

文章编号:1671-1637(2012)04-0093-07

基于江海直达运输模式和投资约束的 长江干散货运优化模型

阮 宁^{1,2}, 李 翔¹, 刘志学¹

(1. 华中科技大学 管理学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国长江航运(集团)总公司, 湖北 武汉 430062)

摘 要:引入了江海直达运输模式和投资约束的概念,对已有的长江干散货物运输网络进行优化,并比较了江海直达与江海联运2种运输模式的特点。根据中国内河航运成熟性市场的特质和航运企业滚动规划的经营特征,以最小运营成本与最小船舶投资成本为目标函数,建立了集成处理运输模式选择、航线配船和船型更新的模型。简化了模型的时间维度,设计了基于背包问题的拉格朗日松弛算法,并应用A集团数据求解模型。分析结果表明:当以现行模式的航运总成本为基准点,在引入江海联运模式后,航运总成本可下降2%左右;在引入江海直达运输模式后,航运总成本的最大下降幅度超过8%,但财务风险会增大;当资金成本率为7%且不考虑投资约束时,成本节约效应可提高16.2%,但投资净预算将会上升60.1%。从最优航线配置可以看出,在不同航线上,江海直达与江海联运2种运输模式应协同使用。

关键词:船队规划;干散货运;航线配船;江海直达运输;江海联运;投资约束;拉格朗日松弛算法;背包问题

中图分类号:U695.27

文献标志码:A

Optimization model of dry bulk feright in Yangtze River based on river-sea transportation mode and investment constraint

RUAN Ning^{1,2}, LI Xiang¹, LIU Zhi-xue¹

(1. School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. China Changjiang National Shipping (Group) Corporation, Wuhan 430062, Hubei, China)

Abstract: The concepts of river-sea transportation mode and investment constraint were introduced, the existed transportation network of dry bulk freight in Yangtze River was optimized, and the characteristics of river-sea transportation mode and river-sea combined transportation mode were compared. According to the characteristic of mature market for inland shipping and the management feature of rolling planning for shipping enterprise in China, the minimum operation cost and the minimum ship investment cost were taken as objective functions, and the model that integrated transportation mode selection, ship assignment and ship type update was set up. The time dimension of the model was simplified, the Lagrangian relaxation algorithm based on knapsack problem was designed, and the data of group A were used to solve the model. Analysis result shows that while the total shipping cost of current mode is taken as a reference point, the total shipping cost can decrease by about 2% after using river-sea combined transportation mode. After using river-sea transportation mode, the maximum descent range is more

收稿日期:2012-02-07

基金项目:国家自然科学基金项目(70672039)

作者简介:阮 宁(1960-),男,湖北武汉人,中国长江航运(集团)总公司高级工程师,华中科技大学管理学博士研究生,从事航运经济与航运物流研究。

导师简介:刘志学(1963-),男,湖南武冈人,华中科技大学教授,管理学博士。

than 8%, but the financial risk will increase. While the fund cost rate is 7% and the investment constraint is not considered, cost-reduction effect increases by 16.2%, but net investment budget will raise by 60.1%. From the configuration of optimal route, the river-sea transportation mode and river-sea combined transportation mode must be used together on different routes. 3 tabs, 2 figs, 16 refs.

Key words: fleet planning; dry bulk freight; ship assignment; river-sea transportation; river-sea combined transportation; investment constraint; Lagrangian relaxation algorithm; knapsack problem

Author resumes: RUAN Ning (1960-), male, senior engineer, doctoral student, +86-27-50800873, whruanning@163.com; LIU Zhi-xue (1963-), male, professor, PhD, +86-27-87556465, lsy868@mail.hust.edu.cn.

0 引 言

长江作为目前世界第一大内河航运通道,是沟通中国沿海和内陆的重要水运动脉,近年来,长江航运发展更被提升到国家战略高度。国务院《关于加快长江等内河水运发展的意见》指出,将用十年左右时间建成畅通、高效的现代化内河水运系统。其中,江海直达作为一种极具潜力的先进运输模式,近年来在长江航运中发展迅速。江海直达运输变二程运输为一程运输,减少了运输周转环节,节约了中转港的装卸时间和费用。在武钢集团铁矿石运输的现状中,通过江海直达运输铁矿石,每吨可节省港口装卸费和运输费合计 13~15 元,破碎率和粉化率降低 15%,损耗率降低 1.5%,经济效益明显。随着江海直达这一新运输模式的引入,航运企业需要对航线网络与船队构成进行更新和优化。然而,在开展新运输模式的同时,也应注意到船舶更新对企业造成的固定投资负担。中国某航运上市公司激进的船舶更新计划已经使得公司资产负债率过高,并可能产生资金链断裂的风险,因此,航运公司如何平衡新运输模式的运营效益和新增船舶带来的投资风险,亟需进行研究和探索。

