

智能变电站分布式数据平台应用研究

李江林¹, 张道杰¹, 赵毅², 张延鹏³

(1. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 2. 西安交通大学, 陕西 西安 710049;
3. 东北电力科学研究院有限公司, 辽宁 沈阳 450052)

摘要: 针对目前智能站的结构现状和分布式调度系统的要求, 提出并实现了智能站分布式数据平台方案。该方案采用一种新的两层分布式数据库系统, 第一层可分为多个区域, 各区域作为第二层可部署多个不同类型的数据库。在新的平台下, 设计了站内各区之间的通信机制, 提出了分布式告警和分布式监视方案。通过应用验证, 表明方案部署灵活并且通讯效率较高, 在智能站推广应用前景比较乐观。

关键词: 分布式技术; 数据平台; 智能告警; 远程浏览

Research and application of distributed data platform in the smart substation

LI Jiang-lin¹, ZHANG Dao-jie¹, ZHAO Yi², ZHANG Yan-peng³

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
3. Northeast Electric Power Research Institute Co., Ltd., Shenyang 450052, China)

Abstract: Based on the actuality of smart substation and the requirements of distributed scheduling system, smart substation distributed data platform is proposed and developed. The scheme adopts a two layers distributed database system, the first layer can be divided into multiple regions, and the second layer is the each region which can be deployed multiple different types of database again. In the new platform, the communication mechanism between districts is designed, and the solutions of distributed alarming and distributed monitoring are proposed. The actual application verifies that the deployment scenarios are flexible and the capability of communication is more efficient, and that the scheme has a good prospect of being popularized and used in the field of smart substation.

Key words: distributed technology; data platform; intelligent warning; remote browsing

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)24-0126-06

0 引言

近几年来, 智能电网成为全世界的电力行业的热门议题。许多相关领域的专家对智能电网给出许多各具本国特色的优美阐释和构想^[1-7]。针对我国智能电网的信息海量、信息种类繁多、信息变化速率快慢差异甚大的特点, 以及当前调度系统对数据处理、系统容灾、图模维护、智能分析等等各种服务负担沉重的现状, 文献[8]提出了极具前瞻性的分层分布式电网调度架构, 并已经在华东电网对主站和变电站的信息架构展开积极的探索研究。

智能变电站一体化监控系统站控层划分为安全 I 区和安全 II 区。监控主机部署在 I 区主要监视电网运行数据, 包括测控、保护等关键数据; 综合应用服务器部署在 II 区主要监视一次设备状态检测数据及辅助监控数据, 包括电能量量测等。这种划分

方式, 可实现对站内信息的分类管理、系统安全的差别处理、专业业务级高级应用及业务分析的分区部署, 带来了许多便利。这些划分在不同安全区域的业务应用, 为满足分布式智能调度系统的信息交流, 需要新的技术支持。对于两区应用功能展示, 从用户实际应用需求角度来说, 更希望在一个客户端中, 统一展示和监视。因此迫切需要对变电站的信息架构进行提升, 既保持目前安全分区的优点, 又能对调度的分布式架构给予强有力的支持。本文提出一种智能站分布式数据平台, 并对它的监视应用做了简单的介绍。

目前在某 1 000 kV 特高压站中, 采用全站统一模型和同一个 SCD 配置^[9], 利用分布式数据平台, 完成 500 kV、1 000 kV 联合监视, 综合应用服务器独立监视, 对于部分远程用户来说, 已按照全站统一监视的方式做了实际的部署。

1 分布式智能电网调度系统简介

分布式智能电网调度主要在数据信息和系统功能两方面采用分布式机制, 电网分层和传统一致(大电网、省级、地区级、变电站级), 各层对信息和功能根据它本身的优势进行合理划分, 建立本层全局模型、层间的分布模型, 提升业务智能化水平。本文仅对主站、厂站两层分级结构中的高级业务给予阐述。

依据主从最少协调原则, 把主站高级功能中与单站大量数据分析计算联系紧密的功能转移到厂站, 主站利用厂站上传站域智能分析结果, 只关注电网全局或者对厂站之间有关联的重要信息。主站汇总各厂站分析结果, 利用电网全局信息进行全局综合分析判断, 如果有必要深入分析时, 可以调用所需的分布式数据; 厂站作为主站的一个智能节点, 参与各种高级应用功能的整体分析决策, 实时进行本站内信息的分析推理, 结果上传主站, 利用自己对数据占有的位置优势、冗余优势、时间优势, 提高决策数据的可靠性和实时性, 增强主站智能决策能力。主从合理互动实现信息分层和分布式处理, 提高变电站为电网运行和维护服务的智能性, 从而减轻主站的负担, 提高数据的可靠性, 避免重复维护, 提高工作效率。

智能变电站一体化监控系统站控层(简称子站)与调度控制中心侧调度自动化系统(简称主站)的结构如图 1 所示, 子站在监控系统的支持下, 完成站内拓扑分析、状态估计、智能告警, 这些高级应用的分析结果可以互相借鉴, 把分析结果以及文件、浏览信息、其他信息等等上传主站。主站针对不同的高级应用采用相应的处理方法完成数据拼接, 在系统平台的支持下完成各种高级服务应用。比如状态估计, 各个子站已经把主站所需要的一些数据进行正确估计, 这部分数据的估计在主站计算时可以

简化; 而智能告警则不同, 子站已对告警信号进行过滤验证, 主站可省去这些过程, 直接处理过滤后的数据。这些子站高级功能要求有很高的稳定性和可靠性, 并具有自诊断自恢复功能, 以满足无人值守的需求; 系统的运行状态和实时工况可通过远程浏览方式上传主站; 如果异常, 主站利用远程浏览通道进行远程维护, 比如远程重启; 对于系统扩容或者更改, 则需要到站端维护。

2 变电站分布式数据平台方案

2.1 平台需求

分布式智能调度系统功能的实现, 依赖于变电站对各种分布式智能应用的功能框架实现, 这些应用服务的分布式布置, 可选择单独安全分区或者双区并列; 它们的开发和使用, 最终归结为分布式高级应用所需信息的组织、管理、交互。比如智能告警处理全站包括 I 区和 II 区的告警信息; 又如数据辨识, 数据冗余度越高, 辨识效果越好, 需要对同一对象来自 I 区和 II 区监测设备的各种实时冗余的信息进行融合。再比如, II 区的辅助系统智能联动和一次设备智能分析都需要两区相关信息进行综合判断。分布式调度系统结构如图 1。

分布式调度系统对智能站的要求有所不同: (1) 子站要作为一个有机整体, 才能作为分布式调度系统的基层单位发挥同主站的有效信息交互; (2) 为了适应各种高级应用下放到主站的新情况, 子站实时数据库可能有多个, 如状态估计不仅需要传统的实时数据库, 也需要建立时序数据库, 以满足同一时间断面数据的对齐功能, 考虑到系统资源, 这些实时库也采用分布式结构, 部署在不同的服务器上; (3) 统一的数据接口, 能满足不同业务对全景数据的查询。

2.2 数据平台方案

本平台的核心是两层分布式数据库, 数据库第一层可分为多个区域, 各区域作为第二层又可部署多个不同类型的数据库。与传统分布式数据库不同的是, 本平台在对不同区域的数据查询时没有采用分布式数据库的标准配置“目录索引服务”^[10], 而是采用“两级总线+适配器”机制来完成信息查询。

本方案 I、II 区配置共用一个 SCD 文件, 全站所有对象的 ID 唯一, 两区共用一个通信网络, 组成一个全景数据平台, 能减轻全景数据查询时的系统负担, 整体方案配置如图 2 所示。I 区、II 区由防火墙隔离, 共用一个关系数据库存储公用数据模型。两区的标准配置一样, 可以根据实际的情况对所需的数据库有所增减。各分区前置数据通信服务采集数据, 经预处理后交由监控平台分别保存到实时库、

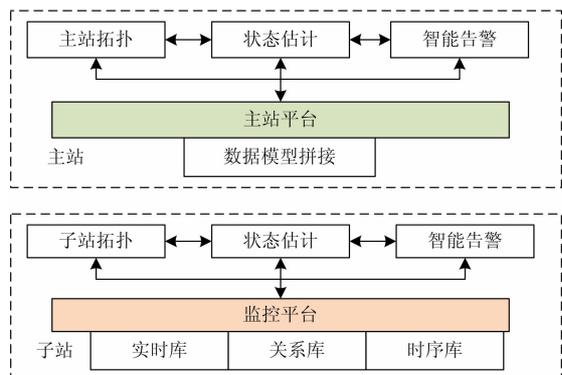


图 1 分布式调度系统结构

Fig. 1 Structure of distributed dispatching system

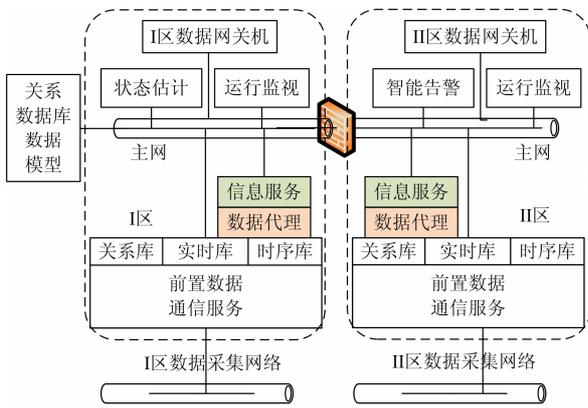


图2 变电站分布式数据平台

Fig. 2 Substation distributed data platform

时序库、关系库中。

分区的关系库和传统的监控平台的关系库功能范围缩小，只保存本区历史数据。时序数据库属于内存中实时库的扩展，主要保存快速顺序变化的数据序列，可以把某些个量测量在某段时间内变化的所有数据保存在实时库中，以供高级应用使用。各个分区的时序库、关系库和实时库共同组成一个分布式数据库。

图2中分布式高级应用比如状态估计和智能告警运行于站端数据平台之上，所需绝大部分数据直接从本区获取，将计算结果存入本地数据库中，通知监控平台把数据交给数据网关机远传给主站。

2.3 分布式数据软总线

目前，传统的数据库，软总线只能通过配置得到数据库对象，无法适应分布式查询；对于传统的分布式数据库，这个工作通常是由分布式数据库的目录服务来完成，每次联接都要查询目录。

本平台数据模型采用统一关系库管理储存。根据各分区业务需求，可以方便地配置实时库、关系库、时序库，为它们分配业务数据模型，数据库之间的分布关系也可灵活配置。虽然没有目录服务，数据总线采用“两级总线+适配器”机制，软总线数据接口能够全景查询。具体结构如图3所示。

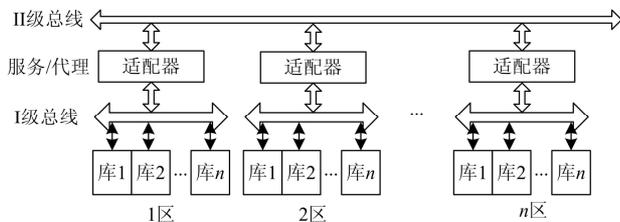


图3 数据软总线

Fig. 3 Data soft-bus

全景数据建模时，数据模型与它运行时的数据库建立关联标识；软总线数据接口利用数据模型的标识，可以选择区内一级总线或者区外二级总线。区内可以方便地得到数据库对象进行数据查询操作；区外则通过信息服务模块和数据代理模块组成的适配器来完成。所有信息服务模块之间建立联络网，接到查询外区命令，并把命令和参数传给对应区域。对方接到跨区查询命令后，信息服务模块向数据代理传递查询信息。数据代理收到区域名和查询参数，再向各个数据库建立连接，执行查询等待数据返回^[11]。

2.4 对分布式业务的支持

如果采用传统的方式，原来I区和II区都有数据网关机向主站传数据，把一些实时测控、保护、PMU等数据直接传给主站，由主站完成高级分析，进行管理和决策。这种方式的弊病非常明显，对主站系统压力大，调度管理人员对于频繁变化的告警数据难以做出迅速有效的处理。

