

电力试验技术丛书

丛书主编 文伯瑜 姜龙华

电厂热工测量装置及 控制系统试验技术

主编 赵燕平 杨平

4546521.576232123223152

002455026



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力试验技术丛书

丛书主编 文伯瑜 姜龙华

电厂热工测量装置及 控制系统试验技术

主编 赵燕平 杨平



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是《电力试验技术丛书》中的一本。本书从各类热工测量装置的原理切入,结合大量的现场应用经验,以现有的热工测量基础知识、国家与行业颁布的有关规程及行业反事故技术措施为指导,分十章介绍了热工测量试验综述、温度测量仪表校验、压力流量测量仪表校验、转速的测量与校验、热工计量标准装置试验、锅炉汽包水位测量系统试验、锅炉炉膛火焰检测、锅炉氧量测量仪表校验、汽轮机安全监视系统试验、分散控制系统测量系统试验。

本书可作为热工技术人员的现场测量与试验工作技术指导及理论参考用书,也可作为高等院校热工测量仪表专业学生的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电厂热工测量装置及控制系统试验技术/赵燕平, 杨平主编. —北京: 中国电力出版社, 2008

(电力试验技术丛书/文伯瑜, 姜龙华主编)

ISBN 978-7-5083-6992-1

I. 电… II. ①赵… ②杨… III. ①火电厂-热工测量-测试装置-试验 ②火电厂-热工测量-控制系统-试验
IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 046848 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 9 月第一版 2008 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 448 千字

印数 0001—3000 册 定价 34.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

谨以此书献给

为我国电力事业发展而
战斗在电力试验一线同仁





作 者 简 介

赵燕平，1985年毕业于葛洲坝水电工程学院工企自动化专业。1985年7月进入山东电力科学研究院从事热工过程控制系统专业工作。1988~1992年从事热工计量标准器具量值传递工作，完成了省内16套热工计量标准装置考核认证及复核工作，并顺利通过部级考核认证。自1995年以来作为全省热工技术监督专责人开始从事热工技术监督管理工作，因研究成功了先进的输煤控制模式而获得1996年度山东电力工业局科技进步三等奖。曾组织制定了4本技术管理规定及办法。先后出版了《火电厂分散控制系统检修运行维护手册》、《火电厂热工技术监督工作手册》及《热工联锁保护系统配置优化技术》等多本技术专业著作。《分散控制系统运行维护规则的研究》及《热工控制系统及设备维护消缺技术研究》项目分别获得山东电力集团公司2003年度、2005年度科技进步三等奖。《火电厂热工技术监督工作手册》获得山东电力集团公司2006年度科技进步二等奖。

电力试验技术丛书

编委会

主 任 赵 鹏

主 编 文伯瑜 姜龙华

委 员 (按姓氏笔画为序)

王 立	牛继荣	石树平	平德明	卢昌华	白云庆
白立江	冯亚民	巩学海	吕 政	刘韶林	江学荣
杜晓峰	杨伟光	杨 杰	杨德起	李兴旺	李 昱
吴文宣	吴 毅	余维平	邹本国	张 伟	苑立国
卓伟光	周 宏	郑 松	赵 伟	施 冲	黄迪威
傅 伟	傅 军	蒯狄正	蔡玉平	蔡庆宏	潘 然

《电厂热工测量装置及控制系统试验技术》

主 编 赵燕平 杨 平

副主编 王文宽 姜爱中 孟祥荣

参 编 徐 毅 王云峰 高 正 张永密

王呈洪 朱礼祝 郭忠波 闫国庆

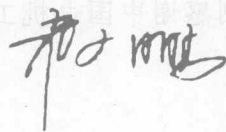
序

电力试验研究是经济建设尤其是电力工业发展中一项不可或缺的事业。中外电力事业的发展，均离不开电力试验研究人员的智慧和辛勤工作。新中国成立后，尤其是改革开放以来，随着电力工业的发展，我国电力试验研究事业取得了长足的进步，电力试验研究队伍不断扩大，试验研究成果层出不穷，极大地推动了电力工业的快速发展。

