



CIM/SVG 数据交互技术在电网预警和停电计划处理系统中的应用

潘琪¹, 吴锋¹, 王亮¹, 曹志昆², 董树锋²

(1. 国网苏州供电公司, 江苏 苏州 215000; 2. 浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘 要: 针对电网预警和停电计划处理系统实际需求, 研究开发了基于公共信息模型 (CIM) 和可缩放矢量图形 (SVG) 的电网数据交互技术。提出了根据 IEC 61970 CIM 标准建立的电网数据模型, 以 SVG 作为图形交互的操作对象, 用 Java 语言和 Batik 工具包进行图形界面开发的技术方案。该方案以目前被广泛支持的 CIM 和 SVG 作为数据源, 同时兼顾了跨平台和跨操作系统的需求, 已应用于某地区电网预警和调度停电计划信息处理系统, 实践证明了所提方案的有效性。实现的技术方案具有通用性强、操作简便等特点。

关键词: CIM; SVG; 数据交互; 电网预警; 停电计划

中图分类号: TM769 **文献标志码:** A **DOI:** 10.11930/j.issn.1004-9649.201701025

0 引言

为了实现不同电网自动化系统之间的数据共享, 国际电工委员会制定了 IEC 61970 系列标准^[1], 其 301 部分提出了公用信息模型^[2-3] (common information model, CIM)。CIM 是表示电力企业运营中所有主要对象的抽象模型。它提供了将电力系统资源表示为对象类和属性的标准方法, 从而方便了不同厂家开发的 EMS 系统的集成, 以及 EMS 与其他系统的集成。近年来, CIM 已在国内外电网自动化信息建设中得到了广泛应用。可缩放矢量图形 (scalable vector graphics, SVG) 是一种基于 XML 的绘图语言, 具有跨平台、可伸缩、可重用、可交互等优点, 已成为许多电网自动化系统的基本图形格式^[4]。IEC 61970 的 556 部分提出了基于 CIM 的图形交换格式 CIM/G, 为实现不同应用系统之间的图形交互提供了规范, 遵循该规范的 SVG 文件称为 CIMG 文件。

近年来已有一些文献提出了将 CIM 和 SVG 相结合开发电力应用软件方案, 例如: 文献^[5-9]研究了基于 CIM 数据和 SVG 图形的配电网单线图布局算法和省网均匀图生成等电力系统自动构图技术; 文献^[10]在对风电场 CIM 建模的基础上用

Batik 开发了基于 SVG 图形标准的风电场图形组态系统; 文献^[11-12]将 CIM 规范和 SVG 图形标准结合, 构建标准化电力图数模一体化系统; 文献^[13]研究了 CIM 文件到 SVG 图形的转换模型和厂站级电力系统的可视化技术; 文献^[14]以 CIM 作为数据模型, 研究了 SVG 在电网数据可视化中的应用; 文献^[15-16]研究了在调控系统中以 CIM 构建电网模型, 以 SVG 展示电网拓扑和设备的技术方案; 文献^[17]基于 CIM 和实时量测数据提出了实时刷新 SVG 厂站图和线路图数据的解决方案。但对于如何将电网自动化系统导出的 SVG 图形应用于外部程序的图形操作界面, 并以 SVG 图形作为人机接口实现对 CIM 数据操作的问题, 目前还少有文献涉及。

本文结合某地区电网预警和调度停电计划信息处理软件的开发, 提出了一种 CIM/SVG 数据交互的方案。目前某些地区供电公司的电网预警平台仍然依靠人工模式找出电网运行方式下的薄弱环节进行预警, 效率低下。新一代预警系统对图形和电网模型之间的数据互动性提出了更高要求。运行人员希望通过在软件界面上点击接线图中开关来模拟电网运行方式的调整, 自动查找出电网处于特殊运方、检修方式等情况下的薄弱环节 (包括设备负载率超限、变电站单主变或单母线运行等) 并作出预警。针对上述需求, 本文提出了基于 CIM 和 CIMG 数据交互技术路线, 用

收稿日期: 2017-01-05; **修回日期:** 2017-11-16。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51207136)。

