

四川达曲河流域泥石流沟发育阶段的 面积—高程分析

吕学军^{1, 2}, 刘希林¹, 苏鹏程¹

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都; 610041 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要: 运用 Stanler 面积—高程分析方法, 以四川达曲河流域为对象, 对泥石流沟发育阶段进行了量化研究。根据分析结果, 按照 Stanler 理论的划分标准, 初步判定各泥石流沟发育阶段。结果表明, 达曲河流域泥石流沟大多发育在幼年期和壮年期阶段。这一结论对该区泥石流灾害防治和预测预报具有重要意义。

关键词: 达曲; 泥石流; 面积—高程分析方法; 发育阶段

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

美国地貌学家 W. M. Davis 于 1899 年提出了地貌侵蚀循环学说, 认为地貌演化是构造、应力和时间的函数, 并根据这三个变量的组合变化, 把地形发育划分为幼年期、壮年期和老年期三个阶段。20 世纪 50 年代, 美国理论地貌学家 A. N. Stanler 把面积—高程分析方法运用于流域地貌发育研究之中, 用定量方法确定地理循环阶段^[1]。泥石流的发育阶段, 主要表现为孕育泥石流发生的沟谷所处的不同地貌发育阶段。本文以四川达曲河流域 21 条泥石流沟为例, 运用面积—高程分析方法对该流域泥石流沟地貌发育阶段进行初步研究。

1 研究区概述

1.1 研究范围

达曲河源于四川省甘孜县与石渠县交界处的戈也拉卡山, 为雅砻江一级支流, 先流入色达县, 再流入甘孜县, 最后流入炉霍县。研究区选取从甘孜县东谷区四通达乡政府所在地至色达县然充乡政府所在地的达曲河段, 研究范围在 31°45′~ 42°06′N, 99°56′~ 100°12′E 间。

1.2 自然地理环境

研究区为高山亚寒带气候, 年平均气温 - 4.2~ 5.6 °C, 1 月平均气温 - 17~ - 0.5 °C, 7 月平均气温 5~ 14 °C, 昼夜温差较大, 年温差较小; 降水量不均匀, 干、雨季分明, 5~ 10 月为雨季, 11~ 4 月为旱季, 雨季降水量占全年的 80 % 左右; 土壤以山地褐土、山地棕壤、亚高山草甸土为主, 季节冻土分布广泛, 另外个别高山有零星岛状多年冻土分布; 植被以草甸草地、灌丛地和荒草地为主, 具有相对脆弱性, 对外界干扰抵抗能力较差。该区属于浅—深切割的高山区和极高山区, 最高处海拔 5 000 m 以上, 最低处海拔 2 000 m, 为高山峡谷地貌类型。地层主要为巴颜喀拉群砂岩、板岩及砂板岩互层, 局部出露有灰岩和岩浆岩岩体, 属中等坚硬—坚硬岩类^[2, 3]。研究区位于可可西里—金沙江地震带东南部, 其南部为鲜水河—炉霍地震区, 西北部为达日地震带, 断裂构造活动相对较强, 主要涉及清水河北、主峰、桑日麻和甘德南 4 条活断裂。据野外考察, 该流域有多处大规模滑坡和崩塌, 还有多处暂时性流水引起的冲沟、沟岸坍塌, 以及片蚀、溅蚀等细沟侵蚀引起的不稳定坡体。

收稿日期(Received date): 2004- 09- 09; 改回日期(Accepted): 2004- 11- 23。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程项目(KZCX3- SW- 323)。[Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences, No. KZCX3- SW- 323]

作者简介(Biography): 吕学军(1967-), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 现从事泥石流灾害与环境的学习和研究。[L. Xuejun, male, born in Binzhou, Shandong, M. S. Candidate, majoring in debris flow hazard and environment.]

