

# 基于地貌特征的泥石流类型划分

倪化勇

(成都地质矿产研究所, 成都 610081)

**摘要:** 科学分类是泥石流研究的重要内容,也是科学认识泥石流这一自然现象的重要基础。地貌位置或流域形态是目前泥石流类型划分的重要依据之一,在泥石流按地貌特征、流域形态类型分类研究现状分析的基础上,讨论了目前基于地貌特征的泥石流分类方案在泥石流识别方面存在的差异,包括坡面型泥石流的定性识别方法、坡面型泥石流与沟谷型泥石流的判定指标以及形成机理等;进而从科学性和实践性出发,提出可结合斜坡地貌与沟谷侵蚀演化过程,将泥石流划分为坡面型泥石流、冲沟型泥石流和沟谷型泥石流的划分方案。

**关键词:** 泥石流分类;地貌特征;坡面型泥石流;冲沟型泥石流;沟谷型泥石流

**中图分类号:** P642.23   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0078-05

## Preliminary discussion on debris flow classification based on geomorphological characteristics

NI Huayong

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Scientific classification is one of the important research contents on debris flow and also crucial for the scientific understanding of debris flow phenomenon. Geomorphological location or watershed morphology is one of the important bases to classify debris flow. According to the analysis of debris flow classification based on the geomorphological characteristics and watershed morphology, the differences in the identification of debris flow using different classification schemes were discussed, including the qualitative identification method of slope type debris flow, and evaluation indexes and formation mechanism of slope type and gully type debris flows. In this paper, based on the slope geomorphology and gully erosion process, debris flow was further classified into three types scientifically and practically, including the slope type debris flow, groove type debris flow, and gully type debris flow.

**Key words:** classification of debris flow; geomorphology characteristics; slope type debris flow; groove type debris flow; gully type debris flow

泥石流分类既是对泥石流内在规律和外部特征的概括,更是泥石流基础理论研究和灾害防治的重要依据。在我国,泥石流类型多样,形成机理复杂,系统科学的分类构成了泥石流基础理论研究和防灾减灾实践的重要基础<sup>[1]</sup>。目前,从事泥石流基础理论研究的专家学者分别依据泥石流的形成条件(基于地貌、基于水源、基于物源)与起动机理(基于力学)、运动过程与动力特征(基于流速、流量和总量)、物质组成与流体特性(基于颗粒组成、容重和黏度)、地貌演化与发展阶段(基于发生历史和频率)、堆积规模(基于体积)与成灾危害(基于灾情和损失)等方面建立起了分类体系<sup>[2-4]</sup>,并在每个分类体系中进行了细分。因此,根据不同的分类依据,泥石流具有多种分类方法。

在众多的泥石流分类依据中,地貌是目前泥石流分类常用的依据之一。无论是在个例研究还是区域特征研究,较多的专家学者都依据泥石流所处的地貌位置或沟谷地貌形态确定泥石流的类型<sup>[5]</sup>,且多数采用了二分法,将泥石流分为了沟谷型泥石流和坡面型泥石流<sup>[1,3,4,9]</sup>;少数对沟谷泥石流进行了进一步的划分<sup>[5]</sup>。以往基于地貌特征的泥石流划分方案主要是通过流域面积、形态和流域发育程度以及斜坡坡度或沟床比降等来划分或界定泥石流类型。然而在实践中,对泥石流类型识别以及对不同类型泥石流所对应的流域地貌与沟谷形态特征论述,仍存在一定的人为性,不利于野外泥石流的识别、调查、研究和防治。本文拟系统总结当前关于泥石流按照地貌位置或沟谷形态分类中存在的识别指标

收稿日期: 2014-04-17    修回日期: 2014-10-27    网络出版时间: 2014-12-03  
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1452.041.html>  
基金项目: 国家自然科学基金项目(41102226); 科技基础性工作专项(2011FY110100-1)  
作者简介: 倪化勇(1979-),男,山东临朐人,副研究员,主要从事泥石流灾害预测预报、评价与灾害地貌等方面的研究。E-mail: nihuayong@126.com

和形成机理方面的差异,并基于斜坡地貌与沟谷侵蚀演化提出冲沟型泥石流的划分建议,从而进一步细化基于地貌特征的泥石流类型划分方案,以期对泥石流野外调查、类型识别、机理研究与灾害防治提供些许参考。

