

29257

火电工程调试技术手册

电气卷

2

河南省电力公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火电工程调试技术手册 电气卷 ②

河南省电力公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

《火电工程调试技术手册 电气卷》共分1、2两册。第1册包括继电保护及自动装置、高电压及启动调试三个分卷；第2册为电测量分卷。

继电保护及自动装置分卷对发电机变压器组保护、母线差动保护、发电机励磁系统及自动励磁调节装置、自动准同期装置、故障滤波器等原理、检验项目、检验方法以及信号系统、厂用电系统、二次回路等公用部分作了详细的介绍。高压分卷主要介绍一些电工基础理论常识，如电介质物理基本知识、电气绝缘性能；电器设备通用试验项目的常规实验方法、实验仪器设备的性能及使用方法；各种具体电气设备的试验项目、实验方法、安全措施、注意事项、标准判据等。启动调试分卷讲述机组启动试运各阶段电气调试方案的编制、试验项目、试验前应具备的条件、注意事项、试验步骤和方法等。电测量分卷讲述误差理论等基础知识以及各种电测量指示仪表、数字仪表、检定装置、电能表、计量装置、变送器等工作原理及检定方法；此外还有电流、电压互感器的现场检验；常用仪器和测量设备简介等。

本书可以为电力工程调试人员在继电保护及自动装置、高电压、启动调试以及电测量测试等方面提供相关的知识，也可以作为从事电力工作的技术人员学习参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

火电工程调试技术手册. 电气卷. 2/河南省电力公司编. —北京: 中国电力出版社, 2003

ISBN 7-5083-1197-3

I. 火... II. 河... III. ①火力发电-发电机-机组-调试-技术手册 ②火力发电-电气设备-调试-技术手册 IV. TM31-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 049007 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

*

2004年1月第一版 2004年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 26印张 632千字

印数0001—3000册 两册定价130.00元

版权专有 翻印必究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

《火电工程调试技术手册》编委会

主任：吴华斌

副主任：尚全忠 方志民 刘毓珣

委员：(按姓氏笔画排列)

马淮军 石光 白明九 刘韶林 刘遵义

刘静宇 张强 李丙军 李庆渝 李春茂

李春林 陈守聚 时进荣 邱武斌 易绪涛

郭子仁 袁立平 崔文涛 阎留保

责任编辑：尚全忠 李庆渝 白明九

《火电工程调试技术手册》 (电气卷 1、2)编写人员

石光 阎永生 陈强 范龙 赵军 郭一夫

程宏伟 杜习周 韩伟 厉志波 陈振宇 赵勇

陈守聚 潘勇 郭子仁 於舜华 华盘勇 尤儒臣

张科 王志萍 韩金华 刘祖军 张强 丁恒春

李耿和 张可恩 赵铎 李光伟 王纪增 刘忠

张家梁

电力工程调整试运行工作是电力基本建设不可替代的重要环节。调试工作既是一个相对独立的阶段，同时又贯穿于整个工程建设全过程。通过对整套设备的调整试运行，可使各系统单个设备形成具有活力和生产力的有机整体。

在长期的电力建设中，广大电力工程调试工作者善于学习、勇于探索、勤于实践、开拓创新，积累了丰富的调试经验，为电力建设整体水平的不断提高奠定了坚实的基础。随着现代化、大容量、高参数火电机组迅猛的发展，新设备、新技术、新工艺、新材料广泛运用，对电力工程调整试运行工作提出了更高、更新的要求。

“工欲善其事，必先利其器。”为适应调试技术不断发展的需要，提高电力调试队伍的整体素质和调试技术水平，我们组织了电力工程调试战线上的一批专家和工程技术人员，立足电力工程基本建设的实际，重视经验的总结和积累，努力跟踪国内外电力工程调试前沿新技术，从大量纷繁零散的资料中综合提炼，融会贯通，历时两年，几易其稿，终于完成了这套火电工程调试技术手册的编辑出版工作。

