

某滑坡支护方案的比选及优化

秦凤艳,戈海玉

(皖西学院建筑与土木工程学院,安徽 六安 237012)

摘要:为了确定某滑坡的治理方案,在分析工程地质条件的基础上,采用数值模拟方法对比分析了抗滑桩、预应力锚索框架梁、抗滑桩预应力锚索框架联合支护3种方案,结果表明,在滑体中上部采用预应力锚索框架梁支护,在滑体中下部采用抗滑桩支护的抗滑桩预应力锚索框架联合支护方案为最优方案,抗滑桩与锚索框架梁的合理距离宜在10 m左右。对最优方案进行优化设计,确定了该滑坡的支护结构形式。施工1 a后的边坡变形监测结果符合工程要求,与数值模拟结果也比较吻合,表明该滑坡的优化支护方案是合理的。

关键词:高边坡;滑坡支护;抗滑桩;预应力锚索框架梁;优化设计

中图分类号:TU457

文献标志码:A

文章编号:1006-7647(2014)03-0070-05

Selection and optimization of programs for landslide supporting//QIN Fengyan, GE Haiyu (College of Architecture and Civil Engineering, West Anhui University, Lu'an 237012, China)

Abstract: In order to determine the optimal programs for control of a landslide, three programs, including anti-slide piles, prestressed anchor-cable frame beam, and anti-slide piles combined with prestressed anchor-cable frame, were analyzed and compared based on investigations of the engineering geological conditions and numerical simulation. The results show that the optimal programs are the second program for the upper-middle part of the landslide body and the third program for the lower-middle part of the landslide body, and the suitable distance between the anti-slide pile and the anchor-cable frame beam should be about 10 m. The supporting structures of the landslide for the optimal programs were determined through optimal design. The monitoring results after one year of construction show that the slope deformation meet the engineering requirements, and the numerical simulation results are in good agreement with the monitoring ones, indicating that this optimal program for landslide supporting is reasonable.

Key words: high slope; landslide supporting; anti-slide pile; prestressed anchor-cable frame beam; optimal design

山体由于受到重力、地震力、人类工程活动的影响易产生变形,严重时会造成滑坡。近年来我国地质灾害频发,其中滑坡时有发生,其带来的危害尤为严重,不仅表现在对生命财产的直接毁坏,而且滑坡易导致道路堵塞瘫痪,会增加救援的难度或延误救援时间,因此对滑坡的治理及支护结构的研究极为重要。在边坡支护结构设计中,目前常用的支护结构有抗滑桩、预应力锚索、预应力锚索框架梁、挡土墙等。

徐青等^[1-4]介绍了预应力锚索在边坡支护中的应用,并对相应的施工技术及优化设计思路进行了研究,主要考虑了锚索的锚固角及锚固长度。赵涛等^[5-7]分析了地震作用力对边坡的影响,针对锚索的长度及间距进行了优化设计。邵广彪等^[8-9]介绍了抗滑桩在边坡支护中的应用,对抗滑桩的受力特点及变形规律进行了分析。何忠明等^[10]运用模糊数

学理论对边坡支护设计方案进行了优选。已有研究成果对滑坡的治理提供了重要的参考依据,但在复合支护中不同结构体系的相互影响仍值得探讨,如抗滑桩与预应力锚索结合支护滑坡时,抗滑桩与锚索的间距问题等;另外,不同的工程地质条件往往产生不同的结果,因此在滑坡治理中应根据具体情况具体分析。

本文针对某实际滑坡治理工程,对其支护方案进行比选,并通过分析抗滑桩与预应力锚索框架梁这两种支护结构的相互影响,对支护体系进行优化设计。

1 工程概况

1.1 地质条件

某边坡由于连日降雨,已经产生滑动,滑坡后缘张裂缝清晰可见,宽度为10~40 cm,如图1所示。

滑体位于山体斜坡地中下部,平均厚度 12.5 m,滑动面如图 2 所示。滑坡所处地形坡度 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$,滑坡高度约为 60.5 m。该滑坡地层总体走向为 NW,倾向为 $NE50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。滑坡主要为上部松散堆积体产生滑动,边坡原有的挡土墙支护结构已不能满足工程需要,而且在滑坡下方有厂房和居民区,所以该滑坡必须重新支护。