## 1 基于地貌特征的泥石流分类现状分析

### 1.1 基于地貌特征的泥石流分类现状

通过资料收集和分析,将目前我国基于地貌位置或沟谷形态的泥石流分类代表性方案汇总于表 1。

从表 1 可以看出,我国目前基于地貌特征对泥石流类型

的划分尚不统一。周必凡等将泥石流分为河谷型和山坡型两类,并将泥石流类型与固体物质来源(河床质或沟坡)进行了关联<sup>[2]</sup>;文献<sup>[1]</sup>则基于流域地貌将泥石流划分为沟谷型和山坡型两类;事实上,我国相关机构发布的行业规范中较多的沿用了“二分法”,即将泥石流按照地貌位置分为沟谷型和山坡型两类<sup>[4,6]</sup>。然而,近年来,不同的分类结果不断出现。康志成等在沟谷型和坡面型泥石流分类基础上增加了典型泥石流的类型<sup>[3]</sup>;姚一江等则基于地貌将泥石流分为坡面型泥石流、沟谷型泥石流和河谷型泥石流三类,并根据流域面积的大小对沟谷型泥石流和河谷型泥石流进行了区分和界定<sup>[5]</sup>。

表 1 泥石流按地貌位置分类

Tab. 1 Debris flow classification based on geomorphology

分类来源	泥石流类型	泥石流流域地貌与沟谷形态特征
中国科学院成都山地灾害与环境研究所 <sup>[1]</sup>	沟谷型泥石流	面积大于 1.0 km <sup>2</sup> ,水系发育完整,泥石流的形成、堆积和流通区段较明显。形成区又分为汇水动力区和固体物质供给区。流通区多为峡谷地形,纵坡较缓,堆积扇在宽谷段及主弱支强河段发育充分,其它河段发育不完全,有些被冲刷缺失
	山坡型泥石流	面积多在 1.0 km <sup>2</sup> 以下,流域尚未发育完全,轮廓呈哑铃形,一般无支沟。形成区山坡侵蚀、沟岸崩塌与沟谷下切均较强烈。流通区不易和形成区区分,沟道浅短,纵比降大,沟床比降与山坡坡度接近
周必凡等 <sup>[2]</sup>	河谷型泥石流	泥石流的发生、运动和堆积过程在一条发育较为完整的河谷内进行,固体物质主要来自河床质
	山坡型泥石流	泥石流发生、运动过程沿山坡或山坡冲沟中进行,堆积在坡角或冲沟出口与主河交汇处,固体物质主要来自沟坡
康志成等 <sup>[3]</sup>	典型泥石流沟	具有明显的清水区、泥石流形成区、流通区和堆积区
	沟谷型泥石流沟	流域为长条形,形成区不明显,两侧谷坡为泥石流物质的主要供给区;流通区很长,有时替代了形成区;堆积区视汇入的主河是淤积性或是下切侵蚀性的,处在前者的则发育明显的堆积扇
	坡面型泥石流沟	发育在山坡上的各种类型不良地质作用下产生的小型泥石流沟,它没有明显的受水区,仅仅是山坡上发育的冲沟和切沟
中国地质调查局 <sup>[4]</sup>	沟谷型泥石流	流域呈扇形或狭长条形,沟谷地形,沟长坡缓,规模大,流域可呈长条形、葫芦形或树枝形等。分形成区、流通区和堆积区
	山坡型泥石流	流域呈斗状,沟浅、坡陡、流短,沟坡与山坡基本一致,无明显流通区和堆积区
姚一江 <sup>[5]</sup>	坡面型泥石流	发育于 30° 以上的自然山坡或缓坡,形态上多呈条状或片状,流域面积小于 0.4 km <sup>2</sup> ,无明显沟槽,或虽有沟槽但发育不完善,纵坡与坡面基本一致
	沟谷型泥石流	流域面积 2~ 5 km <sup>2</sup> ,形成区、流通区和堆积区较明显
	河谷型泥石流	流域 5 km <sup>2</sup> 以上,最大可达 100 余 km <sup>2</sup> ,主沟长 3 km 以上
《泥石流灾害防治工程勘查规范》 <sup>[6]</sup>	沟谷型泥石流	以流域为周界,受一定的沟谷制约,泥石流的形成、堆积和流通区较明显,轮廓呈哑铃型
	山坡型泥石流	限于 30° 以上斜面,无恒定地域与明显沟槽,只有活动周界,轮廓呈保龄球形

### 1.2 基于地貌特征的泥石流分类存在的问题

(1) 坡面泥石流的野外识别与定性的认识差异。

坡面型(山坡型)泥石流有无恒定地域或明显沟槽,或者说发生在山坡上的切沟、冲沟内的泥石流属不属于坡面型(山坡型)泥石流的范畴,对于这一问题目前还存在不同的看法(表 2)。《泥石流灾害防治工程勘查规范》中界定山坡型泥石流无恒定地域与明显沟槽,只有活动周界<sup>[6]</sup>,而康志成等

将发育在山坡上的各种类型不良地质作用下产生的小型泥石流沟(包括山坡上发育的冲沟和切沟)均归属于坡面泥石流<sup>[3]</sup>。除此之外,目前研究对泥石流发育的沟谷界定也不一致,多数学者以流域尚未发育完全、没有支沟或者没有形成明显沟谷等来表征坡面泥石流发生的空间,但在野外调查过程中不同人员存在认识和操作差异,导致泥石流类型判别出现偏差。

表 2 坡面型泥石流及其特征

Tab. 2 Slope type debris flow and its characteristics

作者	坡面型泥石流认识
王士革 <sup>[7]</sup>	山坡型泥石流一般指发育在尚未形成明显沟谷的山体上的小型或微型泥石流,通常发育在坡度陡峻(20°~40°),坡面较长,较为平整,坡积层较薄(<3 m),下伏基岩透水性较差的斜坡上。流域面积一般≤0.4 km <sup>2</sup> 。
杨为民等 <sup>[8]</sup>	坡面型泥石流是在很短时间内,由滑坡体的位能快速转化为动能的一次性滑动-流动堆积。
张永双等 <sup>[9-10]</sup>	山坡型泥石流是发育在尚未形成明显沟谷的山体斜坡上的碎屑流,兼具滑坡和泥石流的某些特征,通常可以在几分钟至数小时内大量泥沙、石块倾泻。
李艳富等 <sup>[11]</sup>	坡面泥石流是一种发生在有碎屑堆积物的陡坡上,由降雨引发的高浓度碎屑与水的混合物沿坡面运动的现象。

(2) 坡面型泥石流与沟谷型泥石流的划分指标及其临界值的认识差异。

部分学者将流域面积、山坡坡度、流域相对高差等因素作为界定坡面型泥石流和沟谷型泥石流的指标,但是对于这些指标的具体分界值大小,却看法不一。《中国泥石流》认为流域面积小于 $1.0\text{ km}^2$ 的泥石流一般属于坡面型泥石流<sup>[1]</sup>,而彭涛等认为坡面型泥石流流域面积一般小于 $0.5\text{ km}^2$ <sup>[12]</sup>,王士革则把流域面积在 $0.4\text{ km}^2$ 以下的泥石流归属于坡面泥石流<sup>[7]</sup>;对临界斜坡坡度,《泥石流防治工程勘查规范》以及姚一江认为坡面型泥石流发生的斜坡坡度为 $30^\circ$ 以上<sup>[5]</sup>,王士革则认为是 $20^\circ\sim 40^\circ$ <sup>[7]</sup>,而曾凡伟等通过调查认为重庆北碚地区的坡面泥石流流域的平均坡度介于 $25^\circ\sim 37^\circ$ 之间,并将该区坡面泥石流启动的最低坡度定量为 $25^\circ$ <sup>[13]</sup>;在相对高差方面,谢洪等在对北京山区泥石流调查研究后认为沟谷型泥石流其流域相对高差一般多在 $500\text{ m}$ 以上,坡面泥石流一般在 $200\text{ m}$ 以上<sup>[4]</sup>,而重庆北碚地区 $58\%$ 的坡面泥石流坡面长度和相对高差都小于 $200\text{ m}$ <sup>[13]</sup>。

