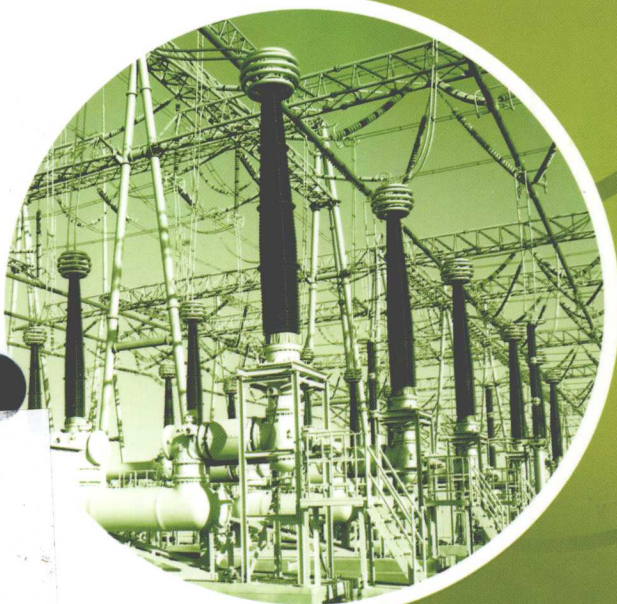


ZHINENGBIANDIANZHAN
JIDIANBAOHU JISHU YU YINGYONG

智能变电站

继电保护技术与应用

曹团结 黄国方 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013048463

TM63-39
03

ZHINENGBIANDIANZHAN
JIDIANBAOHU JISHU YU YINGYONG

智能变电站 继电保护技术与应用

曹团结 黄国方 编著



TM 63-39
03



北航 C1656517



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

013078403

内容提要

本书主要介绍智能变电站继电保护技术发展现状、关键实现技术、保护配置原则、设备测试技术及工程应用实例等,期望能够为继电保护及相关二次专业技术人员提供帮助。

全书共包括8章正文和1个附录,第1章主要介绍了继电保护及变电站自动化技术的发展与现状,影响智能变电站继电保护的关键因素,智能变电站继电保护技术特点;第2章介绍过程层设备,包括电子式互感器、合并单元和智能终端;第3~5章介绍了智能变电站继电保护配置原则及技术要求、实现技术和相关设备与系统;第6章介绍保护装置就地化技术;第7章介绍继电保护及相关设备的检验测试;第8章给出了智能变电站继电保护工程应用实例;附录介绍了网络通信技术基础。

本书可供从事变电站继电保护及相关二次专业的调度、运行、基建、设计、维护、检修、调试、检测工程技术人员使用,也可供科研、制造单位借鉴,还可供高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能变电站继电保护技术与应用/曹团结,黄国方编著. —北京:中国电力出版社,2013.4

ISBN 978-7-5123-4206-4

I. ①智… II. ①曹…②黄… III. ①智能技术-应用-变电所-继电保护 IV. ①TM63-39②TM77-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第055003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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013年6月第一版 2013年6月北京第一次印刷
787毫米×1092毫米 16开本 17.25印张 388千字
印数0001—3000册 定价67.00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



序

传统电网正在向智能电网发展，传统变电站也正向数字化、智能化变电站的方向发展。

任何一项新的电力技术的使用一定要看它到底给生产运行带来了什么好处。当年微机保护使用初期，正是因为给调试检测工作带来极大方便，大大提高了工作效率，赢得了广大继电保护工作者的喜爱，得以广泛应用。智能变电站技术的研究一定要贴近生产运行实际，为生产运行带来切实的好处。

继电保护由于担负电网安全稳定运行第一道防线的重任，尤其强调可靠性。继电保护无论采用何种实现方式，都要将可靠性考量放在第一位。这也是衡量智能变电站继电保护技术是否先进、是否适用的主要标准。

智能变电站技术的应用对继电保护工作者提出了更高要求。除了继电保护专业知识外，还需要掌握变电站自动化、网络通信等相关专业技术，只有具备多专业综合素质才可能把继电保护工作做好。本书较为全面地反映了智能变电站继电保护技术近年来取得的成果，对智能变电站继电保护及相关技术的基本概念、基础理论介绍较为清晰，以较多的篇幅介绍了变电站自动化、网络通信、对时、电子式互感器等相关技术，满足了新形势下继电保护专业技术人员拓宽知识面，掌握新技术的需要。





前 言

2009年以来,在智能电网、智能变电站建设的大背景下,继电保护技术领域经历了一场深刻而广泛的变革。上一次类似变革发生于20世纪90年代初期,以微机保护的兴起为主要标志;本次变革以数字化保护为主要标志,并且涉及范围更广,除了保护设备本身,还包括互感器乃至二次回路。本书旨在介绍智能变电站继电保护技术近期发展现状、关键实现技术、保护配置原则、设备测试技术及工程应用实例等,期望能够为继电保护及相关二次专业技术人员提供帮助。

智能变电站继电保护技术领域的变革目前还在继续。2012年初,国家电网公司提出建设新一代智能变电站,继电保护技术在此背景下还将有进一步的发展变化。要全面介绍正在迅速发展变化的一门专业技术是一件很困难的事,为尽量全面正确反映继电保护近年来取得的成果,本书在撰写中注重讲述被广泛采用的、经实践验证的或已被采用为国标、行标或国网企标的技术。

在参加智能变电站继电保护研发、工程、管理等工作中以及在本书的撰写过程中,作者深切感受到继电保护专业人员迫切需要掌握变电站自动化、网络通信等相关专业技术,提高多专业综合素质,才能把继电保护工作做好。为此,本书除介绍继电保护专业核心内容外,还大量增加了关于变电站自动化、计算机网络通信等方面的内容,并且注重讲解基本概念、基础理论,期望能够对继电保护及相关专业技术人员拓宽知识面有所裨益。限于书稿篇幅,本书没有对IEC 61850标准展开叙述,读者需要深入了解时可参考标准文本和本书列出的参考文献。

数字化保护在实现方式上有很大变化,但在核心保护原理上的变化却不大,与原理算法相关的难点在于采样数据同步和由软件实现的频率跟踪等问题。对于采样数据同步技术,本书用了较多篇幅进行分析和介绍,期望能解答读者的困惑。对于软件频率跟踪问题,由于已有比较成熟的算法,并且主要涉及数字信号处理,相关文献很多,本书没有再详述。

当前,智能变电站继电保护“新技术”、“新方案”不断推出,如何应用新技术值得认真思考。作者认为,首先要有辨别良莠的意识,不被所谓的“新技术”牵着鼻子走;

其次要有判断优劣的标准，这就是继电保护的可靠性、选择性、灵敏性、速动性（简称“四性”），只有满足“四性”要求或提升“四性”的新技术才是好技术；再次是要研究学习新事物，将其了解透彻，将优缺点分析清楚，才能在工作中扬长避短、物尽其用；最后要有合理的工作思路。继电保护的专业特点，要求对待新技术、新设备应“积极探索、严格论证、全面试验、稳妥应用”。

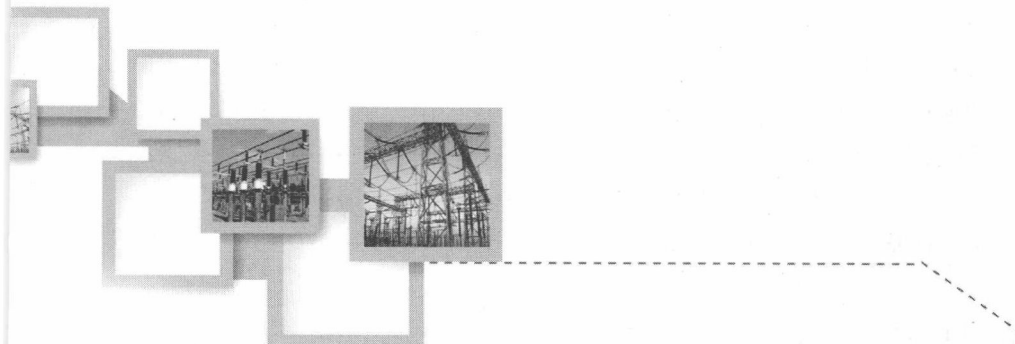
本书由国网电科院曹团结、黄国方编著。第1章由北京四方公司任雁铭审核；第2章由国电南瑞周华良、夏雨审核，江苏电力设计院苏麟提供部分资料；第3章由国电南瑞潘书燕、姚成，北京四方公司彭世宽审核，江苏电力设计院苏麟提供部分资料；第4章由北京四方公司任雁铭，国电南瑞周华良、余洪、沈健、吴海审核，中国电科院窦仁晖提供部分资料；第5章由国电南瑞王海峰、张海滨、代攀审核；第6章由国电南瑞夏雨审核；第7章由国电南瑞潘书燕、侯喆、许捷，山西电科院景敏慧审核，国网电科院试验验证中心胥岱遐提供部分资料；第8章由国电南瑞李娟、许广婷审核，李蔚提供部分资料；附录A由北京四方公司任雁铭，国电南瑞吴海审核。书中引用了国电南瑞、南瑞继保、中原华电、国电南思等单位的产品技术资料。作者对各位参加审核和提供宝贵资料的同志、专家表示衷心的感谢。

