

# 清江隔河岩水库茅坪滑坡的主要影响因素分析

柳丙善<sup>1,2</sup>,李世海<sup>1</sup>,赵 卿<sup>3</sup>

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 中国科学院研究生部, 北京 100029;  
3. 中国石油天然气管道局国际事业部, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**文章在调研了茅坪滑坡的基础上,对可能影响茅坪滑坡的因素进行了详细地分析研究,给出了茅坪滑坡地形、地貌、地裂缝调查现状、竖井地质素描、降雨规律、地表位移监测及其数据分析,并对几方面的信息进行综合分析,认为白岩崩塌、库水涨落及白岩中的采煤活动均不是茅坪滑坡变形的主要因素;由于滑坡上大量裂缝及水田的存在,降雨及水沟中水的入渗才是茅坪滑坡产生大变形的主要原因。

**关键词:**茅坪滑坡; 裂缝; 库水涨落; 降雨; 地表位移监测; 水入渗

文章编号: 1003-8035(2008)02-0036-08

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

## 1 引言

茅坪滑坡位于湖北省清江下游河段隔河岩水库左岸(图 1),下距隔河岩大坝 66km,体积  $2350 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,是隔河岩水库区最大的一个古滑坡。自 1993 年 4 月水库蓄水后,滑坡开始发生位移,且仍在变形发展过程中。若滑坡发生整体失稳,势必影响到下游的隔河岩及高坝州两水电站的正常运营,且可能淹没上游在建水布垭电站,造成严重经济后果。由于隔河岩库区与三峡库区相隔不远,其地质条件相似,水位、水文条件基本相同,而隔河岩水库已经运行了十多年,为此研究茅坪滑坡不仅是其本身的需要,也可为蓄水后的三峡库区滑坡的治理及预防提供借鉴。

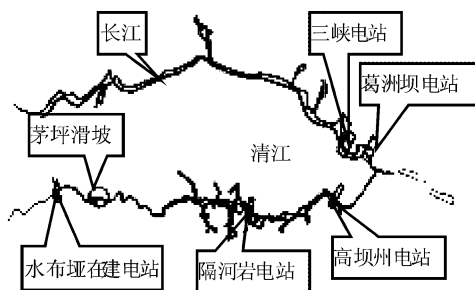


图 1 茅坪滑坡的地理位置

Fig. 1 The location of Maoping Landslide

目前已有不少的单位及科研人员对茅坪滑坡的进行了各方面的研究。文献[1]总结了茅坪滑坡的观测监测工作;文献[2~5]集中讨论了其变形及趋势预测问题;文献[6]认为滑坡复活的主要原因是由于水库蓄水引起的滑坡体水文地质条件改变;文献[7]认为

影响滑坡体变形的的主要因素是水库蓄水、库水位涨落,以及滑坡东侧白岩危岩体的崩塌加载,其次为降雨。文献[8]根据地质勘察资料及 1993~2000 年的监测成果,认为茅坪滑坡体复活是其东侧白岩危岩体中不合理的采煤活动引起的。文献[9~10]结合长江水利委员会的勘探结果,给出了茅坪滑坡的基本地质特征,得到深部及地表位移的监测曲线。认为水库蓄水是滑坡复活的诱发因素,降雨加剧了滑坡的变形。

找出影响该滑坡的主要因素对滑坡的治理有重要作用。本文针对茅坪滑坡进行现场调研,以期找出影响滑坡稳定性的主要因素,为实验研究及数值模拟等提供依据。

## 2 地形地貌及裂缝调查

如照片 1 所示,茅坪滑坡东侧为白岩陡壁,壁高 150~250m。西侧至后缘为溪沟,自后缘至前缘深 10~120m。滑坡平面纵向最大长度 1600m,最大宽度约 600 余米。滑坡后缘高程 570m,滑体前后缘高差 400m。滑体除前缘坡度较陡(55°)外,平均坡度 15~20°。滑坡的顶部地势较高,无地表水沟,此处均为旱田,无明显的裂缝。

