

# 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

陈洪凯, 唐红梅

(重庆交通学院岩土工程研究所, 重庆 400074)

**摘 要:** 三峡库岸城区滑坡 90% 属于由第四纪松散土体组成的散体滑坡, 滑坡区属于城区重要组成部分, 降雨及三峡库水位降落是此类滑坡孕发的动力因素。本文以重庆万州清泉路滑坡为例, 基于库岸城区滑坡防治原则, 构建了实用的滑坡治理与沿江路建设一体化模式, 推导了抗滑桩的内力计算方法; 详细分析了一体化模式的结构组成及受力特性。研究成果对于三峡库区城区滑坡的治理与开发利用具有较强的指导借鉴作用。

**关键词:** 三峡库岸城区, 散体滑坡, 沿江公路, 治理与利用一体化

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

## 1 引 言

重庆库区(三峡库区重庆段)属于典型的山地、丘陵区, 仅重庆主城区、涪陵区、万州区等城市规划区内危岩滑坡就达 777 处, 面积  $7\,538 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 体积  $11.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 85% 左右属于松散土体滑坡<sup>[1]</sup>。在“全国地质灾害防治工作规划纲要”中, 重庆主城区位居全国地质灾害最严重的 70 座城市之首。特别是主城区沿江一带, 每平方公里有危岩滑坡 1 处以上, 渝中区多达 5 处。如 1989-09-30, 李子坝滑坡复活, 导致公路路基下沉、路面开裂、房屋倾斜、倒塌, 迫使 64 户居民搬迁; 1991-05-31, 江北刘家台发生严重滑坡, 约  $800 \text{ m}^2$  的斜坡上出现大面积裂缝, 有的裂缝宽度  $> 10 \text{ cm}$ , 下滑  $30 \sim 40 \text{ cm}$ , 房屋严重倾斜、拉裂破坏; 1989 ~ 1991 年间, 万州城区的豆芽棚滑坡复活, 危及 10 000 余居民的生命财产安

全, 使滑坡体后部的国本路(城区交通要道)、干部大楼及前部的国道 318 线严重拉裂、鼓胀破坏; 1990 ~ 2001 年, 万州清泉路滑坡多次活动, 致使川东轴承厂、三峡化工厂、万州二水厂关闭; 1998-08-10, 巴南区麻柳镇发生了面积  $4 \text{ km}^2$  的山体滑坡, 不少地方下沉达到 40 多 m, 受灾农户 350 户计千余人, 直接经济损失  $4\,395 \times 10^4$  元; 1998-09-08 日, 涪陵区江东办事处插旗居委会辖区内发生了长约 2 km、宽 400 多 m 的散体滑坡灾害, 直接经济损失超过  $500 \times 10^4$  元; 1999 年, 渝东巫山县城发生严重滑坡。

按照三峡移民大纲规划的用地标准, 库区建设用地严重不足, 除了有限度的外迁以外, 只能向滑坡等工程地质环境条件恶劣的地区要地, 存在既治理滑坡, 又要利用滑坡体的局面<sup>[2]</sup>。因此, 构建具有较强实用价值的滑坡治理与开发利用一体化模式, 对于指导库岸滑坡防治具有重要的参考价值。

收稿日期(Received date): 2002-10-11; 改回日期(Accepted): 2003-01-15.

基金项目(Foundation item): 本文是交通部人才基金项目(95050508)、交通部重点基金项目(95060233)及国家重点攻关项目(2001BA604A02-3)成果之一。[The paper belong to one of results subsidized by the Talent Fund of the Communication Ministry(95050508), the Important Fund of the Communication Ministry(95060233) and the National key Fund(2001BA604A02-3).]

作者简介(Biography): 陈洪凯(1964-), 男, 教授, 岩土工程博士。全国优秀教师, 交通部科技英才。从事地质灾害及高新材料研究。[CHEN Hong-kai(1964-), male, Professor, Ph.D. Geotechnical Engineering. The national outstanding teacher and the outstanding talent of the Communication Ministry. Being engaged in research on geologic disaster and hi-construction material.]

2 清泉路滑坡概况

清泉路(袁家蹬)滑坡地处万州城区繁华地带,位于万州城区中部东侧的长江左岸山坡地带,包括清泉路滑坡和袁家蹬潜在滑坡两部分(图 1)。其中,清泉路滑坡为袁家蹬潜在滑坡的组成部分,滑坡舌北部位于长江左岸大溪沟右岸,东北部位于长江左岸河漫滩,地表高程变化于 115.0~201.89 m。清泉路滑坡外形似梨形,南部平均宽 175 m,中部平均宽 270 m,北部平均宽 200 m,纵向平均长度 390 m,座落在长江第一二级阶地上,滑坡前缘标高 115 m,后缘标高 201.89 m,平均坡度 12.3°,滑坡体平均厚

度 15 m, 滑坡表面积 0.11 km<sup>2</sup>, 体积约 170×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。  
袁家蹬潜在滑坡体(包括清泉路滑坡)形似肾形,南部平均宽 350 m,中部平均宽 450 m,北部平均宽 360 m,纵向平均长度 800 m,座落在长江第一至第三级阶地上,后缘标高 237 m,地表平均坡度 8.8°,滑坡体体积 827×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。

清泉路(袁家蹬)滑坡的主滑方向为 NE12°,但滑坡体前部滑动方向具有离散性,变化于 NE10°~15°之间,西部主滑方向为 NE10°,东部主滑方向为 NE15°,符合散体滑坡的滑动特性<sup>[3,4]</sup>。清泉路滑坡变形主要集中在滑坡后部的川东轴承厂、西侧缘及前缘的三峡博物馆—大溪沟西岸、三峡化工厂和万

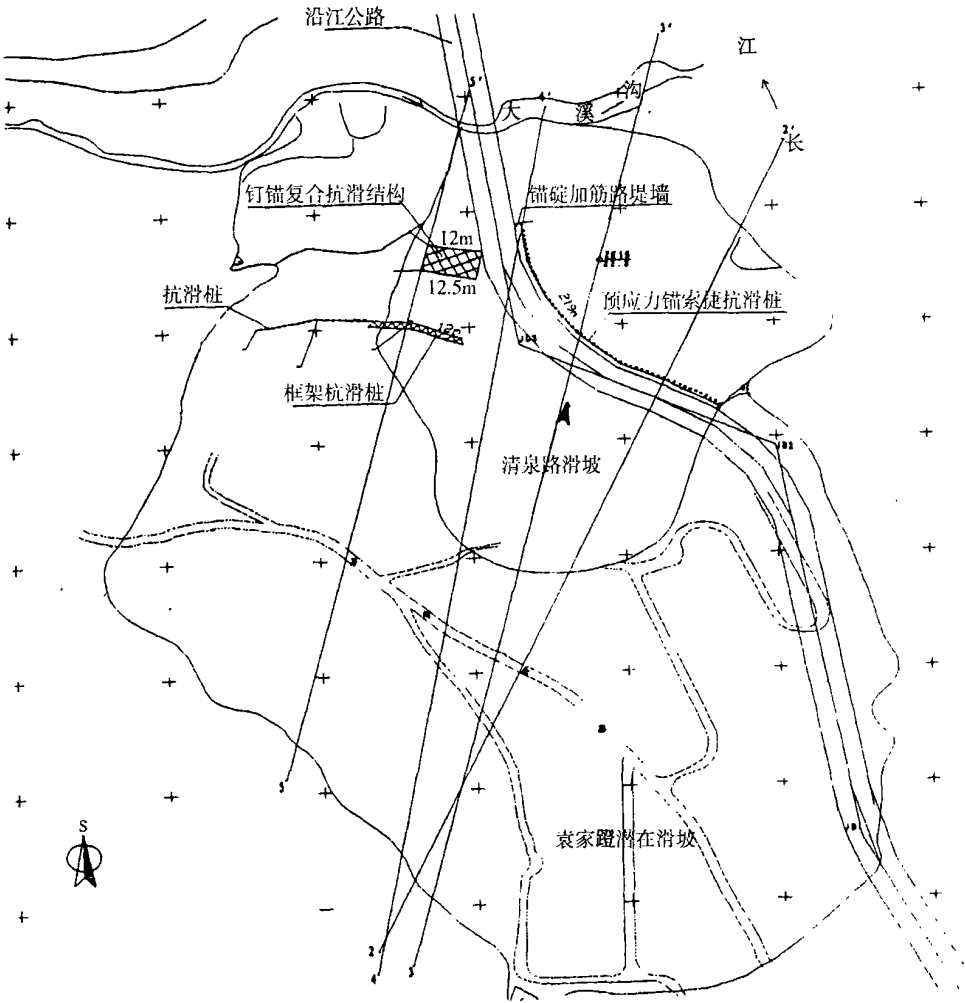


图 1 清泉路滑坡平面示意图

Fig. 1 Map of Qingquan landslide

州二水厂西部, 滑坡变形的宏观表象为一系列拉张裂缝及剪切裂缝的形成和发展。滑坡体为含块碎石粉质粘土、粉质粘土、粉土和粉砂质泥岩等, 厚度 10~30 m; 基岩为长石砂岩。滑坡体中的地下水分为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。

清泉路滑坡为大型松散堆积层滑坡, 根据吴淞高程, 三峡水库正常蓄水运行以后, 滑坡前缘大部分将被水淹没, 80%左右的滑坡体位于 145~175 m 之间的库位变动带, 局部及整体失稳的可能性大。

### 3 滑坡综合治理原则

1. 控制滑坡体的整体及局部稳定, 不产生危及建筑安全的地质灾害;
2. 滑坡治理与滑坡区城镇建设的社会、经济和环境发展相适应, 与滑坡区的城镇规划、环境保护和土地资源综合利用相结合。
3. 排水、支挡、封填地表裂缝等相结合的综合治理原则。
4. 以地质灾害系统工程方法论<sup>[3]</sup>为指导思想, 基于对滑坡特性的全面、正确认识和深入的机理研究, 支挡与排水、监测相结合, 治理与开发相结合, 充分考虑库位变动对滑体的作用。

### 4 滑坡治理与公路建设一体化模式

考虑到滑坡治理与沿江公路建设的需求, 可以构建两种一体化模式, 即

模式一: 抗滑承重桥

模式二: 堤内抗滑桩+预应力锚索板桩墙(图

2, 3)

本文仅对模式二进行比较深入的分析。

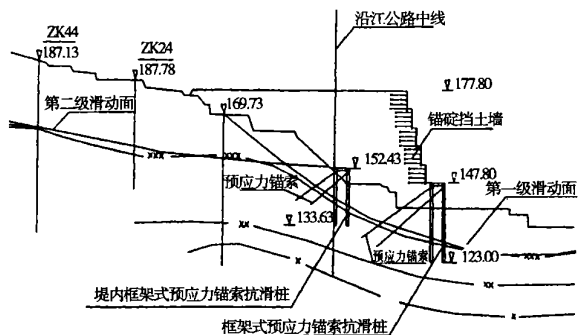


图2 治理与利用一体化模式

本文仅对模式二进行比较深入的分析

#### 4.1 一体化模式梗概

万州区城镇规划建设要求清泉路滑坡经治理稳定后, 应为该地区规划中的驷马桥工程提供 84 000 m<sup>2</sup> 的填方用地, 并将保障横穿滑坡体的沿江公路建设。由于规划中的沿江公路从清泉路滑坡的第一级滑坡和第二级滑坡之间横向穿越, 因此, 滑坡治理的有效位置是沿江公路外侧部位。

对于整个清泉路滑坡而言, 应实施排水工程。排水工程由阻排地表水、阻排地下水、防止库水冲刷和浪蚀三个部分组成, 其作用是排、截整个清泉路(袁家蹬)滑坡区域内的地表水及地下水。为了防止第一级滑坡在库位变动期间的失稳, 在剪出口部位宜设置悬臂空心抗滑桩, 桩芯充填砂卵石。

堤内抗滑桩为框架式预应力锚索抗滑桩, 垂直于主滑方向, 框架桩间用联系梁联结成等边三角形, 组成平面刚架, 桩顶设预应力锚索。具有锁固滑动面、抵抗部分滑坡推力的作用。

预应力锚索板桩墙的墙体可以作为沿江公路的路基, 并且反压滑坡体; 下部的预应力锚索抗滑桩具有阻滑、确保板桩墙体自身稳定的功能。

#### 4.2 计算模型

预应力锚索板桩墙由挖孔桩、钢绞线锚索及预制槽形挡板组成(图3)。

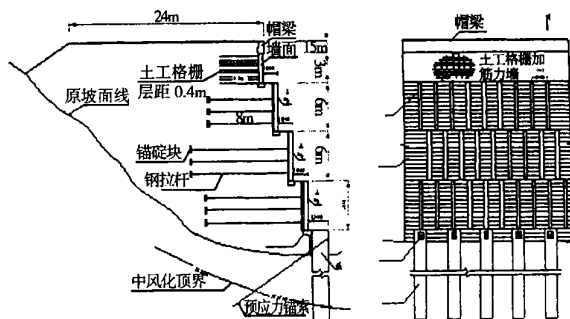


图3 预应力锚索板桩墙

Fig. 3 Prestress anchor sheet pile

挖孔桩截面 2 000 mm×1 500 mm, C25 砼浇筑, 桩间距 4 m; 嵌入中风化岩层 3 m。滑坡推力值为 6 648.5 kN/m。本文运用弹性地基梁理论进行抗滑桩内力计算。力学模型见图 4, 图中  $L_1$  为预应力锚索锚固点距桩底长度,  $L_2$  为桩嵌岩深度。桩在地面以上高度为 10 m, 桩非嵌固长度为 25 m, 则荷载集度

$$q = \frac{6648.5 \times 4}{25} = 1063.8 \text{ kN/m}^2 \quad (1)$$

### 4.3 内力计算

地基系数  $k = 60 \times 10^3 \text{ kPa}$

$$EI = 2.85 \times 10^7 \times 0.67 \times \frac{1.5 \times 2^3}{12} = 1.9 \times 10^7 \text{ kN} \cdot \text{m}^2 \quad (2)$$

$$\text{特征系数 } \beta = 4 \sqrt{\frac{k}{4EI}} = 0.1674$$

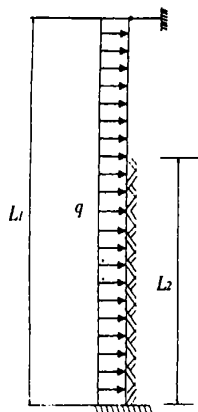


图4 预应力锚索板桩墙力学模型

Fig.4 Mechanics model of prestress anchor sheet pile

由于桩的非嵌固段长度, 桩的单面临空长度  $c = 10 \text{ m}$ , 桩的入土长度  $L_2 = 15 \text{ m}$ , 运用弹性地基梁理论, 推导得出抗滑桩的挠度修正项为

$$\frac{q}{k} \{ 1 - \Phi_1[\beta(x-c)] \} \quad (3)$$

由下端(嵌固端)条件知  $y_0 = 0$ ,  $\theta_0 = 0$ , 故挠度方程为

$$y = \frac{1}{E\beta^2} M_0 \Phi_3(\beta x) - \frac{1}{EI\beta^3} Q_0 \Phi_4(\beta x) + \frac{q}{k} \{ 1 - \Phi_1[\beta(x-c)] \} \quad (4)$$

对  $y$  微分, 可求出转角方程

$$\theta = -\frac{1}{E\beta} M_0 \Phi_2(\beta x) - \frac{1}{EI\beta^2} Q_0 \Phi_3(\beta x) + \frac{4\beta}{k} q \Phi_4[\beta(x-c)] \quad (5)$$

对转角微分

$$M = -EI \frac{d\theta}{dx} = M_0 \Phi_1(\beta x) + Q_0 \frac{1}{\beta} \Phi_2(\beta x) - \frac{4E\beta^2}{k} q \Phi_3[\beta(x-c)] \quad (6)$$

对  $M$  微分, 可求得剪力方程

$$Q = -M_0 \Phi_4(\beta x) + Q_0 \Phi_1(\beta x) -$$

$$\frac{4E\beta^2}{k} q \Phi_2[\beta(x-c)] \quad (7)$$

利用上端(铰支端)条件, 当  $x = l$ ,  $y = 0$ ,  $M = 0$  时, 即

$$\begin{cases} -\frac{1}{E\beta^2} \Phi_3(\beta l) M_0 - \frac{1}{EI\beta^3} \Phi_4(\beta l) Q_0 + \frac{q}{k} \{ 1 - \Phi_1[\beta(l-c)] \} = 0 \\ M_0 \Phi_1(\beta l) + Q_0 \frac{1}{\beta} \Phi_2(\beta l) - \frac{4E\beta^2}{k} q \Phi_3[\beta(l-c)] = 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$\Phi_1(\beta l) = ch\beta l \cos \beta l = -16.5306$$

$$\Phi_2(\beta l) = \frac{1}{2} (ch\beta l \sin \beta l + sh\beta l \cos \beta l) = -22.4647$$

$$\Phi_3(\beta l) = \frac{1}{2} sh\beta l \sin \beta l = -14.1967$$

$$\Phi_4(\beta l) = \frac{1}{4} (ch\beta l \sin \beta l - sh\beta l \cos \beta l) = -2.9709$$

$$\Phi_1[\beta(l-c)] = ch\beta l \cos \beta l = -5.0088$$

$$\Phi_2[\beta(l-c)] = \frac{1}{2} (ch\beta l \sin \beta l + sh\beta l \cos \beta l) = -0.6442$$

$$\Phi_3[\beta(l-c)] = \frac{1}{2} sh\beta l \sin \beta l = 1.8035$$

代入方程组(8), 解得

$$\begin{cases} M_0 = -3993.5 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ Q_0 = -18.2 \text{ kN} \end{cases}$$

当  $x = l$  时, 代入(6)式和(7)式, 得到铰支端弯矩和剪力

$$M_l = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_l = -3551.3 \text{ kN}$$

当  $x = 15$  时, 代入(6)式和(7)式, 得到桩在入土处弯矩和剪力

$$M_s = 6847.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_s = 607.5 \text{ kN}$$

由此作出弯矩图(图5)。由  $Q_l = -3551.3 \text{ kN}$  知锚索应承受 3551.3 kN 拉力。

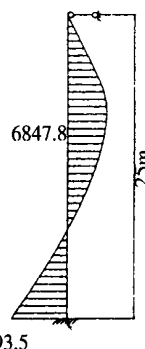


图5 预应力锚索板桩墙弯矩图

Fig.5 Moment of prestress anchor sheet pile

## 5 讨论

滑坡的治理与利用一体化体现了岩土工程的系统工程方法论, 是库岸滑坡治理的指导思想。众所周知, 根据地貌学的观点, 滑坡是地貌演化的一种地貌过程。显然, 滑坡治理本质上应遵循滑坡发育规律, 采用一系列工程及非工程措施去减慢滑坡发育进程<sup>[3~5]</sup>。

对于三峡库区城区岸坡滑坡而言, 多数属于散体滑坡, 此类滑坡发育的控制性敏感因子为水体和不合理的人类活动<sup>[1]</sup>。水体包括地下水 and 水库水, 尤其是库水位降落造成的渗透压力是滑坡发育的牵引力<sup>[9]</sup>; 水体对滑坡具有加载效应; 但是更为重要的是在水体的作用下, 滑坡体及滑动面土体吸水蠕变、强度非线性衰减, 力学参数劣化<sup>[11]</sup>。不合理的人类活动是指在滑坡区域进行城镇建设过程中, 在滑坡体后部加载、在前部切割滑体。这些作用均加速了

滑坡的自然发育过程。

目前, 治理滑坡的技术措施多种多样, 包括排水、抗滑支挡结构、刷方回填压脚、硬化及锁固滑动面等<sup>[7]</sup>。这些技术应该基于对滑坡影响因素及滑坡发育机理的客观认识综合应用。值得指出的是, 对于处于 175 m 水位以上的欠稳定滑坡, 仅仅通过有效排泄地表水和地下水, 便可以将滑坡体的稳定系数提高 0.2~0.3, 使滑坡达到稳定状态。换言之, 治理 175 m 水位以上的高位库岸滑坡, 应优先采取排水措施, 避免采用抗滑支挡造成大量经济浪费。

进行滑坡治理与土地资源利用, 尤其在进行沿江公路、回填造地等建设项目规划阶段, 应该充分考虑滑坡的最佳治理位置和开发建设的经济回报。对于清泉路滑坡而言(图 6), 沿江路主体位于第一级滑坡的后部, 显然, 对于此级滑坡属于加载, 不利于第一级滑坡的稳定; 第二级滑坡也存在从沿江路剪出的可能。如果将沿江路后退 30 m 左右, 应该是最佳的滑坡治理位置。

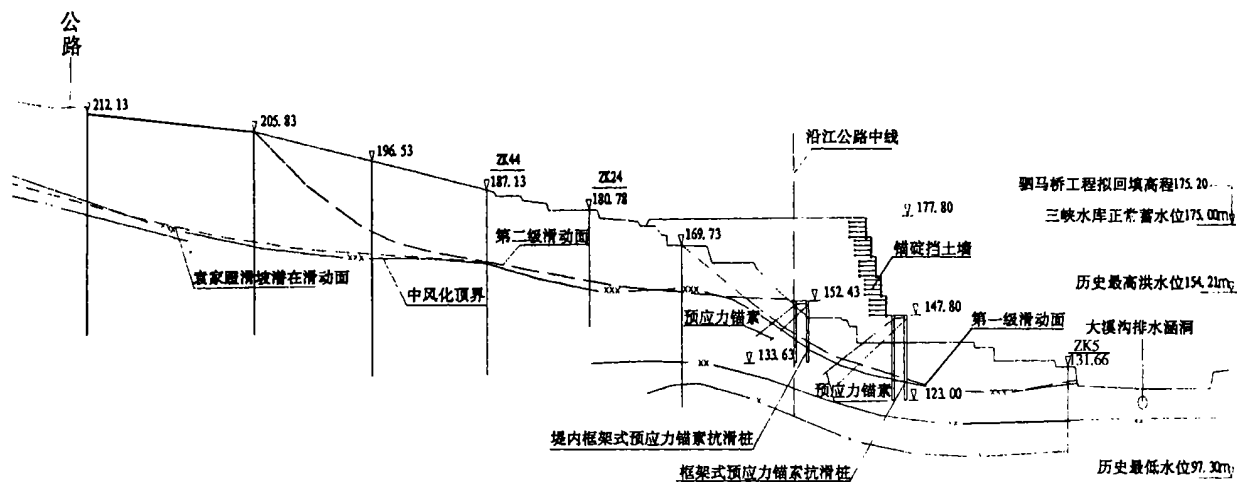


图 6 清泉路滑坡治理与利用断面图

Fig. 6 Section of Qingquanlu landslide both harness and development

综上所述, 库岸城区滑坡治理是一个系统工程, 滑坡治理位置、治理技术的选用均应与城区建设有机结合, 体现滑坡治理与沿江公路、港口码头、滨江广场等项目建设一体化的指导思想。

## 参考文献(References):

[1] CHEN Hong-kai, TANG Hong-mei, WENG Qi-neng et al. Research on creep and non-linear decrease and soil landslide start for loose earth to suction in Chongqing reservoir ( Founded by the Chongqing Nature

Fund), 2000. 20~36. [陈洪凯, 唐红梅, 翁其能等. 重庆库区松散土体吸水蠕变、强度衰减非线性及散体滑坡启动预警研究[J]. 2000. 20~36.]

[2] YIN Yue-ping, KANG Hong-da, CHEN Ba. Landslide control and utilization of ment in immigrant settlent region of three gorges project. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*. 2000. 11(2): 135~140. [殷跃平, 康宏达, 陈波. 三峡工程移民区滑坡防治与利用技术研究[J]. 地质灾害与环境保护. 2000. 11(2): 135~140.]

[3] CHEN Hong-kai, THING Hong-mei, WENG Qi-neng. Systematic engineering for preventing and harnessing geologic disasters and the study

- and prevention of the landslides of loose soil. *Journal of Chongqing Normal University (Natural Science Edition)*. 2001, 18(2): 62 ~ 65. [ 陈洪凯, 唐红梅, 翁其能, 等. 地质灾害防治系统工程方法论及散体滑坡研究[J]. 重庆师范学院学报(自科版). 2001, 18(2): 62 ~ 65.]
- [ 4 ] CHEN Hong-kai, TANG Hong-mei. Research on start-up of loose landslide in lab. *Journal of Mountain Science*. 2002, 20(1): 112 ~ 115. [ 陈洪凯, 唐红梅. 散体滑坡室内启动模型试验[J]. 山地学报. 2002, 20(1): 112 ~ 115.]
- [ 5 ] ZHANG Ye-cheng. On the interaction between hazards and environment. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*. 1998, 9(4): 21 ~ 26. [ 张业成. 论灾害和环境的交融与互馈[J]. 地质灾害与环境保护. 1998, 4(9): 21 ~ 26.]
- [ 6 ] LIN Jun. Discussion on geological hazard and control engineering method-sin fujian shuikou reservoir. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*. 2000, 11(2): 5 ~ 9. [ 林军. 福建水口库区地质灾害现状与工程防治措施探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报. 2000, 11(2): 5 ~ 9.]
- [ 7 ] ZHANG Zhuo-yuan. The present status < Technical advance and development trends of landslide remedial measures. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*. 2000, 11(2): 89 ~ 97. [ 张倬元. 滑坡防治工程的现状与发展展望[J]. 地质灾害与环境保护. 2000, 11(2): 89 ~ 97.]

## An Integral Model for Landslide Harness and Highway Construction in Urban Bank of the Three-gorges Reservoir

——A Case Study of Qingquanlu Landslide in Chongqing

CHEN Hong-kai

(Institute of Geotechnical Engineering of Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074 China)

**Abstract:** It is well known that almost 90% of landslides in urban bank of the Three-gorges reservoir of the Quaternary loose earth. Region of these landslides are important part of urban. Both precipitation and decreasing of water level trigger the landslide. The authors take Qingquanlu landslide of Wanzhou region in Chongqing city as an example to construct an integral model for harness and by-river highway construction, then deduce inner force formula to calculate re-slide piles. The model is based on harness principles of urban landslide in the region. The authors approach the structure component and mechanic features of the model. Results are valuable in landslide harness and land development in the reservoir.

**Key words:** urban bank of the Three-gorges reservoir; loose earth landslide; by-river highway; integral model for harness and development