

# 10 kV电网故障图模一体化处理平台

郑贵省,赵锐,赵国亮,于波,白丽娜,张国庆

(天津军事交通学院,天津 300161)

**摘要:** 将SVG运用于10 kV电网故障定位、隔离与恢复系统的网络建模与表达,研究了电网SVG图形描述,设备图元建模,提出了基于坐标和节点融合的设备连接关系生成方法,实现了基于设备模型的拓扑自动生成和完整性检查,开发了电网图形编辑、存储与发布平台,实现了设备编号和拓扑的自动生成,探讨了系统SVG图形Web发布方法,应用于电网故障定位、动态着色、故障设备隔离和恢复及其校核操作,为系统的可视化实现提供了关键技术基础。

**关键词:** SVG; 电网故障; 定位隔离; 图模; 拓扑分析

## Graph and model integrative system for fault transacting in 10 kV power networks

ZHENG Gui-xing, ZHAO Rui, ZHAO Guo-liang, YU Bo, BAI Li-na, ZHANG Guo-qing

(The Academy of Military Transportation, Tianjin 300161, China)

**Abstract:** SVG is applied to creating and expressing networks in 10kV power network's locating, insulating and resuming system. Describing graph and modeling device metafile for power network by SVG are researched. The method of creating connection based on coordinate and node fusing is put forward. Creating topology automatically and examining integrality based on device model are implemented. The plat of graph editor, storage and issuance are designed. The WEB issuing means of SVG graph is discussed. These are applied to power networks faults locating, pigmentating, fault device insulating, resuming and verifying. Pivotal technique foundation is provided for realizing the system.

**Key words:** SVG; power networks fault; locating insulating; graph model; topology analyzing

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)15-0091-04

## 0 引言

图模一体化技术在调度自动化领域得到了很好的应用,其核心思想是利用图形生成设备模型和拓扑结构,使图形和数据库相互对应<sup>[1-6]</sup>。在10 kV电网故障定位、隔离与恢复系统中,需要完成对电网结构的图形化描述,生成拓扑矩阵,根据拓扑矩阵,实现10 kV电网的故障定位、隔离、恢复与校核、电网着色等功能,论文采用基于SVG的图模一体化技术,完成系统的可视化建模和表达。

## 1 SVG

SVG可伸缩矢量图作为由W3C组织发布的一种开放标准的文本式矢量图形描述语言,能够满足日益增长的对动态、可缩放和平台无关地展现复杂内容并实现灵活交互的需求,正逐渐成为网络图形的国际标准,SVG基于XML的特性使其适合作为异构系

统间图形交换的载体,对异构系统间图形数据的共享具有重要意义。SVG以其良好的可扩充性、更利于检索、减少网络流量、互操作性和重用性等特点,国际电工委员会已将SVG确定为图形交换的标准格式。图形信息以SVG方式存储和传输时,用户通过解析、过滤SVG文档获得自己感兴趣的图形信息,并能够根据应用需要形成新的SVG图形,如由电力主接线图形成实时监控、潮流分析、培训仿真等不同应用所需要的图形。

