

岩质高边坡加固时机研究

张宁宁¹, 陈元俊², 林锦旭¹, 王伟³

- (1. 华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030;
2. 福建省建江水利水电设计咨询有限公司, 福建 福州 350001;
3. 中南电力设计院, 湖北 武汉 430071)

摘要:为了研究某高速公路岩质边坡的稳定性及防治措施, 利用 FLAC^{3D} 有限差分软件建立岩质边坡数值计算模型, 分析开挖过程中岩土体的变形情况; 根据变形破坏模式提出岩质边坡加固方法尤其是加固时机的优化方案。研究表明: 如果边坡采用一挖到底的开挖方式, 随着边坡开挖强度不断增大, 将出现明显的变形滑动面, 最终会导致开挖边坡失稳; 而对边坡进行适时锚固支护, 岩土体的强度将明显提高, 变形位移明显减小, 保证了边坡在开挖过程中以及开挖后的长期稳定性。

关键词:边坡稳定性; FLAC^{3D} 有限元法; 锚杆支护; 加固时机

中图分类号: TU201.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2012)03-0006-05

1 工程概述

浙江地区拟建高速公路某处的挖方路段, 山体沿路线方向呈左陡右缓趋势, 由于路线走向与片理面走向近平行, 故高速公路两侧的边坡结构类型截然不同。其中, 左侧边坡的结构类型为稳定性较好的反向坡, 而右侧边坡的结构类型为稳定性较差的顺向坡(本文以右边坡为研究对象)。该边坡的倾向(倾向 142°)与片面倾向(110°~160°)相近, 故片理面控制了边坡的稳定性和破坏模式。

该工程右侧边坡属高陡岩质边坡, 最大坡高 > 200 m, 属一级边坡工程, 而且边坡岩体构造结构面发育, 且存在一定数量的顺倾、缓倾结构面, 故当采用大爆破、大开挖或开挖后不及时支护时, 均有可能发生边坡失稳和局部岩体塌方。因此, 对边坡开挖过程进行有效地数值模拟是很重要的, 而且根据模拟结果及时地对边坡采取防护措施更是重中之重^[1-6]。

2 岩质高边坡开挖和支护的 FLAC^{3D} 数值模拟

2.1 数值模型的建立

Hoek 教授指出^[7], 对边坡进行二维分析具有一定的局限性, 而三维分析则能更准确的反映边坡的实际情况。所以, 本文根据研究区的实际地形与地质条件, 建立了边坡三维实体模型。

因 FLAC^{3D} 软件在模型建立以及单元网格划分等前处理问题上存在许多不便, 故本文首先采用大型通用有限元软件 ANSYS 进行前处理, 然后再通过 ANSYS - FLAC^{3D} 的接口程序将网格数据导入到 FLAC^{3D} 中生成边坡的网格模型。

在本边坡的计算模型中, 以垂直于公路走向为 x 轴(以主滑为正), 以平行于公路走向为 y 轴(以北侧到南侧采石场为正), 竖向对应于 z 轴(向上为正)。模型长 245 m(x 轴方向), 宽约 1 430 m(y 轴方向), 底面高程为 -30 m, 路面标高为 198 m, 地表高程根据实际地形图确定。根据勘探资料分为 3 个主要的风化带: 强分化、弱风

