

基于AHP-SMA算法的舟桥系统保障能力评估优化

朱永胜¹, 刘思源¹, 周超², 张乾辉¹

¹陆军工程大学训练基地, 江苏 徐州

²31692部队, 吉林 吉林

收稿日期: 2026年4月15日; 录用日期: 2026年6月11日; 发布日期: 2026年6月18日

摘要

着眼提高舟桥系统保障能力, 针对当前舟桥系统保障能力评估存在指标量化难、优化方法不精准、评估结果不科学等问题, 提出采用基于层次分析法-黏菌算法的评估方法, 采用层次分析法获取指标权重并确定评估结果, 针对结果采用黏菌算法动态优化指标体系。通过实例验证, 表明本文方法能够达到从静态评估到动态优化指标的效果, 可为提高舟桥系统的保障能力提供决策方法, 也为其他装备的评估与决策提供了一种新的思路和方法。

关键词

舟桥系统, 层次分析法, 黏菌算法

Evaluation and Optimization of Pontoon Bridge Equipment Support Capability Based on AHP-SMA Algorithm

Yongsheng Zhu¹, Siyuan Liu¹, Chao Zhou², Qianhui Zhang¹

¹Training Base, Army Engineering University, Xuzhou Jiangsu

²31692 Troops, Jilin Jilin

Received: April 15, 2026; accepted: June 11, 2026; published: June 18, 2026

Abstract

Focusing on improving the equipment support capability of the pontoon bridge, aiming at the problems of difficult index quantification, inaccurate optimization method and unscientific evaluation

文章引用: 朱永胜, 刘思源, 周超, 张乾辉. 基于 AHP-SMA 算法的舟桥系统保障能力评估优化[J]. 运筹与模糊学, 2026, 16(3): 45-55. DOI: 10.12677/orf.2026.163024

results in the current evaluation of the equipment support capability of the pontoon bridge, an evaluation method based on the analytic hierarchy process-slime mould algorithm is proposed. The analytic hierarchy process is used to obtain the index weight and determine the evaluation results, and the slime mould algorithm is used to dynamically optimize the index system. Through the example verification, it shows that the method can achieve the effect from static evaluation to dynamic optimization index, which can provide a decision-making method for improving the support ability of the pontoon bridge equipment, and also provide a new idea and method for the evaluation and decision-making of other equipment.

Keywords

Pontoon Bridge Equipment, Analytic Hierarchy Process, Slime Mould Algorithm

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

舟桥系统是保障渡河任务的核心力量，其保障能力直接决定渡河保障任务的效率与成败。渡河工程保障任务中，舟桥系统主要涉及人员、装备、物资、器材等，其保障能力受人员、组织、环境、装备性能等诸多因素影响。研究分析舟桥系统保障能力的影响因素、构建评估指标体系、设计评估方法、优化评估指标，对于提高舟桥系统的渡河保障能力具有重要意义。

当前，众多学者对渡河保障能力从指标体系、评估方法、作战能力等方面进行了大量的研究。李改灵等[1]针对装备保障效能评估的复杂性、随机性和模糊性问题，建立了基于群决策 - 云理论的装备保障能力评估模型；胡浩等[2]建立了评估模型，利用主客观赋权法、熵权法和云模型相关理论对某型装备机动效能进行综合评估；陈靖和杨海波[3]针对影响导弹装备维修保障效能发挥的诸多因素，构建了导弹装备维修保障效能评估模型，运用综合评价方法对导弹装备维修保障的效能进行评估。以上装备保障领域的相关研究为舟桥装备保障能力的评估提供了方法思路。研究发现，当前针对舟桥装备保障能力的评估还鲜有研究。通过知网、万方、维普检索“舟桥装备”，相关能力评估方面的文章截至2026年2月仅有4篇，且非近期发表。此外，舟桥系统保障能力评估还存在评估指标量化难、评估方法不精准、评估结果不科学等问题。针对上述问题，本文有别于以往研究，以舟桥系统的“保障能力”为评估重点，着眼舟桥系统与人、组织、环境、资源的交互能力，从人员、装备、组织、资源、环境五个方面构建评估指标体系，采用层次分析法对指标进行定性分析、黏菌算法对指标进行耦合处理，实现了定性算法与群智能优化算法的互补融合，保证了评估结果的客观准确，同时能够反向定位薄弱指标，为提高保障能力提供改进方向。

