

文章编号: 1001-0920(2006)02-0129-06

集成整车物流系统的网络规划问题研究

秦绪伟^{1,2}, 范玉顺³, 尹朝万¹

(1 中国科学院 沈阳自动化研究所, 沈阳 110016; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100080; 3 清华大学 自动化系, 北京 100084)

摘要: 综合考虑运输、库存、设施、服务质量等决策因素, 建立了整车物流网络规划集成优化模型. 针对由工厂、集货中心和分销中心构成的基本物流网络, 提出了用于运输路径优化的流预测算法, 并嵌入到遗传算法, 解决了适应值的计算难点. 给出了基于流预测的遗传算法求解框架, 通过实例分析了运输规模效应、库存控制策略、服务质量指标等因素对物流网络结构设计方案的影响.

关键词: 整车物流网络规划; 运输规模效应; 流预测算法

中图分类号: TP18; C934 **文献标识码:** A

On Network Design Problem in Integrated Automobile Logistics Systems

QIN Xuwei^{1,2}, FAN Yushun³, YIN Chaowan¹

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. School of Graduate, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China; 3. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China. Correspondent: QIN Xuwei, E-mail: sunqxw@sia.cn)

Abstract: An integrated optimization model for automobile logistics network design is presented, which provides an integrated view of transportation, inventory and facility costs as well as service quality. In order to find a minimum-cost flow patterns on a network composed of plants, consolidation centers and distribution centers with concave transportation costs, a flow prediction algorithm is presented. This algorithm is embedded in genetic algorithm to solve the difficulty of transportation cost between plants and distribution centers in the fitness value. Solution frame of the genetic algorithm based on the flow prediction is illustrated. A case study shows the effectiveness of the proposed algorithm. The range of possible solution varying with critical model parameters is analyzed.

Key words: Automobile logistics design; Transportation economies-of-scale; Flow prediction algorithm

1 引言

随着汽车运输市场竞争日益激烈, 整车销售的利润空间被压缩, 而作为第三利润源泉的整车物流则变得越来越重要, 优化整车配送网络是降低物流成本的根本保证. 目前整车运输较多采用零担, 规模效应难以发挥, 运输成本较高, 而分销中心的不合理库存策略也使库存成本较高. 因此, 整车物流网络优化设计方案必须综合考虑库存控制策略、设施布局

运输规模效应等因素

近年来, 选址、库存、运输的联合决策问题引起了众多学者的兴趣. Nozick 等研究了需求为独立同分布的泊松流, 采用 $(S-1, S)$ 库存策略、单位运费固定的二级库存-选址系统^[1], 并分析了库存、运输、设施成本之间的均衡关系^[2]. Mark 等分析了工厂与分销中心之间的运输规模效应对分销中心数量和分布的影响^[3]. Miranda 等将连续检查 (S, Q) 库

收稿日期: 2005-01-13; 修回日期: 2005-04-07.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (70431003).

作者简介: 秦绪伟 (1976—), 男, 山东单县人, 博士生, 从事物流控制与优化、智能算法等研究; 范玉顺 (1962—), 男, 江苏扬州人, 教授, 博士生导师, 从事企业建模等研究.

存控制策略嵌入有能力约束的选址 - 分配模型, 给出了求解该复杂非线性混合整数模型的拉格朗日启发式算法^[4]. 谭凌等研究了连锁零售企业的配送中心选址问题, 分析了需求和运输距离变化对系统总成本以及方案选择的影响^[5]. Hall 针对由货源、集货中心和需求点构成的运输规模效应的基本物流网络, 提出了适用于规模较大的实际问题的启发式算法^[6]. 田青等提出了求解这种基本物流网络的组合遗传算法^[7].

上述文献研究了线性运输成本假设下的库存策略和选址 - 分配联合决策问题, 或考虑运输规模效应的选址 - 分配问题. 本文综合考虑运输规模效应、库存策略、设施成本、服务质量等决策要素, 提出整车物流网络规划集成优化模型, 设计了基于流预测的遗传算法. 通过实例分析这些要素对物流网络设计方案的影响, 为物流网络优化决策提供理论依据.

