

露天矿开采边坡稳定性分析

曾 海

大竹县恒源矿业有限责任公司 四川达州 635000

摘 要：露天矿开采过程中边坡失稳是最为常见的工程问题，该问题能否得到妥善处理直接关系到露天采场的正常开采生产及工作人员的生命安全。某露天矿由于其地层岩性较软，且边坡倾向与岩层倾向一致，很容易发生蠕变变形。在长期开采扰动及大气降水的影响下边坡的稳定性更加难以保证，因此决定采用削坡减载技术及数值模拟技术对整体边坡进行治理，保证开采生产安全。基于此，对露天矿开采边坡稳定性进行研究，以供参考。

关键词：露天开采；顺层滑动；边坡稳定性

Stability analysis of open-pit mining slope

Hai Zeng

Dazhu County Hengyuan Mining Co., LTD., Dazhou, Sichuan, 635000

Abstract: Slope instability is the most common engineering problem in open-pit mining. Whether this problem can be properly handled is directly related to the normal mining and production of the open-pit stope and the life safety of the workers. Because of the soft lithology of the strata and the consistent slope inclination with the rock inclination, peristaltic deformation is easy to occur in an open pit mine. It is more difficult to guarantee the stability of the slope under the influence of long-term mining disturbance and atmospheric precipitation. Therefore, we decided to use slope cutting and load reduction technology and numerical simulation technology to control the overall slope to ensure the safety of mining production. Based on this, this paper studies the slope stability of open-pit mining for reference.

Keywords: open pit mining; smooth sliding; slope stability

引言：

露天矿边坡的边坡查清边坡重点部位煤岩产状、岩性、构造等赋存特征，对重点区域边坡稳定性作出科学评价。随着露天矿开采的不断深入，随时会有边坡问题的发生，特别是中软岩边坡。

1 边坡岩体地质条件

(1) 岩体岩性。经现场实际勘探数据以及地质资料显示，该边坡变形区域的岩体特征为人类活动层、第四系坡洪积层、新第三系煤层段、新第三系薄煤层炭质黏土岩段等组成。整体岩性较软，在开采过程中易发生膨胀变形，且容易受到地下水的影响。(2) 地下水特征。该边坡内的岩溶水以白云质灰岩为主，有埋藏较深、对边坡稳定性影响较小的特点；在第四系坡洪积层岩系中含孔隙水，透水性以及连通性较差且受季节影响严重，埋藏也浅，水量较小，因此对边坡稳定性较小；裂隙水大部分赋存在新第三系岩层中，且分布大多无明显界限，由于炭质黏土层以及黏土岩对裂隙水的阻隔作用，地下

水很容易在这一地带积聚，且大气降水也会积聚在此处，很容易由于长期浸泡作用对岩体进行软化侵蚀形成软弱结构面，因此对边坡稳定性危害较大。(3) 工程地质。由于该边坡倾向与岩层倾向接近，因此容易发生顺层滑动；表层岩性以黏土及褐煤等软弱结构为主，在长期地下水地表水软化作用下稳定性大幅降低；采动过后岩层裸露在地表下长期的风化作用也降低了岩体稳定性。

2 外排土场边坡稳定影响因素分析

外排土场边坡稳定性影响因素主要由：(1) 地下水、大气降水等导致了排弃物水量增加，使排弃物强度降低，增加了边坡下滑力。(2) 堆弃物堆放的高度是影响外排土场边坡稳定性的主要因素。较高的排弃物堆放高度会对基底产生巨大的载荷，使基底容易产生低鼓，与此同时，在地下水的渗透作用下，极易产生地基软弱滑坡。(3) 通过地质勘查，发现在该排土场内，有人工堆砌的泥岩散料，厚度较薄，通过分析可知其抗剪指标较小，故位于其上部的岩土层有可能发生顺层滑动。针对矿区

实际条件,综合分析得出影响首采区采掘场及排土场边坡稳定性的影响因素:①煤层顶板及底板层;②地下水的用处;③边坡的坡高角和边坡角;④岩土体物理力学的性质;⑤排弃场地基底岩土体的物理力学特性;⑥分析自然因素、地质构造、岩体结构等因素对边坡稳定性的影响;⑦对各影响因素进行边坡稳定性评价,确定导致滑坡的形成条件及诱发原因并分析可能造成的危害;⑧结合地质构造及影响因素分析结果,判定首采区采掘场及排土场边坡的潜在滑坡模式。

3 露天矿开采边坡稳定性分析

3.1 模型建立条件

受开采扰动影响,工程地质条件复杂多变,为便于数值模型建立及三维软件模拟运算,需设定如下条件:

- 1) 矿岩体假设为理想弹塑性体,是局部均质、各向同性材料,在屈服点以后,材料强度和体积不随塑性流动而变化;
- 2) 考虑到岩石的脆性,分析中涉及到的所有物理量均与时间无关;
- 3) 矿岩中不考虑结构面及裂隙的影响;
- 4) 仅受重力影响,无外部载荷;
- 5) 整体模型底部固定,前后左右四个面受约束,模型边界无位移,模型表面为自由面,在重力作用下可自由运动。

