

# 三峡水库蓄水后秭归县几个典型滑坡的变形及监测

彭轩明<sup>(1)</sup> 张业明<sup>(1)</sup> 鄢道平<sup>(1)</sup> 金维群<sup>(1)</sup> 汪发武<sup>(2)</sup> 霍志涛<sup>(1)</sup> 陈小婷<sup>(1)</sup>

(1.宜昌地质矿产研究所,湖北省宜昌市港窑路37号,443003)

(2.日本京都大学防灾研究所)

**摘要:**自三峡大坝蓄水以来,三峡库区秭归县境内的青干河和香溪河流域及其入长江水口部位,岸坡变形和失稳现象明显加剧。本文简要介绍了千将坪、树坪、白家包和黄阳畔等四个滑坡的基本特征和变形现象,认为构造形成的层间剪切带是千将坪滑坡发生的主要内在控制因素。采用大地测量和钻孔测斜等多种方法对白家包和黄阳畔滑坡的地表和深部变形状况进行不连续观测;与日本京都大学防灾研究所合作,采用伸缩计对树坪和白家包滑坡进行连续观测,据监测结果分析,这些滑坡目前均处于蠕动变形状态。

**关键词:**三峡库区 秭归县 滑坡 变形监测

## 1 前言

三峡库区秭归县是我国地质灾害最为严重的地区之一。自三峡水库一期蓄水以来,秭归县境内的青干河流域发生了千将坪滑坡,长江干流的树坪及香溪河入长江水口部位的岸坡变形和失稳现象明显加剧,八字门、白家包、黄阳畔等大型滑坡有重新复活的现象(图1)。在中国地质调查局“香溪河流域岸坡调查评价”项目的实施过程中,对香溪河流域白家包和黄阳畔等大型滑坡进行了工程地质调查、工程钻探和监测(大地变形测量和钻孔测斜)等大量工作,基本查明了滑坡的组成、结构、地表变形状况,初步掌握了滑坡的变形演变趋势。当千将坪滑坡发生时,及时对滑坡现场进行了细致的调查,从而获取了有关该大型顺层高速滑坡滑动后山体破坏现象的第一手资料<sup>[1]</sup>,并协助当地政府制定了抗灾救灾预案。在树坪滑坡出现严重变形的紧急情况下,又立即对滑坡的变形状况进行了调查和分析,

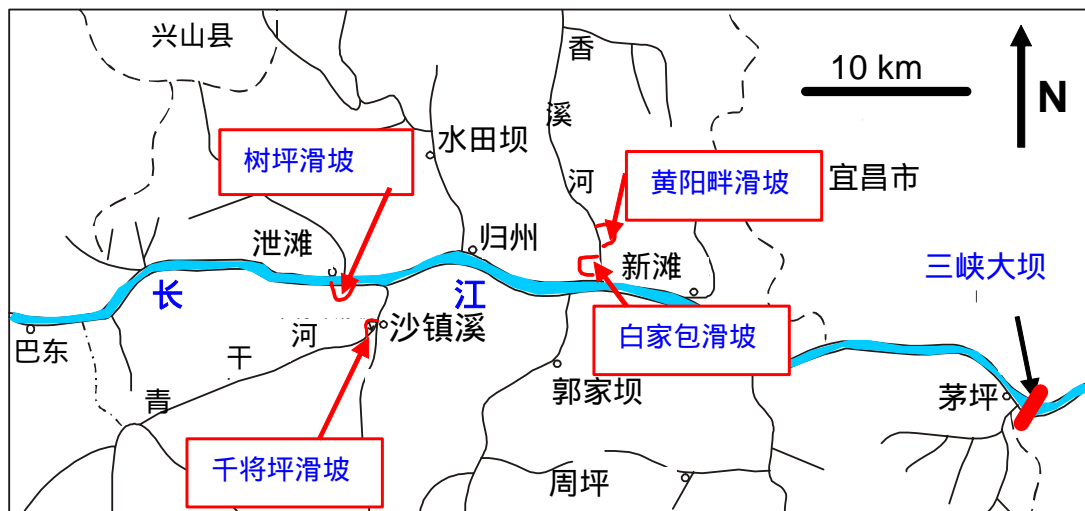


图 1 三峡库区秭归县典型滑坡分布图

并选择关键变形部位安装了两台伸缩仪，对其变形情况进行监测<sup>[1]</sup>。鉴于秭归县已经出现的严重的地质灾害现象，为了准确把握这些滑坡的变形动态，科学揭示降雨和水位变动与滑坡变形之间的内在关系，及时开展滑坡的预测和预报，我们与日本京都大学等单位向联合日本砂防-滑坡技术研究中心申请了“水位变动对滑坡的影响机理及滑坡预报方法”项目。此项合作的实质性成果之一就是在树坪和白家包分别已经安装了 11 台和 5 台由日方提供的伸缩仪。本文仅作为上述工作的初步总结。

