

# 基于 IEC61850 的 GIS 智能监测信息建模 及信息交互系统设计

杜凤青<sup>1</sup>, 盛戈峰<sup>1</sup>, 徐 剑<sup>2</sup>, 刘亚东<sup>1</sup>, 姚建歆<sup>2</sup>, 江秀臣<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学 电气工程系, 上海 200240;

2. 上海市电力公司市区供电公司, 上海 200080)

**摘要:** 根据气体绝缘组合电器(GIS)状态监测的实际功能需求,提出了符合 IEC61850 通信标准的 GIS 智能监测状态信息流建模方法,建立了 GIS 状态监测 IED 的模型,并给出了 GIS 智能监测系统架构和通信体系。分析了基于 MMS 的服务器/客户端通信模式,重点提出了基于 MMS 报文、日志和文件的信息共享和交互策略。开发了服务器和客户端通信程序,并给出了主要功能函数的流程图以及客户端和服务器的流程图。

**关键词:** 气体绝缘组合电器; 监测; IEC61850; 模型; 信息交互; 智能电子设备; 通信

**中图分类号:** TM 862

**文献标识码:** B

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.06.030

## 0 引言

SF<sub>6</sub> 气体绝缘组合电器 GIS(Gas Insulated Switchgear)具有结构紧凑、占地面积小、噪声低、检修周期长、可靠性高等特点,近年来广泛应用于电力系统中。

由于 GIS 是全封闭组合电力设备,一旦出现事故,造成的后果比分离式敞开设备严重得多,故障修复极为复杂。因此对 GIS 实施在线监测并降低设备故障率十分重要,否则会对电力系统和用户造成重大危害<sup>[1]</sup>。目前 GIS 主要在线监测项目包括局部放电(以下简称局放)、SF<sub>6</sub> 气体微水和密度、断路器机械特性等<sup>[2]</sup>。

IEC61850 系列标准是最为权威的关于变电站自动化系统通信的国际标准<sup>[3]</sup>。它采用分层思想将变电站分为站控层、间隔层和过程层,制定了变电站实时信息和其他信息传输要求的服务模型,为变电站自动化系统提供了建模和结构方面的标准,以实现不同厂家的智能电子设备(IED)之间的互操作性,提高变电站的自动化水平。

GIS 等电力设备的状态监测功能不仅包括电量状态信息的采集,还包括一些非电量状态、环境状态信息的采集和状态评估、故障诊断等,和常规变电站综合自动化系统中的监测功能区别较大。随着越来越多的状态监测设备投入运行,将 GIS 等电力设备在线监测作为一个子系统纳入变电站综合自动化系统是必然的趋势,实现监测预警以及评估诊断等智能

监测功能也是 GIS 等设备实现智能化的必然要求。

本文针对 GIS 智能监测的要求,提出符合 IEC 61850 内涵实质的 GIS 状态信息流建模方法、通信体系和数据交换接口,讨论了实现 GIS 智能监测的信息共享与交互策略,给出了基于 MMS 的客户端/服务器开发流程。

## 1 GIS 智能监测的主要功能要求

绝缘问题和机械故障是影响 GIS 安全、稳定运行的主要因素,当前 GIS 状态监测的主要内容也同样是围绕绝缘状态和机械、电气性能 2 个方面展开的。

GIS 绝缘状态监测主要通过 GIS 绝缘性能下降时所激发的声、光、电等物理现象和绝缘性能下降后引起绝缘气体中的变化判断和评估 GIS 绝缘性能下降的程度,主要监测局放<sup>[4]</sup>、SF<sub>6</sub> 气体微水、密度及 SF<sub>6</sub> 气体组成成分<sup>[5]</sup>。机械、电气性能状态监测主要针对断路器开关操作机构的动力特性、振动特性、绝缘特性和导电特性等方面展开,主要监测操动机构触头行程-时间、合分闸线圈电流、断路器振动信号、电机储能、液压等<sup>[6-7]</sup>。

为实现 GIS 智能监测和信息交互,智能监测 IED 采集电量、非电量等实时数据和报警信息,包括局放峰值、相位、频率、SF<sub>6</sub> 气体微水、密度及 SF<sub>6</sub> 气体组成成分,断路器合分闸线圈电流、断路器振动信号、泄漏电流、开断电流及对应的报警信息等,以日志的形式储存并以 MMS 报文的方式上传给主 IED,主 IED 依据相关标准设定的阈值,实现初步的故障预警、状态评估和故障诊断。

故障预警和评估诊断结果以 MMS 报告的形式发给后台评估诊断系统,进行综合状态评估和故障诊断、状态预测和风险评估。

实现运行状态的智能评估诊断时需要用到各类

收稿日期:2012-04-12;修回日期:2013-05-01

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(SS-2012AA050803);上海市科委科技攻关重点项目(10dz12030-00)

Project supported by the National High Technology Research Program of China (863 Program) (SS2012AA050803) and the Shanghai Science and Technology Committee Technology Research Project (10dz1203000)

图谱文件,如局放监测的放电信号波形文件和放电信号图谱文件,以及断路器监测中的录波文件,如开断电流波形曲线文件、合闸线圈电流波形文件、分闸线圈电流波形文件等。这些图谱文件由高速信号采集传感器采集,通过嵌套在智能监测 IED 内的计算模型自动生成。应通过 ftp 或 IEC61850 文件服务的方式经主 IED 传送相关数据文件给后台评估诊断系统,并与指纹数据比对,基于智能算法实现对 GIS 的状态评估和故障诊断,给出评估诊断结果。

系统运行过程中,应可以灵活设置系统参数和运行参数,如智能监测 IED 的采样间隔以及报警阈值等,可以通过 IEC61850 协议的定值组操作,以 MMS 报文的方式实现。

## 2 实现 GIS 智能监测的 IEC61850 信息建模方法

IEC61850 采用面向对象建模技术,面向物理设备建模。一个监测功能物理设备(指按功能分类,具有某种监测功能的物理设备),应建模为一个 IED 对象。一个监测功能物理设备是指该对象是一个容器,包含服务器(server)对象,服务器描述了一个设备外部可见(可访问)的行为,每个服务器至少应有一个访问点(AccessPoint),每个服务器包含一个或多个逻辑设备 LD(Logical Device)。逻辑设备具有公用特性的逻辑节点 LN(Logical Node),逻辑设备包含逻辑节点。逻辑节点是需要通信的每个最小功能单元,包含数据(DATA)对象,数据对象包含逻辑节点的所有信息。数据对象包含数据属性 DA(Data Attribute),是对象模型中信息的最终承载者。

此外,IEC61850 中对象信息模型还定义了数据集、报告控制块、日志控制块等十几个模型,以提供数据、数据属性及数据集等的操作服务。信息模型不仅是数据的集合,而且是数据与功能服务的有机统一,模型中的数据和功能服务相互对应,数据的交换通过访问对应的功能服务逻辑节点来实现。数据与功能服务的紧密结合使模型具备了良好的稳定性、可重构性和易维护性。信息模型层次化结构见图 1。

根据上文分析的 GIS 在线监测主要监测量,本次建模要用到的逻辑节点见表 1。其中,逻辑节点 LLNO、LPHD 在 IEC61850 模型中不可或缺。

该模型中,需要对相应的逻辑节点和数据进行必要的扩展以满足实际监测要求<sup>[8-9]</sup>。

**a. 逻辑节点 SPDC。** OpCnt(动作计数)是强制的,扩展了数据 MaxPaDsch(最大放电量)、AverPaDsch(平均放电量)、MaxPaDsAng(最大放电量相位)、FrqPaDsch(放电频率),及其对应的告警数据 MaxPaDschAlm、MaxPaDsAngAlm、AverPaDschAlm、FrqPa-

