

重庆大学出版社



样书

选矿过程检测技术

钱鑫 编

前 言

本书是根据冶金系统高等院校选矿专业教学计划和选矿过程检测技术选修课教学大纲编写的。

本书原稿已在我院本专科、研究生教学中试用多遍，根据教学中提出的意见，经过多次修改完善，逐渐形成本书稿。

本书搜集了70年代至80年代国内外选矿厂使用的最新检测手段和检测仪表。基本反映了80年代选矿过程检测技术水平。为了使读者能够获得比较系统和完整的检测知识，本书详细地介绍了检测技术的基本概念和基础理论、各类传感器的工作原理和特性、显示和记录仪表的构成和应用特性、选矿过程中各种参量的检测方法和检测仪表，理论与应用相结合，图文并茂，以利于培养学生的理论分析与解决实际问题的能力。

本书主要作为大专院校选矿专业的教材，也可供选矿厂工程技术人员参考。

在本书编写过程中曾得到张卯均高工、刘广泌高工、丘继存教授及有关选矿厂工程技术人员的帮助，并经陶敏高工、许时教授审阅，在此一并表示衷心感谢。

由于本书在国内尚属首次出版，加之编者水平有限，书中欠妥之处在所难免，望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 选矿过程检测的意义.....	(1)
第二节 测量的基本概念.....	(3)
第三节 检测方法分类.....	(4)
第四节 检测仪表.....	(5)
第五节 检测系统.....	(9)
第六节 测量误差及其分类.....	(12)
第七节 精度及提高精度的方法.....	(16)
第八节 线性误差及其消除方法.....	(23)
第九节 量程及其扩展.....	(25)
第十节 实验数据表示法.....	(26)
第二章 传感器	(32)
第一节 传感器的分类和性能要求.....	(32)
第二节 电阻式传感器.....	(35)
第三节 电感式传感器.....	(41)
第四节 电容式传感器.....	(45)
第五节 压磁式传感器.....	(48)
第六节 压电式传感器.....	(49)
第七节 霍尔效应传感器.....	(51)
第八节 磁阻效应传感器.....	(53)
第九节 热电效应传感器.....	(54)
第十节 光电效应传感器.....	(56)
第三章 显示和记录仪表	(61)
第一节 电子电位差计.....	(61)
第二节 光线示波器.....	(65)
第三节 函数记录仪.....	(68)
第四节 数字仪表.....	(72)
第五节 磁带记录仪.....	(76)
第四章 粒度检测	(80)
第一节 粒度检测方法分类.....	(80)
第二节 计数法.....	(81)
第三节 比表面的测定.....	(83)

第四节	粒度分布测定仪	(88)
第五节	超声波粒度仪	(91)
第六节	激光粒度仪	(92)
第五章	流速及流量检测	(95)
第一节	电磁流量计	(95)
第二节	漩涡流量计	(100)
第三节	涡轮流量计	(104)
第四节	靶式流量计	(105)
第五节	超声波流量计	(107)
第六节	激光测速仪	(109)
第七节	容积式流量计	(111)
第六章	物料重量检测	(114)
第一节	皮带电子秤	(114)
第二节	行车电子秤	(118)
第三节	定值电子秤	(120)
第七章	物位检测	(121)
第一节	浮力式液位计	(121)
第二节	静压式液位计	(124)
第三节	电容式物位计	(128)
第四节	核辐射物位计	(129)
第五节	超声波物位计	(131)
第八章	密度及浓度检测	(133)
第一节	浮筒式密度计	(133)
第二节	吹气式密度计	(135)
第三节	重力式密度计	(136)
第四节	放射性同位素密度计	(137)
第九章	粘度检测	(140)
第一节	粘度的基本概念	(140)
第二节	旋转式粘度计	(141)
第三节	超声波粘度计	(143)
第四节	毛细管式粘度计	(144)
第五节	活塞式粘度计	(145)
第六节	使用粘度计应注意的问题	(145)
第十章	温度检测	(147)
第一节	温标及测温方法	(147)
第二节	接触式测温法	(147)
第三节	非接触式测温法	(153)
第十一章	选矿过程成分自动检测	(160)

第一节	工业PH计.....	(161)
第二节	离子活度计.....	(166)
第三节	X射线荧光分析.....	(171)
第四节	电子探针.....	(179)
第十二章	选矿过程辅助参量检测.....	(181)
第一节	硬度检测.....	(181)
第二节	位移检测.....	(184)
第三节	厚度检测.....	(186)
第四节	力的检测.....	(188)
第五节	转矩检测.....	(189)
第六节	转速检测.....	(190)
参考文献		(192)

第一章 绪 论

第一节 选矿过程检测的意义

检测是人类认识事物本质不可缺少的手段。通过检测可以使人们对事物获得定性和定量的概念，并从中发现事物的内在规律。没有精确的检测手段，便没有科学技术的发展，科学技术的发展与检测技术的发展是相辅相成的。现代的科学技术是离不开检测工作的，因此，使用先进的检测技术是科学技术现代化的重要标志。

