

SLOPE/W 在某露天煤矿采掘场边坡 稳定性分析中的应用

赵星宇, 王 卫, 戴雄辉, 毕芬芬

(成都理工大学 环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要: 某煤矿采掘场非工作帮边坡为软岩高边坡, 为分析边坡是否存在潜在安全隐患而影响施工进度及施工安全, 进行了非工作帮边坡的稳定性分析。采用 Geo-studio 软件中的 Slope/W 模块建立了边坡的计算模型, 并用 Bishop 法和 Morgenstern-price 法对暴雨工况和暴雨叠加地震工况进行计算, 得出边坡的稳定性系数。推测的滑面计算结果与边坡稳定性评价的标准进行对比, 发现计算结果与现场勘察后预测结论基本一致。该边坡整体稳定性为基本稳定。

关键词: 软岩高边坡; 软弱层; 稳定性分析; SLOPE/W 程序

中图分类号: TU457

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2013)01-0187-04

Application of SLOPE/W in Slope Stability Analysis of an Open Pit Mining Field

ZHAO Xing-yu, WANG Wei, DAI Xiong-hui, BI Fen-fen

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The nonworking slope of a coal mining field is a high soft rocky slope. In order to analyze the slope whether there is a potential security risk to affect the construction schedule and construction safety, the stability of the nonworking slope is analyzed. The computational model of the slope is established with the Slope/W module in Geo-studio software, the rainstorm working condition and heavy rain superposition seism condition are calculated with Bishop and Morgenstern-price method, and the stability factor of the slope is obtained. Finally, compared the calculation results of the speculated sliding surface with the slope stability assessment standards, it is found that the calculation results and site survey forecasting conclusions are basically the same. The whole stability of the slope is basically stable.

Keywords: high soft rocky slope; soft layer; stability analysis; SLOPE/W program

随着露天煤矿不断的开采,使开挖边坡的高度不断增加,边坡的稳定性成为影响煤矿开采的重要因素。该露天煤矿采掘场非工作帮边坡为永久性软岩高边坡、成岩差、风化作用强烈,发育分布多层软弱层,影响边坡稳定性。一旦边坡失稳,会给煤矿的开采、施工安全和经济效益带来较大影响,所以预测分析该边坡是否具有足够的安全储备显得相当重要,同时也为边坡治理设计提供依据。本文采用 Geo-studio 软件中的 Slope/W 模块对边坡进行稳定性计算,能够快速、准确的得到边坡稳定性系数。

1 工程概况及地质环境条件

该煤矿位于印度尼西亚南苏门答腊巨港市西南的当库区。煤矿开采沿煤层倾向拉沟建设,沿走向分

为南北两个采区,首采区边坡开挖深度 20 m ~ 70 m,非工作帮长约 1 000 m,设计平台高差 10 m、宽 27 m。矿坑边坡顶部有沿帮排土场,兼有防洪作用,见图 1。

该地区位于南纬 3 度,为典型的热带海洋性气候,炎热、潮湿、多雨,只分为旱季和雨季,年平均降雨量为 2 996.0 mm(1985—2001 年)。地表水体发育,在沿帮排土场东侧有一条常年流水的河流,简称东河。露天区内地势总体比较平缓,但稍有起伏,绝对标高在 15 m ~ 45 m。地貌单元主要为低山丘陵和冲积平原。工程区分布的地层为上新生界新近系上新统穆拉印组非海相沉积地层,岩性由粘土、泥岩、细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和煤组成。地质构造简单,为单斜构造,产状为岩层倾向 N6°E ~ N7°E,倾角 6° ~ 7°。地下水有孔隙潜水和孔隙承

压水两类。孔隙潜水主要分布在黏土层,地下水赋存于由细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩组成的含水岩组中,含水层间泥岩、炭质泥岩为隔水层。据地震安全