该《手册》详细阐释了火电工程中汽轮机、锅炉、金属、热工、化学、电气等各系统基础知识、基本原理、技术参数、经济指标以及调试的标准、方法、步骤等等。其内容既是电力工程调试工作经验的升华，又充分反映了当今国际国内调试技术的最新成果，具有较强的科学性、实用性，对指导电力建设工程调试工作、提高工程调试人员的综合素质都大有裨益。

本套技术手册能在 21 世纪的开元之际如期付梓，要感谢各位作者以科学、严谨的治学态度，满腔热情投入资料的整理和编写中，为确保手册的高质量完成，付出了辛勤的汗水。要感谢各位专家，他们的学术造诣和敬业精神令人钦佩，使本套手册既有较强的实用性，又具有较高的学术价值。同时还要感谢出版社各位编辑的辛勤劳动。在此谨向他们致以诚挚的谢意和崇高的敬意。

火电工程调试是一个复杂的系统工程。电力调试工作的技术含量之高、配

合分工之严，使我们在编辑过程中感到压力和责任。尽管经过专家和编者的认真审查和核校，百密一疏，错误和纰漏在所难免，敬请各位同仁和广大调试工作者斧正，以期在今后的修订中不断完善。

吴华斌

2002年1月3日于郑州

编写说明

电测量分卷共分八篇三十七章，主要介绍了误差理论的一些基础知识，讲述了电力系统常用的电测量指示仪表、电测量变送器、直流电工仪器、数字仪表、电能表、互感器的原理、检验及误差调整方法。其中第一篇、第七篇和附录部分由李耿和同志编写；第二篇第二章至第八章由张强同志编写；第二篇第九章至第十三章及第八篇三十五章和第三十七章由赵铎同志编写；第三篇由李光伟同志编写；第四篇由王纪增同志编写；第五篇第二十一、二十三章及第八篇三十四章由张可恩同志编写；第五篇第十九、二十、二十二章由刘忠同志编写；第六篇及第八篇三十一、三十二、三十三、三十六章由张家梁、丁恒春同志编写。全书由李耿和同志担任主审。

前言
编写说明

第一篇

基础 知 识

第一章 测量误差的理论基础	3
第一节 测量误差的来源和误差分类	3
第二节 误差的表示方法	5
第三节 总体标准差的估计	7
第四节 测量不确定度	9
第五节 测量数据处理	12

第二篇

电测量模拟指示仪表

第二章 电测量模拟指示仪表概论	19
第一节 电测量模拟指示仪表的基本工作原理	19
第二节 仪表和附件的基本误差	20
第三节 仪表分类	23
第四节 仪表和附件的标志符号	24
第三章 磁电系仪表	28
第一节 磁电系仪表的工作原理	28
第二节 磁电系仪表的使用和误差调整	28
第三节 常用磁电系仪表的技术数据	33
第四章 电磁系仪表	38
第一节 电磁系仪表的工作原理	38
第二节 电磁系仪表的使用和误差调整	39
第三节 常用电磁系仪表的技术数据	46
第五章 电动系仪表	54
第一节 电动系仪表的工作原理	54
第二节 电动系仪表的使用和误差调整	55
第三节 常用电动系仪表的技术数据	59
第六章 整流系仪表和变换器式仪表	65
第一节 整流系电流表和电压表	65
第二节 变换器式仪表	69
第七章 三相有功功率的测量和三相有功功率表	75
第一节 三相有功功率的测量方法	75
第二节 三相功率表误差的调整	83