在江海直达和江海联运 2 种运输模式领域,针对航运优化的研究较少,Konings 等以欧洲莱茵水系航运市场为背景,设计了适用江海直达运输模式的推驳船运输二程组织模式^[1];Charles 结合行业数据研究了江海直达运输模式的成本优势,并以地中海港口和航线的具体数据制定了江海直达货轮的最优线路与最优设计吨位^[2];陈顺怀等采用 DEA 模型研究了武汉港至一波北仑港的铁矿石运输优化^[3];秦金梯针对武汉—北仑航线建立了包括中转港选择的航线和船舶选择混合整数规划模型^[4];朱丽丽以武钢集团铁矿石运输模式为例,建议加大采

用江海直达运输模式的数量,不仅可以提高运输质量、节约中转成本,而且在运输的均衡性和时效性上都更优^[5];Rissoan 总结了江海联运在欧洲航运业中的发展,指出了良好的发展前景^[6];衡强研究了江海联运中的二次中转模式,分析了实施二次中转的航道和船舶影响因素,列举并比较了典型中转航线的运输成本^[7]。上述研究主要针对江海直达运输模式的实际问题,对于主流模型和算法的探索有限。实际上,航线配船和船队规划模型可以与江海直达运输模式相结合,Christiansen 等对航线配船和船队规划进行了较全面的阐述^[8-9];Jaikumar 等研究了内河航运的优化问题,针对单种船型建立了高效的多项式算法^[10];谢新连等采用线性规划模型研究已有船队的发展规划,依据未来一段时期的运输需求,建立了船队的最优构成决策与每条航线上的船舶调配计划^[11],但模型的船舶购置数量不为整数,需要人工圆整;苏绍娟运用离散粒子群算法求解多阶段的船队规划及航线配船问题,有效规避了问题维度的复杂性,并将此方法进一步扩展到不确定环境下^[12];Mehrez 等研究了大宗工业物资的运输优化问题,分析了决策研究期内的船队规模、中转港口选择以及装卸港到客户的运输路线安排,并采用启发式算法与分枝定界法得到最终解^[13];Agarwal 等构建了多商品流模型,并设计了多种算法,集成处理航线和调度问题^[14];Xie 等构建了两阶段模型处理航线配船和船队规划决策,用线性规划解决给定船队的航线配船计划,用动态规划解决多期船队发展最优策略^[15];Nicholson 等设置特定的背景研究了船队规模逐渐缩小情况下的航运优化^[16]。

上述研究同时针对直达模式和中转模式的内容较少,中国长江干散货航运属成熟型市场,本文根据航运企业滚动规划的经营特点,简化了航线配船模型和船队更新模型的时间维度,集成处理了运输模

式选择、航线选择和船型更新模型,设计了基于背包问题的拉格朗日松弛算法,分解了具有伪多项式时间的动态规划解法,并分析了基于航线和船型配置整体替换的可行化方法。

1 长江江海干散货物运输问题描述

在目前的长江干散货物运输市场上,主要有江海联运和江海直达 2 种运输模式(图 1)。二者各有优缺点,江海联运能充分发挥沿海与长江货轮的规模效益,而江海直达运输则节约了中转费用,缩短了运输时间,但需付出较高的船舶初始投资费用。引入江海直达运输模式后,航运企业需要进行以下决策:确定购买江海直达运输货轮的具体船型和数量以及旧船型的处置船型和数量;在航线上规划江海直达运输方式和江海联运方式;在江海联运方式下选择中转港与配置船型等。

