

智能变电站自动化与保护核心 IEC 标准的进展与分析

陈德辉¹, 须 雷², 赵希才²

(1. 南瑞集团有限公司(国网电力科学研究院有限公司), 江苏省南京市 211106;

2. 南京南瑞继保电气有限公司, 江苏省南京市 211102)

摘要:近年来,对智能变电站深入研究、推广应用促进了国内外各项技术的标准化进程。基于泛在电力物联网标准体系的研究背景,首先综述了智能变电站自动化与保护技术国内外标准化工作现状;其次阐述了 IEC 框架下变电站自动化与保护技术的标准构成,详述并分析了其 3 个核心标准的体系架构及关键技术的进展,其中,IEC 61850 包括配置语言、信息模型、服务映射、网络通信,IEC 60255 包括保护开入/开出数字化、传输时延、同步相量测量,IEC 61869 包括总体技术要求、中压低功率互感器、数字接口与合并单元。最后从体系架构、信息模型继承、功能标准制定、全维度信息安全、国内外标准一体化研制等 5 个方面提出了相关建议。

关键词:泛在电力物联网;智能电网;智能变电站;自动化与继电保护;IEC 标准

0 引言

变电站自动化与保护是电网运行控制系统的重要组成部分,承担着远动、继电保护、自动控制、同步相量测量等功能,对电力系统的稳定、可靠和经济运行具有至关重要的作用^[1]。随着信息技术、微电子技术、通信技术的发展,变电站自动化与继电保护的形态也在发生相应的变化,体现在采集方式由传统的模拟量向数字化发展,控制方式由集中式向分散分布发展,传输介质由电缆和串行向网络和并行发展,功能由常规向智能化发展,同时推动了国内外相应技术、设备的标准化工作^[2-3]。

一般认为过去 15 年变电站自动化与保护经历了数字化变电站、智能变电站 2 个阶段。2009 年前为数字化变电站时期,特征上体现为 IEC 61850 标准和电子式互感器的应用,实现上体现为二次设备开入/开出的数字化、信息传输的网络化、传输介质的光纤化。在数字化变电站建设初期,为了充分验证不同技术、不同设备、不同系统架构的性能,在 IEC 61850 标准互操作、不同类型电子式互感器的应用方面取得了一定的成果。但是,由于对系统架构相关标准的关注不够,在数字化变电站后期面临诸如总体技术原则缺乏、系统结构不统一、系统级性能评估困难等问题,影响了数字化变电站模式的进

一步推广。从 2009 年至今为智能变电站时期,该阶段继承了数字化变电站在信息建模、新型传感器、网络通信等技术方面的研究成果和应用经验,在标准化方面遵循标准先行的理念,注重系统标准的制定,在应用方面进行智能化的提升,体现为站域保护控制系统、智能辅助决策、一键式顺序控制等综合性功能方面,以满足智能电网建设对变电环节提出的更高需求,进一步推动了智能变电站自动化与保护标准的发展^[4-5]。

随着“大数据”、“云计算”、“物联网”等新技术与智能电网的深度融合,泛在电力物联网已成为当前研究的热点,如何从标准上吸取以往的经验、继承既有的成果,构建各专业的标准体系,促进行业技术发展和标准应用,已成为业内标准化工作的重点^[6]。由于智能电网涵盖的专业技术、系统较多,本文以智能变电站为例,对自动化、继电保护专业的核心国际电工委员会(IEC)标准现状、关键技术标准进展等进行分析,为泛在电力物联网相关技术的研究、产品研发和标准制定、修订提供参考。

1 国内外智能变电站自动化与保护标准综述

变电站自动化、继电保护一直以来都是国内外电网技术标准化组织的重要工作内容。中国以电力系统管理及其信息交互、量度继电器与保护装置等全国性标准化技术委员会为代表,国际上以 IEC、电气电子工程师学会(IEEE)、国际大电网会议

收稿日期: 2019-04-01; 修回日期: 2019-06-05。

上网日期: 2019-07-30。

<http://www.aeps-info.com> 229

(CIGRE)等组织的专委会为代表,专业上涵盖了测量、控制、继电保护、主厂站信息交互、信息安全、互感器等智能变电站自动化与保护技术标准的核心部分,在一定程度上满足了市场对标准的需求。

1.1 中国标准工作

在大力推进智能电网建设的背景下,中国企业、标准化机构积极推进国家标准、行业标准、企业标准等各类标准的制定。

2009年,国家电网有限公司制定了企业标准《智能变电站技术导则》,作为智能变电站建设的顶层设计。此后,在吸取中国南方电网公司等企业试点成果的基础上,于2013年发布了同名的国家标准,将智能变电站定义为“采用可靠、经济、集成、节能、环保的设备与设计,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化、系统功能集成化、结构设计紧凑化、高压设备智能化和运行状态可视化等为基本要求,能够支持电网实时在线分析和控制决策,进而提高整个电网运行可靠性”的变电站,在全国范围内对智能变电站的定义和内涵达成一致^[7]。同时,为智能变电站自动化、继电保护等各系统、设备标准的制定起到了框架性的作用。

随后几年间,随着智能变电站、新一代智能变电站、配送式智能变电站等模式的推进,在自动化、继电保护标准方面逐步形成了以《智能变电站技术导则》为统领,站控层设备、间隔层设备、过程层设备、系统工具为4类支柱的标准化体系,如图1所示。

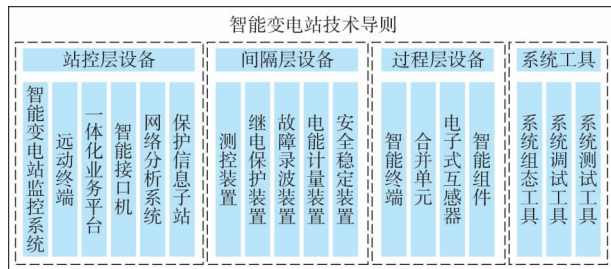


图1 智能变电站自动化系统中国标准体系
Fig.1 Standard architecture of smart substation automation system in China

1.2 IEEE 相关标准工作

IEEE 是重要的国际标准化组织之一。最初,变电站自动化与保护相关的标准主要由电力系统保护与控制专委会(PSRCC)负责,具体由其下设的系统保护、线路保护、保护通信、保护应用、旋转电机保护以及变电站保护这6个工作组承担。从工作组设置上看,PSRCC 标准化的重点在继电保护,且已经发布了输电线路距离、变压器差动、断路器失灵等保护的应用指南,以及网络精确时间协议、同步相量数据测量等65项技术标准,其中不少已转化为 IEC

标准,如 IEEE 1588 转化为 IEC 61850-9-3(精确时间协议)、IEEE C37.111 转化为 IEC 60255-24(暂态数据交换 COMTRADE 格式)等。面对智能电网的发展,PSRCC 于2017年发布了《继电保护在智能电网环境下角色》的研究报告,从分析智能电网的特征、需求、示范项目等出发,剖析 IEEE 已有保护相关的标准及差距,并建议后续标准更多关注自适应保护、保护与设备状态结合等方面标准的制定^[8]。

