

基于插件式开发技术的电力系统图模数据库一体化实现方法

唐坤杰¹, 王志伟², 李冶天², 田石刚², 董树锋¹, 宋永华¹

(1. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027;

2. 国网黑龙江省电力有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:基于插件式开发技术,以开源软件 Inkscape 作为主程序,利用其专业的画图功能绘制电力系统图元,利用 Python 语言做插件开发对 Inkscape 软件进行功能扩展,在 Inkscape 平台上完成设备建模与数据信息录入、自动网络拓扑分析、量测点添加及其图上自动排布、数据库导入等操作,实现电力系统设备参数、拓扑关系、量测数据、监控画面等信息的一体化维护。在图形存储方面,采用 SVG 格式,并在 XML 的基础上扩展添加图元与模数之间的关联;在数据库设计方面,基于 CIM-E 标准制定数据库存储格式,易于实现标准 CIM-E 文件的导入和导出。提出的实现方法具有图模数据库一体的特点,维护效率高,同时开发的工具小巧便捷、扩展性和移植性强,满足电网运行、规划等系统对图模数管理的需求。

关键词:插件式开发技术; Inkscape; SVG; 图模数据库一体化; CIM-E; 电力系统

中图分类号: TM 769

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2018.07.030

0 引言

电力系统中的图模数据库一体化是将电力系统图元、电力系统设备模型及设备管理的量测数据、数据库信息四者有机结合成为一个整体并进行一致性管理和操作的技术。在电力系统领域,图元信息、设备模型信息、量测数据、数据库信息四者长期分离,需要通过专门的信息交换渠道将四者信息联立,往往形成“信息孤岛”,给电网分析和规划、信息维护和管理带来诸多不便。通过图模数据库一体化技术将图形、模型、量测数据、数据库关联,实现一致性操作,简化了软件开发过程,降低了系统维护的难度。

一体化的建模技术由于其自身优势,已在研究领域得到重视,特别是图模一体化、图模库一体化技术已得到广泛开发和应用^[1-11],但其应用仍具有一定的局限性,表现在:IEC61970 标准中推荐 SVG 作为可视化展示的图形格式^[3],SVG 与公共信息模型 CIM 同样以 XML 文件为底层载体,已逐渐成为电力系统图形的主流存储格式,但目前支持 SVG 格式的图模数一体化的开发工具还未得到普遍应用^[6];目前已有的图模数一体化工具的开发往往基于 AutoCAD 等大型成熟软件对图形平台进行开发,或利用 Visual C++ 等编程工具从底层开始搭建图形平台,因此开发周期长、工作量大、成本昂贵^[7];目前已有一些图模库一体化工具仍停留在手动录入拓扑信息阶段,自动网络拓扑分析技术仍不成熟。

针对此,本文提出了一种基于插件式开发技术的电力系统图模数据库一体化工具实现方法。所提方

法在专业 SVG 图形编辑软件平台 Inkscape 上,以插件式开发技术为基础,使用 Python 编写了 Inkscape 的插件,实现图模一体化、自动拓扑分析、数模一体化、模库一体化等几项关键技术。本文方案使用 SVG 格式保存图形数据,并在 XML 基础上扩展添加图元与模数之间的关联,达到电力系统监控画面、设备参数、拓扑关系、量测数据等信息的一体化维护的目标。

本文首先介绍插件式开发技术的基本思想,然后介绍基于插件式开发技术的总体技术路线,包括图、模、库平台的选定及相互关联的方法,之后介绍本文所提实现方法中涉及的各项关键技术,最后总结了所提方法的主要特点。

1 插件式开发技术

插件式开发技术是指在软件研发的过程中,根据功能需求划分为主程序和插件。主程序主要负责软件的基础性和公共性的功能,插件则根据具体需求对主程序进行完善和调整,可灵活增删。插件技术按实现方式一般可分为文本插件、脚本插件、程序插件,其中程序插件指利用已有的程序开发环境来制作插件,是目前使用最为广泛的插件类型^[12-13]。

程序插件的一般结构分为主程序、接口程序、插件程序,其一般结构如图 1 所示。主程序主要完成

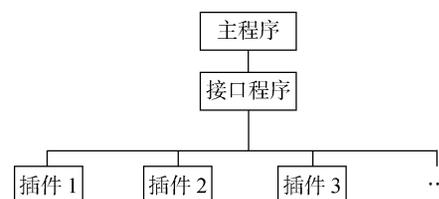


图 1 程序插件的一般结构

Fig.1 General structure of program plug-in

收稿日期:2017-07-04;修回日期:2018-05-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFB0901300)