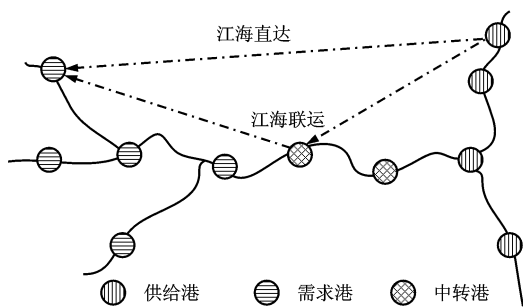


图 1 两种运输模式

Fig. 1 Two transportation modes

2 种主要运输模式见表 1,在考虑航线配船和船队规划问题的同时,时间维度也是导致模型复杂程度的重要因素,本文尝试结合实际问题进行简化。中国长江干散货运市场属于典型的成熟市场,需求较为平稳,不存在较大的波动。可以考虑将一个长期规划按照需求稳定性划分成多个短期规划,其中每个子规划期内需求稳定,且航线和船型配置基本不变,即单周期内船舶决策变量不依赖于时间;在子规划期内,船舶的购买和出售决策只发生一次,考虑到折现因素,船舶更新在规划初期发生最有利。成熟市场中的经营企业都拥有一定规模的船队,引入新船型意味着运力过剩并需要逐步淘汰旧船型,结合需求稳定,可以认为船舶的变化趋势是单向的,即旧有船型不增而新船型不减,在每个子规划期不断更新,最终达到均衡状态。在本文研究中,可暂不考虑决策变量的时间维度,建立模型解决单周期的航线配船和船舶投资问题,在下一周期决策中依据前期结构,进行多次滚动决策。实际上,这也是航运企

业经营中的常见现象,如以 3~5 年为期进行一次战略规划和调整。

表 1 主要运输模式比较

Tab. 1 Comparison between main transportation modes		
分类	江海联运	江海直达
运输方式	二程运输,沿海供给港经中转港再换装转运到达内河需求港	一程运输,由沿海供给港直接运达内河需求港
船型组成	海上航段采用沿海货轮,内河航段采用长江货轮	全程采用江海两用船
优势	利用已有沿海货轮和长江货轮船型,充分发挥沿海与长江货轮规模效应	减少中转的成本和损耗,有利于发挥江海运一体化的协同效应
劣势	增加了中途换装和货物损耗费用,运输周期较长	需要购置专用的江海两用船船型,受长江航道、港口等限制

本文还需要考虑长江干散货航运的其他特点,这在很多航运研究中体现为常见假设。首先,干散货运单船单航次只运送单一货物,且满载运输;其次,不考虑返程货流和内河港口间货流,目前,中国长江航运大宗干散货物运输流向基本是由沿海运往内河沿岸,返程货流规模相对很小,即使存在少量返程货物,一般也不会形成新的约束;最后,在同一航线上只配备同种船型,同一源汇对的运输任务可以用多种航运模式组织。

2 数学模型的建立

如前所述,本文模型是描述滚动决策中的单周期决策,基于前一周期的决策结果和参数,使得当前规划期内航运网络运营成本和船舶投资成本总和最小,得到规划期内最优的航线设计、船型配备与船舶更新状况。本文用 P 表示港口 p 集合, $p \in P$,港口分为供给港、需求港和中转港 3 类,对于兼具需求港和中转港 2 种性质的港口,只需将其剖分为 2 个对应的虚拟港口,其间距设定为 0 即可;用 E 表示航线 e 集合, $e \in E$;用 K 表示航型 k 集合, $k \in K$ 。建立 3 类边集:江海直达运输模式无中转港,从供给港 S 直达需求港 D ,由江海直达航线集 E_{SD} 构成,对应船型为江海直达货轮船型集 K_{SD} ;江海联运模式由供给港 S 到中转港 T 的沿海航线集 E_{ST} 与中转港 T 到需求港 D 的内河航线集 E_{TD} 共同构成,船型分别对应近洋及沿海货轮船型集 K_{ST} 与长江货轮船型集 K_{TD} 。在 K_{SD} 中,所有船型均为新引入船型,在 K_{ST} 、 K_{TD} 中,所有船型均为待替换的旧有船型。在构成的多商品流网络中,存在着不同需求港到不同供给港的多种运输任务 m ,对应的货运量为 f_m ,运输任务集记为 M 。

一般情况下,干散货运对时间的敏感较低,定义 k 型船在航线 e 上的年度航次为 n_{ke} , k 型船在航线 e 上的年运营总成本为 C_{ke} ,则有

$$n_{ke} = \frac{T_0}{d_e(v_1 + v_2) + t_p}$$

$$C_{ke} = n_{ke}(q_k c_k d_e + c_1 + c_p) + a_{ke}$$

式中: d_e 为航线 e 上的航段距离; v_1 、 v_2 分别为上水船速和下水船速; t_p 为在港口 p 的停留时间,包括作业、等待时间; T_0 为年运营天数; q_k 为 k 型船的额定载质量; c_k 为 k 型船的单位费用率; c_1 为每航次的固定费用; c_p 为港口 p 的作业费用; a_{ke} 为 k 型船在航线 e 上除船舶投资外的年固定运营成本,包括维修费用、工资、保险费等。

