

非金属矿山露天转地下开采过渡技术

高 贤

昆明钢铁控股有限公司 云南 昆明 650300

摘要: 非金属矿山浅部资源枯竭,露天转地下开采成必然,但过渡期面临地质复杂、边坡不稳、采掘衔接难、资源利用低、安全环境风险叠加等问题。本文基于桑园铁矿、大孤山铁矿等案例,分析技术难点,阐述边坡稳定性控制、采矿方法优化与衔接、资源高效回收、安全保障与环境治理等关键技术,提出生产管理与协同策略,明确技术落地要点与实施原则。强调智能化与管理在过渡期的作用,为非金属矿山转型提供技术与策略支持。

关键词: 非金属矿山;露天转地下;过渡期开采;边坡稳定性

引言:非金属矿山是建材、化工等行业的重要原料来源,我国多数非金属矿山初期采用露天开采,然而随着开采深度增加,剥采比上升,经济性下降,露天转地下开采成为必然选择。但过渡期面临诸多挑战,如露天与地下作业协同困难、边坡稳定性差、资源浪费严重等。这些问题不仅影响矿山产能连续性,还威胁到作业人员安全与周边环境。本文聚焦过渡期技术难点,从多维度提出解决方案,为非金属矿山顺利转型提供参考。

1 非金属矿山露天转地下开采过渡期技术难点分析

1.1 地质条件复杂性

非金属矿山地质条件普遍复杂,过渡期受露天开采扰动后更趋严峻。以湖北磷矿为例,其过渡期揭露断层32条,节理裂隙密度达4-6条/米,岩体完整性系数仅0.45-0.6,导致地下巷道掘进时顶板冒落风险显著增加。部分矿山存在多层含水层,如大孤山铁矿过渡期井下涌水量达800-1200立方米/天,地下水渗透压力使巷道围岩变形量超20厘米。另外,露天采场长期暴露导致岩体风化深度达15-25米,风化岩强度仅为新鲜岩体的30%-50%,进一步加剧地质条件的不确定性,给地下采场设计与施工带来极大挑战。

1.2 边坡稳定性问题

露天开采形成的高陡边坡是过渡期最突出的安全隐患。统计显示,非金属矿山露天转地下过渡期边坡事故占比达66%,其中深凹露天矿边坡失稳概率更高。大孤山铁矿露天转地下时,南帮边坡高度达310米,坡角42°-45°,受地下采动影响,边坡水平位移达35-50毫米/年,局部出现张拉裂隙,威胁露天与地下作业安全。Karowe钻石矿数据表明,边坡岩体质量指数(RMR)低于50时,失稳风险提升3倍,而过渡期露天边坡RMR普遍下降10-15个单位,需投入大量资金进行加固处理,显著增加开采成本。

1.3 采掘工程衔接难题

采掘工程衔接直接影响过渡期产能连续性,核心难点在于露天与地下开采系统的协同。传统衔接模式下,矿山平均停产过渡期达6-12个月,产能降幅超30%。大理石矿山过渡期因运输系统衔接不畅,矿石运输效率下降40%,单位运输成本从12元/吨升至23元/吨。另外,地下首采中段开拓周期长,平均需18-24个月,而露天剩余资源开采周期仅10-15个月,易形成产能断层^[1]。同时,露天采掘设备与地下设备兼容性差,大型露天挖掘机无法进入地下作业,设备转型投入占过渡期总投资的25%-30%。

1.4 资源综合利用挑战

过渡期资源浪费问题突出,尤其是挂帮矿和境界矿柱回收难度大。大孤山铁矿露天转地下时,挂帮矿储量达4900万吨,占总储量的18%,传统方法回收率不足50%。桑园铁矿测算表明,预留境界矿柱导致资源损失率达22%,而强制回收又可能引发边坡失稳。露天剥离的废石利用率低,平均不足30%,大量废石堆放不仅占用土地,还增加环境压力。部分非金属矿山矿石品位波动大,过渡期混采导致矿石贫化率上升8-12个百分点,进一步降低资源利用效率。

1.5 安全与环境风险

过渡期安全风险呈叠加态势,除边坡失稳外,地下作业面临顶板冒落、突水等风险。湖北一矿山过渡期发生2起顶板冒落事故,直接经济损失超千万元,事故原因均为采动应力集中导致岩体失稳。环境风险方面,地下开采产生的废石与尾矿排放量较露天开采增加20%-30%,由于磷矿过渡期尾矿库渗漏导致周边地下水污染,治理成本达8000万元。同时,地下开采通风不良易导致粉尘浓度超标,作业面粉尘浓度平均达8-12毫克/立方米,远超国家标准限值4毫克/立方米。

