

智能电网框架下的开放式电网模型管理系统

邢佳磊¹, 杨洪耕¹, 陈文波², 赵睿¹

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 宁波电业局, 浙江 宁波 315000)

摘要: 从 IEC61970 标准, 面向服务架构 SOA 和具体实现技术三个层面出发, 提出了开放式电网模型管理系统的设计方案。通过直接处理 CIM 对象、应用 CIM 对象集与 CIM XML 互映射技术及其他业务层服务实现一体化构建和管理由 CIM XML、可缩放矢量图形 SVG 和 E 文件组成的电网全模型。采用 SOA 设计理念, 对系统内部进行“细粒度”的服务组件开发, 通过企业服务总线 ESB 对外开放“粗粒度”的通用数据访问 GDA 等服务接口, 为应用系统提供标准精确的模型信息, 并对该系统在智能电网框架下的应用作了展望。

关键词: 智能电网; 公共信息模型 CIM; 组件接口规范 CIS; 面向服务架构 SOA; 电力系统建模; 全模型; 面向对象

Open power network model management system under smart grid infrastructure

XING Jia-lei¹, YANG Hong-geng¹, CHEN Wen-bo², ZHAO Rui¹

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Ningbo Electric Power Bureau, Ningbo 315000, China)

Abstract: This paper proposes the design scheme of the open power network model management system based on IEC61970 international standard, service-oriented architecture and implementation techniques. The building and managing of full network model which includes CIM XML, SVG and E files are done by directly processing CIM objects, reflection functionality between CIM objects and CIM XML and other operation layer services. The SOA design idea and web service technology are applied to develop the fine-grained service components, and the coarse-grained service interfaces are opened through enterprise service bus to provide standard and accurate model information for application system. The system's application prospect under smart grid framework is given.

Key words: smart grid; common information model (CIM); component interface specification (CIS); service-oriented architecture (SOA); power system modeling; full network model; object-oriented

中图分类号: TM734 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)21-0227-06

0 引言

目前, 电力企业在信息化建设中普遍存在“信息孤岛”现象, 缺乏统一的标准体系, 数据来源不一致、信息集成度低, 导致重复投资、系统难以扩展、管理维护工作量大等问题^[1-2], 实现信息和系统集成是智能电网的特点之一^[1-3]。

电网模型几乎是所有电力系统分析系统使用的“共同”信息, 因此共享的标准电网模型是实现各应用系统“即插即用”和“互联互通”的基础。模型共享的关键是采用 IEC61970 标准和应用网络化、组件化技术。IEC61970 的核心内容包括公共信息模型 CIM^[4]和组件接口规范 CIS^[5], 基于 CIM XML 模型的互操作试验在国内外已进行数次^[6-7], 且导出/

导入 CIM XML 已开始应用于现有系统间的信息交换^[8]。网络化使电力系统分析软件在分布式环境下分工合作, 而这些分布式系统往往是由不同硬件、不同操作系统、不同厂家的产品组成的异构系统, 要使其协调工作, 各个部分的接口必须标准化, 并应用组件化技术(如公共对象请求代理体系结构 CORBAR、企业 Java 组件、Web Service 等)封装接口的内部实现细节, 对外开放标准的“插头插座”^[9-10]。

本文提出了基于 IEC61970 和 SOA 的开放式电网模型管理系统的设计方案, CIM 不仅仅作为模型交换的标准格式, 而是将 CIM 作为系统内部数据结构, 通过操作 CIM 对象、应用对象集与 XML 互映射等业务层服务构建和管理全模型(CIM XML,

SVG, E 文件); 应用开放的 Web Service 技术封装 GDA 服务, 传送模型服务等, 为应用系统提供标准、精确、完整的电网模型信息。

1 设计体系

电网模型管理系统采用标准化开放式设计思想。IEC61970 标准, 面向服务架构和具体实现技术三个层面组成了“金字塔”开放式模型管理系统的设计体系, 如图 1 所示。

