

DOI: 10.7667/PSPC170012

## 基于即插即用的智能变电站信息自动校核技术

刘俊红<sup>1</sup>, 邓兆云<sup>2</sup>, 李泽科<sup>2</sup>, 李焕明<sup>1</sup>

(1. 北京四方继保自动化股份有限公司, 北京 100085; 2. 福建电力调度通信中心, 福建 福州 350003)

**摘要:** 为了解决智能变电站建设过程中工程配置复杂、主子站之间的人工信息校核工作量大的问题, 在即插即用理论研究基础上, 结合电力系统的智能化技术, 将即插即用技术从变电站内 IED 设备延伸到变电站站控层以及主子站之间, 实现智能电网的即插即用。主子站之间的交互, 通过 SCD(含 SSD)模型的共享技术, 实现一二次设备映射。采用变电站功能服务化的方案, 实现信息点表自动校核技术, 提升了智能变电站和调度主站之间的深度互动。通过现场应用验证, 所采用的技术和解决方案, 大大降低了变电站的人工工作复杂度, 提高了智能变电站的建设效率。

**关键词:** 自动检核; 即插即用; SSD 建模; 智能变电站; 模型共享

### Automatic information verification technology of smart substation based plug and play

LIU Junhong<sup>1</sup>, DENG Zhaoyun<sup>2</sup>, LI Zeke<sup>2</sup>, LI Huanming<sup>1</sup>

(1. Beijing Sifang Automation Co., Ltd., Beijing 100085, China; 2. Fujian Electric Power Dispatching & Telecommunication Center, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** The project configuration during the construction of smart substation is complex and the manual information checking work between the master station and the substation is heavy. In order to solve the problems, this paper proposes a method to extend the plug and play technology from the IED equipments within the substation to the substation control layer as well as the master station and substation, based on the research on the theory of plug and play and combined with intelligent technology of power system, realizing the plug and play technology of smart grid. To implement the mapping between the primary and secondary equipments through sharing technology of SCD (including SSD) model, thus realizing the interaction between the master station and the substation. Automatic check technology of information point table is realized and the depth of interaction between the master station and the substation is enhanced by use of substation functions as a service program. The method used can greatly reduce the substation manual labor complexity and improve the efficiency of smart substation construction through on-site verification.

This work is supported by Science and Technology Project of State Grid Corporation of China "Research on Plug and Play Key Technologies of Smart Substation and Control Master Station" (No. 52130416000M).

**Key words:** automatic verification; plug and play; SSD modeling; smart substation; sharing model

## 0 引言

变电站是电网能量交换的重要节点, 监控系统通过对电网运行数据、设备状态、告警信息的采集与处理等, 为电网运行控制提供基础性的数据支撑。目前的智能变电站在建设和维护过程中, 存在建设周期长, 数据源质量参差不齐, 各业务数据信息繁杂, 主站、厂站端数据模型相互独立、无法共享, 各种数据信息重复录入, 人工工作量远远超过常规预期等问题。各种智能分析应用软件, 因为数据模

型的不完整而不能在工程现场发挥有效的作用<sup>[1-3]</sup>。

智能变电站在变电站现场部署了当地的 SCADA 监控系统, 而在调度主站也部署了调度监控系统, 负责对电网中各个变电站节点的运行监视。从目前的监控系统工程施工情况看, 主站和子站两者之间存在着大量的重复工作。在各个变电站现场调试前, 变电站监控系统的各种信息和监控图形, 已经由变电站的工程人员, 在变电站现场的监控系统中, 手工录入了全部信息。但是, 所有这些工作, 在调度主站端, 又人工重复录入了图形和量测信息。所以, 主子站之间的监控系统, 并没有实现深层的信息共享, 存在着严重的信息重复录入、重复校核的问题<sup>[4-5]</sup>。

