

# 重庆风景名胜区旅游公路滑坡灾害及景观治理方案选择\*

王宝亮, 彭盛恩, 王 昱

(核工业西南勘察设计研究院有限公司, 四川 成都 610061)

**摘 要:**从滑坡治理结构景观出发, 分析重庆风景名胜区旅游公路滑坡灾害成因, 针对国家级风景名胜区金佛山西坡旅游公路 K9+900 滑坡, 提出三种滑坡景观治理方案。建立方案优选模型, 通过模糊优选理论和熵权决策法联合应用, 得到最优治理方案, 本联合方法对其他评价工作也有一定的借鉴意义。

**关键词:**滑坡; 旅游公路; 景观治理方案; 模糊熵权法; 重庆

**中图分类号:** P642      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2010)03-0060-05

重庆风景名胜区 60% 以上位于危岩、滑坡等重大地质灾害多发地段, 这些风景名胜区旅游资源的大力开发, 必然涉及到景区旅游公路修建和养护。目前在风景名胜区已实施的危岩、滑坡等重大地质灾害防治工程, 均是按照常规处理方法进行工程设计和施工, 由于环保和景观设计观念不足, 与环境协调性差, 甚至对周围优美的自然、人文景观造成严重破坏, 重庆市浮图关公园白骨塔危岩带于 2006 年进行了工程治理, 景观破坏比较严重<sup>[1]</sup>。陈洪凯等以太白岩风景名胜区为主, 对危岩灾害发育的宏观链式规律、微观主控结构面损伤、断裂、流变的宏微观发育机理, 以及稳定性计算理论等进行了深入系统研究, 取得了危岩带发育时间、破坏规律、等效参数、稳定性分析方法和判别标准等一系列成果, 系统开发了支撑、锚固、灌浆、支撑-锚固联合、拦石墙、拦石网、主被动联合等 20 余种危岩防治技术, 有效治理了该风景名胜区危岩灾害, 该公园已成为当地百姓休闲娱乐的理想去处<sup>[2-7]</sup>; 但另一方面, 尽管在治理过程中采取了各种措施保护风景名胜区的环境和文物, 但还是造成了一定程度的景观破坏。刘成、徐刚等对北碚地区坡面泥石流形成机制进行了定性分析, 涉及缙云山风景名胜区部分泥石流灾害<sup>[8-9]</sup>。陈洪凯等以万州城区一处滑坡治理和城市建设开发相结合的实例, 提出和阐述了城市建设和灾害治理一体化模式的思想, 为风景名胜区地质灾害的防治提供了新的思路<sup>[10]</sup>。此外, 重庆市忠县石宝寨、丰都鬼城名山、奉节白帝城等风景名胜区进行了系统的危岩、滑坡灾害治理, 对

景观的破坏比较严重, 制约了风景名胜区旅游价值的提升。本文针对当前旅游公路地质灾害治理中存在的问题, 综合运用地质灾害学、景观学、材料学的方法和研究成果, 研究适合风景名胜区的滑坡治理方案。

## 1 重庆风景名胜区旅游公路滑坡灾害特殊性

旅游公路地质灾害治理与其它公路相比, 在治理方案选取、防治结构材料选择以及与环境相协调等诸多方面具有特殊的性质和要求。

(1) 地形条件的特殊性 重庆有许多旅游景点在山区、湖区, 山区的地形、地质条件较为复杂, 山高坡陡, 沟深谷窄, 由于受限条件过多, 各项技术指标往往难以充分满足安全行车要求; 急弯陡坡、依山傍水的险段给地质灾害治理带来了巨大困难<sup>[11-13]</sup>。

(2) 景观点的影响 旅游公路周边往往都分布有自然、人文景观点, 这些景观点的存在, 不仅会影响旅游公路滑坡灾害治理方案的选择, 还会吸引大量的人流和车流, 对边坡产生扰动, 增加滑坡灾害隐患<sup>[14]</sup>。

(3) 交通事故的特殊性 旅游公路地质灾害事故后果相对较严重, 社会负面影响较大<sup>[15-16]</sup>。旅游公路上运行的大客车较多, 坡陡路弯, 一旦出现地灾事故, 极易造成大量的人员伤亡。

