

基于地质模型快速构建的边坡三维稳定性分析

唐江涛, 邓兆俊, 覃羨安, 易琦

(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 云南昆明 650000)

[摘要]目前边坡稳定性分析多以二维剖面为主,随着各种数值分析软件的应用,边坡的三维稳定性分析技术越来越成熟,但是对于三维边坡的地质模型快速构建的方法不多,且建模精度难以得到保证。本文借助 Geobim 软件建立工程区的三维地质模型,提出借助 surfer、Ansys 等软件快速建立 flac3d 能够识别的类型文件的方法,此方法能够大大简化建模过程,提高建模精度。根据工程区的主要工程地质问题,对工程区的三维地质模型进行概化,结合相关实例对其进行三维地质建模,并借助 flac3d 软件计算不同工况下边坡的稳定性情况。根据计算结果可知,在暴雨工况下,边坡的稳定性降低,填方工况下,边坡的侧向位移变大,但是其稳定性相对较好,边坡的主要破坏模式为沿着填筑体及边坡的浅表层全、强风化层发生剪切破坏。

[关键词] Geobim 三维地质建模 flac3d 边坡稳定性

[中图分类号] P512.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2021)01-0175-08

Tang Jiangtao, Deng Zhaojun, Qin Xian'an, Yi Qi. Three-dimensional slope stability analysis based on rapid construction of geological model[J]. *Geology and Exploration*, 2021, 57(1): 0175-0182.

0 引言

地质体指占据一定空间和范围且性质相类似的集合体(邹艳红和何建春, 2012)。相对其他物体,地质体具有相对不规则性和分布不均一性,因此地质体的曲面建模技术尤为重要。Mallet 提出基于离散光滑差值的建模方法,使得建模过程更为精准。随着三维建模技术的不断发展,三维地质建模的方法也越来越多,目前国内外的三维地质建模方法总体可以分为面模型、体模型以及混合模型(谭仁春, 2005; 李青元等, 2016)。吴立新(2004)认为体模型便于进行 3D 空间操作以及分析,但是具有存储空间大、计算速度较慢等缺点。三维地质建模软件繁多(叶思源等, 2011; 孙岳等, 2013; 何紫兰等, 2018),如 GOCAD(李豪等, 2018; 窦帆帆和占莎莎, 2018; 李程等, 2019)、3dmine(周洁等, 2017)、surpac(阎洁等, 2012; 孟少勇和杜婷, 2018; 苏成鹏等, 2018; 陈耕耘等, 2018; 王瑜等, 2018)、Petrel(张伟等, 2013; 李涛涛和魏波, 2015;)、Rhino(朱鸣等,

2012)、Geobim(杨伟等, 2016; 覃羨安和王小锋, 2017)、RMS(梁东明, 2016)等。

常用的三维地质模型构建通常周期较长且不精确。运用 Geobim 软件可以快速实现三维地质模型的建立,其主要思想是根据钻孔数据拟合形成界面,然后将上下界面结合在一起,即可形成地质体,且准确度能够有很好的保障。

数值分析是目前岩土工程边坡以及场地稳定性分析中的重要手段,常规的定量分析方法多以极限平衡分析法计算得到安全系数从而对边坡的稳定性做出判定,且计算选取的是其中某一剖面。而三维数值分析则可以反映岩、土体内部的变形响应,如应力、应变、塑性区、位移等,以此作为判断稳定性的依据,能够有很好的适用结果,flac3d(张国祥等, 2002; 陈国庆等, 2014; 吕城腾等, 2017; 许东, 2019; 王飞等, 2020; 徐应中等, 2020; 张子平等, 2020)、ANSYS(刘建红等, 2015; 胡宇秋, 2015)、3DEC(汤明高等, 2006; 赵健等, 2018; 周家文等, 2018)等软件是目前应用比较广泛且认可度较高的数值分析软件。但是

[收稿日期] 2019-09-27; [改回日期] 2020-08-11; [责任编辑] 张征。

[第一作者] 唐江涛(1994年-),男,2018年毕业于成都理工大学,获硕士学位,助理工程师,从事岩土勘察设计工作。E-mail:1344897912@qq.com。

以上分析软件建模过程常常比较复杂,难以比较快速地建立三维地质模型。因此本文提出借助 Geobim - suter - Ansys 等软件快速建立三维地质模型,并利用 flac3d 软件对边坡稳定性进行数值分析计算。

1 工程区基本地质情况概述

工程区位于云南省元阳县沙拉托Ⅲ级剥夷面上,属剥蚀构造中山地貌区。区内总体地势中部高,北西及东南低,海拔大部分在 1510 ~ 1748 m,相对高差一般 100 ~ 200 m,最高峰为北西端山坡,海拔 1748 m。处于者那河与藤条河分水岭地段,地形波状起伏,坡度 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 不等,一般山脊和坡顶较平缓,人工切坡段则形成陡坡、陡坎,局部地段为近直立陡坎该场地处于牛上村背斜的南西翼,岩层的倾向为 $N35^{\circ}W$,倾向为 $SW \angle 16^{\circ} \sim 35^{\circ}$,局部发生变化。此外,场地受到岩浆岩的侵入作用,大多数钻孔都揭露有侵入岩,使得该地区的地质条件更为复杂。根据设计资料,该工程要在山脊上进行场地整平,削高填低,填方体宽度约为 500 m,长度为 650 m,最大厚度约为 70 m,形成高约 151 m 的高填方边坡。

