引用格式:徐伟,仇延昭,马昌文.基于时效约束的多级节点设施运输网络优化研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2020,39(1):100-109.

XU Wei,QIU Yanzhao,MA Changwen. Optimization of multi-level node facilities transportation network based on time constraint[J].Journal of Shandong University of Science and Tecnology(Natural Science),2020,39(1):100-109.

基于时效约束的多级节点设施运输网络优化研究

徐 伟,仇延昭,马昌文

(山东科技大学 交通学院,山东 青岛 266590)

摘 要:区域内多级节点设施运输网络的整体优化不仅可以合理配置运输资源,有效提高规模效益,还可以提升满足时效的运输服务水平,对于运输业运输水平的提升有着十分重要的作用。首先,基于多级节点设施分析构建货物运输网络;其次,通过对运输网络成本以及时效要求的分析,建立具有时效要求的多级节点设施规划模型,在此基础上加入混合节点的优化方案,对模型进行优化调整;最后,通过实例分析对该模型进行评价,验证模型的适用性。结果表明:具有时效约束的多级节点设施运输网络优化模型可以在有效降低运输网络物流成本的基础上,满足运输过程中的时效要求。

关键词:多级节点设施;时效约束;运输网络

中图分类号: **文献标志码**:A **文章编号**:1672-3767(2020)01-0100-10

DOI:10.16452/j.cnki.sdkjzk.2020.01.013

Optimization of multi-level node facilities transportation network based on time constraint

XU Wei,QIU Yanzhao,MA Changwen

(College of Transportation,Shandong University of Science and Technology,Qingdao,Shandong 266590,China)

Abstract: The overall optimization of multi-level node facilities transportation network in a region plays an important role in improving the transportation level of the transportation industry.Moreover,it can rationally allocate transportation resources, effectively improve scale efficiency, and improve the level of transportation service that meets the requirements of timeliness. In this study,Firstly cargo transport network was constructed based on node analysis of transport network. Secondly,through the analysis of the transportation network cost and the requirements of timeliness, the multilevel node facility planning model with timeliness requirements was established. On this basis, the optimization scheme of the hybrid node was added to optimize the model. Finally, the applicability of the model was verified by evaluating the model through case analysis. The results show that the proposed model can meet the timeliness requirements in the transportation process on the basis of effectively reducing the transportation network logistics cost.

Key words:multi-level node facility; time constraint; transportation network

节点设施间的运输网络优化是构建运输网络的核心环节,随着经济发展及电子商务爆炸式增长,消费人

收稿日期:2019-08-05

基金项目:山东省社会科学规划研究项目(18CCXJ25);青岛市社会科学规划研究项目(QDSKL1801134);青岛市双百调研工程项目(2019-B-10)

作者简介:徐 伟(1979—),男,山东巨野人,副教授,博士,主要从事物流与供应链管理的研究.

仇延昭(1996—),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事物流节点运输规划的研究,本文通信作者.

E-mail:qyz7728@163.com

群需求越来越个性化,对于运输时效的要求也越来越高,给运输业带来了机遇与挑战,传统运输网络优化模型难以解决不断变化的现实运输问题。本研究针对现实运输服务体系中物流基础设施运输网络不完善问题进行分析,提出一种节点设施运输网络优化模型,在已建成节点的基础上,搭建基础运输配送网,在降低成本与满足客户时效要求基础上,对节点设施运输网络进行整体的统一化设计。

目前对节点设施选址及运输网络优化方面的研究有很多:Haggett[1]将随机服务系统理论和非线性理论等数学领域的研究方法成功应用于独立物流园区的设施选址问题;Winkenbach 等[2]构建了一种大规模静态确定性混合整数线性规划模型,利用模态选择方法求解具有两级容量的选址路由问题;Amiri[3]利用混合整数规划模型,解决了包括生产流程在内的物流网络规划问题;Chen[4]提出了模糊综合评判法,在解决物流配送中心选址问题上取得了较好的效果;Kratica 等[5]从物流的流量形式、服务种类、空间结构等方面进行考虑,构建了一种混合整数线性规划模型,有效解决了多层无约束设施选址问题;Syam[6]深入挖掘物流节点布局规划过程中的成本要素,使模型更准确地反映现实物流作业情况;葛显龙等[7]在已有运输节点的基础上,分析运输网络越库配送的可行性,构建了越库配送网络优化模型;张得志等[8]通过将现代控制理论与物流节点研究成果相结合,构建了区域物流节点协同布局控制模型,有效解决了区域物流节点的布局控制问题;施宏伟等[9]综合考虑次级物流节点的选址方式与运营成本组成,构建了物流服务节点布局优化模型,该模型在设施选址问题上具有较高的选择效率;郑斌等[10]提出一种生鲜农产品物流网络布局非线性规划模型,测算生鲜品的腐烂成本,对生鲜农产品物流网络布局进行了优化;王伟等[11]借助加权 Voronoi 图与离散生成法,构建了区域内物流节点服务范围动态划分模型,有效解决了复杂情况下区域物流实时动态服务范围划分问题;吴昱璟等[12]以山西省 11 个城市的相关统计数据为基础,通过标准化、变异系数法、加权法等方法综合分析了城市的物流节点类型特征。

目前对于节点设施规划的研究大多针对节点如何选址进行分析,而对于现有节点运输配送网络优化的研究较少。本研究在考虑时效约束对客户满意度影响的条件下,充分考虑货物在运输配送过程当中所产生的各类成本,提出基于时效要求的多级节点规划设计模型,以便有效地解决当前运输作业成本过高、效率低下的问题。

