

实时监测技术在地质灾害防治中的应用

—以巫山县地质灾害实时监测预警示范站为例

高幼龙¹ 张俊义¹ 薛星桥¹ 谢晓阳²

(1. 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

2. 西北化工研究院 陕西 西安临潼 710600)

[摘要] 本文在地调项目工作实践的基础上,系统地总结了地质灾害实时监测的含义、特点和系统构成。详细介绍了巫山县地质灾害实时监测预警示范站的构建,针对实际运行状况,评价了实时监测技术的可行性和可靠性。

[关键词] 地质灾害 实时监测 远程传输 示范站

1. 引言

随着现代科学技术的发展和边缘学科的相互渗透,自动控制、网络传输等越来越多的技术被不断应用于地质灾害的监测当中,极大地提高了监测的自动化水平,在一定程度上缓解了生产力匮乏和地质灾害急剧增加之间的矛盾。国际上,美国、日本、意大利等发达国家在一定的区域范围内建立了基于降水量、渗透压、斜坡变形等参数的地质灾害实时监测系统,借助国际互联网实现了监测数据的集中处理与实时发布。与之相比,我国地质灾害监测的实时化、网络化水平依然较低,监测信息为公众服务的功能未能得到明显体现,预警的信息渠道不畅,对重大临灾的地质灾害缺乏快速反应能力。因此,在我国进行地质灾害实时监测预警研究,对重大灾害体实施实时化监测预警,具有十分现实的意义。

笔者在参加地质调查计划项目《地质灾害预警关键技术方法研究与示范》的过程中,对实时监测技术进行了较为深入的研究,并在我国重庆市巫山县新城区建立了地质灾害实时监测预警示范站,经过 1.5 个水文年的示范运行验证了实时监测的可行性和可靠性。在对示范成果初步总结的基础上形成此文,以期实时监测技术得以快速成熟及推广应用,为我国地质灾害防治事业做出贡献。

2. 实时监测的含义和特点

实时监测(Real-Time Monitor, RTM)系指通过各种监测、采集、传输、发布技术,让目标层人员在第一时间内了解、掌握有关灾害体的变形动态和发展趋势,进而做出决策的多种技术的集合。其最主要的特点为实时性,即远程的目标层人员可在第一时间获取灾害体的全部变形信息,而获取的过程是自动的,无需技术人员值守干预。显而易见,实时的特性可以最大限度地解放劳动力,降低监测人员风险和运营成本。

同传统监测技术相比,实时监测的数据采集方式是连续的、跟踪式的,数据的采集周期很短,通常在数小时之内,甚至更短。这对于跟踪灾害体变形过程,进行反演分析具有十分重要的意义。其庞大的数据量通常也会对配套的软硬件系统提出更高的要求。

不难理解,实时监测也是自动化监测。所使用的监测仪器均需自动化作业方可实现无人值守。监测仪器自动化分为两种,一种是监测仪器本身具备定时采样和存储功能,另一种是通过第三方的自动采集仪控制采样。不管使用何种方式或基于何种原理,其数据采集是能够自动或触发实现的。

监测数据远程传输是实时监测的另一主要特点。通常情况下,监测控制中心设立在远离

灾体、经济相对发达的城镇区,需要借助公众通信网络或其它介质将各种类型的监测数据“搬运”过来,进行相应的转换计算,生成目标层人员所需要的成果。这个“搬运”过程即监测数据的远程传输。传输分为两种方式,一种是有线传输方式,如架设通信线缆或光缆,在电话线两端加载 MODEM 等,另一种是无线传输方式,如借助 GSM/GPRS 或 CDMA 网络、UHF 数传电台或通信卫星等。

由于实时监测是数据自动采集、传输、发布等多个技术的集合,其中的任何一个环节失败均可导致系统无法正常工作,因此,实时监测是存在风险性的。其风险构成除电力(如断电停电)等保障体系风险和监测仪器(如传感器、采集仪故障)、传输系统(如占线、网络资源不足、数据安全)、发布系统(如网路阻塞、病毒入侵、系统崩溃)等技术风险外,还包括人为抗力风险,如监测仪器设施的人为破坏、网络系统的恶意攻击等。对于风险的营救除最大程度地降低保障体系风险和技术风险外,需要通过立法、宣传等有效措施降低人为抗力风险,并设技术人员对监测系统进行即时维护,保障系统正常运行。