2. 舟桥系统保障能力评估指标体系构建

舟桥系统保障能力是为部队提供快速、可靠、持续的渡河通道，核心是渡河通道的快速开辟和可靠支撑，与装备性能、人员素质、物资保障、作业环境密不可分。以往的舟桥系统保障能力评估研究中，大都从装备性能、作业能力、装备系统构建评估指标。邵红全等[4]从门桥、渡口开设及机动能力方面构建了指标体系；何晓晖等[5]从机动性能、装卸载性能、指挥控制性能、战场生存性能和浮桥通载性能等五大指标构建了指标体系；张维[6]从军事指挥、后勤保障、装备保障构建了指标体系。本文在相关研究

的基础上, 结合舟桥系统保障的特点和运用规律, 遵循科学性、全面性、层次性、代表性、可执行性等指标体系构建的基本原则, 综合采用问卷调查、数据采集、试验分析等方法, 突出舟桥系统本身与人员、装备、资源、环境的交互能力, 将舟桥系统保障能力作为一级指标, 人员保障能力、装备作业能力、资源保障能力、组织协同能力、环境适配能力作为二级指标及相关 18 项三级指标, 如图 1 所示, 指标释义如表 1 所示。

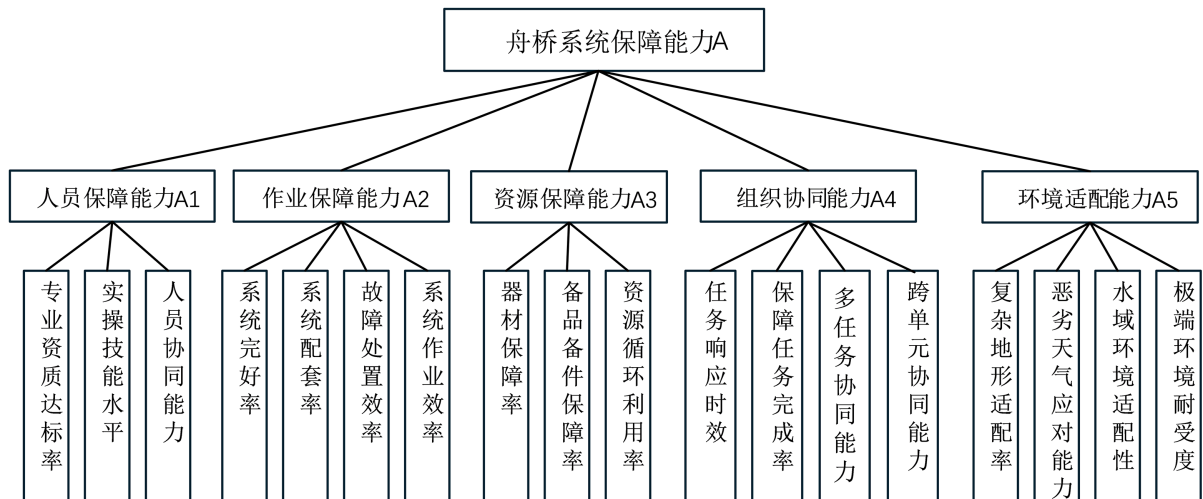


Figure 1. The index system of equipment support capability of pontoon bridge

图 1. 舟桥系统保障能力指标体系

Table 1. All levels of indicators and interpretations of bridge equipment support capability

表 1. 舟桥系统保障能力各级指标及释义

级别	名称	释义
1	舟桥系统保障能力	舟桥系统为部队提供持续可靠的渡河工程保障能力。
2.1	人员保障能力	参与舟桥系统保障的人员, 具备的专业素养、实操技能与协同能力。
2.1.1	专业资质达标率	具备舟桥保障、维修、操作等相关资质人员占比。
2.1.2	实操技能水平	保障人员完成舟桥架设、撤收、维修、故障处置等实操任务的能力。
2.1.3	人员协同能力	保障任务调度、跨岗位配合及突发情况处置能力。
2.2	系统作业能力	舟桥系统自身的完好状态、配套水平与作业效能。
2.2.1	系统完好率	舟桥系统的完好数与实有数的比例。
2.2.2	系统配套率	舟桥系统的实际配套数与编制配套数的比例。
2.2.3	故障处置效率	舟桥系统出现故障后, 完成故障排查、维修并恢复正常工作的平均时长。
2.2.4	系统作业效率	舟桥系统在规定条件下, 单位时间完成作业任务的实际效能。
2.3	资源保障能力	支撑舟桥系统保障任务开展的各类资源(器材、备件、物资等)的供给与利用能力。
2.3.1	器材保障率	保障任务所需各类器材(架设器材、维修器材等)的实际供给量与需求量的比例。
2.3.2	备品备件保障率	舟桥系统易损部件、核心部件的备品备件储备量与需求总量的比例。

续表

2.3.3	资源循环利用率	可回收耗材、废旧部件的回收再利用比例。
2.4	组织协同能力	舟桥系统保障作业时各保障单元、部门的作业效率及其间的配合及联动效率。
2.4.1	任务响应时效	接到保障任务指令后,完成人员集结、装备部署、资源调配的平均时长。
2.4.2	保障任务完成率	按要求完成舟桥系统保障任务的比例。
2.4.3	多任务协同能力	同时应对多项保障任务的完成质量及效率。
2.4.4	跨单元协同能力	各保障单元、部门间的配合顺畅度及联动效率。
2.5	环境适配能力	舟桥装备适配各类环境展开作业保障能力。
2.5.1	复杂地形适配性	舟桥系统在山地、滩涂、丘陵等复杂地形下的架设、作业适配能力。
2.5.2	恶劣天气应对能力	保障人员与装备在暴雨、大风、严寒等恶劣天气下,维持正常保障作业的能力。
2.5.3	水域环境适配性	舟桥系统在不同水深、水流速度、水质条件下的作业适配能力。
2.5.4	极端环境耐受度	舟桥系统与人员在高温、低温、高海拔等极端环境下的持续作业能力。

3. 基于层次分析法的指标权重计算

层次分析法(AHP)是一种将定性与定量相结合的多准则决策方法,核心是将复杂问题拆解为不同层级[7],通过专家两两对比打分构建判断矩阵,经一致性检验后计算各级指标的权重,实现指标重要性的量化排序。其具体步骤为:确立评估指标判断矩阵、一致性检验、求解指标权重。本文邀请5位专家(2名舟桥系统保障一线军官、2名装备研发工程师、1名军事工程评估专家),采用德尔菲法开展两两对比打分,对打分结果取加权均值(专家权重均为1/5),分别构建准则层(二级指标)与方案层(三级指标)的判断矩阵。

3.1. 各层判断矩阵

以一级指标舟桥系统保障能力作为目标层,5个二级指标为准则层,构建判断矩阵A,18个三级指标为方案层,分别构建判断矩阵,所有判断矩阵均基于专家加权打分得到的标度值构建,具体如下:

一级指标舟桥系统保障能力的判断矩阵A:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & 2 & \frac{1}{2} & 2 \\ 3 & 1 & 4 & 2 & 5 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \\ 2 & \frac{1}{2} & 3 & 1 & 3 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{5} & 1 & \frac{1}{3} & 1 \end{bmatrix}$$

二级指标人员保障能力、系统作业能力、资源保障能力、组织协同能力、环境适配能力对应方案层判断矩阵A1、A2、A3、A4、A5:

$$A1 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{3} \\ 2 & 1 & \frac{1}{2} \\ 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad A2 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 & \frac{1}{4} \\ 2 & 3 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ \frac{1}{2} & 1 & 2 \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix} \quad A4 = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2} & 2 & 1 \\ 2 & 1 & 3 & 2 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{2} \\ 1 & \frac{1}{2} & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A5 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{3} & 2 \\ 1 & 1 & \frac{1}{3} & 2 \\ 3 & 3 & 1 & 4 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{4} & 1 \end{bmatrix}$$

3.2. 一致性检验

一致性检验的核心是验证专家打分构建的判断矩阵是否合理，避免出现逻辑矛盾。检验首先计算判断矩阵的最大特征值 λ_{\max} ，再计算一致性指标 CI 并结合随机一致性指标 RI 计算一致性比例 CR ，若 $CR < 0.1$ ，则判断矩阵满足一致性要求，可用于权重计算；否则需修正判断矩阵。一致性指标 CI 和一致性比例 CR 计算公式：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

其中 n 为判断矩阵的阶数(指标个数)； RI 为随机一致性指标，可通过查表获取($n = 3$ 时 $RI = 0.58$ ， $n = 4$ 时 $RI = 0.90$ ， $n = 5$ 时 $RI = 1.12$)。

经计算准则层和方案层均满足 $CR < 0.1$ 的一致性要求，具体结果如表 2 所示。

表 2 表明所有判断矩阵均通过一致性检验，说明专家打分逻辑合理、无矛盾，可用于后续指标权重计算。

3.3. 指标权重计算

本文采用和法计算各级指标的权重，核心逻辑是对判断矩阵的每一行元素求和、归一化处理，得到指标权重。总权重 = 准则层权重 \times 对应方案层权重，确保所有三级指标的总权重之和为 1，各指标权重具体如表 3 所示。

Table 2. Index test results
表 2. 指标检验结果

指标	阶数 n	最大特征值 λ_{\max}	CI	RI	CR	检验结果
准则层	5	5.192	0.048	1.12	1.043	合格
人员保障能力	3	3.009	0.005	0.58	0.008	合格
系统作业能力	4	4.021	0.007	0.90	0.008	合格
资源保障能力	3	3.012	0.006	0.58	0.010	合格
组织协同能力	4	4.035	0.012	0.90	0.013	合格
环境适配能力	4	4.027	0.009	0.90	0.010	合格

Table 3. Index weight value
表 3. 指标权重值

指标	权重值	指标	权重值	指标	权重值
人员保障能力	0.168	系统作业效率	0.2454	多任务协同能力	0.0221
专业资质达标率	0.0281	资源保障能力	0.079	跨单元协同能力	0.0442
实操技能水平	0.0485	器材保障率	0.0430	环境适配能力	0.085
人员协同能力	0.0914	备品备件保障率	0.0228	复杂地形适配性	0.0142
系统作业能力	0.425	资源循环利用率	0.0132	恶劣天气应对能力	0.0142
系统完好率	0.0980	组织协同能力	0.243	水域环境适配性	0.0425
系统配套率	0.0523	任务响应时效	0.0442	极端环境耐受度	0.0141
故障处置效率	0.0293	保障任务完成率	0.0884		

基于应用 AHP 所求得各级指标权重, 结合 18 个三级指标的取值结果即可计算出相应评估结果, 如公式(3)所示, F 为评估得分, w_i 为权重, x_i 为指标取值。18 个三级指标得分根据实际数据或者专家打分进行量化取得。若多方案比较时, 对每个方案的 18 个三级指标分别打分, 再求解最终的评估得分。依据得分结果确定评估等级如表 4 所示。

$$F = \sum_{i=1}^{18} w_i \times x_i \quad (3)$$

Table 4. Evaluates the grade score
表 4. 评估等级得分

评估等级	优秀	良好	一般	差
分值区间	$9 \leq F < 10$	$7 \leq F < 9$	$6 \leq F < 7$	$F < 6$

4. 基于黏菌算法的评估优化算法

4.1. 黏菌算法原理

黏菌算法是受生物启发的一种优化方法, 主要模拟黏菌在觅食过程中的行为和形态变化实现智能寻

优并构建数学模型[8]。假设黏菌种群数据量为 N ，每个个体均包含 D 个维度，则可以将黏菌的整个种群表为：

$$X = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \cdots & x_1^D \\ x_2^1 & x_2^2 & \cdots & x_2^D \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_N^1 & x_N^2 & \cdots & x_N^D \end{bmatrix} \quad (4)$$

黏菌接近食物的过程中位置更新及适应度可以分别表示为：

$$\overline{X}(t+1) = \begin{cases} rand \times (ub - lb) + lb, & r < z \\ \overline{X}_b(t) + \overline{vb} \times (\overline{W} \times \overline{X}_A(t) - \overline{X}_B(t)), & r < p \\ \overline{vc} \times \overline{X}(t), & r \geq p \end{cases} \quad (5)$$

$$f(X) = [f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_N)] \quad (6)$$

$$p = \tanh |f(x_i) - DF| \quad (7)$$

式中： $\overline{X}(t)$ 表示第 t 次迭代时黏菌的位置向量， $\overline{X}_b(t)$ 表示第 t 次迭代时食物浓度最高的位置向量， \overline{vb} 是取值范围在 $[-a, a]$ 之间的一个参数， \overline{vc} 为调整黏菌位置更新的参数，其取值从 1 到 0 线性递减， \overline{W} 为权重系数，三者影响黏菌的搜索过程， $rand$ 和 r 表示范围 $[0, 1]$ 的随机数， ub 和 lb 表示搜索空间上界和下界， z 是平衡搜索与开发阶段的参数。 $f(x_i)$ 为个体适应度值， DF 是所有迭代中的最佳适应度值，若当前个体的适应度值无限接近于最佳适应度值时，则 p 无限接近于 0。

参数 a 的公式为：

$$a = \operatorname{arctanh} \left(-\frac{t}{t_{\max}} + 1 \right) \quad (8)$$

权重系数 \overline{W} 公式为：

$$\overline{W} = \begin{cases} 1 + r \ln \left(\frac{bF - f(x_i)}{bF - wF} + 1 \right), & \text{condition} \\ 1 - r \ln \left(\frac{bF - f(x_i)}{bF - wF} + 1 \right), & \text{others} \end{cases} \quad (9)$$

$$\operatorname{SmellIndex}f(x_i) = \operatorname{sort}(f(x_i)) \quad (10)$$

上述公式中 t_{\max} 是最大迭代次数， t 是当前迭代次数。Condition 表示黏菌种群适应度值排名前半的个体， bF 、 wF 分别是当前迭代过程中所获得的最优和最差适应度值。适应度值排名较后的个体则被划分为 others 区，others 区的权重将会降低并使黏菌舍弃当前区。

黏菌在觅食过程中将不断产生振荡，从而使黏菌的适应度值发生变化，同时致使 \overline{W} 和 p 值也发生改变，依据适应度值的变化不断更新黏菌个体的位置，最终达到动态寻优的效果。

4.2. 黏菌算法流程

黏菌算法核心思想是模拟黏菌在觅食过程中通过伸缩、振荡和网络重构来寻找最优食物源(最优解)的行为。主要分为三个阶段：趋近食物源、包围食物源和振荡行为。首先黏菌向高浓度食物(适应度好的解)移动；其次在最优食物源周围收缩，强化局部搜索；最后黏菌在不同食物源间随机振荡，避免局

部最优。

算法实现步骤：首先设定黏菌种群规模、最大迭代次数、变量范围等参数，并随机初始化黏菌种群的初始位置。随后进入黏菌的迭代过程，并在每次的迭代中计算所有个体的适应度值，对个体按适应度值排序并更新全局最优解及其对应的最优适应度；最后动态调整惯性权重参数 \vec{W} ，再依次更新每个搜索位置的移动参数，再更新黏菌个体的位置。迭代完成后输出全局最优适应度值及对应的最优解。其算法流程图如图 2 所示。

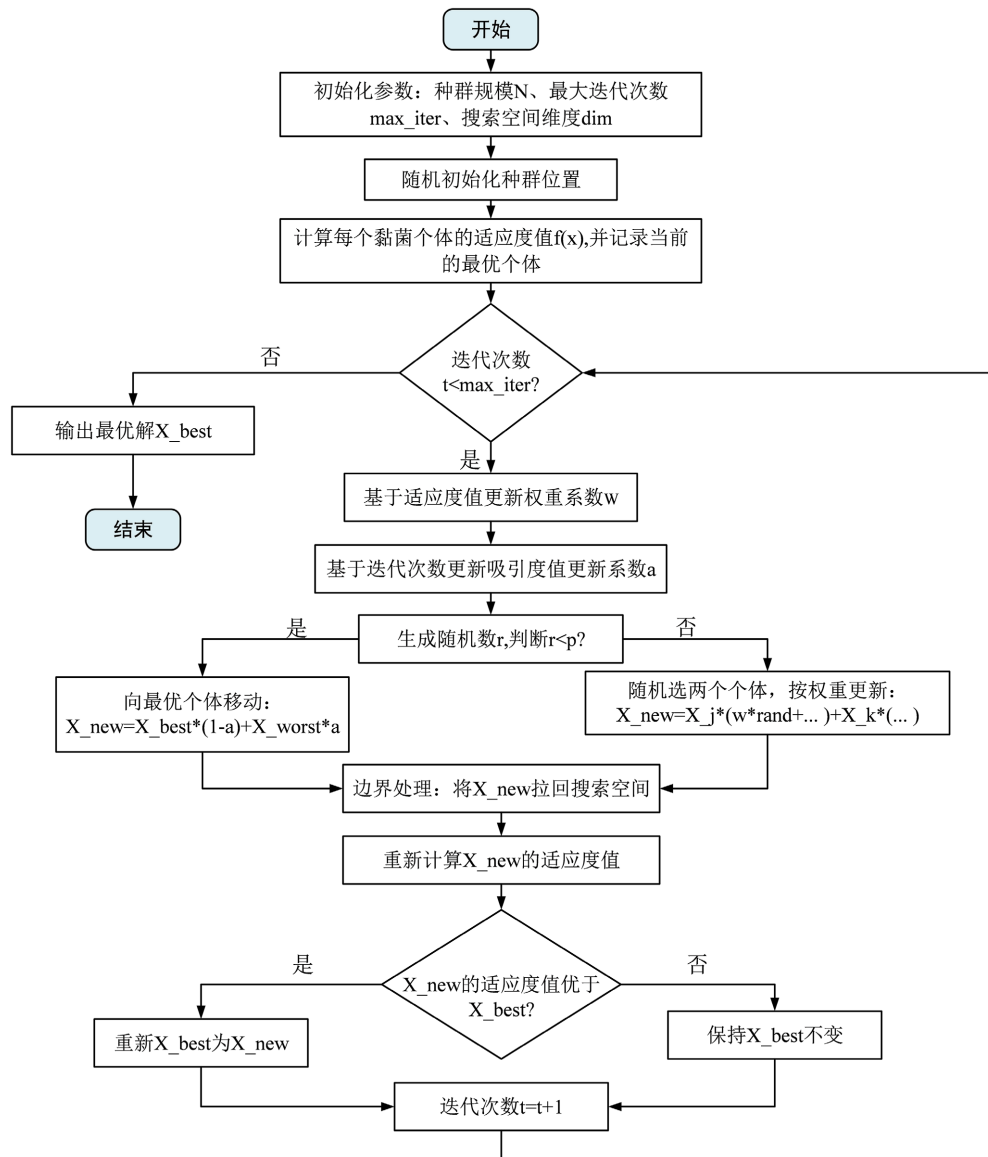


Figure 2. Flow chart of slime mould algorithm
图 2. 黏菌算法流程图

4.3. 黏菌评估优化算法设计

黏菌算法相较于其他智能优化算法，具有收敛速度快、精度高，结构简单、易实现，实用范围广、鲁棒性强等优点。对于应用层次分析法得到的评估结果，若评估结果不能满足要求，即舟桥系统

的保障能力不能满足保障需要，如何提高其保障能力、采取什么样的措施办法、现实中的保障能力短板弱项是什么，这些通常是提高保障能力关注的重点。基于黏菌算法的优点，应用该算法不仅能够清晰地寻找到所有评估指标的最优组合，而且能够为指挥员明晰能力提升上限，帮助其确立提升目标、定下措施办法。

本研究基于层次分析法计算的权重，将评估结果 F 公式(3)作为黏菌算法的适应度值，按照算法流程和步骤进行评估结果的优化。18 个三级指标作为搜索和调整对象，对应算法的空间维度，即 $\text{dim} = 18$ ，表示黏菌个体在一个 18 维的空间中觅食，每一个黏菌位置代表一套完整的 18 个指标得分组合。具体参数设计如下：

i 个黏菌个体的位置为 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{i19})$ ，其中 x_{ij} 代表第 j 三级指标的量化得分。 pop_size 为种群规模，初始为 50，最大迭代次数 max_iter 为 200 次，变量下界 lb 为 1 分，变量上界 ub 为 10 分，其他参数同算法说明。适应度函数如公式(11)，式中 w_i 为第 i 项三级指标的 AHP 固定权重， x_i 为第 i 项三级指标的量化得分。

$$f(X) = F = \sum_{i=1}^{18} w_i \cdot x_i \quad (11)$$

5. 实例分析

为了详细说明本研究提出的基于 AHP-SMA 算法的可行性，现进行实例验证。本实例 18 项三级指标得分来源于一线舟桥系统，通过日常数据积累或相关专家打分，按照表 1 释义进行采集，如表 5 所示，表中每个指标得分范围为 1~10 分。

Table 5. The score of the third-level index instance

表 5. 三级指标实例得分值

指标	得分	指标	得分	指标	得分
专业资质达标率	8.9	装备作业效率	4.1	多任务协同能力	5.1
实操技能水平	7.6	器材保障率	7.2	跨单元协同能力	6.6
人员协同能力	6.8	备品备件保障率	3.8	复杂地形适配性	4.7
装备完好率	4.9	资源循环利用率	4.5	恶劣天气应对能力	3.9
装备配套率	5.5	任务响应时效	6.9	水域环境适配性	5.2
故障处置效率	4.2	保障任务完成率	6.3	极端环境耐受度	3.5

基于表 5 所示的 18 个三级指标分值，应用 AHP 方法公式(3)可知评估结果 $F = 5.23$ 分，该舟桥系统保障能力等级为差，不能达到要求，需进行优化提高。应用黏菌算法进行动态优化，优化后综合得分为 9.19，说明其舟桥系统的保障能力为优。

实例中基于 SMA 算法，其迭代优化曲线如图 3 所示，表明 SMA 算法在迭代 60 次后收敛至最优综合得分 9.19 分，较现状得分 5.23 分提升了 3.96 分，评价等级由一般提升至优秀。这表明 AHP-SMA 联合模型能够有效实现系统保障能力的优化提升，为舟桥系统建设提供了科学的决策依据。

在应用 SMA 算法优化三级指标的同时，5 个二级指标的得分也随之变化，图 4 为 5 个二级指标优化前后的雷达图，5 个二级指标优化的得分也有了明显提高，表明 AHP-SMA 联合模型能够有效实现系统保障能力的优化提升。

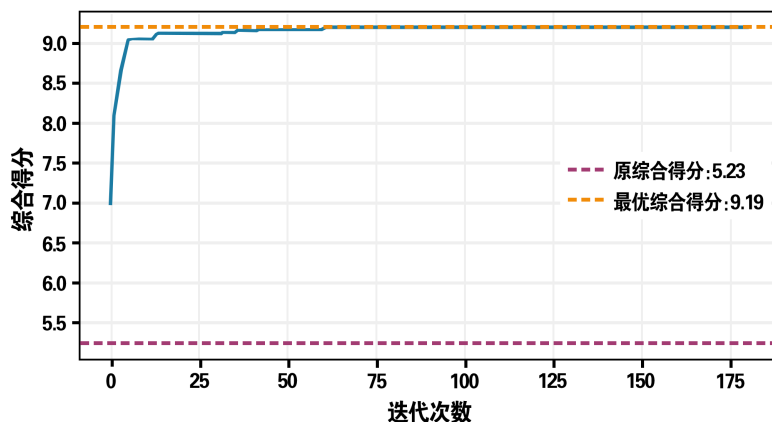


Figure 3. SMA algorithm iterative optimization curve
图 3. SMA 算法迭代优化曲线

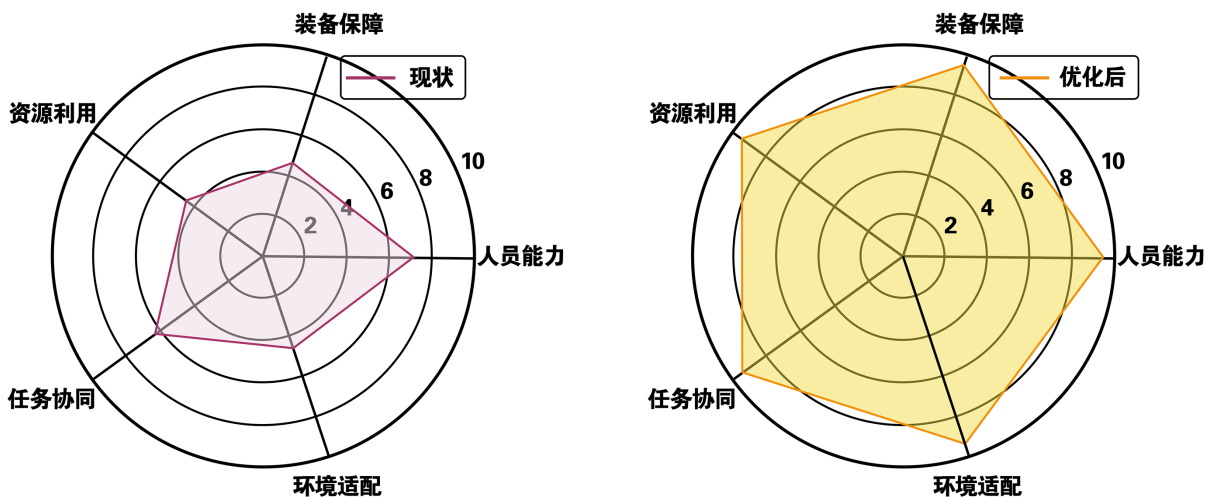


Figure 4. Secondary index optimization comparison diagram
图 4. 二级指标优化对比图

对于 18 个三级指标优化后的得分如表 6 所示，对比柱状图如图 5 所示，表明经过 SMA 算法优化三级指标能够得到明显提升。

Table 6. The scores of the third-level index examples after optimization
表 6. 三级指标实例优化后得分值

指标	得分	指标	得分	指标	得分
专业资质达标率	9.64	系统作业效率	9.62	多任务协同能力	9.64
实操技能水平	9.63	器材保障率	9.60	跨单元协同能力	9.63
人员协同能力	9.62	备品备件保障率	9.61	复杂地形适配性	9.60
系统完好率	9.60	资源循环利用	9.64	恶劣天气应对能力	9.61
系统配套率	9.51	任务响应时效	9.57	水域环境适配性	9.62
故障处置效率	9.64	保障任务完成率	9.64	极端环境耐受度	9.63

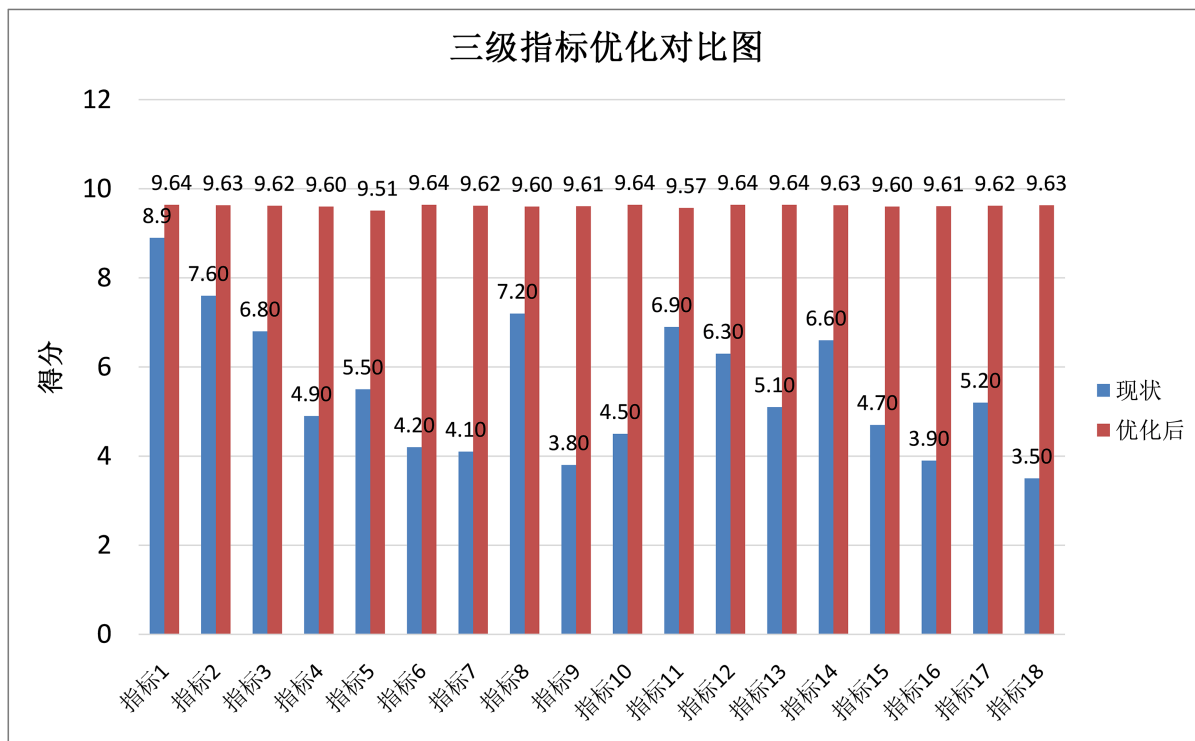


Figure 5. Three-level index optimization comparison chart

图 5. 三级指标优化对比图

6. 结束语

从提高舟桥系统保障能力的角度出发,通过广泛地调研,采用专家打分法构建了舟桥系统保障能力评估的指标体系,采用层次分析法确定了各层的指标权重,并在此基础上应用黏菌优化算法对 18 个三级指标进行了动态优化,验证了本文方法的可行性、合理性。研究表明,通过 AHP-SMA 算法可有效实现系统保障能力从静态评价到动态优化的提升,为提高舟桥系统保障能力提供决策辅助。同时,本文所构建的评估指标体系、评估方法、优化算法,也为其他系统相似能力的评估提供了方法思路。

参考文献

- [1] 李改灵, 黄韬, 李昂骏. 基于群决策-云理论的装备保障能力评估[J]. 科学技术与工程, 2024, 24(11): 4488-4494.
- [2] 胡浩, 冯辅周, 朱俊臻, 等. 基于熵权-主客观赋权法的装备保障单元效能评估研究[J]. 现代防御技术, 2025, 53(1): 173-181.
- [3] 陈靖, 杨海波. 基于综合评价方法的导弹装备维修保障效能评估[J]. 舰船电子工程, 2021, 41(8): 110-114.
- [4] 邵红全, 申兆祥, 杜峰, 等. 基于 FCE 的舟桥装备保障能力评估研究[C]//中国系统工程学会. 中国系统工程学会决策科学专业委员会第十一届学术年会论文集. 2015: 80-84.
- [5] 何晓晖, 王强, 徐磊, 等. 基于 F-ANP 的舟桥装备系统效能评估研究[J]. 舰船电子工程, 2018, 38(6): 81-85.
- [6] 张维. 基于 AHP 的舟桥部队抗洪抢险效能评估[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(5): 65-67.
- [7] 张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [8] 李红岩, 陈晓蝶, 梁伟涛, 等. 基于改进黏菌算法的室内移动机器人路径规划研究[J/OL]. 计算机工程与应用: 1-11. <https://link.cnki.net/urlid/11.2127.TP.20251028.1128.005>, 2026-06-01.