



DIANNENG JILIANG SHEBEI
GUZHANG FENXI YU KEKAOXING JISHU

电能计量设备 故障分析与可靠性技术

● 肖 勇 党三磊 张思建 危阜胜 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电能计量设备 故障分析与可靠性技术

● 肖 勇 党三磊 张思建 危阜胜 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书首先介绍了电能计量设备的故障原理,然后从工程应用的角度,详细介绍了电能计量设备失效分析、试验、设计、管理等可靠性技术。全书分为八章:第一章概述了电能计量设备发展情况、故障分类与危害以及可靠性技术发展历程,阐述了可靠性技术研究的意义;第二章介绍了电能表、互感器、计量终端等电能计量设备的工作原理、分类及其性能;第三章从故障机理和故障统计等方面对计量回路故障、计量设备内部故障进行深入分析;第四章介绍了可靠性的基本概念以及可靠性诊断、试验、设计、管理中的基本方法;第五章对电能计量故障诊断和失效分析方法进行详细描述,介绍了传统的和智能的故障分析方法以及失效分析技术;第六章介绍了电能计量设备可靠性试验的目的及特点,详细分析了可靠性筛选试验、增长试验、统计试验、加速寿命试验的技术原理;第七章从提高电能计量设备可靠性的角度,介绍了一系列可靠性设计实例;第八章主要从电能计量设备使用和运维的角度,介绍设备质量管理的方法和措施。

本书可供电能计量设备故障分析的人员参考,也可供高等院校相关专业的师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

电能计量设备故障分析与可靠性技术/肖勇等编著. —北京:中国电力出版社,2014.12

ISBN 978-7-5123-6689-3

I. ①电… II. ①肖… III. ①电能计量-设备故障-故障诊断②电能计量-电气设备-可靠性 IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 249946 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20 印张 476 千字

印数 0001—2000 册 定价 55.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

前言

随着国民经济的飞速发展,供电可靠性要求不断提高,用户需求更加多样,电网运营面临巨大挑战。为了应对这些挑战,各国电网企业积极开展智能电网的研究和实践工作,确保电网高效运行。智能电能计量设备作为用电信息采集与监测的主要设备,是电网运行数据的主要来源,是实现供用电环节“信息化、数字化、自动化、互动化”的坚实基础,更是现代电力市场营销管理的重要技术设备。

目前,国内智能电能计量设备存在种类多、数量大、运行环境复杂、连续运行时间长等特点,对计量设备本身的可靠性提出了更高的要求。我国智能电能计量设备的产量已跃居全球第一,但是可靠性水平有待进一步加强。可靠性技术经过半个多世纪的发展,已在航空航天、军事工业、电子通信等行业得到广泛应用。然而国内智能电能计量设备的可靠性技术研究及应用仍处于起步阶段。作者从20世纪90年代开始进行智能用电设备可靠性技术研究,重点开展电能计量设备故障失效分析、可靠性加速试验探索、可靠性改进设计等。经过十几年的研究,取得诸多科研成果。本书中大量技术成果已在广东电网电能计量设备日常运维、检测中得到广泛应用,并在提升广东电网公司营销设备质量水平、精细化管理水平上发挥了重要作用。

本书首先介绍了电能计量设备的故障原理,然后从工程应用的角度,详细介绍了电能计量设备失效分析、试验、设计、管理等可靠性技术。全书分为八章:第一章概述了电能计量设备发展情况、故障分类与危害以及可靠性技术发展历程,阐述了可靠性技术研究的意义;第二章介绍了电能表、互感器、计量终端等电能计量设备的工作原理、分类及其性能;第三章从故障机理和故障统计等方面对计量回路故障、计量设备内部故障进行深入分析;第四章介绍了可靠性的基本概念以及可靠性诊断、试验、设计、管理中的基本方法;第五章对电能计量故障诊断和失效分析方法进行详细描述,介绍了传统的和智能的故障分析方法以及失效分析技术;第六章介绍了电能计量设备可靠性试验的目的及特点,详细分析了可靠性筛选试验、增长试验、统计试验、加速寿命试验的技术原理;第七章从提高电能计量设备可靠性的角度,介绍了一系列可靠性设计实例;第八章主要从电能计量设备使用和运维的角度,介绍设备质量管理的方法和措施。

在本书编写过程中,肖勇负责编写第一章部分和第四、八章内容,并负责全书统稿工作;党三磊负责编写第一章部分和第二、三章内容;张思建负责编写第六章和第七章;危阜胜负责编写第五章。广东电网有限责任公司电力科学研究院林国营高级工程师、李健工程师、刘健工程师、张捷工程师对本书的内容提出了宝贵的意见,并在统稿过程中给予大力支持和直接帮助;另外,广东电网有限责任公司电力科学研究院钟清、何宏明、孙卫明、许卓、黄友朋,以及广东电网有限责任公司市场营销部化振谦、陈蔚文、张亚东等同志在本书的编写过程中也给予大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编著者
2014年10月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 电能计量设备	1
第二节 电能计量设备故障	7
第三节 电能计量可靠性技术	10
第二章 电能计量设备	16
第一节 电能计量设备分类及其性能	16
第二节 电能计量设备原理	19
第三节 电能计量设备管理	48
第三章 电能计量故障分析	61
第一节 故障类型与机理分析	61
第二节 计量回路故障	71
第三节 设备内部故障	77
第四节 故障统计分析	90
第四章 电能计量可靠性基础	96
第一节 可靠性基本概念	96
第二节 可靠性诊断	107
第三节 可靠性试验	118
第四节 可靠性设计	123
第五节 可靠性管理	137
第五章 电能计量故障诊断和失效分析	145
第一节 电能计量设备现场故障现象与原因分析	145
第二节 电能计量设备传统故障诊断方法	147
第三节 电能计量设备智能故障诊断方法	153
第四节 电能计量设备失效分析技术	172
第五节 失效分析技术典型应用	180
第六章 电能计量设备可靠性试验	192
第一节 可靠性试验概述	192