Project supported by the National Key R&D Program of China (2016YFB0901300)

基本的系统功能,是插件的平台,可以根据需求插入不同的插件,和插件交互数据;接口程序主要起着连接主程序与各个独立插件的功能,完成插件的插入、调用、停止等操作;插件能够经接口程序与主程序进行交互,丰富主程序的功能,插件的增加、删除和修改一般可独立进行,工作量小,操作灵活方便。

为了针对 SVG 格式实现电力系统图模数一体化,本文选用开源 SVG 图绘制软件 Inkscape 作为主程序平台。Inkscape 具有高度开源性和共享性,为用户提供了接口程序,可方便地对其进行插件开发。

2 基于插件式开发技术的图模数库一体化工具的总体技术路线

电力系统图模数库一体化工具的设计与开发的目标是将电网通用模型描述规范语言 CIM-E 与 W3C 推荐的可缩放矢量图 SVG 标准结合,构建标准化与开放化的系统。理想的方案是:基于插件式开发技术,将专业图形绘图软件作为主程序,SVG 图形的绘制功能要通过专业图形绘制软件完成;利用插件与主程序交互,实现图模一体化、自动拓扑分析、数模一体化、模库一体化等几项关键技术,完成元件设备的建模、拓扑分析、量测点添加及图上的自动布局,以及 CIM-E 模型和关系数据库的对接,从而做到图、模、数、库一体化。基于上述思想,本文制定了如下技术路线,其结构如图 2 所示。

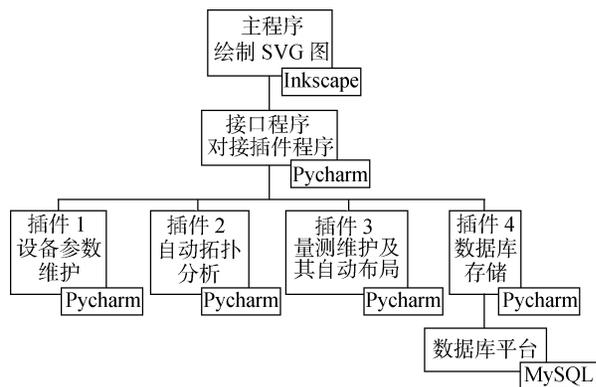


图 2 图模数库一体化工具功能与结构

Fig.2 Functions and structure of graph-model-data-database integrated tool

对于图的部分而言,本文方案选用开源 SVG 图绘制软件 Inkscape^[14] 作为图形操作平台,其也是插件式技术开发的主程序平台。Inkscape 具有高度开源性和共享性,其中的扩展(extensions)模块为用户提供了接口程序,可方便地对其进行插件开发,这一特点能够在发挥 Inkscape 与电力系统图模工具共性的同时,通过开发插件以满足电力系统图模工具的特殊性需求。利用 Inkscape 本身具备的专业图形绘制功能实现电力系统 SVG 的绘制,绘制的标准电力系统设备元件通过鼠标拖拽即可重复使用。

对于模和数的部分而言,在 Inkscape 中可自动加载用户编写的程序形成插件,因此可通过编写插件完成电力系统设备建模、数据录入、拓扑分析、导入数据库等操作。考虑到 Inkscape 这款软件的接口程序主要是面向 Python 开发的插件,且 Python 语言开发效率较高,因此,本套工具也利用 Python 语言为主要语言进行插件的开发,开发平台使用 Pycharm。

对于库的部分而言,通过设计和 CIM-E 标准相同的数据库表和字段,利用插件实现标准 CIM-E 文件的导入和导出。为了提高数据的共享性和可移植性,本文数据库平台采用了 MySQL 数据库。将通过图模工具录入的设备信息导入数据库,以便于后期的运算、管理、控制等工作。

在技术路线中,图模一体主要体现在通过 Inkscape 绘制的接线图所对应的 SVG 格式文件不但包含了图元本身的信息,还包含了接线图中每个设备的参数信息;模数一体主要体现在 Inkscape 中绘制的每一个设备图元都对应数据库的一条记录,设备图元信息的修改也相应地在数据库中进行修改;图模数库一体体现在所有操作都是在 Inkscape 的界面上完成。