Java 语言和 Batik 工具开发了电网预警和停电计划处理系统，实际运行效果证明了本文方案的有效性。

1 方案整体设计

本技术方案整体设计如图 1 所示。

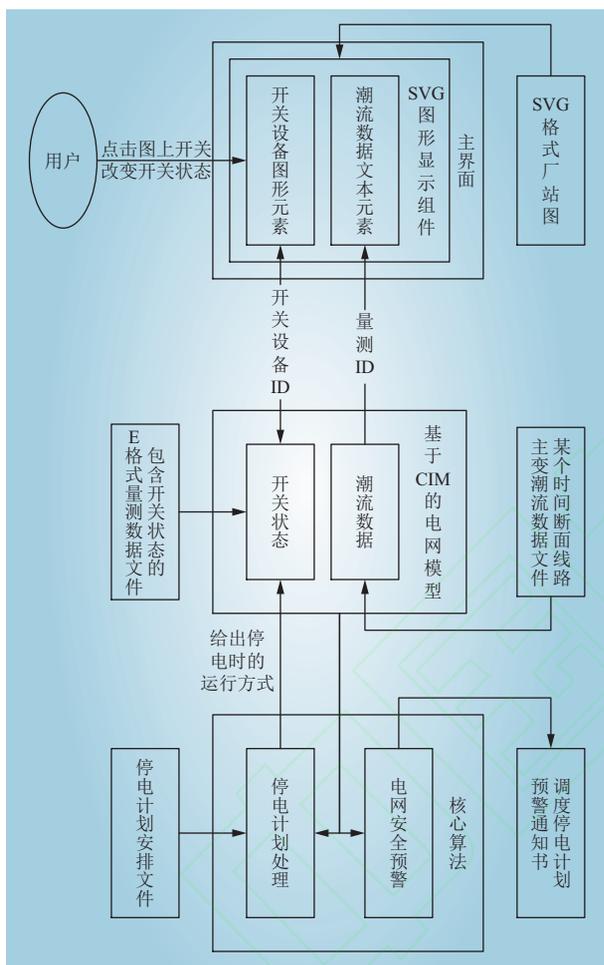


图 1 系统整体框图

Fig. 1 Block diagram of overall system

系统主要由 3 部分组成：主界面、基于 CIM 的电网模型和核心算法模块。电网开关状态（初始态）、潮流数据和厂站图均从文件中读取。用户可在主界面上选择不同厂站的接线图进行查看。SVG 图形显示组件通过调取 CIM 模型中的数据，在接线图上实现开关状态和量测信息的显示，并为图上的开关添加了鼠标操作，使用户能够通过点击开关来改变数据模型中的开关状态。用户改变运行方式以后，可调用预警计算模块分析电网在预想运行方式下的安全性。预警计算模

块的主要功能有：对比调整前后两种运行方式下的拓扑变化，分析负荷转移情况，计算主变和线路的负载率变化，筛选出负载率超过阈值的设备；查找出电网的薄弱运行方式，包括变电站单主变/单母线运行、线路串供运行等情况；根据上述结果自动生成包含风险分析结果、预控措施等内容的预警通知书。用户还能导入停电计划文件，停电信息处理模块根据停电计划按照预定规则自动生成停电后系统的运行方式，并在厂站图上显示该运行方式下的开关状态。

2 基于 Batik 的 SVG 图形处理

本节介绍用 Java 语言和 Batik 工具包处理 SVG 图形的基础知识。Batik 是一个基于 Java 语言的工具包，可为应用软件提供显示、生成和操作 SVG 格式的图形的功能。下面主要介绍如何显示 SVG 图形和操作 SVG 中的数据。

SVG 以文本描述图像内容，严格遵循 XML 语法。用 Java 语言解析 XML 有多种实际方案，本文采用 Java 自带的 JAXP (Java API for XML processing)，以基于文档对象模型 (document object model, DOM) 的方式来解析 XML。

2.1 用 Batik 显示 SVG 图形

Batik 工具包提供了 JSVGCanvas 类，它是一个 Swing 组件，供开发者在 Swing 应用程序中调用以实现 SVG 图形的显示与操作。首先用 JSVGCanvas 的 setURI 方法指定 SVG 文件的 URI，于是程序读取该 SVG 文档并建立 DOM 树，然后渲染显示图形。Batik 包提供了一系列事件监听器，开发者可借助它们改变 SVG 图的原有内容并在图上加入自定义功能。例如，为遍历 DOM 并修改元素属性以完成本文提出的功能，需要实现接口 SVGDocumentLoaderListener 的 documentLoadingCompleted 方法，该方法中的代码将在 SVG 文档载入完成、DOM 建立以后被执行。

