第 25 卷第 1 期 2016 年 2 月 Vol. 25 No. 1

Feb. 2016

文章编号:1671-1947 2016)01-0084-08

中图分类号:P642

文献标志码:A

# 内蒙古乌努格吐山铜钼矿露天采场边坡工程地质特征及破坏类型

## 郭昂青

黑龙江省齐齐哈尔矿产勘查开发总院,黑龙江齐齐哈尔 161006

摘 要:通过对乌努格吐山铜钼矿露天采场边坡自然背景条件、岩体结构类型、岩石力学参数、工程地质岩组特征、结构面特征、边 坡工程地质分区、边坡稳定性评价、边坡破坏类型及规模等论述,阐明了露天采场边坡工程地质特征.边坡稳定性计算结果表明,A 区 A-A'剖面、C 区 E-E'剖面稳定性计算结果不能满足安全系数的要求,其他区边坡总体稳定性较好.露天采场现处于生产建设阶 段,边坡正处于剥离形成过程中,边坡几何形态保存较完整,仅局部出现小型崩塌、垮塌、粒状解体、楔形破坏、地裂缝和大气降水 冲刷等.尚未出现较大规模破坏,现状边坡总体稳定,基本可代表未来边坡的破坏类型和稳定状态.

关键词:露天采场;边坡;工程地质特征;破坏类型;乌努格吐山;内蒙古

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2016.01.015

# ENGINEERING GEOLOGY OF THE OPEN PIT SLOPE OF THE WUNUGETUSHAN COPPER-MOLYBDENUM MINE IN INNER MONGOLIA

#### GUO Ang-qing

Qiqihar Institute of Mineral Resources Exploration and Development, Qiqihar 161006, Heilongjiang Province, China

**Abstract**: The engineering geological characteristics of the open pit slope of Wunugetushan Cu-Mo mine are analyzed in respect to the natural background conditions, structural types of rock mass, rock mechanics parameters, engineering geological petrofabric features, slope engineering geological zoning, slope stability evaluation, slope failure type and size. Calculation of the slope stability shows that the A-A' profile in A zone and the E-E' profile in C zone cannot reach the requirement of safety factor. The slope stabilities in other zones are well. At present, the open pit is under construction. The slope is in the process of stripping and formation, in which the geometric shape is well kept, with only local small-scale collapse, granular disintegration, wedged failure, ground fissures and atmospheric precipitation erosion. As of now, the slope is generally stable, without significant damage, which can basically represent the future slope failure type and stability state. **Key words**: open pit; slope; engineering geology; failure type; Wunugetushan; Inner Mongolia

## 1 矿区概况

#### 1.1 基本概况

乌努格吐山铜钼矿区位于内蒙古满洲里市西南 24 km,距新巴尔虎右旗 146 km,行政区划属内蒙古新 巴尔虎右旗呼伦镇管辖,矿区面积 9.84 km<sup>2</sup>.铜金属储 量 300×10<sup>4</sup> t,钼金属储量 60×10<sup>4</sup> t,为我国第四大铜钼 伴生矿床.矿山二期工程建成投产后,企业将发展成 为日处理矿石量 7.5×10<sup>4</sup> t,年产铜金属 7×10<sup>4</sup> t,钼金属 7500 t,实现年产值近 40 亿元. 乌努格吐山铜钼矿为露天开采,露天采场设计东帮边坡最高标高 858.00 m,采场坑底标高 225.00~240.00 m,设计终了边坡最大高差约为 578 m,属于高陡边坡.露天开采终了境界圈定的采场尺寸为:上口 3640 m×1330 m,下口 1360 m×160 m,封闭圈标高735 m. 露天采场目前最低开采水平为 735 m,最高开采标高为 855 m,形成高 15 m 的 10 个临时台阶(735、750、765、780、795、810、825、840、855 和 870 m),现露天采 坑深 135 m.

收稿日期:2015-06-03;修回日期:2015-11-02.编辑:李兰英.