## 2 10 kV电网故障处理图模一体化实现

10 kV电网故障定位、隔离与恢复系统的总体框架如图1(a)示,图模软件结构如图1(b)示。

电网图形的表达和建模是10 kV电网故障定位、隔离与恢复系统软件的支持部分,对整个软件的良好的人机交互和实时准确的完成电网的状态监控具有关键的作用。

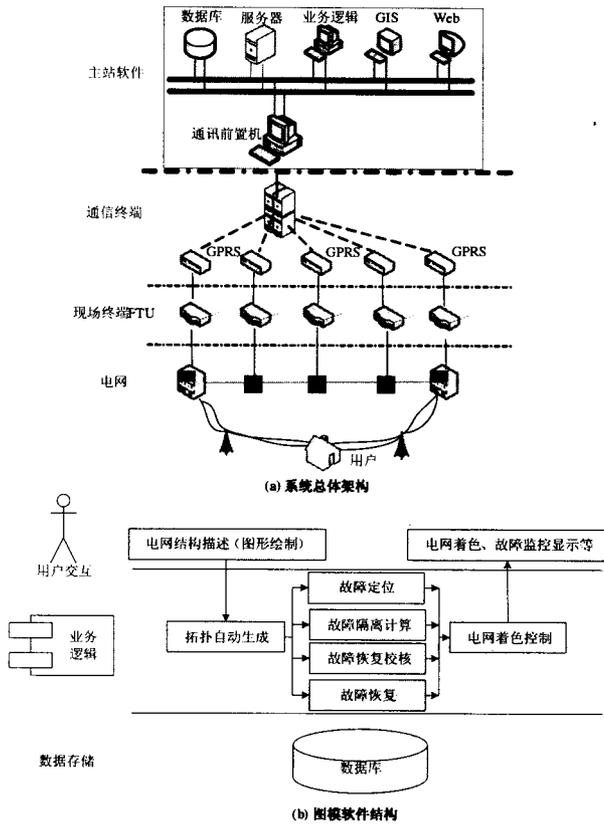


图 1 系统总体架构

Fig.1 System macro-framework

2.1 设备图元建模

设备图元模型包括图形属性和应用属性。图形属性指设备在图形系统中的几何表示，应用属性为存储在数据库中供各种应用使用的设备参数等信息。设备图元建模即实现设备图形属性和应用属性的关联统一。图形是设备信息的直观显示，大多数设备在图形系统中都用一致的图标表示。SVG标准通过预定义形状的若干组合，在模形定义中实现图形与设备对象的对应。

设备对象中存在一类特殊的元件，其不同状态下具有不同的图形表示，如刀闸在闭合和断开时对应不同的图元。这时需要针对各种状态定义多个图元，由图元模型ID加以区分。

2.2 图形编辑及存储

图形编辑是图形系统的基本功能，本系统建立了设备图元模型，各设备图元用相同名称的类封装，所有图元类均包含绘图方法，该方法在画布上绘制图元的同时，将图元位置等信息添加到DOM对象中，保持图形显示和SVG文档的同步。图元形状固定，但其大小、填充颜色、旋转角度等图形属性可以通过鼠标操作改变。在设备图元绘制完成后设置该图元

所代表设备的属性信息。图形编辑平台还支持图元模型的自定义功能，通过基本形状的组合构建新的图元模型，并设置该类图元应具有的应用属性，在数据库中自动创建相应的二维表。

图元绘制完成后，输入设备的应用属性信息存储为数据库二维表中的记录。图元的空间信息以DOM树的形式存在于内存中，遍历DOM树结点，将所有图元信息格式化输出为SVG文件保存。

2.3 自动拓扑分析

拓扑结构是潮流分析，状态估计等应用的基础，它直接关系到系统的可扩展性和图形发布的实时性。拓扑分析可分为两个过程，连接关系（原始拓扑）分析和网络拓扑分析。本系统以SVG图形模型为基础，采用优化算法实现拓扑分析，其结果保存为XML文档，用于信息发布或潮流计算等分析模块。

2.3.1 节点和设备自动编号

在10 kV电网故障定位、隔离与恢复系统的网络拓扑中，拓扑抽象的两类主要设备为开关和源端，将开关抽象和源端分别抽象为双端口图元和单端口图元，同时开关设备抽象为支路。拓扑图节点和支路自动编号的基本步骤是：(a) 源端和开关设备节点和支路单独编号。将开关设备依次编号即为支路编号，最大支路编号即为开关设备数目  $b$ ；将开关设备的节点独立依次编号，最大节点编号为  $n = 2b$ ；将源端节点编号，最大编号为  $n = 2b + k$ ， $k$  为源端数目。(b) 节点融合。根据SVG图形中节点的坐标进行节点连接关系识别，有连接的节点，节点编号相同。