(4) 艺术要求高 旅游公路是旅游区的交通通

\* 收稿日期: 2010-03-02

基金项目: 核工业西南勘察设计研究院青年创新基金(2010CX002); 王身来先生青年科技基金(2010QN905)

作者简介: 王宝亮(1982-), 男, 山东济南人, 硕士, 从事岩土及边坡地质灾害研究. E-mail: 116705870@qq.com

道,也是旅游区景观的先锋体现者,是游客了解景区的窗口,很大程度上影响着游客对旅游区的整体印象,因此旅游公路要具有较高的自然和人文景观<sup>[17]</sup>。所以,不仅要求公路地质灾害防治结构本身具有良好的景观,更为重要的是,要与景区的名胜古迹、自然风光等协调、配合,以取得良好的艺术效果。

(5)小气候的影响 旅游公路周边小气候对公路交通安全有着特殊的影响<sup>[18]</sup>。一般来说,周边树木茂密、海拔较高或沿江傍湖的旅游公路,其小气候十分活跃,经常出现的风、霜、雨、雪、雾等自然现象,为滑坡灾害的发生创造了外部条件。

2 重庆旅游公路滑坡景观治理方案

以国家级风景名胜区重庆金佛山西坡旅游公路 K9 + 900 滑坡为例(图 1、图 2),滑坡长 62.42 m,开口宽 50.47 m,体积 21 854.54 m<sup>3</sup>,滑动面以上为硬塑性砂粘土,滑动面以下为炭质页岩。据当地地震史和《地震烈度区划图》资料,该地震震烈度为Ⅵ度地区<sup>[19]</sup>。

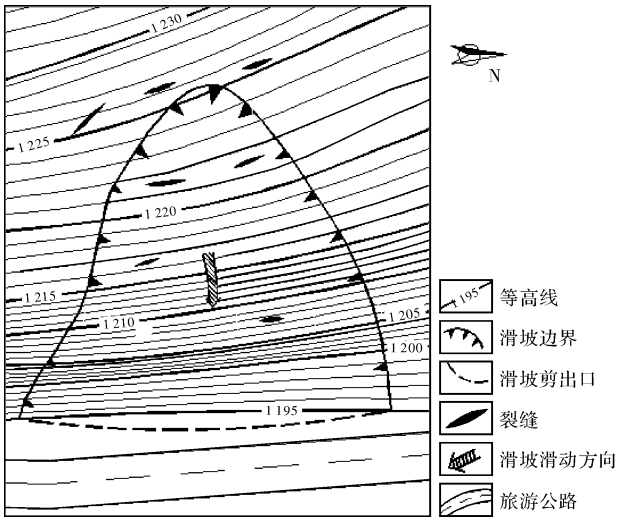


图1 重庆金佛山西坡旅游公路 K9 + 900 滑坡平面图

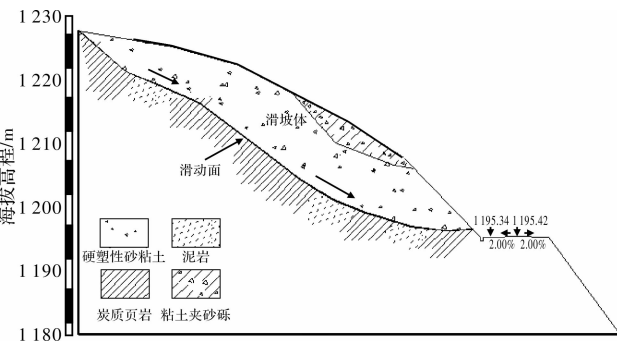


图2 重庆金佛山西坡旅游公路 K9 + 900 滑坡典型剖面图

针对金佛山西坡旅游公路 K9 + 900 滑坡,充分考虑风景名胜区地质灾害治理的特殊性,并根据滑坡所处的地理位置、土质情况、水文、气象条件等<sup>[20-32]</sup>,提出 3 种重点考虑景观美化和生态环保的方案:

(1)方案一:景观型抗滑桩+截、排水沟(图 3)