特别要感谢国家电力调度控制中心王德林、马锁明、吕鹏飞、刘宇对本书的关心和支持；感谢国电南瑞杨志宏大力支持编写本书并提供工作便利；感谢国网电科院陈建玉、南京磐能公司程利军博士对本书提供指导和建议；特别鸣谢国家电力调度控制中心舒治淮的指导、支持和帮助。感谢各位同事、同行、专家、领导和相关部门，他们对作者提升技术水平、积累撰书素材提供了无形帮助。

国网继电保护专家组专家郑玉平教授级高工担任全书主审，在审阅过程中提出很多非常有价值的指导意见和建议，在此深表谢意。

由于作者水平所限，加之时间仓促，书中肯定会有疏漏和不足之处，敬请读者谅解并批评指正。

作者
2012年12月



目 录

序 前言

1	概 论	1
1.1	继电保护及变电站自动化技术发展现状	1
1.2	影响智能变电站继电保护的关键因素	3
1.3	智能变电站继电保护技术特点	16
2	智能变电站过程层设备	19
2.1	电子式互感器	19
2.2	合并单元	40
2.3	智能终端	60
3	继电保护配置原则及技术要求	71
3.1	概述	71
3.2	线路保护（110kV 及以上电压等级）	72
3.3	变压器保护	74
3.4	母线保护	77
3.5	高压并联电抗器保护	79
3.6	断路器保护	79
3.7	短引线保护	81

3.8	母联(分段)保护	81
3.9	中低压间隔保护	82
3.10	电压并列与电压切换	82
3.11	保护及自动化系统组网方式	89
3.12	基于SV/GOOSE虚端子的工程设计方法	92
4	智能变电站继电保护实现技术	97
4.1	保护装置总体设计	97
4.2	采样技术	103
4.3	对时技术	123
4.4	网络通信技术	134
4.5	IEC 61850 标准建模与配置	142
4.6	分布式母线保护实现技术	153
5	智能变电站继电保护相关设备与系统	157
5.1	网络报文记录分析及故障录波装置	157
5.2	继电保护故障信息处理系统子站	163
6	保护装置就地化技术	169
6.1	保护装置就地化技术发展现状	169
6.2	保护就地化安装方式及特点	173
6.3	保护就地化相关关键技术	175
6.4	就地安装保护装置设计关键技术	176
7	继电保护及相关设备的检验测试	182
7.1	概述	182
7.2	通用项目检验测试	184
7.3	继电保护装置检验测试	186
7.4	智能终端检验测试	191
7.5	合并单元检验测试	192
7.6	电子式互感器检验测试	195
7.7	网络与交换机检验测试	200

7.8	系统级测试	201
8	智能变电站继电保护工程应用实例	208
8.1	110kV 智能变电站工程实例	208
8.2	220kV 智能变电站工程实例	214
8.3	500kV 智能变电站工程实例	224
8.4	750kV 智能变电站工程实例	229
附录 A	网络通信技术基础	235
A.1	计算机通信网络的体系结构与基本概念	235
A.2	以太网技术	245
参考文献	265

概 论

1.1 继电保护及变电站自动化技术发展现状

继电保护是一门应用技术，其发展建立在机械、电子、通信、计算机等相关基础技术之上，并与远动、监控、变电站自动化等相关专业技术有密切的关联和相互影响。近年来，继电保护技术发展受变电站自动化技术的影响越来越大。

变电站自动化技术发展历程大体可分为三个阶段，即早期的远动技术，中期的监控技术和近期的变电站自动化技术。近期的变电站自动化又包括传统变电站自动化、数字化变电站自动化以及当前的智能变电站自动化。

早期的远动技术可追溯到 20 世纪 40 ~ 70 年代，当时的远动设备大部分只完成遥测、遥信“二遥”功能，少部分同时具备遥测、遥信、遥控、遥调“四遥”功能。

中期的监控技术可追溯至 20 世纪 80 ~ 90 年代中期，这一时期出现了所谓数据采集与监控系统，即 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 系统，远动一词也逐渐为监控所取代，远动功能由“二遥”发展为“四遥”，且增添了若干附加功能。

在前两个时期，继电保护与远动、监控技术分别独立发展，继电保护一般仅通过硬触点和电缆导线将告警信号、动作信号接入远动设备。

20 世纪末到 21 世纪初，由于半导体芯片技术、通信技术以及计算机技术飞速发展，远动技术发展到了变电站自动化阶段。其主要特点表现为：以分层分布式结构取代传统的集中式结构，在设计理念上不是将整个厂站作为设备面对的目标，而是以间隔设备对象作为设计的依据；在中低压系统采用物理结构和电气特性完全独立，功能上既考虑测控又涉及继电保护的测控综合装置，对应一次系统中的线路、变压器、电容器、电抗器等间隔设备；在高压与超高压系统，以独立的测控单元对应相应的一次间隔。这一时期，变电站二次系统中智能电子装置 (IED) 大量运用，诸如继电保护与安全自动装置、站内直流电源控制器、数字式电能表等均可视为 IED 而纳入一个统一的变电站自动化系统之中。保护装置与自动化系统的集成主要通过通信接口，包括早期的 RS485 总线串行接口以及后来广

