

三峡库区奉节天池滑坡实时遥测技术应用实例

许利凯, 李世海, 刘晓宇, 冯 春

(中国科学院 力学研究所, 北京 100080)

摘要: 对滑坡监测的特点及国内外滑坡监测技术的发展现状进行简要的介绍, 对无线实时遥测技术在滑坡监测中的应用现状做必要的综述, 对 KLA-1 型地表位移遥测系统的工作原理进行阐述, 并详述阐述将遥测系统应用于三峡库区奉节天池滑坡应急监测的具体情况。KLA-1 型地表位移遥测系统是测量地表相对位移的监测仪器, 在宜昌茅坪、重庆北碚、重庆万州枇杷坪等地已实际应用。该系统由三部分组成, 分别为位移传感装置、数据采集发射模块、数据接收处理终端。在实际监测过程中, 当滑体滑动时, 监测点相对于固定点有线位移, 这一信息由角位移传感器记录并转化为相应的电学量, 电学量由无线发射模块通过 GSM 网络发射至远程终端, PC 机作为终端通过相应的监测软件进行数据的接收及分析。通过奉节天池滑坡实测数据的分析, 给出天池滑坡滑体位移随时间的变化曲线, 预测此滑坡未来的发展趋势, 证明监测设备的准确性、实时性, 并说明此种监测技术运用于滑坡监测具有很高的实用价值。

关键词: 边坡工程; 地质灾害; 实时监测; 遥测技术; 滑坡预报

中图分类号: P 642.22

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2007)增 2-4477-07

APPLICATION OF REAL-TIME TELEMETRY TECHNOLOGY TO LANDSLIDE IN TIANCHI FENGJIE OF THREE GORGES RESERVOIR REGION

XU Likai, LI Shihai, LIU Xiaoyu, FENG Chun

(*Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

Abstract: The landslide monitoring character and development status of landslide monitoring techniques are introduced. The application of wireless real-time telemetry system in landslide monitoring is summarized. The principle of KLA-1 earth surface displacement telemetry system is expatiated, and the application of this system in landslide monitoring in Tianchi Fengjie of Three Gorges Reservoir region is depicted in detail. The KLA-1 is an apparatus to measure the relative displacement of the surface, which has been used to monitor the displacement of landslides in Maoping, Yichang, and Pipaping, Wanzhou, Chongqing. The system consists of three major components, namely displacement sensing devices, data acquisition and launch module, data receiving and processing terminal. In actual monitoring process, when the landslide moves, there is linear displacement between monitoring point and fixed-point. The information is recorded by angular displacement sensor and converted into corresponding electrical data. The electrical data then are launched by the wireless transmitter module through GSM network to remote terminals, and PC as a terminal receive and the data are analyzed through corresponding monitoring software. According to data analysis, the relationship between displacement of landslide and time is obtained; the developing trend of this landslide is predicted. The veracity and real time of the monitoring device is

收稿日期: 2007-09-08; **修回日期:** 2007-10-30

作者简介: 许利凯(1982-), 男, 2003年毕业于华北科技学院房屋建筑工程专业, 主要从事滑坡灾害测试方法及测试手段方面的研究工作。E-mail: x_lk@163.com

proven, and the high practical value of this monitoring technology used to monitor landslide is indicated.

Key words: slope engineering; geological disaster; real-time monitoring; telemetry technology; landslide forecast

1 引言

在滑坡的众多监测项目中, 地表位移监测占有重要的地位。地表位移监测效果的好坏, 直接关系到滑坡稳定性的预测效果、突发滑坡灾害的预测预警及滑坡防治工程的科学决策^[1]。同时, 现场的位移监测也为数值计算中的位移反分析提供了大量数据, 是合理有效地进行数值模拟及指导边坡稳定性预测的基础。

1.1 滑坡监测现状

滑坡监测的主要内容有地表位移监测、深部位移监测、倾斜监测、土压力监测、孔隙水压力监测、降雨量监测、水位监测、滑坡支挡结构的应力应变监测等^[2]。在所有的监测内容中, 地表位移最直观、最容易被测量, 也最能够反映滑坡的真实现状。

