

# 基于调控云的电网接线图全息化展示技术应用<sup>①</sup>



祝国宇<sup>1,2</sup>, 沙树名<sup>1,2</sup>, 宋少锋<sup>1,2</sup>, 梁 阳<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(南瑞集团(国网电力科学研究院)有限公司, 南京 211106)

<sup>2</sup>(南京南瑞信息通信科技有限公司, 南京 211106)

通讯作者: 祝国宇, E-mail: 992623734@qq.com

**摘 要:** 电网接线图采用调控云平台全网模型作为图形展示和交互的基础. 针对现有电网调度控制系统电网图形展示内容样式单一、不够灵活, 电网运行状态可视化展示不足等问题, 提出了一种基于调控云的电网接线图全息化展示技术, 能在不同时段下展示电网运行状况, 达到对电网的历史场景反演、实时状态监控及未来方式分析, 进而实现给用户基于图形的各种业务场景全息化展示. 该技术已在多个地区的省级及以上电网调度控制中心 III 区部署并正式上线, 可满足在图形上展示各种业务场景的需求, 提升了调控中心对电网运行状态的全过程管控能力.

**关键词:** 调控云; 电网接线图; 全息化展示; 全过程管控

引用格式: 祝国宇, 沙树名, 宋少锋, 梁阳. 基于调控云的电网接线图全息化展示技术应用. 计算机系统应用, 2020, 29(11): 80-86. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7642.html>

## Application of Grid Wiring Diagram Holographic Display Technology Based on Dispatching and Control Cloud

ZHU Guo-Yu<sup>1,2</sup>, SHA Shu-Ming<sup>1,2</sup>, SONG Shao-Feng<sup>1,2</sup>, LIANG Yang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(NARI Group Corporation (State Grid Electric Power Research Institute), Nanjing 211106, China)

<sup>2</sup>(NARI Group Corporation Information & Communication Technology Co. Ltd., Nanjing 211106, China)

**Abstract:** The grid wiring diagram adopts the entire grid model of the dispatching and control cloud as the basis for graphic display and interaction. Aiming at the single display style of grid graphic and the deficiencies of visualization of power grid operational status of traditional power grid dispatching and control system, this study proposes a holographic display technology of power grid wiring diagram based on dispatching and control cloud, which is able to show the operation status of the power grid in different temporal, and achieve the historical scene inversion, real-time status monitoring and future operation mode analysis of the power grid, and then provide users with holographic display of various business scenarios based on graphics. This technology has been deployed and formally launched in the Area III of provincial and above power dispatching and control centers in multiple regions, meets the needs of displaying various business scenarios on the graphics, and improves the entire process control ability of the power dispatching and control centers.

**Key words:** dispatching and control cloud (dcloud); grid wiring diagram; holographic display; whole process control

## 1 引言

近年来, 随着特高压交直流互联大电网建设的全面提速, 大规模新能源的集中接入, 电力市场化改革的深入推进, 电网一体化运行特征越来越明显<sup>[1]</sup>. 一体化

电网之间的协调控制需要多个调控中心调度控制系统(简称调控系统)的统一配合. 但由于电网拓扑结构的广度和深度日益复杂, 且国家提倡的节能减排和能效提升政策使得调控系统对综合能源的统一调度能力需

① 收稿时间: 2020-03-09; 修改时间: 2020-04-10; 采用时间: 2020-04-24; csa 在线出版时间: 2020-10-29

进一步优化提升,传统的调控系统电网图形可视化展示程度已无法满足实际工作要求<sup>[2]</sup>.当前,国家电力调度控制中心依托云计算、大数据等先进IT技术构建生产控制云(简称调控云),使得调度各专业数据充分流通,电网各类资源充分共享,因而基于调控云进行应用开发具有良好的环境生态及发展前景<sup>[3]</sup>.全息电网接线图作为基于调控云的电力信息可视化应用服务,依赖调控云的高速发展与大范围推广,为电网信息多元直观展示的实现和宏观整体把握电网拓扑结构及其运行状态提供了良好基础.

