基于感知化的省级电网可视化展示平台研究与应用

程大闯[1,2]，刘　艳[1,2]，赵春光[1,2]，周　卓[1,2]，肖景义[1,2]，郑　涛[1,2]

（1. 南瑞集团（国网电力科学研究院有限公司），江苏 南京 211106；
2. 北京科东电力控制系统有限责任公司，北京 100192）

摘要：提出了一种适合于构建省级电力调控中心电网运行信息可视化平台的关键技术和实现方案，依托于先进可靠的硬件基础，在调控大厅可视化系统中实现了模块化和感知化。可视化系统通过模块化实现了电网关键运行信息的实时调阅、切换和组合，以其易用性突破了屏幕大小限制，极大地扩充了展示信息量；同时充分利用大数据技术，通过感知化的手段提供了丰富的统计、趋势分析及告警功能，全面提升了可视化展示平台的应用水平。

关键词：感知化；可视化展示平台；模块化；大数据

Perception based visualization platform research and application of provincial power dispatching and control center

CHENG Dachuang[1,2], LIU Yan[1,2], ZHAO Chunguang[1,2], ZHOU Zhuo[1,2], XIAO Jingyi[1,2], ZHENG Tao[1,2]

(1. NARI Group Corporation(State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China;
2. Beijing Kedong Electric Power Control System Co., Ltd., Beijing 100089, China)

Abstracts: A suitable framework and some key technologies for constructing an information visualization platform in a provincial power grid dispatching and control center is presented. Relying on the advanced and reliable hardware foundation, modularityand perception are implemented in Power grid visualization system. This system enables real-time access, switching and combination of power grid operating information through modularization, so that the display information could be greatly expanded regardless of the screen size limitation. At the meantime, big data technology and perception means are fully utilized to provide a wealth of statistics, trend analysis and alarm functions, greatly enhancing the application level of visualization platform.

Key words: perception; visualization display platform; modularity; big data

0　引言

随着国网公司建设坚强智能电网步伐的加快，省级调控中心已实现“大运行”体系建设中对于“调控一体化”的要求。更广的业务范围、更多的电网信息给电网调度、监控业务的正常开展提出了不小的挑战。电网运行信息的可视化展示能够为调控人员提供丰富的电网运行监视、告警功能，伴随着计算机和大数据技术的发展，现有的可视化展示系统在画面显示以及数据分析功能上都存在着不足，例如主题固定、模块单一、

数据覆盖面小、统计分析能力缺乏和人机界面不友好等，这些不足导致了信息展示的分散和封闭，不利于实现调控运行的实时性和机动性。另一方面，调控大厅同时也是电网公司的重要窗口，承担着系统内外人员接待、信息发布的职能，调控大厅可视化平台建设对提升电网公司形象具有重要作用。

针对现有问题，亟需建立新型的电网调控运行信息展示形式：通过有效的信息组织，将其中的关键信息进行科学归纳，利用感知化的图形表达方式，将其“一目了然”地呈现给电网调控人员，构建满足实际管理需要、符合实际业务需求的可视化展示平台。

可视化技术是随着计算机技术的发展而出现的一门技术，它把数据转换为图形，给予人们深刻与意想不到的洞察力。近年来，国内外学者也不断地开展可视化技术在电力系统中的应用研究：美国电力系统专家T.J. Overbye开展了电力系统可视化的系列研究[1-3]，在其推出的电压等高线显示技术的基础上，对节点数据（如电压、电价等）和支路数据（如传输功率、负载率等）进行了可视化表达研究。文献[4-8]开发了与电力系统相适应的二维图形、三维图形等可视化表达方法。文献[9-12]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、二维平面和孤立数据的展示方式到动态、三维立体和连续图形的转变。文献[13]研究了统一、兼容和集成的电力系统可视化平台与标准的可视化方法库，构建了基于可缩放矢量图形（SVG）技术的可扩展可视化应用平台。文献[14]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。上述的研究在电网公司实践中仍然存在一些不足，例如目前电网可视化系统的画面往往采用整体设计，局部画面在进行替换或维护时十分烦琐，大量有效信息无法展示在大屏幕上，导致整屏画面同时绘制渲染占用资源高、刷新较为迟钝，而且也缺乏一些更深层次的数据挖掘功能。

