

现代 化工检测仪表

杜炳华 何慰祖 编著



东南大学出版社

现代化工检测仪表

杜炳华 何慰祖



东南大学出版社

(苏)新登字第 012 号

内 容 提 要

本书系统扼要地介绍化工检测仪表的基本知识和结构特点,重点对现代化工检测仪表的工作原理、性能指标及如何正确选择、使用作了详细的阐述。全书共分八章,主要内容有:电容式、扩散硅式及振弦式差压变送器;智能变送器;线性差压流量计和微动式质量流量计;电容式物位计及音叉料位开关;在线自动成分分析仪表;智能显示仪表及新型光纤传感器等。

全书内容由浅入深,物理概念清楚,理论联系实际,每章均附有习题和思考题,便于读者自学和复习。

本书读者对象为大专院校化工自动化、工业自动化仪表及化学工程类专业的在校学生,职工大学、电视大学及业余工业大学的在职学生以及自动化仪表工程技术人员等。

现 代 化 工 检 测 仪 表

杜炳华 何慰祖

东南大学出版社出版发行

南京四牌楼 2 号

南京理工大学激光照排公司照排

南京政治学院印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 22.125 字数 552 千

1993 年 5 月第 1 版 1993 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—2500 册

ISBN 7-81023-760-8

TH·41

定价:12.00 元

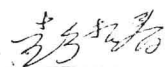
责任编辑:雷家煜

序

《现代化工检测仪表》、《现代化工过程调节仪表》两本专业书的出版,凝结了华东工学院的教师和扬子石油化工公司的工程技术人员、专家的心血,它是厂校结合的一个突出成果。

当代石油化工装置的特点之一是装置运行的连续化和自动化;仪表自动化系统的准、稳、灵是石油化工生产安稳、长、满、优运行的保证手段。在编写这两本书的过程中,作者注意到内容的完整性和系统性,并且结合生产的实际,阐述了仪表的工作原理,各种先进仪表的技术特点和仪表的运行维修等,因而其实用性较强,适合企业工程技术人员和职工阅读。

扬子石油化工公司经理



1991年6月

前 言

目前世界科技的发展迅猛异常,新学科、新技术层出不穷,随之而来的大量新信息、新成果不断更新着人们的概念与知识。尤其是化工检测及显示技术的发展更令人瞩目。随着改革开放,引进先进技术和设备,各种新技术、新方法和新型检测及显示仪表在国内的使用日益普遍。编写一本包括这方面内容的教材已成当务之急。

本书把基础理论与实际应用相结合,把典型的常规检测方法与先进的检测技术相结合,因而具有较强的实用性和先进性。在编写中对检测仪表结构的介绍或工作原理的描述都力求简单明了,重点放在如何合理选择和正确使用现代化工检测及显示仪表上,用尽可能少的篇幅,容纳较丰富的内容,使读者易于掌握全书的主要内容,并在实际工作中得以应用。

全书共分八章。主要内容有:电容式、扩散硅式、振弦式差压变送器和智能变送器;线性差压流量计和微动式质量流量计;电容式物位计及音叉料位开关;在线自动成分分析仪表;智能显示仪表及新型传感器等。全书内容由浅入深,物理概念清楚,理论联系实际,每章末均附有习题和思考题。

本书可作为大专院校和成人高等学校的化工自动化仪表、化工自动化、石油化工和环境化工等专业的教材,也可作为从事过程控制、检测技术及仪表的科技工作者的参考书。

扬子石油化工公司经理彭哲春高级工程师为本书作序,并承中国检测学会理事李海青教授审阅,在编著过程中还得到扬子石化公司成人教育学院韩文罢院长和华东工学院成人教育学院张存库院长的大力支持,并在华东工学院褚世观副教授,扬子石化公司王元海副教授、赵昭恺高级工程师和浙江省计量学会副理事长乐嘉华高级工程师的悉心指导下才得以完成,作者在此一并向他们致谢。

