



中国江河地貌系统

对人类活动的响应

许炯心/著

 科学出版社
www.sciencep.com

中国江河地貌系统

对人类活动的响应

许炯心/著

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书在流域系统的理论框架中,以黄河、长江的丰富资料为基础,按照侵蚀带、泥沙输移带、泥沙沉积带与河口三角洲沉积的顺序,系统地阐述了人类活动对中国江河流域地貌系统的影响。同时还论述了一些既有学科理论意义又与河流资源的开发利用、河流环境的保护与河流灾害的治理密切相关的专门命题,如水库的影响、人类活动影响下的河流环境变化、河流灾害、河道萎缩与调整、人类活动影响下的陆海相互作用、全球气候变化对河流的影响等,以满足不同读者的需要。

本书可供地貌、自然地理、地质、生态、水利和水土保持、环境保护等专业的科学研究人员、工程技术人员及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国江河地貌系统对人类活动的响应/许炯心著. —北京:科学出版社, 2007

ISBN 978-7-03-018353-8

I. 中… II. 许… III. 人类活动影响—河流地貌学—研究—中国
IV. P931.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 011334 号

责任编辑:李 敏 张 震 李久进 / 责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007 年 8 月第一次印刷 印张:21 1/2 插页:2

印数:1—1 500 字数:483 000

定 价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前 言

陆地表层系统是水圈、土壤圈、大气圈、生物圈和人类圈耦合而形成的复杂巨系统。水圈、土壤圈、大气圈、生物圈中的物质迁移、转化和能量传输都与河流的作用密切相关,人类的生存、繁衍和发展离不开水和河流。人类从出现在地球上开始,便与河流发生了不可分割的联系。河流孕育了人类社会的文明,人类又对河流施加了越来越大的影响,二者之间形成了特定的耦合关系。这种耦合关系是动态的,是随着时间而变化的。随着人类文明的进步,特别是科学技术的迅速发展,人类施加于河流的作用力迅速增强,已经在很大程度上改变了河流的自然面貌。可以说,在今天的世界上,大至长河巨川,小至涓涓小溪,无不打上了人类活动的深刻烙印。人-水关系是人-地关系中最重要方面之一,一部人类文明史,便是人类与河流之间的关系不断调整的历史。人类与河流的关系,已经成为大江大河地理学研究乃至陆地表层系统科学研究的核心内容,也是地貌学最重要的前沿领域之一。

1996年,笔者出版了《中国不同自然带的河流过程》一书,在自然地带性的理论框架内,系统地分析了影响我国河流发育演变的自然地理因素。与该书有关的研究完成后,笔者的研究重点逐渐转移到人类活动对河流过程的影响方面,沿着这一方向进行了十年的研究,取得了大量的研究成果,积累了丰富的资料,发表了数十篇论文。本书即是以这些成果为基础编写而成的。因此,本书可视为前一本专著的姊妹篇。

河流地貌过程是地表物质在力的作用下发生分离、运动和由运动再变为静止的过程,对应于地表物质的侵蚀、搬运和堆积过程。决定这一过程的实质是地表作用力与地表物质抵抗力的对比关系。地表流水作用过程受力学规律的支配,可以运用牛顿力学原理,通过分析地表物质在力的作用下发生运动和这一过程中能量的转化、耗散来进行描述。通常是列出一组偏微分方程,并求其解析解或数值解。人类活动对河流地貌过程的影响,主要是通过改变作用力与抵抗力的对比关系以及系统中能量的分配和耗散方式来实现的。在大多数情况下,并没有改变微分方程组本身,而只是改变了其中的某些参数。从这一意义上说,人类活动对河流的影响可以在一定程度上用力学方法来描述。然而,由于影响因素的复杂性,受目前知识水平的限制,基于力学方法的描述常常不得不做很多简化,以至于无法反映真实的变化图景。同时,目前对于大多数人类活动尚不能运用物理方法进行定量表达,因此,基于实测资料,运用经验统计方法对人类作用与河流的地貌响应进行分析,是

一种更为常用的方法。另一方面,河流系统是一个复杂系统。自从人类出现在自然界并与河流发生日益密切的联系之后,人类在开发利用河流资源和治理河流灾害的过程中,以各种方式影响河流,同时又受到河流的制约,使得社会经济系统与河流系统之间形成了特定的依存关系,使河流系统变得更为复杂。在系统层面上的人类-河流相互作用,一般用系统论的原理和方法来描述。运用系统论的原理来认识人类-河流相互作用,可以从宏观上把握人类与河流之间的相互关系与相互作用,认识河流系统的复杂行为,揭示其中的规律,从而为流域管理的规划与科学决策提供可靠的依据。因此,在大多数的情形下,对于人类活动对河流系统的影响的研究,是运用经验统计方法和系统分析方法来进行的,这也是本书采用的主要研究方法。

我国是一个人口众多、水资源相对贫乏的国家,实现人-水关系的和谐是可持续发展中面临的重大问题。实现人-水关系和谐,实际上就是实现人与河流的和谐发展。为此目的,必须研究河流系统对人类活动的响应机理,在此基础上对人类活动进行合理的调控,最终实现人与河流的和谐相处,协调发展,长期共存,共同繁荣。如果本书能为实现人与河流的和谐提供某些启示,笔者将会感到十分欣慰。

本书的研究得到了国家自然科学基金、国家重点基础研究发展规划(973计划)和中国科学院以及中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程的资助。在研究工作中,得到师长兴、陆中臣、王随继、陈浩、张欧阳、程东升等先生的帮助,在书稿的整理过程中得到了庞远玉的协助,在此致谢。研究工作涉及的大量资料来自相关水文站、气象站和流域管理部门,没有这些单位的同志们数十年如一日的辛勤劳动,笔者的研究工作是无法完成的,谨向他们表示衷心感谢和最崇高的敬意。由于资料 and 水平的限制,笔者虽然尽了最大的努力来使材料的组织系统化、条理化,但尚未尽如人意。本书的不足和谬误之处若能得到读者的指正,笔者将十分感激。

许炯心

2007年4月21日

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 人类与河流的关系及其发展历史	1
第二节 人类与河流相互作用的若干规律	3
第三节 人类活动对侵蚀、搬运、沉积过程影响的研究进展	7
第四节 本书研究的方法、任务来源与基本框架体系	18
第二章 人类活动影响下的河川径流与流域水循环过程	22
第一节 黄土高原水土保持对径流的影响	22
第二节 黄河流域河口镇至龙门区间的径流可再生性变化及其影响因素	33
第三节 人类侧支循环及其对流域水循环的影响	41
第三章 人类活动影响下的流域侵蚀产沙过程	50
第一节 黄土高原水土保持对侵蚀产沙的影响	50
第二节 无定河流域侵蚀产沙过程对水土保持措施的响应	68
第三节 长江上游重点产沙区产沙量对人类活动的响应	80
第四章 水库下游与上游的河床演变	94
第一节 汉江丹江口水库下游河床调整过程中的复杂响应	94
第二节 渭河下游河道调整过程中的复杂响应	99
第三节 黄河下游游荡河段清水冲刷时期河床调整的复杂响应现象	107
第四节 河漫滩地生态系统影响下的河型转化	115
第五章 人类活动影响下的河道输沙功能变化	124
第一节 水沙条件对黄河下游河道输沙功能的影响	124
第二节 流域因素与人类活动对黄河下游河道输沙功能的影响	131
第三节 黄河下游河道输沙功能的时间变化及其原因	136
第六章 人类活动影响下的河道沉积过程	144
第一节 20 世纪 50 年代以来人类活动影响下的黄河下游河道泥沙淤积 宏观趋势	144
第二节 黄河下游堤距对河道沉积过程的影响	157

第三节	人类活动及气候变化对黄河下游 2300 年以来沉积速率的影响	162
第四节	13 000 年以来黄河下游沉积速率	170
第七章	水利与治河工程对河流环境的影响	176
第一节	历史上治黄、治淮的环境影响	176
第二节	水库对黄淮海平原环境的影响	186
第八章	人类活动对河流灾害的影响	196
第一节	流域人类活动对黄河下游历史泥沙灾害的影响	196
第二节	中国河道断流灾害高发带及其孕灾环境研究	199
第三节	人为季节性河流	214
第四节	人类活动对黄河中游高含沙水流的影响	223
第九章	河道萎缩与河床调整	232
第一节	黄河下游河道两次历史性大转折及其意义	232
第二节	低流量及间歇性断流条件下黄河下游的河床沉积过程与形态调整	240
第三节	黄河下游游荡河道萎缩过程中的河床演变趋势	252
第四节	黄河下游河床萎缩过程中畸形河湾的形成机理	263
第五节	流域水资源开发对黄河下游游荡河段河床萎缩的影响	269
第十章	人类活动影响下的陆海相互作用	278
第一节	流域降水和人类活动对黄河入海泥沙通量的影响	278
第二节	黄河入海径流通量对降水变化和人类活动的响应	288
第三节	黄河三角洲造陆过程中的陆域水沙临界条件	296
第四节	流域人类活动与降水变化对黄河三角洲造陆过程的影响	302
第五节	人类活动对公元 1194 年以来黄河河口延伸速率的影响	308
第十一章	人类活动背景下全球气候变化对河流的影响	317
第一节	人类活动背景下黄河水循环系统对夏季风强度变化的响应	317
第二节	黄河三角洲造陆速率对全球气候变化和人类活动的响应	324
主要参考文献		333

第一章 绪 论

第一节 人类与河流的关系及其发展历史

河流流域是自然地理系统中的基本功能单元。陆地地球系统中的物质迁移和能量转化、耗散，在很大程度上是通过河流的作用来实现的，因而，对大江大河流域系统进行研究是在区域尺度上展开陆地地球系统研究的重要切入点。20 世纪 90 年代以来，大河流域研究成为国际地貌学和水科学的研究热点，并取得了重要进展。随着我国水资源形势的日益严峻和包括洪水、断流和泥沙灾害在内的水灾害的日益加剧，大江大河治理和流域生态环境建设，已经成为 21 世纪中国的国家目标之一。

从人类出现在地球表层开始，便与河流发生了不可分割的联系。河流孕育了人类社会文明，人类又对河流施加了日益增大的影响，二者之间形成了特定的耦合关系。这种耦合关系是动态的，是随着时间而变化的。随着人类文明的进步，特别是科学技术的迅速发展，人类施加于河流的作用力迅速增大，已经在很大程度上改变了河流地貌。可以说，在今天的世界上，大至巨川长河，小至涓涓小溪，无不打上了人类活动的烙印。研究人类与河流的关系，已经成为大江大河地理学研究乃至陆地地球系统科学研究的核心内容，也是地貌学的最重要前沿领域之一。为了给人类－河流耦合关系的研究提供一个历史背景，研究人类与河流关系发展历史是十分必要的（许炯心，2001h）。

水是人类个体生存、繁衍与群体（社会）发展、演化不可或缺的条件之一，人类文明离不开水。河流是人类获取水资源的最重要自然客体。人－水关系是人－地关系中最重要方面之一。一部人类文明史，便是人类与河流关系不断调整的历史。综观人类文明发展史，可以将人类－河流关系划分为 5 个阶段（表 1-1）。

表 1-1 人类－河流关系的历史发展

阶段	表现方式	人类与河流力量的对比	人类－河流的关系	人类－河流关系的基本观念
石器时代	避水而居，取水饮用	与河流相比人类力量十分渺小	消极适应	河神祭拜
农业文明时代	筑堤、引水灌溉、航运	人类力量远小于河流力量	从消极适应到局部改造	河神祭拜
工业文明时代 I	大量筑坝修建水库，用于发电；大规模进行河道整治	人类力量可以较大地改变河流	改造河流	改造河流

续表

阶段	表现方式	人类与河流力量的对比	人类－河流的关系	人类－河流关系的基本观念
工业文明时代 II	修建高坝大库、普遍进行航道渠化，大规模的跨流域调水	人类力量可以从根本上改变河流	从根本上改造河流	改造河流
后工业化时代	在开发河流资源的同时，对河流系统及其环境的保护全面展开	人类力量可以从根本上改变河流	在利用中保护河流，实现可持续发展	与河流共处，可持续发展观念开始出现
知识经济时代	以可持续的方式利用河流资源；实施河流的重归自然化，以恢复河流的生态功能与美学功能	人类力量可以从根本上改变河流	在保护河流的前提下合理利用河流，实现人与河流的和谐相处，协调发展，共存共荣	与河流共处，可持续发展观念达到成熟

一、石器时代

与河流相比人类力量还十分渺小，我们的祖先只能避水而居，从河流中取水饮用。河流被人们神化，当作崇拜的对象。

二、农业文明时代

人类开始筑堤，与水争地，用于耕种和修建聚落；开始从河流中引水灌溉，利用河流进行运输。城市的形成、发展和分布格局取决于河流，大河干流和大支流的汇口处往往形成大城市。世界著名的早期文明均为大河文明，大河流域成为文明发展的平台，如古代中国文明以黄河为依托，古埃及文明以尼罗河为依托，古印度文明以印度河－恒河为依托，古巴比伦文明以两河流域为依托。

黄河下游的筑堤对于中华文明的发展起着重要的作用。谭其骧（1984）曾研究过河北平原北部古遗址的分布，结果表明，新石器时代遗址主要分布在太行山山前洪积平原等高亢地带，商周、春秋时代的遗址主要分布于黄河冲积扇顶部。直到战国中期黄河下游全面筑堤之后，广大的河北平原才出现大量的遗址，这一地区当时正是黄河下游古河道所在的地区。这说明，战国中期的全面筑堤是这一地区文明发展和区域开发的先决条件（许炯心，1989）。

在农业文明时代，人类力量与河流的破坏力量相比已不再渺小，人类已由消极适应发展为局部改造河流，例如，我国从三国时代以来所开凿的运河就在一定程度上改变了平原水系的格局。但在人类－河流关系的观念上，人类对河流的神灵崇拜仍然起支配作用。例如清乾隆时期，在黄河下游决口屡次封堵均未成功后，乾隆皇帝曾派遣使者上穷河源，祭

拜河神，以求安澜。

三、工业文明时代

工业革命使人类改造利用河流的能力大大强化，人类进入了工业文明时代。人类大量筑坝修建水库，用于发电；大规模进行河道整治，如欧洲的莱茵河和美国的密西西比河都完成了渠化工程，使航运能力大大提高。工业文明时代又可以分为前后两个时期，后一时期中人类改造河流的力度加强，除修建高坝大库和普遍进行航道渠化外，还进行了大规模的跨流域调水，在一定程度上改变了水系的格局。

工业文明时代，人类征服、改造河流成为人类-河流关系中的主导思想，一些西方学者将其概括为“改造河流”(work against river)。人类力量在某些方面已超过河流，足以改变河流的发展方向。工业的发展严重损坏了河流环境，导致了水质污染和水生生物灭绝。在我国北方，很多河流断流，河流水生生态环境遭到毁灭性的破坏，便是这一时期的典型例子。

四、后工业化时代

人类逐渐意识到一味对河流的征服、掠夺不但毁坏了河流，而且也危及人类自身的生存环境。因此，在利用河流的同时保护河流已经作为国家发展的重大目标。在这一时期中，产生了现代意义上的可持续发展思想，人与河流的关系已由“改造河流”(work against river)逐步变为“与河流共处”(work with river)，对河流系统及其环境的保护全面展开，涉及水资源保护、水土保持、水质保护、各类河流生境的保护和生物多样性的保护等各个方面。

五、知识经济时代

知识经济时代人类与河流的关系已经成为人们关注的话题。在知识经济时代，应该在保护河流的前提下合理利用河流，确保对河流资源的可持续利用，实现人类与河流的和谐相处，协调发展，长期共存，共同繁荣。目前，只有少数发达国家将要进入知识经济时期，在西方发达国家，已经提出并实施河流的“重归自然化”(re-naturalization)，以恢复河流的生态功能与美学功能。

第二节 人类与河流相互作用的若干规律

一、人类活动对河流影响的三个层面

1998年英国地貌学家 D. Knighton 将人类活动对河流的影响分为两个层面：直接影响

(对河流的影响) 和间接影响 (对流域的影响)。事实上, 人类对河流的间接影响, 除了对流域的影响外, 还应包括通过温室效应增温对气候的影响。因此, 人类活动对河流的影响包括 3 个层面 (表 1-2)。人类作用在表中所示的 3 个层面, 即河道、流域和气候的层面上, 改变自然过程, 从而改变河流行为。

表 1-2 影响河流的人类活动的 3 个层面

层面	主要影响举例
层面 1: 对河道的影响 其作用是改变河道的水力学特性	1 对河流的调节 1.1 水库蓄水 1.2 引水 2 对河道的改变 2.1 对河岸的加固 (筑堤、护岸工程) 2.2 河道整治: 裁弯取直、河道渠化 2.3 河道采沙
层面 2: 对流域的影响 其作用是改变流域的产水、产沙过程	1 改变土地利用方式 1.1 破坏植被, 特别是砍伐森林 1.2 恢复植被, 特别是造林 1.3 改变农业耕作 1.4 修建各种工程 (如道路系统) 1.5 城市化 1.6 采矿 2 修建排水系统 2.1 农业排水 2.2 城市排水
层面 3: 对大气圈、气候及海平面的影响 通过对大气圈和气候的影响, 改变流域的产水、产沙过程; 通过对海平面的影响, 改变河道的水力学特性	1 排放温室气体, 改变大气成分 2 导致气候变化 2.1 气温升高 2.2 降水变化 (增多或减少) 2.3 气候类型改变, 进而导致植被类型改变 3 导致气候带移动, 水系格局发生变化 4 导致海平面升高, 河流基准面上升

资料来源: 据 Knighton, 1998, 有较大补充

二、人类活动对流域系统中的力、能量以及物质流、能量流的影响

河流地貌过程主要是自然过程, 即物理过程, 是地表物质在力的作用下发生分离、运动和由运动再变为静止的过程, 对应于地表物质的侵蚀、搬运和堆积过程。决定这一过程的实质是地表作用力 (雨滴打击力、流水剪切力) 与地表物质的抵抗力的对比关系。因此, 地表流水作用过程受力学规律的支配, 可以运用牛顿力学原理, 通过分析地表物质在力的作用下运动和这一过程中能量的转化、耗散进行描述。通常是列出一组偏微分方程,

并求其解析解或数值解。人类活动对河流地貌过程的影响,主要是通过改变作用力与抵抗力的对比关系以及系统中能量的分配和耗散方式来实现的。在大多数情况下,并没有改变微分方程组本身,而只是改变了其中的某些参数。从这一意义上说,人类活动对河流的影响可以在一定程度上用力学方法来描述。

三、在系统层面上的人类-河流相互作用

河流系统是一个复杂系统。自从人类出现在自然界并与河流发生日益密切的联系之后,人类在开发利用河流资源(水资源、河流砂砾资源、河流泛滥平原土地资源、航道资源、风景资源等)和治理河流灾害(洪水灾害、泥沙灾害、断流灾害等)的过程中,以各种方式影响河流,同时又受到河流的制约,使得社会经济系统与河流系统之间形成了特定的依存关系,这种依存关系可以视为上述两大系统之间的耦合关系。这种耦合关系使河流系统变得更为复杂。在系统层面上的人类-河流相互作用,一般用系统论的原理和方法来描述。运用系统论的原理来认识人类-河流相互作用,可以从宏观上把握人类与河流之间的相互关系与相互作用,认识河流系统的复杂行为,揭示其中的规律,从而为流域管理规划与科学决策提供可靠的依据。

四、人类-河流作用的若干规律

近 50 年来,国内外在人类-河流相互作用方面已经积累了大量的研究成果,为我们研究人类-河流作用的规律提供了丰富的材料。从已有的研究成果中,我们可以概括出人类-河流作用的 6 条规律。

(一) 人类-河流作用的时间过程规律

随着人类社会的发展、科学技术的进步和人口的增加,人类作用于自然界的能力急剧增大,对河流作用强度也随之增大。因此,从古至今,人类对河流的影响程度是不断增大的,黄河下游河道沉积速率的急剧增大便是最典型的例子(许炯心, 2003; Xu Jiongxin, 1998)。但是,进入 20 世纪 70~80 年代,可持续发展的思想出现并成为社会经济发展的主导思想,在保护河流的前提下利用河流以实现人与河流的和谐相处、协调发展的观念日益深入人心。水土保持的开展使流域侵蚀产沙强度减弱;一些西方发达国家实施了河流“重归自然化”的计划,使得河流因历史上人类活动而加快的变化速率出现了减慢的趋势。黄河的近期变化也表现出这一趋势。我们以近 50 年来的观测资料和公元 1194 年以来苏北废黄河和现代黄河的历史文献资料研究了人类活动对黄河口延伸速率影响,建立了黄河河口延伸速率的时间过程曲线,发现:1194~1578 年,黄河河口延伸速率较慢;1579~1855 年河口延伸速率大大加快;1855 年以后进一步加快,并达到峰值;20 世纪 60 年代大规模

水土保持实施以后,河口延伸速率迅速减小(许炯心,2001b)。

在中等时间尺度上,人类-河流作用的时间过程具有平衡倾向性和非线性特征。受人类活动的干扰,河流系统平衡遭到破坏,河道通过自我调整,改变自身的形态从而改变挟沙能力,重建平衡。如果考虑更短的时间尺度,则在向平衡发展的过程中,由于各变量之间的相互影响和由此产生的反馈作用,调整过程会呈现出非线性特征,在不同的阶段中,呈现出相反的变化趋势。

(二) 人类-河流作用过程中的反馈与平衡重建规律

人类活动导致河流系统中原有平衡被打破,系统在进行自我调整的过程中,倾向于重新建立平衡,其中的负反馈是使平衡得以恢复的决定性因素。

(三) 人类-河流作用过程中的空间传播规律

人类对河流的影响,常常发生在河道的某一段或流域的某一部分。在流域中能量流和物质流传播的影响下,上游的变化(如土地利用或土地覆被变化及工矿建设导致的水沙变化、水库对河流径流与泥沙的调节等)会引起下游的变化,即上游的变化向下游传播;下游的变化(如水库修建导致的基准面抬升、河口人为改道或弯道的人为裁弯导致的基准面相对下降)会引起上游的变化,即下游的变化向上游传播。在传播的过程中,变化的幅度和速率会随时间和空间而衰减。

(四) 人类-河流作用过程中的临界规律

人类-河流作用过程中的变化,既有量的变化,又有质的变化,量变的积累有时会导致质变,即河流状态的突变。由量变引起质变的关节点,即为变化的临界点。捕捉人类-河流作用过程中的临界点,是人类-河流作用过程研究的重要任务。临界规律既可以表现在随时间变化的过程中,又可以表现在随空间变化的过程中。在人类活动的影响下,如果一条河流的状态变量发生了突变,则常常意味着某一临界点的超越。在由空间中的不同河流所构成的样本中,有时会发现河流的某种属性随影响变量的变化而发生突变,这常常是对影响变量的某一临界值的超越所导致的结果。

(五) 人类-河流作用过程中的复杂响应规律

人类活动导致河流系统中原有平衡被打破,在重建平衡的过程中有时会出现复杂的面貌。人类的干预使河流系统的输入条件发生改变之后,其中某一或某些对象及其属性首先发生改变,并连锁式地引起其他对象及其属性的变化,它们的相互关系也会变化。这些变

化常常交互作用,发生各种正负反馈过程,使系统的调整进程呈现复杂的面貌。这就是系统复杂响应的实质。我们在汉江丹江口水库下游和三门峡水库修建后的渭河下游(许炯心,1989a;许炯心,1989c)均发现了河床调整的复杂响应现象。

(六) 人类-河流作用过程中的差异敏感性规律

河流系统的敏感性是指当环境变量发生变化时,系统变量作出响应的灵敏程度。敏感性包括4种含义:①干扰作用力与抗干扰力的比值。②由稳定到不稳定之间所跨越的地貌临界。③流域系统受到干扰之后的恢复能力。④输入变量的单位变化所导致的输出变量变化的大小。当遭遇到同等强度的人类干预后,由于河流自然地理背景(即流域特性)的差异,不同自然带的河流系统发生响应的敏感性是不同的,这就是人类-河流作用过程中的差异敏感性规律。在半干旱地区,地形高梯度带和风沙-黄土过渡带等敏感带,较小的人类干预往往会导致河流系统的显著变化。敏感差异性常常与临界现象有关,导致突变发生的临界值较低的地区,河流对人类活动的敏感性较高。依据人类-河流作用过程中的差异敏感性规律,在那些河流对人类活动的敏感性较高的地区对河流过程进行干预时,应当十分慎重。

第三节 人类活动对侵蚀、搬运、沉积过程影响的研究进展

从地貌学的意义上说,人类活动对河流的影响可以概括为人类活动对流水作用下的侵蚀、搬运、沉积过程影响。此外,还包括对河流水文过程的影响,但这一领域主要属于水文学,本书不做重点研究。在本节中,我们将对近年来国内外在人类活动对侵蚀、搬运、沉积过程影响方面的进展进行简要综述,以便为本书研究人类活动对中国河流的影响提供一个更为广阔的视野。

一个世纪以前,美国地理学家 G. P. Marsh 就开始注意到了人类在塑造地形中的作用,他所发表的著作《人与自然:人类活动对自然地理的改变》(Marsh, 1869)和《人类活动对地球的改变》(Marsh, 1882)在当时引起了美国公众的注意。现代地貌学建立以后,人类活动对地貌过程的影响一直受到人们的关注,并在第二次世界大战以后,发展成为一个新的研究领域。1967年英国著名地貌学家 Douglas 在 *Nature* 上发表著名论文“人类、植被和河流产沙”(Douglas, 1967),首次较系统地报道了人类破坏植被后对侵蚀产沙过程的加速作用。R. L. Hooke (1994)年提出了人类是一种地貌营力的观点,并对人类作为一种地貌营力的功效进行了定量评价。根据他的估算,在全球范围内,人类通过筑路、建筑房屋和开矿,每年移动的土石量达到350亿t,超过了其他任何一种地貌营力所移动的物质总量。例如,处于第二位的地貌营力是河流的作用,每年将大约240亿t泥沙输送到海洋和内陆沉积盆地。在这约240亿t泥沙中,有100亿t是人类农业活动所导致的直接后

果,即人类加速侵蚀所致。1999年,R. L. Hooke 又做了一项十分有趣的研究工作,对美国范围内人类活动移动的土石量与河流侵蚀搬运作用移动的泥沙量进行了比较,并按 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 的经纬网格,做出了上述两项物质迁移强度的分布图(Hooke, 1999)。他的研究表明,在美国每年因建筑房屋移动土石方为8亿t、开矿为38亿t、修路为30亿t,此外在农业活动中使7亿t的土壤流失到河流中去,以上共计76亿t。与此同时,如果不计人类农业活动的影响,则河流每年输移的物质(泥沙与溶解质)为10亿t。由此可见,人类活动移动的物质质量是河流的7.6倍。

由于人类活动的重要性,可以将流水地貌研究分为两大领域,一是自然因素对流水地貌过程的影响,二是人类活动对流水地貌过程的影响,近年来对后一领域的关注有超过前一领域的趋势。1997年国际水文科学协会陆地侵蚀委员会召开了“人类活动对侵蚀与沉积影响”的专题学术讨论会,标志着这一领域已成为国际地貌学、水文学的前沿领域之一。

一、人类活动对侵蚀过程的影响

人类活动对侵蚀过程的影响,主要是通过改变下垫面特征来实现的。例如,改变坡度和坡长(通过修建梯田)、改变基准面的高度(通过修筑淤地坝)、改变地表植被覆盖状况(如砍伐森林、坡地开垦或恢复植被、种树种草)等,从而改变了地表径流的形成和汇集过程、水流能量的耗散方式、地表物质的抗蚀力与雨滴及径流侵蚀力的对比关系,因而使侵蚀强度发生变化。高博文等(1993)将黄土高原的侵蚀概括为两条基本规律:①地形、降雨、土壤(地面组成物质)和植被,必须同时处于不利条件下,水土流失才能发生。②人类活动对水土流失的加剧或制止,都是通过改变上述自然因素来实现的,改善其中任意一项,使之处于有利状态,水土流失就能制止或减轻到最小程度。

(一) 自然侵蚀与人为加速侵蚀的定量区分

为了对人类作用所导致的侵蚀进行定量评价,必须对人类作用所产生的侵蚀(人类加速侵蚀)与自然因素所导致的侵蚀进行定量区分。目前采用的研究方法主要有3种:

1. 通过野外小区的对比观测试验来评价人类活动的影响

中国科学院西北水土保持研究所从1989年起,在子午岭林区的瓦窑沟小流域试验区,布设了标准小区和大型径流场,目的在于通过人为破坏森林植被和开垦,重演人类活动对土壤侵蚀的影响。该所研究人员以林地小区代表自然侵蚀,其他10种不同处理的小区代表不同方式的人类活动,展开了定位观测,研究了不同地形部位、不同土地利用方式的土壤侵蚀特征,地形和降雨因素对林地、开垦地侵蚀的影响,林地开垦的土壤

侵蚀过程与细沟、浅沟发生发展的关系以及林地开垦后坡、沟侵蚀的演变等,取得了新进展(唐克丽等,1993)。

2. 以相关沉积方法研究历史时间尺度上自然侵蚀与人为加速侵蚀的关系

景可等(1993)通过对历史上不同时期形成的黄河冲积扇的体积的估算,来推算相应时段黄土高原的侵蚀量。全新世中期(距今6000~3000年)的冲积扇形成时,黄土高原人类活动尚很微弱,故当时的侵蚀代表自然侵蚀,可作为本底侵蚀;以后的各期冲积扇则代表人类加速侵蚀与自然侵蚀的共同结果,因此可以对上述两种侵蚀作用进行区分。

3. 通过数学模型来估算人类活动与气候变化对侵蚀产沙的不同影响

黄河流域自20世纪70年代以来,发生了明显的水沙变化,入黄泥沙有明显减少的趋势。由于黄土高原河流的泥沙输移比近似地等于1(龚时旻等,1980),所以入黄泥沙减少反映了流域侵蚀强度的降低。从60年代末以来,大规模的水土保持工作在黄土高原展开,与此同时,气候的变化导致了降雨量的减少。如何对水土保持和气候变化对入黄泥沙减少的贡献进行定量区分,是治黄决策中必须解决的重大问题。在黄河水少变化基金的资助下,我国科学工作者进行了大量研究。以1969年以前作为无措施的基准期,建立表达产流和侵蚀产沙过程的数学模型,以1969年以后作为措施期,运用基准期模型按措施期的气候资料计算产沙量,并与措施期的实测产沙量进行比较,即可求出假定无措施时的产沙量(即由气候因素决定的产沙量)、水土保持所导致的产沙量的减少量以及气候变化所导致的产沙量的减少量(汪岗等,2003a, 2003b)。在此基础上,便可对于气候变化与人类活动的减沙效应进行定量区分。

(二) 人类改变流域的土地利用、土地覆被所导致的侵蚀过程

人类改变流域的土地利用、土地覆被以后所导致的侵蚀过程及其对生态系统的影响,是国内外关注的热点之一。

A. Jain等(2000)对位于印度喜马拉雅山区的一个汇入湖泊,流域面积为12km²的小流域进行了研究,主要分析了土地利用变化对流域侵蚀、元素迁移以及湖泊生态系统和湖周围沼泽的影响。在这一小流域中,过去40年里土地利用、土地覆被发生了很大变化,农耕区面积扩大了63%,湖周泥炭沼泽面积扩大了67%,对于流域中4种不同土地利用、土地覆被类型下的水文、侵蚀和物质迁移过程进行了定位监测,其结果已列入表1-3中。从表中可以看到,人类活动影响下的不同类型区,径流系数、单位面积、土壤流失、土壤养分流失量都有较大差异,但通过径流流失的营养元素量则差异不大。

表 1-3 印度喜马拉雅山区不同土地利用类型的产流及侵蚀特征

流失参数		森林	复合农林系统	农耕地	裸地
地表径流系数/%		2.06	1.79	1.79	4.77
径流模数/[$10^5 \text{ L}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]		6.7	5.8	12.4	15.6
土壤流失强度/[$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]		6.39	1.19	28.42	19.92
随侵蚀土壤的养分流失量/[$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]	有机碳	328	38	969	739
	全氮	41	5	91	122
	全磷	13	2	51	39
随径流的养分流失量/[$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]	全氮	7.81	7.03	6.64	6.55
	磷	0.12	0.07	0.11	0.19
径流中的有机质流失	流失浓度/(g/L)	1.96	1.75	1.28	1.29
	流失模数/[$\text{t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$]	1.31	1.13	1.59	2.01

资料来源: Jain et al., 2000

值得注意的是,在上述4种类型中,农林复合系统的各项流失参数值都是最低的,甚至于低于森林,说明其水土保持功能是很强的,应该在其他地区推广。复合农业系统的研究,在国内也取得了大量成果。中国科学院地理研究所在三峡库区紫色土坡地进行了植物-农作物系统与单一农作物系统的实验研究,并用 SCUAF 模型进行了计算和预测,结果表明,农林复合经营有利于改善坡地生态系统养分平衡,并可显著减少土壤侵蚀(许峰等, 2000; 蔡强国等, 1999)。

(三) 人类活动影响侵蚀过程研究领域的拓展

除了传统的研究领域(如人类破坏和恢复植被以及水土保持对侵蚀的影响)以外,国内外的研究者日益重视人类活动影响侵蚀过程的其他方面,如耕作方法变化的影响(Dos Reis Castro et al., 1999)、道路修建对地表径流和侵蚀过程的影响(Ziegler et al., 2000)、犁耕所产生的侵蚀效应、人为填平冲沟进行大规模整地后发生的侵蚀过程(Clarke et al., 2000)以及人为活动所导致的重力侵蚀与泥石流侵蚀等(Sah et al., 1998; Banoni et al., 2000)。

在巴西南方的玄武岩高原,保留作物秸秆条件下的免耕法于1993年开始代替传统的机械犁耕方法,并迅速推广。为了对这种耕作法对产流和侵蚀的影响进行比较,采用了 1m^2 坡面小区的方法,对天然与人工降雨条件下不同作物,同一作物的不同生长阶段以及不同的耕作制度下的产流和侵蚀过程进行了观测。同时,还对嵌套式实验流域中的细沟和冲沟进行了观测和测量。结果表明,免耕法采用以后,坡面径流有所减小,而地下表层流(subsurface flow)则增加了。面状侵蚀与细沟侵蚀的土壤流失量也减少了。然而,在特大暴雨影响下,部分冲沟系统仍在扩展(Dos Reis Castro et al., 1999)。