

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2008.04.013

清江地区堆积体滑坡破坏特性及安全预警

李迪 张漫 张保军

(长江科学院工程安全与病害防治研究所 湖北 武汉 430010)

摘要 分析累计变形~深度曲线、相对变形~深度曲线和相对变形~时间曲线,得出堆积体滑坡的变形破坏特性,即堆积体滑坡破坏前变形量大,堆积体滑坡变形和破坏的历时长,降雨是导致堆积体滑坡变形的最主要外部因素,变形和破坏自主滑动面开始自下而上向滑动带的上盘渐近发展等。根据变形和破坏的特性,提出了阶段可控的滑坡稳定性安全预警标准,指出以主滑动面的抗剪参数作为滑坡稳定性设计的依据,参数过低、裕度过大,应按考虑整个滑动带作用在内的综合抗剪参数进行设计,才更符合滑坡的实际情况。

关键词 堆积体滑坡;滑动带;启动变形;渐近破坏;深部变形;安全监测;预警标准

中图分类号 P642.22 **文献标识码** B **文章编号** :1006-7647(2008)04-0044-04

Failure properties and safety warning of talus landslide in Qingjiang area/LI Di, ZHANG Man, ZHANG Bao-jun (Engineering Safety and Disaster Prevention Department, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract : Based on analysis of deformation curves of talus landslides, including the accumulative deformation-depth curve, the relative deformation-depth curve and the relative deformation-time curve, the main failure properties of talus landslides are obtained. It is concluded that the total amount of deformation is larger and the growth of deformation is very slow before the landslide occurs, rainfall is one of the main external factors leading to talus landslides, the original deformation starts from the bottom wall (main sliding surface) and the development of deformation is progressive from the bottom wall up to the top wall. According to these properties discovered recently, a safety forecast standard is proposed. It is pointed out that considering only the shear strength parameters of the main sliding surface is not enough; taking comprehensive shear strength parameters of the entire sliding zone into account is more reasonable for the design of slide stability.

Key words : talus landslide; sliding zone; original deformation; progressive failure; deep deformation; safety monitoring; standard for safety warning

1985年6月12日凌晨,我国长江干流上的新滩古镇发生了一次总体积约为 $3 \times 10^7 \text{m}^3$ 的滑坡,该次大滑坡是20世纪历次(超过10次)滑坡中规模最大的。为监测滑坡体的滑动,查明滑动面的位置以及进行滑坡机理分析,从1986年起在滑坡上开展了以钻孔倾斜仪深部变形为主的内观监测。20多年来,笔者在27个边(滑)坡体为主的工程岩体深部变形监测实践中,找到了对岩石边(滑)坡进行深部变形监测行之有效的仪器——活动式钻孔倾斜仪,探索出了一套从钻孔、埋设、安装、观测读数到整理资料的全监测过程的经验,初步掌握了堆积体滑坡变形破坏的一般特性和机理,并据此提出了堆积体滑坡阶段可控的滑坡安全预警标准^[1]。

1 研究的基本资料

本文用以分析堆积体滑坡变形的资料来源于利

用活动式钻孔倾斜仪测量到的滑坡深部变形,这种变形不同于钻孔多点位移计测量到的变形,后者是沿钻孔轴线方向的变形,而前者是垂直钻孔轴线的水平方向变形。因为滑坡上一般用的是铅直向的钻孔倾斜仪,因而测到的是滑坡水平向的变形。通常人们将变形资料整理成累计变形~深度曲线、相对变形~深度曲线和相对变形~时间曲线,如图1所示。对这些曲线进行分析,可得出滑坡的变形破坏特性。各类曲线的具体含义说明如下^[1,2]。

1.1 累计变形~深度曲线

倾斜孔测点 i (i 由孔底向上依次记为 $0, 1, 2, \dots, n$, n 代表孔口,下同)某时刻 t 的累计变形 W_i 是指该时刻相对于孔底(不动点 0)初始时刻 t_0 水平变形的变化,假定倾斜仪孔铅直,初始时刻倾斜孔每点变形 W_i^0 为零,则 $W_i = W_i^t - W_i^0 = W_i^t$ 。累计变形沿深度的分布曲线即累计变形~深度曲线(图1(a))。

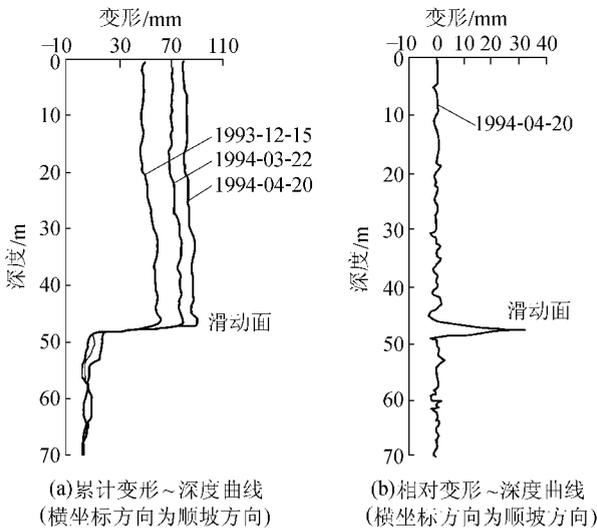


图1 滑动型变形特征曲线
(隔河岩库岸茅坪滑坡4号孔)

1.2 相对变形~深度曲线

倾斜孔某点*i*某时刻*t*的相对变形 ΔW_i 是指两相邻测点*i*与*i-1*在*t*时刻累计变形之差。因此,相对变形就是水平向剪切变形,相对变形沿深度的分布曲线即相对变形~深度曲线(图1(b))。

从图1(b)中可以看到:

$$\Delta W_i = W_i - W_{i-1} \quad (1)$$

$$W_i = \sum_{j=1}^i \Delta W_j \quad (2)$$

表1 部分滑坡变形情况统计

序号	滑坡名称	测孔编号	孔深/m	孔口高程/m	埋设时间	相对变形		
						时间	位置/m	量值/mm
1	茅坪	1号	94.0	227.64	1992-12-12	1995-06	63.0	74.00
2	茅坪	4号	75.0	402.39	1992-03-18	1994-09	47.5	50.00
3	茅坪	5号	53.5	402.00	2004-07-20	2005-01	46.5	39.50
4	大岩淌	IN14-6	51.0	244.93	2002-04-11	2005-01-21	30.0	43.40
5	大岩淌	IN14-5	55.1	346.60	2003-07-25	2005-01-08	28.5	34.57
6	大岩淌	IN14-4	46.8	282.00	2003-08-14	2006-05-13	43.5	27.59
7	大岩淌	IN14-3	31.4	250.09	2003-08-30	2006-01-10	18.0	25.10
8	大岩淌	IN14-2	37.4	246.09	2003-08-24	2005-07-19	35.0	31.06
9	大岩淌	IN14-1	42.0	257.20	2003-09-06	2004-12-20	37.0	32.79
10	墓坪	1号	69.0	208.70	1993-05-11	2005-11-23	11.0	15.40
11	杨家槽	7号	88.0	195.36	1992-10-21	1994-04-20	37.5	10.10
12	杨家槽	25号	31.5	307.27	2000-01-10	2001-08-21	5.5	53.60
13	杨家槽	26号	47.0	288.40	2000-01-08	2002-07-20	5.0	81.10

注 茅坪1号孔和5号孔因卡孔中断观测,4号孔1994年9月卡孔后改固定式,继续观测15个月;大岩淌IN14-5孔和IN14-6孔因卡孔中断观测后恢复;IN14-1孔,IN14-2孔,IN14-3孔和IN14-4孔因卡孔中断观测;杨家槽7号孔卡孔后改固定式,历时约1年;25号孔和26号孔变形发生在土体内。

孔口累计变形

$$W_n = \sum_{j=1}^n \Delta W_j \quad (3)$$

即某点*i*(含孔口*n*)某时刻*t*的累计变形是该点以下自孔底向上各点相对变形累加之总和。

1.3 相对变形~时间曲线

相对变形随时间的变化曲线,即为相对变形~时间曲线,也称相对变形过程线(图1(c))。

2 滑坡变形和破坏的一般特性

2.1 堆积体滑坡发生前变形量大

表1中列出了茅坪、大岩淌、墓坪和杨家槽等4个滑坡1~3年的相对变形,一般在30~40mm之间,最小约10.10mm,最大达74.00mm。表1中所列出的变形量是指仪器埋设后观测到的变形,仪器埋设前发生的变形不包括在内。