作者简介:郭昂青 1960—),男,高级工程师,现从事水文地质工程地质环境地质勘察研究工作,通信地址 黑龙江省齐齐哈尔市建华区中华西路 208 号,E-mail//gaq-sky@163.com

第1期

## 1.2 气候特征

矿区地处中纬度地区,属于温带半干旱大陆性气候.据满洲里气象站 53 年资料 1957~2009 年),年平均降水量 287.70 mm,降水多集中在 6~8 月份,占全年的 74.3%,最大一日降水量 97.5 mm(1995 年);年平均蒸发量为 1457.10 mm,是降水的 5.1 倍;年平均气温为-0.70℃;绝对平均湿度为 5.4 mm;季节冻土最大深度为 3.89 m;风向多为西南风,月平均风速 4.9 m/s.

## 1.3 地形地貌特征

矿区地处低山丘陵区,山势走向北东,一般标高 750 m 左右,总体来说山势平缓,地形开阔.矿区北段 最高为大里图山889.5 m,矿区南段乌努格吐山862.8 m, 最低处标高 650.7 m.山坡自然坡度多在 9.2~18.4°之 间.由于矿山露天开采,原北矿段的大里图山已变成深 达 135 m 弓形不规则凹地.

## 2 地质背景特征

### 2.1 岩体组成

矿区表层主要由第四系残坡积亚黏土和碎石组成,厚度 1~38 m. 沟谷中分布有亚黏土、砂、砾石等松 散堆积物,厚度小于 30 m. 第四系下部主要由燕山早 期和燕山晚期侵入岩组成.

(1) 燕山早期侵入岩:广泛出露于矿区范围内,称 乌努格吐山岩体,约占矿区面积的60%以上,钾--氩法 同位素年龄176.9~201.0 Ma. 岩体主体岩性为黑云母 花岗岩,是矿区主要含矿围岩.

(2) 燕山晚期侵入岩:①次流纹质晶屑凝灰熔岩. 燕山晚期第一次侵入形成,属成矿期前火山碎屑熔岩 管道相.出露于矿区 560~640 地质勘探线北西端,呈 北西向略有拉长的陡立岩筒状产出. 地表出露长约 800 m,平均宽约 600 m, 面积 0.48 km<sup>2</sup>. 主体岩性为次 流纹质晶屑凝灰熔岩. ②次斜长花岗斑岩, 燕山晚期第 二次侵入形成,属成矿期次火山岩管道相,出露于矿区的 中部. 地表出露长 950 m, 平均宽 470 m, 面积 0.42 km<sup>2</sup>. 平 面上呈北东延长不规则的椭圆状,剖面上为陡立的斜 筒状.主体岩性为次斜长花岗斑岩,是本矿区主要携矿 岩体. 钾--氩法同位素年龄 138 Ma. ③次英安质角砾熔 岩, 燕山晚期第三次侵入形成, 属成矿期后次火山侵 入角砾岩筒相,出露于矿区的南部,地表出露长 3100 m,平均宽 600 m,最宽处 1000 m,最窄处仅 80 m, 面积约 1.25 km<sup>2</sup>. 呈陡立岩筒状产出. 岩性以次英安质 角砾熔岩为主体,对矿体起破坏作用•.

●雷国伟,等. 乌努格吐山矿区铜钼矿勘探报告. 2006.

2张鹏程,等. 乌努格吐山矿区铜钼矿南矿段补充勘探报告. 2010.

#### 2.2 地质构造

矿区位于中生代陆相火山盆地边缘的古隆起部 位. 区域性北东向额尔古纳-呼伦深断裂在矿区东侧 约 25 km 处通过. 受其影响,旁侧次一级断裂构造十分 发育. 矿区主要断裂系统为北东向、北西向和近东西向 3 组. 从形成时间和穿插关系来看,北东向断裂形成 早,近东西向断裂形成晚野北东向断裂,早于北西向断 裂,北西向断裂形成较晚<sup>●</sup>.

