

# 基于实时监测的河口糖厂滑坡监测系统研究\*

温铭生<sup>①②</sup> 王连俊<sup>①</sup> 李铁锋<sup>②</sup> 徐为<sup>②</sup> 李昂<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>北京交通大学土木建筑工程学院 北京 100044)

(<sup>②</sup>中国地质环境监测院 北京 100081)

**摘要** 滑坡监测工作已经开展了多年,本文提出滑坡监测的内容包括基础因子、诱发因子和过程因子三部分,认为诱发因子和过程因子是滑坡监测的重点。针对降雨型滑坡监测,提出降雨-入渗-位移变形三者相结合的滑坡监测技术方法,并在河口糖厂滑坡监测工程中应用,实现了监测数据的实时自动采集、自动传输、自动入库的全自动监测系统。通过监测可知,河口糖厂滑坡降雨超过 50mm 达到 67mm 时,雨水入渗深度为 7m; 10d 累计降雨量达到 110mm 时,雨水入渗深度超过 7m,但未至 12m; 雨水由 0m 入渗至 7m 的入渗速率为  $0.53\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ ,由 7m 至 12m 的入渗速率为  $0.29\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

**关键词** 滑坡 监测内容 实时传输 技术方法 降雨入渗

中图分类号:P642.22 文献标识码:A

## REAL-TIME MONITORING BASED LANDSLIDE MONITORING SYSTEM AT HEKOU SUGAR REFINERY FACTORY

WEN Mingsheng<sup>①②</sup> WANG Lianjun<sup>①</sup> LI Tiefeng<sup>②</sup> XU Wei<sup>②</sup> LI Ang<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>School of Civil Engineering & Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044)

(<sup>②</sup>China Institute of Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081)

**Abstract** This paper presents our investigation on landslide monitoring over last many years. Based on the results of other studies, the paper introduces the system of landslide monitoring. It can monitor geological environments, induced factors and process factor. The induced and process factor are more important in landslide monitoring. The techniques of rain-infiltration-displacement is applied to the landslide monitoring engineering at Hekou sugar refinery factory. The automatic monitoring system can make remote data collection, data transfer, data warehousing. According to the real-time monitoring data, it is concluded that the depth of infiltration was 7 m when the daily rainfall was 67 mm. The depth was more than 7 m and less than 12 m when the 10 daily rainfall was 110 mm. The speed of infiltration was found to  $0.53\text{ m/d}$  from 0 m to 7 m and was  $0.29\text{ m/d}$  from 7 m to 12 m in depth.

**Key words** Landslide, Monitoring system, Real-time transmission, Rainfall infiltration, Case studies

\* 收稿日期: 2010-08-15; 收到修改稿日期: 2010-10-18.

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAC04B01).

第一作者简介: 温铭生, 地质工程专业. Email: wenms@mail.cigem.gov.cn

# 1 引言

滑坡是最重要的地质灾害之一,中国大陆每年因滑坡造成数百人员死亡及几十亿元的经济损失。重大滑坡除造成人员伤亡和经济损失外,还影响铁路、公路、航运的正常通行,影响在建工程的顺利实施。如2003年7月湖北省秭归县发生的千将坪滑坡,方量 $1542 \times 10^4 \text{m}^3$ ,造成了14人死亡、10人失踪、厂房摧毁、宜巴公路交通中断、堵塞青干河等重大损失<sup>[1]</sup>。又如,四川省丹巴县城滑坡,危及县城数千人的生命,如果滑坡快速下滑,可使丹巴县城陷于瘫痪状态<sup>[2]</sup>。目前,中国应对滑坡威胁主要采取避让、监测、预报、治理等措施,可以避让的地区尽量搬迁避让,无法避让的地区采取监测、预警、治理等措施。但在目前财力尚无法满足完全治理滑坡等地质灾害的情况下,在小范围内采取搬迁避让、治理等措施的同时,主要开展监测预警工作。