第八章	三相无功功率的测量和三相无功功率表	93
第一节	三相无功功率的测量方法	93
第二节	铁磁电动系三相无功功率表	97
第九章	绝缘电阻表和接地电阻表	100
第一节	绝缘电阻表的工作原理	100
第二节	绝缘电阻表的检定与修理	101
第三节	接地电阻表工作原理和检定	108
第四节	水内冷电机绝缘测试仪原理及维护	111
第十章	频率表和相位表	114
第一节	频率表	114
第二节	相位表	117
第十一章	同步指示器	120
第一节	概述	120
第二节	电磁系同步指示器	120
第三节	同步指示器的检验	122
第十二章	万用表	124
第一节	万用表的结构原理	124
第二节	万用表的检定	127
第三节	万用表的使用和故障判断	127
第十三章	电测量模拟指示仪表的检定和检定装置	130
第一节	指示仪表的一般技术要求	130
第二节	指示仪表检定的条件	132
第三节	指示仪表检定的项目和方法	133
第四节	检定结果的处理和检定周期	138
第五节	常用检定装置简介	139

第三篇

电测量变送器

第十四章	电测量变送器国际国内标准综述	145
第一节	国际标准	145
第二节	国家标准	147
第十五章	电测量变送器的工作原理	149
第一节	交流电流、电压变送器	149
第二节	功率变送器	152
第三节	频率变送器	156
第四节	相位角变送器	157
第十六章	电测量变送器的检定	158
第一节	名词术语和定义	158
第二节	技术要求	159
第三节	检定条件	160
第四节	检定项目和检定方法	163

第四篇

数 字 仪 表

第十七章 数字仪表的基本原理、分类及检定	177
第一节 数字仪表的基本原理	177
第二节 数字仪表和校准器的分类及典型产品	181
第三节 数字仪表的检定	184
第十八章 常用数字仪表简介	195
第一节 常用智能数字多用表	195
第二节 专用数字仪表	198

第五篇

电 能 表

第十九章 感应系电能表的工作原理及特点	203
第一节 感应系电能表的工作原理	203
第二节 感应系电能表的力矩	209
第三节 感应系电能表的负载特性及误差	213
第四节 如何减小外界因素对感应系电能表特性的影响	217
第二十章 电能测量方法	222
第一节 有功电能的测量	223
第二节 无功电能的测量	230
第二十一章 感应系电能表的调整	240
第一节 调整装置及其工作原理	240
第二节 感应系电能表的调整注意事项	248
第三节 感应系电能表的调整顺序和方法	251
第二十二章 复费率电能表和全电子式电能表	257
第一节 复费率电能表的基本工作原理	257
第二节 复费率电能表的误差	263
第三节 全电子式电能表的基本工作原理	267
第四节 常用几种全电子式电能表简介	270
第二十三章 电能表的检定及检定装置	271
第一节 电能表检定的技术要求	271
第二节 电能表检定的条件	274
第三节 电能表的检定项目和检定方法	276
第四节 电能表检定装置	285

第六篇

互 感 器

第二十四章 概况	295
第二十五章 电磁式电压互感器	296

第一节 等效电路和相量图	296
第二节 误差及计算	297
第三节 误差特性	299
第二十六章 电磁式电流互感器	302
第一节 等效电路和相量图	302
第二节 误差及计算	303
第三节 误差特性	305
第二十七章 电容式电压互感器	307
第一节 简介	307
第二节 工作原理	307
第三节 简化等效线路及相量图	308
第二十八章 互感器的检定	309
第一节 有关技术和规定	309
第二节 电流互感器的检定	312
第三节 电磁式电压互感器的检定	313
第四节 电容式电压互感器的检定	315

第七篇

电测量仪表和电能计量装置的配置

第二十九章 常用电测量仪表	319
第一节 一般规定	319
第二节 电流测量	319
第三节 电压测量及绝缘监测	320
第四节 功率测量	321
第五节 频率测量	322
第六节 同步并列装置	322
第三十章 电能计量	323
第一节 一般规定	323
第二节 电能表的装设	324
第三节 二次回路	324

