



普通高等教育“十三五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

自动检测与仪表

刘玉长 主编



冶金工业出版社

www.cnmip.com.cn



普通高等教育“十三五”规划教材

自动检测与仪表

刘玉长 主编

北京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书系统地阐述了温度、压力、流量、物位、成分分析等过程参数与位移、速度、转矩、重量等机械量的检测原理、测量方法、测量系统构成、测量误差分析以及这些测量装置(仪表)的安装使用条件与选用等,此外简单介绍了显示仪表知识与检测技术的最新进展。本书配有电子课件,方便广大读者使用。

本书可作为普通高等院校和高等职业院校自动化、测控技术与仪器、能源与动力工程、冶金工程及相关专业的教材,也可供从事自动化检测技术及仪表领域的科研工作者与工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动检测与仪表/刘玉长主编. —北京:冶金工业出版社,
2016.1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6902-3

I. ①自… II. ①刘… III. ①自动检测—高等学校—教材
②检测仪表—高等学校—教材 IV. ①TP274 ②TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 242127 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 俞跃春 陈慰萍 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6902-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版,2016 年 1 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;14 印张;339 千字;213 页

38.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

自动检测技术是人们在仪器仪表的研制、生产、使用过程中逐渐发展的一门综合性技术,是自动化技术的一个重要分支。自动检测对于提高自动化水平和程度、减少人为干扰因素和人为差错、提高生产过程或设备的可靠性及运行效率具有重要意义。

自动检测技术涉及的范围、领域相当宽,检测方法、检测元件与系统种类繁多,不可能也没必要一一介绍。本书主要针对过程控制参数检测中最典型的检测方法与检测装置进行讲解,介绍时特别注重不同检测方法与仪表的适应性问题,以便读者能够选用合适的仪表。

本书共分9章,各章编写人员及主要内容如下:

第1章由刘玉长编写,主要介绍检测的基本概念、仪表性能指标、测量误差及其处理、测量不准确度的评定等内容。

第2章由宁练编写,主要介绍温度检测的基本理论、方法与仪表,包括温标与测温方法,热电偶、热电阻与辐射式测温的理论基础以及实际使用中应注意的问题。此外还介绍了光纤、光栅等一些新型的测温传感器,以及工业生产过程中遇到的一些特殊测温问题。

第3章由周萍编写,主要介绍压力检测及仪表,包括常见的压力检测方法、压力传感器以及压力表的选用。

第4章由刘玉长编写,主要介绍流量检测方法及仪表,包括差压式、转子、电磁、涡轮、旋涡、超声波、容积式等体积流量计的测量原理及其选用注意事项,科里奥利等直接式质量流量计以及推导式质量流量计的测量原理与使用。

