

# 浅议三峡库区地质灾害预警工程常用监测方法及应用

王爱军<sup>1,2</sup> 薛星桥<sup>1,2</sup>

(1 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉, 430074;

2) 中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所, 河北 保定, 071051)

**[摘要]** 长江三峡库区地质灾害预警监测是服务于地质灾害防治、保障三峡工程建设安全的主要基础工作。开县、万州区、巫山县的 28 个滑坡灾害专业监测点, 采用大地形变监测、深部位移钻孔倾斜仪监测、地下水动态监测、滑坡推力监测、地表裂缝相对位移监测、GPS 全球卫星定位系统监测、TDR 时间域反射监测和宏观监测等综合系列监测方法。每个滑坡灾害点, 采用 2 种以上监测方法, 分别监测滑坡体地表内部变形或受力变化; 重要灾害点采用 4~5 种方法同时进行监测, 以便进行对比和综合分析。对滑坡监测及监测成果统计分析, 多种监测数据成果具有明显的一致性和相关性, 反映了滑坡体的变形情况和特征, 证实监测方法合理有效, 监测成果将为地质灾害预警工程和地质灾害防治工程提供可靠依据。

**[关键词]** 三峡库区 地质灾害 预警工程 监测方法 应用

## 1 前言

长江三峡库区自然地质条件复杂, 是地质灾害的多发区和重灾区。三峡工程的兴建和百万移民工程, 在一定程度上改变了原有地质环境的平衡状态, 加剧了地质灾害的发生。随着三峡工程建设的不断推进, 库区地质灾害对三峡工程和库区人民生命财产安全的影响日益增加, 及时有效地防治库区地质灾害已成为三峡工程建设的重要任务之一。地质灾害预警监测工作是实现地质灾害防治的主要基础工作。

三峡库区滑坡灾害专业监测工作的监测点, 重庆市开县 14 个、万州区 14 个、巫山县 10 个, 总计 38 个滑坡灾害专业监测点, 在进行专业监测工作。

## 2 监测方法

### 2.1 大地形变监测

采用全站仪监测。在滑坡体外选取地质条件较好, 基础相对稳定的点位, 作为监测基准点, 在滑坡体上选择有代表性的点位作为监测点, 标志点全部采用混凝土强制对中监测墩。

### 2.2 深部位移监测

采用钻孔倾斜仪进行监测。在滑坡体上选择有代表性的点位布置测斜钻孔, 分别在其主滑方向和垂直主滑方向上进行正反两回次自下而上的测读, 监测点间距 0.5m, 使用移动式“CX-01 型重力加速度计式钻孔测斜仪”, 监测数据稳定后自动记录, 每期监测共记录 4 组数据。

### 2.3 滑坡推力监测

在滑坡体上选择有代表性的点位布置钻孔,在钻孔中选择适当的深度部位,预置一系列滑坡推力传感器,用传导光纤连接至地面,每次监测采用“BHT - 型崩塌滑坡推力监测系统”测量记录各点数据。

### 2.4 地表裂缝相对位移监测

在裂缝的两侧适当部位安置数套裂缝计,进行原位裂缝相对位移监测。机械式监测具有干扰少、可信度高、性能稳定特点,监测记录数据可直接做出时间 - 位移曲线,测量结果直观性强。仪器一般量程范围在 25 ~ 100mm 间,读数器的分辨率为 0.01mm,操作温度在 -40 ~ +105 间。

### 2.5 地下水动态监测

在滑坡体上选择有代表性的点位布置钻孔,对地下水水位,孔隙水压力、土体含水率、温度等参数监测,采用自动水位记录仪、孔隙水压力监测仪等仪器监测。其中孔隙水压力监测仪的孔隙水压力量程为 -80kPa ~ 200kPa,分辨率 0.1kPa,精度 0.5%F · S;土体含水率量程为 0 ~ 饱和含水率,分辨率 1%;温度量程为 0 ~ 70 ,分辨率 0.1 ,精度 1%F · S。