第八篇

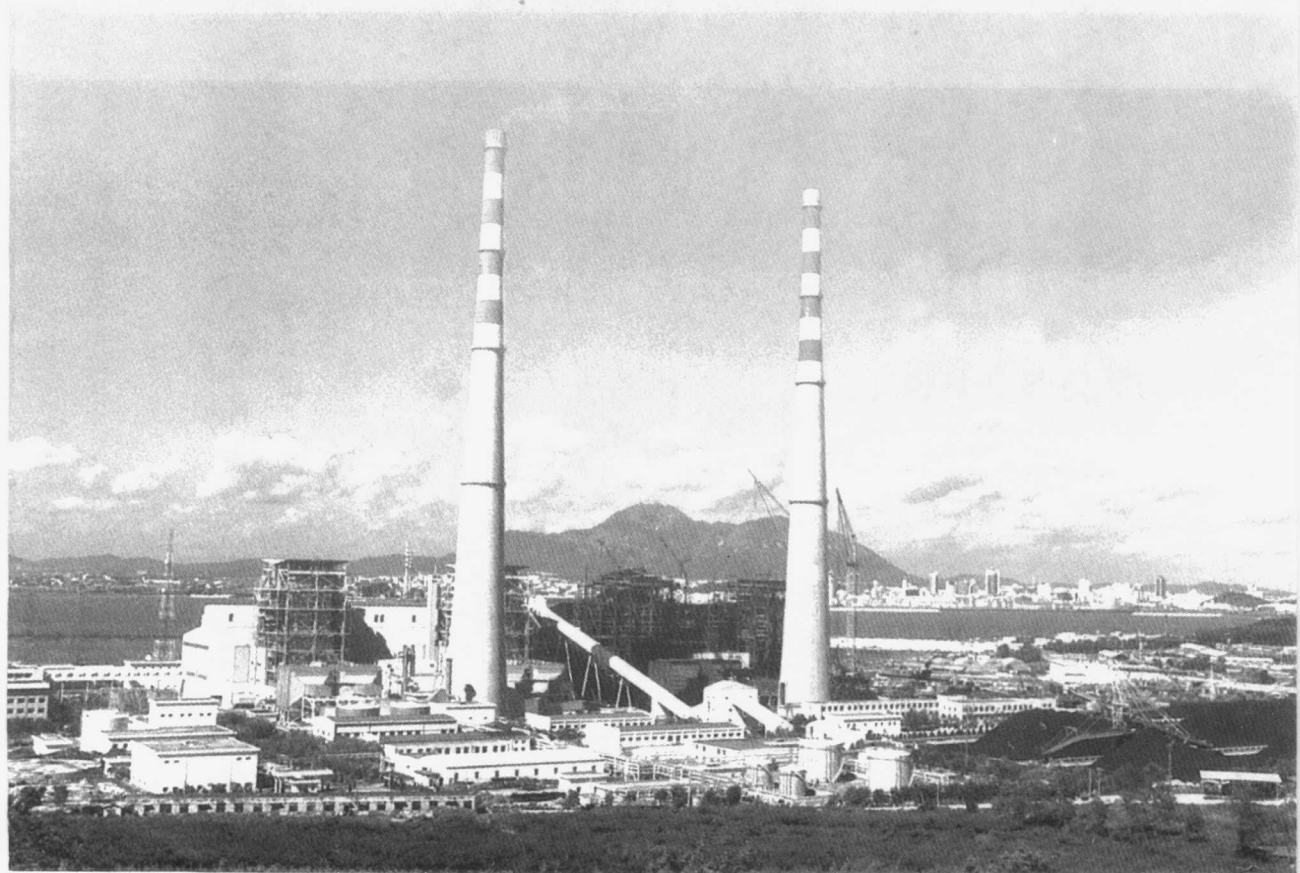
现场检验

第三十一章 电流互感器的现场检验	329
第一节 概述	329
第二节 单相检验法	329
第三节 三相检验法	331
第四节 发电机出口电流互感器的现场检验	332
第三十二章 电压互感器的现场检验	334
第一节 概述	334
第二节 单相检验推算法	334

