

# 滑坡变形监测系统深部与地表变形关系初探

韩爱果, 聂德新, 任光明

(地质灾害防治与地质环境保护国家专业试验室, 四川 成都 610059)

**摘 要:** 滑坡的孕育、演变、发生是一个累进性变形破坏过程, 开展滑坡变形的长期监测工作对滑坡稳定性评价、滑坡的预测预报及治理具有重要的工程意义。目前, 滑坡变形监测多集中于坡体表层, 很难系统获得反映滑坡稳定性的深部变形资料。本文以某溃屈型滑坡为例, 初步分析了滑坡深部变形的关系, 为滑坡稳定性分析及变形破坏趋势预测提供了依据。

**关键词:** 滑坡; 变形监测; 差异变形; 相关分析

**中图分类号:** P642.22; P642.3

**文献标识码:** A

滑坡是一种较为常见的、严重的山地灾害。尤其是巨型水库滑坡造成的危害更大。1963—10—09 意大利瓦依昂水库失事就是一个惨痛的教训。这次事故使工程地质学家们认识到斜坡是一个时效变形体, 斜坡的演变是一个累进性变形破坏过程<sup>[1]</sup>。而滑坡的发生这一突变的力学过程, 其实是滑带塑性区的发育和发展的过程。不论受何种地形、坡体结构的影响, 滑坡从孕育到发生是有阶段性的, 各个阶段变形特征存在较大差异。因此, 建立合理的滑坡变形监测系统, 对了解滑坡地不同发展阶段的变形特征及受控因素具有非常重要的意义。

## 1 滑坡变形监测系统的重要性及工程意义

在工程实践中, 研究滑坡一般从赋存滑坡一般环境因素入手, 包括地形地貌、地质构造、岩土特征、气候条件、植被发育情况、地表水和地下水活动特征及人类活动等方面。最终目的不仅要能够较为可靠地分析、评价滑坡目前的稳定状况, 而且要能预测滑坡的发展趋势, 并对稳定性差的滑坡, 提出经济、可靠的治理措施。滑坡稳定性评价有多种方法, 除强度判据外, 还应该考虑位移判据, 因为滑坡位移动态是滑坡工程地质条件、水文地质条件、滑带土物理力学性质和滑坡动力作用等因素综合作用的结果, 是滑坡稳定性状态最直观的反映。滑坡变形监测实例表明, 滑坡遵循渐进破坏方式, 即从开始变形到最终破坏常经历一段很长的时间, 一般数年甚至数十年。如瓦依昂滑坡从 1960 年出现变形至 1963 年产生大滑坡经过近 4 年的时间, 新滩滑坡从 1864 年秋地表出现明显变形到 1985—06—12 大规模滑动经历了近 21 年的时间, 且各发展阶段之间的变形特征差异很大。由此可见, 长期的、连续和变形监测对了解滑坡变形所处的阶段及滑坡稳定性具有指导意义。

为了将滑坡造成的损失减少到最低限度, 开展滑坡预测预报的研究, 具有非常重大的现实意义。国内外学者已建立了许多滑坡预测预报模型, 但真正预测成功的不多, 这与影响滑坡的环境因素比较复杂有关。另外, 滑坡预测预报的准确度与监测设备能否系统地取得可靠的变形资料有关。因此, 加强滑坡勘探手段, 搜集连续的、符合实际的变形资料是作好滑坡预测预报的基础。不同地区、不同类型滑坡存在共性, 利用共性作指导深入研究滑坡个性是一种较简捷的方法, 但需统计分析大量资料才能找出适用性好的规律。

收稿日期: 1999—05—10; 改回日期: 1999—08—10

作者简介: 韩爱果(1975—), 女(汉)。成都理工学院工程地质研究所在读硕士研究生。主攻方向: 岩土工程、岩体稳定

利用滑坡长期变形监测资料, 不仅可以初步判定滑坡的稳定状况, 还可找出起主导作用的一个或几个控制因素, 从而制定出合理的治理措施; 此外, 如能在变形初期进行整治, 滑带土仅局部受剪切挤压, 可以充分利用滑带土较强的抗剪能力, 此时不仅节省费用, 而且能收到较好的效果。

2 滑坡变形监测中存在的主要问题

目前, 因受监测手段和监测条件的限制, 滑坡的变形常用地表位移量或位移速率来描述。而仅以滑坡的地表位移量或位移速率来反映滑坡整体变形是不确切的, 因为只有当滑坡沿滑面整体滑动时, 滑坡上所有各点的位移量、位移速率才可能一致。而在绝大多数情况下, 滑坡因受地形地貌、岩层岩性、坡体结构和滑带土强度等因素的影响而具有分块解体变形特征。因此, 在滑坡变形监测过程中, 应测量记录坡体不同点(由平面位置、深度共同确定)的位移。