泛应用的以太网接口，通信协议一般采用 DL/T 667—1999 (idt IEC 60870-5-103) 《远动设备及系统 第 5 部分 传输规约 第 103 篇 继电保护设备信息接口配套标准》。

由于采用了分层分布式结构，并且传统上相当独立的远动、监控与继电保护联系更为紧密，远动技术由此上升到了一个崭新的高度，其概念与内涵也有了质的不同。这样的技术因此被称为变电站自动化技术，由此而诞生的系统，而不是一个装置，称为变电站自动化系统。

随着变电站自动化技术的发展，“数字化变电站”的概念于 21 世纪初逐渐兴起，但由于种种原因，数字化变电站的确切定义一直未能明确。业内普遍认为，数字化贯穿变电站自动化的始终，目前所研究讨论的数字化变电站应该是数字化的变电站自动化发展过程中的一个阶段。2007 年，国家电网公司科技部和南京自动化研究院提出，“数字化变电站是以变电站一、二次设备为数字化对象，以高速网络通信平台为基础，通过对数字化信息进行标准化，实现信息共享和互操作，并以网络数据为基础，实现继电保护、数据管理等功能，满足安全稳定、建设经济等现代化建设要求的变电站”。这一定义基本反映了当时的技术共识，但未产生太大影响。在这个阶段，符合 IEC 61850 变电站通信网络和系统标准，采用电子式互感器、智能化的一次设备、网络化的二次设备，是其最主要的技术特征。数字化变电站技术逐步发展起来并开始得到一定数量应用，但时间不长，智能变电站的概念迅速兴起，成为工程研究的热点。

2009 年 5 月，国家电网公司发布了建设坚强智能电网战略，在这一战略思想指导下，同年 12 月发布了 Q/GDW 383—2009 《智能变电站技术导则》。该导则提出，“智能变电站是采用先进、可靠、集成、低碳、环保的智能设备，以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求，自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等基本功能，并可根据需要支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级功能的变电站”。此处提出的智能变电站概念，本质上是对智能变电站自动化技术和系统的定义。

智能变电站采用 IEC 61850 标准，将变电站一、二次系统设备按功能分为三层，即过程层、间隔层和站控层。过程层设备包括一次设备及其所属的智能组件、独立智能电子装置。间隔层设备一般指保护装置、测控装置、状态监测 IED 等二次设备，实现使用一个间隔的数据并且作用于该间隔一次设备的功能。站控层设备包括监控主机、远动工作站、操作员工作站、对时系统等，实现面向全站设备的监视、控制、告警及信息交互功能。

数字化变电站技术尚未成熟时，受政策影响，变电站自动化技术迅速向智能变电站方向发展。由技术特征来看，两者颇具共同性，由此不少专业人员产生了相当的困惑：智能变电站与数字化变电站的区别是什么？依作者浅见，数字化是手段，智能化是目标，两者是从不同角度阐述变电站自动化技术发展的新特征。同时不可否认的是，在智能变电站技术研究和应用热潮的推动下，变电站数字化的范围和深度较以往大大地提升了。

无论数字化变电站、智能变电站，都按 IEC 61850 标准将变电站划分为三层，比传统变电站多出过程层设备，传统间隔层二次设备如保护装置的功能被拆分为间隔层和过程层两部分实现，再加上 IEC 61850 标准统一建模的通信方式和电子式互感器的应用，这些因素对继电保护产生了深刻的影响。

继电保护技术发展经历了机电型、整流型、晶体管型、集成电路型和微机型五个阶段。目前,国内电力系统中应用的继电保护装置绝大部分是微机型。微机保护产生于 20 世纪 60 年代,成熟和开始大规模应用于 20 世纪 90 年代。我国从 20 世纪 70 年代末即开始了微机保护技术的研究,并已历经多代:第一代微机保护装置是单 CPU 结构,几个印制电路板由总线相连组成一个完整的计算机系统,总线暴露在印制电路板之外;第二代微机保护是多 CPU 结构,每块印制电路板上以 CPU 为中心组成一个计算机系统,由此实现了“总线不出插件”;第三代保护技术的特点是利用一种特殊单片机,将总线系统与 CPU 一起封装在一个集成电路块中,因此具有极强的抗干扰能力,即所谓“总线不出芯片”。近年来,数字信号处理器(DSP)在微机保护硬件系统中得到广泛应用。DSP 具有先进的内核结构、高速的运算能力以及与实时信号处理相适应的寻址方式等许多优良特性。以往由通用 CPU 难以实现的继电保护算法可以通过 DSP 轻松完成。以 DSP 为核心的微机保护装置已经是当今主流产品。