同年,电力系统通信与信息安全专委会(PSCCC)成立,除原 PSRCC 负责的诸如纵联保护通信接口、变电站网络通信等标准归属 PSCCC 外,PSCCC 在变电站信息安全、智能电子设备(IED)信息安全、物联网(IoT)接入电力通信系统等方面立项了新的标准,在一定程度上弥补了 IEEE 在变电站自动化专业标准方面的不足^[9]。

1.3 CIGRE 相关标准工作

CIGRE 是在电力系统领域影响力较大的国际学术组织,源自 IEC 研究新技术、新需求对标准影响的建议,其主要成果形式是技术报告,虽说不具备标准同等约束力,但由于 CIGRE 与 IEC 关系密切,在一定程度上可以看作 IEC 标准工作方面的预研。当前,CIGRE 依据设备、系统、技术、新材料设立16个专业委员会,其中保护与控制专委会(SC B5)负责自动化、继电保护专业相关的研究。SC B5 共发布了28项技术报告,涉及广域保护、保护配合、直流故障对交流保护的影响等。目前,SC B5 正在开展的24个项目中可分为3类。第1类是关注继电保护面临的挑战,如 IEC 61850 的应用、通信网络的应用、新能源大量接入等对保护的影响;第2类是新型继电保护算法,如自适应保护、故障的智能化分析等;第3类是信息安全方面,如变电站自动化系统的信息安全需求^[10-11]。

随着物联网等技术在电力系统应用范围的扩大,在信息传输方式、安全边界、信息安全等方面直接影响着自动化与保护系统。可以预见,CIGRE 信息通信专委会(SC D2)会更多参与到泛在电力物联网技术的研究中,这也是 IEC 标准工作关注的重点领域。

1.4 IEC 标准工作

IEC 标准在国际电工行业应用最为广泛,对实际需求的体现具有一定的代表性。为适应市场对智能电网及其相关技术标准化的需求,IEC 智能电网战略工作组(IEC SG3)于2009年发布了智能电网标准路线图,重新修编后于2017年以 IEC TR 63097 的形式发布。本报告分析了智能电网、智能变电站和其他环节的技术、市场以及管理需求,对各

环节的标准如何支撑智能电网给出了标准制定和修订的建议,为标准选择、体系规划等工作提供指导^[12-13]。

IEC 内部在变电站自动化与保护技术的标准化主体方面,主要由第 57 技术委员会(IEC TC57,电力系统管理及其信息交换)、第 95 技术委员会(IEC TC95,量度继电器与保护设备)、第 38 技术委员会(IEC TC38,仪用互感器)3 个机构制定与维护,其与 IEEE 和 CIGRE 在工作专业范围上的关系可以用图 2 表示。

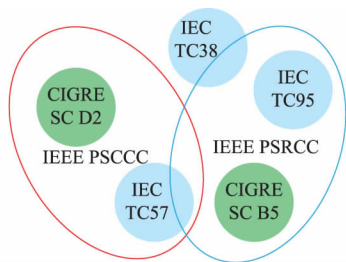


图 2 3 个国际组织专业关系
Fig.2 Professional relationship among three international organizations

就智能变电站自动化与保护专业的标准而言,在 IEC 基本形成以智能变电站标准路线图 as 总领,由数据采集、信息建模、网络传输、继电保护、测量控制、信息安全等相关的规范为细则组成的标准体系。图 3 给出了智能变电站自动化与保护的 IEC 标准体系。

由图 3 可以看出,自动化专业涵盖 IEC 61850(规范信息模型及相关服务)、IEC 62439(规范快速生成树协议(RSTP)、高可靠无缝冗余协议(HSR)和并行冗余协议(PRP))、IEC 62351(规范信息安全);继电保护专业涵盖 IEC 60255(规范保护功能)、IEC 61869(规范互感器及数字接口)。从实际应用来看,IEC 61850,IEC 60255,IEC 61869 为其核心标准,是智能电网标准体系的重要组成部分,同时也是泛在电力物联网标准的基础。下面对核心标准体系架构、关键技术标准动态、与泛在电力物联网的关系以及相关技术工作进展进行详述和分析。由于互感器同时为自动化与保护提供数据,本文将其单独介绍。

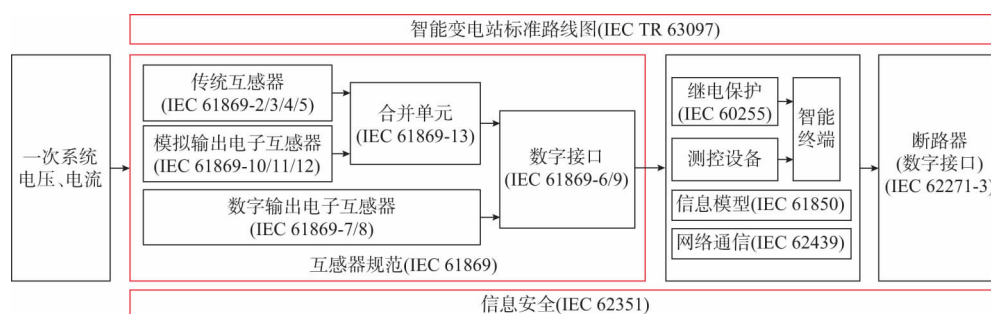


图 3 智能变电站自动化与保护 IEC 标准体系
Fig.3 IEC standard architecture of automation and protection for smart substation

2 变电站自动化核心标准

IEC 61850 是自动化专业的核心系列标准,由 IEC TC57 负责制定与维护。其第 1 版于 2003 年颁布,最初的名称为《变电站通信网络与系统》,已广泛应用于变电站自动化系统建设中,成为变电站自动化领域国际上公认的标准,也是中国智能变电站建设依据的重要标准。标准从配置语言、信息模型、服务映射、通信网络等多个方面进行规范,为来自不同生产商的设备之间实现互操作提供了标准基础。随后,在总结应用经验、吸取现场反馈的基础上,TC57 对第 1 版标准进行修订、完善,2009 年开始陆续发布第 2 版,相对于第 1 版,标准名称更换为《电力企业自动化通信网络与系统》,应用领域也由原来的变电站自动化扩展到分布式能源(DER)、柔性交流输电(FACTS)、电动汽车充电、电力储能、输变电设备

检测等领域,增加了数据模型,扩大了映射范围,完善了配置语言,优化了一致性测试规范等方面的内容^[14]。

2.1 IEC 61850 标准体系

截至 2018 年底,IEC 61850 系列中的核心标准的修订工作基本完成,例如:规范变电站配置语言(SCL)的第 6 部分、规范数据模型的第 7 部分、规范特殊映射的第 8 和第 9 部分等,至此形成了 IEC 61850 的第 2.1 版。2.1 版不是一个新版,确切地说是 2.0 版的勘误,在互操作性方面不存在前后版本兼容的问题。IEC 61850 系列标准架构如图 4 所示。图中 MMS 为制造报文规范;GOOSE 为通用面向对象变电站事件;SV 为采样值。

