文章编号: 1673-0062(2010)01-0092-06

板岩路堑边坡开挖扰动效应分析

李 凯¹,傅鹤林²,郭明香³,陈 芬²

(1.广东省公路管理局路桥管理中心,广东 广州 51000& 2 中南大学 土木建筑学院,湖南 长沙 410075,3.湖南省高速公路管理局,湖南 长沙 410001)

摘 要: 板岩路堑高陡边坡,在开挖施工过程中可能产生的危害性较大.对其不同开 挖阶段的扰动效应的分析研究, 是一个极有价值的课题,能够为工程的设计、施工提 供一定的参考和依据.本文以某高速三合同段的高路堑板岩边坡为依托工程,对天然 含水率下的坡体的开挖扰动效应进行极限平衡分析和数值模拟分析. 通过研究, 揭示 了不同工况下边坡的稳定性变化过程,为合理安排开挖工序,选择合理的防护方案, 提供了技术参考.

关键词: 板岩边坡; 开挖; 扰动效应; 稳定性 中图分类号: U416 1 文献标识码: A

Analysis on Excavation D isturbance Effect for Cutting Slate Slope

LIKai, FUHe-lin², GUOM ing-xiang³, CHEN Fen²

(1 Highway Authority of Guandong Province, Guanzhou, Guandong 510008, China
2 School of Civil Engineering and Architecture, Central South University, Changsha Hunan 410075, China
3. Highway Authority of Hunan Province, Changsha Hunan 410001, China)

Abstract The high and steep slate sbpe is dangerous in the course of excavation and construction. The analysis on the disturbance effect can provide some useful guidance to sbpe design and construction Relying on the project of the high and steep cutting slate slope in the third contract section of certain expressway, the influences of every excavating stage with nature moisture content are calculated by limit balance method and numerical simulation method. By analysis, the slope stability of different stages are disclosed, which will provide some useful clues for arranging construction schedules and selecting slope protection method.

Key words slate slope, excavation, disturbance effect stability

收稿日期: 2009-10-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50878213); 交通部重点基金资助项目 (2003-318-802-01); 湖南省交通厅基金资助项目 (200506); 衡阳市科技局科研基金资助项目 (2008HKJ03) 作者简介: 李 凯 (1972-), 男, 河南商丘人, 广东省公路管理局高级工程师, 硕士. 主要研究方向: 岩土及道路工

1 工程概况

某高速第三合同段位于衡阳市衡东境内, 三 合同段 K18+ 250~450路堑沿中线挖方长度 110 m, 最大切深 52 0m(K18+380右侧), 路线在山 腰上穿行, 与等高线大致平行, 左侧挖方小, 右侧 切深大, 山坡坡度较陡达 40~45°, 坡上植被不发 育, 山顶上局部见全风化岩石出露, 挖方区山坡上 黄海高程 112~166 m 不等.主要土层有:1)种植 土: 褐色, 松散, 含植物根, 厚度为 0~0 50 m, 主 要分布于山坡表层; 2) 板岩: 出露地层岩性为元 古界板溪群板岩, 钻探揭露深度范围内为全风化 层, 裂隙发育, 岩体极破碎, 岩芯多呈碎石、碎片 状, 局部呈土状, 岩质软, 采取率低.

钻探深度范围内揭露岩性为全风化板岩,裂隙发育,岩体极破碎,岩芯呈碎石、碎片状,局部呈 土状.板岩产状 140°∠85°,路线走向约 135°,由 于边坡岩质本身以全风化板岩为主,泥质含量较 高,受雨水浸泡极易软化,同时受边坡开挖扰动的 影响,某三合同段 K18+250~450 处板岩路堑边 坡出现的主要边坡模式为蠕滑 – 拉裂,可能破坏 模式为转动型滑坡或滑塌.

本文中采用 GEOSLOPE中 SLOPE /W 程序进 行极限平衡稳定性分析^[1-2],在此基础上,采用数 值分析计算某高速三标段右边坡体在自然状态 下、开挖状态下和支护后的稳定系数. 以期对施工 提供指导.

2 基于 SLOPE NV 的板岩边坡稳定 性分析

取右边坡中较高陡的断面 K18+ 360为典型 断面进行稳定性分析计算.考虑到种植土层主要 分布在边坡表层,厚度较小,且滑动面主要存在于 全风化板岩层中,以及碎石土层薄且力学参数的 未知性,所以将模型设定为两个岩(土)层(全风 化板岩层和强风化板岩层)考虑^[3-5].

坡体分五台阶开挖, 自路肩至坡顶依次为第 一级、第二级、第三级、第四级和第五级. 上三级台 阶按照坡比 1:1.25放坡, 下两级台阶按照 1:1的 坡比放坡, 五级开挖深度为 12.4 m, 四、三、二、一 级开挖深度为 10 m. 边坡开挖施工, 按照从上至 下的施工顺序逐级开挖. 概化地质模型示意图如 图 1.

2 1 天然状态下计算结果分析

计算天然状态下右边坡中较高陡的断面 K18 + 360的稳定系数, 计算时全风化板岩物理参数、 力学参数取试验所得数据 (取最接近现场测试含 水率 17% 的土体试验数据), 强风化板岩参数参 考勘查报告数据, 取值见表 1.

岩土名称	容重 /(kN• m ⁻³)	粘聚力 /kPa	摩擦角 <i>(</i> °	压缩模量 MPa	弹性模量 MPa	剪切模量 M Pa	体积模量 M Pa	泊松比
全风化板岩	17. 92	43. 58	24 94	13. 086	97. 21	37. 39	81. 01	0.3
强风化板岩	24	90	25	28 62	223. 9	87.45	169 6	0. 28

表 1 岩、土物理力学指标设计参数值 Table 1 Values of physical and mechanic indexes

计算结果得到的最危险滑动面及稳定系数分

布见图 2.



图 1 典型剖面概化地质模型示意图

1000

93

图 2 天然状态下边坡的潜在滑动面

Fig 1 Geological model of typical profile . Fig 2 Potential sliding surface of nature slope © 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在不同的计算方法下计算所得到的安全系数 见表 2

表 2 不同条分法所得到的安全系数比较 Table 2 Safety factors by different slice methods

计算方法	B ishop法	M orgenstem- P rice法	瑞典法	Janbu法
安全系数	1. 553	1 551	1. 518	1. 497

从图 2和表 2可以看出, 边坡的潜在滑动面 通过全风化板岩层, 没有通过强风化板岩层; 在天 然状态下, 即含水率为 17% 情况下, 边坡的安全 系数为 1.5>1.0 所以, 天然状态下边坡是稳定 的.表 2可见, 不同极限平衡条分法计算边坡的安 全系数结果有一定的区别, 一般 Janbu 法所得到 的结果相对于其他计算方法更为保守^{16-7]}.

2 2 开挖状态下计算结果分析

计算开挖状态下右边坡中较高陡的断面 K18 + 360的稳定系数,通过简化 Bishop法计算结果

得到的最危险滑动面分布及稳定系数见表 3

从表 3可以看出, 在天然含水率情况下对边 坡进行分级开挖, 由于边坡上三个台阶边坡的坡 率较缓, 后两个台阶边坡坡率相对较陡, 所以在开 挖过程中边坡的稳定系数先增大后减小. 同时在 整个开挖过程中边坡是稳定的, 最危险滑动面在 全风化板岩层中产生, 且全开挖后, 没有做任何支 护的情况下, 边坡的安全系数为 1 411, 滑动面基 本是通过全风化板岩层, 强风化板岩层对边坡稳 定影响较小, 边坡处于稳定状态.

表 3 开挖状态下边坡的潜在滑动面及安全系数

Table 3 Potential sliding surface and safty factors of slope under excavation					
开挖步	潜在滑动面	安全系数			
第一次开挖	and the second sec	1 648			
第二次开挖		1 772			
第三次开挖		1 613			
第四次开挖		1 453			
第五次开挖		1 411			

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3 基于 FLAC3D 的板岩边坡稳定性 分析

在计算机分析应用中,如何使计算机模拟实际情况,就需要计算中单元的物理力学性质与实际情况相一致.这样在对全风化板岩边坡进行数值模拟的过程中,全风化板岩的本构模型就显得尤为重要.本文选用 FLAC3D零模型模拟开挖区域、弹性模型来求解初始应力、选用 Mohr- Couhmb弹塑性模型来作为全风化板岩的本构模型 进行数值计算^[8-10].

