

Study on Optimization of Hydrogeology and Mining Engineering in Open-pit Mine

Yingdong Sun

Zha Lu Te Qi Zha Naoer Coal Industry Co., Ltd., Zha Naoer, Inner Mongolia, 029220, China

Abstract

This study conducts comprehensive improvement research on stripping and mining engineering for the unique hydrogeological conditions of a certain open-pit mine. Through systematic analysis of the mechanisms by which hydrogeological factors influence mining operations, and considering the load-bearing limitations of the transportation system, an innovative transportation network planning scheme focusing on the northern face is proposed. Dedicated working processes for electric shovels are developed for soft rock, mudstone shale, and water-rich strata, including the trench-lifting slope method and dynamic drainage coordination. By integrating stripping, transportation, and drainage processes, a dynamically adjusted collaborative mining plan tailored to geological conditions is established. This approach enhances the mine's overall mining efficiency, and the research findings have been validated as practical and feasible through field implementation. Consequently, it effectively improves production efficiency and safety standards in complex geological environments.

Keywords

Open-pit mine; Hydrogeology; Electric shovel operation; Collaborative mining; Slope stability

露天矿水文地质优化与剥采工程优化研究

孙莹东

扎鲁特旗扎哈淖尔煤业有限公司，内蒙古 扎哈淖尔 029220

摘要

本文就某露天矿山特有的水文地质状况展开剥采工程综合改良研究。通过系统剖析水文地质影响开采的作用机理，并联系运输系统的承载限制，创新给出以北帮为重点的全矿运输网络规划方案。针对软岩、泥质页岩以及富水地层各自制订出电铲专属的作业工艺，包括拉沟起坡法和动态排水配合法。通过整合剥离、运输、排水等环节，形成依照地质情况动态调整的协同开采方案，该方案提升了矿山综合开采效率，研究成果经实践验证切实可行。从而在复杂地质环境下有效地加强了生产效率并改善了安全等级。

关键词

露天矿；水文地质；电铲作业；协同开采；边坡稳定

1 引言

露天矿山开采时，水文地质条件和剥采工程布置的契合度会直接左右生产安全、效率以及经济效益，不少矿山处于复杂地层之中，常常碰上设备难以作业、运输系统受限制、排水压力过大的难题，这就要通过地质、采矿、机电等诸多专业共同改良来解决。本文联系具体的矿山实例，针对煤层走向安排工作线、运输系统承载能力受限、软岩和富水地层等实际情况，全面展开水文地质影响分析、运输系统规划、设备作业工艺调整以及剥采工程整体协同的研究，借助定量限制和动态调整的办法，给相似地质条件的露天矿提供一种兼具技术可行性和经济合理性的改良方案，这对于推进矿山

智能化、绿色化开采十分关键。

2 水文地质条件分析与影响评估

2.1 矿区水文地质概况

本矿区的水文地质结构具备多层复合特性，其主要含水层包含第四系松散沙层孔隙水、基岩裂隙水以及煤层间的薄层砂岩水^[1]。第四系沙层厚度较厚，渗透性佳，与地表水体联系紧密，这使其成为采场充水的关键源头，基岩主要由泥质页岩、砂岩构成，泥质页岩遇水会极易软化，而砂岩的普氏系数处于较高水平，具有一定抗压强度，矿区地下水动态因季节降水而大幅改变，雨季时水位明显上升，给采场排水造成更大压力，局部地区存在软弱沙层和泥岩互层结构，其力学性质差别很大，会给边坡稳定以及设备行走带来潜在风险，这些都是矿山开采须要应对的基本地质状况。

【作者简介】孙莹东（1998—），男，中国赤峰喀喇沁人，本科，助理工程师，从事采矿技术员研究。

2.2 地下水与地表水对采场的影响

地下水与地表水对采场的影响主要体现在三个方面：一是四系沙层水在雨季会快速得到补充，从而致使采场平盘出现积水，影响到电铲、卡车之类的大型设备正常作业，严重时还会引发设备陷入其中。二是泥质页岩碰上水之后会发生软化，其承载能力就会骤然减小，这既会影响到道路的质量，又有可能造成边坡局部失去稳定。三是地下水渗流的时候，会对岩体结构面产生削弱作用，使得台阶的稳定性变差，滑坡的风险也就更高，这些水害现象直接造成了采装效率下滑、运输道路维持费用上升以及安全风险增大的情况，所以应当采取专门的疏排水和工程防护举措来改善水给采矿作业带来的不良影响。

