引文格式：程伟,张天宇,薛钧昶,等. 基于矢量切片的电网地理图数据编辑技术[J]. 地理空间信息, 2026, 24(2):1-5. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2026.02.001

基于矢量切片的电网地理图数据编辑技术

程　伟[1,2]，张天宇[1,2]，薛钧昶[1,2]，高　斌[1,2]，张　赟[1,2]，孟庆强[1,2]
（1. 国网电力科学研究院有限公司，江苏 南京 211106；2. 南京南瑞信息通信科技有限公司，江苏 南京 211106）

摘　要：电网地理图数据编辑是电网图形数据维护中的重要功能。传统矢量切片技术减少了渲染过程中需要处理的数据量，提高了渲染效率，但由于矢量对象被“切割”，因此其应用场景仅限于查看。分析了矢量切片以及电网图形编辑的特点，提出在矢量切片上动态叠加完整编辑数据的思路，以增加矢量切片的可编辑性，在此基础上提出一种基于矢量切片的电网地理图数据编辑技术，既保证了大规模电网地理图查看的流畅性，又实现了数据的即时编辑，并减少了数据冲突和同步更新的难度。经过验证，发现基于矢量切片的电网地理图数据编辑技术提高了编辑效率和使用体验。

关键词：矢量切片；动态加载；电网拓扑；碰撞检测；吸附器
中图分类号：P283　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2026）02-0001-05

Power Grid Geographical Map Data Editing Technology Based on Vector Tiles

CHENG Wei[1,2], ZHANG Tianyu[1,2], XUE Junchang[1,2], GAO Bin[1,2], ZHANG Yun[1,2], MENG Qingqiang[1,2]
(1. State Grid Electric Power Research Institute Co., Ltd., Nanjing 211106, China;
2. Nanjing NARI Information & Communication Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: Power grid geographical map data editing is an important function for the power grid graphic data maintenance. Traditional vector tiles can reduce the amount of data that needs to be processed during the rendering process and improves rendering efficiency. However, the vector objects can only be browsed but not edited because they are divided. We analyzed the characteristics of vector tiles and power grid graphic editing process, and adopted an idea of dynamically overlaying complete edited data on vector slicing to realize smooth viewing and real-time editing of large scale power grid geographical map data, and reduce data conflicts and difficulties of synchronous updates. Through the application verification, it can be found that power grid geographical map data editing technology based on vector tiles greatly improves editing efficiency and enhances the user experience of system.

Key words: vector tile, dynamic loading, power grid topology, collision detection, adsorber

矢量切片目前已被广泛应用于各个领域的GIS空间图中[1-4]，例如电网[5]、铁路[6-7]、海图[8]等领域。它将矢量图层以瓦片形式进行切分和存储，具备矢量数据存储空间小、使用灵活、可动态更改的优点[9-11]，同时相较于栅格瓦片又具有体积小、占用带宽小、交互性强等优点[12-15]。电网GIS中包含大量的矢量数据，使用矢量切片方式能够更好地满足电网GIS的需求[16-19]。但现有研究多聚焦于如何进行矢量切片，在微观问题处理层面不足。因此，亟需一种可在线流畅查看和即时编辑的大规模电网地理图编辑技术。

本文针对上述问题提出了基于矢量切片的电网GIS数据编辑技术，主要思想是在矢量切片上按需动态叠加待编辑对象的完整矢量数据（GeoJSON格式），在编辑过程中对两套数据进行协同配合处理，实现电网矢量切片的可编辑性。

1　基于矢量切片电网地理图数据编辑基本思路

本文通过矢量切片和GeoJSON结合的数据分层机制解决图形渲染以及大数据量在线编辑问题。通过在矢量切片上叠加GeoJSON数据，实现对特定区域或要素的补充、修改和编辑（图1）。