3.1 计算模型与边界条件

计算 K18+ 200~ K18+ 900 右边坡中最高陡的 K18+ 360~ K18+ 400边坡体在自然、开挖情况下的稳定系数,计算时板岩物理参数、力学参数见表 1.

边坡四周为法向约束,竖向上部自由,底部为 固定约束.

边坡体的网格图见图 3,模型中共 79 436节 点,113 120个单元. 3 2 开挖状态下计算结果分析

采用弹塑性非线性有限元数值分析结果包括 以下四部分: 位移场、应力场、边坡体的稳定系 数,最大剪应变云图、速率矢量场和塑性屈服 区^[11].限于篇幅,这里仅对不同工况下的滑动面 计算结果进行对比分析.



图 3 K18+ 360~ K18+ 400段边坡体的网格划分示意图 Fig 3 Gril of K18+ 360~ K18+ 400 slope



(a)未开挖坡体潜在滑动面图; (b)第一次开挖后坡体潜在滑动面图; (c)第二次开挖后坡体潜在滑动面图; (d)第三次开挖后坡体潜在滑动面图; (e)第四次开挖后坡体潜在滑动面图; (f)第五次开挖后坡体潜在滑动面图 图 4 不同工况下潜在滑动面情况



	表 4 位移、应力最大值、稳定系数
Table 4	Values of displacement maximal stress and stability coefficient

纪禾取入阻	未开挖状态	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	
坡体水平位移 (负向) /mm	12 554	9 803	13 483	15 294	15.997	16.313	
坡面水平位移 (负向)/mm	6 0	6 0	6 0	6 0	5. 0	5. 0	
坡体水平位移 (正向)/mm	0	4 116	2 670	3 023	4 764	2 577	
坡面水平位移 (正向)/mm	0	4 1 1 6	2 670	3 023	4 764	2 577	
坡体竖向位移 (负向)/mm	28 924	28 214	29 259	30 001	30. 507	30. 727	
坡面竖向位移 (负向) /mm	25. 0	25. 0	20. 0	20.0	20. 0	20. 0	
坡体竖向位移 (正向)/mm	0	0	14 378	21 415	24. 393	24.421	
坡面竖向位移 (正向)/mm	0	0	14 378	21 415	24. 393	24.421	
总位移 /mm	29. 032	28 245	29 308	30 059	30. 588	30. 817	
坡体最大主应力 MPa	- 0. 416	- 0 411	- 0 4113	- 0. 412	-0.412 (+0.017)	- 0. 412 (+ 0. 065)	
坡面最大主应力 MPa	- 0.06	- 0. 06	- 0. 06	- 0.06	- 0 06 (+ 0 017)	- 0 06 (+ 0 065)	
最小主应力 MPa	- 1. 308	- 1. 295	- 1. 297	- 1. 298	- 1. 299	- 1. 299	
稳定系数	1. 56	1 64	1 70	1 55	1. 38	1. 37	

注:表中未开挖状态和开挖后的位移都已除去初始位移

4 结论

将分析得到的各种开挖步骤下坡体的位移最 大值、应力最大值、安全系数进行整理,结合各图 进行分析,可以得出以下结论:

1) 位移变化过程

在含水率 17% (天然状态)下,在开挖的前 期,坡体水平位移为 12 554 mm,坡面水平位移 6 0 mm 随着开挖的进行,坡体出现向坡内的水 平位移,第二次开挖后,边坡开始出现竖向拱起现 象.第一次开挖后,边坡产生的位移较自然状态下 小,因为坡体按 1:1.25削坡后坡体较自然状态下 更为平缓.随着开挖深度的增加,坡面水平最大位 移仍为 6.0 mm 左右,但范围扩大,出现大范围的 开挖扰动区.坡体的总位移随着开挖的进行而增 加,但增长的趋势愈来愈缓,当开挖至二级台阶 时,坡体位移趋于稳定,总位移达到 30 mm 左右. 在坡面台阶开挖处,边坡出现小范围开挖松动区 域,但塑性区域未贯穿坡体,未构成破坏.

2) 应力变化过程

在人工开挖荷载作用下,岩体内的应力为荷 载产生的应力与初始地应力之和.在全风化板岩 边坡中,由于岩体风化严重,可将其归属为土质边 坡,初始地应力简单考虑为自重产生,随着开挖的 影响,应力释放,重新调整趋于平衡:随着开挖的 进行,最大主应力、最小主应力变化较小,在后两 级台阶开挖后,坡体出现小范围的拉应力区域.