白岩于 2002 年 8 月发生大规模的崩塌,体积约

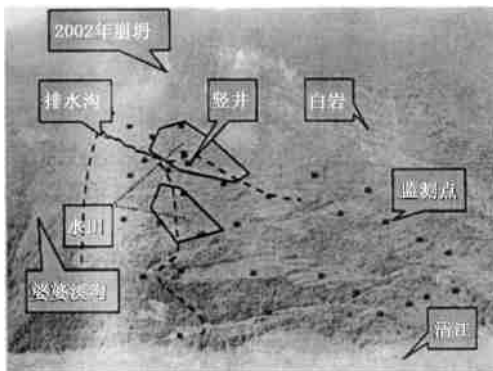
收稿日期:2007-10-17;修回日期:2008-03-19

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412703);国家自然科学基金重点项目(10632100);中国科学院重要方向性项目(KJ951-YW-L01)

作者简介:柳丙善(1970—),男,讲师,博士,从事滑坡研究。

22 万 m<sup>3</sup>。由照片 1 可看到其下方尚有一次较大的崩坍,发生在十几年前。崖体的崩坍对坡体有加载作用,且崩坍时产生的震动,对坡体稳定性也有一定影响。笔者对白岩再次崩坍的可能性进行了现场调研。照片 2、3 分别为白岩顶上较早形成的裂缝及新形成的裂缝,早期的裂缝宽达 0.5m 以上,深约 3m,长数百米。原长江水利委员会在此设置的伸张仪已被拉断。新裂缝最宽处超过 5cm,长 100~200m。由此看出白岩在特殊条件下存在大规模崩坍的可能,其产生的冲击、加载将对滑坡体的稳定性产生影响。

坡体上有 3 个主要的水沟,其中两条在主滑体上,水源主要来自降雨及白岩电站的发电用水,平时水沟及水田的灌溉用水主要来自白岩电站,水田的灌溉时间为 4~8 月,且正为该地区降雨集中的时间。水沟的水自上而下流经滑坡体的大部分区域,但水流向下逐渐减少直至消失,所以滑坡体中部保留部分水田,下部的田地基本上已成为旱田。此外,靠近白岩的黄沟平时无水,降雨时山崖上及坡体的雨水将从沟中向下排出。



照片 1 茅坪地形图

Photo 1 The landform of Maoping Landslide

滑坡体中部变形最大,多处出现较明显的变形及开裂(照片 4、5)。由于水田的灌溉时间很长,且水沟在一年的绝大部分时间内均有水,所以滑坡上及水沟中的大量裂缝成为降雨及水田中的水的入渗通道。一旦水入渗至某些关键部位或形成承压水就会对滑坡的稳定性造成较大的影响;同时由于水田占据坡体较大面积,在水的长期浸泡下,坡体变形必然受到很大的影响。

### 3 竖井地质素描

竖井位于高程 360m 处的一个山坡上,直径 2m,



照片 2 白崖上较早形成的裂缝

Photo 2 The old crannies of Baiyan



照片 3 白崖上新形成的裂缝

Photo 3 The new crannies on Baiyan



照片4 水沟中宽窄不一的裂缝  
Photo 4 The crannies in the slots



照片5 水池边缘开裂,裂缝最宽处超过20cm  
Photo 5 The crannies in the brinks of the pool, the widest cranny is wider than 20cm

每个进尺1m左右,共分37个进尺,深44m。通过竖井地质素描清晰地反映出滑坡体中的地质体种类、土石分布情况、岩石的块度、岩石节理、地下水情况、滑层位置及基岩深度等重要信息。茅坪滑坡属土石混合体,其中含粘土及煤层。岩石的块度基本在2m以下,在井深40m处开始出现低渗透层,并有承压水。井深40m处承压水约1m,至41~42m处承压水头上升至6m左右,基岩出现在42m处。这些信息为判断滑坡的机理以及数值模拟提供了依据。

#### 4 茅坪1992~2006年降雨统计

降雨对滑坡有着重要的影响。据湖北省宜昌市气象局1992~2005年渔峡口地区的降雨资料及2006年茅坪滑坡雨量计监测资料统计分析(图2、3),上述地区年降雨量大于700mm,最大达1150mm左右;其中1993、1998、1999及2003年的年降雨量最大。月降雨量自9月份开始减小,12月至来年1月雨量最小,之后雨量逐月升高,5~8月的是一年降雨较多的月份,其中1997年7月及1998年8月的月降雨量最大。