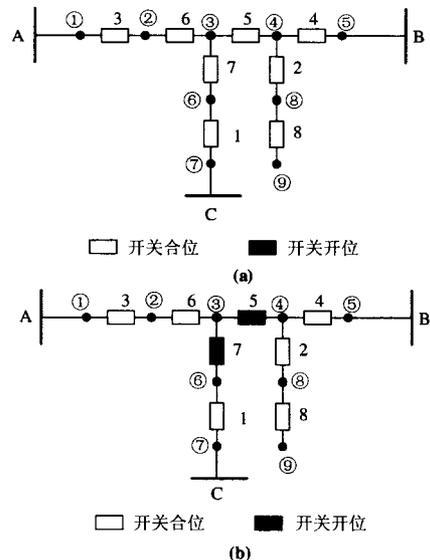


图 2 节点和支路自动编号示意

Fig.2 Sketch map of topology nodes and edges numbering

对如图2所示10 kV手拉手网络开关设备接线,把每一源端和开关元件的端口作为拓扑图的节点,开关作为拓扑图的支路(当开关闭合时该支路连通,开关断开时该支路断开),自动编号如图2所示编号。

### 2.3.2 连接关系分析

连接关系分析即根据传导设备之间的连接关系,形成连接点模型。在实际渲染预定义的设备图元时,定义了viewBox属性即视口属性,它指定了渲染图元的区域大小,结合translate属性值可以精确定位该设备图元在画布中的显示区域,判断连接线端点是否在设备图元的显示区域内,可以确定连接线是否与该设备相连接。连接线描述了设备间的关联关系,将其抽象表示为连接点,连接点信息为关联设备ID,遍历连接线图层的所有连接线,合并连接线相交的连接点信息,得到连接点模型。

图2(a)节点一支路关联矩阵 $A_0$ ,称为原始节点一支路关联矩阵。如果断开其中的某些开关,如图2(b)所示,定义开关状态矢量 $S=[s_i]$ , $s_i$ 与开关 $i$ 的状态相对应。当开关闭合时, $s_i=1$ ,开关断开时 $s_i=0$ 。这样, $S=[1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1]$ 。 $A$ 就是 $A_0$ 的每一行与 $S$ 的各个对应元素进行“与”运算后得到的。此时对应的节点一支路关联矩阵 $A$ ,称之为当前节点一支路关联矩阵或简称为节点一支路关联矩阵)。

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

### 2.3.3 网络拓扑分析

网络拓扑分析可分为厂站接线分析和系统网络分析。厂站接线分析采用节点融合法,其主要思想是通过开关找寻与其关联的连接点,由开关状态来判定这些连接点生成一个或多个拓扑点,形成拓扑点模型。拓扑点信息包含与该拓扑点关联的所有设备信息,遍历母线图层的所有母线,可以容易转换为母线模型,满足不同应用需要。

系统网络分析和厂站接线分析在思想上是一致的,只是厂站接线分析建立在对开关的分析基础上,而系统网络分析是建立在对支路的分析基础上,即将联络线、变压器、发电机及负荷等支路设备视作闭合的开关,分析原理与厂站接线分析一致。

对电力网络主接线的辨识,实际就是要找出网络中节点间的连通关系<sup>[5,6]</sup>。显然,这种连通关系是可以传递的,即

如果 $i$ 节点与 $j$ 支路相联,同时,支路 $j$ 又与节点 $k$ 相联,则节点 $i$ 与节点 $k$ 是相联的。

如果节点 $i$ 与节点 $k$ 相联,而节点 $k$ 又与节点 $l$ 相联,则节点 $i$ 与节点 $l$ 也是相联的。

定义节点一节点连通矩阵(它与网络图论中的节点一节点关联矩阵有区别) $C=[c_{ij}]$ ,其中:当节点 $i$ 与节点 $j$ 连通时, $c_{ij}=1$ ,不连通时, $c_{ij}=0$ ,显然 $C$ 是对称矩阵。以上连通关系的传递性质可表示如下:

(1) 若 $a_{ij}=1$ , $b_{jk}=1$ ,则 $c_{ik}=a_{ij} \cap b_{jk}=1$ ;

