

引用格式: Zhou Yong, Wang Dongliang, Zhao Hong, *et al.* Stability of Rock and Soil Interbed Slopes under the Condition of Heavy Rainfall[J]. Journal of Gansu Sciences, 2015, 27(2): 60-63. [周勇, 王栋良, 赵红, 等. 强降雨条件下岩土互层边坡稳定性分析[J]. 甘肃科学学报, 2015, 27(2): 60-63.]
doi: 10.16468/j.cnki.issn1004-0366.2015.02.013.

强降雨条件下岩土互层边坡稳定性分析

周 勇^{1,2}, 王栋良^{1,2}, 赵 红^{1,2}, 王 鑫³

(1. 兰州理工大学 甘肃省土木工程防灾减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730050;

2. 西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050;

3. 华中科技大学武昌分校 城市建设学院, 湖北 武汉 430064)

摘 要 对强降雨条件下某岩土互层边坡的整体稳定性进行了分析, 提出了该边坡不采取支护措施时的合适坡角, 并探索了预应力锚杆和框架预应力锚杆柔性支护结构对岩土互层边坡的支护效果。研究表明: 不采取任何支护形式的岩土互层边坡层理倾角为 30° , 在考虑强降雨影响时最大安全坡角为 40° ; 强降雨对岩土互层边坡的整体稳定性影响不容忽视, 且坡角越大边坡安全系数降幅越大; 预应力锚杆以及框架预应力锚杆柔性支护结构对岩体互层边坡支护效果比较显著, 但应该考虑强降雨对岩土互层边坡整体稳定性的影响且加大安全储备。

关键词 岩土互层; 强降雨; 预应力锚杆; 框架预应力锚杆柔性支护结构; 整体稳定性

中图分类号: TU413 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0366(2015)02-060-04

岩土互层的岩土质混合边坡常见于沉积岩层状边坡中, 其成因主要是裂隙水沿层理面渗入, 使部分较软的岩层风化成土, 形成夹心饼状的岩土互层, 其中顺倾向岩土互层边坡的稳定性较差^[1]。目前对岩土互层边坡的研究主要集中在开挖卸荷对其稳定性的影响^[1-3], 对降雨入渗条件下岩土互层边坡的稳定性研究较少。岩土互层边坡中的土层与岩层相比渗透率大、强度低、易风化、力学性质差, 当地表水浸入土层时土体抗剪强度急剧减小, 土体重力增加, 同时在渗透压力等因素作用下边坡稳定性迅速降低, 往往其破坏过程都是由软弱土层发展而来, 最后在层理方向形成破裂面造成边坡的滑塌。因此, 岩土互层边坡在降雨入渗时土层强度降低, 边坡前缘开挖形成临空面边坡上的岩土体在水力作用触发下稳定性极差。

对兰州(新城)至永靖一级公路进行勘察时发现 K23+960 断面处为岩土互层地质。中国西北地区全年总降水量少但集中在夏季, 单次降水强度大, 往

往一次的暴雨量就占全年降水量的 30% 甚至更多, 24 h 暴雨笼罩面积可达 $50\ 000 \sim 70\ 000\ \text{km}^2$ 。因此, 如何保证强降雨条件下该断面处岩土互层路堑边坡的稳定性对保证工程质量至关重要, 可为本地区相似工程提供借鉴。

近年来, 框架预应力锚杆柔性支护技术发展迅速, 它是应用于基坑开挖和边坡稳定的一种新型支挡技术, 克服了传统支护结构的高度受限制、造价高、笨重、稳定性差等缺点, 且具有施工方便、控制变形有利、使用安全等优点。现在随着西北地区大量国道、高速公路和超高层建筑的兴建, 预应力锚杆(索)柔性支护技术在基坑支护和边坡加固工程中得到了日益广泛的应用^[4-8]。研究尝试以预应力锚杆柔性支护技术加固该边坡, 并探讨在强降雨条件下其动态稳定性。

借助 GeoStudio 软件对强降雨条件下兰州(新城)至永靖一级公路 K23+960 段顺倾向岩土互层边坡的整体稳定性进行了分析, 并探索了预应力锚

收稿日期: 2014-04-14; 修回日期: 2014-05-07.