本文经过深入研究之后，基于感知化的图形技术，提出了一种适用于省级调控大厅的智能电网信息展示平台构建方法，包括可视化图元的新颖展示方法、数据的统计与分析、智能告警的融合展示以及汇报模式的全面提升等，最终整个可视化信息展示平台通过一种创新的模块化框架结构实现了电网信息的自由融合和动态展示。

1 平台的整体架构

电力调控中心智能电网信息可视化展示平台的架构如图1所示，基于一个统一融合的平台，将Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区电网运行数据经分析处理后转换为展示信息子模块，利用不同进程独立绘制画面，使得大屏幕显示不再受制于固定的展示主题，从而实现各信息子模块灵活替换、可视化资源独立管理。该平台主要包含如下的特征：

1）电网运行信息高度融合。展示平台在Ⅱ区建立起独立的数据转存库，导入来自Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区的电网运行数据，将可视化展示涉及的数据重新建模，对上层展示模块做到数据来源的透明化。在电网公司调控大厅大屏幕展示中首次实现在同一模块中展示来自三个区的数据（例如直调电厂出力展示模块中涉及Ⅰ区的实时机组出力、Ⅱ区中电力平衡计划以及Ⅲ区的电厂降出力值）。

2）展示信息模块化。采用模块化的设计架构，将电网调控运行信息综合分析利用，提取成多个模块展示，然后每个模块可作为独立的展示信号进行投放。整屏的展示方案没有固定主题，但可根据应用场景随时将多个模块进行组合，例如可以利用计算机客户端或者手持终端将所需展示模块直接拖曳到屏幕的任意位置实现替换，支持延展放大或缩小模块的画面信号，可以满足调控人员多场景下的使用需求。

3）画面绘制进程相互独立。为配合信息模块的自由替换展示，可视化系统对于画面绘制过程进行了大胆的创新，信息模块的每一幅画面改由单个进程独立驱动，克服了以往整屏画面统一由一个浏览器启动，一个进程进行多个画面绘制的缺陷，可视化工作站的负载大大减小，画面的

启动时间由秒级缩短为毫秒级，满足了对模块进行实时替换的要求；同时平台稳定性更强，不会因某个画面出现异常影响整屏画面的绘制。

4）可视化资源单独管理。对从D5000平台统一下载原有的数据资源的方式进行了改变，改用单独的离线文件服务，该服务仅仅针对可视化工作站提供页面及资源更新。避免了因为可视化信息展示平台资源文件过多过大对D5000平台服务运行负载的过多占用，同时也对两者之间的业务边界进行了明确的划分。

5）可视化配置统一控制。对于一个省级电网信息展示平台而言，后台往往需要多台服务器做支撑，以往通过远程登录工作站修改后台配置文件的方式，长期运行被证明有不易操作、书写格式易错误和更新需要系统重启等缺陷，容易导致程序出现异常。本研究将各类配置项设计整理后形成人机界面，可便于用户进行修改。此外，还基于D5000平台实现了一种更加便捷的实现方式，例如将某些常用配置项设计为D5000数据点，通过遥测置数可直接进行修改，无须登录专用机器，在任何D5000台位均可方便修改，并且修改后大屏幕展示立即生效，无须重启，特别适合于调控人员进行告警确认、消除异常等互动操作。

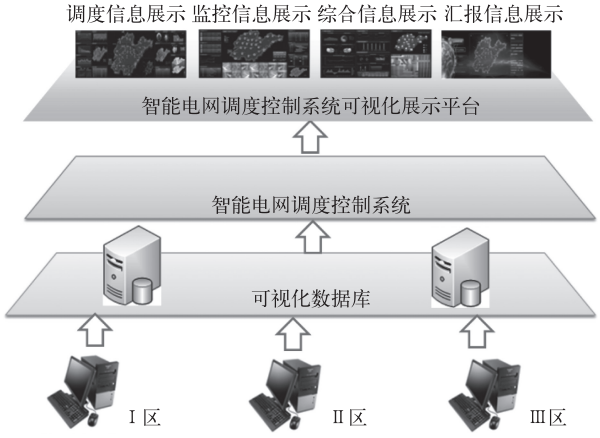


图 1　可视化展示平台实施框架

Fig. 1 The framework of visual display platform

通过智能电网信息展示平台的模块化设计，在不同的应用场景下，可灵活地将相关展示模块拼接为一个整体展示方案，满足了调控大厅功能多样化的展示需求，实现了展示方案和展示内容的灵活多变，而且展示模块可以重复利用，节约了大量计算资源。

