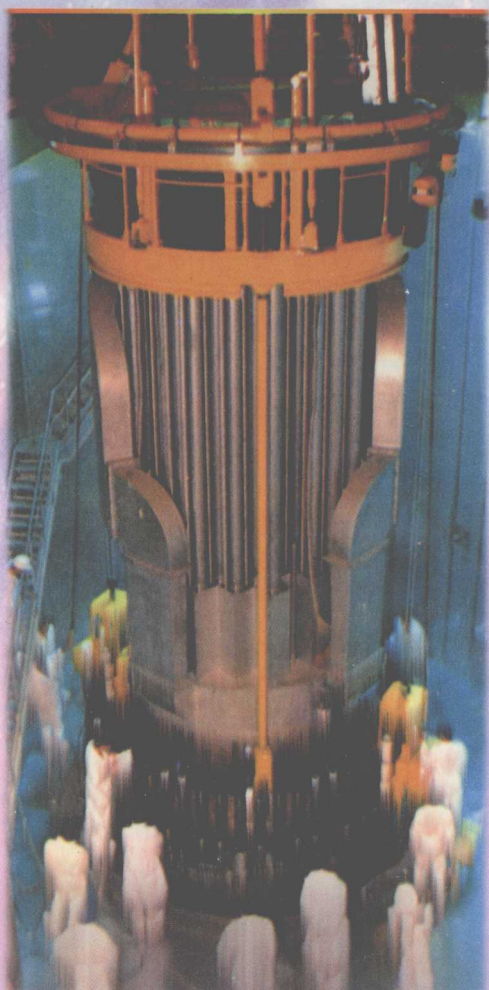


核反应堆仪表

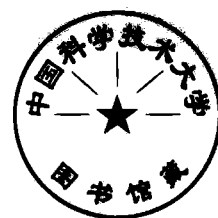
钱承耀 主编



西安交通大学出版社

核反应堆仪表

钱承耀 主编
赵福宇 顾兆林 编



西安交通大学出版社
·西安·

内 容 提 要

本书系统地介绍了核反应堆的各类仪表的原理、结构、性能、使用要求和操作方法。而且针对我国核电事业发展的需要,较详细地叙述了压水核反应堆仪表系统,同时介绍了智能仪表和数字计算机在核反应堆中的应用。

本书为核动力工程类专业的大学本科生教材,亦可供有关专业师生及从事核动力工程和核电厂仪表研究、设计、操作的工程技术人员参考。

(陕)新登字 007 号

图书在版编目(CIP)数据

核反应堆仪表/钱承耀等编. —西安:西安交通大学出版社,1999.8
ISBN 7-5605-1167-8

I. 核… II. 钱… III. 反应堆-仪表 IV. TL421

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 39823 号

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668316)

西安华宇印刷厂印装

各地新华书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14.625 字数:351 千字

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

印数:0 001~1 000 定价:18.00 元

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

前 言

开发新能源是人类生存与发展的需要,也是社会经济发展的需要。太阳能、潮汐能、风能和地热能,目前虽然经过研究试验已开始应用,但要大规模地用于工业还受到很多条件的限制。现在,比较成熟并已在工业上得到大规模应用的是核能。而核反应堆仪表又是影响核能事业发展的一个重要方面。

本书以大学本科生的讲义《核电站仪表》为基础,结合从事检测技术研究以及为大亚湾核电厂进行核电技术人员培训的多年经验,描述了各类核反应堆的仪表系统,介绍了核反应堆的各类仪表的原理、结构、性能、使用要求和操作方法,并针对我国核电事业发展的需要,较详细地叙述了压水核反应堆仪表系统,同时介绍了智能仪表和数字计算机在核反应堆中的应用。全书侧重于核检测仪表的原理及其使用技术的系统介绍。在重点阐述核检测仪表原理的同时,对核反应堆的过程参数检测仪表的工作原理与性能的介绍仍留有相当的篇幅。全书共 13 章,第 1 章绪论;第 2 章测量基本概念;第 3 章到第 6 章核检测仪表;第 7 章到第 12 章核反应堆过程参数检测仪表;第 13 章智能仪表和数字计算机在核反应堆中的应用。本书在内容上注意反映国外新发展起来的一些核反应堆仪表,尽量做到与国内的实际情况相结合。

