

高岩质边坡变形过程的数值模拟

张宁宁¹,边文同²

(1. 华电电力科学研究院,浙江 杭州 310030;2. 山东省公路建设(集团)有限公司,山东 济南 250102)

摘要:以某山地风电场厂房岩质边坡的稳定性及防治措施为例,利用 FLAC^{2D}有限差分软件建立岩质边坡数值计算模型,根据变形破坏模式提出岩质边坡加固方法。模拟结果表明,边坡的变形主要发生于边坡浅部的崩坡积层和强卸荷带岩体,有必要进一步完善该风电场厂房边坡加固措施及排水设施,提高边坡在暴雨工况下的稳定性。

关键词:岩质边坡;稳定性;数值模拟;加固方法

中图分类号:TU452 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)04-0047-06

边坡自形成起,在重力、风化、地震和其他各种内外地质应力的作用下,不断发生变化,进行应力重分布,并随着时间的发展,边坡的演变,坡内岩土体不断发生不同形式的变形与位移。坡体在自重、暴雨、地震、人工开挖及其他因素作用下,常常失稳而发生滑坡或崩塌,造成严重的地质灾害,使之同地震和火山并列成为全球 3 大地质灾害之一^[1]。所以,对边坡进行稳定性研究,防止边坡事故发生具有极其重要的意义。

近年来 FLAC 程序在国内外的广泛应用,使得有限差分法在解决岩石力学工程问题上有了更广阔的空间。目前,国内外已有不少学者使用 FLAC 有限差分程序,对边坡稳定性进行研究^[1-3]。孙进忠等^[4]采用基于强度折减法的二维有限差分程序 FLAC^{2D}对太原西山大佛边坡进行稳定性研究,分析了边坡可能失稳破坏模式;敖翔^[5]采用 FLAC^{2D}数值模拟方法,深入分析北京大灰厂边坡 3 个典型剖面在天然工况与暴雨工况下的应力应变和稳定性,并与 Sarma 法对比分析,阐明 FLAC^{2D}计算方法的合理性;王向东等^[6]利用 FLAC^{3D}的基本原理,对昆明东支线两面寺土质高边坡的稳定性进行模拟和分析,验证了该边坡在 8°地震烈度下所设计坡率的合理性。

本文采用 FLAC^{2D}有限差分数值模拟技术对某山地风电场边坡应急加固后的 1 个典型剖面进

行数值模拟。

1 FLAC^{2D}模型建立

1.1 计算剖面

为了对风电场厂房后边坡的整体稳定性进行验算,根据边坡的岩土特征及边界条件,以及最可能失稳破坏位置和边坡破坏影响程度,在该边坡选取了 1 个典型剖面:A-A'剖面(如图 1 所示),用 FLAC^{2D}对其进行稳定性验算。

A-A'剖面位于滑坡体中部,坡高达 280 m,边坡总体呈“下陡上缓”形态,坡脚分布厂房,为最不利断面。地表分布有崩坡积堆积层,厚度 10 ~ 25 m,崩积层主要分布于高程 460 m 以下山坡。基岩为侏罗系上统黄尖组熔结凝灰岩,强风化带厚度 30 ~ 60 m,弱风化带厚度约 2 ~ 30 m。整个剖面地质条件复杂,岩体破碎,分布有多条大的陡倾、反倾断裂构造。

1.2 计算工况

根据该风电场厂房后边坡地质灾害治理工程地质勘察资料,本区地下水埋深很不均匀,剖面上起伏较大,钻孔反映微风化带为较稳定的隔水层,透水性小;弱风化带~强风化带存在陡倾和中倾的张裂面,为强透水带;而崩坡积层为强~中等透水带。地下水一方面对岩体尤其是软弱结构面产生浸泡、溶解、软化和泥化作用,从而软化岩体的