随着电网的发展,电网图形对电网调控系统的重要性日益凸显,模型的可视化、图形的共享均需要一套电网图形应用服务支撑.使用图形来描述电力系统,在一张图上可以展示电网的联络关系、各种电力业务场景,还可在Web界面上直接编辑图元,操作电力系统设备,叠加展示各种电力系计算分析模块的输出,结果一目了然.因此,对图形应用的开发已成为电力应用软件的关注重点.文献[4]提出了基于CIM/G的电网图形维护与共享方案,此方案实现了多个或多级调控中心之间电网图形的一体化维护和实时在线调阅.文献[5]通过图形广域维护与浏览技术实现了特高压互联电网关键设备的一体化监视.文献[6]实现了一种调控系统的Web图形展示技术,确保I、III区图形展示的一致性.文献[7]采用分区、分页存储技术,设计并开发了面向对象的内存数据库,用于大规模电网模型的高效缓存和检索.文献[8]介绍了一种全自动图形化的电网潮流断面表示方法,可应用于调控系统中图形化监控潮流断面.文献[9]实现了基于HTML5的电网图形软件,可在浏览器中绘制厂站接线图并操作图元.

传统的调控系统图形采用CIM/G格式进行存储,有效的避免了电网图形在I、III区之间流转时由于格式不一致导致的各种问题,为电网运行和管理提供了强有力的支撑,但其在各级调控中心应用还存在以下不足:

(1) 目前III区电网图形主要来自I区绘制的系统接线图,其成图时间晚,内容样式单一不够灵活,难以满足图形应用展示需要;

(2) 各级调控中心III区图形应用服务多样,导致电网图形展示形式各异、信息不易共享;

(3) 当前调控系统的电网图形碎片化,难以整体把握电网拓扑结构,无法全方位展示各种业务场景及其之间的关联影响.

针对上述不足,本文提出了一种基于调控云的电网接线图全息化展示技术,详细阐述图形多时态管控、图形可视化、多业务场景全息化展示等关键技术,全息电网接线图利用调控云全网模型,摆脱了现有调控系统电网图形只能片面有限地展示某些电压下电网拓扑连接情况以及运行状况,以致无法整体全局把控不同时间段下电网运行状态的桎梏,在宏观上依托各级调控中心管辖范围内的厂站、线路联络关系构成一张电网图形,统一了图形展示形式,丰富了图形应用场景,极大提升了电网信息的直观程度及共享水平.在此电网图形基础上实现各种业务场景全息化展示的目标,并且层层深入,逐步延伸,最终达成全网一张图.

## 2 总体框架

如图1所示,基于调控云的电网接线图全息化展示技术依托省级云和国分云平台,分别汇集省、地、县及国、分各级调控中心的电网模型数据,通过模型状态管理、图形时态划分等完成图形分时态展示,进而依托图形可视化实现业务场景再现.电网图形在国分云及省级云之间通过调度数据网进行实时传递,最终形成宏观电网拓扑结构完备、与模型高度统一、可全局共享、实时反馈电网运行状态的全息电网接线图.

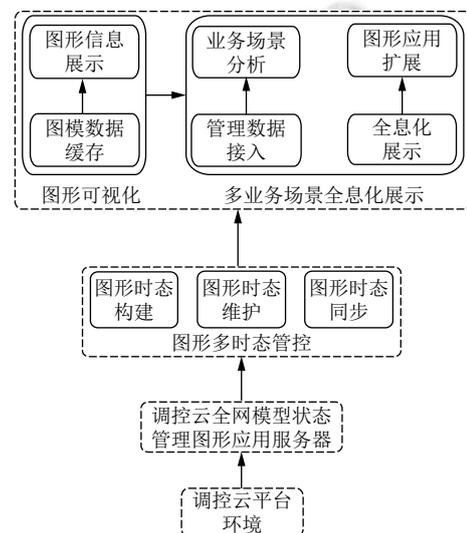


图1 基于调控云的电网接线图全息化展示总体框架

全息电网接线图应用是根据调控云全网模型状态信息为不同图形建立唯一时态标识,进行图模一体化管控<sup>[10]</sup>,从而实现图形分时态展示.

