

数字化变电站技术丛书

DIGITAL SUBSTATION

测试分册

高新华 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

数字化变电站技术丛书

测试分册



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

目前,数字化变电站试点及应用都取得了一些成果,为今后工作提供借鉴,本书在大量收集整理国内外数字化变电站相关素材基础上,结合广东电网中山220kV变电站数字化改造的成果与工程经验,从设计、制造、安装调试、测试、运行维护、状态检修及成果与展望7个方面进行总结与归纳,分7个分册出版,形成本套《数字化变电站技术丛书》。

本书为《数字化变电站技术丛书 测试分册》,全书分为4篇,共18章。第1篇 IEC 61850 一致性测试,共3章;第2篇出厂测试,共8章;第3篇现场测试,共4章;第4篇实用化测试表格,共3章。

本书可供工作在各电网(力)公司、电力科研部门及建设施工单位以及其他相关专业领域的工程技术人员参考,也可作为高等学校相关专业本科生和研究生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字化变电站技术丛书. 测试分册 / 高新华主编. —北京: 中国电力出版社, 2010

ISBN 978-7-5123-0023-1

I. ①数… II. ①高… III. ①数字技术—应用—变电所—测试 IV. ①TM63-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 007626 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 13.5 印张 244 千字

印数 0001—3000 册 定价 36.00 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



前言

近几年对数字化变电站新技术的研究及应用成为热点,数字化变电站已在国内电力系统试点应用并取得一定经验,但尚未有一套完整的书籍对数字化变电站设计、制造、验收、安装调试、运行维护等方面进行归纳总结。本套丛书旨在全面总结广东电网公司中山供电局 220kV 三乡数字化变电站技术改造研究成果,并对今后数字化变电站设计及建设运行提供借鉴。该套丛书由广东电网公司组织有关单位技术人员编著而成,分为设计、制造、安装调试、测试、运行维护、状态检修、成果与展望 7 个分册。

《数字化变电站技术丛书 测试分册》一书分为 4 篇,共 18 章。分别从 IEC 61850 一致性测试、出厂测试、现场测试及实用化测试表格等内容进行阐述。本书主要由广东电网公司电力科学研究院完成编写,高新华担任主编,编写人员及编写分工如下:绪论、第 1~3 章由高新华编写,第 4、5、7 章由余南华编写;第 6、14、15 章和第 16 章部分内容由杨颖安编写,第 10、12、13 章由黄曙编写,第 8、9 章由梁晓兵编写,第 11、16、17 章和第 18 章部分内容分别由陈炯聪、胡巨、代仕勇、曾瑞江编写。

在本书的编写过程中,广东电网公司、广东电网公司电力科学研究院、广东省电力设计研究院、广东省电力调度通信中心等单位给予了大力支持。编写时还参阅了有关参考文献、国家标准、运行规程、技术说明书等。在此,对以上单位及有关作者表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2009 年 12 月

目 录

前言

绪论	1
0.1 数字化变电站概述	1
0.2 数字化变电站测试技术特点	3
0.3 中山 220kV 三乡数字化变电站概况	4
0.4 数字化变电站测试内容与组织	7

第 1 篇 IEC 61850 一致性测试

第 1 章 概述	11
1.1 型式试验	11
1.2 一致性测试介绍	12
1.3 测试工具介绍	13
第 2 章 IEC 61850 模型测试	15
2.1 文档检查	15
2.2 装置 ICD 文件的合法性静态检测	16
2.3 装置 ICD 文件的动态一致性要求	16
第 3 章 互操作测试	17
3.1 测试方法	17
3.2 测试结果	19