除此之外,TC57 正在制定 IEC 61850 的 3.0 版,除继续完善在水电自动化、微电网并网等领域的模型外,重点工作是将 IEC 61850 的模型转为统一

建模语言(UML)电子文档,一方面是方便在维护、研制新标准中对模型的复用,另一方面是方便在研发产品过程中应用工具自动导出与模型一致的C语言、硬件描述语言(VHDL)等底层语言数据结构,提高模型的一致性和研发的效率,预计在2021年底完成。

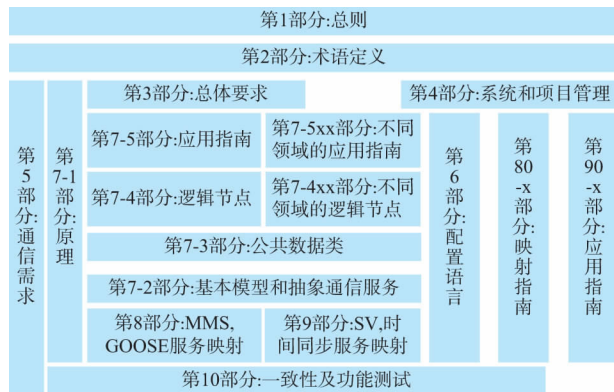


图4 IEC 61850 标准体系架构
Fig.4 Standard architecture of IEC 61850

2.2 IEC 61850 关键技术标准化进展及分析

2.2.1 配置语言

SCL是IEC 61850的基础,是描述系统数据、功能与服务的载体,是配置工具之间信息交换的对象。IEC 61850-6第1版将SCL文件类型分为4类:系统规范描述文件(SSD)、变电站配置描述(SCD)、IED能力描述(ICD)、实例化的IED描述(CID)。为了优化配置流程,IEC 61850-6在第2版中增加了系统交换描述文件(SED)和IED实例描述文件(IID)。

文件的结构上包括5个部分:文件头(Header)、变电站部分(Substation)、通信部分(Communications)、IED部分(装置的功能和配置)、数据类型模板部分(DataTypeTemplate)。在IEC 61850-6第2.1版中,一个变化是在原来Substation的基础上,增加了Process和Line这2个对象,目的是方便区域电网设备或者变电站涉网部分设备的功能建模。具体是Process定义为区域电网,Line定义为变电站间的联络线。IEC 61850的3.0系列中,IEC 61850-6的编号计划改为IEC 61850-6-1^[15],以区别于正在制定的IEC 61850-6-2。

IEC 61850-6-2是人机界面配置描述语言规范,其初衷是制定变电站自动化系统及相关设备人机界面统一的描述语言,以便规范变电站监控系统、保护装置、测控装置等系统/设备的人机界面实现标准化。IEC 61850-6-2拟增加本地人机接口(HMI)规

范描述(HSD)、图形规范描述(GSD)、HMI配置描述(HCD)、就地变化描述(LCD)、HMI应用描述(HAD)、HMI全局配置描述(HGD)这6类配置文件,以及图形工具(GCT)、HMI配置工具(HCT)、系统配置工具(SCT)、就地编辑工具(LCT)这4类配置工具功能,同时对以上配置文件、功能的分配、流程进行了规范^[16]。

2.2.2 信息模型

信息模型是IEC 61850的核心部分之一,也是智能变电站设备研发的基础,主要在IEC 61850-7中规范。2018年,IEC TC57发布了信息模型相关的3个标准,着重解决工程中出现的模型种类受限、应用级建模等方面的问题。

IEC TR 61850-90-17规范了电能质量模型的命名规则、不同等级互感器的建模方法以及MMXU, MHAI, MFLK等现有测量类逻辑节点的用法,同时新增了MHFE, QSVV, QRVC等逻辑节点,为应用IEC 61850传输电能质量数据提供参考^[17]; IEC TS 61850-7-7主要规范数据模型中部分内容采用可扩展标记语言(XML)描述的问题,尤其是描述逻辑节点、公共数据类、数据属性等内容的图表,方便工具软件处理数据模型^[18]; IEC TR 61850-7-500从逻辑的角度规范变电站内的继电保护、控制、联闭锁等应用功能的建模,包括保护与控制功能的冗余建模、GGIO与GAPC等通用节点的扩展、故障录波与重合闸等特殊节点的模型等^[19]。

2.2.3 服务映射

服务映射是IEC 61850解决上层应用适应快速变化通信方式的一种方法,包括站控层MMS、过程层GOOSE/SV以及IEC 61850到其他协议等方面。

IEC 61850-8-1第2.1版扩展了GOOSE,采样测量值(SMV)的A-profile和T-profile,以满足IEC TR 61850-90-5中可路由GOOSE和SMV应用的要求。在通信方式上,增加了传输层对IPv6的支持。另外,ISO正在启动对MMS(ISO 9506)标准的修编工作,IEC 61850-8-1第3.0版在对MMS的映射方面将有相应的变化。

IEC 61850-8-2定义了一种新的特殊通信服务映射(SCSM)方式。IEC 61850在2.1版之前的版本IEC 61850-7-2中定义的服务仅仅考虑客户/服务器和时间同步服务,在跨不同网络,尤其是公共网络传输IEC 61850-7-4, IEC 61850-7-3和IEC 61850-7-2中定义的抽象服务、信息模型时,尚无规范。IEC 61850-8-2通过可扩展的消息现场协议(XMPP)传输XML消息^[20]。

正在制定的 IEC TS 61850-80-5 计划规范 IEC 61158-6(Modbus)与 IEC 61850 信息间的映射,涵盖 Modbus 客户端与 IEC 61850 设备之间、IEC 61850 客户端与 Modbus 设备之间、公共数据类之间的映射、接入网关的配置与 IEC 61850 SCL 语言之间的映射,以及在信息重构过程中对于品质、时标等处理的方法^[21]。

随着 IEC 61850 应用领域的扩大,与更多协议间的转换需求变得尤为迫切,也是 IEC 61850 在服务映射工作方面的重点。前期, WG10 制定了 IEC TR 61850-80-3,分析了 IEC 61850 与基于 Web 的协议间映射需求和技术比较,作为服务映射标准制定的导则。后续, WG10 将会议陆续制定诸如与 Webservice 等协议间映射的标准。

2.2.4 网络通信

对于网络通信技术, IEC 61850 均采用已有的标准和规范,以适用通信技术的快速发展。随着 IEC 61850 的应用,采用何种网络架构、冗余方式已成为智能变电站发展中亟须解决的问题之一。IEC 已发布了 IEC TR 61850-90-4(网络工程导则)、IEC TR 61850-90-12(广域网工程导则)2 个网络相关的标准。目前, IEC 正在修订 IEC TR 61850-90-4 和 IEC TR 61850-90-12,除此之外, IEC TR 61850-90-13(固定时延网络)以及 IEC TR 61850-90-22(自动路由网络)2 个标准正在制定中。