2.2 对 SVG DOM 进行操作

本节首先阐述 SVG 文本与 DOM 之间的对应关系，然后介绍遍历 DOM 元素和修改元素属性的方法。

从能量管理系统中导出的 SVG 厂站接线的基本结构（省略了主体内容）的代码为



```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"
standalone="no"?>
<svg viewBox="0 0 2400 1700"
xmlns=http://www.w3.org/2000/svg
xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink".....>
  <script xlink:href=" ../js/svg_web.js"
type="text/javascript"/>
  <defs id="defs">
    <symbol id="sz_水平_左_11_0_2_0">
      <line x1="28" y1="10" x2="28" y2="13"
stroke- />
      .....
    </symbol>
    .....
  </defs>
  .....
</svg>
```

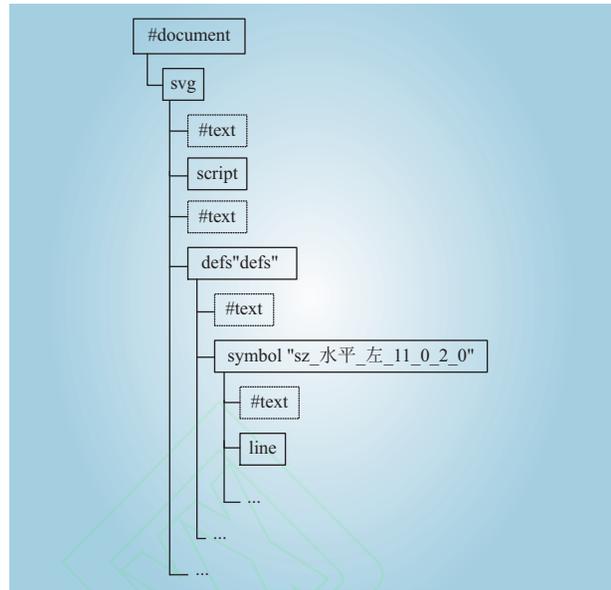


图 2 SVG 文档对应的 DOM 树状图
Fig. 2 DOM tree of SVG file

对应的 DOM 树状图如图 2 所示。DOM 中的每个节点对应于 XML 中的一个成分，DOM 树反映了 SVG 文档所有元素的层次关系。如图 2 中 script、defs 等均是 svg 节点的子节点。DOM 中常见的两种节点类型是元素节点和文本节点。图 2 中的 svg、script、defs、symbol、line 均是元素节点。文本节点（#text）通常对应于不同元素节点及元素结束标志之间的换行符。建立了 DOM 以后，便可对其节点进行遍历与修改。

用于遍历 DOM 的迭代器主要有 NodeIterator 和 TreeWalker。前者的用法为

```
NodeIterator nodeIterator =
  ((DocumentTraversal) svgDocument).
  createNodeIterator(documentRoot,
  Node.ELEMENT_NODE, null, true);
for (Node node = nodeIterator.nextNode());
  node != null; node = nodeIterator.nextNode()) {
  // 访问了每个节点，在此处可对 node 节
  点进行遍历与修改
```

其中 svgDocument 是在 JSVGCanvas 中载入的 SVGDocument 对象，documentRoot 是 svgDocument 的根节点，createNodeIterator 的第 2 个参数值 Node.ELEMENT_NODE 表示此迭代器仅访问元素节点，不访问文本节点。用此迭代器遍历 DOM，如同访问一个线性列表，并且跳过了与换

行符对应的文本节点，运用起来十分简便。

在遍历 SVG DOM 元素节点的过程中，常需要通过元素的属性值，来判断当前元素是否为待处理的元素，并修改属性值。为此先要将 Node 类型的元素节点转换为 Element 类型，然后用 hasAttribute（或 hasAttributeNS）判断当前元素是否包含特定名称的属性，用 getAttribute（或 getAttributeNS）取得属性值，用 setAttribute（或 setAttributeNS）设置属性值。据此即可实现 SVG 的显示与基本操作。

3 基于 CIM/SVG 的图模数据交互技术

从能量管理系统中导出的 SVG 格式厂站图中，与电网设备或量测量相对应的元素通常包含元数据（metadata）。元数据包含了 SVG 元素与 CIM 对象之间的对应关系。