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(1208RJZA158); 国家科技支撑计划项目(2011BAK12B07); 兰州理工大学红柳青年教师培养计划项目(Q201108); 甘肃省高等学校基本科研业务费项目。

作者简介: 周勇(1978-), 男, 湖北宣恩人, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向为深基坑开挖支护和边坡加固. E-mail: gszhouy@163.com.

通讯作者: 王栋良. E-mail: 821056970@qq.com.

杆和框架预应力锚杆柔性支护结构对增加该边坡整体稳定性的效果。

1 工程概况

该边坡位于兰永一级公路 K23+960 段面处,开挖边坡长度约 150 m,坡高 8 m。

1.1 工程地质条件

工程地质横断面为白垩纪砂岩泥岩互层,岩层厚度 3 m,土层厚度 2 m,岩层顺层,受构造影响,岩体相对较破碎,开挖后易崩解、掉块,粘土层易风化剥落,具弱膨胀性。岩层产状为 $55^\circ \angle 15^\circ$,发育两组节理,产状依次为 $195^\circ \angle 82^\circ$ 和 $280^\circ \angle 82^\circ$,岩体呈中厚层状,裂隙多呈微张型,少有充填物,呈块状结构,受构造影响严重的位置呈镶嵌碎裂结构,岩体较完整;结构面结合差,外倾不同结构面的组合线倾角小于 35° ,有内倾结构面。由于岩体节理裂隙较发育,受构造影响较严重,人工开挖扰动后,在雨季和地震

时会有掉块或局部塌落。

1.2 水文地质条件

根据现场的地形地貌以及地质条件勘察和现场调研来看,坡体所在场区地下水低于路基,开挖后各级边坡坡角均出现地下水渗流。

2 计算模型

利用 GeoStudio 软件对边坡在强降雨 24 h 及停雨后 48 h 的渗流和整体稳定性进行模拟计算,采用 SEEP/W 模块模拟降雨条件下边坡内部渗流场,将 SEEP/W 模块分析结果导入 SLOPE/W 模块分析边坡的整体稳定性。强降雨按坡顶和坡底边界条件产生 10 mm 滞水的水头、坡面产生 5 mm 滞水的水头考虑,SLOPE/W 模块边坡滑动面平行于层理方向(层理倾角按 30° 考虑)。

2.1 岩土体参数

边坡岩土体计算参数见表 1。

表 1 边坡岩土计算参数

Table 1 Slope rock and soil calculation parameter

岩土层	重度 /($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 /MPa	泊松比	摩擦角 /($^\circ$)	粘聚力 /kPa	抗拉强度 /MPa	饱和渗透系数 /($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
岩层	25.00	40.00	0.35	36	60	1.41	1×10^{-6}
土层	17.64	3.60	0.30	22	11	0.01	2×10^{-5}

2.2 支护结构参数

分别采用框架预应力锚杆柔性支护结构(未设面板)和边坡中部一排预应力锚杆的支护形式将坡角为 70° 的该边坡加固,将岩土层结构面倾角简化为 30° ,边坡重要性系数取 1.0,考虑坡顶地面超载 $q_0 = 12 \text{ kN/m}^2$ 。框架预应力锚杆柔性支护结构共布置三排锚杆,锚杆水平间距、竖向间距均为 2.5 m,立柱和横梁截面尺寸均为 $300 \times 300 \text{ mm}^2$,混凝土强度为 C30,锚杆均采用直径为 32 mm 的 HRB335 级钢筋,锚杆与水平方向倾角为 15° ,锚杆的其他设计参数见表 2。边坡中部采用一排预应力锚杆,其支护形式的锚杆参数同框架预应力锚杆柔性支护结构中的第 2 层锚杆。

表 2 锚杆的设计参数

Table 2 Design parameters of anchors

锚杆层数	锚杆位置/m	自由段长度/m	锚固段长度/m	锚固体直径/mm
1	1.5	4	8	200
2	2.5	3	7	200
3	2.5	2	6	200

注:锚杆位置指锚杆与框架的锚固点到坡顶的垂直距离。

2.3 计算模型

不采用支护形式的自然边坡考虑坡角为 40° 、 50° 、 60° 和 70° ,采用框架预应力锚杆柔性支护结构支护边坡模型坡角为 50° 、 60° 和 70° ,采用一排预应力锚杆支护边坡模型坡角为 70° ,所建计算模型见图 1、图 2(以 70° 坡角边坡为例)。SLOPE/W 模块计算模型中,边坡的滑动面定义为平行于层理方向。