2.3 不良地质条件下的采矿作业挑战

软岩沙层与泥质页岩是矿区主要不良地质单元。即软岩沙层、泥质页岩，软岩沙层分布很广，承载能力小，电铲在上面作业时极易出现“拉底”情况，也就是铲斗往下挖掘过度，造成设备倾斜或者损坏，而且垫镐位所需的硬岩数量增多，使得生产成本上升，泥质页岩遇水之后会变得像塑泥一样，电铲无法稳固地站立起来作业，这极大地妨碍了工作线向前推进，运输系统也受到限制，比如南帮的胶带桥涵承载能力不够，于是全矿的运输只能集中在北帮来安排，这样就加重了局部的运输负担，这样的地质难题使得采矿方法、设备工艺以及运输布局都要不断地做出调整并加以改善。

3 水文地质导向下的采场空间布置优化

3.1 采场空间分区与地质适应性原则

采场空间布置依照“地质分区，差异应对”这一核心准则，按照岩性，含水性以及稳定性把采场划分成软岩区，泥质页岩区，富水区等不同的区域，各个分区有着专属的推进方向和台阶合成形式，从而保证空间布局同地质状况相适应^[2]。软岩区采取缓坡推进和低位作业来减轻边坡负载；泥质页岩区要调控台阶高度和坡面角度，留出疏干空间；富水区在规划时首先安排汇水廊道和备用排水途径。这种分区经营使得采场即便处于复杂的水文地质环境下，也能做到有序扩张，并为后续工艺实施提供结构基础。

3.2 台阶结构与推进顺序优化

台阶结构设计依照岩体力学特性和水文影响而定，在软岩区采取缓坡多台阶形式，减小单阶高度来提升自身的稳定性；泥质页岩区按照“采—排—固”的顺序开展作业，在台阶推进过程中一同达成疏水和压脚的目的。其推进顺序依照“从稳定向不稳定，从高处向低处”的大体原则，首先做好地质状况较好的地方的推进工作，给软弱地区供应临空支撑；而在富水区则采取分段推进的办法，保证每个阶段的台阶在采掘之前把水位预先降到合适的位置。改良之后的台阶系统在空间和时间上都和水文动态相适应，有效控制变形与渗流风险。

3.3 地质风险防控与结构维护措施

不同地质单元需采取差别化的防控及守护措施，软岩区利用碎石垫层并结合土工格栅加固坡脚，从而加强其浅表承载力和抗冲刷能力。泥质页岩区设置轻型井点与盲沟网络，做到持续疏干，并对孔隙水压力实施控制。在台阶坡面设立防护层以及植被护坡，缩减水面侵蚀与软化现象，对于关键区域增设位移检测点和水文传感器，达成对变形和水位的即时反馈。依靠“结构加固—排水降压—即时检测”三位一体的防控体系，显著提升采场整体在复杂水文地质环境中的长期稳定性与安全冗余。

4 设备作业方式调整与优化

4.1 软岩地层电铲作业工艺优化

软岩沙层中电铲极易出现“拉底”状况，对此改良后采取沿电铲履带板间开拉沟，并与工作线平行形成坡度的作业方式，实际操作时，电铲先在软岩里挖掘一条浅沟，让履带置于沟底，然后才开始采装作业，如此一来便能防止铲斗深挖，保障设备底盘安全，这种方法既缩减了垫镐位所需的硬岩数量及其所费时日，又加强了采装效率，而且坡度方向与工作线平行，利于与卡车装料点相配合，从而压缩循环历时，从应用情况看，这种工艺使得电铲在软岩地施工时更为稳定，设备故障发生率有所减小，还为后续台阶向前推进形成了较好的基础条件。

4.2 泥质页岩及富水区排水与采装协同作业

在泥质页岩和富水地区，采取“动态排水沟结合采装”的协同工艺，电铲踏入该平盘之前，要在预定标高预先挖好临时排水沟，把积水引导出采区，电铲工作的时候，一边采装一边守护排水沟，维持沟道通畅，这个区域采装完毕之后，就会产生半固定的排水沟，等到下次推进到这里的时候，电铲在采装新区域物料之时，用剥离物填充旧排水沟，而且一起开挖新的排水沟，这样反复下去，就达成了排水和采装同时开展，免去了单独安排排水工作造成的延误，还确保了电铲在软弱基底上能够行走，明显改善了雨季作业的连贯性。