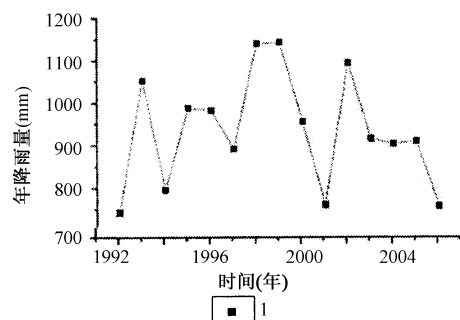


图2 1992~2006年渔峡口年降雨量统计图

Fig. 2 The rainfall in a year of Yuxiakou from 1992 to 2006  
1 - 年降雨量

#### 5 茅坪滑坡地表位移监测

长江水利委员会在茅坪滑坡上布置了8个监测点(图4中带B的点),对地表位移进行监测。水库自1993年4月蓄水后,滑坡开始发生位移,至2003年11月,最大位移已达2100mm<sup>[10]</sup>,以前的监测工作因监测点密度小,且多布于左岸沿江一带,不能很好地反映滑坡的整体变形情况。因此,在其原有监测点的基础上进行了加密,使各监测点均匀分布在滑坡表面,共布设监测点37个点,平均间距为150m左右,能

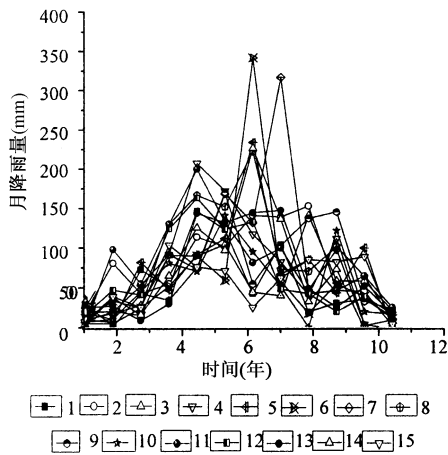


图 3 1992~2006 年渔峡口月降雨量统计图

Fig.3 The rainfall in a month fo Yuxiakou from 1992 to 2006

1 - 1992; 2 - 1993; 3 - 1994; 4 - 1995; 5 - 1996; 6 - 1997;  
 7 - 1998; 8 - 1999; 9 - 2000; 10 - 2001; 11 - 2002; 12 - 2003;  
 13 - 2004; 14 - 2005; 15 - 2006

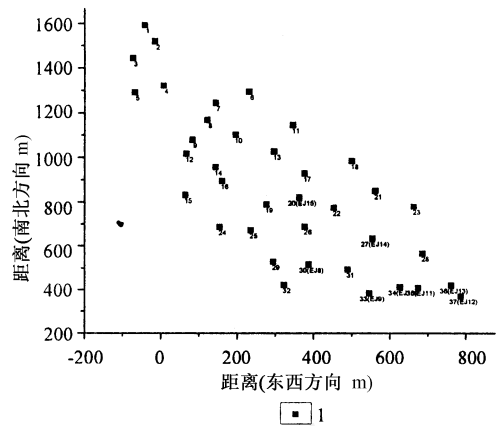


图 4 茅坪滑坡监测点分布图

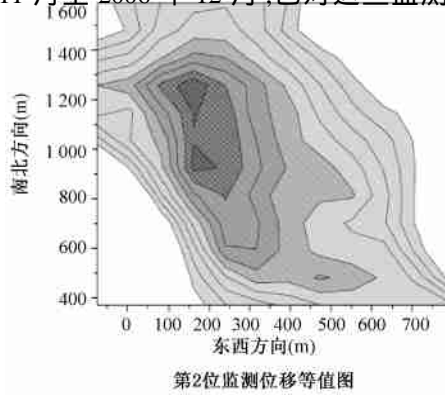
Fig.4 The location of monitoring points on Maoping Landside