图1 滑坡后缘张裂缝

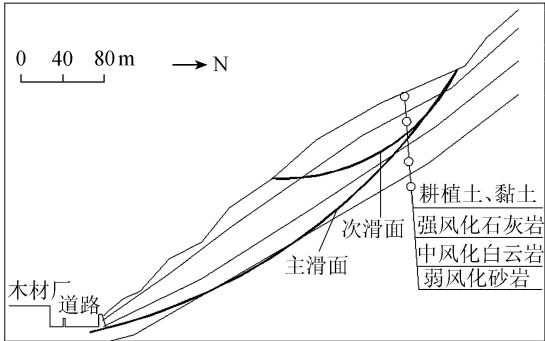


图2 滑坡剖面示意图

根据钻探和现场地质调查,滑坡体地层由耕植土、黏土夹碎块石组成,下伏基岩为灰岩夹泥质灰岩,自上而下依次为:①耕植土,褐黄色,由黏土夹碎石组成,厚度一般为 0.5 m,分布在自然坡面表层,植物根系发育,结构疏松;②黏土,黄色,土体结构较松散,含大量泥岩风化残块,工程性质一般;③强风化石灰岩,灰色,薄至中厚层状夹泥岩,细晶结构,整体性较差,岩体基本质量等级为Ⅲ、Ⅳ类;④中风化白云岩,灰白色,薄至中厚层状,隐晶-细晶结构,岩体基本质量等级为Ⅱ、Ⅲ类;⑤弱风化砂岩,灰黄色,薄至中厚层状,中粒砂状结构,岩芯成柱状,强度较好。

滑坡区内地下水类型主要为碳酸岩岩溶水,赋存于石灰岩及白云岩的岩体溶蚀裂隙中,水量受地形、岩性等因素的控制,区内地下水总体上由北向南径流,在地势低洼部位以泉的形式出露地表。通过钻孔进行水位观测,在钻探深度范围内未揭穿地下水,说明地下水位埋藏很深,在支护设计中可以不考虑地下水的影响,该边坡安全等级为二级。

1.2 滑坡的成因及支护方案

根据现场勘察,产生滑坡的原因主要有两个:一

是滑坡由耕植土、黏土、强风化岩体组成,这部分岩土体强度低,稳定性差;二是滑坡产生前该地区连续降雨多日,加之耕植土透水性较好,大量降水经地表渗入滑体中且未能及时排出,岩土体容重及下滑力显著增加,导致产生滑动。滑坡先由上部岩土体松动下滑,然后带动下部的岩土体滑动,该滑坡类型为推移式滑坡,按滑坡体物质组成和滑坡与地质构造的关系又可称为覆盖层滑坡。

根据该滑坡的工程地质条件,拟采用预应力锚索框架梁及抗滑桩来支护,这两种支护形式施工技术都比较成熟,在边坡支护工程中得到了广泛的应用^[11]。采用 3 套支护方案:方案 1 采用预应力锚索框架梁支护;方案 2 采用抗滑桩与预应力锚索框架梁联合支护;方案 3 采用双排抗滑桩支护。