①景观型抗滑桩的优点是:施工简便易行,工期较短,抗滑效果明显,对于潜在滑坡抵抗角度较大,不破坏既有路基防护和绿化工程,可以产生新的景观。本方案采用桩长 20 m。②截、排水沟:为了有效控制大气降水对稳定性的影响,在后缘 5 ~ 10 m 处设置截水沟一条;在体上设置树枝状排水沟。③仰斜排水孔:由于雨量丰富,对稳定性影响很大,抗滑桩之间设置仰斜排水孔<sup>[21-22]</sup>。

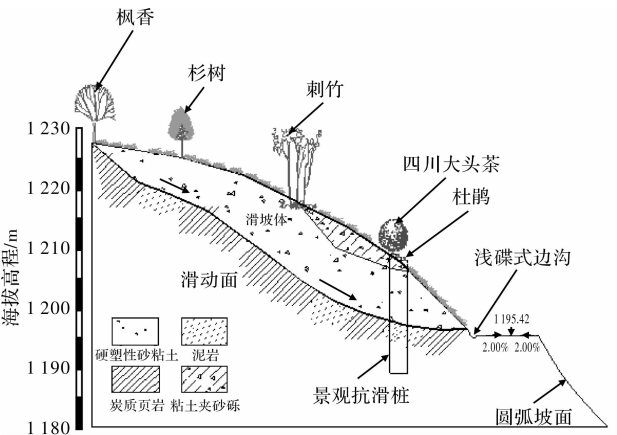


图3 景观型抗滑桩+截、排水沟方案

(2)方案二:景观挡土墙+纤维束导渗排水孔+截、排水沟(图 4)

①景观挡土墙是一种阻挡滑坡体滑动的工程措施,适用于治理因河流冲刷或因人为切割支撑部分而产生的中、小型滑坡,但不适宜治理滑床比较松软、滑面容易向下或向上发展的滑坡。挡墙背后应设置顺墙的渗沟,以排除墙后的地下水,同时在墙上还应设置泄水孔,以防止墙后积水泡软基础。景观挡土墙一方面通过自身实现边坡坡脚的安全防护功能,另一方面则可以为坡面防护制造层花盆形绿化空间,具有良好的生态效果。②纤维束导渗排水孔,可以解决排水孔容易堵塞的问题,保证排水顺畅,水流到花池中可以保证花草的生长,当超出需求的阈值时,泄水孔发挥作用,将水汇入排水沟<sup>[23]</sup>。③截、排水沟:为了有效控制大气降水对稳定性的影响,在后缘 5 ~ 10 m 处设置截水沟一条;在体上设置树枝状排水沟。④仰斜排水孔:由于该区雨量丰富,对稳定性影响很大,设置仰斜排水孔。

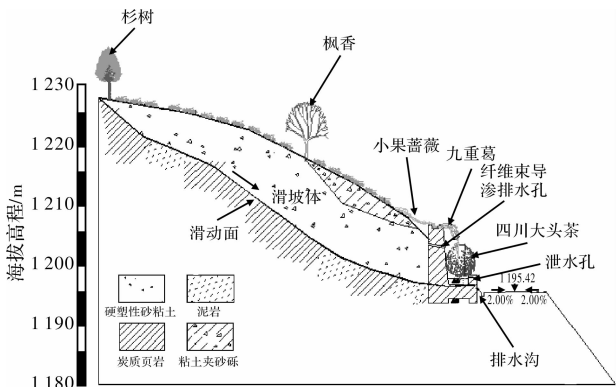


图4 景观挡土墙+纤维束导排水孔+截、排水沟方案

(3)方案三：格构护坡+竹子活体取水+截、排水沟(图5)

