

# 智能调度系统信息综合可视化方法

沈国辉<sup>1</sup>, 孙丽卿<sup>1</sup>, 游大宁<sup>2</sup>, 马强<sup>2</sup>, 赵林<sup>1</sup>, 刘艳<sup>1</sup>

(1. 国网电力科学研究院, 北京 100192; 2. 国网山东省电力公司, 山东 济南 250100)

**摘要:** 近来国内外对可视化的研究越来越受到重视, 在电网调度自动化系统中可视化技术的应用也越来越广泛, 但是目前缺乏对可视化方法的系统研究。总结出一套电力系统可视化系统展示的技术及方法, 将可视化技术在电网调度自动化系统中的应用分为四个层次, 第一层是数据图形化, 将电网运行中的基础数据进行全面展示; 第二层是信息层次化, 将关键信息进行分层次主动展示; 第三层是信息集成化, 将关联信息进行联合展示; 第四层是信息智能化, 分析各类数据、信息的关联关系, 为调度运行提供辅助决策。通过可视化技术的应用, 使系统运行人员更方便、直观地掌握当前系统的运行态势, 进而采取更有效、更有针对性的运行控制措施。此方法在国调中心、福建、山东省调等调度自动化系统中的成功应用证明了方法的可行性和适用性。

**关键词:** 可视化; 虚拟现实; 智能调度; 调度自动化; 智能告警; 智能电网

## Intelligent dispatch system information comprehensive visualization method

SHEN Guo-hui<sup>1</sup>, SUN Li-qing<sup>1</sup>, YOU Da-ning<sup>2</sup>, MA Qiang<sup>2</sup>, ZHAO Lin<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>1</sup>

(1. Electric Power Research Institute of State Grid, Beijing 100192, China;

2. State Grid Shandong Electric Power Company, Jinan 250100, China)

**Abstract:** Recently more attention is paid to the study of visualization at home and abroad, the application of visualization technology in power grid dispatching automation system is becoming more and more widely, but there is lack of systematic research on visual display method at present. This paper summarizes a set of power system visualization display technology and the methods. The application of visualization technology in power grid dispatching automation system is divided into four levels, the first layer is the graphical data, which fully shows the basic data of power grid operation. The second layer is a hierarchical information, in which the key information is shown initiatively from different levels. The third layer is the information integration, which displays joint correlation information. The fourth layer is the information intelligence, which is to analyze the relationship among various kinds of data and information and to provide auxiliary decision making for dispatch operation. Through the application of visualization technology, the system users can master the current system operation state more conveniently and more intuitively, so that the users can adopt operational control measures more effective and more targeted. This method has been applied in dispatch control centers dispatching automation system in SGCC, Fujian Province and Shandong Province successfully which proves the feasibility and applicability of the proposed method.

This work is supported by National High Technology R & D Program of China (863 Program) (No. 2011AA05A118).

**Key words:** visualization; virtual reality; intelligent dispatch; dispatch automation; intelligent alarm; smart grid

中图分类号: TM73; TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)13-0129-06

## 0 引言

智能电网是未来电力系统的理想解决方案。调度环节是智能电网的神经中枢, 最需要智能化也最

能体现智能特征。然而目前调度自动化系统的安全稳定运行严重依赖调度人员, 特别是在事故紧急情况下, 面对海量数据时的实时决策困难, 使得调度运行人员负担沉重, 迫切需要建设一套能为调度员及时掌控电网运行态势、能为处理紧急事故提供辅助决策的智能调度系统。另一方面电力系统可视化通过对数据进行挖掘, 提取关键信息以及预警、告

**基金项目:** 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2011AA05A118)

警、故障等信息，并采用形象生动的展示方式，因此能够为电网智能调度提供重要技术支撑。国内外对可视化技术在电力系统的应用开展了相关研究，并且重视程度越来越高。

文献[1]中开发了一系列与电力系统相适应的二维图形、三维图形等可视化表达方式。文献[2-6]对可视化技术在电网运行中的应用进行了研究和有益尝试，实现了电网运行信息从静态、二维平面、孤立数据的展示方式到动态、三维立体、连续图形的展示方式的转变。

