

# 基于 DEMATEL-ISM 模型的产业技术影响因素分析\*

## ——以智慧港口为例

李军华<sup>1</sup> 王晓帅<sup>2</sup> 张善杰<sup>1</sup>

(1.上海海事大学图书馆 上海 201306)

(2.上海振华重工(集团)股份有限公司 上海 200125)

**摘要:** [目的/意义]系统地分析智慧港口各技术影响因素之间的层级关系和相对重要程度,对加快智慧港口的发展建设具有理论价值和现实意义。[方法/过程]通过文献调研和专家访谈,对智慧港口发展的技术因素进行提取,利用 DEMATEL-ISM 方法对各个因素进行因果关联分析。通过因素的聚集度及层级关系,将技术因素划分为强驱动型因素、驱动型因素和特征型因素。[结果/结论]网络安全技术、人工智能、物联网、大数据和云计算是智慧港口发展建设的核心要素。提出利用移动互联网打破港口基础通信网络的制约,实现港口万物互联,让人工智能可以根据各个港口的不同用途和需求获取更加全面的数据,使港口真正变得“智慧化”等建议。

**关键词:** 产业技术;智慧港口;技术因素;决策实验室法;解释结构模型

中图分类号: G353

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1005-8095.2020.06.008

## Analysis of Influence Factors of Industrial Technology Based on DEMATEL-ISM Model: Case Study of Smart Port

Li Junhua<sup>1</sup> Wang Xiaoshuai<sup>2</sup> Zhang Shanjie<sup>1</sup>

(1.Shanghai Maritime University Library, Shanghai 201306)

(2.Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co., Ltd, Shanghai 200125)

**Abstract** [Purpose/significance] The paper takes a systematic analysis of the hierarchical relationships and relative importance of the various technological influencing factors. It has theoretical value and practical significance for accelerating the development and construction of smart port. [Method/process] Through literature research and expert interviews, the technological factors for smart port development are extracted, and the cause-effect analysis of each factor is carried out by using DEMATEL-ISM method. Based on aggregation degree and hierarchical relationship of several factors, the technological factors are divided into strong driving factors, driving factors and characteristic factors. [Result/conclusion] The research results show that network security, artificial intelligence, internet of things and big data are the core elements for smart port development. Then, the paper puts forward some suggestions, such as using mobile Internet to break the restriction of the basic communication network of the port, realizing the interconnection of all things in the port, enabling artificial intelligence to obtain more comprehensive data according to different purposes and needs of each port, so as to make the port truly become "Smart".

**Keywords:** industrial technology; smart port; technological factors; DEMATEL; ISM

### 0 引言

产业技术是由多种技术构成的复合体,是一种

体系化的技术,产业技术一般可分为两类:一类是“各类产业特有的或专有的作为标志的技术,称之为

收稿日期: 2020-02-24

\* 本文系上海市软科学研究计划项目“基于技术预见的上海智慧港口产业发展路径研究”(项目编号: 18692109700) 成果。

作者简介: 李军华(1985—),男,硕士,馆员,主要研究方向为技术竞争情报和机器学习;王晓帅(1988—),女,学士,工程师,主要研究方向为企业竞争情报;张善杰(1981—),男,硕士,副研究员,研究方向为知识产权服务。

产业基础技术”,另一类是“通用的、起支撑作用的技术”,是这两类技术的结合和统一<sup>[1]</sup>。A. Okada认为,产业技术是一个具有特定结构的技术系统,这个系统以核心生产技术为中心,同时匹配多种生产技术<sup>[2]</sup>。在针对产业技术发展过程中,主要是从专利的角度开展,涵盖某产业所涉及到的技术点以及技术功效等内容,属于组成产业技术发展的各个技术点的研究。杨曦等从专利的角度研究了石墨烯产业技术竞争态势<sup>[3]</sup>;王静宇等基于专利信息研究了中国新能源汽车产业技术<sup>[4]</sup>;邱洪华等基于专利视角研究了中国动漫产业技术创新态势<sup>[5]</sup>。通过产业技术的专利分析,可以分析该产业的核心技术及基础技术,了解产业的技术热点与空白点、技术发展路线、技术功效和技术生命周期等,进而获得产业发展的创新性信息和战略信息。