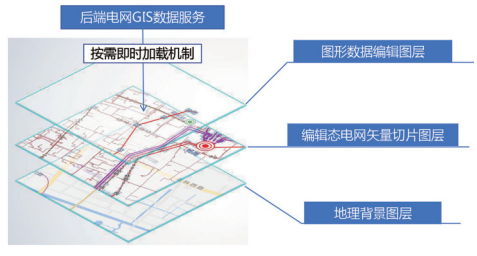


图1　矢量切片图层增量数据编辑

在电网图形编辑过程中，将GeoJSON数据与底层的电网矢量切片数据进行融合和处理，以达到准确展

项目来源：国家电网有限公司总部科技项目（5700-202340667A-3-3-JC）。
第一作者简介：程伟（1983—），硕士，高级工程师，从事电网模型、电网数字化研究工作，E-mail：chengwei5@sgepri.sgcc.com.cn。

示和编辑的目的。用户直接编辑GeoJSON数据，修改完成后重新生成矢量切片，达到在地理图上维护电网网架的效果。这样既能充分发挥矢量切片对于海量电网数据的渲染优势，也能将需要编辑的数据加载到本地，方便前端编辑交互的高效实现（图2）。

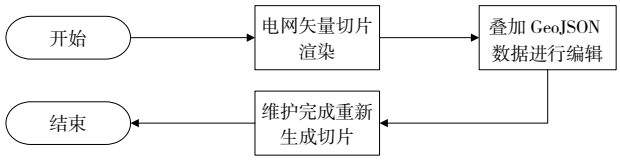


图2　电网GIS数据编辑流程

2　基于矢量切片的电网GIS数据编辑技术

2.1　电网矢量切片生成

矢量切片服务启动时，根据配置信息，将电网数据库中的电网设备数据按规则加载到内存中，将数据转换为包含坐标、属性、拓扑等信息的内存设备对象。并根据坐标信息创建设备对象的空间索引信息，方便设备的快速空间查询。如图3所示，在客户端设置矢量切片服务地址，进行电网地图浏览时，将生成切片所需的行列号与地图级别等信息传递给服务端，服务端根据切片生成配置方案等生成电网矢量切片。

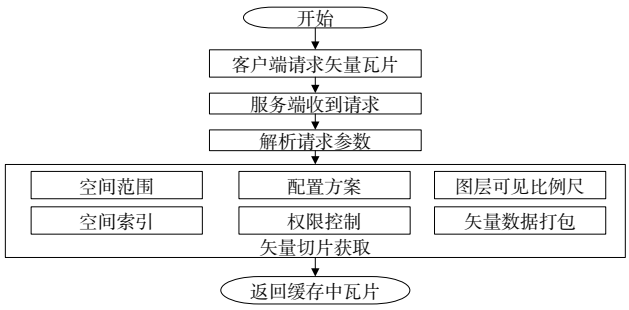


图3　电网矢量切片生成流程

2.2　设备数据动态加载

2.2.1　基本原理与流程

在静态展示方面，矢量切片技术凭借其高效的渲染和加载性能而被广泛应用，然而矢量切片自身无法支持实时编辑操作。因此，本文为了实现前端对电网设备的编辑功能，提出在矢量切片基础上叠加完整的待编辑矢量数据（如GeoJSON格式），通过2套数据的协同处理实现数据的在线编辑。如图4所示，底部展示为矢量切片，P1、P2、P3为切片上的杆塔设备，P1和P2、P2和P3之间的导线段S1、S2，分别被切片切断为S1–1、S1–2和S2–1、S2–2、S2–3。上方叠加的红色数据为编辑P2杆塔时，请求到的GeoJSON数据，P2’为与P2对应的杆塔设备，S1’、S2’为与S1、S2对应的完整的导线段数据。

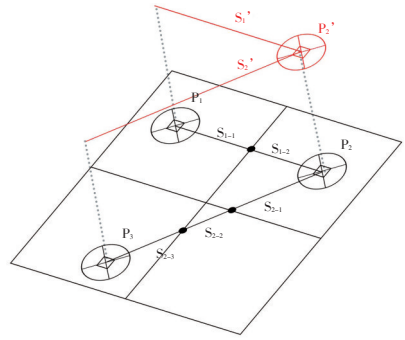


图4　矢量切片叠加GeoJSON数据

在系统进入编辑状态后，指针点击电网网架上的某一设备时，前端根据切片上的设备资源类型和ID向后端发起请求，后端返回对应设备的GeoJSON格式数据，包含坐标、资源类型、电压等级、设备名称等渲染必须的属性。前端叠加GeoJSON数据后，即可进行后续编辑操作，如平移设备、旋转设备等。在这一过程中，为了避免数据显示的重复和干扰，保障用户能够聚焦于编辑后的图形效果，同时还需要隐藏与被编辑设备对应的矢量切片数据。