目前, 应用于滑坡地表位移监测的方法主要有精密大地测量法(主要采用全站仪、经纬仪等)、GPS测量法、近景摄影测量法、INSAR干涉雷达测量法、自动伸缩计地表位移监测法及分布式光纤地表位移监测法等^[2, 3]。

在滑坡的实际监测过程中, 上述方法存在着许多应用的局限性。首先, 数据的实时性无法保证, 不能及时得到滑坡变形的最新资料, 失去了合理决策的最佳时机; 其次, 需要专业的测量人员进行现场监测, 耗费大量人力物力; 再次, 部分方法受天气影响较大, 阴雨天气无法正常测量。因此, 寻找一种能够实现数据无线遥测、实时传输, 且适应性强的监测方法已成为滑坡地表位移监测的当务之急。

目前, 国内外专家、学者对实时遥测技术在滑坡地表位移监测中的应用做了一定的研究。孙骏等^[4~6]介绍了一种基于面阵 CCD 与 CPLD 的位移测量方法; 唐然等^[7~10]对时域反射法(TDR法)的工作原理及在滑坡监测中的应用作了一定的论述; 曹修定等^[11]对基于通讯网络及 Internet 的实时数据传输技术进行了详细论述; 张像源^[12]则对基于 Asp.Net 的滑坡实时监测技术进行了充分的阐述; 吴金生等^[13, 14]对滑坡监测预警系统的工作原理及实例应用作了详细的论述; 伍毅敏等^[15, 16]对激光位移实时监测系统的原理及在位移监测中的应用进行了阐

述; G. Puglisit 等^[17, 18]则对 GPS 与数字摄影集成系统在滑坡地表位移实时监测中的应用进行了充分的论述。

1.2 天池滑坡应急监测背景

天池滑坡位于重庆市奉节县天池乡(见图 1), 纵向 215 m, 最大宽度 316 m, 高差 130 m, 总面积 68 200 m², 上部平台面积约 17 500 m²。该滑坡自 1992 年起出现变形, 每逢汛期均有不同程度的崩滑。2004 年 5 月 28 日变形急剧扩大, 6 月 3 日下午 14: 00 发生近 30×10⁴ m³ 的大规模崩滑。另据现场调查, 滑坡东、西两侧已出现山体开裂。其中东侧山体裂缝外沿近 200 m, 缝宽 50 cm 左右, 局部山体下错近 1 m; 西侧山体发育数条横向拉裂缝。2007 年 5 月, 因持续降雨影响西侧山体, 裂缝迅速发育, 其后部滚石夹杂泥土不断落入拉裂缝, 形成宽 1.5 m 深、25 m 左右的拉裂区域, 同时前部继续向下滑动。前沿剪出口明显出露, 位于高程 1 043 m 处, 预计滑坡总量约 70×10⁴ m³。



图 1 奉节天池滑坡平面图

Fig.1 Plan of the landslide in Tianchi, Fengjie

2 地表位移遥测系统监测原理

KLA-1 型地表位移遥测系统是测量地表相对位移的监测仪器, 此系统是中国科学院力学研究所自主研发并在三峡库区推广应用的无人值守监测设备, 在宜昌茅坪、重庆北碚、重庆万州枇杷坪等地已实际应用。KLA-1 型地表位移遥测系统由三大部分组成, 分别为位移传感装置、数据采集发射模块及数据接收处理终端, 系统工作原理如图 2 所