3. 实时监测系统构成

实时监测系统由监测仪器设施、数据采集系统、数据传输系统和网络发布系统四个子系统构成。各子系统均可独立运行,以单链的方式协同工作。其工作原理如图 1 所示。

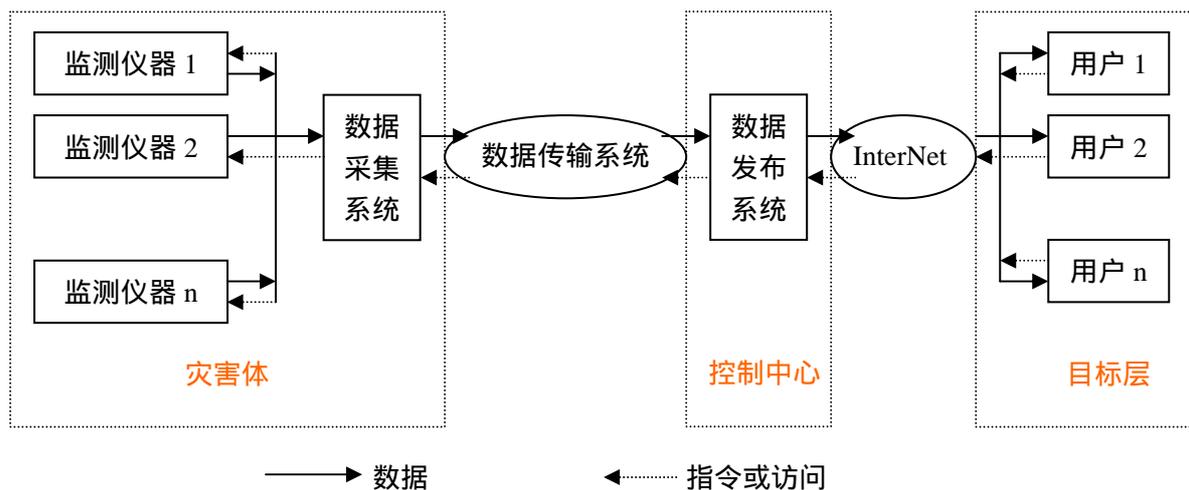


图 1：实时监测系统工作原理示意图

Fig . 1 Principle of real-time monitoring system

3.1 监测仪器设施

监测仪器及设施是获取灾害体变形参数最前端、最主要的组成部分,固定安装于灾害体表层或深部,并能够表征灾害体对应部位的变形、变化。监测仪器的类型取决于所采用的监测方法,在地质灾害监测中,常用的监测方法包括灾害体地表及深部位移、应力、地下水动态、地温、降水量等(表 1)。监测仪器的精度、数量及布设位置是在地质灾害勘查及综合分析的基础上,从控制灾害体主体变形的需要设计确定的。监测仪器通常和相应的监测设施,如监测标(墩)、保护装置等相互配合,完成灾害体相关参数的获取。

3.2 数据采集系统

顾名思义,数据采集系统用于收集、储存各类监测数据,是通过单片机或工业控制技术

实现的。目前，多数监测仪器均有配套的数据采集及存储装置，可按设定的数据采集间隔定时自动化工作，并对原始数据进行转换计算。数据采集装置通常具有 RS-232 或其它标准通信接口，可以方便地将数据下载至 PC 中作进一步分析处理。对于不具备配套数据采集装置或仅具备便携式读数装置的监测仪器，则可以通过第三方的数据采集仪实现自动采集工作，通用型的数据采集仪可方便地将频率、电压等模拟信号转换为数字信号加以存储和处理，并具备标准通信接口和 PC 交换数据。由于数据采集仪多置于监测仪器附近，二者间通常使用线缆相连接。

表 1 常用监测技术方法简表

监测内容	监测技术方法	监测内容及特点	监测仪器设备
位移	大地测量(三角交会、水准法、测距法、小角法、视线法)	以监测灾害体表面的绝对位移为主，监测范围广，无量程限制。	全站仪、经纬仪、水准仪、激光测距仪
	近景摄影	精度低	专业测量照像机
	GPS 卫星定位	利用卫星定位技术进行绝对位移测量，机动灵活，精度较高。	GPS 接收机
	测缝法(人工、自动测缝、遥测)	监测裂缝两侧块体的相对位移变形	卡尺、皮尺、电测位移计、遥测机
	倾斜仪监测	监测灾害体地面倾斜位移、深部构造面、滑带位移	地面倾斜仪、钻孔倾斜仪
应力	压力盒监测	监测灾害体内部应力变化	岩(土)体压力盒
	锚索(杆)监测	监测锚索(杆)预应力变化	锚索(杆)测力计
地下水	水文监测	监测地下水水位、流量、流向	水位计、流量计
	孔隙水压力监测	监测孔隙水压力	孔隙水压力监测仪
	含水率监测	监测岩土体含水率	孔隙水压力监测仪
地声	地微震监测	监测灾害体本身的振动频率、振幅变化	地微震监测仪
	声发射监测	监测滑坡体产生声发射随机事件的次数	声发射监测仪
气象	气温监测	监测气温变化	温度计
	降水监测	监测降水量、降水强度	自动雨量计
地温	岩土体温度监测	岩土体内部温度	埋入式温度计
放射元素	氡气测量	检测岩土微量放射性变化	氡气测量仪
	²¹⁸ Po 测量法		