4.3 特殊地质条件下的效率提升措施

除上述提到的工艺之外，还采用许多综合性举措来改进特殊地质条件下工作的效率，其一，改良电铲铲斗的形状及角度，使之适合切割软岩并减小阻力。其二，巩固卡车调度工作，在道路湿滑时控制车速和载重，并安装防滑链之类的东西。其三，对于泥质页岩区域实施局部晾晒或者掺合干岩土，从而改良其短期内的承载能力。其四，凭借数字化观测系统及时收集道路和平盘的水文数据，预先发出可能存在的风险警报^[3]。把这些举措同工艺调整融合起来，就构成了“地质警报—工艺调整—设备适配”这样的应对序列，这样就能让采矿作业即便处于不良地质环境当中，仍然能够维持较高的生产效率。

5 剥采工程整体协同优化策略

5.1 基于规划的采场推进与工作线布置

采场推进需遵照五年规划及年度采矿设计,维持工作线平均长度 500 米,包含 13 个台阶的结构,保障剥离量和采矿量协调一致,工作线设置参照煤层走向,北帮侧重于运输与推进,通过精准调控各台阶的推进次序,达成工作线平稳前行,在规划时就要考虑到水文地质的改变情况,譬如在富水区域留出排水的时间,在软岩地区调节推进的力度,按照实际显现出来的地质状况随时微调工作线的方向,免除大量调动设备,这样一种把长期和短期规划关联起来的推进方法,使得采场得以有秩序地扩展,缩减由于地质突然变化造成的计划被中断的情况发生。

5.2 剥离、运输、排水的系统工程整合

把剥离、输送、排水当作一个整体工程来整合并加以改善,剥离工艺依照岩性的软硬来选定电铲作业模式,输送系统按照物料种类分配干线,排水网络遵照采掘过程动态设置,在泥质页岩区域,剥离和排水沟的挖掘回填一同开展;利用剥离出来的砂岩作为道路基料,这样既能处理岩土又能保护道路,各个环节的信息通过生产调度中心随时交流,保证剥离的速度同卡车的运载能力相适应,排水的进程和降雨预测相协调^[4]。整个系统整合起来以后,缩减了工序之间的等待时间,提升了物料流转的速度,达成了资源在采场内部的循环利用,削减了外部处理的成本。

5.3 长期与短期生产计划的适应性优化

在长期五年规划框架当中,年度、月度计划需保留一定的灵活性,从而适配水文地质条件的动态改变,长期规划会明确整体推进的方向以及基础设施的布局,比如北帮运输系统是否固定、主干线数量等;而短期计划则按照即时的地质显示情况和天气状况,来调整电铲的作业地点、推进速度以及排水重点,雨季到来之前预先疏干第四系水,软岩区域加大道路检查的频率,通过滚动计划并不断作出调整,矿山就能针对不确定性迅速作出反应,既能逐步达成五年目标,

又能防止短期生产中断,这种适应性改良策略提升了矿山生产系统的韧性和可持续性。

5.4 水文地质风险实时监测与预警机制

为强化对不良地质条件的主动应对能力,建立了基于传感器网络的水文地质风险实时监测与预警机制,通过在采场关键区域布设地下水位计、岩体位移传感器及土壤含水率监测装置,实现了对地下水动态、边坡稳定性及地层软化的连续数据采集,监测数据通过无线网络实时传输至生产调度中心,经智能分析系统处理后,可对潜在的水害、滑坡及设备沉陷风险进行分级预警,并及时推送至现场作业班组,该机制使矿山能够提前调整作业工艺与排水方案,有效规避因地质条件突变导致的生产中断与安全事故,显著提升了开采过程的可靠性与可控性。

6 结语

露天矿生产受水文地质和工程布置双重约束,要通过多环节协同改良来做到安全高效开采,文章全面剖析地下水与不良地质带来的影响,给出以北帮为关键的运输系统布置计划,创新了软岩与富水地层电铲作业工艺,形成剥离、运输、排水一体化协同方案。应用表明,按照地质状况实施动态改良能够有效地解决采矿过程中的不确定因素,改进整体运作效率。未来,可以进一步结合物联网、大数据技术,达成地质和生产数据随时融合并执行智能决策,促使露天矿开采朝着更为智能、绿色、集约化的方向发展。

参考文献

- [1] 慕容龙.西湾露天矿第四系含水层疏排方案优化[D].长安大学,2024.
- [2] 崔闯,李凤萍.水工环地质调查和评价在露天矿开采边坡中的应用[J].有色金属设计,2025,52(03):117-122.
- [3] 尹景.露天矿边坡工程地质条件分区的研究[J].世界有色金属,2023,(04):86-88.
- [4] 康富.露天矿水文地质概况及断裂构造地质特征研究[J].世界有色金属,2020,(20):149-150.