

·学科进展·

# 江河泥沙灾害形成机理及其防治研究

倪晋仁\* 王兆印† 王光谦‡

(\* 北京大学环境科学中心,北京 100871;† 中国水利水电科学研究院,北京 100044;

‡ 清华大学水电工程系,北京 100084)

**[摘要]** 进入90年代以来,我国许多江河都出现了“小水大灾”的现象,致使同频率洪水条件下洪灾加剧,原有防洪规划适应性变差,给江河治理带来了难以克服的困难。种种证据表明,近年来的“小水大灾”与江河泥沙冲淤有着密切的关系,撇开泥沙运动来研究洪水灾害防治不易找到治本之策。因此,开展江河泥沙灾害形成机理及其防治研究已经十分迫切。本文就该项研究的背景、国内外研究现状进行介绍,并简要展望主要预期研究成果。

**[关键词]** 泥沙灾害,形成机理,防治

## 1 问题的提出

进入90年代以来,我国已有5年发生了水灾,灾害造成的损失令人触目惊心:1991年江淮和松花江大水,直接经济损失800亿元!1994年珠江、湘江和辽河大水,直接经济损失1600亿元!1995年洞庭湖、鄱阳湖、第二松花江大水,直接损失1700亿元!1996年全国30个省(区、市)洪涝灾害,直接损失2200多亿元!相当于年国民生产总值的4%,年国民生产总值增长的一半!1998年全国范围内的洪灾损失则更是触目惊心!

年复一年,江河灾害频发,灾害范围越来越广,灾害损失越来越大<sup>[1]</sup>。以往大洪水引发大灾<sup>[2]</sup>,而今大小洪水都致大灾。小水大灾、灾害频率加剧,其根源何在?事实说明,除人类活动影响及防洪意识、防洪管理和防洪工程建设方面尚存欠缺外,自然因素中加剧江河洪水灾害的直接原因是泥沙淤积:(1)流域水土流失使得大量泥沙进入河道:以黄河流域为例,由于水土流失未能得到有效的治理和控制,平均每年有4亿吨泥沙淤积在河道内,使河床每年淤高0.1m!(2)河道淤积使得同流量下水位越来越高:以黄河为例,黄河花园口1996年洪峰流量7860 m<sup>3</sup>/s(不足2年一遇),而水位却比1958年的

22300 m<sup>3</sup>/s(70年一遇)洪水位高出0.91m!(3)泥沙淤积使得洪水推进速度明显减慢:仍以黄河为例,五六十年代黄河洪水从花园口到入海只需7天,1996年却长达18天!(4)围垦和泥沙淤积使得河湖蓄滞洪水的能力减弱:以洞庭湖为例,由于围垦和泥沙淤积,使得湖面由50年代的6270 km<sup>2</sup>减少到目前的2691 km<sup>2</sup>,调蓄能力由293亿 m<sup>3</sup>衰减为174亿 m<sup>3</sup>,减少了40%以上!

类似的情况在其他江河都不同程度存在。江河泥沙灾害因泥沙运动引起,而有效地进行泥沙灾害防治的基础是把握泥沙在流域系统中的运动规律。泥沙灾害在流域的不同区域往往有不同的表现。河流上游的泥沙运动常常引起水土流失、土壤退化、农业减产;河流中、下游的泥沙运动往往引起河岸冲刷、河床淤高、河堤决口;河口地区的泥沙运动又会引起泥沙沉积、主流摆动、航道淤塞。此外,在一些流域会因泥沙运动致使水库淤废、湖泊淤没、洪水调节功能丧失殆尽并加剧洪水灾害,在另一些流域则会因泥沙运动发生泥石流灾害。

广义地讲,泥沙灾害应该包括因泥沙运动和变异造成的一切灾害,水土流失、滑坡、泥石流、碎屑流、河道冲刷和淤积、水库淤积、高含沙水流、蓄滞洪区泥沙冲淤、河口淤积、尘暴和土地沙漠化、砂土液

国家自然科学基金重大项目,批准号59890200.

本文于1999年1月8日收到.

化等。其中,流域泥沙灾害对我国社会、经济发展影响深远,而江河泥沙灾害则在流域泥沙灾害中表现最为剧烈。

流域泥沙灾害可以属于一种发生在地表的地貌灾害,也可以属于一种水文灾害。这些泥沙灾害可以是突发的或渐发的,持续的或间歇的,区域性的或微域性的,永久性的或暂时性的,季节性的或非季节性的,周期性的或非周期性的,原生的或次生的,自发的或外因触发的,自然造成的或人为造成的。江河泥沙灾害一旦形成,便有可能造成复合灾害,从而在流域系统中形成泥沙灾害链,在流域空间分布的各类泥沙灾害可能是互为因果的或同源的,也可能是互斥的或偶遇的,还可能是异地交叉传递的。如上游侵蚀的泥沙不仅造成该区域的水土流失,还会在进入下游河道后造成淤积,并在相同的来流条件下,使水位较原河道有大幅度抬高,造成更大的洪灾。

江河泥沙灾害防治与资源利用在一定条件下是可以转化的。一方面,人类活动使得近年来江河泥沙灾害加剧、灾害周期缩短、分布范围扩大并使泥沙灾害的类型增多;另一方面,流域坡面上的水土保持将使肥沃的土壤不致流失;河道高含沙水流淤灌可以改良土壤;河口泥沙沉积可快速淤地造田。

治灾要治本。既然泥沙运动已成为近年来加剧江河洪灾的根本原因之一,因而,从深层次揭示泥沙灾害形成规律并寻找相应的防治理论和方法并化灾为利已成为当前摆在我们面前最迫切的基础性研究课题。

## 2 国内外研究现状

关于流域泥沙微观运动的研究近20年来国内外已取得了突破性的进展。其中,国外的显著进展<sup>[3]</sup>主要反映在小流域产沙、泥沙运动力学、河口泥沙、泥沙数学模型、固液两相流理论、泥沙污染、颗粒流和流变学研究等方面。国内取得的显著进展<sup>[4,5]</sup>主要反映在高含沙理论研究和工程泥沙(包括水库泥沙、泥沙物理模型等)研究方面。

关于流域泥沙运动在较长时间和空间尺度内的宏观效应研究多由地学家们完成,但围绕流域产沙和大江大河治理展开的研究却增加了水利学者与地理学者们之间的相互了解。水利学者多关注流域产沙量及其过程的预测、河道冲淤的力学机理、河道形态变化的定量与半定量描述,而地学家们则更关注众多影响因素与流域产沙的因果关系以及河型

和河道剖面在内、外营力共同作用下,在更长的时间尺度内的变化,并更侧重河流地貌方面的研究。

关于河口运动,水利学者和地理学者也基本上从两个不同的角度展开研究。水利学者主要探索了在径流与潮流共同作用下河口附近泥沙运动和冲淤规律<sup>[6]</sup>,而地理学者则主要从地貌学的角度进行宏观的研究。

无论是从泥沙微观运动还是从泥沙运动的宏观效应来看,流域泥沙运动在过去相当长的时间里都只被看成是一种独立的自然过程。真正使人们从全新的角度看待流域泥沙运动及其结果是在80年代以后。80年代后期,全球性“国际减灾十年”活动的开展,极大地丰富了泥沙研究的内容,江河洪灾问题、水土流失问题、荒漠化问题、泥石流和滑坡问题、河口海平面变化和泥沙沉积相互关系问题都在泥沙研究中得到了体现。进入90年代后,全球关注的的环境问题和可持续发展的战略对泥沙研究提出了新的要求,泥沙运动从纯自然过程不可避免地变成了与社会、经济和环境密切联系的综合问题,成为区域可持续发展中的一个活跃因子,并已成为国内外学者从诸多视角关注的目标。

归结国内外以往进行的泥沙研究工作,大致具有下列特点:

(1)关于局部地域泥沙微观运动机理和流域地貌系统的研究较多,而将泥沙运动纳入流域系统考察“微观运动”与“宏观效应”响应关系的则较少。

(2)关于流域系统局部区域泥沙灾害的研究较多,而关于流域泥沙灾害过程或将流域系统中各类泥沙灾害关联考虑的研究则较少。

(3)关于泥沙自身运动规律的研究较多,而关于泥沙沉积这一重要过程引起的江河洪水灾害过程的研究则较少。

流域泥沙灾害从根本上来说是泥沙在其侵蚀、搬运和堆积过程中给人类社会带来灾祸的自然现象和过程。在流域泥沙灾害中,因江河泥沙淤积加剧的洪水灾害尤为突出。近年来,连年的江河灾害已为世人瞩目,有效地进行江河泥沙灾害防治已迫在眉睫。江河泥沙灾害系由泥沙的冲刷与淤积造成。为了有效地防治灾害,将水动力学、泥沙运动力学和地貌学结合起来研究泥沙运动及其与江河泥沙-洪水灾害过程的关系无疑是最佳途径。只有这样,才能以泥沙在流域系统中的运动为线索,以江河泥沙灾害为研究对象,以流域中各类典型泥沙灾害成因及其内在规律的研究为基础,以泥沙淤积造成的江河

洪水灾害为重点,在泥沙运动的“过程”中寻找泥沙微观运动与地貌宏观表现的关系、泥沙运动与江河洪水灾害的关系以及江河泥沙灾害及其加剧的江河洪水灾害防治的方法。

### 3 研究成果展望

该项研究预期在理论上获得的主要突破性进展是关于密切反映流域特性的“泥沙灾害形成机理”的系统理论的建立和“泥沙运动过程与江河洪水灾害的关系”的研究。前者突出体现泥沙微观运动与地貌宏观效应对应关系对流域泥沙灾害形成机理的影响;后者突出体现泥沙淤积对江河河道洪流特性及蓄滞洪区调节洪水能力的影响。预期在应用基础方面的突破是关于泥沙灾害及其加剧的江河洪水灾害的防治理论的研究。这3方面是总体成果得以体现的核心基础。

该项研究的研究内容包括:(1)将泥沙动力学与地貌学结合起来研究流域系统中泥沙运动与地貌环境之间的关系,重点探索流域系统中侵蚀、输移、沉积子系统中泥沙运动在不同时空尺度上的对应关系,揭示流域系统中泥沙灾害的孕灾环境;(2)将泥沙运动学、地貌学与自然灾害学结合进行江河泥沙灾害过程规律研究,重点探索泥沙灾害空间分布规律和时空耦合规律,提出泥沙灾害的评估和预测方法,建立泥沙灾害学理论体系;(3)揭示泥沙运动对江河洪水灾害特性及蓄滞洪区调节能力的影响机理,揭示近年来江河泥沙灾害的新特点;(4)提出江河泥沙灾害防治的理论与方法;(5)将数学模型与GIS集成,开发一套具有行业标志和高度可视化的泥沙灾害数学模型。其中,尤其重视近期江河泥沙灾害加剧的洪水“小水大灾”的特点。需重点解决的科学问题主要有:流域系统中导致江河泥沙灾害的主要灾源及其形成机理,流域系统中主要泥沙灾害过程规律(包括空间分布规律及其相互关系),以及泥沙灾害防治理论和方法。

在研究方法上,应充分注意:(1)将现代水沙两相流理论与地貌学理论结合,对时间尺度跳跃较大的微观水沙运动过程与宏观地貌过程建立关系,切实体现微观与宏观的结合、现代与历史的结合以及水利与地学的结合;(2)将泥沙运动过程和流域系统中泥沙灾害过程结合,对各类泥沙灾害及其间关系进行对比研究,使得流域系统的泥沙灾害防治从单一区域、单一类型的防治理论发展为全流域优化防治理论;(3)将江河泥沙灾害作为主要研究对象,使

得泥沙基础理论与当前最迫切需要解决的灾害防治理论相结合,尤其是将造成近年来“小水大灾”特殊现象的根本原因之一——泥沙淤积过程与江河洪水灾害过程耦合考虑,使得当前和未来一个时期内的洪水防治有科学的依据;(4)将泥沙灾害威胁最大的长江、黄河等主要江河作为依托,使得本项基础性研究成果具有明确的应用背景;(5)将江河泥沙灾害防治决策支持信息系统作为本项研究的成果之一,使得本项理论研究具有很高的实用价值。

由上所述,预期成果对应地概括为:(1)揭示流域系统地貌过程与泥沙侵蚀、输移、淤积过程的响应规律;(2)揭示流域系统中泥沙灾害产生的机理;(3)揭示泥沙运动过程与江河洪水灾害的关系;(4)建立江河泥沙灾害的评估和预测模型;(5)提出江河泥沙灾害的理论体系和防治理论;(6)开发相关的数学模型与泥沙灾害防治决策支持信息系统;(7)揭示“小水大灾”形成机理并提供流域泥沙灾害防治的方案;(8)提出对我国大江大河防治泥沙灾害的建议。

### 4 学科发展展望

中国是世界上自然灾害最严重的国家之一。90年代以来,我国与“国际减灾十年”活动相配合,从基本国情出发,针对中国自然灾害的基本特点与保障社会、经济可持续发展的需要,注意到水利在农业发展中的核心作用和洪灾对国民经济的巨大破坏作用,把洪水等灾害列为对中国社会、经济发展影响最大的自然灾害<sup>[7,8]</sup>,并制订了“加强灾害科学的研究,提高对各种自然灾害孕育、发生、发展、演变及时空分布规律的认识”的目标。根据近年来频繁出现的洪水“小水大灾”的特点,泥沙淤积与洪水灾害的矛盾已跃居为洪灾的主要矛盾,因此,适时抓住这一主要矛盾开展深层次的研究已是我国防灾减灾研究的当务之急。

我国的泥沙科学研究在许多方面具有领先地位,特别是在高含沙水流和工程泥沙研究方面。50年代以来在全国的主要江河获得了全国系统的水文泥沙实测资料;60年代以来开展的水库泥沙研究积累了丰富的经验;70年代以来开始的流域水土保持工作取得了明显的效益;80年代以来为兴建长江三峡水利枢纽和黄河小浪底水库等重大工程而进行的大量泥沙模型试验极大地促进了泥沙科学的发展;而进入90年代以后将泥沙科学与地貌学、灾害学、环境学结合进行的研究则为进一步开展高层次的、学科交叉的综合性研究奠定了基础。

我国的泥沙科学队伍实力雄厚。40多年泥沙研究工作的开展使得许多研究单位具备了一流的研究人才和研究设施,如中国水利水电科学研究院、南京水利科学研究院、长江水利科学研究院、黄河水利科学研究院、中国科学院自然资源综合考察委员会、中国科学院地理研究所、中国科学院生态环境中心、中国科学院山地研究所、中国科学院西北水土保持研究所、清华大学、北京大学、天津大学、武汉大学、河海大学等科研机构都有各具特色的实验室和高素质的科研人员。近年来,各研究单位共同协作,实现了理论与实践的结合、水利与地学的结合、基础与工程的结合。一批学有所成的中青年学者的出现更使泥沙科学的发展后继有人。在这种背景条件下开展本项研究,必将会有力地促进泥沙科学的发展。

由于社会发展的需要,泥沙研究已经开始从更多方面展开:1986年,“长江三峡工程对生态环境的影响研究”被列为国家“七五”科技攻关项目,泥沙运动与生态环境的关系被合理地考虑;1992年,“黄河治理与水资源开发利用研究”被列为国家“八五”科技攻关项目,泥沙运动被尝试纳入流域系统中考虑;1994年,“三峡水利枢纽几个关键问题的应用基础研究”被列为国家自然科学“八五”重大项目,泥沙运动与工程建设的关系被系统考虑;1995年,“黄河三角洲可持续发展”被UNDP列为研究课题,泥沙运动被纳入区域可持续发展中加以考虑。这些研究项目的开展,使泥沙科学的研究内容得到了合理的外延。

伴随着泥沙科学的不断发展和社会的需要,在不同的历史时期泥沙研究有不同的侧重点。在当前,“江河泥沙灾害形成机理及其防治研究”无疑是新时期把握学科前沿的需要,更是国民经济持续发展的迫切需要。这项研究需要水利与地学密切结合,并且涉及社会、经济、生态环境、工程建设等众多方面。以往研究虽很少将江河泥沙灾害作为主要对象进行系统研究并将其与大江大河洪水灾害耦合考虑,但这些研究却涉及了与本研究相关的各个方面,因而为高水平地完成本项工作奠定了基础。可以预见,泥沙灾害的研究不仅将丰富泥沙研究的内容,同时也将推动灾害学研究向前发展。

### 参 考 文 献

- [1] 赵春明,张志彤,周一敏. 1996年洪水的反思. 中国水利, 1996, 10:4—5.
- [2] 骆承政,乐嘉祥主编. 中国大洪水—灾害性洪水述要. 中国书店, 1996.
- [3] Schumm S A, Winkley B R. The variability of Large Alluvial Rivers, ASCE, New York, 1990.
- [4] 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学. 科学出版社, 1986.
- [5] 钱宁,张仁,周志德. 河床演变学. 科学出版社, 1987.
- [6] 窦国仁. 河口海岸泥沙数学模型的研究. 中国科学, 1995, 8
- [7] 中国科学技术协会学会工作部编. 中国减轻自然灾害研究. 科学出版社, 1992.
- [8] 国家科委全国重大自然灾害综合研究组. 中国重大自然灾害及减灾对策. 科学出版社, 1993年.

## MECHANISMS AND CONTROL STRATEGIES OF RIVER DISASTERS INDUCED BY SEDIMENT MOVEMENT

Ni Jinren\* Wang Zhaoyin† Wang Guangqian‡

(\* Center for environmental Science, Peking University, Beijing 100871; † China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044;

‡ Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** The so called phenomenon “small flood-great hazard” is to be studied as the focal point of the major research project supported by the Natural Science Foundation of China. One of the main causes of the frequent and serious flooding is sedimentation. This paper defines and studies sediment disasters, discusses various disasters induced by erosion, transportation and sedimentation, introduces the state-of-the art of sediment research, approaches to the science and strategies of sediment disaster control. The expected results and prospects of the study are also presented. The project is the first effort to integrate watershed management, sediment transport and river disasters with combination of hydraulics, sediment dynamics, geomorphology, engineering environmental and social science.

**Key words** sediment disasters, control strategies, mechanism of disaster