2 问题及其数学模型

某整车物流集团有 P 个整车制造厂、 R 个客户区、 D 个候选分销中心、 C 个集货中心及分布, 整车物流网络结构如图 1 所示. 各制造厂生产不同型号的产品, 共计 I 种产品. 客户区对产品种类需求繁多且数量较小, 对每种产品需求可以近似为泊松过程. 已知各产品平均需求率、补货提前期和目标库存服务水平, 分销中心对各产品采用连续检查 $(S-1, S)$ 库存控制策略. 规定每个客户区仅有一个分销中心为其服务, 并为每个分销中心服务客户区的数目设置上限和下限. 为保证分销中心的快速反应能力, 规定了分销中心的服务覆盖半径, 当所服务的客户区超出覆盖半径时给予惩罚. 工厂 - 集货中心、集货中心 - 分销中心和工厂 - 分销中心之间存在运输规模效应, 即运费率随运输量的增大而降低, 逐渐趋于定值. 可采用凹费用率函数模拟运输规模效应, 分销中心与客户区之间采用线性运费率.

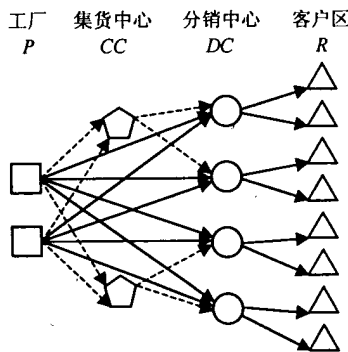


图 1 整车物流网络结构

上述整车物流网络规划最优方案必须解决以下问题: 选择最佳的分销中心和集货中心; 合理安排分

销中心服务的客户区; 确定工厂与分销中心之间的运输路径 (途经集货中心或直接运达) 及其流量; 确定各产品在分销中心的最优库存水平.

综合考虑库存、运输、设施和服务质量等决策要素, 整车物流网络规划集成优化模型构建如下:

目标函数

$$M \min \left\{ \sum_{d=1}^D \sum_{i=1}^I h_{di} S_{di} + \sum_{c=1}^C \Psi_c \chi_c + \sum_{d=1}^D \Psi_d \chi_d + \sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C \left[k_{pc} \phi \left(\sum_{i=1}^I V_{p(i)c} \right) \right] + \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^D \left[k_{cd} \delta \left(\sum_{i=1}^I U_{cdi} \right) \right] + \sum_{p=1}^P \sum_{d=1}^D \left[k_{pd} \eta \left(\sum_{i=1}^I Y_{p(i)d} \right) \right] + \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R \left[\chi_{dr} k_{dr} \sum_{i=1}^I w_{dri} \varphi_{ri} \right] + \rho \sum_{d=1}^D \sum_{r=1}^R q_{dr} \chi_{dr} \sum_{i=1}^I \varphi_{ri} \right\};$$

s.t.

$$V_{p(i)c} = \sum_{d=1}^D U_{cdi}, c = 1, 2, \dots, C, i = 1, 2, \dots, I; \quad (1)$$

$$Y_{p(i)d} + \sum_{c=1}^C U_{cdi} = \sum_{r=1}^R \chi_{dr} \varphi_{ri}, d = 1, 2, \dots, D, i = 1, 2, \dots, I; \quad (2)$$

$$V_{p(i)c} \leq \sum_{r=1}^R \chi_{dr} \varphi_{ri}, c = 1, 2, \dots, C, i = 1, 2, \dots, I; \quad (3)$$

$$\lambda_{di} = \sum_{r=1}^R \chi_{dr} \varphi_{ri}, d = 1, 2, \dots, D, i = 1, 2, \dots, I; \quad (4)$$

$$S_{di} = \left\{ m \min S \left| \sum_{k=0}^{S-1} \frac{e^{-\lambda_{di} T_{di}} (\lambda_{di} T_{di})^k}{k!} \beta_{di} \right. \right\}, d = 1, 2, \dots, D, i = 1, 2, \dots, I; \quad (5)$$

$$\sum_{d=1}^D \chi_{dr} = 1, r = 1, 2, \dots, R; \quad (6)$$

$$N_{\min} \chi_{di} \leq \sum_{r=1}^R \chi_{dr} \leq N_{\max} \chi_{di}, d = 1, 2, \dots, D; \quad (7)$$

$$\chi_c = \{0, 1\}, c = 1, 2, \dots, C; \quad (8)$$

$$\chi_d = \{0, 1\}, d = 1, 2, \dots, D; \quad (9)$$

$$\chi_{dr} = \{0, 1\}, d = 1, 2, \dots, D, r = 1, 2, \dots, R; \quad (10)$$

$$Y_{p(i)d} \geq 0, U_{cdi} \geq 0, V_{p(i)c} \geq 0, c = 1, 2, \dots, C, i = 1, 2, \dots, I, d = 1, 2, \dots, D. \quad (11)$$