将 CIM 数据显示在 SVG 厂站图上的步骤：

- （1）遍历 SVG DOM 的元素节点，根据元素属性的特征，判断某个元素是否需要显示 CIM 模型中的数据；
- （2）若该元素需要显示 CIM 模型中的数据，则从此元素所包含的元数据中提取待显示的 CIM 模型对象的唯一编号；
- （3）根据上一步得到的唯一编号，从 CIM 模型中提取需要显示的数据；
- （4）修改 SVG DOM 中该元素与待显示数

据相关的属性值或文本内容。

下面以某地区电网 SVG 为例，介绍在 SVG 接线图上显示开关设备状态和量测数据的具体实施步骤。

3.1 开关设备状态的显示

在导出的 SVG 文档中，开关、刀闸、开关小车图元已被定义了鼠标操作，如表 1 所示。

表 1 开关设备类型与鼠标操作函数名的对应关系
Table 1 Relationship between switching device and on mouse down action

图元类型	单击时所调用的 JavaScript 函数 (即 onmousedown 的属性值)
开关	Load_Menu(evt, 'menu_k')
刀闸	Load_Menu(evt, 'menu_d')
开关小车	Load_Menu(evt, 'menu_kd')

上述各 JavaScript 函数与各图元类型存在一一对应的关系，故这些已定义鼠标事件函数名称可作为图元是否对应开关类设备的判据。某 SVG 中某个 <g> 元素的片段为

```
<g>
<use ... xlink:href="#sz_开关垂直_0_0_2_0"/>
<rect onmousedown="Load_Menu(evt,
'menu_k') ... >
<metadata>
  <web:Key_Info key_id='02200027140020' ... />
  .....
  <web:Dev_Info dev_id='220002714'/>
</metadata>
</g>
```

(1) 遍历 SVG DOM 的所有节点。当上述代码片段第 3 行的 rect 元素被访问时，因该元素的 onmousedown 属性值为 Load_Menu(evt, 'menu_k')，可知上述代码片段对应的是 SVG 上的一个开关。

(2) 该开关在 CIM 的设备编号即为元数据中 dev_id 的属性值。为提取设备编号，新建一个以 rect 元素的父节点（即 <g> 元素）作为根节点的 NodeIterator 迭代器，遍历上述代码片段的所有节点。若节点包含属性名“dev_id”，则提取“dev_id”的属性值作为设备编号（本例中为“220002714”）。

(3) 根据上一步得到的开关设备编号，从

CIM 模型中得到该开关设备的开合状态。

(4) 该 SVG 文档中已在 <defs> 部分定义了 URI 为“sz_开关垂直_0_0_2_0”和“sz_开关垂直_0_0_2_1”的 <symbol> 元素，分别是开关打开与闭合时的图形。用 setAttributeNS 方法（命名空间参数为“http://www.w3.org/1999/xlink”）将上述代码片段中 <use> 元素的 href 属性值改为与开合状态相对应的 URI。之后 SVG 上此开关的位置即显示出与 CIM 中开关状态相对应的 <symbol> 元素。

在 SVG 上显示开关状态，为实现电网预警中用户手动改变开关状态功能提供了前提，也是一种在停电信息处理系统中直观展示自动生成的运行方式的手段。

3.2 潮流数据的显示

潮流数据的显示方法如下：先根据类似于 3.1 的判据找到潮流数据对应的 <g> 元素，提取元数据中“key_id”和“key_name”的属性值。这两个属性值分别为潮流数值在 CIM 模型中的编号及名称。然后从 CIM 模型中提取该潮流数据，用 Element 类的 setTextContent 方法将 <text> 元素的文本内容修改为得到的潮流数据。图 3 给出已显示开关状态和潮流数据的 SVG。

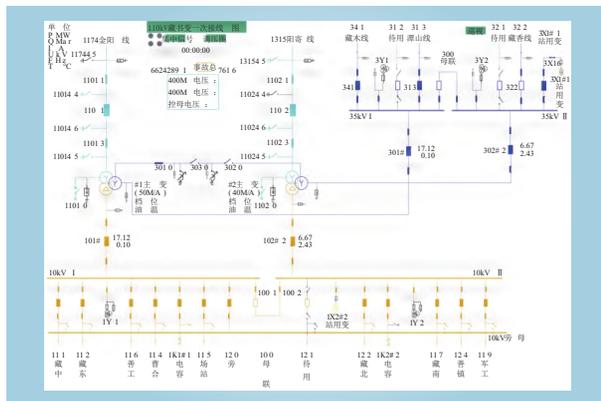


图 3 显示了开关状态和潮流数据的 SVG 接线
Fig. 3 SVG layout with switch status and measurement data