本书为核动力工程类专业的大学本科生教材,亦可供有关专业师生及从事核动力工程和核电厂仪表研究、设计、运行的工程技术人员参考。

本书由西安交通大学能源与动力工程学院核能与热能工程系钱承耀教授主编并编写第 1 章、第 3~6 章、第 9~13 章,由核能与热能工程系赵福宇副教授编写第 2 章,由化工学院顾兆林副教授编写第 7~8 章。

本书在编写过程中得到了西安交通大学教务处和西安交通大学能源与动力工程学院领导的关心和大力支持。全书由刘文江教授和李崇祥副教授主审,提出了非常宝贵的意见。值此,深表诚挚的谢意!并向曾经帮助过编者的老师,同事和同学们表示衷心的感谢!

在编辑和出版过程中,西安交通大学出版社杨鸿森教授提出不少修改意见,编者在此一并表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不妥和错误之处,谨请读者批评指正。

编者

1998 年 10 月于西安交通大学

目 录

前 言

第 1 章 绪 论

- 1.1 核反应堆仪表的职能 1
- 1.2 自动检测的参数 2
- 1.3 核反应堆的仪表及系统 2

第 2 章 测量的基本概念

- 2.1 测量仪表的组成 5
- 2.2 测量仪表的性能指标 6
- 2.3 测量单位 10

第 3 章 堆芯外核检测仪表及系统

- 3.1 堆芯外的定义 14
- 3.2 核反应堆功率的测量 14
- 3.3 中子探测仪表 15
- 3.4 反应堆堆芯外核检测仪表系统 22
- 3.5 压水堆堆芯外核检测仪表系统 32
- 3.6 快堆堆芯外核检测仪表 33

第 4 章 堆芯内中子通量检测仪表及系统

- 4.1 核反应堆堆芯内的环境 35
- 4.2 核反应堆堆芯内中子通量检测仪表系统 36
- 4.3 压水堆堆芯内中子通量检测仪表系统 48

第 5 章 核辐射剂量监测仪表

- 5.1 核辐射剂量监测方法和仪表 54
- 5.2 核电厂的辐射剂量监测 64

第 6 章 射线探测器与放大器的连接

- 6.1 电压型放大连接方式 71
- 6.2 电流型放大连接方式 72

6.3	电压-电流型放大连接方式	73
第 7 章 温度检测仪表		
7.1	热电偶温度计	76
7.2	电阻温度计	113
第 8 章 压力和压差检测仪表		
8.1	基本概念	126
8.2	常用弹性元件和弹性式压力和压差仪表	127
8.3	压力和压差变送器	134
第 9 章 流量检测仪表		
9.1	流量检测仪表的种类	143
9.2	差压流量计	145
9.3	涡轮流量计	160
9.4	弯管流量计	163
9.5	电磁流量计	164
9.6	压水堆主冷却剂流量测量方法和原理	167
9.7	核电厂主蒸汽流量测量方法和原理	168
第 10 章 液位检测仪表		
10.1	差压式液位检测仪表	170
10.2	超声波液位检测仪表	173
10.3	涡流式液位检测仪表	174
10.4	霍尔液位计	175
10.5	电阻式液位检测仪表	176
10.6	液位检测的参考水柱方法	177
10.7	液位检测的内参考管和外参考管方法	178
10.8	液位检测的参考差压计法	180
第 11 章 位置检测仪表		
11.1	概述	181
11.2	应变式位移检测仪表	182
11.3	差动变压器式位移检测仪表	183
11.4	电感式位移检测仪表	186
11.5	涡流型位移检测仪表	188
11.6	LVDT 接触式位移传感器	190
11.7	LVDT 接触式角位移传感器	192

第 12 章 振动检测仪表	
12.1 概述	193
12.2 核反应堆主泵振动测量	196
第 13 章 智能仪表和计算机在核反应堆中的应用	
13.1 智能仪表	199
13.2 过程计算机系统	212

主要参考文献

第 1 章 结 论

1.1 核反应堆仪表的职能

核反应堆仪表是用来检测象中子通量、 γ 射线通量、压力、温度、位移、应变、流量以及液位等一些参数的。但根据在什么地方使用和如何使用的区别,可以把核反应堆仪表的应用划分为 4 个大的范畴:1. 动力堆的控制和保护;2. 材料试验堆的实验;3. 核反应堆瞬态实验;4. 核动力的空间应用。

