

锡林郭勒盟地区露天煤矿软岩边坡开采技术及安全管理

席鹏飞

内蒙古自治区矿山安全监管局, 中国·内蒙古 呼和浩特 010000

摘要: 内蒙古自治区锡林郭勒盟和呼伦贝尔地区的露天煤矿开采中, 软岩边坡稳定性问题日益突出, 已成为制约矿山安全高效开采的瓶颈。为了强化软岩边坡治理, 提升矿山安全保障水平, 论文在系统分析软岩边坡失稳影响因素和典型破坏模式的基础上, 从地质勘查、开采设计、支护加固、施工工艺、监测预警、安全管理等方面, 提出了一系列针对性的软岩边坡开采技术优化建议和安全管理措施。这些措施若能在实践中深入应用, 将有助于从根本上规避和化解软岩边坡失稳风险, 促进矿业经济稳定发展, 保障矿区员工生命财产安全。文章还研究探讨了软岩边坡治理未来的重点方向, 以期为相关研究提供参考。

关键词: 露天煤矿; 软岩边坡; 开采技术; 安全管理

Mining Technology and Safety Management of Soft Rock Slopes in Open-Pit Coal Mines in the Xilingol League Region

Pengfei Xi

Inner Mongolia Autonomous Region Mining Safety Supervision Bureau, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract: In open-pit coal mining in Xilingol League and Hulunbuir area of Inner Mongolia Autonomous Region, the stability problem of soft rock slopes has become increasingly prominent and has become a bottleneck restricting safe and efficient mining. In order to strengthen the treatment of soft rock slopes and improve the level of mine safety assurance, this paper systematically analyzes the influencing factors and typical failure modes of soft rock slope instability. Based on geological exploration, mining design, support and reinforcement, construction technology, monitoring and early warning, safety management and other aspects, a series of targeted optimization suggestions and safety management measures for soft rock slope mining technology are proposed. If these measures can be deeply applied in practice, it will help fundamentally avoid and resolve the risk of instability of soft rock slopes, promote the stable development of the mining economy, and ensure the safety of the lives and property of mining employees. The paper also explores the future key directions of soft rock slope treatment, in order to provide reference for related research.

Keywords: open-pit coal mine; soft rock slope; mining technology; safety management

0 前言

内蒙古自治区拥有丰富的煤炭资源, 在全国能源供应中占据战略地位。锡林郭勒盟和呼伦贝尔地区是自治区重要的产煤基地, 当地露天煤矿开采规模大、工艺先进, 为区域经济发展和能源安全作出了重要贡献。然而, 受区域地质条件的影响, 上述矿区普遍存在软岩边坡问题。软岩边坡的结构破碎、稳定性差, 极易在露天开采过程中发生变形破坏, 引发滑坡、泥石流等次生地质灾害, 给矿山生产安全和经济效益带来严重损失, 甚至威胁到附近居民的生命财产安全。因此, 系统研究软岩边坡失稳机理, 优化软岩边坡开采技术, 健全完善边坡安全管理体系, 对保障矿山安全高效开采, 实现矿产资源的充分利用和可持续发展, 具有重大的理论意义和实践价值。

1 软岩边坡稳定性影响因素分析

1.1 岩体强度

软岩作为一种低强度、易风化、结构破碎的岩石, 其

抗剪强度和抗拉强度较低, 容易在开采卸荷过程中产生变形和破坏。岩体强度直接决定了边坡的内在稳定性。因此, 准确获取软岩岩体的力学参数, 是边坡稳定性分析和评价的基础。

1.2 地质构造

软岩地层通常伴生有较为发育的节理、裂隙以及断层等地质构造。这些构造面既是岩体的薄弱面, 也常常成为地下水的导水通道。地质构造的分布、组合方式直接影响着边坡的完整性和稳定性。