1 - 监测点

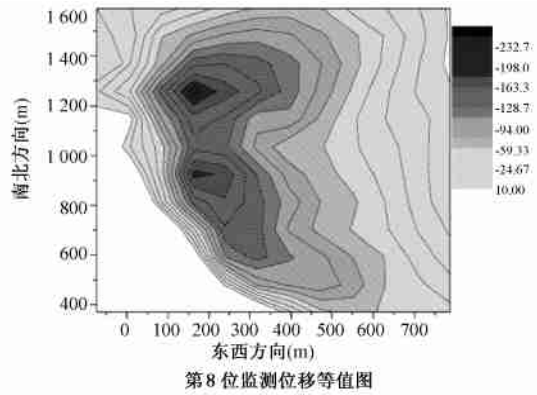
很好地反映出滑坡体表面的位移情况(图 4)。自 2003 年 11 月至 2006 年 12 月,已对这些监测点进行

了 12 次观测,对监测得到的滑坡体地表位移分南北方向、东西方向及高程方向进行统计分析并绘制相关图像。

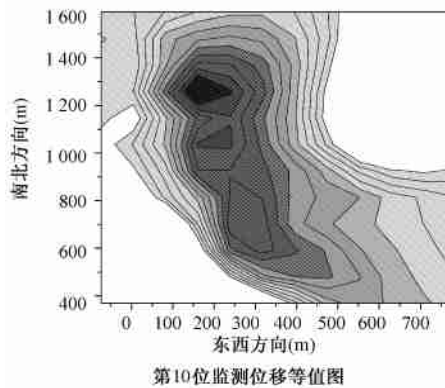
### 5.1 南北方向位移(图 5)



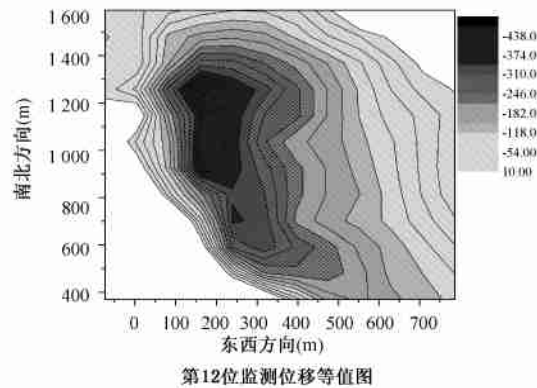
第2位监测位移等值图



第8位监测位移等值图



第10位监测位移等值图



第12位监测位移等值图

图 5 南北方向位移等值图

Fig.5 The displacement contour maps of the monitor points in direcrion south to north

滑坡位移主要呈南北方向(沿坡向)的,为此南北方向的位移是此次研究的重点。将该方向位移绘制成等值线图。由图5及照片1可以看出,南北方向位移最大的区域与茅坪滑坡上的水田所在的区域相近,滑坡顶部、靠近白岩及滑坡底部位移较小。

### 5.2 东西方向位移(图6)

滑坡上出现负向位移(向西)的点在逐渐减少,最后只集中在滑坡的顶部,且自2005年11月开始,最大负向位移点的负向位移也在逐渐减小。滑坡的中、

下部均为正向位移(向东),其中靠近西侧水沟及东侧黄沟的正向位移最大。对比图6及图1看出:负向位移是由于2002年白岩崩塌造成的结果,其影响区域逐渐减小,最后集中于滑坡顶部,且影响效果也在减小。中下部出现正向位移是茅坪滑坡的基岩向白岩方向倾斜(角度约 $10\sim 20^\circ$ )的结果。而正向位移较大的区域则是由于水的作用,西侧水沟常年有水流过,黄沟则在降雨时有雨水从中流向坡体下方,水的作用加剧了滑坡的变形。