## 2 千将坪滑坡及其滑动变形现象

千将坪滑坡发生于 2003 年 7 月 13 日 12 时 20 分，是三峡库区自新滩滑坡后发生的最大滑坡。该滑坡地处青干河左（北）岸，与沙镇溪镇隔河对峙，距三峡工程坝址约 56Km（图 1）。构造上，滑坡区位于秭归向斜南端向西弧形转折端与百福来一流来观背斜向东倾伏的过渡地段，主要出露三叠系沙镇溪组碎屑岩，岩层稳定延伸，倾向南东，倾角较缓，滑坡所在岸坡为顺向坡。滑体平面形态呈舌状（图 2），长 1200m，宽 1000m，总体上薄下厚，平均厚度约 20m，面积约 1.20km<sup>2</sup>，体积约 2400 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。后缘呈圈椅状外形，顶部高程 450m，边界位于 370-420m 高程线之间；前缘没入青干河，高程 102m，前后缘高差 348m；北东和南西两侧出现陡立的剪切滑壁，走向分别为 30°和 330°。滑体地形总体上陡下缓，存在多级陡坎，坡角自上而下从 35°变化至 15°。滑体物质由两部分组成，上部为残坡积粘土夹碎石，下部为沙镇溪组泥质粉砂岩，上、下两层平均厚度分别为 5 m 和 10m。该滑坡属于基岩顺层滑坡，滑动面与地层层面产状一致，倾向南东，倾角 28°。据对岸陡坡上残存的水渍痕迹估算，滑坡产生的涌浪高达 30m 以上。



图 2 千将坪滑坡地貌图片

由于滑坡的南西侧临空，因此，受滑坡强烈影响的牵引区主要出现在北东侧山体中。对北东侧牵引区的调查表明，裂隙相对集中分布在剪切滑壁外侧 100m 范围内，自上往下，裂隙出现的频度和向外延伸的范围都呈逐渐增加趋势，如在高程分别为 360m、300m 和 210m 处，频度依次为 0.2 条/m、0.3 条/m 和 0.5 条/m；外延宽度依次为 70m、120m 和 300m；经统计，裂隙方向有 290-295°、265-285°和 310°等三组。走向 290-295°裂隙组最为发育，平面呈雁列状展布，延伸长度 5-50m，张开度在 2-70cm 之间，最大可见深度大于 2m，最大水平和垂直位移分别为 2.5m 和 2m。这三组裂隙均显示张扭性特点。

滑动面表面平滑，产状稳定。其上广泛分布灰白色方解石脉体和近水平构造擦痕，与滑坡有关的擦痕有两组，一组倾伏方向为 160°，另一组为 140°，后者相对稍晚，切割或覆盖了前者的印迹。根据调查，160°方向的擦痕分布局限，而 140°方向的擦痕在暴露的滑动面上均可见及。由此可见，千将坪滑坡是沿袭构造形成的顺层剪切带发生的，滑体在启动后先朝着 160°的方向，之后再沿 140°方向快速整体向下滑动。在滑体内部，新生裂缝为张性，主要出现在滑体的前部，呈锯齿状，走向北东（25°~45°），倾角近直立，延伸长度 30-250m，缝宽一般为 1m 左右，最宽可达 2.5m，最大可见缝深度大于 2.5m。部分裂缝两侧的岩土体，具有较大的垂向落差，最大可达 3.5m，并在纵向上形成阶梯状地形。被快速剪出的部分在受到对岸坚硬岩壁的阻挡后，形成了高出水面 5 m 多的岩土体鼓丘堆，岩体因撞击反冲而出现层理反倾现象。在滑体北东侧，形成宽 80~100m 的牵引带，发育 290°~295°、265°~285°和 310°等三组张扭性裂缝，其中走向 290°~295°裂隙最为发育，平面呈雁列状展布，延伸长度 5-50m，张开度在 2-70cm 之间，最大可见深度大于 2m，最大水平和垂直位移分别为 2.5m 和 2m。