1.1 地层岩性

工程区的主要地层岩性有①:第四系残坡积层,可塑-硬塑,层厚 0.8 ~ 3.0 m 不等,平均厚度约为 2.0 m;②: T_2n-1 :岩性为板岩夹灰岩,厚层状,板理发育,层面起伏,多见擦痕镜面,未揭穿该层;③ T_2n-2 :岩性为灰岩夹板岩,厚层状,溶蚀现象不明显,局部岩心出现溶蚀孔洞。全风化层、强风化层位于 T_2n-2 岩组中,平均层厚 50 m。④侵入岩:靠近牛上组背斜,侵入岩多为切层侵入,远离核部地区,基本为顺层侵入。

1.2 工程存在的工程地质问题

根据钻探情况,揭露 30 余条小挤压带,由此,但是小挤压带在空间分布相对无序,不能很好地连通,只有 G1 挤压带可控制场地整体稳定性的边界。G1 挤压带的力学性质局部略有偏差,物质组成整体为糜棱岩,碎裂岩,泥质含量较高,局部物质组成为碎块岩。G1 挤压带受到构造以及岩浆岩的侵入作用,厚度从 0.3 ~ 18.7 m 不等,埋深从 31.70 ~ 121.60 m 不等。因此就形成了空间整体连续,但是分布厚度不均一的性状。

2 Geobim 简介及工程区三维地质模型

2.1 Geobim 简介

Geobim 是昆明院与其他单位院校联合开发的针对复杂地质情况下的三维地质建模软件。系统包括权限管理、数据维护、三维建模、模型分析、图件绘制、网络数据查询、软件接口等模块,可完成地质相关数据的管理,地质模型的快速创建,地质对象的空间分析,地质图件的三维模型剖切绘制等。

2.2 场地三维地质模型的建立

Geobim 三维地质建模主要思路是根据钻孔或者剖面图,对不同层面赋予不同的属性,而后将同一类型的层面进行拟合形成曲面,而后通过围合面形成体。对于透镜体的建模,主要采用就是面面相剪切的建模思路。

考虑到模型的复杂程度以及难易程度以及本次拟建工程的关注重点问题,首先对地质模型进行了概化处理,建立的模型从上到下分别为表层覆盖层、全风化层、强风化层、基岩层、挤压带等五层,三维地质模型见图 1、图 2。

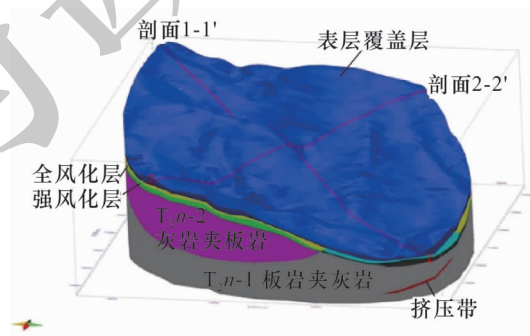


图 1 工程区三维地质模型

Fig. 1 3D geological model of the engineering area

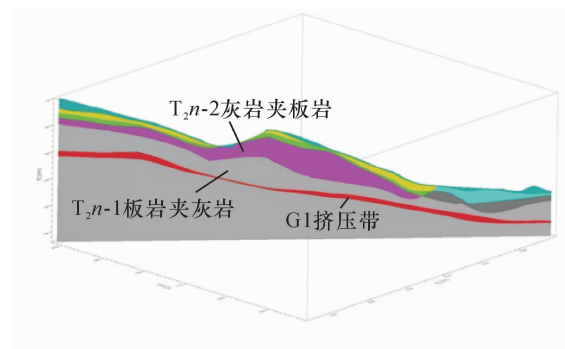


图 2 工程区典型剖面(1-1')

Fig. 2 Typical profile(1-1') of the engineering area

对上述建立好的三维地质模型,将其分界面分别导出,经过 surfer 软件进行差值计算,最

大化地还原原始斜坡的自然情况,再将经过 surfer 软件处理好的数据导入 Ansys 中,利用切割命令,用覆盖层、全风化、强风化界面对体进行切割,后用重叠命令,将建立好的挤压带与整体合并为一个整体,经过后处理软件,将其转化成 flac3d 数值分析软件可以识别的模型进行数值分析计算。使用此种方法可以大大提高建模的工作效率,且具有建模精度高、不容易出错的优点。

3 flac3d 数值分析计算

3.1 边界条件的选择

模型的上侧边界以背斜轴线进行控制,左侧以沟谷进行控制,下侧以及右侧分别沿着填方边界延

伸 100 m,厚度是斜坡高差的 3.5 倍,能够满足模拟所需要。本次数值分析计算选取固定边界,即固定四个方向的侧向位移以及固定模型底部的位移,符合实际现场情况。

3.2 模型本构关系的选取

由于深部的岩体对此次数值分析的影响性较小,因此不选用霍克-布朗准则,岩土体都采用摩尔-库伦准则作为岩土体失稳的判据。

3.3 计算参数的选取

经过室内试验以及重塑土大剪试验,反分析计算以及工程地质类比法综合得出挤压带的参数,其余参数借鉴相关工程经验进行选取,暴雨情况下,岩土体采用饱和参数进行计算分析。计算参数详见下表 1。