在分布式调度系统架构中，主站对各种数据按业务的需求进行划分归类，可以得到针对不同业务的数据模型，它是子站数据上传的主要目标。和主站相比子站有更多的数据冗余，更容易获得规定时间间隔内的全面数据。子站的工作任务就是利用自己多方面的信息优势，完成各个数据模型的整合，保证数据的完整、准确、可靠。这样子站的冗余数据不用上传，根据需要保存在实时库、历史库，对于时间对齐要求较高的数据可保存在时序库中，以便主站查询。比如状态估计，只需上传估计后电网一次系统中线路、变压器、发电机的电网状态量数据（开关状态、功率、电压、电流等），用于估计运算的多种稳态、动态等冗余生数据则保存在子站；对于智能告警，主站对告警信息按照某种方法分类，分别采用不同的过滤原则，比如站内设备或者装置的故障告警信息只需上传简报，而对大电网故障判断处理有影响的信息就需要采用较为详细的内容。

在分布式调度系统架构中，子站采用分布式数据平台，增强各种冗余数据的处理能力，为主站拓扑分析、状态估计、智能告警等等业务的部分高级数据分析延伸到厂站提供了技术支撑。

2.5 需要考虑的几个问题

分布式数据平台在设计跨区查询时要注意以下几个问题：(1) 不论是相同区域还是不同区域，实时数据库之间数据分配的耦合性要小；(2) 数据查询间隔以秒级为佳；(3) 跨区数据查询量要小，防止系统开销因分布查询急剧上升；(4) 同一系统组态图中的元素不能跨区。

建立在平台之上的业务, 在进行数据建模时原则上应建立在同一数据库或者分区, 如果需要跨数据库或者分区, 应该使得数据耦合尽量地少。需要增加主站获取更为详尽业务数据的功能, 满足主站对子站上传数据可靠性和完备性的确认和探究。

3 基于平台的应用

和变电站一体化监控系统功能划分有所区别, 分布式调度系统子站运行监视, 除了针对电网保护信息、运行信息、一二次设备运行信息采用可视化技术进行综合展示外, 对故障告警信息的监视功能提升为智能告警, 可以对各种故障、告警信息的集中展示、在线实时分析、并能采取智能化应对措施。

对监视功能含义扩展后, 在主从分布式调度架构下, 使得主站和子站的监视也有变化。

3.1 分布式智能告警

主站的智能告警, 包括两个部分, 首先对子站上传的告警信息浏览, 这部分告警信息由子站完成并上传主站, 另一部分是主站利用子站上传的电网故障或者告警信息, 对节点之间可能发生的事故进行分析, 形成告警简报^[12]。

子站的智能告警, 除了按照事故、异常、变位、越限、告知对告警信息进行分类, 完成告警抑制、告警屏蔽、漏报误报分析、关联性分析、统计分析等功能外, 还提供多种查询、展示、传输方式, 满足子站的各种功能需求; 子站经过分析后形成告警简报, 上送主站, 完成告警上报。子站的智能告警部署, 可在分区之间部署, 也可根据分布实时库的独立性, 随实时库部署。

为了适应主站和子站分层分布式告警。对告警信号按照是否与电网有关进行分类, 与电网有关的告警信号, 通常是子站进出线上发生的故障信号, 除了通过告警简报上送主站外, 还要根据这些告警信号的关联关系、发生时序、信号附属的设备进行分组上传相关信息, 便于支持电网相邻接节点之间的事后分析。

3.2 分布式运行监视

子站的监视, 在分布式数据库下, 利用传统的组态监视技术, 完成站内的系统监视。各分区的监视可以采用传统的独立监视。由于平台具有全景查询功能, 也可以根据需要统一起来, 不过由于数据刷新受到跨区查询限制, 实时性有所降低。

主站的监视, 在主站数据库支持下完成主站电网系统级数据的监视, 涉及到子站的数据, 可利用远程浏览技术——“专用客户端+SVG/G 插件”。

如图 4 所示, 远端采用“专用客户端+SVG/G

插件”的形式^[13], 插件支持 SVG 和 G 语言, 得到图形所含对象的 I_d 后, 对象的分区可根据文件的属性性质 (比如名字包含分区编号) 获得, 经由信息服务和数据代理获得, 完成数据采集。告警数据经过智能告警模块整理后数据比较小, 由分布式智能告警模块直接传给远端完成告警信息的展示。

