

· 聚焦国家重点研发计划 ·

DOI:10.15961/j.jsuese.2017.01.005

长江泥沙调控与干流河床演变及治理中的关键科学技术问题 与预期成果展望

卢金友¹, 刘兴年², 姚仕明^{1*}

(1. 长江科学院 水利部江湖治理与防洪重点实验室, 湖北 武汉 430010;

2. 四川大学 水力学与山区河流开发保护国家重点实验室, 四川 成都 610065)

摘 要:长江流域面积 $1.8 \times 10^6 \text{ km}^2$, 人口和国民生产总值均超过全国的 40%, 是中国水资源配置的战略水源地、水电开发的主要基地, 连接东中西部的“黄金水道”和珍稀水生生物的天然宝库, 在中国经济社会发展中具有重要的战略地位。近些年来, 在自然条件和人类活动的双重影响下, 长江泥沙时空分布与产输过程发生了重大变化, 给河流开发利用与保护均带来了显著影响, 而沿江经济社会快速发展和生态文明建设不断对长江泥沙提出调控要求。同时, 河流工程建设和泥沙资源化利用的发展也使长江泥沙调控具备了基本条件。但泥沙兼具灾害性与资源性, 泥沙调控与河流功能发挥之间存在着矛盾与统一, 需要深入研究。国家重点研发计划项目“长江泥沙调控及干流河道演变与治理技术研究”以揭示长江泥沙输移分布与河流开发及保护之间的耦合作用关系, 研究提出满足沿江经济社会和生态环境需求的长江泥沙调控、河道演变与治理的基本理论和关键技术为总目标; 重点研究长江泥沙来源与时空分布变异规律和趋势, 河道演变对水沙输移变化的响应机制, 控制性水利水电工程联合运用下长江干流和洞庭湖、鄱阳湖的水沙输移规律, 河床重塑过程与驱动机制及其防洪、航运和岸滩利用等多重效应, 长江泥沙多维耦合与协同调控的理论和方法, 并研发多尺度、多目标与多过程泥沙联合调控技术和河道治理技术。通过项目研究, 预计将揭示多因素影响下长江来水来沙时空变异特征与趋势、水沙输移与河道演变的响应机制; 定量预测控制性水库联合运用下长江和洞庭湖、鄱阳湖泥沙输移与冲淤过程, 揭示长江河道的重塑过程、相对平衡状态与驱动机制, 阐明河流系统再造的防洪、航运及岸滩利用等多重效应; 构建长江泥沙调控的理论框架, 建立泥沙调控指标体系、方法和模型; 研发江河湖库多尺度、多目标与多过程泥沙联合调控技术和河道综合治理技术, 并予以示范。项目研究将推动河流动力学学科发展, 促进长江水沙资源利用与保护, 为流域社会经济发展和河流生态保护提供基础保障, 具有显著的社会经济与环境效益。

关键词: 长江; 水沙条件变化; 泥沙调控; 河床演变; 河道治理

中图分类号: TV133.1

文献标志码: A

文章编号: 2096-3246(2017)01-0033-08

Key Technical Problems and Expected Achievements in the Sediment Control of the Yangtze River and the Bed Evolution of Its Mainstream

LU Jinyou¹, LIU Xingnian², YAO Shiming^{1*}

(1. Key Lab. of River Regulation and Flood Control of Ministry of Water Resources, Changjiang River Scientific Research Inst., Wuhan 430010, China;

2. State Key Lab. of Hydraulics and Mountain River Eng., Sichuan Univ., Chengdu 610065, China)

Abstract: The basin area of the Yangtze River is $1.8 \times 10^6 \text{ km}^2$ with more than 40% ratio of population and GDP in China. This area is the strategic region of water resources, the main base of hydropower development, the connection of waterway and rare aquatic natural resources in east-midwest of China, which both natural conditions and human activities, significant changes had taken place in the temporal and spatial distributions of sediment production and transports in the Yangtze River, which considerably affected river development

收稿日期: 2016-12-29

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFC0402300); 国家自然科学基金重点项目资助(51339001)

作者简介: 卢金友(1963—), 男, 教授级高级工程师。研究方向: 河流泥沙。E-mail: lujy@mail.crsri.cn

* 通信联系人 E-mail: yzhshymq@163.com

网络出版时间: 2017-1-13 16:59:33

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1596.T.20170113.1659.002.html>

<http://jsuese.ijournals.cn>

<http://jsuese.scu.edu.cn>

and utilization as well as protection. The requirements of sediment control were proposed to meet the rapid economic and social developments and ecological civilization construction. Meanwhile, the basic conditions of sediment control were achieved during the development of river engineering and the utilization of sediment resources. However, sediment is both disastrous and resource so that further investigation is required to solve the contradiction and unity between sediment control and river function. The main goals of the national key research project “the Yangtze River sediment control and river channel evolution and control technology” were revealing the relationship between the distribution of sediment transport in Yangtze River, and river development as well as protection research, and proposing the basic theory and key technology for the needs of sediment control and river evolution in the economic, social and ecological environment along the Yangtze River. This project focused on sediment sources and the variation patterns of spatial sediment distribution in the Yangtze River, response mechanism to the changes of water and sediment transport, the patterns of water and sediment transport of the Yangtze River and Dongting Lake, Poyang Lake River with the control of water hydropower engineer projects, bed restore process and multiple effects of flood, shipping and riverbank, and synergy theory and method of sediment control in the Yangtze River with the developments of multi-scale, multi-target and multi-process control technologies for river sediment control. According to this project, firstly, the variation trend of spatial and temporal patterns of water and sediment, and the response mechanism of river evolution were revealed. Secondly, sediment transport and sedimentation process of the Yangtze River, Dongting Lake and Poyang Lake with combination of reservoirs were quantitatively predicted. Bed restore process, relative balance state and driving mechanism were revealed. Flood control, shipping and riverbank were clarified considering multiple effects of river restore system. Thirdly, the theoretical framework of sediment regulation and control in Yangtze River, as well as the index system, method and model of sediment regulation were established. Finally, the river control technology combined with multi-scale, multi-objective and multi-process sediment modification was proposed, which was applied in engineering projects. The research of this project promoted the development of river dynamics, the utilization and protection of water resources in the Yangtze River, which provided the basis for the development of social economy and the ecological protection of river basin, with great social economic and environmental benefits.

Key words: the Yangtze River; water and sediment variations; sediment control; bed evolution; channel governance

长江流域生态与水资源安全是关系国计民生的大事,长江径流大输沙强,上游建设有大型梯级水利水电枢纽,河流受自然变化和强人类活动的双重影响,流域尺度上水沙关系不协调,水沙运动与河床边界变化十分剧烈^[1]。主要体现在:控制性水利水电枢纽联合运用后对长江上游河道泥沙输移影响、干支流来水来沙变异特征与趋势、水库泥沙淤积及对枢纽运行安全和库区防洪航运的影响;另外枢纽隔断了河流泥沙连续性,致使下游河道来沙量骤降,下游河道水沙情势发生了较大变化,引起下游河道发生距离的河床冲刷^[2-3],在河床持续冲刷过程中,下游不同河型河道的断面、平面及纵剖面等调整显著^[4-8],由此带来下游河床的纵向与横向调整响应,这对于河道防洪、航运、岸滩利用等具有重要影响^[9-14]。可见流域水沙变异、泥沙量骤降陡增、泥沙重分配的不确定性与复杂性,对于长江水利水电枢纽安全及干流河道治理策略制定具有深远的影响。目前长江缺乏流域泥沙尺度的时空合理配置手段,流域泥沙调控受到河流上中下游与工程的相互制约,长江干流河道综合治理也需向河湖工程治理与保障河流系统功能协调的流域水沙调控发展。如何统筹协同调控、高效利用流域水沙资源,是一项极为复杂的流域泥沙系统科学工程。

1 长江泥沙调控的需求与条件

1.1 长江泥沙调控的需求

长江流域面积 $1.8 \times 10^6 \text{ km}^2$, 人口和国民生产总值均超过全国的 40%, 是中国水资源配置的战略水源地、水电开发的主要基地、连接东中西部的“黄金水道”和珍稀水生生物的天然宝库, 在中国经济社会发展中具有重要的战略地位。目前长江经济带建设已成为中国当前的国家战略之一。作为诸多社会功能与自然功能的载体, 长江河道演变与泥沙时空分布是长江防洪安全、航运畅通、岸滩有效利用的基础, 是长江经济带建设的重要保障^[15]。

近些年来, 在自然条件和人类活动的双重影响下, 长江泥沙时空分布与产输过程发生了重大变化^[16-17]。

长江上游的年输沙量显著减少, 宜昌站 2003—2015 年均输沙量与 1950—2015 年均输沙量相比, 减少了 89.9%, 而同期的径流量减少为 6.8%; 随着向家坝、溪洛渡水电站于 2012、2013 年相继蓄水运用, 下泄的沙量进一步减少; 2015 年, 金沙江向家坝出库沙量仅 $6.04 \times 10^5 \text{ t}$, 宜昌站仅 $3.71 \times 10^6 \text{ t}$, 均为历史新低。同时, 三峡水库的拦蓄则进一步减少了长江中下游的来沙量; 自 2003 年 6 月蓄水运用至

2015 年 12 月,入库悬移质泥沙 2.1152×10^9 t,出库悬移质泥沙 5.118×10^8 t,共拦截悬移质泥沙 1.6034×10^9 t,水库拦沙率为 75.80%^[18]。

长江中下游干流主要水文站的径流量和输沙量与三峡水库运用前比较可看出(表 1),三峡水库蓄水运用前,由于荆江三口分流分沙,荆江河段水沙量均沿程减少,城陵矶以下河段受洞庭湖、汉江、鄱阳湖等水系入汇影响,径流量沿程先减少后增加;三峡水库运用后荆江及城陵矶以下河段径流量沿程变化规律没有改变,但由于水库下泄水流含沙量低,河床沿程冲刷补给,荆江及城陵矶以下河段输沙量沿程均增加。三峡水库运用后宜昌、枝城、螺山、汉口、大通站年均径流量较运用前分别减少了 8.4%、7.9%、7.8%、5.6%、6.8%,年均悬移质输沙量则分别减少了 91.8%、90.2%、77.8%、73.5%、67.4%(表 1)^[18]。

由此可见,长江泥沙目前分布极为不均,大量泥沙被拦蓄在上游梯级水库中,中下游泥沙大量减少,上游和中下游河道出现了截然相反的地貌过

程^[19]:上游以淤积为主、中下游以冲刷为主,这势必对此前长期相对平衡的长江河道带来显著影响。主要体现在:控制性水利水电工程联合运用后对长江上游河道泥沙输移影响、水库泥沙淤积及对枢纽运行安全及库区防洪航运的影响;枢纽工程隔断了河流泥沙连续性,致使下游河道沙量骤降,引起下游河道发生长距离的河床冲刷;在河床持续冲刷过程中,河道纵向和横向形态调整显著,进而对防洪、航运、生态环境等带来影响^[20-22]。可见,流域水沙变异、泥沙量骤降陡增、泥沙重分配的不确定性与复杂性对于长江防洪、航运、水沙资源利用、水利水电工程长期使用与安全有效运行,以及河道治理策略制定等均具有深远的影响。目前长江缺乏流域尺度的泥沙时空合理配置手段,流域泥沙调控受到河流上中下游与工程的相互制约,长江干流河道综合治理也需向河湖工程治理与保障河流系统功能协调的流域水沙调控发展,亟待研究统筹协调调控、高效利用流域水沙资源,以维持长江正常的自然功能与社会功能。

表 1 长江中下游主要水文站年均径流量和悬移质输沙量统计

Tab. 1 Summery of annual runoff and suspended sediment transport at major hydrological stations in the middle and lower reaches of the Yangtze River

水文站	径流量/ 10^8 m^3		输沙量/ 10^4 t		含沙量/ $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	
	2002 年前	2003—2015 年	2002 年前	2003—2015 年	2002 年前	2003—2015 年
宜昌	4 369	4 004	49 200	4 044	1.13	0.10
枝城	4 450	4 099	50 000	4 881	1.12	0.12
沙市	3 942	3 760	43 400	5 962	1.10	0.16
监利	3 576	3 643	35 800	7 528	1.00	0.21
螺山	6 460	5 953	40 900	9 088	0.63	0.15
汉口	7 111	6 711	39 800	10 546	0.56	0.16
大通	9 051	8 438	42 086	13 908	0.46	0.16

1.2 长江泥沙调控的条件

流域泥沙调控需要一定条件。目前长江上游干支流已建成三峡、溪洛渡、向家坝、亭子口、紫坪铺等控制性水库,中下游洞庭湖水系、鄱阳湖水系及汉江等均建有控制性水利水电工程,加之采砂及泥沙资源化利用技术、河(航)道治理技术的发展,长江泥沙调控具备了基础条件。

根据 2011 年全国第一次水利普查数据,长江流域已建和在建水库共 51 643 座,总库容为 $3.60689 \times 10^{11}\text{ m}^3$ 。其中长江上游水库 14 905 座,含大型水库 100 座;中型水库 479 座;小型水库 14 326 座;合计库容 $1.67776 \times 10^{11}\text{ m}^3$,防洪库容为 $3.9584 \times 10^{10}\text{ m}^3$,占全流域总防洪库容的 51.7%。加之近年向家

坝、溪洛渡等大型水库的蓄水运用,长江上游防洪库容已增加到 $6.27 \times 10^{10}\text{ m}^3$,约为上游近年年均径流量的 15.7%;与此同时,目前已针对流域骨干水库建立了联合调度机制^[23](图 1),如此大的调节能力足以对泥沙输运过程产生决定性的影响。

此外,经过近几十年的堤防和蓄滞洪区建设,长江中下游的防洪工程体系已基本形成,河道整治工程加上航道整治工程可对中下游总体河势进行有效控制^[24]。同时,泥沙资源化条件下驱动发展的采砂技术,使长江泥沙的人为搬运能力大幅提升,年采砂量已达 4 000 多万吨,接近大通站输沙量的 1/3,这也使得通过人为作用调整长江泥沙的空间分布成为可能。

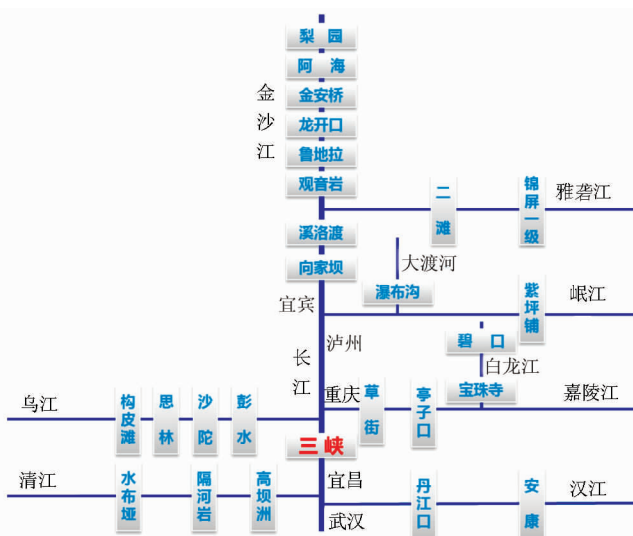


图 1 纳入 2015 年长江流域控制性水库联合调度的水库
Fig. 1 Jointed control reservoirs in the Yangtze River basin in 2015

总之,长江泥沙的变异给河流开发利用与保护均带来了显著影响,沿江经济社会快速发展和生态文明建设不断对长江泥沙提出调控要求。同时,河流工程建设和泥沙资源化利用的发展也使长江泥沙调控具备了基本条件。

2 长江泥沙调控与干流河道治理的关键科学技术问题

由于长江泥沙调控涉及来沙变异、河道重塑、江湖关系调整、河流功能发挥等多个相互联系的制约条件,同时泥沙兼具灾害性与资源性,针对长江泥沙调控与河流功能发挥之间存在着矛盾与统一的问题,初步凝练六大科学技术问题,并提出十大重点研究内容和基础条件、作用机理、耦合机制、调控理论与技术示范等 5 个层次的融合与协同创新学术思想,为揭示长江泥沙输移分布与河流开发及保护之间的耦合作用机制,发展满足沿江经济社会和生态环境需求的长江泥沙调控、河道演变与治理新原理、新理论与新技术奠定重要基础。

1) 关键科学问题一:强人类活动影响下长江来水来沙过程时空变异规律。探明强人类活动影响下长江泥沙通量时空分异规律是长江泥沙调控、干流河床演变及治理对策研究的先决条件,其关键在于资料贫乏地区的泥沙长序列重构技术,系统辨识、解析环境变化和多类别人类活动对长江流域输沙的驱动机制,建立以观测数据为主体、重构数据为补充的长江泥沙通量变化特征数据库,通过异源信息同化解析/阐释环境变化和多类别人类活动影响下长江

泥沙来源与分布特性,揭示长江来沙过程对人类活动的响应机理,阐明泥沙通量时空分异规律。

2) 关键科学问题二:水沙过程变异下河床重塑过程与驱动机制。泥沙补给条件是制约河床演变的关键因素之一,不同的河床形态对泥沙补给的响应机制存在本质差异。水沙过程变异下河床重塑过程与驱动机制是长江泥沙调控与干流河床演变关联的重要纽带,其关键在于揭示泥沙补给与输沙能力双重限制下的水沙运动机理,山区性河流粗化层形成、破坏、重塑过程中的水沙互馈机制,探索泥沙补给条件变化下山区性河道演变的适应性调整与突变响应机制及临界水沙动力学条件,揭示强人类活动影响下冲积性河道非均匀悬移质泥沙的长距离非平衡输移机理和不同河型河道的河床调整规律、重塑过程、相对平衡状态与驱动机制,建立相应的数值模拟方法。

3) 关键科学问题三:防洪、航运及岸滩利用等对河流系统再造的响应机理。揭示泥沙因子、河道演变、防洪效应之间的内在作用机理,以及航道及岸滩利用对水沙调节作用下河流系统再造的响应机理;提出基于防洪、航道及岸滩利用的泥沙调控需求,是长江多尺度、多目标和多过程泥沙调控新技术的基础。

4) 关键科学问题四:长江泥沙多维耦合与协同调控的理论与方法。长江泥沙调控是一个典型的多层次、多尺度、多目标的系统问题;当前长江泥沙调控指标体系和优化模型仅限于水库节点或局部河段的泥沙调度,缺少全局性的流域泥沙调控理论,因此建立长江泥沙调控理论框架是项目拟解决的重大科学问题。立足长江防洪、航运、发电、供水等所涉及的典型工程泥沙问题,提出长江泥沙调控的总体目标、指标体系及优化模型也是项目研究拟解决的关键技术问题。

5) 关键技术问题五:多尺度、多目标和多过程的江河湖库泥沙调控技术。长江泥沙调控既包括宏观尺度的上游至河口长距离水沙输移、又包括中观尺度的局部河段冲淤调整、也包括微观尺度的水沙运动特性变化,区域范围广、时间跨度大;实现长江河道水沙输移的跨区域、多尺度、多过程的联合模拟是关键。进而如何集成水库调度、湖控工程、河(航)道治理工程及泥沙资源化利用技术,从流域角度研发多目标、多尺度、多过程的长江泥沙调控技术,也是项目研究亟待突破的关键技术瓶颈问题。

6) 关键技术问题六:河道治理新技术及泥沙调

控下河道综合治理应对策略。流域水沙条件变化和长江上游干支流水库群的运行对长江河道演变与整治工程的效果会产生深远而长久的影响,亟需突破适应于新水沙条件下的长江河道治理新技术及基于长江泥沙调控的长江典型河段的河道治理方案与应对策略,以满足长江河道治理的多目标需求。

3 重点研究内容与研究体系的构建

3.1 重点研究内容

围绕上述拟解决的重大科学及技术问题,采取多学科交叉、多手段结合,从基础条件、作用机理、耦合机制、调控理论和技术示范等5个层次开展研究。以下为各个层次及相关课题设置。

1)基础条件层次。通过开展多因素影响下长江泥沙来源及分布变化研究,揭示多因素影响下长江来水来沙时空变异特征与趋势、水沙输移与河道演变的响应机制,为项目提供基础研究条件。

2)作用机理层次。通过开展强人类活动影响下山区性河道演变与水沙输移互馈机制研究,揭示山区河流河床冲刷、粗化、破坏、再造过程的水沙互馈机制和泥沙补给变化下山河流河床适应性调整与突变响应机制;通过开展强人类活动影响下冲积性河道演变与水沙输移互馈机制研究,探明强人类活动影响下水库下游河床的纵向与横向调整规律,提出适用于水库下游河道水沙输移与河床调整的数值模拟方法,揭示其河道演变与水沙输移之间的互馈机制及作用机理层次研究成果,为后续长江上游和中下游水沙输移与河道演变预测提供理论基础。

3)耦合机制层次。通过开展控制性水利水电工程联合运用后长江上游河道泥沙输移规律研究,定量预测长江上游河道泥沙输移变化、控制性水库库区泥沙时空重分布特性,干流各水库泥沙淤积与调度方式的响应关系;通过水沙变异条件下长江中下游河道重塑过程与驱动机制研究,揭示水沙变异条件下长江中下游不同河型河道的驱动机制及重塑过程,预测典型河段的相对平衡状态;通过长江河道演变的防洪效应与泥沙调控研究,进一步认知长江河道演变对防洪效应的作用,初步提出基于防洪要求的泥沙调控指标;通过长江河道演变的航运及岸滩利用效应与泥沙调控研究,揭示河流系统再造的航运及岸滩利用效应,提出长江航道、港口码头及岸滩利用对水沙调控的需求;通过耦合机制层次的研究,

提出符合长江实际的泥沙调控需求。

4)调控理论层次。通过长江泥沙调控理论与方法研究,构建强人类活动影响下长江泥沙调控的理论框架,建立泥沙调控指标体系、方法、模型,以及调控理论层次,为后续开展长江泥沙调控技术研究与示范提供理论基础。

5)技术示范层次。通过长江泥沙调控技术研究与示范和基于泥沙调控的河道治理方案及技术研究与示范,研发江河湖库多尺度、多目标与多过程泥沙联合调控技术及河道综合治理技术,并予以示范;通过技术示范层次将所研发的长江泥沙调控技术和河道治理技术予以示范,提升项目研究成果的推广应用价值。

总体研究思路及课题之间的逻辑关系如图2所示。

3.2 研究体系的构建

针对项目研究需解决的问题,拟运用水文学、泥沙运动力学、河流动力学、河床演变学和运筹学等相关学科的基本理论,采用原型与模型、理论与试验、技术与示范相结合的研究体系开展研究。具体如下:

针对“强人类活动影响下长江来水来沙过程时空变异规律”这一科学问题,拟采用实地调查、示踪溯源、原型资料分析、理论研究等方法,开展多因素影响下长江泥沙来源及分布变化研究。具体包括:采用沉积物测定、分形模型、水沙输移基本理论等形成资料贫乏地区的泥沙长序列重构技术,基于水文模型、水动力模型、遥感解译、现场调研等建立长江多类型区域产流产沙综合模型;通过示踪溯源、异源信息同化、层次分析法、数理统计法、多因子非线性回归分析法等建立长江泥沙来源及时空分异规律对多因子驱动响应模型;基于上述研究,预测强人类活动影响下长江泥沙变化趋势。

针对“水沙过程变异下河床重塑过程与驱动机制”这一科学问题,拟采用河流动力学理论分析、概化模型试验、水槽试验等方法,开展强人类活动影响下山区性河道演变与水沙输移互馈机制、冲积性河道演变与水沙输移互馈机制研究;进一步采用资料分析、理论研究、数值模拟、实体模型试验等方法,开展控制性水利水电工程联合运用后长江上游河道泥沙输移规律研究,以及水沙变异条件下长江中下游河道重塑过程与驱动机制研究。

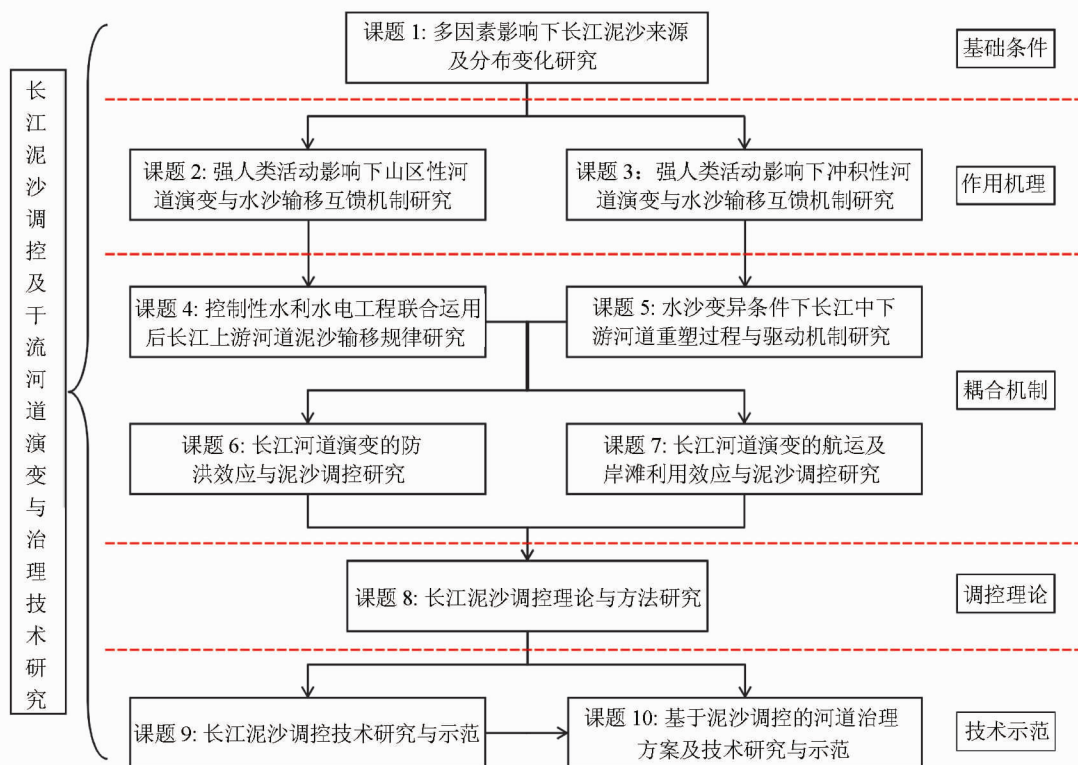


图 2 项目研究思路及课题之间逻辑关系

Fig. 2 Project research process and logical connection between each topics

针对“防洪、航运及岸滩利用等对河流系统再造的响应机理”这一科学问题,拟采用资料分析、数值模拟、实体模型试验等方法,开展长江河道演变的防洪效应与泥沙调控研究,以及长江河道演变的航运及岸滩利用效应与泥沙调控研究;从而阐明河流系统再造的防洪、航运及岸滩利用等多重效应,揭示防洪、航运及岸滩利用对水沙调节作用下河流系统再造的响应机理和对泥沙调控的需求。

针对“长江泥沙多维耦合与协同调控的理论与方法”这一科学问题,拟采用运筹学、系统理论和河流动力学基本理论,构建强人类活动影响下长江泥沙调控的理论框架,建立长江泥沙调控的目标框架和综合指标体系,研究长江泥沙调控多目标优化模型并评估各种调控措施在一定条件下的泥沙调控能力与效益。

针对“多尺度、多目标和多过程的江河湖库泥沙调控技术”这一关键技术问题,拟采用理论研究、数值模拟、现场技术示范等方法,开展长江河道水沙输移的跨区域、多过程、多尺度联合模拟,研发集水库调度、河道整治和泥沙资源化利用等于一体的江河湖库多尺度、多目标与多过程泥沙联合调控技术,提出长江泥沙调控方案并予以示范。

针对“河道治理新技术及泥沙调控下河道综合

治理方案”这一关键技术问题,拟采用现状调查、原型资料分析、模型试验、现场技术示范评估等方法,开展长江河道治理新技术研发,提出基于泥沙调控的长江典型河段河道治理方案进行示范和评估。

4 预期成果展望

4.1 预期目标

1) 揭示多因素影响下长江来水来沙时空变异特征与趋势、水沙输移与河道演变的响应机制;

2) 定量预测控制性水库联合运用下长江和洞庭湖、鄱阳湖泥沙输移与冲淤过程,揭示长江河道的重塑过程、相对平衡状态与驱动机制,阐明河流系统再造的防洪、航运及岸滩利用等多重效应;

3) 构建强人类活动影响下长江泥沙调控的理论框架,建立泥沙调控指标体系、方法和模型;

4) 研发江河湖库多尺度、多目标与多过程泥沙联合调控技术和河道综合治理技术,并予以示范。

4.2 预期效益

1) 推动学科进步:形成长江泥沙调控的理论框架、方法模型和调控技术,将使河流动力学学科进一步向大空间、多尺度方向发展;通过学科交叉,使其研究成果更加注重系统性和多目标,提高中国河流动力学的基础理论研究水平,继续领跑世界。

2) 创新治理技术:以兼顾长江防洪、航运、岸滩利用和生态环境保护为目标,研究得到长江泥沙调控方案及泥沙调控作用下的河道综合治理新技术,并在实际工程中予以示范,将解决当前长江泥沙分布与河流系统功能的协调发展问题,提高长江治理、开发与保护的技术水平。

3) 有利社会经济:为长江流域管理提供技术支撑,可改善长江泥沙分布条件,有效减小长江流域、尤其是上游水电开发带来的负面效应,促进长江各项社会功能和自然功能的可持续发展,保障沿江地区社会经济发展和长江系统稳定,达到贯彻“维护健康长江、促进人水和谐”治水新思路的目的,为社会主义生态文明建设提供有利条件。

4) 促进人才培养:通过项目研究与项目组内外交流,培养和造就一批高水平、高素质的研究开发人才,形成一批以学术带头人为核心的充满活力的科技创新群体,并带动泥沙调控与河流管理领域的高水平工程技术人员和管理人员进步。

5 结 语

自然条件和强人类活动作用下的流域泥沙重分布,打破了过去相对平衡态势,引起河道冲淤与再造,影响河流功能的可持续发挥,出现了崩岸、碍航、过度冲刷等诸多问题,亟需通过泥沙调控与河道治理,以维持河流的正常功能。同时,控制性水库建设、采砂及泥沙资源化利用技术、河(航)道治理技术的发展,使长江泥沙调控具备了基础条件。

研究强人类活动影响下长江泥沙输移规律和河流系统再造过程及其多重效应、长江泥沙调控理论框架和模型方法,研发长江泥沙调控和河道治理新技术,可为长江治理与保护、控制性水利水电工程的优化运行及其综合效益的充分发挥,水沙资源的合理配置与利用,以及“黄金水道”建设管理和涉水工程的正常运行等提供有力的技术支撑。同时将推动河流动力学等相关学科的进步,并可培养造就一批科研技术骨干,具有重要的现实意义和显著的社会经济与环境效益。

参考文献:

[1] Cao Shuyou, Liu Xingnian. Adaptive adjustment and mutation response of river bed within changing sediment supply in mountain river[J]. Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition), 2016, 48(1): 1-7. [曹叔尤, 刘兴年. 泥沙补给变化下山区河流河床适应性调整与突变

响应[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2016, 48(1): 1-7.]

[2] Wohl E E, Cenderelli D A. Sediment deposition and transport patterns following a reservoir sediment release[J]. Water Resources Research, 2000, 36(1): 319-333.

[3] van Rijn L C. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas[M]. Amsterdam: Aqua Publications, 1993.

[4] Milliman J D, Shen H T, Yang Z S, et al. Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf[J]. Continental Shelf Research, 1985, 4(1/2): 37-45.

[5] Liu J P, Xu K H, Li A E A, et al. Flux and fate of Yangtze River sediment delivered to the East China Sea[J]. Geomorphology, 2006, 85(3): 208-224.

[6] Chatanantavet P, Parker G. Experimental study of bedrock channel alluviation under varied sediment supply and hydraulic conditions[J]. Water Resources Research, 2008, 44(12): 37-42.

[7] Liu C, Nepf H. Sediment deposition within and around a finite patch of model vegetation over a range of channel velocity[J]. Water Resources Research, 2016, 52(1): 600-612.

[8] Bridge J S. The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers[J]. Geological Society of London Special Publications, 1993, 75(1): 13-71.

[9] Knight D W. River hydraulics—A view from midstream[J]. Journal of Hydraulic Research, 2013, 51(1): 137-138.

[10] Trimble S W. Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed[J]. Science, 1997, 278, (5342): 1442-1444.

[11] 钱宁, 万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

[12] Julien P Y. Sedimentation engineering: Processes, measurements, modeling, and practice. The ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice NO. 110[J]. Journal of Hydraulic Research, 2014, 52(5): 728-729.

[13] Brierley G J, Fryirs K A. Geomorphology and river management: Applications of the river styles framework[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.

- [14] Julien, Pierre Y. Erosion and sedimentation [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [15] Lu Jinyou, Yao Shiming. Thoughts on rivers and lakes improving in the middle and low reaches of Yangtze River[J]. China Water Resources, 2010(16): 30–32. [卢金友, 姚仕明. 关于长江中下游江湖治理的思考[J]. 中国水利, 2010(16): 30–32.]
- [16] Cao Shuyou, Liu Xingnian, Huang Er, et al. Advances in studies of river sediment and fluvial processes of the upper Yangtze River in earthquake background[J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition), 2009, 41(3): 26–34. [曹叔尤, 刘兴年, 黄尔, 等. 地震背景下的川江流域泥沙与河床演变问题研究进展[J]. 四川大学学报(工程科学版), 2009, 41(3): 26–34.]
- [17] Yang S L, Milliman J D, Xu K H, et al. Downstream sedimentary and geomorphic impacts of the Three Gorges Dam on the Yangtze River [J]. Earth-Science Reviews, 2014, 138: 469–486.
- [18] 长江水利委员会水文局. 2015 年度三峡水库进库水沙特性、水库淤积及坝下游河道冲刷分析[R]. 武汉: 长江水利委员会水文局, 2016.
- [19] Lu Jinyou, Huang Yue, Wang Jun. The analysis on reservoir sediment deposition and downstream river channel scouring after impoundment and operation of TGP [J]. Engineering Sciences, 2011, 13(7): 129–136. [卢金友, 黄悦, 王军. 三峡工程蓄水运用后水库泥沙淤积及坝下游河道冲刷分析[J]. 中国工程科学, 2011, 13(7): 129–136.]
- [20] Li Y T, Sun Z H, Liu Y, et al. Channel degradation downstream from the Three Gorges Project and its impacts on flood level [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 135(9): 718–728.
- [21] 卢金友, 姚仕明, 邵学军, 等. 三峡工程运用初期坝下游江湖响应过程[M]. 北京: 科学出版社, 2012.

- [22] 姚仕明, 岳红艳, 何广水, 等. 长江中游河道崩岸机理与综合治理技术[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [23] 长江防汛抗旱总指挥部办公室. 三峡水库试验蓄水期综合利用调度研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2015.
- [24] 水利部长江水利委员会. 长江流域综合规划(2012—2030 年)[R]. 武汉: 水利部长江水利委员会, 2012.



卢金友, 教授级高级工程师(二级), 长江水利委员会长江科学院院长, 中国水利学会泥沙专委会副主任, 水利部江湖治理与防洪重点实验室主任, 水利部 5151 人才工程部级人选。长期从事水沙运动规

律、江湖演变与整治等研究, 发表论文 130 余篇, 撰写专著 7 部、规范 2 部, 获专利 3 项, 获国家科技进步二等奖 1 项、省部级科技进步奖 5 项及“钱宁泥沙科学技术奖等”。



刘兴年, 研究员, 博士生导师, 四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室副主任, 中国水利学会泥沙专委会副秘书长。长期从事山区河流推移质运动理论与实践研究。发表论文 100 余篇, 其中 SCI/EI 检索 60 余篇, 获教育部科技进步一等奖、教育部自然科学一等奖、四川省科技进步一等奖等省部级自然科学奖、科技进步奖 15 项。



姚仕明, 博士, 教授级高级工程师, 长江科学院河流研究所副所长, 湖北省新世纪人才工程第一层次人选。主要从事工程泥沙、河流模拟、江湖演变与治理及堤防护岸工程等工作。发表学术论文 80 余篇, 20 余篇被三大数据库收录, 获国家科技进步二等奖 1 项, 省部级奖项 8 项。

(编辑 李轶楠)

引用格式: Lu Jinyou, Liu Xingnian, Yao Shiming. Key technical problems and expected achievements in the sediment control of the Yangtze River and the bed evolution of its mainstream[J]. Advanced Engineering Sciences, 2017, 49(1): 33–40. [卢金友, 刘兴年, 姚仕明. 长江泥沙调控与干流河床演变及治理中的关键科学技术问题与预期成果展望[J]. 工程科学与技术, 2017, 49(1): 33–40.]