本书由杜炳华和何慰祖同志编写,全书由杜炳华整理定稿。

由于作者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳望读者批评指正。

编者

1991年11月于南京

目 录

第一章 检测仪表概述

1-1 检测过程与检测方法	1
1-1-1 检测过程	1
1-1-2 检测方法	1
1-2 检测误差的概念	2
1-2-1 检测误差的产生	2
1-2-2 检测误差的分类	3
1-3 检测仪表的基本技术性能	4
1-3-1 仪表的基本误差	4
1-3-2 仪表的精度等级	5
1-3-3 仪表的变差	7
1-3-4 灵敏度与分辨率	7
1-4 检测仪表的组成与分类	8
1-4-1 检测仪表的组成	8
1-4-2 检测仪表的分类	9
习题和思考题	11

第二章 压力(压差)检测

2-1 概述	12
2-1-1 压力的定义、单位和表示方法	12
2-1-2 压力检测仪表的分类	13
2-2 弹性式压力计	14
2-2-1 弹性元件	15
2-2-2 弹簧管式压力计	15
2-2-3 霍尔片式远传压力计	17
2-3 压力(压差)变送器	18
2-3-1 1151 系列电容式变送器	18
2-3-2 411 型扩散硅变送器	23
2-3-3 振弦式压力传感器	29
2-3-4 智能变送器	32
2-4 压力计的选用、安装及校验	38
2-4-1 压力计的选用	38

2-4-2 压力计的安装	39
2-4-3 压力计的校验及调整	40
2-4-4 单圈弹簧管式压力计的调整	43
习题和思考题	44

第三章 流量检测

3-1 概述	46
3-1-1 关于流量的概念	46
3-1-2 流量检测仪表的分类	47
3-2 差压式流量计	49
3-2-1 节流装置的流量检测原理	49
3-2-2 流量方程式	50
3-2-3 标准节流装置	52
3-2-4 差压检测	53
3-2-5 差压式流量计的温、压补偿	57
3-2-6 差压式流量计的安装	58
3-3 均速管流量计	59
3-3-1 笛形均速管流量元件的工作原理	60
3-3-2 均速管元件的截面形状	62
3-3-3 均速管元件安装使用注意事项	68
3-4 转子流量计	69
3-4-1 工作原理	69
3-4-2 检测过程分析	71
3-4-3 转子流量计的刻度校正与改量程	71
3-4-4 转子流量计的安装与使用	72
3-5 容积式流量计	72
3-5-1 检测原理	73
3-5-2 容积式流量计的特性	75
3-5-3 容积式流量计的特点及使用要求	75
3-6 线性差压流量计	76
3-6-1 Gilflo 流量传感器的工作原理	76
3-6-2 两种形式的 Gilflo 流量传感器	78
3-6-3 Gervase 检测系统的构成与非线性的校正	79
3-6-4 Gervase 检测系统的主要特点	79
3-7 涡轮流量计	80
3-7-1 涡轮流量变送器的结构及工作过程	80
3-7-2 涡轮流量计的特点及使用注意事项	81
3-8 电磁流量计	82
3-8-1 工作原理	82

3-8-2 电磁流量计的特点和应注意的问题	83
3-9 超声波流量计	84
3-9-1 基本原理	84
3-9-2 应用频差法原理的超声波流量计	85
3-9-3 超声波流量计的使用安装	86
3-10 旋涡流量计	87
3-10-1 卡门涡街式旋涡流量计	87
3-10-2 旋进式旋涡流量计	89
3-11 质量流量计	89
3-11-1 简接式质量流量计	90
3-11-2 微动流量计	100
3-11-3 量热式质量流量计	110
3-12 流量仪表的标定及其装置	123
3-12-1 标定中的一般注意事项	123
3-12-2 液体流量计的标定	123
3-12-3 气体流量计的标定	126
习题和思考题	129