(1)北东向断裂:为矿区主要断裂,属压扭性,具长 期继承发展特点.早期北东向断裂与北西向断裂交汇 部位不仅控制火山机构的形成,而且为次斜长花岗斑 岩侵入提供了构造空间.北东向断裂有 F1、F2、F3、F4、 F5、F6、F10、F11、F12、F16、F18、F19、F20.

(2) 近东西向断裂:位于沟谷中,走向长 2800 m, 倾向 350~20°,倾角 70~80°,属于张扭性平移正断层, 破坏了环形矿带的连续性.以 F7 断层为界,分为南北 2 个矿段.根据岩石蚀变带及矿体被错断的距离,可知 南矿段相对向西平移和抬高,北矿段相对向东平移和 下降,水平错距 600~700 m,垂直位移不大,有断层角 砾存在.此外,近东西的断裂还有 F9、F13、F14、F15、 F17.

(3) 北西向断裂: 地貌上为沟谷地形, 在南东端地 表见断层角砾岩分布, 倾向 70°, 倾角 60~70°, 沿走向 长大于 2000 m, 破坏矿体和岩体空间连续性. 北西向 断裂有 F8.

(4)环形断裂:围绕火山管道发育有断续环形断裂,在北矿段东部出露显著,产状变化与火山管道产状相吻合,倾角 65~80°.有次斜长花岗斑岩枝(体)、流纹斑岩和安山玢岩岩脉充填.

### 2.3 岩石蚀变

矿区具有典型的斑岩铜钼矿床蚀变特征.以次斜 长花岗岩体为核心,呈环状面型蚀变分带明显,与矿化 关系极为密切.北矿段蚀变带长 2500~2800 m,宽 200~350 m;南矿段长 2000~2600 m,宽 1000~1800 m. 矿区地表蚀变范围达 7 km<sup>2</sup> 左右.北矿段和南矿段原 是一个统一的环形蚀变带,被 F7 平移正断层、F8 断层 和次英安质角砾熔岩破坏.

根据标型蚀变矿物类型、组合特征、连续发育程度 以及矿化的关系,将矿区蚀变划分为3个带(1)石 英-钾长石化带(2)石英-绢云母-水白云母化带(3) 伊利石-水白云母化带<sup>9</sup>. 伊利石化、水云母化、钾长石化蚀变是边坡岩体强 度降低的主要因素,伊利石化、水云母化、钾长石化强 蚀变岩石具有遇水易软化、崩解、粒状解体等不良工程 地质特征,长期暴露地表往往表现为散体状结构.因岩 石多成松软土状,强度低,其稳定性差,露天采场边坡 易发生圆弧形破坏,对未来相关区段边坡的稳定性影 响较大.

2.4 水文地质条件

#### 2.4.1 地下水类型

(1)第四系孔隙水:主要分布在矿区北部和西部的 沟谷中.含水层由冲洪积砂砾石组成,含水层厚度6.7~
17.2 m,水位埋深 7.9~8.4 m,水位 746.86~736.36 m,水 位年变幅 1.0 m 左右.单位涌水量 0.173~0.622 L/s·m, 为中等富水性.渗透系数 2.84~7.60 m/d,为良透水.该 含水层对露天采场边坡稳定性影响小.

(2)基岩风化裂隙水:矿区均有分布,水位埋深 6.45~
64.0 m,水位 725~798 m,含水层厚度 7.4~80.9 m,平均 厚 38.1 m; 单位涌水量 0.001~0.235 L/s·m, 属弱富水 性—中等富水性. 渗透系数 0.002~1.050 m/d, 为弱透 水—半透水. 地下水水位年变幅 1.25~3.53 m. 该含水 层对露天采场边坡稳定性影响小.

(3)构造裂隙水:主要分布在构造破碎带及影响带中,平均厚度 8.0~30.3 m,水位 729~798 m,单位涌水量 0.001~0.780 L/s·m,属弱富水性—中等富水性. 渗透系数 0.005~2.460 m/d,为弱透水—良透水. 水位年变幅 0.92~1.01 m,为矿床直接充水含水层. 从现有露天采场边坡工程地质测绘看,构造裂隙水对边坡的稳定性影响很小.

2.4.2 地下水补给径流排泄条件

区内地表水体极不发育,大气降水是矿区地下水

的唯一补给来源.基岩裸露区和槽探开挖区,降水通过 基岩风化裂隙渗入补给地下水.地下水的运动主要受 岩性、地质构造、地貌因素的控制,地下水流向总的趋 势是由北东流向南西.地下水的排泄以地下侧向径流 和人工开采为主,其次是露天开采对地下水的疏干.现 露天采场边坡裂隙中只有极少量地下水流出,对露天 采场边坡不构成威胁.

矿体大部分位于侵蚀基准面以下,地形有利于自 然排水,露天采坑地下水易于疏干.根据钻孔地下水水 位监测资料,地下水类型主要为基岩风化带裂隙潜水, 在终了边坡不存在较高水头的地下水,即相对静止水 位以下的地下水对边坡的稳定性影响不大.

## 3 露天采场边坡工程地质特征

3.1 边坡岩体结构类型

岩体结构反映岩体的完整性与破碎程度.根据采 场边坡工程地质测绘及工程地质孔资料,将岩体划分 为整体状、块状、镶嵌状、碎裂状、散体状和松散状6种 结构类型<sup>11</sup>.由于露天采场边坡岩体结构差异性较大, 节理裂隙发育、分布不均,大部分岩体结构类型介于两 种结构类型之间.因此,除了将散体状结构和松散状结 构单独划分之外,整体状结构、块状结构、镶嵌结构和 碎裂结构难以单独圈定,采用块状-整体状结构和镶 嵌-碎裂结构两种过渡类型表示<sup>●</sup>.

3.2 岩石力学参数

根据 61 组岩石物理力学样品试验测试结果,经综 合分析整理,取其平均值作为本次推荐的岩石力学参 数指标 见表 1).由表 1 可以看出,微风化带和未风化 带岩石强度高,构造破碎带和蚀变带岩石强度较低,构 造破碎带岩石强度最低.

表 1 岩石力学参数推荐值一览表 Table 1 Recommended values for rock mechanics parameters

参数		黑云母 花岗岩 未风化带	黑云母 花岗岩 微风化带	构造 破碎带	次流纹质晶 屑凝灰熔岩 未风化带	次流纹质晶 屑凝灰熔岩 微风化带	次英安质角砾 熔岩未风带	次斜长花岗斑岩 未风化带	次斜长花岗斑岩 微风化带	黑云母花岗岩 蚀变带
饱和抗压强度 Rc/MPa		55.9	24.3		50.0	37.1	43.9	59.9	38.1	25.6
软化系数 $K_{d}$		0.59	0.33		0.54	0.59	0.59	0.72	0.54	0.54
抗拉强度 $\sigma_t$ /MPa		4.07	3.86	2.28	5.07	5.34	2.96	4.63	5.56	4.18
弹性模量 <i>E</i> t/10 <sup>4</sup> MPa		1.49	1.56	0.31	1.85	1.69	0.72	1.89	1.95	1.29
天然泊松比 $\mu$		0.23	0.28	0.32	0.23	0.22	0.27	0.21	0.23	0.26
抗剪强度	内聚力 C/MPa	10.5	4.03	1.50	10.2	4.81	14.27	10.49	6.6	5.6
	内摩擦角 ⊉/°	31.0	31.7	35.60	31.01	29.1	32.3	29.5	31.0	35.4

资料来源:内蒙古乌努格吐山铜钼矿露天采场边坡岩土工程勘察报告.2011.

●郭昂青,等.内蒙古乌努格吐山铜钼矿露天采场边坡岩土工程勘察报告.2011.

表1还可以证明相同围压下干燥试样的抗压强度 均高于饱水试样的抗压强度这一规律,这是因为干燥 试样颗粒间的黏聚力和摩擦力较大的缘故.饱水对岩 石具有一定的软化作用,降低了试样的强度.另外,饱 水从一定程度上也降低了岩石的刚度,增加了岩石的 柔性<sup>[2]</sup>.试样的软化系数均小于 0.75,软化性相对强, 同时也可以说明其抗冻性和抗风化能力相对弱<sup>3]</sup>.

#### 3.3 工程地质岩组

根据露天采场岩体岩石的坚硬程度、岩性、完整程 度、风化、蚀变等特征划分为4个工程地质岩组.

(1)较坚硬—坚硬块状整体状结构工程地质岩组: 该工程地质岩组主要分布在微风化带-未风化带岩体 中,岩石单轴饱和抗压强度 36.0~88.0 MPa,属较坚 硬—坚硬类岩石.岩体较完整,以块状整体状结构为主, 结构面不发育,呈闭合状态,结构面平均密度 2.9 条/m.

(2)较软—较坚硬镶嵌碎裂结构工程地质岩组:主 要分布在弱风化带岩体中,岩石单轴饱和抗压强度 21.5~54.6 MPa,属较软—较坚硬岩类岩石.岩体不完 整,以镶嵌碎裂结构为主,结构面较发育,呈闭合状态, 结构面平均密度 3.1 条/m.

(3) 软一极软散体状结构工程地质岩组:主要分布 在强风化带和构造破碎带中,岩石单轴饱和抗压强度 小于 2.15 MPa,属极软岩类岩石.岩体不完整,以散体 状结构为主,结构面极发育,呈闭合-张开状态,结构 面平均密度 8.7 条/m.

(4)松散状结构工程地质岩组:主要分布在强风化带以上,主要为第四系残坡积物,厚度 1.0~38.0 m,呈松散状结构.上部为粉质黏土,具中等压缩性,承载力特征值 200 kPa;下部砾砂或角砾,中密,标准贯入击数 19.8 击/30 cm,重型动力触探 22.4 击/10 cm,承载力特征值 250 kPa<sup>●</sup>.

根据钻孔资料,未来终了边坡下部岩体一般由强 度较高和完整性较好的 类岩组构成,边坡稳定性较 好;中部边坡岩体一般由 、 类岩组构成,夹破碎和 强度较低的 类岩组构成,其边坡稳定性一般,视边坡 的不同部位差异性较大;边坡上部强风化带岩体强度 低,为软—极软散体状结构工程地质岩组,岩体完整性 和均一性差,边坡稳定性较差.总体而言,终了边坡中 上部岩体 因剖面不同标高有所变化)存在似圆弧破坏 的可能.

#### 3.4 结构面特征

露天采场内结构面比较发育,长度大于 500 m 的 说 ● 郭昂青,等.内蒙古乌努格吐山铜钼矿露天采场边坡岩土工程勘察报告.2011.

划分为 级结构面,在矿区属于区域性构造,共有 F1、 F2、F3、F4、F5、F6、F7、F8 级结构面.长度在500~20 m 的划分为 级结构面,共有 F10、F11、F12、F13、F14、 F15、F16、F17、F18、F19、F20、F21 级结构面.长度小 于 20 m 的划分为 结构面,主要为环状结构面.

根据本次节理裂隙测量统计,露天采场节理裂隙 优势方位主要是:走向以40~50°、330~340°、70~80°为 主,倾向以240~250°、130~140°、290~300°为主,倾角 以70~80°、60~70°、80~90°为主.

综合分析认为,未来终了边坡面附近分布的 级 和 级结构面是造成边坡局部破坏的主要因素之一, 主要表现为小规模的单台阶平面破坏、楔形破坏和倾 倒破坏等.另外,普遍发育的节理裂隙是破坏岩体完整 性、降低岩体强度的主要因素,对边坡稳定性的影响 较大.

3.5 工程地质分区

根据露天终了边坡形态,并综合考虑边坡岩性、岩体结构、结构面 节理面和断层)等因素,将露天采场边 坡进行工程地质分区.本次将边坡划分为5个工程地 质分区 见图 1).

A 区:该区位于采场东帮,岩性以黑云母花岗岩为 主,局部出露花岗斑岩,边坡面平顺,呈南北走向. A-A(见图 2)剖面和 B-B'剖面为该区控制性剖面. F4 断 层走向长 2000 m,倾向延深 840 m,倾向 290~325°,倾 角 75°,沿断层产生几米至十几米宽的挤压破碎带,见 断层泥,并有晚期流纹斑岩等脉岩充填.该断层在该区 出露,位于 A-A'剖面和 B-B'剖面之间,并且倾向发生 改变,在 A-A'剖面控制区域倾向与边坡走向近似平 行.由于其倾角较陡,不会直接构成边坡滑动面. A-A' 剖面+630 m 标高以上存在破碎带,其倾向与边坡倾向 一致,倾角较缓,该处边坡组合台阶破坏类型受该破碎 带控制,为折线型破坏类型.

B 区:该区位于采场南帮,岩性以次斜长花岗斑岩 和次英安角砾熔岩为主,边坡总体形状呈凸形.C-C' 剖面和 D-D'剖面为该区控制性剖面.F1 断层走向长 1300 m,倾向 320°,倾角 55~65°,倾斜延深达 500 m,沿 断层两侧有挤压破碎和流纹斑岩及安山斑岩充填.该 断层在该区与边坡面的走向平行,但倾向相反,因此对 该边坡稳定不构成直接影响.



图1 乌努格吐山铜钼矿露天采场工程地质略图



1—工程地质分区编号(code of engineering geological zone);2—第四系(Quaternary);3—黑云母花岗岩(biotite granite);4—次流纹质晶屑凝灰熔岩(sub-rhyolitic crystal fragment tuff lava);5—次斜长花岗斑岩(sub-plagiogranite porphyry);6—次英安质角砾熔岩(sub-dacitic brecciated lava);
7—脉岩(dike);8—钻孔编号(borehole code);9—工程地质分区界线(boundary of engineering geological zone);10—断层及编号(fault and code);11—破碎带(fracture zone);12—破碎带产状(occurrence of fracture zone);13—工程地质刮面线(engineering geological section);14—地质界线(geological boundary);15—蚀变界线(boundary of alteration);16—露天采场界线(boundary of open pit);17—现露天采场范围(present open pit))

C区:该区位于采场西南帮,岩性以黑云母花岗岩 为主,边坡总体形状平顺.E-E'剖面和F-F'剖面 见图 3)为该区控制性剖面.该分区内有 F4、F5、F16 存在,走 向均与边坡面平行,倾向与边坡倾向一致.但对该区最 终边坡可能产生影响的是 F4 断层.在E-E'剖面,F4 断层对+220~+385 区域组合台阶边坡稳定可能产生不 利影响.E-E'剖面,+530 m 标高以上,存在破碎带,其 倾向与边坡倾向一致,倾角较缓,该处边坡组合台阶破 坏类型受该破碎带控制,为折线型破坏类型;+220~ +385 区域组合台阶边坡稳定受 F4 断层的影响,为折 线型破坏类型.

D区:该区位于采场西北帮,地表出露岩性以黑云 母花岗岩为主,边坡总体形状呈现凹凸形.G-G'剖面 和 H-H'剖面为该区控制性剖面.该分区内有 F2、F3、 F7存在,走向均与边坡面平行或斜交,倾向与边坡倾向相反,对该区总体边坡稳定性不构成直接影响.

E 区:该区位于采场北帮,地表出露岩性以次流纹 质晶屑凝灰熔岩为主,边坡面平顺. J-J'剖面为该区控 制性剖面.从 J-J'剖面可见,+690 m 标高以下边坡岩 体属于工程地质 I 组;+690~+760 m 标高岩体属于工 程地质 II 组和 III 组, 厚度 70 m. F1 断层在 J-J'剖面 处与边坡走向近似平行,倾向与边坡面相反,其不会直 接构成边坡滑动面.