3.2 控制边坡蠕动变形

结合该露天矿边坡开采现状以及岩体地质条件进行分析,边坡的整体蠕动变形原因为沿软弱结构面发生转移失稳,受重力及地下水影响较为严重。表层岩性较软且具膨胀性,因此易发生边坡变形,而且边坡倾角与地层接近加剧了边坡蠕动变形现象的发生;地下水及地表水历来是边坡变形的主要影响因素,在大气降水过程中地表水大量的渗流,导致岩体稳定性急剧下降。水体的富集降低了岩体力学强度并产生了孔隙水压,加速了岩层破坏,因此水的作用成为边坡蠕动变形的主要影响因素。

3.3 极限边坡角度

边坡稳定性的影响因素可以概括为岩体强度特性的影响因素和岩体应力分布的影响因素两大方面。改变边坡或影响边坡岩体应力情况和强度特性的因素很多,其中主要有本矿区的岩性因素、赋存岩体结构、和本地区的自然因素作用、地震、地下水应力、地形地貌特征及人为因素等。总的来说,露天矿边坡稳定性影响因素可分为自然因素、工程因素及时间效应。这对我们本矿区内的开采生产、施工带来了一系列需要攻克及处理的问题挑战。针对以上问题并结合我们矿内部所能提供的设施条件、人工物力等,经过研究分析和实践,采用极限平衡法与有限元对露天煤矿首采区采掘场及排土场现状

边坡稳定性进行了分析评价,得出了排土场基底基本稳定,采场和排土场边坡潜在的滑坡模式为圆弧型滑面和圆弧型直线型滑面,数值的模拟和验算结果均表明首采区采掘场及排土场现状边坡是稳定的,但采场东帮边坡验算剖面、采场北帮边坡验算的剖面(和采场南帮边坡验算剖面边坡处于极限平衡状态,后期煤矿生产时应加强边坡监测和做出防护措施。

3.4 数值计算结果分析

结合生产进度安排制定边坡稳定性计算方案,采用极限平衡法评价,并与有限差分法进行比较。1) 根据选择的边坡剖面,通过建立实体模型,并将实体模型导入数值模拟软件,生成计算模型;2) 根据岩性选择计算参数,设置边界条件;再次,对当前境界下边坡的稳定性进行模拟;3) 模拟采至坑底境界时边坡的稳定性;4) 采用不同的软件和计算方法,模拟计算各边坡的安全系数。由于边坡体范围内岩体完整性较好,没有发现明显的不连续面,且边坡顶部也不见裂缝,因此计算中自动搜索最危险滑动面,并根据搜索结果计算各潜在破坏面的稳定系数,以最小的系数对应的滑面作为边坡的最危险滑面。

3.5 稳定性分析

- (1) 在正常工况下,运用确定性分析方法和不确定性分析方法算得的安全系数大致相等且均大于相关规范要求的设计安全系数(1.05),服从正态分布的可靠性指数及对数正态分布的可靠性指数均小于设计建议值3,失效概率为1.3%;综上所述可知,正常工况下边坡失稳的概率很小;为确保边坡稳定,应避免在台阶上堆积物品和停放大型车辆,同时要对边坡变形进行动态监测。
- (2) 在暴雨工况下,运用确定性分析方法和不确定性分析方法得出的安全系数大致相等且均大于相关规范要求的设计安全系数(1.15),服从正态分布的可靠性指数和对数正态分布的可靠性指数均小于设计建议值3,失效概率为4.5%;综上所述可知,暴雨工况下边坡失效概率较低,基本处于稳定状态,但要加强日常管理和维护,雨季应做好防排水工作。
- (3) 在地震工况下,运用确定性分析方法和不确定性分析方法得出的安全系数大致相等且均大于相关规范要求的设计安全系数(1.10),服从正态分布的可靠性指数和对数正态分布的可靠性指数均小于设计建议值3,失效概率为12.3%;综上所述可知,该边坡在地震工况下存在失稳的可能性;尽管地震工况不易发生,但在日常生产中存在爆破作业、机械作业等震动因素,因此需选取适宜的爆破参数、爆破方法以及减振措施等,以降低施工对边坡的影响。

3.6 高陡边坡恢复治理方案

针对矿山生产或其他原因形成的高陡边坡，常见的处理措施有边坡非崩落法“压坡增载”治理和边坡崩落法“削坡减载”治理措施。其中边坡非崩落法“压坡增载”治理措施要求边坡坡角较小，且坡趾工程地质条件要求较好，而边坡崩落法“削坡减载”治理措施主要适用于坡角较大的边坡。采区内边坡坡度较大，且采区仍需进行后续生产，如若采取非崩落法边坡治理措施，采区内的现状边坡只会随着矿山开采水平的下降，继续增加现有边坡高度，增大危险系数。综合考虑，采用边坡崩落法“削坡减载”治理措施对其治理。

