

广元市凤凰山公园滑坡稳定性分析

叶晓华, 肖允元, 金美喜

(四川九〇九建设工程有限公司, 江油 621701)

摘要: 该滑坡为土质小型滑坡, 为治理滑坡提供依据, 在讨论滑坡基本特征的基础上, 采用极限平衡法计算滑坡稳定系数。计算结果表明自重条件下滑坡处于稳定状态; 自重和暴雨条件下滑坡处于稳定、欠稳定和欠稳定多种状态。

关键词: 凤凰山公园; 滑坡; 极限平衡法; 稳定系数

中图分类号: P642.22 **文献标识码:** A

1 前言

2010年7月22日至26日, 广元市区普降大到暴雨, 其中22日、23日、25日日降雨量达到81.7 mm、220.5 mm、106.3 mm。7月24日, 广元市利州区嘉陵办事处凤凰山居委会凤凰山公园西门口斜坡上部发生两处小型滑坡, 该滑坡位于居民区背后陡崖上, 前缘距居民房屋1~5 m, 部分滑坡堆积物已经直接下滑进入居民房内, 严重威胁下部居民区300余人生命财产安全。为消除滑坡的危害, 受广元市利州区国土资源局的委托, 四川九〇九建设工程有限公司承担了该项目应急抢险调查及治理的工作。

2 滑坡区自然地理及地质环境条件

2.1 自然地理

凤凰山公园西门口滑坡位于广元市利州区嘉陵办事处凤凰山居委会凤凰山公园西门口, 滑坡位于公园内, 有小路与市区道路连接, 可通过小型机动车, 交通条件较方便(图1)。

滑坡区位于四川盆地北端, 处于盆地向山区过渡地带, 属四川盆地亚热带湿润气候带。多年平均气温16.0℃, 多年平均降雨量为972.6 mm, 每年降雨主要集中在5~9月, 其间降雨总量占全年降雨总量的75%。多年月平均降雨量最高为7月的236.8 mm, 最低为1月的3.8 mm, 最大一日降雨量为220.5 mm(2010年7月23日), 最大雨强为70

mm/h。

滑坡区位于斜坡中上部位, 坡面冲沟不发育, 无地表水流。

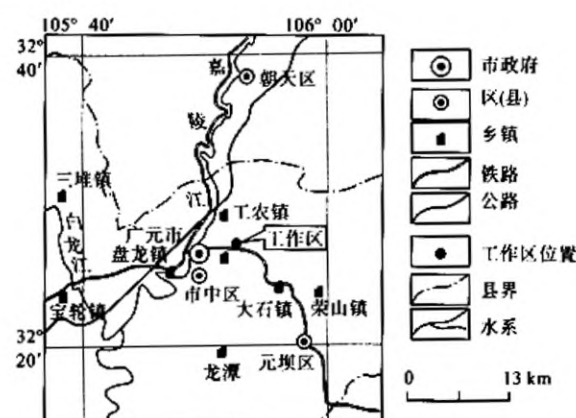


图1 交通位置图

Fig. 1 Location of the investigated area

2.2 地质环境条件

区内地貌类型为构造侵蚀丘陵地貌。斜坡海拔高程540~570 m, 斜坡呈北东-南西向展布, 相对高差20~30 m。滑坡位于斜坡上部, 坡面形态呈折线坡, 上部为陡坡地形, 坡度35°~45°, 下部为基岩陡坎地形, 坡度80°以上, 坡面基岩大部分被混凝土挡墙封闭。上部覆盖2~5 m厚度不等的松散堆积体, 坡面植被以林木、灌木为主, 覆盖率30%~50%。

斜坡出露的地层为侏罗系中统沙溪庙组(J_{2s})灰黄色巨厚层砂岩和第四系残坡积松散堆积层

(Q_4^{cl})粉质粘土夹碎块石组成。沙溪庙组(J_2s)岩性为厚至巨厚层砂岩,岩层产状 $185^\circ\angle 7^\circ$,岩体裂隙中等发育,强风化。第四系松散堆积层(Q_4^{cl})在斜坡上部表层表面普遍分布,岩性为粉质粘土夹碎块石,湿,呈可塑状,结构松散,厚度一般2~5 m,碎块石含量约10%。

