

文章编号: 1008 - 2786 - (2012) 1 - 78 - 09

汶川地震重灾区泥石流沟内崩滑物 空间分布的 RS - GIS 定量方法

张怀珍^{1,2} 范建容^{1*} 胡凯衡¹ 郭芬芬^{1,2} 刘飞^{1,2} 陈阳^{1,2}

(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 100049)

摘 要: 汶川地震在山区引发大量崩塌、滑坡, 形成大量的固体松散碎屑物质堆积在沟谷内(CLCAR, 崩滑碎屑区), 使得地震山区泥石流活动性增强。以岷江上游四川省汶川县银杏乡、映秀镇的 15 条泥石流沟的 SPOT 遥感影像为基础, 利用 GIS 技术对 CLCAR 空间分布进行分析。建立 CLCAR 与流域高程、主沟侧距和沟口纵距的分布函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$, 对 CLCAR 的空间分布特征进行描述; 并计算其积分(DT、DM 和 DG) 作为 CLCAR 空间分布特征的定量化参数。结果表明, 函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 能够较全面描述 CLCAR 的空间分布特征, DT、DM 和 DG 能够作为 CLCAR 空间分布特征的定量化参数。泥石流沟谷内 CLCAR 的空间分布对泥石流的形成及规模具有一定的影响; 在对灾区泥石流研究时有必要考虑泥石流沟内 CLCAR 空间分布特征。

关键词: 汶川地震; CLCAR; 遥感; GIS; 空间分布

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

2008 年“5. 12”汶川地震引发了大量崩塌、滑坡, 形成大量的松散碎屑物质堆积在沟谷内。汶川地震重灾区主要位于四川盆地边缘亚热带湿润季风气候区, 川西多雨中心区。因此, 汶川地震重灾区存在暴发泥石流所需的两个必备条件: 1. 充足的松散碎屑物质; 2. 丰富的的水体补给来源^[1]。具备了泥石流形成条件, 不一定必须发生泥石流^[2]。根据影响泥石流形成的因素可以对暴发泥石流的可能性及泥石流可能形成的规模等进行预测分析。影响泥石流形成的地貌因素主要是地形高差、山坡坡度、沟谷谷坡坡型、沟床纵坡等; 这些因素对沟谷内松散碎屑物质的分布和聚集具有重要影响^[2-3]。即松散碎屑

物质的空间分布对泥石流的形成及规模具有一定影响。

在汶川地震区, 由地震形成的崩塌、滑坡等碎屑物质是泥石流形成的主要固相物质来源; 在很大程度上这些碎屑物质的空间分布位置决定了其能否直接参与泥石流。即泥石流沟内碎屑物质的空间分布影响泥石流的松散物质动储量。因此研究泥石流沟内碎屑物质的空间分布成为地震灾区泥石流灾害研究的重点之一。目前, 除个别文献^[1]提到固体松散物质空间分布特征定量化研究方法外, 未见其他有关泥石流沟内碎屑物质空间分布定量化研究的文献报道。

收稿日期(Received date): 2011 - 11 - 24; 改回日期(Accepted): 2011 - 12 - 18。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划课题(2011BAK12B03) 和中国科学院知识创新工程重要方向项目群项目(KZCX2 - YW - Q03 - 5 - 2)。[Supported by the National Science and Technology Supporting Program (2011BAK12B03) and Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (KZCX2 - YW - Q03 - 5 - 2) .]

作者简介(Biography): 张怀珍(1985 -) , 男, 山东省聊城市东昌府区人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境遥感与 GIS 应用。[Zhang Huaizhen (1985 -) , male, born in Dongchangfu, Shandong province, master candidate, research in Environmental Remote Sensing and GIS.] E - mail: zhz198508@ 163. com

* 通讯作者(Corresponding author): 范建容(1969 -) , 女, 四川省井研县人, 博士, 研究员, 主要研究方向为环境遥感与水土保持。[Fan Jianrong (1969 -) , female, PH. D, Associate Professor, major Research in Environmental Remote Sensing and Soil and Water Conservation.] E - mail: fjr@imde. ac. cn

1) 范建容, 张怀珍. 基于小流域松散固体物空间分布的泥石流堆积扇形态特征参数估算(待发表) , 2011.

1 研究区概况

研究区为岷江上游四川省汶川县银杏乡、映秀镇的15条泥石流沟;范围在 $103^{\circ}23' \sim 103^{\circ}33' E$, $31^{\circ}03' \sim 31^{\circ}12' N$,汶川地震后形成大量崩塌、滑坡(图1)。该区域受冬、夏季风的交替影响,全年干、雨季比较明显。冬半年受西风环流的控制,寒冷干燥;夏半年一般从六七月开始,受副热带环流控制,海洋气候增强,降雨日增多,降雨高度集中^[4]。

另外,该区域在地震前地表植被覆盖较好,没有大规模的崩塌、滑坡区域(图2)。“5.12”汶川地震当时激发了大量崩塌、滑坡和落石等,未激发泥石流,但其后随着降雨发生相继发生了泥石流。今后10~30 a时间内该区域将是后发型地震泥石流强烈活动区域^[5]。

2 研究方法

2.1 CLCAR 信息提取

定义崩滑碎屑区(Collapse and Landslide Clast Accumulation Region,缩写为CLCAR)为由崩塌、滑

坡形成的固体松散碎屑物质堆积区。在研究区内,由地震形成的崩塌、滑坡的光谱反射率较高,与周围地物差异较明显,易于在遥感影像中识别(见图1)。采用研究区2009-02-10的SPOT遥感影像。在对SPOT影像进行辐射和几何校正的基础上,首先将多光谱波段影像与全色波段影像进行融合;然后利用遥感影像处理软件ERDAS中的Expert Classifier(专家分类器)进行自动识别获取研究区地震后产生的崩塌、滑坡体信息(图3)。