图形多时态管控实现了电网图形时态构建、维护

和同步功能. 图形根据模型状态从调控云平台全网模型中抽取某一时态断面模型数据, 并为每个图形时态分配唯一标识<sup>[11]</sup>. 维护人员指定图形时态启动编辑模式, 建立图模维护任务, 于浏览器中统一绘制图形, 自动更正图模, 保存至相应时态下时生成模型变更记录及图形变更线. 在浏览器中进行图形编辑更轻量、灵活, 方便了多个用户同时进行图形维护操作. 当不同时态图形审核通过后, 可进行图形时态同步操作, 将其他时态下图形排布同步到当前时态, 变更图形布局, 并触发图模变更任务, 同步设备状态及投退信息, 最后保存并归档, 更新当前时态图形. 图形多时态管控大大减轻了电力工作人员周期性绘制电网接线图的繁重工作量, 方便其在线上快速进行调整及周期性发布, 是图形可视化展示的基础.

图形可视化通过对模型数据的处理将图模信息互相关联, 生成不同类型的图元, 根据模型地理信息和模型之间的关联信息, 生成图元逻辑布局和联络关系, 对于图元位置采用非关系型数据库 MongoDB 的空间索引机制映射其逻辑坐标, 实现图元快速索引布局, 基于图形 ID 获取关系型数据库中对应的模型数据, 达到同一时态图模数据高效渲染展示, 其充分展示了当前调度机构管辖区域下电网连接状态, 分层展示不同电压等级及区域的厂站和线路, 统筹了图形展示形式, 整体把握了电网拓扑结构.

多业务场景全息化展示基于图形可视化组件重点实现了模块化的图形应用展示框架和业务场景分析方法, 具有高度可扩展性及通用性<sup>[12,13]</sup>. 图形应用展示框架于图形上实现了多可视化应用集成或拆分展示, 达到多业务场景衔接, 再现电网某一断面运行状态; 业务场景分析是以模型为基础, 通过分析不同时态下电网图形中图元连接关系, 形成可视化应用的过程. 多业务场景全息化展示丰富了图形应用场景, 全方位展示了电网运行状态, 宏观把控了各种业务之间的关联影响.

### 3 关键技术

电网接线图的全息化展示是图形应用扩展、业务场景分析、图模数据展示和图形时态同步等模块相互作用, 共同支撑的结果. 图形多时态管控、图形可视化和多业务场景全息化展示等技术是电网接线图全息化展示的核心技术.

### 3.1 图形多时态管控

#### 3.1.1 图形时态构建

在调控云平台环境中, 根据模型状态划分不同时态图形数据, 创建模型时态标签. 以当前模型数据为基础, 根据模型时态标签创建图形时态唯一标识, 构建模型状态判定标准. 通过模型状态判定抽取电网断面数据, 生成基态图形并分配时态标识, 构成不同时态图形如图 2 所示.

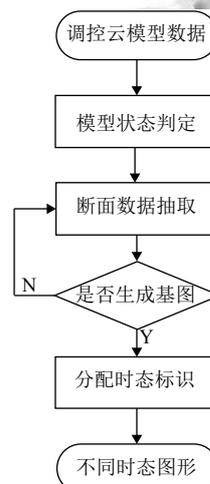


图 2 图形时态构建流程

图形时态构建时, 以电网的未来、规划和运行分别对应不同的时态集合, 每个时态集合各有一个变更线, 在各自时态基态图形上进行迭代更新, 演化电网状态变化.

图形时态构建后, 以不同时态图形集为基线, 记录图模变更记录, 可回溯图形演变过程, 追溯电网不同变化阶段. 图形保存时, 将图模数据写入关系型数据库并归档.