第 2 篇 出厂测试

第 4 章 IEC 61850 综合测试	23
4.1 关联测试	23
4.2 互操作测试	24
第 5 章 网络设备测试	26
5.1 交换机性能测试	27

5.2	交换机功能测试	28
5.3	交换机组网性能测试	29
5.4	网络流量监视	31
第 6 章	过程层测试	33
6.1	非常规互感器测试	33
6.2	合并器测试	41
6.3	智能操作箱测试	45
第 7 章	间隔层测试	48
7.1	测控装置测试	48
7.2	保护装置测试	52
7.3	故障录波装置测试	54
第 8 章	站控层测试	55
8.1	监控后台测试	55
8.2	远动装置测试	60
8.3	保护信息子站测试	61
第 9 章	同步对时系统测试	63
9.1	变电站同步对时方式	63
9.2	典型数字化变电站内对时系统结构	64
第 10 章	UPS 系统测试	68
10.1	UPS 系统运行模式	68
10.2	UPS 系统测试	69
第 11 章	系统集成测试	75
11.1	互感器与合并器配合测试	75
11.2	后台与装置 MMS 关联测试	78
11.3	间隔层与过程层装置 GOOSE 相关功能测试	80
11.4	全站系统测试	82

第 3 篇 现场测试

第 12 章	现场测试概述	87
12.1	现场交接验收	87
12.2	定期检验	87
12.3	状态检修	88

第 13 章	现场测试环境分析	89
13.1	系统测试环境	89
13.2	试验仪器、工具材料	90
第 14 章	现场测试内容	91
14.1	GOOSE 配置文本检查	91
14.2	母线保护 GOOSE 跳闸试验	98
14.3	智能单元箱 SOE 记录精度试验	101
14.4	间隔“五防”联闭锁功能模拟测试	106
14.5	站内光缆链路测试	108
14.6	现场 GOOSE 网络性能测试	112
第 15 章	风险分析及预控措施	123

第 4 篇 实用化测试表格

第 16 章	IEC 61850 一致性测试	127
16.1	装置模型测试	127
16.2	装置 GOOSE 测试	128
第 17 章	出厂测试	129
17.1	IEC 61850 互操作测试	129
17.2	网络设备测试	134
17.3	过程层测试	138
17.4	间隔层测试	148
17.5	站控层系统测试	161
17.6	保护信息子站测试	177
17.7	GPS 系统测试	181
第 18 章	现场测试	184
18.1	网络交换机	184
18.2	过程层设备	186
18.3	间隔层设备	192
18.4	站控层设备	199
参考文献		205

绪 论

0.1 数字化变电站概述

如同产业革命,变电站技术的发展变迁,也是一个不断从功能低级走向功能高级,从庞大体积变为精细集约,从繁杂凌乱化为简单有序的过程。早在 2000 年,SPAG 会议确定以 IEC 61850 标准为基础建立无缝远动通信体系结构,开启了人们对建设新一代变电站的新憧憬。从现代紧凑型变电站,到数字式变电站,再到如今数字化变电站命名的演变,使数字化变电站技术条件的逐渐走向成熟。

当前,建设数字化变电站已经成为全世界对变电站发展趋势的一个不容置疑的共识。据不完全统计,至 2009 年 6 月,我国已投运的数字化变电站达到 28 座,目前在建的数字化变电站已接近 40 座,且在规划的数字化变电站还在不断增加。

数字化变电站从本质定义的角度来说,正如有关文献所指,其主要特征是“一次设备智能化,二次设备网络化,符合 IEC 61850 标准”,即数字化变电站内的信息全部做到数字化,信息传递实现网络化,通信模型达到标准化,使各种设备和功能共享统一的信息平台。如今,数字化变电站在业内已深入人心,并为逐渐发掘其完全应用而努力。与常规变电站相比,数字化变电站技术优势如下:

(1) 二次系统建模和通信的标准化。IEC 61850 标准从根本上实现了二次系统设备信息互通和共享,进而成为电网实时信息的高度共享与集成应用及智能电网应用开放的基础。

(2) 信息交互的网络化。站内各种采集量值、状态信息及跳合闸命令均在以太网网络平台上传输,真正实现了数据与资源的共享。

(3) 数据采集的数字化。采用电子(光学)技术研制的非常规互感器,不仅克服了电磁式互感器固有的磁饱和、磁干扰、绝缘、过电压、短路、开路等问题,还为数据的精度的提升,甚至为未来测量保护一体化整合奠定了基础。

(4) 二次系统状态的可视化。站内二次系统的网络化可实现对网络通信状态、运行状态的全过程控制,实现二次系统的状态检修。以状态检修替代传统的定期检修成为不可逆转的趋势。

