

基于物元模型的航道枢纽拥堵风险评估

张 鹏¹, 揭 佳²

(1. 湖北交通职业技术学院 汽车与航空学院, 湖北 武汉 430079;

2. 中国船级社武汉分社 建造船舶检验处, 湖北 武汉 430022)

摘 要: 航道枢纽作为构建综合交通运输体系的重要组成部分, 其拥堵性评估将为整个航道的畅通安全运营提供决策依据。针对航道枢纽随时可能产生拥堵的风险, 系统分析了与之相关的影响因素, 通过建立物元模型, 应用区域关联函数分析方法及层次分析法, 对枢纽的拥堵性进行评估, 以此为基础制定出相应对策来提高通过效率, 并有效保障船舶在营运过程中的畅通与安全。

关键词: 枢纽; 物元模型; 层次分析

中图分类号: U675.5

文献标志码: A

文章编号: 2097-0358(2024)1-0039-05

0 引言

根据中共中央、国务院印发的《扩大内需战略规划纲要(2022—2035 年)》通知要求, 坚定实施扩大内需战略、培育完整内需体系, 是加快构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局的必然选择, 是促进我国长远发展和长治久安的战略决策。文件明确提出支持建设国际航运中心, 加快长江等内河高等级航道网建设。随着我国经济实力和交通运输水平的快速提高, 航运通过量近年来屡创新高, 航道枢纽的作用在我国构建综合交通运输体系的进程中显得愈发重要。但是, 航道及水利枢纽的通航条件与现实需求依然存在一定差距, 重点航道疏浚养护施工保畅和航道枢纽拥堵治理也依然有着巨大的发展改善空间, 主要体现为基础设施互联互通规划建设薄弱、航道枢纽管理信息化不够智能、运输结构不合理且区域发展不均衡、交通运输服务能力和水平有待提高、多方面统筹协调需要加强、综合交通运输效率有待改善、毛细血管性质中很多“第一公里”和“最后一公里”没有打通、关键技术装备创新能力较弱、航道枢纽拥堵存在安全隐患等。

航道枢纽拥堵性指数直接反映了整个航线的畅通情况, 因此对航道枢纽可能存在的拥堵风险开展评估, 能够有效预判风险并降低堵塞的发生率, 为船舶的顺利通行提供保障, 从而创造出更大的经济效益。物元模型作为分析某一事物在一定时期内具有相同或相似属性的程度和范围的科学方法, 为解决这一问题提供了参考依据。物元模型通过对航道枢纽进行理论剖析和多因素分析, 并对其进行有效的评估, 可预判它可能存在的拥堵风险程度, 然后给出有效的处理方案。枢纽拥堵的风险评估过程较为复杂, 而常规使用的排队论不能全面考虑问题的客观性, 传统的模糊聚类方法也存在着一定程度的缺陷, 不能较好地满足复杂系统中不确定性信息的处理要求。类似于客观存在的不相容问题, 运用物元分析理论方法则可以相对独立地加以对待。物元分析理论是基于对相关要素的运用而提出的, 旨在提高转换效率, 解决难于兼容的问题, 因此将其引入枢纽交通拥堵风险评估具有重要意义。

1 物元模型

1.1 物元的基本概念

物元是指事物(N)与其特性(C)和每个特性的量值(V)“三要素”所构成的三元组, 记作(N, C, V), 其中, V 为 C 相对应的量值。物元可表示某一事物在一定时期内具有相同或相似属性的程度和范围, 各种特性及其

收稿日期: 2023-01-02

基金项目: 全国交通运输职业教育科研项目(2019B82); 中国交通教育研究会教育科学研究课题(JT2022YB357)

作者简介: 张鹏(1984—), 男, 湖北武汉人, 湖北交通职业技术学院汽车与航空学院讲师, 硕士。

相应量值、各维空间组成物元。用数学表达式来描述某一类或某类事物时,可根据不同条件下所要求的目标函数值,确定出它在这一维空间中各个分量上的大小关系。

假如这个事物具有 n 种属性 C_1, C_2, \dots, C_n , 它所对应的量值记作 v_1, v_2, \dots, v_n 。在这一概念下,所有具有相同或类似性质的对象都可以看成是它的物元,那么就把该物元称为 n 维物元,并用矩阵 R 来表达^{[1][2]161-205}。

$$R = \begin{bmatrix} N & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & C_3 & v_3 \\ & C_4 & v_4 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