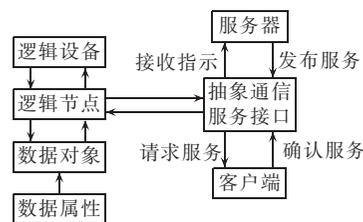


图 1 信息模型层次化结构

Fig.1 Hierarchical structure of information model

表 1 GIS 智能监测逻辑节点说明

Tab.1 Description of LNs for GIS smart monitoring

功能	逻辑节点	逻辑节点类	M/O	备注
基本逻辑节点	管理逻辑节点	LLNO	M	
	物理设备逻辑节点	LPHD	M	
局放监测	局放监视逻辑节点	SPDC	O	
SF <sub>6</sub> 气体监测	气体绝缘介质监视逻辑节点	SIMG	O	
机械特性监测	断路器监视逻辑节点	XCBR	O	行程
	操动机构监视逻辑节点	SOPM	O	储能

注:M 表示必选,O 表示可根据设备功能选择。

DschAlm,增加了可选数据 PaDschAlm(局放告警)。

**b. 逻辑节点 SIMG。** 选择了可选数据 Den(SF<sub>6</sub> 气体密度)和 Pres(SF<sub>6</sub> 气体压力)及其对应的告警数据 DenAlm(SF<sub>6</sub> 气体密度告警)和 PresAlm(SF<sub>6</sub> 气体压力告警);增加了已有数据 H2O(微水)及其告警信息(H2OAlm)

**c. 逻辑节点 XCBR。** 扩展了数据 RctTmOpn(分反应时间)、RctTmCls(合反应时间)、OpTmOpn(分操作时间)、OpTmCls(合操作时间)、StkOpn(分闸行程)、StkCls(合闸行程)、VibAmp(振动幅值),增加了数据 ColOpn(分闸线圈电流)、ColCls(合闸线圈电流)、OpTmAlm(开关操作超时)、OpCnt(操作次数),及它们对应的告警信息 RctTmOpnAlm、RctTmClsAlm、OpTmOpnAlm、OpTmClsAlm、StkOpnAlm、StkClsAlm、VibAmpAlm、ColOpnAlm、ColClsAlm、OpTmAlmAlm、OpCntAlm。

**d. 逻辑节点 SOPM。** 增加了可选数据 En(储能)、HyPres(液压),及它们对应的告警信息 EnAlm、HyAlm。

## 3 基于 MMS 和客户端/服务器模式的 GIS 智能监测信息交互策略及系统设计

### 3.1 基于 MMS 和客户端/服务器模式的信息交互策略

IEC61850 有服务器/客户端和发布/订阅式 2 种通信模式,前者是 ACSI 核心服务(包含大部分 ACSI 服务)的映射方式,故本系统采用这种通信模式。

每个 IED 包含客户端和(或)服务器功能。GIS 智能监测 IED 作为服务器,与传感器配合,负责采集和上传各种电量、非电量等实时数据和报警信息。GIS 状态监测主 IED 是 GIS 智能组件监测功能组的中枢单元,其主要任务是根据各智能监测 IED 的监测数

据和结果对 GIS 进行综合的故障诊断和状态评估,此时主 IED 充当客户端;同时负责后台诊断系统与各智能监测 IED 之间控制指令与数据的转发,此时主 IED 充当服务器。后台诊断系统从主 IED 获得 GIS 实时监测数据,然后结合现有的标准规范导则、缺陷指纹库、专家系统、历史监测数据、实时监测数据等对 GIS 当前工作状态做出评估及故障诊断,给出状态评估及故障诊断结果,此时它充当客户端角色。

GIS 智能组件监测功能的系统架构见图 2,它由 GIS 局放监测 IED、GIS 气体状态监测 IED、断路器监测 IED 及 GIS 智能监测主 IED 等构成,主 IED 接入过程层网络和站控层网络,其他各 IED 接入过程层网络。各 IED 之间以及 IED 与其他系统之间基于 IEC61850 标准实现信息共享与通信。

