

基于海港-无水港体系的内陆出口货流优化模型和算法研究

庄佩君^{1,2}, 张向阳¹, 曾 锋¹, 叶彩鸿¹, 钟佳音¹

(1. 宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211; 2. 浙江省港口经济协同创新中心, 浙江 宁波 315211)

摘要: 海港-无水港体系日益成为内陆进出口货流路径模式, 与海港一体化的无水港影响着内陆货流路径选择. 本文整合国际航运段与内陆运输网络, 构建出口内陆地区至海外进口港路径安排时的成本最优模型, 考察内陆出口货流在内陆无水港和出口海港上的分配, 扩展了传统多级运输网络, 实现内陆城市至无水港或至其母港的选择. 用遗传算法进行算例分析, 探讨海港-无水港体系和此类无水港对出口货流的影响, 得出运输和区域规划方面的启示.

关键词: 海港-无水港; 无水港; 港口区域化; 集装箱出口流; 混合遗传算法

中图分类号: U111

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 01-0098-06

被称为港口发展第六阶段的港口区域化发展理论强调海港通过内陆运输场站节点和高效的交通走廊, 与腹地形成了一体化的运输系统^[1], 这颠覆了港口和腹地关系的二元组成概念; 其中2个运输节点形成的系统, 即海港-无水港系统成为了港口物流的一种重要模式. 虽然无水港一词有时泛指一般的内陆货物集散场站或转运设施, 可服务于多个海港, 但作为上述系统组成的无水港具有与海港更紧密的联系和一体化的功能设定.

此类无水港介入以海港为门户的区域物流网络, 可改变进出口货流, 但现有文献对区域集装箱进出口流优化的研究很少考虑无水港影响. 如 Luo 等^[2]用空间经济仿真模型; Levine 等^[3]用引力模型分别估算美国进口集装箱流的分布; Fan 等^[4]用线性模型, 结合船舶规模、进口港和内陆运输通道因素; Jula 等^[5]用混合整数非线性规划模型, 结合运输和库存等供应链成本最低策略, 分别考察美国从亚洲进口货流路径. 以上文献都没有考虑内陆节点. Kim 等^[6]关注到内陆运输场站在韩国集装箱流优化时的作用, 将此定位为转运节点, 这种可连接多个沿海港口的内陆转运节点, 不同于本文界定的海港-无水港体系中的只连接特定海港(母港)的无水港. 本文整合国际航运段与内陆运输网络, 构建出口货物由内陆地区至海外进口港路径安排

时的成本最优模型, 考察内陆出口货流在内陆无水港和出口海港的分配, 并求解其算法, 以期探究海港-无水港体系对出口货流的影响, 考察内陆城市货物至此类无水港或至其母港的选择情况, 得出运输和区域规划方面的启示.

1 问题描述

内陆出口货流至海外进口港的路径有2种: (1) 由货源地(如工厂)直接运到出口港离境, 经国际航段到进口港; (2) 先至内陆无水港、集运和办结海关等手续后, 至出口港离境, 然后航运至海外进口港. 此无水港与沿海装运港(母港)有着紧密的一体化运作体系, 包括关区功能前移到无水港, 物流运作便利高效. 如江西省抚州及周边地区的出口集装箱, 可直接运至宁波港、上海港或厦门港离境, 也可先运送至宁波港在鹰潭设立的无水港, 再经宁波港(母港)离境.

考虑到国内外大部分无水港都是通过铁路连接母港, 本文仅考虑无水港通过铁路连接母港的情况. 文中采用节点扩展来表达多种运输方式相连^[7-10], 为表达清晰起见, 将出口港和进口港分别称作装运港和目的港. 图1显示对转运节点的(装运港和无水港)扩展, 一分为二, 每个节点代表通过一种运输方式连接(扩展前)该转运节点.

收稿日期: 2018-01-24.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY14D010002); 教育部人文社会科学项目(14YJC63017).

第一作者: 庄佩君(1969-), 女, 浙江定海人, 博士/教授, 主要研究方向: 港口与航运管理. Email: zhuangpeijun@nbu.edu.cn

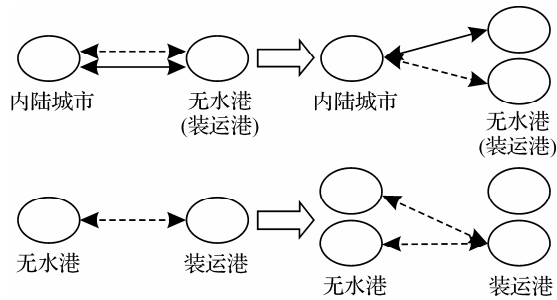


图 1 节点拓展图

假设内陆区域有 m 个城市, 通过 n 个装运港出口集装箱到国外 r 个港口, 其中每个装运港都且在特定内陆区域内仅建立 1 个此类紧密一体化的无水港, 构建内陆集装箱出口运输网络 $G(V, A)$ (图 2)。具体做法: (1) 将装运港节点和无水港节点分别扩展为 2 个, 从上到下依次排列; (2) 无水港节点集和装运港节点集中下标偶数的节点代表由铁路连接, 下标奇数的节点代表由公路连接; (3) 无水港节点间、装运港节点间以及同个节点扩展来的节点间不存在连接弧; (4) 各条弧上的权重为费用权重。

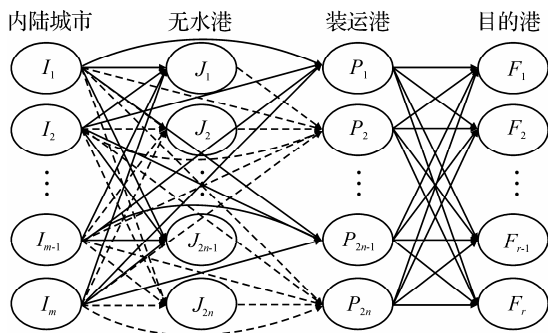


图 2 内陆集装箱出口的扩展运输网络图

海港-无水港体系的集装箱出口网络流涉及多级静态运输网络优化问题。该问题可表述为在腹地出口量和国外港口进口量明确的条件下, 根据各运输段不同运输方式下的运输成本与转运节点转运成本之和最小化来选择转运节点和运输方式, 从而对出口集装箱量分配, 以达到成本最优目的。

2 数学模型

2.1 假设条件

(1) 本问题只考虑标准箱 (TEU); (2) 不考虑线路的容量限制, 且已知单位运输成本与转运成本; (3) 已知各出口区域和目的港的出口和进口量且总量相等; (4) 各转运节点 (无水港和海运港) 通过能力已

知; (5) 节点选择与集装箱货物无关, 且集装箱量是可分割的。

2.2 符号

表 1 给出了问题中的参数及其含义。

表 1 符号及其代表的含义

符号	含义	符号	含义
E	偶数集	ct_j	无水港 j 的转运成本
F	目的港节点集	c_{1ij}	节点 i 到 j 的单位运输成本
I	内陆城市节点集	c_{2jp}	节点 j 到 p 的单位运输成本
J	无水港节点集	c_{3ip}	节点 i 到 p 的单位运输成本
P	装运港节点集	c_{4pf}	节点 p 到 f 的单位运输成本
u_j	无水港节点 j 的通过能力	x_{1ij}	节点 i 到 j 的运输量
u_{2p}	装运港节点 p 的通过能力	x_{2jp}	节点 j 到 p 的运输量
d_f	节点 f 对内陆区域的集装箱需求量	x_{3ip}	节点 i 到 p 的运输量
SI_i	节点 i 集装箱供应量	x_{4pf}	节点 p 到 f 的运输量

2.3 目标函数和约束条件

优化目标是使总成本最小, 目标函数如下:

$$W = \sum_i \sum_j c_{1ij} x_{1ij} + \sum_j \sum_p c_{2jp} x_{2jp} + \sum_i \sum_p c_{3ip} x_{3ip} + \sum_p \sum_f c_{4pf} x_{4pf} + \sum_j ct_j \cdot \sum_i x_{1ij}, \quad (1)$$

$$\sum_j x_{1ij} + \sum_p x_{3ip} = SI_i, \quad (2)$$

$$\sum_i x_{1ij} \leq u_j, \quad (3)$$

$$\sum_j x_{2jp} + \sum_i x_{3ip} \leq u_{2p}, \quad (4)$$

$$\sum_p x_{4pf} = d_f, \quad (5)$$

$$\sum_i x_{1ij} = \sum_p x_{2jp}, \quad (6)$$

$$\sum_f x_{4pf} = \sum_j x_{2jp} + \sum_i x_{3ip}, \quad (7)$$

$$x_{2jp} = 0, \forall p \notin E, \quad (8)$$

$$x_{2jp} = 0, \forall p \in E \cap (j \neq p \text{ 或 } j \neq p-1), \quad (9)$$

$$x_{1ij}, x_{2jp}, x_{3ip}, x_{4pf} \geq 0, \quad (10)$$

其中, (1) 式前 4 项是各阶段的运输成本, 最后 1 项是在无水港的转运成本; (2) 式为各个内陆城市节点的集装箱供应量约束; (3) 式和 (4) 式为无水港和