3.3 数据传输系统

数据传输系统用于完成数据采集仪 - 控制中心 - 用户间的数据传递。实际上，控制中心 - 用户间通常是利用国际互联网、通过发布系统实现的，所以狭义上的数据传输指数据采集仪 - 控制中心之间（即灾害体现场至控制中心）的数据传递。

按照灾害体和控制中心空间距离的长短，可将数据传输分为近距离数据传输（一般低

于 2Km) 和远程数据传输两种类型。前者由于传输距离较短, 一般采用线缆连接, 后者则采用远程数据传输装置。

按传输介质, 远程数据传输分为有线传输和无线传输两种方式。目前常用的有线传输方式有电话线连接 (即在电话线两端加载 MODEM 对数据进行调制、解调) 光缆连接等, 无线传输方式有数传电台 (用于中远距离) GSM/GPRS 或 CDMA 移动通信网络、通信卫星等 (图 2)。

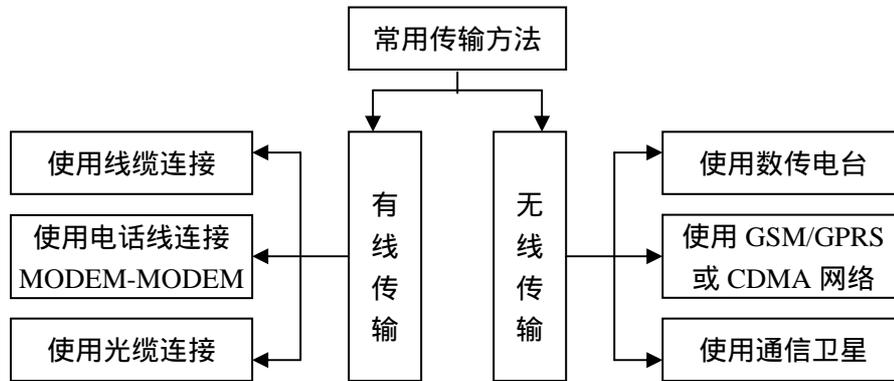


图 2 常用的数据传输方法

3.4 信息发布系统

信息发布系统通过国际互联网, 以 WEB 主页的方式向目标层人员 (即用户) 提供各类监测信息。监测信息包括灾害体地质条件、发育特征、监测网布置方式、多元监测数据、监测数据随时间曲线、监测信息公告及图片、视频等。

信息发布系统由底层数据库和发布主页两部分构成。前者用于管理各类基础信息及监测数据, 为后者提供数据源, 后者为用户提供信息访问平台。二者之间通常采用 B/S 等架构交换数据。

信息发布系统一旦建立完成后, 一些信息内容, 如灾害体地质条件、发育特征、监测网布置方式等说明性的文字便相对固定下来, 在短时间内不会做大的改动, 这些信息通常称为静态信息。而监测数据、曲线等信息随着时间的推移不断产生, 并需在主页上自动更新、显示, 这些信息称为动态信息。要实现监测数据的实时发布, 需建立动态主页来显示动态数据。

由于监测数据是由底层数据库管理的, 故只要即时将监测数据自动写入数据库中, 为动态主页提供随时更新的数据源, 便可实现自动显示, 即实时发布。而这一点是易于做到的。