1.3 地下水

软岩具有较高的吸水软化性, 在地下水的长期浸润和渗流作用下, 岩体结构会进一步破坏, 强度大幅降低。同时, 孔隙水压力的存在, 也会降低边坡岩体的有效应力, 进而降低抗剪强度。因此, 地下水是诱发软岩边坡失稳的重要因素。

1.4 开采扰动

露天煤矿开采是一个大规模的卸荷过程, 会打破边坡原有的应力平衡状态。开挖面的存在, 使得边坡失去部分约

束,在重力作用下产生变形。爆破作业也会对边坡岩体产生动态扰动。这些因素会加剧软岩边坡的不稳定性。

2 软岩边坡常见失稳模式

2.1 岩体崩落

对于节理裂隙较为发育、岩体较为破碎的软岩边坡,在重力、水压等作用下,边坡表面的块体容易沿节理面发生剥落,失去约束的块体会进一步破碎并堆积在坡脚,形成松散堆积体。如果堆积体的规模较大,还可能引发滑坡。

2.2 岩体风化

风化是软岩边坡失稳的另一常见模式。软岩暴露后,在大气温度变化等因素影响下,会发生物理风化和化学风化,岩体结构进一步破坏,强度进一步降低。风化锥体不断积聚,在一定条件下也会引发边坡失稳。

2.3 局部失稳

由于软岩边坡自身的非均质性,以及边坡内部存在薄弱结构面,局部失稳也是常见的破坏模式。局部失稳一般规模较小,但如不及时处理,失稳区域可能会进一步扩大,引发更大规模的边坡破坏。

2.4 整体滑移

对于岩体较为完整、但整体强度较低的软岩边坡,如果底部存在弱面,在边坡自重、孔隙水压力等因素作用下,边坡整体沿弱面发生滑移,这种情况下边坡失稳的规模通常较大,后果也更严重。

3 软岩边坡开采技术优化建议

3.1 加强地质勘查

充分认识到地质勘查是露天煤矿软岩边坡开采的首要环节。应充分利用物探、钻探、测井、室内试验等综合手段,详细调查软岩边坡的地层岩性、地质构造、含水层分布、岩体力学参数、风化程度等关键地质信息。获取的地质资料要经过分析、验证、归纳,绘制成精细的工程地质平面图和剖面图,建立三维地质模型。要高度重视软岩边坡的水文地质条件勘查,查明地下水的补给来源、富水性、导水通道等,为后续边坡排水设计提供依据^[1]。地质勘查成果是边坡稳定性评价、开采方案优化的基础,必须确保真实、可靠、完备。

3.2 实施分级开采

针对软岩边坡岩体强度低、稳定性差的特点,采用分级开采方式是行之有效的技术途径。通过工程地质条件分区,合理划分边坡开采范围和台阶参数。单级台阶高度要严格控制,遵循“宁低勿高”的原则,一般不超过 15 米。同时,要合理设计工作平台宽度,要充分考虑施工设备作业、运输通道布置以及排水设施建设的空间需求,避免因平台宽度不足导致卸压和支护不到位^[2]。在露天境界内预留足够的最终边坡整治空间,采取台阶放缓、削坡卸载等措施,将最终边坡整治成稳定、美观、生态的最终形态。科学的分级开采能避免大规模的高陡边坡出现,有效降低失稳风险。

3.3 加强支护加固

对于强度低、风化破碎严重的软岩边坡,及时实施工程支护和加固处理是保障边坡稳定的有力措施。常用的支护手段有喷射混凝土、锚杆锚索、防护网等,可根据边坡岩体特性和实际需要进行组合使用。喷射混凝土能快速封闭边坡破碎面,提高岩体的整体性和抗剪强度。锚杆锚索支护利用锚固段在岩层中的摩阻力,使岩体形成自支撑体系,显著提升边坡的抗滑能力。防护网能有效阻挡岩块剥落,避免危及平台作业。除常规支护外,对于局部潜在失稳体还可采用重点加固措施,如重型柱撑、预应力锚索、灌浆加固等,从根本上消除失稳隐患。支护加固要遵循适时性、针对性和可靠性原则。

3.4 强化排水措施

“水”是诱发软岩边坡失稳的主要因素,做好排水截水工作是边坡稳定性控制的重中之重。要科学规划边坡截排水系统,建立“截、排、疏”相结合的立体防排水体系。及时清理和疏通边坡临时排水系统,保证汇水、集水和输水通畅。对于有明显导水构造、易积水的陷落带等重点部位,应设置专门的排水盲沟、渗水井等永久性排水设施。在主要运输平台和最终边坡设置截水沟,减少地表水下渗补给。在破碎岩层中布设排水孔,形成降深疏干井,及时导排地下水^[3]。必要时可辅以帷幕灌浆等隔水措施,阻断岩层中地下水的侧向运移。只有切实做到“地表水不入坡、坡内水有出路”,边坡的安全稳定才有保障。

3.5 优化爆破设计

边坡岩体的开挖离不开爆破作业,而不当爆破是诱发软岩边坡失稳的重要因素之一。应根据软岩边坡特点,采用可控爆破、缓冲爆破等先进工艺,最大限度地降低爆破对边坡稳定性的不利影响。通过优化爆破参数,控制单次爆破的装药量、孔径、孔距、排距等,既要确保岩体有效破碎,又要尽可能减小爆破振动。特别是在边坡面附近,要采用光面爆破、预裂爆破等技术手段,在边坡面形成光滑的预裂面,避免爆破引起的岩体破坏和过度松动。同时要加强对爆破治理,做好爆破效果评估和参数优化调整,使设计与实际情况相匹配。规范有序的爆破施工,是保证边坡安全和开采效率的关键。

3.6 实施监测预警

建立完善的软岩边坡安全监测预警体系,是及时发现和处置失稳隐患的重要手段。要结合矿山实际,科学布设监测点位和传感器,重点监测影响边坡稳定性的关键参数,如裂隙张开度、岩体位移、孔隙水压力、降雨量等。采用自动化、智能化的监测设备,建立数据远传和实时分析系统,及时掌握边坡变形、水文地质条件动态变化等信息。针对重大地质构造、采动区、老窿等重点区域,要加密布设监测点,提高数据采集频率^[4]。对监测数据进行综合分析,建立基于多参数的边坡稳定性评价指标体系,研判失稳前兆特征,确

定预警分级标准。建立健全安全巡查制度,明确巡查范围、路线、内容和频次,发现隐患及时上报处置。只有信息畅通、反应迅速,才能将风险消灭在萌芽状态。

4 软岩边坡安全管理措施

4.1 健全安全管理体系

构建完善的软岩边坡安全管理体系是保障开采作业安全有序进行的组织基础。要从机构设置、制度建设、责任落实、教育培训等方面入手,全面梳理和优化安全管理架构。成立专门的安全管理机构,配备专职安全管理人员,明确职责权限。制定全面系统的安全管理制度,涵盖边坡设计、开采作业、人员管理、应急处置等各个环节,确保有章可循、有据可依。建立“横向到边、纵向到底”的安全生产责任体系,将安全责任层层分解,落实到每个管理人员和作业人员。定期组织全员安全教育培训,开展安全知识讲座、事故案例警示教育、应急救援演练等活动,着力提升从业人员的安全意识和技能水平^[9]。通过体系建设,营造“人人讲安全、时时想安全、事事要安全”的浓厚氛围。

4.2 严格控制开采强度

软岩边坡的稳定性较差,采取不当的开采方式极易诱发失稳。因此,必须合理制定采剥计划,科学组织开采作业,严格控制开采强度,坚决杜绝盲目追求进度而超强度开采的做法。要以边坡稳定性评价为依据,综合考虑矿床赋存条件、市场供需等因素,编制月度、季度、年度开采计划,确保开采接替有序。开采过程中,要严格执行计划,加强跟踪管理,及时优化调整。对于软岩边坡重点区段,必要时“宁肯少采,不能乱采”,避免大规模采矿扰动引发失稳。要加强采剥平衡管理,综合平衡矿岩产量、运距、设备能力,最大限度减少软岩边坡暴露时间。对露天采场要分区分台阶管理,及时实施边坡整治、截排水、预防监测等稳定化措施。开采结束后,要按计划推进土地复垦,尽快恢复植被,消除边坡失稳隐患。总之,在保证边坡安全的前提下,科学把控开采节奏,是确保效益最大化的关键。

