doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2026.01.015

引用格式：董洪成，张达，黄灏，冀虎，石宏伟. 基于Cesium的地下金属矿山开采三维可视化软件平台设计与应用[J]. 矿冶，2026，35(1)：115-121.

DONG Hongcheng, ZHANG Da, HUANG Hao, JI Hu, SHI Hongwei. Design and application of 3D visualization software platform for underground metal mining based on cesium[J]. Mining and Metallurgy, 2026, 35(1): 115-121.

基于Cesium的地下金属矿山开采三维可视化软件平台设计与应用

董洪成[1,2] 张 达[2,3] 黄 灏[4] 冀 虎[2,3] 石宏伟[4]

（1. 北京矿冶研究总院，北京 100160；
2. 中国－南非矿产资源可持续开发利用“一带一路”联合实验室，北京 102608；
3. 矿冶科技集团有限公司，北京 100160；
4. 云南驰宏锌锗股份有限公司科技工程分公司，云南 曲靖 655011）

摘 要：随着信息化技术的飞速发展，矿山智能化建设需求不断提高，传统的二维图形可视化技术逐渐无法满足矿山开采设计、生产作业、综合管控的可视化需求，而三维图形可视化的应用能够更直观地展示空间关系，提升可视化效果。本文基于Cesium三维可视化引擎技术，设计开发了地下金属矿山开采三维可视化软件平台，实现了地表地形、工业场地、地质地层、井巷工程、矿体及采空区等多源多场景三维模型的一体化集成与融合展示，有效提升了矿山不同作业场景下的三维数字可视化设计及管理水平。

关键词：Cesium；三维可视化；地下金属矿山；软件平台；可视化设计

中图分类号：TD76 **文献标志码：**A **文章编号：**1005-7854(2026)01-0115-07

Design and application of 3D visualization software platform for underground metal mining based on cesium

DONG Hongcheng[1,2] ZHANG Da[2,3] HUANG Hao[4] JI Hu[2,3] SHI Hongwei[4]

(1. Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy Technology, Beijing 100160, China;
2. China-South Africa BRI Joint Laboratory on Sustainable Exploration and Utilization of Mineral Resources, Beijing 102608, China;
3. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China;
4. Technology Engineering Subsidiary of Yunnan Chihong Zinc & Germanium Co. Ltd., Qujing 655011, Yunnan, China)

Abstract: With the rapid development of informatization technology, the demand for digitalized construction of mines has been continuously improved. The traditional two-dimensional graphics visualization technology has gradually failed to meet the visualization needs of mining design, production operations, comprehensive management and control. The application of three-dimensional graphics visualization can more intuitively display spatial relationships and improve visualization effects. This paper designs and develops a three-dimensional visualization software platform for underground metal mining based on Cesium three-dimensional visualization engine technology. This platform realizes the integrated display of multi-resource and various three-dimensional scenario models such as surface topography, industrial sites, geological strata, roadway engineering, ore bodies and goafs, and effectively improves the three-dimensional digital visualization design and management level under

收稿日期：2025-05-13
基金项目：国家重点研发计划项目(2024YFC2909500，2024YFC2909505)
第一作者：董洪成，硕士研究生，研究方向为智能矿山。E-mail：hongcheng3042@163.com
通信作者：张达，博士，正高级工程师；E-mail：zhangda@bgrimm.com

different operation scenarios of mines.

Key words: Cesium; three-dimensional visualization; underground metal mine; software platform; visual design

近年来，随着信息化技术的迅猛发展，各类新技术已广泛应用于矿山智能化建设中。新一代互联网、云计算、大数据、人工智能及地理信息系统（Geographic Information System，GIS）等技术的成熟与融合，为智慧矿山的发展提供了坚实的技术基础[1-3]。其中，地理信息系统在矿山领域的应用逐渐普及，但随着矿山生产模式的创新和技术需求的快速增长，传统的二维可视化系统逐渐暴露出其在应对矿山复杂作业环境和高效安全生产中的不足。与传统二维可视化技术相比，三维可视化将“实体空间”与“虚拟呈现”相结合，融合多媒体与网络技术，能够呈现更强、更直观的空间关系和可视化效果，显著提升了信息的表现力[4,5]。