从表1中看到,卡孔一般发生在滑动带的上盘,是中断观测的主要原因,表1中变形量值只统计到卡孔前的最后一次观测。因此,表中的每一个孔中断观测时的变形,不是滑坡达到整体破坏时的变形。滑坡整体破坏滑动前的变形更大,如我国新滩滑坡体整体破坏前的1个月内地表水平变形约14m,意大利瓦依昂滑坡破坏前几天的每天变形量为20~30cm^[3]。

根据以上分析可以得出以下认识:

a. 滑坡达到整体破坏前的相对变形(即滑动带的剪切变形)是很大的,孔口累计变形将更大。

b. 受测量套管变形制约的测斜仪相对变形量程比人们想象的要大得多。由表1可知相对变形量程可以达到数十毫米。

2.2 堆积体滑坡变形和破坏的过程长

滑坡发生整体破坏前,变形增长缓慢,变形和破坏的过程很长,一般是数年。变形主要表现为蠕变过程,有时也有突变发生,且这种突变可能不止1次(图2)。图2中变形有3次明显增长,以1993年和1995年的2次突变最剧,但2次剧变都没有导致滑坡整体破坏。可见,利用变形剧变阶段建立的变形预报模型不一定奏效,应慎用。

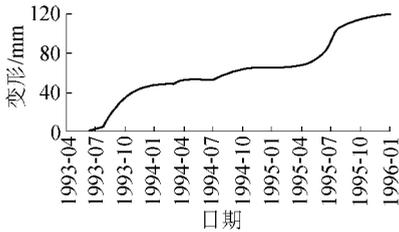
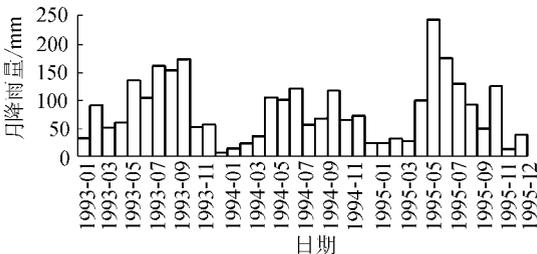


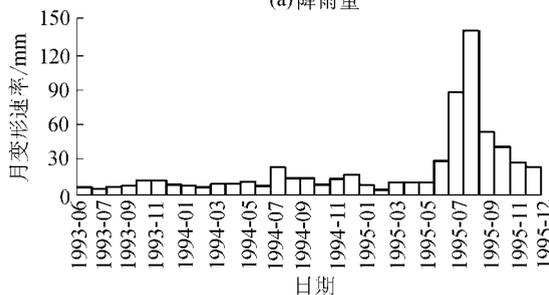
图2 孔口累计变形过程线(草坪滑坡,1号孔)

2.3 降雨是导致堆积体滑坡变形的最主要外部因素

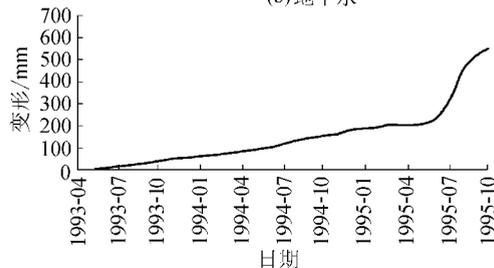
图3给出了清江茅坪滑坡1993~1995年降雨量的过程线,对比图3和图2可以看到,每年7月前后的降雨过程是导致变形明显增长或突变的主要原因。但不是每次强降雨都一定会导致变形增长,只有强降雨引起地下水位剧增才会产生变形的剧增。1995年5~7月的强降雨不仅比1993年和1994年



(a) 降雨量



(b) 地下水



(c) 孔口累计变形

图3 地下水位变化对滑坡变形的影响

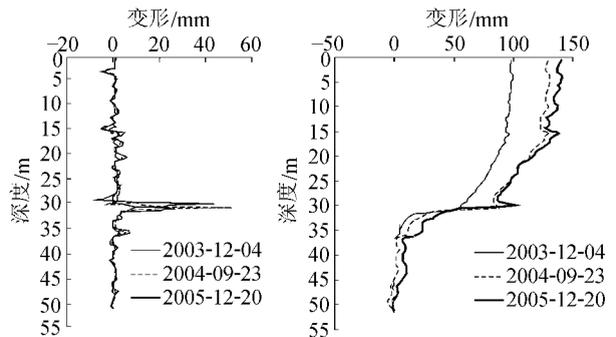
(草坪滑坡A号孔)

