

# 智能变电站监控信息自动验收体系架构及关键技术

彭志强<sup>1</sup>, 刘翌<sup>2</sup>, 罗俊<sup>3</sup>, 熊浩<sup>2</sup>, 范青<sup>2</sup>

(1. 国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103; 2. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210024; 3. 国网江苏省电力有限公司连云港供电分公司, 江苏 连云港 222002)

**摘要:** 智能变电站监控信息验收过程涉及到变电站与调控主站的多个环节。基于现有技术体系创新提出了面向调控业务满足全回路验收要求的变电站监控信息自动验收解决方案, 对常规验收与自动验收进行了优势分析。设计了自动验收系统架构, 面向新建变电站与改扩建变电站两种应用场景, 给出了不同的实施方案。重点分析了变电站侧自动验收实现技术, 提出了基于定制策略的信息源触发技术, 实现主子站交互信息的一键触发。基于模块化思想研制了自动验收装置, 并进行了实验验证及实际工程应用。经实践验证智能变电站监控信息自动验收技术极大地提高了验收效率, 突破了主子站交互信息自动验收的技术瓶颈, 具备全面推广应用的条件。

**关键词:** 监控信息; 自动验收; 调度控制主站系统; 数据通信网关机; 远动配置描述文件

## Architecture and key technologies of smart substation's monitoring and control information automatic acceptance system

PENG Zhiqiang<sup>1</sup>, LIU Yi<sup>2</sup>, LUO Jun<sup>3</sup>, XIONG Hao<sup>2</sup>, FAN Qing<sup>2</sup>

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited Research Institute, Nanjing 211103, China; 2. State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited, Nanjing 210024, China; 3. Lianyungang Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Company Limited, Lianyungang 222002, China)

**Abstract:** The monitoring and control information acceptance process of smart substation involves many links of energy management system and substation. Based on the existing technology system, a whole solution to satisfy the whole circuit of substation monitoring and control information segmentation acceptance is proposed. The advantages of conventional acceptance and automatic acceptance are analyzed. The architecture of automatic acceptance system is designed. According to the two application scenarios of new substation and extension substation, different implementation plans are given. The realization technology of automatic acceptance on substation side is emphatically analyzed, the triggering technology of information source based on customization strategy realizes the one touch trigger of interactive information between main station and substation. Based on the idea of modularization, an integrated automatic acceptance device is developed and the experimental verification and practical engineering application are carried out. It is verified by practice that automatic acceptance technology greatly improves the acceptance efficiency and breaks through the technical bottleneck of automatic acceptance of interaction information between main station and substation. The technology of automatic acceptance has already meet the conditions of comprehensive popularization and application.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China (No. 5108-201928039A-0-0-00) and Science and Technology Project of State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. (No. J2019038).

**Key words:** monitoring and control information; automatic acceptance; dispatching and control master station systems; data communication gateway; remote terminal units configuration description

## 0 引言

随着国家电网公司对电网调控一体化的推进,

500 kV 及以下电压等级变电站均按无人值守模式进行建设和运行管理<sup>[1]</sup>。在无人值守模式下, 大量变电站监控信息需接入智能电网调度控制主站系统(以下简称“调控主站”)。监控信息验收是新建与改扩建变电站接入调控主站的必备环节, 传统监控信息验收是采用人工逐一对点的方式, 先由变电运

行人员与变电检修人员完成站内监控信息验收,再由变电检修人员配合触发信息上传,调控主站侧监控验收人员通过电话与变电运行人员进行信息核对验收<sup>[2]</sup>。这种验收模式需对一二次设备信息人工加量触发两次,对验收信息逐一人工核对,验收效率低下,不能适应当前智能电网快速发展的需要,亟需通过技术手段提升变电站监控信息验收效率。文献<sup>[3]</sup>提出基于即插即用的变电站信息自动校核技术,是对现有调度自动化体系架构的创新,需解决主子一体化建模的问题,目前由于 IEC61850 与 IEC61970 模型协调映射未取得有效突破<sup>[4-7]</sup>,且新的调度自动化体系架构在探索实践阶段,目前仍局限于试点应用,还不具备全面推广的技术条件。

