# 北江航道扩能升级工程经济和社会效益分析

申其国[1]，陈振春[1]，王亚妮[2]，申　亮[3]
（1. 广东省交通运输规划研究中心，广东 广州 510101；2. 广州奥林匹克中学，广东 广州 510645；
3. 长江勘测规划设计研究有限责任公司，湖北 武汉 430014）

**摘要：**针对北江航道扩能升级工程实施后缺乏经济和社会效益研究的问题，进行北江航道等级由 300 吨级提升至 1 000 吨级所带来的宏观经济效益、航运经济效益与社会效益的定量分析。采用“有无对比”分析方法，基于工程投资、港口吞吐量、通航船舶等基础数据进行测算。结果表明，工程投资直接拉动地区生产总值(GDP)增量 135.62 亿元，“十四五”期间间接带动的水运投资项目拉动 GDP 增量 164.43 亿元；2024 年沿线韶关港、清远港诱发吞吐量对 GDP 的贡献值为 7.06 亿元，船舶大型化效益为 2.06 亿元，转移吞吐量节约货物运费 4.82 亿元(降幅 60.2%)，减少碳排放 6.54 万 t(降幅 79%)；飞来峡枢纽二、三线船闸采用相互灌泄水布置每年省水量最大可达 2.6 亿 $m^3$。

**关键词：**北江航道；航道扩能升级；经济效益；社会效益；吞吐量；碳排放
**中图分类号：**U612.21　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2026)09-0027-07

## Analysis of economic and social benefits of Beijiang Waterway capacity expansion and upgrading project

SHEN Qiguo[1], CHEN Zhenchun[1], WANG Yani[2], SHEN Liang[3]
(1. Guangdong Provincial Transport Planning & Research Center, Guangzhou 510101, China;
2. Guangzhou Olympic Secondary School, Guangzhou 510645, China;
3. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd., Wuhan 430014, China)

**Abstract:** To address the lack of research on the economic and social benefits following the implementation of the Beijiang Waterway expansion and upgrading project, a quantitative analysis is conducted on the macroeconomic benefits, shipping economic benefits, and social benefits resulting from the upgrade of the Beijiang Waterway from 300 DWT to 1,000 DWT. The “with and without comparsion” analysis method is used to calculate on the basis of fundamental data such as project investment, port throughput, and navigable vessels. The results show that the investment in this project directly drives a gross domestic product (GDP) increment of 13.562 billion yuan. During the 14th Five-Year Plan period, the waterway investment projects indirectly driven by this project contributed a GDP increment of 16.443 billion yuan. In 2024, the induced throughput of Shaoguan Port and Qingyuan Port along the waterway contributes 706 million yuan to GDP, while the vessel upsizing benefits at the two ports reach 206 million yuan. The cargo throughput shifted to waterway transportation saves 482 million yuan in freight costs (a reduction of 60.2%) and reduces carbon emissions by 65,400 tons (a reduction of 79%). Additionally, the mutual irrigation layout adopted for the second and third ship locks of the Feilaixia Hub can achieve a maximum annual water saving of 260 million $m^3$.

**Keywords:** Beijiang Waterway; waterway capacity expansion and upgrading; economic benefit; social benefit; throughput; carbon emission

**收稿日期：**2026-01-26　　**录用日期：**2026-04-08

**作者简介：**申其国(1986—)，男，硕士，高级工程师，从事港口与航道工程的规划研究及设计咨询工作。

水运工程

北江干流起于广东省韶关市，先后流经清远、肇庆、佛山市，并在佛山三水河口的思贤滘与西江汇合，流入珠三角网河区[1]。北江水运历史悠久，是粤北地区主要水运通道，是韶关、清远市与珠三角地区水上运输的唯一通道，为沿江两岸人民的物质交流、文化传播、经济发展起到了不可替代的作用，其航运地位突出[2]。

近年来关于北江航道的研究较多，如欧阳彪等[3]对清远二线船闸水力特性等运行参数进行详细观测，并对各项指标进行分析；苏莹等[4]针对北江清远枢纽三线船闸左岸建设方案建立平面二维水流数学模型，研究引航道口门区及连接段通航水流条件及存在的问题；彭永勤等[5]通过建立物理模型，对白石窑枢纽一线船闸扩建后下引航道口门区通航水流条件进行研究；王晨晨等[6]采用数值模拟方法研究北江清远枢纽三线船闸平面布置方案；江木春等[7]研究三维激光扫描技术在北江航道沿线水上物外观测量中的应用；李文艳等[8]以广东省北江、东江航道为例研究山区航道现状跨河桥梁通航净空尺度不足的问题；高炳等[9]剖析航运服务能力在北江经济带高质量发展进程中的作用；王龙威等[10]构建三维水动力模型对北江丁坝群水动力特性进行数值模拟，研究其对通航安全的影响；罗森通等[11]基于实测日均水位数据，对北江石角站不同洪水条件下的通航保证率进行研究；申其国等[12]对北江航道扩能升级工程中航道整治的关键技术进行研究。这些研究基本围绕北江航道工程中的工程技术进行分析，未见工程实施后经济社会效益的定量研究。在扩大有效投资、促进经济社会高质量发展的新形势下，航道工程作为政府投资的交通基础设施，进行工程后的经济社会效益定量评估具有重要意义，能为类似工程项目的决策评估提供参考与借鉴。

本文采用“有无对比”分析方法，其中“无项目”指北江干流航道维持工程前仅通航 300 吨级及以下船舶的情况，“有项目”指北江航道扩能升级工程实施后航道达到通航 1 000 吨级船舶的情况，并基于北江沿线港口吞吐量、船闸通航船型等数据，通过工程投资拉动地区生产总值(gross domestic product，GDP)效益、诱发吞吐量对 GDP 贡献效益、船舶大型化效益、转移吞吐量运费节约效益、省水船闸节水效益、碳排放减少效益等方面，对北江航道扩能升级工程的经济社会效益进行定量分析。

## 1　工程概况

北江航道扩能升级工程的建设范围为北江韶关北江大桥—佛山三水河口，里程 252 km，按内河Ⅲ级航道标准、通航 1 000 吨级内河船舶进行建设，主要建设内容包括航道工程、船闸工程等，工程总投资约 80 亿元。工程于 2014 年开工，2019 年航道工程完工；2020 年 10 月孟洲坝枢纽二线船闸开始试通航，标志着北江干流韶关至三水河口 1 000 吨级航道全线贯通。1 000 吨级航道全线贯通后，船闸通过能力大幅提升，工程前船舶从韶关通往三水的平均航行时间为 15 d，工程后缩短至 2~3 d，运输时效大幅提高，降低了水运成本，促进沿线港口吞吐量的大幅增加。

2019—2024 年北江沿线的韶关港、清远港与广东全省货物吞吐量完成情况见表 1。可以看出，2024 年韶关、清远两港分别完成吞吐量 904 万、2 530 万 t，对比北江 1 000 吨级航道贯通前 2019 年的 98 万、1 462 万 t，年均增速分别为 56%、11.6%，远超同期广东省全省吞吐量的年均增速 3.5%。工程后货物吞吐量包括正常运量、转移运量和诱发运量，根据工程前两港历史吞吐量数据及社会经济正常发展情况，“无项目”情况下 2024 年韶关港正常吞吐量约为 124 万 t，清远港正常吞吐量约为 1 860 万 t；转移运量和诱发运量一般难以区分，本文根据实地调研，参考工程可行性研究阶段相关成果，“有项目”情况下 2024 年韶关港转移吞吐量为 460 万 t，清远港为 530 万 t；诱发吞吐量韶关港为 320 万 t，清远港为 140 万 t。其中韶关港

诱发运量相对较大，主要原因为北江通航条件改善后，韶关市近年来启动了多处矿产资源的开发，开采后通过水路运往珠三角地区，“无项目”情况下韶关市矿产资源开发难以启动。

**表 1　2019—2024 年韶关港、清远港及广东省货物吞吐量**

**Tab. 1　Cargo throughput at Shaoguan Port，Qingyuan Port，and Guangdong Province from 2019 to 2024**

| 年份 | 韶关港 | | 清远港 | | 广东省 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 完成量/万 t | 同比增速/% | 完成量/万 t | 同比增速/% | 完成量/万 t | 同比增速/% |
| 2019 | 97. 8 | – | 1 462 | – | 191 819 | – |
| 2020 | 299. 0 | 205. 7 | 1 864 | 27. 5 | 202 226 | 5. 4 |
| 2021 | 291. 3 | −2. 6 | 2 570 | 37. 9 | 209 600 | 3. 6 |
| 2022 | 418. 8 | 43. 8 | 2 478 | −3. 6 | 204 802 | −2. 3 |
| 2023 | 889. 0 | 112. 3 | 2 512 | 1. 4 | 221 462 | 8. 1 |
| 2024 | 904. 0 | 1. 7 | 2 530 | 0. 7 | 228 266 | 3. 1 |
| 年均增长率/% | – | 56. 0 | – | 11. 6 | – | 3. 5 |

## 2　宏观经济效益分析

### 2. 1　工程投资拉动 GDP 效益

基于投入产出理论，工程投资能够产生显著的国民经济效应，主要体现在：固定资产投资可直接拉动 GDP 增长，而 GDP 增长又会带动相关产业发展、提升居民收入水平并促进消费增长，进而形成对 GDP 的进一步推动。依据该理论，工程投资效益可用下式估算[13]：

$$k = 1/(1 - c) \tag{1}$$

式中：$k$ 为单位投资拉动 GDP 增量的投资乘数，无量纲；$c$ 为投资所在区域的边际消费倾向，无量纲。

根据 2023 年广东地区投入产出表计算，广东省边际消费倾向为 0. 410 1，进而算得单位投资拉动 GDP 增量的投资乘数为 1. 695 2。北江航道扩能升级工程总投资约 80 亿元，因此工程实施以来，工程投资直接拉动 GDP 的增量为 135. 62 亿元。

另外，北江航道通航条件的改善，进一步带动了韶关、清远两市对水运项目投资的积极性，如韶关市投资建设了乌石综合交通枢纽一期工程、白土作业区一期工程、韶关新港改造提升工程等码头项目及北江航道扩能升级上延工程等航道项目，清远市投资建设了清远港新港公共物流码头、飞来峡作业区公用码头、英德明珠码头升级改造等码头项目。“十四五”期间，韶关、清远两市水运项目投资额分别为 68 亿、29 亿元，合计拉动 GDP 增量 164. 43 亿元，即为北江航道扩能升级工程项目间接带动的水运投资项目所产生的 GDP 效益。

### 2. 2　诱发吞吐量对 GDP 贡献效益

诱发吞吐量指的是完全由于新项目投入营运以后所引起沿线港口的新增吞吐量，即没有新的投资项目就不会发生的吞吐量。根据《中国海港城市港口经济发展报告 2024》[14]，沿海港口每万 t 货物吞吐量可创造 GDP 约 194 万元，北江沿线港口吞吐量以煤炭、金属矿石等大宗散货为主，与沿海港口的集装箱、外贸货物相比附加值相对更低，结合广东内河其他港口相关案例及实地调研情况，北江沿线港口的单位吞吐量对 GDP 的贡献值为 153. 3 万元/万 t。韶关、清远两港 2024 年的诱发吞吐量分别为 320 万、140 万 t，计算得到对 GDP 的贡献值分别为 4. 91 亿、2. 15 亿元，合计 7. 06 亿元。

## 3　航运经济效益分析

### 3. 1　船舶大型化效益

本文收集了 2020—2021 年清远枢纽、白石窑枢纽的过闸船型信息，其中通过清远枢纽的实船数量 1 104 艘，通过白石窑枢纽的实船数量 484 艘。北江航道扩能升级工程主体工程完工后，清远枢纽约 85%的通航船舶吨级在 1 000 吨级

及以上，最大通航船舶吨级达 3 000 吨级以上；白石窑枢纽 1 000 吨级及以上船舶通航占比约 75%，最大通航船舶吨级达 2 000 吨级以上。2024 年清远枢纽过闸船舶总数为 3.695 9 万艘次，货物通过量为 4 269 万 t，平均载货量为 1 155 t/艘次；白石窑枢纽过闸船舶总数为 1.175 2 万艘次，货物通过量为 1 059 万 t，平均载货量为 901 t/艘次。相较于工程前航道仅能通航 300 吨级船舶，工程后船舶大型化趋势显著。

船舶大型化效益主要体现在船舶因吃水增加提高载货量而产生的经济效益，计算公式为[15]：

$$D_1 = E_m \sum_{i=1}^{n} 100 \overline{D}_i T_{i,pc} \Delta T_i \tag{2}$$

式中：$D_1$ 为船舶大型化效益，元；$E_m$ 为航运均价，元/(t·km)；$n$ 为某类船型运输艘次；$\overline{D}_i$ 为 $i$ 类船型平均运距，km；$T_{i,pc}$ 为 $i$ 类船型单位吃水质量，t/cm；$\Delta T_i$ 为 $i$ 类船型“有项目”与“无项目”时的吃水差，m。

据调研，2024 年韶关港、清远港至珠三角港口的水上运输运价在 0.03～0.05 元/(t·km)，主要货类为煤炭、金属矿石等干散货，分别占两港总吞吐量的 97%、83%，剩余为集装箱。根据实际到港船舶统计，韶关港 75%为 1 000 吨级船舶，25%为 500 吨级船舶；清远港 11%为 3 000 吨级船舶，4%为 2 000 吨级船舶，70%为 1 000 吨级船舶，15%为 500 吨级船舶；3 000 吨级船舶单位吃水质量在 5.6～12.5 t/cm，2 000 吨级船舶单位吃水质量在 4.3～9.9 t/cm，1 000 吨级船舶单位吃水质量在 3.8～7.7 t/cm，500 吨级船舶单位吃水质量在 3.4～5.6 t/cm。工程前北江干流航道维护水深为 1.3 m，工程后航道设计水深为 2.5 m，“有无项目”时的吃水差为 1.2 m。根据以上数据，其中区间数取平均值，代入式(2)算得 2024 年韶关、清远两港船舶大型化效益为 2.06 亿元，其中韶关港 0.9 亿元、清远港 1.16 亿元。

### 3.2　转移吞吐量运费节约效益

为便于比较，本文采用单一运输方式的成本进行运费估算。单一运输方式的成本主要包括装卸费和运输费两部分，其中每 t 货物的装卸费相对固定，主要变动的是单位运距的运输费。汽车运输的固定费用相对较低，单位运距的变动费用相对较高；铁路运输的固定费用相对较高，单位运距的变动费用相对较低；水路运输的固定费用与单位运距变动费用介于公路和铁路之间[16]。由于韶关、清远市铁路运输的货物很少，本文只进行公路与水路运输的比较，其中韶关港选取乌石作业区通用散货码头至广州港新沙码头为典型线路，清远港选取珠江货运码头至广州港新沙码头为典型线路。

根据经验公式[17]，公路运费计算公式为：

$$T_g = W_z(T_1 + T_2 L_g) \tag{3}$$

式中：$T_g$ 为公路运费，元；$W_z$ 为转移吞吐量，t；$T_1$ 为车辆装卸费，元/t，取 8 元/t；$T_2$ 为单位距离的公路运输费，元/(t·km)，主要包括车辆燃油费、路桥费、人员费以及其他相关杂费等，200 km 以内取 0.5 元/(t·km)，200 km 以上取 0.4 元/(t·km)；$L_g$ 为货物通过公路的运输距离，km，其中韶关港乌石作业区通用散货码头—广州港新沙码头为 220 km，清远港珠江货运码头—广州港新沙码头为 120 km。

水路运费计算公式为：

$$T_s = W_z(T_z + T_c L_s) \tag{4}$$

式中：$T_s$ 为水路运费，元；$T_z$ 为船舶装卸费，元/t，取 10 元/t；$T_c$ 为单位距离的船舶运输费，元/(t·km)，主要包括船舶燃油费、人员费、折损费及其他费用等，取 0.10 元/(t·km)；$L_s$ 为货物通过水路的运输距离，km，其中韶关港乌石作业区通用散货码头—广州港新沙码头为 295 km，清远港珠江货运码头—广州港新沙码头为 160 km。

经计算，韶关、清远两港 2024 年转移吞吐量若经公路运输，运费为 8.02 亿元，其中韶关港为 4.42 亿元，清远港为 3.60 亿元；实际水路运输费用为 3.20 亿元，其中韶关港为 1.82 亿元，清远港为 1.38 亿元。两港合计节约货物运费 4.82 亿元，节约幅度达 60.2%。

水运工程

## 4　社会效益分析

### 4.1　飞来峡枢纽省水船闸节水效益

北江航道扩能升级工程中，由于飞来峡枢纽二、三线船闸采用两线船闸共用引航道的方案，且船闸规模巨大，充、泄水时的耗水量及输水流量较大。当上游最高通航水位 24.81 m-下游最低通航水位 10.37 m 组合，两线船闸同时充、泄水时最大流量将达到近 800 $m^3/s$，此时引航道的水流条件将很难满足规范要求，输水系统的各项水力指标也较高。因此，为节省船闸耗水量从而提高发电效益，改善飞来峡二、三线船闸引航道水流条件及输水系统的工作特性，飞来峡枢纽二、三线船闸采用可相互灌泄水的省水船闸布置，即在并列的两个闸室之间，用输水廊道沟通[18]，并设置阀门加以控制。相互灌泄水船闸存在两种运行方式：1)独立运行方式，即不采用互灌互泄模型，两线船闸独立运行；2)互灌互泄省水运行方式，即一线船闸泄水时先打开连通阀门，通过连通廊道泄往另外一线，待两线船闸齐平或达到一定水位时关闭连通阀门，再单独完成灌泄水。

根据 JTS 305—2025《船闸总体设计规范》[19]，单级船闸日平均用水量按下式计算：

$$\overline{Q} = \frac{1}{2} \times \frac{nV}{86\,400} + q \tag{5}$$

式中：$\overline{Q}$ 为日平均用水量，$m^3/d$；$n$ 为单级船闸日平均双向过闸次数；$V$ 为一次过闸用水量，$m^3$，等于上下闸门之间的水面面积乘以计算水头；$q$ 为闸门、阀门的漏水损失，$m^3$，等于止水线每米上的渗漏损失乘以闸门、阀门止水线总长度的乘积。

省水船闸用水量计算公式为：

$$\overline{Q}_s = (1 - N_s)\overline{Q} \tag{6}$$

式中：$\overline{Q}_s$ 为日平均用水量，$m^3/d$；$N_s$ 为每次过闸的理论省水率，无量纲。

两线船闸若只考虑在相互灌泄水过程中的省水率，按模型拟定的连通阀门在关闭时，两线船闸水头差为 0.4~5.0 m 工况运行，船闸省水率理论可达 48.6%，省水率和省水量均随着两线船闸水位差的增大而减小，且不受联合运行次数影响；在实际运行中，采用平压关闭连通阀门，省水率最高可达 50%。

按饱和运量考虑，通过飞来峡枢纽二三线船闸相互灌泄水运行，省水船闸每天可以过闸 20 闸次，年省水量达 2.6 亿 $m^3$；每年节约的水资源，直接用于发电产生的效益约 260 万元。

### 4.2　碳排放减少效益

根据 GB/B 46531—2025《公路水路营业性运输工具碳排放核算方法》[20]，碳排放周转量法计算公式为：

$$E = \sum_{i=1}^{n} C_i F_{E,i} \tag{7}$$

式中：$E$ 为 $CO_2$ 排放量，$kgCO_2$；$F_{E,i}$ 为第 $i$ 类燃料 $CO_2$ 排放因子，$kgCO_2/kg$ 或 $kgCO_2/m^3$；$C_i$ 为第 $i$ 类燃料能源消耗量，kg 或 $m^3$，可用下式计算：

$$C_i = \varepsilon_i W_i L_i \tag{8}$$

式中：$\varepsilon_i$ 为第 $i$ 类燃料的单位周转量能耗，$kg/(t\cdot km)$；$W_i$ 为使用第 $i$ 类燃料的货运量，t；$L_i$ 为使用第 $i$ 类燃料的运距，km。

营运货车、内河货运船舶均按柴油考虑，根据 GB/B 46531—2025《公路水路营业性运输工具碳排放核算方法》，二氧化碳排放因子取值为 3.159 $kgCO_2/kg$；根据广东省统计数据，营运货车、内河货运船舶单位周转量能耗分别为 $3.18\times10^{-2}$、$0.499\times10^{-2}$kg 标准煤/(t·km)；标准煤的二氧化碳排放因子为 2.64 $kgCO_2/kg$。代入式(7)、(8)，算得韶关、清远两港 2024 年转移吞吐量，若经公路运输的 $CO_2$ 排放量约 8.28 万 t，其中韶关港为 5.09 万 t、清远港为 3.19 万 t；实际水路运输的 $CO_2$ 排放量约 1.74 万 t，其中韶关港为 1.07 万 t、清远港为 0.67 万 t。两港合计减少碳排放 6.54 万 t，减少幅度为 79%。

## 5　结语

1）北江航道扩能升级工程实现了航运效能的跨越式提升，工程后 1 000 吨级航道全线贯通，船舶航行时间从 15 d 缩短至 2~3 d，清远、白石窑枢

纽 1 000 吨级及以上船舶通航占比分别达 85%、75%，2019—2024 年韶关港、清远港吞吐量年均增速远高于广东全省水平，航道通过能力和运输时效的提升直接推动了沿线港口货运发展，尤其撬动了韶关矿产资源开发的水运需求，诱发运量增长显著。

2）工程带来了多元且可观的经济社会效益。宏观经济层面，直接和间接投资拉动 GDP 增量达 300.05 亿元，2024 年诱发吞吐量对 GDP 的贡献效益为 7.06 亿元；航运经济层面，2024 年实现船舶大型化、运费节约合计效益 6.88 亿元；社会效益层面，2024 年实现减碳 6.54 万 t，年省水最大可达 2.6 亿 $m^3$，节水发电与低碳运输的效益凸显，印证了内河航道基础设施投资对区域经济增长、产业发展和生态保护的多重驱动作用。

3）本文通过多维度定量测算，填补了北江航道扩能升级工程经济社会效益定量研究的空白。然而，航道工程的经济社会效益众多，如就业岗位新增效益，财政收入促进效益，沿线城市生态改善效益，区域产业结构优化调整效益等，难以全面、系统、科学地进行定量分析，在后续研究中有待进一步完善。

**参考文献：**


[1] 邓泽伟, 康剑, 孙冬晓, 等. 北江流域森林土壤氮空间分布特征研究[J]. 林业与环境科学, 2022, 38 (4): 65-69.
DENG Z W, KANG J, SUN D X, et al. Spatial distribution characteristics of forest soil nitrogen in Beijiang River basin [J]. Forestry and environmental science, 2022, 38 (4): 65-69.

[2] 覃益官, 林超明, 李俊娜. 北江(乌石至三水河口段)提升至Ⅲ级航道整治难点分析及整治措施探讨[J]. 人民珠江, 2010, 31(3): 16-18, 53.
QIN Y G, LIN C M, LI J N. Project of upgrading Beijiang River (from Wushi Reach to Sanshui River Mouth) to grade Ⅲ navigation channel[J]. Pearl River, 2010, 31(3): 16-18, 53.

[3] 欧阳彪, 陈亮, 欧泽全, 等. 北江清远枢纽二线船闸水力特性原型观测及实船试验 [J]. 水运工程, 2022 (6): 112-118.
OUYANG B, CHEN L, OU Z Q, et al. Prototype observation on hydraulic characteristics and full-scale ship test for Qingyuan second line lock on Beijiang River[J]. Port & waterway engineering, 2022 (6): 112-118.

[4] 苏莹, 付菁, 张春泽, 等. 北江清远枢纽三线船闸通航水流条件及优化措施[J]. 水运工程, 2022(6): 150-157, 189.
SU Y, FU J, ZHANG C Z, et al. Navigation flow conditions of third-line ship lock of Qingyuan Hub in the Beijiang River and optimization measures [J]. Port & waterway engineering, 2022(6): 150-157, 189.

[5] 彭永勤, 彭涛. 白石窑一线船闸闸室尺度变更后下引航道通航水流条件试验研究 [J]. 水运工程, 2022 (6): 106-111.
PENG Y Q, PENG T. Experimental research on navigation condition of downstream approach channel after change of lock chamber's size of Baishiyao first line shiplock [J]. Port & waterway engineering, 2022 (6): 106-111.

[6] 王晨晨, 黄承兵. 清远枢纽三线船闸平面布置方案[J]. 水运工程, 2024(1): 173-177.
WANG C C, HUANG C B. Layout plan of third-line ship lock of Qingyuan Hub[J]. Port & waterway engineering, 2024(1): 173-177.

[7] 江木春, 袁锐, 牛作鹏. 三维激光扫描技术在北江航道沿线水上物外观测量中的应用[J]. 水运工程, 2022(11): 160-164.
JIANG M C, YUAN R, NIU Z P. Application of 3D laser scanning technology in appearance measurement of aquatic objects along Beijiang channel [J]. Port & waterway engineering, 2022(11): 160-164.

[8] 李文艳, 黄力, 李歌清, 等. 山区航道跨河桥梁通航净空尺度研究[J]. 水运工程, 2021(7): 142-148.
LI W Y, HUANG L, LI G Q, et al. Research on navigable clearance dimensions of river-crossing bridge on mountainous waterway[J]. Port & waterway engineering, 2021(7): 142-148.

[9] 高炳, 罗楚江, 连廷耀. 航运服务能力对北江经济带高质量发展的影响研究[J]. 中国水运, 2025(11): 6-19.
GAO B, LUO C J, LIAN T Y. Research on the impact of shipping service capability on the high-quality development

of the Beijiang River economic belt[J]. China water transport, 2025(11): 6-19.

[10] 王龙威, 卢卓殷, 朱丹彤, 等. 北江丁坝群水动力特性数值模拟及其对通航安全的影响研究[J]. 人民珠江, 2024, 45(11): 97-107.
WANG L W, LU Z Y, ZHU D T, et al. Numerical simulation of hydrodynamic characteristics of spur dikes in Beijiang River and its influence on navigation safety[J]. Pearl River, 2024, 45(11): 97-107.

[11] 罗淼通, 申其国, 王亚妮. 北江石角站不同洪水条件下通航保证率研究[J]. 中国水运, 2022(1): 141-143.
LUO M T, SHEN Q G, WANG Y N. Study on navigation guarantee rate at Shijiao Station of Beijiang River under different flood conditions[J]. China water transport, 2022(1): 141-143.

[12] 申其国, 王亚妮. 北江航道扩能升级工程航道整治关键技术研究[J]. 中国水运, 2025(9): 115-117.
SHEN Q G, WANG Y N. Research on key technologies of waterway regulation for the Beijiang Waterway capacity expansion and upgrading project[J]. China water transport, 2025(9): 115-117.

[13] 马轶玮, 刘翰卿, 朱苏辉, 等. 长江南京以下 12.5 m 深水航道二期工程初步效益分析[J]. 水运工程, 2019(7): 9-12, 27.
MA Y W, LIU H Q, ZHU S H, et al. Benefits analysis for 12.5 m deep-water channel second-phase project in the Yangtze River below Nanjing[J]. Port & waterway engineering, 2019(7): 9-12, 27.

[14] 交通运输部规划研究院. 部规划院发布《中国海港城市港口经济发展报告 2024》[EB/OL]. (2025-07-10)[2026-03-14]. https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MzU2MDM1MjAyOA==&mid=2247491231&idx=1&sn=3c7d969a7caa8c5caf64d44c02df7fbf&chksm=fdfe65a94a7908a78809d33f32ccbaa498da65a394e10b0c48a8047359283849abb8102fcbf1&scene=27.
Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport. The Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport released the *Report on Port Economic Development in China's Seaport Cities* 2024[EB/OL]. (2025-07-10)[2026-03-14]. https://mp.weixin.qq.com/s?_biz=MzU2MDM1MjAyOA==&mid=2247491231&idx=1&sn=3c7d969a7caa8c5caf64d44c02df7fbf&chksm=fdfe65a94a7908a78809d33f32ccbaa498da65a394e10b0c48a8047359283849abb8102fcbf1&scene=27.

[15] 赵振, 董鸿瑜, 许鹏, 等. 长江干线武安段 6m 水深航道整治工程航运经济效益评估[J]. 水运工程, 2024(6): 142-147, 169.
ZHAO Z, DONG H Y, XU P, et al. Evaluation on navigation economic benefits of 6-meter-deep waterway regulation project in Wu'an section of the Yangtze River main line[J]. Port & waterway engineering, 2024(6): 142-147, 169.

[16] 顾建明. 江苏省干线航道网规划研究及评价[D]. 南京: 河海大学, 2004.
GU J M. Research and evaluate on main waterway net planning of Jiangsu Province in China[D]. Nanjing: Hohai University, 2004.

[17] 广东省交通运输规划研究中心. 水路运输优势比较研究[R]. 广州: 广东省交通运输规划研究中心, 2017.
Guangdong Provincial Transport Planning & Research Center. Comparative study on the advantages of waterway transportation[R]. Guangzhou: Guangdong Provincial Transport Planning & Research Center, 2017.

[18] 随娟娟. 相互灌泄水船闸水力学特性研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2015.
SUI J J. Study on hydraulic characteristics of mutual irrigation shiplock[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2015.

[19] 船闸总体设计规范: JTS 305—2025[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2025.
Code for overall design of navigation locks: JTS 305-2025[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2025.

[20] 公路水路营业性运输工具碳排放核算方法: GB/T 46531—2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
Carbon dioxide emission accounting methodology for commercial road and waterway transport vehicles: GB/T 46531-2025[S]. Beijing: Standards Press of China, 2025.

(本文编辑　王璁)