(2) 若 $c_{ik}=1$ , $c_{kl}=1$ ,则 $c_{il}=c_{ik} \cap c_{kl}=1$ 。

对于具有 $m$ 个节点, $n$ 条支路的网络,定义以下矩阵乘法运算:

$$C = A \bullet B \quad (1)$$

$$\text{其中: } c_{ij} = \bigcup_{k=1}^n (a_{ik} \cap b_{kj}) \quad (2)$$

$\cap$ 表示“与”运算, $\cup$ 表示“或”运算。

那么,当 $A$ 为节点一支路关联矩阵, $B$ 为支路一节点关联矩阵时, $c_{ij}$ 将表示节点 $i$ 与节点 $j$ 通过任一支路的关联情况。当然,只要节点 $i$ 与节点 $j$ 有一条支路相联,则 $c_{ij}=1$ 。 $C=[c_{ij}]$ 表示了节点与节点之间的连通性,称为节点一节点连通矩阵。这时的节点一节点连通矩阵仅仅表示了节点之间的直接连通性质,把它称为1级节点一节点连通矩阵,并记为 $C^{(1)}$ 。由于连通性的传递性质,可以通过用一级节点一节点连通矩阵 $C^{(1)}$ ,进行上面定义的矩阵乘法运算,得到二级节点一节点连通矩阵

$$C^{(2)} = C^{(1)} \bullet C^{(1)} \quad (3)$$

2级节点一节点连通矩阵 $C^{(2)}$ 在一级节点一节点

点连通知阵  $C^{(1)}$  的基础上, 运用连通关系的传递性, 把节点之间的部分间接连通关系也表示出来了, 用  $C^{(2)}$  再自乘  $C^{(2)}$ , 得到  $C^{(3)}, \dots$ , 直到  $C^{(n)} = C^{(n-1)} \cdot C^{(n-1)}$ 。这时, 通过传递, 所有连通的节点之间的关联值都是1了, 而不连通的节点间关联值为0。将发现  $C$  不再变化, 这时, 已把网络中的所有连通关系都表示出来了。

$$C^{(1)} = A \cdot A^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C^{(2)} = C^{(1)} \cdot C^{(1)T} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C^{(3)} = C^{(2)} \cdot C^{(2)T} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C^{(4)} = C^{(3)} \cdot C^{(3)T} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

运用连通关系的传递性, 所有连通的节点之间的关联值都是1, 而不连通的节点间关联值为0。如对图2 (b), 发现  $C^{(3)}$  不再变化, 这时, 已把网络中的所有连通关系都表示出来了, 由  $C^{(3)}$  可见, 节点连接成以下几组: 节点1、2、3为一组; 节点4、5、8、9为一组; 节点6、7为一组。即原图分裂为3个子图。

### 2.3.4 模型完整性检查

网络拓扑是进行电力系统分析和计算的基础, 拓扑结构的准确性非常重要。一方面, 在建立拓扑时, 不允许有悬空端子, 即孤立的导电设备存在(备用除外); 另一方面, 当电网状态发生变化时, 可能使母线段所对应的计算节点数发生变化, 也可能引起开环、闭环等接线方式变化。拓扑结构需要能够正确反映这些变化。因此, 经过拓扑分析, 对模型的完整性进行检查是非常重要的。

10 kV 电网故障定位、隔离与恢复系统中, 需要根据输入的网络图形, 生成故障定位矩阵、故障恢复的校核操作和进行设备的动态着色。应用网络拓扑关系, 便可很容易地形成活岛内的支路和母线的连接关系, 对模型进行完整性检查; 根据开关的开合状态和设备的连接关系确定设备的带电状态进行动态拓扑着色, 实际上就是判断各电气岛是活岛(电气岛上存在发电机或等值电源等设备)还是死岛。属于活岛的设备处于带电状态, 否则就处于失电状态; 利用该拓扑法可方便地对10 kV 电网的故障恢复操作的校核。

### 2.4 图形Web发布

本系统基于B/S体系结构实现图形信息发布功能。当客户端浏览器发出对某一应用图形的请求时, JSP响应请求, 向图形数据服务程序(Serverlet)提出服务要求, 获取数据信息, 动态生成SVG文件返回客户端。数据层包含两部分数据: SVG图形文件(包含所有图层信息), 综合数据(满足应用所需的数据或XML增量文件)。图形数据服务程序通过JDBC从数据库抽取数据或解析相应XML增量文件获得数据, 同时创建DOM文档, 将不需要显示图层的display属性设置为none, 并把DOM文档内容填入相应的应用图层中, 由图形数据服务程序动态生成待发布的SVG文件。

## 3 结论

本文研究了基于SVG的10 kV 电网故障定位、隔离与恢复系统的图模一体化平台, 建立了电网的SVG图元模型, 开发了电网图形编辑、存储与发布

(下转第99页 continued on page 99)

