

滑坡体滑动姿态自动监测系统的研究

陈文俊, 周 策, 刘一民

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081)

摘要:通过研究滑坡体在突发性灾害爆发前后姿态的变化过程和规律,以及自动监测和无线传输技术,开发为地质灾害预测预报所需用的滑坡体滑动姿态、加速度自动监测仪,采用有数据采集和存储器功能的“黑匣子”,对滑坡体成灾全过程进行跟踪监测。实现对滑坡体滑动三维位移的方位、速度和加速度变化情况的全程实时监测,解决以往不能对滑坡体三维姿态和滑动加速的全程实时监测的问题,推动地质灾害监测技术进步。

关键词:滑坡体;滑动姿态;加速度;黑匣子;实时监测;地质灾害监测

中图分类号:P642.22;TH762 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)11-0076-04

Research on Automatic Monitoring System of Landslide Sliding Attitude/CHEN Wen-jun, ZHOU Ce, LIU Yi-min
(The Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China)

Abstract: By the study on landslide attitude changing processes and regularity before and after the sudden disaster outbreak, using automatic monitoring and wireless transmission technology, an automatic monitor of landslide attitude and acceleration was developed for geological disasters forecast. The “black box” with data acquisition and storage function was used for tracing monitoring the whole formation process of landslide hazard to realize real-time monitoring of 3d displacement azimuth, velocity and acceleration changes.

Key words: landslide; sliding attitude; acceleration; black box; real-time monitoring; geological hazard monitoring

0 引言

我国是一个地质灾害多发的国家,其灾害分布广、突发频率高、危害大。而在约占国土总面积2/3的山地中,发生地质灾害的主要表现形式是山体滑坡。为了减少山体滑坡这类地质灾害给社会带来的危害,进行地质灾害监测预报是非常必要的。目前我国地质灾害监测预报方法以地表变形监测和深部水平位移监测居多,而地表变形要滞后于深部位移。深部位移监测主要是利用钻孔测斜仪,而这种方法由于测斜管在地下受压变形后,测斜仪损坏或者不能下到测点位置,不能测量深部滑体滑移全过程,且不能准确判断滑体深部真正的滑动方向。目前深部位移监测大多仍是人工定时采集为主,未能实现实时自动监测,这样数据采集不及时,不齐全,不能实时动态监测滑坡变化状态,难以全面认识滑坡滑动全过程。

为了能全面认识滑坡滑动全过程,研究通过对滑坡灾害发生全过程的监测,获取滑坡体滑动时的位移、方位、速度、加速度等参数,并在剧滑后验查分析存储的信息,高密度、高质量采集数据,准确、迅速地判断“滑坡活动机理的特征”是非常必要的。进

一步完善和发展滑坡变形监测方法,推动滑坡监测预报系统发展对减灾防灾具有重大意义,是非常适时和紧迫的。

1 国内外研究现状

据查新报告可知,国内外未见采用有数据采集和存储器功能的“黑匣子”对滑坡体成灾全过程的跟踪监测,实现对滑坡体滑动三维位移的方向、加速度变化情况的全程实时监测的报告。

本项目在国内外首次实现滑坡体滑动时间、部位、水平距离、滑动方位、速度、加速度等参数在滑坡灾害发生全过程的同时监测。在滑坡深部位移变形监测中采用带存储器的黑匣子跟踪存储信息,可将全程监测数据存于“黑匣子”内,作为剧滑后验查分析存储的信息依据,便于进一步研究滑坡滑动强度、规模和防范措施,同时实现数据无线传输并在监测中心查看监测参数,为提高地质灾害预测预报准确率提供了极佳的技术手段。

2 监测系统的组成及功能

监测系统主要由“孔下黑匣子”(传感器及数据

收稿日期:2011-05-28

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项项目“滑坡体滑动姿态加速度自动监测系统的研究”(200811071)

作者简介:陈文俊(1977-),男(汉族),四川南充人,中国地质科学院探矿工艺研究所工程师、软件设计师,核工程及测控技术专业,从事地质灾害监测技术的研究开发工作,四川省成都市一环路北二段1号,cwj@cgiect.com。

采集探管)和地表滑坡姿态自动监测仪(包括数据采集、无线传输系统、太阳能供电等)以及后宿数据接收处理中心等组成,主要分为 2 大部分(见图 1):现场工作部分和监测中心部分。

