

FAST 台址巨石混合体边坡开挖稳定性分析

闫金凯¹, 马娟², 冯春³

(1. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国地质环境监测院, 北京 100081;
3. 中国科学院 力学研究所, 北京 100084)

摘要: FAST 台址巨石混合体的开挖稳定性对工程的建设及安全运营具有重要的意义。本文选取典型剖面, 对 FAST 台址巨石混合体边坡在开挖后可能发生的坡体内部深层滑动和表层块体失稳两种破坏模式进行研究。结果表明: 巨石混合体边坡沿最危险滑动面滑动的稳定系数约为 2.8, 不会发生坡体内部滑动。开挖后坡体上部较陡部位的表层块体由于失去支撑而发生失稳, 再带动后方的块体运动。块体运动过程中重新堆积、咬合, 体现出一定的自稳性。研究结果可为 FAST 台址巨石混合体及类似地质体的稳定性评价提供参考。

关键词: 巨石混合体; 边坡; 开挖稳定性

文章编号: 1003-8035(2012)02-0025-05

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

0 引言

中国科学院国家天文台“500m 口径球面射电望远镜”(Five hundred meters Aperture Spherical Telescope, 简称 FAST) 是国家科教领导小组审议确定的国家重大科技基础设施之一, 拟采用我国科学家独创的设计和我国贵州南部的喀斯特洼地的独特地形条件, 建设一个直径 500m 的高灵敏度的巨型射电望远镜。FAST 建成后将成为世界上最大口径的射电望远镜, 其效果图如图 1 所示。

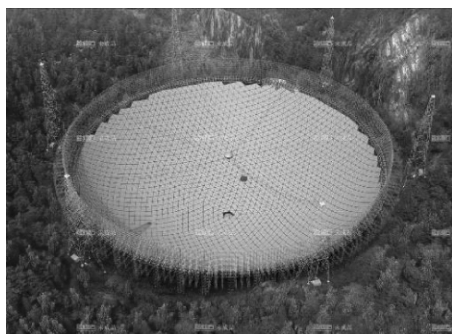


图 1 FAST 效果图

Fig. 1 Schematic diagram of FAST

FAST 建设项目位于贵州省黔南布依族苗族自治州平塘县克度镇金科村大窝凼洼地(图 2), 工程场地内分布有大量的块石堆积体(图 3), 台址开挖后块石堆积体的稳定性对 FAST 项目的建设及以后的安全运营有着重要影响。FAST 台址块石堆积体中块石尺寸较大, 其粒径一般在 1m 以上, 大者可达数米或十几米, 块石相互堆积、咬合, 导致其力学性质和变形破



图 2 FAST 台址大窝凼洼地

Fig. 2 Da wo dang depression of FAST location



图 3 FAST 台址巨石混合体

Fig. 3 Large rock mixture in FAST location

坏特征与一般的土体和岩体有较大的差异。殷跃平^[1]将此类地质体命名为“巨石混合体”, 本文中也沿用这一概念。由于巨石混合体所具有的大块石堆积

收稿日期: 2012-02-23; 修订日期: 2012-03-29

基金项目: 地质力学研究所基本科研业务费项目
(DZLXJK201112)

作者简介: 闫金凯(1981—), 男, 在读博士后, 地质工程专业。

E-mail: yanjinkaisw@163.com

的结构特性,致使对巨石混合体边(滑)坡的稳定性评价存在争议。目前专门针对巨石混合体开展的研究较少,工程上通常将其作为常见的碎屑堆积体处理,没有考虑块石的尺寸效应对变形及力学特性的影响。

殷跃平^[1]认为对这类巨石土混合体反演所采用的内摩擦角应该比滑带土的残余抗剪强度试验值高20%~30%。在考虑滑带土性状时,也应研究滑体结构对滑坡稳定性的影响。李树武、陈强等^[2-3]结合堆积体的天然休止角与室内大剪试验结果确定某堆积体的力学参数,认为可按堆石体的天然休止角作为其内摩擦角。朱彦、唐韬等^[4-5]对FAST台址岩堆的特征进行了分析,认为堆石体的稳定系数与安息角有关。涂国祥^[6]通过大型三轴试验对某冰水堆积体的变形及强度特性进行了研究。以上研究对巨石混合体边(滑)坡的稳定性评价具有一定的参考价值,但目前为止对此类巨石混合体边(滑)坡的变形失稳模式及稳定性评价方法尚存在争议,这也一定程度上影响了FAST工程的进展。