初步认为，不良的地质结构特别是层间剪切带的存在，是滑坡发生的主要内在原因，三峡水库的蓄水和强降雨是促发滑坡的两个重要诱因。

### 3 树坪滑坡伸缩计监测

树坪滑坡位于长江右岸秭归县沙镇溪，为一古崩滑堆积体。2004 年 1 月 15 日，滑坡开始发生变形，在滑坡的中部和侧缘形成粗大裂缝，前缘江水一直出现混浊现象。滑坡形态为明显的圈椅状，分布高程为 65-500m，纵长 800m，横宽 700-900m，滑体前缘突入长江，剪出口高程约 65-68m。滑体厚 40-70m，体积约  $2600 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。滑坡体形态总体呈下陡上缓斜坡，坡度 22°~35°。自下而上分布有四级缓坡平台，高程为 95-105m、150-200m、225-240m、300-350m。其中二、四两级平台规模较大，第四级平台是典型的滑坡后缘平台。滑体物质：

主要为三迭系巴东组 ( $T_{2b}^2-T_{2b}^4$ ) 棕红色砂质泥岩、泥质粉砂岩及灰褐色泥灰岩等的崩滑破坏产物，滑床为巴东组 ( $T_{2b}^2-T_{2b}^4$ ) 基岩，岩层倾向山里。滑床西高东低，即滑槽方向斜向下游。

2004 年 4 月，在树坪滑坡上安装两台滑坡位移伸缩计，2004 年 8 月沿滑动方向再安装了 11 台伸缩计 (图 3)。4 月以来 2 台伸缩计的监测结果见图，8 月以来 10 台伸缩计的监测结果见图 4、图 5。

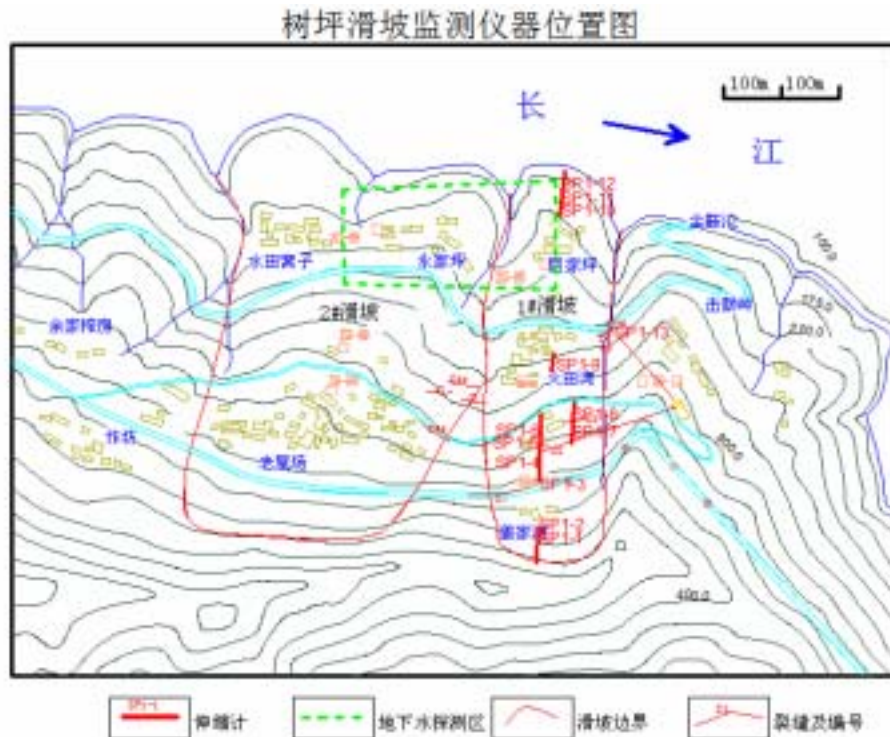


图 3 树坪滑坡伸缩计安装位置图

据图 4，4 月至 9 月间，滑坡体中上部最大水平位移为 280mm，且自 6 月份以来滑动速度有加剧趋势，侧缘呈现先压后张特点，最大压缩量为 100mm。从图 5、6 分析，8 月份以来，滑坡体后缘拉伸，中部变化幅度总体较小，前缘压缩。该滑坡表现出的前压后张特点与地表裂缝的观测结果 (图 7) 相吻合。