装运港的通过能力约束; (5)式为满足目的港的需求量; (6)式和(7)式是无水港节点和装运港节点的流量守恒约束; (8)式和(9)式确保无水港只能连接其对应的母港; (10)式为非负约束。

3 遗传算法

结合选址的多级运输网络是 NP-hard 问题^[11]。内陆出口集装箱流分配属于传统多级运输网络问题的拓展, 因此, 智能优化算法能对该问题在较短的时间内获得高质量的有效解。其中, 遗传算法被广泛应用于生产调度问题和组合优化问题^[12]。Gen 等^[13]设计了一种基于优先权编码的遗传算法以求解两级运输网络问题, 可避免修复机制, Lin 等^[14]设计了一种拓展优先权编码的进化算法以求解集成多级物流网络。本文扩展了传统多级运输网络, 加入了内陆城市直接运至装运港或通过无水港运至其母港的路线选择, 用遗传算法求解内陆集装箱出口网络流优化模型。

3.1 编码

遗传算法中染色体编码由两部分构成: 第一部分按照优先权编码原则分配各段运量, 由 4 个基因片段组成, 每段是其端节点的一个排列, 每段的基因座代表端节点, 基因值代表构建路线时的节点选择优先权; 第二部分扩展了第一部分染色体表达方式, 使到达装运港的选择具有不同优先权, 即确定先构建第 2 段路径再构建第 3 段路径, 或者相反。使用 n 个随机数 0—1 编码, 以表达偶数节点的装运港的连接, 0 表示内陆城市与装运港相连接, 1 则表示无水港与装运港相连接。问题描述中所述区域的染色体编码如图 3 所示。

3.2 解码

解码过程分成 5 个阶段, 各阶段的解码均遵循优先权解码的规则以避免产生非法解。从第一部分第 4 片段开始, 由后段向前段解码, 在解码第 2 段和第 3 段时, 应用第二部分信息。第 1 阶段解码是将 F 分配到 P ; 第 2 阶段是将 P 中下标为偶数且

染色体第二部分对应编码取值为 0 的节点以及下标为奇数的节点分配到 I ; 第 4 阶段解码是将 P 中脚标为偶数且染色体第二部分取值为 1 的节点分别分配到 J 中对应的节点上, 如节点 P_2 只能分配到节点 J_1 和 J_2 上, 分配时先遵守第一部分对应片段已确定的节点的权, 然后按照优先权规则分配, 经本阶段解码, 节点 P_i 可能分配不完全; 第 4 阶段解码是将 J 分配到 I ; 最后将第 3 阶段分配不完全的节点 P_i 再次分配到 I 。

3.3 遗传操作

3.3.1 交叉和变异

选择 2 个父代染色体, 交换部分基因。交换时, 两部分交换使用不同交叉算子, 第一部分采用 Gen 和 Lin 的带权映射交叉(WMX)算子, 而第二部分采用单点交叉。WMX 扩展了单点交叉, 子代中交叉点左边部分继承一父本的相应部分, 交叉点右边部分基于二父本右边权重顺序匹配一父本剩余代码, 该算子具有遗传特点, 又避免了非法解。交换的过程旨在更大的解空间搜索。变异可以用来防止早熟并产生新的解, 在这里, 染色体的第 1 片段各个部分都采用 Gen 和 Lin 设计的插入变异^[11], 第 2 片段采用单点变异。

3.3.2 自适应交叉和变异概率

交叉概率和变异概率直接关系到算法的收敛性和搜索效率。采用卞航宇等^[15]提出的自适应调整策略。如(11)式所示, 其中, $P_{\max}$ 和 $P_{\min}$ 是交叉变异概率的上、下限, $f_{\max}$ 和 f_{avg} 是种群最大适应度值和平均适应度值。 f 是交叉后的子代中适应度值较大的个体或变异后的个体, $A = 9.903\ 438$ 。

$$P = \begin{cases} \frac{P_{\max} - P_{\min}}{1 + \exp(A \cdot (\frac{2(f - f_{\text{avg}})}{f_{\max} - f_{\text{avg}}}))} + P_{\min}, & f > f_{\text{avg}}, \\ P_{\max}, & f \leq f_{\text{avg}}. \end{cases} \quad (11)$$

