

149

冬季
Winter
2025



Institute of Seatransport
海運學會

SEAVIEW

海運季刊

JOURNAL OF THE INSTITUTE OF SEATRANSPORT

Our Mission

- to promote the exchange of professional knowledge within the Hong Kong shipping industries
- to recognize the contribution of professionals within the seatransport community in Hong Kong



VALLES STEAMSHIP CO., LTD.

www.vallesgroup.com

HONG KONG

Valles Steamship Co., Ltd.
Room 6810-11, 68th Floor, The Center,
99 Queen's Road Central,
Hong Kong, China.
Telephone: (852) 2877 9189
Facsimile: (852) 2868 4014
E-Mail: hongkong@vallesfleet.com

VANCOUVER

Valles Steamship (Canada) Ltd.
#1160 Guinness Tower,
1055 West Hastings Street,
Vancouver, B.C. V6E 2E9, Canada.
Telephone: (604) 687 3288
Facsimile: (604) 687 0833
E-Mail: vancouver@vallesfleet.com

MUMBAI

Valles India Tech Services Pvt. Ltd.
Remi Commercio
505, 5th Floor, Shah Industrial Estate,
Andheri (W),
Mumbai - 400 053, India.
Telephone: (91-22) 6864-2189
E-Mail: mumbai@vallesfleet.com

SHANGHAI

Valles Steamship Co., Ltd.
Shanghai Representative Office
Room 1603, 16th Floor,
Shanghai Times Square Office Building,
93 Huai Hai Zhong Road, Shanghai 200021, China.
Telephone: (86-21) 6445 9993 / 6472 1849
E-Mail: shanghai@vallesfleet.com





香港船舶註冊處

HONG KONG SHIPPING REGISTRY



世界級船舶註冊 優質服務享負盛名

A world-class shipping register with a reputation
for good quality and excellent service

程序簡易 全年無休

Straightforward and all-year-round services

排名世界四大之列 總噸位超過1.26億

One of the world's top 4 registers with gross
tonnage over 126 million

立足香港 放眼全球

Foothold in Hong Kong with global vision

Marine Department
The Government of the Hong Kong
Special Administrative Region



香港特別行政區政府
海事處

Enquiries:

Hong Kong Shipping Registry,
Marine Department, HKSARG
3/F, Harbour Building, 38 Pier Road, Central, Hong Kong
Tel: (852) 2852 4387 Fax: (852) 2541 8842
Email: hksr@mardep.gov.hk Website: <http://www.mardep.gov.hk>

查詢：

香港船舶註冊處
香港特別行政區政府海事處
香港中環統一碼頭道 38 號海港政府大樓 3 樓
電話：(852) 2852 4387 傳真：(852) 2541 8842
電郵：hksr@mardep.gov.hk 網址：<http://www.mardep.gov.hk>

EDITORIAL TIDBITS

The Institute convened a cross-strait conference in Hong Kong on 13 November, under the theme “**Steering the Maritime Future: Global Risks, Green Mandates, and Intelligent Innovation.**” The event attracted a series of scholarly contributions that critically engage with this theme from diverse perspectives. In light of the extensive knowledge shared during the conference, this edition presents a curated selection of articles that reflect the depth and breadth of the discourse.

Amid the current geopolitical uncertainties affecting global seaborne trade, shipowners, charterers, and traders face numerous challenges. In this edition, **Ms. Huang Sufang**, a lawyer at **Dacheng (Shenzhen) Law Offices**, provides insights into the risks and opportunities surrounding marine insurance in such an unpredictable environment.

Additionally, **Mr. Jolyon Mantus Chan**, a Ph.D. candidate at **East China University of Political Science and Law**, examines the pressing issues confronting insurance managers in ship management during this period of turmoil.

In the area of **AI-related research**, this edition features two notable contributions. The first is a paper by **Professor Tsai Chao-Lu**, Associate Professor in the **Department of Shipping Technology, National Kaohsiung University of Science and Technology**, which explores the development and implications of **Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)**.

The second article is a collaborative work by a distinguished group of scholars: **Associate Professor Huang Yu-Kai** (National Taiwan Ocean University), **Professor Jun Toyotan** (Nihon University, Japan), **Distinguished Professor Hsieh Cheng-Hsien** (Singapore University of Social Sciences), and **Chen Hsin-Yu**, an MPhil student at **National Taiwan Ocean University**. Their study examines the application of **artificial intelligence in enhancing the resilience of cruise ship terminals and ports**.

Beyond the conference submissions, we also include research addressing **remedies for traffic delays in urban transport**. Contributors to this topic include **Mark Ching-Pong Poo** (Liverpool Hope Business School, Liverpool Hope University), **Thomas Bowsher** (School of Computer Science and the Environment, Liverpool Hope University), **Yui-yip Lau** (Division of Business and Hospitality Management, CPCE, The Hong Kong Polytechnic University), **Baomin Qi** (Liverpool Hope Business School, Liverpool Hope University), and **Pui Yan Kate Law** (Division of Business and Hospitality Management, CPCE, The Hong Kong Polytechnic University).

Finally, **Captain Peter Chu** offers a commentary on the **beaching of the vessel BRP Sierra Madre in the South China Sea**, providing a maritime perspective on this significant geopolitical event.

We hope you enjoy this edition and look forward to your feedback. We believe in the power of community and value your unique perspectives. If you have a topic you're passionate about, we invite you to contribute. Please send your articles to: info@seatransport.org

SEAVIEW 海運季刊

海運學會名譽會長如下：

蘇海文先生 董達成先生 崔崇堯先生 杜寶明先生
程 義先生 曹慰德先生 顧建綱先生 潘裕國先生
顧建舟先生 蘇新剛先生 鄭承忠先生 高彥明先生
吳昌正先生 李 樟先生 趙式明女士 劉 海先生

海運學會2024/2026 年度理事如下：

主席 : 林銘鋒 秘書 : 李慶偉
副主席 (外務) : 任梓皓 司庫 : 溫志光
副主席 (內務) : 蕭榮勤 荣譽主席 : 鄭端霖
副主席 (常務) : 黎偉廉
其他理事 : 包 輝、陳銘遜、陳任峰、陳婉彤、
陳富國、周榮基、馮佳培、馮中國、
傅俊傑、劉力民、劉銳業、羅凱敏、
沈曉妍、岑爾康、黃治中
法律顧問 : 劉瑞儀

編輯委員會 :

黃治中、劉銳業、林 傑、李耀光、馮佳培、王德超、
戴錦崑、Jon W. Zinke、胡 明、張嘉尹、溫冉儒、
葉子良、胡卓莉、黎偉廉、梁景威
本刊物為海運學會季刊，免費寄與各會員及有關團體。未經
出版人書面同意不可以任何形式複製本刊物。本刊物是領導
學術期刊以英文和中文述及大中華的海事和航運事宜，所有
文章已經評核。本刊物所有文章只代表作者個人觀點或意見。
編輯委員會並不負責文章內容所引起的一切法律責任。本刊
所有文章，文責自負。 ——編輯委員會故

非賣品 ◎ 版權所有，不得翻譯

通訊地址：香港干諾道中168-200號信德中心

招商局大廈35樓

香港郵政總局信箱 6081 號

電話：(852) 2581 0003 傳真：(852) 2581 0004

網址：www.seatransport.org

電郵：info@seatransport.org

Honorary Presidents of the Institute :

Dr. H.Sohmen, Mr. C.C. Tung, Mr. Tsui Shung Yiu, Mr. Du Bao Ming, Mr. Andrew Chen, Mr. Frederick Tsao, Mr. Kenneth Koo, Mr. Stephen Pan, Mr. David Koo, Mr. Su Xin Gang, Mr. Edward Cheng, Mr. Gao Yan Ming, Mr. Wu Chang Zheng, Mr. Li Hua, Ms. Sabrina Chao, Mr. Lau Hoi, Mr. Wellington Koo, Mr. Hing Chao

2024/2026 Executive Committee Members are as follows :

Chairman : Lam Ming Fung, Lothair

Vice Chairman (External Affairs) : Yam Tsz Ho, Brian Secretary : Lee Hing Wai, Henry

Vice Chairman (Internal Affairs) : Siu Lok Kan, Rocky Treasurer : Wan Chi Kwong, Eddie

Vice Chairman (General Affairs) : Lai Wai Lim, William Emeritus Chairmen : Cheng Duen Lam, Simon

Other Executive Committee Members : BAO Hui, Sam ; CHAN Ming Shun, Rocky ; CHAN Yam Fung, Charles ; CHAN Yuen Tung, Tiffany ; CHEN Fu Guo, Ray ; CHOW Wing Ki, Stockton ; FENG Jia Pei, Gilbert ; FENG Zhongguo ; FU Junjie, Owen ; LAU Lik Man, Andy ; LAU Yui Yip, Joseph ; LO Hoi Man, Heidi ; SHEN Xiao Yan, Audrey ; SHUM Yee Hong ; Wong Chi Chung, Peter

Legal Adviser : Rosita S. Y. Lau

Editorial Board :

Peter Wong, Joseph Lau, Lam Kit, Li Yiu Kwong, Gilbert Feng, Raymond Wong, Tai Sik Kwan, Jon W. Zinke, Cheung Ka Wan, Eric Wu, Brian Wan, Yip Tsz Leung, Charade Wu, William Lai, William Leung.

'SEAVIEW' is the official quarterly journal of the Institute of Seatransport and is distributed free of charge to all members of the Institute and related organisations. No part of this publication may be reproduced in any form without the written permission of the publishers. The Journal of the Institute of Seatransport is a leading scholarly journal in the English and Chinese languages on maritime and shipping affairs in Greater China. All contributions are refereed. All opinions or views stated in "SEAVIEW" are those of the respective authors and do not necessarily reflect the views and opinions of the editor or publishers. No responsibility can be accepted for any errors or omissions.

Not for sale ©copyright reserved

Correspondence Address : 35/F., China Merchants Tower, Shun Tak Centre,

168-200 Connaught Road C., HK

Telephone : (852) 2581 0003

Fax : (852) 2581 0004

Website : www.seatransport.org

E-mail : info@seatransport.org

承印：海運學會 Printed by : Institute of Seatransport

地址：香港干諾道中168-200 號信德中心 Address : 35/F., China Merchants Tower, Shun Tak Centre,

招商局大廈35 樓 168-200 Connaught Road C., HK

電話：(852) 2581 0003 Telephone : (852) 2581 0003

傳真：(852) 2581 0004 Fax : (852) 2581 0004

電郵：info@seatransport.org Email : info@seatransport.org

黄素芳

壹、引言

全球航运业作为国际贸易的动脉正面临地缘政治风险加剧与绿色低碳转型的双重变局。一方面，全球化消退（全球化进程放缓甚至逆转）和地缘政治碎片化（如贸易壁垒增加、区域冲突频繁）出现。红海危机、伊以战争等问题的爆发造成航道受阻以及海上运力不足问题，使得航运保险赔付率增加；另一方面，为解决气候变化的问题，IMO 减排的号召带领着航运业驶入了发展环保低碳船舶的道路。随之应运而生的纯电船舶、LNG 船舶、甲醇船舶等新种类船舶虽具备诸多环保优点，却也导致新型的技术风险问题层出不穷，让航运保险行业面临一系列的挑战。这两种因素背后的风险引发了航运风险环境的变化，亟需法律与保险制度的协同创新。

航运保险作为管理和分散、转移航运风险的核心手段，其传统模式受到严重挑战：一是由于地缘政治危机，传统的战风险、罢工险条款在面对“混合战争”时争议频出，而在面对跨国理赔争端时效率较低；二是由于技术迭代速度较快，目前尚缺乏一个与之匹配的速度去推进保险产品的创新与开发，新能源船舶方面的专属保险产品也较为缺乏，大部分风险暂时还是以“特别约定”的方式进行临时补充，仍未给出一个普遍适用的解

决办法。这是行业发展的一个瓶颈，但同时也是一个千载难逢的契机。

因此，基于航运保险在地缘政治风险与绿色转型双重背景下所呈现的实际问题及发展前景，针对近段时间发生的典型事件以及保险实务，笔者将通过揭示当前保险制度存在的不足之处，对保险制度的创新发展提出一些符合实际且切实可行的建议措施，为以后的航运业和航运保险提供一定的借鉴，同时促进两岸三地间关于此领域内相关交流与合作。

贰、航运保险在地缘政治风险中的机遇与挑战

一、地缘政治风险对航运保险的双重冲击

地缘政治风险已经成为影响全球航运市场的重要因素之一。红海危机、伊以冲突等非传统的军事冲突事件的影响不仅不像传统的军事冲突一样短暂，还会长久地对世界贸易产业链以及世界保险体系产生压力。非传统的军事冲突事件的影响是双重的：一方面，它提高了保险成本并且收缩了承保范围；另一方面也暴露了当前航运保险所存在的缺陷。

首先，最直接的冲击就是保费率的暴涨以及承保能力局部性的骤减，如，曾经闹得沸沸扬扬的红海危机：也门胡塞武装对过往商船的袭扰，导致联合战争委员会（Joint War Committee）把这一地区升级为“区域性停保”，进出红海的船只必须附加战争险，导致了单次航行需追加缴纳高额的战争险保险费。随着胡塞武装击沉“Magic Seas”和“Eternity C”，红海的战争风险保费从遇袭前的 0.4% 已飙升至船舶总价值的 1%。这意味着价值 1 亿美元的船舶单航程保费已从不到 40 万美元暴涨至 100 万美元。当大额保费瞬间上涨，数万、数百万美元的巨款又通过供应链传导给了最终消费者，推高全球通胀。更严重的是，部分保险公司出于风控因素，选择“区域性停保”的方式规避承保风险，暂停承保红海航线。这就导致船东失去了最基本的风险转移工具，使船舶被迫绕行好望角，增加了航程与成本，进一步加剧了全球贸易的收缩。

其次，地缘风险暴露了航运保险产品在其定义、理赔和管辖等方面缺点。现今最主要的应对地缘风险的航运保险就是战争险、罢工险等，但这两种保险也有各自的缺陷。战争险的传统定义是难以在“模糊战争”这种现时代的情况下保持准确性的。比如保险公司和 Rubymar 轮船东发生的保险纠纷案件，Rubymar 轮被胡塞武装于 2024 年 3 月在红海炮轰后沉没，随后其船东对保险公司提出

了索赔申请，本案争议的核心即为案发时的袭击是否属于保险合同项下定义的战争行为，条款中对“战争”的定义不够清楚，从而引发了理赔争议。而罢工险的理赔范围主要针对的是直接导致的物理损坏损失，因地缘冲突引起的营业中断损失、收入减少损失、赎金支付、加派船员等间接损失一般无法得到保险公司的赔偿。此外，该保险的理赔纠纷通常涉及多国船东、运营商和保险公司，跨国理赔过程当中对于各国涉及法律适用及管辖权均存在一定的不确定性，导致理赔周期增加，同步提高了整体的理赔成本。

二、航运界对地缘政治风险保障的需求演变

随着地缘政治局势复杂变化，航运业对保险保障的要求随之发生改变，以往的事后赔付型业务模式已经不能满足船东及航运运营商的需求，他们迫切希望能够得到更加前瞻性的风险保障、更加稳定的保障服务、更有包容性的理赔方式。

首要需求是提升风险的可预知性、成本的可控制性。投保人希望有更加明晰稳定的价格来计算战争风险，而不过分受到战争爆发前的一些偶发因素导致保费的大幅提升；为了提供更为精确的风险定损定价，保险公司需要拥有更多的 Geopolitical Risk Modeling(地缘政治