选矿过程检测是了解和控制选矿过程的重要手段。选矿过程是一个复杂的、多参数的、多变量的综合工艺过程，在这个过程中不仅存在着大量静态几何量的检测，如料位、液位、粒度等；而且随着生产技术的发展，还越来越多地进行着动态物理量的检测，如流速、流量、位移、浓度、温度、压力等。这些检测工作必须经常地、重复地进行，以便随时掌握工艺过程中各种因素的变化信息，进行适时地调节和控制，保持各种工艺因素稳定在规定的范围内，或使机械设备按规定的制度执行工作，把整个工艺过程控制在预定的操作条件下进行正常运转。保证各作业的产品达到规定的技术经济指标，使选矿过程优质高产、低消耗，发挥最大的经济效益。

选矿过程检测包括人工检测和自动检测。人工检测至今仍是我国大部分选厂的主要检测手段，如用浓度壶检查分级溢流浓度、选别作业矿浆浓度、浓缩产品和过滤给料浓度等；用筛子检查碎矿产品粒度、分级溢流粒度、选别产品粒度等；用化学分析方法检验原料和产品的品位等，人工检测的精确度受主观因素和方法因素的影响较大，每位操作工的素质和每种检查方法的精度之间都存在着差异，对准确调节和控制选矿过程都有一定的影响。

随着科学技术的进步，电子工业的发展，各种检测仪表的出现，60年代我国部分选厂已逐步用自动检测取代人工检测，尤其进入80年代以来，我国大多数选厂已局部采用自动检测技术，如电磁流量计、超声波粒度计、 γ 射线浓度计、电子皮带秤、同位素在线品位分析仪等已用于生产。自动检测的主要优点：能够消除主观因素对选矿过程的影响，显著缩减操作工人数量，增大多机看管的可能性，能够保证获得工艺因素变化的可靠信息，反映过程进行和设备运转的状况，及时指导工人调节或自动调节生产过程；能够遵守工艺过程规定的操作制度，从而提高选厂的技术经济指标和生产率，节省原料和药剂消耗。

选矿过程检测的目的是对工艺过程取得定量的结果和数学上的表征，为控制生产过程提供可靠的依据。

选矿过程检测的内容决定于选矿方法，也决定于选矿工艺流程。重选厂、浮选厂和磁选厂的工艺过程不同，其可检参数也是有差别的，但最主要的检测项目则是共同的。如必须对原料及产品重量、料位及液位、产品粒度、矿浆浓度、矿浆流量、矿浆流速、原料及产品的品位等进行检测。具体检测内容如表1-1所示。

表1-1 选矿过程检测内容

过 程	选 煤 厂	选 矿 厂
粗 碎	1. 灰分; 2. 入碎料物中过大块含量; 3. 金属物	1. 矿量; 2. 仓中料位; 3. 入碎及 碎石产品粒度; 4. 金属物; 5. 磁铁 矿含量(对黑色金属选矿厂); 6. 碎 矿机堵塞
中 细 碎		1. 矿量; 2. 仓中料位; 3. 粒度; 4. 碎 矿机生产率
磁 选		1. 生产率; 2. 磁铁矿含量; 3. 粒 度; 4. 浓度
浮 选	1. 给矿量; 2. 浓度; 3. 灰分; 4. 药剂 量; 5. 液面	1. 给矿量; 2. 泡沫和矿浆面; 3. PH; 4. 药剂浓度和用量; 5. 离子 成分; 6. 温度; 7. 产品品位; 8. 泡沫强度
脱水、过滤	1. 水分; 2. 灰分; 3. 滤液的固体含 量、过大粒子; 4. 液面; 5. 压力; 6. 真空度; 7. 助滤剂浓度和用量	1. 矿浆浓度; 2. 水分; 3. 过滤机 液面; 4. 真空度; 5. 矿量; 6. 助 滤剂浓度及用量
浓 缩	1. 浓度; 2. 溢流浊度	1. 浓密机桁架过载; 2. 产品浓度; 密 度; 3. 溢流浊度; 4. 澄清液面高度; 5. 凝聚剂用量
离心脱水机	水分	
干 燥	1. 处理量; 2. 水分; 3. 温度; 4. 空气 消耗量	1. 处理量; 2. 水分; 3. 温度
磨矿和分级	1. 煤进入筛子的量; 2. 筛上混杂量; 3. 筛下混杂量	1. 入料粒度及粒度组成; 2. 按指定粒 度计的生产率; 3. 矿量; 4. 分级溢流 浓度; 5. 分级溢流密度; 6. 磨矿机充 填率; 7. 分级产品粒度组成; 8. 循环 负荷量
跳 汰	1. 入料量及产品量; 2. 重产品的混 杂; 3. 灰分; 4. 水分; 5. 粒度; 6. 床层松散度; 7. 循环水(流量、 固体含量); 8. 压缩空气(流量、压 力)	1. 筛下水量; 2. 产品密度(或重产 品的混杂); 3. 床层厚度及松散度
重 介 质	1. 轻、重产品的混杂; 2. 密度; 3. 粘度; 4. 液面; 5. 选分介质(介质 损失量、密度、泥化度); 6. 浓度	1. 入选量; 2. 密度; 3. 粘度; 4. 产率; 5. 金属含量(品位)

第二节 测量的基本概念

检测广而言之也叫测量。测量就是用专门的技术工具靠实验和计算找到被测量的值（大小和正负）。测量的目的是为了在限定的时间内尽可能正确地收集被测对象的未知信息，以便掌握被测对象的参数及控制生产过程。例如在选矿生产过程中对矿仓料位的检测，在连续生产的条件下对矿浆流量的检测，在干燥车间对干燥机温度的检测等。

