露天开采矿山采矿技术及安全探讨

李雪松
内蒙古自治区矿山安全技术服务中心　内蒙古　呼和浩特　010010

摘　要：露天开采矿山采矿技术涵盖穿孔爆破、铲装运输、边坡稳定控制等多方面内容。本文详细阐述各环节核心技术要点、设备选型与操作规范，同时深入探讨边坡、爆破、设备作业、运输及作业环境等方面的安全防控技术。通过科学应用这些技术与防控措施，可有效提升露天开采的生产效率，保障矿山作业人员生命安全与设备稳定运行，推动露天矿山开采行业健康可持续发展。

关键词：露天开采；采矿技术；安全防控；边坡稳定；爆破作业

引言：露天开采作为重要的矿产资源获取方式，在经济发展中占据关键地位。其采矿过程涉及穿孔爆破、铲装运输等多个复杂环节，每个环节的技术应用与操作规范都直接影响开采效率与质量。露天开采作业环境复杂，存在边坡失稳、爆破事故、设备故障等诸多安全风险，严重威胁作业人员生命安全与矿山生产稳定。因此，深入研究露天开采矿山采矿技术及安全防控措施，对于提高开采效益、保障安全生产具有重要的现实意义。

1 露天开采穿孔与爆破作业技术

1.1 穿孔作业核心技术要点

穿孔作业精度直接影响爆破效果与后续采装效率，需根据矿岩硬度、节理发育程度及生产规模选择钻机类型。牙轮钻机适用于中硬以上矿岩，通过旋转钻头破碎岩石，钻孔直径通常在150-350毫米之间，需控制钻进压力与转速以避免卡钻；潜孔钻机则多用于松软岩层，以压缩空气为动力驱动钻头冲击破碎，钻孔直径范围为80-200毫米，需定期清理孔内岩粉防止堵塞[1]。钻孔角度需结合矿体产状与台阶高度确定，垂直孔适用于均质矿岩，倾斜孔可减少大块率但会增加穿孔难度。孔深设计需预留超深量，补偿爆破后底部岩石压缩变形，超深值一般为台阶高度的10%-15%。孔网参数包括孔距与排距，需通过爆破试验优化，硬岩条件下孔距可取排距的1.1-1.3倍，软岩则适当缩小比例以控制飞石距离。

1.2 穿孔作业设备操作技术

牙轮钻机操作需关注钻杆回转速度与轴向压力匹配，硬岩条件下降低转速并增大压力可提升穿孔效率，软岩则相反。钻机行走时需收起钻架并锁定，避免碰撞台阶边缘，移动至新孔位后需调平机身并校准钻孔方向。潜孔钻机操作重点在于供风系统维护，需定期检查空压机输出压力与风管密封性，风压不足会导致钻头冲击力下降。钻孔过程中需持续监测钻杆垂直度，通过水平仪或激光导向装置及时纠正偏差，倾斜孔施工时需分段调整角度并记录参数。设备停机维护时，需清理钻头磨损部位并检查轴承润滑状态，牙轮钻头更换周期通常为200-300小时，潜孔钻头则根据磨损程度动态调整。

1.3 爆破作业核心技术要点

爆破设计需综合考量矿岩物理性质、炸药性能及周边环境约束。炸药类型选择依据矿岩波阻抗匹配原则，硬岩适用高威力炸药如铵油炸药，软岩则选用低爆速炸药以减少振动。装药结构分为连续装药与间隔装药，深孔爆破中常采用底部加强装药结合上部空气间隔的方式，提升能量利用率并降低大块率。起爆网络设计需确保各药包按预定顺序引爆，微差爆破通过毫秒级延期实现岩石多次破碎，延期时间需根据矿岩破碎特性与台阶高度计算。爆破振动控制需限制单段最大药量，通过萨道夫斯基公式计算安全距离，并采用预裂爆破或减震孔隔离振动波传播路径。

1.4 爆破作业操作规范

爆破前需完成现场检查，确认孔内积水、岩粉清理彻底，装药过程中禁止使用金属工具捣实炸药，避免产生静电火花。雷管连接需遵循“单向连接、避免环路”原则，导爆管传爆方向应与起爆点保持一致，网络敷设后需进行电阻检测与传爆试验。警戒范围根据爆破规模划定，露天矿边界需设置明显标识并安排专人值守，起爆前需通过声光信号三次预警。爆破后需等待15分钟以上进入现场检查，重点排查盲炮与危石，盲炮处理需由专业人员采用水炮枪或重新装药引爆，禁止直接掏挖。剩余爆破器材需当日退库保管，炸药与雷管分库存放并设置防潮防火设施，存储环境温度需控制在-20℃至40℃之间。

2 露天开采铲装与运输作业技术

2.1 铲装作业技术要点

铲装作业是露天开采获取矿石与岩石的首道工序。

作业时，需依据矿岩性质、开采规模及现场条件，科学规划铲装顺序与范围。对于硬度较大、块度不均的矿岩，应先进行松动处理，降低铲装难度[2]。铲装过程中，要确保铲斗插入深度适宜，避免过深导致设备负荷过大，或过浅造成铲装量不足。同时，控制好铲斗提升速度与角度，保证物料顺利装入运输设备，减少洒落现象。此外，还需关注作业区域的地形起伏，合理调整设备位置与姿态，维持铲装作业的稳定性与连续性。

2.2 铲装设备选型与操作技术

铲装设备选型需综合考量多种因素。依据露天矿山的生产规模、矿岩硬度、开采深度等条件，选择合适类型与规格的铲装设备。大型露天矿山可选用电动轮挖掘机等大型设备，以满足大规模开采需求；中小型矿山则可选择液压挖掘机等较为灵活的设备。操作铲装设备时，操作人员要熟练掌握设备的各项性能参数与操作技巧。启动前，仔细检查设备各部件是否完好，确保设备处于正常运行状态。作业中，依据物料特性与铲装要求，精准控制铲斗的各项动作，保持操作平稳、流畅。同时，密切关注设备运行状况，及时发现并处理异常情况，延长设备使用寿命。

2.3 运输作业技术要点

运输作业负责将铲装好的矿石与岩石从工作面运至指定地点。运输路线的规划至关重要，应尽量选择地势平坦、坡度较小、转弯半径合适的路径，减少运输阻力与能耗。运输过程中，要保持适当的车速，避免急加速、急刹车，确保运输安全。同时，注意与前后车辆保持安全距离，防止发生碰撞事故。此外，还需根据物料特性与运输距离，合理选择运输方式，如自卸汽车运输适用于中短距离运输，皮带输送机运输则适用于长距离、大运量的运输场景。

2.4 运输设备选型与操作技术

运输设备选型要与铲装设备及运输任务相匹配。依据运输量、运输距离、道路条件等因素，选择合适类型与载重量的运输设备。操作运输设备时，操作人员要严格遵守交通规则与操作规程。出发前，检查车辆的制动、转向、灯光等系统是否正常。行驶过程中，集中注意力，观察路况与周围环境，及时应对各种突发情况。到达卸料地点后，按照规定程序进行卸料操作，确保卸料准确、彻底。

3 露天开采边坡稳定相关技术

3.1 边坡开挖核心技术

边坡开挖需遵循"自上而下、分层分段"原则，通过控制开挖顺序与坡面形态降低应力集中风险。台阶高度设计需结合矿岩力学性质与设备作业能力，硬岩条件下台阶高度可取15-20米，软岩则控制在10-15米范围内。坡面角设定需通过极限平衡分析确定，硬岩最终边坡角通常为50°-60°，软岩需减小至40°-50°，中间平台宽度应不小于8米以提供设备作业空间。开挖过程中需保持坡面平整度，避免出现凹凸不平导致的应力集中，坡面偏差应控制在设计值的±5%以内。爆破开挖时需采用预裂爆破或光面爆破技术，在最终边坡面形成0.5-1.0米厚的连续破碎带，减少对保留岩体的损伤[3]。机械开挖时需控制铲斗切入深度，硬岩条件下单次切入深度不超过30厘米，软岩可适当增加至50厘米，防止因局部超挖引发滑坡。

3.2 边坡稳定控制技术

边坡稳定控制需综合运用工程措施与监测预警手段。排水系统建设是关键环节，地表截水沟应沿坡顶外缘布置，间距控制在50-80米，断面尺寸需满足百年一遇暴雨排水需求。地下排水孔布置需结合水文地质条件，孔距通常为10-15米，孔深应穿透潜在滑动面3-5米，孔内填充级配碎石增强透水性。支护结构选型需根据边坡高度与岩体质量确定，高度超过50米的边坡宜采用预应力锚索框架梁支护，30-50米边坡可采用普通锚杆加固，低于30米边坡可实施喷混凝土防护。锚索设计需考虑岩体蠕变特性，预应力损失率控制在15%-20%以内，锚固段长度应不小于5米且嵌入稳定岩体。监测系统部署需涵盖地表位移、深部变形及地下水位监测，地表测点间距沿坡向控制在50-100米，垂直方向每20米设置一个监测断面，监测频率在雨季需提高至每日一次。

3.3 边坡维护技术要点

边坡维护需建立常态化巡查与动态治理机制。日常巡查应重点关注坡面裂缝、局部塌陷及支护结构变形，发现宽度超过5毫米的裂缝需立即标记并跟踪监测，裂缝扩展速率超过3毫米/日时应启动应急治理。坡面浮石清理需采用机械与人工结合方式，直径超过30厘米的危石必须人工清除，清理过程中需设置警戒区域并安排专人监护。植被恢复宜选用深根型草本植物与灌木，根系深度需达到0.5米以上以增强坡面抗冲刷能力，种植密度控制在每平方米3-5株，成活率低于80%时需补植。排水系统维护需定期清理截水沟内淤积物，每年雨季前完成全面疏通，地下排水孔需每年进行反冲洗处理，防止孔内堵塞影响排水效果。支护结构检查需每年开展一次专项评估，重点检查锚索预应力损失、框架梁连接节点锈蚀及喷混凝土层剥落情况，预应力损失超过25%的锚索需重新张拉，框架梁变形超过设计值10%时需加固处理。

4 露天开采作业安全防控技术

4.1 边坡安全防控技术

边坡稳定是露天开采安全的重要基础。在开采前，需对矿区地质条件进行详细勘察，分析岩体的物理力学性质、结构面特征等因素，为边坡设计提供科学依据[4]。合理确定边坡角度与高度，依据不同岩性和开采深度，采用工程类比法或数值模拟方法进行优化设计。开采过程中，严格控制台阶高度与坡面角，遵循自上而下、分台阶开采原则，避免形成高陡边坡。同时，建立边坡监测系统，运用位移监测、应力监测等技术手段，实时掌握边坡变形情况。一旦发现异常，及时采取削坡、压脚、支护等措施进行处理，防止边坡失稳引发滑坡、坍塌等事故。

4.2 爆破安全防控技术

爆破作业是露天开采的关键环节，但存在较大安全风险。爆破前，精心设计爆破方案，根据矿岩性质、开采规模与周边环境，合理选择爆破参数，如炸药类型、装药量、起爆顺序等。严格把控炸药与雷管等爆破器材的质量，确保符合相关标准要求。爆破作业人员必须经过专业培训，持证上岗，严格按照操作规程进行装药、连线与起爆作业。在爆破区域设置明显的安全警示标志，划定安全警戒范围，疏散周边人员与设备。爆破后，等待规定时间，确认安全后方可进入爆破区域进行检查与处理。

4.3 设备作业安全防控技术

露天开采设备种类繁多、体积庞大，设备作业安全至关重要。定期对设备进行维护保养，建立完善的设备维护档案，按照规定周期进行检修与保养，确保设备处于良好运行状态。操作人员要熟悉设备性能与操作规程，经过专业培训并考核合格后上岗。在设备启动前，进行全面检查，确保各部件连接牢固、润滑良好、制动可靠。作业过程中，严格按照操作规范进行操作，避免违规作业导致设备故障或人员伤亡。同时，为设备配备必要的安全防护装置，如防护栏、警示灯等，提高设备作业的安全性。

4.4 运输安全防控技术

运输环节连接着开采作业的各个环节，运输安全直接影响矿山生产效率与人员安全。合理规划运输路线，选择地势平坦、坡度较小、转弯半径合适的路径，减少运输过程中的安全隐患。对运输道路进行定期维护与保养，及时修复路面破损、清理障碍物，确保道路畅通。运输车辆要保持良好的技术状况，定期进行检查与维护，特别是制动、转向、灯光等关键系统。驾驶员要严格遵守交通规则，控制车速，保持安全车距，避免疲劳驾驶与酒后驾驶。

4.5 作业环境安全防控技术

良好的作业环境是保障露天开采安全的重要条件。加强矿区通风管理，特别是在爆破后与设备作业产生大量粉尘与有害气体的区域，及时进行通风换气，降低粉尘与有害气体浓度。采取有效的防尘措施，如洒水降尘、安装除尘设备等，减少粉尘对作业人员健康的危害[5]。在矿区设置明显的安全标识与警示标志，提醒作业人员注意安全。同时，关注气象变化，在恶劣天气条件下，如暴雨、大风、雷电等，及时停止露天作业，采取相应的防护措施，确保人员与设备安全。

结束语

露天开采矿山采矿技术及安全防控是矿山生产的核心内容。通过不断优化穿孔爆破、铲装运输等技术，提高开采效率与质量；同时，加强边坡、爆破、设备作业、运输及作业环境等方面的安全防控，可有效降低事故发生概率，保障作业人员生命安全与设备正常运行。在实际生产中，需持续探索创新，结合先进技术与理念，不断完善采矿技术与安全防控体系，为露天矿山开采行业的稳定发展提供坚实保障。

参考文献

[1]魏国栋,甄东升,刘站言.露天开采矿山采矿技术及安全探讨[J].内蒙古煤炭经济,2022(4):97-99.

[2]刁银鹏.露天开采矿山中的采矿技术及安全问题探讨[J].中国金属通报,2023(10):234-236.

[3]张千一.露天开采矿山采矿技术及安全策略研究[J].中国公共安全,2024(4):58-60.

[4]夏城楠.测绘新技术应用于露天开采金属矿山测量中的探讨[J].冶金与材料,2024,44(8):106-108.

[5]蒋建飞,蒋小江,伍章鹏,等.露天砂石矿开采过程中自动化监测技术探讨[J].石材,2025(7):3-5.