

前 言

港口是经济社会发展的战略资源和关键支撑。目前,我国港口建设出现了“小港求大,大港求巨”、港口间协同运作机制不畅、整合乏力等问题。这些问题制约着我国现代高端港口服务业的发展,也阻碍了我国港航产业国际竞争力的持续提升。

港口群的资源整合是优化区域港口产业结构、实现港口协同效应的重要途径,也是我国化解港口过剩产能和优化港口资源配置的重要举措。港口群的整合可以有效增强港口间的联系,构建分工合理、有序竞争的港口群格局,推进区域港口一体化发展,实现区域港口群的提质增效,契合国家战略实现互联互通的内在需求,对于调整港口服务空间格局、建设国际一流港口、推动海洋强国建设及促进经济社会发展具有重要意义。

在对接现阶段港口群供给侧结构性改革需求与加快推进整合背景下,本书从区域港口群协同运作优化入手,综合运用博弈论、网络优化、运筹优化等理论与方法,从港口群协同运作机制、港口群物流网络优化、港口群设施设备资源运营优化、港口群信息系统整合等方面入手,对我国区域港口群整合过程中以及整合后协同运作的优化及相关问题进行探讨,明确港口群协同运作优化的内涵,以及港口群协同运作优化技术的实施路径,体现出定性与定量相结合、模型自动化与专家判断相结合的研究特色,为助力国家港口群整合与一体化提供支持。第1章,科学界定我国区域港口群协同运作的内涵,明确我国区域港口群协同运作优化的关键问题;第2章,基于港口竞合博弈理论,探究港口群供应链运营管理的协同优化路径;第3章,基于网络优化理论,实现港口群航线网络与集疏运网络的优化;第4章,针对港口岸桥、泊位、场桥、堆场、集卡、人员动态决策问题,构建基于数据驱动的港口群多维资源整合决策优化模型;第5章,解决港口群如何基于新一代信息技术,加快推进整合背景下的港口群信息化建设;第6章,完善港口群整合评价的相关模型及方法,对我国区域港口群整合效果进行评价;第7章,从港口群物流网络、港口群协同运营、港口群供应链协同等角度,为加快建设交通强国提出相应的政策建议。

当前,区域港口整合在我国方兴未艾,区域港口整合的改革效果也有待时间

的进一步检验。但不可否认的是，区域港口整合是我国沿海沿江各省、自治区、直辖市在港口产业发展到一定阶段所开展的宝贵探索和有益实践。目前，我国区域港口整合表现出时代性、普遍性、渐进性、差异性和混合性。受国内外多方面因素的影响，未来港口产业发展动能存在一定的不确定性，加上区域港口整合本身具有复杂性，本书所研究的问题值得持续关注。

本书是国家社会科学基金重大项目——我国区域港口群的优化整合与环境协调策略研究(20&ZD129)的成果。

限于作者水平，本书难免存在不足之处，敬请各位读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 引言	1
1.1 港口群发展现状与趋势	1
1.1.1 我国港口产业发展现状	1
1.1.2 区域港口群整合的必要性	1
1.1.3 区域港口群协同运作优化的必要性	3
1.2 港口群协同调度与整合优化机制	4
1.2.1 港口群物流系统协同运作机制	5
1.2.2 港口群多维资源整合优化	6
1.2.3 港口群资源整合效果评价	7
1.3 研究思路与框架	7
参考文献	8
第 2 章 港口群协同运作机制	9
2.1 引言	9
2.1.1 港口供应链的相关研究	10
2.1.2 港口合作机制和联盟博弈相关研究	10
2.1.3 港口供应链协同运作机制的相关研究	11
2.1.4 理论评述	12
2.2 相关理论基础	13
2.2.1 港口与港口群的供应链协同	13
2.2.2 港口合作联盟博弈理论	17
2.2.3 港口物流服务供应链协调与优化	19
2.3 基于利益协同的港口群合作联盟博弈	22
2.3.1 港口群合作联盟博弈模型	22
2.3.2 港口群合作联盟博弈算例	26
2.4 基于利益分配的港口群供应链协同运作机制	30
2.4.1 港口群供应链的委托代理关系	31
2.4.2 委托代理相关角色和参数定义	31
2.4.3 港口群供应链的委托代理模型	34