产业技术影响因素分析就是从技术的角度出发,研究影响产业技术发展的各个因素,分析这些因素之间的相互影响关系、层级关系和相对重要程度,为相关产业人员提供决策支持。徐金杰等采用AHP法和决策实验室法(Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL)研究了江苏省风电产业技术创新网络知识转移影响因素的层次结构<sup>[6]</sup>;丁莹莹等采用Grey-DEMATEL方法研究了影响产业升级的制约因素<sup>[7]</sup>;燕轲轲使用解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)分析了战略性新兴产业技术路线图情景要素之间的层级关系<sup>[8]</sup>;叶爱山等采用ISM模型与NK模型对苏州市高新技术产业发展影响因素进行了分析<sup>[9]</sup>。上述文献均有涉及采用DEMATEL或ISM方法来研究产业技术的影响因素,但并未结合这两种方法来进行研究。本文针对产业技术发展所涉及的各种技术,通过集成DEMATEL和ISM来分析产业技术影响因素间的相互作用关系和相对地位,同时通过构建技术层级结构图来揭示影响产业技术发展的表层因素和根本性因素,最后通过智慧港口案例验证模型的有效性。

## 1 基于DEMATEL-ISM的产业技术影响因素分析方法

### 1.1 方法定义

DEMATEL是由日内瓦研究中心 Battelle 协会在1972—1976年间为了科学与人类事物计划所发展出来的方法,当时DEMATEL主要用于研究世界复杂、难解的问题,分析脱节和对立的世界现象<sup>[10]</sup>。DEMATEL是利用矩阵工具进行分析的方法,有助于发

现问题的本质,以此来制定对策。DEMATEL的目的是将复杂难解的问题,通过直接比较问题中因素之间的相互关系,利用矩阵运算求出所有因素之间直接与间接的因果关系及影响强度,根据计算出的影响度、被影响度、原因度和中心度,以可视化矩阵及因果关系图来表示复杂问题中因素之间的因果关系与影响程度,从而协助决策的制定<sup>[11-12]</sup>。

ISM是由Warfield在1974年为分析复杂社会经济系统的相关问题而提出来的一种层级结构分析方法,该方法利用图形理论与矩阵有向图来分析系统要素之间的逻辑关系,将系统中抽象化的因素顺序转变为层级结构图,能有效地厘清各因素之间相互影响关系。ISM以离散数学和图形理论为基本概念,并将行为科学与数理逻辑概念应用到二维矩阵,通过布尔代数运算将系统因素间的关系矩阵转换为多层级结构图,通过该图能将一个系统内的全部元素之间的相互关联性呈现出来<sup>[13]</sup>。ISM是一个着重于要素之间的关系、原因或结果的层级构造的结构调查方法。

### 1.2 DEMATEL-ISM方法模型构建

DEMATEL虽然能通过因果关系图识别系统的核心要素及其影响程度,却不能有效划分系统的结构层次,也不能识别系统的表层因素及根本因素,而ISM虽然能通过层级结构图来反映系统的基础因素和根本因素,却不能识别各个因素在系统中发挥的作用大小。因此,将二者有机结合既能更全面地明确系统的逻辑关系与层次结构,又能全面地识别其中的核心要素及因素类别。基于DEMATEL-ISM模型的产业技术影响因素分析流程如图1所示。

产业技术研究小组针对研究的问题,收集相关信息,剖析系统要素,建立指标体系。一般可借鉴文献调研和专家咨询等方法获取影响系统的关键因素,标记为 $f_1, f_2, \dots, f_n$ 。基于DEMATEL-ISM模型的关键实施步骤如下:

#### (1) 确定直接影响矩阵

DEMATEL-ISM模型把系统分为了因素和因素跟因素之间的联系,一般通过德尔菲法来确定因素之间的相互影响程度,即比较因素 $f_i$ 对因素 $f_j$ 的影响,反之亦然。因素之间影响关系强弱的度量方法一般采用5级标度法,通过取0到4之间的整数值来代表:没有影响、较小影响、一般影响、较大影响和非常大影响。因为因素不需要和自身作比较,所以矩阵对角线上的值为0。若系统影响因素数为 $n$ ,采用5