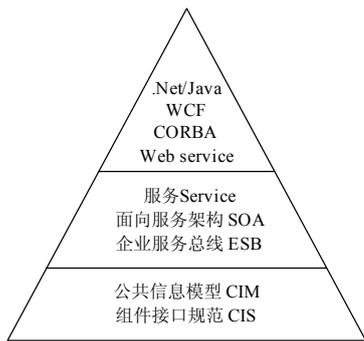


图 1 开放式模型管理系统设计体系

Fig.1 Open model management system design architecture

1.1 CIM 和 CIS

IEC61970 是为促进电力企业应用集成而制定的标准, 是模型管理系统的基础, 主要包括 CIM 和 CIS。CIM 说明交换“什么”数据; CIS 说明“如何”交换 CIM 数据。

CIM 是对电力系统资源的面向对象描述, 用“类”定义了覆盖各个应用的主要的电力系统模型, 每个类包括三要素: 类的名称, 类的属性和类之间的关系(聚合、继承和简单关联)。CIM XML 已广泛应用于电力系统数据的存储和交换, 提供准确的 CIM XML 文件是模型管理系统核心功能之一。

CIS 详细描述了各应用之间能够以标准方式进行信息交换和访问公共数据的接口。CIS 分为 2 个级别, 级别 1 仅对接口做一般性描述; 级别 2 将级别 1 的 CIS 规范映射到特定的底层实现技术。CIS 对标准接口服务称之为通用接口定义 GID, GID 根据特定的应用被分为几个独立的接口服务, 包括通用数据访问 GDA, 高速数据访问 HSDA, 历史数据访问 TSDA, 通用事件和订阅 GES。其中 GDA 服务源于对象管理组织(OMG)制定的 DAF(Data Access Facility)标准, 该服务应用了请求/应答的同步访问机制, 实现对数据的非实时或准实时的存取。模型管理系统提供的模型为准实时数据, 则采用开放的 GDA 服务。

1.2 面向服务架构 SOA

SOA 是一种软件架构模型, 是软件工程领域新

的设计理念, 它可以根据需求通过网络对松散耦合的“粗粒度”服务组件进行分布式部署、组合和使用, 服务层是 SOA 的基础。所谓“粗粒度”即系统隐藏内部具体实现细节(由一组“细粒度”服务组成), 对外仅开放提供最终结果的服务接口。

实现 SOA 的技术有 CORBA、基于简单对象访问协议(SOAP)的 Web Service 等。CORBA 组件技术提供的是紧耦合的远程调用(RPC)机制, 且其协议属于某个公司或集团, 并不完全开放, 在基于网络的分布式应用上存在一定的局限性, 并且较 Web Service 实现复杂^[10-11]; 基于 SOAP 的 Web Service 技术提供了松耦合机制, Web Service 两端的应用通过基于标准的 XML 格式的协议(如 SOAP)进行通信, XML 可以真正与平台无关的方式来描述任何数据, 以跨平台交换数据。为了保证模型管理系统的真正开放, 采用基于 SOAP 的 Web Service 技术开发系统的服务接口(GDA 服务等)。

基于 Web Service 的 SOA 模型如图 2 所示, Web Service 拥有三种基本元素: SOAP、WSDL 和 UDDI。查找和运行 Web 服务, 必须执行下述一个或所有步骤:

- 1) 目录。利用 UDDI 寻找 Web 服务。
- 2) 描述。WSDL 描述方法和参数。
- 3) 调用。利用 SOAP 协议调用独立于平台的方法。

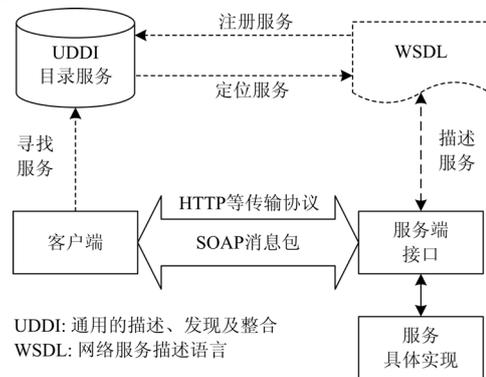


图 2 基于 Web Service 的 SOA 模型图

Fig.2 SOA model based on Web Service

企业服务总线 ESB 是连接服务的一种模式, 可以弥补 Web Service 的“点对点”通信形式, 是 SOA 架构的信息传输中枢^[12]。

2 基于 IEC61970 和 SOA 的模型管理系统

2.1 模型管理系统框架

模型管理系统整体框架由服务层、表示层、业务层、数据处理层和物理存储层五个相对独立又互相耦合的层面构成, 如图 3 所示。

1) 服务层: 是系统面向服务架构设计的基础, 为外部应用和系统表示层提供数据访问、数据更新和事件服务等功能, 并保留获取外部系统服务的客户端。

2) 表示层: 该层为系统使用者提供可视化的智能操作和管理平台, 通过表示层实现和协调业务层各项服务。操作平台采用 IE 浏览器方式 (浏览器/服务器模式), 可以灵活地远程登录操作, 管理平台采用 Windows 窗体形式, 管理本地系统配置信息等。

3) 业务层: 是实现系统构建和管理电网模型的

核心, 根据业务流程整理并提炼出各个相对独立的服务。

4) 数据处理层: 连接业务层与物理存储层, 应用相应的技术 (如 .NET Framework 3.5 提供的 LINQ 和/或 ADO.Net、IO 技术) 实现数据的查询、存取, 对象集的序列化/反序列化操作等。

