

华北某露天矿西南帮滑坡治理研究

文 / 冯金旭 太原钢铁集团公司尖山铁矿

杨军明 中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司

刘 号 中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司

赵 宇 中勘冶金勘察设计研究院有限责任公司

摘要: 通过某矿山采场南边坡1488-1428段滑坡区进行勘察, 采用反演分析和现场原状土取样试验分析, 确定滑坡区岩土力学性质参数, 提出了综合治理方案。在治理过程中对重点区域加固参数进行了优化, 采用Spencer法进行稳定性分析, 结果表明, 该方案可以确保该部位边坡稳定, 为矿山安全生产提供保障。

关键词: 边坡; 综合治理; Spencer法; 稳定性

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.120

引言

露天矿山边坡稳定性受多种因素的影响, 总体可分为内在因素和外在因素。内在因素主要包括边坡岩体的地层、组成边坡岩体的岩性、地质构造、岩(土)体结构、地应力以及地下水等; 外部因素主要指边坡形态的改造、降雨、振动作用、工程荷载及其他人为因素等。本文通过对边坡岩体的地层、组成边坡岩体的岩性、地质构造、岩(土)体结构以及地下水渗流、降雨及爆破震动等因素的定向研究、反演, 有针对性地进行分区规划治理设计, 在矿山边坡治理中获得成功, 取得经济效益及安全效益的有效融合。

一、滑坡区域概况

(一) 概况

某铁矿西南帮边坡主要为岩质边坡, 边坡总高度约177m, 现状单台阶坡度50~71°。2021年7月份以来, 土岩交界面以西约500m范围内部分平台出现裂缝, 10月5日该区域边坡出现明显下沉形成滑坡体。该滑坡体规模自1420标高至1473标高, 高度约53m, 宽约150m。1473平台滑坡体上部沉降量约3m。其他岩质边坡部分平台也出现了不同规模的裂缝, 主要分布在1473、1458、1443等平台。

(二) 地层岩性和地质构造

1. 地层岩性

(1) 第四系地层

①渣土(Q^{m1}): 主要成分为矿渣, 母岩为斜长角闪片岩、石英片岩等, 稍密, 稍湿。主要分布于西南帮顶部局部区域。

②含砾黏土(Q₂^{d1+e1}): 褐红色, 主要由残坡积土组成, 混碎石, 碎石一般粒径10-50mm, 最大粒径100mm, 可塑~硬塑。

(2) 变质岩地层

①石英绢云母片岩(AM)

灰一灰白色, 片理发育, 多呈似层状或透镜状产出, 粒状或纤维状变晶结构。主要矿物有石英、云母(绢云母、白云母、黑云母), 次要矿物有绿泥石、斜长石、石榴石等, 厚10.0~20.0m不等。风化后表面常有黄褐色铁锈, 地表岩性呈强风化, 多呈碎块状, 部分位置的风化岩块手捏易碎。在西南帮大面积分布。

②斜长角闪片岩(Mδ)

黄绿一暗绿色, 呈透镜状或似层状产出, 片理发育时为斜长角闪片岩。岩石致密坚硬, 呈花岗纤维变晶结

构。主要矿物有角闪石、斜长石, 次为石英、绢云母、绿泥石等, 含少量磁铁矿。岩石常以矿层中的夹层或不规则侵入状出现, 岩性较硬, 性脆, 厚10.0-40.0m不等。风化后为灰褐色, 强度极低, 用手可捏碎。主要分布在西南帮西侧及1428平台以下区域。

③铁闪片岩(AT)

颜色暗绿或灰绿, 风化后呈黄褐色、灰绿、灰黑色, 表面似朽木状, 大部分呈似层状产出, 部分呈透镜状。矿区范围均有分布, 主要矿物为铁闪石、透闪石, 次为石英、磁铁矿、绿泥石、绢云母等。厚度由几米至数十米不等。

2. 构造特征

经地质调查, 研究区未见大的构造断裂, 但局部形成小型断裂, 断层宽度0.5~3m不等。这些断层对岩体的切割, 使岩体破碎, 在滑坡部位部分滑动面和断层重合。

3. 水文地质条件

根据调查结果, 1398平台滑坡体底部东侧及1383平台有地下水流出。

边坡其他位置也有零星地下水渗出, 流量很小。

4. 岩体结构类型

受边坡岩层特性及结构构造的影响, 本区边坡岩体结构类型如下:

(1) 层状结构

层状结构是西南帮边坡岩体的主要结构类型, 主要岩组云母石英片岩、斜长角闪片岩、铁闪片岩岩组等, 其特征为层面发育, 尤以片理面发育, 呈薄层状, 根据其在边坡岩体的空间分布可分为顺坡层状结构和截切坡面层状结构。

(2) 块状结构

主要为正长闪长岩岩组和斜长角闪片岩岩组构成。正长闪长岩构成的边坡岩体较完整, 多呈块状, 多角柱状及立方体等形态, 节理不发育, 间距在50~100cm左右, 而斜长角闪岩岩组中岩体完整性较好, 节理不甚发育, 呈块状, 而斜长角闪片岩, 由于风化变质多发育层状结构, 其节理裂隙发育。边坡被切割破碎, 构成块状与层状结合的边坡。因此, 边坡岩体可分为层状一块状结构和层状一块状一层状结构类型。

二、滑坡成因分析

该区域岩性主要为强风化石英绢云母片岩, 存在铁闪片岩夹层。

现有滑坡体自1473平台至1420标高，宽度约130m。滑坡堆积体坡脚在1398平台。在1473、1458、1443平台滑坡体两侧分布张裂缝，裂缝最大宽度可达30cm。

(一) 边坡岩体结构面统计

对本次现场测量的结构面按分区进行整理，采用Dips模块绘制结构面极点等密度图并分析优势结构面。边坡各地段优势面统计结果见表1。

表1 边坡岩体结构面统计分析结果表

分区	岩性	结构面类型	优势结构面	
			倾向(°)	倾角(°)
已有滑坡区域	石英绢云母片岩	片理	30	76
		节理	94	78
滑坡体东侧边坡区域	石英绢云母片岩	片理	30	81
		节理	112	85
滑坡体西侧边坡区域	斜长角闪片岩	片理	34	68
		节理	153	64

(二) 各地段稳定性

根据《非煤露天矿边坡工程技术规范》第3章的规定，西南帮边坡危害等级为I级，边坡工程安全等级为I级。

本工程采用的允许安全系数为：

荷载组合I（自重+地下水）工况下，边坡工程设计安全系数1.20。

(三) 稳定性计算

1. 滑坡的原因分析

滑坡体的标高自1420至1473m。此区的岩性主要为强化石英绢云母片岩，部分为铁闪片岩。优势结构面产状为30°∠76°，结构面贯通性好，闭合性差。坡面产状为22°∠70°。优势结构面和坡面倾向大体一致，所以滑坡的破坏部分追踪结构面。滑坡期降雨量较大，石英绢云母片岩和铁闪片岩风化程度较高，遇水易软化，抗剪强度降低。加之1458-1428边坡台阶较陡，使边坡在1458平台形成剪切拉裂缝，从而引起1473边坡失去支撑也出现剪切拉裂缝，最终在雨水诱因下形成1420-1473的滑坡。

2. 反演计算

本次西南帮边坡稳定性计算参数通过对1420-1473滑坡反演计算确定。滑坡发生前计算的安全系数取0.95-1.00，建立滑坡前的地质模型，反演抗剪强度参数。计算方法采用Spencer法和GLE法。

滑坡前计算结果如下：

通过反演计算，得出石英绢云母片岩岩体的抗剪强

度参数为 $c=38\text{kPa}$ ， $\phi=30.5^\circ$ 。结构面抗剪强度参数为 $c=18\text{kPa}$ ， $\phi=29.0^\circ$ 。

根据滑坡后的地形，用以上的方法对岩体参数进行反演，得出石英绢云母片岩残余强度参数为 $c=18\text{kPa}$ ， $\phi=22.0^\circ$ 。

按以上参数，恢复滑坡前的地形，进行稳定性分析，1420-1473段边坡的稳定性计算结果如图5.1.2-3和图5.1.2-4。

3. 岩土参数

经过反演计算结合以往资料和经验综合分析，本地段的岩体参数见表2。

表2 现状边坡岩体物理力学指标

岩性	结构面类型	风化程度	重度(kN/m³)	黏聚力(kPa)	摩擦角(°)
含砾黏土	-	-	19.0	35	25.0
石英绢云母片岩	岩体	强风化	25.5	45	33.5
	结构面	强风化		18	29.0
铁闪片岩	岩体	强风化	25.0	25	28.5
	结构面	强风化		15	25.0
斜长角闪片岩	岩体	中风化	26.5	200	42.0
	结构面	中风化		40	33.5

