DOI：10.7500/AEPS20130527002

变电站在线监测系统的一体化建模与模型维护

王德文[1]，阎春雨[2]
（1. 华北电力大学控制与计算机工程学院，河北省保定市 071003；2. 中国电力科学研究院，北京市 100192）

摘要：通过对变电站在线监测系统接口与功能规范的分析，提出从在线监测智能电子设备（IED）到站端监测单元与状态监测主站的一体化建模方法。针对变电站在线监测系统主要关注一次设备及其部件的实体信息的特点，采用公共信息模型的电力系统资源类和资产类，建立变电站在线监测系统的电网结构与一次设备模型，并给出站端监测单元与状态监测主站之间的模型共享实现方案，以减少建模的工作量，保障模型的一致性。以 IEC 61850 模型为基础，对状态监测数据接入规范进行扩展，建立在线监测 IED 与站端监测单元的设备参数与数据模型，并给出在线监测 IED 与站端监测单元之间数据映射的实现方法，以实现在线监测数据模型的源端维护。

关键词：在线监测；公共信息模型；模型共享；IEC 61850；源端维护；智能变电站

0 引言

为了推进智能变电站状态监测系统的发展，国家电网公司为智能变电站一体化监控与变电设备在线监测系统制定了一系列技术规范[1-2]，并提出在变电站内部署站端监测单元进行全站监视，并与网省公司输变电设备状态监测主站之间实现在线监测信息的纵向贯通。为了实现模型共享与无缝通信，在线监测智能电子设备（IED）到站端监测单元与状态监测主站的一体化建模是亟待解决的问题。

变电站在线监测系统的一体化建模包括电网结构、变压器与断路器等一次设备，在线监测 IED 与综合监测单元等二次设备，在线监测数据的建模及模型维护。变电站的 IEC 61850 建模与模型共享一直是近年来的热点研究问题。文献[3-4] 给出了变压器状态监测 IED 的逻辑设备、逻辑节点与数据模型建立方法与过程。文献[5-7] 针对气体绝缘全封闭组合电器（GIS）与断路器 IED 的设计给出了 IEC 61850 的建模方案。上述研究仅针对各类状态监测 IED 进行 IEC 61850 建模，没有考虑站端监测单元与状态监测主站，无法实现整个变电站在线监测系统的一体化建模与共享。

现有的一体化建模研究主要集中在变电站自动化系统与电力调度控制中心之间，采用 IEC 61850 对变电站所有对象进行统一建模，并通过与公共信息模型（CIM）的转换，实现主站对变电站模型的共享[8-10]。监测 IED 与继电保护、测量、控制等 IED 的建模不同，主要采用液体介质绝缘、气体介质绝缘与局部放电监测等逻辑节点。另外，变电站自动化系统侧重于电网拓扑结构与运行参数，而站端监测单元主要采用 Web Service 方式将监测数据上传到状态监测主站并融入生产管理系统，更加关注物理设备的监测状态、资产与检修信息[11-12]等，现有电力系统资源与量测模型尚不能完全适应变电设备状态监测与检修管理的需要[13]。

国家电网公司 2012 年发布了《变电设备在线监测 I1 接口网络通信规范》与《变电设备在线监测 I2 接口网络通信规范》[14-15]，分别对站端监测单元与监测 IED 和主站之间的信息交换内容进行了说明。由于 I1 和 I2 接口规范发布不久，站端监测单元的研发仍处于开始阶段。在参与制定相关规范的过程中，发现上述规范仍有待进一步完善。I1 和 I2 接口规范相互独立，缺乏统一的信息建模与维护。例如，I2 接口数据模型所描述的局部放电、油中溶解气体分析、SF_6气体压力与水分等监测信息仅仅包括测量参数，并未提供告警与状态参数，而测量参数也不能覆盖 I1 接口 IEC 61850 模型的监测信息。

