

三峡库区万州-巫山段地质灾害监测预警研究

欧阳祖熙、张宗润、陈明金、师洁珊、陈征、韩文心
中国地震局地壳应力研究所（北京，100085）

[摘要] 为了较好地解决滑坡监测中高度的不确定性问题，需要配合使用多种类型的监测系统。本文系统介绍了三峡库区万州、奉节、巫山等地开展的地质灾害监测预警研究工作，包括基于 3S 技术和地面变形监测台网建立的研究区典型地段滑坡监测网、研制的新型滑坡无线遥测台网，以及流动倾斜仪，激光测距仪等专用设备。通过近年来获得的一些典型监测结果剖析了不同技术和方法在地质灾害监测预警相关方面应用的有效性。

[关键词] 三峡库区，滑坡，监测预警系统，3S 技术

1 引言

自 1998 年以来，中国地震局地壳应力研究所（以下简称地壳所）三峡库区地质灾害项目组依托国务院三峡建设委员会移民局“三峡工程万州库区 GPS 滑坡监测示范研究”，科技部十五攻关项目“示范区新型、高效地质灾害遥测台网技术系统研究”，重庆市政府和移民局下达的“奉节、巫山高边坡与高挡墙稳定性监测”，以及地壳所与德国地球科学研究中心和英国伦敦大学学院关于“应用 PSInSar 遥感技术监测三峡库区滑坡及库岸变形”等项目的支持，在万州、巫山、奉节三地移民局和国土局的配合下，广泛深入地开展了库区地质灾害监测预警系统的研究。监测的对象由滑坡、危岩与库岸变形，扩展到高挡墙、高边坡和移民楼房基础的稳定性，监测技术体现了多学科的融合。

几年来，在进行地质调查的基础上，项目组运用 3S 技术，建立地质灾害地理信息系统（GIS）；开展全球卫星定位（GPS）滑坡变形监测及多手段仪器监测；并整合现今成熟的、先进的传感器与测量技术、计算机信息处理技术与通讯技术，以 GSM/GPRS 为通讯平台的无线遥测台网，可以选择连接不同的传感器来监测崩、滑体地表变形、深部位移、地下水动态、声发射、裂缝变化、雨量，以及库岸及抗滑桩等工程构筑物内部应力及所受的推力等；在遥感（RS）技术应用方面，将国际上新近提出的角反射器技术用以辅助进行 INSAR 信号处理，建立了试验台网。迄今，项目组在库区库岸与滑坡变形监测及灾害预警系统的工作中已获得了多项阶段性成果，一些典型地区的监测成果为政府减灾决策提供了重要依据。

2 库区地质灾害监测网设计的指导思想

库区崩塌、滑坡监测的主要目的是：全面了解和掌握崩、滑体的演变过程，及时捕捉崩、滑体灾变的特征信息，为崩塌、滑坡灾害的正确评价分析、预测预报及治理工程等提供可靠的资料和科学依据。同时，监测结果也是检验崩塌、滑坡分析评价及滑坡工程治理效果的尺度。

为了达到上述目的，库区地质灾害监测系统总体设计思想为：

- （1）针对不同崩、滑体的地质构造与变形阶段特征，应采用不同的方案、手段进行监测；
- （2）鉴于崩、滑体变形破坏过程的高度不确定性，同一崩滑体上宜采用多种手段监测，形成点、线、面、地表与地下相结合的立体监测网，使其互相补充、检核；
- （3）在群测群防工作的基础上，发展常规人工仪器观测与无线自动遥测的技术、建立静态

和动态监测相结合的监测预警网络，分别服务于地质灾害的长期、中期预测和短期预警。

3 地质灾害监测方法与技术

依据崩、滑体变形监测的物理量，兼顾变形测量对精度的要求和监测工作的效率，结合当前国内外监测技术和方法的发展水平，在实际应用中采用 GPS、InSAR、激光测距、流动倾斜、裂缝监测技术测量地表形变，一些地段也采用了传统方法如全站仪和水准测量；钻孔测斜仪监测深部位移；孔隙水压力计监测地下水动态变化；钢筋应力计与锚索（杆）应力计，分别用于监测抗滑桩内部钢筋和锚索、锚杆的受力变化；同时，采用遥测台网技术采集包括地表变形、深部位移、地下水、钢筋计、危岩声发射等在内的各种动态监测数据。下面简要评述这些方法的特点与适用领域。