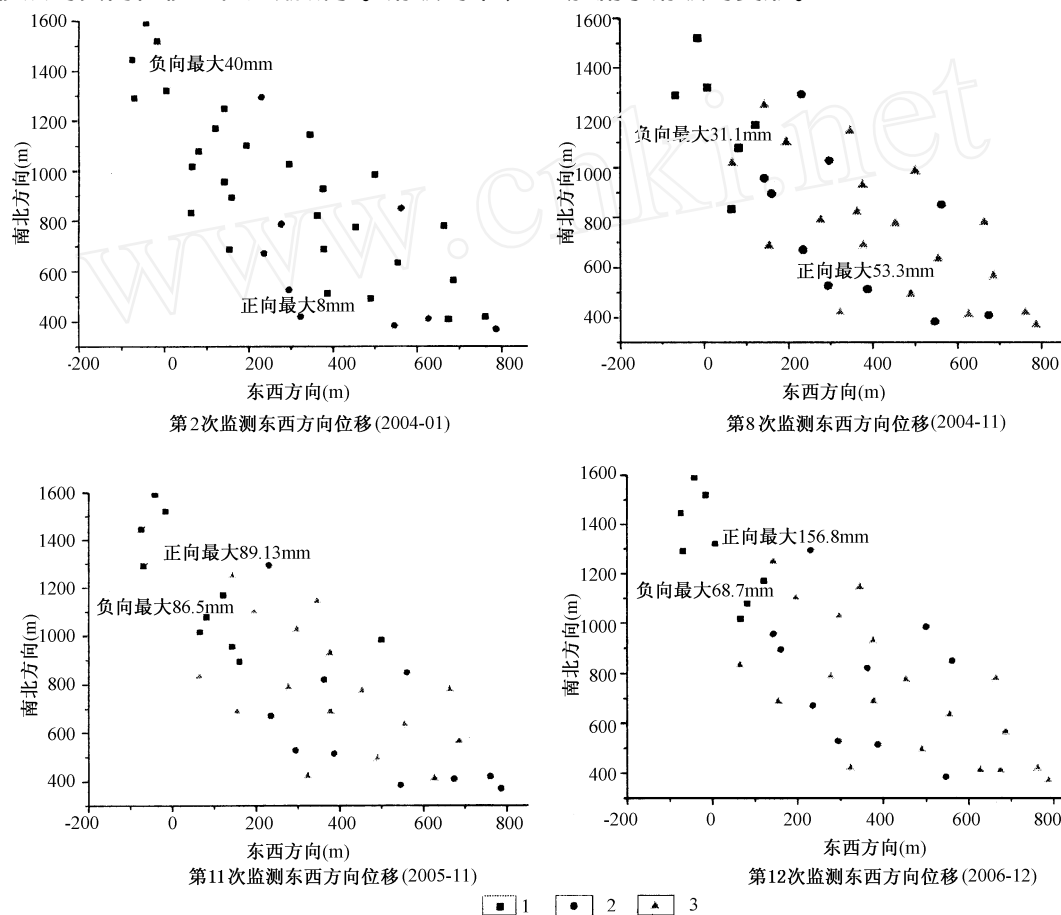


图6 东西方向位移前10的点(圆的点)与其它点的对比分布图(方的为负位移点)

Fig. 6 The distribution of the ten points (round) whose displacements in direction west to east is larger than the others

(The square points have negative displacements)

1 - 负向位移(向西); 2 - 第2次中的正向位移点(向东), 第8次后正向前十的点; 3 - 正向位移(向东)其余点

### 5.3 高程方向位移(图7)

对比图7及照片1可看出:高程方向位移最大的15个监测点集中于滑坡中部,这与此区域存在大量水田及水沟有很大关系。

## 6 坡体变形与时间及降雨间的关系

自2003年11月底至2006年12月,监测周期为3年。首先是各向位移(包括南北方向、东西方向及高程方向位移)在3年内的变化情况,南北及高程方向各选取位移最大的5个监测点为代表,东西方向选取