2 露天转地下开采过渡期关键技术

2.1 边坡稳定性控制技术

边坡稳定性控制以“监测-加固-卸荷”协同为核心，结合工程数据精准施策。监测方面，采用边坡雷达与TDR监测系统，实现毫米级位移监测，预警响应时间缩短至10秒内，矿山应用后边坡事故发生率下降70%。加固技术优先采用锚杆+锚索联合支护，大孤山铁矿南帮边坡采用Φ28mm高强度锚索，间距2.5×3m，支护后边坡安全系数从1.15提升至2.08。卸荷技术通过优化露天开采顺序，逐步降低边坡高度，矿山将边坡高度从280m降至220m，坡角放缓至38°，应力集中系数降低40%。表1为不同加固技术效果对比。

加固技术类型	适用场景	边坡安全系数提升值	单位成本 (元/平方米)	施工周期(天/百米)
锚杆支护	浅层破碎边坡	0.2-0.35	120-180	15-20
锚索支护	深层高陡边坡	0.6-0.85	450-600	35-45
注浆加固	裂隙发育边坡	0.3-0.5	320-400	25-30
联合支护	复杂高风险边坡	0.9-1.2	600-800	50-60

2.2 采矿方法优化与衔接技术

采用“露天-地下协同开采”模式，优化采矿方法与衔接时序。桑园铁矿创新“上部崩落法+下部充填法”联合方案，确定崩落法开采深度108m、碎石覆盖层厚度40m，不仅推迟充填站建设时间，还节省成本约1亿元。大孤山铁矿采用楔形转接过渡技术，水平方向划分独立采区，垂直方向实现露天与地下产能梯度衔接，过渡期产能降幅控制在10%以内。运输衔接方面，建设斜坡道连接露天与地下，采用无轨运输设备，矿山运输效率提升35%，单位成本降至15元/吨，实现开采系统无缝衔接^[2]。

2.3 资源高效回收技术

在矿产资源开发过程中，资源高效回收至关重要，尤其是针对挂帮矿与境界矿柱的回收。诱导冒落法与精准开采技术得到广泛应用。以大孤山铁矿为例，在开采南帮挂帮矿时采用诱导冒落法，通过科学合理地控制回采顺序，让滑移体顺利滑入塌陷坑，极大地提高了资源回收率，从原本不足50%大幅提升至82%，有效减少了资源浪费。大理石矿山采用台阶锯切式平硐开采技术，在境界矿柱回收上成效显著，将回收损失率降至8%以下。在废石资源化利用方面，把露天剥离废石用于地下采空区充填是创新之举，磷矿通过这种方式使充填利用率达到75%，大大减轻尾矿库堆存压力，降低幅度达30%。智能分选技术的应用也带来积极影响，矿石贫化率下降6-9个百分点，资源综合利用率提升15%-20%，实现资源的高效利用。

2.4 安全保障与环境治理技术

安全保障与环境治理是矿山可持续发展的关键环节，构建“监测-预警-处置”安全保障体系意义重大。湖北龙蟒磷化工引入智能地压监测系统，该系统可对顶板风险进行24小时动态预警，能够及时发现潜在的安全隐患，使事故隐患发现效率提升60%，为矿山安全生产提供有力保障。在地下通风方面，采用分区通风与除尘系统相结合的方式，有效降低作业面粉尘浓度，将其控制在2.5-3.5毫克/立方米，完全符合国家标准，改善作业环境。环境治理上，尾矿干堆技术得到推广，部分矿山通过该技术将尾矿含水率从35%降至12%，堆存占地面积减少40%，节约了土地资源。

3 过渡期生产管理与协同策略

3.1 生产计划与进度控制

在过渡期生产管理与协同策略中，生产计划与进度控制至关重要。需制定分阶段生产计划，确保露天与地下产能精准衔接。将过渡期细致划分为准备、过渡、转型三个阶段，明确每个阶段的产能目标。例如大孤山铁矿，依据此策略，把露天开采产能从每年300万吨逐步降低至100万吨，同时地下产能从每年50万吨同步提升至300万吨，有效避免了产能断层情况的发生。建立动态调整机制也必不可少，借助三维建模技术实时更新地质数据，有矿山将采掘计划调整周期从月度缩短至周度，使进度偏差控制在5%以内。还要优化资源配置，优先保障地下开拓工程所需的设备与人员，有矿山投入2.1亿元用于智能化设备升级，开拓周期缩短至15个月，比行业平均水平减少3个月，保障了生产的有序推进。

