

海运库存路径联合优化研究现状与展望

林诚凯

(大连海事大学 交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026)

摘要: 库存路径问题基于供应商管理客户库存策略, 运用系统思想将全局决策代替序贯决策, 具有重要的研究价值。为了推动海运库存路径问题领域研究, 本文分析了联合优化问题的考虑因素与优化目标, 归纳了该领域研究现状, 对船舶路径与调度计划、港口的库存管理以及时间窗约束进行整合研究, 并提出混合整数规划模型。海运库存路径联合优化问题的发展将拓宽供应链优化领域理论研究, 同时为企业在市场资源配置上提供更合理的决策支持。

关键词: 海运库存路径问题; 船舶路径调度; 混合整数规划模型

中图分类号: [U6-9] **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2021) 09—0023—03

为了提高市场竞争力, 许多企业将注意力从公司间的竞争转向了供应链之间的竞争。供应链管理和优化已经在各行各业被广泛研究。因此, 整合运输规划与港口的库存管理规划具有重要的研究价值。在海上运输问题中, 现有文献大多关注的船舶调度问题都是所谓的货物路径问题^[1]。在海运库存路径问题中, 计划周期内在港口的停靠次数不是预先确定的, 每次停靠港口的装货或卸货数量也没有预先确定。由于在 MIRP 问题中没有固定的取送货对, 库存管理与船舶定线和调度的结合使得 MIRP 成为一个非常复杂的问题^[2]。

在海运库存路径问题的早期研究中, 学者们关注不同的侧重点, Ronen^[3] 研究了多种产品的海运库存路径问题, 在其研究中阐明了同时考虑港口库存管理与路径优化的复杂性, 在其模型中并未考虑时间窗的约束。随着研究逐渐地深入, Fodstad^[4] 等人开发了一个决策支持系统, 该系统用于液化天然气的供应链优化。Agra 和 Papageorgiou 等^[5-6] 对海运库存路径问题进行深入研究, 考虑了在库存容量有限的多个港口之间的运输规划。

每个港口都存在着特定的时间窗范围, 用于提供装卸服务。船舶不在时间窗内到达将产生额外的惩罚成本。Al-Khayy^[7] 等人在研究中考虑带时间窗的海运库存路径问题, 通过引入等待时间的惩罚来增加调度计划的鲁棒性, 避免产生过多的船舶的闲置时间, 作者在模型中假设同一个时间段内只能有一艘船舶进行作业。为了结合现有的研究, 并充分考虑时间因素, Song 和 Furman^[8] 提出了一个新的时空网络模型, 将时间窗约束引入海运库存路径问题中。随着研究的逐渐成熟, 现有的海运库存路

径问题确定性模型趋于完善。

1 海运库存路径问题概念与分类

1.1 海运库存路径问题的概念和特点

海运库存路径问题 (Maritime Inventory Routing Problem, MIRP) 是一种特殊的库存路径问题。该问题中产品运输量较大, 并且在装货港和卸货港都有库存, 船队的路线和调度必须与生产和消费地点的库存管理同步, 确保装货开始时库存水平不高于最高库存水平, 装货结束时不低于最低库存水平。在卸货港, 必须确保相反的情况, 以避免出现船舶因无法卸货或无法装货而产生的等待成本, 以及港口因库存低于安全水平而产生的缺货损失。图 1 给出了生产港以及消费港的库存水平变化。

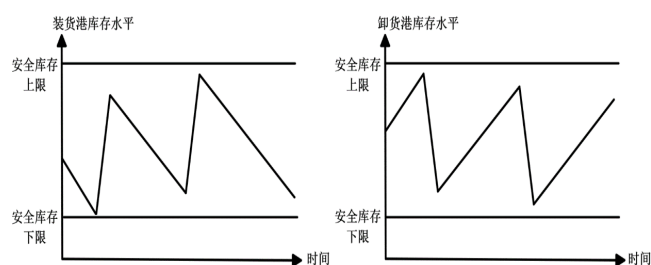


图 1 规划期某时间段内装货港与卸货港的库存水平示

1.2 海运库存路径问题的分类

总结以往对库存路径问题的研究文献, 针对海运库存路径问题特点, 总结该问题存在以下要素:

(1) 决策层次。MIRP 问题按照规划期的长短, 可分为三个层面的研究: 战略层面、战术层面和操作层面, 战略层面更关注具有长远意义的目标, 以此指导企业的发展方向和工作重心。战术层面往往是关注具体问题

最优策略的寻求。操作层面的时间跨度较短,规划期通常在3个月以内。

(2) 计划期。计划期通常可分为单周期、简单长周期与无限周期问题。单周期是将问题视为一天规划问题进行处理,而简单长周期又称为滚动周期,即下一个周期的初始状态是由上一个周期的初始状态以及决策而推导出来,并以有限周期为基础进行滚动优化。

(3) 系统层级与拓扑结构。MIRP问题中提到的拓扑结构指的是由供应港、需求港形成的网络结构,通常分为一对一,一对多以及多对多结构。

(4) 货物种类。海洋运输涉及的货物种类繁多,不同的货物属性也各不相同。海运货物主要分为液体散货、干散货以及杂货,通常根据货物的类别,承担运输的船舶种类也不相同,运输方式也会随着货物种类的不同而发生变化。

(5) 需求特征。海运库存路径问题中客户的需求特征通常分为:确定需求,随机需求以及需求未知的情况,在确定需求的IRP问题中需求或需求率为确定常数,而随机需求则假设需求服从特定的概率分布。

(6) 运输策略。运输策略主要指远洋运输与近海运输,相对于短途的区域间航行,其航行时间较短,甚至在一些情况下不超过在港作业时间,而远洋运输则指的是跨洲际的航行,其航行时间较长,且面对的不确定因素更多。

(7) 库存策略。在海运库存路径问题中,有许多不同的库存管理决策需要做出。在海运库存路径问题中,产品可以存储在装货港和卸货港的港口,每个港口都存在固定的库存能力、泊位数量以及一定的生产率或消费率。

(8) 船队结构与规模。船队结构是不同船舶类型的组合,分为单一类型船舶组成的同质船队以及多种类型船舶组成的异构船队。

对MIRP问题分类方式归纳如下,如表1所示:

表1 海运库存路径问题分类

决策层次	战略层面	战术层面		操作层面
拓扑结构	一对一	一对多		多对多
时间因素	计划期	单周期	多周期	无限周期
	时间窗	带时间窗	无时间窗	
货物种类	干散货	液散货		杂货
需求特征	确定需求	随机需求		需求未知
运输策略	直接运输	多港口挂靠运输		连续运输
库存策略	是否允许缺货	是否允许滞销		
船队因素	船队规模	单船	多船	无约束
	船队结构	同质船队	异构船队	

2 海运库存路径问题基本模型

2.1 模型构建要素

本文以简洁的方式呈现海运库存路径问题的混合整数规划(MIP)模型。目标函数为运输成本最小化。在约束条件上主要以“装卸”、“调度”和“库存管理”三个角度入手,组成结构为:运载工具的限制、供应能力的限制、需求能力的限制、库存方面的限制、港口能力的限制、时间的限制。

2.2 参数和变量

(1) 集合。 N :表示所有节点的集合,包括装货港和卸货港; V :表示异构船队集合;

(2) 模型参数。 i, j :表示港口节点; c_{ij} :表示运输船从港口*i*行驶至港口*j*的航行成本; B_j :表示*j*港的泊位数量; Q_v :表示船舶*v*的载重量; D_j^{MX} :表示合同规定的*j*港交付总量下限; D_j^{MX} :表示合同规定的*j*港交付总量上限; s_{it} :表示港口*i*在*t*时间段结束时的库存量; P_{it} :表示港口*i*在*t*时间段的消耗量; S_i^{MN} :表示港口*i*的安全库存量下限; S_i^{MX} :表示港口*i*的安全库存量上限;

(3) 决策变量。 x_{ijvt} :为0-1变量,若船舶*v*在*t*时间段在港口*i*装货或卸货,并开始向港口*j*航行,则取值为1,反之则为0。

2.3 混合整数规划模型建立

(1) 目标函数

本文以航行成本最小为目标函数如式(1)所示:

$$\min Z = \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ijvt} \quad (1)$$

(2) 约束条件

$$\sum_{j \in N^D} \sum_{t \in T} x_{o(v)jvt} = 1, v \in V \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ijvt-T_{ij}} - \sum_{j \in N} x_{jivt} = 0, i \in N \setminus \{o(v), d(v)\}, v \in V, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N^D} \sum_{t \in T} x_{id(v)vt} = 1, v \in V \quad (4)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{i \in N} x_{ijvt} \leq B_j, t \in T, j \in N \quad (5)$$

$$s_{it-1} + \sum_{v \in V} \sum_{j \in N} Q_v x_{ijvt} - s_{it} + P_{it} = 0, t \in T, i \in N \quad (6)$$

$$S_i^{MN} \leq s_{it} \leq S_i^{MX}, t \in T, i \in N \quad (7)$$

$$D_i^{MN} \leq \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \sum_{j \in N} Q_v x_{jvt} \leq D_i^{MX}, i \in N \quad (8)$$

约束(2)表示所有船舶从人工初始点出发;约束(3)表示船舶在港口*i*的流量平衡;约束(4)表示所有船舶最终回到人工结束点。约束(5)表示*t*时段到达港口的船舶数量满足港口的泊位限制;约束(6)表示*t*时段装货港的库存平衡约束;约束(7)表示装货港在任意时段的库存量应当满足安全库存的限制。约束(8)表示在规划期内,卸货港的满足交付量限制。

3 研究展望

通过对海运库存路径问题的回顾与分析,以及近年来发表的文献。本文提出未来的研究方向如下:

(1) 不确定条件下的库存路径问题研究。海上运输中存在着许多不确定因素,而库存路径问题在各个环节联系紧密,无论是库存还是运输上出现不确定因素,都会影响整个供应链。针对不确定性问题的研究数量远不如确定性的问题研究,这导致了现有的理论研究难以运用于实践中。

(2) 操作层面的研究。目前的海运库存路径问题多集中于战术层面的规划,对操作层面的研究较少。操作层面通常指短期规划中面临的决策问题。例如对极端天气下造成的航行中断以及突发事件产生的船舶中断恢复研究等。2021年3月,“长赐号”巨轮堵塞苏伊士运河,造成的经济损失无法估量。由此可以看出对航线的中断恢复策略研究具有重要的研究意义,同样将会成为海运库存路径问题未来的研究重点之一。

4 结语

库存路径问题属于车辆路径问题的延伸,在决策层次与计划水平上都要高于车辆路径问题,其研究具有重要的理论价值与实际价值。本文系统阐述了海运库存路径的概念与研究分类,提出海运库存路径问题的一般模型,并对未来的研究重点进行展望。虽然海运库存路径问题的研究起步较晚,但从不乏优秀的学者对其进行深入研究,对海运库存路径问题的研究也将被学者们不断的完善而趋于成熟。

参考文献:

[1] Faiz Al-Khayyal and Seung-June Hwang. Inventory

constrained maritime routing and scheduling for multi-commodity liquid bulk, Part I: Applications and model[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 176(1): 106-130.

[2] Christiansen M. Chapter 4 Maritime Transportation[J]. Handbooks in Operations Research & Management Science, 2007:189-28.

[3] D. Ronen. Marine Inventory Routing: Shipments Planning[J]. The Journal of the Operational Research Society, 2002, 53(1): 108-114.

[4] Fodstad, Marte et al. LNGScheduler: a rich model for coordinating vessel routing, inventories and trade in the liquefied natural gas supply chain[J]. The Journal of Energy Markets, 2010, 3(4): 31-64.

[5] Agostinho Agra et al. A maritime inventory routing problem: Discrete time formulations and valid inequalities[J]. Networks, 2013, 62(4): 297-314.

[6] Papageorgiou, Dimitri J et al. Two-Stage Decomposition Algorithms for Single Product Maritime Inventory Routing[J]. INFORMS Journal on Computing, 2014, 26(4): 825-847.

[7] Faiz Al-Khayyal and Seung-June Hwang. Inventory constrained maritime routing and scheduling for multi-commodity liquid bulk, Part I: Applications and model[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 176(1): 106-130.

[8] Jin-Hwa Song and Kevin C. Furman. A maritime inventory routing problem: Practical approach[J]. Computers and Operations Research, 2013, 40(3): 657-665.

