

# 露天煤矿边坡变形治理与控制开采技术

苑佳韩

内蒙古大唐国际锡林浩特矿业有限公司 内蒙古锡林郭勒 026000

**摘要：**露天煤矿边坡变形治理与控制开采技术是保障矿山安全、提高资源回收率的关键。矿边坡变形最初始于非工作帮边坡，逐渐扩大至排土场，变形日益加剧，局部滑坡频繁出现。为遏制边坡变形持续恶化，确保开采安全，露天矿开展边坡治理工作。在不具备常规开采条件的情况下，为解决生产接续紧张，确保作业安全，某露天矿在边坡出现滑坡及变形加剧后，经过专业技术人员现场勘查，在充分讨论、分析、研究的基础上，采取条带式开采措施，有效保障了矿井的正常生产。

**关键词：**边坡变形；边坡监测；变形治理；内排土场

为确保安全生产，露天煤矿实施条带式开采，并将条带开采区域及内排土场安全管理作为重点，加强了对露天采场、内排土场及滑坡区域的监测，发挥边坡自动监测设备的作用，提高检测效率和准确性。同时，合理制定开采方案，优化开采顺序和参数，有效控制采场边坡变形，预防滑坡的发生。

## 一、边坡变形治理原则与技术

### 1. 减

露天煤矿边坡变形治理的“减”原则主要通过以下技术实现：减小边坡角，通过削坡减载降低边坡坡度，减少岩体下滑力，同时将上部土石方反压在下部抗滑地段，以增大抗滑力。对于中小型边坡，可直接采用削坡方法消除滑坡体。控制爆破，采用预裂爆破、光面爆破等边坡控制爆破技术，减少爆破震动对边坡稳定性的影响。同时需避免“掏采”行为，严禁一面坡开采方式。减重反压，通过挖除滑坡体上部滑移地段的土石方，并填压在下部抗滑地段，重新平衡岩体应力场，提高边坡稳定性。此方法尤其适用于整改因边坡过陡导致的隐患。减重措施需结合“排、挡、固”等原则综合治理，例如同步实施排水工程（如疏干地下水）和加固措施（如锚杆、抗滑桩）。治理前应优先进行边坡勘测与稳定性评估，并建立长期监测系统。

### 2. 排

露天煤矿边坡变形治理中的“排”原则主要指通过排水措施降低地下水对边坡稳定性的影响，具体技术包括地表排水和地下水疏干。地表排水，截水沟：在坡顶设置截水沟，拦截地表径流，防止雨水直接渗入边坡。

排水沟：沿坡面或平台布置排水沟，及时排出积水，减少坡体饱和。地下水疏干，钻孔疏干：通过钻孔降低边坡内部地下水位，减少静水压力。排水盲沟：在坡体内设置盲沟，引导地下水排出，避免软化岩土体<sup>[1]</sup>。辅助措施，渗水监测：定期检查排水设施通畅性，监测渗水量及水质变化。结合其他技术：与“减”（削坡减压）、“挡”（抗滑桩）、“固”（锚杆加固）等措施协同应用，提升整体稳定性。通过系统排水设计，可有效减少水压对边坡的侵蚀，预防滑坡灾害。

### 3. 挡

露天煤矿边坡变形治理是一项系统工程，需遵循科学原则并采用针对性技术。治理原则，安全优先原则，以边坡工程地质条件为依据，确保治理措施能有效增强整体稳定性，同时评估施工可行性，保障作业安全。经济合理原则，在满足安全要求的前提下，优先选择成本效益高的方案，如放缓边坡角或排水措施，仅在必要时采用机械加固法。生态环保原则，治理过程中需注重绿化恢复，减少对自然环境的破坏，例如采用喷播绿化技术快速形成植被覆盖。动态监测原则，建立边坡监测系统，定期分析数据以预警变形趋势，及时调整治理措施。关键技术措施，削坡减载，对陡坡或不稳定岩体进行削坡，降低坡度以减轻负载，抑制滑坡体发展。排水疏干，结合地表排水与地下排水（如钻孔引水），降低地下水对边坡稳定性的影响。支护加固，锚杆/锚索加固：通过预应力锚杆（索）增强弱面抗滑力，常与钢筋混凝土横梁、钢丝网配合使用。抗滑桩：采用钢筋混凝土桩加固破碎或层状结构边坡。喷射混凝土：封闭表层岩石，防

