

露天煤矿边坡稳定分析及防治

唐孝祥

内蒙古伊泰煤炭股份有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 017000

摘要: 露天煤矿边坡稳定与否直接关系到矿山的安全生产与生态环境。本文深入剖析露天煤矿边坡的特点,包括高度走向、岩层多样性等。全面探讨影响边坡稳定性的多种因素,如岩体自身特性、水的作用、爆破震动、风化及人为因素等。详细阐述定性与定量的边坡稳定性分析方法,并针对其提出涵盖加强地质勘查与监测、运用控制爆破技术、实施降压疏干与排水、采用人工加固以及合理安排开采顺序与优化设计等一系列综合防治措施,旨在为露天煤矿边坡稳定的维护与管理提供科学依据与实践指导。

关键词: 露天煤矿; 边坡稳定; 分析及防治

引言: 随着露天煤矿开采规模的不断扩大, 边坡稳定性问题愈发凸显。露天煤矿边坡具有独特的高度走向特征, 其揭露岩层复杂多样且地质条件差异显著, 形成过程与服务年限也各有不同。这些特点致使边坡稳定性受岩体自身、水、爆破、风化及人为等诸多因素影响。不稳定的边坡不仅可能引发滑坡、崩塌等地质灾害, 威胁人员生命与设备安全, 还会对周边生态环境造成严重破坏。因此, 深入研究露天煤矿边坡稳定分析及防治具有极为重要的现实意义, 有助于推动露天煤矿开采作业的安全、高效与可持续发展。

1 露天煤矿边坡的特点

1.1 露天煤矿边坡的高度和走向

露天煤矿边坡高度往往较大, 可达数十米甚至上百米。其高度受煤层赋存深度、开采工艺及地形等因素制约。较高的边坡使岩体自重应力显著增加, 增大了边坡失稳风险。边坡走向则与煤层走向及开采规划相关, 走向不同会导致边坡受光照、风向、降雨等自然因素影响各异, 例如东西走向边坡可能在南北侧存在阴阳坡差异, 影响植被生长与坡面风化速度, 进而间接影响边坡稳定性。

1.2 边坡揭露的岩层多样性及地质条件差异

露天煤矿边坡揭露岩层丰富多样, 从沉积岩到变质岩均可能出现。不同岩层具有不同的物理力学性质, 如砂岩强度较高, 而页岩相对较软易风化。地质条件差异明显, 有的区域断层、节理发育, 破坏了岩体的完整性, 使边坡易沿结构面滑动或崩塌; 有的地方地下水水位较高, 增加了孔隙水压力, 降低岩体抗剪强度, 导致边坡稳定性变差, 这些复杂的岩层与地质条件给边坡稳定性分析与防治带来巨大挑战^[1]。

1.3 露天煤矿边坡的形成过程及服务年限差异

露天煤矿边坡在开采过程中逐步形成, 其形成伴随着岩土体的开挖与剥离。开采初期, 边坡角度相对较缓, 随着开采深度增加, 为提高煤炭回采率, 边坡角度可能变陡。服务年限因煤矿储量、开采规模和开采速度而异, 短则数年, 长可达数十年。服务年限较短的边坡可能因短期内开采强度大, 来不及充分自然稳定; 而长服务年限边坡需考虑长期风化、地震等因素对其稳定性的持续影响, 不同形成过程与服务年限要求针对性的边坡管理与维护策略。

2 露天煤矿边坡稳定性的影响因素

2.1 岩体自身因素

岩石的强度指标, 如抗压、抗拉和抗剪强度, 决定其抵抗外力破坏的能力。若岩石强度低, 在自重和外部荷载下易变形破裂。岩体结构面的分布、产状和连通性也极为重要, 节理、断层等结构面使岩体完整性受损, 当结构面组合不利时, 易形成潜在滑动面。此外, 岩石的风化程度影响其力学性质, 风化严重的岩石强度降低、孔隙率增大, 增大了边坡失稳的可能性。