第三十三章 电压互感器二次回路压降测试	340
第三十四章 电能表的现场检验	342
第一节 电能计量装置的分类方法	342
第二节 各类电能计量装置的配置	342
第三节 检验周期	343
第四节 电能表的现场检验	343
第三十五章 指示仪表的现场检验	353
第一节 指示仪表现场安装前的检定工作	353
第二节 现场指示仪表的检定方法及要求	354
第三十六章 电能计量装置的综合误差	355
第一节 概述	355
第二节 综合误差计算	355
第三十七章 常用仪器及测试设备简介	358
第一节 便携式单电桥	358
第二节 便携式双电桥	358
附录 A: 电测与仪表有关标准目录	360
附录 B: 常用材料规格	370
参考文献	402

第一篇

基础知识





第一章 测量误差的理论基础

第一节 测量误差的来源和误差分类

在述及测量误差的来源之前，首先应明确几个有关测量误差的概念：

(1) 测量误差。测量结果与被测量真值之差。

(2) 测量结果。由测量所得到的被测量值。

(3) 测得值。由计量器具直接得出或经过必要的计算而得出的量值。

(4) 实际值。满足规定准确度要求的用来代替真值使用的量值。

(5) 测量重复性。在相同测量条件下，对同一被测量进行连续多次测量时，其测量结果之间的一致性。

(6) 测量复现性。在不同测量条件下，对同一被测量进行测量时，其测量结果的一致性。

测量的目的在于企图求得被测量的真值，真值虽然是客观存在的，然而却又是测不出来的。原因就在于一切测量结果都含有误差，因此，一切测量结果都是近似值，只是近似程度不同而已。

1 测量误差的来源

产生测量误差的主要来源有：

1.1 计量器具误差

即计量器具本身固有的误差。一般来说，任何计量器具包括仪器、仪表、各种量具以及组成测量系统的辅助设备（如电源、指零仪等）都会给测量带来误差。这种误差不仅不可避免，往往还是测量误差的主要来源。

1.2 环境误差

任何计量器具的赋值或检定都是在标准工作条件下进行的，但由于实际工作条件往往与标准工作条件不一致，这就必然引起误差。当周围环境的温度、湿度、振动、风速、尘埃、外界电磁场、电源电压、频率及波形等条件与检定该计量器具的环境条件不同时，使用该量具就可能产生附加误差。

1.3 方法误差

由于所依据的测量原理不严密或对测量方法研究的不够，或对所观察的现象的知识了解不多，因而使得所采用的测量方法或操作方法不完善而引起的误差称为方法误差。例如用单电桥去测量小电阻就会引起较大误差；又如用跨相 90° 法测量三相无功功率时，当电压电路不对称时也会引起较大的附加误差；用应带有专用线的毫伏表而不用专用线去测量毫伏电压时同样会引入不应有的误差。

1.4 人员误差

主要是由测量人员的因素引入的误差，例如，测量人员的技术水平低，操作不熟练，或由人的心理因素或其他原因，在读取测量数据时产生或大或小的偏差。另外测试人员过度疲劳或责任心不强等因素，也往往会使获取的数据存在差错，引入较大的甚至异常的测量误差。

1.5 被测量值变化引起的误差

在标准工作条件下，在测量过程中，由于被测量值随时间的变化会引起测量误差。被测量影响量的变化也会引起测量误差。

2 误差的分类

我们把误差分为两大类，即测量误差和计量器具误差，然后再把它们细化。

2.1 测量误差的种类

测量误差是指测量结果与被测量真值之差，按其误差出现的特点，可分为系统误差、随机误差和粗大误差三类。

2.1.1 系统误差。在同一被测量的多次测量过程中，保持恒定或以可预知方式变化的测量误差分量，称为系统误差。按其变化的规律可分为固定值系统误差和随条件变化的系统误差两类。

