

# 泥石流固体物质储量变化的定量预测\*

蒋 忠 信

(铁道部第二勘测设计院科研所 成都 610031)

**提 要** 松散固体物质是形成泥石流的必要条件之一。本文应用 GM(1,3) 定量预测松散固体物质储量的变化,并探讨人为活动对预测值的影响,进而定量分析泥石流形成中人为作用的大小。以成昆铁路利子依达沟作为这一预测方法的实例。

**关键词** 泥石流 松散固体物质 GM(1,3) 人为活动

松散固体物质是形成泥石流的物质基础,松散固体物质动储量是评判泥石流活动的主要指标之一。本文采用 GM(1,3) 灰色系统模型预测泥石流沟松散固体物质动储量的变化,同时探讨人类活动对预测值的影响,进而对泥石流形成中人为作用进行了定量分析,以期对泥石流发展趋势的预测提供依据。

## 1 松散固体物质动储量的 GM(1,3) 预测模型

松散固体物质的聚集是形成泥石流的必要前提,已有用固体物质聚集量进行暴雨泥石流短期预报的经验<sup>[1]</sup>。欲使洪流转化为泥石流,流体容重必须达到较高的临界值,这就要求沟床中的松散固体物质尤其是细粒物质必须聚集到相当大的数量。这个数量愈大,暴发泥石流的频度和规模也可能更大。因此松散固体物质中可能参与泥石流形成的那部分储量,即松散固体物质动储量是评判泥石流活动的一种主要因素。另一方面,浆体容重的大小又与径流量有关。在其他产汇流条件相同时,就与流域汇水面积相关。因此在评判泥石流活动时,宜将松散固体物质动储量的相对值,即单位流域面积内的松散固体物质动储量作为一项主要指标,以  $Q(10^4\text{m}^3/\text{km}^2)$  表示。

流域内提供松散固体物质的主要途径包括岸(谷)坡上崩塌、滑坡,沟床中松散堆积物,坡面风化产物和道路与边坡工程、采矿掘进工程的弃方、弃碴等。这些可直接转化、补给泥石流的松散固体物质储量即为动储量。地震是破坏坡体稳定、诱发崩塌滑坡的重要力源,其影响也体现在动储量这一指标中。

决定流域内松散固体物质动储量的自然因素,主要是岩性、构造、地形、植被、地震及地下水活动等。在人为因素中,主要是弃方、弃碴及渗漏水等。岩性、构造等地质条件是基本固定的,地震是偶发性的,地下水活动受降水和人为活动影响,这些不变的或偶发的或间接的因素,都不宜作为预测固体物质储量的变量。因此在自然因素中,影响固体物质储量的变量是地形与植被。

\* 本文为铁道部第二勘测设计院《新建铁路泥石流灾害预测》项目研究成果之一。

承胡斌、徐晓琴同志协助工作,特此致谢。

本文改回日期:1993-12-11。

地形坡度和沟谷下切是形成崩塌、滑坡等松散体并促使其转化为动储量的主要因素之一,而且由于泥石流动力远大于水动力,泥石流沟地貌可视为变量.研究表明,泥石流沟谷纵剖面形态可综合表征流域诸种地形要素,并可用纵剖面形态方程  $h/h_0 = (l/L)^N$  的幂  $N$  来定量表示,称  $N$  为沟谷纵剖面形态指数<sup>[2]</sup>. 植被覆盖状态影响坡面土壤侵蚀和不良地质体的孕育. 流域植被覆盖状态可用林地面积比例(林地率)  $F$  表示. 据此,松散固体物质动储量  $Q$  的变化既与沟谷纵剖面形态指数  $N$ 、林地率  $F$  有关,也与自身过去的基数有关. 鉴于  $Q, N, F$  三项参数的变化均具有某种不确定性,可视为灰色元素. 因此当这些参数都有 4 个以上时期的资料时,就可采用 GM(1,3) 灰色系统模型定量预测  $Q$  值的变化.