表 1 岩、土体力学参数取值
Table 1 Mechanical parameters of rock and soil

岩土类别	所需参数类别							
	密度(kg/m³)	弹性模量(GPa)	泊松比	天然		饱和		抗拉强度(MPa)
				内聚力(kPa)	摩擦角(°)	内聚力(kPa)	摩擦角(°)	
覆盖层	1754	0.06	0.32	37.6	13.3	31.3	10.2	0.01
全风化层	1774	0.09	0.32	40	22.3	26	14.2	0.02
强风化层	2200	1	0.31	140	26.4	120	24.1	0.21
挤压带	2210	0.9	0.31	50	18.2	45	13	0.15
基岩	2650	10	0.26	1000	38.2	300	34.3	0.8
填方体	2200	0.2	0.28	150	30	120	25	0.02

3.4 边坡概化模型

模型底部高程为 1400 m, X 方向长度为 685 m, Y 方向长度为 675 m。边坡的概化模型详见图 3。挤压带详见图 4。

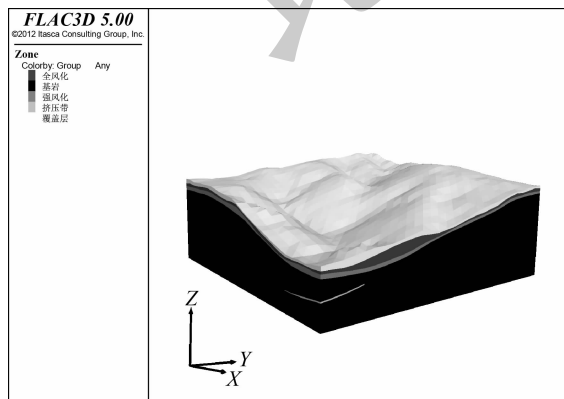


图 3 三维地质概化模型

Fig. 3 3D geological conceptual model

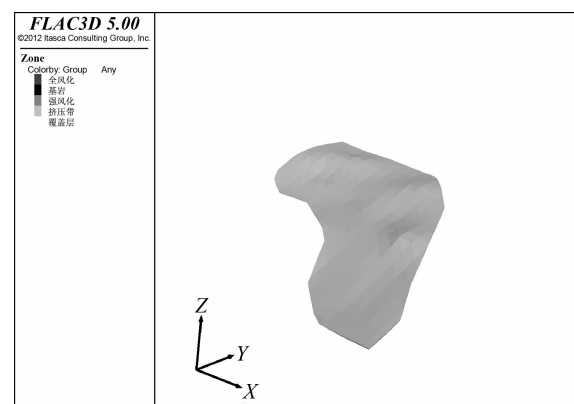


图 4 挤压带三维地质模型

Fig. 4 3D geological model of compressed zone

3.5 边坡稳定性评价

目前边坡稳定性评价有多种方法,有定性评价、定量评价以及多种交叉学科的评价方法。

(1) 自然斜坡边坡稳定性评价

首先设置好岩土体参数,边界条件,本构模型,达到初始平衡状态,对位移场、速度场进行清零处理,重新计算得出自然情况下斜坡内部变形响应以及塑性区的分布情况对其进行分析。

由计算结果可知(图 5),自然斜坡的侧向

位移较小, X 方向的整体位移值范围为 $-0.85 \sim 1.35 \text{ mm}$, Y 方向为 $-1.49 \sim 1.22 \text{ mm}$ 。由于挤压带的物理力学性质相对较差,挤压带基本处于受剪切作用的影响,但是挤压带的塑性区并没有完全贯通(图 6),因此难以形成贯通的潜在滑动面,斜坡的整体稳定性相对较好。