2.2 CLCAR 空间分布函数

CLCAR的空间分布位置对其能否直接参与泥石流形成具有重要影响。对于泥石流沟谷内空间位置的描述主要有以下几个方面:高程(地形高差)、距离沟道位置、距离沟口位置和坡度坡向等。其中地形高差决定了势能的大小;距沟道位置直接影响其参与泥石流的可能性;距离沟口位置对泥石流形成的规模及堆积特征有一定影响。参考美国地貌学家A. N. Strahler于1952年提出Strahler面积-高程分析法^[6-7]分别定义高程-CLCAR面积分布函数 $T(x)$ 、主沟侧距-CLCAR面积分布函数 $M(x)$ 和沟口纵距-CLCAR面积分布函数 $G(x)$ 对泥石流沟内CLCAR的空间分布特征进行描述。

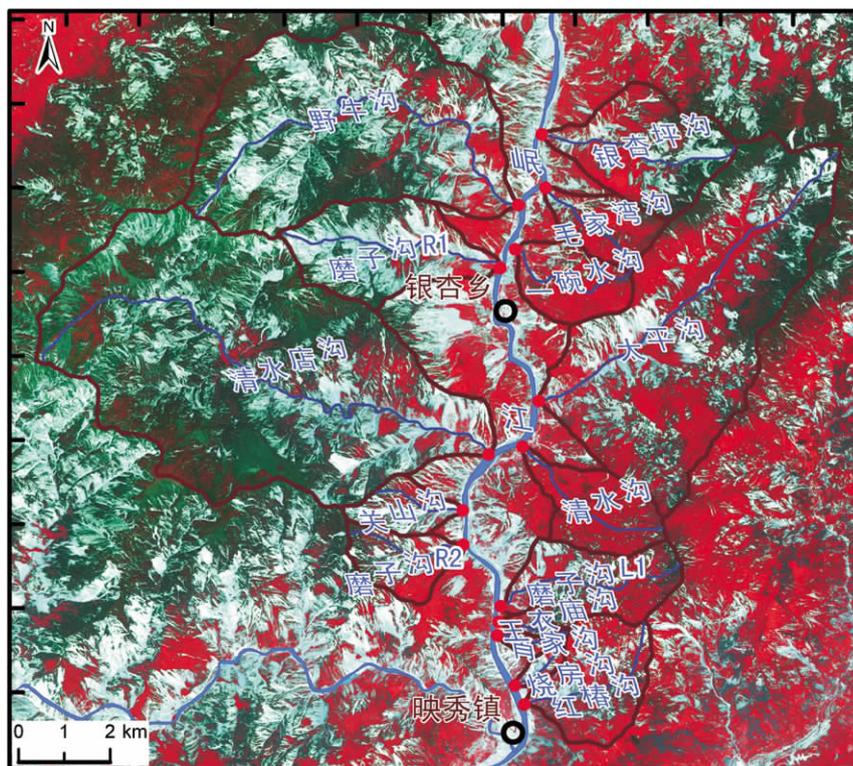


图1 研究区“5.12”地震后SPOT遥感影像(2009-02-10)

Fig.1 SPOT Remote Sensing images in study area after earthquake (Time: 2009-02-10)

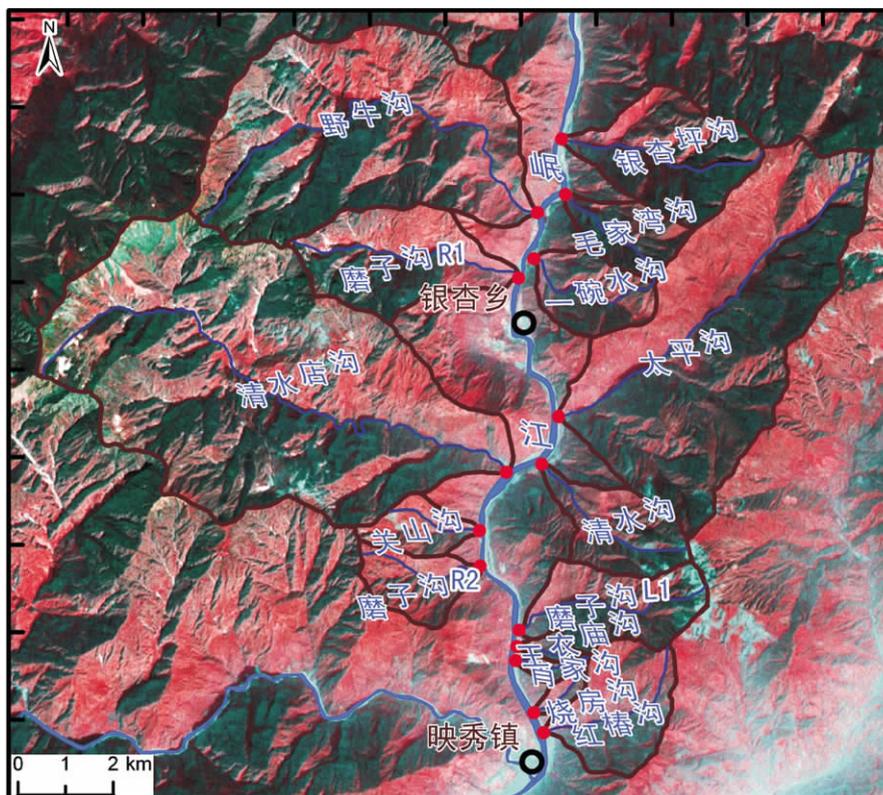


图2 研究区震前 ETM 遥感影像(2007-09-18)

Fig.2 ETM Remote Sensing images in study area before earthquake (Time: 2009-02-10)

