

# 基于 SIMWE 模型的董志塬水土保持措施侵蚀阻控路径分析

苏星

陇东学院 土木工程学院

DOI:10.12238/btr.v8i3.4702

**[摘要]** 在黄土高原中部董志塬地区,水土流失问题严峻,严重制约区域可持续发展。本文基于SIMWE模型,系统分析了梯田、植物缓冲带与等高耕作以及保护性耕作典型水土保持措施对坡面径流路径,水文连通性及侵蚀-沉积空间分布的影响。结果表明,梯田措施能显著降低坡面水文连通性,有效阻控径流路径;植物缓冲带与等高耕作措施对径流路径阻控作用有限,在泥沙输移调控上表现突出;保护性耕作措施通过增大地表粗糙度,改善土壤入渗能力,进而降低水文连通性。

**[关键词]** 水土保持措施;径流路径;水文连通性;侵蚀阻控;董志塬

中图分类号: S157 文献标识码: A

## Analysis of Erosion Control Path of Soil and Water Conservation Measures in Dongzhiyuan Based on SIMWE Model

Xing Su

Longdong University, College of Civil Engineering

**[Abstract]** In the Dongzhiyuan area of the central Loess Plateau, the problem of soil erosion is severe, which seriously restricts the sustainable development of the region. This article is based on the SIMWE model and systematically analyzes the effects of typical soil and water conservation measures such as fields and plant buffer zones on slope runoff paths, hydrological connectivity, and erosion sediment spatial distribution. The results indicate that terraced field measures can significantly reduce slope hydrological connectivity and effectively control runoff paths; Plant buffer zones and equal height tillage measures have limited inhibitory effects on runoff pathways, and are particularly effective in regulating sediment transport; Conservation tillage measures increase surface roughness, improve soil infiltration capacity, and thereby reduce hydrological connectivity.

**[Key words]** Soil and Water Conservation Measures; Runoff path; Hydrological connectivity; Erosion control; Dong Zhiyuan

### 引言

董志塬作为黄土高原的重要组成部分,其独特的地形地貌与气候条件导致该区域水土流失问题尤为突出。深入探究水土保持措施对侵蚀过程的阻控机制,对于指导区域水土流失治理具有重要意义。本文基于SIMWE模型,聚焦于董志塬地区典型水土保持措施,通过量化分析不同措施对坡面径流路径,水文连通性及侵蚀-沉积空间分布的影响,揭示其侵蚀阻控路径与机理。本文将从梯田,植物缓冲带,等高耕作及保护性耕作等典型措施出发,系统探讨其在董志塬地区的侵蚀阻控路径,以为区域水土流失治理提供新思路与新方法。

### 1 研究区域概况与数据准备

#### 1.1 董志塬自然地理特征

##### 1.1.1 地理位置与地形地貌

董志塬位于中国黄土高原中部,是黄土高原上最大的塬面之

一,地理坐标大致为东经 $107^{\circ} 30'$ 至 $108^{\circ} 15'$ ,北纬 $35^{\circ} 15'$ 至 $35^{\circ} 45'$ 之间。该区域地势平坦开阔,四周被深厚的黄土丘陵所环绕,形成独特的塬面地形。塬面海拔多在1200米至1400米之间,相对高差较小,整体呈现西高东低的趋势<sup>[1]</sup>。

##### 1.1.2 气候条件与降水特征

属于温带大陆性季风气候区,四季分明,降水主要集中在夏季。年均降水量约为500毫米至600毫米,但年际变化较大,且年内分配不均,7月至9月的降水量占全年降水量的60%以上。导致夏季暴雨频繁,地表径流剧增,极易引发水土流失。冬季则寒冷干燥,降水稀少,土壤冻结期较长,对土壤侵蚀过程产生一定影响。

##### 1.1.3 土壤类型与土地利用现状

土壤类型主要为黄绵土,这种土壤质地疏松,抗蚀性弱,加之长期不合理的人类活动,如过度开垦,放牧等,导致土壤肥力

下降,水土流失严重。土地利用类型以耕地为主,约占总面积的60%以上,主要用于种植小麦,玉米等粮食作物。林地,草地,居民点及交用地等。生态保护意识的增强,部分耕地被退耕还林还草,土地利用结构有所调整,整体上仍面临较大的水土流失压力。

## 1.2 数据收集与预处理

### 1.2.1 遥感影像与DEM数据获取

为准确刻画董志塬的地形地貌特征,研究采用了高分辨率的遥感影像数据,结合数字高程模型(DEM)进行地形分析。遥感影像数据来源于Landsat系列卫星,通过几何校正,辐射定标等预处理步骤,获取研究区的高精度地表覆盖信息。DEM数据则通过无人机航测与地面测量相结合的方式获取,空间分辨率为1米,能精细反映地表微地形变化。

### 1.2.2 土壤侵蚀相关参数测定

土壤侵蚀相关参数的测定是模型构建与验证的基础。研究在董志塬不同土地利用类型上设置了多个样点,采集土壤样品进行实验室分析,测定土壤质地,有机质含量,抗剪强度等物理性质参数。通过现场观测与实验,获取不同土地利用类型下的地表糙率,入渗率等水文参数<sup>[2]</sup>。

### 1.2.3 气象数据与水文资料整理

气象数据与水文资料,研究收集董志塬及其周边气象站多年的降水,气温,风速等气象数据,暴雨事件的详细记录,为模型模拟提供了准确的降水输入。整理区域内主要河流的水文观测资料,包括流量,水位,泥沙含量等,用于模型验证与校准。

## 2 SIMWE模型构建与验证

### 2.1 SIMWE模型原理与参数设置

#### 2.1.1 SIMWE模型基本原理介绍

SIMWE(Simulated Water Erosion)模型是一种基于物理过程的分布式土壤侵蚀模型,它结合了水流运动方程与泥沙输移方程,能模拟复杂地形条件下的水流运动与土壤侵蚀过程。模型通过离散化研究区域为多个计算单元,在每个单元内求解水流连续性方程与动量方程,得到水深,流速等水流参数;具有较高的空间分辨率与物理过程描述能力,适用于分析不同水土保持措施对土壤侵蚀的影响。

#### 2.1.2 关键参数(如曼宁糙率,入渗率)的确定方法

曼宁糙率作为描述地表粗糙程度的重要参数,直接影响水流阻力与流速分布。研究根据实地观测与文献资料,结合土地利用类型与地表覆盖状况,为不同区域分配了相应的曼宁糙率值。反映土壤对水分的吸收能力,是影响地表径流量的关键因素。通过实验室渗透试验与野外实测相结合的方法,测定了不同土壤类型与土地利用方式下的入渗率参数。

#### 2.1.3 模型边界条件与初始条件设置

研究根据董志塬的实际情况,设置了开放边界条件,允许水流在模型边界自由进出。根据气象数据与前期观测结果,设定了模型的初始水深,流速等水文参数。对土壤侵蚀相关参数,如土壤分离能力,泥沙搬运能力等,根据前期研究成果与实验数据进

行了合理赋值。确保了模型能准确反映董志塬的水文循环与土壤侵蚀过程<sup>[3]</sup>。

## 2.2 模型验证与精度评估

为验证SIMWE模型在董志塬的适用性,研究选取了三次具有代表性的暴雨事件进行模拟,并将模拟结果与实测数据进行了对比分析。对比内容涵盖了径流量、流速分布和侵蚀量等关键指标。具体数据表1所示:

表1 实测数据与模拟结果对比表

| 暴雨事件编号 | 径流量实测值(m <sup>3</sup> ) | 径流量模拟值(m <sup>3</sup> ) | 流速分布实测值(m/s) | 流速分布模拟值(m/s) | 侵蚀量实测值(吨) | 侵蚀量模拟值(吨) |
|--------|-------------------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------|-----------|
| 1      | 1200                    | 1150                    | 2.5          | 2.4          | 50        | 48        |
| 2      | 1500                    | 1480                    | 3.0          | 2.9          | 65        | 62        |
| 3      | 1800                    | 1750                    | 3.5          | 3.4          | 80        | 77        |

通过对比发现,模型能较好地再现暴雨事件下的水流运动与土壤侵蚀过程,模拟结果与实测数据在总体趋势上保持一致,但在局部区域存在一定差异。

## 3 董志塬水土保持措施侵蚀阻抗量化分析

### 3.1 梯田措施侵蚀阻抗效果评估

梯田作为一种有效的水土保持工程措施,通过改变地表微地形条件,截断坡长,减少径流汇集,进而达到控制土壤侵蚀的目的。模拟结果显示,梯田区域的水流路径被有效截断,水流在梯田内部形成滞蓄,减少了地表径流的总量与流速;梯田的布设显著降低了董志塬地区的水文连通性。通过对比梯田布设前后的连通性指数(IC)发现,梯田区域的水文连通性显著降低,表明水流与泥沙的输移过程受到明显阻碍。部分区域由于径流汇集导致侵蚀加剧,而另一些区域则因水流滞蓄而发生沉积。

### 3.2 植物缓冲带与等高耕作措施效果

植物缓冲带作为一种生态型水土保持措施,通过植被的拦截与减缓作用,有效阻控径流路径,减少地表径流对土壤的冲刷。植物缓冲带区域的水流路径被有效延长与分散,水流速度减缓,减少了径流对土壤的直接冲刷作用;等高耕作作为一种农业水土保持措施,通过改变耕作方向与地表微地形条件,减少径流汇集与土壤侵蚀,地表糙度增加,水流阻力增大,径流速度减缓,进而减少了径流对土壤的冲刷作用等高耕作,促进了土壤水分的入参与保持,提高了土壤的肥力与抗蚀能力。

### 3.3 保护性耕作措施侵蚀阻抗机理

残茬覆盖作为一种保护性耕作措施,通过在地表保留一定量的作物残茬来增加地表粗糙度,进而改变水流阻力与径流路径;地表糙率显著增加,水流阻力增大,径流速度减缓。保护性耕作措施通过改善土壤结构与增加地表覆盖度等方式提高了土壤的入渗速率。土壤入渗速率较传统耕作方式有显著提高,减少了地表径流的产生量与流速。保护性耕作措施通过改变地表微地形条件与增加地表覆盖度等方式调控了流域内的水文连通性。对比措施实施前后的连通性指数发现,有效阻断了径流路径与泥沙输移通道,减少了土壤侵蚀的发生与发展。

## 4 董志塬水土保持措施优化配置建议

### 4.1 基于侵蚀阻抗效果的措施选择

#### 4.1.1 不同措施下侵蚀阻抗能力排序

根据模拟结果与实地观测数据,对董志塬地区不同水土保持措施的侵蚀阻抗能力进行了排序。结果显示,梯田措施在控制坡面径流与土壤侵蚀方面表现出最优的效果;植物缓冲带与等高耕作措施次之;而传统耕作方式下的侵蚀阻抗能力最弱<sup>[4]</sup>。

#### 4.1.2 针对不同侵蚀类型的措施适应性分析

针对董志塬地区不同的侵蚀类型(如面蚀,沟蚀等),分析不同水土保持措施的适应性。梯田措施适用于控制坡面径流与面蚀;植物缓冲带与等高耕作措施则更适用于调控泥沙输移与减少沟蚀的发生。应根据具体的侵蚀类型与地形条件选择合适的措施进行配置。

### 4.2 空间配置优化策略

#### 4.2.1 梯田布设位置与规模的优化建议

针对董志塬地区的地形条件与水土流失状况,提出了梯田布设位置与规模的优化建议。建议在坡度较大,水土流失严重的区域优先布设梯田;根据地形条件与土地利用方式合理确定梯田的规模与布局形式。通过优化梯田的布设位置与规模,可进一步提高其水土保持效益。

#### 4.2.2 植物缓冲带与等高耕作措施的合理布局

根据植物缓冲带与等高耕作措施的特点与适应性分析结果,提出了其在董志塬地区的合理布局建议。建议在侵蚀沟道两侧,农田边缘等关键位置布设植物缓冲带;在坡耕地等区域推广等高耕作措施。

#### 4.2.3 保护性耕作措施的推广区域与方式

针对保护性耕作措施在董志塬地区的推广应用问题,提出具体的推广区域与方式建议。建议在土壤侵蚀严重,农业生产条件较差的区域优先推广保护性耕作措施;通过政策引导,技术培训等方式提高农民对保护性耕作措施的认识与接受度。广泛推广保护性耕作措施,可进一步改善董志塬地区的水土流失状况

与农业生产条件。

## 5 结束语

本文基于SIMWE模型,系统分析了董志塬地区典型水土保持措施对坡面径流路径,水文连通性及侵蚀-沉积空间分布的影响,揭示了不同措施的侵蚀阻控路径与机理。研究表明,梯田措施在降低坡面水文连通性,阻控径流路径方面效果显著;植物缓冲带与等高耕作措施则在泥沙输移调控上发挥重要作用;保护性耕作措施通过改善土壤入渗能力,有效降低了水文连通性。此类发现丰富了水土保持理论,为董志塬地区水土流失治理实践提供了科学依据。可进一步探讨不同措施间的协同作用,以及气候变化对水土保持措施效果的影响,为区域水土流失治理提供更加全面与深入的指导。

### [课题项目]

本文系庆阳市科技局“基于SIMWE的模型董志塬典型水土保持措施侵蚀阻抗能力分析”的研究成果(课题编号:901110070109)。

### [参考文献]

[1] 尤际州,周祖昊,刘佳嘉,等.基于DEM的黄土塬区地貌形态类型划分方法[J].南水北调与水利科技(中英文),2025,23(02):260-266.

[2] 郜国明,喻权刚,徐佳.黄土高原水土保持碳汇研究及其价值实现路径[J].中国水利,2024,(23):12-19.

[3] 陈祖明,王彬.基于SIMWE模型的典型水土保持措施侵蚀阻控路径分析——以通双小流域为例[J].应用生态学报,2022,33(03):703-710.

[4] 周海香.基于广义互补方法和线性碳水关系的黄土高原地表蒸散及其组分的估算[D].中国科学院大学(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心),2021.

### 作者简介:

苏星(1983--),女,汉族,甘肃环县人,硕士,副教授,研究方向:土木与水利,水资源利用。