设备数据动态加载具有以下优点：①在不影响原有功能的同时，做到按需请求编辑数据。②减少前端存储压力，能够根据用户的特定行为和场景，精准地获取相关数据。③灵活适应需求变化，当数据结构或内容发生改变时，只需更新动态加载的部分，无需对整个页面进行重新加载和部署，便于快速迭代和维护。

2.2.2　关联设备数据加载

考虑到前端数据存储的性能限制以及接口访问和传输时间等诸多因素，数据请求量不宜过大，且不宜频繁请求，而是在特定的操作或情境触发时，去精准地获取所需的数据，减轻系统负担。但请求的数据又必须全面涵盖当前编辑操作所必需的关键信息，按需动态请求并加载。

1）拓扑相连设备加载。拓扑相连是指电网设备之间存在电气连接关系。在电网系统中，存储电力设备的端子号，然后根据端子号来构建前端电力设备拓扑网（图5）。

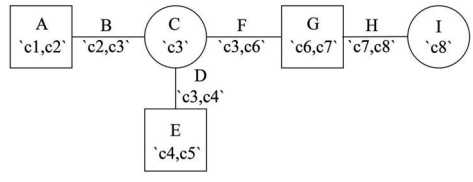


图5　电力设备端子示意图

如图5所示，A、E、G为多端子设备，C、I为单端子设备，B、F、H、D为连接线。端子序号一致的，则其拓扑相连。电气拓扑网构建完成后，需要构

建一个拓扑搜索算法。

2）从属关系设备加载。电网设备除了具有电气连接关系，还有设备间的从属关系。从属关系指的是在电网系统中，各类设备之间存在的上下级、包含与被包含、主从等层次结构关系。例如，对于同杆架设的情况，一个物理杆塔会包含两个或以上的运行杆塔，又如一个电站或一条线路内包含了变压器、断路器等多种子设备。

同杆线路的查询逻辑为：以查询容器为输电线路为例，当线路中存在同杆时，存在以下2种情况：线路1上存在运行杆，在查询当前容器图形资源前提下，还需查询运行杆所属物理杆及该物理杆上属于其他线路的运行杆及相邻设备信息；线路2上存在物理杆，在查询当前容器图形资源前提下，还需查询物理杆上属于其他线路的运行杆及相邻设备信息。

线路和站房（变电站、换流站等）查询逻辑为：当查询容器为变电站时，需查询变电站进出线部分至站外第一个点设备（图6），当查询变电站容器时，杆塔1、超连接线1、超连接线2、杆塔2需一并查询返回。图中线路表示广义概念，包括输电线路、直流输电线路、馈线。

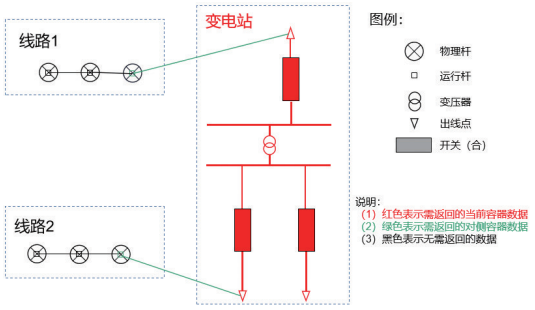


图6　线路–变电站–线路模型

2.3　设备图形编辑

对电网图形的编辑可以分为拓扑连接编辑和几何编辑，其中拓扑连接的编辑包括连接线绘制、连接线断开、设备连接关系切改和相连电网设备连续绘制等，而几何编辑包括拖拽设备移动、旋转设备角度、拖拽站房矩形框缩放、绘制运行杆在物理杆图形范围内等。

基于矢量切片的电网图形编辑技术有两个主要的难点，首先是编辑过程中图形拾取以及图形吸附器的设计和实现，其次是解决矢量切片中由于线图形被“切割”导致的线两端难以吸附的难题。