IEC TR 61850-90-13 制定的初衷是满足继电保护、广域测量控制系统等应用对网络传输 SV、GOOSE 实时性要求高的需求。IEC TR 61850-90-13 的思路来自应用在制造领域的时间敏感网络(IEEE 802.1 TSN),通过应用多协议标签交换(MPLS)、软件定义网络(SDN)、网络功能虚拟化(NFV)等技术解决站内局域网和广域网络存在的长时延、大抖动、高丢包率等问题^[22]。

IEC TR 61850-90-22 由中国发起立项,其思路是借鉴多链路透明互联(TRILL)技术,在二层的基础上构建了大二层网络,将三层的路由控制机制引入智能变电站的过程层网络,封装二层报文将其映射到新的地址空间,使其具有与 IP 类似的路由属性,为 GOOSE 与 SV 的传输、路径规划、故障快速定位提供了一种高效、可靠的方式,同时也为实现过程层网络 IED 设备的即插即用提供技术支撑^[23]。这也是中国在 IEC 主导制定的智能变电站领域国际标准。

2.2.5 网络冗余与信息安全

网络冗余和与信息安全是智能变电站自动化标准的重要内容。对于网络冗余, IEC 61850 根据站

控层和过程层的不同应用需求采用不同的冗余技术, MMS 网络推荐采用 RSTP, GOOSE/SV 网络推荐采用 PRP 和 HSR。主要原因是考虑到站控层能够容忍一定的网络恢复时间,而过程层网络则不能。这 3 个协议在 IEC 工业网络技术委员会(SC65C)制定的 IEC 62439-1 和 IEC 62439-3 中规范,目前正在修订中。中国基本采用物理上完全独立的 2 个网络来实现冗余,国内外差别较大。但是在泛在电力物联网场景下,以上几种方式很难满足网络冗余的要求,已有的无线网络、物联网的通用冗余标准能否适应,需要在标准规划、制定时根据不同的应用进行验证和甄别。

IEC 62351 是变电站自动化领域信息安全方面的重要标准,主要从通信协议的角度制定电网运行与控制信息交互方面的标准,涵盖电网调度、配电网、主厂间传输、主站间传输等电力系统的各个环节,主要包括基于角色的访问权限、通信网络的侦听、信息物理系统信息安全等。但泛在电力物联网的场景在通信方式、接入方式、隔离等方面有了根本性改变, IEC 62351 不能满足泛在物联网对信息安全标准的需求,需要在标准体系规划时给予重视。

3 继电保护核心标准

继电保护是电力系统的第一道防线,对电网的安全稳定运行具有至关重要的作用。IEC 60255 是继电保护的核心标准,由 IEC TC95 负责制定和维护。该技术委员会由 IEC TC41 和 SC 41B 整合而来,2002 年之前, TC95 所制定标准面向机电式继电器功能,规范较为单一。随着微处理器等技术在继电保护领域的广泛应用,推动了继电保护国际标准的发展, IEC TC95 于 2006 年重新构建其标准体系,以满足实际需求。

3.1 IEC 60255 标准体系

当前, IEC 60255 标准主要分为 3 个大类:保护通用技术要求(编号为 IEC 60255-1 至 IEC 60255-99)、规范保护设备安全、电磁兼容等相关的要求,现已完成继电保护装置振动、碰撞、电磁兼容、COMTRADE 文件格式、产品安全等 8 个公共部分的内容。第 3 类是保护功能标准(编号为 IEC 60255-100 至 IEC 60255-199),本部分主要从保护逻辑、性能、测试等方面规范各种保护功能的最小需求,现已完成距离保护、过/低压保护、过/低电流保护、热电继电器、频率保护以及同步相量测量等 16 个部分的内容。第 3 类是保护应用指南(编号为 IEC 60255-200 至 IEC 60255-299),主要以技术报告的形式指导用户根据保护的功能规范设计保护,计

划完成发电机保护、电动机保护、变压器保护、电抗器保护、母线保护、线路保护、断路器失灵保护等内容。IEC 60255 系列标准的体系如图 5 所示。

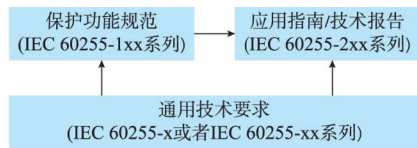


图 5 IEC 60255 标准体系架构
Fig.5 Standard architecture of IEC 60255

3.2 关键技术标准化进展及分析

3.2.1 保护功能方面

智能电网从 2 个主要因素影响继电保护国内外标准化工作。一方面新能源和分布式发电大量接入电网、柔性交直流输电设备广泛应用,使得电力系统短路故障特征发生了变化,传统的继电保护配置存在适应性问题;二是变电站二次系统的数字化及信息交换的网络化,使得电流、电压、开关位置和跳合闸等信号的传输等发生了根本性的变化。

为研究智能电网对继电保护的新要求,TC 95 成立了第 1 个特别工作组(AdHoc WG2)重点研究配电自动化和分布式发电对保护的影响,其成果推动了 IEC 60255-13(比率差动继电器)的修编,将其拆分为 IEC 60255-187-1(电动机、发变组差动)、IEC 60255-187-2(母线差动)、IEC 60255-187-3(线路差动)3 个标准,目前处于委员会草稿(CDV)阶段。另外,新发布了 IEC 60255-181(频率保护),除规范了频率保护功能、性能的最小需求外,还规范了低频、高频和频率变化率等功能在 IEEE 和 IEC 61850 的符号:81U,81O,81R 和 PTUF,PTOF,PFRC,解决了频率保护建模不一致的问题。同时,规划编制功率保护、方向过流保护、同步和同期检测、重合闸等标准,这是未来几年 TC95 的在保护功能方面的主

另外,由于 IEC 61850 应用带来过程层采样数据异常、采样同步、检验依据等问题也影响传统继电保护的实现。TC95 于 2016 年成立另一个特别工作组(AdHoc WG3)研究数字开入/开出代替模拟方式后对继电保护的影响,主要关注 5 方面的问题:SV 传输时丢失、时延、抖动;GOOSE 的数据品质、链路中断;失步对方向性保护的影响;新方式下保护功能测试等。本项工作引起了 TC38(仅用互感器)、TC57 以及 TC95 内部的较大关注,并于 2018 年将 AdHoc WG3 转为正式工作组 WG2(数字开入/开出下的保护功能)。目前,该标准目前处于工作组草案阶段,正式发布后,IEC 60255 的保护功能规范将有相应的改变。

