· 航道及通航建筑物 ·

# 基于微山三线船闸的通航设施扩能改造评价方法研究*

杜沛霖，姜兴良

（中交水运规划设计院有限公司，北京 100007）

**摘要：**针对通航设施扩能改造过程中，改造方案涉及关键指标科学量化与权重系数合理确定的两个关键问题，通过层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）对指标进行量化分析和权重计算，构建了一套适用于通航设施扩能改造的评价方法。结合微山三线船闸扩能改造的实例，通过模糊综合评价法，对微山三线船闸扩能改造的必要性、经济可行性、技术可行性、环境影响、社会影响进行了综合分析。结果表明：通航设施扩能改造过程中，经济内部收益率、运量超过通过能力程度、生态环境影响、地形条件、地质条件 5 项指标权重占比之和已达到 0.43，接近 0.5，应作为扩能改造项目的重点关注指标。微山三线船闸扩能改造的必要性较强，在改造方案论证过程中，应重点关注技术方案的可行性和环境影响两方面问题。

**关键词：**三线船闸；通航设施；扩能改造；层次分析法；模糊综合评价法

**中图分类号：**U641.2　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2026)07-0098-06

## Evaluation method of navigation facility capacity expansion and renovation based on Weishan third-line ship lock

DU Peilin, JIANG Xingliang

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

**Abstract:** In the process of capacity expansion and renovation of navigation facilities, two key issues are involved in the renovation plan: the scientific quantification of key indicators and the reasonable determination of weight coefficients. Through the analytic hierarchy process (AHP), the indicators are quantitatively analyzed, and the weights are calculated, establishing an evaluation method suitable for the capacity expansion and renovation of navigation facilities. Taking the capacity expansion and renovation of the Weishan third-line ship lock as an example, the necessity, economic feasibility, technical feasibility, environmental impact, and social impact of the capacity expansion and renovation of the Weishan third-line ship lock are comprehensively analyzed through the fuzzy comprehensive evaluation method. The results show that in the process of capacity expansion and renovation of navigation facilities, the sum of the weight ratios of five indicators, namely the economic internal rate of return (EIRR), the degree of cargo volume exceeding the passing capacity, ecological and environmental impact, terrain conditions, and geological conditions, has reached 0.43, approaching 0.5, and should be regarded as key indicators for the capacity expansion and renovation project. The necessity of the capacity expansion and renovation of the Weishan third-line ship lock is relatively strong. During the argumentation of the renovation plan, attention should be paid to the feasibility of the technical plan and the environmental impact.

**Keywords:** third-line ship lock; navigation facility; capacity expansion and renovation; AHP; fuzzy comprehensive evaluation method

**收稿日期：**2025-11-21　　**录用日期：**2026-03-11

***基金项目：**国家重点研发计划课题项目(2023YFC3206105)

**作者简介：**杜沛霖(1995—)，男，硕士，工程师，注册土木工程师(港口与航道工程)，研究方向为航道与船闸工程。

水运工程

随着全国内河高等级航道网的实施与推进，船舶大型化及航运需求快速增长，既有水利枢纽通航设施逐渐难以满足船舶通航和运量需求，进行扩能改造成为必然选择。三峡枢纽水运新通道[1-2]、葛洲坝枢纽船闸扩能工程[3-4]、长洲五线船闸扩能工程[5-6]、微山三线船闸工程[7-11]、山秀二线船闸工程[12]、西津二线船闸工程[13]等长江、西江、京杭运河上多个重要枢纽的扩能改造已建成通航或提上日程。针对通航设施扩能改造方案的评价，不同项目关注的侧重点不同，杨峰等[14]从用地、周边制约条件、水流条件、实施可行性、过闸效率、对已建船闸的干扰程度和投资方面，对长沙枢纽三线船闸的布置方案进行了比选和论证。王晨晨等[15]从通航水流条件、与枢纽既有建筑物的相互关系、施工期通航、征地拆迁和投资等方面，对清远枢纽三线船闸的布置方案进行了分析论证。而对通航设施扩能改造的必要性、可行性以及改造后的影响等多方面的综合评价，涉及关键指标科学量化与权重系数合理确定两个关键问题，目前尚无清晰合理的研究方法，需要建立一套扩能改造评价准则及方法。