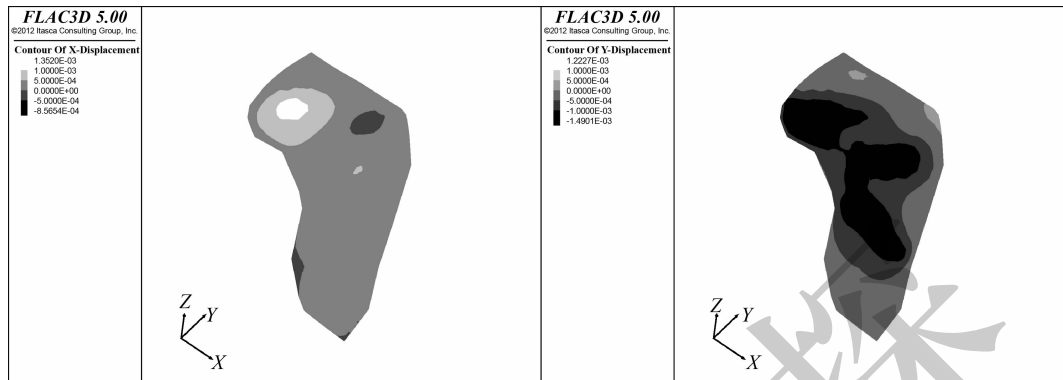


图 5 挤压带 X 方向及 Y 方向位移云图

Fig. 5 Contours of displacement of compressed zone in X and Y directions

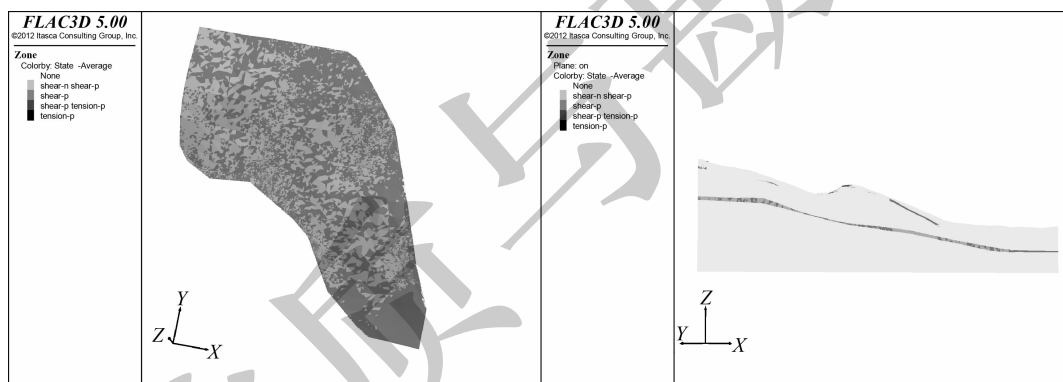


图 6 典型剖面及挤压带塑性区分布图

Fig. 6 Typical profile (left) and distribution of plastic areas in compressed zone

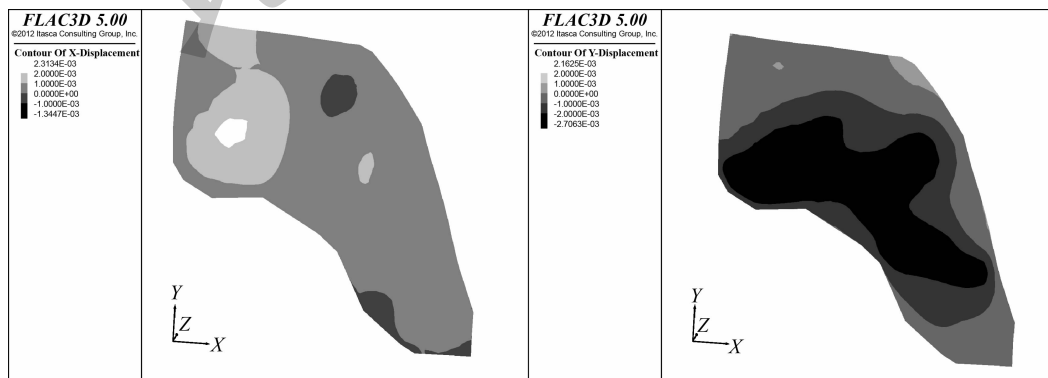


图 7 挤压带 X 方向及 Y 方向位移云图

Fig. 7 Contours of displacement of compressed zone in X and Y directions

(2) 暴雨工况下边坡稳定性评价

由计算结果可知(图 7),挤压带 X 方向的整体位移值范围为 $-1.34 \sim 2.31$ mm, Y 方向为 $-2.70 \sim 2.16$ mm。挤压带基本处于受剪切作用的影响,但是挤

压带的塑性区并没有完全贯通,难以形成贯通的潜在滑移面(图 8),边坡的整体稳定性相对较好。但相较于自然斜坡,暴雨工况下,斜坡的稳定性变差,塑性区进一步贯通,沿着挤压带发生整体滑移破坏的可能性增大。

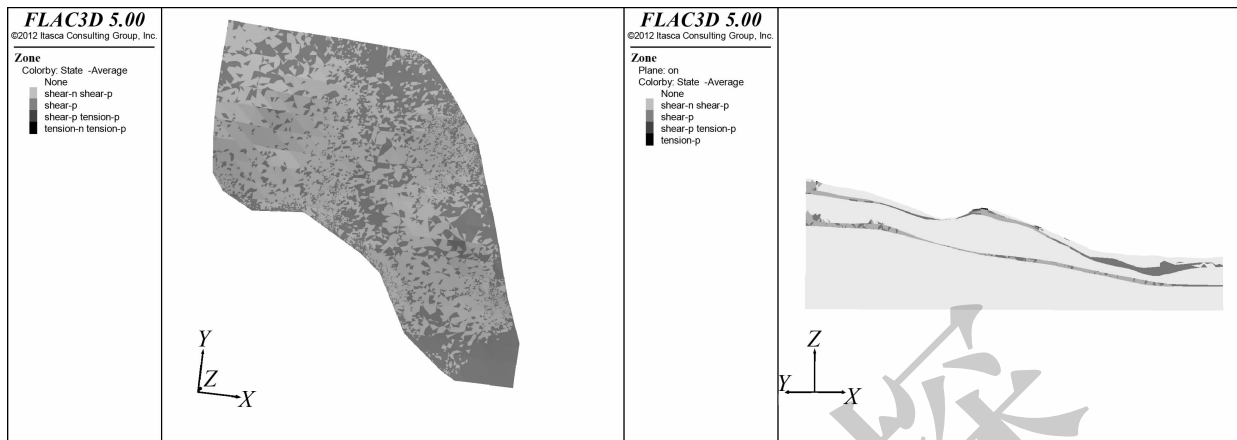


图 8 典型剖面及挤压带塑性区分布图

Fig. 8 Typical profile(left) and distribution of plastic areas in compressed zone(right)

