

# 港口管理与运营：新兴研究热点及其进展<sup>①</sup>

王帆<sup>1</sup>，黄锦佳<sup>1</sup>，刘作仪<sup>2</sup>

(1. 中山大学管理学院，广州 510275；2. 国家自然科学基金委员会管理科学部，北京 100085)

**摘要：**中国已经成为世界最大的集装箱集疏地。随着建设“新丝绸之路经济带”和“21世纪海上丝绸之路”（简称“一带一路”）国家战略的提出，中国港口迎来了新的发展机遇。港口管理和运营涉及单一港口维度一个或者多个资源的运作优化问题，港口群维度港口之间的协作行为和机制问题，海运供应链维度港口与主要利益相关者之间的协作行为和机制问题等。文章介绍了中国港口在国际海运物流中的重要地位以及全面梳理了近年来港口管理与运营相关问题的研究进展；基于国内外学者已取得的最研究成果，结合中国本土实践情境，文章指出当今的研究空白，从新的研究视角出发详细介绍了潜在的研究热点问题，分析了相关领域研究的必要性和迫切性。

**关键词：**港口管理与运营；资源运作优化；港口群；海运供应链

**中图分类号：**F550 **文献标识码：**A **文章编号：**1007-9807(2017)05-0111-16

## 0 引言

港口是海洋运输的重要环节，更是当今国民经济发展 and 国际贸易的重要基础设施。联合国贸易和发展会议（UNCTAD）《2015年海运评述》的统计结果显示，全世界范围内接近80%的物资贸易通过港口和连接港口的海洋运输线路完成。同时，海洋运输总量逐年稳步增长，2014年全年已经达到98.4亿吨。中国港口已经成为世界港口行业最重要的组成部分。2014年中国大陆港口吞吐量超过2.02亿个TEU（每个TEU为20英尺标准箱），年增长为6.4%。全国港口集装箱吞吐量约占全世界港口吞吐总量的25%。2012年至2014年全球前10大集装箱港口中，有7个在中国，其中上海港继续保持全球吞吐量第1的稳固地位见表1。

港口管理与运营的理论与方法一直受到国内外学者的关注，2015年有两个重点项目“港口管理与运营的理论与方法”（71431001和

71431007）获得国家自然科学基金立项资助。附录表1列出了国家自然科学基金管理科学部历年来在港口管理与运营领域资助的项目，由表可以看出，不确定性环境下的多资源配置优化、港口与港口间的协同合作以及运输网络优化等港口管理与运营理论和方法的研究在近年来受到国家的重点资助。这正契合了当今世界区域合作日益紧密的大主题，凸显了港口相关研究的重要性与迫切性。

港口的管理与运营在运营层上主要是指港口内部单个或者多个资源分配决策，港口间服务资源一体化配置问题；在战术层上主要是指运输服务网络设计以及运输模式选择的决策问题；在战略层上主要是指港口与港口间协作行为和机制的研究，海运供应链中港口（港口群）与承运方和托运方三者之间协作行为和机制的研究。

从单一港口维度看，港口管理和运营过程涉及泊位、岸桥、堆场、集卡、人力资源等多个港口运

<sup>①</sup> 收稿日期：2015-05-13；修订日期：2017-01-10。

作者简介：王帆（1974—），云南昆明人，博士，教授，博士生导师。Email: fanwang@gmail.com

营资源,以往对单个港口的研究主要集中在单一资源配置优化上.近年来港口多资源集成优化成为了研究热点问题.另一方面,基于随机优化、鲁棒优化、实时优化等处理不确定性的理论越来越

多地被运用到港口运营优化的研究中,并且更加贴合实际.学者指出不确定性环境下的运作优化对提升现代港口(尤其是枢纽港)的运营能力具有重要意义.

表1 2012年、2013年和2014年全球前10集装箱港口吞吐量排名(TEUs和变化百分比)

Table 1 Top 10 container terminals and their throughput for 2012, 2013 and 2014 (TEUs and percentage change)

港口名	2012	2013	2014	变化百分比(2013—2012)	变化百分比(2014—2013)
上海	32 529 000	36 617 000	35 290 000	12.57	-3.62
新加坡	31 649 400	32 600 000	33 869 000	3.00	3.89
深圳	22 940 130	23 279 000	24 040 000	1.48	3.27
香港	23 117 000	22 352 000	22 200 000	-3.31	-0.68
宁波	15 670 000	17 351 000	19 450 000	10.73	12.10
釜山	17 046 177	17 686 000	18 678 000	3.75	5.61
广州	14 743 600	15 309 000	16 610 000	3.83	8.50
青岛	14 503 000	15 520 000	16 580 000	7.01	6.83
迪拜	13 270 000	13 641 000	15 200 000	2.80	11.43
天津	12 300 000	13 000 000	14 060 000	5.69	8.15

来源:联合国贸易和发展会议秘书处,基于Dynamar B. V.出版物以及其他渠道的数据,2015年6月.

注:新加坡港不包括裕廊港.

从港口群维度看,运营层面港口群服务资源(主要指空箱)配置优化,战术层面港口群运输网络设计以及运输模式选择,战略层面研究港口与港口间协作行为和机制是学者关注的热点.港口群服务资源配置优化方面的研究主要是综合考虑港口群的网络结构,港口服务定价,航线设计以及货轮运载能力等因素,进行服务资源在枢纽港与枢纽港之间、枢纽港与支线港之间的均衡配置.港口群运输网络设计则是围绕资源要素(如船队、航线、航速设置、航线频次等)基于特定目标进行航运网络整合设计.港口群运输模式选择是基于港口群运输网络优化的新兴研究热点,研究主要侧重于各运输模式下的运输网络优化以及不同运输模式之间的优劣比较.港口与港口间协作行为和机制的研究主要是指枢纽港和枢纽港协作和竞争的关键要素及其相互关系分析,港口群内部枢纽港与支线港的协作行为和机制研究等.案例研究、统计分析以及博弈竞争理论等研究方法被广泛应用于该领域的研究.

针对中国主要港口之间以及中国港口群与周边国家主要港口之间竞合关系的研究在近期得到了广泛关注.

从海运供应链维度看,战略层面研究海运供应链中港口(港口群)与承运方和托运方三者之间的协作行为和机制是近年来的研究热点.目前海运供应链中港口的选择、港口与承运方之间协作方式、港口使用者(主要指承运方与托运方)上下游间的协作关系等方面已积累了一定的研究成果,但上述研究仅仅是对海运供应链局部环节的竞合关系进行了研究,基于海运供应链整体协作以及海运供应链间竞争关系的研究是新兴研究领域.从研究方法来看,案例研究、统计分析、博弈理论以及其他经济学理论方法被广泛应用于海运供应链有关方面的研究.

因此,本文将分别从单一港口、港口群、海运供应链3个角度对近年来所发表的研究进行梳理回顾,指出当前研究热点以及潜在研究方向(见图1).

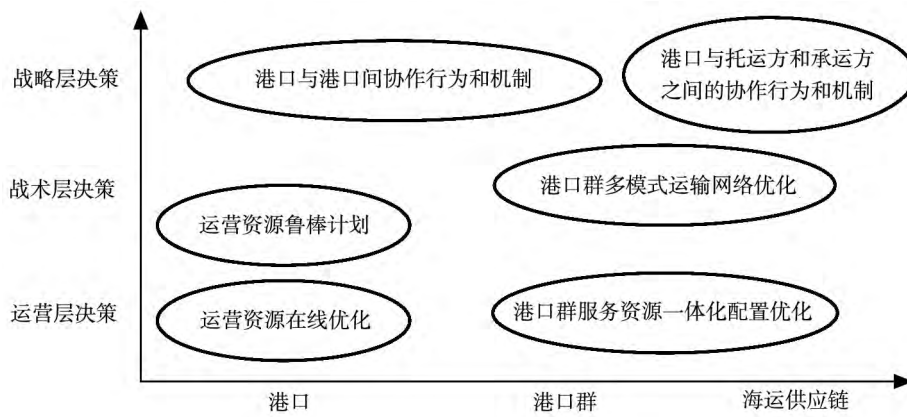


图 1 港口管理和运营领域有待深入研究的热点问题

Fig. 1 Hot research topics to be further studied in port management and operations

# 1 港口运营资源配置问题研究现状

## 1.1 港口单一资源配置优化的相关研究

港口运营资源配置优化是港口管理与运营的基础, 主要涉及泊位分配、岸桥调度、堆场管理、集卡指派、人力资源排程等资源配置问题. 针对单个运营资源的优化已经有大量的研究成果<sup>[1-7]</sup>.