按 IEC 61850 标准构建的数字化变电站自动化系统,其中的保护装置功能被拆分成间隔层和过程层实现。仅包含间隔层保护逻辑功能,不含过程层数据采集和命令输出功能的保护装置称为数字化保护。数字化保护与传统微机保护相比,在保护原理、软件算法、核心硬件方面基本相同,但在模拟量采集、开关量输入/输出、对外通信接口方面有了全新的实现方式。数字化保护是微机保护的最新发展阶段。也有人将数字化保护看做继微机保护之后的第六代继电保护。

智能变电站继电保护的电压、电流量可通过传统互感器或电子式互感器采集,跳合闸命令和联闭锁信息可通过直接电缆连接或 IEC 61850 标准中的 GOOSE 机制以光纤传输,但两者与变电站自动化系统站控层交互信息都采用 IEC 61850 站控层接口标准,因此智能变电站继电保护既包括数字化保护,也包括采用了 IEC 61850 站控层接口标准的传统微机保护。

1.2 影响智能变电站继电保护的关键因素

影响智能变电站继电保护的关键因素可概括为五个方面,即 IEC 61850 标准和电子式互感器的应用、智能一次设备的出现、网络通信技术应用以及智能变电站自动化系统总体架构。这几个因素实际上互相关联,不能割裂开来。

1.2.1 IEC 61850 标准

IEC 61850 实际上是一系列标准,全称为《变电站通信网络与系统》,由国际电工委员会(IEC)第 57 技术委员会(TC 57)于 2004 年颁布,共包含 14 个标准。该系列标准是基于通用网络通信平台的变电站自动化系统唯一的国际标准。我国于 2004~2006 年间将该系列标准等同采用为电力行业标准,编号为 DL/T 860。自 2009 年开始,TC 57 开始发布 IEC 61850 标准第二版,目前尚未全部完成。本书以第一版内容为基础进行介绍。

在 IEC 61850 系列标准出现之前,不同制造厂的智能电子设备互联时需要付出大量复杂且花费昂贵的协议转换工作。从实际利益出发,必须在智能电子设备制造厂和用户之间

就设备之间能够自由地交换信息达成一致。制定 IEC 61850 系列标准的目的是要实现不同厂商设备之间的互操作性。所谓“互操作”，IEC 61850 系列标准给出的定义是：“两个或多个来自同一或不同厂家的设备能够交换信息，并利用交换的信息正确执行特定的功能”。为此，IEC 61850 系列标准采用自顶向下的方式对变电站自动化系统进行系统分层、功能定义和对象建模，并对一致性检测进行了详细的定义。

IEC 61850 系列标准各个部分的名称和内容如下。

IEC 61850 - 1 介绍和概述：介绍了 IEC 61850 的概貌，定义了变电站内智能电子设备 (Intelligent electronic devices, IED) 之间的通信和相关系统要求等。

IEC 61850 - 2 术语：收集了系列标准中涉及的特定术语及其定义。

IEC 61850 - 3 总体要求：详细说明系统通信网络的总体要求，包括质量要求（可靠性、可维护性、系统可用性、轻便性、安全性）、环境条件、供电要求等，并根据其他标准和规范对相关的特定要求提出建议。

IEC 61850 - 4 系统和项目管理：描述了对系统和项目管理过程的要求以及对工程和试验所用的支持工具的要求，具体包括工程要求（参数分类、工程工具、文件）、系统寿命周期（产品版本、停产、停产后的支持）、质量保证（责任、测试设备、型式试验、系统测试、工厂验收、现场验收）等。

IEC 61850 - 5 功能的通信要求和设备模型：规范了自动化系统功能的通信要求和装置模型，具体包括基本要求、逻辑节点的探讨、逻辑通信链路、通信信息片的概念、逻辑节点和相关的通信信息片、性能、功能等。

IEC 61850 - 6 与变电站有关的 IED 的通信配置描述语言：包括系统工程过程概述、基于 XML 的系统和配置参数交换的文件格式的定义、一次系统构成（单线图）描述、通信连接描述、IED 能力、IED 逻辑节点对一次系统的分配等。

IEC 61850 - 7 - 1 变电站和馈线设备的基本通信结构——原理和模型：描述标准的建模方法、通信原理和信息模型。

IEC 61850 - 7 - 2 变电站和馈线设备的基本通信结构——抽象通信服务接口 ACSI (Abstract Communication Service Interface)：包括抽象通信服务接口的描述，抽象通信服务的规范，设备数据库结构的模型等。