## 4 边坡稳定性评价与破坏类型及规模

4.1 边坡稳定性评价

根据乌努格吐山铜钼矿边坡岩体的工程地质特征,在分析比较的基础上,选择简化 Bishop 法、Janbu

郭昂青: 内蒙古乌努格吐山铜钼矿露天采场边坡工程地质特征及破坏类型



Fig. 2 Engineering geological profile along A-A' prospecting line in the open pit of Wunugetushan Cu-Mo mine

法以及瑞典圆弧法计算边坡稳定性<sup>•</sup>. 简化 Janbu 法假 定条块间推力水平,几乎没有考虑条块间抗剪强度的 发挥,因而计算结果略偏保守. Bishop 法是圆弧形滑动 面普遍使用的稳定性计算方法,且满足所有条块力的 平衡条件.研究表明,简化 Bishop 法与精确计算方法 的计算成果很接近.因此简化 Bishop 法是计算圆弧型 破坏最常用的方法,计算精度也较高. 瑞典圆弧法适宜 于对均质的黏性土边坡进行分析,对于越不均质的土 体误差越大.而且瑞典圆弧法由于不计入条间作用力, 它的稳定系数计算结果是偏于安全的.为了更接近于 真实的边坡情况,人们考虑到条间作用力又建立了许 多新的方法.

计算中考虑影响边坡稳定性的几种重要因素(如 地下水、爆破震动、软弱结构面以及边坡结构参数等), 通过分析计算,得出以下主要结论:①通过对乌努格吐 山铜钼矿露天采场边坡进行稳定性分析研究,其中 A-A'、E-E'剖面边坡总体稳定性尚不能达到允许最小 安全系数;②软弱结构面的存在,大大降低了A-A'、 ●代永新,等.乌努格吐山铜钼矿边坡稳定性研究.2012. E-E'剖面边坡的稳定性;③爆破震动也是引起边坡破 坏的重要诱发因素,震动敏感性分析表明,大药量的爆 破震动可使边坡安全系数降低 6%~10%左右,甚至更 多,因此最大程度采取爆破降震措施,对维护边坡的稳 定性非常重要;④基于乌努格吐山铜钼矿未来高陡边 坡正处于大规模基建剥岩期开始时期,建议矿山采取 削坡措施,对A-A'和 E-E'剖面放缓总体边坡角,提 高边坡的稳定性.

89

总之,边坡稳定性分析是在大量的工程地质及水 文地质等资料的研究基础上,运用工程界较为通用的 极限平衡分析方法,采用滑动面自动搜索和优化方法 确定边坡最危险破坏面,对设计边坡稳定性进行分析 计算,基础数据依据充分,计算模型和分析方法可靠. 边坡稳定性计算结果表明,A 区 A-A'剖面、C 区 E-E' 剖面稳定性计算结果不能达到安全系数的要求,其他 区边坡总体稳定性较好.

第1期



图 3 乌努格吐山铜钼矿露天采场 F-F'号勘探线工程地质剖面图

Fig. 3 Engineering geological profile along F-F' prospecting line in the open pit of Wunugetushan Cu-Mo mine
1-第四系 Quaternary);2-黑云母花岗岩 biotite granite);3-花岗斑岩 granite porphyry);4-次斜长花岗斑岩 sub-plagiogranite porphyry);5-闪长玢 岩 diorite porphyrie);6-流纹斑岩 liparite);7-安山玢岩 andesite porphyry);8-构造破碎带 tectonic fracture zone);9-松散状结构 fluffy structure);
10-散体状结构 granular structure);11-镶嵌碎裂结构 mosaic cataclastic structure);12-块状整体状结构 massive sturcture);13-较坚硬-坚硬块状 整体状结构工程地质岩组 hard massive sturcture);14-较软-较坚硬镶嵌碎裂结构工程地质岩组 soft mosaic cataclastic structure);15-软-极软散体状 结构工程地质岩组 very soft granular structure);16-松散状结构工程地质岩组 loose structure);17-地质界线 geological boundary);18-工程地质岩 组与岩体结构界线 boundary between engineering geological petrofabric and rock mass structure);19-地下水水位线 groudwater level);20-含水层底板 界线 aquifer bottom)21-强风化带底界 bottom of strongly weathered zone);22-微风化带底界 bottom of slightly weathered zone);23-钻孔编号及标高 (borehole number and elevation);24-钻孔深度 drilling depth);25-露天采场开采边界 open pit boundary)