1.1.1 核动力堆的应用

对于核动力堆,其运行人员必须具有足够的信息来安全和经济地控制核反应堆,这意味着必须用核反应堆仪表检测出一定的参数,例如核反应堆总功率、冷却剂入口温度、冷却剂出口温度、系统压力、冷却剂总流量以及部件振动、反应性振荡以及燃料元件表面上或者冷却剂通道内部的沉淀物等等。一般来说,核动力堆用的仪表特别是堆芯仪表的最小使用寿命必须等于两次换料停堆之间的时间间隔。因此堆芯温度、压力、流量、应变、位移、中子通量以及液位敏感元件对于核动力堆来说是必不可少的。

1.1.2 材料试验堆实验的应用

材料试验堆中所进行的实验往往是以安装在试验管内的仪表得到益处,这个试验管插在堆芯里面或者在堆芯附近的高通量区域。在这样试验管中的通量水平和温度往往要比核动力堆高得多,因为进行大多数实验是为了得到设计更先进的动力堆必需的数据。通常这些试验管只有非常有限的空间,因此材料试验堆使用的仪表要求是非常高的。裂变气体压力、燃料的膨胀以及包壳应变的测量是必不可少的,因此在材料试验堆中广泛使用堆芯压力、应变、位移、流量和中子通量等检测仪表。

1.1.3 核反应堆瞬态实验的应用

核反应堆瞬态实验应用的仪表均是快响应的堆芯温度、压力、流量、应变、位移和中子通量等检测仪表。

1.1.4 核动力的空间应用

外层空间推进动力和辅助能源核反应堆(简称空间堆)的最近发展提出了新的堆芯仪表的设计问题,这些仪表(包括敏感元件和读数装置)必须经受得住外层空间环境的考验。

1.2 自动检测的参数

核链式反应产生热量和核辐射,因此,核动力堆的检测仪表的主要部分是热敏感元件和核辐射敏感元件。我们知道,虽然在裂变过程中会产生好几种核辐射,但只有中子才可能与裂变事件有单值关系,所以中子敏感元件是最重要的核辐射敏感元件。

业已知道,冷却剂在核反应堆运行和将核能转化成电能的运行过程中起了极其重要的作用,因此,必须用合适的敏感元件对它进行监测,从而决定下列一些主要参数:1. 进入核反应堆的冷却剂温度;2. 离开核反应堆的冷却剂温度;3. 核反应堆内其他位置上的冷却剂温度;4. 进入和流出核反应堆的冷却剂流量;5. 核反应堆内各个冷却管道中冷却剂的流速;6. 离开核反应堆后的冷却剂的放射性强度;7. 冷却剂的纯度;8. 当冷却剂为气体时,其中水蒸汽的含量;9. 控制棒的位置;10. 慢化剂的水位;11. 核反应堆内的水位;12. 一回路系统中的压力;13. 冷却剂出口处的压力;14. 慢化剂的温度。为了自动检测这些参数,必须有温度传感器、流量计、湿度探测器、核辐射敏感元件、位置指示器、压力传感器等。

1.3 核反应堆的仪表及系统

为了使核反应堆和核电厂能正常运行,必须对上述的各种重要参数进行检测,由于核反应堆具有放射性这个特殊问题,人不能靠近检测点,而且核反应堆有些设备包围在厚厚的防护层里边,因此,运用自动化仪表就显得更加重要。

检测仪表只能反映核反应堆和核电厂的运行工况,要使核电厂和核反应堆在给定功率下正常运行还必须有调节仪表和执行仪表。如图 1-1 和图 1-2 分别为压水反应堆和钠冷反应堆测点布置及控制系统的示意图。

