赵岩，孟兴民，郑娇玉，等. 地貌学在泥石流研究中的应用与理论初探[J]. 灾害学，2017，32(1)：43－49.［ZHAO Yan，MENG Xingmin，ZHENG Jiaoyu，et al. Application of geomorphological theory in study of debris flow and exploration of its applied theory[J]. Journal of Catastrophology，2017，32(1)：43－49. doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2017.01.009.］

地貌学在泥石流研究中的应用与理论初探*

赵 岩[1]，孟兴民[1,2]，郑娇玉[1]，庆 丰[1]

（1. 兰州大学 资源环境学院 西部环境教育部重点实验室，甘肃 兰州 730000；
2. 甘肃省环境地质与灾害防治工程研究中心，甘肃 兰州 730000）

摘 要：该文指出了地貌学理论在泥石流研究中的重要性，提出了泥石流的地貌学定义，并对泥石流形成理论进行了完善与拓展。通过分析地貌学在泥石流研究与应用的现状，总结了近 30 年来在这一领域所开展的工作以及所取得的成果与进展，讨论了研究中所存在的问题。通过对白龙江流域 714 条泥石流沟的各地貌要素分布特征分析，对泥石流研究中地貌学理论的应用进行了探讨，包括泥石流研究中的地貌要素体系，地貌学要素在泥石流形成条件分析中的理论体系，以及地貌学要素在泥石流研究中的应用体系。并基于这些理论对白龙江泥石流沟的能量条件的定量评价做了有益的尝试，以期为地貌学理论更好地应用在泥石流研究中提供思路。

关键词：泥石流；地貌学；能量条件；应用理论
中图分类号：P694；X43　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000－811X(2017)01－0043－07
doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2017.01.009

近年，突发性重大灾害一再触痛着人们的心灵，其中泥石流灾害就是一个重要的灾种。在山区，随着人地矛盾的日益增长，越来越多的山区居民聚居于相对平缓的泥石流堆积扇上，一旦泥石流爆发，将给这些村庄、城镇、公路、铁路等造成严重的危害[1]。例如，2003 年四川丹巴县泥石流造成 51 人遇难[2]；2004 年浙江乐清市北部山区 3 个乡镇于 8 月 13 日凌晨约 4－5 时许，发生特大泥石流地质灾害，造成 47 人遇难；2010 年 8 月 7 日，甘肃舟曲县特大泥石流灾害，是中国有记载以来最大的泥石流灾难[3]；2016 年 5 月 7－8 日，福建泰宁县池潭村西遭遇强降雨引发泥石流冲毁中水十二局和十六局生活营地以及水电厂办公楼，造成 35 人遇难。

故泥石流成因的相关研究亟待深入，而地貌条件是泥石流形成的内因和必要条件，制约着泥石流的形成和运动，影响着泥石流的规模和特性[4]。作者认为泥石流应该提出其地貌学定义，即地球内力造成的地势抬升必然引起外力侵蚀、搬运的夷平作用，而泥石流活动便属于这一地貌演化过程中的一种主要由水和重力作用所引发的强烈的地表流水侵蚀、搬运与堆积的过程。目前地貌学理论在泥石流的研究中得到了广泛的应用，而在应用中还存在很多问题，比如在研究中没有深入考虑泥石流的独特性，没有很好地从地貌在泥石流形成条件中的确切作用来应用到泥石流的研究中。对于这一点，尚缺乏切实可行的应用理论指导。鉴于此，本文正是通过总结目前地貌学理论在泥石流研究中的应用现状，提出其中所存在的问题，并根据泥石流独特性，尝试建立地貌学理论在泥石流研究应用的理论体系，以期为地貌学原理更好地应用在泥石流研究中提供思路。

1 地貌学理论在泥石流研究中的应用

1.1 地貌要素在泥石流研究中的应用

在泥石流沟判定研究中，1985 年吕儒仁[5]较早地将地貌要素作为直接因素应用在了泥石流沟的判定中，并将地貌要素划分为流域面积、海拔、高差、沟床平均比降与山坡坡度四个分要素；谭炳炎[6]将地貌因素作为一级要素应用在了泥石流沟严重程度的评判中，并将地貌因素细化为流域

* 收稿日期：2016－06－15　　修回日期：2016－07－25
基金项目：中央高校基本业务费专项资金项目(lzujbky－2015－k10)；国家国际科技合作专项(2013DFE23030)；甘肃省民生科技计划项目(1503FCME006)；国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2014CB744703)
第一作者简介：赵岩(1989－)，男，山东临沭人，硕士研究生，主要从事环境遥感与地质灾害防灾减灾理论方面的研究. E-mail：zhaoyan14@lzu.edu.cn
通讯作者：孟兴民(1963－)，男，甘肃武威人，教授，博士生导师，研究方向为环境遥感与地质灾害. E-mail：xmmeng@lzu.edu.cn.