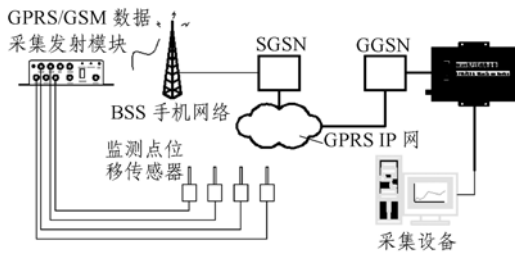


图 2 GSM 数据传输系统示意图

Fig.2 Sketch map of GSM data transmission system

示。

2.1 位移传感装置

此装置利用滑坡周边的相对稳定点(不动点)与滑坡监测点的相对位置变化, 得到每一监测点的相对位移量, 是一种双向位移测量装置(见图 3)。具体方法是在滑坡表面不动点及监测点处各建一高台, 台上安装位移测量设备, 用细钢丝将不动点设备与监测点相连, 在不动点测量设备内部装有滑轮式角度传感器(见图 4(a)), 钢丝绕过滑轮后与重锤相连, 当两点发生相对位移时(靠近或远离不动点), 在重锤的衡力作用下, 使角度传感器的角度发生改变, 通过角度的变化量就可以计算出两点间的位移量。第 1 个监测点上的测量设备与第 2 个监测点相连便可测量点 1, 2 间的相对位移量, 以此类推, 用一个不动点就可测量滑坡体一条轴线上各个监测点的位



图 3 位移测量原理

Fig.3 Displacement measuring principle



(a) 角位移传感器

(b) GSM 采集发射模块

图 4 角位移传感器和 GSM 采集发射模块

Fig.4 Angular displacement transducer and GSM adapting and transmitting device module

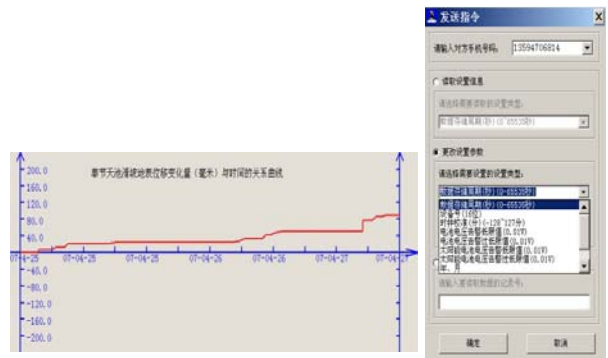
移。此装置所使用的滑轮式角度传感器精度可达 0.01 mm, 实际应用中精度约为 0.3 mm。

2.2 数据采集发射模块

该模块通过中国移动蜂窝网络实现各种模拟量、数字量及开关量的远程通讯, 是现场数据采集技术、采集频率控制技术及 GSM 短信技术三者相结合的智能型报警模块。该模块全部选用超低功耗器件, 适合野外数据采集(以太阳光为电源的“无源”工作站)(见图 4(b))。由于系统本身有 1 MB 的数据存储能力, 同时支持 U 盘数据功能, 在没有手机信号的地区, 采集发射模块可由内部自带的外存设备将数据存储起来, 一般可存储 5 a 的数据。

2.3 数据接收处理终端

此终端由用于数据接收的硬件及用于数据检索、图表绘制的软件组成。硬件采用 RJ45 接口, 使得处于同一局域网段内的所有计算机均可实时接收数据, 实现一个硬件多人访问的功能。软件可实现时间段数据检索、地表时间 - 位移曲线图绘制、监测点管理、远程控制等功能, 图 5 所示为监测系统软件截图。



(a)

(b)

图 5 监测系统软件截图

Fig.5 Screenshot of monitoring system software

3 监测方案

3.1 监测点布置的一般原则

通常在设备安装时, 根据具体情况在滑坡周边选取一相对稳定点做为参考点, 第二点与参考点相连, 第三点与第二点相连, 监测点数视滑坡大小、地形等因素而定。例如重庆北碚泥石流因其面积较小且关键点在中前部, 所以在表面布置了 1 个监测点, 为了提高测量精度在左右两侧基岩上各设置一参考点共同测量监测点的位移; 重庆万州枇杷坪滑坡面积较大, 纵向长 1 100 m, 从滑坡后缘至前沿均

有位移、裂缝等现象出现，故在监测点位选取时自上而下均匀布置了 11 个监测点(见图 6)，每点的位移量均以前一点为参考，每点的绝对位移为 $\sum i(i$ 为每相邻两点间的相对位移量)。