本文通过数值计算,选取典型剖面对FAST台址巨石混合体边坡开挖稳定性进行研究,为FAST台址巨石混合体及类似地质体的稳定性评价及防治提供参考。

1 FAST台址巨石混合体特征

1.1 成因分析

FAST台址巨石混合体是崩塌堆积的产物,其形成条件主要有地质构造、地形地貌和水的作用。构造上,当断层从场地中部呈南北向贯穿,岩层遭遇断层强烈破坏,节理裂隙比较发育,将岩体切割成大小不

一和形状不规则的四方体,易风化剥落在山脚形成堆积体;高陡断崖及陡壁为巨石混合体的形成提供了地貌条件;地表水沿裂隙渗入岩层,降低了岩石裂隙间的粘聚力和摩擦力,同时也增加了岩体的重量,促进了不稳定岩体的崩塌,利于巨石混合体的形成。

1.2 巨石混合体特征

由于形成时期的不同,FAST台址巨石混合体自下而上分为两种类型,类型一为密实堆积的巨石混合体(称为D1单元),为古崩塌堆积体,上覆于基岩,结构密实。块石成分为白云质灰岩及少量含泥灰岩,块石粒径大小悬殊,大者达3.0m×4.0m×5.0m以上,小的只有1cm×2cm×3cm左右,大小混杂,块石含量一般在80%~90%,块体间为粘土、碎石、角砾的混合体充填,充填物多呈胶结状态。

类型二为表层松散堆积的巨石混合体(称为D2单元),近期崩塌堆积形成,粒径大小及其块体之间的充填物以及各组份的含量与D1单元的基本相同,结构松散,上覆于D1单元,厚度2.0~7.0m不等。块石粒径大小不均,相差较大,最大块石直径大于5m。

2 巨石混合体边坡开挖稳定性

巨石混合体属于堆积体的一种,目前对堆积体边(滑)坡的稳定性评价一般是将堆积体作为连续体来考虑,采用土质边(滑)坡的稳定性评价方法来进行分析。虽然对巨石混合体边坡来讲采用基于连续介质的稳定性评价方法存在一定的不合理之处,但由于目前缺乏对这类大块石堆积的边坡稳定性评价方法,且工程中需对其稳定系数进行量化,故通常对这类巨

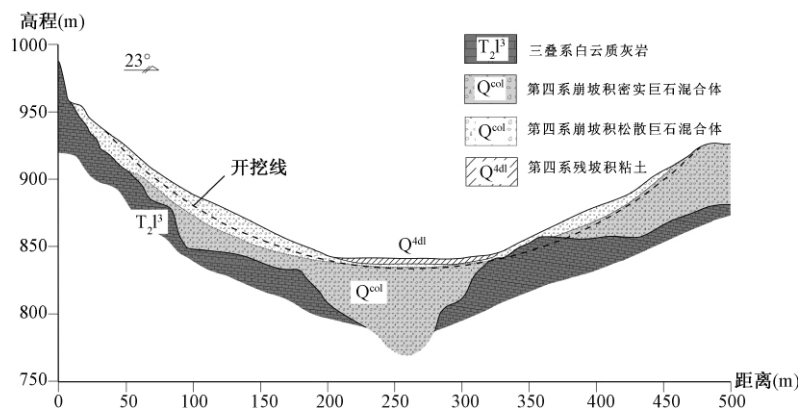


图4 FAST工程某剖面图
Fig. 4 Section diagram of FAST

石混合体边坡的稳定性评价多采用土质边坡的稳定性评价方法。本文分别将巨石混合体视为连续介质和离散介质,采用土质边坡稳定性计算方法和离散元数值模拟,对 FAST 台址典型巨石混合体边坡的稳定性进行研究。

FAST 台址巨石混合体边坡在开挖工况下,有可能产生两种破坏形式,即深层滑移和表层块体的失稳,现分别对这两种情况进行分析。以图 4 所示的剖面为计算剖面,考虑到台址开挖后右半部分的松散巨石混合体全部清除,因此只取左半部分的剖面进行计算。