滑坡监测是滑坡预警的基础,是预防滑坡发生的主要方法之一。通过滑坡监测,可以掌握滑坡体的演变过程,及时捕捉灾害的特征信息,为滑坡的正确分析、评价、预警及工程措施等提供可靠的资料和科学依据。同时,监测结果也可检验滑坡分析评价及防治工程的效果。因此,监测既是滑坡调查、研究和防治工程的重要组成部分,又是滑坡灾害预测预警信息获取的一种有效手段。

上世纪以来,中国政府已经开始建设地质灾害预警工程,重点开展滑坡、泥石流等地质灾害监测预警示范区建设工作,如已经建成并运行的三峡库区、巫山县城、四川雅安等地质灾害监测示范区。以往滑坡监测多为人工监测,且监测内容较少。笔者以新近建设的哀牢山地区地质灾害监测预警示范区为基础,介绍分析滑坡实时监测技术方法,并以河口糖厂滑坡为例进行阐述,对未来一段时期内开展滑坡监测具有一定的指导意义。

## 2 滑坡监测技术方法

### 2.1 滑坡监测内容

单体滑坡监测主要包括基础因子、诱发因子和过程因子三部分,开展区域滑坡监测需增加发育因子监测内容如区域滑坡频数、面积模数、体积模数等;如果研究滑坡带来的损失,还需监测其易损因

子如人口、资源、环境等内容。目前多数地区开展的滑坡监测,多是从预警、研究目的出发的单体滑坡,监测滑坡的基础地质环境、诱发因素和滑坡变化过程。

基础因子包括地形地貌、植被、地层、地质构造、人类活动程度、年均降雨量、地震动参数等,诱发因子主要包括降雨量、地震和工程活动等。过程因子包括地面变形、深部变形及坡体内部水量、离子含量、压力变化等。基础因子和诱发因子中均有降雨、人类活动、地震等相关因子,两者是不相关的。基础因子中的人类活动包括活动程度、土地类型、道路情况等,是对现状条件的反应;而诱发因子中的工程活动是切坡、加载、灌溉等即将出现的改变坡体的活动,是对未来条件的反应。滑坡监测因子指标涵盖了与滑坡相关的所有因子,但这些因子中多数因子是在短期内固定不变的,如海拔高程、坡度、斜坡结构、岩性等基础因子,此类因子在近期无明显活动情况下,因子属性变化较小,整个基础因子属性变形速度低,在滑坡监测过程中视为次要监测因子。诱发因子和过程因子会随着时间的推移而发生改变,是滑坡预警的基础<sup>[3-5]</sup>,也是研究滑坡变形破坏机理的难以获得的数据,在滑坡监测过程中视为主要监测因子。

### 2.2 滑坡监测常用技术方法及仪器

不同类型的滑坡其监测的重点内容不同,监测技术方法也不一样。如降雨型土质滑坡主要监测降雨量及其强度、地下水、裂缝等因素的动态变化;降雨型岩质滑坡应增加裂缝的充水情况和静水压力等内容;人类工程活动影响的边坡主要监测前缘的切割、后缘加载及其变化情况;而针对冻融诱发的滑坡,应重点监测温度变化所引起的土中含水率的变化<sup>[6-10]</sup>。

降雨型滑坡的监测通常需要降雨-入渗-位移变形三者相结合。通过降雨-入渗-位移变形的监测,可以掌握滑坡变形破坏过程,研究基于降水-地下渗流-斜坡岩土体位移破坏模型,可以建立其空间预测判据和临灾预警判据,并可以推广至区域预警工作中。因此监测降雨、入渗、变形三方面的内容是滑坡监测的重点,三者相互联系,缺一不可。表1为监测降雨、入渗、变形等主要方法及常用仪器。

降雨监测主要监测降雨量和降雨时间,以自动气象站、遥测雨量计为主要监测仪器,监测精度可达0.1mm,而雷达监测和卫星监测多监测成片降雨分

表1 滑坡监测的主要技术方法及常用仪器

Table 1 Main techniques and instruments of landslide monitoring

	监测内容	监测指标	监测方法	常用监测仪器
滑坡监测	降雨监测	降雨量、降雨时间	地表监测	自动气象观测站、遥测雨量计
			雷达监测	雷达、卫星
	入渗监测	含水率 孔隙水压力 水位	钻孔监测	含水率仪
				孔隙水压力计 水位计
	变形监测	地表变形	地表监测	GPS, 裂缝位移计, 全站仪, 经纬仪, 水准仪等
				遥感监测
深部变形		钻孔监测	测斜仪, TDR 同轴电缆(光纤)	
土(岩)压力			压力计	