模型中符号意义如下:

下标 p, c, d, i, r 分别表示工厂、候选集货中心、候选分销中心、产品、客户区的序号; $p(i)$ 表示工厂 p 生产第 i 种产品.

决策变量

X_c : 0-1 变量, 1 表示开设集货中心 c ;

X_d : 0-1 变量, 1 表示开设分销中心 d ;

X_{dr} : 0-1 变量, 1 表示分销中心 d 服务于客户区 r ;

$Y_{p(i)d}$: 产品 i 从工厂 p 直接运输到分销中心 d 的数量;

U_{cdi} : 集货中心 c 向分销中心 d 运送产品 i 的数量;

$V_{p(i)c}$: 工厂 p 向集货中心 c 运输产品 i 的数量;

S_{di} : 产品 i 在分销中心 d 的库存水平, 满足泊松需求时可用式(5) 计算

输入参数

k_{pd} : 工厂 p 与分销中心 d 间的运输距离;

k_{cd} : 集货中心 c 与分销中心 d 间的运输距离;

k_{pc} : 工厂 p 与集货中心 c 间的运输距离;

k_{dr} : 分销中心 d 与客户区 r 间的运输距离;

Q_r : 客户区 r 对产品 i 的需求量;

w_{dri} : 分销中心 d 到客户区 r 运输产品 i 的单位成本;

Ψ_c : 开设集货中心 c 的固定运营费用;

Ψ_d : 开设分销中心 d 的固定运营费用;

β_{dr} : 分销中心 d 的目标服务水平;

h_{di} : 产品 i 在分销中心 d 的单位库存成本;

q_{dr} : 0-1 变量, 1 表示客户区 r 处于分销中心 d 规定的服务半径内;

ρ : 客户区超出分销中心规定的服务半径时的惩罚成本;

$\phi \left(\sum_{i \in I} V_{pci} \right)$: 工厂 p 与集货中心 c 之间关于运输量的凹费用率函数;

$\delta \left(\sum_{i \in I} U_{cdi} \right)$: 集货中心 c 与分销中心 d 之间关于运输量的凹费用率函数;

$\eta \left(\sum_{i \in I} Y_{pdi} \right)$: 工厂 p 与分销中心 d 之间关于运输量的凹费用率函数

目标函数表示了分销中心的库存成本、开设集货中心和分销中心的固定成本、由工厂途径集货中心到分销中心的间接运输成本、工厂到分销中心的直接运输成本、分销中心到其服务客户区的运输成本、服务未覆盖惩罚成本之和为整车物流网络系统运营成本。在满足以下约束条件下使之最小: 式(1) 表示各集货中心的物流守恒约束; 式(2) 表示各分销中心的物流守恒约束; 式(3) 保证只有选中集货中心的待选地点才能向分销中心供货; 式(4) 表示分销中心对产品的需求量; 式(5) 表示满足目标服

务水平时分销中心的最小库存量; 式(6) 表示一个客户区仅由一个分销中心供货; 式(7) 表示只有被选中的分销中心才能为客户区供货, 并且限定了分销中心所服务的客户区数量的上下限

3 基于流预测的遗传算法

3.1 基于流预测的遗传算法求解程序框图

整车物流网络规划问题的难点是解决其隐含的选址 - 分配问题和最小凹费用流问题。其中无容量约束的选址 - 分配问题已证明为 NP 难题, 用常规方法很难求解。这里给出一种基于流预测的遗传算法求解方法, 即设计一种解决选址 - 分配问题的遗传算法, 搜索整车物流网络的可行结构配置。设计了确定该可行结构配置中最小凹费用流的最优路径的流预测算法, 以解决适应值中工厂与分销中心之间的运输成本计算难点, 并进一步修正选址 - 分配结果。二者相互配合共同完成整车物流网络规划方案的优化。该算法的求解程序框图如图 2 所示

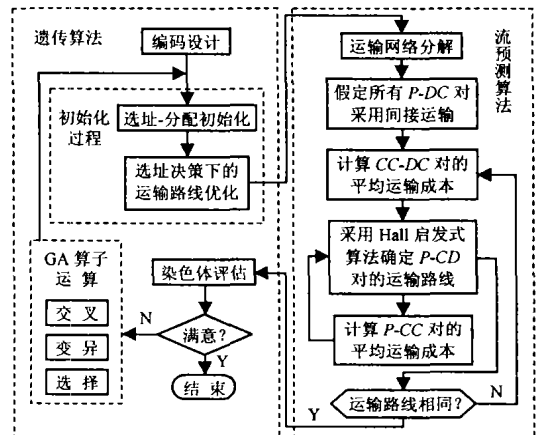


图 2 基于流预测的遗传算法求解程序框图

3.2 流预测算法

流预测算法具体步骤如下:

1) 将基本运输网络分解为多个由工厂、单个集货中心及其所服务的分销中心构成的独立子网, 其过程如图 3 所示, 对每个子网分别采用以下步骤确定最优运输路线:

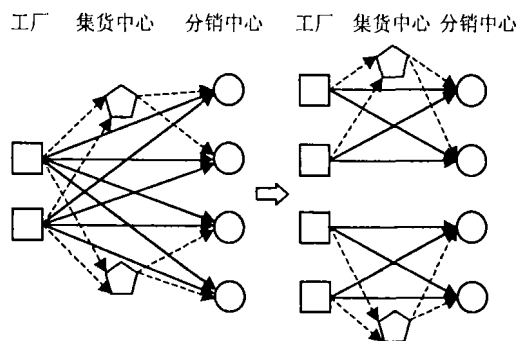


图 3 运输网络分解过程

2) 假定所有工厂 - 分销中心对都采用途经集货中心的间接运输路线;

3) 根据凹运费率函数计算从集货中心到各分销中心的平均单位运输成本;

4) 对每个工厂 - 分销中心对, 采用 Hall 启发式算法^[5]确定产品的运输方式, 即直接运输或途经集货中心的间接运输;

5) 根据步骤 4) 确定的产品运输路径和凹运费率函数, 计算从每个工厂到集货中心的平均单位运输成本;

6) 根据步骤 5) 获得的各工厂到集货中心的平均单位运输成本, 采用 Hall 启发式算法重新确定产品在每个工厂 - 分销中心对的运输方式, 即直接运输或经集货中心的间接运输;

7) 如果每个工厂 - 分销中心对在步骤 6) 和步骤 4) 获得的运输方式相同, 则流预测程序结束; 否则, 使用步骤 6) 获得的集货中心与分销中心之间的运输数量, 返回步骤 3) 继续执行流预测程序

上述算法表明, 在连续迭代过程中, 工厂 - 集货中心对 ($P-CC$) 和集货中心 - 分销中心对 ($CC-DC$) 的平均运输成本保持不变或增加. 如果保持不变, 即两次确定的运输路线相同, 则迭代终止; 否则, 平均运输成本增加的工厂 - 分销中心对被确定为直接运输. 一旦被确定为直接运输, 则工厂 - 分销中心对不再参与以后的迭代过程. 显然, 这种迭代机制保证了流预测算法的收敛性

3.3 编码方法

本文构建一个 $R + D$ 维的空间, 表示由 C 个候选集货中心 D 个候选分销中心和 R 个客户区构成整车物流网络的可行结构集合. 编码如下式所示:

$$\{ \underbrace{u_1, \dots, u_d, \dots, u_D}_{X_A} \mid \underbrace{v_1, \dots, v_r, \dots, v_R}_{X_B} \}$$

它由 X_A 和 X_B 两部分构成, 其中 X_A 是 D 维向量, $u_d = \text{Int}(\text{rand}(0, C))$, $\text{Int}(\cdot)$ 为取整, $\text{rand}(\cdot)$ 为取 $0 \sim C$ 之间的随机数, 表示集货中心、分销中心的选择及其供货服务关系; X_B 是 R 维向量, $y_r = \text{Int}(\text{rand}(1, d))$, d 为 X_A 部分非零值维个数, 表示第 r 个客户区由选定第 d 个分销中心供货

