

数值分析法在露天采场局部边坡稳定性分析中的应用

张实斌

中冶沈勘工程技术有限公司 宁省 沈阳 110170

摘要：高边坡的稳定性将关系到整个矿山露天采场安全，本文以极限平衡法和数值模拟法针对露天采场采区边坡现状进行稳定性评估，比较2种算法的差异，其中极限平衡法采用3种经典的土力学计算方法。评估计算得出的稳定性结果与现场边坡实际状态的差异，以确定数值分析方法的稳定性评价是否可以应用在边坡稳定性分析中。

关键词：数值分析法；露天采场；局部边坡稳定性；应用

引言

采场边坡现状稳定性研究工作主要通过现场地质调查，统计各工程地质分区的层面和节理裂隙产状情况，并利用极点等密度法统计出优势结构面的产状；利用室内试验数据取得的岩块力学强度数据，获得各种岩性岩体的岩块、层面和节理强度；计算出各工程地质分区不同岩性的岩体力学参数和边坡破坏模式；基于勘察资料，并充分利用生产过程中的勘探钻孔，绘制出比较符合实际的边坡工程地质剖面图；通过岩土力学试验确定岩土体的物理力学强度；通过分析对矿区的基本水文气象资料收集、水文地质条件，进行了边坡渗流场有限元分析计算；建立极限平衡分析计算模型，进行稳定性系数计算分析，获得定量的边坡稳定性评价结果。

1 边坡局部稳定性评价中的应用

本文以某现状露天采场边坡为例说明数值法在边坡局部稳定性评价中的应用，对不同算法结果的比较以及与现场实际边坡形态的差异，确定数字分析法在边坡安全性评价中的应用。本例中某矿区东采区上盘运输道路上部的边坡区域裸露岩体较破碎，造成设计留设的上盘安全平台部分滑塌缺失或宽度小于设计值，在整体稳定性满足的前提下，需对局部稳定性进行评价。

2 本例中露天矿采区边坡现状及工程地质条件（计算用基础资料）

2.1 东采区上盘边坡现状图：

东采区现上盘所形成的安全、清扫平台不规整，已形成的平台标高为454m、432m、420m、406m、382m、360m、334m、315m、300m、280m，其中432m和360m为安全平台，382m为运输平台，部分平台宽度不满足规范要求。现状图见图1

2.2 边坡岩体风化及蚀变特征

2.2.1 风化及蚀变特征

岩体风化主要包括岩石风化和结构面风化。结构面

的风化则与裂隙的发育程度有关。

本区内构成边坡的岩体主要是中下元古界辽河群里尔峪组由黑云变粒岩组成，其中夹多层透辉变粒岩、电气变粒岩、电气透辉变粒岩、电气透辉岩、磁铁浅粒岩^[1]。



图1 东采区上盘边坡影像图

2.2.2 岩体蚀变特征

在黑云变粒岩中蚀变有垂直分带特征，上部主要为高岭土化、绢云母化、硅化，称为上部浅色蚀变带；中部主要有绿泥石化、绿帘石化、阳起石化、黑云母化等，为与矿化有关的蚀变—称为深色蚀变带。



图2 岩体风化程度

2.3 边坡工程地质岩组划分

矿区位于翁泉沟向斜，主要出露下元古界辽河群里尔峪组地层，岩石组合以各类浅粒岩、变粒岩为主，块状结构的以安山玢岩为主的岩脉零星分布。根据岩层的成因类型、岩体结构、物质成分及构造对岩体的破坏程度，矿区边坡岩层主要划分为五个工程地质岩组。

2.3.1 第四系散体结构岩组

该岩组由第四系及人工散体结构物组成，分布矿区采场坡顶及低洼沟谷地带，厚1.0~10.0m，由壤土、粉土、碎石组成，湿~稍湿，可塑~硬塑，中~低压缩性。岩组软弱松散，岩体质量差。人工散体结构物主要为填土，松散。为近期回填碎石土、剥离废碴石土，分布于采场排土场及局部采坑。杂色，干燥，松散状态。由碎石含细粒组成。大小0.2~15cm，呈棱角~次棱角状。岩组软弱松散，岩体质量分级属Ⅴ级。

2.3.2 角闪透辉变粒岩岩组

分布于矿区北采区边坡，为下元古界辽河群里尔峪组第2段上部（Pt1Llr₂³），为矿体顶板岩层，区域地层厚度3-324m。岩性主要为角闪透辉变粒岩组成。变晶结构，块状构造、局部层状构造，层面发育不明显。岩石坚硬，较完整，岩石质量等级Ⅲ级。

2.3.3 硼铁矿体岩组

呈黑色、灰褐色，矿物成分以铁硼矿、蛇纹岩为主致密结构，块状构造，层面发育明显，为较硬岩，岩石较破碎~破碎，岩石质量等级Ⅳ级。分布于矿区的中部，呈东西走向分布于翁泉沟向斜的核部，包含于下元古界辽河群里尔峪组第2段中部（Pt1Llr₂²）中，层厚5.21~178.93m。

2.3.4 黑云变粒岩岩组

黑云变粒岩：灰色、灰黄色，矿物成分以长石、石英为主；变晶结构，块状构造，局部见层理，为层状构造，层面与岩芯轴夹角约55-75°；风化蚀变较弱。分布于矿区南侧边坡，为下元古界辽河群里尔峪组第2段下部（Pt1Llr₂¹），为矿体底板岩层。裂隙不发育，岩石坚硬，较完整，岩石质量等级Ⅱ~Ⅲ级。区域地层厚度26-

586m。

2.3.5 安山玢岩岩组

安山玢岩呈青灰色、灰绿色，变晶结构，块状构造；风化蚀变较强，近地表风化较强烈，岩石呈碎块状~砂状，见绿泥石化。裂隙不发育，岩石质量等级Ⅳ-Ⅴ级。岩芯呈柱状、碎块状。零星分布于矿区，以脉状体产出，主要为南北走向。层底高程+144.5~+388.53m，层厚1.50~38.04m。

2.4 边坡结构面特征

按地质成因，矿区的结构面可分为原生结构面、构造结构面及次生结构面三种。

2.4.1 原生结构面

矿区原生结构面主要为层面和岩脉。

（1）层面

矿区位于翁泉沟向斜，主要出露下元古界辽河群里尔峪组地层，岩性组合以各类变粒岩为主，由于形成年代久远，且变质作用强烈，层面的发育在不同的地层及不同地段有较大的差别。通过地面调查，观察到位于东采区南帮边坡、矿体底板的黑云变粒岩层面发育较为明显，而位于北采区、东采区北帮边坡、矿体顶板的角闪透辉变粒岩层面发育不明显，多表现为块状构造，但在局部地段，仍能观察到可确认的层面。层面为硬性结构面，层间结合力与层厚、层面的蚀变及风化程度有较大的关系。一般来说层厚较薄，层面上蚀变及风化强烈的层面间结合力相对较差^[2]。

（2）岩脉

零星分布于矿区，以脉状体产出，主要为南北走向，岩性主要为安山玢岩（αμ）。在近地表位置，由于地下水及风化作用，岩脉有泥化现象；在地下深部，部分地段由于构造作用，岩脉破碎，糜棱岩化发育^[3]。

2.4.2 构造结构面

构造结构面主要包括断层及节理。

（1）断层

矿区内断层特征及其结构面等级详见表1。

表1 断层特征及其结构面等级

断层编号	断层走向	断层性质	出露长度（m）	断层面产状（°）	结构面等级
F ₁	近东西向	逆冲断层	1800	348~28°∠60~80°	Ⅱ
F ₃	北西向	压扭性断层	880	80°∠70~80°	Ⅲ
F ₄		压扭性断层	1000	80°∠70~80°	Ⅱ

（2）节理

矿区内节理以中小裂隙最为多见，宽大裂隙很少。节理结构面切割岩体，降低了岩石的稳定性

2.4.3 次生结构面

矿区次生结构面主要为风化带，风化带内风化裂隙发育，岩石松散破碎，呈散体状，强度低，工程地质性

质差。风化带主要分布于矿区地表浅部，局部发育，厚度一般为3-10m。

3 局部边坡稳定性分析

本次工作针对现状露天采场东采区上盘运输道路上的局部边坡进行分析，选取安全平台滑塌缺失或宽度小于设计值的部位进行稳定性分析，根据上述已确定的边坡岩土体的物理力学强度指标，采用极限平衡法和数值模拟分析对边坡局部的稳定性进行分析计算^[4]。

3.1 稳定性计算剖面、荷载组合及允许安全系数

3.1.1 计算剖面参数

本次局部边坡稳定性分析分别在东采区上盘边坡安全平台滑塌缺失或宽度小于设计值的位置作分析剖面，在Ⅱ-1区选取剖面P1对东采区上盘区域进行边坡局部稳定性分析；剖面选取位置详见图4-1（采用航测矢量化数据）。



图3 东采区上盘局部边坡稳定性分析计算剖面选取位置图

表2 现状边坡稳定性计算选用岩体物理力学强度指标

岩性	重度 γ (kN/m ³)	粘聚力 (MPa)	摩擦角 (°)	弹性模量 (Gpa)	μ
第四系散体岩组	19.75	0.027	20.95	0.007	0.3
角闪透辉变粒岩岩组	26.75	0.241	33.4	2.817	0.2
黑云变粒岩结构面		0.1	24.9		

结束语

计算中采取的4种计算方法偏差在2%，现场实际勘察发现也只有部分碎石滚落（图中照片1），和实际现状吻合较好，因此几种方法都可以用在采场边坡局部稳定性分析中。但计算的准确性及合理性与实际岩土体工程性质密切相关，故而勘察与土力学试验的结果准确性也对稳定性分析计算结果的影响较大。在准确取得岩土体数据的前提下，几种计算方法的稳定性分析结果是可以指导矿山采场边坡安全性评价的。

参考文献

[1]柯善铁.基于数值分析法的高拱坝坝肩稳定性分析

3.1.2 荷载组合

荷载组合Ⅰ：自重+地下水；

荷载组合Ⅱ：自重+地下水+爆破震动力；

荷载组合Ⅲ：为自重+地下水+地震力。

3.1.3 边坡安全等级及允许安全系数（根据相关规范确定）。

边坡局部稳定性分析工作采用的安全等级，Ⅱ-1区边坡安全等级为Ⅰ级。Ⅱ-1区P1边坡在荷载组合Ⅰ~Ⅲ下边坡最小安全系数分别取1.25、1.23和1.20。

3.2 稳定性计算相关参数取值

3.2.1 岩土体的力学强度

本次边坡局部稳定性分析以边坡岩土体的物理力学强度指标为基础，结合各类岩土试样的取样情况与边坡工程地质水文地质条件，对边坡岩土体的最终物理力学强度指标进行经验折减（经验类比法），最终推荐指标详见表2。

3.2.2 地下水对边坡的影响

边坡稳定性水位线按边坡渗流场的分析结果取用，这里不详述。

3.2.3 动力因素

边坡局部稳定性分析采用爆破水平振动加速度系数为0.018，地震对边坡稳定性综合影响系数取0.0125^[5]。

[J].水利科技与经济,2023,29(12):35-38.

[2]张建发,吴彦良,汪露,等.金川二矿区采场稳定性与进路宽度关联性数值分析[J].世界有色金属,2023,(17):136-138.

[3]张璐,钟敏.某矿区开挖稳定性数值分析[J].工程与建设,2019,33(05):783-785+801.

[4]王炯,冯正浩,孟志刚,等.红阳矿区地应力测量及其数值分析研究[J].采矿与安全工程学报,2017,34(01):134-140.

[5]徐兵,王哲,王志修,等.基于矿区稳定性数值分析的巷道断面形状设计[J].山西建筑,2015,41(19):40-42.