

泥石流、冰碛和河湖沉积物的粒度特征及判别^{*}

李昌志 王裕宜

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 根据福克(Folk)公式, 计算出几个典型地区泥石流、冰碛和河湖沉积物的粒度特征参数, 用核心区域图解法和判别分析方法认识和分析参数的分布特征和联系, 初步建立判别的图形模型和数学模型, 用以反推和判别参数反映的沉积类型和沉积环境。

关键词 粒度特征 核心区域图解 判别分析

分类号 《中图法》P95, P642.23

由沉积物反推沉积发生时的地理环境、沉积物来源和能量环境, 再结合其它证据进行综合分析判断, 从而得出准确结论是沉积研究中的重要方法。而沉积物的粒度大小受搬运介质和搬运营力强度控制, 与沉积环境密切相关, 因此, 在判断沉积环境、鉴别不同成因类型沉积物, 用以反推当时的地理环境时, 通常可以采用粒度分析方法。本文在前人研究的基础上, 运用核心区域图解法和判别分析方法, 初步对泥石流、冰碛和河湖沉积物的粒度特征参数进行了对比研究, 尝试着建立了判别三种沉积物的图形模型和数学模型, 力图为判别这三种沉积物提供作为参考的数学模式。

1 粒度特征分析

1.1 资料

本文运用了泥石流、冰碛和河湖三组资料。其中, 泥石流资料 84 个, 包括云南蒋家沟(资料样品 58 个^[1], 代表我国南方泥石流)、甘肃武都(资料样品 11 个^[1], 代表我国北方黄土地区泥石流)和美国圣海伦火山(Mount St. Helens American)(资料样品 15 个^[2], 代表火山泥石流); 冰碛资料样品 66 个^[2]; 河湖沉积资料样品 46 个^[3], 其中, 洱海 21 个, 滇池 25 个。资料参数的获取统一根据福克(Folk)公式^[2], 以增强可比性。所用公式

$$\begin{aligned}M_z &= (d_{16} + d_{50} + d_{84})/3 \\Q &= (d_{16} - d_{84})/4 + (d_5 - d_{95})/6.6 \\S_k &= (d_{16} + d_{84} - 2d_{50})/2(d_{16} - d_{84}) + (d_5 + d_{95} - 2d_{50})/2(d_5 - d_{95}) \\K &= (d_{95} - d_5)/2.44(d_{75} - d_{25})\end{aligned}$$

式中 M_z 为样本的粒度平均, 反映样品颗粒的粗细程度, 是一个最基本的参数; Q 为方差, 反映粒度分布的分散程度, 愈小, 分选性愈好; 愈大, 分选性愈差。 S_k 是偏度系数, 反映粒度粗细分布对称性, $S_k=0$, 图形对称, M_z 、 d_{50} 和众值重合于一点; $S_k>0$, 正偏, 粒度集别中于粗端; $S_k<0$, 负偏, 粒度集中于细粒

^{*}中国科学院东川泥石流观测研究站和成都理工学院地质灾害专业实验室基金资助。

1) 中国科学院东川泥石流观测研究站颗粒分析资料, 1984。

2) 罗崇迅, 中国科学院成都山地所, 硕士论文《四川西部泥石流及其沉积环境的意义》。

收稿日期: 1998—04—07; 改回日期: 1998—09—19。

部分; K 为峰度系数, 反映粒度分布曲线的峰凸程度和分布的分散程度, $K = 0$ 正常峰态; $K > 0$ 宽峰, 分选性差; $K < 0$, 窄峰, 分选性好^[4]。