除运营成本外,航运企业还会因购置江海直达货轮并处置原有船型产生的船舶投资成本变动。设通胀率为 α ,贷款还款年限为 Y ,新船舶购置费用为 I_k ,旧船舶 k 型船处置的残值为 J_k ,船舶投资资金费用率为 R ,规划期 T 年后江海直达货轮的累计折旧率 β 由规划期和船舶寿命给定,年度船舶净投资预算为 B_t (不包含旧船舶处置收益)。在规划期初, h_k 为 k 型船的数量, g_k 为前面各子规划期积累新增 k 型船的数量, r_k 为对应 k 型船的利息数量, g_k 与 r_k 乘积描述了前面各期新船型投资对于本期规划的财务影响,以保障多期子规划的连续性。记航线 e 所允许的船舶最大吨位为 u_e ,由起始港最大允许船舶吨位、终点港最大允许船舶吨位和两港之间航道允许船舶吨位的最小值共同决定。目标函数是运营成本 F_1 最小和船舶投资成本 F_2 最小,即

$$\begin{aligned} \min F_1 + F_2 = & \sum_{t=1}^T \sum_{m \in M} \sum_{e \in E} \sum_{k \in K} \frac{x_{mke} C_{ke}}{(1+\alpha)^t} + \sum_{k \in K} g_k r_k + \\ & \left(\sum_{k \in K_{SD}} y_k I_k - \sum_{k \in K_{ST} \cup K_{TD}} z_k J_k \right) \left(\frac{1+R}{1+\alpha} \right)^Y \beta \\ \text{s. t. } & \sum_{e \in E_{SD}} \sum_{k \in K_{SD}} x_{mke} q_k n_{ke} + \sum_{e \in E_{ST}} \sum_{k \in K_{ST}} x_{mke} q_k n_{ke} \geq f_m \quad (1) \\ & \sum_{e \in E_{SD}} \sum_{k \in K_{SD}} x_{mke} q_k n_{ke} + \sum_{e \in E_{TD}} \sum_{k \in K_{TD}} x_{mke} q_k n_{ke} \geq f_m \quad (2) \\ & \sum_{e \in E_{TD}} \sum_{k \in K_{TD}} x_{mke} q_k n_{ke} \geq \sum_{e \in E_{ST}} \sum_{k \in K_{ST}} x_{mke} q_k n_{ke} \quad (3) \\ & x_{mke} (u_e - q_k) \geq 0 \quad (4) \\ & \sum_{m \in M} \sum_{e \in E} x_{mke} + z_k = h_k \quad k \in K_{ST} \cup K_{TD} \quad (5) \\ & \sum_{m \in M} \sum_{e \in E} x_{mke} = h_k + y_k \quad k \in K_{SD} \quad (6) \\ & \left(\sum_{k \in K_{SD}} y_k I_k - \sum_{k \in K_{ST} \cup K_{TD}} z_k J_k \right) \left(\frac{1+R}{1+\alpha} \right)^Y \beta \leq \\ & \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+\alpha)^t} \quad (7) \end{aligned}$$

$$x_{mke} \in \mathbf{N} \quad (8)$$

$$y_k, z_k \in \mathbf{N} \quad (9)$$

式中: x_{mke} 为承担运输任务 m 的 k 型船在航线 e 上的数量; y_k 、 z_k 分别为规划期内计划购置和计划退役的 k 型船的数量; 约束式(1)~(3)分别保证供给港、需求港和中转港的流量均衡; 约束式(4)为航道约束; 约束式(5)、(6)均为船型数量平衡约束, 保证船队均衡更新; 约束式(7)为预算约束, 即规划期内的船舶投资不能超过规划期内总净预算、年度净预算与旧船舶处置资产处置收益的总和, 对于成熟的航运企业, 船舶投资过大将导致企业负债过多, 产生现金流断裂的财务风险。

3 模型求解流程

3.1 拉格朗日松弛算法

原问题规模很大, 需要简化和分解。利用约束式(5)、(6)代换 y_k 与 z_k , 并且为保持新船型不减和旧船型不减, 则有

$$\left(\sum_{m \in M} \sum_{e \in E} x_{mke} - h_k \right) l_k \leq 0$$

式中: l_k 为辅助变量, 当 $k \in K_{SD}$ 时 $l_k = -1$, 当 $k \in K_{ST} \cup K_{TD}$ 时 $l_k = 1$ 。

原约束式(7)为复杂约束, 将其松弛进目标函数, 令

$$\gamma = [(1+R)/(1+\alpha)]^Y / \beta$$

并引入辅助变量 W_k , 当 $k \in K_{SD}$ 时

$$W_k = \gamma I_k$$

当 $k \in K_{ST} \cup K_{TD}$ 时

$$W_k = \gamma J_k$$

则船舶投资成本为

$$\begin{aligned} & \left(\sum_{k \in K_{SD}} y_k I_k - \sum_{k \in K_{ST} \cup K_{TD}} z_k J_k \right) \left(\frac{1+R}{1+\alpha} \right)^Y \beta = \\ & \sum_{m \in M} \sum_{e \in E} \sum_{k \in K} x_{mke} W_k - \sum_{k \in K} h_k W_k \end{aligned}$$

此外, 当约束式(1)、(2)成立时, 必有约束式(3)成立, 因而去掉约束式(3)。引入拉格朗日算子 λ 和 μ_k ($\lambda \geq 0, \mu_k \geq 0$), 原问题可简化为求解松弛问题总成本 F_3 最小, 即

$$\begin{aligned} \min F_3 = & \sum_{m \in M} \sum_{e \in E} \sum_{k \in K} x_{mke} \left[\sum_{t=1}^T C_{ke} / (1+\alpha)^t + \right. \\ & \left. (1+\lambda) W_k + l_k \mu_k \right] - \sum_{k \in K} (1+\lambda) h_k W_k - \\ & \sum_{k \in K} h_k l_k \mu_k - \sum_{t=1}^T \frac{\lambda B_t}{(1+\lambda)^t} + \sum_{k \in K} g_k r_k \quad (10) \end{aligned}$$

同时, 原约束式(1)、(2)、(4)、(8)仍可作为

式(10)的约束条件。

由此,新问题可分解为 M 个子问题,即对每个源汇对运输任务分别求解,然后通过拉格朗日松弛算法的迭代,可以得到原问题的解,步骤如下。

(1) 设定初始的拉格朗日算子 $\lambda = \mu_k = 0$ 。

(2) 设定原问题的可行解作为初始上界 U , 设定松弛问题的最优解作为初始下界 L 。

(3) 在第 n 次迭代中, λ 的步长 θ_{1n} 、 μ_k 的步长 θ_{2n} 分别为

$$\theta_{1n} = \frac{U_n - L_n}{s_{1n}^2} \delta_n$$

$$s_{1n} = \sum_{m \in M} \sum_{e \in E} \sum_{k \in K} x_{mke} W_k - \sum_{k \in K} h_k W_k - \sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+\alpha)^t}$$

$$\theta_{2n} = \frac{U_n - L_n}{s_{2n}} \delta_n$$

$$s_{2n} = \sum_{k \in K} \left(\sum_{m \in M} \sum_{e \in E} x_{mke} - h_k \right)^2$$

式中: s_{1n} 与 s_{2n} 分别为与 θ_{1n} 与 θ_{2n} 对应的迭代参数; U_n 、 L_n 分别为第 n 次迭代的上界与下界; δ_n 为待定参数。

待定参数 δ_n 的初始值为 2, 当 δ_n 的值不改进或循环时, $\delta_{n+1} = \delta_n / 2$ 。直到 $\delta_n < 0.01$ 时, 算法停止。

(4) 迭代 $\lambda_{n+1} = \max\{\lambda_n + \theta_{1n} s_{1n}, 0\}$, $\mu_{k(n+1)} = \max\{\mu_{kn} + \theta_{2n} s_{2n}, 0\}$ 。

(5) 停止规则: $s_{1n} = s_{2n} = 0$, 或迭代次数大于 200, 或目标值改进持续小于 0.1%。

(6) 检验松弛问题最优解在原问题是否可行, 若不可行, 进行可行化算法。

3.2 子问题的动态规划解法

对每个源汇对的运输优化子问题, 由于中转运输方式的存在导致问题较为复杂。鉴于每条航线由同种船型运营的假设, 可对网络进行剖分, 将中转港和船型选择变为航线选择。如 2 个中转港、2 种沿海货轮与 2 种长江货轮的情形, 可得到 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 种航线组合, 从而将中转港选择转换为航线选择。在实际航运中, 基于批量化和标准化的原因, 船型相对简单统一。同时, 航道约束将排除不可行的船型和中转港组合, 减少剖分航线集, 不会导致问题规模过大。

