

有色金属生产 过程检测

刘元扬
主编
张凤兮

中南工业大学出版社

有色金属生产过程检测

刘元扬 张凤兮 主编

中南工业大学出版社

1994年2月20日

湘新登字 010 号

有色金属生产过程检测

刘元扬等 编著

责任编辑：秦瑞卿

*

中南工业大学出版社出版发行

湖南省地质测绘印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092 1/16 印张：22 字数：560 千字

1992 年 12 月第 1 版 1992 年 12 月第 1 次印刷

印数：0001-2000 册

ISBN 7-81020-521-8/TF·025

定价：5.70 元

序 言

“炉头照天地，红星乱紫烟。赧郎明月夜，歌曲动寒川”。这是唐代著名诗人李白路过安徽秋浦时看到有色金属生产的情景写下的一首诗。诗不仅描写了有色金属生产的壮丽，同时也证明了我国有色金属生产源远流长。新中国成立以后，特别是近十多年来，我国的有色金属工业得到了突飞猛进的发展，与之相适应的有色金属生产过程检测和自动控制技术也有了长足的进步。为了总结这方面的经验，加快有色金属工业的技术进步，总公司组织了有色系统十多个单位，二十多位这一领域知名专家、学者；经过两年多的努力，编写了《有色金属生产过程检测》一书。

该书分上下两篇。上篇介绍了有色金属生产过程检测的基础知识、原理和方法；下篇按铝、铜、铅、锌等有色金属产品的生产过程，对检测技术和测试仪器作了较全面的介绍。它总结了有色金属工业生产过程检测的成功经验，荟萃了有色金属工业生产过程检测技术和设备仪器之精华，不仅对从事设计、研究和生产管理的广大科技人员有重要的参考价值，而且也作为操作管理和仪表维修人员的理论、技术水平的提高，提供了一本很好的教材。它的出版，对我国有色金属生产过程检测技术的发展，将起到重要的推动作用。值此《有色金属生产过程检测》一书发行之际，特向有色金属战线上从事生产过程检测和计量工作的科技人员隆重推荐。

值得一提的是，由中南工业大学出版社于1990年出版的另一本书——《有色金属生产过程自动化》，是本书的姊妹篇，这两本书反映了我国有色金属工业近廿年来，生产过程检测和控制技术的全貌，为了解和掌握这学科领域的技术现状和发展趋势提供了一条捷径。

生产过程的检测和控制是有色金属工业发展的关键技术，不仅标志着工业技术水平，更直接制约着生产的发展。在当前国际经济技术激烈竞争的今天，希望我们从事这一领域研究的广大科技人员，要在发扬自力更生精神的同时，积极采用国际先进技术，开创我国有色金属工业生产过程检测和控制技术发展的新阶段，为振兴有色金属工业，赶超世界先进水平做出更大贡献。

中国有色金属工业总公司副总经理

1992年12月于北京

编者说明

《有色金属生产过程检测》是为了总结反映我国有色金属生产过程检测技术成就，交流国内外先进经验，适应从事计量检测与控制的工作人员学习需要而编写的。

本书内容分上下两篇。上篇主要介绍过程检测的基础知识，检测仪表原理与选用方法。下篇主要介绍铜镍、铅锌、铝镁、贵金属、稀有金属和硬质合金等有色金属采选、冶炼和加工过程的检测和仪表装置，其中有近年来引进的国外技术，也有各厂矿技术革新成果和成功的经验。本书联系有色金属生产实际，比较系统全面地反映了本行业生产过程检测的特色。

受中国有色金属工业总公司的委托，参加本书编写的有十六个单位，即中南工业大学、铜陵有色金属公司、江西铜业公司、金川有色金属公司、韶关冶炼厂、葫芦岛锌厂、株洲冶炼厂、郑州铝厂、贵州铝厂、抚顺铝厂、株洲硬质合金厂、甘肃稀土公司、长沙有色冶金设计研究院、洛阳铜加工厂、西南铝加工厂、宝鸡有色金属加工厂。编写组由中南工业大学刘元扬和有色金属工业总公司张凤兮任主编，有色金属工业总公司张贵斌协助主编做了部分审稿工作。参加各章编写的同志分工如下：

