

黄河皇甫川流域 土壤侵蚀系统模型和治理模式

金争平 史培军 侯福昌 赵焕勋 等著

海洋出版社



(京)新登字 087 号

内 容 简 介

本书是作者在进行黄河皇甫川流域土壤侵蚀与土地生产力开发信息系统研究的基础上写成的专著。全书共 15 章,集中研究了黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统及其动态模型、土地生产力及其动态模型、土壤侵蚀—土地生产力与治理开发模式,特别讨论了小流域土壤侵蚀模型与临界值的估算。

本书可供水土保持、土壤、地理、国土整治、农业开发等学科的科技工作者和大专院校有关师生参考。

2017/17

黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式

金争平 史培军 侯福昌 赵焕勋 等 著

责任编辑:张宝珍

海洋出版社出版发行(北京市复兴门外大街1号)

内蒙古地质矿产局测绘队印刷厂印刷(内蒙古呼伦贝尔南路4号)

开本: 787×1092 1/16 印张: 16.25

字数: 300 千字 印数: 1—1000

1992年6月第一版·1992年6月第一次印刷

ISBN 7-5027-2367-6/P·196 定价: 8.50 元

前 言¹

区域经济发展,离不开区域经济运行环境系统。保护和优化环境系统已经成为促进区域经济良性发展的重要工程。在我国,把保护和优化环境作为基本国策,特别是把预防与整治对农业与工业影响甚为突出的水土流失、风蚀沙化、环境污染及各种突发性自然灾害等环境问题,已作为各级人民政府社会与经济发展规划与计划中的重要内容。减轻或控制区域经济运行系统中的环境障碍,已经与技术进步促进区域经济发展具有同等重要的地位。减灾增产增收与技术改造已成为区域经济发展中不可缺少的运行支持系统。包括水土流失在内的土壤侵蚀,不仅是区域农业生产的严重障碍,即土地生产力开发的阻力,严重时足以成灾致害,而且也危及着工业生产乃至整个生存环境和区域发展。区域土壤侵蚀与区域土地生产力是区域环境—经济运行系统中一个重要的动态反馈系统,这在以农牧林业生产为主、工业化过程不突出的农村来说,显得更为突出。由此可见,在流域水土保持工作中,加强土壤侵蚀与土地生产力系统的全面研究,不仅对推动区域水土保持工作向纵深发展、全面贯彻中华人民共和国水土保持法有重要的生产实践意义,而且对加深理解区域环境系统的保护、优化与区域持续经济发展的相互关系,揭示区域资源—环境动态协调系统的基本规律等都有重要的理论意义。与此同时,对探讨自然科学研究成果转化为第一性生产力的途径,即寻求“自然科学基础研究→应用基础研究→应用研究”一体化也有重要的社会价值。

基于上述认识,我们选择了在我国以及在世界上罕见的多沙、粗沙、强烈水土流失的黄河皇甫川流域,开展土壤侵蚀与土地生产力机制的探索研究。我们关于“黄河皇甫川流域水土保持与土地生产力开发信息系统研究”的设想得到了水利部黄河水利委员会、内蒙古自治区水利局的支持,于1988年正式列为水利部黄河流域水土保持科学研究基金首批资助的重点项目,并得到了内蒙古自治区水利局及研究区内蒙古自治区准格尔旗水土保持局的相应资助以及所有参加单位的人力与物力的支持。

由于这项工作不仅涉及到水土保持科学的不同领域,而且还涉及到地学、生物学、经济学、遥感、计算机等多个部门,为此,我们组织一个多学科协同攻关的科研—教学—生产相结合、一体化运行的项目组织系统,即由内蒙古自治区水利科学研究所水土保持研究室、北京师范大学地理系自然灾害研究室、内蒙古自治区准格尔旗水土保持局共同承担了这项研究,且由金争平、史培军、侯福昌、赵焕勋主持这项工作,内蒙古自治区水利科学研究所金争平、赵焕勋、张云娥、张志强、王文全、贾志斌、蒋雷,北京师范大学地理系史培军、王静爱、陈晋、方修琦、苏维词、谢云,内蒙古自治区准格尔旗水土保持局侯福昌、高志明、张德峰等参加了该项研究。所有参加研究的人员先后进行了野外观测、室内分析、遥感判读、编制图件、数据量算、报告撰写等工作。4年来,在水利部黄河流域水土保持科学研究基金办公室、内蒙古自治区水利局领导和支持下,各个参加研究单位,每位参加研究的同志齐心协力、共同讨论,各尽其才,圆满地完成了这项科学研究任务。

¹前言由史培军、金争平执笔。

对黄河皇甫川流域水土流失的研究与治理实践一直受到国家水利部、黄河水利委员会、黄河中游治理局、流域有关省区、有关部门的高度重视，也曾引起许多科研、教学、生产部门的密切关注与浓厚的兴趣。

皇甫川流域于本世纪 50 年代中期开始零散的水土流失治理，但直到 1972 年水电部黄河水利委员会与内蒙古自治区，首次提出了皇甫川流域内蒙古自治区境内的水土流失治理规划，统一部署本流域水土流失治理。1976 年由黄河水利委员会、清华大学，内蒙古自治区水利局共同完成了皇甫川流域内蒙古自治区境内水土流失治理第二次规划。这次规划提出了“综合治理、工程措施与生物措施相结合、治川治沟治山（丘陵）相结合，骨干工程与小型工程相结合，在规划上打破现有土地界限，在治理上打破核算单位界限，团结治山（丘陵）治水，为当地兴利，为黄河减沙”的防治本流域水土流失的指导思想与原则。1980 年初，由黄河水利委员会、内蒙古自治区水利局、陕西省水利局共同完成了皇甫川流域水土流失治理第三次规划，这次规划提出了以小流域为单元的治理且强调林草建设，并指出该流域内蒙古部分“林牧为主多种经营”，陕西省部分“在粮食自给有余的同时，逐步建成林牧业基地”的区域水土流失治理与农业经济相结合的方针。1982 年，在全国第四次水土保持工作会议上，把皇甫川流域列入全国八个水土流失重点治理区之一，重点投资治理，并相应作出了重点工作规定。与此同时，还开展了一系列与规划相关或有关的科学研究与观测工作（详见第一章），取得了一批观测数据和科学研究成果。基于这些不同时期的治理规划以及科学研究成果。本项研究继承前人的工作，寻求解决治理实践与科学认识等新问题的新方法和新途径，着重从以下四个方面进行了系统的研究：

1. 在理论（认识）上，立足从全流域土壤侵蚀与土地生产力系统出发，进行系统诊断，把土壤侵蚀看作是本流域经济发展的主要环境障碍系统；把水土保持与土地生产力开发看作是本流域经济发展的基础产业系统，进而从宏观角度上建立全流域内以小流域为单元的土壤侵蚀与土地生产力的系统模型；从微观上揭示土壤侵蚀与土地生产力相互作用的机制。与此同时，在对流域土壤侵蚀与土地生产力相互作用之空间系统分析的基础上，重视该系统的时间分异研究，从而建立反映全流域土壤侵蚀与土地生产力系统宏观时空动态模型。

2. 在技术上，全面引进航空遥感与航天遥感技术，对全流域进行详细的制图与分析，以获得全面、系统、统一规范的流域土壤侵蚀与土地生产力信息；充分利用微机信息管理与模型、模拟技术，建立对流域土壤侵蚀与土地生产力机制分析、决策的信息支持系统。

3. 在方法上，吸取传统路线考察、定性分析、制图分析与现代典型测量定量分析，模拟分析的方法，并根据本流域土壤侵蚀与土地生产力这一复杂的环境—开发系统，大力发展了“由定性到定量的综合集成法”，以及样区实测、定位观测与全流域由点到面的综合系统分析。

4. 在实践应用上，特别重视与流域水土保持治理与评价有关的技术参数的厘定、相关模型的建立与验证，进一步实现使一些在规划与治理上人们最关注的技术参数规范化、指标化、定量化。此外，还特别注意了一边研究、一边应用、一边完善，使理论认识实践化，使模型具体化，使研究成果的实用可操作且运行化。

正是依据对四个方面的研究，我们完成了比例为 1：5 万皇甫川流域土地利用与现实生产力图、1：5 万皇甫川流域地貌结构系列图、1：10 万皇甫川流域土壤侵蚀强度图、

1:10 万皇甫川流域开发—治理规划图等图件；由 11 万原始数据组成的反映皇甫川流域土壤侵蚀与土地生产力系统的数据管理与分析支持微机信息系统。在此基础上，通过对皇甫川流域土壤侵蚀系统等 15 个方面的分析总结，完成了本项研究中皇甫川流域土壤侵蚀系统及其动态模型、皇甫川流域土地生产力及其动态模型、皇甫川流域土壤侵蚀—土地生产力与治理开发模式三部分报告。通过这些图件、数据、模型、报告等系统回答或探讨了前人或许提出而没有解决，或许前人还没有注意到以及本流域水土流失治理迫切要求解决的问题。我们有理由认为，尽管我们的工作还有待于进一步完善，以及我们的一些结论还有待于实践证明，然而，探讨由世界上罕见的大型煤炭能源基地，恰于多沙粗沙且强烈的水土流失相结合、环境演变敏感、农牧交替频繁且波动不稳的这样一块举世瞩目环境危机地带的资源—环境—开发系统的动态协调途径，不仅在全球变化及其影响评价的科学研究方面有重要意义，而且在国家和地方政府高度重视这一地区煤炭能源开发与进一步全面治理本流域水土流失、寻求开发与治理的优化模式方面具有重要的生产实践与经济价值。对本流域土壤侵蚀与土地生产力相互作用机制的深入研究，必将引起国内外社会与科学、经济部门的关注，必将对本区的经济发展起推动作用。

这项研究在四年的工作过程中，得到了北京师范大学张兰生教授、内蒙古师范大学地理系郝允充教授、中国农科院草原研究所李博教授、内蒙古自治区水利局王伦平高级工程师等多位专家的指导。工作结束后，于 1991 年 11 月在北京由水利部黄河水利委员会、内蒙古自治区水利局和北京师范大学地理系组织了研究成果的验收与鉴定。参加验收和鉴定的专家和学者有：陈述彭、关君蔚、王伦平、承继成、张兰生、郭绍礼、张岳、张华、吴致尧、华绍祖、赵学英、缪凤举、陈彰岑、富连君、张书义、赵济、张富义、赵富德、秦鸿儒、张维智等。他们对这项研究给予了充分的肯定并提出了宝贵的意见和建议，这些对于我们或是其它科学工作者今后进行更为深入的研究具有重要的指导意义。作者谨向他们和所有支持、指导过我们的单位和同志致以衷心的感谢。

一九九二年二月二十三日

目 录

前 言

第一章 皇甫川流域土壤侵蚀系统

..... 史培军 金争平等	1
一、皇甫川流域土壤侵蚀的研究与进一步需解决的有关问题	2
二、关于皇甫川流域土壤侵蚀系统	4
(一) 关于流域土壤侵蚀系统	4
(二) 土壤侵蚀系统的结构分析	4
三、皇甫川流域土壤侵蚀系统分析	6
(一) 自然环境子系统分析	6
(二) 人文环境子系统分析	20
(三) 土壤侵蚀子系统分析	22
四、土壤侵蚀过程	24
(一) 土壤水蚀过程	24
(二) 土壤重力侵蚀过程	30
(三) 土壤风力侵蚀过程	33

第二章 皇甫川流域土壤侵蚀系列地图的编制分析

..... 王静爱 王文全等	36
一、土壤侵蚀系列地图的内容和功能	36
二、土壤侵蚀系列地图编制	37
(一) 编图程序	37
(二) 编图方法	38
(三) 表示方法	39
(四) 系列地图编制特点	39
三、土壤侵蚀系列地图空间规律分析	41
(一) 土地类型—土地利用—土地生产力空间规律分析	42
(二) 地表物质—坡度—土地利用—土壤侵蚀空间规律分析	43
(三) 人口与聚落空间规律分析	43
(四) 工程治理—生物治理规律分析	43

第三章 皇甫川流域土壤侵蚀系统的信息系统

..... 张志强 陈晋等	45
一、皇甫川流域土壤侵蚀系统信息分类体系	45
二、皇甫川流域土壤侵蚀系统的信息管理与分析系统	54
(一) 系统目标分析	54
(二) 系统软硬件配置	54
(三) 系统结构分析	55

(四) 系统程序设计	56
第四章 皇甫川流域小流域地块土壤侵蚀预报模型及应用	
..... 金争平 高志明等	60
一、模型因子的提取与分析	60
(一) 模型选型	60
(二) 模型因子的提取与分析	61
二、模型精度的检验	75
三、模型的应用	77
(一) 编制小流域地块土壤侵蚀强度图	77
(二) 优化设计坡地水土保持工程	79
(三) 分析土壤侵蚀影响因子的相互作用及临界值	81
第五章 皇甫川流域小流域土壤侵蚀强度估算模型的应用	
..... 赵焕勋 史培军等	85
一、估算模型及讨论	85
(一) 单因子相关及讨论	85
(二) 多因子估算模型及讨论	87
二、估算模型在编制皇甫川流域单元小流域土壤侵蚀强度图中的应用	89
(一) 编制小流域土壤侵蚀图	89
(二) 土壤侵蚀规律的再认识	91
(三) 现状允许侵蚀量研究	91
(四) 编制未来土壤侵蚀治理强度图	93
三、估算模型在库坝设计中的应用	96
四、估算模型在水保减沙效益评价中的应用	96
(一) 小流域水保效益评估	96
(二) 皇甫川流域水保效益评估	96
第六章 皇甫川流域土壤侵蚀环境的重建与土壤侵蚀临界值的估算	
..... 史培军 陈 晋等	98
一、皇甫川流域土壤侵蚀环境重建	98
(一) 10^4 a 尺度土壤侵蚀环境重建	98
(二) 10^3 a 尺度土壤侵蚀环境重建	100
(三) 10^2 a 尺度土壤侵蚀环境重建	101
(四) 10^1 a 尺度土壤侵蚀环境重建	102
二、皇甫川流域 30 年来土壤侵蚀系统动态	103
(一) 30 年来降水量、径流量、输沙量年际变化	103
(二) 皇甫川流域土壤侵蚀动态及人为加速侵蚀量的估算	104
三、皇甫川流域不同时间尺度下的土壤侵蚀临界值的估算	109
(一) 不同时间尺度有关土壤侵蚀估算参数的确定	109
(二) 不同时间尺度土壤侵蚀临界值的估算	111
四、皇甫川流域未来十年土壤侵蚀临界值的预测	113

(一) 皇甫川流域未来十年降水量预测	113
(二) 皇甫川流域未来十年土壤侵蚀临界值的预测	113
第七章 皇甫川流域气候生产力与动态变化	
..... 方修琦 谢 云等	115
一、皇甫川流域气候资源特征	115
二、气候生产力估算因子选取与模型建立	115
三、皇甫川流域气候生产潜力空间分布	116
(一) 全流域单元小流域平均气候生产潜力的分布规律	117
(二) 全流域单元小流域梁、谷地气候生产潜力的分布规律	117
(三) 全流域热能利用率的分布	117
四、气候生产潜力与现实生产力对比分析	117
五、气候变化与气候生产力动态	121
第八章 皇甫川流域土地利用分析	
..... 贾志斌 王文全等	123
一、皇甫川流域土地利用分类系统	123
(一) 土地利用分类原则与指标	123
(二) 皇甫川流域土地利用分类系统	124
二、皇甫川流域土地利用分析	126
(一) 全流域土地利用基本状况	126
(二) 全流域各类型土地利用分析	127
(三) 制约土地利用结构的因素	132
三、水土保持不同治理程度对小流域土地利用结构的影响分析	134
(一) 概况	134
(二) 不同治理程度单元小流域对土地利用类型结构及其分布的影响	134
(三) 不同治理程度单元小流域的土地利用与人均产出水平的分析	138
四、典型小流域土地利用分析	140
(一) 典型小流域土地利用基本结构分析	140
(二) 农田结构分析	141
(三) 草地结构分析	141
(四) 林地结构分析	142
(五) 难利用土地结构分析	142
(六) 人均土地利用占有面积及其产出水平分析	142
第九章 皇甫川流域耕地现实生产力与人一粮平衡分析	
..... 赵焕勋 金争平等	145
一、耕地现实生产力估算	145
(一) 各类农耕地粮食单产的估算	145
(二) 皇甫川流域粮食产量计算	147
二、人口变化及其预测	150
(一) 人口现状	150

(二) 人口变化及预测	150
三、皇甫川流域人—粮平衡分析	151
(一) 近 30 年来人—粮变化动态	151
(二) 未来十年粮食产量的预测分析	151
(三) 人—粮平衡分析	154
第十章 皇甫川流域草地、林地现实生产力与畜—草平衡分析	
..... 张云娥 贾志斌等	156
一、草地、林地现实生产力估算	156
(一) 建模方法	156
(二) 草地、林地现实生产力估算	158
二、畜—草平衡分析	162
(一) 畜、草现状分析	163
(二) 畜、草动态分析	164
第十一章 皇甫川流域土地人口承载力评价	
..... 王文全 赵焕勋等	169
一、皇甫川流域单元小流域人口密度估算	169
(一) 小流域聚落面积与人口密度的量算	169
(二) 人口密度的量算结果	171
(三) 人口分布规律	172
二、皇甫川流域土地现实承载力估算	172
(一) 不同治理程度单元小流域土地现实承载力估算	172
(二) 各乡土地承载力估算	172
三、皇甫川流域不同治理程度下的土地承载力估算	174
四、未来皇甫川流域水土流失防治对策的选择	176
第十二章 皇甫川流域土壤侵蚀对土地生产力的影响分析与估算模型及应用	
..... 金争平 史培军	178
一、皇甫川流域土壤侵蚀对土地生产力的影响	178
(一) 土壤侵蚀对土地数量的影响	178
(二) 土壤侵蚀对土地质量的影响	180
(三) 土壤侵蚀对土地初级生产力的影响	185
二、土壤侵蚀对土地生产力影响估算模型的建立	193
(一) 径流侵蚀对农耕地产量影响的估算模型	194
(二) 径流侵蚀对草地产量影响的估算模型	198
三、估算模型的应用	200
(一) 估算单元小流域和全流域农耕地土壤侵蚀减产量及减产比	200
(二) 估算单元小流域和全流域草地土壤侵蚀减产量及减产比	201
(三) 分析侵蚀减产比的年际变化	203
第十三章 皇甫川流域水土流失治理及措施的优化设计	
..... 高志明 侯福昌等	205

一、皇甫川流域农业生产系统中的水土流失治理措施	205
(一) 农田生产措施	206
(二) 草地生产措施	208
(三) 林地生产措施	209
二、皇甫川流域水土流失治理措施体系的结构	209
(一) 水土流失治理措施的数量结构	210
(二) 水土流失治理措施的空间结构	211
三、皇甫川流域水土流失治理措施优化设计	212
(一) 优化设计的原则方法	212
(二) 水平沟优化设计	214
(三) 淤地坝及坝地设计	216
第十四章 皇甫川流域水土流失综合治理效益评价	
..... 侯福昌 张德峰等	219
一、皇甫川流域水土流失综合治理效益评价体系及方法	219
(一) 效益评价体系	219
(二) 评价指标及方法	219
二、皇甫川流域水土保持效益评价	221
(一) 治理措施拦沙效益评价	221
(二) 治理措施经济效益评价	224
(三) 水土保持生态效益	232
(四) 水土保持社会效益	233
第十五章 结论与讨论	234
参考文献	240

第一章 皇甫川流域土壤侵蚀系统^①

史培军 金争平 赵焕勋 侯福昌

皇甫川是黄河中游的一级支流，发源于鄂尔多斯高原与黄土高原的过渡地带，在陕西省境内流入黄河，如图 1—1。皇甫川全长 120km，流域面积 3240km²。在自然地理上，

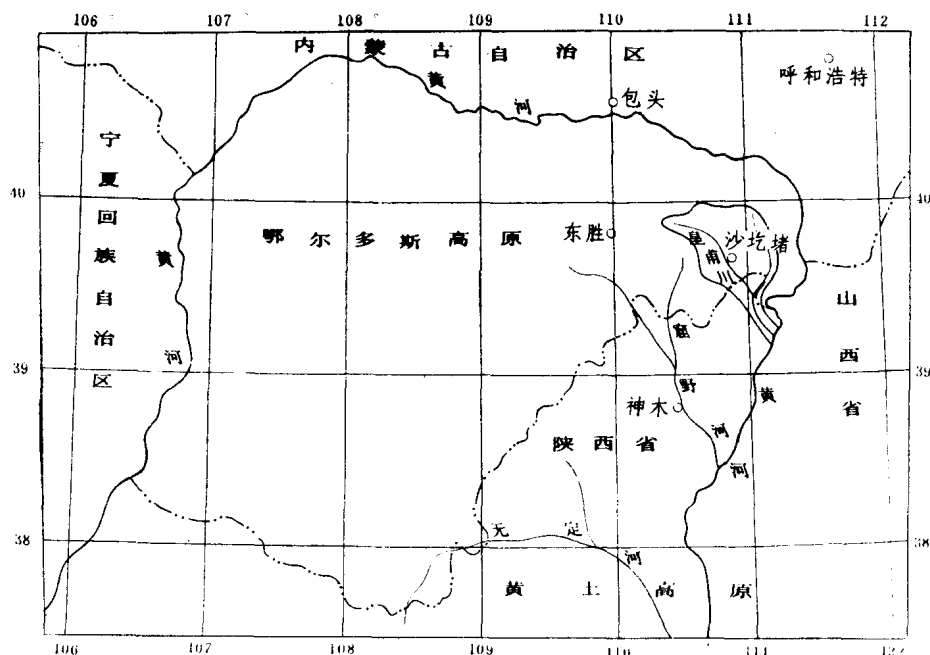


图 1—1 皇甫川流域地理位置

皇甫川是一条典型的半干旱区河流；在社会经济方面，以多民族聚居、农牧复合型的传统农业经济为鲜明特征。作为国家重点煤炭能源基地的东胜—神府煤田及准格尔煤田的开发，使多少年来以农业经济为主体的区域经济受到了强大的冲击，一个以煤炭开发，农林牧综合发展，“地下资源补地上资源开发”，工农业经济综合发展的新型区域经济正在开始崛起。皇甫川流域是一个多沙粗沙、水土流失强烈的流域，年平均向黄河输送约 0.5 亿吨泥沙。水土流失广泛而深刻影响着流域生态环境和生产条件，使可资利用的土地资源逐渐蚕食，土地生产力下降，承载能力减低，从而严重限制了流域经济的发展和人民生活水平的提高。80 年代以来，皇甫川流域列为国家水土流失重点治理区，开展了综合治理取得了初步效益，90 年代的流域治理与经济开发已经到来。我们认为，无论是从综合治理流域水土流失方面，还是从全面开发流域经济方面，都迫切地需要把皇甫川流域作为一个

^①高志明、王正文、张志强、王文全等参加了部分研究工作。

资源—环境—社会—经济系统进行整体研究，从而获得全面而系统的认识。生产实践和观测研究表明，在皇甫川这一资源—环境—社会—经济系统中，同生产活动紧密相关的地表环境系统中的自然侵蚀子系统逐渐发展为加速土壤侵蚀子系统，已成了导致土地退化、生产力下降、承载力降低，经济发展缓慢的主要原因。所以，深入分析皇甫川流域土壤侵蚀系统，是全面研究皇甫川流域水土保持与土地生产力开发信息系统的基础。对皇甫川流域水土流失的系统研究，前人曾从不同的方面做了不少研究。本章在分析前人成果的基础上，试图从土壤侵蚀的角度，重点综合对本流域水土流失研究与防治实践中所存在的若干问题，全面分析皇甫川流域土壤侵蚀系统中的结构与动能，以及系统动力过程，以期揭示本流域土壤侵蚀的基本规律奠定基础，而且也为本流域土壤侵蚀与土地生产力相互作用机制的系统诊断提供途径。

一、皇甫川流域土壤侵蚀的研究与 进一步需解决的有关问题

1950年新中国成立不久，国家就专门建立了水电部黄河水利委员会，它的建立揭开对整个黄土高原地区水土流失考察、研究与治理的序幕。一方面在黄河及支流增设了许多水文站、水保站，另一方面还组织了大规模的调查勘察工作。1955~1958年，中国科学院曾组织了由许多部门参加的“中国科学院黄河中游水土保持综合考察队，进行了包括皇甫川流域在内的黄土高原的全面考察，考察成果不仅揭示了黄土物质的空间分布规律以及黄土成因，而且对本区水土流失给予了重视（刘东生等，1964，1965，1966），对科学认识本区水土流失规律提供了宏观依据。1965年，黄河水利委员会规划办公室首次编制了“黄河中游输沙和粗沙模数图”，在此图中，把皇甫川流域列入多沙粗沙区。70年代本流域水土流失治理规划的实施，不仅加强了对本区水土流失的治理，而且也促进了对本区水土流失问题的研究，有关黄河流域水土流失研究成果的相继问世。其中一些研究认为皇甫川流域是黄河粗泥沙主要产区及泥沙来源的主要地区（钱宁等，1980；龚时旻等，1980），并指出皇甫川流域的泥沙输移比接近1（龚时旻等，1980），这对本流域水土流失规律的深入研究有重要的促进作用。进入80年代，对黄土高原水土流失的全面治理以及相应的研究得到了迅速发展。诸如遥感现代测试等新技术得到了广泛应用（赵羽等，1989）。把黄土与环境结合起来，深入分析了黄土的风力形成机制及其所反映的环境变迁（刘东生等，1985）。有关研究成果进一步得出黄土区超渗径流是影响水蚀的主导因素以及黄土的抗冲性对侵蚀的影响比抗蚀性更为密切的结论（朱显谟，1981，1982）；皇甫川流域基岩区为粗沙的主要来源区，其高含沙水流对黄河干流河曲至龙门段冲淤变化有很大影响（张胜利等，1980）。在对整个黄土高原土壤水力侵蚀暴雨标准研究的基础上（张汉雄等，1982；周佩华等，1987），提出了皇甫川流域的土壤水力侵蚀暴雨标准（赵羽等，1989），指出风水两相侵蚀是皇甫川流域这一半干旱地带水土流失严重的主要原因（史培军，1990），风沙直接输送泥沙于干、支流亦是粗沙来源的重要组成部分（史培军等，

1986)。黄土不是风力作用的产物，而是草原地带风、水两相过程综合作用的结果（史培军等，1988），以及系统地对皇甫川流域所在地区内蒙古准格尔旗风、水两相复合土壤侵蚀机制进行了研究（金争平等，1987），认为风力侵蚀与水力侵蚀不仅共同形成本区强烈的土壤侵蚀，而且相互起着促进作用，因此对本流域水土流失的防治应把治水与治沙结合起来，把水土流失的防治与提高土地生产力结合起来，还有一些研究继续探讨了皇甫川流域泥沙来源及其数量分析（唐克丽等，1987），对皇甫川流域水土流失治理及其效益的评价，也做了不少工作，持续 10 年多的国家“六五”、“七五”重点科技攻关项目“皇甫川流域水土流失综合治理、农林牧全面发展试验研究”（1980~1990 年），不仅为本流域的水土流失治理提出了宏观决策的科学依据，而且还建立了治理与观测研究相结合的试验站，建设了不同类型区的整治模式，收到了明显效益。1986 年 6 月由中国水利学会和黄河水利委员会共同组织在郑州召开的“黄河中游近期水沙变化情况研讨会”纪要中指出，包括皇甫川流域在内的黄河中游地区，近期降水减少以及水利、水保措施的蓄水拦沙和引水引沙作用是黄河水沙减少的主要原因。一些研究成果还得出 70 年代至 80 年代初的 12 年中，比 50 年代中期至 60 年代末的 16 年中，皇甫川流域降水量减少 13.75%，径流减少 20.88%，泥沙减少 8.81%（张胜利等，1986）；皇甫川流域 1970~1984 年的 15 年中，年均减沙 504 万 t（熊贵枢，1986），还有人认为该流域 1970~1985 年的 16 年中，年平均减沙 737 万 t（占本流域平均泥沙的 12.1%），减沙 0.495 亿 m^3 （占本流域径流量的 23.9%）（邹树权，1987）。国家“六五”科技攻关项目“黄土高原综合治理”有关对本区水土流失的研究成果中指出，皇甫川粗沙来源于基岩的部分占 68.40%，上新世红粘土 1.02%，第四纪黄土 30.37%，风成沙 0.12%（张平仓等，1990），进一步指出以沟坡产沙为主。还有一些研究涉及了近期提出的一些新的问题：有的研究探讨了本流域土壤侵蚀与土壤养分的关系（王恒俊等，1987），有的研究建立了对本区单元小流域土壤侵蚀定量估算模型（金争平等，1990），并进一步应用此模型对全流域水土流失规律及水土流失防治进行了探讨。此外，一些研究者从区域资源与环境的宏观分析，对本区资源与环境问题进行了探讨（伊克昭盟草场遥感应用考察队，1990）；还有一些研究分析了陕蒙晋长城沿线地区人文历史演变与土壤侵蚀的发展历史（蒋定生等，1986）。

综上所述，我们可以看出，专门对皇甫川流域的有关研究涉及到许多方面，诸如本流域水土流失规律；水土流失的综合治理规划及治理技术；水土流失对农牧业生产影响的评价；综合治理与开发模式的探讨；资源、环境与水土流失防治对策等，这些研究成果为本流域水土流失的治理不仅提供了必要的科学依据，而且也为深入的研究奠定了基础。然而，也可以看出，对本流域水土流失规律的认识以及有效的防治，还有许多问题需要解决。例如，（1）小流域水土流失综合治理规划中的若干技术参数与计算模型，诸如自然侵蚀临界值、田间地块或小流域土壤侵蚀强度预报模型等；（2）土壤侵蚀与土地生产力相互作用机制，及其动态变化规律；（3）应用现代遥感及计算机技术对全流域水土流失与区域开发进行全面分析，进而建立土壤侵蚀与土地生产力信息系统及决策支持系统；（4）环境演变，特别是降水与植被条件变化对土壤侵蚀的影响，以及本流域不同时间尺度土壤侵蚀

的动态变化规律的研究；(5)以煤炭能源基地开发与全流域水土流失治理的关系，即地下资源开发补地表土壤侵蚀及工业过程加速土壤侵蚀等环境问题的机制，以及在计划与市场经济相结合的经济运行体制下、小流域水土流失治理与县、乡级行政单元水土流失治理分区域经济发展的模式等。显而易见，皇甫川流域的经济建设，特别是皇甫川流域水土流失综合治理中提出而没有解决的问题，将来还要提出的问题，仍然需要从各个方面或综合进行深入的研究。正是基于这些问题，我们试图从土壤侵蚀系统出发，把土壤侵蚀与土地生产力开发结合起来，从时、空两个方面探讨上述有关问题，以期推动对皇甫川流域的经济开发与环境整治。

二、关于皇甫川流域土壤侵蚀系统

(一) 关于流域土壤侵蚀系统

系统科学理论与技术的发展，为研究流域土壤侵蚀这样的复杂系统提供了新的理论与方法。早在 40 年代，我国学者就曾把流域作为一个整体进行了自然地理和人文地理的系统研究（陈述彭，1947）。自 60 年代以来，系统科学理论与方法逐步用于研究自然地理系统，提出河流等自然地理系统是开放系统（卡森等，1972；斯特拉勒等，1974）。我们在内蒙古土壤侵蚀研究中曾提出土壤侵蚀系统由环境子系统和动力子系统组成，其中环境子系统包括地貌环境、气候环境、生物环境和人类物质文化环境等；动力子系统包括水力、风力、冻融作用力和物质文化过程作用力等（赵羽等，1989）。此外，有的学者把小流域土壤侵蚀系统看作是非平衡耗散系统（钱小蓉等，1986）。还有人把小流域作为生态经济系统进行研究（李怀甫，1989），这些研究都试图从系统的角度认识流域土壤侵蚀规律。在流域土壤侵蚀研究方面，国外的研究成果非常丰富，主要以地块或小流域土壤侵蚀的基本规律及土壤侵蚀预报为主。在国内，已有不少对小流域土壤侵蚀的研究，但还缺乏对中尺度流域土壤侵蚀系统的全面研究。我们在开展本课题的研究中，在以往研究工作的基础上，采用航天、航空遥感与地面实测相结合的技术方法，获取了皇甫川流域土壤侵蚀的丰富信息，建立了与土壤侵蚀有关的一系列数量模型，从而为全面分析中尺度流域土壤侵蚀系统提供了依据。

(二) 土壤侵蚀系统的结构分析

系统的结构是系统诸要素的组织形式。系统的结构制约着系统的功能。研究流域土壤侵蚀系统的结构，首先要分析流域系统。流域无论大小，都有明确的地貌边界。在没有人类活动或人类活动很微弱时，流域是一个自然地理单元，特定自然地理区域的典型流域具有该区域自然地理的大部分或全部特征。在有人类活动时，流域包含了社会经济过程所产生的物质文化景观。因此，流域系统是一个包含自然系统与社会经济系统的复杂系统。流域土壤侵蚀是发生在流域中的自然现象，就狭义而言，流域土壤侵蚀系统是流域系统的子系统，那么土壤侵蚀系统的环境就是流域的自然环境系统和人文环境系统。然而，流域土壤侵蚀是在流域自然环境和人文环境影响下产生与演变着的，加速的土壤侵蚀对环境的反馈又深刻地影响流域系统的结构与功能。因此，我们主张把流域土壤侵蚀系统作为由资源

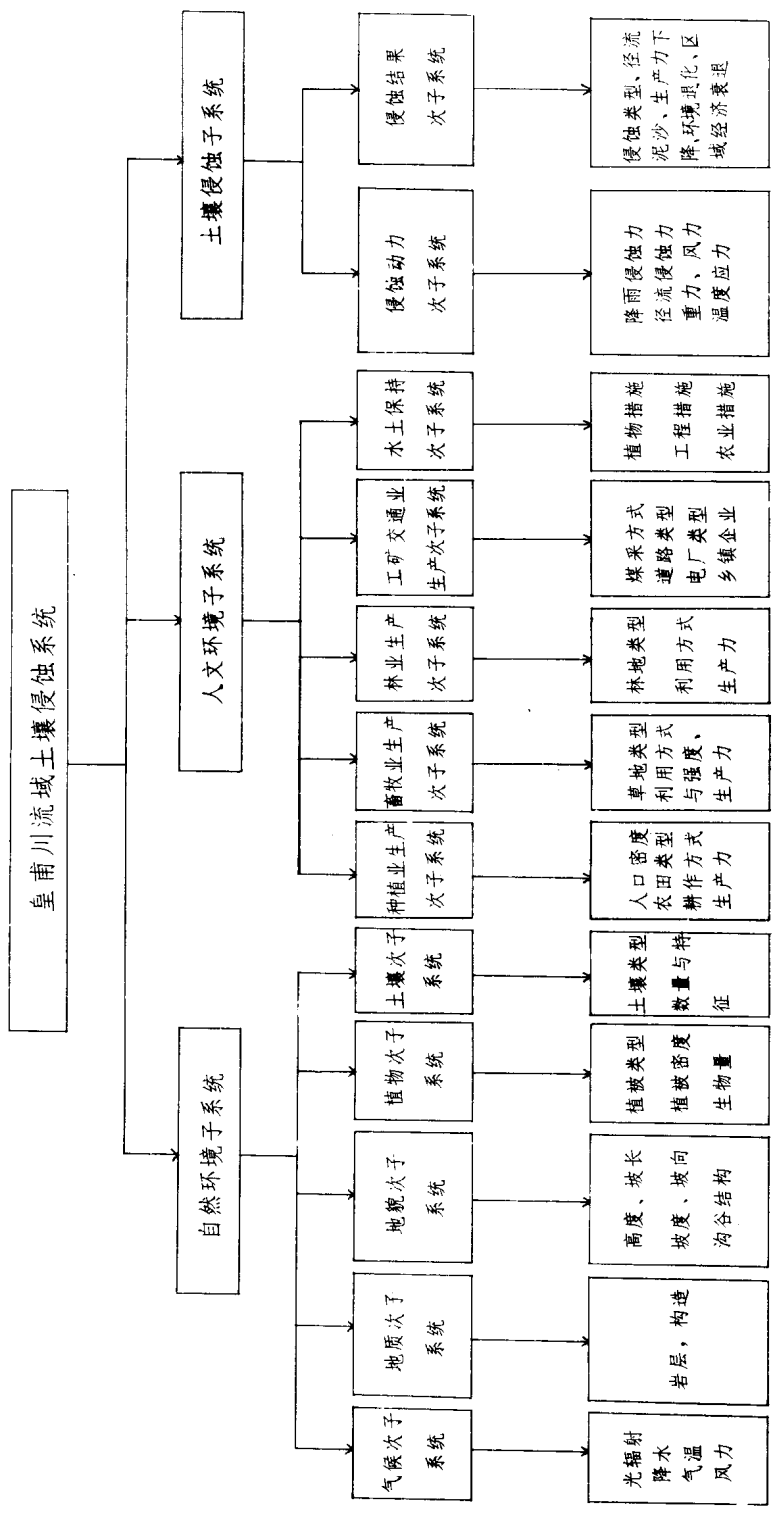


图 1—2 皇甫川流域土壤侵蚀系统结构

一环境—社会—经济所组成的一个大系统进行整体研究。这样，流域土壤侵蚀系统就包含了流域自然环境，人文环境和土壤侵蚀三个子系统。在每个子系统中又包含一系列次一级的子系统。这些次一级的系统则由影响土壤侵蚀的各要素（因子）组成。而流域土壤侵蚀系统又是更高级环境系统—区域自然地理与人文环境系统的子系统，构成了多层次的复杂结构。皇甫川流域土壤侵蚀的层次结构可概括为图 1—2。由图 1—2 可以看出，流域土壤侵蚀系统实际上是由多层次的因子所组成的树枝状并联反馈系统。

观测研究表明，土壤侵蚀系统各层次子系统和因子之间，存在着复杂的相互影响，进行着物质流、能量流、信息流及价值流的交换，共同制约着土壤侵蚀系统的功能。各子系统和因子之间具有复杂的交叉和反馈关系。各子系统和因子又往往具有双重属性，对其它系统和因子存在着相反的作用。例如，降水既是植物生长的动力同时又是侵蚀土壤的动力。而植物是抵抗土壤侵蚀的阻力。因此，降水对土壤侵蚀具有动力与阻力的双重作用。降水—植物—侵蚀之间具有显著的反馈关系。又比如，土壤是自然环境系统中土地资源的基础物质，而在侵蚀系统中则是被侵蚀的对象（泥沙）。人类开垦土地是为了生产粮食，而超强度的开垦土地则适得其反，加速了土壤侵蚀，减少土地的粮食生产率；乃至减少了土地资源的数量和降低了质量。

上述三个子系统的反馈关系可以图 1—3 表示：

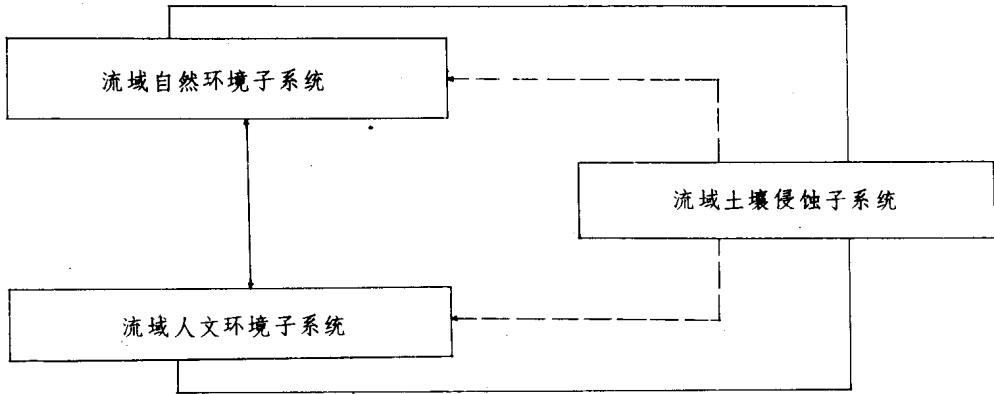


图 1—3 流域土壤侵蚀系统次子系统相互作用关系示意图

流域土壤侵蚀系统的相依性与相克性，分层性与整体性结构共同制约系统的功能。系统中每一因子的变化都会通过反馈作用程度不同地影响整体的变化。

三、皇甫川流域土壤侵蚀系统分析

（一）自然环境子系统分析

皇甫川流域位于北纬 39.2°~39.9°、东经 110.3°~111.2°；最高点海拔 1482m、河口最低点海拔 833m，总高差 649m；南北最宽距离 85.9km，东西最长距离 102.1km。该流域所处的地理位置决定了其自然环境与社会环境子系统在许多方面的过渡且不稳定的特征。

1. 气候次子系统

皇甫川流域正处在东南季风影响的交绥地带, 大陆性气候特点突出, 大陆度约为 70%。在温度上, 正处在暖温带与中温带的过渡带上。平均气温自北向南约 6~9℃, > 10℃ 积温约 2900~3500℃, 日照时数约为 2900~3100 小时; 在降水上, 正处于半干旱偏湿地带, 年降水量约 350~450mm, 水面蒸发量在 1000~2000mm 之间, 约为降水量的 2~5 倍, 伊万诺夫湿润度约 0.3~0.35。降水的年际和年内变率大, 年内降水集中于 6~9 月, 占全年的 80% 以上。冬春季风力强盛且频繁, 年均风速 2~3m/s, 大风日数 10~30 天。表 1—1 列出了流域中部沙圪堵气象站气候特征值。

表 1—1 沙圪堵站气候特征表(1960~1989)

气候指标	平均值	极大值	出现年	极小值	出现年
气温(℃)	7.3	8.4	1987	6.1	1967
>10℃ 积温(℃)	3 492.2	3 849.0	1975	2 931.7	1984
日照时数(h)	3 101.0				
年降水量(mm)	389.0	636.5	1961	142.5	1965
无霜期(d)	148				
6~9 月降水量(mm)	311.5				
蒸发量(mm)	2 040.9	2 436.2	1972	1 695.2	1988
相对湿度(%)	52.0				
平均风速(m/s)	2.1	2.6	1972	1.5	1984
大风日数(d)	18.57	57	1960	3	1985、1986
主风向	NW				
沙暴日数(d)	10	32	1962	0	1986、1989

皇甫川流域主要气候特征值的空间分布如图 1—4 所示, 整体显示出自东南向西北的更替规律。