目前我国各地区均拥有自己的电力试验研究机构，从事电力试验研究的工程技术人员超过10000人。这支队伍的文化层次也从解放初期的以中专、大专毕业生为主，提高到今天的以大学毕业生、硕士生和博士生为主。更重要的是，这是一群热爱自己的事业、勤于钻研、勇于实践的勤奋劳动者。前后几辈人相互学习，长期工作实践，积累了大量试验研究工作经验。这是他们用汗水、心血以至生命换来的、值得用文字记录并传之于后世的宝贵经验。

随着电力体制改革的不断深化，使电力试验研究事业进入了竞争激烈同时又是历史上最好的发展时期。电力试验研究同行们愿意把自己的经验无私地奉献给广大读者，就是为了促进我国电力试验研究事业的进步与飞跃，促进我国电力工业的发展与兴旺，进而促进我国国民经济的增长与繁荣。

本着各取所长、共同提高的初衷，我们经过长时间的准备，编辑出版《电力试验技术丛书》，相信它一定会给读者带来启发、思考和收益。



2003年12月

前言

我国目前装机总容量为 7 亿 kW。随着三峡电站机组的分批投入运行和西电东送工程的推进,到 2010 年全国性的大电网将初步形成。全国性电力系统运行的动态品质、安全稳定和经济性的改善与提高成为电力科技工作者肩负的重要责任。

为了总结多年来我国电力试验的经验,促进我国电力试验水平的提高,中国电力企业联合会电力试验研究分会和中国电力出版社决定组织编写一套《电力试验技术丛书》,以满足国内各电力试验研究院(所)、电厂、供用电企业、电力基建单位及大专院校、科研院所对专业技术书籍的迫切需要。

本系列丛书的内容主要是根据原国家电力公司电安生[1996]430 号文《关于电力工业技术监督工作规定》的要求而确定的。该文中规定,“电力技术监督工作应以质量为中心、以标准为依据、以计量为手段,建立质量、标准、计量三位一体的技术监督体系,依靠科学进步,采用和推广成熟、行之有效的新技术、新方法,不断提高技术监督的专业水平”。因此,本套丛书涵盖的内容应包括电能质量、金属、化学、绝缘、热工、电测、环保、继电保护、节能等,并对设备的健康水平及其安全、经济运行方面的重要参数、性能与指标进行监督、审查、调整和评价。本丛书共分 15 册。

丛书具有科学性、实用性、先进性、权威性。作者在写作过程中树立了精品意识和创优信念。

特别感谢中国电力企业联合会电力试验研究分会,全国三十二个试验研究院(所、技术中心)的领导,我们的分册主编主要由这些单位的技术专家担任。

特别感谢中国电机工程学会在组织编写中给予的大力支持。

丛书主编

文伯瑜
姜永年

2008 年 3 月 1 日

编者的话

近几年来,随着发电企业大容量、高参数发电机组的不断投运,热工自动化控制水平也日新月异。用于生产现场热工控制和测量的测点或一次测量元件明显增多,现场热工测量仪表及装置的准确性在发电生产过程中发挥的作用越来越突显。然而,要保证这些一次测量仪表或装置的准确可靠运行,必须有相应的计量器具及标准装置,并依据相应的检定规程对现场热工仪表装置进行定期的校验或检定。并且,随着科学技术的飞速发展,热工监视测量仪表和现场测量元件也发生了巨大变化。以往的单元显示仪表逐渐减少或淘汰,现场的测量仪表正向着安装使用方便、精度高、智能化程度强等方向发展,特别是分散控制系统(DCS)的出现,结束了以往热工控制系统各自独立的状态,而且设计观念也在更新,不分专门的 DAS、保护、自动测点,现场将三种功能溶为一体的一次元件(测点)现象越来越普遍;现场使用的热控测量仪表和装置要求及用途各异、措施也迥然不同,因此相应的现场测量仪表的使用、检定、试验、校准方法也随之有所更改,如何确保热工测量仪表和装置的安全可靠,一直是摆在每位使用者面前的一项攻关课题。因而,非常有必要对现场热工测量仪表、测量系统的试验技术与经验进行总结,编制一套实用可行的热工测量仪表和装置的试验技术和方法,可使热工人员在现场使用与试验热工测量装置及系统时有章可循,少走弯路,减少维护试验时间,提高经济效益。