第二节	可靠性筛选试验	196
第三节	可靠性增长试验	201
第四节	可靠性统计试验	210
第五节	可靠性加速寿命试验	221
第七章	电能计量设备可靠性设计	231
第一节	电能计量设备可靠性设计要点	231
第二节	电能计量电路可靠性设计	249
第三节	电磁兼容可靠性设计	257
第四节	电能计量设备防雷设计	262
第八章	电能计量设备质量管理	270
第一节	概述	270
第二节	设备生产工艺和质量保证	273
第三节	计量设备的接线安装及检查	277
第四节	设备运行质量跟踪管理	284
第五节	设备管理措施	293
附表 1	正态分布表允许限 k_p 表	303
附表 2	相关系数检验表	309
附表 3	χ^2 分布的分位数表	310
参考文献		311

[第一章]

绪 论

随着社会经济的发展,能源短缺问题日益严峻、结构性矛盾日益突出,供电可靠性要求不断提高,用户服务需求更加多样,电网运营面临巨大挑战。为了应对这些挑战,国内外结合各自的实际情况积极开展“智能电网(Smart Grid)”研究和实践工作,以灵活应对大规模清洁、可再生能源接入电网,保证电网清洁、高效运行。

作为“智能电网”中的重要一环——智能化电能计量体系,也将在这千载难逢的电力大变革中脱颖而出,飞速发展。而在智能化电能计量体系中起着关键作用的又是千千万万个智能互感器、计量表计与终端等电能计量设备。众所周知,电能从生产到消费一般要经过发电、输电、变电、配电、用电等环节,由于电能不能大规模储存,发电、输电、配电和用电在同一瞬间完成,发电和用电之间必须实时保持供需平衡。这就对电能计量工作和计量设备提出高实时性、准确性、可靠性的要求;并且电能计量工作和计量设备中任何一个微小错误都有可能会打破电力供需方的平衡关系,导致危及用电的安全性和连续性,给电力行业带来巨大损失。

因此,本书将着重介绍和分析,电能计量体系中各种计量故障原理、故障诊断以及设备可靠性技术。

第一节 电 能 计 量 设 备

一、电能计量设备发展

电能计量在世界上的出现和发展已有一百多年的历史了,最早的电能计量设备——电能表是在1881年根据电解原理制成的,尽管这种电能表箱每只重达几十千克,十分笨重,又无精度的保证。但是,这在当时仍然被作为科技界的一项重大发明而受到人们的重视和赞扬,并很快地在工程上得以应用。

1888年,交流电的发现和应用,又向电能计量设备的发展提出了新的要求,经过一些科学家的努力,感应式电能表诞生了。感应式电能表采用电磁感应的原理把电压、电流、相位转变为磁力矩,推动铝制圆盘转动,圆盘的轴(蜗杆)带动齿轮驱动计度器的齿轮转动,转动的过程即是时间量累积的过程,好处在于直观、动态连续、停电不丢数据。由于感应式电能表具有结构简单、操作安全、价廉耐用,又便于维修和批量生产等一系列优点,其得到了快速发展和应用。现在每只单相电能表有的还不到1kg重,精度达到了0.5~0.2级,并且有了几十个品种、规格。

随着科学技术飞跃发展,电子技术、电子元器件逐步在电能表生产中的得到应用,研制生产了全电子式电能表。电子式电能表具有精度高(目前已达到0.01级),为电能表的



发展开辟了又一新的途径,也为电能测量自动化创造了更好的条件。

近些年,随着“智能电网”这一概念的提出,智能电能计量设备便成为计量产品生产企业及用户极为关注的问题。要实现与“智能电网”相配套的智能型电能计量系统,就必须依靠具有数字化、互动化、自动化功能的智能电能计量设备作为设备支持,目前运行的计量装置尚不能完全满足智能计量的设备要求。因此,更为安全、先进,具备数字化功能的电能计量设备必将应运而生,更新换代。

1. 智能化电能表势必替代目前所有的电能表计

“智能电网”的建设必将淘汰所有的感应式电能表及不带有双向通信功能、功能简单的电子式电能表。取而代之的是功能完善、能实现供电公司与用户进行双向通信的智能电子表计。基于微处理器的智能电能表,将在测量范围、测量准确度、测量内容以及功能上得到很大程度的拓展和提高。

在类似于互联网架构的“智能电网”中,作为“智能电网”的终端——智能电能表,扮演着相当于联网的PC机的角色。它依托“智能电网”所构建的强大的数字化信息网络和数据分析处理系统,通过电能信息显示屏、互联网以及各种通信网络,向用户实时提供内容丰富的用电信息,如用电量、电费金额、电能质量、表计健康状况、停(复)电信息通知、催费信息通知、用电情况分析、超负荷报警等信息;同时,在信息网络架构的“智能电网”中,智能电能表又担负着数据终端采集器的任务,向“智能电网”源源不断地提供内容详尽的计量数据,如电能量、需量、负荷性质、三相平衡对称情况、母线电量平衡情况、线损网损数据、谐波监测数据等信息。

普通居民用户,在家里就能通过查看与智能电能表相连的电能信息显示屏或登录网站等方式,方便、安全、快捷地获知详细的用电信息,享受个性化的信息服务。甚至还可以把家用电器通过传感器与智能电能表相连,形成家庭电器区域网,用户通过上网或打电话的方式,让智能化电能计量体系指挥智能电能表,远程控制家中电器的使用。达到合理、经济、安全使用电能的目的。

用于大工业用户计量的智能电能表,除电能计量功能外,还将具备谐波计量、冲击负荷计量、变损计量、电能质计量、功率越限报警、互感器合成误差补偿、负荷控制、事件记录等特殊功能;用于配电变压器计量的智能电能表,还应具备停电采集、三相不平衡不对称测量、中性线电流测量、变压器油温测量、变损计量以及有功、无功、视在电能平衡、线路损耗电量的核实等特殊功能;用于关口计量的智能电能表,还应具备低负荷计量、 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 计量,需量周期、费率时段的同步和主、副表实时比对,电能表远程校准等功能;与高压数字式互感器配套使用的智能电能表,还应具有接收智能互感器输出的数字信号的功能。

智能电能表,作为一种将在全国范围统一投入使用并全国联网运行的新型设备,势必将重新统一订立制造标准和功能要求,这有望解决目前全国各地区电能表功能、费率、验收条件、外观尺寸、显示抄读内容、失压断流判断标准、通信规约不统一的问题。统一标准后的智能电能表,将更加便于表计的生产和流通、安装和抄读、检定和售后服务;还将方便电能表配套设备的制造和设计。

智能电能表的高技术要求和数量需求,将迫使电能表生产企业提高制造水平和研发能力,淘汰和整合表计生产企业,促进表计行业的升级换代。智能电能表的全面换装,还将



一次性解决因资金、体制、人员等原因造成的部分超年限、淘汰型号表计仍违规使用的历史遗留问题，极大地促进电能计量事业的迅猛发展和长足进步。

同时，国外也在智能电网大趋势下推广智能电能表使用。下面按区域划分介绍地区智能电能表使用情况和 plans。

这里以北美为例，简单介绍智能电能表使用情况和 plans，如表 1-1 所示。

表 1-1 北美地区智能电能表使用量

项 目	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
年产量 (万台)	1330	1530	1710	1300	1330	1070
智能电能表数量 (万台)	910	1130	1330	940	890	750
智能电能表占比 (%)	69	74	78	72	72	70
已安装智能电能表数量 (万台)	2590	3770	5180	6170	7130	7950
智能电能表覆盖率 (%)	16	23	31	37	42	46

欧盟：欧盟出台规定，截至 2020 年智能电能表要占到电能表总数的 80%，2022 年智能电能表覆盖率要达到 100%，除非 2012 年 9 月成员国评估这是不符合经济发展的。项目需求总量超 2 亿台。仅 2012 年欧盟智能电能表年需求量就达到 2700 万台，其中德国、英国和西班牙、法国是主要需求国家。英国已经基本实现了工商业用户和部分居民用户的用电信息自动采集；意大利已于 2011 年完成了智能电能表的改造工程，安装和改造了 3000 万台智能电能表，建立起了智能化计量网络，实现了全国 95% 用电用户电能量信息的自动采集，每年节约 5 亿欧元的管理成本，降低 40% 以上；法国能源监管部门提出的智能电能表计划：从 2012 年开始，所有新装电能表必须是智能电能表。到 2016 年，95% 的电能表必须接入到自动抄表管理系统。丹麦、芬兰、法国、德国、冰岛、挪威、西班牙、荷兰和英国都在进行或规划详细的政策发展智能电能表市场。2010 年欧盟智能电能表安装量为 4.4 千万台，预计到 2017 年将达到 2 亿台（24% 的复合年增长率），其中增长最快的是 2012 年，目前正等待统一标准的出台。

拉美（巴西）：截至 2011 年 12 月，电力用户数量近 7 千万。目前电能表市场中 81% 为普通电能表，功能特性类似于传统机械电能表。计划于 2012 年将 92% 的电能表更换为智能电能表。自 2009 年起，ANEEL（国家电力能源机构）已经开始分析在住宅内推广安装智能电能表的可行性，计划在 2012 年内明确智能电能表的定义及公共事业实施的条件应用。

印度：已开展众多项目来改善国内电力服务，计划投资 1000 亿美元，于 2012 年实现户户通电，同时将更换 1 亿台电能表，建成电力线载波远程抄表及预付费系统，解决电费流失问题，提升管理水平。市场预测从 2012 年至之后的十年将是智能电能表大规模部署的时期，安装量将达 1.3 亿台，2030 年将全部完成更换工作。

亚太地区：目前亚太各个国家都在加大对智能电网的投入，尤其是在智能电能表领域。据 Pike Research 预测，该地区智能电能表的复合安装增长率将达到 37%，从 2010 年的 0.53 亿台增长到 2016 年的 3.5 亿台。

目前，世界各国都在加大推广智能电能表，都已出台或即将出台安装部署智能电能表项目计划。预计在未来几年，智能电能表将会得到广泛应用，推广应用规模超过 10 亿台，



如图 1-1 所示。

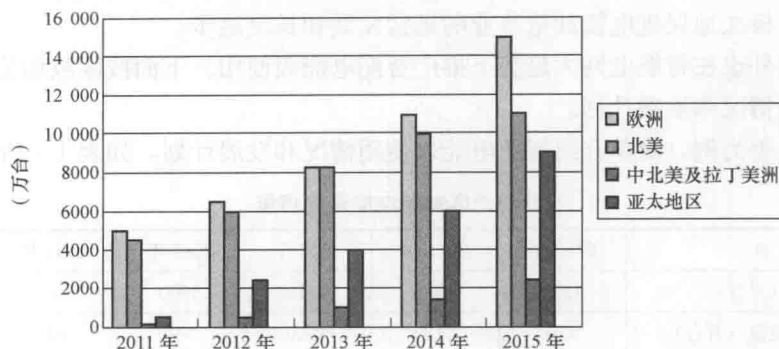


图 1-1 世界智能电能表发展示意图

2. 智能互感器将成为建设“智能电网”的必备产品

2012 年 4 月，国家电网公司在建设智能电网的发展规划中，提出了“建设以特高压为骨干网架，各级电网协调发展的坚强智能电网”的发展战略。特高压电网将是今后坚强智能电网的基础和骨干电网，与之配套的特高压电力设备、特高压互感器也将随之应用并快速发展。另外，建立在数字化信息交流平台上的智能化电能计量体系，也必须在各级电网中使用具有输出数字信号的互感器，以实现数字化的计量信息采集、分析和控制。

当前，正在电网大量使用的电磁式互感器，因工作原理的局限，其绝缘性能、绝缘成本以及运行安全性等各方面都难以满足特高压电网的要求。而且传统电磁式互感器还存在磁饱和、铁磁谐振、易爆、谐波影响、TA 二次开路产生高压等一系列影响计量性能的瓶颈问题亟待解决。另外，传统电磁式互感器所输出的模拟信号不便实现网络化数字测量，无法与建立在数字化信息交流平台上的智能计量系统进行对接。因此传统电磁式互感器已不能适应智能电网的发展要求。而采用先进的测量原理和绝缘方式、输出信号数字化的新型互感器——“智能（数字式）互感器”将成为建设智能化电网的必备产品。

现在，国内研制的智能数字式互感器主要为光电型。它在原理上与传统的电磁式互感器完全不同，它利用光电子技术和光纤传感技术来实现高电压、大电流的测量。由于采用光纤或光介质作为绝缘体，绝缘性能优良，绝缘成本低；因不含铁芯，不存在磁饱和、铁磁谐振等问题；由于光电型互感器的高压与低压之间只存在光纤联系，而光纤具有良好的绝缘性能，因而可保证高压回路与二次回路在电气上完全隔离，TA 低压侧没有因开路而产生高压的危险；同时，因没有磁耦合，消除了电磁干扰对互感器性能的影响；且传输光纤化和输出数字化，符合智能计量的数据输出要求；另外，智能互感器与电能表之间采用光缆连接，替代了二次导线，TV 二次压降和 TA 二次回路阻抗接近为零，降低了综合误差，解决了互感器与电能表之间容易发生接线错误的问题。

智能互感器很好地解决了传统电磁式互感器存在的缺陷和特高压计量装置发展的绝缘要求，提高了高压互感器的运行安全性、可靠性和准确性，能够实现智能化电能计量体系的信息化、坚强化要求，将是建设“智能电网”的必备产品。

二、智能电能计量体系

在电能计量设备智能化的同时，电能计量体系也经历了从传统向智能化的转变。



1. 电能计量体系的发展

电能计量是通过互感器及其二次回路联合电能计量设备按照规定的接线方式进行组合构成在线电能计量系统来实现的。电能计量系统早期的设备都是机械式的电能表,是由人工抄表的方式来完成如此庞大的电能计量数据的传输。

此后,随着电能计量设备的发展,电能计量系统也随之发展。从20世纪90年代末数字采样技术应用于电功率的测量,数字采样技术的电子式电能表也替代了传统机械式电能表。电子式电能表是以处理器为核心,对数字化的被测对象进行各种判断、处理和运算,从而实现多种功能。90年代数字采样技术的电能表在工业发达的国家迅速发展,相继出现了多种寿命长、可靠性高、适合现场使用的电子式电能表;1.0、0.5、0.2级精度计量标准适应电力系统中电能计量的要求,从而使电子式电能表相继实现商业化应用。

随着电子式电能表的出现,基于远程抄表的计量自动化系统也孕育而生。在基于远程抄表的计量自动化系统发展历程中,最早出现的是厂站电能计量遥测系统,国际电工委员会制定了电能累计量传输配套标准 IEC60870-5-102《远动设备及系统第5部分:传输规约第102篇:电力系统电能累计量传输配套标准》(简称 IEC102 标准),这个标准是目前电能计量遥测系统建设中使用最为广泛,在2000年,全国电力系统控制及其通信标准化技术委员会等同采用了 IEC102 标准,制定了 DL/T 719—2000《远动设备及系统第5部分

传输规约第102篇电力系统电能累计量传输配套标准》(idt IEC60870-5-102:1996)(简称电力102标准)。IEC102标准有效地解决了一些由于采用设备厂商专用规约所带来的问题,可使电力系统传输电能累计量的数据终端之间实现可互换性和互操作性。但随着社会经济的发展和电力系统体制改革的深入,对电能计量管理的要求更加精细化,对电能计量遥测系统的功能需求也越来越多,需要采集的数据信息也需更加丰富,原 IEC102 标准定义的内容已不能满足目前电力企业计量遥测系统建设的需要。

20世纪90中后期,迫于人工居民用户抄表压力加大,低压居民远程集中抄表建设在全国各区域均有试点,同样面临的技术问题和成本考虑,至2005前后我国并没有大规模建设经验。国外如意大利、日本等实现远程居民抄表也是近几年才得以较大发展,且远程数据的抄收实时性等指标还远落后于国内的要求。无论是国内还是国外,低压居民抄表方面在技术层面依然存在较大的问题,主要表现在可靠地通信技术方面。

电能计量系统与自动化的发展阶段与现状如图1-2所示,目前尚处于自动抄表(AMR)向高级计量架构发展阶段,国家电网公司自2009年开始进行了大量的智能表计和智能用电采集系统的研究,均属于高级计量架构(AMI)的研究范畴。未来将是信息网络化、高新科技成果被广泛应用和电力企业持续发展的时代。数字化、智能化、标准化、系统化和网络化是现代电能计量系统发展的必然趋势。

纵观历史,电能计量体系发展阶段与现状已由图1-2所示。随着电能计量自动化的发展,电能计量装置从原始的机电式电能表与终端发展到如今的智能化的电子式电能表与终端,从传统电磁式互感器逐步过渡到智能数字式互感器。可以说,电能计量设备的质量决定了电能计量体系先进与否。

2. 智能化电能计量体系

自从“坚强智能电网”的概念提出后,我国大规模推广适应坚强智能电网的智能化电能计量体系的建设,如图1-3所示,根据各个层面的管理需要,在变电站、电厂、专用变

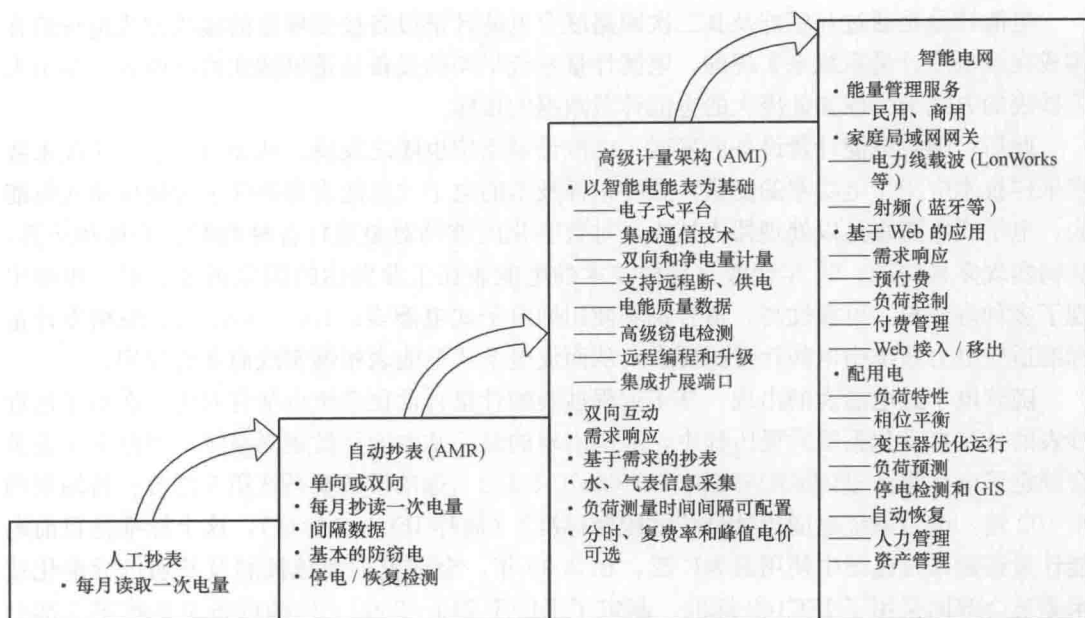


图 1-2 电能计量体系发展阶段图

压器大用户、公用变压器和低压用户等环节均设立计量节点，安装配套智能化的电能计量设备。

因此，智能电能表、智能互感器以及智能终端等电能计量设备将被各个变电站、电厂、专用变压器大用户、公用变压器和低压用户大规模、大范围地使用。

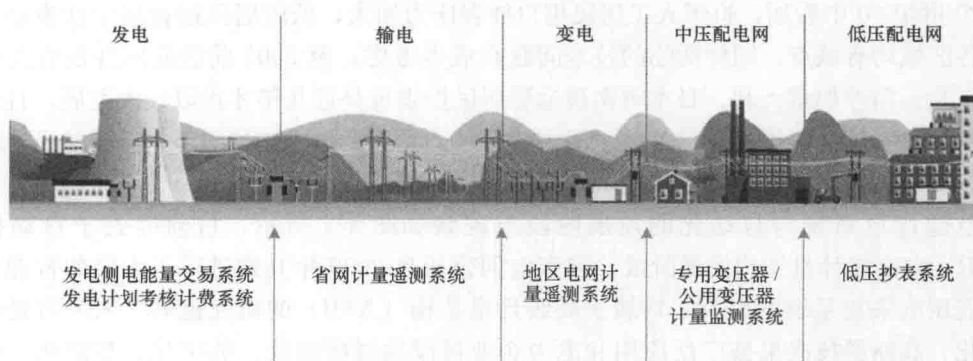


图 1-3 智能化电能计量体系建设涵盖的内容

智能化电能计量体系将主要由智能电能表、智能互感器、高速通信网络、信息分析处理中心以及与之配套的智能检定、管理系统组成，如图 1-4 所示其结构。

此系统实现了对电厂、变电站、公用变压器、专用变压器、低压用户等发电侧、供电侧、配电侧和售电侧的数据采集与监测，具有远程抄表、用电监测、负荷控制、预购电、线损统计分析、供电质量分析、用户节能评估等功能，为用户有序用电、需求侧管理等业务提供支撑。系统内所有的电能计量设备以及检定、管理等应用系统之间都通过高速通信