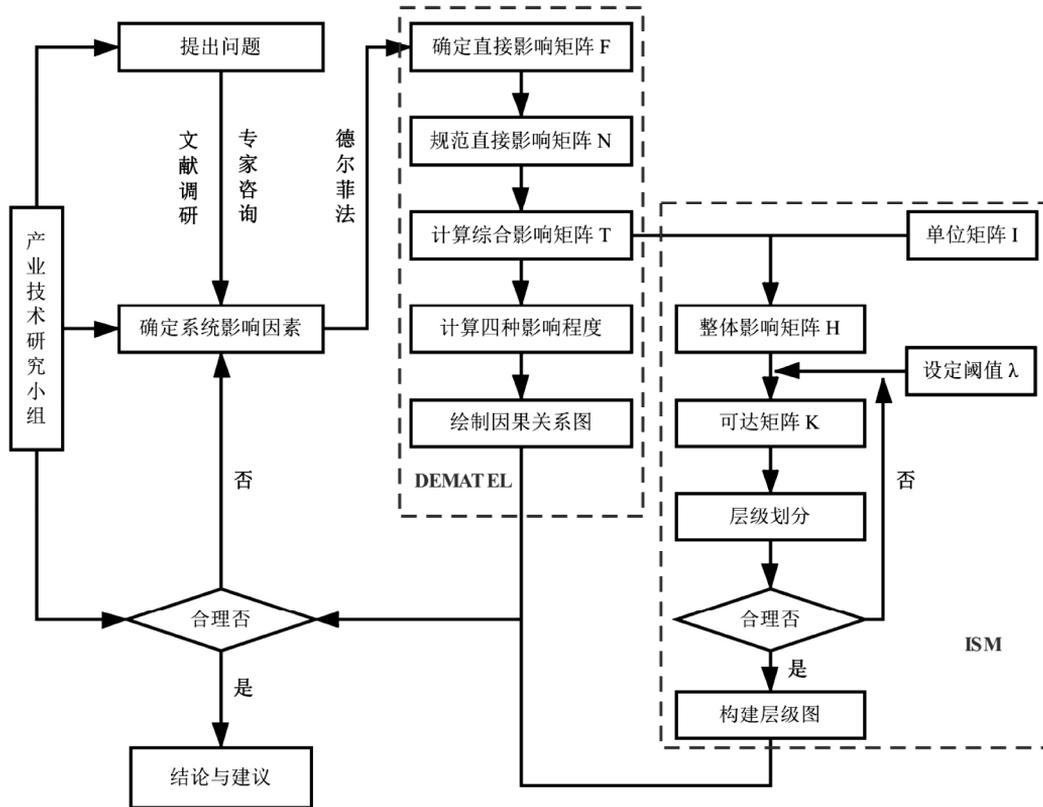


图1 基于 DEMATEL-ISM 模型的产业技术影响因素分析流程

级标度法比较后,可确定一个  $n \times n$  的直接影响矩阵  $F$ 。

$$F = \begin{bmatrix} 0 & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & 0 & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中,因素  $f_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, n; i \neq j)$  表示因素  $f_i$  对因素  $f_j$  的直接影响程度。若  $i=j$ , 则  $f_{ij}=0$ 。

(2) 规范直接影响矩阵

归一化是对事物标准化的常规操作,常见的规范直接影响矩阵的方法有行和最大值法、列和最大值法、行和列和最大值法以及最大值取弦法等,本文采用行和最大值法得规范化直接影响矩阵  $N$ 。

$$N = \frac{1}{\max(\sum_{j=1}^n f_{ij})} F \quad (2)$$

(3) 计算综合影响矩阵

综合影响矩阵  $T$  表示的是系统因素间关系直接影响和间接影响的综合效应,因为  $\lim_{k \rightarrow \infty} N^k = O$ , 所以综合影响矩阵可通过下列公式得到:

$$T = (N + N^2 + N^3 + \cdots + N^k) = \sum_{k=1}^{\infty} N^k = N(I - N)^{-1} \quad (3)$$

其中,  $O$  为零矩阵,  $I$  为单位矩阵。

(4) 计算四种影响程度

根据综合影响矩阵  $T$  中值  $t_{ij}$  进一步计算出每个因素的影响度、被影响度以及中心度与原因度。

影响度是矩阵  $T$  各行值之和,表示各行对应因素对所有其他因素的综合影响值,该集合记为  $D$ 。

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (4)$$

被影响度是矩阵  $T$  各列值之和,表示各列对应要素受到所有其他各要素的综合影响值,该集合记为  $C$ 。

$$C_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

中心度是系统因素的影响度和被影响度之和,记作  $M_i$ ,之差称为原因度,记作  $R_i$ 。中心度表示其影响其他因素以及被其他因素所影响的总程度;原因度表示通过此因素影响及被影响的差异,如果原因度大于0称为原因要素;反之,称为结果因素。