2.4.4 港口群供应链协同运作机制	36
2.4.5 港口群供应链协同算例	39
参考文献	44
第3章 港口群物流网络优化	46
3.1 引言	46
3.1.1 港口腹地相关研究	46
3.1.2 港口集疏运体系相关研究	48
3.1.3 港口航线资源运营优化相关研究	50
3.1.4 理论评述	51
3.2 港口腹地资源优化整合	52
3.2.1 港口腹地理论	52
3.2.2 模型与求解方法	56
3.2.3 算例分析	66
3.3 港口群集疏运体系运营协同运作优化	73
3.3.1 港口群集疏运体系理论	73
3.3.2 模型与求解方法	76
3.3.3 算例分析	84
3.4 港口群航线资源运营优化	88
3.4.1 港口群航线规划理论	88
3.4.2 港口群航线规划优化算法	91
3.4.3 算例分析	99
参考文献	103
第4章 港口群设施设备资源运营优化	106
4.1 引言	106
4.1.1 堆场的相关研究	106
4.1.2 水平运输设备的相关研究	107
4.1.3 场桥的相关研究	107
4.1.4 泊位的相关研究	109
4.1.5 岸桥的相关研究	109
4.1.6 空箱的相关研究	110
4.2 港口群堆场空间资源运营优化	111
4.2.1 港口群堆场空间资源运营优化问题界定	112
4.2.2 参数定义与模型构建	114
4.2.3 两阶段启发式算法设计	118
4.2.4 算例分析	122

4.3 港口群水平运输设备运营优化	126
4.3.1 港口群水平运输设备协同运营优化问题界定	126
4.3.2 参数定义与模型构建	129
4.3.3 算法设计	139
4.3.4 算例分析	141
4.4 港口群场桥资源运营优化	144
4.4.1 场桥资源调度理论	145
4.4.2 港口群场桥资源调度方法	145
4.4.3 算例分析	150
4.5 港口群泊位资源运营优化	152
4.5.1 港口群泊位分配问题界定	154
4.5.2 模型假设与模型构建	156
4.5.3 基于准入准则的禁忌搜索算法设计	159
4.5.4 算例分析	165
4.5.5 本节小结	171
4.6 考虑船舶排放的港口群泊位-岸桥资源协同运营优化	173
4.6.1 考虑船舶排放的港口群泊位-岸桥资源协同运营优化问题描述	176
4.6.2 模型假设与模型构建	178
4.6.3 基于遗传算子和植物生长算子的混合粒子群优化算法设计	183
4.6.4 算例分析	193
4.6.5 本节小结	196
4.7 港口群人力资源规划运营优化	197
4.7.1 港口群人力资源规划理论	197
4.7.2 港口群人力资源规划优化算法	198
4.7.3 算例分析	203
4.8 港口群空箱资源运营优化	210
4.8.1 港口群空箱调度理论	212
4.8.2 港口群空箱调度优化模型	214
4.8.3 基于动态规划与马尔可夫决策的组合算法设计	218
4.8.4 数值实验与灵敏度分析	222
参考文献	229
第 5 章 港口群物流供应链信息系统资源整合优化	233
5.1 引言	233
5.2 相关理论基础	236
5.3 港口群物流供应链信息系统主要功能模块设计	239

5.3.1	港口群物流供应链信息系统总体结构概述·····	239
5.3.2	港口群物流供应链信息系统核心需求模块阐述·····	240
5.3.3	港口群子系统、模块之间数据集成与传输的技术支持·····	244
5.3.4	核心功能模块优化与信息系统改进·····	245
5.4	港口群物流供应链信息系统资源整合战略规划·····	249
5.4.1	信息化总体规划·····	249
5.4.2	设计港口集团应用架构·····	251
5.4.3	信息化建设实施保障·····	254
	参考文献·····	255
第 6 章	港口群资源整合效果评价·····	257
6.1	引言·····	257
6.2	评价方法与模型·····	258
6.2.1	基于 Malmquist 指数的港口群整合资源配置效率评价模型·····	258
6.2.2	基于属性论的港口群资源整合能力评价·····	261
	参考文献·····	263
第 7 章	区域港口群协同运作优化对策建议·····	264
7.1	区域港口群物流网络优化对策建议·····	264
7.2	区域港口群协同运营优化对策建议·····	265
7.3	区域港口群供应链协同优化对策建议·····	266
	参考文献·····	267