(3) 泥石流形成机理的认识差异。

不同类型泥石流有着不同的形成机理。近年来,国内外学者分别从土力类和水力类泥石流的形成机理方面进行了大量的研究。一般认为,水力类泥石流以侵蚀启动为主要过程,泥石流物源主要来自沟床松散固体物质堆积,而土力类泥石流则以土体饱和并在自身重力作用下启动为主要过程,泥石流物源主要通过松散土体物质在水的作用下结构改变、强度降低、变形破坏以及液化或流态化等方式补给<sup>[13]</sup>。

关于坡面泥石流的形成与发生,部分专家学者归因于滑坡或滑塌及其转化,而有的学者将其归纳为一种斜坡碎屑流,认为坡面泥石流兼具滑坡与泥石流的特征。但将斜坡上冲沟或切沟内发育的泥石流归类于坡面泥石流的专家学者,认为泥石流的形成应包括侵蚀过程,这又同沟谷型泥石流的形成机理,即暴雨对松散物源的冲蚀作用和汇流水体的冲蚀作用有一定的交叉。鉴于此,姚一江根据固体物质补给方式,将坡面泥石流进一步划分为三种类型,包括溜坍型坡面泥石流、冲蚀型坡面泥石流和崩塌、滑坡型坡面泥石流<sup>[5]</sup>。另外,关于泥石流物源的认识,不同的分类也提出了不同的固体物质来源。周必凡等将泥石流分为了河谷型泥石流和山坡型泥石流,并指出前者固体物质主要来自河床质,而后者主要来自沟坡<sup>[2]</sup>,有别于其他关于泥石流的分类以及形成机理的论述。可见,基于地貌特征的不同分类方案,对泥石流物源补给和形成机理的认识也存在较大差异。

## 2 沟谷侵蚀演化与泥石流类型划分建议

前文所述的各种认识差异,不利于泥石流野外识别、定性以及形成机理的认识,也不利于对泥石流的科学防治。因此,根据地貌位置或沟谷形态对泥石流的分类有必要进一步研究、细化和完善。

泥石流分类应遵循科学性和实践性。泥石流作为现代最快速的动力地质作用,被视为重要的地貌外营力之一<sup>[15]</sup>。无论是坡面型泥石流还是沟谷型泥石流,都可以看作是地貌演化,尤其是沟谷地貌演化等在不同演化阶段的产物。笔者认为,在按照地貌位置或沟谷形态对泥石流进行分类工作

中,应结合侵蚀沟谷的形态特征和演变过程。

### 2.1 斜坡地貌与沟谷侵蚀演化

斜坡地貌的演化伴随着片流的洗刷作用和洪流的侵蚀作用,且洪流侵蚀作用形成的地貌往往是在片流剥蚀地貌的基础上继续发展的结果。在这个过程中,侵蚀沟作为斜坡地带线形伸展的槽形凹地,往往被看作是典型的斜坡沟谷地貌,其形成与发展可分为四个阶段<sup>[16]</sup>。

(1) 细沟阶段。水流在斜坡上由片流逐渐汇集成细小的股流,在地表形成大致平行的细沟,宽 $0.5\text{ m}$ ,深 $0.1\sim 0.4\text{ m}$ ,长数米。

(2) 切沟阶段。细沟进一步下切加深形成了切沟,同细沟相比,切沟更宽更深,宽、深可达 $1\sim 2\text{ m}$ ,已有了明显的沟缘,沟口形成小陡坎,横剖面为“V”字型,在沟床的纵剖面上,局部出现了下凹与斜坡地形线的形态不一致。

(3) 冲沟阶段。切沟再进一步下蚀加深和拓宽,就形成了冲沟。冲沟的沟头有了明显的陡坎,沟边经常发生崩塌、滑坡、使沟槽不断加宽,冲沟的深度可大于 $1\text{ m}$ ,不同冲沟差别较大。沟床纵剖面下凹,与斜坡地形线不一致,沟床比降大,沟壁陡峻,横剖面为“V”字型,是对斜坡破坏性最强的一个阶段,常将斜坡切割的“支离破碎”。

(4) 坳沟阶段。冲沟进一步发展,沟坡由崩塌逐渐变得平缓,沟底填充碎屑物,形成宽而浅的干谷称为坳沟<sup>[16]</sup>。

### 2.2 新的泥石流类型划分方案

同斜坡地貌和沟谷演化一样,泥石流的孕育、发生、发展过程同样表现为沟道不断刷深,源地面积不断扩大,土体补给量不断增加的过程。结合上述斜坡地貌演化与侵蚀沟发育过程,对照目前泥石流按地貌位置或沟谷形态对泥石流分类存在的差异,笔者认为导致认识差异的核心问题是坡面上切沟或冲沟内发生泥石流的归属问题。对此,根据地貌位置或沟谷形态,介于沟谷型泥石流和坡面型泥石流之间可进一步划分出第三种泥石流类型,称为冲沟型泥石流,是发生于斜坡上但处于幼年阶段的侵蚀沟的泥石流。图1表示出了坡面泥石流、冲沟泥石流和沟谷泥石流的地貌位置及演化过程。可以看出,区别于以往主要通过斜坡坡度、流域面积等因素来区分坡面型和沟谷型泥石流,冲沟型泥石流考虑了发育位置的地貌特征。

2012年8月31日,喜德县热柯依达河流域出现强降雨,触发群发性泥石流。根据本文提出的泥石流分类方案,可较为直观得区分出泥石流类型(图2)。

### 2.3 基于新分类方案的泥石流特征

采用本文提出的分类方案,有利于从地貌位置和特征、物源补给方式、形成机理以及泥石流特征等方面,对坡面泥石流、冲沟泥石流和沟谷泥石流进行识别和研究:

从泥石流发育地貌位置和特征来看,坡面型泥石流发育坡面一般较为平整,无恒定地域或明显沟槽;冲沟型泥石流则主要发生于斜坡上的纹沟或切沟等处于幼年期的侵蚀沟内,水系发育不完整,无支沟,汇水区不明显,有的流域周界不明显,流域面积较小,形态多呈长条形,侵蚀沟深度一般不超过数米,纵比降大,沟床比降与山坡坡度接近,沟头一般距离斜坡顶部山脊线具有一定距离;沟谷型泥石流发育于流域

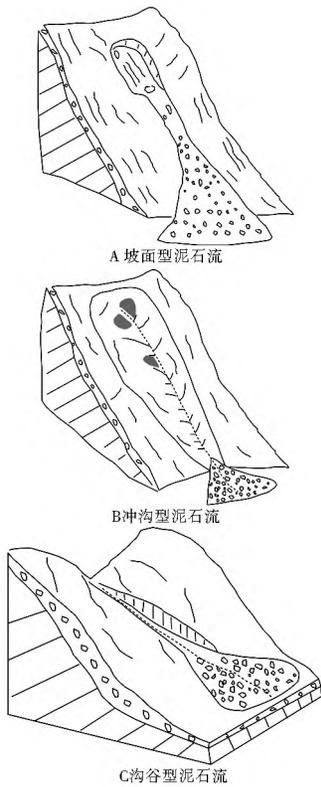


图1 泥石流类型划分及演化示意图

Fig. 1 Schematic of debris flow classification and evolution

冲沟型泥石流处于泥石流形成期发展阶段,物源补给段长,形成区和流通区往往重合,发生频率高,周期短,规模以小型为主;沟谷型泥石流发生时空具有一定规律性,规模大,持续时间长,威力强,破坏严重。

### 3 结论

(1) 我国目前基于地貌特征的泥石流分类方案主要是通过流域面积、形态和流域发育程度以及斜坡坡度或沟床比降等来划分或界定泥石流类型,在坡面泥石流的野外定性识别方法、坡面型泥石流与沟谷型泥石流的划分指标以及泥石流形成机理的认识等方面存在差异。

(2) 结合斜坡地貌与沟谷侵蚀演化过程,提出了泥石流基于地貌的新分类方案,将泥石流划分为坡面型泥石流、冲沟型泥石流和沟谷型泥石流三类。采用该分类方案,可从地貌位置和特征、物源补给方式、形成机理以及泥石流特征等方面,对不同类型泥石流进行识别和研究,有利于泥石流形成机理的认识和发展趋势的预测。

(3) 本文仅通过斜坡地貌和沟谷地貌演化角度提出泥石流类型宏观识别方法。由于泥石流发育地质环境的差异,在不同地区,即使是同一类型泥石流地貌特征和流域特征可能存在较大差别。因此,基于面积、坡度等定量指标对泥石流类型划分仍需要进一步研究。

致谢:成都地质矿产研究所高延超、王德伟和铁永波对本文进行了有益探讨和指导,深表谢意。

### 参考文献(References):

- [1] 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆, 2000. (Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences. Debris Flow in China[M]. Beijing: The Commercial Press, 2000. (in Chinese))
- [2] 周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991. (ZHOU Bi fan, LI De ji, LUO De fu, et al. Guide line for debris flow prevention[M]. Beijing: Science press, 1991. (in Chinese))
- [3] 康志成, 李焯芬, 马藹乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004. (KANG Zhi cheng, LI Zhuo fen, MA Ai nai, et al. Research on debris flow in China[M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese))
- [4] DD 2008-02. 崩塌滑坡泥石流灾害1: 50000 调查规范[S]. (DD 2008-02. Specification of comprehensive survey on landslides[S]. (in Chinese))
- [5] 姚一江. 从地貌条件探讨泥石流的防治方法[J]. 路基工程, 1994, 12(2): 23-27. (YAO Yi jiang. Discussion on debris flow prevention based on geomorphological condition[J]. Subgrade Engineering, 1994, 12(2): 23-27. (in Chinese))
- [6] DZ/T 0220-2006. 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. (DZ/T 0220-2006. Code for geological investigation of debris flow prevention[S]. (in Chinese))
- [7] 王士革. 山坡型泥石流的危害与防治[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1999, 10(3): 45-50. (WANG Shi ge. Hazard of debris flow on slope and its control[J]. The Chinese journal of geological hazard and control, 1999, 10(3): 45-50. (in Chinese))



图2 喜德县热柯依达沟流域 2012. 8. 31 群发泥石流(A 坡面型; B 冲沟型; C 沟谷型)

Fig. 2 Clustering debris flows occurred on Aug. 31, 2012 in the Rekeyida Basin of Xide County (A: slope type; B: groove type; C: gully type)

面积较大,主沟较长,水系发育完整的流域内,流域周界明显,沟床纵剖面下凹,与斜坡地形线不一致,其汇水区、形成区、流通区和堆积区分区明显。

从泥石流物源补给方式和形成机理来看,坡面型泥石流多由斜坡表层土体滑塌、转化形成,兼具滑坡或碎屑流的特征,形成机理多接近土力类泥石流;冲沟型泥石流则是在降雨激发作用下,由溯源侵蚀、侧蚀、下切侵蚀产生物源补给形成的,也存在由滑坡转化或堵溃形成的泥石流;相比之下,沟谷型泥石流物源补给类型多样,形成机理更为复杂,常包括水动力启动和土力启动,诱发因素多样,包括降雨触发、滑坡转化、冰湖溃决等,不同沟谷泥石流启动存在差异。

对泥石流特征对比发现,坡面型泥石流发生时空不易识别,隐蔽性强,可知性低,泥石流规模小,但成灾快,防范难;

- [8] 杨为民, 吴树仁, 张永双, 等. 降雨诱发坡面型泥石流形成机理[J]. 地质前缘, 2007, 14(6): 197-204. (YANG Weimin, WU Shuren, ZHANG Yongshuang, et al. Research on formation mechanism of the debris flow on slope induced by rainfall[J]. Earth science frontier, 2007, 14(6): 197-204. (in Chinese))
- [9] 张永双, 曲永新, 何锋, 等. 秦巴山区宁陕县坡面型泥石流的形成机理[J]. 水文地质工程地质, 2005, 49(5): 84-88. (ZHANG Yongshuang, QU Yongxin, HE Feng, et al. Research on the formation mechanism of debris flow on slope around Ningshan County in the Hinterland of the Qinling Orogen[J]. Hydrogeology and engineering geology, 2005, 49(5): 84-88. (in Chinese))
- [10] 张永双, 吴树仁, 赵越, 等. 湖北省巴东县桐木园山坡型泥石流的形成机理及预警指标—以 2003-03-31 强降雨过程为例[J]. 地质通报, 2003, 22(10): 833-838. (ZHANG Yongshuang, WU Shuren, ZHAO Yue, et al. Formation mechanism of debris flow on the Tongmuyuan slope and its early warning index: a case study of the hard rain process on March 31, 2003 in Badong county, Hubei province[J]. Geological bulletin of China, 2003, 22(10): 833-838. (in Chinese))
- [11] 李艳富, 王兆印, 施文倩, 等. 汶川震区的坡面泥石流调查研究[J]. 泥沙研究, 2011, 55(1): 1-7. (LI Yanfu, WANG Zhaoyin, SHI Wenqian, et al. Investigation of slope debris flows in Wenchuan earthquake area[J]. Journal of sediment research, 2011, 55(1): 1-7. (in Chinese))
- [12] 彭涛, 徐刚, 夏大庆. 坡面泥石流暴发的自组织临界特性及其预测预报[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 104-108. (PENG Tao, XU Gang, XIA Daqing. Occurrence of slope debris flow as self-organization criticality and its prediction and forecast[J]. Bulletin of soil and water conservation, 2006, 26(3): 104-108. (in Chinese))
- [13] 曾凡伟, 徐刚, 李青, 等. 坡面泥石流发生的地貌信息初探—以重庆市北碚区为例[J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 402-406. (ZENG Fanwei, XU Gang, LI Qing, et al. Information of debris flow on hillslope: a case study in Beibei, Chongqing[J]. Chinese journal of soil science, 2005, 36(3): 402-406. (in Chinese))
- [14] 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. (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. (in Chinese))
- [15] 刘希林. 试论泥石流动力作用与沟谷地貌演变的关系[J]. 地理科学, 1988, 8(4): 389-391. (LIU Xilin. Discussion on the relation between debris flow dynamics and evolution of gully geomorphology[J]. Scientia geographica sinica, 1988, 8(4): 389-391. (in Chinese))
- [16] 田明中, 程捷. 第四纪地质学与地貌学[M]. 北京: 地质出版社, 2009. (TIAN Mingzhong, CHENG Jie. Quaternary geology and geomorphology[M]. Beijing: geology press, 2009. (in Chinese))

(上接第 54 页)

- [7] 蓝中华. 水功能区达标评价的方法研究[J]. 中国新技术新产品. 2010(2): 1. (LAN Zhonghua. Study on the method of water function area evaluation[J]. China New Technologies and New Products, 2010(2): 1. (in Chinese))
- [8] 杜中, 陈月, 吴慧秀. 丹东水功能区达标率计算两种方法对比分析[J]. 辽东学院学报, 2013, 20(2): 85-87. (DU Zhong, CHEN Yue, WU Huixiu. Two methods for calculation of water function area standard reaching rate in Dandong comparison and analysis[J]. Journal of Liaodong University, 2013, 20(2): 85-87. (in Chinese))
- [9] 徐智廷, 李河海. SP 概化模型在临沂市水功能区纳污能力分析中的应用[J]. 水资源保护, 2007, 23(3): 27-29. (XU Zhitang, LI Hehai. Application of SP generalized model to analysis of water environmental capacity in Linyi water function area[J]. Water Resources Protection, 2007, 23(3): 27-29. (in Chinese))
- [10] 柯斌樑, 劳国民. 浙江省水功能区纳污能力分析计算探讨[J]. 浙江水利科技, 2014(3): 11-15. (KE Binliang, LAO Guomin. Analysis and calculation of water environment capacity in water function area in Zhejiang province[J]. Zhejiang Hydrotechnic, 2014(3): 11-15. (in Chinese))
- [11] 林金. MIKE11 模型在台州市区河网纳污能力计算中的应用[J]. 浙江水利水电学院学报, 2014, 26(1): 13-18. (LIN Jin. Evaluation of assimilative capacity in river network based on MIKE11[J]. Journal of Zhejiang water conservancy and hydropower college, 2014, 26(1): 13-18. (in Chinese))
- [12] GB 3838-2002, 中华人民共和国地表水环境质量标准[S]. (GB 3838-2002, Surface water quality standards of the People's Republic of China[S]. (in Chinese))
- [13] SL 395-2007, 地表水水质评价技术规程[S]. (SL 395-2007, Technological regulations for surface water resources quality assessment[S]. (in Chinese))
- [14] 王超, 朱党生, 程晓冰. 地表水功能区划分系统的研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2002(5): 7-11. (WANG Chao, ZHU Dangsheng, CHENG Xiaobing. Surface water function regionalization system[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2002(5): 7-11. (in Chinese))