泊位分配问题是指为到港船舶安排靠泊位置和靠泊时间, 并最小化船舶等待靠泊时间、在港装卸作业时间(即总服务时间)、靠泊成本以及最大化客户满意度. 在港口泊位的研究中, 主要涉及 3 种类型的泊位模型: 1) 离散型泊位; 2) 连续型泊位; 3) 混合泊位. 离散型泊位分配问题本质上是平行机调度问题, 连续型或混合泊位分配问题本质上是二维装箱问题. 学者们根据港口泊位分配面临的现实情景对模型进行改进以最大程度贴合实际, 如: Umang 等<sup>[8]</sup>在散杂货港口泊位分配问题中考虑了货轮上货物品种不同以及港口沿岸固定装卸设备的安装位置等因素. Xu 等<sup>[9]</sup>, Lalla-Ruiz 等<sup>[10]</sup>在泊位分配模型中考虑了水深以及潮汐作用对货轮停靠泊位的影响. 不确定性环境下泊位分配问题的研究近年来开始受到学者关注. Golias 等<sup>[11]</sup>研究了离散泊位下货轮到达以及服务时间存在不确定性的情形, 通过假设货轮到达以及服务时间存在上下界, 提出了双目标双层优化模型, 一方面最小化货轮总服务时间最大与最小值的算术平均值, 另一方面最小化总服务时间变动的区间并作为泊位分配方案的鲁棒测度, 最

后通过遗传算法对模型进行求解. Zhen<sup>[12]</sup>从战术层决策的角度研究了离散泊位下具有周期性以及服务时间不确定性的货轮停泊问题, 构建了随机规划模型与鲁棒优化模型, 最后通过设计亚启发式算法对模型进行求解. Ursavas 和 Zhu<sup>[13]</sup>进一步考虑了两种不同的货轮类型, 并运用随机动态模型分析了不确定性因素影响下的最优泊位分配策略.

岸桥调度是指在给船舶分配好泊位后, 根据到港船舶集装箱/散杂货的装卸任务量以及船舶离港时间等约束为船舶分配可用的岸桥, 制定将岸桥分配给货轮的完整排程计划, 最小化岸桥装卸任务完成的总时间等. 以集装箱港口为例, 岸桥调度问题本质上是平行机调度问题的延伸拓展. Chen 等<sup>[14]</sup>指出岸桥调度问题与平行机调度问题的本质区别在于同一轨道上的任意岸桥之间不可相互跨越的现实限制以及岸桥之间具有安全距离的约束. Nguyen 等<sup>[15]</sup>进一步考虑了货轮上存放着不同服务优先次序集装箱组的情景, 设计了基于局部邻域搜索的混合进化计算方法对大规模岸桥调度问题进行高效求解. Al-Dhaheri 等<sup>[16]</sup>具体考虑了岸桥的移动时间以及在货轮上的集装箱存在重量分布均衡限制的现实场景, 并提出遗传算法对岸桥调度模型进行求解. 随着研究的深入, 学者们结合问题的特性通过改进现有方法或者设计新方法, 研究了岸桥调度问题的精确解法. Chen 等<sup>[14]</sup>研究了具有相同目的地或者尺寸的集装箱需要放在相邻区域的现实约束问题, 根据岸桥只能沿着单一方向移动这一假设构建了能够快速求

得精确解的数学模型. Lee 等<sup>[17]</sup> 研究了一般化的同步装卸岸桥调度, 考虑了货轮具有舱口盖的现实情景, 并证明该问题等价于混联次序约束下的双机流水线排程问题, 设计了相应的优化算法求得精确最优解.

堆场管理旨在对场区内的堆场空间进行合理分配, 提高堆场利用率. 考虑时间维度的集装箱港口空间分配问题本质上是四维装箱问题. 学者们研究了具有不同特点的堆场管理问题并给出适用性各不相同的求解方法. Cordeau 等<sup>[18]</sup> 探究了意大利一个机动车转运港的堆场管理问题, 基于机动车摆放的实际限制设计了自适应大规模邻域搜索算法对问题进行求解. 魏航<sup>[19]</sup> 从减少码头方翻箱次数的角度研究了堆场进口集装箱的取箱时间窗优化模型, 并设计遗传算法对问题进行求解. Jin 等<sup>[20]</sup> 构建了堆场内起重机调度与空间分配的整合优化模型, 模型考虑了堆场空间的交通拥堵问题, 提出基于分治策略的启发式算法求得模型的近似最优解. Zhen 等<sup>[21]</sup> 构建了多期堆场空间分配的混合整数规划模型, 模型重点考虑了不同货轮具有不同到达周期以及堆场内部的交通疏导, 设计了局部分枝算法以及粒子群优化算法对大规模问题进行求解. 近年来, 不确定性因素影响下的堆场资源配置问题成为了研究热点. Zhen<sup>[22]</sup> 研究了在货轮靠泊时间与靠泊位置不确定的情境下将转运港的堆场存储空间分配给货轮的柔性资源配置问题, 并提出了亚启发式算法对大规模算例进行求解.

集卡调度是指为每台岸桥分配集卡, 决定集卡服务顺序, 完成集装箱在船边与堆场间的水平运输, 其目的是降低岸桥等待时间, 提高集装箱码头装卸效率. 集卡指派问题本质上可视为流水线排程问题. 目前, 学者们针对集装箱港口内集卡调度问题的研究多集中于最短路径、避免港口内部交通拥堵等方面<sup>[23]</sup>.

港口人力资源配置旨在从长期以及短期的角度进行港口人力的统筹计划, 如工作时间设计、任务指派、轮休安排等. 从最初始的问题来看港口人力资源分配本质上是匹配问题. 随着研究的深入, 更多实际因素得到了考虑, 如对服务人员技能与服务时间的匹配约束等. 过往的研究主要是围绕

有关约束条件构建满足约束的分配方案<sup>[24]</sup>. 近年来, 学者在关注人力资源排程实际约束问题的同时, 结合考虑了人力配置方案对港口运作延误、货船在港停留时间等的影响. Di Francesco 等<sup>[25]</sup> 具体研究了人员配备短缺对转运港运作延误以及相关成本的实际影响, 指出考虑更长的决策周期有助于更早识别潜在的人员配备短缺风险, 有效降低运作延误成本, 提高港口效率. 进一步, Di Francesco 等<sup>[26]</sup> 研究了转运港短期(日内)人力资源排程的决策模型.

总的来说, 目前针对港口单一资源配置优化的研究已经比较成熟, 形成了较完善的研究体系. 从整体上探究如何统筹整合港口各种有限的运营资源可以避免单独调度的局限性, 有效减少货轮在港时间, 并提高各运营资源的利用率. 港口的多资源集成优化受到学者越来越多的重视, 近年来成为了港口管理与运营领域的研究重点.

## 1.2 港口多种资源集成优化的相关研究

港口多种资源集成优化是研究的热点问题. 港口多资源集成优化的研究目前主要是两种资源的集成调度, 例如泊位与岸桥的集成调度<sup>[27-33]</sup>、泊位与堆场的整合优化<sup>[34-36]</sup>、岸桥与集卡的协调调度<sup>[37-39]</sup>以及堆场与集卡的联合优化<sup>[40]</sup>等. 多资源集成优化本质上可视为平行机调度问题的拓展延伸, 其核心在于考虑资源(如泊位、岸桥、堆场、集卡等)之间的关联特性, 实现多种资源在并行处理时的协调优化. 学者们在研究中构建了多资源整合优化模型并设计了相应的精确解法.

泊位与岸桥的集成调度主要涉及泊位分配, 确定服务每艘货轮的岸桥数量以及为每艘货轮指派具体的岸桥等决策. Meisel 和 Bierwirth<sup>[30]</sup> 针对连续泊位与岸桥的协调调度问题构建了三阶段整合优化框架, 第一阶段基于货轮的装载计划以及岸桥之间的安全距离等约束估计岸桥的工作速率; 第二阶段岸桥的工作速率估计值被应用于确定每艘货轮的具体停泊时间, 停泊位置以及所需分配的岸桥数量; 第三阶段为每艘货轮指派具体的岸桥进行作业, 并确定其服务的时间窗. 所构建框架支持现有的启发式算法进行直接求解. 近年来围绕模型精确解法的研究正在兴起. Vacca 等<sup>[29]</sup> 首次运用列生成方法对离散泊位与岸桥联

合调度问题进行建模,并运用分枝定价算法求得问题的精确解。Turkogullari等<sup>[32]</sup>研究了混合泊位与岸桥的联合调度模型,基于模型最优解生成的充分必要条件,进一步设计了基于割平面的多项式算法求得精确解。此外,Shang等<sup>[33]</sup>从鲁棒优化的角度研究了泊位与岸桥的整合优化模型,考虑了岸桥作业效率的不确定性,并设计启发式算法求得近似最优解。

泊位与堆场的整合优化是对二者相互作用影响的协调,一方面货轮的停泊位置与作业时间决定着堆场工作量的分布,堆场设备的调度以及货物运输距离等因素,另一方面堆场货物的堆放分类又影响着货轮的最佳停泊位置。Zhen等<sup>[34]</sup>从战术层决策的角度研究了转运港连续泊位与堆场的协调优化,他们考虑了集卡在泊位与堆场区域的具体运输路线以及堆场的交通拥堵问题,构建了相应的混合整数规划模型,并提出启发式算法对现实环境的大规模问题进行求解。Robenek等<sup>[36]</sup>以最小化所有货轮在港服务时间为优化目标构建了基于散杂货港口的泊位与堆场整合优化模型,在模型中具体考虑了岸边特定装卸设备的位置,堆场不同品类货物的堆放情况以及货轮上载有不同货物品种等现实情境,设计了相应的分枝定价精确算法求解模型。

岸桥与集卡的协调调度影响着港口的运作效率,是港口运作的重要环节。Chen等<sup>[37]</sup>采用约束规划的方法研究了岸桥、集卡以及堆场起重机的具体排程问题,并设计了三阶段算法对问题进行求解,但并未考虑岸桥之间的安全距离以及交通拥堵问题。Kaveshgar和Huynh<sup>[39]</sup>运用混合流水线调度模型研究了岸桥与集卡的联合优化问题,具体考虑了多岸桥运作下岸桥之间不能相互跨越以及存在安全距离的现实约束,并结合遗传算法与贪婪算法求解了问题模型。

此外,其他港口资源的整合优化也得到了研究,如:Wu等<sup>[40]</sup>研究了堆场出口集装箱与集卡的联合优化,首先构建混合线性整数规划模型,采用遗传算法进行求解,接着提出了非线性混合整数规划模型缩短计算时间,求得近似最优解。Babu等<sup>[41]</sup>具体研究了印度散杂货港口货轮排程、堆场管理与火车调度三者的联合优化问题,具体考虑

了每艘货轮装载互不相同的煤炭品类,不同的煤炭品类不能同时堆集在相同的堆场区域等现实约束。

### 1.3 港口运营资源在线优化的相关研究

港口运营资源在线优化的相关研究主要是在货轮到港前为港口运营制定最优或较优的资源配置计划。即使是融入了对不确定性因素考虑的鲁棒性资源配置计划,对不确定性风险的抵御能力也只是在一定的限度内可行。港口运营资源在线优化的本质特征是针对计划的实时扰动进行在线恢复,在遇到重大干扰事件时对原计划进行调整,使得新计划偏离原有计划最小,额外的成本最低。港口管理实践中普遍采用人工经验的方法完成运营资源的在线配置,这种方法具有简单、反应速度快等特点,但最终效果往往取决于调度人员的经验,具有很强的不确定性,且人工经验决策对于港口整体的资源配置而言往往并不是全局最优。目前,在线优化已经在航班计划、物流配送、机器安排、供应链协调、项目管理等领域积累了一定的研究成果<sup>[42-43]</sup>,但针对港口运营资源在线优化的理论研究较少。现有的研究主要是针对特定的运营资源,设计特定的启发式算法对研究问题进行求解。如Zhen等<sup>[44]</sup>在对泊位资源进行鲁棒配置的基础上又以与原计划偏离最小为目标建立了在线优化策略。Umang和Bierlaire<sup>[45]</sup>首次研究了散杂货港口情境下混合泊位分配在干扰事件影响后的实时恢复问题,分别提出了基于优化模型的算法以及以最小化与原计划偏离程度为目标的启发式算法。Zhen<sup>[46]</sup>针对集装箱到达数量的不确定性,以最小化使用堆场起重机数量为目标构建了堆场起重机卸货作业的实时优化决策系统,并通过数据实验验证了该系统对于堆场资源利用效率的提升。随着在线优化理论的日益完善以及与现实应用的不断结合,港口运营资源在线优化方面的研究有较大的上升空间,可在以后的研究中加以重视。

## 2 港口群协作行为和机制研究现状

从战略层面研究港口与港口间协作行为和机制,从战术层面研究港口群多模式运输网络设计

优化以及从运营层面研究港口群服务资源配置优化是本文在港口群管理与运营的现有研究中提取的主要科学问题。

港口群服务资源的配置优化问题本质上是由港口间资源供需关系的不平衡引发的,该问题的研究主要是在特定港口群网络结构以及相关约束下,基于港口间不确定性的空箱供给与需求关系构建具有柔性的资源配置计划。Erera等<sup>[47]</sup>在时间-空间网络中构建了动态空箱调度的鲁棒优化模型,针对空箱需求以及供给的不确定性构建了不确定集,给出了三种恢复策略下网络流具有鲁棒性的充分必要条件,并指出在特定情形下该问题独立于不确定集,可在多项式时间内求解。Shi和Xu<sup>[48]</sup>采用马科夫决策过程模型对两港口系统的空箱调度问题进行了研究,针对随机需求分布完全已知以及部分已知的情形给出了相应的最优控制策略。部分学者在多港口资源配置的研究中引入了港口分布结构的讨论。Imai等<sup>[49]</sup>、Meng和Wang<sup>[50]</sup>研究了多港口网络以及中心辐射型港口群网络结构下的空箱调度问题,分析比较了不同网络结构下空箱调度在调度效率、转运成本等方面的异同点。随着研究的进一步深入,一些学者从博弈竞争、定价、利益相关方的协调合作、航运网络整合优化等新角度对多港口间服务资源配置问题进行了研究。如Zheng等<sup>[51]</sup>在对空箱调度问题的研究中首次考虑了大船公司之间的协调,提出了空箱对于不同港口的价值测度(即空箱交换成本)。Chen等<sup>[52]</sup>从博弈竞争的角度研究了承运者在两地之间提供空箱调度以及废料运输服务的场景,着重研究承运者的定价策略影响空箱需求进而影响空箱运输数量的机制,分别构建单寡头垄断以及双寡头垄断模型,并找到承运者最优的定价策略。Akyuz和Lee<sup>[53]</sup>从战术层的角度研究了基于货轮调度以及速度设定的服务类型分配问题,同时从运作层的角度研究了集装箱运输路线规划,构建了考虑转运运作、空箱调度以及货主对运输时间要求等因素的多商品流网络模型,并提出基于分枝定界的列生成算法求得精确解。

港口群运输网络优化问题本质上是对港口间的资源要素(如船队、航线、航速设置等)基于特定目标进行整合设计。港口群运输网络优化主要

分为两种类型,即不定期航线服务网络设计以及班轮服务网络设计。其中,不定期航线网络设计是指对散杂货物运输的航线及其货轮调度计划进行设计。目前大多数研究主要集中在班轮服务网络设计优化<sup>[54-57]</sup>。Gelareh和Pisinger<sup>[55]</sup>首次提出了适用于区域计划的航线网络设计与船队调度同步优化模型,在模型中显式考虑了转运成本,并通过Benders分解方法求得近似最优解。随着研究的不断深入,学者在网络设计的研究中进一步考虑了燃油消耗、环境影响以及不确定性等因素。如Xia等<sup>[58]</sup>从战略层决策的角度构建了班轮运输网络整合优化模型,具体考虑了船队调度、航速优化、航线频次设计以及货物分配等环节,目标是最大化总利润。其中,考虑了一般化的非线性燃油消耗函数,刻画航速以及装载量对燃油消耗产生的影响。为了克服初始模型的难解性,进一步构建了混合整数线性规划近似模型,并提出迭代搜索算法对问题进行求解,最后根据不同场景的数据实验给出了相应的管理启示。

值得一提的是,近年来,同步运输等新兴运输模式的出现为港口群运输网络优化提供了新的研究视角。StadieSeifi等<sup>[59]</sup>对现有运输模式进行了较为系统的定义与比较:多模式运输是指使用两种或以上的运输模式进行货物的运输;联合运输是种特殊的多模式运输,其特点是货物在运输过程中始终保持着相同的运载单元(如一个TEU的集装箱),这给企业进行多模式运输时带来灵活性以及规模经济<sup>[60-61]</sup>。协同运输与多模式运输的区别在于,它是被链条中的一组货主使用,且各运输方式以最大化利益为目标来进行使用<sup>[62]</sup>。同步运输是在现有联合运输以及协同运输的基础上进一步发展而成的,它主要是指对两种及两种以上运输模式结构化、有效和同步的组合运用。通过同步运输,承运者或者客户可以基于运营环境和(或)客户的要求在任何时间独立地选择最佳运输模式<sup>[63]</sup>。目前的研究主要集中在联合运输方面。如:Ishfaq和Sox<sup>[64]</sup>研究了联合运输模式下的枢纽点设置以及物流网络设计优化模型,指出运输模式连接成本不仅仅影响网络中枢纽点的数量,而且还影响联合运输模式的使用。Bouchery和Fransoo<sup>[65]</sup>从成本、碳排放以及运输模式转换的角

度构建了新的联合运输网络设计模型,指出最大化模式转换将不利于减少成本以及碳排放,且存在着最优碳排放的运输模式转换水平。目前同步运输在港口群运输网络优化领域的研究还很少。Zhang 和 Pel<sup>[66]</sup>对同步运输进行了探索性的研究。通过鹿特丹内河集装箱运输实例的数据实验,指出同步运输相对于联合运输将有效提升运输服务水平,提高资源利用率,降低温室气体排放以及加快不同运输方式的转换,但并没有减少总运输成本。

港口与港口间协作行为和机制问题本质上是指枢纽港和枢纽港协作和竞争的关键要素及其相互关系,港口群内部枢纽港与支线港的协作行为和机制等。现阶段针对港口与港口间协作行为和机制的研究文献数量仍偏少。少量文献运用案例分析的方法对数个港口之间的合作与竞争进行了定性研究。Kim<sup>[67]</sup>从枢纽港竞争的角度出发,以釜山港、香港港以及高雄港为例研究了中国港口与中国周边国家主要港口的竞争现状,指出面对中国港口的崛起以及优势地位,周边国家的主要港口应及时对现有港口策略进行调整,即从竞争与产量为导向转为合作与价值为导向。部分学者从港口吞吐量等数据分析的角度出发,进一步研究了港口间存在的协作与竞争关系。Li 和 Oh<sup>[68]</sup>运用赫芬达尔-赫希曼指数模型、相关性分析以及线性回归模型研究了上海港和宁波舟山港之间的竞合关系。他们指出上海港和宁波舟山港存在着过于激烈的竞争关系,两港口的合作对于实现区域性的规模经济以及增强长江三角洲竞争力具有重要的现实意义。Low 和 Tang<sup>[69]</sup>基于中心指数、竞争指数、拥堵指数以及集中指数研究了东亚集装箱港口群的网络效应。Zondag 等<sup>[70]</sup>提出了基于贸易增长模型以及物流链选择模型的港口市场份额预测方法。近年来,基于博弈竞争模型的研究受到了学者的重视,成为了该领域研究的热点方法。Saeed 和 Larsen<sup>[71]</sup>运用合作博弈的思想构建了同一港口内码头之间的两阶段博弈模型。Luo 等<sup>[72]</sup>以深圳港和香港港为例研究了两个港口在一个增长的市场中进行价格以及产能决策竞争的情形,并构建相应的两阶段双寡头模型。指出港口通过产能扩张增加利润的必要条件,刻画了占优港口

通过先定价也无法阻止小港口获取市场份额的条件。同时,当价格敏感度不同、运作和产能投资成本不同的两个港口进行产能扩张博弈时,找到了相应的纯策略纳什均衡。Ishii 等<sup>[73]</sup>用非合作博弈理论模型研究了随机需求下两港口竞争的现实情景。

### 3 港口与海运供应链各利益相关者间关系的研究现状

海运供应链是一系列附属于运输服务的活动,这些活动涉及计划、协调和控制集装箱化的货物从起点运送到终点<sup>[74]</sup>。Tongzon<sup>[75]</sup>指出港口是供应链条的一部分,并给链条上的港口使用者传递价值,提供增值服务。因此,港口是港口使用者进行海运供应链选择时考虑的重要因素<sup>[76-78]</sup>。

港口与海运供应链各利益相关者间的关系是指港口与海运物流的承运方(如大船公司、驳船公司、拖车公司、航空公司和铁路公司等)和托运方(如货主、货代等)三者之间的协作行为和机制。案例研究、统计分析、博弈理论以及其他经济学理论方法被广泛应用于该领域的研究。Fransoo 和 Lee<sup>[79]</sup>从海运供应链角度总结了海上集装箱运输的特征,阐述了海运供应链各环节面临的问题,如港口、托运方和承运方之间的竞争与合作问题,海运供应链的产能管理问题等,并指出了海运供应链未来的研究领域和方向。部分文献从港口选择的角度进行研究。Tang 等<sup>[80]</sup>构建了基于网络的港口选择综合评价模型,分析了班轮航运公司选择港口的重要因素,并通过案例分析指出港口的运营效率和规模经济是航运公司选择港口考虑的重要维度。Steven 和 Corsi<sup>[81]</sup>研究了不同类型的托运方在港口选择时的影响因素。其中,大运量的托运方更关注货物运输的速度;小运量的托运方则更关注航运成本。Tan 等<sup>[82]</sup>构建了基于内河港口选址、服务定价以及产能扩张的决策模型,考虑了货物运输需求的空间分布,与港口内河位置有关的非线性运输成本以及受港口装卸货物效率影响的服务拥堵延误等因素。部分文献从港口与承运方之间协作的角度分析了协作方式及其重要

性。如 Oscar 等<sup>[83]</sup>研究了港口与内陆运输进行整合的经济效益及其对社会福利的影响,提出了基于效用方程以及伯特兰德模型的港口博弈竞争分析方法。也有一些文献从港口使用者的角度研究了海运供应链上下游间的协作关系。卜祥智等<sup>[84]</sup>研究了货运代理运力采购以及承运商运力定价策略,并构建数学模型分析货主价格参照效应对二者的影响。Saeed<sup>[85]</sup>运用两阶段的合作博弈模型研究了不同类型货代之间的垂直整合与横向整合决策。指出大型卡车货代公司与船舶运输货代公司之间的垂直联盟是最优的联盟形式,但是无论是垂直整合还是横向整合,客户都无法从中享受到价格方面的好处。Talley 等<sup>[86]</sup>提出了港口服务链的概念,即港口服务提供商在服务网络中的服务质量关系。指出合作的港口服务链比非合作的港口服务链在资源的利用上将更为有效。上述大部分研究仅对海运供应链某些环节的竞争与协作进行了研究。海运供应链各方协作与竞争包含两个方面,即海运供应链整体协作以及海运供应链间的竞争。Lam<sup>[74]</sup>指出从整体的角度对海运供应链进行研究是很新的研究领域。他构建了分析海运供应链模式的工具,基于集装箱航运公司部署的航线容量数据进行了实证研究,同时考虑了航运公司、货主以及港口的决策。Lee 和 Song<sup>[87]</sup>从海运供应链的角度阐述了海运供应链各方的角色和功能,海运供应链各方之间的竞争关系,以及为了应对激烈的竞争和改善海运供应链价值而采取的合作策略。他们进一步从社会网络嵌入性和知识管理视角,提出个理论框架揭示了海运供应链竞合网络、知识获取和海运供应链价值的正向关系。Talley 和 Ng<sup>[88]</sup>构建了海运供应链选择模型,并证明了模型纳什均衡解的存在性与唯一性。在此基础上, Talley<sup>[89]</sup>研究分析了港口、托运方和承运方在进行海运供应链选择时港口吞吐量、托运方物流成本以及承运方收益对各自决策的影响。

#### 4 结束语

当前,世界各国自由贸易开放程度加深,以“一带一路”为代表的区域合作蓬勃发展。港口作为“21世纪海上丝绸之路”对外贸易开放的窗口,

肩负着重要的历史使命。随着合作进程的不断深入,管理实践中一些新业态、新问题的出现给港口管理和运营的研究提供了新的研究契机。从运营层面提高港口的运作效率,从战术层面实现港口群运输网络优化,从战略层面加强港口与港口间、海运供应链各利益相关方的协同合作,无疑将有助于港口在市场竞争中保持核心竞争力。

综合所梳理的文献可以看到,目前国内外学者已较为充分地研究了集装箱港口单一资源的配置优化,确定性环境下集装箱港口多种资源的集成配置优化,港口间服务资源配置优化以及航运网络设计等方面。针对潜在的研究问题,本文将从以下3个方面进行总结,为港口管理与运营领域的后续研究提供参考。

1) 围绕散杂货港口,港口不确定性环境,港口多种运营资源的鲁棒优化以及在线优化等方面的研究。散杂货港口作为重要的港口类型,其吞吐量占总吞吐量很大的比重,我国是铁矿石进口大国,因此探究散杂货港口的资源优化问题具有重要现实意义。目前针对散杂货港口资源配置优化的研究十分少<sup>[8,36,41,45]</sup>。集装箱港口资源配置优化的相关研究为散杂货港口资源配置提供了较为完善的研究基础,未来多加关注散杂货港口特点的研究。目前极少研究涉及不确定环境下港口多种运营资源的集成优化问题,越来越多学者意识到动态的、富有弹性的多资源整合优化方法的重要性,并呼吁更多这方面的研究。如 Han 等<sup>[27]</sup>在离散泊位与岸桥整合优化的研究中考虑了货轮到达时间与集装箱处理时间的不确定性,并构建了随机优化模型。他们运用遗传算法以及蒙特卡洛模拟与仿真求得柔性的资源配置方案。另一方面,不确定性环境下,从运营层面对港口运营资源进行在线优化,在遇到重大干扰事件时对原计划进行调整,尽量减少干扰事件对港口管理与运营产生的负面影响,未来可多加关注该领域的研究。此外,随着学者们对港口运营资源配置认识的不断深入,更多贴合实际情况的新模型不断涌现,具有不同适用性以及准确性的算法也得到了发展。如 Du 等<sup>[90]</sup>在考虑潮汐作用影响的基础上,进一步从燃油消耗以及船舶排放的角度探究了准时到达策略对经济效益以及环境保护的积极作用,并



通过构建二阶锥规划模型得到最优解. Lee 等<sup>[17]</sup>研究了具有同步装卸功能的岸桥调度问题. 然而大规模问题下的多种资源整合优化问题十分复杂, 模型通常难以在多项式时间内求解. 近年来学者们设计了拉格朗日松弛算法<sup>[91]</sup>, 自适应邻域搜索算法<sup>[92]</sup>、分枝定界算法<sup>[24]</sup>、列生成建模与分枝定价算法<sup>[29, 36]</sup>等求得模型的精确解. 因此, 探究如何快速得到大规模问题下模型的近似最优解或者精确解是未来的研究重点方向.

2) 面向港口群的服务资源一体化配置优化, 多模式运输网络优化以及港口间协作行为和机制等方面的研究. 本文认为运营层应重点关注不确定性环境下空箱等港口群服务资源在枢纽港与枢纽港之间、枢纽港与支线港之间的一体化配置优化, 构建可靠性高鲁棒性强的资源配置计划. 同时, 在资源配置优化过程中, 从博弈竞争的角度探讨通过服务定价等手段实现利益相关者的协调合作也是新的研究趋势. 在战术层如何基于多模式运输进行港口群网络设计是一项具有新颖性的研究课题. 值得一提的是, 同步运输等新兴运输模式的出现为港口群运输网络优化提供了新的研究视角, 值得学者们重点关注. 随着人们环境保护意识的不断提高, 如何通过合理的运输模式选择使得整个运输过程更绿色也得到了业界以及学界的重视. 最近有学者在这方面进行了探索性的研究, 如 Demir<sup>[93]</sup>研究了绿色联合运输服务网络设计问题. 具体考虑了运输时间的不确定性, 不同运输模式的转换以及转运位置等. 他们指出所提出的随机模型可以利用样本均值近似算法根据运输成本最低, 时间最短以及温室气体排放最低等不同目标生成具有柔性的运输计划. 目前多模式运输网络优化与我国本土实践相结合的研究较少, 建议学者以珠三角港口群、长三角港口群等为实例进行定量分析, 为我国珠三角和长三角港口群多模式运输网络的优化提供方案建议. 对于多港口协作行为和机制的研究已取得一定的研究成果, 但还不够精细, 存在较大的研究空间. 运用博弈竞争理论分析特定情境下港口间的竞合关系, 探究最优竞合机制成了近年来的研究热点. 同时, 在实际分析中如何根据港口间不同的情况对博弈竞争模型进行设定, 以求最大程度符合现实情境也是研

究热点方向. 随着中国港口竞争力以及区域性乃至全球性影响力不断的加强, 围绕中国本土港口群之间竞合关系的研究、中国港口与周边国家主要港口竞合关系演变的研究等受到了业界以及学界持续关注. 恶性竞争已成为中国港口发展的最大障碍, 珠三角港口群和长三角港口群是这方面最典型的例子. 以珠三角为例, 目前有香港港、深圳港和广州港三个枢纽港(另有珠海港在扩建), 以及珠江水域沿线几十个驳船支线港. 在战略层面, 能否组建虚拟的“珠三角港”, 实现资源管理决策的集约化和一体化, 建立机制引导港口群内各港口竞合关系的优化, 从而最终提升港口群的整体竞争力, 这些业界的现实问题需要学界在接下来的研究中重点关注.

3) 海运供应链中港口与承运方和托运方之间协作行为和机制的研究. 随着单一港口逐步拓展到多港口, 从多港口的单一主导推广到多方合作, 海运供应链对于港口的管理与运营越来越重要. 目前大多数有关海运供应链的研究主要是研究局部环节的竞争与协作, 而较少深入剖析海运供应链三方协作行为和机制. 因此, 从战略层面本文提出的新兴研究方向是港口与海运物流的承运方和托运方三者之间的协作行为和机制. 从研究方法上看, 运用博弈竞争理论探究港口、托运方以及承运方在海运供应链一体化中的最佳定位、最优协作行为和机制在近期研究中开始受到学者的重视. 值得强调的是, 基于中国情境对海运供应链多方协作行为和机制的研究存在很大的研究空白, 业界正面临着多方合作参与下的决策困惑. 以珠三角为例, 珠江船务附属公司珠江内河货运码头公司在珠三角经营管理着十多个内河码头, 2010年珠江船务与招商局集团签订战略合作框架协议, 珠江船务将珠江内河货运码头公司20%的股权出售给招商局集团, 该股权合作有助于将招商局集团旗下的大港口公司蛇口港的货源范围延伸至内陆地区. 在2015年招商局集团全资收购了中国外运长航集团, 中国外运长航集团与珠江船务在珠三角地区内河运输领域是直接竞争对手. 这里面引发了业界对一系列问题的思考: 收购中国外运长航集团的招商局集团是否应该继续与珠江船务进行股权合作? 最优的股权合作策略是

怎样的? 广州港与蛇口港具有直接竞争关系, 对于内河运输服务商珠江船务而言是否应该与广州港进行战略合作, 还是应该加大与招商局的合作力度? 广州港在面临招商局集团全资收购中国外运长航集团并与珠江船务有股权合作的竞争环境

下, 应该如何进行最优决策? 这些具有中国特性的业界问题亟待学界的进一步研究. 此外, 港口与制造企业之间、港口与工厂之间的协作近年来发展迅猛, 构建不同情境下港口与托运方之间的最佳信息共享与运营协作机制也是未来的研究趋势.

#### 参考文献:

- [1] Stahlbock R, Voß S. Operations research at container terminals: A literature update [J]. *OR Spectrum*, 2008, 30(1): 1 – 52.
- [2] Bierwirth C, Meisel F. A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 202(3): 615 – 627.
- [3] Goodchild A V, Zhao W, Wygonik E. Decision Problems and Applications of Operations Research at Marine Container Terminals [M] // Cochran J J, Cox L A, Keskinocak P, et al (Ed.). *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, New York: John Wiley & Sons, Inc, 2010: 1 – 20.
- [4] Rashidi H, Tsang E P K. Novel constraints satisfaction models for optimization problems in container terminals [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2013, 37(6): 3601 – 3634.
- [5] Carlo H J, Vis I F A, Roodbergen K J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme [J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 236(1): 1 – 13.
- [6] Carlo H J, Vis I F A, Roodbergen K J. Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions [J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 235(2): 412 – 430.
- [7] Bierwirth C, Meisel F. A follow-up survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 244(3): 675 – 689.
- [8] Umang N, Bierlaire M, Vacca I. Exact and heuristic methods to solve the berth allocation problem in bulk ports [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2013, 54(8): 14 – 31.
- [9] Xu D S, Li C L, Leung J Y T. Berth allocation with time-dependent physical limitations on vessels [J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 216(1): 47 – 56.
- [10] Lalla-Ruiz E, Exposito-Izquierdo C, Melian-Batista B, et al. A set-partitioning-based model for the berth allocation problem under time-dependent limitations [J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 250(3): 1001 – 1012.
- [11] Golias M, Portal I, Konur D, et al. Robust berth scheduling at marine container terminals via hierarchical optimization [J]. *Computers and Operations Research*, 2014, 41(1): 412 – 422.
- [12] Zhen L. Tactical berth allocation under uncertainty [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 247(3): 928 – 944.
- [13] Ursavas E, Zhu S X. Optimal policies for the berth allocation problem under stochastic nature [J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 255(2): 380 – 387.
- [14] Chen J H, Lee D H, Goh M. An effective mathematical formulation for the unidirectional cluster-based quay crane scheduling problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 232(1): 198 – 208.
- [15] Nguyen S, Zhang M J, Johnston M, et al. Hybrid evolutionary computation methods for quay crane scheduling problems [J]. *Computers and Operations Research*, 2013, 40(8): 2083 – 2093.
- [16] Al-Dhaheer N, Jebali A, Diabat A. The quay crane scheduling problem with nonzero crane repositioning time and vessel stability constraints [J]. *Computers and Industrial Engineering*, 2016, 94(C): 230 – 244.
- [17] Lee C Y, Liu M, Chu C B. Optimal algorithm for the general quay crane double-cycling problem [J]. *Transportation Science*, 2015, 49(4): 957 – 967.
- [18] Cordeau J F, Laporte G, Moccia L, et al. Optimizing yard assignment in an automotive transshipment terminal [J]. *Euro-*

- pean Journal of Operational Research ,2011 ,215( 1) : 149 – 160.
- [19]魏 航. 集装箱码头堆场取箱时间窗优化研究[J]. 管理科学学报,2011 ,14( 9) : 21 – 36.  
Wei Hang. Optimal pickup time windows allocation at container terminal [J]. Journal of Management Sciences in China , 2011 ,14( 9) : 21 – 36. ( in Chinese)
- [20]Jin J G , Lee D H , Cao J X. Storage yard management in maritime container terminals [J]. Transportation Science ,2016 , 50( 4) : 1300 – 1313.
- [21]Zhen L , Xu Z , Wang K , et al. Multi-period yard template planning in container terminals [J]. Transportation Research Part B: Methodological ,2016 ,93( 11) : 700 – 719.
- [22]Zhen L. Yard template planning in transshipment hubs under uncertain berthing time and position [J]. Journal of the Operational Research Society ,2013 ,64( 9) : 1418 – 1428.
- [23]Lee L H , Chew E P , Tan K C , et al. Vehicle dispatching algorithms for container transshipment hubs [J]. OR Spectrum , 2010 ,32( 3) : 663 – 685.
- [24]Legato P , Monaco M F. Human resources management at a marine container terminal [J]. European Journal of Operational Research ,2004 ,156( 3) : 769 – 781.
- [25]Di Francesco M , Fancello G , Serra P , et al. Optimal management of human resources in transshipment container ports [J]. Maritime Policy and Management ,2015 ,42( 2) : 127 – 144.
- [26]Di Francesco M , Llorente N D M , Zanda S , et al. An optimization model for the short-term manpower planning problem in transshipment container terminals [J]. Computers and Industrial Engineering ,2016 ,97( 7) : 183 – 190.
- [27]Han X L , Lu Z Q , Xi L F. A proactive approach for simultaneous berth and quay crane scheduling problem with stochastic arrival and handling time [J]. European Journal of Operational Research ,2010 ,207( 3) : 1327 – 1340.
- [28]Emde S , Boysen N , Briskorn D. The berth allocation problem with mobile quay walls: Problem definition , solution procedures , and extensions [J]. Journal of Scheduling ,2014 ,17( 3) : 289 – 303.
- [29]Vacca I , Salani M , Bierlaire M. An exact algorithm for the integrated planning of berth allocation and quay crane assignment [J]. Transportation Science ,2013 ,47( 2) : 148 – 161.
- [30]Meisel F , Bierwirth C. A framework for integrated berth allocation and crane operations planning in seaport container terminals [J]. Transportation Science ,2013 ,47( 2) : 131 – 147.
- [31]Rodriguez-Molins M , Salido M A , Barber F. A GRASP-based metaheuristic for the berth allocation problem and the quay crane assignment problem by managing vessel cargo holds [J]. Applied Intelligence ,2014 ,40( 2) : 273 – 290.
- [32]Turkogullari Y B , Taskin Z C , Aras N , et al. Optimal berth allocation and time-invariant quay crane assignment in container terminals [J]. European Journal of Operational Research ,2014 ,235( 1) : 88 – 101.
- [33]Shang X T , Cao J X , Ren J. A robust optimization approach to the integrated berth allocation and quay crane assignment problem [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review ,2016 ,94( 10) : 44 – 65.
- [34]Zhen L , Chew E P , Lee L H. An integrated model for berth template and yard template planning in transshipment hubs [J]. Transportation Science ,2011 ,45( 4) : 483 – 504.
- [35]Hendriks M P M , Lefebvre E , Udding J T. Simultaneous berth allocation and yard planning at tactical level [J]. OR Spectrum ,2013 ,35( 2) : 441 – 456.
- [36]Robenek T , Umang N , Bierlaire M , et al. A branch-and-price algorithm to solve the integrated berth allocation and yard assignment problem in bulk ports [J]. European Journal of Operational Research ,2014 ,235( 2) : 399 – 411.
- [37]Chen L , Langevin A , Lu Z Q. Integrated scheduling of crane handling and truck transportation in a maritime container terminal [J]. European Journal of Operational Research ,2013 ,225( 1) : 142 – 152.
- [38]Tang L X , Zhao J , Liu J Y. Modeling and solution of the joint quay crane and truck scheduling problem [J]. European Journal of Operational Research ,2014 ,236( 3) : 978 – 990.
- [39]Kaveshgar N , Huynh N. Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers [J]. International Journal of Production Economics ,2015 ,159( 1) : 168 – 177.
- [40]Wu Y , Luo J B , Zhang D L , et al. An integrated programming model for storage management and vehicle scheduling at

- container terminals[J]. *Research in Transportation Economics*, 2013, 42(1): 13–27.
- [41] Babu S A K I, Pratap S, Lahoti G, et al. Minimizing delay of ships in bulk terminals by simultaneous ship scheduling, stockyard planning and train scheduling[J]. *Maritime Economics and Logistics*, 2015, 17(4): 464–492.
- [42] Lambrechts O, Demeulemeester E, Herroelen W. Proactive and reactive strategies for resource-constrained project scheduling with uncertain resource availabilities[J]. *Journal of Scheduling*, 2008, 11(2): 121–136.
- [43] Deblaere F, Demeulemeester E, Herroelen W. Reactive scheduling in the multi-mode RCPSP[J]. *Computers and Operations Research*, 2011, 38(1): 63–74.
- [44] Zhen L, Lee L H, Chew E P. A decision model for berth allocation under uncertainty[J]. *European Journal of Operational Research*, 2011, 212(1): 54–68.
- [45] Umang N, Bierlaire M. Real time recovery in berth allocation problem in bulk ports[C]// *Proceedings of the Swiss Transport Research Conference*, 2012.
- [46] Zhen L. Storage allocation in transshipment hubs under uncertainties[J]. *International Journal of Production Research*, 2014, 52(1): 72–88.
- [47] Erera A L, Morales J C, Savelsbergh M. Robust optimization for empty repositioning problems[J]. *Operations Research*, 2009, 57(2): 468–483.
- [48] Shi N, Xu D S. A Markov decision process model for an online empty container repositioning problem in a two-port fixed route[J]. *International Journal of Operations Research*, 2011, 8(2): 8–17.
- [49] Imai A, Shintani K, Papadimitriou S. Multi-port vs. hub-and-spoke port calls by container ships[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2009, 45(5): 740–757.
- [50] Meng Q, Wang S A. Liner shipping service network design with empty container repositioning[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2011, 47(5): 695–708.
- [51] Zheng J F, Sun Z, Gao Z Y. Empty container exchange among liner carriers[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2015, 83(11): 158–169.
- [52] Chen R Y, Dong J X, Lee C Y. Pricing and competition in a shipping market with waste shipments and empty container repositioning[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, 85(3): 32–55.
- [53] Akyuz M H, Lee C Y. Service type assignment and container routing with transit time constraints and empty container repositioning for liner shipping service networks[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, 88(6): 46–71.
- [54] Gelareh S, Nickel S. Hub location problems in transportation networks[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2011, 47(6): 1092–1111.
- [55] Gelareh S, Pisinger D. Fleet deployment, network design and hub location of liner shipping companies[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2011, 47(6): 947–964.
- [56] 李冰州. 集装箱班轮二维收益管理在线动态定价策略[J]. *管理科学学报*, 2012, 15(8): 34–49.  
Li Bingzhou. Online dynamic pricing policy for two-dimensional revenue management of container liners[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2012, 15(8): 34–49. (in Chinese)
- [57] Zheng J F, Meng Q, Sun Z. Liner hub-and-spoke shipping network design[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2015, 75(3): 32–48.
- [58] Xia J, Li K X, Ma H, et al. Joint planning of fleet deployment, speed optimization, and cargo allocation for liner shipping[J]. *Transportation Science*, 2015, 49(4): 922–938.
- [59] SteadieSeifi M, Dellaert N P, Nuijten W, et al. Multimodal freight transportation planning: A literature review[J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 233(1): 1–15.
- [60] Crainic T G, Kim K H. Intermodal Transportation[M] // Barnhart C, Laporte G (Ed.). *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 2007, 14: 467–537.
- [61] Caris A, Macharis C, Janssens G K. Decision support in intermodal transport: A new research agenda[J]. *Computers in Industry*, 2013, 64(2): 105–112.
- [62] European Commission. Keep Europe Moving – Sustainable Mobility for Our Continent[M] // *Mid-term Review of the Eu-*

- ropean Commission's 2001 Transport White Paper. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.
- [63] Verweij K. Synchronic Modalities: Critical Success Factors [M] // Van der Sterre P J (Ed.). Logistics Yearbook 2011 Edition, EVO, 2011: 75 – 88.
- [64] Ishfaq R, Sox C R. Hub location-allocation in intermodal logistic networks [J]. European Journal of Operational Research, 2011, 210(2): 213 – 230.
- [65] Bouchery Y, Fransoo J. Cost, carbon emissions and modal shift in intermodal network design decisions [J]. International Journal of Production Economics, 2015, 164(6): 388 – 399.
- [66] Zhang M, Pel A J. Synchronodal hinterland freight transport: Model study for the port of rotterdam [J]. Journal of Transport Geography, 2016, 52(4): 1 – 10.
- [67] Kim H T. Prospect of premier port competition in East Asian region [J]. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 2011, 27(2): 191 – 215.
- [68] Li J B, Oh Y S. A research on competition and cooperation between Shanghai port and Ningbo-Zhoushan port [J]. The Asian Journal of Shipping and Logistics, 2010, 26(1): 67 – 91.
- [69] Low J M W, Tang L C. Network effects in the East Asia container ports industry [J]. Maritime Policy and Management, 2012, 39(4): 369 – 386.
- [70] Zondag B, Buccini P, Gutzkow P, et al. Port competition modeling including maritime, port, and hinterland characteristics [J]. Maritime Policy and Management, 2010, 37(3): 179 – 194.
- [71] Saeed N, Larsen O I. An application of cooperative game among container terminals of one port [J]. European Journal of Operational Research, 2010, 203(2): 393 – 403.
- [72] Luo M F, Liu L M, Gao F. Post-entry container port capacity expansion [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2012, 46(1): 120 – 138.
- [73] Ishii M, Lee P T-W, Tezuka K, et al. A game theoretical analysis of port competition [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2013, 49(1): 92 – 106.
- [74] Lam J S L. Patterns of maritime supply chains: Slot capacity analysis [J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(2): 366 – 374.
- [75] Tongzon J L. Port choice and freight forwarders [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2009, 45(1): 186 – 195.
- [76] Ng A S F, Sun D, Bhattacharjya J. Port choice of shipping lines and shippers in Australia [J]. Asian Geographer, 2013, 30(2): 143 – 168.
- [77] Yeo G T, Ng A K Y, Lee P T W, et al. Modelling port choice in an uncertain environment [J]. Maritime Policy & Management, 2014, 41(3): 251 – 267.
- [78] Lam J S L, Yap W Y. Dynamics of liner shipping network and port connectivity in supply chain systems: Analysis on East Asia [J]. Journal of Transport Geography, 2011, 19(6): 1272 – 1281.
- [79] Fransoo J C, Lee C Y. The critical role of ocean container transport in global supply chain performance [J]. Production and Operations Management, 2013, 22(2): 253 – 268.
- [80] Tang L C, Low J M W, Lam S W. Understanding port choice behavior—A network perspective [J]. Networks and Spatial Economics, 2011, 11(1): 65 – 82.
- [81] Steven A B, Corsi T M. Choosing a port: An analysis of containerized imports into the US [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2012, 48(4): 881 – 895.
- [82] Tan Z J, Li W, Zhang X N, et al. Service charge and capacity selection of an inland river port with location-dependent shipping cost and service congestion [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2015, 76(4): 13 – 33.
- [83] Oscar A-S, Pedro C-S, Rafael M-C, et al. The impact on port competition of the integration of port and inland transport services [J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2015, 80(10): 291 – 302.

- [84] 卜祥智, 许 垒, 赵泉午. 考虑货主价格参照效应的海运运力合同定价策略[J]. 管理科学学报, 2012, 15(2): 28–36.
- Bu Xiangzhi, Xu Lei, Zhao Quanwu. Study on marine shipping contract allocation and pricing policy under shipper's pricing reference effects[J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(2): 28–36. (in Chinese)
- [85] Saeed N. Cooperation among freight forwarders: Mode choice and intermodal freight transport[J]. Research in Transportation Economics, 2013, 42(1): 77–86.
- [86] Talley W K, Ng M, Marsillac E. Port service chains and port performance evaluation[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2014, 69(9): 236–247.
- [87] Lee E S, Song D W. Competition and Co-operation in Maritime Logistics Operations[M] // Lee C-Y, Meng Q. (Eds.), Handbook of Ocean Container Transport Logistics, Springer, 2015: 477–496.
- [88] Talley W K, Ng M. Maritime transport chain choice by carriers, ports and shippers[J]. International Journal of Production Economics, 2013, 142(2): 311–316.
- [89] Talley W K. Maritime transport chains: Carrier, port and shipper choice effects[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 151(5): 174–179.
- [90] Du Y Q, Chen Q S, Lam J S L, et al. Modeling the impacts of tides and the virtual arrival policy in berth allocation[J]. Transportation Science, 2015, 49(4): 939–956.
- [91] Imai A, Yamakawa Y, Huang K C. The strategic berth template problem[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2014, 72(12): 77–100.
- [92] Mauri G R, Ribeiro G M, Lorena L A N, et al. An adaptive large neighborhood search for the discrete and continuous berth allocation problem[J]. Computers and Operations Research, 2016, 70(6): 140–154.
- [93] Demir E, Burgholzer W, Hrusovsky M, et al. A green intermodal service network design problem with travel time uncertainty[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2016, 93(11): 789–807.

## Port management and operations: Emerging research topics and progress

WANG Fan<sup>1</sup>, HUANG Jin-jia<sup>1</sup>, LIU Zuo-yi<sup>2</sup>

1. School of Business, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Department of Management Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China

**Abstract:** China has the largest share of container throughput in the world. The initiatives of domestic economic strategy of the “Silk Road Economic Belt” and “21<sup>st</sup> Century Maritime Silk Road” (jointly referred to as “One Belt One Road”) have brought new opportunities to Chinese ports. Port management and operations involve optimization for single or multiple resource allocation from the perspective of the port, collaborative behavior and mechanism from the perspective of port groups, and collaborative behavior and mechanism among ports, carriers and shippers from the perspective of maritime supply chain. This paper shows the critical role of Chinese ports in the global maritime logistics and reviews literature on port management and operations in recent decades. Furthermore, this paper points out current research limitations considering the practical issues in China. The goal of this paper is to emphasize the necessity and importance of certain research areas, and to suggest more research efforts on potential hot topics.

**Key words:** port management and operations; resource allocation optimization; port group; maritime supply chain

附录 国家自然科学基金管理科学部历年来在港口管理与运营领域资助的项目

附表 1 国家自然科学基金在港口管理与运营领域资助的相关项目

Appendix Table 1 Port Management and Operations Related Project supported by NSFC

年份	项目负责人	依托单位	国家自然科学基金资助项目	批准金额/万元
2016	计明军	大连海事大学	基于物联网的集装箱支线船舶与集卡动态协调调度的模型与算法研究	47
	牛 奔	深圳大学	基于复杂适应菌群优化的新型港口布局、泊位与岸吊分配联合决策	48
	刘 明	同济大学	基于分配方案的集装箱港口泊位和堆场协同优化研究	48.7
	孙晓东	华东师范大学	邮轮航线规划的影响因素、资源配置与优化策略研究	49
	鲁 渤	大连大学	基于空间经济理论的港口物流需求预测与我国港口产能过剩对策研究	51
	林良才	南京大学	运输服务联合采购问题的研究	49.3
	韩 兵	大连海事大学	基于协同学理论的自贸区港口产业链协同优化及对策研究	19
	陈江行	上海交通大学	自动化码头箱区堆垛机调度优化问题	17.4
	韩笑乐	同济大学	基于鲁棒性集成模板和动态响应模式的集装箱码头资源分配建模与优化研究	17.5
	孙 彬	天津理工大学	基于多自主体的集装箱多式联运协调与协同优化研究	17.4
	薛召杰	深圳大学	不确定装卸货时间下的集装箱甩挂运输鲁棒优化研究	18.5
	朱文斌	华南理工大学	基于统计预测的多集装箱装载问题优化决策研究	17.4
	陶宁蓉	上海海洋大学	多规格大型工件堆场的动态堆位布局与作业调度方法研究	17.4
	郑建风	大连海事大学	基于克拉运河的枢纽港竞争与班轮航线设计研究	17.4
刘 南	浙江大学	中韩“腹地—港口—港口—腹地”集装箱调度与风险管理研究	5	
2015	杨忠振	大连海事大学	港口管理与运营的理论与方法	260
	王 帆	中山大学	港口管理与运营的理论与方法	260
	梁承姬	上海海事大学	大型集装箱港口装卸设备系统运作耦合协调模型研究	61
	张灿荣	清华大学	考虑不确定性的港口资源调度问题研究	59
	谭志加	华中科技大学	基于航道通过能力空间异质性的内河港口竞争与合作研究	60
	刘 南	浙江大学	非常规突发事件下港口—腹地物流运输网络弹性的测度与优化研究	60
	吕 靖	大连海事大学	国际海运通道安全评价研究	60
	胡志华	上海海事大学	自动化集装箱码头装卸作业的时空同步策略与优化方法	60
	张瑞友	东北大学	基于多资源视角的柔性任务集装箱接驳( Drayage) 运输的调度方法研究	56
	马华伟	合肥工业大学	基于物联网的集装箱甩挂运输协同机制与动态调度方法研究	60
	白瑞斌	宁波诺丁汉大学	随机运输服务网络设计场景树压缩及应用研究	60
	镇 璐	上海大学	生产与服务运作管理优化	100
	赵宇哲	大连海事大学	面向自贸区的轴—辐式海运网络优化与对策研究	22
	陈 康	大连海事大学	多方博弈下的沿海集装箱水运网络优化研究	21
	金建钢	上海交通大学	基于系统复原式策略的集装箱码头运作干扰管理	20
	徐 宙	香港理工大学深圳研究院	运力过剩下的航运服务网络设计问题	23
闫 芳	重庆交通大学	基于竞合关系的不确定运输服务采购决策研究	21	
甘 蜜	西南交通大学	考虑交通拥堵和低碳经济均衡的内陆港区域物流网络设计研究	22	
2014	毛保华	北京交通大学	多式联运物流运营管理	280
	张 煜	武汉理工大学	不确定集港环境下班轮航线的动态配载决策方法研究	56
	王 诺	大连海事大学	边远群岛海运物流网络的构建与优化——以三沙市为应用背景	54
	杨华龙	大连海事大学	基于收益管理的集装箱班轮运输动态定价问题研究	54
	陈 超	大连海事大学	时空三维 O-D 货流矩阵下的集装箱班轮航线多层规划集成设计研究	47
	徐 奇	大连海事大学	港口集疏运体系下的集装箱甩挂运输组织优化研究	20
	余明珠	深圳大学	基于多维博弈的区域港口群双层竞合策略研究	19
	丁 一	上海海事大学	集装箱港口多阶物流系统作业成本控制研究	18.5
贾 鹏	大连海事大学	我国集装箱运输业空箱资源优化配置研究	21	

年份	项目负责人	依托单位	国家自然科学基金资助项目	批准金额/万元
2013	金 淳	大连理工大学	考虑行为的港口物流作业多 Agent 分布式仿真优化研究	55
	匡海波	大连海事大学	低碳港口形成机理和评价模式研究	58
	张 戎	同济大学	国际集装箱运输链选择行为模型与应用研究	53
	曹瑾鑫	内蒙古大学	先进的集装箱港口物流系统仿真与优化方法研究	35
	孙晓东	华东师范大学	邮轮港口的腹地划分、竞争力评价与空间协同研究: 理论模型与中国实证	21.5
	徐 亚	南开大学	不确定环境下多码头泊位的联合应急调度研究	22
	张 燕	大连海事大学	集装箱班轮联盟的航线网络优化与合作机制博弈研究	20
2012	靳志宏	大连海事大学	基于混合流水作业组织的集装箱码头集疏运资源调度同步化研究	38
	沙 梅	上海海事大学	不确定环境下集装箱码头物流运作能力仿真建模与动态评估	40
	杨 斌	大连海事大学	能耗约束下港口物流网络的空间协同模式与调整策略	42
	王爱虎	华南理工大学	共享腹地港口群国际物流系统网络复杂性及优化方法研究	45
	陈秋双	南开大学	集装箱绿色航运供应链的协调机制与协同优化调度研究	41
	王 帆	中山大学	发货人和运输公司之间运输服务采购新方法论的研究	40
	茆道方	上海海事大学	高能效模式下的集装箱码头核心资源分配研究	20
	吉阿兵	复旦大学	区域集装箱港口的竞争策略研究	21
	周鹏飞	大连理工大学	预约机制和物联网环境下的集装箱堆场箱位优选干扰管理模型与算法	20
	张灿荣	清华大学	考虑集装箱翻倒的场地位置分配研究	20.5
2011	计明军	大连海事大学	集装箱码头与船舶协调配载的优化模型与算法研究	27.5
	梁承姬	上海海事大学	大型集装箱港口堆场系统分解-协调模型研究	27
	周伟华	浙江大学	运输网络中考虑空载运输成本的收益管理研究	26
	张瑞友	东北大学	物联网环境下信息实时更新的集装箱调运模型与优化方法研究	17.7
	葛冬冬	上海交通大学	枢纽港选址及相关问题的算法设计	17.6
	曾庆成	大连海事大学	危险化学品水路运输事故应急管理的仿真模型研究	17.7
2010	杨华龙	大连海事大学	集装箱多式联运服务组合拍卖机制设计与优化模型研究	25
	胡文斌	武汉大学	港口物流系统复杂离散调度异常检测及调度失效控制策略	18
	郭东军	中国人民解放军理工大学	港口城市地下集装箱运输系统可持续发展优势量化研究	19
	杨静蕾	南开大学	港口群和城市群的协同发展研究	15
	卜 雷	同济大学	具有时空约束的联运货物中转换装决策理论与方法	17
2009	匡海波	大连海事大学	中国港口投资优化决策理论及风险预警研究	23
	孙俊清	天津理工大学	基于多智能体的集装箱码头物流运作系统的优化	25
	江志斌	上海交通大学	集装箱区域运输的协作管理: 优化模型和决策系统	25
	陈 璐	上海交通大学	基于多资源协同优化的港口集装箱堆存位置决策及装载作业调度	17
	石 宁	中山大学	不确定环境下的多港口集装箱调度优化问题	20
2008	陈秋双	南开大学	集装箱码头的扰动管理与优化调度	20
	卜祥智	汕头大学	基于顾客选择行为的班轮运力分配与定价策略研究	17
	刘恩专	天津财经大学	国家综合配套改革试验区与自由贸易港建设	8
2006	金 淳	大连理工大学	综合交通体系下港口物流协调的 HLA 仿真优化方法研究	17
	汪传旭	上海海事大学	区域港口合作竞争策略及其供应链二级物流随机网络优化研究	16
	计明军	大连海事大学	集装箱多式联运系统协调调度问题研究	17
2004	丁以中	上海海事大学	集装箱港口局部物流网络装卸设备资源配置研究	14
2003	武振业	西南交通大学	不确定环境下集装箱的分派和路径模型研究	14
	施 欣	上海海事大学	航运对长江流域水环境的影响调控机制的基础研究	13
2000	朱晓宁	北京交通大学	集装箱多式联运通道规划理论及应用研究	8.7