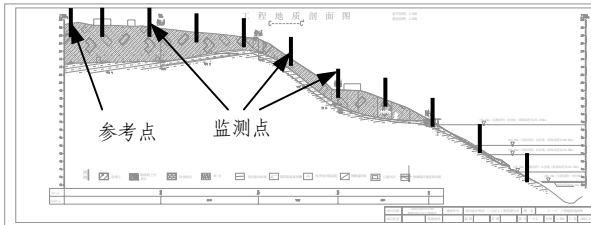


图 6 监测点布置图

Fig.6 Layout of monitoring points

3.2 监测方案的确定

2007 年 5 月在持续降雨作用下，滑坡再次出现险情。得知此消息后，中国科学院力学研究所立即组织技术人员赶赴现场。据现场全站仪测量，地表最大位移已达 10 m，拉裂缝发展很快，至使后部碎石夹带泥砂不断向裂缝内垮塌，情况紧急。滑坡上部平台面积小，而前沿十分陡峭且处于活动区，人员无法进入。在经过现场考察后，决定选取位移量最大的一点为监测点，滑坡后部基岩处选一点为参考点，采集发射模块安装在参考点处以备调试维护(见图 4(b))。根据天池滑坡位移速率大的特点，监测周期开始时设置为 10 min(此参数可根据实际位移速率进行远程调控)。

4 数据采集及计算方法

4.1 数据采集

位移数据通过 GSM/GPRS 无线采集发射模块采集后通过移动 GSM 网络发送至接收端，表 1 所示为几组接收到的数据，以 12 位 AD 值形式表示。表 1 中：各数据含意说明如下：手机号：现场数据发射模块所用手机号码 13594706814；设备号：接收端设备号，若有多台接收设备时加以区分；记录号：接收该手机号码的条目数；时间：发射数据时间；1 通道：传感器模拟信号量程参考值(T)，此值代表位移量 157 mm(B)；2 通道：空置备用；3 通道：1 号传感器 AD 值(σ_i)；4 通道：1 号传感器同步校核值(σ'_i)；数据存储状态：发送类型，如报警、电压过低、超量程复位等。

表 1 部分接收数据
Table 1 Data partly received

设备号	记录号	时间/时:分:秒	1通道	2通道	3通道	4通道	数据存储状态
1	156	00:09:20	4091	0	3419	1257	超时存储
1	157	00:19:25	4090	0	3419	1257	超时存储
1	171	02:40:50	4091	0	3422	1260	超时存储
1	179	05:22:27	4090	0	3606	1443	超时存储
1	200	15:37:49	4090	0	4049	1887	超时存储

注：时间为 2007 年 5 月 23 日；1, 2, 3, 4 通道栏目下数值为二进制数据。

4.2 计算方法

数据校核：3 通道的变化量与 4 通道的变化量之绝对差即为传感器校核，以上面所列出的 5 条数据为例，共有 4 组校核数据。它们分别为 $B'[(\sigma_i - \sigma'_i)/T_i - (\sigma_1 - \sigma'_1)/T_1] = 0, 0, 1, 0$ 个 AD 值(B' 为 12 位二进制数 4096)，对应位移误差分别为 0.00, 0.00, 0.03, 0.00 mm。图 7 传感器误差统计图，图中最大误差为 10 个 AD 值(约 0.3 mm)，说明了传感器的高精度及准确性。

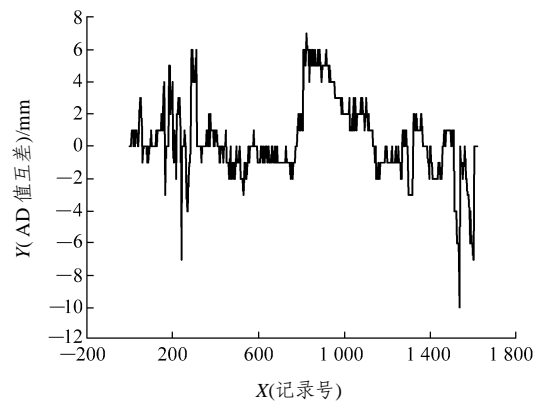


图 7 传感器误差统计图

Fig.7 Error of sensors

位移量的计算方法：

例：从记录号 156(2007 - 05 - 23 的 00: 09: 20)至记录号 200(2007 - 05 - 23 的 15: 37: 49)，总位移量为