在电网预警系统界面上显示开关状态与潮流数据，能使用户对开关状态和潮流情况有直观的认识，用户还可据此判断导入的数据是否正确。

3.3 在 SVG 主接线图上实现开关操作

本节中的操作流程与 3.1、3.2 类似。差别在于，在前文中仅需从电网 CIM 中读取数据，而本



小节中要修改电网模型中的数据。下面以 3.1 的代码为例介绍。

(1) 首先需要在展示 SVG 的 JSVGCanvas 对象初始化以后, 调用其 setDocumentState 方法将文档状态设置为 ALWAYS_DYNAMIC。

(2) 在 SVG 文档载入完成以后, 遍历 SVG DOM 的节点。以表 1 所述判据找出代表开关、刀闸、开关小车(以下统称开关设备)的 <g> 元素。

(3) 以上一步得到的 <g> 元素为根节点, 用迭代器遍历该元素下的所有子节点, 并提取元数据中的设备编号 (dev_id 属性值)。

(4) 在 CIM 中查找该编号对应的设备, 若存在与之对应的设备, 则给 <g> 元素(下列代码中的 gNode) 添加关于鼠标操作的事件侦听器。当鼠标点击图上与该 <g> 元素对应的开关设备后, 执行 OnSwitchClickAction 类中的操作。代码片段为

```
EventTarget target = (EventTarget) gNode;
target.addEventListener("click", new
OnSwitchClickAction(), true);
```

(5) 在定义事件响应的 OnSwitchClickAction 类中, 需要执行以下操作: 用 getCurrentTarget 方法得到事件响应的目标, 返回被点击的开关设备所对应的 <g> 元素; 得到该 <g> 元素中包含的设备编号; 在电网模型中改变对应于此编号的开关设备的开合状态; 然后从电网数据模型中读取修改后开关状态并显示。

按上述方法为 SVG 上的开关添加事件侦听器之后, 用户即可在 SVG 接线图上通过鼠标操作来改变 CIM 中的开关状态, 可以方便地将电网从初始状态调整至预想的运行方式, 从而对预想运行方式进行安全校验。

4 实际应用效果

基于本文提出的技术方案开发了电网预警和停电计划处理系统。用户运行电网预警系统时, 该系统首先解析调度自动化系统的 E 格式电网模型文件和开关状态数据, 读取同期最高负荷断面电网负荷数据作为薄弱方式下的负荷初值, 然后建立电网的功率流拓扑^[18]。用户在界面上选中待处理的厂站, 主界面上即展示出该厂站接线, 并

显示开关状态和潮流数据。用户依次点击开关, 将电网模型调整至预想运行方式后运行安全预警算法, 该系统给出此时电网的薄弱运行方式和负载率越限情况, 自动生成包含运行方式调整、负荷控制、运行维护等相应处置策略的预警通知书。在停电计划信息处理系统中, 用户可选择待处理的停电计划执行安全校验功能, 系统根据预定的规则自动生成停电检修时的运行方式, 将此时的开关状态显示在相应厂站的接线图上供用户查看。该系统已在某地区电网投入运行。

5 结语

本文提出了 CIM/SVG 数据交互技术方案。给出了程序整体框架, 该技术方案的特点是:

(1) 采用能量管理系统普遍支持的 CIM 为基础建立电网数据模型, CIMG 作为人机界面, 具有通用性强、便于推广的特点。(2) 采用 Java 语言和 Batik 工具实现图模之间的交互, 解决方案具有跨平台的特点。(3) 该方案不仅能够应用于电网预警和调度停电计划信息处理系统, 对于其他基于能量管理系统的二次开发同样适用。

参考文献:

- [1] 张慎明, 刘国定. IEC 61970 标准系列简介[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(14): 1-6.
ZHANG Shenming, LIU Guoding. An introduction to the IEC 61970 standard[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(14): 1-6.
- [2] USLAR Mathias, SPECHT Michael, ROHJANS Sebastian, et al. The common information model CIM[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2012.
- [3] SIMMINS J, GRAY G. IntelliGrid common information model primer[M]. Palo Alto: Electric Power Research Institute, 2013.
- [4] 汤伟. 基于 BPA 计算模型和 SVG 的大电网实时仿真方法[J]. 中国电力, 2014, 47(7): 71-76.
TANG Wei. Real-time simulation method for large-scale power grid based on BPA computing model and SVG topology[J]. Electric Power, 2014, 47(7): 71-76.
- [5] 周博曦, 孟昭勇, 吴文宣, 等. 辐射接线模式的配电馈线单线图自动绘制算法[J]. 中国电力, 2015, 48(12): 136-140.
ZHOU Boxi, MENG Zhaoyong, WU Wenxuan, et al. Power grid

