



图 2 研究区 2023 年林草湿荒资源分类分布图

(注: 图中绿色表示林地、黄色表示草地、蓝色表示湿地、褐色表示荒地, 底图为研究区行政边界与 DEM 地形渲染图; 图表类型为专题地图, 数据来源为多源遥感融合数据与实地调查数据)

6 结语

本文构建了测绘遥感技术支撑下的林草湿荒资源调查智能化方法体系, 通过多源遥感数据融合、多维度特征提取与 CNN 模型构建, 实现了资源高效精准识别与动态监测。实证研究表明: 1) 多源遥感数据融合 (光学 +SAR+ 高光谱) 可充分发挥数据源互补优势, 克服云遮挡、地形畸变等问题, 提升数据质量; 2) 多维度特征集能全面反映资源特征差异, 为精准分类奠定基础; 3) CNN 模型总体分类精度达 92.7%, Kappa 系数 0.89, 效率较传统方法提升 80% 以上,

满足精细化管理需求; 4) 该方法可有效捕捉资源动态变化, 为生态保护与修复提供技术支持。

参考文献

- [1] 刘敏,唐小琼,孙宇,等.无人机承载不同类型传感器在草原监测中的应用与展望[J].草原与草坪,2024,44(06):1-10.
- [2] 杨晶月.朋曲流域荒漠化动态遥感监测及驱动力研究[D].四川农业大学,2023.
- [3] 李武乾.基于多源遥感数据的矿区植被变化监测[D].河北工程大学,2021.

The Application of Steep Slope Mining in Open-pit Limestone Mines

Jie Chen Ning Zhang Rui Yang

Sichuan Zhongding Blasting Engineering Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

In response to the imbalance in the deepening speed of the east and west mining areas and the lag in the recovery of high-quality ore at the bottom of the east mining area in a certain open-pit limestone mine, by introducing the steep slope mining technology of metal mines and optimizing the combination of step parameters, the time for extracting high-quality resources at the bottom and inferior resources in the middle and upper parts was adjusted, the secondary transportation cost of low-quality ore was saved, and the imbalance in deepening between the east and west mining areas was adjusted. Match the descending speed of the shaft and each platform, optimize the transportation distance of the ore, and save transportation costs. While slowing down the mining speed in the west mining area, the extraction of high-quality ores in the middle and lower parts of the east mining area was accelerated, achieving scientific allocation of high and low-grade ores. This effectively guaranteed the stability of ore quality during the resource depletion period and significantly reduced the mining cost.

Keywords

Limestone mine, steep slope mining, reducing mining costs

陡帮开采在露天石灰石矿山的应用

陈杰 张宁 阳锐

四川中鼎爆破工程有限公司，中国·四川成都 610000

摘要

针对某露天石灰石矿东西采区延深速度失衡及东采区底部优质矿石回收滞后问题，通过引入金属矿山陡帮开采技术，优化台阶参数组合，调整了底部优质资源与中上部劣质资源出矿时间，节约了低质矿二次转运成本，调整了东、西采区延深不平衡，匹配竖井与各平台的降段速度，优化矿石运距，节约运输成本。在延缓西采区开采速度的同时加速东采区中下部优质矿石采出，实现高低品位矿石的科学配采，有效保障了资源枯竭期的矿石质量稳定性并显著降低开采成本。

关键词

石灰石矿；陡帮开采；降低开采成本

1 引言

露天开采是指用一定的开采工艺，按一定的开采顺序，移走矿体上的覆盖物（剥离工序），从敞露地表的采矿场采出有用矿物（采矿工序）的过程。露天开采是矿产资源开采的主要类型之一^[1]，相对于地下开采其难度较小。我国露天采矿技术：在露天矿陡帮开采、高台阶开采、穿爆技术方面发展迅速并具有一定技术优势，部分技术达国际领先水平。

2 陡帮开采技术

缓帮开采技术因可以为后期开采创造宽广、便利的工作条件，在我国早期矿山开采得到普遍应用，其工作帮坡脚 $8^\circ \sim 15^\circ$ 。国外已经普遍在应用陡帮开采技术，工作帮坡

角达到 $20^\circ \sim 35^\circ$ 甚至更大。主要从两个方面增加帮坡脚：一是缩小工作平台宽度，其基本参数为台阶高 $12 \sim 15m$ ，工作平台宽度 $40 \sim 60m$ ，临时非工作平台宽度 $3 \sim 10m$ ；二是增加台阶高度减少工作平台个数，部分硬岩矿山台阶高度可以达到 $20 \sim 25m$ ，经研究表明，当露天矿山深度为 $100 \sim 200m$ 、 $300m$ 和 $500m$ 时，适宜台阶高度分别为 $24 \sim 27m$ 、 $30m$ 和 $45m$ ^[2]。陡帮开采可以均衡生产剥采比，推迟非工作帮的暴露时间；降低前期生产剥采比。

陡帮开采方式常见的陡帮开采方式分为4种^[2-3]：倾斜条带开采、组合台阶开采、并段爆破分段采装开采、雁行追踪式开采。

倾斜条带开采是整个帮只有一个台阶作业，从上到下轮流作业，其余不工作的台阶为较窄的临时非工作平台。采用此种开采方式可以最大限度地提高工作帮坡角，适用于剥离物厚度大、地质构造简单、岩性坚硬的露天矿，受制于其

【作者简介】陈杰（1991-），男，中国四川达州人，本科，工程师，从事采矿技术研究。

开采的局限性，对于剥离物厚度变化较大的露天矿，其应用效果并不理想。

组合台阶开采是 1 台铲装设备负责开采一个组合，每个组合有 2 ~ 5 个台阶。组合内自上而下单台阶依次循环开采，不开采的台阶只留较窄的平台。各组之间留有一定的开采安全距离。组合台阶开采不仅可以提高工作帮坡角，对不同的地质条件适用范围也较广，特别是剥采比变化较大的露天矿的开采，可以有效调节剥采量的搭配。然而，由于各台阶需轮流开采，因此，需要频繁移动采掘设备，降低了设备的使用效率。