本文在遵循变电站在线监测系统的接口与功能规范的基础上，对其存在的不足进行改进或扩展，建立电网结构与一次设备模型、监测 IED 的设备参数与数据模型、站端监测单元的数据参数模型，并提出监测 IED 与站端监测单元的数据映射、变电站与状态监测主站的模型共享方法，以实现整个系统的一体化建模与模型维护。

收稿日期：2013-05-27；修回日期：2013-07-29。
国家自然科学基金资助项目（61074078）；中央高校基本科研业务费专项资金资助项目（12MS113）；国家电网公司科技项目（GY17201200047）。

1 变电站在线监测系统的基本结构

变电设备在线监测系统基本结构如图 1 所示。

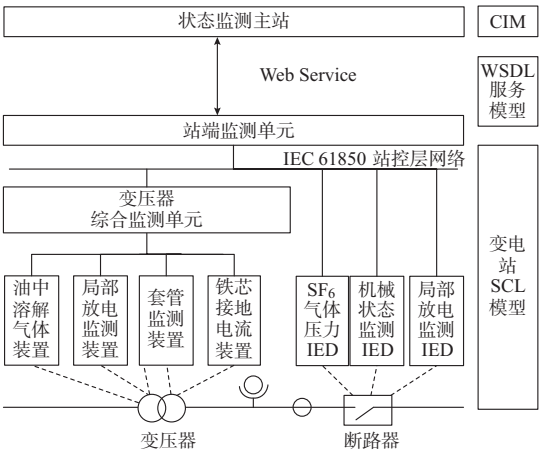

图 1 变电设备在线监测系统的结构
Fig.1 Architecture of on-line monitoring system in substation

变电站的监测 IED 或常规监测装置采集变压器与断路器等一次设备的测量与状态信息。综合监测单元用于接入常规在线监测装置,确保都与站端监测单元进行 IEC 61850 标准化数据通信。变电站配置描述语言(SCL)用于综合监测单元与监测 IED 功能模型与通信模型的描述与配置。

站端监测单元的状态接入控制器(CAC)采用 Web Service 通过电力 Intranet 网络,与远方网省公司状态监测主站的状态接入网关机(CAG)进行分布式数据交换。Web 服务描述语言被用于描述站端监测单元与状态监测主站的服务接口、数据交互的格式与协议。状态监测主站作为现有生产管理系统(PMS)的一个子系统,其信息模型应遵循 CIM,而 CIM 的电力系统资源、设备资产与工作业务模型又不能完全满足状态监测的需要。

SCL 的主要目的是实现 IED 间的互操作,侧重于 IED 及其监测信息的描述与配置,而 CIM 更侧重于一次设备及拓扑结构等电网资源管理。由于 SCL 模型与 CIM 在定义方法、交换格式、关系结构、对象标识与配置模式等方面存在较大差异,造成状态监测主站无法直接复用变电站设备信息模型,需要手工改造,必然增加维护人员管理开销及系统开发成本,阻碍变电设备状态信息的纵向贯通以及与变电站一体化监控系统的横向共享。

2 电网结构与一次设备的建模与共享

2.1 电网结构的建模

变电站在线监测系统的电网结构主要包括省级电网、地市电网、变电站与电压等级等各节点要素,以及节点要素之间的关系。SCL 虽然对电网结构定义了变电站、电压等级、间隔等设备容器类,但仅面向变电站,不包括上层电网关系模型。SCL 各类对象采用层次结构描述,没有建立明确的双向关联关系。例如:断路器仅作为导电设备类的一个元素,只能包含在间隔类中,这种严格层次结构导致模型不灵活。

变电站在线监测系统主要关注一次设备及其部件的实体信息及在线监测数据,并不关心与其相连设备之间的拓扑信息与运行参数。本文以 CIM 的电力系统资源类为基础,针对变电站在线监测系统的需要,建立电网结构模型,其基本结构如附录 A 图 A1 所示。

标识符(mRID)作为统一的电网资源标识,在整个电网模型中唯一。各节点的命名遵循电网设备通用数据模型命名规范,设备信息命名采用"电网.变电站/电压.设备/部件"的结构。电网结构模型信息存放在数据库中,mRID 作为各节点的主键,并设置外键建立节点间的约束关系,保障模型信息引用的完整性。该模型简洁明确、实现容易,可以满足站端监测单元进行数据存储、数据查询与监视的功能要求。

2.2 一次设备的建模

变电站在线监测系统监测与管理对象主要包括变压器、高压开关设备、电容型设备与金属氧化物避雷器等一次设备。SCL 的一次设备类很简单,仅仅定义了 PTR(变压器)、CBR(断路器)与 DIS(开关)等设备类型代码,没有对变电站在线监测系统所关注物理设备的分类、资产、组成等基本属性进行明确定义。本文以 CIM 的资产类为基准,为变电站在线监测系统建立一次设备模型,以满足变电设备的台账管理、设备查询、汇总统计与关联查询的需要,如图 2 所示。

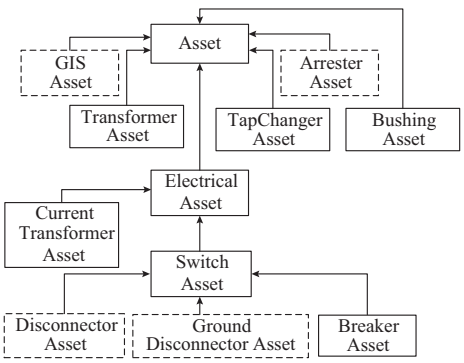

图 2 变电站在线监测系统的一次设备模型
Fig.2 Primary electric equipment model of on-line monitoring system in substation

资产类作为电力设备资产的一个基类,其主

要是从物理设备实体的角度对电网设备进行建模，采用 TransformerAsset，TapChangerAsset，BushingAsset 等 CIM 类分别描述变压器、分接开关、套管等设备，并从资产类派生出 ElectricalAsset 来描述其他电气设备。虽然 CIM 中定义了许多类型的资产，但仍不能覆盖所有设备类型。新版的 IEC 61968 CIM10 提供 Informative 包试图解决该问题，仍处于有待修改不稳定阶段。本文对 CIM 进行扩展，从资产类继承 ArresterAsset 类与 GISAsset 类分别用于描述避雷器和气体绝缘金属封闭开关设备。继承 SwitchAsset，建立 DisconnectorAsset 类和 GroundDisconnectorAsset 类，分别用于描述隔离开关和接地开关。在建模过程中，采用 TypeAsset 类描述设备的分类信息，AssetModel 类进一步描述具体某类设备的不同型号。限于篇幅，各设备的详细属性定义省略。

2.3　变电站与状态监测主站的模型共享

在某个变电站在线监测系统的工程实践过程中，可以按照上述方法对变电站的电网结构与一次设备进行建模。如果网省侧状态监测主站已经建立了所辖变电站的电网结构、一次设备以及巡视、诊断、试验与检修等工作模型，站端监测单元可以从状态监测主站直接获取该变电站的电网结构与一次设备模型文件，装载到变电站的模型数据库中，经过校验以新建或更新原有模型数据，以实现对状态监测主站的模型共享，减少重复建模的工作量，并能保障模型的一致性。

模型文件采用国家电网公司的标准格式 CIM-E，效率高、容易开发和实现，已经得到了广泛应用。通过 CIM/E 共享模型数据可以减少大量格式转换。图 3 给出站端监测单元从状态监测主站获取模型的过程。

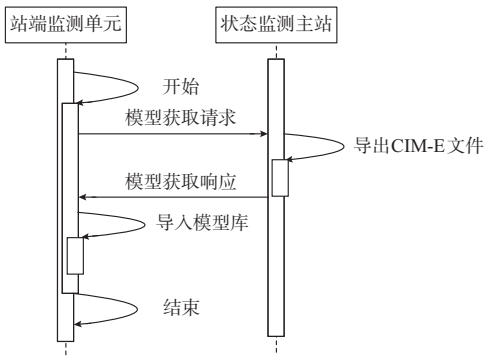

图 3　模型获取过程
Fig.3　Sequence of model acquisition

站端监测单元发起模型获取服务请求，状态监测主站根据变电站资源标识符为该变电站导出 CIM-E 格式的模型信息，通过 Base64 编码后传输给站端监测单元。站端监测单元对获取的 CIM-E 模型信息进行解码和模型校验，导入本地模型库中。

模型信息的描述采用 CIM-E 的横向表结构，属性行以“@”开头，列出类属性，下面各行依次列出类的各个对象，以符号“#”开头。类属性或对象属性值之间用空格符分隔。模型信息的传输采用 Web Service 传输方式，对 I2 接口规范扩充，定义模型获取消息。附录 A 图 A2 为响应消息的结构定义。

result 元素描述站端监测单元的模型获取结果信息，其 code 属性作为执行结果代码，如果执行错误，错误码与详细错误信息保存在 errors 子元素中。model 元素的 time 和 version 分别表示模型生成时间与版本号，info 子元素用于存放站端监测单元获取的模型内容，采用 Base64 编码方式。Base64 作为 HTTP 环境下常见的用于传输 8 bit 字节代码的编码方式，支持大部分浏览器的直接解析，传输效率高，可以确保在具备一定安全性前提下的模型信息高效传输。

3　变电站监测信息模型的源端维护

遵循 IEC 61850 第 2 版及国家电网公司相关应用规范，对现有变电设备状态监测数据接入规范与方法进行改进，建立变电站监测信息模型，包括监测 IED 的设备参数、监测 IED 的数据模型、站端监测单元的数据参数，并给出监测 IED 与站端监测单元之间数据映射的实现方法，以实现源端维护，如图 4 所示。

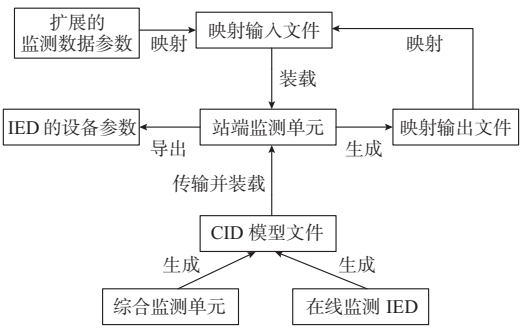

图 4　在线监测数据模型的源端维护
Fig.4　Source-end maintenance of on-line monitoring data model

3.1　监测 IED 设备参数

站端监测单元采用 GetFile 服务在线获取综合监测单元或在线监测装置的实例配置描述(CID)文件，通过 XML 解析，读取 IED 名称、IP 地址、服务器名与访问点等 IED 参数信息，存入模型库中，如表 1 所示。

表 1 监测 IED 的参数模型
Table 1 Parameter model of monitoring IED

参数名称	参数代码	备注
监测 IED 标识符	mRID	17 位设备编码
被监测设备标识	LinkedDevice	17 位设备编码
IED 名称	IEDName	来源 CID 模型
IP 地址	IP	来源 CID 模型
服务器名	ServerName	来源 CID 模型
访问点名称	APName	来源 CID 模型
监测类型代码	TypeCode	监测类型唯一标识
映射输出文件名	DatamapOut	用于数据映射
映射输入文件名	DatamapIn	用于数据映射
状态	Status	IED 工作状态

监测 IED 及被监测设备标识符采用国家电网公司生产管理系统设备代码的 17 位编码。监测类型代码由 6 位数字字符组成,前 2 位字符标识监测专业(02 表示变电),第 3 位字符从 1 至 4 分别表示变压器、电容型设备、金属氧化物避雷器、断路器/GIS,后 3 位字符作为流水号。

3.2 状态监测数据模型

根据监测 IED 的功能,确定至少包含 1 个公共逻辑设备和监测功能逻辑设备,监测功能逻辑设备由若干逻辑节点构成,至少包含逻辑节点零(LLN0)、物理设备逻辑节点(LPHD)和监测功能的逻辑节点。完整的状态监测数据模型由监测 IED 的数据模型与站端监测单元的数据参数定义构成。

数据集与报告控制块是监测 IED 实现数据交换的 2 个核心模型。数据集由数据对象或数据属性构成的有序集合,在数据交换中通过报告服务传输数据集名与成员引用值,可以明显提高传输效率,并有利于站端监测单元对监视数据的灵活组织。

在 CID 文件中对数据集进行预先定义,在液体绝缘介质监视(SIML)与局部放电监视和诊断(SPDC)等状态监测类逻辑节点中,分别建立测量数据集和告警数据集,并在数据集名称中标识出状态监测类型。为测量数据集建立无缓冲报告控制块,名称以 urcb 开头,支持完整性周期和总召;为告警数据集建立有缓冲报告控制块,名称以 brcb 开头,支持完整性周期和数据改变触发,对于选项域和触发条件支持站端监测单元的在线修改。

变电设备状态监测数据接入规范对于局部放电、油中溶解气体分析、容性设备与避雷器绝缘监测等各类监测项目描述了监测数据的名称、代码、类型与单位等,为站端监测单元的本地监视,以及站端监测单元与状态监测主站之间的信息交换提供了基本依据。无论是站端监测单元还是状态监测主站都应对变电设备状态异常进行告警,而现有接入规范仅提供了测量数据的定义,因此,依据在线监测 IED 或综合监测单元的 IEC 61850 模型对各监测类型的数据参数进行扩充。

3.3 状态监测数据的映射

监测 IED 的数据属性与站端监测单元的数据参数之间,不存在规律性对应关系,必须经过工程化配置建立两者之间的映射关系。为了减轻模型映射的工作量,给出状态监测数据的映射实现方法如下。

1)站端监测单元根据 IEC 61850 第 2 版的 DataTypeTemplates.xsd 等 Scheme 文件,解析出监测 IED 或综合监测单元模型树的所有叶子节点,包括数据属性的引用名与数据类型等,从而生成映射输出文件。

2)根据上文建立并经过扩展的监测数据参数模型类库,对映射输出文件中每个节点项补充相应的参数代码,进而生成映射输入文件。映射输入与输出文件采用标准的 CIM-E 横向表结构,维护工具丰富并与数据库转换方便。通过对数据库表进行填充或修改的方法进行映射,可以屏蔽 IEC 61850 模型的复杂层次结构,更符合现场维护人员的习惯。

3)映射输入文件被装载进站端监测单元,并在内存中建立映射关系。当站端监测单元收到监测 IED 周期性或主动上传的监测数据,通过映射关系将数据集成员引用转化为参数代码,进而实现站端监测单元和状态监测主站的数据监视和综合告警。

3.4 变压器油中溶解气体分析数据的建模与映射实例

以变压器油中溶解气体分析(DGA)监测为例,分析建模与映射过程,以验证上述方法的合理性。

1)使用 SCL 配置工具为变压器综合监测单元建立服务器对象,命名为 iedTransformer,建立逻辑设备对象 LDDGA。建立逻辑节点对象 SIML1,并为其配置测量数据集 ds021002AMea 和告警数据集 ds021002ASta。ds021002AMea 由 H2ppm.mag.f,N2ppm.mag.f 与 CmbuGas.mag.f 等数据属性成员构成,用于 H_2 和 N_2 等气体含量监测;ds021002ASta 由 InsAlm.stVal,H2Alm.stVal 与 GasInsAlm.stVal 等数据属性成员构成,用于绝缘液体告警、H_2 告警与气体告警等。为 ds021002AMea 建立非缓冲报告控制块,命名为 urcb021002Mea,并为 ds021002ASta 建立非缓冲报告控制块,命名为 brcb021002ASta,用于向站端监测单元上传监测数据与告警,如附录 A 表 A1 所示。

2)依据变电设备状态监测数据接入规范,在站端监测单元模型数据库中,为变压器 DGA 监测项目建立相应监测参数。由于现有的接入规范没有定义 DGA 的告警信息,扩展 InsulationLiquidAlarm,

H2Alm 与 GasAlarm 等告警参数，如附录 A 表 A1 所示。

3）站端监测单元对变压器综合监测单元的 SCL 配置文件解析，生成包含 ds021002AMea 与 ds021002ASta 数据属性成员的 CIM-E 格式映射输出文件 datamap1. CIME。datamap1. CIME 的数据参数属性值默认为空，依据站端监测单元模型数据库将其修改为相应参数代码，从而建立包含变压器 DGA 数据参数的映射输入文件 datamapout1. CIME，如附录 B 所示。

4）当站端监测单元收到 urcb021002Mea 与 brcb021002ASta 报告上传的测量与告警数据，依据 datamapout1. CIME 文件所描述的监测参数与 ds021002AMea 与 ds021002ASta 数据集成员的映射关系，实现监测数据的显示、告警与保存等功能。附录 A 图 A3 给出了站端监测单元的运行示意图。

4　结语

变电站在线监测系统是智能变电站的一个重要组成部分。本文在现有技术标准的基础之上，对变电设备在线监测系统的电网结构、一次设备、监测 IED 以及站端监测单元的建模进行了全面分析研究，并给出监测 IED 与站端监测单元之间的数据映射、变电站与状态监测主站的模型共享的实现方法，将对变电站在线监测系统的研发以及现有接口规范的完善具有参考价值。

附录见本刊网络版（http://aeps.sgepri.sgcc.com.cn/aeps/ch/index.aspx）。

参考文献

[1] Q/GDW 678—2011　智能变电站一体化监控系统功能规范[S].北京：国家电网公司，2012.

[2] Q/GDW 534—2010　变电设备在线监测系统技术导则[S].北京：国家电网公司，2011.

[3] 王德文，邸剑，张长明.变电站状态监测 IED 的 IEC 61850 信息建模与实现[J].电力系统自动化，2012，36(3)：81-85.
WANG Dewen，DI Jian，ZHANG Changming. Information modeling and implementation for condition monitoring IED in substation[J]. Automation of Electric Power Systems，2012，36(3)：81-85.

[4] 邬航杰，盛戈皞，崔荣花，等.基于 IEC 61850 的变压器状态监测 IED 的信息建模及 SCL 描述[J].华东电力，2011，39(12)：2012-2016.
WU Hangjie，SHENG Gehao，CUI Ronghua，et al. IED information modeling and SCL description for transformer [J]. East China Electric Power，2011，39(12)：2012-2016.

[5] 黄新波，王霄宽，方寿贤，等.智能变电站断路器状态监测 IED 设计[J].电力系统自动化，2012，36(22)：95-99.
HUANG Xinbo，WANG Xiaokuan，FANG Shouxian，et al. Design on status monitoring IED of circuit breaker for smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems，2012，36(22)：95-99.

[6] 杜凤青，盛戈皞，徐剑，等.基于 IEC 61850 的 GIS 智能监测信息建模及信息交互系统设计[J].电力自动化设备，2013，33(6)：163-166.
DU Fengqing，SHENG Gehao，XU Jian，et al. Information modeling for GIS smart monitoring based on IEC 61850 and development of information interaction system [J]. Electric Power Automation Equipment，2013，33(6)：163-166.

[7] 马义，郑建勇，梅军，等.基于 IEC 61850 的 SF_6 断路器在线监测系统的信息建模及通信实现[J].电力自动化设备，2010，30(2)：131-134.
MA Yi，ZHENG Jianyong，MEI Jun，et al. Information modeling and communication of SF_6 circuit breaker on-line monitoring system based on IEC 61850 [J]. Electric Power Automation Equipment，2010，30(2)：131-134.

[8] 陈爱林，耿明志，张海东，等.智能变电站和主站共享建模的关键技术[J].电力系统自动化，2012，36(9)：72-75.
CHEN Ailin，GENG Mingzhi，ZHANG Haidong，et al. Key technologies of model sharing between smart substation and control centre [J]. Automation of Electric Power Systems，2012，36(9)：72-75.

[9] 张海东，张鸿，宋鑫，等.SCD 模型到 CIM/E 模型的转换方法[J].电力系统自动化，2012，36(15)：91-95.
ZHANG Haidong，ZHANG Hong，SONG Xin，et al. Model conversion method from smart substation SCD to control center CIM/E[J]. Automation of Electric Power Systems，2012，36(15)：91-95.

[10] 谢善益.基于 UCIM 的数字化变电站及控制中心模型协同设计[J].电力系统自动化，2011，35(15)：64-67.
XIE Shanyi. Model coordination design between digital substations and control center based on UCIM[J]. Automation of Electric Power Systems，2011，35(15)：64-67.

[11] 赵普，瞿静文，马建华.江苏电网调度运行与生产管理系统的集成方案[J].电力系统自动化，2010，34(6)：104-106.
ZHAO Pu，QU Jingwen，MA Jianhua. An integration scheme of OMS and PMS for Jiangsu power grid [J]. Automation of Electric Power Systems，2010，34(6)：104-106.

[12] 曹晋彰，王扬，朱承治，等.基于公共信息模型的电网企业资产管理信息模型及应用[J].电力系统自动化，2012，36(2)：77-81.
CAO Jinzhang，WANG Yang，ZHU Chengzhi，et al. CIM-based information model for power grid enterprise asset management and its application [J]. Automation of Electric Power Systems，2012，36(2)：77-81.

[13] 林峰，倪斌，贺成利.一种用于统一 OMS 与 PMS 设备库的 BSM 结构设计[J].电力系统自动化，2008，32(19)：50-53.
LIN Feng，NI Bin，HE Chengli. BSM structure design for unifying power system equipment databases of OMS and PMS [J]. Automation of Electric Power Systems，2008，32(19)：50-53.

[14] 国家电网公司.变电设备在线监测 I1 接口网络通信规范[S].北京：国家电网公司，2012.

[15] 国家电网公司.变电设备在线监测 I2 接口网络通信规范[S].北京：国家电网公司，2012.

（下转第 113 页　continued on page 113）

（上接第 82 页　continued from page 82）

王德文（1973—），男，通信作者，博士，副教授，主要研究方向：电力系统自动化和计算机网络。E-mail：wdewen@gmail.com

阎春雨（1960—），男，教授级高级工程师，主要研究方向：状态检修和故障诊断技术。

（编辑　代长振）

Integrated Modeling and Model Maintenance of On-line Monitoring System in Substation

WANG Dewen[1], *YAN Chunyu*[2]

(1. School of Control and Computer Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: By analyzing the interface and function specification of the on-line monitoring system in substation, the integrated modeling approach from on-line monitoring intelligent electronic devices (IED) to substation side monitoring unit and condition monitoring master station system is proposed. In view of the feature that the on-line monitoring system is mainly concerned about the entity information of primary equipment and its components, the power system resource class and asset class of the common information model are used to establish the power grid structure and primary equipment model of the on-line monitoring system in substations. In addition, to reduce the modeling workload and ensure the consistency of model, the implementation scheme for achieving model sharing between substation side monitoring unit and condition monitoring master station system is also given. Based on the model of IEC 61850, the condition monitoring data access specification is extended, the equipment parameter and data model of on-line monitoring IED and substation side monitoring unit are developed, and the approach to realizing the data mapping between on-line monitoring IED and substation side monitoring unit is given to perform source-end maintenance of the on-line monitoring data model.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 61074078), the Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 12MS113) and State Grid Corporation of China (No. GY17201200047).

Key words: on-line monitoring; common information model; model sharing; IEC 61850; source-end maintenance; intelligent substation