GM(1,3) 是灰色状态模型,反映 2 个变量对因变量一阶导数的影响,称为 3 个序列的一阶线性动态模型<sup>[3]</sup>. 其建模步骤为:

设变量  $Q, N, F$  组成的原始数列  $X_i^{(0)}$  为

$$\begin{aligned} Q^{(0)} &= (Q^{(0)}(1), Q^{(0)}(2), \dots, Q^{(0)}(n)), \\ N^{(0)} &= (N^{(0)}(1), N^{(0)}(2), \dots, N^{(0)}(n)), \\ F^{(0)} &= (F^{(0)}(1), F^{(0)}(2), \dots, F^{(0)}(n)). \end{aligned}$$

对  $X_i^{(0)}$  分别作一次累加生成,得新的数列

$$\begin{aligned} Q^{(1)} &= (Q^{(1)}(1), Q^{(1)}(2), \dots, Q^{(1)}(n)), \\ N^{(1)} &= (N^{(1)}(1), N^{(1)}(2), \dots, N^{(1)}(n)), \\ F^{(1)} &= (F^{(1)}(1), F^{(1)}(2), \dots, F^{(1)}(n)). \end{aligned}$$

建立微分方程

$$dQ^{(1)}/dt + a_1 Q^{(1)} = b_1 N^{(1)} + b_2 F^{(1)}.$$

系数向量  $\hat{a} = [a_1, b_1, b_2]^T$ , 用最小二乘法求解

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y,$$

式中  $B$  为累加矩阵,  $Y$  为常数项向量, 分别为

$$B = \begin{bmatrix} -1/2(Q^{(1)}(1) + Q^{(1)}(2)) & N^{(1)}(2) & F^{(1)}(2) \\ -1/2(Q^{(1)}(2) + Q^{(1)}(3)) & N^{(1)}(3) & F^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -1/2(Q^{(1)}(n-1) + Q^{(1)}(n)) & N^{(1)}(n) & F^{(1)}(n) \end{bmatrix},$$

$$Y = [Q^{(0)}(2), Q^{(0)}(3), \dots, Q^{(0)}(n)]^T.$$

求得微分方程的解

$$\begin{aligned} \hat{Q}^{(1)}(t+1) &= \left( Q^{(0)}(1) - \frac{b_1}{a_1} N^{(1)}(t+1) - \frac{b_2}{a_1} F^{(1)}(t+1) \right) \cdot e^{-a_1 t} \\ &\quad + \frac{b_1}{a_1} N^{(1)}(t+1) + \frac{b_2}{a_1} F^{(1)}(t+1), \end{aligned} \quad (1)$$

式中  $Q^{(0)}(0)$  取为  $Q^{(0)}(1)$ .

累减还原式

$$\hat{Q}^{(0)}(t+1) = a^{(1)} \hat{Q}^{(1)}(t+1) = \hat{Q}^{(1)}(t+1) - \hat{Q}^{(1)}(t). \quad (2)$$

据式(2)进行预测.

## 2 GM(1,3)预测算例

利子依达沟位于成昆铁路北段乌斯河车站附近的大渡河右岸,1981年7月9日暴发大规模泥石流,颠覆旅客列车,造成重大伤亡.从该段铁路进入施工的1965年至通车10年后的1981年,流域生态环境遭到人为活动的较大破坏.16年间,林地面积减少了 $1.55\text{km}^2$ ,崩塌、滑坡由6处急增至29处,松散固体物质储量由 $1\,640\times 10^4\text{m}^3$ 增至 $1\,930\times 10^4\text{m}^3$ ,成为灾难性泥石流的引发因素之一.

利子依达流域的松散固体物质储量 $Q$ 、沟谷纵剖面形态指数 $N$ ,林地面积 $F$ 的4个时期之数据列于表1.其中加括号者为估算值,其余均从航片判释或地形图上计量而得.

表1 利子依达沟的 $Q, N, F$ 值  
Table 1 Values  $Q, N, F$  in Liziyida Ravine

参 数	1965 年	1971 年	1979—1981 年	1987 年
$Q(10^4\text{m}^3)$	1 639.7	(1 748.5)	1 929.9	1 928.9
$N$	1.78	1.83	1.93	(1.95)
$F(\text{km}^2)$	17.89	(17.31)	16.34	14.77

4次数据间的时间间隔为6—8年,不是严格的等时距分布.考虑到不等时距的GM(1,3)尚不成熟,作为算例,仍采用等时距的标准GM(1,3)作为预测模型.原始数列为

$$Q^{(0)} = (1\,639.7, 1\,748.5, 1\,929.9, 1\,928.9),$$

$$N^{(0)} = (1.78, 1.83, 1.93, 1.95),$$

$$F^{(0)} = (17.89, 17.31, 16.34, 14.77).$$

一次累加数列为

$$Q^{(1)} = (1\,639.7, 3\,388.2, 5\,318.1, 7\,247.0),$$

$$N^{(1)} = (1.78, 3.61, 5.54, 7.49),$$

$$F^{(1)} = (17.89, 35.20, 51.54, 66.31).$$

由

$$B = \begin{bmatrix} -2\,513.95 & 3.61 & 35.20 \\ -4\,353.15 & 5.54 & 51.54 \\ -6\,282.55 & 7.49 & 66.31 \end{bmatrix}, \quad Y = \begin{bmatrix} 1\,748.5 \\ 1\,929.9 \\ 1\,928.9 \end{bmatrix},$$

$$B^T B = \begin{bmatrix} -2\,513.95 & -4\,353.15 & -6\,282.55 \\ 3.61 & 5.54 & 7.49 \\ 35.20 & 51.54 & 66.31 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -2\,513.95 & 3.61 & 35.20 \\ -4\,353.15 & 5.54 & 51.54 \\ -6\,282.55 & 7.49 & 66.31 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 64\,740\,294 & -80\,248.11 & -729\,448.28 \\ -80\,248.11 & 99.823\,8 & 909.265\,5 \\ -729\,448.28 & 909.265\,5 & 8\,292.427\,7 \end{bmatrix},$$

$$(B^T B)^{-1} = \begin{bmatrix} A_{11}/|A| & A_{21}/|A| & A_{31}/|A| \\ A_{12}/|A| & A_{22}/|A| & A_{32}/|A| \\ A_{13}/|A| & A_{23}/|A| & A_{33}/|A| \end{bmatrix}.$$

式中  $A_{ij}$  为代数余子式, 即

$$\begin{aligned} A_{11} &= 1\,017.894\,7, & A_{12} &= 2\,189\,495, & A_{13} &= -150\,538.65, & A_{21} &= 2\,189\,495, \\ A_{22} &= 4\,759\,414\,077, & A_{23} &= -329\,269\,981, & A_{31} &= -150\,538.65, & A_{32} &= -329\,269\,981, \\ A_{33} &= 22\,863\,022. \end{aligned}$$

$$A = \begin{bmatrix} 64\,740\,294 & -80\,248.11 & -729\,448.28 \\ -80\,248.11 & 99.823\,8 & 909.265\,5 \\ -729\,448.28 & 909.265\,5 & 8\,292.427\,7 \end{bmatrix} = 6\,159\,461.$$

故

$$(B^T B)^{-1} = \begin{bmatrix} 0.000\,165\,257\,1 & 0.355\,468\,6 & -0.024\,440\,23 \\ 0.355\,468\,6 & 772.699\,767 & -53.457\,597 \\ -0.024\,440\,23 & -53.457\,597 & 3.711\,851 \end{bmatrix}.$$

又

$$B^T Y = \begin{bmatrix} -2\,513.95 & -4\,353.15 & -6\,282.55 \\ 3.61 & 5.54 & 7.49 \\ 35.20 & 51.54 & 66.31 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1\,748.5 \\ 1\,929.9 \\ 1\,928.9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -24\,915\,196 \\ 31\,451.192 \\ 288\,919.605 \end{bmatrix},$$

$$\text{所以 } \hat{a} = \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y = \begin{bmatrix} 1.236\,554 \\ 811.080\,6 \\ 54.498\,33 \end{bmatrix}.$$

据式(1)

$$\hat{Q}^{(1)} = (1\,639.7 - 655.92N - 44.073F)e^{-1.236\,554t} + 655.92N + 44.073F, \quad (3)$$