(5) 绘制因果关系图

因果关系通过以  $(M_i, R_i)$  为坐标构成的二维图形式来表示,横轴为  $M_i$ ,纵轴为  $R_i$ 。因果关系图可以将复杂的因果关系简化为易懂的结构,为深入了解问题提供了方向,通过该图的协助,决策者可根据因素中的原因因素或结果因素来制定合理的决策。

(6) 计算整体影响矩阵

整体影响矩阵  $H (H = [h_{ij}]_{n \times n})$  由综合影响矩阵

$T$  和单位矩阵  $I$  组合而成,如公式(6)所示:

$$H=T+I. \quad (6)$$

(7) 确定可达矩阵

为了确定可达矩阵  $K(K=[k_{ij}]_{n \times n})$ ,需要引入阈值  $\lambda$  对整体影响矩阵中的元素进行处理,如公式(7)所示:

$$k_{ij} = \begin{cases} 1 & h_{ij} \geq \lambda (i, j=1, 2, \dots, n) \\ 0 & h_{ij} < \lambda (i, j=1, 2, \dots, n) \end{cases} \quad (7)$$

阈值  $\lambda$  设置的目的是剔除影响程度较小的影响关系,简化系统结构,便于层级结构的划分,一般由专家或者决策者根据实际情况而定。

(8) 进行层级划分

将可达矩阵  $K$  第  $i$  行中所有为 1 的列对应的因素组成的集合定义为  $S_i$ ,称为可达集合;将矩阵  $K$  第  $i$  列中所有为 1 的行对应的因素组成的集合定义为  $Q_i$ ,称为先行集合。满足  $S_i = S_i \cap Q_i$  的因素为最高级的因素集合,抽取完之后删除可达矩阵中相应的行和列,再从剩下的矩阵中抽取最高级因素,该方法属于结果优先的层级抽取方法,相关研究中均采用的是该方法;满足  $Q_i = S_i \cap Q_i$  的因素为最底层的因素集合,属于原因优先的层级抽取方法,目前应用较少。本文采用结果优先-原因优先的轮换抽取方式进行层级划分,其好处在于保证根本因素全部放置到最下一层。

(9) 构建层级结构图

根据划分好的层次,重新排列可达矩阵,得到骨架矩阵,可通过骨架矩阵来绘制层级结构图,构建层级结构图时需要把重复的路径删除,即删除最短路径。

## 2 智慧港口产业技术影响因素分析

港口作为全球综合交通运输的枢纽,在促进国际贸易和地区发展中起着举足轻重的作用,全球贸易中约 90% 的贸易由海运业承载,作业效率对于港口至关重要。在“工业 4.0”“互联网+”大发展的时代背景下,港口也进行全自动化、数字化的转型升级。伴随着 2015 年世界首个全自动化港口(鹿特丹 Maasvlakte II 码头)的开港运营,港口进入了一个全新的发展阶段,即从全自动化的智能港口开始向智慧港口发展。2019 年 11 月,交通运输部等九部门联合印发了《关于建设世界一流港口的指导意见》,提出了建设智能化港口系统、加快智慧物流建设等重点任务;到 2025 年,部分沿海集装箱枢纽港初步形成全面感知、泛在互联、港车协同的智能化系统;到

2035 年,集装箱枢纽港基本建成智能化系统。

### 2.1 智慧港口的特点

(1) 全面感知。当船舶申请靠港时,根据港口作业流程的需要,利用传感器网络、移动互联网和物联网等技术,采集和传输港口、船舶、车辆和货物的位置信息及状态信息,同时针对不同传感器的数据进行融合并存储在港口云信息平台中。

(2) 智能决策。对存储在云平台中的港口作业数据,利用大数据等技术,对岸桥、自动导引小车和场桥等设备进行智能调度,下达操作指令并监控执行。同时,对港口复杂作业计划及应急事件等问题也能作出有效的决策,如船舶的优先靠泊及舱位的分配等问题。

(3) 自主装卸。在智能决策基础上,采用人工智能技术,通过人机交互和港口信息系统的自主学习,使得港口设备能自主识别和确定装卸作业对象,并快捷、高效、安全、自主地完成作业任务<sup>[14]</sup>。

总的来讲,智慧港口就是各种新型信息技术在港口领域的深度应用,是港口发展的高级阶段,其发展的终极阶段就是港口的各个作业设备将具备自主学习、自我适应、自我决策、自我完善等四大特征,港口自身有了生命力,将根据外界环境的变化来选择自我发展路径<sup>[15]</sup>。