第四章 物位检测

4-1 概述	131
4-1-1 物位检测的概念	131
4-1-2 物位检测仪表分类	131
4-2 浮力式液位计	132
4-2-1 自动跟踪浮子式液位计	132
4-2-2 浮子式钢带液位计	133
4-2-3 浮筒式液位计	140
4-3 压力式物位仪表	141
4-3-1 压力式物位计	142
4-3-2 差压式液位计	144
4-3-3 应用法兰式差压变送器检测液位	146
4-4 其它物位计	148
4-4-1 电容式物位计	148
4-4-2 超声波物位计	149
4-4-3 放射性物位仪表	151
4-4-4 音叉料位开关	153
习题和思考题	155

第五章 温度检测

5-1 概述	157
--------------	-----

5-1-1 温度的概念	157
5-1-2 温度的检测方法分类	157
5-2 温标及温度标准的传递	158
5-2-1 国际温标简介	158
5-2-2 温度标准的传递	162
5-3 膨胀式温度计	162
5-3-1 固体膨胀式温度计	162
5-3-2 压力式温度计	163
5-4 热电偶温度计	164
5-4-1 热电偶测温原理	165
5-4-2 热电偶基本定理	166
5-4-3 热电极材料及常用热电偶	167
5-4-4 热电偶结构及选择	171
5-4-5 补偿导线和冷端温度补偿	172
5-4-6 热电偶的校验	176
5-5 电阻温度计	178
5-5-1 概述	178
5-5-2 热电阻材料及常用热电阻	179
5-5-3 热电阻的结构	181
5-6 光辐射式高温计	183
5-6-1 全辐射式高温计	183
5-6-2 光学高温计	187
习题和思考题	188

第六章 显示仪表

6-1 动圈式显示仪表	191
6-1-1 动圈式仪表的工作原理	191
6-1-2 毫伏输入的动圈仪表检测线路	195
6-1-3 电阻输入的动圈仪表检测线路	196
6-1-4 动圈仪表改刻度	197
6-2 自动平衡式显示仪表	198
6-2-1 自动电子电位差计	198
6-2-2 自动平衡电桥	202
6-2-3 使用注意事项	203
6-2-4 自动平衡式显示仪表的调校	204
6-3 数字式显示仪表	206
6-3-1 概述	206
6-3-2 数字式显示仪表的组成	208
6-3-3 数字模拟混合记录仪	209

6-3-4 3081/4081 型混合记录仪	216
6-3-5 μ R100 记录仪	219
习题和思考题	227

第七章 成分分析仪表

7-1 概述	230
7-1-1 工业分析仪表的分类	230
7-1-2 工业分析仪表的组成	230
7-1-3 成分分析仪表的主要性能指标	232
7-2 热导式气体分析仪	232
7-2-1 热导式气体分析仪的工作原理	232
7-2-2 检测线路	236
7-2-3 热导式气体分析仪	238
7-3 工业气相色谱仪	244
7-3-1 气相色谱法的分离原理	245
7-3-2 工业气相色谱仪的基本组成	249
7-3-3 OPTI-CHROM 2100 工业色谱系统	262
7-4 红外线气体分析器	267
7-4-1 直读式红外线分析器的工作原理	267
7-4-2 红外线气体分析器的结构	270
7-4-3 QGS-08 型红外线分析器	271
7-5 氧化锆氧分析器	273
7-5-1 氧化锆电解质的性质	273
7-5-2 氧浓差电池原理	274
7-5-3 氧化锆氧分析器的测量系统	275
7-5-4 氧化锆氧分析器输出特性的线性化	279
7-5-5 氧化锆氧分析器的调试简介	279
7-6 工业 pH 计	280
7-6-1 pH 计的工作原理	280
7-6-2 工业酸度计	282
7-6-3 pHG-21B 型工业酸度计	288
7-7 工业电导仪	290
7-7-1 工业电导仪的检测原理	291
7-7-2 电导池的结构和影响电导检测的因素	294
7-7-3 DDD-32 型工业电导仪	296
习题与思考题	302