布,对单体的滑坡监测只能作为参考。

入渗监测目前没有直接的监测仪器,入渗程度只能通过监测其他指标来进行换算,主要包括土体含水率、孔隙水压力、水位,也可监测水温等指标作为辅助研究。

变形监测技术较多,主要监测坡体地表和内部的变形情况。监测地表变形的主要仪器有 GPS、裂缝位移计、全站仪等。GPS、全站仪可以监测整个坡体不同点的变形情况,但多为人工操作;裂缝位移计(多点位移计)可自动测量,但仅能监测坡体某一点(几个点)的裂缝位移变形情况;RS、航遥飞机等也可监测较大范围、较低精度的地面变形,目前已有民用无人驾驶航遥飞机,可以监测较高精度的变形情况;三维激光扫描可以监测多点位移变形,但其精度还难以达到厘米、毫米级。深部变形监测主要使用测斜仪、TDR 同轴电缆或 TDR 光纤等仪器。TDR 监测仅能监测其相对变形量及变形位置<sup>[11]</sup>,目前不能准确计算绝对位移量;固定式测斜仪与之相反,可以监测绝对位移量<sup>[12]</sup>,但难以找到确切的变形位置,两者均能实现自动监测;移动测斜仪具有 TDR 和固定测斜仪的优点,但目前不能实现自动监测,需要人工监测及人工传输。不同滑坡的监测要根据监测目的、经费情况具体分析,分布实施设计、施工、安装、调试、完善等工序以达到预期目的。

### 3 实时传输方法

滑坡监测数据的传输分为手动和自动两类。手动传输多以 RS232 数据通信接口和笔记本、PDA 等设备连接,通过软件程序进行数据读取。监测数据在进行通信时通常需要 RS232 接口中的 2RXD 接收

数据、3TXD 发送数据和 5SG 信号地等 3 路信号,监测中的所有涉及的数据如雨量站、位移、含水率、TDR 位移等可通过该 3 路信号进行传输。

自动传输需要借助无线通信、卫星通信、Internet 网等传输通道。随着无线通信和 Internet 网的发展和完善,通信质量和水平不断提高,使用费用逐步降低,使大量分散的数据利用无限通信和 INTERNET 进行自动传输成为可能。

#### 3.1 无线通信

目前,无线通信网主要有 TD-CDMA、W-CDMA (3G)、GSM/GPRS、CDMA 等多种。3G 网是未来无线通信的主流,但是目前该网尚处于商业初期阶段,未到普及阶段。GPRS/GSM、CDMA 无线信号覆盖比较好,可以满足滑坡监测数据实时传输的需要<sup>[13,14]</sup>。此传输方法已属大家熟知的技术,由于篇幅所限,在此不详细介绍。

#### 3.2 北斗卫星数据通信

“北斗一号”卫星系统是我国自主研发的拥有自主知识产权的军民两用的导航定位通信系统,有三颗地球同步轨道卫星,信号覆盖范围为我国领土及周边地区,具有定位、通信复合功能。其监测系统结构如图 1 所示,由监测系统、双星系统、传输系统、网管中心、滑坡监控管理中心构成<sup>[15]</sup>。

相比其他传输而言,“北斗一号”卫星传输系统进行数据通信时具有以下优势:

- (1)数据实时传输,无任何时延;
- (2)具备独立的组网数据通讯功能,不需要任何其他系统支持;
- (3)覆盖范围大,没有通讯盲区;
- (4)集团组网监控功能,特别适合于分布于大面积范围内的户监控管理和数据采集与传输应用;
- (5)完全由我国政府自己掌握控制,数据传输安全、可靠、稳定、保密性强;
- (6)不受地震等不可抗力影响。