**基金项目:** 国网公司科技项目“智能变电站与调控主站即插即用关键技术研究”(52130416000M)

变电站内各个智能设备的模型信息在目前的工程使用上,存在着一定的不完整性,变电站内所使用的二次模型信息由各个 IED 设备提供的 ICD 模型文件集成起来形成的。经过多年的实践应用,信息相对比较完整,功能应用比较成熟。由于变电站缺乏成熟的一次建模规范的指导,也缺乏对一次模型的高级应用需求,导致在变电站内,很少建立一次设备的模型,也就没有一次设备模型输出文件。调度主站则是采用 IEC61970 标准,这个标准是基于电网一次设备的模型作为建模基础。所以,变电站和调度主站,各自的监控系统所依赖的模型,存在着根本性的差异,难以实现模型的共享<sup>[6-7]</sup>。

为了避免主子站之间的信息重复录入,重复校核的问题,本文通过对计算机领域即插即用技术的研究,采用了主子站之间“一二次全景模型”的共享技术,在调度主站和变电站之间、变电站内的 SCADA 系统和设备 IED 之间,提出了一种全新的信息自动校核技术。即插即用技术在智能电网领域的技术应用方面,在国内外的报道,目前还较少,而且也只是在小范围内的技术研究,还没有到实际的工程应用程度<sup>[8-9]</sup>。本文不仅对智能电网即插即用技术进行了深入的分析,还通过在具体变电站和调度主站的工程应用实践,开展了高级智能应用在主子站之间的深度协同工作。在智能 IED 对变电站监控系统、智能变电站对智能调控两个层次上,进一步验证了即插即用技术的先进性和工程施工效率的高效性<sup>[10-12]</sup>。

### 1 智能电网建设过程的现存问题

在智能变电站的工程施工中,监控系统的工作主要是收集 IED 设备的 ICD 模型文件,集成全站 SCD 模型,绘制变电站主接线和间隔图,完成图和库的数据关联、信息对点、一二次设备之间的信息关联工作,并完成各种高级应用的配置。流程如图 1 所示。

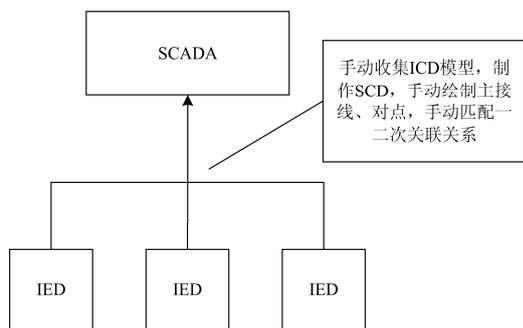


图 1 变电站监控系统制作

Fig. 1 Production process of substation SCADA system

在调度主站的工程制作过程,和变电站的过程基本上是不同的:收集变电站的信息点表,通过图摸工具来制作电网系统图,关联一次设备的量测信息,配置主站的各种系统分析和高级应用功能<sup>[13]</sup>。

从目前的变电站和调控主站的工作流程来看,普遍存在以下问题:

#### 1) 规约扩展性差、效率较低

变电站与调度主站间实时数据的交互方式通常采用 IEC60870-5-101 或 IEC60870-5-104、DL476 等通信规约,主要负责数据的接收、处理、转发功能,面对未来调控中心和变电站之间多业务的数据交互,存在扩展性差和效率低的问题。

#### 2) 面向过程的交互方式

常规的通信规约是面向过程的交互方式,虽然可以有效解决“四遥”数据传输,但是在“调控一体化”背景下,对调控中心和变电站之间的高级应用业务交互支持不够,需要建立面向主站、变电站的一体化协同运作的服务体系架构<sup>[14]</sup>。

#### 3) 配置复杂、人工工作量大、核对繁琐

变电站工程施工时,需要修改模型的信号名称,需要重新绘制主接线,生成拓扑关系,绘制各个间隔分图,人工匹配一二次信号点的关联关系,配置五防逻辑、顺控逻辑等各种应用。

在智能调控系统接入智能变电站时,需要花费大量的人力,来实现配置和核对工作。当一个变电站由多级调度共管时,各个调度要分别进行类似的调试过程,在系统结构调整时,这些配置工作又要重新进行。所有这些工作造成了巨大的资源、人力和时间的浪费,并且各个调度中心硬件环境及人员配置的差别,这些过程极易造成差错,结果是整个系统的维护很难适应电网的快速发展<sup>[15]</sup>。

#### 4) 信息共享能力、业务协同手段不足

目前变电站与主站间虽然通过“远程调阅、告警直传”等方式,有效提升了主子站信息协同能力,但是由于主子站间模型不一致,限制了主子站进一步的业务协同。仅在变电站内部,进行数据模型的优化与信息集成,已很难满足“运维一体化”的要求。

为了解决目前的变电站的这些问题,我们在智能电网采用即插即用的应用技术,尽可能减少工程中的人工干预环节,在很大程度上提高了智能变电站的自动化建设水平和运维水平。

### 2 智能电网的即插即用

“即插即用”(Plug and Play, PnP)起源于计算机技术,随着人们对“即插即用”认识的深入和计

算机网络的发展,在“即插即用”的基础上人们又进一步提出了“通用即插即用”(Universal Plug and Play, UPnP)的概念。“即插即用”的范围逐步扩展到了计算机网络覆盖的范围,同时,即插即用的理念也在往各个领域拓展。

在智能电网系统中,实现即插即用,是一个比较长远的理想目标。要达到这个目标,需要主子站之间有统一的一次、二次标准模型,物理设备之间采用标准交互流程,同时需要将变电站的各种智能应用,采用服务化的方式实现。这样才能降低主子站之间的耦合程度,减少人工干预,在一定程度上达到自动处理的过程,逐步将整个智能电网升级成为即插即用的模式。

### 2.1 智能电网即插即用的应用过程

智能电网即插即用体系,不单是指物理设备层面,还包括智能设备对于变电站监控系统的即插即用和智能变电站对智能调度的即插即用两个层面。

即插即用目标是:当变电站内的智能 IED 设备通过网线连接到变电站内的监控网络时,变电站内的监控层设备能自动发现并自动识别该智能 IED 设备。监控系统能从该设备在线提取到设备模型,完成自动接入、自动配置等工作,实现对该智能设备的自动监控。作为智能电网逻辑节点的智能变电站,站控层的通信网关机,是变电站对外的唯一出口。当网关机通过电力数据网接入到智能调度系统时,调度系统能自动发现变电站的接入,并自动提取变电站的全景模型,完成对变电站的自动接入、自动配置和监控功能,从而实现调度系统和智能变电站之间的即插即用。

在变电站内,实现智能 IED 对变电站监控系统的即插即用构建过程,如图 2 所示。监控系统的系统配置器,能够直接和间隔层的智能 IED 设备进行在线通信,当 IED 接入监控网络时,系统配置器在线获取 IED 模型,自动形成全站 SCD 模型,该模

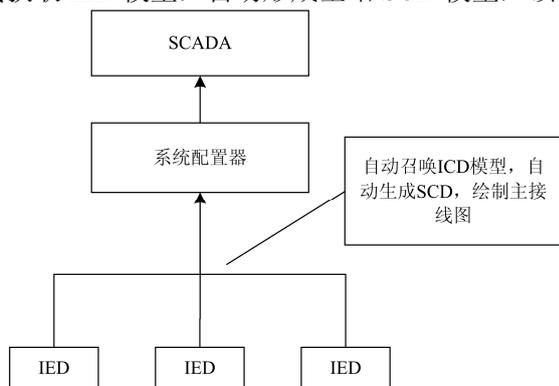


图 2 变电站监控系统自动构建

Fig. 2 Automatic construction of substation SCADA system

型即包括二次设备的 ICD 模型,也包括一次设备的 SSD 模型(描述一次设备的连接关系和二次设备的关联关系)。监控系统根据 SCD,自动生成变电站监控系统的模型库、实时库和监控画面,从而实现对变电站一次、二次设备的在线监控。

当变电站接入调度主站时,调控系统能够自动构建整个监控系统,流程和变电站的构建过程大体类似,如图 3 所示。主站 EMS 系统,通过变电站自动化系统中的数据通信网关机,自动召唤变电站的 SCD 模型,通过解析 SCD 模型,主站能够自动建模、入库、成图。针对接入的多个变电站的模型,调度主站能够实现模型自动拼接,自动生成电网接线图。根据实时数据的传输需求,主站能自动从实时库中导出变电站需要上送数据的信息转发点表,并下载到变电站的通信网关机中,实现对网关机转发信息表的自动配置。变电站的数据网关机根据主站下发的信息表,自动将变电站内的实时信息转发给调度系统,实现一二次设备运行信息的自动采集和转发,从而实现主子站之间的即插即用自动构建过程,避免了人工配置的环节。

至此,从智能 IED,到智能变电站,再到智能调度、智能电网,从物理 IED 设备和各级监控系统之间,形成了一种广义的即插即用体系。

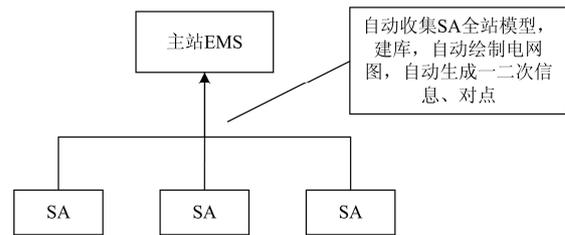


图 3 调度主站监控系统自动构建

Fig. 3 Automatic construction of dispatching master station control system

### 2.2 即插即用的主子站之间服务化应用

常规模式下主子站之间的互动,大多采用如 IEC104 通信协议的过程化交互模式。在即插即用体系下,调度主站和变电站之间的高级应用,需要降低二者之间的耦合度。在智能变电站的监控系统中,监控数据的信息量,往往都是几万甚至十几万的级别。随着主子站之间的智能互动高级应用越来越多,采用常规模式下的交互方式,我们不得不把更多的数据,从变电站传送到调度主站。如果将变电站的大量数据都上送到调度主站,那么主站的数据处理压力会很大。而在智能变电站里,已经实现了一系列的智能应用,如五防、顺控、VQC、故障诊断、智能告警等等。针对这些变电站成熟的智能应用,

没必要在主站端重新部署。基于广域服务通信技术 (WSOA)，我们可以将变电站的各种常规应用设计为服务的方式，用 WSOA 通信替换常规的 IEC104 等协议，将常规模式下的过程化交互功能，逐步改造为服务化的交互方式，如变电站的模型服务、SCADA 实时数据服务、信息自动校核服务、五防服务、顺控服务、图形浏览服务等。当变电站采用服务化的架构设计后，主站只需要通过服务的交互接口，向变电站发送服务请求，变电站对服务请求进行响应，并返回状态和结果即可实现应用交互，简化了以往的过程化监视和控制过程。变电站这种经过服务化封装后的各种服务模块，降低了过程化命令交互的复杂性，也大大减少了主子站之间交互耦合的紧密性。

### 2.3 信息自动校核

信息校核，通常是在变电站内监控系统及设备之间、主子站监控系统之间信息点的校核工作。目前主子站之间的信息点表都是人工录入的，图形也是采用人工方式绘制，通过图库关联方式，完成图形上的动态信息点和实时数据进行关联。为了确保变电站和调度系统的通信信息表能保持一致，需要对信息表的所有点进行对点工作，目前的核对手段是采用人工电话确认的方式来进行。如图 4 所示，变电站端通过人工置数，或者在测控设备上，采用测试仪施加电压、电流、开入等方式来触发信号，并通过人工通话方式，来确认主子站二者之间的数据点配置是否一致。这种工作往往很复杂，而且容易出错。

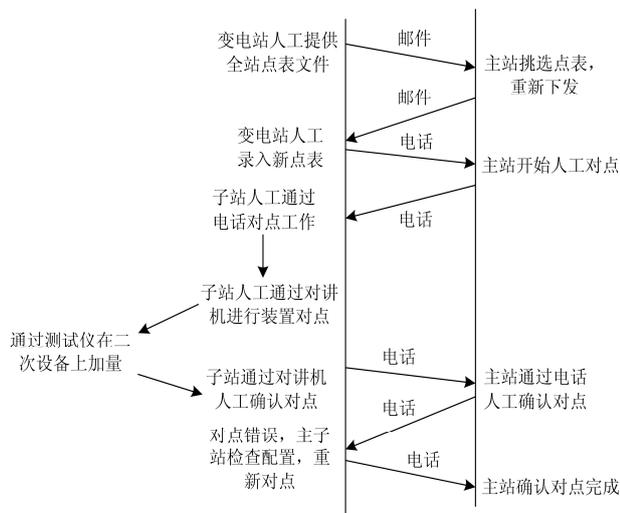


图 4 主子站之间的传统人工对点

Fig. 4 Traditional manual information check between master station and substation

随着智能站的数据模型越来越大，信息点的数量成倍地增长，主子站的信息录入和信息校核给工程人员、运维人员带来越来越繁重的工作量。所以，信息点的自动配置和自动校核功能，在智能电网自动化体系中就越显得迫切和必要。

在 2.1 节中的主子站间的即插即用过程，提到了主站的原始模型，是由变电站提供的全景 SCD 模型，这样就为信息自动校核提供了技术可行性。主站在获取子站模型后，自动建立数据库，同时将数据库中信息点的原始数据路径存储下来，在下传给变电站的信息点表中，包含有通信点号、装置的 IEC61850 原始路径等信息，这样数据网关机通过信息点表，就可以将主站所挑选的转发点，定位到具体二次设备的原始信息点上。

点表采用 CIM/E 的通用格式，样例如下：

```
<@>sn data_name reference index alias_opt
data_id</@>
<!序号 数据名 路径名 点号 数据别名(可选)
本地标识(可选) !>
<#> 1 Ia(mag) newSubstation/CSC122B_220_28
MEAS/MMXU1.A.phsA 16384
```

主站通过模型服务，获取到变电站的一二次全景模型后，根据主站图库的需要，选取变电站的点表，生成文件并下载到变电站。变电站在收到点表文件后，根据点表中的 IEC61850 路径和主站的点号的映射关系，生成通信转发点表，在实时库中，将装置的原始信息和主站的通信点表映射起来，实现通信转发功能。

信息自动校核服务过程，分为主站到子站、子站到装置的两个环节完整过程。主站和变电站之间，采用 WSOA 服务体系进行通信；变电站内通信网关机和智能装置之间，采用通用的 IEC61850 的取代服务来实现。

如图 5 所示，执行信息自动校核时，主站从数据库中通过主子站之间的数据点映射关系，读取信息点在子站装置的原始路径(reference)，通过信息校核服务，向变电站的网关机下发信息点校核服务请求。变电站的即插即用网关机通过信息校核服务，自动转发信息校核命令到相应的 IED 装置上，子站的 IED 设备收到校核命令时，将原始信息点进行取代并回传给网关机。网关机收到取代数据后，通过实时通信协议上送带品质的数据到主站，主站收到子站上送的数据后，校核上送值和下发的原始值是否匹配，从而完成校核功能。

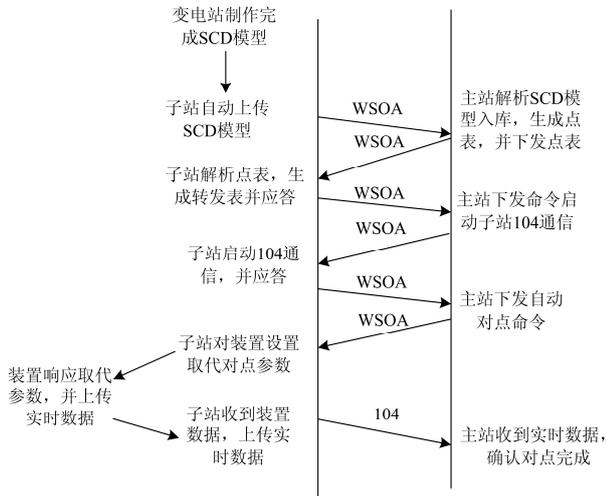


图5 主子站之间的自动信息校核

Fig. 5 Automatic information check between master station and substation

服务接口:

#### 1) 主站下发信息点表服务

主站通过自动选点, 形成实时数据传输的点表, 下传到变电站的即插即用网关机上, 网关机自动更新信息点表, 重新生成实时数据转发映射点表。

```
<DownloadPTL(
```

```
IN  STRING:link_name,    //链接名
OUT  INT16U:resultCode  //结果代码
OUT  STRING:i_name,     //通信接口名称
OUT  STRING :station_name, //站名
OUT  INT32U:dataCount,  //点表文件中
```

有效数据数量

```
OUT  FILEDATA: fileData //点表文件的内容
)" 下传点表信息">
```

#### 2) 上传点表信息服务

变电站向主站传输信息点表。

```
<UploadPTL(
```

```
IN  STRING:link_name,    //链接名
IN  STRING:i_name,      //通信接口名称
IN  STRING:station_name, //站名
IN  INT32U:dataCount,  //点表文件中有效数据
```

数量

```
IN  FILEDATA: fileData, //点表文件内容
OUT  INT16U:resultCode  //结果代码
```

```
)" 上传点表信息">
```

#### 3) 查询一二次映射关系

```
< GetMapData (
```

```
IN  INT  Type;          //查询方式
IN  STRING : dataRefSrc, //输入路径
```

```
OUT  STRING :dataRefDesc, //输出路径
OUT  INT16U:CheckResult  //校核结果
OUT  INT16U:resultCode  //结果代码
```

```
)"一、二次映射关系查询服务"/>
```

调度通过 GetMapData 可以查询变电站内的一次二次映射关系。Type 表示查询的方式: Type=1 通过一次路径查询对应的二次路径, 输入 dataRefSrc 为一次信号路径, 则通过 dataRefDesc 返回二次路径; Type=2 时, 通过二次路径查询一次路径, 输入 dataRefSrc 为二次信号路径, 则通过 dataRefDesc 返回一次路径。如果未查询到, 则返回为空。一次全路径的结构和命名, 遵从 DL/T1171 《电网设备通用数据模型命名规范》, 采用电网统一的全路径命名方式:

电网.厂站/电压等级.间隔.设备/部件.属性

#### 4) 数据校核服务

```
< CheckDataValue (
```

```
IN  STRING : PdataRef,  //一次路径
IN  STRING : SdataRef,  //61850 二次路径
IN  INT8U:CheckOp,     //校核操作类型
IN  FLOAT32:value,     //数据值
OUT  INT16U:resultCode //结果代码
```

```
)"数据校核"/>
```

校核操作 CheckOp 的取值: 0, 取消; 1, 一、二次映射关系校核; 2, 校核状态量; 3, 校核遥测值; 4, 校核遥脉值。

校核时, 调度主站通过 CheckDataValue 校核服务, 输入一次或者二次路径参数, 下发到变电站的通信网关机, 网关机自动转换为智能设备的二次路径, 通过 IEC61850 的取代服务, 向变电站的智能设备下发对点取代, 智能设备响应取代并正确返回给网关机, 网关机再返回给主站, 从而完成对点过程。

IEC61850 取代服务一次只能下发一个点, 所以主站进行校核服务时, 每次发送一个点, 串行校核。每个遥信点校核四次, 合→分→合→分; 每个遥测进行 2~3 次变化数据校核。每个点校核完毕后, 主站需要下发校核命令的结束令, 以便子站取消 IEC61850 取代。子站端需要设置超时时间, 超时后自动取消此信息点的 IEC61850 取代命令, 放置装置在信息校核后被取代保持。

自动校核的方式有: 1) 手动方式的单点校核; 2) 对指定装置的所有点进行自动校核; 3) 对指定间隔或者全站信息表进行自动校核。校核完成后, 自动生成校核报告。

通过以上信息点表自动校核服务, 就可以实现

主站到变电站通信网关机,再到 IED 装置的整个通信过程的点表自动校核服务,从而取代了传统的人工对点过程。

## 2.4 工程验证实施情况

为了信息自动校核技术和验证即插即用的效果,项目在福建的 500 kV 崇儒变电站和福建省调度中心进行了系统部署和测试。变电站端部署了 2 台智能通信网关机,在省调部署了一套即插即用的主站系统。因为目前的智能电网即插即用技术处于研究和工程验证的初期阶段,不能直接替换现有的实时运行系统进行实际工程应用。主站实时系统对变电站的实时监控通道仍然是常规网关机的模式,原有成熟的业务保持不变。如图 6 所示,在实验工程试点上,开辟独立的通道来进行验证测试,避免影响到正常的业务。新增的即插即用服务交互功能,都通过独立的实验验证通道实现。

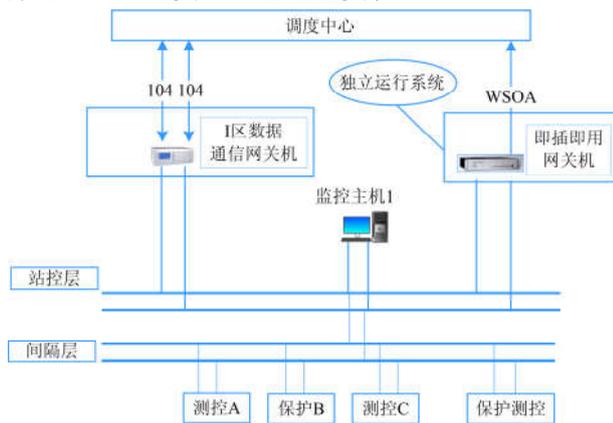


图 6 即插即用实施验证方案

Fig. 6 Plug and play implementation verification scheme

在工程验证的即插即用网关机上,部署了模型服务、通道管理服务、信息自动校核服务、SCADA 实时数据服务、五防服务、顺控服务、告警服务等功能。通过对常规应用功能的服务化改造,实现了主子站之间的即插即用深度互动,调度主站直接复用了变电站已有的高级应用功能。主站通过加载变电站的全景模型,根据模板,自动选点,自动生成子站的点表,并自动下载到变电站。在主子站之间信息自动校核服务中,完成了遥信、遥测共 5000 左右的信息点表的自动校核。自动校核过程中,每个点的校核过程大约需要 0.5 s 左右,整个点表在不到 1 h 内即可完成全部校核工作。从而解决常规模式的点表人工配置和对点问题,提高了现场的点表校核工作效率。

五防、顺控、历史查询等服务,均采用服务请求的方式,主站向变电站发起五防、顺控的服务请

求。子站通过网关机,向相应的服务节点转发服务请求,服务端自动响应并完成服务功能过程。

从远期的发展趋势来看,即插即用的广域互动技术,将会逐步替换现有的过程化通信技术。即插即用网关机,将逐步替代目前的数据通信网关机。在即插即用体系中,各种高级应用将分布在各个逻辑节点,即插即用通信网关机只承担承上启下的代理通信作用,不具备具体应用功能。智能变电站现有的各种智能应用,如实时监视、保信、状态监测、PMU、计量等业务,将采用分布式的业务服务架构体系,分别部署在站控层各个服务节点,每个业务的独立通信方式,将被逐步取消。所有服务器对外的通信,则全部通过即插即用通信网关机来完成。

## 3 结语

在对电网需求深入分析的基础上,本文详细阐述了主子站之间的即插即用和深度互动技术应用,采用了主子站之间的全景模型共享技术,提出了新的信息自动校核技术方案。通过理论分析和实际工程应用,大大减少了变电站监控系统的工程工作量,也减少了调度主站的重复工作和主子站之间的人工对点工作,从而缩减了变电站建设施工的周期,提升了变电站的智能化水平。

智能变电站的即插即用技术发展是一个逐步完善的过程,相关技术、标准规范和功能应用,需要在工程应用中得到验证,逐步完善并走向成熟,最终能实现整个智能电网的即插即用体系。

## 参考文献

- [1] 刘颖. 智能变电站全寿命周期“即插即用”技术体系的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(22): 23-28.  
LIU Ying. Research and application on the technology system of plug & play in the smart substation's life cycle[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(22): 23-28.
- [2] 李瑞生. 云—层—端三层架构体系的随机性电源即插即用构想[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(7): 47-54.  
LI Ruisheng. Idea of random power supply plug and play based on cloud-layer-terminal three layer architecture[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(7): 47-54.
- [3] 李献伟, 王伟. 基于物联网的随机性电源即插即用运维技术方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 112-117.  
LI Xianwei, WANG Wei. Research of plug-and-play

- operation and maintenance technology for random power based on internet of things[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(16): 112-117.
- [4] 王冬青, 李刚, 何飞跃. 智能变电站一体化信息平台的设计[J]. 电网技术, 2010, 34(10): 20-25.  
WANG Dongqing, LI Gang, HE Feiyue. Design of integrative information platform for smart substations[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 20-25.
- [5] 蒋宏图, 袁越. 电力系统自动化综合应用信息平台设计与实现[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(5): 113-116.  
JIANG Hongtu, YUAN Yue. Design and implementation of integrated application information platform for electric power system automation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009, 29(5): 113-116.
- [6] 申泉, 赵谦. 智能变电站全生命周期内 IED 即插即用技术[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(8): 162-167, 172.  
SHEN Quan, ZHAO Qian. PNP technology of IEDs for whole life cycle of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(8): 162-167, 172.
- [7] 张海东, 陈爱林, 倪益民, 等. 智能变电站智能电子设备在线评估及动态重构[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(5): 122-126.  
ZHANG Haidong, CHEN Ailin, NI Yimin, et al. Online state assessment and dynamic reconfiguration of intelligent electronic devices in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(5): 122-126.
- [8] 韩法玲, 黄润长, 张华, 等. 基于 IEC61850 标准的 IED 建模分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(19): 219-222.  
HAN Faling, HUANG Runchang, ZHANG Hua, et al. IED modeling analysis based on IEC61850 standard[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(19): 219-222.
- [9] 王丽华, 江涛, 盛晓红, 等. 基于 IEC 61850 标准的保护功能建模分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(2): 55-59.  
WANG Lihua, JIANG Tao, SHENG Xiaohong, et al. Analysis on protection function modeling based on IEC 61850 standard[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(2): 55-59.
- [10] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC 61850 通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(8): 62-64.  
REN Yanming, QIN Lijun, YANG Qixun. Study on IEC 61850 communication protocol architecture[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(8): 62-64.
- [11] 智能变电站技术导则: Q/GDW 383—2009[S]. 北京: 国家电网公司, 2009.  
Codes of smart substation techniques: Q/GDW383—2009[S]. Beijing: State Grid Corporation of China, 2009.
- [12] Communication networks and systems in substations: part 7-2 basic communication structure for substation and feeder equipment—abstract communication service interface (ACSI): IEC 61850—72[S]. 2002.
- [13] 马瑞, 金艳, 刘鸣春. 基于机会约束规划的主动配电网分布式风光双层优化配置[J]. 电工技术学报, 2016, 31(3): 145-154.  
MA Rui, JIN Yan, LIN Mingchun. Bi-level optimal configuration of distributed wind and photovoltaic generations in active distribution network based on chance constrained programming[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(3): 145-154.
- [14] 刘嘉宁, 潮铸, 钟华赞, 等. 基于广义断面的电网调度操作风险评估[J]. 电工技术学报, 2016, 31(3): 155-163.  
LIU Jianing, CHAO Zhu, ZHONG Huazan, et al. The risk assessment method for the dispatching operation based on generalized sections[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(3): 155-163.
- [15] 余晓丹, 徐宪东, 陈硕翼, 等. 综合能源系统与能源互联网简述[J]. 电工技术学报, 2016, 31(1): 1-13.  
YU Xiaodan, XU Xiandong, CHEN Shuoyi, et al. A brief review to integrated energy system and energy internet[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(1): 1-13.

收稿日期: 2017-01-03; 修回日期: 2017-06-05

作者简介:

刘俊红(1976—), 男, 通信作者, 工程师, 主要研究方向为电力系统自动化、智能电网; E-mail: liujunhong@sf-auto.com

邓兆云(1972—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统自动化、智能电网;

李泽科(1976—), 男, 工程师, 主要研究方向为电力系统自动化、智能电网。

(编辑 张爱琴)