目前, 虽然在滑坡形成演化及破坏机制、影响滑坡稳定因素、滑坡稳定性评价等方面的研究取得了明显的进展(多数工作在滑坡发生后进行), 但在滑坡预测预报、临界变形及临界变形速率等方面的研究还有待深入。在日本, 曾有人提出把滑前 24h 滑速  $V=14.4\text{mm/d}$ 、滑前 3h 滑速  $V=144\text{mm/d}$  作为滑坡临界滑速的标准<sup>[3]</sup>。很多国家也在努力使滑坡预测预报由定性评价向定量指标方向发展。

3 滑坡深部与地表变形关系分析

滑坡变形监测工作, 除一般的地表变形迹像定期巡视外, 还应借助一定的仪器设备进行。特别需要指出的是, 坡体表部与深部滑带往往存在一定的差异变形, 而滑坡是否发生主要取决于滑带土抗剪能力的大小, 因此深部变形监测格外重要, 但由于是间、资金及滑坡本身的变形受控制因素的复杂性等原因, 这项工作常难以完成。但对一些重要的水库滑坡、矿山边坡及可能对工厂、企业、居民点造成巨大危害的滑坡, 常积累有丰富的深表部长观资料。统计分析表明, 对绝大多数坡形和坡体结构各异的滑坡来说, 位移量具有从地表至深部逐渐减小的规律, 这也是多数滑坡在滑运过程中常具有分块解体下滑特征的原因所在。下面以某大型溃屈型滑坡为例, 分析深表部变形的关系。

3.1 资料分析

十多年来的监测成果表明, 该滑坡地表拉裂缝与其对应的中深部次、主滑坡的位移既存在差异性(表部有位移、深部滑带并无位移), 又存在相关性(表部有位移、深部亦发生位移, 仅位移量有差异), 深部主滑带及对应地表拉裂缝的变形特征见表 1。

表 1 深部主滑带与地表变形对照表<sup>1</sup>

Table 1 Deep deformation in main slide zone and corresponding surface deformation

| 日期         | 深部变形<br>(mm) | 地表变形<br>(mm) | 地表类型<br>(mm) | 日期    | 深部变形<br>(mm) | 日期         | 深部变形<br>(mm) | 地表变形<br>(mm) |
|------------|--------------|--------------|--------------|-------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 1989-05-18 | 4.91         | 48.17        | 1990-03-24   | 10.63 | 97.08        | 1990-12-29 | 19.76        | 102          |
| 1989-06-18 | 5.24         | 50.16        | 1990-04-24   | 15.43 | 92.01        | 1995-01-25 | 0.66         | 14.12        |
| 1989-07-17 | 4.6          | 49.09        | 1990-06-17   | 16.38 | 98.08        | 1995-02-25 | 1.09         | 13.80        |
| 1989-08-10 | 5.57         | 52.04        | 1990-07-11   | 15.41 | 97.05        | 1995-03-28 | 3.84         | 13.95        |
| 1989-09-07 | 6.51         | 50.04        | 1990-07-28   | 15.45 | 95.05        | 1995-04-19 | 3.03         | 13.85        |
| 1989-10-11 | 8.54         | 42.19        | 1990-08-10   | 16.27 | 95.05        | 1995-05-25 | 2.29         | 12.10        |
| 1989-11-14 | 7.67         | 79.10        | 1990-08-28   | 17.14 | 94.09        | 1995-06-22 | 4.01         | 12.65        |
| 1989-12-08 | 9.59         | 92.01        | 1990-09-11   | 20.14 | 97.08        | 1996-09-17 | 0.29         | 1.05         |
| 1990-01-10 | 8.51         | 87.05        | 1990-09-23   | 19.47 | 98.08        | 1996-09-28 | 0.48         | 1.92         |
| 1990-02-29 | 11.02        | 87.09        | 1990-10-29   | 18.44 | 99.05        |            |              |              |

注: 地表有位移而深部主滑带未发生变形的资料没有列入表中。  
1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://w

3.2 曲线拟合及成果分析

为了获得最接近坡体实际变形的规律的深、表部变形关系, 采用了不同形式的拟合方法, 从中选择相交系数较高的几种曲线(见表 2), 作为今后预测滑坡变形破坏趋势的参考。以指数函数(见表 2 中 1)拟合为例, 作出的拟合曲线见图 1。

