

Stability evaluation of slope in a coal mine in northern Shaanxi

Chunming Liu Lianxiong Yue

1. China Coal Aeronautical Survey and Remote Sensing Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710199, China
2. Xi'an Coal Aviation Remote Sensing Information Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

This paper elucidates the engineering geological characteristics of a coal mine spoil heap slope in northern Shaanxi by discussing the natural background conditions, rock mass structure type, rock mechanics parameters, engineering geological rock group characteristics, slope engineering geological zoning, and slope stability evaluation. The results of slope stability calculations show that Zone I is basically stable under heavy rainfall conditions but prone to landslide geological disasters, while Zones II, III, and IV have stable slopes under current conditions. The seismic intensity in the study area is 6 degrees, with a peak ground acceleration of 0.05g and a characteristic period of 0.4s for the seismic response spectrum. The underground mining face is 400m away from the spoil heap, which currently has minimal impact on the slope stability of the spoil heap.

Keywords

coal mine; gangue discharge yard; slope; stability

陕北某煤矿排矸场边坡稳定性评价

刘春明 岳连雄

1. 中煤航测遥感集团有限公司, 中国·陕西 西安 710199
2. 西安煤航遥感信息有限公司, 中国·陕西 西安 710000

摘 要

通过对陕北某煤矿排矸场边坡自然背景条件、岩体的结构类型、岩石力学参数、工程地质岩组特征、边坡工程地质分区、边坡稳定性的评价等论述阐明了排矸场边坡工程地质特征。通过边坡稳定性计算结果表明, I 区在暴雨工况下为基本稳定, 易发生滑坡地质灾害, II 区、III 区、IV 区现状边坡稳定。研究区地震烈度为 VI 度, 地震动峰值加速度为 0.05g, 地震动反应谱特征周期为 0.4s。矿山地下开采面距排矸场 400m, 目前对排矸场边坡稳定性的影响较小。

关键词

煤矿; 排矸场; 边坡; 稳定性

1 边坡概况

陕北某煤矿排矸场位于陕西省榆林市府谷县境内, 为黄土梁峁沟壑区, 地形支离破碎。研究区属中温带干旱大陆性季风气候, 温差大, 气候多变, 年平均降水量为 400 ~ 440mm, 多以暴雨形式出现, 易造成洪灾, 从而引发各类地质灾害。排矸场使用年限大于 20 年, 由矿建掘进和洗选煤厂生产矸石形成, 为外排矸场永久性边坡, 总库容为 139.33 万 m^3 。分布在一条走向近南北向的沟谷中, 采用台阶式后退式堆放矸石, 在西、北、东北方向, 排矸场高度低于沟谷分水岭高度, 东部略高于分水岭高度, 在南部形成主临空面, 自南向北形成 6 级台阶, 最大高差 63m, 在 1279m 标高形成一个大平台。目前排矸场西部、北部和东北部高度总体小于原始沟谷高度, 局部存在坡向朝外的临空面, 东部、南部排矸场高度高于原始沟谷高度, 形成坡向东、南向的临空面, 根据临空面的分布, 将排矸场边坡分为 I 区、

II 区、III 区、IV 区。

2 地质条件

2.1 地层岩性

排矸场境界内及钻孔中见人工杂填土和中上更新统黄土。

2.1.1 边坡物质组成

边坡由人工杂填土组成(矸石), 厚度 0 ~ 41.2m; 上部为松散层, 厚度 2.7 ~ 7.7m, 下部为半固结矸石; 矸石厚度沿排矸场长轴方向, 总体自北向南厚度变大, 沿短轴方向(东西向)中间厚度大, 两端厚度小。

2.1.2 基底物质组成

基底主要由中上更新统黄土组成, 上更新统黄土成分以粉土为主, 主要分布在基底的上部, 中更新统黄土分布在基底下部, 基底顶面形态沿排矸场长轴方向(南北向)为北

高南低的弧形，Ⅰ区（南部临空面）的坡脚为基地的最低点；沿排矸场短轴方向（东西向），基底顶面形态与原始沟谷的横断面一致，为两端高，中间低的“U”形。

2.2 地质构造与地震

研究区处长期相对稳定的地台区，构造变动微弱，地震出现频率小而且强度低，仅在1621年在府谷县孤山一带发生过6.7级地震。据《中国地震动参数区划图》（GB18306—2015），勘查区地震烈度为Ⅵ度，地震动峰值加速度为0.05g，地震动反应谱特征周期为0.4s。