第一至八章 中南工业大学刘元扬、唐云霞、刘桂湘，中国有色金属工业总公司张贵斌。

第九章 铜陵有色金属公司王启柏。

第十章 江西铜业公司贺有恒，金川有色金属公司吴明荣。

第十一章 韶关冶炼厂王从民、余波平、韩瑞琪、喻向峰，葫芦岛锌厂梁耀春，株洲冶炼厂孙中石、易英敏。

第十二章 郑州铝厂崔延明、张学凯，贵州铝厂金杰、华兴龙，抚顺铝厂王炯。

第十三章 抚顺铝厂王炯，株洲硬质合金厂甘颖，甘肃稀土公司朱冠山、吕志明、瓮志胜、刘长文。

第十四章 长沙有色冶金设计研究院戈尔谷，江西铜业公司贺有恒，金川有色金属公司吴明荣，株洲硬质合金厂甘颖。

第十五章 洛阳铜加工厂杨俊宝，西南铝加工厂陆爱福。

第十六章 宝鸡有色金属加工厂李华兴、应水玲、蔺大元。

本书可供有色金属工业中从事计量、检测和控制的技术人员和工人、设计研究人员以及高等院校师生使用，也可供钢铁、化工、热能、电力等部门有关专业人员参考。

本书在编写过程受到了总公司领导的关怀和重视。专门组织了审稿会，由南昌有色冶金设计研究院、西南铝加工厂、贵溪冶炼厂、葫芦岛锌厂、郑州铝厂、洛阳铜加工厂、株洲硬质合金厂、中南工业大学等八个单位派出专家教授，对书稿进行了认真审阅，提出了许多重要的修改意见。南昌有色冶金设计研究院芦松涛、西南铝加工厂刘汉凡和株洲冶炼厂曹王剑等兄弟单位有关同志提供了宝贵资料和意见。在此一并表示衷心感谢。限于编者水平，书中错漏和不妥之处难免，敬请广大读者指正。

《有色金属生产过程检测》编写组

1992年11月

目 录

上篇 过程检测技术基础

1 过程检测与仪表的基本知识	(1)
1.1 过程检测的意义	(1)
1.2 检测的基本方法	(2)
1.3 检测仪表的基本组成	(3)
1.4 检测仪表的基本性能	(4)
1.5 检测仪表的分类	(8)
1.6 有色金属生产过程检测的特点	(10)
2 测量误差及数据处理	(12)
2.1 误差的概念	(12)
2.2 随机误差	(13)
2.3 系统误差	(19)
2.4 疏失误差	(24)
2.5 测量结果的数据处理	(26)
2.6 误差的传递	(29)
2.7 误差的合成	(31)
3 温度检测	(33)
3.1 温度检测概述	(33)
3.2 热电偶	(35)
3.3 热电阻	(47)
3.4 辐射式温度计	(50)
3.5 有色金属生产中特殊温度检测	(56)
4 力和压力的检测	(59)
4.1 力的检测方法	(59)
4.2 弹性式压力计	(66)
4.3 真空计	(69)
4.4 电子皮带秤	(72)
4.5 吊车秤和料斗秤	(76)
4.6 有色金属生产过程压力与料量的特殊检测	(77)
5 流量检测	(79)
5.1 流量及流量计	(79)
5.2 节流式流量计	(80)
5.3 质量流量计	(89)
5.4 冲击式流量计	(92)
5.5 其他流量计	(95)

5.6	有色金属生产过程流量特殊的检测	(101)
6	物质成分分析	(104)
6.1	成分分析仪表的分类与特点	(104)
6.2	气体成分分析仪	(105)
6.3	溶液浓度分析仪	(111)
6.4	物质性质分析仪	(115)
6.5	有色金属生产过程物质成分的特殊检测	(119)
7	其他参数的检测	(121)
7.1	物位检测	(121)
7.2	厚度检测	(128)
7.3	超声波探伤	(131)
8	显示仪表	(134)
8.1	动圈式仪表	(134)
8.2	自动平衡式显示仪表	(136)
8.3	ER 系列记录仪	(140)
8.4	数字式显示仪表	(144)

下篇 有色金属生产过程检测

9	采矿与选矿过程检测	(155)
9.1	概 述	(155)
9.2	地下矿床开采过程检测	(155)
9.2.1	矿井通风参数检测	(156)
9.2.2	矿井提升参数检测	(156)
9.2.3	空气压缩机运行参数检测	(157)
9.2.4	充填搅拌站参数检测	(158)
9.3	有色金属选矿过程检测	(159)
9.3.1	物位检测	(160)
9.3.2	磨机给料量检测	(161)
9.3.3	矿浆参数检测	(164)
9.3.4	矿物成分分析	(167)
9.3.5	浮选药剂剂量检测	(169)
9.3.6	其他参数检测	(170)
10	铜、镍冶炼过程检测	(172)
10.1	闪速炼铜过程检测	(172)
10.1.1	闪速炼铜工艺简介	(172)
10.1.2	闪速炉熔炼过程参数的检测	(172)
10.1.3	冰铜吹炼和粗铜精炼过程检测	(180)
10.1.4	铜电解过程的检测	(182)
10.1.5	硫酸生产过程检测	(184)

10·2 镍冶炼过程检测	(189)
10·2·1 镍冶炼工艺简介	(189)
10·2·2 镍精矿焙烧过程检测	(190)
10·2·3 电炉熔炼过程检测	(192)
10·2·4 镍熔铸过程检测	(194)
10·2·5 电解精炼过程检测	(195)
11 铅、锌冶炼过程检测	(199)
11·1 密闭鼓风炉铅锌冶炼过程检测	(199)
11·2 竖罐炼锌过程检测	(211)
11·2·1 竖罐炼锌工艺简介	(211)
11·2·2 沸腾焙烧过程检测	(212)
11·2·3 制团过程的检测	(215)
11·2·4 焦结过程检测	(216)
11·2·5 竖罐蒸馏过程检测	(217)
11·3 湿法炼锌过程检测	(219)
11·3·1 湿法炼锌工艺简介	(219)
11·3·2 沸腾焙烧过程检测	(220)
11·3·3 浸出和净液过程检测	(221)
11·3·4 电解沉积过程检测	(225)
12 铝、镁冶炼过程检测	(229)
12·1 铝冶炼工艺简介	(229)
12·2 氧化铝生产过程检测	(230)
12·2·1 熟料烧结过程检测	(230)
12·2·2 高压溶出过程检测	(232)
12·2·3 氢氧化铝焙烧过程检测	(236)
12·3 大型预焙阳极电解槽生产过程检测	(239)
12·3·1 大型预焙电解槽的检测参数	(239)
12·3·2 直流大电流检测方法及设备	(239)
12·3·3 霍尔零磁通测量仪	(240)
12·3·4 电解槽系列电量检测系统	(241)
12·4 炭素生产过程检测	(245)
12·4·1 生产工艺及过程检测简介	(245)
12·4·2 球磨机料位检测	(246)
12·4·3 阳极焙烧炉温度检测	(249)
12·4·4 配料控制	(250)
12·5 镁生产过程检测	(251)
12·5·1 镁生产工艺简介	(251)
12·5·2 煅烧与制团过程检测	(252)
12·5·3 氧化镁氯化过程检测	(253)
12·5·4 镁电解生产过程检测	(256)

13 稀有金属冶炼过程检测	(258)
13.1 概 述	(258)
13.2 海绵钛生产过程检测	(258)
13.2.1 生产工艺简介	(258)
13.2.2 高钛渣氯化过程检测	(259)
13.2.3 四氯化钛还原过程检测	(260)
13.2.4 真空蒸馏过程检测	(262)
13.3 钨湿法冶炼过程检测	(262)
13.3.1 工艺流程简介	(262)
13.3.2 钨萃取过程检测	(263)
13.3.3 连续蒸发结晶过程检测	(266)
13.4 钼铌生产过程检测	(269)
13.4.1 工艺简介	(269)
13.4.2 萃取法生产过程检测	(269)
13.5 稀土金属及其化合物提取过程检测	(273)
13.5.1 生产工艺简介	(273)
13.5.2 回转窑焙烧过程检测	(275)
13.5.3 水浸过程检测	(276)
13.5.4 萃取法分离和提取稀土过程检测	(277)
13.5.5 稀土金属生产过程检测	(280)
14 贵金属冶炼及硬质合金生产过程检测	(282)
14.1 金矿提取金过程检测	(282)
14.1.1 主要工艺过程的几种方法	(282)
14.1.2 氰化炭浆法提金过程检测	(283)
14.1.3 氰化炭浆厂的监控系统	(285)
14.2 阳极泥提取金银过程检测	(285)
14.2.1 工艺简介	(285)
14.2.2 主要检测参数和仪表	(286)
14.3 铂族金属提取过程检测	(287)
14.3.1 生产工艺简介	(287)
14.3.2 铂族贵金属提取过程检测	(287)
14.3.3 主要检测控制系统	(289)
14.4 硬质合金生产过程检测	(289)
14.4.1 工艺简介	(289)
14.4.2 还原过程检测	(290)
14.4.3 炭化过程检测	(292)
14.4.4 烧结过程检测	(293)
15 铜、铝材加工过程检测	(295)
15.1 铜材加工过程检测	(295)
15.1.1 铜材加工工艺简介	(295)

15·1·2	铜材加工工艺质量参数的检测·····	(296)
15·1·3	铜材加工主要设备参数的检测·····	(301)
15·2	铝材加工过程检测·····	(305)
15·2·1	铝材加工工艺简介·····	(305)
15·2·2	铝液中含氢量的检测·····	(306)
15·2·3	铝材表面处理过程检测·····	(309)
15·2·4	1700mm 气垫炉过程检测·····	(311)
15·2·5	立式空气淬火炉温度检测·····	(315)
15·2·6	水压机的参数检测·····	(317)
16	钛及钨、钼、钽材加工过程检测·····	(320)
16·1	钛材加工过程检测·····	(320)
16·1·1	概 述·····	(320)
16·1·2	钛及钛合金熔铸过程检测·····	(320)
16·1·3	管材加工过程检测·····	(323)
16·1·4	板材加工过程检测·····	(328)
16·1·5	棒材加工过程检测·····	(332)
16·2	钨、钼及钽材加工过程检测·····	(333)
16·2·1	钨棒材加工过程检测·····	(333)
16·2·2	钼箔加工过程检测·····	(334)
16·2·3	钽板加工过程检测·····	(337)
参考文献·····		(342)

1 过程检测与仪表的基本知识

1.1 过程检测的意义

人们在日常生活、学习、生产和科学实验中经常应用检测或测量。所谓检测就是借助于一定的仪器设备，靠实验和计算找到被测量的数值。检测的目的是为了准确地获取表征被测对象特征的某些参数的定量信息。例如，加热炉温度测量，目的就是测定炉温高低，提供必要的信息，以便使操作人员掌握炉况。这里，加热炉炉膛就是被测对象，即指被研究的设备或系统，炉温就是被测量或被测参数。被测量是指需要数值定量的一些参数或物理量。它包含有表征被测对象某些特征的定量信息。

在冶金生产中，对各个工艺生产过程中的有些参数（或称工艺变量），有着一定的检测与控制要求，以保证产品的产量和质量，节省原材料和能源，保障安全和文明生产。反映生产过程状况的主要参数有温度、压力、流量、料量、物位、厚度、成分等，这些参数的检测，以满足生产的要求，构成了过程检测的基本内容。此外，过程检测往往是生产过程自动控制系统中的组成部分，起了感觉器官类似人体的眼睛耳朵的作用。要求准确地及时地把被控参数测量出来，并转换成电流（或气压）信号的形式传递给调节器，作为调节器“判断”生产过程状况的依据。因此，它是实现生产过程自动化的重要环节。

（检测（或测量）过程有三要素：一是测量单位（或计量单位）数值为1的某量，称之为该量的测量单位，例如压力的测量单位是帕斯卡（Pascal）符号为Pa；二是测量方法，它是将被测量与其单位进行比较的实验方法；三是测量仪器与设备，它是测量过程的具体体现与实施者，是实现测量的专门的技术工具。例如压力表，温度计等。

通过测量可以得到被测量的测量值，然而测量目的还未全部达到，为了准确地获取表征对象特征的定量信息，还要对实验结果进行数据处理与误差分析，估计结果的可靠性等，以便为保证产品质量与安全生产，为生产过程自动化，以及科学研究等提供可靠的数据。因此测量技术的全过程包括：按照被测对象的特点，选用合适的测量仪器与实验方法，通过测量、数据处理和误差分析，准确地得到被测量的数值，并为提高测量精度、不断地改进实验方法和测量仪器，为生产过程自动化等提供可靠的数据或信息。

1·2 检测的基本方法

检测方法是指被测量与其单位进行比较的实验方法。对被测量（或被测对象）进行检测，是为了得到其真实值。为此采用适当的变换原理、设计合理的测量方案和选用合适的仪器设备，即选择合理的检测方法。如果检测方法选择不当，即使选用了高精度的仪器仪表也不一定能得到满意的测量结果。

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，又有静态测量与动态测量、点参数测量与场参数测量等。

1·2·1 非零检测法与零检测法

1. 非零检测法。通过仪表的检测元件和测量机构，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测量的测量值，例如弹簧管压力计在承受被测压力后，弹簧管产生形变，经杠杆机构带动指针转动，当指针稳定指示在标尺上的一定位置时，经过预先标定分度，该位置就相当于被测压力的数值。非零检测法仪表结构简单、直观、经济；但其测量精度较低。

2. 零位检测法。通过仪表的检测元件和测量机构，比较被测量与其同类的标准量的大小，若有差值则调整标准量，直到两者相等或平衡，差值信号指示为零，则标准量的数值就代表被测量，例如平衡电桥测电阻，电位差计测电势就是零位检测法，这种方法有利消除各种干扰因素的影响，仪表精度较高，但其结构较复杂。

1·2·2 接触式检测法与非接触式检测法

1. 接触式检测法。仪表的检测元件与被测对象（或介质）直接接触，感受被测量的作用与变化，从而获得信号，并检出其信号大小的方法。例如热电偶温度计测温，转子流量计测流量等是接触式检测法，测量准确可靠，应用最广泛。

2. 非接触式检测法。仪表的检测元件不直接与被测对象（或介质）接触，而是间接承受被测量的作用与变化，获得相应的信号达到检测目的的方法。例如辐射式温度计测温时，其感温器不与被测对象直接接触，而是接受对象热辐射的能量，得到电量信号，按照辐射定律转换成温度显示。非接触式检测法的优点是检测元件不受被测介质污染和损坏，寿命长，测温高。但测量精度较低。特别适用于接触检测法不能胜任的场合，例如运动物体的温度测量，高压密封容器中的物位测量等。

1·2·3 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测量，此时被测参数不随时间变化，故又称稳态测量。动态检测是在对象处于不稳定的情况下进行测量，此时被测参数随时间而变化，因此，这种测量应该是瞬间完成的，只有这样才能得到动态参数的测量结果。

一般情况下，生产过程的检测量多数是随时间变化的，运动是绝对的，静止是相对的。因此过程检测实际上是动态测量。主观上想重复测量得到某个量的同一数据是很难的。如果被测参数随时间变化很缓慢，而测量所需时间又相对很短时，被测对象可近似为稳态情况，此时，测量过程可认为静态或稳态测量。这种近似也是产生测量误差的原因之一。

1.3 检测仪表的基本组成

检测仪表是将被测量与其单位量进行比较,并得其量值大小的实验仪器或设备。习惯上人们称监测、信号传感以及测量用的仪表为检测仪表。检测仪表可以由许多单独的部件组成;也可以是一个不可分割的整体。前者多用于复杂的仪表;后者多用于工业用的简单仪表。检测仪表种类繁多,原则上它们均是由几个环节所组成,如方框图 1-1 所示。这几个环节是传感器、变换器、显示器以及连接它们的传输通道。传感器、变换器和显示器可以组合在一个仪表中;也可以各自是独立的仪表单元,三者组成检测系统。

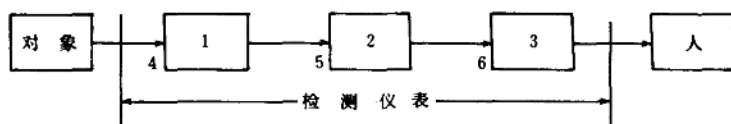


图 1-1 检测仪表方框图

1. 传感器; 2. 变换器; 3. 显示器, 4、5、6. 传输通道

1.3.1 传感器

传感器是检测仪表与被测对象直接联系的部分。它的作用是感受被测量的变化,直接从对象中提取被测量的信息,并转换成相应的输出信号。传感器往往也被称为敏感元件,检测元件、一次元件,例如,热电偶温度计中的热电偶,节流式流量计中的孔板装置等。传感器的质量好坏,直接影响检测仪表的精度和使用寿命,它是检测仪表中最重要的组成部分。对传感器有如下要求:

1. 准确性。传感器的输出信号必须准确地反映被测量变化,两者的关系必须是单值函数关系,且最好是线性关系。
2. 稳定性。传感器的输入与输出的单值函数关系应是不随时间变化的,且受温度和其他外界因素的干扰影响很小,工艺上还能准确地复现。
3. 灵敏性。要求较小的输入量可得到较大的输出信号,灵敏性高便于测量。
4. 经济性。使用寿命长,耗能小,维护简单,价格较廉等。

1.3.2 变换器

变换器又称变送器。它的作用是将传感器的输出信号进行远距离传送、放大、线性化、转换成标准统一的信号,输给显示器。例如弹簧压力表中的杠杆齿轮机构将弹性元件的微小形变转换并放大为指针在标尺上的位移。这是一种简单的机械式变换器。又如电动温度变送器,将各种传感器(热电偶或热电阻等)输出信号经放大运算而变换成统一标准电流信号(0~10mA DC 或 4~20mA DC)输出,供给显示仪表或调节器。

1.3.3 显示器

显示器的作用是向观察者显示被测量数值的大小。它可以是瞬时量的显示,累积量的显

示；越限报警、指示和记录显示；有的甚至还有调节功能去控制生产过程，例如动圈式双位调节仪表（XCT—101型）就具有指示、越限报警及双位调节的功能。显示器做成独立的一块仪表时则称为显示仪表，显示仪表有时被称为二次仪表。