本文基于多个通航设施扩能改造项目的案例，确定了通航设施扩能改造时需要考虑的评价指标。通过层次分析法，将指标按不同维度划分为一、二级指标，并进行量化分析和权重计算，系统地建立了通航设施扩能改造评价方法。基于微山三线船闸扩能改造的实例，通过模糊综合评价法，对微山三线船闸扩能改造的必要性、可行性、改造影响进行综合分析，提出了微山三线船闸建设过程中需要关注的关键问题。

## 1　通航设施扩能改造评价指标体系

基于长洲五线船闸、微山三线船闸、山秀二线船闸等多个通航设施扩能改造项目的案例以及国内现行的标准规范，从必要性、经济可行性、技术可行性、环境影响、社会影响 5 个维度确定了通航设施扩能改造评价指标，见表 1。

采用层次分析法，对通航设施扩能改造评价指标的权重进行计算，首先将指标分类的 5 个维度作为一级指标，建立判断矩阵 $A$，通过专家小组意见赋分的方式，对一级指标的重要性采用 1~9 标度方法进行标度判断，判断标度定义和判断矩阵见表 2、3。其中 $C_i$ 为第 $i$ 行的指标，$C_j$ 为第 $j$ 列的指标，$a_{i,j}$ 为 $C_i$ 和 $C_j$ 的判断标度。

**表 1　通航设施扩能改造评价指标**

**Tab. 1　Evaluation indicators for capacity expansion and renovation of navigation facilities**

| 一级指标 | 二级指标 |
|---|---|
| 必要性 | 现状/预测运量超过通过能力、现状/预测船型超过设计船型、日均待闸船舶数量、平均待闸时间 |
| 经济可行性 | 经济内部收益率、经济净现值、经济效益费用比 |
| 技术可行性 | 施工度汛、地形满足平面布局要求、地质满足结构设计要求、水文条件满足航运需求、引航道水流条件满足要求、工程关键技术设计 |
| 环境影响 | 水环境影响、生态环境影响、环境空气影响、声环境影响、固体废物影响 |
| 社会影响 | 防洪影响、事故风险影响、征地拆迁影响、移民安置影响、景观和文化设施影响 |

**表 2　判断标度定义**

**Tab. 2　Definition of the judgment scale**

| 标度 | 含义 |
|---|---|
| 1 | $C_i$ 元素和 $C_j$ 元素相比，两者重要性相同 |
| 3 | $C_i$ 元素和 $C_j$ 元素相比，前者影响稍强于后者 |
| 5 | $C_i$ 元素和 $C_j$ 元素相比，前者的影响强于后者 |
| 7 | $C_i$ 元素和 $C_j$ 元素相比，前者的影响显著强于后者 |
| 9 | $C_i$ 元素和 $C_j$ 元素相比，前者的影响绝对的强于后者 |
| 2,4,6,8 | $C_i$ 元素和 $C_j$ 元素相比，前者的影响在上述两个相邻等级之间 |
| 1,1/2,…,1/9 | $C_i$ 元素和 $C_j$ 元素相比，影响之比恰为 $a_{i,j}$ 的倒数 |

**表 3　一级指标判断矩阵**

**Tab. 3　First-level indicator judgment matrix**

| 维度 | 必要性 $C_1$ | 经济可行性 $C_2$ | 技术可行性 $C_3$ | 环境影响 $C_4$ | 社会影响 $C_5$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 必要性 $C_1$ | 1.00 | 1.00 | 0.50 | 1.00 | 2.00 |
| 经济可行性 $C_2$ | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 2.00 |
| 技术可行性 $C_3$ | 2.00 | 1.00 | 1.00 | 3.00 | 2.00 |
| 环境影响 $C_4$ | 1.00 | 1.00 | 0.33 | 1.00 | 1.00 |
| 社会影响 $C_5$ | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 1.00 | 1.00 |

为保证判断矩阵的可靠性，对矩阵进行一致性检验，当一致性比例≤0.1 时，检验通过。检验过程如下。

计算 $n$ 阶判断矩阵 $\boldsymbol{A}$ 中各行元素几何平均值，并进行归一化，获得权重向量 $\boldsymbol{w}_i$：

$$\boldsymbol{w}_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{i,j}\right)^{1/n}}{\sum_{k=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a_{i,j}\right)^{1/n}} \quad i = 1,2,\cdots,n \tag{1}$$

式中：$a_{i,j}$ 为矩阵 $\boldsymbol{A}$ 中第 $i$ 行，第 $j$ 列的元素；$\boldsymbol{w}_i$ 为矩阵 $\boldsymbol{A}$ 第 $i$ 行的权重向量。

计算 $n$ 阶判断矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的最大特征值 $\lambda_{\max}$：

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(\boldsymbol{A}\boldsymbol{w}_i)}{n\boldsymbol{w}_i} \tag{2}$$

式中：$\boldsymbol{w}_i$ 为矩阵 $\boldsymbol{A}$ 第 $i$ 行的权重向量；$\lambda_{\max}$ 为矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的最大特征值。

计算一致性指标和一致性比例：

$$\begin{cases} I_C = \dfrac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \\ R_C = \dfrac{I_C}{I_R} \end{cases} \tag{3}$$

式中：$n$ 为矩阵阶数；$\lambda_{\max}$ 为矩阵 $\boldsymbol{A}$ 的最大特征值；$I_C$ 为一致性指标；$R_C$ 为一致性比例；$I_R$ 为平均随机一致性指标，与矩阵阶数 $n$ 相关，取值见表 4。

**表 4 平均随机一致性指标**

**Tab. 4 Average stochastic consistency index**

| $n$ | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_R$ | 0 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.46 |

经计算，一级指标矩阵的权重向量 $\boldsymbol{w}$ = [0.190 3, 0.218 6, 0.312 8, 0.152 8, 0.125 5]，$\lambda_{\max}$ = 5.14，$I_C$ = 0.034 9，$R_C$ = 0.031 1，满足 $R_C \leqslant 0.1$，通过一致性检验。

采用类似方法，建立二级指标的判断矩阵，计算得到二级指标的权重向量，并进行一致性检验。得到通航设施扩能改造评价指标体系的指标权重见表 5。

**表 5 通航设施扩能改造评价指标权重**

**Tab. 5 Weight of evaluation indicators for capacity expansion and renovation of navigation facilities**

| 一级指标 | 一级指标权重 | 二级指标 | 二级指标权重 | 二级指标综合权重 |
|---|---|---|---|---|
| 必要性 | 0.190 3 | 现状/预测运量超过通过能力 | 0.450 9 | 0.085 8 |
| | | 现状/预测船型超过设计船型 | 0.225 5 | 0.042 9 |
| | | 日均待闸船舶数量 | 0.134 1 | 0.025 5 |
| | | 平均待闸时间 | 0.189 6 | 0.036 1 |
| 经济可行性 | 0.218 6 | 经济内部收益率 | 0.539 6 | 0.118 0 |
| | | 经济净现值 | 0.297 0 | 0.064 9 |
| | | 经济效益费用比 | 0.163 4 | 0.035 7 |
| 技术可行性 | 0.312 8 | 施工度汛 | 0.054 4 | 0.017 0 |
| | | 地形(地形满足平面布局要求) | 0.249 2 | 0.078 0 |
| | | 地质(地质满足结构设计要求) | 0.222 0 | 0.069 4 |
| | | 水文(水文条件满足航运需求) | 0.090 6 | 0.028 4 |
| | | 水流(引航道水流条件满足要求) | 0.176 2 | 0.055 1 |
| | | 工程关键技术设计 | 0.207 5 | 0.064 9 |
| 环境影响 | 0.152 8 | 水环境影响 | 0.281 0 | 0.042 9 |
| | | 生态环境影响 | 0.512 9 | 0.078 3 |
| | | 环境空气影响 | 0.102 4 | 0.015 6 |
| | | 声环境影响 | 0.039 8 | 0.006 1 |
| | | 固体废物影响 | 0.064 0 | 0.009 8 |
| 社会影响 | 0.125 5 | 防洪影响 | 0.206 8 | 0.026 0 |
| | | 事故风险影响 | 0.087 9 | 0.011 0 |
| | | 征地拆迁影响 | 0.289 0 | 0.036 3 |
| | | 移民安置影响 | 0.347 2 | 0.043 6 |
| | | 景观和文化设施影响 | 0.069 1 | 0.008 7 |