第八章 新型传感器

8-1 概述	305
--------------	-----

8-1-1 传感器的概念	305
8-1-2 传感器的分类	305
8-2 光纤传感器	306
8-2-1 光导纤维	306
8-2-2 光纤传感器	308
8-2-3 光纤传感器在检测技术中的应用	309
8-3 新材料及新元件在传感器技术中的应用	313
8-3-1 液晶传感器	313
8-3-2 高分子有机材料	314
8-3-3 微生物传感器	315
8-3-4 凝胶	316
8-3-5 形状记忆合金	316
8-4 集成化及信息处理型传感器	316
8-4-1 概述	316
8-4-2 集成化传感器	317
8-4-3 微机化传感器	317

附 录

表 1 1151DP 型变送器功能规格	320
表 2 1151DP 型变送器技术数据	320
表 3 1151DP 型变送器型号规格表	321
表 4 QGS-08 型分析器量程及技术指标	322
表 5 微动流量计的整体规格	323
表 6 微动流量计传感器部分的详细规格	323
表 7 5850C 和 5851 两种型号的流量控制器的主要规格	324
表 8 实用流量公式	325
表 9 气体流量换算公式	326
表 10 差压计的基本特性表	327
表 11 铂铑-铂热电偶分度表(自由端温度为 0℃)LB-3	329
表 12 镍铬-镍硅热电偶分度表(自由端温度为 0℃)EU-2	332
表 13 镍铬-考铜热电偶分度表(自由端温度为 0℃)EA-2	334
表 14 铂热电阻分度特性表	336
表 15 铜电阻分度特性表($R_0=50\Omega$)	337
表 16 铜电阻分度特性表($R_0=100\Omega$)	338
表 17 新分度号热电偶温度与热电势数据对照表	339
表 18 热电偶的热电势率(塞贝克系数 S)值	340
表 19 压力单位换算表	341
参考文献	342

第一章 检测仪表概述

1 - 1 检测过程与检测方法

1 - 1 - 1 检测过程

在化工和炼油生产过程中,为了准确地获取表征被测对象特性的某些参数的定量信息,必须对这些工艺参数进行检测。尽管检测方法多种多样,检测仪表品种繁多,结构原理各不相同,然而检测过程的实质却都是相同的。检测过程,实际上就是将被测参数与其相应的检测单位进行比较的过程,而检测仪表就是实现这种比较的工具,所以有人把检测定义为“实验比较过程”。

随着科学技术的发展,检测的领域不断扩大,参数范围也在不断地延伸,因此,每一种检测过程都要将被测参数经过一次或多次的信号能量的转换,最后获得便于检测的信号能量形式,而由检测仪表的指针位移或数字形式显示被测参数。例如化学反应器内的温度检测,常利用热电阻的阻值随温度变化的性质,首先把被测温度转换为电阻变化,通过电桥,再把电阻信号转换为直流毫伏信号,然后,通过毫伏检测仪表把毫伏信号转变为指针位移,并与温度标尺相比较而显示出被测温度的数值。在这里,被测参数经过两次信号能量的转换,才得以实现检测的目的。所以,检测过程又可以看作为是被测参数信号以能量形式一次或多次不断转换和传送的过程。

1 - 1 - 2 检测方法

检测方法是指被测参数与其单位进行比较的实验方法。根据检测仪表的特点,检测的基本方法可有非零法与零位法、接触法与非接触法等。如果按照被测对象的特点来分,又有静态检测与动态检测,点参数检测与场参数检测等。下现分别叙述。

一、非零检测法与零位检测法

1、非零检测法

通过仪表的检测机构,直接或间接检测被测量所产生的输出信号的大小,该输出信号不为零,其相应的数值就是被检测的检测值,由显示器显示之。例如:压力计的弹簧管承受压力后产生形变,经传动机构带动指针转动,当形变后的作用力矩与反作用力矩平衡时,指针稳定指示在标尺的一定位置,经过预先标定,该位置就相当于某个压力的数值。目前多数检测仪表依据此方法而工作。这种仪表结构简单、直观、经济,故应用甚广。但其精度较低,且往往要消耗被测对象的部分能量,损失部分信号等。