1.2 经典物元、节域物元及待评物元

当 N_j 表示所划分的 j 种评价类型时, C_i 表示评价类型 N_j 所对应的评价指标(特征)。

$X_{ji} \leq a_{ji}, b_{ji} > (i = 1, 2, \dots, n)$ 指示评价指标 C_i 相应的尺寸范围,也就是类别 N_j 对相应评价指标 C_i 所取数据的取值范围叫做经典域 R_j ,其表示形式为:

$$R_j = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & x_{j1} \\ & C_2 & x_{j2} \\ & C_3 & x_{j3} \\ & C_4 & x_{j4} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & C_3 & \langle a_{j3}, b_{j3} \rangle \\ & C_4 & \langle a_{j4}, b_{j4} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

用 p 表示评价等级的全体, $X_{p1}, X_{p2}, \dots, X_{pn}$ 分别表示事物 N 关于指标 C_1, C_2, \dots, C_n 的量值范围,则节域为:

$$R_p = \begin{bmatrix} p & C_1 & x_{N1} \\ & C_2 & x_{N2} \\ & C_3 & x_{N3} \\ & C_4 & x_{N4} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_{Nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p & C_1 & \langle a_{N1}, b_{N1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{N2}, b_{N2} \rangle \\ & C_3 & \langle a_{N3}, b_{N3} \rangle \\ & C_4 & \langle a_{N4}, b_{N4} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & \langle a_{Nn}, b_{Nn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

对待评的事物 F ,把所有监测到的特征和量值用物元表示为:

$$R_F = \begin{bmatrix} F & C_1 & v_1 \\ & C_2 & v_2 \\ & C_3 & v_3 \\ & C_4 & v_4 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

1.3 区间距、区间位置值及关联度

区间距——表示俩弩箭的距离,表达如下式:

$$\rho(X, A) = \left| \frac{x_1 + x_2}{2} - \frac{a_1 + a_2}{2} \right| - \left(\frac{a_2 - a_1}{2} - \frac{x_2 - x_1}{2} \right) = \begin{cases} a_1 - x_1, x_{12} \leq \frac{a_1 + a_2}{2} \\ x_2 - a_2, x_{12} \geq \frac{a_1 + a_2}{2} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $X_{12} = \frac{X_1 + X_2}{2}$ 。

区间位置值:

$$D(X, A, B) = \begin{cases} a_1 - a_2, \rho(X, B) = \rho(X, A); \\ \rho(X, B) - \rho(X, A) + a_1 - a_2, \rho(X, B) \neq \rho(X, A) \text{ 且 } X \subset A; \\ \rho(X, B) - \rho(X, A), \rho(X, B) \neq \rho(X, A) \text{ 且 } \exists x \in X - A \end{cases} \quad (6)$$

关联度——两区间相关联程度,用下式表示:

$$k(X) = \begin{cases} \rho(X, A) / D(X, A, B) - 1; \\ \rho(X, A) = \rho(X, B) \text{ 且 } \exists x \in X - A; \\ \rho(X, A) / D(X, A, B), \text{ 其余} \end{cases} \quad (7)$$

用层次分析法确定各个特征指标 C_1, C_2, \dots, C_n 的权系数 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$, 则待评事物属于等级的程度为:

$k_j(p) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_j(v_i)$, 若 $k_{j0}(p) = \max k_j(p) (j = 1, 2, \dots, n)$, 当 $0 < k_{j0} < 1$ 时, 表示评价单元符合标准范围的要求。当 $-1 < k_{j0} < 0$ 时, 说明评价单元没有满足标准对象的范围, 但是有条件向标准对象进行转换。^[3] 当 $k_{j0} < -1$ 时, 说明该评价单元不能满足某个标准的规定, 也没有向满足该标准对象转换的条件^[4-5]。