经过剖分, 在满足总运量完成运输任务的约束下, 寻求最小总成本, 可以通过动态规划算法求解。当得知剩余仍需完成的运输量时, 视每项运输任务的航线组织为一种货物, 其问题相当于典型的一维多重背包问题, 存在伪多项式算法。注意到运力富余的设定, 则对于数量较为充裕的船型对应的航线

组合, 则其递推过程可进一步简化为完全背包问题, 采用状态逆向编码可使计算复杂性降低。同时, 船舶载质量通常以 10^4 t、 10^5 t 为单位, 总运量规模更为巨大, 可将总运量和船舶容量同时除以最大公约数, 可以大幅缩小状态空间并简化计算。

3.3 可行化算法

由松弛算法求得的解转化为最终解可能违背约束式(5)~(7)。鉴于航线变动牵涉变量较多, 采用常见的贪婪算法可能无法有效进行, 可将其转化为 0-1 背包问题。如对于约束式(7), 依旧以剖分的多商品流网络为基础, 以超出的预算为背包容量, 将每项运输任务视为一种货物, 每项运输任务中江海直达模式与江海联运模式的船舶投资差额为体积, 2 种模式总成本差额为价值。每选取一项运输任务 m , 相当于将其江海直达模式改为传统模式, 则可行化问题即为船舶投资降低到预算内条件下的成本增幅最小化。同理, 对于船舶数量约束也可采用这种方法, 背包容量为超出船型约束的船舶运输量, 备选货物为非饱和的航线和船型。此可行化方法较之传统的贪婪算法更为精确, 且只需要对整体问题操作一次即可。

4 计算结果分析

A 集团是中国长江水系中最大的航运企业, 目前正处于战略转型期。A 集团规划引入江海直达货轮对传统航运网络进行优化, 但因为该集团融资能力和偿债能力有限, 在改进运营成本结构的同时也要注意船舶投资的财务风险。在此背景下, 建立简化后的 A 集团长江干散货运网络(图 2), 供给港选定为宁波港、天津港、秦皇岛港和青岛港, 中转港选定为上海港、南通港和芜湖港, 需求港为张家港港、

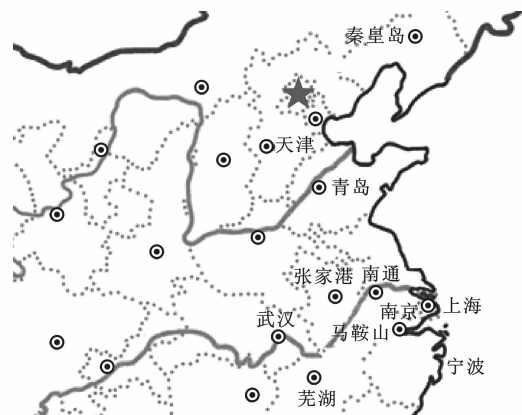


图2 A集团航运网络

Fig. 2 Shipping network of group A

南京港、马鞍山港和武汉港,供给港和需求港之间存在着多对多的运输流。依据国标《江海直达货船船型尺度系列》(GB/T 17872—2009)、长江江海干散货运输代表船型和 A 集团实际营运船型,选取 3 类

7 种典型船型。船舶运营成本、航速与作业时间、港口货运量、港口距离、中转装卸成本、中转货物损耗等参数来自 A 集团航运部门实际经营数据并进行了适当处理,见表 2。

表 2 主要船型部分参数

Tab. 2 Partial parameters of main ship types

参数	近洋与沿海货轮			江海直达货轮		长江货轮
吨位/t	100 000	50 000	30 000	23 000	19 000	6 000
单位成本/[元·(t·km) ⁻¹]	0.039	0.040	0.041	0.042	0.043	0.050
运营固定成本与船价比/%	12	12	12	10	10	20
中转装卸成本与运输成本比/%	3	3	3			3
中转货损费用与运输成本比/%	2	2	2			2