1.2 图象分析

1.2.1 平均粒径(M_z)的级配图

图 1 是根据资料获得的三种沉积物平均粒径(M_z)--百分含量和累积百分含量级配图。从中可以看出, 就平均粒径而言, 泥石流主要集中在 $-4 \sim -2\phi$, 为砾石和砂粒, 约占 82%; 冰碛则集中在 $3 \sim 6\phi$ 间, 为粉沙和粘粒, 约占 65%; 河湖沉积集中于 $6 \sim 10\phi$ 的占了 60% 以上。事实上, 泥石流沉积发生于山高坡陡、地表物质松散、降水集中的高能环境中, 并且是整体短距离高速搬运。冰碛的沉积环境也是高能的, 但因搬运距离远比泥石流远, 动辄几百公里, 远大于泥石流的几百米, 几公里, 几十公里, 且冰蚀作用极强, 搬运时间极长, 相对于泥石流而言, 则为一种低能环境。而河湖的沉积环境能量最低, 搬运距离也远, 时间也长, 侵蚀作用也较强。因此, 可以认为, $M_z(\text{泥石流}) > M_z(\text{冰碛}) > M_z(\text{河湖})$ 。

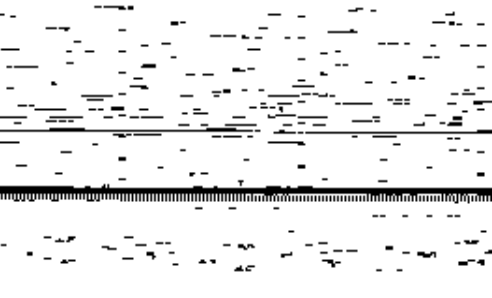


图 1 平均粒径(M_z)级配图

Fig. 1 Distribution of the accumulative diagram and histogram of mean grain size

1.2.2 参数图象分析

反映沉积物粒度特征的参数, 由于沉积环境本身和搬运介质差异的复杂性, 会发生偏离其中心的情况, 但同一参数的大量值却随机地偏离在中心点的周围。因此, 通过大量值集中的地方, 可以粗略地估计出该参数的中心点, 进而根据最大值与最小值, 求得其核心区域和开阔区域(半径分别为最大和最小值)。前者是该类沉积物粒度参数分布的主要区域, 后者的割线是两类别的分界线。图 2 是参数 M_z-Q , M_z-S_k , M_z-K , S_k-Q 是两两组合图, \triangle 、 \diamond 、 \circ 分别代表泥石流、冰碛和河湖沉积。表 1 是图 2 的分析结果。

