

带时间窗约束的道路危险品运输路径选择研究

夏超

(西南交通大学 交通运输与物流学院 四川 成都 610031)

摘要: 对已有危险品运输模型进行分析,针对当前危险品类物流配送网络的特点,提出了在时间窗约束条件下城市道路网络中的危险品配送模型,该模型以整个网络中事故发生的期望和影响人数最小为目标。设计了目标集成方法和对集成后目标函数求解的扩展标号法来计算该多目标问题的 Pareto 最优折衷解,最后用实例对算法进行了验证。

关键词: 危险品运输网络; 运输路径; 时间窗; 蚁群算法

中图分类号: U492 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2014)04-0090-05

0 引言

危险品(Hazardous chemicals)是一种具有物理、化学或是生物特性的物品,它容易在生产、储存、运输中引起燃烧、爆炸、中毒等灾害事故。随着工业的发展,危险品的生产量和运输量均在逐年增加。

在国外,危险品运输路径选择问题已经成了一个非常活跃的研究领域,引起了很多学者的关注。Current^[1]等提出了一个双目标模型,最小化路径包括人口数和最小化行驶里程,产生连接于预先确定的 OD 组合权衡交换曲线。Abkowitz M 和 Cheng P^[2]提出了一个考虑风险和成本的双目标路径模型,并综合风险与成本组成了一条对单个 OD 组合的 Pareto 最优路径。在我国,任常兴^[3]构建了最小化运输事故概率和暴露人口风险模型,应用权数调整节点标号算法和边线标号算法解决危险品道路运输选线。王妍霞^[4]综合考虑事故所造成的损失最小和运输成本最小时,运输方式和运输路径的选择方法。马昌喜^[5]以运输风险、运营时间及敏感目标人数最小化为目标,建立了危险品公路运输路径多目标决策模型,然后用扩展标号法^[6]计算最优折衷解。

纵观国内外现状可知,目前在危险品配送网络路径选择研究中已经取得了一些成果,但现有研究成果忽略了危险品运输过程中的动态性,即没有考虑危险品在道路运输的消耗时间随时段的不同而改变,以及时间窗的约束。本文将在时间窗和运输时间动态变化的条件下,研究危险品运输路径的优化选择。

1 优化模型

研究的问题描述如下:在一个城市道路运输网络中,假设每种运输方式在各路段上发生事故的概率以及事故所造成的损失已知,各路段上不同时段的危险品的运输时间已知。现有多种流向的危险品要从相同的起讫点运输到不同的终点,每一个 OD 之间都有多条运输路径可以选择,在综合考虑运输社会总期望损失和运输成本的情况下,如何确定各种流向危险品的运输路径。

1.1 模型假设

为降低运输成本和仓储成本,明确层次和关系以方便管理,对于危险品配送网络来讲,一般有如下要求:

(1) 为了方便网络中危险品配送的运输,所有危险品必须从起讫点发出,目标节点相互间不存在危险品的调配运输。

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxzb.2014.04.19

收稿日期: 2013-07-06

作者简介: 夏超 男 1989 年出生 硕士研究生

(2) 各个 OD 的危险品的运输量由其目标节点所在的地需求量决定,而且危险品到达仓库时需满足其时间窗的约束。

(3) 为了简化研究问题,假设网络中只有一种危险品需要运输,且同一流向危险品的运量在某两节点之间不能分割。

1.2 抽象描述

在建立优化模型前,首先对运输网络 $G = (V, E, R)$ 的拓扑结构进行抽象描述,其中 V 表示节点集合 E 表示有向弧集合 R 表示弧的权重集合。将图中的节点和连接这些节点的道路分别类比为网络中的顶点和有向弧,某城市物流运输网络简图如图 1 所示。

