

# 新疆黑山露天煤矿采掘场北帮边坡失稳模式研究

梁全青<sup>1\*</sup> 殷秀文<sup>2</sup> 刘尚各<sup>3</sup>

1. 重庆菲莫科技有限公司, 重庆 400039;

2. 山东和安地矿勘测有限公司, 山东 261061;

3. 中交第二公路勘察设计研究院有限公司, 湖北 430056

**摘要:** 黑山露天煤矿采掘场北帮边坡为顺向坡, 且含有软弱层, 局部稳定性较差, 部分台阶边坡产生了数十厘米的裂缝, 局部发生了台阶滑坡。通过对边坡发生滑动时的临界参数进行反分析, 对黑山煤矿采掘场北帮边坡的潜在失稳模式开展了研究, 为边坡稳定性评价以及处治方案设计提供依据, 结果表明: 当边坡潜在滑动模式为圆弧滑动时, 边坡最易发生单一台阶局部失稳; 当潜在滑动模式为平面滑动时, 边坡最易发生整体台阶失稳; 边坡发生圆弧滑动的可能性较小, 最可能的潜在滑动模式为沿软弱层的平面滑动。

**关键字:** 露天煤矿; 软弱层; 边坡稳定性; 失稳模式

## 一、引言

黑山露天煤矿位于新疆托克逊县西北约90公里处, 北距乌鲁木齐市约65公里, 东距南疆铁路鱼儿沟车站约55公里。采掘场南北倾向宽度1435~2070 m, 东西走向长度1372~1958 m, 采掘深度225 m。工作面布置采用“L”型推进方式, 南帮、西帮为工作帮, 北帮为固定帮。北帮边坡高度为100 m, 台阶高度按10 m设置, 帮坡角为15°。矿区采掘场开挖揭露以石炭系、侏罗系以及第四系等地层为主, 主要为粗砂岩、中砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥岩、砂质泥岩以及炭质泥岩等。大多数岩块表现出锤击声不清脆, 无回弹, 有凹痕, 易击碎等特点。部分岩块表现出较强的遇水崩解特性<sup>[1-2]</sup>。

黑山煤矿采掘场各坡面主要为层状结构边坡, 其稳定性取决于结构面的性质及其空间组合关系, 尤其是顺向边坡易通过赋存的软弱结构面产生滑移<sup>[3-5]</sup> (如图1)。

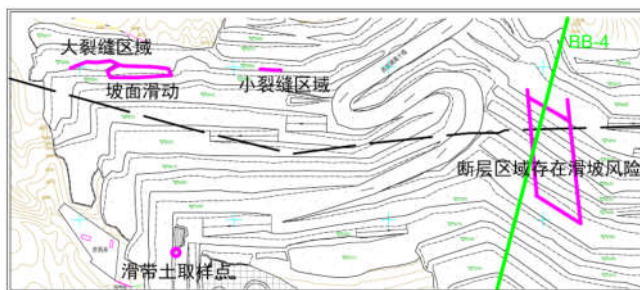


图1 黑山煤矿采掘场北帮边坡局部不稳定区域分布示意图



图2 黑山煤矿采掘场北帮边坡软弱层

\*通讯作者: 梁全青, 1985年9月, 男, 汉族, 山东栖霞人, 现任重庆菲莫科技有限公司总经理助理, 中级工程师, 工学硕士学位。研究方向: 矿山压力与岩层控制。

根据地勘报告可知，黑山露天矿内的地层呈向南倾斜的单斜构造，地层产状走向约95°，倾角13°~25°。北帮边坡为顺向坡，且沿软弱层发生过区域性滑坡，滑动面主要为一层厚80~100 cm的红褐色黏性土（如图2），遇水软化、泥化现象明显，抗剪强度急剧降低。

滑坡发生之后，对北帮边坡软弱层以上岩土体进行了清理，北帮边坡整体稳定性有了显著提高。由于采掘场向西开挖过程中，北帮局部边坡尤其是西北部边坡，局部稳定性较差，部分台阶边坡产生了数十厘米的裂缝，局部发生了台阶滑坡（如图3）。



图3 黑山煤矿采掘场北帮边坡局部台阶开裂及失稳现象

对边坡的变形失稳机制进行分析，找到影响其稳定性的关键因素，对边坡失稳作出正确的评价，进而提出合理的防治措施，保证边坡的稳定性，是露天煤矿安全开采的关键。因此，有必要对黑山煤矿采掘场北帮边坡的潜在失稳模式开展研究，为安全评价与处治方案设计提供依据。

