

# 黑河水库汇流区土壤侵蚀评判方法研究

马俊杰<sup>1</sup>, 牛建军<sup>2</sup>

(1. 西北大学 环境科学系, 陕西 西安 710069; 2. 陕西省城乡建设学院, 陕西 西安 710068)

**摘要:** 根据已有的土壤侵蚀评判模型, 对黑河水库汇流区进行了单元划分与侵蚀强度评判, 评判结果与实测及已有研究吻合较好, 得出了汇流区内土壤侵蚀强度的空间分布, 指出土壤侵蚀与土地利用密切相关, 退耕还林是减轻汇流区土壤侵蚀和延长水库寿命的根本途径。

**关键词:** 土壤侵蚀模数; 闭合检验; 对策

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2003)04-0024-04

**中图分类号:** S157.1

## A Study on Assessment of Soil Erosion in Area of Heihe River Basin

MA Jun-jie<sup>1</sup>, NIU Jian-jun<sup>2</sup>

(1. Department of Environment Science of Northwest University, Xi'an 710069, Shaanxi Province, China;

2. Urban and Rural Construction School of Shaanxi Province, Xi'an 710068, Shaanxi Province, China)

**Abstract:** On the basis of developed soil erosion model on the middle and east part of Guanzhong plain, the soil erosion intensity and their units are estimated in Heihe basin. The relative error between the exist results and field survey of hydrographic stations were in the allowed duration. The spacial distribution of soil erosion intensity were shown and the relationships between soil erosion intensity and land use types were discovered in the Heihe basin. Adjusting land use structure and reconstructing vegetation ecosystem would be basic way for reducing soil erosion and prolonging the lifetime of Heihe reservoir.

**Keywords:** soil erosion; error test; countermeasure

黑河是关中平原内渭河南岸较大的支流, 在秦岭山地区流长 91.20 km, 流域面积 1 481 km<sup>2</sup>, 多年平均径流量 6.67 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 输沙量 3.98 × 10<sup>5</sup> t, 是西安市最大的水源地。黑河水库是西安市的重点建设工程, 总库容 2.00 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 有效库容 1.77 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 年供水量 4.28 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 其中向市区供水 3.05 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 农田灌溉供水 1.23 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 年发电量 7.31 × 10<sup>7</sup> kW。黑河水库的建设, 无论对西安市还是关中平原社会经济发展, 均具有重要的意义。减少泥沙, 保护黑河水库的水质和寿命就成为黑河水库建成后的重要议题。而黑河水库汇流区土壤侵蚀定量分析, 对查明区内泥沙来源, 并采取有效措施减少泥沙具有重要的指导意义。

### 1 土壤侵蚀估算模型的建立

20 世纪 90 年代初, 为了适应黄土高原侵蚀类型制图与侵蚀强度评判的要求, 李钜章等提出了侵蚀强度专家评判模式。其基本思路为: 侵蚀强度是自然因素和人为因素共同作用的结果, 即侵蚀模数是地表物质、植被、降雨、地形和人类活动等因素共同作用的结

果, 并用下述倒数加权平均模型进行估算:

$$P = \frac{4.5}{\frac{1}{G} + \frac{1}{Y} + \frac{1.5}{R} + \frac{1}{L}} + A$$

式中:  $P$ ——侵蚀强度指数;  $G$ ——地表物质可蚀性评分;  $Y$ ——植被盖度评分;  $R$ ——汛期降雨量评分;  $L$ ——沟谷密度与相对高差评分;  $A$ ——人为影响因素。

该模型为侵蚀强度专家评判模型, 它是在大量流域闭合运算模拟中产生的。各因子的评分值是按照因子特性, 按类型和数量特征转化而来的。例如, 将黄土从东南到西北按照黏粒含量的多少给予分带赋值, 其它地表物质可蚀性是参考黄土给予分别赋值的, 赋值时考虑了黄土高原及其附近地区所有岩石类型。将各侵蚀因素通过尺度转换, 统一于可比条件之下(0~10分)进行运算, 最后查取侵蚀强度指数所对应的侵蚀强度级别<sup>[1]</sup>。

笔者在上述研究的基础上, 根据关中中东部研究所收集的资料, 在地表物质可蚀性分带分类赋值的前提下, 以其它因素的原始量值为背景, 建立了关中中东部侵蚀模数与侵蚀因子的关系, 建立了如下计算逐

步回归的关系式<sup>[2]</sup>:

$$\ln P = 10.45 + 0.811 \ln G + 1.231 \ln Y -$$

$3.433 \ln R_m + 2.514 \ln R_{30} + 1.314 \ln D + 0.135 \ln L$   
 式中:  $P$ ——侵蚀强度;  $G$ ——地表物质可蚀性评分;  $Y$ ——植被因子;  $R_m$ ——汛期降雨量;  $R_{30}$ ——最大 30 d 降雨量;  $D$ ——沟谷密度;  $L$ ——坡耕地占耕地比重。

计算结果用相关水文站资料进行流域闭合计算,如相对误差小于 20%,则认为计算合理。这里应用该式对黑河汇流区侵蚀模数估算。

## 2 侵蚀单元与因子的确定

### 2.1 侵蚀单元

侵蚀模数估算应以相对均一的区块作为估算单元。即应以地貌类型、植被类型及盖度、岩石类型及人为活动强度相对一致的区域作为单元。在汇流区侵蚀模数估算时,由于汇流区 8 个乡中,陈河、甘峪湾两个乡位于秦岭浅、中山地,其余 6 个乡均位于秦岭中、深山地区河谷附近,国有林场均位于各乡的分水岭附近,因此,以各乡集体土地和国营林场作为估算单元,即可满足上述要求。

### 2.2 估算因子

2.2.1 地表物质因子 遵照“黄土高原侵蚀类型制图与侵蚀强度专家评判”课题所制定的岩石可蚀性评分方案,汇流区以花岗岩为主,参照秦岭地质图,地表物质可蚀性评分变动于 1.80~2.20 之间。

2.2.2 植被因子 由于把植被因子与地表物质因子

共同作为抗蚀性因子,植被盖度越高,抗蚀性越强,因此,植被因子取全被覆(100%)与实际盖度之差的 1/10。即:

$$Y = (100 - Y_{实})/10$$

实际盖度是按照土地利用类型取值的,即有林地 100,灌木林地 80,草地 70,耕地中坡度小于 15°为 60,15°~25°为 50,大于 25°为 40。各乡(林场)植被实际盖度是以其各土地利用类型的面积<sup>[3]</sup>作为权重而求取的(表 1)。即:

$$Y_{实} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot Y_{i,实}}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

式中:  $S_i$ ——第  $i$  种地类的面积;  $Y_{i,实}$ ——第  $i$  种地类的实际盖度。

2.2.3 降雨因子 以 7—10 月为汛期,收集汇流区及附近各气象站、水文站的汛期降雨量和最大 30 d 降雨量,下述公式及参数计算各单元汛期降雨量和最大 30 d 降雨量。

$$P_z = P_h + a[2(H - z)z - (2H - h)h]$$

式中:  $H$ ——最大降水高度;  $h$ ——参考高度;  $z$ ——各单元中心高度;  $P_h$ ——参考高度汛期最大 30 日降水量;  $P_z$ ——各单元汛期或最大 30 日降水量;  $a$ ——地区和季节实验常数<sup>[3]</sup>。

2.2.4 沟谷密度 在 1/5 万地形图上选取各乡(林场)5 cm×10 cm 样方,量算沟谷长度算得。

2.2.5 坡耕地比重 按周至县土地资源调查资料,统计各乡(林场)>15°坡耕地占各乡(或各乡辖区内林场)耕地之百分比。上述因子取值列于表 2。

表 1 黑河水库汇流区植被盖度估算

估算单元	耕地/hm <sup>2</sup>			林地/hm <sup>2</sup>			牧草地/ 植被盖度/	
	<15°	15°~25°	>25°	有林地	灌木林地	其它	hm <sup>2</sup>	%
甘峪湾乡	0.0	6.7	296.0	2 429.2	702.3	4.1	0.0	81.5
甘峪宁乡永红林场	0.0	0.0	58.9	2 054.6	0.0	0.0	0.0	96.0
陈河乡	1.7	50.3	333.0	3 514.6	927.6	0.0	0.0	74.6
陈河乡永红林场	0.0	5.4	89.2	3 576.3	1 792.1	0.0	0.0	90.8
陈河乡厚畛子林场	1.0	34.8	93.5	4 393.4	0.0	0.0	0.0	94.4
陈河乡小王涧林场	0.0	0.0	18.9	218.1	1 128.4	0.0	0.0	82.3
双庙子乡	0.0	9.1	233.0	1 972.1	0.0	0.0	0.0	79.8
双庙子乡小王涧林场	0.9	9.1	233.0	14 568.0	0.0	0.0	11.2	97.5
小王涧乡	0.0	35.7	292.9	9 042.0	61.0	0.0	0.0	94.2
小王涧乡小王涧林场	0.0	0.0	16.3	1 913.5	19.6	0.0	0.0	97.8
安家岐乡	3.6	17.3	56.0	3 218.3	29.3	0.0	0.0	94.2
安家岐乡小王涧林场	15.9	110.1	239.5	10 035.5	96.0	1.5	1.3	95.5
沙梁子乡	11.8	37.0	18.6	472.1	0.0	1.7	0.0	91.7
沙梁子乡厚畛子林场	7.1	63.2	83.9	7 080.8	0.0	0.0	0.0	97.4
板房子乡	16.4	57.4	200.3	1 418.5	99.2	3.9	10.6	82.0
板房子乡厚畛子林场	0.0	0.0	28.0	22 685.1	328.8	48.3	2.7	97.8
厚畛子乡	198.5	71.3	35.7	3 303.4	0.0	32.6	22.0	91.0
厚畛子乡厚畛子林场	95.1	114.3	53.4	54 556.0	522.8	697.9	78.0	96.1

表 2 黑河水库汇流区土壤侵蚀强度估算

估算单元	地表物质	植被	最大 30 d 雨量/mm	汛期雨量/mm	沟谷密度/ ( $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ )	坡耕地 比重/%	侵蚀模数/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )	面积 权重
甘峪湾乡	2.2	1.9	238.5	472.1	4.0	100.0	1 035.5	2.39
甘峪湾乡永红林场	2.1	0.4	243.3	480.0	4.2	100.0	156.9	1.35
陈河乡	2.1	2.6	235.1	463.1	4.2	99.6	1 792.2	3.70
陈河乡永红林场	1.9	0.9	243.3	485.2	4.3	100.0	406.4	3.59
陈河乡厚畛子林场	1.8	0.6	247.0	507.5	4.4	99.2	208.9	2.94
陈河乡小王涧林场	1.9	1.8	237.8	485.3	4.3	100.0	854.4	0.86
双庙子乡	1.9	2.0	243.3	470.5	4.5	100.0	1 215.6	1.62
双庙子乡小王涧林场	1.8	0.3	247.9	485.8	4.6	99.6	88.1	9.38
小王涧乡	1.9	0.6	241.1	474.2	4.5	100.0	265.3	6.12
小王涧乡小王涧林场	1.8	0.2	263.2	493.7	4.6	100.0	74.0	1.23
安家岐乡	1.9	0.6	250.8	483.7	4.4	95.4	264.2	2.16
安家岐乡小王涧林场	1.8	0.5	267.3	502.6	4.5	95.7	214.4	6.73
沙梁子乡	1.8	0.8	253.8	485.4	4.4	82.5	358.6	0.35
沙梁子乡厚畛子林场	1.8	0.3	270.0	504.8	4.6	95.7	119.3	4.58
板房子乡	1.8	1.8	265.3	503.4	4.6	92.2	1 026.5	1.22
板房子乡厚畛子林场	1.8	0.2	275.0	538.9	4.7	100.0	62.8	13.24
厚畛子乡	1.8	0.9	275.8	538.8	4.8	35.1	280.7	2.40
厚畛子乡厚畛子林场	1.8	0.4	282.0	545.7	4.7	63.8	141.1	36.15

### 3 流域闭合计算

以上述所提公式对黑河水库汇流区 18 个单元分别进行计算,即得各乡(林场)侵蚀模数值(表 2)。从表 2 可以看出:各乡集体土地的土壤侵蚀模数普遍大于乡辖范围内林场土地的侵蚀模数,其中侵蚀模数最小的板房子乡境内的厚畛子林场和小王涧乡境内的小王涧林场,由于有林地比重大,植被盖度最大(97.8%),抗蚀性强,侵蚀模数只有  $62.8 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  和  $74.0 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,陈河乡和双庙子乡有林地比重小,植被盖度小,坡耕地比重高,侵蚀强度最大,分别为  $1 792.2 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  和  $1 215.6 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。表 2 还可反映出地表物质、沟谷密度差别很小,降雨(包括汛期降雨量和最大 30 d 降雨量)差别也不大,而差别最大的为植被因素(包括林地和坡耕地比重),即植被因素对黑河水库汇流区土壤侵蚀模数影响最大。

以各乡(林场)在全汇流区的面积比重加权,求得全汇流区侵蚀模数为  $271.7 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。直接与黑

河水文站悬移质输沙量及悬移质侵蚀模数(表 3)相比,所求侵蚀模数为悬移质输沙模数的 1.18 倍。进一步分析侵蚀物质和侵蚀类型,悬移质主要来源于坡面状侵蚀,而推移质主要来源于沟道及河道的沟蚀作用。根据周至县水土保持区划调查,秦岭山地土壤侵蚀模数  $537 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ <sup>[4]</sup>,其中推移质与悬移质之比为 1.1:1,河沟道推移质与坡面推移质之比 8.5:1.5。据此,以水文站输沙模数、水保调查侵蚀模数为准,将上述估算结果作为坡面侵蚀模数进行推算,这 3 种方法中不同物质及不同来源输沙模数与侵蚀模数如表 4 所示。从表 4 可以看出,本评判所计算的坡面侵蚀模数,与水文站输沙模数推算结果极为接近,相对误差仅为 1.4%,与水保调查推算的相对误差仅为 5.5%;本评判所计算的汇流区总侵蚀模数,与水文站输沙模数推算结果的相对误差仅为 3.5%,与水保调查结果的相对误差仅为 8.8%。即本评判计算结果与相关调查与监测结果相对误差小于 10%,完全满足评判检验要求,评判结论与实际情况吻合较好。

表 3 黑河水库汇流区悬移质输沙量及输沙模数

年份	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976
输沙量/ $(10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	1.77	10.40	11.70	17.80	17.70	5.54	5.58	27.20
输沙模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	11.80	69.10	79.00	120.10	120.00	37.40	37.10	185.00
年份	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	多年平均
输沙量/ $(10^4 \text{ t} \cdot \text{a}^{-1})$	1.51	20.80	0.75	144.0	151.00	10.20	85.10	34.07
输沙模数/ $(\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$	10.20	140.00	5.28	972.00	1 020.00	68.90	575.00	230.00

表 4 黑河水库汇流区侵蚀模数估算对比  $t/(km^2 \cdot a)$

推算方法	悬移质 输沙模数	推移质 输沙模数	坡面侵 蚀模数	沟道侵 蚀模数	总侵蚀 模数
按水文站	230	253	268	215	483
按水保调查	256	281	298	239	537
按本文方法	233	257	272	218.3	490

### 4. 结 论

(1) 本文所用模式适用于黑河水库汇流区土壤侵蚀评价,研究精度能够满足土壤侵蚀评判要求,其应用可为防治土壤侵蚀提供依据。

(2) 由于土壤侵蚀可分为面蚀和沟蚀,所用模式与面蚀吻合较好,如果考虑到沟蚀,则需结合研究地区实测资料进行校正。

(3) 黑河水库汇流区土壤侵蚀强度与土地利用因素有很大的相关性。因此,减少坡耕地比重,增加林

地面积,实施退耕还林,有助于减缓水库淤积,减轻水质污染,延长水库寿命。

#### [参 考 文 献]

[1] 卢金发,李矩章.黄土高原地区侵蚀类型及侵蚀强度遥感调查与制图研究[M].见:王乃斌,卢金发,等.黄土高原地区资源与环境遥感调查与制图研究.北京:地震出版社,1992.

[2] 马俊杰,袁勘省.关中中东部土壤侵蚀回归分析[J].水土保持学报,1994(4).

[3] 傅抱璞,虞净明,李兆元.太白山气候要素随海拔高度变化的考察报告[C].见:陕西省林业厅编.太白山自然保护区综合考察论文集.西安:陕西师范大学,1989.

[4] 周至县土地局.周至县土地资源[M].西安:西安地图出版社,1997.

[5] 马乃喜,尹怀庭,马俊杰,等著.西安生态环境建设研究[M].西安:西安地图出版社,1999

(上接第 23 页)

(3) 在工程上游 100 m 处修建 2 个长分别为 27 m 和 21 m 的挑水坝,以减小主流对路基的直接冲刷,同时在下游修建长 40 m 的挑水坝,对下游路基进行保护。该工程 1999 年 3 月竣工,经受了洪水考验,对路基起到了很好的保护作用。

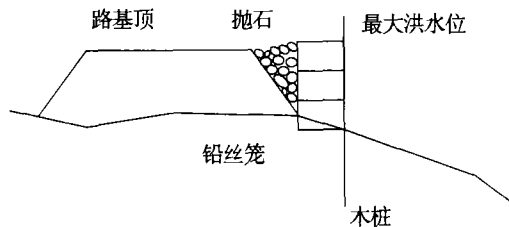


图 4 路基横断面布置图

### 3 防护工作建议

(1) 对不同情况水流的冲刷深度、各种防护结构

的抗冲能力展开深入研究,科学地设置防护工程,提高沿河路基抵抗正常洪水冲刷的能力。

(2) 要加快公路沿线滑坡、崩塌、泥石流的治理、疏导工作,减少由于这些灾害的发生而引起的间接路基水毁,并加强日常养护工作,及时处理突发性灾害,避免大规模水毁灾害的发生。

#### [参 考 文 献]

[1] 罗德富,毛济周,等.川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策[M].北京:科学出版社,1995.3—6.

[2] 朱伟,山村和也.雨水、洪水渗透时河堤的稳定性[J].岩土工程学报,1999,21(4):414—419.

[3] 汪阳春,梁光模,等.西藏公路水毁研究[M].成都:四川科学技术出版社,2001.43—51.

[4] 堤防工程设计规范[S].北京:中国计划出版社,1998.

[5] 路基设计手册[Z].北京:人民交通出版社,1997.