

# 快递超网络模型及基于效率的优化方法

黄建华, 党延忠

(大连理工大学 系统工程研究所, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 快递企业的配送系统是一个由物理层网络和管理层网络构成的,具有多层、多维、多标准特征的超网络系统和运转中心作为管理层网络中业务管理维度子网的最小经营单位,其经营目标是实现配送效率的最大化。以配送时间作为网络边的权值,从业务管理的维度,研究快递超网络基于效率的优化方法。结果表明:一是各运转中心可以借助合理选择配送路径和配送工具等方法,实现配送效率的最优;二是在考虑线路上的时间成本由其两端节点平均分摊的前提下,各运转中心实现效率最优的同时,快递企业的综合配送效率最高。

**关键词:** 快递网络; 超网络; 业务管理维度; 优化方法

**中图分类号:** F224.3; C931.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-3370(2011)03-0068-05

## 一、引言

快递服务也称为速递服务,是一种强调快速、便捷并以门对门的服务方式为主的物流模式。近年来,随着中国经济的快速崛起,对快递业务的需求量也急剧增加,这为国内快递企业的发展提供了广阔的市场空间。但国内快递市场巨大的发展潜力,也吸引了以敦豪环球速递公司(DHL)、美国联合包裹运输服务公司(UPS)、美国联邦快递公司(FedEx)、天地快运公司(TNT)等国际快递巨头为代表的国际快递企业的入驻,它们凭借庞大的配送网络、强大的经济实力、成功的运作模式以及较高的市场知名度,很快获得了大部分国内快递市场份额,国内快递企业的生存和发展空间受到了极大挤压,部分快递企业甚至面临破产和被兼并的窘境。如何构建和优化配送网络,如何提高配送效率和服务质量,以及如何降低配送成本等已成为快递企业能否获得竞争优势的关键问题。

快递网络是以快递配送网点或者网点所在的城市作为节点,以配送线路为边构成的网络。配送网络的优化问题,一直都是供应链和物流管理领域研究的热点,包括多数学规划<sup>[1]</sup>、模糊理论<sup>[2]</sup>、蚁群算法<sup>[3]</sup>、遗传算法<sup>[4]</sup>和粒子群算法<sup>[5]</sup>等理论和方法均被广泛地用于配送线路的规划和路径的选择。研究表明,这些方法在解决有关配送网络最短路径、最小成本或最佳流量等方面问题均具有较好的效果。但是,快递企业的物流配送系统是一个由不同的职能部门和管理层次所构成的,具有多维、多层、

多属性和多目标等特征的复杂系统,由网点和线路所构成的物理配送网络,只是快递企业物流配送系统的一部分。孤立地描述和分析物理配送网络,忽略快递企业的组织结构、管理模式、部门间的相互关系以及它们对物理网络设计和优化的影响,无法全面准确地反映快递企业物流配送系统的整体性和功能特征。

由于超网络<sup>[6-7]</sup>理论适合描述具有多层性、多级性、多维性、多属性等特征的网络系统,因此,被广泛地用于供应链网络<sup>[8-9]</sup>、知识网络<sup>[10]</sup>和交通网络<sup>[11-12]</sup>等现实复杂网络的分析。本文应用超网络模型对快递网络系统的多层和多维特征进行分析和描述,并从业务管理的维度,探讨基于效率的快递超网络优化方法。

## 二、快递企业配送系统的超网络表示

快递企业的配送网络系统按照不同的层面和维度,可以划分为以下的网络(图1)。

### (一)物理层网络

快递企业的物理层网络是由以干线运输为主的航空快递网络和以区域分散运输为主的公路快递网络构成的混合网络,由配送网点和配送线路组成。

### (二)管理层网络

为了提高市场竞争力,快递企业一方面要尽量降低经营成本,另一方面要设法提高服务效率和服务水平。为了能够两者兼顾,很多快递企业采用矩阵式的二维管理模式对物理层网络进行管理和控

收稿日期: 2010-08-18

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(863)资助项目(2008AA04Z107)

作者简介: 黄建华(1972—),男,大连理工大学博士研究生,福州大学公共管理学院讲师。E-mail: everam@sina.com

制,从而在管理层形成两个维度的管理网络:(1)组织管理维度网络,即快递企业按照区域在全国范围内设立省级分公司,各省级分公司管理辖区范围内的配送网点和配送线路,形成公司—分公司—配送网点的三级管理结构,省级分公司作为成本中心,实行独立核算,其经营目标是实现配送成本的最小化。(2)业务管理维度网络,即快递企业在全国范围内设立了若干个运转中心,每一个运转中心分别覆盖不同的配送网点和线路,形成公司—运转中心—配送网点的三级管理结构,运转中心是效率中心,不实行独立的成本核算,其功能是规划和管理区域内货物的配送方式和配送线路,并实现配送效率的最大化。

