



# 长江武安段航道整治工程绿色施工 评价指标体系研究

蔡健哲<sup>1,2</sup>, 徐言民<sup>1,2</sup>, 金其强<sup>3</sup>, 骆艺<sup>4</sup>, 李恒<sup>3</sup>

(1. 武汉理工大学 航运学院, 湖北 武汉 430070; 2. 内河航运技术湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430063;  
3. 长江航运发展研究中心, 湖北 武汉 430014; 4. 宜昌航道工程局, 湖北 宜昌 443003)

**摘要:** 长江干线是国家综合运输体系长江运输大通道的核心, 也是建设沿江综合立体交通走廊和绿色生态廊道的重要依托。在《水运“十三五”发展规划》提出的背景下, 武汉—安庆段航道整治工程成为加快推进长江干线航道系统治理、全面缓解通航瓶颈的重要工程。基于相关现实案例和资料的搜集研究, 结合长江流域生态环境和整治工程特点, 以及航道改造工程对环境的影响。采用专家打分法获得长江绿色航道评价指标, 并根据层次分析法给出的各指标权重, 以武安段绿色航道整治工程为典型案例, 进行评价并得出结论, 旨在为航道整治工程及其他内河航道工程提供评价参考。

**关键词:** 绿色航道; 航道整治工程; 评价指标; 低碳; 生态

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)10-0098-06

## Green construction evaluation index system for waterway regulation project in Wuhan-Anqing section of the Yangtze River

CAI Jianzhe<sup>1,2</sup>, XU Yanmin<sup>1,2</sup>, JIN Qiqiang<sup>3</sup>, LUO Yi<sup>4</sup>, LI Heng<sup>3</sup>

(1. School of Navigation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;  
2. Hubei Key Laboratory of Inland Shipping Technology, Wuhan 430063, China;  
3. Changjiang Shipping Development Research Center, Wuhan 430014, China;  
4. Changjiang Yichang Waterway Engineering Bureau, Yichang 443003, China)

**Abstract:** The Yangtze River trunk line is the core of the national comprehensive transportation system of the Yangtze River transportation channel. It is also an important support for the construction of integrated three-dimensional transportation corridors and green ecological corridors along the river. Against the backdrop of the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan for the Development of Water Transportation, the Wuhan-Anqing section of the waterway remediation project has become an important project to accelerate the management of the Yangtze River main waterway system and comprehensively alleviate the bottleneck of navigation. The study is based on the collection and research of relevant real-life cases and related materials, combined with the ecological environment and characteristics of the improvement project in the Yangtze River basin, as well as the impact of the waterway improvement project on the environment. The green waterway evaluation indexes of the Yangtze River are obtained by the expert scoring method, and according to the weights of the indexes given by the hierarchical analysis method, the green waterway renovation project of the Wuhan-Anqing section is evaluated as a typical case and a conclusion is drawn, aiming to provide evaluation references for waterway renovation projects and other inland waterway projects.

**Keywords:** green waterway; waterway improvement project; evaluation indicators; low carbon; ecology

收稿日期: 2023-12-28

作者简介: 蔡健哲 (1999—), 男, 硕士研究生, 从事智能船舶研究工作。

长江作为我国第一大河, 是关键的经济通道、战略通道和生态廊道, 长江航运在促进经济发展方面发挥着主要作用<sup>[1]</sup>。因此, 提升载运能力对于实现长江综合可持续发展具有十分重要的战略意义。同时, 通过整治工程打破瓶颈制约, 提高通航保证率以满足可持续发展的需求<sup>[2]</sup>, 在“保护和修复长江生态环境摆在首要位置”的发展背景下, 努力将长江打造成绿色的黄金水道。

绿色航道的范围应该涵盖航道规划设计、施工建设以及养护管理<sup>[3]</sup>。相关学者对整治工程方面进行了研究, 包括护岸工程<sup>[4]</sup>、植被缓冲带<sup>[5]</sup>、生态固滩<sup>[6]</sup>和生态坝体<sup>[7]</sup>。在水工工程绿色评价方法上, 学者对码头<sup>[8]</sup>、大坝和防波堤<sup>[9]</sup>以及环保疏浚工艺<sup>[10]</sup>进行了研究。这一系列研究不仅有助于深化对长江整治工程的理论认识, 也为相关工程的实际实施提供了有益的指导。

韩兆兴等<sup>[11]</sup>研究长江干线航道的绿色施工评价指标体系, 为指导绿色航道建设提供参考。现存的研究为长江航道整治工程绿色航道评价指标提供了普适性的模型架构。本研究针对航道整治工程的优势和特点, 参照现行的相关规定和标准, 从节能降碳、生态保护、环境保护和社会服务 4 个维度给出长江航道建设绿色施工评估指标体系, 并以武安段航道整治工程为例进行分析。

## 1 航道整治工程对环境的影响

航道整治工程的影响从环境要素来看可分为大气、水、生态和航行环境, 通过优化这些不利影响, 以期达到控制排放、资源优化、物种保护和航行条件改善的目标, 见图 1。

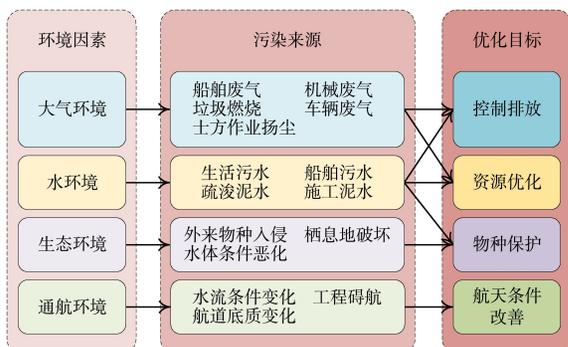


图 1 施工对环境的影响

### 1.1 大气环境

在工程实施中, 可能产生大气污染的主要来源包括车辆运输、土方作业、材料堆放、建筑垃圾搬运、水上材料运输、船舶排放、机械设备使用废气以及废弃物焚烧。治理工程一方面通过改善航道条件, 促进工程河段船舶大型化趋势<sup>[12]</sup>, 使船舶营运燃油消耗率和单位周转典型大气污染排放不断降低<sup>[13]</sup>; 另一方面, 工程区域修复和新覆盖的植被将增加工程区域的碳汇, 工程河段吸收 CO<sub>2</sub> 能力得到提升。

### 1.2 水环境

工程施工和运营期涉及的水环境污染包括多个来源<sup>[14]</sup>。主要污染源包括船舶的油污水、生活污水, 以及疏浚和运输过程中产生的泥沙悬浮物。在工程实施阶段应用生态友好技术, 尽可能减少工程对环境的不良影响, 通过治理提升水体自净能力和固沙能力。

### 1.3 生态环境

工程涉及河道或水域的改建和整治, 可能导致水生生物的栖息地被破坏。体现在水流的变化可能对一些水生生物的栖息地选择和食物获取造成影响。在种群繁殖方面, 工程可能在一定程度上阻碍了水生生物的迁徙通道, 尤其涉及到鱼类和其他水生动物的洄游。

### 1.4 通航环境

航道整治工程进行时, 将对通航环境产生一些不良影响。施工期间清淤、挖掘等活动可能导致水深变化, 增加航行风险。工程船舶以及水中的附属设施也会引起交通不便。

## 2 航道整治工程绿色施工评价指标体系构建

### 2.1 计分方法

研究通过设置定量和定性指标进行评价, 其中定量指标评分方法是根据指标所能达到的最高分数段为基础, 超过的部分进行加权得到百分制分数; 针对定性指标, 研究通过设置相关考察条件, 发放问卷通过专家打分, 最后综合评价按照专家意见分级加权计算出百分制分数。

### 2.2 指标选取

针对长江绿色航道项目的优势和特点，评价指标的选择基于绿色低碳航道的特征，旨在为项目的环保和可持续发展提供科学依据。

对标长江干线航道绿色施工目标，根据施工可能的环境影响，选取7个主要方面共12个评价指标，见图2。

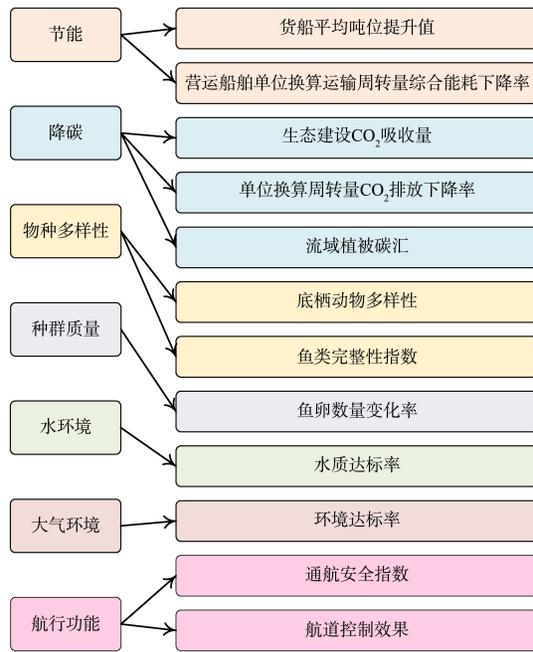


图2 评价指标划分

1) 节能：包含货船平均吨位提升值以及营运船舶单位换算运输周转量综合能耗下降率2个指标<sup>[15]</sup>。平均吨位为净载质量与船舶数量的比值，是分析船舶大型化的一个重要指标<sup>[16]</sup>；运输周转量综合能耗由营运燃油消耗率换算而来，用于考核航运能源利用的经济效益。

2) 降碳：CO<sub>2</sub>吸收量通过碳汇进行衡量，用于评价工程区域固碳的能力；单位换算周转量CO<sub>2</sub>排放由营运燃油消耗率换算而来，根据船舶运输绿色评价准则，应小于3.11×10<sup>-6</sup> t标准煤/(t·km)；植被覆盖面积使用净初生产力(net primary productivity, NPP)指数衡量，由绿色植被在单位时间、单位面积内经光合作用所产生的有机物质总量影响，是调节生态过程的重要指标<sup>[17]</sup>。

3) 物种多样性：底栖物种多样性通过在不同位置采样，并统计物种类数，反映不同自然地理条件与群落的相互关系；选择Shannon-Wiener指数研究鱼类完整性，该指数基于物种数量，反映群落种类多样性。

4) 种群质量：由鱼卵变化率作为衡量依据，通过设置河流断面进行采样，计算鱼卵平均密度变化率，反映工程对鱼类繁衍的影响。

5) 水环境：由水质达标率作为判断依据，根据长江武安段航道整治水生生态监测中期验收报告，以Ⅲ级水质相关标准作为判断依据。

6) 大气环境：作为定性指标，通过专家打分判断工程是否满足大气污染物浓度、废水排放、固体垃圾和噪声的相关规定。

7) 航行功能：由通航安全系数河航道控制效果作为评价标准。通航安全指数通过工程水域年度水上交通事故发生数量进行衡量；航道控制效果作为定性指标，采用专家打分制，多方面分析整治工程，最终得到相应的分数。

具体评分指标见表1。

表1 武安段绿色航道评价指标细则

准则层	目标	施工要求	指标层	评价方法
节能	货船平均吨位提升，营运船舶单位换算运输周转量综合能耗降低	提升河道承载上限，促进船舶大型化	1) 货船平均吨位提升值； 2) 营运船舶单位换算运输周转量综合能耗下降率	1) 对比施工前后船舶数量与总吨的变化； 2) 对比施工前后单位换算运输周转量综合能耗变化大小
降碳	CO <sub>2</sub> 吸收量增加，CO <sub>2</sub> 排放下降明显，武安段植被覆盖面积增加	增加植被种植面积	1) 生态建设CO <sub>2</sub> 吸收量； 2) 单位换算周转量CO <sub>2</sub> 排放下降率 3) 流域植被碳汇	1) 新增植被种树数量； 2) 单位周转能耗下降量； 3) 流域碳汇增加量
物种多样性	底栖物种种类无较大变化或增加，鱼类完整性指数提升	工程期间对油污废水和垃圾进行严格管制；大型工程与鱼类洄游期错开	1) 底栖动物多样性； 2) 鱼类完整性指数	1) 捕捞底栖生物并统计数量，分析工程前后数量变化； 2) 采集鱼类样本，使用Shannon-Weiner多样性指数进行分析

续表1

准则层	目标	施工要求	指标层	评价方法
种群质量	种群质量提升, 或种群数量有回升趋势	工程规划尽可能避开鱼类栖息地	鱼卵数量变化率	工程段设置断面取样, 计算鱼卵平均变化率
水环境	水质达标率增加	护岸工程所用材料应当绿色环保无污染	水质达标率	根据水质质量Ⅲ类标准中的 6 类指标进行达标率计算
大气环境	大气污染物排放减少, 交通事故造成的污染减少	严格控制大气污染物, 保障水域交通安全	1) 环境达标率; 2) 通航安全指数	1) 根据专家评分; 2) 施工水域年度交通事故发生数量
航行功能	保证航道正常发挥航运功能, 航道输沙能力无衰退	确保施工过程中的固滩、稳槽、导流等项目进行精准施工	航道控制效果	从多个方面邀请专家进行定性分析

### 3 评价案例

#### 3.1 工程概况

武安段航道整治工程起点为湖北武汉天兴洲长江大桥, 终点在安庆皖河口<sup>[18]</sup>, 工程全长 386.5 km, 占长江干线总长度的 1/7。项目从 2009 年开始实施, 在 2016 年后集中开展建设, 工程数量按时间分布见图 3。自 2019 年起, 随着“共抓大保护、不搞大开发”根本遵循的提出, 内河水运绿色发展理念不断得到重视, 本研究聚焦于 2019—2022 年进行研究和讨论。

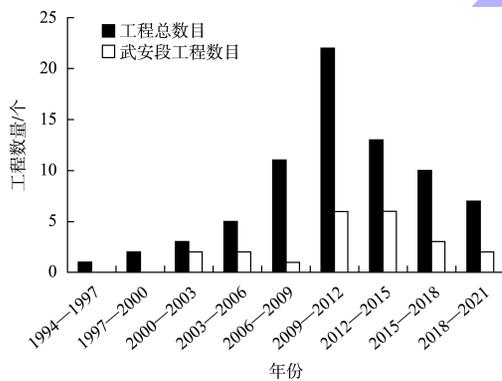


图 3 武安段工程规模分布

#### 3.2 工程特点

1) 运能大: 长江流域上游自然资源丰富, 具备一定的工业基础, 下游经济贸易发达但缺少资源, 上游地区通过长江向下游地区输送产品, 作为经济发展的支撑<sup>[19]</sup>。长江水运货运量占沿江全社会货运量的 20%, 货物周转量占沿江全社会货物周转量的 60%。

2) 成本低: 水运拥有的运载能力远优于陆上运输和空中运输, 运输船舶携带货物种类多、数量大, 将成本有效分散至各单位货运量, 从而实

现运输成本的降低。水运能源消耗较低, 船只在运行中的燃料利用效率较高, 进一步减轻了运输的能源成本<sup>[20]</sup>。

3) 能耗少: 相较于其他运输方式而言, 水运在降低能耗方面具有独特优势, 长江航运每千吨千米运输周转量能耗比是铁路的 50% 和公路的 7.14%, 素有环保航运之称<sup>[21]</sup>。在燃料使用方面, 内河中的清洁能源船舶数量不断增加, 船舶岸电技术也会进一步降低在非运营时期的化石能源消耗<sup>[22]</sup>。

4) 污染轻: 水路运输污染物单位排放量是铁路的 8.33% 和公路的 6.67%。近年来随着航道等级不断提升, 船舶大型化趋势上升, 在主机设备生产质量提升等因素的促进下, 水路运输污染排放在不断减少。

5) 景观好: 作为世界上第三大流域, 长江流域水系发达, 滋养了众多的生态区域<sup>[23]</sup>。长江流域范围内的众多保护区构成了长江流域独特的生态景观。长江流域以雄奇的山水地貌、展现了其优美的生态面貌和卓越的文化底蕴。

#### 3.3 评价过程

以武安段为研究对象, 通过构建绿色航道评价体系, 针对部分指标给出评分过程。考虑早期数据难以寻找且不具备代表性, 因此将生态航道建设工程评价时间定为 2019—2022 年。

本案例中的定量指标数据来源为 2019—2022 年《中国统计年鉴》、中国统计局官网数据 (<https://www.stats.gov.cn/sj/>)、工程水生生态监测报告以及相关标准文件。针对环境达标率和航道控制效

果这两项定性指标,采取专家评价方式,通过选取海事主管单位、航道管理部门、专家教授以及船长代表共28人。由代表参考相关标准和行业经验,对研究选择的定性指标完成级别评分,回收对问卷结果进行信度和效度检验,验证模型拟合有效性。最后对结果进行一致性检验,结果表明评分对于工程评价有较好的实证效度。

评分表各级权重采用专家打分法,根据专家的知识经验,结合武安段整治工程的生态和工程特点对研究标准给出定量评价,对确定的指标依据重要程度高低赋予权重<sup>[24]</sup>。通过一致性检验,验证重要性排序后,得出指标层和准则层所有指标的权重系数。

依据现存数据和相关调查报告得到评分见表2。

表2 武安段绿色航道评分

目标层	权重	指标层	权重	得分	准则层	权重	得分	
节能降碳	0.4	节能	0.4	92.7	货船平均吨位提升值	0.5	95.4	
					营运船舶单位换算运输周转量综合能耗下降率	0.5	88.0	
		降碳	0.6	95.1	生态建设 CO <sub>2</sub> 吸收量	0.4	86.0	
					单位换算周转量 CO <sub>2</sub> 排放下降率	0.5	100.0	
生态效益	0.3	物种多样性	0.6	64.2	植被覆盖面积增加量	0.2	100.0	
					底栖动物多样性	0.5	62.8	
		种群质量	0.4	100.0	鱼类完整性指数	0.5	65.5	
环境效益	0.1	水环境	0.5	100.0	鱼卵数量变化率	1.0	100.0	
		大气环境	0.5	100.0	水质达标率	1.0	100.0	
社会服务	0.2	航行功能	1.0	99.0	环境达标率	1.0	100.0	
					通航安全指数	0.5	100.0	
						航道控制效果	0.5	98.0
总分							90.8	

### 3.4 结果分析

经过计算,对武安段航道建设工程评价结果为90.8分,效果良好,可以作为绿色航道建设的典型航段示范应用。

在评价指标中,节能和降碳方面的得分均超过90分,表明武安段工程在此方面取得了良好的效果。通过对工程水域进行物种种类及数量的调查研究,发现工程结束后,动物种类和数量正在上升,河床环境改变对底栖生物的影响正在逐步恢复。上述观点与专家调研结果基本一致,证明了该评价体系的准确性和有效性。

## 4 结论

1) 长江河道流量大、流速高,航道组成因子众多。三峡蓄水后,长江中游来沙减少,河道整体呈冲刷态势,但组成航道的各因子变迁也更为频繁。因此需要密切关注工程区域的环境变化。

2) 长江武安段设计生态保护区众多,生态结构复杂,在工程中应做到严守生态保护红线,推

动生态环境保护与航道治理协同发展,加强生态环境保护,积极推广新型生态施工工艺,提升航道建设的生态化水平。

3) 在探讨绿色航道评价指标时,某些指标的准确数据无法获取,因此使用相当的物理量或者指数进行替代。评价标准在制定过程中,依据相关规定和文件进行等级划分。部分评价指标属于定性指标,需要专家进行评分。

4) 评价指标多以变化率作为评价划分依据,为确保采样的一致性,数据采集时应综合考虑多个变量的变化时间。

### 参考文献:

- [1] 叶红玲. 加快江海直达运输提升长江航运经济效益[J]. 中国水运(上半月), 2017, 38(5): 13-14.
- [2] 陆大道. 长江大保护与长江经济带的可持续发展: 关于落实习总书记重要指示, 实现长江经济带可持续发展的认识与建议[J]. 地理学报, 2018, 73(10): 1829-1836.
- [3] 中设设计集团股份有限公司. 绿色交通设施评估技术

- 要求(第 3 部分:绿色航道):JT/T 1199.3—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [4] 方志杰.长江中下游生态护岸工程发展趋势浅析[J].工程建设和设计,2023,(21):113-115.
- [5] 胡海波,邓文斌,王霞.长江流域河岸植被缓冲带生态功能及构建技术研究进展[J].浙江农林大学学报,2022,39(1):214-222.
- [6] 周成成,李明.兼顾生态固滩与疏浚弃土生态化利用的生态航道建设技术[J].水运工程,2020(8):141-145.
- [7] 雷国平.长江生态航道建设关键技术需求研究[J].中国水运.航道科技,2016(3):14-19.
- [8] 陈立鹏.码头工程绿色施工评价及应用研究[D].广州:华南理工大学,2018.
- [9] 李志亮,杨万和,邓宇宇,等.防波堤爆破挤淤施工技术及其绿色施工评价体系研究[R].长沙:中国水利水电第八工程局有限公司,2016.
- [10] 雷晓玲,丁娟,雷雨.疏浚过程中的环境影响分析及其对策研究[J].环境工程,2015,33(2):140-142,57.
- [11] 韩兆兴,唐明,徐洪磊,等.长江干线航道绿色施工评价指标体系研究[J].水运工程,2022(2):106-111.
- [12] 长江航道工程局有限责任公司.长江干线武安段航道整治工程投入试运行[J].中国水运.航道科技,2021(2):81.
- [13] 王雪婷.长江航运与长江经济带的适应性研究[D].武汉:武汉理工大学,2016.
- [14] 李文杰,杨宁,杜洪波,等.长江上游船舶大型化对典型污染排放的影响[J].水运工程,2022(2):100-105.
- [15] 杨阳,唐晓岚.长江流域国家级自然保护地空间分布特征及其影响因素[J].长江流域资源与环境,2022,31(11):2430-2448.
- [16] 高嵩,焦芳芳.影响内河船舶大型化发展达到最佳状态的要素[J].水运管理,2019,41(4):6-8.
- [17] 任俊娴.对长江航运绿色发展的回顾总结与展望[J].中国水运(上半月),2021(5):9-13.
- [18] 严新平.内河新一代航运系统构建的思考[J].中国水运(上半月),2021,(5):6-8.
- [19] 吴珊珊,姚治君,姜丽光,等.基于 MODIS 的长江源植被 NPP 时空变化特征及其水文效应[J].自然资源学报,2016,31(1):39-51.
- [20] 卢升荣.长江经济带交通运输业全要素碳排放效率研究[D].武汉:武汉理工大学,2018.
- [21] LI L, LIU F, LI C. Customer satisfaction evaluation method for customized product development using Entropy weight and Analytic Hierarchy Process [J]. Computers Industrial Engineering, 2014, 77: 80-87.
- [22] 吴澎.中国内河航运发展的机遇与挑战[J].水运工程,2010(2):11-15.
- [23] 钟炜.低碳概念在内河航运业的应用[C]//中国航海学会.中国航海学会内河船舶驾驶专业委员会桥区船舶航行安全与管理论文集.武汉:《交通信息与安全》杂志社,2010:100-101.
- [24] 陈铁.我国航运业低碳发展水平评价研究[D].宁波:宁波大学,2017.

(本文编辑 赵娟)

(上接第 62 页)

- [3] 关筱语,闫乃凌.威海某重力式码头沉降位移过大原因分析及解决方案[J].中国港湾建设,2022,42(5):12-16.
- [4] 唐巾评,张建球,潘新恩.广西沿海重力式码头病害分析[J].水运工程,2020(7):94-100.
- [5] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第三航务工程勘察设计院有限公司,中交第四航务工程局有限公司.码头结构设计规范:JTS 167—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [6] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.海港工程设计手册(中册)[M].2版.北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [7] PIANC. Guidelines for the design of fenders systems[S]. Brussels: PIANC, 2002.
- [8] THORESEN C A. Port designer's handbook [M]. 4th ed. London: ICE Publishing, 2018.
- [9] 鲍新昕.码头护轮坎质量通病防治措施[J].中国新技术新产品,2014(9):31.
- [10] 张小波,董温峰,张泽新.装配式护轮坎技术在钦州港大榄坪项目中的研究与应用[J].中国港湾建设,2023,43(9):49-52.

(本文编辑 王璁)