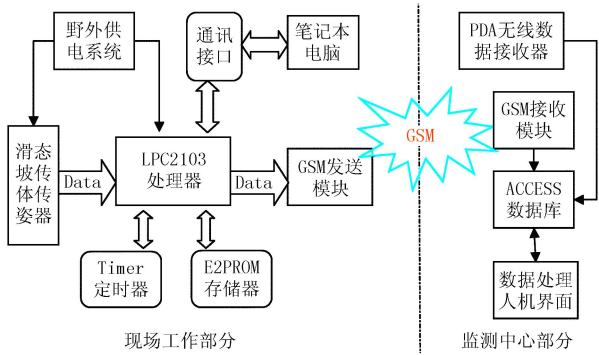


图 1 监测系统的组成

2.1 现场工作部分

现场工作部分主要功能为数据采集(即 A/D 转换)、数据预处理(即计算处理为相对应的传感器量值)、野外供电(即太阳能供电系统)、数据收发(即双工通讯数据、命令收发)、前置 GSM 无线通讯模块底层软件设置(即传感器类型、数据采集时间、GSM 无线通讯模块号码等设置)等,见图 2。

时	原	算	方	横	横	倾	倾	垂	水
间	始	算	位	流	流	角	角	直	平
			角	速	速	度	度	角	面
				/s	/s	/°	/°	/°	/°
2011-05-01 11:57:10	3.03	86.97	232.95	16.7	50.62	15.18	998.0	52.85	
2011-04-30 11:57:10	3.06	86.94	232.91	16.66	51.14	15.3	998.57	53.38	
2011-04-29 11:57:10	3.04	86.96	232.66	16.69	50.79	15.23	998.59	53.03	
2011-04-28 11:57:12	3.05	86.95	233.91	17.48	50.75	15.98	998.58	53.2	
2011-04-27 11:57:12	3.04	86.96	228.06	11.94	51.88	10.97	998.59	53.03	
2011-04-26 11:57:18	3.05	86.95	233.68	17.49	50.74	15.99	998.58	53.2	
2011-04-25 11:57:14	3.02	86.98	228.11	11.95	51.54	10.9	998.61	52.68	
2011-04-24 11:57:14	3.04	86.96	17.97	162.1	-50.46	16.3	998.59	53.03	
2011-04-23 11:57:16	3.01	86.99	17.61	162.09	-49.96	16.14	998.62	52.51	
2011-04-22 11:57:16	3.05	86.95	232.35	16.67	50.97	15.26	998.58	53.2	
2011-04-21 11:57:16	3.04	86.96	227.8	11.92	51.88	10.95	998.59	53.03	
2011-04-20 11:57:18	3.05	86.95	228.15	11.91	52.06	10.98	998.58	53.2	
2011-04-19 11:57:19	3.04	86.96	233.86	17.5	50.57	15.94	998.59	53.03	
2011-04-18 11:57:19	3.05	86.95	233.11	16.64	50.97	15.23	998.58	53.2	
2011-04-17 11:57:20	3.04	86.96	233.03	16.66	50.8	15.19	998.59	53.03	
2011-04-16 11:57:21	3.06	86.94	227.29	11.33	52.34	10.60	998.57	53.38	
2011-04-15 11:57:22	3.04	86.96	232.09	16.7	50.79	15.23	998.59	53.03	
2011-04-14 11:57:22	3.04	86.96	233.32	17.5	50.57	15.94	998.59	53.03	
2011-04-13 11:57:23	3.02	86.98	232.72	16.67	50.47	15.11	998.61	52.68	