2.3.1　设备图形吸附机制设计

拾取和吸附是电网图形编辑过程中两个关键的基础功能。图形拾取是从矢量切片中根据鼠标的具体位置准确获取到待编辑的设备以进入下一步编辑操作，吸附是指在编辑的过程中，待绘制设备能够根据一定的优先级吸附到不同的电网设备上，构建准确的设备连接关系，以实现精准快捷的电网设备编辑功能。拾取、吸附功能在电网图形编辑的大量环节中发挥着关键作用，而不同的编辑模式对设备拾取吸附的需求也不相同。

本文从吸附模型的建立、吸附规则的确立、拾取吸附的逻辑设计等方面设计拾取、吸附功能。首先，需要建立锚点模型和设备类型–锚点模型之间的映射关系；其次，采用吸附权重优先级确定设备图形连接点的吸附规则，采用包围盒碰撞检测算法，通过鼠标的包围盒和设备包围盒或原始图形进行碰撞检测分析，实现设备图形的拾取；最后，实现设备图形连接点吸附器和设备图形几何吸附器的功能。

2.3.2　矢量切片中线图形吸附处理

在矢量切片中，线类型的图形要素存在跨切片的情况，导致其坐标被分割，线设备图形拾取不完整，无法进行端子吸附运算。

本文采取针对电网图形矢量切片中线设备数据二次处理的方式解决该问题。由于线设备的端子坐标总是取值于线设备的起点和终点，因此只需在线设备属性中单独存储线的起点和终点坐标。当拾取到图形几何数据被矢量切片截断的线设备时，根据其携带的起点和终点坐标属性就可获得其两端的连接点坐标信息，同时结合上文设备图形几何吸附器运算，即当鼠标位置坐标与两连接点中最近一点小于一定像素距离时，吸附运算结果表明命中了具体的电网图形连接点。与此同时，鼠标位置将预览渲染待绘制的电网设备以及待绘制设备与所吸附的线设备连接点的拓扑连接示意。经过优化分析，本文得出像素距离临界值采用5 px较为合理。当鼠标点击时，表示确认按预览结果进行绘制编辑操作，系统将通过所吸附的线设备ID和类型查询得到具体的、完整的图形几何数据，并进一步产生设备图形拓扑数据的本地增改记录，直到执行保存入库操作。

具体示意如图7，其中a、b 2点为矢量切片中预处理记录的线设备的2个拓扑连接点，红色实线段表示已加载完成的切片中所包含的该线设备的部分矢量图形数据，灰色虚线段表示还未加载至前端的剩余矢量数据，而绿色实线则表示当前鼠标拾取到的其中一截矢量图形数据。从该拾取数据中，即使图形矢量数据不包含线设备实际的起始点和终点坐标，系统仍通过startPt、endPt属性获得了a、b两点坐标数据，解决

了矢量切片技术导致电网线路图形破缺问题。经过对比验证，该方式既不会明显增加矢量切片的大小，又能良好的解决精确编辑电网线设备图形的吸附难题。

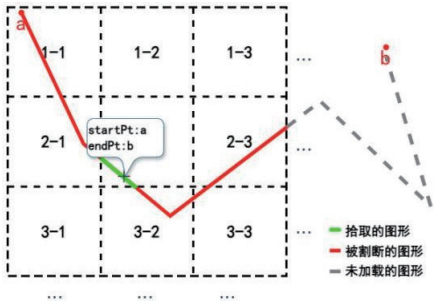


图7　矢量切片渲染对线图形的切割

图7中鼠标位于标记为绿色段的线路图形上方互动时，根据墨卡托投影原理，将地球看作一个赤道周长为6 378 137 m的理想的球体，可实时计算鼠标所在的墨卡托坐标（x，y）实际对应的经纬度（$\ln g$，lat）为：

$$\begin{cases} \ln g = \left(\dfrac{x}{63\,768\,137}\right)\left(\dfrac{180}{\pi}\right) \\ \text{lat} = \left(2\tan\dfrac{y}{e^{6\,378\,137}} - \dfrac{\pi}{2}\right)\left(\dfrac{180}{\pi}\right) \end{cases} \tag{1}$$