第 1 章 引 言

港口群是指为吸引腹地提供货物运输和装卸服务，发展规模和性质既相互制约又相互依存，地理位置彼此相邻或相近的一组港口的空间组合形成的港口地域组合。在全球经济一体化的进程中，港口群已成为区域参与全球经济合作和竞争的重要战略资源。港口群的协同不仅能促进区域经济和对外贸易的发展，而且能优化区域产业布局与区域资源配置。

1.1 港口群发展现状与趋势

结合当前世界港口发展趋势以及我国港口发展现状，进行区域港口群整合和协同运作优化是十分必要的，对我国港口产业以及经济发展具有重要意义。

1.1.1 我国港口产业发展现状

随着全球经济一体化的不断推进，国际贸易运输量持续增长，海洋运输因其运费低、可借助天然航道进行、不受道路与轨道的限制、通过能力更强、可以随时调整和改变航线来完成运输任务等优点在国际货物运输中占据重要地位。近年来，我国港口产业发展呈现稳步上升的趋势。2021 年，全国港口的货物吞吐量达到 155.5 亿吨，同比增长 6.8%；集装箱吞吐量 2.8 亿 TEU^①，同比增长 7%。

港口作为连接海洋运输和陆路运输的交通运输枢纽，是当今经济社会发展的战略资源和重要支撑，也是推动区域经济发展不可或缺的基础设施。在全球经济贸易联系日益增强、区域发展协同推进的背景下，我国致力于通过高层次对外开放促进高质量发展，而港口作为本地区与外界货物和信息交换的重要载体，已经成为对外开放的主要门户，对于推动海洋经济发展、建设海洋强国意义重大。港口产业的蓬勃发展，不仅有利于港口多元化业务的开拓，也能够促进海内外城市间的贸易往来，支撑国内外供应链平稳运行，助力畅通国内国际双循环。

1.1.2 区域港口群整合的必要性

伴随港口经济的发展，区域内各港口无序扩张、重复建设、各自为政、恶性

^① TEU(twenty-foot equivalent unit)，以长度为 20ft(1ft=3.048×10⁻¹m)的集装箱为国际计量单位，也称国际标准箱单位，通常用来表示船舶装载集装箱的能力。

竞争的现象日益突出,严重影响了区域港口群的竞争力,造成港口产能过剩等问题,制约了港口产业的高质量发展。为此,近年来我国积极推动区域港口群整合,将过去“一城一港”的治理模式逐渐转变为“一省一港”,从而实现港口资源的合理配置与港口规模效益的充分释放。在港口整合浪潮下,港口逐渐向大型化、集约化、专业化方向发展,港口资源配置效率逐渐增强,港口竞争力、影响力逐步提升。区域港口群资源整合已经成为新时期港口产业高质量发展的重要方向。

区域港口群资源整合具有以下必要性。首先,港口整合是优化资源配置、提高区域港口竞争力的重要手段。世界港口的分布规律表明,200km 以内不应建有同等规模的港口,而我国沿海地区却形成了以共享腹地为特征的平均每 50km 就建有一个 1000t 级以上规模的港口群体,同时邻近区域的港口还存在着功能结构相似、腹地重叠的问题,由此导致了邻近港口间结构性产能过剩严重、过度竞争等问题,对港口产业的发展造成了不利影响。港口整合是针对区域内腹地重合、功能结构相似的港口,通过行政和市场等手段,实现区域港口不同程度的一体化合作和经营,构建分工合理、有序竞争的港口产业布局,促使港口群资源实现有效配置,从而更好地发挥港口群的竞争优势,实现港口群的高质量可持续发展。其次,港口群的优化整合是港口升级转型的重要途径。目前,港口仍存在服务能力不强、功能单一、主营业务以传统的基础服务为主、商贸与物流等服务功能较弱的问题。通过港口整合构建良好的区域港口产业结构布局,优化完善港口功能,实现港口群统一规划、优势互补,可以有效减少港口间的竞争消耗,港口企业可以更好地培育自身的核心能力,实现供应链的不断优化、创新,从而达到升级转型的目的。