风险建模)技能，加强与情报机构、安全顾问等机构合作，从而更准确地确定风险以及给出保费定价。此外，航运公司需构建内部的风险管控机制。规模较大的企业可借鉴马士基等国际领先同行的经验，实施“风险等级应对机制”，针对不同风险层级启动对应的处置方案。对于中小航运企业而言，则可将业务重心放在安全性更高的航线与市场上，通过灵活调整航线网络来避开风险较高区域，并充分利用来自政府及行业协会的风险资讯与支持。

其次，需求走向更加重视对争议解决的时效性。面对跨国争议解决机制，市场希望继续缩短诉讼周期，在国际上建立一种更加高效、公平合理的跨国争议解决新秩序。例如可在危机频发的东、南部设立国际区域性的专门的海事仲裁中心(如发生冲突的地方)，聘用熟悉海事及法律知识的专业人才对案件作出快速裁决；或者加强不同国别法院间就案件判决互相认可和互相执行方面的交流合作，都有利于降低争议解决的不确定性以及争议解决的时间成本。

最后，航运界还期望把风险的保障范围继续扩展。传统的保险有概念不清和承保范围狭小的问题，市场上还需要像租船合同停租保险(Charterers'Liability for Breach of Contract due to War)、更大的租金损失险这样的新的产品去补充缺口。

三、当前主要航运保险类型与创新解决方案

当前国际上的地缘政治风险的主要险种还是战争险和罢工险，但它们就当下问题的应对仍然存在不足之处。战争险因为对于判定现代冲突是否存在政治性目的尚无统一标准；罢工险赔偿的对象是货物本身的毁损，对于像疫情、罢工、货柜码头拥堵等事件导致的市场价格下跌这类纯粹商业风险不予赔付。为应对此类挑战，业界呼吁探索创新性的解决方案。

第一项工作是鼓励制定国际统一的战争险示范条款。可以由国际保险协会(IUMI)或其他相关机构起草一份适应新世纪冲突样态特点的新示范条款。需要进一步规范和界定示范条款中关于“战争”、“恐怖主义”、“恶意破坏”等重要术语的概念内涵，并且明确除外责任的适用范围，从而降低纠纷发生的可能性。

第二，在加强国际争端解决机制建设中，要建立和加强国与国之间的国际协作。应当利用好现有的伦敦、新加坡、香港、深圳等海事仲裁中心，同时，还可考虑在有关热点地区设立“航运风险争端快速处理中心”，开设相关地区保险争端的速裁程序；另外，各国保险监管当局还要加强协调，推进在有关国家司法管辖权的确定及裁决执行等方面开

展更多的多边或双边的合作，为跨国理赔提供法制的保障。

另外还可以开发 Parametric Insurance（参数化保险）类产品，对于特定的风险发生可以设计一些触发式的产品。例如，一旦某一特定海域的某种特定风险指数超过设定的值，或者联合国出台特定的制裁决议，即可触发保险机制。一旦上述预设参数被触发，就会启动保险理赔程序，不需要对损失本身以及是否有过失做出复杂鉴定，能够很快给船东带来资金周转，以应对外来突变的情况。

借助以上创新手段，航运保险可以及时应对并化解地缘政治风险，化被动为主动，让航运保险成为保护国际贸易的稳定器，而不仅仅是规避风险的被动手段。

叁、航运保险在助推航运业低碳转型中的机遇与挑战

一、航运业低碳转型对保险提出的新要求

尽管国际航运业占据了全球贸易约九成的运输份额，但其发展也伴随着沉重的环境代价。在全球气候治理强化的大趋势下，日益收紧的减排标准正倒逼整个行业将低碳管理提升至新高度。2018年国际海事组织（IMO）温室气体减排初步战略经173个国家通过，为全球航

运业设定了明确的目标，即到2050年，年温室气体排放总量比2008年至少减少50%。由此，推动船舶动力从传统燃油向液化天然气（LNG）、甲醇、电池、氢能等绿色能源转变。这不仅使得船舶技术层面开始变革，同时也对航运保险体系提出了新的要求。

传统的航运保险是基于燃油动力船舶设计的，当前航运保险的固有条款，已难以应对船舶动力源从传统燃料向氢能、电池等替代能源的转变。这一变革给保险人带来了全新的风险评估挑战。例如，氢燃料的强易燃易爆特性对其储存系统的抗压能力提出了极高要求；而船舶动力电池潜在的“热失控”自燃风险及其连带损害，在传统条款中也属空白。由于缺乏足够的历史承保数据和经验，保险公司正面临着一系列未知的承保风险。再例如，纯电船的核心部分和价值较高的船用动力电池箱并不是船东所拥有，而是租赁给了第三方专业“电池银行”进行营运。所以传统船壳险下，作为被保险人的船东并没有对于租入动力电池箱的保险利益，可能会导致电池箱本身在租赁期间的损失无法获得赔偿。

对于LNG双燃料动力船舶，相关问题也随之产生。例如，在船舶维修需要动火时，必须进行额外的“清舱和除气”（Tank Cleaning and/or Gas Freeing Clause）工作，这笔费用由谁来承担，保险条款尚未规定。此外，发生共同海

损后，部分货物可能会因被用作 LNG 燃料而气化消耗掉，这部分货物是否能够作为共同海损予以分摊，保险条款也未规定，需要具体案件具体分析。船舶动力向替代燃料的转型，对传统保险的责任限额框架提出了严峻挑战。尽管《1976 年海事赔偿责任限制公约》及其议定书为船东提供了寻求责任保护的法律依据，但这些公约并未直接涵盖新型燃料可能引发的独特损害。尤其在发生涉及大规模人身伤害或有毒物质扩散的重大事故时，现有公约规定的赔偿上限更凸显出其保障力度的不足。由于替代燃料具有高危性、合规标准复杂、缺乏历史数据等特点，如何科学地设定赔偿责任限额将成为船东、保险人和监管方关注的核心问题。这些都是绿色转型时期需要解决的新问题，更需要保险公司尽快针对这些新产品快速做出回应，对其进行产品升级或推出新产品。

二、航运保险反向推动航运业低碳转型的机制

在响应航运业新要求的同时，航运保险可以通过发挥好其风险管理功能和产品定价杠杆的作用，反向助推和加快航运业低碳转型的脚步。其核心机制在于通过风险保障和经济激励的方式，降低船东采纳新技术的风险与成本，从而让船东看见绿色投资的价值。

首先，专门的绿色保险产品是船东的风险保障。若船东想投巨资几百亿去造纯

电或者 LNG 船，在担心技术上无法控制风险的同时，更关心的就是该怎样保证自己这笔巨大投资可以得到最好风险保障。如果保险公司可以推出将电池、气体燃料系统等特殊新装备明确纳入保险范畴的保险产品，将会极大增强船东的投资信心，让其能更大胆地作出绿的投资。例如，针对液化天然气热值不足可能导致的船舶动力损失风险，申能财险于 2025 年推出了国内首创的“LNG 气源质量责任保险”。该产品率先由上海国际港务集团的子公司采用，为其零碳港口建设提供了兼具质量风险管控与绿色转型支持的双重保障。这一创新举措不仅填补了相关领域的保险空白，助力上海国际航运中心的软实力提升，也为全球航运业的低碳发展路径贡献了来自中国的实践智慧；中远海运财产自保公司为“中远海运绿水 01”轮专门开发的《储能电动船舶保险条款》，就是很好的助力工具，它为船东提供了风险保障，同时为保险市场提供了参考标准。

其次，基于保险公司的定价权，价格差异可以激励更多船东考虑绿色低碳船舶。保险公司可通过差异化定价来降低对使用节能环保技术、且运营管理规范的船舶的投保成本。例如，可以按照“波塞冬原则”评价船舶碳排放情况，根据碳排放指数来确定保费。这是采取一种经济杠杆的方式促使船东优先选择绿色船舶或者对现有船舶的能源管理进行优化改进，从而可以在一定程度上影响航运业朝着绿色发展方向迈进。

在服务航运业绿色转型中，我国的绿色船舶保险生态正逐步完善，其动力源于监管的系统性规划与市场的精准化产品供给。一方面，监管机构通过出台分类指引、在重点水域试点强制保险等方式，构建顶层设计；另一方面，保险市场积极响应，开发出覆盖绿色船舶自身风险、潜在污染责任及碳减排风险的多层次产品。2024年6月中国绿色船舶保险共同体的成立，标志着行业进入协同作战新阶段，通过提供建造、运营、维修全链条的一系列风险保障，为绿色船舶产业的可持续发展提供了坚实支撑。

因此，航运保险的绿色发展不仅扩大了航运保险的业务范围，同时履行了行业的社会责任，为世界气候治理赋能。借助风险保障和资金引导，航运保险正在推动着航运低碳发展。

三、低碳转型中的产品创新：绿色能源航运保险实践

面对绿色转型的需求，保险市场正在积极探索产品创新，主要体现为在传统主险基础上附加特别约定，以及开发全新的专属保险条款。

（一）绿色能源船壳险的创新实践

针对电动船舶中的电池箱的情况，国际市场上已经出现了有效的应对方式，就是签订“租赁设备条款”(Leased

Equipment Clause)。该条款能够将虽然不是船东所有，但却将装上船舶使用（如电池箱、租借的科考设备）的非船舶本身的设备纳入到承保范围之内，而且保险人的赔偿责任以被保险人所承担的合同责任或设备的重置价值中较低者为限。这既符合保险利益原则，也满足了船东对于租赁设备的风险保障需要。

对于采用LNG、甲醇等替代燃料的船舶来说，保险创新的重点在于气体燃料泄漏、蒸发气处理以及动火维修中的清舱成本问题。国际常见做法是在传统船壳险基础上附加“清舱及除气条款 (Tank Cleaning and/or Gas Freeing Clause)”与“蒸发气体条款 (Boil-off Gas Clause)”这两个必不可少的保险条款。“清舱及除气条款”主要规定了船舶在修理之前清舱、除气所发生的费用应如何承担，通常采用保险人、被保险人共同负担的办法。“蒸发气体条款”将航程延长期间产生的LNG 蒸发气(BOG) 消耗明确认定为共同海损，并纳入共同分摊的理算范围，从而保障了船东的权益。

更加彻底的创新是开发专属主条款，例如，中远海运财产保险自保有限公司推出的《储能电动船舶保险条款》是一个典范，在国内保险市场尚属首创，是里程碑式的探索尝试，该保险条款首次把电池箱作为单独承保对象，将其具体化为“船舶（除电池箱）损失”、“船用电池箱损失”、“碰撞责任”和“共同海损和

救助”四部分。但同时，更加创新的条款需要理论支撑，例如把“电池箱自燃造成的自身损失”列为除外责任，由于学术界并未形成统一的观点，其与《中华人民共和国保险法》的兼容性仍需司法解释明确，故保险人采取了谨慎的态度，并未把这类核心风险纳入承保范围。在此之前，也可以通过让电池生产厂家购买产品责任险或者产品质量保证险等方式来分摊风险。

（二）传统能源保赔险的挑战与绿色转型

传统的船东保障与赔偿责任保险

(P&I) 的滞后性对于船东也会产生新的风险。首先是合同责任风险。电船船东和电池运营商签定的电池租赁合同多为定制化合同，对于责任的划分很有可能会有超出传统 P&I 险的责任承担范围，保险公司需要重新审核合同，附加“扩展合同责任险”(Extended Contractual Liability)。

其二是法律适用性问题。例如，中远海运所属的“中远海运绿水 01”轮的航线为武汉至上海的部分远洋和沿海内河航线，涉及运单和提单。中远海运为其投保了 P&I 险作为主险，但是该保险条款中关于提单项下货物责任界定的法律适用与该绿色船舶的实际应用场景的法律适用不匹配。为此，保险公司需要在保险条款中特别规定法律适用，并扩展承保范围。

其三是污染责任界定难的问题。电池箱落水后造成的大面积化学污染责任究竟应当由船东还是电池箱所有人负责，目前还无法确定。假如海事局起初对船东追责，那么后期的追偿将依靠于租赁合同是否有效而定。通常，P&I 保险公司会先行赔付船东损失，再代位向责任方追偿。从长远来看，须对电动船舶生态系统中相关各方如电池银行、换电运营商等主体设计专属的安全生产责任保险。

同时，在绿色船舶保险领域，应对物理风险的专项产品发展相对滞后。首先源于渐进性气候风险（如海平面上升）短期内难以进行风险评估、定价；此外，航运业固有的灵活性（如变更航线）本身是一种风险减量手段，客观上降低了可保风险的暴露水平。但从可持续发展的角度看，海平面上升对未来港口航道规划与安全的威胁，以及海洋酸化对船舶设备材料的长期腐蚀效应，都是确凿无疑的系统性风险。故此，更需要拓展将绿色转型中复杂的经济风险转化为“可保风险”的方案。例如，通过“电池性能—租金损失保险”将技术风险量化为赔付事件，“超额排放保险”转化合规失败风险为可保责任等。如此便将技术问题、政策合规等新型风险纳入保险覆盖范围。

(三) 绿色能源箱体险的探索与困境

电池箱一方面属于设备，但其箱体又是可以移动的资产，对其财产损失与责任风险如何承保成为新的课题。理论上讲，该产品符合集装箱的特征，可以适用箱体险。然而，由于电池箱容易引发火灾，且维修复杂、维修成本高，国际再保人出于谨慎，并未直接将其纳入承保范围。针对船舶电池箱落水可能引发的化学污染问题，《国际油污损害民事责任公约》、《燃油污染损害民事责任国际公约》以及《危险有毒物质污染损害民事责任国际公约》也均未对其责任归属作出明确规定。因此，处理此类污染事故的责任与赔偿问题，目前主要依赖于事故发生地的国内法律法规或船舶租赁双方签订的合同条款。在中国，中远海运设计的《船用动力电池箱保险条款》是个创举，然而，它仅承保陆上期间的财产损失，不能覆盖整个环节，并且保障范围有限，没有提供第三者责任风险以及环境污染责任风险。笔者认为，未来还需要研发将物上财产险、第三者的责任险、污染责任险以及产品责任险等多种保险形式融合为一起的电池箱安全生产责任保险，且保障主体应当涵盖生产端、运营端、船东、充换电站等整条产业链中的各个企业在内的所有相关主体。

想要提供更加全面、精准的风险保障，须推动行业积极加强产品创新，全面提升绿色电动船舶的风险保障能力，要求

行业沿三条关键路径系统推进：一是强化产品供给，鼓励开发与新型风险相匹配的精准化保险产品；二是重塑服务链条，打造一个集专业经纪、代理、公估与理算机构于一体的高效服务体系；三是完善治理框架，由政府与市场协同制定全流程操作规范，为行业健康发展奠定制度基础。

肆、结论与展望

基于上述分析可知，地缘政治冲突与绿色低碳转型作为两条相交的主线在深刻塑造世界航运风险格局的基础上，为航运保险的发展带来了巨大的挑战与机遇。从地缘政治冲突来看，传统战争险及罢工险条款的模糊性与局限性导致争议增加。为应对保险条款适用性降低，跨国理赔效率低下等问题，首先建议推动国际保险协会（IUMI）等权威机构制定适应新型冲突形态的示范条款；其次，完善国际争端解决机制，在热点地区设立专业仲裁中心；最后，开发参数化保险等创新型产品，提高风险应对的精准性。

在绿色转型方面，航运保险面临着技术迭代带来的双重挑战：既要解决传统条款与新能源船舶的适配性问题，又要通过产品创新推动行业低碳发展。研究表明，保险机制可以通过风险保障和差异化定价两大路径促进航运业绿色转型。具体而言：一方面，开发针对电池系统、LNG燃料等新型技术的专属保险产品，

降低船东采用绿色技术的风险；另一方面，实施基于碳排放指数的差异化保费定价，发挥保险的经济杠杆作用。新型的技术风险不能被现有的保险产品所覆盖，国际市场将通过产品更新以及产品创新等方式应对问题，同时，学术界也应当提供更多的研究方案，例如加强跨学科研究，为保险产品提供理论上的支撑。

航运保险作为全球贸易的重要稳定器，应当主动适应变革，从被动的风险承担者转变为积极的行业引领者。通过制度创新和产品创新，航运保险不仅能够有效应对当前挑战，更能在推动全球航运业可持续发展中发挥关键作用。总之，航运保险要在波谲云诡的国际环境中找到自己发展的正确道路，不仅要直面地缘政治所带来的风险，更要直面绿色浪潮下全新的发展趋势，积极谋划，勇于变革，同时打开合作之门，在共商共建共享的潮流之下抓住契机，最终成为现代航运的一种重要力量，助力世界打造更加美好的航运未来。

参考文献

1. 华毅嵘. 中国航运企业海外风险应对与危机管理体系初步研究 [R]. 上海：上海环太国际战略研究中心, 2025:3-12.
2. 刘志兵. "双碳"助力航运保险走向"深蓝"—发展低碳经济背景下的航运保险业发展之路. 上海保险, 2023(2): 15-19.
3. 李桢, 周翔宇. 航运业替代燃料应用对国际责任与赔偿制度的挑战及应对 [J]. 世界海运, 2025, 48(08):15-19. DOI:10.16176/j.cnki.21-1284.2025.08.003.
4. 乔翔. 国家金融监督管理总局上海监管局：持续推动上海航运保险业改革创新 [N]. 中国证券报, 202410-23
5. 任玉洁, 周洲, 傅奕蕾等. 保险业在全球气候治理中的角色重塑与中国路径（上、下）[N]. 中国银行保险报, 202507-31
6. 盛维. 绿色能源航运保险研究（上、下）. 保险研究, 2024(5): 88-95.
- 7..Chen, H., et al. Carbon Emission Reduction in Shipping Industry: A Policy Review. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2023, 105: 103-120.
- 8.International Maritime Organization. IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. London: IMO, 2023.
- 9.Wang, Y., & Zhang, L. Green Shipping Technologies: Applications and Challenges. *Maritime Policy & Management*, 2024, 51(2): 123-145.