例如, 由 3 个集货中心候选地、5 个分销中心候选地、10 个客户区构成的一条染色体

$$[2 \ 0 \ 1 \ 0 \ 2 \mid 2 \ 3 \ 3 \ 1 \ 3 \ 2 \ 1 \ 2 \ 1 \ 3]$$

该染色体对应的物流网络结构为: 第 1, 3, 5 个待选地设立分销中心, 且分别由第 2, 1, 2 个集货中心提供服务; 10 个客户区分别由第 3, 5, 5, 1, 5, 3, 1, 3, 1, 5 个分销中心供货

上述编码方法保证了约束条件 (3), (6), (7), 且

使解的可行化过程计算大大减少.

4 整车物流网络规划实例与分析

某整车制造集团和第三方物流公司结成战略联盟, 重新设计整车物流网络结构. 有两家汽车制造厂, 经专家论证确定 8 个候选分销中心、2 个候选集货中心和 26 个客户区, 每家分销中心服务的客户区最少为 3 个, 最多为 5 个. 规定分销中心合理服务半径为 70 km, 各产品在分销中心的目标库存服务水平不小于 90%, 分销中心的补货提前期为 30 天. 考虑运量 V 的运输规模效应函数为 $f(V) = 0.36 + 0.9e^{-18V/8500}$, 其余部分数据如表 1 ~ 表 4 所示.

表 1 制造厂到集货中心的距离 km

	C_{01}	C_{02}
P_{01}	1 810	720
P_{02}	2 150	1 020

表 2 集货中心、制造厂、分销中心间的距离 km

	D_{01}	D_{02}	D_{03}	D_{04}
C_{01}	412	320	250	355
C_{02}	1 613	1 480	1 400	1 325
P_{01}	2 110	2 040	2 000	1 987
P_{02}	2 400	2 340	2 300	2 180

	D_{05}	D_{06}	D_{07}	D_{08}
C_{01}	2 155	1 320	725	1 432
C_{02}	1 030	125	215	300
P_{01}	312	825	812	615
P_{02}	6 150	1 120	1 130	920

表 3 客户区对产品的需求 辆/周

	R_{01}	R_{02}	R_{03}	R_{04}	R_{05}	R_{06}	R_{07}	R_{08}	R_{09}
P_{01}	4	4	6	3	1	1	2	2	3
P_{02}	5	6	5	4	2	1	1	2	2

	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}
P_{01}	2	2	1	3	2	4	4	5	2
P_{02}	2	1	2	5	6	2	3	3	3

	R_{19}	R_{20}	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	R_{25}	R_{26}
P_{01}	2	1	3	2	2	1	1	3
P_{02}	2	1	4	1	2	4	2	4

表 4 开设集货中心和分销中心的固定成本 万元/年

	C_{01}	C_{02}	D_{01}	D_{02}	D_{03}
固定成本	8	7.5	12	14	10

	D_{04}	D_{05}	D_{06}	D_{07}	D_{08}
固定成本	11	12.8	15	9	12

在 Pentium 1.6 G 内存 512M 的计算机上, 用 JBuilder 9.0 编程, 对本例中不同遗传参数组合进行测试. 其中最优参数配置如下: 种群规模为 60, 交叉概率取 0.75, 变异概率取 0.15, 最大进化代数 600. 采用基于流预测的遗传算法经多次运行, 算法性能统计如表 5 所示.

由表 5 可知, 最优目标值为 628.7 (万元), 该模型和算法能在有限的迭代范围内求得问题的最优解, 具有良好的收敛性和稳定性.

表 5 算法的性能统计 万元

最优值 (最小值)	最大值	平均值	平均 时间	平均 代数
628.7	634.6	631.2	74 s	358

4.1 惩罚成本敏感性分析

库存控制策略保持不变, 未覆盖服务惩罚成本 ρ 从小到大改变, 惩罚成本对物流网络设计方案中分销中心数目的影响如图 4 所示.

