实景三维建模技术在智慧矿山数字化建设中的应用研究

张朝军

云南华联锌铟股份有限公司 云南 文山 663701

【摘 要】：实景三维建模技术可解决露天矿山人工管理精度低、管控难等问题，支撑测绘规划、边坡防控、储量核算及生态修复。针对模型精度不均、数据割裂、更新滞后、人才短缺等短板，需从完善建模标准、打通数据壁垒、健全更新机制、强化人才建设等方面发力，全面提升智慧矿山数字化建设质量。

【关键词】：实景三维建模；露天金属矿山；智慧矿山；数字化建设；边坡安全管控

DOI:10.12417/2811-0536.26.10.085

数字技术正推动矿业转型。露天金属矿山开采环境复杂、安全风险多、生态治理难，传统的二维管理和人工模式已严重落后。实景三维建模能把矿山全貌搬进数字世界，弥补老旧办法的不足，服务安全生产、资源管控和生态修复，是矿山数字化改造的关键技术。

1 实景三维建模技术在智慧矿山数字化建设中的应用

1.1 优化矿山测绘工作，科学规划开采方案

露天金属矿山普遍具备作业幅面开阔、地形形态多变、开采台阶层级复杂、高危作业点位密集的行业特征，矿区现场陡坡、临空面、高陡边坡分布广泛，整体测绘作业难度远高于常规工矿场地。实景三维建模技术依托无人机倾斜摄影、激光雷达融合采集的作业方式，可全面替代传统人工野外测绘作业，实现露天金属矿山全域场景的无死角数据采集，有效覆盖各类高危、复杂作业区域，彻底消除传统测绘的数据空白区域。一线技术人员可依托成型的实景三维模型，系统核验矿区地形高程、坡面倾角、台阶跨度等核心参数，精准甄别矿体分布范围、科学划定开采边界与禁采区域[1]。同时，技术人员可结合矿山年度生产计划、矿体赋存特征，依托三维可视化场景编制、优化分层开采方案与场地布设方案，有效规避传统开采规划依托经验判断、数据支撑不足的弊端，全面提升露天金属矿山开采规划的严谨性、科学性，为矿区精细化、标准化开采作业筑牢数据基础。

1.2 强化边坡智能管控，防控地质灾害风险

露天金属矿山在持续台阶式开挖、爆破作业过程中，原有岩体应力结构会发生持续性改变，高陡边坡长期暴露在自然环境中，极易受风雨侵蚀、温差风化、爆破震动等外界因素影响，频繁出现坡面松动、岩体裂隙扩张、局部位移滑移等问题。边坡失稳、岩体坍塌、坡面滚石是露天金属矿山最为频发的安全隐患，直接威胁现场施工人员、开采设备的作业安全，是矿山安全管控的核心重难点。实景三维建模技术可搭建全天候、可视化、可量化的边坡智能监测体系。图 1 为实景三维建模技术搭建的矿区边坡智能监测体系图。工作人员通过定期开展矿区边坡航测建模，积累多时序三维模型数据，依托模型比对分析技术，精准捕捉边坡毫米级细微位移、岩体裂隙扩张、坡面沉降形变等异常状态，精准研判边坡结构的稳定变化趋势，科学预判坍塌、滑移等地质灾害的发生风险[2]。同时，该技术可联动边坡雨量监测、位移传感等智能设备，实现环境数据、形变数据、三维场景的深度融合，精准定位风险点位。工作人员可依据监测数据提前落实加固支护、区域围挡、停工避险等防控举措，实现地质灾害的源头预判、提前预警与主动防控。

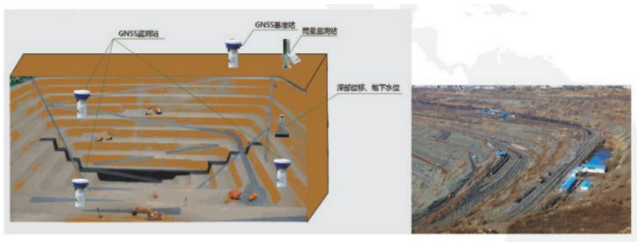


图 1 实景三维建模技术搭建的矿区边坡智能监测体系图

1.3 精准核算土石方与矿产资源储量

露天金属矿山的生产运营体系中，岩体剥离、矿石采掘、土石方转运、排土堆放等工序贯穿开采全周期，土石方体量统计、矿产资源储量核算的精准度，直接决定矿山成本管控、生产调度、资源合规管理的整体成效。传统核算方式依托人工定点测量数据推演整体体量，采样点位覆盖面有限，无法适配矿区大范围地形持续变动的特点，不仅核算流程烦琐、作业周期较长，测算结果极易出现系统性偏差。同时，传统手段难以精准区分废石剥离量、有效矿石开采量与排土场堆积量，物料分类统计模糊，导致矿山生产台账、成本结算、储量备案数据存在误差，间接造成生产调度不合理、资源管控不规范等问题。实景三维建模技