### 4 河口糖厂滑坡监测工程

#### 4.1 滑坡概况

河口糖厂滑坡位于新平县腰街镇南碱村,元江西岸,哀牢山东麓,滑坡西高东低,出露地层为三叠系上统干海子组泥岩,发育于红河深大断裂西侧;

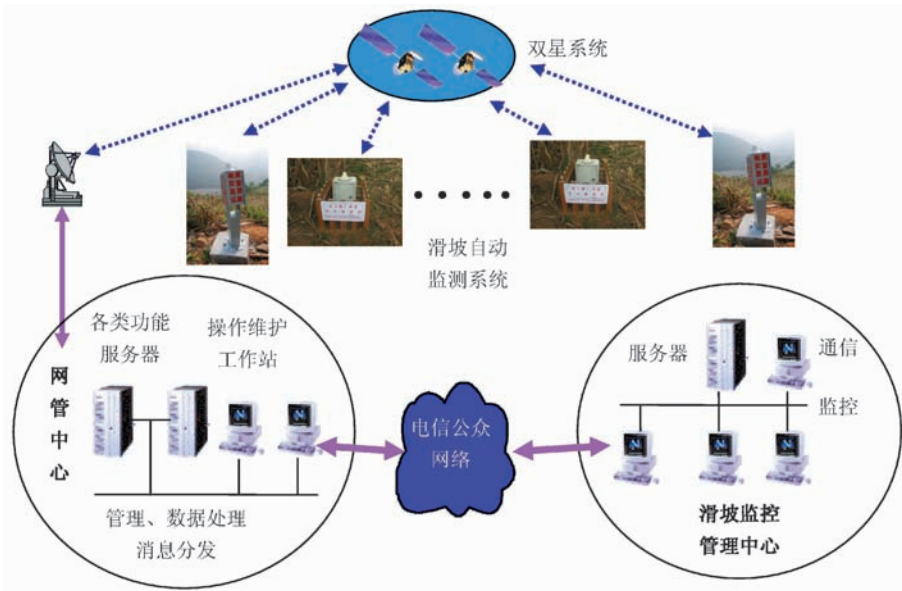


图1 北斗一号卫星滑坡监测传输系统结构图

Fig. 1 Real-time transmission system structure of landslide monitoring with Beidou Satellite