3.2.2 传输时延环节方面

自应用 IEC 61850 以来,采样值、状态量等信息的传输时延一直是智能变电站继电保护面临的一个重要问题和讨论的热点,其不确定性直接影响保护功能和动作性能。文献[24]参经常规保护固有动作时间,在保证智能变电站保护整组动作时间不大于常规保护的前提下,对合并单元采样值处理时延(不大于 2 ms,与 IEC 61869-9 中定义的一致)和智能终端的动作时间(不大于 7 ms)进行了规范。同时,过程层网络架构上采用“点对点”或者“点对点+组网”的方式,在一定程度上降低传输时延不确定对保护带来的影响,但也带来了装置光模块多、功耗大、光纤连接复杂、装置全寿命周期缩短等问题。

为标准化传输时延环节,正在制定的《数字量输入/输出保护功能用例》草案中,分析了互感器到保护装置 SV、保护装置到智能终端 GOOSE 信息传输时延现状,并计划最终以标准的形式将相关环节固化下来。

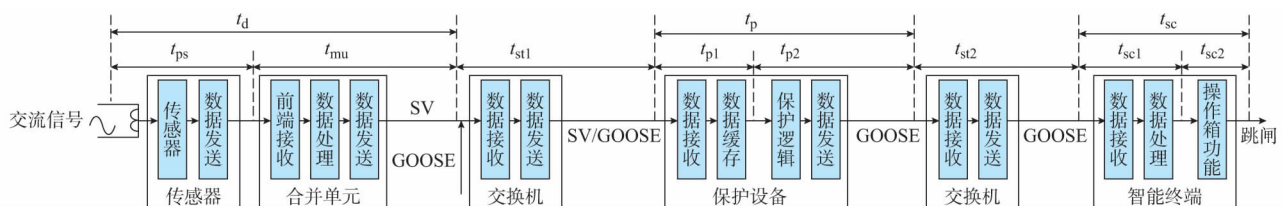


图 6 保护功能的主要时延环节
Fig.6 Main time-delay sections of protection function

图 6 中,保护功能的总时延 $T = t_d + t_{st} + t_p + t_{sc}$ 。 $t_d = t_{ps} + t_{mu}$, t_{ps} 为与电子式互感器传感器相关的时延; t_{mu} 为合并单元采集、处理、发送 SV 的时延,在存在级联合并单元的情况下,此延时为级联合并单元的总时延。

t_{st} 为交换机存储转发数据的时延, $t_{st} =$

$t_{st1} + t_{st2}$ 。 $t_p = t_{p1} + t_{p2}$, t_{p1} 为保护接收、存储 SV 或 GOOSE 以及解码所需要的时间, t_{p2} 为保护算法处理、GOOSE 编码及发布时间。

$t_{sc} = t_{sc1} + t_{sc2}$, t_{sc1} 为智能终端接收和 GOOSE 的解码时延; t_{sc2} 为智能终端包括辅助保护的处理时间。

前期,对传输链的时延以及对保护的影响已开展了一定的研究和应用^[25],但正式纳入国际标准中则在 3 个方面影响现有的研发、检测、集成等工作。

1) 传感器与合并单元之间的界面予以明确,直接影响互感器本体与合并单元之间传输协议及时延测量。现阶段本部分传输采用同步或者异步的方式,数据格式沿用 IEC 60044-8,但几经扩展和修改,互操作能力较差。另外,如何实现对传感器本体时延的测量需要通信协议的支持,需要给予关注。

2) 保护装置内部时延明确为数据处理和保护逻辑 2 个部分。当前,定义保护装置动作时间时,将其看作 1 个黑盒,只关注开入和开出之间的时间差。本部分将内部划分为 2 个部分,需要保护装置本体以合适的方式和信息分别提供这 2 个部分的耗费时间,这是后续研发和测试需要关注的内容。

3) 网络交换设备作为独立的时延环节。当前业内基本认可智能站内网络交换机看做 IED,且 IEC TR 61850-90-4 在信息模型上进行了相应扩充和完善。从时延测量方面,文献[26]代表了中国在这方面的研究成果,传输时延占用 SV 帧格式中 2 个字节的保留域(Reverse1 和 Reverse2),但这 2 个字节是为 IEC 62351(数据安全)保留的,如何处理两者的关系是后续讨论的重点。欧美企业在过程层多采用 HSR 和 PRP(IEC 62439-3)的网络结构,在此基础上研究延时固定网络技术,2.2.4 节中已有相关介绍,对于中国产品适应欧美的市场是一个挑战。随着讨论的深入,研发可以溯源的独立的时延测试工具也是需要关注的重点。

3.2.3 同步相量测量方面

同步相量测量单元(PMU)是广域保护控制系统的重要组成部分,随着特高压交直流输电和联网技术的发展及新能源的大量并网,传统的三道防线已难以满足系统安全防御要求,同步相量测量是系统保护实现对电网重要元件、控制资源、控制装置状态和行为的全景感知,支持综合分析评价和集中监视告警的基础^[27]。

PMU 数据及相关通信规范首次在 IEEE 1344 中体现,在此基础上,修编为 IEEE C37.118。为方便转化为 IEC 标准,本标准拆分为 2 个部分:第 1 部分是 IEEE C37.118-1 规范同步相量、频率及其变化率(ROCOF)的测量及时间标识方法等内容,在 TC95 转化过程中,在原来的基础上增加了对动态测量、测试和校准方面的规范,并于 2018 年以 IEC/IEEE 60255-118-1 发布;第 2 部分是 IEEE C37.118-2 规范了 PMU 的数据格式,TC57 转化过程中,为适应同步相量数据在广域网络中传输,提出

了基于 IP 的路由 SV(R-SV)和路由 GOOSE(R-GOOSE)来传输采样值和状态量,最终以 IEC TR 61850-90-5 发布,为广域保护控制系统中数据传输的可靠性和安全性提供了标准保障。

总体而言,与 IEEE, CIGRE 以及中国的继电保护标准化机构开展的工作相比,IEC TC95 在智能变电站保护方面的标准工作略显保守,其工作重心还是集中在对已有保护继电器功能规范的维护和部分缺失保护功能规范的制定上。将继电保护放在智能电网、泛在电力物联网的场景中,虽说在信息传输方式、时钟同步方式等外围部分变化较大,但从系统方面看,最终是要影响到保护功能、性能的实现上,保护标准的关注点应该集中在根据不同的外部变化如何规范其最小需求。

4 电子式互感器核心标准

互感器是连接一次、二次系统的纽带,为变电站自动化与保护设备提供电网运行的基础数据。与传统互感器相比,电子式电流/电压互感器由于具备无饱和现象、线性度好、更好的暂态特性等优点,在数字化变电站建设初期就受到普遍关注,也是智能变电站建设中重要的研究内容之一,其核心标准为 IEC 61869。虽说实际运行中电子式互感器故障率远远高于电磁式互感器,例如:光学电流互感器本身的信噪比小,在一次电流较小时直接影响测量精度;罗氏线圈电流互感器容易受外界磁场影响,易导致测量数据不稳定等,作为泛在电力物联网感知层重要的终端设备,这些暂时的问题并不改变电子式互感器在电力系统中的应用潜力。