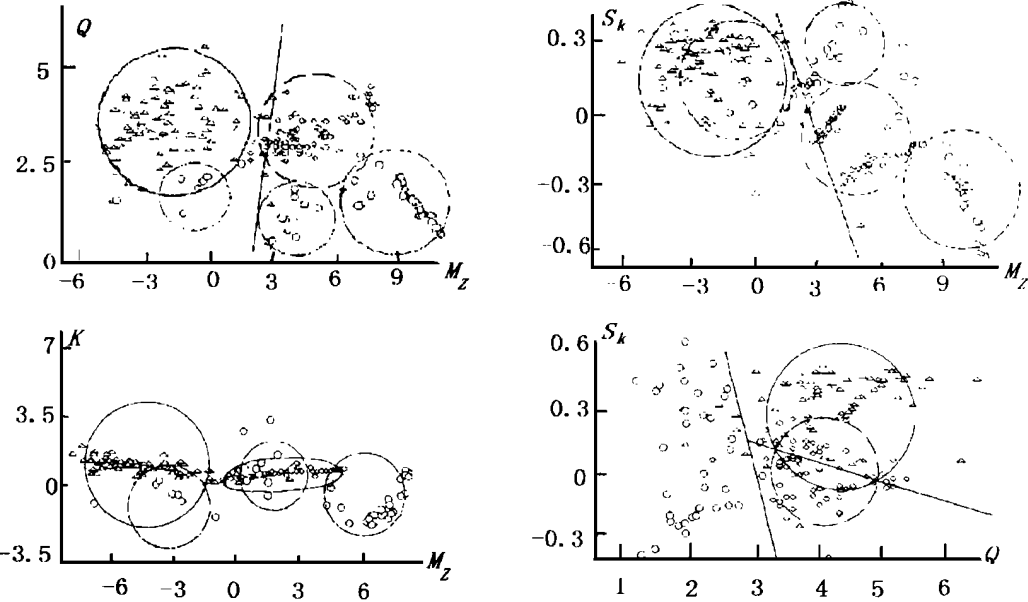


图 2 粒度特征参数关系图

Fig. 2 Relationships between the parameters of grain characteristics

表 1 三类沉积物参数图分析结果
Table 1 Analytical result of the three deposits' parameters

类 别	核 心 区 域			
	M_z-Q	M_z-S_k	M_z-k	S_k-Q
泥石流△	{(-1.5, 4), 2}	{(-1.5, 0.36), 0.5}	{-1.5, 1.5), 0.7}	{(4, 0.36), 0.5}
冰 碛◇	{(4.5, 3.8), 1.5}	{(4.5, 0), 0.36}	{(4.5, 1), 0.5}	{(3.8, 0), 0.36}
河湖沉积○	{-0.5, 2, 1}	{(-0.5, 0.36), 0.24}	{(-0.5 - 0.7), 3}	/
	{(4, 1.5), 1}	{(4, 0.6), 0.24}	{(4, 2.8), 1}	
	{(8, 2), 1.5}	{(8 - 0.24), 0.36}	{(8, 0), 2}	
界线方程	$AB: Q=8.7H_z-17.4$	$AB: S_k=0.16M_z-0.05$	/	$C/AB: S_k=-1.08Q+3.63$ $AB: S_k=-0.23Q+1.06$

通过对以上几种参数的核心区域分析可知,对泥石流而言, M_z 集中于 $-1.5 \pm 3\sigma$, Q 集中于 4 ± 2 , S_k 集中于 0.36 ± 0.5 , K 集中于 1.5 ± 0.7 。这表明: 1. 泥石流沉积物平均粒径粗大, 属于砾石组和砂粒组, 反映了泥石流形成的高能环境; 2. 分选性系数 Q 很大, 属分选性很差和极差, 反映出泥石流沉积物物质来源丰富, 搬运距离短沉积速度快, 呈整体搬运, 混杂流动; 3. 偏度主要为正偏, 反映出泥石流含粗粒成分多, 毫无分选或分选极差, 能量大, 使频率曲线不对称; 4. 峰度为宽峰型, 为分选性很差和极差分布。

冰碛物 M_z 、 Q 、 S_k 和 K 分别集中于 $4.5 \pm 3\sigma$; 3.8 ± 1.5 ; 0 ± 0.36 ; 1 ± 0.5 。这说明: 1. 冰碛物平均粒径较小, 主要属沙粒组、粉沙粒组和粘粒组, 这是因为冰碛物搬运距离远、磨蚀作用强、堆积速度慢, 故能形成较多的细粒物质; 2. 分选性很差和差, 分选系数 K 反映出冰碛物的物质来源丰富, 搬运能量很高(事实上, 冰碛物是与不少直径达数米、数十米的漂砾一起被冰川搬运的), 但由于后期冰蚀、磨蚀作用强烈, 因而也使得细粒物质增多, 粗粒物质减少; 3. 偏度系数 S_k 表明冰碛含粒大致相当; 4. 峰度参数 K 在 $0.5 \sim 1.5$ 尽管 K 值 > 0 , 为宽峰型, 但沉积速度缓慢, 相对于泥石流 K 值($1.3 \sim 2.0$)小得多, 故分选性较泥石流好。

河湖沉积物在 M_z-Q 、 M_z-S_k 、 M_z-K 图中最明显的标志是有三个集中区域, 分别处于分选差、分选一般和分选极好 3 个分选段, 具有“三元性”, 原因是样品取自岸滩、近岸带和远岸带。