因此，本文结合矿山开采技术及管理内生需求，基于Cesium三维可视化引擎，结合倾斜摄影、遥感影像、三维建模及图形渲染技术，设计并开发了基于B/S架构的地下金属矿山开采三维可视化软件平台，有效提升了矿山技术及管理人员对复杂生产环境的透明可视化设计与管理水平。

1 关键技术

1.1 Cesium 可视化引擎技术

Cesium是一款基于WebGL的3D地理信息地图引擎库，支持创建虚拟场景并用于基于Web的动态数据可视化框架。WebGL是一种在Web浏览器中进行图形渲染的API，基于底层的图形处理单元（GPU）加速渲染。Cesium结合了WebGL技术和GIS概念实现了WebGIS框架，利用WebGL进行硬件加速图形渲染，无需任何插件支持，并且具有跨平台和跨浏览器的特性。通过利用GPU的并行计算能力，Cesium能够高效地处理大规模的三维场景和复杂的渲染效果，包括地形、模型、贴图、光照和阴影等。同时，WebGL提供的功能和特性使得Cesium能够绘制和渲染复杂的三维图形，它支持顶点着色器和片段着色器编程，可以对三角形网格进行变换、光照计算和纹理映射等操作。

在交互控制方面，Cesium支持丰富的API，通过修改相机属性（如位置、朝向、视距）灵活控制场景视角，并集成鼠标、键盘交互，便于用户操作，实现流畅的二/三维一体化展示。基于Cesium三维可视化引擎，可实现遥感影像、地表地形、工业场地、地质地层、矿产资源、采矿工程等二维地图与三维模型的统一加载与融合展示，以及矿山多源多场景的实景还原与数据可视化，为矿山辅助设计、生产管理与决策提供了强大的技术支撑。

1.2 三维模型构建与加载技术

三维实景模型的构建主要依靠三维激光扫描和无人机倾斜摄影技术。三维激光扫描适用于小范围、精细化测量的需求，无人机倾斜摄影技术则更适用于矿区大范围的测量需求。本文选用无人机倾斜摄影技术，通过在飞行平台上搭载多镜头相机，从不同角度采集地物影像，获取全面的三维空间数据，构建生成倾斜摄影模型。同时，井巷、采空区等地下空间模型采用三维激光扫描和地质剖面重建技术进行建模，地质资源模型基于钻孔记录、工程测量图纸及地质勘查等资料，采用剖面拟合与体素建模方法构建。使用无人机拍摄的矿山地物影像，通过专业建模软件进行数据预处理、空三演算、模型重建、纹理映射和模型导出等处理操作，输出OSGB格式的三维倾斜摄影模型。与传统建模方法相比，倾斜摄影三维建模在效率、模型精细度和生产成本方面均具有显著优势[6]。

通常，经过三维重建生成的OSGB格式的倾斜摄影模型需要转化为Cesium可以加载的3D Tiles格式。3D Tiles作为一种用于高效流式管理、传输和渲染大规模异构3D地理空间数据的模型格式，为Web和移动平台高效加载、渲染和交互式地浏览三维场景提供了一种标准化的方法[7]。本文选用CesiumLab处理技术对OSGB格式的模型进行优化压缩，最终转化为轻量级、高保真的3D Tiles格式模型文件。

在地下金属矿山开采三维可视化软件平台中，倾斜摄影模型生成的地表数据与地下模型共同作为3D Tiles的数据源。通过倾斜摄影模型获取的倾斜影像可以被切分成瓦片，并与相应的地理数据进行关联。倾斜摄影模型生成数据可以用于创建地表或建筑物模型，这些模型可以被切分成3DTiles，用于展示和可视化[8]。由于涉及矿山矿区地貌、建筑物以及地下模型的展示，使用3DTiles切片技术加载和呈现地形数据，可以提供地形、高程等更真实的矿区地形地貌和选矿厂、排土场、地下巷道和采空区等空间场景的可视化展示，帮助矿山工作人员直观展示矿