## 二、计算模型与参数

黑山煤矿北帮存在滑坡风险的区域由五个台阶构成，边坡整体滑动危险性大于单一台阶的坡面滑动。对该区域的滑坡稳定性进行参数敏感性分析，可以反算出滑坡在临滑状态时岩土体的力学参数，对滑坡稳定性评价起着重要的参考作用<sup>[6, 7]</sup>。

北帮软弱层存在区域的边坡可能发生的潜在滑动模式有两种，一是沿圆弧面滑动，二是沿软弱层发生平面滑动。选取典型剖面，根据两种潜在滑动模式建立二维地质概化模型，如图4所示。本次计算采用Slide软件进行极限平衡法计算。可以适用于岩质边坡和土质边坡的稳定性分析，并且可以计算圆弧或任意形状的滑动面稳定系数。

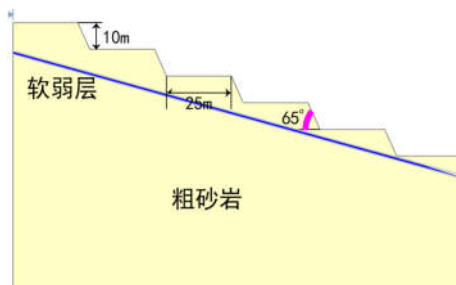


图4 黑山煤矿采掘场北帮边坡计算模型

对软弱层滑带土进行了现场取样，并分别采用直剪、反复剪和环剪试验对滑带土的物理力学性质进行了研究，为

边坡稳定性评价提供可靠的基础数据。通过直剪和反复剪试验，滑带土的黏聚力为18.47 KPa，内摩擦角为22.53°；残余黏聚力为29.7 KPa，内摩擦角为13.42°。通过环剪试验，滑带土黏聚力为48.09 KPa，内摩擦角为23.02°；残余黏聚力为29.45 KPa，残余内摩擦角为10.78°。

### 三、计算结果与分析

#### (一) 圆弧滑动模式

根据黑山煤矿采掘场北帮岩体的原始力学参数，对影响边坡稳定性的关键参数黏聚力、内摩擦角和摩擦系数进行等比例折减。通过试算在不同折减参数情况下边坡的稳定系数，获得在稳定系数为1时，对应的边坡岩体的力学参数。当边坡潜在滑动模式为圆弧滑动时，假设边坡为均质粗砂岩，通过不断折减粗砂岩的黏聚力和摩擦系数，获得边坡发生临界滑动时的粗砂岩力学参数与稳定系数关系，如表1所示。

表1 边坡岩体力学参数不同折减条件下的稳定系数变化表

工况	黏聚力 (KPa)	内摩擦角 (°)	摩擦系数	单一台阶稳定系数	整体台阶稳定系数
天然工况	105	38.20	0.787	3.122	4.325
折减至90%	94.5	35.31	0.708	2.810	3.893
折减至80%	84	32.19	0.630	2.497	3.460
折减至70%	73.5	28.85	0.551	2.185	3.027
折减至60%	63	25.27	0.472	1.873	2.594
折减至50%	52.5	21.48	0.393	1.562	2.163
折减至40%	42	17.47	0.315	1.249	1.730
折减至35%	36.75	15.40	0.275	1.072	1.506
折减至33%	34.65	14.56	0.260	1.030	1.470
折减至32%	33.6	14.13	0.252	0.999	1.384
折减至30%	31.5	13.28	0.236	0.936	1.297

黑山煤矿北帮边坡在原始岩体参数和临界滑动状态（稳定系数为0.999）时的单一台阶和整体台阶稳定系数分别如图5、图6所示。从图中可以发现，单一台阶的稳定系数最小，整体稳定系数次之。因此，在圆弧滑动模式下，边坡最易发生单一台阶局部失稳。