顶点集 V 包括危险品运输网络中的起讫点、转运节点以及目标节点,所有 OD 流向的首末节点表示运输网络中的起讫点与目标节点,其余节点即为运输网络中的转运节点;有向弧 E 为起讫点、转运节点以及目标节点之间的连接弧;弧权重 R 包括危险品通过该路段所造成的风险 R_1 、影响人数 R_2 以及消耗时间 R_3 。

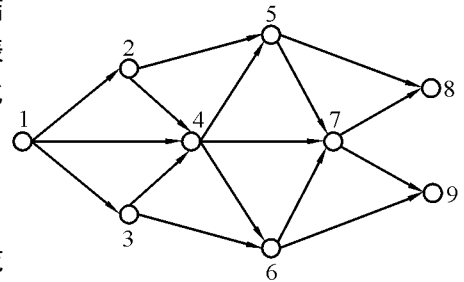


图1 现代危险品物流配送网络

1.3 符号说明

(1) 已知常量。令 f 表示网络中危险品的某种流向, $\rho(f)$ 为第 f 种危险品流向的起讫点, $d(f)$ 为第 f 种危险品流向的目标点,所有流向的集合即为 F , 即 $f \in F$; p_l^f 表示第 f 种流向的危险品在网络 G 中的第 l 条可选路径,各条路径的集合记为 P^f , 即 $p_l^f \in P^f$; r_{ij} 表示危险品在路段 (i, j) 上运输的事故发生概率; Q_{ij} 表示路段 (i, j) 上暴露的人口数量; t_{ij} 表示在危险品通过路段 (i, j) 所消耗时间; $[T_1^f, T_2^f]$ 表示第 f 种危险品的送达时间窗约束, T_1^f 为最早送达时间, T_2^f 为最晚送达时间;

(2) 决策变量。 x_{ij}^f 为 0-1 变量,表示 f 流向危险品是否通过路段 (i, j) , 取 1 时为是, 取 0 时与否。

1.4 模型建立

在危险品运输过程中,整个路网中发生事故的总期望为

$$Z_1 = \sum_{f \in F} \sum_{(i, j) \in p_l^f} x_{ij}^f r_{ij} \quad (1)$$

整个路网中危险品运输所影响的人数为

$$Z_2 = \sum_{f \in F} \sum_{(i, j) \in p_l^f} x_{ij}^f Q_{ij} \quad (2)$$

因此,在时间窗约束条件下,构建危险品储运一体化的优化模型如下:

$$\min Z_1 = \sum_{f \in F} \sum_{(i, j) \in p_l^f} x_{ij}^f r_{ij} \quad (3)$$

$$\min Z_2 = \sum_{f \in F} \sum_{(i, j) \in p_l^f} x_{ij}^f Q_{ij} \quad (4)$$

$$x_{ij}^f \in \{0, 1\} \quad (5)$$

$$\sum_{(i, j) \in p_l^f} x_{ij}^f - \sum_{(i, j) \in p_{l'}^f} x_{ji}^f = \begin{cases} 1 & i \in \rho(f) \\ -1 & i \in d(f) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad f \in F, p_l^f \in P^f \quad (6)$$

$$\sum_j x_{ij}^f \leq 1, \forall i \in N \quad (7)$$

$$T_1^f \leq s_o^f + \sum_{(i, j) \in p_l^f} x_{ij}^f t_{ij} \leq T_2^f \quad (8)$$

上述优化模型中,目标函数(3)表示整个路网中发生事故的总期望最小,目标函数(4)表示整个路网中危险品运输所影响的人数最少;约束条件(5)表示决策变量取整数变量 0 或 1,即货物运输过程中不能分割,同一流向危险品的运输路径相同;约束条件(6)表示用于保证危险品在节点运输的方向性和流平衡;约束条件(7)表示危险品两节点间只能选择一条路径;约束条件(8)表示某种流向的危险品满足目标