- Information, 2005, 9:38-39.
- [2] 毛锦庆, 王澎. 从简化整定计算论线路的微机型继电保护装置[J]. 电力系统自动化设备, 2004, 24(11):94-48.
- MAO Jin-qing, WANG Peng. Discussion of Microprocessor-based Protection Equipment on Setting Calculation Simplification[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(11):94-48.
- [3] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- National Power Dispatching & Communication Center. The Rules of Power System Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1997.
- [4] IEEE Committee Report. Computer Aided Coordination of Line Protection Schemes[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1991, 6(2): 575-583.
- [5] 崔家佩, 等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- CUI Jia-pei, et al. Settings of Power Relay Devices[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [6] 李银红, 段献忠. 电力系统线路保护整定计算一体化系统的研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(9): 66-69.
- LI Yin-hong, DUAN Xian-zhong. Study on Line Protection Integrative Coordination System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(9): 66-69.
- [7] 易亚文, 涂亮, 王星华, 等. 基于模式的自定义继电保护装置整定计算系统研究[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(16):79-83.
- YI Ya-wen, TU Liang, WANG Xing-hua, et al. Self-defined Relay Device Coordination Software Based on Pattern[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(16):79-83.

收稿日期: 2008-09-17; 修回日期: 2008-10-13

作者简介:

唐茂林(1963-), 男, 高级工程师, 目前的研究方向为电力系统自动化;

王伟(1964-), 男, 高级工程师, 目前的研究方向为电力系统继电保护;

陈军(1971-), 男, 高级工程师, 目前的研究方向为电力系统继电保护。E-mail: chenjun@sepc.com.cn

(上接第 94 页 continued from page 94)  
平台, 实现了设备编号和拓扑的自动生成, 应用于电网故障定位、动态着色、故障设备隔离和恢复及其校核操作, 提高了图形编辑的效率和发布的实时性, 现场使用效果良好。

### 参考文献

- [1] 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, 30(12): 49-53.
- XU Ai-chun, WEI Yan-hua, ZHANG Jian-min. Design and Implementation of Vector Graphics Editing System Based on CIM/SVG[J]. Relay, 2006, 30(12):49-53.
- [2] 董朝霞, 戴琦, 杨峰. 基于 CIM/SVG 的电网建模技术[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, 18(5):58-61.
- DONG Zhao-xia, DAI Qi, YANG Feng. Power Network Modeling Method Based on CIM and SVG[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2006, 18(5):58-61.
- [3] 郭创新, 齐旭, 朱传柏, 等. 基于 SVG 的电力调度图形支撑平台设计与实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2007, 19(2):28-34.
- GUO Chuang-xin, QI Xu, ZHU Chuan-bai, et al. SVG-based Graphic System for Power Dispatching[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2007, 19(2):28-34.
- [4] 宋善德, 熊展志, 李卫国, 等. 基于 SVG 的矢量图形编辑器
- 的设计与实现[J]. 计算机工程与科学, 2003, 25(2):91-94.
- SONG Shan-de, XIONG Zhan-zhi, LI Wei-guo. Design and Implementation of a Vector Graphics Editor Based on SVG[J]. Computer Engineering & Science, 2003, 25(2):91-94.
- [5] 王湘中, 黎晓兰. 基于关联矩阵的电网拓扑辨识[J]. 电网技术, 2001, 25(2):10-13.
- WANG Xiang-zhong, LI Xiao-lan. Topology Identification of Power Network Based on Incidence Matrix[J]. Power System Technology, 2001, 25(2):10-13.
- [6] 吴文传, 张伯明. 基于图形数据库的网络拓扑及其应用[J]. 电网技术, 2002, 26(2):14-18.
- WU Wen-chuan, ZHANG Bo-ming. A Graphic Data Based Network Topology and Its Application[J]. Power System Technology, 2002, 26(2):14-18.

收稿日期: 2008-09-16; 修回日期: 2009-02-28

作者简介:

郑贵省(1975-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力电子与电力传动; E-mail: zgx\_cn@126.com

赵锐(1957-), 男, 硕士, 教授, 研究生导师, 研究方向为测控理论与技术。

赵国亮(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为测控理论与技术。