一、测量的定义

测量就是同性质的标准量与被测量比较，并确定被测量对标准量的位数。

上述定义用数学公式表示，则为

$$g = \frac{x}{V} \quad (1-1)$$

式中 x ——被测物理量；

V ——标准量；

g ——比值，无量纲的数值。

由式（1-1）可见， g 的大小随所采用的标准量，即测量单位的大小而定，所采用的单位愈小，对给定被测量 x 而言，其比值 g 就愈大。为了正确地把测量结果反映出来，常需在测量结果 g 的后面标明标准量 V 所用的单位。

式（1-1）称为测量的基本方程式。

在用天平称重时物重是被测量 x ，砝码是标准量 V 。用水银温度计测量室温时，被测室温是 x ，温度计上的刻度就是标准量 V 。

二、测量过程的概念

为简便起见，用最简单的天平称重为例来阐明测量过程。首先应检查天平是否平衡，即所谓调零。接着为了比较被测量和标准量，把重物和砝码分别放到两个秤盘中，这叫对比。然后判别哪个重哪个轻，这可以借助于观察天平中间的指针偏向何方，以判别有无差值，这叫示差。如存在差值就要调整砝码的大小，直到砝码与重物平衡时为止，这个调节过程叫平衡。示差和平衡工作完成之后就可根据砝码的大小和多少（必要时再加指针偏移大小）读出（或示出）物重的数值，这叫读数。

综上所述，整个测量过程包括对比、示差、平衡和读数四个动作，它是贯穿于一切测量过程中的。要改进测量就应简化和完善这些比较动作。

在生产过程中，希望自动实现上述测量过程，即上述四个动作自动完成，这就是检测技术研究的内容。

在检测过程中，通过对仪表的标定，将标准量传递到仪表的刻度上，被测量通过变换，变成一定的指针转角，与标尺刻度对比，平衡后指针稳定下来就可读出数值。对比与平衡这些测量过程都是自动进行的。

三、测量变换的概念

测量的关键在于被测量和标准量的比较，但是被测量能直接与标准量比较的场合不多。大多数的被测量和标准量都要变换到双方便于比较的中间量。例如用水银温度计测量室温

时, 室温被变换成玻璃管内水银柱的热膨胀位移, 而温度的标准量为玻璃管上的刻度, 这时被测量和标准量都变换成线位移这样的中间量, 以便直接进行比较, 可见通过变换可以实现测量, 或者使测量更为方便, 变换是测量的核心。

综上所述, 变换是把被测量按一定的规律变成便于传输或处理的另一种物理量的过程。最简单也是最理想的变换规律是变换前和变换后的参数成比例关系。变换元件的这种特性叫线性特性。

变换元件是以一定的物理定律为基础的, 它完成一个特定的变换任务。多个变换元件的有机组合可以构成变换器或测量仪表, 后者是将被测量一直变换到观测者能直接感受为止。

第三节 检测方法分类

检测方法对检测工作是十分重要的, 它关系到检测任务是否能完成, 因此, 要针对不同检测任务的具体情况, 进行认真的分析, 找出切实可行的检测方法, 然后, 根据检测方法, 选择合适的检测技术工具, 组成检测系统, 进行实际检测。反之, 如果检测方法不对头, 即使选择的技术工具(有关的仪器、仪表、设备等)再高级, 也不会有好的检测结果。

对于检测方法, 从不同的角度出发, 有不同的分类方法。按检测手续可分为: 直接检测、间接检测和联立检测; 按检测方式可分为: 偏差式检测、零位式检测和微差式检测。除此之外, 还有许多其它分类方法, 如按检测敏感元件是否与被测介质接触, 可分为接触式检测与非接触式检测; 按检测系统是否向被测对象施加能量, 可分为主动式检测与被动式检测等。

一、直接检测、间接检测和联立检测

1. 直接检测 在使用仪表进行检测时, 对仪表读数不需要经过任何运算, 就能直接表示检测所需要的结果, 称为直接检测。例如, 用磁电式电流表检测电路的某支路电流, 用弹簧管式压力表检测锅炉压力等。直接检测的优点是检测过程简单、迅速, 缺点是检测精确度不很高, 因此精确度多少有所牺牲。这种检测方法是工程上大量采用的方法。

2. 间接检测 在使用仪表进行检测时, 要分别测出几个被测量的值, 然后, 依一定的物理定律, 将检测值代入一定的函数关系式, 经过计算得到所需要的结果, 称为间接检测。这时被测物理量不能立即由一次简单的测量求得, 因为它是几个被测物理量的函数, 因此, 必须将这几个被测量测出以后, 代入有关公式, 经计算得到最后结果。间接检测多用于科学实验中实验室检测, 工程检测中有时也应用这种检测方法。

3. 联立检测(也称组合检测) 在应用仪表进行检测时, 被测物理量必须经过求解联立方程组, 才能得到最后结果, 即是将直接检测所得数据代入公式, 构成一组联立方程, 称这样的检测为联立检测。在进行联立检测时, 一般需要改变测试条件, 才能获得一组联立方程所需要的数据。

例如, 标准电阻线圈电阻温度系数检测。对于电阻线圈, 它的电阻值 R_t 与温度 t 之间的关系, 由下式给出: $R_t = R_{20} + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2$, 式中 α 、 β 是电阻线圈的电阻温度系数, R_{20} 是电阻线圈在 20°C 下的电阻值。