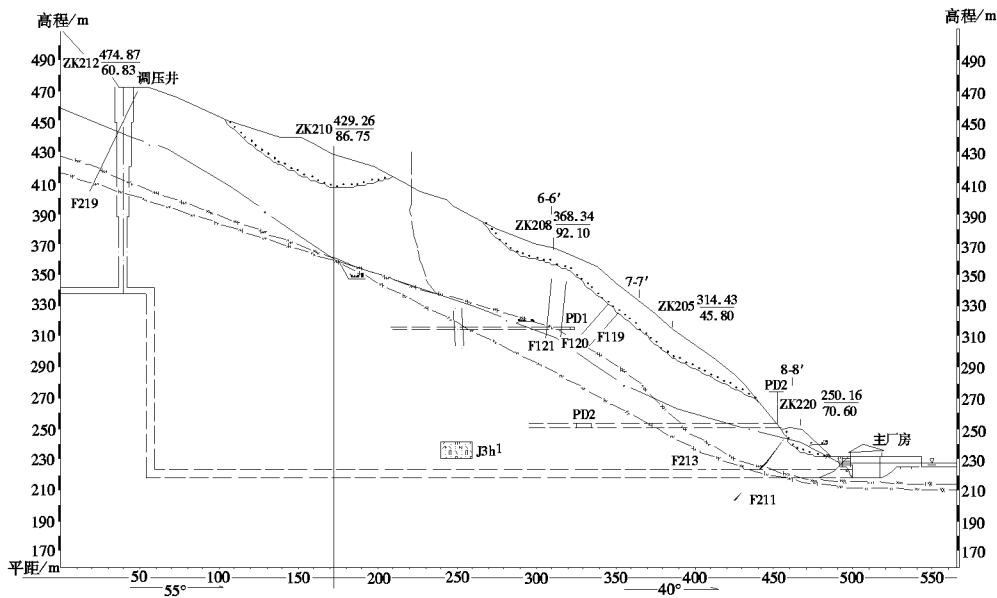


图 1 A-A'计算剖面图

Fig. 1 Profile map of A-A' calculation

工程性质;另一方面产生动静水压力作用,加剧边坡滑动。坡内地下水主要为降雨入渗补给,由于坡面截排水沟和平硐内部排水效果良好,假设水位高程变化缓慢,不存在突升或突降现象,因此数值模拟过程中不考虑地下水渗流影响,仅考虑静水压力作用。

由于厂房区地处浙江西北部,年平均降水量 1 400 mm,加之厂房后边坡岩体破碎,节理裂隙发育,雨水极易入渗,严重影响边坡的稳定性,因此必须考虑暴雨条件下厂房后边坡的稳定性。

综合以上因素,确定对厂房后边坡分别进行天然工况和暴雨工况下稳定性计算。考虑到边坡表面截排水沟排水作用效果明显,认为暴雨工况

地下水位上升并不显著,假设暴雨工况地下水位高程比天然工况上升 5 m,天然工况地下水位高程使用浙江省水利水电勘测设计院实测数据。

1.3 计算参数

考虑模型为平面应变问题,采用弹塑性模型、Mohr-Coulomb 屈服强度准则。

该厂房后边坡岩体主要为第四系覆盖层及侏罗系上统黄尖组熔结凝灰岩,第四系覆盖层由崩坡堆积体组成,性质最差的粉质粘土,为崩坡积稳定的控制层。根据现场调查、室内试验以及工程地质经验类比法,并参考相关规范及勘察设计手册,本次边坡稳定性评价所用岩体物理力学参数取值如表 1 所示。

表 1 岩体物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of rock mass

工况	岩性	重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	粘聚力 C / kPa	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	体积模量/ Pa	剪切模量/ Pa
天然 工况	覆盖层	18.9	30	34	$5.56\text{E}+8$	$1.85\text{E}+8$
	强风化层	21.5	80	36	$2.08\text{E}+9$	$9.62\text{E}+8$
	弱、微风化层	26.5	500	45	$2.08\text{E}+10$	$1.69\text{E}+10$
	断层破碎带	20.1	40	34	$5.56\text{E}+8$	$1.85\text{E}+8$
暴雨 工况	覆盖层	19.3	25	32	$5.56\text{E}+8$	$1.85\text{E}+8$
	强风化层	21.7	70	34	$2.08\text{E}+9$	$9.62\text{E}+8$
	弱、微风化层	26.6	490	44	$2.08\text{E}+10$	$1.69\text{E}+10$
	断层破碎带	20.9	30	32	$5.56\text{E}+8$	$1.85\text{E}+8$