第5章由黄学章编写,主要介绍物位检测仪表,包括常用的浮力式、静压式、电容式、超声波与雷达等物位计的测量原理及仪表选用注意事项等。

第6章由黄学章编写,主要介绍机械量检测方法及仪表,包括位移、转速与加速度、转矩和功率、重量等参数的检测方法 with 仪表及其选用等。

第7章由宋彦坡编写,主要介绍成分分析仪表,包括气体、液体以及固体

中特定成分（如 CO 、 O_2 、 H_2O ）与性质（如密度与酸碱度）等的检测原理与相应的仪表，以及仪表的选用等。

第8章由孙志强编写，主要介绍常用显示仪表的主要组成部件及其工作过程等。

第9章由孙志强编写，主要介绍检测技术领域的虚拟仪器、图像检测以及软测量等新型检测技术知识。

本书配套的教学课件，读者可从冶金工业出版社官网（<http://www.cnmp.com.cn>）教学服务栏目中下载。

由于编者水平有限，书中不妥之处，敬请读者批评指正！

编 者

2015年2月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价(元)
自动检测和过程控制(第4版)(国规本科教材)	刘玉长	50.00
电工与电子技术(第2版)(本科教材)	荣西林	49.00
电工与电子技术学习指导(本科教材)	张 石	29.00
单片机实验与应用设计教程(本科教材)	邓 红	28.00
单片机微机原理与接口技术(本科教材)	孙和平	49.00
机械优化设计方法(本科教材)(第4版)	陈立周	42.00
机械电子工程实验教程(本科教材)	宋伟刚	29.00
材料科学基础(本科教材)	王亚男	33.00
轧钢厂设计原理(本科教材)	阳 辉	46.00
控制工程基础(高等学校教材)	王晓梅	24.00
起重运输机械(高等学校教材)	纪 宏	35.00
冶金过程检测与控制(第2版)(职业技术学院教材)	郭爱民	30.00
参数检测与自动控制(职业技术学院教材)	李登超	39.00
冶金通用机械与冶炼设备(第2版)(高职高专教材)	王庆春	56.00
矿山提升与运输(第2版)(高职高专教材)	陈国山	39.00
单片机原理与接口技术(高职高专教材)	张 涛	28.00
采掘机械(高职高专教材)	苑忠国	38.00
金属热处理生产技术(高职高专教材)	张文莉	35.00
机械工程控制基础(高职高专教材)	刘玉山	23.00
数控技术及应用(高职高专教材)	胡运林	32.00
机械制造工艺与实施(高职高专教材)	胡运林	39.00
工程材料及热处理(高职高专教材)	孙 刚	29.00
轧钢机械设备维护(高职高专教材)	袁建璐	28.00
型钢轧制(高职高专教材)	陈 涛	25.00
冷轧带钢生产与实训(高职高专教材)	李秀敏	30.00
轧钢工理论培训教材(冶金行业培训教材)	任蜀焱	49.00
电气设备故障检测与维护(冶金行业培训教材)	王国贞	28.00
高炉炼铁过程优化与智能控制系统	刘祥官	28.00
轧制过程的计算机控制系统	赵 刚	25.00
冶金原燃料生产自动化技术	马竹梧	58.00
炼铁生产自动化技术	马竹梧	46.00

目 录

1 自动检测技术基础	1
1.1 自动检测的基本概念	1
1.1.1 检测的基本方法	1
1.1.2 检测仪表的组成	2
1.1.3 检测仪表的分类	3
1.1.4 检测仪表的主要性能指标	3
1.2 测量误差及处理方法	5
1.2.1 测量误差	5
1.2.2 误差的分析与处理	6
1.3 测量不确定度	10
1.3.1 测量不确定度的基本概念	10
1.3.2 测量不确定度的分类与表达	11
1.3.3 标准不确定度的评定	11
1.4 检测技术及仪表的发展	14
思考题与习题	14
2 温度检测与仪表	16
2.1 温标及测温方法	16
2.1.1 温标	16
2.1.2 温度测量方法及其分类	17
2.2 热电偶温度计	18
2.2.1 热电偶测温原理	18
2.2.2 热电偶的基本定律	20
2.2.3 热电偶的结构	21
2.2.4 热电偶的分类	24
2.2.5 热电偶的冷端补偿	26
2.2.6 测温线路	29
2.3 电阻温度计	30
2.3.1 热电阻测温原理	30
2.3.2 热电阻的结构	31
2.3.3 特殊热电阻	32
2.3.4 热电阻测温线路	33

2.4 辐射温度计	34
2.4.1 辐射测温原理	35
2.4.2 亮度高温计	36
2.4.3 比色温度计	39
2.4.4 辐射高温计	40
2.4.5 红外测温计	41
2.5 测温仪表的选择及安装	43
2.5.1 温度计的选择原则	43
2.5.2 接触式测温元件的选型	43
2.5.3 非接触式测温元件的选型	44
2.5.4 感温元件的安装	44
2.5.5 布线要求	45
2.6 新型温度传感器	45
2.6.1 光纤光栅温度传感器	45
2.6.2 半导体集成电路温度传感器	47
2.6.3 特种测温热敏电缆	48
2.7 工业特殊测温技术	49
2.7.1 热流计	49
2.7.2 高温金属熔体的温度测量	49
2.7.3 高温烟气温度测量	50
2.7.4 真空炉温度测量	51
思考题与习题	51
3 压力检测与仪表	52
3.1 概述	52
3.1.1 压力的概念及单位	52
3.1.2 压力表示方法	52
3.1.3 压力检测的基本方法	53
3.2 液柱式压力计	53
3.2.1 液柱式压力计的原理	53
3.2.2 液柱式压力计的测量误差及其修正	55
3.3 弹性式压力计	55
3.3.1 弹性元件	55
3.3.2 弹簧管压力计	56
3.4 压力(差压)传感器	56
3.4.1 霍耳压力传感器	56
3.4.2 电容式压力传感器	58
3.4.3 压电式压力传感器	59
3.4.4 应变式压力传感器	60

3.4.5 压阻式压力传感器	61
3.5 真空计	61
3.5.1 压缩式真空计	61
3.5.2 热电偶式真空计	62
3.5.3 电离式真空计	63
3.6 压力检测仪表的选用	64
3.6.1 压力检测仪器的选择	64
3.6.2 压力计的安装	64
3.6.3 压力计的校验	65
思考题与习题	66
4 流量检测与仪表	68
4.1 差压式流量计	69
4.1.1 节流式流量计	69
4.1.2 均速管流量计	93
4.1.3 弯管流量计	96
4.2 转子流量计	97
4.2.1 转子流量计的工作原理	97
4.2.2 转子流量计的选用	98
4.3 电磁流量计	99
4.3.1 电磁流量计的工作原理	99
4.3.2 电磁流量传感器	100
4.3.3 电磁流量转换器	102
4.3.4 电磁流量计的特点与选用	102
4.4 涡轮流量计	104
4.4.1 涡轮流量计的结构及原理	104
4.4.2 涡轮流量计的特点	105
4.4.3 涡轮流量计的选用	105
4.5 旋涡流量计	106
4.5.1 涡街流量计	107
4.5.2 旋进旋涡流量计	108
4.6 超声波流量计	109
4.6.1 传播速度差法	110
4.6.2 多普勒法	111
4.7 明渠流量计	112
4.7.1 堰式流量计	112
4.7.2 槽式流量计	113
4.8 容积式流量计	114
4.8.1 容积式流量计的类型	114

4.8.2 容积式流量计的特点与选用	115
4.9 质量流量计	116
4.9.1 科里奥利质量流量计	116
4.9.2 热式质量流量计	118
4.9.3 推导式质量流量计	119
4.9.4 冲板式流量计	119
思考题与习题	121
5 物位检测仪表	122
5.1 概述	122
5.1.1 物位的定义	122
5.1.2 物位检测方法的分类	122
5.2 浮力式液位计	123
5.2.1 浮子式液位计	123
5.2.2 磁翻转浮标液位计	124
5.2.3 浮筒式液位计	124
5.3 静压式液位计	125
5.3.1 检测原理	125
5.3.2 压力式液位计	126
5.3.3 差压式液位计	126
5.4 电容式物位计	128
5.4.1 电容物位计工作原理	128
5.4.2 导电液体电容传感器	128
5.4.3 非导电液体电容传感器	129
5.4.4 射频导纳电容物位计	130
5.5 超声波液位计	130
5.5.1 测量原理	131
5.5.2 基本测量方法	131
5.6 雷达物位计	132
5.6.1 测量原理	132
5.6.2 调频连续波雷达物位计	133
5.6.3 导波雷达物位计	133
5.7 其他物位测量方法	134
5.7.1 磁致伸缩液位计	134
5.7.2 射线式物位测量仪表	135
5.7.3 光纤液位计	136
5.7.4 电阻式液位计	137
5.7.5 温差法液位检测技术	137
5.8 料位检测方法	138

思考题与习题	139
6 机械量检测与仪表	141
6.1 转速、转矩与功率测量	141
6.1.1 转速测量	141
6.1.2 转矩测量	145
6.1.3 功率测量	146
6.2 位移与厚度测量	148
6.2.1 位移测量仪表	148
6.2.2 厚度测量	151
6.3 振动与加速度检测	152
6.3.1 振动测量仪表	152
6.3.2 加速度测量仪表	153
6.4 重量检测	155
6.4.1 概述	155
6.4.2 压磁式传感器	155
6.4.3 电子秤	156
思考题与习题	158
7 成分分析仪表	160
7.1 红外线气体分析仪	160
7.1.1 工作原理	160
7.1.2 基本组成	161
7.1.3 应用举例	162
7.2 氧量分析仪	163
7.2.1 热磁式氧量分析仪	163
7.2.2 氧化锆氧量分析仪	164
7.3 其他气体分析仪	166
7.3.1 气相色谱仪	166
7.3.2 热导式气体成分分析仪	168
7.3.3 激光在线气体分析仪	169
7.4 溶液浓度计	170
7.4.1 电导式浓度仪	170
7.4.2 电磁式浓度计	171
7.4.3 密度式浓度计	171
7.5 工业酸度计	172
7.5.1 参比电极	173
7.5.2 测量电极	173
7.6 湿度检测仪表	174

7.6.1	自动干湿球湿度计	174
7.6.2	露点湿度计	175
7.6.3	金属氧化物陶瓷湿度传感器	176
7.6.4	氯化锂电阻湿度传感器	176
	思考题与习题	177
8	显示仪表	178
8.1	概述	178
8.2	模拟式显示仪表	180
8.2.1	电位差计式显示仪表	180
8.2.2	自动平衡电桥式显示仪表	184
8.3	数字式显示仪表	185
8.3.1	概述	185
8.3.2	数字显示仪表的构成	186
8.3.3	A/D 转换	187
8.3.4	非线性补偿	188
8.3.5	信号标准化及标度变换	190
	思考题与习题	192
9	新型检测技术与仪表	194
9.1	虚拟仪器技术	194
9.1.1	虚拟仪器技术概述	194
9.1.2	虚拟仪器的构成	195
9.1.3	虚拟仪器开发平台	199
9.2	图像检测技术	199
9.2.1	图像检测系统的构成	199
9.2.2	图像的描述	202
9.2.3	图像处理技术	204
9.3	软测量技术	205
9.3.1	软测量技术概述	205
9.3.2	软仪表的设计方法	206
9.3.3	软测量的建模方法	208
	思考题与习题	210
	附表	211
	参考文献	213

1 自动检测技术基础

在工业生产中，为了保证生产过程正常、高效、经济地运行，需对工艺过程中的温度、压力、流量、液位、成分等参数进行控制。为了实现对生产过程的控制，首先需要的是准确、及时地检测出这些过程参数。对这些参数的检测构成了自动检测的基本内容。

1.1 自动检测的基本概念

检测即测量，是为准确获取表征被测对象特征的某些参数的定量信息，利用专门的技术工具，运用适当的实验方法，将被测量与同种性质的标准量（即单位量）进行比较，确定被测量对标准量的倍数，找到被测量数值大小的过程。它是人类揭示物质运动规律，定性了解与定量掌握事物本质不可缺少的手段。

随着人类社会进入信息时代，以信息获取、转换、显示和处理为主要内容的检测技术已经发展成为一门完整的技术科学。检测技术已成为产品检验与质量控制、设备运行监测、生产过程自动化等环节重要组成部分。随着在线检测技术、故障自诊断系统的发展，检测技术将在现代工业生产领域发挥更大的作用。

1.1.1 检测的基本方法

检测方法是实现检测过程所采用的具体方法。检测方法与检测原理具有不同的概念，检测方法是指被测量与其单位进行比较的实验方法。检测原理是指仪器、仪表工作所依据的物理、化学等具体效应。根据检测仪表与被测对象的特点，检测方法主要有以下几种类型：

（1）接触式测量与非接触式测量。接触式测量指仪表检测元件与被测对象直接接触，直接承受被测参数的作用或变化，从而获得测量信号，并检测其信号大小的方法。非接触式测量指仪表不是直接接触被测对象，而是间接承受被测参数的作用或变化，达到检测目的的方法。其特点是不受被测对象影响，使用寿命长，适用于某些接触式检测仪表难以胜任的场合，但一般情况下，测量准确度较接触式仪表低。

（2）直接测量、间接测量与组合测量。直接测量指应用测量仪表直接读取被测量的方法。间接测量指先对与被测量有确定函数关系的几个量进行测量，然后将测量值代入函数关系式，经过计算获得被测量。组合测量是指为了同时确定多个未知量，将各个未知量组合成不同函数形式，用直接或间接测量方法获得一组数据，通过方程组的求解来求得被测量的方法。

（3）偏差式、零位式与微差式测量。偏差式测量指在测量过程中，利用仪表指针相对

于刻度线的位移来直接指示被测量的大小的测量方法。该类仪表测量方式直观,测量过程简单、迅速的优点,但测量精度较低。零位式测量也称平衡式测量,它是在测量过程中,用指零机构的零位指示,检测测量系统的平衡状态,通过比较被测量与已知标准量差值或相位,调节已知标准量的大小,使两者达到完全平衡或全部抵消,从而得出测量值大小的方法。微差式测量综合了偏差式和零位式测量的优点,通过将被测量与已知标准量进行比较,取得差值,再用偏差法测得此差值。由于微差式测量在测量过程中无需调整标准量,因此对被测量的反应较快。微差式仪表特别适用于在线控制参数的检测。

