

中文题目二号黑体居中，不超过20字

流域侵蚀控制度的概念与计算方法

小四楷体居中，多个作者用“，”间隔，若通讯地址不同，用“1,2,...”按出现顺序用上标标识

——以王茂沟流域为例——副标题三号宋体居中

高海东¹，李占斌^{1,2†}，李鹏²，贾莲莲³，庞国伟¹，徐国策¹

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所,黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,712100,杨凌;2. 西安理工大学,西北水资源与环境生态教育部重点实验室,710048,西安;3. 水利部黄河水利委员会黄河上中游管理局,710021,西安)

小五号宋居中，注意先邮编，后地址，除直辖市或省会外，前均加省（自治区）

摘要：文章将流域最小可能土壤侵蚀模数与实际土壤侵蚀模数的比值定义为流域侵蚀控制度，并以王茂沟流域为例说明计算方法。结果表明：王茂沟流域水土保持措施容量下的流域最小可能土壤侵蚀模数为 2 573 t/(km²·a)；使用王茂沟流域 2004 年土地利用图，计算得出王茂沟流域实际土壤侵蚀模数为 7 413 t/(km²·a)，王茂沟流域侵蚀控制度为 0.35，造成王茂沟流域 2004 年流域侵蚀控制度较低的原因是王茂沟流域还存在一定数量的坡耕地以及林地面积较少。建议将流域侵蚀控制度作为评价流域水土保持现状的指标。

关键词：水土保持；修正通用土壤流失方程；容许土壤流失量；流域侵蚀控制度；黄土高原
中图分类号：S157.1 文献标志码：A 文章编号：1672-3007(2013)01-0017-08

摘要和关键词等均用小五号宋体，注意标点和白黑体 关键词之间用分号间隔，个数以3~8个为宜

Concept and calculation methods of erosion control degree:

四号黑体居中，首字母大写，其余均小写（专用名词除外）

A case study of the Wangmaogou Watershed

英文作者姓前名后，名字中间不加连接符五号新罗马居中，格式同中文

Gao Haidong¹, Li Zhanbin^{1,2}, Li Peng², Jia Lianlian³, Pang Guowei¹, Xu Guoce¹

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Agriculture on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi; 2. Key Laboratory of Northwest Water Resources and Environment Ecology of Ministry of Education at Xi'an University of Technology, 710048, Xi'an; 3. Upper and Middle Yellow River Bureau, Yellow River Conservancy Commission of the Ministry of Water Resources, 710021, Xi'an; China)

五号新罗马，注意标点和白黑体使用

六号新罗马居中，格式同中文。注意国籍

Abstract: In this paper, the erosion control degree was defined as the ratio of the minimum possible soil erosion modulus and actual soil erosion modulus. The minimum possible soil erosion modulus was 2 573 t/(km²·a) under soil and water conservation measures in Wangmaogou Watershed. Based on the land use map in 2004, the actual soil erosion modulus of Wangmaogou Watershed was 7 413 t/(km²·a). According to the definition of the erosion control degree, the erosion control degree of Wangmaogou Watershed was at a lower level of 0.35, due to existed sloping farmland and less forestry area. Therefore, we suggested that erosion control degree should be as the evaluation indicator for the status of soil and water conservation.

Key words: soil and water conservation; revised universal soil loss equation; soil loss tolerance; erosion control degree; Loess Plateau

五号新罗马，关键词之间用分号间隔，均小写（专用名词除外）

引言，直接写，不加“引言”或“前言”2字；文字五号宋体

黄土高原是世界水土流失最严重地区之一，为了遏制黄土高原水土流失，我国政府采取了调整土地利用结构、恢复植被、改进耕作方式、在坡面修建梯田以及在沟道修建淤地坝等一系列水土保持措施^[1]。而关于流域治理程度的表征，目前使用的指标主要是水土流失治理程度(erosion control ratio)，

收稿日期：2012-08-09 修回日期：2012-11-07

项目名称必须包括项目来源、项目名称、项目编号3项内容，多个项目之间用分号间隔

项目名称：国家重点基础研究发展计划(973计划)“黄河上游沙漠宽谷段风沙水沙过程及调控机理”(2011CB403302)；国家自然科学基金“黄土区退耕生态系统植被根系行为特征与土壤水资源响应”(41271290)

第一作者简介：高海东(1983—)，男，博士研究生。主要研究方向：土壤侵蚀与遥感。E-mail: geoghd@msn.com

作者简介信息必须完整，内容类别同模板

†通信作者简介：李占斌(1962—)，男，博士，研究员。主要研究方向：土壤侵蚀与水土保持。E-mail: zbli@ms.iswc.ac.cn

水土保持术语(GB/T 20465—2006)^[2]中表述为“在某一区域内,(包括流域)水土流失治理措施面积占原有水土流失面积的百分比”。有学者^[3]认为,“治理度”的含义实际上是“面积比”的概念,是治理率的意思。实际调查发现,许多小流域水土流失治理率已达到了100%,有的已经超过了100%,这都是很正常的事。因为治理之后有一个恢复过程(或未达到技术标准),恢复的过程中依然存在水土流失现象,也许水土流失的强度有所减缓,但还算水土流失面积,还需要进一步治理;因此,治理面积占水土流失面积的比率并不能全面反映小流域治理恢复(侵蚀控制)状况。鉴于此,笔者从土壤侵蚀模数入手,以王茂沟流域为研究对象,确定王茂沟流域水土保持措施容量,并计算最小可能土壤侵蚀模数、流域实际土壤侵蚀模数以及流域侵蚀控制度,以期为黄土高原水土流失治理效果评价提供借鉴。

1 流域侵蚀控制度的概念

流域侵蚀控制度为流域最小可能土壤侵蚀模数与流域实际土壤侵蚀模数之比,即

$$r = T_0/T \quad (1)$$

式中: r 为流域侵蚀控制度; T_0 为流域最小可能土壤侵蚀模数,即水土保持措施容量下的流域土壤侵蚀模数, $t/(km^2 \cdot a)$; T 为流域实际土壤侵蚀模数, $t/(km^2 \cdot a)$ 。

流域侵蚀控制度 r 越靠近1,表明流域的治理程度越高,而 r 越靠近0,表示流域治理程度越低,即偏离理想的治理状态越远。

2 研究区概况

王茂沟流域是陕西省绥德县韭园沟的一条支沟,流域面积5.74 km²,主沟长3.75 km,沟道平均比降为2.7%,沟壑密度4.3 km/km²。流域内地质构造比较单纯,表层多被质地匀细、组织疏松的黄绵土覆盖,厚度20~30 m。流域属大陆性季风气候,多年平均气温10.2℃,多年平均降水量513 mm,汛期降水量占年降水量的73.1%,且多以暴雨形式出现,造成严重的水土流失,泥沙量的95%集中在汛期,以水力侵蚀为主。流域土地利用类型以草地、坡耕地、梯田以及林地为主,其他土地利用类型有园地、坝地、农村居民点、道路等。王茂沟流域自1953年开展流域综合治理工作,至2009年底,有淤地坝23座,总库容273万m³。

3 土壤侵蚀模数计算方法

3.1 数据来源与处理

研究区数字高程模型(DEM)由等高距为5 m的1:1万地形图通过Hutchinson插值方法获得,栅格分辨率为2.5 m,投影为通用横轴墨卡托投影(Universal Transverse Mercator, UTM),格式为ESRI GRID。研究区土地利用数据由快鸟(Quickbird)影像目视解译而来,影像分辨率为0.61 m,成像时间为2004年9月,云量为0%。

用于计算土壤可蚀性 K 值的土壤质地和土壤有机质数据由仪器实测而来。土壤颗粒分析采用Malvern公司生产的Mastersizer2000激光粒度仪进行分析,土壤质地分类方法采用美国农业部(USDA)的分类方法。土壤有机碳质量分数测定方法为高温催化氧化进行消解,使用NDIR法测定有机碳质量分数,分析仪器为Analytik Jena AG公司的Multi N/C 3100 TOC/TC Analyzer。

3.2 修正通用土壤流失方程(RUSLE)各因子

修正通用土壤流失方程(Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE)是目前世界上应用最广泛的水土流失方程,能反应出土壤流失量受各种因素的影响,表达式为

$$A = RKSCLP \quad (2)$$

式中: A 为年平均土壤流失量, $t/(hm^2 \cdot a)$; R 为降雨侵蚀力因子, $MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h \cdot a)$; K 为土壤可蚀性因子, $t \cdot hm^2 \cdot h/(hm^2 \cdot MJ \cdot mm)$; S 为坡度因子; L 为坡长因子; C 为作物覆盖-管理因子; P 为水土保持措施因子。

坡面平均侵蚀量 \bar{A} 使用下式计算:

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^n a_i A_i \quad (3)$$

式中: A_i 为第 i 类单元的土壤侵蚀量, $t/(km^2 \cdot a)$; a_i 为第 i 类单元的面积比例; n 为单元数量。

3.2.1 降雨侵蚀力(R) 修正通用土壤流失方程(RUSLE)预测土壤流失量时,用 E_{130} 作为降雨侵蚀力指标。受降雨过程资料限制,许多学者^[4]提出了利用气象站常规降雨统计资料计算降雨侵蚀力的简易方法。笔者使用蒋定生^[5]在王茂沟附近丁家沟的计算结果, R 取1 189 MJ·mm/(hm²·h)。

3.2.2 土壤可蚀性因子(K) K 因子反映了土壤对侵蚀的敏感性, K 值估算采用土壤侵蚀和生产力影响估算模型(EPIC)^[6]中的方法,利用土壤有机质和颗粒组成进行估算:

4.3 王茂沟流域实际土壤侵蚀模数计算

将王茂沟土地利用类型分为坝地、梯田、林地、坡耕地以及草地 5 大类,以 2004 年快鸟影像为底片进行目视解译(图 3(a))。结果显示,王茂沟流域主要的土地利用类型为草地,其次为梯田以及坡耕地(表 4)。

将不同的土地利用类型分别赋予不同的 C 值和 P 值,并使用 DEM 计算坡度坡长因子,得流域实际土壤侵蚀模数为 $7\,413\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ (图 3(b))。可知,王茂沟流域以微度侵蚀为主,但极强烈侵蚀和剧烈侵蚀也占有一定比例(表 5),这是因为草地和坡耕地比例较高。

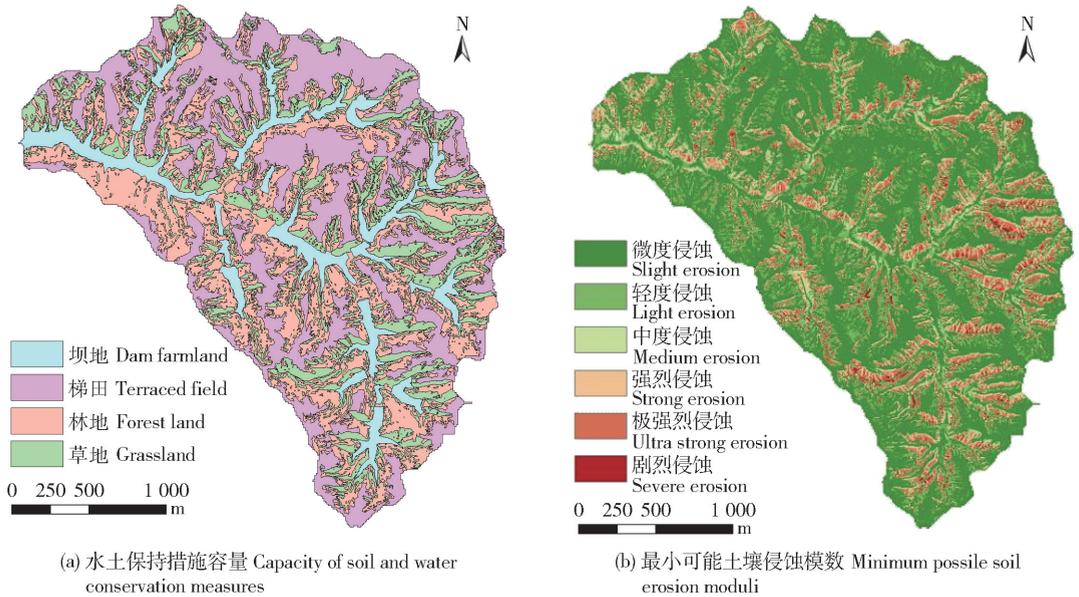


图 2 流域水土保持措施容量与最小可能土壤侵蚀模数

Fig.2 Capacity of soil and water conservation measures (a) and the minimum possible soil erosion moduli (b)

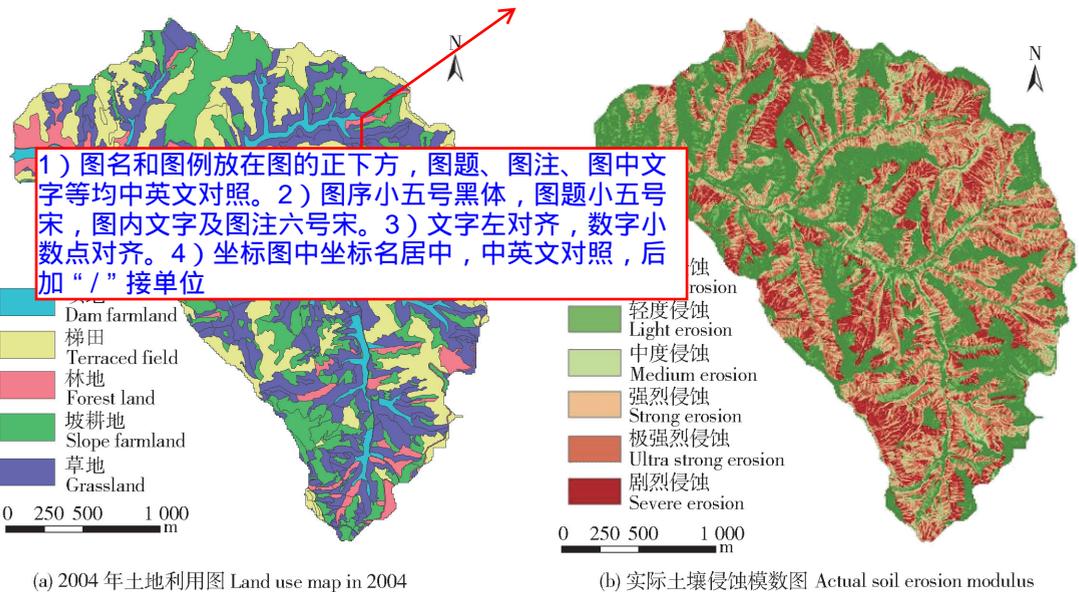


图 3 王茂沟流域 2004 年土地利用图与实际土壤侵蚀模数图

Fig.3 Land use map in 2004 (a) and the actual soil erosion modulus (b) of Wangmaogou Watershed

4.4 王茂沟流域侵蚀控制度

对于王茂沟流域,最小可能土壤侵蚀模数为 $2\,573\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,实际土壤侵蚀模数为 $7\,413\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,因此,流域侵蚀控制度为 0.35。造成王茂沟流

域侵蚀控制度较低的原因是流域的坡耕地面积较大,比例达 22.32%。进一步对比土地利用现状图和流域水土保持措施容量发现,2004 年,坝地、梯田以及林地分别占流域水土保持措施容量下的坝地、

梯田以及林地的比例为 61.17%、81.49%、25.85%，表明王茂沟流域林地面积较少，还有进一步提高的空间。

1) 表格采用三线表，表名放在表的正上方，表题、表注、表中文字等均中英文对照。2) 表序小五号黑体，表题小五号宋，表内文字及表注六号宋。3) 文字左对齐，数字小数点对齐。4) 表内单位采用表内格式。

性同位
算使用
大可能

表 3 王茂沟流域最小可能土壤侵蚀模数

Tab.3 Minimum possible soil erosion modulus of Wangmaogou Watershed

土壤侵蚀模数 Soil erosion moduli/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	面积 Area/hm ²	比例 Percentage/%
微度 Slight (<1 000)	337.20	58.77
轻度 Light(1 000 ~ 2 500)	100.63	17.54
中度 Medium(2 500 ~ 5 000)	29.11	5.07
强烈 Strong(5 000 ~ 8 000)	38.34	6.68
极强烈 Ultra strong(8 000 ~ 15 000)	57.17	9.96
剧烈 Severe(> 15 000)	11.29	1.97
合计 Total	573.75	100.00

表 4 王茂沟流域 2004 年土地利用结构

Tab.4 Land use structure in 2004 of Wangmaogou Watershed

类型 Type	面积 Area/hm ²	比例 Percentage/%
坝地 Dam farmland	35.81	6.24
梯田 Terraced field	147.92	25.78
林地 Forest land	52.51	9.15
坡耕地 Slope farmland	128.06	22.32
草地 Grassland	209.46	36.51
合计 Total	573.75	100.00

表 5 王茂沟流域实际土壤侵蚀模数

Tab.5 Actual soil erosion modulus of Wangmaogou Watershed

土壤侵蚀模数 Soil erosion moduli/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	面积 Area/hm ²	比例 Percentage/%
微度 Slight (<1 000)	195.67	34.11
轻度 Light(1 000 ~ 2 500)	64.40	11.22
中度 Medium(2 500 ~ 5 000)	48.91	8.52
强烈 Strong(5 000 ~ 8 000)	67.54	11.77
极强烈 Ultra strong(8 000 ~ 15 000)	107.69	18.77
剧烈 Severe(> 15 000)	89.55	15.61
合计 Total	573.75	100.00

5 讨论

流域水土保持措施容量是针对王茂沟提出的，外推到其他地区需要重新鉴别坝地、梯田以及林地的适宜分布区；另外，本文关于坝地、梯田以及林地的适宜分布区的定义较为简单，需要进一步深入研究。土壤侵蚀模数的确定有多种方法，如使用实测

地修正了 RUSLE 在黄土高原地区应用的局限性，但是由于我国 C 值研究较为薄弱，对侵蚀量的计算仍存在一定偏差。

6 结论

1) 提出的流域简化坡面的办法可为快速调查流域的平均土壤侵蚀模数提供方便。

2) 王茂沟流域土壤侵蚀模数的理论范围为 450 ~ 18 936 t/(km²·a)。

3) 要使流域土壤侵蚀模数降到 1 000 t/(km²·a) 以下，则梁峁坡应全部修为梯田或者采用水平沟整地造林，且覆盖度需达 40% ~ 60%；沟谷坡如果采用鱼鳞坑整地造林，则坝地需淤高 4.95 m，如果种草，则坝地需淤高 30.11 m。

4) 王茂沟流域最小可能土壤侵蚀模数为 2 573 t/(km²·a)，2004 年实际土壤侵蚀模数为 7 413 t/(km²·a)，流域侵蚀控制度为 0.35，造成王茂沟 2004 年流域侵蚀量较大。

致谢用五号仿宋体，不写“致谢”二字，直接写致谢内容即可

笔者最初提出的概念是“流域综合治理度”，专家审稿后建议用“流域侵蚀控制度”更贴切，在此表示感谢！

小四号黑体，顶格排，与一级表题排序

7 参考文献

[1] 水利部,中国科学院,中国工程院. 中国水土流失防治与生态安全 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010: 113.

[2] GB/T 20465-2006 水土保持术语 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 5-7.

[3] 苏春丽,梁音,李德成,等. 红壤区小流域治理度的概念与评价方法[J]. 土壤, 2011, 43(3): 466-475

[4] Ferro V, Porto P, Yu Baoyuan. A comparative study of rainfall erosivity estimation for southern Italy and south-eastern Australia [J]. Journal of Hydrology, 1999, 44: 3-24.

[5] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997: 67-98

[6] Sharpley A N, Williams J R. EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation [R]. Washington: United States Department of Agriculture, No. 1768, Part 1, 1990: 1-235

[7] McCool D K, Brown L G, Foster G R, et al. Revised

参考文献采用顺序编码制，小五号宋体，3人以上作者，在第三人后加“，等”，专著要列出参考起止页

欧美等作者姓全称，名字缩写，不加缩写点

- slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30: 1387-1396
- [8] Liu Baoyuan, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37 (6): 1835-1840
- [9] 党维勤, 王晓, 马三保, 等. 黄土高原小流域坝系监测方法及评价系统研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2008: 140-150
- [10] Liu Baoyuan, Nearing M A, Shi Peijun. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of American Journal, 2000, 64(5): 226-228
- [11] 张岩, 刘宝元, 史培军, 等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1050-1056
- [12] 贾燕锋. 陕北典型小流域立地-群落-土壤侵蚀量的对应模拟研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011: 68-75
- [13] 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]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(1): 1-9
- [14] 郭忠升. 黄土高原半干旱区水土保持植被恢复限度: 以人工柠条林为例[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 49-54
- [15] 焦菊英, 王万忠, 李靖. 黄土高原林草水土保持有效盖度分析[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 608-612
- [16] 张光辉, 梁一民. 植被盖度对水土保持功效影响的研究综述[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 104-110
- [17] Zhang Yan, Liu Baoyuan, Zhang Qingchun, et al. Effect of different vegetation types on soil erosion by water [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(10): 1204-1209
- [18] 张岩, 刘宝元, 史培军, 等. 黄土高原土壤侵蚀作物覆盖因子计算[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1050-1056
- [19] 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报, 1996, 16(5): 1-20
- [20] 侯喜禄, 邹厚远. 安塞县水土保持实验区植被及减沙效益调查报告[J]. 泥沙研究, 1987, 4: 108-112
- [21] 林和平. 水平沟耕作在不同坡度上的水土保持效应[J]. 水土保持学报, 1993, 7(2): 63-69
- [22] 袁希平, 雷廷武. 水土保持措施及其减水减沙效益分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 296-300
- [23] 吴发启, 张玉斌, 王健. 黄土高原水平梯田的蓄水保土效益分析[J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(1): 34-37
- [24] 高海东, 李占斌, 李鹏, 等. 梯田建设和淤地坝淤积对流域土壤侵蚀影响的定量分析[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 599-608
- [25] 黄河上中游管理局. 淤地坝试验研究[M]. 北京: 中国计划出版社, 2005: 35-43
- [26] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 555-563
- [27] Van Remortel R, Hamilton M, Hicky R. Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data[J]. Cartography, 2001, 30(1): 27-35

中国作者, 外文文献, 姓
前名后, 但名字要全拼

(责任编辑: 宋如华)

五号仿宋体

五号楷体