

黄河流域水资源演化规律 与可再生性维持机理研究进展

中国科学院石家庄农业现代化研究所·刘昌明



摘要 黄河流域是西部大开发的重要地区之一,其大部分地区属于半干旱地区,水资源条件先天不足,生态环境脆弱。在人类活动的影响下,水资源状况恶化,特别是近20多年来

下游断流频繁发生,不仅造成水资源供需矛盾的加剧,而且对流域的生态环境带来一系列冲击。“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”研究项目在深入研究黄河水资源的形成演化规律的基础上,探索黄河水资源可再生性维持的新问题。以水循环和水资源演化为主线,在水资源二元演化模型的基础上,以可再生性维持理论为指导,以综合调控为手段,实现黄河流域水资源的可持续利用。同时深入揭示水沙过程变异机理、河道萎缩及小水大灾形成的机理,提出恢复流域生态环境和河道行洪能力的措施,为缓解黄河水危机和遏制生态环境恶化及水灾害提供理论和应用的科学依据。通过近两年来的研究,项目已取得一些理论性和应用性成果。

一、黄河流域主要水资源问题

治理黄河历来是中华民族安民兴邦的大事。新中国成立以来,党和国家对黄河治理开发十分重视,进行了大规模的水利建设,取得了巨大的成就。然而,随着社会发展对水资源的大量开发和自然条件的变化,黄河水资源问题严重,正面临着水资源短缺、水灾加剧、生态环境恶化三大问题交织的严峻局面。

黄河是中国的“母亲河”。黄河流域是我国西部大开发的重要地区之一,而其大部分地区属于半干旱地区,水资源条件先天不足,人均占有年水资源量仅为全国平均的五分之一。在人类活动的影响下,水资源状况恶化,特别是近20多年来下游断流频繁发生,不仅造成水资源供需矛盾的加剧,而且对流域的生态环境带来一系列冲击。水资源短缺是黄河流域面临的三大问题的症结所在,如何缓解黄河出现水资源危机是一个关键性科学问题。

黄河作为我国北方地区最大的供水水源,以其占全国河川径流2%的有限水量,担负着本流域和下游引黄灌区占全国15%耕地面积和12%人口的供水任务,同时还要向流域外部分地区(河北、天津、青岛)远距离送水。全流域水资源总量利用率高达84%,水资源净消耗率达53.3%,从而导致供需失衡。下游河道频繁断流就是黄河水资源供需失衡的集中表现。黄河下游从1972年以来五年四断流,90年代断流更为频繁,1997年有330天无水入海,向世人发出了水资源危机的强烈信号。

洪灾威胁依然存在,“小水大灾”特点明显。黄河下游是举世闻名的地上悬河,历史上洪水频繁,危害极其严重。由于干支流水利枢纽工程调节和水

资源开发利用,改变了下游的来水来沙过程,特别是河道断流的影响,造成了下游河道主槽淤积严重,河槽过洪能力降低,形成了"小洪峰,高水位,大漫滩,大灾害"的不利局面。1996年8月,花园口站洪峰流量7680 m³/s,其水位比1958年的22300 m³/s大洪水的水位还高0.91m。

生态环境急剧恶化,河流污染问题突出。黄河流域生态环境恶化的问题,突出表现在黄土高原地区的水土流失、干支流的水污染和下游断流引起的生态问题。

针对治理黄河面临的三大问题,江总书记强调指出:“对黄河防洪、水资源利用、生态环境建设有重大影响的关键科技问题,要重点攻关,力争取得新的突破,为治理开发黄河提供有力的科技支持”。

二、研究的主要内容与目标

黄河水资源短缺、洪水灾害加剧及生态环境恶化是互为关联、交织发展的问题,是黄河流域地表水-土-生态系统与人类社会经济系统相互作用下恶性发展的结果。水资源短缺是造成前述三大问题的核心。水资源的形成、演化和再生遵循自然规律,但是强烈的人类社会经济活动,已使天然水循环发生了显著变化,引发了尖锐的水资源供需矛盾,导致了一系列环境和生态方面的劣变过程。这是黄河水资源短缺、洪水灾害加剧和生态环境恶化的主要因素,已成为制约黄河流域可持续发展的瓶颈。开展黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理的研究是实现黄河治理和流域经济可持续发展的国家重大需求。

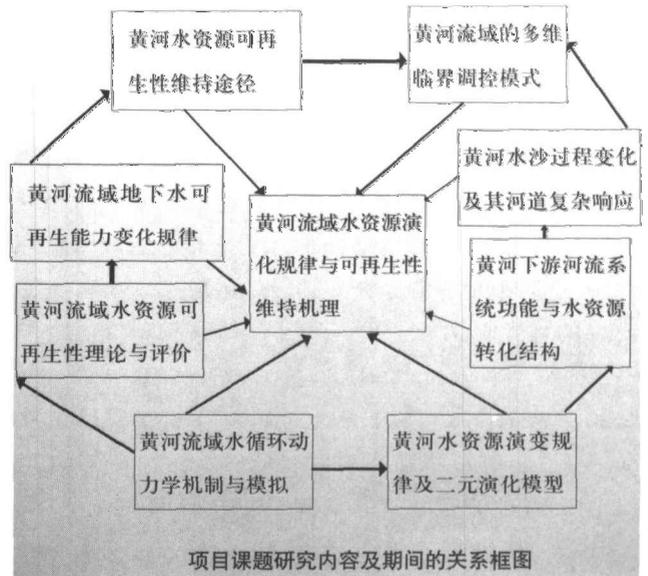
“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”研究项目的总体思路是确切地针对黄河出现的水资源危机形成原因进行深入分析。从众多科学问题中,选择带有根本性的重大科学问题,在深入研究黄河水资源的形成演化规律的基础上,探索黄河水资源可更新和可再生性维持的新问题。以水循环和水资源演化为为主线索,在水资源二元演化模型的基础上,以可再生性维持理论为指导,以多维临界

综合调控为手段,实现黄河流域水资源的可持续利用。同时深入揭示水沙过程变异机理、河道萎缩机理及小水大灾形成机理,提出恢复流域生态环境和河道行洪能力的措施,为缓解黄河水危机、维护生态环境和防治洪水灾害,提供21世纪初叶治黄应用的理论依据。

根据这一总体思路,设置了8个课题的研究,构成有机的框架见下图。

项目最基础的研究是通过对现有实验与观测资料的分析,辅以定位试验,揭示影响水循环的驱动力因子,研制网格分布式水循环动力学模型,并作为水资源演变分析的依据。在此基础上,充分利用水资源时序资料,探讨水资源演化中的非线性变化问题,以及这种变化所导致的河流系统功能改变和其派生的高阶效应。通过水循环动力学模拟与水资源演变的趋势性、周期性、突变性分析,考虑人类活动造成的扰动,进一步发展水资源可再生性问题的研究。

河川水资源是一种可再生的资源。黄河流域水



资源量出现的重大变异,从根本上看是其可再生性遭到影响和破坏的问题,以往对此问题极少涉及,因此是属于创新性的探索。首先要确立水资源可再生性理论,根据理论制定评价可再生性的指标体系,然后按可再生性维持需要,并结合水循环动力

学模型的应用,研究得出在近期可望行之有效的调控关键。

本项目将采用多学科综合和跨学科交叉的研究方法,实现水文学、水资源学、地貌学等地球科学方法,河流动力学等力学方法,系统论、经济学中的系统分析方法和宏观决策方法,灾害学、环境科学中的评价分析方法等的有机结合,立足观测实验,把台站观测资料与实验室模拟实验相结合,“RS、GIS、GPS”与数学模拟方法相结合,实现微观力学机理分析与宏观地域规律相结合,从单元流域到全流域不同时空尺度的水文模型的尺度镶嵌和集成。

三. 项目取得的主要进展

1. 理论与方法的主要进展

(1) 水循环动力学模拟的室内实验取得上百次径流过程。将SWAT模型首先应用于黄河流域泾河的马连河流域,并开发研究了一个基于连续方程和运动方程的分布式水文物理模型,为水资源演变分析提供理论依据。

(2) 通过对黄河百年尺度年径流量的混沌动力学特性的分析研究,初步建立了百年尺度的黄河历史演变定量模型。

(3) 构建了干旱-半干旱地区二元水资源演化规律的理论模型,该模型为生态需水量和国民经济可利用水量提供了定量计算方法,拓展了水资源合理配置的理论与方法。

(4) 用1981-1999年NOAA/AVHRR的连续时相遥感资料,利用所建立的蒸散模型及年累积NDVI(净植被指数)资料,估算1982-1999年全黄河流域的年蒸散量的空间分布及时间动态变化。

(5) 取得有关断流对黄河下游行洪能力影响机理及断流对黄河下游河流功能综合影响机理方面的初步研究成果:高含沙两相体中污染物迁移转化规律;断流对黄河下游水质的影响机理;断流对河道特征变化的影响。

(6) 运用流域泥沙收支平衡理论,研究了泥沙输移比,研究了水土保持措施对流域泥沙输移比的

影响。泥沙输移比的变化,主要是由于流域中人为沉积汇的形成。

(7) 通过植被-侵蚀动力学的研究,提出了流域植被与侵蚀在人类活动影响下的演变规律。发现任一地区的植被系统都可能存在3种状态,即植被逐渐发育的自动良性循环系统状态、植被退化的恶性循环状态和两者之间的过渡状态。

(8) 深入分析了水资源可再生性的内涵并初步建立了水资源可再生性研究的理论体系,探讨了水资源可再生性与持续利用之间的关系;从维持水资源可再生性的角度,发展了黄河流域水资源量可再生性的理论框架。

(9) 解决了水资源自然再生能力与主要城市社会再生能力评价问题。考虑水资源天然可再生性、社会可再生性与天然-人工复合可再生性是水资源可再生性的基本特点,阐明水资源的天然-人工复合可再生性是水资源系统的本质特征及其社会可再生性与节水和水质改善的密切关系。

(10) 界定了生态环境需水量的概念、类型,分析了不同类型生态系统生态环境需水量的存在特征及时空尺度转化,针对不同生态系统类型(河流、湖泊、湿地、森林草地等)的特点,提出了生态环境需水的计算方法;探讨了生态环境需水量评价指标体系和安全阈值理论,界定了最小生态环境需水量并建立最小生态环境需水量的计算原则和方法。

(11) 首次对黄河流域地下水系统进行了划分,目前已经完成地下水系统划分的成果。提出了变态地下水物理模型相似比的确定方法;提出了区域包气带-饱水带地下水流运动联合数值模拟中处于不断变化的潜水面边界条件的数值描述方法,解决了区域包气带-饱水带多含水层系统地下水流运动联合数值模拟问题。

(12) 用稳定同位素: ^2H 、 ^{18}O 、 ^{13}C 和放射性同位素: ^3H 和 ^{14}C 研究地下水补、径、排规律,为研究地下水的可再生能力理论研究奠定了基础。

2. 应用基础研究的主要进展

(1) 提出了黄河下游河道萎缩成因和演化规律及萎缩性河道的洪水传播规律,如河床枯萎临界,萎缩性河道挖河减淤临界床面比降,黄河口演变对

尾间河道的反馈影响以及黄河口潮流和波浪作用下悬移质挟沙能力等,为黄河下游河道治理工程提供了依据。

(2) 黄河流域水资源可再生利用的合理配置模式的研究,黄河流域水资源可再生利用的合理配置模式,建立多水源联合调度模型。

(3) 对地下水人工回灌的方法、回灌水源的选择以及回灌水质问题进行了大量的研究,就地面水和地下水转化关系的理论,建立了一个简单的水库群优化调度模型。

(4) 通过对1949-1953年黄河下游水文实测资料的分析,找到黄河最经济的输沙水量。据此估算了黄河下游在小浪底水库投入运行后20年内的最低输沙用水量,为大型水利工程——小浪底水库运行提供了依据。

(5) 揭示了黄河水体石油类污染物的自然生物降解与污染水质可恢复之间的关系。温度和悬浮物含量显著影响着石油类污染物的自然生物降解速率,温度的升高及悬浮物的存在有利于石油类污染物的生物降解。

(6) 通过研究黄土高原地区土地的坡度构成规律,论证了黄土高原退耕还林(草)紧迫性的地域分级,提出了科学实施退耕还林(草)措施的步骤。

(7) 建立了黄河流域水资源可再生能力评价指标体系,对黄河流域9个行政分区、19个流域二级分区获取指标值,并对指标体系进行了筛选;同时探讨了评价标准的建立及指标权重的确定问题;利用改进的灰关联分析方法与模糊综合评判法对黄河流域水资源可再生性进行了评价。

(8) 首次将“临界控制论”的新思想用于水资源的统一管理与调度领域。建立了黄河流域水资源系统多维临界调控的宝塔式模型体系。该模型体系由总控模型、功能模型、基于调控风险的方案评价模型组成。

(9) 从空间上建立流域-省区-三级区的三级调控层次对调控手段进行分解,并将其划分为开源手段和节流手段、工程手段和非工程手段、经济手段和非经济手段等。

(10) 黄河中下游引黄及非汛期水量调度研究

取得重要进展。完成了水量调度模型与黄河中下游非汛期径流预报模型研究,已开始在黄河流域水资源配置中运用,紧密结合了国家的需求。

3. 技术系统的建立

(1) 建立了黄河流域水循环要素数据库,包括气象与主要水文观测数据。

(2) 建立了黄河流域中下游“社会经济资料”数据库。

(3) 建立了黄河流域水资源可再生性评价数据库,包括文献资料表、数据资料表和图像数据表以及电子版格式编码表等。

(4) 建立了黄河水土保持历史资料数据库及土地利用资料数据库,其中水土保持数据库包括13个地区400多类小区的观测资料;土地利用资料数据库涉及陕西、山西、甘肃、宁夏和内蒙5省区221个县6188条数据。

(5) 依据国土资源部信息中心2000年的技术标准,建立了黄河流域地下水数据库,为全黄河流域地下水研究填补了空白。

(6) 基于地理信息系统(GIS)建立黄河下游引黄灌区基本资料数据库管理系统,基本具备基于地图的数据编辑、查询和可视化显示等功能。

(7) 初步建立黄河流域水文水资源野外观测基础资料数据库。

4. 论文发表与人才培养

通过近两年来的研究,项目已取得一些理论性和应用性成果,主要成果在国内外著名学术刊物上发表,项目已发表科技论文200余篇,其中国外发表11篇。

两年多来,培养了一批在水资源领域具有相当水平的中青年学术带头人和骨干,推动我国水资源领域科学和技术的发展。结合项目的开展,至2001年底,一批优秀的研究生已培养成材,也造就了不少出色的科学研究人员。整个项目共有24名博士后,其中9名博士后出站;有10名博士毕业(37名在读);有14名硕士毕业(25名在读)。参加本项目研究的青年科研人员中,除了由讲师晋升为副教授,和由副教授晋升为教授职称外,有3名入选为百千万人才工程。

Evolution Law and Renewable Maintaining of Water Resources In the Yellow River Basin

Liu Changming

Shija Zhuang Institute of Agriculture Modernization, CAS,

Shija Zhuang 050021

The Yellow River basin is one of the key areas in the west development of China. The basin lies in the semi-arid zones with several problems in water shortage and eco-environment fragility. The conflict between water supply and demand has been increasing as a result of human activity and climate change. Based on the water resources evolution law, the project focuses on the mechanism of water cycle dynamics, the maintaining of water resources renewable ability, and multi-dimension critical adjustment and control, revealing the relationship between the functions of river system and reformation structures of water management, developing the binary

evolving model for water resources evolution, presenting adjustment and control measures for the sustainable development of the water resources in the Yellow River basin. Since 2000, the project conducted has preliminary achieved a number of marks.

刘昌明 中国科学院院士, 北京师范大学资源与环境学院院长, 中科院石家庄农业现代化研究所所长, 中国科学院水问题联合研究中心主任。《地理学报》与《中国生态农业学报》主编及国内外其它6种期刊的编委, IGBP/BAHC国际指导委员会委员, 国际地理联合会(IGU)副主席。国内外发表论著200余篇, 主持多项国家与中科院重(点)大研究项目, 曾获国家、中科院及省部级奖励12项。