3.3.3 评价、选择和进化

适应度函数是进行自然选择的唯一依据, 本文用目标函数的倒数作为适应度函数。从当前种

第一部分																第二部分													
I_1	$\cdots$	I_m	J_1	$\cdots$	J_{2n}	J_1	$\cdots$	J_{2n}	P_1	$\cdots$	P_{2n}	I_1	$\cdots$	I_m	P_1	$\cdots$	P_{2n}	P_1	$\cdots$	P_{2n}	F_1	$\cdots$	F_r	P_2	$\cdots$	P_{2i}	$\cdots$	P_{2n}	
2	$\cdots$	8	6	$\cdots$	7	3	$\cdots$	4	5	$\cdots$	7	7	$\cdots$	1	2	$\cdots$	9	3	$\cdots$	2	6	$\cdots$	1	1	$\cdots$	0	$\cdots$	0	

图 3 染色体表示

群中选择优秀个体参与后代的繁殖, 将有利的基因传播到下一代, 为减少子代退化, 根据适应度值的不同比例用轮盘赌方法选择, 用精英集战略来构建种群. 种群进化采用遗传算法常规的交叉、变异、评价、选择、更新的迭代方式.

4 算例

某内陆区域 A 内有 10 个城市, 有 4 个出口装运海港可选择, 各装运港分别在 A 区域内兴建了 1 个无水港. A 区域集装箱运往 5 个主要目的港卸货, 其出口集装箱量为[1 300 750 1 000 1 300 900 900 1 400 700 950 800]; 海外目的港对集装箱的需求量为[1 900 2 400 1 250 2 600 1 850]; 装运港口的公路通过能力为[2 000 1 800 1 200 2 500], 铁路运输通过能力为[3 000 3 500 2 000 2 500]; 无水港城市公路运输通过能力[400 300 400 200], 铁路运输通过能力为[500 200 200 300]; 各个无水港的单位转运成本为[1 2 1 2], 各阶段运输成本详见表 2~5. 参数设置如下: 种群规模 $P_{PopSize}=500$, 交叉概率 $C_{Max}=0.8$, $C_{Min}=0.3$, 变异率 $V_{Max}=0.05$, $V_{Min}=0.001$. 迭代次数 $G=500$.

表 2 从内陆城市到装运港的单位运输成本

节点	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
P_1	62	79	90	62	60	72	70	80	69	89
P_2	43	38	56	49	50	53	40	64	59	52
P_3	77	68	80	61	73	64	56	30	62	66
P_4	57	45	51	44	57	40	58	44	46	55
P_5	71	76	60	87	84	92	93	62	66	89
P_6	53	68	46	49	54	51	77	57	55	75
P_7	55	83	51	61	42	70	67	63	42	81
P_8	71	78	50	57	64	78	76	65	33	59

表 3 从内陆城市到无水港的单位运输成本

节点	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_{10}
J_1	46	38	42	32	35	29	33	45	37	30
J_2	32	16	33	27	19	21	30	15	31	22
J_3	31	29	30	37	42	45	38	33	28	36
J_4	27	21	18	24	25	28	32	29	20	23
J_5	33	41	30	45	36	42	44	40	35	34
J_6	27	32	18	30	34	25	32	24	26	33
J_7	31	33	28	24	25	28	32	39	20	23
J_8	22	21	20	15	20	19	24	20	18	14

表 4 从无水港到装运港的单位运输成本

节点	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
J_1	-	16	-	-	-	-	-	-
J_2	-	16	-	-	-	-	-	-
J_3	-	-	-	17	-	-	-	-
J_4	-	-	-	17	-	-	-	-
J_5	-	-	-	-	-	15	-	-
J_6	-	-	-	-	-	15	-	-
J_7	-	-	-	-	-	-	-	18
J_8	-	-	-	-	-	-	-	18

表 5 从装运港到目的港的单位运输成本

节点	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
P_1	87	59	98	69	67
P_2	87	59	98	69	67
P_3	61	78	83	81	68
P_4	61	78	83	81	68
P_5	40	83	69	78	53
P_6	40	83	69	78	53
P_7	60	56	60	88	63
P_8	60	56	60	88	63

用 Matlab R2011b, 在计算机上对上述案例求解, 经过 321 次迭代计算, 搜索到终解, 各阶段的运量分配见表 6~9, 区域内各个城市通过公路到各无水港分配量为[400 0 0 200 0], 通过铁路到各无水港分配量为[500 0 0 0]; 内陆城市通过公路直接到装运港节点的转运量为[0 1 800 0 1 100], 通过直接铁路到装运港节点的转运量为[2 600 0 2 000 1 400]. 最终分配到各无水港转运量分别为[900 0 0 200], 分配到各装运港的集装箱量为[3 500 1 800 2 000 2 700]. 进化过程如图 4 所示.