TCC GROUP
泰昌祥集團

Tai Chong Cheang Steamship Co. (H.K.) Ltd.
泰昌祥輪船(香港)有限公司

Suites 3002-04, 30/F., South Island Place,
8 Wong Chuk Hang Road, Wong Chuk Hang,
Hong Kong.
Tel : (852) 2522 5171
Fax :(852) 2845 9307

香港黃竹坑道 8 號
South Island Place
30 樓 3002-04 室
電話 : (852) 2522 5171
傳真 : (852) 2845 9307



隆 星 航 業 有 限 公 司
Grand Seatrade Shipping Company Limited

3107 Alexandra House,
16-20 Chater Road, Central, Hong Kong
Tel : (852) 2526 4294-7
Fax : (852) 2810 6780
Telex : 85146 SETRA HX
E-mail address : gstrade@netvigator.com

香港中環遮打道 16-20 號
亞歷山大廈 3107 室
電話 : (852) 2526 4294-7
傳真 : (852) 2810 6780
電傳 : 85146 SETRA HX
電郵 : gstrade@netvigator.com

Challenges for Insurance Managers in Ship Management Amidst a New Geopolitical Era

Jolyon Mantus CHAN

1. Introduction

Ship managers, as pivotal stewards in the maritime industry, assume functional custodianship over vessel operations on behalf of vessel owner, navigating the labyrinthineencies of global trading conditions that form the major of the maritime management. Whilst their roles are often axiomatic to maritime practitioners, it behoves this article to delineate their remit: subject to the bespoke functions mandated by principals, ship managers discharge duties spanning crewing, technical oversight, commercial husbandry, and comprehensive vessel administration at full management; principals may encompass shipowners, bareboat charterers, time charterers, or de facto controllers in rem (Mitroussi, 2013). etc, each with distinct operational demands and risk appetites.

By reference of the standardised ship management contracts like BIMCO's SHIPMAN or CREWMAN, these agreements typically delineate the scope of risks management thought the including the service of insurance and related risks management, such as class of Protect and Indemnity, Crew Insurance, Hull & Machinery, War Risks, etc., forming the contractual bedrock for managing various operational and geopolitical risks. At the role as an Insurance Manager in Ship Management, one must scrutinise and evaluate the efficacy of current risks management and insurance frameworks in protection the company as of a ship manager, and the interest of the vessels under management.

Effective mitigation strategies encompass proactive risk identification, comprehensive insurance coverage, and the diversification of shipping routes and logistical frameworks to circumvent areas of heightened instability (Arowosegbe et al., 2024). It would be in question, whether the existing or selection of risks management tools would orchestrate complex situation as a legitimate response to an increasingly susceptible and multifaceted geopolitical risk.

Throughout the rapid changes of the compliance, geopolitical environment significantly raise the complex ties and challenges to the role of a Ship Manager, at the forefront of ensuring operational continuity and safety amidst increasing volatile global maritime tensions; these actors confront amplified complexities in upholding operational continuity and ISM Code-mandated safety (Maternová et al., 2023; Dawar and Bai, 2024). This necessitates a sophisticated understanding of geopolitical risks, which frequently manifest as disruptions to established trade routes, imposition of tariffs, and the potential for direct conflict (Arowosegbé et al., 2024).

This article would like to initially discuss the challenges and its risks management at the contemporary maritime tensions era for an insurance manager in the Ship Manager for a ship management, including the cascading impacts of geopolitical events on maritime industry, ship management and the strategies required for effective mitigation.

2. The Evolving Geopolitical Landscape

In recent decades, the maritime industry has encountered increased compliance requirements, tensions and incidents that challenge the operation of the vessels, these are including the COVID, Shortage and isolation of Seafarers supply, congestion of key ports or canals, territorial disputes in areas like the Red Seas or Russia-Ukraine conflict, compounding EU ETS snares and the recent US Tariff imposed by Trump's Administration. In an increasingly interconnected global economy, the maritime industry, which underpins approximately 80% of global trade, faces unprecedented challenges stemming from complex geopolitics (Rasshylove et al., 2024).

These made the challenges to the Ship Manager more complex demanding a proactive and adaptive approach to risk management (Dawar and Bai, 2024) (Mitroussi, 2013), albeit the maritime industry has been historically faced and conquered similar risks and challenges in the long journey. However, the current geopolitical landscape introduces novel complexities, demanding sophisticated analytical frameworks to identify and quantify emerging new challenges to the Ship Managers. The interconnectedness of the global maritime transport system means that disruptions, such as the Suez

Canal blockage or the Russia-Ukraine conflict, can lead to widespread shortages and price surges, highlighting the critical need for resilience in this sector (Fjørtoft et al., 2023) (Chen et al., 2025). Also, the conflicts and strategic competition, introduce a heightened degree of unpredictability, directly impacting operational planning, route selection, and insurance considerations for these critical entities. Furthermore, ongoing geopolitical instability in critical maritime passages, such as the Red Sea, necessitates a dynamic adjustment of operational strategies to mitigate risk associated with vessel targeting and supply chain disruptions (Rai, 2025).

An Insurance Manager in ship management, as operational fulcra, would be required to transmute peril to prophylaxis. It is in question, in case of absent recalibrated maritime risks management, can stewardship endure the risks undertow? Indeed, the intertwined nature of contemporary global supply chains means that even localised geopolitical events can trigger far-reaching disruptions, underscoring the urgent need for robust risk management frameworks that extend beyond traditional assessments (Villa, 2023 Arowosegb et al, 2024). This includes evaluating the potential for "wild card" events, such as unforeseen technological advancements or sudden political shifts, which could drastically alter established shipping patterns and introduce new security considerations in regions like the Euro-Asian Arctic (Rovenskaya et al., 2024). Also, this is particularly critical as geopolitical risks are poised to significantly influence maritime supply chains through 2025, necessitating strategic adaptations from all stakeholders (Dawar and Bai, 2024) - escalating threats, territorial disputes, and the intricate web of international regulatory requirements (ie. sanctions) that collectively impose significant financial and operational burdens on an insurance manager (Villa, 2023).

3. Challenges from traditional risks management tools

In the recent case of Sino-United States tensions, the United States has strategically imposed tariffs on Cargo and Chinese-nexus vessels by the USTR (2025), whilst the People's Republic of China has retaliatory enacted Special Port Dues on U.S.-nexus vessels through its Ministry of Transport (2025); that steering the maritime industry to an uncertain situation. Although this is read as a compliance risk, it is not

a straight forward risk could be managed by traditional tools nor risk management or insurance. These geopolitical risks often manifest as disruptions to maritime supply chains, leading to economic, logistical, and security challenges that necessitate a more integrated approach to risk mitigation (Dawar and Bai, 2024). While we could outline the risks and provided a framework for assessing the risks for managing it (Calatayud, Mangán and Palacín, 2017; Villa, 2023; Arowosekun et al., 2024; Rasshlylov et al., 2024); but could the risk effectively be transferred to fiscal world or alternative risk transfer market - even if we understood via best assessing it. This would be an area that requires a form of the tools and solutions.

At the heart of the escalating geopolitical tensions and their profound impact on maritime operations, these traditional insurance mechanisms alone may prove insufficient, necessitating a more comprehensive and adaptive risk management paradigm (Lau et al., 2024; Perković, Gucma and Feuerstack, 2024). This critical function encompasses ensuring compliance with international regulations, optimising operational efficiency, and safeguarding against a myriad of risks, particularly those stemming from the increasingly volatile geopolitical landscape.

The evolving technologies of artificial intelligence ('AI'), while promising, also introduce new vulnerabilities related to risks monitoring and its integrity, further complicating risk assessments for insurance managers. An integrating AI with traditional risk management strategies can provide a more holistic and predictive approach to navigating these complex challenges (Bai, Cheng and Iris, 2022). However, the implementation of AI may not be a panacea that releases the risks or transfer the risk from the vessels in actual world, as its effectiveness is contingent on the method of right input - forth the risk be secured by security and different levels.

In another case of recent European Union's Emission Trading System, the complexities associated with carbon pricing and regulatory compliance present a significant operational and financial challenge for ship managers, especially concerning fleet optimisation and route planning to minimise emissions (Karkina-Athine et al., 2024). While the AI tools could aid and assist the insurance managers to manage the

approaching the fulfilment of regulatory emissions goals, there is no sufficient class or product of insurance could assist them in transferring the fiscal risks associated with non-compliance or unexpected market fluctuations in carbon credit prices. Some of the underwriters are still not understanding the nature or scope of this emerging risk, leading to gaps in coverage that expose ship managers to unmitigated financial liabilities, from the counter-parties.

This highlights a critical void in current risk transfer mechanisms, underscoring the need for innovative financial products that can address these novel regulatory and market-driven risks. Furthermore, the integration of advanced analytics and artificial intelligence could offer promising avenues for developing such innovative risk transfer solutions by enabling more precise quantification and pricing of emerging risks (Yazdi et al., 2024). Despite numerous advancements, there remain significant gaps in fully integrating artificial intelligence into comprehensive maritime safety and risk management framework (Durlik et al, 2024) .

4. Concluding Remark

Risk management underscores ship managers' stewardship duties under 'functional gate-keeping obligations' — a core remit in the maritime domain whereas framework or understanding broadly applies in the maritime world, and wherein an Insurance manager, as operational fulcrum, converts geopolitical perils to resilient prophylaxis. Nevertheless, in this fractious seascape, absent recalibrated tools (including insurance and alternative risk transfer tools), does resilience founder, or helm boldly towards horizons, to anywhere?

Limitation

This paper is only an initial discussion, on the question through a rudimentary view in actual situations to the existing challenges to a ship manager, which might not fully illustrate a depth evaluation analysis. This would and should be, further studied in future throughout a proper sufficient research and review with consolidated findings.

References

- Arowosegbe, O.B. et al. (2024) "Risk Management in Global Supply Chains: Addressing Vulnerabilities in Shipping and Logistics," *International Journal of Management & Entrepreneurship Research*, 6(3), p. 910. doi:10.51594/ijmer.v6i3.962.
- Bai, X., Cheng, L. and Iris, C. (2022) "Data-driven financial and operational risk management: Empirical evidence from the global tramp shipping industry," *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 158, p. 102617. doi:10.1016/j.tre.2022.102617.
- Calatayud, A., Mangan, J. and Palacín, R. (2017) "Vulnerability of international freight flows to shipping network disruptions: A multiplex network perspective," *Transportation Research Part E Logistics and Transportation Review*, 108, p. 195. doi:10.1016/j.tre.2017.10.015.
- Chen, X. et al. (2025) "A framework for understanding the path to achieve high resilience of maritime supply chain," *Scientific Reports*, 15(1). doi:10.1038/s41598-025-86906-y.
- Dawar, A. and Bai, Y. (2024) "Impact of Geopolitical Risk on the Maritime Supply Chain: A Regional Analysis of the Effects on Global Trade," *International Journal of Supply Chain Management*, 13(3), p. 42. doi:10.59160/ijscm.v13i3.6245.
- Durlik, I. et al. (2024) "Artificial Intelligence in Maritime Transportation: A Comprehensive Review of Safety and Risk Management Applications," *Applied Sciences. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, p. 8420. doi:10.3390/app14188420.
- Fjørtoft, K. et al. (2023) "Assessing the resilience of sustainable autonomous shipping: New methodology, challenges, opportunities," *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 9, p. 100126. doi:10.1016/j.clsrn.2023.100126.
- Karklina-Admine, S. et al. (2024) "Challenges for Customs Risk Management Today: A Literature Review," *Journal of risk and financial management. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, p. 321. doi:10.3390/jrfm17080321.
- Lau, Y. et al. (2024) "Maritime transport resilience: A systematic literature review on the current state of the art, research agenda and future research directions," *Ocean & Coastal Management*, 251, p. 107086. doi:10.1016/j.ocecoaman.2024.107086.
- Maternová, A. et al. (2023) "Human Error Analysis and Fatality Prediction in Maritime Accidents," *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), p. 2287. doi:10.3390/jmse11122287.
- Mitroussi, K. (2013) "Ship Management: Contemporary Developments and Implications," *The Asian Journal of Shipping and Logistics*, 29(2), p. 229. doi:10.1016/j.ajsl.2013.08.006.
- Perković, M., Gucma, L. and Feuerstack, S. (2024) "Maritime Security and Risk Assessments," *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(6), p. 988. doi:10.3390/jmse12060988.
- Rai, A. (2025) "Turbulent waters in the red sea: understanding maritime shipping business impacts and implications," *Journal of Transportation Security*, 18(1). doi:10.1007/s12198-025-00299-7.
- Rasshyvalov, D. et al. (2024) "Navigating geopolitical risks: Implications for global supply chain management," *Multidisciplinary Reviews*, 7. doi:10.31893/multirev.2024spe017.
- Rovenskaya, E. et al. (2024) "Future scenarios of commercial freight shipping in the Euro-Asian Arctic," *Futures*, 163, p. 103446. doi:10.1016/j.futures.2024.103446.

Villa, M.A.D. (2023) "Assessing Geopolitical Risk: A Multi-Level Approach for Top Managers of Multinationals," *AIB Insights*, 23(1). doi:10.46697/001c.67875.

Yazdi, M. et al. (2024) "Navigating the Power of Artificial Intelligence in Risk Management: A Comparative Analysis," *Safety*, 10(2), p. 42. doi:10.3390/safety10020042.