网络与信息处理分析中心相连,形成一个以数字信号传输、高度信息化、操控智能化的开放式计量系统。

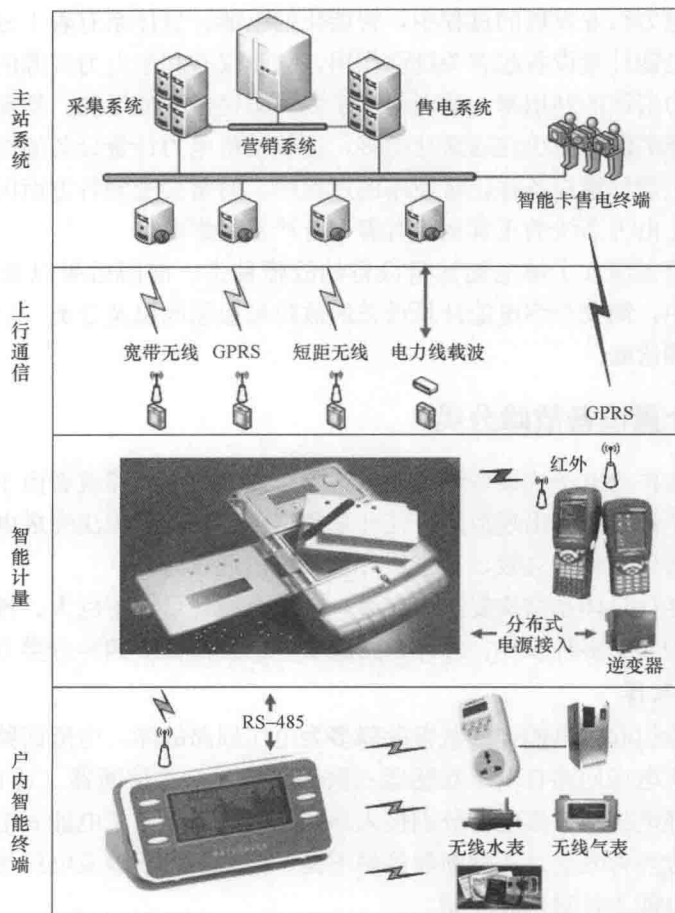


图 1-4 典型的智能化计量体系架构层次图

智能电能表、互感器等计量设备将所采集的数字化计量信息通过高速通信网络上传至信息分析处理中心;数据经分析整理后,再通过通信网络传送给供电公司相关管理部门和用电用户;并根据分析处理结果,自动生成电量电费清单、故障处理指令以及各种统计分析报告。从数据采集到数据分析存储,再到信息反馈发布,整个过程全部实现数字化和自动化。

第二节 电能计量设备故障

设备运行一定时间后,由于某种机理障碍(主要由物理、化学等内在原因或操作失误、维护不良等的外在原因引起)而使设备出现不正常情况或丧失局部功能的现象称为故障(这种不正常情况及局部功能的丧失通常是可以修复的)。

所谓故障,广义地讲,可以理解为任何系统的异常现象,使系统表现出不期望的特性。换句话说,故障是指设备或设备的一部分不能或将不能完成预定功能的事件或状态。具体地讲,设备故障是指在规定的条件下,设备工作时它的一个或几个性能参数不能保持



在要求的上、下限之间,其结构、组件、元器件等出现破损、断裂、击穿等,丧失了由应用环境和技术条件决定的设备所要完成的功能。

在当前我国电力行业发展的过程中,智能化的电能计量体系有着十分重要的意义。而其中巨大数量的电能计量设备起着关键性作用,它不仅有利于电力资源的合理配置,还大幅度地提高了电力资源的利用率,从而促进了我国国民经济的增长。然而随着社会的不断发展,人们对电能的需求量也在逐渐地增多,这就使得电力计量设备的应用范围越来越广泛。但是,由于电能计量设备在正常使用的过程中,时常会受到各方面因素,而出现故障问题,这就对整个电力系统的正常运行有着十分严重的影响。

因此,有必要去深入了解电能计量设备的故障种类、前因后果以及分析、诊断的方法。在本书绪论中,简要介绍电能计量设备的故障形成原因以及分类。后续章节将会详细阐述故障的分析和诊断。

一、电能计量设备故障分类

电能计量设备作为电子式设备,可能因为一个部件出现故障或者由于自然或人为某些因素都会导致整个计量设备出现故障,使计量数据不正确或者无法完成电能的计量,从而使电能计量设备的计量功能失效,甚至使计量系统出现故障。

智能化的电能计量体系结构复杂而庞大,其中电能计量设备巨大、种类繁多。因此电能计量设备故障的类型多种多样。总体归纳起来,可按照如下四种分类方式进行分类。

1. 计量回路故障

计量回路故障引起的电能计量装置故障多为电压回路故障,电流回路及电能表本体故障比较少见。二次电压回路自电压互感器二次端子箱、二次熔断器(或自动开关)、二次电缆、电能表屏经电压切换继电器分别接入不同的电能表。由于电能表电压回路经过的中间环节较多,造成经常发生二次熔断器接触不良、熔断器熔断以及电压切换继电器接触不良等故障,造成电能表计量出现差错。

2. 电能表故障

电子式电能表在使用中常出现的几类典型故障如下:

(1) 死机。死机一般指电能表通电后没有任何反应,因为单相静止式电能表的核心技术都采用逻辑电路,所以并不存在程序飞掉的问题。事实上碰到的所谓死机大多由于电流、电压取样线虚焊或断掉,或电压分压电阻断裂,或由于脉冲线碰到强电而损坏光耦,或 PCB 板上元件虚焊等。

