

# 复杂条件下矿山综合开采技术优化与实践

孟庆

郑州煤电股份有限公司芦沟煤矿 河南 商丘 452373

**摘要:**我国矿产资源开发正加速向深部延伸,复杂地质条件对开采技术提出严峻挑战。本文围绕复杂条件下矿山综合开采技术优化展开研究,系统分析复杂条件的主要类型与开采技术特征,阐述综合开采技术内涵。从采矿方法优选、充填开采、岩层控制、水害防治、智能监测五个维度探讨技术优化方向,结合深部高应力矿山与大水矿山两类典型实践案例,验证优化技术的应用效果,并提出技术管理、安全管理、装备信息化等保障措施。研究表明,综合开采技术优化需立足地质条件适配性,通过多技术协同与系统集成,实现复杂条件下矿山安全高效开采。

**关键词:**复杂条件; 矿山开采; 综合开采技术; 技术优化; 工程实践

**引言:**矿产资源是经济社会发展的重要物质基础,随着浅部资源日渐枯竭,矿山开采逐步向深部推进,地质条件日趋复杂。断层发育、高应力、强扰动、大水威胁等复杂因素相互叠加,使传统开采技术面临严峻挑战。开采难度增大、安全风险上升、资源回收率降低,成为制约矿山可持续发展的核心瓶颈。综合开采技术强调采矿工艺、岩层控制、安全保障、智能监测等多技术协同,为复杂条件下矿山开采提供了系统解决方案。

## 1 复杂条件矿山开采特征与技术挑战

### 1.1 复杂条件的主要类型与特征

复杂条件矿山开采面临多重地质与技术因素的叠加影响。地质构造复杂表现为断层密集发育、褶皱强烈变形、岩性变化频繁、矿体产状不稳定,导致矿体赋存规律难以把握,开采设计难度显著增加。地压条件复杂体现为深部高应力环境,原岩应力水平高,采动应力集中剧烈,岩爆倾向性明显,软岩巷道出现大变形甚至支护失效。水文地质复杂表现在富水性强、导水通道发育、隔水层性能不稳定,突水风险居高不下,防治水工程投入巨大。矿体形态复杂涉及薄矿脉、急倾斜、分支复合、品位分布极不均匀等情形,传统采矿方法难以直接套用。多种复杂条件往往同时存在,形成多灾害耦合局面,顶板、瓦斯、水害、地温等灾害相互诱发,给开采安全带来系统性风险。

### 1.2 复杂条件对开采技术的影响

复杂条件深刻影响矿山开采技术的选择与应用效果。采矿方法层面,地质构造复杂限制了大型机械化开采的适用性,急倾斜与薄矿脉使崩落法难以实施,高应力环境对空场法构成安全隐患,技术方案选择空间被大幅压缩。采场结构设计层面,复杂围岩条件要求采场参数更加保守,矿柱尺寸被迫加大,直接导致资源回收率下降<sup>[1]</sup>。生产组织层面,构造破碎带与富水区要求采掘作业更加谨

慎,超前探测与支护加固占用大量作业时间,采掘接替紧张问题突出。安全保障层面,多灾种耦合使风险管控难度成倍增加,单一防控措施难以应对复合灾害场景。成本控制层面,支护密度加大、防治水工程增加、设备损耗加快,吨矿开采成本显著上升,经济效益受到挤压。

### 1.3 综合开采技术的内涵

综合开采技术是融合多种采矿工艺、岩层控制手段、安全保障措施与智能监测技术于一体的集成化技术体系。其核心理念在于摒弃单一技术解决问题的传统思路,强调各技术要素之间的协同匹配与系统优化。技术构成涵盖采矿方法优选与工艺参数优化、充填材料配比与工艺改进、锚杆锚索与注浆支护协同应用、超前探测与疏水降压的水害防治、多参数智能监测等模块。运行机制上,各模块依据地质条件特征进行动态组合与参数适配,形成针对性技术方案。功能目标上,追求安全、高效、经济、环保的统筹兼顾,在保障开采安全前提下最大限度提高资源回收率,控制开采成本,减少环境扰动。综合开采技术本质是复杂系统思维在矿山开采领域的应用,能够应对多种复杂条件耦合挑战,实现技术要素最优配置。

## 2 综合开采技术优化关键方向

### 2.1 采矿方法的优选与适配

采矿方法选择是综合开采技术优化的首要环节,核心在于实现方法类型与地质条件的精准适配。对于急倾斜薄矿脉,传统浅孔留矿法存在贫化率高、作业安全性差等缺陷,优化方向是引入分段充填采矿法,通过合理规划分段高度、优化采场结构参数,实现矿石高效回收与采场稳定性的统一。对于深部高应力矿区,崩落法可能诱发采场大范围失稳,充填法成为更优选择,通过同步充填控制采空地压,抑制岩爆发生。对于形态复杂的不规则矿体,需打破单一方法限制,采用联合采矿法,