$$S = B(\sigma_i / T_i - \sigma_1 / T_1) + nB = 24.18 \text{ mm}$$

若在监测过程中位移量超过量程(157 mm)时，采集设备增发一条信息，告知接收端，传感器复位，上位机程序相应地在以后的数据处理过程中

加上 $n \times 157 \text{ mm}$ (n 为传感器复位次数)。

5 数据处理与分析

KLA - 1 型地表位移遥测系统于 2007 年 4 月 25 日安装完毕, 通过近 1 个月的监测, 接收了数千条数据, 得到了滑坡前端地表位移的第一手资料。表 2 所示为以天为单位的位移数据统计, 通过对这些数据的处理, 可以直观、实时地掌握滑坡的发展趋势, 从而对滑坡起到了很好的预报预警作用。

表 2 位移数据统计表
Table 2 Displacement data

时间	位移 /mm	时间	位移 /mm	时间	位移 /mm
2007 - 04 - 25 00: 09	0.00	2007 - 05 - 06 20: 34	620.42	2007 - 05 - 17 00: 24	765.89
2007 - 04 - 26 09: 58	76.52	2007 - 05 - 07 13: 55	650.28	2007 - 05 - 18 00: 39	775.67
2007 - 04 - 27 08: 34	116.82	2007 - 05 - 08 10: 51	677.86	2007 - 05 - 19 00: 23	782.54
2007 - 04 - 28 09: 23	184.17	2007 - 05 - 09 08: 26	681.24	2007 - 05 - 20 11: 37	795.17
2007 - 04 - 29 10: 25	250.00	2007 - 05 - 10 07: 07	690.83	2007 - 05 - 21 00: 22	800.42
2007 - 04 - 30 14: 58	330.73	2007 - 05 - 11 08: 33	697.90	2007 - 05 - 22 00: 06	806.72
2007 - 05 - 01 07: 38	356.95	2007 - 05 - 12 00: 12	712.20	2007 - 05 - 23 00: 20	810.87
2007 - 05 - 02 12: 40	420.67	2007 - 05 - 13 00: 38	725.11	2007 - 05 - 23 16: 00	811.21
2007 - 05 - 03 04: 34	480.55	2007 - 05 - 14 06: 58	738.96		
2007 - 05 - 04 09: 22	504.66	2007 - 05 - 15 00: 37	750.31		
2007 - 05 - 05 09: 37	564.12	2007 - 05 - 16 12: 17	762.42		

由图 8 可得, 滑体位移随时间的变化呈先快后慢的趋势, 根据晏同珍教授的滑坡预测理论^[2], 滑坡如同生物繁衍, 存在常速蠕变(孕育)、加速蠕变(达到破坏发生滑坡)及减速位移(一个位移周期结束)3 个阶段, 而图 8 所显示的是滑坡的最后一个阶段, 说明此滑坡将逐渐趋于稳定。

本文采用二次曲线回归的方法, 拟合公式如下:

$$v = \frac{dx}{dt} = -at^2 + bt + c \quad (1)$$

式中: x 为位移量(mm), t 为监测时间(d), v 为位移速度(mm/d)。在式(1)中, 要求 $a > 0$, 当 $t = b/(2a)$ 时,

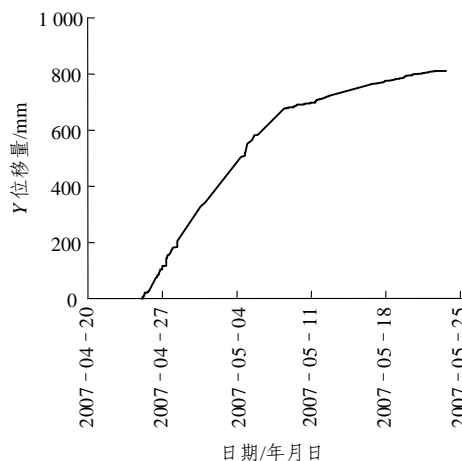


图 8 监测点位移曲线图

Fig.8 Displacement curve of monitoring point

滑体加速度为 0, 速度达到最大值, 最大速度 $v_{max} = (4ac + b^2)/(4a)$, 此时加速蠕变阶段刚刚结束, 减速位移阶段刚刚开始。

代入监测数据, 并经微分、拟合可得: $a = 0.059$, $b = -0.37$, $c = 57.44$, 拟合所采用的数据共 30 个, 相关系数 0.931 7。监测点的滑移速度(采用平均速度)随时间变化的拟合曲线如图 9 所示, 监测点位移随时间变化的拟合曲线如图 10 所示。在图 9, 10 中, 监测时间以天为单位, 并计监测开始时为第 0 天; 滑坡位移在监测开始时计为 0, 从而导致图 10 中出现负位移的情况, 但这并不影响对滑坡趋势的判断。

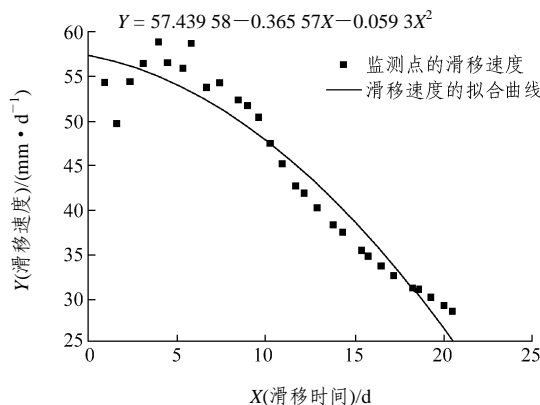


图 9 监测点滑移速度的拟合曲线

Fig.9 Velocity curves of the monitoring point

由图 9 可得, 采用二次函数回归滑移速度, 效果较好, 但由此拟合函数积分所得的滑体位移函数的效果欠佳。在图 10 中, 前半部分的重合效果较好, 后半部分较差。

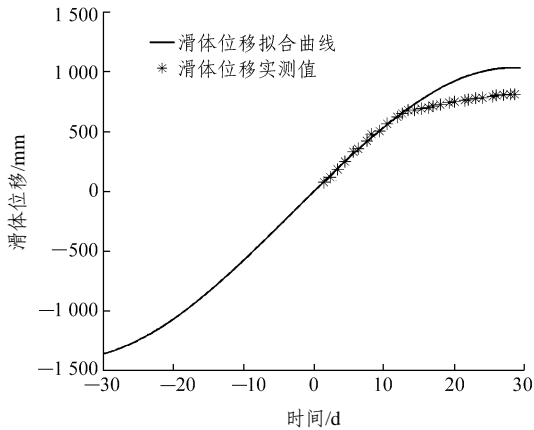


图 10 监测点滑体位移的拟合曲线
Fig.10 Displacement curves of the monitoring point

根据拟合公式的系数，可以得到此滑坡滑体的下滑速度最大为 58 mm/d，达到最大速度的时间为 3.1 d(即监测开始前 3 d 左右)，之后滑体下滑速度逐渐减缓。根据图 10 可得，当监测开始后 28~30 d 左右，滑坡的速度基本接近于 0，滑坡达到稳定状态，这也与实际的监测结果相符，当监测开始后第 29 d，滑体的下滑速度仅为 0.53 mm/d。

由图 11 可计算出滑坡表面的倾斜角度，滑体下部剪出口位置的角度为 40°，中部为 52°，上部逐渐变缓，从拉裂缝深度及前沿剪出口位置可大致判断滑坡的滑动面角度约为 45°~48°，在渗流水的作用下极有可能造成滑带贯通引发滑坡整体失稳。目前要尤其重视周边的排水工作。

