

# 基于 Arc GIS 的危险品城市运输路径优化模型

王云鹏, 孙文财, 李世武, 周茹波, 张景海, 刘宇

(吉林大学 交通学院, 长春 130022)

**摘要:** 为了合理地规划危险品城市运输的路径, 降低危险品运输事故所带来的危害, 对危险品城市运输过程中的影响因素和路段风险费用进行了分析研究, 利用缓冲区等空间分析工具, 以长春市市区道路为研究对象, 建立了基于 Arc GIS 的路径优化模型, 并结合实际事故案例进行了分析验证。结果表明: 该模型优化的路径合理, 其图形化描述结果对于管理者具有较高的参考价值。

**关键词:** 交通运输安全工程; 危险品运输; 城市路网; Arc GIS; 路径优化

**中图分类号:** U298 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5497(2009)01-0045-05

## Route optimization model for urban hazardous material transportation based on Arc GIS

WANG Yun-peng, SUN Wen-cai, LI Shi-wu, ZHOU Ru-bo, ZHANG Jing-hai, LIU Yu  
(College of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, China)

**Abstract:** In order to arrange the route for the hazardous material transportation (Hazmat) reasonably to reduce the harm risk brought by the accidents of Hazmat, a route optimization model was established based on the Arc GIS with the special analysis tool such as buffer. The influence factors in urban Hazmat and the risk expenses on a road section were analyzed. The urban road network in Changchun city was taken as research object, and the model was validated by an actual accident case. The results show that the route optimized by the model is reasonable, and its graphic display is valuable for the Hazmat supervisors.

**Key words:** engineering of communications and transportation safety; hazardous material transportation (Hazmat); urban road network; Arc GIS; route optimum

近年来,随着危险品运输量的逐年增多,运输事故也呈明显上升趋势,与普通交通事故不同,危险品运输事故一旦发生,往往伴随着泄漏、燃烧、爆炸、毒害、辐射和污染等灾害。因此,迫切需要科学合理的手段对危险品运输的各个环节进行管

理,路径规划则是危险品运输过程的首要环节。在危险品运输路径优化问题上,国内外科研工作者进行了大量的研究,如美国 Argonne、Sandia 和 Oakmont 三个国家实验室分别开发出的 RISKCHEM<sup>[1]</sup>、RADTRAN<sup>[2]</sup> 和 TRAGIS<sup>[3]</sup> 程

**收稿日期:** 2007-08-31.

**基金项目:** 吉林省科技厅重点项目(20065007).

**作者简介:** 王云鹏(1966-),男,教授,博士生导师. 研究方向: 交通环境与安全技术.

E-mail: wangyunpeng@jlu.edu.cn

**通信作者:** 李世武(1971-),男,教授. 研究方向: 交通环境与安全技术. E-mail: shiwu@jlu.edu.cn.

序,主要从危险品运输风险角度进行路径评价及规划;Miaou 等<sup>[4]</sup>利用最短路线算法求解运输成本、事故概率和暴露人口约束的最佳路线;Chin 等<sup>[5]</sup>提出了双准则模型;Fabiano 等<sup>[6]</sup>研究了危险品运输的风险评估和决策制定的框架;Kara 等<sup>[7]</sup>从理论上对加拿大的危险品运输路网进行了设计;吴宗之等<sup>[8]</sup>通过计算危险品运输的个人和社会风险来辅助选线;何凡和王海燕<sup>[9]</sup>修正了一个危险品运输公路网络的理论模型。从已有研究中可看出,国内外学者在研究危险品运输线路优化时,大都是针对运输成本、距离、时间以及风险等单目标而进行的路径优化,将危险品运输路径优化简化为最短路线问题<sup>[10-11]</sup>,并且多数偏重理论分析,实用性较差。

作者选择长春市市区路网作为主要研究对象,通过对危险品城市运输过程中的路段影响因素的综合分析,在建立基于 GIS 的弧段-结点的空间数据结构平台上,充分利用地理信息系统丰富的图形表达和强大的空间分析功能,构建了具有图形化描述的综合最优路径优化模型。

### 1 模型建立

本文建立危险品城市运输路径优化模型的过程如下:①基于 GIS 搭建了城市道路网络的空间数据平台,将影响运输风险的周边实体抽象为 GIS 平台中的空间实体,并按照其产生利害的影响程度划分相应级别的缓冲区;②通过修改缓冲区内路段的属性来评价路段对应项的风险,得到具有风险大小属性的道路网;③采用定性与定量相结合的风险评价方法,剔除干扰和噪声后,建立基于路段的影响因素的优化模型;④应用 Network Analysis 扩展模块求解综合最优路径,并得到图形化描述结果。

#### 1.1 道路网络建立

首先指定拓扑等级和设定容限值,建立弧段-结点拓扑数据模型;基于 Arc Catalog 建立道路网络数据,设定其连通规则为 End Point;然后设定费用字段和约束字段,其中费用字段为总的风险费用,约束字段为布尔型字段 One Way,即是否为单行线,以模拟实际的单向行驶路段;最后设定行驶方向参数,从而建立整个道路网络,如图 1 所示。

#### 1.2 模型影响因素评价框架建立

危险品运输路径优化的最终目标是实现费



图 1 长春市路网拓扑结构

Fig. 1 Urban road network of Changchun city after topology

用、风险、灾害和补救能力这几方面共同的平衡效益,本文采用由危险品、运输车辆、相关人员、道路、环境和应急救援等 6 个要素构成的风险分析框架<sup>[12]</sup>。

以路段作为研究对象,确定了可以用于基于路段计算的 11 个因素,建立了基于路段的费用、风险、灾害和补救能力等综合评价框架,其层次结构如图 2 所示。

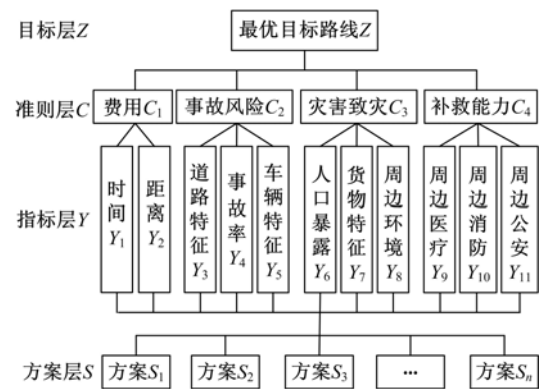


图 2 多目标评价框架层次结构图

Fig. 2 Hierarchy structure of multi-target evaluation

#### 1.3 路径优化目标确定

以长春市城市道路网络空间数据作为模型输入条件,选取中国石化长春销售分公司油库利用罐装 LPG 卡车向周边某实体加油站输送成品油为输入条件,由第三方物流公司承担装卸、押送和安全担当等全部任务,完成城市危险品运输路径优化模型的整个运算过程。

结合模型的输入条件,以私营运输企业角度作为此输入条件的评价准则,得到最优的运输路

径。当运输网包含多条可选路径时,私营运输企业将在兼顾风险的同时选择费用更少的线路。

### 1.4 影响因素权重确定

采用层次分析法(AHP)确定各因素指标的权重,邀请不同身份的专家对评价体系中的指标权重进行打分,人员的身份不同,其打分时对权重的侧重不同,通过对打分成员的配比,使打分结果与运输目标达到较好的吻合,打分成员配比如下:运输车辆驾驶员占 10%;物流管理工程师占 20%;物流公司设计人员占 30%;交通安全专家占 15%;物流规划人员占 5%;交通环境评价占 20%。

模型的输入条件中是由第三方物流公司承担运输,因此应站在私营运输企业的角度,兼顾考虑政府运管部门监管因素。而评价专家组中物流公司的设计和操作人员的比例达到了 60%,由此得到的打分结果和模型的输入条件基本吻合。经过降噪和一致性检验,结果表明,层次总排序结果具有较好的一致性。

### 1.5 影响因素分析

#### (1)事故产生灾害

危险品运输要尽量避免穿过人口暴露、密度大的区域,如学校、露天娱乐场所、集市、商业区等实体。这些实体都有以下特点:少有高大院墙包围,一般为露天形式,人口流动剧烈、聚集密度高。本文根据人口暴露场所的人口聚集规模来衡量其对路段产生的风险大小。

#### (2)事故风险因素

对于道路路段,从宏观上认为,发生事故的概率越高,该路段的事故风险性越高。本文以 2006 年长春市交通指挥中心的市区内事故统计数据为基础。

某路段的事故风险为

$$R_i = P_i \times N_i \times K_i \times H_i \quad (1)$$

式中: $R_i$  为路段  $i$  的事故风险; $P_i$  为路段  $i$  事故概率; $N_i$  表示路段  $i$  泄漏级别为  $n$ ; $K_i$  表示路段  $i$  严重事故级别为  $k$ ; $H_i$  为路段  $i$  的道路特征影响运输安全的特征系数。

