

# 位移矢量角在堆积层滑坡时间 预报中的应用

阳吉宝

钟正雄

(同济大学岩土工程系 上海 200092)

(长江水利委员会综合勘测局 武汉 430010)

**提 要** 针对堆积层滑坡变形破坏特点,运用灰色理论,对滑坡位移观测资料进行了处理,求出了灰色位移矢量角.通过对新滩滑坡灰色位移矢量角特征分析,发现灰色位移矢量角具有与滑体稳定状态相一致的动态特征.因此提出运用灰色位移矢量角来预报堆积层滑坡的新方法.

**关键词** 堆积层滑坡 预报 灰色位移矢量角 新滩

堆积层滑坡,尤其是大型堆积层滑坡的时间预报问题,一直未能得到很好地解决.文中以新滩巨型堆积层滑坡为例,利用灰色理论方法,对堆积层滑坡的位移观测资料进行处理,并根据其灰色位移矢量角的动态特征,探索堆积层滑坡时间预报的新途径.

## 1 新滩滑坡概况

新滩滑坡位于即将兴建的三峡大坝三斗坪坝址 27km 的新滩镇长江北岸,于 1985-06-12 发生了高速、巨型堆积层滑坡,滑体体积达 3 000 万<sup>3</sup>.大量研究表明,该斜边高程 400m 以上(简称上段)坡体为此次滑坡的主动滑动区.堆积层下的基岩面为滑动面.上段滑体剪出口位于海拔 400m 左右.

新滩滑坡位移观测始于 1977 年底.观测之初,仅布设了与长江大致平行的四条水准线,随着坡体变形发展,设置在坡体上段的 A、B 两条水准线上的 A<sub>3</sub>、B<sub>3</sub> 两观测点(二维观测)的位移速率较大,反映出上段坡体活动性较强.为此,1984-07-02 又在上段坡体上增设了 F<sub>1</sub>,...,F<sub>8</sub> 的 8 个三维位移观测点(图 1).

## 2 滑坡位移组成及灰色位移矢量角

滑体位移是滑体对内外营力作用的反应,它受控于滑体的边界条件,自身岩土体结构及其物理力学性质以及外力作用的大小和方式.

经过多年动态观测、研究,该堆积层滑坡发展过程及其位移特征如表 1 所述.

滑坡为一信息不完全和不确知的灰色系统.运用灰色理论方法来对滑坡原始位移观测资料中的垂直位移和水平位移进行“生成”信息处理,可弱化原始观测资料的随机性,强化灰序列中有效信息利用率.令  $x^{(0)}$ ,  $y^{(0)}$  分别为水平位移和垂直位移灰色时间序列,  $x^{(1)}$ ,

本文改回日期:1994-09-29.

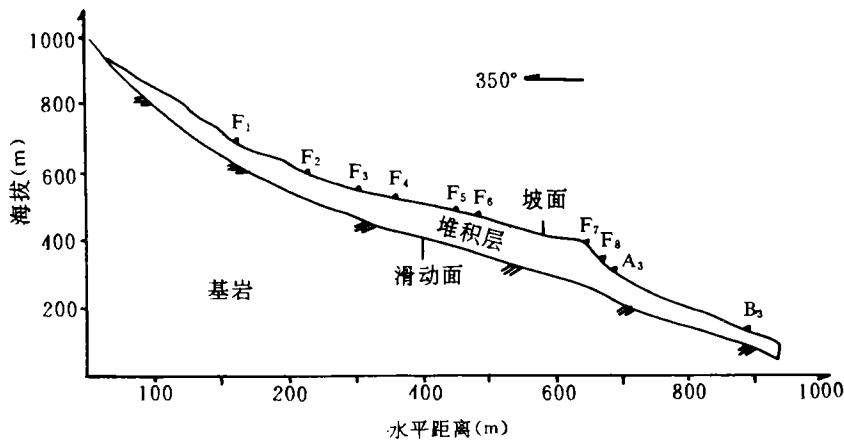


图 1 新滩斜坡上段剖面图

Fig. 1 The profile of Xintan Slope

表 1 堆积层滑坡的动态特征

Table 1 The dynamic characteristics of accumulation landslide

滑坡阶段		稳 定 状 态	地 貌 特 征	坡体变形及 位移特征
I 蠕变阶段		滑动面(带)未形成,稳定系数 $K > 1$ , 处于稳定状态	坡体上仅有局部地区出现断断续续的拉张裂缝	主要为表层蠕变位移
II 挤压阶段		斜坡应力场处于调整状态,滑动面(带)正从拉张部位向挤压部位扩展,稳定系数 $K \geq 1$ , 斜坡基本稳定	拉张裂缝已贯通且错开,两侧出现羽状裂缝	表层蠕变位移和坡体压缩位移
III 滑动阶段	III <sub>1</sub> 滑动阶段初期	坡体变形已逐渐由局部或分散的平衡、调整向整体、趋势性滑移转化,主滑动面(带)已基本贯通,稳定系数 $K \leq 1$ , 斜坡处于不稳定状态	前缘开始有鼓丘隆起,后缘开始发生座落	坡体压缩位移,整体滑动位移
	III <sub>2</sub> 滑动阶段后期	滑动面(带)已全部贯通,稳定系数 $K < 1$ , 滑坡一触即发	前缘鼓丘隆起加大,后缘座落落距较大	整体滑动位移
IV 固结阶段		滑体剧滑后,重心降低,稳定系数 $K > 1$ , 斜坡处于稳定或超稳定状态	具备滑坡各种地貌特征	坡体因固结而发生压、密位移

$y^{(1)}$ 为它们累加序列,即

$$x^{(0)} = \{x_{(1)}^{(0)}, x_{(2)}^{(0)}, \cdots, x_{(m)}^{(0)}\}, \tag{1}$$

$$y^{(0)} = \{y_{(1)}^{(0)}, y_{(2)}^{(0)}, \cdots, y_{(m)}^{(0)}\}, \tag{2}$$

$$x^{(1)} = \{x_{(1)}^{(1)}, x_{(2)}^{(1)}, \cdots, x_{(m)}^{(1)}\}, \tag{3}$$

$$y^{(1)} = \{y_{(1)}^{(1)}, y_{(2)}^{(1)}, \cdots, y_{(m)}^{(1)}\}. \tag{4}$$

式(3,4)中

$$x_{\{k\}} = \sum_{j=1}^k x_{\{j\}}^{(0)} \quad (k \leq m), \tag{5}$$

$$y_{\{k\}} = \sum_{j=1}^k y_{\{j\}}^{(0)} \quad (k \leq m), \tag{6}$$

令

$$Z_{\{k\}} = \arctan(y_{\{k\}}/x_{\{k\}}). \tag{7}$$

则得到各观测点位移矢量角序列. 称  $Z^{(1)} = \{Z_{\{1\}}, Z_{\{2\}}, \dots, Z_{\{m\}}\}$  为灰色位移矢量角序列,  $Z_{\{1\}}, Z_{\{2\}}, \dots, Z_{\{m\}}$ , 为灰色位移矢量角.

### 3 灰色位移矢量角的动态特征

B<sub>3</sub> 观测点恰好设在滑坡上段前缘,此点变形关系整个滑体的稳定性. 研究 B<sub>3</sub> 点灰色位移矢量角的动态特征(表 2)将有助于深化滑坡稳定状态的认识.

表 2 B<sub>3</sub> 点灰色位移矢量角的动态特征  
Table 2 The dynamic characteristics of grey displacement vector angle at B<sub>3</sub> point

时 间	水平位移(mm)	垂直位移(mm)	灰色位移矢量角(°)	滑 坡 阶 段
1977-11				Ⅰ 挤压阶段
1978-02	5.0	0		
1978-06	11.7	3.2	15.2	
1978-10	20.3	5.5	13.8	
1979-02	24.2	6.8	15.7	
1979-06	29.8	8.9	16.7	
1979-10	92.7	36.3	21.4	
1980-02	107.9	39.7	20.2	
1980-06	118.8	44.1	20.4	
1980-10	173.5	71.5	22.4	Ⅱ <sub>1</sub> 滑动阶段初期
1981-02	185.7	75.3	22.1	
1981-06	194.7	77.3	21.6	
1981-10	204.6	80.9	21.6	
1982-02	211.1	82.8	21.4	
1982-06	269.7	98.8	20.3	Ⅱ <sub>2</sub> 滑动阶段后期 剧烈滑动之前

由运动学知,  $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 = \vec{a} \cdot t = (\vec{F}/m)t$ , 故  $\Delta \vec{v}$  方向与  $\vec{F}$  方向一致.  
由此可以发现坡体受力特征如下:

#### 3.1 滑坡阶段Ⅰ(挤压阶段)

处于挤压阶段的滑体在下滑力  $\vec{F}$  作用下正发生着压缩位移. 灰色位移矢量角不断增大. 此时,  $a_1 < a_2$ ,  $|\vec{v}_1| < |\vec{v}_2|$  (图 2).