3 计算结果分析

3.1 不同坡角的自然边坡整体稳定性变化

不采用支护形式坡角为 40° 、 50° 、 60° 和 70° 的自然边坡的安全系数变化规律如图 3 所示。

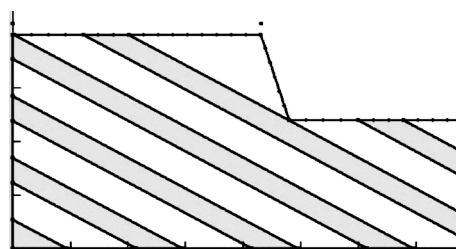


图 1 SEEP/W 模块计算模型

Fig. 1 SEEP/W module calculation model

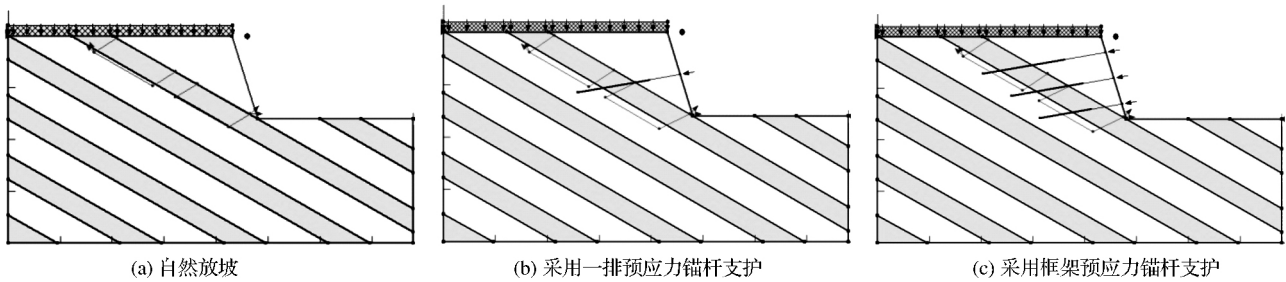


图2 SLOPE/W 模块计算模型

Fig. 2 SLOPE/W module calculation model

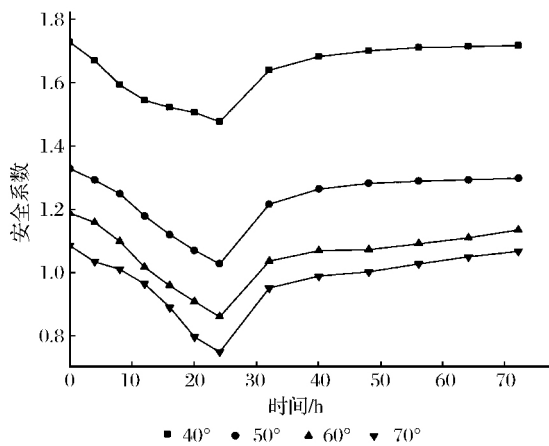


图3 不同坡角边坡的安全系数变化

Fig. 3 Variation of slope safety factors of different slope angles

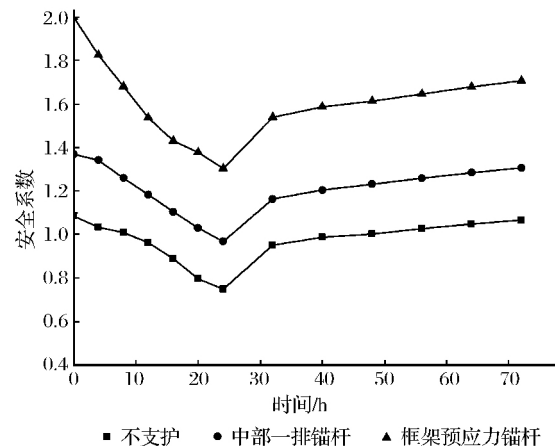


图4 不同支护形式边坡的安全系数变化规律

Fig. 4 Variation of slope safety factors of different supporting forms

从图3可以看出:(1)强降雨24h坡角为60°和70°的边坡已经破坏,坡角为50°的边坡濒临破坏,只有坡角为40°的边坡安全系数最小值为1.476(大于1.3,未破坏),可见强降雨对岩土互层边坡稳定性的影响不容忽视;(2)坡角为40°、50°、60°和70°的边坡安全系数降幅分别为14.5%、22.7%、27.6%、31%,坡角越大边坡安全系数降幅越大;(3)边坡安全系数在停雨后8h内回升最快,然后缓慢增加。

