

多维分析技术在跨辖区一体化调度自动化系统中的应用

欧睿¹, 杨渝璐², 张琳²

(1. 国网重庆市电力公司, 重庆 400014; 2. 国网重庆市电力公司长寿供电分公司, 重庆 401220)

摘要: 结合重庆电网扁平化管理现状, 配合“大运行”体系完善提升, 重庆电网采用跨辖区一体化模式进行了渝东南、渝东北片区调度自动化系统建设。系统建设过程中发现随着接入厂站增多、监视信息同步增加, 传统的事项窗、典型报表等数据展示方式已无法满足各级调度、监控人员的需求。因此, 在跨辖区一体化系统中引入基于多主题、多维度的调控可视化技术及电网数据分析技术, 针对大规模电网一体化监控需求, 提出了调控多维可视监视的概念。根据专业人员对调控业务信息的关注重点, 对母线电压稳定、电网潮流分析和稳定、电网供电裕度和安全等方面提供科学的监控手段。通过现场的多维可视化技术的应用, 有效提升了电网调控安全水平。

关键词: 跨辖区一体化; 电网调控; 可视化; 多维分析

Application of multi-dimensional analysis technology for power dispatching automation across jurisdictions integration

OU Rui¹, YANG Yu-lu², ZHANG Lin²

(1. State Grid Chongqing Electric Power Company, Chongqing 400014, China; 2. State Grid Chongqing Changshou Electric Power Company, Chongqing 401220, China)

Abstract: Together with the present situation of Chongqing power grid flat management, Chongqing power grid has completed the construction of dispatching automation for the area of the southeast and northeast of Chongqing, because of perfecting the “Big Run” system. In the process of construction, the traditional way of data to demonstrate, such as the window of the matters, the typical report, has been unable to meet the requirements of scheduling, monitoring person, with the increasing station and more and more information for monitoring. Therefore, the regulation of visualization technology and grid data analysis technology based on multi-theme, multi-dimensional is introduced to crossed jurisdictional integration system and the concept of regulation of multi-dimensional visual monitoring is put forward to meet the need of the integration of large-scale power grid monitoring. According to the professionals focusing on regulating the business information, the system can provide a scientific means to stabilize bus voltage, analyze the power flow and monitor the power supply redundancy. By the application of the multi-dimensional visualization technology, the safety level of power grid control is improved effectively.

Key words: across jurisdictions integration; grid control; visualization; multi-dimensional analysis

中图分类号: TM734 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2014)23-0149-06

0 引言

随着我国电力建设的迅速发展, 电网结构日趋复杂, 社会生活水平的日益提高对电网调度的安全性、可靠性要求越来越高, 而随着信息技术日新月异的发展, 调度监控自动化、智能化水平日益提升^[1-2]。

重庆市电力公司通过跨辖区一体化调度自动化系统(以下简称一体化系统)建设等多项举措, 积极开展大电网综合监控运行、调度集约化运行管

理等相关工作。调度及监控人员面临着功能更加齐全、更加复杂的系统, 面临更高的调控目标和更多的调控任务。随着系统规模越来越大、各种数据越来越多, 传统的数据显示方式已不能很好地满足调控需求^[3-4]。如何采用更有效、直观的手段展示电网运行信息已成为一个重要的研究课题。

可视化技术^[5-6]就是目前业界推荐的主流解决方案, 即将传统的用数字、表格等方式表达的信息转换为通过先进的图形技术、显示技术来表达的图形信息, 将电力系统的潮流、电压稳定域等

重要信息用形象直观的可视图形表达^[7], 更好地满足电网调控人员监视、控制的需要。

1 电力系统可视化技术的内容及方法

可视化的目的是利用计算机产生的图像传达信息, 而这些信息可能需要成千上万的文字又或者需要与电力系统相关的成千上万的数字才能表达清楚^[8]。其核心原理是采用二维或三维图形, 通过大小、颜色、透明度、位置关系、动画等多个维度, 按照一定的规则进行编码, 使之能携带尽量多的信息, 最终反映给使用者^[9]。在考虑一个具体的可视化方案时, 必须对各种可用的编码方式进行合理的组合和权衡, 使最终形成的可视化方案直观清晰, 主题鲜明。

