

# 黄土丘陵沟壑区沟道小流域泥沙存贮—释放初探<sup>\*</sup>

张鸾<sup>1,2</sup>, 师长兴<sup>1</sup>, 杜俊<sup>1,2</sup>, 张灏<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 中北大学, 太原 030051)

**摘 要:** 选取团山沟为单元沟道小流域, 依据实测资料, 采用 RUSLE 模型架构计算坡面侵蚀量的同时, 考虑沟道侵蚀, 在此基础上对 20 世纪 60 年代蛇家沟、驼尔巷沟和 80 年代岔巴沟土壤侵蚀情况进行计算。结果表明: 模拟岔巴沟流域侵蚀情况较好, 60 年代蛇家沟和驼尔巷沟泥沙输移比分别为 0.73 和 1.03, 80 年代岔巴沟流域泥沙输移比为 0.325。

**关键词:** 泥沙输移比; 侵蚀量; 黄土丘陵沟壑区

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)04-0039-06

## Research for Sediment Storage-Release of Small Watershed in Loess Hilly-Gully Area

ZHANG Luan<sup>1,2</sup>, SHI Chang-xing<sup>1</sup>, DU Jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Hao<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Tuanshangou watershed was selected as the study area in this paper. Based on measured data, the 60's Shejiagou, Tuoerxiangou and the 80's Chabagou soil erosion amount were calculated by using the RUSLE structure in the meanwhile taking channel erosion into account. The results showed that the sediment yield status is very well consistent with the practical situation of soil erosion in Chabagou watershed. The sediment delivery ratios of Shejiagou in 60's and Tuoerxiangou were 0.73 and 1.03 respectively. The data of Chabagou in the 1980s was 0.325.

**Key words:** sediment delivery ratio; soil erosion amount; Loess hilly-gully area

沟道小流域是组成黄土丘陵沟壑区的基本单元, 面积一般为 10~100 km<sup>2[1-2]</sup>。它们各自独立, 直接或间接流入黄河干流及一、二、三级支流, 面积不等, 形状各异, 而且各小流域内降雨量、土质、坡度等自然因素都有所差异, 但处于相同类型区的各沟道小流域在地形组成、侵蚀方式和产沙输沙特性等方面还是基本相似的。加上这类小流域面积较小, 投入少, 便于组织管理, 适于长时间序列试验研究。因此, 研究者们通常通过对典型沟道小流域的分析达到推演整个流域特点的目的。位于陕西省子洲县境内的大理河一级支流岔巴沟就属于上述典型黄土

丘陵沟壑区沟道小流域。该沟出口站曹坪从 1958 年建站到现在, 积累了丰富的水文、气象资料, 而且流域内水文站嵌套分布、各径流场的布设也颇具合理性, 一直以来都是研究典型黄土丘陵沟壑区水沙变化的理想场所。出于这种考虑, 本研究以位于岔巴沟支流蛇家沟支沟的团山沟作为单元沟道小流域研究区, 依据实测资料, 同时考虑坡面侵蚀和沟道侵蚀两部分, 对 20 世纪 60 年代蛇家沟、驼尔巷沟和 80 年代岔巴沟进行侵蚀产沙情况模拟, 从而达到定量评价小流域土壤侵蚀时空变化情况, 探讨黄土丘陵沟壑区小流域泥沙存贮—释放状态的目的。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-02-13

基金项目: 国家自然科学基金(40671019)

作者简介: 张鸾(1982-), 女, 山西省五台县人, 在读博士生, 主要研究方向为侵蚀产沙机理与水土保持。E-mail: zhangl.06b@igsrr.ac.cn

通信作者: 师长兴(1963-), 男, 河北正定人, 研究员, 博士生导师, 主要从事河流地貌、流域物质迁移与环境变化研究。E-mail: shicx@igsrr.ac.cn

# 1 研究区概况与数据处理

团山沟是岔巴沟支流蛇家沟内的一条支沟,属于典型黄土丘陵沟壑区地貌类型,海拔高度 950~1 070 m。由于受干燥少雨的大陆性气候影响,沟内降雨年内分配不均,70% 集中于 7~9 月,且多降雨强度较大、历时短暂的暴雨。土壤为风成黄土母质,属于石灰性始成土。有关研究表明,该区黏粒含量在 5%~8%,粉粒含量高达 60% 以上,有机质含量为 0.4% 左右,且土壤孔隙大,遇水易崩解,这类型土质极易造成侵蚀。沟内年均气温 8℃,最低温度为-27℃,最高温度为 38℃。蛇家沟和驼尔巷沟是位于岔巴沟左侧的两条支沟,面积分别为 4.26 km<sup>2</sup> 和 5.74 km<sup>2</sup>。沟内地貌、植被、土地利用方式和侵蚀方式等特征与团山沟基本相似。

研究采用的数据和图件有:1961~1967 年蛇家



图 1 团山沟径流场观测布设图

(2) 利用岔巴沟 1:5 万 DEM 得到以 25° 为分界线,只包括<25° 的耕地和>25° 的荒坡两种类型在内的蛇家沟和驼尔巷沟土地利用类型图。这样划分的依据是,20 世纪 60 年代,岔巴沟流域以耕地和荒地为主,梯田、林草等措施分布较少,而且质量不高,虽有一定数量的淤地坝分布,但此项措施不影响 RUSLE 方法的应用。据蒋德麒等<sup>[5]</sup> 对以绥德和离石为代表的黄土丘陵沟壑区第一副区沟道小流域调查研究表明,梁峁坡和沟坡一般以 25°~35° 为界,牧荒地主要分布在沟坡上,和陡崖滑坡共同构成沟坡产沙的主要来源。农耕地大多分布在梁峁坡上,面积和产沙占梁峁坡的绝大部分,虽然仍有一部分农耕地分布在沟坡,但面积和产沙比例都较小,而且分布在较陡部位的农耕地也比梁峁坡农耕地的侵蚀强度大很多,因此,把这部分归入荒地是比较合理的。岔巴沟 20 世纪 80 年代土地利用类型图通过黄土高原 1:25 万土地利用类型数据(1980 年期)处理后获得。

(3) 基于 Arcinfo 平台讨论蛇家沟、驼尔巷沟和岔巴沟侵蚀模数和侵蚀量,需要确定各沟道小流域

沟水文站、驼尔巷沟雨量站和 1980~1989 年岔巴沟曹坪站逐日降雨量、输沙量观测资料来自黄河流域子洲径流实验站水文实验数据<sup>[3]</sup>;岔巴沟 1:5 万 DEM;1:5 万地形图;团山沟图象(摘自 Googleearth);主沟道平均比降数据<sup>[2]</sup>;20 世纪 80 年代 1:25 万土地利用和 1:100 土壤类型矢量图和 dbf 格式的土壤属性数据库(源自中国科学院地理所资源环境数据中心);岔巴沟曹坪站以上水土保持措施统计<sup>[4]</sup>。以下对计算过程中涉及的一些重要处理步骤进行说明。

(1) 模拟团山沟侵蚀量首先需要确定团山沟及布设径流场在蛇家沟内的位置。基于这一点,将现有纸质团山沟径流场分布图(如图 1)扫描并结合 Google earth 中团山沟位置截图(如图 2)、岔巴沟 1:5 万地形图,岔巴沟 25 m 分辨率 DEM 进行配准、校正,得到较为满意的团山沟空间分布图。

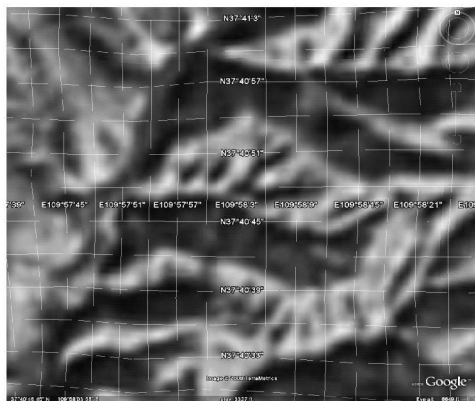


图 2 Googleearth 中的团山沟影像

的范围。考虑到输沙量和输沙模数由各水文站观测获得,因此,有必要提取以各水文站点为出口的控制区域轮廓线,确定各水文站控制范围。此外,如何将各子流域进一步划分为坡面和沟道,也是本研究中的一项重要步骤。本工作在 Arcinfo 的地表水文分析模块中进行,在 1:5 万岔巴沟 DEM 基础上,以各水文观测站为控制流域出口,通过填洼处理、D8 法模拟水流方向、流域汇流、河网的自动生成、子流域边界划分等步骤,得到岔巴沟流域内相互嵌套的各水文站控制区域范围(如图 3),坡面和沟道范围从生成的河网中提取。自动提取的子流域面积与实际量测结果对比如表 1,模拟流域面积与实际流域面积非常接近,精度满足计算和分析的需要。

## 2 研究方法

### 2.1 RUSLE 方法介绍和因子选取

2.1.1 *R* 因子的估算 降雨侵蚀力(*R*)是 RUSLE 中的基础因子,可以定量表征降雨可能引起土壤侵

蚀的能力,反映雨滴溅蚀以及地表径流对土壤侵蚀的综合效应<sup>[6]</sup>。 $R$  因子的估算以美国学者 Wischmeier<sup>[7]</sup> 等建立的降雨总动能  $E$  与最大 30 min 雨强  $I_{30}$  的乘积作为侵蚀力指标较为经典。值得注意的是,  $EI_{30}$  的计算需要详细的降雨过程资料,要求利用自计雨量计连续记录降雨发生的时刻及累积降雨量,根据降雨强度相等原则,将一次降雨断开为时间长度不一、降雨强度相等的时段,分别摘录各时段的历时和降雨量<sup>[8]</sup>,数据获取存在一定困难。于是,各国学者<sup>[9-11]</sup> 利用气象站日、月、年降雨量等常规降雨统计资料以及流失量的实测值,对 Wischmeier 的  $EI_{30}$  算法做出了修正或提出了适于当地的简便算法,甚至 Wischmeier 本人也提出了仅用全年各月雨

量计算  $R$  值的简便方法。

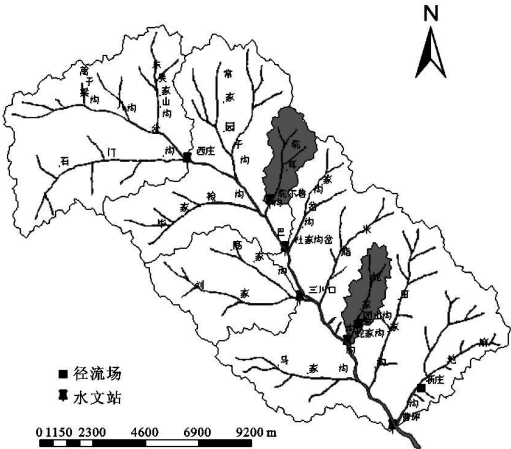


图 3 岔巴沟流域沟道特征与蛇家沟、驼尔巷沟空间分布图

表 1 提取岔巴沟流域各级沟道控制面积与实际面积比较

沟名	站名	实测面积/ km <sup>2</sup>	模拟面积/ km <sup>2</sup>	模拟坡面面积/ km <sup>2</sup>	模拟沟道面积/ km <sup>2</sup>	坡面所占比率/ %	备注
团山沟	团山沟	0.18	0.19	0.17	0.02	89.47	毛沟
蛇家沟	蛇家沟	4.26	4.95	4.29	0.66	86.67	支沟
驼尔巷沟	驼尔巷沟	5.74	6.18	5.34	0.84	86.41	支沟
岔巴沟	曹坪	187.00	203.49	173.82	29.67	85.42	干沟

本文降雨侵蚀力计算即采用美国学者 Wischmeier<sup>[11]</sup> 提出的简易算法,其基本表达式如式(1)。

$$R=\sum_{i=1}^{12}(1.735\times10^{1.5\log\frac{P_i^2}{P}-0.8188})\quad (1)$$

式中:  $P$  ——年平均降水量( mm );  $P_i$  ——各月的平均降水量( mm )。计算出的  $R$  单位为“ 100ft · t · in/( ac · h · a )”。

首先利用 Arcmap 的 Spatial Analyst 中 Kriging 普通插值方法对站点的月降雨量进行插值,生成的月降雨栅格图经过投影转换,具有与 DEM 同样的坐标系统。利用这些月降雨栅格图和公式(1) 计算得到 20 世纪 60 年代蛇家沟、驼尔巷沟和 80 年代岔巴沟流域降雨侵蚀力栅格图。

2.1.2  $K$  因子的确定  $K$  因子又称土壤可蚀性因子,表示标准小区(长度 22.1 m,坡度 9% 的裸露休闲小区)春天顺坡耕翻一次裸土状态下,单位降雨侵蚀力所引起的土壤年流失量。 $K$  值的求算方法主要有:直接测定法、诺谟图法和公式法。考虑现有资料,本文采用 Sharply 和 Williams<sup>[12]</sup> 在 EPIC( Erosion Productivity Impact Calculator) 模型中土壤可蚀性因子  $K$  值计算方法,使用 1: 100 万土壤类型矢量图和. dbf 格式的土壤属性数据库,根据每个粒级的百分含量,应用公式(2) 计算土壤属性数据库中属于岔巴沟流域的土壤剖面  $K$  值,结合土壤类型矢量图得到土壤可蚀性因子栅格图。

$$K=\{0.2+0.3\exp[-0.0256S\text{AN}(1-0.01SIL)]\}\times$$

$$\begin{aligned} & \left[\frac{SIL}{CLA+SIL}\right]^{0.3}\left[1-\frac{0.25C}{C+\exp(3.72-0.95C)}\right]\times \\ & \left[1-\frac{0.7SN1}{SN1+\exp(-5.51+22.9SN1)}\right] \end{aligned} \quad (2)$$

式中:  $SAN$  ——砂粒含量( % );  $SIL$  ——粉粒含量( % );  $CLA$  ——黏粒含量( % );  $C$  ——有机碳含量( % );  $SN1=1-SN/100$ 。

这里需要说明的是,由于计算土壤可蚀性  $K$  值公式中要求土壤质地分析标准是美国制,而土壤剖面的粒级数据来源于我国第二次全国土壤普查,采用的分类标准与国际标准一致,因此在计算过程中存在一个国际制向美国制的转换问题。此处采用模拟法<sup>[13]</sup>,用  $y=aX^b$  和  $y=aX^2+bX+c$  对现有土壤颗粒粒级分布进行模拟,然后利用模拟方程进行转换。方程中  $X=\ln(P)$ ,  $P$  为粒径大小( mm ),  $Y$  是小于  $P$  粒径的累计颗粒含量百分数( % )。

2.1.3  $LS$  因子的获取 坡长与坡度因子  $LS$  也称地形因子,反映地形地貌特征对土壤侵蚀的作用。它表示在其它条件相同的情况下,某一给定坡度和坡长的坡面上,土壤流失量与标准径流小区典型坡面土壤流失量的比值,是侵蚀动力的加速因子。

本文坡度因子  $S$  采用 McCool 等<sup>[14]</sup> 的计算公式进行(公式 3),

$$S=\begin{cases} 10.8\sin\theta+0.3 & (\theta<9\%) \\ \left(\frac{\sin\theta}{0.0896}\right)^{0.6} & (\theta\geq9\%) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $S$  ——坡度因子;  $\theta$  ——坡度(%)。  $L$  值采用 Desmet 和 Govers<sup>[15]</sup> 根据上坡排水的贡献面积和栅格间距提出的坡长因子算法计算。这一公式符合坡面从上坡向下坡, 随汇流面积增加, 径流量增加, 侵蚀力加大的过程。

$$L_{ij} = \frac{(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - A_{ij-in}^{m+1}}{D^{m+2} \times x_{ij}^m \times 22.13^m} \quad (4)$$

式中:  $L_{ij}$  ——栅格单元的坡长因子;  $A_{ij-in}$  ——单元上坡汇流面积;  $D^2$  ——单元面积;  $x_{ij}$  ——单元垂直流向的宽度;  $m$  ——坡长指数。

$$m = \begin{cases} 0.5 & \theta > 28^\circ \\ 0.029\theta^{0.69} & \theta \leq 28^\circ \end{cases} \quad (5)$$

利用 Arcmap 的 Hydrology 工具从 DEM 数据生成汇流面积超过 0.02 km<sup>2</sup> 的河网, 将这些河网作为坡长计算的终点, 以此划分为坡面和沟道两部分。和传统方法以地貌部位为标准划分坡沟范围不同, 本研究以流域内产生的侵蚀形态为划分要素, 参照陈永宗等<sup>[16]</sup> 对黄土丘陵区沟谷形态要素的特征描述, 将细沟、浅沟和切沟形态划入坡面, 出现冲沟(汇流面积中值接近 0.02 km<sup>2</sup>) 以后的发育形态归入沟

道范畴。最后, 由坡度、汇流和河网栅格图, 利用上述公式即可算出地形因子  $LS$  值。

2.1.4 CP 因子  $C$  因子又称覆盖与管理因子, 是指在其他条件相同情况下, 某一特定作物或植被覆盖土壤流失量与裸地土壤流失量的比值, 反映了植被或作物管理措施对土壤流失量的影响, 值介于 0 ~ 1 之间。水土保持措施( $P$ ) 因子是指特定水土保持措施下的水土流失量与相应未实施水土保持措施的顺坡耕作地块的水土流失量之比。

本研究植被覆盖因子采用江忠善<sup>[17]</sup> 根据陕西安塞站 1987–1992 年 25° 农作物小区和对照裸露农地小区的降雨侵蚀观测资料对比分析得出的作物全年平均系数 0.61 作为农耕地  $C$  值, 林草植被  $C$  值采用公式(6), (7) 进行设定, 其余  $C$  值及各土地利用类型对应  $P$  值参照师长兴<sup>[18]</sup> 设定标准, 如表 2 所示。对土地利用图进行赋值并生成  $CP$  值栅格图。

人工草地: 当  $V \leq 5\%$  时,  $C = 1.0$ ; 当  $V > 5\%$  时,

$$C = e^{-0.0418(V-5)} \quad (6)$$

人工林地: 当  $V \leq 5\%$  时,  $C = 1.0$ ; 当  $V > 5\%$  时,

$$C = e^{-0.0085(V-5)^{1.5}} \quad (7)$$

表 2 不同土地利用类型  $C$ ,  $P$  值赋值

土地利用类型	水田	旱地	有林地 > 30%	灌木林地 > 40%	疏林地 10% ~ 30%	其他 林地	高覆盖 度草地 50%	中覆盖 度草地 20% ~ 50%	低覆盖 度草地 5% ~ 20%	工矿/ 建设 用地	水域及沼泽 裸岩石砾地、 沙地、戈壁	盐碱地、 裸土地	其他
$C$ 值	0.150	0.610	0.247	0.116	0.610	0.30	0.152	0.285	0.730	0.200	0	1.000	0.043
$P$ 值	0.15	0.40	1.00	1.00	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00	0	0	1.00	1.00

2.1.5 侵蚀量计算 读取 RUSLE 各因子图(各因子数据需处于相同坐标系统), 利用 GRID 模块重叠运算功能, 将各因子连乘(其单位为英制  $\text{sht}/\text{ac} \cdot \text{a}$ ), 乘以 224.2 以后即转换为  $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  的公制单位。

2.2 坡沟侵蚀产沙关系确定

在前面的方法介绍中, 根据现有资料, 结合前人研究成果, 充分考虑黄土丘陵沟壑区实际情况, 对 RUSLE 各因子的计算方法和参数进行了选取和率定, 坡面计算范围涵盖流域面积 85% 左右。那么, 剩余 15% 的沟道侵蚀量对整个流域的侵蚀产沙贡献大不大, 可否忽略? 为了回答这个问题, 对 1963 年、1964 年、1966 年、1967 年团山沟 2, 3, 4, 7 径流场和沟口 4 年平均侵蚀模数值进行了比较, 发现无论是侵蚀模数年际变化还是年平均侵蚀模数的对比, 团山沟沟口的侵蚀模数都明显大于 2, 3, 4 场的侵蚀模数, 7 场全坡的侵蚀模数大于 2, 3 场的侵蚀模数(如图 4)。龚时炆<sup>[1]</sup> 也曾根据子洲径流站 1964 年和 1967 年同步观测资料求得分水岭附近的峁顶侵蚀模数为 247  $\text{t}/\text{km}^2$ , 峁坡侵蚀模数为 13 800  $\text{t}/\text{km}^2$ , 峁边线以下的沟谷侵蚀模数为 21 100  $\text{t}/\text{km}^2$ 。

对于这样小的研究区, 可以认为降雨、试验区土壤、植被等条件都大致相似。所不同的是, 团山沟沟口观测的侵蚀模数是流域坡面和沟道侵蚀的汇总, 7 场加入了峁边线以下沟坡和部分沟道侵蚀的影响, 说明黄土丘陵沟壑区沟道侵蚀强烈, 忽视这部分侵蚀量有可能会给流域侵蚀量的模拟带来很大误差。那么, 如何量化占流域总面积 15% 左右的这部分侵蚀量, 使 RUSLE 坡面侵蚀模型向小流域侵蚀计算合理转换就显得尤为重要。

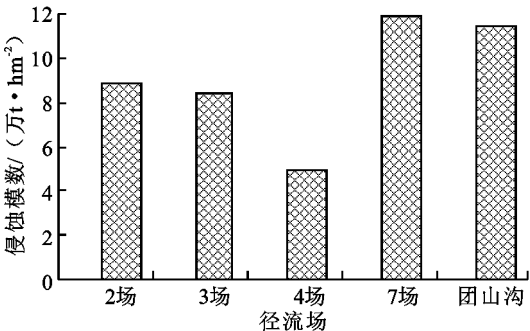


图 4 团山沟各径流场与沟口测站多年(1963 年、1964 年、1966 年、1967 年) 平均侵蚀模数对比

黄土丘陵沟壑区沟道土壤侵蚀方式复杂多样,特别是重力侵蚀事件发生的不确定性,定量研究沟道土壤侵蚀的工作存在很大困难。如何计算沟道侵蚀量和侵蚀模数是一直以来未能突破的一项难题。通过对组成黄土丘陵沟壑区的基本单元沟道小流域径流泥沙来源进行分析,考虑坡沟侵蚀产沙关系进而应用到较大范围是一个比较简单而且合理的方法。本研究坡沟侵蚀产沙关系的确定采用单元沟道小流域的思路——牟金泽<sup>[2]</sup>计算泥沙输移比时提出,我国具有较多面积小于  $1 \text{ km}^2$ , 包含有坡面、沟坡和沟道 3 部分地貌单元, 并具相似土壤侵蚀类型的完整小流域。设定这些流域为泥沙产生的单元流域, 将其它各种不同大小流域面积的大中小流域输沙模数与单元流域侵蚀模数值比定义为泥沙输移比, 可以达到从单元流域实测水沙资料推求短缺泥沙观测资料地区的中小流域产沙量的目的。本文亦引入这种假定, 以团山沟流域为单元小流域, 认为流域内 1961–1967 年 7 a 平均侵蚀泥沙可以完全输出沟口, 没有发生泥沙存贮, 团山沟沟口的输沙量可以看做是该流域的自然侵蚀量。如此一来, 结合 RUSLE 方程得到的坡面侵蚀量即可得到坡沟侵蚀量关系比。将此坡沟关系比用到岔巴沟其它流域即可求得研究流域的总侵蚀量, 结合输沙量资料进一步获得泥沙输移比。

### 3 分析与讨论

经过计算, 20 世纪 60 年代蛇家沟和驼尔巷沟泥沙输移比分别为 0.73 和 1.03。80 年代岔巴沟泥沙输移比为 0.325。从结果来看, 岔巴沟 80 年代泥沙输移比仅为 0.325, 说明这一时期沟道内发生了大量泥沙存贮。结合实际情况, 岔巴沟流域从 20 世纪 50 年代后期开始开展的水土保持措施到 80 年代已取得较大成效(如图 5)。梯田、林草措施通过改变局部微地形, 增加降水入渗, 使产流显著减少, 可以减少产沙量。淤地坝的减沙作用更大, 除拦截大量泥沙外, 淤地坝在沟道建成后由于泥沙逐渐淤积抬高了侵蚀基准, 可以有效制止沟头前进、沟底下切与沟岸扩张, 有利于巩固沟床、稳定沟坡, 从而起到减蚀作用<sup>[19]</sup>。而且根据许炯心<sup>[20]</sup>对高含沙水流 5 a 滑动平均值与梯田、坝地、造林和种草 4 种水土保持措施面积的关系研究表明, 由于水保措施的减沙作用, 高含沙水流频率会减小, 其中以淤地坝对高含沙水流频率的减小影响最大, 说明人类活动对 80 年代岔巴沟流域泥沙存贮的影响作用巨大。当然, 人类活动并不是引起泥沙输移比减小的唯一原因, 对该流域 60、80 年代降

雨侵蚀力  $R$  值进行分析的结果证实, 80 年代降雨量减少也是一个不可或缺的因素。

20 世纪 60 年代蛇家沟和驼尔巷沟泥沙输移比较大主要和特定自然环境条件有关。从地貌发育角度考虑, 这里正处于不断侵蚀的壮年阶段, 各级沟道都下切到基岩, 而且以黄土为主的岔巴沟流域高含沙水流十分发育, 水流挟沙能力强。60 年代流域内虽有水土保持措施开展, 但规模和成效尚未发生显著变化, 因而侵蚀量大, 侵蚀强度高, 泥沙输移比大。驼尔巷沟泥沙输移比接近于 1, 说明沟道内泥沙未发生存贮, 冲淤平衡。蛇家沟泥沙输移比小很多, 说明蛇家沟有部分泥沙存贮。探求存贮原因, 在对比团山沟和蛇家沟的比降时发现, 从团山沟到蛇家沟, 沟道比降从 135 ‰降低到 11.5 ‰, 沟道比降的急剧减小会引起泥沙输移距离加长, 沿途发生沉积的机会增多, 从而引起泥沙输移比减小。此外, 考察岔巴沟流域内水库及淤地坝建设情况得知, 截至 1969 年, 蛇家沟和驼尔巷沟分别建有淤地坝 3 座和 8 座。从数量上看, 驼尔巷沟的淤地坝座数更多, 拦截作用应该较大, 但是对这些坝建坝年代进行仔细研究发现, 驼尔巷沟有 7 座淤地坝建于 1964 年以后, 建于 20 世纪 50 年代的仅有一座, 而蛇家沟 50 年代已有 2 座淤地坝存在, 60 年代又新增 1 座, 而且坝高和拦泥库容比驼尔巷沟大很多, 因而可以认为, 淤地坝的存在使蛇家沟形成人工沉积汇成为可能, 也会造成侵蚀泥沙发生存贮。

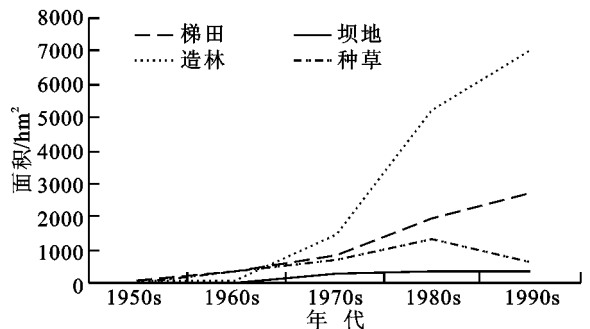


图 5 岔巴沟水土保持措施保存量

需要说明的是, 本研究中蛇家沟、驼尔巷沟和岔巴沟坡沟侵蚀量贡献比参照团山沟 7 a 平均坡沟关系设定, 而实际情况是, 受不同自然、社会经济活动的影响, 各流域不同地貌类型比例有一定的变化范围, 从而影响坡沟侵蚀产沙贡献比例也会有所差异。事实上, 各年、季、月甚至单次降雨的坡沟侵蚀关系都不一致, 尺度越大, 沟道受高含沙水流侵蚀越强, 侵蚀贡献量越大。关于这一点, 本研究采用的方法未能很好给予反映, 因而可能造成一定误差。另外, 对 60 年代岔巴沟流域土地利用类型图进行还原时

只考虑耕地和荒地两种土地利用类型,这与当时岔巴沟土地利用实际情况相比存在一定差异,也可能影响侵蚀量的计算精度。不过,本研究结果仍然可以用于探讨岔巴沟流域泥沙存贮-释放的时空变化规律。

## 4 结 论

目前国内外关于土壤侵蚀产沙模型的研究已经不胜枚举,我国学者针对黄土丘陵沟壑区小流域实测资料建立侵蚀预报模型的报道也不在少数。本研究的创新之处在于,在充分利用原有资料并用 Googleearth、ArcGis 等手段进行重新演绎的基础上,结合前人研究成果,采用 RUSLE 模型架构计算坡面侵蚀量的同时,利用单元沟道小流域产输沙平衡的思路,将沟坡侵蚀关系以修正系数的方法进行处理,使沟道侵蚀影响得以考虑在内,实现从坡面侵蚀模型向流域产沙模型的转换,弥补了传统 RUSLE 方程用于模拟黄河流域特别是黄土丘陵沟壑区存在很大局限性的缺点,较为合理的反映了 20 世纪 60 年代蛇家沟、驼尔巷沟和 80 年代岔巴沟流域土壤侵蚀与泥沙存贮情况,模拟精度满足要求。总体来看,60 年代岔巴沟流域受自然条件的影响,侵蚀量大,侵蚀强度高,侵蚀产生泥沙多数可以输出沟口,虽然蛇家沟有部分泥沙存贮,但存贮量不大。20 世纪 50 年代后期人类活动的逐渐增强和降雨量的减少,使侵蚀泥沙在流域内发生大量存贮成为可能,经计算,80 年代有 67.5% 的泥沙被拦蓄在岔巴沟内。

### 参考文献:

- [1] 龚时旻,熊贵枢.黄河泥沙的来源和地区分布[J].人民黄河,1979(1):7-17.
- [2] 牟金泽,孟庆枚.论流域产沙量计算中的泥沙输移比[J].泥沙研究,1982(2):60-65.
- [3] 水利部黄河水利委员会.黄河流域子洲径流实验站水文实验数据.中华人民共和国水文年鉴-黄河流域水文资料[Z].1959-1969.
- [4] 叶爱中.变化环境下流域水循环模拟研究[D].武汉:武汉大学,2007.
- [5] 蒋德麒,赵诚信,陈章霖.黄河中游小流域径流泥沙来源初步分析[J].地理学报,1966,32(1):20-35.
- [6] 章文波,付金生.不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J].资源科学,2003,25(1):35-41.
- [7] Wischmeier W H, Smith D D. Rainfall Energy and Its Relationship to Soil Loss[C]//Transactions. American Geophysical Union, 1958, 39: 285-290.
- [8] 殷水清,谢云,王春刚.用小时降雨资料估算降雨侵蚀力的方法[J].地理研究,2007,26(3):541-547.
- [9] Foster G R. Evaluation of Rainfall-Runoff Erosivity Factors for Individual Storms[C]//Transactions of the ASAE, 1982.
- [10] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the r-factor in the revised USLE[J]. Journal of Hydrology, 1994, 157: 287-306.
- [11] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains[S]. Agricultural Handbook, No. 282, Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, 1965.
- [12] Sharply A N, Williams J R. EPIC - Erosion/ Productivity Impact Calculator: Model Documentation[C]//Technical Bulletin No. 1768. Washington D C: US Department of Agriculture, 1990:235.
- [13] 梁音,史学正.长江以南东部丘陵山区土壤可蚀性 K 值研究[J].水土保持研究,1999,6(2):47-52.
- [14] McCool D K, Brown L C, Foster G R, et al Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation[J]. Transactions of ASAE, 1987, 31(5): 1387-1396.
- [15] Desmet P J J, Govers G A. GIS- procedure for the automated calculation of the USLE LS- factor on topographically complex landscape units[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 51(5): 427-433.
- [16] 陈永宗,景可,蔡强国.黄土高原现代侵蚀与治理[M].北京:科学出版社,1988:170-181.
- [17] 江忠善,王志强,刘志.黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J].水土保持学报,1996,2(1):1-9.
- [18] 师长兴.长江上游输沙尺度效应研究[J].地理研究,2008,27(4):800-810.
- [19] 冉大川,罗全华,刘斌,等.黄河中游地区淤地坝减洪减沙及减蚀作用研究[J].水利学报,2004(5):7-13.
- [20] 许炯心,姚文艺,韩鹏,等.基于气候地貌植被耦合的黄河中游侵蚀过程[M].北京:科学出版社,2009:170-173.