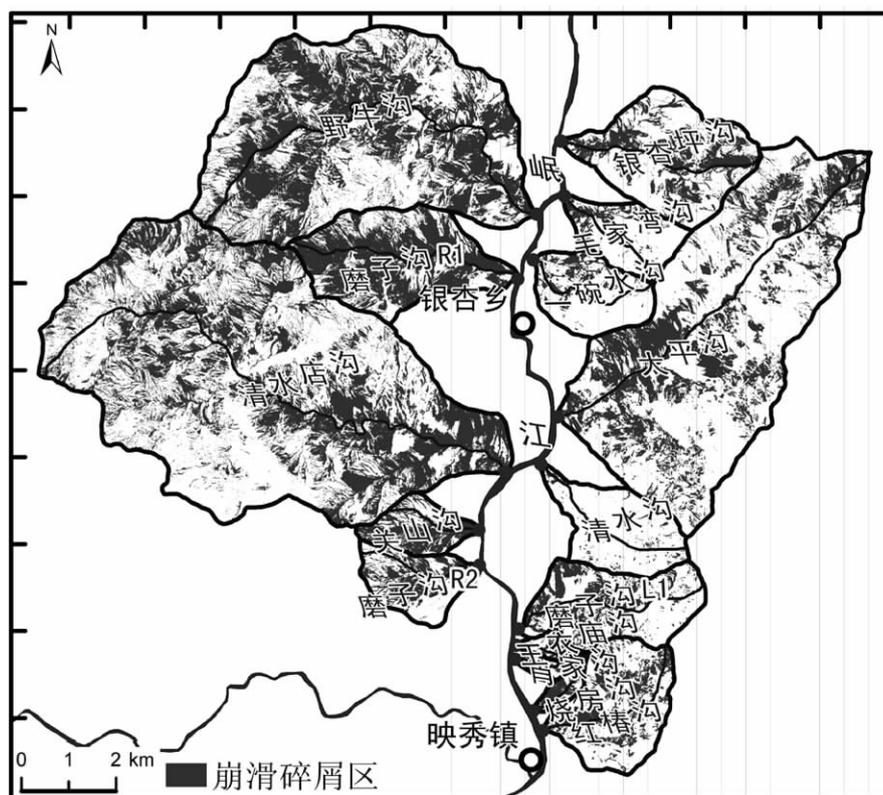


图3 研究区崩滑碎屑区空间分布

Fig.3 Spatial distribution of CLCAR in study area

定义高程 - CLCAR 面积分布函数 $T(x)$

$$\begin{cases} x = s/A \\ T = h/H \\ T = T(x) \end{cases} \quad (1)$$

式中 h 为该点与流域最低点(沟口)之间的高差, km; s 为流域内与沟口高差为 h 以上 CLCAR 分布面积 km^2 ; H 为流域内的最大高差, km; A 为流域内 CLCAR 总面积 km^2 。

定义主沟侧距 - CLCAR 面积分布函数 $M(x)$

$$\begin{cases} x = s_1/A \\ M = d_1/D_1 \\ M = M(x) \end{cases} \quad (2)$$

式中 d_1 为流域内某一点与主沟道之间的水平距离, km; D_1 为流域边界与主沟道的最大水平侧距, km; s_1 为流域与主沟道水平距离 d_1 范围内 CLCAR 分布面积 km^2 。

定义沟口纵距 - 崩滑碎屑区面积分布函数 $G(x)$

$$\begin{cases} x = s_2/A \\ G = d_2/D_2 \\ G = G(x) \end{cases} \quad (3)$$

式中 d_2 为流域内某一点与沟口之间的水平距离, km; D_2 为流域边界与沟口的最大水平侧距, km; s_2 为流域与沟口水平纵距 d_2 范围内 CLCAR 分布面积 km^2 。

综上所述,理论上 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 分布描述了流域内 CLCAR 随高程、主沟侧距和沟口纵距变化的空间分布规律特征;这些特征应该能够在 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 函数曲线变化趋势上直接得到体现。

2.3 CLCAR 空间分布量化参数

函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 的曲线变化趋势能够直接体现 CLCAR 的空间分布特征;但函数曲线变化趋势不能作为崩滑碎屑区空间分布特征的量化参数。在本研究中定义函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 的积分 DT 、 DM 和 DG 作为崩滑碎屑区空间分布特征的量化参数

$$\begin{cases} DT = \int_0^1 T(x) dx \\ DM = \int_0^1 M(x) dx \\ DG = \int_0^1 G(x) dx \end{cases} \quad (4)$$

3 研究实例

3.1 CLCAR 空间分布函数

在获取研究区 CLCAR 分布信息的基础上,利用 GIS 软件 ArcGIS 9.3 对其进行空间分析;再利用 SPSS 软件对空间分析数据进行回归分析得到 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 。以研究区的野牛沟和磨子沟 R1 为例,结合地形图或 DEM 数据获取高程 - CLCAR 分布图(图 4);以主沟道和沟口做缓冲分析(缓冲分析步长(间隔)根据研究区实际情况确定,本研究区选择 50 m)(图 5,图 6)。在此基础上,获取 CLCAR 面积与流域高程、主沟侧距和沟口纵距之间的分布数据;根据这些空间分布数据再经过回归分析,得到研究区的 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 函数。

经过上述分析运算得到研究区 15 条泥石流沟的空间分布函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ (表 1、表 2、表 3)。

表 1 15 条泥石流沟高程 - CLCAR 面积分布函数 $T(x)$
Table 1 Elevation - CLCAR area spatial distribution Function $T(x)$ of 15 debris flow gullies

