

· 视 角 ·



我国水运网的价值与发展路径探讨

吴 澎, 王 桃, 曹凤帅, 刘晓玲, 董宇轩

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 经过多年建设, 我国内河水运发展已取得较大成效, 在区域综合交通运输体系和沿线地区经济社会发展中发挥了不可替代的作用。系统梳理新中国成立以来我国水运网建设发展历程, 分析内河水运量及构成发展变化阶段特征, 总结内河水运在区域经济社会发展中的重要支撑作用; 结合与发达国家和地区的对比, 深刻剖析我国水运网发展仍然存在的问题, 并基于低值大宗货、中值大宗货、高值精尖货等不同类型货物特征, 从提高航道运行效率、延伸航道布局两大维度, 提出提高过闸准点率和过闸效率、打通内河高等级航道局部瓶颈、加强水利水运水电“三网”融合、推动内河高等级航道高效连接海港等系列发展路径。针对中西部地区市场需求巨大的高坝通航建筑物建设技术, 概要提出亟需突破的关键技术瓶颈为输水系统技术、船闸水工结构、闸门与阀门设计、中间渠道与通航隧洞技术等。

关键词: 水运网; 价值; 航道运行效率; 航道布局; 高坝通航建筑物

中图分类号: U656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)01-0001-11

Value and development path of China's inland waterway network

WU Peng, WANG Tao, CAO Fengshuai, LIU Xiaoling, DONG Yuxuan

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: After years of development, China's inland waterway transportation has achieved significant progress, playing an irreplaceable role in regional comprehensive transportation system and economic and social development of the area along the shipping route. We systematically review the development process of China's inland waterway network since the founding of the People's Republic of China, analyze the stage characteristics of the volume and composition of inland waterway development, and summarize the crucial supporting role of inland waterway transportation in regional economic and social development. Through comparative analysis with developed countries and regions, we analyze the existing challenges in the development of China's waterway network deeply. On the basis of the characteristics of different cargo types, such as low-value bulk goods, medium-value bulk goods, and high-value precision goods, we propose a series of development strategies from two dimensions: improving operation efficiency and extending layouts of the inland waterway, put forward enhancing the punctuality and efficiency of lockage, addressing local bottlenecks in high-grade inland waterways, strengthening the integration of water conservancy network, inland waterway network and hydropower network, and promoting efficient connections between high-grade inland waterways and seaports. Focusing on the construction technology of high-dam navigation structures with significant market demand in central and western regions, we systematically identify critical technical bottlenecks that urgently need breakthroughs, such as water conveyance system technology, hydraulic structure of ship lock, gate and valve design, and intermediate channel and navigation tunnel technology.

Keywords: waterway network; value; waterway operation efficiency; waterway layout; high-dam navigation structure

收稿日期: 2025-10-15 录用日期: 2025-11-15

作者简介: 吴澎(1956—), 男, 硕士, 全国工程勘察设计大师, 正高级工程师, 从事港航咨询研究和设计工作。

内河水道的用途大致可分为航运、水资源管理(防洪、发电等)、用水和其他用途四类。航运是基本用途之一,其中,货物运输列在首位。多年来,我国内河航运建设发展取得了较大成效,内河水路货运量稳居世界第一,已成为名副其实的世界内河航运大国。随着经济社会逐步进入新发展阶段,交通运输需求进一步释放,但可开发利用的土地资源日益稀缺,环保要求日益严苛,降本增效深入推进,对充分发挥内河航运运能大、运费低、能耗少、污染小^[1]的比较优势提出了更高的要求。

1 我国水运网的价值分析

1.1 我国水运网建设发展历程

我国江河湖泊众多,大江大河横贯东西,内河支流连通南北,构成了庞大的内河水网,形成我国内河航运的独特发展优势^[2]。但是水资源时空分布差异性大,与土地资源的匹配不理想,又制约了很多地区特别是北方内河航运的发展。

回顾我国内河航道的建设发展历程,内河航道通航里程发展变化趋势见图1。新中国成立之初,陆路交通能力明显不足,内河航道通航里程经历了恢复和快速增长的过程;之后,经济发展与水资源不足的矛盾越来越突出,特别是北方地区,部分航道通航条件受到破坏,导致内河航道通航里程又有所下降,由1960年的17.39万km下降至1980年的10.83万km;1980年之后,航道总里程维持稳定小步增长,但发展的结构和质量不断提升。2024年,我国内河航道通航总里程达到12.87万km^[3-4]。

等级航道里程与内河航道通航总里程增长趋势基本一致,历年来占全国内河航道通航总里程的比例维持在50%左右并略有增长。高等级航道里程大幅提升,1000吨级及以上高等级航道里程从1980年的2000km左右增加至2024年的1.6万km^[5],占航道总里程的比例由1980年的1.8%提升至

2024年的12.4%。典型年份我国分等级航道构成变化情况见图2。

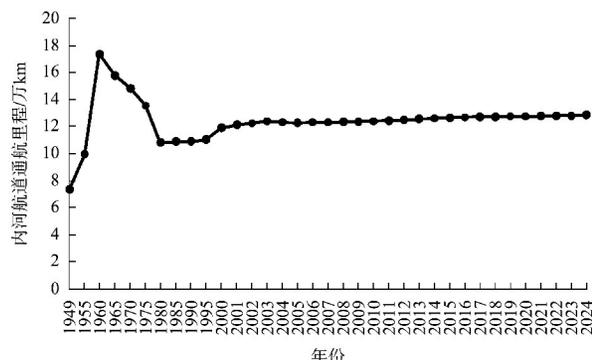


图1 新中国成立以来内河航道通航里程发展变化情况
Fig. 1 Development trends of navigable mileage of inland waterways since founding of the People's Republic of China