3.1 GPS（全球卫星定位系统）大地测量网

全球卫星定位系统（GPS）是美国国防部研制的导航定位授时系统，由 24 颗等间隔分布在 6 个轨道面上、大约 20000km 高度的卫星组成。在地球上任何地点，任何时刻，在高度角 15° 以上天空至少能同时观测到 4 颗以上的卫星。用户在地面用接收机接收这些卫星发射来的信号，测定接收机天线到卫星的距离，就可以计算出接收点的三维坐标。近年来，我国开发和应用 GPS 定位技术的发展速度很快，如在长江三峡工程坝区已建立了 GPS 监测网，实践证明，高性能配置的 GPS 水平定位精度可达毫米级，完全可用于崩塌、滑坡的位移监测。

相对于传统的大地测量方法，GPS 测量技术应用于滑坡监测有以下优点：（1）观测点之间无需通视，选点方便；（2）不受天气条件限制，可以进行全天候的观测；（3）观测点的三维坐标可以同时测定；（4）新一代 GPS 接收机具有操作简便、体积小，耗电少的特点。所以，这种方法已广泛运用于滑坡变形监测和施工安全监测，以及滑坡工程治理效果监测之中。但是，由于监测站建设和获取数据周期较长，在灾害的短期预警中该方法用得较少。

3.2 专用仪器监测网

在此类测量方法中，有多种传统的测量仪器目前仍在广泛使用，如经纬仪、全站仪、水准仪和钻孔测斜仪等，它们主要用于各种工程治理项目的施工安全监测中。除了前述的仪器外，我们还从三峡库区的具体环境条件出发，结合地质灾害其它方面监测工作的需要，开发了便携式倾斜仪、流动激光测距仪等设备，弥补 GPS 观测受房屋、山坡遮挡而不便施测的不足，以便对位于河谷斜坡地形上的库区移民新城镇的滑坡地表变形、房屋及地基基础变形进行全面监测。在一些经过工程治理的重点滑坡、变形体上，结合治理效果监测，还大量运用了钢筋计和锚杆（索）计以监测抗滑桩内部应力及滑坡的推力。

在地表开展各种流动仪器观测具有监测参量多，灵敏度高，测量范围较大，效率高，成本低，操作简单等特点，因此这类测量方法适用于滑坡治理施工安全监测和效果监测，与前一种 GPS 流动站观测法相同，也大量应用于多种地质灾害的中、长期监测预报中。

3.3 地质灾害无线遥测台网

目前，国外崩塌、滑坡监测预警技术已发展到一个较高的水平。首先是较普遍采用了全自动、多参数监测的遥测台网；其次，在地质灾害模型预报和预警系统方面，已运用 3S（GPS、GIS 和 RS）技术进行地质灾害空间分析、模型预报和预警系统研究。国内在上述方面尽管还存在较大的差距，但近年来，铁道部、交通部等个别研究所及少数矿区已尝试采用小型遥测台网进行滑坡灾害的监测预报；2002 年，中国地震局地壳所在三峡库区又率先建立了用于地质灾害监测预警的多参数无线遥测台网。

“RDA 型地质灾害无线遥测台网”系地壳所开发的基于 GSM/GPRS 技术的新型无线遥测台网。该系统主要由监测子站群、监测预警数据中心和 GPRS 数据通讯公网等三部分组成

(系统构成见图1) GPRS是在GSM基础上发展起来的一种无线分组交换的数据承载业务。相对于GSM/SMS的电路交换数据传送方式, GSM/GPRS采用分组交换数据传送方式, 在传输速率, 无线网络信道资源的有效利用, 全面实现了移动Internet功能, 每个用户永远在线等方面具有非常明显的优势。



图1 GPRS滑坡无线遥测系统构成

根据单体滑坡监测的需要, 可以确定所需遥测子站的个数, 各遥测子站可以选择连接不同的传感器来监测滑坡地表位移、深部位移, 或者地表倾斜、裂缝变化、雨量, 以及监测护岸及抗滑桩等工程构筑物内部应力及所受的推力等。监测预警数据中心系统软件功能包括接收各地质灾害点遥测子站的数据、数据入库、显示变形趋势曲线和超限自动报警等功能。同时, 数据中心站可对各遥测子站发出指令, 改变其工作参数, 如数据采集间隔(5分钟、1小时、24小时等)。系统可接入地区监测预警中心微机局域网, 支持运行基于GIS的减灾决策支持系统。市、县级地质灾害监测指挥中心的计算机屏幕上可以准实时地密切监视滑坡加速变形趋势, 支持对库岸和滑坡破坏事件进行短期及临滑预报, 也可以对发生的地质灾害事件进行现场监测和救助指挥。从2002年我们在万州WJW滑坡建成第一个遥测台网以来, 在万州和巫山, 运用“RDA型地质灾害无线遥测台网”监测的崩、滑体已有近20处, 积累了丰富的数据。该地质灾害无线遥测系统主要具有以下特点:

(1) 监测参量多, 精度高

系统集成包括了: 滑坡地表变形(位移、沉降)倾斜变形测量仪、裂缝测量仪、崩滑体微破裂声发射信号记录仪、钻内地层滑移变形测斜仪、孔隙水压测量仪、钢筋测力计、锚索(杆)拉力计等8种滑坡监测仪器。这些测量仪器均具有较高的测量精度和较大的动态范围。

(2) 自动遥测, 无人值守

遥测仪器均内置微处理器和无线数据传输模块, 动态范围大, 全自动监测, 无线传输, 可用交流电源或太阳能电池供电。

(3) 无障碍设计

所研制的仪器在测量、数据传输等方面均符合无障碍设计要求, 因而有安装方便, 环境适应性好等优点。

(4) 依托先进的通讯技术

本遥测台网综合运用了最新发展的GSM/GPRS通讯技术, 既适应三峡库区的地形条件, 便于安装和维护, 又具有高容量, 覆盖范围广, 以及成本较低等特点。

3.4 崩塌滑坡应急监测系统

以往,无论在三峡库区还是我国其它地方,发现有崩塌滑坡迹象时,常因缺乏应急监测手段,未能详细积累数据,错失研究的机会且不论,有时终因措施不力造成人民生命的损失。我们在 RDA 型遥测台网的基础上,将通讯改为 GSM/SMS,即短信息方式,目的是使系统对通信公网的适应能力更强,架设更简便可靠。在监测环境偏远,以及应急监测的场合,这一点显得尤为重要。

应急监测系统优选了地表倾斜、激光测距、裂缝测量仪等手段。一旦有群众报告,或者通过仪器监测发现某地滑坡有加速变形迹象,便能急速赶赴现场,及时安装台网,实施 24 小时连续监测。既能有效避免不测事件的发生,还可积累研究滑坡变形破坏阶段的宝贵资料。2003 年,应万州地方政府的要求对公路、桥梁开展的应急监测,便收到了良好的效果。

3.5 合成孔径干涉雷达 InSAR 测量技术

合成孔径雷达干涉(InSAR)测量技术,是利用相邻航线上观测的同一地区的两幅 SAR 影像的相位差来获取地面数据的测量技术,其主要特点是利用雷达数据中的相位信息。

干涉雷达优点较多:具全天候工作能力,发射的微波对地物有一定穿透能力,能提供光学遥感所不能提供的信息,且为主动式工作方式。对于欧洲雷达卫星 ERS-1/2 和加拿大雷达卫星 RADARSAT-1,采用干涉技术来产生 DEM,监测地面位移变化,精度可以达到毫米量级。因此,该技术手段特别适用于大面积的滑坡、崩塌、泥石流以及地裂缝、地面沉降等地质灾害的监测预报,是一项快速、经济的空间探测高新技术。

三峡地区植被茂盛,雨水充沛,地貌差异较大,不利于干涉雷达信号的处理,曾有人在该地区做过尝试未获成功。为此,地壳应力研究所与德国地球科学研究中心(GFZ)合作,采用了国际上新推出的角反射器技术以辅助进行 INSAR 信号处理。角反射器是用三块角形金属板制作的一种装置,它对照射其内的雷达波可按原方向反射回去,反射信号相对于周围环境有显著的增强。通过在工作区范围内均匀布设人工角反射器,并确定一些稳定的点作为天然反射点,便于图像的配准和精确计算角反射器的位移。对于三峡库区如此大的范围,仅仅利用有限的点位进行 GPS 或其它仪器设备测量滑坡体形变是有局限的,因此,探索利用 INSAR 技术开展三峡库区滑坡监测,具有重要的意义。2003 年,我们已经在万州和巫山两地安装了 14 个角反射器,进行试验监测和研究,同时还联合进行 GPS 变形监测作为对比。

四、用于地质灾害监测预警的 GIS 系统

地质灾害监测地理信息系统是一个能够有效管理各种四维空间(含地理坐标和时间变化)数据的信息系统。它以崩滑体等监测对象为基础,把地形、城市规划、监测点分布等空间数据,按其空间位置存入计算机;通过数据库模块、曲线显示模块与数据分析模块,实现监测数据的存储、更新、查询、趋势分析、绘图显示及图、表输出等功能。

系统主要由四部分组成:地理信息子系统、地质基础资料文献管理子系统、地质灾害监测数据库子系统和监测数据分析子系统。

地壳所自 1998 年在重庆市万州区开展地质灾害的监测与研究以来,首先致力于建立基于 GIS 的地质灾害数据和资料管理平台,于 2000 年研制成功“万州库区移民工作地理信息系统”。之后,又逐步完善相关的数据库管理系统,充实数据分析模块,增加自动报警功能,实现了含数据管理、分析于一体的滑坡监测预警 GIS 系统,并相继推广到巫山、奉节两县。

系统采用面向对象的编程语言 Visual C++ 6.0 为开发工具,以 MapInfo 为基本开发平台;地质灾害监测数据库利用 Microsoft SQL Server 2000 创建,通过 ADO 技术进行数据库

* InSAR—Interferometry Synthetic Aperture Radar 的缩写。

连接、访问。地质灾害监测预警 GIS 系统以大比例尺电子地图作为工作用图,可以任意缩放、漫游、能够自动查找地图目标,并与数据库相关联。该系统为管理各种工程地质、水文地质资料,为管理上述几类地质灾害监测网和监测数据,为数据的分析与结果显示,包括为群测群防工作的管理均提供了一个有效的平台,进而为滑坡稳定性的研究打下了很好的基础(系统总体结构如图 2)。

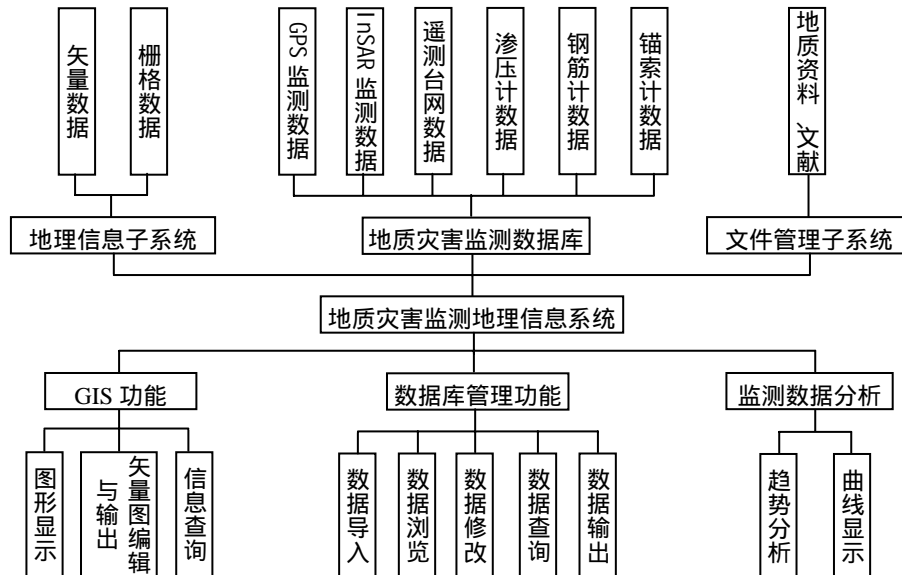


图 2 地质灾害监测预警 GIS 系统总体结构框图

根据前述功能的要求,该系统可以输出多种表达数据处理及空间分析结果的图形、图表与三维模拟图等可视化形式。图 3 显示了巫山县 GIS 系统的一个界面,显示出滑坡、道路及四类监测站的分布,即为一例。



图 3 巫山 GIS 系统显示的 GPS 和倾斜监测站分布图

1、GPS 静态监测站, 2、GPS 动态监测站, 3、流动倾斜监测站, 4、GPS 坐标控制点

数据分析流程基本上有如下的三个方面:

- (1) 整个监测系统获得的数据,包括自动传输与流动观测的,经过校核确认无误后,即可存入当地地质环境监测站基础数据库。
- (2) 基于地理信息系统的地质灾害趋势分析及预警技术研究,包括进行监测结果的统计分析、时间序列分析、地表位移矢量图分析、滑坡的深度-位移曲线分析、位移-降雨量分析等,

并进而确定在不同的地质环境下滑坡预警的阈值。

(3) 所获得的滑坡变形时间变化曲线及其二维平面分布图像的结果,可用于做进一步的滑坡稳定性分析研究。

5 各类监测技术的应用与典型监测结果

5.1 GPS 技术用于滑坡变形监测

自 1999 年底万州库区建成含 120 余个流动站的 GPS 滑坡变形监测网,到 2002 年底,共完成了八期测量。结果显示,多数滑坡近期变形速率较低,在 5mm/年以下;但半边石坝与实验小学等少数滑坡,年变形速率分别达 84mm 和 49mm;关塘口、青草背等滑坡也有明显变形。图 4 显示了万州城区滑坡现今变形的分区特点:变形大的地区多为陡坡,有的是古滑坡分布地区;近期的变形主要和人类工程活动,以及强降雨等因素有关。

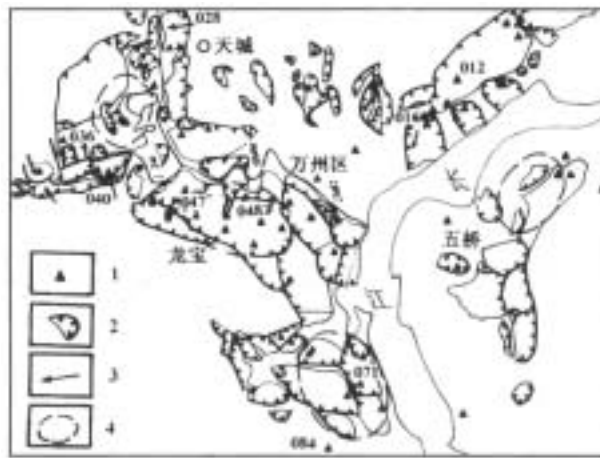


图 4 万州城区滑坡变形分布示意图

1-GPS 滑坡监测点;2-滑坡;3-滑移矢量;4-变形较小的稳定地区

上述结果对于库区城镇的建设规划有指导意义。据了解,有的基础设施项目选在上述变形区域内,自 2002 年初开工,场平屡屡受阻,历时 3 年无法开展基本建设,付出了沉重的代价。对这几处稳定性差的滑坡体,加强了跟踪监测和研究。例如万州 SMB 滑坡 2003 年继续发生变形垮塌,其北部区域 5 月以来曾发生严重变形。图 5 给出了 3 条有代表性的基线变化情况,纵坐标表示日降雨量以及 GPS 基线长度变化,单位为毫米。由图中可以看到,2003 年一季度该区变形速率不高,4 月 18 日(即图中第 108 日)降大雨 84mm 后,滑坡变形明显加速。G123-134 是接近主滑方向的测量基线,到六月累计变形量达到 400m 左右。除了该区是因人类工程活动触发滑坡变形因素外,强降雨的影响不可低估。

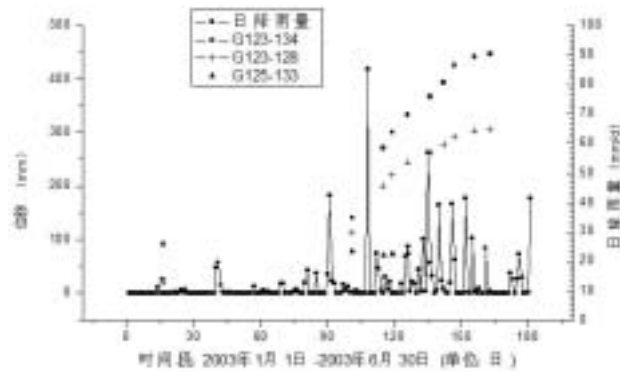


图 5 SMB 滑坡地表变形 GPS 测量成果

又如奉节新县城地区有大小崩塌、滑坡 50 余处，其中以三马山、宝塔坪、白衣庵、南竹园等大型滑坡对新建县城的影响最大。由于新县城地处复杂的地质构造部位，岩层较为破碎，冲沟发育，高阶地较窄，且连续性差。新建移民区大多分布在地势较陡的沟、谷坡上，人工开挖的高陡边坡随处可见，并以高度大、连续分布长为特点，边坡高度可达 30-40 米，长度数百米。高边坡的稳定性问题是奉节县城最大的潜在地质灾害问题之一。

