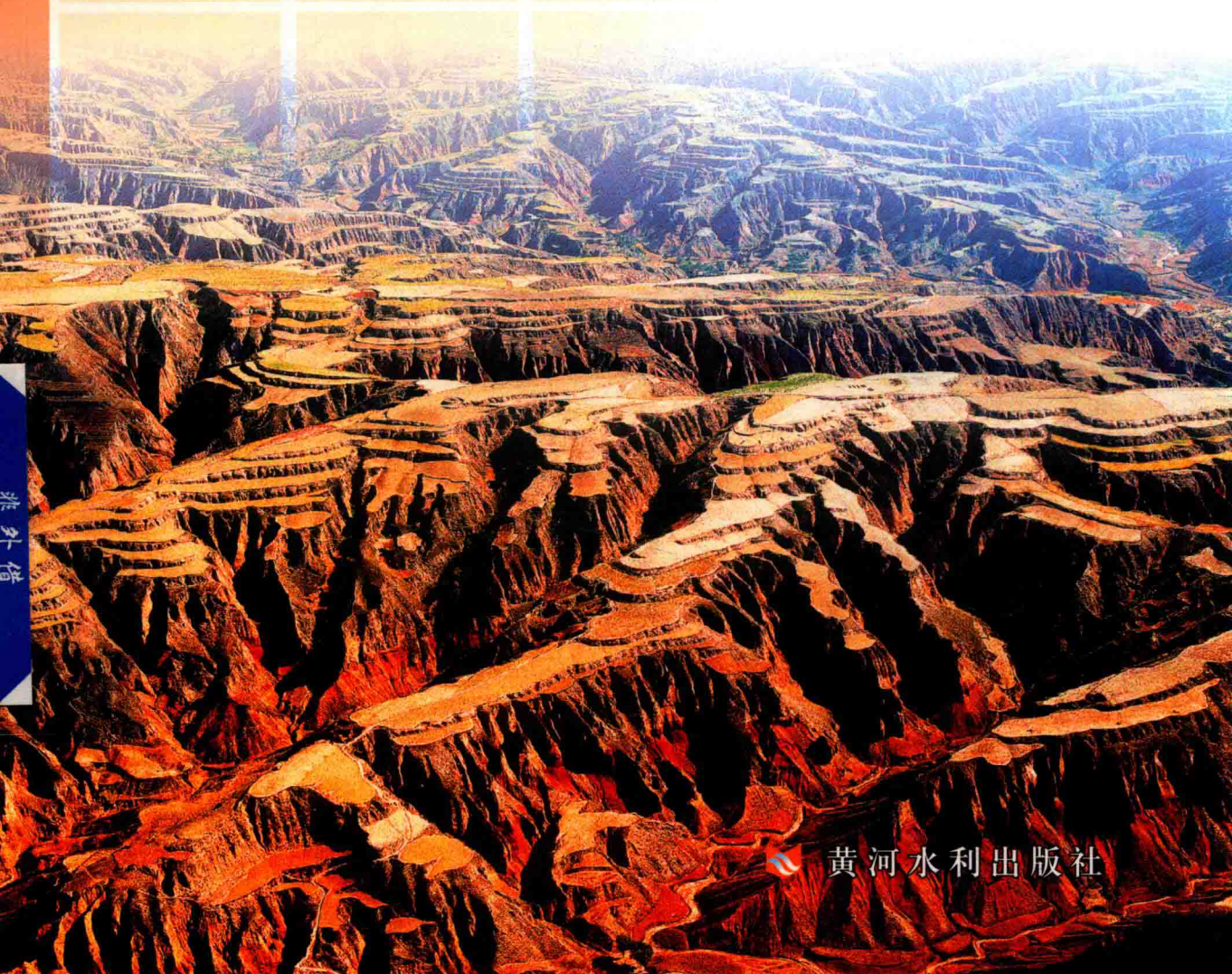


HUANGTU QIULING GOUHEQU
BUTONG KONGJIAN CHIDU DIMAO DANYUAN SHUISHA OUHE JIZHI

黄土丘陵沟壑区

不同空间尺度地貌单元水沙耦合机制

王玲玲 孙维营 孔祥兵 王昌高 焦 鹏 著



黄河水利出版社

黄土丘陵沟壑区不同空间尺度 地貌单元水沙耦合机制

王玲玲 孙维营 孔祥兵 王昌高 焦 鹏 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书在总结土壤侵蚀过程研究成果的基础上,采用野外定位监测、室内模拟降雨试验、水文分析与数理统计和地统计分析相结合的方法,通过系统分析坡面—沟道—流域系统不同时空尺度下各地貌单元侵蚀输沙特征,阐明不同时空尺度下各地貌单元水沙关系特征及其差异性,从水动力学和地貌形态演化方面揭示不同空间尺度地貌单元产输沙机制。研究成果在黄土高原典型流域水土保持规划、水土保持措施布设、效益评价等方面具有广阔的应用前景。

本书可供从事土壤侵蚀、水土保持、河流泥沙、水文等研究领域的科技工作者阅读,也可作为有关大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黄土丘陵沟壑区不同空间尺度地貌单元水沙耦合机制/王玲玲等著. —郑州:黄河水利出版社,2018.9
ISBN 978-7-5509-2169-6

I. ①黄… II. ①王… III. ①黄土高原—丘陵地—
沟壑—含沙水流—研究 IV. ①TV131.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 230534 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371-66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

网址:www.yrcp.com

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:虎彩印艺股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:7.25

字数:168 千字

印数:1—1 000

版次:2018 年 9 月第 1 版

印次:2018 年 9 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前 言

黄土高原是我国乃至全世界范围内水土流失最严重的地区之一,而黄土丘陵沟壑区因地形破碎、沟壑密度大,是黄土高原水土流失最为严重的侵蚀区域,也是黄河泥沙的主要来源区,是土壤侵蚀研究和水土保持工作的重点。

尺度问题普遍存在于土壤侵蚀的整个过程,由于黄土丘陵沟壑区自然环境与社会环境非常复杂,产沙地层多样、侵蚀类型多且相互耦合,流域系统能耗过程的非线性特征非常突出,侵蚀过程对地貌边界条件和动力条件的变化反映敏感,使得坡面—沟道—流域系统含沙水流对土壤侵蚀、泥沙输移与沉积的影响机制尚未完全明确,不同空间尺度地貌单元水沙搭配关系的差异性尚不清晰。

20 世纪后半期,尤其是自 20 世纪 80 年代末以来,伴随着坡改梯、植树造林、自然修复、淤地坝建设等水土保持措施的大规模有效实施,黄土高原地区生态环境已得到明显改善,土壤侵蚀率、河川径流量及输沙量显著减少,水沙调控效应明显。然而,水土保持生态建设不可避免地引起土地利用及被覆格局的变化,通过改变地表形态、土壤特性等下垫面物理特性,深刻影响着流域的蒸散发和产汇流过程,显著改变了流域的水文情势。研究地表及其覆被变化下不同空间尺度水文水资源响应过程是现代水文学的重要方向。然而,不同尺度景观格局与径流及侵蚀响应、泥沙沉积、水土保持效应间的内在驱动机制尚未完全明确。

因此,从多尺度土壤侵蚀过程的系统角度出发,辨识不同尺度水沙关系变化成因,揭示不同尺度水沙耦合机制等科学问题,开展坡面—沟道—流域系统不同地貌单元水沙耦合机制研究,为黄土高原水土流失综合治理提供科学支撑是十分必要的。本书以“特征分析—过程判识—机制揭示”的学术思路,运用水力学、水土保持学、水文学和土壤学等多学科的理论与方法,采用野外定位监测、室内模拟降雨试验、水文分析与地统计数理分析相结合的方法,系统分析坡面—沟道—流域系统不同时空尺度下各地貌单元侵蚀输沙系特征,阐明不同时空尺度下各地貌单元水沙关系特征及其差异性,从水动力学和地貌形态演化方面揭示不同空间尺度地貌单元产沙机制。

本书共分为 8 章,各章节撰写分工如下:第 1 章由王玲玲撰写;第 2 章第 2.1 节和 2.4 节由孙维营撰写,第 2.2 节和 2.3 节由王昌高撰写,整章由孙维营统稿;第 3 章第 3.1 节和 3.3 节由孔祥兵撰写,第 3.2 节由焦鹏撰写,整章由孔祥兵统稿;第 4 章由焦鹏撰写和统稿;第 5 章由王昌高撰写和统稿;第 6 章第 6.1 节和 6.4 节由王玲玲撰写,第 6.2 节和 6.3 节由孔祥兵撰写,整章由王玲玲统稿;第 7 章由王玲玲撰写和统稿;第 8 章第 8.1 节

和 8.2 节由王玲玲撰写,第 8.3 节由王昌高撰写,整章由王玲玲统稿。全书由王玲玲、孙维营、王昌高统稿。

由于作者水平有限,加之土壤侵蚀过程的复杂性,本书难免有疏漏、不足之处,敬请读者批评指正。

作 者

2018 年 7 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 研究目的及意义	(2)
1.3 国内外研究现状与趋势	(2)
1.4 本章小结	(6)
第2章 研究内容与方法	(7)
2.1 研究区基本概况	(7)
2.2 研究内容	(13)
2.3 研究方法	(14)
2.4 本章小结	(16)
第3章 室内外试验布设、数据观测与处理	(17)
3.1 野外原型定位观测	(17)
3.2 室内概化小流域模拟试验	(20)
3.3 本章小结	(35)
第4章 不同空间尺度流域次降雨空间变异性	(36)
4.1 不同空间尺度流域次降雨空间不均匀性特征	(36)
4.2 不同尺度次降雨不均匀结构特征	(43)
4.3 本章小结	(46)
第5章 不同空间尺度地貌单元侵蚀输沙特征	(48)
5.1 坡沟系统不同微地貌单元产流产沙特征	(48)
5.2 坡面—沟道—流域系统产流产沙	(52)
5.3 不同空间尺度地貌单元产沙动力机制分析	(56)
5.4 坡面—沟道—流域系统输沙能力	(59)
5.5 本章小结	(60)
第6章 不同空间尺度地貌单元水沙关系特征	(62)
6.1 多年平均时间尺度下的水沙关系	(62)
6.2 基于次洪事件的水沙关系	(65)
6.3 基于次洪过程的不同空间尺度水沙关系	(69)
6.4 本章小结	(74)
第7章 不同空间尺度地貌单元水沙关系耦合机制	(76)
7.1 不同空间尺度地貌单元水沙过程	(76)
7.2 不同空间尺度地貌单元水流流态及水力学参数特征	(85)

7.3	不同空间尺度地貌单元侵蚀产沙水动力学参数特征	(91)
7.4	不同空间尺度水沙关系与动力学参数耦合特征	(95)
7.5	流域地貌形态发育过程与水沙耦合关系	(97)
7.6	本章小结	(105)
第8章	主要结论与展望	(107)
8.1	主要结论	(107)
8.2	特色与创新	(109)
8.3	展 望	(109)

第1章 绪论

1.1 研究背景

土壤侵蚀是人类面临的压力最大的生态环境问题之一,黄土高原水土流失面积 45.4 万 km^2 ,是我国乃至世界上水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区之一。严重的土壤侵蚀不仅导致当地土壤退化,威胁农业生产和粮食安全,而且伴随着多年平均入黄泥沙多达 16 亿 t,造成黄河下游淤积,成为举世闻名的地上悬河,严重影响黄河下游防洪安全。随着侵蚀泥沙的搬运和迁移,伴随侵蚀泥沙迁移的污染物质给下游生态环境、人类生存和社会经济发展也带来严重影响。另外,侵蚀泥沙在搬运过程中,土壤碳、氮、磷的组分不断发生变化,进而甚至影响全球气候变化。

作为世界上典型的多沙河流,黄河泥沙问题一直为我国政府和各界人士所重视。黄河泥沙主要来自黄河中游的黄土高原,而黄土丘陵沟壑区是黄土高原水土流失最为严重的区域之一,该区域产沙地层多样、侵蚀类型多且相互耦合,流域系统能耗过程的非线性特征非常突出,独特的侵蚀环境使得这一地区高强度侵蚀机制尚未完全解决。因此,防治该区域土壤侵蚀、改善生态环境,已成为该区域生态环境建设的重要问题。

20 世纪后半期,尤其是自 20 世纪 80 年代末以来,国家投入了大量的资金开展土壤侵蚀规律研究和水土流失综合治理,从不同时空尺度研究了黄土高原土壤侵蚀发生发展规律、各项水土保持措施效益及其与各环境因子之间的关系。在侵蚀规律认识方面,从单一坡面、沟坡、坡沟系统等独立的地貌单元侵蚀产沙规律认识,逐渐发展到为进一步探求黄河泥沙来源,开展了流域的侵蚀环境、侵蚀产沙的地貌部位、侵蚀产沙地层和侵蚀产沙方式的研究,从而把流域侵蚀产沙规律与沟道河流泥沙输移规律的研究有机结合起来,促进了土壤侵蚀学科的发展;在水土流失治理方面,20 世纪 50 年代,在水土保持工作的方针和具体措施等一系列问题上曾引发过激烈的争论。尤其是在水土保持工作方针的问题上,因土壤侵蚀过程研究的对象(坡面或沟道)不同,出现了治沟还是治坡的争论,争论双方从不同角度参与到激烈的争论中,有的偏重于治沟,有的偏重于治坡,反映了侵蚀规律系统研究的薄弱。20 世纪 80 年代初,朱显谟提出了黄土高原地区水土流失综合整治的“28 字方针”,有效地指导了黄土高原综合治理与生产发展。

流域综合治理措施实施后,通过综合实施退耕还林还草、坡改梯、沟道淤地坝建设等生态建设工程,黄土丘陵沟壑区的生态环境得到了明显改善,作为主要产沙的河口至龙门区间,1997~2007 年间年平均产沙量仅为 1986~1996 年间的 45.8%,水土保持各项措施的水沙调控效应十分明显。

然而,流域综合治理不仅改变了流域下垫面土地利用及覆盖格局的变化,而且改变了流域微地貌形态以及土壤物理特性等,深刻影响着流域的产汇流和产输沙过程。近年来,

通过定位观测模拟试验,研究探讨了斑块、坡面、田间及流域等不同空间尺度地貌单元下垫面景观格局、地貌形态与水土流失过程的发生效应,促进了不同景观格局之间侵蚀径流及响应的连通性认识。然而,尺度问题普遍存在于土壤侵蚀的整个过程,研究土壤侵蚀的尺度问题在水土流失过程模拟中具有重要意义。黄土丘陵沟壑区侵蚀类型多且相互耦合,流域系统能耗过程的非线性特征非常突出,使得坡面—沟道—流域系统中不同地貌单元的含沙水流对土壤侵蚀、泥沙输移与沉积的影响机制尚未完全明确,不同空间尺度地貌单元水沙搭配关系的差异性尚不清晰,导致当前黄土高原水土保持措施实施后,各项水土保持措施防治水土流失的贡献率尚不完全明确,针对黄河流域水沙情势变化趋势及原因尚不能给出尽如人意的合理预测和解释。因此,不同空间尺度地貌单元侵蚀产沙、水沙传递过程及其空间尺度效应亟待流域侵蚀研究进行定量表征和厘清。

1.2 研究目的及意义

黄土丘陵沟壑区因其地形破碎、坡陡沟深,是黄土高原水土流失最为严重的区域。黄土丘陵沟壑区在地貌特征上具有明显的垂直分带性,不同空间尺度地貌单元[梁峁坡上半坡(简称上半坡)、梁峁坡下半坡(简称下半坡)、梁峁坡、沟谷坡、坡沟系统(全坡面)、集水区、毛沟、支沟和干沟等],既是侵蚀产沙单元,又是水沙传递单元,在降雨—径流—泥沙物质迁移转换和驱动下,不同空间尺度地貌单元相互作用动态耦合,形成了一个复杂的泥沙运动系统。研究该系统内各地貌单元之间水沙耦合机制,对全面认识黄土丘陵沟壑区的土壤侵蚀产沙规律、有效推动黄土高原水土保持和生态建设具有理论和实际意义。

许多学者通过试验研究和定位观测对坡面小区、坡沟系统等坡面尺度的侵蚀产沙过程及机制、流域尺度的水沙传递关系等进行了研究,并且给出了一些定性定量关系。但是目前还有一些科学问题亟待解决,如以往多单独研究各地貌单元的侵蚀产沙过程,缺乏从系统的角度研究坡面—沟道—流域系统内各地貌单元之间的水沙搭配关系特征,而且对不同地貌单元水沙耦合关系的发生机制研究较少。鉴于此,本书以土壤侵蚀学、水力学、泥沙动力学等学科的理论为基础,以地理信息系统为技术平台,以坡面—沟道—流域完整体系作为研究对象,采用野外定位监测、人工模拟降雨试验和理论分析相结合的研究方法,从系统的角度阐述不同空间尺度地貌单元侵蚀产沙耦合关系,揭示不同时空尺度地貌单元水沙搭配关系特征,阐明不同空间尺度地貌单元水沙耦合机制。研究成果可促进土壤侵蚀与水土保持学科发展,为建立不同空间尺度的土壤侵蚀预测预报模型提供理论支撑,同时可以为黄土高原小流域综合治理措施优化配置提供科学依据,具有重要的科学意义。

1.3 国内外研究现状与趋势

1.3.1 不同空间尺度侵蚀产沙过程研究

在黄土丘陵沟壑区集水流域从分水岭至沟谷底的垂直剖面上,土壤侵蚀特征具有明

显的垂直分带性,在地貌形态上可划分峁顶、梁峁坡上半坡、梁峁坡下半坡和沟谷坡,而梁峁坡和沟谷坡连接的整体称为坡沟系统(或称为全坡面),坡沟系统组成流域最基本的集水区,不同级别的集水区组成流域的毛沟、支沟和干沟(见图 1-1)。国内外学者以不同空间尺度地貌单元为研究对象,开展了大量的土壤侵蚀研究工作。

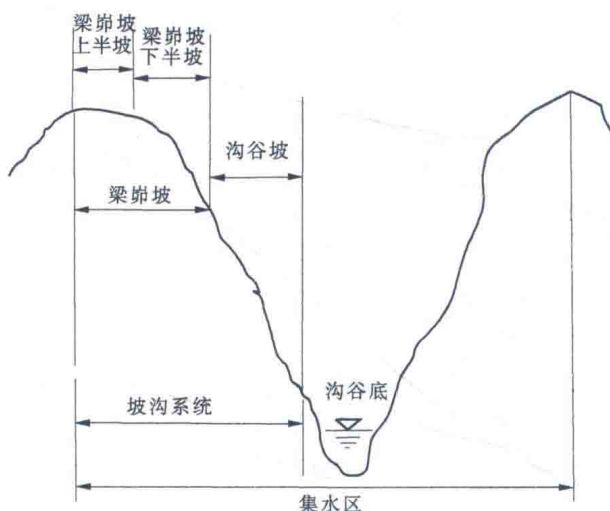


图 1-1 黄土丘陵区地貌分带示意图

1.3.1.1 坡面尺度

国内外关于坡面土壤侵蚀过程的研究取得了重要进展。自从 1877 年德国土壤学家 Ewald Wollny 定量化研究土壤侵蚀开始,国内外学者通过室内模拟径流小区、野外定位观测小区、人工模拟降雨和核素示踪等方法,在坡面小区尺度上的研究开展了大量工作。研究了坡面土壤侵蚀方式和侵蚀分类,认识到了坡耕地侵蚀方式及其侵蚀产沙过程;研究了坡面侵蚀与降雨、坡度、坡长、耕作方式、下垫面(地表糙率、被覆状况)等各影响因素之间的定量关系,确定了坡地退耕的临界坡度、坡长;研究了坡面径流水力学特性及侵蚀动力机制,揭示了坡面侵蚀水动力学机制;开展了坡面土壤侵蚀定量评价和预报研究,定量预测了坡面土壤侵蚀量和评价了坡面治理措施效果。坡面小区尺度的土壤侵蚀过程取得的一系列重要成果,为黄土高原坡耕地治理提供了科学依据。

1.3.1.2 坡沟系统

坡沟系统侵蚀产沙关系的研究追溯至 20 世纪 50 年代治沟和治坡的争论,关于黄土高原坡沟系统侵蚀产沙关系的研究,在产流产沙关系以及水动力学发生机制方面,从定性和定量研究角度,也取得了一定的进展。主要表现在以下几个方面:

(1) 坡面侵蚀产沙与沟坡侵蚀产沙对流域侵蚀产沙的贡献率。普遍认为,沟坡地的多年平均侵蚀强度一般大于沟间地。

(2) 坡沟侵蚀产沙的相互关系。曾伯庆通过分析山西羊道沟坡面观测场资料,认为降雨时“坡”与“沟”水土流失互为因果的关系十分明显,沟坡地接收沟间地径流的侵蚀产沙量是沟坡地不接收径流的侵蚀产沙量的 4.5 倍。室内研究表明,上坡来水对不同坡段产沙贡献很大,坡下方侵蚀—沉积—搬运过程及其产沙量受上方来水含沙量、降雨强度、

地面坡度和土壤表面条件的综合影响。

(3) 坡沟系统侵蚀产沙的水动力学机制。国内外在这方面的研究主要是通过室内人工降雨模拟方法,将坡沟系统作为一个完整的土壤侵蚀链条,研究了坡面薄层水流、细沟流、浅沟流及沟道水流等不同水流类型的水流流态、水动力学特征及其与侵蚀输沙的耦合特征,从水动力学角度认识了黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀垂直分带的本质原因。

1.3.1.3 流域尺度

在流域尺度水沙耦合关系方面,目前主要的研究成果有以下几方面:

(1) 研究确定了影响小流域水沙传递的主要因子,包括降雨空间分布、前期雨量以及地貌形态等因子。

(2) 揭示了黄土丘陵沟壑区沟道的输沙特性,研究认为黄土丘陵沟壑区无论流域面积大小,都存在一个与流域面积大小有关的临界流量,并依此临界流量为界,将水沙关系分成两个具有不同规律的区域。

(3) 在流域泥沙输移过程的空间尺度效应方面应做了一定的探讨,研究认为重力侵蚀和高含沙水流特性是引起黄土丘陵沟壑区泥沙过程尺度现象的最主要因素。

(4) 通过室内概化小流域模型开展室内小流域降雨产流产沙过程,试验测量的流量过程呈现出起流、稳定和退水 3 个明显的阶段,而且主沟的产流过程明显滞后于支沟的产流过程,印证了野外观测的水过程。

(5) 通过数值模拟方法定量模拟了流域侵蚀产沙、水沙传递等过程,定量预测了流域土壤侵蚀量,评价了流域治理措施效果。

1.3.2 侵蚀产沙尺度效应研究

侵蚀产沙过程对空间尺度有着强烈的依赖性。侵蚀产沙空间尺度效应产生的原因主要是影响侵蚀产沙过程的主要因子的空间异质性和不均匀性,以及新变量和新过程的出现。尺度的存在根源在于地球表层自然界的等级组织和复杂性。尺度效应形成机制不清晰是导致不同尺度之间难以转换的主要原因。小流域是研究水文过程的自然单元,降雨径流形成过程可分为土壤入渗、坡地产流和沟网汇流三个阶段,径流形成过程受到降雨强度、植被盖度、地形、耕地措施、土壤前期湿度、土壤导水性质等因素的综合影响与制约。径流形成的各个阶段和产输沙过程均与尺度息息相关,水文过程尺度是水文过程本身所具有的客观属性。

1.3.2.1 入渗过程

土壤入渗是流域蓄渗阶段重要的水文过程,土壤水分入渗过程表现出很大的时空变异性 and 尺度依赖性。土壤的入渗能力主要取决于土壤水力特性,目前,黄土丘陵沟壑区土壤水力学特性方面已经开展了大量的工作,如张光辉研究了大南沟小流域土地利用系统(农地、林地、果园、灌木、荒坡、道路)、沟谷系统(沟谷、崩顶平地、沟谷陡坡、沟谷缓坡)和不同坡位(坡底、坡中、坡顶)及不同土壤类型(黄土、黏土)的持水性和导水性的空间变化;郑继勇等研究了六道沟小流域内土壤水力学特性在剖面、坡面、流域尺度上的空间变异特征。研究表明,土壤中物理、化学和生物等过程的综合作用使水力学特性产生空间异质性,由于这些过程对水力特性作用的尺度不同,导致其变异性随尺度范围的改变而改

变,这种水力特性与土壤基本性质之间的关系在不同尺度会发生变化。如在较小尺度(如坡面尺度),这种关系可能主要受生物活动或耕作措施的影响;若放大至流域尺度,地形与土壤侵蚀成为主要因子。

1.3.2.2 产汇流过程

黄土丘陵沟壑区由于土层深厚、地下水埋藏深,产流常为超渗产流。然而研究还表明,对于年降雨量介于 200 ~ 400 mm 的半干旱地区和介于 400 ~ 800 mm 的半湿润地区,产流方式较为复杂,流域不同部位往往以超渗产流为主,兼有超渗向蓄满产流过渡的特点,需根据流域下垫面的具体条件做具体分析。具有超渗(蓄满)产流特征的产流区面积随地形和土壤水传导率不断变化,产流面积在时间尺度上也并不稳定,需要考虑产流模式在流域空间的分布以及流域产流面积的空间发展。对产流面积的空间发展问题,研究者通常建立流域下渗能力分配曲线(蓄水容量曲线)来拟合流域内产流面积和产流过程的时空变异。

在复杂的地貌条件下,产流面积的时空变异引起不同的径流过程,研究表明,在坡面尺度,随着试验场地面积的增大(从 0.25 m² 到 50 m²),径流系数有递减的趋势;随着研究尺度从坡面到小流域的扩展,径流系数随地表情况的变化而变化,荒地径流系数变化最大,水源保护林地的径流系数变化微小。不同尺度的小流域径流深、径流系数差异显著,雨强相同时小尺度、小流域的洪水过程线相似,雨量的多少只影响洪峰的高低,随着尺度的增加,相同雨强下的洪水过程线差异逐渐显著。

1.3.2.3 产输沙过程

径流作为泥沙运动的动力和载体,不同空间尺度的径流过程引起不同的产输沙过程。目前,国内外已有许多学者对土壤侵蚀的尺度效应问题给予了关注,但鉴于问题的复杂性,虽然近年来国外许多学者在土壤侵蚀的研究中都注意到了空间尺度的变化,但是土壤侵蚀尺度效应的研究才刚刚起步。土壤侵蚀的空间尺度效应和不同空间尺度土壤侵蚀定量评价的分析与研究是目前土壤侵蚀研究中的热点问题之一。

关于产沙模数与流域面积关系的研究,Milliman 和 Syvitski 对世界 280 条河流的研究表明,对山区较小的河流,流域产沙模数与流域面积有明显负相关关系,但对于近海平原河流,流域产沙模数与流域面积之间没有明显关系;Dedkov 和 Moszherin 认为,坡面侵蚀占主导地位会使得产沙模数随流域面积增大而变小,而沟道侵蚀占主导则会使得产沙模数随流域面积增大而增大。de Vente 和 Poesn 认为,从极小空间尺度开始,随空间尺度增加,侵蚀和搬运过程最初强于沉积过程,因此侵蚀产沙模数随空间尺度增加而增大,但随空间尺度继续增加,沉积过程开始占据主导地位,产沙模数又逐渐变小。国内学者对黄土高原不同分区产沙的尺度效应进行了分区研究,研究表明,黄土高原不同分区产沙模数随流域面积变化的趋势不同,可以分为单调减小、单调增大、先增大而后减小、先减小而后增大等类型。除产沙模数可能发生变化外,其他如水沙关系、水流含沙量等也可能随着尺度的变化而发生变化。研究认为,由于坡面水流能量小,不足以搬运大量泥沙,因此含沙量随空间尺度增加而变大,进入沟道以后,由于沟道比降变小同时洪水后期坡面泥沙来源变小,因此含沙量又开始变小。Yair 和 Raz - Yassif 研究发现,短历时的暴雨使得径流断流现象频繁发生,因此含沙量随空间尺度增加而变小;Biox - Fayos 等通过试验和野外观测,

发现由于沟道侵蚀和降雨特性的影响,从坡面到流域次暴雨平均含沙量逐渐变大,而且在侵蚀方式和强度方面也有很大的差异,梁峁坡空间尺度的侵蚀方式相同,但空间尺度达到全坡面时侵蚀方式和强度都发生了较大变化,而空间尺度从全坡面到支毛沟到干沟时,径流含沙量过程线在退水过程中都表现出一定的偏态。尽管这些不同地区的研究大大增加了对于水沙过程空间尺度复杂变化的认识,但是相对于产沙模数空间尺度变异的研究,这些研究数量上还显得非常缺乏。

1.3.3 有待进一步解决的主要问题

综上所述,国内外在不同空间尺度地貌单元侵蚀产沙过程、水沙耦合关系等方面取得了重要进展,大大促进了对黄土高原水土流失规律的认识。但仍然有以下方面需要进一步研究:

(1)以往多单独研究各地貌单元的侵蚀产沙过程,缺乏从系统的角度研究各地貌单元之间的水沙耦合关系及其内在联系。

(2)在观测手段上,以往野外定位观测大多是单一的坡面径流小区,缺少从分水岭到沟底的全坡面观测设施。

(3)对坡沟系统在室内模拟试验总结的规律,尚未在野外原型观测中得到验证。

(4)由于野外试验操作的困难性,对于坡面—沟道—流域系统侵蚀产沙多利用水文站泥沙资料进行统计分析,对其水沙传递过程中的水沙搭配关系及其内在联系的研究极少。因此,针对以上问题,本文采用野外原型定位动态监测、人工模拟降雨试验和理论分析相结合的研究方法,以坡面—沟道—流域系统为研究对象,从系统论的角度描述不同空间尺度地貌单元之间的侵蚀产沙耦合关系,揭示不同空间尺度地貌单元之间水沙关系特征,阐明不同空间尺度地貌单元水沙耦合机制,为建立不同空间尺度的土壤侵蚀预测预报模型提供理论支撑。

1.4 本章小结

本章首先介绍了研究背景;然后阐明了主要研究目的及意义,并基于侵蚀及空间尺度的概念,从坡面、沟坡系统(全坡面)、流域等三种空间尺度论述了国内外土壤产输沙过程、水沙关系特征以及侵蚀产沙尺度效应的主要现状与趋势;最后分析了当前研究所存在的不足与亟待解决的问题。

第2章 研究内容与方法

2.1 研究区基本概况

本书选择黄土丘陵沟壑区第一副区无治理小流域裴家峁沟和桥沟为研究区,利用流域内的水文站网、不同地貌单元大型径流场等观测设施,开展野外动态监测,野外原型定位动态监测设施分布及流域相对位置见图 2-1。

2.1.1 裴家峁沟流域

2.1.1.1 流域基本概况

裴家峁沟是无定河的一级支流、黄河的二级支流,位于无定河下游左岸,流域面积 39.3 km²,流域相对高差 250 m,主沟长 11 km,沟床比降 1.51%,流域不对称系数 0.58,沟壑密度 2.69 km/km²。流域内一级崩土壤多为马兰黄土覆盖,厚 5~20 m;二级崩以下坡面为黄土覆盖,厚 20~30 m,沿沟两岸分布有三叠纪灰色砂岩,产状近似水平,沟底为石质沟床。流域内树种有杨(*Populus L.*)、柳(*S. babylonica*)、洋槐(*Robinia pseudoacacia L.*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、榆树(*Ulmus pumila L.*)、柠条(*Caragana Korshinskii Kom*)等。野生草本植物有艾草(*Artemisia argyi*)、狗尾草(*Setaria viridis (L.) Beauv*)、本氏羽茅(*Achnatherum sibiricum (Linn.) Keng.*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor Turcz*)等数 10 种,多分布于沟谷的荒坡上,人工草地较少,没有大片林地,零星树木分布于村庄、道路,陡崖基本裸露。流域内布设雨量站 7 个、水文站 1 个,该站观测的水文资料序列目前有两段:①1960~1969 年;②从 1970 开始,停测 16 年后,于 1986 年恢复观测。

2.1.1.2 地形地貌

河谷阶地和黄土丘陵沟壑区是裴家峁沟流域两大主要地貌形态类型,除此之外,流域内还分布有崩塌、滑坡、黄土柱等特殊的地貌景观。严重的土壤侵蚀、发育剧烈的沟谷将整个流域切割成支离破碎、沟壑纵横的典型黄土地貌景观。流域内梁崩坡坡度为 6°~35°,沟谷坡坡度多为 25°以上,沟谷底坡度多为 0°~6°,沟涧地面积占 49.1%,沟谷地面积占 50.9%。裴家峁沟流域坡度分级见表 2-1,不同地貌单元面积分布见表 2-2。

表 2-1 裴家峁沟流域坡度分级

项目	坡度							合计
	0°~2°	2°~6°	6°~15°	15°~25°	25°~35°	35°~45°	>45°	
梁崩坡(%)	0.2	2.1	11.1	13.3	21.9	0.5		49.1
沟谷坡(%)	0.1	0.1	0.2	0.2	7.4	16.7	18.6	43.3
沟谷底(%)	6.3	1.2	0.1					7.6
全流域(%)	6.6	3.4	11.4	13.5	29.3	17.2	18.6	100

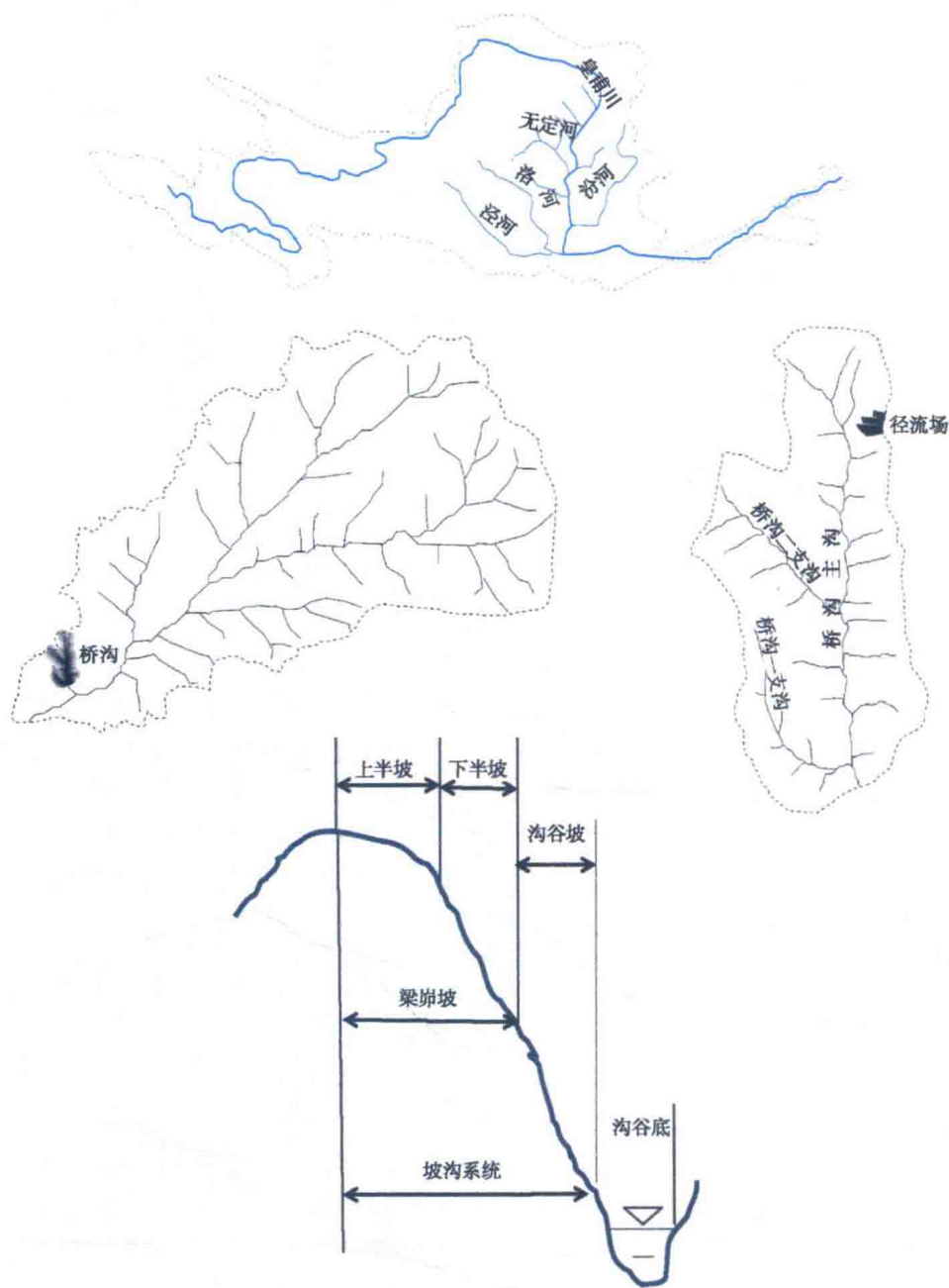


图 2-1 研究区域相对位置图

表 2-2 裴家峁沟流域不同地貌单元面积分布

项目	沟涧地	沟谷地			全流域
		沟谷坡	沟谷底	小计	
面积(km ²)	19.3	17.0	3.0	20.0	39.3
占流域总面积(%)	49.1	43.3	7.6	50.9	100

2.1.1.3 降水特征

裴家峁沟裴家峁水文站多年平均降水量为 307.73 mm(1986~2006 年),见表 2-3 和图 2-2。最大年降水量为 494.5 mm,发生在 1994 年;最小年降水量为 191.1 mm,发生在 1991 年。最大年降水量是最小年降水量的 2.59 倍,该站降水量年际变化较大。

表 2-3 裴家峁沟裴家峁水文站历年降水量、径流量、输沙量统计结果

项目	时段				最大	最小
	1986~1989 年	1990~1999 年	2000~2008 年	1986~2006 年		
降水量(mm)	306	315.13	298.15	307.73	494.5	191.1
距平(%)	-1.73	7.40	-9.58			
径流量(万 m ³)	77.08	151.81	42.26	101.06	600	12.23
距平(%)	-23.98	50.75	-58.80			
输沙量(万 t)	16.67	39.92	10.39	25.65	101.54	0.03
距平(%)	-8.98	14.72	-15.26			



图 2-2 裴家峁沟裴家峁水文站历年降水量柱状图

裴家峁沟裴家峁水文站降水量年内分配情况见表 2-4 和图 2-3。从表 2-4 可以看出,裴家峁沟水文站最小降水量发生在 2 月,最大降水量发生在 8 月;1~8 月降水量逐月增加,8~12 月降水量逐月减少,年内分配呈单峰型。1 月和 12 月降水量仅占年降水量的 1% 左右,7 月和 8 月降水量占年降水量都超过 20%。

多年平均汛期降水量为 316.7 mm(6~9 月),占年降水量的 73.25%。多年平均 7 月、8 月总降水量占年降水量的 45.19%。

表 2-4 裴家峁沟裴家峁水文站降水量年内分配

项目	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	6~9 月
降水量(mm)	4.4	4.0	13.6	22.7	28.9	61.8	93.5	101.9	59.5	24.4	13.5	4.2	316.7
占年(%)	1.02	0.92	3.14	5.26	6.68	14.29	21.62	23.57	13.77	5.65	3.12	0.96	73.25

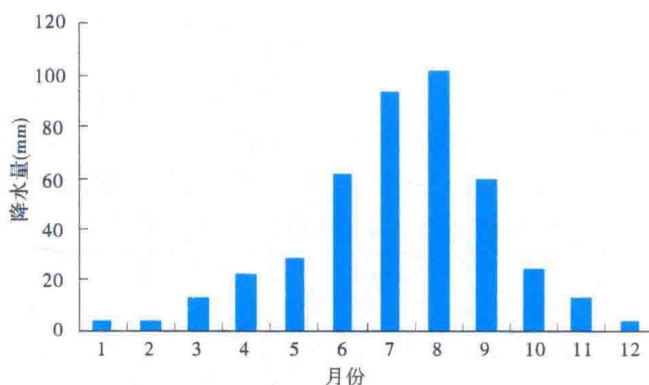


图 2-3 裴家峁沟裴家峁水文站降水量年内分配柱状图

2.1.1.4 径流量

裴家峁沟裴家峁水文站历年径流量过程线见图 2-4, 该站多年平均径流量为 101.06 万 m^3 (1986 ~ 2006 年), 见表 2-3。最大年径流量为 600 万 m^3 , 发生在 1994 年; 最小年径流量为 12.23 万 m^3 , 发生在 1993 年。径流量年际变化大, 最大年径流量是最小年径流量的 49 倍。

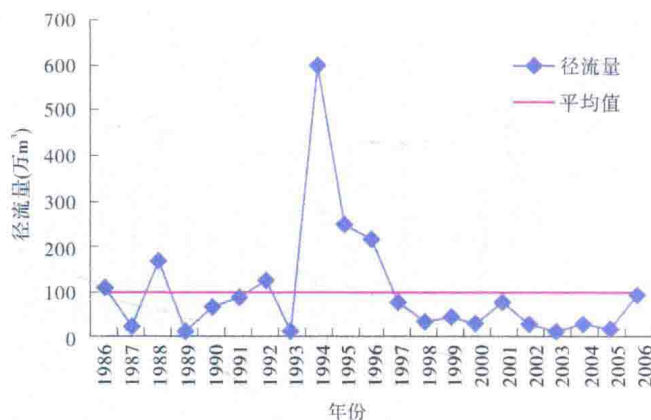


图 2-4 裴家峁沟裴家峁水文站历年径流量过程线

1986 ~ 1990 年、1990 ~ 1999 年和 2000 ~ 2006 年平均年径流量分别为 77.08 万 m^3 、151.81 万 m^3 、42.26 万 m^3 , 径流量年际变化较大, 总的趋势是减小的。径流量最多的是 20 世纪 60 年代, 比多年平均值偏大 50.75%; 径流量最少的是 2000 ~ 2006 年, 比多年平均值偏小 58.80%。

2.1.1.5 输沙量

裴家峁沟裴家峁水文站历年输沙量过程线见图 2-5 和表 2-3, 多年平均输沙量为 179.6 万 t (1986 ~ 2006 年)。最大年输沙量为 101.54 万 t, 发生在 1994 年; 最小年输沙量为 0.03 万 t, 发生在 1993 年, 输沙量年际变化很大。

1986 ~ 1990 年、1990 ~ 1999 年和 2000 ~ 2006 年平均年输沙量分别为 16.67 万 t、39.92 万 t、10.39 万 t。输沙量年际变化大, 输沙量最多的是 20 世纪 90 年代, 比多年平均值偏大 14.72%; 输沙量最少的是 2000 ~ 2006 年, 比多年平均值偏小 15.26%。