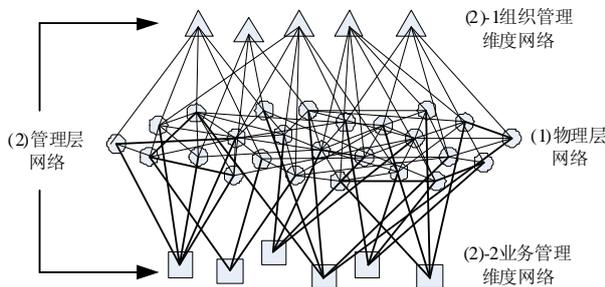


图1 快递企业配送系统的超网络模型

这些具有分级、分层、多维和多属性特点的相互交织的子网络构成了快递企业的超网络。

### 三、快递超网络基于效率的优化方法

运转中心作为快递企业的效率中心,它既是快递企业货物配送的集散中心,也是快递企业提高配送速度和服务水平的有力保证,作为超网络课题研究的内容之一,笔者重点探讨存在运转中心、且各运转中心为独立运营实体的情况下,超网络基于效率的优化方法。

笔者以配送网点作为节点、连接网点的配送线路作为边,以任意两点之间货物配送的时间作为权重,构建快递超网络中物理层网络的赋权网络图,从业务管理的维度分析物理层网络基于效率的优化方法,优化过程中以配送时间作为衡量配送效率的唯一指标。由于快递企业使用航空和公路两种不同配送方式,它们在配送时间上存在差异,因此,网络图中存在多重边的情况。

#### (一)符号与模型假设

(1)假设共有  $N$  个配送网点,若  $i, j$  分别代表第  $i$  和第  $j$  个配送网点,则  $i, j=1, 2, \dots, N$ ;

(2)假设快递企业下设  $n$  个运转中心,其经营目标是实现运营效率的最大化,用  $\beta (\beta=1, 2, \dots, n)$  表示第  $\beta$  个运转中心;

(3)对于网络中任一节点  $i$ ,用属性值对其标注

为  $i^\beta$ ,表示节点  $i$  属于运转中心  $\beta$ ;

(4)货物在任意两网点  $i, j$  之间配送的时间,称为时间成本,与效率成反比;

(5)假设货物在任一配送线路上配送的时间成本由其两端的配送网点平均分摊。

#### (二)运转中心 $\beta$ 的基于效率的超网络优化方法

考虑运转中心  $\beta$ , 其配送效率由所选择的配送线路和配送工具决定,令运转中心  $\beta$  所辖的任一网点与其它网点的连接矩阵为

$$E_\beta = \begin{pmatrix} e(1^x, 1^y), e(1^x, 2^y), \dots, e(1^x, N^y) \\ \vdots \\ e(N^x, 1^y), e(N^x, 2^y), \dots, e(N^x, N^y) \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$= (e(i^x, j^y))_{N \times N}$$

其中

$$e(i^x, j^y) = \begin{cases} 1 & \text{if } x=\beta \text{ or } y=\beta \\ 0 & \text{if } x \neq \beta \text{ and } y \neq \beta \end{cases}$$

即  $e(i^x, j^y)=1$  表示  $i, j$  两网点至少有一个属于运转中心  $\beta$ ,  $i, j$  之间的货物配送时间成本与运转中心  $\beta$  有关;  $e(i^x, j^y)=0$  则表示  $i, j$  两配送网点均不属于运转中心  $\beta$ ,  $i, j$  之间的货物配送所产生的时间成本与运转中心  $\beta$  无关。

#### 1. 基于效率的快递超网络最短路径矩阵

货物的配送效率由配送时间决定,而配送时间与配送线路和配送方式有关,因此,要实现配送效率的最大化,应选择配送时间最少的配送方式和配送线路。

(1)快递企业公路配送网络中任意两点间货物的直接配送时间可表示为  $\phi=(u_{ij})_{N \times N}$ ,其中,  $u_{ij} \geq 0$ ,若两配送网点  $i, j$  之间没有直接相连的公路配送线路,则取  $u_{ij}=+\infty$ 。