文献[7]中实现的系统采用可视化专业技术，实现了稳态和动态数据的统一展示，并提供了高效、生动的可视化显示手段。文献[8]和文献[9]中开发的特高压调度运行支持系统实现了分布式数据的集成和交换、稳态和动态数据的统一显示，并提供了高效、生动的可视化显示手段。

文献[10]研究了统一、兼容、集成的电力系统可视化平台与标准的可视化方法库；构建了基于SVG技术的可扩展的可视化应用平台。文献[11]结合计算机图形学提出了可视化图形模型，为电力系统的可视化提供了方法。文献[12]综述了国内外电网智能调度的实践情况，对智能调度的需求、考虑因素等若干问题进行了探讨。文献[13]研究了在线可视化调度和预警系统的设计方案。文献[14]给出了告警系统智能化设计的思想。

目前在电网调度自动化领域对可视化方法进行系统设计尚显不足，对基于虚拟现实技术的三维展示技术的研究有待加强。信息可视化及智能化，是目前国内外学者研究的重点。本文在经过深入研究之后，总结出了一套电力系统可视化展示的技术及方法，将可视化技术在电网调度自动化系统中的应用分为四个层次，即数据图形化、信息层次化、信息集成化和信息智能化，并基于此项技术开发了一套可视化框架和可视化综合展示系统，以下简称系统。系统设计的原则是将数据应用分析计算与可视化展示方式分离，将可视化框架分为计算分析数据层、数据交互层、图形可视化渲染层，将各种可视化展示方式进行抽象和提取，可作为公共应用为其他模块提供人机展示服务。

## 1 数据图形化

数据图形化是将电网运行中的基本数据，如电网及其相关设备状态、环境数据，进行全方位图形展示。电网运行数据可以采用二维图形结合地理信息进行展示。

### 1.1 可视化展示手段

可视化展示手段包括跑动箭头、饼图、棒图、等高线、挂牌、管道图、表计、曲面、动画、闪烁等。系统设计考虑以下要求：1) 可以灵活扩展，根据业务的需要，新的可视化手段可以以组件方式加入到系统中。2) 展示手段与数据分离。3) 细节提示。当鼠标悬停到展现图元上时，能查看详细信息。4) 叠加显示。在展现手段不冲突时，可以实现多种展示方式叠加。

### 1.2 地理潮流图

结合地理图，系统实现了地理背景图层支持，它负责根据当前缩放比例及视口位置动态载入和拼接地理图背景。地理图背景图片按照几种典型的缩放比例分目录存储，图片按照经纬度排列位置关系命名。系统实现了任意方向潮流流动、局部潮流控制、潮流越限警示等多种特性，可以满足主网架潮流监视的需要。

## 2 信息层次化

信息层次化是将关键信息主动展示，可以根据使用人员关注点的不同突出展示不同层面的关键信息。例如系统采用区域化展示的方法突出不同区域的信息，采用放大镜对所关注的信息进行局部分层细化展示。

### 2.1 区域展示

系统实现了集实时监控、故障告警和系统预警一体化的电网潮流图，分区域清晰表达电网的架构、运行状态以及负荷、稳定裕度等重要信息，其中地理背景图为基于改进的示意性地理背景，根据电网监测的需要突出重点区域，突出区域间的功率交换和断面。潮流图中支持厂站、线路分布展示，线路支持潮流流动的动态可视化。采用断面裕度雷达图元直观地动态显示各个断面的裕度情况，雷达图元可以绑定动态的上限值和下限值，当断面裕度小于额定裕度时进行告警。

### 2.2 放大镜浏览

放大镜功能有助于用户在全景地理接线图的不同区域同时查看电网不同层面的数据信息，从而减少用户调阅画面的次数。具体展现方式如下。

采用放大镜技术，可以动态、灵活展示国网省调电网的主网架情况。放大镜有如下功能：

1) 放大镜至少支持 16 倍图形放缩。

2) 放大镜至少支持 5 层数据信息展示，逐层更详细显示电网信息。500 kV 电网信息、220 kV 电网信息、有功量测、电压量测、断面信息、站内信息等分不同层展示。