(1) 固定值系统误差，其值（包括正负号）是固定的，如指示仪表某刻度线的误差，直流电桥某读数盘某值的误差等都属此类误差。

(2) 随条件变化的系统误差，这类误差是以确定的并通常是已知的规律随某些测量条件而变化的系统误差，如标准电池随温度变化而引起的温度附加误差。

系统误差及产生系统误差的原因可能已知也可能未知，于是若按对误差掌握的程度分类，系统误差又可分为已定系统误差和未定系统误差。

2.1.2 随机误差。在同一个被测量的多次测量过程中，以不可预知方式变化的测量误差分量，称为随机误差。由于随机误差出现的随机性，有时大、有时小、有时正、有时负，但合成结果通常是零。所以，不能用单次测量值或误差的算术平均值来表征它，而应该用标准差或极限误差来表征。

随机误差过去又常称之为偶然误差。其实，偶然误差是随机误差的一种特例，因为偶然误差是总体平均值（期望）为零的随机误差。

随机误差与系统误差的来源基本相同，且往往同时出现。在实际测量工作中，为了使误差处理简单化，我们可以采用合理改变测量条件的办法，使未定系统误差随机化，然后取其平均值作为测量结果。

2.1.3 粗大误差。亦称疏失误差，是指明显超出规定条件下预期值的误差。它主要是由测试人员的过失造成的，是统计的异常值，在数据处理中应按一定规则将它处理。

2.2 计量器具误差的种类

计量器具的误差可按下述方法分类：

2.2.1 按误差产生的条件分类。

(1) 基本误差。计量器具在标准条件下所具有的读数。

(2) 附加误差。计量器具在非标准条件下所增加的误差。它是由于影响量的存在和变化

引起的附加误差。

2.2.2 按误差变化特性分类。

- (1) 系统误差。
- (2) 随机误差。

第二节 误差的表示方法

1 测量误差的表示方法

表示测量误差的两种基本形式是绝对误差和相对误差。

1.1 绝对误差

绝对误差简称为误差，它等于测量结果减去被测量的真值。如果测量结果用 X 表示，被测量的真值用 X_0 表示，用 ΔX 表示绝对误差，则有

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1-1-1)$$

式中的测量结果可以是一次测得值（示值），也可以是多次测量的算术平均值。

真值是客观存在的，但多数情况下又是未知的。只有在某些特定情况下，例如圆周角为“360°”和四边形的内角和也为“360°”是可知的理论值。所以，在实际工作中应根据需要选择约定真值来代替真值。所谓约定真值是指“为了给定目的可代替真值的量值”。例如，在实际检定工作中，可以把标准器的示值作为（约定）真值；在测量工作中，可以把几点同类型代表中准确度最高那只表的读数作为（约定）真值；在多次测量中，可以把修正后的算术平均值作为（约定）真值等。

测量工作中常常会用到修正值（或更正值），目的是为了减少或消除系统误差，用代数法把修正值（或更正值）加到未修正的测量结果上，从而得到较为准确的测量结果。

修正值用 C 来表示

$$C = -\Delta X = X_0 - X \quad (1-1-2)$$

修正值和绝对误差大小相等，符号相反，实际上等于反了符号的已定系统误差。

1.2 相对误差

当用不同的计量器具或方法对同一被测对象进行测量时，可以用绝对误差来评价计量器具或测量方法的优劣。对绝对误差小的测量结果，可以说所采用的计量器具性能好或选用的测量方法先进。但在用不同的计量器具或测量方法对不同的对象进行测量时，再用绝对误差来评价计量器具或测量方法的优劣则将无法得出正确的结论。在此情况下若改用相对误差进行评价，则可使结论正确无误。

相对误差是测得值 X 的绝对误差与被测量（约定）真值 X_0 之比。设被测量的相对误差为 γ ，则

$$\gamma = \frac{\Delta X}{X_0} = \frac{X - X_0}{X_0} \times 100\% \quad (1-1-3)$$

相对误差是无量纲的量，有正负之分。在实际工作中，特别是在检定工作中，常用测得值 X 代替式 (1-1-3) 中的分母 X_0 ，即