式中  $N, F$  采用一次累加值  $N^{(1)}, F^{(1)}$ . 算出  $\hat{Q}$  值为 1 617.6(1971 年)、2 288.3(1979 年)、2 138.0(1987 年), 残差率较大, 分别为 7.49%, -18.57%, -10.82%, 平均 -7.31%. 据此, 将(3)式进行残差修正, 即除以  $(1+7.31\%)$ , 得

$$\hat{Q}^{(1)} = (1\,528.0 - 611.24N - 41.071F)e^{-1.236\,554t} + 611.24N + 41.071F. \quad (4)$$

式(4)即为预测式. 铁路通车 100 年内的预测结果列于表 2. 表中  $N$  值为不等时距 GM(1,1) 预测结果,  $F$  值为马尔柯夫预测结果, 其中带括号者为内插值,  $N, F$  的预测另文叙述. 表列时距为 8 年, 仅  $t_3$  与  $t_4$  间为 10 年, 系资料所限, 将对预测结果带来误差. 预测结果显示,  $Q$  值的变化不是单调的, 而是呈现波动. 从 1979—1981 年的峰值下降, 至 2005 年, 表现了 1981 年暴发泥石流带走大量固体物质所导致的松散体储量的减少. 2005 年后又逐渐回升. 但波动幅度不大, 在通车后百年内稳定在 1 900—2 100( $10^4 \text{m}^3$ ) 范围. 这是因为, 一方面随着植被覆盖率的降低, 松散物质会加速聚集; 另一方面  $N$  值的变化是向远离流域最不稳定( $N=1.62$ ) 的方向, 流域地貌的演化速度会稍慢, 固体物质的形成又会减少. 稳定背景上  $Q$  值的波动, 与泥石流间歇性暴发的特点相适应,  $Q$  值高峰期有利于泥石流的大规模暴发, 其后又导致  $Q$  值从低值逐渐回升. 因此, 可以认为, 在不考虑人为活动的剧烈影响时, 利子依达沟未来的松散固体物质储量将稳定在 2 000( $10^4 \text{m}^3$ ) 左右. 当然, 由于资料与方法的限制, 本例的时距不全相等, 少量数据采用了内插值, 无疑会使预测值产生一定误差, 但尚不致影响总的结论.

表2 利子依达沟Q值的GM(1,3)预测结果

Table 2 GM(1,3)prediction results of Q value in Liziyida Ravine

时序 (t)	年份	沟谷纵 剖面形 态指数 N	林地面 积 P (km <sup>2</sup> )	松散固体物质储量 Q(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )			时序 (t)	年份	沟谷纵 剖面形 态指数 N	林地面 积 P (km <sup>2</sup> )	松散固体物质储量 Q(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )		
				实测值	预测值	残差率 (%)					实测值	预测值	残差率 (%)
1	1971	1.83	17.31	1 748.5	1 507.4	13.8	8	2029	2.31	12.45		1 944.4	
1	1979	1.93	16.89	1 929.9	2 132.5	-10.5	9	2037	2.38	(11.91)		1 970.8	
3	1987	1.95	14.77	1 928.3	1 992.9	-3.3	10	2045	2.46	11.37		1 999.5	
4	1997	2.03	14.93		1 904.7		11	2053	2.54	(10.88)		1 967.0	
5	2005	2.10	(14.28)		1 899.0		12	2061	2.62	10.39		2 119.7	
6	2013	2.17	13.63		1 903.2		13	2069	2.70	(9.94)		2 095.1	
7	2021	2.23	(13.04)		1 924.8		14	2077	2.79	9.49			

3 人为活动对预测结果的影响

上述Q值的GM(1,3)预测模型着重考虑的自然因素演变的影响,而人为活动是影响松散固体物质数量的不可忽视的因素。尤其是新建铁路,施工和通车后急剧增强的人类经济活动对松散体的形成更有举足轻重之作用。因此对松散固体物质储量Q值的预测,需在GM(1,3)模型的基础增加人为活动的修正项。