止风化剥落，可单独使用或与锚杆结合。植被恢复，选择适应当地气候的植被群落，构建科学植被结构，提高生态修复质量。爆破控制，采用预裂爆破、光面爆破等技术减少爆破震动对边坡的扰动。管理要求，设计管理：依据地质报告编制边坡稳定性分析评价，明确安全分区（稳定、基本稳定、欠稳定、不稳定边坡）。灾害防治：制定年度防治计划，按“五定原则”（定任务、目标、节点、措施、责任人）落实治理工程。监测预警：部署自动化监测系统，实时跟踪边坡变形数据，结合模型预测风险。通过以上原则与技术的综合应用，可有效控制露天煤矿边坡变形，保障安全生产与生态平衡。

#### 4. 固

露天煤矿边坡变形治理需遵循系统性原则，结合工程地质条件、经济合理性和生态保护要求，采用多技术协同的综合治理方案。治理原则，预防为主，治理为辅，强调“防患于未然”，通过勘测评估和实时监测提前预警，减少灾害发生风险。因地制宜，经济合理，根据边坡地质条件（如岩性、软弱夹层分布）选择治理措施，避免过度工程投入。动态调整，施工可行，治理方案需结合边坡实时监测数据动态优化，并评估施工安全性。生态优先，绿色治理，治理过程中注重边坡绿化，减少对自然环境的破坏。关键技术措施，减载与坡形优化，削坡减压：通过挖除滑坡体上部土石方，填压于下部抗滑段，减小下滑力。控制爆破：采用预裂爆破、光面爆破等技术减少震动对边坡稳定性的影响。排水与疏干，地表排水：设置截水沟、排水沟防止地表水渗入边坡。地下水疏干：通过钻孔或排水孔降低地下水位，减少水压对岩体的软化作用。加固与支挡，锚杆（索）加固：锚固岩体深层，增强整体稳定性。抗滑桩与挡墙：在坡脚设置抗滑桩或挡土墙，提供抗滑阻力。注浆加固：填充岩体裂隙，提高岩体强度和完整性。监测与预警，变形监测：采用GNSS、全站仪、三维激光扫描等技术监测地表位移。地下位移与应力监测：通过测斜仪、锚索测力计等设备分析内部变形趋势。智能预警系统：结合数据分析模型（如神经网络、组合预测模型）实现实时预警。管理要求，定期巡视检查：监测裂缝、掉块、隆起等迹象，及时处理隐患。分级监测制度：根据边坡高度和地质复杂程度划分监测等级，差异化布设监测点。

### 二、控制开采技术体系

#### 1. 动态调控开采

露天煤矿边坡控制开采技术体系中的动态调控开

采技术，是通过实时监测与智能分析实现边坡稳定性精准管理的核心手段。智能监测与预警系统，动态调控开采依托“空天地”一体化监测网络，包括北斗形变监测（精度达毫米级）、InSAR大范围扫描及光纤微裂隙传感技术。例如某铁矿通过布设200个GNSS监测点和500米测斜管，成功预判3次滑坡风险，智能预警模型（融合BP神经网络与模糊数学算法）将响应时间缩短至15分钟内，准确率达92%。准能集团部署的192套边坡GNSS监测装置与7套高台阶雷达，进一步强化了事前预警能力。开采工艺动态调控，微差爆破控制：采用逐孔微差爆破技术，单段药量控制在50kg以内，爆破振动速度降低40%，某露天矿边坡位移速率从3mm/d降至0.5mm/d。分区开采与内排协同：通过分区开采、跟踪内排实现反压护坡，缩短运距的同时提升边坡稳定性<sup>[2]</sup>。准能集团通过无人驾驶卡车编组（103台）与智能推土机协同作业，综合效率达人工的85%。水压与渗流管理：针对地下水渗流导致的岩体强度下降（可降低30%~50%），采用高压旋喷注浆形成止水帷幕，某铜矿区应用后地下水位下降2.3米，安全系数提升0.45。决策支持与风险管控，边坡稳定性智能决策系统集成GIS空间分析、数值模拟和知识库，可自动生成三维地质模型并实时更新安全系数。某大型露天矿通过该系统优化设计，减少削坡工程量12万立方米，节省成本800万元。风险评估模块采用层次分析法，构建包含12个指标的动态评价体系。绿色与智能化协同，动态调控开采需与绿色矿山建设结合，如采用植被混凝土技术（7天形成植被层）和微生物加固材料，全生命周期成本较传统方案降低25%。未来将探索BIM数字孪生系统与多目标协同优化机制。该技术体系通过“监测-评估-治理-预警”闭环，实现了边坡安全与开采效率的平衡，为露天煤矿智能化转型提供了关键支撑。

#### 2. 智能监测预警

露天煤矿边坡控制开采技术体系与智能监测预警是保障矿山安全生产的核心环节，需结合地质条件、开采工艺和智能化技术进行系统化构建。控制开采技术体系，条带式开采技术，针对软岩或变形严重边坡，采用条带式开采优化开采顺序和参数，有效控制采场边坡变形。例如，内蒙古某露天煤矿通过数值模拟确定条带开采参数，实测变形监测显示边坡位移速率显著降低。动态调控开采工艺，采用逐孔微差爆破（单段药量 $\leq 50\text{kg}$ ）降低爆破振动40%，结合分期分区开采方案，使边坡位移速率从3mm/d降至0.5mm/d。生态型支挡结构，研发加筋