2.3 工程地质条件

研究区的岩土体按成因分为风积黄土和碎石土。风积黄土属中上更新统，分布在梁峁和沟谷，是排矸场的基底。厚度10~30m，岩性粉质粘土为主，局部夹古土壤层，含钙质结核。土体结构均匀，致密，孔隙度较小，浸水易软化，具微湿陷性。根据测试数据（见表1粉质粘土），此类土体结构疏松，抗剪抗压性能差，工程地质条件较差。碎石土，为排放的矸石，布满整个排矸场，是排矸场的主体；厚度0~41.2m，根据测试数据（见表1杂填土），此类土体结构疏松，抗剪抗压性能差，遇水抗剪能力迅速降低，工程地质条件较差。

根据区域相关数据，煤矿矸石堆场碎石土的天然休止角一般在32°~38°，排矸场各级边坡角为29°~35°，小于天然休止角。

2.4 水文地质条件

根据地下水的埋藏条件、含水层的岩性，将区内地下水分为第四系中上更新统黄土孔隙水和全新统人工杂填土孔隙水。

2.4.1 第四系中上更新统黄土孔隙水

水位埋藏较深，属于极弱富水含水层，仅在低缓的梁岗区含水，储水条件差。因此，此类地下水对排土场边坡稳定性影响较小。

2.4.2 全新统人工杂填土孔隙水

矸石堆分布在勘查区中部，矸石成分为破碎后的泥岩和掺入份黄土，渗透性较差，根据对3个钻孔24小时静水位观测，在矸石堆中存在滞水，埋深15.8~30.4m，水位标高1249m~1259m。存在滞水的原因是排矸场1279m平台分布范围大（0.07km²），地形中间低洼，使得该平台成为地表水的汇集区，在该平台形成集水坑；同时，矸石成分以破碎后的泥岩为主，渗透性较差，下渗的地表水排水不畅，局部形成滞水。此类地下水对边坡的稳定性有一定影响。

3 边坡地貌特征

3.1 Ⅰ区（南部临空面）地貌形态特征

该区位于排矸场南部，边坡宽80~200m，坡长110m，受原始沟道形态限制，从高到低临空面宽度变窄；由四级台阶组成，各台阶高度4.5~19.5m，各平台宽度4.5~53.4m；坡脚高程1229m，总体高差40m；总体坡向

200°，各台阶坡度30~35°，总体坡度21°；在坡脚设置浆砌石挡墙，挡墙临空面高2.8m，墙顶宽约0.8米，面坡坡率约为1:0.25，浆砌石结构，护坡西部坡脚留有一个泄水孔（直径约20cm），未见有水泄出的痕迹，总体而言，泄水孔设置数量偏少，达不到疏干排矸场内部滞水的目的。该区东部为矸石运输道路，西部为自然斜坡，南部为煤矿内部砖厂。

3.2 Ⅱ区（东部临空面）地貌形态特征

Ⅱ区（东部临空面）位于排矸场东部，为尚未终了的排矸场边坡，坡宽130m，总体坡向75°，坡高2~6m，坡顶为1279m平台，坡形为直线型，坡度34°（自然安息角）；该区正在排放矸石，坡面裸露，无护坡措施，坡顶平台无绿化。坡面坡脚为矸石运输道路，排矸场高出原始地形线。

3.3 Ⅲ区（西北部临空面）

Ⅲ区（西北部临空面）位于排矸场西北部，为终了的排矸场边坡；坡宽90m，总体坡向290°，地表标高1280.0~1292.3m，高度12.3m，坡形为直线型，坡角33°（自然安息角）；该区边坡为终了边坡，坡面无防护措施，坡顶平台无绿化、排水设施。坡脚为自然冲沟，由于排矸场封堵了沟道，在Ⅲ区（西北部临空面）与原始沟道之间形成一个封闭的“盆地”。边坡边缘发育一条裂缝，走向330°，长5m，宽4cm，深0.4m，未见明显错坎。该裂缝规模小，为土体不均匀沉降引起。对该边坡整体稳定性无影响。