5) 物理存储层: 主要由磁盘阵列、大容量高速内存条组成, 提供对当前业务数据的实时存取与历史数据的备份管理 (利用 SQL、Oracle 等数据库) 功能。

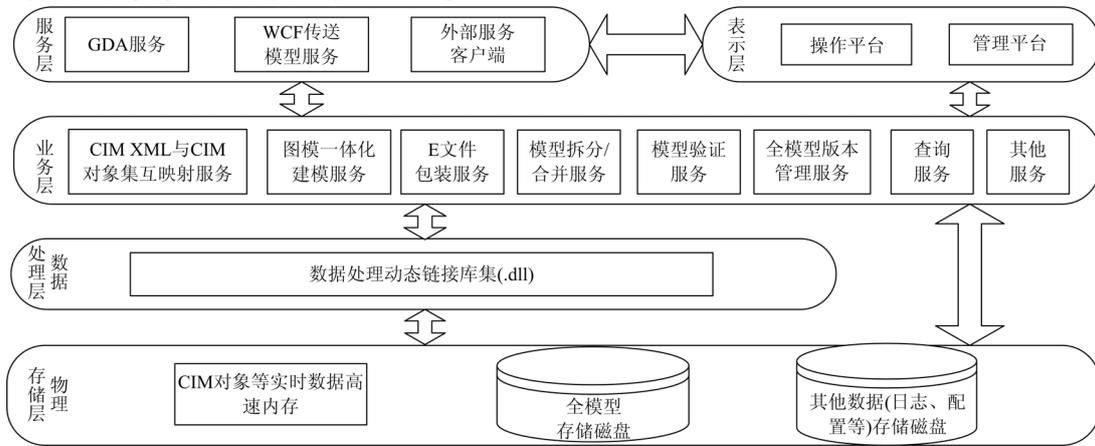


图 3 模型管理系统框架图

Fig.3 Model management system framework diagram

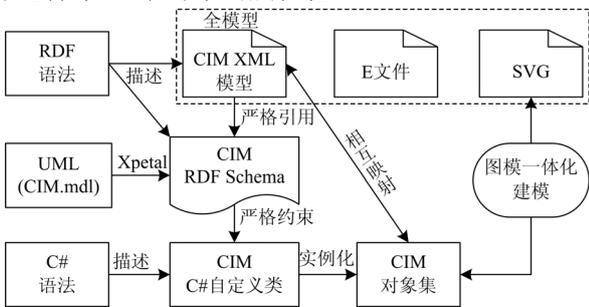
2.2 业务层服务

业务层的主要功能是简便地构建和管理全模型, 本文以存储元件参数的 CIM XML 文件为主, 与相应的存储图元的可缩放矢量图形 SVG 文件、存储实时数据的 E 格式文件一体称之为全模型。系统以全模型为单位进行一体化管理, 构建和管理全模型的基本原理如图 4 所示。在实际应用中客户可以通过传送模型服务选择某些/个文件, 通过 GDA 服务选择某些/个对象的属性值。

的语言, 是一种开放的 W3C 标准。SVG 作为图元表示和存储格式已成为电力系统的主流图形标准^[13]。应用 Silverlight 支持的 XAML 技术和 WCF 技术可以实现远程 SVG 电网图形编辑^[14]。

存储实时数据的 E 文件是系统将从 SCADA 提供的 HSDA 服务或其他接口获取的实时数据按 E 语言规范^[15]包装而成的文本文件, 为客户提供实时数据的辅助服务。值得注意的是 E 文件一般不适合应用于实时系统的分析与控制, 这是因为 E 文件的包装、传送和解析速度 (数十秒级) 一般不能满足实时性要求。实时应用可直接从 SCADA 获取实时数据, 并通过元件 ID (描述数据的资源号, 具有唯一性) 关联 CIM 元件和 SVG 图元。

现阶段基本通过导出/导入方式生成和应用 CIM XML 模型^[9]。由于各方设计的模型数据库都有特定的结构, 甚至不尽完善, 导致模型导出/导入不易进行, 导出的 CIM XML 不一定正确, 需要严格的模型验证和长期的互操作试验^[6-7]。为了保证本系统生成的 CIM XML 精确完整, 本文充分利用 CIM 良好的面向对象定义和可扩展性, 根据 CIM 标准创建一系列 C# 自定义类, 其本质即将 CIM 作为系统



UML: 统一建模语言 RDF: 资源描述框架

图 4 构建和管理全模型的基本原理图

Fig.4 Building and managing full network model diagram

SVG 是使用 XML 来描述二维图形和绘图程序

内部数据结构。利用.NET Framework 3.5 封装的类库提供的丰富、强大的功能方便地管理 CIM 对象，通过映射技术实现 CIM 对象集和 CIM XML 的相互转换。

2. 2. 1 构建和管理 CIM XML 模型

构建和管理 CIM XML 模型是本系统提供全模型服务的关键，而定义 CIM 自定义类和实现 CIM XML 与 CIM 对象集的互映射是完成该功能的基础。本文使用 Visual Studio Team System 2008 作为开发平台，Visual C#作为开发语言定义了 CIM C#自定义类，并实现了互映射服务。

CIM RDF Schema 用 RDF 语法和文本形式描述了所有 CIM 资源中的类名、属性及类之间的关系，可利用 Xpetal 工具从 CIM UML 模型文件直接生成。CIM XML 文件中的每个标签（资源描述）名字都严格引用自 CIM RDF Schema，而 CIM C#自定义类的定义也完全遵守该模式约束，即两者都严格遵守 CIM 标准，这是 CIM C#对象集与 CIM XML 实现互映射的根本原因。以 C# TransformerWinding 对象与 CIM XML TransformerWinding 节点实现互映射为例说明互映射的基本原理。根据 CIM RDF Schema 对 TransformerWinding 的描述定义 C#类，如图 5 所示。

```

namespace CIM
{
    public class TransformerWinding : ConductingEquipment
    {
        public TransformerWinding(string id) //构造函数
        { this.ID = id; }
        public string ID; //唯一标识符
        public List<TapChanger> TapChangers
            = new List<TapChanger>(); //聚合关系
        //属性
        public Conductance g; //励磁支路的电导
        public Resistance r; //绕组的正序串联电阻
        public Reactance x; //绕组的正序串联电抗
        public ApparentPower rated MVA; //绕组的正常额定功率
        public Voltage rated kV; //绕组的额定电压（相位对地）

        #region 处理该类的方法集，如SetG, GetG等
        //省略
        #endregion
    }
}