面积、相对高差、山坡坡度、植被覆盖率与类型、河沟扇形地貌 5 个二级要素；蒋忠信[7]使用了沟谷纵剖面形态指数等要素建立了暴雨泥石流沟的简易判别方法；韦方强等[8]使用了相对高度与沟床比降等要素建立了泥石流沟识别要素临界值判别方法；其他还有朱静、王礼先、钟敦伦和庄建琦等的研究[9-12]。

地貌学在泥石流定量评价应用中，以泥石流危险性评价最具代表性。我国较早的研究为 1986 年谭炳炎[7]的泥石流严重程度的综合评判，将地貌要素引入到泥石流沟危险性评价研究中；1988 年刘希林[13]在“泥石流危险度判定的研究”中应用流域面积、相对高差等地貌要素，提出了多因子综合评判的模型，并在以后的研究中不断深入和完善[14-18]。之后，泥石流危险性评价工作在全国范围内展开，成为泥石流灾害研究的热点，地貌要素在其研究中的应用也得到了很大的发展。

其他方面研究还有蒋忠信[19]研究了泥石流沟谷纵剖面的形态特征，用统计的方法总结了泥石流活动性与纵剖面形态的关系；李泳等[20]用比降曲线和面积高程曲线讨论了流域可能发生泥石流的曲线形态和演化趋势；庄建琦等[13]利用流域面积、主沟长、沟床比降、平均坡度、相对高差、圆状率和相对切割程度等地貌要素对泥石流沟发育阶段进行了定量判定等等。

1.2 侵蚀循环理论在泥石流研究中的应用

首先讲述其理论起源，1899 年 Davis[21]正式提出地貌循环理论的概念，并将地貌演化阶段分为幼年期、壮年期和老年期三个阶段；1952 年 Strahler[22]提出侵蚀流域的面积高程分析方法，并用曲线积分值 S 的大小来量化戴维斯模型的侵蚀流域地貌演化阶段，从而将戴维斯的地貌发育模型定量化。

由于地貌系统演化过程的数学描述与热传导方程相似，里奥普和拜里把熵的概念引入地貌学中，从而更好地描述戴维斯侵蚀循环过程和阶段。1987 年艾南山[23]以 Davis 侵蚀循环理论以及 Shannon[24]的信息熵理论，将熵的概念和计算方法引入到 Strahler 积分中，提出侵蚀流域系统的地貌信息熵理论；其在之后的研究中又引入了超熵的概念，并应用在滑坡、泥石流和地震的研究中[25-26]。

基于侵蚀循环理论的面积高程积分法以及地貌信息熵等理论得到了广泛的应用，比如孙然好等[27]将其应用在了山体演化阶段的判定；杨宗佶等[28]将其应用在典型滑坡危险度评价的研究中；张宝军等[29]将其应用在冲沟沟头活跃度的判定；而将其应用在泥石流研究中较早的为蒋忠信[30]的研究，作者提出以沟谷纵剖面形态指数 N 表达超熵数学式，并应用于泥石流沟的判别与活动性评价。之后，铁永波等[31]将地貌信息熵理论应用在了泥石流沟谷的危险性评价研究中；吕学军等[32]将面积高程分析法应用在了泥石流发育阶段的定量化研究中；王晓明等[33]利用地貌系统信息熵来判断泥石流的发育程度；李雅辉等[34]基于地貌信息熵对泥石流敏感性进行定量评价；王钧等[35]将地貌信息熵应用在震后泥石流危险性评价中；刘丽娜[37]在利用地貌信息熵进行泥石流危险性评价研究等等。

1.3 地貌学在泥石流研究与应用中存在的问题

如上所述，地貌学已广泛应用于泥石流的研究与应用中并取得了一定的成果，但也存在诸多问题，其中最重要的问题是在泥石流的形成条件分析上，不能明确各个地貌要素在其中所能反映的作用，这也导致了目前的研究所选用的地貌要素指标存在很大的差异，因而研究的结果也差异较大。地貌要素一般能从一定程度上反映泥石流形成的条件，但无论哪一个地貌要素，都只能从某个方面反映一个流域是否具备泥石流发生的条件。而目前对于地貌要素的选取，还存在较大的主观人为性，很容易造成要素选择的片面性与重复性，导致评价结果会具有较大的偏差。