#### 3.1.2 图形时态维护

在图形时态维护环境中, 通过指定时态启动图形编辑, 建立多分支差异化图模维护任务, 以任务方式对图模变更进行管控, 为多时态图形并发维护提供相互隔离的数据读写环境<sup>[14]</sup>. 当某一时态图形的全部图模维护任务完成后, 各分支不同维护任务合并, 进行差异性比对, 列出不同任务对图形中相同图元的特性化操作清单, 选择接受其中一种修改方式或放弃修改, 处理完成后更新图模信息, 审核并发布图形, 生成记录如图 3 所示.

图模维护以关系型数据库为存储介质, 采用结构化方式更新图模数据, 以当前时态图形集为基准线, 通过浏览器对相应图形时态维护环境中的图形和模型进

行一体化维护。

在浏览器中对图元进行操作时,同步记录模型变更信息,当维护任务完成后,进行统一模型变更和图形绘制,实现图模统一维护。统一时态图形维护环境下,图形编辑保存通过任务锁及差异比对实现统一,防止发生图模更新冲突<sup>[15]</sup>。只有当前图形通过审核并发布后,才可开启下一阶段维护任务,以保证模型变更记录和图形变更线一致。

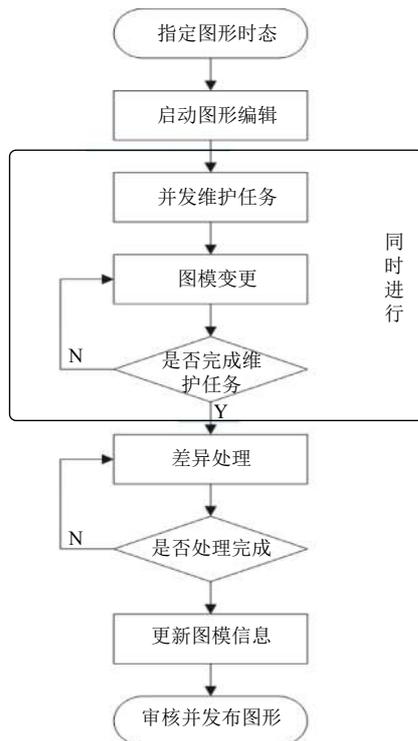


图3 图形时态维护流程

### 3.1.3 图形时态同步

图形时态同步可分为两个阶段,分别进行图模同步和图模变更。在图模同步阶段,基于台账设备模型抽取出不同时态图形数据,并在未来态及规划态中分别导入规划数据和新投、退役数据进行图模同步,得到未来态和规划态图形。在图模变更阶段,针对审核后的未来态图形,引用其图形排布,在规划态变更图模时,改变图形布局使其符合在未来态下规划的排布,通过维护得到规划态图形。在规划态图形审核发布时,由设备状态变化触发台账变更,引起运行态图形改变。运行态图形在引用规划态图形排布后,变更图模信息,审核并发布后归档图形如图4所示。

图形时态同步根据不同时态间图模转换规则,将

不同时态下图模数据相互转换,实现了原本彼此隔离的图形信息之间的相互共享,避免了重复进行图形绘制的额外工作,为不同时态间图形相互演化提供了通道,使得电网图形未来转运行有了规划判断依据。

电网图形从未来态、规划态,到运行态的全过程实时管控,记录了电网运行状态变化的整个过程,并实现了全网设备异动的全程管理,满足了图形应用的需求,是电网接线图全息化展示的根基。

### 3.2 图形可视化

传统调控系统多采用基于XML的SVG图形格式用于电网图形展示,具有图像质量高,图形小,保存方便,可扩展性强等特点,且其文件格式具有标准规范,方便进行交互和转换<sup>[16,17]</sup>。但当SVG图形中元素过多时,会出现图形加载缓慢,图元操作不便,动态渲染卡顿等问题,不利于通过浏览器进行图形维护及应用专题扩展,因此需要将图形缓存,提高其渲染能力及应用效果。