```

图 5 简化 TransformerWinding C#自定义类

Fig.5 Simplified TransformerWinding C# custom class

1) TransformerWinding 对象映射到 CIM XML: 假设 ID 为“TW1”的 transformerwinding 对象的属性 g、r、x、ratedMVA、rated kV 的值分别为 0.05、0.1、0.5、50、10，则通过.NET framework 中命名空间 System.Xml 中 DOM(文档对象模型, Document

Object Model 缩写) 类集提供的访问和修改 XML 功能, 可以方便地按 RDF 语法将对象属性写入 CIM XML 文件, 如图 6 所示。通过这种方式可以快速生成准确的 CIM XML 模型。

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<rdf:RDF xmlns:cim=
    "http://www.iec.ch/tc57/2003/CIM-schema-cim10#"
    xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#">
.....
<cim:TransformerWinding rdf:ID="TW1">
    <cim:TransformerWinding.g>0.05
    </cim:TransformerWinding.g>
    <cim:TransformerWinding.r>0.1
    </cim:TransformerWinding.r>
    <cim:TransformerWinding.x> 0.5
    </cim:TransformerWinding.x>
    <cim:TransformerWinding.ratedMVA>50
    </cim:TransformerWinding.ratedMVA>
    <cim:TransformerWinding.rated kV> 10
    </cim:TransformerWinding.rated kV>
    </cim:TransformerWinding>
.....
</rdf:RDF>

```

图 6 含某 TransformerWinding 节点简化 CIM XML 片段

Fig.6 Simplified CIM XML segment contained Transformer Winding node

2) CIM XML 节点映射到 CIM C#对象: 利用 DOM 解析 CIM XML 文件, XML 元素名 (cim:TransformerWinding) 直接用来实例化对象: TransformerWinding TW1