收稿日期: 2012-06-29

作者简介: 张宁宁(1980-), 女, 山东淄博人, 博士, 主要研究方向为地基基础稳定性。

化、微风化。边坡分5级开挖,除最上一级开挖至坡顶外,每级开挖高度为40 m,各级过渡平台宽10 m。整个网格模型由四面体、五面体和六面体

混合网格单元组成,共19 502个节点,99 607个单元,最终在FLAC3D中生成的网格模型见图1。

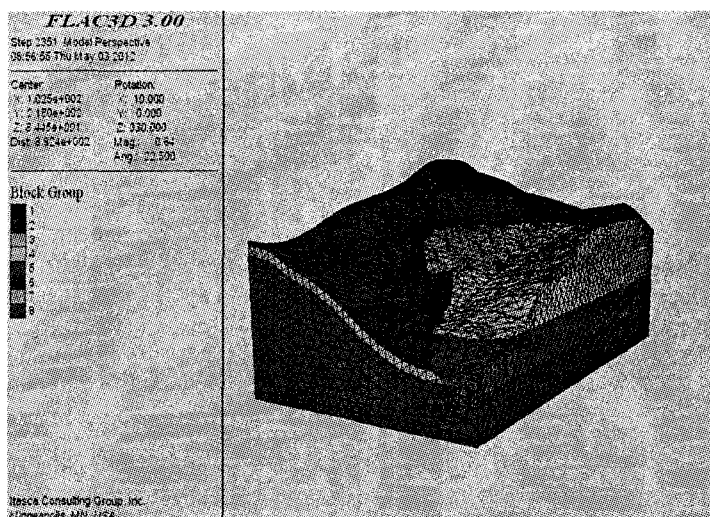


图1 边坡网格模型

Fig. 1 Slope grid model

FLAC^{3D}网格模型生成后,必须再对其赋予相应的材料参数及边界条件,方可进行分析计算。边界条件:模型在 z 轴方向的底面($z = -30$ m)处 x 、 y 、 z 3个方向固定;模型在 x 轴方向的两个侧面($x = -20, x = 225$)处水平 x 向固定;模型在 y 轴方向的两个侧面($y = 0, y = 430$)处水平 y 向固定;其余均为临空的自由边界。通过室内试验得到相应的参数,并利用工程处理法得到计算参数。本边坡的初始地应力的生成仅考虑自重作用,不考虑构造应力。

2.2 无支护条件下边坡逐级开挖数值模拟

边坡岩体在自重作用下生成初始应力的同时也产生了初始位移,但现实中初始位移早就结束,因此在分析后续的开挖工况之前,必须将该位移置零。然后,通过将需开挖的岩土体置空单元(null),便可模拟每一步的开挖过程。

其具体模拟过程如下:边坡第5级开挖→solve至收敛→边坡第4级开挖→solve至收敛→…边坡第2级开挖→solve至收敛→边坡第1级开挖→solve至收敛。

按照上述模拟方法进行求解,分别得到每次开挖后的位移情况,本文选取第4、3和1级开挖后的位移结果进行边坡的稳定性分析。

图2为计算得到的边坡第4级开挖后水平 x 向位移(即向临空方向的水平位移,以指向临空方向为正),由图可知,边坡第4级开挖后,开挖面范围内沿临空面方向的水平 x 向位移不明显,仅6 cm,这充分说明第5级和第4级边坡开挖后边坡向临空面发生变形破坏的可能性很小。

这主要是由于此时边坡的卸荷量都不大,由于坡体中应力初始状态只考虑自重作用,坡体中竖向应力相对水平应力要高些,开挖卸掉的竖向应力增量比卸掉的水平应力增量也相应要大些,因此,变形主要表现为竖向回弹。再者,坡体本身具有一定的刚度,加上边坡的缓坡削坡作用,当竖向回弹产生的刚体转动对坡体的影响超过了水平初始地应力对开挖后坡体水平回弹位移的贡献时,总的水平回弹位移相对竖向回弹位移小。

图3为计算得到的边坡第3级开挖后水平 x 向位移(同上),由图可知,随着边坡逐渐开挖,边坡位移有着较大的变化。第3级开挖后,边坡向临空方向的最大水平位移为18 cm,存在于边坡中下部。其量值已经很大,因而可认为边坡此时进入不稳定的阶段,可看出边坡正逐渐形成潜在的滑移面。

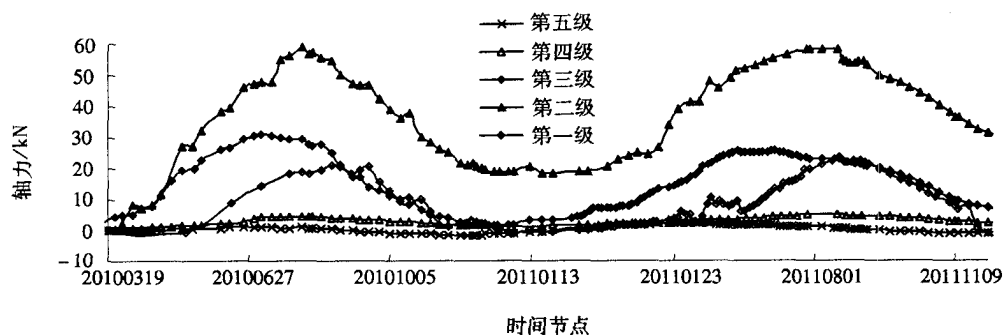
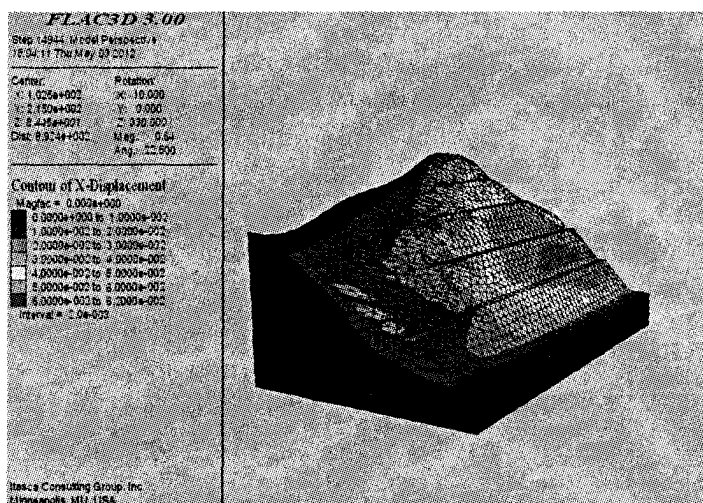


图4 边坡不同平台处锚杆轴力实测曲线

Fig. 4 Slope of different platform bolt axial force curve

图5为边坡适时支护后水平 x 向位移图(同上),从图中可以看出,锚杆支护对边坡的变形有了明显的抑制作用。边坡指向临空面方向的最大

水平位移仅为6 cm,较之未支护时的50 cm有了很大的改善,表明支护措施有效地阻止了开挖边坡自组织过程的形成。

图5 边坡适时支护后水平 x 向位移图(单位:m)Fig. 5 Figure slope timely support level x displacement (unit: m)

3 小结

通过有限差分软件FLAC^{3D}对边坡在未支护和适时支护两种工况进行了数值模拟,通过分析边坡的位移变化情况,可得到以下结论:

(1)如果边坡采用一挖到底的开挖方式,随着边坡开挖深度增加,变形将从无序发展为有序,形成明显的变形滑动面,最终导致开挖边坡失稳。边坡开挖前两级时,位移值很小,认为边坡处于稳定状态,但边坡第3级开挖后,边坡开始自组织形

成潜在滑动面,位移值增大,边坡已经是开始不稳定了,建议在开挖到第3个台阶时对边坡进行支护,使得边坡开挖施工引起的位移以及局部区域的破坏得到有效控制。

(2)对边坡进行适时锚固支护后,岩土体的强度将明显提高,最大水平位移由支护前的50 cm到支护后的6 cm,有效地阻止开挖边坡自组织过程的形成,保证了边坡在开挖过程中以及开挖后的长期稳定性。

参考文献:

- [1] 林杭,曹平,官凤强. 位移突变判据中监测点的位置和位移方式分析[J]. 岩土工程学报,2007,29(9):1 433 - 1 438.
- [2] 彭文祥,赵明华,袁海平. 基于拉格朗日差分法的全长注浆锚杆支护参数优化[J]. 中南大学学报:自然科学版,2006,37(5):1 002 - 1 007.
- [3] 林杭,曹平,李江腾. 边坡临界失稳状态的判定标准分析[J]. 煤炭学报,2008,33(6):643 - 647.
- [4] 范文,俞茂宏,李同录. 层状岩体边坡变形破坏模式及滑坡稳定性数值分析[J]. 岩石力学与工程学报,2000,19(S1):983 - 986.
- [5] 林杭. 竹城公路层状岩质边坡稳定性分析与防治措施研究[D]. 长沙:中南大学,2006.
- [6] 沈金瑞,林杭. 多组节理边坡稳定性 FLAC^{3D}数值分析[J]. 中国安全科学学报,2007,17(1):29 - 33.
- [7] Hoek E,Bray J W. Rock Slope Engineering(3rd ed)[M]. London:Institute of Mining and Metallurgy,1980:78 - 79.

Study on Reinforcement Time of Rock High Slope

ZHANG Ning-ning¹, CHEN Yuan-jun², LIN Jin-xu¹, WANG Wei³

- | | |
|---|--|
| (| 1. China Huadian Electric Research Institute, Hangzhou Zhejiang 310030, China; |
| | 2. Fujian Jianjiang Water Conservancy & Hydropower Design Consulting Corp, LTD, Fuzhou Fujian 350001, China; |
| | 3. Central Southern China Electric Power Design Institute, Wuhan Hubei 430071, China |

Abstract: In order to study the stability of stratified rock slope in the road and its prevention measures, the numerical calculation model for rock slope was founded with FLAC^{3D} finite difference software. The deformation of rock mass was analyzed in the excavation procedure, and the optimization scheme of reinforcement method and especially the reinforcement time was proposed according to the deformation failure mode of rock slope. The research result indicates that if method of excavation to the end is used, obvious deformation sliding surface will appear with excavation strength of slope increasing constantly, and will finally cause instability of excavation slope. However, when anchored structure to the slope was duly done, strength of rock and soil mass would be improved and deformation displacement be decreased obviously. This ensures the long-term stability of slope in the course of excavation and after the excavation.

Keywords: stability of slope; FLAC^{3D} finite; anchored structure; reinforcement time

(责任编辑:沈建新)