2、零位检测法

通过仪表的检测机构,比较被测量与已知标准量的大小,使两者完全平衡或全部抵消,此时检测系统对差值信号的指示为零,则已知标准量的数值就是被测量的检测值的代表。零

位检测法的典型例子是“天平”称重。当天平平衡时,指示器在中央零位,则法码的质量精确地等于被测物的质量。依据此法而工作的,还有电位差计、平衡电桥等。零位检测法有利于消除各种干扰因素的影响,提高检测的准确性,是精密仪表的发展方向,但仪表结构较复杂,价格较贵。

二、接触式检测法与非接触式检测法

1、接触式检测法

接触式检测法是由检测仪表的传感器与被测对象直接接触,承受被测参数的作用,感受其变化,从而获得信号,并检测其信号大小的方法。例如,热电阻温度传感器,直接与反应器中物料接触,承受温度作用,感受其变化而指示温度值。

2、非接触检测法是检测仪表的传感器不必直接与被测对象相接触,而是间接承受被测参数的作用,感受其变化,从而获得信号,达到检测目的的一种方法。例如,用辐射温度计检测温度时,它的传感器不与被测对象接触,而是接受其辐射的能量,间接承受被测对象温度的作用,得到电信号,并转变成温度后显示之,因此它是一种非接触式测温仪表。各种遥测与遥感式的仪表也是依据非接触检测法进行工作的。

三、静态检测法与动态检测法

静态检测法是指被测对象处于稳定情况下的检测,此时被测参数不随时间而变化,故又称稳态检测。动态检测是在对象处于不稳定的情况下进行检测,此时被测参数随时间而变化,因此这种检测应当是瞬间完成,只有这样才能得到动态参数的检测结果。

一般情况下,被测参数多是随时间变化的,化工炼油生产过程中的检测量常是如此。运动是绝对的,静止是相对的。因此,过程检测实际上应是动态检测。主观上想重复检测得到某参数的同一数值是不可能的。如果被测参数随时间变化很缓慢,而检测所需时间又相对很短时,被测对象可近似为稳定情况,此时,检测过程可认为是稳定或静态检测。这种近似也是产生检测误差的原因之一。

四、点参数检测法与场参数检测法

点参数检测法系指检测被测对象某个局部点的参数,而场参数检测则是指检测被测对象的某个参数的平面分布或空间分布。

由于篇幅所限,本书主要考虑稳态被测对象的点参数检测。

1 - 2 检测误差的概念

1 - 2 - 1 检测误差的产生

在检测过程中,由于所使用的检测工具本身不够准确、检测方法不够完善、观测者的主观性和周围环境的影响等等,使仪表示值和被测参数真实值之间存在着一定的差别,这一差别就是检测误差。即仪表的检测值 x 不能绝对准确地等于被测参数的真实值 x_0 ,人们只能力求使 x 接近 x_0 ,但决不会达到绝对相等的地步。在实际工作中,为了判断检测结果的可靠程度,需要知道真实值 x_0 ,而真实值又永远难以得到,既然如此,难道人们就束手无策,毫无办法了吗?当然不是。

什么是真实值?自然界中的一切物体都处于永恒的运动中,而被检测的真实值的确定是假定在一定的时间、空间或某种状态下某个量所表现出来的实际大小。例如,质量的国际基

准原器 1kg 是指保存在一定地点,其环境条件(如温度、湿度等)保持恒定,且具有一定形状大小的铂铱合金的国际千克原器。一般来说真实值是未知的,所以误差也是未知的。但有些真实值是可行的。可知真实值的情况有如下几种:

一理论真实值

例如, π 值,平面四边形四角之和恒为 360° ,同一量值自身之差恒为零,自身之比恒为 1,等等。

二、计量学约定真实值

国际计量大会的决议定义了长度,质量、时间、电流强度、热力学温度、发光强度及物质的量等七大基本单位,在规定的条件下,可以精确地复现它们。凡是满足有关规定条件复现出的量值称为计量学约定真实值。