**HOSTMOST GROUP** innospec

OCTAMAR™ INNOVATION ENDORSEMENT FROM CLASS NK

Innospec Fuel Specialties and Class NK are proud to announce that **Octamar™ Fuel Technology** has received Class NK's prestigious 'Innovation Endorsement' for reducing fuel consumption and improving emissions in vessels using Octamar™ performance packages. Class NK has independently verified Innospec's product performance claims regarding SFOC and PM reduction.



- **Improved Fuel Economy SFOC**
(Reduction of between 2.3 % -3.9 %)
- **Reduced Emissions**
(60 % by mass of Particulate Matter)

Speak to one of our teams to find out more on how to improve your SFOC saving.
Email: globalservice@hostmostgroup.com

HOSTMOST GROUP Hong Kong Office 12/F, Yan's Tower, 27 Wong Chuk Hang Road
Hong Kong Phone: +852 2554 9207 (24 hours) Fax: +852 2554 5152

Source: <https://innospec.com/fuel-additives/marine/>



1. 引言

海洋運輸利用無數的船舶載運全球貿易百分之八十的貨物，促進世界經濟、貿易物流的發展。然而這個攸關世界經貿發展的重要產業卻面臨嚴重的挑戰；這些挑戰包括頻繁的重大海難事故，日益嚴格的環保法規及嚴重的船員短缺的問題。當然這些問題促使有關方面費盡心力從軟體、硬體方面尋求解決的方案，諸如：改善教育訓練發證制度，確保船員的能力，改善船舶管理提升安全文化，建造自動化的船舶，減少人力涉入，開發各項現代化裝備避免人為疏失等等。而近年來的水面自主船舶 (Maritime autonomous surface ship, MASS) 的研究開發最引人注目，期待能畢其功於一役，同時解決船員短缺、人為疏失造成意外及避免污染，保護海洋環境的問題。

MASS 的研究開發是一項高難度的挑戰，但也為航運業帶來無限的遐想和期待。尤其在韓國十萬噸級 LNG 船 (MT Prism Courage) 橫越太平洋由美國抵達韓國，以及 IBM 自主實驗船五月花號 (Mayflower) 橫渡大西洋航行後，自主船舶實際在航運業應用的可能性不再是遙不可及的夢想。然而有關自主船舶的研究至今仍圍繞在船舶如何實現自主航

行、如何避免碰撞？如何安全通訊，如何遠端監控或是更進一步達到自主航行，對於自主船舶的應用，尤其在航運業應用的研究尚屬欠缺，因此本研究主要聚焦在釐清無人自主船舶在航運界應用的認知，期能解開筆者心中的疑惑，並提供無人自主船的未來發展的參考。因此本研究試圖解答下列自主船的問題：

- (1) 無人自主船舶是否可以提升航行安全？
- (2) 無人自主船舶是否能帶來利益？
- (3) 無人自主船舶是否能適用到海洋運輸產業？

2. 文獻探討

水面自主船舶 (MASS) 本質上就是一種且具有辨識當前的狀況，並自主決策的高度自動化智慧化的船舶，因此國際海事組織 (International Maritime Organization, IMO) 根據船舶自動化程度分成 AL1-AL4 四個等級，在 AL3 為船舶高度自動化，有少許船員在船，船舶由遠端的人員操控；而 AL4 的階段則為沒有船員在船，船舶完全自主航行。不管在 AL3 或是 AL4 的階段，MASS 船舶的運行仍然需要具備船舶航行的基本的機械、電子設備與各設備

的控制系統，若要運行順暢尚需要有整合內部眾多設備信息與外部信息的系統，負責內部各種設備間的協調運作，達成船舶自主安全運行。此外當然也要有能力與外界保持緊密且順暢的通訊系統。任何這些設備與系統若不能正常有效運作，自主船舶將帶來各種不同型式的海難事故，如碰撞、擋淺與漂航等。

自主船舶發展的目的是因為有 80% 的海難事故可以歸因於船員的因素所造成，因此希望能提高自動化程度減少人員涉入，甚至完全取代船員，以提升安全。既然安全提升了，海難事故減少了，對於海難之後所衍生的海洋環境污染問題，船員生命、船舶及各種財貨的安全將獲得保障，因此無人自主船舶的應用運行將對航行安全、公共利益與私人利益都會有正向的影響。

船舶的航行，根據地理位置與環境開闊的狀況，船舶航行區域可分為內陸水域航道，港區航行水域，沿岸航行水域及遠洋開闊水域；因此自主船舶要能適應在寬闊水域航行，也要能夠安全航行在限制水域，這樣才能滿足航業的需求。除了要能自主航行外，船舶在海上還會遭遇自主船舶以外的各型船舶與目標，包括傳統商船、漁船、遊艇等大大小小的目標，以及愈來愈多的海上人工建築，離岸風力發電機、鑽油平臺等目標，綜合而言，無人自主船舶既能達成前述不同水域的航行安全，同時也要能保障海上目標的安全，當然能夠提升海

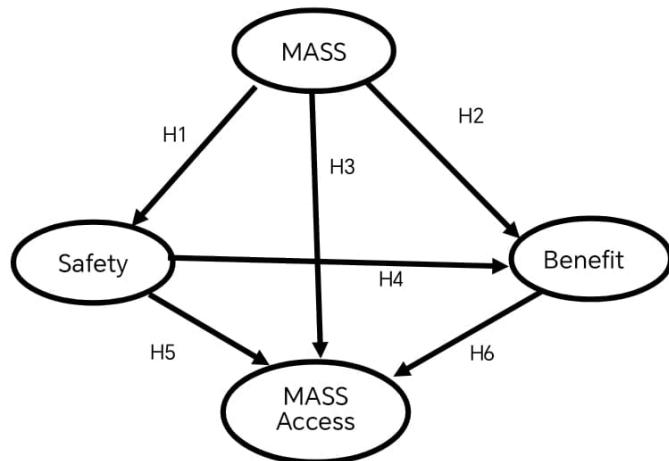
上交通安全。

另一個無人自主船舶發展的主因為船員的短缺，因為傳統船舶長期在全球各地川航，船員也隨著船舶在世界各地流轉著，長期遠離家人，生活在空間封閉、與外界隔離的生活環境，過著與世隔絕的生活，而且環境天候變化大，生活作息不正常，工作負荷高，壓力大，無法獲得適當的調劑，以致較為發達地區的年輕人不願意當船員，若自主船實現了，則不僅可以解決船員荒的問題，同時可以避免因為人員疏失所帶來的海難事故，造成後續一連串的財物損失與環保問題，真可謂一舉數得，不僅增進航行安全、還可以保障環境保護的公共利益，同時為海運業節省船員的人力成本，更可不必為覓得足夠的船員傷透腦筋，真是完美。

綜合上述自主船的概況，建立研究概念模型，如圖 1 所示；並提出以下的研究假設：

- H1：MASS 對航運業的航行安全有正向影響。
- H2：MASS 對航運業的效益有正向影響。
- H3：MASS 對航運業應用 MASS 有正向影響。
- H4：航行安全對航運業的效益有正向影響。
- H5：航行安全對航運業應用 MASS 有正向影響。
- H6：效益對航運業應用 MASS 有正向影響。

圖 1 研究概念模型



3. 研究方法

3.1. 問卷設計

本研究旨在評估未來航運業對 MASS 應用前景。由於 MASS 在學術和技術領域都處於新興發展階段，尚未在航運業實際應用，而本文作者所關注 MASS 在航運業實際應用中的安全性及其可能帶來的影響，無法從實務中取得資料進行分析研究。因此，基於文獻探討發展出問卷收集資料。發展問卷前，作者先向航運業的利益相關者請益，以深入了解運送人、托運人、港口管理人員和甲板部的航海人員對於無人自主船舶的認知及未來在航運業運用的觀點，並發展制定用於收集研究資料的調查問卷。本研究中使用的問卷內容效度已透過文獻探討，以及對經驗豐富的甲板部高級船員、船長和海運承運人的訪談得到確認。問卷內容的決定過程對於確保其內容的效度至關重要，因為內容效度反映

了研究工具對其預期測量內容的測量程度。為了進一步提高可靠性並確定對問卷措辭的理解，在完成問卷設計後，作者再請 15 名特定的受訪者，包括經驗豐富的海員、VTS 操作員、海巡艦艇的航海官員和港口的管理人員；訪談導致對一些測量項目的措詞進行了微小修改，但最終被認為具有內容效度。受訪者被要求在李克特五點量表上表達他們對 MASS 各有關的觀點測量的同意程度（1 = 非常不同意，2 = 不同意，3 = 既不同意也不反對，4 = 同意，5 = 非常同意）。

3.2. 樣本

本研究旨在展望未來航運業應用 MASS 無人自主船的前景。研究需要盡可能收集熟悉 MASS 的現況、應備能力及未來應用需求的人員的認知。因此，作者將問卷分發給航運業、海巡隊的航海官員以及造船業的工程師。以這些人為

取樣目標，主要在於這些人對自主無人船的現況、應備的能力及航運業對於船舶的應用需求比一般人有較深入的了解。最終來自航運業各利益相關者共約 450 名受訪者參與了問卷填寫調查。由於 23 份問卷回答不完整或有重大缺陷，因此被排除不列入資料分析，剩餘 294 份有效問卷用於進一步分析，有效回收率為 65.3%。

本次調查中，填答者男性佔 82.3%，女性佔 17.7%；此結果顯示台灣航運業中男性的參與者佔較高比率。其中 74.8% 的受訪者擁有大學或專科學歷，25.1% 擁有碩士以上學位，顯示海事產業的從業人員都具高教育水平。以工作現況來看，34.7% 的受訪者為海員，15.6% 為航運從業人員，21.1% 為海巡航海官員，12.6% 為造船業從業人員，16.0% 為其他業別的人員。本次調查中，近半數（49.7%）的受訪者表示自己具有航海專業，31% 為機械專業，其他專業佔有 19.4%。

4. 資料分析

4.1. 因素分析

因為本研究資料乃是利用作者新開發的問卷所收集而來，所以使用結合主成分分析法（PCA）和最大變異數旋轉法（VARIMAX）的因素分析，將量測變數縮減至易於處理的規模。分析過程中採用一些標準來決定變數取捨及因素構面的萃取，例如個別變數的因素負荷大於 0.50，且在不同因素間的負荷差距大於 0.3 以上的變數，並透過特徵值大於 1.00 進行確認因素，最終以總變異值表示之。

表 1 因素分析結果

Construct/Dimension	Measures	Factor loading	Eigen Value	Cronbach's Alpha	Variance (%)
MASS 航行安全相關					81.30
限制水域安全	4	0.81-0.86	3.15	0.91	26.28
開放水域安全	3	0.84-0.89	2.57	0.92	21.41
離岸建築安全	3	0.74-0.90	2.30	0.85	19.20
海上交通安全	2	0.84-0.86	1.73	0.79	14.41
MASS利益相關					68.66
公共利益	5	7.75-0.85	3.25	0.87	46.47
私人利益	2	0.83-0.86	1.55	0.65	22.19

關於 MASS 航行安全的構面共包含四個因素，包括限制水域航行安全、開放水域航行安全、離岸建築目標安全和海上交通安全（見表 2）。MASS 效益的構面包含公共效益和私人效益兩個因素。表 2 顯示各因素的信度值 (α) 表明，除了私人效益因素的信度值 (α) 因測量變數較少；僅有兩個變數而略低於 0.7 門檻值的 0.65 外，其他所有因素的信度值 (α) 都遠高於 0.7 的門檻值，因此表示各因素都有很高的信度。最終每個構面的總解釋變異數分別為：航行安全 81.3%、MASS 效益 68.66%。所有因素分析的結果都顯示了利用這些構面可以利用來進一步分析。

4.2. 確認研究架構的有效性

在進行因子分析後，本研究再採用驗證性因素分析 (CFA) 確定建立的構面模型可接受，以便進一步進行結構方程模型檢定。採用的模型適配度指標（包括 χ^2 、 χ^2/df 值、RMR、GFI、AGFI、TLI、CFI 和 RMSEA）檢定模型的配適性。對於航行安全構面，適配度檢驗值如 $\chi^2=92.14$ 、 $\chi^2/df=2.43$ 、RMR=0.03、GFI=0.95、AGFI=0.91、TLI=0.96、CFI=0.97 及 RMSEA=0.07 皆為良好配適水準。對於 MASS 效益構面，模型適配度檢驗值， χ^2 、 χ^2/df 值、RMR、GFI、AGFI、TLI、CFI 和 RMSEA 分別為 15.87、1.98、0.02、0.98、0.95、0.98 和 0.99，皆處於良好適配度閾值內。經

過這些驗證性因素分析 (CFA) 的檢驗處理，這些構面模型得到確認，可用於進一步的分析。

4.3 單因子變異數分析 (ANOVA Test)

本研究旨在了解填答者對水面自主船的看法，因此利用單因子變異數分析法來檢驗填答者對於水面自主船航行安全及效益兩大構面的因素進行檢驗，不同的背景的填答者之間是否存在認知的差異。

4.3.1. 基於填答者專長背景認知差異分析

首先以填答者的專長背景來檢驗。填答者的專長分為航海專長與工程專長及其他等三類，並由顯著性 P 值是否小於 5% 來決定不同專長背景的填答者認知上是否存在顯著差異。表 2 呈現出分析的結果，可以看出填答者對於自主船在限制水域航行安全、開放水域航行安全、公共利益和私人利益等四個因素存在顯著性的認知差異；然而在離岸建築目標及海上交通安全兩個因素，則所有填答者的認知不存在顯著差異。具航海專長背景的填答者在檢驗的所有因素的平均值都是最低的，表示具備航海專長的人對自主船最不認同。

表 2 基於填答者專長背景認知差異檢驗結果

	航海專長 N=146		工程專長 N=91		其他 N=57			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	F-Value	Sig.
限制水域安全	3.19	0.98	3.48	0.97	3.59	0.84	4.54***	0.01
開放水域安全	3.27	1.04	3.60	0.99	3.91	0.85	9.21***	0.00
離岸建築安全	3.61	0.91	3.70	0.81	3.69	0.91	0.36	0.70
海上交通安全	3.63	0.82	3.77	0.79	3.82	0.86	1.46	0.23
公共利益	3.45	0.80	3.77	0.78	3.91	0.67	9.42***	0.00
私人利益	3.96	0.74	4.18	0.60	4.07	0.69	3.82**	0.02

4.3.2 基於填答者職業現況認知差異分析

接著根據填答者的現職工作職務狀況來看他們對於自主船的航行安全及效益等因素的看法；填答者的分類包括了船員、航運業陸勤職員、海巡航海官員、造船廠員工及其他等。表 3 呈現根據填答者的職業分類所進行的單因子變異數分析的結果，從表的顯著性 P 值來判斷，除了自主船效益構面中的私人利益因素未達到 5% 的顯著水準外，其他所有航行安全的構面的所有因素及公共利益因素均達到顯著水準，表示填答者對於其他的因素的認知都存在顯著的差異；這樣的結果隱含著大家對自主船的認知會因為自己職業現況而有所不同。

表 3 基於填答者職業現況認知差異檢驗結果

	海員 N=102		航運職員 N=46		海巡官員 N=62		造船廠 N=37		其他 N=47			
	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	F	Sig
限制 水域 安全	3.25	1.03	2.92	0.99	3.59	0.87	3.38	0.81	3.70	0.80	5.43** *	0.00
開放 水域 安全	3.30	1.09	3.30	0.94	3.86	0.86	3.47	0.90	3.65	1.10	3.72** *	0.01
離岸 建築 安全	3.77	0.86	3.35	0.89	3.88	0.77	3.45	0.93	3.56	0.88	3.65** *	0.01
海上 交通 安全	3.84	0.80	3.50	0.89	3.81	0.78	3.42	0.85	3.73	0.75	2.89**	0.02
公共 利益	3.42	0.90	3.36	0.60	3.93	0.67	3.70	0.67	3.96	0.74	8.18** *	0.00
私人 利益	4.00	0.74	3.97	0.70	4.18	0.57	4.20	0.58	4.19	0.74	2.07*	0.09