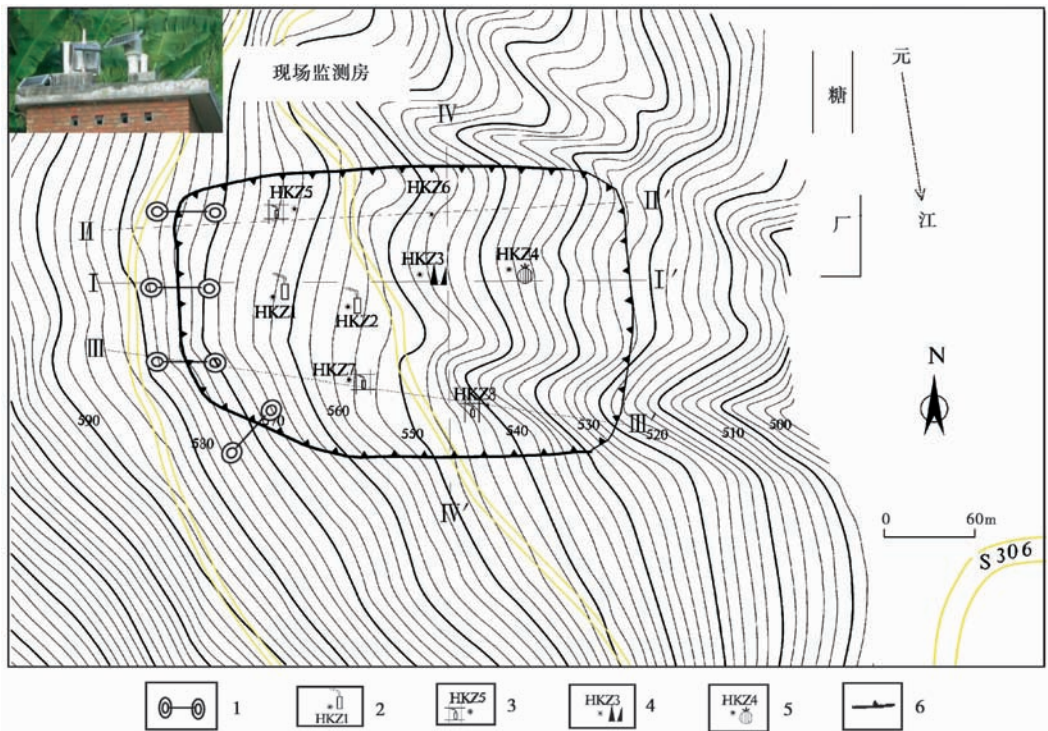


图2 河口糖厂滑坡监测平面图

Fig. 2 Monitoring plan sketch of a landslide at Hekou sugar refinery factory

1. 地表位移; 2. 含水率; 3. 移动测斜; 4. 固定测斜; 5. 渗透压; 6. 滑坡边界

滑坡形成于2007年8月,长154m,宽105m,海拔522~575m,高差53m,平均厚度约8m,总方量约 $12 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;后缘形成贯通裂缝一条,裂缝最大宽度38cm,最大错动50cm,可见深度40cm,裂缝内部充填碎石土。从钻孔取样分析,滑坡形成滑面两条,推

测下侧滑面为老滑坡形成的滑面(岩土界面),上层滑面为新近形成的碎石土滑面,两层都有碎石磨圆现象。滑坡体主要为耕植土、含碎石黏土和混砾粉质黏土等,滑体多数土层含20mm以上砾石(泥岩)。

## 4.2 滑坡监测仪器布设

监测工程包括地表监测与地下监测两部分。其中地表监测主要监测降雨、裂缝位移,地下监测主要布置固定测斜仪、移动测斜仪、含水率仪、渗压计等四类仪器,平面布置图如图2所示。

雨量监测采用自动遥测雨量计,在滑坡西侧公路边修建监测房,雨量计置于房顶,监测的雨量视为滑坡的实际降雨量。地表裂缝位移计完全出露在地表,外界人类活动可能扰动监测结果,因此在后缘裂缝布设了3个裂缝位移计,侧缘裂缝布设了1个,可以有效去除人为干扰,同时可对比监测结果。地表以下的仪器安装均采用钻孔方式,按照安装深度进行钻孔,并对含水率、渗透压等仪器采用黏性土分层封闭的措施,尽量反映测量的真实结果。HKZ1、HKZ2为含水率监测孔,HKZ3为固定测斜监测孔,HKZ4为渗透压监测孔,HKZ5、HKZ7、HKZ8为移动测斜监测孔,辅助测量深部位移量。

## 4.3 监测数据采集与传输

河口糖厂滑坡监测数据共有雨量、地表位移、含水率、渗透压、固定测斜、移动测斜等6类。其中移动测斜需要人工测量,与电脑、PDA连接后进行数据通讯。地表位移数据采集是以阈值和定时两种方式进行,设定阈值为1mm,当位移变化达到1mm时开始采集一次,同时辅以1h为间隔的定时采集,保证及时捕捉滑坡的位移变形情况。其余4类数据均为定时采集方式,每1h采集数据一次。

监测数据中地表位移、含水率、渗透压、固定测斜等数据采用中国移动的GPRS和“北斗一号”卫星系统同时进行实时传输,雨量数据仅采用GPRS实时传输,完全实现了监测数据实时自动采集、自动传输、自动入库等全自动的监测传输系统。

## 4.4 监测数据分析

截至2010年7月31日,河口糖厂滑坡监测仪器总共发送实时数据已达1.6万条,由于该滑坡自监测以来多为干旱少雨天气,目前降雨还未引起滑坡的变形,滑坡位移量为0,但初步得到了降雨与含水率、降雨入渗率等因子之间的关系。