节点的到达时间窗约束,即危险品不能早于目标节点的最早送达时间,且不能晚于最晚送达时间。

2 模型求解

由于模型的求解难度随着路网的复杂程度增加而呈几何级数上升,具有 NP-hard 的特性,本文设计了基于蚂蚁系统(AS)^[7] 的搜索策略,所有蚂蚁从起讫点 O 出发,在危险品运输路网中寻找第一个流向 f_1 的优化路径,蚂蚁完成路径的构建后,重新回到 O 点搜索第二个流向 f_2 的优化路径,直至所有目标节点都出现在路径中。

算法的重要步骤设计如下:

(1) 用层次分析法确定权重 $w = (w_1, w_2)$,并选择合适的加权开方乘方平均数 $P_w^{(\alpha)}$ 将危险品公路运输路径多目标决策模型中的目标函数表示单目标函数。

(2) 算法初始化。设置信息素重要系数 α ,启发式信息重要系数 β ,信息素蒸发系数 ρ ,信息素增强系数 P ,最大迭代次数 Nc_max ,蚂蚁个数 m ,路段启发式信息计算公式 $\eta(i, j) = 1/w_1 r_{ij} + \eta w_2 Q_{ij}$,信息素 $\tau_{ij} \leftarrow \tau_0$,当前迭代次数 $Nc \leftarrow 0$ 。

For $k = 1$ to m

将所有蚂蚁置于起讫点 O ,时间 $time_o^k \leftarrow S^k(0)$

End for

(3) 解的构造。

While $Nc < Nc_max$

For $k = 1$ to m

While 蚂蚁游历的节点中不包括第一个流向 f_1 的目标节点 D_1

对蚂蚁 k 判断下一个要到达的节点 j 是否满足可行的约束条件:

① 未被访问过: 节点 $j \notin$ 蚂蚁的记忆表 $Tabu(k)$;

② 满足到达节点 j 的时间 $time_o^k \leq$ 目标节点 D_1 的时间窗上限 $T_2^{D_1}$

If 存在可行节点

按照如下概率转移函数选择下一节点 j ;

$$p_k(i, j) = \begin{cases} \frac{[\tau(i, j)]^\alpha [\eta(i, j)]^\beta}{\sum_{u \in N_i^k} [\tau(i, u)]^\alpha [\eta(i, u)]^\beta} & j \in N_i^k \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$Tabu(k) \leftarrow [Tabu(k), j]$ $time_j^k \leftarrow time_i^k + t_{ij}$

End if

End while

While 蚂蚁游历的节点中不包括第二个流向 f_2 的目标节点 D_2

.....

While 蚂蚁游历的节点中不包括第 m 个流向 f_m 目标节点 D_m

.....

End while

按照下式更新信息素

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{ij}, \forall (i, j) \in L \quad \tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k, \forall (i, j) \in L$$

记录本次迭代中最优路径的蚂蚁

当前迭代次数 $Nc \leftarrow Nc + 1$

End while

为实现上述算法步骤,可以通过一些具有高级程序语言编译功能的计算机软件如 Matlab7.0 进行求解。

3 实例分析

下面给出一个简单的算例,危险品运输网络如图 1 所示,其中, $V_1 = 1$ 表示危险品的输出节点, $V_2 = (2, 3, 4, 5, 6, 7)$ 表示危险品运输网络中的转运节点, $V_3 = (8, 9)$ 表示危险品运输的目标节点。运输网络中存在 $1 \rightarrow 8$ 、 $1 \rightarrow 9$ 两种危险品流向,两种流向的危险品送达时间窗约束分别为 $[9:00, 11:00]$ 、 $[11:00, 12:00]$ 。危险品出发时间为早上 6:00。