2 稳定性计算

A-A'剖面计算模型是在 A-A'计算剖面图的基础上简化而成。A-A'剖面计算范围宽 565 m、高 350 m,采用 226 × 140 的网格进行模拟,其网格模型如图 2 所示。

A-A'剖面的介质模型共由 4 种介质组成,分别为第四系全新统崩坡积覆盖层、侏罗系上统黄尖组强风化熔结凝灰岩、侏罗系上统黄尖组弱风化和微风化熔结凝灰岩以及断层破碎带。介质模型如图 3 所示。

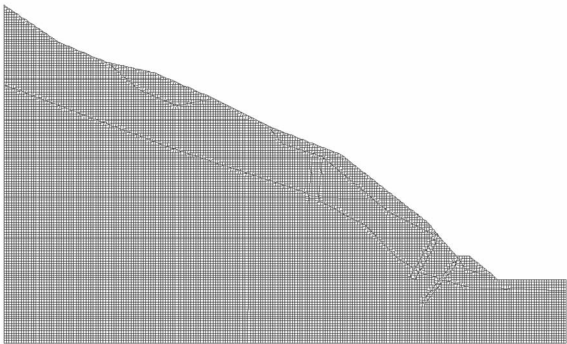


图 2 A-A'剖面网格模型
Fig.2 Profile model of A-A' grid

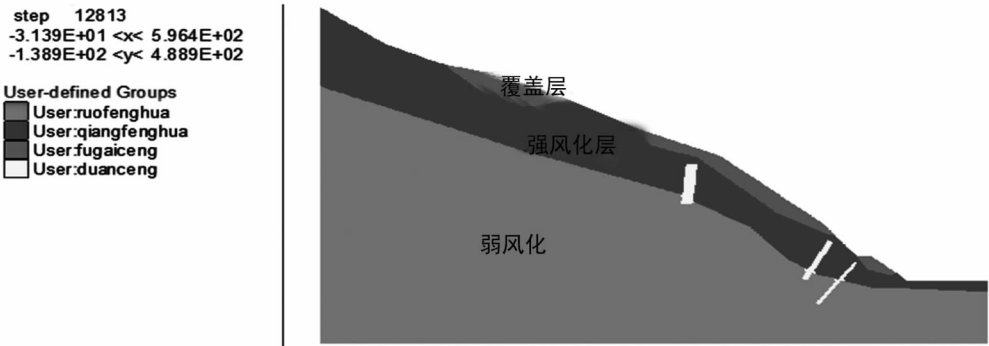


图 3 A-A'剖面介质模型
Fig.3 Medium model of A-A' profile

2.1 应力分布

该厂房后边坡应力以自重应力为主,从最大主应力分布图 4(天然工况)和图 5(暴雨工况)可以看出,在天然工况和暴雨工况下,边坡岩体最大

主应力分布基本一致,且愈靠近临空面,愈接近于平行临空面,这与一般边坡应力分布规律一致;在暴雨工况下,随着降雨入渗,边坡岩土体渐趋饱和,边坡上部的压应力略有增大,但不明显。

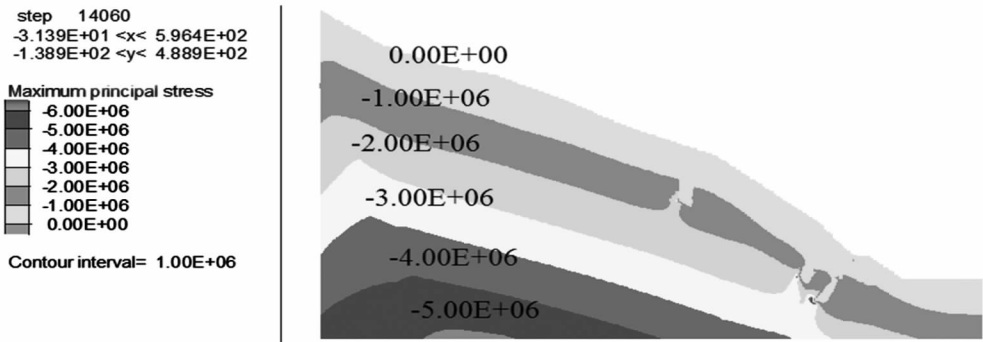


图 4 A-A'剖面最大主应力分布图(天然工况)
Fig.4 Distribution map of maximum principal stress of A-A' profile (natural conditions)