### 2.2 智慧港口技术影响因素集

科学而系统地建立智慧港口技术影响因素集是分析智慧港口发展技术影响因素的前提和基础。因此,需要在遵循因素选取的全面性、科学性、互补性、可比性和可操作性等原则基础上,合理选取发展智慧港口的技术影响因素,以确保所选取的因素能客观反映智慧港口的发展规律,体现智慧港口的发展方向。

当前,新兴技术的发展已经为“智慧港口”的建设奠定了技术基础。殷林认为,智慧港口的建设应顺应数字化发展趋势,不断将大数据、区块链、物联网、5G 通信、人工智能等新技术应用于港口生产和管理,实现港口高质量发展目标<sup>[16]</sup>;杨凯等构建了智慧港口评价指标体系,认为智慧港口的发展建设需要借助大数据分析、云计算、移动互联网、IoT、RFID 等技术<sup>[17]</sup>;R.Aboozar 等认为,智慧港口的发展需要借助于传感器、云计算、雾计算、物联网、机器人、RFID 和大数据等技术<sup>[18]</sup>;S.Max 认为,人工智能、物联网、大数据和区块链等技术是智慧港口建设的关键技术因素<sup>[19]</sup>。

智慧港口的建设和发展涉及多种技术因素,是多种技术因素共同作用的综合反映。因此,构建智慧港口技术影响因素集,应该从智慧港口的发展规律和特点出发,从多个层面加以考虑。通过全面梳理现有研究,以“智慧港口”和“Smart Port”为主题进行文献调研,将智慧港口中经常提及的5G技术和RFID技术分别归类到移动互联网和物联网技术类,初步确定了发展智慧港口的关键技术因素;然后通过对港口专家进行访谈作进一步的确定,最终选取发展智慧港口的技术影响因素集合为:电子信息化平台( $f_1$ )、系统仿真技术( $f_2$ )、智能诊断技术( $f_3$ )、网络安全技术( $f_4$ )、云计算( $f_5$ )、大数据( $f_6$ )、人工智能技术( $f_7$ )、区块链( $f_8$ )、物联网技术( $f_9$ )和移动互联网( $f_{10}$ )。

### 3 智慧港口产业技术影响因素的 DEMATEL-ISM 分析

#### 3.1 因素分析

根据上述建立的智慧港口发展技术影响因素集,笔者邀请了20名港口领域的专家,分别由来自

海事类高校的科研工作者、上港集团技术中心、上海振华重工技术研究部和洋山四期码头的管理人员组成焦点小组,焦点小组根据因素之间的作用程度对影响因素进行打分,打分规则为无影响=0、较小影响=1、一般影响=2、较大影响=3、非常大影响=4,将所得的结果取平均数的整数(四舍五入),建立智慧港口技术影响因素直接影响矩阵  $F$ ,如表1所示。

表1 直接影响矩阵

因素	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$
$f_1$	0	0	1	0	0	0	2	0	1	0
$f_2$	0	0	2	1	1	1	1	1	1	0
$f_3$	1	0	0	2	2	0	0	0	0	0
$f_4$	3	2	3	0	4	3	4	3	3	4
$f_5$	4	3	4	1	0	4	4	3	3	3
$f_6$	3	3	4	2	3	0	3	3	3	2
$f_7$	3	3	4	2	4	4	0	3	4	3
$f_8$	3	1	2	2	2	3	2	0	2	2
$f_9$	2	3	3	2	4	4	4	3	0	3
$f_{10}$	4	3	3	1	2	2	1	2	2	0

对表1按公式(2)进行规范化处理,然后按照公式(3)计算综合影响矩阵,计算结果见表2。

表2 综合影响矩阵

因素	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$
$f_1$	0.031	0.027	0.069	0.022	0.035	0.032	0.091	0.027	0.059	0.025
$f_2$	0.061	0.047	0.133	0.070	0.092	0.087	0.087	0.080	0.082	0.047
$f_3$	0.075	0.033	0.047	0.086	0.102	0.040	0.043	0.034	0.037	0.035
$f_4$	0.306	0.229	0.331	0.124	0.320	0.284	0.310	0.257	0.267	0.276
$f_5$	0.313	0.243	0.341	0.150	0.184	0.292	0.293	0.240	0.251	0.228
$f_6$	0.267	0.229	0.322	0.170	0.261	0.160	0.252	0.228	0.237	0.191
$f_7$	0.300	0.256	0.358	0.188	0.319	0.309	0.191	0.254	0.292	0.243
$f_8$	0.233	0.141	0.220	0.145	0.194	0.216	0.190	0.108	0.178	0.164
$f_9$	0.268	0.255	0.326	0.185	0.315	0.306	0.304	0.253	0.171	0.241
$f_{10}$	0.243	0.186	0.231	0.105	0.176	0.169	0.144	0.154	0.161	0.084