4. 巫山县地质灾害实时监测示范站简介

重庆市巫山县新城区是我国地质灾害危害最为严重的地区之一, 全县约 1/3 的可用建设用地受到不同程度地质灾害的威胁。通过论证对比, 在城区 27 个较大滑坡 (崩塌) 中, 选择了近期变形相对较为明显、危害较为严重的向家沟滑坡和玉皇阁崩滑体建立实时监测预警系统进行应用示范。选用 GPS 监测地表位移、固定式钻孔倾斜仪和 TDR 技术监测深部位移、孔隙水压力监测仪监测滑体孔隙水压力及饱水时的水位、水温, 同时通过安装仪器的附加功能或定期搜集的方法兼顾了地温、降水量及库水位等监测。截至目前, 共建立 GPS 监测标 22 处 (含基准标) 固定式钻孔倾斜仪和 TDR 监测点 (孔) 各 3 处、孔隙水压力监测 3 孔 7 测点。多种监测仪器在同一地理位置同组安装, 这样不仅便于不同监测方法之间资料的相互

印证对比,还可以仅使用一台采集仪及传输装置采集、传输多种监测数据,降低监测系统建设成本,另外,同组安装便于修建监测机房(现场站)保护监测仪器设施。以上监测方法除GPS因建设成本、人为抗力风险等原因采用定期观测外,其余监测方法均采用实时化监测。

4.1 示范站数据采集系统

固定式钻孔倾斜仪、TDR、孔隙水压力监测仪三种监测仪器均具备配套的数据采集装置,其中TDR监测技术使用工业控制机作为数据采集装置,恰好可以作为另两种监测仪器的上位机,通过多串口扩展,将固定式钻孔倾斜仪和孔隙水压力监测仪连接至工控机,定时下载、存储数据,并在预定时间统一传输至控制中心,同时在工控机上存放数据备份,防止数据丢失。示范站数据采集系统结构图如图3所示。

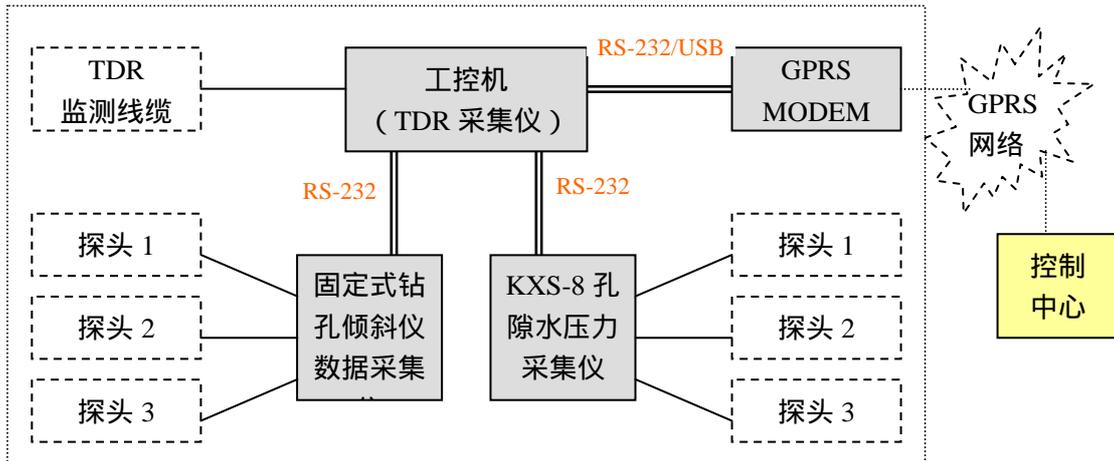


图3 示范站数据采集系统结构图

4.2 GPRS 远程无线传输系统

示范站控制中心设在巫山县国土资源局,距向家沟滑坡直线距离2.74Km,距玉皇阁崩塌体约0.6Km,其间采用GPRS网络进行数据的远程无线传输。

GPRS(General Packet Radio Service,通用分组无线业务)是中国移动通信在GSM网络上发展起来的2.5G数据承载业务,具有传输速度快、永远在线、按量计费等优点。GPRS使用TCP/IP协议,因此可方便地将数据写入指定(具固定IP地址)的服务器中。

GPRS数据传输硬件为商用型GPRS-MODEM,控制软件自主编写,用于控制数据传输时间、目标地址及传输过程的错误处理,由服务器端和客户端两部分构成。服务器端用于设置网络配置、数据库连接方式及数据文件、日志文件和配置文件的存放路径。客户端安装于现场站数据采集仪(工控机)上,控制网络连接、上传时间、数据编码、数据备份及传输错误处理。客户端软件和所有的数据采集软件设置为不间断工作状态,在按控制参数工作的同时,接受控制中心的配置指令即时对控制参数进行调整。

