

# 某露天采场边坡稳定性 评价与综合治理

刘来新

北京爱地地质工程技术有限公司, 北京

收稿日期: 2022年9月13日; 录用日期: 2022年10月12日; 发布日期: 2022年10月20日

---

## 摘 要

以某露天采场东帮边坡为例, 调查边坡的地质条件及灾害情况, 分析灾害发生的原因, 通过极限平衡计算及数值模拟分析评价边坡的稳定性, 确定边坡的监测等级, 对边坡的综合治理提出建议。

## 关键词

露天采场边坡, 极限平衡计算, 数值模拟分析, 稳定性评价, 综合治理

---

# Stability Evaluation and Comprehensive Treatment of an Open-Pit Mine Slope

Laixin Liu

Beijing Aidi Geological Engineering Technology Co., Ltd., Beijing

Received: Sep. 13<sup>th</sup>, 2022; accepted: Oct. 12<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 20<sup>th</sup>, 2022

---

## Abstract

Taking the east slope of an open pit as an example, investigate the geological conditions and disasters of the slope, analyze the causes of disasters, evaluate the stability of the slope by limit equilibrium calculation and numerical simulation analysis, determine the monitoring grade of the slope, and propose the comprehensive treatment of the slope.

## Keywords

Open-Pit Mine Slope, Limit Equilibrium Calculation, Numerical Simulation Analysis, Stability Evaluation, Comprehensive Treatment

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

矿山露天开采因开采空间限制较小, 劳动生产率高, 开采成本低, 矿石损失贫化小, 基建时间短, 劳动条件好, 作业比较安全得到了矿山建设企业的青睐。随着开采深度的加大, 露天矿山边坡的高度、面积大幅增加, 边坡灾害问题不断涌现, 边坡的稳定性越来越成为制约矿山开采的因素之一。根据我国大中型露天矿山的不完全统计, 不稳定边坡或具有潜在滑坡危险的边坡, 占矿山边坡总量的 15%~20%左右, 个别矿山高达 30%。因此相关技术规范要求每 3 年进行一次采场边坡稳定性分析重新确定安全监测等级, 监测等级发生变化的边坡应按照相应等级调整, 补充设计后进行建设[1]。

## 2. 项目概况

某露天采场东帮边坡设计高度近 330 m, 现阶段已形成的靠界并段边坡高度约 220 m, 边坡面的产状为  $285^{\circ}\angle 45^{\circ}$ 。边帮设计单台阶高度 12 m, 并段台阶高度 24 m, 并段后清扫平台宽度 7 m, 运输平台宽度 15 m, 靠界台阶坡面角  $65^{\circ}$ , 最终边坡角  $46.64^{\circ}$ 。采场边坡高度等级指数  $H=2$ , 坡度等级指数  $A=1$ , 地质条件等级指数  $G=2$ , 变形指数  $D=5$ , 滑坡风险等级  $S=3$ , 安全监测等级为二级。

## 3. 地质条件

### 3.1. 岩性及构造

边坡位于一倒转向斜的南东翼, 走向  $40^{\circ}$ , 倾向 NW, 倾角  $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。组成露天采场边坡的岩性主要有黑云混合片麻岩、黑云斜长片麻岩及磁铁石英岩。

F4 断层切割采场东帮, 该断层长 233 m, 宽 0.5~1.0 m, 走向  $135^{\circ}$ , 倾向  $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ , 倾角  $75^{\circ}\sim 85^{\circ}$ , 为正断层, 断层面平直, 绿泥石化、片理化发育。

边坡岩体节理、裂隙、层理、片理等不连续面, 延展有限, 无明显深度和宽度, 主要有以下 6 组: L1:  $175^{\circ}\angle 50^{\circ}$ , L2:  $344^{\circ}\angle 59^{\circ}$ , L3:  $322^{\circ}\angle 60^{\circ}$ , L4:  $22^{\circ}\angle 83^{\circ}$ , L5:  $116^{\circ}\angle 51^{\circ}$ , L6:  $222^{\circ}\angle 74^{\circ}$ 。呈波状、直线状, 大部分闭合, 少量被方解石脉及粘性土充填, 少量张裂隙, 贯通性好。

