

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.06.010

区域海港群-无水港系统布局优化模型及其算法

封学军,王 伟,张 艳

(河海大学港口海岸与近海工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:以区域海港-无水港网络为研究对象,构建区域海港-无水港网络总体优化的双层规划模型,将贪心法和遗传算法相结合对所建模型进行求解,实现区域海港群-无水港系统布局协同优化。该模型适用于解决已知需求点分布的区域海港-无水港宏观配置优化问题。将其应用于海峡西岸港口群-无水港系统布局优化实践,结果表明,所建模型可有效解决区域内海港群-无水港系统的协同优化问题。

关键词:无水港;海港群;布局优化;双层规划模型;遗传算法

中图分类号:U658.91;F550.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2013)06-0525-06

Regional seaport group-dry port system optimization model and corresponding algorithm

FENG Xuejun, WANG Wei, ZHANG Yan

(College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: A regional seaport-dry port network general optimization bi-level programming model was constructed for study of regional seaport-dry port networks. The greedy algorithm and genetic algorithm were used to solve the constructed model, in order to realize collaborative optimization of regional seaport group-dry port deployment. The model was used for optimization of macro-configuration of a regional seaport-dry port system with known distribution of demand points. The model was applied to deployment optimization of the seaport group-dry port system on the west bank of a strait. The results show that the model can effectively solve the collaborative optimization problem of regional seaport group-dry port systems.

Key words: dry port; seaport group; deployment optimization; bi-level programming model; genetic algorithm

综合运输体系、多式联运系统以及海港建设的快速发展导致海港腹地的动态化,加剧了海港间对内陆腹地的激烈争夺;随着海港对区域经济发展的支撑和引领作用为更多人所认识,在内陆地区实现除船舶装卸以外的海港功能成为区域经济发展的迫切要求。在这两股需求和动力的作用下,作为海港参与腹地竞争的主要手段和内陆经济发展的推进器,无水港近年来发展迅速。海港群-无水港物流系统正成为区域物流的核心,并表现出显著的系统化和网络化特征。截至 2011 年底,中国已建或在建的无水港超过 100 家,仅天津港主导建设的无水港就超过 20 家,若加上其他有显著无水港特色的公路物流港、铁路物流枢纽,数量则更加惊人。这些无水港的建设在缓解港口发展矛盾、支撑地方经济发展和协调港口供应链有序运营中发挥着重要作用,同时,亦为解决港口-腹地关系提供了新的思路。

国内外有关学者对区域海港群-无水港系统布局问题进行了相关研究。Hoyle^[1]在对东非海港研究的基础上,修订了 Bird 海港发展的任意港模式,总结出 6 个阶段的东非海港发展模式。Notteboom 等^[2]在此基础上提出了海港发展的第 4 阶段——区域化阶段,认为到该阶段,海港发展主要集中于腹地拓展。Rodrigue 等^[3]将腹地的概念进一步扩展为陆向腹地和海向腹地两个方面。Cemt^[4]认为内陆腹地资源势必成为海港

在激烈的市场竞争中增强竞争力的基石,同时,多式联运模式的迅速发展带动了内陆集装箱设施建设的发展,内陆集装箱设施的建设又促进了集装箱向内陆发展。20世纪80年代至90年代初,集装箱经营者已经开始在欧洲、北美和亚洲内陆建立复杂的集装箱内陆运输网络,这种网络可以认为是无水港的初始模式——集装箱内陆无水港。