三、标准器的相对真实值

高一级标准器的误差与低一级标准器或普通仪器的绝对误差相比,为其 $1/3$ 至 $1/10$ 时,则可认为前者是后者的相对真实值。例如,铂电阻温度计与普通温度计指示的温度值相比较,前者是真实值。一台标准压力表的示值相对于普通压力表示值而言是真实值。本章所述的检测误差就是根据这种真实值求得的。

1—2—2 检测误差的分类

根据检测误差的性质及产生的原因,检测误差可作如下分类:

一、按误差出现的规律分类

1、系统误差:在相同条件(指人员、仪器及环境等条件)下多次重复检测同一物理量时,误差的大小和符号保持不变,或按照一定的规律变化,这种误差称作系统误差。它主要是由于检测工具或仪器本身,以及检测者对仪器使用不当等原因所造成的有规律的误差。

2、随机误差:在相同条件下多次重复检测同一物理量时,误差时大时小,时正时负,其大小和符号均是无规律变化的误差称为随机误差。它是由于检测过程中许多独立的、微小的、偶然的因素所引起的综合结果,故又称偶然误差。

3、疏忽误差:在相同的条件下,多次重复检测同一物理量时,明显地歪曲了检测结果的误差称为疏忽误差,又称粗大误差。这种误差是由于观测者对仪器的不了解,或因思想不集中,疏忽大意导致错误的读数或不正确的观测而引起的。

4、缓变误差:是指数值上随时间缓慢变化的误差。它是由于仪器零部件老化过程所引起的。

二、按作用条件分类

1、基本误差:是指仪表在规定的正常工作条件下所产生的误差,其数值在仪表出厂时由厂方提供。

2、附加误差:当仪表在偏离规定的正常工作条件(例如,交流电源电压 $220 \pm 5\%V$,温度 $20 \pm 5^\circ C$,湿度小于 80% 等)下使用时所产生的误差称为附加误差。

三、按被检测随时间变化的速度分类

1、静态误差(即稳态误差):在被检测稳定不变时的检测误差。本章主要讨论静态误差。

2、动态误差:在被检测随时间变化的过程中进行检测所产生的附加误差。

四、按误差本身因次(单位)分类

1、绝对误差:即仪表的指示值 x 与被检测的相对真实值 x_0 之间的代数差值称为绝对误

差。

2、相对误差：相对误差有三种表示方法。它们是：

$$\text{标称相对误差} \quad \delta_1 = \frac{\Delta}{x} \times 100\%;$$

$$\text{实际相对误差} \quad \delta_2 = \frac{\Delta}{x_0} \times 100\%;$$

$$\text{相对百分误差} \quad \delta_3 = \frac{\Delta}{\text{标尺上限} - \text{标尺下限}} \times 100\%$$

式中， Δ 为绝对误差， x 为仪表的指示值， x_0 为被测量的相对真实值。

1 — 3 检测仪表的基本技术性能

仪表的性能指标是评价仪表性能好坏、质量优劣的主要依据；它也是正确地选择仪表和使用仪表，以达到准确检测所必需具备和了解的知识。若仪表选择和使用不当，即使选用性能好、质量高的仪表，也不能够得到准确的检测结果。相反，如果选用得当，则精度较低的仪表也能满足检测要求。因此，深入了解仪表的性能指标，根据要求，正确地选择和使用仪表，对于检测工作者来说是十分重要的。

仪表的性能指标很多，概括起来不外乎技术、经济及使用三个方面。

仪表技术方面的指标有：基本误差、精度等级、变差、灵敏度等。

仪表经济方面的指标有：功耗、价格、使用寿命等。

仪表使用方面的指标有：操作维修是否方便，能否可靠安全地运行以及抗干扰与防护能力的强弱、重量体积的大小，自动化程度的高低等。

下面仅对检测仪表技术方面的主要指标作一介绍。

1 — 3 — 1 仪表的基本误差

由上节所知，基本误差是指仪表在规定的正常工作条件下所产生的误差。仪表的基本误差有如下几种表示形式：

一、绝对误差。

符号为 Δ ，用公式表示为

$$\Delta = x - x_0 \quad (1-1)$$

x_0 也可为被检测公认的约定真实值，在检测仪表中一般为由标准仪表所测得的检测值。绝对误差 Δ 说明了仪表示值偏离真实值的大小，在一定条件下能够说明仪表检测的精确度。下面举例说明。