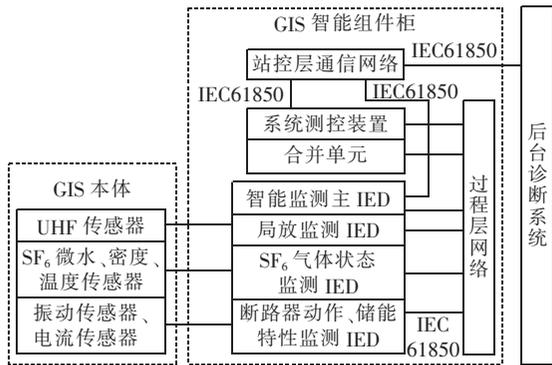


图 2 GIS 智能监测系统架构

Fig.2 Architecture of GIS smart monitoring system

在客户/服务器服务协议集中,规定了 TCP/IP 和 OSI 2 种传输协议集,由于各种软件平台和开发环境对 TCP/IP 通信都有良好的支持,所以本文的研究开发都建立在 MMS+TCP/IP+ISO/IEC8802-3 架构的基础上。该架构的通信模型见图 3<sup>[10]</sup>。

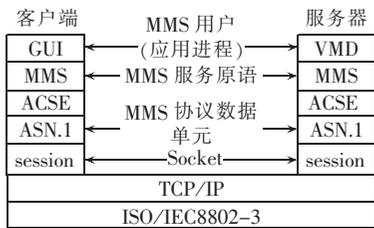


图 3 MMS+TCP/IP+ISO/IEC8802-3 架构

Fig.3 MMS+TCP/IP+ISO/IEC8802-3 frame

MMS 的通信底层采用 ASN.1 标准来表示网络上传输的信息。ASN.1 采用二进制形式表示数据,是一种位于表示层的、对分布计算机系统之间交换的数据进行抽象描述的规范化语言。ASN.1 标准采用二进制的形式表示数据信息,适用于实时性要求较高的场合。经 ASN.1 描述的信息独立于任何应用环境,从而实现不同系统之间的通信。ASN.1 分为 2 个部分,即语法规则和编码规则。语法规则从数据类

型、内容顺序或结构等方面来描述消息的内容;编码规则规定如何表示实际消息中的数据。IEC61850 在 MMS 编码/解码中使用的是 BER 基本编码规则<sup>[11]</sup>。

### 3.2 GIS 智能监测信息交互系统设计

在 IEC61850 标准规定的通信规范下,数据的交换是通过访问对应的功能服务逻辑节点来实现的。报告和日志是信息交换的主要手段。报告提供从逻辑节点到客户端传输数据值的功能,日志模型将数据按时间顺序存储到日志中以备查询。

本系统中,智能监测 IED 可以预先配置激活报告控制,在上次报告以后,仅报告变化数据,或在特定情况如数据变化、循环时,发送特定数据集的全部数据值。智能监测 IED 可以在主 IED 干预的情况下,重复报告数据。主 IED 可远方停止智能监测 IED 向自身发送报告。此外,主 IED 可以在任何时候启动总召唤去接受应用特定数据集的全部数据值。

IEC61850-7-2 定义了 2 类报告控制类,分别为缓存报告与非缓存报告。缓存报告具有通信中断时续缓存事件数据、保证事件顺序、减少服务器报告次数等优点,有利于保证数据传输更加可靠,适用于智能监测 IED 中的各种告警信息;而非缓存报告则具有快速传输数据等优点,适用于智能监测 IED 中的各种测量信息<sup>[12]</sup>。

本文 GIS 智能监测 IED 的模型中定义使用了 2 个数据集 GISAlmdata 和 GISMeaData。其中,GISAlmdata 数据集引用已定义基本信息模型中的告警数据,采用缓存报告控制块(BRCB);GISMeaData 数据集引用测量数据,采用非缓存报告控制块(URCB)。

GIS 智能监测系统中,智能监测 IED 除了要保存和上传在线监测设备产生的测量、状态、控制等信号量以外,还要保存和上传各种图谱文件,主要有局放监测与诊断中的放电信号波形文件和放电信号图谱文件、断路器监测中的录波文件等。这些图谱/录波文件通过嵌套在智能监测 IED 内的计算模型自动生成,同时向上级系统发送录波文件完成信号,主 IED 和后台诊断系统通过 ftp 或 IEC61850 召文件方式读取文件。对于局放特征图谱而言,每个局放传感器对应 1 个数据文件;断路器录波文件应三相合并传输,不同类型的录波文件分开传输。