表 2 深部与地表变形拟合曲线成果表<sup>1</sup>  
Table 2 Results of fitted curves between deep deformation and surface deformation

| 编号 | 曲线类型  | 曲线方程                       | 相关系数 r |
|----|-------|----------------------------|--------|
| 1  | 指数函数  | $y=1.077 e^{0.0285x}$      | 0.81   |
| 2  | 双对数函数 | $\log y=0.9031\log x-1.53$ | 0.87   |
| 3  | 线性函数  | $y=0.253x-8.41$            | 0.73   |
| 4  | 指数函数  | $y=1.57e^{0.024x}$         | 0.83   |
| 5  | 双对数函数 | $\log y=1.66\log x-4.87$   | 0.79   |

1 3、4、5 为分段拟合, 仅考虑了地表变更菜大于 50mm 的资料。  
得, 为利用地表拉裂缝的扩展速度、规模去推测深部主滑带的变形情况, 从而判断滑坡的变形破坏趋势, 将带来较大的方便。

由拟合所得曲线方程及相关系数(r)可明显看出, 滑坡深部与地表变形确实存在一定的关系, 当地表变形量< 50mm 时, 深部主滑带变形随地表变形量的增加而增加的幅度不明显; 但当地表变形量> 50mm 时, 这种增幅就明显变大, 符合坡体演变的一般规律。可以预见, 当深部主滑带变形量增至一定程度时, 滑坡体就会发生整体性的变形。以上相关式的获

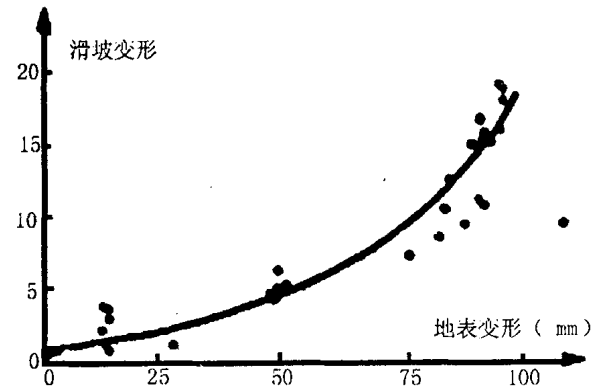


图 1 深部与地表变形相关曲线  
Fig. 1 Correlation curve between deep deformation and surface deformation

4 结 论

综上所述可以得到以下结论: 1 滑坡变形监测资料不仅能初步判断坡体的稳定状态, 而且也是滑坡预测预报的基础, 并可根据影响滑坡的主导环境因素分析, 制定出合理的治理措施; 2 滑坡深部变形与地表变形存在一定的关系, 这种相关关系虽受各种环境因素的影响, 但总体说来具有变形量随深度增加而减小的特点; 3 由于各种原因, 目前积累的滑坡深、表部对应变形的资料还不多, 寻找适用于多种坡体结构的一般规律还有一定难度。此外, 临界变形量及临界变形速率还无统一标准。因此, 在条件允许的情况下,

应尽量建立合理的滑坡变形监测系统, 为滑坡的进一步研究积累资料。

参考文献:

[1] 黄润秋等. 高边坡稳定性的系统工程地质研究[ M ]. 成都: 成都科技大学出版社, 1991. 1~2  
[2] 孙玉科, 姚宝魁. 滑坡分析与防治[ M ]. 重庆: 科学文献出版社重庆分社, 1983. 13

**THE IMPORTANCE OF DEFORMATION MONITORING  
SYSTEM OF LANDSLIDE AND PRELIMINARY RESEARCH  
ON RELATION BETWEEN DEEP DEFORMATION  
AND SURFACE DEFORMATION**

HAN Ai-guo, NIE De-xin REN Guang-ming

(*National Laboratory of Geological Hazard Prevention, Chengdu 610059*)

**Abstract:** Pregancy, development and occurance of landslide are progressive failure process, so it is very important to carry out long—term deformation observation yn landslide’ s stability assessment, predication and selection of countermeasures. At present, most of deformation monitoring data are focused on surface deformation, and deep deformation which reflects the state of landslide is difficult to get systematicly. In this paper, the relation between deep deformation and surface deformation of landslide is preliminarily analysed by taking a bulking landslide sa an example. The results provide a methol to evaluate stability and forecast deformation—failure tendency of landslide by taking advantage of surface deformation.

**Key words:** Landslide, deformation monitoring, differential deformation, correlation analysis