的降雨都大,而且引起了地下水位的剧增,所以1995年5~7月滑坡的变形最大。

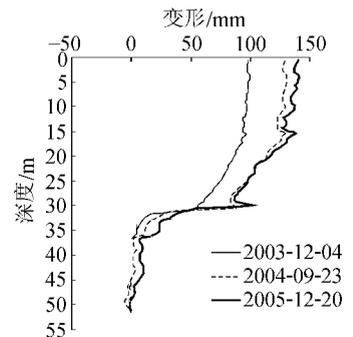
影响滑坡变形的的外部因素还有水库诱发地震、地下采煤等。

3 堆积体滑坡变形和破坏的机理

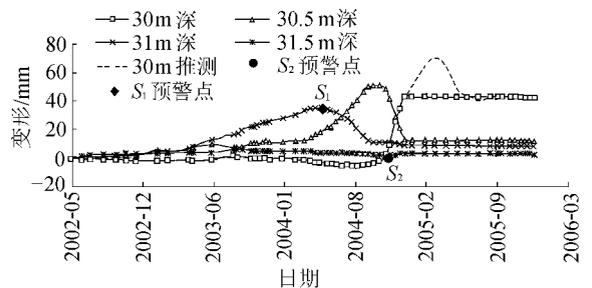
2001~2005年期间笔者在清江水布垭面板堆石坝坝址附近的一个滑坡上用钻孔倾斜仪监测到1组深部变形曲线(图4)^[4,5]。IN14-6孔位于该滑坡的前部。滑坡后部IN14-5孔的变形曲线与IN14-6孔有完全类似的1组曲线^[6]。



(a) 相对变形~深度曲线
(横坐标方向为顺坡方向)



(b) 累计变形~深度曲线
(横坐标方向为顺坡方向)



(c) 相对变形~时间曲线

图4 某滑坡IN14-6孔顺坡向深部变形曲线

根据图4中的变形曲线,可得到以下认识^[4,6]:

a. 滑坡的变形和破坏首先由滑坡的下盘(主滑动面)启动和发生,然后自下而上向滑动带的上盘发展,呈现出由下盘向上盘依次接力传递的渐近过程。

b. 滑动带是有厚度的、不均质的,一般是成层的。滑动带上盘的破坏是测孔破坏的标志。

c. 变形启动主滑动面的抗剪强度最低,自下而上抗剪强度逐步增大,在抵抗滑坡滑动中起主要作用的是滑动带整体,主滑动面在抵抗滑坡滑动中的作用最小。

4 堆积体滑坡发生前的临界安全预警

根据滑坡破坏变形大和历时长的特点,以及滑动带上盘破坏是滑坡测孔破坏的标志这一认识,笔者提出滑动带破坏的预警标准如下。

4.1 破坏的标准

取岩石试验规程中规定的抗剪强度峰值作为岩

体破坏标准,根据这个标准,在图 4(c)中各条相对变形过程线上的峰值点即是滑动带所在高程的破坏点,见文献[6]。文中除指明是“整体破坏”外,凡提到的“破坏”均是这种“点”破坏意义上的破坏。

4.2 确定滑动带破坏预警标准的原则

作为一种科学合理、切实可行的破坏预警标准,至少应具备以下 4 个条件:①标准的物理(或工程)意义明确;②预警的变形和破坏阶段可控;③预警标准具体,不具随意性;④进行相应稳定分析数值计算时具有可操作性。

4.3 滑动带破坏预警标准的确定

根据上述确定的原则,从预警滑动带破坏的阶段出发,以剪切变形过程线为依据,暂提出破坏预警点 S_1 和 S_2 。

S_1 为第 1 次预警点。剪切变形出现峰值,标志着不仅主滑动面已破坏,而且以黏土为主的滑动带中间层也出现破坏。

S_2 为第 2 次预警点。滑动带上盘剪切变形加速开始,测量探头下放将很快受阻,滑动带上盘面临即将破坏。

由上可见,破坏预警标准关心的不是某个允许临界值,而是根据剪切变形过程曲线上的一些特征值,判断已经发生过的破坏、现在所处的和即将进入的破坏阶段。因此这种预警标准的优点是阶段可控的。这种预警标准针对的是已经形成滑动带的堆积体滑坡,可根据工程实际需要控制的变形和破坏阶段制定。