3) 放大镜的放大倍数、图层可以随时调整。

4) 放大镜显示的图形支持任何应有的操作, 包括右键操作、设备信息悬浮显示等功能。

如图 1 所示为放大镜实现框图, 基于 JavaSwing 的双缓存机制实现图像的绘制, 通过剪裁和动态擦除机制实现全景地理接线图放大后图形对象的绘制。放大镜通过层层钻取底层图形, 利用“画中画”将底层详细电网运行状态同时展示出来, 充分利用屏幕空间实现宏观信息与微观细节的同时展现。如在 500 kV 网架图中采用放大镜显示下层 220 kV 线路及量测的详细信息。如图 2 所示。

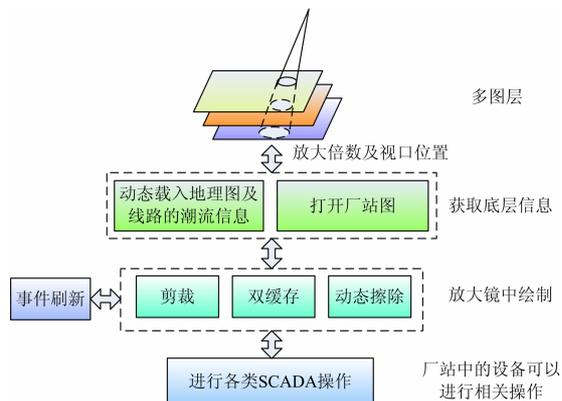


图 1 放大镜实现框图

Fig. 1 Manifing glass implement diagram

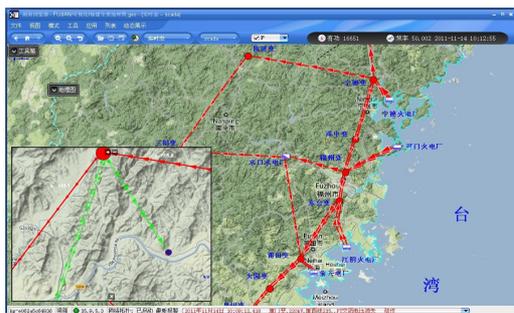


图 2 放大镜中显示 220 kV 线路及量测效果图

Fig. 2 220 kV lines and measurement effect diagram displayed with a magnifying glass

### 3 信息集成化

信息集成化是指将关联信息联合展示, 以主题思想为指引, 将处理某一特定任务所需要的相互关联的信息组织在一起, 联合展现。系统实现的综合智能告警功能体现了信息集成化的思想。

#### 3.1 综合智能告警机理总述

综合智能告警将稳态监控、动态监测、故障录波、告警直传等的报警信息统一进行分析展示。综

合利用稳态、动态、暂态、预警等应用提供的告警信息进行在线汇总分析, 智能准确地推理出电网一次设备故障、系统异常、系统预警、计划偏差等综合告警; 通过告警统一多级分类、规范各应用告警源和输出信息、配置应用部署等方式, 提高功能易扩充性和自适应性; 以基于地理信息的全景潮流图为基础, 通过具有可视化效果的多窗口主题展示工具, 集成显示告警后调度员所关注的画面、信息和辅助决策。

如图 3 所示, 当有故障发生时系统状态行的告警灯会闪烁, 可以查看左上告警简报信息, 查看元件故障的时间、类型等信息, 通过地理图定位故障, 查看故障发生时相关详细信息, 查看相关告警信息及调度调整策略。

以下介绍综合智能告警相关的特色功能。

#### 3.2 综合智能告警特色功能

##### 1) 预警报警

系统预警主要显示网络分析、在线预警的计算结果, 提示调度员系统可能存在的潜在问题。包括静态安全分析的有害开断越限情况、暂稳计算结果、短路电流以及电压稳定、频率稳定计算的结果。采用棒图显示越限百分比。