三、治理方案研究

(一) 不稳定类型分区

根据稳定性分析结果，将西南帮边坡进行分区。

I区：已滑坡区。

II区：未滑坡，台阶存在裂缝，坡体相对稳定，分布在已有滑坡东部。

(二) 治理方案分区

根据不稳定类型，制定相应的治理方案。将治理方案分为四个大区I₁区、I₂区、II₁区、II₂区，本文着重对治理I区展开治理研究。

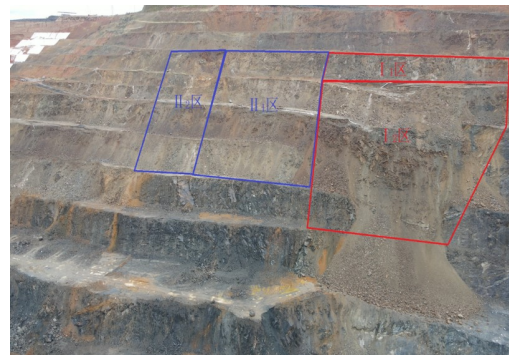


图2 西南帮边坡I区、II区治理分区图

(三) 针对性治理措施研究

1. I区削方方案

(1) 范围及参数

削方范围自1428平台至1488平台，清除现有滑坡体及裂缝区域。每15m设置安全平台，宽度6-12m。单台阶坡度约60°。

(2) 削方

采用机械开挖+炮锤破碎的方式开挖边坡。如遇坚硬岩体机械开挖不能满足设计要求，可局部采用预裂爆破，控制爆破的方式，根据开挖揭露的岩性经设计人员确认可修改边坡坡面角。

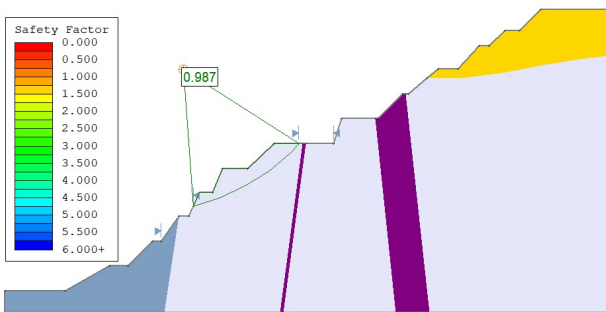


图1 1420-1473段边坡稳定性计算结果（Spencer法）

(3) 削方施工要点

①边坡爆破及清方工作应遵循从上往下，从两侧向中间分级分段施工的原则，每开挖一级加固一级，再向下开挖。

②滑坡开挖过程中应设置变形监测点，如位移变形过大，应停止施工，分析原因及可能的危害，确保施工设备及人员的安全。

③开挖过程中，设计代表全程跟踪开挖过程，根据开挖揭露的岩性动态调整开挖坡率。

④机械清方后进行人工清坡撬毛，保证后续施工的安全。

(4) 削方后稳定性计算

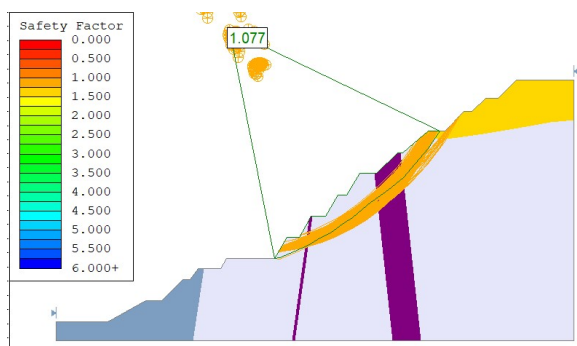


图3 削方后稳定性计算结果 (Spencer 法)

削方后边坡稳定性系数不满足规范要求，需进一步加固治理。

2. 锚索格构框架梁

I₁区加固台阶为1473m~1488m。采用锚杆+挂网喷浆加固治理边坡，采用全长黏结锚杆(φ32)锚杆间距3m×3m，长度12m与9m交错布置，锚杆钻孔孔径不小于110mm。