本文基于调控主站与变电站信息交互的现有体系架构,遵循有关的国家标准、行业标准及国家电网公司企业标准<sup>[8-10]</sup>,充分利用全站 IEC61850 统一建模的技术特点,提出面向调控业务的变电站监控信息自动验收整体解决方案,在子站侧新增自动验收装置,在主站侧基于智能电网调度控制系统新增自动验收功能模块。其中对子站侧实现技术进行了重点介绍,提出基于定制策略的信息源触发技术,实现了监控信息源发送策略可定制的目标,基于模块化思想研制了变电站监控信息自动验收装置,用于变电站侧监控信息的分段验收及主子站间信息交互的自动验证,具有标准化、通用性的技术特点。

最后结合实际工程开展了试点应用,对应用成效进行了总结,并开展了国内主流监控产品互操作测试。目前变电站监控信息自动验收技术已在江苏电网全面推广应用,成功申报国网公司企业标准,同时列入 2019 年国调中心年度重点工作,后续将在国网系统内全面推广应用。

## 1 自动验收体系

变电站监控信息交互涵盖调控主站、变电站站控层、间隔层及过程层等环节<sup>[11]</sup>,监控信息接入调控主站需满足全回路验证的要求<sup>[12]</sup>。设计了智能变电站监控信息自动验收系统架构,基于该系统架构分析了面向新建及改扩建变电站两种应用场景的自动验收技术<sup>[13-16]</sup>。

### 1.1 系统架构

智能变电站监控信息自动验收系统架构如图 1 所示,在变电站侧新增自动验收装置,在调控主站侧新增自动验收功能模块,主子站之间构成自动验收系统。基于变电站监控信息自动验收系统提出自动验收方法,采取分段验收思想,优化验收流程,将监控信息验收主子站间多专业配合环节进行解耦,使串行工作变为并行工作,基于全景监控信息仿真技术实现主子站间信息交互的自动验证。自动验收方法具体步骤如图 2 所示,包含 5 个步骤。

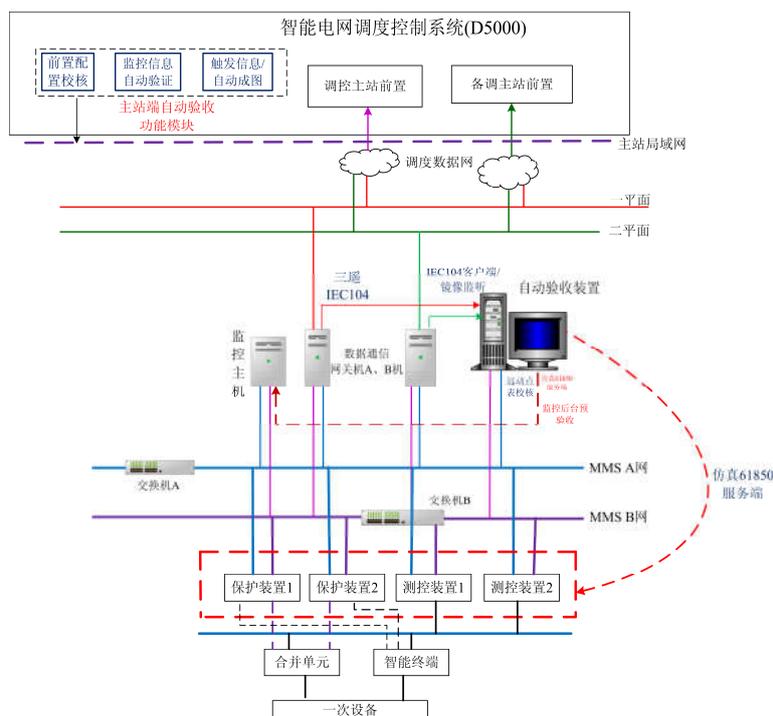


图 1 变电站监控信息自动验收系统架构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of automatic acceptance system for substation monitoring and control information

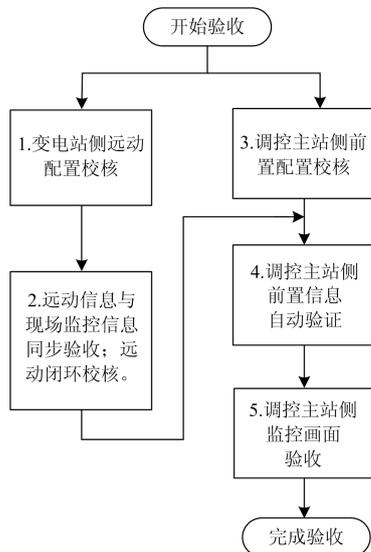


图 2 变电站监控信息全回路验收流程

Fig. 2 Process of acceptance of whole circuit of monitoring and control information in substation