(3) 填方工况下边坡稳定性评价

由以上计算结果可知(填方边坡模型见图 9),挤压带 X 方向的整体位移值范围为 $-1.57 \sim 3.83$ mm, Y 方向为 $-4.59 \sim 1.52$ mm(图 10)。挤压带基本受剪切作用的影响,但是挤压带的塑性区并没有完全贯通(图 11),难以形成贯通的潜在滑移面,边坡的整体稳定性相对较好。相较于自然斜坡以及暴雨工况下,挤压带的位移量增大,相较于暴雨工况下,填方工况挤压带塑性区减少。填方边坡稳定性介于自然工况以及暴雨工况之间。但是很大程度上会沿着填方体以及斜坡浅表层的全风化层发生剪切破坏,边坡的局部稳定性较差。

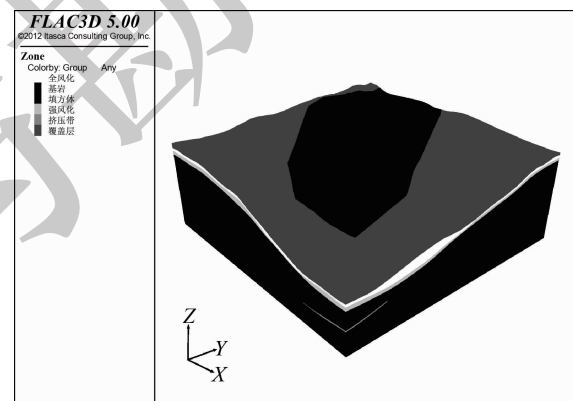


图 9 填方边坡三维地质模型

Fig. 9 3D geological conceptual model of filled slope

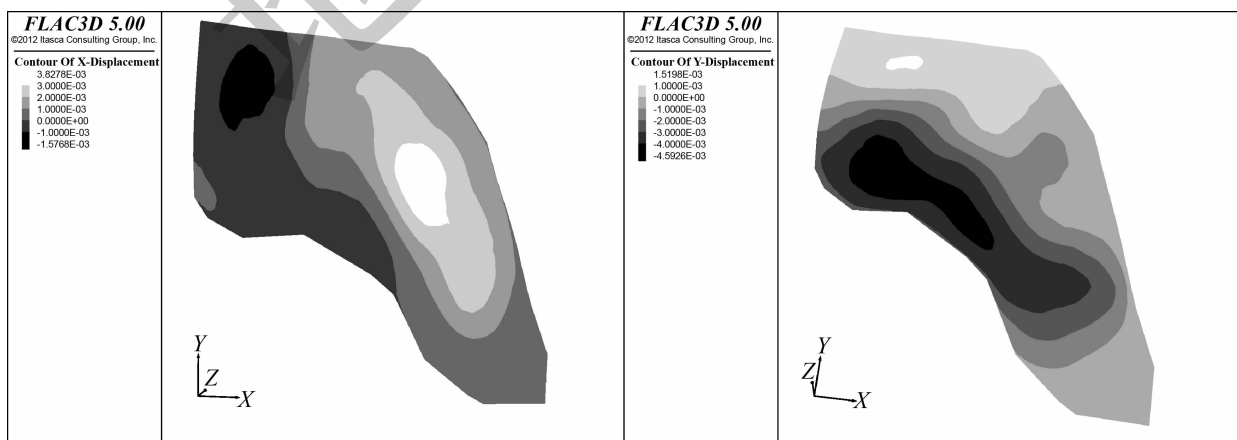


图 10 挤压带 x 方向及 y 方向位移云图

Fig. 10 Contours of displacement of compressed zone in X and Y directions

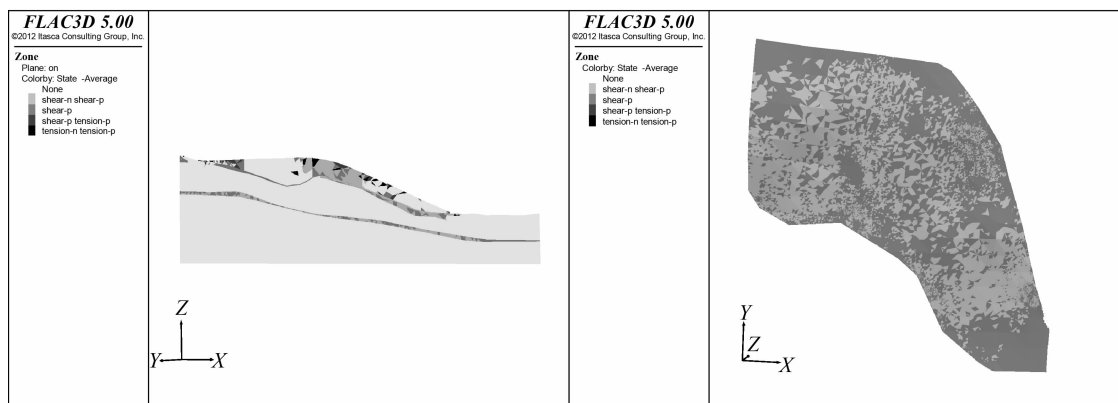


图 11 典型剖面及挤压带塑性区分布图

Fig. 11 Typical profile(left) and distribution of plastic areas in compressed zone(right)

4 结论

(1) 基于 Geobim - surfer - Ansys 能够快速建立三维地质模型, 大大提高工作效率, 而且建模过程相对更为简单实用, 模型也更为精准。

(2) 通过数值分析结果表明, 填方工况下, 沿着 G1 挤压带发生剪切破坏的可能性较小, 但是可能沿着填筑体以及表面的全、强风化层发生剪切破坏。

[References]

- Chen Guoqing, Huang Runqiu, Shi Yuchuan, Xu Qiang. 2014. Stability analysis of slope based on dynamic and whole strength reduction methods[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 33(2): 243 - 256 (in Chinese with English abstract).
- Chen Gengyun, Guo Xinke, Ruan Junhong, Gao Yalin, Li Dexian. 2018. Application of Surpac to calculate loss and dilution[J]. Mine Surveying, 46(2): 72 - 74 (in Chinese with English abstract).
- Dou Fanfan, Zhan Shasha. 2018. Three - dimensional metallogenic prediction in GOCAD - As an example of evidence weighting method[J]. Western Resources, 15(2): 195 - 196 (in Chinese with English abstract).
- He Zilan, Zhu Pengfei, Ma Heng, Wang Wenjie, Bai Yun, Cao Ke. 2018. 3D geological modeling of the Xiangshan volcanic basin based on multi - source data fusion[J]. Geology and Exploration, 54(2): 404 - 414 (in Chinese with English abstract).
- Hu Yuqiu. 2015. The influence of rainfall on loess slope stability based on Ansys[J]. Chinese & Overseas Architecture, 21(7): 179 - 182 (in Chinese with English abstract).
- Li Chengteng, Wang Bei, Ji Nan. 2017. Stability analysis and evaluation of deep unloading slopes in western region of China[J]. Journal of China Three Gorges University(Natural Sciences), 39(5): 53 - 58 (in Chinese with English abstract).
- Meng Shaoyong, Du Ting. 2018. Establishment and application of geological database based on Surpac of a metal mine in northwest China[J]. Modern Mining, 34(11): 46 - 50 (in Chinese with English abstract).
- Li Taotao, Wei Bo. 2015. Application of petrel in multipoint statistical geological modeling[J]. Petrochemical Industry Technology, 22(11): 105 (in Chinese with English abstract).
- Li Cheng, Wu Zhichun, Yang Yi, Hua Chen. 2019. Modeling method and case study of drillhole data based on GOCAD[J]. Jiangxi Science, 37(1): 125 - 130, 135 (in Chinese with English abstract).
- Li Hao, Wang Shiming, Wu Tengfei, Lin Gang. 2018. 3D geological modeling and analysis of underground engineering based on GOCAD[J]. Sichuan Architecture, 38(6): 83 - 85, 88 (in Chinese).
- Li Qingyuan, Zhang Luoyi, Cao Daiyong, Dong Qianlin, Cui Yang, Chen Chunmei. 2016. Usage, status, problems, trends and suggestions of 3D geological modeling[J]. Geology and Exploration, 52(4): 759 - 767 (in Chinese with English abstract).
- Liang Dongming. 2016. Simulation and technology research of ship modeling based on RMS[J]. Ship Science and Technology, 38(24): 7 - 9 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianghong, Zhang Qun. 2015. Analysis of soil slope stability with different saturation based on Ansys[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 39(4): 50 - 52 (in Chinese with English abstract).
- Qin Xianan, Wang Xiaofeng. 2017. Application of BIM technology to 3D visualization complex spatial morphology of concealed karst caverns[J]. Journal of Guilin University of Technology, 37(3): 412 - 416 (in Chinese with English abstract).
- Sun Yue, Wang Gongwen, Fang Tonghui, Feng Yuan, Wang Xinyu. 2013. Three - dimensional geological modeling of the Honghai massive sulfide deposit in Xinjiang and its exploration application[J]. Geology and Exploration, 49(1): 179 - 184 (in Chinese with English abstract).
- Su Chengpeng, Liu Jianzhong. 2018. Surpac - based study on the grade model and fractal structure characteristics of 1a2 gold[J]. Journal of Geology, 42(3): 422 - 426 (in Chinese with English abstract).
- Tan Renchun. 2005. The integration and application of 3D spatial data model in GIS[J]. Engineering of Surveying and Mapping, 14(1): 63 - 66 (in Chinese with English abstract).
- Tang Minggao, Xu Qiang, Huang Runqiu, Yan Ming. 2006. 3DEC analysis on 6# high rock slope with joints in Xiaowan hydropower project[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 50(3): 57 - 60 (in Chinese).