为了测出电阻线圈的 α 及 β 值, 只有改变测试的温度条件, 在三种温度 t_1 、 t_2 、 t_3 下, 分

别测出对应的电阻值 R_{11} 、 R_{12} 、 R_{13} ，然后代入上述公式，才能得到一组联立方程

$$R_{11} = R_{10} + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2$$

$$R_{12} = R_{10} + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2$$

$$R_{13} = R_{10} + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2$$

解联立方程后，可求得 α 、 β 和 R_{10} ，从而得到最后所需要的 α 和 β 值。

二、偏差式检测法、零位式检测法与微差式检测法

1. 偏差式检测法 在测试过程中，用仪表指针的位移（即偏差）决定被测量的方法，称为偏差式检测法。应用这种方法检测时，标准量具不装在仪表内，而是事先使用标准量具，对仪表刻度进行核准；然后，在检测时，输入被测量，按照仪表指针在标尺上的示值，决定被测量的值。它是以间接方式实现被测量与标准量的比较。例如，用磁电式电流表检测电路中某支路的电流，用磁电式电压表检测某电气元件两端的电压等。采用这种方法进行检测，检测过程比较简单，检测迅速。但是，检测结果的精确度较低。这种检测方法也广泛地用于工程检测中。

2. 零位式检测法（又称补偿式或平衡式检测法） 检测过程中，用指零仪表的零位指示，检测测量系统的平衡状态，在测量系统达到平衡时，用已知的基准量决定被测未知量的检测方法，称为零位式检测法。应用这种方法进行检测时，标准量具装在仪表内，在检测过程中，标准量直接与被测量相比较，检测时，要调整标准量，即进行平衡操作，一直到被测量与标准量相等，即指零仪表回零。

3. 微差式检测法 微差式检测法是综合了偏差式检测法与零位式检测法的优点，而提出的检测方法。这种方法是将被测的未知量与已知的标准量进行比较，并取得差值，然后，用偏差式检测法求得此差值。应用这种方法检测时，标准量具装在仪表内，检测过程中，标准量直接与被测量进行比较，由于二者的值很接近，因此，检测过程中不需要调整标准量，而是需要测量二者的差值。

设： N 为标准量， x 为被测量， Δ 为二者之差，很显然，关系式 $\Delta = x - N$ 成立，经移项后变成 $x = N + \Delta$ ，即被测量是标准量与偏差之和。

N 是标准量，其误差很小。由于 $\Delta \ll N$ ，因此，可选用高灵敏度的偏差式仪表测量 Δ 。即使测量 Δ 的准确度较低，但是，因为 $\Delta \ll x$ ，故总的测量准确度仍然很高。

第四节 检测仪表

检测仪表是实现检测的物质手段。检测仪表包括敏感元件、传感器、变换器、运算器、显示器等。检测仪表性能的好坏直接影响检测结果的可信度，因此要不断地改进仪表性能，重视新型仪表的研制。全面掌握检测仪表的功能和构成原理，有助于正确选用仪表。

一、检测仪表的功能及构成

检测仪表是实现检测的物质手段，是检测方法的具体化。根据前面讲过的测量过程分为四步：对比、示差、平衡、读数，可以推论出检测仪表的构成原理。

作为近代完整的检测仪表应由下列四个部分构成：

(1) 变换器 它的功能是将被测物理量按一定规律变换, 以便获得便于传输和检测的信号能量形式。

(2) 标准量具 它的功能是提供标准量。要求它输出的标准量应当准确可调。

(3) 比较器 它的功能是将已经经过变换的被测量与标准量进行比较, 并且根据比较结果差值的极性去调节标准量的大小, 一直到二者相等, 即达到平衡。

(4) 显示器 它的功能是将测量结果用肉眼便于观察的形式显示出来。

下面以PZ-8型数字电压表为例进行分析、说明。它的结构见图1-1。从图中, 很清楚地看出它的四个组成环节及相互间的联系。

先看它的工作过程: 被测电压 V_x 先经衰减器衰减或放大器放大到某一适宜测量的电压值 kV_x ; kV_x 将与标准电压 V_n 比较, 比较结果经差值放大器放大后, 去控制反馈编码网络的加码或减码, 这样逐次比较, 一直到 V_n 与 kV_x 之差小于差值放大器的灵敏度阀限时, 比较过程才停止。最后由数字显示装置显示出检测结果的数字值。

从上面工作过程分析可以看出:

(1) 衰减器或放大器在这里起变换的作用, 它将被测量——电压变换成适于比较的量或值。

(2) 差值放大器与逻辑控制电路起比较器的作用。它将被测量 kV_x 与标准量 V_n 并列在一起, 并加以比较, 并根据比较的差值极性去调节标准量, 一直到平衡。

(3) 反馈编码网络起标准量具的作用。它输出的电压 V_n 是标准量, 而且能够准确地改变其大小。

(4) 译码和记忆电路及数字显示装置起读数装置的作用。它将测量结果用数字表示出来。

二、检测仪表的特性

1. 检测仪表的静特性

(1) 刻度特性 对于检测仪表都有用数字表示的刻度。所谓刻度特性是表示检测仪表的输入量与输出量之间的数量关系, 即被测量与检测仪表指示值之间的函数关系。这种函数关系可以用数据表格形式给出, 也可以坐标轴曲线形式给出, 还可用数学方程式 $y=f(x)$ 给出。式中 x 表示被测量, y 表示指示值。用数学方程式给出的刻度特性被称为刻度方程。