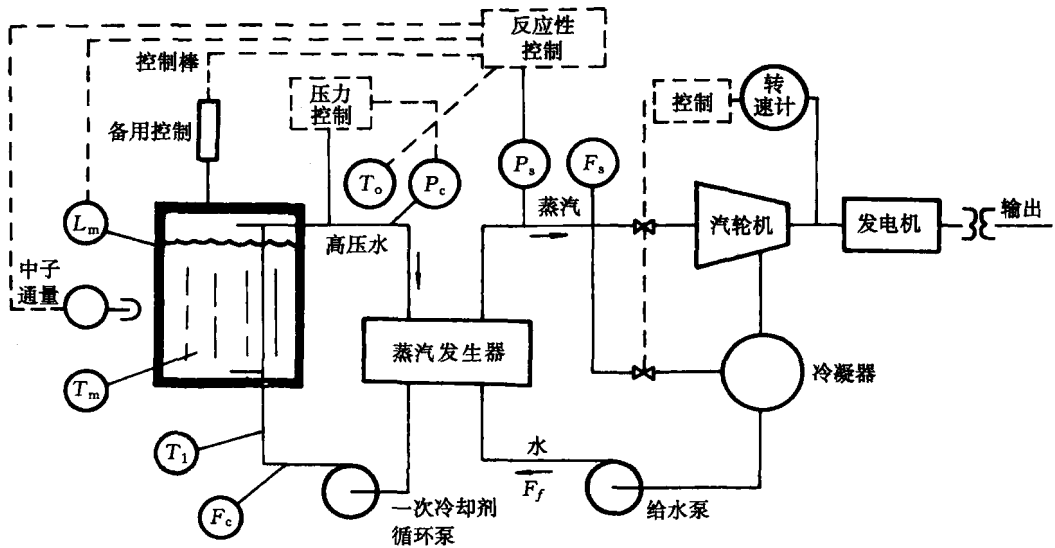


图 1-1 压水反应堆

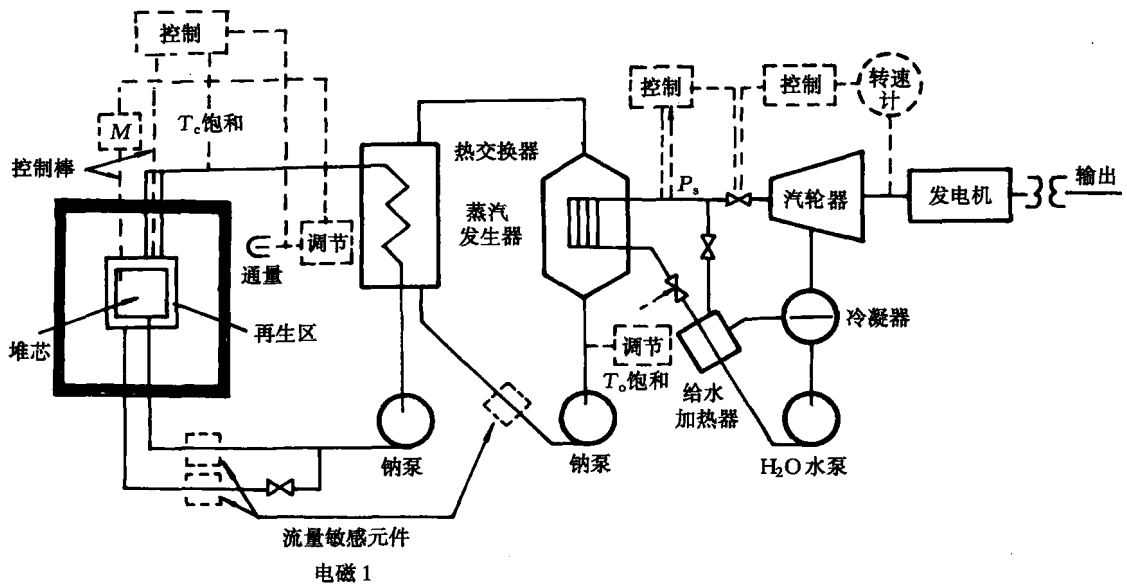


图 1-2 钠冷反应堆

图中 T_1 为进入反应堆的冷却剂温度； T_0 为离开反应堆的冷却剂的温度； F_c 为进入和流出反应堆的冷却剂流量； T_m 为反应堆内慢化剂温度； L_m 为反应堆内慢化剂的水位； P_c 为冷却剂出口处的压力； P_s 为蒸汽压力； F_s 为蒸汽流量； F_f 为给水流量。

检测仪表相当于自动化装置的“眼睛”。若没有来自检测仪表的信号，自动化装置就好比瞎子一样，无法进行操作和控制，更谈不上实现自动化，另一方面，若检测仪表的可靠性差，即使控制装置的精度和可靠性再高，也无意义。因此，必须大力发展检测仪表，提高变送器的可靠性、稳定性和灵敏度。