4. 研究問題檢驗

本研究經由因素分析及確認性因素分析後，將變數縮減至可以代表構面的幾個因素，接著再利用結構方程模型 (SEM) 驗證本研究所建立的研究概念模型是否有效。模型路徑分析結果呈現在圖 2，直接效應與間接效應的結果呈現在表 4 中。結構方程模型適配度檢驗 $\chi^2=32.95$ ，P 值 <0.03， $\chi^2/df=1.65$ ，RMR=0.03，GFI=0.98，AGFI=0.95，TLI=0.98，CFI=0.99，RMSEA=0.05。所有模型適配度檢驗值均在標準閾值水準內，結果顯示這個模型配適度良好，是可以接受。表 5 中所示的結果顯示所有假設均達到顯著水準。首先，我們來看看 MASS 採用模型的個別直接影響因素，其中 H6 (MASS 的效益到 MASS 應用的路徑) 的係數最大，為 0.97，其次是 H1 (MASS 對航行安全)，其係數值為 0.87。這些結果表示，MASS 的效益與 MASS 的應用最密切相關，最具影響力，且 MASS 的應用確實可以顯著提升航行安全性。關於 MASS 本身對航運業日後對 MASS 的採用的問題，H3 是達顯著水準，表示其有顯著的直接影響，然而 H3 的係數值為負 (-0.47)，這個結果顯示受訪者對 MASS 在航運業應用的看法持負面態度，他們不會在目

前的航運業務中使用 MASS，這個結果也顯示出業者對於 MASS 的態度，即使是要好東西，也不會貿然使用它。

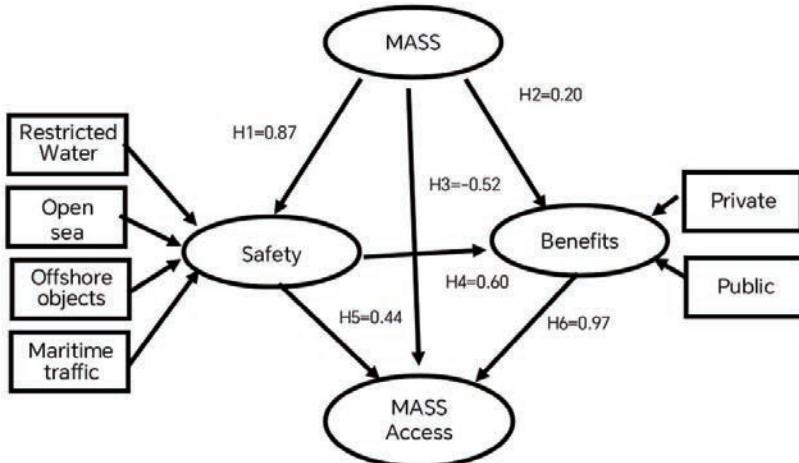


圖 2 研究問題路徑分析結果

表 4 研究假設檢驗

Hypothesis paths	Direct effect	Indirect effect	Total effect	Hypothesis test
H1: MASS -> Safety	0.87***		0.87	Supported
H2: MASS -> Benefits	0.20*	0.52	0.72	Supported
H3: MASS -> Adoption	-0.52***	1.07	0.55	Supported
H4: Safety -> Benefits	0.60**		0.60	Supported
H5: Safety -> Adoption	0.44*	0.58	1.02	Supported
H6: Benefits -> Adoption	0.97***		0.97	Supported

Note: *p<0.1; **p<0.01; ***p<0.001

然而，H3，加上間接效應值 1.07 後，而使總效應值變為正值 0.55，即考慮了航行安全和效益產生的間接效應，只要其效果有助於業務推展，可以航行更安全，並可以為企業帶來利益的話，業者仍然會採用自主船。受訪者表示，如果 MASS 能夠提高安全性並增加企業效益，他們就會採用 MASS。H2 (MASS 到效益的路徑) 的係數值最低的 0.2，這意味著受訪者懷疑 MASS 能否真的能為航運效益做出貢獻。關於航行安全提升的影響，H4 (航行安全到效益的路徑) 和 H5 航行安全性 MASS 採用的路徑) 的係數值適中，分別為 0.60 和 0.44；這些結果隱含著航行安全性對航運業的效益有正面影響，並且可以進一步促進 MASS 的應用。

5. 結論與建議

5.1. 結論

本研究主要著眼於收集實際資料檢驗自主船舶在航運業應用的可能性，以及應用它的前題是什麼。經由實務訪談後，設計問卷收集資料，再經由探索性及確認性因素分析得到代表各研究構面的因素，再利用單因子變異數分析法檢驗受訪者認知的差異，並透過結構方程模型檢驗建立的假設模型是否合適，再看各假設路徑影響的大小等。

經由分析結果，可以得知不同專長背景的人與不同現職狀況的人對自主船的認知會有顯著差異。自主船是否可以帶來利益影響日後採用最為強烈，即航運業者最重視自主船能否帶來利益；其次為自主船能有效提升航行安全，再者為航行安全則可以正向影響公共利益及私人利益。最為特別的發現為，目前的業者並不會採用自主船，因為直接影響係數為負值，然而經過航行安全與效益的間接影響後，受訪者即表示願意應用自主船。

5.2 實務應用與未來研究建議

本研究結果發現，自主船目前尚不足以應用在航運實務上，目前業者還不必擔心自主船的影響，但是要注意自主船的研究發展，待它能在航行安全上符合要求，並為企業帶來利益時，得有機會在最短時間採用，維護企業的競爭力。而對於自主船的開發研究者，應該認知，讓船能自主航行是不夠的，還要能確保在各種環境下安全航行，並為業者帶來利益才能夠被接受採用，所以建議應深入了解航運業的商船有那些需求，要完全滿足這些需求，自主船才有機會被航運業者採用，否則都只能停留在實驗階段。

摘要

本研究以基隆郵輪母港為情境，回應現有研究對「AI 技術—營運韌性—永續發展」整合視角的不足，特別是在以服務流程與旅客體驗為核心的郵輪港口領域仍欠缺能捕捉非線性與多重回饋的分析框架。本文以模糊認知圖 (FCM) 建構港口營運的動態因果網絡，整合管理、船公司與資訊專家知識，量化 AI 技術（資料與模型整合、決策支援）、流程準時性、人機協作效能、風險治理與資安、營運韌性以及長期永續績效之間的作用鏈，並以專家權重彙整與動態模擬，檢證關鍵路徑與穩態行為。結果指出：人機協作是將 AI 投資轉化為準時性與韌性成效的主要槓桿；AI 投資須達到系統整合臨界規模，方能對韌性產生顯著正效；在危機情境下，過度追求準時可能反而壓縮冗餘與彈性，削弱韌性；韌性提升則是連結環境與社會永續（如減少延誤碳排、穩定在地就業）的關鍵橋樑。研究貢獻在於以可解釋、可操作的網絡模型揭示策略路徑與情境依賴效應，為郵輪母港在不確定環境下的決策提供實證導向的治理依據。

一、前言

在二十一世紀全球化與區域整合的大背景下，郵輪產業已成為國際旅遊市場中增長最為迅速的板塊之一，對於沿海國家與地區的經濟發展、觀光推廣及國際形象塑造扮演著日益重要的角色 (Najafipour & Foroozanfar, 2014)。臺灣作為西太平洋郵輪航線的關鍵節點，其基隆港更以其優越的地理位置、深厚的海運歷史與腹地資源，確立了其作為區域郵輪母港的戰略地位。基隆港近年來在硬體設施升級、國際航線開拓以及旅客服務優化方面持續投入，使其在亞洲郵輪市場的競爭力顯著提升。郵輪母港的營運本質上是一個高度複雜、多方利害關係人參與且對時間敏感的動態系統 (Eskafi et al., 2021)。從船隻進出港的領港排程、泊位分配，到旅客通關、行李處理、地面交通疏運，任何環節的延誤或中斷，均可能引發連鎖反應，不僅嚴重影響旅客體驗與船公司的運營效率，更可能損及港口作為區域樞紐的信譽。

特別是基隆港地處亞熱帶地區，自然災害如颱風、極端天氣事件的發生頻率與強度因氣候變遷而有所增加，對港口營運構成直接威脅。此外，非傳統風險，如全球性的公共衛生事件（如疫情大流行）、網路安全攻擊、或關鍵基礎設施

的突發故障，亦證明了其對國際海運物流與觀光服務造成毀滅性衝擊的能力 (Feldmann-Jensen et al., 2024; Tsailas, 2025)。傳統依賴人工判斷與固定流程的港口管理模式，在面對這類高不確定性、高衝擊性的突發事件時，往往顯得反應遲緩且缺乏彈性。這突顯了港口管理範式必須從單純的「效率導向」轉向更具前瞻性的「韌性導向」的迫切性。港口韌性 (Port Resilience)，意指港口系統在面對干擾或壓力時，能夠有效吸收衝擊、快速恢復並從經驗中學習與適應的能力，已成為確保全球供應鏈與旅遊業持續運營的關鍵要素 (Chang et al., 2025; Mohsendokht et al., 2025)。

在此背景下，人工智能 (AI) 技術的導入為郵輪母港的轉型提供了強大契機。AI 在大數據分析、預測建模、自動化決策支援等方面的優勢 (Paramesha et al., 2024; Almanasra, 2024)，被視為提升港口營運效率、降低人為錯誤、特別是強化面對突發事件時的營運韌性的核心工具。例如，利用機器學習進行天氣與海象的超前預測、基於即時數據的動態泊位與資源優化排程、以及在突發事件發生時提供精準的情境感知與應急響應建議。然而，AI 技術的導入亦非全無風險，其潛在的數據隱私、演算法偏差、網路安全漏洞以及高昂的建置與維護成本等 (Mbah & Evelyn, 2024; Emehin et al., 2024)，皆可能成為阻礙其廣泛應用的障礙。因此，本研究將討論如何系

統性地評估與分析將 AI 技術作為一種策略性干預手段，並在基隆郵輪母港複雜的營運系統中，對效率、風險、服務品質與永續發展等多維目標所產生的複雜因果效應，尤其是在面臨營運中斷這一關鍵情境時的影響。

現有關於港口管理的研究已在效率優化、供應鏈整合以及綠色港口建設等面向積累了豐富的成果 (Su et al., 2024)。然而，在郵輪港口這一高度專業化且以服務為核心的場域中，將 AI 技術、營運韌性與永續發展進行統合分析的研究仍存在顯著的學術缺口 (Rane et al., 2024)。首先，儘管有許多文獻探討 AI 在貨櫃港口（如 AGV、OCR）的應用，但針對郵輪母港（側重於旅客流與服務流）的 AI 應用及其對軟性指標如旅客滿意度、在地經濟影響的影響機制，尚未被充分剖析。郵輪母港對時間精準度與服務體驗的要求遠高於一般貨運港口，這使得 AI 的導入策略與評估標準必須重新評估。

其次，關於港口韌性的研究，多數集中於基礎設施的物理韌性（如防洪能力、結構強化），而忽略了系統的運營韌性 (Operational Resilience)，即在面對衝擊時，決策系統與排程彈性如何確保服務的快速恢復與最小化衝擊 (Rincon et al., 2024; Ghafari & Samaei, 2025)。AI 在此的作用不僅是預測風險，更應是作為一個動態的決策支持核心，在不確定

性下提供最佳的應急反應路徑。目前的研究缺乏一種能捕捉這種非線性、多迴饋環路動態機制的方法論。

港口永續性通常關注環境衝擊、經濟效益與社會責任 (Satta et al., 2025)。而韌性提升，如透過 AI 優化能源使用、減少因延誤導致的碳排放、確保在地就業穩定等，實際上是達成永續發展目標 (SDGs) 的重要策略性支柱。因此，建立一個模型來闡明 AI 強化韌性如何間接或直接地貢獻於港口的長期經濟、社會與環境永續性，是填補這一理論缺口的關鍵。

基於上述文獻回顧與理論缺口，我們選擇模糊認知圖 (Fuzzy Cognitive Map, FCM) 作為主要分析工具，並建構一個系統性、動態且多維度的分析框架，以克服傳統統計或單一案例分析的局限性。FCM 是一種能夠結合專家知識、處理模糊性並模擬複雜系統中多個概念之間因果關係與動態演變的強大建模技術。它尤其適用於分析像基隆郵輪母港這種具有高複雜度、數據不完整性（尤其在突發事件下）以及眾多決策因子相互影響的社會技術系統。透過 FCM，本研究旨在構建一個包含 AI 技術、營運效率、風險因素、服務品質、韌性指標以及永續性指標的綜合模型，從而揭示 AI 導入的策略路徑與臨界影響節點。

二、研究方法

模糊認知圖 (FCM) 最初由 Bart Kosko 於 1980 年代後期提出 (Kosko, 1986)，它巧妙地融合了 Robert Axelrod 的認知圖 (Cognitive Map) 的因果結構與 Lotfi Zadeh 的模糊邏輯 (Fuzzy Logic)，旨在解決傳統認知圖只能處理二元關係而無法捕捉人類思維中固有模糊性與不確定性的局限。FCM 是一種強大的建模技術，通過將系統中的關鍵變數表示為概念節點，並使用介於之間的模糊權重量化它們之間的因果影響強度與方向，從而構建出一個複雜的動態系統模型。由於其能有效整合專家知識、處理非線性關係和多重回饋環路，FCM 現已在多個領域得到廣泛應用，特別是在缺乏精確數學模型的複雜系統分析中 (Gonzalez-Lopez et al., 2021)。其主要應用範圍涵蓋管理學中的策略規劃和風險評估、環境科學中的生態系統建模、醫學中的決策支援系統，以及運輸與物流領域中的港口韌性分析和智慧城市交通流預測，成為一種重要的情境模擬和決策支持工具。

FCM 本質上是一個有向圖（Directed Graph），由節點（Concepts）和權重（Weights）組成，其計算屬於動態系統模擬。

A. 核心架構：

1. 概念節點 (C_i)：代表系統中的關鍵變量或因素（如：AI 導入程度、營運延誤、港口韌性）。其值通常介於之間，表示該概念的活動程度（Activation Level）。
2. 權重矩陣 (W)：是一個 $N \times N$ 的矩陣（ N 為節點數），其中 W_{ij} 表示節點 C_i 對節點 C_j 的因果影響強度。 W_{ij} 的值通常介於 0~1 之間：

$W_{ij} > 0$ 表示節點 C_i 對節點 C_j 為正向影響；

$W_{ij} < 0$ 表示節點 C_i 對節點 C_j 為負向影響；

$W_{ij} = 0$ 表示節點 C_i 對節點 C_j 無影響。

B. 迭代計算公式：

FCM 的核心在於迭代計算系統的動態變化。在時間 $t+1$ 時刻，任一概念節點 C_i 的新值是通過匯總所有其他節點在時間 t 對其的影響來決定，公式如下：

$$C_j(t+1) = f \left(\sum_{i=1}^N C_i(t) \cdot w_{ij} + C_j(t) \right)$$

其中：

- $C_j(t+1)$: 節點 j 在下一時間步的活動值。
- $\sum_{i=1}^N C_i(t) \cdot w_{ij}$: 所有節點 i 對節點 j 影響的淨輸入（Net Input）。
- $f(\cdot)$: 轉移函數（Transfer Function），通常是一個非線性的 Sigmoid 函數，用來將節點的值約束在區間內（模擬系統的飽和效應）。常用的 Sigmoid 轉移函數可參考底下公式：