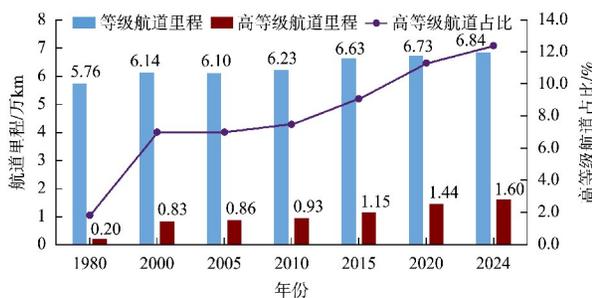


图2 典型年份我国分等级航道构成变化情况
Fig. 2 Changes in composition of graded inland waterways in China of typical years

自2007年《全国内河航道与港口布局规划》^[6]实施以来,“两横一纵两网十八线”建设成效显著。截至2024年底,长江、西江、京杭运河等干线航道几乎全部达到规划水平,赣江、信江、湘江、嘉陵江、乌江、北江等支线航道和珠三角高等级航道网基本达标。江淮运河工程已经投入运行,平陆运河工程正在建设,内河航运的格局不断完善,内河航道网络的整体通行效率和综合服务能力逐步增强。

2023年7月21日,国家发展改革委与交通运输部联合印发的《全国港口与航道布局规划》^[7]中,在上述布局的基础上规划了更适应新发展阶段特征的“四纵四横两网”国家高等级航道新格局,提出到2035年形成约2.5万km国家高等级航道的发展目标。

对比欧美等内河航运发达国家和地区, 我国高等级航道里程仍然较短, 单位国土面积的密度

和人均密度也较低, 主要指标对比情况见表 1。显然我国内河高等级航道建设仍有较大空间。

表 1 截至 2024 年底中国与欧盟、美国内河航道主要指标对比
Tab. 1 Comparison of main indicators of inland waterways among China, European Union and America by end of 2024

国家或地区	国土面积/万 km ²	人口/亿人	航道里程/万 km	人均密度/[km·(万人) ⁻¹]	国土面积密度/[km·(万 km ²) ⁻¹]
中国	960	14.1	2.8	0.20	29.17
欧盟	420	4.5	4.1	0.91	97.62
美国	937	3.4	4.0	1.19	42.69

注: 考虑发挥主要作用的航道, 航道里程仅统计四级及以上航道。

1.2 内河水运量发展变化特征

内河航道开发力度的不断加大, 为内河船舶大型化创造了条件; 内河水运自身的经济性不断提高, 经济社会发展带动潜在需求不断释放, 我国内河水运量保持了长时期的较快增长态势, 见图 3。2001—2010 年, 内河水运量年均增速达到 10.6%, 2010—2020 年为 7.3%; “十四五”以来, 在经济发展阶段转换的影响下, 内河水运量仍然保持较高的增速水平, 2020—2024 年间年均增速达到 6.8%, 高于全社会和水运行业平均增速水平。2024 年, 我国内河水路货运量达到 49.53 亿 t, 运量规模连续多年位居世界第一。

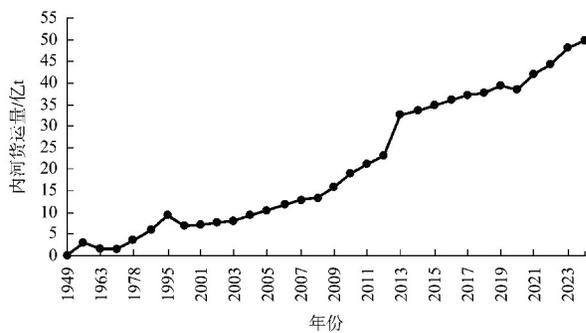


图 3 新中国成立以来内河货运量发展变化情况
Fig. 3 Development trends of inland waterway freight volume since founding of the People's Republic of China

与高等级航道分布相匹配, 目前我国内河水运量主要集中在长江、京杭运河、珠江三大水系, 2023 年三大水系沿线港口货物吞吐量占全国内河

港口货物总吞吐量的 86%, 其中长江沿线港口完成货物吞吐量 40.4 亿 t, 包括出海口八大港口 23.4 亿 t, 长江下游内河港口 8.6 亿 t、中游内河港口 6.4 亿 t、上游内河港口 2.0 亿 t; 京杭运河和长三角地区内河港口完成货物吞吐量 9.2 亿 t, 包括山东内河港口 1.0 亿 t、苏北地区内河港口 1.8 亿 t、苏南地区内河港口 2.8 亿 t、浙北地区内河港口 3.6 亿 t; 西江航运干线和珠三角地区内河港口完成货物吞吐量 5.5 亿 t, 包括珠三角和广东内河港口 3.3 亿 t、广西内河港口 2.2 亿 t^[8]。可以看出, 内河水运量集中的地区与经济发展高度吻合, 同时, 水运网越发达的地区, 内河水运规模越大。

欧美等内河航运发达国家和地区由于早已步入后工业化阶段, 城镇化建设也已进入稳定期, 内河水运量总体较为稳定。欧盟内河货运量在 5 亿 t 左右, 美国内河货运量在 5.5 亿~6.0 亿 t 波动。由于工业化、城镇化推进带来的庞大需求, 中国的货运量、货运周转量、货运密度均远高于欧盟和美国。从内河水运主要货类来看, 中国内河运输前三大货类为矿建材料、煤炭、金属矿石, 欧盟为金属矿石、石油制品、化工制品, 美国为农副产品、石油、化工制品^[9-10]。2024 年中国与欧盟、美国内河货运主要指标对比见表 2。

表 2 2024 年中国与欧盟、美国内河货运主要指标对比
 Tab. 2 Comparison of main indicators of inland waterway freight among China, European Union and America in 2024

国家或地区	航道里程/万 km	货运量/亿 t	货运周转量/(亿 t·km)	货运密度/(万 t·km·km ⁻¹)	前三大货类
中国	2.8	49.5	21 833	7 798	矿建材料、煤炭、金属矿石
欧盟	4.1	4.7	1 220	298	金属矿石、石油制品、化工制品
美国	4.0	5.2	3 991	998	农副产品、石油、化工制品

长江、京杭运河、珠江水系典型航道断面近年矿建材料、集装箱运输比例情况见表 3^[11-14]。

表 3 典型年份典型航道、枢纽节点矿建材料和集装箱运量占比

Tab. 3 Proportion of mining and construction materials and container transport volume of typical inland waterway in typical years

典型航道	枢纽节点	矿建材料运量占比/%		集装箱运量占比/%	
		2018 年	2023 年	2018 年	2023 年
长江航道	三峡枢纽	33.3	31.0	9.1	7.9
	武汉港	16.5	9.1	22.7	23.4
	芜湖港	32.0	23.3	4.4	8.1
京杭运河航道	淮安船闸	34.6	22.3	4.8	13.0
	苏北运河	40.4	32.5	3.2	6.2
	嘉兴内河港	65.3	51.7	2.6	5.0
珠江航道	贵港港	42.2	40.7	8.4	7.9
	长洲枢纽	34.4	48.2	6.1	5.5
	佛山港	16.8	21.3	56.5	43.5

由表 3 可以看出，虽然矿建材料在我国内河航运中仍占较高比例，但近年总体呈现下降趋势，集装箱等高附加值货类随着市场的培育，占比提升较大。通过处于相同航道不同航段的典型断面也能得出一些判断，长江和珠江航道明显不受船闸影响的航段集装箱占比更高、矿建材料占比更低，集装箱运输多集中在三峡枢纽和长洲枢纽以下航道，三峡枢纽、长洲枢纽近年来集装箱占比反而呈现下降的趋势，集装箱总运量增长规模也不大，虽受到西部陆海新通道等南向通道分流的作用，但通过能力不足是主要制约因素。

从各航道集装箱运量占全国内河的比例来看，目前我国内河集装箱运输仍主要集中在长江中下游航道。京杭运河作为闸控河流，江苏省于 2020 年 7 月开始施行内河航道集装箱船优先过闸政策，京杭运河集装箱运输市场逐步培育起来；自 2023 年山东省出台系列集装箱扶持政策以来，济宁港集

装箱吞吐量也增长较快^[15]。内河航运要想发挥更大作用，承担更多可转移货物的运输，对内河运输组织、时效性提出了更高要求。

1.3 内河水运对我国经济社会发展的支撑作用

内河航运不仅是运输通道，也是经济通道，是对外开放的通道。我国内河航运运输规模不断壮大，货类结构不断优化，在促进运输结构调整、优化沿线产业布局、带动流域经济发展、提升对外开放水平、降低能耗和污染排放等方面发挥了重大价值。

内河航运的发展不断吸引大宗适水货物转向水运，有效促进了交通运输结构的优化调整。通过降低物流成本，吸引适水产业沿航道集聚，优化了沿线城市的产业布局，促进了资源要素优化配置，服务引领了沿河地区经济社会发展。内河航运凭借通江达海的优势在外贸运输方面的地位不断增强，也提升了沿线地区对外开放水平。内河航运作为绿色环保的运输方式，有效降低了交通运输行业能耗和污染排放。

内河航运在国家综合交通体系中的地位不断提升，内河水路货运量占全社会货运量的比例由新中国成立初期的 5% 左右，发展到 2024 年的 8.7%，见表 4。长江、京杭运河、西江已成为跨区域交流货运大通道，是国家综合立体交通网的主要组成部分。

表 4 典型年份我国内河货运量占全社会货运量的比例
 Tab. 4 Proportion of inland waterway freight volume in total social freight volume in China of typical years

典型年份	社会货运量/亿 t				内河水运占比/%
	内河水运	公路	铁路	合计	
1949	0.079 3	0.796 3	0.558 9	1.609 7	4.93
1980	3.290 0	38.204 8	11.127 9	54.653 7	6.02
1990	5.770 0	72.404 0	15.068 1	97.060 2	5.94
2000	6.870 0	103.881 3	17.858 1	135.868 2	5.06
2010	18.860 0	24.480 5	36.427 1	324.180 7	5.82
2024	49.530 0	418.800 0	51.750 0	568.750 0	8.71

围绕长江形成了国家最大体量的流域经济带——长江经济带, 低廉的水运成本吸引了大量产业沿江集聚, 除电力、钢铁、石化等传统重化工业以外, 高端制造、集成电路、特色轻工, 中游汽车、装备制造、电子信息等产业, 都与长江航道密不可分。长江航道也是长三角地区向中游、上游地区产业转移和技术辐射的重要载体。2024 年长江经济带占全国国土面积的 21.3%, 承载了全国 43.2% 的人口, 完成了 46.7% 的国内生产总值 (gross domestic product, GDP) 和 45.3% 的外贸额, 长江经济带 11 个省市内河水运量占全社会货运量的比例达到 14.8%, 明显超过全国平均水平, 也能够说明长江航运在经济社会发展中发挥了重要作用。

京杭运河的建设可以追溯到春秋战国时代, 而它在现代仍然发挥着重要作用。京杭运河(钱塘江—黄河段)现代高等级航道的逐段开发和等级提升, 对沿线经济产业布局带来了深远的影响。江苏段沿线布局了超 30 个国家级和省际开发区, 浙江段沿线集聚了 20 个以上特色产业园区^[16], 济宁段沿线 6 大特色临港产业园也在不断壮大^[17]。为了进一步提升京杭运河的效益, 长江以南段正在实施三级提升至二级航道工程。

1.4 我国水运网发展存在的问题

对标国外内河水运发达国家和地区, 对标内河水运自身经济性充分发挥的基本要求和经济社会发展的诉求, 我国水运网发展仍然存在 4 方面的问题。

1) 高等级航道占比仍然偏低。截至 2024 年底, 我国三级及以上航道占全国航道通航里程的比例仅 12.4%, 明显低于欧美发达国家和地区水平, 丰富的内河水运资源有待充分利用。

2) 航道网络不畅通、连通性不足。干线航道仍存在部分瓶颈, 支线航道开发进程较慢, 干支联动不强; 跨水网连通不够, 南北向内河水运大通道缺乏, 航道网络效益仍有较大提升空间。

3) 内河水运效益效率亟待提升。受通航瓶颈制约、可达性有限、部分航道质量不高等因素影

响, 效率效益提升成为内河水运发展的关键问题, 制约了内河水运服务新兴产业发展的能力^[18]。

4) 水利、水运、水电“三网”融合发展有待加强。水利网、水运网、水电网三大网络分别归属不同主管部门, 在顶层设计、运营目标和利益分配上存在壁垒, 虽有相互促进的一面, 也存在相互制约的一面, 导致发展不同步、目标不协同、效益难最优等问题。

2 我国水运网发展路径探讨

2.1 提高航道运行效率

1) 渠化航道提高过闸准点率和过闸效率。目前, 需要运输的货物总体可分为 3 类: 低值大宗货、中值大宗货、高值精尖货。各类型货物特征及对内河航道的要求见表 5, 其中低值大宗货和中值大宗货基本上可归为适水货物。低值大宗货通常对运输时间和准时性要求都不是很高, 一般不直接对接终端客户, 但其对运输成本敏感度高; 在可通行船舶尺度一定的条件下, 渠化河段应保证足够的通过能力以满足这类货物的运输需求。中值大宗货通常对运输时间和及时性有一定要求, 多直接对接终端客户, 且客户较为固定、集中; 航道运行效率越高, 这些货类中愿意走水路的货物就越多。航道可通过提高通航保障率、过闸效率和准点率, 不断吸引中值大宗货更多转向内河水运。

长洲船闸的运行管理实践证明提高通行效率可吸引更多货物走水路。2023 年 8 月, 《长洲船闸船舶过闸积分管理办法》正式上线试行, 其核心要求是船舶进出闸平均速度保持在合理速度以上, 对不能达到这个速度的船有积分惩戒措施。该办法实施以来, 2024 年长洲船闸过闸货运量有了大幅增长, 上行铁矿石、煤炭、集装箱、其他货类相比 2022 年分别增长了 530%、47%、45%、106%, 下行的矿建材料和集装箱分别增长了 50% 和 136%, 钢材运量从无到有, 这其中有翅翼钢铁项目投产的因素, 但主要是船舶过闸效率提升的贡献^[19]。

表 5 不同类型货物的特征、对航道的要求和航道适应措施

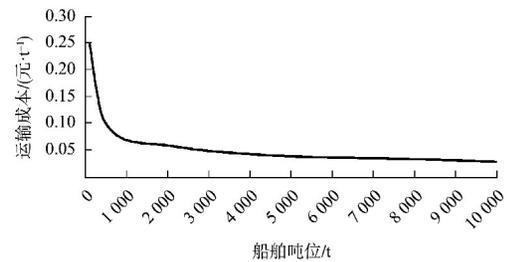
Tab. 5 Characteristics of different types of goods, requirements for inland waterways and adaptation measures

货物类型	货物价值	运输成本敏感度	运输速度要求	运输可靠性要求	典型货类及包装	核心成本考量	对航道的要求	建议的航道适应措施
低值大宗货	低	高	低	低	如砂石、煤炭等原材料,多为简单的散装	单位运输成本	航道需要提高运输能力,保障供应持续性,形成稳定规模化大批量运输,维持较低的运输成本	引导错峰运输、错峰过闸等
中值大宗货	中等	中等	中等	中等	如钢铁、大宗化工品、汽车零部件等工业品或半成品,需要标准化包装(如托盘、集装箱)	总物流成本平衡	航道需要注重提高通航保障率、过闸效率和准点率,适应多元化运输需求	推行“定时达”班轮化运输、优化编组等
高值精尖货	非常高	很低	极高	极高	如高端芯片、精密仪器、紧急备件等,需要精密、定制化包装	时间价值、安全性与可靠性	水运一般难以满足其时效性要求	-

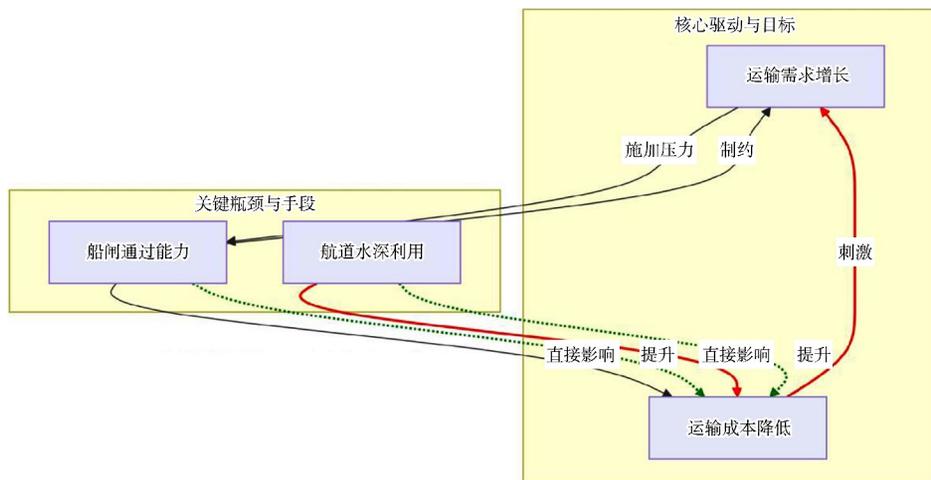
2) 合理平衡航道水深利用、运输成本降低、运输需求增长、船闸通过能力之间的关系。运输成本、运输需求与航道通行效率之间存在相互促进的正向循环,也存在相互制约的反向循环,关键环节在于通行效率的提高。其相互关系见图 4。

对于敞流航道,通行效率的提高路径主要是船舶大型化、提高航道水深,但航道水深的提高受自然条件的制约,自然条件一定时,靠工程措施提高航道水深,建设和维护成本会随着水深的提高而加速增高。对于设闸(船闸)航段,通行效

率受过闸效率的制约,过闸效率的提高意味着过闸时间的缩短和通过能力(单位时间通过的货物量)的提高,而这两者往往难以同时满足。因此,过闸效率的水平是需求增长的边界。



a) 内河不同吨位机动船运输成本对比



注:正向循环(虚线箭头),通过技术和管理手段进行干预,打破制约、实现良性发展的循环;负向循环(粗实线箭头),需求的增长与船闸能力瓶颈的制约,船闸通过能力瓶颈制约运输需求的增长。拥堵会推高运输成本,抑制一部分需求。

b) 逻辑关系

图 4 航道水深利用、运输成本降低、运输需求增长、船闸通过能力之间的逻辑关系

Fig. 4 Logical relationship among inland waterway depth utilization, transport cost reduction, transport demand growth and ship lock capacity

欧洲的人口密度低,水运需求小,因而船闸规模通常较小,可限制船舶过闸时间在30 min左右。我国船闸为提高通过能力,需要建设大型船闸,这类船闸每闸可通过4~8艘船,过闸时间往往在1 h以上,部分航段船闸间距短,过闸数量多,通行效率明显降低,直接影响运输成本(时间成本),从而抑制了运输需求。同时船闸运行的可靠性(正常运行时间的占比)也是影响通行效率的重要因素。提高船闸通行效率的难点在于提高通过能力、降低通过时间,还要提高运行的保证率。

3) 打通内河高等级航道局部瓶颈。提高运行效率还需要打通航线上的局部瓶颈,加快主干线大通道扩能升级,以长江干线、西江航运干线、京杭运河等水运主干道为重点,着力破解局部拥堵和区段标准不统一等问题,充分挖潜水运主通道效能^[20-21]。包括实施三峡水运新通道和葛洲坝扩能工程,系统疏解三峡枢纽航运瓶颈制约;实施长江口南槽二期工程,加快推动北港航道前期工作,系统提升长江口航道通过能力及韧性;实施西江航运干线长洲五线船闸、京杭运河淮安四线船闸等船闸扩能工程。

推动支线高等级航道达标畅通。以中西部地区省际航道为重点,攻坚闸坝碍航问题。加快推进乌江彭水、右江百色、红水河龙滩、沅水鱼潭等枢纽通航建筑物扩能工程,打通贵州连通长江、珠江双向水运通道;协同推动嘉陵江井口生态型航运工程研究论证,促进嘉陵江与长江高效衔接;推进汉江兴隆等枢纽通航设施扩能工程建设,打通陕西、湖北干支联运通道;推进沙颍河阜阳船闸、周口船闸、沱浚河蕲县船闸等扩能建设,畅通河南、安徽出海通道。

4) 加强水利、水运、水电“三网”融合。水运网的建设与水利网和水电网的建设在实践中有相互支撑、相互促进的一面,也有相互制约的一面。内河水运发展与水利枢纽的矛盾之一是调洪库容占用的变动回水段通航问题。三峡枢纽干流上的变动回水区由于流量大,与通航的矛盾不是很显著。但支流嘉陵江上的井口枢纽的建设至今悬而

未决,该航段已成为嘉陵江航运效益难以发挥的控制性河段^[22]。

与水电枢纽的矛盾之一是发电调节库容占用的变动回水段通航问题。平陆运河连接西津水库,水库正常蓄水位62.3 m,发电死水位57.8 m;为保证运河在最低水位时的航道水深,平陆运河马道枢纽与平塘江口之间的航道最低通航水位应取57.8 m^[23]。但西津水库上游运行水位低于59 m的频率不超过2%,而运河航道按57.8 m开挖和按59 m开挖的投资又存在显著差异,提高发电最低水位还是降低通航保证率,应该通过系统的经济分析得到协调解决方案。

仅担任调峰的水电站往往有更大的水位调节深度,下限水位会低于上一梯级下游天然情况的最低水位,这使得采用挖深航道的措施保持变动回水段通航最小水深的措施变得非常困难甚至不可能。在高等级航道网上为实现较高的航道通航保证率,应将坝前死水位高于上一梯级下游天然情况下最低水位作为梯级布置中特征水位确定的基本原则。

为加强水利、水运、水电“三网”融合,需要建立高层级协调与利益平衡机制,以实现水资源更合理的综合利用。

2.2 延伸航道网布局

2.2.1 推动内河高等级航道高效连接海港

长三角、珠三角水网是我国贸易最活跃、运输需求最旺盛的区域。珠江口的广州港、深圳港、香港港均可通过内河船舶与西江航运干线及其支流的广大腹地相连,形成了内河码头与海港无缝衔接的独特优势。但长江与口外上海洋山港、宁波舟山港无法通过内河船连接,需要增加中转或采用江海直达船实现联运,降低了内河航运成本低的优势。今后应加快构建内河与海港高效连接的航道体系^[24],同时优化航道网内部联络、扩大航道网连通范围、强化短支航道衔接园区,提升航道网的服务品质。

2.2.2 推动高等级航道向上游、向支流延伸

统筹考虑建设条件和发展需求,加快推进高

等级航道向上游、向支流延伸,扩大内河水网覆盖范围,充分发挥网络化效益:1)推进干线航道向上游延伸,推进实施金沙江下游航道开发、淮河干线航道河南段开发、京杭运河黄河以北段复航等工程;2)有序推进干线航道向支线航道延伸,畅通嘉陵江、岷江、乌江、沅水、汉江等长江支线航道,推动右江(向百色枢纽以上)、南北盘江—红水河(向龙滩枢纽以上)、都柳江等珠江支流航道上延,畅通沙颍河、沱浍河等淮河支流航道;3)有序推进支线航道向二级支流延伸,加快渠江、涪江、唐河、白河、袁河、贾鲁河等高等级二级支流航道建设。其中贾鲁河复航工程的实施将会成为结合国家水网建设探索高等级航道进一步向无水运的内陆延伸、支撑沿线地区经济社会发展的示范性工程。

2.2.3 适时推动跨水系连通

水系连通工程是打破地理分隔、实现内河航运网络化发展的战略性举措。新一轮“四纵四横两网”国家高等级航道网新格局,将江淮运河、平陆运河、赣粤运河、湘桂运河、浙赣运河、京杭运河黄河以北段复航等工程纳入其中。目前江淮运河已经投产,平陆运河正在建设,运河工程的实施将带动我国内河高等级航道建设进入网络化发展新阶段,重塑中国内河航运格局,引领全国范围内水资源的优化配置。加强系列重大运河工程前期技术储备,在合适的时机推动运河工程建设,打通跨水系关键通道,构建辐射更广泛的内河水运网体系。

3 我国水运网开发中高坝通航关键技术

3.1 高坝通航建筑物的选择

高坝通航建筑物的选型属于典型的多目标优化决策问题,其核心目标可归纳为:安全性、高效性、可靠性及经济性(即全寿命周期成本最低)。

安全性是通航建筑物建设的基本前提。当前,无论是船闸还是升船机,均须满足日益提高的安全标准与韧性要求。在高坝通航场景中,升船机在通行效率方面通常更具有优势,但其运行可靠

性相对较低。我国虽已建成若干大型升船机(如三峡升船机试运行已近6a),但尚未积累长期满负荷运行经验。现有运行数据已初步表明,升船机的可靠性存在一定局限。在经济性方面,相关研究表明^[25-26]:升船机在建设成本、运行成本及维护成本方面均高于船闸。

3.2 高坝船闸面临的关键技术瓶颈

对于高等级航道中潜在运输需求较大的高坝通航工程,若采用船闸方案,主要有2种布置方式,即连续多级布置(如三峡船闸)、单级(或单级分散)布置。连续多级船闸存在船舶过闸时间长、单线通过能力不足等问题,双线布置在事故或检修工况下运行效率显著下降。相较而言,单级或单级分散布置在效率方面具有一定优势,但其核心挑战在于需要大幅提升单级船闸的设计水头。

当船闸水头低于15m时,一般不存在突出的技术难题,闸室灌水过程中水面平均上升速率为0.5~1.5m/min,对应的输水时间为5~10min;对于水头超过15m的情况,为获得合理且较短的输水时间,需要采用更为复杂的输水系统。然而,随着水头增加,单次灌水与泄水的水体总量增大,由此引发的复杂波浪作用对过闸船舶的安全构成显著影响。为突破高水头带来的系列技术难题,高坝通航船闸需要在以下关键领域实现技术突破。

1)在输水系统设计技术方面,研发能适应更高水头和快速输水的新型输水系统。省水船闸可有效降低阀门运行水头,基本规避阀门段廊道空化空蚀问题^[27-28],但目前我国在该领域的设计、研究与运行经验仍较为有限。其技术难点在于,随着省水池层数增加,阀门数量增多,运行环节复杂化,对船闸的运行效率与可靠性构成挑战。目前全球已建成的省水船闸中,最大水头为24.70m(德国美茵—多瑙运河)。我国在建的平陆运河马道省水船闸(水头29.60m)与企石省水船闸(水头27.00m),其关键技术包括输水系统的安全性与高效性、阀门快速启闭系统的可靠性与耐久性,仍有待工程实践检验^[29]。

2)船闸水工结构设计技术方面,随着水头提

高, 水工结构所受水平荷载急剧增加, 省水池层数也相应增多, 导致结构更加复杂^[30]。因此, 亟需对超高水头船闸和省水船闸的水工结构在结构形式创新和新材料研发等方面不断取得技术进步, 并审慎研究其配套控制标准。

3) 随着水头与压力的增加, 船闸工作闸门的设计难度急剧增加。未来应加强新门型研发, 并在材料科学与结构设计理论等方面寻求突破。

4) 采用多级分散布置方案时(如金沙江下游梯级开发), 中间渠道与通航隧洞成为关键技术环节^[31]。中间渠道在上一级船闸泄水与下一级船闸灌水过程中, 易引发通航安全问题。增大过水断面或采用省水船闸以减小单次水体交换量, 可在一定程度上缓解该问题。通航隧洞在特定条件下具有经济优势, 但其过流断面通常小于中间渠道, 导致通航水力学问题更为突出。进一步增大洞径在工程建设和运营期安全保障等方面都存在技术瓶颈^[32], 因此, 科学确定通航隧洞的尺度、通航标准和安全应急保障措施, 成为当前重要的研究方向。

4 结语

1) 国家高等级航道建设以“两横一纵两网十八线”为基础布局, 内河水运发展取得较大成效, 正在依据“四纵四横两网”新格局全面推进。与国外发达国家和地区相比, 内河水运通航效率对我国内河水运的货类结构产生了深远影响, 集装箱等高附加值货物运输仍主要集中在长江中下游航道和长三角、珠三角地区, 要进一步提升内河水运在综合交通体系中的地位, 提高内河水运的效率效益是关键。

2) 运输货物总体可分为三类, 其中低值大宗货和中值大宗货是可吸引的主要适水货类。目前低值大宗货在内河水运中已占据较高比例, 但中值大宗货可拓展空间仍然较大, 建议从提高航道运行效率、延伸航道布局两方面入手, 探索渠化航道、提高过闸准点率和过闸效率, 合理平衡航道水深利用、运输成本降低、运输需求增长、船

闸通过能力保障之间的关系, 打通内河高等级航道局部瓶颈, 加强水利、水运、水电“三网”融合, 推动内河高等级航道高效连接海港, 推动高等级航道向上游、向支流延伸, 适时推动跨水系连通, 为内河水运更好适应新发展阶段经济产业发展诉求创造条件。

3) 高坝通航建筑物建设在中西部地区具有巨大的市场需求, 以安全、高效、可靠和经济为综合目标的解决方案面临巨大挑战。大幅提升单级船闸的设计水头是主要的努力方向, 省水船闸在解决高水头船闸带来的通航水力学问题方面具有明显优势, 高水头船闸的闸门和阀门需要在结构、材料、技术等诸方面不断实现创新, 以支撑单级船闸设计水头的提升。

参考文献:

- [1] 贾大山, 纪永波. 内河优势战略[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
JIA D S, JI Y B. Strategy of inland waterway transport advantage[M]. Beijing: China Communication Press Co., Ltd., 2015.
- [2] 吴澎, 曹凤帅, 刘晓玲. 我国内河航运建设发展与展望[J]. 水道港口, 2025, 46(3): 313-318.
WU P, CAO F S, LIU X L. Development and prospect of inland navigation construction in China [J]. Journal of waterway and harbor, 2025, 46(3): 313-318.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2024.
- [4] 交通运输部. 交通运输行业发展统计公报[A]. 北京: 交通运输部, 2024.
Ministry of Transport. Statistical bulletin on the development of transportation industry [R]. Beijing: Ministry of Transport, 2024.
- [5] 交通运输部. 公路水路交通行业发展统计公报[A]. 北京: 交通运输部, 2013.
Ministry of Transport. Statistical bulletin on the development of road and water transport [R]. Beijing: Ministry of Transport, 2013.

- 6 交通部. 全国内河航道与港口布局规划[R]. 北京: 交通部, 2007.
Ministry of Transport. Inland waterway and port layout planning of China[R]. Beijing: Ministry of Transport, 2007.
- 7 交通运输部. 全国港口与航道布局规划[A]. 北京: 交通运输部 2024.
Ministry of Transport. Port and waterway layout planning of China[R]. Beijing: Ministry of Transport, 2024.
- 8 交通运输部. 全国交通运输统计资料汇编[G]. 北京: 交通运输部 2023.
Ministry of Transport. Compilation of transportation statistics of China[G]. Beijing: Ministry of Transport, 2023.
- 9] NIU T L, SHAO Z Y, ZHU G Y. Toward greener freight: overview of inland waterway transport for freight in the European Union [C]//ICCT. International Council on Clean Transportation. Beijing: ICCT, 2024: 1-15.
- 10] ERIKSEN K. Christmas comes early to the Mississippi River and Tributaries [EB/OL]. (2024-12-20) [2025-11-10]. <https://www.waterwaysjournal.net/2024/12/20/christmas-comes-early-to-the-mississippi-river-and-tributaries/>.
- 11 交通运输部长江航务管理局. 长江航运发展报告[M]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2025.
Changjiang River Administration of Navigational Affairs, Ministry of Transport. Report on development of Changjiang River shipping [M]. Beijing: China Communication Press Co., Ltd., 2025.
- 12 京杭运河江苏省交通运输厅苏北航务管理处. 2018年苏北运河交通服务报告[R]. 淮安: 京杭运河江苏省交通运输厅苏北航务管理处 2019.
Beijing-Hangzhou Grand Canal, Jiangsu Provincial Department of Transport, Northern Jiangsu Navigation Management Office. Transportation services report of the Northern Jiangsu Canal in 2018 [R]. Huai'an Beijing-Hangzhou Grand Canal, Jiangsu Provincial Department of Transport, Northern Jiangsu Navigation Management Office, 2019.
- 13 京杭运河江苏省交通运输厅苏北航务管理处. 2024年京杭运河苏北段航闸运行报告[R]. 淮安: 京杭运河江苏省交通运输厅苏北航务管理处 2025.
Beijing-Hangzhou Grand Canal, Jiangsu Provincial Department of Transport, Northern Jiangsu Navigation Management Office. The waterway and ship lock operation report of the Northern Jiangsu Canal in 2024[R]. Huai'an Beijing-Hangzhou Grand Canal, Jiangsu Provincial Department of Transport, Northern Jiangsu Navigation Management Office, 2025.
- 14 广西北港大数据科技有限公司. 西江流域船闸大数据年报[R]. 南宁: 广西北港大数据科技有限公司, 2024.
Guangxi Beigang Big Data Technology Co., Ltd. Yearbook of ship locks in the Xijiang River Basin[R]. Nanning: Guangxi Beigang Big Data Technology Co., Ltd., 2024.
- 15 济宁市港航事业发展中心. 济宁市港航经济运行分析报告[R]. 济宁: 济宁市港航事业发展中心, 2024.
Jining Port and Shipping Development Centre. Report on the economic operation of port and shipping in Jining[R]. Jining: Jining Port and Shipping Development Centre, 2024.
- 16 中交水运规划设计院有限公司. 发挥大运河的经济价值调研报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司 2019.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Report on leveraging the economic value of the Grand Canal[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2019.
- 17 中交水运规划设计院有限公司. 济宁市水运行业对区域经济贡献度研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2024.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Report on the contribution of Jining's water transport industry to regional economy[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2024.
- 18 潘海涛, 吴晓磊, 刘晓玲. 等. 新时代我国内河水运高质量发展思路[J]. 水运工程, 2021(10): 14-19.
PAN H T, WU X L, LIU X L, et al. High-quality development strategy for inland water transportation in China in the new era[J]. Port & waterway engineering, 2021(10): 14-19.
- 19 中交水运规划设计院有限公司. 《长洲船闸船舶过闸积分管理办法》实施效果分析报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司 2025.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd.