区域港口一体化与港口整合一直是国家关注的焦点问题,为此交通运输部出台了一系列政策来支持区域港口的资源整合。2011 年 11 月,交通运输部出台的《关于促进沿海港口健康持续发展的意见》提出:继续推进港口结构调整与资源整合。2014 年 12 月,交通运输部印发的《关于全面深化交通运输改革的意见》再次提出:深化港口管理体制改革。理顺港口管理体制,推动港口资源整合,促进区域港口集约化、一体化发展。2017 年 5 月,交通运输部制定实施《深入推进水运供给侧结构性改革行动方案(2017—2020 年)》,该方案明确指出:制定推进区域港口一体化发展的意见。2018 年 1 月,交通运输部召开 2018 年第 1 次部务会议,会议强调,要以加快重点港口工程建设为抓手,推进区域港口资源整合,推动航运中心、自由贸易港建设,全力推进港口建设发展,为深化交通运输供给侧结构性改革、建设交通强国打好坚实基础。当前,新时期的国家战略对港口的发展建设提出了更高的要求。2021 年,《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确要求“加快建设世界级港口群和机场群”“推进港口群一体化治理”。由此可见,港口整合与一体化发展已经成为我国重要的战略目标。在我国第二个百年建设的新起点,面对日益复杂的国际大环境,我国的港口更应遵循港口发展的规

律,构建以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局,提高综合服务能力,推动我国港口向集约化、专业化方向发展。

目前,辽宁、山东、江苏、江西等十个省份已经建立了省级港口集团,其他省份也在积极酝酿省内港口整合的发展方向,“一省一港”的发展趋势逐渐凸显。受地理环境、地方政策、港口发展历史的影响,不同省份、区域的港口整合实践在整合模式、整合速度、整合效果上存在差异性。在各区域港口群的整合背景下,探索、完善区域港口群的协同运作机制,优化提升区域港口群的运营效率,进而提高区域港口群的国际竞争力,赋能港口产业形成发展新格局,是当前港口整合亟待解决的问题。

1.1.3 区域港口群协同运作优化的必要性

港口管理与运营(即港口运作)的理论与方法一直受到国内外学者的关注。在运营层面,港口管理与运营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;在战术层面,港口管理与运营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;在战略层面,港口管理与运营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(邵言波和邵羽冰, 2023)。

从单一港口维度看,港口管理与运营过程涉及泊位、岸桥、堆场、集卡、人力资源等多个港口运营资源,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研究的热点问题。另外,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,更加贴合实际。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(Chen et al., 2020)。

从港口群维度看,运营层面港口群服务资源配置优化、战术层面港口群运输网络设计以及运输模式选择以及战略层面港口与港口间协作行为和机制是学者关注的热点(Guo et al., 2021; Yu et al., 2022)。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服务资源,及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,其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,港口与港口间的协作行为和机制的研究主要是指枢纽港和枢纽港协作与竞争的关键要素及其相互关系的分析,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中。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热点(Hintjens et al., 2020; Ma et al., 2021)。目前,海运供应链中港口的选择、港口与承运方之间的协作方式、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与方法被广泛应用于与海运供应链相关方面的研究中。

目前,我国区域港口群整合主要是在战略层面推进,即港口间通过交叉持股或资产注入的形式进行资产重组,通过成立省级港口集团公司等形式实现区域内各港口财务层面的整合统一,进而达到港口整合的目的,这在一定程度上有利于避免区域港口的同质化竞争,减少重复建设,促进协同发展。但目前对整合后区域港口群的协同运作优化缺乏系统性的研究和实践(蔡鹏, 2021)。受制于各港口信息系统不同、信息流通阻碍等因素,在实际的运营管理过程中仍然存在着区域内港口各自为战、缺乏协同运作的问题,这极大地阻碍了区域港口群国际竞争力的提高,导致港口生产要素利用率不高、区域港口群协作不足、港口产能过剩及产业效益提升滞缓等问题。目前,国内外对港口群协同运作管理的研究成果较少,而且为了计算方便,对模型做出了较多假设与简化,使得研究成果距离市场落地应用仍有较大的差距,有待进一步研究与完善。

为此,需要对我国区域港口群协同运作优化开展研究,不仅定性地进行分析论证,还要将区域港口群看作一个系统,进行定量技术优化,从而实现资源整合,解决实践中存在的区域内港口之间形式上统一、但实际上各自为政的问题,对港口群资源进行智能系统调配,制定合理高效的港口群协同作业计划,进而提高港口群的运营效率与整体服务质量,促进港口群协同发展,提升港口群的经济效益、环境效益和社会效益,助力港口产业转型升级。此外,通过对区域港口群协同运作优化的研究,实现对港口之间资源协同计划,解决港口群的集成运作管理问题,为未来开发港口群管理信息系统奠定了理论基础和技术支撑。

1.2 港口群协同调度与整合优化机制

区域港口群作为港口的整合规划,是我国货物进出口的重要作业窗口。构建港口群内良性、统一的协同运作机制和高效的协同调度方法,是当前港口管理与航运经济领域亟待解决的关键问题(王琪等, 2022)。一方面,这种协同运作涉及内陆运输服务供应商、多个港口管理决策者、航运(海运)公司等多个利益主体;另一

方面,涉及港口内部泊位、岸桥、集卡、空箱、堆场、人力、信息等多种作业资源与港口外部集疏运体系、航线网络的协同优化配置。本书通过对区域港口群进行协同运作优化,提升区域港口群的整体运营效率和综合效益。具体而言,主要解决港口群物流系统协同运作机制、港口群多维资源整合优化、港口群资源整合效果评价等关键问题。

1.2.1 港口群物流系统协同运作机制

针对港口群物流系统协同运作机制问题,从战略层面,在横向上研究港口与港口之间的协作行为和机制,在纵向上研究港口与海运供应链各利益相关者之间的协同运作机制;从战术层面,对港口群多模式运输物流网络设计优化进行研究,包括港口腹地资源优化整合、集疏运体系运营优化、航线资源运营优化。

在横向上,港口群协作行为和机制问题本质上是指枢纽港与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。随着航运业的快速发展,港口的互联互通尤为重要,需要构建完善的港口合作机制,主要包括利益分配与利益补偿,以港口资源整合的效益提升为突破口,平衡区域港口群的各港口利益,从而形成深度融合、协同集成运营的区域港口集团。在纵向上,港口是海运供应链的一部分,会给链条上下游利益相关主体传递价值,提供增值服务,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(谭志加等,2022)。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、托运方三者之间的协作行为和机制。目前,对于港口群协作行为与机制的研究主要应用案例研究、统计分析、博弈理论及其他经济学理论与方法,本书在回顾港口合作联盟博弈理论、港口物流服务供应链协调与优化理论的基础上,基于利益协同展开港口群合作联盟博弈研究,基于利益分配展开港口群供应链协同运作机制研究,以期解决区域港口群产业链、供应链的协同运作机制问题。

港口群多模式运输物流网络设计优化问题本质上是对港口间的资源要素(如腹地、船队、航线、航速设置、多式联运、物流网络等)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。本书首先介绍港口腹地理论,对港口群背景下的腹地物流需求进行预测,并在区域港口群整合后的腹地范围内进行划分,建立腹地划分模型,以我国珠江三角洲(简称珠三角)港口群的五个主要港口为例进行算例分析;随后构建港口群集疏运网络布局模型,以港口集疏运系统总费用最少为目标进行求解;最后回顾港口航线规划理论,考虑船队调度、航速优化、航线频次设计、货物分配等环节,对班轮服务网络设计进行优化,以期解决区域港口群物流网络优化问题。

1.2.2 港口群多维资源整合优化

港口群运营资源配置优化是港口群协同运作的基础,主要涉及泊位分配、岸桥调度、堆场管理、场桥调度、港口水平运输设备指派问题、人力资源排程等资源配置问题,针对单个港口的资源配置优化已有大量研究成果(Liu et al., 2021)。

泊位分配问题(berth allocation problem, BAP)就是针对给定的泊位布局以及一组要在规划期内提供服务的船舶,制定泊位分配计划,为船舶及码头提供准确的船舶到港时间、船舶停靠位置及停靠时间。针对区域港口群的泊位分配问题,从整体角度以区域内多个港口的泊位分配问题为研究对象,构建多港多泊位联合调度模型,研究多个港口泊位联合调度的泊位调度方法,从而提高整个系统的集装箱转运速度。

岸桥作为码头前沿的重要装卸设备,为到港船舶提供集装箱装卸服务。关于岸桥调度的研究,主要可分为岸桥分配问题(quay crane assignment problem, QCAP)和岸桥调度问题(quay crane scheduling problem, QCSP)。岸桥分配问题类似于指派问题,是根据已有的靠泊计划,为靠泊的船舶分配合理的岸桥,在满足船舶装卸要求的同时,最小化岸桥的启动次数、水平移动时间以及作业时间,最大限度地减少岸桥生产率的损失,降低码头的作业成本。岸桥调度问题是在岸桥分配的基础上,根据船舶的配载计划,考虑岸桥的起始作业位置、岸桥在贝位之间的移动、岸桥的作业量等(胡中奇, 2020)。针对区域港口群的泊位-岸桥协同优化问题,在考虑港口整合与港航合作的背景下,与船舶航速进行协同决策,以最小化船舶在港延误时间和船舶碳排放量(以船舶油耗为指标)为目标建立模型,设计粒子群优化算法对模型进行求解,系统地制定船舶航速和港口岸边作业计划,在提高港口群运营效率的同时,降低对环境的影响。

堆场是集装箱港口的缓冲地带,港口堆场资源的合理优化对于港口的运行效率有着极大的影响。堆场中的空间资源主要是指堆场中能够放置集装箱的空间位置,包括堆场的贝位资源和箱位资源。传统的港口堆场空间优化问题就是运营商根据港口的实际情况,依据设定的目标和企业的经营理念,按照事先确定的规则,对堆场空间进行合理有效的分配和优化,实现资源和空间的有效利用。

港口水平运输设备包括港区内部运输设备以及港区外部运输设备。目前我国集装箱港口大都采用集卡作为水平运输设备(贾鹏等, 2023),此外,在自动化和半自动化港口中还采用自动导引车(automated guided vehicle, AGV)等运输设备进行水平运输。从构成来看,作为港口群物流中的重要组成部分,水平运输物流系统在整个港口群物流中起着关键的连接作用,是在各港口间以港口各部分间集装箱进行转移的主要承载者。传统的港口水平运输资源优化调度问题包括集卡调度问题、场桥调度问题等,在多港口资源整合背景下,该问题还可延伸为多港口地区多式联运运作方案优化问题。在港口群水平运输上实行协同运营管理,一方面是

应对外部压力加大的要求,随着港口数量的增多,港口之间已经进入充分竞争阶段,在区域中不再像过去那样具有自带的垄断性,通过对运输设备等硬件设施与信息进行共享,可降低港口群整体的运营成本;另一方面协同运营更是解决各个港口间无序竞争、优化资源配置的方法,也是社会发展的需求。

人力资源规划是指基于港口战略发展规划,通过对未来较长一段时间内人力资源需求与供给的分析、预测等,对港口人力资源管理相关职能内容进行计划与安排,实现企业人力资源数量、结构、质量等方面的优化配置,并致力于为实现发展战略目标提供最为优秀的队伍支撑。这对于提高港口作业效率,提升港口作业安全性,进而提升港口竞争力与影响力具有重要的意义。当前,专业化已经成为港口建设的重要要求,而这又对港口作业人员的专业素养提出了更高的要求。

1.2.3 港口群资源整合效果评价

港口群资源整合是一个复杂的系统工程,整合的最终效果会受到多方面因素的影响。此外,港口群资源整合也是一个长期持续的过程,有必要对港口群资源整合各阶段的整合效果进行把控,明确现有的整合措施对港口群资源整合效果的影响,从而为下一步港口群资源整合计划的调整与优化做准备。现有相关文献主要围绕港口群资源整合投入、产出效果进行评价,基于系统动力学的港口群资源整合因果反馈机制、基于生产函数模型的港口群整合前后的资源配置效率等展开研究。港口群资源整合效果的提升可以体现在多个方面,包括资源配置效率的提升、整合后系统的稳定性以及整合过程的推进情况等(邓剑虹等, 2022)。选取合适的港口群资源整合效率测算的输入、输出指标,构建合理的港口群资源整合效果评价指标体系,确定合理的港口群资源整合效果评价方法对于系统全面地评价港口群资源整合的效果,进而指导港口进一步整合方案的优化具有重要的意义。本书的研究内容涵盖了港口群资源整合的全方面与全流程协同。

1.3 研究思路与框架

本书沿着“科学问题界定-协调机制分析-整合效果评价-政策理论构建”的思路对我国港口群资源整合背景下的港口群协同运作问题进行研究,对港口群协同运作机制与协同运作路径进行分析,从而为港口群资源整合进程中以及港口群资源整合完成后区域内港口协同运作效率的提升提供理论依据。港口群资源整合是港口协同运作的保障和前提,只有实现了运作的协同才能从业务层面实现港口群的高水平整合。本书对港口群资源整合全流程中的协同运作问题进行研究,综合运用定性分析和定量分析的方法,对港口群实现资源优化整合与运作协同发展路径进行研究。

本书首先对港口群资源整合背景下的港口群协同运作优化研究的必要性进行

分析,科学界定港口群协同运作优化的内涵,明确港口群协同运作的关键问题。其次从协同运作机制、物流网络、设施设备资源运营、信息系统资源整合等四个层面进行分析:在协同运作机制方面,基于港口竞合博弈理论,对港口群供应链协同运作机制进行研究,为推动港口群供应链的协调与优化、港口群协同运作服务质量的提升提出可行路径;在物流网络方面,从港口腹地资源优化、港口群集疏运体系优化、港口群航线网络优化的角度,对港口群物流网络优化进行研究;在设施设备资源运营方面,对港口群整合背景下的港口场桥、岸桥、堆场、人力资源、集卡等多维资源联合优化调度方案进行研究;在信息系统资源整合方面,对港口群资源整合背景下的港口群物流供应链信息系统资源整合优化路径进行研究。再次本书对港口群资源整合效果评价指标体系与评价方法进行研究,并对我国区域港口群资源整合效果进行实证分析。最后为我国区域港口群协同运作优化提出政策建议。

参 考 文 献

- 蔡鹏. 2021. 环渤海地区港口竞争格局变化分析[J]. 珠江水运, 1: 38-40.
- 邓剑虹, 徐传谔, 周维良. 2022. 双循环新发展格局下港口腹地时空演变机理——以粤港澳大湾区港口群为例[J]. 中国流通经济, 36(1): 20-32.
- 胡中奇. 2020. 基于禁忌搜索算法的多港多泊位联合调度优化研究[D]. 深圳: 深圳大学.
- 贾鹏, 马奇飞, 邬桐, 等. 2023. 一体化运营模式下中国区域港群效率研究[J]. 科研管理, 44(4): 112-126.
- 邵言波, 邵羽冰. 2023. “一带一路”中国沿线主要港口碳排放效率评价研究[J]. 经济问题, 5: 22-30.
- 谭志加, 曾宪扬, 孟强. 2022. 多式联运网络环境下的内河港口托运人选择分析[J]. 系统工程理论与实践, 42(5): 1391-1401.
- 王琪, 韦春竹, 陈炜. 2022. 中国港口群内部格局与参与全球航运网络联系分析[J]. 人文地理, 37(1): 181-192.
- Chen J H, Li H Q, Zheng T X, et al. 2020. Network evolution of logistics service effect of port infrastructure in coastal china[J]. IEEE Access, 8: 46946-46957.
- Guo L Q, Ng A K Y, Jiang C M, et al. 2021. Stepwise capacity integration in port cluster under uncertainty and congestion[J]. Transport Policy, 112: 94-113.
- Hintjens J, van Hassel E, Vanelander T, et al. 2020. Port cooperation and bundling: A way to reduce the external costs of hinterland transport[J]. Sustainability, 12(23): 9983.
- Liu B L, Li Z C, Sheng D, et al. 2021. Integrated planning of berth allocation and vessel sequencing in a seaport with one-way navigation channel[J]. Transportation Research Part B, 143: 23-47.
- Ma Q F, Jia P, She X R, et al. 2021. Port integration and regional economic development: Lessons from China[J]. Transport Policy, 110: 430-439.
- Yu J J, Tang G L, Song X Q. 2022. Collaboration of vessel speed optimization with berth allocation and quay crane assignment considering vessel service differentiation[J]. Transportation Research Part E, 160: 102651.

第2章 港口群协同运作机制

港口供应链是一个以港口企业为核心，将港口服务供应商和客户联合在一起组成的复杂大系统。从系统论来看，港口供应链本身就是一个系统，由信息流、资金流、物流组成，完成各阶段服务的生产和转化。港口供应链是一个开放的，不断与外界进行物质、信息交换的远离平衡态的系统。这是因为组成港口供应链的企业成员是理性的，他们之间存在资源、信息、技术能力等方面的不平衡，这种不平衡造成了他们之间在利益分配上的不平衡。而港口供应链上的企业会因为这种利益不平衡发生摩擦，最终导致港口供应链走向灭亡。系统作为一个整体，有着高效的有序性能力。港口供应链就是要通过系统的这种有序性能力，对港口供应链上的企业进行计划、组织、协调和控制，使港口供应链系统稳定有序进行。港口群供应链一般指的是将港口供应链上各节点企业为了共同利益而结成一个虚拟组织，组织内各节点企业通过共享技术与信息，分担费用，协调人员、资金和设备等方面，实现虚拟组织整体与组织内各节点企业的绩效最优(Qin et al., 2023)。港口群供应链是以港口企业为核心的，将群内港口企业服务供应商与客户通过公司协议和联合组织等方式结成的一种协同网络式联合体。在这一协同网络中，各节点企业和客户可以动态地共享信息、优势互补、利益风险共担、密切协作和共同发展。

根据协同论原理，系统内各子系统的协同有效程度是决定系统能否充分发挥协同效应的关键。如果各子系统为了共同的目标配合协调，那么整个系统就会产生较好的协同效应；如果各子系统为了各自利益相互冲突、摩擦，那么整个系统就难以产生较好的协同效应，还会使整个系统产生混乱无序状态。对于港口供应链，首先，协同是决定港口供应链运营管理成效的关键，只有加强港口供应链上各企业间的协调，减少冲突和摩擦，才能显现港口供应链的运营成效；其次，协同是港口供应链系统由不平衡向平衡发展的根本途径，只有港口供应链系统中各子系统之间进行协同，才能完善港口供应链内部的运营管理机制。

2.1 引言

从现有的海事物流研究文献以及港口功能的演进趋势来看，在港口群物流联动过程中，发展港口供应链是大势所趋，并且只有协同才能保证港口供应链运营

的成效。

2.1.1 港口供应链的相关研究

近年来,随着航运业的高速发展,港口在供应链中也发挥了越来越重要的作用,港口供应链是在传统港口系统中扩展出来的,这一系统能够提供港口和其他企业联系的不同通道,作为关键要素,有助于通过供应链创造竞争优势和传递增加值,从而使港口和码头供应链朝向集成化、信息化方向发展(Wang et al., 2022)。一般地,港口供应链应属于混合型供应链,供应链上各港口之间和上下游企业之间会产生激烈的竞争与合作,这就需要对港口供应链进行有效管理。例如,进行内部和外部的质量管理来提高供应链的效率,使供应链上企业之间的关系和谐;构建供应链中港口之间关系的概念模型来更好地理解港口之间的关系和动态性能,提高运输效率与港口竞争力,从而进行合理的绩效评估和港口物流服务供应链利益分配,特别地,这一利益分配也需要一定的港口供应链激励机制。正是因为有了激烈的竞争,所以在供应链环境下,各港口要进行合理的战略选择来发展和生存。例如,通过构建港口的离散选择模型,考虑供应链上利益相关者对港口发展的影响,利用供应链网络模型定位集装箱码头的战略等。除了自身的战略选择外,还需要选择供应链的合作伙伴,以此来抵御和缓和港口供应链的不确定性风险(Li et al., 2023)。近年来,随着港口整合和协调发展进程的加快,港口供应链的整合和协同运作机制也受到广泛关注,现有文献普遍从案例的实证分析、港口供应链调度的测算以及港口供应链协同分析视角进行研究。

2.1.2 港口合作机制和联盟博弈相关研究

近年来,随着航运业的快速发展,港口的互联互通尤为重要,因此必须构建完善的港口合作机制,主要包括利益分配与补偿机制,以及进行必要的港口资源整合,可将港口资源整合的效益提升作为突破口,更新价值观念以平衡各方利益,港口资源整合实现了港口经济效益的充分发挥,从而真正实现了港口资源整合的最大效益。郑俊等(2023)为探索区域港口一体化过程中各港口企业的合作关系,促进各主体在一体化进程中健康、稳定、有序发展,从区域各港口管理者及经济腹地区域的政府主管部门视角出发,分析政府与区域港口群之间的竞合博弈关系,并运用仿真软件进行动态仿真。研究表明,在政府主管部门监管行为下的三方博弈模型中,分配系数和政府政策奖惩机制的力度是影响区域港口一体化、确保政府监管落到实处的重要因素,为管理者提供了建议与参考。随着水运贸易的快速发展和集装箱港口服务与货物运输水平的提高,港口演变成区域间物资与信息交换的核心衔接点。刘宁(2023)以区域集装箱港口为主要研究对象,结合定价及利润分配的模型方法,在考虑补贴对定价的影响以及港口利润分配的影响因素下,采