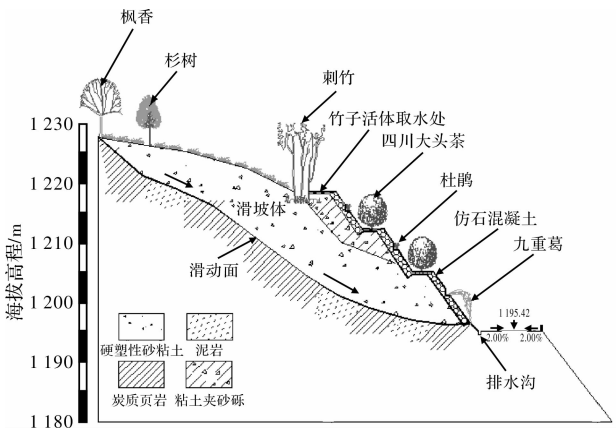


图5 格构护坡+竹子活体取水+截、排水沟方案

①格构加固技术是利用浆砌块石、现浇钢筋混凝土或预制预应力混凝土进行边坡坡面防护的一种边坡加固技术。格构技术一般与公路环境美化相结合，利用框格护坡，同时在框格之内种植花草可以达到极其美观的效果。这种技术在山区高速公路高陡边坡加固中被广泛采用，其护坡达到既美观又安全的良好效果。格构加固技术，特别适用于坡度较陡、坡体岩土均匀且较坚硬的公路边坡或公路滑坡<sup>[24-25]</sup>。②植物学中，竹子是无性繁殖的营养生长，一大丛竹子是紧密联系在一起的一个整体，竹子的鞭根是一个巨大的蓄水池，据2009年的报道，一丛竹子的出水量可达130 ml/15 min，一晚按10 h计算可达5.2 kg，农业部专家也在进行“竹子活体取水”研究，竹子水像生理盐水一样含有多种对人有益的矿物质，采用本方案既可以得到矿质饮用水又可使滑坡体固结。③截、排水沟：为了有效控制大气降水对稳定性的影响，在后缘5~10 m处设置截水沟一条；在体上设置树枝状排水沟。④仰斜排水孔：由于该区雨量丰富，

对稳定性影响很大，设置仰斜排水孔。

3 滑坡景观方案模糊熵权综合优选

3.1 模糊优选

(1)建立因素集

因素集<sup>[26-27]</sup>其层次关系图如图6所示。

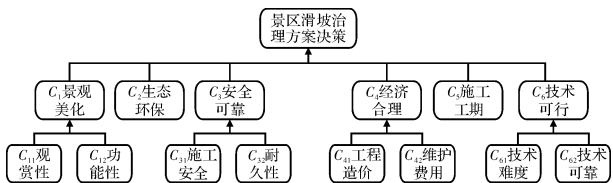


图6 滑坡治理方案优选模型

(2)建立方案集

3个方案的工程造价、工期见表1。

表1 各方案定量因素表

方 案	工程造价/万元	施工工期/月
方案一：景观型抗滑桩+截、排水沟	58.6	3
方案二：景观挡土墙+纤维束导渗排水孔+截、排水沟	36.3	2
方案三：格构护坡+竹子活体取水+截、排水沟	67.3	2.5

(3)相对隶属度

对于定量性的因素可以运用公式 $r_{ij} = x_{ij}/x_{i \max}$ 或 $r_{ij} = x_{i \min}/x_{ij}$ 进行计算。如 $c_{41}$ 工程造价， $c_5$ 施工工期，都是定量因素，指标越小越优，对于 $c_{41}$ 利用公式 $r_{ij} = x_{i \min}/x_{ij}$ 计算可得：

$${}_1r_{41} = \frac{36.3}{58.6} = 0.619; {}_2r_{41} = \frac{36.3}{36.3} = 1; {}_3r_{41} = \frac{36.3}{67.3} = 0.539.$$

则： $r_{41} = (0.619, 1, 0.539)$ ，类似地，可以确定其他定量因素的相对隶属度。

对于定性因素或无实测数据的定量因素可采用二元论方法确定。如 $c_{42}$ 维护费用， $c_2$ 生态环保，对于 $c_{42}$ ，其定性排序矩阵为：

$${}_{42}E = v_2 \begin{bmatrix} v_1 & v_2 & v_3 \\ 0.5 & 0 & 1 \\ 1 & 0.5 & 1 \\ 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.5 & 2 \\ 2.5 & 1 \\ 0.5 & 3 \end{bmatrix}.$$