```

= new TransformerWinding("TW1");

```

用构造函数为该对象 ID 赋值, 调用方法集 (setG, getG, setR, getR 等) 对相应的属性 g, r 等赋值和取值, 且可扩展相应的方法对 CIM 对象属性进行其他处理。通过这种方式可以方便地管理 CIM 模型。

2. 2. 2 业务层其他主要服务

1) 模型拆分/合并: 为了尽可能应用已建立的 CIM XML 和 SVG 模型, 减少重复建模, 管理系统需要对这部分模型进行拆分/合并, 形成完整准确的电网模型, 并可以通过模型拆分/等值为特定区域提供相应模型服务。模型拆分/合并的基本方法和原则已较成熟^[16]。

2) 模型验证: 模型验证保证全模型的准确性、完整性。模型管理系统严格按 CIM 标准和 RDF 语法建模, CIM XML 格式良好且有效, 重要的是要保证模型参数正确, 主要应用状态估计、参数识别等技术。

3) 全模型版本管理: 保证全模型各个文件时空统一尤为重要, 时间统一即保证 CIM XML、SVG、E 文件一体描述同一时刻的模型; 空间统一即保证

CIM XML、SVG、E 文件描述同一个区域模型。

2.3 服务层服务

服务层主要包括 GDA 服务、传送模型服务和接收外部服务的客户端。传送模型服务提供传输某一时刻全模型或其他模型文件的服务,可应用 WCF Service 技术实现。系统客户端通过内网获取外部服务,如从 SCADA 系统提供的高速数据访问服务读取实时量测数据。

GDA 服务主要功能有:数据访问 DAFQuery;数据更新 DAFUpdate 和事件服务,包括 DAFEvents 和 GDAAEvents。DAFQuery 提供查询数据的主要方法有: `get_values()` 读取一个对象的属性值,如取出上文中 TransformerWinding 对象“TW1”的属性 `g`, `r`, `x` 等; `get_extent_values()` 取某类对象集合的属性值,如获得所有变压器信息; `get_related_values()` 读取满足一定约束条件的某类对象集合的属性值,如读取所有属于某一变电站的开关信息。DAFUpdate 提供客户端对服务器方数据更新的方法,本文设计的系统并不向模型客户端开放该功能。DAFEvents 和 GDAAEvents 均提供事件服务,其主要功能是通知客户端服务器侧的数据发生改变,事件实现机制仍在完善中。IEC 61970-5XX 定义了组件接口规范到具体实现技术的映射规范,其中 IEC 61970-503-7 为 GDA 的 C 语言映射,IEC 61970-503-8 为应用 Web Service 实现 GDA 服务。本文建议在 SOA 下应用 Web Service 技术实现该服务,便于系统集成和扩展。

3 应用展望

3.1 应用模式

根据该系统管理模型区域范围不同,可以分为多种应用模式(地县模式、省地模型、网省地模式等):

1) 地县模式。系统服务器可仅安装在地调,对整个地级网络模型统一存储管理。但仍采用分级监管机制,即每个县调管理本辖区内的模型,保证其完整和准确性。各县调模型管理员经地调授权后,通过网络浏览器远程登录该县调模型管理界面,通过修改模型,经模型验证、版本管理等流程,重新整合地调模型。

2) 省地模式。由于省级管理电网辖区较大,可采用基于地县模型管理系统的分层管理模式,如图 7 所示。省调可以通过地调模型管理系统对外开放的服务读取各地级模型,在省调进行拆分/合并形成有效的省级详细模型,为安全分析等提供完整可靠的模型信息。其他应用模式可类似地拓展,也可仅

采用县级模式。

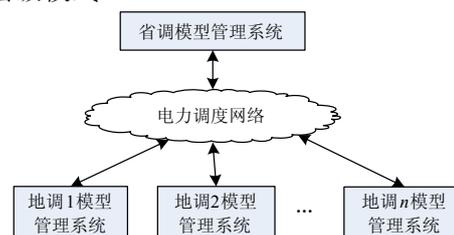


图 7 省地模型管理模式

Fig.7 Province-region model management mode

3.2 应用举例

应用系统与模型管理系统通过 ESB “松耦合”集成,实现应用系统的“即插即用”,如图 8 所示。

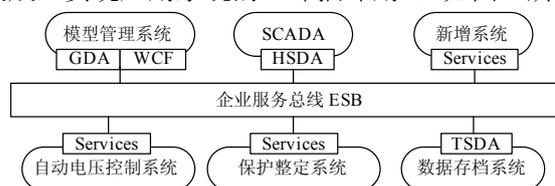


图 8 应用集成示意图

Fig.8 Application integration diagram

自动电压控制系统可从模型管理系统提供的服务读取 CIM 模型并从 SCADA 系统读取实时量测数据进行在线分析控制;保护整定系统可读取全模型进行离线保护整定,在未来智能电网甚至可以实现在线保护整定(应用模型管理系统和 SCADA 系统服务)。

4 结论

智能电网框架下信息和系统高度集成,设计和开发开放式模型管理系统是实现信息共享和旧系统集成有效方案。本文设计的开放式模型管理系统采用 IEC61970 标准,将 CIM 作为系统内部数据结构,应用 SOA 设计思想,利用 Web Service 技术实现开放的 GDA 等服务,为应用系统提供开放、标准、精确的全模型。但是集成信息和系统是个复杂的工程,需要继续跟踪标准发展、完善系统设计、开发并测试完善、统一相关原则(如确定 ID 规则)、改造原有应用系统等。

参考文献

- [1] 常康,薛峰,杨卫东.中国智能电网基本特征及其技术进展评述[J].电力系统自动化,2009,33(17):10-15.
CHANG Kang, XUE Feng, YANG Wei-dong. Review on the basic characteristics and its technical progress of smart grid in China[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 10-15.
- [2] 徐丙垠,李天友,薛永端.智能配电网与配电自动化[J].

- 电力系统自动化, 2009, 33 (17): 38-41.
- XU Bing-yin, LI Tian-you, XUE Yong-duan. Smart distribution grid and distribution automation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (17): 38-41.
- [3] 李兴源, 魏巍, 王渝红, 等. 坚强智能电网发展技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37 (17): 1-7.
- LI Xing-yuan, WEI Wei, WANG Yu-hong, et al. Study on the development and technology of strong smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37 (17): 1-7.
- [4] Common Information Model (CIM): CIM 10 version, EPRI, Palo Alto, CA: 2001, 1001976[R].
- [5] IEC 61970 energy management system application program interface (EMS-API) part 401: component interface specification (CIS) framework[S].
- [6] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 基于CIM XML电网模型的互操作研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (14): 45-48.
- LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al. An investigation on a common information model for energy management system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (14): 45-48.
- [7] Interoperability test #10 of the common information model (CIM) and the generic interface definition (GID) standards: the power of the common information model (CIM) to exchange power system data[R]. EPRI, Palo Alto, CA: 2007. 1013958.
- [8] 郭庆来, 孙宏斌, 张伯明, 等. 江苏电网AVC主站系统的研究和实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (22): 83-87.
- GUO Qing-lai, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al. Research and development of AVC system for Jiangsu power networks[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (22): 83-87.
- [9] 罗杰, 程宏波, 陈赤培. 基于CIM模型的电力企业应用集成系统的研究与设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36 (13): 74-77.
- LUO Jie, CHENG Hong-bo, CHEN Chi-pei. Research and design of data exchange platform based on CIM in power system[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36 (13): 74-77.
- [10] 方烁, 梁成辉, 徐庆平, 等. IEC61970标准中CIS的Web服务定义与实现[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (15): 81-84.
- FANG Shuo, LIANG Cheng-hui, XU Qing-ping, et al. Using web services to implement component interface specification in IEC61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (15): 81-84.
- [11] MERCURIO A, DI GIORGIO A, CIOCI P. Open-source implementation of monitoring and controlling services for EMS/SCADA systems by means of web services—IEC61850 and IEC61970[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2009, 24 (3): 1148-1153.
- [12] MACKIEWICZ R E. The benefits of standardized web services based on the IEC61970 generic interface definition for electric utility control center application integration[C]. //Power Systems Conference and Exposition. 2006: 491-494.
- [13] 章坚民, 楼坚. 基于CIM/SVG和面向对象的配电单线图自动生成[J]. 电力系统自动化, 2009, 32 (22): 61-65.
- ZHANG Jian-min, LOU Jian. Automatic generation of single-line diagram for distribution feeder systems based on CIM/SVG and object orientation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 32 (22): 61-65.
- [14] 王成良, 李韧, 王主丁. 应用Silverlight 2.0和WCF技术构建电网主接线图图形编辑系统[J]. 电力系统自动化, 2009, 33 (11): 85-88.
- WANG Cheng-liang, LI Ren, WANG Zhu-ding. Implementation of power grid diagram editing system based on silver 2.0 and WCF technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (11): 85-88.
- [15] 辛耀中, 陶洪涛, 李毅松, 等. 电力系统数据模型描述语言E[J]. 电力系统自动化, 2006, 30 (10): 48-51.
- XIN Yao-zhong, TAO Hong-tao, LI Yi-song, et al. E language for electric power system model description[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30 (10): 48-51.
- [16] 刘崇茹, 孙宏斌, 张伯明, 等. 公共信息模型拆分与合并应用研究[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (12): 51-55.
- LIU Chong-ru, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al. Investigation on incremental and partial model transfers based on CIM[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (12): 51-55.

收稿日期: 2009-11-17; 修回日期: 2009-12-17

作者简介:

邢佳磊 (1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统建模, 单线图智能自动布局, 智能电网; E-mail: lovescu@yeah.net

杨洪耕 (1949-), 男, 博士生导师, 教授, 长期从事电能质量分析与控制技术等方面的教学与科研工作。