I₂区加固台阶为1413~1473m。采用8束的预应力锚索(1000kN)等加固措施，锚索长度上部45m与40m交错布置，下部1413-1428锚索长度30m与25m交错布置，锚索间距4×4m矩形布置。框架梁尺寸为0.6m×0.5m。锚索孔径不小于130mm。布置2个锚索应力计和2个位移监测点进行加固效果监测。

(1) 锚索材料

锚索采用1860MPa低松弛预应力钢绞线，直径15.24mm(1×7)，设计抗拉强度 $f_{py}=1320N/mm^2$ 。

(2) 锚具

锚具规格为YJM15-8，包括锚板、夹片、螺旋筋。其质量应符合《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》JGJ85-2010的规定。

(3) 锚杆材料

锚杆采用φ32HRB400级钢筋，设计抗拉强度 $f_y=360N/mm^2$ 。

(4) 普通钢筋

框架梁φ25钢筋规格为HRB400，设计抗拉强度 $f_y=360N/mm^2$ ；φ18钢筋规格为HRB400，设计抗拉强度 $f_y=360N/mm^2$ ；φ8钢筋规格为HPB300，设计抗拉强度 $f_y=270N/mm^2$ 。

(5) 混凝土

横梁采用现浇混凝土，强度等级为C30。

(6) 水泥浆

锚索(杆)、挂网锚钉孔内注浆要求浆液结石体强

度大于30MPa。宜采用水灰比0.45~0.5的P.042.5纯水泥浆。

3. 加固后稳定性计算

采用锚索加固后，剖面1位置稳定性计算结果如下：

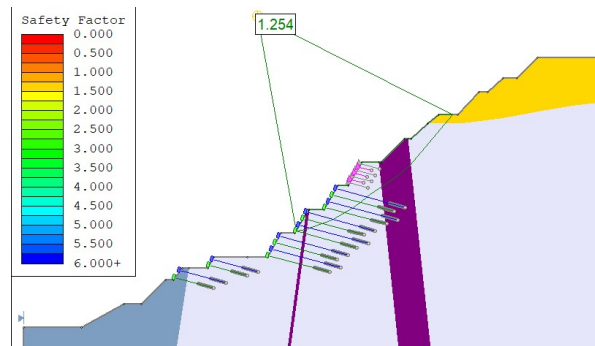


图4 加固后边坡稳定性计算结果 (Spencer 法)

稳定性系数满足规范要求。

(四) 防排水

各治理区平台喷射混凝土防渗，铺设厚度10cm，混凝土强度等级C20。施工前对台阶进行整平，整平后铺设钢筋网片。钢筋网片规格20cm×20cm。钢筋直径为φ6。

排水布置：

1488平台设置截水沟，截水沟尺寸按1.2m×1.0m。

其他各平台设置排水盲沟。排水盲沟尺寸1.2m×0.7m。盲沟底部、侧壁下部的2/3深度铺设两布一膜的防渗膜。盲沟材料采用级配碎石。侧壁上部的1/3深度铺设土工布，待碎石回填后土工布覆盖盲沟顶部。土工布上覆盖30cm碎石。

采取上述措施综合治理后，1428m以上边坡最小安全系数为1.25。达到《岩土工程勘察规范》相关要求，达到预期治理效果。

结束语

①南边坡滑坡原因主要是受不利地形条件和长期地表水及地下水的的作用，稳定性不断降低最终导致滑坡。

②矿山边坡石英绢云母片岩和铁闪片岩区域，出露岩石易风化，遇水易软化，抗剪强度降低，从而大大降低边坡稳定性，其他矿山靠帮也存在类似情况，应吸取教训，对涉及该问题的区段应认真分析边坡稳定性，合理进行采矿设计。对于有重要设施的边坡区段应进行专业论证。

③以《岩土工程勘察规范》(GB50021--2001，2009年版)安全系数规定为基础，结合边坡基岩加固构造，量化考虑边坡沿线爆破振动力因素，进行治理规划，在某铁矿西南帮治理中获得成功，取得经济效益及安全效益的有效融合。

参考文献

[1] (GB 51016-2014). 《非煤露天矿边坡工程技术规范》[S].

[2] (JGJ85-2010). 《预应力筋用锚具、夹具和连接器应用技术规程》[S].

[3] (GB50021--2001，2009年版). 《岩土工程勘察规范》[S].

作者简介：冯金旭(1969.11-)，男，汉，山西平定人，工程师，从事露天矿山技术管理工作。