性评估报告,基于中国《建筑抗震设计规范》^[1]进行的地震危险性分析,得到场地地表峰值加速度为 $0.18g$,地震烈度为Ⅶ度。

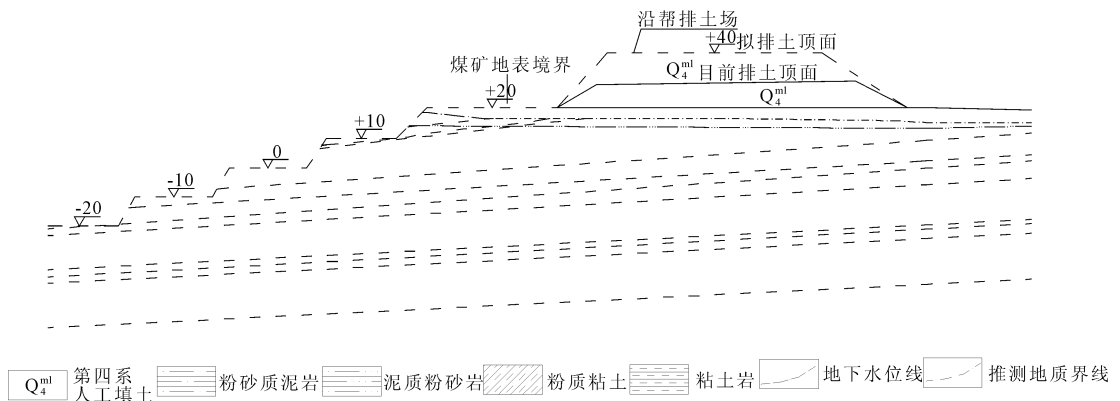


图 1 5-5'工程地质剖面图

2 SLOPE/W 程序分析

2.1 分析方法简介

本次计算采用 Morgenstern - Price 法进行计算,并与毕肖普法进行对比。Morgenstern - Price 法是刚体极限平衡法中的一种应用非常广泛的方法,同时满足力矩平衡和力的平衡,适用于任意形状的滑裂面,计算方法和结果更为合理和准确^[2]。

2.2 SLOPE/W 程序简介

SLOPE/W 模块能够准确、快速对边坡稳定性进行分析^[3]。模拟煤矿采掘过程,以各级平台为滑面入口位置,其下各级平台斜坡为出口,进行由上至下逐级台阶的潜在滑面搜索,并对已搜索滑面再进行“优化”的方法,对稳定性最小滑面进行搜索并得出稳定性系数,这样得到的结果更精确合理。

2.3 影响因素在软件中的设置

水和地震是影响该边坡稳定性的重要因素,暴雨工况地下水对边坡稳定性的影响在软件中通过添加地下水位线来实现,经勘查测得大多数钻孔稳定水位埋深比初见水位埋深更浅,表明区内的地下水具有微承压性,就会产生一个向上的扬压力。由于边坡稳定性分析本质上是一个超静定问题,在大多数情况下,有两种假定,关键是计算的对象不同,一种假定是将土骨架作为研究对象,另一种假定是将浸水土体作为研究对象^[4]。Lambe Whitman 从不同的出发点进行讨论,但得到的结果却是一样的,他们指出分析作用于单元上的力时,既可采用饱和容重和边界水压力,也可采用渗流力和浮容重相结合的方法。虽然两者得出的结论是一致的,但采用边界水压力和天然容重相结合的方法是简便易行的,

SLOPE/W 就是采用此方法,在添加地下水位线的同时设置材料重度,就可以自主考虑扬压力。

采用拟静力分析法来考虑地震因素,通过设置地震加速度(水平方向)来反映地震荷载对边坡稳定性的影响^[5]。

3 非工作帮边坡的稳定性分析与评价

3.1 模型的建立及计算工况

模型以现场详细勘查得到的地质原型为基础,考虑了软弱层对边坡稳定性的影响。沿帮排土场直接堆载在非工作帮边坡顶部,有两方面影响,一方面是其自身稳定性,另一方面是其对非工作帮边坡的加载效应影响边坡稳定性。

以非工作帮典型剖面 5-5'计算,分以下两种工况:

工况一:暴雨:该地区只分旱季和雨季且雨季降雨量约占全年降水量的 75% 以上,设暴雨工况为天然状态。

工况二:暴雨 + 地震:在暴雨基础上叠加地震因素。

3.2 模型材料参数

根据对边坡岩土体的室内物理力学性质试验和现场测试资料的整理分析,结合参数反算综合确定计算参数。参数反算依据现场调查的沿帮排土场变形破坏现象,在某剖面附近沿帮排土场外侧(东河侧)出现拉裂缝,处于临界失稳状态,以此模型进行反算,先给定人工填土粘聚力 c 为 10 kPa,反算内摩擦角 ϕ ,得到内摩擦角 ϕ 为 17.5° ,其他岩土体参数与人工填土参数比较,再结合类似工程经验,综合确定计算参数取值见表 1。

表 1 模型材料参数取值表

| 岩性 | 重度 $\gamma/(kN \cdot m^{-3})$ | c/kPa | $\varphi/(^\circ)$ |
|------------|-------------------------------|---------|--------------------|
| 松散堆积物(排弃物) | 16.5 | 10 | 17.5 |
| 粘土 | 17.8 | 50 | 20.0 |
| 泥岩 | 17.0 | 110 | 23.0 |
| 软弱层 | 17.3 | 30 | 16.0 |
| 粉砂岩 | 17.0 | 40 | 24.0 |
| 细砂岩 | 17.1 | 70 | 27.0 |
| 煤 | 12.0 | 150 | 30.0 |

表 2 滑坡状态划分

| 滑坡防治工程勘察规范 | | 本次采用 | |
|----------------------|--------|-------------------------------|--------|
| 滑坡稳定系数 F | 滑坡稳定状态 | 边坡稳定系数 F | 边坡稳定状态 |
| $F < 1.00$ | 不稳定 | $F < 1.00$ | 不稳定 |
| $1.00 \leq F < 1.05$ | 欠稳定 | $1.00 \leq F < 1.1(1.15)$ | 欠稳定 |
| $1.05 \leq F < 1.15$ | 基本稳定 | $1.1(1.15) \leq F < 1.2(1.3)$ | 基本稳定 |
| $F \geq 1.15$ | 稳定 | $F \geq 1.2(1.3)$ | 稳定 |

注:括号外为沿帮排土场稳定性系数,括号内为非工作帮边坡稳定性系数。

3.3 边坡稳定性评价的标准

由《煤炭工业露天矿设计规范》^[6]确定矿坑边坡、排土场边坡稳定性评价标准:非工作帮按大于 20 年,边坡稳定系数要求大于等于 1.3;沿帮排土场按大于 20 年,边坡稳定系数要求大于等于 1.2。边坡稳定性状态的划分,参照《滑坡防治工程勘察规范》^[7]根据边坡稳定系数确定,见表 2。

4 采掘场边坡稳定性分析

4.1 计算结果

5-5'剖面共搜索出 46 条可能的潜在滑面并进行稳定性计算,局部欠稳定和局部不稳定的滑面共有 9 条,滑面具体描述和稳定性评价见表 3 及图 2。

表 3 计算结果统计表

| 滑面序号 | 滑面位置描述 | | 稳定性评价 |
|------|---------|--------------|---------------------------------|
| | 入口位置 | 出口位置 | |
| 滑面 1 | +40 米平台 | +20 米(坑内原地表) | 工况一:0.654 不稳定 / 工况二:0.614 不稳定 |
| 滑面 2 | +40 米平台 | +20 米(坑外原地表) | 工况一:0.925 不稳定 / 工况二:0.849 不稳定 |
| 滑面 3 | +40 米平台 | +10 米坡脚 | 工况一:1.523 稳定 / 工况二:1.260 基本稳定 |
| 滑面 4 | +20 米平台 | 0 米坡脚 | 工况一:1.455 稳定 / 工况二:1.265 基本稳定 |
| 滑面 5 | +40 米平台 | 0 米坡脚 | 工况一:1.369 稳定 / 工况二:1.277 基本稳定 |
| 滑面 6 | +10 米平台 | -10 米坡脚 | 工况一:1.283 基本稳定 / 工况二:1.132 基本稳定 |
| 滑面 7 | +20 米平台 | -10 米坡脚 | 工况一:1.273 基本稳定 / 工况二:1.064 基本稳定 |
| 滑面 8 | +30 米平台 | -10 米坡脚 | 工况一:1.348 稳定 / 工况二:1.203 基本稳定 |
| 滑面 9 | +40 米平台 | -10 米坡脚 | 工况一:1.387 稳定 / 工况二:1.205 基本稳定 |