### 3.2. 岩体结构

各岩组的全风化和强风化带均为散体结构。岩石受多组结构面交错切割, 结构体形态主要是层状体, 板状体和其他不规则块体。F4 断层及其影响带、不同岩性接触带及其他构造挤压带岩块主要为不规则的棱角多面体、椎体和碎块。

### 3.3. 水文地质

地表风化带内和岩脉、断层带等附近较刚性的岩层如磁铁石英岩, 裂隙较发育, 含有一定的潜水

和承压水，为弱富水性含水层。但受补给条件限制，地下水静储量一经释放，后续补给能力极为有限，很难形成规模较大的含水层。矿区内含水层主要靠大气降水补给，多以采坑边邦淋水或渗水的方式直接进入采坑，少量以泉的形式排出。

### 3.4. 边坡危害调查

运输道路上方台阶坡岩层滑塌：岩层倾向与边坡倾向大致相同，岩层倾角小于台阶坡角，上部靠界边帮台阶多发生顺层滑塌，导致并段台阶间预留的安全清扫平台宽度普遍减小甚至滑塌缺失(图 1)。



Figure 1. Landslide failure of bench slope  
图 1. 台阶破滑坡破坏

运输道路下方台阶坡岩体崩塌：岩层在泥质充填的层理面控制下，被两组主要节理面切割使其破碎，张性裂隙发育。随着边坡下挖，顺层岩体被切脚，上部岩体处于临空状态，坡顶产生拉裂变形引起崩塌破坏(图 2)。



Figure 2. Collapse failure of bench slope  
图 2. 台阶破崩塌破坏

运输道路内侧变形缝：顺坡向的缓倾岩层在边坡下挖过程中被多次切脚，随着开挖加深，未进行锚固治理的平台沿岩层面滑塌，导致上部已治理边坡由于缺少护脚而发生变形(图 3(a))。

磁铁石英岩段道路裂缝：顺层边坡开挖深度过大，未及时支护；边坡南北两侧均已发生滑塌形成凹腔，导致边坡向坑内凸出，缺少两侧岩体支撑发生变形；受爆破振动影响，边坡全长范围内出现裂缝，最宽处约 10 cm，最远已发展至公路中间(图 3(b))。



**Figure 3.** Road cracks  
**图 3.** 道路裂缝

边坡变形监测：运输道路下方已治理坡面，顺坡向的缓倾岩层被多次切脚，坡面出现锯齿状，随着开挖加深，未进行锚固治理，多数平台已沿岩层面滑塌，导致上部已治理边坡由于缺少护脚而发生变形。

## 4. 边坡稳定性分析

### 4.1. 参数选取

岩体准抗压、准抗拉强度采用完整性指数对岩石单轴抗压、抗拉强度值进行折减；岩体内聚力、内摩擦角根据岩石抗剪强度通过中科院法、Gerogi 法、费辛柯法、经验折减法等方法综合取值[2]；岩体的弹性模量参考中国地质大学李铁汉教授研究结果，并参考其它地区经验和前人经验值进行修订[3]；岩体泊松比根据岩体、岩石波速试验及室内岩石物理力学试验结果结合地区经验值综合提出；岩体的容重、比重、重力密度等其它物理指标根据岩石试验及岩体结构类型综合得出。

根据室内试验成果、野外调查结果及上述确定方法综合确定边坡稳定性计算参数见表 1、表 2。

**Table 1.** Shear strength of rock mass  
**表 1.** 岩体抗剪强度

岩土体名称	重度(kN/m <sup>3</sup> )	岩体抗剪强度		抗拉强度(MPa)	弹性模量(GPa)	泊松比
		c (MPa)	Φ (°)			
黑云混合片麻岩	26.74	0.56	35.11	3.36	27.71	0.29
黑云斜长片麻岩	26.13	0.55	36.57	3.13	34.10	0.29
磁铁石英岩	35.29	0.51	32.07	3.39	39.72	0.31

**Table 2.** Shear strength of discontinuities  
**表 2.** 不连续面抗剪强度

岩性	软弱面(节理)				磨光面	
	峰值强度		残余强度		c (MPa)	Φ (°)
	c (MPa)	Φ (°)	c (MPa)	Φ (°)		
黑云混合片麻岩	0.36	38.37	0.01	33.44	0.01	29.46
黑云斜长片麻岩	0.40	40.16	0.02	34.97	0.01	29.63
磁铁石英岩	0.31	34.15	0.01	30.18	0.01	28.12

