

采矿工程中的地质灾害预测与预防

黄瑞喜

广西鸿蒙矿业投资有限公司 广西 来宾 546200

摘要: 采矿工程在推动经济发展的同时,也引发了一系列地质灾害问题,对人员生命安全、生态环境和矿山企业的可持续发展构成了严重威胁。本文阐述了地质灾害预测的方法和技术,如地质勘探、地球物理勘探、数值模拟等,并提出了针对性的预防措施,包括合理规划开采方案、加强支护工程、实施监测预警等。通过实际案例分析,验证了这些预测与预防方法的有效性,旨在为采矿工程中的地质灾害防治提供科学依据和技术支持。

关键词: 采矿工程;地质灾害;灾害预测;灾害预防

1 引言

采矿工程作为国民经济的重要支柱产业,为社会提供了大量的矿产资源,满足了工业生产和人们日常生活的需求。然而,采矿活动往往会破坏地层的原始应力平衡状态,引发各种地质灾害。这些地质灾害不仅会造成人员伤亡和财产损失,还会对周边的生态环境造成长期的负面影响。因此,加强采矿工程中的地质灾害预测与预防工作,对于保障矿山安全生产、保护生态环境和实现可持续发展具有重要意义。

2 采矿工程中地质灾害预测的方法和技术

2.1 地质勘探

地质勘探是地质灾害预测的基础工作。通过钻探、坑探、槽探等手段,可以了解采矿区域的地层结构、岩性特征、地质构造以及水文地质条件等信息。钻探是获取地下地质信息的重要方法。在钻探过程中,应根据勘探目的和要求,合理确定钻孔的深度、间距和方位。一般来说,对于地下开采矿山,钻孔深度应达到预计开采深度以下50-100米;钻孔间距可根据矿区的地质复杂程度确定,一般为50-200米。通过钻探获取的岩芯样本,可以进行岩性鉴定、岩石力学试验和水文地质试验等。岩石力学试验可以测定岩石的单轴抗压强度、抗拉强度、内摩擦角和凝聚力等参数,这些参数是判断岩层稳定性和预测地质灾害的重要依据。例如,砂岩的单轴抗压强度一般在30-100MPa之间,泥岩的单轴抗压强度相对较低,一般在10-30MPa之间。坑探和槽探主要用于揭露地表或近地表的地质情况。通过坑探和槽探可以直接观察岩层的产状、节理裂隙发育情况以及地质构造的形态等。在坑探和槽探过程中,应详细记录地质现象,绘制地质剖面图和素描图,为地质灾害预测提供直观的资料。

2.2 地球物理勘探

电法勘探可探测地下水分布与含水层富水性。其依

据地下岩土体电性差异,通过测量电场或电磁场变化推断地质情况。采矿工程常用高密度电阻率法和瞬变电磁法^[1]。高密度电阻率法在地面布置电极,测量不同电极间电阻率,以划分含水层与非含水层,含水层电阻率低,一般在10-100 $\Omega \cdot m$,非含水层电阻率高,可达数百至上千 $\Omega \cdot m$ 。瞬变电磁法发射脉冲磁场,测量地下介质二次感应磁场随时间变化,推断地质体电性特征与分布。地震勘探用于确定地质构造形态与位置,如断层、褶皱。它利用人工激发地震波在地下介质中的传播特性,接收、分析地震波信号推断地质结构。采矿工程常用反射波法和折射波法。反射波法记录地震波在岩层界面反射信号,依据旅行时间和波形特征确定岩层界面位置与形态,岩层厚度大于5米时识别效果较好。折射波法利用地震波在速度不同介质界面折射原理,测量折射波旅行时间推断介质速度分布与界面位置。重力勘探和磁法勘探可研究区域地质构造及岩体密度、磁性特征,辅助判断岩体稳定性和地质灾害潜在风险。重力勘探通过测量地球重力场变化推断地下密度异常体分布,磁法勘探通过测量地球磁场变化推断地下磁性体分布。采矿区域若存在密度大岩体或磁性矿体,会引起重力场或磁场变化,分析这些变化可了解地下地质体特征。

2.3 监测预警

通过布置位移、应力、水位等传感器,对岩体及地下水位相关参数实时监测。位移传感器用于监测岩体或地表位移,常见有全站仪(精度毫米级,通过测目标点三维坐标算位移)、GPS监测仪(精度厘米级,用于大面积位移监测)、激光测距仪(适用于局部目标位移监测)。边坡监测一般设多个监测点,间距10-50米(依边坡高度和坡度定),位移速率突增(如日超5毫米)可能预示滑坡^[2]。应力传感器监测岩体内部应力,常见振弦式应力计(精度 $\pm 0.1\%FS$,通过测钢弦振动频率算应力)、

电阻应变式应力计（精度 $\pm 1\%FS$ ，利用电阻应变片电阻变化测应力）。地下开采时，传感器安装于顶板和两帮岩体，岩体应力超强度可能引发灾害。水位传感器监测地下水位变化，常见浮子式水位计（精度 ± 1 厘米，靠浮子浮动测水位）、压力式水位计（精度 $\pm 0.1\%FS$ ，利用水压力与水位关系测水位）。水位突升突降超一定幅度可能引发矿井突水。监测数据超设定阈值，系统自动预警。预警阈值需综合考虑地质灾害类型、规模和危害程度。如地面塌陷预警，地表下沉速率超3毫米/天发黄色预警，超5毫米/天发橙色预警，超10毫米/天发红色预警。

2.4 数值模拟

数值模拟借助计算机技术构建采矿工程力学模型，模拟采矿时岩体应力、应变和位移变化，预测地质灾害。常用方法有有限元法、有限差分法、离散元法。

（1）有限元法：将求解区域离散为有限单元，建立单元及整体力学方程求解。建模时需依据地质条件和开采方案合理划分网格、确定岩体参数（如岩体弹性模量1-50GPa、泊松比0.1-0.3）。通过模拟可分析不同开采方案下岩体变形破坏规律，预测地面塌陷、滑坡等灾害范围和程度。例如模拟地下开采时，设置不同开采参数观察岩体应力分布和位移变化，岩体最大主应力超抗压强度或位移超阈值可能引发灾害。（2）有限差分法：把连续偏微分方程离散为差分方程求解，计算效率高，适合处理大变形问题，常用于模拟岩体动态破坏过程，如爆破时岩体破裂和位移。（3）离散元法：将岩体视为离散块体，建立接触力学模型模拟块体运动和相互作用，适用于模拟节理裂隙发育岩体的破坏和运动，如边坡滑坡。模拟中需确定块体形状、大小、力学参数及接触参数（如法向刚度、切向刚度、摩擦系数）。

3 采矿工程中地质灾害的预防措施

3.1 合理规划开采方案

合理开采方案是预防地质灾害的关键。开采前需开展详细地质勘探与可行性研究，结合矿区地质、资源赋存及周边环境，制定科学方案。地下开采时，应选合适采矿方法，合理确定采空区尺寸与形状，避免大面积采空区，降低地面塌陷风险。如厚煤层可分层开采，每层厚度一般2-3米；缓倾斜煤层用走向长壁采煤法，工作面长度一般100-200米，推进速度每月50-100米（依煤层赋存与开采条件而定）。露天开采时，要合理确定边坡坡度与高度，采用分层、台阶式开采，降低边坡稳定性风险。边坡坡度依岩体物理力学性质、地质构造及水文地质条件综合确定，坚硬岩体一般不超过 60° ，软弱岩体控制在 30° - 45° ；台阶高度依开采设备性能与岩体稳定性确

定，一般为10-15米。开采顺序遵循“由上而下、由远而近”，避免因顺序不当引发灾害。

3.2 加强支护工程

支护工程是保障采矿安全的关键举措。地下开采时，需依据顶板岩层性质与采空区大小，选用锚杆、锚索、金属支架、混凝土等支护方式。（1）锚杆支护：在岩体钻孔安装锚杆，增强岩体整体性与稳定性。锚杆直径16-25毫米，长度依顶板岩层厚度和稳定性确定（1.5-3米），间距和排距按岩体力学性质与支护要求确定（0.8-1.2米）。（2）锚索支护：在锚杆支护基础上，用更长钢绞线作锚索深入稳定岩层，提供更大支护力。锚索直径15.24-21.6毫米，长度10-30米^[3]。（3）金属支架支护：适用于顶板压力大、岩层破碎情况，常见有U型钢和工字钢支架。U型钢支架型号依承载能力选（如25U、29U、36U），工字钢支架规格按巷道断面尺寸和支护要求定。（4）混凝土支护：在巷道表面浇筑混凝土形成支护层，强度等级不低于C20，厚度依巷道用途和地质条件确定（0.2-0.5米）。

露天开采中，不稳定边坡可采取削坡、压脚、挡土墙、抗滑桩等措施。削坡降低边坡高度和坡度，减小下滑力，坡度一般比原设计小 5° - 10° ；压脚在边坡底部堆放废石等增加抗滑力；挡土墙高度不宜超10米，厚度依边坡高度、坡度和土压力等确定（0.5-2米）；抗滑桩阻止边坡滑动，直径1-2米，长度依滑动面深度确定（10-30米）。此外，支护工程质量和施工工艺至关重要，须严格按设计施工，如锚杆支护要保证安装角度、锚固力和注浆质量等符合要求。

3.3 实施监测预警

建立完善的监测预警系统，对采矿区域的地质灾害进行实时监测和预警。除了上述提到的位移、应力、地下水位等参数的监测外，还应加强对气象、水文等自然因素的监测，因为暴雨、洪水等极端天气条件往往会诱发地质灾害。气象监测可以实时掌握降雨量、风速、风向等气象信息。在采矿区域设置气象站，安装雨量计、风速仪等设备，实时监测气象数据。当降雨量达到一定阈值时，如24小时降雨量超过100毫米，可能引发泥石流等地质灾害，此时应及时发布预警信息。水文监测除了监测地下水位外，还应监测地表水的流量、水位等参数。在采矿区域的河流、沟谷等设置水文监测站，安装流量计、水位计等设备。当地表水流量突然增大或水位急剧上升时，可能引发洪水灾害，进而诱发泥石流等地质灾害。监测数据应及时进行分析和处理，建立地质灾害预警模型，根据监测数据的变化趋势和预警指标，及

时发布预警信息。预警信息应通过多种渠道发布,如短信、广播、电视等,确保相关人员能够及时收到。同时,应制定完善的应急预案,明确应急响应流程和各部门职责,确保在地质灾害发生时能够迅速、有效地进行应对。

3.4 固体废弃物处理

对于采矿过程中产生的废石、尾矿等固体废弃物,应采取合理的处理措施,避免其成为泥石流等地质灾害的物源。可以采用废石充填采空区的方法,既减少了固体废弃物的排放,又提高了采空区的稳定性。废石充填时,应根据采空区的尺寸和形状,合理确定废石的充填量和充填方式。一般来说,废石的充填率应达到80%以上。对于尾矿,应建设规范的尾矿库进行储存。尾矿库的设计和建设应符合相关标准和规范,采取防渗、防洪、排洪等措施,确保尾矿库的安全^[4]。尾矿库的坝高应根据尾矿的堆积量和库容确定,一般不宜超过60米。坝体的稳定性应通过计算和分析进行评估,确保其能够承受尾矿的压力和水的浮力。同时,应加强对尾矿库的日常管理和监测,定期检查坝体的位移、渗流等情况,及时发现和处理安全隐患。

3.5 水资源保护与管理

加强采矿区域的水资源保护与管理,对于预防矿井突水等地质灾害具有重要意义。在开采前,应进行详细的水文地质勘探,查明含水层的分布和水位变化情况,制定合理的疏干排水方案。疏干排水方案应根据含水层的富水性、水压和开采进度等因素确定。一般来说,对于富水性较强的含水层,应采用分段疏干、逐步降低水位的方法。在疏干排水过程中,应加强对地下水位的监测,掌握地下水的动态变化,及时调整疏干排水措施。

当水位下降速度过快,可能引起地面塌陷等地质灾害时,应适当减小排水量。同时,应采取防水、堵水等措施,防止地下水涌入矿井。例如,对于断层、裂隙等导水通道,可以采用注浆封堵的方法进行处理。注浆材料一般选用水泥-水玻璃双液浆,其配比应根据导水通道的宽度和渗透性确定。注浆压力应根据导水通道的水压和岩体的强度确定,一般为1-3MPa。通过注浆封堵,切断地下水的导水途径,降低矿井突水的风险。

结语

采矿工程地质灾害预测与预防是涉及多学科的系统工程。分析灾害类型及机理后,可借助地质勘探(钻探、坑探获取地质信息)、地球物理勘探、数值模拟(计算机模拟岩体变化)和监测预警等方法准确预测灾害。预防上,合理规划开采方案、加强支护、完善监测预警、妥善处理固废、做好水资源保护与管理等措施,能降低灾害风险,保障矿山及周边安全。未来,应加强相关技术研究,如研发先进监测预警系统、优化数值模拟算法、探索新型支护技术,提升采矿工程安全与可持续性。

参考文献

- [1]杨茁.采矿引发的地质灾害以及工程治理实践[J].内蒙古煤炭经济,2021,(02):204-205.
- [2]董志鸿,徐子一,袁晶晶,等.采矿所引发的地质灾害以及工程治理实践[J].四川水泥,2020,(05):33.
- [3]程凯.采矿过程中地质灾害及应对措施研究[J].能源与节能,2024,(11):54-56.
- [4]王世龙.采矿引发的周边地质灾害发育特征及分布规律研究[J].中国金属通报,2023,(02):144-146.