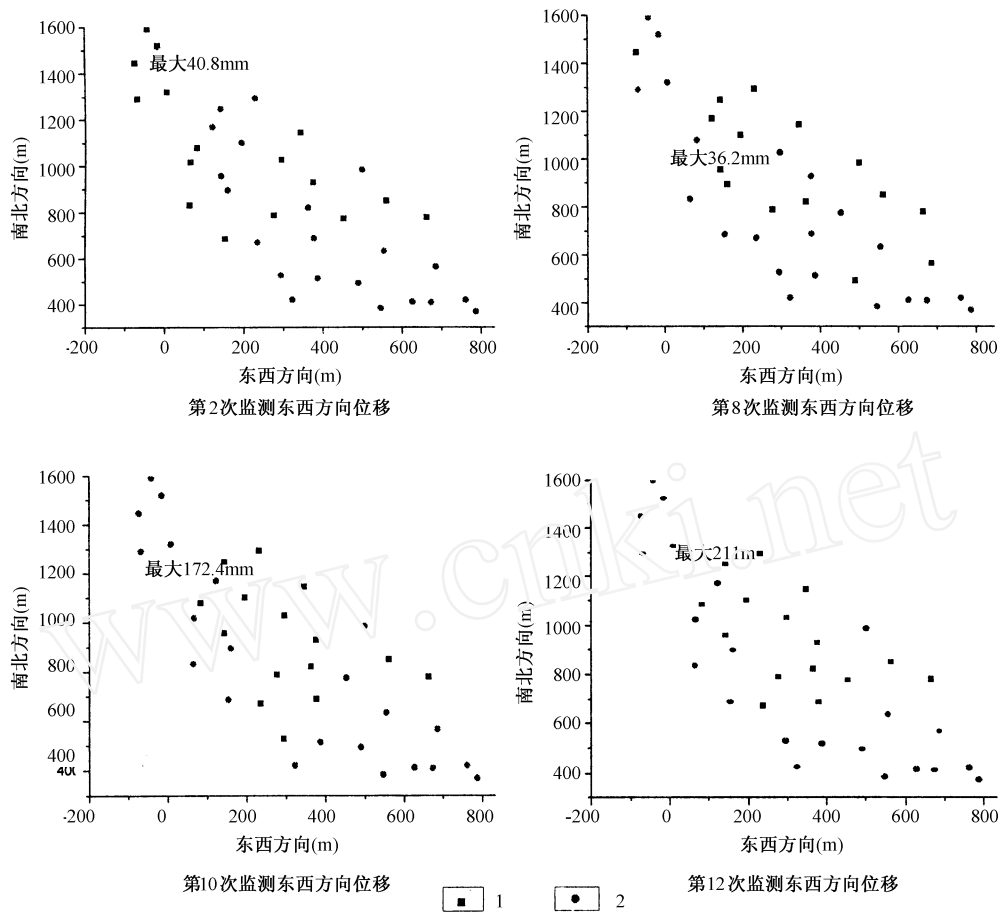


图 7 高程向位移前 15 的点(方向的)与其它点的对比分布图

Fig. 7 The distribution of the fifteen points( square) whose displacements in direction of altitude is larger than the others

1 - 沉降位移前 15 的监测点;2 - 其余监测点

正向位移最大的 5 个监测点及负向位移最大的 3 个点为代表。

由图 8~11 可看到,南北位移位于前 5 的点在监测的 3 年内变化速度基本一致;东西方向正向位移速度有加快的趋势,而负向位移在减缓;高程方向的地表沉降速度明显在降低。对比图 2 可看出,这与近 3 年来雨量变化不大有关,同时也说明白岩崩塌所造成的影响正在减弱。其次是坡体位移与 1 年内月降雨量之间的关系,选取总位移最大的 5 个监测点为代表。通过对比图 11 及图 3 可以看出:边坡的地表位移与降雨情况存在密切关系,地表位移自 9 月中开始降低,至 2 月达到最低点,之后逐渐增大,直至 9 月中达到最大值,自 4 月中至 9 月中位移变化维持在一个较高的水平。通过图 3 已经得到了渔峡口地区、一年内降雨的分布规律,月降雨量自 9 月份开始减少,12 月至来年 1 月雨量最小,之后雨量逐月升高,至 5 月

雨量达到较大,5~8 月是一年中降雨较多的月份。由此看来,茅坪滑坡地表位移的变化规律与月降雨量的变化规律基本一致,地表位移随着降雨量的增大而增大,反之亦然。

### 7 结论

- 7.1 茅坪滑坡体的变形速度较大,无且减缓趋势,其存在整体破坏的可能。
- 7.2 白岩危岩体存在再次大规模崩塌的可能,但其影响只集中于落石附近,对茅坪滑坡的整体稳定性影响较小,不是影响茅坪滑坡整体稳定性的主要因素。
- 7.3 从茅坪滑坡的南北、东西及高程方向的位移可知滑坡底部近江边处各方向的位移量均较小,库水的涨落现在不再是影响滑坡的关键。
- 7.4 茅坪滑坡的基岩向白岩方向倾斜,此地的小煤矿都在白岩上,但该区域的监测点的位移普遍偏小。