(2)快递企业航空配送网络中任意两点间货物的直接配送时间表示为  $B=(b_{ij})_{N \times N}$ ,其中  $b_{ij} \geq 0$ ,若两配送网点  $i, j$  之间没有直接相连的航空配送线路,则取  $b_{ij}=+\infty$ 。

(3)由公路和航空所构成的混合快递网络中,任意两点之间直接配送的最小时间矩阵可表示为  $Y=(y_{ij})_{N \times N}$ ,其中  $y_{ij}=\min(u_{ij}, b_{ij})$ ;同时,定义判断矩阵  $P=(p_{ij})_{N \times N}$  表示所选择的配送工具,  $p_{ij}$  的取值为

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } \min(u_{ij}, b_{ij})=u_{ij} \\ 0 & \text{if } \min(u_{ij}, b_{ij})=b_{ij} \end{cases}$$

即  $p_{ij}$  表示  $i, j$  两网点之间采用的是公路配送方式,  $p_{ij}=0$  表示  $i, j$  两网点之间采用的是航空配送方式。

(4)快递企业配送网络中,任意两配送网点  $i, j$  之间的最短配送时间用  $t_{ij}$  表示,则整个网络基于时

间的最短路径矩阵可表示为  $T=(t_{ij})_{N \times N}$ , 其中  $t_{ij} \geq 0$ , 矩阵  $T$  是利用改进 Floyd 算法, 通过对矩阵  $Y$  上的任意两点  $i, j$  求关于时间最短路径值而得。与其相对应的路由矩阵可表示为  $R=(r'_{ij})_{N \times N}$ , 其中  $r'_{ij} \geq 0$ 。

### 2. 算法设计

本文利用改进 Floyd 算法求解基于效率的最短路径矩阵, 以及与该矩阵相对应的成本矩阵和路由矩阵, 并利用 Matlab 进行了编程和实现, 其算法描述如下:

- (1) 输入式(4)所示的混合快递网络中  $i, j$  两点之间基于效率的连接矩阵  $Y(y_{ij})_{N \times N}$  和基于成本的连接矩阵  $H=(h_{ij})_{N \times N}$ , 路由矩阵  $R'$  的初始值  $R'_{(i,j)=j}$ ;
- (2) 定义两个  $N$  阶方阵系列  $T^{(0)}, T^{(1)}, \dots, T^{(k)}, \dots, T^{(N)}$  和  $C^{(0)}, C^{(1)}, \dots, C^{(k)}, \dots, C^{(N)}$ , 其中  $T^{(k)}=(t_{ij}^{(k)})_{N \times N}$ ,  $C^{(k)}=(c_{ij}^{(k)})_{N \times N}$ ;
- (3) 对所有  $i, j, t_{(i,j)} \leftarrow y_{(i,j)}, c_{(i,j)} \leftarrow h_{(i,j)}, k \leftarrow 1$ ;
- (4) 若  $t_{(i,k)}+t_{(k,j)} < t_{(i,j)}$ , 则  $t_{(i,j)} \leftarrow t_{(i,k)}+t_{(k,j)}, c_{(i,j)} \leftarrow c_{(i,k)}+c_{(k,j)}, R'_{(i,j)}=k$ ;
- (5) 若  $k=n$ , 停止; 否则  $k \leftarrow k+1$ , 转到第(4)步;
- (6) 输出基于效率的最短路径值矩阵  $T^{(N)}$  和与其对应的成本值矩阵  $C^{(N)}$ 、路由矩阵  $R'$ 。

### 3. 运转中心 $\beta$ 的基于效率的优化解 $F_\beta$

运转中心  $\beta$  的基于效率的优化解  $F_\beta$  可以表述为

$$F_\beta = \frac{1}{2} TE_\beta$$

$$= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1N} \\ t_{N1}, t_{N2}, \dots, t_{NN} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e(1^x, 1^y), e(1^x, 2^y), \dots, e(1^x, N^y) \\ \vdots \\ e(N^x, 1^y), e(N^x, 2^y), \dots, e(N^x, N^y) \end{pmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N e(i^x, j^y) \quad (2)$$

其中

$$x, y=1, 2, \dots, n; e(i^x, j^y) = \begin{cases} 1 & \text{if } x=\beta \text{ or } y=\beta \\ 0 & \text{if } x \neq \beta \text{ and } y \neq \beta \end{cases}$$