以新建铁路为例,影响Q值的人类活动包括施工活动,通车后因运输条件改善而加速增长的开矿、采石、筑路活动,以及伴之的垦荒、修渠等。这些活动破坏山体稳定,加速坡面侵蚀,促发崩塌、滑坡或促使古滑坡复活,为泥石流的形成提供松散固体物质,甚至促成所谓“人为泥石流”。例如成昆铁路的泥石流沟,由交付运营时的60余条发展到现今的300余条,其中至少有20%是不合理人类活动所导致或加剧的。这些人类活动对Q值的影响可归纳为以下三个方面:

3.1 施工增加松散固体物质动储量Q<sub>1</sub>

在铁路等各项工程施工中,未经处理的隧道弃碴、路堑和施工便道的弃方以及桥基弃土等,将直接形成松散固体物质动储量。另一方面,开挖路堑边坡,尤其是风行一时的大爆破施工,造成边坡失稳、山体松动或诱使古滑坡复活,也增加松散物质的来源。

在预测中,可依据工程设计和施工组织,估算得不到合理处置的各种施工弃方的数量,以及新生的或复活的不良地质体的规模,作为松散物质动储量的第一个增量Q<sub>1</sub>。

3.2 采石开矿增加松散固体物质动储量Q<sub>2</sub>

铁路通车后,沿线的矿山、煤窑、采石场会如雨后春笋,社队企业会竞相创办。由于急功近利,重采轻治,甚至乱剥广采,盲目弃碴,酿成的弃碴泥石流灾害触目惊心。成昆铁路沿线的盐井沟、乐日沟、内则沟、拉古子沟等泥石流皆属弃碴泥石流。

采矿的便道边坡往往过陡且不加支护,坍塌多有发生。废弃矿井的坍塌也提供部分土体。采矿弃碴的松散固体物质动储量增量Q<sub>2</sub>为弃碴和失稳土体两部分之和。弃碴数量可从矿区开采规划入手,用合适的模型预测其规模的发展再据弃碴所占比例计算弃碴量。由于矿体储量是有限的,采矿有一个发生、发展和涸竭的过程,选用生物生长模型或高斯曲线等有极值模型进行预测较合适。

例如南昆铁路段家河泥石流沟,上游段小煤窑密布,且方兴未艾。占采煤量7%的弃

碴,是流域泥石流和河道淤涨的松散固体物质的主要来源之一. 根据调查的历年采煤量,用高斯曲线拟合效果甚佳,得各时段年均采煤量  $Y(10^4t)$  为:

$$Y = 38.475e^{-0.002412(t-34)^2}.$$

(5)

以(5)式预测的采煤规模和弃碴量如表 3. 显示出采煤、弃碴规模增至 2004 年达到峰值后逐年递减,至 2043 年已近终结. 本世纪末、下世纪初叶弃碴高峰期间尤需注意防范.

3.3 垦荒开渠增加松散固体物质动储量  $Q_3$

农村人口膨胀,导致陡坡垦殖、引水开渠和兴修道路等活动日盛,引起沟坡失稳,滑坡复活,为泥石流提供了固体物质储备.

表 3 段家河流域的采煤规模与弃碴数量

Table 3 The scale of coal mining and spoil volume in Duanjia River Basin

时 段	年度 (a)	实际采煤量( $10^4t$ )		预测采煤量( $10^4t$ )		累计采煤 总量( $10^4t$ )	累计弃碴 总量( $10^4m^3$ )
		全时段	年 均	全时段	年 均		
1971	1	2	2			2	0.08
1972—1978	7	49	7			51	2.10
1979—1983	5	60	12			111	4.57
1984—1989	6	84	14			195	8.03
1990—1991	2	48	24			243	10.00
1992—1997	6			186.00	30.80	429	17.66
1998—2003	6			222.70	37.10	652	26.85
2004	1			38.50	38.50	690	28.41
2005—2014	10			352.80	35.30	1 043	42.95
2015—2024	10			216.10	21.60	1 259	51.84
2025—2042	18			102.10	5.70	1 361	56.04
2043	1			0.98	0.98	1 362	56.08
平 均	73					18.66	0.77

成昆铁路的列古洛多沟、耳足沟、拉白依达沟的泥石流,系村民在滑坡体上开渠、种稻导致滑坡蠕动复活所致. 凉红至甘洛一带,盛行陡坡垦殖,酿成的山坡坡面泥石流的频率、规模有增无减. 垦荒开渠导致坡土失稳和滑坡复活的数量即为松散固体物质增量  $Q_3$ .

上述人类活动所致松散固体物质增量自然也是时间的函数,故  $Q$  值预测式应修正为

$$\hat{Q}^{(n)}(t+1) = \hat{Q}^{(1)}(t+1) - \hat{Q}^{(1)}(t) + Q_1(t+1) + Q_2(t+1) + Q_3(t+1).$$

4 泥石流形成中人为作用的定量分析

应用徐建华等近年提出的人文作用定量分析方法<sup>[4]</sup>,依据松散固体物质动储量及其主要影响因素随时间的变化资料,可以定量估算人为活动在泥石流形成中作用强度的比例. 对铁路沿线的泥石流沟,对通车前、后的这种强度进行对比,可评价兴建铁路后人为活动增大的程度,为泥石流的预测与防治提示方向.

流域地貌系统是内、外营力过程和人为作用过程共存的开放系统. 在内营力相对稳定的时期内,松散固体物质主要通过外营力过程和人文作用而形成. 用  $Q$  代表松散固体物质动储量,  $M$  代表人文作用强度,  $X_i(i=1,2,\cdots,n)$  代表不同的自然要素的投入,  $C$  代表区域特征值,则松散固体物质形成过程的通用函数为

$$Q = CMf(x_1, x_2, \cdots, x_n),$$

式中  $M, x_i$  是时间  $t$  的函数,  $C$  为常数.

如前所述,地形和植被是影响松散固体物质数量变化的主要变量. 代表地形因素的沟谷纵剖面形态指数  $N$  值与流域稳定性的关系是回归的,宜将  $N$  值还原为流域系统的超熵  $\delta_x P$ .  $\delta_x P$  与流域稳定性的关系是线性的,负向的. 即  $\delta_x P$  值愈小,流域系统愈不稳定. 林地面积  $F$  对  $Q$  值的影响也是负向的. 即  $F$  愈大,愈不利于松散物质的形成. 据此,可得出  $Q$  值增长速度方程为

$$\frac{dQ}{dt}/Q = C \left( \frac{dM}{dt}/M + a_1 \frac{d\delta_x P}{dt}/\delta_x P + a_2 \frac{dF}{dt}/F \right),$$

式中 右端括号内的第一项为水文作用的变化率,  $a_i (i=1, 2)$  为产出弹性系数.

在时间间隔  $\Delta t$  较小,且各项的  $\Delta t$  取相同的时间间隔时,上式可近似为如下差分方程

$$\frac{\Delta Q}{Q} = C \left( \frac{\Delta M}{M} + a_1 \frac{\Delta \delta_x P}{\delta_x P} + a_2 \frac{\Delta F}{F} \right).$$

估算出区域特征值  $C$  和参数  $a_i$  后,可算出人文作用的变化速度  $\Delta M/M$

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{\Delta Q}{QC} - a_1 \frac{\Delta \delta_x P}{\delta_x P} - a_2 \frac{\Delta F}{F}. \quad (7)$$

人为作用在松散固体物质形成中的贡献率  $K_1$  为

$$K_1 = \left( \frac{\Delta M}{M} \div \frac{\Delta Q}{Q} \right) \times 100\%, \quad (8)$$

自然要素对  $Q$  值的贡献率  $K_2$  为

$$K_2 = 100 - K_1, \quad (9)$$

其中产出弹性系数的计算采用弧弹性公式

$$a_i = \left| \frac{\Delta Q}{\Delta x_i} \cdot \frac{x_{i1} + x_{i2}}{Q_1 + Q_2} \right| \quad (i = 1, 2). \quad (10)$$

以利子依达沟为例,定量分析人为活动促发 1981 年 7 月 9 日泥石流的作用(表 4).

表 4 利子依达沟的  $Q, \delta_x P, F$  值

Table 4 Values  $Q, \delta_x P, F$  in Liziyida Ravine

研究时段	松散固体物质 储量 $Q(10^4 \text{m}^3)$	沟谷纵剖面形 态指数 $N$	流域系数超 熵 $\delta_x P$	林地面积 $F(\text{km}^2)$
$t_1(1965 \text{ 年})$	1 639.7	1.78	-0.131 3	17.89
$t_2(1981 \text{ 年})$	1 929.9	1.93	-0.059 7	16.34
$\Delta x_i$	290.2	0.15	0.071 6	-1.55
$\Sigma x_i$	3 569.6	3.71	-0.191 0	34.23
变化率 $(\Delta x_i/x_i)(\%)$	17.7	8.43	54.550 0	-8.66

据式(10)计算  $a_i$ . 因为  $\delta_x P, F$  对  $Q$  的影响是负向的,取  $a_i$  的符号为负.

$$a_1 = - \left| \frac{290.2}{0.071 6} \times \frac{-0.191 0}{3 569.0} \right| = -0.216 9,$$

$$a_2 = - \left| \frac{290.2}{-1.55} \times \frac{34.23}{3 569.6} \right| = -1.795 4.$$

据式(7),考虑水文地质条件等其它自然要素也对  $Q$  值变化有影响,估算  $C$  值为 1.5. 则人文作用变化速度

$$\frac{\Delta M}{M} = \frac{17.7}{1.5} - (-0.2169) \times 54.55 - (-1.7954) \times (-8.66) = 8.084.$$

据式(8),人文作用对  $Q$  值的贡献率

$$K_1 = 8.084 \div 17.70 = 45.67\%.$$

实际上,植被破坏也是人为活动的恶果. 因此人为作用的贡献率远大于 50%. 1981 年利子依达泥石流主要是人为活动破坏环境之结果.

## 5 结 语

本文提出的预测松散固体物质储量变化的 GM(1,3)灰色系统模型,为泥石流灾害预测提供了一种模式,可供试用. 但这种预测还属探讨性质. 模型中所考虑的变量简单,如发生强烈地震,对模型的干扰会较大,因此该模型适用于较长地震间歇期. 此外,建模数据的获取是应用模型的关键. 至少 4 次等时距数据是必要的. 但由于航片、地形图的限制,欲获 4 次数据,还要等时距是困难的,这对本预测模型的应用带来麻烦. 如果像本文算例那样近似按等时距处理或采用内插值,定会对预测结果带来误差,影响预测值精度.

人为活动对松散固体物质数量的影响,本文还主要处于定性探讨阶段,有待进一步定量化. 铁路运营期在百年以上,要利用现有短系列资料这样长系列地预测颇感勉强,预测的可信度有待提高.

## 参 考 文 献

- [1] 钟敦伦、谢洪、王爱英. 四川境内成昆铁路泥石流预测预报参数,山地研究,1990,8(2):82—88.
- [2] 蒋忠信,泥石流流域系统的超熵,中国地质灾害与防治学报,1992,3(1):33—40.
- [3] 邓聚龙,灰色系统,北京:国防工业出版社,1985. 23—42.
- [4] 樊胜岳、徐建华,水土流失和沙漠化系统中人文作用定量分析的通用数学模型初探,地理科学,1992,12(4):305—312.

## AQUANTITATIVE FORECAST TO RESERVES CHANGE OF SOLID LOOSE MATERIALS IN DEBRIS FLOW RAVINE

Jiang Zhongxin

(The Second Surveying and Designing Institute, Ministry of Railway Chengdu 610031)

### Abstract

Solid loose materials are a condition of main prerequisite forming debris flow. As an example with Liziyida Ravine, in the paper quantitative forecast to reserve change of solid loose mass is made using GM(1,3). Then, influence of man's activity to the forecasting value is discussed. Finally, amount of the man's action to forming debris flow is analysed in the paper.

**Key words** debris flow, loose mass, GM(1,3), man's activity