显示器是人和检测仪表联系的主要环节，它有指示式、数字式和屏幕式三种。

1. 指示式显示。又称为模拟式显示。被测量的数值大小由指示器或指针在标尺上的相对位置来表示。指示式仪表结构简单、价格低廉、显示直观，工业上大量采用。

2. 数字式显示。直接以数字形式给出被测量的数值，有时可附加打印装置。数字式显示减少了读数的主观误差，提高了读数精度，还能方便地与计算机连用，这种显示方式正越来越多的被采用。

3. 屏幕式显示。实际上是一种电视显示方式。它结合了上述两种显示方式的优点，具有形象性和易读性，又能同时在电视屏幕上显示一个被测量和多个被测量的大量数据，有利于对它们进行比较分析。

1·3·4 传输通道

传输通道的作用是联系仪表的各个环节，给各环节的输入、输出信号提供通路。它可以是导线、管路以及信号所通过的空间等。信号传输通道比较简单，易被人所忽视。如果不按要求布置、匹配和选择传输通道，则易造成信号损失、失真及引入干扰等。

1·4 检测仪表的基本性能

检测仪表的基本性能是指评价仪表品质的几个主要指标。它也是正确地选择仪表和使用仪表，以达到准确测量的目的，所必需具备和了解的知识。如果仪表选择和使用不当时，即使选用性能好、质量高的仪表，也不能够得到准确的测量结果。相反情况下，如选择、使用得当，则精度较差的仪表往往也能满足测量要求。因此，深入了解反映仪表性能的主要指标，根据工厂要求、正确选择和使用仪表，对于测量工作者来说，是十分重要的。

检测仪表的性能指标很多，概括起来有技术、经济和使用方面的指标。

在仪表技术方面的指标，有基本误差、精度等级、变差、灵敏度、测量范围、量程、响应时间、漂移等。

在仪表经济方面指标，有价格、功耗、使用寿命等，当然性能好的仪表，总是希望它的能耗小，价格便宜、使用寿命长等。

在仪表使用方面的指标，有操作维修是否方便，安装难易程度、能否可靠安全运行及抗干扰的强弱等。

显然，上述性能指标的划分是相对的，相互有渗透的。选用仪表应综合考虑上述几方面的指标，突出主要矛盾，统筹兼顾，满足生产工艺要求。下面仅对几个常见的性能指标分别介绍。

1·4·1 测量范围及量程

在正常工作条件下，仪表可以进行测量的被测参数范围叫做测量范围。测量范围表示方法是用下限值至上限值表示，例如某温度计的测量范围是 -20°C 至 $+200^{\circ}\text{C}$ 等。

测量的量程是测量范围的上限（ L_F ）和下限（ L_F ）的代数和，如上述温度计的量程为 L

$=220^{\circ}\text{C}$ ，可见给出测量范围，便知上、下限和量程，若仅给出量程，乃无法判断仪表的测量范围。

在实际使用中常需对仪表测量范围适当改变，改变的方法有两种，一是零点迁移，它将仪表标尺特性曲线——表示仪表输入与输出关系曲线（线性关系时为直线），进行平移，如图1-2所示。图中直线1表示仪表标尺的线性特性，当将输入零点迁移至 (-20%) 变为直线2，则仪表测量范围变为 $-20\%\sim 80\%$ ，但仪表量程未变，仍然是 100% ；二是量程迁移，它保持零点不变，改变标尺特性由线的斜率，如图中由直线1变为直线3，此时量程变为 70% ，测量范围变为 $0\sim 70\%$ ，仪表的灵敏度也变了，但零点保持不变。此外，量程与零点可同时迁移，如图中直线1变为直线4，则零点迁移至 (-20%) ，测量范围变为 $-20\%\sim 50\%$ ，量程变为 70% 。

1.4.2 基本误差、附加误差和允许误差

基本误差是指仪表在规定的正常工作条件下所具有的误差。仪表正常工作时，对于电源电压、频率、温度、湿度、振动、外界电磁场、安装位置等，按仪表的出厂规定，有一定的要求。通常在正常工作条件下校验仪表获得的示值误差就是指的基本误差。由于仪表超出正常工作条件下使用所增加的误差，称为附加误差，例如，仪表工作温度超过规定时，将产生附加误差。如果不注意仪表的正确安装和操作，附加误差可能很大，甚至超过基本误差，故不可忽视。