区的地形、建筑物和地下空间布局等真实场景[9]。

2 总体架构设计

本文设计开发的软件平台采用如图1所示的系统总体架构，整体划分为数据层（DaaS）、服务层（PaaS）和应用层（SaaS）三层结构，系统架构采用分层设计思想，有效降低了系统耦合度，形成分层清晰、功能明确的系统架构。

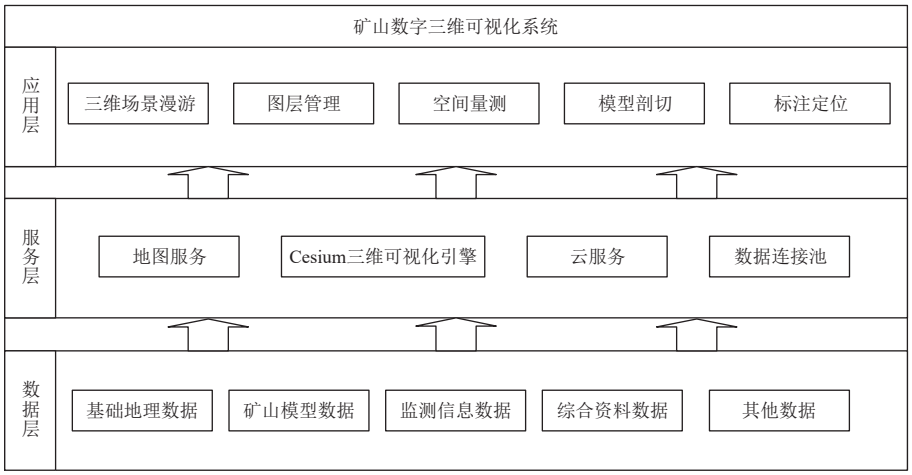


图1 三维可视化软件平台总体架构

Fig. 1 Overall architecture of 3D visualization software platform

1）数据层（DaaS，Data as a Service）

数据层负责对矿山相关的各类基础数据进行统一采集、预处理、存储与管理。涵盖地表倾斜摄影模型、地质资源模型、采矿工程模型、监测监控及生产作业数据、综合资料数据及其他相关数据。通过标准化处理与空间数据库管理，保证数据的完整性、准确性和可高效访问性，为上层服务和应用提供可靠支撑[10,11]。

2）服务层（PaaS，Platform as a Service）

服务层提供面向平台可视化应用的基础服务与中间件支撑，确保数据与可视化功能的高效调用与渲染，提供地图服务、三维可视化引擎（Cesium）、云服务资源管理及数据接口服务等功能。该层屏蔽底层数据的复杂性，通过统一标准接口向应用层开放多种服务能力，实现资源的高效调度与统一调用。

3）应用层（SaaS，Software as a Service）

基于服务层提供的能力开发各类矿山可视化与管理应用功能，主要包括矿山场景漫游、矿山图层管理、矿山地形量测、矿山模型剖切、矿山标注和坐标定位等功能。应用层注重用户体验，支持跨平台访问，提供直观、交互性强的矿山三维可视化与管理服务。

该三层架构通过“数据标准化、服务虚拟化、应用场景化”的递进设计，构建了由底至上的技术支撑体系，实现了数据处理、服务调度与业务展示的有效分离与有机融合，为后续各功能模块的开发与集成提供了框架基础。