4.2 结果分析

(1) 潜在滑面 1、2 在两种工况条件下,稳定性系数均小于 1.00 左右,为局部不稳定。不稳定有两方面因素,一方面是因为堆填材料的物理力学指标很低;另一方面是地表水渗透,降低岩土体的物理力学参数,使局部稳定性降低。

(2) 由于非工作帮边坡存在多层含水层和隔水层,在暴雨情况下,随水位上升,微承压水影响增大,产生向上的浮托力,边坡稳定性受到影响^[8-9]。潜在滑面 3、4、5、6、7、8、9,均受隔水层顶面软弱层分布的影响,由于软弱层遇水易软化,抗剪能力低,成为非工作帮边坡稳定性的重要影响因素。

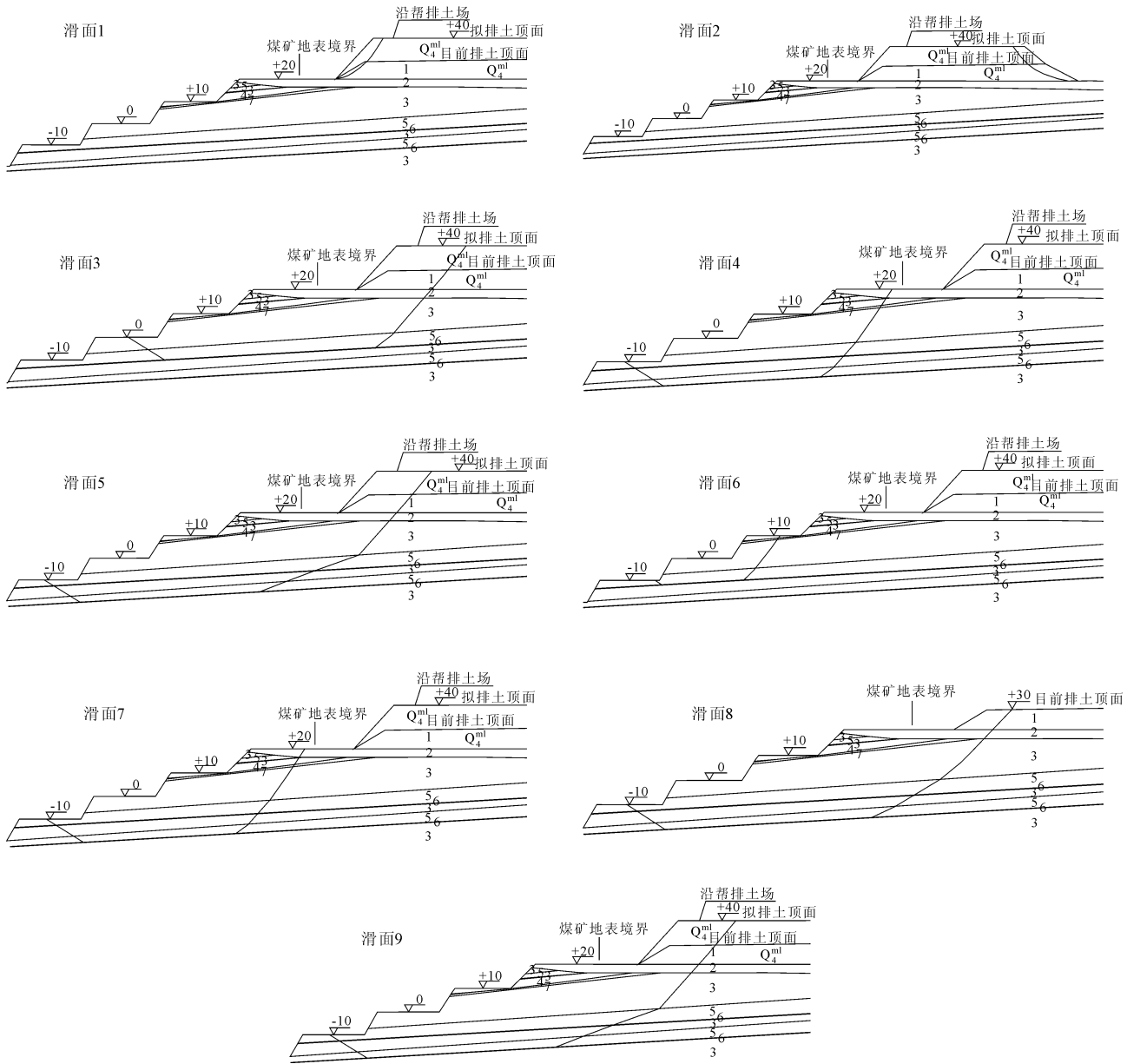
(3) 印尼是个地震多发的国家,地震荷载对边坡稳定性的影响主要是由于地震惯性力导致边坡整体下滑力加大,从而降低边坡的稳定性系数,对边坡的影响较大^[10],分析潜在滑面 3、4、5、8、9 可知,地震因素对边坡的稳定性影响较明显,且滑面通常出现在