MongoDB<sup>[18]</sup>作为非关系型数据库的典型代表,其不需要固定的表结构,数据存储方式灵活,并且还具有大数据量高并发、读取效率高、全索引等优点,能快速对图模数据进行缓存。因此采用MongoDB作为图形缓存介质,通过其空间索引机制将缓存数据实时推送到Web前端,有效地提升了图形的渲染效率及易扩展性,并且可按电力系统资源配置的标准导出用于交互的SVG电网图形。

图形可视化<sup>[19]</sup>是Web浏览器触发指定时态图形进行模型数据处理、图模数据缓存、图形信息展示的过程。图形可视化呈现不同时态图模数据给用户,便于其直观追溯任意时刻电网状态,是各种业务场景全息化展示的有力支撑,图形可视化流程如图5所示。

Web前端通过图形索引页面获取不同时态图形,访问指定图形,通过其信息从MongoDB缓存中查询对应的图模数据。如果缓存中无对应图模数据,向后端发送数据请求,后端接受请求后,处理图模数据并推送至MongoDB中,再次打开同一幅图形时直接从缓存中获取数据,无需向后端请求;如果缓存中存在对应图模数据,直接从缓存中获取。获取到图模数据后,通过MongoDB的空间索引机制将其映射到前端,生成对应的图元信息和图形布局,刷新图形画面并展示。

### 3.3 多业务场景全息化展示

电网接线图的多业务场景全息化展示能实现历史和未来模型的可视化以及检修计划、故障预案、断面极限、保护配置等管理数据以图形方式直观展示<sup>[20]</sup>。通

过图形发布时间标签,进行图形溯源,反演历史场景时调用运行态已归档图形展示;监控实时状态时调用运行态当前图形展示;分析未来方式时首先调用规划态图形,

如果规划态中不存在再去未来态中查找图形,以此达到某一时刻断面电网图模数据与管理数据一致,真实地反映电网情况,准确地展示任意时刻电网运行状态。

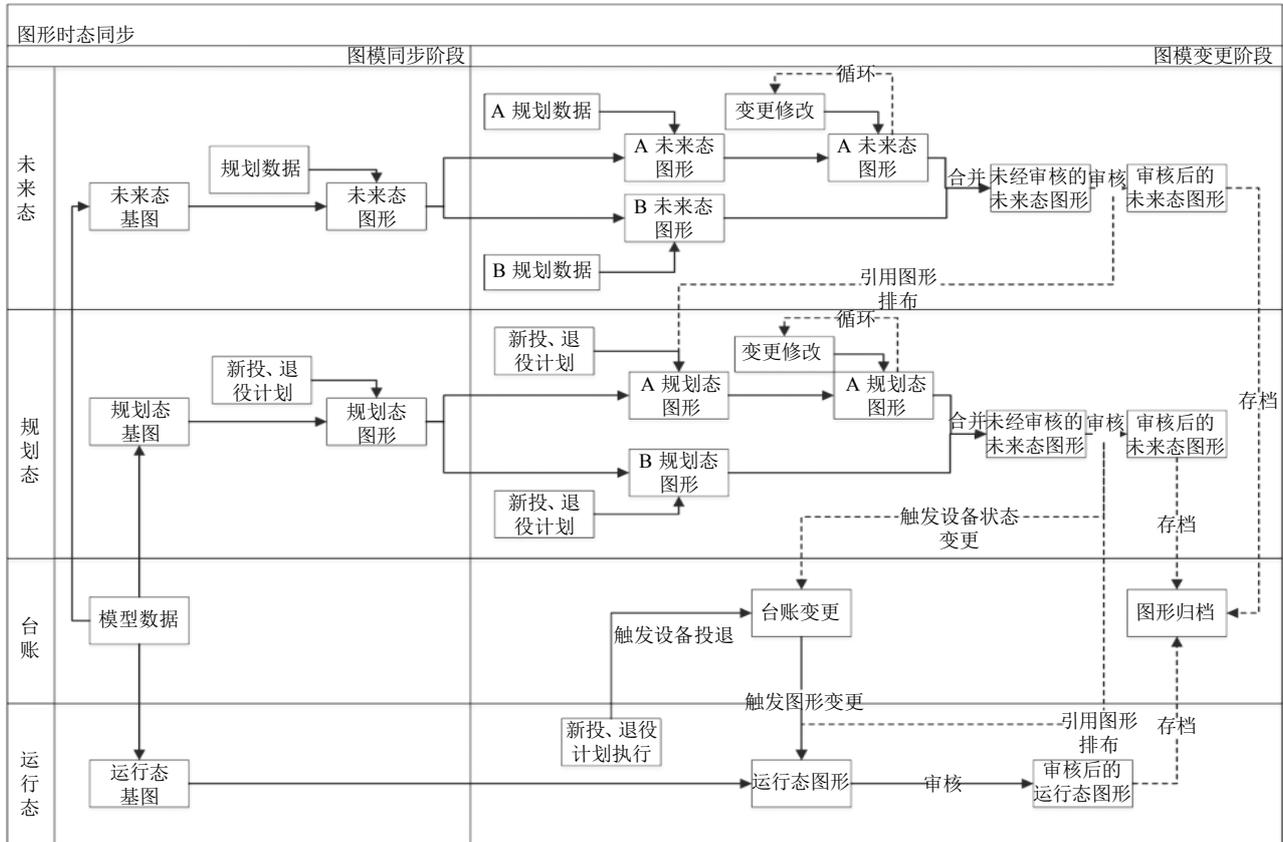


图4 图形时态同步流程

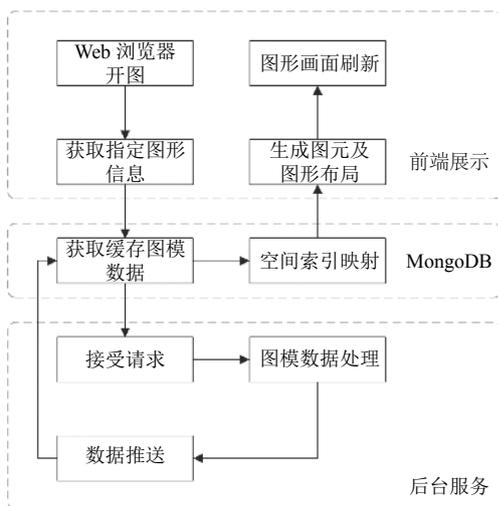


图5 图形可视化流程

在图形多时态管控及可视化的基础上,通过浏览器进行展示,利于各种电网信息在图形上叠加,且由于

电网接线图是从整体宏观角度全面展示电网的连接情况、拓扑结构,展示层次逐级深入,由全网向省、地、县级网延伸,丰富了图形的应用场景,提升了各种业务场景的展示程度,图形全息化展示流程如图6所示。

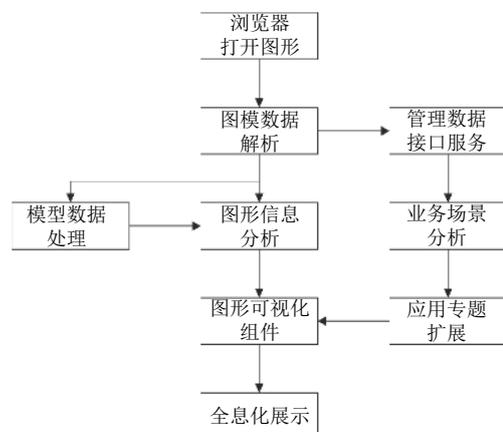


图6 图形全息化展示流程

浏览器打开图形,在进行图模数据解析时,调用管理数据服务访问接口,获取图模数据中模型ID相关的管理数据进行业务场景分析,形成专题应用并在经过模型数据处理及图形信息分析后的图形可视化组件上扩展,实现全息化展示。

基于调控云的实时数据、历史数据,在电网全模型自动成图及图形分层分区管理维护基础上叠加电网接线方式和运行方式、叠加电网潮流分布、叠加综合智能告警、叠加设备故障与缺陷信息、叠加保护配置信息、叠加设备检修信息等。从各专业角度组合观察电网及运行状态,为专业应用提供准确全面基础数据和可视化支撑,形成检修可视化、潮流可视化、故障可视化等应用模块,全面展示了电网实时或某一历史断面状态下拓扑结构及运行方式。电网接线图能有效支撑多种电力业务场景的全息化展示,为电力工作人员确认电网拓扑结构及运行状态,快速开展工作提供了强有力的保障<sup>[21]</sup>。电网接线图展示成果如图7所示。



图7 电网接线图

#### 4 实验验证

传统调控系统中电网接线图如图8所示。由图8可知,以往电网接线图样式单一,仅展示有限电压等级的电网拓扑结构,电网网络信息片面,无法宏观把握整个电网的结构和运行状态,且存在只能展示单一应用场景的局限,难以满足潮流、检修、故障等各种业务场景贯通的需要。

全息电网接线图相比传统电网图形达成了基于调控云的图形时态管控,其图元样式多样,图形信息可动态加载,能够定制展示风格,展示形式丰富,且在电网结构复杂的地区亦能快速渲染展示,解决III区传统电

网图形实时状态反馈滞后的问题,及时把控电网运行状况。通过全息电网接线图,各个调控中心能够形成各自特色的电网图形,且在其上达成自身管理业务需要的各个场景,实现了各业务场景贯通的全息化展示。并且,全息电网接线图在不同级别调控中心之间可纵向互联,在同一级别调控中心之间可横向延伸,实现了电网图形在不同地区间的远程调阅。电网接线图全息化展示技术与传统方法比较结果如表1所示。

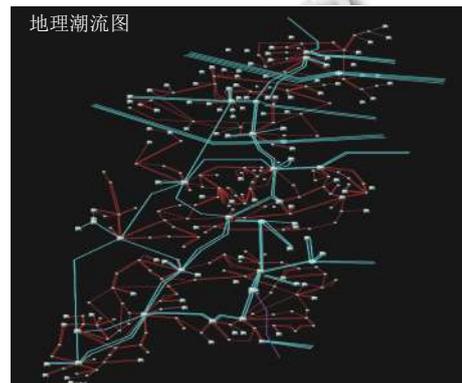


图8 调控系统电网图形

表1 电网接线图全息化展示技术与传统方法对比

对比项	全息化展示技术	传统方法
图形多维展示	支持	不支持
各个图形应用场景相互贯通	支持	不支持
基于调控云的图形时态管控	支持	不支持
复杂电网图形快速渲染展示	支持	不支持
图形信息互联互通,不同地区可远程调阅	支持	不支持

#### 5 应用实例

本文提出的基于调控云的电网接线图全息化展示技术已成功应用在多个地区的省级及以上调控中心,根据国分省一体化调度的要求,全息电网接线图应用服务分别部署在国分云及省级云环境下,可通过浏览器直接访问。

电网接线图在国分云已生成华东分中心电网图形,并且在多个省级云部署,在浙江正式上线。国、分、省、地、县各级调控中心分别生成各自的电网图形,在Web界面中编辑维护,利用与已有模型的关联关系同步更新模型数据,建立了国、分、省及省、地、县两级数据同步机制,实现图模的共享以及按调度级别分层分区维护。

电网接线图叠加各种电网信息,展示多种业务场景,宏观整体把控各级调控中心管辖范围内电网结构

及状态,达到了各种电网信息全息化展示的目标.应用可视化展示的部分效果如图9所示.



图9 应用可视化

## 6 结束语

应用结果显示,本文提出的基于调控云的电网接线图全息化展示技术探索了国分省地县一体化图模多时态管控机制,国分省地县图形融洽衔接,实现可纵向扩展、横向延展的电网接线图,统一了各级调控中心图形展示形式,方便了信息的共享.通过图形时态维护同步及时从源端维护未来态、规划态、运行态的图模;基于调控云全网拓扑数据及电网断面数据,开发全息电网接线图应用,丰富了图形展示内容及样式,极大满足了III区各种业务场景展示的需要.全息电网接线图全尺度全方位展示电网接线方式及运行方式,强有力地推进了电网图形可视化展示程度以及极大地提升了调控中心对电网运行状态的全过程管控能力.