(4) 静态与动态测量。静态测量是指被测对象处于稳定(静止)状态,被测参数不随时间变化或者随时间变化但变化缓慢。而动态测量是指测量过程中,被测对象处于不稳定状态,被测参数随时间变化。

1.1.2 检测仪表的组成

检测仪表是实现检测过程的物质手段,是测量方法的具体化,它将被测量经过一次或多次的信号或能量形式的转换,再由仪表指针、数字或图像等显示出量值,从而实现被测量的检测。检测仪表原则上都具有传感器、变送器、显示仪与传输通道这几个基本环节(见图1-1),从而实现信号获取、转换、显示等功能。

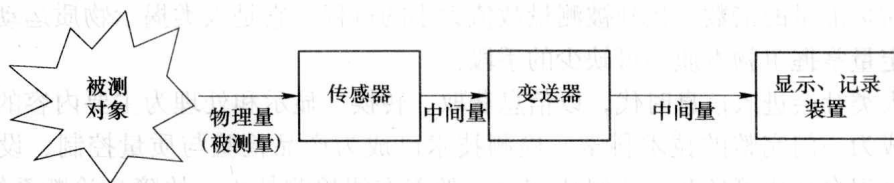


图 1-1 检测仪表的组成框图

(1) 传感器。传感器也称敏感元件、一次元件,其作用是感受被测量的变化并产生一个与被测量呈某种函数关系的输出信号。检测系统获取信号的质量往往取决于传感器的性能,因此,对传感器的一般要求是:输入与输出为严格单值函数关系,且这种关系不随时间和温度变化,具有较好的抗干扰性与复现性及较高的灵敏度。

传感器分类方式繁多,根据被测量性质可分为机械量传感器、热工量传感器、化学量传感器及生物量传感器等;根据输出量性质可分为无源电参量型传感器(如电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器等)和发电型传感器(如热电偶传感器、光电传感器、压电传感器等)。

(2) 变送器。变送器的作用是将敏感元件输出信号转换成既保存原始信号全部信息又更易于处理、传输及测量的变量,因此要求变换器能准确稳定地实现信号的传输、放大和转化。

(3) 显示仪表。显示仪表也称二次仪表,其将测量信息转变成人感官所能接受的形式,是实现人机对话的主要环节。显示仪表可实现瞬时或累积量显示、越限和极限报警、测量信息记录、数据自动处理,甚至参与调节功能。它一般有模拟显示、数字显示与屏幕显示等形式。

(4) 传输通道。传输通道包括导线、导管及信号所通过的空间,为各个环节的输入、输出信号提供通路。传输通道的合理选择、布置与匹配可有效防止信号损失、失真和外界

干扰,提高测量的准确度。

1.1.3 检测仪表的分类

在实际生产中,生产流程复杂性与被测对象的多样性,决定了检测方法 with 检测仪表的多样性。常见的检测仪表的分类方法有如下几种:

(1) 按被测参数性质分类。按照被测参数性质,仪表可分为电气参数、机械参数和过程参数等类型。电气参数包括电能、电流、电压、频率等;机械参数包括位移、速度与加速度、重量、振动、缺陷检查等。过程参数主要指热工参数,包括温度、压力、流量、物位、成分分析等。

(2) 按使用性质分类。按使用性质,仪表可分为实用型、范型和标准型仪表三种。实用型仪表用于实际测量,包括工业用表与实验用表;范型仪表用于复现和保持计量单位,或用于对实用仪表进行校准和刻度;具有更高准确度的范型仪表称为标准仪表,用以保持和传递国家计量标准,并用于对范型仪表的定期检定。

(3) 其他分类方式。按工作原理不同,仪表可分为模拟式、数字式和图像式等;按功能的不同,仪表可分为指示仪、记录仪、积算仪等;按系统的组成方式的不同,仪表可分为基地式仪表和单元组合式仪表;按结构的不同,仪表可分为开环式仪表与闭环式(反馈式)仪表。