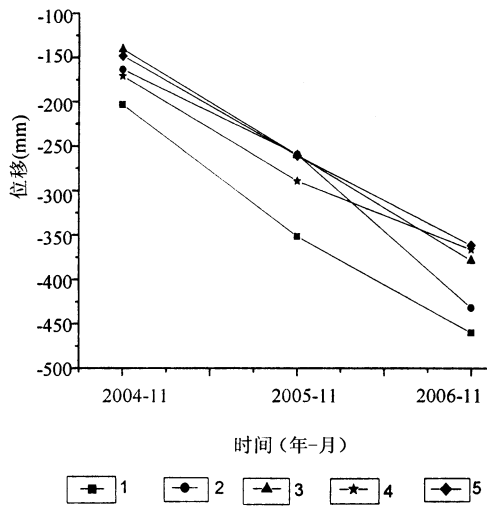


图 8 南北方向位移位于前 5 的点 3 年内的变化图  
Fig. 8 The five monitor points whose displacements are larger in direction south to north than the others vary with time in the three years

1 - IM7; 2 - IM14; 3 - IM101; 4 - IM6; 5 - IM25

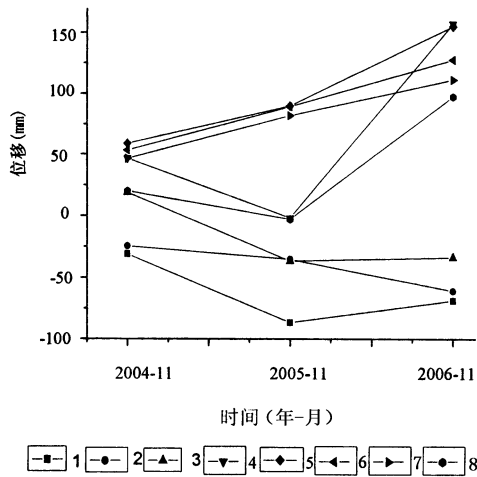


图 9 东西方向位移负向前 3,正向前 5 的点 3 年内的变化图

Fig. 9 The five monitor points whose positive displacements and the three points whose negative displacements are larger in direction west to east than the others vary with time in the three years

1 - IM9; 2 - IM2; 3 - IM3; 4 - 16; 5 - IM6;  
6 - IM30; 7 - IM25; 8 - IM18

所以采煤活动应该不是造成滑坡的主要因素。  
7.5 茅坪滑坡已存在较大的变形,坡体上有大量的裂缝存在,坡体上的水较易渗至其内部,水的作用对滑坡有重要的影响在水沟附近;地表位移随月份的变

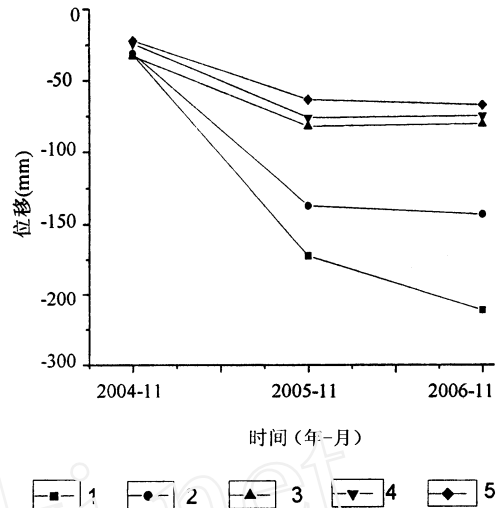


图 10 高程方向位移位于前 5 的点 3 年内的变化图  
Fig. 10 The five monitor points whose displacements are larger in direction of altitude than the others vary with time in the three years