(5) 设计、安装及施工的简洁化。可最大限度地取消二次电缆,控制电缆改为

光缆,减少了保护屏上大量的接线端子,还可以去掉保护屏上的硬压板、按钮及把手等。

传统变电站与数字化变电站的结构对比如图 0-1 所示。

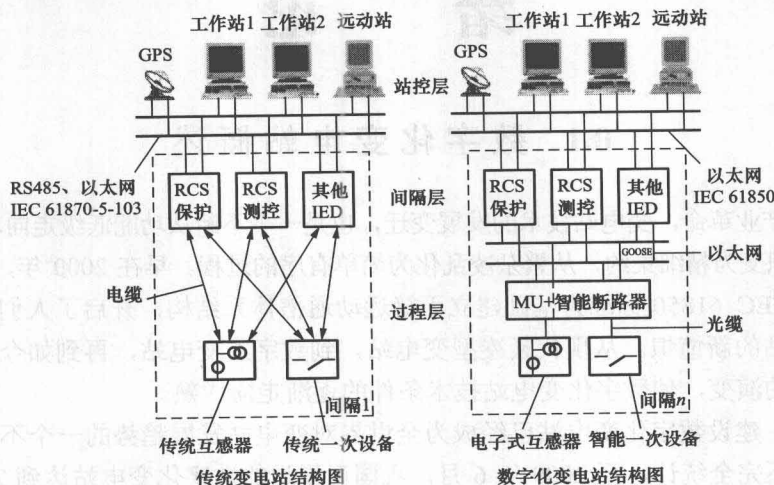


图 0-1 传统变电站与数字化变电站结构示意图

数字化变电站按照 IEC 61850 标准从整体上分为过程层、间隔层和站控层,在实际应用过程中,这三个层应分别实现以下主要功能:

(1) 过程层主要功能。对电力运行的实时电气量检测;运行设备状态检测;操作控制执行与驱动。其中操作控制的执行与驱动包括变压器分接头调节控制,电容、电抗器投切控制,断路器、隔离开关合分控制等。

(2) 间隔层主要功能。汇总本间隔过程层实时数据信息;实施对一次设备的保护控制功能;实施本间隔操作闭锁、同期功能等功能;完成与过程层及变电站层的网络通信功能。

(3) 站控层主要功能。通过两级高速网络汇总全站的实时数据信息与调度或控制中心进行双向信息交互;具有在线可编程的全站操作闭锁控制功能;具有人机交互和多媒体功能;具有对间隔层、过程层设备的在线维护及在线修改参数的功能;具有(或备有)变电站故障自动分析和操作培训等功能。

建成后的数字化变电站应具有高可靠性、可操作性、可扩展性的要求。高可靠性指系统应具有冗余结构,特别是作为系统数据通道的通信系统 and 人机界面的监控主站应具有互相独立的冗余配置。在故障情况下,冗余的通信系统和监控主站应该可以在系统不停止工作的情况下进行热切换,以保证系统执行相应的保护和自动控制任务。互操

作性指同一厂家或不同厂家的多个 IED 要具有交换信息并使用这些信息进行协同操作的能力,设备的互操作性可以最大限度地保护用户原来的软、硬件投资,实现不同厂家产品集成。可扩展性就是要求系统在设计时,软件系统和硬件系统尽可能采用模块化设计方法,方便未来的系统扩展,同时要求通信接口标准化,系统具有开放性。

0.2 数字化变电站测试技术特点

尽管相关的新技术在它们原来的领域可以说是比较成熟,但在变电站自动化系统中的应用还处在摸索的阶段。由这些新技术、新设备构成的变电站自动化系统,其实时性、可靠性、稳定性、安全性都必须特别关注。安全和稳定是电网运行最为关键的指标,如果不能满足,再先进的技术也是空谈。因此,新技术应用在工程化项目时,就必须对整个变电站系统的各项指标进行详细测试,考验实施方案是否能满足变电站运行的要求、是否能达到标准的要求,探讨方案的合理性、可行性、该如何进行改进,最后才能进入实际的工程应用。