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$$

其中 $\lambda > 0$ 為陡峭度參數，控制收斂速度。

C. 情境模擬與穩態分析（計算步驟）：

1. 初始化：設定所有節點在時間 $t=0$ 的初始值 $C(0)$ 。這通常用於設定情境（例如，將「AI 導入程度」設為 0.9，將「颱風風險」設為 0.4）。
2. 迭代：重複使用更新公式計算直到系統達到穩定狀態（Steady State），即：
 1. 極限環（Limit Cycle）：節點值在固定幾組值之間重複循環。
 2. 定點（Fixed Point）：所有節點值不再變化（收斂）。
3. 分析：比較不同初始情境（不同 AI 導入程度、不同風險衝擊）下的穩態向量。穩態向量反映了系統在該情境下的最終平衡狀態，是評估策略效果的依據。

FCM 透過矩陣運算，模擬了系統各要素之間「牽一髮而動全身」的複雜動態，從而協助決策者預測不同干預措施對整個系統的長期影響。

三、模型設計

為精確地將 AI 技術導入對基隆郵輪母港的影響轉化為可量化的動態模型，本研究根據文獻回顧與港口營運的實務視角，確立了六個核心概念節點作為模糊認知圖的關鍵變數。這些變數構成了一個完整的因果分析鏈，涵蓋了策略投入（C1）、內部風險與成功驅動因素（C2, C4）、短期績效（C3）、系統結果（C5）與最終目標（C6）。我們特別強調 AI 技術投資與整合規模作為核心的策略干預，但同時必須納入其伴隨的 AI 演算法風險感知與控制，這反映了經營者在追求智慧化過程中所面臨的潛在決策偏差與系統脆弱性。

此外，由於 AI 系統的有效性強烈依賴於現場操作人員的接受度，人機協作有效性被視為將技術投入轉化為實際郵輪作業流程準時性的關鍵中介因素。這些過程因素的交互作用與優化，最終將直接決定在面對營運中斷情境時，港口系統所展現的營運韌性表現。不同於傳統效率分析，本研究將韌性視為一種跨越短、長期的關鍵能力，其表現不僅影響突發事件下的快速恢復，也間接或直接地促進港口整體長期永續發展績效的提升，例如透過優化排程來減少船舶等待時間，進而降低碳排放。這種以投入 - 過程 - 韌性 - 永續性為軸線的變數結構，旨在提供一個系統性、整體性的分析框架，用以評估 AI 策略在提升基隆港作為區域樞紐的穩定性與永續競爭力上的策略路徑。表 1 說明組成 FCM 模型六個變數的操作型定義與相關參考文獻。

表 1 FCM 模型變數與操作型定義

編號	變數名稱	操作型定義	參考文獻
C ₁	AI技術投資與整合規模	指基隆港務公司在 AI 軟硬體、數據基礎設施以及人員訓練上的總體資源投入程度，以及 AI 預測模型和自動化決策支援系統對港口營運核心流程（如船舶排程、泊位指派）的覆蓋率與深度。	De Langen et al., 2007; Dinh et al., 2024
C ₂	AI演算法風險感知與缺乏控制機制	指港口管理層對於 AI 決策系統中潛在的數據偏差（Bias）、可解釋性低（Lack of Explainability）及決策錯誤導致的營運風險的敏感度與主動干預能力。高值表示對風險的低估或缺乏控制機制。	Hasan et al., 2022; Arora et al., 2023
C ₃	郵輪作業流程準時性	作為營運效率的關鍵指標，指郵輪進出港、靠泊、補給，以及旅客通關、行李處理等各項流程的實際完成時間與預定排程時間之間的平均偏離度。偏離度越小，準時性越高。	Chung et al., 2011; Dinh et al., 2024
C ₄	人機協作有效性	指港口工作人員與 AI 決策支援系統之間資訊交換、信任度與協同作業的流暢程度。衡量指標包括：人員對 AI 建議的採納率、系統與使用者介面的易用性，以及在壓力情境下人機互動的順暢度。	Hemmer et al., 2025; Inkpen et al., 2023
C ₅	港口營運韌性表現	核心產出變數，指港口系統在遭受營運中斷（如自然災害、系統故障）後，能夠吸收衝擊、維持關鍵服務並達成快速恢復到可接受的服務水準的能力。主要以恢復時間（Time-to-Recovery, TTR）的長短和服務中斷程度的最小化來衡量。	Han et al., 2020; Riad et al., 2024
C ₆	長期永續發展績效	最終目標變數，指港口在經濟、環境與社會三個層面實現永續發展目標的綜合表現。具體指標包括：碳排放量（船舶與地面作業）的相對降低、在地經濟貢獻的穩定性與成長性，以及港口作業的安全事故發生率。	Fasoulis & Kurt, 2019; zispa,2021; Elhussieny, 2025

圖 1 說明本文所建構的 FCM 模型，該模型將可協助我們捕捉基隆郵輪母港在導入 AI 技術背景下，六個核心變數（概念節點 C₁ 至 C₆）之間的動態因果關係。模型的核心在於量化策略投入與風險因素如何透過中介機制影響港口的營運表現、最終的韌性及永續發展。

圖 1 使用了不同顏色和線型的箭頭來表示變數間的影響類型：

1. 實線（黑色）：表示正向影響（如 $C_1 \rightarrow C_3$ ），即一個變數的增加會導致另一個變數的增加。
2. 虛線（綠色）：表示負向影響（如 $C_2 \rightarrow C_3$ ），即一個變數的增加會導致另一個變數的減少。
3. 虛線（紫色）：表示該影響關係的權重是非定值且具有非線性行為，強調該關係強度會隨著時間或環境參數變化（如 $C_5 \rightarrow C_1$ ）。
4. 虛線（藍色）：表示該影響關係的方向（正向或負向）會根據不同的情境而呈現動態改變（如 $C_2 \rightarrow C_4$ ）。

這個模型結構的關鍵價值在於它超越了簡單的線性回歸分析，能夠捕捉回饋環路（Feedback Loops）和情境依賴性（Context Dependency），這對於評估 AI 在複雜且高變動性的港口營運中的策略效果至關重要。

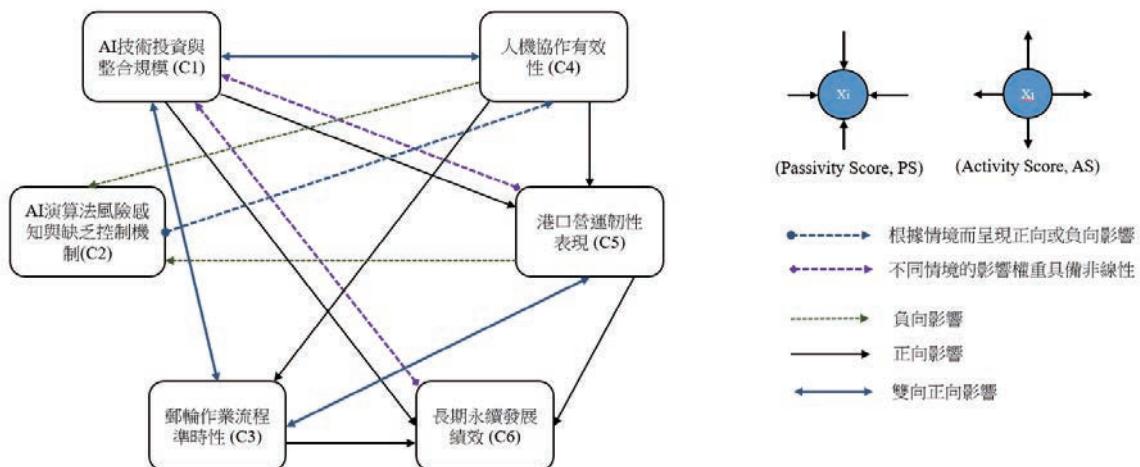


圖 1 FCM 研究模型

底下我們根據 FCM 模型舉出兩個重要價值路徑當案例進行分析。

路徑一 ($C_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_2$)：間接影響與負回饋環路，這個路徑展示了變數之間的間接影響如何形成一個負回饋環路，對系統穩定性構成挑戰。

1. 路徑 $C_2 \rightarrow C_4$ (負向，綠色虛線， $C_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_2$)：AI 演算法風險感知與控制 (C_2) 的增加（即風險感知越高或控制越差），將削弱人員對系統的信任，導致人機協作有效性 (C_4) 下降。

2. 路徑 $C_4 \rightarrow C_5$ (正向，黑色實線， $C_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_2$)：人機協作有效性 (C_4) 的下降，會降低系統面對衝擊時的應變與恢復速度，直接導致港口營運韌性表現 (C_5) 下降。

3. 路徑 $C_5 \rightarrow C_2$ (負向，綠色虛線， $C_2 \rightarrow C_4 \rightarrow C_5 \rightarrow C_2$)：營運韌性表現 (C_5) 的下降（即港口在衝擊下恢復緩慢），將被管理層視為系統不可靠的證明，進一步加劇對 AI 演算法風險 (C_2) 的感知與擔憂，完成一個惡性循環。

這個負回饋環路說明了 AI 導入潛在的治理風險。它揭示了單純的技術升級 (C_1) 若未能伴隨有效的風險管理 (C_2) 和人員賦能 (C_4)，反而會導致信任危機，最終侵蝕港口的核心韌性 (C_5)。對於經營者而言，這條路徑突顯了建立 AI 信任機制的重要性，是確保系統長期穩定的關鍵。

路徑二 ($C_1 \rightarrow C_5$ 與 $C_3 \rightarrow C_5$)：非定值與非線性權重路徑，這兩個路徑展示了關鍵影響關係的權重不是固定不變的，而是呈現情境依賴性和非線性。

1. $C_1 \rightarrow C_5$ (非線性影響 (紫色虛線))：AI 技術投資與整合規模 (C_1) 對港口營運韌性 (C_5) 的影響通常是非線性的。初始小額投資（低 C_1 ）對韌性提升可能不明顯，但一旦投資達到臨界點，AI 系統的預測與優化能力將產生爆炸性增長（邊際效益遞增），使韌性大幅提升。

2. $C_3 \rightarrow C_5$ (情境依賴性 (藍色虛線))：郵輪作業流程準時性 (C_3) 對營運韌性 (C_5) 的影響強度會根據情境而改變方向。在正常營運時，高準時性提供正面緩衝；但在極端危機情境下，過度追求準時性反而可能犧牲彈性和冗餘，此時，準時性對韌性的影響可能變為負向（追求效率反而降低了抗衝擊能力）。

這兩條路徑的存在，證明了僅使用傳統統計模型（假設固定權重）將無法準確評估 AI 導入的真實效益。對於決策者而言：

1. 路徑 C1 → C5 提示 AI 投資必須達到足夠的規模才能看到對韌性的實質助益，避免零星、無效的投資。

2. 路徑 C3 → C5 則強調了港口管理的權衡藝術：在效率 (C3) 和韌性 (C5) 之間必須根據當前情境（正常或危機）動態調整優先級，避免為了短期效率而犧牲長期抗風險能力。

四、分析與討論

本研究採用模糊認知圖 (FCM) 作為核心分析工具，其模型權重矩陣 () 是基於專家知識採集所建構。我們於 2025 年 8 月期間，以德爾菲法 (Delphi Method) 的精神，向八位 (N=8) 與基隆郵輪母港經營、港口資訊技術管理及海事風險評估相關的專業人士進行了問卷調查與深度訪談。受訪專家被要求評估六個核心變數 (C1 至 C6) 之間，單向因果影響的強度和方向，數值範圍介於 -1~1。最終呈現的權重矩陣，是透過對八份問卷數據進行眾數 (Mode) 計算而得，確保了權重的穩定性和代表性，反映了港口營運社群的集體認知 (Collective Knowledge)。圖 2 說明本文所建構 FCM 權重矩陣數值熱力圖，圖 3 則是根據權重數值進一步計算 AS、PS，以及 Q 值的 AS-PS 散佈圖。

我們首先解釋熱力圖所展現的專家共識，圖 2 的熱力圖直觀地呈現了專家共識所確立的因果關係強度（顏色深淺）和方向（顏色：紅色為正向，藍色為負向）。圖 2 中的關鍵發現整理如下：

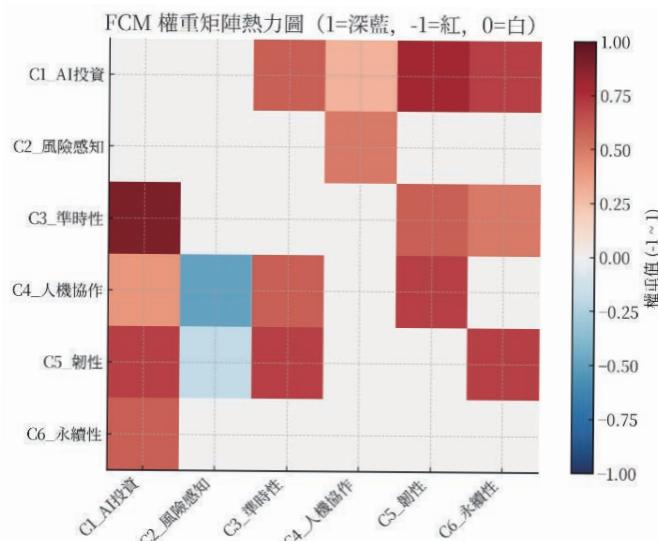


圖 2 FCM 權重矩陣數值熱力圖

1. 人機協作 (C4) 的極端中心性和影響力：

■ C4 行（發出影響）擁有多個極深的顏色區塊，驗證了 C4 的 AS 數值高。特別是 $C4 \rightarrow C3$ 和 $C4 \rightarrow C5$ 呈現強烈的正向關係（深紅色），表明人機協作的有效性是提升作業準時性和營運韌性的首要驅動力。

■ C4 列（接收影響）的顏色區塊相對較少，驗證了 C4 的 PS 數值低，說明它不易受其他變數影響，進一步鞏固了其作為模型核心控制點的角色。

2. 風險與效率的強烈負向連結：

■ 圖中最深的藍色區塊出現在 C4 行和 C2 行中，例如 $C3 \rightarrow C4$ 權重為 -0.8（強烈負相關），表明作業準時性一旦下降，會立即破壞人機協作。 $C4 \rightarrow C6$ 權重為 -0.6，這是一個值得關注的負向關聯，可能反映了人機協作成本對永續資源的擠壓。

3. AI 投資的間接性：

■ C1 行（AI 投資）雖然發出了多個正向影響（紅色），但強度普遍不及 C4 和 C5 行。例如 $C1 \rightarrow C3$ 僅為 0.6。這印證了 AI 投資本身並非效率的直接來源，它必須透過 C4（人機協作）等中介變數才能有效轉化為績效。

4. 永續性的高度依賴性：

■ C6 行（長期永續發展績效）幾乎全為白色，再次證明 C6 不影響其他變數，是一個純粹的受影響者（與 $Q=0.32$ 一致）。它的達成完全依賴於 C3、C4 和 C5 的正面產出。

熱力圖與 AS/PS/ 的分析共同揭示了「人機協作 (C4)」是基隆港導入 AI 提升韌性與永續性的最重要策略槓桿。任何策略模擬和政策建議都應優先圍繞如何最大化 C4 的有效性並緩解相關的負向關聯來展開。