3.7 边坡监测

(1) 视频监控系统矿山视频监控系统建设包括：1) 在采场新建1个全景摄像头、采场更换3个高清球机摄像头、6个高清枪机摄像头；工业场地新增高清枪式摄像头16个及800m线路。全景摄像机安装在矿区北部合适位置上，新建数据传输及供电线路，确保其安全稳定运行。2) 将现有已建的及本次建设摄像头视频数据集中管理，集成到三维可视化管控平台中显示。3) 新增硬盘录像机对新增摄像机进行录像保存，存储时间不小于1个月，预留相应扩容接口。另外，采场10处摄像头存储时间不少于3个月，满足安全监管要求。(2) 边坡雷达扫描系统集成采用圆弧式雷达扫描合成技术进行边坡监测，该技术利用收发天线在水平面内作往返的圆周运动获得较大的雷达扫描合成影像，在不良光照条件下可得到较高分辨率的雷达图像。其原理是利用雷达与监测目标的相对运动数据化处理合成较大等效天线孔径，以此提高雷达对目标的分辨率。圆弧式雷达扫描通过与监测目标的相对距离、角度的分析，将监测目标圆弧化分割处理，形成如图7所示的类似于扇形的监测区域。

3.8 边坡岩性调查

(1) 粉砂质板岩。该岩组岩体结构类型为薄层状结构，板状构造，靠近断层及其破碎带。节理方位较清晰，根据现场调查共发育有三组节理，主要发育节理产状为：① $26^{\circ} \angle 25^{\circ}$ ；② $225^{\circ} \angle 64^{\circ}$ ；③ $9^{\circ} \angle 19^{\circ}$ 。节理裂隙多为剪节理，结构面较发育，中—未风化，结构面平直、光滑，半闭合—闭合，局部充填有少量泥质，主要蚀变有硅化、碳酸盐化。节理间距3~23cm，宽一般1~3mm，平均节理间距8.47cm，平均线节理密度为11.8条/m，现场钻孔统计RQD平均值为32.0%。(2) 斑点状

板岩。该岩组岩体结构类型为层状结构，岩体完整性较好。节理方位清晰，现场调查主要发育有两组节理，主要发育节理产状为：① $59^{\circ} \angle 65^{\circ}$ ；② $213^{\circ} \angle 8^{\circ}$ 。节理裂隙以剪节理为主，中—未风化，结构面平直、光滑，半闭合—闭合，局部充填有少量泥质，主要蚀变有硅化、碳酸盐化。节理、裂隙较干燥，节理间距10~18cm，平均节理间距16.9cm，平均线节理密度为5.9条/m，现场钻孔统计RQD平均值为44%。(3) 构造角砾岩。该岩组岩体结构类型为碎裂—散体结构，完整性极差。Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级结构面均有发育，Ⅳ、Ⅴ级结构面呈无序状发育，现场调查主要发现四组节理，主要节理产状为：① $318^{\circ} \angle 64^{\circ}$ ；② $153^{\circ} \angle 27^{\circ}$ ；③ $270^{\circ} \angle 16^{\circ}$ ；④ $64^{\circ} \angle 68^{\circ}$ 。节理间距小于6cm，平均节理间距3.2cm，平均线节理密度为31.3条/m，现场钻孔统计RQD平均值为12%。

4 结束语

为了降低露天采矿剥采比，提高矿产资源的回收，减少对周围环境的破坏，在高陡边坡下进行科学开采，成为一些矿山后期开采设计的首选方案。然而经过前期露天采矿活动的剥离，高陡边坡下岩体破坏机理复杂，严重影响到边坡的稳定性，造成大规模的边坡滑坡，对矿山的安全生产和周围环境产生不可恢复的影响。为了在矿山后期的回采工作中确保开采作业的连续和人员、设备的作业安全，为矿山获得更好的经济效益，需要对露天开采期间的高陡边坡进行稳定性分析。

参考文献：

- [1] 韩猛, 封海洋, 李金典, 王海洋, 纪玉石. 我国露天煤矿边坡研究现状及发展趋势[J]. 煤矿安全, 2020, 51(10): 276-280+284.
- [2] 杜晓诗. 浅析露天矿边坡稳定和滑坡防治的技术措施[J]. 冶金管理, 2020(19): 85-86.
- [3] 李号. 露天矿高陡边坡的安全管理[J]. 中国金属通报, 2020(10): 179-180.
- [4] 冯泽杰. 露天矿边坡稳定性预测的PCA-ART模型及其应用[J]. 煤炭技术, 2020, 39(10): 124-127.
- [5] 杨立功. 露天矿边坡稳定性分析及研究[J]. 矿业装备, 2020(05): 20-21.
- [6] 康皎成. 露天矿边坡稳定性分析及标准治理技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(17): 232-233.