步骤 1: 对数据通信网关机的远动配置信息(Remote Configuration Description, RCD)进行校核, 以监控信息定值单为基准, 对两者进行一致性校核, 对校核结果自动生成报告, 实现远动信息的静态校核。

步骤 2: 开展远动转发信息与站内监控后台信息同步验收, 实现远动转发信息的动态验证。

步骤 3: 对调控主站前置配置信息进行校核, 同样以监控信息定值单为基准, 对两者进行一致性校核, 对校核结果自动生成报告, 实现主站侧前置配置信息的静态校核。

步骤 4: 开展主子站交互信息自动验证, 由子站侧自动验收装置按照定制策略触发远动转发数据上送, 调控主站根据定制策略自动验证接收到的信息, 实现了主子站间交互信息自动验证。

步骤 5: 开展调控主站侧监控画面信息关联正确性验证, 基于主站侧信息源触发技术验证监控画面的正确性, 远景可基于智能电网调度控制系统(D5000)自动成图功能模块实现监控画面的“免验收”。

其中调控主站自动验收功能为 D5000 新增的应用模块, 实现前置配置信息校核、监控信息自动验证及监控画面信息关联正确性验证等功能。子站侧自动验收装置为便捷式即插即用的装置, 实现对数据通信网关机的远动配置信息校核、远动信息与监控后台信息同步验收、远动信息闭环校核及主子站交互信息源的自动触发等功能。

本文提出的自动验收技术与常规验收方式对比, 主要优势体现如下:

(1) 常规验收是由变电站侧发起到调控主站核对的串行工作, 自动验收将验收环节解耦, 主子站间验收准备工作可并行开展, 优化了验收流程;

(2) 常规验收采用人工电话逐一核对, 自动验收采用信息化手段由程序自动校核;

(3) 常规验收缺陷定位需多方配合排查, 自动验收采用了远动信息闭环技术, 可快速定位缺陷。

### 1.2 新建变电站

新建变电站监控信息验收总体系统架构如图 1 所示, 具体实施时图 2 的步骤 2 与步骤 4, 即远动信息与监控后台的同步验收及主子站监控信息交互自动验收阶段网络架构如图 3 与图 4 所示。

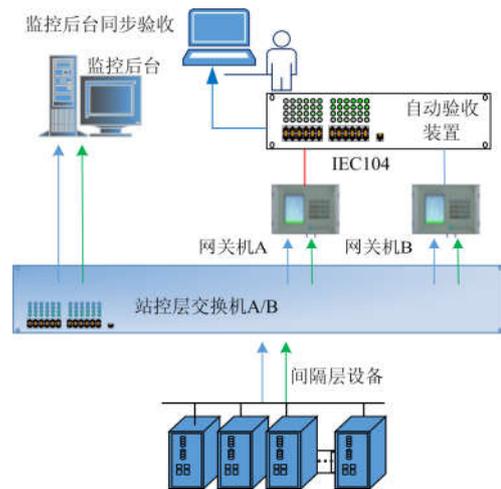


图 3 新建变电站远动信息与监控后台同步验收架构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of synchronous acceptance of telecontrol information and monitoring host in new substation

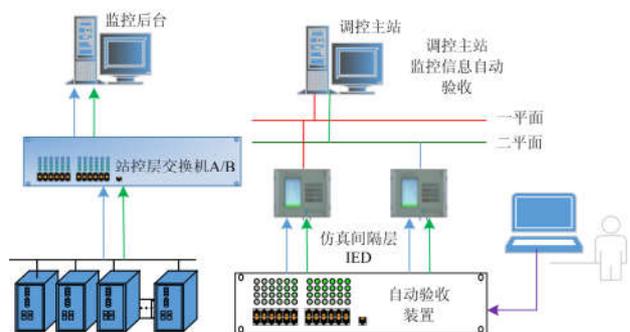


图 4 新建变电站主子站监控信息交互自动验收架构示意图

Fig. 4 Schematic diagram of monitoring information automatic acceptance of main station and substation in new substation

在开展远动信息与监控后台信息同步验收阶段, 自动验收装置为 IEC104 客户端, 与两台数据通信网关机通过网络直连, 实现数据通信网关机远动转发信息的接收、处理及展示。由变电运行人员对监控后台信息与远动信息同步验收。

在开展主子站监控信息交互自动验收阶段, 自动验收装置仿真间隔层设备与数据通信网关机直连, 自动验收装置基于变电站配置描述文件(Substation Configuration Description, SCD)仿真保护测控装置 IEC61850 MMS 服务端信息交互行为<sup>[17-20]</sup>, 基于 RCD 的运动点号定制策略发送变化数据, 用以触发数据通信网关机按照一定的规则上送数据至调控主站。

### 1.3 改扩建变电站

改扩建变电站监控信息验收总体系统架构如图 1 所示, 与新建变电站的主要区别在于改扩建变电站应考虑不影响在运设备的正常运行, 具体实施时有所不同。

在开展远动信息与监控后台信息同步验收阶段, 通过调度数据网的接入交换机镜像口获取 IEC104 报文, 对捕获的报文进行解析, 通过可视化手段呈现, 由变电站运行人员对监控后台信息与远动转发信息同步验收。采用镜像监听报文的方式, 不影响远动通道的正常运行。

在开展主子站监控信息交互自动验收阶段, 断开待验收间隔层设备与站控层交换机的连接, 将自动验收装置接入站控层交换机, 基于 SCD 文件增量仿真新增间隔设备 IEC61850 MMS 服务端信息交互行为, 在仿真前通过 IP 探测是否存在 IP 冲突, 保证站控层网络 IP 唯一, 即仿真源不影响运行设备。基于 RCD 根据定制策略发送新增间隔的变化数据, 触发数据通信网关机上送规则数据至调控主站。

## 2 自动验收装置实现技术

变电站监控信息自动验收系统的核心是自动验收装置, 自动验收装置为变电站侧新增装置, 基于一体化及模块化思想设计开发, 其中自动验收策略是实现主子站信息交互自动验证的关键, 下文对自动验收策略及自动验收装置设计开发两部分进行重点介绍。

### 2.1 自动验收策略

自动验收装置模拟间隔层设备按照定制策略触发数据变化上送, 信息源为网关机的输入数据, 信息源触发即按照定制策略触发信息源变化。自动验收装置基于 SCD 虚拟仿真变电站 IED 设备站控层信息交互行为, 按照实遥信、虚遥信及遥测信号的既定生成策略, 批量生成数据, 开展对数据通信网关机接收、处理及转发等功能测试, 实现监控信息的自动验证。定制策略包括实遥信信号生成策略、通信中断虚遥信信号生成策略和遥测信号生成策略。

远动信息源触发策略是基于 RCD 运动点号生成唯一可辨识源, 触发策略配置界面如图 5 所示。其

中实遥信信号生成策略库, 包含同一个信号值变化策略和所有信号值的生成顺序策略, 以及时间间隔和相邻信号切换时间间隔; 通信中断虚遥信信号生成策略库, 包含信号值变化策略、时间间隔和相邻信号切换时间间隔; 遥测信号生成策略库, 包含信号值变化策略、时间间隔和相邻信号切换时间间隔。这些策略参数可进行配置, 生成定制策略用于控制数据源按照预设的规则进行发送。

图 5 远动信息触发策略配置界面

Fig. 5 Man-machine interface of remote information trigger strategy configuration

如图 6 所示, 通过 4 个步骤完成主子站交互信息触发, 步骤 1: 通过加载 SCD 配置文件, 构建全站间隔层 IED 虚拟设备服务集群, 为每个虚拟设备服务创建一个独立的进程; 步骤 2: 加载策略库, 对实遥信、虚遥信及遥测的策略库进行初始化; 步骤 3: 选择信号触发策略, 配置策略参数, 完成主子站交互信息源触发准备工作; 步骤 4: 一键触发数据源按照定制策略的规则上送远动信息。如图 6 所示选择的触发策略库, 实遥信初始状态全为分, 按照点号依次发送分—>合—>分状态; 虚遥信初始状态全为通信正常, 按照点号依次断开通信链接; 遥测初始值全为 0, 按照点号加偏移量发送遥测值。

### 2.2 自动验收装置设计开发

自动验收装置实现对数据通信网关机的远动配置信息校核、远动信息与监控后台信息同步验收、远动信息闭环校核、合成信号逻辑验证、远动信息自动触发及监控信息验收归档等功能。自动验收装置采用客户端/服务器(C/S)架构, 由验收工作站和验收服务器组成, 系统架构及功能模块如图 7 所示, 各功能模块实现功能如下。

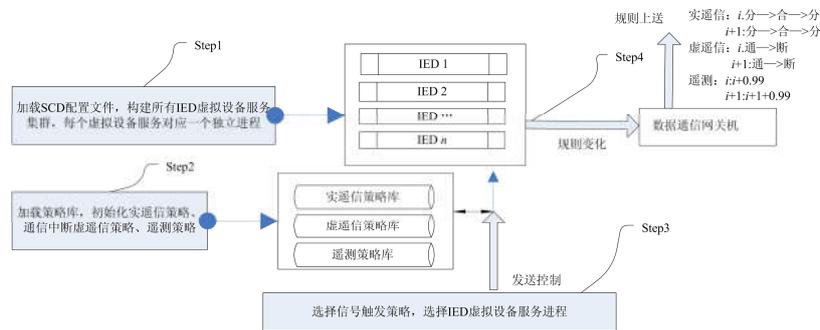


图6 定制策略工作原理示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the work principle of custom strategy

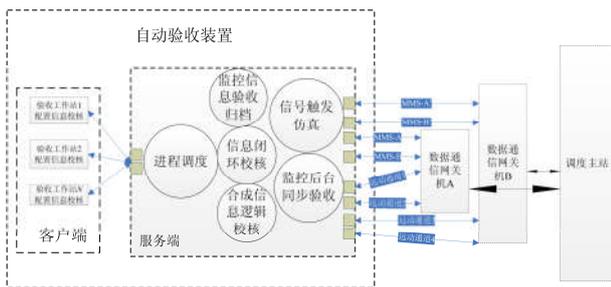


图7 自动验收装置系统架构及功能模块示意图

Fig. 7 Schematic diagram of system structure and function module of automatic acceptance device

运动配置信息校核：实现SCD与RCD模型校核，RCD与SCD关联性校核、RCD与监控信息定值单关联性校核等功能。其中，SCD模型校核是按照IEC61850-6对SCD文件进行模型检查，确保运动信息自动触发模块基于SCD文件仿真的模型有效；RCD模型校核是按照Q/GDW11627《变电站数据通信网关技术规范》对语法与语义进行校核；RCD与SCD关联性校核是对RCD中引用的IEC61850路径有效性检查；RCD与监控信息定值单关联性校核是对遥测、遥信、遥控及遥调配置正确性校核。

运动信息与监控后台信息同步验收：自动验收装置同时接收多个运动转发通道的数据，实现多通道信息一致性比对，并对遥测与遥信进行可视化展示，用以开展运动信息与监控后台信息同步验收。

运动信息自动触发：预置触发策略，基于模型驱动的“一对多”虚拟设备，通过SCD配置文件仿真IEC61850智能电子设备站控层通信行为，按照定制策略一键触发运动信息按照规则上送，用于开展主子站交互信息自动验证。

运动信息闭环校核：实现IEC61850信号触发信号与运动转发IEC104信息的闭环校核，对发送数据与接收数据进行自动比对，用于开展运动信息闭环校核。

合成信号逻辑验证：通过加载RCD配置的合成

信号逻辑，分别触发合成信号参与量变化，闭环接收合成信号生成量反馈信息，实现网关机合成信号逻辑正确性的自动研判。

监控信息验收归档：实现站内监控信息验收阶段的资料归档，根据验收过程记录自动出具验收报告。

验收工作站实现远动配置信息校核及监控信息验收的人机界面展示，验收服务器基于模块化思想对主要功能封装成独立的功能模块，功能模块之间通过服务总线和消息总线交换信息，进程调度对各功能模块进行协调管理，图8为自动验收装置功能模块信息交互示意图。信号触发仿真模块加载SCD，构建IED虚拟设备服务进程，形成进程集群，通过进程管理实现各IED虚拟设备的并列运行。监控后台同步验收加载远动通道配置，构建远动通道验收进程，通过消息总线实现远动信息在人机界面的可视化展示。

### 3 自动验收测试技术及工程应用

RCD文件是变电站侧自动验收的关键，在实验室搭建了自动验收测试环境，开展了自动验收实用化专项测试，如图9所示为测试环境示意图，其中自动验收装置分别接入数据通信网关机站控层A、B网口及远动网口，形成闭环测试环境。利用自动验收装置对国内十四家主流监控系统厂家数据通信网关机进行了自动验收专项测试，测试项目如表1所示，包括SCD一致性校核、RCD语法校核、RCD语义校核、RCD与SCD路径名关联正确性校核、RCD与远动点表校核、合成信息逻辑校核及网关机闭环校核等内容。其中SCD一致性校核、RCD语法校核、RCD语义校核、RCD与SCD路径名关联正确性校核、RCD与远动点表校核为静态校核，是校验网关机工程配置的正确性。合成信息逻辑校核及网关机闭环校核为动态验证，利用闭环测试环境，触发IEC61850数据源及返回IEC104值进行比对，保证变电站运动转发信息的正确性。

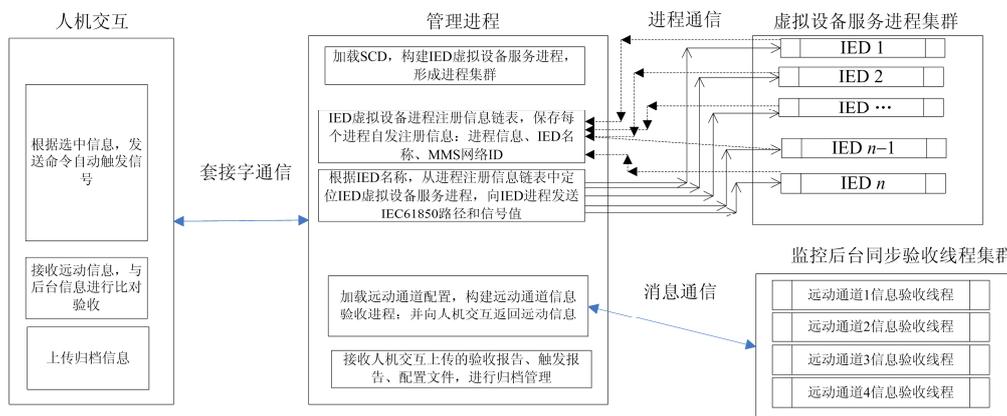


图 8 自动验收装置功能模块信息交互示意图

Fig. 8 Schematic diagram of information interaction for function modules of automatic acceptance device

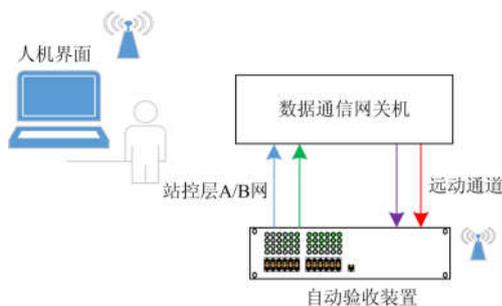


图 9 监控信息自动验收测试环境搭建示意图

Fig. 9 Schematic diagram for building a test environment

表 1 监控信息自动验收测试项目

Table 1 Automatic acceptance test project

序号	测试项目	测试要求
1	SCD一致性校核	满足DL/T860系列标准及工程应用规范。
2	RCD语法校核	满足Q/GDW11627《变电站数据通信网关机技术规范》附录E 远动配置描述文件规范。
3	RCD语义校核	依据远动点表，校核配置的正确性。
4	RCD与SCD路径名关联正确性校核	对RCD引用的Reference与SCD模型进行校核。
5	RCD与远动点表校核	对RCD与远动点表点号与中文描述一致性进行校核。
6	合成信息逻辑校核	依次触发合成信号的参与量变化，验证合成逻辑。
7	网关机闭环校核	触发网关机数据变化，再通过IEC104返回形成闭环校核。

变电站监控信息自动验收技术已在江苏电网全面推广应用，在江苏十三个地区调度控制中心部署了自动验收功能模块，目前已有上百座变电站采用了自动验收。选取两座 500 kV 变电站作为对比，对自动验收与常规验收两种模式验收效率进行比

对。其中 500 kV 滨响变采用常规验收，500 kV 沐阳变采用自动验收，统计两种验收模式下现场与联合验收时间，现场验收单个信息的验收时间由 88.4 s 降低为 41.8 s，联合验收单个信息的验收时间由 45.3 s 降低为 0.3 s，大幅提升验收效率。

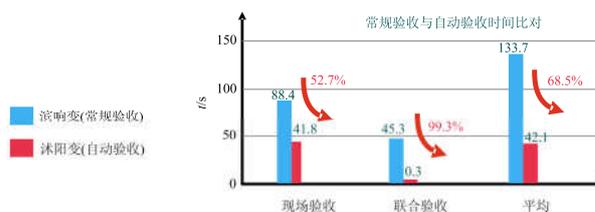


图 10 自动验收与常规验收时间对比

Fig. 10 Comparison of automatic acceptance time with conventional acceptance time

在前期试点应用过程中，发现存在以下问题：1) RCD 与 SCD 不规范；2) 双网关机信息不一致；3) 远动组态配置错误；4) 远动信息描述与监控后台信息描述差异性大。针对问题 1)，已组织开展了自动验收专项测试，实现各家对配置文件理解的一致性。问题 2) 与问题 3) 为工程配置错误，及早发现解决可提高后续主子站信息交互自动验收的效率。问题 4) 是由于远动配置中信息描述从 SCD 中提取，而 SCD 中的中文描述私有性强，解决方案为 RCD 描述信息从监控信息定值单中提取，实现远动信息描述的规范性。

## 4 结语

随着调控一体化运行,接入调控主站的信息量急剧增加,增加了调控人员与变电运检人员验收工作量。本文基于现有技术体系,遵循有关的国家标准、行业标准及国家电网公司企业标准,提出了智能变电站监控信息接入调控主站的自动验收方案。设计了主子站信息交互自动验收系统架构,对新建变电站与改扩建变电站应用场景的监控信息验收进行了分析。重点介绍了基于定制策略的信息源触发技术,对自动验收装置具体实现进行了阐述,最后结合实际工程应用,介绍了应用效果,分析了存在的问题,针对存在的问题给出了解决方案,并开展了自动验收实用化互操作验证测试。

智能变电站调控交互信息自动验收技术涉及到调控主站与变电站的多个环节,本文在介绍整体技术方案的同时重点介绍变电站侧实现技术,关于调控主站侧实现技术及自动成图将是后续研究的重点。

### 参考文献

- [1] 智能变电站一体化监控系统功能规范: Q/GDW 678—2011[S]. 2011.  
Function specifications for integrated supervision and control system of smart substation: Q/GDW 678—2011[S]. 2011.
- [2] 胡绍谦,李力,朱晓彤,等.提高智能变电站自动化系统工程实施效率的思路与实践[J].电力系统自动化,2017,41(11):173-180.  
HU Shaoqian, LI Li, ZHU Xiaotong, et al. Scheme and practice for improving engineering implementation efficiency of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(11): 173-180.
- [3] 刘俊红,邓兆云,李泽科,等.基于即插即用的智能变电站信息自动校核技术[J].电力系统保护与控制,2018,46(2):137-143.  
LIU Junhong, DENG Zhaoyun, LI Zeke, et al. Automatic information verification technology of smart substation based plug and play[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(2): 137-143.
- [4] 变电站调控数据交互规范: Q/GDW 11021—2013[S]. 2013.  
Interaction specification of substation regulatory data: Q/GDW 11021—2013[S]. 2013.
- [5] 变电站通信网络和系统: DL/T 860[S]. 2006.  
Communication networks and system in substations: DL/T 860[S]. 2006.
- [6] 远动设备及系统 第5部分:传输规约 第104篇:采用标准传输文件集的 IEC60870-5-101 网络访问: DL/T 634.5104—2002[S]. 2002.  
Telecontrol equipment and systems part 5-104: transmission protocols-network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles: DL/T 634.5104—2002[S]. 2002.
- [7] 变电站数据通信网关机技术规范: Q/GDW 11627[S]. 2017.  
The technical specifications for data communication gateway of substation: Q/GDW 11627[S]. 2017.
- [8] 彭志强,张琦兵.电网调度自动化系统信息品质分析新方法及其应用[J].电力系统保护与控制,2018,46(4):150-157.  
PENG Zhiqiang, ZHANG Qibing. A new method of information quality analysis of power grid dispatching automation system and its application[J]. Power System Protection and Control, 2018, 46(4): 150-157.
- [9] 金芬兰,王昊,范广民,等.智能电网调度控制系统的变电站集中监控功能设计[J].电力系统自动化,2015,39(1):241-247.  
JIN Fenlan, WANG Hao, FAN Guangmin, et al. Design of centralized substation monitoring functions for smart grid dispatching and control systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2015, 39(1): 241-247.
- [10] 王勇,韩少晓,尚力,等.智能变电站监控系统新型体系架构研究与实践[J].电力系统保护与控制,2019,47(8):145-151.  
WANG Yong, HAN Shaoxiao, SHANG Li, et al. Research and practice of novel architecture of supervision and control system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2019, 47(8): 145-151.
- [11] 胡荣,张喜铭,李金,等.变电站 IEC 61850 第二版信息及模型探讨[J].电力工程技术,2017,36(6):38-44.  
HU Rong, ZHANG Ximing, LI Jin, et al. The discussion on information model and service model of IEC 61850 Ed2.0 used in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2017, 36(6): 38-44.
- [12] 李超,罗凌璐,王德辉,等.智能变电站过程层网络监测与故障定位系统设计与实现[J].电力工程技术,2019,38(2):116-122.  
LI Chao, LUO Linglu, WANG Dehui, et al. Design and implementation of network monitoring and fault location system for process layer network in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2019, 38(2): 116-122.
- [13] 张小易,彭志强.智能变电站站控层测试技术研究

- 应用[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(5): 88-94.  
ZHANG Xiaoyi, PENG Zhiqiang. Research and application on substation level test technology of smart substations[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(5): 88-94.
- [14] 李鹏, 范伟, 王罡. 智能变电站 VLAN 配置表自动生成技术的研究和应用[J]. 电力工程技术, 2018, 37(1): 122-130.  
LI Peng, FAN Fei, WANG Gang. Research and application of VLAN configuration tables automatic generation technology in smart substation[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(1): 122-130.
- [15] HONG Meizi, WU Di, LI Peng, et al. Research on SCD management and control technology in smart substation[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 170(4).
- [16] AHMED M A, EL-SHARKAWY M R, KIM Y C. Remote monitoring of electric vehicle charging stations in smart campus parking lot[J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 2020, 8(1): 124-132.
- [17] 左欢欢, 彭奇, 王德辉, 等. 基于 SCD 文件的智能变电站交换机自动配置实现[J]. 电力工程技术, 2018, 37(1): 91-96.  
ZUO Huanhuan, PENG Qi, WANG Dehui, et al. Implementation of switch automatic configuration of smart substation based on SCD files[J]. Electric Power Engineering Technology, 2018, 37(1): 91-96.
- [18] 张海东, 黄树帮, 杨青, 等. 面向扩建场景的变电站配置描述模型间隔解耦技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(10): 129-134.  
ZHANG Haidong, HUANG Shubang, YANG Qing, et al. Discussion on technology of substation configuration description model bay decoupling for expansion project of smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2017, 41(10): 129-134.
- [19] 胡宝, 张文, 李先彬, 等. 智能变电站嵌入式平台测试系统设计与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(10): 129-133.  
HU Bao, ZHANG Wen, LI Xianbin, et al. Design and application of embedded platform test system in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2017, 45(10): 129-133.
- [20] 韩明峰, 张丰春, 王保齐, 等. 在线服务在 IEC 61850 通信配置中的应用探讨[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(8): 114-119.  
HAN Mingfeng, ZHANG Fengchun, WANG Baoqi, et al. Discussion on application of online service in IEC 61850 communication configuration[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(8): 114-119.
- [21] LI Sufen, FU Yuhao, XIE Yan. Study on the calculation method of interference voltage of shielded cable under the condition of lightning strike in smart substation grounding grid[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 439(5).
- [22] SUN Chenglei, ZHANG Ying, QU Shiguang. Research on secondary system of smart substation[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, 394(4).
- [23] WANG Ning, YAO Ruizhe, LIU Yunhua, et al. A key management method for smart substation[J]. Energy Procedia, 2019, 156.

收稿日期: 2019-05-07; 修回日期: 2019-07-10

作者简介:

彭志强(1986—), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为厂站自动化技术研究及应用; E-mail: peng\_zhiqiang@163.com

刘翌(1971—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为电网调度运行与监控; E-mail: liuyi@js.sgcc.com.cn

罗俊(1972—), 女, 本科, 工程师, 研究方向为电网监控专业。E-mail: luojun@js.sgcc.com.cn

(编辑 许威)