根据不同矿段特征分别选用不同方法组合回采。采矿方法优选还需考虑工艺装备匹配性,机械化程度高的方法适用于矿体形态规整区域,人工出矿的灵活方法更适应复杂多变的矿体边界。方法优选过程中应建立多指标综合评价体系,将安全性、回收率、生产成本、工效等纳入评价框架,避免单一指标导向导致的决策偏差。

## 2.2 充填开采技术优化

充填开采在复杂条件下扮演着控制地压、保护地表、提高回收率的多重角色,技术优化涉及材料、工艺、系统三个层面。充填材料优化方面,全尾砂充填因成本优势应用广泛,但尾砂粒度分布对充填体强度影响显著,需通过分级或添加粗骨料改善级配。胶结充填的配比优化是关键,胶凝材料用量需在强度要求与成本控制之间寻求平衡,新型胶凝材料如矿渣基胶结剂的研发应用为降低充填成本提供新路径。充填工艺改进方面,管道输送技术优化重点解决堵管与磨损问题,通过合理控制料浆浓度与流速、优化管道布置与管径选择,保障输送顺畅。充填体强度控制是技术核心,需根据不同采场功能分区设定差异化强度指标,矿柱回采区要求高早期强度,普通采空区可适当降低要求<sup>[2]</sup>。充填系统优化涉及制备站布局、输送管路敷设、采场充填挡墙设计等,系统冗余设计是保障充填连续性的关键。充填效果评价应建立长期监测机制,通过充填体位移应力监测、地表沉降观测等手段验证充填效果。

## 2.3 岩层控制与支护技术优化

复杂条件下岩层控制面临高应力、弱结构、强扰动等多重挑战,支护技术优化需立足围岩特性,构建差异化、协同化支护体系。围岩稳定性分析是支护设计的基础,需综合运用工程地质评价、岩体分级、数值模拟等手段,精准刻画围岩变形破坏机理。高应力硬岩巷道以岩爆防控为核心,可采用吸能锚杆吸收冲击能量、施作应力释放孔降低应力集中、优化断面形状改善受力状态。软岩巷道重点解决大变形问题,依托让压支护理念,通过预留变形空间、采用可缩性支架、实施围岩注浆改性,实现“让抗结合”。锚杆锚索参数需结合围岩条件动态调整,匹配围岩松动圈范围与关键承载层位置;注浆加固适用于破碎围岩,需把控好注浆材料、压力与时机。采场顶板实行分类管控,结合岩性采取强制放顶、自然垮落等措施,辅以矿压监测实现动态调控。

## 2.4 矿井水害防治技术优化

大水山水害防治是综合开采技术优化的重点难点,技术体系涵盖探测评价、超前防控、采掘保障、应急储备四个层面。水文地质探测是基础,结合瞬变电磁、高

密度电法等物探手段与钻探验证,查明含水层分布、导水通道及富水性,建立三维可视化水文地质模型。通过量化突水可能性与危害程度,依据隔水层性能、水压等因素划分风险等级,为防治方案提供依据。超前防控可采用地面帷幕注浆构筑防渗墙、井下底板注浆加固隔水层;采掘过程严格执行“有疑必探、先探后掘”,合理设计探水孔覆盖导水通道。排水系统需满足最大涌水量要求,配备备用电源与应急排水设备实现双回路保障;动态监测预警系统实时采集水位、水量等数据,异常及时报警,为应急处置争取时间。

## 2.5 智能监测与预警技术应用

智能监测与预警技术是提升复杂矿山开采风险管控能力的关键,应用涵盖监测网络构建、数据传输集成、分析预警决策三个环节。监测网络需结合采掘部署与风险分布布设传感器,地压监测通过应力计、位移计、微震监测系统,实现岩体破裂定位与能量反演;水文监测覆盖主要含水层与涌水点,实时感知水情变化;环境监测聚焦瓦斯、风速等参数,保障作业安全。数据传输采用工业以太网与无线传感网络结合的方式,依托统一数据平台实现多源数据融合。分析预警以阈值预警为基础,结合机器学习算法发展趋势预警与智能预警,提前识别异常模式并报警。数据可视化平台将监测信息与三维矿山模型结合,直观展示风险分布,辅助技术人员精准决策,提升风险防控的前瞻性。