为了在二元定量对比中更易于按我国的语言习惯给出定量标度 $a_{ij}$ ，建立语气算子与定量标度 $a_{ij}$ 之间的对应关系<sup>[28-29]</sup>(表2)。

表2 语气算子与定量标度及相对隶属度关系

语气算子	同样	稍稍	略为	较为	明显	显著	十分	非常	极其	极端	无可比拟
定量标度	0.5	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1
相对隶属度	1.0	0.818	0.667	0.538	0.429	0.333	0.25	0.176	0.111	0.053	0

针对因素  $c_{42}$ , 方案 2 较方案 1“略为”优越; 方案 2 较方案 3“显著”优越。则: $_{42}r = (0.667, 1, 0.333)$ , 类似地, 可以确定其他定性因素或无实测数据的定量因素的相对隶属度。

因为第二层  $c_4$  经济合理因素是由第一层  $c_{41}$  工程造价、 $c_{42}$  维护费用共同决定的, 可以取两者的算术平均值 (如果因素的重要程度不同可以考虑加权平均值), 得 $_4r = (0.643, 1, 0.436)$ 。同理可以确定其他因素的相对隶属度:  $c_1$  景观美化, $_1r = (1, 0.818, 0.667)$ ,  $c_2$  生态环保, $_2r = (1, 0.429, 0.25)$ ,  $c_3$  安全可靠, $_3r = (1, 0.333, 0.667)$ ,  $c_4$  经济合理, $_4r = (0.643, 1, 0.436)$ ,  $c_5$  施工工期, $_5r = (0.667, 1, 0.8)$ ,  $c_6$  技术可行 $_6r = (1, 0.538, 0.176)$

每种方案考虑如下 6 种因素:  $c_1$  景观美化,  $c_2$  生态环保,  $c_3$  安全可靠,  $c_4$  经济合理,  $c_5$  施工工期,  $c_6$  技术可行。可以得到滑坡治理方案的评价 (表 3)。

表 3		方案评价表		
因素 $i$	方案 $j$			
	方案一	方案二	方案三	
景观美化	1	0.818	0.667	
生态环保	1	0.429	0.25	
安全可靠	1	0.333	0.667	
经济合理	0.643	1	0.436	
施工工期	0.667	1	0.8	
技术可行	1	0.538	0.176	

3.2 熵权决策

熵权决策法<sup>[30-32]</sup>是在没有专家权重的情况下, 根据被评价对象的指标值构成的判断矩阵来确定指标权重的一种方法。

根据方案评价表 2, 可知为 6 个评价指标, 3 个评价对象的评估问题, 其评价矩阵  $A'$  为

$$A' = (b'_{ij})_{m \times n} \circ \tag{3}$$

$$\text{令 } b_{ij} = \frac{b'_{ij} - \min_j b'_{ij}}{\max_j b'_{ij} - \min_j b'_{ij}}, \tag{4}$$

则标准化  $A'$  矩阵后的矩阵  $A$  为 
$$A = (b_{ij})_{m \times n}, \tag{5}$$

式中:  $b_{ij} \in [0, 1]$ 。由此, 在有  $m$  个评价指标,  $n$  个评价对象定义熵

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}, i = 1, 2, \cdots, m, \tag{6}$$

式中:  $f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^n b_{ij}}; k = \frac{1}{\ln n}$ 。

为使  $\ln f_{ij}$  有意义, 一般假定: 当  $f_{ij} = 0$  时,  $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。定义熵权

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i}; \tag{7}$$

$$W = (w_i)_{m \times 1} \circ \tag{8}$$

根据熵权决策法得到各评价指标熵值表 (表 4), 表 5 为各评价指标熵权表, 表 6 为各方案的优选顺序表。

表 4	各评价指标熵值表					
评价指标	景观美化	生态环保	安全可靠	经济合理	施工工期	技术可行
熵 $H_i$	0.565	0.446	0.580	0.530	0.544	0.560

表 5	各评价指标熵权表					
评价指标	景观美化	生态环保	安全可靠	经济合理	施工工期	技术可行
熵权 $W_i$	0.157	0.200	0.152	0.170	0.164	0.159