### 2.6 卫星定位系统监测

在滑坡体外选取地质条件较好,基础相对稳定的点位,作为监测基准点;滑坡体上选择有代表性的点位作为监测点,标志点全部采用混凝土强制对中监测墩,观测时采取多点联测。GPS 监测方法,可进行全天候监测,不受通视条件限制,同时监测 X、Y、Z 三维方向位移量,方便灵活,并可监测灾害体所处地带的区域地壳变形情况。采用的美国 ASHTECH 公司生产的 UZ CGRS 型 GPS,最小采样间隔 1 秒,最少跟踪和接收 12 颗卫星,使用 Ashtech Solution 2.6 软件解算,精度可达水平 3mm+1ppm,垂直 6mm+2ppm。

### 2.7 射测试技术 (TDR) 监测

即采用电缆中的“雷达”测试技术,在电缆中发射脉冲信号,同时进行反射信号监测。在滑坡体上选择有代表性的点位布置监测钻孔,将同轴电缆埋入监测孔,地表与 TDR 监测仪相连接,把测试信号与反射信号相比较,根据其异常情况判断同轴电缆的断路、短路、变形状态,推断出电缆的变形部位,进而推算滑坡体地层的变形部位和位移量。TDR 监测,采用了固定式预置同轴电缆,成本低,可进行自上而下的全断面连续监测,量程范围大。

### 2.8 宏观监测

以定期巡查方法为主,对变形较大的滑坡体,据其变形特征布置一定数量的简易观测点进行定期观测,及时掌握其变形动态。

对于每个滑坡灾害点,采用 2 种以上监测方法,分别监测滑坡体地表变形和滑坡体内部变形或受力变化,重要灾害点采用 4-5 种方法同时进行监测,以便进行对比和综合分析。监测点布置重点突出,控制滑坡的重点部位;照顾全面,力求能反映滑坡体整体变形情况。钻孔孔口周围用混凝土浇筑,布置精确监测点位。

## 3 监测效果分析

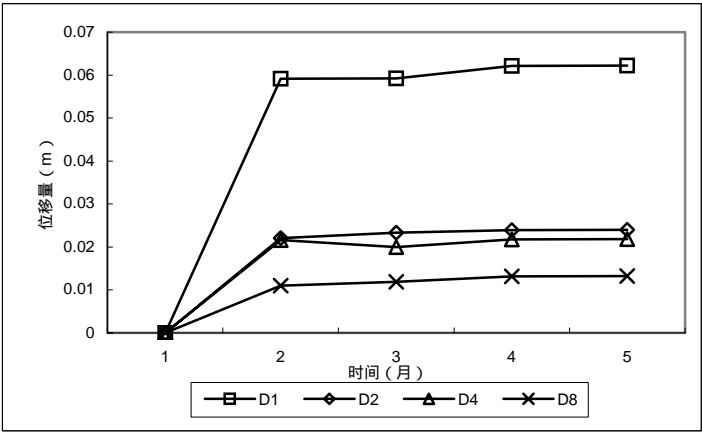
根据 2003 年 7 月至 12 月滑坡灾害专业监测数据资料 ,分析浅议三峡库区地质灾害预警工程监测方法及应用效果。

