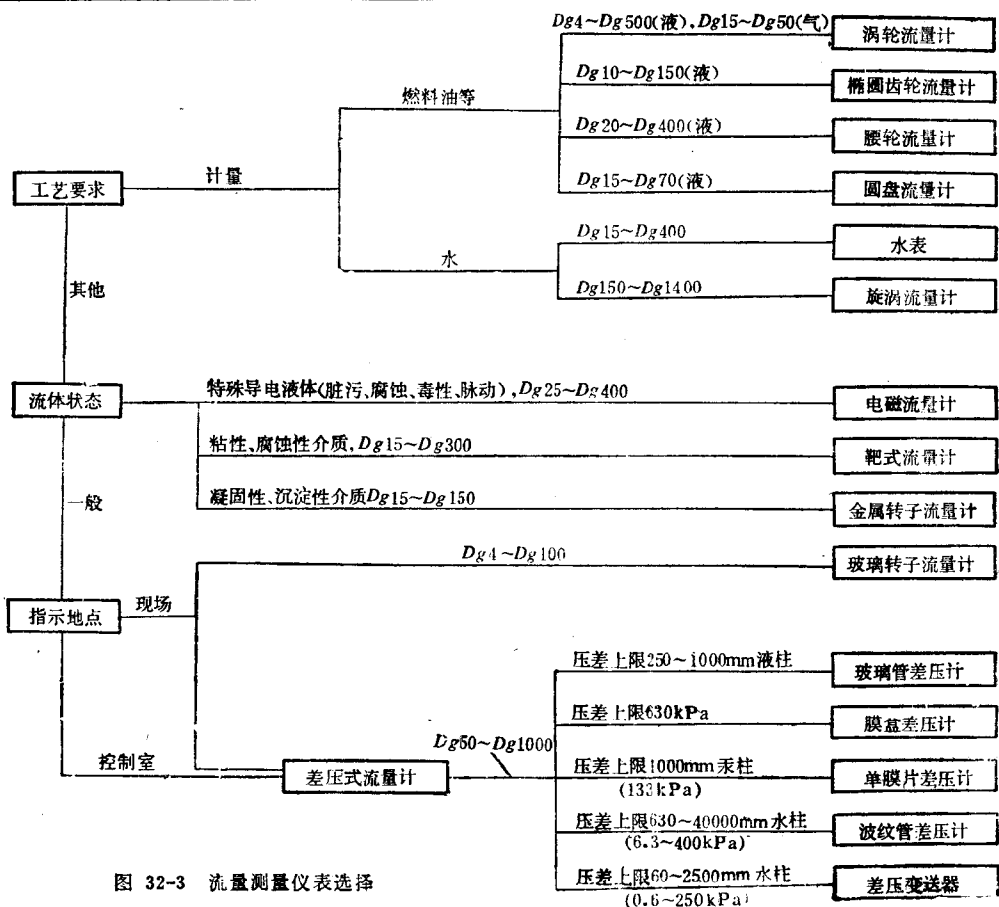


图 32-3 流量测量仪表选择

度等); 流向 (单相流、双相流、多相流等); 流向 (单向流动、双向流动等); 2) 流量测量范围 (上限流量、下限流量、测量范围比等); 3) 用途 (指示、记录、积算、控制等); 4) 流量测量精度要求; 5) 现场安装和使用条件的限制; 6) 经济性 (容许的能量损耗或压力损失、仪表价格等)。

(1) 差压流量计 节流装置或其他差压检出元件 (如毕托管) 与差压计配套用以测量流量的仪表。

1) 节流装置或其他差压检出元件 用于大于50mm管径的液体、气体与蒸汽的流量测量。标准孔板适用于测量干净的液体、气体或蒸汽的流量。标准喷嘴用于测量高压、过热蒸汽的流量。文丘利管用于精密测量液体或气体流量。偏心孔板和圆缺孔板用于介质中含有沉淀物、悬浮物的流量测量。1/4圆喷嘴用于测量粘度大、流速低、雷诺数小的流体。毕托管用于测量流量较大而不允许有显著压力损失的场合, 但测量精度较低。阿牛巴管用于大管径、大流量的场合, 测量精度较高。