#### 3.2 滑坡阶段Ⅱ<sub>1</sub>(滑动阶段初期)

此阶段,  $a_1 \approx a_2$ ,  $|\vec{v}_1| \leq |\vec{v}_2|$ , 被压密的滑体刚度增大, 正发生着匀速加速趋势性整体位移, 下滑力正在向下传递(图 3).

#### 3.3 滑坡阶段Ⅱ<sub>2</sub>(滑动阶段后期, 剧烈滑动之前)

此阶段堆积层滑坡的剪出口业已形成, 在剪出力  $\vec{F}$  作用下, 水平位移加速增大, 即

$|\vec{v}_1| < |\vec{v}_2|$ , 滑坡灰色位移矢量角减小, 即  $\alpha_1 > \alpha_2$  (图 4).

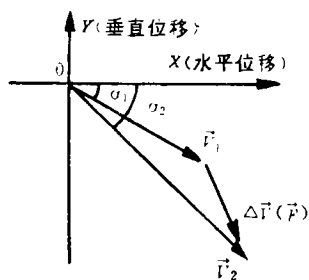


图 2 I 阶段滑体受力特征  
Fig. 2 The characteristics of force action on landslide body in section I

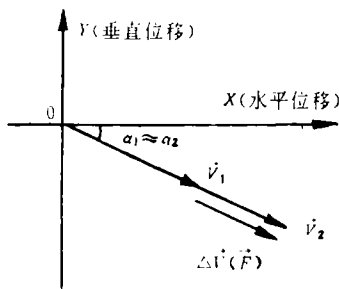


图 3 III1 阶段滑体受力特征  
Fig. 3 The characteristics of force action on landslide body in section III1

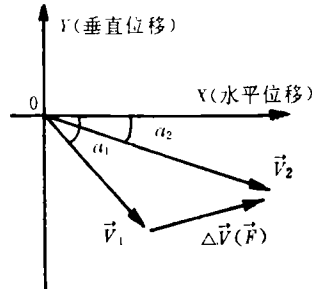


图 4 III2 阶段滑体受力特征  
Fig. 4 The characteristics of force action on landslide body in section III2

上述中,  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$  为滑坡在两个相邻时段内的位移速率,  $\vec{v}_1$  代表前一时期的.  $\alpha_1, \alpha_2$  分别是  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$  的灰色位移矢量角.

可以推断, 随着堆积层滑坡发展, 其灰色位移矢量角具有从小到大, 近似稳定和逐渐变小的动态特征. 且此阶段性与滑体稳定状态阶段性相一致.

滑体上各处观测点, 因它们的应力状态不同, 各观测点的灰色位移矢量角也有较大的差别. 由新滩滑坡上段 F 系列观测点的灰色位移矢量角 (表 3), 可见与剪出口位置接近的  $F_7, F_8, F_6$  三点最早进入 III2 阶段, 而此时处于滑体中间部位的  $F_1, F_5, F_3$  灰色位移矢量角性质保持不变且一致.  $F_1, F_2$  两观测点灰色位移矢量角的第 III2 阶段特征不太明显.

表 3 F 系列观测点灰色位移矢量角动态特征

Table 3 The dynamic characteristics of grey displacement of F series monitored points

观测点	时 间	1994-07-02— 1994-10-24	1994-07-02— 1994-11-21	1994-07-02— 1995-05-15	1994-07-02— 1995-06-11
	状 态				
$F_1$	灰色矢量角( $^\circ$ )	9.7	10.7	11.6	9.7
	滑坡阶段	I	I	II	III1, III2
$F_2$	灰色矢量角( $^\circ$ )	18.0	18.3	18.0	18.3
	滑坡阶段	III1	III1	III1	III1
$F_3$	灰色矢量角( $^\circ$ )	21.9	21.9	21.9	19.6
	滑坡阶段	III1	III1	III1	III2
$F_4$	灰色矢量角( $^\circ$ )	21.8	21.7	21.7	18.1
	滑坡阶段	III1	III1	III1	III2
$F_5$	灰色矢量角( $^\circ$ )	15.1	15.0	15.0	11.0
	滑坡阶段	III1	III1	III1	III2
$F_6$	灰色矢量角( $^\circ$ )	15.2	15.4	15.0	13.4
	滑坡阶段	III1	III1	III1, III2	III2
$F_7$	灰色矢量角( $^\circ$ )	8.3	8.3	8.0	4.6
	滑坡阶段	III1	III1	III1, III2	III2
$F_8$	灰色矢量角( $^\circ$ )	7.3	21.7	7.6	0
	滑坡阶段	III1	III1	III1, III2	III2

这里要特别指出的是,在滑动面未完全贯通之前,滑坡观测点的位移矢量角受局部应力的影响较大,但滑动面贯通之后,滑体一旦开始整体位移,斜坡面上各观测点的灰色位移矢量角与相应的滑面段的倾角一致,详细论述可见参考文献[3],滑动阶段后期,亦即剧烈滑动之前,在坡体受压或剪出部位,灰色位移矢量角同相应段的滑动面倾角之间却有如下关系:在滑体受压部位(如  $F_1$  处),灰色位移矢量角不断增大,且大于滑动面倾角;在滑体剪出部位(如  $F_6, F_7, F_8$ ),灰色位移矢量角逐渐减小,且小于滑动面倾角。

## 4 滑坡时间预报

长期以来,人们循着位移等于时间和速率之积的思路,常以滑坡位移速率或位移量的大小作为预报滑坡的主要判据。但就某一指定滑坡而言,具体确定出位移速率或位移量为多大时才算进入滑动阶段和临滑状态仍有很大困难。堆积层滑坡体是一个复杂的刚柔组合体,且滑体变形受滑面形状影响较大。因之,仅以滑体位移速率或位移量大小来表达滑体运动特征显然是不足的。灰色位移矢量角特征的研究给了新启迪。根据滑动阶段初期矢量角近似相等,滑体进入临滑状态因其剪出位移成倍加大而使灰色位移矢量角变小等特征,可对堆积层滑坡进行短期和临滑预报。就新滩滑坡而言,自 1984-07,它就进入了整体滑移阶段,开始向整体失稳方向发展。据此,可以作滑坡短期预报,此阶段内,若受到外界不利因素干扰,就会发生剧滑,因此要密切注视滑体位移动向。位于滑体剪出口附近的  $F_6, F_7, F_8$  的 3 个观测点的矢量角,自 1985-05 就开始减小,预示着滑坡进入临滑状态,滑坡一触即发。1985-06-11 上段坡体上的绝大部分观测点的灰色位移矢量角减小,表明滑坡剧滑已迫在眉睫,剧滑终于发生于 6 月 12 日凌晨。

新滩滑坡实例说明,对于堆积层滑坡,可以建立如下时间预报判据:当其位移速率不断增大,且其灰色位移矢量角趋于稳定时,滑坡进入加速破坏阶段,可作短期预报;当其位移速率不断增大,且其灰色位移矢量角变小,滑坡进入临滑状态可作临滑预报。这样,堆积层滑坡的时间预报从理论上,更具有明确的物理意义,滑体运动矢量可用量(速率大小)和方向(位移矢量角)而被完整地表达出来。

## 5 结 论

通过以上分析,可以得到如下结论:

1. 堆积层滑坡灰色位移矢量角动态变化具有与滑坡稳定状态相对应的阶段性,各阶段特征与当时滑体稳定状态相一致;滑体上各部位的灰色位移矢量角受其所在部位的应力状态所控制。
2. 正确认识和运用堆积层滑坡的灰色位移矢量角,将有助于评价滑坡稳定性和进行滑坡的短期和临滑预报。
3. 滑坡预报方法具有明确的物理意义,速率加位移矢量角的滑坡预报判据,可弥补速率或位移判据的不足,具有很大实用价值。

## 参 考 文 献

- [1] 李沛,陈自生,刘正荣. 滑体的运动变形及观测要点. 山地研究,1991,9(4):236—243.
- [2] 秦四清,张倬元,王士天等. 滑坡时间预报的突变理论及灰色突变理论方法. 大自然探索,1993,12(4):62—67.
- [3] 阳吉宝. 滑坡位移观测资料的应用. 中国地质灾害与防治学报. 1994,5(2):27—30.

## APPLICATION OF DISPLACEMENT VECTOR ANGLE FOR THE TIME FORECAST OF ACCUMULATION LANDSLIDE

Yang Jibao

(Department of Geotechnical Engineering, Tongji University Shanghai 200092)

Zhong Zhengxiong

(Changjiang Water Resource Commission General Surveying Baroau Wuhan 430010)

### Abstract

To counter the motion deformation characteristics of accumulation landslide, the monitored data of landslide displacement with grey theory and acquires displacement vector angle were discussed. After the characteristics of grey displacement vector angle of Xintan Landslide are analysed, it is found that there are similar dynamic characteristics between grey displacement vector angle and the state of landslide stability. In view of the above-mentioned facts, a new method for forecasting the time of accumulation landslide was put forward owing to application of grey displacement vector angle.

**Key words** accumulation landslide, forecast, grey displacement vector angle, Xintan