3.1 大地形变监测

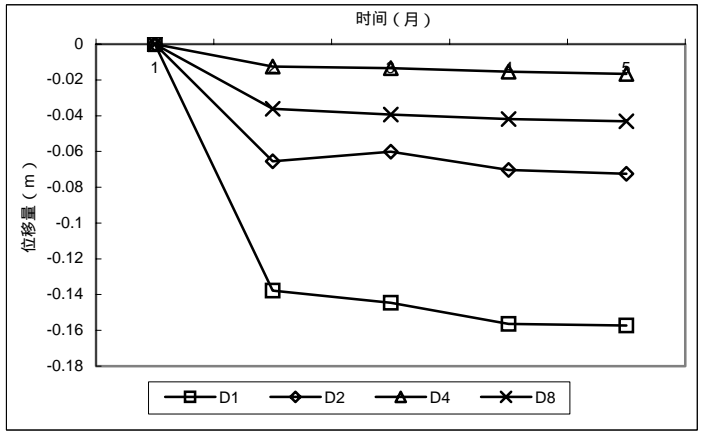
大地形变监测 ,开展了开县大丘九社和巨坪九社滑坡、巫山县狗子包滑坡和板壁塘滑坡 ,共 4 个滑坡的监测。以下以开县大丘九社滑坡为例简述监测效果。

大丘九社滑坡位于开县镇东镇大丘九社斜坡上 ,滑坡平面形态近似矩形 ,剖面上呈凹型 ;分布高程 205-300m ,滑体长约 250m、宽约 300m ,面积 710 万 m<sup>2</sup> ,估计厚度 20m ,体积约 140 万 m<sup>3</sup>。滑坡发育于侏罗系中统沙溪庙组(J<sub>2s</sub>)紫红色泥岩及砂岩互层组成的平缓层状斜坡中 ,滑坡体的物质组成主要为砂岩及砂岩碎块石土 ,表层为松散土壤 ,局部出露砂岩碎块石 ,为崩滑堆积体滑坡。

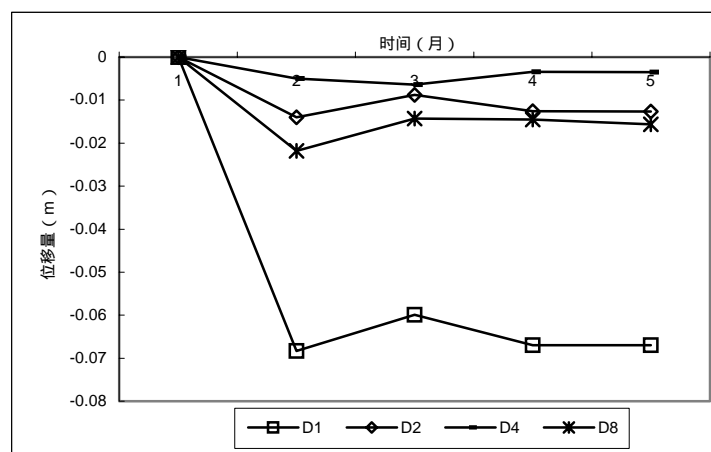
大丘九社滑坡体上布置了 3 排监测点 ,每排 3 个共计 9 个监测点 ,滑坡体对面斜坡上布置了 2 个基准点 ,分别在 2 个基准点进行监测 ,监测网布置既控制了整体滑坡体又突出重点 ,采用前方交汇法施测。



(a)



(b)



(c)

(a) X方向 (b) Y方向 (c) H方向 D1 监测点编号

图1 开县大丘九社滑坡累计位移量曲线图

8月5日进行了首次测量,9月21日进行D1第二次测量成果与之对比,表明变形趋势明显,滑体向NEE向滑移。10月24日监测成果表明各监测点的变形趋于缓和。11月和12月监测成果表明各监测点无明显变化(见图1)。监测数据与宏观调查定性分析相一致。