生态挡土墙,结合三维植被网技术,植被覆盖率达85%时地表径流减少60%,实现防护与生态修复协同。智能监测预警技术,多源融合监测系统,空天地一体化监测:集成北斗(毫米级精度)、InSAR(大范围形变扫描)、光纤传感(微裂隙捕捉)等技术。边坡雷达与AI视频:万源露天煤矿通过边坡雷达划分蓝(15mm/h)四级预警,AI视频监测仪可提前5天预警崩滑,识别裂缝、渗水等迹象。智能预警模型,中国煤科“山石”系统V3.0融合多源数据,采用BP神经网络与模糊数学算法,预警准确率达92%,响应时间 $\leq 15$ 分钟。实时决策支持,基于GIS和数值模拟的智能决策系统可自动生成三维地质模型,优化设计减少削坡工程量12万立方米,节省成本800万元。

### 3.生态化治理

露天煤矿边坡控制开采技术体系与生态化治理是保障矿山安全、实现绿色发展的核心内容。协同治理与资源回收,针对顺倾软岩边坡,采用“中间桥”工艺压覆弱层,增加内排物料形成支撑,实现多弱层边坡稳定性控制与煤炭高效回收(扎尼河露天矿资源回收率提升显著)。露天煤矿通过清方减载和抗滑桩组合方案,将边坡角提高7%,单米宽度多采煤炭资源超万吨。生态化治理路径,地形重塑与土壤重构,对渣山实施降高减载、削坡卸载(坡度 $<26^\circ$ ),结合水系连通技术改善立地条件。木里矿区通过“后缘降高减载+边坡减坡”方案,消除滑移面并恢复植被复绿条件。植被恢复与生态修复,采用三维植被网、基质改良技术构建加筋生态挡土墙,植被覆盖率达85%时地表径流减少60%。北方草原区排土场通过“植物网格护坡+植苗+撒播”组合技术,植被种类从14种增至47种。综合监测与长效管护,建立“天空地时”一体化探查监测体系,结合遥感、物探等手段动态评估边坡稳定性。宝日希勒露天煤矿通过“恢复生态环境+地表复绿+自然公园”模式,提升固碳增汇能力,实现生态与经济双赢。

## 三、管理规范与可持续发展

### 1.管理规范要求

设计管理,新建/改建露天煤矿需委托专业机构编

制初步设计、安全设施设计及边坡稳定性分析报告,并报审。边坡稳定性分析需覆盖非工作帮、端帮、工作帮、排土场等区域,并划分安全等级(稳定、基本稳定、欠稳定、不稳定)。防治计划与验收,总工程师组织编制边坡重大灾害防治规划与年度计划,按“五定原则”(定任务、目标、节点、措施、责任人)执行。治理项目完成后需上级公司验收,成效纳入年度考核。监测与补充勘察,每年至少开展一次边坡稳定性分析评价,对新揭露边坡及地层显著变化区域进行补充勘察。边坡自动监测设备需提高检测效率和准确性。

### 2.可持续发展路径

生态修复技术,植被混凝土技术可在7天内形成植被层,植被覆盖率达85%时地表径流减少60%。煤矿研发炭基保水缓释材料,结合本土植物抗旱机制,实现“保水增肥-土壤改良-植被演替”协同修复。经济与生态协同,生态治理方案全生命周期成本较传统方案降低25%。未来发展方向包括BIM数字孪生系统、微生物加固材料应用等。

### 3.典型案例与资源

扎尼河露天煤矿:通过条节式开采优化参数,控制采场边坡变形,加强内排土场监测。木里矿区整治:经过两年修复,植被复绿返青率超90%。露天煤矿边坡治理需融合智能监测、动态开采工艺和生态修复技术,同时严格遵循设计、防治、验收等管理规范,以实现安全、经济与生态效益的平衡。

总之,露天煤矿边坡治理需融合智能开采、生态工程与动态监测技术,通过“监测-评估-治理-预警”一体化体系实现安全与生态协同。未来发展方向包括数字孪生系统、微生物加固材料应用等,推动矿山向精准化、无人化转型。

### 参考文献

- [1]李红清.露天煤矿边坡变形治理与控制开采技术[J].能源科技,2025,23(3):26-30.
- [2]吴涛.露天矿滑坡区治理技术研究[J].露天采矿技术.2016,(7).DOI:10.13235/j.cnki.ltcn.2016.07.022.