沟名	高程 - 崩滑碎屑区面积分布函数 $T(x)$	R^2
磨子沟 L1	$T(x) = -2.820x^3 + 4.322x^2 - 2.417x + 0.919$	0.988
红椿沟	$T(x) = -1.460x^3 + 2.264x^2 - 1.719x + 0.926$	0.998
磨子沟 R1	$T(x) = -1.434x^3 + 2.215x^2 - 1.598x + 0.924$	0.998
一碗水沟	$T(x) = -1.297x^3 + 2.298x^2 - 1.937x + 0.945$	0.993
毛家湾沟	$T(x) = -0.500x^3 + 1.079x^2 - 1.487x + 0.927$	0.998
银杏坪沟	$T(x) = -1.191x^3 + 1.722x^2 - 1.473x + 0.954$	0.999
太平沟	$T(x) = -1.524x^3 + 2.499x^2 - 1.845x + 0.893$	0.967
野牛沟	$T(x) = -1.862x^3 + 2.929x^2 - 1.959x + 0.922$	0.984
王衣庙沟	$T(x) = -2.291x^3 + 3.042x^2 - 1.752x + 0.935$	0.984
烧房沟	$T(x) = -1.669x^3 + 2.855x^2 - 2.003x + 0.858$	0.932
肖家沟	$T(x) = -1.047x^3 + 1.900x^2 - 1.806x + 0.958$	0.996
磨子沟 R2	$T(x) = -1.572x^3 + 2.202x^2 - 1.529x + 0.905$	0.982
清水沟	$T(x) = -0.052x^3 + 0.597x^2 - 0.492x + 0.923$	0.967
清水店沟	$T(x) = -0.786x^3 + 1.189x^2 - 1.318x + 0.949$	0.995
关山沟	$T(x) = -0.964x^3 + 1.571x^2 - 1.529x + 0.934$	0.991

3.2 CLCAR 空间分布量化参数

由函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 依据公式(4)计算得到 DT 、 DM 和 DG 作为研究区 CLCAR 空间分布特征的量化参数(表 4)。

4 结果与讨论

4.1 CLCAR 空间分布特征

选择研究区 15 条泥石流沟中的毛家湾沟、太平

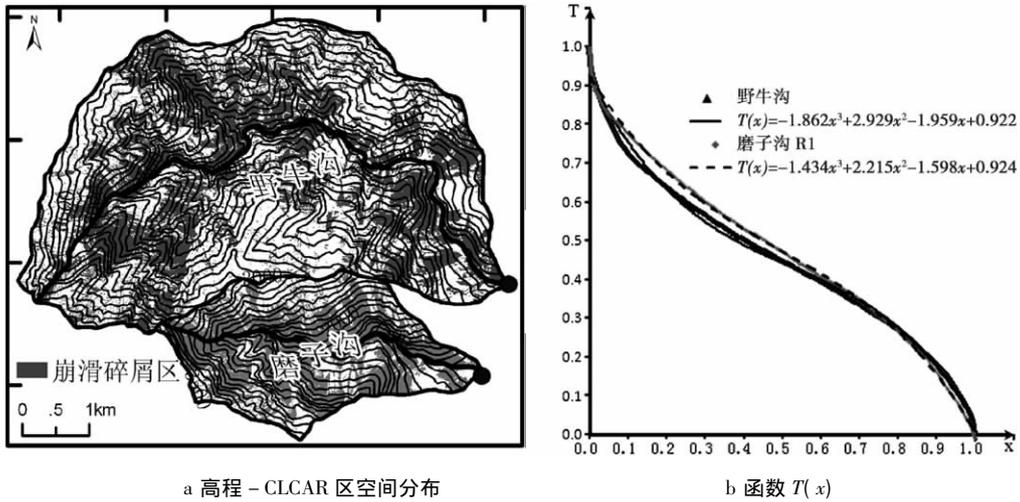


图 4 高程 - CLCAR 空间分布图及函数 $T(x)$

Fig. 4 Elevation - spatial distribution of CLCAR and Function $T(x)$

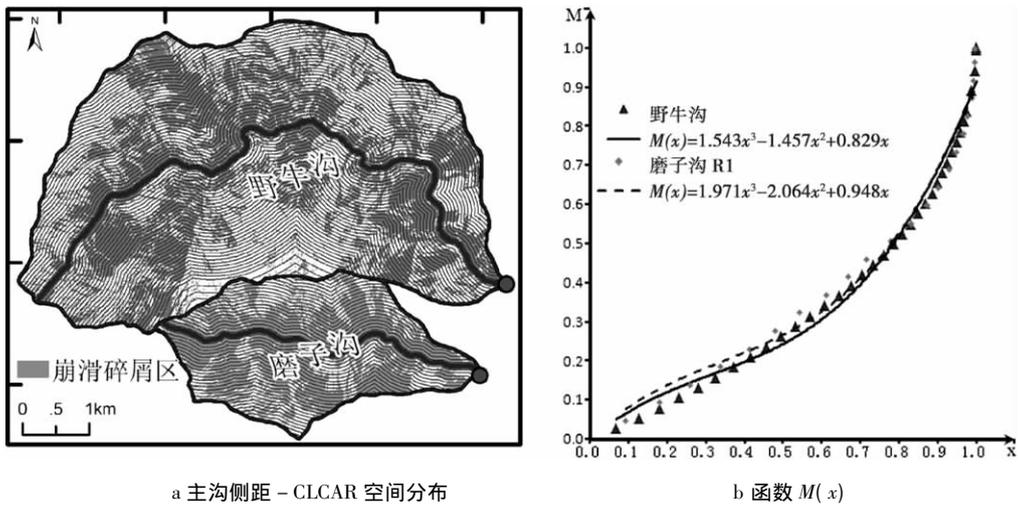


图 5 主沟侧距 - CLCAR 空间分布图及函数 $M(x)$

Fig. 5 Lateral distance from main gully - spatial distribution of CLCAR and Function $M(x)$