1.3 判别分析

1.3.1 判别分析的基本思路

判别分析是根据研究对象的特征参数来判别其类型归属的统计方法。

首先, 构造判别函数

$$Y = \sum_{i=1}^m C_i X_i, \quad (i=1, 2, 3, \dots, m)$$

式中 C_i 为判别系数, 反映特征参数的作用方向及分辨能力和贡献率大小, X_i 为已知各特征参数。然后, 根据费歇尔(Fisher)准则, 使类间均差与类内离差平方和比值达到最大, 由极值原理列出 C_i 必须满足的方程组, 解之, 得到构造函数。最后, 算出 $Y_{(A)}$ 和 $Y_{(B)}$, 利用加权平均值法求出判别标准 Y_c 。当 $Y_{(A)} > Y_c > Y_{(B)}$ 时, $Y > Y_c$ 归为 A 类, $Y < Y_c$ 为 B 类; 若 $Y_{(A)} < Y_c < Y_{(B)}$, 则 $Y < Y_c$ 归为 A 类, $Y > Y_c$ 归为 B 类^[5]。

以 M_z 、 Q 、 S_k 和 K 四个粒度参数为判别变量(特征参数), 用 PC-486 机和统计软件 MINITAB 计算泥石流、冰碛和河湖沉积物两两间的判别函数及判别标准, 并计算了判别变量(X_k)的贡献率, 用 F 检验判别结果显著性。 X_k 与 F 的计算如

$$X_k(\%) = |C_k D_k| / (\sum_{k=1}^m |C_k D_k|) \times 100\%;$$

$$F = \{ (N_a N_b) / [(N_a + N_b) (N_a + N_b - 2)] \} [(N_a + N_b - p - 1) / p] [\sum_{k=1}^m | C_k D_k |]$$

式中 N_a , N_b 为样本数量, p 为变量个数, D_k 为各类相应变量均值之差, C_k 仍为判别系数, m 为判别变量个数。

1.3.2 判别模式(见表 2)

表 2 泥石流、冰碛和河湖沉积判别模式

Table 2 Discriminatory model for deposits of debris flow, moraine and river-lake					
Y(泥石流;冰碛)=0.86486M _z -0.70819Q-5.01804S _k +0.01084K					
泥石流样品均值 Y _(A)		冰碛沉积样品均值 Y _(B)		判别标准 Y _c	关系
-19.4980		0.3962		-2.6415	Y _(A) < Y _c < Y _(B)
贡献率	M _z (%)=69.03%	Q(%)=1.49%	S _k (%)=29.41%	K(%)=0.07%	
F 检验	F=63>> F _a (4,145) F _a (4,125)=3.47 a=0.01 极显著水平				
判别方法	Y< Y _c 属于泥石流; Y> Y _c 属于冰碛物				
Y(泥石流;河湖)=0.71345M _z -4.04274Q+0.18417S _k -0.52035K					
泥石流样品均值 Y _(A)		河湖沉积样品均值 Y _(B)		判别标准 Y _c	关系
-17.0720		-2.2872		-11.8405	Y _(A) < Y _c < Y _(B)
贡献率	M _z (%)=35.23%	Q(%)=59.88%	S _k (%)=0.48%	K(%)=4.41%	
F 检验	F=97>> F _a (4,125)=3.47 a=0.01 极显著水平				
判别方法	Y< Y _c 属于泥石流; Y> Y _c 属于河湖沉积				
Y(冰碛;河湖)=-0.07021M _z -7.6609Q+0.09191S _k -1.98192K					
冰碛物样品均值 Y _(A)		河湖沉积样品均值 Y _(B)		判别标准 Y _c	关系
-30.5224		-13.2620		-23.4333	Y _(A) < Y _c < Y _(B)
贡献率	M _z (%)=0.66%	Q(%)=89.58%	S _k (%)=0.42%	K(%)=9.34%	
F 检验	F=115>> F _a (4,107) F _a (4,100)=3.51 a=0.01 极显著水平				
判别方法	Y< Y _c 属于冰碛物; Y> Y _c 属于河湖沉积物				