## 4.2. 边坡稳定性影响因素

岩性：东帮位于向斜构造的南东翼，岩层中的软弱夹层对边坡稳定性影响极大。

岩体结构：东帮边坡范围内地层连续，区内未见大的断层，岩体多呈块状和层状结构，在不利结构面的控制下，易发生崩塌倾倒及平面破坏。

地下水：边坡体主要部分出露在当地侵蚀基准面以下，矿区内及周边民采采坑多处，巨大的汇水面积，在雨季地表汇水面积内形成的大气降雨径流入渗将对矿坑充水的影响很大。

边坡形态：边坡高度高达 300 m 以上，台阶高度、并段后清扫平台宽度、运输平台宽度、靠界台阶坡面角、最终边坡角等都将影响边坡的稳定性。

地震和爆破：地震作用产生很大的地震附加力，使边坡承受的惯性力发生改变，引起边坡形态、产出状态及水文地质条件等发生改变。采场爆破会使边坡的安全系数降低 10% 甚至更多，是造成边坡破坏最主要的触发因素之一。

此外，气候条件、风化作用、植物生长以及其它因素都可能影响边坡的稳定[4]。

## 4.3. 边坡破坏模式分析

采场东帮总体坡产状为  $285^\circ \angle 45^\circ$ ，台阶坡产状  $285^\circ \angle 65^\circ$ ，终了坡高度约为 330 m，区内层理发育，受其影响，岩体呈明显的层状-块状结构，但在 F4 断层及其影响带附近岩体呈碎裂结构。

从结构面组合关系中可以看出，本边坡的稳定性主要受控于顺倾层理面 L3 ( $322^\circ \angle 60^\circ$ )，与边坡面倾向相同，构成潜在的平面破坏(图 4(a))，由于倾角介于总体边坡坡角和台阶坡坡角之间，不会造成整个边坡的平面破坏，但较易诱发单体台阶和并段台阶的平面滑动。由于层理倾角上陡下缓，易造成各台阶坡的平面破坏，随深度增加有变缓的趋势，随开采不断向深处进行，不排除发生较大规模平面破坏的可能。此外，层理面中多为泥质充填，经降雨入渗水的软化，更增加了台阶坡发生破坏的概率。节理 L1 ( $175^\circ \angle 50^\circ$ )、L4 ( $22^\circ \angle 83^\circ$ ) 相交构成楔形组合(图 4(b))，两组节理发育程度不高，不影响总体边坡的稳定，仅在单体台阶的局部地段可能造成楔形破坏。