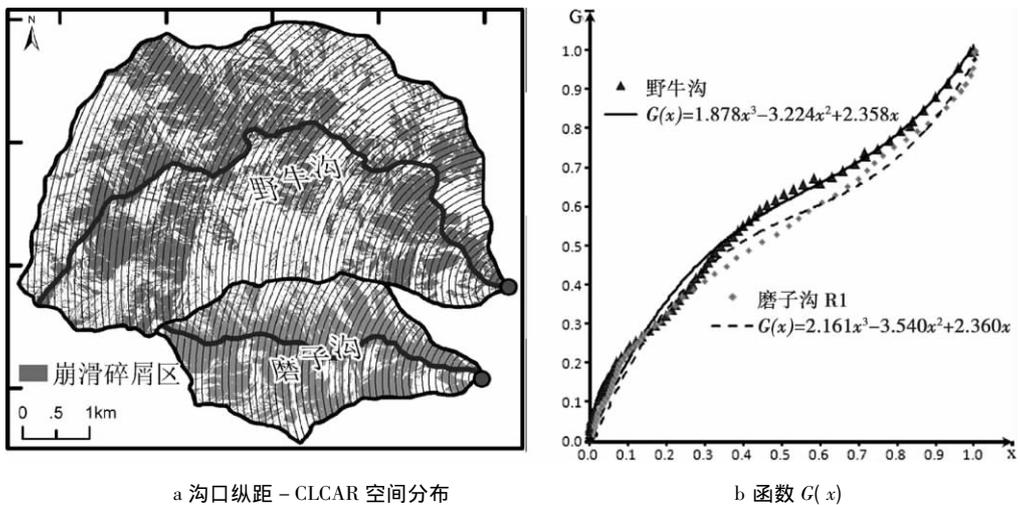


图 6 沟口纵距 - CLCAR 空间分布图及函数 $G(x)$

Fig. 6 Longitudinal distance from lowest point of basin - spatial distribution of CLCAR and Function $G(x)$

表 2 15 条泥石流沟主沟侧距 - CLCAR 面积分布函数 $M(x)$

Table 2 Lateral distance from main gully - CLCAR spatial distribution area Function $M(x)$ of 15 debris flow gullies

沟名	主沟侧距 - 崩滑碎屑区面积分布函数 $M(x)$	R^2
磨子沟 L1	$M(x) = 1.544x^3 - 1.584x^2 + 0.934x$	0.979
红椿沟	$M(x) = 1.877x^3 - 1.703x^2 + 0.768x$	0.995
磨子沟 R1	$M(x) = 1.971x^3 - 2.064x^2 + 0.948x$	0.961
一碗水沟	$M(x) = 0.761x^3 - 0.513x^2 + 0.699x$	0.996
毛家湾沟	$M(x) = 1.329x^3 - 0.909x^2 + 0.499x$	0.983
银杏坪沟	$M(x) = 2.241x^3 - 2.308x^2 + 0.937x$	0.967
太平沟	$M(x) = 3.015x^3 - 3.307x^2 + 1.144x$	0.966
野牛沟	$M(x) = 1.543x^3 - 1.457x^2 + 0.829x$	0.983
王衣庙沟	$M(x) = 2.876x^3 - 3.056x^2 + 1.131x$	0.984
烧房沟	$M(x) = 1.821x^3 - 1.865x^2 + 0.964x$	0.976
肖家沟	$M(x) = 1.921x^3 - 1.848x^2 + 0.861x$	0.985
磨子沟 R2	$M(x) = 1.621x^3 - 1.514x^2 + 0.814x$	0.988
清水沟	$M(x) = 0.955x^3 - 0.374x^2 + 0.327x$	0.976
清水店沟	$M(x) = 1.351x^3 - 1.192x^2 + 0.695x$	0.978
关山沟	$M(x) = 0.232x^3 + 0.168x^2 + 0.564x$	0.997

表 3 15 条泥石流沟沟口 - CLCAR 面积分布函数 $G(x)$

Table 3 Longitudinal distance from lowest point of basin - CLCAR area spatial distribution Function $M(x)$ of 15 debris flow gullies

沟名	沟口纵距 - 崩滑碎屑区面积分布函数 $G(x)$	R^2
磨子沟 L1	$G(x) = 2.886x^3 - 3.984x^2 + 2.073x$	0.996
红椿沟	$G(x) = 1.982x^3 - 3.172x^2 + 2.181x$	0.994
磨子沟 R1	$G(x) = 2.161x^3 - 3.540x^2 + 2.360x$	0.991
一碗水沟	$G(x) = 3.328x^3 - 4.524x^2 + 2.069x$	0.976
毛家湾沟	$G(x) = 1.953x^3 - 2.456x^2 + 1.429x$	0.994
银杏坪沟	$G(x) = 1.706x^3 - 2.938x^2 + 2.212x$	0.997
太平沟	$G(x) = 1.821x^3 - 2.371x^2 + 1.566x$	0.986
野牛沟	$G(x) = 1.878x^3 - 3.224x^2 + 2.358x$	0.977
王衣庙沟	$G(x) = 2.623x^3 - 4.156x^2 + 2.432x$	0.979
烧房沟	$G(x) = 2.294x^3 - 3.131x^2 + 1.719x$	0.981
肖家沟	$G(x) = 1.228x^3 - 1.706x^2 + 1.388x$	0.992
磨子沟 R2	$G(x) = 1.833x^3 - 3.139x^2 + 2.276x$	0.998
清水沟	$G(x) = -1.910x^3 + 2.494x^2 + 0.331x$	0.954
清水店沟	$G(x) = 0.549x^3 - 0.957x^2 + 1.425x$	0.992
关山沟	$G(x) = 1.616x^3 - 2.525x^2 + 1.895x$	0.998

沟、磨子沟 R2、清水店沟和关山沟作为分析对象(表 5)。由高程 - CLCAR 面积分布函数 $T(x)$ 的定义

分析:若 CLCAR 在流域内分布均匀时,其分布函数 $T(x)$ 应该接近于 $T(x) = -x + 1$;当 CLCAR 集中在某一高程范围内时,其分布函数 $T(x)$ 的变化趋势越趋向于 $T(x) = 0$,即函数 $T(x)$ 变化趋势较缓。