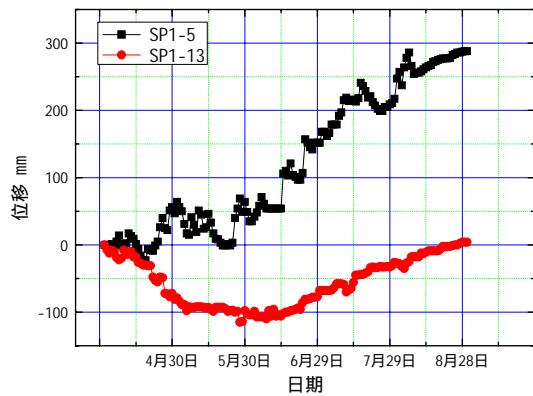


图 4 4 月至 9 月伸缩计观测结果

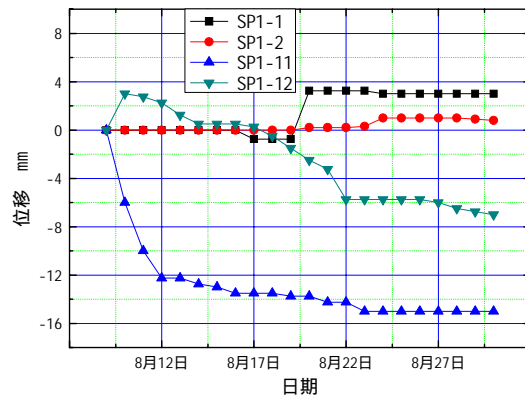


图 5 滑坡前缘和后缘伸缩计观测结果

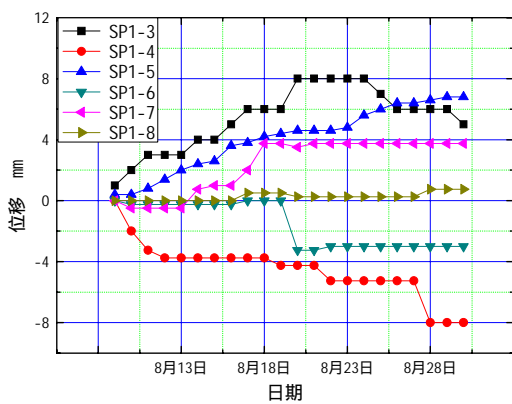


图 6 滑坡中部伸缩计观测结果

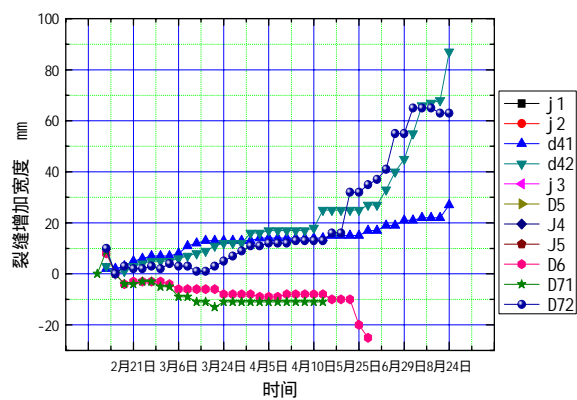


图 7 裂缝观测结果

#### 4 白家包滑坡变形监测

白家包滑坡位于香溪河右岸，为一深层土质滑坡。滑坡呈舌形，纵向长约 700 m，前缘横向宽约 500 m，中上部宽约 260 m，最厚约 86 m，平均厚约 58 m，总面积  $25.2 \times 104\text{m}^2$ ，总体积  $1461.6 \times 104\text{m}^3$ 。滑坡后缘呈圈椅状，后缘高程约 270 m，前缘直抵香溪河。2003 年 6 月 22 日，在其南侧边界出现走向  $280^\circ$  的微小裂缝，7 月 17 日北侧出现走向  $220^\circ$  的裂缝。7 月 17 日至 7 月 21 日连降暴雨，雨后白家堡滑坡变形加剧，7 月 24 日在滑坡后缘边界部位出现三条较大的裂缝，走向  $220^\circ$  的裂缝宽在 20 cm 以上，垂直错距 25 cm，延伸约 40 m，2 条走向  $180^\circ$  的裂缝延伸约 30m。7 月 26 日~7 月 30 日，滑体后缘裂缝继续下错形成台阶，并出现  $270^\circ \sim 280^\circ$  的纵向裂缝。滑坡体上的房屋均不同程度出现了裂缝，横穿滑坡中部的公路也因严重的变形破坏而一度影响通行。在该滑坡上，部署了大地形变测量、孔内测斜和伸缩仪等三种设备，对其地表和深部变形情况进行监测（图 8），本文介绍了前两种方法的初步成果。