##### 2) 故障告警

故障告警主要显示综合智能告警的结果, 默认显示最近两天的告警, 如果最近两天没有告警, 则显示日期最新的十条告警。

##### 3) 告警定位

选中某条故障时, 点击工具栏中的故障定位按钮, 如果画面中右侧是地图, 可以定位该条故障的位置, 定位效果如图 4 所示。

挂牌和定位按钮是状态按钮, 点亮后表示目前进入挂牌定位状态, 这时点击故障可以一直进行挂牌和定位故障, 如果按钮是暗的, 表示没有进入该状态。树形结构展开和并拢按钮可以实现将故障信息展开显示和关闭显示。选中某个故障点击详细信息按钮, 可以进入综合智能告警的主题画面显示告警的详细信息。

### 4 信息智能化

信息智能化是指将各类信息进行高层次综合分析、计算、运用, 提供调度辅助决策信息。相关信息既可以在二维图形系统显示, 也可以在三维空间或虚拟现实的场景中浏览。以下以灵敏度分析功能、虚拟现实三维展示功能举例说明。

#### 4.1 灵敏度分析可视化

系统实现了灵敏度分析可视化, 主要用于电网

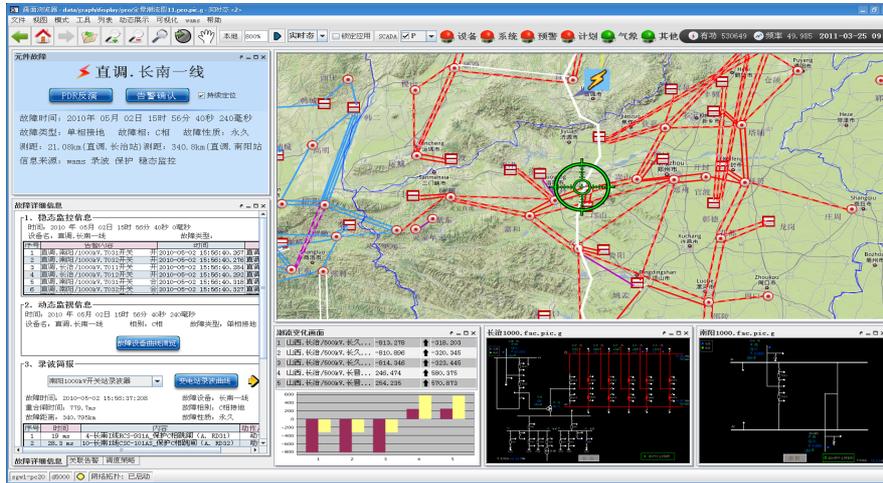


图3 综合智能告警效果图  
Fig. 3 Integrated intelligent alarm effect diagram

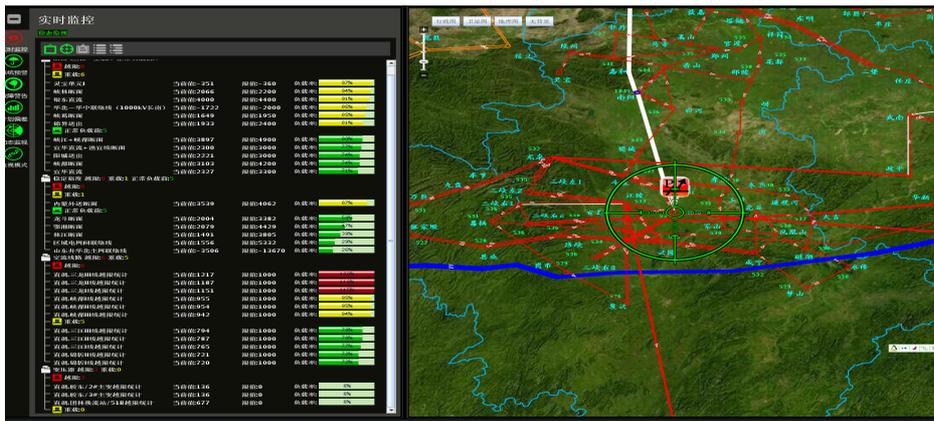


图4 故障定位效果图  
Fig. 4 Fault location effect diagram

实时运行方式下的越限调整策略辅助决策。系统实现了基于全景地理图的灵敏度计算、基于主题的灵敏度快速计算两种触发和展示方式。将灵敏度分析结果按照关联灵敏度大小在厂站或设备上以标识牌可视化展示，或将负载率越限的线路根据严重程度显示为橙色、黄色或者红色。

#### 4.2 虚拟现实三维展示

采用虚拟现实技术对变电站进行建模并在三维空间进行渲染，实现了设备带电运行状态展示，通过面向服务的通讯方式，三维电网场景进程订阅和接收场景中设备和线路的带电状态，对于失电的设备和线路以白色整体渲染的方式来突出显示。

系统实现了刀闸开关的实时状态显示，订阅和接收场景中开关、刀闸、地刀等的分合状态信息，并以三维动画的形式展示设备的分合状态变化的中间过程。系统实现了设备的实时挂牌展示，以形象

的方式实现在设备上方放置或取消虚拟的三维挂牌对象。

三维虚拟现实不仅展示了一次设备的运行状况，如图5所示，也展示了二次设备的运行状况。