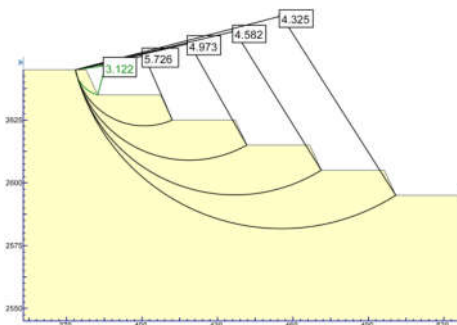


图5 原始岩体参数下边坡安全系数

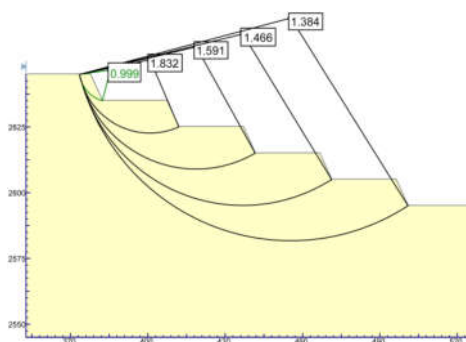


图6 岩体参数折减至32%时边坡安全系数

对表1中的数据进行整理，得到边坡岩体力学参数与稳定系数的关系如图7、图8所示。结果显示，要使单一台阶边坡处于临界滑动状态，粗砂岩的黏聚力为33.6KPa，内摩擦角为14.13°。可见，北帮边坡发生临界滑动时对应的力学参数与边坡原始力学参数差距较大，因此黑山煤矿北帮边坡在均一的粗砂岩中发生圆弧滑动的可能性较小。

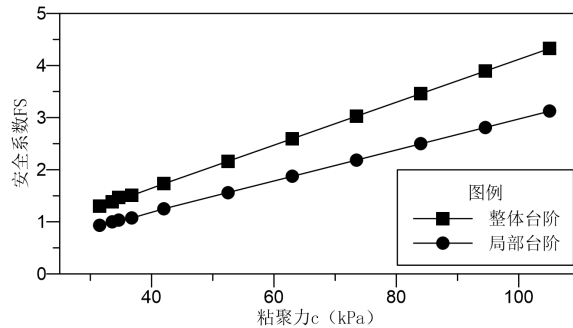


图7 岩体黏聚力不同折减比例下边坡安全系数

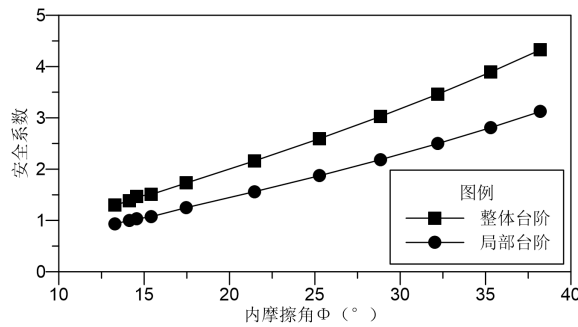


图8 岩体内摩擦角不同折减比例下边坡安全系数

(二) 平面滑动模式

当黑山煤矿北帮边坡潜在滑动模式为平面滑动时，假设边坡为均质粗砂岩夹软弱层，通过不断折减软弱层的黏聚力、内摩擦角和摩擦系数，获得边坡发生临界滑动时软弱层的力学参数与稳定系数之间的变化关系，如表2所示。

表2 边坡软弱层力学参数不同折减条件下的稳定系数变化表

工况	黏聚力 (KPa)	内摩擦角 (°)	摩擦系数	单一台阶稳定系数	整体台阶稳定系数
天然工况	105	38.20	0.787	3.122	4.325
天然	34.4	18.00	0.325	2.320	1.767
折减至90%	30.96	16.30	0.292	2.125	1.627
折减至80%	27.52	14.57	0.260	1.928	1.481
折减至70%	24.08	12.81	0.227	1.728	1.327
折减至60%	20.64	11.03	0.195	1.526	1.171
折减至50%	17.2	9.23	0.162	1.321	1.012
折减至49.5%	17.028	9.14	0.161	1.311	1.003
折减至49.3%	16.9592	9.10	0.160	1.306	1.000
折减至49%	16.856	9.05	0.159	1.300	0.996

黑山煤矿北帮边坡在原始软弱层力学参数和临界滑动状态（稳定系数为0.999）时的单一台阶和整体台阶稳定系数如图9、图10所示。从图中可以发现，整体台阶的稳定系数比单一台阶的稳定系数要小。因此，在平面滑动模式下，北帮边坡最易发生整体台阶失稳。