### 参考文献

- 许洪强. 调控云架构及应用展望. 电网技术, 2017, 41(10): 3104-3111.
- 阙凌燕, 蒋正威, 肖艳炜, 等. 调控云关键技术研究及展望. 浙江电力, 2019, 38(8): 1-7.
- 张丽, 阙凌燕, 韩晓, 等. 基于调控云的电网图形一体化维护技术应用. 电力系统自动化, 2019, 43(22): 151-156. [doi: 10.7500/AEPS20190430007]
- 李伟, 辛耀中, 沈国辉, 等. 基于 CIM/G 的电网图形维护与共享方案. 电力系统自动化, 2015, 39(1): 42-47. [doi: 10.7500/AEPS20141009022]
- 程亿强, 吴晓娜, 李汇群, 等. 智能电网调度控制系统图形

- 广域维护与浏览技术. 电力系统自动化, 2017, 41(14): 171-175. [doi: 10.7500/AEPS20161116003]
- 王民昆, 韩晓, 伍凌云, 等. 基于 CIM/G 的电网调度控制系统 Web 图形展示技术. 电力系统自动化, 2018, 42(6): 81-85. [doi: 10.7500/AEPS20170731004]
- 李飞, 黄琦, 纪元, 等. 输配电地理信息系统平台图形浏览服务的实现. 电力系统自动化, 2017, 41(11): 99-105. [doi: 10.7500/AEPS20160920007]
- 周季峰, 张孝, 唐晓莉, 等. 全自动图形化的电网潮流断面展示方法. 智能电网, 2015, 3(9): 856-859.
- 曹莉莎. 基于 HTML5 的电网图形软件研究与开发 [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2013.
- 袁一鸣, 张麟, 王承民, 等. 图模一体化技术及其在电网规划软件系统中的应. 东北电力大学学报, 2009, 29(2): 1-4. [doi: 10.3969/j.issn.1005-2992.2009.02.001]
- 钱静, 徐丹丹, 蒋国栋, 等. 智能调度离线模型管理技术的深化研究. 电网技术, 2012, 36(12): 76-82.
- 曹伟, 王炎初, 顾全, 等. 基于电网省地一体化维护的图模集成研究. 中国电力, 2015, 48(2): 81-84.
- 刘伯杰. 电网调度中心图形信息跨平台共享与应用方法研究 [硕士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- 许花, 宁剑, 黄昆, 等. 基于 CIM/G 的图形多版本管理与展示. 电力系统自动化, 2017, 41(24): 164-169. [doi: 10.7500/AEPS20170316004]
- 谢俊, 石东源, 段献忠. 电力系统异构应用系统集成中的图形互操作. 华中科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(8): 103-106.
- 李亚平, 姚建国, 黄海峰, 等. SVG 技术在电网调度自动化系统中的应用. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 80-82. [doi: 10.3321/j.issn:1000-1026.2005.23.016]
- 姜彬, 唐晓莉, 叶清华. 基于 SVG 的电网 WEB 发布技术. 电网技术, 2006, 30(S2): 202-205.
- 赵越, 李培, 王震, 等. 电网图形数据管理 MongoDB 数据库的应用. 计算机系统应用, 2017, 26(3): 239-243. [doi: 10.15888/j.cnki.csa.005312]
- 黄缙华, 赵强. 基于开放标准的电力系统图数模一体化研究. 现代电力, 2010, 27(6): 73-78. [doi: 10.3969/j.issn.1007-2322.2010.06.015]
- 蒋元晨, 潘正珏. 电力管理信息系统中图形的 Web 发布. 电力系统自动化, 2003, 27(18): 61-64. [doi: 10.3321/j.issn:1000-1026.2003.18.014]
- 周海忠, 时婷, 刘光程. 基于改进 Lee 算法的电网潮流图自动绘图系统. 计算机应用, 2018, 38(S1): 218-221.