表 6	各方案的优选顺序表			
方案	方案一	方案二	方案三	
距离	0.639	0.803	1.141	
距离的优选顺序	1	2	3	
贴近度	0.272	0.480	0.836	
贴近度的优选顺序	1	2	3	

根据模糊熵权综合法, 可选择方案一为最优方案。

4 结论

(1) 分析了旅游公路滑坡治理中存在的问题, 从地形地貌、岩土特征、江水侵蚀、地下水活动、降雨、人类活动 6 个方面, 归纳了重庆风景名胜区旅游公路滑坡灾害成因。

(2) 充分考虑旅游公路滑坡治理的景观要求, 针对国家级风景名胜区金佛山西坡旅游公路 K9 + 900 滑坡, 提出了景观型抗滑桩 + 截、排水沟, 景观挡土墙 + 纤维束导渗排水孔 + 截、排水沟, 格构护坡 + 竹子活体取水 + 截、排水沟 3 种滑坡景观治理方案。

(3) 针对 3 种滑坡景观治理方案, 建立方案优选模型, 通过模糊优选理论和熵权决策法联合应用, 克服了传统评估方法中主观确定权重的缺陷, 使优选结果更加准确, 本联合方法对其他评价工作也有一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 李俊雄, 谭正员. 重庆市浮图关公园白骨塔危岩特征及工程治理效果[J]. 四川建筑科学研究, 1998(4): 30-31.