2 实例分析

以国内某多级枢纽为例, 应用物元法来评价其拥堵风险性。

2.1 枢纽影响指标及权重确定

实地调研结果表明, 有如下影响枢纽拥堵的系列指标^[6]:

(1) 枢纽本身的通货能力设为 C_1 时, 其影响因子有船闸大小 C_{11} 及过闸设施个数 C_{12} ;

(2) 在此闸门上, 河流宽度的客观条件是 C_2 ;

(3) 枢纽过闸调度能力设为 C_3 , 其影响因子有调度人员的素质 C_{31} 、调度硬件设施 C_{32} 和船员的合作程度 C_{33} 等;

(4) 船舶翻坝率设为 C_4 , 其影响因子有翻坝船舶的种类 C_{41} 、翻坝设备 C_{42} 和公路条件 C_{43} 等;

(5) 船舶故障率的客观影响为 C_5 , 其影响因子有船舶机械故障 C_{51} 和自然灾害的影响 C_{52} 。

影响二级指标分布如图 1 所示。

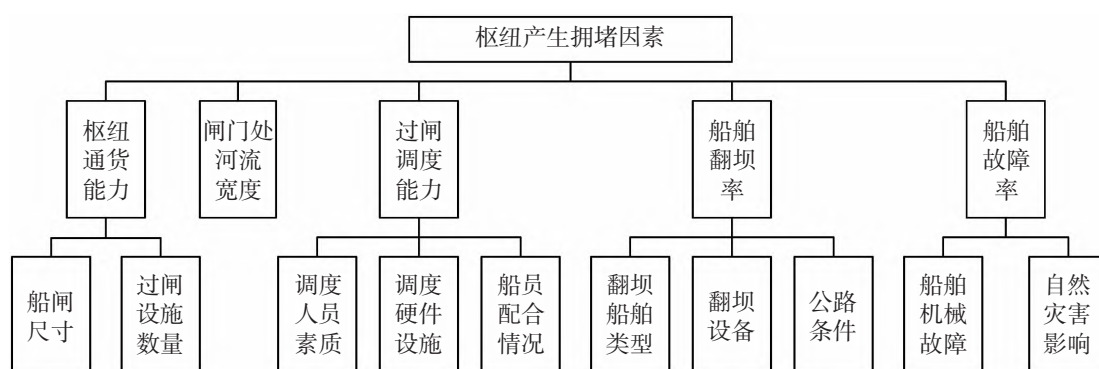


图 1 影响指标二级分布图

笔者通过专家调查法及层次分析法得出权重分布, 如表 1 所示。

表 1 权重分布情况

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重
C_1	0.533	C_{11}	0.453
		C_{12}	0.547
C_2	0.069	—	—
C_3	0.192	C_{31}	0.421
		C_{32}	0.252
		C_{33}	0.327

续表 1 权重分布情况

一级指标	一级权重	二级指标	二级权重
C_4	0.169	C_{41}	0.437
		C_{42}	0.161
		C_{43}	0.402
C_5	0.038	C_{51}	0.634
		C_{52}	0.366

2.2 确定物元分析模型

依据影响程度不同的模型对其量化和定性分析,分级判定如表 2 所示。

表 2 模型评估分级结果

等级	影响程度
I	基本无影响
II	有一定影响
III	可接受影响
IV	不可接受影响
V	不可逆影响

对各量值影响因素的影响程度进行分析,并参考实际资料,确定以下正域(经典)物元:

$$\begin{aligned}
 R_I &= \begin{bmatrix} I & C_1 & \langle 0.0, 0.4 \rangle \\ & C_2 & \langle 0.0, 0.3 \rangle \\ & C_3 & \langle 0.0, 0.2 \rangle \\ & C_4 & \langle 0.0, 0.5 \rangle \\ & C_5 & \langle 0.0, 0.1 \rangle \end{bmatrix}; R_{II} = \begin{bmatrix} II & C_1 & \langle 0.4, 0.6 \rangle \\ & C_2 & \langle 0.3, 0.5 \rangle \\ & C_3 & \langle 0.2, 0.4 \rangle \\ & C_4 & \langle 0.5, 0.75 \rangle \\ & C_5 & \langle 0.1, 0.2 \rangle \end{bmatrix}; R_{III} = \begin{bmatrix} III & C_1 & \langle 0.6, 0.8 \rangle \\ & C_2 & \langle 0.5, 0.7 \rangle \\ & C_3 & \langle 0.4, 0.6 \rangle \\ & C_4 & \langle 0.75, 0.8 \rangle \\ & C_5 & \langle 0.2, 0.3 \rangle \end{bmatrix}; \\
 R_{IV} &= \begin{bmatrix} IV & C_1 & \langle 0.8, 1.0 \rangle \\ & C_2 & \langle 0.7, 0.9 \rangle \\ & C_3 & \langle 0.6, 0.8 \rangle \\ & C_4 & \langle 0.8, 0.95 \rangle \\ & C_5 & \langle 0.3, 0.5 \rangle \end{bmatrix}; R_V = \begin{bmatrix} V & C_1 & \langle 1.0, 1.2 \rangle \\ & C_2 & \langle 0.9, 1.0 \rangle \\ & C_3 & \langle 0.8, 1.0 \rangle \\ & C_4 & \langle 0.95, 1.0 \rangle \\ & C_5 & \langle 0.5, 1.0 \rangle \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

节域物元为:

$$R_P = \begin{bmatrix} I \sim V & C_1 & \langle 0.0, 1.2 \rangle \\ & C_2 & \langle 0.0, 1.0 \rangle \\ & C_3 & \langle 0.0, 1.0 \rangle \\ & C_4 & \langle 0.0, 1.0 \rangle \\ & C_5 & \langle 0.0, 1.0 \rangle \end{bmatrix}$$

分析该枢纽条件并现场调查,可得其待评物元为:

$$R_{F_1} = \begin{bmatrix} F_1 & C_1 & \langle 0.6, 0.75 \rangle \\ & C_2 & \langle 0.5, 0.65 \rangle \\ & C_3 & \langle 0.3, 0.5 \rangle \\ & C_4 & \langle 0.8, 0.9 \rangle \\ & C_5 & \langle 0.01, 0.1 \rangle \end{bmatrix}$$

2.3 关联度计算

根据式(5)–(7)得出关联度计算结果如表 3 所示。

表3 枢纽指标关联度计算结果

指标	级别					
	I	II	III	IV	V	max
C_1	-0.437 5	-0.25	0	-0.308	-0.471	0
C_2	-0.5	-0.3	0	-0.364	-0.533	0
C_3	-0.5	-0.25	-0.25	-0.5	-0.625	-0.25
C_4	-0.8	-0.6	-0.5	0	-0.6	0
C_5	-0.9	-0.9	-0.633	-0.967	-0.98	-0.633
加权	-0.533	-0.242	-0.157	-0.322	-0.546	-0.157

评价结果显示,枢纽通航能力为Ⅲ级,闸门处河流宽度为Ⅲ级,过闸调度能力为Ⅱ级或Ⅲ级,船舶翻坝率为Ⅳ级,船舶故障率为Ⅲ级,整体评价为Ⅲ级,且有转化为标准对象的条件^[7]。

从分析结论可知,除船舶翻坝率为Ⅳ级不可接受影响外,其他指标均在可接受范围之内,故由翻坝率来改善整体评价指标,具有双向作用^[8-9]。对于如何通过提升船舶翻坝率来整体提高通过效率,笔者认为可从以下三个方面进行改善:

(1) 优先考虑散装货物。调查发现,该流域航行的滚装船所载车辆吨级大,考虑绑扎及安全等因素,不建议翻坝;集装箱船尺寸标准,装运高附加值的货物如茶叶等,可优先考虑过闸;干散货船则尺寸不一,污染风险较大,应优先考虑翻坝措施。

(2) 考虑常态因素和非常态因素影响。常态因素是指前文所述指标影响因素下的正常情况拥堵影响,非常态是指由于非正常影响因素引起的航道紧急状况,如降水、冰情、雾、霜、雪、雷暴、地震等,尤其是在非常态因素影响下的应急预案如何处理突发事件,是改善拥堵的关键。