刻度特性可分为两类:

①线性刻度特性 用方程表示的是一次代数方程, 它的几何表示是直线。

②非线性刻度特性 用方程表示是高次代数方程或超越方程, 它的几何表示是曲线。

如图1-2所示, 给出了三条刻度特性。其中, 数字电压

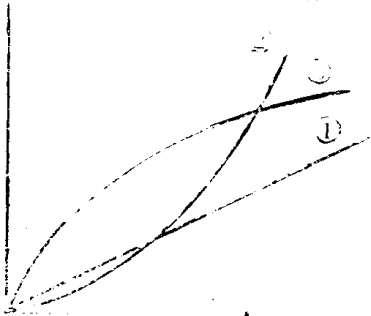


图1-2 测量仪表刻度特性

①数字电压表刻度特性; ②晶体管毫伏表刻度特性; ③万用表欧姆档刻度特性

表具有线性刻度特性；晶体管毫伏表具有上凹的非线性刻度特性；万用表电阻档具有上凸的非线性刻度特性。

从测量效果看，希望测量仪表具有线性刻度特性。但是，由测量原理所决定，经常会遇到非线性刻度特性。

(2) 灵敏度 灵敏度表示测量仪表的输入量增量 Δx 与输出量增量 Δy 之间的函数关系，更确切地说，灵敏度 S 等于测量仪表的指示值增量与被测量增量之比。可用下式表示

$$S = \frac{df(x)}{dx} = \frac{dy}{dx} = f'(x) \tag{1-2}$$

灵敏度表示单位被测量的变化所引起仪表输出指示值的变化量，很显然，灵敏度 S 值越高表示仪表越灵敏。

测量仪表的灵敏度可分为三种情况：

- ①在整个测量范围内，灵敏度 S 保持为常数，即灵敏度 S 不随被测量的变化而变化。
- ②灵敏度 S 随被测量（输入值）增加而增加。
- ③灵敏度 S 随被测输入量增加而减小。

上述三种情况分别示于图1-3。

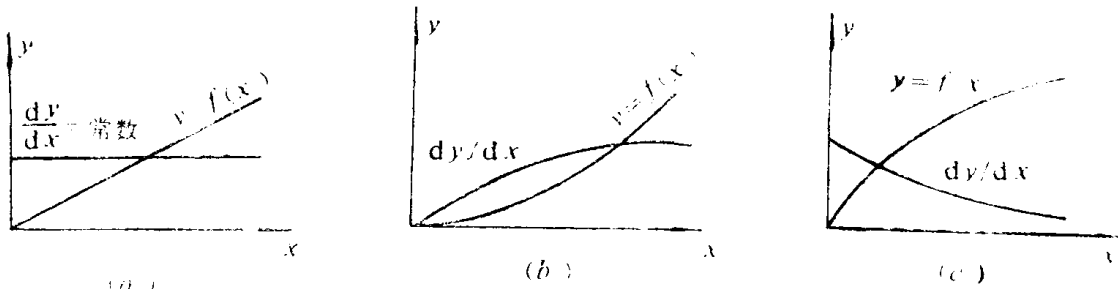


图1-3 检测仪表的灵敏度

一般希望测量仪表的灵敏度 S 在整个测量范围内保持为常数。这样要求，一方面有利于读数，另一方面是便于分析和处理测量结果。

2. 检测仪表的动特性

测量仪表动特性也称作测量仪表的动态响应。它所涉及的内容是研究当被测量对象参数随时间变化很迅速时，测量仪表的输出指示值与输入被测物理量之间的关系。

(1) 研究动特性的意义

有些被测量变化急速，如振动、冲击及快速运动的工件、飞行体等，必须有动特性良好的仪表方能胜任测量任务，若一台仪表的输出信号是紧紧追踪着一个急速波动的输入信号，就说仪器具有好的“动态响应”，即动特性良好。

有些参数，在其变化过程中，即使瞬时超过规定值也是不允许的，如炸药生产，生物制药过程及某些催化剂的使用等，都要求严格控制某些参数，比如说温度就不允许超出规定值，一有超出将导致重大的事故或造成损失，这就要求有良好的动态控制，因而必然要求使用良好的动特性的仪表进行动态检测，好的动态控制才有可能。

检测实践指出，以高准确度对许多稳态量进行测量是比较容易的，如测量一个稳定的电压或一个零件的长度。但要测量一个迅速变化的电压的瞬时值或者运动着的摇床床面的瞬时

位置却非常难，前者属静态测量，后者属动态测量。

还有这样的情况，测量力和压力的压电晶体，只适用于动态测量，而不适用于静态，因为信号（与力有关的电荷）会很快地泄漏。

一般说来，测量动态参数的仪器，其价格要比仅需测量静态数值的仪器高。

可见，仪器的设计、选择、维护等都应当充分地研究其动特性。

（2）研究动特性的方法

一台自动检测仪表，实质为一自动跟踪系统，被测量是系统的输入，仪表的显示值则为系统的输出，要求仪表的输出随时能紧随其输入而变化，做到及时而准确地显示被测量的数值。

自动检测仪表绝大多数情况下是单参数系统，即输入一个被测量，仪表即有一个输出值。即使是多点检测仪表，在每一瞬间，仍为单参数系统。那些会引起输出变化的除被测量以外的参数（干扰）在设计仪表时，均已通过多种方式加以排除或控制了，也就是说通过选择性的变换把这些干扰信息消除了，从而最终保证了仪表为一单参数系统。