例 1 — 1 有一台压力表，检测范围为 $0 \sim 100\text{kPa}$ ，在检测中出现的最大绝对误差为 1kPa ；另有一台压力表，检测范围为 $0 \sim 10\text{kPa}$ ，测量中出现的最大绝对误差也为 1kPa ，试比较两台压力表的检测精确度。

解 若用题中两台压力表检测同一检测值 10kPa 时，它们产生的最大绝对误差均为 1kPa ，这只能说明这二台压力表在检测 10kPa 这一检测值时的检测精确程度一样，但不能说明这两台压力表的检测精确度相同，尽管它们在检测任何值时，最大可能产生的绝对误差相同，但由于它们的检测范围不同，所以很难说明它们的检测精确程度一样。

二、实际相对误差

由上节可知,其表达式为

$$\delta_2 = \frac{\Delta}{x_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

实际相对误差比绝对误差能更好地说明检测的精确程度。如有两组检测值,第一组 $x_0 = 1000^\circ\text{C}$, $x = 1005^\circ\text{C}$, $\Delta = +5^\circ\text{C}$, $\delta_2 = 0.5\%$; 第二组 $x_0 = 100^\circ\text{C}$, $x = 105^\circ\text{C}$, $\Delta = +5^\circ\text{C}$, $\delta_2 = 5\%$ 。由此可见,两组的绝对误差虽然均为 $+5^\circ\text{C}$, 但第一组的相对误差小得多, 显然第一组检测比第二组精确。但在评价仪表质量时, 利用实际相对误差作为衡量标准, 有时也很不方便。例如例 1-1 中两台不同检测范围、相同绝对误差的压力表, 若都用来检测 10kPa 这一检测值时, 根据公式 (1-2), 它们的实际相对误差均为 10% , 但同样不能说明它们的检测精确程度相同。用下面所述的相对百分误差将更为方便。

三、相对百分误差

综上所述, 仪表的检测精确程度不仅与绝对误差和实际相对误差有关, 而且还与仪表的检测范围有关。例如例 1-1 中两台压力表, 它们的绝对误差和实际相对误差均相等, 但检测范围大的那台压力表, 其检测精确程度显然比检测范围小的为高。因此, 工业仪表经常将绝对误差折合成仪表标尺范围内的百分数表示, 称为相对百分误差, 用 δ_3 表示, 即

$$\delta_3 = \frac{\Delta}{\text{标尺上限} - \text{标尺下限}} \times 100\% \quad (1-3)$$

由公式 (1-1) 和 (1-3) 可知, 当 x 取检测范围内的不同检测值时, 其绝对误差是不同的, 因此, 相对百分误差亦不同, 即相对百分误差与仪表的具体检测值有关。为此, 取相对百分误差的最大值, 既能克服上述之不足, 又能更恰当地说明仪表的检测精度。

1-3-2 仪表的精度等级

一、相对百分误差的最大值

在规定的工作条件下, 当被测量平稳地增加和减少时, 在仪表全量程所取得的诸示值的相对百分误差 (绝对值) 的最大者, 或诸示值的绝对误差 (绝对值) 的最大者与量程的比值的百分数, 称为仪表的最大相对百分误差, 符号为 $\delta_{\max}$, 可表示为

$$\delta_{\max} = \frac{|\Delta|_{\max}}{\text{标尺上限} - \text{标尺下限}} \times 100\% \quad (1-4)$$