图 2 现场数据实时采集软件界面

2.2 监测中心部分

监测中心部分主要功能为建立数据库、数据接收入库、命令发送、数据分析处理等。其中必须涉及到两大主要功能(如图 3):通讯设置和数据处理。

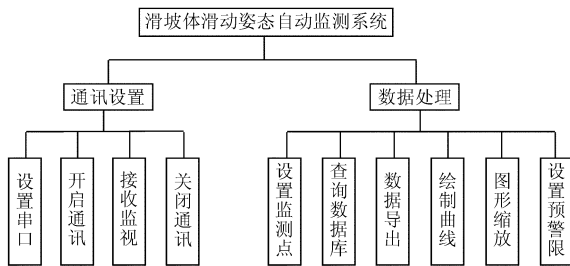


图 3 监测中心软件系统功能模块图

(1) 要使通讯模块和姿态监测仪进行信息通

讯,根据硬件条件选择串口作为通讯端口,所以要对串口通讯作出设置、要启动通讯或关闭、要区分无线通讯和直连通讯方式。

(2) 由于野外一般会有多个监测点,所以需要有监测点的管理功能,同时因为利用 GSM 通讯中的短信方式,所以有必要筛选信息,过滤垃圾短信。

(3) 接收的监测数据存入数据库后,需要有分类查询功能,绘制数据曲线,图形缩放以便作出直观的判断和分析。

(4) 为了提高数据的利用率,需要有数据导出,打印输出等功能。

图 4 为监测中心数据接收处理软件界面。

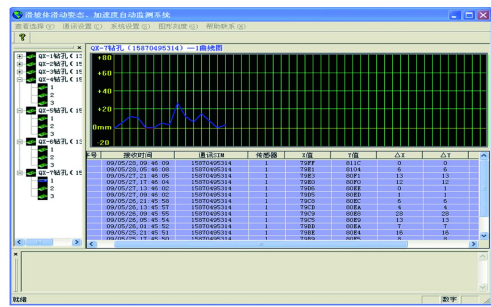


图 4 监测中心数据接收处理软件界面

3 监测原理

本系统主要是采用三维加速度计和三维磁阻计,测量姿态仪“黑匣子”在滑坡体内的顶角、扭转角、方位角。

三维角度数据计算处理过程如下。

3.1 坐标系与角度定义(图 5)

原始位置 2 个坐标系重合, $\alpha = 0, \theta = 0, \beta = 0$ 。

$ON、OE、OD$ 为地球的三轴, $OX、OY、OZ$ 为监测仪探管的三轴。



图 5 坐标系

3.1.1 坐标系

OZ 与 OD 之间的夹角 θ , 即平面 OXY 与 OEN 之间的夹角。沿 Y 轴逆时针旋转为正, 即向下为正。

3.1.2 倾角

OED 平面与 OYZ 平面之间的夹角 α , 从北向东转为正。沿 Z 轴顺时针旋转。

3.1.4 扭转角

OZD 平面与 OXZ 平面之间的夹角 β , 沿 X 轴顺时针为正。

3.2 采集数据处理

(1) 找出 $A_{x\min}, A_{x\max}; A_{y\min}, A_{y\max}; A_{z\min}, A_{z\max}$ 。

(2) 计算 $\Delta A_x, \Delta A_y, \Delta A_z$ 。

(3) 修正 A_y 与 A_z :

$A_{yn} = K_y A_y + Y_0$, 其中: $K_y = \Delta A_x / \Delta A_y, Y_0 = A_{x\min} -$

$K_y A_{y\min}$ 。

同理: $A_{zn} = K_z A_z + Z_0$, 其中: $K_z = \Delta A_x / \Delta A_z, Z_0 =$

$A_{x\min} - K_z A_{z\min}$ 。

(4) 求中心偏移值。 $A_{\text{offset}} = A_{x\min} + \Delta A_x / 2$ 。

(5) 测量值中心偏移:

$A_{xnn} = A_x - A_{\text{offset}}, A_{ynn} = A_y - A_{\text{offset}}, A_{znn} = A_z - A_{\text{offset}}$

(6) M_x, M_y, M_z 的计算:

①将 M_x, M_y, M_z 在水平状态(AS-Z 最大时)下旋转一周, 得到 $M_{x-\max}, M_{x-\min}; M_{y-\max}, M_{y-\min}$ 。在垂直状态(AS-X 最大时)下旋转一周, 得到 $M_{z-\max}, M_{z-\min}$ 。并由此计算出 $\Delta M_x, \Delta M_y, \Delta M_z$, 并找出其中最大的为 ΔM_{\max} 。

$$\Delta M_x = M_{x-\max} - M_{x-\min}$$

②计算 $M_{x-\text{off}}, M_{y-\text{off}}, M_{z-\text{off}}$

$$M_{x-\text{off}} = [\Delta M_x / 2 - M_{x-\max}] \times \text{MAX}[1, \Delta M_{\max} / \Delta M_x]$$

$$M_{y-\text{off}} = [\Delta M_y / 2 - M_{y-\max}] \times \text{MAX}[1, \Delta M_{\max} / \Delta M_y]$$

$$M_{z-\text{off}} = [\Delta M_z / 2 - M_{z-\max}] \times \text{MAX}[1, \Delta M_{\max} / \Delta M_z]$$