在一个短期规划中的航运组织决策中,比较 A 集团的 3 种航运网络组织模式:现行模式,使用沿海货轮和长江货轮组织两程运输,每项运输任务只采用一条航线,并配备所确定中转港能通行的最大船型;江海联运模式,也使用沿海货轮和长江货轮组织两程运输,依据动态规划对航线进行规划,表现为一项运输任务可能使用多种航线;江海直达运输模式,引入江海直达货轮后进行多种航线的组合。以现行模式的航运总成本为基准点,分析几种典型参数组合下江海联运模式和江海直达运输模式的效果,比较结果见表 3。

表 3 结果比较

Tab. 3 Result comparison

规划期/ 年	净投资 预算/亿元	累计 折旧率	资金 成本率	江海联运 模式总成本 节约比例/%	江海直达 模式总成本 节约比例/%
3	10	0.80	0.10	1.75	3.06
3	10	0.80	0.07	2.08	6.25
3	10	0.80	0.04	2.27	8.62
5	15	0.80	0.10	1.73	2.91
5	15	0.80	0.07	2.06	5.19
5	15	0.80	0.04	2.26	8.22
3	10	0.90	0.10	2.14	2.99
3	10	0.90	0.07	2.30	4.90
3	10	0.90	0.04	2.40	6.37
5	15	0.90	0.10	2.12	2.90
5	15	0.90	0.07	2.29	5.12
5	15	0.90	0.04	2.40	7.87

通过对表 3 中数据进行分析,可以得到以下有助于优化航运决策的管理建议。

(1)两地之间安排航线组合而非单一航线可一定程度降低航运总成本,即江海联运模式相对于现

行模式具有优势,在典型参数组合下,降低幅度基本在 2%左右。如果企业采用多航线组合可能导致管理复杂,实际效果会更低。这说明长江干散货运输企业在多年的持续改进中,实际运营效果接近较优状态,航线配置合理。

(2)引入江海直达运输模式,可显著降低航运企业总成本,这说明江海直达运输模式确有先进性和现实意义。当采用江海直达运输模式后,总成本降幅最大可超过 8%,远大于旧有船型通过江海联运模式所带来的约 2%的成本降幅。

(3)江海直达与江海联运 2 种运输模式应结合使用。如引入江海直达运输模式后,在给定的距离、货运量等参数设定下,青岛港到武汉港的最优方案为采用 30 000 t 货轮经芜湖中转运输,而宁波港到武汉港的最优方案则是采用 12 000 t 江海直达货轮为主。这说明江海直达虽然是一种较好的运输模式,但应该注意的是,由于存在不同航线的货源、距离和中转港位置等差异,不同运输模式的营运特性也会表现出不同的效果,简单地用江海直达运输取代江海中转运输,在经济上并非最优。

(4)采用江海直达运输模式在投资规模上要考虑企业自身资金能力,有效规避资金风险。在本文模型中,多次出现不可行解,如在 5 年 15 亿元净投资,累计折旧率为 80%,资金成本率为 7%的参数组合下,不考虑投资预算,可使得优化效果从 5.19%提升至 6.03%,提升幅度为 16.2%,与此同时,也会造成投资净预算额超出 60.1%,给企业带来巨大的财务风险。事实上,国内部分航运企业已经出现类似现象。

(5)江海直达运输模式的效果与资金成本率负相关,说明贷款利率是阻碍开展江海直达运输模式的重要因素。事实上,江海直达运输模式除了具有

良好的经济性以外,也具备较好的其他效应,如更加快捷高效的服务质量,更低的能耗消耗和环境污染等。建议政府可考虑给予航运企业专项优惠贷款等政策支持,以鼓励发展先进的运输方式,获得良好的经济和社会效益。

(6)江海直达运输模式的效果会受到投资预算的影响。当净投资预算越大时,江海直达运输模式的节约效应越明显。另一方面,随着累计折旧率的降低,相当于增加了新船购置的净投资预算,也具有同样的效应,因此,行业主管部门或政府相关机构应提供较多的航运业转型启动资金,包括向企业注入资本金,提供新船型投资补贴,加大老旧船舶退出补贴等,以鼓励航运企业创新运输模式,加快发展方式转型,提升经营效益。

