第 7 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2737-4580(P) / 2737-4599(O)

采矿工程中的采矿技术与施工安全分析

朱全盛
贵州新恒基矿业有限公司
DOI:10.32629/jpm.v7i10.9061
[摘　要] 随着城市化的不断发展，矿场资源消耗量越来越大，社会对各种资源的需求量也越来越大。采矿工程的开采效率和质量很大程度上决定着社会经济的发展进程，采矿单位要根据社会发展需求，从优化采矿技术和加强施工安全管理等方面入手，不断提高开采能力、提高资源开采效率，以满足社会经济发展需要。大红山铁矿是我国西南地区特大型地下金属矿山，建有地下 400 万 t/a 采选工程、露天 380 万 t/a 浅部熔岩铁矿和 171km 铁精矿管道输送系统。本文以该矿山为研究对象，分析其采矿技术特点及要点，提出施工安全对策。工程上形成了露天和地下联合开采、多种充填和崩落法互相补充的技术体系，具有绿色化转型的特征；安全上以顶板地压、爆破作业、通风粉尘和采空区塌陷为主要的风险源，建立三位一体的防控体系。实践证明，本体系能实现高效开采、本质安全双兼顾。
[关键词] 大红山铁矿；采矿技术；施工安全；地压监测；绿色开采

Analysis of Mining Technology and Construction Safety in Mining Engineering

Zhu Quansheng
Guizhou Xinhengji Mining Co., Ltd.
[Abstract] With the continuous advancement of urbanization, resource consumption in mining operations has increased significantly, and societal demand for various resources has likewise grown. The extraction efficiency and quality of mining engineering largely determine the pace of socio-economic development; therefore, mining entities should respond to societal needs by optimizing mining technologies and strengthening construction safety management, thereby continuously enhancing extraction capacity and resource recovery efficiency to meet the requirements of socio-economic development. The Dahongshan Iron Mine is a super-large underground metal mine located in the southwestern region of China. It features an underground ore dressing facility with a capacity of 4 million t/a, an open-pit shallow lava iron ore deposit with a capacity of 3.8 million t/a, and a 171 km iron concentrate pipeline transport system. Taking this mine as the subject of study, this paper analyzes its mining technical characteristics and key considerations and proposes construction safety measures. Technically, the mine has established a technical system that combines open-pit and underground mining, with various backfilling and collapse methods serving as complementary approaches, reflecting its characteristics of green transformation; in terms of safety, roof pressure, blasting operations, ventilation-related dust, and goaf collapse are identified as the primary risk sources, leading to the establishment of a three-in-one integrated prevention and control system. Practice has demonstrated that this system enables the simultaneous achievement of high-efficiency extraction and intrinsic safety.
[Key words] Dahongshan Iron Mine; mining technology; construction safety; ground pressure monitoring; green mining

引言

在社会经济快速发展背景下，市场加强了对矿产资源的需求。在矿山开采过程中，采矿技术与施工管理措施直接影响着采矿量，选择适宜的采矿技术与管理措施，能够极大提升作业效率，增加采矿数量[1]。为有效满足矿产资源需求，提升矿产资源的开采作业效率与矿产资源的开采量，矿场企业需要结合工程特点，选择适宜的采矿技术，加强对现场施工的安全管理工作，在采矿施工期间，技术应用与施工安全有密切联系，重视技术应用，对施工安全措施进行调整，有效促进施工质量提升，推动整个行业健康发展[2]。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

第 7 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文| 刊号（ISSN）：2737-4580(P) / 2737-4599(O)

1 工程概况

大红山铁矿位于云南省玉溪市新平彝族傣族自治县戛洒镇，处于哀牢山脉东南段，是玉溪大红山矿业有限公司（昆明钢铁集团控股、现由宝武资源委托管理）的特大型地下金属矿山。矿区探明铁矿石储量约 4.58 亿 t，伴生铜矿石约 0.81 亿 t；矿体以层状、似层状产出，平均厚度 10~18 m，倾角 20°~35°，矿岩硬度系数 f=8~14，矿体埋深约 160~750 m。矿山建有地下 400 万 t/a 采选工程，包括地下铁矿开采、选矿厂、长 171km 的铁精矿管道输送系统、尾矿库和废石场等完整的生产体系；地下 400 万 t/a 二期采矿工程投资约 41.12 亿元，设计服务年限为 40 年。同时矿区浅部熔岩铁矿仍维持露天 380 万 t/a 的生产规模，年采剥量约 1200 万 t，形成露天与地下联合开采模式。