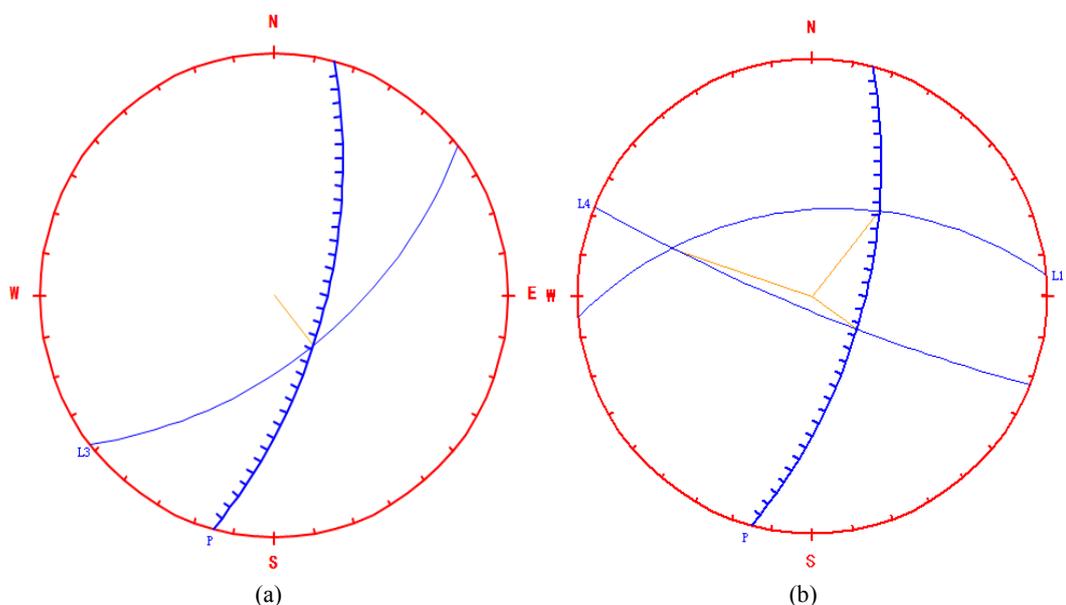


Figure 4. Structural plane combination diagram

图 4. 结构面组合关系图

#### 4.4. 边坡稳定性计算分析

由以上分析, 总体边坡不会产生沿层面的平面破坏或结构面组合的楔形破坏。坡体表层一定深度内岩体破碎, 在坡体结构中没有明显优势结构面, 通过最大剪应力面形成的潜在滑面搜索, 可以有效地实现对边坡的稳定性评价[5]。计算简图见图 5。

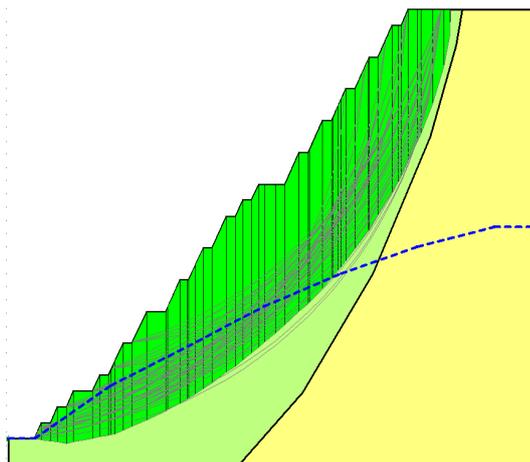


Figure 5. Calculation diagram  
图 5. 计算简图

边坡极限平衡分析采用瑞典条分法、简化 Bishop 法和 Janbu 法三种方法, 分别按正常工况(自重), 非正常工况(自重 + 地震、自重 + 暴雨)对边坡的稳定性进行分析, 计算其安全系数[6], 结果见表 3。

Table 3. Calculation results of limit equilibrium  
表 3. 极限平衡计算结果

工况	最小安全系数		
	瑞典条分法	简化 Bishop 法	Janbu 法
自重	1.360	1.429	1.669
自重 + 地震	1.306	1.350	1.613
自重 + 暴雨	1.219	1.286	1.544

计算结果显示, 边坡正常工况下最小安全系数 1.360, 大于设计安全系数 1.20, 非正常工况下最小安全系数 1.219, 大于设计安全系数 1.15, 满足边坡工程安全等级为 I 级的总体边坡设计安全系数[7]。

#### 4.5. 边坡稳定性数值模拟

采用 FLAC3D 程序中摩尔 - 库仑弹塑性模型对边坡体稳定性进行的数值模拟分析。模型 X 轴水平指向坡面内, Y 轴方向平行于坡面走向, Z 轴竖直向上。底部左侧边界、右侧边界采用 X 向固定, 底面边界为固定边界, 斜坡面为自由边界, 在 Z 轴的反向加重力加速度。用 FLAC3D 分别研究边坡应力图、位移图, 从而判断其稳定性[8]。