4.3 示范站信息发布系统

示范站信息发布系统硬件由1台小型服务器和2台PC终端的100M局域网构成。通过2M带宽的ADSL接入Internet。底层数据库和WEB主页同时安装于服务器上。服务器操作系统为Microsoft Windows Server 2000,数据库系统采用Microsoft SQL Server 2000。WEB主页用ASP.NET和Visual C#编写,和数据库之间采用B/S架构。在病毒防护和网络安全方面,采用商业软件瑞星RAV 2004和天网防火墙系统。

(1) 数据库系统

数据库系统是信息发布系统的基础,按管理内容分为基础信息管理、数据管理、辅助信息管理三部分。基础信息管理的内容包括监测站(包括中心站和现场站)、监测钻孔、监测点、发布信息、发布图片等;数据管理内容包括固定式钻孔倾斜仪、GPS、TDR监测系

统、BOTDR 监测系统、孔隙水压力监测仪、环境温度、降水量、库水位等；辅助信息管理内容包括分级用户、下载信息、访问统计次数等，数据库系统构成如图 4 所示。

(2) 数据伺服处理程序

数据伺服处理程序用于转换、计算现场站传来的数据，并即时将处理后的结果写入数据库中。处理程序采用 Visual BASIC 语言编写，通过计时器控制的定时功能触发写库过程，并在完成写库过程后删除原数据以防止重写。不难看出，数据伺服程序是传输系统和发布系统之间的连接，它使两个彼此独立的系统有机地结合起来。

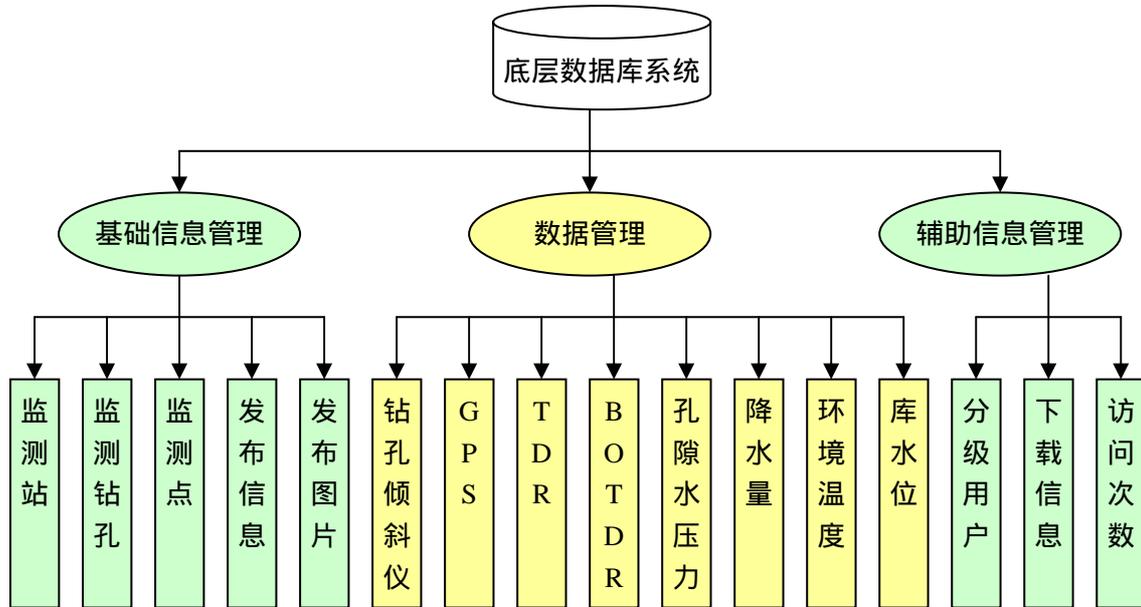


图 4 示范站数据库系统构成框图

(3) 示范站信息发布主页

信息发布主页为远程用户提供所需的全部信息，包括示范站的概况、实时的监测曲线、最新的监测数据等。从发布信息内容、访问方式及管理维护的角度出发，主页设计成导航区、发布区、管理区和下载区，为远程用户、管理员提供交互。

导航区为远程用户提供必要的导航信息，包括公告信息、图片及相关的专业网站链接，展示示范站建设工作的进展、取得的阶段性成果及有关的预警内容。

发布区用于提供示范站概况、实时监测曲线及数据查询。

示范站概况包括示范区自然地理条件、地质条件、示范站工作的整体部署，监测仪器设施（GPS、固定式钻孔倾斜仪、TDR、BOTDR、孔隙水压力监测仪等）的性能指标，监测现场站（含中心站）监测钻孔、监测点的基础信息等内容。