在本书中,传统变电站以常规的综合自动化站(简称综自站)为例进行描述。其一次设备采集模拟量,通过电缆将模拟信号传输到测量控制保护装置(简称测控保护装置),装置进行模数转换后处理数据,然后通过网络将数字量传到后台监控系统,同时监控系统和测控保护装置对一次设备控制通过电缆传输模拟信号实现。数字化变电站一次设备采集信息后,就地转换为数字量,通过光缆上传测控保护装置,然后传到后台监控系统,而监控系统和测控保护装置对一次设备的控制也是通过光缆传输数字信号实现其功能。常规综自站与数字化变电站的系统连接对比如图 0-2 所示。

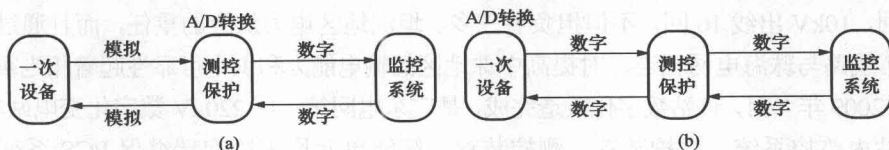


图 0-2 常规综自站与数字化变电站系统连接对比示意图

(a) 常规综自站; (b) 数字化变电站

对应于两者的区别,其相应的测试方法会出现新的变化。其主要特点如下:

0.2.1 测试内容的变化

与传统变电站相比,数字化变电站测试内容具有明显的不同,主要体现为三个方面:

(1) 数字化变电站采用统一的通信规约,装置之间的通信、互操作的规范性需通过 IEC 61850 的一致性测试来验证,这是传统变电站测试中没有的内容。

(2) 数字化变电站实现了一次设备智能化,其交流采集和保护开入以数字化方

式提供信息,其控制输出、信号输出采用数字化的方式,测试内容侧重于对合并器、智能操作单元等装置的准确性、快速性和同步性等内容测试,这也是传统变电站测试中没有的内容。

(3) 数字化变电站实现了二次设备网络化,通信网络装置具有非常重要地位,对其功能要求和性能要求均大大提高,其测试内容不仅包括时延、吞吐量、丢帧率等基本性能测试,还包括多层级联后性能及 VLAN 划分、优先级处理、端口镜像、广播风暴抑制、环网自愈、自检告警等功能要求。

正是由于统一的通信规约、一次设备智能化、二次设备网络化带来的变化,使得数字化变电站的测试实现了“软着陆”,即测试的内容和要求均由传统的硬触点测试转为软触点测试。

0.2.2 测试工具的变化

对应于测试内容的变化,数字化变电站测试中出现了 IEC 61850 测试工具、数字化继电保护测试仪、网络报文监听工具、GOOSE 报文模拟工具等新型测试设备及工具,大大丰富了变电站的测试手段,实现后台系统对间隔层和过程层的遥信、遥测和遥控以及装置间的信息交互、操作交互等多种功能。这些变化对测试人员的知识技术面提出了更高的要求。

0.3 中山 220kV 三乡数字化变电站概况

220kV 三乡变电站(简称三乡站)于 1991 年建成投产,是中山地区电网的一座重要枢纽变电站,经几次扩建和改造,建设有 3 台主变压器,220kV 出线 6 回,110kV 出线 6 回,10kV 出线 16 回,不但担负着三乡、坦洲地区电力供应的重任,而且通过 4 回 220kV 线路与珠海电网相连,对提高中珠地区的输电能力和供电可靠性起着相当重要的作用。2009 年 7 月,该站数字化改造完成,是广东电网第一座 220kV 数字化变电站项目。

站内监控系统、保护装置、测控装置、智能单元均采用南瑞继保 PCS 系列;互感器采用南京新宁光电公司 OET 700 系列电子式电流、电压互感器:电流互感器基于电磁感应原理的 Rogowski 线圈,电压互感器利用串行感应分压器实现;采用南京新宁光电公司 OEMU 702 系列合并器;开关量、装置联闭锁均采用 GOOSE 实现,保留传统跳合闸回路,配置 GOOSE 跳合闸命令与传统跳合闸回路作比较,可取消传统回路采取 GOOSE 方式完成跳合闸。

三乡站站控层网络及 GOOSE 网采用双星型以太网,取消了传统的采集回路,采用通信方式实现数据的采集和控制命令的发出、信号开关量的实时传送。三乡站网络结构如图 0-3 所示。