1.1 可视化系统的实现

调度自动化系统可视化应用充分借鉴了科学计算可视化的方法, 更加直观形象地反映电网的运行状况和计算分析结果^[10]。可视化的方法主要有颜色映射法、等值线、立体图法和层次分割法等。随着电网可视化主题的丰富和展示手段的进一步研究, 越来越多的可视化手段在跨辖区一体化系统的运行中得到了很好的应用。

为了在图形上显示尽可能多的信息, 同时又使用户可以一目了然地了解系统的可视化效果, 可以用到三维可视化技术。对绘制好的二维图形, 进行透视处理, 增加三维数据显示, 使用高度和体积展示电压、功率、负载等情况, 增加图形的信息承载量^[11]。

针对跨辖区一体化调度自动化系统规模大、数据海量, 采用面向主题的电网数据可视化展示, 根据电网关注的不同侧面, 抽象出“主题”的概念, 所谓主题包括可视化展示的基础图形, 用于该主题展示的可视化配置和一个可视化展示插件, 可视化主题配置如图 1 所示。

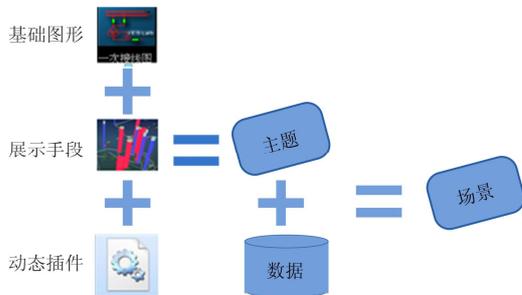


图 1 主题场景配置示意图

Fig. 1 Configuration of theme scene

1.2 可视化多维分析整体设计

系统采用三维可视化展示平台, 实现地理图

信息的三维展示。地图采用重庆卫星地理信息图或重庆的行政图, 支持重庆各供电公司各电压等级变电站以及各电压等级线路的经纬坐标信息。

展示分布如图 2 所示。

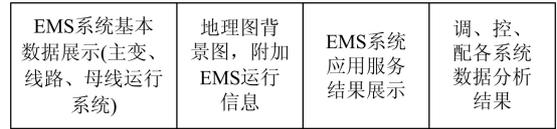


图 2 系统展示布局示意图

Fig. 2 Layout diagram of power system

可视化系统的数据流向如图 3 所示。

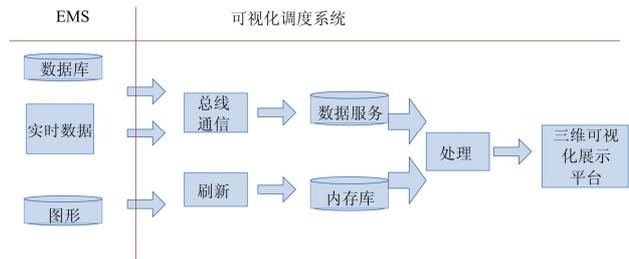


图 3 系统数据流向示意图

Fig. 3 Layout diagram of data direction

设计重点如下:

(1) 在辖区卫星地理信息图上按照变电站实际经纬度坐标放置变电站图标并显示变电站名字, 形成整个供电区域的地理简图。

(2) 在变电站图标的两侧采用文字描述的方式列出变电站运行统计信息和变电站负载情况。交流变电站、直流变电站、未来的风场及光伏电站采用不同的图标以区分, 不同电压等级的变电站图标也要不同。

(3) 电网线路采用经纬坐标在地理图上标注, 只用关键经纬度坐标, 线路走向平滑。线路采用不同的透明度以显示线路负载, 负载越低, 透明度越高, 保证可见^[12]。

(4) 一次电网潮流图的线路详细运行信息展示线路负载比。负载比可以采用不同的方案比如文字或是饼图^[13], 根据负载的严重程度采用不同的颜色进行展示, 与电压等级的颜色进行区分。