其次，我們利用 AS, PS, Q 等三個關鍵指標來評估關鍵節點的屬性特徵，首先說明這三個指標的內涵：

- 活動得分 (Activity Score, AS) 表示某個節點作為原因或驅動力的總體影響力。它等於該節點所發出所有因果關係權重絕對值的總和（即權重矩陣中對應行的絕對值總和）。AS 越高，表示該變數對系統中其他變數的影響力越強。

- 被動得分 (Passivity Score, PS) 是指某個節點作為結果或受影響者的總體被動程度。它等於該節點所接收所有因果關係權重絕對值的總和（即權重矩陣中對應列的絕對值總和）。PS 越高，表示該變數越容易受到系統中其他變數的影響。
- 中心度 (Centrality, Q) 衡量節點在系統中的總體重要性和中心地位，當 $Q > 1$ 表示該節點傾向於驅動者角色 (Causal Node)，主導系統變化；若 $Q < 1$ 則表示該節點傾向於受影響者角色 (Effect Node)，系統變化的主要承受者；至於 $Q \approx 1$ 則表示該節點屬於連接者或平衡者角色。

根據圖 3 的計算結果可知，人機協作有效性 (C4) 的 Q 值高達 4.00，遠超所有變數，確立了其作為系統中最關鍵的驅動者 (Causal Node) 地位。這表明在專家共識中，人機協作有效性 (C4) 是港口經營者用來影響其他所有績效和風險因素的主要槓桿點。相對而言，長期永續發展績效 (C6) 的 Q 值為 0.32，是最低的，證實了它是一個典型的受影響者 (Effect Node)，主要反映系統運作的結果而非主動驅動系統。

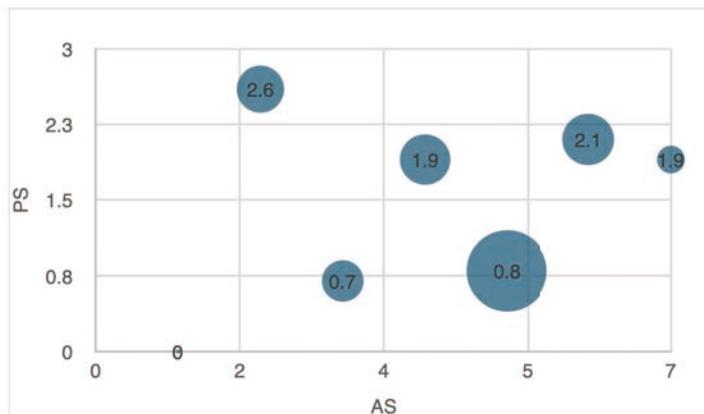


圖 3 AS-PS 散佈圖

圖 4 說明 FCM 六個變數狀態變數的動態分析，有關時間序列的轉換函數是以中心化的 \tanh 函數並加入輕微慣性與輸入正規化，讓各變數的穩態不會貼近 0 或 1，讓計算後的狀態變數不會有極端值出現，轉換公式如下：

$$f(x) = 0.5 + a \tanh(\lambda(x - \theta)) \cdot \text{用 } \lambda = 1.1, \theta = 0.55, a = 0.3$$

所有節點設為 0.5 為起始值，根據圖 4 的分析結果顯示，FCM 模型在約 5 個時步內迅速達到定點穩定狀態 (Fixed Point Convergence)。所有變數的活動值均收斂於約 0.55 至 0.65 的區間。值得注意的是，港口營運韌性表現 (C5) 和 AI 技術投資 (C1) 最終穩定在最高值 (約 0.65)，而演算法風險感知 (C2) 則穩定在最低

點（約 0.35）。這項結果證明了在當前權重結構下，系統的長期平衡點是一個高韌性、高投資、低風險的理想狀態，預示著 AI 策略在基隆港是可行的，且能自我強化，避免陷入惡性循環。

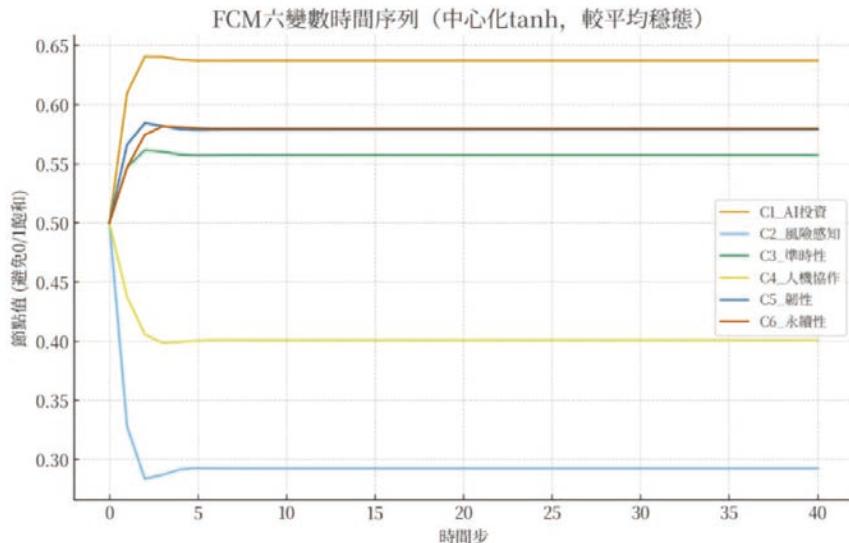


圖 4 FCM 各因子動態分析

五、結論與建議

本研究以基隆郵輪母港為案例場域，聚焦於 AI 技術導入對提升港口營運韌性的影響，並評估 AI 驅動的韌性策略路徑對港口永續性的貢獻。本研究的核心架構將先透過深度訪談與德爾菲法（Delphi Method）徵集專家意見，確立 FCM 模型的概念節點與權重，接著利用 FCM 的情境分析與政策模擬能力進行動態評估，最終將結果轉化為針對基隆港務公司的具體策略路徑建議。

綜合模型與模擬結果顯示，AI 技術在郵輪母港的價值不僅來自預測與自動化本身，更取決於其是否被轉譯為協作流程的再設計與決策韌性的提升：當資料連通性、模型覆蓋與流程再造達到一定規模時，營運韌性將呈現非線性增益；相反地，若風險治理與可解釋監督不足，將引發信任弱化與採納阻力，並透過流程瓶頸侵蝕韌性；在危機條件下，單純以準時性作為優先將壓縮冗餘並降低系統恢復力，反證韌性需要在效率與彈性之間動態權衡。進一步而言，韌性的強化會沿著效率—服務—風險的中介鏈條外溢至永續績效，包括降低延誤碳排與維持在地就業的穩定，說明「以韌性驅動永續」是郵輪母港治理的可行路徑。

基於上述發現，郵輪母港的 AI 佈署宜採「協作優先、治理護欄、規模閾值」的策略設計：以人機協作為核心重構任務與介面，使資料與模型能嵌入排程與通關等關鍵流程；建立可解釋與監督機制、資料品質與資安制度，將風險治理內生化為日常運作的一部分；以資料連通性、模組覆蓋率與決策閉環的成熟度設定投資里程碑，達到整合臨界後再擴張至全流程，以捕捉非線性韌性效應；同時採取情境化的雙目標控管，在常態與危機情境間調整效率—韌性權重，保留必要冗餘並縮短恢復時間；最後，以韌性指標（如恢復時間、服務可用度與延誤碳排）直接對接永續評估，將「韌性即永續」落實為績效與資源配置的共同語言，形成可持續迭代的治理閉環。

參考文獻

- Almanasra, S. (2024). *Applications of integrating artificial intelligence and big data: A comprehensive analysis*. *Journal of Intelligent Systems*, 33(1), 20240237.
- Arora, A., Barrett, M., Lee, E., Oborn, E., & Prince, K. (2023). *Risk and the future of AI: Algorithmic bias, data colonialism, and marginalization*. *Information and Organization*, 33(3), 100478.
- Chang, Z., Suo, M., Fan, H., Wang, J., & Lai, W. (2025). *Port resilience assessment under congestion disruptions*. *Journal of Sea Research*, 102611.
- Chung, C. C., & Chiang, C. H. (2011). *The critical factors: An evaluation of schedule reliability in liner shipping*. *International Journal of Operations Research*, 8(4), 3-9.
- De Langen, P., Nidjam, M., & Van der Horst, M. (2007). *New indicators to measure port performance*. *Journal of maritime research*, 4(1), 23-36.
- Dinh, G. H., Pham, H. T., Nguyen, L. C., Dang, H. Q., & Pham, N. D. K. (2024). *Leveraging artificial intelligence to enhance port operation efficiency*. *Polish Maritime Research*.
- Dinh, G. H., Pham, H. T., Nguyen, L. C., Dang, H. Q., & Pham, N. D. K. (2024). *Leveraging artificial intelligence to enhance port operation efficiency*. *Polish Maritime Research*.
- Elhussieny, M. (2025). *Smart green ports: a sustainable solution for the maritime industry in a changing climate*. *Multidisciplinary Adaptive Climate Insights*, 2(1), 1-30.
- Emehin, O., Akanbi, I., Emeteveke, I., & Adeyeye, O. J. (2024). *Enhancing cybersecurity with safe and reliable AI: mitigating threats while ensuring privacy protection*. *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, doi, 10.
- Eskafi, M., Dastgheib, A., Taneja, P., Ulfarsson, G. F., Stefansson, G., & Thorarinsdottir, R. I. (2021). *Framework for dealing with uncertainty in the port planning process*. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 147(3), 05021003.
- Fasoulis, I., & Kurt, R. E. (2019). *Embracing sustainability in shipping: Assessing Industry's adaptations incited by the, newly, introduced 'triple bottom line' approach to sustainable maritime development*. *Social Sciences*, 8(7), 208.
- Feldmann-Jensen, S., DPPD, M., & O'Sullivan, T. (2024). *Informing Adaptation with Lessons Learned from Key 21st Century Infectious Disease Outbreaks. Current and Emerging Trends in the Management of International Disasters*.
- Ghafari, R., & Samaei, S. R. (2025, April). *Integrated AI and digital twin technologies for green project management in resilient coastal and port infrastructure systems*. In *Proceedings of the Third International Conference on Advanced Research in Civil Engineering, Architecture, and Urban Planning*, Munich, Germany (Vol. 21).
- Gonzalez-Lopez, F., Pufahl, L., Munoz-Gama, J., Herskovic, V., & Sepulveda, M. (2021). *Case model landscapes: toward an improved representation of knowledge-intensive processes using the FCM-language*. *Software and*

- Systems Modeling*, 20(5), 1353-1377.
- Han, Y., Chong, W. K., & Li, D. (2020). A systematic literature review of the capabilities and performance metrics of supply chain resilience. *International Journal of Production Research*, 58(15), 4541-4566.
- Hasan, A., Brown, S., Davidovic, J., Lange, B., & Regan, M. (2022). Algorithmic bias and risk assessments: Lessons from practice. *Digital Society*, 1(2), 14.
- Hemmer, P., Schemmer, M., Kühl, N., Vössing, M., & Satzger, G. (2025). Complementarity in human-AI collaboration: Concept, sources, and evidence. *European Journal of Information Systems*, 1-24.
- Inkpen, K., Chappidi, S., Mallari, K., Nushi, B., Ramesh, D., Michelucci, P., ... & Quinn, G. (2023). Advancing human-AI complementarity: The impact of user expertise and algorithmic tuning on joint decision making. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 30(5), 1-29.
- Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.
- Mbah, G. O., & Evelyn, A. N. (2024). AI-powered cybersecurity: Strategic approaches to mitigate risk and safeguard data privacy. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 24, 310-327.
- Mohsendokht, M., Kontovas, C., Chang, C. H., Qu, Z., Li, H., & Yang, Z. (2025). Resilience analysis of seaports: a critical review of development and research directions. *Maritime Policy & Management*, 1-36.
- Najafipour, A. A., Marzi, V., & Foroozanfar, M. H. (2014). The Future of Cruise Ship Tourism Industry: the challenges of cruising market and operations management. *Journal of Social Issues & Humanities*, 2(7), 213-224.
- Özispa, N. (2021). How Ports Can Improve Their Sustainability Performance: Triple Bottom Line Approach. *Journal of ETA Maritime Science*, 9(1).
- Paramesha, M., Rane, N., & Rane, J. (2024). Big data analytics, artificial intelligence, machine learning, internet of things, and blockchain for enhanced business intelligence. *Artificial Intelligence, Machine Learning, Internet of Things, and Blockchain for Enhanced Business Intelligence* (June 6, 2024).
- Rane, N., Choudhary, S., & Rane, J. (2024). Artificial intelligence for enhancing resilience. *Journal of Applied Artificial Intelligence*, 5(2), 1-33.
- Riad, M., Naimi, M., & Okar, C. (2024). Enhancing supply chain resilience through artificial intelligence: developing a comprehensive conceptual framework for AI implementation and supply chain optimization. *Logistics*, 8(4), 111.
- Rincon, L. F., Moscoso, Y. M., Hamami, A. E. A., Matos, J. C., & Bastidas-Arteaga, E. (2024). Degradation models and maintenance strategies for reinforced concrete structures in coastal environments under climate change: a review. *Buildings*, 14(3), 562.
- Satta, G., Vitellaro, F., Njikatoufon, A. G., & Risitano, M. (2025). Green strategies in ports: a stakeholder management perspective. *Maritime Economics & Logistics*, 27(1), 96-122.
- Su, Z., Liu, Y., Gao, Y., Park, K. S., & Su, M. (2024). Critical success factors for green port transformation using digital technology. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(12), 2128.
- Tsailas, D. N. (2025). RISKS AND THREATS IN THE 21ST CENTURY MARITIME SECURITY. *Security Science Journal*, 6(1), 106-144.

The Adoption of Machine Learning Algorithms in the Prediction of Urban Transport Network Delays under Extreme Weather Events

Mark Ching-Pong Poo, Thomas Bowsher, Yui-yip Lau, Baomin Qi, Pui Yan Kate Law

1. Introduction

Extreme weather events affect modes of public transport in distinctive ways. For example, papers report that rail systems are vulnerable to flooding, windstorms, and sea-level rise—studies using multi-track rail simulations predict delays with % error and rail ridership drops ranging from 84% to 95%. Road networks suffer from flash-flood impacts, with one paper reporting up to 40% road inundation and 80% damage to river crossings. Bus operations, meanwhile, are influenced by heatwaves; simulations show that tactical rerouting can achieve up to a 35% reduction in rider exposure.

Machine learning models have been developed to predict delays in urban transport network by integrating historical climate data with infrastructure resilience metrics. In the past research studies, the majority of studies have been focused on:

- Machine Learning Application: Does the study utilise machine learning algorithms for prediction or forecasting in urban transportation network?
- Predictive Variables: Does the study incorporate both climate/weather data and infrastructure metrics as predictive variables?
- Outcome Measures: Does the study include quantifiable delay/disruption prediction outcomes in transportation systems?
- Empirical Validation: Does the study include practical implementation or validation through empirical data, case studies, or proof-of-concept implementations?
- Infrastructure Resilience: Does the study measure or analyse infrastructure resilience in relation to climate impacts?
- Study Type: Is the study either (a) an original research study with empirical data or (b) a systematic review/meta-analysis of relevant prediction models?
- Implementation Focus: Does the study go beyond purely theoretical frameworks by including practical implementation or empirical validation?

- Scope Completeness: Does the study address system disruptions and their relationship to climate/weather impacts (rather than focusing solely on one aspect)?

Different algorithmic approaches address these mode-specific impacts. Simulation models, network science methods, and statistical analyses capture rail and road disruptions (including delay minutes and network degradation), while integrated land use–transport simulations and agent-based models are applied to bus systems. These findings support the view that extreme weather events uniquely impair transport infrastructures and that tailored algorithmic models can capture the resulting vulnerabilities.

In response, the study investigates the research questions: How can machine learning algorithms be developed to predict urban transport network delays based on historical climate change data and infrastructure resilience metrics? How do different types of extreme weather events (e.g., heatwaves vs. flash floods vs. sea-level rise inundation) uniquely impact various modes of public transport (e.g., rail buckling, bus route flooding, electrical grid failures), and can these be modeled with distinct algorithmic approaches?

2. Findings

2.1 High-Performance Predictive Models for Specific Contexts

211 Node-Specific Models

Kaewunruen ($R^2=0.80$) and Soleimani (Accuracy=0.827). This shows that traditional ML models, especially Random Forest, excel in constrained environments such as a single airport, a national rail system, where the problem boundaries are clear.

212 Component-Specific Models (pavement)

Shafiee ($R^2=0.96$). This shows that ANNs are incredibly powerful for predicting direct damage (cracking, rutting) from climate variables, which is a cause of delay, not the delay itself.

2.2 Network-Wide Analysis: From Prediction to Resilience Planning

2.2.2 Graph-Based Neural Networks for Prediction

Wang et al. And Ji et al. Both used graph-based neural network for prediction. While they use advanced modern architectures suited for city scale network, they often lack a clear, quantitative accuracy metric for delay prediction. Their strength is in capturing complex spatiotemporal dependencies, not necessarily achieving the highest R^2 .

2.2.3 Non-ML Network Analytics for Intervention

Pregnolato and Gupta didn't use complicated ML to make an impact. Pregnolato managed to achieve 11–26% delay reduction, and Gupta 53% reduction in infeasible trips. Simple network analysis identifying critical vulnerabilities can provide massive ROI for resilience planning.

A diffusion graph convolutional recurrent neural network processed precipitation and extreme weather data on a city road network while a random forest model applied at an airport achieved an R^2 of 0.8 (with a 149% RMSE) using temperature, wind and related predictors. Similar approaches have reached an overall accuracy of 0.827 on a national railway system and yielded R^2 values as high as 0.96–0.98 when artificial neural networks were used to predict infrastructure damage such as fatigue cracking and bursting across several cities.

In addition, the use of network analytics and integrated strategies has produced measurable benefits. One study reported 3–22% improvements in travel times and up to a 26% reduction in person delays from protecting critical network links, while another combined flooding and mobility data to achieve a 5% reduction in infeasible trips. These studies combine diverse climate variables (temperature, precipitation, wind, flood exposure) with metrics drawn from infrastructure performance (maintenance records, delay log, network topology) to provide actionable insights at urban, city scale setting.

Discussion

This study addresses some important points as follows:

- Why did Random Forest perform so well at the airport? The feature set (temperature, wind direction of week) is perfectly suited for tree-based models that handle tabular data.
- Why do the graph neural network papers lack a single accuracy score? Their output is a prediction over an entire graph (every road segment), making a single ‘network delay’ metric complex to define. Their validation is often more qualitative or comparative.
- Why are the percentage improvements from network analytics so high? Because they focus on mitigation, rather than pure prediction. This is a different but equally valuable outcome.

Some gaps in the study can generate future research work. The Scale-Accuracy Trade-off: There appears to be an inverse relationship between the spatial scale of the model (node -> network) and the ease of achieving a simple, high accuracy score. Future work should develop standardized metrics for evaluating network-wide predictions. Bridging Prediction and Action: Few studies do what Pregnolato does: directly translate a model's output (flood mapping) into a specific intervention (protecting critical links) and quantify the benefit. Most ML papers stop at prediction. Future work must integrate predictive models with optimization and planning frameworks to show actionable outcomes. Data Integration Remains the Key Challenge: The highest performing models use clean, well-defined datasets from a single source (e.g. airport logs, railway maintenance records). The real-world problem requires fusing messy, heterogeneous data from climate models, IoT sensors, infrastructure databases, and traffic flows. Future work needs to prioritize flexible data pipelines, not just complex algorithms.



www.crump-co.com.hk

35+ years Hong Kong and Regional Experience

- Insurance Claims
- Personal Injury & Life
- Ship & Aircraft Transactions
- Risk Management & Casualty
- Dispute Resolution

Chris POTTS: chris.potts@crumpslaw.com M: (852) 9461 4377
Peter LAU: peter.lau@crumpslaw.com M: (852) 9683 7439

1103 Jubilee Centre, 18 Fenwick St., Wan Chai, Hong Kong

Tel: +852 2537 7000 Fax: +852 2804 6615

Admiralty Firm with broad and deep knowledge and experience in Transport Law and Civil Dispute Resolution and strong network of Correspondents Worldwide.



THE INSTITUTE OF CHARTERED SHIPBROKERS

(REPRESENTING SHIPBROKERS, AGENTS AND MANAGERS)

FOUNDED 1911 : INCORPORATED BY ROYAL CHARTER 21 JANUARY 1920 / SUPPLEMENTAL CHARTER 1984

"Setting the highest standards of professional service to the shipping industry worldwide through education and example".

Membership Qualifying Examinations are held in Hong Kong every April.

Exemptions from some exams are available.

Distance learning support via text book and
online tutoring is available to students.

Contact the Branch to register as a student.

Contact :

Honorary Secretary, Hong Kong Branch

Telephone : (852) 2866 1488

E-mail : examination@ics.org.hk

Website : www.ics.org.hk also www.ics.org.uk

FAQ : http://www.ics.org.hk/Examination_9.htm

首先，一艘船隻非法入境，而且是沖灘或叫搶灘。同擋淺不同的主要分別是，前者為特意的，而後者為非特意。由於船隻的主要正常運作為裝運貨及客人，間中也有特別任務的，如工程，救援等，主要以港口包括錨地為目的地。所以入境一般指進入港口，受港口法例監管及收費，如果船隻不在港口，也應受當地港口及境地法例監管。

先說正常入境船申請入港時，須提供法定及安全証書，船東身份證明等。進入境後，要支付各種費用，各港口費用不一，反正泊車也要付錢，無理由泊船可以免費，如果船隻不付費，則港口當局（或有關部門）可以向法庭申請扣船，扣船在世界各國主要港口常常發生，扣船之後是公開拍賣，所得款項，除了支付港口欠費，船員人工，再支付其他供應商，修理廠等欠款，如仍有餘款，將會歸還原船東所有。

對於不合法入境的船，肯定其待遇不會好過合法入境的船，至於對外國政府的船隻或軍艦，看不到有例外，因為這是正常商業活動。

所以，對黃岩島上於 1999 年（見 (c)）搶灘的 BRP SIERRA MADRE, (之後叫 SM)。理應叫船東或船員首先補做入境

手續，犯例部分，可以列出名目，說明及罰款數目，對應繳付的“港口”，“錨地”，或非法佔有的地域開列收款通知，如果 SM 支付，即是同意及承認黃岩島地位。如果不支付，則公開拍賣，之後隨上述拍賣，依法執行。



在一般船隻拍賣中，最常見的問題是船員人工問題，其次是船員可能拒絕離船問題，但船已出售，必須離船，港口當局因而有責任把船員換走，由新船東接手，及負責之後的處理方案及執行。

整個流程涵蓋欠款、拍賣、還款等環節，並涉及相關操作，屬於常見的業務循環。

其他可以考慮的方案有以下幾個：

甲：與其在外海阻止非法物資供應補給 SM，令雙方船艦高危操控甚至碰撞，何不由當地部門安排另一艘比 SM 好些的船，在 SM 附近沖灘，甚至接近至可以靠泊在 SM 的傍邊，如果一艘船不夠，二首又如何，一船叫 A，另一叫 B，一左一右，則所有 SM 的補給必須先過這二船 AB 的檢查，這樣也斷絕了 SM 可以由空投及潛水途徑（如(c)所提出的意見）供應物料的可能性。

乙：AB 船可以同 SM 做朋友，由於 SM 的情況惡劣（據(c)），所以，只要 AB 有愛心，耐性和船員溝通，問題是可以解決的，與 SM 相靠，零距離，可以發生的事情有絕大的想像空間，沒有了船員的船，就完全沒有意思了，對一方甚至雙方多有實際的好處。

丙：拖走 SM 是行不通的，SM 上根本沒有一個可以承受拖纜拖力的結構，再者，未得 SM 船員同意，強行上拖纜也會有武力衝突，這樣，不如把他們強行用直升機帶走，船上狀況其實很差（可看 c 的圖片），破鐵一堆。

丁：無論船舶及船員是合法或非法入境，港口當局均應承擔道義責任，妥善照顧其基本需求，例如在受傷時提供醫療協助，飢寒時供應食物、飲水

及保暖衣物。若缺乏上述 AB 船，履行這些義務將更為困難。此外，當海上出現危險情況（如颱風）時，港口當局亦應主動撤離船員，以確保生命安全。當船員遭遇困境時，第一個伸出援手的，理應是港口當局。

戊：為避免供應問題而發生的船體碰撞等情況，應同 SM 商討供應問題，例如定期由一中間商業公司承擔供應問題，避免雙方船隻艦艇直接接觸，免除衝突的情況出現。

己：站在 SM 的立場，不可能自動撤離船員，決策者如何向國民交代。要解決問題，是否也應為 SM 找個好的下台階。

公開拍賣，或為避台風保命而臨時或緊急撤離可能是可以細研的方向。

附(1)

至於衛報(c)，提供了不少資料，可以參考原文。

其中有不少引述菲律賓大學助教及軍方，美國大學學者的評述。包括棄 SM，製造另一更好的 SM 再來一次搶灘，等說法。

附(2)

至於主權有關資料，筆者倒建議可以參考一下英國航海指南 ADMIRALTY SAILING DIRECTION (PILOTS) 共 76 (涵

蓋全球)冊中有黃岩島的一冊。這些航海指南主要同海圖相輔相成，在海圖上的危險區，淺灘，一切有礙航行安全的地點詳加說明，其中也有提及一些歷史背景，漁業情況。五十年前，日本想強佔釣魚臺島時，筆者曾把上述航海指南中有關釣魚臺島的說明，(實際內容記不了，反正是對中方有利，估計是說明這島是中國漁民的傳統作業區之類)寄給報館，所以有印象，相信，英國航海指南對黃岩島也會有同樣的描述，但必須是用五十年前的版本，今日的版本，可能已經過了政治洗禮。

- (a) 沖灘，搶灘，BEACHING
- (b) 摘淺，Aground
- (c) Wiki, " Why the rusting wreck of a second world war ship is so important to China" by Rebecca Ratcliff of THE GUARDIAN (衛報，英國三大報之一，余為每日電訊及泰晤士報)，約一年前的文章，標題直譯是"為何一艘滿佈鐵銹的二戰年代軍艦如此重要"

**何恩洪律師行
JAMES HO & CO.
Solicitor**

Rm. 1403 14/F., Blissful Bldg.,
243-7 Des Voeux Rd Central,
Hong Kong

地址：

香港上環德輔道中243-7號
德佑大廈1403室

Tel: (852) 3421 1330

Fax: (852) 3421 1339

Mobile Phone: 9034 3360

E-Mail: james.ho@yanhung.com

Lawyer of Guangdong- Hong Kong-Macao Greater Bay Area

Senior consultant of Wang Jing & Co., Shenzhen Office

Contact:

James Ho, Chartered Shipbroker

LL.M.(Lond), LL.B., F.I.C.S.,

M.C.I.Arb., ANZIFF (Fellow).

Practice Area:

- Arbitration 仲裁
- Civil litigation 民事訴訟
- Personal Injury 工傷賠償
- Criminal litigation 刑事訴訟

業務範圍:

- 仲裁
- 民事訴訟
- 工傷賠償
- 刑事訴訟

粵港澳大灣區律師

廣東敬海(深圳)律師事務所高級顧問

The Rt Hon. Capt. Lam Ming Fung, Lothair

The 2025 Legislative Council (LegCo) General Election was held on Sunday, 7 December 2025 and the Chairman of the Institute, Capt. Lam was a candidate of the Transport Functional Constituency; he was elected a member of the LegCo. Congratulations. Previously, Capt. Lam had represented the Institute in the Manpower Development Committee of the Hong Kong Maritime and Port Development Board. Now, The Rt Hon. Capt. Lam has a greater scope to work for, in the interest of the Maritime, Aviation, Land Transport (and more) sectors. Busy, but more rewarding.

12th Cross-Strait Shipping and Logistics Conference

The Conference was successfully conducted on Thursday, 13 November 2025, at UOW College Hong Kong, from 9 a.m. to 5 p.m.

The Institute's counterparts in Shenzhen and Taipei had supported by contributing papers and sending delegations to attend the Conference.

The Conference was organised into four sessions, each with specific topics that echoed the theme of the Conference: "Steering the Maritime Future: Global Risks, Green Mandates, and Intelligent Innovation". 13 speakers presented their papers, followed by discussions. The Conference was broadcast live so that the audience in Taiwan and Singapore could participate.

One 'innovation' of the Conference was the publication of papers as electronic files on USB flash cards to facilitate handling and reduce printing costs.

2025 Maritime Week

Due to the proximity to the 12th Cross-Strait Shipping and Logistics Conference, the Institute had minimal participation in the Maritime Week, staging the Average Adjusting & General Average Seminar with our seasoned host, Raymond Wong. This is a recurring event held almost every Maritime Week in recent years.



MEMBERSHIP APPLICATION FORM

Grade of Membership Applied for:		Title:
Name :		姓名 :
Correspondence Address: E-mail Address:		Mobile No.:
Principal Profession:		
Present Employer:		Present Position / Post and Div. / Dept. / Sec.:
Work Address:		I am a full time student Yes* No
Academic / Professional Qualification(s): *Please fill in expected year of completion below		
Title / Programme:		Date of issue: * Institution:
Title / Programme:		Date of issue: Institution:
Title / Programme:		Date of issue: Institution:
Previous Experience in Seatransport:		
Name of Company:		Period: Post:
Name of Company:		Period: Post:
Name of Company:		Period: Post:
Name of Company:		Period: Post:
Referred by:	Name:	Company: Tel.:
DECLARATION		
I, the undersigned, hereby apply for admission to membership of the Institute of Seatransport, and do agree, if admitted, to comply with the memorandum and articles and by any subsequent amendments and / or alterations there to which may be made, and by any Regulations made or to be made for carrying them into effect.		
Signature		Date of Application
Please send the completed form (1) by postage to the Secretary, the Institute of Seatransport, G.P.O. Box 6081, Hong Kong together with a cheque payable to "Institute of Seatransport"; or (2) by email to info@seatransport.org together with payment proof by means of online transfer or FPS to: DAH SING BANK A/C: 85-328-0360-3 Institute of Seatransport		
<p>Professional Member - \$50 Ordinary Member - \$50 Associate Member - \$0 (but shall be waived for a full time student)</p> <p>This amount is for covering the entrance fee and first annual subscription only and is not refundable if the application is withdrawn by the applicant. Fee is waived for eligible FULL-TIME STUDENT applying for Associate Membership. If possible, please enclose photocopies or attach scanned copies of your academic / professional qualification(s). Personal Information Collection Statement would be presented on request.</p>		



招商局

CHINA MERCHANTS GROUP

Since 1872

招商局 創立於一八七二年晚清洋務運動時期，是中國近代民族工商企業的先驅，在中國近現代化進程中起到過重要推動作用。

賴於幾代人的努力，現已成長為一個實力雄厚的綜合性大型企業集團。其交通運輸及相關基礎設施建設、經營與服務，金融資產投資與管理，房地產開發與經營等三大核心產業，在業內居領先地位。

集團總部位於香港，業務分佈於香港、中國內地、東南亞等極具活力和潛力的新興市場，被列為香港『四大中資企業』之一，在國際工商界有著廣泛影響。