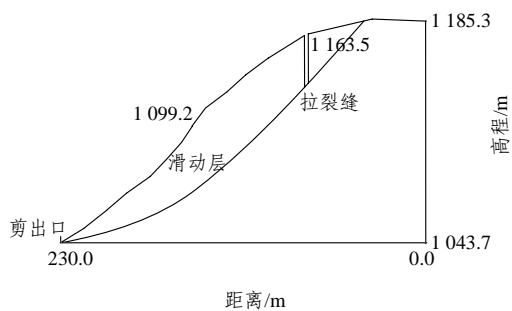


图 11 滑坡 1 - 1'剖面图
Fig.11 Landslide of profile 1 - 1'

6 结 论

KLA - 1 型地表位移遥测系统不受地理环境、气候等因素的限制，为滑坡监测实现远程遥测、数据无线传输及监测信息实时处理提供了一种可行的

技术手段。

KLA - 1 型地表位移遥测系统由位移传感装置、数据采集发射模块、数据接收处理终端三部分组成。在实际的滑坡监测过程中，当滑体滑动时，监测点相对于固定点有线位移，这一信息由角位移传感器记录并转化为相应的电学量，电学量由无线发射模块通过 GSM 蜂窝网络发射至远程终端，PC 机作为远程接收终端通过相应的接收硬件及分析软件进行数据的接收及分析。

通过对角位移传感器两个通道的相互校核，最大 AD 误差为 9，转化为位移量为 0.38 mm，能够满足滑坡监测需要。此外，采用太阳能电池板配合蓄电池的工作模式，完全适合野外应用，使用环境要求低，符合滑坡监测的实际条件。

通过对三峡库区奉节天池滑坡应急监测实测数据的分析，表明此滑坡于监测开始前 3 d 左右达到滑移速度的最大值，随后滑移速度逐渐减缓，至监测开始后的 29 d，滑移速度基本接近于 0，至此滑坡的一个生命周期结束，目前滑坡处于相对稳定状态。

通过实测数据的分析，并于天池滑坡现场的实际情况进行横向比对，证明了 KLA - 1 型地表位移遥测系统的准确性、实时性，并说明了此种监测技术运用于滑坡监测具有很高的实用价值。

参考文献(References):

- [1] 李世海, 李 晓, 魏作安. 滑坡灾害防治的新技术路线及分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(4): 1 - 5.(LI Shihai, LI Xiao, WEI Zuo'an. New technologic strategies and analysis of landslide disaster prevention and control[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(4): 1 - 5.(in Chinese))
- [2] 王尚庆. 长江三峡滑坡监测预报[M]. 北京: 地质出版社, 1999.(WANG Shangqing. Landslide monitoring and forecasting of the Three Gorges[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.(in Chinese))
- [3] 霍志涛, 张业明, 金维群, 等. 三峡库区滑坡监测中的新技术和新方法[J]. 华南地质与矿产, 2006, (4): 69 - 74.(HUO Zhitao, ZHANG Yeming, JIN Weiqun, et al. New technology and method on the slope monitoring in the Three Gorges Reservoir[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2006, (4): 69 - 74.(in Chinese))
- [4] 孙 骏, 黄跃平. 基于面阵 CCD 与 CPLD 实现的位移实时监测系统研究[J]. 光电子技术与信息, 2005, 18(1): 37 - 41.(SUN Jun, HUANG Yueping. Research on real-time displacement