1.3 泥石流分布

在 2003- 08 和 2004- 07~ 08 两次野外实地考察、现场灾害填图(1: 10 万)和 GPS 定点的基础上,根据室内航片判读和 TM、SPOT 卫星图象解译相互校正,达曲河流域分布具有一定规模和比较典型的泥石流沟共 21 条(图 1,表 1)。

2 泥石流沟流域面积-高程分析

2.1 面积-高程分析方法

设流域面积为 A , 该流域内某等高线以上的面积为 a , 该等高线与流域最低点的高差为 h , 流域最高点与最低点的高差为 H 。首先在等高线地形图上,确定某泥石流流域范围,再量出每一条等高线以上流域的控制面积和每条等高线与流域最低点的高差。以 $x = a/A$, $y = h/H$ 分别为横坐标和纵坐标,显然 x, y 的值域为 $[0, 1]$, 根据一系列 (a_i, h_i) 值,就可在 x, y 坐标系上绘出曲线

$$y=f(x) \tag{1}$$

此为流域面积-高程曲线(图 2), 积分为

$$S=\int_0^1 f(x)dx \tag{2}$$

式(2)结果等于曲线和 x, y 轴围成的块体面积与整个方块的面积之比。根据 A. N. Stranler 地貌侵蚀循环理论, 当 $0.6 < S < 1$ 时, 表示流域的地表物质

被侵蚀 $< 40\%$, 此时曲线形状为上凸, 地貌发育阶段为幼年期; 当 $0.35 \leq S \leq 0.6$ 时, 地表物质被侵蚀 $> 40\%$ 而 $< 65\%$ 时, 曲线接近直线, 地貌发育阶段为壮年期; 当 $0 < S < 0.35$ 时, 表明有 65% 以上的物质被侵蚀掉, 曲线形状为下凹, 此时为老年期^[1]。根据曲线形状与 S 值的大小, 按照一定的划分标准就可确定泥石流沟的发育阶段(图 3)。

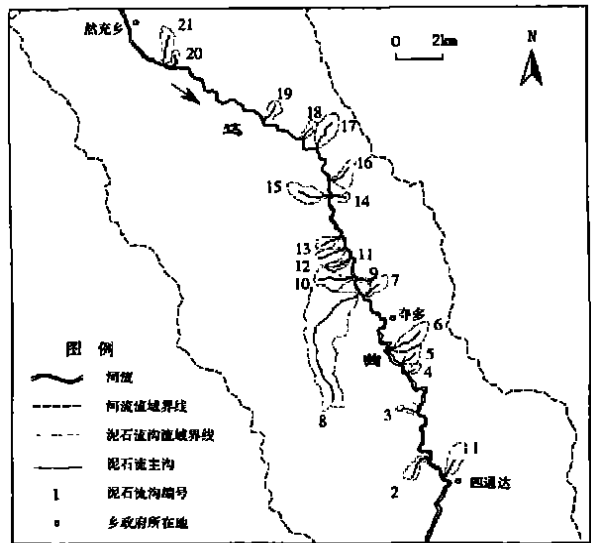


图 1 达曲河流域泥石流沟分布
Fig. 1 The distribution of debris flow ravines in Daqu basin

表 1 达曲河流域泥石流特征值
Table 1 The eigenvalue of debris flow ravines in Daqu basin

沟谷编号	GPS 定位	岸别	流域面积 s_1 (km^2)	主沟长度 s_2 (km)	流域相对高差 s_3 (km)	备 注
1	3°45.615' N, 100°12.013' E	左	3.01	3.53	0.98	尼弄沟
2	3°46.427' N, 100°11.455' E	右	1.88	3.02	0.74	
3	3°48.708' N, 100°10.854' E	右	0.88	1.24	0.77	拉德沟
4	3°50.511' N, 100°10.303' E	左	0.72	1.07	0.55	达尼沟
5	3°51.037' N, 100°09.890' E	左	1.73	2.47	0.80	拉娜沟
6	3°51.633' N, 100°09.415' E	左	4.13	4.59	1.06	巴弄目各沟
7	3°54.337' N, 100°08.055' E	左	2.05	1.95	0.76	申达沟
8	3°54.482' N, 100°07.835' E	右	28.47	12.11	1.13	色弄巴沟
9	3°55.102' N, 100°07.718' E	左	0.78	1.10	0.62	
10	3°55.259' N, 100°07.666' E	右	4.41	3.47	0.99	
11	3°56.168' N, 100°07.554' E	右	1.23	2.11	0.78	
12	3°56.631' N, 100°07.223' E	右	2.62	2.25	0.89	
13	3°57.129' N, 100°07.094' E	右	1.92	2.25	0.74	
14	3°59.047' N, 100°06.584' E	左	1.20	1.41	0.63	
15	3°59.199' N, 100°06.461' E	右	3.51	3.72	0.99	
16	3°59.870' N, 100°06.434' E	左	2.99	3.15	0.79	
17	3°01.348' N, 100°05.636' E	左	4.32	3.30	0.97	莫弄巴沟
18	3°09.913' N, 100°04.908' E	左	0.88	1.77	0.67	
19	3°02.758' N, 100°02.884' E	左	1.39	1.77	0.61	
20	3°05.350' N, 99°58.098' E	左	0.92	1.79	0.48	
21	3°05.587' N, 99°57.367' E	左	2.66	3.67	0.60	