表 6 从内陆城市到装运港的运量分配

节点	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
I_1	0	50	800	0	0	0	0	450
I_2	0	750	0	0	0	0	0	0
I_3	0	0	1 000	0	0	0	0	0
I_4	0	0	0	0	0	1 300	0	0
I_5	0	900	0	0	0	0	0	0
I_6	0	0	0	0	0	0	0	0
I_7	0	100	0	0	0	0	1 100	0
I_8	0	0	0	0	0	700	0	0
I_9	0	0	0	0	0	0	0	950
I_{10}	0	800	0	0	0	0	0	0

表7 从内陆城市到无水港的运量分配

节点	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8
I_1	0	0	0	0	0	0	0	0
I_2	0	0	0	0	0	0	0	0
I_3	0	0	0	0	0	0	0	0
I_4	0	0	0	0	0	0	0	0
I_5	0	0	0	0	0	0	0	0
I_6	200	500	0	0	0	0	200	0
I_7	200	0	0	0	0	0	0	0
I_8	0	0	0	0	0	0	0	0
I_9	0	0	0	0	0	0	0	0
I_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0

表8 从无水港到装运港的运量分配

节点	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8
J_1	0	400	0	0	0	0	0	0
J_2	0	500	0	0	0	0	0	0
J_3	0	0	0	0	0	0	0	0
J_4	0	0	0	0	0	0	0	0
J_5	0	0	0	0	0	0	0	0
J_6	0	0	0	0	0	0	0	0
J_7	0	0	0	0	0	0	0	200
J_8	0	0	0	0	0	0	0	0

表9 从装运港到目的港的运量分配

节点	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
P_1	0	0	0	0	0
P_2	0	950	0	2 550	0
P_3	0	0	0	50	1 750
P_4	0	0	0	0	0
P_5	0	0	0	0	0
P_6	1 900	0	0	0	100
P_7	0	1 100	0	0	0
P_8	0	350	1 250	0	0

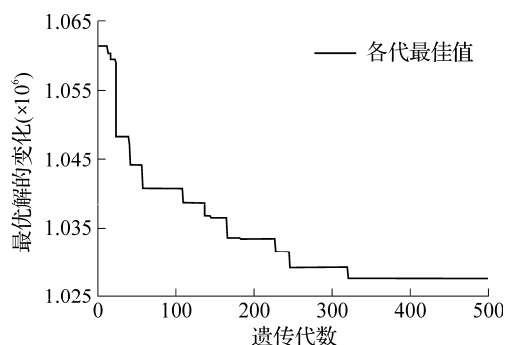


图4 进化过程

5 结果与结语

提出海港-无水港体系中内陆地区出口网络流的优化,建立数学模型,用遗传算法结合数值案例进行算例分析,计算结果如下:(1)整个内陆区域出口货通过无水港的总量占比较低,约为11%,集中在 I_6 和 I_7 城市。(2)从内陆城市对无水港的选择来看,仅有2个城市的货物通过无水港中转。 I_6 城市的出口量都通过无水港,且有2个无水港可选择,其中第1个无水港是其主选,第4个无水港是次选。说明对 I_6 城市而言,这2个无水港具有成本优势。(3)从无水港角度看,只有一部分无水港发挥了转运功能。在此例中,仅有第1个无水港的公路和铁路运输能力被充分利用,第4个无水港被部分利用,另有2个无水港没有被利用。

对此计算结果进行充分讨论,可以得出有意义的发现,启示于运输和区域规划及政策工作:

(1)海港-无水港模式可改变以海港为门户的内陆出口物流网络规划,有利于内陆拓展国际物流通道,提升效率。如算例中的 I_6 城市通过第1个和第4个无水港获得的成本效率和通道。

(2)从无水港建设来看,海港-无水港体系并不自然地具有成本优势,要想此体系和其中的无水港更好地发挥效率,需从多方面进行一体化努力。譬如便利性运输和物流环境建设、消除通关等方面的政策性障碍。

(3)从通道角度来看,海港-无水港体系中的通道容量和效率具有重要影响。算例中第1个无水港的铁路和公路通道容量限制了其更好地发挥作用,在其容量被充分利用后,虽对 I_7 城市有成本优势,但在接受该城市一定货量后,通道容易饱和,溢出至其他无水港。

(4)从海港而言,良好的海港-无水港体系可提高海港效率,有助于海港拓展和抓住腹地。近年来我国大型海港热衷于投资建设内陆无水港,但需要十分警醒投资决策:首先无水港建设后,不一定会有好效率,如算例中有2个无水港甚至未获得货物;其次,无水港之间会形成交叉腹地,海港投资的无水港所在城市的货物仍可能经其他无水港至其他海港,如 I_6 城市是第1和第4个无水港的交叉腹地。这显示沿海港口间竞争通过其各自的无水

港向内陆延伸.