1　基于时效约束的多级节点设施运输网络优化模型

1.1　问题描述与假设

运输企业在货物运输过程中,经常会发生运输车非满载运输、运输路线不合理以及运输时效达不到客户要求等情况,一方面增加了运输企业的车辆成本和货损成本,另一方面导致运输网络管理混乱、运输路径拥挤,降低了运输效率和服务质量[13]。针对上述情况,运输公司在一定时间内把货物集中到二级仓,再按照不同目的地将货物发往一级仓和网点(如图 1 所示),利用配送中心之间的干线通道进行大规模运输,产生规模效益来降低运输成本[14-15]。本研究主要解决的问题就是在现有运输配送网络节点布局的基础上,以最小化运输总成本和最小化运输时间为双重约束[16],建立运输网络优化模型,确定各级仓库与网点之间的配送关系,实现高效配送的全局规划。

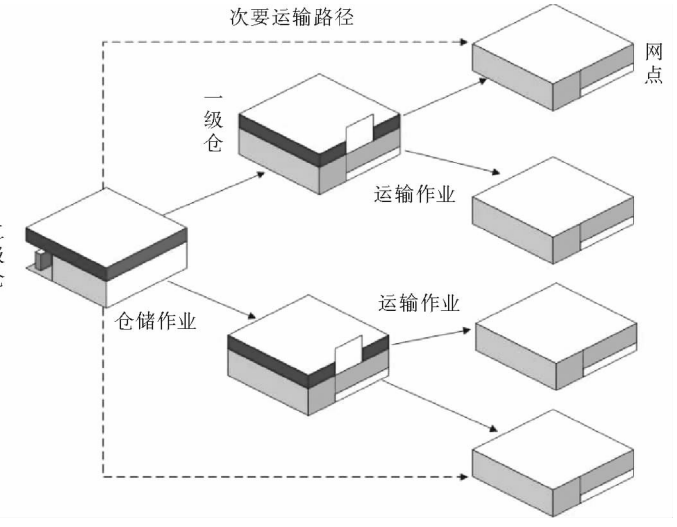


图 1　货物运输网络示意图

Fig.1　Schematic diagram of cargo transportation network

节点设计布局将会直接影响到货物运达下一节点或末端节点的时间,同时对于运输配送的效率也有着决定性影响。因此,结合具体客户需求及客户满意度的影响,所有的末端节点都要保证能够尽可能快速的到达。基于当前的运输配送状况,由整个配送网络

过程逆推出合适的时效约束,给出基本优化假设:

1) 末端网点的需求量需要保证在规定的时间段内必须运达总货量的规定百分比,假定比例为 r ;

2) 一级仓所需要中转的货量同样需要在规定的时间段内满足一定的比例,假定 u 时间内比例为 s,v 时间内比例为 t;

3) 区域物流来说覆盖下一级节点的距离不宜过大,假设覆盖的距离范围不超过 500 km。

1.2 模型建立

1) 参数

Z 表示总物流成本,i、j、k 分别表示网点、一级仓和二级仓,C_1、C_2、W 为 i、j、k 所属的集合;a_1、a_2 分别为仓与仓之间运输价格和仓至网点运输价格;m、n 分别表示操作成本单价与存储成本单价;F 为仓库的最大容量;e 为选择混合运输方案后成本增加的比例;q_j、Q_i 分别表示运输到一级仓的运输量和网点的运输量;d_{ij}、d_{jk} 分别表示第 i 号网点到第 j 号一级仓的距离与第 j 号一级仓到第 k 号二级仓的距离。

2) 决策变量

x_{ij} 为 0～1 变量,表示第 i 号网点与第 j 号一级仓的对应关系,若为 1 则表示对应,若为 0 则表示不对应,同理 x_{jk} 表示的是第 j 号一级仓与第 k 号二级仓的对应关系;H_{ij} 为 0～1 变量,表示第 j 号一级仓到第 i 号网点的时间,若小于或等于 4 h 则为 1,否则为 0;L_{jk} 为 0～1 变量,表示第 k 号二级仓到第 j 号一级仓的时间,若时间小于或等于 u 则为 1,否则为 0;M_{jk} 为 0～1 变量,表示第 k 号二级仓到第 j 号一级仓的时间,若时间小于或等于 v 则为 1,否则为 0。

3) 混合节点设施运输网络优化的表示

某些二级仓与网点之间联系十分密切,若再经过一级仓进行中转,会延长货物运输时间,造成资源的极大浪费。因此企业出于效率方面的考虑,会选择部分网点直接由二级仓进行配送[17]。对于直接配送的选择会有一个临界值,一般情况会在企业所能承受成本增长的范围内选择直接配送。

根据以上分析,对每一条中转的路线进行直接对应约束的考虑,约束条件如下:

$$Z_D = a_2 x_{ik} Q_i d_{ik} + m x_{ik} Q_i + n x_{ik} Q_i \ , \tag{1}$$

$$\frac{a_2 x_{ik} Q_i d_{ik} + m x_{ik} Q_i + n x_{ik} Q_i}{Z_T} \leqslant (1+e), \tag{2}$$

$$Z_T = a_1 x_{jk} Q_i d_{jk} + a_2 x_{ij} Q_i d_{ij} + m Q_i (x_{ij} + x_{jk}) + n x_{ij} Q_i 。 \tag{3}$$

其中:$\forall i \in W$,$j \in C_2$,$k \in C_1$;公式(1)表示该条线路选择直接由二级仓配送网点所发生的成本;公式(2)表示当直接配送的成本不高于经过中转的总配送成本的规定百分点内时,选择直接配送;公式(3)表示初步设计方案中由二级仓到一级仓再到网点的最优线路成本。

根据以上约束条件可以对节点关系方案进行优化调整,使得部分由二级仓经一级仓中转到达网点的线路改由二级仓直接对网点进行配送,这样可以尽可能在提升少量成本的情况下,提高配送效率,缩短部分配送时间。

4) 模型建立

综上,得出节点优化数学模型:

$$\min Z = \sum_{k\in C_1}\sum_{j\in C_2} a_1 x_{jk} q_j d_{jk} + \sum_{i\in W}\sum_{j\in C_2} a_2 x_{ij} Q_i d_{ij} + \sum_{j\in C_2}\sum_{k\in C_1} m x_{jk} q_j + \sum_{i\in W}\sum_{j\in C_2} m x_{ij} Q_i + \sum_{k\in C_1}\sum_{j\in C_2} n x_{jk} q_j \ , \tag{4}$$

$$\sum_{i\in W}\sum_{j\in C_2} H_{ij} x_{ij} Q_i \geqslant r \sum_{i\in W} Q_i \ , \tag{5}$$

$$\sum_{j\in C_2}\sum_{k\in C_1} L_{jk} x_{jk} q_j \geqslant s \sum_{j\in C_2} q_j \ , \tag{6}$$

$$\sum_{j\in C_2}\sum_{k\in C_1} M_{jk} x_{jk} q_j \geqslant t \sum_{j\in C_2} q_j \ , \tag{7}$$

$$x_{ij} d_{ij} \leqslant 500 \ , \tag{8}$$

$$x_{jk}d_{jk} \leqslant 500\ , \tag{9}$$

$$\sum_{j\in C_2} x_{ij} = 1, \forall i \in W\ , \tag{10}$$

$$\sum_{k\in C_1} y_{jk} = 1, \forall j \in C_2\ , \tag{11}$$

$$q_j = \sum_{i\in W} x_{ij}Q_i, \forall j \in C_2\ , \tag{12}$$

$$q_j \leqslant F, \forall j \in C_2\ , \tag{13}$$

$$Z_D = a_2 x_{ik}Q_i d_{ik} + m x_{ik}Q_i + n x_{ik}Q_i\ , \tag{14}$$

$$\frac{a_2 x_{ik}Q_i d_{ik} + m x_{ik}Q_i + n x_{ik}Q_i}{Z_T} \leqslant (1+e), \forall i \in W, j \in C_2, k \in C_1\ , \tag{15}$$

$$Z_T = a_1 x_{jk}Q_i d_{jk} + a_2 x_{ij}Q_i d_{ij} + mQ_i(x_{ij} + x_{jk}) + n x_{ij}Q_i\ , \tag{16}$$

$$x_{ij}, x_{jk}, H_{ij}, L_{jk}, M_{jk}, y_{jk} \in \{0,1\}\ 。 \tag{17}$$

目标函数求整个节点运输网络的总运输成本、仓储成本和操作成本最小。各约束条件代表含义描述如下:公式(5)～(7)为运输网络的时效约束;公式(8)～(9)是配送范围约束;公式(10)表示每个网点只能由一个仓库进行配送;公式(11)表示每个一级仓一定有二级仓匹配;公式(12)表示流量平衡,即每个一级仓运输量等于所有对应网点的流量和;公式(13)表示一级仓的最大中转量不超过其仓库的最大容量;公式(14)～(16)为混合节点运输方案的约束;公式(17)为 0～1 变量。

2　算法设计

本研究建立的基于时效约束的多级节点运输网络规划模型决策变量数目较多,计算量较大,传统的数学规划很难对其进行求解,而传统的启发式算法由于具有固定的交叉率和变异率的特点,使其对于一般问题的求解具有很好的鲁棒性,因此选用遗传算法对其进行求解[18]。考虑路径优化问题较为复杂,这里采用自适应遗传算法(adaptive genetic algorithm,AGA),通过动态调整其交叉率以及变异率避免早熟,达到搜索最优解的目的[19]。

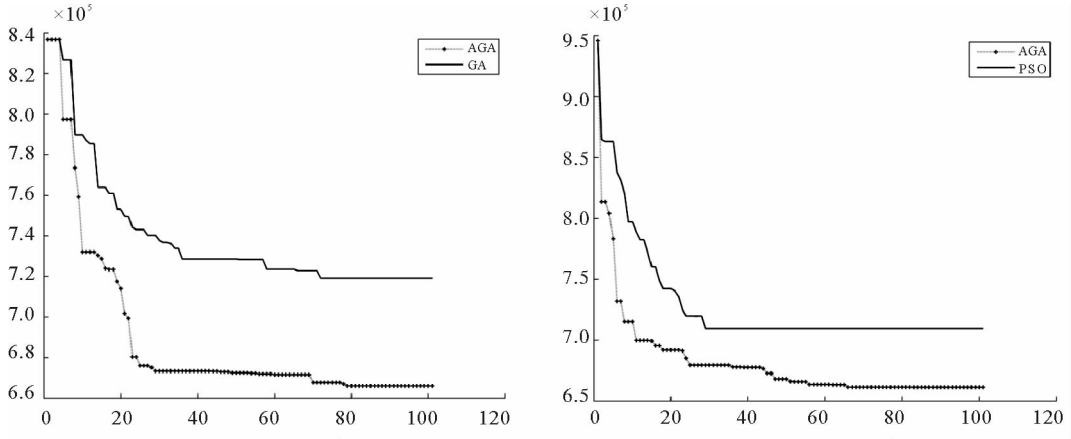
交叉率以及变异率的调整如下式:

$$p_c = \begin{cases} k_1(f_{\max} - f')/(f_{\max} - f_{\text{avg}}), & f' \geqslant f_{\text{avg}} \\ k_3, & f' < f_{\text{avg}} \end{cases}; \tag{18}$$

$$P_m = \begin{cases} k_2(f_{\max} - f)/(f_{\max} - f_{\text{avg}}), & f \geqslant f_{\text{avg}} \\ k_4, & f < f_{\text{avg}} \end{cases}。 \tag{19}$$

采用的自适应遗传算法主要是在原有步骤中的交叉与变异操作中采用上述公式,其他步骤相同。

分析图2与图3的结果,可以发现,在求解本模型过程中,自适应遗传算法AGA)与遗传算法(genetic



(a)AGA与GA适应度曲线对比　　(b)AGA与PSO适应度曲线对比

图 2　自适应遗传算法与其他算法迭代对比图

Fig.2　Adaptive genetic algorithm and other algorithm iterative comparison chart

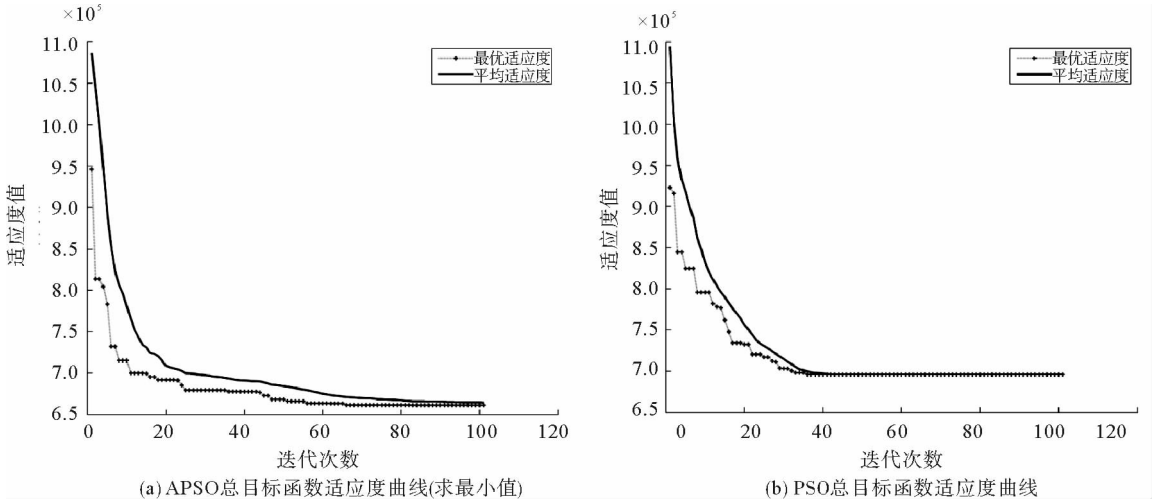


图 3 自适应遗传算法与粒子群算法适应度对比图

Fig.3 Comparison of fitness values between adaptive genetic algorithm and particle swarm optimization

algorithm, GA)、粒子群算法(particle swarm optimizalion,PSO)相比有着更好的表现。GA 在 40 代后开始趋于平缓,PSO 在 30 代后开始趋于平缓,且容易陷入局部最优,而 AGA 有着更好的迭代结果,可以避免早熟,提高模型求解效率。

3 实例分析

3.1 基础数据

以山东省某运输公司为例,经过实地调研对山东地区的节点设施进行实证分析,数据由该公司提供,确认该公司运输价格、操作成本、存储成本和时效要求等主要参数的取值见表 1。

表 1 主要参数

Tab.1 Main parameters

参数	取值	单位	参数	取值	单位
a_1	0.22	元/(方·公里)	a_2	0.57	元/(方·公里)
r	60%	—	s	80%	—
m	4.5	元/(方·次)	t	95%	—
n	0.6	元/(方·天)	u	5	小时
F	2 000	方	v	10	小时
e	5%	—	—	—	—

目前该运输企业在山东地区共有二级仓 6 个,一级仓 12 个,网点 212 个,具体位置分布见图 4。

网点货量分布情况,需求 20 及 1 000 m^3 以上的网点较少,只占了总网点数的 5%,而需求 100 到 300 m^3 的网点最多,占了总网点数的 38%,因此在对配送网络进行规划时,应该考虑到网点所需货量的占比情况。

3.2 模型求解

运用 Matlab 8.3 对该模型进行求解。不考虑混合节点设施运输网络的约束,得到初步运输方案表,见表 2 与图 5。

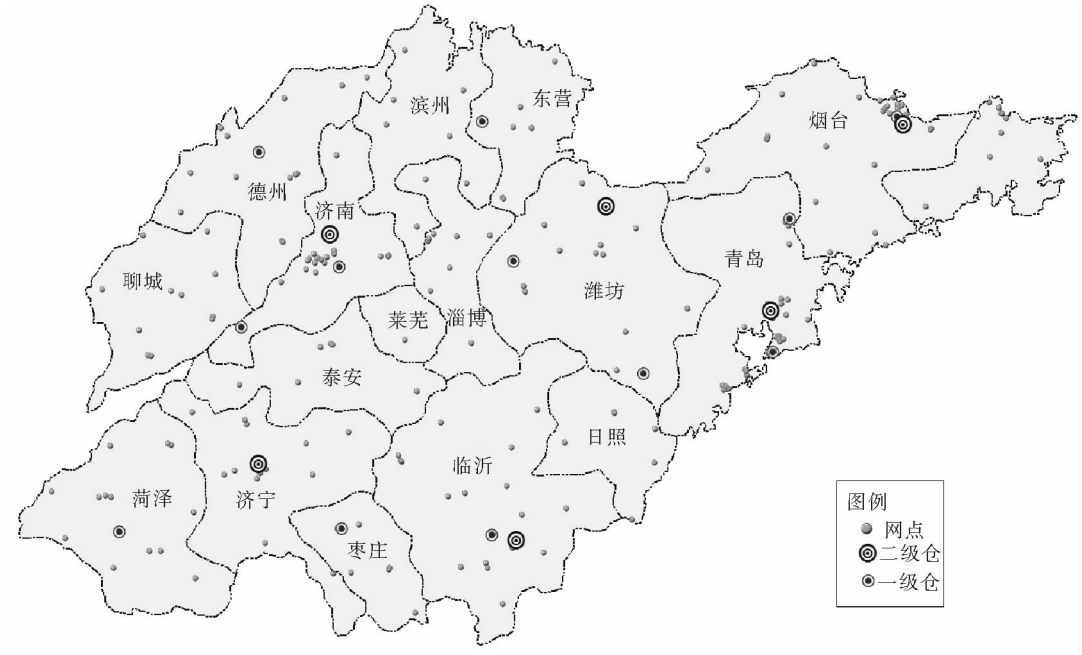


图 4　节点设施布局图

Fig.4　Node facility layout diagram

表 2　初步节点运输方案

Tab.2　Preliminary node transport scheme

二级仓	一级仓	网点
C1	W2	B10;B62;B66;B67;B74;B89;B108;B165;B170;B182;B183;B188;B192;B194B199;B204;B206;B207
	W5	B36;B42;B43;B76;B78;B80;B81;B90;B92;B93;B99;B104;B110;B113;B121;B122;B127;B134;B143;B144;B147;B149;B151;B152;B153;B156;B159;B164;B176;B184;B190;B198;B205;B208;B211
C2	W1	B2;B5;B14;B17;B46;B105;B123;B135;B136;B168;B177;B179;B185;B201
	W3	B139;B154;B157;B158;B171;B193;B197
C3	W4	B133;B186;B189
	W6	B44;B47;B48;B57;B63;B65;B72;B119;B148;B150;B172;B174;B181;B195
C4	W7	B31;B33;B40;B49;B54;B79;B82;B83;B84;B88;B95;B98;B106;B109;B114;B118;B130;B138;B140;B141;B155;B187;B196;B200;B202
C5	W8	B27;B37;B50;B51;B71;B77;B85;B91;B126;B137;B161;B162;B167;B173;B178;B180;B203
	W9	B26;B28;B56;B58;B59;B68;B69;B70;B96;B112;B124;B128;B129;B132;B169
	W10	B18;B20;B21;B22;B23;B45;B55;B61;B64;B86;B87;B102;B115;B116;B145;B146;B160;B163;B175;B210
C6	W11	B1;B4;B7;B8;B9;B11;B15;B24;B30;B38;B41;B52;B53;B60;B73;B75;B100;B101;B107;B111;B117;B120;B125;B131;B142;B166;B191;B209;B212;B213
	W12	B3;B6;B12;B13;B16;B19;B25;B29;B32;B34;B35;B39;B94;B97

得到初始节点设计方案之后,对所有的末端网点进行是否由二级仓进行直发的约束判断,综合考虑成本与时效的影响,这里假定约束比例为 5%,约束公式见公式(11)～(13)。根据以上判断得出混合设计方案部分网点直发情况如表 3 与图 6。

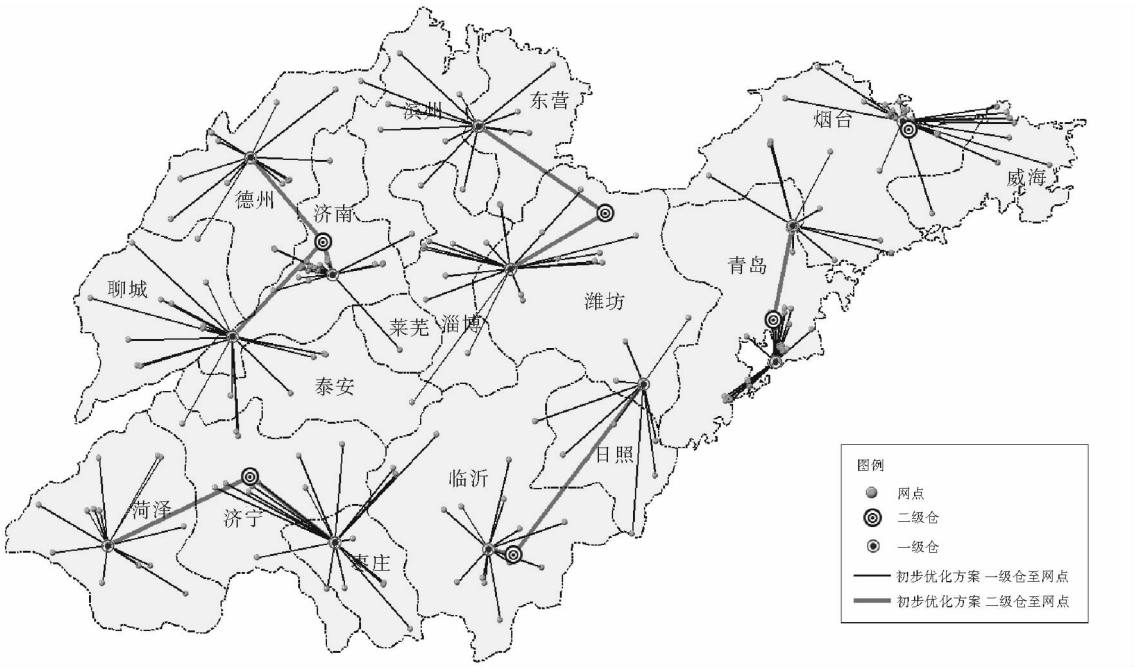


图 5 初步节点运输方案

Fig.5 Preliminary node transport scheme

表 3 混合节点运输方案

Tab.3 Hybrid node transport scheme

二级仓	网点
C1	B66;B92;B93;B113;B149;B151;B153;B156;B170;B182;B184;B188;B190;B199;B204;B205;B211
C2	B90;B99;B104;B122;B157;B159;B186;B189;B193;B198;B208
C3	B36;B43;B44;B48;B57;B63;B65;B72;B119;B148
C4	B79;B82;B83;B84;B106;B109;B118;B130;B138;B140;B187;B196;B200;B202
C5	B26;B27;B37;B50;B126;B137;B178;B180;B203
C6	B3;B8;B9;B11;B15;B53;B73;B75;B94;B97;B100;B111;B117;B125;B209;B210;B212;B213

3.3 结果分析

1) 成本分析

该公司在进行运输方案优化前物流总成本为 4 658 854.90 元,根据初步设计方案计算总物流成本为 3 532 137.12 元,对计算结果方案进行混合节点布局设计后的方案成本为 3 557 507.60 元。

通过与当前该运输公司实际操作情况的成本以及时效满足的情况进行对比,可以得出,公司总成本在设计之后得到了较好的优化。其中,初步优化之后的成本较当前成本下降 24.18%,而混合考虑的情况下成本较当前也下降了 23.64%。可以得出,经过优化设计之后的方案可以有效降低配送成本,提高运输效率。

2) 时效分析

分析方案中从满足时效要求的仓库个数与网点个数来看,情况如图 7 与图 8 所示。

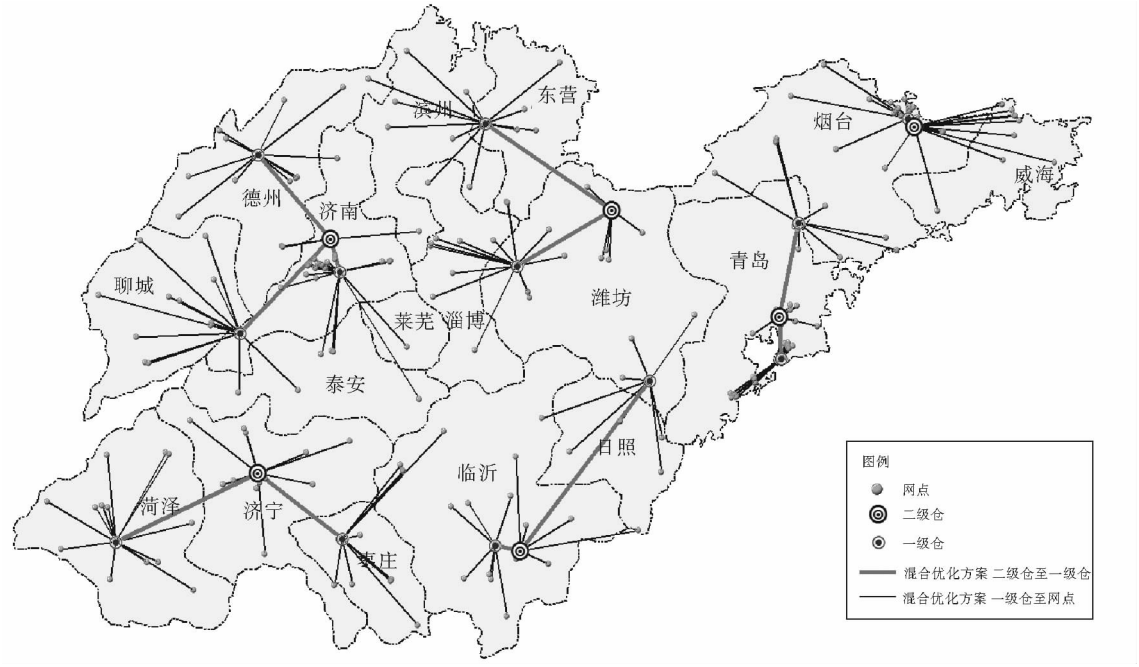


图 6　混合节点运输方案

Fig.6　Hybrid node transport scheme

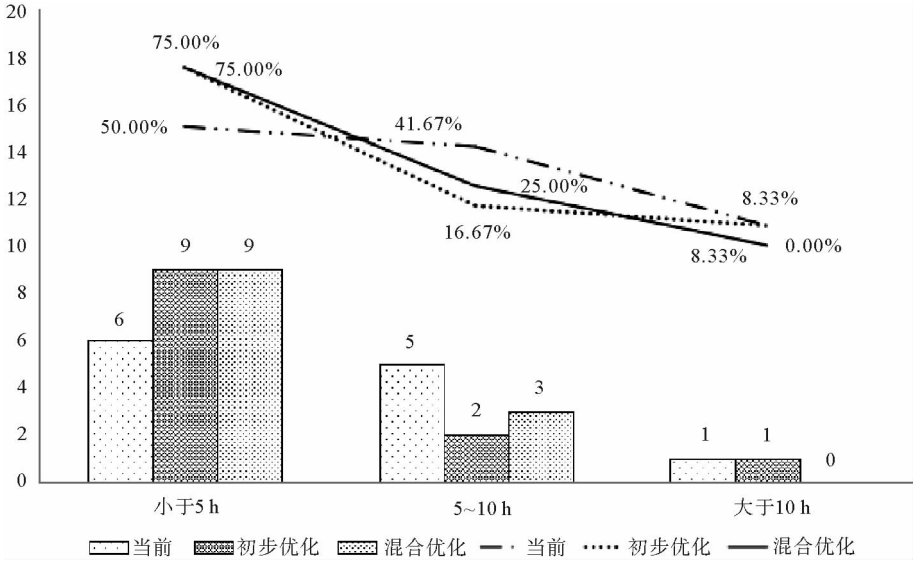


图 7　仓至仓时效图

Fig.7　Warehouse to warehouse aging diagram

从图 7～8 可以看出,在仓至仓方面,经过初步设计之后的方案能够保证 75%的仓库个数满足时效的初步要求,而 92%的仓库个数满足时效的全部要求,混合设计后可以保证全部的仓库个数满足时效的全部要求;仓至网点方面,初步设计后的方案较比当前在 2 h 内的时效情况大大提高,而混合设计后的方案则进一步提高了时效情况,且保证了全部网点个数满足时效要求。

3)货量分析

以上分析只考虑到了仓库与网点的个数情况,未能考虑到各个仓库与网点的需求量不同,因此对货物送达时间及需求货量进行两方面综合考虑。采用需求货量所占全部货量的百分比为权重,考虑符合各时效阶段条件的网点个数与中转仓个数,综合分析时效情况,见表 4 与表 5。

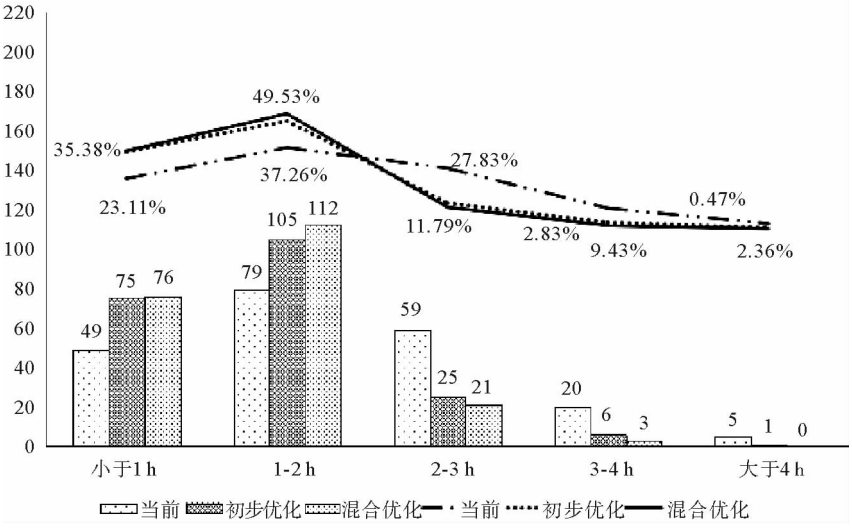


图 8 仓至网点时效图

Fig.8 Warehouse to network aging diagram

表 4 仓至网点时效情况表

Tab.4 Warehouse to network aging table

方案	小于 1 h		1～2 h		2～3 h		3～4 h		大于 4 h	
	符合条件网点个数	货量权重/%	符合条件网点个数	货量权重/%	符合条件网点个数	货量权重/%	符合条件网点个数	货量权重/%	符合条件网点个数	货量权重/%
当前	49	23.11	79	37.26	59	27.83	20	9.43	5	2.36
初步	75	35.38	105	49.53	25	11.79	6	2.83	1	0.47
混合	75	35.85	93	52.83	35	9.91	9	1.42	0	0

表 5 仓至仓时效情况表

Tab.5 Warehouse to warehouse aging table

方案	小于 5 h		5～10 h		大于 10 h	
	符合条件中转仓个数	货量权重/%	符合条件中转仓个数	货量权重/%	符合条件中转仓个数	货量权重/%
当前	8	51.64	4	48.36	0	0
初步	7	52.84	5	47.16	0	0
混合	7	59.04	5	40.96	0	0

从表 4 中可以看出,经过初步优化后各个需求时间段网点的货量满足情况均得到了很大的提升,且在混合设计之后可以保证在规定的 3 h 内满足绝大部分货物的运达。仓至仓的时效方面可以从表 5 中看出,虽然当前符合时效的中转仓个数达到 8 个,但货量权重方面仅仅只有 51.64%。在经过初步优化之后 5 h 内可以送达的中转仓个数虽然降低为 7 个,但货量权重却提升到 52.84%,混合设计之后可以达到 59.04%。可以得出,进过初步优化和混合设计之后,在仓至仓方面的时效情况也得到了一定的优化和提升。

综上所述,对于本研究提出的思路设计方案比较当前实际配送来说,初步优化方案可以有效降低该企业运输成本,且满足企业大部分客户的时效需求,但是仍然有 8%的客户时效要求无法满足;在此基础上提出的混合优化方案,虽然总成本略有增加,但是时效方面有了很大的提升,可以完全满足该企业客户的时效需求,对于该企业提高客户满意度,提升基础设施服务能力和供应链快速响应能力等方面具有积极作用。

4　结论

针对已有节点的运输网络,构建了以时效最优,成本最低的多级节点设施运输网络优化模型。

1) 许多运输企业集中度差,客户需求和资源碎片化现象严重,加之要保证客户时效要求,货物作业大多具有小批量以及多批次运输的特征,导致运输企业无法合理利用运输资源,使得整个运输网络的运营成本过高。提出的基于时效要求的多级节点设施运输网络优化模型,在保证产品运输时效最大化的条件下,有利于将运输资源和客户运输需求集中,使运输网络实现高效和低成本运营。实证结果表明,新建节点运输网络相较传统节点运输网络更有优势。

2) 相对于节点运输传统网络,过度依靠一级仓进行货物配送会导致运输成本与时效成本增加。在初步优化方案的基础上,充分考虑二级仓与节点直接配送的情况,得到混合优化运输方案,证明二级仓与一级仓混合配送情况下总体运输经济效益提升明显。

参考文献:

[1]HAGGETT P.Locational models[M].New York:John Wiley and Sons,1997:24-32.

[2]WINKEBBACH M,KLEINDORFER P R,SPINLER S.Enabling urban logistics services at La Poste through multi-echelon location-routing[J].Transportation Science,2015,50(2):520-540.

[3]AMIRI A.Designing a distribution network in a supply chain system:Formulation and efficient solution procedure[J].European Journal of Operational Research,2006,171(2):567-576.

[4]CHEN C T.A fuzzy approach to select the location of the distribution center[J].Fuzzy Sets and Systems 2001,118(1):65-73.

[5]KRATICA J,DUGOSIGA D,SAVIC A.A new mixed integer linear programming model for the multi level uncapacitated facility location problem[J].Applied Mathematical Modelling,2014,38(7/8):2118-2129.

[6]SYAM S S.A model and methodologies for the location problem with logistical components[J].Computers & Operations Research,2002,29(9):1173-1193.

[7]葛显龙,邹登波.供应链环境下带越库配送的多配送中心车辆路径问题[J].控制与决策,2018,33(12):2169-2176.
GE Xianlong,ZOU Dengbo.Vehicle routing problem of multi-distribution centers with cross-docking in the supply chain[J].Control and Decision,2018,33(12):2169-2176.

[8]张得志,李双艳.物流节点动态布局优化模型及其求解算法研究[J].铁道科学与工程学报,2011(5):100-104.
ZHANG Dezhi,LI Shuangyan.Research on an optimization model for logistics nodes dynamic location and its solution algorithm[J].Journal of Railway Science and Engineering,2011(5):100-104.

[9]施宏伟,王发年.基于聚类的物流节点模型及其自适应蚁群算法[J].工业工程与管理,2010,15(4):10-14.
SHI Hongwei,WANG Fanian.A clustering model and its adaptive ant colony algorithm in logistics service nodes layout optimization[J].Industrial Engineering and Management,2010,15(4):10-14.

[10]郑斌,杨华龙,唐法浙.县域农村物流配送中心选址优化模型及算法[J].大连海事大学学报,2011,37(1):95-98.
ZHENG Bin,YANG Hualong,TANG Fazhe.Locating optimization and algorithm of rural logistics distribution center in county area[J].Journal of Dalian Maritime University,2011,37(1):95-98.

[11]王伟,封学军.基于加权 Voronoi 图的连续型物流节点布局优化[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2011,35(6):1103-1107.
WANG Wei,FENG Xuejun.Research on continuous logistics node layout optimization based on weighted Voronoi diagram[J].Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science & Engineering),2011,35(6):1103-1107.

[12]吴昱璟,黎明,孟祥东.城市物流节点空间布局优化研究:以山西省为例[J].西南师范大学学报(自然科学版),2016,41(2):78-84.
WU Yujing,LI Ming,MENG Xiangdong.On spatial distribution and optimization of urban logistics nodes:Taking Shanxi province as an example[J].Journal of Southwest China Normal University(Natural Science Edition),2016,41(2):78-84.

[13]韩晓龙.水果物流网络及节点布局研究[D].武汉:华中农业大学,2009:22-67.
HAN Xiaolong.Research on fruit logistics network and nodes layout[D].Wuhan:Huazhong Agricultural University,2009:22-67.

(下转第 119 页)

International Conference on Pervasive Computing.IEEE Computer Society,2010.

[10]董君,陈立.RBF神经网络算法的非线性积分滑模控制机械臂运动轨迹误差研究[J].中国工程机械学报,2018,16(2):106-110.

DONG Jun,CHEN Li.The nonlinear integral sliding mode of RBF neural network algorithm is used to control the motion trajectory error of the manipulator[J].Chinese Journal of Construction Machinery,2018,16(2):106-110.

[11]乃永强,李军.基于极限学习机的机械臂自适应神经控制[J].信息与控制,2015,44(3):257-262.

NAI Yongqiang,LI Jun.Adaptive neural control of manipulators based on extreme learning machine[J].Information and Control,2015,44(3):257-262.

[12]KUMAR N,BORM J H,PANWAR V,et al.Tracking control of redundant robot manipulators using RBF neural network and an adaptive bound on disturbances[J].International Journal of Precision Engineering & Manufacturing,2012,13(8):1377-1386.

[13]KHAN S,NASEEM I,TOGNERI R,et al.A novel adaptive kernel for the RBF neural networks[J].Circuits,Systems,and Signal Processing,2017,36(4):1639-1653.

[14]TOK D K S,YU D L,MATHEWS C,et al.Adaptive structure radial basis function network model for processes with operating region migration[J].Neurocomputing,2015,155(C):186-193.

[15]YANG H,LIU J.An adaptive RBF neural network control method for a class of nonlinear systems[J].IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica,2018,5(2):457-462.

[16]GE S S,HANG C C,WOON L C.Adaptive neural network control of robot manipulators in task space[J].IEEE Transactions on Industrial Electronics,2002,44(6):746-752.

[17]GE S S.Robust adaptive NN feedback linearization control of nonlinear systems[J].International Journal of Systems Science,1996,27(12):12.

(责任编辑:李 磊)

(上接第109页)

[14]龚梦,祁春节.城市物流网络空间布局规划研究:以江苏省为例[J].城市发展研究,2013,20(1):42-48.

GONG Meng,QI Chunjie.Design on logistics network and nodes layout of cities in Jiangsu province[J].Urban Development Studies,2013,20(1):42-48.

[15]刘新民,王子璇,孙秋霞.危险品事故背景下城市交通网络级联失效抗毁性研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2019,38(1):91-98.

LIU Xinmin,WANG Zixuan,SUN Qiuxia.Research on cascade failure and invulnerability of urban traffic network under the background of hazardous article accidents[J].Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science),2019,38(1):91-98.

[16]FAN B, YANG Y, LI L.Integrated optimization of urban agglomeration passenger transport hub location and network design[J].EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2018(1):168.

[17]葛显龙,薛桂琴.基于场景动态度的两级配送路径问题[J].控制与决策,2019,34(6):1195-1202.

GE Xianlong,XUE Guiqin.Two-echelon distribution routing problem based on scenes dynamic degree[J].Control and Decision,2019,34(6):1195-1202.

[18]吴聪,陈侃松,姚静.基于改进自适应遗传算法的物流配送路径优化研究[J].计算机测量与控制,2018,26(2):236-240.

WU Cong,CHEN Kansong,YAO Jing.Study on optimization of logistics distribution route based on improved adaptive genetic algorithm[J].Computer Measurement & Control,2018,26(2):236-240.

[19]徐伟,马昌文.基于时间窗约束的车辆路径优化问题研究[J].中国高新科技,2017,1(4):37-39.

XU Wei,MA Changwen.Research on vehicle routing optimization problem based on time window constraint[J].China High-Tech,2017,1(4):37-39.

(责任编辑:李 磊)