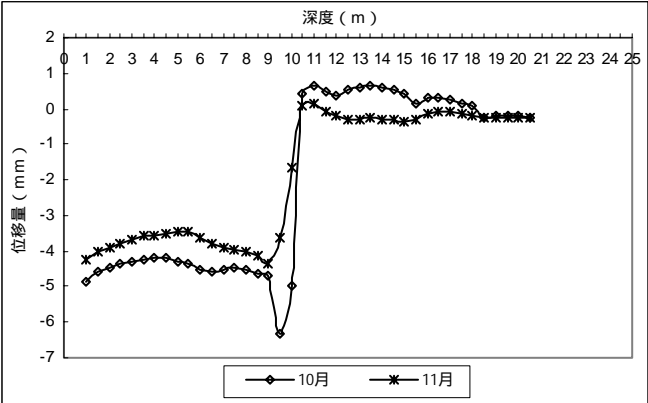
利用全站仪进行大地形变监测,其特点为,监测方便,可随时对一些危险滑坡监测,既可以在滑坡体上设置永久性监测桩,又可以设置临时性监测桩;监测精度高,测点中误差可达到3.5mm;不仅能测定相对位移,而且能监测绝对位移;在满足测量条件下可进行连续监测,监测滑坡滑移的全过程,不存在量程限制;但监测受天气因素和光线条件制约,难以在雨雾条件和夜间实施监测;且受地形和通视条件制约;施测以人工操作为主,不易实现自动化监测。

### 3.2 深部位移钻孔倾斜仪监测

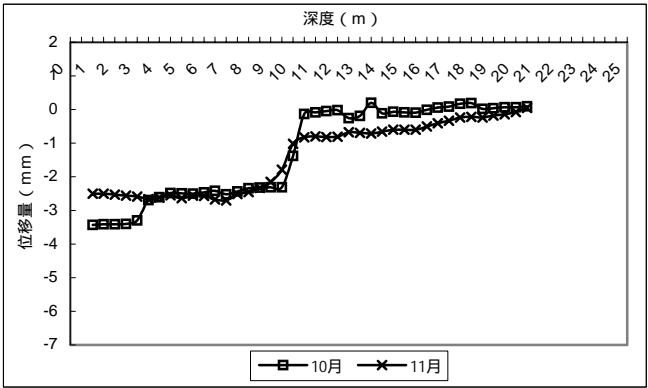
深部位移钻孔倾斜仪监测点为开县6个滑坡、16个钻孔,巫山县5个滑坡、19个钻孔,万州区8个滑坡、24个钻孔,共计19个滑坡、59个钻孔。以下以开县虎城村滑坡为例简述监测效果。

虎城村滑坡为堆积层滑坡,位于开县长沙镇虎城村斜坡。该滑坡在平面近似矩形,剖面为凹形,分布高程330~400m,纵长约300m,横宽约500m,滑体估计平均厚度12m,面积15万 $\text{m}^2$ ,体积180万 $\text{m}^3$ 。滑坡发育于侏罗系中统沙溪庙组( $J_2s$ )紫红色泥岩及泥质粉砂岩组成的水平层状斜坡上,滑体上部为崩坡积紫红色碎石土层。滑坡威胁居民400余人及其财产安全。该滑坡布置了3个深部位移钻孔倾斜仪监测钻孔。

Kx-162钻孔位于滑体的中部。2004年10月,在9.5-10.5m测试深度处发生明显的位移变形,本月变形量5.56mm,变形方向 $247^\circ$ 。11月,没有增大趋势,累积变形4.58mm,略小于10月份累积变形量,变形方向 $253^\circ$ (见图2)。



(a)

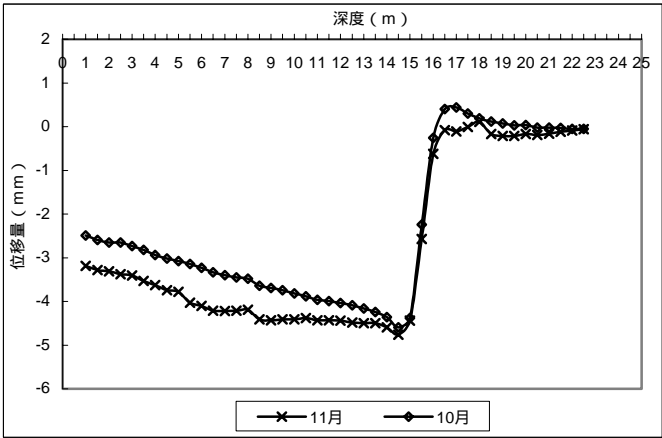


(b)