#### 4.2 边坡破坏类型及规模

90

根据露天采场边坡工程地质调查,露天采场内岩 质边坡现状是比较稳定的,仅局部出现小型崩塌、楔形 破坏、垮塌等类型的小规模边坡破坏. 陡倾角结构面发 育是引发边坡崩塌倾倒破坏的主要因素;强风化、强蚀 变是引发边坡粒状解体的主要因素; 两组缓倾角 X" 节理相交与边坡面的不利组合是小型楔形破坏的形成 要素. 土质边坡主要以地裂缝破坏为主.

根据工程地质钻孔揭露,未来终了边坡上部强风 化带岩体强度低,为软—极软散体状结构工程地质岩 组,岩体完整性和均一性差,有产生较小规模圆弧滑动 破坏的可能.弱风化带岩体结构面发育,岩石力学强度 相对低,岩体结构为镶嵌碎裂结构,为较软—较坚硬镶 嵌碎裂结构工程地质岩组,边坡岩体的稳固性一般,产 生大规模边坡破坏的可能性不大,受不利结构面影响, 局部产生小规模的单台阶楔形破坏、崩塌破坏的可能 性较大.微风化带和未风化带岩体结构面一般不发育, 结构面偶见褐铁矿化,岩石力学强度较高,岩体结构多 为块状整体状结构,为较坚硬—坚硬块状整体状结构 工程地质岩组,边坡岩体的稳固性较好,产生大规模边

## 坡破坏的可能性不大.

现状露天采场仅限于北矿段东部和中部开采,且 尚未形成封闭圈.目前采矿坑底标高最低为735m,最 大开采深度135m,单台阶边坡高度15m左右,边坡 角45~75°,露天采场边坡比较稳定,仅局部出现小型 崩塌、楔形破坏、冲刷、垮塌和地裂缝等类型的小规模 边坡破坏.综合分析认为,未来终了边坡可能出现的较 大规模的边坡破坏主要有似圆弧破坏和折线型破坏, 前者主要是由低强度边坡体失稳所致,后者主要是由 倾向与边坡倾向一致,倾角较缓的软弱结构面引致.

5 结论

(1)露天采场边坡主要由燕山期侵入岩组成,岩体相对完整,强度相对高.地下水以基岩裂隙水为主,分布极不均匀,富水性相对弱.在边坡中不存在较高水头的地下水,地下水对露天采场边坡的稳定性影响小.

(2)边坡岩体结构类型:除表层为松散状结构、强风化带和构造破碎带为散体状结构外,主要为块状-整体状结构和镶嵌-碎裂结构.

(3) 工程地质岩组由上至下为: ①松散状结构工程

地质岩组;②较软—较坚硬镶嵌碎裂结构工程地质岩 组;③较坚硬—坚硬块状整体状结构工程地质岩组;④ 软—极软散体状结构工程地质岩组,只分布在强风化 带和构造破碎带中.

(4) 边坡稳定性计算结果表明,A 区 A-A'剖面、C 区 E-E'剖面稳定性计算结果不能达到安全系数的要求,其他区边坡总体稳定性较好.

(5) 露天采场边坡现阶段破坏类型主要有小型崩塌、粒状解体、楔形破坏、地裂缝和大气降水冲刷等,尚

未出现较大规模的边坡破坏,边坡现状总体是稳定的, 可基本代表未来边坡的破坏形式和稳定状态.

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] 刘廷,张家铭,徐晓波,等. 三轴压缩下云母片岩强度和变形特征试验研究 J. 工程勘察, 2013, 41 1):8.
- [3]李智毅,杨裕云.工程地质学概论[M].武汉:中国地质大学出版社, 1994:56.