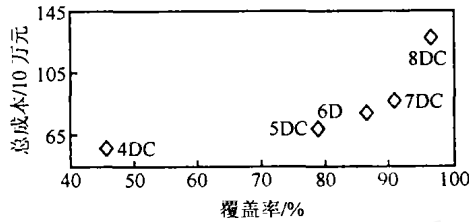


图 4 惩罚成本对分销中心数目的影响

由图 4 可见, 随着未覆盖服务惩罚成本增大, 方案中的分销中心数目逐渐增多, 覆盖率逐渐提高. 保持相同未覆盖惩罚成本 ρ , 通过控制分销中心服务客户区的最小最大数目, 当分销中心数目分别为 4 ~ 8 时, 目标函数的各项成本构成的均衡关系如图 5 所示.

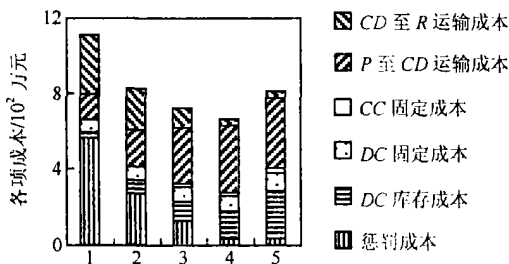


图 5 成本构成的均衡关系

由图 5 可见, 物流网络中较少分销中心数目允许较低库存成本, 但却降低了服务覆盖率, 使得惩罚成本急剧增加; 工厂与客户区之间运输成本受分销中心数目影响波动不大, 随着分销中心数目增加, 工厂与分销中心之间运输成本增加, 分销中心与客户区之间运输成本降低; 分销中心数目较多时, 物流网络中才设立集货中心; 物流网络中分销中心的数量受运输成本和固定成本的影响较小, 它取决于库存成本和未覆盖服务惩罚成本间的均衡关系.

4.2 库存控制策略敏感性分析

保持未覆盖服务惩罚成本不变, 改变分销中心的库存控制策略 (即服务水平和提前期的组合), 设计 3 种库存策略 A, B, C. 其中库存策略 A 和 B 假定仅分销中心保留库存, 提前期较长; 库存策略 C 假定工厂有充足的库存, 提前期较短. 3 种库存控制策略对分销中心位置决策的影响如表 6 所示.

表 6 库存控制策略对分销中心位置决策的影响

库存策略	服务水 平 / %	提前期 (天)	成本 (万元)	分销中 心数目	服务覆盖 率 / %
A	90	30	813.6	5	83.7
B	73	30	704.9	6	85.6
C	90	7	628.7	7	96.4

从表 6 中数据可知, 提前期相同, 降低分销中心的服务水平可以减少总体库存成本, 对分销中心位置决策的影响较小; 服务水平相同, 缩短提前期, 能较大幅度降低总体库存成本, 激励增设分销中心, 提高服务覆盖率.

4.3 运输规模效应价值分析

考虑物流网络的运输规模效应, 致使模型求解非常困难. 如果运输规模效应能获得更好的物流网络设计方案, 则可体现出算法的价值. 根据运输规模效应函数, 可知产品运输费用率介于 0.96 ~ 0.40 (元 / 辆 / km) 之间. 分别以 0.95 和 0.40 (元 / 辆 / km) 为工厂与分销中心之间运输费用率, 仿真结果如表 7 所示.

表 7 线性运输费用率条件下的计算结果

问题	运输费用率 = 0.95 (元 / 辆 / km)		
	成本 / 万元	分销中心数目	服务覆盖率 / %
A	918.7	7	97.6
B	778.4	8	98.8
C	726.9	8	97.8
问题	运输费用率 = 0.40 (元 / 辆 / km)		
	成本 / 万元	分销中心数目	服务覆盖率 / %
A	834.5	7	96.4
B	729.6	8	98.8
C	654.2	8	97.5

对比表 6 和表 7 的计算结果可知, 对于任何库存策略, 如果不考虑运输规模效益, 则需增设更多的分销中心; 如果考虑运输规模效益, 则增设分销中心可使分销中心需求量减少, 产品运费率提高, 增加了总运输成本. 表 8 给出运输规模效益 (EOS) 对目标函数各项成本的影响.