图 3 为支护方案示意图,方案 1 为预应力锚索框架梁结构,将边坡分为二级结构,中间设置 4 m 宽平台,其中预应力锚索锚固段为 6 m,锚固于弱风化砂岩中,锚固吨位为 30 t,锚索为 4 束直径为 15.24 mm 的钢绞线,间距取 4 m,框架梁采用 0.5 m×0.5 m 矩形截面,弹性模量取 19 GPa。方案 2 为抗滑桩与预应力锚索框架梁联合支护方案,其中抗滑桩嵌入弱风化砂岩中 7 m,抗滑桩直径为 1.2 m,弹性模量取 31 GPa,抗滑桩与最下排预应力锚索锚头距离为 19.7 m,锚索参数与方案 1 中相同。方案 3 为双排抗滑桩支护方案,抗滑桩相隔 10.2 m,嵌岩深度仍为 7 m,抗滑桩直径也仍为 1.2 m。

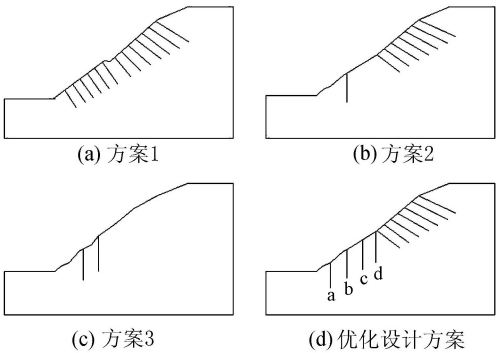


图3 支护方案示意图

2 支护方案比较分析

边坡设计常采用极限平衡法,但是该方法不能得到边坡的变形、稳定性系数、塑性区分布情况等结果,无法综合判断支护方案的优劣,且对该滑坡而言,滑坡下方有厂房及民居,因此边坡的稳定性及位移均应满足设计要求。目前数值模拟手段在边坡稳定性评价中得到了广泛应用^[12],为了对比分析上述 3 种支护方案的支护效果,采用数值分析软件 FLAC^{3D} 计算出边坡的位移、应力分布、剪应变增量等指标,来综

合分析各方案的优劣。该滑坡原始地形数值模型网格见图4,滑坡岩土体物理力学参数见表1。

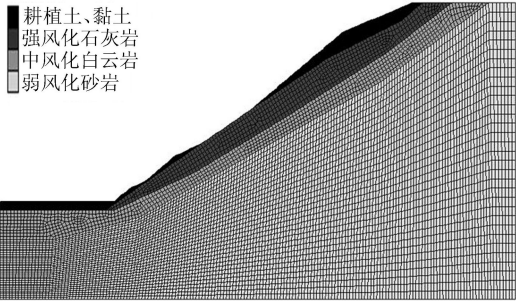
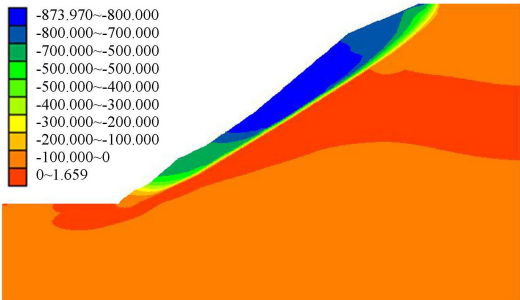


图4 原始地形数值模型网格

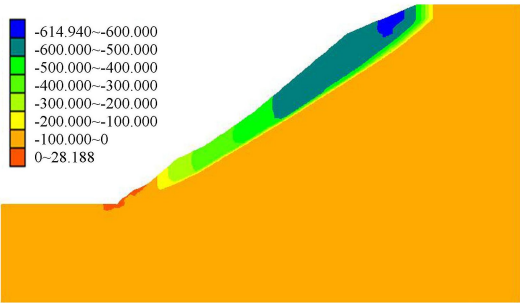
表1 滑坡岩土体物理力学参数

岩体名称	弹性模量/ MPa	泊松比	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	黏聚力/ kPa	内摩擦 角/($^{\circ}$)
耕植土、黏土	17.66	0.34	1.878	22	13
强风化石灰岩	82.54	0.33	2.293	36	21
中风化白云岩	475.60	0.29	2.354	110	32
弱风化砂岩	2961.00	0.27	2.385	235	39