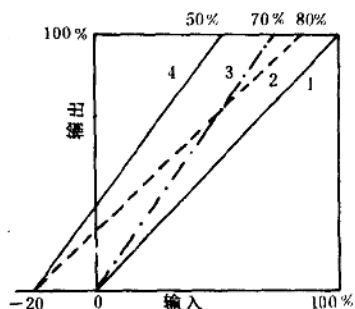


图1-2 零点迁移与量程迁移

仪表所允许的误差界限称为允许误差，它指某一仪表的示值误差不允许超过某个范围。显然，基本误差并不是允许误差，前者是指仪表各点示值的实际误差，后者是一个许可的误差界限。

仪表的基本误差有如下几种表示形式：

1. 绝对误差。仪表的指示值 x 与被测量的真值 x_0 之间的代数差称之为仪表示值的绝对误差，符号 δ ，表示为

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

式中真值 x_0 可为被测量公认的约定真实，也可以是由标准仪表所测得的测量值（实际值）。绝对误差说明了仪表偏离真值（约定真值或实际值）的大小和正或负的方向。

绝对误差乘以 (-1) 就称为修正值 c ，即 $\delta = -c$ 。修正值加到示值中去，便得到被测量的实际值 x_0 ，消除测量过程中的系统误差，即

$$x_0 = x - \delta = x + c \quad (1-2)$$

2. 相对误差。是指仪表示值的绝对误差与约定值的百分比。相对误差常见有三种表示方式：

(1) 实际相对误差，表示测量的绝对误差与被测量的实际值（真值）之百分比

(2) 标称相对误差，表示测量的绝对误差与仪表示值之百分比

(3) 引用误差。实际和标称相对误差都随被测量的变化而变化，在仪表（整个测量）范围内各有不同，于是又导出引用（相对）误差，它是指测量的绝对误差 δ 与仪表量程 L 之百分比。引用误差 η 较好地说明仪表的测量精度，表示为：

$$q = \frac{\delta}{L} \times 100\% \quad (1-3)$$

1.4.3 准确度

准确度(又称精确度)是指仪表显示值(测量结果)与实际值相一致的程度。绝对误差不能作为仪表准确度的尺度,因为仪表准确度不仅与绝对误差有关,且还与仪表的量程有关。例如,两台量程不相同的同一类仪表,如果它们的绝对误差相同,则量程大的仪表较量程小的准确度要高。因此为了正确地反映仪表的准确度,采用了引用误差方式来表示,即仪表准确度是指仪表的允许误差与仪表量程之百分比。准确度 G 的数值相当于允许的引用误差,表示为

$$G = \frac{\text{仪表允许误差}}{\text{仪表量程}} \times 100\% = \frac{(x - x_0)_{\text{允许}}}{L} \times 100\% \quad (1-4)$$

例如,一台测温仪表,测量范围为 $0 \sim 1100^\circ\text{C}$, 如果允许误差为 $\pm 11^\circ\text{C}$, 测这台测温仪表的准确度为 $\pm 1\%$, 或者准确度等级为 1 级。同理,当校验这台仪表的示值时,在 $0 \sim 1100^\circ\text{C}$ 内各校验点绝对误差虽然各不相同,但其最大值不超过 $\pm 11^\circ\text{C}$ 时,则这台仪表的准确度符合 1 级的要求,即其示值误差没有超过仪表所规定的允许误差。

仪表的准确度,按照国家规定的允许误差的大小划分成若干等级。我国自动化仪表准确度等级有下列几种 0.005、0.02、0.1、0.25、0.35、0.5、1.0、1.5、2.5、4。一般工业仪表为 0.5~4 准确度级。仪表的准确度等级通常在仪表标尺面板上标记出来,方便识别,如 0.5 或 Δ 等。仪表准确度等级是反映仪表性能的最主要的质量指标。

由于仪表的准确度包含了允许误差和仪表量程两个因素,故在选用仪表时,为了获得合理的实际测量准确度,应该使仪表在接近测量上限的区域工作,一般在测量范围的 80% 左右。例如上述测温仪表测量 1000°C 时,标称相对误差为 $\pm 11/1000 \times 100\% = \pm 1.1\%$ 。而测量 550°C 时,标称相对误差则为 $\pm 2\%$ 了。因此,应该避免用测温上限高的仪表去测量低的温度。