术可依托周期性航测采集全域地形数据，持续迭代更新矿山实景三维模型。现场技术人员通过比对不同开采阶段的模型地形差异数据，可精准量化土石方开挖体量、矿山剩余矿产储量、排土场堆积体量等核心指标，实现开采全过程动态、精细化计量。该技术依托厘米级空间数据完成核算工作，彻底规避人工测算的主观误差与数据漏洞，精准区分矿、土、渣三类物料体量。

1.4 助力矿区生态治理，推进绿色矿山建设

露天金属矿山持续性的开挖作业，会彻底扰动区域原生地貌与自然生态结构，造成山体创面裸露、原生植被剥离、地表土层松动等典型生态损伤。矿区高陡边坡、废弃采坑、排土场与尾矿库区域，长期暴露在自然环境中，极易诱发水土流失、扬尘污染、土体沙化等次生环境问题,严重破坏矿区及周边生态平衡。实景三维建模技术则可以全方位还原矿区全域生态破损的真实场景状态。技术人员依托高精度三维实景模型，精准标记各类生态受损点位，量化统计破损面积、治理施工体量等核心数据，结合矿区土壤条件、气候特征编制科学适配的边坡复绿、土质固化、尾矿生态覆盖、水土保持专项修复方案。通过周期性航测迭代更新模型数据，工作人员可动态追踪生态修复施工进度，量化对比修复前后的生态场景差异，客观评估治理成效。

2 实景三维建模技术应用问题及优化对策

2.1 问题

露天金属矿山现场环境复杂多变，实景三维建模技术在实际落地过程中存在诸多实操短板。矿区高陡边坡、尾矿库边角、凹陷隐蔽区域易受遮挡干扰，采集点云数据存在缺失问题，造成模型精度分层失衡，复杂场景的细节还原质量难以达标。矿山现有业务管理平台相互独立，各类监测数据、生产数据缺乏统一互通标准，多源数据难以联动融合，数据孤岛现象较为突出。多数企业沿用阶段性批量更新模式优化模型内容，无法适配矿山动态开采的作业节奏，模型数据时效性难以保障。同时，行业内部兼具矿山工程实操能力与数字化建模技能的复合型人才存量偏少，严重制约技术体系的迭代升级与长效落地应用。

2.2 对策

针对实景三维建模技术在露天金属矿山应用中的各类短板，矿山运维单位可结合矿区场景差异，搭建分层、分类的标准化建模体系。企业可依据开阔采场、运输道路、高陡边坡、尾矿死角等不同区域的作业属性，差异化设定数据采集标准与建模精度参数，全面优化三维模型的整体还原度与精准度。行业主管部门可牵头统一矿山监测数据、生产数据、资源核算数据的统计口径、存储格式与共享规范，搭建三维场景与生产业务一体化数据联动体系，提升多源数据的融合利用率。矿山企业需要建立月度常态化航测更新机制，依托智能采集设备完成矿区局部模型的迭代优化，有效缩短模型更新周期，保障三维场景数据与现场开采工况实时同步[3]。与此同时，企业可构建完善的人才培育体系，常态化组织在岗人员开展建模实操、数据研判、平台运维等专项培训，同步吸纳数字化、矿山工程交叉领域的优质人才，搭建专业化技术运维梯队，全面夯实实景三维技术深度落地、长效应用的人才支撑。

3 结语

总之，实景三维建模可以改进露天矿山的生产和管理，帮助矿山向数字化、智能化、绿色化升级。目前这项技术还有精度不稳、数据不互通、更新慢、专业人才少等问题。接下来需要持续优化技术、打通数据、做好动态更新、加强人才培养，这样才能真正发挥它的作用，推动矿山安全高效、绿色可持续发展。

参考文献：

[1] 覃智.智慧矿山视域下的数字孪生实景三维建模方法研究[J].世界有色金属,2024(18):163-165.

[2] 周涛,谢玉凤,仲鸿儒,等.基于实景三维的矿山综合智慧管理系统建设研究[J].中国矿山工程,2025,54(4):40-46.

[3] 余国俊.实景三维辅助矿产资源管理[J].世界有色金属,2026(3):184-186.