2.1 深层滑移模式

(1) 计算模型建立

松散巨石混合体与下伏胶结密实的巨石混合体之间没有明显的界限和软弱面,但在松散巨石混合体内部有可能沿某一滑动面发生失稳滑动,因此采用 GEO-SLOPE 软件搜索可能的滑动面,并计算相应的稳定系数。鉴于巨石混合体的透水性较好,本次计算不考虑水的影响。

(2) 参数选取

计算过程中需确定相关的计算参数,即巨石混合体的重度、内聚力和内摩擦角。由于巨石混合体的块石尺寸较大,采用常规的试验方法无法进行。本文采用大型三轴剪切试验来确定巨石混合体的相关力学参数。具体方法为:通过对现场巨石混合体的尺寸进行调查,得出粒径级配曲线,采用缩尺方法(相似级配法)将块石粒径进行缩尺后制作试样,再进行大型三轴剪切试验。根据试验结果并参考经验取值,本次计算采用的参数如表 1 所示,其中内聚力表征的是块石堆积的咬合力。

表 1 FAST 台址巨石混合体物理力学参数
Table 1 Recommended physical and mechanical parameters of large rock mixture

| | 重度 γ (kN/m^3) | 内聚力 C (kPa) | 内摩擦角 ϕ ($^\circ$) |
|---------|-------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 松散巨石混合体 | 22 | 150 | 38 |
| 密实巨石混合体 | 24 | 1130 | 42 |
| 基岩 | 27.2 | 5400 | 57 |

(3) 计算结果

图 5 为开挖后的计算模型及所得的最危险滑动面,可知开挖后的巨石混合体边坡,最易发生滑动的区域为上部的堆积体。表 2 为 Janbu 法、Bishop 法及

Morgenstern-Price 法各自对应的稳定系数。由计算结果来看,三种方法计算所得的沿最危险滑动面滑动的稳定系数均较大,表明此剖面的边坡在开挖后不会发生坡体内部的滑动。

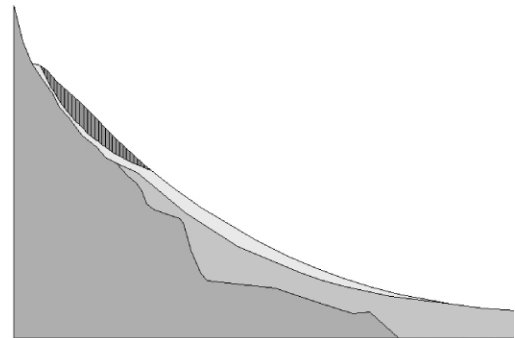


图 5 计算模型及最危险滑动面

Fig. 5 Calculation model and the most dangerous slip surface

表 2 最危险滑动面对应的稳定系数

Table 2 Stability factor of the most dangerous slip surface

| 方法 | Bishop 法 | Janbu 法 | Morgenstern-Price 法 |
|------|----------|---------|---------------------|
| 稳定系数 | 2.894 | 2.871 | 2.893 |

2.2 坡体表面块体失稳模式

巨石混合体边坡是由大块石堆积而成,块石之间互相镶嵌、咬合,台址开挖后,一部分块石被挖走,影响了块石的堆积状态,有可能造成块石的局部失稳。因此,对图 4 所示的剖面进行离散元数值模拟,研究开挖后巨石混合体边坡的稳定情况。

(1) 计算模型建立

本次计算依据图 4 所示的典型剖面建立计算模型。由于密实胶结的巨石混合体物理力学性质较好,已接近岩类,且与基岩之间没有明显的软弱带,故建模时将基岩与密实堆积的巨石混合体视为连续介质,松散堆积的巨石混合体设为离散介质。