在选择仪表准确度等级时,应根据生产上的实际要求,不去片面追求高准确度,以免造成浪费,注重经济实用。

1.4.4 灵敏度与分辨率

仪表的灵敏度定义为由于仪表输入量的变化所引起的输出的变化 ΔY 与输入变化量 Δx 之比值。换句话说,仪表的灵敏度是单位输入量的变化所引起的输出量变化。上述定义中输入与输出的变化量均是指它在两个稳态值之间的变化量而言。如灵敏度用符号 S 表示,则可记为

$$S = \Delta Y / \Delta x \quad (1-5)$$

由于输入、输出变化量 ΔY 和 Δx 均是有量纲的,所以 S 也是有量纲的。如输入量为温度 $^\circ\text{C}$; 输出量为指针在标尺上的位移为 mm , 则 $[S] = \text{mm}/^\circ\text{C}$ 。如果输入与输出是同类量,则此时 S 可理解为放大倍数。因此仪表灵敏度比放大倍数的含义要广得多。

仪表灵敏度高,仪表示值读数的精度可以提高,但仪表的灵敏度应与仪表的精度等级相适应,前者应略高于后者。过高的灵敏度提高不了测量的精度,反而会带来读数的不稳定。通常规定仪表标尺上的最小分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

分辨率定义为仪表示值可以响应与分辨的最小输入量的变化,它说明了仪表响应与分辨输入量微小变化的能力,又可称为灵敏限。一般说来,仪表的灵敏限不大于仪表允许误差的

一半。灵敏度越高，灵敏限就越小，分辨率越好。

1.4.5 变差

变差是指外界条件不变的情况下，仪表正向特性（即被测参数由小到大变化）和反向特性（即被测参数由大到小变化）不一致的程度。就是说同一被测量值，仪表正、反向测量得到的示值不相等。二者之差便是变差。变差 N 的大小，取在同一被测量值下正向与反向之间仪表示值的最大误差（绝对值） $\Delta''_{\max}$ 与仪表量程 L 之百分比来表示，如图 1-3 所示，即

$$\text{变差 } N = \frac{\Delta''_{\max}}{L} \times 100\% \tag{1-6}$$

变差又称回程差。产生变差的原因，是由于传动机构的间隙、运动部件的摩擦，弹性元件的弹性滞后等的影响。变差不应超过仪表的允许误差。

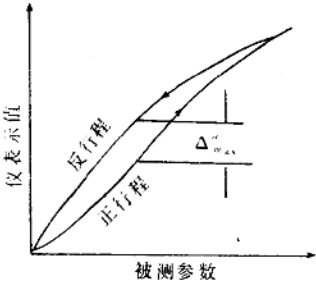


图 1-3 仪表的变差特性

1.4.6 动态误差

上述基本误差、变差等都是指仪表在检测过程中达到稳态后的误差，属于稳态误差（或静态误差）。动态误差是指检测系统中被测参数信息处于变动状态下仪表示值与被测参数实际值之间的差异，例如用水银温度计测量一杯沸水温度 100℃，温度曲线上升，需要等三秒钟以上温度计读数才稳定，如果在 1 分钟或 2 分钟便读数，就会出现较大的动态误差 A_1 和 A_2 ，如图 1-4 所示。因为此时沸水热量传递给温度计的过程尚未结束，没达到热平衡状态，故有动态误差存在。

动态误差产生原因：是由于感测元件和检测系统中各种运动惯性及能量传递需要时间所造成；衡量各种运动惯性的大小及能量传递的快慢常采用时间常数 T 和传递滞后时间 τ 二个参数表示之。

时间常数。例如采用热电偶和自动平衡记录仪组成的检测系统中，若被测参数有一阶跃变化，则记录仪所显示出来的反应曲线将按一定规律变化（例如按指数曲线）如图 1-5 所示；图中 T 为热电偶与自动平衡记录仪的时间常数，它是表征温度上升快慢的一个指标。 T 越大，反应曲线上升越慢，动态误差存在的时间越长，数值越大；若 T 越小，曲线上升越快，动态误差存在时间越短，数值越小。在检测系统中人们希望 T 小为好。

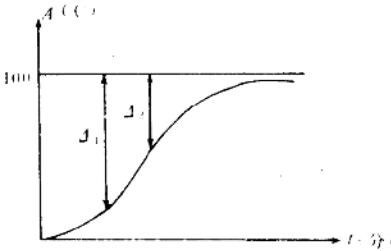


图 1-4 输入阶跃变化时体温表的动态响应

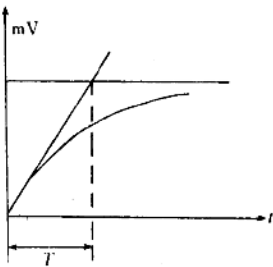


图 1-5 检测系统的反应曲线