2.2 绘制泥石流沟流域面积—高程曲线

在 1:10 万地形图上绘出各泥石流沟流域范围,然后将流域范围扫描到计算机上,在 ArcView 环境下将各流域范围内的等高线以等高距 100 m 的标

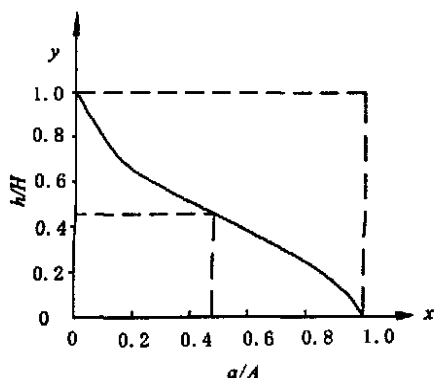


图2 面积—高程曲线

Fig. 2 The curve of area-altitude

2.3 泥石流沟流域面积—高程曲线积分

用 Excel 对所绘制的面积—高程曲线进行趋势拟合。拟合形式有线性、对数、多项式、乘幂及指数等形式,显然面积和高程之间不存在线性关系。对该流域 21 条泥石流沟分别用其他方式进行拟合,经比较后发现利用对数、乘幂及指数形式拟合的相关系数都明显小于用多项式形式拟合的相关系数。采用多项式形式进行拟合,经比较,当阶数为 3 时,拟合效果较好,每条泥石流沟的 R^2 均 > 0.99 ,符合计算精度要求,故选用立方方程进行拟合。需要说明的是,在此使用的 3 次拟合曲线亦只具有数学上的统计意义,而非具有地貌学上的一般意义。拟合后得出每条泥石流沟流域的曲线方程,再分别对曲线方程在 $[0, 1]$ 区间进行积分,计算出 21 条泥石流沟谷流域的高程—面积积分 S (表 2)。

3 泥石流沟谷发育阶段

当沟谷侵蚀到一定阶段,拥有大量的松散固体物质,具备一定的地形坡降条件以及水源和水动力条件时就会发生泥石流。处于不同发育阶段的泥石流,其活跃程度、性质、规模、暴发周期和危害程度不同,地表物质相对侵蚀量有明显的差异。初次发生泥石流的沟谷,侵蚀强烈,坡地陡峻,流域储存松散固体物质的能力小,泥石流发生规模不大,面积—高程曲线积分值 S 较高;随着侵蚀过程的缓和,流域

准对其进行矢量化,再统计等高距为 100 m 的各条等高线所控制的面积,最后用 Excel 进行相关处理,得出系列 (x_i, y_i) ,分别绘制出各流域的面积—高程曲线。

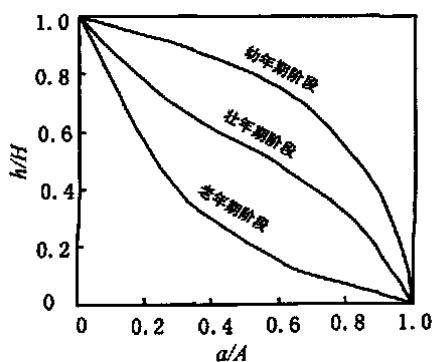


图3 面积—高程曲线反映的地貌发育阶段

Fig. 3 The stage of geomorphological evolution reflected by the curve of area altitude

形态趋向平缓,流域内松散固体物质聚积能力增强,泥石流暴发的规模和强度加大, S 值逐渐变低;随着流域侵蚀能力的进一步变弱,地势平缓,坡度变小,泥石流沟逐渐向残丘演变, S 值较低。因而,面积—高程分析方法运用于流域地貌发育阶段的划分,既能反映非泥石流的侵蚀程度,也能反映泥石流的侵蚀程度。本研究对象特定为泥石流沟谷流域,在此前提下,利用面积—高程分析方法进行泥石流地貌发育阶段的划分,能够比较客观地定量反映泥石流的发生发展进程。

