

基于 GIS 的桥子沟流域土壤侵蚀初步分析

谢媛媛, 余新晓, 张满良

(北京林业大学水土保持及荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘 要: 以甘肃省天水市桥子沟流域为研究区域, 采用美国通用土壤流失方程 (USLE 模型) 为评价模型, 加入地理信息系统技术的空间分析功能, 运用地理信息系统软件 Arcview 进行小流域土壤侵蚀量的估算与分析, 从而为我国西部地区的水土保持型植被建设和生态与环境效应评价提供科学依据。

关键词: 土壤侵蚀; USLE; GIS; 桥子沟流域

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)05-0263-03

Primary Analysis of Soil Erosion Intensity in Qiaozigou Watershed Based on GIS

XIE Yuan-yuan, YU Xin-xiao, ZHANG Man-liang

(Beijing Forestry University, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and
Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract With Qiaozigou watershed in Tianshui city, Gansu Province as the research area, the soil loss equation (USLE model) which is in common use in the U. S. A. is adopted as the appraisal model, joining the spatial analysis function of geographical information system (GIS), using GIS software Arcview to carry on estimation and analysis on the soil erosion intensity of the watershed, thus it offers scientific basis for evaluation of the ecological environment effect and soil and water conservation vegetation construction of the western region in our country.

Key words: soil erosion; USLE; GIS; Qiaozigou watershed

土壤侵蚀, 是指地球表面的土壤及其母质受水力、风力、冻融、重力等外力的作用, 在各种自然因素和人为因素的影响下, 发生破坏、分离、搬运和沉积的现象^[1]。土壤侵蚀定量研究主要是确定土壤侵蚀在时间和空间上量的分异状况, 解决侵蚀量在某特定地理景观中不同地貌单元或土地利用单元上的空间分异规律, 并搞清侵蚀量在不同历史时段内的变化规律以及预测将来一个时段内的变化趋势^[2]。区域土壤侵蚀类型和过程研究是一项基础性的研究工作, 它对于研究水土流失规律, 控制水土流失, 改善生态环境有其重要意义^[3]。目前, 开展小流域土壤侵蚀定量研究已经受到越来越多的重视。

从 80 年代起, 国内外开始将 GIS 技术应用于水土保持领域。我国学者主要将其应用于水土流失信息系统的建立, 关于 GIS 在土壤流失预报方面的应用还处于起步阶段^[4]。本文在 Arcview 地理信息系统的支持下, 采用国际上应用广泛的土壤流失方程 (USLE) 来估算桥子沟流域的土壤侵蚀量, 以期为其周边的生态环境建设提供科学依据。

1 研究区概况

桥子沟流域位于甘肃省天水市秦城区北郊, 系渭河水系藉河南岸罗玉沟下游左侧一小沟谷, 属黄土丘陵沟壑区第三副区。流域地表主要由杂色土覆盖。流域面积 2.45 km², 按地形可分为桥子东、西两条独立的支毛沟。桥子东沟流域呈

半扇形, 面积 1.36 km², 干沟长 2.04 km, 沟道平均比降 16.6%, 下游段切沟深度为 5 m 左右, 中游段为 10~30 m, 上中游间有高差达 15 m 的跌水。桥子西沟流域呈羽毛形, 面积 1.09 km², 干沟长 2.12 km, 沟道平均比降为 16.7%, 中游段切深 20~35 m, 上、下游段切深均为 10~15 m, 中游段右岸为高差达 30~40 m、坡度大于 60° 的红土立壁^[5]。

桥子东、西沟从梁顶至沟谷边缘基本构成了滑坡体, 形成了陡崖、沟掌地和台阶地。在重力、水力侵蚀和地下水潜蚀的长期作用下, 沟道切割发育强烈, 地面支离破碎, 坡度陡峭, 极易遭暴雨冲刷^[5]。

2 资料收集

小流域土壤侵蚀过程是水文因子、气象因子、下垫面因子的函数^[6]。其中, 水文、气象因子包括降雨量、径流量等, 下垫面因子包括流域几何特征、地貌类型、植被覆盖、土地利用、水保措施等。

根据这些基本要素, 目前我们收集到的基础资料可分为图形和文字资料两大类。经过整理和分析, 建立了相应的图形数据库和文字数据库。其中图形数据库包括桥子沟流域土壤图、植被图、土地利用现状图和暴雨等值线图。通过扫描将这些底图输入计算机, 用 GIS 软件对他们进行矢量化后, 制作成数字地图。文字数据库主要包括 1986~2000 年桥子

沟流域降雨量观测资料、5 个雨量站的降雨观测过程资料和径流泥沙资料等。

3 模型选择和土壤侵蚀量的估算

目前使用最广泛的土壤侵蚀量计算模型是通用土壤流失方程 USLE (Universal soil Loss Equation) 方程。它的数学表达式为:

$$A = RKLSCP,$$

式中: A —— 单位面积上土壤流失量; R —— 降雨因子; K —— 土壤因子; LS —— 坡长坡度因子 (又称地形因子); C —— 植被覆盖度因子; P —— 水土保持措施因子。用 USLE 计算流域土壤侵蚀量的过程可见流程图 1。

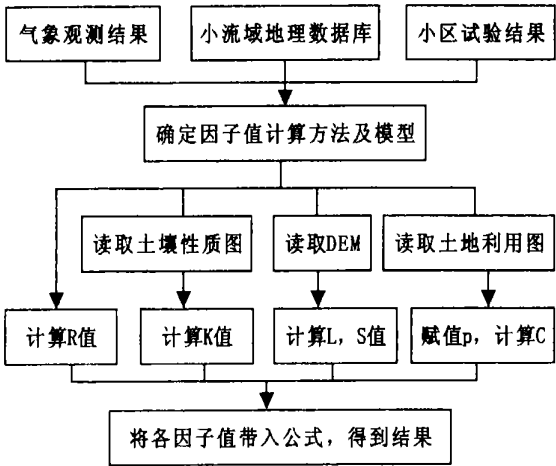


图 1 土壤侵蚀量计算过程图

3.1 降雨因子值 (R)

降雨直接作用于土壤表面, 因此是引起土壤侵蚀的一个重要因子。降雨量的多少以及降水的形式与土壤侵蚀有着密切的关系。降雨因子值 (R), 是降雨动力和强度的函数^[7]。对桥子沟流域地区, R 值的计算采用 Wischmeier 经验公式 (见式 1), 它既考虑了年降水总量, 又考虑了降水的年内分布^[8]。

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times \exp(1.5 \times \lg \frac{P_i^2}{P} - 0.8188) \quad (1)$$

根据桥子沟流域内四个雨量站 (即营房村站、试验场站、马兰站、桥子沟沟口站) 1989~ 2000 年的流域降雨量观测资料, 经过统计分析, 计算得出桥子沟流域的年平均降雨量为 456.80 mm, 月平均降雨量见表 1, 并计算出 R 值为 22.45。因为桥子沟流域面积很小, 可近似认为流域内各处 R 值相等。

表 1 桥子沟流域月平均降雨量 (1989~ 2000) mm

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
降雨量	0.19	0.49	14.06	46.31	48.99	71.22
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨量	80.44	74.77	68.26	48.33	3.68	0.06

3.2 土壤侵蚀因子值 (K)

通用土壤流失方程中的土壤侵蚀因子值 (K), 是对某一特定土壤固有的可蚀性的一种定量描述, 是土壤的颗粒组成、有机质含量、土壤结构状况及土壤渗透性能的函数^[7]。本文采用魏斯曼土壤侵蚀列线图, 求出不同土种的土壤侵蚀因子 K 值 (见表 2)。

表 2 土壤侵蚀因子推算表

土名	机械组成/%			有机质/%	土壤结构 / (mm · min ⁻¹)	渗透性	K 值
	黏粒+粉粒 0.002~0.10	沙粒 0.1~2.0					
黑鸡粪土	81.0	4.0		1.0234	细粒	4.03 较慢	0.58
黄板土	82.0	7.0		1.0320	细粒	3.33 较慢	0.65
黑红土	88.0	0.0		1.0626	特细粒	3.95 较慢	0.62
红胶土	80.0	5.0		0.7267	特细粒	2.88 慢	0.59

3.3 地形因子值 (LS)

地形因子主要包括坡长 (L) 和坡度 (S) 两个因素, 在其它地理环境因子相同的条件下, 坡度越大, 坡长越长, 土壤侵蚀就越严重。坡长与坡度均可通过数字高程模型 (DEM) 获得。根据桥子沟的实际情况, 将坡度等级分为 8 级 (见表 3), 其中, 0~ 8 这三个等级的坡度多分布在沟底和梁卯, 梁卯坡上部坡度是 9~ 15°; 下部为 16~ 25°; 是土壤侵蚀较严重的部位。沟坡坡度大于 25° 以重力侵蚀、沟坡侵蚀为主。

表 3 坡度分级赋值

坡度等级	坡度/°	S 值
I	< 3	0.05
II	4~ 5	0.05
III	6~ 8	0.10
IV	9~ 15	0.15
V	16~ 25	0.20
VI	26~ 35	0.25
VII	36~ 45	0.30
VIII	> 45	0.30

3.4 植被覆盖度因子值 (C)

植被覆盖度因子, 又称作物经营管理因子。经验指出, 植被覆盖度与土壤侵蚀量关系极大。在其它地理环境因子值相同的情况下, 植被覆盖度越大, 土壤流失量越小; 反之, 就越大。桥子沟流域的主要土地利用类型包括耕地、林地、草地、果园、居民点等等, 采用蔡崇法等人根据植被覆盖度与土地利用结合测定的 C 因子值^[10], 赋值如表 4。

表 4 不同土地利用 C 因子值

土地利用类型	旱地	居民地	水田	果粮间作	荒地	经济林	疏林地	林地
植被覆盖度/%	10	20	25	40	50	55	70	75
C 因子	0.31	0.20	0.18	0.10	0.06	0.05	0.017	0.006

3.5 水土保持措施因子值 (P)

水土保持措施因子是采取水保措施后, 土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值。通常, 包含于这一因子中的控制措施有: 等高耕作、等高带状种植、修梯田等等。该流域耕作措施只有等高耕作, 且作用十分有限, 梯田措施已反映在 LS 因子内, 林草措施已包含在 C 值内, 故将 P 因子值近似看作 1。

4 结果计算与分析

运用地理信息系统技术计算桥子沟流域的土壤侵蚀量时, 须将各个因子分别以栅格图为基础进行运算, 然后进行栅格的复合运算, 最后得出桥子沟流域的土壤侵蚀量。

根据 USLE 公式的运算, 结合地理信息系统的空间分析功能, 最后得出桥子沟流域土壤侵蚀面积为 2.40 km², 占总面积的 98%, 其中, 中度以上的侵蚀面积占侵蚀面积的 27.3%。年侵蚀总量为 8 683.24 t, 其中微度侵蚀 (无明显侵蚀) 等级的土壤侵蚀量只有 0.5%, 中度以上的土壤侵蚀量占 45.8%。桥子沟小流域年平均侵蚀模数为 3 503 t/km², 属

于中度侵蚀等级。具体情况见表 5。

表 5 桥子沟流域土壤侵蚀强度等级表

侵蚀等级	侵蚀模数 ($t \cdot km^{-2}$)	面积 (km^2)	平均土壤侵 蚀量/($t \cdot km^{-2}$)	侵蚀总 量/t	面积比 例/%	侵蚀量比 例/%
微度	< 500	5.06	7.96	40.28	2	0.5
轻度	500~ 2500	35.59	12.01	427.41	14.4	4.9
中度	2500~ 5000	139.65	30.34	4237.30	56.34	8.8
强度	5000~ 8000	41.36	51.56	2132.49	16.7	24.6
极强度	8000~ 15000	26.25	70.31	1845.75	10.6	21.2
合计		247.88	35.03	8683.24	100	100

5 结 论

(1) 土壤侵蚀是个十分复杂的自然现象, 要取得其精确

参考文献:

[1] 夏卫兵 略谈水土流失与土壤侵蚀[J]. 中国水土保持, 1994, (4): 47- 48

[2] 刘黎明, 林培 黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀定量方法与模型的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 73- 79

[3] 傅伯杰, 汪西林 DEM 在研究黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀类型和过程中的应用[J]. 水土保持学报, 1994, 3(8): 17- 21

[4] 肖寒, 欧阳志云, 王效科, 等 GIS 支持下的海南岛土壤侵蚀空间分布特征[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 4(5): 75- 80

[5] 王宏, 康学林 桥子沟流域“1987. 4. 19”暴雨洪水及土壤侵蚀调查分析[J]. 人民黄河, 1995, (10): 25- 27

[6] 徐天蜀, 彭世揆, 岳彩荣 基于 GIS 的小流域土壤侵蚀评价研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(4): 43- 46

[7] 陈亚宁, 刘兴文 GIS 技术在土壤侵蚀量模拟计算中的应用——以新疆头屯河山区流域为例[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1995, 1(1): 73- 78

[8] 于书霞, 王宁, 朱颜明, 等 基于地理信息系统的土壤侵蚀研究[J]. 水土保持通报, 2001, 3(21): 20- 23

(下转第 267 页)

(上接第 239 页)

3 结 论

通过对南水北调西线一期工程区泥石流分布特征的初步研究, 得出如下结论:

独特的地质背景条件、陡峻的地形地貌、较强烈的新构造差异性抬升运动和地震活动以及特定的水文气候植被土壤条件, 孕育了泥石流灾害的发生, 造就了工程区泥石流灾害的特殊性。杜柯河流域泥石流具有数量多, 活动性强, 规模大、危害重的特点; 麻尔曲、克柯河和若果郎流域海拔高度低, 流域相对高差小, 泥石流具有数量少、规模小、危害轻的特点; 达曲、泥曲和色曲流域为晚更新活动断裂和全新活动断裂分布, 位于地震活动强烈地带, 泥石流数量较多, 部分泥石流危害严重。

泥石流沟床坡度多在 10~ 30°之间; 主沟平均沟床比降主要为 0.1~ 0.5; 流域面积集中于 1~ 5 km^2 ; 主沟长度以 1~ 3 km 居多; 沟口高程均在海拔 3 000~ 4 000 m 之间并集中于海拔 3 400~ 3 800 m 范围; 86.4% 的泥石流沟相对高差

参考文献:

[1] 伍法权 南水北调西线一期工程区活动断裂及其对工程的影响[J]. 岩土论坛, 2002, 5(9): 12- 13

[2] 黄志全, 漆家福, 伍法权, 等 南水北调西线第一期工程的主要地质问题[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(3): 1- 7

[3] 王学潮, 张辉, 陈书涛, 等 南水北调西线第一期工程地质条件分析[J]. 人民黄河, 2001, 23(10): 25- 26

[4] 李金都, 陈书涛 南水北调西线调水区地质条件与关键工程地质问题分析[J]. 人民黄河, 1999, 21(2): 22- 24

[5] 高治定, 王玉峰, 张志红, 等 南水北调西线工程调水区水文气象特性[J]. 人民黄河, 2001, 23(10): 9- 10

[6] 杨胜天, 刘昌明, 杨志峰, 等 南水北调西线调水工程区的自然生态环境评价[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 11- 15

[7] 吴奇, 杨国华 南水北调西线工程调水区冻土特征[J]. 土工基础, 2002, 16(3): 1- 3

[8] 李金都, 陈书涛, 张辉, 等 南水北调西线第一期工程引水枢纽建坝工程地质条件评价[J]. 人民黄河, 2001, 23(10): 27- 28

的数据一般比较困难。根据当地实测的大量参数以及地理信息系统技术, 应用通用土壤流失方程, 是确定土壤侵蚀量行之有效的办法。但由于该方程是经验性的, 具有一定的地域性和局限性, 因此为了提高应用效果, 除降雨因子外, 还应开展其他有关因子的深入研究。

(2) 通过计算得出, 桥子沟流域的土壤侵蚀较为严重, 其中中度以上的土壤侵蚀量占到了侵蚀总量的 45.8%。而降雨集中, 坡度较大, 地貌类型复杂是造成土壤侵蚀的主要原因。

(3) 植被的覆盖和水土保持措施在预防小流域土壤侵蚀过程中起到了一定的减蚀作用, 尤其梯田的拦蓄效益非常显著。

(4) 对于我国西部地区, 土壤侵蚀一直是困扰我们进行生态环境建设的一个重要问题, 应该引起重视并致力解决。

小于 1 000 m。在工程区, 泥石流流域面积 < 5 km^2 , 主沟长度 < 3 km 和主沟平均沟床比降 < 0.5 的沟谷, 较利于泥石流的发生。

泥石流沟分布受地形地貌的控制, 受地质构造和地震的制约, 受地层岩性的影响, 表现出区域分异的特征。泥石流分布的线密度差异较大, 7 个流域中就坝址下游河段线密度比较, 以若果郎渡槽下游河段线密度最大; 就坝址上游库区河段线密度比较, 洛若坝址库区河段线密度最大; 整个工程区以若果郎流域线密度最大。同时, 泥石流分布因受谷坡向水热条件的差异, 导致自然地理要素的差异, 显现出一定的坡向差异, 具体表现为 7 个流域中位于左岸(朝向东南)的泥石流沟数量明显多于右岸(朝向西北), 杜柯河和达曲流域更加突出。

致谢: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所游勇研究员和柳金峰硕士在野外考察中给予了大力支持, 在此表示致谢。

的井位年下降速率不同。第四热储层中的井位下降速率最大, 可达 46.53 m/a , 第三热储层一般在 $16.64 \sim 27.14 \text{ m/a}$, 第二热储层一般在 $3.74 \sim 13.58 \text{ m/a}$, 即越往深处取水的井位下降速率越快。

2 地热水开采与地面沉降、地裂缝和地震活动的关系分析

一般资料认为, 单井开采地热水, 不会对地面沉降、地裂缝产生直接影响; 但有的学者认为, 从任何热储层中进行长期开采几乎都可能导致可以检知的地面沉降和地面变形^[3]。西安地区各开采单位虽然多数以单井形式开采地热水, 但在整个城郊范围, 尤其是南郊, 已形成一定的开采井网密度, 且大多数处在同一开采层段, 井间具有一定的连通性。长期过量开采, 很可能会导致深部岩层压力下降, 原先饱和状态下对上部或上覆岩层的顶托作用(力)减弱, 使地层压缩、致密而造成或加剧地面沉降。到2000年底, 多年的地热开采, 已使西安地区形成以四医大、测绘学院和西光厂为中心的水位降落漏斗, 最大水位下降幅度达 94.56 m ; 而这些地区也是西安市地面沉降幅度大、地裂缝活动显著的地区^[2]。新西兰的Wairakei热田, 我国的上海、天津等地就曾出现由于大量开采地下水, 引起地面沉降和地裂缝活动, 造成环境破坏^[4]。

我们利用陕西省地震台网记录的地震资料, 取西安及其邻近地区($33.8^\circ \sim 34.7^\circ \text{N}$, $108.5^\circ \sim 109.5^\circ \text{E}$)研究了1976年以来该区域的地震活动性。图2为研究区的地震频次图。由图可见, 1990年之后, 每年的地震次数比1990年之前明显增多, 1990年之后的地震年平均频次大约是1990年之前的2倍, 而全省(或渭河盆地)的地震活动性在上述两个时段并没有明显的变化, 但西安地下热水的开采恰好开始于1990年, 表现出地震活动与地下热水开采的一致性, 说明西安地

区的地热水开采引起了西安附近地区地震活动性的增强。

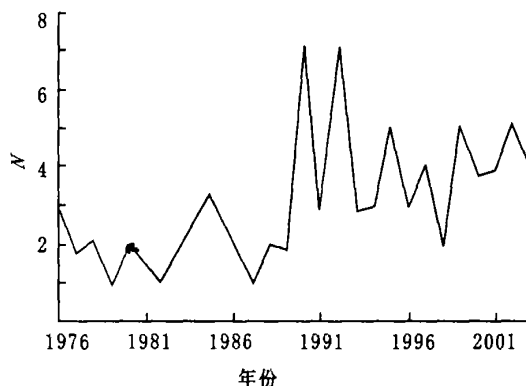


图2 研究区地震频次图

根据构造物理实验研究, 在地下热水的作用下, 沿断裂面的岩石产生泥化、水化和溶蚀作用, 将使岩石的抗压强度和断层摩擦力显著降低; 深部流体的孔隙压力较大, 还可使断面上的有效正压力降低。地下应力将向无流体活动的周围地区集中^[5,6], 因而地震的空间分布将由地下热水开采区沿断裂向无流体活动的地区转移。西安城郊在1976~1989年间发生过草滩3.5级等10余次地震, 但在1990年后再无地震发生, 而周围临潼和周至、户县等地的地震活动则明显增强, 与上述理论相符合。

3 讨论

通过上述分析可知, 西安市区地面沉降和地裂缝活动与10余年来西安市地下热水开采有一定的联系; 西安地区地下热水的开采与西安及邻区的地震活动明显相关, 造成西安及邻区的地震活动性显著增强, 在空间分布上表现为地震由西安城郊向邻近地区的转移。

参考文献:

- [1] 惠决河 西安市的水资源问题[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1998, 28(4): 335- 338
- [2] 吴富春, 宋立胜, 王锋, 等 西安市地热水开采的现状分析[J]. 水文地质工程地质, 2002, (1): 72- 74
- [3] Rybach L, Muffler L J P. 地热系统——原理和典型地热系统分析[M]. 北京大学地质系地热研究室译 北京: 地质出版社, 1986 156- 157.
- [4] 申建梅, 陈宗宇, 张古彬 地热开发利用过程中的环境效应及环境保护[J]. 地球学报, 1998, 19(4): 402- 408
- [5] 宋贯一, 易立新, 宋晓冰 地下热水对断裂活动与地震活动的影响研究[J]. 地震学报, 2000, 22(6): 632- 636
- [6] 施行觉, Wang C Y. 水的扩散与断层的黏滑[J]. 中国地震, 1986, 2(3): 14- 21.

(上接第265页)

- [9] 李振新 岷江上游三种典型生态系统土壤保持的生态学机制研究[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2004
- [10] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等 应用USLE模型与地理信息系统DRISI预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 2(14): 19- 24
- [11] 李建牢, 刘世德 罗玉沟流域坡面土壤侵蚀量的测算[A]. 黄土丘陵沟壑第三副区水土流失原型观测及规律研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2004 28- 31.
- [12] 杨子生 滇东北山区坡耕地土壤可蚀性因子[J]. 山地学报, 1999, 17(增刊): 10- 15
- [13] 赵善伦, 尹民, 张伟 GIS支持下的山东省土壤侵蚀空间特征分析[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 694- 699
- [14] 谢影, 张金池 黄河、长江流域水土流失现状及森林植被保护对策[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2002, 26(6): 88- 92
- [15] 陈松林 基于GIS的土壤侵蚀与土地利用关系研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16(1): 106- 109
- [16] 美国土壤保持协会 土壤侵蚀预报与控制[M]. 北京: 农业出版社, 1981 15- 42
- [17] M J 柯克比, RPC 摩根 土壤侵蚀[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987 28- 55