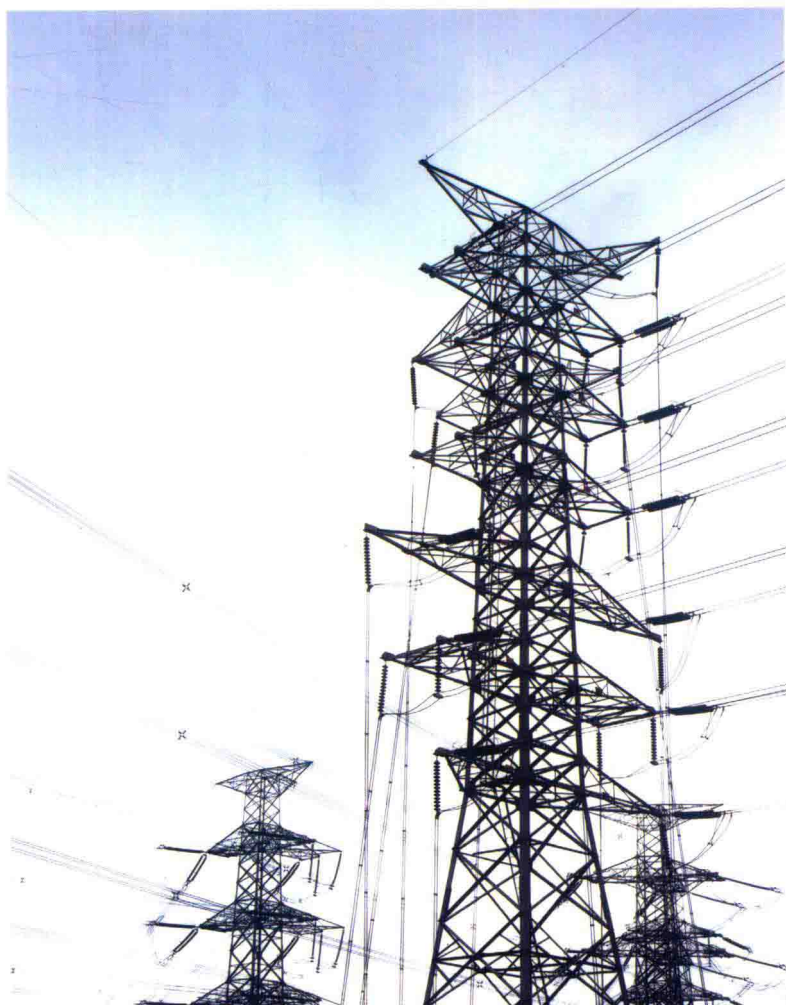


方电网
RN POWER GRID

◆贵州电网有限责任公司科技创新系列丛书◆

电能计量装置 检测新技术

贵州电网有限责任公司 组编



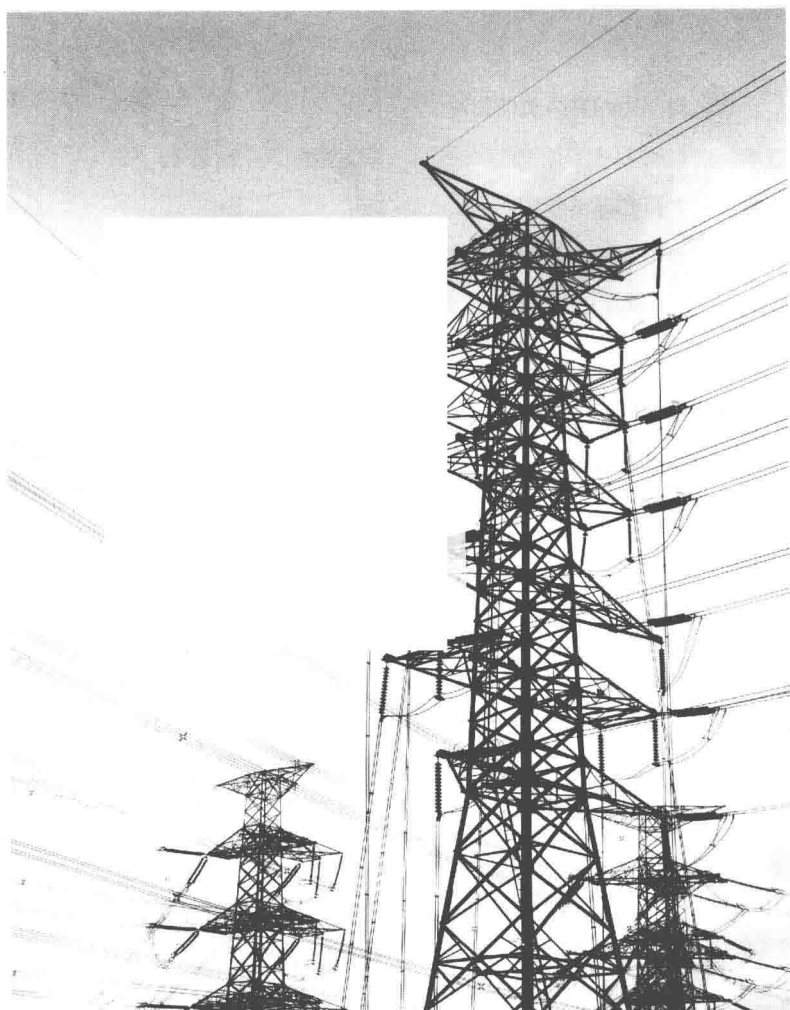
贵州大学出版社
Guizhou University Press

方电网
POWER GRID

司科技创新系列丛书◆

电能计量装置 检测新技术

贵州电网有限责任公司 组编



贵州大学出版社
Guizhou University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电能计量装置检测新技术 / 贵州电网有限责任公司组
编. — 贵阳: 贵州大学出版社, 2015.12

(贵州电网有限责任公司科技创新系列丛书)

ISBN 978-7-81126-837-9

I. ①电… II. ①贵… III. ①电能计量—计量仪器—
计量检测 IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 321678 号

编 者: 贵州电网有限责任公司

责任编辑: 但明天

出版发行: 贵州大学出版社

印 刷: 贵阳精彩数字印刷有限公司

开 本: 170 毫米×240 毫米 1/16

印 张: 23