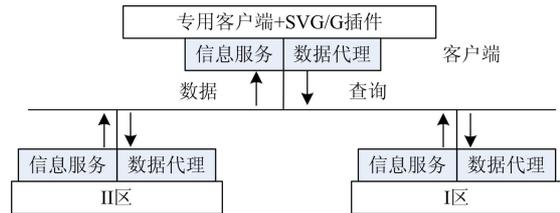


图 4 客户端浏览

Fig. 4 Client browsing

4 工程应用

1 000 kV 特高压安吉站作为皖电东送工程的四个特高压变电站之一, 也是某省目前唯一一座在建特高压变电站, 因为主站仅支持一体化监控系统, 我们只在该站使用了分布式数据平台技术和远端监视技术。

分布式数据平台的应用情况如下。该站共有三个电压等级 1 000 kV、500 kV、110 kV, I 区主要完成三个电压等级的监控, 监控系统工程量大, 全部投运周期长, 500 kV 投运一个里程碑, 于 2013 年 7 月底完成; 1 000 kV 部分、主变部分及 110 kV 部分一个里程碑, 配置智能告警服务, 于 2013 年 9 月底完成。II 区完成一次设备状态监测和辅助监控系统的监控。全站统一的分布式数据库配置包括: I、II 区公用一个关系库, I 区实时库划分为 500 kV 和 1 000 kV 两个实时库, II 区一个实时库, 没有部署时序库。首先建立起全站的 SCD 文件, 之后三部分分别施工, 禁止启动分区之间的信息服务, 特别保证 I 区先期投运的系统与后期系统互不干扰。最后, 启用分区之间的信息服务, 完成全站投运。

监视的应用情况如下。I、II 区分别独立监视, 监视工作站配置在监控主楼。两区之间的通信很方便, 特别是 I 区对 II 区设备的遥控操作和视频联动, 只需传递代表视频设备的 ID 和动作值, 仅仅几个字节。考虑到特高压示范工程展示需要, 电力公司检修分公司在安吉站综合楼 (距离监控主楼 170 m) 会议室也接入监控系统画面, 监视方式采用远端“浏览+智能告警”方式, 智能告警采用分区部署。在实际使用中, 远端机器由光纤连接至安全 II 区的数据网关机, 只有 I 区数据监视需要跨区查询, II 区数据监视不用跨区。具体配置见图 5。

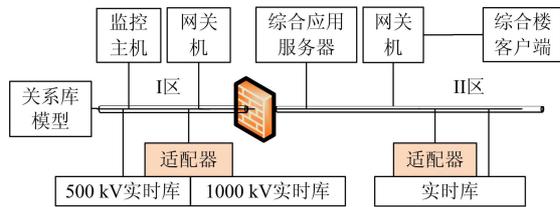


图 5 系统部署

Fig. 5 System deployment

为了对数据平台的运行效率进行评估，投运后采用网络流量分析软件采集到跨区查询的主机流量如表 1 所示，由于两区之间增加了通信代理机制，即便暂停多种服务，无刷新时也有数据流量。数据共分三组操作，分别处于无刷新告警、只有刷新、刷新和告警同时启动三种情况，每组进行三次采样，对应表中每组的三列数据。由于第一次刷新页面时，系统缓存 Id 信息，第二次刷新，只需传递刷新命令，数据流量比较小。从表 1 中看出这种监视方式对流量的影响很小。

表 1 双区流量

Table 1 Double area traffic

方向	单位	第一组			第二组			第三组		
		无刷新告警			只有刷新			刷新、告警		
I→II	Kbps	0.3	0.3	0.4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4
I←II	Kbps	0.2	0.2	0.1	1.2	1.2	1.1	1.2	1.3	1.2

5 结语

随着智能变电站技术以及传感、微芯片技术的深入发展，变电站监控信息容量急剧膨胀。本文对我们应对这种变化的分布式解决方案和工程应用进行总结。总体来说，通过多种类型的分布式数据库的使用，能有效对变电站信息进行划分，减小各种应用服务数据模型之间的耦合，便于安全管理。同时又提供各区之间有效的通信通道，最大限度地保证广泛的变电站冗余信息为各种高级应用服务提供信息融合支持，功能模块相互支撑也留出必要的通道，为分布式调度系统的各种应用提供快速高效的数据平台。但是目前分布式调度架构仍然处于探索阶段，许多高级功能的分布式开发将来会对架构体系提出更具体的要求，特别是不同应用要求数据平台灵活多样地提供数据支撑，因此后续的研究尚需进一步加强。

参考文献

[1] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传, 等. 智能电网控制中心技术的未来发展[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(17): 21-28.

ZHANG Bo-ming, SUN Hong-bin, WU Wen-chuan, et al. Future development of control center technologies for smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(17): 21-28.

[2] 张新昌, 周逢权. 智能电网引领智能家居及能源消费革新[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 59-67.

ZHANG Xin-chang, ZHOU Feng-quan. Smart grid leads the journey to innovative smart home and energy consumption patterns[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 59-67.

[3] 尹明, 王成山, 葛旭波, 等. 中德风电发展的比较与分析[J]. 电工技术学报, 2010, 25(9): 157-161.

YIN Ming, WANG Cheng-shan, GE Xu-bo, et al. Comparison and analysis of wind power development between China and Germany[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(9): 157-161.

[4] 宋小会, 郭志忠, 倪传坤, 等. 区域电网集中式网络保护研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(13): 43-47.

SONG Xiao-hui, GUO Zhi-zhong, NI Chuan-kun, et al. Research on centralized network protection of regional power grid[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(13): 43-47.

[5] 刘晓胜, 庞继伟, 徐殿国, 等. 基于蛛网结构的智能变电站过程层 GOOSE 网组网可靠性与实时性研究[J]. 电工技术学报, 2013, 28(1): 245-250.

LIU Xiao-sheng, PANG Ji-wei, XU Dian-guo, et al. Research on the reliability and real-time of process layer GOOSE network scheme in smart substation based on spider web topology structure[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(1): 245-250.

[6] 高志远, 姚建国, 曹阳, 等. 智能电网发展机理研究初探[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(5): 116-121.

GAO Zhi-yuan, YAO Jian-guo, CAO Yang, et al. Primary study on the development mechanism of smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(5): 116-121.

[7] 朱林, 段献忠, 苏盛, 等. 基于证据理论的数字化变电站继电保护容错方法[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 154-161.

ZHU Lin, DUAN Xian-zhong, SU Sheng, et al. Evidence

- theory based fault-tolerant method for protective relays in digital substations[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 154-161.
- [8] 华东电力调度中心, 清华大学. 华东电网分布式状态估计试点应用实施方案研究报告[R]. 2012.
- [9] Q/GDW 678-2011 智能变电站一体化监控系统功能规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2011.
- [10] 李章兵, 车乌江. 基于全局目录的分布式数据库数据一致性算法[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(9): 77-80, 84.
- LI Zhang-bing, CHE Wu-jiang. Data consistency algorithm based on global directory in distributed database[J]. Computer Technology and Development, 2011, 21(9): 77-80, 84.
- [11] 王越, 杨平利, 杨梅, 等. 一种分布异构数据库集成中间件的设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(7): 80-83, 87.
- WANG Yue, YANG Ping-li, YANG Mei, et al. The middleware of integration heterogeneous DDB's designing and realizing[J]. Micro Electronics & Computer, 2009, 26(7): 80-83, 87.
- [12] 王雷. 告警直传与远程浏览在浙江省调度中的应用[J]. 供用电, 2012, 29(5): 52-55.
- WANG Lei. Alarm upload and remote applied in Zhejiang Province dispatching[J]. Distribution & Utilization, 2012, 29(5): 52-55.
- [13] 韩双旺. 基于 SVG 的矢量 WebGIS 实现技术研究[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 193-196.
- HAN Shuang-wang. Research on the vector WebGIS realization based on SVG[J]. Science of Surveying and Mapping, 2010, 35(2): 193-196.
-
- 收稿日期: 2014-03-13; 修回日期: 2014-05-26
- 作者简介:
- 李江林(1967-), 男, 教授级高工, 长期从事电力系统自动化领域的研究与开发工作;
- 张道杰(1970-), 男, 本科, 工程师, 研究方向为电力系统自动化; E-mail: zdj6638@sina.com
- 赵毅(1992-), 男, 在读本科生, 研究方向为电气工程与自动化。