IEC 61850 - 7 - 3 变电站和馈线设备的基本通信结构——公共数据类：包括公共数据类和相关属性。

IEC 61850 - 7 - 4 变电站和馈线设备的基本通信结构——兼容的逻辑节点类和数据类：包括逻辑节点类和数据类的定义等。

IEC 61850 - 8 - 1 特定通信服务映射 SCSM (Special Communication Service Mapping) ——映射到 MMS 和 ISO/IEC 8802 - 3：将 ACSI 映射到 MMS 的服务和协议，主要用于间隔层到站控层的通信。

IEC 61850 - 9 - 1 特定通信服务映射 SCSM——通过串行单方向多点共线点对点链路传输采样测量值：已被废止，不再介绍。

IEC 61850 - 9 - 2 特定通信服务映射 SCSM——通过 ISO/IEC8802.3 传输采样测量值：详

细说明了依照标准的第 7-2 部分中的抽象规范而定义的传输采样值的特定通信服务映射。

IEC 61850-10 一致性测试：包括一致性测试规则、质量保证、测试所要求的文件、有关设备的一致性测试、测试手段、测试设备的要求和有效性的证明等。

IEC 61850 系列标准卷帙浩繁，内容艰深。IEC 61850 标准本身并非继电保护专业的技术标准，标准制定机构 TC 57 技术委员会主要负责电力系统远动、变电站自动化、配电网自动化、数据通信和安全等方面的国际标准工作。但由于该标准对变电站功能架构、通信体系和变电站自动化系统带来的巨大变化及其广泛影响力，继电保护不可避免受到其深刻影响。以下仅介绍 IEC 61850 标准中与继电保护密切相关的技术要点，若要深入全面了解 IEC 61850 标准，请参考标准文本及相关文献。

1.2.1.1 变电站功能的分层结构

IEC 61850 标准提出了变电站自动化系统功能分层的概念，功能分为三个层次，即变电站层（习惯上也称站控层）、间隔层和过程层，并且定义了层与层之间的逻辑通信接口，如图 1-1 所示。物理上，变电站自动化系统设备可安装在不同的功能层。

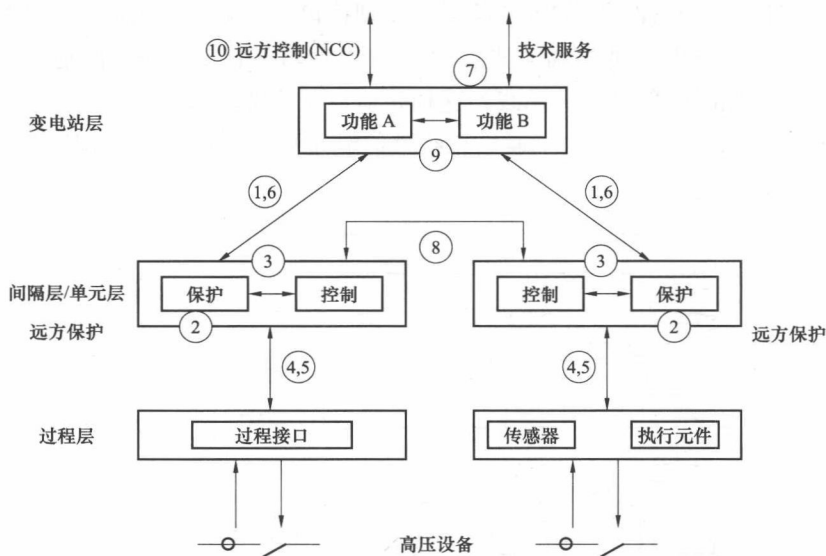


图 1-1 变电站通信体系层次

过程层实现所有与一次设备接口相关的功能，是一次设备的数字化接口。典型的过程层设备，如过程接口装置、传感器和执行元件等，它们将交流模拟量、直流模拟量、直流状态量等就地转化为数字信号提供给上层，并接收和执行上层下发的控制命令。

间隔层的主要功能是采集本间隔一次设备的信号，操作控制一次设备，并将相关信息上送给站控层设备和接收站控层设备的命令。间隔层设备由每个间隔的控制、保护或监视单元组成。