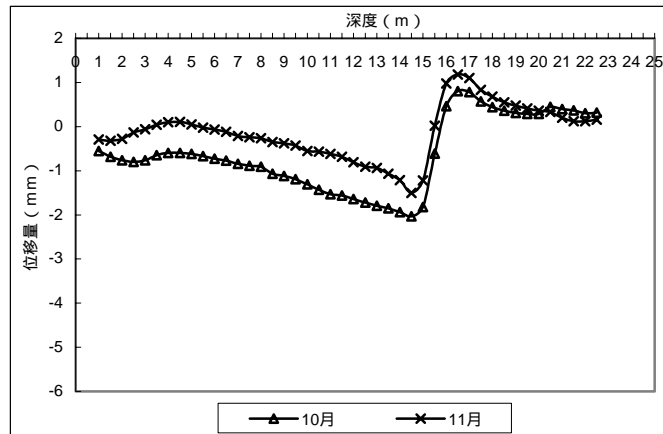
(a)EW 方向、(b) SN 方向

图 2：开县虎城村滑坡 Kx-162 钻孔位移随深度变化曲线

Kx-165 钻孔位于滑体的下部。2004 年 10 月，在 15.0 - 16.5m 测试深度处发生明显的位移变形（见图 3），本月变形量 5.45mm，变形方向 241°。11 月，没有明显的增大趋势，累积变形 5.39mm，同 10 月份累积变形量相近，变形方向 240°。



(a)



(b)

(a)EW 方向、(b) SN 方向

图 3：开县虎城村滑坡 Kx-165 钻孔位移随深度变化曲线

深部位移钻孔倾斜仪监测方法，可在滑坡体上一定部位布置的钻孔中，监测滑坡体内垂直方向上的浅层、中层、深层、滑动带等滑移方向和相对滑动位移量；但在滑坡发生较大或急剧加速的位移变形时，由于钻孔和孔内测斜管变形、破坏，测斜仪探头不能送入钻孔之内，可能使钻孔失去监测价值。

### 3.3 滑坡推力监测

滑坡推力监测共设有 2 个测点、4 个钻孔：巫山县淌里滑坡钻孔 2 个，曹家沱滑坡钻孔 2 个。以下以淌里滑坡为例简述监测方法与效果。

淌里滑坡位于巫山县曲尺乡长江左岸干流斜坡上，滑坡在平面形态上呈不规则的圈椅状，前缘分布高程 90m，后缘高程 400m，平均坡度约  $30^{\circ}$  -  $40^{\circ}$ ，纵长约 800m，横宽 150 - 250m，滑体厚 20m，面积 24 万  $m^2$ ，体积 490 万  $m^3$ 。滑坡发育于三叠系巴东组 ( $T_2b$ ) 灰岩、泥灰岩、泥岩中，滑体物质主要为泥灰岩及泥岩碎块石土，表层多为松散土层，下部碎块石土结构密实。

Ws-t-tzk1 推力孔位于滑体的下部，Ws-t-tzk2 推力孔位于滑体的中部。其滑坡推力监测成果数据见图 4、图 5。推力监测曲线图表明，各次监测数据规律性强，基本一致，传感器没有发现明显的数值变化。滑坡推力监测结果，与宏观监测结果和同时进行的钻孔倾斜仪监测结果相一致，说明此阶段滑坡暂时处于相对稳定的微变形状态。