图形文件包含了模和数的信息,其结构的设计对图模数一体化的实现至关重要。SVG 文件底层以 XML 树型结构为载体,因此将 SVG 格式图中的设备图元、参数信息、拓扑关系等利用树型结构进行存储。绘图层:主要存放未定义的元件设备的图元,也包含整张接线图上无需定义的二次设备图元及注释文字等。主图层:主要存放已定义的元件设备。连接线层:存储接线图中的连接线信息。母线层:存储接线图中的母线信息。节点层:存储接线图经自动网络拓扑分析后的节点信息。错误节点层:存储经接线图自动网络拓扑分析后未成功匹配的错误节点信息。

开发平台选取合适与否直接关系到开发的工作效率及实施难度。从以上的技术路线可以看出,本套方案是基于成熟的绘图软件平台进行开发,而非从底层进行开发,这是因为底层开发难度大、工作量大、耗费时间长。

3 图模数库一体化的关键技术及其实现

为了实现图、模、数、库一体化,需要实现 4 项关键技术,分别是图模一体化技术、自动拓扑分析技术、数模一体化技术、模库一体化技术。

3.1 图模一体化技术

图模一体化技术实现的是设备图元信息和模型信息的一体化处理。

如上文所述,每一个元件的存储格式为:

<g(元件层) 设备 ID>
 <g(元件图元层, 存储该设备的图元信息)>
 <metadata(元件数据层, 存储该设备的参数信息)>
 <g(元件层) 设备 ID>

编写插件可以实现图元的定义, 即定义图元所示元件的设备类型, 并录入设备属性信息。定义后的图元按上述方式存储, 图元层和数据层并列, 同属一个元件层, 以实现图模一体化。用户可以根据需要选择设备类型, 并在设备属性信息的编辑窗口中根据配置文件中该项设备类型的各项字段信息录入数据, 数据录入完毕后可以保存。

3.2 自动拓扑分析技术

为了实现自动网络拓扑分析, 每一个图元中都要录入 Terminal 信息, 实现的方法是在设备的端点处添加标记图形, 并为其赋予 Terminal 属性, 以备拓扑分析时的检索需要, 如图 3 所示。

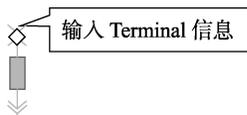


图 3 图元绘制及 Terminal 信息录入
 Fig.3 Graphic primitive drawing and Terminal information input

网络拓扑分析包括 Terminal 信息检索与配置、母线拓扑分析、端子拓扑分析、拓扑分析结果显示及连接线拓扑关系后处理 5 个主要步骤。自动网络拓扑分析流程图如图 4 所示。