5 结 语

本文在目前长江干散货运输方式中引入江海直达运输模式,通过整数规划模型研究了航运企业航线配船和船型更新规划问题。结合航运市场的成熟性特点,简化了问题的时间维度,通过拉格朗日松弛算法将问题分解,运用网络剖分将中转运输问题转化为并行航线选择问题,以动态规划算法在伪多项式时间内得到了较为精确的整数解。模型基于问题特性,简单易解,并能对长江干散货运输企业的航线配船和船型更新提供实用而有价值的建议。研究表明,引进新船型和优化江海直达运输模式后,可以有效地改善长江干散货运输企业的成本结构。值得注意的是,应根据具体航线的营运特性进行系统决策是否采用江海直达运输模式,反之,将有可能造成巨大的投资风险。本文模型在如何更好地处理较强动态性的航运问题与如何更加精确地分析决策的时间维度等方面,尚需进一步探索和研究。

参考文献:

References:

- [1] KONINGS R, LUDEMA M. The competitiveness of the river-sea transport system: market perspectives on the United Kingdom-Germany corridor[J]. *Journal of Transport Geography*, 2000, 8(3): 221-228.
- [2] CHARLES L. Sea-river shipping competitiveness and its geographical market area for the Rhone-Saone corridor[J]. *Journal of Transport Geography*, 2008, 16(2): 100-116.
- [3] 陈顺怀,李俊敏,王呈方. 北仑—武钢矿石进江江海直达驳运输船队优化[J]. *航海工程*, 2001(4): 8-11.
CHEN Shun-huai, LI Jun-min, WANG Cheng-fang. Optimal fleet for river-sea going transportation of ore on Beilun-Wuhan Route[J]. *Ship and Ocean Engineering*, 2001(4): 8-11. (in Chinese)
- [4] 秦金娣. 武钢进口铁矿石物流系统优化研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
QIN Jin-di. Study on the optimization of logistics system about imported iron ore in WISCO[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006. (in Chinese)
- [5] 朱丽丽. 长江中下游进口铁矿石运输模式比较分析[J]. *综合运输*, 2008(7): 70-71.
ZHU Li-li. Comparative analysis on shipping modes of iron ore in the midstream and downstream of Yangtze River[J]. *Comprehensive Transportation*, 2008(7): 70-71. (in Chinese)
- [6] RISSOAN J P. River-sea navigation in Europe[J]. *Journal of Transport Geography*, 1994, 2(2): 131-142.
- [7] 衡强. 长江至洋山港区江海联运发展战略模式研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
HENG Qiang. An analysis on the strategy management of transportation mode from Yangtze River to Yangshan Port[D]. Nanjing: Hohai University, 2007. (in Chinese)
- [8] CHRISTIANSEN M, FAGERHOLT K, RONEN D. Ship routing and scheduling: status and perspectives[J]. *Transportation Science*, 2004, 38(1): 1-18.
- [9] 杨秋平, 谢新连, 赵家保. 船队规划研究现状与动态[J]. *交通运输工程学报*, 2010, 10(4): 85-90.
YANG Qiu-ping, XIE Xin-lian, ZHAO Jia-bao. Research status and prospect of fleet planning[J]. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 2010, 10(4): 85-90. (in Chinese)
- [10] JAIKUMAR M, SOLOMON M M. The tug fleet size problem for barge line operations: a polynomial algorithm[J]. *Transportation Science*, 1987, 21(4): 264-272.
- [11] 谢新连, 李树范, 纪卓尚, 等. 船队规划的线性模型研究与应用[J]. *中国造船*, 1989, 30(3): 59-66.
XIE Xin-lian, LI Shu-fan, JI Zhuo-shang, et al. Study and application on the linear model of fleet planning[J]. *Ship-building of China*, 1989, 30(3): 59-66. (in Chinese)
- [12] 苏绍娟. 不确定动态船队规划的数学模型研究[J]. *中国航海*, 2008, 31(2): 158-161.
SU Shao-juan. Mathematical model study on uncertain multi-stage fleet planning[J]. *Navigation of China*, 2008, 31(2): 158-161. (in Chinese)
- [13] MEHREZ A, HUNG M S, AHN B H. An industrial ocean-cargo shipping problem[J]. *Decision Science*, 1995, 26(3): 395-423.
- [14] AGARWAL R, ERGUN Ö. Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping[J]. *Transportation Science*, 2008, 42(2): 175-196.
- [15] XIE Xin-lian, WANG Teng-fei, CHEN Dai-song. A dynamic model and algorithm for fleet planning[J]. *Maritime Policy and Management*, 2000, 27(1): 53-63.
- [16] NICHOLSON T A J, PULLEN R D. Dynamic programming applied to ship fleet management[J]. *Operational Research Quarterly*, 1971, 22(3): 211-220.