### (三) 基于效率的快递超网络优化模型及求解

快递企业采用以运转中心为区域核心的分区配送方式, 各运转中心依据效率最优的原则对所辖区域内的货物进行统一调度和配送, 这对快递企业的总体效率是否会产生影响? 在各运转中心追求各自效率最大化的前提下, 企业能否实现总体效率的最优? 下面将给出证明。

定理 1 若快递企业的各运转中心获得最优效率, 则整个企业获得最优效率。

证明 各运转中心的基于效率的最优值之和为

$$F = \sum_{\beta=1}^n F_\beta = \frac{1}{2} \sum_{\beta=1}^n TE_\beta \quad (3)$$

根据假设,  $E_\beta$  的取值为

$$E_\beta = \begin{pmatrix} e(1^x, 1^y), e(1^x, 2^y), \dots, e(1^x, N^y) \\ \vdots \\ e(N^x, 1^y), e(N^x, 2^y), \dots, e(N^x, N^y) \end{pmatrix}$$

$$= (e(i^x, j^y))_{N \times N}, x, y=1, 2, \dots, n$$

其中

$$e(i^x, j^y) = \begin{cases} 1 & \text{if } x=\beta \text{ or } y=\beta \\ 0 & \text{if } x \neq \beta \text{ and } y \neq \beta \end{cases}$$

因此,  $\sum_{\beta=1}^n E_\beta$  的值为单位矩阵  $E$ , 式(3)可化简为

$$F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{ij}$$

根据假设, 货物在任意一配送线路上配送的时间成本由其两端的配送网点平均分摊, 而  $t_{ij}$  为网络中  $i, j$  两点间基于效率的最短路径值。

因此,  $F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{ij}$  表示整个网络中, 任意两点之间按照效率最优的原则进行货物配送时的总配送时间之和。它是快递企业配送过程中基于效率的最优值。

证毕

快递超网络的最小时间成本值为  $F$ , 并可以表述为

$$F = \frac{1}{2} \sum_{\beta=1}^n TE_\beta = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{ij} \quad (4)$$

## 四、算例

选取国内某民营快递企业配送网络的 23 个城市的相关数据进行分析, 城市编号为: 1. 常州, 2. 东莞, 3. 佛山, 4. 广州, 5. 杭州, 6. 惠州, 7. 江门, 8. 金华, 9. 昆山, 10. 南京, 11. 宁波, 12. 绍兴, 13. 深圳, 14. 苏州, 15. 温州, 16. 无锡, 17. 吴江, 18. 扬州, 19. 义乌, 20. 湛江, 21. 镇江, 22. 中山, 23. 珠海。经数据整理, 可绘制快递超网络系统中物理层网络的拓扑结构图如图 2 所示。

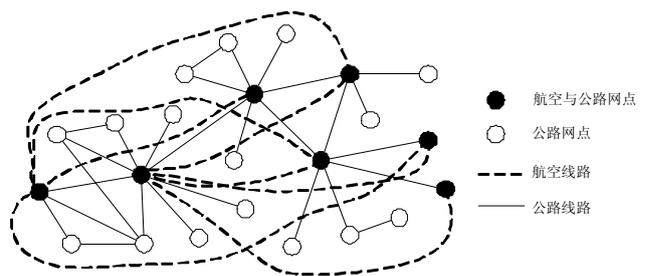


图 2 由航空配送网络和公路配送网络构成的物理层网络的拓扑结构图

表 1 超网络的构成情况

网络分类	网络构成	网点及性质
(1)管理维度网络	浙江分公司	杭州(C),金华(A),宁波(C),绍兴(A),温州(C),义乌
	江苏分公司	常州(A), 昆山(A), 南京(C), 苏州(A), 无锡(C), 吴江(A), 扬州(A), 镇江(A)
	广东分公司	东莞(A), 佛山(A), 广州(C), 惠州(A), 江门(A), 深圳(C), 湛江(A),中山(A), 珠海(A)
(2)运营维度网络	无锡运转中心	常州(A), 昆山(A), 南京(C), 苏州(A), 无锡(C), 吴江(A), 扬州(A), 镇江(A), 杭州(C), 金华(A),宁波(C), 绍兴(A),温州(C), 义乌(A)
	广州运转中心	东莞(A), 佛山(A), 广州(C), 惠州(A), 江门(A), 深圳(C), 湛江(A),中山(A), 珠海(A)