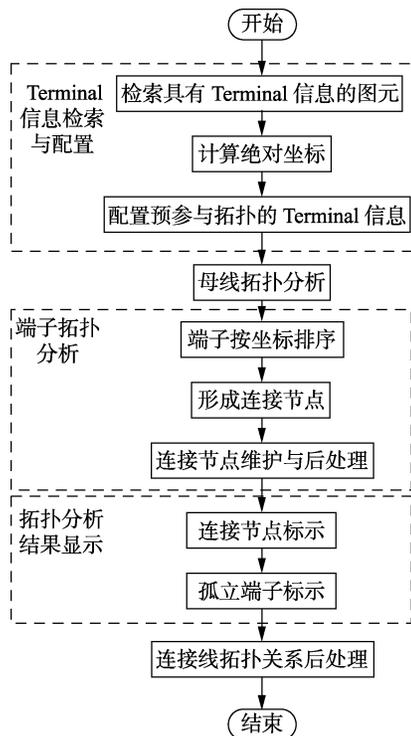


图 4 自动网络拓扑分析流程图

Fig.4 Flowchart of automatic network topological analysis

Terminal 信息检索与配置包括检索具有 Terminal

信息的图元、计算绝对坐标、配置预参与拓扑的 Terminal 信息 3 个子步骤。对于每一个端子, 其所属的设备类型、端口名、计算所得的绝对坐标、设备 ID 等信息经 3 个子步骤后将被配置为一个元组, 以参与后续的拓扑分析。母线拓扑分析是实现接线图中母线与母线附近端子的拓扑连接。优先处理母线拓扑关系可提高拓扑分析效率, 避免错误判断。端子拓扑分析包括端子按坐标排序、形成连接节点、连接节点维护与后处理 3 个子步骤。端子拓扑分析是在母线拓扑分析基础上进行的, 对未匹配的端子进行处理, 形成连接节点, 已被分配到连接节点的端子设已处理标记。拓扑分析结果显示包括连接节点标示、孤立端子标示 2 个子步骤。拓扑分析结果显示是以可视化的方式显示已完成步骤的结果。经拓扑分析后形成的连接节点与未进入任何连接节点的孤立端子通过不同图形在 SVG 格式图中进行标示。连接线拓扑关系后处理是实现设备间拓扑关系的确定。由于绘制连接线是绘制接线图时的辅助手段, 而非实际电缆, 因此还需要确定设备间实际的拓扑关系。

图 5 是利用本套工具绘制的接线图。图中, 经自动网络拓扑分析后形成的连接节点标示空心圆圈, 未进入任何连接节点的孤立端子标示实心圆圈。

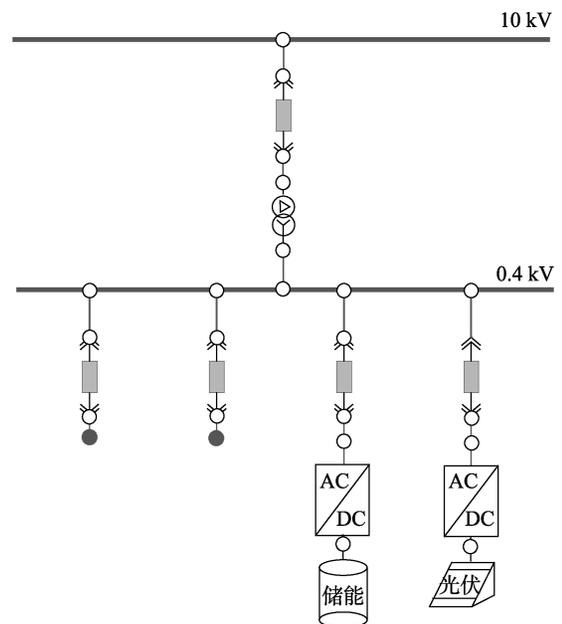


图 5 拓扑分析后的接线图

Fig.5 Wiring diagram after network topological analysis

3.3 数模一体化技术

数模一体化技术是实现量测信息和设备模型的一体化。这一技术可以实现量测点添加, 即在用户指定的设备端子上添加特定类型的量点或测点。同时, 可以根据实际需要, 确定是否在图形界面上显示量测点数据信息。

通过插件程序自动检索设备端子坐标位置, 并

通过检索端子附近的图形信息,找到合适的空白位置,完成数据信息自动布局,尽可能使得数据信息和原有的设备图元不发生重叠覆盖的现象,从而完成“图模数库”中“数”的功能。

3.4 模库一体化技术

模库一体化技术是实现设备模型与数据库的一体化。这一技术需要数据库支持,关系数据库表的设计是根据 CIM-E 标准^[15]制定的,CIM-E 标准是从 CIM 发展演变而来^[16-17]。关系数据库的关系模型和 CIM 之间可以建立良好的映射关系见表 1,CIM 中的类、对象、属性等概念都能在关系数据库中找到对应。因此,数据库可支持 CIM-E 文件的导入、导出。

表 1 UML 概念与关系数据库概念的映射关系
Table 1 Mapping relationship between concepts of UML and relational database

UML 概念	关系数据库概念
包	数据库
类	表
对象	表的记录
对象的属性	表的属性
类之间的关系	外键或关系表

利用插件程序可以访问并操作数据库,从而将 SVG 格式图与数据库内容关联,可以将设备信息、量测点信息及设备间拓扑关系分别导入数据库中,以实现模库一体化功能。

4 图模数库一体化的主要特点

4.1 图模数库一体

本文提出的方案结合 Inkscape 强大的绘制功能及 Python 灵活的扩展程序完成模型定义、量测点添加与数据信息自动布局及数据库信息导入。本文方法将图元信息、设备模型信息、量测点数据信息、数据库信息四者联立,仅在图形操作平台上便可对四者信息进行统一管理,维护效率高、便捷。