4.3 打造专业化施工队伍

软岩边坡开采是一项专业性很强的工程,对作业人员的技术能力和经验水平提出了很高要求。因此,必须高度重视施工队伍建设,打造一支专业化、职业化的软岩边坡开采团队。要建立完善的人才招聘、培训、使用、评价机制,吸纳和储备采矿、机械、电气、测量、爆破等专业人才。定期组织开展岗位技能培训、专项施工培训、应急演练等,提升作业人员的实操水平。要加强施工队伍的过程管理,严格执行安全操作规程,规范采装、运输、排土等各工序流程,强化现场安全监管,坚决杜绝“三违”行为。在设备选型上,

要引进性能可靠、工况适应性强的成套设备,提高机械化、自动化水平。在施工方案优化上,要积极采用数字化采矿等先进技术,提高开采的精细化管理水平。总之,只有建设一支专业化、规范化、高效化的施工队伍,才能从根本上保障软岩边坡开采作业安全高效进行。

4.4 完善应急管理机制

构建完善的软岩边坡失稳应急管理机制,是快速响应、有效处置突发事件,最大限度降低人员伤亡和财产损失的关键。要建立健全应急管理组织体系,成立由矿长任总指挥、分管副矿长任副总指挥的应急指挥部,下设综合协调、抢险救援、医疗救护、后勤保障、善后处置等专业小组。编制科学实用的应急预案,明确应急响应流程、处置措施、保障机制等内容,有针对性地制定各类事故的现场处置方案。要配备必要的应急救援装备、物资、器材,合理设置应急救援基地和避险路线,并做好检查维护。同时,要定期开展应急培训和实战演练,提高指挥人员的应变能力和抢险队伍的实战水平。一旦发生险情,要迅速启动应急响应,快速有序开展抢险救援,控制事态蔓延,防止次生灾害发生。事后要及时开展应急评估,梳理问题不足,持续改进完善。经过长期不懈努力,最终建立起一套反应迅速、指挥有力、协同高效的应急管理体系。

5 结语

综上所述,内蒙古自治区锡林郭勒盟和呼伦贝尔地区露天煤矿普遍分布软岩边坡,务必高度重视软岩边坡的稳定性问题。要从地质勘查、开采设计、支护加固、施工工艺、安全管理等方面,全面加强软岩边坡开采技术研究和实践应用,最大限度地规避和化解边坡失稳风险,促进矿山安全高效开采。这不仅关乎矿山企业的经济效益,更关乎矿区员工的生命安全,需要企业、政府、科研机构等各界通力合作。未来,要进一步加大科技创新力度,深化软岩边坡失稳机理研究,发展更加成熟、实用的开采技术和稳定化控制技术,推动内蒙古乃至全国露天煤矿高质量发展。

参考文献:

- [1] 梁成江,崔清迪,王蛟,等.顺倾软岩露天煤矿到界边坡参数及高效开采技术研究[J].煤炭技术,2024,43(11):29-33.
- [2] 陈涛.露天煤矿边帮采煤边坡岩体变形破坏机理及开采控制技术[D].徐州:中国矿业大学,2023.
- [3] 李红毅.宝日希勒露天矿端帮煤靠帮开采边坡稳定控制技术[D].阜新:辽宁工程技术大学,2022.
- [4] 陈亚飞.软岩边坡动态稳定性控制技术研究[D].北京:煤炭科学研究总院,2019.
- [5] 周玉祥.露天煤矿绿色开采技术与评价研究[D].阜新:辽宁工程技术大学,2018.