总之，要保证核反应堆的正常运行，既要有可靠性好、稳定性好、灵敏度高的检测仪表，又要有精度高、可靠性好的调节仪表和执行仪表。

但是，实际的核反应堆和核电厂是一个复杂的多变量相互影响的控制对象。对于一个典型的压水堆核电厂来说，主要有 5 个控制系统：1. 核反应堆功率调节系统；2. 蒸汽排放控制系统；3. 稳压器压力和水位调节系统；4. 蒸汽发生器给水调节系统；5. 汽轮机调速系统。由此可见，在设计这种控制调节系统时，单考虑哪一个系统都是不合适的，必须同时考虑这些系统相互间的影响。在现代有高阶混合式模拟计算机和大型数字计算机的情况下，做到这一点是不困难的。

核电厂除了一、二回路系统以外，还有化学与容积控制系统、硼回收系统等辅助系统，都要有其控制调节系统，都是保证核电厂正常运行和安全必不可少的，前提还是要有高质量的检测仪表、调节仪表和执行仪表。

为了监视核反应堆以及核电厂的核反应堆从释热到发电的整个工艺过程，并为控制调节系统，保护系统输送信号，以确保核反应堆和核电厂安全可靠的运行，核反应堆和核电厂必须要有完整的仪表系统，其主要仪表系统有：1. 核检测系统：包括核反应堆堆外核检测系统和核

反应堆堆芯内中子通量检测系统;2. 过程参数检测系统:包括温度、压力、流量、液位及其他过程参数检测仪表,亦有化学、机械位移以及电量检测仪表;3. 控制棒位置指示系统:包括长棒、短棒以及停堆棒的位置指示系统;4. 控制调节和执行系统:包括调节仪表和执行仪表。

本书着重讨论核反应堆检测仪表及系统。

第 2 章 测量的基本概念

2.1 测量仪表的组成

所谓测量,就是用实验的方法和专门的设备,把要定量的参数(称为被测量)与定义其数值为 1 的同类量(称为测量单位)进行比较,求取二者比值,从而得到被测量的量值(比值乘单位)。设被测量为 x ,其单位为 U_x ,二者的比值为 a ,即 $x/U_x \approx a$ 。所以,被测参数的量值为

$$x \approx aU_x \quad (2-1)$$

式中不用等号是考虑到测量结果 aU_x 有误差,只能近似等于被测量 x 。通常称式(2-1)为测量的基本方程式。

无论简单测量仪表还是复杂测量仪表,就其部件在处理被测量的功能而言,可看成由传感器、变换器和显示装置三个环节组成,它们之间用信号线路或信号管路联系起来。各环节可以分成许多部件,也可以组合在一个整体中。对一些简单仪器,上述环节的界线可能不易明确划分。

2.1.1 传感器

传感器的作用是感受被测量的大小后输出一个相应的信号。它是仪表与被测对象直接发生联系的部分。因为传感器从对象提取被测量的信息,向以后各环节提供原始信号,所以它能否准确地快速给出信号,很大程度上决定了整个仪表的测量质量。对传感器的要求如下:

1. 按被测量的大小,传感器相应发生一个可观测的参数变化作为输出,且此输出与输入之间有稳定的单值函数关系。
2. 非被测量对传感器作用时,对输出的影响应小得可以忽略。所以在寻求传感器所依据的物理现象时,总是希望此现象对被测量的反应特别灵敏,对其它参数的作用反应很小,以致可以忽略。若不能忽略,则应能对影响采取补偿、修正等措施。
3. 在测量过程中,传感器应尽量少地消耗被测对象的能量,并且对于对象的状态没有干扰或干扰极小。非接触测量仪表的传感器能满足这一要求。

2.1.2 变换器

为了将传感器的输出进行远距离传送、放大、线性化或变成统一信号等,需要用变换器来对传感器的输出作必要的加工处理。如压力表中的杠杆齿轮机构就是将弹性元件的小变形转换成指针在标尺上的转动;节流式流量计中装置开方器以得到线性化输出;电动单元组合仪表的毫伏变送器可将热电势转换成 $0 \sim 10\text{mA}$ 的信号等,这些都是变换器的例子。变换器处理输入信号时,应该使信号损失最小,也就是使误差最小。有时变换器就是传感器,例如压力测量中的位移变换器,在测量距离和位移时就是传感器了。

2.1.3 显示装置

显示装置的作用是向观察者显示被测参数的数值和量值。显示可以是瞬时量指示,累积量指示,越限或极限指示(报警),也可以是相应的记录。有时甚至带调节功能去控制生产过程。显示装置(仪表)也称为二次仪表。

由于显示装置是人和仪表联系的主要环节,因此,它的结构应使使用者便于读出数据,并能防止读者的主观误差,数字显示一般就比模拟显示易于减小读数的主观误差。

显示装置有模拟式、数字式和屏幕式3种:

1. 模拟式显示:最常见的结构是指示器(指针)在标尺上移动,连续指示被测量。一般说这是按主观方式读数,读数的最低位总是由读数者估计。模拟显示设备结构简单,价格低廉,目前还是主要的显示形式。记录时则是以曲线形式给出数据。

2. 数字式显示:直接以数字给出被测量值,所以不会有视差。记录时亦可打印出数据。由于这种显示的明显优点,在测量中应用越来越多。但是这种显示的直观形象性较差。

3. 屏幕式显示:这是电视技术在测量显示上的应用,是目前最先进的显示方式。它既能按模拟式给出曲线,也能给出数字,或两者同时显示。屏幕式显示具有形象性和易于读数的优点,并能同时在屏幕上显示大量数据(一种参数或数种参数),有利于比较判断。

2.1.4 传输通道

仪表各环节的输入和输出信号之间的联系要经过传输通道,传输通道可以是导线、管道、光导管或无线电通讯等形式。信号传输通道比较简单,所以往往被人们忽视。实际上,不按规定要求布置和选择传输通道而造成信号失真、信号损失和引入干扰的例子是很多的,严重时根本无法进行测量,例如传输电量时,如果导线的阻抗不匹配,可能导致仪表灵敏度降低,电压或电流信号失真,甚至信号送不进仪表里去。

2.2 测量仪表的性能指标

为了比较和评价仪表优劣,提出一系列反映测量仪表性能的质量指标,如量程、基本误差、精度等级、灵敏度、回差、响应时间、分辨率、可靠性等。工业测量中,单位测量值的误差就是用仪表的精度等级来估计的。因此很有必要了解仪表的性能指标。

用户关心的测量仪表性能大体有如下几方面:

1. 计量方面的特性,如精度等级、分辨率、响应时间、复现性、灵敏度、可靠性等。它们直接影响测量结果的准确性和精密性;

2. 使用操作方便与否,自动化程度如何;

3. 抗干扰能力的强弱,即当使用条件不符合规定的条件时,由于这种偏离对仪表测量特性影响的大小;

4. 防护能力(可靠性和耐用性)的强弱。即机械特性,如对于振动、撞击、加速度和挤压等的承受能力;电气特性,如耐击穿电压、绝缘水平、抗电气干扰的能力、防辐射、防强磁场等;一般大气环境的防护,如灰尘、潮湿、腐蚀、霉菌和温度波动等;防爆性能,如使用在易燃、易爆场合能否保证安全;

5. 消耗能量情况,即仪表在使用中消耗能量的大小,特别是消耗被测对象的能量应予以重视,它直接影响到测量的精确性。

对于研制仪表的部门来说,对上述测量仪表的性能都应加以考虑,力求满足用户的要求。当然在不同使用情况下和不同环境下,对某些要求应严格,而对另一些要求可降低标准或不予考虑。总之,要根据确定的条件,对仪表产品逐项试验鉴定。还要对样机或抽样检查仪表进行长期考验和破坏性试验。但是,在用户方面,并不需要如此,只是在选用仪表时要对反映仪表各方面性能的质量指标进行试验考查,选用最能满足使用要求的仪表。在选用仪表时,反对不管场合需要,盲目追求高、精、尖仪表,应该是考虑到投资要少、维护工作量要少、操作简单、使用方便又能满足测量要求,这才是良好的选择。

用户在使用仪表的过程中,应该定期检定仪表的某些性能。一般是对计量方面的指标进行检查,看是否还符合规定的技术条件,同时也进行测量结果的校正和仪表的调整、检修和决定是否报废及更新等各项工作。

需要指出的是,仪表的性能质量指标并不能完全代表测量结果的质量,也就是说,一块高质量的仪表,如使用不当,会得出不精确的测量结果。

2.2.1 量程

测量仪表能测量的最大输入量和最小输入量之间的范围称为测量仪表的量程或称为测量范围。由指示型仪表刻度盘上的终值和起始值所限定的范围称为示值范围或刻度范围。量程和刻度范围相比多了个允许误差。

在选用仪表时首先要对被测量值有一大致的估计,务使被测量值在仪表量程之内(最好落在三分之二的量程附近),因为在测量过程中,一旦测量值超过仪表的量程,其后果可能使仪表遭受损坏,或使仪表的精度降低。

2.2.2 仪表的基本误差

测量仪表的误差有以下几种表示方法:

1. 示值绝对误差

仪表的指示值(或称示值) x 与被测量的实际值(通常由标准表或标准物质提供的约定真值) x_0 之间的代数差值称为示值的绝对误差 δ ,即

$$\delta = x - x_0 \quad (2-2)$$

2. 示值的相对误差

示值的绝对误差与被测量的实际值之比,称为示值的相对误差 γ ,常用百分数表示,即

$$\gamma = \frac{\delta}{x_0} \times 100\% = \frac{x - x_0}{x_0} \times 100\% \quad (2-3)$$

相对误差比绝对误差更能反映测量的精确性。

3. 示值的引用误差

示值的绝对误差与该仪表的量程上限(当量程下限为零时)或量程范围之比,以百分数表示,即

$$\gamma_m = \frac{\delta}{A_m} \times 100\% = \frac{x - x_0}{A_m} \times 100\% \quad (2-4)$$

以上所述三种表示方法对每个刻度来说都有不同的数值,不能反映整个仪表精确性方面的质量,综合三种表示方法得出基本误差的表示方法。

4. 仪表的基本误差

在规定的条件下(所有影响量在规定值及其允许的偏差范围内),将仪表的示值和标准表的示值相比较,当被测量平衡地增加和减少的过程中,在仪表全量程取得的诸示值的引用误差中的最大者,称为仪表的基本误差。即

$$R_m = \frac{|\delta|_{\max}}{A_m} \times 100\% = \frac{|x - x_0|_{\max}}{A_m} \times 100\% \quad (2-5)$$

测量仪表的基本误差是表示测量仪表性能的主要指标。

2.2.3 仪表的精度等级

根据仪表设计、制造的质量,出厂的仪表都保证基本误差不超过某一规定值,此规定值叫做允许误差。允许误差(相对值)去掉百分号后的数字便是精度等级。在仪表盘上均注有精度等级。一般工业仪表的精度等级应符合国家系列(0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、4等等)。仪表的精度等级加上百分号后就是仪表的允许误差,如0.5级表示,允许误差为0.5%。一个合格仪表,其基本误差应小于或等于允许误差。用户不能按自己检定的基本误差随意给仪表升级使用,但在某种情况下可降级使用。

2.3.4 仪表的变差、附加误差和修正值

1. 仪表的变差

在环境条件符合规定时,令被测量逐渐增加和逐渐减少(或者从不同方向使示值逐渐趋于同一刻度),对仪表的同一示值,上述两次被测量实际值之差,称为示值变差(或称升降变差、来回变差、回差) Δv ,即

$$\Delta v = |x''_0 - x'_0| \quad (2-6)$$

式中 x'_0, x''_0 ——分别为被测量平稳增加或减少时测得的实际值。

仪表的变差小于允许误差则此表合格。

2. 附加误差

当仪表在同一示值时,在技术条件规定的正常条件下和非正常条件下,所对应的被测量实际之差称为附加误差。

3. 修正值

为了得到被测量的实际值 x_0 而应加到仪表示值 x 上的另一个数值 C ,称作修正值(或更正值、校正值),修正值与示值的绝对误差数值相等,符号相反,即

$$C = -\delta = x_0 - x \quad (2-7)$$

试验用标准仪表常附带有修正曲线 $C = f(x)$,或示值修正表。

2.2.5 仪表的灵敏度和分辨力

灵敏度是衡量仪表性能质量的重要指标之一。通常定义为输入变化引起的输出变化 Δl 对输入变化 Δx 之比值,以 S 表示。则

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta x} \quad (2-8)$$

式中 Δl 可以是指针的直线位移量或转角大小,或者是数码显示中的数字变化,或者是屏幕显示中的数字变化。

仪表的灵敏度高则示值的位数可以增加,但应注意灵敏度与其允许误差要相适应,过多的位数是提高不了测量精确度的。

仪表的分辨力也是仪表的重要指标之一,它表明仪表响应输入量微小的能力,也称为鉴别力。分辨力不足将引起分辨误差,即在被测量变化到某一定值时,示值仍不变,这个误差也常称为不灵敏区(死区)。