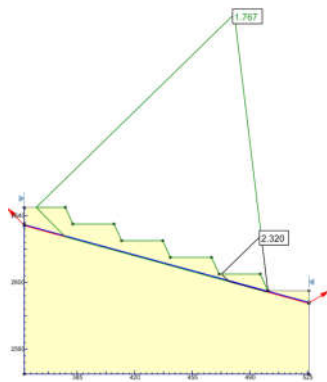


图9 原始软弱层参数下边坡安全系数

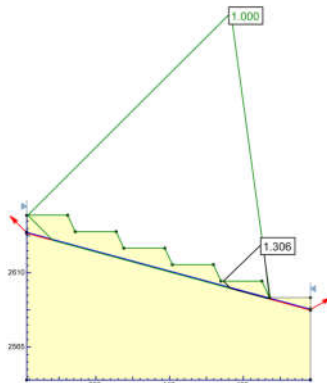


图10 软弱层参数折减至32%时边坡安全系数

将表2中的数据进行整理，得到软弱层力学参数与稳定系数之间的关系如图11、图12所示。结果显示，要使整体台阶边坡处于临界滑动状态，软弱层的黏聚力为17 KPa，内摩擦角为9.1°。根据软弱层的环剪试验数据，软弱层的残余黏聚力29.45KPa，残余内摩擦角为10.78°。可见，根据极限平衡法开展稳定系数反分析所得的软弱层力学参数与室内试验测得的力学参数差别不大。因此，北帮断层影响区域可能的潜在滑动模式为沿软弱层的平面滑动。

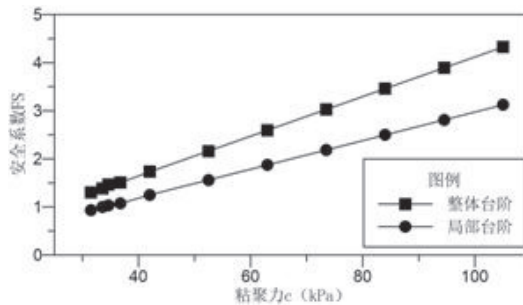


图11 软弱层黏聚力不同折减比例下边坡安全系数

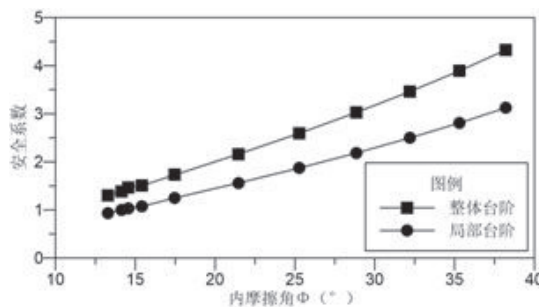


图12 软弱层内摩擦角不同折减比例下边坡安全系数

由于北帮软弱层力学强度较低,且软弱层为顺倾向发育,当弱层下部的岩层被开挖形成临空面后,受到弱层上覆岩体的自重作用以及临空面侧约束消失的双重影响,可能在弱层与临空面交汇处形成剪出口,带动弱层上覆滑体的后缘形成张裂面,从而产生沿北帮软弱层作为底滑面的滑动破坏。

#### 四、结论

当采掘场北帮边坡潜在滑动模式为圆弧滑动时,边坡最易发生单一台阶局部失稳。

粗砂岩的黏聚力为33.6 KPa,内摩擦角为14.13°,与边坡发生临界滑动状态时对应的力学参数差距较大。因此,北帮边坡发生圆弧滑动的可能性较小。

当采掘场北帮边坡潜在滑动模式为平面滑动时,边坡最易发生整体台阶失稳。

软弱层的残余黏聚力为29.45 KPa,残余内摩擦角为10.78°,发生临界滑动时的黏聚力为17 KPa,内摩擦角为9.1°。根据反分析所得的软弱层力学参数与室内试验测得的力学参数差别不大。因此,北帮边坡可能的潜在滑动模式为沿软弱层的平面滑动。

#### 参考文献:

- [1]蔡明祥,韩禄.黑山露天煤矿北排土场增高扩容边坡稳定性研究[J].露天采矿技术,2018,33(05):47-50.
- [2]陈亚军,常治国,毛金峰,王金军.黑山露天煤矿顺层边坡破段小台阶内部排土稳定性分析[J].煤炭技术,2015,34(05):1-3.
- [3]刘如成.受软弱层影响的露天矿边坡复合滑动面优化计算方法[J].露天采矿技术,2013(02):27-29.
- [4]丁立明,才庆祥,刘雷,马力,周伟.软弱夹层对露天矿边坡稳定性的影响[J].金属矿山,2012(04):40-42+58.
- [5]赵汝辉,周游,王维,李焘.软弱夹层赋存特征对边坡稳定性的影响[J].煤矿安全,2020,51(03):227-230.
- [6]龙赛琼,陈焕美,蒋文鹏,梁栋才,尹小涛.考虑边坡不同演化阶段的岩土体抗剪强度参数反分析[J].水利与建筑工程学报,2020,18(01):16-21.
- [7]孙德全.基于强度折减法的露天边坡煤矿稳定性分析及优化设计[J].粉煤灰综合利用,2019(06):84-88.