站控层的功能是利用全站信息对全站一次、二次设备进行监视、控制以及与远方控制中心通信。站控层设备由带数据库的计算机、操作员工作台、远方通信接口等组成。

IEC 61850 标准中对变电站过程层功能的单独划分，有别于传统变电站自动化系统，

这也是智能（数字化）变电站与传统变电站的主要区别。

图 1-1 中的数字表示各功能之间的逻辑接口，各接口代表的意义如下：

接口 1—在间隔层和变电站层之间交换保护数据；

接口 2—在间隔层和远方保护之间交换保护数据（超出 IEC 61850 系列标准范围）；

接口 3—在间隔层内交换数据；

接口 4—在过程层和间隔层之间 TA 和 TV 瞬时数据交换（如采样值）；

接口 5—在过程层和间隔层之间交换控制数据；

接口 6—在间隔层和变电站层之间交换控制数据；

接口 7—在变电站层和远方工程师工作站之间交换数据；

接口 8—在间隔层之间直接交换数据，特别是快速功能，如联闭锁功能；

接口 9—在变电站层之间交换数据；

接口 10—在变电站层和远方工程师工作站之间交换控制数据（超出 IEC 61850 系列标准范围）。

逻辑接口可以采用几种不同的方法映射到物理接口，一般可采用站级总线覆盖逻辑接口 1、3、6、9，采用过程总线覆盖逻辑接口 4、5。逻辑接口 8（间隔间通信）可以被映射到任何一种或者同时映射到两种总线。这种映射将对所选通信系统所要求性能有很大的影响（见图 1-2 和图 1-3）。如果通信总线性能满足要求，则将所有逻辑接口映射到一根单一通信总线是可能的。

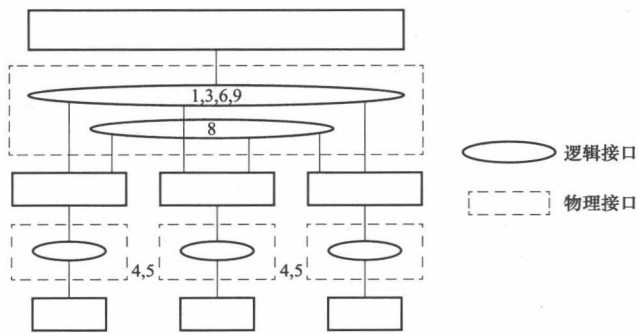


图 1-2 逻辑接口到物理接口的映射：逻辑接口 8 映射到站级总线

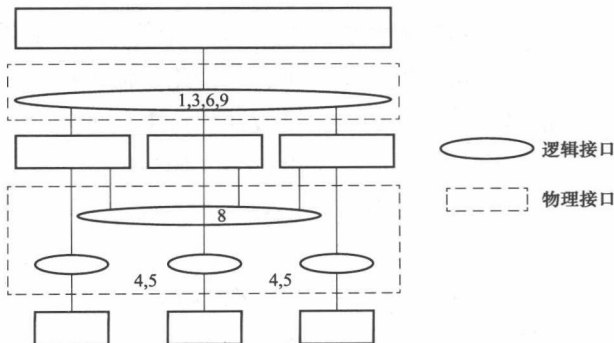


图 1-3 逻辑接口到物理接口的映射：逻辑接口 8 映射到过程总线

后面 1.2.5 将介绍基于上述逻辑接口划分和物理通信系统要求提出的智能变电站通信体系架构。

1.2.1.2 MMS 协议

IEC 61850 标准的一个重要目的就是使变电站自动化系统中来自不同厂家的设备实现“互操作”。要达到这个目的,就需要在这些设备之间建立网络连接,并通过规范设备间的通信内容使得接收请求的设备知道发送请求的设备的目的和要求,接收请求的设备在本地进行相应的操作后返回其结果,从而实现一个特定的功能。由于抽象信息模型不依赖于具体的通信协议栈,为了实现具体的应用进程之间的通信,IEC 61850 标准采用了特定通信服务映射(SCSM)的方法,即采用当前已经成熟的、流行的国际通信标准作为 IEC 61850 标准的通信协议栈。

IEC 61850 标准在电力系统中的应用需要具有实时的强壮的底层通信协议的支持,并且能够传输复杂的自描述的可扩展的数据信息,在 IEC61850 标准第一版制定之时,ISO/IEC 9506 制造报文规范(MMS)是唯一有能力支持 IEC 61850 的国际标准。

MMS 协议标准(Manufacturing Message Specification, ISO/IEC 9506 制造报文规范、GB/T16720)由服务规范、协议规范、机器人伴同规范、数字控制器伴同规范、可编程逻辑控制器伴同规范、过程控制系统伴同规范六部分组成。其中服务规范和协议规范是基础规范,是整个协议体系的核心,其他部分则是用于不同领域的配套规范。IEC 61850 标准只使用了基础规范,IEC 61850 标准映射的 MMS 对象和服务是 MMS 标准的一部分,即 MMS 的一个协议子集。

智能(数字化)变电站中统一采用 MMS 协议作为间隔层设备与站控层之间以及站控层设备之间的通信协议标准,代替私有的或传统的通信协议(如 IEC 60870-5-103),使得来自不同厂家的设备可以实现互操作。

1.2.1.3 GOOSE(通用面向对象变电站事件)机制

通用面向对象的变电站事件 GOOSE(Generic Object Oriented Substation Event)是 IEC61850 标准定义的一种快速报文传输机制。GOOSE 以高速网络通信为基础,为变电站装置间的通信提供了快速且高效可靠的方法,广泛应用到间隔闭锁和保护功能间的信号传递。GOOSE 用网络信号代替了智能电子装置之间硬接线通信方式,简化了变电站二次系统接线。