3.4 Ⅳ区（西部临空面）

该区位于排矸场西部，为终了的排矸场边坡；坡宽70m，总体坡向300°，坡顶为1279m平台，坡脚为自然沟谷，标高1264.7~1279.5m，坡高14.8m，坡形为直线型，坡角34°（自然安息角）；该区边坡为终了边坡，坡面无防护措施，坡顶平台无绿化、排水设施。坡脚为自然冲沟，由于排矸场封堵了沟道，在Ⅳ区（西部临空面）与原始沟道之间形成一个封闭的“盆地”。

4 边坡稳定性计算

4.1 参数选取

本次工作在排矸场边坡处施工钻孔并采集钻孔岩石样品21件进行了岩土体物理力学参数测试，再结合相应工程经验所取^[1]，粉质粘土天然块体密度1.89g/cm³，饱和块体密度2.21g/cm³。粉质粘土天然抗剪断强度C值30.48MPa，天然Φ值20°，饱和抗剪断强度C值22.1MPa，天然Φ值17.52°。杂填土天然块体密度1.68g/cm³，饱和块体密度2.15g/cm³。杂填土天然抗剪断强度C值27.74MPa，天然Φ值16.89°，饱和抗剪断强度C值22.41MPa，天然Φ值13.95°。

4.2 模型建立

根据4个分区的边坡由杂填土（矸石）组成，排矸场基地均为中上更新统黄土的特点，以选取的4条典型剖面为基础，在实测剖面图的基础上建立工程地质模型。

4.3 变形破坏机理分析

本次研究边坡为人工堆积碎石土边坡,所以变形破坏机理分析选用工程类比法进行边坡变形破坏机理分析^[2]。研究区所处沟谷汇水面积仅 0.24km²,无形成泥石流的水动力条件,因此引发泥石流地质灾害的可能性小。排矸场采用台阶式分层堆放,矸石结构相对松散,无形成崩塌的坡度和物质条件。

针对该排矸场沿南北向沟谷分布,坡度较缓、坡长较大、坡体由相对松散的矸石组成的特点,排矸场最可能的变形破坏模式为滑坡。根据地形地貌、基底结构及基底顶面形态特征,排土场内部滑坡、基底顶面滑坡和沿排矸基底内部弱层滑坡是排土场失稳的三种主要模式^[2]。

坡体由碎石土组成,结构较为松散,遇水易泥化、软化,在雨水的浸润下软弱结构面的抗剪强度等物理力学性质明显变差,故在强降雨作用下发生,可能沿排矸场内部软弱结构面发生滑动,滑动面为折线型。

4.4 计算方法

本次边坡稳定性定量评价采用毕肖普法(滑动面采用圆弧形滑动面)进行计算,采用摩根斯顿-普赖斯法(滑动面采用折线形滑动面)进行校核^[3],利用“理正岩土 7.0”版本软件进行计算。

4.5 工程安全等级

排矸场边坡总高度 63m,南部边坡高度为 37.7m,东部边坡(Ⅱ区)高度为 17.2m、西北部边坡(Ⅲ区)边坡高度为 12.3m,西部边坡(Ⅳ区)边坡高度为 14.9m。根据《非煤露天边坡工程技术规范》(GB51016-2014)露天矿边坡工程安全等级划分表,Ⅰ区边坡安全等级为二级,Ⅱ区、Ⅲ区、Ⅳ区安全等级为三级。

4.6 影响因素

降雨是边坡稳定性的主要影响因素之一,特别是暴雨工况条件下,雨水下渗会导致泥质含量较高的泥岩、页岩工程性质急剧下降,导致边坡失稳。研究区地震动峰值加速度 0.05g,震动加速度反应谱特征周期 0.35-0.45s,属于地震烈度Ⅵ度区,本次评价不考虑地震因素^[1]。本次边坡稳定性评价和边坡变形破坏机理分析主要考虑自重、自重+暴雨 2 种工况条件。