当状态评估异常时,图谱/录波数据文件传输时间间隔不低于 5 min、且不超过 1 h,文件传输完成后,可储存 6 个月。在线监测信号正常时,也定期发送特征图谱/录波文件<sup>①</sup>。

智能监测 IED 通过 MMS 报告方式上传实时测量、报警信息、初步评估诊断结果或通过文件方式上传图谱、录波文件,主 IED 接收、保存、实时显示数

① 中国南方电网. 在线监测装置图谱数据通用格式规范(2012 年版). 2012.

据,并就地进行初步的监测预警、状态评价、故障诊断和状态预测,同时,主 IED 还要将所有的数据、报警信息、文件发送给后台诊断系统。后台诊断系统在专家知识库和指纹数据库的支持下,利用在线监测数据和已有的离线数据对 GIS 的运行状态进行状态评价、故障诊断、状态预测和风险评估,给出并实时显示评估和诊断结果。信息交互模式如图 4 所示。

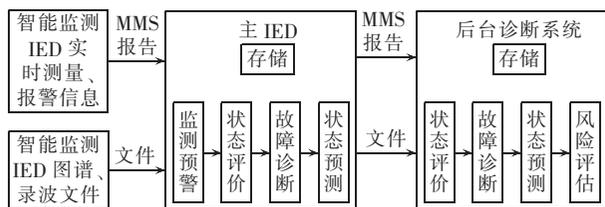


图 4 信息交互模式  
Fig.4 Information interaction mode

### 3.3 IEC61850 MMS 服务器和客户端开发设计

基于以上分析,本文建立了一个基于 MMS 的 GIS 智能监测服务器,其主要的功能包括数据上传、文件操作、定值组操作等。

数据上传主要是将各种实时监测值和报警信息通过报告发往客户端,这是 GIS 智能组件状态监测 IED 中最重要的功能之一。首先将模拟量和开关量放到各个数据区中(可以同时放多个),然后进行触发,填入 IEC61850 服务器函数库内部,进行逻辑判断,产生数据变化报告发往客户端。函数流程见图 5。

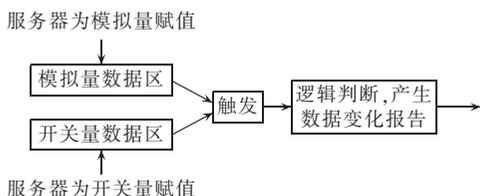


图 5 数据上传流程  
Fig.5 Flowchart of data uploading

文件操作主要包括从服务器读文件到客户端、获取服务器文件服务目录、删除服务器上的某个文件、上载文件到服务器服务目录。通过文件操作,可以实现图谱和录波数据文件在智能监测 IED、主 IED 和后台之间的传输,这是局放和断路器智能监测必需的功能。

定值组操作可以用来实现客户端对服务器采样间隔以及报警阈值的设定。客户端可根据服务器上上传的状态监测值的变化,采用一定的策略与算法,合理地设定服务器当前采样间隔以及报警阈值,并使服务器按照新的采样间隔以及报警阈值运行,这对 GIS 状态监测 IED 的科学、合理、高效运行十分重要。

函数流程如图 6 所示。定值组分为多组,每次读写操作都是针对当前组,当前组的组号可以通过客户端程序进行读/写。每次操作时,先读定值组的总组数,再读当前激活的定值组号,再修改当前激活

的定值组号,最后编辑修改某组定值。

服务器程序的流程如图 7 所示。

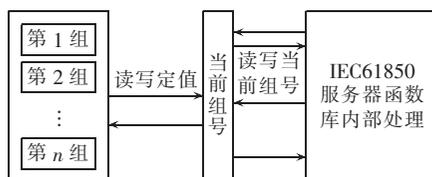


图 6 定值组操作流程  
Fig.6 Flowchart of setting group operate

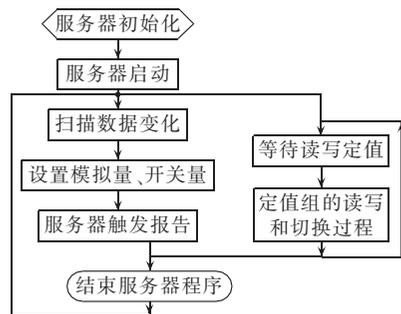


图 7 服务器程序流程  
Fig.7 Flowchart of server program

IEC61850 MMS 客户端程序开发流程如图 8 所示。客户端根据服务器的 IP 地址,动态连接服务器,不仅可解析服务器主动上传的所有报告,也可主动召唤服务器上的信息,并支持 IEC61850 规定的客户端对服务器的多项操作服务。

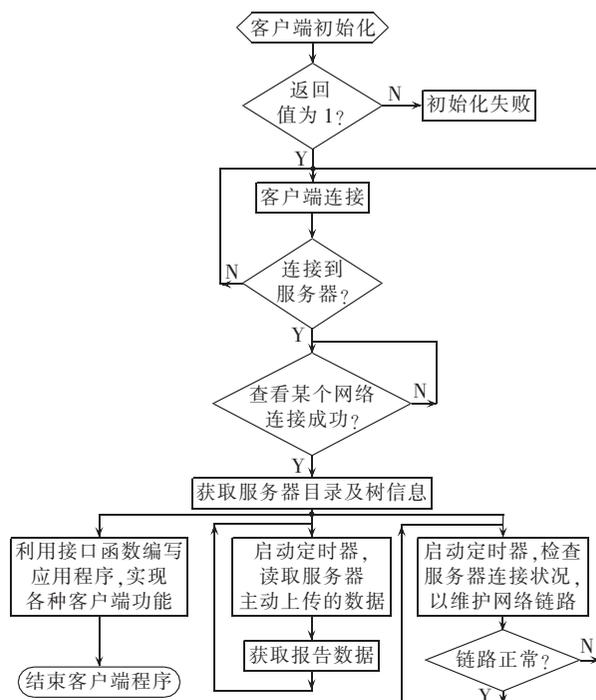


图 8 客户端程序流程  
Fig.8 Flowchart of client program

## 4 结语

本文分析了实现 GIS 状态智能监测的主要监测

方法和策略,建立了符合 IEC61850 标准的 GIS 智能监测信息模型,设计了基于报告和日志的信息交换系统,给出了实时状态数据、报警信息、评估诊断结果、图谱和波形等数据文件的信息交互的方法。列举了服务器的数据上传、遥控、定值组操作功能的相关流程,并按 MMS 报文要求阐述了 GIS 智能监测系统服务器和客户端应用程序开发的基本原则和方法。

### 参考文献:

- [1] 肖登明. 电力设备在线监测与故障诊断[M]. 上海:上海交通大学出版社,2005:145-147.
- [2] 国家电网公司. Q/GDWZ410—2010 高压设备智能化技术导则[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [3] 殷志良. 基于 IEC61850 的变电站过程总线通信的研究[D]. 北京:华北电力大学,2005.  
YIN Zhiliang. Research on substation process bus communication based on IEC61850[D]. Beijing:North China Electric Power University,2005.
- [4] 唐炬,谢颜斌,周倩,等. 气体绝缘组合电器内绝缘缺陷超高频局部放电信号特性[J]. 重庆大学学报,2009,32(10):1138-1143.  
TANG Ju,XIE Yanbin,ZHOU Qian,et al. Characteristics of UHF partial discharge signal waveforms of typical insulated defects in GIS[J]. Journal of Chongqing University,2009,32(10):1138-1143.
- [5] 李明芸. GIS 设备气体水含量及密度在线监测系统的研究[D]. 上海:上海交通大学,2004.  
LI Mingyun. Study on the on-line humidity and density monitoring of GIS equipment[D]. Shanghai:Shanghai Jiao Tong University,2004.
- [6] 常广,张振乾,王毅. 高压断路器机械故障振动诊断综述[J]. 高压电器,2011,47(8):85-90.  
CHANG Guang,ZHANG Zhenqian,WANG Yi. Review on mechanical fault diagnosis of high-voltage circuit breakers based on vibration diagnosis[J]. High Voltage Apparatus,2011,47(8):85-90.
- [7] 王昭. 断路器触头温度、行程在线监测系统的研究[D]. 北京:北京交通大学,2008.  
WANG Zhao. Study on contact temperature and travel on-line monitoring system of circuit breaker [D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2008.
- [8] IEC. IEC61850-7.1 Communication networks and systems in substations. part 7-1:basic communication structure for substation and feeder equipment. Principles and models[S]. [S.I.]:IEC,2003.
- [9] IEC. IEC61850-7.4 Communication networks and systems in substations. part 7-4:basic communication structure for substation and feeder equipment. Compatible logical node classes and data classes[S]. [S.I.]:IEC,2003.
- [10] IEC. IEC61850-8.1 Communication networks and systems in substations. part 8-1:Specific Communication Service Mapping (SCSM)-mappings to MMS (ISO9506-1 and ISO9506-2) and to ISO/IEC8802-3[S]. [S.I.]:IEC,2003.
- [11] 丁力,王晓茹,王林. IEC61850 标准中 MMS 映射分析及其编码/解码模块的设计[J]. 电力系统保护与控制,2008,36(12):69-73.  
DING Li,WANG Xiaoru,WANG Lin. MMS mapping analysis and encoding/decoding module design in IEC61850[J]. Power System Protection and Control,2008,36(12):69-73.
- [12] IEC. IEC61850-7.2 Communication networks and systems in substations. part 7-2:basic communication structure for substation and feeder equipment. Abstract Communication Service Interface(ACSI)[S]. [S.I.]:IEC,2003.
- [13] Joint Working Group 33/23.12. Insulation coordination of GIS: return of experience,on site tests and diagnostic techniques[J]. Electra,1998,172(2):67-69.
- [14] 王宜昶. 基于 UHF 的新型 GIS 局放传感器设计[D]. 西安:西安电子科技大学,2009.  
WANG Yichang. The design of a new type sensor based on UHF about the PD of GIS[D]. Xi'an:Xidian University,2009.
- [15] 宋昊,崔景春,袁大陆. 1999~2003 年高压断路器运行分析[J]. 电力设备,2005,6(2):6-13.  
SONG Hao,CUI Jingchun,YUAN Dalu. Operating analysis of high voltage circuit breaker in 1999-2003 [J]. Electrical Equipment,2005,6(2):6-13.

### 作者简介:

杜凤青(1986-),女,湖北孝感人,硕士研究生,主要研究方向为电力设备在线监测智能化(E-mail:ddung@sjtu.edu.cn)。

## Information modeling for GIS smart monitoring based on IEC61850 and development of information interaction system

DU Fengqing<sup>1</sup>,SHENG Gehao<sup>1</sup>,XU Jian<sup>2</sup>,LIU Yadong<sup>1</sup>,YAO Jianxin<sup>2</sup>,JIANG Xiuchen<sup>1</sup>

(1. Department of Electrical Engineering,Shanghai Jiao Tong University,Shanghai 200240,China;

2. Shanghai Urban Power Supply Company,Shanghai 200080,China)

**Abstract:** A modeling method based on IEC61850 communication standards is proposed to meet the actual functional requirements of GIS conditional monitoring and the IED(Intelligent Electronic Device) models for GIS conditional monitoring are built. The architecture of GIS conditional monitoring system and its communication system are given. The MMS-based server/client communication mode is analyzed,which focuses on the information sharing based on MMS message,logs and files and the interaction strategies. The server-client communication programs are developed and the flowcharts of essential functions,client program and server program are presented.

**Key words:** GIS; monitoring; IEC61850; models; information interaction; intelligent electronic device; communication