(3) 路径考虑。结合各个枢纽的差异性和特殊性进行分析,在船舶航行和运营过程中,每个枢纽对应每一条路径的节点,当船舶在此节点上航行时,翻坝或过闸的方式是什么,当有效翻坝率设多少时,能有效缩短拥堵时间,维护枢纽正常运行。

3 结束语

航道作为沟通主要资源地和消耗地的交通基础设施,可为区域间经济交流提供重要支撑条件,尤其是航道枢纽发挥着重大作用。本文以航道枢纽拥堵风险评估为研究切入点,通过建立物元模型对航道枢纽可能存在的拥堵风险开展系统评估,能较为准确地预判风险并采取有关措施提高通过效率,从而有效降低堵塞的发生率。将物元分析理论引入枢纽交通拥堵风险评估,并应用区域关联函数分析方法及层次分析法进行评估,是对枢纽的拥堵性进行科学评估的有效方法。利用此方法分析得出的决策针对性强、实用性好,对保障船舶在营运过程中的畅通与安全具有较高的推广和应用价值。

参考文献:

- [1] 沈海剑.基于物元的建设项目交通影响程度研究[D].成都:西南交通大学,2006.
- [2] 蔡文.物元模型及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1998.
- [3] 赵燕伟.智能化概念设计的可拓方法研究[D].上海:上海大学,2005.
- [4] 杨莉,李南.区间型关联函数在软件项目风险评估中的应用[J].计算机工程与应用,2009(26):196-198.
- [5] 李桥兴,刘思峰.区间型一般初等关联函数构造方法[J].系统工程理论与实践,2007(6):173-176..
- [6] 周微,贾元华.基于模糊物元分析的综合交通体系评价方法[J].大连交通大学学报,2012(4):39-42.
- [7] 张广厚,陈艳艳,李平谱.综合交通枢纽运营水平评价指标体系研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2012(1):25-28.
- [8] 李珊珊,刘巍,高红.基于基元的区域港口群竞合网络分析[J].智能系统学报,2017(1):15-23.
- [9] 万瑛莹.综合交通枢纽运营安全风险管理体系研究[D].成都:西南交通大学,2018.

(责任编辑:张 利)

(下转第 95 页)

Forecast Analysis of Urban–Rural Residents’ Income Gap Based on ARMA Model

—Taking Anhui Province as an Example

LIU Jiong, ZHOU Min, WU Yan

(Department of Culture and Tourism, Xuancheng vocational & Technical College, Xuancheng 242000, China)

Abstract: ARMA model is one of the commonly used time series modeling methods presently. The urban–rural residents’ income gap in Anhui Province from 1980 to 2020 is selected as a sample, and with the help of EVIEWS9.0 software, ARIMA ((1, 4), 1, 0) and ARMA (1, 3) models are successively constructed for the absolute income gap and the relative income gap, and the in–sample static prediction results of the two models are better. Using the two models established respectively, the out–of–sample dynamics predicts that the absolute income gap between urban and rural residents in Anhui Province in 2021–2023 will be 23,756.7, 24,846.8 and 26,094.6 Yuan in turn, and the relative income gap will be 2.5630 78, 2.563 116 and 2.563 147 in turn, with a view to providing data support for the relevant departments to formulate policies.

Key words: ARMA model; urban residents’ income; rural residents’ income; gap; forecasting

(上接第 43 页)

Congestion Risk Assessment of a Waterway Hub Based on Matter–element Model

ZHANG Peng¹, JIE Jia²

(1. Automotive and Aviation Institute, Hubei Communications Technical College, Wuhan 430079, China;

2. Division of Ship Construction Survey, Wuhan Branch, China Classification Society, Wuhan 430022, China)

Abstract: As an important part of constructing a comprehensive transport system, the level of congestion assessment of a waterway hub will provide decision basis for smooth and safe operation of the whole waterway. It focuses on the waterway hub that is likely to occurs the risk of congestion anytime, systematically analyzes the influential factors related to it. Through the establishment of matter–element model, the regional correlation function analysis method and hierarchical analysis method are applied to assess the congestion of the hub, based on which the corresponding countermeasures are formulated to improve the efficiency of the transit, which can effectively guarantee the smooth flow and ship safety in the process of the operation.

Key words: hub; matter–element model; hierarchical analysis