

# 水电站船舶巷道航行危险度评价算法研究

陈涛<sup>1</sup>, 张华飞<sup>1</sup>, 江世雄<sup>2</sup>, 孙成勋<sup>1</sup>, 刘森<sup>1</sup>, 李红彦<sup>1</sup>, 李光日<sup>1</sup>, 曲艺<sup>1</sup>

(1. 国网吉林省电力有限公司电力科学研究院, 吉林 长春 130021;

2. 福建电力是国网福建省电力有限公司, 福建 福州 350001)

**摘要:** 为了对水电站船舶巷道航行危险度进行准确评价, 设计了基于灰色关联分析和层次分析的水电站船舶巷道航行危险度评价算法。首先采集水电站船舶巷道航行危险度评价数据, 然后采用灰色关联分析法对数据之间的关系进行分析, 并通过层次分析法确定各评判指标的权重, 通过加权得到水电站船舶巷道航行危险度评价结果, 水电站船舶巷道航行危险度评价仿真测试结果表明, 本文方法的水电站船舶巷道航行危险度评价结果十分合理, 不仅具有较高的可信度, 而且水电站船舶巷道航行危险度评价精度优于其他算法。

**关键词:** 水电站; 船舶巷道; 航行危险度; 评价算法

中图分类号: TP391 文献标识码: A

文章编号: 1672-7649(2018)8A-0040-03 doi: 10.3404/j.issn.1672-7649.2018.8A.014

## Study on navigation risk assessment algorithm for ship in Hydropower Station

CHEN Tao<sup>1</sup>, ZHANG Hua-fei<sup>1</sup>, JIANG Shi-xiong<sup>2</sup>, SUN Cheng-xun<sup>1</sup>, LIU Sen<sup>1</sup>, LI Hong-yan<sup>1</sup>, LI Guang-ri<sup>1</sup>, QU Yi<sup>1</sup>

(1. State Grid Jilin Electric Research Institute, Changchun 130021, China;

2. State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Fuzhou 350001, China)

**Abstract:** In order to accurately evaluate the risk degree of the navigation of the ship's laneway in the hydropower station, an evaluation algorithm is designed based on the grey correlation analysis and the analytic hierarchy process for the risk degree of the navigation of the ship's laneway in the hydropower station. First, it adopts the data of the risk analysis of the navigation of the ship's laneway in the hydropower station, then analyzes the relationship between the data by the grey correlation analysis, and determines the weight of each evaluation index by the analytic hierarchy process, and gets the risk evaluation result of the navigation of the laneway of the hydropower station by weighting, and the danger of the navigation of the laneway of the hydropower station. The results of the evaluation of the degree evaluation show that the evaluation result of the risk degree of the navigation of the laneway in the hydropower station is very reasonable and has a high reliability, and the evaluation accuracy of the navigation risk of the laneway in the hydropower station is better than that of the other algorithms.

**Key words:** hydropower station; ship laneway; navigation risk degree; evaluation algorithm

## 0 引言

在实际航行过程中, 受到地理位置、水域条件等因素的影响, 水电站船舶巷道航行中存在一定的风险。对水电站船舶巷道航行存在的危险进行科学评价, 可以为船员提供有价值的参考意见, 有利于制定相应的预警措施, 对降低船舶巷道航行危险具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>。

目前存在许多水电站船舶巷道航行危险评价方法, 最初是基于专家系统的船舶巷道航行危险评价算

法, 首先建立船舶巷道航行危险评价体系, 然后收集大量的数据, 根据数据建立相应的专家知识库, 最后对相应的船舶巷道航行危险进行估计和评价, 该算法主要对船舶巷道航行的整体危险进行评价, 由于要采集大量的数据, 使得船舶巷道航行危险评价成本高, 因此很难应用于实际中<sup>[2]</sup>。由于船舶巷道航行危险评价指标具有多样性、不确定性, 同时由于每一个专家的知识、偏好以及经验丰富度不相同, 因此, 基于专家系统的船舶巷道航行危险评价算法, 得到的船舶巷

收稿日期: 2018-06-25

作者简介: 陈涛(1982-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力环保与职业卫生。

道航行危险评价结果具有较强的主观性, 因此出现了一些定量的船舶巷道航行危险评价算法, 如灰色关联分析法、层次分析法等<sup>[3-4]</sup>。由于船舶巷道航行危险评价是一个十分复杂的过程, 灰色关联分析法和层次分析法虽然可以得到比较好的评价结果, 但是它们存在一定的局限性, 使得船舶巷道航行危险评价结果不能满足实际应用的要求<sup>[5-6]</sup>。

为了克服船舶巷道航行危险度评价误差大的难题, 首先采用灰色关联分析法对数据之间的关系进行分析, 然后通过层次分析法确定各评判指标的权重, 最后通过加权得到水电站船舶巷道航行危险度评价结果, 并通过水电站船舶巷道航行危险度评价仿真测试, 验证本文算法的有效性以及优越性。

### 1 水电站船舶巷道航行危险度评价算法

#### 1.1 评价模型的构建

水电站船舶巷道航行危险度评价有多个指标, 因此可以看作是一个多指标约束的目标优化决策问题。设有  $m$  个水电站船舶巷道航行危险度的备用评价方案, 而每一个评价方案又包括有  $n$  个评价指标, 那么可以建立如下评价指标矩阵:

$$A_{ij}=(a_{ij})m \times n = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

式中,  $a_{ij}$  为第  $i$  个水电站船舶巷道航行危险度评价方案的第  $j$  个指标值。

为了对水电站船舶巷道航行危险度进行科学、高精度的评价, 就要确定一个最理想的水电站船舶巷道航行危险度评价方案。而最理想的水电站船舶巷道航行危险度评价方案是基于灰色关联度分析法得到。设理想的水电站船舶巷道航行危险度评价方案的指标值向量为  $U_{lj} (a_{l1}, a_{l2}, \dots, a_{ln})$ , 该指标值向量和  $A_{ij}$  构成一个新的矩阵  $\overline{A_{ij}}$ , 具体为:

$$\overline{A_{ij}} = \begin{bmatrix} A_{ij} \\ U_{lj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \\ a_{l1} & a_{l2} & \cdots & a_{ln} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

由于水电站船舶巷道航行危险度的评价指标单位不一样, 为此对矩阵要进行归一化处理, 得到:

$$S = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

#### 1.2 评价模型求解

##### 1.2.1 计算评价指标之间的关联系数

对于归一化后的水电站船舶巷道航行危险度评价矩阵  $S$  中的指标, 根据灰色关联计算各指标之间的关联系数, 具体为:

$$r_{ij} = \frac{\min_i \min_j (1 - s_{ij}) + \varepsilon \max_i \max_j (1 - s_{ij})}{(1 - s_{ij}) + \varepsilon \max_i \max_j (1 - s_{ij})}, \quad (4)$$

$R_i$  表示第  $i$  个水电站船舶巷道航行危险度评价的指标和理想方案的指标关联系数, 可以得到关联系数矩阵为:

$$\overline{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

##### 1.2.2 用层次分析法确定指标权重

在水电站船舶巷道航行危险度评价过程中, 每一个指标对水电站船舶巷道航行危险度评价结果的贡献不一样, 这主要通过权重值来进行衡量, 本文选择层次分析法确定水电站船舶巷道航行危险度评价的指标权值, 具体为:

- 1) 确定船舶巷道航行危险度评价指标集。
- 2) 建立水电站船舶巷道航行危险度评价的判断矩阵

$$B = (B_{jk})n \times n = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nn} \end{bmatrix}, \quad (6)$$

式中:  $b_{jk}$  表示第  $j$  个船舶巷道航行危险度评价指标和第  $k$  个指标相比的重要程度。

3) 将  $B$  判断矩阵各列进行归一化操作, 然后计算各行元素之和, 并进行归一化操作, 具体为:

$$\overline{b}_{jk} = \frac{b_{jk}}{\sum_{j=1}^n b_{jk}} (j, k = 1, 2, \dots, n), \quad (7)$$

$$\overline{\omega}_j = \sum_{k=1}^n \overline{b}_{jk} (j, k = 1, 2, \dots, n), \quad (8)$$

$$\omega_j = \frac{\overline{\omega}_j}{\sum_{j=1}^n \overline{\omega}_j} (j = 1, 2, \dots, n). \quad (9)$$

船舶巷道航行危险度评价指标权值向量为  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 。

#### 1.3 计算船舶巷道航行危险度评价方案的综合关联度

根据指标的关联系数和权重计算船舶巷道航行危

险度评价评价方案的综合关联度  $U_i$  为:

$$U_i = R_i \cdot \omega = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot \omega_j (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)。(10)$$

按照  $U_i$  的大小排列,  $U_i$  最大值为最理想的水电站船舶巷道航行危险度评价方案。

### 2 仿真测试

#### 2.1 船舶巷道航行危险度评价指标体系

为了分析本文提出的水电站船舶巷道航行危险度评价性能, 建立如表 1 所示的水电站船舶巷道航行危险度评价指标体系。水电站船舶巷道航行危险度等分为 1~4 级。

表 1 水电站船舶巷道航行危险度评价指标体系  
Tab. 1 Evaluation index system for navigation risk of ships in hydropower stations

编号	指标名称	编号	指标名称
1	航道宽度	6	助航设备完善程度
2	航道水深	7	交管程度
3	航道弯曲度	8	船舶设备因素
4	船舶交会程度	9	驾驶人因因素
5	通航拥挤程度		

#### 2.2 实验数据

根据表 1 水电站船舶巷道航行危险度评价指标体系收集数据, 共得到 100 个历史数据, 然后对数据进行归一化操作, 结果如表 2 所示。

表 2 实验数据  
Tab. 2 Experimental data

样本编号	指标编号					危险等级
	1	2	3	...	9	
1	0.827	0.255	0.815	...	0.255	1
2	0.534	0.387	0.146	...	0.387	4
3	0.773	0.381	0.230	...	0.381	1
4	0.032	0.640	0.136	...	0.640	3
5	0.392	0.681	0.759	...	0.681	2
6	0.272	0.280	0.099	...	0.280	4
7	0.626	0.697	0.970	...	0.697	1
8	0.969	0.947	0.892	...	0.947	1
9	0.201	0.293	0.980	...	0.293	2
...	...	...	...	...	...	...
100	0.445	0.614	0.223	0.445	0.614	4

### 2.3 结果与分析

首先采用灰色关联法对表 1 中的水电站船舶巷道航行危险度评价指标的关联系数进行计算, 然后采用层次分析确定水电站船舶巷道航行危险度评价指标体系的权重, 建立水电站船舶巷道航行危险度评价方案, 并统计水电站船舶巷道航行危险度评价精度, 选择单一的灰色关联分析法和层次分析法进行水电站船舶巷道航行危险度评价对比测试, 实验结果如图 1 所示。共进行 3 次实验, 对图 1 的水电站船舶巷道航行危险度评价精度进行分析可以发现, 水电站船舶巷道航行危险度评价精度要高于单一的灰色关联分析法和层次分析法。

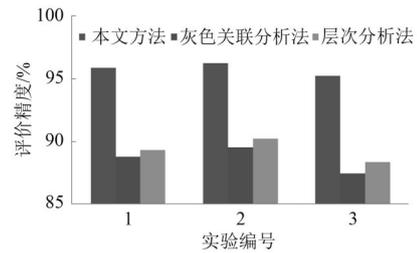


图 1 水电站船舶巷道航行危险度评价精度对比

Fig. 1 Comparison of ship navigation risk assessment accuracy for Hydropower Station

### 3 结 语

为了解决当前电站船舶巷道航行危险度评价过程存在的难题, 提出了基于灰色关联分析和层次分析的水电站船舶巷道航行危险度评价算法。测试结果表明, 本文方法提高了水电站船舶巷道航行危险度评价精度, 水电站船舶巷道航行危险度评价错误率要小于当前其他的船舶巷道航行危险度评价算法, 具有更高的实际应用价值。

### 参考文献:

- [1] 黄常海, 李志云, 郭国平. 关于弯曲河道对船舶通航影响的研究及对策[J]. 中国水运: 理论版, 2007, 5(3): 8-9.
- [2] 肖英杰, 高德毅, 彭宇, 等. 定线制水域航行危险度评价模型及其应用[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(2): 93-99.
- [3] 王新辉, 李顺亮, 钟碧良, 等. 水域通航安全评估未确知测度模型[J]. 中国航海, 2009, 32(2): 39-44.
- [4] 于精忠, 陈锦标, 肖英杰, 等. 基于多级模糊综合评价法的黄浦江各弯曲航道航行危险度评价[J]. 上海海事大学学报, 2011, 32(2): 42-46.
- [5] 王丹, 井燕. 航道内船舶航行环境危险度评价[J]. 舰船科学技术, 2016, 38(12A): 93-75.
- [6] 秦庭荣, 陈伟炯, 梁伟波, 等. 基于物元模型的航道安全评估[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2008, 29(4): 322-325.