为了满足国内科研院所和电力相关部门对电力试验技术的迫切要求,中国电力企业联合会电力试验分会组织编写了《电力试验技术丛书》,本书随之应运而生。

本书稿共分十章,历经数次修改、完善并最终定稿。第一、二、三章主要由赵燕平编写;第四、九章主要由王文宽编写;第五章主要由娄爱中编写;第六章主要由孟祥荣编写;第七、八、十章主要由杨平编写。

在本书的编写过程中，得到了丛书主编文伯瑜教授高级工程师及中国电力出版社编辑的悉心指导及各单位有关领导的高度重视和大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于本书的编写人员均工作在发电生产一线，工作繁忙、时间紧张，加之热工测量仪表、装置、系统种类繁多，技术日新月异，涉及内容繁杂，编写人员对有些标准、规定的理解及实际应用经验有限，难免存在问题和不足之处，真诚地恳请百忙之中阅读本书的专家和读者给予批评和指正。

编 者

2008年7月16日

目 录

序

前言

编者的话

第一章 热工测量试验综述	1
第一节 测量、测量方法和测量误差	1
第二节 测量仪器及特性	5
第三节 热工测量仪表与系统	9
第四节 热工自动化	13
第五节 热工测量装置及系统试验	18
第二章 温度测量仪表校验	25
第一节 温度测量的基本概念	25
第二节 热电偶校验	28
第三节 热电阻校验	35
第四节 温度显示记录仪表与测温系统校验	39
第五节 温度开关校验	45
第六节 温度变送器校验	55
第三章 压力流量测量仪表校验	60
第一节 概述	60
第二节 弹簧式压力表校验	62
第三节 压力(差压)变送器校验	67
第四节 压力(差压)开关校验	73
第五节 压力显示记录仪表校验	80
第六节 智能变送器介绍	83
第四章 转速的测量与校验	93
第一节 转速的测量	93
第二节 转速信号的形成	96
第三节 转速仪表的校验	98
第四节 转速仪表的校验标准技术要求	100
第五节 转速与零转速的监测	104
第六节 本特利 3500 转速及零转速检测卡件说明	105

第五章 热工计量标准装置试验	107
第一节 计量标准装置不确定度验证试验	107
第二节 计量标准的稳定性考核试验	112
第三节 计量标准装置重复性试验方法	118
第四节 热电偶检定炉温度场性能试验	124
第五节 恒温槽技术性能测试	127
第六节 根据标准铂电阻温度计的电阻值计算相应温度值的方法	130
第七节 热电偶、热电阻自动测量系统扫描开关性能指标的测量方法	132
第六章 锅炉汽包水位测量系统试验	135
第一节 水位测量仪表的基本概念及校验方法	135
第二节 常见的锅炉汽包水位测量方法及误差分析	144
第三节 液位开关	152
第四节 GJT-2000 系列汽包水位电接点测量筒	159
第五节 GJT-2000 系列汽包水位测量筒应用实例	165
第六节 汽包水位保护及传动试验	168
第七章 锅炉炉膛火焰检测	174
第一节 概述	174
第二节 火焰检测工作原理	179
第三节 FORNEY 公司的火焰检测系统	184
第四节 FORNEY 一体化火焰检测器应用实例	190
第五节 Uvisor-MFD 多功能火焰检测系统	197
第六节 其他火焰检测器装置介绍	207
第八章 锅炉氧量测量仪表校验	212
第一节 氧化锆分析仪基本概念	212
第二节 氧化锆氧量分析仪检修与校准	214
第三节 ZO 系列氧化锆氧分析仪	217
第四节 氧化锆氧分析仪常见问题及对策	226
第九章 汽轮机安全监视系统试验	228
第一节 汽轮机安全监视系统综述	228
第二节 偏心	231
第三节 键相	233
第四节 电源及系统监视器	235
第五节 胀差	237
第六节 振动	244
第七节 轴向位移	247
第八节 汽轮机跳闸系统的试验	248
第十章 分散控制系统测量系统试验	255
第一节 分散控制系统简介	255