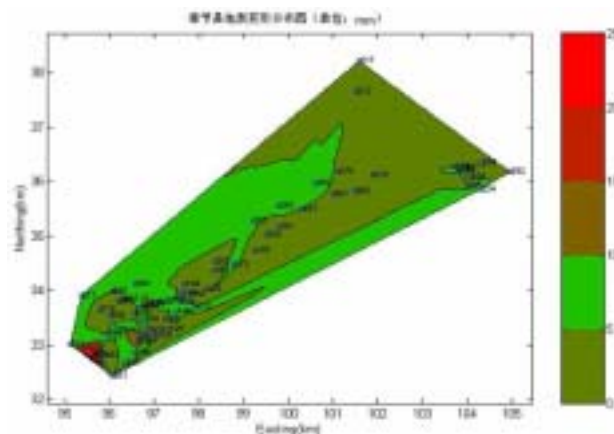


图 6 2003 年奉节新县城变形等值线图

2002 年我们在奉节建立了含 290 个监测桩的 GPS 和地表倾斜变形监测网。到 2003 年中，整个县城近 8km^2 范围的变形分布如图 6 所示，发生最大变形的地区是西部朱衣河谷坡一带的高边坡。这些地带大多是高阶地、陡坡，表现的主要地质灾害问题是建筑载荷导致的自然高、陡边坡、古滑坡失稳；因平整建筑场地而切削边坡，填平坡脚、沟谷，产生的高边坡与回填边坡的失稳等。

5.2 在滑坡工程治理安全施工阶段运用的监测技术

本阶段的监测工作主要用于评价滑坡（危岩）治理施工过程中滑坡的稳定程度，及时反馈、跟踪和控制施工进度，对原有的设计与施工组织的改进提供最直接的依据，对可能出现的险情及时发出报警信号，以便调整有关施工工艺和步骤，避免恶性事故的发生。做到信息化施工，以期取得最佳的经济效益。目前，在安全监测中使用了大量的专用仪器布设监测网，这已为广大工程技术人员所熟悉，这里仅举一例说明“RDA 型地质灾害无线遥测台网”的应用成果。从 2002 年 5 月起在万州 WJW 滑坡建立了无线遥测台网。该滑坡为三峡库区二

期地质灾害工程治理计划项目，从 2002 年 11 月开始施工，2003 年 2 月完成。图 7 所示为沿滑坡主滑方向激光测距遥测仪获得的结果。尽管施工包括 59 个抗滑桩的开挖与浇筑，但由于设计与施工合理，整个施工期间滑坡体位移仅几个毫米，可见通过遥测台网连续监测，可以及时准确掌握滑坡变形动态，确保施工安全。

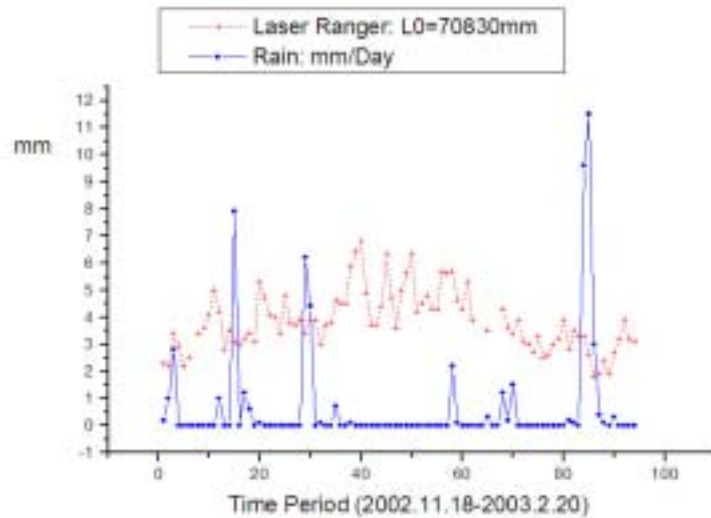


图 7 万州 WJW 滑坡工程治理施工安全监测位移曲线

5.3 工程治理效果监测

仍以万州 WJW 滑坡为例。该滑坡治理工程采取以预应力锚拉抗滑桩为主，地表排水及生物工程为辅的综合治理方案。治理效果监测网采用了 GPS、深部位移、孔隙水压力测量和钢筋应力计等仪器监测方法，在关键部位还设置了遥测台网进行连续监测。