实时监测用于显示各种监测曲线，是发布主页最核心的内容。从访问方便的角度出发，实时监测采取了“选择灾体 - 选择监测剖面 - 选择监测点 - 选择监测时段 - 显示监测曲线”逐级打开、层层剥落的展示方式，并全部做成图形方式链接，以增强访问的直观性。监测曲线的坐标设计成自适应型，图形的大小在系统的配置文件中设置，并标明数据的最新更新时间。曲线是以图片的形式显示的，用户可以方便地将其下载到自己的 PC 中保存。

从安全考虑，数据查询进行了加密，用户需用授权的用户名和密码登录后方可查看。查询采取了“选择监测方法 - 选择监测点 - 选择监测起始时间 - 显示数据表”组合式筛选的方式。输入界定参数并提交后系统从底层数据库中找到所有符合条件的记录，按日期排序后列表显示。用户可以全部或部分选取查询结果，粘贴至个人 PC 作为 WORD 文档保存。

管理区专为系统管理员设计，用于管理员远程管理文本、图片、数据等信息，进行信息的添加、修改、删除、上传下载等操作。分为信息管理、图片管理、数据管理、下载管理 4 个相互独立的模块，具有模糊查找等高级功能。

下载区为授权用户提供工作图片、视频、监测报告、软件等较大文件的下载功能，补充主页在文件交换方面的不足。

主页面布局如图 5 所示。欲了解发布系统的更多内容，请登录 [Http://www.wss.org.cn](http://www.wss.org.cn)。



图 5 示范站信息发布主页面

5. 示范站实时监测系统运行评价

由于本文着重论述实时监测技术的可行性和可靠性，因此不对监测成果和滑坡稳定性动态做更多分析。从以上论述明显可以看出，在地质灾害监测中，构建实时监测系统从技术上是可行性的。本节主要针对巫山县实时监测预警示范站运行过程中出现的各种问题，从故障统计、故障原因分析等方面，对示范站采集系统、传输系统、发布系统的可靠性进行简单评价，并提出意向性的改善建议。

根据巫山县地质灾害监测预警示范站建设工作日志，监测系统故障主要发生在传输子系统，故障表现形式为数据不传输或不正确传输，主要原因为 GPRS 网络信号不稳定造成传输随机中断所致，其次，拨号连接失败后的重复尝试连接导致服务器 80 端口长期无效重复占用，当超过服务器最大连接数后导致网络无法正常访问。再次，监测地区不规律的停电常常使保障体系失效，从而丢失数据。此外，示范站服务器系统遭受过病毒破坏和恶意攻击，两次造成网络系统崩溃。可见，实时监测系统在基础通信条件和保障体系完备的条件下，是能够稳定可靠运行的，在建设过程中通过安装长时后备电源系统、功能完善的病毒防火墙和网络防火墙，可有效降低保障体系风险，进一步提高系统运行的稳定性。

6. 结语

巫山县地质灾害实时监测预警示范站自 2003 年陆续建设运行以来，在技术人员的维护下，系统运行正常，取得了数十万个监测数据，发布公告信息及图片近百条（幅），编写监测分析简报数期，实现了监测信息远程实时访问，取得了良好的示范效果。实践证明，将实时监测技术应用于地质灾害防治中是完全可行的，也是比较可靠的。可以预见，实时监测技术将是地质灾害监测的必然发展趋势。

参考文献

- 【1】殷跃平等. 长江三峡库区移民迁建新址重大地质灾害及防治研究. 北京:地质出版社, 2004
- 【2】王洪德,高幼龙等. 《地质灾害预警关键技术方法研究与示范》项目设计书. 2003(未出版)
- 【3】刘新民,等. 长江三峡工程库区滑坡也泥石流研究. 四川科学技术出版社, 1990
- 【4】何庆成,侯圣山,李 昂. 国际地质灾害防治现状
- 【5】邬晓岚,涂亚庆. 滑坡监测的现状与进展. 《中国仪器仪表》, 2001.3
- 【6】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》第 12 卷 第 2 期, 2001.6
- 【7】曹修定,阮 俊,展建设,曾 克. 滑坡的远程实时监测控制与数据传输. 《中国地质灾害与防治学报》第 13 卷 第 1 期, 2002.3
- 【8】夏柏如1, 张 燕, 虞立红. 我国滑坡地质灾害监测治理技术. 《探矿工程(岩土钻掘工程)》2001 年增刊