



绿色低碳船闸评价指标体系研究

李雪野¹, 姜兴良¹, 钟珊珊², 侯代兵¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 长沙理工大学, 湖南 长沙 410114)

摘要: 针对绿色低碳船闸评价指标体系存在系统性与完善性不足的问题, 结合船闸工程的特定属性, 以资源节约集约利用、能源结构优化、能效提升、环境与生态保护、智慧运营管理以及创新发展为构建目标, 通过运用层次分析法、目标分解法、趋势分析法和 PDCA 循环法等研究方法, 系统性地提出船闸工程全生命周期内的绿色低碳关键要素, 并构建相应的评价指标体系。同时, 还提出指标权重赋值方法、评分方法和评价方法。该指标体系包括总体性指标、资源利用与节约、能源结构与能效、环境与生态保护、运营管理、创新发展等 6 个一级指标和 30 个二级指标。其中, “创新发展” 作为加分项指标, 其余为常规项指标。该指标体系采用定量与定性相结合的方式, 既体现了船闸工程的特定属性, 又具备系统性、科学性、可操作性、前瞻性和开放性, 可为国内外重大水运工程的绿色低碳建设提供指导和借鉴。

关键词: 船闸工程; 绿色低碳; 全生命周期; 评价指标体系

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)11-0175-08

Evaluation index system of green and low-carbon ship locks

LI Xueye¹, JIANG Xingliang¹, ZHONG Shanshan², HOU Daibing¹

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

2. Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In response to the problem that the evaluation index system for green and low-carbon ship locks is neither systematic nor comprehensive, considering the characteristics of ship lock projects, this study aims to achieve resource conservation and intensive utilization, energy structure optimization, energy efficiency improvement, environmental and ecological protection, intelligent operation management, and innovative development. By employing methods such as hierarchical analysis, goal decomposition, trend analysis, and the PDCA cycle, the study systematically proposes key elements of green and low-carbon throughout the life cycle of ship lock projects, constructs an evaluation index system for green and low-carbon ship locks, and suggests methods for assigning weights to indicators, scoring, and evaluation. The index system covers 6 primary indicators including overall indicators, resource utilization and conservation, energy structure and efficiency, environmental and ecological protection, operation management, and innovative development, along with 30 secondary indicators. Among these, “innovative development” serves as a bonus indicator, while the others are regular indicators. The index system combines quantitative and qualitative approaches, possesses characteristic attributes of ship lock projects, and is systematic, scientific, operational, forward-looking, and open. It can provide guidance and reference for the green and low-carbon construction of major water transport projects both domestically and internationally.

Keywords: ship lock project; green and low-carbon; full life cycle; evaluation index system

随着全球对气候变化和环境保护的关注度不断提高, 我国已经进入加快部署经济社会发展全

面绿色转型的新阶段。内河水运因其能耗低、成本省、环境友好等绿色属性, 成为我国绿色集疏

收稿日期: 2025-02-25

作者简介: 李雪野(1985—), 女, 高级工程师, 从事水运工程绿色低碳研究工作。

运体系中的重要组成部分。船闸工程作为内河航运的核心基础设施,从设计源头植入绿色低碳理念,建立一套科学合理的船闸工程绿色低碳设计评价指标体系,对于引导船闸工程全生命周期绿色、低碳、可持续发展具有重要意义。

近年来,国内外学者对基础设施绿色低碳评价理念进行了广泛研究。国际航运协会(PLANC)提出了内河水路运输性能指标^[1]和可持续航道评价指标^[2],对船闸基础设施的评价偏重于运行效率和运输船舶能耗等内容。可持续基础设施框架体系 *Envision Sustainable Infrastructure Framework*^[3]对包括港口和航道在内的基础设施提出了整体评价框架体系。JT/T 1199.3—2018《绿色交通设施评估技术要求 第3部分:绿色航道》^[4]对绿色船闸的评价较为全面,对“低碳”的约束指标较少。此外,王晓青等^[5]总结了近年来在船闸工程管理、施工、运行等过程中的节能减排措施。王小峰^[6]识别与分析了船闸工程的绿色低碳因子。肖美贞等^[7]梳理分析了江苏省内河航道运营管理阶段的节能减排技术。徐红等^[8]建立了船闸建设期的碳排放计算模型。汪振华等^[9]定义了零碳船闸,对船闸运营全生命周期的碳排放活动进行识别。郝岭等^[10]构建了适用于船闸工程低碳设计方案的评价方法。

总体而言,目前针对船闸工程的评价主要集中在工程质量、通航能力、经济效益等方面,对

于船闸工程绿色低碳设计的评价指标体系研究相对较少,指标较为单一,缺乏系统性和全面性。本文通过研究,系统提出船闸工程全生命周期绿色低碳关键要素和评价指标体系,以期为国内外重大水运工程的绿色低碳建设提供指导和借鉴。

1 绿色低碳船闸评价指标体系创建方法

绿色低碳船闸评价指标体系的构建主要采用文献调研法、调查分析法、层次分析法、目标分解法、趋势分析法和“计划-执行-检查-处理”循环法(plan-do-check-action cycle, PDCA)。在研究收集国内外基础设施绿色低碳相关标准规范和学术研究^[11-15]以及工程实际调研的基础上,对船闸工程绿色低碳发展现状和趋势进行深入剖析,提出绿色低碳船闸评价指标体系框架。为了确保指标的代表性、系统性、可操作性和前瞻性,对16家船闸工程设计、运营和施工单位以及14位行业专家进行问询,采用层次分析法对指标和权重分别进行打分,最终确定评价指标体系。采用逐级逐层分解目标方式,直至每个指标都能定量计算或定性判定,结合专家打分,确定计分方法。

2 绿色低碳船闸评价指标体系构建

针对船闸工程的绿色低碳特性,选取设计阶段体现船闸绿色低碳水平的指标体系,见表1。

表 1 船闸工程绿色低碳设计评价指标体系
Tab. 1 Green and low-carbon design evaluation index system for ship lock projects

一级指标	序号	二级指标	性质	权重/分值
总体性指标	1	单位耗水量通过能力	定量	7%/17
	2	工程建设碳排放强度	定量	7%/17
	3	设计单位通过能力碳排放强度	定量	26%/26
	4	生态系统价值损失强度	定量	6%/6
资源利用与节约	5	节水型船闸	定性	3%/3
	6	船闸工程单位用地面积	定量	4%/4
	7	闸管区节水措施	定性	3%/3
	8	土石方综合利用率	定量	23%/23
	9	结构型式合理性	定性	3%/3
	10	高耐久性材料使用率	定量	3%/3
	11	预制构件使用率	定量	2%/2
	12	运转件新材料使用率	定量	2%/2

续表1

一级指标	序号	二级指标	性质	权重/分值	
能源结构与能效	13	清洁能源使用率	定量	17%/17	4%/4
	14	新能源助航灯具使用率	定量		3%/3
	15	节能启闭机	定性		3%/3
	16	电气节能设计	定性		3%/3
	17	闸管区建筑节能设计	定性		4%/4
环境与生态保护	18	生态护岸占比	定量	19%/19	3%/3
	19	上下游生态连通设施	定性		3%/3
	20	可绿化面积的绿化覆盖率	定量		2%/2
	21	弃土弃渣区选址合理性	定性		2%/2
	22	污染防治	定性		3%/3
	23	水土流失总治理度	定性		2%/2
	24	生态补偿措施	定性		2%/2
	25	临时用地复垦率	定量		2%/2
运营管理	26	信息化水平	定性	15%/15	6%/6
	27	碳排放管理	定性		5%/5
	28	环境监测	定性		4%/4
创新发展	29	技术创新	定性	20%/20	10%/10
	30	方法创新	定性		10%/10
		合计		120%/120	120%/120

2.1 总体性指标

总体性指标指绿色低碳属性显著、多维度定量评价绿色低碳水平的关键性指标。

1) 单位耗水量通过能力。该指标用于评价船闸工作效率与水资源消耗水平, 定义为船闸年通过能力与年耗水量的比值。年通过能力和耗水量可依据行业标准计算, 其中耗水量按照船闸的属性分普通船闸和省水船闸。通过对 12 座正在进行绿色低碳设计建造和已建船闸进行测算, 采用统计分析法确定指标初始值, 同时适当考虑前瞻性, 根据趋势分析法对指标进行修正, 最终确定指标标准值, 见表 2。

表 2 单位耗水量通过能力标准值

Tab. 2 Standard value of unit water consumption throughput capacity

水头/m	<10	10~<20	20~<30	≥30
标准值/(t·m ⁻³)	0.17	0.13	0.12	0.02

2) 工程建设碳排放强度。该指标用于评价船闸建设期能耗和碳排放水平, 定义为工程建设碳排放总量与闸室底板面积、侧墙面积之和的比值,

其中工程建设碳排放依据 Q/CCCG SY105—2022《水运工程建设期碳排放测算标准(试行)》^[16]测算, 包括材料及其运输碳排放、施工机械和人工碳排放, 以及间接电力碳排放。通过对 10 座正在进行绿色低碳设计建造和已建船闸进行测算, 采用统计分析法确定指标初始值, 采用预测分析法进行前瞻性修正, 最终确定标准值下限取 9 t/m²、上限取 100 t/m²。

3) 设计单位通过能力碳排放强度。该指标用于评价船闸运营期能耗和碳排放水平, 定义为运行期碳排放总量与年通过能力的比值, 其中运行期碳排放总量可根据能源消耗量和对应碳排放因子进行测算, 碳排放因子可参照相关标准选取。通过对 14 座正在进行绿色低碳设计建造和已建船闸进行测算, 采用统计分析法确定初始值, 采用预测分析法进行前瞻性修正, 最终确定标准值下限取 3 t CO₂/万 t、上限取 20 t CO₂/万 t。

4) 生态系统价值损失强度。评价船闸建设和运营对生态环境影响的指标, 定义为生态系统价值损失与船闸征地面积的比值, 其中生态系统价

值损失可采用当量因子法^[17]计算, 计算公式如下:

$$V = \sum V_i A_i C_i \tag{1}$$

式中: V 为生态价值损失(或补偿), 元; V_i 为第 i 种土地类型的当量因子, 取值见表 3; A_i 为第 i 种土地类型被船闸工程永久占用的面积, hm^2 ; C_i 为第 t 年 1 个标准生态系统生态服务价值当量因子值, 元/ hm^2 。通过对 8 座正在进行绿色低碳设计建造和已建船闸进行测算, 采用统计分析法确定初始值, 采用预测分析法进行前瞻性修正, 最终确定标准值的下限设定为 13 元/ hm^2 , 上限设定为 100 元/ hm^2 。

表 3 船闸工程土地类型当量因子

Tab. 3 Equivalent factors of land type for ship lock projects

生态系统分类	V_i/hm^2
林地	21. 19
草地	12. 06
耕地	3. 95
园地	15. 22
水域	125. 61
建设用地	0. 20
荒地(裸地)	0. 20

2.2 资源利用与节约指标

1) 节水型船闸。该指标用于评价水资源相对匮乏地区是否采用省水船闸以提高水资源利用效率。

2) 船闸工程单位用地面积。该指标用于评价船闸建设节约利用土地资源水平, 定义为船闸工程用地面积与船闸有效长度的比值, 其中船闸面积包括船闸、引航道、闸管区的面积。通过大量数据调研和趋势分析确定^[18-19], 单线船闸和双线船闸单位用地面积标准值见表 4。

表 4 船闸单位用地面积标准值

Tab. 4 Standard values for land area per unit for ship locks

类别	分级	口门宽度/m	用地面积标准值/($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)
单线 船闸	二级	23	330
	三级	23	310
	四级	23	260
	五级	16	230
	六级	12	100

续表4

类别	分级	口门宽度/m	用地面积标准值/($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)
双线 船闸	一级	34	420
	二级	34	380
		23	350
	三级	28	360
		23	330
	四级	23	300
		18	270
	五级	18	250
		12	220
	六级	12	200

3) 闸管区节水措施。该指标用于评价船闸管理区水资源节约情况的定性指标, 包括采用节水型器具、绿化灌溉采用高效节水灌溉方式等。

4) 土石方综合利用率。该指标用于评价大宗固废资源综合循环利用, 定义为综合利用的土石方量与总土石方量比值的百分比。经过文献调研^[20]和工程实地调研, 同时考虑前瞻性, 结合专家意见, 标准值取 30%。

5) 结构形式合理性。该指标为评价水工建筑物、闸阀门结构优化设计的定性指标, 旨在通过更加合理的设计减少材料用量, 优化结构受力和耐久性。

6) 高耐久性材料使用率。该指标用于评价高性能、高强度材料应用水平, 定义为高耐久性材料使用量在材料总消耗量中的占比。根据专家问询和行业调研, 标准值取 80%。

7) 预制构件使用率。预制构件可提高施工效率, 减少施工碳排放, 该指标旨在鼓励通过技术创新提高预制构件的使用率, 定义为预制构件混凝土体积在结构总体积中的占比。根据专家问询和行业调研, 标准值取 20%。

8) 转运件新材料的使用率。该指标用于评价运转件采用更抗磨损和耐腐蚀新材料的情况, 定义为使用新材料的运转件占总转运件的比例。经过文献调研和工程实地调研, 同时考虑前瞻性, 结合专家意见, 标准值取 30%。

2.3 能源结构与能效指标

1) 清洁能源使用率。该指标用于评价船闸运

营采用可再生能源和其他清洁能源的水平, 定义为清洁能源使用量在用能总量中的占比。经过项目实际调研、行业和专家问询以及文献调研, 标准值取 30%。

2) 新能源助航灯具使用率。该指标用于评价导助航标志采用新能源的水平, 定义为新能源灯具导助航标志在导助航标志总数中的占比。根据查阅文献和工程实地调研, 同时考虑前瞻性, 结合专家意见, 标准值取 90%。

3) 节能启闭机。该指标为评价启闭机能耗水平和运转质量及运转效率的定性指标, 包括采用变速调频技术及变频滤波技术、采用液压设备等技术措施和要求。

4) 电气节能设计。该指标为评价船闸工程电气化水平和减少能源消耗水平的定性指标, 包括采用电容补偿技术降低无功损耗(功率因数不低于 0.9)、配备节电器、采用电力监控系统等技术措施和要求。

5) 闸管区建筑节能设计。该指标为评价辅助房屋建筑绿色节能水平的定性指标, 包括被动节能技术、屋面和外墙的传热系数以及太阳得热系数优于国标^[21]要求的热工性能要求、采用可调节外部遮阳设施等技术措施和要求。

2.4 环境与生态保护指标

1) 生态护岸占比。该指标用于评价船闸护岸生态化建设水平, 包括护岸、护坡、护滩、护底等, 定义为生态护岸长度在护岸总长度中的占比。根据文献调研和工程实地调研, 同时考虑前瞻性, 结合专家意见, 标准值取 50%。

2) 上下游生态连通设施。该指标用于评价是否设置生态通道的定性指标, 旨在满足生物通行需求, 包括设置鱼道、鱼闸、升鱼机、集鱼船和生态通道桥等满足水生和陆生动物通行需求的设施。

3) 可绿化面积的绿化覆盖率。该指标用于评价船闸管理区陆域可绿化面积的实际绿化水平, 定义为闸区绿化面积在可绿化面积中的占比。根

据文献调研和工程实地调研, 同时考虑前瞻性, 结合专家意见, 标准值取 85%。

4) 弃土弃渣区选址合理性。该指标为评价船闸工程弃土弃渣区选址是否符合生态要求的定性指标, 包括选址避开环境敏感区、选址在经济合理的范围内等技术要求。

5) 污染防治。该指标为评价船闸运行期固废、水土、噪声污染控制水平的定性指标, 包括污废水及固废的收集和处理、种植隔声绿化林带、船闸管理区范围内的漂浮物收集和处置等技术措施和要求。

6) 水土流失总治理度。该指标为评价水土流失防治水平的定性指标, 要求结合工程建设内容及工程施工工艺等, 因地制宜, 布设水土流失防治措施, 减少水土流失。

7) 生态补偿措施。该指标为评价对工程建设造成的渔业资源损失、微生物、浮游植物等的破坏进行生态补偿的定性指标。

8) 临时用地复垦率。该指标为评价船闸工程修建临时占用土地的复垦水平指标, 即土地复垦面积在临时占用土地总面积中的比例, 标准值取 100%。

2.5 运营管理

1) 信息化水平。该指标为评价船闸运行期信息化水平的定性指标, 旨在提高船闸运行效率, 包括建立水情自动测报系统、船闸运行控制系统、公众信息服务系统等技术措施和要求。

2) 碳排放管理。该指标为评价工程运营期对主要耗能设备和系统进行能耗计量和碳排放监测、统计、核算和管理水平的定性指标, 鼓励建设智慧能源管控系统。

3) 环境监测。该指标为评价工程运营期对空气质量和水环境质量监测、统计、核算和管理水平的定性指标, 鼓励建立监测平台, 利用智慧手段进行监测和预警。

2.6 创新发展

该指标为加分项, 旨在鼓励科技创新, 包括

技术创新指标和方法创新指标。其中技术创新指标鼓励自主研发新技术,或将其他领域的新技术创新性地应用于船闸工程,提高工程质量和绿色低碳水平,包括单项绿色低碳船闸新技术、新材料、新工艺、新装备,也包括集成创新,统筹节能、降耗、减排、治污的集成化、系统化绿色低碳解决方案。方法创新指标用于评价船闸设计中使用的新方法,包括国内常规船闸设计尚未采用的设计工具、设计方法、设计过程等。

3 绿色低碳船闸评价指标打分办法

3.1 评价指标权重和分值确定

通过发放调研问卷进行广泛的行业调研和专家问询,采用层次分析法对调研的样本数据进行处理,得到一级指标和二级指标的权重,见表1。其中总体性指标、资源利用与节约、能源结构与能效、环境与生态保护和运营管理为常规计分项,满分为100分,权重占比100%,各级指标权重即为分值;创新发展为加分项,满分为20分,权重占比20%。

3.2 评分方法

对于绿色低碳船闸定量评价指标的评分,采用标准值为限值,大于或小于标准值可得满分或0分,在标准值限值之间按照内插方法得分,具体分为两种情况。

1) 评分指标为正向指标,鼓励通过绿色低碳技术取得更高水平(例如单位耗水量通过能力),采用如下计分方法:

$$Q_{i,d} = Q_{i,j} \div Q_{i,b} \times M_i \quad (2)$$

式中: $Q_{i,d}$ 为第 i 项指标得分; $Q_{i,j}$ 为第 i 项指标计算值; $Q_{i,b}$ 为第 i 项指标标准值; M_i 为第 i 项指标满分值。当计算值大于等于标准值时,得满分;当计算值小于标准值时,按式(2)计算结果得分。

2) 评分指标为负向指标,鼓励通过绿色低碳

技术降低指标值(例如工程建设碳排放强度),采用如下计分方法:

$$Q_{i,d} = M_i - [(Q_{i,j} - Q_{i,b,x}) \div (Q_{i,b,s} - Q_{i,b,x})] \times M_i \quad (3)$$

式中: $Q_{i,b,x}$ 为第 i 项指标标准值下限; $Q_{i,b,s}$ 为第 i 项指标标准值上限。当计算值小于或等于标准值时,得满分;当计算值小于标准值时,按式(3)计算结果得分;当计算值大于标准值上限时,不得分。

对于评价指标中定性指标的评分,根据内容的重要性或者技术难易程度,对定性指标的内容逐条赋分,采用累计计分方法计算该指标总得分。

3.3 评价办法

绿色低碳船闸评价综合得分为常规项得分与加分项得分之和,计算公式如下:

$$M = \sum Q_i + E \quad (4)$$

式中: M 为船闸工程绿色低碳评价综合得分; Q_i 为第 i 个常规项指标得分; E 为“创新发展”项总得分。当标准中某评价指标不适用于待评价船闸时,该评估指标可按相应的规定申请不参与评估;待评价船闸绿色低碳设计评分项总得分 Q 为各参评指标实际得分之和除以各参评指标满分值之和,最终结果转化为百分制。

4 工程评价应用

4.1 工程试评价

本文研究选择7个目前在建和已运营的船闸项目(2000年后)进行试评价,评价项目情况见表5。对于在建项目,收集其设计文件,根据设计内容进行评价测试,依据 Q/CCCG SY 105—2022《水运工程建设期碳排放测算标准(试行)》,通过工程概算,测算建造期碳排放强度,利用设计方提供的工程能耗情况,测算工程运营碳排放强度等;对于已建项目,在收集设计资料的基础上,通过现场调研收集实际数据,以实际运营数据进行测算评价。

表 5 船闸工程评价结果
Tab. 5 Evaluation results of ship lock projects

项目 名称	一级指标得分						总得分
	总体性指标	资源利用与节约	能源结构与能效	环境与生态保护	运营管理	创新发展	
在建船闸 A	25.26	17.00	15.50	15.00	14.00	8.00	94.76
在建船闸 B	19.35	17.66	9.41	18.82	15.00	8.00	88.24
在建船闸 C	17.92	14.49	8.18	18.69	10.00	14.00	83.28
运营船闸 D	19.35	12.02	9.00	13.00	13.00	6.00	78.37
运营船闸 E	21.62	9.31	11.16	17.00	11.67	6.00	76.77
运营船闸 F	18.44	9.38	12.16	17.00	12.67	6.00	75.65
运营船闸 G	26.00	9.82	10.00	10.73	11.00	2.00	73.55

4.2 结果分析

试评价结果显示, 进入生态文明建设和绿色发展新阶段后, 近年新设计的在建船闸在绿色低碳方面评分较高, 明显高于已经运营的船闸, 评价结果符合客观规律和情况。本文研究构建的评价指标体系具有科学性和可行性。

总体来看, 7 座船闸在环境和生态保护以及运营管理方面差异并不显著, 与我国 2000 年代“科学发展观”和“生态文明发展”已经进入战略深化阶段有较大关系。在“资源利用与节约”“能源结构与能效”方面差异较大。资源节约集约循环利用方面, 预制构件利用、高耐久性材料使用、土石方综合利用等技术目前应用并不广泛; 能源结构优化方面, 可再生能源发电系统在船闸工程中应用较少。上述内容是新时代绿色发展的新要求, 需要进一步通过科技创新和激励鼓励技术推广应用。

5 结论

1) 本文构建的船闸工程绿色低碳设计评价指标体系涵盖了总体性指标、资源利用与节约指标、能源结构与能效指标、环境与生态保护指标、运营管理指标以及创新发展指标等多个方面, 能够较为全面地反映船闸工程在绿色低碳设计过程中的各项要素和要求。指标体系创建过程中, 结合船闸工程绿色发展现状, 对发展趋势进行分析判断, 提出的指标具有前瞻性; 同时通过“创新发展”加分项, 增加了指标的开放性。

2) 通过对实际船闸工程的试评价, 验证了该指标体系的可行性、有效性和科学性, 为船闸工程的绿色低碳设计与评价提供了科学依据。从试

评价结果来看, 我国船闸工程在绿色低碳方面取得了一定的成绩, 但仍存在一些不足之处, 反映出当前船闸工程在绿色低碳发展过程中面临的一些共性问题和挑战。建议适时出台相关的行业标准, 推动我国船闸工程全生命周期系统性低碳化发展。

3) 绿色低碳设计理念在船闸工程中的应用不仅有助于减少工程建设和运营过程中的环境影响, 提高资源利用效率, 还能推动行业技术创新和发展, 提升船闸工程的综合品质和社会经济效益。因此, 加强绿色低碳船闸评价指标体系的研究和应用具有重要的现实意义。

参考文献:

[1] PLANC. Performance indicators for inland waterways transport user guideline [M]. Belgium: International Navigation Association, 2010.

[2] PLANC. Sustainable Inland waterways: a guide for inland waterway managers on social and environmental impacts[M]. Belgium: International Navigation Association, 2023.

[3] ISI. Envision sustainable infrastructure framework [M]. Washington: Institute for Sustainable Infrastructure, 2018.

[4] 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.

Technical requirements for the assessment of green traffic facilities: Part 3: Green waterway channel: JT/T 1199. 3-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.

