

发生沟蚀 (切沟) 的地貌临界研究综述

胡 刚^{1, 2}, 伍永秋^{1, 2}

(1. 北京师范大学沙漠与沙区资源研究所, 北京 100875; 2. 北京师范大学环境演变与自然灾害
教育部重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 沟蚀研究是土壤侵蚀研究的主要内容之一, 地貌临界理论作为地貌学中的重要理论在沟蚀研究得到了广泛的应用。主要从临界理论在沟蚀研究中的发展过程入手, 介绍了国外现有沟蚀临界理论模型研究的主要成果, 并指出现有模型的不足, 在总结前人工作的基础上, 指出了现有临界模型今后的发展方向。

关键词: 土壤侵蚀; 临界理论; 沟蚀; 切沟

中图分类号: P931

文献标识码: A

沟道的产生是由在沟头上的作用过程所控制, 这些过程包括表面漫流、地下水流导致的渗流和潜蚀以及块体塌陷或崩塌^[1]。地形特征影响到表面径流、地下水运动、表面饱和区域的发生、土壤水含量分布以及土壤水流动^[2-7], 因此我们可以通过对地貌特征的了解来认识沟道系统, 甚至于用地形特征指示沟道 (切沟) 的形成^[8]。

1 沟蚀临界模型的发展及应用

Horton^[9]于 1945 年首次将地貌的潜在重要性加以形式化, 提出了沟道产生的临界坡长概念。所谓临界坡长就是坡面上的过渗产流产生的剪切力刚好大于地表的抗冲刷能力的坡面长度, 流域系统的这一地貌特征可以看作是地表抵抗线状水流侵蚀的一种度量。在这一概念的基础上, Schumm 于 1956 年提出了“沟道维持常数” (constant of channel maintenance) 的概念^[10], 也就是指能够使排水渠道得以发展的最小面积, 相当于临界面积的概念。除去地貌外, 物质强度、土壤的水文性质及植被覆盖等同样对侵蚀过程存在影响^[2]。

对于切沟, Schumm 和 Hadley 早在 1957 年^[11]

就已经指出流域地貌特征对于不连续切沟发展的重要作用, 他们研究发现不连续切沟通常形成于谷底最陡的部分。用系统论观点来看, 切沟的形成也是流域系统内物质与能量转移守恒的结果。众所周知沉积物的分离和转移是水流强度的函数^[8, 12], 只有存在沉积物的分离才有可能产生切沟, 但切沟的形成不仅仅是表面物质的分离, 它还有一定的尺度大小限制, 因此, 切沟形成位置和大小受控于有足够量级和/或持续时间的线状表面径流^[13]。一般认为细沟和切沟侵蚀与临界剪切力有关^[12, 14, 15], 而剪切力又主要由水流流量和坡度决定^[16, 17]。在过渗产流为主导的地形中, 一般认为径流量与流域面积是成比例增加^[18], 由此可以将剪切力与地貌因素相联系。

用切沟沟头坡度 (S) 和沟头上方径流汇水面积 (A) 来建立切沟产生地貌临界关系的学者中, Brice 和 Patton 是较早的学者之一。Brice^[19]收集了美国内布拉斯加州的 S 和 A 数据, Patton^[20]则收集了美国科罗拉多州西北部这方面的数据, 通过对这些数据的分析, Patton 和 Schumm 1975 年研究发现 S 和 A 之间存在反向趋势, 并提出用分散数据的低限作为临界 $S-A$ 关系来确定不稳定谷

收稿日期 (Received date): 2005- 02- 15; 改回日期 (Accepted): 2005- 06- 20。

基金项目 (Foundation item): (国家自然科学基金重点项目 (40235056), 教育部博士点基金 (20030027015) 及国家自然科学基金面上项目 (40071080) 共同资助。[Natural Science Foundation of China, No. 40235056, No. 40071080]

作者简介 (Biography): 胡刚 (1976-), 男 (汉族), 山东滨州人, 2002 年毕业于兰州大学, 现为北京师范大学在读博士生, 主要从事土壤侵蚀、环境演变与区域规划研究。[Hu Gang (1976-), male, born in Binzhou, Shandong, Doctor graduate student, research fields mainly covering soil erosion and environment change]

底^[21]。之后, Begin 和 Schumm^[22]又在这方面作了努力, 通过对 Patton^[21]和 Brice^[19]使用方法的改进, 利用水流的水力半径 (R) 和流量 (Q) 以及流量 (Q) 和流域面积的经验关系替代了原先公式中的水力半径 (R), 建立了基于坡面漫流切入临界剪切力的 S 、 A 临界关系, 把流域面积和坡度作用融合为一个剪切力指标, 用以表示谷底的不稳定性, 得出

$$cr = (c\gamma) A^{rf} S$$

式中 cr 为临界剪切力, A 为汇水面积 (hm^2), S 坡度 (m/m), rf 为指数, c 为常数, γ 为水密度。

如果坡度 S 为纵坐标, 流域面积 A 为横坐标, 那么在双对数坐标中临界剪切力指标 cr 为一直线, 直线斜率等于 $-rf$, 用 $a = c\gamma$ 及 $b = rf$ 简化, 用幂指数形式表示为

$$S = a A^{-b}$$

将其变形并用 t 代替 a 得

$$SA^b = t$$

式中 S (m/m) 为局地坡面坡度; A (hm^2) 为上坡汇水面积; t (ha^b) 为临界值; b 为一无量纲量, 表示相对面积指数^[23]或相对剪切力指标^[22]。根据临界理论, 只有 $SA^b > t$ 时才有可能沟道的出现, 上式就是为沟蚀研究所广泛使用的临界公式。

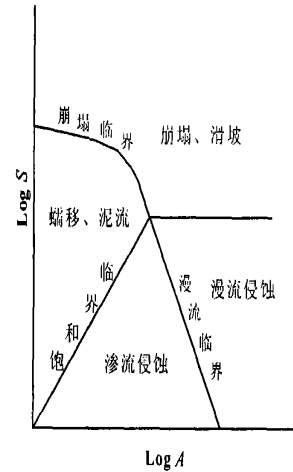
饱和和产流也经常可以导致切沟的形成^[24], Montgomery 和 Dietrich^[25]研究认为土壤水饱和的流域面积-坡度临界关系可以用来界定饱和和表面漫流的空间范围, 而这反过来又可以用于预测切沟的空间位置。Moore 等^[4]用混合变量 $\ln(A_b/S)$ 来预测沟蚀(浅沟)的位置, 这里 $A_s = A_b/S$, $A_b = A/b$ 其中 S (m/m) 为局地坡度, A (m^2) 为上坡汇水面积, b 为等高线段的长度 (the length of contour segment), 这里使用 A_b 是为了消除由于使用栅格模型的分辨率大小的影响^[4], 但这并没有从根本上改变模型本身^[26]。通过对澳大利亚新南威尔士州一小流域的研究发现, 沟蚀(浅沟)主要受限于以下条件^[4]

$$\ln(A_b/S) > 6.8 \text{ 和 } A_b S > 18$$

式中 S 为坡度 (m/m), A_b 为单位汇水面积 (m^2/m) (specific or unit contributing area) 这里, $\ln(A_b/S)$ 假定为土壤饱和度的量值^[5], 也有学者将其称之为地形湿润指数^[4], 地形湿润指数用于预测潜在切沟区域的基本原理是: 饱和和地域会导

致高孔隙压力, 而高孔隙压力又会产生渗流, 这反过来又会引起沟蚀的 (channel initiation) 发生及细沟的发展并最终形成切沟。 $A_b S$ 作为混合地形参数, 用于表明线状表面漫流的侵蚀能力或径流下切的能力^[4]。

除此之外, 陡坡上薄层崩塌同样可以形成切沟。Montgomery 等^[25]通过对美国西部三个流域的调查, 提供了陡坡上薄层崩塌、渗流及缓坡上饱和和表面漫流产生切沟的数据。这些数据的积累扩展了由不同过程导致切沟形成的 S - A 数据关系, 并支持分析过程模型。不同主导沟道起始过程及传输机制可以得到如图 1 所示的量化界定。



(摘自 Montgomery and Dietrich, 1994, A 为汇水面积, S 为沟头处地表局地坡度) (after Montgomery and Dietrich, 1994). A = drainage-basin area; S = local slope of the soil surface at the gully head

图 1 根据不同沟道起始机制对地形的划分

Fig. 1 Division of the landscape into process regimes in which different sediment transport and channel initiation mechanisms operate

基于此, 上坡汇水面积和坡度已被广泛用于预测切沟侵蚀起始位置和土壤流失量的模型^[4, 21-23, 25, 27-30]。

与国外临界理论在沟蚀中的研究相比, 国内在这方面研究较少, 主要侧重于临界坡度和临界坡长的研究, 也就是说将水流动能分解为坡度和坡长来分析, 而且相对较少的研究多侧重于坡面和细沟侵蚀研究。这里需要说明的是, 在坡面侵蚀研究中所指的临界坡度并非产生侵蚀的最小坡度, 而是指随着坡度增加侵蚀量不断增加, 达到某一坡度值后, 侵蚀量不再增加, 并有减少的趋势, 侵蚀量达到最大时的坡度称为临界坡度^[31, 32]。

张科利等^[33]对黄土坡面浅沟侵蚀特征值作了

深入研究, 结果表明发生浅沟侵蚀的临界坡度约为 18° , 临界坡长为 40 m 左右, 临界汇水面积约为 650 m^2 , 而且临界坡长、浅沟分布间距和临界汇水面积与坡面平均坡度呈二次曲线关系。通过对二次关系式求极值发现, 26° 左右时浅沟侵蚀的分布间距、临界坡长和临界汇水面积值最小。这说明 26° 左右时的坡面最有利于浅沟侵蚀的发生。陆中臣^[34] 等对宁夏高原东部山区发育连续冲沟的河谷进行研究后发现, 河谷比降与用流域面积计算出来的多年平均径流量存在反比相关关系, 并且不稳定河谷比降的下限与稳定河谷比降的上限是一致的。郑粉莉^[35] 研究了细沟侵蚀的临界坡长和坡度, 发现临界坡长和坡度呈二次抛物线关系。在坡度对坡面流及坡面侵蚀分析的基础上, 胡世雄等^[31] 从理论角度和实验观测资料分析基础上得出: 坡面侵蚀以溅蚀为主时, 临界坡度应 $< 22^\circ$; 以面蚀为主时, 临界坡度为 $22^\circ \sim 26^\circ$; 以沟蚀为主时, 临界坡度会 $> 30^\circ$; 若以重力侵蚀为主, 临界坡度可能会更大。

2 临界模型参数值确定及讨论

在不同的环境条件下, 由于土壤性质以及其它条件不同, 临界值 t 是不同的^[36]。对于 b 值, 理论上代表着汇水面积的相对重要性, 在 Begin 和 Schumm^[22] 的研究中, 他们发现指数 b 变化于 0.4 ~ 0.2 间。Vandaele 等^[23] 通过对来自于不同地区的 10 组 S、A 数据分析表明, 尽管这些研究地区的地形、土地利用、植被覆盖、气候条件等有很大的不同, 但对表面漫流形成的沟道分析得到了近乎一致的 b 值, 都变化于 0.4 附近。Vandekerckhove^[30] 对地中海地区的 6 个研究区域研究发现, 在这些研究区域, 对于耕地中的切沟来讲, $0.104 < b < 0.303$, 而对于牧场中的浅沟而言, $0.13 < b < 0.414$, 研究分析认为, 对于不同用地类型中 b 值的差异主要受到诸如主导径流过程、气候因素、植被覆盖及类型、土壤类型、母质等的影响^[30, 37]。Desmet^[26] 等通过对临界模型本身相对面积参数 (b) 的研究发现, 最佳的相对面积指数变化于 0.7 ~ 1.5 间, 在此区间范围内, 预测结果变化不大; 预测切沟的轨迹和沟头需要相对不同的相对面积指数, 较低相对面积指数 (0.2) 用以预测切沟沟头发生地貌部位, 而预测沟道轨迹则需要较大的相对面积指数。这就意味着切沟的发生更多是由坡度所

控制, 而凹谷则更多的控制着切沟的轨迹。此外, Fontana^[38], Moeyersons^[39], Morgan^[40] 等都分析得到了不同的 b 值。一般而言, 对于不同的地区, 都会有不同的沟道起始临界值和 b 值, 而纵观 b 值, 一般认为正值是与表面漫流所产生的侵蚀有关, 而负值则与渗蚀 (seepage erosion) 和发育崩塌^[30] 的地下过程等有关^[25]。

3 模型局限与改进

从该模型的推导可以看出, 模型在一定的气候和土地利用前提条件下^[21], 只是考虑了地形因素的影响。如果人类活动影响, 特别是一些线性地貌特征如田间道、地埂、垄沟等对切沟的形成影响较大的话^[26], 那么只考虑地形因素的临界模型显然已经力不从心。这主要是由于这些线状地物特征会对径流模式、有效坡度、汇水面积以及侵蚀模式等产生重要影响^[41]。如 Prosser^[42] 研究发现, 侵蚀灾害分布作为上坡汇水面积和局地坡度的函数, 林带的存在改变了原有这种侵蚀灾害的分布, 并且由于随着上坡汇水面积的增加侵蚀灾害程度呈非线性增长, 林带的存在使切沟侵蚀的可能范围增加了 1.5 \pm 1.7 倍, 沉积物的传输能力增强了 1.5 倍。通过对西班牙和葡萄牙所收集浅沟数据的分析, Vandekerckhove^[37] (1998) 发现, 如果按浅沟与犁耕的方向作进一步的细分, S-A 间的相关性会大大提高, 如发育在凹谷中的浅沟 S-A 关系的显著性从 7.5×10^{-5} 提高到 1.85×10^{-6} 。由此可见, 在人类活动影响较大的地区仅仅用地形因子已很难达到更好的预测效果, 而在这些不能预测的沟蚀部分又主要是由诸如地埂、垄沟等线性地貌特征引起^[26]。因此, 要达到更好的预测效果就必须在模型中引入线性地貌特征, 然后考虑这些线性地貌特征是否对水流起到引导作用。在这方面, Takken 等^[41, 43, 44] 在 2001 年做了一系列工作对其进行了有益的尝试。

4 结 语

沟蚀研究, 特别是相对于径流小区尺度发育在较大空间尺度上的切沟, 以前限于人们的认识不足以及技术方面的限制, 研究甚少, 并且较少的研究也主要集中在国外。随着人们对土壤侵蚀在空间尺度上的认识加深以及现代技术, 特别是 3S (RS、

GIS 和 GPS) 技术的出现与发展, 大大推进了沟蚀研究的深入。沟蚀模型研究有从经验模型向机理模型转变的趋势, 但现有的机理模型都较为复杂, 而且要求较多的输入参数, 这些都大大限制了这些模型的应用。地貌临界理论作为地貌学的主要理论之一, 在沟蚀研究中得到了广泛的应用。沟道的存在表明水流方式的转变, 同时伴随着土壤侵蚀方式及传输过程的改变, 因此用地貌指标表示的沟道侵蚀参数是潜在侵蚀强度地貌控制的有力指示。但我们应该看到地貌临界理论虽然具有较广的应用性, 但其参数的选择因地而异, 正如 Hudson^[43] 所言: “没有任何一个模型是通用的, 即使是物理过程模型也具有区域性”。同时, 由于临界理论仅仅考虑了地貌本身的因子, 没有涉及其它诸如降水、植被覆盖、土地利用以及耕作方向等因子, 这使其应用受到了一定的限制。因此在将此模型应用到我国时, 不仅要考虑各地不同实际情况对模型参数选择的影响, 而且要考虑其它因子特别是一些线性地物特征对模型的影响, 以便准确地预测预报切沟的发生位置和发展轨迹, 为水土保持规划与及环境灾害治理提供科学依据。

参考文献 (References):

- [1] Dietrich, W. E., and T. Dunne. The channel head, in Channel Network Hydrology [M]. Edited by K. Beven and M. J. Kirkby, John Wiley, New York, 1993. 175~ 219.
- [2] Prosser, I. P. and Abernethy, B. Predicting the topographic limits to a gully network using a digital terrain model and process thresholds [J]. *Water Resources Research*, 1996, **32** (7): 2289~ 2298.
- [3] Moore, I. D., Burch, G. J. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation [J]. *Soil Science*. 1986, **50** (5): 1294~ 1298.
- [4] Moore, I. D., Burch, G. J., Mackenzie, D. H. Topographic effects on the distribution of surface soil water and the location of ephemeral gullies [J]. *Transactions of the ASEA*, 1988, **314**: 1098~ 1107.
- [5] O' Loughlin, E. M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis [J]. *Water Resources Research*, 1986, **22**: 794~ 804.
- [6] Zaslavsky, D., Sinai, G. Surface hydrology: I. Explanation of phenomena [J]. *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 1981, vol. 107 (HY1): 1~ 16.
- [7] Beven, K. J., Kirkby, M. J. A physically based variable contributing areal model of basin hydrology [J]. *Hydrological Sciences Bulletin*, 1979, **43** (1): 69.

- [8] Thorne, C. R., Zevenbergen, L. W., Grissinger, E. H., et al. Ephemeral gullies as sources of sediment [A]. In: Proceedings of 4th Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, Nevada, March 24~ 27 [C], 1986, vol. 1, pp. 3. 152~ 3. 161.
- [9] Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.* 1945, **56**: 275~ 370
- [10] Schumm, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy [J]. *New Jersey Bulletin Geological Society America*, 1956, **67**: 597~ 646.
- [11] Schumm, S. A. and Hadley, R. F. Arroyos and the semiarid cycle of erosion [J]. *Am. J. Sci.*, 1957, **255**: 164~ 174
- [12] Foster, G., Lane, L. Erosion by concentrated flow in farm fields [A]. In: Li, R. M., Lagasse, P. F. (Eds.). Proceedings of the D. B. Simons Symposium on Erosion and Sedimentation [C]. Colorado State University, Fort Collins, 1983, pp. 9. 65~ 9. 82.
- [13] Karel Vandaele Spatial temporal patterns of soil erosion rates in an agricultural catchment, central Belgium [J]. *Catena*, 1995, (25): 213~ 226.
- [14] Govers, G. Empirical relationships for the transport capacity of overland flow [R]. In: D. E. Walling, A., Yair and s. Berkowicz (editors), *Erosion, Transport and Deposition Processes*, Proc. Jerusalem Workshop, March- April 1987, [AHS Pub]., 1990, **189**, 45~ 63
- [15] Rauws, G. The initiation of rills on plane beds of non-cohesive sediments [J]. In: R. B. Bryan (editor). *Rill erosion. Catena Suppl.*, 1987, **8**: 107~ 118.
- [16] Rauws, G. and Govers, G. Hydraulic and soil mechanical aspects of rill generation on agricultural soils [J]. *J. Soil Sci*, 1988, **39**: 111~ 124.
- [17] Torri, D., Sfalanga, M. and Chisci, G. Threshold conditions for incipient rilling [J]. In: R. B. Bryan (Editor), *Rill Erosion: Processes and Significance. Catena (Suppl.)*, 1987, **8**: 97~ 105.
- [18] Leopold, L. B., Wolman, M. G. and Miller, T. P.. *Fluvial processes in geomorphology* [M]. Freeman. San Francisco. 1964, pp. 522
- [19] Brice, J. B. Erosion and deposition in the loess mantled Great Plains [M]. Medicine Creek drainage basin, Nebraska. U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 1966, 352 H, pp. 235~ 339.
- [20] Patton, P. C. Gully erosion in the semiarid West. M. Sc. Thesis. Fort Collins, Colorado State University, 1973, 129 pp.
- [21] Patton, P. C. and Schumm, S. A., Gully erosion, Northwestern Colorado: a threshold phenomenon [J]. *Geology*, 1975, **3**: 83~ 90.
- [22] Begin, Z. B. and Schumm, S. A. Instability of alluvial valley floors: a method for its assessment [J]. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 1979, **22**: 347~ 350.
- [23] Vandaele, K., Poesen, J., Govers, G., et al. Geomorphic threshold conditions for ephemeral gully incision [J]. *Geomorphology*, 1996, **16**, 161~ 173.
- [24] Daba, S., W. Rieger, et al. Assessment of gully erosion in eastern Ethiopia using photogrammetric techniques [J]. *Catena* 2003,

- 50 (2~4): 273~291.
- [25] Montgomery, D. R., Dietrich, W. E. Landscape dissection and drainage area-slope thresholds [A]. In: Kirkby, M. J. (Ed.). *Process Models and Theoretical Geomorphology* [C]. Wiley, Chichester, 1994. 221~245.
- [26] Desmet, P. J. J., Poesen, J., Govers, G., *et al.* Importance of slope gradient and contributing area for optimal prediction of the initiation and trajectory of ephemeral gullies [J]. *Catena*, 1999, **37**: 377~392.
- [27] Foster, G. R. Understanding ephemeral gully erosion in National Research Council. Board on Agriculture, Soil Conservation: Assessing the National Research Inventory [M]. National Academy Press, Washington DC, 1986, **2**: 90~118.
- [28] Merkel, W. H., Woodward, D. E. and Clarke, C. D.. Ephemeral gully erosion model (EGEM). In: modeling Agricultural, Forest and Rangeland Hydrology. Proc. 1988 Int Symp. 12~13 December 1988, 315~323.
- [29] Rutherford, I. D., Prosser, I. P., Davis, J. Simple approaches to predicting rates and extent of gully development [A]. In: Wang, S. S. Y., Langendoen, E. J., Shields, F. D. Eds. *Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision* [C]. University of Mississippi, Oxford, 1997. 1125~1130.
- [30] Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, *et al.* Thresholds for gully initiation and sedimentation in Mediterranean Europe [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2000, **25**: 1201~1220.
- [31] Hu Shixiong, Jin Changxing. Theoretical analysis and experimental study on the critical slope of erosion [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, **54** (4): 348~356 [胡世雄, 靳长兴. 坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与试验研究 [J]. 地理学报, 1999, **54** (4): 348~356.]
- [32] Jin Changxing. The role of the slope gradient on slope erosion [J]. *Geographical Research*, 1996, **15** (3): 37~43. [靳长兴, 坡度在坡面侵蚀中的作用 [J]. 地理研究, 1996, **15** (3): 37~43.]
- [33] Zhang Keli, Tang Keli, Wang Binke. A study on characteristic value of shallow gully erosion genesis on slope farmland in the Loess Plateau [J]. *The Journal of Soil and Water Conservation*, 1991, **5** (2): 8~13. [张科利, 唐克丽, 王斌科. 黄土高原坡面浅沟侵蚀特征值的研究 [J]. 水土保持学报, 1991, **5** (2): 8~13].
- [34] Lu Zhongchen, Jia Shaofeng, Huang Kexin, *et al.* Geomorphic system of drainage basin [M]. Dalian: Dalian Press, 1991. 132~139. [陆中臣, 贾绍凤, 黄克新, 等. 流域地貌系统 [M]. 大连: 大连出版社, 1991. 132~139]
- [35] Zheng Fenli. Critical slope length and slope gradient of rill happening [J]. *China Soil and Water Conservation*, 1989, (8): 23~24. [郑粉莉. 发生细沟侵蚀的临界坡长和坡度 [J]. 中国水土保持, 1989, (8): 23~24]
- [36] Moore, I. D. and Grayson, R. B. Terrain-based catchment partitioning and runoff prediction using vector elevation data [J]. *Wat. Resour. Res.*, 1991, **27**: 1177~1191.
- [37] Vandekerckhove, L., Poesen, J., Oostwoud Wijdenes, D., *et al.* Topographical thresholds for ephemeral gully initiation in intensively cultivated areas of the Mediterranean [J]. *Catena*, 1998, **33**: 271~292.
- [38] Giancarlo Dalla Fontana and Lorenzo Marchi. Slope-area relationships and sediment dynamics in two alpine streams [J]. *Hydrological processes*, 2003, **17**: 73~87.
- [39] Moeyersons, J. The topographic thresholds of hillslope incisions in southwestern Rwanda [J]. *Catena*, 2003, **50** (2~4): 381~400.
- [40] Morgan, R. P. C. and D. Mngomezulu. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in the Middle Veld of Swaziland [J]. *Catena*, 2003, **50** (2~4): 401~414.
- [41] Takken, I., G. Govers, *et al.* Effects of tillage on runoff and erosion patterns [J]. *Soil & Tillage Research* 2001, **61** (1~2): 55~60.
- [42] Prosser, I. P. and Abernethy, B. Increased erosion hazard resulting from log-row construction during conversion to plantation forest [J]. *Forest Ecology and Management*. 1999, **123**: 145~155.
- [43] Takken, I., G. Govers, *et al.* The prediction of runoff flow directions on tilled fields [J]. *Journal of Hydrology*, 2001, **248** (1~4): 1~13.
- [44] Takken, I., V. Jetten, *et al.* The effect of tillage-induced roughness on runoff and erosion patterns [J]. *Geomorphology*, 2001, **37** (1~2): 1~14.
- [45] Hudson N W. Soil Conservation [M]. Iowa: Iowa State University Press, 1995.

Progress in the Study of Geomorphic Threshold Theory in Channel (gully) Erosion

HU Gang^{1,2}, WU Yongqiu^{1,2}

(1. China Center of Desert Research, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, the Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Geomorphic threshold theory, as one of the most important theories in geomorphology, has been applied in prediction of both ephemeral gully and permanent gully. Gully erosion is one of the essential contents in soil erosion. Starting with the developing history of threshold theory in channel erosion, this paper introduced the principal achievement of threshold theory in channel erosion. Under one given climate and land use, channel incision occurs only when $SA^b > t$ is met, where S is local slope gradient (m/m), A is the drainage-basin area (ha), a is a coefficient and b is an exponent. Both a and b show different values in different environments, which is dependent on the dominant process resulting in channel incision. Because of the influence of human activities, esp. those of linear landscape elements (e. g., roads, parcel borders, dead furrows), the actual runoff pattern can be very different from that predicted from topography alone. Therefore, in order to get more account. Despite the diversity of factors in influencing channel formation, this model has been applied for its simplicity and less input parameters.

Key words: soil erosion; threshold theory; channel erosion; gully

《地质灾害及防灾减灾基本知识》 科普挂图出版发行

由中国科学院成都山地灾害与环境研究所、中国地理学会和《山地学报》编辑部共同编制的《地质灾害及防灾减灾基本知识》科普挂图, 最近由科学普及出版社出版发行。

该套挂图共 8 张, 对各类地质灾害的危害及防灾知识作了简要介绍, 其中尤其对常造成众多人员伤亡和严重财产损失的滑坡、泥石流、崩塌等山地地质灾害的识别与预防措施进行了重点介绍。挂图的出版发行, 对普及地质灾害基本知识, 使灾害易发区群众认识灾害、了解和掌握防灾自救的方法, 进而在灾害来临时防灾自救、避免或减轻灾害造成的损失, 将起到积极作用。

(本刊编辑部)