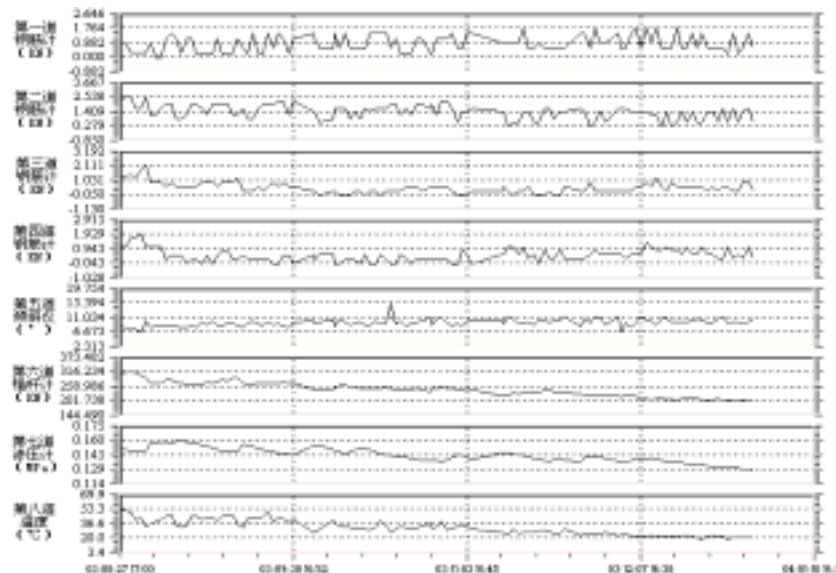


图 8 3002 遥测子站观测结果曲线显示

图 8 为 A2 号抗滑桩上 3002 遥测子站 2003 年 8 月到 12 月观测结果的日变化曲线。由图可见：锚拉抗滑桩内力（钢筋计、锚杆计观测）和滑坡深部位移的变化与地下水孔隙压力

(渗压计观测)的变化呈明显的相关关系;根据气象资料,滑坡孔隙水压力的变化与降雨亦有直接关系。但是从总趋势看,抗滑桩内力、深部位移变化不大,说明 WJW 滑坡经过治理后基本上处于稳定状态,这与其它监测点仪器巡测的结果基本一致。

图 9 为巫山 GIS 系统上分析、显示的 WZB 边坡倾斜变形矢量图,是使用仪器监测网进行工程治理效果监测的实例。如矢量图所示,4 个测点的倾向均与坡向大体一致,2003 年累计角变量 0.02° ,说明经过治理后的边坡稳定性良好。



图 9 巫山县 WZB 边坡倾斜变形矢量图

5.4 滑坡变形应急监测

巫山县残联滑坡位于巫山新县城中心地带,滑坡区内高程在 278~492m 之间,为河谷坡地形,坡角在 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间。滑坡体为第四纪坡积物,含碎石、粉质粘土,厚度 0~12m,总体积约 15 万 m^3 。由于本区域为斜坡区,公路及房屋等建设须对原始边坡不同程度的开挖、切坡,2001 年已发现有变形发生。地勘资料表明残联滑坡周界明显,滑面渐趋形成,属推移式滑坡。2002 年虽经两度治理,其西区在 2003 年仍有明显变形,危及其下的公路和移民楼房的安全。

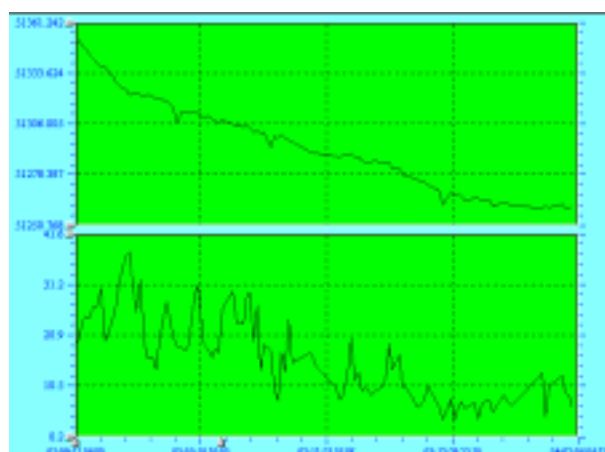


图 10. 巫山残联滑坡激光测距曲线(2003 年 9 月-2004 年 2 月)