表 4 15 条泥石流沟的 DT 、 DM 和 DG

Table 4 Integrations (DT , DM and DG) of 15 debris flow gullies

沟名	DT	DM	DG
磨子沟 L1	0.446	0.325	0.430
红椿沟	0.456	0.286	0.529
磨子沟 R1	0.475	0.279	0.540
一碗水沟	0.418	0.369	0.359
毛家湾沟	0.418	0.279	0.384
银杏坪沟	0.494	0.259	0.553
太平沟	0.423	0.223	0.448
野牛沟	0.453	0.315	0.574
王衣庙沟	0.500	0.266	0.486
烧房沟	0.391	0.316	0.389
肖家沟	0.427	0.295	0.432
磨子沟 R2	0.482	0.308	0.550
清水沟	0.491	0.278	0.519
清水店沟	0.490	0.288	0.531
关山沟	0.452	0.396	0.510

参考所选 5 条泥石流沟的函数 $T(x)$ (图 7) 分析:整体上 5 条沟的分布函数 $T(x)$ 在 $x \in (0.3, 0.7)$ 时, $T(x)$ 变化趋势平缓;而在 $(0, 0.3)$ 和 $(0.7, 1.0)$ 时, $T(x)$ 变化趋势较明显。结合图 3 研究区的崩滑碎屑区主要集中在相对高程中值附近,即 x 在 $(0.3, 0.7)$ 范围内。其函数 $T(x)$ 在该范围内的变化趋势与其 CLCAR 的空间分布状态直接相关。

对于主沟侧距 - CLCAR 面积分布函数 $M(x)$:当 CLCAR 与主沟侧距分布均匀时,分布函数 $G(x)$ 理论上接近于 $G(x) = x$;当 CLCAR 分布在距主沟某一范围内,在该范围内函数 $G(x)$ 趋向于 $G(x) = 0$,即函数 $G(x)$ 变化趋势较缓。结合所选 5 条泥石流沟的函数 $G(x)$ (图 8) 分析:5 条沟中除关山沟外,其他沟的函数 $G(x)$ 在 $x \in (0.1, 0.7)$ 时,函数 $G(x)$ 的变化趋势较缓;关山沟的 $G(x)$ 较趋向于 $G(x) = 1$ 。结合图 3 5 条沟的 CLCAR 主要集中在主沟道附近;其中关山沟的 CLCAR 分布相对较均匀。即函数 $G(x)$ 变化趋势由其范围内 CLCAR 的空间分布状态决定。

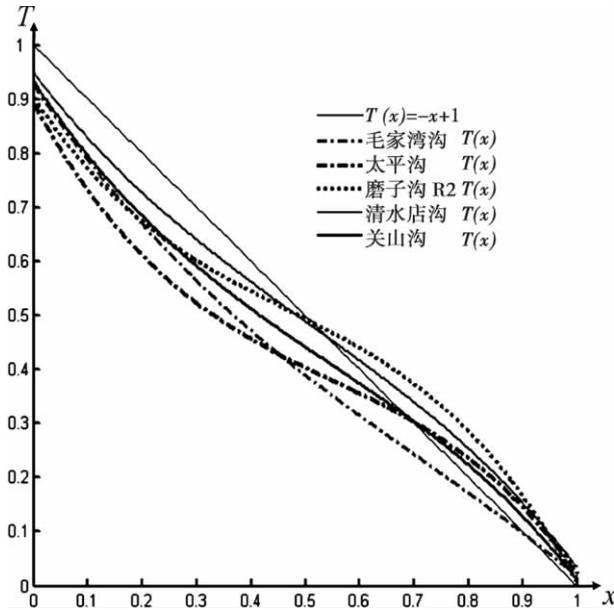


图7 5条泥石流沟的高程 - CLCAR 面积分布函数 $T(x)$
 Fig.7 Elevation - CLCAR area spatial distribution Function $T(x)$ of 5 chosen debris flow gullies

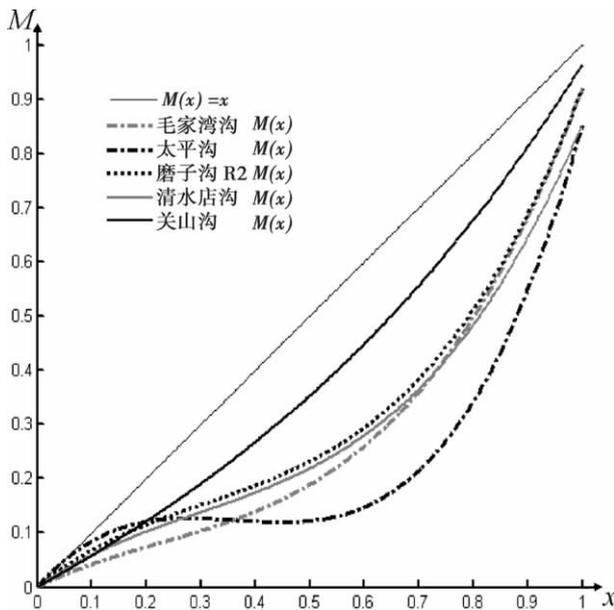


图8 5条泥石流沟的主沟侧距 - CLCAR 面积分布函数 $M(x)$

Fig.8 Lateral distance from main gully - CLCAR spatial distribution area Function $M(x)$ of 5 chosen debris flow gullies

对于沟口纵距 - CLCAR 面积分布函数 $G(x)$ (图9): 当 CLCAR 距沟口纵距分布均匀时, 分布函数 $G(x)$ 趋近于 $G(x) = x$; 当崩滑碎屑区集中分布在某一范围时, 函数 $G(x)$ 在该范围的变化趋势趋近于 $G(x) = x$, 即函数 $G(x)$ 变化趋势较缓。结合所选 5