2 采矿技术特点

2.1 技术类型多样化

矿区在生产采区里综合使用了各种主流的采矿技术，对于深部矿体采用点柱上向水平分层充填法，根据矿体赋存情况选用阶段空场嗣后充填法，历史上主要采用高分段无底柱分段崩落法进行大规模回采；浅部熔岩铁矿采用露天台阶开采。三类地下采矿方法在生产区互相补充，和露天开采一起构成“露天—地下”并行的技术体系，呈现出从崩落法到充填法的绿色化转变特征，三种采矿方法的技术特征对比见表 1。

表 1　三种采矿方法技术特征对比

比较项	点柱上向水平分层充填法	阶段空场嗣后充填法	高分段无底柱分段崩落法
适用矿体	深部中厚矿体（4~7 m）及高品位矿体	厚大矿体（厚度>7 m）	缓倾斜厚大主矿体
采场结构参数	分层高度 2~3 m，控顶≤4.5 m，点柱Φ 4~6 m、面积占比≤10%	阶段高度 40~60 m，凿岩硐室宽 3.5 m、条柱宽 4.5 m	分段高度×进路间距 20 m×20 m
落矿与出矿	浅眼/中深孔落矿，铲运机出矿	中深孔一次落矿，底部结构铲运机出矿	中深孔崩落，电动铲运机出矿
地压管理	充填体＋点柱联合护顶	嗣后胶结充填控制地压	诱导崩落＋覆盖层控制
主要优势	损失贫化低，可控制岩爆，护顶效果好	回采效率高，安全与效益兼顾	采准工程量小，产能大，成本低
主要风险	空场下作业，点柱应力集中	大空场暴露面积大，爆破振动扰动	地表塌陷，地压显现控制难度大
绿色化程度	高	较高	中

2.2 技术复杂性

矿区矿体呈缓倾斜厚大-中厚，倾角 20°～35°，厚度 10m～18m，多层矿体及夹层，开采存在顶板管理、矿石运搬、矿柱回采三大技术难题[3]。进入深部之后，原岩应力增大，构造应力和开采扰动叠加，顶板失稳、片帮冒顶和岩爆风险明显增大。同时长期大规模开采造成大量的采空区，容易出现应力集中、地表塌陷等现象，露天采场边坡也会受到地下开采岩移的影响，地压管理成了贯穿采矿全过程的难题。

2.3 技术发展快

矿山一直以机械化、智能化、绿色化推进技术更新。依靠智能化综合管控中心整合出六大板块，从而完成从采、选、充的全过程数字化控制；引进大型凿岩台车、电动铲运机和远程遥控设备，促使固定设施无人值守。矿山和高校联合使用 FLAC3D 进行三维数值模拟来优化采场结构参数，并且用微震监测、无人机三维扫描、卫星遥感等手段支持安全开采，技术更新速度加快。

3 矿山采矿技术要点

3.1 地下采矿技术

对于厚度大于 7m 的厚大矿体，采用阶段（分段）空场嗣后充填法，在大空场内一次落矿，出矿后对采空区进行嗣后胶结充填。阶段高度一般取 40～60m，采场顶部设切顶凿岩硐室，硐室宽度约为 3.5m、条柱宽度约为 4.5m，要求切割槽布置在矿房长度方向端部、切顶联道布置在矿房宽度方向端部，保证凿岩硐室在回采期间的服务安全。对深部中厚矿体，采用点柱上向水平分层充填法，分层高度取 2～3m，采场控顶高度一般不大于 4.5m（配备撬毛台车时可增至 6～8m），点柱直径取 4～6m，总面积不超过采场总面积的 10%，采用“一房一柱”两步回采，每分层充填面铺设厚度不小于 0.3m、强度不低于 3MPa 的胶结充填体作垫层。三种采矿方法的剖面结构如图 1 所示。