4.1 IEC 61869 标准体系

IEC 61869 源自早期的 IEC 60044 系列标准,由 IEC TC38 负责制定和维护,其中,IEC 61869-1 至 IEC 61869-5 规定常规互感器的相关技术要求;IEC 61869-6 至 IEC 61869-13 规范电子式互感器;IEC 61869-14 和 IEC 61869-15 则规范直流互感器的技术规范。当前,基本形成了电子式互感器完善的标准体系。

修编、整合过程中,IEC 60044-7 和 IEC 60044-8 这 2 个部分标准按照互感器本体、通用技术条件、数字接口等内容分解到 IEC 61869-6 至 IEC 61869-11 中。IEC 61869 系列标准的体系架构及其与 IEC 60044 对应关系如图 7 所示^[28]。

当前,IEC 61869-6(总体要求)、IEC 61869-9(数字接口)、IEC 61869-10(无源低功率电流互感器)、IEC 61869-11(无源低功率电压互感器)4 个标准已经发布,IEC 61869-7(电子式电压互感器)和

IEC 61869-8(电子式电流互感器)2个标准处于草案阶段。

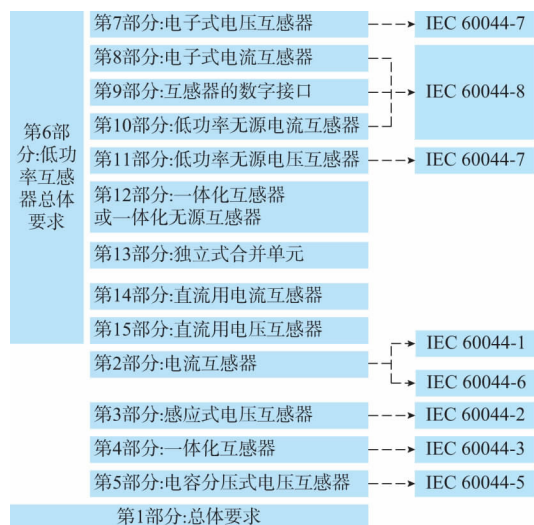


图7 IEC 61869 标准体系架构及其与 IEC 60044 对应关系

Fig.7 Standard architecture of IEC 61869 and its corresponding relationship with IEC 60044

4.2 关键技术标准化进展及分析

4.2.1 总体技术要求方面

新版本 IEC 61869-6 中,在术语定义、额定参数、滤波器设计、接口方式等 4 个方面有一定的变化。一是用低功率互感器(LPIT)这个术语替代了之前的电子式互感器或非标准互感器(NCIT),并定义为“供频率为 15~100 Hz 的电气测量仪器和继电保护装置使用,且输出功率小于 1 VA 的模拟信号或数字信号的互感器”^[28]。二是输出的额定值,IEC 61869-6 规定了低功率电流互感器模拟信号二次额定输出为 22.5 mV 及 200 mV(保护及测量用),与中国现行的参照 IEC 60044 规定的输出为 150 mV、225 mV(保护用)及 4 V(测量用)差别较大,其额定输出更小,对产品设计的精度、电磁兼容等方面提出了更高的要求。三是匹配滤波器的设计,由于 LPIT 本质上是电子设备,为避免对采集信号的预处理带来与后续的保护、测控等应用不匹配的情况,IEC 61869-6 就频率响应、滤波器和抗混叠的需求进行了规范,为合并单元等接入设备的实现提供指导。四是接口类型方面,中国常采用 FC、ST、LC 等光纤方式作为数字接口,而标准中推荐数字接口的连接方式为 LC 和 RJ45(对中压低功率互感器),这是中国标准中所未规范的,在应用时需要引起关注。

4.2.2 中压低功率互感器方面

此类互感器主要应用在 10~35 kV 电压等级,基于新原理的空心线圈或者低功率线圈,实现电流、

电压量的传感,输出采用低功率的电压信号。作为泛在电力物联网感知层的设备,此类互感器通常可以做到比传统互感器更小的体积,更好的暂态特性和精度,输出信号的功率更低,中国在数字化变电站阶段有过一些应用,但主要因为小信号电磁兼容问题、互感器与开关柜一体化设计等问题影响了规模推广应用。而在海外,开关柜厂家往往能够实现包含互感器及断路器机构在内的一体化设计,中压低功率互感器的应用及断路器机构的优化能够显著减小开关柜的间隔宽度,从而具备开关占地面积减少的优势。IEC 61869 用了较大篇幅(第 10,11 部分)规范了此类互感器,在一定程度上说明了欧美市场在这方面有较大的需求,这方面值得中国同行的关注。

4.2.3 数字接口方面

最初,IEC 60044-8 规定了电子式互感器的输出接口及协议是基于光纤串行接口的 FT3(IEC 60870-5-1)格式。其特点是光纤点对点连接,通道延时固定,但带宽有限。这种连接方式的优势是点对点连接使得基于电子式互感器的保护功能不需要依赖外部时钟或者交换机等网络交换设备,具备较高的实时性和可靠性。缺点是光纤链路多,装置光纤接口多,以及由此带来的温度问题比较突出。

对于电子式互感器或者合并单元向间隔层设备提供 SV 的数据格式,在 IEC 框架下一直存在 FT3, IEC 61850-9-1, IEC 61850-9-2 等多个不同的格式。随着 IEC 61850-9-1 标准的废止,合并单元与继电保护等间隔层设备之间 FT3 的编码格式不再推荐使用。而新的 IEC 61869-9 在原 IEC 61850-9-2 基础上,完善了电子铭牌标识、规范了数字输出类型互感器的编号、扩充了逻辑节点、细化了互感器数字接口要求。同时,从应用的角度规定了延迟时间、采样率、合并单元守时等关键指标^[29]。以不同应用场景下的最大处理延迟时间为例,如表 1 所示。

表 1 不同应用场景下的最大处理延迟时间
Table 1 Maximum processing delay time in different application scenarios

应用场景	最大处理延迟时间/ms
电能质量	10
保护与测量	2
延时要求苛刻的低带宽直流控制	0.1
高带宽直流控制	0.025

对于时延测量的界面,标准规定电子式互感器时延的测量界面为其数字输出端口,外部过程层网络中交换机等设备的时延认定属于系统集成商处理的范畴。此项规定呼应了 TC95 从继电保护的角度

明确数据时延环节的规范,为智能变电站过程层网络相关的时延测试提供了指导。同时,也存在1个问题,正在制定的合并单元规范只支持常规模拟量(电流量为1 A/5 A、电压量为57 V)输入,这种情况下电缆的时延可以忽略,数据处理的时延可以归结为合并单元装置。但是在合并单元接入数字量的情况下,如何测量传感器本体的时延,是中国在测试、系统集成中碰到的问题,这点在3.2.2节中已经论述,是中国在应用合并单元时需要关注的问题。