### 4.4.1 日降雨量与含水率关系

实时监测以来河口糖厂滑坡日降雨量多以中小型降雨为主,少量出现暴雨或大暴雨。图3为2008年9月降雨及含水率监测结果曲线,由该图可以看

出,中雨、小雨仅影响滑坡表层土含水率,暴雨或大暴雨将影响坡体内部较深地层含水率。当坡体中地层类型、结构、密实程度等因素固定时,含水率的大小随降雨量的增多而增加,具体可以得出以下3点认识:

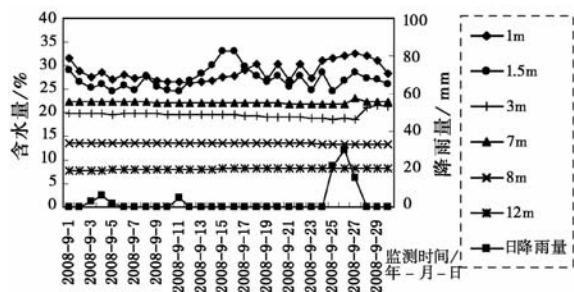


图3 日降雨量与含水率变化曲线

Fig. 3 Relation curve between moisture and daily rainfall

(1)地表1m以内的区域,含水率情况受日常降雨、人类工程活动(灌溉等)、蒸发等因素影响而呈现波动变化趋势。

(2)日降雨量小于10mm(小雨)时,入渗深度小于1m,1m以下地层含水率无变化;首次日降雨量小于25mm(中雨)时,3m以下地层当日含水率无明显变化。

(3)3日(25日~27日)连续降雨量达到67mm(其中25日:21.8mm,26日:26.7mm,27日15.9mm)时,降雨入渗深度达到7m,但7m处含水率仅增加了3%,随后不再继续增加,8m以下地区含水率无明显变化,坡体滑面处含水率变化较小。

### 4.4.2 持续降雨与含水率关系

持续降雨对坡体稳定性的影响较大,是滑坡预警的重要因素之一。中国地质灾害气象预警工作采用1d、2d、4d、7d、10d、15d的累计降雨量阈值作为预警因子,也有部分学者引用30d的累计降雨量作为预警阈值之一。根据实际监测数据,统计分析10d累计降雨量与地下土层含水率的关系(图4)。由图4可以看出,10d累计降雨量低于60mm时,坡体下部7m处含水率的变化较小。10d累计降雨量达到110mm时,雨水已经入渗至土体以下7m处,含水率升高,但未能入渗至12m。雨水入渗至一定深度后,后续降雨可继续影响含水率变化。

### 4.4.3 降雨入渗速率

降雨入渗速率是单位时间内通过地表单位面积入渗到土壤中的水量,单位为 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 或 $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ 等。根据Green-Ampt早在1911年研究建立的

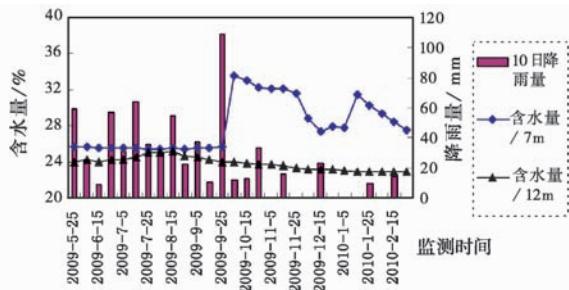


图4 10日累计降雨量与含水率变化曲线

Fig. 4 Relation curve between moisture and 10 daily rainfall

Green-Ampt 入渗模型,入渗速率与土体的性质密切相关,受降雨时间、降雨量等因素影响大,一定的土体性质情况下,入渗速率随时间变化而变化。根据 Green-Ampt 模型,降雨初期的入渗速率最大,当时间趋于 0 时,理论上入渗速率趋于无穷大,随着降雨时间的延长,入渗速率逐渐趋于一稳定值。图 5 为河口糖厂滑坡 HKZ1 孔的含水率监测曲线,降雨从 29 日 7 点开始,由图 5 可以看出,土壤水由 0m 入渗至 7m 用时 13h,入渗速率为  $0.53\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ ,由 7m 入渗至 12m 深度的时间是 17h,该段的入渗率为  $0.29\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