5 结 论

a. 钻孔倾斜仪是监测堆积体滑坡安全行之有效的仪器。

b. 以钻孔倾斜仪测量到的深部滑动带的相对变形过程线为基础,利用笔者提出的阶段可控的安全预警标准,有足够的时间进行准备和提前发出安全预报,以利减灾防灾。

c. 根据堆积体滑坡滑动带的变形和破坏机理,通常以主滑动面的抗剪参数作为滑坡稳定设计的依据,参数过低、安全裕度过大,按考虑滑动带作用在内的综合抗剪强度进行设计才符合滑坡的实际情况。

参考文献:

- [1] 李迪,马水山,张保军,等. 工程岩体变形与安全监测 [M]. 武汉:长江出版社,2006.
- [2] 李迪,张漫,张保军. 岩石边(滑)坡深部变形的分类及应用 [J]. 长江科学院院报,2006,23(4):23-27.
- [3] 王永年,殷世华,李迪,等. 岩土工程安全监测手册 [M]. 北京:中国水利水电出版社,1999.
- [4] 张保军,李亦明,周启. 清江水布垭工程(内观)监测成果分析报告 [R]. 武汉:长江水利委员会长江科学研究所,2006.
- [5] 李迪,李亦明,张漫. 堆积体滑坡滑带启动变形分析 [J]. 岩石力学与工程学报,2006,23(S2):151-156.
- [6] 李迪,张保军,张漫. 堆积体滑坡滑带渐近破坏分析 [J]. 地下空间与工程学报,2007,3(1):151-156.

(收稿日期:2007-07-24 编辑:方宇彤)

· 简讯 ·

2007 年我国风力发电取得重大进展

2007 年是我国近年来风电发展最快的一年,由于《中华人民共和国可再生能源法》的实施,国内各大发电集团积极投入风电事业,加上政府的大力倡导,特别是推行了特许权招投标制度,使我国出现了一批大容量的风电场,风电装机得以快速增长。据统计截至 2007 年底,我国风电装机容量已达到 403 万 kW,为超额完成原定的 2010 年达到 500 万 kW 的目标打下了坚实的基础。2007 年建成的大风电场如下:①江苏如东风电场。国家首批风电特许经营权示范项目之一,2004 年推出了如东风电场二期 10.05 万 kW 特许权项目,计划安装 67 台 1500kW 机组,2005 年 10 月开工,2007 年 6 月建成投入运行。后续项目是再建 4.95 万 kW,安装 33 台 1500kW 机组。两者共计 15 万 kW,年发电量可达 3.5 亿 kW·h,总投资约 8.75 亿元。②内蒙古辉腾锡勒风电场。2005 年推出了 10 万 kW 特许权项目,于 2007 年 6 月建成投入运行,年发电量可达 2.57 亿 kW·h,总投资约 7.46 亿元。③甘肃酒泉风电场。一期工程 10.05 万 kW,计划安装 134 台 750kW 机组,建在河西走廊戈壁滩上,工程于 2006 年 6 月开工,于 2007 年 10 月建成投入运行。④福建平潭长江澳风电场。2004 年推出的二期工程 10 万 kW 特许权项目,计划安装 50 台 2000 kW 机组(或 67 台 1500 kW 机组),2007 年 11 月建成投入运行,年发电量约 2.5 亿 kW·h,总投资约 8.59 亿元。⑤内蒙古赤峰赛罕坝风电场。工程分四期进行,一期工程 3.06 万 kW,安装 36 台 850kW 机组,于 2005 年建成;二期工程 4.5 万 kW,安装 53 台 850kW 机组,于 2006 年建成;三期和四期工程于 2007 年同时开工建设,于 2007 年 12 月完工。赛罕坝风电场总装机容量达到 49.82 万 kW,成为我国目前装机最多、容量最大的风电场。

(吴 高供稿)