二、允许相对百分误差

简称允许误差, 符号为 Q 。顾名思义, 它说明了仪表在出厂时所规定的相对百分误差的允许值。也就是说, 仪表在出厂检验时, 诸示值的最大相对百分误差不能超过其允许值。记为

$$\delta_{\max} \leq Q \quad (1-5)$$

必须注意, δ_3 、 $\delta_{\max}$ 及 Q 值均是以百分数来表示的, 而且比较时一般是取误差绝对值的。

三、精度等级

工业仪表常以允许的相对百分误差作为判断精度等级的尺度。人为规定: 取允许相对百分误差百分数的分子作为精度等级的标志, 也即用允许相对百分误差去掉百分号 (%) 后的数字来表示精度等级, 其符号为 G , 则 $G = Q \times 100$, 或 $Q = G\%$ 。

各种仪表的精度等级的数字是有国家统一规定的, 工业仪表常见的精度等级有: 0.005 ; 0.02 ; 0.05 ; 0.1 ; 0.2 ; 0.5 ; 1.0 ; 1.5 ; 2.0 ; 2.5 ; 4.0 等。如果某台仪表的精度等级为 1.0 , 即认为该仪表的允许误差为 1% , 用该表检测时, 诸示值的最大相对百分误差不会超过 1%

仪表精度等级是衡量仪表质量的重要标指,显然,仪表精度等级的数字愈小,仪表的精度愈高。工业用检测仪表,其精度等级大多在 0.5 级以下。

仪表的精度等级可用不同的符号标志在仪表面板上,如 $\bigcirc 1.0$ $\diamond 0.5$ $\nabla 1.5$ 等。

根据公式(1-3)、(1-4)、(1-5)可以决定仪表的精度等级,为了更好地掌握精度等级这个质量标指,下面举例说明公式(1-3)、(1-4)、(1-5)在仪表选择,使用和校验方面的应用。

例 1-2 某化学反应器的温度变化范围为 $200 \sim 700^{\circ}\text{C}$,工艺要求检测中的最大绝对误差不超过 $\pm 4^{\circ}\text{C}$,请选择一台精度级别合适的仪表。

解 已知 $\Delta_{\max} = \pm 4^{\circ}\text{C}$,所以

$$\delta_{\max} = \frac{|\pm 4|}{700 - 200} \times 100\% = 0.8\%$$

根据公式(1-5)

$$\delta_{\max} \leq Q = 0.8\%$$

应选择 0.8 精度级。但统一规定的精度级别中无 0.8 级别,所以,应选择精度级为 0.5 的仪表能满足工艺要求。

例 1-3 在例 1-2 的工艺条件下,若选用一台精度级别为 1.0 级、检测范围为 $200 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 的测温仪表,你认为该表是否满足使用要求?

解 公式 1-5 可知

$$\delta_{\max} \leq Q = Q\%$$

已知 $G = 1.0$,所以

$$\delta_{\max} = 1.0\%$$

由公式(1-4)可得:

$$\begin{aligned} |\Delta|_{\max} &= \frac{\delta_{\max}(\text{标尺上限} - \text{标尺下限})}{100\%} \\ &= (700 - 200) \times \frac{1}{100} = 5^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

显然,该表在使用过程中的允许误差为 $\pm 5^{\circ}\text{C}$,已超过工艺要求的 4°C ,所以,表不合要求。

例 1-4 某温度检测仪表精度级别为 0.5 级,量程为 $200 \sim 700^{\circ}\text{C}$,在工艺中使用一段时间后,对该表进行一次校验,看该表是否还符合原精度级别。校验数据如下表:

示 值	$x(^{\circ}\text{C})$	201	303	396	502	603	697
真 实 值	$x_0(^{\circ}\text{C})$	200	300	400	500	600	700
绝 对 误 差	$\Delta(^{\circ}\text{C})$	+1	+3	-4	+2	+3	-3
相对百分误差	$\delta_3(^{\circ}\text{C})$	+0.2	+0.6	-0.8	+0.4	+0.6	-0.6

解 由校验数据可知:

$$\delta_{\max} = 0.8\%$$

而已知原表为 0.5 精度级,则其允许误差为:

$$Q = 0.5\%$$

因为