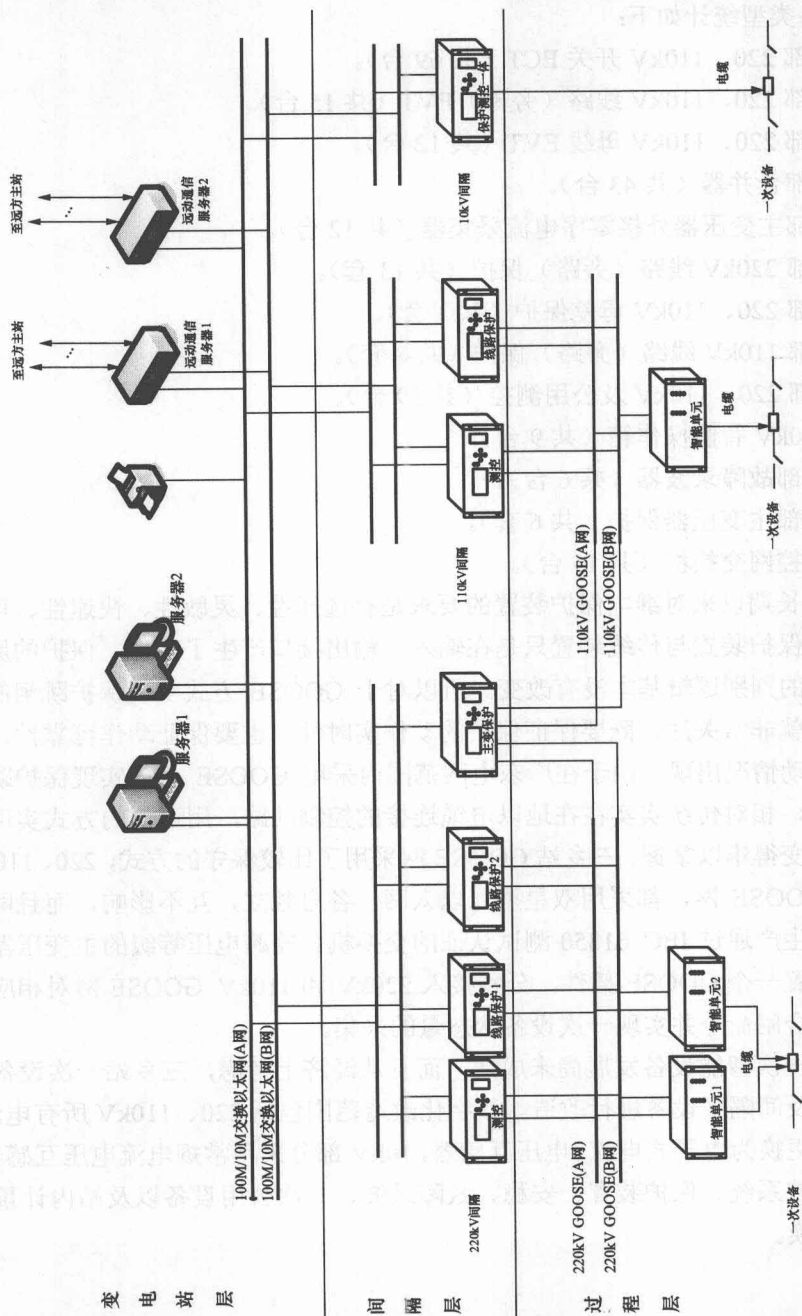


图 0-3 三乡站网络结构图

三乡站数字化升级改造的范围涉及 220kV 和 110kV 设备, 不含 10kV 一、二次设备, 按设备类型统计如下:

- (1) 全部 220、110kV 开关 ECT (共 69 台)。
- (2) 全部 220、110kV 线路 (旁母) EVT (共 15 台)。
- (3) 全部 220、110kV 母线 EVT (共 12 台)。
- (4) 全部合并器 (共 43 台)。
- (5) 全部主变压器外接零序电流采集器 (共 12 台)。
- (6) 全部 220kV 线路 (旁路) 保护 (共 13 套)。
- (7) 全部 220、110kV 母差保护 (共 3 套)。
- (8) 全部 110kV 线路 (旁路) 保护 (共 8 套)。
- (9) 全部 220、110kV 及公用测控 (共 39 台)。
- (10) 110kV 智能操作箱 (共 9 台)。
- (11) 全部故障录波器 (共 6 台)。
- (12) 全部主变压器保护 (共 6 套)。
- (13) 监控网交换机 (共 15 台)。