对表2按公式(4)和(5)进行计算,可得智慧港口发展各技术因素的影响度和被影响度以及中心度和原因度,计算结果见表3。

表3 DEMATEL 计算结果

因素	影响度	被影响度	中心度	原因度
$f_1$	0.418	2.097	2.515	-1.679
$f_2$	0.786	1.646	2.432	-0.860
$f_3$	0.532	2.378	2.910	-1.846
$f_4$	2.704	1.245	3.949	1.459
$f_5$	2.535	1.998	4.533	0.537
$f_6$	2.317	1.895	4.212	0.422
$f_7$	2.710	1.905	4.615	0.805
$f_8$	1.789	1.635	3.424	0.154
$f_9$	2.624	1.735	4.359	0.889
$f_{10}$	1.653	1.534	3.187	0.119

根据表3的计算结果,利用Python中的Matplotlib包,得到智慧港口发展技术影响因素的中心度及原因度分布情况,如图2所示。

根据智慧港口发展技术因素的因果关系图,结合专家意见,简化系统因素之间的关系,取阈值 $\lambda = 0.22$ ,对表3按公式(6)和(7)进行计算,可计算出智慧港口发展技术因素的可达矩阵,如表4所示。

表4 智慧港口产业技术因素可达矩阵

因素	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$
$f_1$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_2$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_3$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$f_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f_5$	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
$f_6$	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
$f_7$	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
$f_8$	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
$f_9$	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
$f_{10}$	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1

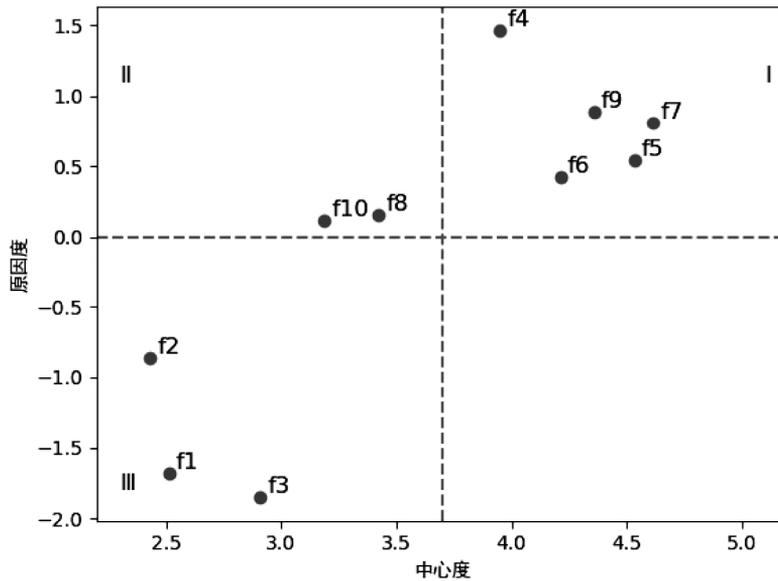


图2 智慧港口产业技术因素的中心度-原因度分布

可达矩阵表示的是因素通过一定的长度对其他因素影响关系的矩阵,表明系统因素之间是否存在影响关系。根据表4所示的可达矩阵,采用结果优先-原因优先的轮换抽取方式来进行层级划分,可得到骨架矩阵,如表5所示。

表5 智慧港口产业技术因素骨架矩阵

因素	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_8$	$f_{10}$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_9$	$f_4$
$f_1$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_2$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_3$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$f_8$	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
$f_{10}$	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
$f_5$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$f_6$	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
$f_7$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$f_9$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$f_4$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