第二节	分散控制系统基本性能及功能试验	261
第三节	I/A'S 系统性能测试与模件校验	269
第四节	XDPS-400 系统性能测试与模件校验	271
第五节	WDPF 系统基本性能检查测试	277
第六节	LN2000 系统性能测试与卡件校验	283
第七节	分散控制系统测试记录表	293
第八节	两种分散控制系统性能测试装置简介	300
参考文献		305

第一章

热工测量试验综述

第一节 测量、测量方法和测量误差

一、测量的定义

测量是以确定量值为目的的一组操作,是对各种事物进行定量的技术工作,是现代生产过程必不可少的、非常重要的一个环节;是监视生产过程是否符合工艺规定要求、是否达到有关技术指标的自动化手段,同时也是实现工业生产过程自动控制的基础。

操作可以是自动进行的。测量有时也称作计量。量值一般指由一个数与计量单位之积所表示的特定量的大小。

将被测量和体现测量单位的标准量进行比较,比较的结果给出被测量是测量单位的若干倍或几分之几,这是最基本的测量。选用不同的测量单位对同一物理量进行测量时,所得量值是不变的,变的只是数值和单位。

测量单位是为定量表示同种量的大小而约定的定义和采用的特定量。测量单位具有约定地赋予的名称和符号,同量纲量(不一定是同种量)的单位可有相同的名称和符号。一般不同的被测量采用不同的测量单位。测量过程中,测量单位必须以物质形式体现出来,这就需要相应的标准量具和仪器。

二、测量方法

对不同的被测量和不同的测量要求,需要采用不同的测量方法。所谓测量方法,指的是进行测量所采用的方法和所使用的仪器、设备等,也就是指测量中所涉及的测量原理、测量方式、测量系统及测量环境等诸项测量环节的总和。为了满足火电厂热工参数测量的不同要求,测量方法也是多种多样的,可按不同的原则分类,通常有以下几种分类。

1. 按如何进行测量分类

按如何进行测量可分为直接测量法、间接测量法和组合测量法三种。

(1) 直接测量法。直接测量是无需测量与被测量有函数关系的其他量,而只需被测量物体直接与测量单位比较,即可直接得到结果(被测量值)的测量方法。如用玻璃管液位计测量锅炉水位。

(2) 间接测量法。间接测量是通过测量与被测量有函数关系的其他量, 经过计算间接地得到被测量的测量方法。如弹簧管式压力表, 通过压力的作用使弹性元件变形而产生位移, 间接测出压力。

(3) 组合测量法。组合测量是用直接或间接测量法测量一定数值的某一量值的不同组合, 求解这些结果和被测量组成的方程组来确定被测量的一种测量方法。如用智能补偿式流量计测量蒸汽流量, 先测出孔板两端的压差、管道内介质的压力和温度, 再进行运算后得出实际流量。

2. 按如何获得测量值分类

按如何获得测量值可分为直读法、平衡法和微差法。

(1) 直读法。直读法是被测结果直接从仪表的标尺上读出, 读法迅速、简便、直观。如用玻璃杆水银温度计测量温度。

(2) 平衡法。将被测的量同一个已知量进行比较, 当达到平衡时, 中间连接的指示仪表或检流计为零, 这个已知量就是被测量的数值。这种方法又称为补偿法或零读法。此方法读数快、精度高。如用电子电位差计显示被测参数。