图5 一次设备运行状况图  
Fig. 5 Device running status diagram

## 5 结语

文中在研究可视化展示手段、地理潮流图、基于虚拟现实的厂站建模、区域展示、放大镜展示、综合智能告警、辅助决策等基础上, 总结出一套电力系统可视化展示的技术及方法, 将可视化技术在电网调度自动化系统中的应用分为四个层次, 第一层是数据图形化, 将电网运行中的基础数据进行全面展示; 第二层是信息层次化, 将关键信息进行分层次主动展示; 第三层是信息集成化, 将关联信息进行联合展示; 第四层是信息智能化, 将信息进行多层次综合运用, 分析各类数据、信息的关联关系, 为调度运行提供辅助决策。

基于可视化展示技术开发的功能具有如下特点:

1) 一体化设计。可视化应用系统采用与现有EMS系统“一体化”的设计, 与目前系统功能完全兼容, 采用一套软件, 共用一套网络模型。

2) 高实时性和高可靠性。可视化应用系统展示的数据和普通图形的数据读取方式是一样的, 与后台数据库的通信使用相同的接口, 数据刷新周期可以单独定义, 这样既保证了数据刷新的实时性, 又防止可视化展示功能和其他监视功能互相干扰, 提高了可靠性。

3) 灵活性。同一个数据可以用不同方式展现, 而且可视化功能和其他功能可以同时并存, 也可以单独展现。

4) 免维护。可视化应用和其他监视功能使用的是同一套图形和维护工具, 不需要进行图形转换就可直接显示, 实现了免维护。

上述可视化功能已在国、网、省多个调度控制中心, 如国调中心、福建、山东省调自动化系统中稳定、可靠运行, 为运行人员提供了更加形象和直观的可视化展示手段, 从而方便地把握当前系统的运行态势, 及时发现系统运行中的异常信息, 采取及时有效的运行控制措施。今后电力系统可视化技术将向大数据挖掘、综合信息智能化分析、基于虚拟现实技术的三维展示等方向发展。

## 参考文献

[1] 李大勇, 马冬雪, 王晓宁, 等. 电网信息可视化应用研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 156-158.  
LI Da-yong, MA Dong-xue, WANG Xiao-ning, et al. Application research of power message visualization[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(23): 156-158.