根据骨架矩阵的划分结果,将智慧港口产业技术因素分为四个层级,如图3所示。

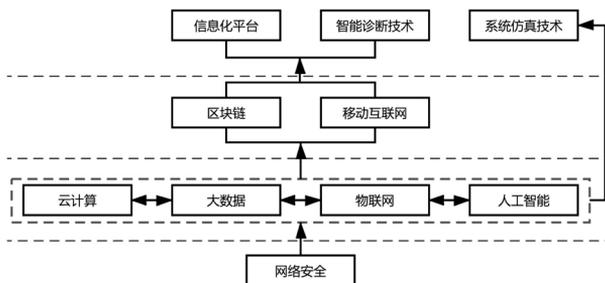


图3 智慧港口产业技术因素解释结构模型

### 3.2 结果分析

根据图2和图3所示的DEMATEL和ISM计算结果及因素间关系,结合DEMATEL模型的分法

则和技术因素的聚集度以及ISM模型的层级结构图,将全部技术因素分为3类:①强驱动型因素(象限I),作为原因型因素,其原因度大于0,且中心度大于3.7,表明这类因素对智慧港口发展的影响是最显著的,且对系统内其他结果型因素有较大的影响;②驱动型因素(象限II),同样是原因型因素,其原因度大于0,但是中心度小于3.7,表明这类因素在智慧港口的发展中有重要的地位;③特征型因素(象限III),作为结果型因素,其原因度小于0,中心度小于3.7,表明这类因素是其他原因型因素的综合影响结果,与其他因素密切相关,对智慧港口的发展具有一定的影响力。

#### (1) 智慧港口发展强驱动型因素分析

由图2和图3可以看出,  $f_4$ 、 $f_5$ 、 $f_6$ 、 $f_7$ 、 $f_9$ 属于强原因因素,网络安全技术( $f_4$ )表现出强烈的主动性,具体表现为其影响度值最大,属于根本型因素,可见该因素能够强烈地影响其他因素,但其自身却很难受其他行为因素的影响。2019年10月,由南洋理工大学与剑桥大学牵头、英国劳氏船级社赞助的一份报告显示,若亚洲5国(中国、日本、韩国、新加坡、马来西亚)15个港口遭网络攻击瘫痪,最高可能造成1100亿美元的经济损失<sup>[20]</sup>。与网络安全技术类似,物联网技术( $f_9$ )同样具有较强的影响度,被影响度较低,表现出较强的主动性。从技术因素的中心度而言,人工智能技术( $f_7$ )的中心度最大,其次是物联网技术( $f_9$ )、大数据( $f_6$ )和云计算( $f_5$ ),说明这四个因素是智慧港口发展中最为重要的四个技术因素,

这一结论与专家的定性分析相吻合。另外,从解释结构模型可以看出,云计算、物联网、大数据和人工智能之间表现出较强的互动性,构成强连通因素,它们对智慧港口发展建设的影响结果通常是一致的,可以看成是一个独立的系统。由于彼此之间存在着强连通性,在建设智慧港口的时候如果仅改进一个因素往往达不到好的效果,需要对整个层次的因素进行改进才能达到预期的效果。

### (2) 智慧港口发展驱动型因素分析

智慧港口发展的驱动型因素有区块链( $f_8$ )和移动互联网( $f_{10}$ ),其原因度大于0但中心度小于3.7,解释结构模型中位列第二,这两个因素可以实现港口及港口间的互联互动,虽然作用强度弱于强驱动型因素,但在智慧港口的发展中具有重要的地位,是智慧港口发展的主要推动力。

### (3) 智慧港口发展特征型因素分析

智慧港口发展特征型因素有系统仿真技术( $f_2$ )、电子信息化平台( $f_1$ )和智能诊断技术( $f_3$ ),其原因度均小于0,属于解释结构模型中的表层因素,这类因素能够直接影响智慧港口的发展,但受到强驱动型因素和驱动型因素的影响较大。

通过以上分析可知:从技术角度出发,智慧港口的发展建设首先要保证港口数字化网络的安全,这是发展的前提;其次通过物联网技术采集港口、船舶、车辆、货物和人员五大基本要素的信息;接着利用云计算技术将这些分布式海量数据存储在云端并进行管理,然后对大数据进行深入分析和挖掘;最后通过人工智能技术来实现港口各个作业设备的自我学习、自我适应、自我决策和自我完善。除此之外,还需要利用系统仿真技术、电子信息化平台和智能诊断技术来辅助智慧港口的发展建设。值得一提的是,智慧港口的发展过程中,可以利用移动互联网打破港口基础通信网络的制约,实现港口万物互联;同时,通过区块链技术帮助各个港口打破“数据孤岛”格局,促进跨港口间数据的流动和共享,形成一个自由开放的数据市场,让人工智能可以根据各个港口的不同用途和需求获取更加全面的数据,使港口真正变得“智慧化”。