3 功能开发与实现

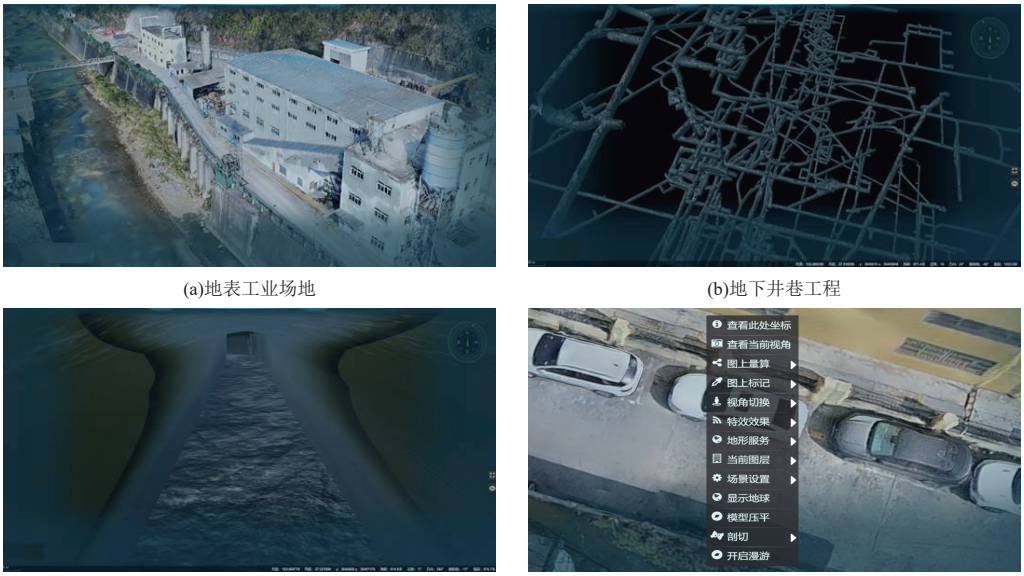
本文在Cesium三维可视化引擎框架基础上，设计开发了矿山开采二/三维一体化的数字可视化软件平台。平台主要功能包括三维场景漫游、图层管理、空间量测、模型剖切、标注定位等，实现了对矿山真实场景模型集成展示和分层加载，直观展示了矿区复杂生产环境的三维场景与地物属性，为矿山辅助设计、生产管理及决策提供了有力支撑。

3.1 场景漫游

本文基于Cesium可视化技术框架和天地图（MAPWORLD）地图服务开发了基础数据底图基座，模拟真实地球场景，对应真实地理位置信息，实现了支持人机交互的矿区真实场景模型多视角漫游，以及矿山矿区地貌、建筑物、基础设施的直观展示与真实场景还原[12]，如图2所示。场景漫游可替代传统二维图纸或实地考察，为矿山规划、安全培训和采矿设计等矿山应用场景提供真实三维环境。为后续的空间量测、模型剖切等功能提供了统一的空间数据交互环境。

3.2 图层管理

场景图层管理功能采用前后端数据交互方式，实现了对多源三维模型的分层加载与渲染展示[13]。



(a)地表工业场地　(b)地下井巷工程

(c)巷道内部自主漫游　(d)三维场景漫游功能菜单

图2　矿山三维场景还原及漫游

Fig. 2　Mine 3D scene restoration and roaming

矿山各类模型图层以树状分级列表形式在管理菜单中展示，通过选中不同模型类型，实现多源多场景三维模型的集成加载与可控显示。平台采用统一坐标转换与精确对齐，确保不同来源的三维模型能够在三维场景中准确定位，清晰呈现模型之间的空间关系与相对位置，如图3所示。图层管理提供了灵活高效的模型组织与管理手段，便于在实际生产场景中对不同类别的空间信息进行独立控制与可视化分析。为空间量测、模型剖切等功能提供了数据筛选接口，确保仅操作当前激活的模型层级。



(a)场景图层管理　(b)地上地下三维场景一体化展示

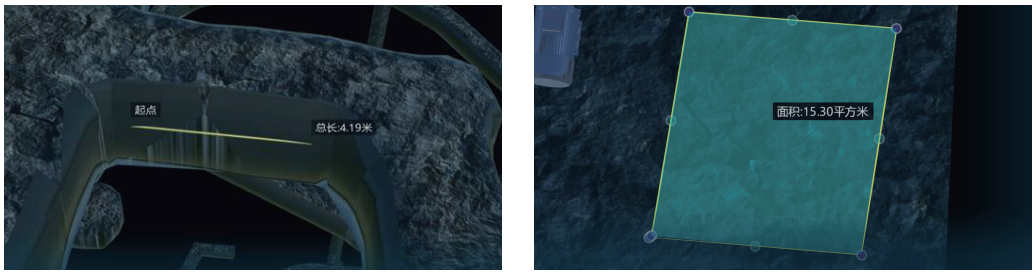
(c)地下巷道模型　(d)地表倾斜摄影模型

图3　三维场景图层管理

Fig. 3　3D scene layer management

3.3 空间量测

矿山空间量测功能基于三维场景环境，设计开发了高精度的空间量测软件模块，实现了矿区地表及地下三维模型的距离测量、高程测量、面积计算等功能。通过选取量测的起止点量测范围，系统根据模型原始数据及坐标信息，实时返回量测结果，如图4所示。空间量测功能支持巷道间距测量、开采区域尺度评估及风险区域空间评估，为生产设计与安全评估提供量化支持，有效替代传统人工测量方式，降低了井下作业风险。



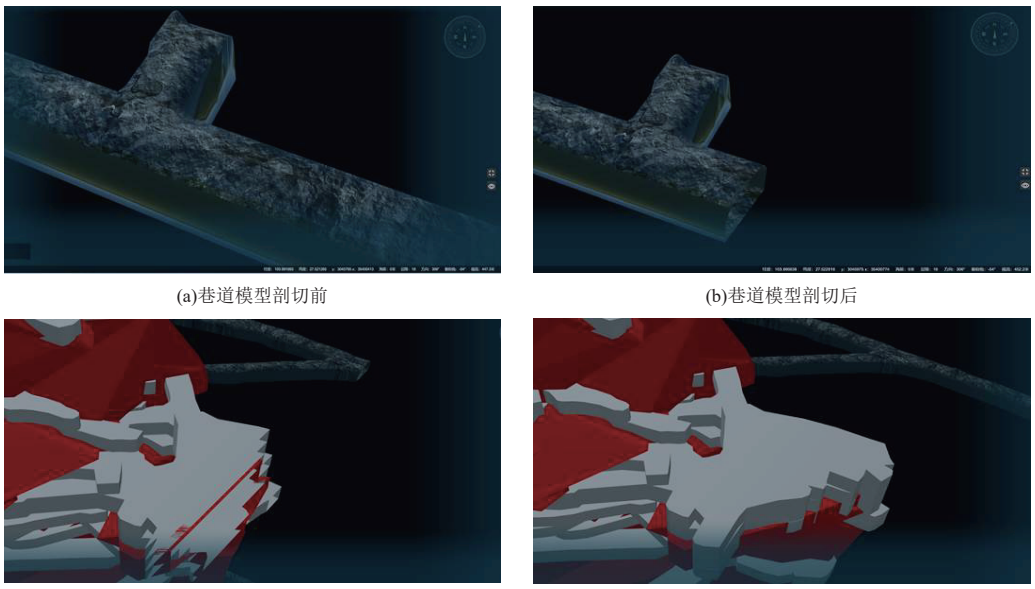
(a)巷道距离测量　　(b)巷道面积量测

图4　矿山空间量测

Fig. 4　Mine space measurement

3.4 模型剖切

本文设计开发的矿山模型剖切功能，实现了对矿区地表模型、地下巷道模型等多源三维数据的任意剖切、切片与内部结构展示功能。支持通过灵活定义切割剖面，对复杂地质结构、巷道布置及采掘空间的局部查看与深入分析，如图5所示。模型剖切为采掘工艺设计、生产调度与隐患排查等实际场景提供了功能支持，辅助储量计算与开采方案优化。



(a)巷道模型剖切前　　(b)巷道模型剖切后

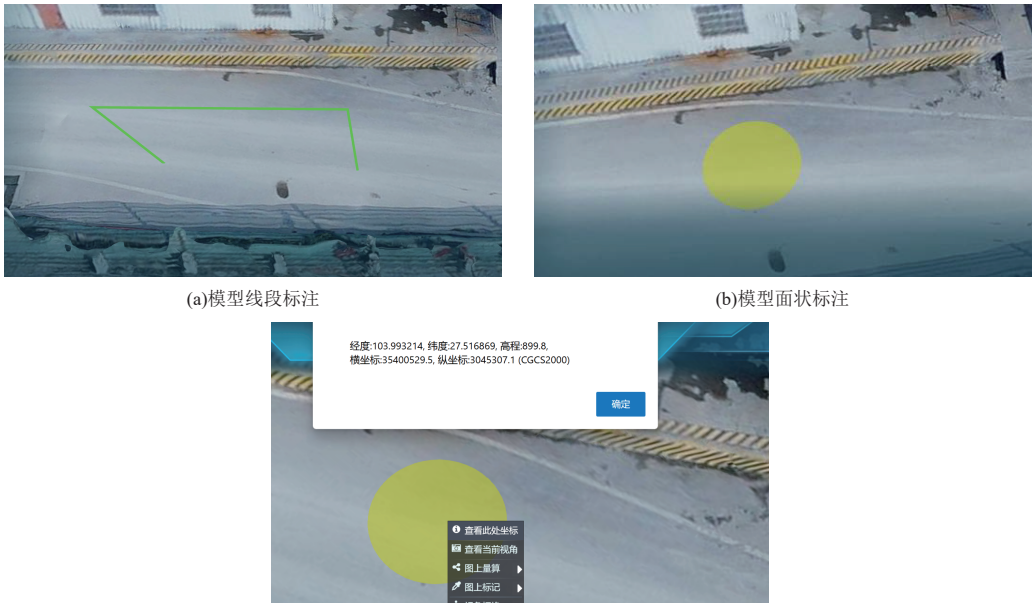
(c)空区及矿体模型剖切前　　(d)空区及矿体模型剖切后

图5　矿山模型剖切

Fig. 5　Mine model cutting

3.5 标注定位

矿山标注与坐标定位功能，实现了对矿区重要地物、地下工程及关键作业区域的空间标注和坐标查询。基于三维模型可直接添加线段、面状等多种形式的标注信息，支持矿山作业点位坐标的快速定位，辅助制定矿山生产设计方案，如图6所示。



(a)模型线段标注　　(b)模型面状标注

(c)矿山位置坐标定位

图6　矿山标注定位

Fig. 6　Mine marking positioning

4　平台应用

本平台已在某地下金属矿山进行了系统集成与应用，全面采集并统一管理了矿山对应的地表地形、工业场地、地质地层、井巷工程、矿体及采空区等多源数据模型，如图7所示。平台实现了不同模型数据的标准化处理与空间融合展示，确保了地上与地下空间信息的一致性与准确性。通过平台应用，极大提升了矿山三维数据的可视化管理水平，为后续矿山智能化生产调度、风险预警、综合管控及辅助决策等业务场景应用，提供了坚实的平台支撑和技术保障。



图7　矿山数字可视化平台应用

Fig. 7　Application of mine digital visualization platform

5　结论

本文围绕地下矿山数字化管理与三维可视化需求，基于Cesium三维可视化引擎设计并实现了地下金属矿山三维可视化平台。通过引入真三维渲染技术、海量数据快速加载与优化处理技术，平台有效整合了地表地形、工业场地、地质地层、井巷工程、矿体及采空区模型，实现了多源数据模型的一体化管理与高效展示。实际应用结果表明，平台能够准确反映地下矿山复杂的空间结构特征，提升了矿山数据

可视化管理、作业辅助决策与安全分析的能力，为地下矿山智能化、数字化建设的发展提供了技术保障。

参考文献

[1] 鲁丽，杨超超，唐雅梅. 露天矿山数字化三维可视化监管平台技术应用研究[J]. 安徽地质，2024, 34(2): 182-185, 192.
LU L, YANG C C, TANG Y M. Digital 3D visualization supervision platform technology applied to open pit mining[J]. Geology of Anhui, 2024, 34(2): 182-185, 192.

[2] 顾陈浩. 基于GIS的矿产资源开发利用监管信息化平台建设研究[J]. 测绘与空间地理信息，2023, 46(6): 144-147.
GU C H. Research on the construction of mineral resources exploitation and utilization supervision information platform based on GIS[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2023, 46(6): 144-147.

[3] 闫勇，李彪，杨化超，等. 基于Cesium框架的智慧矿山三维可视化应用平台搭建[J]. 矿山测量，2020, 48(6): 106-109.
YAN Y, LI B, YANG H C, et al. Construction of 3D visualization platform of smart mine based on Cesium framework[J]. Mine Surveying, 2020, 48(6): 106-109.

[4] 王济农，孙帮涛，张驰. 基于Three.js的地压监测可视化分析云服务平台构建与应用[J]. 有色金属(矿山部分)，2023, 75(6): 21-25.
WANG J N, SUN B T, ZHANG C. Construction and application of a cloud service platform for visual analysis of ground pressure monitoring based on Three.js[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2023, 75(6): 21-25.

[5] 刘炳锋，林吉飞，吴涛，等. 金属地下矿开采三维可视化技术及应用[J]. 矿冶，2015, 24(4): 10-14.
LIU B F, LIN J F, WU T, et al. The 3D visualization technology and its application in underground metal mines[J]. Mining and Metallurgy, 2015, 24(4): 10-14.

[6] 赵建春. 基于倾斜摄影测量技术的实景三维建模及精度分析[J]. 科学技术创新，2022(7): 127-130.
ZHAO J C. 3D modeling and precision analysis of real scene based on oblique photogrammetry technology[J]. Scientific and Technological Innovation, 2022(7): 127-130.

[7] 黄欣然，江文萍，刘一飞，等. Cesium环境中三维场景数据的加载优化策略[J]. 测绘地理信息，2022, 47(增刊1): 94-98.
HUANG X R, JIANG W P, LIU Y F, et al. Loading optimization strategy of 3D scene data in Cesium[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2022, 47(Sup. 1): 94-98.

[8] 竹一飞，黄猛，张淞，等. 基于Cesium的地震应急信息三维可视化平台研究与实现[J]. 信息技术与信息化，2024(9): 91-96.
ZHU Y F, HUANG M, ZHANG S, et al. Research and implementation of 3D visualization platform for earthquake emergency information based on Cesium[J]. Information Technology and Informatization, 2024(9): 91-96.

[9] 左文娜，豁辉. 基于GIS技术的矿山空间信息管理与应用研究[J]. 世界有色金属，2024(24): 217-219.
ZUO W N, HUO H. Research on mining spatial information management and application based on GIS technology[J]. World Nonferrous Metals, 2024(24): 217-219.

[10] 张绍周，苏之品，陈玉明. 智慧矿山三维可视化管理系统研发[J]. 有色金属(矿山部分)，2022, 74(2): 1-5, 16.
ZHANG S Z, SU Z P, CHEN Y M. Research and development of 3D visualization management system for smart mines[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2022, 74(2): 1-5, 16.

[11] 郑佳荣，李青元，王强，等. 三维地矿建模系统设计开发[J]. 有色金属(矿山部分)，2017, 69(5): 92-96.
ZHENG J R, LI Q Y, WANG Q, et al. Design and development of 3D geology and mineral modeling system[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2017, 69(5): 92-96.

[12] 郭宝宇，张作昌，董希彬. 基于倾斜摄影的矿区三维场景建模及Web平台构建[J]. 现代测绘，2020, 43(5): 38-43.
GUO B Y, ZHANG Z C, DONG X B. 3D scene modeling research and realization of coal mine area based on oblique photogrammetry[J]. Modern Surveying and Mapping, 2020, 43(5): 38-43.

[13] 库新勃，张玮，胡昕，等. 混合渲染方法智慧矿山三维可视化综合管理系统建设[J]. 能源与节能，2023(12): 1-4, 48.
KU X B, ZHANG W, HU X, et al. Construction of three-dimensional visualization comprehensive management system of smart mine based on hybrid rendering method[J]. Energy and Energy Conservation, 2023(12): 1-4, 48.