条沟的函数 $G(x)$ 分析: 函数在 $x \in (0.2, 0.7)$ 趋向于 $G(x) = x$ 。参考图 3 分析, 5 条沟的崩滑碎屑区主要集中在流域中下游; 函数 $G(x)$ 反应了 CLCAR 在流域范围内的空间分布状态。

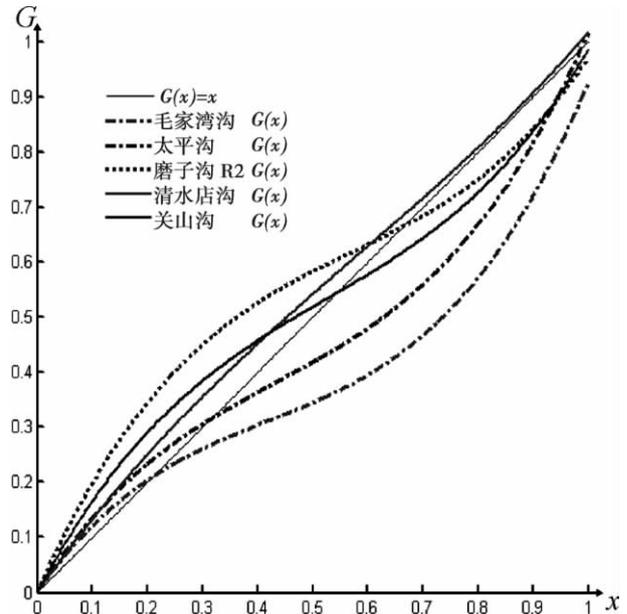


图9 5条泥石流沟的沟口纵距 - CLCAR 面积分布函数 $G(x)$
 Fig.9 Longitudinal distance from lowest point of basin - CLCAR area spatial distribution Function $M(x)$ of 5 chosen debris flow gullies

综上所述: 函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 由流域范围内 CLCAR 的空间分布状态直接决定, 函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 的变化趋势能够体现 CLCAR 在流域内的空间分布规律。但不排除流域形态对函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 有一定的影响, 函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 也能够一定程度上反映流域形态特征。由于函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 从三个不同的方面对 CLCAR 的空间分布状态进行描述, 理论上不同泥石流沟 CLCAR 的空间分布差异可以通过函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 得到体现。

4.2 CLCAR 空间分布参数分析

在获取空间分布函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 的基础上, 通过公式 (4) 可以计算获得 DT 、 DM 和 DG 。参考表 4 分析所选 5 条泥石流沟的 DT 、 DM 和 DG 值: 5 条沟的 DT 、 DM 和 DG 值存在一定的差别。对于 DT 值近似的毛家湾沟和太平沟, 其 DM 和 DG 存在一定差别; 对于 DM 值近似的毛家湾沟和清水店沟, 其 DT 和 DG 存在一定差别; 对于 DG 值近似的太平沟和磨子沟 R2, 其 DM 和 DT 存在一定差别。

理论上, $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 的函数曲线的变

化趋势决定其积分值的大小,但 DT 、 DM 和 DG 值不能够完全体现其函数曲线变化趋势。分布函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 从3个不同方面对CLCAR进行描述的;同时参考 DT 、 DM 和 DG 是能够体现不同泥石流沟内CLCAR空间分布特征之间的差异。

4.3 CLCAR空间分布对泥石流的影响

CLCAR在流域中的分布位置对其是否直接参与泥石流具有重要影响;其对泥石流规模和发生频率同样具有影响。唐川等(2010)根据汶川地震灾区的泥石流数据,经统计回归分析得到泥石流堆积扇最大堆积长度 L_f 和最大堆积宽度 B_f 的预测计算公式^[8]

$$\begin{cases} L_f = 0.36C^{0.06} + 0.03(V_L * H)^{0.54} - 0.18 \\ B_f = 0.40C^{0.08} + 0.04(V_L * H)^{0.35} - 0.23 \end{cases} \quad (5)$$

式中 C 为泥石流沟流域面积,km²; V_L 为沟内松散物质总量,10⁶ m³; H 为流域相对高差,km。

公式(5)中考虑泥石流流域面积、相对高度及流域内松散物质总量。根据研究区泥石流流域基本参数及堆积扇形态参数(表5)分析:肖家沟与王衣庙沟的流域基本参数相近,但堆积扇形态参数存在一定差别;烧房沟与肖家沟的流域面积及物源总量存在一定差别,但其实测 L 接近;肖家沟与磨子沟的流域基本参数差别较大,但其实测 B 接近。根据公式(5)计算获得的 L_f 和 B_f 与实际值存在一定差异。因此,对该区域泥石流堆积扇最大堆积长度 L 和最大堆积宽度 B 进行估算时有必要考虑其他因素。

泥石流沟内崩滑碎屑区空间分布定量化参数 DT 、 DM 和 DG 能够定量描述泥石流沟内松散固体物质分布状态;且其值反映了泥石流沟崩滑碎屑区空间分布的差别。且其对泥石流规模具有影响,因此在进行泥石流规模参数计算时有必要考虑崩滑碎屑区的空间分布状态。局限于数据,在此不做进一步分析。

另外,汶川地震产生的大量碎屑物堆积在沟谷

内增强了泥石流的活动性;因此有必要对泥石流危险性进行评价。现行的泥石流危险性分析方法主要是基于泥石流危险性评价因子,评价因子主要来源于影响泥石流形成的环境因素。这些评价因子权重的确定由不同的计算方法获得,但基本上不考虑这些环境因子的空间分布状态。笔者认为对汶川地震区泥石流规模参数等进行研究中有必要考虑其空间分布状态。

5 结论

汶川地震诱发大量的崩塌、滑坡,为泥石流提供了丰富的固体松散碎屑物,有必要对这些崩滑碎屑物的空间分布状态进行研究。不同空间位置的崩滑碎屑物参与泥石流的可能性不同,CLCAR空间分布不同的沟形成泥石流的规模也存在差异。