2.2 水平位移分布

根据水平位移分布图 6(天然工况)和图 7(暴雨工况)可以看出,在天然工况下,边坡水平

位移向坡内逐渐减小,边坡的最大水平位移位于边坡下部崩坡积层表面,为 15.0 mm;尽管边坡岩体向临空方向有一定错动,但边坡总体相对稳定。

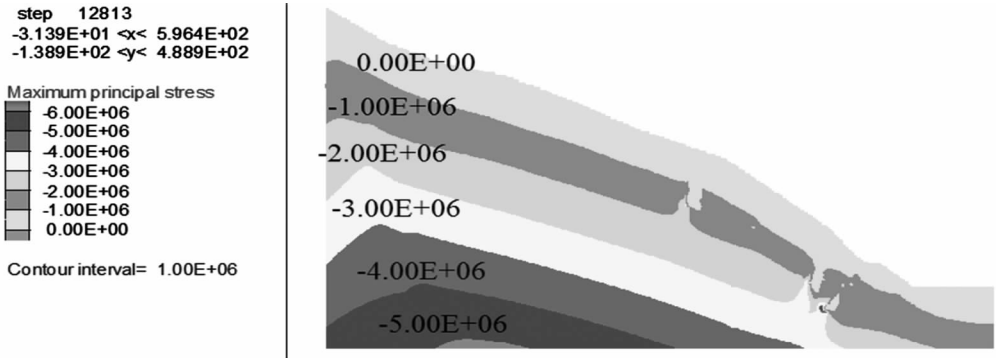


图 5 A-A'剖面最大主应力分布图(暴雨工况)

Fig. 5 Distribution map of maximum principal stress of A-A' profile (heavy rain conditions)

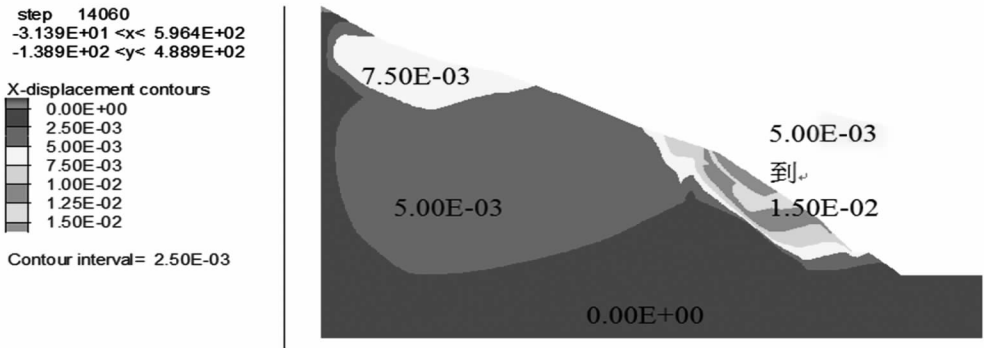


图 6 A-A'剖面水平位移分布图(天然工况)

Fig. 6 Distribution map of horizontal displacement of A-A' profile (natural conditions)

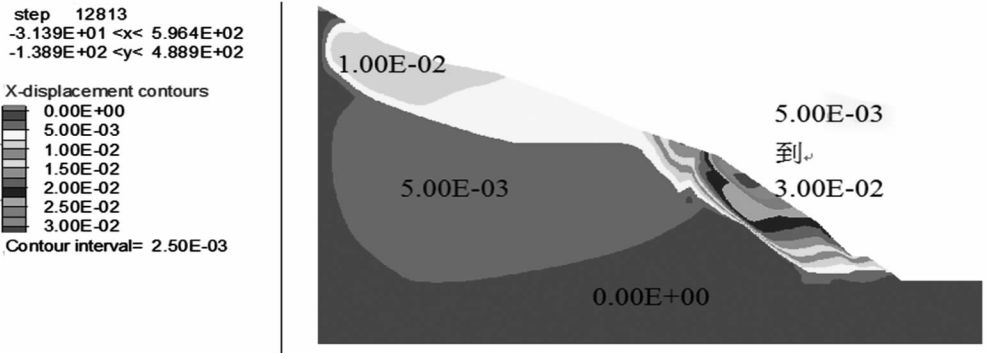


图 7 A-A'剖面水平位移分布图(暴雨工况)