- with English abstract).
- Wu Lixin. 2004. Some issues on true three - dimensional geosciences modeling[J]. *Geomatics World*, 2(3): 13 - 18 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yu, Dai Xingyu, Zhao Junying, Dong Xunbo. 2018. Design of open - pit iron mine blasting numerical simulation[J]. *Journal of Panzhihua University*, 32(2): 5 - 8 (in Chinese with English abstract).
- Wang Fei, Wu Honggang, Guo Chunxiang. 2020. Dynamic response of high cut based a numerical simulation slope to earthquake[J]. *Chinese Journal of Geological Disasters and Prevention*, 31(1): 18 - 24 (in Chinese with English abstract).
- Xu Dong. 2019. Analysis and evaluation of slope stability of open - pit coal mine based on flac simulation [J]. *West - China Exploration Engineering*, 31(1): 84 - 86 (in Chinese).
- Xu Yingzhong, Wen Jun, Cheng Jinzhong. 2020. Study on influence range of pressure relief of advance drilling in tunnel based on FLAC3D[J]. *Sichuan Water Power*, 39(1): 63 - 65, 72 (in Chinese with English abstract).
- Yan Hao, Huang Feixin, Sun He, Zhao Liqun, Zhang Yong, Zhang Hao, Li Shuaizhi, Liu Fangfang, Wang Jiashang. 2012. A model for alteration zoning of hydrothermal mineralization based on surpac software for the Diyanqinamu Mo mine district, Inner Mongolia[J]. *Geology and Exploration*, 48(5): 932 - 939 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wei, Wang Xiaofeng, Li Zhong, Cheng Xu. 2016. Application of 3 - D geological modeling technique in Gushui hydropower station[J]. *Water Power*, 42(12): 38 - 42, 45 (in Chinese with English abstract).
- Ye Siyuan, Wu Shuren, Ouyang Yonglong. 2011. Theree - dimensional visual modeling for geology and automatic section drawing and their application[J]. *Geology and Exploration*, 47(3): 498 - 504 (in Chinese with English abstract).
- Zou Yanhong, He Jiangchun. 2012. A spatial shape simulation method for three - dimensional algorithm[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 41(6): 910 - 917 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jie, Wang Genhou, Cui Yuliang, Zhang Li. 2017. Three - dimensional modeling of orebody morphology in the Anba section of the Yangshangold deposit based on 3D mine [J]. *Geology and Exploration*, 53(2): 390 - 397 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wei, Gao Qian, Liang Leijiang. 2013. Three - dimensional visualization modeling of oil reservoir research based on Petrel technology[J]. *North-western Geology*, 46(3): 191 - 196 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Ming, Wang Chunlei. 2012. Applying of Rhinoceros software and Grasshopper plug - in for quick structural modeling of double - layer reticulated shells [J]. *Building Structure*, 42(S2): 424 - 427 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Jian, Yang Li, Deng Dongmei, Zhang Jian, Deng Shan. 2018. Stability evaluation with 3DEC for the rock slope under a newly - built transmission line tower[J]. *Safety and Environmental Engineering*, 25(2): 55 - 60 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jiawen, Xu Weiya, Shi Chong. 2007. Wedge stability analysis of jointed rockmass slope considering seismic influences based on 3DEC[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 26(S1): 3402 - 3409 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guoxiang, Liu Baochen. 2002. Analysis of slope slip surface and stability by the potential slip surface theory [J]. *China Civil Engineering Journal*, 49(6): 82 - 85 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Ziping, Wang Peng, Wang Shuyu, Dong Wenyang. 2020. A study on fault deformation caused by earthquake based on FLAC^{3D} software[J]. *Petroleum Geophysics*, 18(1): 77 - 80 (in Chinese with English abstract).
- [附中文参考文献]
- 陈国庆, 黄润秋, 石豫川, 许强. 2014. 基于动态和整体强度折减法的边坡稳定性分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 33(2): 243 - 256.
- 陈耕耘, 郭新珂, 阮俊红, 高亚林, 李德贤. 2018. 应用 Surpac 计算损失贫化量[J]. *矿山测量*, 46(2): 72 - 74.
- 窦帆帆, 占莎莎. 2018. 基于 GOCAD 平台的三维成矿预测技术实现 - 以证据权重法为例[J]. *西部资源*, 15(2): 195 - 196.
- 何紫兰, 朱鹏飞, 马恒, 王文杰, 白芸, 曹珂. 2018. 基于多源数据融合的相山火山盆地三维地质建模[J]. *地质与勘探*, 54(2): 404 - 414.
- 胡宇秋. 2015. 基于 ANSYS 降雨对黄土边坡稳定性影响的分析[J]. *中外建筑*, 21(7): 179 - 182.
- 吕城腾, 王蓓, 纪南. 2017. 西部地区深卸荷边坡稳定性分析与评价[J]. *三峡大学学报(自然科学版)*, 39(5): 53 - 58.
- 孟少勇, 杜婷. 2018. 基于 Surpac 的西北某金属矿山地质数据库构建与应用[J]. *现代矿业*, 34(11): 46 - 50.
- 李涛涛, 魏波. 2015. 应用 petrel 进行多点统计地质建模的实践[J]. *石化技术*, 22(11): 105.
- 李程, 吴志春, 杨羿, 华琛. 2019. 基于 GOCAD 的钻孔数据建模方法与实例研究[J]. *江西科学*, 37(1): 125 - 130, 135.
- 李豪, 王世明, 吴腾飞, 林刚. 2018. 基于 GOCAD 的地下工程三维地质建模与分析[J]. *四川建筑*, 38(6): 83 - 85, 88.
- 李青元, 张洛宜, 曹代勇, 董前林, 崔扬, 陈春梅. 2016. 三维地质建模的用途、现状、问题、趋势与建议[J]. *地质与勘探*, 52(4): 759 - 767.
- 梁东明. 2016. RMS 舰船建模仿真与技术研究[J]. *舰船科学技术*, 38(24): 7 - 9.
- 刘建红, 张群. 2015. 基于 Ansys 不同饱和度顺层土质边坡稳定分析[J]. *水科学与工程学报*, 39(4): 50 - 52.
- 覃羡安, 王小锋. 2017. BIM 技术在隐伏溶洞复杂空间形态三维可视化中的应用[J]. *桂林理工大学学报*, 37(3): 412 - 416.
- 孙岳, 王功文, 方同辉, 冯源, 王新宇. 2013. 新疆红海块状硫化物矿床三维地质建模及勘探应用[J]. *地质与勘探*, 49(1): 179 - 184.
- 苏成鹏, 刘建中. 2018. 基于 Surpac 的贵州水银洞金矿 Ia2 矿体金品位模型及分形结构特征[J]. *地质学刊*, 42(3): 422 - 426.
- 谭仁春. 2005. GIS 中三维空间数据模型的集成与应用[J]. *测绘工程*, 14(1): 63 - 66.
- 汤明高, 许强, 黄润秋, 严明. 2006. 小湾水电工程 6# 山梁节理岩体高边坡 3DEC 分析[J]. *水文地质工程地质*, 50(3): 57 - 60.
- 吴立新. 2004. 真 3 维地学构模的若干问题[J]. *地理信息世界*, 2(3): 13 - 18.
- 王瑜, 戴兴宇, 赵俊英, 董训波. 2018. 基于 Surpac 软件的露天铁矿爆破数值模拟设计[J]. *攀枝花学院学报*, 35(2): 5 - 8.