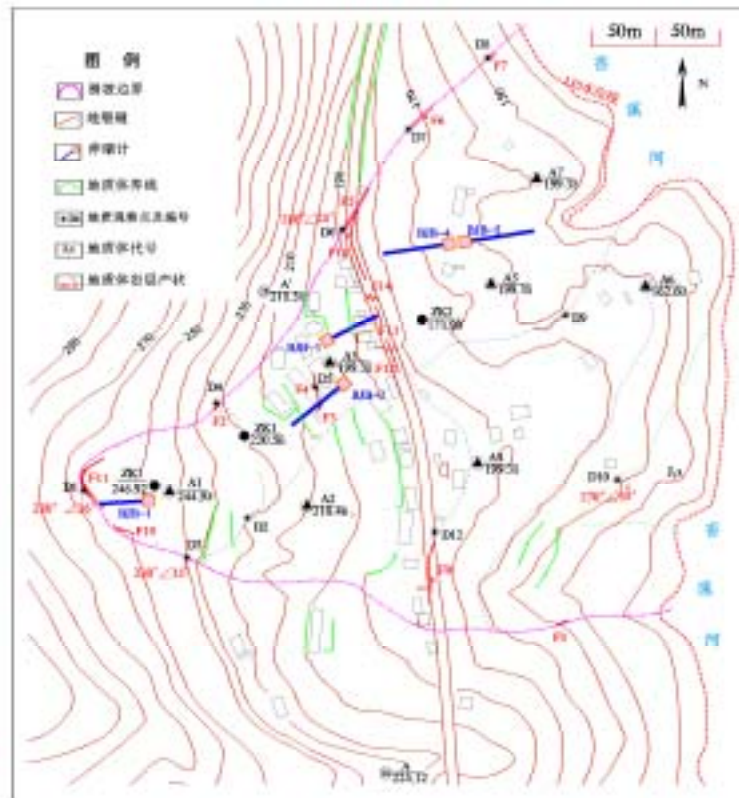


图 8 白家堡滑坡监测设备部署图

#### 4.1 大地形变监测

在白家堡滑坡体上共布置了 9 个监测点，其中 2 个为控制点（B、B<sub>2</sub>），7 个为监测点（A1~A7）（图 8），采用 GDM600 型全站仪进行变形监测。监测从 2003 年 6 月 2 日开始，并将 2003 年 6 月 2 日的监测值作为后期监测的参考值。

各监测墩的结果见表 1、图 9。位移 - 时间曲线显示，在 2003 年 6 月 2 日到 11 月 29 日间，后缘监测点 A1、A3 变形明显，A1 变化最大，往 NE 54°33' 方向变化，最大位移大于 240 mm，平均变化速率为 4.0~5.0 mm/d，A3 相对位移及变化速率均小于 A1，往 57°32' 方向变化。中部、前缘测点最大位移在 120 mm。中后部 A1~A5 的高程具有明显下降，而前缘 A6、A7 的高程明显上升。这些数据表明，滑坡后缘拉张，前缘的土体因挤压而向上隆起。

表 1 白家堡滑坡地表监测点高程变化值

时间	高程变化值 H(mm)						
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
2003.06.30	+6.0		-1.5		-0.7	+6.2	+9.2

2003.07.27	- 20.1	- 29.1	- 17.9	- 10.6	+ 1.8	+ 12.2	+ 15.7
2003.07.31	- 32.4	- 27.5	- 29.1	- 7.7	- 6.4	+ 15.7	+ 14.0
2003.11.29	- 72.0	- 74.4	- 67.2	- 28.9	- 31.6	+ 2.6	- 14.4