本次计算采用三角形单元,由于软件的限制无法实现块石尺寸与实际调查所得的实际块石尺寸及粒径级配相符,故生成单元时采用了代表粒径。即根据调查所得的块石粒径分布情况,通过以下公式计算块石的代表粒径 \bar{D} :

$$\bar{D} = \frac{\sum p_i d_i}{100} \quad (1)$$

式中: p_i ——粒径 d_i 的块石重量占总重量的百分数。

经计算得此剖面处巨石混合体的代表粒径为 1.8m,建模时块体单元尺寸以 1.8m 为基准进行网格

划分。

图 6 为开挖前的计算模型,图 7 为开挖后的计算模型,在开挖模型上选取四个测点监测位移变化情况。

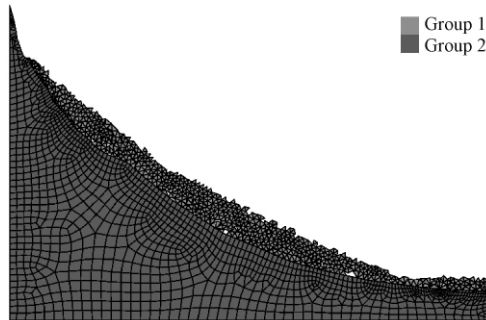


图 6 开挖前计算模型

Fig. 6 Calculation model before excavation

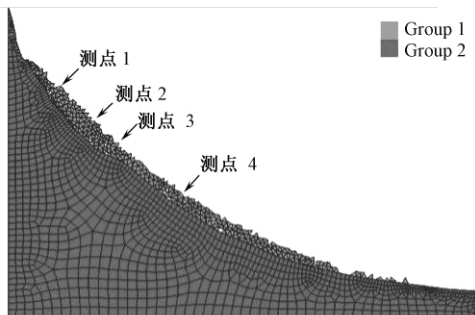
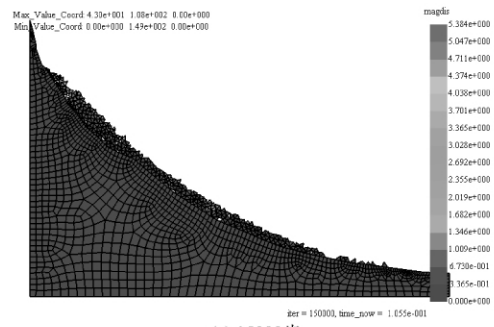


图 7 开挖后计算模型

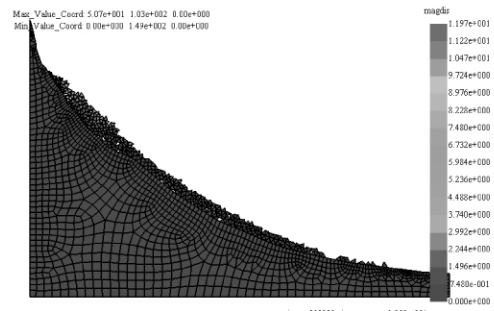
Fig. 7 Calculation model after excavation

(2) 计算结果

由图 8 所示的位移云图得知,开挖后巨石混合体边坡发生变形的部位主要为上部较陡的区域,下部坡度较缓的区域变形较小。其变形失稳模式与土质滑坡不同,不是沿边坡内部的某一滑面发生滑动,而是表层的块体在开挖后由于失去支撑而发生变形,再导致与其相接触的后部块体的变形,块体变形模式以翻滚、滑移为主。其原因在于,由于巨石混合体中块石互相镶嵌、堆积,咬合作用较强,且上部松散的巨石混合体与下部密实巨石混合体之间没有软弱夹层,所以不易在坡体内部发生滑动。开挖时,表层的块体被挖走,导致其后部原本与其相接触的块体失去支撑,在重力作用下发生变形,重新进行堆积。从图 9 所示的各测点的位移曲线来看,几个测点的位移先增大,而后逐渐趋于平稳,也即块石经过重新堆积后又逐渐趋于稳定,说明这类巨石混合体具有一定的自稳性。