4.7 稳定性计算结果

Ⅰ区(南部临空面)1-1'在天然工况和自重条件下稳定系数 1.608,稳定性为稳定,在暴雨工况和自重+暴雨条件下稳定系数 1.187,稳定性为基本稳定。Ⅱ区(东部临空面)3-3'在天然工况和自重条件下稳定系数 1.907,稳定性为稳定,在暴雨工况和自重+暴雨条件下稳定系数 1.56,稳定性为稳定。Ⅲ区(东部临空面)5-5'在天然工况和自重条件下稳定系数 1.911,稳定性为稳定,在暴雨工况和自重+暴雨条件下稳定系数 1.624,稳定性为稳定。Ⅳ区(西部临空面)4-4'在天然工况和自重条件下稳定系数 2.089,稳定

性为稳定,在暴雨工况和自重+暴雨条件下稳定系数 1.624,稳定性为稳定。

4.8 稳定性综合评价

Ⅰ区(南部临空面)在自重条件下定性评价结果为稳定,定量评价结果为稳定,边坡稳定性综合评价结果为稳定。在自重+暴雨条件下定性评价结果为基本稳定,定量评价结果为基本稳定,边坡稳定性综合评价结果为基本稳定。Ⅱ区(东部临空面)、Ⅲ区(东部临空面)、Ⅳ区(西部临空面)在自重和自重+暴雨条件下定性、定量、综合稳定性评价结果均为稳定。

5 结论

综合研究区地形地貌,水文地质,工程地质,工程勘查与稳定性模拟计算,得出各边坡稳定性结论如下:

Ⅰ区(南部临空面):边坡由杂填土组成(矸石),边坡高 40m,总体坡度 21°,坡度较缓;基底为中上更新统黄土,基底顶面形态为向南倾斜的弧形,基底总体坡度 7°,基底无临空面;未发现明显的变形迹象和不良地质体;坡脚设置浆砌石挡墙,坡体下部采用六棱砖护坡,综合分析认为,在天然状态下,Ⅰ区(南部临空面)边坡为稳定状态,在暴雨工况下,处于基本稳定状态。

Ⅱ区(东部临空面):边坡由杂填土组成(矸石),坡高 2~6m,坡顶为 1279m 平台,坡形为直线型,坡度 34°,坡度较缓,坡高较小;基底为中上更新统黄土,基底顶面形态为“U”型,基底无向外的临空面;未发现明显的变形迹象和不良地质体。综合分析认为,在天然状态下,Ⅱ区(东部临空面)边坡为稳定状态,在暴雨工况下,处于稳定状态。

Ⅲ区(西北部临空面):边坡由杂填土组成(矸石),高度 12.3m,坡形为直线型,坡角 33°,坡度较缓,坡高较小;基底为中上更新统黄土,基底顶面形态为“U”型,基底无向外的临空面;在坡体顶部发育小规模裂缝,对坡体稳定性影响较小。综合分析认为,在天然状态下,Ⅲ区(西北部临空面)边坡为稳定状态,在暴雨工况下,处于稳定状态。

Ⅳ区(西部临空面):边坡由杂填土组成(矸石),坡高 14.8m,坡形为直线型,坡角 34°,坡度较缓,坡高较小;基底为中上更新统黄土,基底顶面形态为“U”型,基底无向外的临空面;未发现明显的变形迹象和不良地质体。综合分析认为,在天然状态下,Ⅳ区(西部临空面)边坡为稳定状态,在暴雨工况下,处于稳定状态。

参考文献

- [1] 工程地质手册编委会.工程地质手册(4)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007:18.
- [2] 郭雨非.平顶山某煤矿排矸场边坡稳定性分析[D].中国地质大学(北京),2009.
- [3] 孟思宇.乌兰木伦煤矿1#排矸场边坡稳定性分析[J].工程技术研究,2022,7(18):32-34.