2.2 水的作用

降雨入渗使土体含水量增加, 孔隙水压力上升, 有效应力减小, 抗剪强度降低, 易引发浅层滑坡。地下水水位变化会改变坡体渗流场, 在渗流力作用下, 岩土体颗粒可能被冲刷带走, 导致边坡内部空洞形成, 削弱坡体结构。长期处于饱水状态的岩石, 其矿物成分可能发生化学反应, 进一步降低岩石强度, 并且水的冻融循环还会对岩体产生物理破坏, 加剧边坡失稳风险。

2.3 爆破震动影响

爆破瞬间产生的强大冲击力以地震波形式在岩体中传播, 使边坡岩体产生振动加速度。当加速度超过岩体的极限承载能力时, 岩体内部结构遭到破坏, 原有节

理、裂隙进一步扩展延伸,甚至产生新的裂缝,破坏岩体的完整性。频繁的爆破作业会使边坡岩体逐渐松弛,强度降低,从而降低边坡的整体稳定性,增加滑坡、崩塌等地质灾害发生的概率。

2.4 风化作用

物理风化如温度变化引起的岩石热胀冷缩,使岩石表层逐渐剥落、开裂,岩体完整性受损。化学风化过程中,岩石中的矿物成分与水、氧气、二氧化碳等发生化学反应,生成新的矿物质,改变岩石的结构和性质,使其强度降低。生物风化方面,植物根系在岩石裂隙中生长,随着根系生长加粗,对岩石产生挤压作用,促使岩石裂隙扩大,风化碎屑物也会填充岩体孔隙,改变岩体力学性能,最终使边坡更容易发生失稳现象^[2]。

2.5 人为因素

不合理的开采设计,如边坡角过大,超过岩体稳定极限,会直接导致边坡处于不稳定状态。开采顺序不当,例如先开采下部煤层,使上部岩体失去支撑,易引发大规模滑坡。施工过程中,如果未严格按照设计方案进行边坡支护和排水工程施工,会降低边坡的抗滑和抗渗能力。此外,机械设备在边坡附近频繁作业产生的振动和荷载,也会对边坡稳定性产生扰动,增加失稳风险。

3 露天煤矿边坡稳定性分析方法

3.1 定性分析方法

工程地质测绘是其重要手段,通过详细勘查边坡的地层岩性、地质构造、岩体结构面等特征,绘制地质图件,直观了解边坡的地质条件。例如,若发现边坡存在大量顺坡向的节理裂隙或软弱夹层,且岩层倾向与边坡倾向一致,则可初步判定该边坡存在较大失稳风险。历史案例分析也是常用的定性方法。收集相似地质条件、边坡形态和开采工艺下的边坡失稳案例,对比分析其破坏模式、影响因素等,从而推断当前研究边坡的稳定性状况。专家经验在定性分析中起着关键作用,经验丰富的地质工程师或专家凭借对众多边坡工程的了解,依据现场观察到的迹象,如坡面变形特征、植被生长异常等,综合判断边坡稳定性,虽不能精确量化稳定性程度,但能快速识别潜在问题,为进一步的定量分析提供方向和重点关注区域。

3.2 定量分析方法

极限平衡法是经典的定量分析手段,它基于力的平衡原理,将边坡土体划分为若干条块,分析各条块在自重、外荷载、孔隙水压力等作用下的力的平衡关系,通过计算安全系数来衡量边坡稳定性。常见的有瑞典条分法、毕肖普条分法等,不同方法对条块间力的假设有

所差异,适用于不同的边坡条件。数值模拟方法则借助计算机软件对边坡进行更复杂的建模分析。有限元法可模拟边坡在各种复杂荷载和边界条件下的应力、应变分布,能考虑岩土体的非线性特性和复杂本构关系;离散元法擅长处理岩体的离散特性,可精确模拟节理岩体的破坏过程和块体运动;流固耦合分析则将渗流场与应力场相结合,分析水与岩体相互作用对边坡稳定性的影响。这些数值模拟方法能够提供详细的边坡内部力学信息,更准确地预测边坡的潜在破坏模式和稳定性变化,为边坡工程设计和防治措施制定提供有力依据。

4 露天煤矿边坡防治措施

4.1 加强地质勘查与监测

在地质勘查方面,首先要运用多种勘查技术,如钻探、物探等,详细查明边坡区域的地层岩性分布、地质构造特征,精准确定软弱夹层、断层、节理等结构面的位置、产状和规模。这有助于全面了解边坡岩体的结构完整性和力学性质变化规律,为后续稳定性分析和防治方案设计提供精确的基础数据。对于监测工作,应建立一套完善的边坡监测体系。在监测内容上,涵盖边坡表面位移监测,通过设置全站仪、GPS 监测点等,实时掌握边坡的水平 and 垂直位移情况;内部位移监测则可采用倾斜仪、多点位移计等仪器,了解边坡内部不同深度岩体的移动趋势,对孔隙水压力、地下水位变化也要进行监测,因为水的作用对边坡稳定性影响显著。监测频率应根据边坡的稳定性状况和开采活动强度合理设定,在边坡变形活跃期或开采扰动较大时加密监测。通过长期、连续、准确的监测数据收集与分析,能够及时发现边坡的微小变化和异常情况,提前预警潜在的失稳风险,以便及时调整开采作业方式或采取相应的防治措施,有效保障露天煤矿边坡的安全稳定。

4.2 控制爆破技术

其主要目的在于减少爆破震动、飞石、空气冲击波等有害效应,确保边坡岩体的稳定性。在爆破设计环节,需综合考量多方面因素。首先要根据边坡岩石的特性,如硬度、节理裂隙发育程度等,精确计算炸药单耗量。对于较硬且完整性好的岩石,适当增加炸药单耗以保证爆破效果,但又不能过量以免产生过大震动;对于节理裂隙发育的岩石,则需相应减少。同时,严格控制炮孔深度和角度,炮孔深度应根据台阶高度合理确定,角度要与边坡设计角度相适配,使爆破作用力方向有利于维护边坡稳定。在起爆方式上,多采用微差起爆或电子雷管精确起爆技术。微差起爆能有效控制最大单段起爆药量,将爆破震动波分散,避免震动能量集中叠加对

边坡造成严重破坏。电子雷管起爆则可实现更精准的延时设置,根据现场实际情况灵活调整起爆时间间隔,进一步优化爆破效果。此外,在爆破施工过程中,还需对爆破区域进行严密的覆盖防护,减少飞石的产生与飞散距离,降低对周边人员、设备及边坡防护设施的威胁。

4.3 降压疏干与排水措施

露天煤矿边坡岩体中的地下水会显著降低岩体的抗剪强度,增加孔隙水压力,从而加大边坡失稳风险。降压疏干通过设置疏干井、水平疏干廊道等设施,降低边坡区域的地下水位。疏干井的深度、间距和直径需依据地质勘察所确定的含水层特征、渗透系数等参数进行科学设计。在施工过程中,要确保井壁的稳定性和过滤器的有效性,以保证持续稳定地疏干地下水。水平疏干廊道则适用于特定地质条件下,能更直接地拦截和疏排地下水,提高降压疏干效率。排水措施包括地表排水和地下排水。地表排水通过在边坡顶部和周边设置截水沟,拦截大气降水形成的坡面径流,防止雨水大量渗入边坡岩体。截水沟应具有足够的过水能力,其坡度和断面尺寸要合理设计,并定期清理维护以防堵塞。地下排水系统如排水盲沟、排水孔等,与降压疏干设施协同作用,进一步降低地下水位和孔隙水压力。排水盲沟内填充透水性良好的材料,引导地下水排出;排水孔则可根据边坡具体情况呈一定角度和间距布置在坡体上,将地下水引出。

4.4 人工加固措施

常见的人工加固措施包括挡土墙、抗滑桩、锚杆锚索支护等,挡土墙是一种直接抵抗土体侧向压力的结构物。重力式挡土墙依靠自身重力维持稳定,通常采用混凝土或砖石砌筑而成,适用于高度较低、地质条件相对简单的边坡。悬臂式挡土墙则利用墙身的悬臂结构平衡土压力,其结构较为轻巧,对基础要求相对较高。在设计挡土墙时,需精确计算墙身高度、厚度、基础埋深等参数,确保其能有效承受边坡土体的推力。抗滑桩是深入边坡滑体以下稳定地层的桩体。它通过桩身与周围岩土体的相互作用,将滑体的推力传递到稳定地层,从而阻止边坡滑动,抗滑桩的直径、长度、间距等需根据边坡的地质条件、滑体规模和推力大小进行设计。施工过程中要严格控制桩孔的垂直度和桩身混凝土质量,以保证其承载能力。锚杆锚索支护通过将锚杆或锚索一端固定在稳定岩体中,另一端与边坡坡面的防护结构相连,对边坡施加预应力,使不稳定岩体与稳定岩体形成一个

整体,提高边坡的抗滑力。锚杆锚索的长度、间距、锚固力等参数需经详细计算确定,同时要注重锚固体与岩土体的粘结强度以及防护结构的耐久性,有效增强露天煤矿边坡的稳定性,保障矿山安全生产。

4.5 合理安排开采顺序与优化设计

在开采顺序方面,应遵循自上而下、分层分段的原则。从顶部开始逐层开采,能使边坡岩体逐步暴露并得到自然压密和稳定,避免一次性大面积开挖导致边坡应力急剧变化而失稳。例如,先开采浅部煤层,随着开采深度增加,边坡下部岩体在前期开采的卸荷和压密作用下,稳定性相对提高,再进行深部开采时,对整体边坡稳定性的影响就会减小,要注重开采境界的优化设计。根据地质勘查资料,精确确定开采边界,避免过度开采造成边坡过高过陡。合理设计边坡角,综合考虑岩体力学性质、地质构造、水文条件等因素,通过数值模拟和工程类比确定最优边坡角,既能保证煤炭资源回收率,又能确保边坡在服务年限内的稳定。此外,在开采布局上,应尽量使采场工作线与岩层走向或主要结构面走向成一定夹角,减少顺层滑坡的可能性。并且,在开采过程中要预留足够的安全平台和清扫平台,安全平台可分散边坡上部的荷载,清扫平台便于清理坡面滚落的松石和杂物,进一步维护边坡的安全稳定,保障露天煤矿开采作业的顺利进行与人员设备安全^[3]。

结束语

露天煤矿边坡稳定问题的研究与实践是一项长期且复杂的任务。通过对边坡特点、影响因素、分析方法及防治措施的深入探讨,我们为露天煤矿安全生产构建了重要的理论与技术支撑体系。然而,随着开采技术的发展与地质环境的变化,仍需持续关注新问题与挑战,不断完善边坡稳定分析方法,创新防治技术与手段。只有这样,才能在露天煤矿开采进程中,有效保障边坡稳定,实现资源开发与环境保护的协调共进,推动露天煤矿行业的可持续发展迈向新高度。

参考文献

- [1]马力,武璟,刘遵义,等.红沙泉露天煤矿外排土场边坡稳定性研究[J].煤炭工程,2022,54(3):12-16.
- [2]赵海峰.大煤沟露天煤矿边坡稳定性分析及防治[J].煤矿现代化,2022,31(1):36-39.
- [3]王刚.北山露天煤矿边坡稳定性评价及防治措施[J].露天采矿技术,2020,35(6):94-97.