边坡 XX 方向应力最大值为 0.92 MPa, 出现位置在计算模型台阶处(图 6)。

边坡 X 轴向最大位移 22.9 cm, 集中在坡面顶部局部台阶处, 显示了局部台阶相对于边坡整体是不稳定的(图 7)。

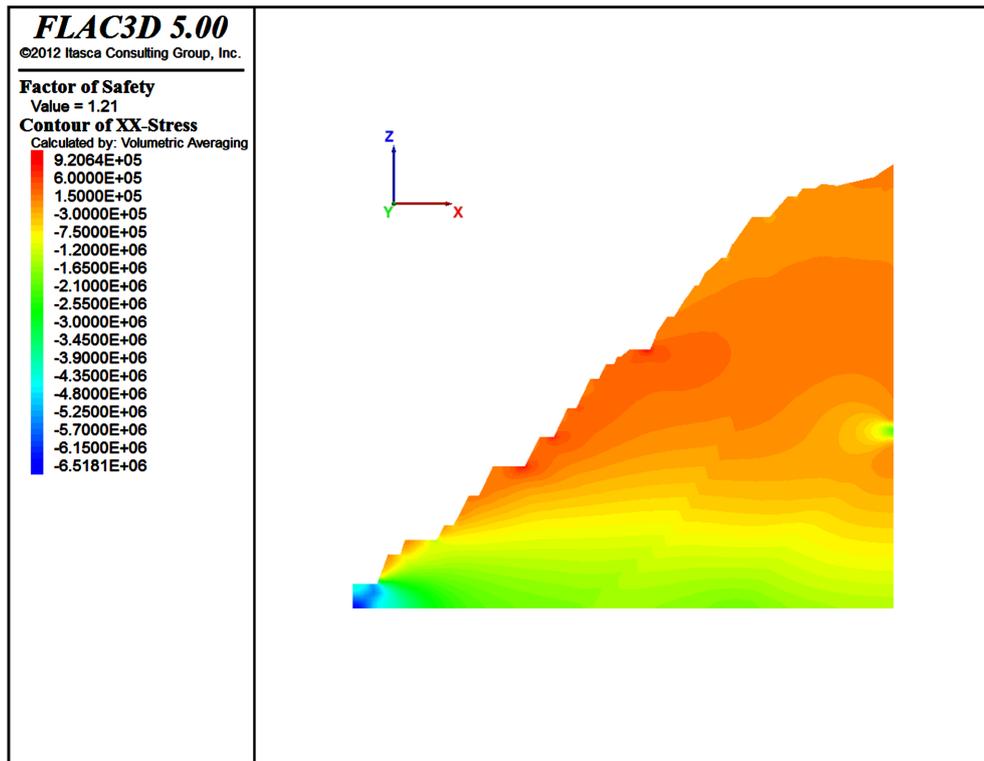


Figure 6. Cloud diagram of stress change in XX direction  
图 6. XX 方向应力变化云图

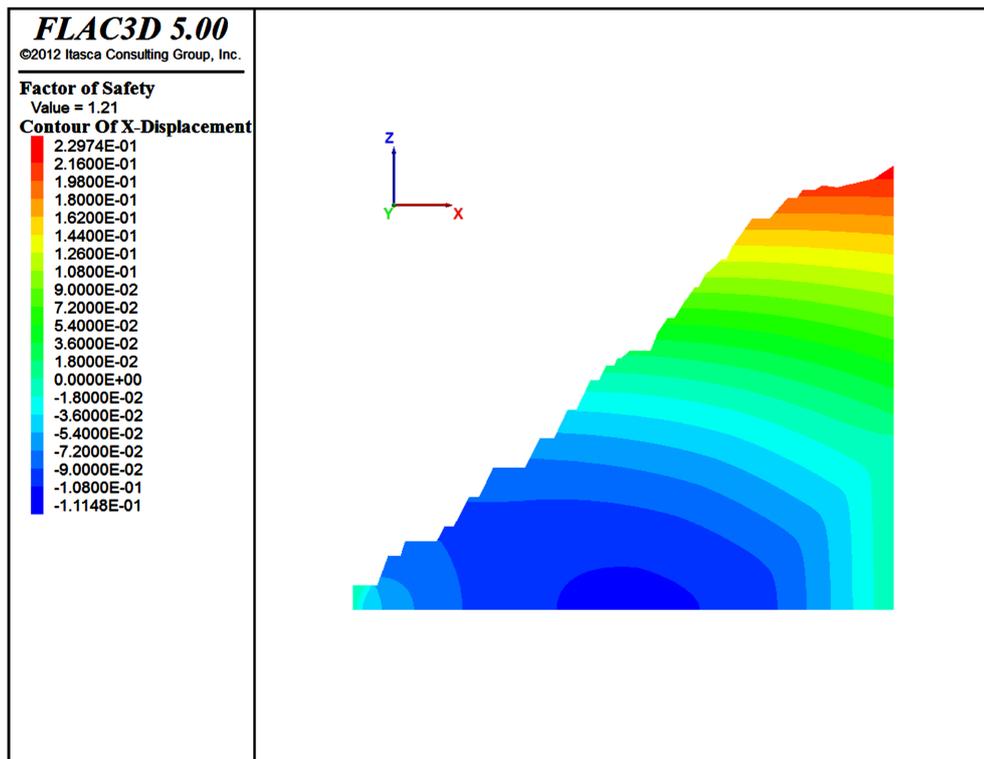


Figure 7. Displacement cloud diagram in X direction  
图 7. X 方向位移云图

## 5. 边坡综合治理建议

构造变形强烈、受结构面、断层影响,岩体破碎的边坡,做好片石护面和(挂网)喷射混凝土面层,或覆盖(主动防护网)和拦截(被动防护网)坡面不稳定岩体。

固定公路以上区域已经过锚固治理,需做好监测,并做好地下水疏导。部分潜在滑体未进行治理,该滑体顺层且已发生了位移,应根据监测情况采取锚固措施。

固定公路以下边坡由于岩层倾角变缓,小于台阶角,岩体顺层滑塌破坏现象较公路以上边坡严重,边坡上部已全部进行了治理,但随着下挖推进,未及时治理的边坡被切脚,顺层滑塌破坏将进一步加剧,甚至导致上部已治理边坡的坍塌,为防止深部开挖时岩体继续破坏进而对上部边坡产生不良影响,需采取锚固及锚喷措施治理。或将部分岩体沿不连续面剥离,即采用扩帮的方式降低边坡角。

## 6. 结论建议

### 6.1. 结论

1) 采场东帮边坡岩体层理和结构面非常发育,受其影响,岩体呈层状-块状结构,边坡破坏模式主要为台阶坡的平面型破坏,表现为岩体顺层面滑塌,现有靠帮台阶的平台大多已滑塌缺失,而现有靠帮台阶坡面多为滑塌后的顺层光面。

2) 采场东帮存在多处滑塌、崩塌危险点及变形缝,应密切监测并根据危害程度采用相应措施进行治理。

3) 固定公路间高边坡,顺层边坡开挖深度过大,未及时支护,多处已发生滑塌形成凹腔,受爆破振动、雨水等外力影响变形严重,直接威胁固定公路安全。

4) 通过极限平衡计算及数值模拟分析,边坡在2种工况下均为整体稳定,但不排除台阶坡局部破坏的可能。

