

# 三峡库区某滑坡稳定性分析及工程治理

王兴平, 刘天翔, 许 强, 刘 鹏, 范雪梅

(成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059)

**摘 要:** 在研究了三峡库区某滑坡的工程地质条件及滑坡体特征的基础上, 分析了该滑坡成因机制和失稳因素。考虑到未来三峡蓄水位的变化, 结合不同工况对该滑坡进行了稳定性计算, 针对计算结果, 提出并设计了采用抗滑桩支挡与监测工程相结合的综合工程治理方案。

**关键词:** 三峡库区; 成因机制; 稳定性; 工程治理; 滑坡

**中图分类号:** p 642. 22

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006) 02-0084-03

## Stability Analysis and Project Management of Landslide in Three Gorges Reservoir Area

WANG Xing-ping, LIU Tian-xiang, XU Qiang, LIU Peng, FAN Xue-mei

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Based on the study of engineering geology condition and basic properties of landslide in the Three Gorges Reservoir area, the cause of formation and the factor inducing the slope failure were analyzed. Considering the change of water in the Three Gorges, the results of the stability of landslide under the different conditions were calculated, aiming at the results, the project management of landslide was designed.

**Key words:** Three Gorges Reservoir area; the cause of formation; stability; project management; landslide

三峡工程是中国, 也是世界上最大的水利枢纽工程, 是治理和开发长江的关键性骨干工程。它具有防洪、发电、航运等综合效益。但是由于它的兴建也在一定程度上改变了原有的地质环境, 加剧了地质灾害的发生, 例如临江的一些本来稳定的边坡, 可能随着三峡蓄水位的抬高而失稳。而这些边坡一旦失稳轻则造成延长工期或追加投资, 重者可能造成巨大的人员伤亡。因此, 对这些边坡开展稳定性评价, 并针对具体情况采取相应的治理措施, 显得相当重要。

### 1 该滑坡治理的必要性和紧迫性

位于重庆市涪陵区长江南岸清溪镇的某滑坡, 为一古滑坡堆积体。目前, 三峡水库蓄水后, 部分滑体已被淹没, 滑坡有一定的变形迹象, 如位于滑坡体中后部的涪丰公路路面有明显的下陷, 部分民房有轻微裂口, 同时, 随着以后库水位的不断抬升, 其变形可能会进一步加剧, 一旦该滑坡失稳将直接危及到 166 人的生命安全, 威胁房屋 1 300 余间, 一级公路 400 余 m, 通讯电缆 3 条, 高压线路 1 条, 排污管道 1 200 m, 造船厂一座, 直接经济损失就达 5 000 余万元。按照《三峡工程库区三期地质灾害防治地质勘察技术要求》规定, 该滑坡危害程度为二级, 因此, 该滑坡的防治被列入三峡库区三期地质灾害防治工程 I 类应急抢险项目。

### 2 滑坡区基本地质条件

滑坡区属长江河谷侵蚀剥蚀低山丘陵地貌, 亚热带湿润季风气候, 四季分明、雨量充沛, 多年平均降雨量为 1 140. 2 mm, 但雨量在时间上分布不均, 5~9 月降雨量约占全年的

65%~70%, 且多大雨、暴雨。出露的地层主要有: 侏罗系中统上沙溪庙组(J<sub>3s</sub>) 第二段、第三段, 岩性主要为紫红色泥岩、砂质泥岩及岩屑长石砂岩互存; 覆盖层为第四系的冲洪积、残坡积和人工堆积层。

该滑坡位于砂岩、泥岩互层组成的某向斜南东翼上, 产状 310~330°∠16~22°, 未见断层, 厚层砂岩层面坡上裂隙少见。工程区属相对稳定的弱震环境, 地震基本烈度为Ⅰ度。

滑坡区域地表水主要为长江水及两侧冲沟水, 沟水顺坡面垂直汇入长江, 两者构成区内地表水网; 区内地下水不丰富, 主要为基岩裂隙水与第四系松散介质孔隙水, 赋存于基岩和第四系残坡积、滑坡堆积体和冲洪积物质中, 由于泥岩的隔水作用, 地下水一般仅在浅部运移。

### 3 滑坡体基本特征

滑坡在地形地貌上属于岩屑长石砂岩与泥岩互层叠瓦式单面山顺向坡, 在平面图上为典型的“圈椅”状, 分布高程 110~205 m, 沿目前水位(139 m)顺江宽约 510 m, 轴线长 310 m, 面积 9. 2×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>, 体积 2. 25×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, 主滑向约 330°, 地势总体东南高、西北低, 地形坡度 10~25°, 由于人为改造, 坡面呈阶梯状。滑坡平面图见图 1。

该滑坡体为碎块石土, 厚度 5. 3~40. 2 m, 具有砂岩块石土和泥岩块石土互层产出特征, 层理明显。砂岩块石土中成分以黄色中粗粒长石砂岩块石为主, 强风化- 全风化, 块石直径一般 1. 5~2 m, 大者 3 m 左右, 充填紫红色黏土及黄色粉砂土; 泥岩块石土以泥岩碎块石及岩屑为主, 紫红色, 结构松散; 滑体中前部表层覆盖 3~5 m 河流冲积粉细砂及粉

砂土。滑床地层岩性为侏罗系中统沙溪庙组(J<sub>2s</sub>)的泥岩及砂岩,岩层中发育两组构造裂隙:一组走向近南北,另一组走向近东西,倾角均接近直立。

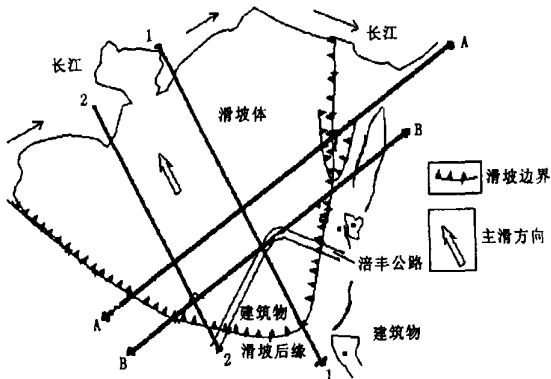


图 1 滑坡平面图

据勘探工程证实,在滑体底界分布有一完整连续的滑移面,其平面形状近似扇形,空间形态为一凹面,据钻孔揭示可见较明显的磨光面及擦痕。滑带物质主要为强风化泥岩经挤压破碎后形成的碎石土及砾质土,结构紧密,厚度不均。

#### 4 滑坡成因机制分析

首先,由于该滑坡场区为单斜顺向坡坡型,而岩性又为软硬相间的泥岩、砂岩互层,这就可能使得相对较为软弱的泥岩层形成潜在的滑动面,同时构造运动使得岩层间相互错动,形成层间错动带和张(压)性结构面,这为滑坡的产生提供了物质基础;其次,岩层倾向坡外且倾角较缓,而岩层前缘又被长江水不断的下切掏蚀,使其潜在滑面临空,这样就为滑坡的产生提供了外部条件;另外,前文中已经提到岩层中发育有两组构造裂隙,其走向分别垂直坡向和平行坡向,这样就把岩层切割成“豆腐”块状,破坏了岩层的完整性,更有利于滑坡的产生;除此以外,由于风化作用和水的入侵,特别是泥岩层遇水可能泥化,这样会使得岩层力学参数大大降低,而泥岩又为相对的隔水层,使得坡体中的水不能及时排除,这样就会产生较大的孔隙水压力,而在滑带部位将会产生扬压力,这些因素都会使得滑坡的抗滑能力显著减小。总之,从滑坡的变形破坏的演变过程来看该滑坡应该属于蠕滑一拉裂型。

另外,笔者认为随着三峡蓄水位的进一步抬升以及正常蓄水后库水位的变化所产生的静、动水压力将会对滑坡体的稳定产生极大地影响,再加上在强降雨的条件下,滑体饱水后容重增加,下滑力急剧增大,而孔隙水压力增加,有效应力减小,抗滑力显著减小,在顺向坡坡型和河流切割形成临空面的特殊地形地貌条件等综合因素作用下可能造成滑坡失稳。

#### 5 滑坡稳定性评价

##### 5.1 计算工况的确定

本次计算的目的是,为滑坡的稳定性评价及防治提供依据,计算时考虑外部荷载、降雨、库水位变化等因素。稳定性分析计算的荷载主要有:滑坡体自重、地下水产生的静水压力和动水压力、三峡库水位变化产生的动水压力。因滑坡区地震基本烈度为Ⅰ度,计算时未考虑地震力的影响。

根据现状和三峡蓄水后的运行特点同时参考《三峡库区三期地质灾害防治工程地质勘察技术要求》,将滑坡稳定性计算划分为六种工况:

第一种工况(工况Ⅰ),目前状态下,库水位为 139 m,考

虑滑坡体自重+ 地表荷载+ 现水位;

第二种工况(工况Ⅱ),考虑滑坡体自重+ 地表荷载+ 水库坝前 175 m 静水位+  $q_{\text{枯}}$ ;

第三种工况(工况Ⅲ),考虑滑坡体自重+ 地表荷载+ 水库坝前 162 m 静水位+  $q_{\text{全}}$ ;

第四种工况(工况Ⅳ),考虑滑坡体自重+ 地表荷载+ 水库坝前 175 m 骤降至 145 m;

第五种工况(工况Ⅴ),考虑滑坡体自重+ 地表荷载+ 水库坝前 175 m 骤降至 145 m+  $q_{\text{枯}}$ ;

第六种工况(工况Ⅵ),考虑滑坡体自重+ 地表荷载+ 水库坝前 162 m 骤降至 145 m+  $q_{\text{全}}$ ;

式中:  $q_{\text{枯}}$ ——非汛期 50 年一遇暴雨;  $q_{\text{全}}$ ——雨汛期 50 年一遇暴雨

##### 5.2 计算参数和剖面的选取

在稳定性计算中岩土物理力学参数的选取合理与否,是计算评价结果正确与否的关键所在,尤其是滑带土的抗剪强度参数 C、(取值更是关系重大,通过工程类比和现场大剪试验以及反演法最终确定计算参数如表 1:

表 1 稳定性计算岩土体参数取值

名称	参数选取	
	C/ kPa	$\varphi/^\circ$
滑带土	25	18
滑体重度	天然 C= 20.3 kN/m <sup>3</sup> 饱和 C= 20.6 kN/m <sup>3</sup> 浮 C= 10.6 kN/m <sup>3</sup>	

在计算过程中,滑体重度在潜水位以上选用天然重度,而在潜水位以下选用饱和重度,水库蓄水位以下选用浮重度。根据滑坡实际情况,选取了 1- 1 剖面 and 2- 2 剖面作为计算剖面(参见图 1)。

##### 5.3 计算方法与结果

本次采用在实际工程运用较为广泛的极限平衡法,而常用的有一般条分法,毕肖普法,不平衡传递系数法等,为了使计算结果更准确、可靠,我们分别运用了这三种方法进行计算,计算结果如表 2:

表 2 各剖面稳定性计算结果

计算剖面	计算方法	工况Ⅰ	工况Ⅱ	工况Ⅲ	工况Ⅳ	工况Ⅴ	工况Ⅵ
1- 1 剖面	一般条分	1.083	1.811	1.470	1.214	1.056	1.024
	Bishop 法	1.085	1.801	1.469	1.220	1.061	1.030
	传递系数法	1.079	1.809	1.509	1.237	1.061	1.029
2- 2 剖面	一般条分	1.272	2.206	1.554	1.385	1.269	1.226
	Bishop 法	1.278	2.199	1.558	1.387	1.273	1.229
	传递系数法	1.284	2.258	1.583	1.398	1.280	1.234

##### 5.4 滑坡稳定性因素敏感性分析

影响滑坡稳定性的主要因素有滑带土的抗剪参数(C、 $\varphi$ ),因此,有必要对其进行敏感性分析,为有效地分析滑坡的稳定性,选取稳定性较差的 1- 1 剖面进行因素敏感性分析,分析结果如图 2。

由图 2 可知,滑带土的抗剪参数变化对滑坡的稳定性影响都较为显著,滑带土的  $\varphi$  值每降低 1°, 坡体稳定性系数将减小 0.04 左右,滑带土的 C 每降低 1 kPa, 稳定性系数减小 0.013 左右,  $\varphi$  值较 C 值影响更为明显。

##### 5.5 稳定性评价

从表 2 的计算结果表明,该滑坡在工况Ⅱ、工况Ⅲ及工况Ⅳ下 1—1 剖面 and 2- 2 剖面都处于稳定状态( $F_s > 1.15$ ),而在工况Ⅰ、工况Ⅴ和工况Ⅵ下 1- 1 剖面处于欠稳定状态( $F_s < 1.15$ ),不能完全达到相应工况下《三峡库区三期地质灾害防治工程设计技术要求》规定的设计安全系数值。因此,

有必要对其进行治理。

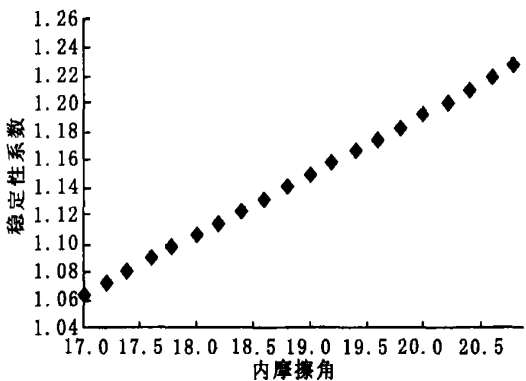
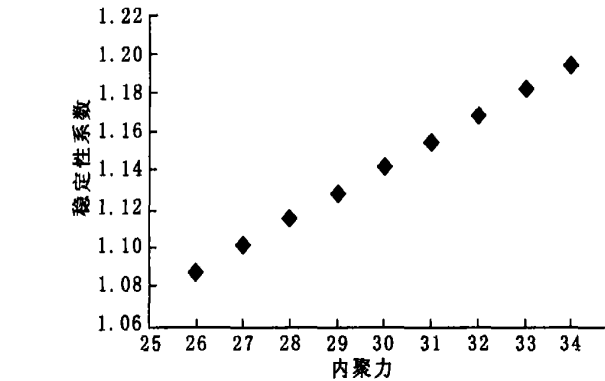


图 2 滑坡稳定性影响因子敏感性分析

## 6 滑坡工程治理措施

### 6.1 治理方案的选取

由于三峡正常蓄水位为 175 m, 因此在本次治理过程中没有考虑 175 m 库水位以下滑体的稳定性。为了保证上部民房、公路及其他基础设施的安全, 只需在滑坡 175 m 水位线以上布置适当的防治措施进行治疗。为了选取最优的滑坡治理方案, 设计时提出了三套治理方案进行比较, 方案一主要是采用抗滑桩工程对滑坡进行支挡, 抵抗滑坡的剩余下滑推力, 辅以监测工程; 方案二是采用预应力锚索抗滑桩进行支挡, 抗滑桩的截面尺寸较方案一小; 方案三采取搬迁避让的措施。

通过工程概预算对上述三方案进行比较, 方案二造价最低, 方案一略高, 方案三将造成 5 000 余万元直接经济损失, 但方案二中的锚索、砂浆和周围岩土体强度在长期浸水的条件下, 耐久性差, 而且锚索抗滑桩的较为突出的特点是通过锚索施加的预应力对滑坡体起到主动加固的作用, 但当对锚索施加超过 400 kN 的预应力时, 锚索的锚固力极有可能超过其容许锚固力, 而 400 kN 的初始锚固力远小于本滑坡的设计安全系数下所产生的推力, 除此以外, 该方案施工工艺难度大。因此, 考虑到可行性和可操作性最终决定选取方案一作为该滑坡的治理方案。

### 6.2 治理工程设计与布置

由于该滑坡防治工程的安全等级为Ⅱ级, 同时只考虑 175 m 以上滑体的稳定性, 依据滑坡体现场的实际地质情况和实际应该保护的對象, 计算时选择了 178~179 m 的缓坡平台作为滑体的剩余下滑推力, 也是抗滑桩的布置位置地带, 滑坡体滑坡推力计算中设计安全系数参考相关规范, 计算结果如表 3:

表 3 治理工程在支挡位置处滑坡推力 计算结果总汇						
计算剖面	工况Ⅱ	工况Ⅲ	工况Ⅳ	工况Ⅴ	工况Ⅵ	工况Ⅶ
	(K=1.2)	(K=1.2)	(K=1.2)	(K=1.15)	(K=1.15)	(K=1.15)
1-1剖面(主剖面)	2227.9	-	-	-	2019.14	2114.90
2-2剖面	-	-	-	-	-	-

从表 3 我们可知, 滑坡推力主要集中在 1-1 剖面附近, 滑坡剩余下滑推力在目前库水位(139 m)下最大, 但是支挡工程主要考虑的是滑坡体在三峡蓄水至 175 m 以后的稳定性, 所以防治工程把工况Ⅱ的推力计算作为参考, 不作为主要的设计依据, 而选择以 2 114.90 kN/m(工况Ⅶ)作为设计推力, 进行抗滑桩的设计。抗滑桩布置于图 1 中的 A—A、B—B 剖面之间的缓坡平台上, 从 ZK11 西侧到 ZK5 南东侧,

总共长度约为 195 m, 抗滑桩截面尺寸为 3 m×4 m, 受荷段 21 m, 锚固段 12 m, 桩总长 33 m, 桩间距 6 m, 共 33 根。具体抗滑桩布置参见图 3。

为防止滑坡发生, 确保施工安全顺利地进行, 同时为指导防治工程施工, 检验和验证治理工程实际效果, 有必要建立健全的滑坡监测网络, 结合该滑坡的实际特点, 需要设置深部变形、地表位移、裂缝相对位移监测工程。具体监测工程布置参见图 3。

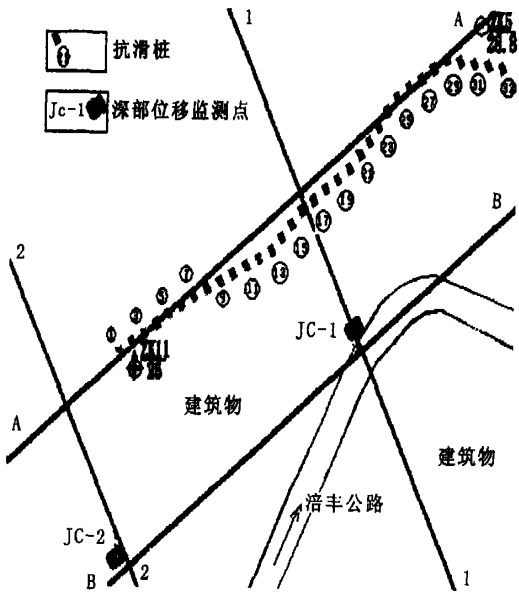


图 3 治理工程平面布置图

## 7 结 语

(1) 该滑坡地形地貌上属于单斜倾向坡, 加上有软弱控制结构面且滑坡前缘被长江切割, 因此, 在滑坡机制上属于蠕滑—拉裂型。影响滑坡的主要因素有滑带土的 C、 $\phi$ 、库水位的变化所产生的静、动水压力。

(2) 通过对不同工况的稳定性计算, 确定了目前库水位、水库坝前 175 m 骤降至 145 m+ $q_{\text{枯}}$  以及水库坝前 162 m 骤降至 145 m+ $q_{\text{全}}$  三种情况下滑坡欠稳定, 通过计算确定了以 2 114.9 kN/m 作为滑坡治理的设计推力。

(下转第 97 页)

雨站点年降水量为例,运用移动趋势面对其进行拟合,其结果用二维可视化表达,得到该地区降水等值线图,图 3,将结果用三维可视化表达,得到降水趋势面图,图 4。

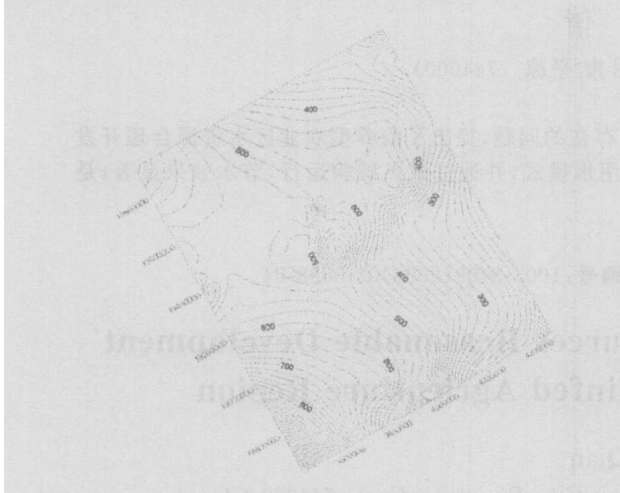


图 3 降水等值线图

从图 4 的三维显示中可直观地看出该地区从上到下雨量逐渐增大,因为中部雨量站点分布比较少,因此其内插出的雨量变化不大,趋势面比较平缓,降水趋势面图可直观的反映该地区降雨的变化,如果要求总的降水量时,可用移动趋势面在各自的范围内取双重积分可得。

参考文献:

[ 1 ] 丁太胜,刘惠敏. 汛期强降水水面雨量分析和预报[J]. 气象科学, 2003, 23(3): 346- 351.  
[ 2 ] 王名才. 大气科学常用公式[M]. 北京: 气象出版社, 1994. 518- 519.  
[ 3 ] 李武阶,王仁乔,郑启松. 几种面雨量的计算方法在气象和水文上的应用比较[J]. 暴雨灾害, 2002, (10): 62- 67.  
[ 4 ] 毕宝贵,徐晶,林建. 面雨量计算方法及其在海河流域的应用[J]. 气象, 2003, 29( 8 ): 39- 42.  
[ 5 ] 郭仁忠. 空间分析[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 2000.  
[ 6 ] Goodchild M F. Spatial Using GIS[M]. California: NCGIA, 1994.  
[ 7 ] Haining R. Spatial Data Analysis in the Social and Environmental Science[ M]. Cambridge University Press, 1990.

( 上接第 80 页)

[ 5 ] 李宇庆,陈玲,等. 上海化学工业区土壤重金属元素形态分析[ J]. 生态环境, 2004, 13( 2 ): 154- 155.  
[ 6 ] 王运泉. 煤中部分潜在毒害微量元素在表生环境下的化学活性[D]. 北京: 中国矿业大学, 1994.  
[ 7 ] L Fanfani, P Zuddas. Heavy metals speciation analysis as a tool for studying mine tailings weathering[ J]. Journal of Geochemical Exploration, 1997, 58(2): 241- 248.  
[ 8 ] Querol X, Juan R, Lopez Soler A , et al. Mobility of trace elements from coal and combustion wastes[ J]. Fuel, 1996, ( 7 ): 821.  
[ 9 ] 冯新斌,洪斌,倪建宇. 煤中部分潜在毒害微量元素在表生环境下的化学活性[J]. 环境科学学报, 1999, 19( 4 ): 433- 437.

( 上接第 86 页)

(3) 通过方案比选,最终确定了在 178- 179 m 的缓坡平台上布置 33 根截面尺寸为 3 m×4 m 抗滑桩辅以监测工程的综合治理方案,该方案可为同类的边坡研究和治理工程提供一定的借鉴经验。

(4) 滑坡监测工作,不论在滑坡的变形演化阶段还是工

参考文献:

[ 1 ] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理( 第二版)[ M]. 北京: 地质出版社, 1994.  
[ 2 ] 三峡工程区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区三期地质灾害防治工程详细地质勘察技术要求[Z]. 2005.  
[ 3 ] 三峡工程区地质灾害防治工作指挥部. 三峡库区三期地质灾害防治工程设计技术要求[Z]. 2005.  
[ 4 ] 邹成杰. 天生桥二级水电站下山包滑坡稳定分析及工程治理[J]. 水利水电技术, 1994, (10): 27- 34.  
[ 5 ] 吴亚子,傅荣华,王小群. 三峡库区奉节县某滑坡特征和稳定性分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12( 1 ): 125- 128.

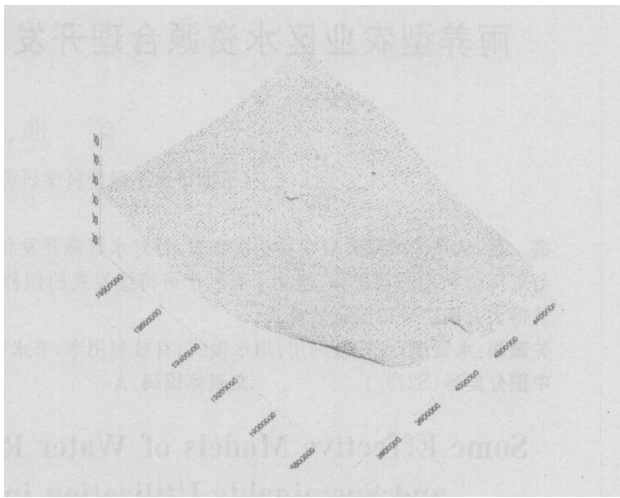


图 4 降水趋势面图

4 结 论

充分利用 GIS 的可视化特点,采用移动趋势面法对某一地区降水量进行拟合,通过拟合结果与任意已知站点降水量进行比较,最大相对误差为 8.8%,平均相对误差为 5.1%,与其它计算方法相比,该方法的最大优点是可形象直观地反映某一地区的降水量变化趋势,对于面雨量的计算也很有帮助,为防洪决策部门提供了防洪依据。

程治理阶段,都是十分重要的。在滑坡体中埋设多种监测仪器,从而形成多层次的严密的立体监测网,为边坡的稳定性提供可靠的资料。监测工作应长期坚持,以保证滑坡的长期稳定与安全。