## 4 结论

针对复杂的产业技术系统,本文通过集成的DEMATEL-ISM模型对产业技术发展影响因素进行了分析,通过该模型可以了解各影响因素之间的关联性及其影响程度,通过层级关系图可识别影响产业

技术发展的深层次因素,并针对智慧港口案例,采用DEMATEL-ISM模型对智慧港口发展的技术组成因素进行量化分析,根据各因素的聚集度和层级关系图,将技术因素归为强驱动型因素、驱动型因素和特征型因素。分析结果表明:网络安全技术、物联网、人工智能、大数据和云计算是智慧港口发展建设的核心要素。

由于智慧港口产业的技术组成因素较多,其归类和因素之间相互作用程度是由行业专家评判,另外在设定阈值 $\lambda$ 时也是通过专家得出,存在一定的主观性。在后续研究中,将进一步完善指标因素,结合智能港口生产作业等,对智慧港口产业的技术影响因素进行更加深入的研究。

### 参考文献

- [1] 陈昌曙. 产业研究论纲[J]. 自然辩证法研究, 1994(11): 48-54.
- [2] OKADA A. Introduction to industrial technology: Research and development for technological progress [M]. New York: Nova Science Publishers, 2013.
- [3] 杨曦, 余翔, 刘鑫. 基于专利情报的石墨烯产业技术竞争态势研究[J]. 情报杂志, 2017, 36(12): 75-81, 89.
- [4] 王静宇, 刘颖琦, ARI K. 基于专利信息的中国新能源汽车产业技术创新研究[J]. 情报杂志, 2016, 35(1): 32-38.
- [5] 邱洪华, 龙斌. 基于专利视角的中国动漫产业技术创新态势研究[J]. 情报杂志, 2017, 36(9): 51-57.
- [6] 徐金杰, 武忠. 基于AHP和DEMATEL法的技术创新网络知识转移研究: 以江苏省风电产业技术创新联盟为例[J]. 情报杂志, 2012, 31(9): 121-125, 135.
- [7] 丁莹莹, 李铮. 基于Grey-DEMATEL的产业升级制约因素识别[J]. 统计与决策, 2019, 35(16): 67-70.
- [8] 燕轲轲. 战略性新兴产业技术路线图的情景规划研究[D]. 广州: 暨南大学, 2013.
- [9] 叶爱山, 夏海力, 章玲玲. 苏州市高新技术产业集群动力因素分析: 基于ISM模型和NK模型[J]. 环境工程, 2018(36): 299-302.
- [10] MOHAMMAD D E, ALI N, DARIA J K et al. Social media addiction: Applying the DEMATEL approach[J]. Telematics and Informatics, 2019(43): 1-14.
- [11] MAVI R K, Standing C. Critical success factors of sustainable project management in construction: A fuzzy DEMATEL-ANP approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2018(194): 751-765.
- [12] HO T C, CHIU R H, CHUNG C C et al. Key influence factors for ocean freight forwarders selecting container shipping lines using the revised DEMATEL approach[J]. Journal of

Marine Science and Technology-Taiwan 2017 25(3):299-310.

[13] JOHN N W. Developing Interconnection Matrices in Structural Modeling[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1974(1):81-87.

[14] 陶德馨. 智慧港口发展现状与展望[J]. 港口装卸 2017(1):1-3.

[15] 马巍巍. 对我国智慧港口建设的认识与思考[J]. 水运管理 2018 40(1):4-6.

[16] 殷林. 我国智慧港口建设实践和发展思考[J]. 港口科技 2019(8):1-3.

[17] 杨凯, 胡亚杰, 马瑞鑫. 我国智慧港口评价指标体系初步研究[J]. 水道港口 2017 38(6):647-652.

[18] ABOOZAR R, ALI K S, ABDERRAHMEN B, et al. Towards Smart Port: An Application of AIS Data[Z]. 2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications 2018(4):1414-1421.

[19] MAX S. Smart Ports of the Future: A Digital Tomorrow[EB/OL]. (2019-09-17) [2019-09-21]. <https://www.porttechnology.org/news/smart-ports-of-the-future-a-digital-tomorrow>.

[20] Lloyd's of London, Cambridge Centre for Risk Studies, and Nanyang Technological University. Shen attack: Cyber risk in Asia Pacific ports[R]. London: NTUIRFRC 2019.