2) 差压计 与节流装置或其他差压检出元件配套, 可测量液体、气体和蒸汽的流量; 也可测量差压、表压 (正压或负压) 以及开口容器或受压容器的液位。差压计种类很多, 有双管玻璃差压计、膜盒式差压变送器、双波纹管差压计、力平衡式差压变送器等。

差压流量计在安装使用时需注意以下几点: ①在节流件前后长度为管道直径2倍的管道内壁上, 不应有任何突出部分; ②任何局部阻力 (如弯头、三通管等) 都会引起流速在管道截面上重新分布, 从而引起流量系数的变化。为此, 在精确测量流量时, 在节流件上、下两侧, 必须配有一定长度的直管段; ③导压管应按最短距离敷设, 为了不致在管中积聚气体或水分, 导压管应垂直安装, 当必须水平安装时, 其倾斜率应不小于1:10; ④在测量粘性介质或腐蚀性流体时, 必须装有隔离器; ⑤使用差压流量计时, 被测流体应充满管道, 流动应是定常或近似定常, 被测流体通过节流件时, 其相态不变。

(2) 浮子 (转子) 流量计 按锥管材料可分为直读式玻璃浮子流量计 (耐压1.6MPa) 和远传金属浮子流量计 (耐压6.4MPa) 两大类, 远传金属浮子流量计又可分为气远传 (输出0.02~0.1MPa气压信号) 和电远传 (输出0~10mA DC或4~20

mA DC电流信号) 两类。浮子流量计在安装使用时应注意以下几点: 1) 玻璃浮子流量计安装连接方法分为法兰连接型 (F)、螺纹连接型 (R)、软管连接型 (Y) 等三种, 每种连接型又有四种不同的连接方式, 分别以A、B、C、D表示, 写在连接代号之后, 见图32-4; 2) 浮子流量计应安装在环境温度低于60℃、防震、防晒、防雨淋, 且便于操作的场所。流量计锥管必须垂直安装, 若倾斜10°, 将造成0.8%的误差。安装时, 在仪表前后应有5倍于仪表内径的直管段, 以消除涡流的影响; 3) 为便于在生产过程中检查、拆卸和维修, 以及当仪表发生故障时, 不影响工艺流程正常运行, 应参照图32-5, 加装截止阀和旁通阀。仪表使用前应先开启旁路阀, 将管道中残留杂物冲洗干净, 测量时先让介质充满测量管, 在无流量时先让介质充满测量管。然后渐渐打开截止阀, 以免浮子激烈振动而损坏零件; 4) 仪表长期运行后, 应加以清洗与调整, 清洗时不可碰坏浮子和导向杆。

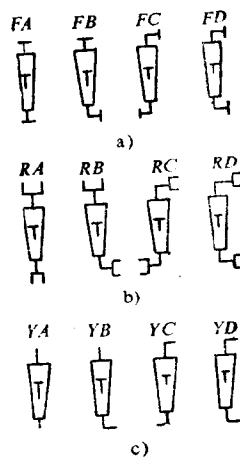


图 32-4 玻璃浮子流量计连接型式示意图

a) 法兰连接型 (F) b) 螺纹连接型 (R)

c) 软管连接型 (Y)

(3) 容积式流量计 用于测量不含固体杂质的液体、油品、冷凝液等介质的瞬时流量和总量, 尤其适用于测量高粘度液体的总量。有些容积式流量计也可以测量气体的瞬时流量和总量。容积式流量计的优点是: 测量精度高, 可达 $\pm 0.2\%$ ~ $\pm 0.5\%$; 量程比较宽, 可达10:1; 安装方便, 对仪表前后直管段长度要求不高等。缺点是: 传动机构比较复杂, 制造和使用要求较高; 大口径仪表的体积大, 较笨重。容积式流量计种类较多, 用于测