变电站卫星地理图如图 4 所示。

2 信息多维分析集中展示

重庆跨辖区区县一体化运营后, 渝东南片区系统需要整体监控一个包含 9 个县域的电网。针对调控配各专业人员的特点, 深度挖掘各专业人员的信息关注点, 把不同专业的关注点进行分析, 提供数据分析服务, 将结果采用不同的展示手段

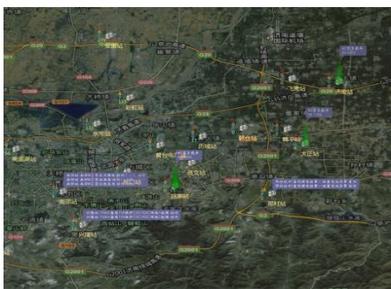


图4 变电站卫星地理图

Fig. 4 Satellite map of station

进行展示,并保证各专业人员的展示界面互不干扰,同时保证大屏幕综合展示系统上展示数据的时效性^[14]。

2.1 实时信号统计

一体化系统完善了实时信号统计功能。所有的信号类事项信息从 EMS 系统中直接获得,经过滤后发送给多维分析模块。

统计方式有按类别全网统计和按厂站进行类别统计。

1) 按类别统计

事故、重要、异常、越限、变位、告知等各类信息的数量统计:

统计全网内各类信息在 5 min 之内发生的数目,在可视化展示界面的上部采用透明数字的方式进行提示,以提醒监控人员最近 5 min 内发生的信号数目。每类信号的颜色与系统原定义颜色相同。

2) 各类信息的百分比

统计 5 min 内发生的各类信息的百分比,采用三维立体圆饼的方式进行展示,让监控人员了解 5 min 内发生的各类信息的比例。

3) 按厂站统计

统计每个厂站 5 min 每一类信息的数量,在厂站图标的左侧展示站内信号统计信息。每类信号字的颜色与系统原定义颜色相同。

实时信号按类统计如图 5 所示。

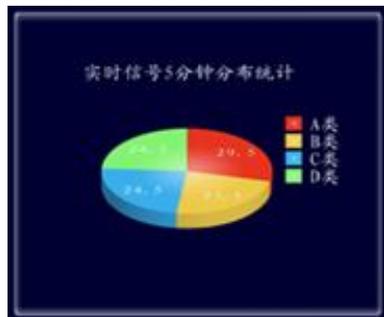


图5 实时信号按类统计图

Fig. 5 Real-time signal according to the types of statistical graphs

2.2 历史信号统计

综合监控服务实现信号按类别的历史统计。统计当日 0 点起,按照 5 min 的数据扫描和统计的间隔密度,统计和展示各类信号的数量累计值,采用面积图展示所占比例。展示的数据是当天各类信号的发展图,可以看出各类信号当天的发展趋势。通过各类信号发展的斜率可以准确地了解每类信号在某天的哪些时刻发生比较频繁。