4.2 开发成本低、可移植性强

本文方法以开源软件 Inkscape 为平台,该工具小巧便捷、开发成本较低、效率高。同时 Inkscape 在 Linux 和 Windows 系统下均能够运行,所提方法具有跨平台和移植性强的特点。

4.3 扩展性强

本文方法基于插件式开发技术,采用程序插件,使得平台的可扩展性强。需求增加或修改软件功能时,不必对主程序部分进行改动,只需根据需求增加或修改插件,再经接口程序与主程序进行对接。

4.4 画图效率高

本文方案中具有图元绘制及保存模块,这一模块用于建立不同设备的 SVG 格式图元,能够为用户提供图元绘制及保存功能,保存的图元存储在元件库中,能够供用户随时导入使用并进行建模操作。

调用已有元件库可以显著提高画图效率,实践表明,一幅有 300 个图元的图在 20 min 内即可完成绘制。

4.5 自动网络拓扑分析高效可靠

在图模数库一体化工具内可以完成对整体接线图的拓扑分析,自动生成网络拓扑。这项功能基于电力系统接线图的主流存储形式 SVG 格式进行网络拓扑分析,契合发展需求,同时该方法效率高、可操作性强、易于实现。

5 结论

本文提出了基于插件式开发技术的电力系统图模数库一体化的实现方法,构建 SVG(图)和 CIM-E(库)标准相结合具有开放性的工具软件。相较于已有的图模开发软件,本套实现方法小巧便捷、性价比高、扩展性和移植性强,满足电网运行、规划等对图模数管理的需求。本文开发的图模工具结合电力系统信息建模技术、数据库技术和可视化技术等,实现可视化、集约化、模块化和智能化的目标,目前,这套工具已应用于实际系统,为某工业园区多个微电网的运行规划提供图模数库一体化管理的支持,取得了良好的效果。

参考文献:

- [1] 张瑞鹏,姚建国. DMS 网络建模与图模库一体化[J]. 电力系统自动化,2002,26(22):49-52.
ZHANG Ruipeng, YAO Jianguo. Integration of distribution management system modeling and graphic database[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(22): 49-52.
- [2] 纪陵,蒋衍君,施广德. 基于 SVG 的电力系统图形互操作研究[J]. 电力自动化设备,2011,31(7):105-109.
JI Lin, JIANG Yanjun, SHI Guangde. SVG-based graphics interoperability of electric power systems[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(7): 105-109.
- [3] 胡鹏飞,吕飞鹏. 基于 MS.NET 的多层分布式继电保护图模一体化系统研究[J]. 继电器,2005,33(21):74-78.
HU Pengfei, LÜ Feipeng. Studies on multi-layer distributed graphic and model integrative system of relay protection based on MS.NET architecture[J]. Relay, 2005, 33(21): 74-78.
- [4] 唐晓莉,林庆农,陆鑫,等. 基于通用模型的电力图形软件开发平台[J]. 电力自动化设备,2010,30(6):131-135.
TANG Xiaoli, LIN Qingnong, LU Xin, et al. Power graphics software development platform based on common model[J]. Electric Power Automation Equipment, 2010, 30(6): 131-135.
- [5] 高研. 基于 CIM 的分布式发电系统图形平台的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2010.
GAO Yan. Research of CIM-based graphic platform of distributed generation system[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2010.
- [6] 黄绍华. 基于 SVG 的电力系统图模一体化的研究与实现[D]. 北京:华北电力大学,2011.
HUANG Jinhua. The research and implementation of integration of graphic data and model in power system based on SVG [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2011.
- [7] 金义雄,苏娟,徐斌,等. 电力系统图模一体化系统的开发[J]. 上海电力学院学报,2008,24(2):99-102.