物理力学参数较低、抗剪能力较弱的软弱层部位。

5 结 论

(1) 通过详细的现场勘查、调查建立符合实际的地质原型,主要包括边坡岩土体的结构特征、水文地质条件。水、地震、软弱层是影响边坡稳定性因素,特别是多层软弱层的发育、分布及其物理力学性质,成为影响边坡稳定性的控制性因素。

(2) Geo-studio 软件能够较好的模拟边坡施工开挖的过程,快速、准确的得出边坡的稳定性系数,能够较好考虑各种因素,通过设置水位线和水平地震力来体现水和地震对边坡稳定性的影响,尤其是计算中优化滑面的功能,因为圆弧滑面适合均质体,优化后得出的折线形滑面适合任何情况^[11],所以计算结果比圆弧形滑面更精确,说明此软件可以对边坡进行预测评价。



注:1—松散堆积物 2—粘土 3—泥岩 4—细砂岩 5—粉砂岩 6—软弱层 7—煤

图 2 5-5'剖面计算结果图

参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部. GB 50011 - 2001. 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001: 15.
- [2] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理(第三版)[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- [3] John Krahn. Stability modeling with SLOPE/W[M]. Canada: GEO-SLOPE/W International, Ltd., 2004: 261.
- [4] 陈祖煜. 土质边坡稳定分析——原理·方法·程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [5] 校小娥. 基于 GEO - SLOPE 软件对滑坡的稳定性分析[J]. 铁道建筑, 2010, (11): 75-77.
- [6] 中国煤炭建设协会. GB 50197 - 2005. 煤炭工业露天矿设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2005: 32.
- [7] 中华人民共和国国土资源部. GB 50011 - 2001. 滑坡防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 6-7.
- [8] 秦 鸿. 软弱夹层边坡变形性状及其影响因素分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2011, 30(2): 282-286.
- [9] 王维早, 杨小荟, 贾 磊, 等. 某水电站左岸坝肩边坡软弱夹层的工程特性及其对边坡稳定性的影响[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34(1): 70-73.
- [10] 何 专, 姚令侃. 地震和暴雨工况下边(滑)坡稳定性分析方法评价[J]. 水土保持通报, 2009, 29(3): 178-182.
- [11] GEO-SLOPE International Ltd. 边坡稳定性分析软件 SLOPE/W 用户指南[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011: 8-10.