(5)从内陆城市而言,海港-无水港有助于其获得便利的出海口,但投资(或与海港合资)建设无水港,并不能必然提高其物流效率.如算例中的大多数内陆城市货物并未通过无水港.而 I_6 这样有多个无水港可选择的内陆城市,可能因无水港间的竞争和藉此传递的母港间竞争,反而使该城市获得更为高效的国际物流通道.

参考文献:

- [1] Notteboom T E, Rodrigue J P. Port regionalization: Towards a new phase in port development[J]. *Maritime Policy & Management*, 2005, 32(3):297-313.
- [2] Luo M, Grigalunas T A. A spatial-economic multimodal transportation simulation model for US coastal container ports[J]. *Maritime Economics & Logistics*, 2003, 5(2): 158-178.
- [3] Levine B, Nozick K, Jones D. Estimating an origin-destination table for US imports of waterborne containerized freight[J]. *Transportation Research*, 2009, 45(4): 611-626.
- [4] Fan L, Wilson W, Tolliver D. Optimal network flows for containerized imports to the United States[J]. *Transportation Research*, 2010, 46(5):735-749.
- [5] Julia P, Leachman R C. A supply-chain optimization model of the allocation of containerized imports from Asia to the United States[J]. *Transportation Research*, 2011, 47(5):609-622.
- [6] Kim J, Chang T, Lee P, et al. Optimizing the transportation of international container cargoes in Korea[J]. *Maritime Policy and Management*, 2008, 35(1):103-122.
- [7] 井祥鹤, 魏冬峰, 周献. 运输方式多目标优化问题的混合遗传算法[J]. *计算机工程与应用*, 2008, 44(6):210-213.
- [8] 王巍, 张小东, 辛国栋. 基于多式联运的组合优化模型及求解算法[J]. *计算机工程与应用*, 2009, 45(7):212-214.
- [9] 王涛, 王刚. 一种多式联运网络运输方式的组合优化模式[J]. *中国工程科学*, 2005, 7(10):46-50.
- [10] 贺竹馨, 孙林岩, 李晓宏. 时效性物流联运方式选择模型及其算法[J]. *管理科学*, 2007, 20(1):8-12.
- [11] Gen M, Lin L. *Genetic Algorithms and Their Application* [M]. New York: Springer Verlag, 2006:749.
- [12] Gen M, Cheng R W. *Genetic Algorithm and Engineering Design*[M]. New York: Wiley, 1997.
- [13] Gen M, Altiparmak F, Lin L. A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding[J]. *OR Spectrum*, 2006, 28(3):337-354.
- [14] Lin L, Gen M, Wang X. Integrated multistage logistics network design by using hybrid evolutionary algorithm[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2009, 56(3):854-873.
- [15] 卞航宇, 金晶, 苏勇. 自适应遗传算法交叉变异算子的改进[J]. *计算机工程与应用*, 2006, 12:93-96.

Optimization models and algorithm for inland export flows based on the system of seaport-dry port

ZHUANG Pei-jun^{1,2}, ZHANG Xiang-yang¹, ZENG Feng¹, YE Cai-hong², ZHONG Jia-yin¹

(1.Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.The Collaborative Innovation Center of Port Economics, Ningbo 315211, China)

Abstract: “Seaport-dry port” system increasingly becomes international logistic path model for inland regions export-import pattern. In this paper an optimization model is proposed for inland container export flows by combining inland transportation network and maritime shipping with an integrated dry port as a transshipment node. An extended genetic algorithm is used to solve problems concerning this model, which extends the traditional transportation multilevel network and allows the inland cargo to make determination on choosing the “seaport-dry port” system or not. It also studies the influence of “seaport-dry port” system and dry ports on inland export transportation flow, and some points for regional planning and transportation policies are made.

Key words: seaport-dry port; dry port; port regionalization; container export flow; genetic algorithm

(责任编辑 章践立)