

# 内蒙古黄土丘陵沟壑区降雨侵蚀力时间变化规律研究

刘淑燕<sup>1</sup>, 秦富仓<sup>1</sup>, 项元和<sup>2</sup>

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古水利科学研究院, 呼和浩特 010020)

**摘 要:** 降雨侵蚀力指由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 是影响土壤侵蚀的最主要因子之一。以内蒙古准格尔旗沙圪堵气象站 45 年的日降雨资料为基础, 选取适合本地区的降雨侵蚀力模型, 分析内蒙古黄土丘陵沟壑区的降雨量与降雨侵蚀力的关系。结果表明年降雨侵蚀力曲线与年降雨量曲线走向基本上是一致的。年内降雨侵蚀力分布与降雨量的年内分布规律也基本相同, 所不同的是降雨侵蚀力的季节变化要明显大于降水量的季节变化。二者的回归关系比较表明, 降雨量与降雨侵蚀力的关系以幂函数关系表示, 相关性系数最大, 并且月降雨量与降雨侵蚀力的相关性要明显比年降雨量与降雨侵蚀力的相关性增强, 这主要是受降雨强度的影响。降雨侵蚀力在年内主要集中在 6~9 月, 以 8 月最大。

**关键词:** 黄土丘陵沟壑区; 降雨侵蚀力; 日雨量; 模型

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)06-0230-04

## The Change Regularity of Rainfall Erosivity in the Loess Hilly and Gully Regions of Inner Mongolia

LIU Shu-yan<sup>1</sup>, QIN Fu-cang<sup>1</sup>, XIANG Yuan-he<sup>2</sup>

(1. Inner Mongolia Agriculture University, Huhhot 010019;

2. Academy of Water Resource Sciences of Inner Mongolia, Huhhot 010020, China)

**Abstract:** The rainfall erosivity is a latency capability of soil erosion by rainfall and the most influencing and important factor for soil erosion. Based on daily rainfall data of Shagedu weather station in Zhunge'er Banner of Inner Mongolia, according to the adaptive rainfall erosivity model, the relationship between rainfall and rainfall erosivity in the loess hilly and gully regions of Inner Mongolia is analyzed. It shows that the curve between rainfall erosivity and rainfall amount year-by-year is identical, and annual rainfall erosivity and rainfall is the same, too, which dissimilarity is the season change of rainfall erosivity is more obvious than that of rainfall. By regression comparison, the relevance coefficient is biggest, as the relationship between rainfall and rainfall erosivity is expressed by power function. And the relevance coefficient of the monthly rainfall and rainfall erosivity more strengthen obviously than annual rainfall and rainfall erosivity, which is mainly influenced by rainfall intensity. The rainfall erosivity is fasten on June to September, and it's the biggest in August.

**Key words:** loess hilly and gully regions; rainfall erosivity; daily rainfall; model

土壤侵蚀已经成为全球最重要的生态环境问题之一, 并且日益引起世人的关注。土壤侵蚀不但破坏土地资源、污染水质, 同时侵蚀产沙还会淤积河道、湖泊及水库, 加剧洪涝灾害。水土资源是人类生存和发展的物质基础, 广泛、严重的土壤流失将直接影响到社会的可持续发展。基于此, 研究预测土壤侵蚀量的模型就显得十分重要, 于是分析影响土壤侵蚀的因素在各地区的取值方法及取值范围的研究就大量出现。降雨侵蚀力是指由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 它也是目前应用最多的反映降雨侵蚀能力的指标<sup>[1]</sup>。

Wischmeier<sup>[2]</sup>在 1958 年首次提出以次降雨总动能  $E$  与最大 30 min 雨强  $I_{30}$  的乘积  $EI_{30}$  作为衡量次降雨侵蚀能力大小的指标。王万忠等<sup>[3]</sup>分析了中国小区降雨侵蚀资料后, 认为以  $EI_{30}$  作为侵蚀力指标在我国应用同样适宜。月或年

雨量是最易获得的雨量资料, 利用它们估算降雨侵蚀力也是最常见的一类侵蚀力简易算法<sup>[4,5]</sup>。我国学者在建立侵蚀力简易算法时也多采用月或年降雨量资料<sup>[6]</sup>, 但月或年降雨资料属于比较粗略的雨量数据, 用来估算降雨侵蚀力的精度自然会受到一定限制。相对比而言, 日雨量却能够提供更多的降雨特征信息。Richardson 等<sup>[7]</sup>建立了幂函数结构形式的日雨量侵蚀力模型, 并得到许多学者的进一步分析验证<sup>[8,9]</sup>。

黄土高原位于我国的西北部, 由于自身的地理位置、特有的土壤类型及特殊的气候条件, 形成了黄土高原严重的土壤侵蚀, 本文针对影响土壤侵蚀的重要因子——降雨侵蚀力进行研究, 以准格尔旗沙圪堵气象站 1957~2001 年的日降雨资料为基础, 利用以日雨量估算侵蚀力的简易算法为模型, 分析降雨量与降雨侵蚀力的关系, 建立两者的回归关系

\* 收稿日期: 2006-05-15

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(40561009)

作者简介: 刘淑燕(1979-), 女, 在读硕士研究生, 专业方向: 水土保持; 通讯作者: 秦富仓, 内蒙古农业大学副教授, 硕士研究生导师, 主要从事水土保持与土地资源管理方面研究和教学工作。

方程, 并分析本地区的降雨侵蚀力的变化规律。

1 研究区概况

准格尔旗位于黄土高原的东北部, 属黄土高原丘陵沟壑区第一副区, 是我国典型的多沙粗沙区。地形地貌因地表水流的冲蚀作用而变得十分复杂, 沟谷纵横、沟深壁陡。本区属于干旱大陆性季风气候, 年平均气温在 5.3~7.6℃, 年平均降水量为 386.9 mm, 降雨多集中于 6~9 月, 占年总降雨量的 70% 左右, 年总蒸发量为 1 824.7~2 204.6 mm, 受季风气候影响, 冬、春季多风, 年均风速为 2.3 m/s。地带性土壤为栗钙土, 非地带性土壤有风沙土和零星分布的盐化草甸土, 土壤沙化较重。本区处于典型干草原地带, 植被类型单一, 土壤有机质在 0.3~1.9%, pH 值在 8.4~9.0 之间, 有效养分含量不高, 土壤肥力属低等水平。

2 资料和方法

2.1 资料

不同类型降水资料提供的信息丰富程度不同, 用于估算降雨侵蚀力的精度也自然有所差别。本文以内蒙古准格尔旗沙圪堵气象站 1957~2001 年 45 年的日降水资料为基础, 采用日降雨量计算降雨侵蚀力的模型, 分析气候因素——降雨与降雨侵蚀力的变化规律。

2.2 模型和方法

降雨侵蚀力是由一次次降雨引起, 根据收集到的日雨量数据可以分别知道逐年日雨量、逐年月雨量、逐年雨量、月平均雨量、年平均雨量 5 种类型, 根据各种雨量可以有不同的模型来计算降雨侵蚀力<sup>[4,6]</sup>。次降雨侵蚀力与次雨量一般呈幂函数关系<sup>[11,13]</sup>, 目前各种侵蚀力简易算法也是形式多样<sup>[10,17~19]</sup>。一般气象站只有次降雨观测资料, 观测期较短, 而日降雨侵蚀的有关资料相对比较容易获得, 由于日降雨和次降雨不是一一对应的(一日降水能对应一次降雨, 多次降雨, 或一次降雨的一部分), 直接以日雨量估算日侵蚀量存在很大困难。如果按一定时段合并后, 会大大减少次降雨与日降雨无法一一对应的概率。以半月为时段步长描述降雨与侵蚀力的关系, 可较好地反映降雨侵蚀力季节分布。半月时段的划分以每月第 15 日为界, 前 15 d 作为一个半月时段, 该月剩下部分作为另一个半月时段, 这样将全年依次划分为 24 个时段。日雨量是目前我国气象台站定期发布的最详细雨量整编资料, 其简易算法根据章文波等<sup>[12]</sup>提出的模型进行计算, 定义如下:

$$M_i = \alpha \sum_{j=1}^K (D_j)^\beta \tag{1}$$

式中:  $M_i$ ——第  $i$  个半月时段的侵蚀力值 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{hm}^2 \cdot \text{h}$ );  $K$ ——该半月时段内的天数;  $D_j$ ——半月时段内第  $j$  天的侵蚀性日雨量,  $\alpha$  和  $\beta$ ——模型待定参数。

(1) 式中要求日雨量  $D_j \geq 12 \text{ mm}$ <sup>[14]</sup>。否则以 0 计算;  $\alpha$  和  $\beta$  二者之间联系密切, 参数  $\beta$  与区域降雨特征有关<sup>[12]</sup>, 两者关系可以用 (2)、(3) 式进行计算:

$$\beta = 0.8363 + 18.144P_{d12}^{-1} + 24.455P_{y12}^{-1} \tag{2}$$

$$\alpha = 21.586\beta^{-7.1891} \tag{3}$$

式中:  $P_{d12}$ ——日雨量  $\geq 12 \text{ mm}$  的日平均雨量 ( $\text{mm}$ ),  $P_{y12}$ ——日雨量  $\geq 12 \text{ mm}$  的年平均雨量 ( $\text{mm}$ )。

3 结果与分析

3.1 降雨量与降雨侵蚀力关系分析

降雨侵蚀力指由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 将

1957 年~2001 年 45 年的日降雨资料进行分析, 计算出每年的降雨量, 根据日雨量模型计算出每年的降雨侵蚀力  $R$  值 (见图 1)。为进一步分析多年降雨量与降雨侵蚀力的关系, 将 45 年的日降雨资料分为 9 个阶段, 每 5 年为一组, 计算出多年平均降雨量  $P$  和平均降雨侵蚀力  $R$  二者的关系 (见图 2)。建立降雨量与年降雨侵蚀力之间的回归关系, 并得到回归关系式及相关系数 (见图 3、图 4)。

从图 1 可以看出, 年降雨侵蚀力曲线与年降雨量曲线走向基本上是一致的, 降雨量增加时, 降雨侵蚀力值也增加, 降雨量减小时, 降雨侵蚀力值也随之减小, 在降雨量最大年份 1961 年为 678.6 mm, 降雨侵蚀力值也达到最大为 1 197.0  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。而在降雨量最小年份 1962 年为 177.4 mm, 降雨侵蚀力值也达到最小为 175.9  $\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ 。降雨量减少约为 70%, 而降雨侵蚀力值减少约为 90%。降雨侵蚀力的变化要明显高于降雨量的变化。在图 2 中, 多年平均降雨侵蚀力值与平均降雨量的关系更加明显, 年际间降雨量的多寡平衡了多年平均降雨量, 降雨量曲线相对平缓, 而与降雨侵蚀力曲线平缓程度要差一些。

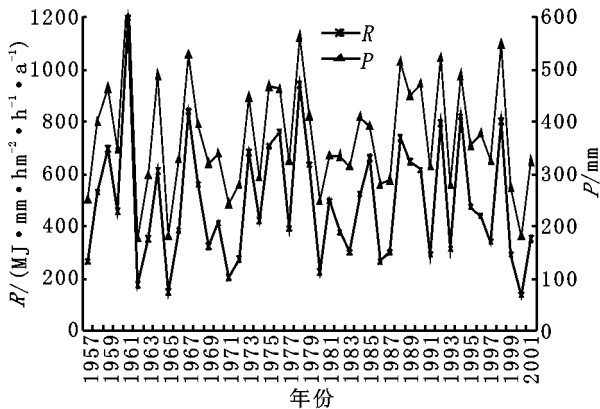


图 1 1957~2001 年间年降雨量与降雨侵蚀力的关系

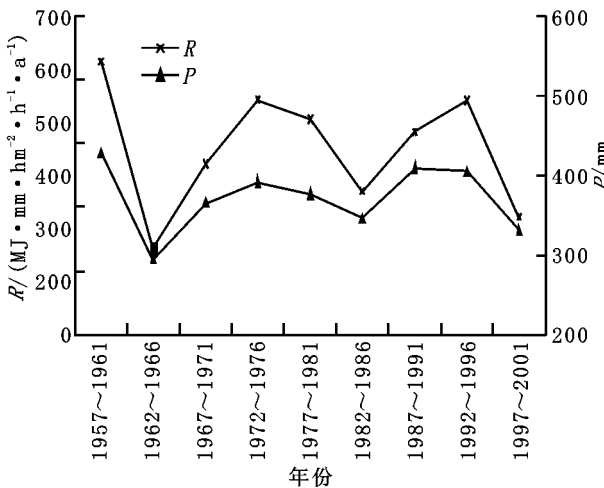


图 2 平均年降雨量和平均降雨侵蚀力关系

图 3 和图 4 分别为年降水量与降雨侵蚀力和 6~9 月降水量与降雨侵蚀力关系。从图中可见, 无论是年降水量还是 6~9 月降水量与降雨侵蚀力均呈幂函数关系, 其相关性均较高, 说明采用日雨量资料分析计算降雨侵蚀力是可行的。一年中不同月份降雨量所占的比重有所不同, 研究区内 6~9 月降水量占到总降水量的 65% 以上。

图 4 中, 月降雨侵蚀力与月降雨量的相关系数达到了 0.95 以上, 月降雨侵蚀力与月降雨量的相关性明显比年降

雨量与年降雨侵蚀力关系增强。这主要是由于降雨侵蚀力不仅受降雨量的影响,同时也受到降雨强度的制约,6~9月

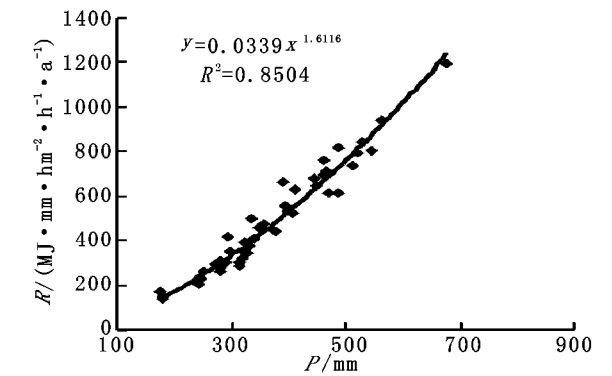


图3 降雨侵蚀力与年降雨量关系

3.2 降雨侵蚀力的年际变化

降雨侵蚀力是降雨特性的函数,降雨等气候要素的长期变化趋势可用趋势系数来描述<sup>[15,16]</sup>,降雨侵蚀力的年际变化同样采用趋势系数分析,可以反映降雨侵蚀力长期趋势变化的方向和程度。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}} \quad (4)$$

式中: $n$ ——年份序号,  $x_i$ ——第  $i$  年的降雨侵蚀力,  $\bar{x}$ —— $n$  年平均降雨侵蚀力,  $t$ ——样本均值,  $t = (n + 1)/2$ 。显然,  $r$  值为正时,表示降雨侵蚀力在所计算的时段内有线性增加的趋势,反之,有减少趋势。

根据公式计算得到的趋势系数  $r$  为 0.095,从  $r$  值可以知道内蒙古黄土丘陵区土壤侵蚀力  $R$  在 1957~2001 年内年际变化出现不同程度的正趋势,即降雨引起土壤侵蚀的能力在增加,降雨侵蚀力的这种年际变化特征与降雨量和降雨强度密切相关,以 1978 年为例,年降雨侵蚀力达到了 942.3 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ , 同年的降水量也达到了 562.8 mm。1962 年~1966 年平均降雨侵蚀力最低为 334.5 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ , 1990 年~1999 年上升到最高 567.6 ( $\text{MJ} \cdot \text{mm}) / (\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a})$ , 约增加为 60%,而同期的降水量

期间降雨量增加的同时,降雨强度也有增加,即产生侵蚀性的降水大量增加,降雨侵蚀力增加明显。

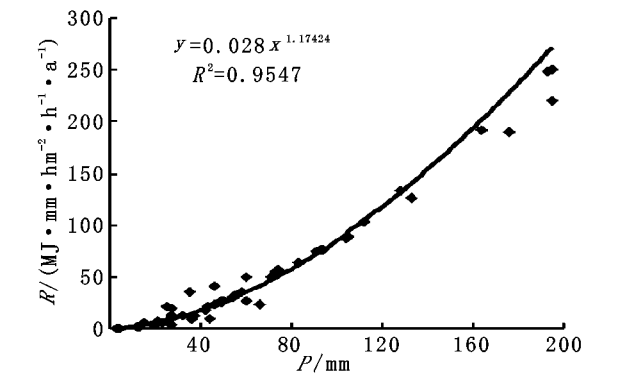


图4 6~9月降雨侵蚀力与降雨量关系

也从最低的 294.6mm 上升为最高的 428.0 mm,约增加 40%。

3.3 降雨侵蚀力的年内分布特征

根据公式(1)可对沙圪堵气象站 1957~2001 年 45 年间各月降水资料进行计算,得到各月降雨侵蚀力值。表 1 和图 5 为年内各月水量和降雨侵蚀力分布情况。从表 1、图 5 可以看出,位于内蒙古黄土丘陵沟壑区的准格尔旗,影响土壤侵蚀的重要气候因子——降雨量年内分布不均,70%的降雨量集中在 6~9 月,同时降雨侵蚀力年内也主要集中分布于 6~9 月份(雨季),几乎占全年的 98%,其中最大月份降雨侵蚀力发生在 8 月,占年降雨侵蚀力的 48%,其次是 7 月份占 36%,6 月份占 11.0%。分析结果表明,降雨侵蚀力的这一年内分布规律与准格尔旗降水量的年内分布规律基本是一致的,所不同的是降雨侵蚀力的季节变化与降水量的季节变化并不完全一致,表现在降雨侵蚀力各月间的差异明显大于降水量的差异,6~9 月的降水量累计百分比(70%)低于同期降雨侵蚀力的累计百分比(98%),而 1~5 月和 10~12 月的降雨量百分比均高于同期的降雨侵蚀力百分比,这种差异主要是由不同时期的降雨特性引起的。冬季以降雪形式出现,侵蚀力为零,其他月份降雨雨强较小,而 6~9 月则多为高强度降水,雨量大,强度高,雨滴动能大,其侵蚀力也大。

表 1 内蒙古黄土丘陵区降雨量 P 与降雨侵蚀力 R 值年内分布

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合计
P	0.40	3.91	7.68	17.30	33.30	54.70	66.00	98.40	47.70	37.70	11.20	5.30	383.59
占年 P/%	0.10	1.02	2.00	4.51	8.68	14.26	17.21	25.65	12.44	9.83	2.92	1.38	100
R 值	0.00	0.00	0.04	0.17	0.81	54.45	174.90	233.50	21.28	1.72	0.18	0.01	487.06
占年 R/%	0.00	0.00	0.01	0.04	0.17	11.18	35.91	47.94	4.37	0.35	0.04	0.00	100

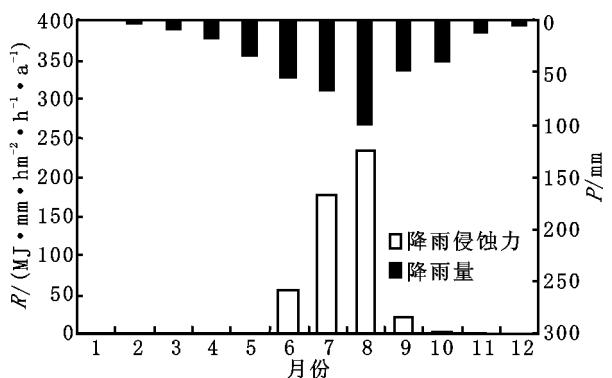


图5 内蒙古黄土丘陵区降雨与降雨侵蚀力年内分布图

4 结论与讨论

(1) 根据准格尔旗日降雨量资料,应用降雨侵蚀力模型计算得到降雨侵蚀力值,分析研究得到年际降雨侵蚀力曲线与年际降雨量曲线走向基本上是一致的。

(2) 基于对模型的应用,得到准格尔旗的年内降雨侵蚀力分布与降雨量的年内分布规律基本是一致的,所不同的是降雨侵蚀力的季节变化与降水量的季节变化并不完全一致,表现在降雨侵蚀力各月间的差异明显大于降水量的差异。

(3) 降雨量与降雨侵蚀力呈幂函数关系,相关性系数最大。6~9 月降雨量与降雨侵蚀力的相关性要明显比年降雨量与降雨侵蚀力的相关性大,这主要是受降雨强度的影响。

降雨侵蚀力是影响土壤侵蚀中最主要的因子之一,尤其是西北干旱地区,由于年内降水分配不均,并且降雨多表现出历时短、雨强大、雨量相对集中的特点,所以要选择适合本地区的降雨侵蚀力模型,根据降雨侵蚀力的时空分布规律,合理的水土保持措施,减少水土流失,实现水、土资源的可持续发展。

参考文献:

[ 1 ] Yu B, Rosewell C J. A robust estimation of the R factor for the universal soil losses equation [ J ]. Transactions of the ASAE, 1996, 39(2): 559- 561.

[ 2 ] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [ M ]. U. S. Dep. Agric. Handb. No. 537, 1978. 23- 26.

[ 3 ] 王万忠. 中国降雨侵蚀力 R 值计算与分布 [ J ]. 水土保持学报, 1996, 2(1): 29- 39.

[ 4 ] 吴志峰, 刘平等. 广东省降雨侵蚀力时间变化初步分析 [ J ]. 亚热带水土保持, 2005, 17( 1 ): 34- 37.

[ 5 ] 张建国, 等. 重庆市降雨侵蚀力( R )的时空分布特征 [ J ]. 水土保持研究, 2004, 11( 1 ): 56- 58.

[ 6 ] 吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力指标的研究 [ J ]. 中国水土保持, 1992, ( 2 ): 32- 33.

[ 7 ] Richardson C. W, et al. Estimation of erosion index from daily rainfall amount [ J ]. Trans. Of ASAE, 1983, 26(1): 153- 157.

[ 8 ] 谢云, 刘宝元, 章文波. 侵蚀性降雨标准研究 [ J ]. 水土保持学报, 2000, 14(4): 6- 11.

[ 9 ] 谢云, 章文波, 刘宝元. 用日雨量和日雨强计算降雨侵蚀力 [ J ]. 水土保持通报, 2001, 21(6): 53- 56.

[ 10 ] 伍育鹏, 谢云, 章文波. 国内外降雨侵蚀力简易计算方法的比较 [ J ]. 水土保持学报, 2001, 15( 3 ): 31- 34.

[ 11 ] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R- factor in the Revised USLE [ J ]. Journal of Hydrology, 1994, 157: 287- 306.

[ 12 ] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力 [ J ]. 资源科学, 2003, 25(1): 35- 38.

[ 13 ] 王万忠. 黄土地区降雨侵蚀力 R 指标的研究 [ J ]. 中国水土保持, 1987, (12): 34- 40.

[ 14 ] N W 哈德逊. 土壤侵蚀. 窦保璋译 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1971. 45- 50.

[ 15 ] 任国玉, 等. 我国降水变化趋势的空间特征 [ J ]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322- 310.

[ 16 ] 施能, 等. 中国近 100 年来 4 个年代际气候变化特征 [ J ]. 气象学报, 1995, 53( 4 ): 431- 439.

[ 17 ] Ferro V, Giordano G, Iovino M. Iso- erosivity and erosion risk map for Sicily [ J ]. Hydro. Sci. J, 1991, 36( 6 ): 549- 564.

[ 18 ] Mikhailova E A, Bryant R B, Schwager S J, et al. Predicting Rainfall Erosivity in Honduras [ J ]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61: 273- 279.

[ 19 ] Kinnell P I A. Runoff ratio as a factor in the empirical modeling of soil erosion by individual rainstorms [ J ]. Aust. J. Soil Res, 1997, 35: 1- 13.

( 上接第 229 页 )

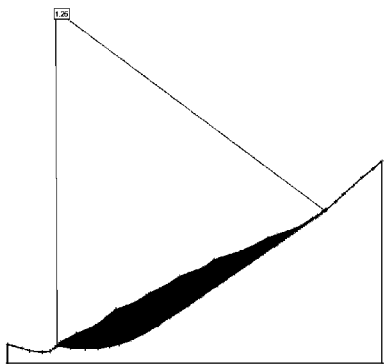


图 8 天然状态 K 值

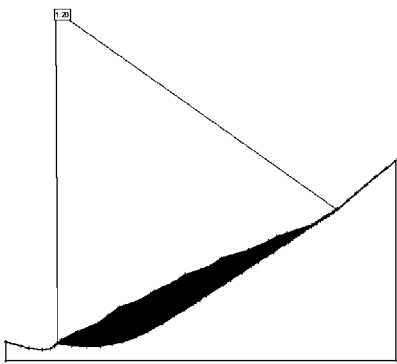


图 9 暴雨条件下 K 值

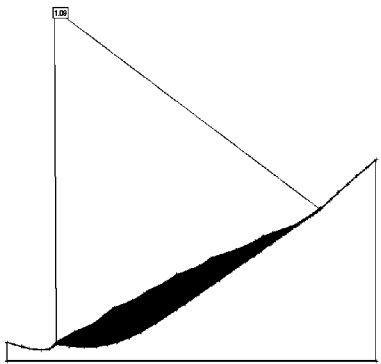


图 10 地震条件下 K 值

上,即滑坡处于稳定状态,这与现场的调研结果一致。算程序或方法,在滑坡的详细研究中可以采用多种方法加以对比。

(4) 当然在滑坡的稳定性计算方面还可以采用其他的计

参考文献:

[ 1 ] 张倬元, 聂德新, 等. 金沙江向家坝水电站坝址岩石及软弱夹层研究 [ M ]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.

[ 2 ] 殷宗泽. 土力学学科发展的现状与展望 [ J ]. 河海大学学报, 1999, 27(1): 1- 5.

[ 3 ] 谢定义. 21 世纪土力学的思考 [ J ]. 岩土工程学报, 1997, 19(4): 111- 114.

[ 4 ] 曲永新. 软弱夹层德工程地质预报、工程地质力学研究 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1985.

[ 5 ] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理(第二版) [ M ]. 北京: 地质出版社, 1993.