电力系统长期以来对继电保护装置的要求是有选择性、灵敏性、快速性、可靠性, 数字化的保护装置与传统装置只是在输入、输出接口产生了变化, 保护的原理及各保护元件的判别逻辑基本没有改变。所以对于 GOOSE 方式实现保护跳闸的快速性和可靠性就非常关注, 既要保证保护的動作实时性, 也要保证動作可靠性, 不能有误动或拒动情况出现。由于在广东电网范围内采用 GOOSE 方式实现保护跳合闸的经验不多, 相对传统实实在在地以电缆连接的控制回路, 用通信的方式实现对运行人员来说变得难以掌握。三乡站 GOOSE 网采用了比较保守的方式, 220、110kV 部分分别组 GOOSE 网, 都采用双星型以太网, 各自独立, 互不影响, 而且网络设备采用国外生产通过 IEC 61850 测试认证的交换机。需跨电压等级的主变压器保护装置需多配置一个 GOOSE 插件, 分别接入 220kV 和 110kV GOOSE 网对相应一次设备发送跳合闸命令并实现一次设备状态量的采集。

由于国内一次智能设备发展尚未成熟, 而且从经济上考虑, 三乡站一次设备主要针对互感器及间隔层设备进行改造。数字化改造范围包括 220、110kV 所有电流、电压互感器均更换为电子式电流、电压互感器, 10kV 部分采用常规电流电压互感器, 站内计算机监控系统、保护装置、安稳、故障录波、二次公用设备以及站内计量设备进行相应更换。

0.4 数字化变电站测试内容与组织

三乡站是一座枢纽变电站，关系到两地区电网的连接与稳定，而且作为一个改造站，工程实施方面有着较大的难度，特别是改造过程中部分间隔设备完成改造部分间隔还在使用旧设备，如何能够保证新旧设备间可以正常工作是一个比较棘手的问题。变电站中使用的设备都是没有经历过足够实际运行经验的新型号设备，加上数字化变电站这种全新的方式，设备硬件、软件的运行稳定性、可靠性是否能够满足现场运行要求，对新的运行方式下装置对于不同工况下的各种处理机制是否合适、合理，有没有具备足够的分析记录功能等，都没有经过验证。

为了尽量使现场改造过程顺利而且达到预想的效果，应安排相关的各专业人员参加设备出厂验收测试。设备出厂前，在工厂将现场使用的装置按照变电站现场情况搭建起试验环境，在试验环境模拟各种不同情况，检验装置是否正确动作、正确反应各种工况，系统功能性能是否满足运行要求。在验收测试前，经过多次讨论整理出测试大纲，列出各种测试项目，包括互感器、合并器、保护装置、测控装置、保护信息子站、远动通信管理机、监控后台、交换机及网络，以及各种装置单机、联调及全站系统整体试验项目。测试大纲内容基于对全站设备的安全性、稳定性、可靠性、功能性等几个重点要素的考虑，包含对单装置、系统的集成测试与全站系统测试等各方面的内容。

设备现场调试验收过程中，除了对系统监视、测量、控制、保护逻辑等基本功能的实现进行工程化验收，还对系统实际运行工况下，包括采集器、合并单元、智能操作箱、保护装置、后台监控、远动信息转发、GOOSE、网络性能、联锁逻辑、光纤链路质量等针对数字化变电站的应用功能及相关性能指标进行测试。

本书结合中山 220kV 三乡数字化改造全过程的实际测试工作，对所涉及的各项测试主要方式、内容和步骤进行介绍，并侧重于为读者提供实用化测试技术及例子。基于 IEC 61850 一致性测试、出厂测试、现场测试等几个阶段的测试内容，本书分别以 3 个独立篇幅章节来叙述，并在第 4 篇中提供实用化测试表格为广大读者在实际测试工作中参考使用。

数字化变电站技术丛书

第
1
篇

IEC 61850一致性测试