地貌学应用在泥石流研究中属于两个学科的交叉范畴，在使用地貌要素时既要深刻理解其地貌学意义，又要从泥石流成因角度去分析其所反映的条件。在研究中需避免主观人为性，科学地选择对研究内容相关的要素，并避免重复性。因此从泥石流形成条件出发，深入分析各个地貌要素的特点以及从中所起到的作用尤为重要。

2 地貌学在泥石流研究中的应用理论体系探讨

2.1 泥石流研究中的地貌学要素体系探讨

从以上的研究中，可知不同的学者在应用地貌学知识时所选用的地貌要素不尽相同，本文根据地貌要素的特征划分为地形特征和形态特征两大类，且众多的地貌要素有着原始要素与要素间综合计算的区别，本文将其划分为三级指标，以区分要素的综合性程度，现初步总结如表 1 所示。

目前，这些地貌学要素已应用在了泥石流的许多研究中，如泥石流的识别和判定，特别是泥石流的定量评价方面，其中做得相对成熟的是泥石流的风险评价，而泥石流的风险评价包括泥石流的危险性评价和易损性评价等等，应用这些地貌要素通过各种方法模型等手段进行各项泥石流的研究，现总结如图 1 所示。

表 1　应用在泥石流研究中的地貌要素体系

		一级指标	二级指标	三级指标
地貌要素体系	地形特征	相对高差(ΔH)	相对切割程度($\Delta H/C$)	面积高程积分值($S=\int_0^1 f(x)\,dx$)
		沟坡坡向(β)	沟壑密度、切割密度(l/A)	地貌信息熵($H=S-1-\ln S=\ln(1+N)-N/(1+N)$)
		沟坡坡度(α)	沟坡平均坡度($\bar{\alpha}$)	超熵($\partial P=N^3(N^2-4)(N+2)/32(6-N)$) [30]
		主沟沟长(l)	沟床比降($I=\Delta H/l*1000‰$)	($\partial P=[-\beta\alpha^3(\alpha^2-1)]/[\alpha(-\beta-1)-3]$) [26]
		补给长度(l')	补给长度比(l'/l)	……
		流域面积(A)	……	
		流域周界长度(C)……		
	形态特征	流域(水系)形状特征	圆状率(C/l)，扇形、羽状、平行	流域形态系数($k_e=A/l^2=B/l$)
		横剖面形态特征	U 型谷，V 型谷	流域不对称系数($k_a=(A_{左}-A_{右})/(A_{左}+A_{右})$)
		纵剖面形态特征	纵剖面形态指数($h=H(s/S)^N$)	……
		堵塞长度(L')	堵塞系数(L'/l)	
		泥石流侵蚀地貌	破碎破、基岩谷、角峰等	
		泥石流侵蚀堆积地貌	阶地、葫芦谷、多变谷、基岩谷等	
		泥石流堆积地貌……	堆积扇、龙岗－龙头等[40]……	

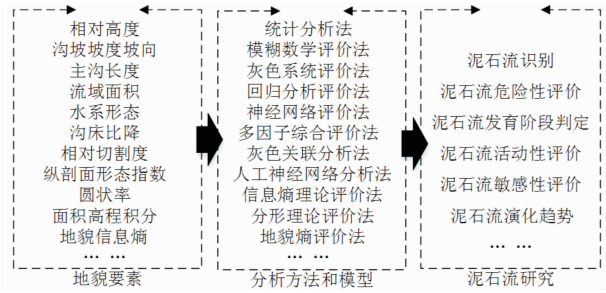


图 1　地貌学在泥石流研究中的应用

2.2　地貌学要素在泥石流形成条件中的理论探讨

首先讨论各地貌要素在泥石流形成中所反映的条件，以白龙江甘肃境内流域为例，通过区内 DEM 进行水文分析共提取出 1 984 条流域，通过历史灾害资料的收集以及实地的调查共收录有泥石流灾害记录的泥石流沟 714 条(图 2)，通过统计的方法深入分析泥石流流域的地貌特征。

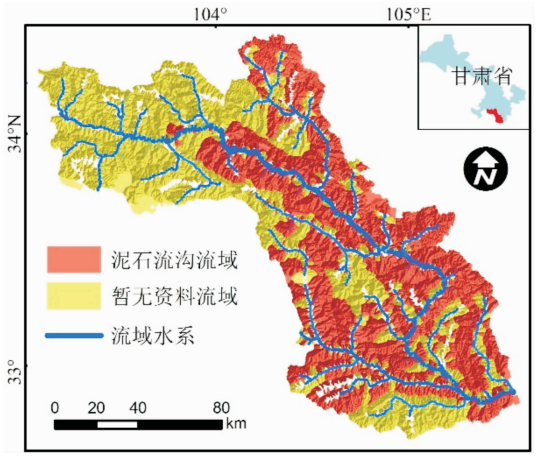


图 2　白龙江泥石流沟流域分布图

我们先以流域相对高差为例研究白龙江流域泥石流沟的相对高差的特征，计算 714 条泥石流沟的相对高差，并通过统计分析可以得到泥石流沟相对高差的分布情况(图 3a)。结果显示 84% 的泥石流沟集中在高差为 600 ~ 1 800 m的范围内，但这并不能说明 600 ~ 1 800 m 的高差更适合泥石流的发育，为此我们采用泥石流沟在不同相对高差范围内的分布概率来分析其分布特征。从图 3a 的曲线可以看出总体上泥石流沟的分布概率随着相对高差的增高呈现曲折上升的趋势，而 600 ~ 1 800 m 的高差范围内泥石流沟的分布概率却是相对比较低的，相对高差超过 1 800 m 后泥石流沟的分布概率超过了 0.5，并呈逐渐升高的趋势，说明至少对于白龙江流域来说相对高差大于 1 800 m 的流域才是更有利于泥石流发育的高差范围。对泥石流沟在流域面积、主沟长度、沟床比降、面积高程积分值、平均坡度、相对切割度、圆状率等的分布特征不再赘述，分布结果和特征如图 3 及表 2 所示。

从分析结果来看，泥石流沟在各地貌要素的分布条数和分布概率有着较大的差异，表明单从分布条数的多少来判断其是否为泥石流发育的有利条件是欠妥的。从各地貌要素的概率分布的总体趋势可以看出，随着各地貌要素值的增加而呈现递增趋势的为主沟沟长、流域面积和相对高差，呈现递减趋势的为沟坡坡度、沟床比降、相对切割度和面积高程积分值，而圆状率没有表现出明显的趋势，说明流域形态对泥石流发育的影响不明显。

目前对于泥石流的形成条件的总结比较认可的为能量条件、物质条件和激发条件三个条件，而这三个制约泥石流形成的条件是抽象的概念条件，我们认为其相对应的具体的实际条件可以概括为地形地貌条件、地质环境条件和气候水文条件三大制约条件。而这三大条件只是代表流域的基础制约条件，实际应用中还要将其细化，我们将其中能量条件划分为总能量条件与能量转化条件，物质条件划分为现有物质条件和潜在物质条件，激发条件可分为水源条件和汇水条件，总结如表 3 所示。