式中，$\ln g$、lat为鼠标所在位置的经纬度坐标；x、y为鼠标所在位置的墨卡托坐标。

计算鼠标所在经纬度到startPt、endPt的距离dis1、dis2：

$$\begin{cases} \text{dis1} = \sqrt{(\ln g1 - \ln g)^2 + (\text{lat1} - \text{lat})^2} \\ \text{dis2} = \sqrt{(\ln g2 - \ln g)^2 + (\text{lat2} - \text{lat})^2} \end{cases} \tag{2}$$

式中，$\ln g1$、lat1为startPt的经纬度坐标；$\ln g2$、lat2为endPt的经纬度坐标。

从而线路端点吸附结果targetPt可以表达为：

$$\text{targetPt} = \begin{cases} \text{startPt}, \text{dis1} < \text{dis2} \\ \text{endPt}, \text{dis1} \geqslant \text{dis2} \end{cases} \tag{3}$$

3　验证分析

根据本文研究成果开发的基于矢量切片的电网GIS数据编辑技术，模拟一个省级供电公司电网GIS数据进行验证分析，利用电网GIS数据编辑技术实现了电网地理图图形数据的可视化编辑。

将本文方法性能与GeoJSON渲染、全量数据缓存渲染2种模式进行对比。在该省级GIS平台L10~L21层级下随机选取3个不同的矩形视口范围分别进行渲染测试，部分层级测试用例数据见表1。3种方法地测试服务器均采用CentOS 7.5 64位操作系统，CPU型号为Xeon(R)@2.20 GHz，每台CPU核数为32，内存为256 GB。

表2展示了L10~L21层级的测试结果，可以发现基于矢量切片方法消耗的时间远小于其他2种方法。

表1　实验测试数据量

显示层级	近似比例尺	视口区域1	视口区域2	视口区域3
L10	1∶500 000	2 805	6 519	4 751
L11	1∶250 000	6 267	4 459	6 056
L12	1∶150 000	13 537	6 152	9 394
L13	1∶70 000	47 581	30 338	38 056
L14	1∶35 000	20 690	9 199	14 875
L15	1∶15 000	22 183	6 832	13 208
L16	1∶8 000	8 175	2 287	5 125
L17	1∶4 000	10 773	3 263	6 044
L18	1∶2 000	7 648	1 031	4 023
L19	1∶1 000	2 350	732	1 137
L20	1∶500	687	241	464
L21	1∶250	348	130	273

在数据量最大的L13层级中，基于矢量切片方法的渲染速度相较于基于GeoJSON解析方法提高了1.32 s，相较于基于全量缓存方法提高了0.60 s。在L10~L21层级中，基于矢量切片方法的渲染速度相较于基于GeoJSON解析方法平均提高了0.56 s，相较于基于全量缓存方法提高了0.17 s。

根据数据编辑测试结果（表3），可以发现在5种常见编辑场景下，基于矢量切片编辑时间与其他2种方法时间相近。编辑时间最大相差0.015 s。结合渲染测试结果，基于GeoJSON叠加矢量切片的方式整体编辑渲染效率更高。

根据3种编辑方法对比（表4），可以发现传统GeoJSON编辑方式渲染需要频繁请求服务获取视口内全量数据，导致渲染速度较慢。而全量数据缓存的客户端模式，需要提前缓存数据至本地，严重影响启动速度，且数据都在本地，难以应对电网实际业务中的多用户协同操作场景。而基于矢量切片的图形编辑技术具有渲染与编辑速度快、资源消耗低的特点，更贴

表2　数据加载测试结果

显示层级	数据渲染平均时间/s		
	GeoJSON解析	全量数据缓存	矢量切片
L10	0.313	0.112	0.050
L11	0.417	0.153	0.070
L12	0.581	0.340	0.150
L13	2.270	1.550	0.950
L14	1.330	0.780	0.530
L15	1.290	0.700	0.540
L16	0.698	0.242	0.110
L17	0.664	0.289	0.140
L18	0.580	0.211	0.090
L19	0.513	0.130	0.048
L20	0.330	0.108	0.012
L21	0.410	0.150	0.010