图5为未支护时的边坡位移计算结果,最大水平位移为873.970 mm,最大沉降为614.940 mm,说明边坡位移较大,稳定性系数计算结果为1.012,边坡为临界状态,急需支护。计算结果与实际情况较吻合,这也说明了岩土体物理力学参数的取值是合理的。



(a) 水平向位移云图



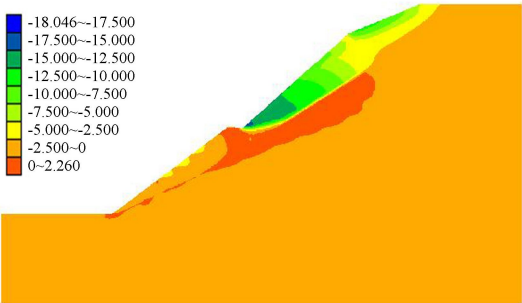
(b) 垂直向位移云图

图5 未支护时边坡位移计算结果(单位:mm)

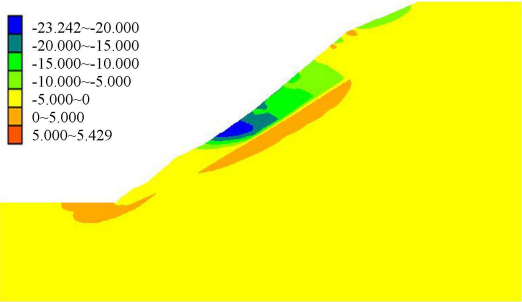
3种支护方案中,抗滑桩较容易施工,对环境的影响较小,但造价略高;预应力锚索框架梁施工时不易操作,且对环境的影响大,需要坡面清理等工序,会破坏原有的绿化,但和抗滑桩相比,其工期略短,造价略低。因此方案1的特点是造价低,难施工,工期长,对环境的影响大;方案3的特点是造价高,易施工,工期

短,对环境的影响小;方案2位于两者之间。经过概算,方案1、2、3的造价分别为228万元、235万元和265万元,从造价的角度来说方案1最佳,方案3最差。

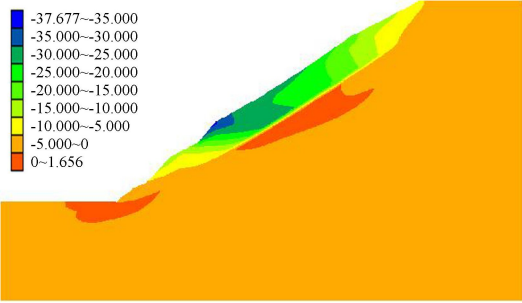
图6为3种支护方案水平位移计算结果,其中方案1最大水平位移为18.046 mm,发生较大位移部位主要位于滑体上部;方案2最大水平位移为23.242 mm,发生较大位移部位主要位于滑体的中上部;方案3最大水平位移为37.667 mm,发生较大位移部位主要位于滑体下部。从最大水平位移情况来看,方案1最小,方案3最大,说明采用预应力锚索框架梁支护结构要优于其他两种形式,其中方案2比方案1最大水平位移增大了28.79%,方案3比方案1最大水平位移增大了108.73%。



(a) 方案1



(b) 方案2



(c) 方案3

图6 支护方案水平位移计算结果(单位:mm)

为了更好地对比这3种方案的计算结果,将边坡稳定性系数、最大沉降、最大剪应变增量也列入比较,结果见表2。

从表2可以看出,各项指标均显示方案3支护效果最差。方案2与方案1相比,稳定性系数减小了3.80%,最大沉降减小了1.13%,最大剪应变增量增大了2.82%,可见方案1和方案2相差不大,

表 2 支护方案计算结果

方案	稳定性系数	最大水平位移/mm	最大沉降/mm	最大剪应变增量/%
1	1.473	18.046	18.202	0.496
2	1.417	23.242	17.996	0.510
3	1.258	37.667	17.777	0.614