(2) 倒拨卡字。电子表一般采用脉冲计度器,而计度器和步进电动机之间采用齿轮啮合方式,所以禁止快速拨动转轮。但是重复修理校验时往往不得不倒拨,经多次试验及与生产厂家咨询,目前的计度器允许拨最后一位齿轮,否则容易出现卡字现象。计度器的安装与机械式的相似,找出字轮两边均凸出的槽子,对应放字瓣的长齿,只允许轻轻拨最后一位齿轮,这样做就可以减少倒拨卡字。

(3) 无脉冲输出。此故障常见有两种原因:①脉冲线脱焊、断线、短接或脉冲线碰到强电引起三极管损坏以及 PCB 板线路烧坏等;②指示灯亮但无脉冲的现象,此现象说明电源部分、计量部分、CPU 部分工作正常,问题出在输出电路上。

(4) 低电压时计度器不翻字。由于 PCB 板虚焊、连焊造成所需供电电流偏大,或由



于降压电容的质量问题造成容量减少而提供不出足够电流。

(5) 误差大幅度超差

由于锰铜电阻和铜连接片之间的焊接发生变化导致电流采样值偏离,或电压调整回路的焊接出现虚焊、短路。

(6) 有脉冲输出,但误差较大的故障。这种现象说明电路工作基本正常,可首先判断是哪一相误差大引起的,问题可能出在电压线与电流互感器的引线焊接不正确,或有断路故障。故障现象为单相的功率因数为 1.0 时误差正常,可 0.5L 时的误差为 15%,说明仪表线路基本正常,问题可能出在单相电压采样回路或单相的电流互感器上。

对电子表误差的测量,必须由专业人员使用专用检定装置。一些用户往往根据家用电器的情况判断电子表的误差,家用电器的实际功率与标称功率很难完全一致,所以有很大误差。如果身边没有专用检定装置,可采用一只合格的电能表串接在该电子表下进行对比,这样可判断出该电子表的误差。若误差超出规定范围较大,即应送计量部门检验鉴定。

3. 互感器故障

(1) 电压互感器。电压互感器常见故障主要包括:电压三相指示不平衡,可能是熔断器损坏;高压熔断器熔断,内部绝缘损坏,层间和匝间故障;电压指示不稳,接地不良;电压互感器回路断线;电容式电压互感器的二次电压波动;二次电压低可能接线断或分压器损坏,二次电压高可能是分压器损坏。

(2) 电流互感器。电流互感器(TA)带电运行时二次回路侧故障是非常危险的,主要表现为开路 and 短路两种状态。电流互感器运行中触点接触不良、触点损坏、人为短接或断开、互感器损坏等故障在电流回路中均可归结为开路或短路现象。

4. 计量终端故障

(1) 通信模块故障。用于载波通信信号的连接和传输模块故障,或用于 RS-485 通信信号的连接和传输模块故障。

(2) 耦合隔离电路故障。用于耦合载波通信信号、隔离工频信号电路故障。

(3) A/D 转换器故障。用于将载波/RS-485 模拟通信信号转换为数字信号的 A/D 转换器故障。

(4) 数字信号处理模块故障。用于处理获得模数转换后的载波/RS-485 通信信号的频谱数字信号处理模块故障。

(5) 计算机系统故障。这里包括计量终端的控制模块、载波通信功能分析模块、RS-485 通信功能分析模块、波形显示模块、频谱显示模块等。

二、电能计量故障危害

在经济建设和人们生活中电能是一种必不可少的能源,它对社会发展和经济建设起着重要的推动作用。作为一种电力企业维护电能分配体系和正常运转的方式,电能计量的作用十分重要,它是电力企业维护电能分配体系与运转操作职能的重要途径,电能计量工作的有效开展,关系到电力企业和电能用户双方的经济利益。

我国自改革开放以来,经济发展和社会进步都取得了举世瞩目的成就。随着经济的发展,对电的需求量不断扩大,电力销售市场的扩大又刺激了整个电力生产的发展。但是随着经济的发展和用电量的增大,尤其伴随着市场经济体系的建立,因电能计量故障引起计



量损失的问题变得越来越突出,供电企业乃至国家为此蒙受了巨大的经济损失。电力计量故障问题不仅困扰电力企业的发展,也严重影响了国家的经济建设和社会的稳定。

比如说,计量用的电子式互感器故障时将不但直接影响电能准确计量,而且二次侧不同程度的人为短路/开路,会出现很大的电流/电压,还会损害设备甚至危及生命财产安全。

再如,目前国内因计量故障造成的经济损失成每年递增的态势。以一个省级单位年售电量 500 亿 kWh 为例,电力计量故障造成的线损如果为 1.5 个百分点,就少计电量约为 8 亿 kWh,折合人民币几亿元。

据大洋网 2000 年年底有关《湖南每年被窃电超过 2 亿 kWh》新闻报道,根据湖南省电力局介绍,近年来湖南省每年不算其他故障,仅被窃电量超过 2 亿 kWh,相当于一个中等规模县的全年用电量。近几年湖南每年省电网销售的电量为 300 亿 kWh 左右,实际线损率为 8.8%,除去线路传输及设备损耗的 5%,其余部分都属于管理损耗即偷、漏掉的电量。根据各市州供电部门不完全统计,其中仅人为计量故障就超过 2 亿 kWh。电力部门每年因湖南一个省人为故障造成的损失在亿元以上。

由此可见,如果电能计量发生故障,就会危害计量系统的安全运行,导致电能计费不准确,就会发生计量误差,而电能计量误差的存在给电力部门与电能用户间的电能核算造成了不良影响,同时也给双方公平、公正的经济效益实现埋下了隐忧,并且给企业和用户造成了巨大的经济损失,甚至危害到生命财产的安全。因此,对电能计量故障分析与处理就愈发显得重要。

