

对皇甫川流域土壤侵蚀规律的再认识

——小流域土壤侵蚀估算模型的应用

赵 焕 勋

(内蒙古水利科学研究院 呼和浩特 010020)

摘 要 皇甫川流域是我国土壤侵蚀最强烈的地区之一,也是国家开展重点治理的地区之一。通过小流域土壤侵蚀估算模型的应用,得出全流域以砒砂岩、黄土、风沙土为主3类小流域土壤侵蚀模数及允许侵蚀量;得出水土保持治理通过验收、正在治理、未治理3类流域的土壤侵蚀现状;指出在现有水保投资水平下控制土壤侵蚀的植被覆盖度临界值为60%;估算出近10年来水土保持治理的减沙效益为20%。

关键词 皇甫川流域 土壤侵蚀估算模型 允许侵蚀量 减沙效益

The Principles of Soil Erosion in Huangfuchuan Watershed Valley

——Application on Model of Soil Erosion of Small Watershed

Zhao Huanxun

(Academy of Water Conservancy Sciences of Inner Mongolia Huhehot 010020)

Abstract Huangfuchuan watershed valley is one of the most severe soil erosion region. As the major harnessing region, by means of the application of soil erosion model on small watershed, we obtained 3 types soil erosion modulus and permissible erosion amount of the small watershed, and they are stone sand, loess and sandy soil in the whole watershed, and got harnessing situation of soil erosion about three types, including examining, harnessing and unharnessed watersheds. It points out that the critical value of vegetation coverage of harnessing soil erosion under the present investing fund level is 60%, the benefit of reducing sediment on harnessing area in past ten years is estimated about 20%.

Key words Huangfuchuan watershed model of soil erosion tolerance erosion amount benefit of reducing sediment

皇甫川是黄河中游的一条多沙粗沙支流,该流域面积为3240km²,平均沟谷切割密度为6.7km/km²,沟道频度34条/km²,沟谷切割裂度为35.9%,年平均向黄河输送约5000万t泥沙。地形之破碎、侵蚀之强烈,国内外罕见。国家将该流域列为全国水土流失重点治理区以来,这里的综合治理与科研成果十分显著,但由于缺乏小流域泥沙侵蚀的定量研究,使皇甫川综合治理的规划、工程设计、效益评估中的土壤侵蚀模数均采用1.8万t/(km²·a)。事实上,由于本流域

地表组成物质、植被覆盖、沟谷切割密度和裂度等侵蚀因子的差异,其侵蚀模数可相差几倍,甚至几十倍。为了解决小流域土壤侵蚀的定量问题,建立了小流域土壤侵蚀强度估算模型^[1],应用该估算模型进一步阐述其土壤侵蚀规律。

1 估算模型简介

小流域土壤侵蚀是众多因子综合作用的结果,各因子作用的性质和程度均不相同,侵蚀模数 y 与各因子 x 的单相关结果则可判断其作用性质和程度。第一,土壤侵蚀模数 y 与大多数侵蚀影响因子 x 的最佳曲线类型为非线性曲线,其中 y 与地形因子(如坡度 x_3 、切割裂度 x_2)呈正相关;与砢砂岩面积比 x_6 呈正相关;与植被覆盖 x_{10} 呈负相关。第二,同类因子与 y 的相关曲线类型及显著性相近,不同类因子则差异较大。反映出同类因子变量不完全独立而不同类因子变量是完全独立的特点。第三, y 与切割密度 x_1 、切割裂度 x_2 、平均坡度 x_3 、砢砂岩面积比 x_6 、风沙土面积比 x_7 和植被覆盖度 x_{10} 相关十分显著。因此,这些因子就成为影响皇甫川流域土壤侵蚀的主导因子。第四,理论上讲也可以用单因子相关关系式来估算小流域侵蚀量,但由于其标准差很难以满足估算精度,更重要的是任何一个因子都不能单独反映小流域综合特征。因此,建立多因子估算模型就成为必然趋势。

由于影响侵蚀的各类主导因子并不完全独立,不宜将各因子同等对待而采用传统的逐步回归方法建模。同时,为了便于在不同条件下应用估算模型,我们采用不同因子的自由组合建立不同条件下的多种估算模型,进而优选最佳模型的方法来选定适应于该流域土壤侵蚀强度估算的模型。共建立了5个不同侵蚀因子的组合模型,从估算精度和因子选取的结果看,认为选择 $y = (9.9 + 0.743 x_1^{1.5} + 8.87 x_6^{0.5} + 1291 x_{10}^{-1.2})^2$ ($r = 0.887$) 作为皇甫川流域单元小流域土壤侵蚀最佳估算模型,既反映了小流域地形的破碎程度(x_1),也反映了地表组成物质(x_6)的差异和植被覆盖状况(x_{10}),特点是将地表组成物质——砢砂岩面积比(x_6)引入土壤侵蚀估算模型,就表现出皇甫川流域土壤侵蚀与地表物质的差异密切相关的独特规律。

对估算模型 $y = (9.9 + 0.743 x_1^{1.5} + 8.87 x_6^{0.5} + 1291 x_{10}^{-1.2})^2$ 的讨论及说明有几个方面。第一,该模型的估算误差是29%,将实测值与估算值($n = 69$)的正负误差作统计,其数值分别是9.32%和11.78%。负误差较大的指示意义即为估算值偏低。第二,从3因子的变化范围及对模型的贡献看,植被覆盖度贡献最大;砢砂岩面积比次之;沟谷密度最小。第三,当我们将皇甫川流域510条小流域的 x_1, x_6 取平均值,观察 x_{10} 的变化时发现, $x_{10} < 30\%$ 时,它的变化对侵蚀模数的变化十分敏感。 x_{10} 每变化5%, y 最小变化为1 000t/(km²·a),最大变化为2 000t/(km²·a);当 $30\% < x_{10} < 60\%$ 时, y 值变化较小,这一区间最大变化2 500t/(km²·a);当 $x_{10} > 60\%$ 时, y 值变化微小,甚至没有变化。因此,我们认为当植被覆盖度达到60%时,生物措施控制土壤侵蚀的作用就趋于稳定。第四,由于调查库坝的泥沙积量是多年平均值,因此,所建模型的估算结果也是小流域土壤侵蚀多年平均值。但在实际工作中更需要计算某一年的侵蚀量。由于侵蚀模数 y 与降雨侵蚀力 R 呈显著的线性相关,即 $y = 1135 + 25.34 R$ (相关系数 $r = 0.81 > r_{0.01} = 0.505$)。因此,就可以将多年平均侵蚀模数 y 和多年平均降雨侵蚀力 R 及某一年降雨侵蚀力 R_E 来计算某一年的侵蚀模数。其算式如下:

$$E = \frac{R_E}{R} y$$

式中: E —— 某一年侵蚀模数, t/(km²·a); R_E —— 该年的降雨侵蚀力, (MJ·mm)/(hm²·h·a); y —— 多年平均侵蚀模数, t/(km²·a); R —— 多年平均降雨侵蚀力, 为800(MJ·mm)/

($\text{hm}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{a}$)。

2 皇甫川流域土壤侵蚀现状、规律

皇甫川流域既有水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀和多营力复合侵蚀的现状,又有下垫面地表组成物质砒砂岩广泛出露、黄土大面积覆盖和风沙土片状分布的特点。认识全流域土壤侵蚀规律,不仅认识其整体侵蚀强烈性,更应掌握不同地表物质组成和不同治理程度下的内部差异。我们将黄河一级支流——皇甫川划分为 510 条单元小流域,划分的基本原则是入黄干流纳林川作为第一级,长川、圪秋沟、尔架麻沟、虎石沟等大支流作为第二级,那么单元小流域即为第三级,其平均流域面积为 6.6km^2 ,一般最大流域小于 30km^2 、最小流域大于 1km^2 。这样,就在 510 条单元小流域中出现了以砒砂岩、黄土、风沙土为主的 3 类小流域(全流域地表组成物质主要有 3 类)。而这 3 类小流域由于侵蚀因子的差异而使侵蚀量差异明显,侵蚀强烈的砒砂岩小流域侵蚀模数高达 $38\,471\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,侵蚀最弱的风沙土小流域侵蚀模数只有 $874\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,两者相差 40 余倍。显然,笼统地套用全流域 $18\,000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的侵蚀模数去搞小流域工程设计,估算不同类型小流域侵蚀量,估算综合治理减沙效益误差极大,应用模型对全流域 208 条砒砂岩为主的单元小流域进行估算,其结果为平均侵蚀模数 $15\,936\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,233 条黄土为主小流域为 $9\,942\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,69 条风沙土为主小流域为 $6\,710\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,全流域平均侵蚀模数为 $12\,069\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

从近 10 年的水土保持治理程度看,510 条单元小流域又分别属于通过验收、正在治理和未治理 3 类小流域。模型估算结果表现为通过验收小流域平均侵蚀模数为 $8\,208\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,正在治理小流域为 $11\,333\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,未治理小流域则为 $13\,351\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,一方面反映该流域土壤侵蚀的强烈、通过验收小流域仍有 $8\,208\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的侵蚀,另一方面则表现出治理后较强的减沙效益。

综合考虑皇甫川流域土壤侵蚀强烈的现实,参考水利部颁布的土壤水蚀 6 级标准,我们将该流域侵蚀土壤侵蚀强度划分为 10 个标准,并制作了 1:5 万皇甫川流域单元小流域土壤侵蚀强度图(限于图幅较大和篇幅限制,未列入文中)。这幅图集中反映了全流域土壤侵蚀的空间分布规律。各主要侵蚀因子与侵蚀级别的升降规律就直观地反映出这些因子对侵蚀的影响,如表 1。

表 1 主要侵蚀因子与侵蚀级别之规律

侵蚀级别	侵蚀模数 ($\text{t}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$)	切割密度 (km/km^2)	切割裂度 (%)	平均坡度 (°)	砒砂岩面积 比(%)	风沙土面积 比(%)	植物覆盖度 (%)
I	<200						
II	200~1000	0.44	13.92	3.29		22.61	32.99
III	1000~2500	4.18	26.40	10.48	5.09	42.65	29.34
IV	2500~5000	5.14	24.84	11.58	7.35	34.57	31.06
V	5000~8000	5.22	27.35	11.63	19.35	27.81	30.18
VI	8000~11000	6.41	34.61	14.40	31.84	18.79	30.05
VII	11000~15000	7.28	39.72	16.35	42.76	10.85	25.34
VIII	15000~20000	7.91	40.25	16.42	59.67	6.50	21.60
IX	20000~25000	8.47	45.54	17.61	64.29	5.36	15.42
X	>25000	8.35	61.62	22.32	62.96	3.15	10.60

3 允许侵蚀量研究

允许侵蚀量就是指在目前的自然环境下,受人为影响极小或不受人为影响的自然侵蚀量,这个侵蚀量是人类在现有投资水平下难以控制的,理论上称为允许侵蚀量,不同自然地带,不同下

垫面状况的允许侵蚀量是各不相同的。皇甫川 3 类小流域的允许侵蚀量差异较大。

3.1 砒砂岩为主小流域

该类型小流域为剧烈水蚀型,切割密度最大达 $12.6\text{km}/\text{km}^2$,切割裂度高达 74.24% ,沟道频度高达 $74\text{条}/\text{km}^2$,最高平均侵蚀模数达 $38\,471\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。全流域共有 24 条 X 级小流域,该类型就占 23 条,运用估算模型研究其允许侵蚀量,主要讨论模型中 3 因子的取值范围。对于植被盖度 x_{10} 来讲,前文已论述了该因子在大于 60% 后,侵蚀量变化趋于稳定;从该流域所处的半干旱典型草原的自然地带看,原始群落植被盖度达到 60% 时就与水热环境趋于平衡;现实植被又受到生产活动的严重破坏,全流域植被平均覆盖度只有 26% ,即使通过验收的小流域也只有 50% 。因此,有理由认为植被盖度达到 60% 时的侵蚀量为允许侵蚀量,植被盖度 60% 也就成为全流域覆盖度临界值。对于砒砂岩面积比 x_6 ,我们把现实砒砂岩出露面积 39.79% 作为 x_6 的下限值,将砒砂岩类型小流域 x_6 的平均值 59.48% 作为 x_6 的上限值。对于切割密度 x_1 来讲,由于皇甫川流域整体地貌处在上升阶段,属于戴维斯地貌演化理论的青年期,流域沟谷地貌的发育是必然的。因此,取该类小流域切割密度频率出现较高的 $5\text{km}/\text{km}^2$ 为 x_1 的下限值;取该类小流域切割密度的平均值 $7.44\text{km}/\text{km}^2$ 为上限值。运用估算模型计算的允许侵蚀量为 $7\,021\sim 10\,583\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,据此,我们认为以砒砂岩为主的小流域允许侵蚀量为 $7\,000\sim 10\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。

3.2 以黄土、风沙土为主小流域

同砒砂岩为主小流域相同的研究思路和方法,进一步得出以黄土为主小流域允许侵蚀量为 $2\,800\sim 5\,100\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。以风沙土为主小流域允许侵蚀量为 $1\,400\sim 2\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。

允许侵蚀量的研究是在皇甫川流域丘陵沟壑已经形成、砒砂岩广泛出露、强烈侵蚀已经发生的现实为依据,它不能代表过去,它只对未来的水保治理有指示意义。指出未来水保治理的真正减少数值是现实侵蚀量与允许侵蚀量的差值,目前全流域这个差值很大,未来的治理任务还很艰巨。

4 皇甫川流域水保效益评价

多年来皇甫川流域水保减沙效益一直是国家主管部门和地方水保部门十分关注的问题。同时,估算模型对效益评价如何?都是本文不能回避的问题,不妨列表将 70 年代、80 年代皇甫水文站与估算模型的数值作对比。

表 2 80 年代、70 年代侵蚀实测值与估算值的比较

年 份	实测年 输沙量 (亿 t)	各 年 R 值	模型预报 年侵蚀模数 ($\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$)	年 份	实测年 输沙量 (亿 t)	各 年 R 值	模型预报 年侵蚀模数 ($\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$)
1980	0.104	268.4	4049.15	1970	0.598	769.65	13050.4
1981	0.770	1017.84	15342.72	1971	0.507	818.71	13882.3
1982	0.439	826.42	12467.58	1972	0.899	1034.44	17540.2
1983	0.237	597.42	9012.83	1973	0.588	1278.04	21670.8
1984	0.496	1385.83	20906.98	1974	0.300	811.57	13761.2
1985	0.258	418.91	6319.78	1975	0.170	541.75	9186.0
1986	0.058	528.09	7966.89	1976	0.591	713.10	12091.5
1987	0.060	539.58	8140.24	1977	0.261	592.83	10052.2
1988	1.220	1027.02	15493.88	1978	0.860	729.45	12368.7
1989	0.641	1556.47	23481.3	1979	1.47	2016.20	34182.8
合 计	4.283	8165.98		合 计	6.243	9305.74	
平均侵蚀模数 ($\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$)	13219	816.6	12318	平均侵蚀模数 ($\text{t}/\text{km}^2\cdot\text{a}$)	19509.14	930.6	15778.7

从表中可以分析出:70 年代皇甫川水文站的实例平均侵蚀模数 $19\,509\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,而用估

算模型计算的平均侵蚀数值为 $15\,778\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 其误差为 $\sim 19.12\%$ 。80年代的实测值为 $13\,219\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 估算值为 $12\,318\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 误差为 -6.8% 。可见误差均在我们所给定的 $\pm 29\%$ 之内, 同时也表现出前文所述的估算值偏低的事实。从总体效益看, 80年代开展治理以来侵蚀模数从 $19\,509\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 下降到 $13\,219\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 10年减沙 $6\,290\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。虽然70年代降雨量比80年代多 10.53% , 降雨侵蚀力也大 12.52% , 但侵蚀量则多 32.24% 。根据降雨侵蚀力 R 与侵蚀量呈线性相关的关系, 那么80年代由于降水减少减沙 12.52% , 由于水土保持综合治理减沙为 20% , 减沙效益十分显著。

综上所述, 单元小流域土壤侵蚀估算模型虽有一定误差, 但用于皇甫川流域侵蚀模数的估算, 反映全流域土壤侵蚀规律; 研究流域允许侵蚀量; 评估水保综合治理减沙效益还是科学可靠的。

致谢: 参加研究工作的还有: 金争平、史培军、侯福昌等同志。

参考文献

- 1 金争平, 赵焕勋等. 皇甫川区小流域土壤侵蚀量预报方程研究. 水土保持学报, 1991, 5(1)

(上接第83页)

西露天矿有三个排土场, 实行现方案后, 山后排土场已不再利用, 采掘岩土主要排放在三家排土场和太平地排土场, 煤炭洗选矸石排放在三家排土场。排土场按平台推进的方式堆放岩土, 最终边界是排土场征地边界(如图5)。

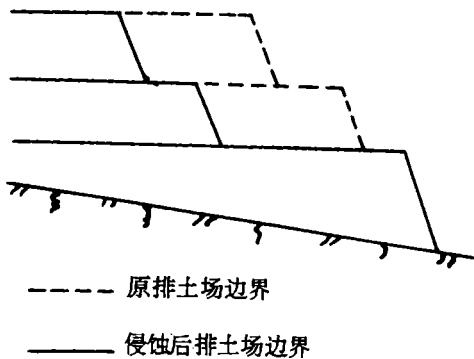


图5 排土场时空变化示意图

由图5可见, 随排土场平台推进, 水土流失形式未发生根本变化, 平台表面仍以风蚀为主, 排土场边坡附近仍以水蚀、重力侵蚀为主, 新排弃岩土存在非均匀沉降侵蚀和管状侵蚀。受征地范围限制, 排土场面积未发生变化。新排弃岩土由于结构疏松, 地面裸露, 风蚀、水蚀都较严重。据调查, 岩土排放第一年, 平台风蚀属强度侵蚀, 侵蚀模数 $9\,000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。第二年以后即可降到中度侵蚀, 侵蚀模数 $6\,500\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。一些地段, 如植被恢复较好, 可降到轻度侵蚀, 排土场边坡平均侵蚀模数 $9\,660\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 随着岩土推进, 边坡长度历年基本相近, 故按边坡现状长度 42.25km 计, 边坡平均每年水蚀量为 1.64 万 t 。