

# 土石山区径流小区坡长对径流量和侵蚀量影响的研究<sup>\*</sup>

陈安强<sup>1</sup>, 马文贵<sup>2</sup>, 高福军<sup>2</sup>, 杨吉华<sup>1</sup>, 刘培娟<sup>1</sup>

(1. 山东农业大学 林学院水土保持系, 山东 泰安 271018; 2. 临朐县水土保持生态建设局, 山东 临朐 262600)

**摘 要:** 以土石山区径流小区所产生的径流量和侵蚀量为研究对象, 对在山东省临朐县辛庄试验站径流小区坡长为 10 m, 20 m 和 40 m 多年的观测资料, 分析了坡长与径流和侵蚀的关系。研究表明: 不同坡长条件下降雨量与径流量和侵蚀量呈线性关系, 同一坡长条件下, 径流量和侵蚀量随降雨量的增加而增加, 不同坡长条件下, 随坡长的增加, 径流量逐渐增加, 在  $P < 10\text{ mm}$  时 20 m 坡长的侵蚀量大于 40 m 坡长的侵蚀量, 在  $P > 10\text{ mm}$  时呈相反变化。不同坡长条件下  $I_{30}$  与径流量和侵蚀量呈幂函数关系, 同一坡长条件下, 径流量和侵蚀量随  $I_{30}$  的增加而增加, 不同坡长条件下, 随坡长的增加, 侵蚀量逐渐增加, 在  $I_{30} < 20\text{ mm}$  时 20 m 坡长的径流量大于 40 m 坡长的径流量, 在  $I_{30} > 20\text{ mm}$  时呈相反变化。

**关键词:** 坡长; 径流; 侵蚀; 降雨量; 降雨强度

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)04-0190-04

## Effects of Slope Length on Runoff and Soil Erosion in Rocky Mountain Runoff Plots

CHEN An-qiang<sup>1</sup>, MA Wen-gui<sup>2</sup>, GAO Fu-jun<sup>2</sup>, YANG Ji-hua<sup>1</sup>, LIU Pei-juan<sup>1</sup>

(1. Soil and Water Conservation Department of Forest College, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China;

2. Soil Water Conservation and Zoology Constructive Office of Linqu, Linqu, Shandong 262600, China)

**Abstract:** The relationship between slope length and runoff with soil erosion is analyzed using years of observation data in Linqu county, Shandong province Daxin Zhuang station runoff plots. The results show that rainfall and runoff with erosion is linear under different slope length, however, the runoff and soil erosion increase with the rainfall increasing on the same slope length, the runoff increases with the slope length increasing. Soil erosion of 20 m-long plot is less than 40 m-long plot's as  $P < 10\text{ mm}$ , but on the contrary as  $P > 10\text{ mm}$ . There is significant linear relationship between every rainfall and runoff or soil erosion. There is significant power function between the biggest of  $I_{30}$  rainfall intensity and runoff or soil erosion. the runoff and soil erosion increase with  $I_{30}$  increasing on the same slope length, soil erosion increases with the slope length increasing, and 20 m-long plot of runoff is more than 40 m-long plot's as  $I_{30} < 20\text{ mm}$ , it has contray chang as  $I_{30} > 20\text{ mm}$ .

**Key words:** slope length; runoff; soil erosion; rainfall; rainfall intensity

坡面长度是影响坡面径流和侵蚀的重要地形因子之一。国外学者对坡长影响径流量及侵蚀量方面

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-04-11

基金项目: 山东省水利厅资助项目“山东典型侵蚀区水土流失机理与综合治理效益研究”

作者简介: 陈安强(1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事流域综合治理方面的研究。

通讯作者: 杨吉华

做了大量的研究, 研究结果大致可以概括为以下 3 方面: 一部分学者认为, 在其它因素一定的条件下, 坡长越长, 径流量及侵蚀量就越大; 另一部分学者认为, 坡长增加, 水体中的含沙量就会增加, 水流能量多消耗于搬运泥沙, 结果导致水流侵蚀趋于减弱; 还有一部分人认为, 坡长增加, 径流量增加, 侵蚀产沙量也增加, 因此随之水流含沙量增加, 水体搬运泥沙所消耗的能量加大, 两者相互消长, 结果从上坡到下坡侵蚀没有大的变化。黎四龙等在张家口研究了不同降雨强度下坡长对径流及侵蚀的影响, 提出雨强较小时, 径流量不能用坡长与雨强的乘积代替, 雨强较大时, 径流量可以用坡长与降雨强度的乘积代替<sup>[1]</sup>。

由于特定降雨特性、地貌特征以及分析方法的不同, 结论也有一定差异, 而且以上结论很多是基于对黄土坡面测定的, 具有当地条件的适用性。而在土石山区关于坡长与径流及侵蚀的关系还少见报道。本文应用临朐县辛庄试验站不同坡长的径流小区所产生的径流量和侵蚀量多年观测资料, 并对资料进行分析, 建立不同坡长条件下的径流和侵蚀模型, 揭示土石山区径流小区不同坡长对径流和侵蚀的影响, 为土石山区坡面治理和合理开发利用提供科学的理论依据和实践指导。

1 研究区概况

辛庄试验站设在山东省临朐县石家河乡辛庄小流域内, 位于东经  $118^{\circ}33'$  ~  $118^{\circ}35'$ , 北纬  $36^{\circ}14'$  ~  $36^{\circ}15'$ 。流域内岩石为片麻岩, 土壤为棕壤, 地质松散, 多砾石和粗砂, 遇暴雨易冲刷, 而且植被覆盖度低, 水土流失强烈。水土流失的形式主要是面蚀和沟蚀, 造成耕作层有机质、氮、磷、钾大量流失, 土壤肥力下降。该流域属于温带季风大陆性气候, 春季风大少雨, 夏季湿热多雨, 秋季温和凉爽, 冬季寒冷干燥, 年均气温  $12^{\circ}\text{C}$ , 最高气温  $39^{\circ}\text{C}$ , 最低气温  $-20^{\circ}\text{C}$ 。年均降雨量  $800\text{ mm}$ , 而且年际降雨量分配不均, 最多年份降雨量  $1\,432.7\text{ mm}$ , 最少年份为  $203\text{ mm}$ ; 年内降雨多集中在 7~ 9 月份, 暴雨日数 7 月份最多, 占 51%, 8 月份占 30%。

2 研究方法

2.1 径流小区的布设

在临朐县辛庄水土保持试验站建立坡度和土地利用方式相同, 坡度均为  $25^{\circ}$ , 坡向南东东, 土层厚度  $0.5\text{ m}$ , 坡面上种植花生, 坡长不同的试验小区 3 种(见表 1), 每种坡长的径流小区重复 3 次, 计算 3

个重复小区的平均值, 共计 9 个小区, 统计 1984~ 1990 年的观测资料。

2.2 雨量和降雨强度的观测

在径流小区内布设自记雨量计, 记录降雨过程, 据此计算降雨量和降雨强度。

表 1 坡长径流小区资料

名称及编号	坡长/m	小区面积/ $\text{m}^2$
陡坡开荒种植 83- 1	10	50
陡坡开荒种植 83- 2	20	100
陡坡开荒种植 83- 3	40	200

2.3 径流量和侵蚀量的观测

使用蓄水池测量径流小区的径流量( $V$ ); 用取样桶采集泥沙样品, 将蓄水池的泥沙水量充分搅拌均匀混合后取样, 过滤, 烘干称重, 测量径流小区的侵蚀量( $Ms$ )。

2.4 降雨量和降雨强度分级

根据日降雨量( $P$ ), 共分 6 个雨量级, 即  $0\sim 10\text{ mm}$ ,  $10\sim 30\text{ mm}$ ,  $30\sim 50\text{ mm}$ ,  $50\sim 80\text{ mm}$ ,  $80\sim 100\text{ mm}$ ,  $> 100\text{ mm}$ ; 根据计算的  $30\text{ min}$  最大降雨强度( $I_{30}$ ), 共分 7 个雨强级, 即  $0\sim 5\text{ mm/h}$ ,  $5\sim 10\text{ mm/h}$ ,  $10\sim 20\text{ mm/h}$ ,  $20\sim 30\text{ mm/h}$ ,  $30\sim 40\text{ mm/h}$ ,  $40\sim 50\text{ mm/h}$ ,  $> 50\text{ mm/h}$ 。

3 结果与分析

坡面径流与侵蚀的形成是降雨与下垫面因素相互作用的结果, 降雨是产生径流和侵蚀的先决条件, 降雨量和降雨强度对径流和侵蚀的产生影响较大, 但是下垫面因素特别是坡长对径流和侵蚀的形成有重要影响, 对不同坡长条件下, 定量分析降雨量和降雨强度对径流量和侵蚀量的影响, 显得特别重要。

3.1 坡长与降雨量对径流量和侵蚀量的影响

3.1.1 坡长与降雨量对径流量的影响

对不同坡长条件下降雨量进行分级, 同时分出分级雨量下的径流量, 并求出每个雨量级对应的平均降雨量和平均径流量。采用直线方程、指数方程、幂函数方程和对数方程进行回归分析, 研究不同坡长的分级降雨量  $P(\text{mm})$  和径流量  $V(\text{m}^3/\text{km}^2)$  之间的关系, 并选用回归相关系数最高的回归模型来拟合两者的关系, 通过表 2 可以看出, 同一坡长下, 径流量随着降雨量的增加而不断增加, 在降雨量一定的条件下, 径流量随着径流速率(直线斜率)的增加而增加, 各坡长径流速率增长的速度也不一致,  $20\text{ m}$  坡长比  $10\text{ m}$  坡长径流速率增长了 84%,  $40\text{ m}$  坡长比  $20\text{ m}$  坡长径流速率仅增长了 3.1%, 说明坡长增加, 水流流程加长, 延长了降雨的入渗时间, 造成

一部分降雨量的损失, 径流速率随着坡长的增加其增长的速度放慢。对不同坡长下降雨量和径流量在 0.01 水平上进行方差分析, 在 10 m 坡长条件下, 降雨量和径流量无显著性差异( $F_{10\text{ m}} = 9.287 < F_{0.01} =$

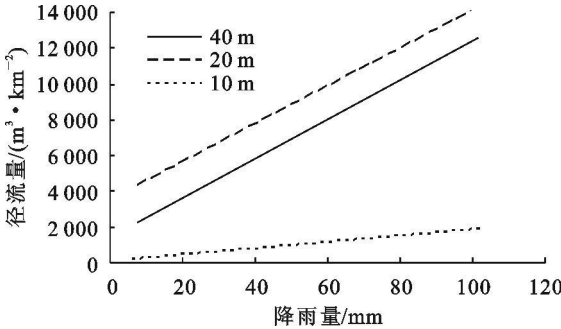


图 1 降雨量和径流量的关系

表 2 不同坡长下降雨量  $P$  和径流量  $V$  的回归分析

小区号	坡长/m	样本数	回归方程	相关系数
83- 1	10	30	$V = 17.479P + 90.576$	0.7750
83- 2	20	46	$V = 105.97P + 3513.8$	0.6754
83- 3	40	46	$V = 109.4P + 1434.8$	0.8696

3.1.2 坡长与降雨量对侵蚀量的影响

姚治君等人在云南玉龙山东南坡研究结果表明, 降雨量与土壤侵蚀的关系遵守  $M_s = a + bP$  ( $M_s$  为侵蚀量,  $P$  为降雨量,  $a, b$  为常数) 的线性变化规律<sup>[2]</sup>。对不同坡长下降雨量进行分级, 同时分出分级雨量下的侵蚀量, 并求出每个雨量级对应的平均降雨量和平均侵蚀量。并对降雨量  $P$  (mm) 和侵蚀量  $M_s$  ( $t / km^2$ ) 进行回归分析发现遵循  $M_s = aP + b$  线性关系见表 3, 同一坡长条件下, 侵蚀量随着降雨量的增加而增加, 10 m 坡长的侵蚀量随着降雨量的增长而增长缓慢, 曲线紧贴横坐标轴, 20 m 和 40 m 坡长的侵蚀量都增长迅速, 这是因为 10 m 坡长在相同降雨条件下形成的径流量小, 所以造成的侵蚀就少, 侵蚀量增长缓慢。而 20 m 和 40 m 坡长随着降雨量的增加, 径流量增大, 出现了细沟发育, 侵蚀量出现跳跃性增长。在降雨量一定的条件下侵蚀量随着坡长的增长而增加, 在  $P < 10\text{ mm}$  时, 20 m 坡长的侵蚀量大于 40 m 坡长, 在  $P > 10\text{ mm}$  时, 40 m 坡长的侵蚀量大于 20 m 坡长的侵蚀量, 从侵蚀量的增长率来看, 20 m 坡长的侵蚀量比 10 m 坡长增加了 96%, 而 40 m 坡长的侵蚀量比 20 m 坡长仅增长了 42%, 由此可以看出侵蚀量的增长率随着坡长的增加其增长速度放缓。对不同坡长下降雨量和侵蚀量在 0.01 水平上进行方差分析, 在 10 m 坡长条件下, 降雨量和侵蚀量无显著性差异( $F_{10\text{ m}} = 1.035 < F_{0.01} = 10.044$ ), 在 20 m 和 40 m 坡长条件下, 降

10.044), 在 20 m 和 40 m 坡长条件下, 降雨量和径流量呈显著性差异( $F_{20\text{ m}} = 21.123 > F_{0.01} = 10.044$ ;  $F_{40\text{ m}} = 15.855 > F_{0.01} = 10.044$ ), 随着坡长的增加降雨量对径流量的影响越来越显著。

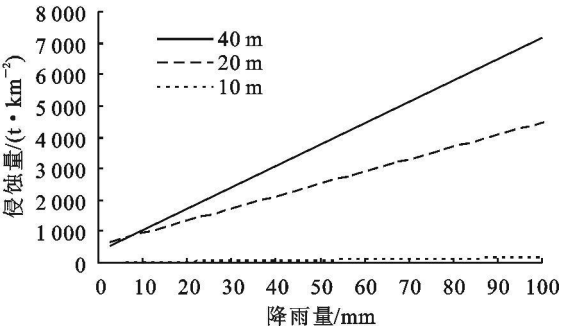


图 2 降雨量和侵蚀量的关系

雨量和侵蚀量呈显著性差异( $F_{20\text{ m}} = 14.296 > F_{0.01} = 10.044$ ;  $F_{40\text{ m}} = 12.305 > F_{0.01} = 10.044$ ), 随着坡长的增加降雨量对侵蚀量的影响越来越明显。

表 3 不同坡长下降雨量和侵蚀量的回归分析

小区号	坡长/m	样本数	回归方程	相关系数
83- 1	10	30	$M_s = 1.5164P + 4.9173$	0.7772
83- 2	20	46	$M_s = 39.111P + 535.11$	0.7915
83- 3	40	46	$M_s = 67.749P + 370.69$	0.8770

3.2 坡长与降雨强度对径流量和侵蚀量的影响

3.2.1 坡长与降雨强度对径流量的影响

当降雨强度大于入渗强度时, 坡面出现积水, 填洼完成后, 坡面即开始形成坡面径流。关于不同坡长下降雨强度对径流量的影响我国一些学者也做了很多研究, 蔡强国等对子洲径流站团山沟 10 个径流小区的研究表明, 径流量与不同时段最大降雨强度之间的相关系数最高值在 30 min 最大降雨强度  $I_{30}$  (mm/h) 左右, 并且呈  $V = a + bI_{30}$  的线性关系<sup>[3]</sup>。由于降雨特性及下垫面因素的不同, 有很大的局限性。因此我们对  $I_{30}$  进行分级同时分出分级雨强下的径流量, 并对  $I_{30}$  各雨强级与其对应的径流量进行回归分析, 发现遵循  $V = aI_{30}^b$  幂函数关系(见表 4)。而且指数  $b > 1$ , 从图 3 可以看出, 同一坡长下  $I_{30}$  的增加, 降雨强度增大, 相应的入渗量减小, 径流量增大。从图中交点看出当  $I_{30} < 20\text{ mm}$  时, 20 m 坡长的径流量要大于 40 m 坡长的径流量, 径流量随着坡长的增加而减少; 当  $I_{30} > 20\text{ mm}$  时, 40 m 坡长的径流量大于 20 m 坡长的径流量, 径流量随着坡长的增加而不断增加。20 m 坡长和 40 m 坡长拟合的曲线互相紧凑, 但 10 m 坡长拟合的曲线却紧靠近横坐标轴, 在同样降雨条件下, 20 m 坡长和 40 m 坡长产生的径流相差不大, 但 20 m 坡长和 10 m 坡长

产生的径流相差甚远。对不同坡长下  $I_{30}$  和径流量进行方差分析, 在 10 m 坡长条件下  $I_{30}$  和径流量无显著性差异( $F_{10\text{ m}} = 3.708 < F_{0.01} = 10.044$ ), 在 20 m 和 40 m 坡长条件下,  $I_{30}$  和径流量呈显著性( $F_{20\text{ m}} = 10.235 > F_{0.01} = 9.33$ ;  $F_{40\text{ m}} = 9.438 > F_{0.01} = 9.33$ ), 表明随坡长的增加,  $I_{30}$  对径流量的影响越显著。

表 4 不同坡长下 $I_{30}$ 和径流量的回归分析				
小区号	坡长/m	样本数	回归方程	相关系数
83- 1	10	30	$V = 0.1633 I_{30}^{2.2914}$	0.8426
83- 2	20	46	$V = 39.945 I_{30}^{1.2726}$	0.8643
83- 3	40	46	$V = 12.195 I_{30}^{1.7644}$	0.9745

表 5 不同坡长 $I_{30}$ 和侵蚀量的回归分析				
小区号	坡长/m	样本数	回归方程	相关系数
83- 1	10	30	$M_s = 0.0913 I_{30}^{1.7934}$	0.9288
83- 2	20	46	$M_s = 0.0079 I_{30}^{3.2802}$	0.8943
83- 3	40	46	$M_s = 0.1674 I_{30}^{2.7162}$	0.8808

3.2.2 坡长与降雨强度对侵蚀量的影响

土壤侵蚀与降雨强度之间的关系十分明显, 降雨强度大, 雨滴的击溅作用十分强烈, 产生的径流量大, 冲刷能力也大, 所以侵蚀就严重, 大量研究表明

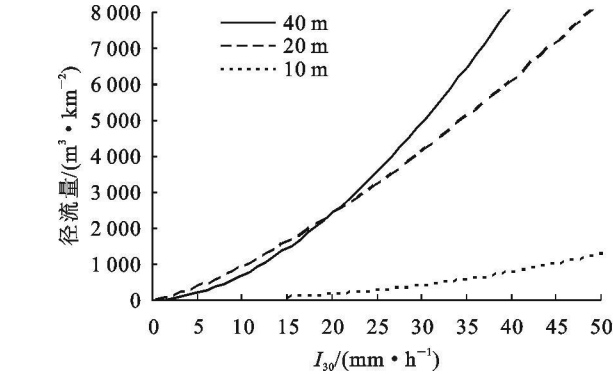


图 3  $I_{30}$  和径流量的关系

4 结 论

(1) 不同坡长下, 日降雨量与径流量呈  $V = aP + b$  和侵蚀量呈  $M_s = aP + b$  的线性关系( $a, b$  为常数, 且  $a > 0$ ), 同一坡长条件下, 径流量和侵蚀量随降雨量增加而增加, 不同坡长条件下, 随坡长的增加, 径流量和侵蚀量逐渐增加, 当  $P < 10\text{ mm}$  时, 20 m 坡长的侵蚀量大于 40 m 坡长的侵蚀量, 当  $P > 10\text{ mm}$  时, 40 m 坡长的侵蚀量大于 20 m 坡长的侵蚀量。对不同坡长下降雨量与径流量和侵蚀量进行方差分析, 在 10 m 坡长下降雨量与径流量和侵蚀量无显著性差异, 在 20 m 和 40 m 坡长下, 降雨量与径流量和侵蚀量呈显著性差异。

土壤侵蚀只发生在少数几场暴雨中。万廷朝对黄土高原缓坡耕地上的研究表明平均雨强与土壤侵蚀遵守  $y = ax^b$ , 且  $0 < b < 1$  的函数规律, 而瞬时雨强则有  $y = ab^x$  ( $y$  —— 侵蚀量,  $x$  —— 时段雨强) 之间的关系特征<sup>[4]</sup>。吴发启等在黄土高原南部缓坡耕地上的研究表明不同坡长下  $I_{30}$  和侵蚀量呈较好的指数函数关系<sup>[5]</sup>。我们对辛庄试验站 3 种坡长的  $I_{30}$  进行分级, 并分出分级雨强下的侵蚀量  $M_s(\text{t}/\text{km}^2)$  采用直线方程、指数方程、幂函数方程和对数方程进行回归分析, 发现幂函数的相关系数最大见表 5, 同一坡长下侵蚀量随着  $I_{30}$  的增加而增加, 在同一降雨强度下, 侵蚀量随着坡长的增长而不断增加, 这是因为坡长越长、降雨强度越大, 一方面, 雨滴的击溅作用加强, 破坏土壤的团粒结构, 入渗能力下降, 加大径流输沙能力, 另一方面, 径流量增加, 径流量的侵蚀动力也就加大, 所以侵蚀量也就增大。对不同坡长下  $I_{30}$  和侵蚀量进行方差分析, 在 10 m 坡长条件下  $I_{30}$  和侵蚀量无显著性差异( $F_{10\text{ m}} = 2.729 < F_{0.01} = 10.044$ ), 在 20 m 和 40 m 坡长条件下,  $I_{30}$  和侵蚀量呈显著性差异( $F_{20\text{ m}} = 9.471 > F_{0.01} = 9.33$ ;  $F_{40\text{ m}} = 10.517 > F_{0.01} = 9.33$ ), 说明随坡长的增加,  $I_{30}$  对侵蚀量的影响越显著。

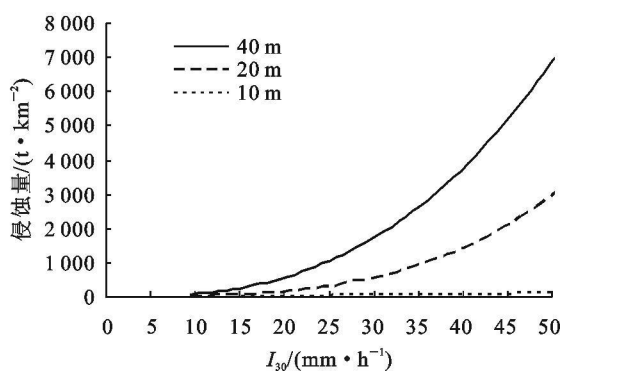


图 4  $I_{30}$  和侵蚀量的关系

(2) 不同坡长下,  $I_{30}$  与径流量呈  $V = aI_{30}^b$  和侵蚀量呈  $M_s = aI_{30}^b$  幂函数关系( $a, b$  为常数, 且  $b > 1$ ), 同一坡长条件下, 径流量和侵蚀量随着  $I_{30}$  的增加而增加, 不同坡长条件下, 随坡长的增加, 径流量和侵蚀量逐渐增加, 对径流量来说, 当  $I_{30} < 20\text{ mm}$  时, 20 m 坡长的径流量要大于 40 m 坡长的径流量, 当  $I_{30} > 20\text{ mm}$  时, 40 m 坡长的径流量大于 20 m 坡长的径流量。对不同坡长下降雨量与径流量和侵蚀量进行方差分析, 在 10 m 坡长下  $I_{30}$  与径流量和侵蚀量无显著性差异, 在 20 m 和 40 m 坡长下,  $I_{30}$  与径流量和侵蚀量呈显著性差异。

(下转第 196 页)

巢湖市北山的岩石混合溶蚀作用在不同的  $P_{CO_2}$  条件下的溶蚀机理不同, 这同 Berner 和 Morse 及刘再华

得出的结论是一致的。

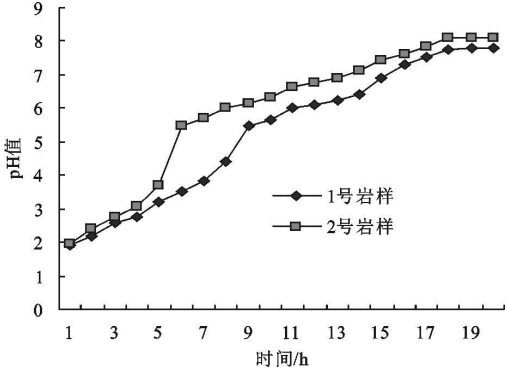


图 2 岩样溶蚀液 pH 值与时间变化曲线图

3.3 溶解速率与 pH 值的相关分析

Berner & Morse 曾利用稳定 pH 值方法进行了在 25℃ 和不同分压条件下的细颗粒状方解石溶解实验, 其结果被表示为溶解速率对  $\Delta pH$  的函数曲线(图 3)。图中, 曲线可明显地分为 3 段, 反映出 3 个不同的速率控制机理。区域 1 代表溶液为低 pH 值或远离平衡条件, 溶解速率随  $\Delta pH$  显著增加, 反映了  $H^+$  的传输对溶解速率的控制; 区域 2 代表溶液为中等 pH 值条件, 溶解速率虽随  $\Delta pH$  增加, 但曲线的斜率显著降低, 反映出溶解速率控制机理的改变, 即由传输控制为主转入以化学反应控制为主; 区域 3 代表溶液在高 pH 值或近平衡条件下, 溶解速率随着平衡的接近显著降低, 他们将此归因于方解石表面  $PO_4^{3-}$  等的阻滞机理。图 1、图 2 反映的特征和意义与图 3 是一致的: 即不同的曲线段, 反映了不同的速率控制机理。分析认为, 图 1、图 2 中各曲线段也与图 3 中各段相对应。

4 结 论

(1) 巢湖北山岩溶区岩溶发育受岩性、结构的控

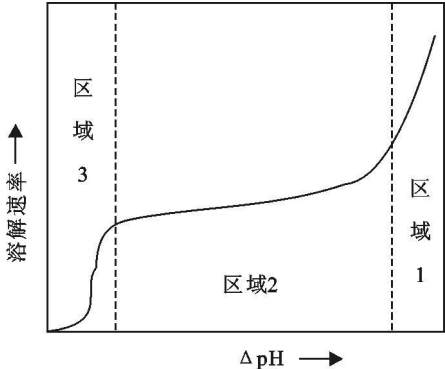


图 3 溶解速率与  $\Delta pH$  关系示意图  
(据刘再华, 1990)

制。岩性不同, 混合溶蚀速率不同。

(2) 溶蚀后期溶蚀液中  $Ca^{2+}$  和  $CaSO_4$  及  $MgSO_4$  富集在岩石表面, 导致溶蚀速度的降低, 但岩石孔隙变大, 此时外界水体流动力等的机械破坏和生物破坏对岩溶起主导作用。

(3) 在不同的  $CO_2$  分压条件下, 巢湖北山岩溶区内碳酸盐岩的混合溶蚀机理不同。即: 低  $CO_2$  分压或远离平衡条件时, 以  $H^+$  的传输对溶解速率的控制为主; 中等  $CO_2$  分压条件下, 由传输控制为主转入以化学反应控制为主; 高  $CO_2$  分压或近平衡条件时, 主要表现为碳酸盐岩表面等的阻滞机理。

参考文献:

[1] 任美镔, 刘振中, 等. 岩溶学概论[M]. 北京: 商务印书馆出版社, 1983.

[2] 袁道先, 蔡桂鸿. 岩溶环境学[M]. 重庆: 重庆出版社, 1988.

[3] 刘再华. 流动  $CO_2-H_2O$  系统中方解石溶解、沉积的速率控制机理[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1997.

[4] 钱会, 胡建刚. Bogli 混合溶蚀理论及其在实际应用中所存在的问题[J]. 中国岩溶, 1996, (4): 367- 375.

[3] 蔡强国. 坡长在坡面侵蚀产沙过程中的作用[J]. 泥沙研究, 1989, 12(4): 84- 91.

[4] 万朝廷. 黄丘五副区降雨和地形因素与坡面水土流失关系研究[J]. 中国水土保持, 1996, (12): 26- 29.

[5] 吴发启, 赵晓光, 刘秉正, 等. 黄土高原南部缓坡耕地降雨与侵蚀的关系[J]. 水土保持研究, 1999, (2): 53- 60.

[1] 黎四龙, 蔡强国, 吴淑安, 等. 坡长对径流及侵蚀的影响[J]. 干旱区资源与环境, 1988, 12(1): 29- 35.

[2] 姚治君, 廖俊国, 陈传友. 云南玉龙山东南坡降雨因子与土壤流失关系的研究[J], 自然资源学报, 1991, (6): 45- 53.

(上接第 193 页)

参考文献: