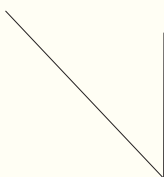


露天矿山矿产资源开发利用与生态复绿三维可视化系统的设计与实现

文 ◆ 湖北省地质局第一地质大队 吴 健 孟俊俊 黄光辉



引言

近年来，在“自动化、数字化、智能化”深度融合的大形势下^[1]，我国能源资源行业一直致力于推动矿山的数字化、智慧化发展。随着绿色矿山、智慧矿山建设的急切需求，新兴技术兴起和政策的助力推动^[2-4]，GIS 与实景三维等技术在露天矿山设计、生产、生态复绿、监管等方面发挥重要作用。随着科技的进步，数据的范围日益扩大，其结构也日益



【作者简介】吴健（1983—），男，湖北襄阳人，硕士研究生，高级工程师，研究方向：工程测量、航测遥感、地图编制和地理信息系统应用。

复杂，传统的二维图已无法满足现实需求。因此，三维可视化技术应运而生，它将实体与虚拟完美结合，利用多媒体、网络技术创造出逼真的3D虚拟现实，使数据的表现形式更加生动形象^[5]。为了满足矿山矿产资源开发利用与生态复绿方案设计通俗与直观的可视化需求，开发了露天矿山矿产资源开发利用与生态复绿三维可视化系统，生动地虚拟矿山开发利用各阶段以及生态复绿等应用场景，为矿业权的申报和规划决策提供有力的辅助，也为矿山的可持续发展和生态环境保护提供了强大的技术支撑。

1 系统构建

1.1 系统设计思路

通过精心采集、处理和加工矿山及其主要设施设备、周边环境等多源异构数据，构建矿山相关三维模型，运用3DGIS、倾斜摄影、纹理映射等先进技术，基于开源游戏引擎构建多种三维矿山场景并添加有关功能。基于数据库管理二维属性数据，通过分析和处理二维数据，并与三维场景融合叠加进行可视化展示，同时对一些属性数据通过UI的形式进行可视化表达。对矿山现状、基础建设、生态复绿等过程的整个生命周期进行三维可视化效果呈现，充分展现出矿山矿产资源开发利用与生态复绿设计方案的独特之处，提供更深入、全面的体验。

1.2 总体架构

系统基于C/S架构，主要是数据的深度集成和直观可视化，整个系统分为数据层、应用层和业务层三大主要模块。数据层主要是对数据的采集、分析与处理，通过制定好的规则将数据进行融合处理。应用层主要是将数据以直观简洁的方式进行可视化表达，并在此基础上实现地图操作的基本功能。业务层是在应用层的基础上，对各阶段矿山场景进行管理，在三维空间数据底板的基础上，实现矿山开发利用与生态复绿规划生命周期展示、人视分析等各项与方案展示相关的内容，助力全方位了解与评估设计方案。

1.2.1 数据层

数据层扮演着系统需求分析、设计以及数据存储系统之间相互交互的基础角色，主要由矿山DOM、DEM、各种矢量数据（包括从行业主管部门收集的各类专题要素）、实景三维数据、三维建筑模型数据等组成。数据层为系统提供数据模型，并将数据传送给前端功能业务层，以进行界面化渲染、展示和分析。

1.2.2 应用层

应用层是基于开源游戏引擎打造的C/S端系统，实现矿山场景高度渲染展示功能以及二次开发功能。主要包括三维场景漫游、人视分析、高空游览、矿山生命周期直观展示功能。

1.2.3 业务层

业务层指系统根据实际业务需求，设计结合实际使用习惯以及需求的多种展示功能，包括矿山规划生命周期的三维数据更新与展示、各种视角的导览方式等，确保能够从多个角度、多个阶段全面、深入地了解矿山的整体情况。

2 系统实现

2.1 数据处理

2.1.1 三维模型制作

模型数据主要包括倾斜三维模型、工业场地基建要素三维模型和矿山终了与生态复绿效果设计三维模型。基于矿山开采设计图与生态修复设计图等图件文本资料，对采矿平台以及周边进行三维模型的制作与集成，对矿山开采的现状、基础设施建设以及生态复绿效果场景进行数据精确修整。

（1）倾斜摄影数据处理。根据场景需求，对现状无人机倾斜摄影数据进行处理，处理成可编辑的三维数据模型，可适配矿山整个生命周期，并搭建矿山现状的三维基础场景。

（2）工业场地基建要素三维模型建模。根据工业场地布置图等规划图纸，对道路、溜井、平硐胶带、卸矿平台、破碎站、堆料区、办公生活区建筑、配电房、空压机房、维修间等进行手工三维建模，模拟矿山基础设施与设备建设后基本情况。

（3）矿山终了与生态复绿效果设计三维建模。依据矿山现状模型，对倾斜模型和手工模型进行整合与修改，使矿山开采平台三维模型和整体三维倾斜模型能够瞬间完美衔接融合。矿山终了模型主要展示矿山开采后的矿坑效果以及山体情况。依据生态复绿设计方案，精心设计构建矿山生态复绿效果三维模型，对涉及的地形、土壤、植被等模型进行建模，模拟矿山生态复绿整体情况，并结合修改的倾斜模型，将生态复绿效果模型和倾斜摄影模型相融合，检查整体矿山三维模型是否符合土地复垦质量要求，

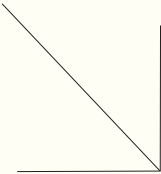


图 1 系统效果图

全方位展示矿山生态复绿情况。

2.1.2 搭建场景和优化模型效果

将倾斜三维模型、工业场地基建要素三维模型、矿山终了模型、矿山生态复绿模型进行集成优化，在矿山三维展示平台中进行可视化展示。使用专业的渲染引擎对三维模型场景进行渲染，完成颜色融合、消除遮挡面、雾化等过程，提升模型搭载后的整体流畅度以及可视化效果。

2.1.3 搭建展示平台

基于游戏引擎开发制作三维可视化平台，利用倾斜摄影数据搭建三维可视化场景，在此基础上融入矿山各手工三维模型。搭建矿山现状、基础设施设备建设、终了和生态复绿效果，实现开采全生命周期效果展示。平台具有基本交互功能、人视分析、高空浏览、路径展示等功能，能把控产品整体美工效果、互动操作流畅性、光照系统等。系统效果图如图 1 所示。

2.2 系统功能

2.2.1 人视分析

以第一人称形式在矿区高速公路行走，并模拟车行视角效果，沉浸式感受矿山对“五边三化”环境的影响，并可快速切换

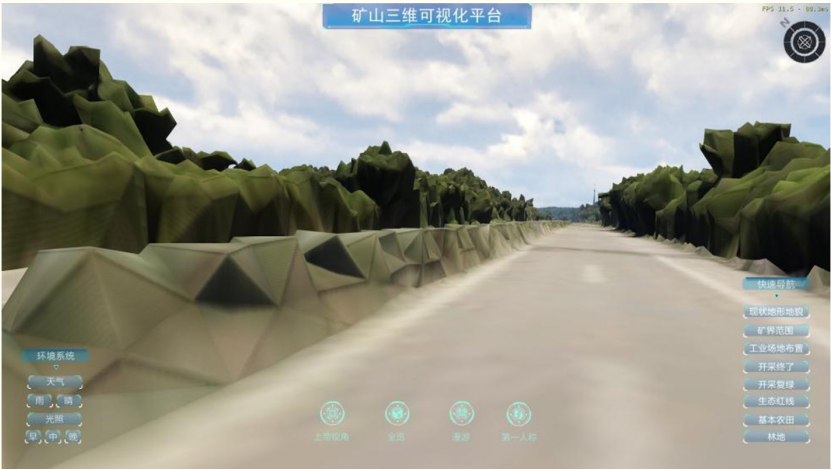


图 2 第一人称视角

到指定地点进行人视视角模拟，观察矿区与山体之间的可视情况。第一人称视角如图 2 所示。

2.2.2 高空游览

支持快速切换到第三人称视角，从空中整体鸟瞰观察矿山整体情况，在高空鸟瞰中可切换展示不同阶段矿山的情况。快速切换到指定位置，从高空观察指定位置的情况，并展示不同阶段矿山指定位置的情况。

2.2.3 固定路径视频

支持固定路径自动视频播放。根据定制化的展示需求，设置自动漫游矿山展示视频，以自动播放视频的形式对矿山进行自动化三维展示。

2.2.4 矿山生命周期展示

通过按钮 UI 的形式触发展示在不同阶段矿山的三维模型，切换展示在不同阶段矿山的效果场景模拟。矿山生命周期内不同阶段效果场景展示如图 3 所示。

3 应用效果

当前在黄石地区多家露天矿山采矿权申报过程中，监管部门对《矿产资源开发利用与生态复绿方案》评审提出了更多的检核、审核和评审

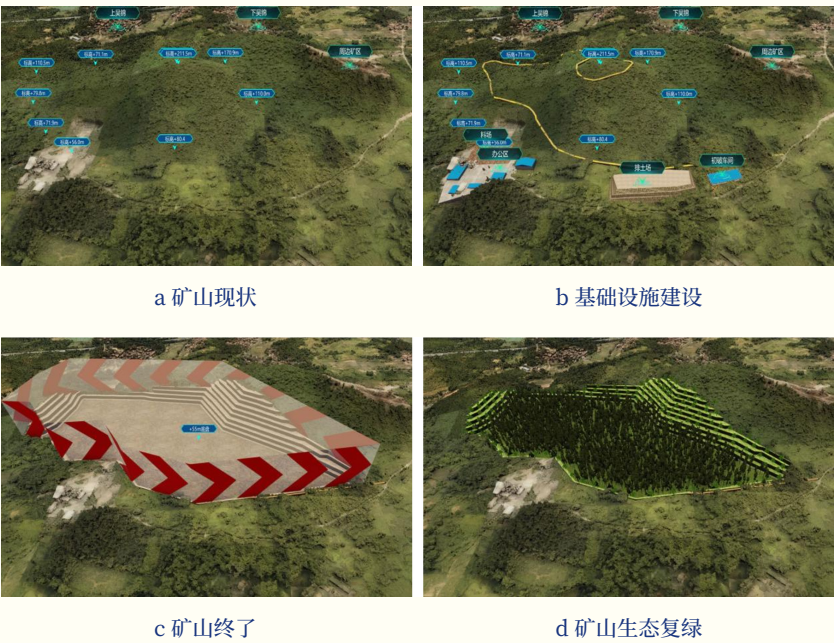


图 3 矿山生命周期效果场景展示

要求。结合监管部门、矿业权人和方案设计单位的需求进行分析与设计，综合运用 3D GIS 技术、三维建模和虚拟仿真技术，实现矿山整体、主要设施设备、环境等多源数据的采集、分析与集成，快速、直观、多角度、全生命周期对矿山开发以及生态复绿各个阶段的三维可视化展示，供众多监管部门从职责出发进行沉浸式多角度有效的专业分析与审查，有效辅助主管部门和地方规委会等监管部门对拟开采矿山规划的可行性、科学性以及环保性等多方面进行新颖、直观与快捷的评判，获得了较高评价与肯定，取得了较高的经济效益和社会效益，并形成了地方示范效应，成为后续露天矿山绿色矿山创建《矿产资源开发利用与生态复绿方案》的标准展示表达方式。系统对地质灾害治理、矿山生态修复、矿山储量动态监管等类似项目的设计或成果的丰富展示表达具有较强的借鉴意义，近几年在黄石地区进行了推广与普及应用，取得了较好的效果。系统涉及地质、GIS、航测与遥感、计算机、国土空间规划等多个专业，对技术人员的专业能力、专业交叉整合能力、政策领悟力与执行力等提出了较高的要求，在设计与实现过程中磨合锤炼出一支特色专业高效的团队。

结语

露天矿山矿产资源开发利用与生态复绿三维可视化系统基于 3D GIS、三维建模和虚拟仿真技术，以数据层、应用层、业务层为系统架构，采集、修复和制作矿山相关三维模型，将倾斜数据、人工建模数据、栅格数据、矢量数据等进行集成和优化，并构建不同阶段三维效果场景，最终搭建展示平台。同时，设计并加入制作场景漫游、人视分析、高空游览、开采生命周期展示等多样化功能，实现多源异构数据的重构、关联与集成，直观且快速地展示矿山矿产资源开发利用与生态复绿方案，为

矿山数字化、智能化建设提供数据底座，为各类数据共享与协同提供支撑^[6]。数据和系统将在后续绿色矿山、智慧矿山生产建设与监管中进一步优化升级，进一步探索与研究在井下矿山中的应用与推广，围绕生态环境修复、矿政与矿业监管等方面创新更多应用。^[8]

引用

[1] 曾祥峰.智慧矿山资源技术系统构建的关键技术[J].矿业工程,2022,20(4):57-59.

[2] 王金娜,焦学军,宋会传,等.基于CESIUM的露天矿山实景三维智能监管技术研究[J].地理空间信息,2021,19(8):93-96+6.

[3] 陶兰花,马静,李娜娜,等.基于PCI GXL与INPHO软件在GF-7影像生产中的应用[J].地理空间信息,2021,19(8):90-92+96+5-6.

[4] 佟德凯.我国煤矿综合机械化开采技术现状与思考[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(12):228-229.

[5] 李阳,周琛鸿,李绪萍.智慧矿山系统的发展与应用[J].能源与节能,2023(2):181-183.

[6] 徐刚强,刘艳红,李文新.面向全生命周期的矿山地测数字化平台设计[J].采矿技术,2022,22(4):216-219.