危险品在不同路段的事故概率和运输消耗时间如表 1 所示。

表 1 各条路段的事故概率、消耗时间及影响人数

路段	事故概率/%	消耗时间/min	影响人数/千人	路段	事故概率/%	消耗时间/min	影响人数/千人
(1, 2)	1	40	4	(4, 6)	3	120	12
(1, 3)	0.8	60	3	(4, 7)	1	100	6
(1, 4)	0.8	50	5	(5, 7)	3	80	8
(2, 4)	2	80	7	(5, 8)	1.5	80	5
(2, 5)	2	100	8	(6, 7)	2.5	120	9
(3, 4)	1	90	10	(6, 9)	4	140	15
(3, 6)	3	100	7	(7, 8)	1.5	60	7
(4, 5)	2	110	11	(7, 9)	1	70	8

按前文所述模型算法进行计算,得到结果如表 2 所示。

表 2 各流向危险品路径选择结果

流向	径路与运输方式选择	事故期望/%	影响人数/千人	运达时间
1→9	1→4→5→8	4.3	21	10:00
1→10	1→3→6→7→9	7.3	27	11:50

4 结束语

在探讨现代危险品配送网络模型特点的基础上,提出了带时间窗约束的多流向危险品配送模型,给出了求解算法和过程,最后以实例证明该模型的可行性。本模型在时间窗约束条件下对整个危险品运输网络进行优化,对危险品的运输管理工作具有现实的指导作用。

参 考 文 献

[1] Current JR. The minimum-covering shortest-path problem[J]. Decision Science, 1988, 19: 490-503.
[2] Abkowitz, M and Cheng P. Developing a risk-cost frame work for routing truck movement of hazardous materials[J]. Accident Annual Prevent, 1988, 20: 39-51.
[3] 任常兴, 吴宗之. 危险品道路运输选线问题分析[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(2): 84-88.
[4] 开妍霞, 王海燕. 危险品运输网络中运输方式和路径优化研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2009, 5(1): 37-41.
[5] 马昌喜, 广晓平. 发达运输网络环境下危险品公路运输路径决策[J]. 交通运输系统工程与信息, 2009, 9(4): 134-139.
[6] 《运筹学》教材编写组. 运筹学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
[7] Marco Dorigo. 蚁群优化[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

(下转第 103 页)

paper. mainly conducts research and design in Routing protocols of data acquisition layer and hardware in the system , analyzes the differences between the wireless meter reading system and the traditional wireless meter reading system and designs the network transmission protocol and the whole structure of the data collection layer . Communication between wireless nodes works in 433 MHz Band under strong penetrating power , which can guarantee the stability and speed of Ad Hoc network.

Key words: wireless meter reading; wireless ad hoc networks; CC1101; routing protocol

(责任编辑 刘宪福)

~~~~~  
( 上接第 93 页)

## Path Selection for Road Transport of Hazardous Chemicals with Time Window Constraint

Xia Chao

( School of Transportation and Logistics ,Southwest Jiaotong University ,Chengdu 610031 ,China)

**Abstract:** Through the analysis of existing transport models for hazardous chemicals , according to the characteristics of the current distribution network for hazardous category logistics , this paper puts forward the distribution model with time window constraints for hazardous goods in urban road network , with the expectations of the least accident occurrence in the network and the minimum number of people affected as the target. The target integration and label propagation method for solving the integrated objective function is designed to calculate the multi-objective problem of Pareto optimal compromise solution. Finally , the algorithm is verified with a practical example.

**Key words:** hazardous materials transportation network; transportation mode; time windows; ant colony algorithm

( 责任编辑 车轩玉)

~~~~~  
(上接第 97 页)

Application of Improved Gravity Model in the Railway Passenger Traffic Volume Forecast

Li Kai , Ma Si , Xu Chuanfen , Wang Ying , Chu Yan

(School of Transportation and Logistics ,Southwest Jiaotong University ,Chengdu 610031 ,China)

Abstract: This paper studies the law of gravity model parameters changing over time , using a sinusoidal function to describes the volatility of the gravity model parameters , improving the defects of original gravity model in which the parameters are calibrated as a constant , which is validated with instances through data fitting , and the results show that the prediction accuracy of the model is high.

Key words: gravity model; railway transportation; traffic volume forecast

(责任编辑 刘宪福)