因此这两种支护方案均可采用。由于抗滑桩的结构稳定性要强于预应力锚索框架梁,即锚索随着时间的推移会出现预应力损失和失效的现象,而且滑坡下方为一条公路和一家木材厂,更需注重支护结构的耐久性;而从造价来看,方案 2 只是略大于方案 1,所以综合比较宜采用方案 2 进行支护加固。

3 支护方案优化设计

根据比选结果,对方案 2 采用的联合支护形式进行优化设计。优化设计主要考虑抗滑桩的位置,设计了 4 种方案,见图 3(d),其中方案 b 与方案 2 相同。方案 a、c、d 中抗滑桩与最下排预应力锚索锚头距离分别为 30.9 m、9.6 m 和 1.0 m。通过计算分析这 4 种方案以确定抗滑桩的最佳位置。

图 7 为方案 a、c、d 水平位移计算结果,由图 6(b)和图 7 可以看出,方案 a、b、c、d 最大水平位移分别为 32.676 mm、23.242 mm、14.012 mm、11.991 mm。从最大水平位移来看,方案 d 最优,但是从最大水平位移发生部位来看,方案 a、b、c 均位于滑坡中上部,而方案 d 则位于滑坡的下部,这是由于滑体下部无任何支护结构所致。虽然方案 d 最大水平位移值最小,但是这种支护方案存在安全隐患,抗滑桩距锚索

太近,滑体下部容易再次滑动。为了详细比较这 4 种方案,对边坡稳定性系数、最大沉降、最大剪应变增量计算结果(表 3)做进一步的分析,从表 3 可以看出,方案 c 稳定性系数最大,且剪应变增量最小,虽然方案 d 的最大水平位移及沉降均最小,但其稳定性系数为 1.353,比方案 c 要小 12.03%,综合考虑,认为方案 c 为最佳方案,其稳定性系数比方案 1 还提高了 4.41%。因此最终确定抗滑桩与最下排锚索锚头距离在 10 m 左右为最佳。

表 3 优化方案计算结果

方案	稳定性系数	最大水平位移/mm	最大沉降/mm	最大剪应变增量/%
a	1.252	32.676	23.031	0.660
b	1.417	23.242	17.996	0.510
c	1.538	14.012	14.206	0.420
d	1.353	11.991	11.602	0.536

4 方案实施效果

经过方案的比选及优化,该滑坡选择方案 c 进行了支护,图 8 为边坡支护完成后的水平位移的部分监测记录,监测仪器为 XB338 型滑动式测斜仪,根据支护后边坡的变形特征,将监测点的位置设于滑体中部即变形较大部位(参见图 7(b)方案 c 的计算结果)。1 a 后边坡最大水平位移为 10.285 mm,说明支护效果良好,优化设计是成功的。与数值模拟结果相比,目前监测结果略小于模拟结果,因为数值模拟结果为变形的最终结果,而监测结果为中间状态,可以看出数值模拟结果与实测结果比较吻合。