由表 2 可以看出,21 条泥石流沟的面积—高程积分值 S 介于 0.45 ~ 0.65 之间。根据 A. N. Stanler 地貌侵蚀循环理论并参考有关文献^[4-7],针对达曲河流域,泥石流沟发育阶段的地貌特征可归纳为表 3。由此可知,壮年期泥石流沟 ($0.35 \leq S \leq 0.6$) 共 15 条,占总数的 71.4%,其中壮年(偏幼)期 ($0.55 \leq S \leq 0.6$) 泥石流沟 7 条;幼年期泥石流沟 ($S > 0.6$) 共 6 条沟,占总数的 28.6%;达曲河流域内无老年期泥石流沟 ($S < 0.35$)。13 号泥石流沟 S 值最高,为 0.646 1,曲线上凸,沟床坡度较大,表现为幼年期泥石流沟(图 4,照片 1);3 号泥石流沟(拉德沟) S 值最小,为 0.451 3,曲线下凹,沟床坡度较小,表现为壮年期泥石流沟(图 5,照片 2)。结合表 2 和表 3 的分析结果,达曲河流域大部分泥石流沟处于壮年期。

表 2 达曲河流域泥石流沟谷面积—高程积分及发育阶段
Table 2 Integral curve and evolution stage of debris flow ravine in Daqu basin

沟谷编号	R^2	拟合方程	S	发育阶段	备注
1	0.999 4	$y = -1.185x^3 + 1.6578x^2 - 1.3587x + 0.9748$	0.551 8	壮年(偏幼)期	尼弄沟
2	0.999 2	$y = 1.6763x^3 - 4.8315x^2 + 2.9318x + 0.2951$	0.569 6	壮年(偏幼)期	
3	0.999 7	$y = -1.2872x^3 + 2.0873x^2 - 1.6957x + 0.9252$	0.451 3	壮年期	拉德沟
4	0.998 7	$y = -1.3358x^3 + 1.3995x^2 - 1.0412x + 0.9975$	0.609 5	幼年期	达尼沟
5	0.996 0	$y = -1.7205x^3 + 2.4557x^2 - 1.6249x + 0.9226$	0.498 6	壮年期	拉娜沟
6	0.998 1	$y = -1.8390x^3 + 2.5357x^2 - 1.5869x + 0.9466$	0.538 6	壮年期	巴弄 沟
7	0.999 9	$y = -1.5967x^3 + 2.0252x^2 - 1.3949x + 1.0024$	0.580 8	壮年(偏幼)期	申达沟
8	0.996 8	$y = -2.8667x^3 + 4.4028x^2 - 2.5200x + 1.0461$	0.537 0	壮年期	色弄巴沟
9	0.998 1	$y = -0.4865x^3 + 1.2422x^2 - 1.4669x + 0.9922$	0.551 2	壮年(偏幼)期	
10	0.997 5	$y = -1.2787x^3 + 1.5663x^2 - 1.1403x + 0.9343$	0.566 6	壮年(偏幼)期	
11	0.999 3	$y = -1.3744x^3 + 1.7974x^2 - 1.4357x + 1.0417$	0.578 4	壮年(偏幼)期	
12	0.999 5	$y = -1.3814x^3 + 1.8463x^2 - 1.3704x + 0.8761$	0.461 0	壮年期	
13	0.998 7	$y = -1.6963x^3 + 2.2856x^2 - 1.6724x + 1.1445$	0.646 1	幼年期	
14	0.998 9	$y = -1.2547x^3 + 1.4873x^2 - 1.1636x + 1.0223$	0.622 6	幼年期	
15	0.996 7	$y = -1.5694x^3 + 2.1167x^2 - 1.4983x + 1.0181$	0.582 2	壮年(偏幼)期	
16	0.996 4	$y = -2.2555x^3 + 3.3401x^2 - 2.0154x + 0.9909$	0.532 7	壮年期	
17	0.999 4	$y = -1.2645x^3 + 1.7054x^2 - 1.3106x + 0.9513$	0.548 3	壮年期	莫弄巴沟
18	1.000 0	$y = -0.2600x^3 + 0.5754x^2 - 1.1917x + 0.9919$	0.522 9	壮年期	
19	1.000 0	$y = -0.6572x^3 + 0.6326x^2 - 0.8570x + 0.9871$	0.605 2	幼年期	
20	1.000 0	$y = -1.4206x^3 + 1.4661x^2 - 0.9218x + 0.9378$	0.610 5	幼年期	
21	0.998 6	$y = -2.4013x^3 + 3.4757x^2 - 2.1428x + 1.1526$	0.639 4	幼年期	

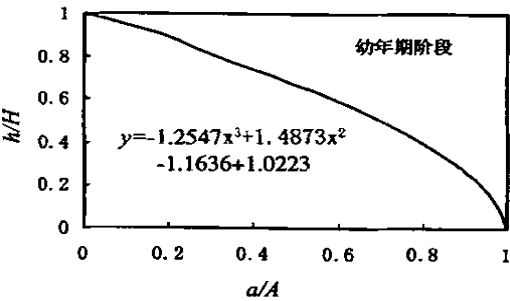


图 4 13 号泥石流沟高程—面积曲线

Fig. 4 The altitude-area curve of No. 13 debris flow ravine



照片 2 处于壮年期发育阶段的 3 号泥石流沟

Photo. 2 No. 3 debris flow ravine of the middle age stage



照片 1 处于幼年期发育阶段的 13 号泥石流沟

Photo. 1 No. 13 debris flow ravine of the young age stage

4 结 论

通过以上分析, 得出如下结论:

1. 运用地貌侵蚀循环理论, 探讨了达曲河流域 21 条泥石流沟发育阶段。初步研究表明, 达曲河流域泥石流沟大多发育在幼年期和壮年期, 无老年期泥石流沟。事实上, 构造运动、气候变化、岩性差异等因素在泥石流发育过程中起着重要作用, 本文运用面积—高程分析方法得出的定量

表 3 达曲河流域泥石流沟谷发育阶段地貌特征

Table 3 The geomorphologic characteristics of the evolution stage of debris flow ravine in Daqu Basin

面积—高程积分	发育阶段	地貌形态特征
0.60~ 1.00	幼年期	侵蚀强烈,以下切侵蚀为主,地表起伏大,水系扩展分支,峡谷发育,坡地变形迅速,分水岭为锋锐的岭脊,以凸形坡为主,泥石流形成区分散,并逐渐扩大,流通区较短,堆积扇扇面新鲜,淤积渐快
0.55~ 0.60	壮年(偏老)期	流域侵蚀缓和,以侧蚀为主,山岭降低,山坡从凸形坡转为凹形坡,松散物质聚集速度快,沟槽堆积和堵塞严重,形成区扩大,流通区向上延伸,堆积扇强烈发展,有漫流现象
0.35~ 0.40	壮年(偏幼)期	
0.00~ 0.35	老年期	流域侵蚀微弱,以侧蚀和堆积作用为主,分水岭很低,河谷宽广,曲流发育,沟槽稳定,缓坡堆积物和河流堆积物连成一片,泥石流形成区基本消失,逐渐变为普通洪流,植被较好

判断,只是数学统计上的理论值,还需根据实地考察所观察到的地貌特征加以佐证。

2 泥石流沟发育阶段反映了泥石流活动与沟谷地貌演化之间存在的相关性。泥石流沟处于幼年期时,地势崎岖,坡地陡峻,流域侵蚀严重,易于为泥石流的形成发育提供松散固体物质来源和动力条件,泥石流在此阶段容易发生,但一般规模不大;当泥石流沟处于老年期时,地势平缓,坡度变小,流域侵蚀能力弱,泥石流形成条件不充分,泥石流发生的概率较小;当泥石流沟处于壮年期时,仍有泥石流发生,发生频率不是很高,但规模都可能很大。

3. 运用面积—高程分析方法进行泥石流沟发育阶段的划分可以定量地反映泥石流的活动情况和发生发展进程,结合专家的实地研判,可以比较准确

泥石流沟发育阶段的判别和初步验证,此方法具有较好的可靠性和可操作性。

致谢:中国科学院成都山地灾害与环境研究所游勇研究员和柳金峰硕士在野外考察中给予了大力支持,特此表示感谢。

参考文献(References):

[1] Lu Zhongchen. The Drainage Geomorphie System [M]. Dalian: Dalian Press. 1991. 5~ 318[陆中臣. 流域地貌系统[M]. 大连: 大连出版社, 1991. 5~ 318]

[2] The Editorial Committee of Ganzi County Annals. Ganzi County Annals [M]. Chengdu: Sichuan Science Press, 1999. 33~ 73[甘孜县志编纂委员会. 甘孜县志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999. 33~ 73.]