变电站自动化系统中,IED 间协同工作完成保护闭锁、失灵启动、防误闭锁等功能的重要前提是 IED 之间数据通信的可靠性和实时性。基于此,IEC 61850 标准定义了通用变电站事件 GSE(Generic Substation Event)模型,该技术提供了在全系统范围内快速可靠地输入、输出数据值的功能。GSE 分为两种不同的控制类和报文结构:一种是通用面向对象的变电站事件 GOOSE,支持由数据集(DATA-SET)组织的公共数据交换;另一种是通用变电站状态事件 GSSE(Generic Substation State Event),用于传输状态变位信息(双比特)。下面主要介绍应用最多的 GOOSE 的传输机制及其特点。

GOOSE 报文的发送按图 1-4 所示的规律执行。其中 T_0 又称心跳时间,装置平时每隔 T_0 时间发送一次当前状态,即心跳报文。当装置中有事件发生(如保护动作)时,

GOOSE 数据集中的数据就发生变化，装置立刻发送该数据集的所有数据，然后间隔 T_1 发送第 2 帧及第 3 帧，间隔 T_2 、 T_3 发送第 4、5 帧， T_2 为 $2 \times T_1$ ， T_3 为 $2 \times T_2$ ，后续报文以此类推，发送间隔以 2 倍的规律逐渐增加，直到增加到 T_0 ，报文再次成为心跳报文。

工程中， T_1 一般设置为 2ms，心跳报文间隔时间 T_0 一般设置为 5s。对传输过程进行了精简，一般共发 5 帧数据，即以 0ms—2ms—2ms—4ms—8ms 的时间间隔重发 GOOSE 报文，连续发 5 帧后便以 5000ms 的时间间隔变成心跳报文。

报文允许存活时间为 $2 \times T_0$ ，接收方若超过 $2 \times T_0$ 没有收到 GOOSE 报文即判断为中断，发 GOOSE 断链报警信号。由此，通过 GOOSE 通信机制也实现了装置间二次回路状态在线监测。

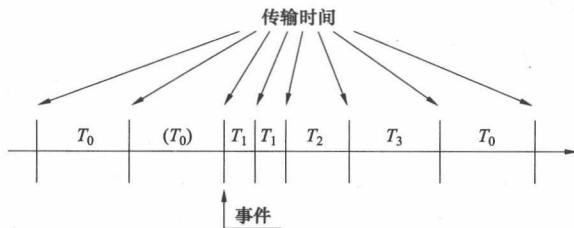


图 1-4 GOOSE 报文传输时间

T_0 —稳定状态下（长时间内无事件发生）报文重发时间间隔； (T_0) —由于事件发生导致 T_0 变短的时间间隔；

T_1 —事件发生后最短的重发时间间隔； T_2 、 T_3 —重发直到再次回到稳定状态时间间隔

GOOSE 报文的传输过程与普通网络报文不同，它是从应用层经表示层 ASN.1 编码后，直接映射到底层的数据链路层和物理层，而不经 TCP/IP 协议，即不经网络层和传输层。这种映射方式避免了通信堆栈造成传输延时，从而保证了报文传输的快速性。

GOOSE 还采用了较先进的交换式以太网技术，如报文分优先级传输等，保证快速报文传输的实时性。按 IEC 61850 标准的要求，GOOSE 报文传输时间延迟不应大于 4ms。

GOOSE 采用发布者/订阅者通信结构，此通信结构支持多个通信节点之间的对等直接通信。与点对点通信结构和客户/服务器通信结构相比，发布者/订阅者通信结构是一个或多个数据源（即发布者）向多个接收者（即订阅者）发送数据的最佳解决方案，尤其适合于数据流量大且实时性要求高的数据通信。发布者/订阅者通信结构符合 GOOSE 报文传输本质，是事件驱动的。GOOSE 报文的核心内容可由用户灵活、自定义，不仅可传输状态信息，而且可传输模拟量信息，甚至可传输时间同步信息等。

作为对比，GSSE 报文传输服务均映射于 OSI 的 7 层协议堆栈中，一方面存在协议堆栈传输延时，另一方面，此报文仍基于传统的以太网实现，不支持报文优先级和虚拟局域网、无特定的多播地址等。这使得当网络负荷较重时，难以保证报文传输的实时性。GSSE 目前基本不用。

在智能变电站中，GOOSE 主要用于 IED 设备传送开关量状态信号、保护跳合闸信号及联、闭锁信号。

1.2.1.4 过程总线

电子式电流、电压互感器的逐步实用化和智能开关设备的改进，使得连接变电站自动化