- Report on the implementation effect of *Management Measures for Ship Passing Points in Changzhou Ship Lock*[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2025.
- [20] 交通运输部, 国家发展改革委. 推进实施内河水运体系联通工程行动方案[R]. 北京: 交通运输部, 2025.
Ministry of Transport, National Development and Reform Commission. Action plan for promoting the implementation of the interconnection projects of inland water transportation system [R]. Beijing: Ministry of Transport, 2025.
- [21] 中交水运规划设计院有限公司. 大运河河道水系治理管护专项规划报告(水运部分)[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2020.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Special planning on inland water system management and protection of the Grand Canal (inland water transport section)[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2020.
- [22] 谷磊, 干勇, 杨官荣. 嘉陵江航运高质量发展路径思考[J]. 中国水运, 2023 (21): 14-15.
GU L, GAN Y, YANG G R. Thoughts on the path to high-quality development of Jialing River shipping[J]. China water transport, 2023(21): 14-15.
- [23] 吕小龙, 吴澎, 刘晓玲. 平陆运河航道等级论证[J]. 水运工程, 2021(10): 266-270.
LYU X L, WU P, LIU X L. Demonstration on waterway classification of Pinglu Canal [J]. Port & waterway engineering, 2021(10): 266-270.
- [24] 交通运输部, 工业和信息化部, 财政部, 等. 关于推动内河航运高质量发展的意见[A]. 北京: 交通运输部, 2025.
Ministry of Transport, Ministry of Industry and Information Technology, Ministry of Finance, et al. Opinions on promoting high-quality development of inland water transportation[A]. Beijing: Ministry of Transport, 2025.
- [25] 中交水运规划设计院有限公司. 乌江航运扩能工程沙沱水电站枢纽第二线 1000 吨级省水船闸技术研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2020.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd. Technical research report on second 1, 000 t-level water-saving ship lock of the Shatuo hydropower station hub for Wujiang River navigation capacity expansion project [R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2020.
- [26] PIANC. Ship lift (supplement to bulletin No. 65) [M]. Brussels: Permanent International Association of Navigation Congresses, 1989.
- [27] PIANC. Innovations in navigation lock design (PIANC report No. 106) [M]. Brussels: The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 2009.
- [28] PIANC. Design of navigation locks (InCom Working Group report No. 206) [M]. Brussels: The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 2025.
- [29] 刘宁. 平陆运河工程建设关键问题研究与思考[J]. 水运工程, 2024(6): 1-11.
LIU N. Research and contemplation on key issues in construction of Pinglu Canal Project[J]. Port & waterway engineering, 2024(6): 1-11.
- [30] 张丽媛, 汤建宏. 高水头省水船闸水工结构及输水系统研究[J]. 水运工程, 2016(10): 146-151.
ZHANG L Y, TANG J H. Research on structure and water-conveyance system in high water head water-saving ship lock[J]. Port & waterway engineering, 2016(10): 146-151.
- [31] 钮新强, 钱红露, 付中敏, 等. 长江航运高质量发展对策及关键技术挑战[J]. 人民长江, 2025, 56(10): 55-62.
NIU X Q, QIAN H L, FU Z M, et al. Measures and key technical challenges for high-quality development of Changjiang River shipping[J]. Yangtze River, 2025, 56(10): 55-62.
- [32] 汤建宏, 阚得静. 高坝通航建筑物通航隧洞断面经济性分析[J]. 水运工程, 2017(7): 141-144.
TANG J H, KAN D J. Economic analysis of navigable tunnel section of high dam[J]. Port & waterway engineering, 2017(7): 141-144.

(本文编辑 王璁)