(3) 微差法。微差法是将被测量和已知量相比较, 测出剩余偏差, 来达到测量的目的, 这种方法精度高。如热电偶检定时, 同分度号的标准热电偶与被检热电偶反向串接, 用直流电位差计测得热电偶的差值来表示被检热电偶的误差。

3. 根据测量的感受件是否直接与被测对象接触分类

根据测量的感受件是否直接与被测对象接触, 可分为接触测量法和非接触测量法。

(1) 接触测量法。接触测量法是指测量仪表的感受件与被测对象直接接触, 感受被测量的变化, 将被测参数的变化转换成一个相应的输出信号的测量方法。如用热电阻测量温度。

(2) 非接触测量法。非接触测量法是指感受件与通过表征被测参数的其他物理量的测量来反映被测参数的测量方法。如用电涡流式传感器测量振动。

从不同角度出发, 还可以将测量方法作其他分类, 如零位测量法、替代测量法、不完全替代法、内插测量法等。

三、测量误差

对某个量进行测量, 该量的客观真值 (客观上的实际值) 是测量的期望值, 测量所得数据与其差值即为测量误差。因此, 测量误差定义为测量结果减被测量的真值所得之差, 即: 测量误差 = 测量结果 - 真值。对于测量仪器: 示值误差 = 仪器示值 - 标准示值。

在进行测量的过程中, 总是存在着各种各样的主客观影响因素, 使得测量结果与被测量的客观真值 (理论值) 不相符合, 即存在测量误差。

从被测对象到使用者的过程是一个测量的过程, 在这个测量过程中必然伴随有误差。当真值待求时, 测得值与真值之差, 即误差的大小也是未知的。对此, 一方面要查找引起误差的原因, 设法消除或减小; 另一方面要以测得值为基础, 给出对真值的估计, 并对该估计值作出评价。分析测量的误差有助于我们合理设计并实现测量系统, 正确地实施测量过程, 科学地表述测量结果。

1. 测量误差的表示

通常测量误差可用示值的绝对误差、相对误差及折合误差来表示, 其中

示值的绝对误差: $\delta = L - A$

示值的相对误差: $\gamma = \frac{\delta}{A} \times 100\%$

折合误差: $\gamma_0 = \frac{\delta}{A_{\max} - A_{\min}} \times 100\%$

以上式中 δ ——绝对误差, 它与被测量的量纲一致且带正负号 (表示示值偏大或偏小);

L ——测量值;

A ——真值 (真实值), 真值虽客观存在, 但其数值难以得到, 故常用标准仪表测量值或理论值等约定真值代替;

$A_{\max}$ 、 $A_{\min}$ ——测量仪表的上限、下限刻度;

γ ——示值的相对误差, 它没有量纲但仍带正负号, 对于大小不同的测量值, 利用相对误差更便于比较测量的准确度或质量高低;

γ_0 ——折合误差, 一般用于比较测量仪表的优劣。

例如, 有一体温计 A, 其量程为 $0 \sim 50^\circ\text{C}$, 现测量一体温为 37°C 的人体, 其温度指示值为 38°C ; 另有一温度计 B, 其量程为 $0 \sim 1200^\circ\text{C}$, 炉膛出口烟气为 1050°C , 而其测量示值为 1040°C 。则

A 表: 示值绝对误差为 $\delta_A = 38^\circ\text{C} - 37^\circ\text{C} = +1^\circ\text{C}$

相对误差为 $\gamma_A = \frac{1}{37} \times 100\% = +2.7\%$

折合误差为 $\gamma_{0A} = \frac{1}{50-0} \times 100\% = +2.0\%$

B 表: 示值绝对误差为 $\delta_B = 1040^\circ\text{C} - 1050^\circ\text{C} = -10^\circ\text{C}$

相对误差为 $\gamma_B = \frac{-10}{1050} \times 100\% = -1\%$

折合误差为 $\gamma_{0B} = \frac{-10}{1200-0} \times 100\% = -0.9\%$

不难看出, 虽然用 B 表测烟气温度绝对误差大, 但其测量结果的质量却较高, 即测量的准确度较 A 表高。另由折合误差也很容易地比较、判断出, B 表优于 A 表, A 表可信度较差。

2. 测量误差的分类

测量误差是不可避免的, 因而研究测量误差的规律具有普遍的意义。研究这一规律的直接目的, 一是要在测量过程中尽可能地减小误差并能正确地处理误差, 以提高测量结果的准确性; 二是要对所给结果的可靠性作出评价, 即给出不确定度的估计。

按照测量误差的基本性质不同, 可将误差分为三大类, 即系统误差、随机误差和疏失误差。

(1) 系统误差。在相同条件下多次重复测量同一被测量时, 如果每次测量值的误差基本恒定不变 (绝对值和符号保持不变), 或按某种确定规律变化, 这种误差称作系统误差。

系统误差产生的原因主要有: 测量仪器或测量系统本身不够完善, 如仪表刻度不准等; 仪表使用不当, 如测量人员操作不当、读数不准等; 测量时外界环境条件变化, 如环境温度、湿度、磁场等。

由于系统误差往往具有一定规律性, 测量时应尽可能地设法消除或对测量结果加以修正, 以提高测量的准确程度。需说明的是, 假定测量系统或测量条件不变, 即使增加重复测量的次数也并不能减少系统误差。

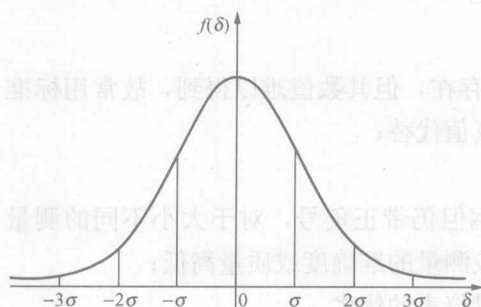


图 1-1 正态分布曲线

(2) 随机误差 (偶然误差)。随机误差是指在相同条件下多次测量同一被测量时产生的绝对值和符号不可预知的随机变化着的误差。

当重复测量某一被测量的次数足够多时, 随机误差一般遵循一定的统计规律, 呈正态分布 (分布曲线如图 1-1 所示)。

测量实践表明, 多次重复测量服从正态分布的随机误差具备以下特点:

1) 单峰性。绝对值小的随机误差出现的概率大于绝对值大的随机误差出现的概率。

2) 有界性。绝对值很大的随机误差出现的概率等于零。在实际测量中随机误差的绝对值一般不会大于一定的界限。

3) 对称性。绝对值相等、符号相反的随机误差出现的概率相等。则当测量次数足够多时, 随机误差的代数和趋于零, 即随机误差具有抵偿性。

基于随机误差上述特点, 测量结果可利用多次测量所得测量值求算术平均值等数学方法获得, 同时可求其标准偏差, 即均方根误差。

引起测量结果产生随机误差的原因是由于测量过程中微小且众多的影响因素综合作用的结果。通常这些因素是人们所不知或因其变化过分微小而无法加以严格控制。但由于其遵从正态分布规律, 故只要重复测量次数足够多, 就可通过数学处理得到可信的测量结果。

(3) 疏失误差 (粗大误差)。疏失误差是指由于操作人员的操作错误、粗心大意及仪表的误动作等原因而造成的误差。含粗大误差的测量值称为坏值, 应当舍掉。为避免测量结果出现疏失误差, 要求操作人员在测量过程中应有高度的责任感, 并掌握熟练的操作技术。

3. 测量误差的来源

测量通常分为直接测量和间接测量, 对于间接测量的误差应当包括直接测量的误差, 这是主要的误差来源。其次, 若公式为近似的, 还会产生数学模型误差, 运算时数字舍入还会造成舍入误差等等。测量过程中产生误差的原因主要归纳如下:

(1) 测量装置误差。测量装置误差主要包括: