



# 江苏省船闸养护科学决策指标构建及应用研究

雷潘<sup>1</sup>, 李磊<sup>2</sup>, 徐云辉<sup>3</sup>, 田家庆<sup>1</sup>

(1. 华设设计集团股份有限公司, 江苏南京 210014; 2. 南京梦泽工程咨询有限公司, 江苏南京 211135;  
3. 江苏省交通运输厅港航事业发展中心, 江苏南京 210022)

**摘要:** 为最大化船闸养护资金使用效益、保障船闸处于良好技术状态, 根据江苏省内河船闸建设、检测和养护实际, 构建了江苏省内河船闸养护科学决策指标体系, 筛选明确了12个一级和49个二级江苏省内河船闸养护科学决策指标。依据问卷调查结果, 运用层次分析法综合确定了指标权重, 在JTS 320-2—2018《通航建筑物维护技术规范》的基础上优化了指标的评价标准, 重点完善了49个二级指标各级技术状态的定量描述, 并提出了“四级船闸单项控制指标”与“分层综合评定”相结合的船闸技术状态评定方法, 为江苏省内河船闸年度养护计划的科学制定提供了决策工具。以解台一号船闸为例, 根据2024年船闸综合检测成果, 应用船闸养护科学决策指标体系对船闸技术状态进行评级, 得到的结果与检测结果相吻合, 表明该指标体系具备较强实操性, 可为其他省份在船闸养护科学决策上提供参考。

**关键词:** 船闸养护; 指标体系; 技术状态; 评定

中图分类号: U641.8

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0130-07

## Research on construction and application of scientific decision-making indicator system for ship lock maintenance in Jiangsu Province

LEI Pan<sup>1</sup>, LI Lei<sup>2</sup>, XU Yunhui<sup>3</sup>, TIAN Jiaqing<sup>1</sup>

(1. China Design Group Co., Ltd., Nanjing 210014, China;

2. Nanjing Mengze Engineering Consulting Co., Ltd., Nanjing 211135, China;

3. Port and Waterway Development Center, Department of Transportation of Jiangsu Province, Nanjing 210022, China)

**Abstract:** To maximize the utilization efficiency of ship lock maintenance funds and ensure that ship locks are maintained in sound technical condition, a scientific decision-making indicator system for the maintenance of inland waterway ship locks in Jiangsu Province is established based on the practical experience of construction, inspection and maintenance of inland waterway ship locks in the region. Specifically, 12 primary indicators and 49 secondary indicators for the scientific decision-making of inland waterway ship locks maintenance in Jiangsu Province are screened and defined explicitly. Based on the results of questionnaire surveys, the analytic hierarchy process (AHP) is adopted to comprehensively determine the weights of these indicators. On the basis of JTS 320-2-2018 *Technical Specifications for Maintenance of Navigation Structures*, the evaluation criteria of the indicators are optimized, with a focus on refining the quantitative descriptions of the technical status at all levels for the 49 secondary indicators. Furthermore, an innovative method for assessing the technical condition of ship locks is proposed, which integrates the “four-level single-item control indicators” with “hierarchical comprehensive evaluation”. This method provides a decision-making tool for the scientific formulation of annual maintenance plans for inland waterway ship locks in Jiangsu Province. Taking Xietai No. 1 Ship Lock as a case study, the

收稿日期: 2025-07-17 录用日期: 2025-08-21

作者简介: 雷潘(1993—), 男, 工程师, 从事水运规划研究工作。

established scientific decision-making index system for ship lock maintenance is applied to grade the technical status of the ship lock based on its comprehensive inspection results in 2024. The outcomes are consistent with the inspection findings, which demonstrates that the index system has strong operability and can serve as a valuable reference for other provinces in conducting scientific decision-making regarding ship lock maintenance.

**Keywords:** ship lock maintenance; indicator system; technical condition; assessment

江苏是全国水运大省,内河航道资源禀赋和运量规模突出,高等级航道里程、内河航道货运量等核心指标位居全国前列,占全国比重超过 1/5,为保障全省能源安全、推动新型城镇化建设、降低货运物流成本、促进港产城融合发展提供了有力支撑。船闸是水路运输网络中的关键节点,通过闸首、闸室、输水系统、闸门、阀门、引航道及相应设备的相互配合,可帮助船舶克服水位落差,但其长时间的运行会出现闸门抖动、异响、闸室淤积等问题,不仅影响船舶正常通行,也容易发生安全事故<sup>[1]</sup>,需要及时开展养护工作。

围绕船闸养护,根据 JTS/T 320—2021《航道养护技术规范》,江苏省出台了内河航道维护系列标准,保障了船闸的健康安全运行。但是,截至 2024 年,江苏省干线航道沿线船闸共 82 座,超过设计使用年限的有 19 座,船闸运行压力和养护资金需求越来越大。同时,近年来国家和江苏省出台了一系列相关规定和政策文件,要求加强船闸预防性养护、积极推进养护智能化<sup>[2]</sup>,对江苏省船闸养护提出了更高的要求。因此,在养护经费有限的前提下,如何根据船闸技术状态,科学制定船闸养护项目库和年度养护计划,是内河水运发展新阶段中面临的重要课题。关于船闸养护的技术和方法,前人开展了较多研究。丁坚等<sup>[3]</sup>从年通航时间保证率、优良闸次率等方面提出了江苏省船闸养护与管理的目标。王进<sup>[4]</sup>以连云港市盐灌船闸为例,总结了船闸主要电气元器件、液压、机械设备、UPS 电源等的养护与检修方法。甘小为<sup>[5]</sup>以桂平枢纽二线船闸闸室那吉船闸、鱼梁船闸设备使用情况为例,总结了船闸预防性养护的实现方法。黄超天等<sup>[6]</sup>采用物联网、BIM、

地理信息系统、大数据等技术,构建了船闸智慧管养系统。但是,在指导制定船闸养护计划的工作层面,存在操作性不强、决策科学性不足等问题。

为全面系统地反映江苏省内河船闸技术状态,科学客观地揭示船闸运行存在的问题,指导和促进船闸养护转型升级,寻求更具成本效益和时间效益的船闸养护方式,本文开展了江苏省船闸养护科学决策体系研究,旨在构建江苏省内河船闸养护科学决策指标体系。

## 1 评价指标筛选及权重确定

### 1.1 评价指标筛选

2018 年,交通运输部发布了 JTS 320-2—2018《通航建筑物维护技术规范》<sup>[7]</sup>,将船闸设备设施总体上分为 5 大类、28 中类和 78 小类,并提出了 78 小类对应的一级(好)、二级(一般)、三级(较差)、四级(差)技术状态的定量和定性评价标准,是全国通航建筑物技术状态评定的重要指导文件。但是,在指导构建江苏省船闸养护科学决策指标时,存在 3 点重要问题:1) 船闸设备设施的分类是针对全国各类通航建筑物而言,与江苏省船闸实际情况不能完全吻合;2) 技术状态的评定标准大部分是定性的,在定量评价上有所欠缺;3) 技术状态的等级评定和对应的运行维护要求集中在具体设备设施上,未能评价船闸总体技术状态,不便于制定船闸养护计划。

因此,对于船闸养护科学决策指标的筛选,在 JTS 320-2—2018《通航建筑物维护技术规范》附录 B 对于船闸设备设施分类的基础上,根据江苏船闸建设、检测和养护实际情况,删除与江苏船闸不吻合的设备设施,得到 12 个一级指标和 49 个

二级指标。筛选原则：1) 删除江苏省船闸不具备的设备设施，包括事故闸门、反向弧形阀门、检修阀门、检修阀门启闭机、排水与管线廊道和抽排水装置；2) 出现问题后，不影响船闸正常使用和安全，且在船闸例行养护工程中可修理的设备设施，包括电力拖动系统、检测传感器设备、信号及通信系统、工业电视及广播系统、安全监测设施、照明系统、通风设备、助导航设施和机房；3) 抽水检修前安装的设备，包括检修闸门和检修闸门启闭机。

### 1.2 指标权重确定

本着“重要性、影响程度、可获得性、客观性”原则，在江苏省港航系统内开展了问卷和座谈调研，合计 10 多次现场座谈调研，并收集了江苏省 13 个设区市港航管理部门、苏北航务管理处、各船闸管理所、相关行业专家反馈的 48 份指标权重调研表。基于调研结果，采用层次分析法<sup>[8-10]</sup>，综合计算确定了各级指标的权重。船闸养护评价指标及权重见表 1。

表 1 船闸养护评价指标及权重  
Tab. 1 Ship lock maintenance evaluation indicators and weights

序号	一级指标	权重/%	二级指标	权重/%
1	人字闸门	25	门体及背拉杆	35
2			止水装置	25
3			顶枢	15
4			底枢	25
5	三角闸门	25	门体	37
6			止水装置	21
7			顶枢	20
8			底枢	22
9	横拉闸门	25	门体	30
10			止水装置	25
11			行走和支承装置	45
12	提升闸门	25	门体	30
13			止水装置	25
14			行走和支承装置	45
15	平面阀门	10	门体	30
16			吊杆	12
17			支承装置	30
18			止水装置	28

续表 1

序号	一级指标	权重/%	二级指标	权重/%
19	液压式启闭机	15	液压泵站及管路	60
20			油缸	40
21	卷扬式启闭机	15	卷筒组	16
22			钢丝绳	16
23			减速器	24
24			电动机	24
25			制动器	20
26			电动机	27
27	滚珠丝杆式启闭机	15	减速器	22
28			丝杆传动装置	32
29			缓冲减震装置	19
30			电动机	28
31	齿轮齿条式启闭机	15	减速器	22
32			制动器	16
33			齿轮齿条及推拉杆	34
34	曲柄连杆式启闭机	15	电动机	25
35			减速器	20
36			制动器	20
37			扇形齿轮副及推拉杆	35
38	电气设备	30	供配电系统	30
39			运行控制系统	30
40			电缆及传输线路	20
41			防雷与接地	20
42	土建及附属设施	20	闸首、闸室	30
43			引航道	6
44			导航墙、靠船墩	15
45			输水系统	8
46			门库	15
47			水工辅助设施	10
48			配套锚地	6
49			系船设施	10

注：若船闸无阀门（灌泄水功能由闸门承担），则删除阀门权重，其余一级指标权重基于原比例重新分配。

对于沿江沿海的口门船闸，由于受潮汐因素影响，门、机、电损坏率相对较高，因此建议适当提高沿江沿海口门船闸的闸门、阀门、启闭机和电气设备的权重，沿江和沿海口门船闸一级指标权重见表 2。对于台风过境等极端情况，长江上航行的海轮有可能会在沿江口门船闸引航道靠船墩或锚地停泊避风，出现大船靠泊的情况，对引航道靠船墩的撞击和锚地的系泊荷载更大，因此建议适当提高沿江口门船闸导航墙、靠船墩和配套锚地的权重，并适当调整其他二级指标的权重，

沿江口门船闸土建及附属设施二级指标权重见表3。

表2 沿江和沿海口门船闸一级指标权重  
Tab.2 Weight of primary indicators for ship locks  
along the Yangtze River and coastal areas

一级指标	权重/%
闸门	27
阀门	11
启闭机	16
电气设备	31
土建及附属设施	15

表3 沿江口门船闸土建及附属设施二级指标权重  
Tab.3 Weight of secondary indicators for civil engineering  
and ancillary facilities of ship lock at the river estuary

二级指标	权重/%
闸首、闸室	20
引航道	10
导航墙、靠船墩	20
输水系统	5
门库	15
水工辅助设施	10
配套锚地	10
系船设施	10

## 2 指标评价标准

根据 JTS 320-2—2018《通航建筑物维护技术规范》和 JTS 304—2019《水运工程水工建筑物检测和评估技术规范》<sup>[11]</sup>的技术要求,结合江苏省船闸实际检测工作,征求行业内专家意见后,采用定性和定量的方式提出二级指标的技术状态评定标准。因篇幅原因,以人字闸门门体及背拉杆为例,提出二级指标技术状态的评价标准,重点增加了定量标准表述。

### 2.1 一级(好)

#### 2.1.1 定性描述

门体外观和防腐层完好,背拉杆无破损,与门体连接牢固。

#### 2.1.2 定量描述

1) 安全性评估。 $R_d/S_d \geq 1.00$ (按照 JTJ 308—2003《船闸闸阀门设计规范》、JTS 152—2012《水运工程钢结构设计规范》执行, $R_d$ 、 $S_d$ 分别为结构的抗力和作用效应组合设计值)。

2) 耐久性评估。①锈蚀外观:无粉化变色或轻微粉化变色,无裂纹、起泡和脱落生锈;轻微

锈蚀。表面涂层基本完好,局部有少量蚀斑或不太明显的蚀迹,金属表面无麻面现象或只有少量浅而分散的蚀坑。②涂层厚度:涂层干膜厚度不小于原设计厚度的90%。③蚀余厚度:轻微锈蚀、涂层完好,局部少量锈斑或锈迹,表面有少量分散浅锈坑,锈蚀速率小于0.05 mm/a。④蚀坑深度:金属表面只有少量浅而分散的蚀坑,一般在300 mm×300 mm范围内只有1~2个蚀坑,密集处不超过4个。

### 2.2 二级(一般)

#### 2.2.1 定性描述

门体轻微变形或破损;背拉杆轻微破损,与门体连接较牢固。

#### 2.2.2 定量描述

1) 安全性评估。 $0.95 \leq R_d/S_d < 1.00$ 。

2) 耐久性评估。①锈蚀外观:明显粉化变色,分散的裂纹、起泡和脱落生锈面积不大于0.3%。涂层局部脱落,有明显的蚀斑、蚀坑,蚀坑深小于0.5 mm,或虽有较深的蚀坑,深度在1.0~2.0 mm,但较分散。②涂层厚度:涂层干膜厚度小于原设计厚度的90%且不小于原设计厚度的75%。③蚀余厚度:一般锈蚀,涂层剥落,出现少而散较深锈坑,构件未明显削弱,锈蚀速率在0.05~0.10 mm/a。④蚀坑深度:有明显蚀坑,蚀坑深小于0.5 mm,或虽有较深的蚀坑,深度在1.0~2.0 mm,但较分散。一般在300 mm×300 mm范围内不超过30个蚀坑,密集处不超过60个。

### 2.3 三级(较差)

#### 2.3.1 定性描述

门体较大变形或破损;部分受力构件有裂纹;背拉杆破损,与门体连接轻微松动。

#### 2.3.2 定量描述

1) 安全性评估。 $0.90 \leq R_d/S_d < 0.95$ 。

2) 耐久性评估。①锈蚀外观:较严重粉化变色,裂纹起泡和脱落生锈面积大于0.3%且不大于1.0%。表面涂层大片脱落,脱落面积不小于100 mm×100 mm,或涂层与金属分离且中间夹有锈蚀皮,有密集成片的蚀坑,深度在1.0~2.0 mm。②涂层厚度:涂层干膜厚度小于原设计厚度的75%。③蚀余厚度:出现较重锈蚀,涂层大面积剥落,

密集成片的锈坑群或表面麻面严重且区域较大,局部出现较深锈坑,构件已有一定程度削弱,锈蚀速率在 $0.1\sim 0.2\text{ mm/a}$ 。④蚀坑深度:蚀坑深度在 $1.0\sim 2.0\text{ mm}$ ,一般在 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 范围内超过60个;或麻面现象较重,在 $300\text{ mm}\times 300\text{ mm}$ 范围内虽不超过60个蚀坑,但深度在 $2.5\text{ mm}$ 以上。

## 2.4 四级(差)

### 2.4.1 定性描述

门体严重变形或者破损;背拉杆严重破损,与门体连接严重松动。

### 2.4.2 定量描述

1)安全性评估。 $R_d/S_d < 0.90$ 。

2)耐久性评估。①锈蚀外观:严重粉化变色,大范围的裂纹、起泡和脱落生锈面积大于 $1.0\%$ 。蚀坑较深且密集成片,构件局部有很深的蚀坑,深度在 $3.0\text{ mm}$ 以上,并有蚀损,出现孔洞、缺肉等现象。②涂层厚度:涂层干膜厚度小于原设计厚度的 $75\%$ ,刀刮容易剥离。③蚀余厚度:严重锈蚀,较深锈坑密集成片,局部出现很深锈坑,构件严重削弱,锈蚀率大于 $0.2\text{ mm/a}$ 。④蚀坑深度:蚀坑较深且密集成片,构件局部有很深的蚀坑,深度在 $3.0\text{ mm}$ 以上,并有蚀坑,出现孔洞、缺洞等现象。

## 3 等级分类及评定方法

船闸技术状态的评定总体上采用“四级船闸单项控制指标”与“分层综合评定”相结合的方法,即在船闸出现单项控制指标所列情形中的一种或多种时,直接评定船闸总体技术状态为四级(差),不再依据分层综合评定的结果;船闸未出现单项控制指标的任一情形时,按照分层综合评定法对船闸总体技术状态等级进行评定,即采用加权平均法,依次计算船闸二级指标、一级指标和船闸总体技术状态得分,不同区间的得分对应不同技术状态等级和运行维护要求。

### 3.1 单项控制指标

当船闸技术状态评价中,有下列情况之一时,船闸总体技术状态应评为四级(差)。1)门头跳动出现异常,闸阀门运行出现卡阻异响、电表数据

异常及其他重大故障,难以进行常规修复的情况;2)闸门被碰撞,导致无法正常工作的情况;3)门体结构蚀损严重,进行强度、刚度和稳定性复核不满足原设计要求;4)启闭机出现重大故障,难以满足船闸运行启闭要求,且无备用启闭机;5)土建设施按照JTJ 307—2001《船闸水工建筑物设计规范》、JTS 151—2011《水运工程混凝土结构设计规范》、JTS 152—2012《水运工程钢结构设计规范》进行安全性复核,无法满足要求,存在重大安全隐患,如存在底板管涌现象。

## 3.2 分层综合评定

### 3.2.1 船闸二级指标技术状态评定

船闸二级指标的技术状态根据定性和定量的评定标准评价得到,分为一级(好)、二级(一般)、三级(较差)和四级(差),不同技术状态对应不同分值,是船闸一级指标技术状态评定的基础。二级指标不同技术状态对应的评定分值见表4。

表4 二级指标不同技术状态对应的评定分值  
Tab.4 Assesment scores corresponding to different technical conditions of secondary indicators

技术状态等级	一级(好)	二级(一般)	三级(较差)	四级(差)
分值	100	70	40	0

### 3.2.2 船闸一级指标技术状态评定

船闸一级指标包括闸门、阀门、启闭机、电气设备、土建及附属设施,对于其技术状态评分,采用加权平均的方法,按下式进行计算:

$$I_{B,i} = \sum_{j=1}^m I_{P,ij} \times W_{ij} \quad (1)$$

式中: $I_{B,i}$ 为船闸第 $i$ 个一级指标的技术状态评分,值域为 $0\sim 100$ 分; $i$ 、 $j$ 分别为船闸一级指标个数和一级指标对应二级指标的个数; $I_{P,ij}$ 是船闸第 $i$ 个一级指标对应的第 $j$ 个二级指标的技术状态评分; $m$ 为船闸第 $i$ 个一级指标对应的二级指标种类数; $W_{ij}$ 为船闸第 $i$ 个一级指标对应的第 $j$ 个二级指标的权重值。

### 3.2.3 船闸总体技术状态评定

对于船闸总体技术状态评分,采用加权平均的方法,按下式进行计算:

$$I_w = \sum_{i=1}^n I_{B,i} \times W_i \quad (2)$$

式中:  $I_w$  为船闸总体技术状态评分, 值域为 0~100 分;  $n$  为船闸一级指标的个数, 取值 5;  $W_i$  为船闸第  $i$  类一级指标的权重值。

船闸总体技术状态评定等级应根据评分结果界定, 船闸技术状态分类界限见表 5。

表 5 船闸技术状态分类界限  
Tab. 5 Classification boundaries of ship lock technical conditions

技术状态等级	一级 (好)	二级 (一般)	三级 (较差)	四级 (差)
$I_w$	(90, 100]	(70, 90]	(40, 70]	[0, 40]

### 3.3 运行维护要求

船闸总体技术状态的评定分为一级、二级、三级和四级。对应的运行维护要求分别为: 一级船闸, 正常运行维护; 二级船闸, 实施例行养护

工程, 正常运行维护, 加强观察; 三级船闸, 实施船闸大修工程, 控制运行、加强保养, 列入修理计划进行修复; 四级船闸, 应急抢通, 停止运行并及时进行修复。

### 4 船闸技术状态等级评定案例

根据江苏省 2024 年拟大修船闸综合检测成果, 以解台一号船闸为例, 依据构建的江苏省内河船闸养护科学决策指标为工具, 评定船闸的技术状态。解台船闸采用人字闸门、平面阀门、液压式启闭机, 根据《全省拟大修船闸专项检测-解台一号船闸》的检测结果, 得到解台一号船闸总体技术状态为二级(82.2 分), 与综合检测结果相一致, 对应的运行维护要求为实施例行养护, 需正常运行维护, 加强观察。

表 6 解台一号船闸技术状态评定  
Tab. 6 Technical condition assessment of Xietai No. 1 Ship Lock

总体技术状态	一级指标	分值	权重/%	二级指标	分值	类别	权重/%
82.2 分 (二级)	闸门	76.3	25	门体	70	二级	37
				止水装置	40	三级	21
				顶枢	100	一级	20
				底枢	100	一级	22
				门体	100	一级	30
	阀门	91.6	15	吊杆	100	一级	12
				支承装置	100	一级	30
				止水装置	70	二级	28
	启闭机	82.0	15	液压泵站及管路	70	二级	60
				油缸	100	一级	40
	电气设备	91.0	25	供电系统	100	一级	30
				运行控制系统	70	二级	30
				电缆及传输线路	100	一级	20
				防雷与接地	100	一级	20
	土建及附属设施	71.5	20	闸首、闸室	40	三级	30
				引航道	100	一级	6
				导航墙、靠船墩	70	二级	15
				输水系统	100	一级	8
				门库	100	一级	15
				水工辅助设施	70	二级	10
配套锚地				100	一级	6	
系船设施				70	二级	10	

### 5 结论

1) 构建了江苏省内河船闸科学决策指标, 筛选得到 12 个一级指标和 49 个二级指标, 采用层

次分析法综合计算得到一、二级指标的权重, 并针对沿江沿海口门船闸一级指标和二级指标中的土建及附属设施的权重作了优化调整, 优化丰富

了二级指标不同技术状态的定量评定标准,增强了指标的可操作性。

2) 创新性提出了“四级船闸单项控制指标”和“分层综合评定”相结合的船闸技术状态评定方法。即在船闸出现单项控制指标所列情形中的一种或多种时,直接评定船闸总体技术状态为四级(差);船闸未出现单项控制指标的任一情形时,按照分层综合评定法对船闸总体技术状态等级进行评定,即采用加权平均法,依次计算船闸二级指标、一级指标和船闸总体技术状态得分,不同区间的得分对应不同技术状态等级和运行维护要求。

3) 以江苏解台一号船闸为例,根据2024年全省船闸综合检测成果,以提出的江苏内河船闸养护科学决策指标为工具,评定解台一号船闸的技术状态,得到的结果(技术状态为二级,得分82.2分)与综合检测成果一致,对应运行维护要求是实施例行养护,需正常运行维护,加强观察。

4) 提出的船闸技术状态评定方法是江苏省当前和未来船闸技术状态评定的重要工具,已在多座船闸综合检测中得到应用,提升了船闸年度养护计划决策的科学性,对保障全省船闸处于良好技术状态具有十分重要的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 石磊. 船闸大修内容及日常养护策略分析[J]. 珠江水运, 2024(19): 76-78.  
SHI L. Analysis of overhaul content and daily maintenance strategy of ship lock [J]. Pearl River water transport, 2024(19): 76-78.
- [2] 唐晓暄, 雷潘, 陈奕超. 江苏省干线航道养护科学决策体系研究[J]. 中国水运, 2025(4): 9-11.  
TANG X X, LEI P, CHEN Y C. Study on scientific decision-making system for maintenance of trunk waterways in Jiangsu Province [J]. China water transport, 2025(4): 9-11.
- [3] 丁坚, 姚建卫, 李安中, 等. 江苏省内河航道养护和管理规划研究[J]. 水运工程, 2009(10): 102-106.  
DING J, YAO J W, LI A Z, et al. Conservation and management planning of inland waterway of Jiangsu Province [J]. Port & waterway engineering, 2009(10): 102-106.
- [4] 王进. 船闸自动控制系统的养护与检修[J]. 水运工程, 2011(7): 158-162.  
WANG J. Maintenance and overhaul of lock's automatic control system [J]. Port & waterway engineering, 2011(7): 158-162.
- [5] 甘小为. 船闸机电设备预防性养护技术[J]. 今日制造与升级, 2022(5): 36-38.  
GAN X W. Preventive maintenance technology for electromechanical equipment of ship lock [J]. Manufacture & upgrading today, 2022(5): 36-38.
- [6] 黄超天, 沈婷, 王傲威. 基于BIM的船闸智慧管养技术应用[J]. 水运工程, 2025(4): 156-163, 190.  
HUANG C T, SHEN T, WANG A W. Application of BIM-based intelligent management and maintenance technology for ship lock [J]. Port & waterway engineering, 2025(4): 156-163, 190.
- [7] 通航建筑物维护技术规范: JTS 320-2—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.  
Technical code of maintenance for navigation structure: JTS 320-2-2018 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [8] 王多银, 程梦瑶, 黄海津. 基于层次分析法的船闸通过能力影响因素研究[J]. 水运工程, 2020(6): 147-151.  
WANG D Y, CHENG M Y, HUANG H J. Study on influencing factors of ship lock capacity based on analytic hierarchy process [J]. Port & waterway engineering, 2020(6): 147-151.
- [9] 朱加永, 苏航. 基于层次分析法的港口建设模式探讨[J]. 水运工程, 2019(4): 85-89, 114.  
ZHU J Y, SU H. Discussion on port construction mode based on analytic hierarchy process [J]. Port & waterway engineering, 2019(4): 85-89, 114.
- [10] 葛新兴. 基于层次分析法的航道规划方案优选研究[J]. 水运工程, 2013(3): 144-147.  
GE X X. Optimization of waterway planning scheme based on analytic hierarchy process [J]. Port & waterway engineering, 2013(3): 144-147.
- [11] 水运工程水工建筑物检测与评估技术规范: JTS 304—2019 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.  
Technical specification for detection and assessment of water transport engineering hydraulic structure: JTS 304-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.

(本文编辑 王传瑜)