

文章编号: 1007-6301 (2003) 01-0071-08

基于地块汇流网络的小流域水沙运移模拟方法研究

刘高焕, 蔡强国, 朱会义, 唐政红

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 全流域逐地块水土流失计算, 是目前水土保持定量评价的重要手段, 其实现过程既需要有考虑地貌因子和上下游关系的土壤侵蚀模型, 也需要建立全流域地块汇流网络, 并与侵蚀模型有机连接。本文针对黄土高原特殊的地理条件和水土流失规律, 对传统的基于栅格的小流域汇流技术进行了改进, 考虑地块间上下游汇流关系, 建立了基于地块的水沙汇流网络模型, 模拟水沙在流域复杂下垫面的汇流过程, 提取出流域各地块间的水沙汇流网络, 并计算出 3 个重要参数: 流域地块间水沙汇流的顺序、流域地块间水沙汇流数目的空间分配、水沙流经各地块的坡长。将土壤侵蚀模型按地貌部位与特征分为坡面模型、沟坡模型和沟道输移模型, 与地块汇流网络有机集成, 实现了水沙运移的全流域按地块沿程计算。

关 键 词: 土壤侵蚀; 地块; 水沙汇流网络

中图分类号: P931.1; N945.1

1 引言

地理信息系统 (GIS) 与土壤侵蚀模型的结合, 是当前土壤侵蚀模拟研究的一个发展趋势。充分利用土壤侵蚀模型对水土流失的计算能力和 GIS 在空间分析、过程模拟和三维动态表达的强大功能, 集成为基于过程的水土流失空间模拟技术体系。近年来, 侵蚀模型的研究重点已转向能反映侵蚀产沙空间过程的分布式模型。Nearing^[1], Rickson^[2]等建成的侵蚀模型中, 水沙汇流过程均作为重要内容进行考虑, 水沙输移过程以及侵蚀产沙的空间分布, 已经成为流域侵蚀产沙模拟研究的热点。

黄土高原是我国土壤侵蚀最为剧烈的地区之一。针对黄土高原的特点, 研究者开展了大量的侵蚀产沙研究, 建立了许多适合于该区域的侵蚀产沙模型, 包括经验模型和机理模型。但这些模型中绝大多数是“灰箱”模型, 即没有考虑水沙汇流的空间过程, 而是采用累加的方法计算侵蚀量。当前主要的 GIS 软件对于流路的算法都是基于栅格的, 而栅格的划分是人为设定的, 它并不能完整地表达一个坡面、一个地块或一个地理景观单元。对于

收稿日期: 2002-10; 修订日期: 2002-11

基金项目: 中科院地理科学与资源研究所知识创新工程项目 (XIOG-D00-04); 国家 973 项目 (G1999043508)

作者简介: (1959-), 男, 研究员。主要从事地理信息系统集成与示范研究。E-mail: liugh@lreis.ac.cn

黄土高原，流域下垫面切割严重，地貌条件复杂，水沙汇流过程的模拟变得十分复杂，如果采取基于栅格的算法，则需要对流域下垫面的信息进行概化处理，从而导致大量反映该区域地貌、地形特征参数难以表达。目前对数字高程模型（DEM）进行滤波和填洼处理，已实现从上到下汇流计算，会随机产生大量平地并导致汇流方向发生改变，难以获取满意的水沙汇流网络。

栅格法汇流计算，主要是将流域的地貌形态标识于流域 DEM 的各栅格单元中，并根据形态分析的时空尺度大小，在 3×3 窗口范围内进行分类和提取。这类方法通常把汇流方向以 45° 的间隔分为 N、NE、E、SE、S、SW、W、NW 八个方向，通过本栅格点与周围 8 个方向的相邻栅格点比较，确定该点的水流方向，产生整个流域的汇流网络^[3]。在此算法中常用的消除洼地方法有滤波^[4]和填洼^[5]。滤波法可以消除孤立的、较浅的洼地，而保留较大的洼地；填洼法可以消除所有的洼地，但会产生大片平坦地形，这两种方法都有可能改变原来的地形。本研究对传统的地貌参数提取方法即基于栅格的算法进行改进，针对黄土高原流域下垫面的复杂地貌条件，以地块为单元对水沙汇流过程进行模拟，提出了基于地块间水沙汇流网络模型算法。

2 地块单元与地块汇流网络

2.1 地块单元的获取

地块的划分采用小流域地形分带图、土地利用、坡度分级、坡向分类、土壤类型等几个图层，经过空间叠加、分类归组、碎小地块归并、地块编码、属性赋值等，形成流域地块单元图层。这样形成的地块不仅考虑了流域土地利用现状，又体现了坡度、坡向、土壤、植被对侵蚀特性的影响。表 1 所示为山西省岚县曲井小流域的地块表，既有自然属性，也有社会经济属性，为按地块单元的流域侵蚀计算创造了条件。

表 1 山西岚县曲井流域地块表
Tab. 1 Land-unit attribute table of Qujing catchment

地块编号	面积 (m ²)	平均高程 (m)	坡度 (°)	坡向 (方位角)	坡长 (m)	土壤类型	地貌部位	土地利用	耕作措施	植被盖度 (%)
1	300	1170.00	7.84	239.67	17	11	2	11		
2	4500	1165.67	11.28	183.89	73	11	2	11		
3	1400	1174.57	2.74	235.14	35	11	1	11	1	
4	300	1172.00	14.14	234.33	21	12	2	21	2	50
...	
260	2110	1160.23	3.45	165.25	46	11	3	32		70

表中，坡长：顺坡方向的长度；土壤类型：11 为黄土，12 为红土；地貌部位：1 代表坡顶，2 代表沟坡，3 代表沟底；土地利用：11 代表耕地，21 代表荒草地，32 代表林草地；耕作措施：1 代表梯田，2 代表等高耕作。

在流域内，地块单元一方面具有与实际土地利用单元的对应关系，但又不完全等同于土地利用单元，因为即使在同一土地利用单元内，水流的侵蚀能力还可能因为其所处的空间位置、坡度、坡向因素的改变而发生变化。同样，坡度、坡向等自然特征相近的地方也

不一定有相同的土地利用方式。因而，地块单元的划分是在综合考虑了多种因素的基础上进行的。同一地块内有统一的坡度和坡向等地形因素，以及相同的土壤类型和土地利用类型。

2.2 地块单元的参数组织

2.3 格网汇流体系

小流域作为只有一个出口的集水单元，侵蚀产沙过程也是径流在小流域全坡面的汇集过程。小流域的汇流过程不仅受到降雨特征的影响，还受小流域地表状况的影响，同时，上坡的来水、来沙与下坡侵蚀产沙有密切关系。

径流在坡面的运移，可以通过能量守恒原理来分析基于栅格的径流关系。假定是平整的坡面，坡面径流流过某一个均质的栅格时，暂时不考虑自然状况下的蒸发散率、植物截流率和填洼率对坡面产流的影响，而是只考虑降雨强度和入渗率对径流的作用，则对于坡面某一栅格的产流过程可以用下列方程来表述：

$$R(t) = \int_0^t I dt - \int_0^t F dt + \int_0^t q dt$$
$$\frac{dQ(t)}{d(t)} = I - F + Q$$

其中： R 为栅格的坡面径流量； I 为降雨强度； F 为土壤入渗率； q 为上一栅格的来水量， t 为降雨历时。

公式表明，当研究区域的下垫面条件一致时，某一栅格的坡面径流主要取决于降雨特性、土壤入渗率和上坡来水量。产生坡面径流的一个基本条件是降雨强度大于土壤入渗率；当降雨特征满足产流所需的基本条件后，上坡来水来沙则成为影响坡面径流量的重要因素。

如前所述，利用 DEM 提取汇流网络，常用八邻域判断法，即确定每个栅格单元中水的流向时，用最大坡降方向来判断^[16, 17]。把坡向以 45 度的间隔分为八个方向（如表 2），并用八个邻元的位置来代表，通过计算每一个邻元的坡降，选出其中最大坡降的邻元，作为当前栅格点的水流方向，产生整个流域的汇流网络^[17~20]。

表 2 中心像元的八个邻元方向

Tab.2 Directions of 8 adjacent pixels

NW	N	NE
W	X	E
SW	S	SE

通过对 DEM 高程矩阵的分析和计算，不仅可以产生水流流路和径流方向，还可通过汇流方向和汇流状况来计算汇流数，继而根据径流汇集的方向和汇流数，依据 DEM 高程自上而下计算到流域的出口，构成全流域的汇流网络。

由于 DEM 是一个在流域内等距离均匀划分的矩阵单元，因而不能完全与土壤侵蚀模型所采用的地块相匹配，而且，格网数据也不能真实地反映一个坡面的自然特征，不能考虑上坡来水来沙的影响，因此计算地块单元的汇流网络，建立地块汇流关系，成为小流域水沙运移模拟的必须条件。

2.4 地块汇流网络

流域汇流体系，是降水径流在流域内从坡顶到沟口的汇流关系。空间上相邻的地块，由于高程的不同，在降水形成地表径流的过程中，会产生水和泥沙等物质从一个地块到另一个地块的搬移，整个小流域内的所有地块之间的这种物质的运移，构成地块单元间物质运

移关系。地块汇流网络模型，就是计算地块间水沙汇流关系，包括每一地块的上游来水地块及来水比例，每一地块的输出地块及输出比例，每一地块主流方向的坡长。这些数据是土壤侵蚀模型的水文参数，可以实现整个流域以地块为单元的侵蚀模数计算，并可进一步计算基于地块的土地产出。

3 用于小流域侵蚀产沙模拟的土壤侵蚀模型

针对黄土高原的地貌特征与土壤侵蚀规律，将小流域划分为坡面、沟坡和沟道 3 个部分（图 1）。按照地貌部位和地表状况，通过大量的天然与人工降雨试验，分别建立了土壤侵蚀坡面模型、沟坡模型和沟道输移模型，实现按地貌部位和地表覆被的土壤侵蚀模拟。

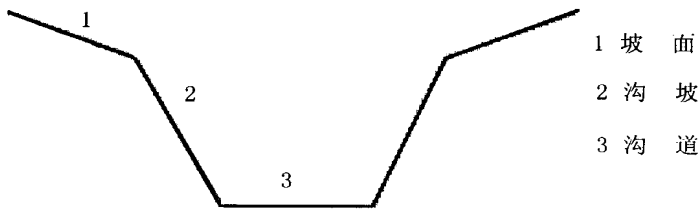


图 1 小流域地貌部位分区

Fig. 1 Geomorphology position in small basin

3.1 坡面侵蚀模型

坡面模型主要根据峁顶部位和坡面的土壤侵蚀过程而建立。峁顶部位是指处于流域顶部，坡度一般为 $0 \sim 5^\circ$ ，地形较平整，土质为黄土，土地利用方式为缓坡耕种。利用 1963 ~ 1968 年羊道沟综合径流场的观测资料，建立了峁顶地块径流深 (H_1 , mm)、侵蚀产沙模数 (M_1 , t/km^2) 与降雨动能 (E , $J \cdot m^2/mm$)、最大 30 分雨强 (I_{30} , mm)、前 9 天影响雨量 (Q , mm)、坡度 (S , $^\circ$)、坡长 (L , m) 的侵蚀产沙关系式；并以植被覆盖度修正系数 (η)、农业管理措施修正系数 (Γ) 加以对侵蚀产沙的修正，得到下列公式（其中 n 为样本数， r 为相关系数）：

$$H_1 = 0.0003129 (EI_{30})^{1.2192} Q^{0.2661} L^{0.2080} S^{0.6140} * \eta * \Gamma \quad (n = 21 \quad r = 0.618)$$

$$M_1 = 0.1574 (EI_{30})^{0.7727} Q^{0.2649} L^{0.3550} S^{0.2649} * \eta * \Gamma \quad (n = 21 \quad r = 0.792)$$

处于峁顶以下、沟缘线以上的地块，是有上坡来水的地块。羊道沟的梁坡上部，坡度在 $10 \sim 30^\circ$ 不等，个别地块大于 30° ，主要为坡耕地。采用由上一地块的侵蚀模数 (M_1 , t/km^2) 与本地块的径流 (H_2 , mm) 来计算本地块的侵蚀模数 (M_i , t/km^2)。由降雨动能 (E , $J \cdot m^2/mm$)、最大 30 分雨强 (I_{30} , mm)、前 9 天影响雨量 (Q , mm)、上一地块的径流 (H_{i-1} , mm)、本地块坡度 (S , $^\circ$)、坡长 (L , m) 来计算本地块径流 (H_2 , mm)；并以植被覆盖度修正系数 (η)、农业管理措施修正系数 (Γ) 加以侵蚀产沙的修正，计算公式为：

$$H_i = 0.00005024 (EI_{30})^{0.6067} Q^{0.0594} H_{i-1}^{0.5535} S^{1.333} L^{1.0723} * \eta * \Gamma \quad (n = 19 \quad r = 0.729)$$

$$M_i = 42.949 M_{i-1}^{0.5089} H_i^{0.6540} \quad (n = 19 \quad r = 0.985)$$

草地、林灌地、农作物修正系数：

草地，当覆盖度 $V \geq 5\%$ 时， $\eta = 1$

当覆盖度 $V > 5\%$ 时, $\eta = 0.929e^{-0.04035(v-5)}$, ($n = 8$, $r = 0.9375$)

林灌地, 当覆盖度 $V \leq 5\%$ 时, $\eta = 1.0$

当覆盖度 $V > 5\%$ 时, $\eta = e^{-0.0085(v-5)^{1.5}}$, ($n = 9$, $r = 0.965$)

根据山西省水土保持研究所对当地主要农作物季节性覆盖度的调查, 确定农作物的季节性覆盖度的侵蚀产沙系数修正值 (表 3)。

表 3 农作物季节性覆盖侵蚀产沙系数

Tab. 3 The soil erosion coefficient of crop seasonal cover

	春小麦	土 豆	糜 子	玉 米	莜 麦	荞 麦
4 月中旬	0.85	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
5 月中旬	0.75	0.95	0.90	0.85	0.90	1.00
6 月中旬	0.45	0.70	0.65	0.70	0.85	0.90
7 月中旬	0.20	0.45	0.55	0.45	0.60	0.55
8 月中旬	1.00	0.25	0.40	0.25	0.30	0.35
9 月中旬	1.00	0.10	0.30	0.10	0.90	0.90
10 月中旬	1.00	1.00	0.85	0.45	1.00	1.00

根据 1985 ~ 1987 年王家沟小流域的人工模拟降雨资料, 通过分析 25 顺坡耕种与不同耕作方式的比较, 得到不同耕种措施下的侵蚀产沙经验系数 (Γ) (表 4)。

表 4 耕作措施侵蚀产沙系数

Tab. 4 The soil erosion coefficient of tillage practices

耕作措施	侵蚀产沙系数	耕作措施	侵蚀产沙系数
等高耕作 ($< 5^\circ$)	0.3	草田带状间作 ($5 \sim 10^\circ$)	0.20
等高耕作 ($5 \sim 10^\circ$)	0.5	水平梯田 ($0 \sim 2^\circ$)	0.05
等高耕作 ($10 \sim 25^\circ$)	0.6	川坝地 ($< 5^\circ$)	0.10

3. 2 沟坡侵蚀模型

沟坡侵蚀产沙机理不同于坡面, 降雨击溅、片蚀侵蚀居于次要地位, 在坡面的水沙汇流作用下, 沟坡部位有冲沟、切沟发育, 径流水动力成为陡坡侵蚀产沙的主要外营力, 上坡来水来沙作为重要因子参与模型计算。分析表明黄土沟坡侵蚀产沙模数 (M_3 , t/km^2) 与坡面来沙 (M_i , t/km^2)、黄土沟坡径流深 (H_3 , mm) 有很好的相关性; 由降雨动能 (E , $J \cdot m^2/mm$)、最大 30 分雨强 (I_{30} , mm) 与前 9 天影响雨量 (Q , mm)、坡度 (S , $^\circ$)、坡长 (L , m)、坡面来水 (H_{i-1}) 计算黄土沟坡地块径流 (H_3 , mm); 并以植被覆盖度修正系数 (η)、农业管理措施修正系数 (Γ) 加以侵蚀产沙的修正:

$$H_3 = 0.0182(EI_{30})^{0.2389}H_{i-1}^{0.3362}L^{0.473}S^{0.235} \cdot \eta \cdot \Gamma \quad (n = 19 \quad r = 0.821)$$

$$M_3 = 65.012M_{i-1}^{0.3943}H_3^{0.6772} \quad (n = 19 \quad r = 0.975)$$

根据上述两个关系式以及黄土沟坡的上部来水来沙结果, 可以完成黄土沟坡地块的径流深与侵蚀模数计算, 自上而下计算到沟坡底部。

3. 3 沟道泥沙输移模型

目前主要采用泥沙输移比表示坡面和沟坡侵蚀到沟底的泥沙输移到沟口的能力。根据

1963 ~ 1968 年 40 次侵蚀性降雨后不同地貌部位的侵蚀产沙量观测值, 用前期雨量 (Q , mm)、降雨历时 (T , min)、平均雨强 (I , mm/min) 和无量纲雨型因子 (Ea/E : 其中 Ea 为大于 0.15mm/min 雨强的降雨动能, E 为每次降雨的动能之和) 表征泥沙输移比(S_8)^[10]:

$$S_8 = 0.738Q^{0.065}T^{-0.025}I^{0.660}(Ea/E)^{0.091}$$

通过地块汇流网络, 实现坡面子模型和沟坡子模型的结合, 并计算出每次降雨侵蚀下沟的泥沙量; 再根据泥沙输移比 (S_8), 可以计算出每次降雨的泥沙输移到沟口的泥沙量。

4 全流域土壤侵蚀与水沙运移模拟

进行全流域土壤侵蚀与水沙运移模拟, 需要 2 组数据, 一是从流域顶部到沟口的地块汇流关系, 二是描述流域内各类地理环境下水土流失的土壤侵蚀模型参数。通过将汇流关系与侵蚀模型的连接, 完成全流域从上到下的水土流失模拟。

4.1 模型参数获取与组织

(1) 地块间水沙汇流顺序。水沙汇流网络反映了水沙在全流域的汇流情况, 可以表示出水沙从坡顶部位, 依次汇流到沟底的全过程, 决定水沙在流域内地块间的汇流顺序, 通过数组形式可以表示出流域中任一地块的上坡来水与本地块水沙出流情况, 这是侵蚀产沙模型计算的重要参数, 它将决定模型计算的空间顺序, 计算的结果将能够反映水沙输移的全过程, 是对传统“灰箱”模型累加计算侵蚀量方法的改进。

(2) 地块间水沙汇流的空间分配。水沙汇流网络反映了流域水沙侵蚀能量的动态传输过程。通过计算并比较地块的平均高程, 计算地块间的坡降及本地块出流的比例, 得到地块间水沙汇流数目的分配百分比, 它是计算上坡来水影响的依据。此结果反映了水沙在地块间的空间分配关系, 一个地块可以有几个流入地块, 也可以流出到相邻的几个地块 (表 5)。通过与侵蚀产沙模型的结合, 则可以模拟出水沙在流域空间的侵蚀过程。

表 5 曲井小流域部分地块间水沙运移关系

Tab. 5 Relations of flow network among land-units

输出地块	接受输入 地块编码	输入到该 地块的比例
1	2	1. 00
2	7	0.46
2	12	0.46
2	20	0.08
...		
15	13	0.04
15	16	0.61
15	19	0.31
15	26	0.04
...		

(3) 水沙流经各地块的坡长。在计算地块间水沙汇流关系的同时, 确定地块中汇流数目最大的汇流方向, 作为地块的主流路方向, 再计算沿主流路方向流入口到流出口的线段距离, 作为地块的主流路坡长, 这一坡长反映的是模拟条件下水沙流经地块的长度, 反映坡长因子在侵蚀产沙中的作用。

(4) 气候因子。包括降雨动能、最大 30 分钟雨强、前 9 天降雨影响, 由降雨观测资料, 采用经验关系式计算获得。

(5) 自然因子。包括坡度、植被覆盖因子、耕作措施因子, 可以从数据库中获取。

4.2 模型连接与水沙运移沿程计算

从流域顶部向沟口的水沙运移计算, 是按照地块汇流网络模型计算的汇流顺序进行的。在模型计算过程中, 首先从地块汇流表中读取峁顶地块, 调用坡面侵蚀模型进行计算, 然后进行坡面、沟坡, 直至沟道, 分别调用沟坡模型和沟道输移模型, 计算侵蚀产沙与输移。

5 结论与讨论

晋西岚县与晋西离石虽同属于晋西黄土丘陵沟壑区, 但晋西汾河上游的阳湾小流域与晋西羊道沟小流域分属不同的二级侵蚀分区。晋西羊道沟小流域属于晋西黄土高原残塬极强度水蚀区, 本区年降雨量 500 ~ 600 mm, 地形破碎, 沟间地和沟谷地各占 50% 左右, 沟间地主要是农地, 面蚀强烈, 沟谷地面蚀、沟蚀及重力侵蚀均很严重, 年侵蚀模数在 10 000 $t/km^2 \cdot a$ 。晋西汾河上游的阳湾小流域属于晋中盆谷丘陵中度水蚀区, 其特点是以缓坡丘陵为主, 地表多为黄土覆盖, 坡耕地比较平缓, 年侵蚀模数较残塬区要低, 属中度侵蚀, 尤其以该区的岚县静乐盆地侵蚀较为剧烈。由于侵蚀分区不同, 使得汾河上游水库典型小流域与晋西的羊道沟小流域在地貌特点、侵蚀产沙类型都存在差异, 这些差异主要通过地理信息系统提供不同的下垫面参数来加以修正。利用本文中所建立的小流域侵蚀产沙模型, 依托 GIS 提供的流域数据库, 对阳湾小流域 1991 ~ 1996 年的侵蚀产沙进行计算, 得到了不同地类的年均侵蚀产沙模数表以及小流域年度的侵蚀产沙结果。

本研究在模型整体结构设计上, 深化了对流域空间数据的分析, 生成了能反映流域水沙运移的汇流网络图; 深化了小流域地表状况的描述, 弥补了传统上的侵蚀产沙经验关系式的不足; 实现了侵蚀产沙模型与 GIS 的深层次耦合, 使各子模型内部的接口更加紧密, 为模型更有效地利用外部数据提供了可能。采用地块为模型的计算单元, 更符合流域实际的土地利用状况, 同时避免了在引入 GIS 进行模拟研究时, 采用栅格划分方法对小流域自然地貌单元的破坏以及栅格法计算时所产生的累计偏差。

模型计算的最终结果及中间结果都表明, 水沙汇流在坡面产沙中占有重要地位, 在坡面的一次或多次汇流作用后, 侵蚀模数呈现数倍于前者的增长, 当上部变量输入增大后, 后者变化尤其明显, 水沙的汇流作用是产生这一结果的重要原因; 在陡坡地的侵蚀产沙中, 径流的水动力是影响陡坡侵蚀产沙的主要因素, 当上坡来水来沙增加时, 由于水沙的汇流作用, 水流的能量很大, 水流的携沙能力和冲刷力都有明显增大。这一研究结果, 正是将水沙运移过程纳入小流域侵蚀产沙模型的优越性所在, 使模型能很好地反映出小流域侵蚀产沙的空间分布, 也充分表明了流域坡面治理的重要意义。

参考文献

- [1] Nearing, M. A., G. R. Foster, L. j. Lae, and S. C. Finkner. A process-based soil erosion model for USDA, Water erosion prediction project technology, Trans. ASAE., 1989, 32: 1587 ~ 1593.
- [2] Rickson, R. J. Potential applications of the European Soil Erosion Model (EUROSEM) for evaluating soil conservation measures. In: Rickson, R. J. (ed.), Conserving soil resources: European perspectives. CAB International, Wallingford, 1994, 326 ~ 335.
- [3] Johnson, L. E., Maphyd: A digital map based hydrologic modelling system, Photogram. Eng. Remot. Scens, 1989, 55: 911 ~ 913.
- [4] O Callaghan, J. f., Mark D. M., The extraction of drainage networks from digital elevation data. Coputer Vision, Graphics and Image processing, 1984, (28): 323 ~ 344.
- [5] Jenson, S. K., Domingue, J. O., Extraction of topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988, 1593 ~ 1600 (54) .
- [6] Bend L E, Robinson V B. Intelligent Land Information System Final Report. Toronoto University, 1992.

- [7] 钱亚东, 阚国年, 陈钟明. 基于格点数字高程模型生成流域水沙运移路径图的研究. 泥沙研究, 1997, (3): 24 ~ 31.
- [8] Shreve Rl. Infinite topologically random channel network, Journal of Geology, 1967, 75: 178 ~ 186.
- [9] 江忠善, 王志强, 刘志等. 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 1 (2): 1 ~ 9.
- [10] 蔡强国, 王贵平, 陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟. 北京: 科学出版社, 1998, 188 ~ 199.
- [11] 刘高焕, 朱会义等. 小流域综合管理信息系统集成研究. 地理研究, 2002, 21 (2) .
- [12] 刘高焕, 刘俊卫, 朱会义. 基于 GIS 的小流域地块单元划分与汇流网络计算. 地理科学进展, 2002, 21 (2) .

Simulation of Runoff and Sediment Flow in a Catchment Based on Landunit Flow Networks

LIU Gao-huan, CAI Qiang-guo, ZHU Hui-yi, TANG Zheng-hong

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101)

Abstract: To calculate soil erosion based on landunit in a catchment is a new and important method for estimation of soil and water conservation measures. To achieve such a process based calculation in a catchment or a basin, soil erosion model with both landform factors and up and down stream relations in a catchment need to be developed. Meanwhile, the runoff flow networks among landunits, which indicate the relations of runoff flow paths between landunits, are necessary. The flow networks must be connected with soil erosion models to fit the model principles. In this paper, the traditional technology of grid based flow network was improved according to loess soil erosion roles. A landunit based runoff and sediment flow network model was developed for simulating the flow process in whole basin, from top of basin to its outlet. The flow network among landunit was calculated and three important parameters for soil erosion model were afforded: water and sediment flow order among landunits; the spatial distribution of the conflux amount among landunits; and the slope length of the runoff and sediment passing through each landunit. The soil erosion model was developed according to field observation of natural rainfall and artificial rainfalls with different slope, various land cover and different soil conditions. The model was divided into three models according to landform positions: flat slope model for areas where the slope of landunit is less than 5 degree; slope model for simulation in whole slope; and gully bottom model for calculation of sediments transfer to the outlet. These three models were connected with the landunit flow networks, and the parameters for each landunit such as soil type, slope, elevation, vegetation coverage, cultivating measures, landform position, slope length, etc., were automatically transferred from landunit file to the soil erosion model. And the model results can be put back into GIS system for spatial analysis and compares of multi-conservation measures.

Key words: Soil erosion; Landunit; Runoff and sediment flow networks