工作区内构造简单,属四川盆地北部边缘弧形构造带,位于北东东向走马岭向斜南侧的北东端。岩层具单斜构造,倾向南西,倾角 7° 。区内地震基本烈度为Ⅶ度,地震加速度为0.10 g,区域地壳稳定。

根据区域水文地质资料,区内地下水类型主要为基岩裂隙水,其次为第四系松散堆积层孔隙水。主要为大气降水补给,富水程度低;期间没有见地下水出露。

3 滑坡特征

3.1 基本特征

滑坡区为斜坡,呈北东-南西向展布,倾向北西,斜坡高20~30 m,总长230 m,斜坡呈折线型。滑坡上部为凤凰山公园较为密集的建筑物,滑坡后缘为公路外侧斜坡,滑体坡度 $35^\circ\sim 45^\circ$,高8~12 m;下部为基岩陡崖,坡度 80° 以上,局部呈直立,高10~15 m;坡脚为同仁医院和市中区商业农村信用合作社,地形较平坦。斜坡表面总体较完整,中上部已形成两处滑坡,总体积2 600 m^3 ,部分滑体已直接进入居民区。目前滑坡后缘还有数条横向拉裂缝,逐步向后缘扩大,潜在威胁较大。滑体土和滑带土岩性均为松散的粉质粘土夹碎块石,滑床岩性为侏罗纪中统沙溪庙组灰黄色厚层砂岩,风化裂隙发育。见滑坡分布平面图2。

(1) H1 滑坡

分布于凤凰山公园西门口阶梯北侧斜坡上部,顺斜坡顶部分布,位于公园内的公路外侧和下部民房后部陡崖之间的斜坡地带。场地狭窄,滑坡前缘已接近民房。后缘高程约502 m,前缘高程约491 m,总体宽度16 m,轴长15~20 m,平面长12.5 m,厚2.5~4 m,滑坡体积约1 280 m^3 。见图3和图4,剖面图5。

目前该段处于滑动变形阶段,滑动迹象明显。裂缝L1沿陡坎边缘小路发育,发育方向 205° ,延伸长度24 m,宽度5~15 cm,下错最高1.5 m。在H1滑坡范围之外,沿斜坡边缘L1仍有微弱发育迹象,缝宽多在0.1~1 cm,延伸长度可达30余米。7月23日晚强降雨导致斜坡顶部中段形成小范围溜滑,

溜滑上口宽度约5 m,下口宽度约16 m,溜滑土层厚度约1.5 m,溜滑体积约50 m^3 。目前部分堆积体已被清理,残留堆积体体积约70 m^3 。

(2) H2 滑坡

分布于公园西门口北侧约150 m,后缘高程约505.77 m,前缘高程约494 m,宽20 m,轴长18~20 m,厚1.5~4.0 m,滑坡体积约1 320 m^3 。目前滑坡H2的变形破坏迹象为地面裂缝和表层土体小规模溜滑;7月23日晚强降雨导致滑坡H2产生,土体顺岩壁滑落,堆积于坡脚,体积约50 m^3 。见图6,剖面图7。

3.2 滑坡形成机制

滑坡发生在上缓下陡的缓坡地带,该地形为滑坡产生提供了较好的临空面。上部缓坡地带岩性为残坡积层粘性土,下部为砂岩陡坎地形,砂岩表层为强风化,风化后岩体强度低,粘土矿物亦集中于风化带顶部,而两组主要裂隙亦构成滑坡边界。水是其激化条件,2010年7月23日强降雨后,由于斜坡上部无排水设施,连续的强降雨,使大量雨水入渗后,导致土体在水的浸润作用下,容重增大,内聚力及内摩擦角下降,阻滑力下降,从而沿着第四系与基岩接触界面滑移,形成滑坡。

4 滑坡稳定性分析

4.1 计算方法

滑坡稳定性分析采用极限平衡方法进行计算,滑体坡面地形及滑带均简化为折线。滑坡稳定性计算模型见图8。计算公式为传递系数法。

计算公式如下:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (W_i (\cos \alpha_i - A \sin \alpha_i) \tan \varphi_i + C_i L_i) \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (W_i (\sin \alpha_i + A \cos \alpha_i) \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + T_n}$$

其中:

$$R_n = W_n (\cos \alpha_n - A \sin \alpha_n) \tan \varphi_n + C_n L_n$$

$$T_n = (W_n (\sin \alpha_n + A \cos \alpha_n))$$

$$\prod_{j=i}^{n-1} \psi_j = \psi_{i+1} \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

式中, ψ_j 为第*i*块段的剩余下滑力传递至第*i*+1块段时的传递系数($j=i$),即

$$\psi_j = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i$$

式中, W_i 为第*i*条块的重量(kN/m); C_i 为第*i*条块内聚力(kPa); φ_i 为第*i*条块内摩擦角($^\circ$); L_i 为第*i*条块滑面长度(m); α_i 为第*i*条块滑面倾角($^\circ$); A 为地震加速度(重力加速度*g*); F_s 为稳定系数。

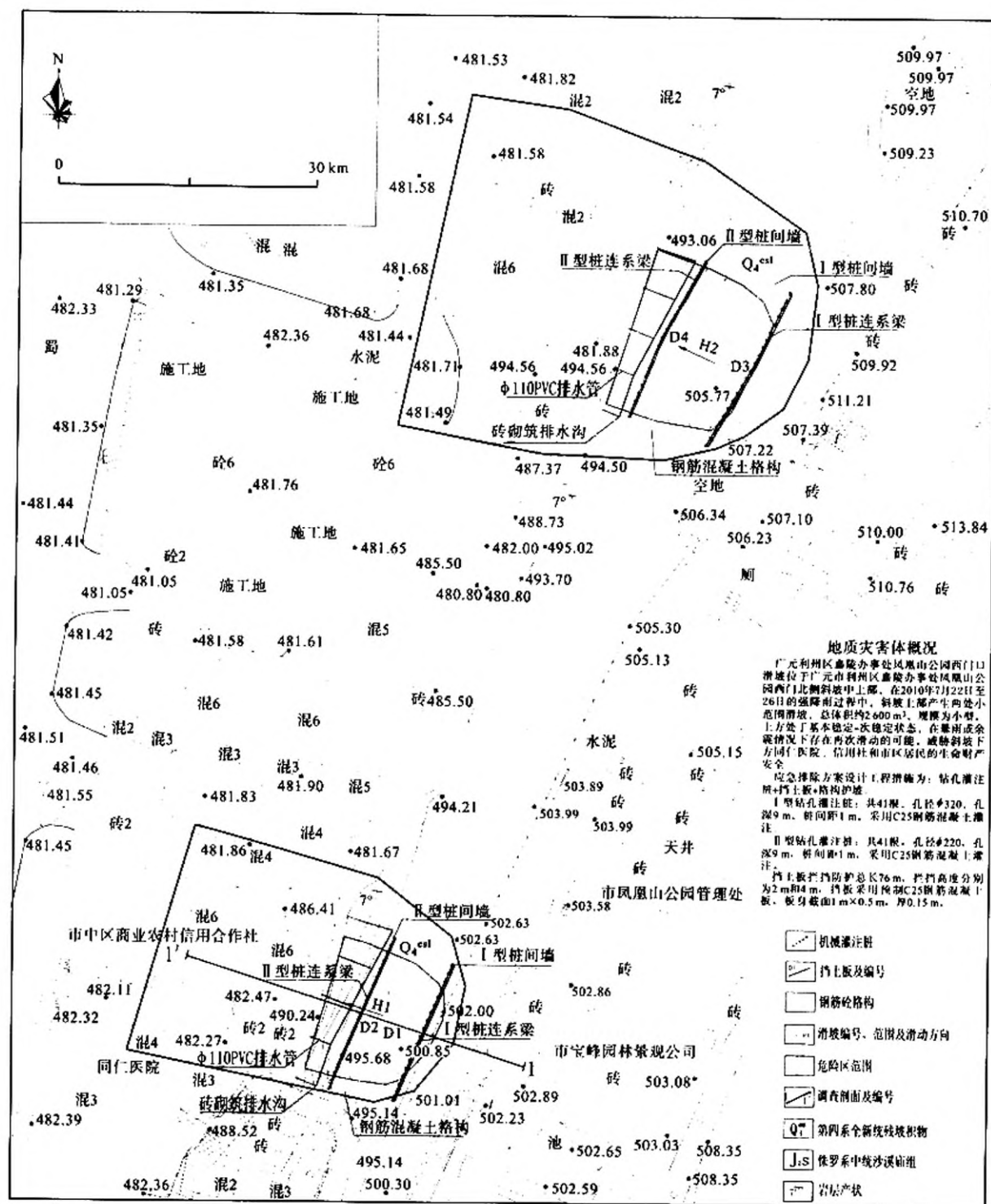


图2 滑坡工程地质平面图

Fig. 2 Engineering geological plan of the landslide

4.2 计算剖面的选取及荷载组合

本次稳定性计算选取3条剖面进行计算:选择位于H1滑坡主滑方向1-1'还原剖面、1-1'剖面, H2滑坡4-4'剖面进行计算,剖面的条块单元划分情况详见图9。

稳定性计算工况及荷载组合:根据实际,确定了两种:(1)工况1:滑坡区现状条件,滑体物质多数未

饱和,荷载组合只考虑滑体自重;(2)工况2:滑坡区充水条件即滑坡区水量增多条件下,滑体物质全部处于饱和状态,荷载组合为:自重+暴雨或连续降雨。由于土体中地下水贫乏,因此不考虑孔隙水压力。

4.3 计算参数的选取

由于时间紧迫,要求在一个半月内完成抢险治理



图3 H1滑坡正面照片

Fig. 3 Front view of Landslide H1



图4 H1滑坡俯视照片

Fig. 4 Top view of Landslide H1

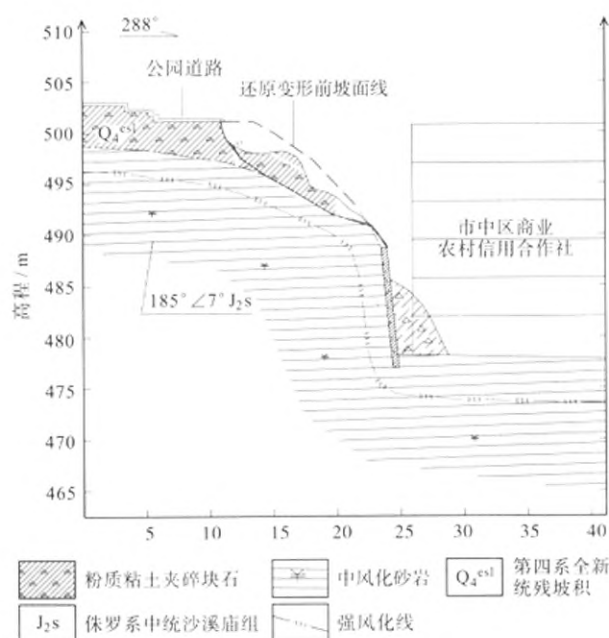


图5 滑坡1-1'工程地质剖面图

Fig. 5 Engineering geological profile along 1-1' of the landslide



图6 H2滑坡照片

Fig. 6 View of Landslide H2

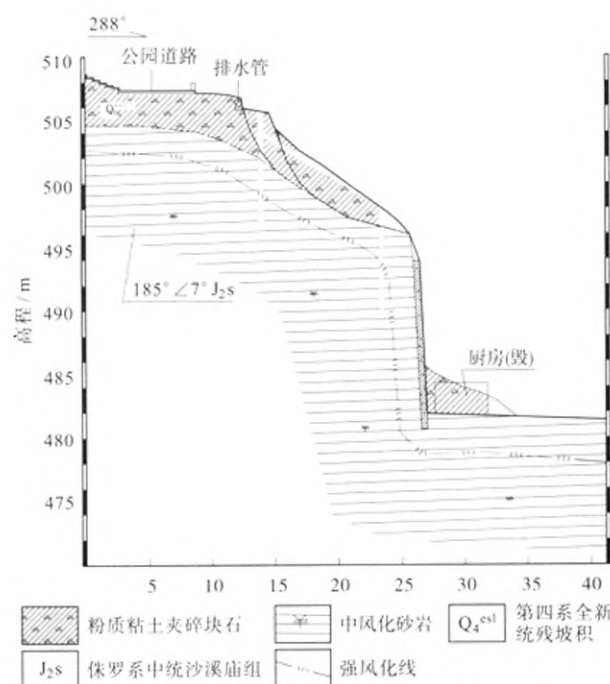


图7 滑坡4-4'工程地质剖面图

Fig. 7 Engineering geological profile along 4-4' of the landslide

剖面现状稳定性反演), 综合取值。其结果为: 滑体土为粉质粘土含碎石, 天然重度为 18 kN/m^3 , 饱和重度为 19.8 kN/m^3 。滑带土厚度小, 一般为 2 cm , 成分为粉质粘土, 在天然状态下内聚力 $c=20 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi=13^\circ$; 饱和状态下内聚力 $c=14.5 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi=11.62^\circ$ 。

4.4 计算结果

滑坡稳定性计算结果见表1。

计算结果表明滑坡在工况1(自重)条件下处于稳定状态; 在工况2(自重+暴雨)条件下处于稳定-欠稳定状态。H1滑坡1-1'还原剖面在工况2条件下处于不稳定状态, 与实际情况吻合。

任务, 本次工作是采用三边一及时的方法进行。所以本次稳定性评价参数的选取方法采用的是工程地质类比法、反演法以及经验类比法确定滑带土和滑体土物理力学指标。

本次评价采用经验类比抗剪强度值结合滑体稳定状态反演值(1-1'剖面还原后反演、1-1'剖面及4-4'

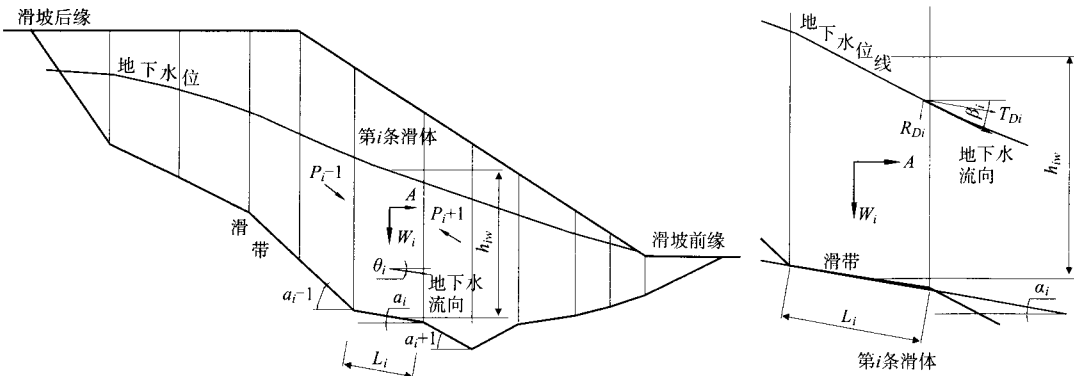


图 8 传递系数法(折线型滑动面) 计算模型及条块受力图

Fig.8 Computation model of transfer coefficient method (sliding surface of broken line type) and force chart in bars

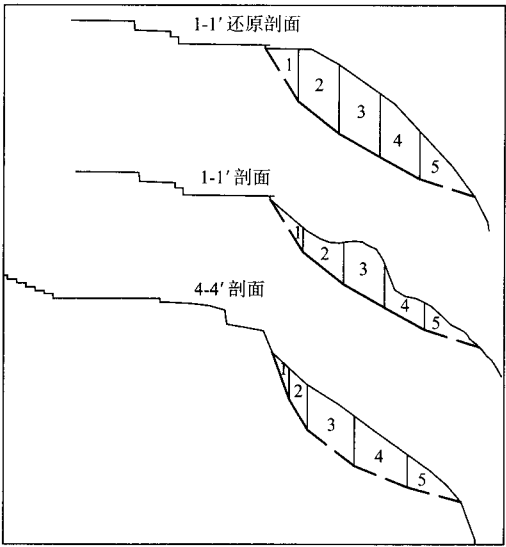


图 9 剖面条分图

Fig. 9 Profile in bars

表 1 稳定性计算结果

Table 1 Stability alculations

剖面及编号	工况	稳定系数	稳定状态
1-1'还原剖面	自重	1.29	稳定
1-1'还原剖面	自重+暴雨	0.97	不稳定
1-1'剖面	自重	2.09	稳定
1-1'剖面	自重+暴雨	1.19	稳定
4-4'剖面	自重	1.78	稳定
4-4'剖面	自重+暴雨	1.04	欠稳定

5 结语

广元市利州区凤凰山滑坡位于凤凰山公园内, 在 2010 年 7 月 24 强降雨后发育两处滑坡, 滑坡紧邻医院和居民楼, 部分滑坡堆积物已进入居民家中, 造成人心恐慌, 严重威胁下部居民区 300 余人生命

财产安全。

滑坡区整体为斜坡, 斜坡总长 230 m, 呈折线型, 斜坡表面总体较完整, 中上部已形成两处滑坡, 总体积 2 600 m³。滑坡上部为凤凰山公园较为密集的建筑物, 滑体坡度 35°~45°; 下部为高 10~15 m 基岩陡崖, 局部呈直立; 坡脚为同仁医院和市中区商业农村信用合作社, 地形较平坦。目前滑坡后缘还有数条横向拉裂缝, 逐步向后缘扩大, 潜在威胁较大。滑体土和滑带土岩性均为松散的粉质粘土夹碎块石, 滑床岩性为侏罗纪中统沙溪庙组灰黄色厚层砂岩, 风化裂隙发育。

斜坡总体处于稳定状态, 坡面分布两处滑坡, 目前两处滑坡均处于基本稳定-欠稳定状态, 而斜坡其他地段, 由于地质环境、结构成因与两处滑坡相同, 在暴雨或地震作用下也有发生滑动的可能。根据计算结果表明滑坡在工况 1(自重)条件下处于稳定状态; 在工况 2(自重+暴雨)条件下处于欠稳定-不稳定状态。

通过应急调查工作分析, 滑坡在暴雨条件下处于欠稳定-不稳定状态, 为滑坡的治理提供了基础依据。

参考文献

[1] 金美喜. 广元利州区嘉陵办事处凤凰山公园西门口滑坡应急调查报告[R]. 四川九〇九建设工程有限公司, 2010. 8.
[2] 金美喜. 广元利州区嘉陵办事处凤凰山公园西门口滑坡应急抢险方案设计[R]. 四川九〇九建设工程有限公司, 2010. 8.
[3] 肖春阳. 广元利州区嘉陵办事处凤凰山公园西门口滑坡应急抢险工程施工总结[R]. 四川省地质工程集团公司, 2011. 1.
[4] 陈希哲. 土力学地基基础(第二版)[M]. 清华大学出版社, 1992. 4.

(下转第 77 页)

APPLYING THE DTH HAMMER & MINI-PILE TECHNOLOGY IN
TREATING THE EMERGENT LANDSLIDE AT FENGHUANGSHAN
PARK IN GUANGYUAN

Xiao You-yuan, Ye Xiao-hua

(Sichuan 909th Construction Engineering Co., Ltd., Jiangyou 621701, China)

Abstract: The mini-pile technology is widely used in geo-hazard treatment projects. In treating the emergent landslide, the DTH hammer and cast-in-place bored mini-pile was used, in combination with breast board and lattice concrete structure, after the geographical conditions, geological conditions and the basic characteristics of the landslide were studied. The engineering has been proven to be safe, fast, efficient and effective with low cost and high quality.

Key words: landslide; DTH hammer; mini-pile technology; emergency treatment

作者简介: 肖尤元(1963—),男,高级工程师,多年来从事地质灾害的勘察、设计、岩土工程施工及管理工作,主持承担多个大型抢险项目,有较丰富的实际工作经验。



(上接第 60 页)

STABILITY OF THE LANDSLIDE
AT FENGHUANGSHAN PARK IN GUANGYUAN

Ye Xiao-hua, Xiao You-yuan, Jin Mei-xi

(Sichuan 909th construction engineering Co., LTD, Jiangyou 621701, China)

Abstract: The landslide, a small soil type, is investigated to obtain a basis for its control and treatment. In accordance with its basic characteristics, its stability coefficients are calculated with the Limit equilibrium method. The calculations indicate its stability in condition of its own weight and its stability, understability, or instability possibility in condition of its own weight plus rainstorm.

Key words: Fenghuangshan Park; landslide; limit equilibrium method; stability coefficient

作者简介: 叶晓华(1966—),女,高级工程师,主要从事水工环灾地质的勘察、设计及技术管理工作,主持承担完成了国家重大地质灾害四川汉源背后山滑坡泥石流勘查设计、四川宜宾翠屏山滑坡勘查设计、三峡库区巫山县崩塌滑坡防治规划调(勘)查、地震灾区重大地质灾害勘查设计以及四川省大骨节病区地下水调查与安全供水示范工程等多个项目,发表论文 10 余篇。