本研究得出3点结论:

1. 利用高程-CLCAR面积分布函数 $T(x)$ 、主沟侧距-CLCAR面积分布函数 $M(x)$ 和沟口纵距-CLCAR面积分布函数 $G(x)$ 对泥石流沟流域内的崩滑碎屑物空间分布进行描述能够体现不同泥石流沟崩滑碎屑物空间分布的差异。不排除泥石流流域形态对函数有影响。

2. 空间函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 积分值 DT 、 DM 和 DG 可以作为CLCAR空间分布状态的一种定量化参数。不排除积分值相同,函数不同的情况。有关定量化参数方面的研究有待进一步完善。

3. 泥石流沟内物源补给条件对泥石流的形成和发生频率等具有影响;在对泥石流规模和发生频率等参数计算时有必要考虑物源补给的空间分布状态。对于这方面的工作需要进一步研究。另外,本研究主要是从空间数据分析的角度研究,对于函数 $T(x)$ 、 $M(x)$ 和 $G(x)$ 在泥石流研究中的物理意义有待进一步研究。

表5 研究区5条泥石流流域基本参数

Table 5 Basic parameters of five debris flow basins and debris flow fans

沟名	流域面积 /km ²	物源总量 /10 ⁶ m ³	流域高差 /km	实测 L /km	实测 B /km	L_f /km	B_f /km
红椿沟	5.50	3.84	1.26	0.39	0.35	0.289	0.298
烧房沟	0.71	3.08	1.04	0.17	0.18	0.229	0.219
肖家沟	0.49	0.49	1.07	0.17	0.26	0.186	0.180
王衣庙沟	0.47	0.73	1.00	0.22	0.21	0.189	0.182
磨子沟 R1	5.33	6.22	1.60	0.23	0.27	0.322	0.317

参考文献 (References)

- [1] Zhong Dunlun, Xie Hong, Wang Aiyong. Preestimate and forecast parameter of debris flows along Chengdu - Kunming railway in Sichuan province [J]. Mountain Research, 1990, 8(2): 82 - 88 [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 [J]. 山地研究(现山地学报), 1990, 8(2): 82 - 88]
- [2] Kang Zhicheng, Li Zhuofen, Ma Ainai, et al. Research of debris flow in China [M]. Beijing: Science Press, 2004: 38 - 49, 97 - 98 [康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 38 - 49, 97 - 98]
- [3] Institute of Mountain Hazards and Environment Chinese Academy of Sciences. Research and prevention of debris flow [M]. Chengdu: Sichuan Press of Science and Technology, 1989: 58 - 61 [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: 58 - 61]
- [4] Fan Jianrong, Tian Bingwei, Cheng Gengwei, et al. Investigation on damming object induced by the earthquake of Wenchuan on May 12 based on Multi-platform Remote Sensing [J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(3): 257 - 262 [范建容, 田兵伟, 程根伟, 等. 基于多元遥感数据的 5.12 汶川地震诱发堰塞体信息提取 [J]. 山地学报, 2008, 26(3): 257 - 262]
- [5] Xie Hong, Zhong Dunlun, Jiao Zhen, et al. Debris flow in Wenchuan quake-hit area in 2008 [J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(4): 501 - 509 [谢洪, 钟敦伦, 矫震, 等. 2008 年汶川地震重灾区的泥石流 [J]. 山地学报, 2009, 27(4): 501 - 509]
- [6] Ai Nanshan. Commentropy in erosional drainage-system [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1987, 1(2): 1 - 8 [艾南山. 侵蚀流域系统的信息熵 [J]. 水土保持学报, 1987, 1(2): 1 - 8]
- [7] Ai Nanshan, Yue Tianxiang. Second discussion of the commentropy of Erosional Drainage - System [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1988, 2(4): 1 - 9 [艾南山, 岳天祥. 再论侵蚀流域系统的信息熵 [J]. 水土保持学报, 1988, 2(4): 1 - 9]
- [8] Tang C, Zhu J, Chang M, et al. An empirical-statistical model for predicting Debris flow runout zones in the Wenchuan earthquake area [J]. Quaternary International (2011), doi: 10.1016/j.quant.2010.11.020

Distribution of Collapse and Landslide Clast Deposit in Debris Flow Basin with RS - GIS after Wenchuan Earthquake

ZHANG Huaizhen^{1,2}, FAN Jianrong¹, HU Kaiheng¹, GUO Fenfen^{1,2}, LIU Fei^{1,2}, CHEN Yang^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: There are many of Collapse and Landslide Clast Accumulation Regions (CLCAR), which from collapse and landslide induced by Wenchuan earthquake in debris flow basins. So debris flow gully become more activity. In this study, choose 15 debris flow gullies for study in upstream of Minjiang River from Yinxing to Yingxiu Town. Based on SPOT Remote Sensing images, the Collapse and Landslide Clast Accumulation Regions were identified. Using Geographic Information System technology to analysis spatial distribution of CLCAR; building spatial distribution equations $T(x)$, $M(x)$ and $G(x)$ which describe spatial distribution of CLCAR from basin elevation, lateral distance from main gully and longitudinal distance from lowest point of basin. And use integrations (DT , DM and DG) of spatial distribution functions ($T(x)$, $M(x)$ and $G(x)$) as quantitative parameters to depict CLCAR spatial distribution. The study show that functions $T(x)$, $M(x)$ and $G(x)$ can well describe spatial distribution of CLCAR in debris flow basin; and DT , DM and DG can use as quantitative parameters of CLCAR describe spatial distribution. The spatial distribution of CLCAR can effect formation and scope of debris flow. So necessary to study CLCAR spatial distribution of debris flow basin in Wenchuan earthquake zones.

Key words: Wenchuan earthquake; Collapse and Landslide Clast Accumulation region (CLCAR); Remote Sensing; Geographic Information System; spatial distribution