1.1.4 检测仪表的主要性能指标

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,也是正确选择和使用仪表以达到准确测量目的所必须具备和了解的知识。通常可用以下指标衡量仪表。

(1) 测量范围与量程。测量范围是指在正常工作条件下,检测系统或仪表能够测量的被测量值的总范围,其最低值 $y_{\min}$ 称为测量下限,最高值 $y_{\max}$ 称为测量上限。测量范围上限与下限的代数差称为测量量程 y_{FS} , 即 $y_{FS} = y_{\max} - y_{\min}$ 。

(2) 准确度与准确度等级。准确度是指测量结果与实际值相一致的程度。准确度又称精确度,简称精度。任何测量过程都存在测量误差,在对工艺参数进行测量时,不仅需要知道仪表示值是多少,而且还要知道测量结果的准确程度。准确度 δ 是测量的一个基本特征,通常采用仪表允许误差限与量程之比的百分比形式来表示,即

$$\delta = \frac{\Delta_{\max}}{y_{FS}} \times 100\%$$

式中 $\Delta_{\max}$ ——仪表所允许的误差界限,即最大绝对误差。

通常用准确度(精度)等级来表示仪表的准确度,其值为准确度去掉“ $\pm$ ”号及“%”后的数字再经过圆整取较大的约定值。按照国际法制计量组织(OIML)建议书 No. 34 的推荐,仪表的准确度等级采用以下数字: 1×10^n 、 1.5×10^n 、 1.6×10^n 、 2×10^n 、 2.5×10^n 、 3×10^n 、 4×10^n 、 5×10^n 和 6×10^n , 其中 $n = 1, 0, -1, -2, -3$ 等。上述数列中禁止在一个系列中同时选用 1.5×10^n 和 1.6×10^n 、 3×10^n 也只有证明必要和合理时才采用。作为 OIML 成员国,我国的自动化仪表精度等级有 0.01、0.02、(0.03)、(0.05)、0.1、0.2、0.25、(0.3)、(0.4)、0.5、1.0、1.5、(2.0)、2.5、4.0、5.0 等级别(括号内的精确度等级不推荐采用)。一般科学实验用的仪表精度等级在 0.05 级以上;工业检测

用仪表多在 0.1 ~ 5.0 级, 其中校验用的标准表多为 0.1 或 0.2 级, 现场用多为 0.5 ~ 5.0 级。仪表的精度等级通常都用一定的形式标志在仪表的标尺上, 如在 1.0 外加一个圆圈或三角形表示该仪表精度等级为 1.0 级。

例如, 某压力表的量程为 10MPa, 测量值的允许误差为 $\pm 0.03\text{MPa}$, 则仪表的准确度为 $\pm 0.03/10 \times 100\% = \pm 0.3\%$, 由于国家规定的精度等级中不推荐采用 0.3 级仪表, 所以该仪表的精度等级应定为 0.5 级。

(3) 线性度。仪表线性度又称非线性误差, 是表示仪表实测输入-输出特性曲线与理想线性输入-输出特性曲线的偏离程度。如图 1-2 所示, 仪表的线性度用实测输入-输出特性曲线 1 与拟合直线 2 (有时也称理论直线) 之间的最大偏差值 Δ_m 与量程 y_{FS} 之比的百分数来衡量。

(4) 变差。变差也称回差或迟滞误差, 在外界条件不变的前提下, 使用同一仪表对某一参数进行正反行程 (即逐渐由小到大和逐渐由大到小) 测量。两示值之差为变差。变差反映仪表检验时所得的上升曲线与下降曲线经常出现不重合的现象。仪表传动机构的间隙、运动部件的摩擦、仪表内部元件存在能量吸收、弹性元件的弹性滞后现象、磁性元件的磁滞现象等都会使仪表产生变差。通常要求仪表的变差不超过仪表准确度等级所允许的误差。

通常采用最大相对变差来表征仪表的变差特性, 用在仪表全部测量范围内被测量值上行和下行所得到的两条特征曲线的最大偏差的绝对值与仪表量程比的百分数来表示, 即

$$\text{最大相对变差} = \frac{|y_{\text{上行}} - y_{\text{下行}}|_{\max}}{y_{FS}} \times 100\% = \frac{\Delta H_{\max}}{y_{FS}} \times 100\%$$

