

文章编号: 1007-2993(2024)02-0127-05

# 基于 GIS 的勘察数字化平台关键技术研究与实践

李春亮 刘 续

(中冶武勘工程技术有限公司, 湖北武汉 430080)

**【摘要】** 为解决海量勘察数据高效加载及可视化展示, 提出了以 GIS 技术为基础的勘察数字化解决方案, 实现了区域内跨年代勘察钻孔一张图的实时可视化渲染、三维钻孔柱状图自动构建与展示、基于空间特征的勘察业务数据分析与统计应用等功能, 并在某大型钢铁企业勘察成果管理方面取得了较好的应用效果, 可为相关技术研究提供借鉴与参考。

**【关键词】** WebGIS; 矢量瓦片; 勘察数字化; 三维可视化

**【中图分类号】** P628

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2024.02.001

## Implementation of Key Technology for Survey Digital Platform Based on GIS

Li Chunliang Liu Xu

(WSGRI Engineering & Surveying Co., Ltd., Wuhan 430080, Hubei, China)

**【Abstract】** To solve the efficient loading and visual display of massive survey data, a digital survey solution based on GIS technology was proposed. The real-time visual rendering of a map of cross-age exploration boreholes, automatic construction and display of 3D borehole histogram, survey data analysis, and statistical application based on spatial characteristics were realized. Through the application of the survey results management in a large iron and steel complex, it has achieved good results and also provided a reference to carry out related technology research.

**【Key words】** WebGIS; vector tiles; survey digitization; 3D visualization

### 0 引言

勘察资料作为区域地质信息的重要载体, 具有重要的经济价值和社会价值。在目前档案管理模式下, 勘察信息主要以碎片化形式存储在纸质报告中, 给再利用带了较大的不便, 影响了其价值的发挥<sup>[1]</sup>。在信息化时代, 如何有效挖掘和利用勘察数据成为研究的热点之一。通过 GIS 技术实现了空间勘察数据一张图、海量勘察数据快速高效展示, 基于空间特征进行勘察数据分析与利用, 为提高勘察数据的价值利用提供了可行的方法及途径。

### 1 平台架构

勘察数据是勘探点、地层、原位试验、土工试验等多源信息的集成, 表现层面包含了勘探点平面地图、等值线图、钻孔柱状图、勘察报告等。按照数据与业务应用之间相互关系构建系统的总体架构, 主要划分为 4 个层级, 分别是数据层、服务支撑层、平台应用层及业务层, 各层级结构如图 1 所示。

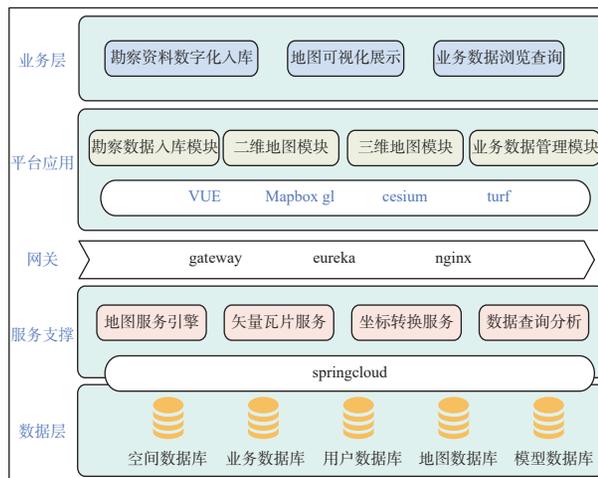


图 1 平台总体架构图

数据层: 提供整个项目的数据库访问与持久化存储, 关于数据库访问、检索、持久化的任务在这一层完成, 涉及到的数据库包含关系型数据库 (postgresql)、非关系型数据库 (redis) 及文件数据库等。相关的数据按照类型进行划分, 主要包括勘察业务数据、GIS 矢量数据、地图数据、文件数据、模型数据及用户数

作者简介: 李春亮, 男, 1988 年生, 汉族, 安徽宿州人, 硕士, 工程师, 主要从事智慧岩土平台产品的研发与推广应用工作。E-mail: 316603905@qq.com

据等。

**服务支撑层:**该层以 API 的形式将底层服务提供给上层的应用,具有弹性强和整合性高的特点,提供的服务主要包括二三维 GIS 服务、矢量瓦片服务、坐标转换服务、数据查询及分析服务等。平台各服务通过 nginx 及 eureka 等工具进行反向代理与负载均衡,既实现了服务端与 Web 端的独立开发与部署,同时增强了服务的高可用性和可扩展性。

**平台应用层:**主要是实现具体的功能模块,平台采用 vue 框架及开源 GIS 组件 mapbox gl、cesium 等进行界面的搭建与功能的开发。平台的应用层共分为 4 个部分,包括勘察数据入库模块、二维地图模块、三维地图模块及勘察业务数据管理模块。

**业务层:**主要包含勘察资料数字化入库(以项目为单位进行入库)、二三维地图可视化展示及各勘察业务数据的检索、查询、分析等。

## 2 关键技术

### 2.1 勘察数据坐标系统一化处理

20 世纪 50 年代我国开启了全国范围内的大规模地质勘探工作,期间坐标系经历了北京 1954、西安 80 和国家 2000 的变革,导致不同年代、不同片区采集到的勘察钻孔的参考坐标系有可能不一致,而实现勘察一张图首先需要确定统一的坐标系。因此,在进行数据录入的过程中,需将各坐标系统一处理成同一种坐标系,本项目以国家 2000 坐标系为例进行介绍。

平台在梳理各坐标系之间转换关系的基础上,研发了一套通用的坐标转换服务,实现勘察数据的坐标转换。该服务的实现思路如图 2 所示。

#### 2.1.1 梳理各坐标系之间的转换参数

工程上常用的坐标系一般统称为工程坐标系,是在设计、施工时采用的一种平面投影坐标系。目前我国普遍采用的是国家 2000 椭球、3°带高斯投影坐标系<sup>[2]</sup>。原始勘探资料中的数据坐标系主要是在北京 54 坐标系、西安 80 坐标系等国家标准坐标系的基础上做了偏移和加密等处理。首先,需要通过控制点解算出各勘探资料工程坐标系与国家标准坐标系之间的转换参数,并将其换算为数学公式;其次,计算国家标准坐标系(如果该国家标准坐标系本身就是 2000 坐标系则跳过此步骤)到 2000 坐标系之间的转换参数。由于 2000 坐标系之前的坐标系普遍采用的是参心坐标系,与国家 2000 坐标系(地心坐标系)的参考椭球参数不同,如长半轴、扁率、地心引力常数等,不同椭球之间的坐标转换一般采用四参数、

七参数等模型完成<sup>[3]</sup>。本项目采用了七参数中的经典的布尔莎转换模型进行坐标之间的转换,提供控制点数量不少于 3 个。七参数主要是指 3 个坐标平移量( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ )、3 个坐标轴的旋转角度( $\Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma$ )及尺度参数  $K$ ,七参数转换法是借助间接平差法计算模型中的七个参数<sup>[4]</sup>,从而实现各坐标系到国家 2000 坐标系的转换。

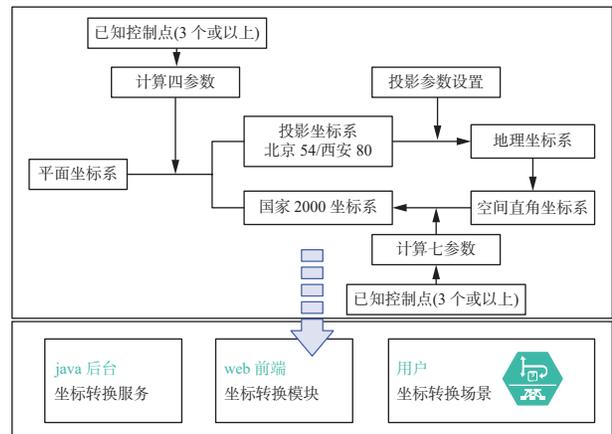


图 2 坐标转换流程图

#### 2.1.2 坐标系之间的转换服务

将上一步骤中提取出来的各工程坐标系与国家标准坐标系,以及国家标准坐标系到 2000 坐标系之间的转换算法封装成程序代码,嵌入到 java 服务程序中,实现各坐标系到国家 2000 坐标系的正向及反向坐标转换等能力,并向 Web 端提供各坐标转换服务。在 Web 端页面按照业务需求将各转换服务封装成简单易用的坐标转换模块,用户可以在数据录入过程中实现各坐标系之间的一键转换,在方便用户操作的前提下,极大地提高了工作效率。此外,系统还提供了坐标转换配置页面,管理员可以动态维护和新增各坐标系到 2000 坐标系之间的转换参数。

### 2.2 勘察大数据实时可视化展示

大批量勘探点(10 万点以上)数据在进行二维地图可视化展示时,如果采用常规的 geojson 格式进行数据传输,则会遇到网络传输耗时、Web 端加载渲染效果差等问题。因此,平台为提高勘探点数据加载效率,同时兼顾用户视觉体验,提出了分层实时加载技术的解决方案,其中分层是指在不同地图比例尺层级下采用灵活的数据加载方式,如在小比例尺下通过服务端聚合方式展示勘探点,在大比例尺下用矢量瓦片的方式展示勘探点。既能满足用户浏览需求,又能使勘探点数据实时在地图上进行渲染。

服务端聚合是指采用 PostGIS 的 width\_bucket 方法将地理空间数据按照指定的属性值范围分布

到一定数量的集合中,并执行相应的聚合操作。矢量瓦片是矢量数据多尺度表达的一种形式,它按照金字塔模型将矢量数据切割成若干个描述性文件,每个文件中都存储了投影区域的几何信息与属性信息<sup>[5]</sup>。矢量瓦片具有格式紧凑、空间占用小、样式动态编辑、交互性强等优势<sup>[6]</sup>,目前已经在 Web 端地图配图领域占据越来越重要的地位。

本方案具体实现思路如图 3 所示。

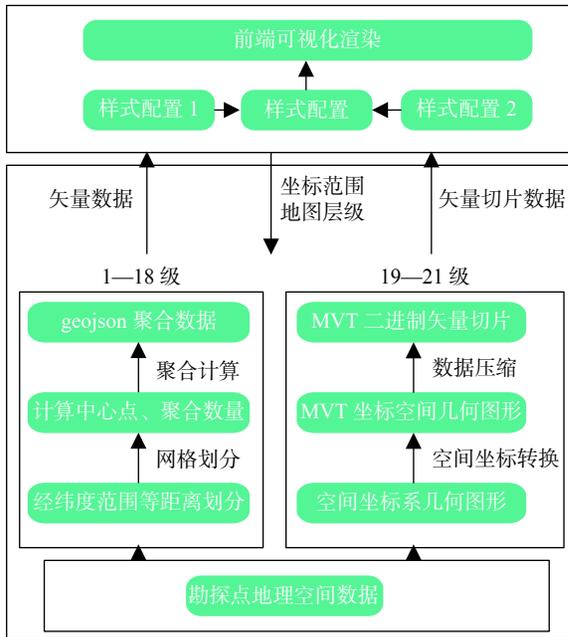


图 3 勘察数据分层实时加载流程图

在进行勘探点地图可视化渲染时,通过屏幕坐标范围及当前地图比例尺层级来确定服务器渲染方案。当地图比例尺层级处于 1—17 级时,勘探点比较密集,用户往往更倾向于以聚合图的方式查看勘探点的分布情况,此时运用 PostGIS 的 `width_bucket` 方法,按指定数量的单位对当前视图的地理范围进行网格切分,然后计算切分后的各网格点中心点坐标及网格范围内的聚合点数量,并获取到当前层级的聚合矢量数据,最后以 `geojson` 格式传送数据至 Web 端。当地图比例尺层级处于 18—21 级时,运用矢量瓦片方式,通过 `ST_AsMVTGeom` 将勘探点地理空间数据由空间坐标几何图形转换为 MVT 格式的屏幕坐标几何图形,再借助矢量瓦片函数 `ST_AsMVT` 将数据生成矢量瓦片数据,压缩并转换为二进制格式数据传送至 Web 端。

平台服务器端借助 `java` 程序进行封装后,通过网络传输为 Web 端提供矢量瓦片服务,然后在 Web 端运用 `MapboxGL` 的 `WebGL` 高性能渲染器,将勘探点数据(1—18 级 `geojson` 数据及 19—21 级矢量瓦

片数据)通过 `source` 源与自定义样式 `styles` 配置参数相结合,生成用户所需的勘探点地图可视化图。该方式简单方便、样式渲染灵活、交互性强,能够实现海量数据(50 万以上)的快速实时可视化渲染。

### 2.3 钻孔三维柱状图实时生成与展示

钻孔柱状图是为描述钻孔穿过地层的层性、厚度、岩性、结构构造和接触关系、地下水取样和试验、钻孔结构和钻进等情况而编制的综合图件<sup>[7]</sup>。以往钻孔柱状图主要以二维平面图、桌面端(C/S)三维柱状图为主,随着计算机软硬件技术的发展与渲染引擎的不断迭代更新,使得浏览器端无需借助第三方插件就可以对三维模型进行兼容与展示。