3) 潜在滑动面变化过程

从潜在滑动面图可以看出坡体准滑动面的变 化,同时,通过计算所得的坡体稳定系数,可以看 出边坡在前两台阶开挖后,相对于未开挖状态,坡 体的稳定性增加;随着第三次、第四次开挖的进 行,边坡的稳定性减小;当边坡开挖至坡脚时,坡 体稳定系数基本不变,可见,第五次开挖对整个坡 体扰动较小.

参考文献:

- [1]傅鹤林,彭思甜,韩汝才,等.岩土工程数值分析新方法
 [M].长沙:中南大学出版社,2005 44-50
- [2] Taboada J V aam onde A, Saavedra A, et al Application of geostatistical techniques to exploitation planning in slate quarries[J]. Engineering Geobgy, 1997, 47(3/4/ 5): 269-277.
- [3] Özsan A, Karpuz C. Geotechnical rock-mass evaluation of the Anamur damsite, Turkey [J]. Engineering Geobgy, 1996, 42(1): 65-70
- [4] R isnes R, Korsnes R K, Vatne T A. Tensional strength of soft chaks measured in direct and Brazilian tests[C] // Proc ISRM 9th International Congress Paris 1999. 271 - 274
- [5] G lover PW J G on ez J B D an age of saturated rocks undergoing triaxial deformation using complex electrical conductivity measurements Experimental results [J].

Phys. Chem. Earth 1997 22(1/2); 57-61 ng House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- [6] Gom ez J B, G bver PW J. Dan age of saturated tocks undengoing triaxial deformation using complex electrical conductivity measurements mechanical modeling [J]. Phys Chem. Earth 1997, 22(1/2): 63-68
- [7] Newman G H. The effect of water chemistry on the labonatory compression and permeability characteristic of North Sea Chalks[J]. JPT, May, 1983, 35: 976-980
- [8] Hadizadeh J Water-weakening of sandstone and quartzite deformed at various stress and strain rates [J]. Int J Rock Mech M in Sci 1991, 28(5): 431-439
- [9] Delage P, Cui Y J Schweder, C. Subsidence and capillary effects in chalks[C] // Eurock 96, ISRM International Symposium, Toring, Italy, 1291-1298.
- [10] Hegghein T, M ad IM V. A chemical induced enhanced weakening of chak by seawater[J]. Journal of petrokum science and engineering 2004, 46(3): 171-184.
- [11] R isnes R, H aghigh i H, Korsnes R J et al Chak-fluid interactions with glycol and brines[J]. Tectonophysics 2003 370(1-4): 213-226

(上接第 73页)

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家药典委员会. 中国药典[M]. 北 京: 人民卫生出版社, 2005. 169.
- [2] 沈春鸣. 紫外分光光度法测定尼群地平片含量和溶
 出度[J].海峡药学, 2004, 16(3): 63-65
- [3] 刘永明,李桂芝,荆济荣.尼群地平在玻碳电极上的 伏安行为及应用[J].分析化学,2002,30(11):1341
 – 1343.
- [4] 郑妍鹏, 莫金垣, 赖 蓉. 胶束电动毛细管色谱双通
 道电化学检测尼群地平[J]. 化学学报, 2003, 61(1):
 89-94.
- [5] 米振清, 刘 芹. HPLC法测定尼群地平片的含量 [J].齐鲁药事, 2007, 26(2): 85-86
- [6] CHEN Yong- fen, ROSENZWEIG Zeev. Lum in escent

CdS quantum dots as selective ion probes [J]. Anal Chem, 2002, 74(19): 5132-5138

- [7] Kerin M, Gattas Asfura, Roger M, et al Peptide- coated CdS quantum dot for the optical detection of copper and silver[J]. Chem.comm, 2003, 21: 2684-2685.
- [8] Jin-Long Chen, Chang-Qing Zhu Functionalized cadmium sulfide quantum dots as fluorescence probe for silver ion determination [J]. Analytica Chimica Acta 2005, 546 147-153.
- [9] Mingming Liu, Li Xu, Weiqing Cheng et al Surfacemodified CdS quantum dots as luminescent probes for sulfadiazine determination[J]. Spectrochimica Acta Part A, 2008 70 1198-1202