字 数: 430 千字

版 次: 2015 年 12 月 第 1 版

印 次: 2017 年 3 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81126-837-9

定 价: 86.00 元

版权所有 侵权必究

本书若出现印装质量问题, 请与本社联系调换。

电话: 0851-85981027

编 委 会

主 编

李鹏程

副主编

张秋雁

参 编

林玉涵	徐宏伟	桂 专	杨沁晖
丁 超	杨 婧	张玉平	张俊玮
肖 监	左正琴	田维维	应丽云

前言

电能计量装置是电力系统中的重要设备，其计量准确性关系到电量结算双方的经济利益。根据国家相关法律法规的规定，电能计量装置必须通过检定合格后才能投入运行，在运行中还需要开展现场校验、抽检等工作，确保其准确、可靠。

近年来，贵州电网有限责任公司大力开展智能电网建设，建成投运多座智能变电站，投运了大量数字式互感器等设备；大力加强配电网的更新改造，投运了大量用电终端，如智能电能表、计量终端化终端等。通过多年的建设和发展，电网的装备水平得到大幅度提升。智能电网中的计量设备，除了基本的计量功能外，还具备很多其他功能，如智能电能表具有事件记录、冻结功能、通信传输、费率控制等功能；数字式互感器包含合并单元，要求采样时间同步等。如何开展这些计量设备的检测工作，如计量准确性、功能检测、通信规约一致性等，是一个全新的研究课题。