### 6.2. 建议

1) 按规范要求建立监测网,加强对开挖过程中的边坡临近点及问题边坡监测工作。对固定公路上下出现的大规模变形缝,可先进行封堵并加强巡视,采取有针对性的处理措施。

2) 加强对固定公路以下边坡不利结构面跟踪调查,及时对潜在失稳台阶边坡实施防护治理工程,加强开挖过程中的优化设计。

3) 建议加强对靠帮边坡的维护管理,加强巡视和检查,视其对坡体稳定的影响程度,及时采取锚杆加固、喷锚护面等防护措施;对现有边坡台阶堆积的滑塌体定期清理已恢复平台的安全拦截功能。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国应急管理部. AQ/T 2063-2018 金属非金属露天矿山高陡边坡安全监测技术规范[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2018.
- [2] 杨立建, 王小元, 施晓文, 等. 岩质边坡岩体抗剪强度参数选取方法[J]. 产业与科技论坛, 2020, 19(5): 69-71.
- [3] 于震平, 李铁汉. 工作应力状态下岩体变形模量的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(10): 1662-1666.
- [4] 郑禄璟, 郑禄林, 常晓娜, 韩斌. 露天边坡稳定性影响因素分析及防治措施[J]. 金属矿山, 2014, 43(2): 131-136.
- [5] 陈城. 连云港某岩质边坡稳定性分析与治理实践[J]. 工程建设与设计, 2020, 443(21): 143-146.
- [6] 张波, 刘来新, 陈金祥, 吴文杰. 某大型露天矿岩质高陡边坡稳定性分析与评价[J]. 中国矿业, 2017, 26(S1): 162-167.
- [7] 中国冶金建设协会. GB51016-2014 非煤露天矿边坡工程技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [8] 董健, 徐菲, 王建胜. 基于 FLAC 3D 数值模拟的沙河山采场边坡稳定性分析[C]//河北省冶金学会. 第二十三届辽鲁冀晋粤川京七省市金属学会矿业学术交流会论文集. 鞍山: 辽宁省金属学会, 2016: 162-167.