在大多数场合，构成仪表的诸多元件，器件的很多参数，如质量、转动惯量、弹性元件的刚度、电阻、电容、电感、气阻、气容放大器的放大倍数等等都可认为是定值，不随时间而变，而且多为集中参数。这些参数及其相互组合往往构成表征仪表各功能环节的一些数值，往往是表征系统动态特性的微分方程的各有关项的系数，由于这些系数是定值，故表征仪表特征的方程多为常系数微分方程。即使遇到时变参数，分布参数，在一定的条件下，也可作为线性微分方程处理。

基于上述理由，大多数自动检测仪表可看为定常线性系统，自动检测仪表自身就是一个完整的自动控制系统。研究的方法与控制系统相同，只不过后者是局部，前者是全局而已。

每一个自动检测仪表，总是要求它具有高的灵敏度，快速的响应、频率响应好。但这些要求并不总是能同时得到满足。灵敏度往往是一个既定的要求（它是一个静态指标），而其它指标则可在设计或调试仪表时加以控制。

三、检测仪表的品质指标

评定检测仪表品质的技术指标主要有三个。

1. 精度等级

精度等级是说明检测仪表测量精确程度的指标。精度等级用仪表的最大允许绝对误差与仪表测量范围比值的百分数的数值部分来表示。例如，某测温仪表的最大允许绝对误差为 $\pm 11^{\circ}\text{C}$ ，其测温范围为 $0\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，则

$$\frac{\pm 11^{\circ}\text{C}}{1100^{\circ}\text{C}} \times 100\% = \pm 1.0\%$$

取其数值部分，则该仪表的精度等级为1.0级。知道了仪表的精度等级，便可算出该仪表可能产生的最大绝对误差。所谓绝对误差是指使用的仪表测量某一参数的数值时，仪表的指示值与该参数的实际值之差。

由于仪表的精度等级是以仪表最大绝对误差与仪表测量范围之比值进行计算的，因此在选用仪表测量范围时，应使仪表尽量在接近刻度上限的区域内工作，这样才有最合理的相对误差。例如，上述测温仪表，当测量 1100°C 时，其相对误差为 $\frac{\pm 11^{\circ}\text{C}}{1100^{\circ}\text{C}} \times 100\% = \pm 1.0\%$ ，

而用同一测温仪表测量 550°C 时,则其相对误差为 $\frac{\pm 11^{\circ}\text{C}}{550^{\circ}\text{C}} \times 100\% = 2\%$,因此,应该避免用测温范围高的仪表去测量低的温度。

在选用仪表的精度等级时,应根据实际需要,不能片面追求高精度,以免造成浪费,因为精度高的仪表,其检测结果虽较准确,但往往结构复杂,使用维护技术要求较高,而且价格也贵。

2. 灵敏度

仪表的灵敏度是反映检测仪表对被检测参数变化的灵敏程度,是仪表到达稳态后输出变化与引起此变化的输入变化之比。例如,在测温仪表中,通常是用被测温度变化 1°C 时,仪表指针位移(直线距离或旋转角度)的大小来衡量的。如果某仪表温度变化 1°C 时指针移动 1mm ,而另一仪表温度变化 1°C 时,指针移动 2mm ,则后者较前者灵敏度高,仪表的灵敏度可以用增大放大系统(机械的或电子的)放大倍数的办法来提高。但是必须指出,仪表的性能主要决定于它的精度等级,所以不能认为只要加大灵敏度就能得到更准确的读数。为此,常规定仪表指标尺上的最小分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

3. 稳定性

稳定性是指当所有条件保持恒定时,仪表在规定的时间内输出保持不变的能力。通常用“变差”来表示。所谓“变差”,就是用同一仪表,在相同条件下,对一个被测数值从不同的方向(由低于被测值增至被测值或由高于被测值降至被测值)进行多次测量,在所得到的不同测量结果中取出其最大的差值(绝对值)。例如,某测温仪表对实际温度 100°C (用标准仪表测出的)进行测量,由低温升高到 100°C 时,该仪表的指示值为 99°C ,而由高温下降到 100°C ,指示值为 101°C ,则该仪表在 100°C 处有 2°C 的变差。对被测参数的不同测点,其变差不一定相同,各测点的最大变差就是该仪表的变差。“变差”通常也用它与仪表的测量范围的比值百分数来表示,一般要求这个百分数不得超过仪表的精度等级。

第五节 检测系统

检测系统是检测仪表的有机组合,是检测仪表的进一步发展。对于比较简单的检测工作只需要一台检测仪表就可以解决问题,但是对于比较复杂、要求高的检测工作,往往需要使用多台检测仪表,并且按照一定规则将它们组合起来,构成一个有机整体——检测系统。

在现代化的生产过程和科学实验中,过程参数的检测都是自动进行的,即检测任务是由检测系统自动完成的。因此,研究和掌握检测系统的功能和构成原理十分必要。

一、检测系统的功能及构成

图1-4表示了检测系统的原理结构框图,它由下列环节组成:

1. 原始敏感元件 作为原始敏感元件,它首先从被测介质接受能量,同时产生一个与被测物理量成函数关系的输出量。

原始敏感元件的输出信号是某些物理量,例如,位移或电压。这些物理量比被测物理量易于处理。

2. 变量转换环节 对于检测系统,为了完成对其所要求的功能,需要将原始敏感元件的

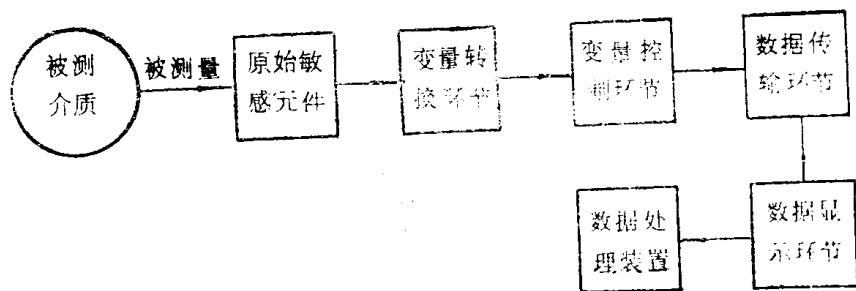


图1-4 检测系统原理结构框图

输出变量做进一步的变换，即变换成更适于处理的变量，要求它应当保存着原始信号中所包含的全部信息。完成这样功能的环节被称为变量转换环节。这里讲的环节是功能环节，而不是物理环节。例如，一个专用物理

组件能完成几个功能环节的作用。

3. 变量控制环节 为了完成对检测系统提出的任务，要求用某种方式“控制”以某种物理量表示的信号，这里所说的“控制”，意思是在保持变量物理性质不变的前提条件下，根据某种固定的规律仅仅改变变量的数值。例如，电子放大器以小的电压信号为输入，输出信号仍是电压，但是已经被放大为输入电压的某个固定倍数。象完成这样功能的环节被称为变量控制环节。

4. 数据传输环节 当检测系统的几个功能环节实际上被物理地分隔开的时候，则必须从一个地方向另一个地方传输数据。象完成这种传输功能的环节被称为数据传输环节。

5. 数据显示环节 有关被测量的信息要想传输给人以完成监视、控制或分析的目的，则必须将信息变换成人的感官能接受的形式。象完成这样的转换机能的环节被称为数据显示环节。它的职能包括用指针相对刻度标尺运动所表示的简单指示和用记录笔在记录纸上记录。指示和记录的量值也可以是断续的量值而不是连续的量值。

6. 数据处理装置 作为检测系统的任务，到被测量数据显示出适于肉眼观察的形式后，还没有最后完成。检测系统的最后一项任务是要对检测所得数据进行数据处理。数据处理装置实质上是一台小型计算机。这样，数据处理工作就由机器自动完成，不需要人工繁琐的运算。