在计量设备的检测技术方面，传统检测方法需要标准器及其他配套设备，设备数量多、设备重，因此传统检测方法效率低下，劳动强度大。如何通过技术手段提高检测能力，降低劳动强度，提升检测效率，也是计量人员需要思考的问题。

贵州电力科学研究院在计量设备检测方面做了大量的科技项目，主要研究项目有：智能电能表功能及通信规约自动检测技术的研究、电容式电压互感器现场测试技术研究与应用、数字化变电站带电检测关键技术研究与应用、营销自动化统一检测平台研究等。这些科技项目在计量装置的性能检测方面

取得多项技术创新点和专利，产生了很多适用性成果，在检测工作中得到实际应用。这些研究成果大大提高了检测工作效率，降低了劳动强度，减少了生产成本。

为了将科技项目的研究成果予以推广应用，更好地使用这些新技术、新设备，贵州电网有限责任公司组织相关人员进行科技成果系列专著编写，详细介绍了这些新技术的原理、使用方法、使用注意事项等内容，有助于一线人员更好地了解、应用这些新技术、新设备，有助于计量专业的发展。

本书由李鹏程主编，张秋雁副主编，林玉涵、徐宏伟、桂专、杨沁晖、丁超、杨婧、张玉平、张俊玮、肖监、左正琴、田维维、应丽云等参加了编写。本书依据近年来贵州电网与各生产企业、科研院所合作研究的科技项目成果编写而成，是在科技项目基础上结合实际工作完成的，可供广大同行人员学习和参考，亦可作为电力计量工作的参考书和培训资料。

限于作者知识水平，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评、指正。

编 者

目 录

第1章 智能电能表自动检测技术	1
1.1 智能电能表的发展历程	2
1.1.1 感应式交流电能表	2
1.1.2 电子式交流电能表	2
1.1.3 电子式多功能电能表	3
1.1.4 智能电能表	4
1.2 智能电能表的特点及功能	5
1.2.1 计量及测量功能	7
1.2.2 信息存储功能	9
1.2.3 时钟及对时功能	13
1.2.4 抄表及显示功能	14
1.2.5 通信及安全功能	18
1.2.6 电源及信号功能	20
1.2.7 控制功能	22
1.3 智能电能表人工检测方式及问题	24
1.4 智能电能表的检测项目	26
1.4.1 功能及通讯规约检测	28
1.4.2 影响量及误差一致性检测	30
1.4.3 通信模块硬件功能检测	32

1.4.4	电能表功耗的测试	34
1.4.5	出具检测报告	34
1.5	智能电能表的自动检测方案	35
1.5.1	总体构架	35
1.5.2	软件设计方案	39
1.5.3	功能及通信规约自动检测	48
1.5.4	影响量及误差一致性自动测试	67
1.5.5	通信模块等硬件功能自动检测	71
1.5.6	电能表功耗自动测试	75
1.5.7	检测报告自动套打	77
1.6	智能电能表自动检测系统及应用	78
1.6.1	检测硬件平台	78
1.6.2	自动检测软件系统	81
1.6.3	自动检测系统的应用	88
1.7	自动检测中常见问题的处理	100
1.7.1	参数录入	100
1.7.2	测试点输入	100
1.7.3	设置时段表错误	101
1.7.4	修改密码出错	102
1.7.5	写日期、时间出错	103
1.7.6	写日时段表数、日时段数不合格	105
1.7.7	写组合有功方式特征字不合格	106
1.7.8	写结算日不合格	107
1.7.9	处理问题的总结	109
第2章	电流互感器现场检测新技术	111
2.1	电流互感器常规检测法	112
2.1.1	电流互感器常规检测法的原理	112
2.1.2	电流互感器常规检测方法的不足	118

2.2 电流互感器间接测试法测试技术	119
2.2.1 低压外推法的测量原理	120
2.2.2 低压直流测量法	123
2.2.3 内置标准器法	129
2.3 电流互感器负荷外推测试技术	132
2.3.1 负荷外推法的原理	132
2.3.2 负荷外推法的步骤和方法	136
2.3.3 负荷外推法检测技术的应用	144
2.4 GIS 内电流互感器小信号测试技术	147
2.4.1 GIS 内电流互感器测试概述	147
2.4.2 小信号测试的原理	148
2.4.3 GIS 内小信号测试法的现场验证	154
2.4.4 GIS 小信号测试法的应用总结	156
2.5 电流互感器现场测试技术的比较	157
第3章 电磁式电压互感器现场检测新技术	161
3.1 电压互感器误差的传统检测法	162
3.1.1 电压互感器传统检测法概述	162
3.1.2 电压互感器传统法检测注意事项	167
3.2 电压互感器低校验高现场测试技术	170
3.2.1 电压互感器低校高测试原理	170
3.2.2 绕组内阻抗的测量	173
3.2.3 空载激磁导纳的测量	174
3.2.4 高压电压互感器的误差计算	176
3.2.5 低校高电压互感器的特点	184
3.3 GIS 内电磁电压互感器误差测试技术	187
3.3.1 GIS 内 PT 检测现状	188
3.3.2 小信号测试法原理	190
3.3.3 异频测试技术	192

3.3.4	现场测试验证	194
3.3.5	GIS 内互感器低压测试法注意事项	196
第 4 章	电容式电压互感器小信号法测试技术	199
4.1	电容式互感器传统误差测试方法	200
4.1.1	传统 CVT 测试方法的原理	200
4.1.2	传统 CVT 测试存在的问题	203
4.2	小信号法测试 CVT 的技术原理	204
4.2.1	CVT 误差分析	205
4.2.2	CVT 小信号参数测量法	211
4.3	小信号测试法的比对规则	216
4.4	现场比对试验情况	219
4.4.1	首次试验	219
4.4.2	无电磁干扰环境条件下的比对试验	220
4.4.3	有电磁干扰环境条件下比对试验	224
4.5	现场比对试验总结	227
4.5.1	电压等级对小信号测试法的影响分析	228
4.5.2	电磁干扰对小信号法影响的分析	230
4.6	小信号测试法的优化及应用	232
4.6.1	抗电磁干扰问题的研究	232
4.6.2	对测试接线的处理	238
4.6.3	高空接线钳的应用	240
4.7	小信号法应用的典型案例及分析	242
4.7.1	测试出组装错误	242
4.7.2	检测发现 CVT 超差问题	245
4.8	CVT 小信号测试法应用总结	246
4.8.1	CVT 小信号法测试优点	246
4.8.2	现场使用小结	247

第5章 电压互感器二次压降检测新技术	249
5.1 电压互感器二次压降分析	250
5.2 电压互感器二次电压降直接测量法	253
5.2.1 直接测差法的基本原理	254
5.2.2 直接测差法中的自校	256
5.2.3 二次压降测试接线及计量误差	258
5.2.4 二次压降测试仪的溯源方法	262
5.2.5 直接测差法的使用技巧及注意事项	263
5.3 电压互感器二次压降无线测试技术	265
5.3.1 二次压降无线测试的原理	265
5.3.2 无线压降测试的使用方法	271
5.3.3 无线测试方法的注意事项	273
5.4 电压互感器二次压降载波测试技术	274
5.4.1 载波技术的难点及解决办法	275
5.4.2 载波技术测试二次压降的方案	276
5.5 其他测试方法	282
第6章 电子式互感器带电检测技术	285
6.1 概述	285
6.2 电子式互感器的带电检测技术现状	286
6.2.1 电子式互感器离线检测技术现状	286
6.2.2 电子式电流互感器带电检测技术现状	288
6.2.3 电子式电压互感器带电检测技术现状	290
6.3 电子式互感器带电检测装置研发	291
6.3.1 系统构成和基本原理	291
6.3.2 电子式电压互感器带电检测装置	293
6.3.3 电子式电流互感器带电检测装置	294
6.3.4 带电检测工作流程	295
6.3.5 系统特点及技术性能	297

6.3.6	系统软件	299
6.3.7	电磁兼容特性分析	301
6.4	电子式互感器带电检测关键技术	302
6.4.1	双钳型电流传感头校准原理	303
6.4.2	标准电压互感器接入高压系统过程的过电压研究	310
6.4.3	高精度数字化采集研究	313
6.4.4	标准设备带电操作研究	315
6.4.5	系统分析程序的实现	323
6.5	电子式互感器带电检测装置的校准	326
6.5.1	国家高电压计量站的校准	326
6.5.2	耐压试验	327
6.5.3	温度试验	327
6.5.4	传感头开合及位置试验	329
6.6	现场应用	330
6.6.1	电子式电流互感器带电测试技术的现场应用	330
6.6.2	电子式电压互感器带电检测技术的现场应用	333
6.6.3	应用实例	346
6.7	应用总结	340
参考文献		343

第 1 章

智能电能表自动检测技术

电能表的出现和发展已有一百多年历史。随着科学技术的飞跃发展，电能表已从感应式交流电能表发展到电子式交流电能表，到电子式多功能电能表，再到目前的智能电能表。我国电能表正朝着信息互动化、用电智能化的方向发展。

随着全球“智能电网”的发展和建设，智能电能表作为智能电网的终端设备，已经不是传统意义上的电能表，它除了具有基本的计量功能外，还具有信息存储及处理、用户端控制、多种数据传输、实时监测、信息交互、防窃电等多种功能，向智能化、系统化、模块化和多元化的方向发展。

智能电表将成为覆盖全球智能电网的终端设备。由于智能电能表功能强大，具有很多优点，因此智能电能表取代普通电能表是必然趋势。

对于智能电能表的功能与性能，必须通过检测来确认其是否满足技术规范的要求。以前的普通电能表，其检测项目少，检测方法非常简单，只需要按照检定规程的要求对其启动、潜动、基本误差、常数等进行检定，满足检定规程的要求即可。但是智能电能表就不一样，不但要对其基本计量性能进

行检定，还需要对其功能进行检测，如通信规约、事件记录、冻结功能、读写数据等功能进行检测。检测项目多，方法复杂，普通的人工检测方法难以应对，因此有必要研究智能电能表的自动检测方法，以满足电能计量工作的需要。

1.1 智能电能表的发展历程

智能电能表是在传统机械式电能表基础上逐步发展起来的，我国电能表发展到智能电能表，大致经历了 4 个发展阶段。

1.1.1 感应式交流电能表

从 20 世纪 20 年代开始，我国各发电厂、供电部门和用电客户均采用国外进口和国产的感应式单相、三相交流有功电能表。

感应式交流电能表采用带有电流、电压铁芯线圈，利用三磁通电磁感应原理使圆盘转动，以机械计数器显示方式累加记录有功电量。

感应式交流电能表具有如下功能特点：

- 利用三磁通电磁感应原理使圆盘转动，以机械计数器显示方式累加记录电量。
- 功能单一，具有有功或无功电能计量功能。
- 频率范围窄，非线性负载计量误差大。
- 结构简单、安全，准确度不高。
- 负载电流范围小，过载能力低。
- 安装垂直度要求高，电能表倾斜度应 $\leq 3'$ 。

1.1.2 电子式交流电能表

20 世纪 60 年代末, 日本发明了时分割乘法器并提出了其功率测量原理, 实现了全电子化电能计量装置。日本横河株式会社生产了 2885 型数字功率变换器, 受到全世界的关注。在这个原理基础上, 我国研制出单相和三相电子式数字功率电能标准表。随着电子技术的进一步发展, 模拟—数字转换技术和大规模集成电路的逐步完善, 促使各种性能和功能的电子式电能表逐步成为电能计量的主力军。