(a) 15000步



(b) 32000步

图 8 开挖后位移云图

Fig. 8 Displacement results after excavation

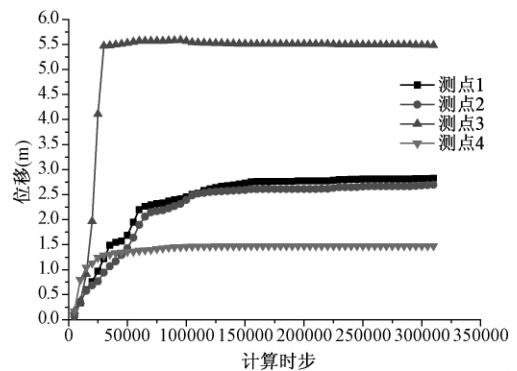


图 9 测点位移曲线

Fig. 9 Displacement variation curve of monitoring points

3 结论

通过对 FAST 台址巨石混合体边坡两种可能的变形失稳模式进行研究,主要取得了以下认识:

(1) 巨石混合体块石之间互相咬合的特性导致其抗剪强度参数较高,本文选取的计算剖面不会发生坡体内部的滑动。

(2) FAST 台址开挖后容易发生失稳的部位为边坡上部较陡的区域,失稳模式是表层块体的翻滚、滑移变形。

(3) 块体运动过程中重新堆积,具有一定的自稳性。

本文只对 FAST 台址某一剖面进行了分析,对于其它部分的巨石混合体边坡可采用同样的方法进行计算分析,从而为 FAST 台址巨石混合体边坡的开挖稳定性评价及防治提供参考。

致谢: 本文在写作过程中引用了贵州省建筑工程勘察院的相关勘察资料,特此致谢!

参考文献:

- [1] 殷跃平,李廷强,唐军. 四川省丹巴县城滑坡失稳及应急加固研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(5): 971-978.
YIN Yueping, LI Tingqiang, TANG Jun. Landslide reactivation and emergency stabilization on Danba county town in Sichuan Province [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2008, 27(5): 971-978.
- [2] 李树武,聂德新,刘惠军. 大型碎屑堆积体工程特性及稳定性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(2): 4126-4131.
LI Shuwu, NIE Dexin, LIU Huijun. Engineering property of a large-scale clastic accumulation body and its stability evaluation [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering 2006, 25(2): 4126-4131.
- [3] 陈强,聂德新,李树武. 澜沧江乌弄龙电站坝前崩塌堆积体发育特征及稳定性评价[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 95-100.
CHEN Qiang, NIE Dexin, LI Shuwu. Stability analysis on a collapsing accumulation body located in front of the dam site of Wunonglong water-power station in Lancang River [J]. Journal of Mountain Science 2006, 24(1): 95-100.
- [4] 朱彦,唐韬,王馨语. FAST 岩土工程模型实验简介[J]. 工程勘察, 2010, (s1): 925-931.
ZHU Yan, TANG Tao, WANG Xinyu. Introduction to model test of FAST engineering [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2010, (s1): 925-931.
- [5] 唐韬,朱彦. FAST 台址区岩堆的岩土工程治理对策研究[J]. 工程勘察, 2010, (s1): 571-577.
TANG Tao, ZHU Yan. Study on correction method to accumulation of rock mass in FAST location [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2010, (s1): 571-577.
- [6] 涂国祥,黄润秋,邓辉,等. 某巨型冰水堆积体强度特性大型常规三轴试验[J]. 山地学报, 2010, 28(2): 147-153.
TU Guoxiang, HUANG Runqiu, DENG Hui, et al. Study on the strength and deformation behavior of a huge outwash deposits based on large-scale triaxial tests [J]. Journal of Mountain Science 2010, 28(2): 147-153.

Stability analysis of large rock mixture slope under excavation in FAST location

YAN Jin-kai¹, MA Juan², FENG Chun³

(1. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;

2. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China;

3. Institute of mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100084, China)

Abstract: The excavation stability of large rock mixture slope in FAST location is important to the project. This paper studies the possible two damage models that are deep layer sliding in the slope and the rock block failure in the surface layer, by choosing typical section. The results show that the stability factor of the most dangerous slip surface is about 2.8. So the large rock mixture slope will not slide inside. The rock block in the surface layer of the upper part of the slope is easier to destabilizing because losing the sustainment. The subsequent rock blocks move subsequently. The rock blocks accumulate again in the movement, which show that the large rock mixture has the ability of self-stabilization. The conclusions can be presented as the reference to estimation of stability to large rock mixture in FAST location and similar geologic body.

Key words: large rock mixture; slope; excavation stability