注: A 表示公路网点; B 表示航空网点; C 表示既是公路网点也是航空网点。

(一) 快递网络系统的超网络构成

快递企业配送网络系统的超网络构成情况如表 1 所示。

(二) 基于配送效率的超网络优化方法

1. 根据快递企业公路配送网络中任意两点  $i, j$  间直接配送的时间值矩阵  $\theta=(u_{ij})_{N \times N}$  和航空配送网络中任意两点  $i, j$  间货物的直接配送时间值矩阵  $B=(b_{ij})_{N \times N}$ , 按照  $y_{ij}=\min(u_{ij}, b_{ij})$  计算公路和航空所构成的混合快递网络中, 任意两点  $i, j$  之间的直接配送的最小时间值矩阵  $Y=(y_{ij})_{N \times N}$  (单位: 小时), 计算结果如图 3 所示。

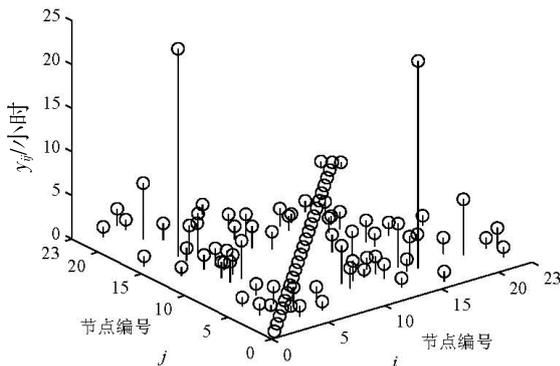


图 3 混合快递网络任意两点  $i, j$  之间直接配送的最小时间值

同时, 按照  $p_{ij}$  的取值方式

$$p_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{if } b_{ij} = u_{ij} = +\infty \\ 1 & \text{if } \min(u_{ij}, b_{ij}) = u_{ij} \\ 0 & \text{if } \min(u_{ij}, b_{ij}) = b_{ij} \end{cases}$$

获得配送工具的选择矩阵  $(p_{ij})_{N \times N}$ , 其中, 0 代表航空配送, 1 代表公路配送, 2 代表没有直接相连的配送线路, 如图 4 所示。

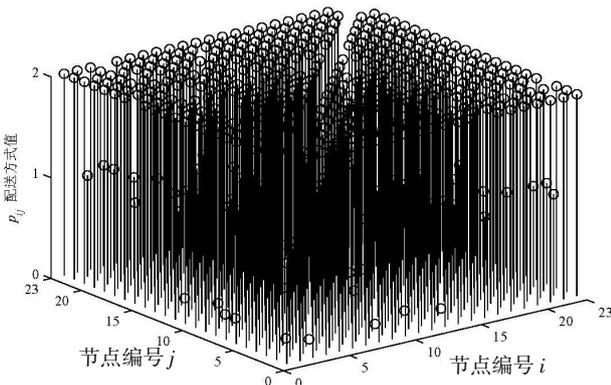


图 4 混合快递网络任意两点  $i, j$  之间直接配送方式选择情况

2. 在  $Y=(y_{ij})_{N \times N}$  的基础上, 使用改进 Floyd 算法, 可计算出混合快递配送网络中, 任意两配送网点  $i, j$  之间的最小时间路径矩阵  $T=(t_{ij})_{N \times N}$  的值, 如图 5 所示。

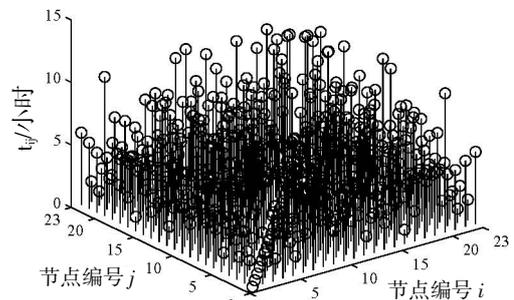


图 5 任意两点  $i, j$  之间基于配送时间的最短路径值

3. 递企业的总配送时间的最小值  $F = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N$

$t_{ij}=1$  139.2(小时), 根据成本矩阵和网点之间的货物配送量矩阵, 可以计算出按此方式和线路进行货物配送时的总成本为  $1.6171 \times 10^8$ (元)。同时, 获得与基于效率的最短路径矩阵对应的路由矩阵。