电子式交流电能表以微电子电路为基础, 将被测电压、电流接入电能表后, 经乘法器、 $P+f$ 转换、计数显示控制输出一个电能计量标准脉冲, 当输入功率改变时, 输出脉冲也跟着改变, 经微处理器, 在时间上再累加(积分)起来就可测得电能值。

电子式交流电能表具有如下功能特点:

- 以微电子电路为基础, 完成电能计量的计算功能。
- 功能较多, 可实施多时段、多费率及预付费电能计量。
- 频率范围宽, 负载误差曲线平坦。
- 适应于模块化制造工艺, 准确度较高。
- 负载电流范围宽, 过载能力在 8 倍以上。
- 安装垂直度要求不高。
- 具备通信功能, 便于抄表及通信。

1.1.3 电子式多功能电能表

从 21 世纪初开始, 发展了一种新型的集多种计量要求与多种功能于一体的电子式单相、三相多功能电能表, 不仅可以减少电能表数量, 减少安装电

能表屏数，同时还可以减小 TA 二次实际负载，提高 TA 的计量精度，特别是变电所的旁路开关、互馈线路的电能计量。

电能表工作时，A、B、C 三相电压、电流经取样，电路分别取样送到计量芯片进行处理，CPU 将处理后的数据根据需要送至显示部分、通信部分等数据输出单元。

电子式多功能电能表具有如下功能特点：

- 采用专用计量芯片，完成电能计量的计算功能。
- 能计量正反向有功/无功电能、四象限无功电能，可设置费率。
- 最大需量测量功能。
- 事件记录功能。
- 清零、电量冻结功能。
- 负荷记录功能。
- 瞬时电气参量测量功能。

1.1.4 智能电能表

随着全球性智能电网发展和我国电网公司计量信息采集系统的建设，电能表不再仅作为单一计费仪表而存在，而是向智能化、系统化、模块化和多元化的系统终端发展。

智能电能表除具备传统电能表基本用电量的计量功能以外，还具有信息存储及处理、实时监测、自动控制、防窃电、多种数据传输模式的双向数据通信等功能，支持双向计量、阶梯电价、分时电价、峰谷电价等实际需要，是实现分布式电源计量、双向互动服务、智能家居以及智能小区的技术基础。

智能电能表由测量单元、数据处理单元、通信单元等组成，属于多功能电能表范畴，但又不同于一般的多功能表电能表，因为它本身含有功能较强

的微控制器 (Microcontroller Unit, MCU), 就像一台小型的电脑, 其自动化和智能化的功能更丰富、更强大。

智能电能表具有如下功能特点:

- 具有多功能表所有特性。
- 费控功能, 可通过 CPU 卡、射频卡、载波、公网等方式实现费控。
- 统一费控智能电能表信息交换安全认证。
- 事件记录功能更加完善。
- 通信方式多样, 支持信息互动。
- 可实施阶梯电价功能。

作为用电信息采集系统的终端设备, 智能电能表是最基础的数据来源。

智能电能表可采集的数据包括: 有功/无功正向、反向电能量数据; 电压、电流、频率、功率、功率因数等一系列的负荷记录; 有功、无功正向、反向各费率时段最大需量数据; 定时冻结、瞬时冻结、日冻结、约定冻结数据; 失压、断相、失流、逆相序、掉电、需量清零、编程、校时、远程控制拉闸、开表盖、电表清零等事件记录数据。

随着电力用户用电信息采集系统发展的深入, 智能电能表提供的采集数据必将在智能电网中得到深层次运用。在不久的将来, 将在信息社会中发挥更大的作用, 具有广阔的应用前景。

1.2 智能电能表的特点及功能

相较普通的电能表, 智能电能表采用了电子集成电路设计, 再加上具有远传通信功能, 可以与电脑联网并采用软件进行控制, 因此智能电表不管在性能还是功能上都具有很大的优势。