- diagram automatic mapping algorithm for radial distribution feeder[J]. *Electric Power*, 2015, 48(12): 136–140.
- [6] 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*, 2008, 32(22): 61–65.
- ZHANG Jianmin, 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*, 2008, 32(22): 61–65.
- [7] 闫红漫, 韩文明, 于文鹏, 等. 基于 CIM 模型的配电网单线图自动生成研究[J]. *华东电力*, 2014, 42(12): 2502–2505.
- YAN Hongman, HAN Wenming, YU Wenpeng, *et al.* Automatic generation of single-line diagram for distribution network based on CIM[J]. *East China Electric Power*, 2014, 42(12): 2502–2505.
- [8] 张文杰, 胡文弢, 何星. 基于 CIM 文件的电力系统 SVG 图形自动排图算法[J]. *微型电脑应用*, 2009(3): 56–58.
- ZHANG Wenjie, HU Wentao, HE Xing. Automatic generation of power system SVG based on CIM[J]. *Microcomputer Applications*, 2009(3): 56–58.
- [9] 张自聪. 基于 CIM/SVG 的省级电网均匀图的自动生成[D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2009.
- [10] 吴欣乾. 风电场 SCADA 系统图形及组态功能的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2013.
- [11] 黄缙华, 赵强. 基于开放标准的电力系统图数模一体化研究[J]. *现代电力*, 2010(6): 73–78.
- HUANG Jinhua, ZHAO Qiang. Research on integration of graphic, data and model based on open standards[J]. *Modern Electric Power*, 2010(6): 73–78.
- [12] 徐爱春, 魏艳华, 章坚民. 基于 CIM/SVG 图模一体编辑器系统的设计及实现[J]. *继电器*, 2006, 34(23): 49–53.
- XU Aichun, WEI Yanhua, ZHANG Jianmin. Design and implementation of vector graphics editing system based on CIM/SVG[J]. *Relay*, 2006, 34(23): 49–53.
- [13] 严增锐. 基于 SVG 的电力系统 CIM 模型数据管理的研究和实现[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [14] 樊淑丽. 基于 SVG 的电力系统信息可视化技术[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [15] 郭建成, 钱静, 陈光, 等. 智能配电网调度控制系统技术方案[J]. *电力系统自动化*, 2015, 39(1): 206–212.
- GUO Jiancheng, QIAN Jing, CHEN Guang, *et al.* Technical scheme of smart distribution grid dispatching and control systems[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2015, 39(1): 206–212.
- [16] 张莉莎. 基于 SVG/OpenGL 的电力系统可视化技术及其应用[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [17] 孙建伟. 基于 SVG 技术和 CIM 模型的电力系统可视化研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [18] 殷伟, 潘琪, 王亮, 等. 基于功率流拓扑的配电网薄弱环节辨识方法[J]. *能源工程*, 2015(3): 30–33.
- YIN Wei, PAN Qi, WANG Liang, *et al.* An algorithm for identifying weaknesses of distribution system based on topological power flow[J]. *Energy Engineering*, 2015(3): 30–33.

作者简介:

潘琪 (1976—), 男, 江苏苏州人, 高级工程师, 从事电网继电保护和调度运行方式工作, E-mail: 18662199055@163.com。

(责任编辑 张重实)

Application of CIM/SVG Data Exchange Techniques in Power Grid Alarming and Outage Planning System

PAN Qi¹, WU Feng¹, WANG Liang¹, CAO Zhikun², DONG Shufeng²

(1. State Grid Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215000, China;

2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Data exchange techniques based on Common Information Model (CIM) and Scalable Vector Graphics (SVG) is useful in power grid alarming and outage planning system. This technical solution uses Java programming language and Apache Batik Toolkit as software development tool. Based on IEC 61970 CIM standard, power system data is modeled. CIM data is then visualized and operated via SVG-based user interface. This solution has been applied to practical power grid alarming and outage planning system. This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 51207136).

Keywords: CIM; SVG; data exchange; power system alarming; outage planning