式中, $y_{\text{上行}}$ 与 $y_{\text{下行}}$ 分别为正行程与反行程测量示值, 如图 1-3 所示。

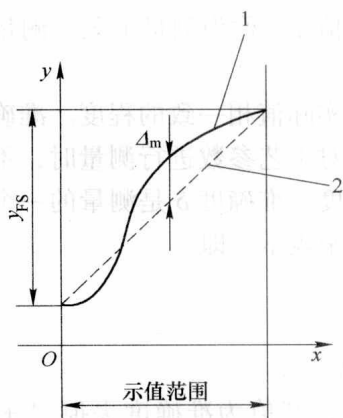


图 1-2 仪表线性度

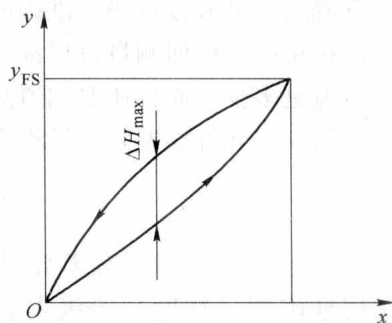


图 1-3 仪表变差

(5) 重复性。重复性指在测量装置在同一工作环境、被测对象参量不变的条件下, 输入量按同一方向做多次 (三次以上) 全量程变化时, 输入-输出特性曲线的一致程度。仪表的重复性用输入-输出特性曲线间最大偏差值 Δ 与量程 y_{FS} 之比百分数来表示。

(6) 分辨力。分辨力是传感器 (检测仪表) 能检出被测信号的最小变化量。当被测信号的变化小于分辨力时, 传感器对输入信号的变化无任何反应。对数字仪表而言, 如果没

有其他附加说明,一般认为该仪表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力。一般情况下,不能把仪表的分辨力当做仪表的最大绝对误差。

在检测仪表中,还经常用到分辨率的概念。分辨率常以百分比或几分之一表示,其数值是将分辨力除以仪表的满量程。

1.2 测量误差及处理方法

在测量过程中,由于测量方法的差异性、测量工具准确性、观测者的主观性、外界条件的变化及某些偶然因素等的影响,被测量的测量结果与客观真值之间总存在一定的差值,这种差值称为测量误差。它反映了测量结果与真值的不一致程度。

1.2.1 测量误差

1.2.1.1 测量误差的表示方法

(1) 绝对误差。绝对误差是指被测量的测量值与真值之间的差值。

$$\Delta = x - x_0$$

式中 Δ ——绝对误差;

x ——测量值;

x_0 ——真值。

真值是指被测量本身的真实大小,是一个与被测量定义一致的量,也是一个理想的概念,通常用约定值或理论值代替。

绝对误差既表明误差的大小,又指明其正负方向。但用绝对误差难以比较测量值的准确程度,因而采用相对误差的表示形式。

(2) 相对误差。相对误差是指被测量的绝对误差与约定值的百分比,通常有三种表示方式。

1) 实际相对误差:绝对误差(测量误差)除以被测量的真值。

$$\delta_{\text{实}} = \frac{\Delta}{x_0} \times 100\%$$

2) 给出值相对误差:绝对误差(测量误差)除以被测量的给出值。

$$\delta_{\text{给}} = \frac{\Delta}{\text{给出值}} \times 100\%$$

式中,给出值可以是“测量结果”、“标称值”、“实验值”、“示值”、“刻度值”等。

3) 引用误差:在很多指示仪表中,各点示值误差(仪表示值-真值)基本相等,相对误差差别却很悬殊,为了反映这一客观存在的误差现象,提出了引用误差的概念。引用误差是一种简化的仪器示值的相对误差形式,用示值误差与仪表量程之比的百分比来表示,即

$$\delta_{\text{引}} = \frac{\Delta}{y_{\text{max}} - y_{\text{min}}} \times 100\% = \frac{\Delta}{y_{\text{FS}}} \times 100\%$$

仪表最大引用误差即为仪表的准确度。仪表的准确度包含了仪表允许误差和仪表量程两个因素,例如,一台测量范围为 $0 \sim 1100^\circ\text{C}$ 准确度为 1 级的测温仪表,测温仪表测量