王飞,吴红刚,郭春香.2020.碎石土路堑高边坡地震动力响应过程分析[J].中国地质灾害与防治学报,31(1):18-24.

许东.2019.基于FLAC模拟的露天煤矿边坡稳定性分析评价[J].西部探矿工程,31(1):84-86.

徐应中,文俊,李超,陈秉政.2020.基于FLAC3D隧道超前孔卸压影响范围研究[J].四川水力发电,39(1):63-65,72.

阎浩,黄费新,孙赫,赵立群,张勇,张昊,李帅值,刘方芳,王嘉上.2012.内蒙古迪彦钦阿木钼矿区热液矿化蚀变分带建模-基于Surpac软件[J].地质与勘探,48(5):932-939.

杨伟,王小锋,李忠,陈旭.2016.三维地质建模技术在古水水电站中的应用[J].水力发电,2(12):38-42,45.

叶思源,吴树仁,欧阳永龙.2011.地质三维可视化建模与其剖面自动制图应用研究[J].地质与勘探,47(3):498-504.

邹艳红,何建春.2012.移动立方体算法的地质体三维空间形态模拟[J].测绘学报,41(6):910-917.

周洁,王根厚,崔玉良,张莉.2017.基于3D Mine的阳山金矿安坝矿

段三维建模研究及矿体形态分析[J].地质与勘探,53(2):390-397.

张伟,高倩,梁雷江.2013.基于Petrel技术的油藏三维可视化建模研究[J].西北地质,46(3):191-196.

朱鸣,王春磊.2012.使用犀牛软件及Grasshopper插件实现双层网壳结构快速建模[J].建筑结构,42(S2):424-427.

赵健,杨立,邓冬梅,张健,邓珊.2018.基于3DEC对某输电线路新建铁塔岩质边坡的稳定性评价[J].安全与环境工程,25(2):55-60.

周家文,徐卫亚,石崇.2007.基于3DEC的节理岩体边坡地震影响下的楔体稳定性分析[J].岩石力学与工程学报,26(S1):3402-3409.

张国祥,刘宝琛.2002.潜在滑移线法分析边坡滑动面及稳定性[J].土木工程学报,49(6):82-85.

张子平,王鹏,王曙煜,董文阳.2020.基于FLAC-(3D)软件对地震引发断层形变的研究[J].油气地球物理,18(1):77-80.

Three - Dimensional Slope Stability Analysis Based on Rapid Construction of Geological Model

TANG Jiangtao, DENG Zhaojun, QIN Xian'an, YI Qi

(Power China Kunming Engineering Corporation Limited, Kunming, Yunnan 650000)

Abstract: At present, the slope stability analysis is mostly based on two - dimensional profiles. With the application of various numerical analysis software, three - dimensional slope stability analysis technology is becoming more and more mature, but few methods are available for the rapid construction of the three - dimensional slope geological model and the modeling accuracy is difficult to be guaranteed. This paper uses the Geobim software to establish a 3D geological model of an engineering area, and then proposes a method to quickly establish the type file which flac3d can recognize by means of surfer and Ansys software. This method can greatly simplify the modeling process and improve the modeling accuracy. According to the main geotechnical problems of the engineering area, a 3D geological model of the area is constructed, and then the stability of the slope under different working conditions is calculated using the flac3d software. Calculation results show that under the heavy rain conditions, the stability of the slope is reduced. Under the filling condition, the lateral displacement of the slope becomes larger, but its stability is relatively good. The main failure mode of the slope is shear failure along the superficial or shallow weathered layer of the filled body and the slope.

Key words: Geobim, 3D geological model, flac3d, slope stability