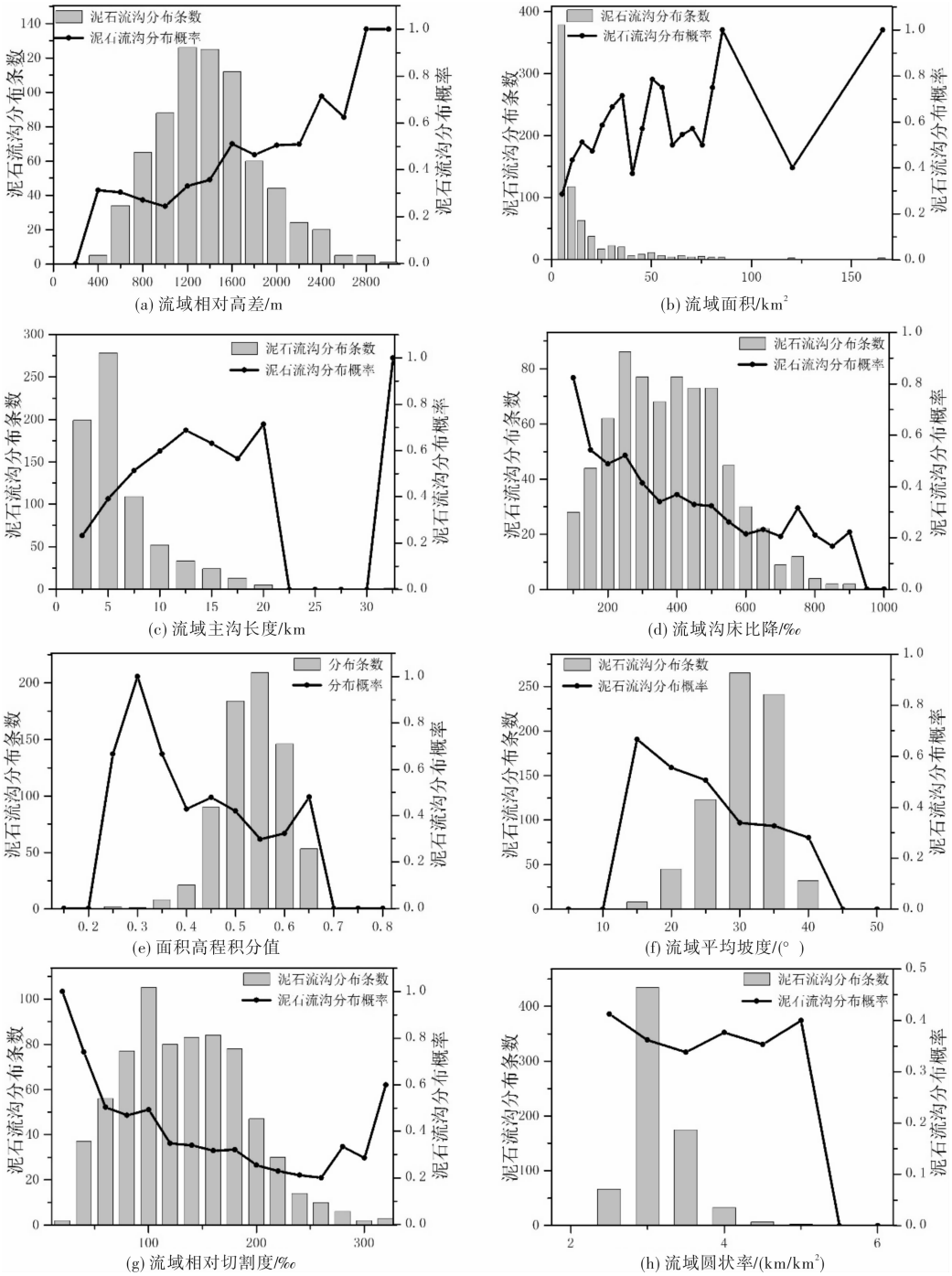


图 3 泥石流沟特征要素分布情况

表 2 泥石流沟各地貌要素分布特征及总体趋势

地貌要素	影响因素分析	反映条件	条数分布	概率分布	总体趋势
沟坡坡度/(°)	影响物质补给方式与数量[4] 影响坡面流速、沟道汇流速度	物质 汇流	25 ~ 35	15 ~ 25	递减
沟坡坡向	影响冰雪积累、消融和降雨量的大小[4]	水源	/	/	/
主沟沟长/km	影响着流域汇流条件[39]。	汇流	0 ~ 7.5	7.5 ~ 20.0	递增
流域面积/km²	影响泥石流规模	能量条件	0 ~ 20	> 15	递增
相对高差	反映流域总能量条件	总能量	1000 ~ 1600	> 1600	递增
沟床比降/m	影响流体由势能转变为动能的过程[4]	能量转化	250 ~ 550	100 ~ 250	递减
相对切割度/‰	反映流域发育的完善程度[39]	发育程度	100 ~ 200	0 ~ 100	递减
圆状率	流域形态、水系形态等影响汇流时间[40]	汇流	2.5 ~ 3.0	/	/
纵剖面形态	反映流域发育阶段，体现泥石流活跃程度	发育阶段	/	/	/
面积高程积分值	定量反映侵蚀流域系统地貌演化阶段	发育阶段	0.45 ~ 0.65	0.20 ~ 0.45	递减

表 3　应用在泥石流研究中的地貌要素体系探讨

理论体系	泥石流形成条件	形成条件划分	地貌条件作用
地貌学理论在泥石流形成条件分析中的理论探讨	能量条件⇔地形地貌条件	总体能量条件(制约条件)	控制性作用
		能量转化条件(制约条件)	控制性作用
	物质条件⇔地质环境条件	地质构造地层岩性(制约条件) 人类活动自然生态等(影响条件)	影响性作用
	激发条件⇔气候水文条件	水源条件(制约条件)	影响性作用
		汇水条件(制约条件)	控制性作用

表 4　地貌学在泥石流研究中的应用理论体系探讨

理论体系	泥石流形成条件	形成条件划分	能反映形成条件的地貌学参数
地貌学参数在泥石流研究总的应用体系探讨	能量条件⇔地形地貌条件	总体能量条件	相对高差、流域面积、面积高程积分值、纵剖面形态指数等
		能量转化条件	沟床比降、沟坡坡度等
	物质条件⇔地质环境条件	现有物质条件	沟坡坡度、补给长度比
		潜在物质条件	等起影响性作用
	激发条件⇔气候水文条件	水源条件	沟坡坡向等地貌条件影响气候与降雨分布等
		汇水条件	主沟长度、流域形状、水系形状、圆状率、沟坡坡度等

表 5　地貌要素分级与赋值结果

要素	分级	值	要素	分级	值	要素	分级	值	要素	分级	值
	0 ~ 600	1		0 ~ 5	1		0 ~ 200	1		0 ~ 0. 2	1
	600 ~ 1200	2		5 ~ 10	2		200 ~ 400	2		0. 2 ~ 0. 4	5
ΔH/m	1200 ~ 1800	3	A/km^2	10 ~ 50	3	I/‰	400 ~ 600	3	S	0. 4 ~ 0. 6	4
	1800 ~ 2400	4		50 ~ 100	4		600 ~ 800	4		0. 6 ~ 0. 8	3
	2400 ~ 3000	5		100 ~ 200	5		800 ~ 1000	5		0. 8 ~ 1	2

注：ΔH 为流域相对高差；A 为流域面积；I 为沟床比降；S 为面积高程积分值

2. 3　地貌学要素在泥石流研究中的应用体系探讨

由上面总结的各地貌要素在泥石流形成中所反映的条件分析，可知各个地貌要素在泥石流形成中所体现的条件各有特征，所以要想更科学地在泥石流的研究中应用地貌学理论，需要建立一个应用体系，而这个应用体系需要从泥石流形成条件的基础上进行分析，那么根据能量、物质和激发这三个条件尝试将地貌学要素进行分析与分类如表 4 所示。

3　基于地貌要素理论的流域能量评价

基于以上理论探讨，可知地形地貌条件在泥石流的形成条件中主要反映的是泥石流的能量条件。而我们认为能量条件是泥石流形成的主控条件，相对于物质条件和激发条件其具有相对稳定性，即短时间内不会发生质的变化。故基于地貌要素理论的流域能量评价，可为区域泥石流的发育情况、整体能量现状以及进一步的泥石流演化趋势等的研究提供研究基础与参考。

本文尝试使用地貌要素对流域的能量条件进行定量的评价，并从总能量条件和能量转化条件两方面来分析。流域的高差能够反映但还不能够代表流域的能量条件，因为没有面积的限定即使高差很大，而流域面积较小时总体能量条件也不会太高；另一方面，面积高程积分值和纵剖面形态指数等能够定量表示流域的地貌演化阶段，即流域侵蚀的程度，可以从地貌演化阶段方面反映流域的能量大小；能量转化方面采用沟床比降来代表。故我们初步选择流域相对高差、流域面积、面积高程积分值和沟床比降四个要素进行能量的评价。由于能量的评价目前几乎没有研究的案例，本文只是做初步的尝试性研究，故将研究尽量简化，结合图 3 和表 2 的分析结果我们将各地貌要素进行分级和赋值如表 5 所示，并计算出基于流域单元的白龙江流域能量评价叠加值如图 4 所示。

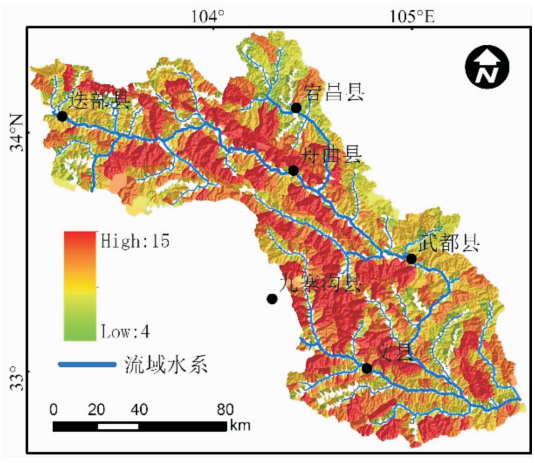


图 4　流域能量评价结果

从评价结果来看，舟曲、文县段的流域能量值较高，而武都、宕昌段流域能量值中等，从实际情况来看武都区的泥石流目前最为活跃，那么从地貌演化过程来看武都区的整体流域能量条件为中等可视为地貌演化的壮年期，泥石流活动较为活跃，下一步发展趋势为进入老年阶段，而舟曲和文县则处于地貌演化的幼年阶段，虽然目前泥石流活动相对较弱，但下一步将发展为壮年期，应引起重视。

根据《甘肃泥石流》中泥石流的记录[42]，选取6条典型泥石流沟对比其各地貌要素值、泥石流发生频率和能量值结果如表6所示，位于舟曲的三眼峪和罗家峪相对高差和沟床比降明显高于武都段的甘家沟、佛堂沟和马槽沟，而前者的泥石流发生频率为5年一次远低于后者的每年8～10次，一定程度上验证了这一点，但流域能量值和泥石流发展趋势以及发生频率等的关系还要进一步深入的研究。

表6 典型泥石流沟地貌要素值、发生频率和能量值对比

沟名	ΔH/m	A/km^2	I/‰	S	F/(次/年)	能量值
三眼峪	2435	23.82	280.9	0.55	0.2	14
罗家峪	2376	16.12	305.1	0.51	0.2	13
火烧沟	1241	2.08	520.4	0.54	10	11
甘家沟	1267	41.40	97.9	0.57	9	11
佛堂沟	1368	44.37	99.9	0.60	8	11
马槽沟	933	13.12	170.2	0.54	10	10

注：ΔH为流域相对高差；A为流域面积；I为沟床比降；S为面积高程积分值；F为泥石流发生频率。

4 结语

本文总结了地貌学理论在泥石流研究中的重要性，并提出泥石流的地貌学定义，对泥石流形成理论进行了完善与拓展。通过分析地貌学在泥石流研究与应用的现状，总结了近30年来在这一领域所开展的工作以及所取得的成果与进展以及研究中所存在的问题。通过分析714条泥石流沟的各地貌要素分布特征，总结出目前泥石流研究中所涉及到的地貌要素以及各个地貌要素对泥石流形成所能反应的形成条件，最终在理论上对泥石流研究中地貌学的应用进行了探讨，建立了初步的应用理论体系。并基于地貌要素理论对白龙江泥石流沟的能量条件的定量评价做了有益的尝试。

总之，地貌学在泥石流研究中的应用还存在很多的问题要解决，本文只是一个初步的研究，还有很多问题需要进一步的深入研究。在实际的应用中，要重视泥石流形成条件的分析，重视地貌因素在泥石流形成中所能反映出的条件，重视应用的理论性、科学性与合理性，不断完善地貌学在泥石流研究应用的理论体系，借助先进的技术与模型，将地貌学更好地应用于泥石流的研究中。

参考文献：

[1] 韦方强，胡凯衡，Lopez J L. 泥石流危险性分区及其在泥石流减灾中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报，2007，18(1)：23－27.

[2] 陈宁生，高延超，李东风，等. 丹巴县邛山沟特大灾害性泥石流汇流过程分析[J]. 自然灾害学报，2004，13(3)：104－108.

[3] 马东涛. 舟曲“8.8”特大泥石流灾害治理之我见[J]. 山地学报，2010，28(5)：635－640.

[4] 唐邦兴. 中国泥石流[M]. 北京：商务印书馆，2000.

[5] 吕儒仁. 泥石流沟判别因素分析[J]. 山地学报，1985，3(2)：121－128.

[6] 谭炳炎. 泥石流沟严重程度的数量化综合评判[J]. 水土保持通报，1986，8(1)：51－57.

[7] 蒋忠信. 西南山区暴雨泥石流沟简易判别方案[J]. 自然灾害学报，1994，3(1)：75－83.

[8] 韦方强. 系统工程原理在泥石流研究中的应用[D]. 北京：中国科学院，1994.

[9] 朱静. 泥石流沟判别与危险度评价研究[J]. 干旱区地理，1995，18(3)：63－71.

[10] 王礼先. 山洪及泥石流灾害预报[M]. 北京：中国林业出版社，2001.

[11] 钟敦伦，谢洪，王士革，等. 北京山区泥石流[M]. 北京：商务印书馆，2004.

[12] 庄建琦，裴来政，丁明涛，等. 潜在泥石流的界定与判识——以金沙江流域溪洛渡库区为例[J]. 灾害学，2009，24(4)：1－5.

[13] 刘希林. 泥石流危险度判定的研究[J]. 灾害学，1988 (3)：10－15.

[14] 刘希林. 泥石流危险区划的探讨[J]. 灾害学，1989 (4)：3－9.

[15] 刘希林，唐川，张松林. 中国山区沟谷泥石流危险度的定量判定法[J]. 灾害学，1993，8(2)：1－7.

[16] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究[J]. 自然灾害学报，2000，9(1)：54－61.

[17] 刘希林. 区域泥石流危险度评价研究进展[J]. 中国地质灾害与防治学报，2002，13(4)：1－9.

[18] 刘希林，赵源，李秀珍，等. 四川德昌县典型泥石流灾害风险评价[J]. 自然灾害学报，2006，15(1)：11－16.

[19] 蒋忠信. 西藏帕隆藏布泥石流沟谷纵剖面形态统计分析[J]. 中国地质灾害与防治学报，2001，12(4)：41－47.

[20] 李泳，胡凯衡，苏凤环，等. 流域演化与泥石流的系统性——以云南东川蒋家沟为例[J]. 山地学报，2009，27(4)：449－456.

[21] Davis W M. The geographical Cycle[J]. Geographical Journal，1973，14(5)：481－504.

[22] Strahler A N. Hypsometric area-altitude analysis of erosional topography[J]. Geological Society of America Bulletin, 1952, 63(11): 1117 - 1141.
[23] 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.
[24] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379 - 423.
[25] 艾南山, 岳天祥. 再论流域系统的信息熵[J]. 水土保持学报, 1988, 2(4): 1 - 9.
[26] 岳天祥, 艾南山. 论流域系统稳定性的判别指标——超熵[J]. 水土保持学报, 1989, 3(2): 20 - 28.
[27] 孙然好, 潘保田, 王义祥. 祁连山北麓地貌信息熵与山体演化阶段分析[J]. 干旱区地理, 2006, 29(1): 88 - 93.
[28] 杨宗佶, 乔建平. 基于信息熵的典型滑坡危险度评价研究[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2008, 40(4): 47 - 53.
[29] 张宝军, 熊东红, 董一帆, 等. 地貌信息熵理论在冲沟沟头活跃度评价中的应用初探[J]. 中国水土保持, 2015(1): 3 - 7.
[30] 蒋忠信. 泥石流流域系统的超熵[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1992, 3(1): 35 - 42.
[31] 铁永波, 唐川, 周春花. 基于信息熵理论的泥石流沟谷危险度评价[J]. 灾害学, 2005, 20(4): 43 - 46.
[32] 吕学军, 刘希林, 苏鹏程. 四川达曲河流域泥石流沟发育阶段的面积—高程分析[J]. 山地学报, 2005, 23(3): 336 - 341.
[33] 王晓朋, 潘懋, 任群智. 基于流域系统地貌信息熵的泥石流危险性定量评价[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2007, 43(2): 211 - 215.
[34] 李雅辉, 杨武年, 杨鑫, 等. 基于流域系统的地貌信息熵泥石流敏感性评价[J]. 中国水土保持, 2011(1): 55 - 57.
[35] 王钧, 欧国强, 杨顺, 等. 地貌信息熵在地震后泥石流危险性评价中的应用[J]. 山地学报, 2013, 31(1): 83 - 91.
[36] 刘丽娜, 许冲, 陈剑. 基于地貌信息熵与滑坡物源的芦山地震区泥石流危险性评价[J]. 地震地质, 2015, 37(3): 880 - 892.
[37] 李阔, 唐川. 泥石流危险性评价研究进展[J]. 灾害学, 2007, 22(1): 106 - 111.
[38] 韦方强, 高克昌, 江玉红, 等. 泥石流预报的原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
[39] 钟敦伦, 谢洪. 泥石流灾害及防治技术[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2014.
[40] 余新晓. 水文与水资源学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
[41] 陈宁生, 杨成林, 周伟, 等. 泥石流勘查技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
[42] 中国科学院兰州冰川冻土研究所. 甘肃泥石流[M]. 北京: 人民交通出版社, 1982.

Application of Geomorphological Theory in Study of Debris Flow and Exploration of its Applied Theory

ZHAO Yan[1], MENG Xingmin[1,2], ZHENG Jiaoyu[1] and QING Feng[1]

(1. *College of Earth and Environmental Sciences, Key Laboratory of Western China's Environmental System with the Ministry of Education, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*; 2. *Gansu Environmental Geology and Geohazards Engineering Research Centre, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: We summed up the importance of geomorphology theory in debris flow research, and put forward the geomorphology definition of debris flow, and improved the theory of debris flow formation. Our aim is to summarize the works have taken, and discuss the insufficient existed in the 30a' study in this field. According to analysis of geomorphic factors distribution characteristics of 714 debris flow gullies in Bailong river basin, we discuss the applied theory of geomorphological theory in study of debris flow, including the application of geomorphological theory in analysis of debris flow formation conditions, the application system of geomorphological theory in study of debris flow, and the application system of geomorphology parameters in study of debris flow, hoping to offer a thought for the better use of geomorphological principle in study of debris flow.

Key words: debris flow; geomorphology; energy condition; applied theory