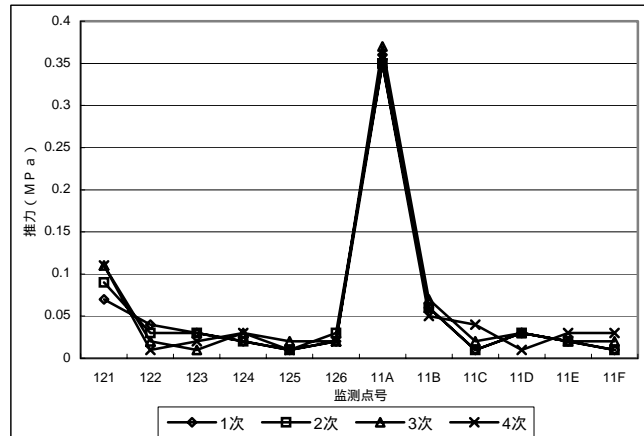


图 4 巫山县淌里滑坡 Ws-t-tzk1 钻孔滑坡推力监测曲线图

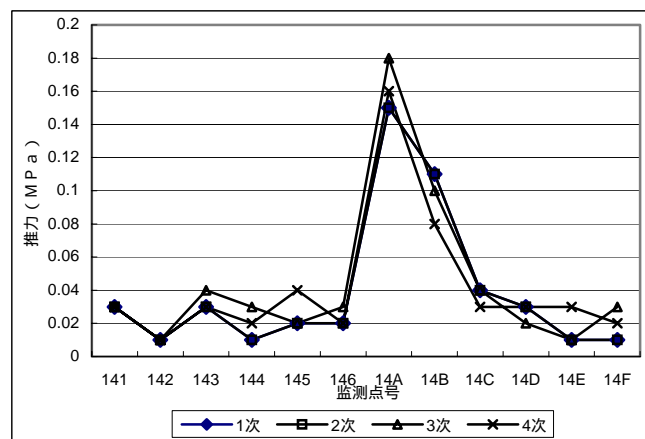


图 5 巫山县淌里滑坡 Ws-t-tzk2 钻孔滑坡推力监测曲线图

滑坡推力监测方法，属于固定点式监测，在钻孔中预置传感器，用传感光纤连接，在地面用滑坡推力监测系统采集传感信息，可在滑坡体上一定部位布置的钻孔中，自上至下监测滑坡体内垂直方向上的浅层、中层、深层、滑动带等滑坡推力变化量，可定期进行数据采集监测；在对采集和传输处理系统进行改进的基础上，可实现无值守自动化连续监测。

#### 4 结论

(1) 通过多手段的综合监测，掌握了被监测滑坡体的表面、内部自上至滑移带的变形及受力情况，数据综合分析表明其反映了滑坡位移变化及动态特征，取得了进行灾害预警的重要基础数据资料，说明采用的监测方法合理有效。

(2) 钻孔倾斜仪深部位移监测方法，在滑坡体发生一定量缓变位移后，使部分钻孔不能再进行全孔施测，造成勘察监测资金浪费和滑坡体监测点及监测部位减少。

(3) 目前一月一次的监测周期，难以保证在滑坡发生滑移险情时能进行有效监测。为此应在进行专业监测的同时，进行群测群防监测。特殊情况下，对危险滑坡灾害点，调整监测方案，进行加密监测或连续监测，使监测满足预警预报要求。

(4) 从长远发展考虑，监测应以免值守、易维护、低成本、固定式、自动化快速连续采集传输和半自动化监测及工人监测相结合为方向，以建立起高效的地质灾害监测网络与地

质灾害预警系统。

### 参考文献

- [1] 王洪德,高幼龙,薛星桥,朱汝烈.链子崖危岩体防治工程监测预报系统及效果.中国地质灾害与防治学报,2001,12(2):59-63.
- [2] 王洪德,姚秀菊,高幼龙,薛星桥.防治工程施工对链子崖危岩体的扰动.地球学报,2003,24(4):375-378.
- [3] 张青,史彦新,朱汝烈.TDR 滑坡监测技术的研究.中国地质灾害与防治学报,2001,12(2):64-66.
- [4] 董颖,朱晓冬,李媛,高速,周平根.我国地质灾害监测技术方法.中国地质灾害与防治学报,2001,13(1):105-107.
- [5] 段永侯,等.中国地质灾害,北京:中国建筑工业出版社.1993.