- [2] Chen Hongkai, Tang Hongmei, Wang Rong, et al. Research on equivalent processes of rock mass parameters [J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2001, 22(8): 965–971.
- [3] 陈洪凯, 唐红梅, 叶四桥. 危岩防治原理[M]. 北京: 地震出版社, 2006.
- [4] 陈洪凯, 欧阳仲春, 廖世荣. 三峡库区危岩综合治理技术及应用[J]. *地下空间*, 2002, 22(2): 97–101.
- [5] Chen Hongkai, Tang Hongmei, Zhu Hui. Research on duration for perilous rock to form [J]. *WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 2006, 1(2): 169–173.
- [6] Chen Hongkai, Tang Hongmei, Ye Siqiao. Research on damage model of control fissure in perilous rock [J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2006, 27(7): 967–974.
- [7] Chen Hongkai, Tang Hongmei. Methods to calculate fatigue fracture life of control fissure in perilous rock [J]. *Applied Mathematics and Mechanics*, 2007, 28(5): 643–649.
- [8] 刘成, 徐刚. 坡面泥石流活动与降水之间的关系初探——以重庆北碚地区为例[J]. *水文地质工程地质*, 2006, 33(4): 94–97.
- [9] 刘成, 徐刚, 杨娟, 等. 激发坡面泥石流发生的坡度因素探讨——以重庆市北碚地区为例[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2006, 17(4): 165–168.
- [10] 陈洪凯, 唐红梅. 三峡库岸城区滑坡治理与沿江公路建设一体化模式——以重庆万州清泉路滑坡为例[J]. *山地学报*, 2003, 21(6): 739–744.
- [11] Yang Gang. The quantitative evaluation of the tourism resources and region division in Chongqing [J]. *Journal of Southwest China Normal University(Natural Science)*, 2000, 25(5): 561–568.
- [12] Arun Kumar, Manichandra Sanoujam. Landslide studies along the national highway (NH39) in Manipur [J]. *Nat Hazards*, 2007(40): 603–614.
- [13] Zhou Wanfang, Barry F Beck. Roadway construction in karst areas: management of stormwater runoff and sinkhole risk assessment [J]. *Environmental Geology*, 2005(47): 1138–1149.
- [14] 张满生. 景区饱和与超载形成机制及其对策研究——以国家风景名胜区内天柱山为例[J]. *林业资源管理*, 2009(3): 95–98.
- [15] Al-Homoud A S, Tubeileh T. An inventory for evaluating hazard and risk assessment of cut slopes in weak rocks along highways [J]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1997, 55(1): 39–51.
- [16] Wei Zuoan, Yin Guangzhi, Wan Ling, et al. Case history of controlling a landslide at Panluo open-pit mine in China [J]. *Environmental Geology*, 2008(54): 699–709.
- [17] 秦晓春, 张肖宁. 旅游公路景观设计及美学研究[J]. *公路*, 2007(10): 212–217.
- [18] 于秀霞, 王立君. 风景名胜区的道路景观设计探析[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(2): 574–575, 594.
- [19] 四川省交通厅公路勘察设计研究院. 重庆金佛山西坡旅游公路工程一阶段施工图设计文件[R]. 重庆: 四川省交通厅公路勘察设计研究院, 2007.
- [20] Graham T Hancox. The 1979 abbotstford landslide, Dunedin, New Zealand: a retrospective look at its nature and causes [J]. *Landslides*, 2008(5): 177–188.
- [21] Joanne E Norris. Root reinforcement by hawthorn and oak roots on a highway cut-slope in Southern England [J]. *Plant and Soil*, 2005, 278: 43–53.
- [22] Mandy Pohl, Dominik Alig, Christian Körner. Higher plant diversity enhances soil stability in disturbed alpine ecosystems [J]. *Plant Soil*, 2009, 324: 91–102.
- [23] 杨志法, 张路青, 祝介旺. 四项边坡加固新技术[J]. *岩石力学与工程学报*, 2005, 24(21): 3828–3834.
- [24] 刘黎, 陈宁生, 罗德富. 新疆天山天池景区飞龙洞崩塌及其防治[J]. *灾害学*, 2009, 24(3): 79–82.
- [25] 何思明, 张晓刚, 沈均, 等. 乐山大佛景区景云亭危岩灾害分析及其防治研究[J]. *灾害学*, 2009, 24(3): 39–45.
- [26] Eric W Stein, Norita Ahmad. Using the Analytical Hierarchy Process(AHP) to Construct a Measure of the Magnitude of Consequences Component of Moral Intensity [J]. *Journal of Business Ethics*, 2009, 89: 391–407.
- [27] Ercanoglu M, Kasmer O, Temiz N. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping [J]. *Bull Eng Geol Environ*, 2008, 67: 565–578.
- [28] Ma Jianqin, Chen Shouyu, Qiu Li. A multi-objective fuzzy optimization model for cropping structure and water resources and its method [J]. *Agricultural science & technology (scientific paper)*, 2004, 5(1): 5–10.
- [29] Wang Xuhua, Chen Shouyu, Tang Liexian. Application of fuzzy optimal selection of similar slopes to the evaluation of slope stability [J]. *Journal of Harbin Institute of Technology(New Series)*, 2007, 14(3): 415–418.
- [30] 王宝亮, 唐红梅. 滑坡治理方案优化的模糊熵权综合法及其应用[J]. *重庆交通大学学报: 自然科学版*, 2009, 28(2): 264–267.
- [31] Shie Jen-Da, Chen Shyi-Ming. Feature subset selection based on fuzzy entropy measures for handling classification problems [J]. *Applied Intelligence*, 2008, 28(1): 69–82.
- [32] Bablu S, Tapan K R. Multiobjective entropy transportation model with trapezoidal fuzzy number penalties, sources and destinations [J]. *Journal of Transportation Engineering*, 2005, 131(6): 419–428.

## Landslide Hazard of Tourist Highway and Landscape Management Program Selection of Scenic Areas in Chongqing

Wang Baoliang, Peng Shengen and Wang Yu

(Southwest Geotechnical & Design Institute of China Nuclear Industry, Chengdu 610061, China)

**Abstract:** Based on governance structure of landslides, causes of landslides in scenic areas of Chongqing tourist highway are analyzed, and in view of the landslide of the tourist highway K9+900 of the western slope on the state-level scenic spot of Jinfoshan mountain, three kinds of landscape governance programs are proposed. According to the three programs, an electoral model is established. Combined application of fuzzy optimization theory and entropy weight decision-making method, an optimal control program is obtained. The combinatory method also has referential significance to other evaluation works.

**Key words:** landslide; tourist highway; landscape management scheme; fuzzy optimal and entropy weight decision-making method