3.2 增加支护后边坡整体稳定性变化

坡角为70°的边坡采用框架预应力锚杆柔性支护结构、中部采用一排预应力锚杆支护以及不采取支护形式的自然放坡的安全系数变化情况如图4所示。

从图4可以看出:(1)边坡中部采用一排预应力锚杆支护后安全系数达到1.35,比自然边坡提高24%,但在强降雨24h后濒临破坏;(2)采用框架预应力锚杆柔性支护结构后,强降雨24h后边坡安全系数最小值仍大于1.3,边坡不会破坏且安全储备较大。

4 结论

(1)不采取任何支护形式的层理倾角为30°的

岩土互层边坡,在考虑强降雨影响时最大安全坡角约为40°,但针对具体工程需要详细计算。

(2)强降雨对岩土互层边坡整体稳定性的影响不容忽视,且坡角越大边坡安全系数降幅越大。

(3)预应力锚杆以及框架预应力锚杆柔性支护结构对岩体互层边坡支护效果比较显著,但应该考虑强降雨对边坡整体稳定性的影响,加大安全储备。

(4)基于GeoStudio软件对强降雨条件下兰州(新城)至永靖一级公路K23+960段顺倾向岩土互层边坡的整体稳定性进行了分析,并探索了预应力锚杆和框架预应力锚杆柔性支护结构对岩土互层边坡的支护效果,为类似工程设计提供了参考。

参考文献:

- [1] 黄欢,龚刚,郭冲,等.顺倾向层状岩土质混合高边坡稳定性分析[J].中外公路,2013,33(1):24-28.
- [2] 黄斌,郭冲,冯宇.岩土质互层高边坡开挖的稳定性分析[J].公路,2013,2(2):10-15.
- [3] 贾存兴.层状岩土质混合高边坡施工期破坏机制与稳定性研究[J].中外公路,2013,33(1):55-59.
- [4] 赵静波,高谦,李莉.层状岩质边坡预应力锚索加固工程应用分

- 析[J]. 岩土力学, 2005, 26(8): 1 338-1 341.
- [5] 李忠, 朱彦鹏. 框架预应力锚杆边坡支护结构稳定性计算方法及其应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3 922-3 926.
- [6] 周勇, 朱彦鹏. 框架预应力锚杆支护结构的分部优化设计策略[J]. 甘肃科学学报, 2006, 18(3): 97-100.
- [7] 周勇, 朱彦鹏. 黄土边坡框架预应力锚杆支护结构的理论分析与工程实践[J]. 建筑科学, 2006, 22(6): 48-53.
- [8] 周勇, 朱彦鹏, 张悟成. 框架预应力锚杆柔性支护结构中锚杆设计参数研究[J]. 甘肃科学学报, 2008, 20(1): 148-151.

Stability of Rock and Soil Interbed Slopes under the Condition of Heavy Rainfall

Zhou Yong^{1,2}, Wang Dongliang^{1,2}, Zhao Hong^{1,2}, Wang Xin³

(1. Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention & Mitigation of Gansu, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2. Research Center of Western Civil Engineering Disaster Prevention & Mitigation Attached to Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

3. School of Urban Construction, Huazhong University of Science and Technology at Wuchang, Wuhan 430064, China)

Abstract The overall stability of a rock and soil interbed slope under the condition of heavy rainfall was analyzed, a proper angle of the rock and soil interbed slope without supporting measures was proposed, and the supporting of the rock and soil interbed slope with the prestressed anchor and grillage flexible supporting structure was explored. The results showed that under the condition of heavy rainfall, about 40° was the maximum safe slope angle of the rock and soil interbed slope (at a bedding dip of 30°), without any protection measures; the effects of heavy rainfall on the overall stability of the rock and soil interbed slope could not be ignored, and the greater the slope angle was, the more slope safety factors declined; the supporting of the rock and soil interbed slope with the supporting measures was effective, but the influence of heavy rainfall on the overall stability of the rock and soil interbed slope should be considered and the slope safety factors should be increased.

Key words Rock and soil interbed; Heavy rainfall; Prestressed anchor; Grillage flexible supporting structure with the prestressed anchor; Overall stability