- JIN Yixiong, SU Juan, XU Bin, et al. Power system chart-module integration system development[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2008, 24(2): 99-102.
- [8] 袁一鸣, 张麟, 王承民, 等. 图模一体化技术及其在电网规划软件系统中的应用[J]. 东北电力大学学报(自然科学版), 2009, 29(2): 1-4.
- YUAN Yiming, ZHANG Lin, WANG Chengmin, et al. Chart-module integration and its application in software system of power network programming[J]. Journal of Northeast Dianli University (Natural Science Edition), 2009, 29(2): 1-4.
- [9] 夏天雷. 基于图模库一体化技术的微电网能量管理平台开发[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- XIA Tianlei. Development of microgrid energy management platform based on graphics-model-database integration technology[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2016.
- [10] 余银, 侯方迪. 基于图模一体化的电力系统规划设计可视化技术的分析与研究[J]. 能源工程, 2015(5): 1-5.
- YU Yin, HOU Fangdi. Analysis and research of power system planning and design visualization technology based on chart-module integration[J]. Energy Engineering, 2015(5): 1-5.
- [11] 辛文朋. 基于图模一体化的电力系统规划设计可视化技术的研究[J]. 通讯世界, 2016(7): 162-163.
- XIN Wenpeng. Research of power system planning and design visualization technology based on chart-module integration[J]. Telecom World, 2016(7): 162-163.
- [12] 高慧萍, 吕俊. 插件式开发技术研究与应用[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(16): 3805-3807.
- GAO Huiping, LÜ Jun. Research and realization of plug-in development technique[J]. Computer Engineering and Design, 2009, 30(16): 3805-3807.
- [13] 陈方明, 陈奇. 基于插件思想的可重用软件设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(1): 172-173.
- CHEN Fangming, CHEN Qi. Design and implementation of reusable software based on thought of plug-in[J]. Computer Engineering and Design, 2005, 26(1): 172-173.
- [14] INKSCAPE. Overview [EB/OL]. (2018-03-22) [2018-05-14]. <https://inkscape.org/en/about/overview/>.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 电网通用模型描述规范(CIM/E语言)[S]. 北京: 中华人民共和国国家标准, 2013.
- [16] 王镜毓, 石东源, 陈金富, 等. 基于图数据库的继电保护整定计算数据存储与应用[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(9): 218-223.
- WANG Jingyu, SHI Dongyuan, CHEN Jinfu, et al. Storage and application of relay protection setting calculation data based on graph database[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(9): 218-223.
- [17] 屈志坚, 徐振清, 林宏平, 等. 设计模式在调度主站监控系统兼容性处理中的应用[J]. 电力自动化设备, 2016, 36(7): 156-162.
- QU Zhijian, XU Zhenqing, LIN Hongping, et al. Application of design pattern in compatibility processing for master station of dispatch & monitoring system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2016, 36(7): 156-162.

作者简介:



唐坤杰

唐坤杰(1994—), 男, 江苏南京人, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统高性能计算(**E-mail**: tangkunjie1994@163.com);

王志伟(1970—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为电力系统自动化等(**E-mail**: wangzw@hl.sgcc.com.cn);

李治天(1969—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为电力系统自动化等(**E-mail**: yetianli@gmail.com);

田石刚(1974—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 高级工程师, 硕士, 研究方向为工业自动化等(**E-mail**: 53688067@163.com);

董树锋(1982—), 男, 浙江宁波人, 副教授, 博士, 通信作者, 研究方向为状态估计和有源配电网分析等(**E-mail**: dongshufeng@zju.edu.cn);

宋永华(1964—), 男, 四川巴中人, 教授, 博士, 研究方向为电网运行与控制及电力市场。

Implementation of graph-model-data-database integration of power system based on plug-in development technique

TANG Kunjie¹, WANG Zhiwei², LI Yetian², TIAN Shigang², DONG Shufeng¹, SONG Yonghua¹

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. State Grid Heilongjiang Electric Power Co., Ltd., Harbin 150090, China)

Abstract: Based on the plug-in development technique, the visualization of the electrical equipment is achieved using an open software Inkscape. Python language is used to develop plug-ins in Inkscape, in which the Inkscape platform can be employed to accomplish the electrical equipment modeling, data input, automatic network topological analysis, measurement data adding and automatic configuration, database import etc. As a result, the integrated maintenance of power system equipment parameters, network topology, measurement point and monitoring screen can be achieved. On one hand, the SVG format is employed to store graphics, and the relationship between graphics and model-data on the basis of XML is developed. On the other hand, CIM-E is employed as a standard to produce database storage format, which is easy for users to import and export standard CIM-E files. The proposed implementation method has the advantages of graph-model-data-database integration and high maintenance efficiency. At the same time, the tool is small and convenient with powerful expansibility and portability, and it can satisfy the requirements about network operation, planning etc. on effectively managing graphics, models and data.

Key words: plug-in development technique; Inkscape; SVG; graph-model-data-database integration; CIM-E; electric power systems