2　基于感知化的可视化展示平台关键技术

电网调控运行信息展示采用了多种关键的可视化展示技术，包括感知化的展示理念、人性化的模块设计和精益化的画面绘制。电网运行关键信息是调控人员掌握电网实时运行情况，发现电网薄弱环节，从而及时正确地做出调度决策的重要依据。基于感知化的表达过程，是在对调控人员接受信息习惯开展充分研究的基础上，按照人的认识规律对电网运行信息进行的综合提取和加工；这样的表达方式遵循了感官和思维规律，提高了对信息的接收与获取效率，从而加快对信息的反应与转化。

本研究利用了Java 2D的绘制技术，基本信息通过点、线和面的结合绘制创建了饼图、柱图和气泡图等基本图元，而对于数据量大、密度较高的信息利用感知化创建新型图元，能够极大丰富数据的展示。最后，通过Java 3D的建模技术实现电网关键信息在三维空间的展示，增强展示画面的立体感及动态感，利用颜色渲染、坐标变化等实现关键信息的感知化展示。

2.1　基本展示图元

电网信息展示的基本目标是将调控人员关注的电网实时运行关键数据以恰当的可视化技术在大屏幕上展示出来，基本信息包括全网（地区）用电负荷、旋转备用、母线电压、线路（主变压器）负载率和ACE考核等，这些信息适合利用基本的柱图、曲线以及表格来展示，展示的内容及形式如图2～图4所示。

图2的柱图形式可以用来展示类似于地区电网负荷排名等实时数据，可将不同范围内的数据用不同颜色进行显示，底部可显示该地区的历史最高值，为调控人员提供重要的参考信息。

图3的趋势曲线可以用来展示类似于全网

（省调）用电负荷、全网（直调）发电出力、外电入某省电力和风电（光伏）出力等随着时间变化的数据量，并在实时刷新的过程中显示最大（小）值以及与计划值的偏差，使调控人员从视觉角度能够快速掌握电力平衡及偏差情况。

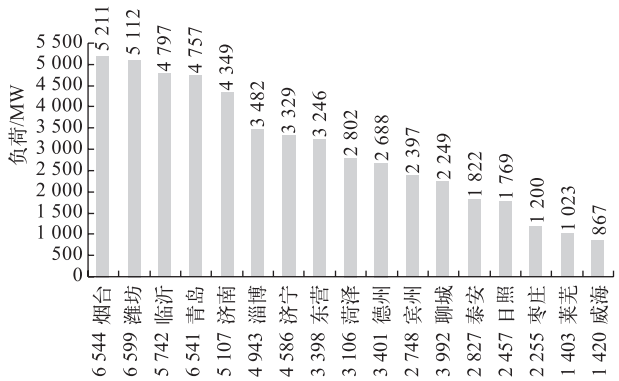


图 2　地区用电负荷（柱图）

Fig. 2 Regional power load (column diagram)

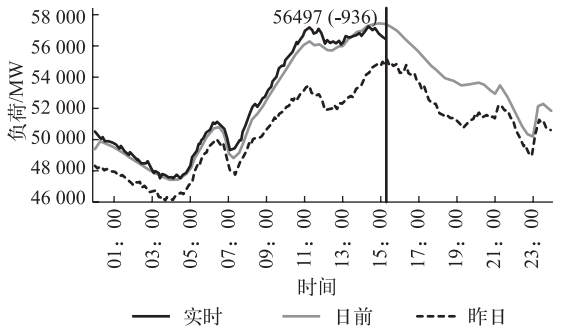


图 3　全网用电负荷（曲线）

Fig. 3 Power load of the grid (curve)

图4的表格形式适用于展示设备运行电流、电流上限等具有较多直观数据的情况，而负载率仍然可以使用内嵌的柱图实现可视化展示；除此之外，该模块还实现了一种多样化表达的方式，例如在模块右上角有一组切换按钮，单击切换后，既可以用柱图形式进行排名展示，也可以用现有的动态表格形式展示，数据实时刷新不会因表现形态而改变。通过该种方式既可以满足使用人员差异化的需求，又可以有效节约信号通道资源。

2.2　新型综合图元

除了基础的电网运行数据外，电网运行信息还包括检修申请、变电站信号监视等一类信息，它们的特点是信息量大，而且对目前的可视化展示而言，信息展示密度很高，通过对此类需求的充分研究，创新性地研发了几种新型综合图元加以展示。