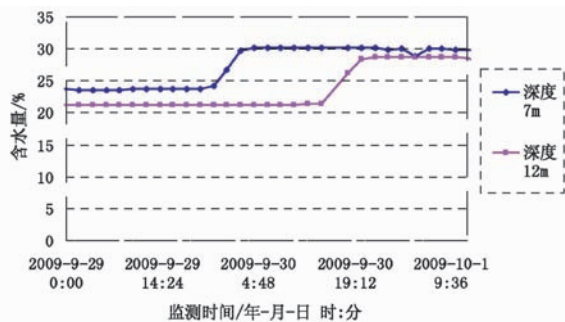


图5 不同深度含水率随时间变化关系

Fig. 5 Moisture monitoring curve with time in different depth

## 5 结论与展望

### 5.1 结论

(1) 滑坡监测的主要内容包括基础因子、基础因子、诱发因子和过程因子三部分。监测技术方法包括深部监测、地表监测、遥感监测、雷达监测。手段上主要是自动监测、人工监测及两者相结合监测。测内容及监测技术方法应根据滑坡监测目的和滑坡类型进行调整。

(2) 降雨-入渗-位移变形三者相结合的滑坡监测技术方法是滑坡监测的主要方法,可以满足滑坡

预警、研究等目的。通过 GPRS/GSM 和“北斗一号”卫星通信系统,应用在河口糖厂滑坡监测工程,实现了滑坡的实时监测、实时传输、实时入库等全自动监测系统,及时捕捉滑坡的关键数据信息。

(3) 河口糖厂滑坡日降雨量小于 10mm 时含水量变化深度小于 1m; 日降雨小于 25mm 时含水量变化深度小于 3m; 3 日(25 日~27 日)连续降雨量达到 67mm 可以影响至 7m; 10d 累计降雨量达到 110mm 时,雨水入渗深度超过 7m 处,但未至 12m; 雨水由 0m 入渗至 7m 入渗速率为  $0.53\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ ,由 7m 至 12m 入渗速率为  $0.29\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

### 5.2 展望

滑坡的发生是一个复杂的过程,通过滑坡监测,可以为滑坡发生机理研究提供基础数据,为滑坡预警与防治提供有效技术支撑。滑坡监测内容较多,虽然滑坡监测技术方法日趋完善,但目前仍然难以获得完整的滑坡发生过程内部参数变化情况。由于经费等因素的限制,目前开展的滑坡监测较少,仅在重大工程、重要城镇等受地质灾害威胁的地区开展,未来,随着国力的逐渐增强,滑坡等地质灾害监测预警工作将逐步深入,地质灾害防治工作的逐步完善,地质灾害隐患必将逐步减少。

### 参考文献

- [1] 廖秋林, 李晓, 李守定, 等. 三峡库区千将坪滑坡的发生、地质地貌特征、成因及滑坡判据研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, **24**(17): 3146~3153.  
Liao Qiulin, Li Xiao, Li Shouding, et al. Occurrence, geology and geomorphology characteristics and origin of qianjiangping landslide in Three Gorges Reservoir area and study on ancient landslide criterion. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, **24**(17): 3146~3153.
- [2] 范宣梅, 许强, 黄润秋, 等. 丹巴县城后山滑坡锚固动态优化设计和信息化施工[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, **26**(2): 4139~4146.  
Fan Xuanmei, Xu Qiang, Huang Runqiu, et al. Dynamical optimal anchoring design and information construction of danba landslide. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, **26**(2): 4139~4146.
- [3] 周平根. 滑坡监测的指标体系与技术方法[J]. 地质力学学报, 2004, **10**(1): 19~26.  
Zhou Pinggen. Indicator system and techniques of landslide monitoring. Journal of Geomechanics, 2004, **10**(1): 19~26.
- [4] 余小年. 崩塌、滑坡地质灾害监测现状[J]. 企业技术开发, 2007, **26**(5): 51~61.  
She Xiaonian. The monitoring actuality of collapses and landslides.

- Technological Development of Enterprise, 2007, **26**(5): 51 ~ 61.
- [5] 季伟峰. 三峡库区三期地质灾害防治监测预警的主要方法[J]. 探矿工程, 2008, (7): 14 ~ 17.  
Ji Weifeng. Main methods of monitoring and early 2 warning for control of the third period of geological hazard in three gorges reservoir region. Exploration Engineering; Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2008, (7): 144 ~ 17.
- [6] 徐晗, 朱以文, 蔡元奇, 等. 降雨入渗条件下非饱和土边坡稳定分析[J]. 岩土力学, 2006, **25**(12): 1957 ~ 1962.  
Xu Han, Zhu Yiwen, Cai Yuanqi, et al. Stability analysis of unsaturated soil slopes under rainfall infiltration. Rock and Soil Mechanics, 2006, **25**(12): 1957 ~ 1962.
- [7] 张士林. 大降雨强度下水入渗规律研究[J]. 岩土工程技术, 2003, (5): 281 ~ 285.  
Zhang Shilin. The research of infiltrating regulation under rainstorm. Geotechnical Engineering Technique, 2003, (5): 281 ~ 285.
- [8] 朱伟, 陈学东, 钟小春. 降雨入渗规律的实测与分析[J]. 岩土力学, 2006, **27**(11): 1873 ~ 1879.  
Zhu Wei, Chen Xuedong, Zhong Xiaochun. Observation and analysis of rainfall infiltration. Rock and Soil Mechanics, 2006, **27**(11): 1873 ~ 1879.
- [9] 张卢明, 何敏, 郑明新等. 降雨入渗对滑坡渗流场和稳定性的影响分析[J]. 铁道工程学报, 2009, (7): 15 ~ 19.  
Zhang Luming, He Min, Zheng Mingxin, et al. Effects analysis of rainfall infiltration on the landslide seepage field and stability. Journal of Railway Engineering Society, 2009, (7): 15 ~ 19.
- [10] 朱丽娟, 王铁行, 胡妍. 降雨对非饱和黄土边坡含水量变化规律分析[J]. 地下空间与工程学报, 2009, **5**(1): 95 ~ 99.  
Zhu Lijuan, Wang Tiehang, Hu Xin. Influence of rainfall on moisture content in unsaturated loess slope. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, **5**(1): 95 ~ 99.
- [11] 张青, 史彦新, 林君. 时间域反射法用于滑坡监测的试验研究[J]. 吉林大学学报, 2007, **37**(1): 134 ~ 143.  
Zhang Qing, Shi Yanxin, Lin Jun. Landslide monitor technique based on TDR. Journal of Jilin University (Earth Science Edition). 2007, **37**(1): 134 ~ 143.
- [12] 李刚, 王刚, 高幼龙, 等. 固定式钻孔倾斜仪在滑坡示范监测中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2009, (4): 135 ~ 138.  
Li Gang, Wang Gang, Gao Youlong, et al. Application of El in-place inclinometer to landslide monitoring. Hydrogeology and Engineering Geology, 2009, (4): 135 ~ 138.
- [13] 陈凯旋, 谢海滔. GPRS 原理及其应用[J]. 铁道通信信号, 2003, **39**(7): 7 ~ 8.  
Chen Kaixuan, Xie Haitao. Principle and application of GPRS. Railway Signaling & Communication, 2003, **39**(7): 7 ~ 8.
- [14] 刘会娟, 郝继飞, 赵娟娟, 等. GSM 与 GPRS 技术在无线监控系统中的应用比较[J]. 机械工程与自动化, 2009, (4): 160 ~ 161.  
Liu Huijuan, Hao Jifei, Zhao Juanjuan, et al. Application comparison of Gsm and GPRS in wireless monitoring system. Mechanical Engineering & Automation, 2009, (4): 160 ~ 161.
- [15] 周平根, 过静珺, 李昂等. 基于“北斗一号”导航卫星通讯的滑坡实时监测系统研究[J]. 全球定位系统, 2008, (5): 20 ~ 24.  
Zhou Pinggen, Guo Jingjun, Li Ang, et al. Application of No. 1 beidou navigation satellite communication technology in the landslide real-time monitoring. Gns World of China, 2008, (5): 20 ~ 24.