

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdk.2022.0077

徐宗学, 庞博, 冷罗生. 河湖水系连通工程与国家水网建设研究[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(4): 757-764. XU Z X, PANG B, LENG L S. Research on the construction of river-lake system connectivity and national water network[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(4): 757-764. (in Chinese)

河湖水系连通工程与国家水网建设研究

徐宗学^{1,2}, 庞博^{1,2}, 冷罗生³

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室, 北京 100875
3. 北京师范大学法学院, 北京 100875)

摘要: 面向国家水安全保障的战略需求, 分析与探讨国家水网的总体布局, 明确河湖水系连通工作的战略需求, 深入分析河湖水系连通对水资源、防洪、生态、环境、社会和经济的影响, 剖析国家水网建设中需要注意的主要问题, 辨析南水北调工程在国家水网建设中的功能和作用。结果表明, 建设国家水网是提高我国水安全的有效措施, 但河湖水系连通工程涉及经济社会的方方面面, 有必要站在全局的角度, 从提高水资源保证率、减轻洪涝灾害、改善生态环境等各个方面分析河湖水系连通工程的得与失、利与弊, 结合近期与远期、供水区和受水区的经济社会发展, 全面剖析河湖水系连通工程的效益与风险, 才能建设好利民、功在千秋的国家水网, 切实提高我国的水安全。过多学科交叉的系统研究, 全面分析河湖水系连通和国家水网建设工作中的重点和难点, 为加快构建国家水网提供参考和支撑。

关键词: 水安全; 国家水网; 战略; 河湖水系连通; 水资源配置

中图分类号: TV91 文献标志码: A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



河湖水系连通工程与人类改造自然、利用自然规律的历史息息相关, 是人类调节自然水循环过程、兴利除害的有效手段, 其生产实践自古代就已存在^[1]。河湖水系连通作为我国当前水战略的重要组成部分, 在新时期定义和范畴也有所拓展。河湖水系连通可定义为以维系不同水体间的水力联系与物质循环为目标, 在自然水系的基础上通过自然和人为驱动作用, 维持、重塑或构建满足特定功能与目标的水流连接通道^[2-3]。河湖水系连通是解决水资源分布与人口、生产力不匹配问题, 提高水安全、实现人水和谐的重要战略举措^[4-5], 对于我国生态文明建设、科学治水兴水均具有十分重要的现实意义^[6]。亟须通过新建与改善河湖之间的水力联系, 优化调整河湖水系格局, 实现水资源的丰枯调剂, 维系河湖的生态安全, 促进经济社会和生态环境的协调和可

持续发展^[7]。

国家高质量发展对河湖水系连通战略提出了更高的要求。2014年, 习近平总书记提出“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路, 赋予了新时期治水的新要求与新任务^[8]。2020年党的十九届五中全会明确提出, 要实施国家水网等重大工程^[9]。2021年全国水利工作会议指出, “十四五”时期, 为解决我国水资源分布不均的问题, 以及提升水安全保障能力, 将以建设水资源统筹调配、水旱灾害防控、水生态保护功能一体化的国家水网为重点, 加速完善水利基础设施体系^[10]。南水北调工程东线、中线与西线工程将沟通长江、淮河、黄河、海河四大流域, 形成“四横三纵”的国家水网框架, 以及水资源南北调剂、东西互补的配置格局。但目前来看, 我国河湖水系连通工程与新时期治水方针要求尚存在差

收稿日期: 2021-07-13 修回日期: 2022-04-04 网络出版时间: 2022-07-25

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20220722.1802.002.html>

基金项目: 国家社科基金重大项目(12 & ZD216)

作者简介: 徐宗学(1962—), 男, 山东淄博人, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源研究。E-mail: zxxu@bnu.edu.cn

通信作者: 庞博(1978—), 男, 河南潢川人, 副教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源研究。E-mail: pb@bnu.edu.cn

距^[11]。面向新发展格局和生态文明建设的要求,我国水资源配置能力、水环境保护能力、水旱灾害抵御能力还有待提高,存在水资源天然分布格局与社会经济发展格局不匹配、部分地区江河抵御洪涝灾害的能力不足^[12]、部分河湖水体萎缩,水生态环境破坏^[13-14]等问题。因此,加快推进河湖水系连通建设,优化现有水系功能,构建功能健全、体系完整的国家水网势在必行。

河湖水系连通问题已经成为水利工程及相关学科研究的热点领域^[15-17]。国家水网建设对河湖水系连通工作提出了更高的要求。如何通过河湖水系连通工程构建国家水网,成为水利工作的难点问题。本文结合国家水安全保障工作的需要,分析与探讨国家水网的总体布局与河湖水系连通的战略需求;结合多学科手段,从水资源、防洪、生态、环境、经济与法律等多学科角度分析国家水网建设中需要注意的问题;通过南水北调工程的实证研究,辨识其在国家水网建设中的功能和作用,旨在通过系统研究与典型分析相结合,为国家水网建设提供参考和支撑。

1 国家水网建设与河湖水系连通

国家水网建设不仅是完善水利基础设施网络的重要举措,也是河湖水系连通战略实施的深化与加强,即通过理顺原有河湖水系连通工程脉络,在遵循自然河流水系演变规律的基础上,以南水北调等重大引调水工程为纲,区域河湖水系连通工程和输配水工程为目,调蓄能力较强的水利枢纽工程为结,形成层级清晰、互联互通、循环通畅的水网体系^[18]。国家水网建设通过将原有孤立、分散的河湖水系连通工程的统筹和连接,形成集水资源调配、防洪减灾、水生态保护等功能为一体的立体水网体系,是水利行业贯彻新发展理念的重要内容和核心工作之一。

1.1 尽快建设南水北调后续工程,构建国家水网之纲

南水北调工程既是我国河湖水系连通的标志性工程,也是国家水网构建的主骨架和大动脉。南水北调形成的“四横三纵、南北调配、东西互济”的基本格局为国家水网建设打下了坚实基础。为了充分发挥南水北调工程在国家水网构建中的骨干作用,需要逐步建设贯通东、中、西三线的干线工程,加强建设覆盖区域的配套工程、区域内其他跨流域、跨区域的调水工程和其他河湖水系连通工程,实现以重要江河干流和跨流域调水工程主干线贯通为核心、配

套工程和江河水系互连互通为支干的国家水网框架,达到北方地区提高水资源承载能力、满足经济社会发展需要,南方地区提高防汛抗旱能力,改善生态环境的目的。

1.2 尽快建设国家骨干调水工程,织密国家水网建设之目

国家水网需要在现有区域河湖水系连通工程的基础上,结合南水北调形成的“四横三纵”总体格局,通过各层级水网之间的互联互通,形成统筹东北、西北、东南、西南地区重点地区的水资源,综合水资源调配、水灾害防控和水生态保护的复合网络。通过建设辽西北供水、引呼济嫩、引额供水、艾比湖生态环境保护工程、闽江北水南调、西江调水、滇中调水及黔中调水等跨流域调水工程以及其他水资源调配工程和水生态修复工程,形成“边水济腹、内连外通”的分片格局,以织密国家水网建设之目。东北地区以保障哈大齐工业走廊、长吉图经济区、辽中南地区等重点开发区域的城市与工业供水安全,保障和改善松嫩平原、三江平原和辽河中下游平原的农业用水,改善三江平原湿地等生态功能区及辽河等水资源开发利用过度地区生态环境用水为重点,通过建设引呼济嫩、吉林中部引水、绰尔河引水、辽西北供水、大伙房输水等跨流域调水工程,连通黑龙江、松花江、鸭绿江、辽河等江河水系,逐步形成东北地区“北水南调、东水西引、边水济腹”的水系连通格局^[19-20]。西北地区以保障天山北坡地区及重要能源基地、重要城市及工业区和关中-天水重点开发区域城市群及工业区的供水安全,保障新疆及渭河平原等地区农产品主产区的供水安全和保护修复生态环境为重点,通过建设引汉济渭、引额供水、艾比湖生态环境保护、引黄济石等工程,增加区域内的可供水量,提高供水保障程度。东南地区主要以保障长江和珠江三角洲以及海峡西岸经济区等沿海地区重要城市和工业区供水安全,保障区域内农产品主产区供水安全和保护修复生态环境为重点,通过建设引江济太、浙东引水、闽江北水南调等跨流域调水工程,逐步形成区域内互连互通、相互调剂的网络化水系连通格局。西南地区主要以保障成渝、黔中、滇中、北部湾等地区重要城市和工业区供水安全,保障区域内重要农产品主产区供水安全并改善当地生态环境为重点,通过建设滇中引水、黔中调水等跨流域和跨区域调水工程,连通长江、珠江、西南诸河等江河水系,为本地区提供水资源保障,并为南水北调西线建设、北方地区发展提供后续水源保障^[21-22]。

1.3 以水利信息化建设为契机,实现国家水网的智慧化与智能化

国家水网不仅是现有河湖水系连通工程的整合,更是调控手段和管理方式的重大升级。智慧化是国家水网的重要特征。针对我国水资源分布不均,降雨时空变化较大的特点,为保障各地区用水需求,需要依据不同地区来水情况和国民经济建设及生态保护需水要求,实现监测一体化、预警自动化和调控智慧化。在监测方面,充分利用大数据和物联网技术的最新成果,实现“天-空-地-水”水流网络的全过程、立体化监管;在预警方面,实现水网各类风险的智能感知和动态分析,建立集国家宏观、流域中观、工程微观为一体的系统化风险分析与预警;在调度方面,以水循环理论为指导,整合现有防洪指挥调度系统、水资源监测调度管理系统等,实施防洪调度、水资源调度和生态调度智慧化,进行大尺度水资源配置、流域(区域)洪水风险管理和连通系统的实时智慧联合调度。

2 国家水网与水系连通的若干问题

国家水网建设将我国河湖水系连通战略推进到了一个新的阶段,但是水系格局的调整改变必然对水资源分配、生态环境和经济社会产生深远影响。因此,在总结河湖水系连通工程经验的基础上提出以下需要注意的问题。

2.1 水资源合理配置与防洪减灾问题

强化水资源配置能力是国家水网建设的重要目标。国家水网建设构建了一个多目标、多功能、多层次、多要素的复杂水网系统^[23],相对于传统水资源配置结构更为复杂,配置涉及区域范围更广,配置目标更加合理,强调均衡发展。国家水网建设的水资源配置需要在传统水资源配置要求^[24]的基础上,统筹连通区域生产、生活和生态各部门对水量、水质、水域和水流等不同要素的需要,聚焦各连通区域的实际问题,注重社会公平、发展可持续,通过上下级水网相互衔接,构建多层次、多用户、多维度、多目标的水资源配置模型体系,形成上下级连动、区域协同的水资源配置方案。

开展河湖水系连通是提高防洪能力的迫切需要,随着不同层面的河湖水系连通工程的实施,跨区域、跨流域的洪涝风险管理问题更为突出。河湖水系连通后洪涝灾害风险管理的主要任务包括:制定并协商河湖水系连通后流域或不同行政区间洪涝灾害防治的愿景与战略,制定并协商流域或不同行政

区间有关全流域、跨区域的空间规划行动方案的施行程序,识别河湖水系连通所涉及的空间范围,定期评估河湖水系连通状况,制定适当的激励机制,创建河湖水系连通区间的沟通交流平台并增强公共意识、完善河湖水系连通区域联合应对洪涝灾害的监督体系等。同时跨流域或地区间的合作对河湖水系连通作用的发挥将起到关键作用,应明确河湖水系连通区域洪涝灾害管理中的合作内容及要求。因此,根据河湖水系连通在洪涝灾害管理过程中呈现的新特点,连通区域间需要明确合作内容,具体包括:国家层面的河湖水系连通需要制定明确的连通区间洪涝风险管理目标与行动规则;地方行政区对境内水系连通情况进行具体监控及管理,并需要适时与连通的其他行政区间进行信息共享。

2.2 生态与环境问题

尽管河湖水系连通可以带来较好的经济社会和生态环境效益,但它对水资源、水生态与水环境所产生的负面影响同样不容忽视,有些影响甚至不可逆转^[25]。国家水网建设将河湖水系连通工作推进到一个新的阶段,广泛的连通给生态环境系统带来了更大的压力。如何准确评价河湖水系连通工程对生态环境的影响,成为国家水网建设亟待解决的问题。准确表征河湖水系连通的环境影响,能够为河湖水系连通工作的开展提供理论依据^[21]。综合国内外相关文献,提出河湖水系连通的健康评价指标体系供参考,见表1^[26-28]。

2.3 经济与法律问题

河湖水系连通属于重大公共项目,具有外部性、公共利益、公共物品的性质^[29]。从公共项目的全部内容和决策与实施过程上看,必须修正、调整传统的成本收益分析,建立全面、真实的成本收益分析框架。在河湖水系连通工作中需要将成本和收益扩展修正为社会成本和社会收益,分析公共项目完整、长期包含整个生命周期的成本收益,分析公共项目对经济、社会和自然的全面影响,全面分析成本、收益问题,理解成本、收益的具体含义和价值计量,还可借鉴现代企业理论中的利益相关者的概念和工具。对河湖水系连通进行成本收益分析,必须对河湖水系连通的决策和实施过程、投入、产出及其影响,对河湖水系连通的经济、社会和自然影响,对河湖水系连通涉及的居民、企业、政府等各种利益主体,进行全方位、全过程、系统性、长期性的调查、分析和评估。从经济分析的角度看,河湖水系连通的收益或效用大致分为经济效益、社会效益、环境效益等3种

类型:直接与经济活动有关的经济效益,与人类经济活动之外的繁衍、交往、政治、知识等活动有关的社

会收益和由于河湖水系连通对自然资源、环境、生态系统复杂多样的影响而产生的环境效益。

表 1 河湖水系连通健康评价指标

Tab.1 Health assessment index of river-lake system connectivity

准则层	指标层	确定方法或依据
环境属性	水质达标率	一、二、三级评价河长/河段总长 $\times 100\%$
	水土流失比例	水土流失面积/土地面积 $\times 100\%$
	径流系数变化率	10年前与10年后径流系数变化值/前10年径流系数 $\times 100\%$
	河流断流概率	平均每年发生断流天数/全年天数 $\times 100\%$
	流动畅通率	$1/(1+0.8\times\text{水坝个数}+0.2\times\text{桥梁个数})\times 100\%$
	河长变化率	现状年河长与基准年河长之差/基准年河长 $\times 100\%$
生态属性	鱼类种类变化率	近10年河道内鱼类变化/10年前河道内鱼类种类
	珍稀水生动物存活率	珍稀水生动物数量增减的定性评判
	天然植被覆盖率	流域天然植被面积/流域土地面积
	河道生态需水保证率	河道生态用水/河道内生态需水 $\times 100\%$

为确保河湖水系连通战略符合各项法律规定,符合可持续发展原则,应进一步完善河湖水系连通的规划体系,强化其执行和监督检查,加快其立法工作,为严格河湖水系管理提供规划依据和法律保障。主要措施包括:严格环境影响评价制度,从连通的必要性和可能性、连通方式、连通措施、连通效果等方面进行分析研判,主要包括环评机构独立、转变环评重点、建立环评实时监测网络、建设共享数据和信息平台等措施;重新建立生态用水管理制度,完善生态用水调度机制,加强生态流量管理,确保河湖水系生态流量得到充分保障^[30];建立科学合理的水权交易制度,明确用水权,确立水权的授予方式与法律程序,强化水资源统一管理,建立适合中国国情的水权市场^[31];突出公众参与,制定公众参与程序,最大程度保证公众的参与度,增加公众的归属感等;完善科学严密、统一协调的水事纠纷处理机制^[32];完善水生态保护立法,为河湖水系连通战略的顺利实施提供政策和法律保障。

3 南水北调工程与国家水网

南水北调工程是我国有史以来规模最大的河湖水系连通工程,涉及多个流域多个省市,管理主体多种,利益主体多样,生态环境影响复杂。随着东线、中线一期主体工程建成,南水北调工程已累计调水400多亿 m^3 ,直接受益人口达1.2亿人^[33-34]。在创造了丰富的社会、经济和生态环境效益的同时,南水北调工程建设和运营过程中也积累了大量管理经验,能够为国家水网建设提供重要参考。

在管理体制上,《南水北调工程供用水管理条

例》对水量调度、用水管理、水质保障和工程设施管理与保护作出了明确规定,厘清了多方责任,对保障工程顺利运行和按期达效具有重要作用。在水价制定上,南水北调东、中线工程实行两部制水价,通过将供水价格分解为基本水价和计量水价两部分,将管理、折旧和维护等固定成本和变动运行成本分离,实现了水价的灵活管理。在水量管理上,《南水北调工程供用水管理条例》明确了水量调度的基本依据,由国务院水行政主管部门制定年度水量调度计划,由南水北调工程管理机构制定月水量调度方案^[35]。在生态环境保护上,水利部组织编制的《南水北调东、中线地下水压采方案》,提出了2010年、2015年和2020年等水平年受水区各省(市)的地下水压采目标以及实现压采目标的保障措施^[2]。

南水北调工程与区域水系的连通和水资源协同配置也为国家水网建设和管理提供了宝贵的经验。目前,海河流域、山东省、苏北地区等已将南水北调来水作为水源,调整当地的水资源配置格局,通过当地水和外调水的统一管理,提高了区域水资源保障水平。南水北调东、中线工程在运行过程中与包括引江济淮、苏北水网、引汉济渭、山东水网、海河水网、鄂北地区水资源配置工程等区域河湖水系连通工程都存在协同关系^[2]。其中,苏北水网和山东水网与南水北调工程存在直接的水力联系,可以理解为南水北调工程的延伸和扩展。这些协调和管理的经验,对于把握连通工程之间的相互影响和作用、建设与规划国家水网有着极为重要的参考价值。

4 结 语

河湖水系连通和国家水网建设是我国新时期水利发展的重大战略部署。本文结合河湖水系连通战略的研究成果,依据国家水网建设的总体布局,系统分析了国家水网建设过程中的水资源、防洪、生态、环境、社会和经济问题,针对南水北调工程在国家水网中的骨干和主动脉地位,深入分析了南水北调工程的建设与运维经验,可为国家水网建设起到借鉴作用。

国家水网建设将在南水北调等重大引调水工程的基础上,通过区域河湖水系连通工程和水利枢纽建设,逐步实现国家、流域和省市各个层面相互衔接、布局合理、调控有序的国家水网体系。国家水网建设是河湖水系连通战略发展的必然结果,面临的科学问题更具全局性、整体性和复杂性。本文从系统和多学科的视角出发,全面分析了国家水网建设过程中的科学问题,将为加快河湖水系连通工程建设、构建国家水网提供理论依据和技术支撑。

参考文献(References):

- [1] 陈雷. 关于几个重大水利问题的思考:在全国水利规划计划工作会议上的讲话[J]. 中国水利, 2010(4): 1-7. (CHEN L. Reflections on several major water conservancy problems: Speech at the national water conservancy planning and planning work conference[J]. China Water Resources, 2010(4): 1-7. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2010. 04. 002
- [2] 徐宗学, 庞博, 冷罗生, 等. 河湖水系连通战略问题研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2021 (XU Z X, PANG B, LENG L S, et al. Study on strategy of river-lake system connectivity[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2021. (in Chinese))
- [3] 赵军凯, 李立现, 张爱社, 等. 再论河湖连通关系[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2016(4): 118-128. (ZHAO J K, LI L X, ZHANG A S, et al. Study on river-lake relationship and interconnected river system network[J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2016(4): 118-128. (in Chinese)) DOI: 10. 13476/j. cnki. nsbdqk. 2015. 06. 040.
- [4] 李原园, 郦建强, 李宗礼, 等. 河湖水系连通研究的若干问题与挑战[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 386-391. (LI Y Y, LI J Q, LI Z L, et al. Issues and challenges for the study of the interconnected river system network[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 386-391. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN; ZRZY. 0. 2011-03-003.
- [5] 王中根, 李宗礼, 刘昌明, 等. 河湖水系连通的理论探讨

- [J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 523-529. (WANG Z G, LI Z L, LIU C M, et al. Discussion on water cycle mechanism of interconnected river system network[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(3): 523-529. (in Chinese)) DOI: 10. 11849/zrzyxb. 2011. 03. 019.
- [6] 李原园, 李宗礼, 黄火键, 等. 河湖水系连通演变过程及驱动因子分析[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1152-1157. (LI Y Y, LI Z L, HUANG H J, et al. Analyzing the evolution of the interconnected river system network and driving factors [J]. Resources Science, 2014, 36(6): 1152-1157. (in Chinese) DOI: CNKI: SUN; ZRZY. 0. 2014-06-007.
- [7] 徐宗学, 庞博. 科学认识河湖水系连通问题[J]. 中国水利, 2011(16): 13-16. (XU Z X, PANG B. Cognition scientifically of river and lake systems interconnection [J]. China Water Resources, 2011(16): 13-16. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2011. 16. 006.
- [8] 黄建水. 新时期治水的内涵和任务: 习近平同志重要治水思想学习体会[J]. 水利发展研究, 2014, 14(9): 17-18, 23. (HUANG J S. The connotation of water conservancy and tasks in the new period, XiJinping comrades important water conservancy thought learning [J]. Water Resources Development Research, 2014, 14(9): 17-18, 23. (in Chinese)) DOI: 10. 13928/j. cnki. wrdr. 2014. 09. 005
- [9] 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议[N]. 人民日报, 2020-11-04(1). DOI: 10. 28655/n. cnki. nrmb. 2020. 010934. (Proposal of the central committee of the communist party of China on formulating the 14th Five-Year Plan for national economic and social development and the long-term goals for 2035 [N]. People's Daily, 2020-11-04(1). (in Chinese)) DOI: 10. 28655/n. cnki. nrmb. 2020. 010934.
- [10] 鄂竟平. 深入践行水利改革发展总基调 在新的历史起点上谱写治水新篇章: 在 2021 年全国水利工作会议上的讲话[J]. 水利发展研究, 2021, 21(1): 1-14. DOI: 10. 13928/j. cnki. wrdr. 2021. 01. 001. (E J P. Deeply practicing the general tone of water conservancy reform and development and writing a new chapter of water control at a new historical starting point: Speech at the National Water Conservancy Conference in 2021 [J]. Water Resources Development Research, 2021, 21(1): 1-14. (in Chinese)) DOI: 10. 13928/j. cnki. wrdr. 2021. 01. 001.
- [11] 郭旭宁, 何君, 张海滨, 等. 关于构建国家水网体系的若干考虑[J]. 中国水利, 2019(15): 1-4. (GUO X N, HE J, ZHANG H B, et al. Considerations on forming National water networks [J]. China Water Resources,

- 2019(15): 1-4. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN: SLZG. 0. 2019-15-009.
- [12] 王柳艳. 太湖流域腹部地区水系结构、河湖连通及功能分析[D]. 南京: 南京大学, 2013. (WANG L Y. Study of river system structure, river-lake connectivity and function in the core regions of Taihu Lake basin[D]. Nanjing: Nanjing University, 2013. (in Chinese)).
- [13] 田坤, 范荣亮, 安婷, 等. 基于敏感性分析的徐州市水生态综合治理[J]. 水利规划与设计, 2015(5): 1-6. (TIAN K, FAN R L, AN T, et al. Comprehensive management of water ecology in Xuzhou City based on sensitivity analysis[J]. Water Resources Planning and Design, 2015(5): 1-6. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1672-2469. 2015. 05. 001
- [14] 向莹, 韦安磊, 茹彤, 等. 中国河湖水系连通与区域生态环境影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(S1): 139-142. (XIANG Y, WEI A L, RU T, et al. Rivers system connection and regional ecological and environmental impacts in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2015, 25(S1): 139-142. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN: ZGRZ. 0. 2015-S1-035.
- [15] 夏军, 高扬, 左其亭, 等. 河湖水系连通特征及其利弊[J]. 地理科学进展, 2012, 31(1): 26-31. (XIA J, GAO Y, ZUO Q T, et al. Characteristics of interconnected rivers system and its ecological effects on water environment[J]. Progress in Geography, 2012, 31(1): 26-31. (in Chinese)) DOI: 10. 11820/dlkxjz. 2012. 01. 004.
- [16] 李宗礼, 李原园, 王中根, 等. 河湖水系连通研究: 概念框架[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 513-522. (LI Z L, LI Y Y, WANG Z G, et al. Research on interconnected river system network: Conceptual framework[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(3): 513-522. (in Chinese)) DOI: 10. 11849/zrzyxb. 2011. 03. 018
- [17] 左其亭, 崔国韬. 河湖水系连通理论体系框架研究[J]. 水电能源科学, 2012, 30(1): 1-5. (ZUO Q T, CUI G T. Study on theoretical system and framework of interconnected river system network[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(1): 1-5. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-7709. 2012. 01. 001
- [18] 李原园, 刘震, 赵钟楠, 等. 加快构建国家水网 全面提升水安全保障能力[J]. 水利发展研究, 2021, 21(9): 30-31. (LI Y Y, LIU Z, ZHAO Z N, et al. Accelerate the construction of a national water network and comprehensively improve the ability of water security[J]. Water Resources Development Research, 2021, 21(9): 30-31. (in Chinese)) DOI: 10. 13928/j. cnki. wrdr. 2021. 09. 009.
- [19] 李原园, 李宗礼, 郦建强, 等. 水资源可持续利用与河湖水系连通[A]. 中国水利学会 2012 学术年会特邀报告汇编[C]. 武汉, 2012. (LI Y Y, LI Z L, LI J Q, et al. Sustainable utilization of water resources is connected with river and lake water systems[A]. Compilation of invited report for 2012 Annual Conference of China Hydraulic Society[C]. Wuhan, China, 2012. (in Chinese))
- [20] 时金松. 江河湖库水系连通理论与实践[J]. 中国集体经济, 2014(29): 72-75. (SHI J S. Theory and practice of river, lake and reservoir system connectivity[J]. China Collective Economy, 2014(29): 72-75. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1008-1283. 2014. 29. 016.
- [21] 王彤彤, 徐吉. 国内跨流域调水工程实践的发展趋势与启示[C]//中国水利学会调水专业委员会成立大会暨跨流域调水与区域水资源配置学术研讨会. 北京, 2012. (WANG T T, XU J. Development trend and enlightenment of domestic practice of inter-basin water transfer project [C]//Establishment Meeting of Water Diversion Committee of Chinese Hydraulic Society and Academic Seminar on Inter-basin Water diversion and Regional Water Resources Allocation. Beijing, China, 2012.
- [22] 高媛媛, 姚建文, 陈桂芳, 等. 我国调水工程的现状与展望[J]. 中国水利, 2018, 4(4): 49-51. (GAO Y Y, YAO J W, CHEN G F, et al. Present situation and prospect of water transfer project in China[J]. China Water Resources, 2018, 4(4): 49-51. (in Chinese)) DOI: CNKI: SUN: SLZG. 0. 2018-04-030
- [23] 陈睿智, 桑燕芳, 王中根. 基于河湖水系连通的水资源配置框架[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 1-4. (CHEN R Z, SANG Y F, WANG Z G. Framework of water allocation based on interconnected river system network[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 1-4. (in Chinese)) DOI: CNKI: 10. 3724/SP. J. 1201. 2013. 04001.
- [24] 崔国韬, 左其亭, 窦明. 国内外河湖水系连通发展沿革与影响[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(4): 73-76. (CUI G T, ZUO Q T, DOU M. Development evolution and influences of the interconnected river system network at home and abroad[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(4): 73-76. (in Chinese)) DOI: 10. 3724/SP. J. 1201. 2011. 04073.
- [25] 董哲仁, 王宏涛, 赵进勇, 等. 恢复河湖水系连通性生

- 态调查与规划方法[J]. 水利水电技术, 2013, 44(11): 8-13, 19. (DONG Z R, WANG H T, ZHAO J Y, et al. Eco-survey and planning method for rehabilitation of connectivity of river-lake water system[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013, 44(11): 8-13, 19. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-0860. 2013. 11. 003.
- [26] 吴阿娜, 杨凯, 车越, 等. 河流健康状况的表征及其评价[J]. 水科学进展, 2005, 16(4): 602-608. (WU E N, YANG K, CHE Y, et al. Characterization of rivers health status and its assessment[J]. Advances in Water Science, 2005, 16(4): 602-608. (in Chinese)) DOI: 10. 3321/j. issn: 1001-6791. 2005. 04. 023.
- [27] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1191-1194. (TANG T, CAI Q H, LIU J K. River ecosystem health and its assessment[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9): 1191-1194. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1004-8227. 2004. 06. 016.
- [28] 杨小刚, 宋进喜, 程丹东, 等. 渭河陕西段河道生态服务价值评估[J]. 干旱区地理, 2014, 37(5): 958-965. (YANG X G, SONG J X, CHENG D D, et al. Estimation of instream's ecosystem service value for the Weihe River in Shaanxi Province[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(5): 958-965. (in Chinese)) DOI: CNKI; SUN; GHDL. 0. 2014-05-014.
- [29] 李由. 中国转型期公共政策过程研究[M]. 北京: 北京师范大学出版社. 2008. (LI Y. Research on the public policy process in China's transition period[M]. Beijing: Beijing Normal University Publishing House 2008. (in Chinese)).
- [30] 陈雷. 加强河湖管理 建设水生态文明[J]. 中国水利, 2014(6): 4-5. (CHEN L. Strengthen management of rivers and lakes to promote water conservation[J]. China Water Resources, 2014(6): 4-5. (in Chinese)) DOI: 10. 28655/n. cnki. nrmrb. 2014. 003484.
- [31] 俞昊良, 陈金木, 李政. 国外水权水市场建设的经验借鉴[J]. 中国水利, 2018(19): 24-26. (YU H L, CHEN J M, LI Z. Lessons learned from international experiences for water right trading and water market establishment[J]. China Water Resources, 2018(19): 24-26. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1123. 2018. 19. 009.
- [32] 罗尖, 章元明. 和谐社会建设与省际水事纠纷处理机制的完善[J]. 水利发展研究, 2008(1): 42-45. (LUO J, ZHANG Y M. Harmonious society construction and the perfection of provincial water dispute handling mechanism[J]. Water Resources Development Research, 2008(1): 42-45 (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-1408. 2008. 01. 010.
- [33] 高吉喜, 鞠昌华. 构建空间治理体系 提供优质生态产品[J]. 环境保护, 2017, 45(1): 20-24. (GAO J X, JU C H. Build a space governance system to provides the high quality ecological products[J]. Environmental Protection, 2017, 45(1): 20-24. (in Chinese)) DOI: 10. 14026/j. cnki. 0253-9705. 2017. 01. 003.
- [34] 李国英. 推进南水北调后续工程高质量发展[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(8): 1-3. (LI G Y. Promote the high-quality development of the follow-up project of the South-to-North Water Diversion Project[J]. Water Conservancy Construction and Management, 2021, 41(8): 1-3. (in Chinese)) DOI: 10. 16616/j. cnki. 11-4446/TV. 2021. 08. 01.
- [35] 南水北调工程供用水管理条例[J]. 中华人民共和国水利部公报, 2014(1): 1-7. (Regulations on the administration of water supply of South-to-North Water Diversion Project[J]. Gazette of The Minister of Water Resources of the People's Republic of China, 2014(1): 1-7. (in Chinese)) DOI: 10. 16616/j. cnki. 11-4446/TV. 2021. 08. 01.

Research on the construction of river-lake system connectivity and national water network

XU Zongxue^{1,2}, PANG Bo^{1,2}, LENG Luosheng³

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Beijing Key Laboratory of Urban Hydrological Cycle and Sponge City Technology, Beijing 100875, China

3. School of Law, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: With the rapid development of economics and society, especially with the implementation of “reform and opening up” to the outside world, the industry and urbanization developed very quickly in China. The rapid development of industry resulted in the considerable need for water resources, and the great changes of water cycle among supply, uses, assumption and drainage. It further resulted in the great challenge on water supply, as well as the exacerbation of water quality and deterioration of aquatic ecosystems. On the other hand, rapid urbanization affected the relationship between rivers and lakes, and resulted in fragmentation of rivers and shrinkage even disappearance of lakes. In order to improve the water security, it is quite necessary to construct the national water networks with the capability of adjustment between abundant and dry periods, as well as complementarity between western and eastern China. Considering the strategic needs of national water security, the overall layout of national

water network was investigated, and the strategic needs of river-lake system connectivity were analyzed. Possible effects of river-lake system connectivity on water resources, flood control, ecological system, environment, society and economics were comprehensively analyzed through multidisciplinary ways. The function and roles of South-North Water Transfer Project in the construction of national water network were also identified. Great efforts have been made to comprehensively analyze the key issues and difficulties in river-lake system connectivity through multidisciplinary and systematic research, so as to provide reference and scientific support for the construction of national water network. From the analysis on the connectivity of river-lake system, it was found that the connection of river-lake system and the construction of national water networks are the most important national strategy to improve water security in China. Major functions and roles of the national water networks mainly focused on the improvement of water resources allocation and water supply, improvement of water quality and aquatic ecosystem, as well as the improvement of capability to mitigate floods and droughts. The objective of connection for rivers and lakes should respect the law of naturalized hydrological cycle and evolution of rivers and lakes, and consider the functions of water resources, environment, and ecology. Through the construction of reservoirs, dams/weirs, pumping stations and channels, national water networks will be constructed at the national, regional and urban scales. The water networks will be characterized with reasonable layout, different functions, storage and drainage, regulation and control, adjustment between abundant and dry periods, mutually supplement among different sources, flows clearly, and excellent environment.

Key words: water security; national water network; strategy; river-lake system connectivity; water resources allocation