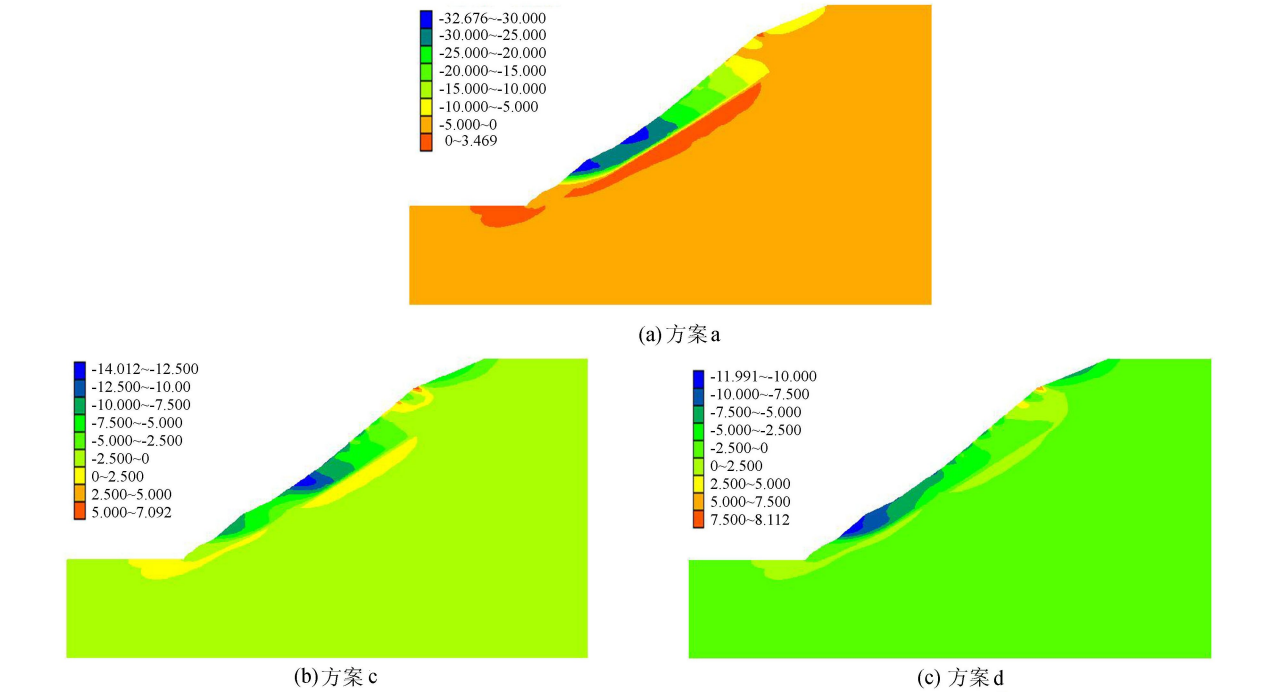


图 7 优化方案水平位移计算结果(单位:mm)

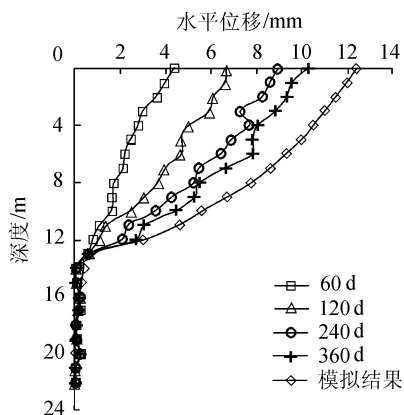


图8 边坡支护完成后位移

5 结 论

a. 通过比选,抗滑桩结合预应力锚索框架梁支护方案为最佳方案,能够提供较大的安全系数,有效地控制滑坡位移。

b. 抗滑桩与预应力锚索框架梁间距越近,滑坡的最大水平位移越小,但从边坡的稳定性系数来看,存在一个最佳间距,大于或小于最佳间距稳定性系数均呈减小趋势,该滑坡最佳间距为10 m左右。

c. 在比选支护结构时,不能单纯地分析滑坡的位移,位移小并不代表支护效果佳,应当综合分析滑坡的稳定性系数、剪应变增量等因素。

参考文献:

- [1] 徐青,徐寅,陈胜宏,等.复杂岩质边坡预应力锚索优化设计[J].长江科学院院报,2011,28(2):32-37. (XU Qing, XU Yin, CHEN Shenghong, et al. Optimization design of prestressed anchorage cables in complicated rock slope[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2011, 28(2): 32-37. (in Chinese))
- [2] 张德圣,姜玉松,吴诗勇.小湾水电站堆积体边坡支护与锚索技术应用[J].水利水电科技进展,2011,31(2):66-70. (ZHANG Desheng, JIANG Yusong, WU Shiyong. Reinforcing of deposit slopes of Xiaowan Hydropower Station and application of prestressed anchorage cables [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(2): 66-70. (in Chinese))
- [3] 王启云,张家生,陈晓斌,等.某复杂高边坡支护结构设计及变形监测分析[J].建筑结构,2012,42(10):130-135. (WANG Qiyun, ZHANG Jiasheng, CHEN Xiaobing, et al. Design for retaining structure and deformation monitoring analysis of a complicated high building slope [J]. Building Structure, 2012, 42(10): 130-135. (in Chinese))
- [4] 邵勇,覃仁辉.预应力锚索框架梁边坡支护数值模拟[J].地球科学与环境学报,2010,32(3):307-310. (SHAO Yong, QIN Renhui. Numerical simulation of slope

- supporting for prestressed anchor with frame beam [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(3): 307-310. (in Chinese))
- [5] 赵涛,折学森.基于地震力的边坡优化设计[J].广西大学学报:自然科学版,2012,37(4):706-710. (ZHAO Tao, SHE Xuesen. Optimum slope design based on seismic force [J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2012, 37(4): 706-710. (in Chinese))
- [6] 郑文博,庄晓莹,蔡永昌,等.地震作用下预应力锚索对岩石边坡稳定性影响的模拟方法及锚索优化研究[J].岩土工程学报,2012,34(9):1668-1676. (ZHENG Wenbo, ZHUANG Xiaoying, CAI Yongchang, et al. Modeling of prestressed anchors in rock slope under earthquake and optimization of anchor arrangement [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(9): 1668-1776. (in Chinese))
- [7] 邵勇,阎长虹,许宝田.土坡地震稳定性影响因素分析[J].煤田地质与勘探,2010,38(5):47-50. (SHAO Yong, YAN Changhong, XU Baotian. Analysis on influencing factors of soil slope dynamic stability under earthquake [J]. Coal Geology & Exploration, 2010, 38(5): 47-50. (in Chinese))
- [8] 邵广彪,孙剑平,崔冠科.某永久边坡双排桩支护设计及应用[J].岩土工程学报,2010,32(增刊1):215-218. (SHAO Guangbiao, SUN Jianping, CUI Guanke. Design and application of double-row pile retaining structures in a permanent slope [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(Sup1): 215-218. (in Chinese))
- [9] 焦瑞玲,吴连海.临结合的钻孔灌注桩排桩挡土墙在既有线边坡支挡工程中的应用[J].铁道标准设计,2013(5):41-43. (JIAO Ruiling, WU Lianhai. Application of bored cast-in-situ soldier-pile retaining wall with permanent-temporary dual purpose in slope retaining project of existing line [J]. Railway Standard Design, 2013(5): 41-43. (in Chinese))
- [10] 何忠明,曹平.基于模糊多属性决策模型的边坡支护设计方案优选[J].矿业工程,2009,29(5):1-4. (HE Zhongming, CAO Ping. Optimization of slope support design based on fuzzy multiple attribute decision-making model [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2009, 29(5): 1-4. (in Chinese))
- [11] 史彦文.锚索框架梁和抗滑桩联合支护在路基高边坡滑坡治理中的应用[J].公路,2004(2):89-91. (SHI Yanwen. Application of combining support of frame beams of prestressed anchor rope and anti-slide piles to treatment of landslide of high slope [J]. Highway, 2004(2): 89-91. (in Chinese))
- [12] 王乐华,王家成,杨姗姗,等.考虑地下水影响的大华滑坡塌岸预测[J].水利水电科技进展,2012,32(1):58-61. (WANG Lehua, WANG Jiacheng, YANG Shanshan, et al. Prediction of Dahua landslide collapse considering the impact of groundwater [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2012, 32(1): 58-61. (in Chinese))

(收稿日期:2013-10-10 编辑:熊水斌)