③若实际测量值为 MM_x, MM_y, MM_z , 则修正后的值为 M_x, M_y, M_z , 计算如下:

$$M_x = \text{MAX}[1, \Delta M_{\max} / \Delta M_x] \times MM_x + M_{x-\text{off}}$$

$$M_y = \text{MAX}[1, \Delta M_{\max} / \Delta M_y] \times MM_y + M_{y-\text{off}}$$

$$M_z = \text{MAX}[1, \Delta M_{\max} / \Delta M_z] \times MM_z + M_{z-\text{off}}$$

(7) 按照映射关系给 GX, GY, GZ, HX, HY, HZ 赋值, 即将 $A * nn$ 或 $-A * nn$ 赋给 $G *$; 将 $M *$ 或 $-M *$ 赋给 $H *$ (按照平面放置映射, 即: $H_x = -M_x, H_y = M_y, H_z = M_z; G_x = -A_x, G_y = A_y, G_z = A_z$)

(8) 计算模:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2}$$

(9) 求归一化值:

$$G_x = \frac{G_x}{|G|}, G_y = \frac{G_y}{|G|}, G_z = \frac{G_z}{|G|}$$

(10) 计算顶角:

$$\theta = \arctg \frac{G_x}{\sqrt{G_y^2 + G_z^2}}, \beta_c = \arctg \left(-\frac{G_y}{G_z} \right),$$

$$\beta_M = \arctg \left(-\frac{H_y}{H_z} \right)$$

(11) 计算扭转角:

β_c 根据 G_y 与 G_z 情况计算为 $0 \sim 360^\circ$, 计算如下:

$$90^\circ: G_z = 0, G_y > 0$$

$$270^\circ: G_z = 0, G_y < 0$$

$$180 - \arctg(-G_y/G_z): G_z < 0$$

$$- \arctg(-G_y/G_z): G_z > 0, G_y > 0$$

$$360 - \arctg(-G_y/G_z): G_z > 0, G_y < 0$$

(12) 计算方位角:

$$\alpha = \arctg \frac{G(H_x G_y - H_y G_x)}{H_z(G_x^2 + G_y^2) + G_z(H_y G_y + H_x G_x)}$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{H_x \cos \beta + H_y \sin \beta \sin \gamma + H_z \sin \beta \cos \gamma}{H_y \cos \gamma - H_z \sin \gamma}$$

4 主要技术指标

(1) 加速度计量程和精度: $(1 \sim 10)g$ 、 $(10 \sim 100)g$ 、 $(100 \sim 200)g$; 精度 2% of FS $0 \sim \pm 2g$; 零位稳定性: $5 \times 10^{-4}g$; 分辨率: $1 \times 10^{-5}g$; 零位偏差: $\pm 3 \times 10^{-3}g$ 。

(2) 方位角、测量范围: $0^\circ \sim 360^\circ$; 精度: $\pm 2^\circ$ 。

(3) 顶角、俯仰角、横滚角测量范围: $0^\circ \sim 90^\circ$; 精度: $\pm 0.1^\circ$ 。

(4) 三向位移测量范围: $0 \sim 1$ m 以上; 精度 5%。

(5) 地下探管抗液压强度: 3 MPa。

(6) 工作温度: $0 \sim 40^\circ\text{C}$ 。

5 工作方式

本监测仪主要包括 2 种工作方式: 现场人工监测和实时自动化监测。

5.1 现场人工监测

主要通过监测人员亲自到现场, 用笔记本电脑与姿态监测仪连接, 发送不同的采集指令来实现对数据的采集, 然后通过 RS232 接口将数据发送到笔记本电脑上, 保存记录数据。

5.2 实时自动化采集

首先, 通过 GSM 通讯盒设定自动监测的周期, 然后设定每天仪器开启的时间及该监测孔序号和仪器编号。到了设定时间, 通讯盒给仪器打开电源, 仪器启动 A/D 转换采集程序, 通过仪器内 RS-232 串口把采集的数据发送到通讯盒的存储器中, 然后通过短消息(SMS) 发送到中心站, 接收进入数据库进行保存并分析。

6 监测工艺技术手法

(1)本系统带有数据采集和存储器功能的“黑匣子”探管,将带缆线的“黑匣子”监测探管投入倾斜管内,每隔1 m利用缆线的长度记录下孔深,并将监测探管采集得到的钻孔方位角、扭转角、位移量参量,通过缆线传输到地面,供监测人员查看分析判断。