注：+表示高程上升，-表示高程下降。

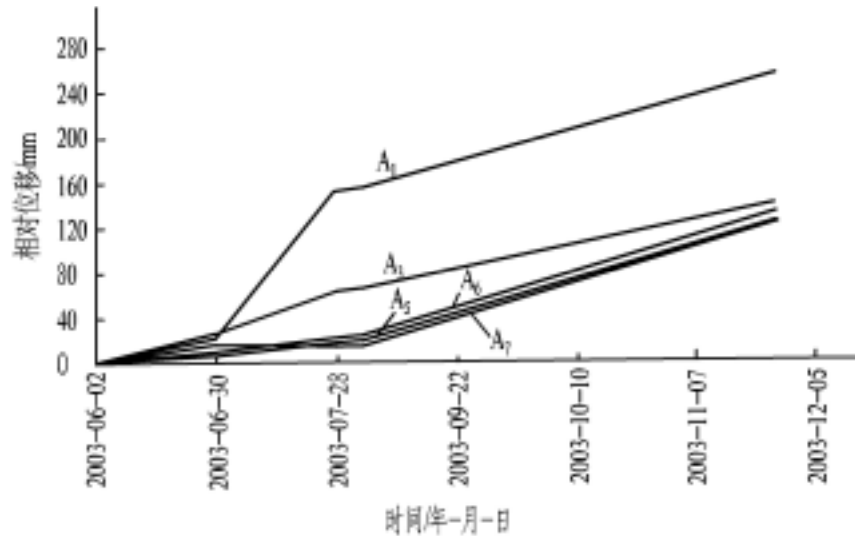


图9 滑坡地表监测点相对位移-时间曲线

## 5.2 深部位移监测

数据采集采用 CX - 03D 型钻孔测斜仪。从图 10 可以看出，中部监测孔 ZK1 位移监测的位移—深度关系曲线为“r”型 [2]，位移在 28.5m 处特别增加，推测此深度处存在有滑动面。布置在后缘的监测孔 ZK3，由于变形剧烈，在深约 11m 处测斜管被剪断，这说明在滑坡后缘 11m 左右存在滑动面（带）。此外，根据监测数据，滑动面以上位移较大，而下部位移较小，变形速率有逐渐减小的趋势，2003 年下半年为 0.400mm/d 左右，2004 年为 0.200 mm/d 左右，变形速率明显减小。

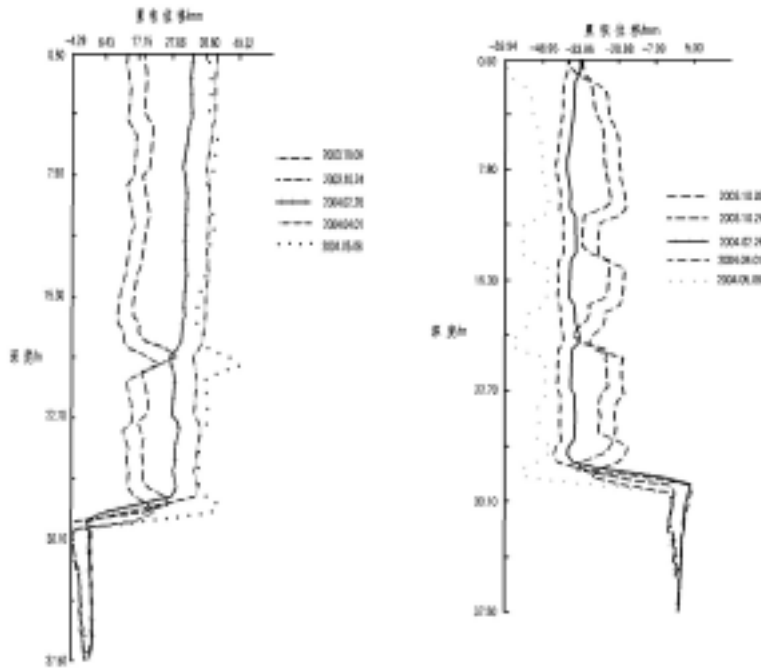


图 10 白家堡滑坡钻孔测斜仪东西、南北向累积位移 - 深度曲线图

#### 4 黄阳畔滑坡及深部变形监测

该滑坡位于长江左岸归州镇万古寺村二组，在地貌上呈近东西向舌形凹地。前缘高程 170m，后缘高程 290m，前缘没入香溪河，长约 500 m，宽约 230m，厚度约 12m，总面积约为  $1.15 \times 105m^2$ ，总体积约为  $1400 \times 104m^3$ 。从图 6、图 7 分析，测斜孔 ZK8、ZK9 的监测曲线基本上是直线或轻微的“钟摆状”，且摆动幅度不大，属于在量测综合误差影响范围之内，表明滑坡上部未发生明显的变化。发生明显变化的是钻孔 ZK11，在深度 12 ~ 14m 左右存在明显的滑动面或者变形部位，下部位移较小，说明滑坡在监测时段内以浅层整体滑移为主（图 11）。从时间上看，滑坡总的变形速率有减小的趋势。