## 3 综合开采技术优化实践案例

3.1 案例一:深部高应力矿山开采技术优化——以山东黄金三山岛金矿为例

山东黄金三山岛金矿开采深度已超过1000米,地应力水平高达40-50兆帕,岩爆倾向性明显,采掘过程中多次发生巷道片帮与底板鼓起,严重威胁作业安全。针对这一困境,矿山开展了综合开采技术优化实践。采矿方法方面,将原方案的分段崩落法调整为分段充填法,通过采后充填控制采空区暴露面积,抑制应力集中程度。卸压开采技术引入定向水力压裂,在采场周边施工卸压孔,高压注水使岩体产生可控裂隙,将高应力向深部转移。支护体系全面升级,巷道支护采用高强预应力锚杆配合吸能锚索,锚杆长度由2.4米增加至3.5米,预紧力提升至设计值的80%以上,在岩爆高发区段增设钢筋网与喷浆封闭。监测预警系统同步升级,布设微震监测台网实现岩爆事件的实时定位与能量反演,建立微震事件频次与能量等级的预警指标体系。优化措施实施后,巷道变形量降低65%,岩爆发生频次下降50%以上,采场作业环境显著改善,矿石回采率由75%提升至85%,实现了深部

高应力条件下的安全高效开采<sup>[3]</sup>。

3.2 案例二：大水矿山防治水与开采协同技术——以河北钢铁集团中关铁矿为例

河北钢铁集团中关铁矿水文地质条件极为复杂，矿体赋存于强含水层之下，隔水层厚度仅10~20米且局部缺失，历史上多次发生突水事故，最大突水量达每小时5000立方米以上，开采长期处于被动局面。矿山实施防治水与开采协同技术优化，构建了“地面帷幕+井下疏干+过程防控”的综合防治水体系。地面帷幕注浆工程沿矿体周边布置注浆孔，采用高压注浆构筑地下防渗墙，切断外围水源补给通道，帷幕形成后矿区总涌水量由每小时8000立方米降低至3200立方米，降幅达60%。井下疏水降压系统优化，在矿体底部施工疏干巷道，布置大口径疏干孔，将底板水压由2.5兆帕降至0.5兆帕以下，为开采创造干燥作业条件。采掘过程严格执行超前探放水制度，采用瞬变电磁超前探测技术，每次掘进前对前方100米范围进行探测，发现异常区提前注浆加固。建立水文动态监测预警系统，在井上井下关键部位布设水位、水量传感器，数据实时上传分析平台，设定三级预警阈值。通过防治水与开采的协同优化，矿井涌水量得到有效控制，突水风险大幅降低，开采作业由被动应对转为主动掌控，资源回收率由65%提升至74%，提升近10个百分点，为同类大水矿山防治水提供了可借鉴的经验。

#### 4 综合开采技术优化保障措施

##### 4.1 技术管理保障

技术管理是综合开采技术优化的组织保障，需建立全链条管理机制。方案论证时，组建多专业技术团队评估方案，重大变更严格审批。过程控制中，做好技术交底，关键工序旁站监督，如充填配比、注浆压力等。质量验收严格执行标准，抽样检测锚固力、测试充填体强度。完整保存技术档案，为改进提供依据。建立技术例会制度，定期分析难题、总结经验。核心是将技术规范转化为操作标准，让技术优化成果稳定呈现。

##### 4.2 安全管理保障

复杂矿山开采风险大，安全管理需构建全链条闭环体系。风险辨识要组织人员系统识别各环节风险，建立动态更新清单。风险评估分级，高风险纳入重点管控。管控措施技术与管理并重，细化安全技术措施与操作规程。应急管理上，针对主要灾害编预案、常演练，储备并维护应急物资<sup>[4]</sup>。安全培训针对复杂条件开展专项培训，让作业人员掌握风险辨识与应急处置技能，减少不安全行为。

##### 4.3 装备与信息化保障

先进装备与信息化技术是重要支撑，能提升效率、降低风险、增强管控。采掘装备选型立足复杂条件，掘进设备有超前探测功能，采矿设备灵活适应。充填系统保障制备与输送设备稳定。监测装备选适应井下环境的型号，科学布设。通信网络有线无线结合，保障数据传输与通信畅通。信息化管理平台整合多源数据，可视化展示，为决策提供支持。目标是构建智能支撑体系，提升复杂矿山开采技术管控能力。

#### 结束语

复杂条件下矿山开采是采矿工程领域面临的持续性挑战，综合开采技术优化是实现安全高效开采的有效路径。因此，复杂条件下综合开采技术优化应立足地质条件适配性，坚持多技术协同与系统集成，通过技术管理、安全管理、装备信息化等保障措施推动优化成果落地。未来随着智能化技术发展，矿山开采将向感知智能化、决策自主化、控制远程化方向演进，综合开采技术优化将在更深层次上实现安全、高效、绿色、智能的统一。

#### 参考文献

- [1]张华.复杂地质条件下的矿山开采应力分析与技术优化[J].能源与节能,2025(6):210-212.
- [2]宋晶.复杂地质条件下矿山工程开采管理技术[J].世界有色金属,2023(9):55-57.
- [3]庄智栋.岩土矿山工程勘察技术在复杂地形地质条件下的应用[J].新疆有色金属,2025,48(5):83-84.
- [4]张蒙.复杂地质条件下露天矿开采边坡防治技术集成与应用[J].有色金属设计,2025,52(3):27-31.