为了定量说明分辨力,常用分辨率(或鉴别阈)的概念:引起仪表示值可见变化的被测量的最小变化。这样定义使确定分辨率的数量比较困难,因为发现仪表指示器的略微变化与操作者有关。

2.2.6 测量仪表的动态特性

动态特性是指仪表示值跟随被测量随时间变化的能力,一般用被测量初始值为零作单位阶跃变化时,仪表示值随时间变化所显示的时间特性来评价。1. 上升时间:示值从稳态值的5% 变到95% 所需的时间;2. 响应时间:示值从开始变化到进入稳态值加减基本允许误差范围内所需时间;3. 过冲量:示值最大振幅与稳态值之差对稳态值的百分数。

2.2.7 测量仪表的可靠性

测量仪表的可靠性是指在规定工作条件和工作时间内,测量仪表保持原有产品技术性能的能力。随着科学技术的发展对测量仪表的可靠性要求愈来愈高。

测量仪表结构和工作环境的变化在一定程度上影响它的可靠性。近年来研究出确定结构和个别零件寿命的实验方法。用这种方法获得的数据可以求出测量仪表的概率的寿命,这种寿命称为达到第一次损坏时工作等待时间。

周围介质温度、湿度增加,或处于振动和加速状态时,零件的寿命降低。半导体器件和无线电零件在核辐射下,寿命大大减少。受能量足够强的中子辐射后的锗、硅晶体管全部损坏,即使在轻微辐射下它们的寿命也降低很多。同样,辐射使常用云母、陶瓷、塑料、电木和其他绝缘材料的零件寿命减少。并且这些材料寿命降低与辐射源强度和辐射源距离有关。

对于仪表零件的寿命通常理解为保持产品原有特性允许的极限工作小时数。质量欠优的零件,在开始工作的最初100小时内大部分将损坏。

通常损坏零件百分数是在1000小时实验下确定的,设该值为 λ_a ,用 n_a 表示每种类型的零件数, m 为以千小时计的仪表的概率的寿命, λ_K 为在1000小时工作中损坏仪表的百分数,它可用下式算出:

$$\lambda_K = \frac{1}{m} \% = \sum \lambda_a n_a \quad (2-9)$$

各种基本元件或零件的 λ_a 可以在实验室条件下取得。对于工作在恶劣条件下的仪表, λ_a 值可增加10倍,若电子测量仪表工作在恒温,并没有振动的情况下,给出的 λ_a 值可减少10倍。

2.2.8 测量仪表的稳定性

稳定性是指测量仪表示值不随时间和使用条件变化的性能。时间稳定性以稳定度表示,它表示在一段时间内示值的随机变化的大小。使用条件变化的影响用影响误差表示,如环境温度的影响,是以温度每变化 1 度示值变化多少来表示。

2.2.9 复现性

测量仪表的复现性是指同一条件下对同一被测量多次重复测量其示值一致的程度,即

$$E_f = \frac{\Delta f_{\max}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% , \text{式中 } \Delta f_{\max} \text{ 是全程中重复测量差值最大者。}$$

2.3 测量单位

国家法定计量单位(简称法定单位)是政府以命令的形式明确规定要在全中国采用的计量单位制度。凡属法定单位,在一个国家的任何地区、部门、机构以及个人,都必须严格遵守,正确使用。我国的法定单位是 1984 年 4 月 27 日发布的,其具体应用形式就是《量和单位》国家标准 GB3100~3102,这是我国各行各业都必须执行的强制性、基础性标准。

我国法定单位是以国际单位制(SI)单位为基础,加上我国选定的一些 SI 的单位构成的。具体来说,有以下 5 个部分。

2.3.1 SI 基本单位

共有 7 个,如表 2-1 所示

表 2-1 SI 基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

说明:① 圆括号中的名称,是它前面的名称的同义词,下同。

② 无方括号的量的名称与单位名称均为全称。方括号中的字,在不致引起混淆、误解的情况下,可以省略。去掉方括号中的字即为其名称的简称。下同。

③ 人民生活和贸易中,质量习惯称为重量。

2.3.2 具有专门名称的 SI 导出单位

为了使用上的方便和习惯,给某些导出单位以专门名称。在 SI 中,具有专门名称的导出