每日历史信号发展如图 6 所示。

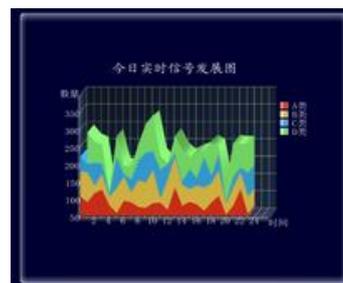


图6 历史信号发展图

Fig. 6 History signal of development trend graphic

2.3 实时信号显示

综合监控服务采用滚动事项窗的方式滚动显示最近 50 条的记录。事项窗显示事项的主要内容及发生时间。

对每类信号采用不同的颜色以区分。整个监控平台所有的信号都通过不同颜色进行区分,在不同的显示区域,每类信号的颜色相同。

针对系统的分类,格外关注保护动作、重合闸动作等消息。

为避免信号风暴,滚动事项窗主要展示事故、异常以及重要信号,用不同的颜色区分。

在地理图变电站位置,采用冒泡方式显示本站内实时发生的信号,同样为避免信号风暴,显示事故、异常以及重要三类比较重要的信号。

事项滚动窗口如图 7 所示。



图7 事项滚动窗口

Fig. 7 Items rolling window

3 设备运行状态多维分析集中展示

调度员值班过程中往往只关心电网异常的状况和信号，同时根据季节、天气、社会事件的不同，调度员关注电网的角度也不同。针对调度员关注点的不同，需要把来自电网的具体数据抽象成不同的概念指标，并对每一种指标给出一个合理的空间，包括安全空间、预警空间、报警空间。在电网正常状态下，每一种概念指标都位于安全空间，此时调度员可以不用特别的关注；当电网发生异常情况时，某些指标会呈现出异常状态，通过声光图像等方式，提供预警、告警等信息，以引起调度员的注意，同时利用可视化技术手段，把电网异常情况以直观的方式展示给调度员。当调度员需要了解详细信息时，系统能逐级呈现该指标的抽象过程，调度员可以根据这些信息直接定位到引起概念指标异常的区域或设备，并根据系统给出的处理预案进行处理。具体的监控指标体系说明如下。

3.1 全网母线实时电压监视

电压质量是衡量供电质量的一个重要指标，电压合格率一直是地区调度重点关注的指标之一。采用电网潮流图作为背景，采用标尺表示在变电站旁边，表示对应的母线电压水平，通过电压合格率监视曲线以及基于等高线、等深线的展示方式，运行使用人员只需要在全局图上看一眼便可清楚地知道整个电网电压区域分布关系。

当有越限时，自动弹出小窗口显示哪些母线电压不合格，并给出调整策略，通过调整变压器分头或者投切电容器/电抗器来消除越限。

母线电压展示如图 8 所示。



图 8 母线电压展示

Fig. 8 Busbar voltage display

3.2 设备负载率监视

随着互联大电网的形成，电网潮流的快速变化对电网的安全稳定运行提出了更高要求，调度运行人员对于设备的负载率的关注和控制也成为必然，

尤其是一些长期重载设备。

以线路为例，当输送功率接近设备的极限时，进行报警，并给出经过安全校核的负荷转移路径。系统提供多种可视化视图展示设备的负载率，包括饼图、棒图等。图示以线路负载率和传送潮流监视界面为基础，采用饼表示线路的负载率，采用流动的箭头形状表示线路传送有功潮流的方向和大小，不同线路上的三角形大小不同，可以定性表示相应线路有功潮流的大小关系。超过预设限值的线路负载率和潮流线上的箭头符号都会改变颜色，引起用户的注意。

其中线路负载率可视化展示如图 9 所示。

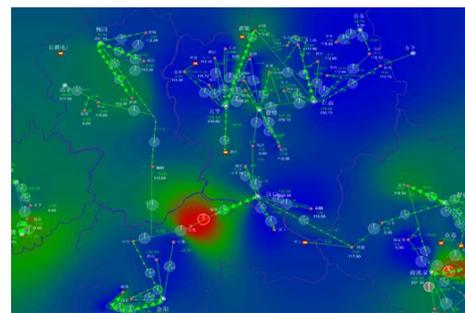


图 9 线路负载率展示

Fig. 9 Line load rate display

3.3 电网供电负荷冗余度

供电负荷的冗余度问题实质上是负荷的稳定问题，也就是电压的稳定问题，负荷裕度是公认的较好的量度指标，其物理意义明显、线性度好，在电压稳定分析模块中广泛应用，负荷裕度是指按照预先设定的负荷、发电模式，系统从当前运行点到崩溃点还可以承受的负荷增长功率的大小，一般指有功功率负荷裕度^[15]。负荷的增长势必引起电压的降低，如果不能有效地进行控制，负荷的增长将导致电压失稳，乃至崩溃。电压稳定事故发生的共同特点是其突发性和隐蔽性，运行人员在事故形成期间难以察觉，不能及时采取有效的控制措施，一旦发生电压崩溃就很难挽回。

电压失稳发展过程呈现出区域性特征，对于调度人员来说，最实用的电压稳定安全指标是功率裕度，这就要求比较准确的确定临界点，指示各负荷节点维持电压稳定性能力的强弱指标：负荷点的临界电压和极限功率。调度系统可以给出各个负荷节点的 PV 曲线以及极限功率，极限电压，电压稳定裕度，对于超过设定阈值的节点进行报警。可同时多个指定负荷点进行电压稳定计算来计算地区电网的负荷冗余度，当其中任何一个负荷点达到稳定极限，计算结束，此时关键断面中的各线路的功率