Fig. 7 Distribution map of horizontal displacement of A-A' profile (heavy rain conditions)

而在暴雨工况下,边坡的最大水平位移值为 30.0 mm,与天然工况下相同,最大位移也位于边坡下部崩坡积层表面,但整个区域的位移比天然工况下有明显增大,边坡稳定性变差。

垂直位移与水平位移具有相似规律,但边坡的变形以水平位移(指向临空方向)为主,垂直位移量较小。此结果与边坡地表变形观测数据一致。

由此可见,不论是天然工况还是暴雨工况,边坡的变形都主要发生于边坡浅部的崩坡积层和强卸荷带岩体,这与锚筋桩轴力分析结果一致。

2.3 安全系数分析

从安全系数求解值及剪应变速率分布图 8 (天然工况)和图 9(暴雨工况)可知,A-A'剖面边坡在天然工况下的安全系数为 1.22,而在暴雨工况下的安全系数仅为 1.11。根据文献[7]对安全

系数的规定,本工程边坡安全等级为 3 级,允许安全系数为 1.15 ~ 1.20。显然,在天然工况下边坡基本处于稳定状态,而受暴雨影响,随着雨水的下渗,边坡岩土体渐趋饱和,重度增加,更为重要的

是岩土体的黏聚力及内摩擦角均出现不同程度的弱化;与天然工况相比,暴雨工况下边坡稳定性变得很差。故仍有必要进一步完善边坡加固措施及排水设施,提高边坡暴雨工况下稳定性。

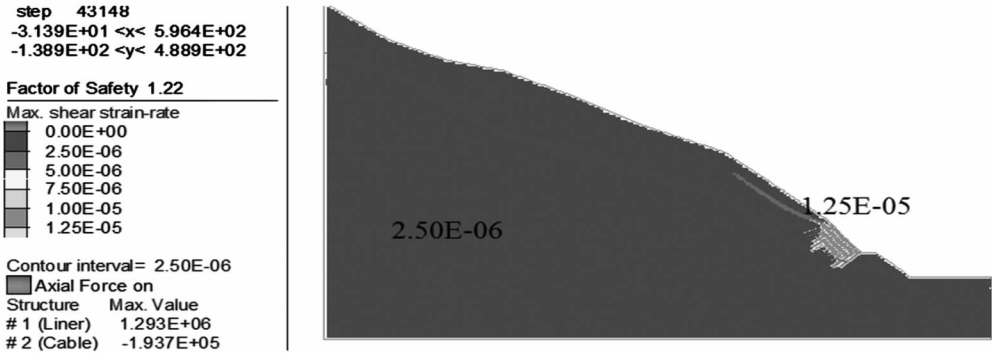


图 8 A-A'剖面剪应变速率分布图(天然工况)

Fig. 8 Shear strain rate distribution map of A-A' profile (natural conditions)

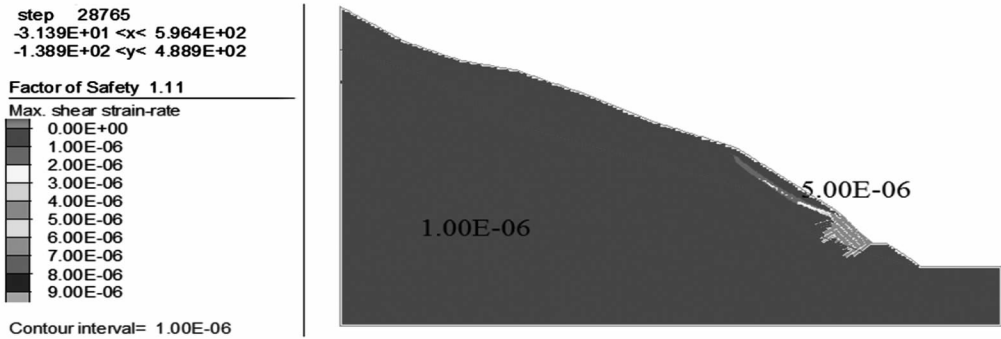


图 9 A-A'剖面剪应变速率分布图(暴雨工况)

Fig. 9 Shear strain rate distribution map of A-A' profile (heavy rain conditions)

3 结论

为了对边坡整体稳定性进行验算,本文采用 FLAC^{2D}有限差分数值模拟技术分别考虑天然工况和暴雨工况,对某风电场厂房后边坡一个典型

剖面进行数值模拟计算。模拟结果表明,A-A'剖面边坡在天然工况下的安全系数为 1.22,而在暴雨工况下的安全系数仅为 1.11,说明仍有必要进一步完善边坡加固措施及排水设施,提高边坡在暴雨工况下的稳定性。

参考文献:

[1] PAN, Q X, CHANG, L S. A study of application about FLAC-3D in damage of rock mass slope[J]. Key Engineering Materials. 2006,306/307/308:1 427-1 432.

[2] 崔政权,李宁. 边坡工程:理论与实践最新发展[M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.

[3] WEI, B X, ZHENG, J L. Research on deformation and instability characteristic of expansive soil slope in rainy season [C]. Slope Stability, Retaining Walls, and Foundations. Geotechnical Special Publication. 2009,197:226-236.

[4] 孙进忠,田小甫,管旭东,等. 太原西山大佛松动岩体边坡稳定性分析[J]. 地学前缘,2008,15(4):227-238.

[5] 敖翔. 北京丰台区大灰厂高边坡稳定性评价研究[D]. 北京:中国地质大学,2008.

[6] 王向东,文江泉. 用 FLAC-3D 进行土质高边坡稳定性分析[J]. 西华大学学报,2005,24(3):87-89.

[7] 黄河勘察规划设计有限公司. 水利水电工程边坡工程设计规范:SL386—2007[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2007.

Numerical Simulation of Deformation Process of High Rock Slope

ZHANG Ningning¹, BIAN Wentong²
(1. China Huadian Electric Research Institute, Hangzhou Zhejiang 310030, China;
2. Shandong Highway Construction (Group) Co., Ltd, Jinan Shandong 250102, China)

Abstract: Taking the stability and prevention measures of rock slopes of a wind power plant in a mountainous area as an example, the numerical calculation model of rock slope is established by using FLAC^{2D} finite difference software. According to the deformation failure mode, the rock slope reinforcement method is proposed. The simulation results show that the slope deformation mainly occurred in the shallow slope of the colluvial deposits and strong unloading rock mass, it is necessary to further improve the reinforcement measures and drainage slope of powerhouse of the wind farm, to improve the stability of the slope in the rainstorm condition.

Keywords: rock slope; stability; numerical simulation; strengthening method
(责任编辑:张英健)

(上接第 31 页)

参考文献:

- [1] 柯旭贵,张荣清. 冲压工艺与模具设计[M]. 北京:机械工业出版社,2012:267-270.
- [2] 郭光宜,郭璠. 波浪形连接端子的多工位级进模设计[J]. 南通职业大学学报,2013,27(3):94-98.
- [3] 孟玉喜. 6 齿 U 形插片多工位级进模设计[J]. 模具工业,2016,42(3):19-22.
- [4] 马辉. 高速列车安装板多工位级进模设计[J]. 锻压技术,2016,41(6):91-95.
- [5] 孟玉喜. 三角状插座端子的级进模设计[J]. 锻压装备与制造技术,2014,49(4):82-85.
- [6] 刘海渔. 方形片多工位级进模设计[J]. 模具工业,2015,41(8):36-39.

Design of Multi-position Progressive Die L Shaped Pin

GUO Guangyi
(School of Mechanical Engineering, Nantong Vocational University, Nantong Jiangsu 226007, China)

Abstract: According to the characteristics of the L shape pin head parts and the tail material whose thickness is inconsistent of a connector for automotive, on the basis of analyzing the forming process, three structural schemes are developed. By comparison and analysis, the 27 position progressive die parts are determined, and the local thinning of the thick material is realized by the method of four successive beating. And the layout scheme is determined. Actual production test shows that the design of the L-shaped multi-position progressive die is reasonable. It solves the problem of continuous gradient of the thickness of the plug tail material in technology. It meets the needs of large volume production.

Keywords: L shaped pin; layout design; continuous pat; Multi position progressive die
(责任编辑:李华云)