应巫山国土局要求,2003 年 9 月安装了遥测台网。残联滑坡遥测台网安装在最能反映滑体变形特征的部位,四台遥测子站沿主滑方向形成一条测线。

激光测距的监测数据随时间的变化如图 10 所示。上条曲线为测距结果,测线长 51.3m

多, 滑坡向下滑移对应测线缩短, 单位为 mm; 下条为环境温度曲线, 单位为 , 横坐标为测量时间, 按年-月-日 时:分格式显示。

从 2003 年 9 月 12 日至 2004 年 2 月 3 日, 可大体分为两个阶段:

第一阶段: 9 月 12 日到 9 月 27 日为滑坡体中部抗滑桩完工之前, 由于开挖引起边坡内部应力调整。受滑坡体上部载荷的影响, 土体向前挤压。滑坡体中、下部向临空面的蠕滑变形明显, 下滑速率大致均匀, 约 2mm/d, 16 天总计变化量达 30mm。

第二阶段: 在滑体中部的部分抗滑桩竣工后, 位移速率变缓, 降至 0.5 ~ 1mm/d; 到 2004 年 2 月上旬, 变化量仅 0.1mm/d。反映出抗滑治理工程对滑体变形起到了遏制作用, 达到了抢险治理的目的。

六、 结论

(1) 基于 3S 技术和地面变形监测台网, 基本建立了研究区典型地段滑坡监测系统。运用 GPS 等空间技术可以获得滑坡变形区域分布状况, 不但有利于确定需要重点监测的滑坡, 而且对库区城镇改造规划有指导意义。遥测台网可快速测定变形速率, 是掌握滑坡动态变形趋势与开展应急监测的有效工具。

(2) 为了较好地解决滑坡监测中高度的不确定性问题, 需要配合使用多种类型的仪器。作者等为此研制的新型滑坡无线遥测台网和流动倾斜仪、激光测距仪, 精度高, 性能稳定, 有较大的推广价值。

(3) 由于滑坡、高边坡所处地质环境差异以及影响因素的不同, 其破坏机理和危险性程度也不尽相同。正确认识、区分滑坡与高边坡的地质环境, 合理布置稳定性监测点位, 对其稳定性监测、分析及评价具有十分重要的意义。

在此, 对参加过此项工作的杨旭东、陈诚、范国胜、李涛等同志表示感谢。

参考文献:

- [1] 卓宝熙, “3S”地质灾害信息立体防治系统的建立及其实用意义[J], 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(4): 252-257.
- [2] 崔政权, 李宁, 边坡工程-理论与实践最新发展, [M], 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [3] 欧阳祖熙, 张宗润, 张路等. 重庆市万州区三峡工程移民地理信息系统, 地壳构造与地壳应力文集(12), 地震出版社, 1999年, p. 140-146.
- [4] 欧阳祖熙, 张勇, 张宗润等. 全球卫星定位技术在三峡库区滑坡监测中的应用, 地壳构造与地壳应力文集(13), 地震出版社, 2000年, p. 185-191.
- [5] 欧阳祖熙, 丁凯, 师洁珊等. 一种新型地质灾害无线遥测台网, 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(1): p.90-94.
- [6] 欧阳祖熙, 王明全, 张宗润等. 用 GPS 技术研究三峡工程万州库区滑坡的稳定性, 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(2): 76-81.
- [7] 欧阳祖熙, 师洁珊, 王明全等. RDA 型滑坡变形无线遥测台网, 中国土木工程学会第九届全国土力学及岩土工程学术会议论文集, 清华大学出版社, 2003年10月, p. 1261-1266.
- [8] 陈明金, 欧阳祖熙, 师洁珊等. 基于 GPRS 技术的地质灾害无线遥测系统, 自然灾害学报, 2004, 13(3): 65-69.
- [9] 陈明金, 欧阳祖熙, 预应力锚索抗滑桩内力反演计算, 地壳构造与地壳应力文集, (17) 地震出版社, 2004年, p. 139-145.

- [10] 欧阳祖熙,张宗润,丁凯等. 基于 3S 技术和地面变形观测的三峡库区典型地段滑坡监测系统, 岩石力学与工程学报, 2005 年待刊。