之和就是关键断面的功率极限,以此来衡量系统负荷的冗余度。计算结果使用可视化的技术进行展示,例如等深线、等高线、柱状图、二维或者三维等。

电网负荷冗余度可视化监视如图 10 所示。



图 10 电网负荷冗余度展示

Fig. 10 Redundancy power load display

4 其他电网应用多维分析集中展示

4.1 电网综合预警

以系统信号为基础,通过对电网实时运行状态的在线评估和识别,自动跟踪电网的安全状态,确定电网的安全级别,对潜在的安全性威胁进行预警,及时发现并判断电网出现的故障,对电网出现的紧急情况报警。根据报警或预警的情况,利用人工智能知识库自动给出提高电网安全性的建议措施,提高调度运行的安全性和经济性。

综合预警的结果可以采用雷达图进行展示,以直观展现电网的实时及预警运行状况。

根据系统的需要,提供电网潮流分布示意图,让调控人员对电网的潮流有直观的认识。

雷达图可视化展示如图 11 所示。

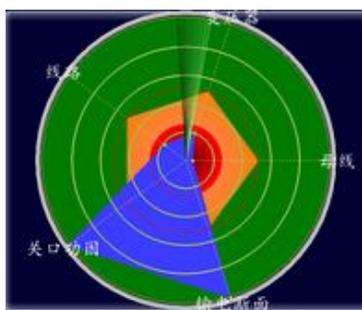


图 11 雷达图展示

Fig. 11 Radar map display

4.2 电网负荷概况及分配展示

采用饼图及柱状图等展示电网的负荷概况及地区负荷分配情况,以便了解系统的整体运行情况。

提供电厂的运行概况列表,主要展示系统内电厂的总出力、当前出力及主变负载情况。

主变负载率展示如图 12 所示。



图 12 主变负载率展示

Fig. 12 Transformer load rate display

4.3 重要供电安全及经济数据展示

针对调度人员提供主变力率的监控,提供主变力率运行异常事项展示。提供电网进线力率的监控,在力率异常情况下进行报警。提供电网潮流越限列表。针对大用户的供电安全和质量管理工作,在监控区域提供大用户相关的 10 kV 母线电压越限信息展示,显示监控与大用户的 10 kV 母线运行状况。

5 应用现状

目前,重庆渝东南、渝东北的扩辖区一体化系统均已成功应用。在调度技术支持系统模型和数据条件完整的情况下进行业务处理及分析计算功能,进行电网的预警分析工作,通过多维度展示提供数据展示。同时,把不同专业的关注点进行分析,提供数据服务分析,将结果采用不同的展示手段进行展示,并保证各专业人员的展示界面互不干扰,同时保证大屏幕综合展示系统的界面美观。实践证明调控多维分析可视化技术,有利于调度人员在大电网监控和运行中,很快地发现问题和解决问题。

6 结语

电网调控多维分析技术应用现有的电力系统分析技术、数值分析理论、计算机数据处理和显示技术构成电网运行状态可视化平台,可根据调控、地县一体化系统的自动化信息自动感知电网状态,对于电网中重载、过载的线路、变压器进行预警、告警,对于发生故障的设备进行状态识别,确定停电范围。当电网处于异常、紧急、故障情况下时能主动分析,自动给出重载或者过载设备的明细,可以有效地提高系统运行人员的工作效率、降低电网运行故障发生率。

参考文献

- [1] 张勇军,李启峰,张锡湜. 大电网省地电压调控的博弈收益函数建模[J]. 电工技术学报, 2013, 28(3): 254-260.

ZHANG Yong-jun, LI Qi-feng, ZHANG Xi-shi. Game

payoff function modeling for game of provincial and district voltage control in large-scale power grids[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(3): 254-260.

[2] 刘一欣, 郭力, 李霞林, 等. 基于实时数字仿真的微电网数模混合仿真实验平台[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 82-92.
LIU Yi-xin, GUO Li, LI Xia-lin, et al. Real-time digital simulator based digital-analog hybrid simulation experimental platform for a microgrid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(2): 82-92.