表3　数据编辑测试结果

图形编辑场景	图形编辑时间/s		
	GeoJSON编辑	全量数据缓存编辑	矢量切片编辑
设备捕捉停靠	0.642	0.623	0.635
同杆架设	0.598	0.580	0.610
线打断	0.860	0.828	0.840
线合并	0.713	0.706	0.720
电站间隔复制	0.284	0.265	0.280

合电网应用场景。

表4　3种编辑方法对比

数据编辑方法	数据渲染速度	图形编辑速度	资源消耗
GeoJSON解析	慢	快	中
全量数据缓存	快	最快	高
矢量切片	最快	较快	低

4　结　语

电网地理图数据编辑是当前电网中必需的功能需求，因此，本文提出了一种基于矢量切片的电网地理图数据编辑技术，在充分发挥矢量切片体积小、占用带宽小、交互性强等优点的同时，增加了矢量切片的可编辑性，解决了矢量切片只可查看的问题。该方法可确保在地理图任意漫游过程中“随看随改”，解决了海量GIS数据图形编辑面临的数据加载慢、交互卡顿等困扰，具有优良的应用前景。

参考文献

[1]　周云成，许童羽，朴在林. 基于CIM的配电网GIS数据模型存储与维护方法研究[J]. 电力系统保护与控制，2012，40(15):104-109

[2]　杨沂婷，吕舒清，颜康，等. 电网GIS平台内存数据库优化技术应用研究[J]. 山东电力技术，2015，12(42):58-60，64

[3]　赵越，李培，王震，等. 电网图形数据管理MongoDB数据库的应用[J]. 计算机系统应用，2017，26(3): 239-243

[4]　胡秋翔，崇殿兵，毕思斯. 基于锁定机制的电网GIS多用户协同编辑研究[J]. 计算机系统应用，2018，27(4):237-242

[5]　熊雄，黄晓莉. 基于GIS的数字电网平台设计与应用[J]. 电力信息与通信技术，2020，18(10): 28-33

[6]　王雪影，王英杰，刘文斌，等. 基于矢量瓦片的铁路GIS空间分层表达技术[J]. 铁道建筑，2022，62(10):156-160

[7]　靳磊，朱涛. 基于矢量瓦片技术实现铁路路网数据可视化[J].铁路计算机应用，2020，29(4):55-59

[8]　范梦琪，宋伟东，郑人维，等. 基于矢量瓦片技术的Web电子海图优化方法[J]. 海洋科学，2021，45(2):68-75

[9]　刘少博，陈彦江，陈丽，等. 一种工程矢量瓦片地图加密和压缩策略研究[J]. 地理空间信息，2024，22(8):33-36

[10]　刘杰，魏娟. 矢量地图渲染技术研究[J]. 地理空间信息，2021，19(11):128-130

[11]　聂沛，陈广胜，景维鹏. 矢量瓦片并行构建与分布式存储模型研究[J]. 地球信息科学，2020，22(7):1 487-1 496

[12]　王文杰，申传庆，张哲，等. 基于矢量瓦片的电子地图显示范围控制方法[J]. 地理空间信息，2023，21(12):125-127

[13]　王治铭，范光鹏，陈飞翔，等. 适用于矢量瓦片缓存替换的视点相关预测区域算法[J]. 地理与地理信息科学，2021，37(1):5-10，46

[14]　Hu W，Li L，Wu C，et a1. A Parallel Method for Accelerating Visualization and Interactivity for Vector Tiles[J]. Plos One，2019，14(8):1-21

[15]　唐伟. 抗拼接攻击的矢量瓦片数据水印算法[J]. 地理与地理信息科学，2019，35(6):20-24

[16]　韩超伟，史绍雨，韩晓冬，等. 一种稠稀矢量瓦片的构建方法[J]. 测绘科学技术学报，2018，35(6):627-632

[17]　李志坚，夏伟，雷伟刚，等. 基于云架构下的电网动态矢量切片技术研究[J]. 微型电脑应用，2023，39(1):66-68

[18]　Zhang Y，He Y，Wu H W，et al. Rendering Optimization Method and Implementation of Power Grid WebGIS Based on Web Worker[J]. Journal of Physics:Conference Series，2023，2 418:012077

[19]　沈阳世纪高通科技有限公司. 一种将GIS数据切割成矢量切片的方法中国:CN116383320A[P]. 2023-07-04