设备名称	运行电流/A	电流上限/A	负载率
大信线	548	800	68%
邹枣线	1 653	2 500	66%
照铁线	96	200	65%
电城Ⅱ线	789	1 200	65%
电城Ⅰ线	763	1 200	63%
蒙相Ⅱ线	476	800	59%
蒙相Ⅰ线	463	800	58%
金高线	492	845	58%
聊蒋Ⅰ线	460	800	57%
稻杨线	457	800	57%

图 4　线路负载率监视（表格）

Fig. 4 Line load rate monitoring (table)

（1）检修信息可视化

检修信息是调控人员掌握电网方式、进行调度决策的重要依据。本研究以甘特图为基础，提出利用图形、颜色以及多种符号来展示省级电网检修季节的线路、主变压器及母线等主要设备检修计划。如图5所示，检修类别、检修时间、检修状态以及可能存在的电网风险一目了然。除了对检修延期以不同的渲染色进行提示外，还可以根据需要对检修即将到期的工作着重渲染，用以提示当值调控人员做好相关准备工作。

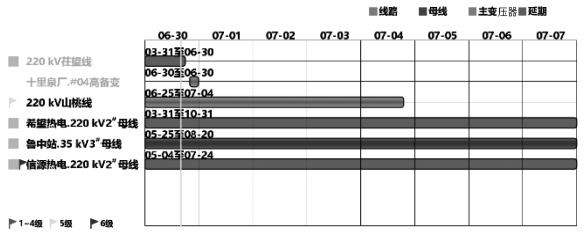


图 5　检修信息可视化展示

Fig. 5　Visual display of maintenance information

（2）变电站综合信息图元

如图6所示，变电站综合信息图元主要用于监控员进行变电站监视，通过该图元综合了大量的变电站相关信息。首先图元中间饼图部分反映了变电站主变压器的基本状态，图元最外层具有金属光泽的圆环反映了500 kV母线运行状态，次

外层圆环反映了220 kV母线状态，而220 kV母线之间的小圆点则表示母线之间的母联（分段）开关状态。当设备处于不同的运行状态（检修、热备用和运行）时，可通过使用不同的渲染颜色来加以区别。

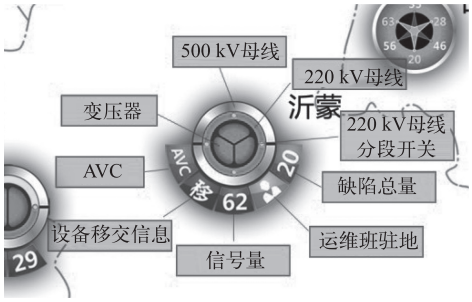


图 6　变电站综合信息图元

Fig. 6 Substation comprehensive information entity

图元下部一排小扇形含义非常丰富，分别用来反映自动电压控制（AVC）运行状态（全部、部分或者全不投入）、监控职责移交现场状态（有或无）、全站信号总量、运维班驻地情况（是否为运维班驻地）及全站缺陷总数。其中，若其状态处于正常默认状态（例如AVC均正常投入、无监控职责移交、今日未发出A/B类告警信号、非运维班驻地和站内无缺陷）时，所对应的小扇形隐藏不显示。通过这种创新的设计，图元表达信息量丰富，但正常情况又不会因为图元过于复杂而形成干扰。

该模块同时使用了多样化的表达方式以节约资源，根据监控员需求可转换为图7所示的图元形式：图7中左侧图元表示监控信号统计，从中间沿顺时针方向依次显示了变电站当日A/B/C/D/E类的信号数量；图7中右侧图元表示缺陷统计，由两个三角构成，分别统计了变电站中目前存在的设备或者监控信息缺陷数量，沿顺时针方式依次为危急、严重和一般三种缺陷等级的数量，体现了大屏幕图元的统计分析优势。

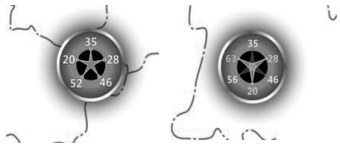


图 7　变电站综合信息图元

Fig. 7 Signal and defect of substation

此外，根据图6还设计了一种相对简化的图元主要用于大屏幕主接线图的展示模块中，如图8所示。

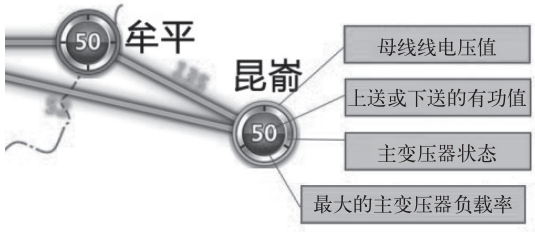


图 8　变电站综合信息图元（简化）

Fig. 8 Substation integrated information graphic (simplified)