[5] 王晓青, 张绪进. 船闸工程节能减排措施综述[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(12): 170-171, 174.

WANG X Q, ZHANG X J. Review of energy-saving and emission reduction measures in ship lock projects [J].

- China water transport (the second half of the month), 2013, 13(12): 170-171, 174.
- [6] 王小峰. 船闸工程绿色低碳评价指标体系研究及实证分析[D]. 南京: 东南大学, 2015.
- WANG X F. Research on assessment of green low-carbon ship lock engineering and empirical analysis [D]. Nanjing: Southeast University, 2015.
- [7] 肖美贞, 杨钟晖, 曲红玲, 等. 江苏省内河航道运营管理阶段节能减排技术集成研究[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(9): 58-61.
- XIAO M Z, YANG Z H, QU H L, et al. Research on integration of energy-saving and emission-reduction technologies in operation and management stage of inland waterways in Jiangsu Province [J]. China water transport (the second half of the month), 2016, 16(9): 58-61.
- [8] 徐红, 马育斌, 陈丹. 基于低碳理念的船闸闸室结构选型[J]. 水运工程, 2023(S1): 48-51.
- XU H, MA Y B, CHEN D. Structural selection of ship lock chamber based on low carbon concept [J]. Ports & waterway engineering, 2023(S1): 48-51.
- [9] 汪振华, 孙宁, 苏禹. 零碳船闸的定义及特征[J]. 中国港口, 2023(5): 48-51.
- WANG Z H, SUN N, SU Y. Definition and characteristics of zero-carbon ship locks [J]. China ports, 2023 (5): 48-51.
- [10] 郝岭, 徐红. 船闸工程低碳设计方案评价方法[J]. 中国港湾建设, 2023, 43(4): 70-73, 77.
- HAO L, XU H. Method to evaluate low-carbon design schemes for ship lock projects [J]. China harbour engineering, 2023, 43(4): 70-73, 77.
- [11] 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- Code for master design of shiplocks: JTJ 305-2001 [S]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [12] 绿色港口等级评价指南: JTS/T 105-4—2020[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.
- Green port rating evaluation guide: JTS/T 105-4-2020[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2020.
- [13] 港口工程绿色低碳设计评价标准: Q/CCCG LD 203—2024[S]. 北京: 中国交通建设集团有限公司, 2024.
- Port engineering green and low-carbon design evaluation standard: Q/CCCG LD 203-2024 [S]. Beijing: China Communications Construction Co., Ltd., 2024.
- [14] 绿色小水电评价标准: SL/T 752—2020[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.
- Standard for evaluation of green small hydropower station: SL/T 752-2020 [S]. Beijing: China Water & Power Press, 2020.
- [15] 绿色建筑评价标准: GB/T 50378—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- Assessment standard for green building: GB/T 50378-2019 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [16] 水运工程建设期碳排放测算标准(试行): Q/CCCG SY 105—2022[S]. 北京: 中国交通建设集团有限公司, 2022.
- Standard for carbon emission estimation during construction period of water transport projects (trial): Q/CCCG SY 105-2022[S]. Beijing: China Communications Construction Co., Ltd., 2022.
- [17] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area [J]. Journal of natural resources, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [18] 江苏省自然资源厅. 江苏省建设用地指标(2022年版)[A]. 南京: 江苏省自然资源厅, 2022.
- Jiangsu Provincial Department of Natural Resources. Land use indicators of Jiangsu Province (2022 ed.) [A]. Nanjing: Jiangsu Provincial Department of Natural Resources, 2022.
- [19] 安徽省自然资源厅. 安徽省建设用地使用标准(2024年版)[A]. 合肥: 安徽省自然资源厅, 2020.
- Anhui Provincial Department of Natural Resources. Standards for the use of construction land in Anhui Province (2024 ed.) [A]. Hefei: Anhui Provincial Department of Natural Resources, 2020.
- [20] 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- Design standard for energy efficiency of public buildings: GB 50189-2015 [S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [21] 生产建设项目水土流失防治标准: GB/T 50434—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- Standard of soil erosion control for production and construction projects: GB/T 50434-2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.

(本文编辑 王传瑜)