4.2.4 合并单元装置技术要求方面

合并单元的概念首次出现在IEC 60044中,最初作为电子互感器数字输出时的1个组件,对下通过模拟或数字接口与转换器相连,对外作为电子互感器的标准界面,通过IEC 61850-9-2向保护、测控等间隔层设备传输数据。在中国数字化、智能化变电站建设中,为适应常规互感器的改造,研制了合并单元装置,接入常规互感器的模拟量,IEC 61869-13称之为独立式合并单元(SAMU),规范了SAMU装置的形式试验、绝缘、电磁兼容以及安全方面的需求。目前,该标准处于委员会草稿(CDV)阶段^[30]。对于SAMU接入的信号类型,CDV只规定了常规模拟量(1 A/5 A,57 V)输入的情况,并没有涵盖中国主流的接入数字量的合并单元。从多次讨论的情况来看,主要集中在国内外面对的不同应用场景,中国级联合并单元如母线电压互感器的数字量输出级联到间隔合并单元,其应用是基于点对点方式的,而欧美企业优先采用网络的方式。虽说当前版本对是否包括数字接口意见不一,尚未定案,但从中可以看出中国与欧美国家在应用合并单元以及数字采样值时2种不同的技术方案。因此,在感知层终端设备、传感器设备标准规划时应考虑这方面的差异。

5 结语

本文结合数字化变电站、智能变电站的建设经验,分析了智能变电站自动化与保护IEC核心标准在关键技术方面的现状、进展及成果,为当前泛在电力物联网标准制定、设备研发、系统建设等工作提供借鉴。

1)注重泛在电力物联网标准体系与现有智能电网国际主流架构模型的一致性。IEC从功能(function)、信息(information)、通信(communication)、组件(component)4个层次,以及领域(domain)、级别(level)、层次(layer)3个维度构建了智能电网标准体系的立体模型,指导了智能电网的国际标准化工作。当前,泛在电力物联网标准的体系从数据传输和应用的角度划分为感知层、网

络层、平台层、应用层,如何实现2个标准体系架构的一致性,需要在标准顶层设计时考虑。

2)注重对已有信息、服务、映射等经验的吸取与继承。作为智能电网的核心标准,IEC 61850将信息模型、服务模型、配置语言等概念引入变电站自动化领域,应用在间隔层继电保护、过程层电子式互感器等领域,为系统间的互操作奠定了基础。但在工程实施过程中模型的自定义、配置文件复杂、合并单元应用等问题缺乏标准支撑的现象突出。因此,泛在电力物联网标准制定时需要吸取智能变电站、智能电网等建设中的标准化成果,避免重新规范和定义,背离制定标准的初衷。

3)注重从电网运行控制的本质需求的角度制定标准。自动化、继电保护等功能是电网运行控制的基础,具有时间敏感性,其标准不是物联网技术与智能电网的简单整合,需要考虑功能端到端的性能要求。例如:IEC 61850采用MMS提升信息自描述的能力,却增大了资源开销,降低了传输效率;继电保护采用SV和GOOSE实现了开入/开出的数字化,提升了信息共享及交互能力,但降低了保护的可靠性和独立性。在规划泛在电力物联网相应标准时,需要根据调度、继电保护、状态检测等不同的应用需求制定相应的标准。

4)注重从多维度制定信息安全标准。无线通信、物联网技术在电网运行与控制中的应用逐渐深入,原有网络的物理界面被打破,IEC 62351曾经为IEC 60870和IEC 61850等标准制定的安全导则已不能完全满足现场需求。在规划泛在电力物联网信息、数据安全标准时,除遵守构建生产大区、非生产大区的原则外,信息安全还应关注全链路数据的安全标准,如感知层的数据采集安全、网络层的数据传输安全、平台层数据存储安全等。

5)注重国内外标准的一体化研制。泛在电力物联网是物联网技术与智能电网的深度融合,当前,IEC设有物联网领域的标准化技术委员会,建有智能电网与工业设施接口相关的联合工作组,在架构、互操作、应用扩展等方向完成了系列标准,逐步影响着电网的运行与控制。如在2019年新立项了“无线传感网络支撑变电站”标准^[31]等。同时,物联网的边界计算、实时物联网架构、工业物联网架构等标准均在制定中。在研究泛在电力物联网的同时应关注诸如此类工作的进展,以避免与国际主流标准相左的情况。

另外,智能电网经过多年的研究与建设,中国在调度、变电、配电、信息通信等环节做了大量的试点工作、积累了大量的经验,部分成果也已转化为国际

标准,例如:IEC TS 61970-555(CIM/E)和 IEC TS 61970-556(CIM/G) 2 项调度领域标准。但由于整体对国际标准活动的参与度较低,大多数方案没有体现在国际标准制定和修订工作中,在一定程度上影响了国内外技术标准的良好互动。IEC 作为目前世界上电工行业最大、最权威性的国际标准化组织之一,其标准的权威性、应用的广泛性得到全世界的公认,深度参与 IEC 等国际组织标准制定、加强中国与国际标准一体化进程是国家未来 3 年标准化工作的重点^[32]。可以以泛在电力物联网的建设为契机,深度参与国际标准化组织的活动。一方面积极宣传中国泛在电力物联网研究建设的成果并争取纳入国际标准体系,另一方面吸取国际组织上相应标准化的优秀成果,逐步提高中国在技术研发、运行维护等领域国际标准制定的话语权。

附录见本刊网络版(<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参 考 文 献

- [1] BRAND K P, LOHMANN V, WIMMER W. Substation automation handbook[M]. Bremgarten, Switzerland: Utility Automation Consulting Lohmann, 2003.
- [2] 余贻鑫,刘艳丽.智能电网的挑战性问题[J].电力系统自动化, 2015, 39(2): 1-5.
YU Yixin, LIU Yanli. Challenging issues of smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(2): 1-5.
- [3] GIBADULLIN A A, PULYAEVA V N, YERYGIN Y V. The need for a digital substation during the digitalization of energy [C]// International Youth Scientific and Technical Conference on Relay Protection and Automation, September 27-28, 2018, Moscow, Russia: 1-12.
- [4] 高翔.数字化变电站应用技术[M].北京:中国电力出版社,2008.
GAO Xiang. Application technologies of digital substation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008.
- [5] 郑玉平.智能变电站二次设备与技术[M].北京:中国电力出版社,2014.
ZHENG Yuping. Secondary equipment and technology of smart substation[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2014.
- [6] 杨挺.泛在电力物联网释义与研究展望[J].电力系统自动化, 2019, 43(13): 9-20. DOI: 10.7500/AEPS20190418015.
YANG Ting. Review and prospect of ubiquitous electric power internet of things[J]. Automation of Electric Power Systems, 2019, 43(13): 9-20. DOI: 10.7500/AEPS20190418015.
- [7] 国家标准化管理委员会.智能变电站技术导则:GB/T 30155—2013[S].2014.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Technical guide for smart substation: GB/T 30155—2013[S]. 2014.
- [8] IEEE Power and Energy Society PSRC annual report 2017[R/OL]. [2019-03-08]. <https://www.ieee-pes.org/images/files/pdf/technical-council/2017-Annual-Report-Power-System-Relaying-Control.pdf>.
- [9] IEEE Power and Energy Society 2017 entity annual report[R/OL]. [2019-03-08]. <https://www.ieee-pes.org/images/files/pdf/technical-council/2017-Annual-Report-PSCCC.pdf>.
- [10] 2018 scope of work and activities [R/OL]. [2019-03-08]. https://www.cigre.org/userfiles/files/Knowledge_Programme/S47-ScopOfWrk-N3.pdf.
- [11] 赵希才,李力,胡绍谦,等.2016 年国际大电网会议继电保护与自动化技术动态[J].电力系统自动化, 2017, 41(10): 170-175. DOI: 10.7500/AEPS20161230001.
ZHAO Xicai, LI Li, HU Shaoqian, et al. A review of CIGRE' 2016 on protection and automation technologies [J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(10): 170-175. DOI: 10.7500/AEPS20161230001.
- [12] IEC smart grid standardization roadmap, Ed1.0 [EB/OL]. [2019-03-08]. https://www.iec.ch/smartgrid/downloads/sg3_roadmap.pdf.
- [13] International Electrotechnical Commission (IEC). Smart grid standardization roadmap: IEC TR 63097[S]. 2017.
- [14] 任雁铭,操丰梅,张军.IEC 61850 Ed 2.0 技术分析[J].电力系统自动化, 2013, 37(3): 1-5.
REN Yanming, CAO Fengmei, ZHANG Jun. Technical analysis of IEC 61850 Ed 2.0[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(3): 1-5.
- [15] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 6 configuration description language for communication in electrical substations related to IEDs: IEC 61850-6[S]. 2009.
- [16] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 6-2 configuration description language for extensions for human machine interface: IEC TR 61850-6-2 [S]. 2018.
- [17] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 90-17 using IEC 61850 to transmit power quality data: IEC TR 61850-90-17[S]. 2017.
- [18] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 7-7 machine-processable format of IEC 61850-related data models for tools: IEC TS 61850-7-7 [S]. 2018.
- [19] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 7-500 basic information and communication structure—use of logical nodes for modeling application functions and related concepts and guidelines for substations: IEC TR 61850-7-500[S]. 2017.
- [20] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 8-2 specific communication service mapping (SCSM)—mapping to extensible messaging presence protocol (XMPP): IEC 61850-8-2[S]. 2018.
- [21] International Electrotechnical Commission (IEC).

- Communication networks and systems for power utility automation—Part 80-5 guideline for mapping information between IEC 61850 and IEC 61158-6 (Modbus): IEC 61850-80-5[S]. 2017.
- [22] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 90-13 deterministic networking technologies: IEC TR 61850-90-13[S]. 2016.
- [23] International Electrotechnical Commission (IEC). Communication networks and systems for power utility automation—Part 90-22 SCD based substation network auto-routing with visualization and supervision support: IEC TR 61850-90-22[S]. 2018.
- [24] 国家标准化管理委员会. 智能变电站继电保护通用技术条件: GB/T 32901—2016[S]. 2016.
Standardization Administration of the People's Republic of China. General specification for protection relay in smart substation: GB/T 32901—2016[S]. 2016.
- [25] HE Ruiwen, PENG Hao, JIANG Qingyun, et al. Performance analysis and threshold quantization of transformer differential protection under sampled value packets loss/delay[J]. IEEE Access, 2019, 7: 55698-55706.
- [26] 吕航, 陈军, 杨贵, 等. 基于交换机数据传输延时测量的采样同步方案[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(9): 124-128.
LYU Hang, CHEN Jun, YANG Gui, et al. Synchronous sampling method based on measurement of switch data transmission delay[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(9): 124-128.
- [27] 陈国平, 李明节, 许涛. 特高压交直流电网系统保护及其关键技术[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(22): 2-10. DOI: 10.7500/AEPS201805020008.
CHEN Guoping, LI Mingjie, XU Tao. System protection and its key technologies of UHV AC and DC power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(22): 2-10. DOI: 10.7500/AEPS201805020008.
- [28] International Electrotechnical Commission (IEC). Instrument transformers—Part 6 additional general requirements for low-power instrument transformers: IEC 61869-6[S]. 2016.
- [29] International Electrotechnical Commission (IEC). Instrument transformers—Part 9 digital interface for instrument transformers: IEC 61869-9[S]. 2016.
- [30] International Electrotechnical Commission (IEC). Instrument transformers—Part 13 standalone merging unit (SAMU): IEC 61869-13[S]. 2017.
- [31] International Electrotechnical Commission (IEC). Document for comments on JTC1-SC41/81/CD internet of things (IoT)—wireless sensor network system supporting electrical power substation: ISO/IEC 30144 ED1[S]. 2019.
- [32] 国家标准化管理委员会. 2019 年全国标准化工作要点[EB/OL]. [2019-03-08]. <http://www.sac.gov.cn/sbgs/sytz/201903/P020190301594338113069.pdf>.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Main points of national standardization work in 2019 [EB/OL]. [2019-03-08]. <http://www.sac.gov.cn/sbgs/sytz/201903/P020190301594338113069.pdf>.
- 陈德辉(1977—),男,通信作者,研究员级高级工程师,主要研究方向:继电保护及变电站自动化系统。E-mail: chendehui@sgepri.sgcc.com.cn
- 须雷(1976—),男,研究员级高级工程师,主要研究方向:智能化变电站及智能一次设备。E-mail: xul@nrec.com
- 赵希才(1969—),男,研究员级高级工程师,主要研究方向:继电保护及变电站自动化系统。E-mail: xczhao@nrec.com

(编辑 施冬敏)

Development and Analysis of Core IEC Standards for Smart Substation Automation and Relay Protection

CHEN Dehui¹, XU Lei², ZHAO Xicai²

(1. NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China;
2. NR Electric Co., Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: In recent years, the in-depth research, promotion and application of smart substation have accelerated the standardization process of various technologies in China and abroad. Firstly, based on the research background of ubiquitous electric power internet of things (IoT) standard architecture, this paper summarizes the present standardization situation of the smart substation automation and relay protection technologies in China and abroad. Secondly, it elaborates the standards constitution of substation automation and relay protection technology in IEC framework, and analyzes the system architecture and key technical progress of the three core standards. IEC 61850 includes configuration language, information model, service mapping and network communication. IEC 60255 includes relay protection switch input/output digitization, data transmission delay, and synchrophasor measurement. IEC 61869 includes general technical requirements, medium-voltage low-power transformers, digital interfaces and merging unit (MU). Finally, the paper presents related suggestions on five aspects, including system architecture, information model inheritance, functional standard formulation, full-dimension information security, and integration research of domestic and international standards.

Key words: ubiquitous electric power internet of things; smart grid; smart substation; automation and relay protection; IEC standard