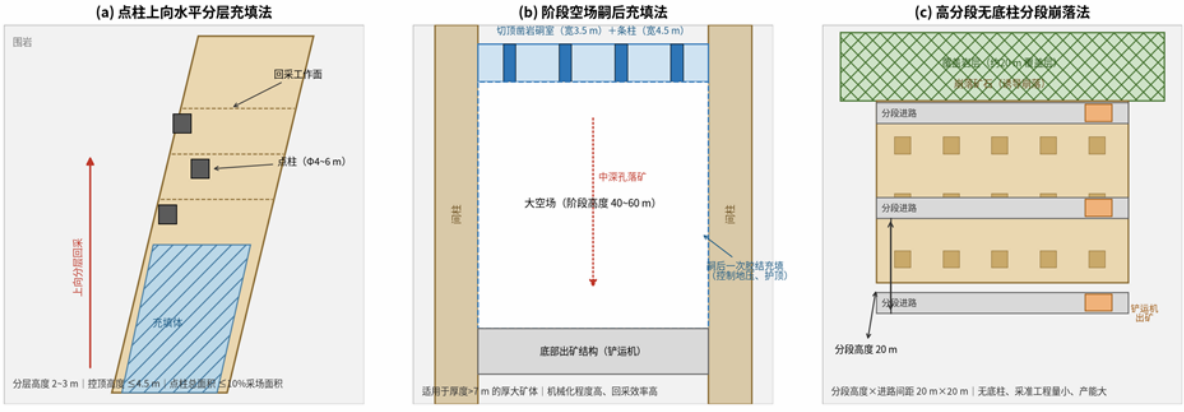


图 1　大红山铁矿三种采矿方法剖面结构对比示意图

3.2 高效集约化生产技术

在生产区主矿体上，矿山一直采用高分段、大间距无底柱分段崩落法，分段高度和进路间距都达到 20m，配套大型凿岩台车、电动铲运机、井下有轨、长距离胶带运输系统，具有采准工程量小、产能大、成本低等特[4]。矿山建成地下 400 万 t/a 采选工程和长 171km、最大压力 22.44MPa 的铁精矿管道输送系统，依托智能管控中心对能源、计量、能耗进行集中管控，“碎、磨、选、检、排、堆”六个环节、六个控制降低单位能耗，原

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

矿小时处理量提高 38t，实现高强度开采下的集约化生产。

3.3 缓倾斜层开采技术

矿区矿体倾角 20°~35°，属于典型的缓倾斜矿体，开采时顶板管理、矿石运搬以及矿柱回采均被视作技术难题。对厚度中等（4～7m）矿体采用点柱式上向水平分层充填法，厚度小于 4m 的薄矿体采用条带式回采并适当降低采场跨度，充填体和点柱联合护顶、铲运机出矿。为了得到合理的采场结构参数，矿山根据点柱尺寸和间距的不同，设计出多个方案进行对比，比较顶板和点柱的应力、位移响应，模拟“隔一采一”回采顺序下接顶和不接顶充填对相邻盘区的影响，检验接顶充填、点柱让压支护对控制采场稳定的效果。

3.4 露天开采技术

矿区浅部熔岩铁矿采用露天台阶开采，规模 380 万 t/a、年采剥总量约 1200 万 t，形成穿孔—爆破—采装—运输—排岩的完整工艺，其中穿孔、爆破及终了边坡预裂爆破是作业核心，采空区爆破处理和采场、排土场覆土也纳入作业范围。由于该矿为露天—地下联合开采，地下开采引起的地表移动会干扰到附近露天采场边坡的稳定，矿山利用微震监测和地表开裂观测来掌握岩移的发展规律，从而动态调节开采范围和停采时间，必要时停止露天开采，实现露天和地下的安全衔接。

3.5 深部采矿技术

矿山 700 m 标高以下矿体分两期开采。一期开采标高 700~400 m，设计保有资源量 3299.02 万 t；二期开采标高 400~80 m。深部矿体处在高应力的环境下，岩爆的风险比较高，矿山主要使用充填采矿工艺，依靠充填体支撑围岩、限制岩层移动、抑制应力集聚，并配合微震监测、声发射、地压在线监测，以及支护、隔离、卸压等措施，进行深部矿体的安全开采。

4 金属矿山采矿技术施工安全对策

4.1 构建安全体系

矿山把安全生产建立在机械化、智能化装备的基础上，依靠智能管控中心推动安全管理向本质安全转变，在管理上强调理风治压、填塌充空的系统化管理，严格执行顶板和地压分级管理，落实风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制，规范作业规程和单体设计的编制和审批，加强爆破等特种作业人员持证上岗和常态化培训，在应急上通过多功能实训室开展爆破和应急救援演练，制定专项应急预案并定期演练，事故发生后立即启动预案，组织人员撤离，控制事态，保障通风、供水、压风系统正常。