从上面分析可以知道，检测系统是一个功能繁多、构成复杂、能自动完成检测任务的动力学系统。

二、主动式测量系统与被动式测量系统

根据在测量过程中是否向被测量对象施加能量，可以将测量系统分为主动式测量系统和被动式测量系统。

1. 主动式测量系统 它的构成原理图如图1-5。这种测量系统的特点是在测量过程中需要从外部向被测对象施加能量。

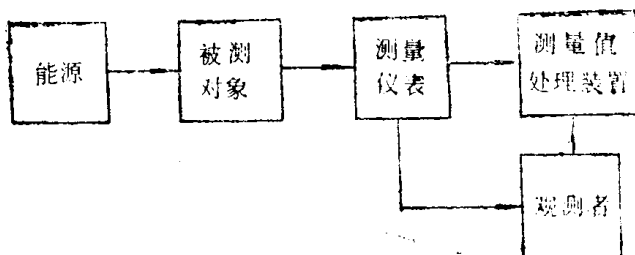


图1-5 主动式测量系统

作为最常碰到的例子，是在测量阻抗元件的阻抗时，必须对阻抗元件施加以电压，供给一定的电能。

在国防上，用雷达探测敌机的方位和距离也属于主动式测量系统。

2. 被动式测量系统 它的构成原理框图示于图1-6。被动式测量系统的特点是在测量过

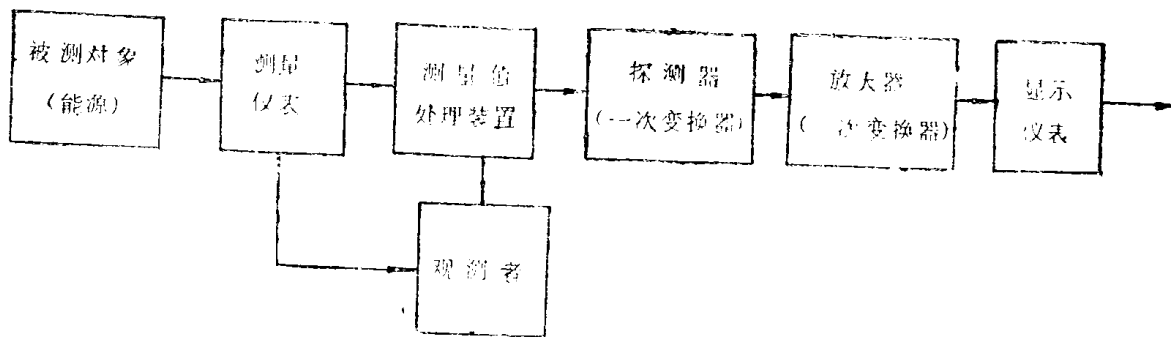


图1-6 被动式测量系统

中不需要从外部向被测对象施加能量。

作为最简单的例子，可以举出电压、电流、温度测量等。在国防上，飞机所用的空对空导弹的红外（热源）探测跟踪系统就属于被动式测量系统。

在实际测量时，是采用主动式测量还是被动式测量，要具体问题具体分析。



图1-7 开环式测量系统

1. 开环式测量系统 开环式测量系统的框图和信号流向图示于图1-7。

一次变换器的机能是很多的，可以说一次变换器的变换机能的扩大促使检测技术的进步。依靠一次变换器将被测参数变换成容易处理的电压等值，但是这个电压值的电平还不够高，必须进行放大。

放大可以采用直接放大或调制式放大，这个放大任务由二次变换器完成。输出变换器在被测量与观测者之间或被测量与数据处理装置之间起桥梁作用。指示仪表或记录仪表的输出一般是位移。用编码器代替输出变换器就可以将测量值与电传打字机等数字式信息处理机联系起来。当输出变换器与测量数据处理装置不在同一地点时，二者之间还要进行数据传输，这方面内容属远距离测量范围。

采用开环方式构成测量系统，虽然从结构上看比较简单，但是缺点是所有变换器特性的变化都会造成测量误差。

2. 闭环式测量系统 闭环式测量系统的框图和信号流向图示于图1-8。

设系统的输入信号是 x ，则系统的输出：

$$y = \frac{\mu}{1 + \mu\beta} x$$

式中 μ 是二次变换器与输出变换器的总放大倍数， β 是反馈系统的放大倍数，

当 $\mu\beta \gg 1$ 时，上式变成。

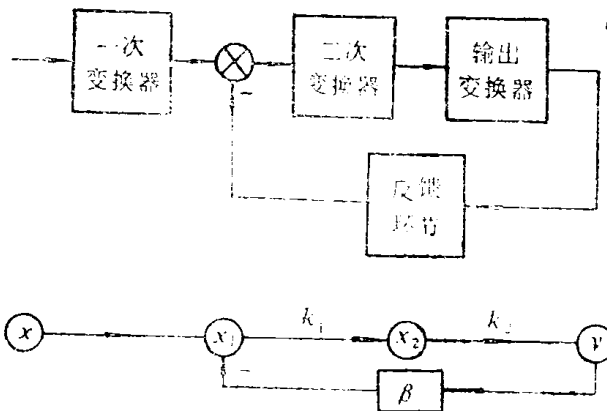


图1-8 闭环式测量系统

$$y = \frac{1}{\beta} x \quad (1-3)$$

很显然，这时整个系统的输入输出关系将由反馈系统的特性决定，二次变换器特性的变化不会造成测量误差。

对于闭环式测量系统，只有采用大回路闭环才更有利；对于开环式测量系统，特别成问题的部分应考虑采用闭环方法。据以上分析可知，在构成测量系统时，应将开环系统与闭环系统巧妙地组合在一起加以应用，才能达到所期望的目的。

第六节 测量误差及其分类

研究测量误差的理論的目的，一方面是要在认识和掌握误差规律的基础上，指导设计、制造、使用测量仪表；另一方面是指导测试工作。因为解决一项测量任务时，需要分析被测对象和被测量的特性，选用适当的设备，采用一定的测量方法，组成合理的测量系统。保证某些必要的测量条件，对测量结果进行数据处理和恰当的评价。所有这些工作都离不开误差理论的指导。

一、误差的基本概念

测量是一个变换、选择、放大、比较、显示诸功能的综合作用，又是一个对比、示差、平衡、读数的比较过程。如果这些过程是在理想的环境、条件下进行，即假设一切影响因素都不存在，则测量将是十分精确的。但是，这种理想的环境和条件在实际中是不存在的。无论是测量设备、仪表、测量对象、测量方法、测量者本身，都不同程度地受到自身和周围各种因素的影响。当这些因素变化时，必然会影响到被测量示值的大小，使示值与被测量的真值之间造成差异，这个差异就是测量误差。

测量的最终目的是求得被测量的真值，但是真值是永远得不到的，只能以不同的精度逼近真值。在实际中，对给定的测量任务只需达到规定的精度就行了，决不是精度愈高愈好。盲目地提高测量精度的做法，往往会带来相反的效果，浪费劳力和财力，降低测量的可靠性。

在解决生产过程中的测量任务时，必须根据测量的目的，全面考虑测量的可靠性、精度、经济性和使用简便性。而在科研工作中测量精度的要求往往是放在第一位的。

示值与被测量真值之间的差值叫误差。

$$\Delta = M - T \quad (1-4)$$

式中 Δ 误差；

M 示值；

T 真值。

在实验室测量和计量工作中常用修正值。示值加上修正值就可得到真值，故有

$$\alpha_c = T - M \quad (1-5)$$

式中 α_c 修正值。

比较式(1-4)和(1-5)可知，修正值与误差大小相等，方向相反，即

$$\alpha_c = -\Delta \quad (1-6)$$