- [2] OVERBYE T J. 电力系统可视化[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(16): 60-65.  
OVERBYE T J. Power system visualization[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(16): 60-65.
- [3] 赵冬梅, 邱辰, 张旭. 地区电网可视化实用无功优化与规划系统的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(3): 123-127.  
ZHAO Dong-mei, QIU Chen, ZHANG Xu. Design of visual and practical reactive power optimization and planning system in area network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(3): 123-127.
- [4] 李刚, 李善综, 程春田, 等. 电网检修计划编制的智能可视化方法及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(13): 145-150.  
LI Gang, LI Shan-zong, CHENG Chun-tian, et al. Intelligent visualization method and application of making maintenance scheduling for provincial power grid[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(13): 145-150.
- [5] 夏成军, 谢奕, 邱桂华. 可视化地铁供电系统继电保护整定软件的开发[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(10): 116-120.  
XIA Cheng-jun, XIE Yi, QIU Gui-hua. Development of visual relay protection setting calculation software for metro power supply system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(10): 116-120.
- [6] 张菁, 蒋愈勇, 王化龙. 基于科学计算可视化技术的电网调度系统应用[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(4): 123-126.  
ZHANG Jing, JIANG Yu-yong, WANG Hua-long. Application of power grid dispatching system based on visualization in scientific computing[J]. Computer Systems & Applications, 2010, 19(4): 123-126.
- [7] 沈国辉, 余东香, 孙湃, 等. 电力系统可视化技术的研究和应用[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 31-36.  
SHEN Guo-hui, SHE Dong-xiang, SUN Pai, et al. Research and application of power system visualization technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 31-36.
- [8] 沈国辉, 刘金波, 陈光, 等. 特高压调度运行支持系统关键技术[J]. 电网技术, 2009, 33(20): 33-37.

- SHEN Guo-hui, LIU Jin-bo, CHEN Guang, et al. Key technologies for UHV dispatching operation support system[J]. Power System Technology, 2009, 33(20): 33-37.
- [9] 沈国辉, 李立新, 狄方春, 等. 特高压电网调度自动化系统的数据集成和可视化展示[J]. 电力系统自动化, 2009, 32(23): 94-97.
- SHEN Guo-hui, LI Li-xin, DI Fang-chun, et al. Data integration and visualization representation for the UHV power grid dispatching automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(23): 94-97.
- [10] 赖晓文, 陈启鑫, 夏清, 等. 基于 SVG 技术的电力系统可视化平台集成与方法库开发[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(16): 76-81.
- LAI Xiao-wen, CHEN Qi-xin, XIA Qing, et al. Development of power system visualization platform and methods library based on SVG technology[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(16): 76-81.
- [11] 袁灏, 胡文玲, 王建功, 等. 电力系统数据可视化图形模型分析及应用[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2012, 35(3): 350-352.
- YUAN Hao, HU Wen-ling, WANG Jian-gong, et al. Analysis and application of power system data visualization graphics and model[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition, 2012, 35(3): 350-352.
- [12] 马韬韬, 郭创新, 曹一家, 等. 电网智能调度自动化系统研究现状及发展趋势[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(9): 7-11.
- MA Tao-tao, GUO Chuang-xin, CAO Yi-jia, et al. Current status and development trend of intelligent dispatching automation system of power system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(9): 7-11.
- [13] 刘俊勇, 陈金海, 沈晓东, 等. 电网在线可视化预警调度系统[J]. 电力自动化设备, 2008, 28(1): 1-5.
- LIU Jun-yong, CHEN Jin-hai, SHEN Xiao-dong, et al. Online visual dispatch and early warning system of power grid[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(1): 1-5.
- [14] 杨洪耕, 明娇, 代海波. 地区电网智能告警的实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2011, 23(2): 105-109.
- YANG Hong-geng, MING Jiao, DAI Hai-bo. Realization of intelligent alarm system for district power network[J]. Proceedings of the CSU-EPSSA, 2011, 23(2): 105-109.

收稿日期: 2013-09-17; 修回日期: 2013-10-22

作者简介:

沈国辉(1968-), 男, 通信作者, 硕士, 研究员, 主要从事电网调度自动化、配电自动化的研究与开发; E-mail: sgh315@sina.com

孙丽卿(1976-), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事电网调度自动化的研究与开发;

游大宁(1977-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电网调度自动化的研究与管理。