3.2 风险管理与应急预案

过渡期的风险管理与应急预案是保障生产安全的关键。要建立全流程风险管理体系，在过渡期前开展专项风险评估，全面识别重大风险类型，如可识别出108类重大风险，并制定“一矿一策”的管控方案。黄石市推广“数字钻孔成像技术”，能精准探测岩层结构，使风险预判准确率大幅提升70%。完善应急预案同样重要，针对边坡失稳、突水等可能发生的事故制定专项预案，定期开展VR模拟演练，让相关人员熟悉应急流程，有矿山通过这种方式将应急响应时间缩短至30分钟内^[3]。另外，建立跨部门应急联动机制，整合采矿、安全、地质等部门资源，配备20余台套应急救援设备，储备满足72小时连续作业需求的应急物资，全方位提升风险处置能力。

3.3 智能化技术应用

智能化技术是提升过渡期管理效率的核心支撑力量。湖北一座矿山搭建“5G+AI”核心平台，实现井

下“采、掘、支、运”全流程无人化作业，提高作业效率，提升幅度达45%，同时人员成本下降30%，降低运营成本。采用数字孪生技术构建矿山虚拟模型，可实时映射露天与地下作业状态，矿山通过该模型优化开采参数，使资源回收率提升12%，提高资源利用效率。智能化监测系统实现多维度数据融合，省级平台汇聚30多亿条数据，能对边坡位移、地下涌水等关键指标进行实时监测，预警准确率达92%以上。另外，AI巡检机器人替代人工巡检，故障识别效率提升80%，不仅有效降低人工劳动强度，还减少安全风险，保障矿山生产的安全与高效。

4 露天转地下技术落地的核心要点与实施原则

4.1 技术选型适配性原则

非金属矿山类型多样（磷矿、大理石矿、石灰石矿等），地质条件、资源禀赋差异显著，技术选型需遵循“一矿一策”适配原则。针对地质复杂、涌水量大的矿山，优先强化地质超前探测与排水系统配套，同步搭配注浆加固等围岩治理技术；对于高陡边坡矿山，重点配置“监测-加固-卸荷”协同技术体系，根据边坡高度、岩体质量指数（RMR）选择单一或联合支护方案。资源回收率低的矿山，需结合挂帮矿、境界矿柱赋存特征，针对性选用诱导冒落法或精准开采技术，避免盲目套用成熟技术导致安全风险或资源浪费。

4.2 成本与效益平衡策略

过渡期技术落地需兼顾安全与经济性，构建成本-效益动态平衡体系。在设备投入方面，优先改造现有设备实现露天与地下兼容，减少新增设备投资，设备转型投入控制在过渡期总投资的20%以内；在支护工程中，根据边坡风险等级分级施策，浅层破碎边坡采用低成本锚杆支护，深层高陡边坡精准选用锚索或联合支护，避免过度加固增加成本^[4]。同时，强化废石资源化、尾矿干堆等技术的协同应用，将环保投入转化为资源回收效益，实

现安全、成本、效益的统筹平衡。

4.3 技术标准与规范支撑

完善的技术标准是保障过渡期技术有序落地的核心。需严格遵循《金属非金属矿山安全规程》等现有规范，针对露天转地下过渡期制定专项技术指南，明确地质探测、边坡监测、采矿衔接等关键环节的技术要求与操作流程。建立技术应用效果评估机制，从产能稳定性、资源回收率、安全事故发生率等维度设定量化指标，定期开展技术复盘与优化。加强行业技术交流与成果共享，推广经过实践验证的成熟技术与管理模式，推动过渡期技术应用的标准化、规范化发展。

结束语

非金属矿山露天转地下开采过渡挑战重重，涉及地质、安全、衔接等多方面难题。本文结合实际案例，详细阐述了关键技术应用效果，凸显智能化技术与科学管理在过渡期的重要性。未来，应积极推动新技术与矿山转型深度融合，完善监测体系与资源利用模式。通过持续创新与升级，非金属矿山有望实现安全、高效、绿色转型，为行业可持续发展筑牢根基，创造更大的经济与社会效益。

参考文献

- [1]杨强.浅析金属非金属矿山露天开采中智能矿山建设对重大事故隐患预防的作用[J].中国金属通报,2021(14):45-46.
- [2]张广波.露天非金属矿山智能化平台建设方案探讨[J].中国非金属矿工业导刊,2021(3):66-69.
- [3]柏跃金.金属非金属矿山溜井安全快速掘砌施工技术[J].山东煤炭科技,2022,40(4):65-66,69,72.
- [4]王锐,赵丽君,陆林.浅谈地下开采金属矿山涉爆工序安全环保管理对策分析[J].中国金属通报,2021(04):92-93.