根据基于配送时间的最短路径值矩阵, 以及与其对应的路由矩阵和配送方式选择矩阵, 我们不仅能获得任意两点之间基于时间的最短路径值, 还能同时解决如何选择最佳路径和如何选择最佳配送工具等问题。以常州到惠州为例, 根据路由矩阵表可查得两点之间最短路径的路由为 1-16-13-6 (即常州—无锡—深圳—惠州); 根据配送方式选择矩阵中的数据, 则可查得其对应的配送工具为 1-0-1 (即公路—航空—公路), 按此配送方案, 可获得最高的配送效率, 总配送时间为 4.5 小时。

五、结论

快递企业的配送系统是一个具有多层、多维特点的超网络系统, 笔者以配送时间作为网络中边的权值, 利用改进 Floyd 算法, 探讨了业务管理维度的基于效率的快递超网络优化方法, 在优化过程中, 同时考虑了时间路径的长短和航空、公路两种运输工具的选择等问题, 并选取某快递公司的网络进行

了实例分析。结果表明,在效率优先的配送原则下,航空运输在远距离的货物配送方面由于具有快速高效的特点,从而取代公路配送,成为快递企业的第一选择,公路配送则由于灵活方便且能实现门对门的配送服务,在近距离的分散配送方面占据主导地位。

本文是超网络课题的研究内容之一,由于篇幅

的关系,论文在揭示快递企业配送系统超网络特征的基础上,仅给出了业务管理维度基于效率的优化方法,有关组织管理维度的优化方法,以及如何在保证一定配送效率(比如,对用户所承诺的配送时间)的前提下,实现配送成本的最低的多标准综合优化方法,会在接下来的研究成果中给出。

#### 参考文献:

- [1] 石琴,陈朝阳,覃运梅. 多目标物流网络优化模型的研究[J]. 中国管理科学,2005,13(4): 40-43.
- [2] 蒋忠中,汪定伟. 物流配送车辆路径优化的模糊规划模型与算法[J]. 系统仿真学报,2006,18(11):3301-3312.
- [3] 王素欣,高利,崔小光等. 多集散点车辆路径优化的混合算法[J]. 北京理工大学学报:自然科学版,2007,27(2): 130-134.
- [4] Wen H Y. Genetic algorithm-based computation of shortest path in discrete-time networks [J]. Journal of South China University of Technology,2008,36(2):13-16.
- [5] 李宁,邹彤,孙德宝. 车辆路径问题的粒子群算法研究[J]. 系统工程学报,2005,20(6):596-600.
- [6] Sheffi Y. Urban transportation networks: equilibrium analysis with mathematical programming methods[M]. NJ: Printice-Hall,1985.
- [7] Nagurney A,Dong J,Zhang D. A supply chain network equilibrium model[J]. Transportation Research E,2002,38 (5): 281-303.
- [8] Dong J,Zhang D,Yan H,Nagurney A. Multitiered supply chain networks: multicriteria decision-making under uncertainty[J]. Annals of Operations Research,2005,135:155-178.
- [9] 徐兵,朱道立. 产品随机选择下多商品流供应链网络均衡模型研究[J]. 系统工程理论与实践,2007,3: 82-90,104.
- [10] 于洋,党延忠. 组织人才培养的超网络模型[J]. 系统工程理论与实践,2009,29(4): 154-160.
- [11] 四兵锋,赵小梅,孙壮志. 城市混合交通网络系统优化模型及其算法[J]. 中国公路学报,2008,21(1): 77-82.
- [12] Nagurney A,Toyasaki F. Supply chain supernetworks and environmental criteria [J]. Transportation Research: Part D,2003,8 (3): 185-213.

## Express Super-network Model and Efficiency-based Optimization Method

HUANG Jianhua, DANG Yanzhong

(Institute of Systems Engineering, Dalian University of Technology, Liaoning Dalian 116024)

**Abstract:** Express enterprise distribution system is a super-network system with characteristics of multi-layers, multi-dimensions and multi-criteria, consisting of physical layer networks and management layer networks. As the operation unit of business management dimension sub-network in management layer network, transshipment center views efficiency maximization as its business objective. By regarding the delivery time as the edge weights, an efficiency-based optimization method for this super-network is analyzed in business management dimension, with the results showing that:(1) efficiency maximization of transshipment center can be obtained by suitable routing selecting and reasonable transportation means choice;(2) peak efficiency of express enterprise can be acquired only when all transshipment centers of it have achieved the highest efficiency.

**Key words:** express network; super-network; business management dimension; optimization method

[责任编辑:孟青]