图8中的变电站图元重点关注一次设备的状态量，比如通过最外圈的颜色来表示500 kV母线所在的电压区间，次外层通过一分为三的圆环表示该变电站三台主变压器的状态，内层水泡状图形利用水位高低反映最大的主变压器的负载率，中间的数字表示当前全站上送或者下送的有功值，若下送则背景为蓝色，上送则为橙色。通过该简化图元能够非常直观地了解到变电站一次设备状态，与主接线图中的线路潮流一起可以形成对电网方式的精准把握。

2.3　动态智能告警

除了必要的信息展示功能外，对于大屏幕可视化而言，如果能够将电网的各类告警信息有效融合，可以使现有的信息展示平台再上一个台阶。本研究一方面考虑了如何将D5000平台中的综合智能告警与可视化展示进行有效融合，另一方面对于信息展示平台存储的数据进行了二次提炼，拓展了新的动态智能告警功能。

（1）基于D5000的主接线图综合智能告警

利用大屏幕电网主接线图对D5000平台的综合智能告警信息进行动态展示，使得调控人员不仅可以通过潮流图掌握电网方式，还可及时获得电网故障信息。其实现形式如图9所示。电网主接线图模块正常主要显示500 kV主网架，右下角的小区域中轮巡显示省级电网地区电网接线图（共15个独立供电区），当电网发生220 kV及以上一次设备故障时，D5000的综合智能告警动

作，同时将故障简报推送给可视化平台。可视化平台可以立即将故障设备在主接线图中进行定位，将发生故障的地区电网接线图替换至主要位置，500 kV主接线图移至右下角（如图9目前的展示形式），同时弹出故障告警信息（包括故障时间、厂站以及开关和保护的动作情况）。这样一种动态告警方式不仅具有警示效果强的优点，还十分方便调控人员了解事故后处理方式，可以有效地指导事故处置。

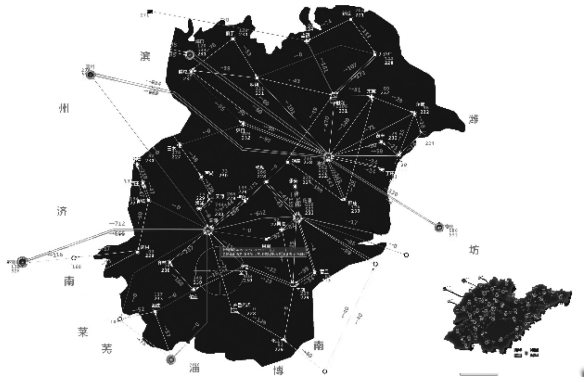


图 9　基于 D5000 的主接线图设备故障告警

Fig. 9 Equipment fault alarm based on D5000 main grid diagram

基于D5000主接线图故障告警功能的实现，还依赖于一项重新开发的D5000画面复现技术，由于故障告警可能涉及任一220 kV及以上电网接线图甚至厂站的一次接线图，如果按照传统的大屏幕展示方式自行绘制和维护，极大的工作量会牵扯调控人员很多精力。然而D5000平台会对电网结构进行实时更新，不妨碍统一利用以节省人员重复性劳动。基于这样一种想法，本研究创新性地提出了D5000画面的复现技术，即基于自动化专业维护的D5000接线图画面，将其以SVG文本格式导出，对该图形文本进行解析，获取其中设备的拓扑关系，然后在显示时利用大屏幕图元取代原始图元。这样既节省了画面维护的重复工作量，又能够与大屏幕的风格保持一致，实践效果非常显著。

（2）基于DSA的主接线图的动态告警展示

利用调控中心部署的在线安全稳定分析工具（DSA）可对电网进行六大类计算（静态安全分析、暂态稳定计算、短路电流计算、小干扰计算、断面裕度计算和静态电压稳定计算），实现对电网运行状态的实时扫描，但以往计算结果需要自行进行DSA主机画面查阅，查阅不及时可能会存在遗漏电网的风险。本研究融合了DSA计算和大屏幕展示，将DSA计算结果以可视化的形式展示在大屏幕上，提醒调控人员注意。

图10和图11分别在主接线图中展示了的暂态失稳和裕度下降的告警。在图10中，若滨州站500 kV母线由于发生三永故障可能导致电网暂态失稳时，则能够以地震波的形式展示在潮流图上。图1中，如果通过计算发现电网的某断面稳定裕度下降（不论是受制于热稳定、暂态稳定还是小扰动稳定），则将电网潮流图上相应区域以箭头形式展示稳定裕度的下降趋势，并在箭头的上下方展示稳定裕度下降前后的数据。其他计算结果也可分别利用相应动画进行告警，限于篇幅不再一一展示。

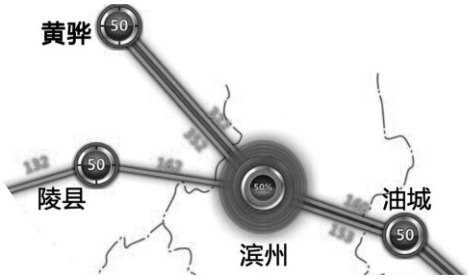


图 10　暂态失稳告警信息展示

Fig. 10　Display of transient instability alarm information

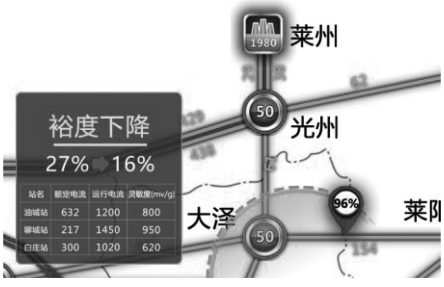


图 11　裕度下降告警信息展示

Fig. 11 Display of margin decrease alarm information

（3）自主开发数据挖掘告警展示

电网运行中的某些数据仅仅通过展示并不能够给予调控人员足够的信息，这里结合调控人员

的具体需求，对于此类数据采用了数据挖掘进行深入分析，例如区域控制偏差（ACE）实时考核监视告警、地区负荷突变告警和断面重载信息告警等。

ACE实时考核监视告警是指在传统的展示实时曲线的基础上，结合ACE的考核逻辑、调整需求提出了辅助告警功能，如图12所示。ACE的考核逻辑为A1每个考核时段（15 min）均要求过一次零点，A2在考核时段末要在规定区间[－120，120]内，其中A2是A1的累积均值。对于调度员调整而言，难点在于人工调整火电厂出力具有较大的时滞性，如果在接近考核时段末才发现A2偏差较大，此时再进行调整往往造成难以挽回的后果。

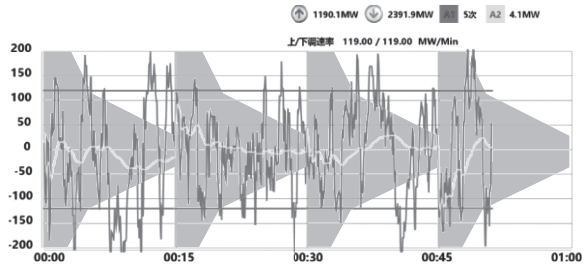


图 12 ACE 实时考核监视告警

Fig. 12 ACE real-time assessment monitoring alarm

为此，通过对ACE历史数据的大量统计分析，制定了新的告警限值，如图12中阴影面积范围，其逻辑在于在考核时段之初，A2允许其跌落得比较大，但随着时间的推进，对A2的区间限制越来越严格，如果A2曲线落在阴影面积外，则触发告警，A2曲线变红闪烁。采用图12的反时限特性具有较好的预警效果，既能保证正常情况下不频繁报警，又能够在电网异常时提前感知。

图13展示了主接线图中的地区负荷突变告警，具体是指当某一地区负荷发生较大变化（高于门槛值）时，在主接线图上突出显示负荷突变的地区，并弹出告警的详细信息，包括负荷突变的时刻、突变前后的负荷值变化，这对于地区电网发生异常时电力平衡的影响（通常是大机组跳闸或者负荷损失）可以做到及时掌握。

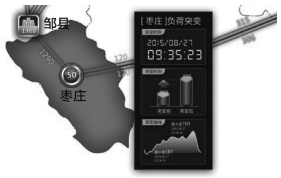


图 13 地区负荷突变信息展示

Fig. 13 Display of regional load sudden change information

图14展示了断面重载信息告警，具体实现是：首先根据电网结构设置电网关键断面，然后实时计算断面构成的线路之间发生$N-1$后的潮流转移情况，以$N-1$后某负载率最高的支路为依据计算出断面的热稳定裕度，对于热稳定裕度较低的断面突出显示。更进一步，在告警的同时可自动考虑安全自动装置的动作量，给出校正控制后的断面裕度。

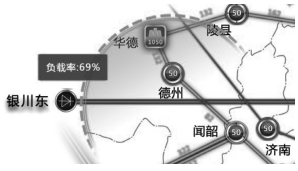


图 14 断面重载信息展示

Fig. 14 Section heavy load information display

3 汇报展示模式提升

调控大厅作为电网公司面向系统内或政府、教育部门宣传展示的窗口，迎检接待的任务非常繁重，而对于专业内外的人士所介绍的内容又各有侧重，反复修改非常费时。本次项目建设提升由专业设计公司依照主屏幕尺寸量身定做展示风格，开发人员按照调控大厅介绍、电力系统及调控机构、电力发展史、电网基本介绍、电网负荷情况、全网装机、新能源模块、迎峰度夏模块和技术支持系统九个章节进行了设计制作，全面地介绍了省级电网以及省调的方方面面。讲解员针对不同的参观人员时可自由组合章节进行展示，操作简洁方便。

汇报展示的技术方面也进行了提升，这是由于随着时间变化，展示介绍中的很多图片或者数据需要随时更新，例如电网网架结构、负荷电量等。频繁更新维护工作量较大，耗时又费力。从技术提升的角度出发，研究实现了可视化图片和数据的自动更新替换。具体实现方式是将可视化

平台的图片或数据定时抓取转存至指定路径，将汇报过程所需图片或数据进行链接，便可在每次启动汇报模块时自动将图片和数据更新至最新，避免了人工维护的工作量。

4 结束语

本文基于智能电网调度控制系统，深入研究并充分挖掘省级电网调控人员日常调控所需的电网运行信息，结合最新的可视化展示技术，将这些信息以感知化的形式呈现在调度大厅大屏幕上。采用模块化设计，将电网信息综合分析并融入大屏幕展示，应用灵活可靠，利用可视化图形有助于调度人员发现系统中存在的问题和发展趋势，并发现电网的薄弱环节，辅助调度决策，确保电网安全、稳定运行，实现对电网科学、有效的管理。

参考文献

[1] OVERBYE T J，GROSS G，LAUFENBERG M J，et al．Visualizing power system operations in an open market[J]．IEEE Computer Applications in Power，1997，10(1)：53-58．

[2] OVERBYE T J.，WEBER J D．Visualizations of power system data[C]．Maui：Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences，2000(4)：4-7．

[3] SUN Y，OVERBYE T J．Visualizations for power system contingency analysis data[J]．IEEE Transactions on Power Systems，2004，19(4)：1859-1866．

[4] 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．

[5] 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 .

[6] 沈国辉，孙丽卿，尤大宁，等．智能调度系统信息综合可视化方法[J]．电力系统保护与控制，2014，42(13)：129-135．

[7] 欧睿，杨渝璐，张琳．多维分析技术在跨辖区一体化调度自动化系统中的应用[J]．电力系统保护与控制，2014，42(23)：149-156．

[8] 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．

[9] 夏成军，谢奕，邱桂华．可视化地铁供配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．

[10] 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．

[11] 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．

[12] 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．

[13] 刘友波，刘俊勇，杨嘉湜，等．基于故障演化的电网阶段脆弱性及其可视化预警[J]．电网技术，2011，35(1)：46-52．

[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．

作者简介

程大闯（1982—），男，硕士，高级工程师，研究方向为电力系统自动化、电力信息数据可视化。

刘艳（1976—），女，硕士，高级工程师，研究方向为电力系统自动化、电力信息数据可视化。

赵春光（1987—），男，学士，工程师，研究方向为电力系统自动化、电力信息数据可视化。

周卓（1987—），男，学士，工程师，研究方向为电力系统自动化、电力信息数据可视化。

肖景义（1984—），男，学士，工程师，研究方向为电力系统自动化、电力信息数据可视化。

郑涛（1988—），男，学士，工程师，研究方向为电力系统自动化、电力信息数据可视化。

（收稿日期：2022-10-13）