在整理与分析钻孔地层地质资料数据的基础上,借助 Web 端三维引擎 `cesium` 及相关算法,实现了基于地质分层的三维柱状图的实时生成与可视化渲染技术。该技术的主要步骤包括以下两个方面:

(1)地层数据预处理。钻孔的地层数据主要包括地层编号、地层名称、地层描述、层顶高程、层底高程、所属钻孔 ID、地层关联钻孔的地理坐标等字段。用户在取值过程中主要以勘察项目或者通过在地图上框选矩形/多边形等为输入条件,搜索符合条件的钻孔地层数据。然后对数据预处理,即将地层数据按照钻孔与地层深度排序。

(2)钻孔三维柱状图实时生成。地层数据在进行预处理后,得到了一个有序的数据组合,遍历该数据组合,可根据每段地层的层顶高程及层底高程计算出该段地层的中心位置及地层高度,将其作为生成该段钻孔柱状图的中心点位置及柱状图高度,然后根据已知的孔径、地层颜色、地层编号、地层坐标等参数,运用 `cesium` 的 `CylinderGraphics` 方法对该段钻孔进行模型的创建。若干段钻孔组成一个完整的钻孔柱状图,当所有循环结束,最终的钻孔柱状图模型被创建。

生成的钻孔柱状图模型如图 4 所示,可以直观地反映出钻孔的地层分布情况,点击钻孔的指定位置,可以查询对应的详细的地层信息。

### 2.4 勘察数据空间分析技术

空间分析能力是 GIS 区别于其他信息化技术的核心特征,是以地理空间数据为基础,通过一系列数据公式与算法,结合行业知识,共同构建一套空间分析模型,能够对地理事件进行有效地分析、模拟、预测与调控<sup>[8]</sup>,进而解决实际工作中遇到的问题。目前 GIS 的空间分析技术已经在各行各业中得到了广泛应用。在本文中,GIS 空间分析能力主要体现在以下几个方面:

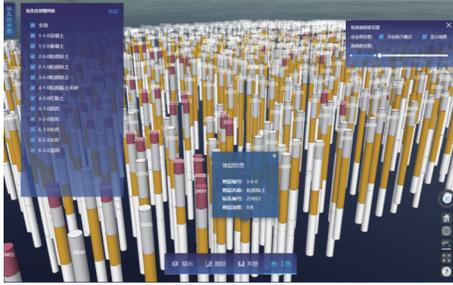


图4 三维钻孔柱状图

(1)等值线分析。平台实现了基于地层高程与地层厚度的等值线图的生成与展示功能,通过提取钻孔的各地层层底高程数据及地层层厚数据,运用克里金(Kriging)空间插值算法<sup>[9]</sup>,首先对采样点进行网格化处理,剔除明显异常点,再进行空间插值,最终生成基于地层高程与地层厚度的等值线数据,通过二三维地图可视化界面展示,用户能够直观地查看区域内各地层(层底)的高程分布情况与地层厚度分布情况。

(2)缓冲区分析。为便捷查阅指定位置附近的钻孔分布信息或地层分布信息,系统采用了缓冲区分析的技术手段。缓冲区分析是一种用于确定地理特征在周围一定范围内的空间分布情况的工具<sup>[10]</sup>,在本系统中,通过在地图特定位置绘制一个点、一条线或者一个面,然后输入缓冲半径和查询条件(钻孔查询/地层查询),即可通过缓冲区分析算法,获取该缓冲半径范围内所有符合条件的查询结果,并在地图上以高亮形式展示给用户。

(3)热力图分析。该功能通过提取钻孔各地层层底高程数据及地层层厚数据,借助 postgis 自带的 width\_bucket 函数生成热力图并传送至网页端,然后在网页端采用 mapbox gl 与 cesium 渲染引擎进行解析与二三维可视化展示。热力图分析的引入,能够帮助用户直观地查看区域内某一地层的高程聚集分布情况及层厚聚集分布情况,从而为在该区域内再次制定勘察设计方案时提供科学合理的依据。

除此之外,平台还实现了空间量算(长度、面积、角度等)、钻孔剖面、空间信息查询、统计分类等诸多 GIS 分析功能。

### 3 某钢铁基地勘察成果数字化应用

基于上述关键技术建成的勘察数字化平台,某大型钢厂地质数字化项目实现了以下目标:

(1)勘察成果电子化入库。通过平台的数据录入模块,用户可方便将勘察图件、勘探点数据、勘察报告扫描件等数据快速录入到系统中。

(2)勘察坐标统一化处理。借助平台提供的坐标转换服务,可实现对不同年代、不同坐标系下的勘探

点坐标快速转换为国家 2000 坐标。

(3)勘察成果一张图。坐标数据统一后,即可在一张图上查看厂区内所有勘探点的位置(见图 5)及其属性信息,基于分层实时加载技术,数十万计的勘探点无论是以聚合点展示形式,还是以海量钻孔点展示形式,都可以平滑地进行渲染与过渡,响应时间基本控制在毫秒级。

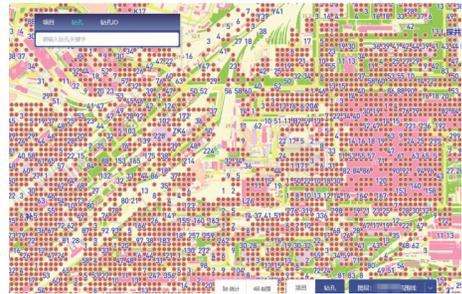


图5 勘探点位置分布图

(4)地质三维可视化展示。平台支持全厂区三维地质模型与不同年代的三维地形模型(见图 6)的在线浏览与分层展示,并且可以根据钻孔与地层数据实时生成勘探点三维柱状图模型,直观地向用户展示了厂区地面以下的地质地质分布情况,一定程度上提高了用户对复杂地质构造数据的易理解性。

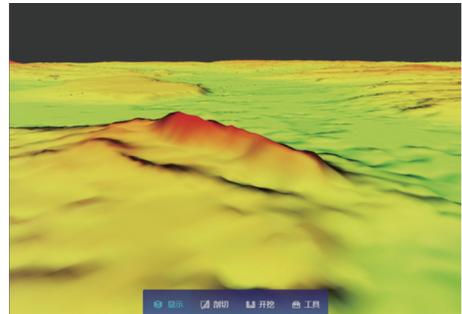


图6 厂区三维地形模型图

(5)地质数字化分析与应用。平台基于 GIS 技术提供了多样化的数据分析与应用功能,如针对地层数据的等值面云图(见图 7)、等高线图(见图 8)及热力图等分析功能、地质数据空间缓冲区分析与查询功能、三维场景下的模型剖切与开挖功能以及地层剖面图分析等。



图7 地层等值面云图



图 8 地层等高线图

#### 4 结论

勘察数据与信息由传统载体形式向信息化、数字化、智能化转型是未来勘察行业发展的必然趋势, 本文通过 GIS 信息化技术, 实现了跨年代勘察钻孔一张图的实时可视化展示、三维数字化模型构建与应用及相关 GIS 空间分析技术等功能, 解决了传统勘察纸质资料信息难共享、数据利用率低的问题。通过二三维 GIS 的可视化表达, 勘察数据更立体、生动与直观, 同时提升了数据的可流动性与复用性, 为后续工程的设计、施工及监测等工作提供了数据支撑与技术积累。

#### 参 考 文 献

[1] 赵惠芹. 信息化时代勘察设计单位档案管理工作研究

[J]. 办公室业务, 2022, (1): 75-77.

[2] 邓 勇, 张正禄, 黄江雄, 等. 工程测量中的坐标转换相关问题探讨[J]. 测绘科学, 2011, 36(5): 28-30.

[3] YANG Y X. Chinese geodetic coordinate system 2000[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(15): 2714-2721.

[4] JÓZSEF ZÁVOTI, JÁNOS KALMÁR. A comparison of different solutions of the Bursa-Wolf model and of the 3D, 7-parameter datum transformation[J]. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 2016, 51: 2.

[5] 李 飞. 基于矢量切片的实时路况服务设计与实现[J]. 测绘与空间地理信息, 2020, 43(11): 96-99.

[6] 方登茂, 张晓平, 刘 梁. 基于PostGIS的矢量瓦片按需组装技术研究[J]. 城市勘测, 2021, (5): 65-69.

[7] 王友林, 王建明, 程新星. 跨平台钻孔柱状图的自动生成[J]. 岩土工程技术, 2016, 30(1): 28-32.

[8] 王劲峰, 李连发, 葛 咏, 等. 地理信息空间分析的理论体系探讨[J]. *地理学报*, 2000, (1): 92-103.

[9] WOODARD R. Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging[J]. *Technometrics*, 2012, 42(4): 436-437.

[10] 凌德泉, 毕硕本, 左 颖, 等. 缓冲区分析综合模型构建研究[J]. 测绘科学, 2019, 44(9): 47-53.

收稿日期: 2023-03-07