- inspecting system based on the paneled CCD and CPLD[J]. Optoelectronic Technology and Information, 2005, 18(1): 37 - 41.(in Chinese)
- [5] 孙 骏, 黄跃平. 基于面阵 CCD 与 CPLD 实现的图像采集系统[J]. 现代电子技术, 2004, (21): 87 - 91.(SUN Jun, HUANG Yueping. Image collecting system based on the paneled CCD and CPLD[J]. Modern Electronic Technique, 2004, (21): 87 - 91.(in Chinese))
- [6] 邓振华, 李东生. CCD 位移传感器在小东江大坝中的应用[J]. 大坝与安全, 2001, (1): 41 - 44.(DENG Zhenhua, LI Dongsheng. Applications of CCD sensors to small eastern river dam[J]. Large Dam and Safety, 2001, (1): 41 - 44.(in Chinese))
- [7] 唐 然, 汪家林, 范宣梅. TDR 技术在滑坡监测中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(1): 105 - 110.(TANG Ran, WANG Jialin, FAN Xuanmei. Application of TDR technology to landslide monitoring[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2007, 18(1): 105 - 110.(in Chinese))
- [8] 张 青, 史彦新. 基于 TDR 的滑坡监测系统[J]. 仪器仪表学报, 2005, 26(11): 199 - 202.(ZHANG Qing, SHI Yanxin. The landslide monitoring system based on TDR[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2005, 26(11): 199 - 202.(in Chinese))
- [9] 陈云敏, 陈 赟, 陈仁朋, 等. 滑坡监测 TDR 技术的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(16): 2748 - 2755.(CHEN Yunmin, CHEN Yun, CHEN Renpeng, et al. Testing study on applications of time domain reflectometry to slope monitoring[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(16): 2748 - 2755.(in Chinese))
- [10] ALESSANDRO C, PASUTOB A, SOLDATIA M, et al. Field monitoring of the Corvara landslide and its relevance for hazard assessment[J]. Geomorphology, 2005, 66: 149 - 165.
- [11] 曹修定, 阮 俊, 展建设, 等. 滑坡的远程实时监测控制与数据传输[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(1): 61 - 65.(CAO Xiuding, RUAN Jun, ZHAN Jianshe, et al. Long distance real time monitoring and control of landslide and data transmission[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2002, 13(1): 61 - 65.(in Chinese))
- [12] 张像源. 基于 Asp.Net 的滑坡实时监测数据网上发布系统设计与实现[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4): 120 - 123.(ZHANG Xiangyuan. A landslide real time monitoring data online issue system designed and realized by Asp.Net techniques[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2005, 16(4): 120 - 123.(in Chinese))
- [13] 吴金生, 李厚芝. 三峡库区奉节火石滩滑坡的监测预警工程技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(4): 26 - 29.(WU Jinsheng, LI Houzhi. Monitoring and predicting engineering for landslide in the Three Gorges Reservoir region[J]. Exploration Engineering: Rock and Soil Drilling and Tunneling, 2007, 34(4): 26 - 29.(in Chinese))
- [14] 苗风东, 周蓉生. 滑坡实时监测报警系统电源设计[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(2): 380 - 384.(MIAO Fengdong, ZHOU Rongsheng. Design of the power supply used in real-time landslide monitoring system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2007, 28(2): 380 - 384.(in Chinese))
- [15] 伍毅敏, 吕康成, 郑颖人. 深基坑周边位移实时监测系统的研发[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2006, 38(2): 194 - 198.(WU Yimin, LU Kangcheng, ZHENG Yingren. Development of the monitoring system for instant displacement surrounding deep foundation pits[J]. Journal of Xi'an University of Architecture and Technology(Natural Science), 2006, 38(2): 194 - 198.(in Chinese))
- [16] 吕康成, 赵久柄, 张守一, 等. 岩土工程位移实时监测系统研究[J]. 公路, 2005, (4): 151 - 155.(LU Kangcheng, ZHAO Jiubing, ZHANG Shouyi, et al. Study on geotechnical displacement real-time monitoring system[J]. Highway, 2005, (4): 151 - 155.(in Chinese))
- [17] PUGLISIT G, BONACCORSO A, MATTIA M, et al. New integrated geodetic monitoring system at Stromboli volcano[J]. Engineering Geology, 2005, 79(1): 13 - 31.
- [18] PAOLO M, PAOLO B, GIUSEPPE C, et al. Global positioning systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca'di Malta landslide[J]. Engineering Geology, 2003, 68(2): 103 - 121.