

HUANGHE LIUYU SHENGTAI HUANJING BIANHUA YU HEDAO YANBIAN FENXI

黄河流域 生态环境变化与 河道演变分析

王光谦 王思远 张长春 著



黄河水利出版社

黄河流域生态环境变化与河道演变分析

王光谦 王思远 张长春 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书在遥感与GIS技术的支持下,基于黄河流域20世纪80年代末期、90年代中期和末期的土地利用/土地覆盖和土壤侵蚀时空数据库,通过对环境因子的定量化和建立评价模型,分析了黄河流域近期的生态环境及其变化,并借助历史文献、水文泥沙数据等,分析了黄河流域历史河道演变与流域环境变化的关系、20世纪70年代以来黄河流域河道演变及其发展趋势,同时利用数字流域模型研究了黄河流域多沙粗沙区植被覆盖变化对流域水沙关系及河道演变的影响

本书可供水利工程、水土保持、自然地理等专业技术人员及高等院校相关专业师生阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河流域生态环境变化与河道演变分析/王光谦,
王思远,张长春著. — 郑州:黄河水利出版社,2006.10
ISBN 7-80734-146-7

I. 黄… II. ①王… ②王… ③张… III. ①黄
河流域-生态环境-研究 ②黄河-河道演变-研究
IV. ①X321.2 ②TV882.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第118793号

组稿编辑:岳德军 电话:0371-66022217 E-mail:dejunyue@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:13.5

字数:312千字

印数:1—2 000

版次:2006年10月第1版

印次:2006年10月第1次印刷

书号:ISBN 7-80734-146-7/X·25

定价:28.00元

前 言

黄河是我们的母亲河,以其孕育了灿烂的古代文化、浇灌了辉煌的东方文明、成为中华民族的摇篮而闻名于世;同时,也以其泥沙严重、水患频繁、治理开发最为困难而举世瞩目。黄河发源于青海高原巴颜喀拉山北麓约古宗列盆地,蜿蜒东流,穿越黄土高原及黄淮海大平原,于山东垦利县注入渤海。黄河流域土壤侵蚀面积约 48 万 km^2 ,多年平均年输沙量 16 亿 t(三门峡站),其中 90% 以上来自中游的黄土高原地区,黄土高原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,侵蚀模数一般大于 1 万 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,最高可达 4.02 万 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。同时,该区还是实施西部大开发战略的重要区域,也是我国重要的能源重化工基地,由于其独特的区位优势和资源优势,在我国国民经济和社会发展中处于极为重要的地位。因此,黄河流域的生态环境及其演变历来是人们关注的焦点。

“再造一个山川秀美的西北地区”是当前及今后黄河流域治理的重要目标。黄河水资源的重要特点是水少沙多、水沙异源、时空分布极不均匀以及由此产生的“地上悬河”、河口摆动、延伸、河道淤积、水患频繁等问题,历来被认为是黄河治理的难题。这些问题能否科学解决与黄河流域的生态环境密切相关。黄河流域水土流失和黄河断流是黄河流域最主要的生态环境问题。黄河流域的水土流失主要来自于黄土高原,黄土高原地区水土流失的成因主要有自然因素和人为因素两个方面。自然因素包括地质因素、地貌因素、地形因素、降雨因素、土壤因素五个方面。人为因素主要有:陡坡开荒,破坏林草植被;过度放牧,草场沙化;采石、开矿、筑路等开发项目造成水土流失。

黄土高原土壤侵蚀的发生发展与其生态环境演变密切相关,在生态环境演变过程中,土壤侵蚀过程在整个黄土高原系统中占主导地位,二者相互影响、相互促进。一方面生态环境的破坏加重和加速了土壤侵蚀过程;另一方面土壤侵蚀又恶化了生态环境,引发了水旱灾害、荒漠化、滑坡、泥石流、土地退化、环境污染等一系列严重问题。水土流失一是造成地形支离破碎、千沟万壑和原有植被破坏,加剧了土地和小气候的干旱程度以及其他自然灾害的发生;二是制约社会经济可持续发展,导致群众生活贫困;三是淤积下游河床,威胁黄河防洪安全;四是严重淤积水库等水利设施,缩短了水库等的使用年限,使本已紧缺的黄河水资源的可利用量减少。因此,黄土高原的水土流失是黄河流域生态环境问题的头号问题,是生态环境持续恶化的根源,水土流失是治理黄河流域应首要考虑的问题。

新中国成立后,黄河流域经过多年的治理,取得了举世瞩目的巨大成就,但黄河存在的三大问题依然十分突出,许多自然规律仍未被人们认识和掌握,洪水威胁依然是国家的心腹之患,水资源供需矛盾日益尖锐,水土流失和生态环境恶化尚未得到有效遏制,严重威胁沿黄人民的生命和财产安全,制约着黄河流域及其相关地区的经济社会发展。黄河流域生态环境和河道演变有什么关系值得我们研究和深刻思考。

遥感技术研究环境演变是非常重要的手段。随着科学技术的突飞猛进,航天遥感技术得到了长足发展,传感器的空间分辨率和时间分辨率大幅度提高。遥感技术是获取空

间信息和时间序列信息的重要手段,通过遥感获取的时间序列信息,为恢复重现土地利用的空间信息和预测未来发展趋势奠定了坚实的基础。因此,在遥感技术的支持下,全球变化研究中的陆地表层空间特征和地表演化现代过程研究,由于得到了时空序列完整的遥感数据支持而进入参数化、定量化研究阶段。同时,计算机技术日新月异,带动了地理信息系统 GIS 的快速发展,从而为更好地管理与使用地理时空信息提供了工具与手段。随着信息时代的到来和计算机技术的迅速发展,地球科学与 GPS、RS、GIS 相结合并在地球系统科学与信息科学基础上诞生了地球信息科学,而地球信息科学的发展,为研究生态环境和河道演变提供了新的思路与方法。

流域环境与流域水沙密不可分,流域环境影响流域水沙,进而影响河道演变。因此,本书将在 RS 和 GIS 技术的支持下,对黄河流域的生态环境和河道演变进行研究,揭示生态环境和河道演变的宏观变化规律,并探讨流域生态环境的变化对河道演变的影响,同时,对黄河流域生态环境进行综合评价,为黄河流域生态环境的可持续发展提供对策,为黄河流域的治理提供依据。

鉴于黄河流域生态环境和河道演变的复杂性和黄河流域特殊的自然条件,加之作者的水平和时间有限,书中疏漏和错误之处,敬请批评指正。

本书的研究成果得到国家自然科学基金创新研究群体基金(50221903)和黄河 973 项目(G19990436)的资助。

作 者

2005 年 10 月于清华园

目 录

前 言

第 1 章 概 述	(1)
1.1 生态环境及生态环境演变	(1)
1.2 生态环境演变与全球变化研究	(2)
1.3 生态环境与数字地球研究	(3)
1.4 生态环境与可持续发展研究	(4)
1.5 黄河流域生态环境特点	(5)
1.6 黄河流域生态环境问题	(7)
1.7 流域生态环境与河流健康	(8)
1.8 河道演变及其研究进展	(9)
1.9 河道演变与生态环境变化关系	(11)
第 2 章 土地利用/土地覆盖与土壤侵蚀遥感信息的自动提取方法	(15)
2.1 遥感影像理解的概念与过程	(15)
2.2 纳入 GIS 信息的遥感影像综合理解模型	(17)
2.3 基于遥感影像综合理解模型的土地利用/土地覆盖分类	(20)
2.4 基于遥感影像综合理解模型的土壤侵蚀强度信息提取研究	(28)
2.5 土地利用/土地覆盖信息与土壤侵蚀强度信息自动提取试验——以孤山川 流域为例	(33)
2.6 本章小结	(39)
第 3 章 黄河流域土地利用/土地覆盖变化分析	(42)
3.1 黄河流域土地利用/土地覆盖变化的数据基础	(42)
3.2 黄河流域土地利用/土地覆盖变化建模分析	(47)
3.3 黄河流域土地利用/土地覆盖景观格局演变分析	(51)
3.4 本章小结	(58)
第 4 章 黄河流域土壤侵蚀变化分析	(61)
4.1 黄河流域土壤侵蚀研究的数据基础	(61)
4.2 黄河流域土壤侵蚀变化建模分析	(67)
4.3 黄河流域土地利用与土壤侵蚀耦合分析	(72)
4.4 本章小结	(76)
第 5 章 黄河流域生态环境演变分析	(78)
5.1 环境监测信息的处理与组织	(78)
5.2 环境监测信息系统集成平台的设计与实现	(80)
5.3 系统运行实例分析——黄河流域生态环境综合评价	(83)

5.4 本章小结	(98)
第6章 黄河流域生态环境演变与河道历史变迁	(100)
6.1 黄土高原历史时期生态环境变化	(100)
6.2 生态环境变迁的主导因素	(102)
6.3 黄河流域宁蒙河段河道历史变迁	(103)
6.4 黄河下游河道历史变迁及其特点	(104)
6.5 黄河三角洲及其尾间河道演变	(110)
6.6 黄河下游泥沙淤积速率	(120)
6.7 黄河流域环境与黄河下游持续淤积	(121)
6.8 本章小结	(123)
第7章 黄河流域环境与流域水沙变化	(125)
7.1 黄河流域环境及其变化对流域水沙的影响	(125)
7.2 黄河流域泥沙输移特性与河道冲淤环境的演变	(128)
7.3 本章小结	(130)
第8章 植被覆盖变化对流域水沙的影响	(131)
8.1 植被覆盖度变化对流域水沙的影响	(131)
8.2 黄河流域植被覆盖及其变化	(133)
8.3 多沙粗沙区植被覆盖度变化减水减沙效益分析	(134)
8.4 本章小结	(156)
第9章 黄河流域河道演变的遥感分析	(158)
9.1 黄河内蒙古段河道演变	(158)
9.2 黄河小北干流及渭河下游河道演变	(166)
9.3 黄河下游河道演变	(171)
9.4 本章小结	(187)
第10章 河道演变与流域环境变化	(189)
10.1 黄河下游河道变化与不同来源区洪水响应关系	(189)
10.2 黄河下游古河道发育对流域环境变化的响应	(192)
10.3 人类活动对河道变迁的影响	(194)
10.4 未来水沙变化趋势及河道演变趋势	(196)
10.5 本章小结	(203)
第11章 结论与展望	(206)

第1章 概述

黄河难以治理的症结是水少沙多、水沙不平衡。黄河泥沙的主要来源是黄土高原43.4万 km^2 的水土流失区,特别是7.86万 km^2 的多沙粗沙区。因此,黄河治理的重点区域是黄土高原,尤其是多沙粗沙区。黄河流经的黄土高原暴雨集中、强度大,黄土物质极易受到暴雨、径流的侵蚀,生态环境极度脆弱,再叠加了强烈的人类活动,由此导致了中游和下游的两重恶性循环,即中游黄土高原“坡地开垦—环境恶化—人口增加—开垦”和黄河下游加高堤防与河床淤高赛跑,“越加越险、越险越加”的恶性循环。

实践证明,黄河流经的黄土高原治理不好,华北平原乃至整个中国北方经济,都处在黄河的威胁之中。不彻底解决黄河流域的水土流失问题和进行生态环境建设,其他治水措施都将是事倍功半,甚至是劳而无功的。黄河流域的水土流失、下游断流、河道演变等生态问题与黄河流域的生态环境密切相关,因此进行黄河流域生态环境、水沙变化与河道演变的一体化宏观研究对指导黄河治理有较大意义。

流域生态环境和河道演变既有比较独立的研究内容,有各自的变化规律和特点,又是一个有机联系的整体,它们之间的关系密不可分。流域生态环境的变化必然影响流域产流产沙,在水沙与河床边界条件相互作用下,河流将力求塑造出与来水来沙条件和河床边界条件相适应的河床几何形态,并生成相应的河型。可见,流域生态环境与河道演变是一个不可分割的整体,它们之间有着千丝万缕的联系。但目前人们往往把它们分割开来单独研究,现在随着科学技术手段的发展和流域水资源综合管理的需要,有必要也有可能从流域层面来认识流域生态环境与河道演变的相互关系,从而为流域治理及流域水资源可持续发展提供依据。

1.1 生态环境及生态环境演变

生态是指生命“代码”、生物习性及它们与周围环境的联系^[1]。在不同的环境条件下,可以形成不同的生态系统,如陆地生态、海洋生态、高原生态、河流生态、草原生态等。环境是相对于中心事物而言的背景^[2]。在环境科学中,指以人类为主体的外部世界,主要是地球表面与人类发生相互作用的自然要素及其总体,是一个客观的物质体系,包括生命要素和非生命要素。生命要素中主要为动物、植物和微生物;非生命要素主要为大气、水、土壤、光热(温度)。由此可见生态和环境是密切相关的,生态的失衡将破坏和污染环境,环境的污染和破坏会影响生态,在研究环境问题过程中很难把生态和环境区分开来,它们与人类共同组成了一个庞大而复杂的生态环境系统,人类也成为整个生态环境系统中的关键要素。生态环境是指影响人类生存与发展的自然资源与环境因素的总称(即生态系统),自然资源一般指水资源(水环境)、土地资源(土地环境)、生物资源(生物环境)以及气候资源(气候环境)^[2]。自然资源与自然环境具有同一性。自然资源是指对人类生存与发展能够创造财富的自然环境要素。环境具有资源性,随着人类科学技术的发展,愈来愈多

的自然环境要素将成为人类创造财富的资源。因此,保护生态环境就是保护生产力,建设生态环境就是发展生产力。生态系统的稳定及和谐是社会持续发展的基础,而合理的人口承载量、良好的植被覆盖率、充足的水资源等又是工农业生产系统稳定的前提。

生态环境演变是多种因素共同作用的结果,有自身的演变规律,自从有了人类以后,人为因素只是诱发环境演变的众多诱因之一,既不是惟一原因也未必是主因,在不同时期、不同地域,人为因素的作用或大或小、或主或从。因此,不能因为一些地区人为导致的环境恶化而无视人类合理干预、适度开发对维护生态平衡的积极意义,不能无限夸大生态环境对人类社会的制约,人类所取得的科技成果无不是改造、利用大自然的结晶。同时,也不能超越生态环境的演变规律而可以为所欲为,否则必将遭到大自然的无情报复。对黄河流域生态环境及其演变进行研究,有助于对黄河流域的治理,有助于生态环境的可持续发展。

1.2 生态环境演变与全球变化研究

全球变化研究是以地球系统科学为指南,从整体的角度出发,将地球的大气圈、水圈、岩石圈和生物圈看成是有机联系的地球系统,而把太阳和地核作为两个主要的自然驱动器,人类活动作为第三驱动因子,全球变化则是在上述驱动力的作用下,地球物理、化学、生物学过程相互作用的结果^[3]。全球变化研究内容极其广泛,包括大量与地球相关的重大科学问题^[4]。自 20 世纪 60 年代以来卫星遥感技术的发展和随后的空间信息系统的发展,特别是 80 年代以来以美国为首,欧洲、日本等国参与的全球对地观测计划(EOS),使地学界对地球表层的研究进入到一个崭新的阶段,也促进了全球变化研究的深入。由于全球变化研究的深入和发展,同时也鉴于其重要性,1986 年,国际科学委员会(The International Council for Science Union, ICSU)创立了国际地学与生物圈研究计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)。IGBP 的目标在于阐述和理解地球系统和人类居住环境中的物理的、化学的以及生物的相互作用及人类活动对其的影响。IGBP 计划由 11 个子项目组成,涉及到大气科学、陆地生态、海洋科学、水文学和联系自然和社会科学的交叉科学。随着全球变化研究的日益深入,各国科学家越来越感到人类活动对环境变化的影响,特别是人类的生存和发展对土地的开发利用以及引起的土地覆盖变化被认为是全球变化的重要组成部分和主要原因。因此,IGBP 和全球环境变化中的人文领域计划(IHDP)在 1995 年联合提出“土地利用和土地覆盖变化”(Land Use and Land Cover Change, LUCC)研究计划,目前 IGBP 研究计划由 8 个核心项目组成:全球大气化学项目 IGAC(International Global Atmospheric Chemistry Project),全球变化和陆地生态系统项目 GCTE(Global Change and Terrestrial Ecosystems),土地利用/土地覆盖变化项目 LUCC,生物圈中的水循环 BAHC(Biosphere Aspects of the Hydrological Cycle),沿海岸带的陆地海洋相互作用项目 LOICZ(Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone),历史时期的全球变化项目 PAGES(Past Global Changes),全球海洋流研究项目 JGOFS(Joint Global Ocean Flux Study),全球海洋生态动力学研究项目 GLOBEC(Global Ocean Ecosystem Dynamics)。而 LUCC 研究已经成为目前全球变化研究的前沿和热点。

地球表层系统最突出的景观标志便是土地利用与土地覆盖(Land Use and Land Cover)。

土地覆盖是“地球陆地表层和近地面层的自然状况,是自然过程和人类活动共同作用的结果”,而土地利用是指人类利用土地的自然属性和社会属性不断满足自身需求的行为过程(IGBP & HDP, 1995)。农业、放牧和城市建设指的是土地利用;作物、森林、草原、道路和建筑物以及土壤、冰川、水面等则属于不同的土地覆盖类型。土地覆盖变化包括生物多样性、现实和潜在的生产力、土壤质量以及径流和沉积速度中的种种变化。土地利用和土地覆盖既有密切联系,又有本质区别;土地利用变化既是土地覆盖变化的原因,也是土地覆盖变化的响应。土地利用和土地覆盖变化之间的相互作用是一个自然科学和社会科学的交叉研究领域。由于土地利用变化对环境的影响主要是通过改变土地覆盖状况产生的,因此人们常把土地利用变化与土地覆盖变化联系在一起,简称 LUCC。由 IGBP 和 IHDP 提出的 LUCC 研究计划确定了四个研究目标和三个研究重点^[5,6]。四个研究目标:一是认识全球土地利用/土地覆盖的驱动力;二是调查和描述土地利用/土地覆盖动力学中的时空可变性;三是确定各种土地利用和可持续发展的关系;四是认识 LUCC、生物地球化学和气候之间的相互关系。三个研究重点包括:

(1)土地利用动力学。该研究重点将采用案例比较研究方法,目的在于了解土地利用变化的自然和人文驱动力,从而有助于建立复杂的区域和全球模型。

(2)土地覆盖动力学。通过直接观测(如卫星图像和野外调查)和建立诊断模型对土地覆盖进行区域评价。

(3)区域和全球综合模型。研究的目的是改进现有模型和建造新的模型,用于预测各种动因下的土地利用变化。它主要包括土地生产模型、土地覆盖以及环境影响模型、土地利用分配模型、经济模型等,同时还建立一个能够将不同方法综合起来的模型结构。

在三个重点之中还贯穿有两项综合活动:

(1)数据和土地利用/土地覆盖分类。这包括分析数据来源和质量,提供能够满足三个重点研究需要的土地利用/土地覆盖分类结构,它也确定和建立对 LUCC 研究非常重要的数据库和测量标准。

(2)尺度动态。由于认识到 LUCC 过程可以出现在不同尺度上,以及随 LUCC 分析时的尺度不同会影响全面地认识 LUCC,这项活动将确定指导 LUCC 研究的主要原则。

可以看出,全球变化研究,特别是 LUCC 研究实质上便是生态环境演变研究的一个主要部分,如各类动力学模型的建立与推理、地理空间尺度问题等,建立过去环境变化的序列,来研究过去环境变化进而预测未来环境的变化。

1.3 生态环境与数字地球研究

随着对地观测系统的发展,数十年来,人类不断积累着有关地球及其居住者的海量信息,如何管理与理解这些数据成为人们面临的巨大挑战。1992 年,美国副总统 Gore 从生态环境与全球变化的角度提出了“数字地球”的概念,当时由于受限于技术发展水平等客观条件的制约,并没有引起人们的足够重视。直到近年来,随着计算机、通信、遥感和数字多媒体等技术的迅速发展,特别是 Internet/WWW 的迅猛发展,建造数字地球的技术逐渐成型。1998 年 Gore 正式提出数字地球的构想,引起了世界的广泛关注。“数字地球”是指把地球上的每一点的所有信息,按照统一的地理坐标,整理构成一个具有时空概念的全球

信息模型。此模型与搭载的数据(包括高分辨率的遥感卫星影像、数字地图及经济、社会、人口统计信息等)构成一个有机系统,系统将在军事、农林业、水利、土地利用、交通、通信、能源、城市动态监测、人口与资源、环境与灾害、生态等多个领域得到广泛的应用。由此可知,数字地球并非是一个孤立的科技项目或技术目标,而是以信息高速公路和国家空间数据基础设施(NSDI)为依托的整体性、导向性的战略思想。

国际上,以美国为首的政府、科研机构围绕数字地球展开了一系列活动。如白宫要求 NASA 在联邦政府内制定一个由多部门参加的数字地球计划,哥达德空间飞行中心同 USGS 合作代表 NASA 领导这一计划。一个跨部门的数字地球工作组自 1998 年 6 月以来每两月举行一次会议,参加该工作组的成员包括 NASA、USGS、NOAA、NSF、EPA、NIMA、DARPA、FGDC 及美军工程师集团(Army Corps of Engineers)。一些非政府组织如 OGC、美国国家科学院、Ohio View 和 ICASE 等也参加了该工作组。加拿大、澳大利亚、新西兰等许多国家已开始研究和建立各自的国家空间数据基础设施(NSDI)。跨国区域空间数据基础设施(RSDI)和全球空间数据基础设施(GSDI)也引起有关国家的高度关注。应该看到,数字地球概念的提出是第二次世界大战以来,特别是 20 世纪 70 年代以来“新技术革命”的一个自然发展。无论是否提出“数字地球”的概念,无论是谁以这样的方式提出这一概念,地球信息集成和整体化工作都是当前地球科学和信息技术发展的一个重要趋势(徐冠华, 1999)。

数字地球的目标是要建立一个完全信息化的地球系统,由于其时空尺度大、综合性强,它的实现已不是个别科学团体或单个国家可以实现的,必须要联合多个学科,联合许多国家开展全球性的合作研究。数字地球的提出与实现都将方方面面推动地理信息科学的发展。而地球系统科学、认知科学和地球信息科学的发展,为地球信息科学的研究奠定了科学基础,数字地球的发展为生态环境演变的研究提供了非常丰富的信息源以及强大的技术支持。

1.4 生态环境与可持续发展研究

近年来,随着全球经济的发展、工业化进程的加快,人类也面临着一系列新的问题,如全球变暖、臭氧层破坏、生物多样性消失、大气与环境污染、水土流失、土地荒漠化等各种各样的环境问题^[7]。1992 年 6 月在巴西召开了联合国环境与发展大会之后,人口、资源、环境与发展便成了世界关注的热点,可持续发展论也逐渐深入人心。可持续发展的核心在于正确认识“人与自然”和“人与人”之间的关系,要求人类以最高的智力水准与泛爱的责任感,去规范自己的行为,去创造和谐的世界。人与自然相互协调,协同进化;人与人同舟共济,平等发展等,凡此种种,构成了可持续发展的哲学框架。可持续发展的概念,1992 年在巴西召开的联合国环境与发展大会认为“地球的持续发展是社会与自然系统两者的稳定性,具有满足当代需要又不损害后代需要的能力”。这个概念得到全世界的公认,已成为广泛使用的概念之一^[8,9]。总之,可持续发展是以人为中心的社会—经济—自然复合生态系统在资源和环境承载力容许内,依靠科技进步,促进经济的不断发展,保证资源的持续利用和人民生活质量的不断提高,因而可持续发展包括生态持续性、经济持续性和社会持续性,这三者相互联系,生态可持续性为基础,经济可持续性为条件,社会可持

续为目的。

土地资源可持续发展的思想,是1990年2月在新德里由印度农业研究会(ICAR)、美国农业部(USDA)和美国 Rodale 研究中心共同组织的首次国际土地持续利用系统研讨会(International Workshop on Sustainable Land Use System)上正式确认的,以后又分别在泰国和加拿大举行了土地可持续利用国际学术讨论会,这两次会议提出了土地可持续管理的概念、五大基本原则和评价纲要(宁振荣,等,1998)。根据可持续发展理论,土地资源可持续发展的定义为:“不断提高人类生活质量和环境承载力,满足当代人需求而又不损害后代满足其需求的土地资源利用方式。”由于土地资源可持续利用是与区域可持续发展相互联系、相互依托,由此决定了土地资源可持续发展具有如下特点:①土地可持续发展是在人地关系长期失调的情况下进行的,因而更具有艰巨性;②由于不同区域有着不同的生态环境、社会环境、经济环境条件的影响,因而土地资源的可持续利用的方式具有区域性和多样性。土地资源的可持续利用始终与生态环境变化是密切相关的,从生态环境响应的角度发现土地利用的反馈机制,以探索由于土地利用/土地覆盖变化导致的土地恢复与重建机理,这对于丰富可持续发展方面的研究内容具有重要理论意义,同时也对生态环境的保护与恢复具有现实的指导意义^[10]。

1.5 黄河流域生态环境特点

黄河是我国第二大河,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东等9省(区),于山东垦利县注入渤海。以内蒙古的河口镇、河南的孟津为分界,黄河可分为上、中、下游3段。黄河的干支流在中游流经黄土高原,泥沙量增大,成为名副其实的“黄河”,泥沙在下游堆积,河道抬高成为“悬河”,中、下游是人类活动最频繁的区域。黄河地处干旱半干旱区域,降水量多年平均464 mm(1956~1979年),且降雨分布时空不均。黄河水资源的最主要特点是水少沙多、水沙异源、水土资源分布不一致。黄河流域面积虽占全国面积的8%,但其河川径流量仅占全国的2%。流域人均占有水量543 m³,为我国人均水量的25%;平均每公顷耕地水量4 605 m³,仅占全国的17%。而黄河平均输沙量为16亿t,列世界各大江河之首。黄河水沙异源,上游兰州以上占流域面积的28%,其河川径流量却占了56%,输沙量仅占6%,是清水的主要来源区。黄河中游占全河面积的46%、河川径流占43%,而输沙量却占了90%以上,特别是河口镇至龙门区间,流域面积只占全河面积的15%,河川径流量也只占13%,但输沙量却占全河的56%,是黄河的主要来沙区。

1.5.1 黄河源区生态环境特点

黄河源区自然环境严酷、生态系统脆弱,气候属于典型的高原内陆性气候:寒冷、干旱、风沙大、辐射强、降水量少、蒸发量大。年平均气温大部分地区在0℃以下,玛多等地区平均气温在-4.0℃以下。年均降水量297~764 mm,在扎陵湖、鄂陵湖及玛多一带,年降水量小于300 mm。源区年降水变率较小,一般低于15%。源头降水量空间分布呈东南向西北递减。源区平均蒸发量在1 200~2 000 mm之间^[11]。年平均气温、风速较高的地区蒸发量相应较大;源区日照时数一般在2 400~2 800 h,日照百分率在55%~60%之间,东部少于西部。年太阳总辐射量一般为597.5~655.7 kJ/cm²之间,随海拔的升高由东南向西北递增,与全国同纬度地区相比,辐射量相对丰富。无绝对无霜期,四季不分明,一般只

有冷、暖两季。每年5~11月是黄河源区干旱频发期,干旱发生率达23%~25%,属青藏高原境内干旱发生高频区。除风沙、干旱灾害外,雪灾、霜冻也是该区十分常见的自然灾害。本区处于亚洲季风气候区,风蚀和冻融侵蚀作用强烈,黄河源区水土流失面积已达417.3万 hm^2 ,强度侵蚀面积225万 hm^2 ,极强度侵蚀面积11万 hm^2 ,强度、极强度侵蚀面积已占土地总面积的21.07%。区内河谷开阔,冰川广布,水系发育,水质良好,除河道沿线为融区外,大部为永久冻土。本区土壤主要有高山草甸土、高山草原土、高山荒漠土、山地草甸土、栗钙土、沼泽土、风沙土等,其中又以高山草甸土为主,沼泽化草甸土也较为普遍。受青藏高原发育年代和地势高的影响,植被稀少,土层浅薄,一般30~50 cm,含砾石较多,腐殖质层薄。这类土壤一旦遭到破坏极难恢复。山前广布洪积扇,多为巨砾、碎石、粗砂。

本地区地形和地貌复杂,气候高度异质,植被类型和生物物种十分丰富,既有温带山地森林、温带草原、温带荒漠,也有高寒气候影响下形成的高寒灌丛、高寒草甸、高寒垫状植被、高寒荒漠以及湿地植被等。其中以耐低温、旱生多年草本和小灌木组成的草原为分布最广的植被类型。本区草群营养品质好,类型多,适宜放牧。但由于气候原因,也存在生长季节短、牧草长势年际差异大、自然灾害较多等不足。

本区动物种类也较多,其中许多是适应于本地区高寒环境的特有品种,如野驴、藏牦牛、藏羚羊、岩羊、藏原羊、白唇鹿、雪豹等。由于湖泊广布,鱼类资源也很丰富。

黄河源区大部分地区属高寒草原生态系统,自然条件的恶劣使这种生态系统结构简单,自我平衡能力较差,生态阈值较低。本系统的草原结构大致可分为三层:草本层、地面层和根层。青草是该生态系统的生产者。由于本区域地势开阔,适宜善于奔跑的大型草食动物生活,如野驴、野羚羊等,它们与洞穴的啮齿类如田鼠、旱獭等构成初级消费者,蝗虫等草食昆虫也在此列;肉食动物如狐狸、狼及肉食猛禽和捕食昆虫的鸟类在这个生态系统的食物链中属次级消费者。倘若没有人类的无计划介入,这个生态系统会在相对平衡中演化,即使有自然条件的变迁,它也能通过自身调节来达到新的平衡。

最近20多年来,由于气候和人为因素,河源地区生态环境发生了极大变化,干旱形势十分严峻。气候变暖,造成冻土融区范围扩大,季节融化层增厚,甚至多年冻土层消失,冰川萎缩,湖泊水位下降,近千个小湖泊干涸或濒临干涸,雪线上升,径流减少,鄂陵湖上下连续出现断流现象。原有的生态功能逐步消失,草原持续退化并趋于严重,物种生存环境遭到威胁。植被生长缓慢,在自然状态下呈退化演替之势。加之人类活动的干预破坏,使本来就比较脆弱的生态系统极易崩溃,生态环境严重恶化,且短期内难以恢复,形势十分严峻。

1.5.2 黄土高原生态环境特点

黄土高原西起日月山,东至太行山,南靠秦岭,北抵阴山,是地球上黄土最集中、分布面积最大、堆积最早的地区,总面积64万 km^2 。属典型的半干旱地区,年降水量一般为300~500 mm,多暴雨,加之长期以来不合理的开垦,水土流失十分严重,年输入黄河泥沙高达16亿t,导致生态环境恶化,旱涝灾害频繁发生。

黄土高原的生态背景从地貌上看,地貌类型多样,且地形破碎,坡陡沟深,地面物质组成大部分为黄土,土质疏松,遇水崩解,极易侵蚀。从降水上看,降水少而集中,时空分布极不均匀,黄土高原自东南向西北,年降水从700 mm递减到不足200 mm,6~9月降雨占

全年降水量的 60% ~ 70%, 多为暴雨。从能量上看, 光热通量大, 日照时间长, 蒸发能力强, 蒸发量大于降水量。从植被上看, 植被覆盖率低, 且自东南至西北逐步递减, 由乔灌植被向灌草植被、荒漠植被转化, 由于大量的地面裸露, 使土壤失去了有效保护及对水的调节作用。从人类活动上看, 随着该地区人口的增长, 毁林(草)开荒、陡坡种地、过度放牧、破坏植被, 使原有脆弱的生态系统遭到破坏而难以恢复。随着现代社会生产力的不断发展, 采矿、基础设施建设、城镇扩展等造成生态环境新的失衡。

以上五个方面相互联系、相互作用, 造成了黄土高原严重生态环境问题——水土流失。最典型的是河口镇至龙门区间, 集水面积 11.2 万 km², 属半湿润气候向干旱气候过渡地带, 全年降雨集中在夏季, 连续 4 个月降雨量占全年降水量的 70% ~ 80%, 暴雨强度可达 1 mm/min 以上, 暴雨期的径流系数可达 60% 以上, 是黄河泥沙的主要来源区。

1.6 黄河流域生态环境问题

黄土高原暴雨集中、强度大, 黄土物质极易受到暴雨、径流侵蚀, 这是黄河流域自古多沙的自然地理背景。在脆弱的生态系统上, 再叠加不合理的人类活动, 导致了中游和下游两重恶性循环, 即中游黄土高原“坡地开垦—环境恶化—人口增加—开垦”和黄河下游加高堤防与河床淤高赛跑, “越加越险、越险越加”的恶性循环。因此, 黄河流域的头号生态环境问题是黄土高原的水土流失, 另一个重要生态环境问题是黄河断流。

1.6.1 水土流失严重

黄河流域土质疏松、坡度陡峭、植被破坏严重, 加之风蚀、水蚀等强力搬移作用, 致使流域内水土流失十分严重。严重的水土流失, 不仅造成原地土壤破坏、环境恶化, 还诱发洪水泛滥、决堤改道等灾难。

黄土高原水土流失不仅时间集中, 地域也比较集中。从时间上来看, 水土流失主要集中在汛期(6 ~ 9 月), 其产沙量一般占年产沙量的 80% 以上, 且往往又是几场暴雨造成的。从地域上来看, 主要集中在多沙粗沙区。据最新研究成果, 输沙模数大于 5 000 t/km² 及粗沙(粗泥沙粒径 0.05 mm 以上)模数大于 1 300 t/km² 的黄河中游多沙粗沙区, 面积为 7.86 万 km², 仅占黄土高原总面积的 12.2%, 而多年平均输沙量(11.8 亿 t)却占黄河总输沙量的 62.8%^[12]。

严重的水土流失造成大量的泥沙进入黄河, 使黄河的多年平均输沙量(陕县站)达 16 亿 t(1919 ~ 1960 年水沙系列)。每年约有 4 亿 t 泥沙淤积在下游河道, 下游河床的抬高速率达 10 cm/a 左右, 致使河床目前已高出地面 4 ~ 10 m, 形成了著称于世的“地上悬河”。

水土流失将地表切割成千沟万壑, 加重了风蚀、水蚀、重力侵蚀的相互交融, 增大了雨洪及干旱灾害的产生频率, 造成植被破坏、植物退化、生态功能急剧衰退。

1.6.2 黄河断流

黄河 1972 年首次在下流利津水文站自然断流 15 天, 从此断流现象频繁发生。1972 ~ 1999 年的 28 年中除 1973、1977、1984、1985、1986、1990 年外, 有 22 年出现断流, 累计 88 次共 1 092 天, 其中 70 年代断流 6 年, 80 年代断流 7 年, 进入 90 年代连续 9 年断流, 断流天数急剧增加。据资料统计, 1991 ~ 1999 年间平均每年断流 89 天, 断流河段长 421 km; 1996 年断流 122 天, 断流河段长 579 km; 1997 年断流 13 次, 共 226 天, 断流河段长 704 km。可见,

断流的天数和次数逐年增加,断流河段长度不断向上延伸,断流的形势日趋严峻。

黄河是多泥沙河流,流量减少首要的影响是导致河流输沙能力成倍下降,泥沙淤积加重,使河道排洪能力下降,河道萎缩,不仅给下游地区工农业生产和人民生活造成严重困难,还给黄河防汛、生态环境等带来潜在威胁,加重了下游的防洪负担,对下游生态环境产生重大的不利影响。由于断流,在汛期往往形成“小流量、高水位、大漫滩”的异常现象,同时增加出现“横河”、“斜河”的几率,造成更大的险情和灾情。由于断流进而导致海水入侵,还可加速引起滩区土壤盐化、沙化进程,使黄河三角洲的生态环境严重恶化。

其次,入海流量减少,对水质污染及生态环境的影响,是不容忽视的。随着两岸生产发展、人口增加,排入黄河的污水有增无减。据初步统计,每年近 50 亿 t。由于河流流量减小,难以稀释入河污水,水质变坏是显而易见的。

黄河少水和断流造成该区生态环境恶化,从而造成生态系统、生态种群和遗传基因多样的丧失均是无法补偿的。

1.6.3 黄河生态环境问题主要原因

黄河的生态环境问题引起的原因很多,但主要的是由于黄河流域生态环境十分脆弱且受到严重破坏所引起的。盲目开垦、过度放牧和采樵使黄河流域的植被覆盖率很低,土壤表面由于失去良好而有效的保护导致土壤侵蚀、土地沙化、湿地退化及草地退化等。

能源基地和现代交通干线等各类工程活动对原始地表的改造也对环境产生负面影响,主要表现在挖方填方过程中的毁林毁草弃土弃石和高边坡失稳,破坏了水土资源和生态环境。有些弃土石方堆积在川、沟道中,使黄河的行洪泄洪能力大为减弱,如遇暴雨发生洪水,则不仅是水土流失,也容易形成洪灾。能源基地和黄河中游地区其他开发、建设项目中的消极影响,也不断暴露出来,对当地及黄河下游的安危已构成潜在的威胁。

黄河断流与水资源的不合理开发利用密切相关,是流域生态平衡严重失调的综合反映。黄河流域大部分地区属于旱和半干旱区,面积约 65 万 km^2 ,占流域面积的 88%。沿黄地区农业灌溉、工业用水及城乡人民生活用水,由 20 世纪 50 年代的年均耗水量 124 亿 m^3 ,增加到 90 年代的年均耗水量 296 亿 m^3 ^[13],相当于黄河天然径流量的 50% 左右,且大部分为非汛期引水,占总引水量的 70% ~ 80%。黄河径流年内分配具有夏秋水丰、冬春水枯的特性,正值灌溉用水高峰期的 3 ~ 6 月份,径流量只占全年径流量的 22%,贫乏的水资源与逐年增加的用水量是黄河断流的主要原因,各种人为因素加剧了缺水的严重态势。

1.7 流域生态环境与河流健康

河流是运动于时空之中的客观实在,而且,河流的运动绝不是消极被动的,它的运动是有规律的,对于人类主体以及社会经济的发展有着巨大的反作用力。人类社会一旦违背了其运动发展规律,对其过度索取,超过河流的承受限度,它就会对人类产生强烈的负面作用。

河流与人类、与人类社会经济的发展、与大自然中的其他生态要素都有着密切的联系,有着一荣俱荣、一损俱损的高度关联。可以说,河流的健康生命是流域生态环境良性循环的具体体现。一条河流的生命停止了,这条河流的其他生态要素的生命也将陆续停止,流域社会经济发展、人口繁衍生息的生命力也将逐步衰竭。古丝绸之路楼兰古城的消

失、黑河下游调水前后的巨大变化就是很好的例证。

河流生命健康是实现人与自然和谐相处的一项重要内容,水是生命之源,河流生命健康,可以涵养植被、调节气候、净化环境、美化景观,保证各种生物链条的正常衔接和平衡,促进生态功能的优化和加强,实现生态环境的良性循环。否则,就会引起生态系统结构和功能的紊乱,打破整个生态系统的平衡,造成生态环境的恶化^[14]。

流域生态环境平衡是河流健康的保证,但目前我国的很多流域出现了不同程度的生态环境问题。诸如植被破坏、水土流失,河床抬高、河道萎缩,水源匮乏、频繁断流,污染严重、水质下降,溯源淤积、海岸蚀退等,水资源与水环境的承载能力面临着极大的挑战。研究流域生态环境与河流健康,有利于科学地认识流域的水资源承载能力和水环境承载能力,有利于对流域的治理与开发。要改变水资源“取之不尽、用之不竭”的观念,变传统的“以需定供”为“以供定产”,重视水资源的节约、保护和配置。在防洪问题上,要逐步实现由控制洪水向管理洪水的转变,既要治水,又要规范人类自身的活动;既要防洪,又要给洪水以出路。

江河流域多是开放的复杂环境巨系统。从地貌学的角度而言,该系统是由以坡面为主的能力聚集区子系统和以河道为主的能量及物质输移通道子系统构成的。在流域系统中,能量和物质的不断循环,形成了一个不可分割的统一整体。显然,流域系统就是通过能量流动、物质循环和信息传递,进行有序转换和无限循环,从而把流域系统内的各个组成部分紧密结合成为一个有机的整体,并成为自身运动、变化和发展的动力,同时与外界也不断地发生作用。因此,流域系统是一个整体,系统中任何部分的变化都会对系统中其他部分产生影响。流域水沙是自然界的产物,受流域环境控制,流域自然环境的变化,将或多或少地影响到流域水沙及其过程。流域自然环境的变化,有其自身的变化规律,但随着科学技术的发展和人类改造自然的能力的提高,影响自然环境变化的因素中人类活动占的比例越来越重。流域环境与流域水沙密不可分,流域环境影响流域水沙,进而影响河道演变。

所以,河流与流域生态环境之间关系非常密切,研究河流系统与流域生态系统之间物质和能量的交换及其相互影响是从更高层次上来认识流域生态环境变化,从整体上认识河道演变的客观规律和趋势以及补充和完善河流地貌学、流域生态学理论的重要步骤,是流域综合管理的基础,是流域水资源管理走向可持续发展的主要基础性工作之一,是当今及今后值得研究的前沿性课题。

1.8 河道演变及其研究进展

河流以其巨大的水流能量作用于河床及两岸,不停地侵蚀、搬运两岸及河床物质,并于合适的地点沉积,改造着河床和河岸的形态。这就是河流的地质作用,是研究河道演变、崩岸原因及防御对策的基础^[15]。河流地质作用对依托的地质体进行改造,由于地质体组成的不均一性和结构的复杂性,抗冲刷的差异等因素,塑造了多种多样的河道形态。地质体对河流地质作用的制约主要表现在抗冲刷特性,其本质是对水流流速、流向、流态的制约。可见影响河床形态变化的因素不外乎两个:一是上游来水来沙条件,二是河床边界条件。前者是河床形态变化的动力,包括流量、含沙量、洪水历时等的组合情况;后者表

明河床形态抵抗变形的能力,包括河床物质组成及前期河床形态等。河床过程是指在水沙两相流与河床边界条件相互作用下,冲积性河流河床形态演变的一种物理状态。通过这一过程,河流将力求塑造出与来水来沙条件和河床边界条件相适应的河床几何形态,并生成相应的河型。河床演变过程不仅是河流地貌学的主要研究领域,而且也是河流动力学研究的重要内容之一。

任何河道在长期的自然演变过程中,由于水沙和河床边界条件的相互影响,具有自己特有的形态特性,要想使整治后的半人工河道符合天然河道的自然特性,就要对河道自然形态、演变规律进行研究分析。

当前,对河道演变方面研究得比较多的是分析流域内水沙变化和河道边界条件对河道演变的影响。自 20 世纪中叶以来,以清华大学钱宁教授等的《黄河下游河床演变》著作作为标志,河道演变研究逐渐成为河流动力学研究的重要课题之一。通过大量资料分析,认识到不同粒径的来沙对黄河下游河道淤积的影响是截然不同的,就减少下游河道淤积来说,主要以控制粒径大于 0.05 mm 的粗颗粒泥沙^[16],这是黄河治理理论上的重大突破。清华大学、黄河水利委员会等单位,对黄河下游洪水的来源、洪峰来源地区的组合和下游淤积的系统研究指出,黄河下游河道的严重淤积主要是粗泥沙来源区洪水造成的,集中治理这个地区对减少下游的淤积具有重要意义。其后,张瑞瑾、许炯心、陆中臣等学者都曾根据不同的理论体系和方法,针对黄河下游游荡性河段的河床演变问题开展了大量的研究工作,而且大多都把水沙过程及河床物质组成等因素影响下的河床形态调整及河型变化作为主要研究内容之一^[17,18]。叶青超等研究了黄河流域环境变化对河道发育演变的影响,主要研究了以下课题:气候环境变化对河道来水来沙状况的影响及来水来沙变化对河道发育的影响;海平面变化对下游河道冲淤的影响;人类活动对河道水沙环境的影响;环境因素变化对河道演变的综合影响(河道冲淤发展趋势、河道形态和河型变化、河道改造);并研究了河道冲淤变化所造成的环境后效^[19~22]。赵业安等对黄河下游河道演变基本规律进行了研究,在高含沙水流运动规律与河床演变特性、不同水沙条件黄河下游纵横剖面的调整规律等方面得到了很多重要的认识^[23]。此外,还有很多学者分析了单因素对河道演变的影响,然后采用多因素回归分析,对各因子的作用进行综合评判。清华大学在河道演变方面近期的主要成果如下:

(1)提出了滩岸侵蚀速率的计算方法,该方法可近似替代滩岸侵蚀过程的原型观测试验。并研究分析了黄河下游河道滩岸侵蚀速率及其时空变化规律。滩岸侵蚀率与滩岸稳定性系数、断面河相关系最为密切。从变化规律上看,一般情况是越往下游,同流量下的滩岸侵蚀率越小,在游荡性河段可达 6~27 m/d,在过渡性河段为 2.6~5.6 m/d,而在弯曲性河段仅为 0.8~1.0 m/d。

(2)提出了比 Schumm 更完整的河床形态调整理论。由洪水过程所导致的河床形态变化相当剧烈,与含沙量密切相关,且表现出非线性的复杂变化规律。当含沙量较小时,随含沙量的增大,洪水后河床宽深比增大;当含沙量增大到一定程度后再增大,宽深比随含沙量的增大而减小。

(3)从宏观上分析研究了修建水库等人类活动对下游河道河床演变的影响,并分析了小浪底水库运用后黄河下游游荡性河段的发展趋势。认为河型转化虽然不是普遍现象,