(2)在判断钻孔某处位移突变后,将监测探管投入倾斜管内突变点部位,并记下此点孔深作为固定监测点,利用地面二次监测仪表(滑坡姿态自动监测仪)通过GSM通讯定时自动发送到监测站中心或智能手机处理。

7 野外试验

2010年5月至今,应承担四川省雅安市雨城区地质灾害示范区的要求,在雅安市雨城区多营、孔坪坡面上,采用由本单位研制的HZ-I型滑坡体滑动姿态自动监测仪监测滑坡的动态。

7.1 测试地区地层情况和测试钻孔实际剖面情况

测点安排在雅安市雨城区多营、孔坪坡面上。多营坡面选二点安装两组探头,多营1号和多营3号,孔坪坡面选一点安装一组探头,孔坪3号。该地区地层岩性为 J_2p ,自上而下为棕红色泥岩和粉砂岩。采用钻孔法进行测试,钻孔实际剖面从地表面起,孔深1600 mm已进入基岩,实钻深度为2000 mm。

7.2 采用的仪器和探头埋设情况

采用HZ-1型滑坡体滑动姿态自动监测仪。

探头埋设情况:雅安市雨城区多营、孔坪坡面上,仪器的测试探头上布设传感器探头一组,埋设在已打好的直径为48 mm,深度为2000 mm钻孔内。

7.3 测试结果及分析

以雅安市雨城区多营3号监测点举例(监测曲线见图6)。

监测方位:西南向 192° ;横滚角: $0.36^\circ \sim 1.80^\circ$ 间变化;俯仰角: $29.96^\circ \sim 31.76^\circ$ 间变化;顶角: $59.44^\circ \sim 60.92^\circ$ 间变化;水平位移(按坡面到基岩1500 mm计算): $-10 \sim 9.76$ mm间变化;沉降位移(按坡面到基岩1500 mm计算): $-16.30 \sim 16.41$ mm间变化。

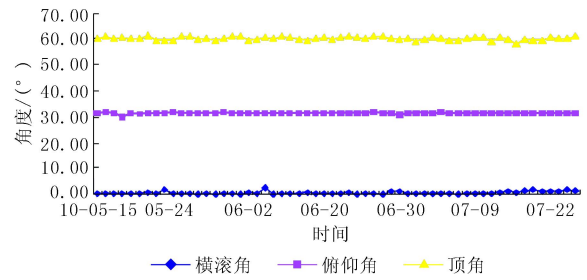


图6 多营3号监测曲线图

7.4 监测总结

从监测的情况来看,监测方位、横滚角、俯仰角、顶角均有变化,水平位移值最大仅10 mm,沉降位移最大仅16.41 mm,应该是一种细微的晃动,未到滑坡的警戒线。在为期半年的监测中,HZ-1型滑坡体滑动姿态自动监测仪、野外太阳能供电系统和无线通讯工作正常。

8 结语

通过野外试验所测数据,证明HZ-1型滑坡体滑动姿态、加速度自动监测仪工作正常,所测的数据可靠,并可连续实时自动遥测采样和存储,是一种比较理想的滑坡监测仪器;HZ-1型滑坡体滑动姿态自动监测仪在地质灾害防治监测领域内首次采用先进的三维加速度计等传感器对滑坡体滑动姿态、加速度进行无线自动监测,除了量测滑坡体滑动姿态、加速度外,还能量测解算滑坡体孔内滑动位移量,可以进行岩土层内剖面姿态、加速度测试,是地质灾害预警监测理想的选择。

参考文献:

- [1] 靳晓光,李晓红,王兰生. 滑坡钻孔倾斜量测及数据处理[J]. 成都理工学院学报,2002,(2).
- [2] 全达伟,张平之,吴重庆,等. 滑坡监测研究及其最新进展[J]. 传感器世界,2005,(6).
- [3] 王义锋. 基于测斜仪监测成果的蠕滑体变形机制分析[J]. 岩石力学与工程学报,2009,(1).
- [4] 徐晓东,赵忠,李丽锦. 采用磁阻传感器与加速度计的电子罗盘设计[J]. 兵工自动化,2005,(5).
- [5] 刘越,王涌天,胡晓明. 测量运动物体姿态的三自由度定位算法的研究[J]. 计算机测量与控制,2002,(6).
- [6] 赵申杰. 滑坡实时监测报警系统测量终端研究[D]. 四川成都:成都理工大学,2004.
- [7] 章步云. 滑坡位移无线监测系统设计与实现[D]. 江苏南京:南京理工大学,2004.