2 初步结论

1. 泥石流的 M_z , Q , S_k 和 K 分别集中于 $-1.5 \pm 3\phi$; 4 ± 2 ; 0.36 ± 0.5 和 $1.5 + 0.7$, 表明泥石流沉积物的平均粒径粗大, 分选性极差, 搬运距离短, 沉积速度快, 沉积发生于突发性的 高能环境中。冰碛物的 M_z , Q , S_k 和 K 分别集中于 $4.5 \pm 3\phi$; 3.8 ± 1 ; $0 \pm 0.3\phi$; 1 ± 0.5 , 表明冰碛物平均粒径较小, 分选性差, 是远距离搬运, 沉积速度缓慢, 发生于漫长的高能环境中。河湖沉积物的参数具有“三元性”, 总体说来, 细颗粒物较多, 分选性很好, 搬运能量低, 沉积发生于长时间的 低能环境中。

2. 泥石流、冰碛和河湖沉积的判别, 除图 1 外, 如果选用两个特征参数, 可参考表 1 中的核心区域及界线方程; 如果选用四个参数, 那么, 判别方法可参考表 2。

参 考 文 献

[1] 陈怀录, 韩敏. 武都地区泥石流粒度分析及其特征. 成都: 四川科学技术出版社, 1986. 146.
[2] Kevin M. Scott, Origins, Bhavior and Sediment of lahar-Runout Flows in the Toutle, Cowlitz River System. 1988.
[3] 中国科学院南京地理所等. 云南断陷湖泊与沉积 滇池、洱海、抚仙湖. 北京: 科学出版社, 1989. 295~296.
[4] 成都地质学院陕北队编. 沉积岩(物)粒度分析及其应用. 北京: 地质出版社, 1978.
[5] 张超, 杨秉廉编著. 计量地理学基础(第二版). 北京: 高等教育出版社, 1993 年, 138, 144.

第一作者简介 李昌志, 男, 26 岁, 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所东川站硕士研究生。主攻环境地理与山地灾害专业。

PRELIMINARY EXPLORATION ON GRAIN CHARACTERISTIC AND DISCRIMINATION OF DEBRIS FLOW DEPOSIT, MORaine AND RIVER & LAKE DEPOSIT

LI Chang-zhi WANG Yu-yi

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041*)

Abstract

Few research results on how to deduce and determine the corresponding deposit types and environments of sediment are satisfied though much research work has been done due to their monotonous and unintelligible qualitative methods. In accordance with the grain characteristic parameters of debris flow deposit, moraine and river-lake deposit in four typical regions, which are obtained with Folk formula, this article analyzes the distributing characteristics and the relationships between these parameters by means of core-area graphic method and discriminatory-analytical method, then, a preliminary discriminatory model of graph has been established as the following.

1. the discriminatory model of graph is “Fig 2; the relation between the parameters of grain characteristics” and “Table 1 the analytical result of the three deposits’ parameters”, respectively.

2. the discriminatory equations for the deposits of debris flow (df), moraine (mr), and river-lake (rl) are:

$$Y(df; mr) = 0.86486Mz - 0.70819Q - 5.01804S_k + 0.01084K$$

$$Y < -2.6415, \text{ for } df; Y > -2.6415, \text{ for } mr$$

$$Y(df; rl) = 0.71345Mz - 4.04274Q + 0.18417S_k - 0.52035K$$

$$Y < -11.8405, \text{ for } df; Y > -11.8405, \text{ for } rl$$

$$Y(mr; rl) = -0.07021Mz - 7.6609Q + 0.09191S_k - 1.98192K$$

$$Y < -23.4333, \text{ for } mr; Y > -23.4333, \text{ for } rl$$

Using the model, one can confer to deduce and determine the corresponding deposit types and environments of sediment.

Key Word Grain characteristic, core-area graph, discriminatory analysis