4.2 顶板状态监测

进入深部开采以后，矿山使用微震监测、声发射等技术对地压活动进行实时监测，并且配合支护、隔离、充填等措施来保证巷道的稳定，用喷涂技术识别出地压变化的区域[5]。按照《金属非金属矿山地压监测技术规范》，采深大于 800m 的矿山必须安装地压在线监测系统；团体标准 T/CI 1421—2026《金属矿深部开采地压调查技术规范》又对采深大于 800m 区域地压灾害进行分类，岩体和支护变形破坏进行调查，并且提出了风险分级和防控要求。

4.3 安全预防

爆破是空场法、崩落法大规模落矿的主要工序，也是典型的高危作业。按照 GA991-2012 爆破作业项目管理要求和 GB6722 爆破安全规程，必须实行安全评估和安全监理制度，对爆破振动、冲击波、有毒有害气体、噪声、粉尘等有害效应进行实时监测，严格火工品储存领用、装药连线、起爆顺序、盲炮处理等环节，采用逐孔起爆、控制单响药量来减小对围岩和支护的扰动。通风和粉尘治理上，用封堵采空区、改变风量分配、安装喷淋系统来改善通风系统，全矿实行湿式凿岩、破碎站喷雾降尘、道路及废石场洒水降尘、布袋除尘的治理链。

4.4 构建塌陷预警系统

对大量的采空区，矿山用填塌充空的方式进行治理，并且用多源监测来建立塌陷预警系统，通过上覆岩层钻孔探测、地压观测巷道观测、微震监测、无人机高清航拍三维扫描、GPS 地表变形监测和卫星遥感精细变形监测等手段来了解采空区的形态以及上覆岩层内是否存在较大的规模隐伏空区。监测数据显示，崩落法地表塌陷坑中心最大下沉速度为 0.8～1.0m/月，年均下沉量约为 91 万 m^3，属于渐进可控沉降；Ⅲ、Ⅳ矿体空场之后充填形成的采空区，用遥控无人装载机进行废石充填和推堆，平均推堆距离 35m、最远 65m，充填后可形成 20m 厚的覆盖岩层，防止人员进入采空区作业，累计回填废石约 729.3 万 m^3。

4.5 生态技术融合

矿山把生态技术和采矿工艺结合起来，创建起绿色开采模式，矿井水经过地表综合废水处理站处理后回用，选矿废水经过尾矿库沉淀达标后一部分回用、一部分外排，生活污水处理后回用，二期工程明确提出废水处理后的全部回用、不对外排放；采用废石回填采空区和地表塌陷区进行固废资源化，同时利用分布式光伏和深井水能发电来补充用能。

5 结论

（1）大红山铁矿是我国西南地区特大型地下金属矿山，依靠地下 400 万 t/a 采选工程、171km 铁精矿管道输送系统和露天 380 万 t/a 浅部熔岩铁矿，形成了露天—地下联合开采、采选输一体化的完整生产体系，技术特点表现为类型多样、复杂程度高、发展速度快。

（2）采矿技术要点上，阶段空场嗣后充填法、点柱上向水平分层充填法和高分段无底柱分段崩落法互相补充，缓倾斜矿体用充填法和条带式回采控制损失贫化，露天开采用台阶爆破和边坡预裂爆破为主，并要协调地下开采岩移的影响，深部矿体依靠充填护顶和地压监测防控岩爆。

（3）施工安全对策要从建立安全体系、顶板状态监测、安全预防、塌陷预警和生态技术融合五个方面协同发力，形成技术、管理、应急三位一体的防控体系，才能实现大型矿山开采的安全、高效、可持续发展。

[参考文献]

[1]王家海,赵刚. 采矿工程中的采矿技术与施工安全探析[J]. 石化技术, 2026, 33 (9): 264-266.

[2]冯世栋. 采矿工程中采矿技术与施工安全策略研究[J]. 新疆钢铁, 2026, (2): 190-192.

[3]丁洪生,李俊杰. 采矿工程中的采矿技术与施工安全[J]. 全面腐蚀控制, 2026, 40 (4): 299-301.

[4]郭盛玉,贾帅. 采矿工程中的采矿技术与施工安全[C]//广西网络安全和信息化联合会. 第三届工程技术管理智能化转型学术交流会论文集. 2026: 64-65.

[5]侯彦辉. 采矿工程中采矿技术与施工安全分析 [J]. 能源与节能, 2025, (11): 77-79+97.

作者简介：朱全盛，1986 年，10 月，12 日，男，贵州省盘州市，汉族，大学本科，研究方向：采矿。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.