20世纪90年代后关于无水港的研究发展较快。国际上,Notteboom等^[2]根据港口区域化的理念,认为是由于集装箱化、供应链管理 and 内陆无水港的发展而形成了港口动态腹地;Violeta等^[5-6]指出,在集装箱船舶大型化的背景下,无水港成为连接港口与内陆腹地的重要环节,无水港以多式联运的模式将海港向内陆扩展,有助于缓解海港拥挤的运输状况,并分析了无水港建设的影响因素;Heaver等^[7-12]针对在无水港建设中港口的职责和无水港的空间布局等提出了不同设想;Hua^[13]应用多属性决策方法以及多目标决策方法分别对美国德克萨斯州的内陆港选址问题和内陆港投资决策问题进行了研究;Xu^[14]提出了以离散数学为基础、以营运赢利为目标函数的内陆集装箱选址模型;Gendron等^[15]提出了建立双层顾客流的一个空箱站选址模型。在我国,席平等^[16]根据国家西部大开发战略,结合西安实际情况,提出建设西安无水港的设想;关峰^[17]分析了我国无水港未来的发展模式及面对的问题;王红卫^[18]将无水港与集装箱货运站、堆场进行比较,并从货主成本着手,利用离散选择理论推导了无水港选址模型;马文祥^[19]介绍了天津港进行无水港选址的元胞自动机模拟程序;蔡玉凤等^[20]分析了我国无水港的发展现状,提出了5种无水港与海港的联动发展模式。综合来看,由于无水港发展时间不长,至今还没有一个布局模型来帮助内陆政府、沿海港口和经营者建立兼顾效率和吞吐量的无水港网络。

无水港建设是在海港之间和营运人之间竞争合作关系的大环境下实施的,区域海港-无水港系统的布局取决于可供选择的区位、周边集疏运条件和其引力范围内的物流需求量等众多因素。为了有效地解决无水港选址问题,必须系统地研究海港、货主、货运企业和无水港之间的供需选择行为。本文以货主为研究对象,用概率选择模型描述货主选择无水港服务行为的概率,基于此,提出在明晰无水港和海港之间互动关系的基础上,构建区域海港-无水港系统布局优化模型及其求解算法,在降低区域物流成本的同时保障无水港系统的有效运行。

1 区域海港-无水港系统布局优化模型

区域海港-无水港系统是由点要素(包括海港、预选无水港、腹地需求点即货源点)、线要素(由腹地需求点与无水港间、无水港与海港间以及腹地需求点与海港间的物流通道构成)和面要素(所在区域内的物流系统)三者构成,其中预选无水港包括已有和新建无水港,如图1所示。

1.1 模型假设

构建单货种、多级混合结构的海港-无水港网络配置优化模型,假设具有如下条件:

- a. 考虑以出口外向型为主导的区域,仅考虑出口物流的布局决策问题。
- b. 已知网络中货源发生点和海港的位置、各点的原始发生量和原始吸引力以及各点对之间的原始物流量;已知备选无水港址、通道的位置、最大容量,预先确定原始运输网络。
- c. 已知运输、仓储等物流费率不受市场波动影响,且运输费用为线性函数,仓储费用受到无水港规模的影响。
- d. 各备选无水港和通道的基建费用由固定费用和变动费用构成,费率已知。
- e. 假设货物或物流服务是同质的,即具有相同的价值和装运条件,对物流链具有同样的选择行为,物流链的选择遵循效用最大准则。
- f. 假设海港与无水港的选择行为是一个海港可以选择建设多个无水港,而无水港与海港的选择行为分为两类:(a)一个无水港可选择多个海港(无水港共用);(b)一个无水港只可选择一个合作海港(独占)。

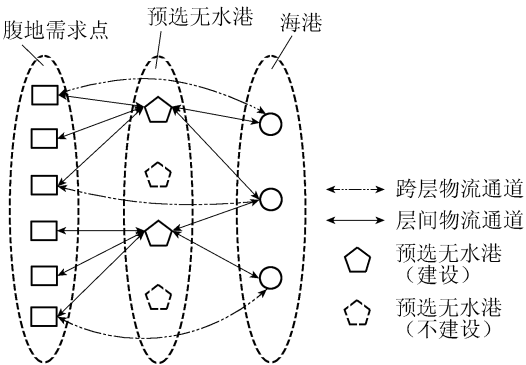


图1 区域海港-无水港网络流线

Fig. 1 Network flow pattern of regional seaport-dry port system

- g. 假设货物从货源发生点至海港最多只经过一个无水港。
- 另外,无水港布局优化考虑新建无水港和已有无水港共存的状况。

1.2 模型的构建

海港-无水港系统优化问题可用一个多阶段优化问题来描述:(a)确定无水港的数量和选址;(b)无水港选择合作海港;(c)腹地货物选择合适无水港;(d)无水港至海港的运输线路安排。考虑无水港共用和无水港独占两种情况,构建双层规划模型:上层规划模型确定无水港的数量、选址、规模以及与海港间的互动关系;下层规划模型为货主选择物流服务链以及服务无水港的行为。