[3] The Editorial Committee of Seda County Annals. Seda County Annals [M]. Chengdu: Sichuan Science Press, 1999. 57~ 92[色达县志编纂委员会. 色达县志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1999. 57~ 92]

[4] Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences. Research and Prevention of Debris Flow [M]. Chengdu: Sichuan Science Press, 1989. 121~ 134. [中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989. 121~ 134.]

[5] Xie Hong, Zhong Dunlun, Wei Fangqiang, et al.. Classification of Debris Flow in the Mountains of Beijing[J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22(2): 212~ 219. [谢洪, 钟敦伦, 韦方强, 等. 北京山区泥石流的分类与类型[J]. 山地学报, 2004, 22(2): 212~ 219.]

[6] Jiang Luguang, Zhang Zulu. Altitude-area analysis on the drainage landform in the Luzhongnan Mountainous Region[J]. Journal of the Shandong Normal University (Natural Science), 2003, 18(1): 63 ~ 66. [姜鲁光, 张祖陆. 鲁中南山地流域地貌的高程—面积分析[J]. 山东师范大学学报(自然科学版). 2003, 18(1): 63~ 66.]

[7] Wu Jishan, Tian Lianquan, Kang Shucheng, et al.. Debris Flow

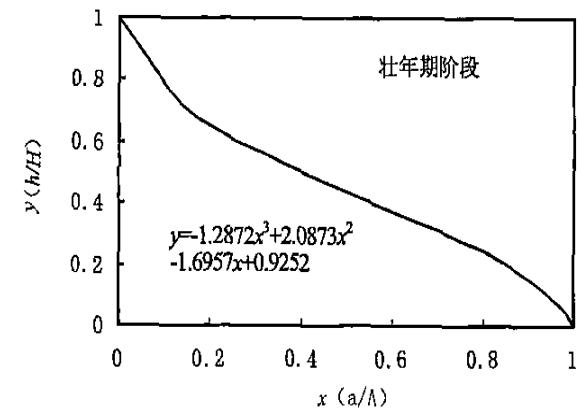


图 5 3 号泥石流沟高程—面积曲线

Fig. 5 The altitude-area curve of the No. 3 debris flow ravine

地判断泥石流沟的发育阶段。通过对达曲河 21 条

and Its Comprehensive Control [M]. Beijing: Science Press,
1993. 192~ 214. [吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流及其综合

治理[M]. 北京: 科学出版社, 1993. 192~ 214.]

The Area-altitude Analysis on the Evolution Stage of Debris Flow Ravines: Taking Daqu River as an Example

L Xuejun^{1,2}, Liu Xilin¹, Su Pengcheng¹

(1. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science, Chengdu 610041, China

2. Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China)

Abstract: According to A. N. Stranler's geomorphologic erosion circulation theory, the present paper carries a quantitative study on the development stage of debris flow ravines in Daqu basin of Sichuan. Based on A. N. Stranler's classified criterion and other references, the research results may be concluded as follows: (1) Using this method to discuss the development stage of 21 debris flow ravines in Daqu basin and the outcome manifests the majority of them fall in the young and middle age stage. Actually, there are other factors such as tectonic movements, climate changes, lithologic characteristics playing an important role in the process of the debris flow ravines. Of course, the area-altitude analyze is only a statistic method, and the results need to complemented combining on-the-spot investigation; (2) The development stage reflects the relationship between the debris flow ravine's activity and its evolvement. When the debris flow ravine in the young age stage, it is easy to break out, while the magnitude is small; in its middle age stage, the occurrence probability is high, but the magnitude is also large; (3) Applying the method of area-altitude can analysis the activity and process of debris flow quantitatively, and can judge the development stage exactly if combining the experts' knowledge. Furthermore, the study cases confirm the reliability and maneuverability of the method.

Key words: Daqu; debris flow; the area-altitude analysis; development stage

《山地学报》编委会会议通知

为《山地学报》更好发展, 本刊拟利用中国地理学会 2005 年 8 月在京举办“2005 年全球华人地理学家大会”期间, 召开《山地学报》编委会议。希望届时参会的编委能安排好时间到会。会议具体内容、时间将另发详细通知。

(本刊讯)