1 - IM7; 2 - IM6; 3 - IM11; 4 - IM14; 5 - IM19

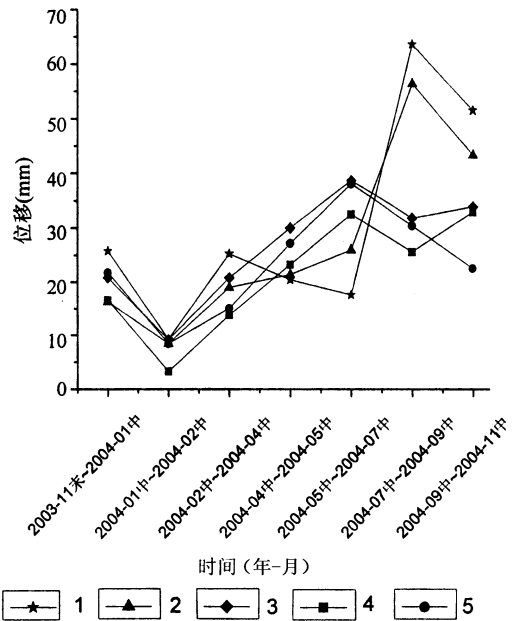


图 11 地表位移位于前 5 的监测点随时间的变化曲线  
Fig. 11 The five monitor points having largest displacement in direction south to north vary with month in year 2004

1 - IM7; 2 - IM16; 3 - IM6; 4 - IM14; 5 - IM25

化规律与降雨量随月份的变化规律基本一致。研究茅坪滑坡必须重视水的作用。  
7.6 地质素描发现滑面在地下 40m 左右,其上有低渗透层,并有承压水存在。

7.7 地表位移监测不仅是一项群测群防措施,可以预防预测滑坡,规避滑坡灾害,而且是滑坡研究的一种有效手段,可从众多因素中排除次要因素,找到影响滑坡的主要因素,为深入研究滑坡打下坚实的基础。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 马水山,张保军,李迪,等.清江库岸滑坡稳定性监测设计与监测实施[J].人民长江,1995,26(4):25-31.
- [ 2 ] 马水山,李迪,张保军,等.茅坪滑坡体位移特征及其发展趋势预测[J].长江科学院院报,1994,11(3):72-79.
- [ 3 ] 马水山,张保军,李端有.清江库岸滑.坡体位移曲线及变形趋势研究[J].人民长江,1995,26(12):38-42.
- [ 4 ] 任德记,王尚庆,何新基.清江隔河岩库区茅坪滑坡变形分析[J].人民长江,1999,30(10):29-31.
- [ 5 ] 谢谟文,廖野澜.引水洞及滑坡体监测位移黄金率灰色预报[J].人民长江,1996,27(2):14-16.
- [ 6 ] 钟式范,马水山,张保军.隔河岩水利枢纽水库蓄水对岸坡稳定性的影响[J].岩石力学与工程学报,1996,15(3):282-288.
- [ 7 ] 王尚庆,易庆林,严学清.清江隔河岩库区茅坪滑坡变形特征及其影响因素[J].中国地质灾害与防治学报,1999,10(2):40-44.
- [ 8 ] 邓建辉,马水山,张保军,王志望.清江隔河岩水库茅坪滑坡复活机理初探[J].岩石力学与工程学报,2003,22(10):1730-1737.
- [ 9 ] 严福章,徐瑞春.湖北清江隔河岩水库蓄水后古滑坡的表现特征[A].第六次全国岩石力学与工程学会大会论文集[C],543-546.
- [ 10 ] 严福章,王思敬,徐瑞春.清江隔河岩水库蓄水后茅坪滑坡的变形机理及其发展趋势研究[J].工程地质学报,2003,11(01):15-24.

## Research on the main factors causing Maoping Landslide based upon the insitu investigation

LIU Bing-shan<sup>1,2</sup>, LI Shi-hai<sup>1</sup>, ZHAO Qing<sup>3</sup>

(1. Institute of Mechanics, Chinese Academy of Science, Beijing 100080, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Science, Beijing 100060, China;

3. China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China)

**Abstract:** Based upon the analysis of insitu investigation such as cracks in the landslide, monitored data of surface displacements and rainfall, insitu geological sketch of shaft etc., the preliminary conclusion is reached that the falling of Baiyan cliff, fluctuation of reservoir water level and irrational coal mining in the Baiyan cliff are not the main factors caused the slide of Maoping; precipitation of rainfall and water in the gutters determines the deformation and displacement of Maoping landslide, because there are many cracks distributing in the landslide.

**Key words:** Maoping Landslide; cracks; water level fluctuation; rainfall; monitoring the surface displacement; precipitation