1.2.1 无水港共用

- a. 上层规划模型:以区域海港群-无水港系统总运输成本最小为目标。模型如下:

$$\min Z = \sum_{i,j,k} \psi_k \varphi_{jk} [Q_{ijk}(C_{ik}(Q_k)l_{1ik} + C_{kj}(Q_k,S_j)l_{2kj}) + Q_{i0}C_{ij}(S_j)l_{ij} + a_1Q_{jk}^{\theta_1} + a_2S_j^{\theta_2}] \tag{1}$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} S_j \sum Q_{jk} \\ Q_k \sum_j Q_{jk} \\ Q_{jk} \leq \max F_{jk} \\ S_j \leq \max P_j \\ Q_k \leq \psi_k \max W_k \end{cases} \quad (k = 0,1,2,\cdots,m) \tag{2}$$

其中
$$\psi_k = \begin{cases} 1 & \text{表示在备选节点 } k \text{ 布置无水港} \\ 0 & \text{表示在备选节点 } k \text{ 不布置无水港} \end{cases} \quad Q_{jk} = \varphi_{jk} \sum_i Q_{ijk}$$

式中: Z ——区域海港群-无水港系统总运输成本; Q_{ijk} ——货源点 i 的货物至海港 j 经过无水港 k 的货运量; C_{ij},C_{ik},C_{kj} ——货源点 i 与海港 j 、货源点 i 与无水港 k 、无水港 k 与海港 j 之间的单位运输费率; Q_k ——无水港 k 的中转量; l_{ij},l_{1ik},l_{2kj} ——货源点 i 与海港 j 、货源点 i 与无水港 k 、无水港 k 与海港 j 之间的运输距离; m ——预选无水港的数量; S_j ——海港 j 的作业需求量; Q_{jk} ——海港 j 经过无水港 k 的货运需求量; a_1,a_2 ——系数,可采用问卷调查统计分析结合极大似然估计法标定,也可采用层次分析法(AHP)确定各类效用的权重,由最小二乘法拟合得到; θ_1,θ_2 ——无水港至海港作业、海港作业的规模效应系数; $\max F_{jk}$ ——无水港 k 至海港 j 的货运量满足无水港 k 至海港 j 通道的能力限制; $\max P_j$ ——海港 j 的作业量满足海港 j 的能力限制, W_k ——无水港 k 中转量满足无水港 k 的能力限制; φ_{jk} ——海港 j 的货物是否经过无水港 k ,如经过 $\varphi_{jk}=1$,不经过则 $\varphi_{jk}=0$ 。

- b. 下层规划模型:

$$P_{ijk} = \frac{e^{V_{ijk}}}{\sum_{jk} e^{V_{ijk}}} \quad Q_{ijk} = Q_i P_{ijk} \tag{3}$$

其中
$$V_{ijk} = \frac{R_{ijk}}{\sum_k R_{ijk}}$$

式中: P_{ijk} ——货源点 i 的货物至海港 j 且经过无水港 k 的概率; V_{ijk} ——货源点 i 的货物至海港 j 经过无水港 k 的效用; R_{ijk} ——货源点 i 的货物至海港 j 经过无水港 k 的广义费用,受无水港 k 的规模效应的影响; Q_i ——货源点 i 的货运需求量。

1.2.2 无水港独占

无水港独占条件下的上、下层规划模型与无水港共用条件下的式(1)一致,只增加一个约束条件:

$$\sum_j \varphi_{jk} = \psi_k \tag{4}$$

2 基于贪心法与遗传算法的求解算法

区域海港-无水港系统布局优化的特点是,在已知无水港备选点和通道备选线路的情况下,确定区域海港-无水港网络内部节点与线路的数量、规模、地址,且运输、库存、建设费用的系统成本最小。基于本文建立的双层规划模型的非凸性、非连续性等特点,决定了用常规的优化方法不能有效地求解该问题。本文将遗传

从无水港到海港的单位物流成本为

$$c'_{jk} = \frac{c_{jk}}{m_k}$$

(5)

式中: c'_{jk} ——修正后的从需求点或从无水港 j 到海港 k 的单位物流成本; c_{jk} ——从需求点或从无水港 j 到海港 k 的初始单位物流成本。

在下层规划模型中 Logit 模型参数采用最小二乘法确定,见图 4。根据图 4 可以确定 a 取值为 324.7。考虑无水港的规模效益, θ 取 0.1。此外,本文实例中成本和作业量均取无量纲值。

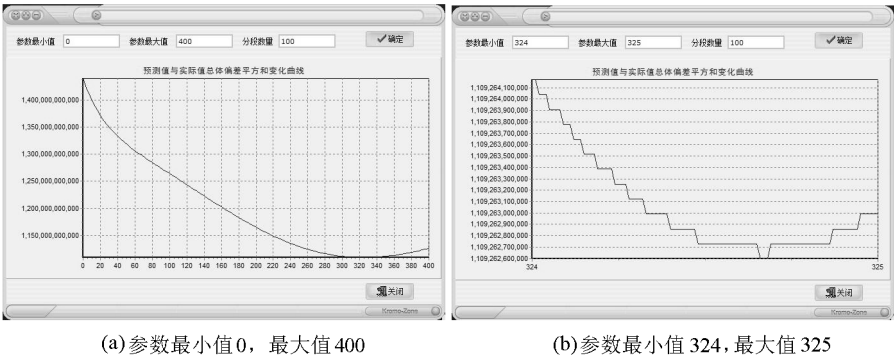


图 4 Logit 模型参数值的确定

Fig. 4 Determination of Logit model parameter values

3.1 无水港共用

采用贪心法求解模型的初始解,方案的优化采用遗传算法,遗传算子的选择概率取 0.8,交叉概率取 0.5,变异概率取 0.01,最大迭代次数取 200,优化运行过程如图 5(a) 所示。当 200 次迭代后趋于最优解,生成如表 1 和图 6(a) 所示的优化方案,在没有建设无水港的情况下总成本为 1.30839873×10^8 ,初始方案的目标函数值(总成本)为 2.4182488×10^7 ,最优解目标函数值(总成本)为 1.000304×10^7 ,表明算法具有较好的收敛性。

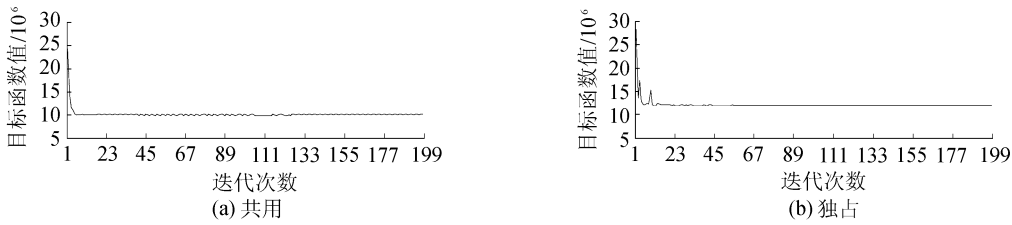


图 5 优化过程

Fig. 5 Optimization process



图 6 无水港布局方案

Fig. 6 Dry port deployment scheme

3.2 无水港为海峡西岸港口群独占

采用贪心法求解模型的初始解,方案的优化采用遗传算法,遗传算子的选择概率取 0.8,交叉概率取

0.5,变异概率取0.01,最大迭代次数取200,优化运行过程如图5(b)所示,当200次迭代后趋于最优解,生成如表1和图6(b)所示的优化方案。在没有建设无水港的情况下的总成本为 1.30839873×10^8 ,初始方案的目标函数值(总成本)为 2.827592×10^7 ,最优解目标函数值-总成本为 1.194766×10^7 ,表明算法具有较好的收敛性。

由表1和图6可以看出,海峡西岸港口群无水港的建设极大地提升了其对腹地货源的吸引力,福建省腹地口岸服务需求大部分被吸引到海峡西岸港口群,大幅降低了区域进出口物流成本,提升了服务效率,特别是当无水港为海峡西岸港口群独占时,福建省腹地的口岸服务需求几乎全部被吸引过去。

4 结 语

从海港、无水港相互关系入手,构建区域海港-无水港系统布局优化模型,并提出高效求解算法。本文仅在前人研究的基础上,从系统科学和复杂科学的角度对区域海港-无水港系统进行了较为系统的分析,目的是为后续的研究奠定基础。

参考文献:

[1] HOYLE B. Seaports and development: the experience of Kenya and Tanzania [M]. London: Gordon and Breach Science Publishers, 1983.

[2] NOTTEBOOM T E, RODRIGUE J P. Port regionalization: towards a new phase in port development[J]. Maritime Policy & Management, 2005, 32(3): 297-313.

[3] RODRIGUE J P, NOTTEBOOM T E. Foreland-based regionalization: integrating intermediate hubs with port hinterlands[J]. Research in Transportation Economics, 2010, 27(2): 19-29.

[4] CEMT S. Land access to seaports [C]//Round Table 113: European Conference of Ministers of Transport. Paris: OECD, 2001: 15-27.

[5] VIOLETA R, JOHAN W. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland[J]. Journal of Transport Geography, 2009, 17: 338-345.

[6] LEVEQUE P, ROSO V. Dry port concept for seaport inland access with intermodal solutions[D]. Goteborg: Chalmers University of Technology, 2002.

[7] HEAVER T, MEERSMAN H. Do mergers and alliances influence European shipping and port competition? [J]. Maritime Policy and Management, 2000, 27(4): 363-374.

[8] HEAVER T, MEERSMAN H. Co-operation and competition in international container transport: strategies for ports[J]. Maritime Policy and Management, 2001, 28(3): 293-306.

[9] NOTTEBOOM T E. Consolidation and contestability in the European container handling industry[J]. Maritime Policy and Management, 2002, 29: 257-270.

[10] NOTTEBOOM T E, WINKELMANS W. Structural changes in logistics: how will port authorities face the challenge? [J]. Maritime Policy and Management, 2001, 28(1): 71-89.

[11] ROBINSON R. Ports as elements in value-driven chain systems: the new paradigm[J]. Maritime Policy and Management, 2002, 29(3): 241-256.

[12] VAN KLINK H A, VAN DENBERG G. Gateways and intermodalism[J]. Journal of Transport Geography, 1998(6): 1-9.

[13] HUA Yang. Dry port location model under trans Texas corridor concept[D]. Texas, Austin: the University of Texas, 2005.

[14] XU Yuanquan. A discrete choice based facility location modal for inland container depot[D]. West Virginia, Morgantown: West Virginia University, 1999.

[15] GENDRON B, POTVIN J Y. A tabu search with slope scaling for the multi-commodity capacitated location problem with balancing requirements[J]. Ann Operations Res, 2003, 122: 193-217.

[16] 席平, 严国荣, 曹鸿. 建立中国西部国际港口: “西安陆港”的设想[J]. 唐都学刊, 2001, 17(4): 15-18. (XI Ping, YAN Guorong, CAO Hong. Assumption on establishment of international port in western China: “Xi'an Dry Port” [J]. Tangdu Journal, 2001, 17(4): 15-18. (in Chinese))

[17] 关峰. 无水港发展趋势及其母港堆场规模结构研究[D]. 大连: 大连海事大学, 2008.

[18] 王红卫. “无水港”建设及离散选择理论在选址中的应用[D]. 上海: 上海海事大学, 2004.

[19] 马文祥. 天津港发展无水港的战略研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.

[20] 蔡玉凤, 陈宁. 无水港与沿海港口联动发展研究[J]. 中国港口, 2009, 10(2): 26-31. (CAI Yufeng, CHEN Ning. Research on linkage development of dry port and coastal port [J]. China Port, 2009, 10(2): 26-31. (in Chinese))

表1 迭代200次以后的优化方案

Table 1 Optimization scheme after 200 times of iteration

无水港	无水港 规模(共用)	无水港 规模(独占)
南昌	0	0
长沙	0	0
赣州	0	0
南平	412 067. 5	891 146. 75
三明	31 191. 814 45	0
龙岩	1 083 868. 75	878 881. 50
九江	0	0
上饶	72. 576 385 5	0
梅州	364 213. 125	0
鹰潭	0	0

注:表中无水港规模用无水港作业能力指标表示。