从表 8 中的数据可知, 对于库存策略 A, 考虑运输规模效益时, 最优物流网络中有 5 个分销中心和 1 个集货中心, 其实际运营成本 (除去惩罚成本) 为 588 万元; 忽略运输规模效益时, 分销中心增至 7 个, 其运营成本为 715.8 万元, 高出最优分销网络的运营成本大约 21.7%. 对于库存策略 B 和 C, 分别高出各自最优分销网络运营成本 16.6% 和 13.7%. 可见考虑运输规模效益能显著降低物流网络实际运营成本, 有助于获得更好的物流网络设计方案.

5 结 论

本文综合考虑了运输规模效应、库存策略、设

表8 运输规模效益对各项成本的影响

EOS	问题	分销中心数目	服务覆盖率/%	成本(万元)					
				PD 运输	DR 运输	设施	库存	惩罚	总成本
Y	A	5	83.7	201.5	241.7	69.3	75.5	225.8	813.6
N	A	7	96.4	315.9	194.8	84.8	120.4	118.6	834.5
Y	B	6	85.6	232.1	176.9	78.3	96.7	120.9	704.9
N	B	8	98.8	338.9	108.6	95.8	138.6	47.7	729.6
Y	C	7	96.4	237.0	112.4	93.3	121.2	64.8	628.7
N	C	8	97.5	309.5	90.7	95.8	144.4	13.8	654.2

施成本、服务质量等决策要素,提出整车物流网络规划集成优化模型,并设计了基于流预测的遗传算法流预测算法充分利用工厂、集货中心和分销中心两两之间的运输规模效应,克服了Hall启发式算法仅利用工厂与集货中心之间的运输规模效应的缺点,更贴近整车物流实际。分析运输规模效应、库存控制策略、服务质量指标等因素对物流网络结构设计方案的影响,可得出以下结论:

- 1) 分销中心的数量和分布取决于库存成本和未覆盖服务成本之间的均衡关系;
- 2) 集货中心的数量和分布取决于工厂与分销中心之间运输成本的节约和集货中心固定成本增加之间的均衡关系;
- 3) 考虑运输规模效应,能改善分销中心和集货中心分布,降低整车物流系统实际运营成本

参考文献(References)

[1] Nozick L K, Turnquist M A. A Two-echelon Inventory Allocation and Distribution Center Location Analysis [J]. *Transportation Research: Part E*, 2001, 37 (6): 425-441.

[2] Nozick L K, Turnquist M A. Inventory, Transportation, Service Quality and the Location of Distribution Centers [J]. *European J of Operational Research*,

2001, 129(2): 362-371.

[3] Mark W H, Morton E O. Embedding Economies of Scale Concepts for Hub Network Design [J]. *J of Transport Geography*, 2001, 9(4): 255-265.

[4] Miranda P A, Garrido R A. Incorporating Inventory Control Decision into a Strategic Distribution Network Design Model with Stochastic Demand [J]. *Transportation Research: Part E*, 2004, 40 (2): 183-207.

[5] 谭凌,高峻峻,王迎军. 基于库存成本优化的配送中心选址问题研究[J]. *系统工程学报*, 2004, 19(1): 59-66 (Tan L, GAO J J, Wang Y J. Study on Problem of Distribution Center Location Based on Inventory Cost Optimization [J]. *Chinese J of System Engineering*, 2004, 19(1): 59-66)

[6] Hall R W. Direct Versus Terminal Freight Routing on a Network with Concave Costs [J]. *Transportation Research: Part B*, 1987, 21(4): 287-298.

[7] 田青, 缪立新, 郑力. 基于运输规划和组合GA的基本物流网络设计[J]. *清华大学学报*, 2004, 44 (11): 1441-1444 (Tian Q, Miao L X, Zhang L. Logistics Network Design Based on Transport Planning and Combined GA [J]. *J of Tsinghua University*, 2004, 44 (11): 1441-1444)

下期要目

智能优化算法求解 TSP 问题 高海昌, 等

基于 T-S 模糊模型的复杂系统的灵敏度分析 张阿卜

基于模块化模糊子系统的分层模糊神经网络 刘芳, 等

跳变双线性随机离散组合系统的保成本分散控制 张小美, 郑毓蕃

控制方向未知的非线性系统的自适应输出跟踪控制 王强德, 等

一种基于分解交货期的 Job shop 启发式调度算法 刘琳, 等

基于 LQR 和变论域模糊控制的吊车防摆控制 李树江, 等

普适服务中基于模糊神经网络的信任测度方法 张德干, 等