水运工程

通过对不同指标的权重进行比较分析，可以得到，在通航设施扩能改造评价指标体系中，权重占比前 5 的指标为经济内部收益率、运量超过通过能力程度、生态环境影响、地形条件、地质条件，占比依次为 0.118 0、0.085 8、0.078 3、0.078 0、0.069 4，其权重占比之和为 0.43，接近 0.5，说明在通航设施扩能改造的评价论证过程中，项目的内部收益率、现状及预测运量情况、改扩建所需的地形地质条件、生态环境影响应作为重点关注指标，是论证改造必要性和可行性的关键因素。

## 2　微山三线船闸扩能改造综合评价

微山船闸位于山东省济宁市南四湖二级坝枢纽，是沟通京杭运河济宁—徐州段的第 1 座通航建筑物，也是京杭运河湖东、湖西航道的咽喉，现状已建成微山一、二线船闸，总体布置见图 1。随着腹地流域水运硬件基础设施的系统性提升和货运量需求的增长，现状的两线船闸已不能满足未来的货运需求，因此要对二级坝枢纽进行扩能改造，建设微山三线船闸。

微山三线船闸推荐闸址位于已建微山二线船闸与南水北调调水泵站之间，中心线与微山二线船闸中心线平行，中心线间距为 180 m，船闸下闸首下游侧与二线船闸下闸首下游侧齐平，船闸上、下游引航道均采用“曲线进闸、直线出闸”的过闸方式，闸室有效尺度为 280 m×34 m×5.5 m，最大设计水头为 4.0 m，常遇水头 2.0 m。

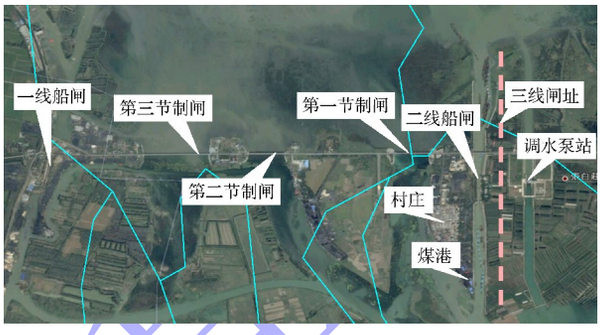


**图 1　微山二级坝枢纽总体布置**

**Fig. 1　Overall layout of the Weishan Secondary Dam Hub**

在层次分析法建立的通航设施扩能改造评价体系的基础上，通过模糊综合评价法，对微山三线船闸扩能改造的必要性、可行性、改造影响进行综合分析。对各一级指标下的二级指标，分别建立评价矩阵，基于专家意见调研，得到模糊综合评价的统计矩阵见表 6。

**表 6　模糊综合评价统计矩阵**

**Tab. 6　Fuzzy comprehensive evaluation statistical matrix**

| 一级指标 | 评价因素集 | 急需改造 | 较为急迫 | 一般 | 暂不需改造 | 无需改造 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 必要性 | 现状/预测运量超过通过能力 | 5 | 11 | 3 | 1 | 0 |
| | 现状/预测船型超过设计船型 | 1 | 6 | 10 | 2 | 1 |
| | 日均待闸船舶数量 | 4 | 6 | 6 | 2 | 2 |
| | 平均待闸时间 | 4 | 10 | 6 | 0 | 0 |
| 经济可行性 | 评价因素集 | 非常好 | 良好 | 一般 | 较差 | 非常差 |
| | 经济内部收益率 | 3 | 8 | 7 | 2 | 0 |
| | 经济净现值 | 2 | 9 | 8 | 1 | 0 |
| | 经济效益费用比 | 4 | 11 | 5 | 0 | 0 |
| 技术可行性 | 评价因素集 | 完全可行 | 较可行 | 一般 | 较困难 | 不可行 |
| | 施工度汛 | 7 | 7 | 6 | 0 | 0 |
| | 地形(地形满足平面布局要求) | 5 | 4 | 6 | 5 | 0 |
| | 地质(地质满足结构设计要求) | 6 | 5 | 7 | 2 | 0 |
| | 水文(水文条件满足航运需求) | 9 | 7 | 3 | 1 | 0 |
| | 水流(引航道水流条件满足要求) | 4 | 5 | 5 | 6 | 0 |
| | 工程关键技术设计 | 2 | 6 | 7 | 5 | 0 |

续表6

| 一级指标 | 评价因素集 | 急需改造 | 较为急迫 | 一般 | 暂不需改造 | 无需改造 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 环境影响 | 评价因素集 | 无影响 | 影响较小 | 一般 | 影响较大 | 影响巨大 |
| | 水环境影响 | 0 | 4 | 8 | 6 | 2 |
| | 生态环境影响 | 2 | 4 | 7 | 6 | 1 |
| | 环境空气影响 | 5 | 9 | 6 | 0 | 0 |
| | 声环境影响 | 4 | 11 | 5 | 0 | 0 |
| | 固体废物影响 | 2 | 6 | 8 | 3 | 1 |
| 社会影响 | 评价因素集 | 无影响 | 影响较小 | 一般 | 影响较大 | 影响巨大 |
| | 防洪影响 | 0 | 6 | 7 | 7 | 0 |
| | 事故风险影响 | 1 | 4 | 8 | 5 | 2 |
| | 征地拆迁影响 | 0 | 11 | 8 | 1 | 0 |
| | 移民安置影响 | 5 | 9 | 4 | 2 | 0 |
| | 景观和文化设施影响 | 7 | 12 | 1 | 0 | 0 |

将表 6 所列矩阵元素进行归一化处理，并与通航设施扩能改造评价指标体系中各二级指标的权重向量相乘，得到二级指标的模糊综合评价矩阵 $C$。

$$\boldsymbol{C}=\begin{bmatrix}B_1\\B_2\\B_3\\B_4\\B_5\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0.19 & 0.45 & 0.28 & 0.06 & 0.02\\0.14 & 0.44 & 0.35 & 0.07 & 0.00\\0.24 & 0.26 & 0.30 & 0.19 & 0.00\\0.09 & 0.25 & 0.36 & 0.25 & 0.06\\0.12 & 0.44 & 0.30 & 0.14 & 0.01\end{bmatrix} \tag{4}$$

根据最大隶属度原则，必要性的最大隶属度值为 0.45，对应的改造必要性为“较为急迫”，与预测运量已超过现状一、二线船闸的设计通过能力的情况相匹配。经济可行性的最大隶属度值为 0.44，对应的经济可行性为“较可行”，匹配经济内部收益率大于社会折现率 8%的情况。技术可行性的最大隶属度值为 0.30，对应的技术可行性为“一般”，从具体设计方案的技术可行性来看，在平面布置中，仍存在布置空间较为局促、施工作业面较小、道路布置较为困难以及需要改建跨闸桥梁等问题，需要在设计阶段重点关注。环境影响的最大隶属度值为 0.36，对应环境影响为“一般”，从具体环境影响情况看，需要重点关注施工过程中对周边水环境和生态环境的影响，避免疏浚时造成水体污染。社会影响的最大隶属度值为 0.44，对应社会影响为“较小”，结合项目位于微山二线船闸与南水北调调水泵站之间，对附近村庄无影响，征地拆迁量较小，因此社会影响较小。

将二级指标模糊综合评价矩阵 $C$ 乘以各维度的整体权重向量 $\boldsymbol{R}$。

$$\boldsymbol{R}=[0.190\,3\quad 0.218\,6\quad 0.312\,8\quad 0.152\,8\quad 0.125\,5] \tag{5}$$

得到微山三线船闸扩能改造整体的模糊综合评价向量 $\boldsymbol{B}$。

$$\boldsymbol{B}=[0.17\quad 0.36\quad 0.31\quad 0.14\quad 0.01] \tag{6}$$

根据最大隶属度原则，微山三线船闸扩能改造的最大隶属度值为 0.36，即综合必要性、经济可行性、技术可行性、环境影响、社会影响 5 个维度以及各维度下的二级指标，微山三线船闸的建设较为必要，其建设方案的可行性较强，环境和社会影响较小。

## 3　结论

1）在通航设施扩能改造的评价论证过程中，项目的内部收益率、现状及预测运量情况、改扩建所需的地形地质条件、生态环境影响应作为重点关注指标，是论证改造必要性、可行性、改造影响的关键因素。

2）在微山三线船闸扩能改造建设中，需要重点关注技术方案可行性和环境影响问题，包括船闸布置空间较为局促、施工作业面较小、道路布置较为困难、需要改建跨闸桥梁，以及对周边水

环境和生态环境的影响。

3）后续应结合更多通航设施扩能改造的实际案例，进一步加强对一、二级评价指标体系的完善。

**参考文献：**


[1] 李灼. 扩大三峡船闸通航能力研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
LI Z. Research of the expansion of three gorges navigation capability[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2013.

[2] 郭涛. 三峡船闸通过能力分析[J]. 水运工程, 2011(12): 112-116.
GUO T. On traffic capacity of Three Gorges lock[J]. Port & waterway engineering, 2011(12): 112-116.

[3] 齐俊麟. 三峡—葛洲坝船闸通过能力分析及扩能工程对策[J]. 船海工程, 2019, 48(3): 169-174.
QI J L. Analysis of passing capacity of Three Gorges–Gezhou Dam ship-lock and measures for capacity expansion project[J]. Ship & ocean engineering, 2019, 48(3): 169-174.

[4] 刘春泽, 曹凤帅, 唐颖, 等. 葛洲坝枢纽船闸扩能工程平面尺度方案对比[J]. 水道港口, 2020, 41(2): 172-178.
LIU C Z, CAO F S, TANG Y, et al. Comparison of plane dimension schemes for Capacity Expansion Project of Gezhouba Junction[J]. Journal of waterway and harbor, 2020, 41(2): 172-178.

[5] 吴澎, 刘春泽, 李明泽, 等. 长洲枢纽既有船闸和扩建船闸的通过能力分析[J]. 水运工程, 2023(8): 56-62.
WU P, LIU C Z, LI M Z, et al. Capacity of existing locks and planning lock in Changzhou Multi-purpose Dam[J]. Port & waterway engineering, 2023(8): 56-62.

[6] 李艳, 黄军, 刘洋, 等. 长洲五线船闸下引航道通航水流条件试验研究[J]. 水运工程, 2024(10): 104-109.
LI Y, HUANG J, LIU Y, et al. Experimental research on navigation flow conditions in downstream approach channel of Changzhou fifth-line ship lock[J]. Port & waterway engineering, 2024(10): 104-109.

[7] 陈稚娟. 微山船闸改扩建模式的探讨[J]. 水运工程, 2008(7): 138-142.
CHEN Z J. On the construction model of Weishan shiplock expansion engineering[J]. Port & waterway engineering, 2008(7): 138-142.

[8] 姜兴良, 宋振宁. 微山三线船闸工程闸室平面尺度分析[J]. 水运工程, 2024(6): 159-163, 228.
JIANG X L, SONG Z N. Plane scale analysis of lock chamber in Weishan Third Line Ship Lock Project[J]. Port & waterway engineering, 2024(6): 159-163, 228.

[9] 丛润泽, 张荣麟. 微山三线船闸施工总平面布置设计要点[J]. 中国水运, 2025(8): 82-83, 120.
CONG R Z, ZHANG R L. Key points of general layout design for construction of Weishan Third-Line Ship Lock[J]. China water transport, 2025(8): 82-83, 120.

[10] 刘慧芳, 禹化强, 姜兴良. 微山三线船闸输水系统优化设计[J]. 水运工程, 2025(1): 164-170.
LIU H F, YU H Q, JIANG X L. Optimization design of filling-emptying system for Weishan third-line ship lock[J]. Port & waterway engineering, 2025(1): 164-170.

[11] 赵扩. 微山三线船闸输水系统布置及优化[J]. 水运工程, 2025(4): 120-126.
ZHAO K. Layout and optimization of filling and emptying system of Weishan third-line ship lock[J]. Port & waterway engineering, 2025(4): 120-126.

[12] 蔡新永, 李晓飚. 广西左江山秀船闸扩能工程通航条件试验研究[J]. 中国水运, 2025(12): 63-64, 67.
CAI X Y, LI X B. Experimental study on navigation conditions of capacity expansion project of Zuojiang Shanxiu Shiplock in Guangxi[J]. China water transport, 2025(12): 63-64, 67.

[13] 叶青, 姜兴良. 西津水利枢纽二线船闸总体布置方案[J]. 水运工程, 2024(12): 172-178.
YE Q, JIANG X L. General layout scheme of second-line ship lock of Xijin hydro-junction project[J]. Port & waterway engineering, 2024(12): 172-178.

[14] 杨峰, 周杰源, 叶雅思, 等. 长沙枢纽三线船闸工程总体布置[J]. 水运工程, 2025(5): 122-128.
YANG F, ZHOU J Y, YE Y S, et al. General layout of third-line ship lock project at Changsha Hub[J]. Port & waterway engineering, 2025(5): 122-128.

[15] 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.


（本文编辑　赵娟）

水运工程