[3] 唐西胜, 邓卫, 齐智平. 基于储能的微网并网/离网无缝切换技术[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 279-284.
TANG Xi-sheng, DENG Wei, QI Zhi-ping. Research on grid-connected/islanded seamless transition of micro grid based on energy storage[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 279-284.

[4] 杜贵和, 王正风. 智能电网调度一体化设计与研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(15): 127-131.
DU Gui-he, WANG Zheng-feng. Design and research on power network dispatching integration of smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15): 127-131.

[5] 刘敏, 苏忠阳, 熊文. 广州电网 EMS/继电保护管理信息一体化系统应用分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(2): 79-82.
LIU Min, SU Zhong-yang, XIONG Wen. Application analysis of unified EMS/ relay protection management system in Guangzhou power supply bureau[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(2): 79-82.

[6] 刘洋, 卢建刚, 黄凯. 电网调度自动化实时信息分析与评估系统的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(8): 38-42.
LIU Yang, LU Jian-gang, HUANG Kai. Research of real-time information analysis and assessment system for power network dispatching automation[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(8): 38-42.

[7] 刘俊勇, 黄媛, 杨嘉滢. 智能电网四位一体调度信息系统的理论与实践[J]. 电力科学与技术学报, 2011, 26(1): 35-42.
LIU Jun-yong, HUANG Yuan, YANG Jia-shi. Theory and practice of integrated dispatching information system with four sub-system for smart grid[J]. Journal of Electric Power Science and Technology, 2011, 26(1): 35-42.

[8] 沈国辉, 余东香, 孙湃. 电力系统可视化技术研究及应用[J]. 电网技术, 2009, 33(17): 31-33.
SHEN Guo-hui, SHE Dong-xiang, SUN Pai. Research and application of power system visualization technology[J]. Power System Technology, 2009, 33(17): 31-33.

[9] 王庆红. 电力系统可视化技术及其在南方电网的应用册[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2(3): 40-49.
WANG Qing-hong. Power system visualization technology and its application in China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2(3): 40-49.

[10] 徐蔚, 任雷, 徐政. 电力系统潮流图自动生成软件的设计与实现[J]. 电力系统及其自动化学报, 2008, 20(4): 46-50.
XU Wei, REN Lei, XU Zheng. Design and implementation of an automatic generation system for power flow diagram[J]. Proceedings of the CSU-EPSC, 2008, 20(4): 46-50.

[11] SUN Y, OVERBYE T J. Visualizations for power system contingency analysis data[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(1): 1859-1866.

[12] OVERBYE T J, RANTANEN E M, JUDD S. Electric power control center visualization using geographic data views[C] // Proc Bulk Power System Dynamics and Control-VII, August 19-24, 2007, Charleston, SC.

[13] WIEGMANN D A, ESSENBERG G L, OVERBYE T J, et al. Human factor aspects of power system flow animation[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2005, 20(1): 1233-1240.

[14] 邓秋娥, 杜奇壮, 卢娟. 可视化编程在微机保护中的实现[J]. 继电器, 2008, 36(3): 1-4, 9.
DENG Qiu-e, DU Qi-zhuang, LU Juan. Implement of visual programming in microcomputer-based protection [J]. Relay, 2008, 36(3): 1-4, 9.

[15] 李倩, 王建功, 王浩. 电网可视化技术及其在 N-1 静态安全分析中的应用[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 108-111.
LI Qian, WANG Jian-gong, WANG Hao. Implement of visualization technique in N-1 analysis[J]. Power System Technology, 2009, 33(8): 108-111.

收稿日期: 2014-07-11; 修回日期: 2014-08-16

作者简介:

欧 睿 (1981-), 男, 工程师, 长期从事电力调度自动化运行维护管理和研究工作; E-mail: liou_ou618@sina.com

杨渝璐 (1982-), 女, 硕士研究生, 工程师, 长期从事电力调度自动化运行维护管理和研究工作; E-mail: faphei@163.com

张 琳 (1981-), 女, 本科, 工程师, 长期从事电力调度自动化运行维护管理和研究工作。