

# 基于遥感和 GIS 的密云水库上游土壤侵蚀定量估算

周为峰<sup>1,2</sup>, 吴炳方<sup>1</sup>

(1 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** 密云水库是当前北京唯一的一个地表饮用水源。其上游地区的水土流失一方面将造成土地退化和农业生态环境恶化, 另一方面将导致大量泥沙淤积水库, 会使水质受到污染, 缩短水库使用期限, 所以其上游的水土保持生态环境对于水源涵养和水库水环境具有重要意义。该文利用遥感数据, 获取水土流失的植被和土地利用信息, 收集降雨资料和土壤数据, 在通用土壤流失方程的框架基础上建立区域土壤侵蚀模型, 对密云水库上游 2001 年和 2002 年土壤侵蚀量进行定量估算, 认为利用遥感和降雨数据, 实现密云水库上游土壤侵蚀量的年度估算是可行的。

**关键词:** 土壤侵蚀; 定量估算; 遥感; 地理信息系统; 修正的通用土壤流失模型

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)10-0046-05

周为峰, 吴炳方. 基于遥感和 GIS 的密云水库上游土壤侵蚀定量估算[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 46- 50

Zhou Weifeng, Wu Bingfang. Soil erosion estimation of the upriver areas of Miyun Reservoir located on the Chaobai River using remote sensing and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 46- 50 (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

水土流失是复杂的人文和地理过程, 受到众多因素的影响。区域土壤侵蚀调查往往采用遥感影像目视解译的方法, 叠加影像, 直接勾绘图斑(侵蚀范围), 标识图斑相对应的属性(侵蚀等级), 其调查成果受人为主观因素的影响很大, 而且判读的结果是水土流失强度等级, 不是土壤侵蚀模数<sup>[1]</sup>; 或者采用流域某水文站控制范围的输沙模数推算或代替流域内平均侵蚀模数<sup>[2]</sup>。作为定量调查方法的核心, 土壤侵蚀定量模型经历了数十年的发展历程, 发展了经验统计模型和物理模型等两类模型, 其中以经验统计模型中的 USLE 系列模型(多年平均侵蚀量模型)应用最广<sup>[3]</sup>。

密云水库是北京市目前唯一的地表水饮用水源。上游地区的水土流失一方面将会造成土地退化和土地生产力下降, 引起农业生态环境恶化, 另一方面大量泥沙将会淤积水库, 水质受到严重污染, 缩短水库使用期限, 所以其上游的水土保持生态环境对于水源涵养和水库水环境具有重要意义。可以说, 密云水库上游的水土流失情况对于首都地区的生态安全具有重要影响。在密云水库上游土壤侵蚀定量研究的过程中, 利用遥感数据, 获取水土流失的植被和土地利用信息, 提取模型所需的植被和人为措施因子, 收集降雨资料和土壤数据, 计算降雨侵蚀力和土壤可蚀性因子, 在通用土壤流失方程的框架基础上建立区域土壤侵蚀模型, 经过诸因子算式及

监测模型运算, 逐个计算出各像元的土壤侵蚀模数, 最终估算出全区周年土壤侵蚀量。

## 1 数据资料

### 1.1 遥感影像

研究采用了密云水库上游监测区域内 2002 年 5~6 月和 7~9 月两期的 Landsat7 遥感数字图像。遥感影像被用于提取植被信息和修正已有的土地利用信息, 见图 1。图 1 中, 卫星影像上被曲线边界所围的区域分别是密云水库上游和北京地区。密云水库上游界于东经 115°25' 至 117°35', 北纬 40°20' 至 41°37' 之间, 属潮白河水系。

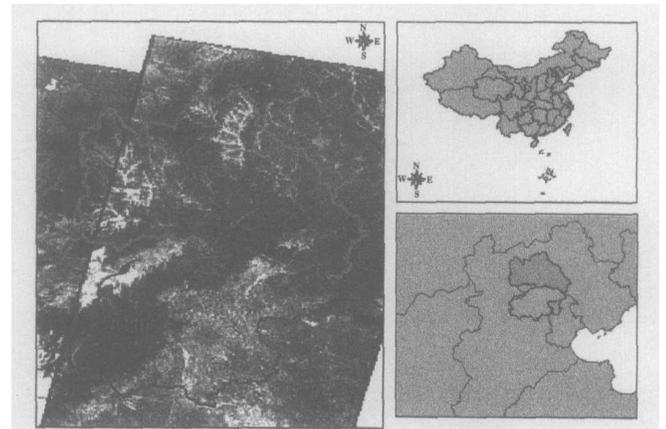


图 1 研究区位置及遥感影像示意图

Fig 1 Location of study area and the sketch map of Landsat ETM data

### 1.2 降雨资料

根据水文站点降雨过程的详细记录将其区分为一般站和代表站。收集一般站记录的该站 5 至 10 月的各月总雨量; 对于代表站, 则根据降雨自记纸的记录摘读代表站的各次降雨要素。区域内收集整理的一般站有 44 个, 包含水文站、雨量站及气象站, 整理得到各测站

收稿日期: 2005-01-18 修订日期: 2005-05-10

基金项目: 水利部, 官厅密云水库上游水土保持监测系统一期工程 (HW-STBC2002-01)

作者简介: 周为峰(1978-), 女, 博士生, 主要从事遥感与地理信息系统在流域农业生态环境监测等领域应用研究工作。

Email: zhou\_wf@hotmail.com

通讯作者: 吴炳方, 研究员, 北京 9718 信箱, 100101。

Email: wubf@irsa.ac.cn

2001 年、2002 年 5 月份至 10 月份的月降雨总量及汛期月份总雨量; 选用小坝子雨量观测站、云州水库水文站及 2 个径流场(东台沟、石匣)作为代表站, 分析各代表站 2001 年、2002 年逐日降水量过程线, 得到各代表站全年连续 30 min 最大雨强的代表值和汛期月份总雨量。

### 1.3 土壤信息

研究中使用了密云水库上游范围内全国第二次土壤普查分县土壤类型及其理化分析资料, 理化分析资料主要是土壤的有机质含量和颗粒的机械组成。

### 1.4 地形信息

在数字化的 1:5 万地形图基础上建立栅格数字高程模型 (DEM)。DEM 叠加水系, 并去除流域界外部分。

### 1.5 土地利用数据

研究中使用了区域内各县现有的土地利用现状图。土地利用资料由于更新周期等其他问题, 成图时间多为 20 世纪 90 年代初。密云水库上游包括密云、怀柔、延庆、沽源、赤城、崇礼、宣化、怀来、丰宁、兴隆、承德等 12 个县的大部分或部分地区, 土地面积约 15 378 km<sup>2</sup>, 耕地面积约 11.99 万 hm<sup>2</sup>。

## 2 模型建立

可用来进行土壤侵蚀量的评估模型有很多, 其中通用土壤流失方程 U S L E (U niversal Soil Loss Equation) 是美国研制的用于定量预报农地或草地坡面多年平均年土壤流失量的一个经验性土壤侵蚀预报模型, 在美国乃至世界范围内得到了推广和应用, 成为一个相对标准化的方法<sup>[3,4]</sup>, 在土地资源调查、水土保持规划等方面起到了重要的作用。中国从 20 世纪 80 年代以来, 开始引进通用土壤流失方程, 根据实地观测参数, 对通用土壤流失方程进行修定<sup>[5]</sup>, 其核心内容是六个因子的计算, 原理图如图 2<sup>[2]</sup>。

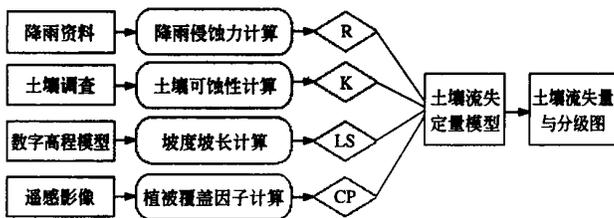


图 2 水土流失定量监测的流程

Fig. 2 Flow chart of soil erosion quantity monitored by U S L E

水土流失监测模型的数学表达式为:

$$A = f \cdot R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中  $R$  —— 降雨侵蚀因子;  $K$  —— 土壤可蚀性因子;  $L$  —— 坡长因子;  $S$  —— 坡度因子;  $C$  —— 作物经营管理因子;  $P$  —— 土壤侵蚀控制措施因子。通常将  $L$  因子和  $S$  因子、 $C$  因子和  $P$  因子放在一起考虑。 $A$  —— 土壤流失量, 是上述几个重要因子的积;  $f$  —— 单位换算系数: 若  $A$  取用英美单位,  $f = 1$ ; 若取常用的  $t/(km^2 \cdot a)$ ,  $f = 224.2$ <sup>[5]</sup>。

### 2.1 R 因子计算

降雨侵蚀力  $R$  因子是一项评价降雨引起的土壤分离和搬运的动力指标, 是降雨物理特征的函数<sup>[6]</sup>, 需要监测区代表站和一般站的降雨资料, 包括汛期降雨总量的连续 30 min 最大降雨强度的年代表值、每一次降雨雨量等。计算出每个站点的降雨侵蚀力值后, 根据降雨站点的空间分布, 使用地理信息系统的空间数据内插功能, 采用反距离权重插值函数实现  $R$  因子在流域内的空间插值。

$R$  因子算式如下<sup>[13]</sup>:

$$R_j = 0.1281 \cdot I_{30B} \cdot P_f - 0.1575 \cdot I_{30B} \quad (2)$$

式中  $P_f$  —— 汛期雨量, mm;  $I_{30B}$  —— 年  $I_{30}$  值的代表值,  $I_{30B}$  以  $cm/hr$  为单位<sup>[5]</sup>;  $R$  使用美制习用单位。

$$I_{30B} = (P_{30i} \times 2 \times P_i) / P_i \quad (3)$$

式中  $i$  —— 侵蚀性降雨的雨次;  $P_{30}$  —— 连续 30 min 降雨量;  $P_i$  —— 汛期月份的月降雨总量<sup>[14]</sup>。

### 2.2 K 值计算

$K$  值是一项评价土壤被降雨侵蚀力分离、冲蚀和搬运难易程度的指标<sup>[7]</sup>。依据土壤表层的砂粒(直径在 0.05~2.00 mm 之间)、粉砂粒(直径在 0.05~0.002 mm 之间)和粘粒(直径 < 0.002 mm)含量, 可以求出  $K$  值。用  $Soil_{粘}$ 、 $Soil_{粉}$ 、 $Soil_{砂}$  分别表示土壤中粘粒、粉砂粒和砂粒在土壤中的百分比含量, 用公式 (4) 来计算  $K$  值<sup>[8,9]</sup>。

$$K = \{ 2.1 \times 10^{-4} \times (12 - a) \times [Soil_{粉} \times (100 - Soil_{粘})]^{1.14} + 3.25 \times (b - 2) + 2.5 \times (c - 3) \} / 100 \quad (4)$$

式中  $a$  —— 土壤有机质含量;  $b$  —— 土壤结构等级;  $c$  —— 土壤渗透等级。根据土壤有机质含量和粘粒含量的对应等级来确定土壤结构等级和渗透等级, 见表 1、2。

表 1 土壤结构等级对应表

Table 1 Soil texture degree criteria depending on organic matter content

a	0.5	0.51~1.5	1.51~4.0	4.0
b	4	3	2	1

表 2 土壤渗透等级对应表

Table 2 Saturation degree criteria depending on clay content

Soil <sub>粘</sub>	10	10~15.9	16~21.6	21.7~27.4	27.5~39	>39.1
c	1	2	3	4	5	6

在全面收集第二次土壤普查成果的土壤图件、剖面及理化分析资料后, 先按  $K$  值的公式算法获得每个剖面点或每个土种的  $K$  值, 再根据土壤类型的图斑和剖面点的空间位置分别赋予  $K$  值, 最后应用地理信息系统的空间数据概化功能生成土壤可蚀性栅格数据。

### 2.3 SL 因子

$SL$  坡度坡长因子被用来衡量地形对于土壤侵蚀的影响。基于栅格的数字高程模型可以实现基于像元的坡

度与坡长的计算。

像元坡度算式<sup>[10]</sup>:

$$\theta = \max_{j=1-8} \tan^{-1} \left( \frac{h_i - h_j}{D} \right) \quad (5)$$

式中  $\theta$ ——待求像元  $i$  的坡度, ( $^\circ$ );  $h_i$ ——待求像元的高程;  $h_j$ ——其 8 个邻像元  $j$  的高程;  $D$ ——两邻像元中心距, 当  $j = 2, 4, 6, 8$  (即为北、西、南、东方向) 时,  $D = d$  (像元边长值), 而当  $j = 1, 3, 5, 7$  (即为东北、西北、西南、东南方向) 时,  $D = \sqrt{2}d$ ;  $\max$ ——最大值符;  $\tan^{-1}$ ——反正切符。

像元坡度因子算式<sup>[10]</sup>:

$$S = 65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065 \quad (6)$$

像元坡面坡长的算式:

$$l_i = \frac{D_i / \cos \theta}{1} - \frac{D_{i-1} / \cos \theta}{1} \quad (7)$$

式中  $l_i$ ——像元坡长;  $D_i$ ——沿径流方向每个像元坡长的水平投影距 (实际为两邻像元的中心距);  $i$ ——自山脊像元至该待求像元的个数。

在计算 DEM 计算出坡度的基础上, 采用基于像元的坡长因子算式<sup>[10]</sup>:

$$L_i = \left[ \left( \frac{D_i / \cos \theta}{1} \right)^{1+m} - \left( \frac{D_{i-1} / \cos \theta}{1} \right)^{1+m} \right] \cos \theta / (22.13^m \cdot D_i) \quad (8)$$

式中  $m$ ——指数, 其余与前述式含义相同,  $m$  值随坡度而变<sup>[10]</sup>: 当坡度  $\theta \leq 5.14^\circ$  时,  $m = 0.5$ ; 当  $5.14^\circ < \theta \leq 1.72^\circ$  时,  $m = 0.4$ ; 当  $1.72^\circ > \theta \leq 0.57^\circ$  时,  $m = 0.3$ ; 当  $\theta < 0.57^\circ$  时,  $m = 0.2$ 。

### 2.4 CP 因子计算

CP 分别表示植被影响因子和土壤侵蚀控制措施因子, 两者本身都是侵蚀动力的抑制因子, 起着保持水土的作用。两个因子之间具有很大的相关性。由于植被覆盖度和土地利用状况具有显著的时空分异特性, 因而利用遥感数据来估算植被覆盖度和进行土地利用类型调查是遥感应用的主要领域, 尤其是在对大面积区域进行土地利用状况调查和植被覆盖度估算时, 遥感技术具有不可替代的优势。

由于现有收集的土地利用资料时效性较差, 本研究利用密云水库流域所在区域的 TM 影像, 在影像上套合已有的土地利用图, 采用目视解译的方法对土地利用类型信息进行修正。植被覆盖度本身与土地利用方式有密切的关系, 针对水土保持的特点, 利用卫星影像, 通过定量遥感的方法以基于像元的方式对密云水库上游流域范围内的植被覆盖度进行估算<sup>[11]</sup>。最终植被覆盖度的计算结果和土地利用数据相结合, 根据植被覆盖率百分比的高低分级, 针对不同的土地利用特征, 依据不同作物类型及其覆盖类型、地物类型的实测和观察结果, 对每一类土地利用分类中的不同植被覆盖率进行不同的 CP 赋值。根据土地利用情况和植被覆盖度, 具体赋值的范围如下: 农区值域范围为 0.0001~0.7。荒山植被区值域范围为 0.0001~0.44; 水平梯田区值域范围

为 0.0001~0.25。

### 3 侵蚀量分级与统计

在上述因子的计算基础上, 计算出 2001 年和 2002 年密云水库上游土壤侵蚀模数, 并根据水利部颁发的土壤侵蚀强度分级标准<sup>[12]</sup>, 对计算结果进行分级统计, 统计结果见表 4, 土壤侵蚀强度分级图见图 3、4。

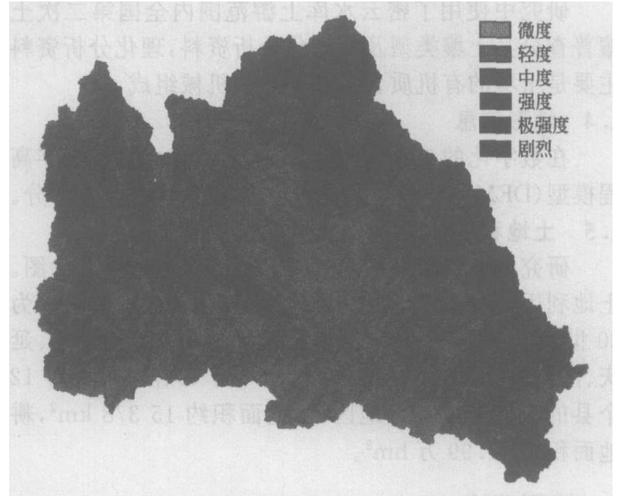


图 3 2001 年密云水库上游土壤侵蚀量分级图  
Fig. 3 Soil erosion intensity map of the upper river reaches of M iyun Reservoir in 2001

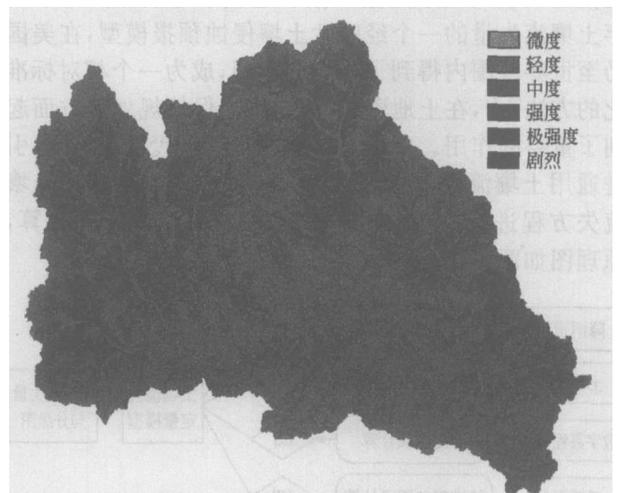


图 4 2002 年密云水库上游土壤侵蚀量分级图  
Fig. 4 Soil erosion intensity map of the upper river reaches of M iyun Reservoir in 2002

表 3 土壤侵蚀强度分级标准表

级别	平均侵蚀模数 [t/(km <sup>2</sup> ·a)]
微度	< 500
轻度	500~ 2500
中度	2500~ 5000
强度	5000~ 8000
极强度	8000~ 15000
剧烈	> 15000

表 4 2001 年密云水库上游水土流失情况模型计算结果统计表

Table 4 Soil losses upriver areas of Miyun Reservoir located on the Chaobai River in 2001

/km<sup>2</sup>

县名	总面积	微度侵蚀		轻度侵蚀		中度侵蚀		强度侵蚀		极强度侵蚀		剧烈侵蚀	
		面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%
怀柔县	1282.86	923.97	72.02	290.20	22.62	42.24	3.29	14.28	1.11	8.67	0.68	3.50	0.27
密云县	1482.16	847.62	57.19	394.62	26.62	127.75	8.62	54.46	3.67	37.93	2.56	19.78	1.33
延庆县	728.40	503.12	69.07	170.95	23.47	34.47	4.73	10.90	1.50	6.69	0.92	2.27	0.31
涪源县	389.54	236.78	60.78	137.23	35.23	12.17	3.13	2.44	0.63	0.84	0.21	0.08	0.02
怀来县	17.60	15.35	87.20	1.97	11.18	0.23	1.31	0.05	0.26	0.01	0.05	0.00	0.00
赤城县	5268.85	2746.00	52.12	1996.50	37.89	408.13	7.75	92.93	1.76	23.51	0.45	1.79	0.03
崇礼县	101.11	55.46	54.85	40.68	40.23	4.15	4.11	0.66	0.65	0.15	0.15	0.01	0.01
张家口市	26.81	15.79	58.87	8.88	33.12	1.71	6.38	0.35	1.29	0.09	0.33	0.00	0.01
丰宁县	4169.76	1829.18	43.87	1378.13	33.05	499.74	11.98	226.94	5.44	172.74	4.14	63.03	1.51
兴隆县	457.79	288.62	63.05	80.62	17.61	33.21	7.25	19.80	4.32	19.45	4.25	16.09	3.51
滦平县	1410.95	668.13	47.35	423.87	30.04	162.98	11.55	74.01	5.25	54.54	3.87	27.42	1.94
承德县	18.35	14.67	79.95	2.19	11.93	0.66	3.60	0.32	1.72	0.23	1.28	0.28	1.53
密云水库	15365.54	8152.67	53.06	4928.22	32.07	1328.01	8.64	497.34	3.24	325.01	2.12	134.29	0.87

表 5 2002 年密云水库上游水土流失情况模型计算结果统计表

Table 5 Soil losses upriver areas of Miyun Reservoir located on the Chaobai River in 2002

/km<sup>2</sup>

县名	总面积	微度侵蚀		轻度侵蚀		中度侵蚀		强度侵蚀		极强度侵蚀		剧烈侵蚀	
		面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%	面积	百分比 /%
怀柔县	1282.86	1066.29	83.12	189.89	14.80	18.38	1.43	5.26	0.41	2.40	0.19	0.63	0.05
密云县	1482.16	1202.21	81.11	244.16	16.47	26.23	1.77	6.13	0.41	2.66	0.18	0.78	0.05
延庆县	728.40	594.84	81.66	115.96	15.92	12.54	1.72	3.33	0.46	1.48	0.20	0.25	0.03
涪源县	389.54	354.86	91.10	33.73	8.66	0.87	0.22	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
怀来县	17.60	16.49	93.70	1.03	5.86	0.07	0.41	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
赤城县	5268.85	3935.11	74.69	1262.83	23.97	66.30	1.26	4.07	0.08	0.53	0.01	0.02	0.00
崇礼县	101.11	85.86	84.92	14.97	14.80	0.28	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
张家口市	26.81	20.70	77.22	5.75	21.46	0.33	1.24	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00
丰宁县	4169.76	2988.80	71.68	1013.99	24.32	136.79	3.28	24.05	0.58	5.58	0.13	0.55	0.01
兴隆县	457.79	367.46	80.27	68.39	14.94	13.90	3.04	4.63	1.01	2.58	0.56	0.84	0.18
滦平县	1410.95	1049.79	74.40	312.28	22.13	38.01	2.69	8.23	0.58	2.43	0.17	0.20	0.01
承德县	18.35	16.78	91.44	1.20	6.53	0.21	1.16	0.08	0.44	0.06	0.33	0.02	0.10
密云水库	15365.54	11709.36	76.21	3265.30	21.25	313.97	2.04	55.90	0.36	17.73	0.12	3.29	0.02

## 4 结果与讨论

由于降雨量和暴雨产生的次数与强度的差异, 2001 年降雨侵蚀力  $R$  值要明显大于 2002 年的  $R$  值, 2001 年降雨侵蚀力最大值达 224, 2002 年降雨侵蚀力最大值达 85。降雨侵蚀力在流域空间内的分布均是东南高于西北, 潮河水系区域大于白河水系区域。

在密云水库上游, 主要的土壤类型是褐土与棕壤。从计算出来的  $K$  值看, 棕壤 > 潮土 > 褐土。粗骨土、栗钙土、新积土土壤  $K$  值较小。

坡度坡长  $SL$  值的大小与地表起伏有直接关系。在密云水库上游  $SL$  较大值分布在潮河水系和白河水系之间的山地区域。

与坡度坡长因子不同, 由于人为扰动等因素, 植被覆盖与控制  $CP$  值较大值分布在潮河水系和白河水系内地势相对较低的区域。

从图 3、4 和统计表 4、5 可以看出, 从地域而言, 密

云水库上游侵蚀模数最大的区域在丰宁和赤城地区。黄土丘陵区是区域土壤侵蚀比较严重的地区, 主要分布在密云水库上游的赤城县。土石山地丘陵山区由于地表土层相对较厚, 人类活动频繁, 水土流失严重。密云水库上游白河和潮河上游均是土石山地丘陵。土石山地丘陵的广泛分布是丰宁县土壤侵蚀较为严重的原因。石质山地由于海拔较高, 人类活动干扰少, 植被覆盖度较好, 在密云水库上游主要分布在潮河和白河相间的广阔山地。

由于相邻两个年度的植被变化不显著, 所以使用 2002 年遥感影像估算植被与控制因子并用于 2001 年的土壤侵蚀量估算。采用 2001 年和 2002 年降雨资料分别计算两个年度的降雨侵蚀力因子。2001 年和 2002 年的土壤侵蚀估算过程中, 除  $R$  因子外, 其余因子均相同。两个年度计算结果的差异是由于 2002 年比 2001 年相对降雨稀少, 导致降雨侵蚀力下降, 从而 2002 年的土壤侵蚀强度要明显小于 2001 年。

## 5 结 语

本文采用美国通用土壤流失方程的基本框架,使用 2001 和 2002 年的站点降雨资料以及第二次全国土壤普查的土壤数据,计算降雨侵蚀力和土壤可蚀性因子,利用遥感数据,获取水土流失的植被和土地利用信息,提取模型所需的植被和人为措施因子,从而建立了区域土壤侵蚀模型,对密云水库上游的土壤侵蚀进行了定量估算。

致谢: 本研究过程中,受到中科院南京土壤研究所卜兆宏研究员指导;受到水利部海河水利委员会马志尊、郭书英、孟宪智和水利部天津水利水电勘测设计研究院彭飞宇等同志的大力支持,特此鸣谢。

### [参 考 文 献]

- [1] 颀耀文,陈怀录,徐克斌. 数字遥感影像判读法在土壤侵蚀调查中的应用[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2002, 38(2): 157- 162.
- [2] 王 飞,李 锐,杨勤科,等. 区域尺度土壤侵蚀研究方法[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(4): 74- 78.
- [3] 谢 云,林 燕,张 岩. 通用土壤流失方程的发展与应用[J]. 地理科学进展, 2003 年, 22(3): 279- 287.
- [4] J.M. van der Knijff, R. J. A. Jones, L. Montanarella,

2000. Soil erosion risk assessment in europe[R]. Report EUR 19044 EN, European Soil Bureau, European Commission
- [5] 卜兆宏,孙金庄,周伏建,等. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究[J]. 土壤学报, 1997, 34(3): 235- 245.
- [6] Hudson N W. Soil conservation[M]. 1971. 窦葆璋译. 北京: 科学出版社 1976: 29, 44.
- [7] [英] M. J. 柯克比, R. P. C. 摩根. 王礼先等译. 土壤侵蚀[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987: 40.
- [8] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation [J]. J Soil and Water Conservation, 1991, 46(1): 30- 33.
- [9] 姜小三,潘剑君,杨林章,等. 土壤可蚀性 K 值的计算和 K 值图的制作方法研究—南京市方便水库小流域为例[J]. 土壤, 2004, 36(2): 177- 180.
- [10] 卜兆宏,唐万龙,潘贤章. 土壤流失量遥感监测中 GIS 像元地形因子算法的研究[J]. 土壤学报, 1994, 31(3): 322- 329.
- [11] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 153- 159.
- [12] 中华人民共和国水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准 SL 190- 96[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 1- 7.
- [13] 卜兆宏. 水土流失定量监测方法说明书. 2002.
- [14] 官厅密云水库上游水土保持监测系统一期工程定量模型子系统技术报告[R]. 2003.

## Soil erosion estimation of the upriver areas of Miyun Reservoir located on the Chaobai River using remote sensing and GIS

Zhou W eifeng<sup>1,2</sup>, W u B ingfang<sup>1</sup>

(1. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 100101 Beijing, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 100039 Beijing, China)

**Abstract:** Miyun Reservoir on the Chaobaihe River is one of the main water suppliers for Beijing. Water and soil losses are the main reasons responsible for the reservoir sedimentation. The annual soil loss was estimated with a modified version of the Universal Soil Loss Equation (USLE). All the data necessary for model factors estimation were collected between 2001 and 2002 to form an analysis database. The factors in the model were computed and mapped using GIS and remote sensing. Based on the database, pixel-based computations were performed. This article analyzes the contribution of sediment yields on sub-units of the Chaobaihe river to Miyun Reservoir.

**Key words:** soil erosion; quantitative estimation; remote sensing; GIS; modified USLE