

# 黄河研究面临的科学问题

刘晓燕 张建中

(水利部黄河水利委员会国际合作与科技局, 郑州 450003)

**[摘要]** 黄河自然条件复杂、河情特殊、治理难度大。本文在分析黄河的基本情况和黄河研究所取得进展的基础上,指出当前黄河研究面临的重大科学挑战是:未来黄河流域的水沙形势;维持黄河河流生命所需要的水沙条件;黄河水沙运动的数值模拟和试验模拟技术等。

**[关键词]** 黄河, 科学, 挑战

## 1 黄河的基本情况

黄河,中国第二大河,发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓海拔4500m的约古宗列盆地,流经青、川、甘、宁、蒙、陕、晋、豫、鲁等九省区,在山东垦利注入渤海,全长5464km,流域面积79.5万 $\text{km}^2$ (含内流区)。

### 1.1 黄河流域特点

(1)水少沙多。黄河多年平均天然径流量580亿 $\text{m}^3$ ,是长江的1/17;多年平均输沙量16亿t,是长江的3倍;多年平均含沙量 $35\text{kg}/\text{m}^3$ ,为世界大江大河之最。

(2)水沙异源。约60%的黄河水量来自兰州以上地区,90%的泥沙来自中游河口镇至三门峡区间。

(3)下游河道形态独特。黄河下游河道是海河和淮河两大流域的分水岭,现行河床一般高出背河地面4—6m。河道上宽下窄,最宽达24km,最窄处仅275m,故排洪能力上大下小。河势游荡多变,主流摆动频繁。现状河道内滩区居住着约200万人口。

(4)水土流失严重。黄河中游穿越世界上侵蚀最为剧烈的黄土高原,水土流失面积45.4万 $\text{km}^2$ 。其中,年侵蚀模数大于 $1.5\text{万t}/\text{km}^2$ 的剧烈水蚀面积达3.67万 $\text{km}^2$ ,占全国同类面积的89%。

(5)降雨分布不均。黄河流域降雨量在地域上自东南(800mm)向西北(150mm)逐渐递减,年内、年际间的分布极不均匀,年内降雨的70%—80%集中在汛期(7—9月),年际降雨相差3—4倍。

### 1.2 存在问题

治理黄河,历来是安民兴邦的大事。新中国成立以来,党和政府十分重视黄河的治理与开发工作,取得了举世瞩目的成就:下游防洪取得了连续50多年伏秋大汛不决口的安澜局面;水资源开发利用及保护为社会发展、经济建设作出了重大贡献;水土保持改善了部分地区农业生产条件和生态环境,减少了入黄泥沙。然而,由于黄河河情复杂、治理难度大等特点,目前黄河还面临着许多突出问题:

(1)下游洪水威胁依然是国家的心腹之患

黄河历史上决口频繁,素有“三年两决口,百年一改道”之说。每遇决口,水沙俱下,河渠淤塞,良田沙化,生态环境长期难以恢复。随着中游防洪骨干工程,特别是小浪底水库的建成运用和近几年黄河下游堤防的加高培厚,黄河下游的防洪能力整体上有了较大提高,但洪水威胁并未解除,原因如下:(i)黄河防洪难在泥沙,而泥沙问题在今后相当长时期内难以根本解决,历史上形成的悬河局面将长期存在;(ii)小浪底至花园口区间来水仍可能使花园口断面发生超过 $15700\text{m}^3/\text{s}$ 的洪水,且预见期只有8h,对下游防洪威胁很大;(iii)下游约300km的游荡性河道尚未得到有效控制,堤防仍有冲决的可能;(iv)下游滩区和滞洪区安全建设尚不能满足防汛要求。

(2)水资源供需矛盾日益尖锐

黄河以其占全国河川径流量2%的有限水资源,承担着占全国15%耕地面积和12%人口及50

本文于2003年12月26日收到。

多座大中城市的供水任务,用水需求大大超过黄河水资源的承载能力。20世纪80年代以后,随着人口增长,工业发展和农业灌溉面积的扩大,黄河水资源紧缺问题日趋严重,突出表现在下游断流频繁。随着国家经济和社会的发展,今后对黄河水资源的需求将越来越高,而黄河资源性缺水的基本属性在短时期内不会发生根本性的改变,因此,水资源紧缺将是黄河流域21世纪面临的重大问题之一,并将严重制约流域内及相关地区经济社会的可持续发展。

1999年以来,黄河流域实现了全河水资源统一管理和调度,基本上解决了断流问题,但并没有从根本上解决水资源紧缺的矛盾,因此其成效仍是十分脆弱的。

### (3)生态环境恶化未得到有效遏制

黄河流域的生态环境问题表现在诸多方面:

黄土高原水土流失。水土流失是黄河流域固有的生态环境问题。经过几十年努力,黄土高原水土流失治理虽取得了显著成效,但由于现有水保措施大多已经达到或超过使用年限,更加快捷有效的水保措施仍待探索,加上一些地方严重的边治理边破坏等问题,目前该区域水土流失问题远没有得到根本控制,水土流失治理仍然是一项长期而十分艰巨的工作。

河源区生态环境退化。20世纪70年代以前,黄河源区覆盖着大量的高寒草原和高寒草甸等植被群落,密实如毡;但近30多年来,源区植被覆盖度普遍降低了30%—70%,且草种退化、草产量降低、鼠害严重。生态环境的退化还表现为河湖和湿地的萎缩、冰川和冻土融化等。最为严重的是河源区地表径流的大幅度减少。1950—1989年,黄河干流唐乃亥站年均径流量达212亿 $m^3$ ,但1990—2001年年均径流量只有171亿 $m^3$ ,减少了20%,而同期降雨只减少2%。1997年以后,在降雨增加12%的情况下,同期径流竟减少16%。这对原本水资源高度紧缺的黄河流域无异于雪上加霜!

干支流水质恶化。近十几年来,由于黄河河川径流量大幅度减少,河流的自净能力严重降低,而黄河纳污量却在21世纪初达到44亿t(是20世纪80年代初的2倍)。目前,黄河4类以上污染程度的河长已占总评价河长的70%,尤其是5类以上污染河长的比例一直呈逐年上升势头,严重影响了黄河的供水安全。水污染加剧一方面使本已十分紧缺的黄河水资源的利用价值严重下降、影响到人类的生存,同时也对河道的生态系统造成严重危害。

河口三角洲生态环境退化。黄河河口湿地是世界珍稀鸟类物种保护的重要单元,已被列为国家级湿地鸟类自然保护区。黄河淡水补给是维持河口地区生态系统的基本保障。20世纪80年代以来,进入河口地区的水量逐年减少:1986—2001年,距入海口100多km的利津水文站年实测径流量仅120亿 $m^3$ ,只有其多年均值的36%,其中1997年利津实测径流量只有18亿 $m^3$ 。黄河淡水来量的减少和其他因素的共同作用,直接损害了河口湿地的生态环境:目前河口将近7万 $hm^2$ 陆域湿地萎缩达70%,海岸蚀退严重,鸟类生存赖以维持的湿地生境正面临消亡危险,生物多样性遭到破坏。

另一方面,由于入海水量的大幅度减少、水质恶化和过度捕捞等原因,近海生态系统的“健康”状况也遭受到严重破坏:近海盐度增高和营养盐含量下降,影响了海洋浮游生物的生长和繁殖;近海渔业生产力下降了95%以上,对虾资源已经难以形成,某些淡水或半咸水等经济鱼种有消失的迹象。

河槽萎缩。天然情况下,黄河16亿t来沙量的1/4将淤积在下游河道内,其中淤积泥沙的70%分布在滩地上。1986年以来,黄河下游年均来沙量只有6.6亿t(较多年均值减少了1/2以上),但淤积在下游河道中的泥沙仍多达2.1亿t,且其80%以上淤积在主槽内(绝对淤积量达20世纪50年代的两倍)。1996年8月,黄河花园口站7680 $m^3/s$ 洪水时出现全程高水位大漫滩,2002年调水调沙试验中不到2000 $m^3/s$ 下游就漫滩,这些事实充分说明:持续18年的枯水已经使下游排洪能力严重下降、防洪风险大幅度增加,同时也昭示着河势变化将更为剧烈。河槽萎缩问题不仅反映在黄河下游,在黄河内蒙河段、支流渭河下游等也同样出现了严重的河槽萎缩问题。

## 2 黄河基础研究的进展和面临的科学挑战

### 2.1 黄河基础研究的进展

认识黄河水沙运动基本规律(包括产水产沙变化、河道冲淤演变、水循环和生态环境演变等)是黄河基础研究的永恒主题,是实现治黄科技进步的原动力,但不同时期侧重点有所不同。在过去的50多年中,人们对黄河水沙运动规律的认识突破主要表现在以下几方面:

(1)掌握了黄河泥沙的来源、数量及其时空分布,弄清了决定水土流失程度的基本因素、不同粒径泥沙对黄河下游河道冲淤的影响。这个认识的突破

对黄河泥沙处理“上拦”方略的形成、对水土流失治理措施的选定、对“利用水库减轻下游河道淤积”思路的形成和实践等都具有决定性的意义；

(2)掌握了黄河径流的来源、数量及其时空分布,弄清了产生黄河下游洪水的原因,洪水的来源、特点和演进规律。这个认识的突破对促进黄河洪水“上拦”方略的形成、确定防洪工程布局及其运用方式等具有决定性意义,同时也为实现黄河水资源优化配置奠定了基础；

(3)定性上掌握了黄河水沙在下游河道中演进的规律,包括不同粒径泥沙在下游河道中的输移特点、不同水沙量和水沙比例的洪水在下游河道中演进的特点、影响泥沙输移的主要因素等,这些成果为形成和实践“利用水库调水调沙减轻下游淤积”的方略、对形成和实践游荡性河道整治等都奠定了坚实的理论基础；

(4)探讨了人类活动和气候变化对黄河水沙变化的影响,包括影响方式、定性影响程度及其发展趋势等,这些成果为指导今后治黄措施的完善和实施具有重要意义；

(5)围绕三门峡水库和小浪底水库运用方式的科学研究,不仅深化了对黄河泥沙运动规律的认识,发展了黄河中下游河道水沙运动的数学模拟和物理模拟技术,更重要的是基本上形成了一套具有国际先进水平的多沙河流水库调度运用的理论。

## 2.2 黄河研究面临的科学挑战

挑战一:未来黄河流域还能产生多少水和沙？

描述黄河,有几个众所周知的数据:流域年均降雨量 452mm、年均天然径流量 580 亿  $m^3$ 、潼关站年均输沙量 16 亿 t、花园口设防洪峰流量 2.2 万  $m^3/s$  等。但人们从近几十年的实测数据发现,黄河流域的产流产沙量这些年已经发生了重大变化:

(1)黄河兰州以上地区是流域水资源的主要来源区,该区 1950—2001 年天然径流量 332 亿  $m^3$ 。但 1986—2001 年唐乃亥站天然年均径流量只有 295 亿  $m^3$ ,比前期减少 15.5%,而同期降雨仅减少约 3%;1997 以来的天然径流量较 1950—1985 年均值减少了 22.2%,而同期降雨量不仅没有减少,反而增加了 4.5%;

(2)黄河中游的渭河、汾河与伊洛沁河,最近五、六年的降雨减少了 11%—15%,但实测径流量却减少了 40%—70%;

(3)三门峡站 1986 年以来年均径流量 245 亿  $m^3$ 、年均输沙量 7.2 亿 t,分别比 1950—1985 年的平

均值减少了 41%和 47%;

(4)1949 年以来,花园口站共发生大于 1 万  $m^3/s$  流量的洪水 10 次,其中 8 次集中在 1949—1958 年。1983 年以来的 20 年中,1 次也没有发生!

水沙条件是决定黄河下游河道冲淤程度、布置防洪减淤工程措施、合理配置流域水资源的最基本因素,是科学制定治黄方略的基本依据。正是由于水沙条件的极端重要性,1990 年以来,国内各相关领域的许多专家、学者对此进行了广泛的研究,结果表明:降雨量和人类活动(包括植树种草、修建淤地坝、建造水库、抽取地下水、雨水截留、牧业发展等)都是影响流域产水产沙量的重要因素;由于人类活动改变了下垫面的产流和汇流条件,拦减了入黄径流,同样的降雨已经不能产生 20 世纪 50—60 年代的径流量。但关于人类活动对产汇流规律的定量影响程度和发展趋势,却没有给出明确结论。因此,当前科研面临的重大任务之一就是回答:未来同样降雨条件下,黄河流域重点产流区还能产多少水、重点产沙区还能产多少沙?流域未来的气候和降雨将如何变化?现状和未来经济发展水平下,流域重点耗水区的需水量、实际耗水量和未来可能耗水量?

挑战二:维持黄河河流生命需要什么样的水沙条件?

近些年来,黄河流域产水仅 350 亿  $m^3$ ,但人类的耗水量却达 300 亿  $m^3$ ,水利用程度已高达 80%。同时,龙羊峡等一系列大型水库调蓄也造成汛期水量的大幅度减少。这些因素的叠加使黄河自身及其沿岸人类生存的环境遭受到严重破坏,表现在河槽萎缩、河口湿地退化、干流水质恶化、潼关高程居高不下等问题上。

看来,河流的功能不仅仅反映在为人类社会经济发展提供水源和能源支撑,河流自身也需要拥有一定数量和高质量的水,以维持其基本的排洪功能、输沙功能、生态功能和环境功能。这部分水应称作河流的生命水。人类为了改善自身的生存条件而对黄河某些功能的过度开发,往往导致其他功能的衰退或消失,最终将影响人类自身生存的环境。只有维持了黄河的多维功能,这条河才具有生命力。丧失生命力的河流不可能为人类的生存和发展提供持续的支持。

那么,如何理解黄河河流生命需水量呢?我们知道,在一定的水量和流量范围内,河流自身具有一定的适应能力和抵御破坏的能力,随着水量(流量)的下降,其抵御破坏的能力也逐渐下降。一旦河流

水量(流量)低于某一极限值,河流系统就不能自控而产生恶变或崩溃,此极限值即为河流生命需水量。它强调“河流抵御洪水能力的极端重要性”和“洪水对恢复河道过流能力的特殊意义”,强调“依靠河流自身的抵抗能力已难以恢复其生命活力,必须借助外力”,强调“人类必须无条件设法满足此水量”。河流生命需水量不仅指径流总量,还包括径流过程及其水沙的搭配关系。但如何从黄河河流系统的特点出发,构建一套符合黄河特点的河流系统健康诊断方法和诊断指标体系等仍需深入探讨。

如何确定黄河河流生命需水量?显然,河流生命需水量是一套动态的数据,它与人类对河流健康的期望值有关,而这个期望值往往有着深深的时代烙印。笔者认为,河流生命需水量应至少包括以下方面:(1)维持下游河槽基本排洪功能的水流条件。河槽是黄河排泄洪水泥沙的主要通道,而一定频率和量级的洪水过程对保障河槽的基本形态至关重要,为此需要寻求一套有利于塑造和维持黄河下游河槽形态、恢复和提高河槽的基本排洪功能的水沙过程;(2)维持水体质量标准的水流条件;(3)维持黄河河口一定规模湿地的水流条件。导致黄河河口湿地萎缩的原因是多方面的,包括降雨、黄河的径流过程和限制黄河水流进入湿地的工程等。我们需重点研究的是河口湿地消长与黄河径流量变化的关系,以提出维持河口一定规模湿地的基本径流过程;(4)有利于滨海生态修复的人海水流条件。导致黄河河口滨海生态系统恶化的原因也是多方面的,包括过度捕捞、入海水量的大幅度减少和水质恶化等。需重点研究黄河淡水补给与滨海生态平衡的关系;(5)黄河下游不同功能需水量的耦合关系。总体上看,目前对以上问题的研究尚处于初级阶段。

挑战三:黄河水沙运动的数值模拟和试验模拟技术

黄河水沙数学模型是研究黄河水沙运动自然规律、预测黄河演变趋势、优选黄河水沙调控措施的重要手段,是“数字黄河”的灵魂。经过十几年的努力,

开发的黄河水沙运动数学模型目前已多达数十套,但由于黄河水沙运动规律的复杂性和模型开发者的工作方法等问题,现有的模型大多还不能很好地满足实际需要。今后一个时期,需重点围绕以下模型开展科学攻关:(1)黄河中下游河道二维水沙演进模型。要重点解决建模所涉及的水流挟沙力和糙率等泥沙关键因子的处理;滩槽水沙交换、河势调整、河岸横向变形、河道冲刷等自然现象的发生机理和数学模拟方法;模型信息的获取和输出技术;数值计算方法等;(2)黄河中游水库水沙演进数学模型。需重点解决水库不同泄流高程和泄流规模下的水库冲淤模拟方法;(3)黄河中游暴雨产流产沙模型。需重点解决的问题是:不同暴雨强度和历时、不同类型区的产流产沙规律及其数学模拟技术;中尺度定量化降雨预报模式开发、雷达和卫星云图信息的应用技术;分布式径流和洪水预报模型的开发;(4)干流水质预警预报模型。重点是如何建立水文参数与水质参数之间的耦联关系;(5)黄河河口冲淤演变模型。重点是受海洋动力干扰下的河道泥沙输移和沉积规律及其数学模拟。

实体模型也是研究黄河水沙运动自然规律、预测黄河演变趋势、优选黄河水沙调控措施的重要手段。目前,随着生产的需要,我们已经陆续建起了三门峡和小浪底库区动床模型、下游小浪底—东平湖河段动床模型。为了研究和优选河口泥沙处理的技术措施,我们还将建设黄河河口及其附近海域的动床模型、渭河下游河道模型等。实体模型试验结果的可信度,在很大程度上取决于模型的相似率,包括模型沙材料的选择、大尺度长模型水力相似的稳定性及误差评估、河口模型的相似条件和海域条件模拟技术等,这些问题现在还没有很好解决。由于黄河流域自然条件复杂,河情特殊,而区域经济发展相对落后,黄河的治理开发仍是一项长期而复杂的任务,黄河研究依然任重道远。黄河是中华民族的母亲河,黄河问题的解决需要国内外所有关注黄河、研究黄河人士的大力支持,需要各方面协同攻关。

## THE SCIENTIFIC CHALLENGES OF YELLOW RIVER STUDY

Liu Xiaoyan      Zhang Jianzhong

(Dept. of International Cooperation, Science and Technology, YRCC, Zhengzhou 450003)

**Abstract** The Yellow River is famous for its complex and unique physical conditions which provide great challenges to the river management. Based on study and analysis of the existing problems and research progress, this paper indicated

that the most significant challenges of Yellow River studies are: hydrological and morphological variations in the future; the optimized hydrology and sediment conditions to maintain the healthy life of Yellow River; and the simulation of Yellow River through mathematical model and physical models.

**Key words** Yellow River, research, challenges

·资料·信息·

## 网络视频会议在 2003 年度信息科学部科学基金评审中得到成功应用

国家自然科学基金委员会信息科学部于 2003 年 8 月 3 日召开了国家杰出青年科学基金申请项目和创新研究群体申请项目评审会,会期 3 天。

此次会议首次采用了基于第二代互联网的网络视频会议的形式,20 位评审专家集中在清华大学主会场,所有的答辩者均不到主会场答辩,而是就近采用视频会议的方式作报告和即时回答专业评审组专家的提问。27 位国家杰出青年科学基金申请者、11 位海外青年学者合作研究基金申请者和 5 个创新群体申请者参加了答辩,其中国内答辩人分布在北京、沈阳等 9 大城市的 13 个网点上,海外答辩人分布在美国、澳大利亚等 4 个国家 7 个网点上。

会议选取了教育网为承载媒质,主要考虑其上的 10 个主干网都可以分别运行“基于单播”和基于“组播”的系统,可以兼顾到网络的经济性和安全性。事实上这次网上评审会采用的是单播和组播并行的传输方式,其中在美国和日本答辩的网点视频会议系统,采用的传播方式是单播系统。

这次评审会议所跨越的网络有中国高速互联网研究试验网(NSFCnet,得到国家自然科学基金的资助,是由清华大学等多个单位承担建设的重大联合研究项目)、中国教育和科研计算机网(CERNET)、中国科研网(CNNIC)、美国高速试验网、日本高速试验网等。所使用的应用系统平台有清华计算机网络中心开发的 Cernet-Vconf 系统、Polycom 大学视频会议系

统和 Netmeeting 系统;所运行的网络协议是 IPV4 和 TCP/IP。

这次会议是在 SARS 流行的非常时期召开的,避免了人员的聚集,减少了出差人员的长途流动,有效避免了非典型性肺炎的传播。同时节省了传统会议的各项费用开支。

该视频会议系统是基于下一代互联网的大规模组播视频技术在我国首次成功应用,也是下一代高速计算机互联网典型应用普及化的开始,具有开拓性的意义。系统具有超强的交互能力,任何一个会场都可以显示所有会场的图像并成为大会中心,进行自由的讨论。由于依托 CERNET 高速计算机互联网,该会议系统图像清晰,价格低廉,特别适合广泛应用于各种会议、远程教育、远程医疗等各个领域。视频会议任务是允许位于不同地点的会议参加者可通过相互间的视、听动作象在同一会场一样进行群组和个人间的讨论。视频会议系统应有能力容纳多个会场同时参加会议,并可以灵活地在其中不同的会场上同时进行不同的会议。

2003 年 9 月,国家自然科学基金委员会办公大楼正式通过视频会议室的验收,这是会议办公面向无纸化、网络化的重要步骤,随着信息化的进程,视频会议这一崭新形式将会逐步成为今后国家自然科学基金委员会召开会议的一种形式。

(信息科学部 吴国政 肖人毅 刘志勇 孟太生 供稿)