并段爆破分段采装开采是将相邻的 2 个开采台阶合为一个开采台阶进行穿爆，之后再分段采装。此种开采方法简单实用，应用范围广，同样适用于剥离物厚度变化大的露天矿。但其对岩石的岩性有一定的要求，不适用于岩性松软的露天矿开采。与其他陡帮开采方式相比，其加陡工作帮的幅度较小。

雁行追踪式开采为将工作帮分成若干个组，组内各台阶跟随着其前一个台阶共同向前推进。雁行追踪式开采年推进度比其他陡帮开采方式大，尤其适用于生产能力大且剥采比较大的露天矿。然而，由于组内台阶均同时同方向开采，上下相邻台阶必然会造成一定的影响，降低设备的使用效率。

3 矿山开采现状

某露天石灰石矿山采用竖井平硐方式开拓，采场内汽车运输至竖井口卸料。竖井位于矿界内东采区中心位置，设计井口标高在 +648m 平台，现已降至 +624m 平台。西采区为重车上坡运输，东采区 +624m 平台以上重车下坡，其他台阶为重车上坡。整个矿山以中间为界分为东、西两个采区，经过十余年的开采整个矿山东采区已经形成 +600m ~ +684m 共 7 个平台，其中上面 6 个平台现有宽度仅 8 ~ 15 米宽。西采区已经采至最低开采标高 +585m 处，东、西采区高差 99m 生产不均衡，东采区延深进度慢。

4 陡帮开采方案选择

陡帮开采技术大多数都是用在煤矿或金属矿前期剥离量特别大的矿山，而大多数的石灰石矿山因其埋藏浅、剥离量少开采难度低，一般采用缓帮开采。该石灰石矿山低质矿指的氧化钙 $\leq 49\%$ ，氧化镁 $\geq 2.3\%$ ，氧化硫 $\geq 0.25\%$ ，因在前期的开采中指标要求，低质矿石未及时搭配处理，导致底部优质矿无法采出。低质矿分布区域主要集中在东采区东南侧终了帮附近 +612m ~ +660 标高，矿层产状 $190 \sim 220^\circ \angle 8 \sim 15^\circ$ 北侧台阶自上而下优质矿逐渐增多。整体推进方式为工作线南北方向布置，自西向东推进；靠近终了边坡区域工作线东西方向布置，自北向南推进。该推进方向的改变目的是利用东北侧优质矿石搭配东南侧的低质矿石。

为保证矿山可持续生产，需将底部优质矿提早采出搭

配上部低质矿使用，将无法单独生产使用需要搭配的低质矿看作“剥离物”。满足 600 万 t/a 生产指标需 450 万 t 优质矿 150 万 t 低质矿，低质矿的最大比例达到了 25%。

剥离物集中且量偏大，采剥空间受到限制上窄下宽。现使用液压反铲挖掘机移动灵活，且需加大东采区的开采强度，东采区西侧形成临空面。故选择东采区上部 1 个组合台阶 + 下部雁行追踪式开采。

5 陡帮开采参数

5.1 台阶高度的确定

本矿山属于中硬矿岩，生产台阶高度定为 12m。

5.2 最小工作平台宽度确定

本矿采用 2.5 m^3 的液压挖掘机采掘、60t 矿用自卸汽车运输最小工作平台宽度确定为 40m。

5.3 临时非工作平台宽度

临时非工作平台宽度可以截住上一平台爆破冲出的石头，同时也可做辅助运输道路，在其他参数确定的情况下，临时非工作平台越宽，工作帮坡脚越小。本矿山采用的是逐孔毫秒微差松动爆破，宽体矿卡运输和台阶高度等因数综合考虑取临时非工作平台宽度为 15m。

5.4 组合台阶个数

组内台阶个数是针对组合台阶开采及雁行追踪式开采，其个数 n 主要根据采剥量的大小，采场作业空间，施工的设备类型和生产能力等因素决定。在其他开采参数不变时，组内台阶数与工作帮坡角成正比。

$$n = kQ/(LB_p h) \quad [4] \quad (1)$$

式中： n — 组合台阶个数； k — 系数，一般取 1 或 2； h — 台阶高度，12m； Q — 采剥能力，根据现有设备其能力可达 $242247 \text{ m}^3/\text{月}$ ； L — 工作线长度，120m； B_p — 最小工作平台宽度和安全平台宽度；取 55m。计算得出 $n=3.06$ ，取组合台阶个数为 3。

6 边坡的安全性

矿山采用陡帮开采边坡稳定，通过 2024 年现状边坡稳定性分析资料结合 GPS 在线位移监测，保障矿山安全生产。

根据《非煤露天矿边坡工程技术规范》(GB 51016-2014)，极限平衡法简化毕肖普法与摩根斯坦 - 普赖斯法结果，对存在多种破坏模式或多个滑动面的边坡，应分别对各种可能的破坏模式或滑动面进行稳定性计算，并应以最小安全系数作为边坡安全系数。分析该矿山现状边坡在自重 + 暴雨（地下水）、自重 + 暴雨（地下水）+ 爆破振动力和自重 + 暴雨（地下水）+ 地震力三种工况下的稳定性。综合研究结果如表 1 所示。

矿山在 +648m 安全平台建有 2 个 GPS 在线监测，实时保证现场边坡安全监测。在数值超过一定值域会以短信预警给管理人员，相关人员收到预警短信后到现场核实边坡情况，并重点关注后期其位移变化趋势。