第三节 电能计量可靠性技术

一、可靠性技术发展历程

1. 国外可靠性技术的研究与发展

可靠性技术是在第二次世界大战后发展起来的一门新技术。可靠性研究始于美国,而日本是可靠性工程的后起之秀。产品的可靠性研究在国外经历了萌芽阶段(20 世纪 40 年代)、创建阶段(20 世纪 50 年代)、全面发展阶段(20 世纪 60 年代)、成熟阶段(20 世纪 70 年代)以及深入发展阶段(20 世纪 80 年代以来),使得可靠性产品设计涉及了各类产品之中。

可靠性技术提出以来,世界工业先进国家都很重视可靠性技术,成立了一些可靠性研究的国际技术组织机构,如国际电工技术委员会(IEC-TC/56)、可靠性技术委员会(1965 年)、可靠性与维修性技术委员会(1973 年)、可信性技术委员会(1990 年)等。

在可靠性发展过程中,这些国际性组织已发布了不少关于可靠性方面基础性或共性的标准:如 IEC300《可靠性与维修性管理》,IEC605《设备可靠性试验》与 IEC706《维修性导则》,MIL-R-39016《有可靠性指标的电磁继电器总规范》(美国 1964),JISC5440《有可靠性要求的控制用小型继电器通则》(日本 1980),ГОСТ12434—1983《低压开关电器通用技术条件》(苏联 1983)。这些标准的发布推动了产品可靠性指标的提高。近年来,国际可靠性技术研究的热点主要有:无维修使用期(MFOP)、可靠性指标体系及其验证、



加强软件可靠性设计、实施集成化结构设计、实施网络化管理等方面。

在电能计量与能效管理领域,英国的燃气和电力行业监管机构 OFGEM (The Office of Gas and Electricity Markets) 把德国西门子的 SN29500 作为本国电能表的可靠性评价标准。但是 OFGEM 只评价经过较长时间、批量生产的电能表的可靠性,即利用专门的可靠性软件分析工具,预计分析电能表的可靠寿命,通过定时定数截尾加速老化寿命试验验证电能表的可靠寿命。例如, OFGEM 在 2004 年评价了 Ampy Metering Ltd. 从 1989 年开始生产的 5235A 型 230V 5 (100) A 1.0 级电子式电能表。5235A 型电能表在连续运行 30.64168 年 (268421h) 后,可靠度下降到 97%。OFGEM 为该型电能表颁发了 20 年长寿命证书 (986 号)。目前 IEEE 也在讨论 IEC 62059《电能计量装置可信性》标准并发布了部分内容,在电能计量可靠性国际标准方面迈出了重要的一步。

2. 国内可靠性技术的研究与发展

20 世纪 60 年代,我国由电子工业部门最早开展可靠性研究工作,主要在航空、航天、电子、机械等领域对相关可靠性评估取得了开拓性进展。20 世纪 80 年代,可靠性技术开始应用到珠三角民用电子产品研制企业,并逐步推广到整个民用领域电子装备研制和使用的各个行业。与电能表相关的可靠性研究始于 20 世纪 90 年代,如首先颁布的着眼于机械式电能表可靠性的 JB/T 50070《电能表可靠性要求及考核方法》,2002 年修订后,将使用范围拓展到静止式交流电能表。2002 年出版的电力行业标准 DL/T 828《单相交流感应式长寿命技术电能表使用导则》和 DL/T 830《静止式单相交流有功电能表使用导则》也为验证电能表可靠性提供了指导和依据。机械行业标准 JB/T 6214—1992《仪器仪表可靠性验证试验及测定试验(指数分布)导则》为开展可靠性试验提供了基础。电网系统也发布了电能表抽样验收试验规范。在可靠性的实践中,电力行业的研究机构在 2000 年前后开展了加速老化寿命试验研究,以温度应力加速验证电能表寿命。多家电力公司也开展了入网选型、抽样验收、现场抽检等各种类型的质量监督工作,不断提高电能表的可靠性水平。这些工作对我国智能电能表的可靠性工程技术研究做出了良好铺垫。

国内电网计量智能化的发展对智能化电子产品的可靠性提出了很高的要求。我国国内很多智能电能表和终端生产单位也已经意识到了产品可靠性的重要性,一些单位依托各自的产品对可靠性进行了研究。如长沙威胜在供应链管理、物料平台方面健全了管控机制,在设计可靠性、工艺可靠性、送样评估、元器件失效机理分析等方面持续投入并取得较好成效。浙江顺舟在产品的自动化检测和测试、间歇性故障研究等方面取得了一定的成效。上海协同在产品的设计可靠性、样机测试、关键零部件的老化筛选、供应商的准入管理、产品生产工艺控制等方面,秉承了军品国有企业的做法,贯彻到产品的研发生产过程中。南京新联利用研制军工产品的经验,开展了可靠性方面的设计和测试。深圳科陆依托上市公司的实力,对产品的可靠性进行了全面研究,包括产品设计,工艺控制及过程控制等。浙江万胜对产品研制进行了可靠性过程控制,如系统设计时采用模块化结构,软硬件设计上考虑充分的裕度(冗余)和保护,元器件及整机产品进行高低温及老化试验等,产品质量保证方面有明显提高。

(1) 电子元器件失效分析技术。对电子元器件失效原因的诊断过程称为失效分析,失效分析的理论基础是可靠性物理技术。进行失效分析往往需要进行电测量并采用先进的物理、冶金及化学的分析手段。失效分析的目的是确定失效模式和失效机理,提出纠正措