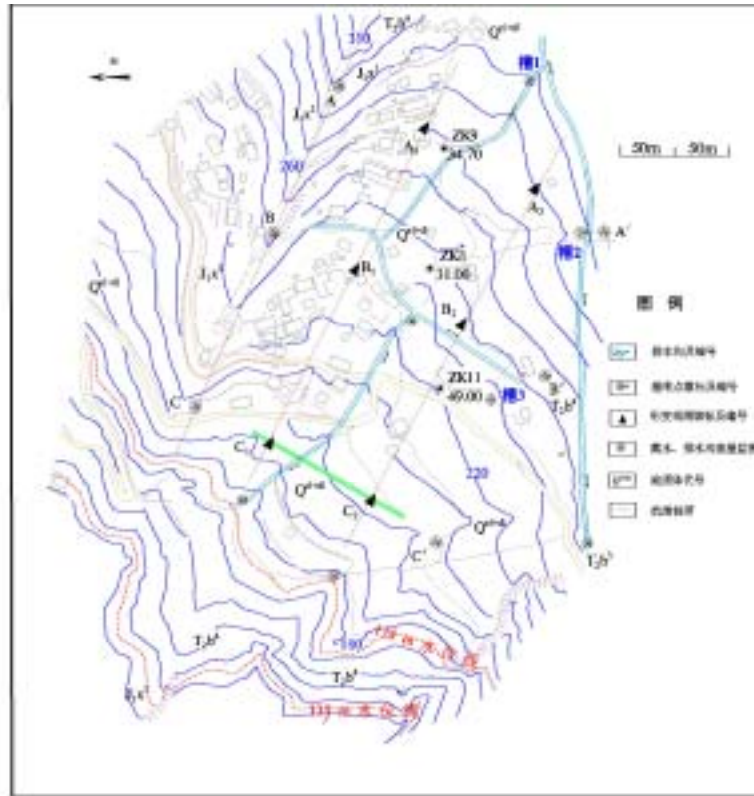


图 11 黄阳畔滑坡监测设备部署图

## 5 结论与讨论

(1) 在千将坪大型顺层岩质滑坡所在的斜坡中，由构造作用形成的顺层剪切带构成了对其稳定性产生潜在威胁的最不利的构造边界条件，也是导致滑坡发生的主导内在控制因素。滑体沿袭顺层剪切带向下发生大规模滑动，滑面产状稳定，主滑方向指向  $140^\circ$ ，在滑坡启动时，滑体曾向  $160^\circ$  方向作短距离滑移。三峡水库蓄水和强降雨可能是触发滑坡发生的主要动因。

(2) 在树坪、白家包和黄阳畔滑坡的监测中，大地形变测量、钻孔测斜和伸缩计等三种方法所得的结果具有较好的一致和对应性。监测结果表明，树坪、白家包和黄阳畔滑坡均处于蠕变变形状态，变形速率有减小之趋势，其中，黄阳畔滑坡变形相对较弱，树坪和白家包滑坡以后缘部位最为明显，二者均显示后缘拉张、前缘挤压特点。

(3) 钻孔测斜虽然在滑坡的深部监测中发挥了重要作用，但对于变形幅度较大的滑坡而言，一旦钻孔因变形而破坏，必将影响监测质量，甚至会导致此孔深部监测工作的终结。

### 参考文献

1. Yeming Zhang, Xuanming Peng, Fawu Wang et al.. Current status and challenge of landslide monitoring in Three-gorge reservoir area, China. Proceedings of the symposium on application of real-time information in disaster management, 2004, 165-170
2. 靳晓光, 李晓红, 王兰生, 等. 滑坡深部位移曲线特征及稳定性判识 [J]. 山地学报, 2000, (5)