#### (3)事故补救能力

事故补救能力主要体现为消防、公安及医疗等机构的快速反应能力。由于快速反应部门具有交通优先权,本文采用与事故点的直线距离来评价救援机构的补救能力。

针对事故产生灾害、事故风险、事故补救能力三方面的影响因素分别建立起相应的级别评价

表(见表 1),并建立相应的分析缓冲区,如图 4 所示。

表 1 人口暴露级别评价

活动人口/人	距离/m		
	0~30	30~60	60~90
<50	0.4	0.2	0.1
50~100	2	1	0.5
100~500	10	5	2.5



图 4 市区饭店风险缓冲区分析

Fig. 4 Risk analysis of urban restaurants with buffer tool

### 1.6 模型建立

经过对费用、风险、事故致灾和救援反应时间四个方面的缓冲区分析,可以得到路段的综合评价结果,路段  $i$  的总得分  $R_i$  为

$$R_i = \sum_{j=1}^{11} (-1)^n C_{ij} W_j, n = \begin{cases} 0 - \text{正向指标} \\ 1 - \text{负向指标} \end{cases}$$

式中: $C_{ij}$  ( $j=1, 2, \dots, 11$ ) 为路段  $i$  的  $Y_j$  项指标的得分; $W_j$  为第  $j$  项指标相对确定最优运输线路总目标的层次总排序中的相关系数。

正向指标指对费用的增加有贡献的指标,而负向指标是对费用增加有负方向的贡献,其中, $Y_9$ 、 $Y_{10}$ 、 $Y_{11}$  为负向指标。

标定网络参数后,进行网络数据的修改和完善,根据采集到的路段属性编辑网络可运行性和连通性。通过 Network Analysis 扩展模块,在 GIS 平台上计算出始发地和目的地之间的所有可能路线方案的目标值,其中总得分最小的路径,就是在当前输入条件下最优的危险品运输路径。根据输入条件,通过模型计算并给出图形化描述路径:行程最短路径(线 a)、综合最优路径(线 b)和事故率最小路径(线 c),如图 5 所示。

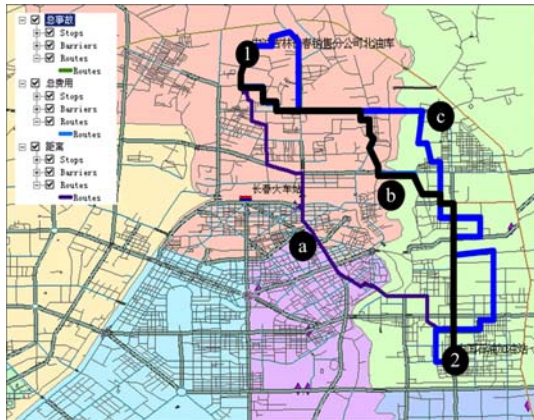


图 5 不同目标的优化路径

Fig. 5 Optimum routes of different goals



图 6 行程最短路径

Fig. 6 Shortest route in distance

## 2 模型验证

### 2.1 事故实例

2005 年 5 月 25 日 19 时左右,在吉林省长春市二道区文波胡同内,一辆运输硫酸的罐挂车发生事故,2 吨硫酸泄漏蔓延在路上 300 多米,流向文波胡同,硫酸流过的土地被烧焦,一名女库管员被熏晕。此次运输的出发点位于滨河街的滨河小区,目的地处在大马路附近,经过调查,此次运输的行驶路径是由驾驶员凭借经验选择的行程最短路径。

### 2.2 结果分析

将司机选择路径输入所建立的长春市城市路网的 GIS 平台上,如图 6 所示。再计算得到同样出发点和目的地的综合最优线路(模型计算),如图 7 所示。在此,将司机选择的行程最短路径简称为路径 A,模型计算的综合最优路径简称为路径 B。

路径 A 和路径 B 的各项指标数据结果如表 2 所示。

表 2 两条路径指标数据

Table 2 Index data of two routes

参数	路径 A	路径 B	两者比较
行驶距离	3742.49	4673.40	930.91 m
事故率	4.35	0.74	5.87 倍
总得分	33.26	21.05	1.58 倍

路径 A 和路径 B 在沿途实体的各个因素影响下的缓冲区图和路段风险渲染图,如图 8、图 9 所示。

经过对比分析可得如下结论:

(1)路径 A 虽然减少了 900 余米的行驶里程,但其路段事故率综合得分是路径 B 的近 6 倍,事故风险过高;而路径 B 则较好地避开了事故高发的路

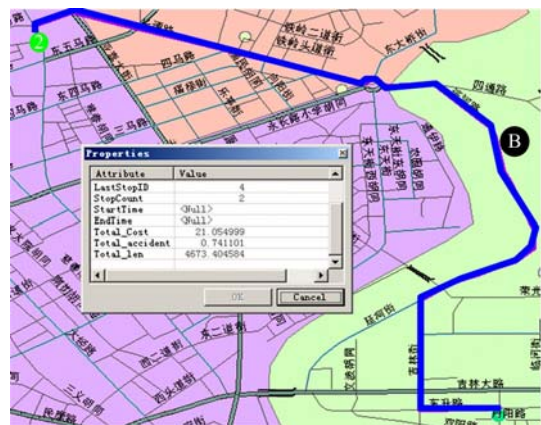


图 7 综合最优路径

Fig. 7 Optimum route considering all factors

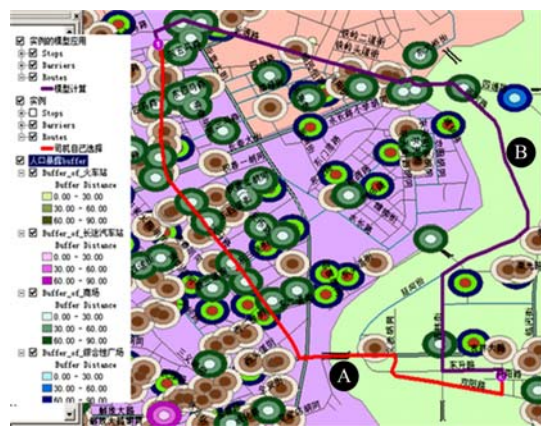


图 8 实体在各种因素影响下的缓冲区图

Fig. 8 Buffer zone of entities under influence of factors

段,尽量沿着事故率较低的路段行驶,安全性更高。

(2)对比于路径 A,路径 B 更多避开了人口暴露程度大的地区,一旦发生事故,其危害程度将大大降低。

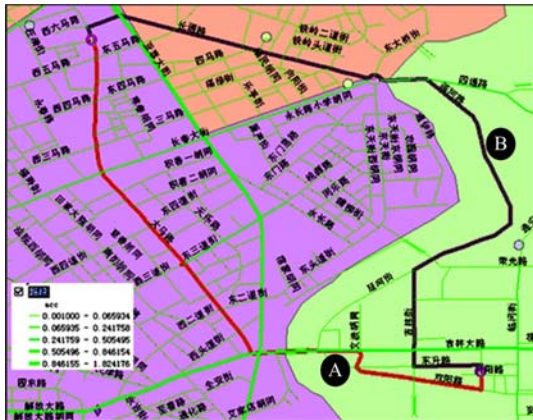


图 9 路段风险渲染图

Fig. 9 Romance figure of risk in each section

(3)从综合考虑各因素影响后的总风险费用来讲,路径 A 比路径 B 要高出 60%,显然路径 B 综合评价的结果更优。

### 3 结束语

以长春市市区道路为评价对象,通过对危险品城市运输过程中影响因素的分析和路段风险费用的研究,将与费用、风险、事故致灾和救援反应时间等相关的多因素综合影响作为最终评价目标,采用定性定量相结合的评价方法,建立了基于 Arc GIS 的路径优化模型,并结合实际事故案例进行了分析验证,结果表明:该模型优化的路径合理,其图形化描述结果对于管理者具有良好的参考价值,应用后可大大提高危险品城市运输路径选择的实用性和可操作性。

#### 参考文献:

[ 1 ] Panwhar S T, Pitt R, Anderson M D, et al. Development of a GIS-based hazardous materials transportation management system[DB/OL][2007-06-23]. www. eng. ua. edu.  
 [ 2 ] Neuhauser K S, Reardon P C. Demonstration sensitivity-analysis for RADTRAN III[R]. SAND 85-1001, Sandia National Laboratories, 1986.

[ 3 ] Johnson P E, Lester P B. Transportation routing analysis geographic information system—— TRAGIS: progress on improving a routing tool[C]// Packaging and Transportation of Radioactive Materials Conference, Pairs, France, 1998.  
 [ 4 ] Miaou S P, Chin S M. Computing  $k$ -shortest path for spent nuclear fuel highway transportation[J]. European Journal of Operational Research, 1991, 53: 64-80.  
 [ 5 ] Chin S, Cheung P. Bicriterion routing scheme for nuclear spent fuel transportation[J]. Transportation Research Record, 1989, 1245: 60-64.  
 [ 6 ] Fabiano B, Curro F, Palazzi E, et al. A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation[J]. Journal of Hazardous Materials, 2002, 93: 1-15.  
 [ 7 ] Kara Bahar Y, Verter Vedat. Designing a road network for hazardous materials transportation[J]. Transportation Science, 2004, 38(2): 188-196.  
 [ 8 ] Wu Zong-zhi, Duo Ying-quan, Liu Mao, et al. A study on the methods of risk assessment of hazardous materials during road-transportation[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2004, 12: 36-44.  
 [ 9 ] 何凡, 王海燕. 一个实时的危险品运输公路网络模型[J]. 物流技术, 2005(10): 267-269.  
 He Fan, Wang Hai-yan. A Real-time road network model for hazardous materials transportation[J]. Logistics Technology, 2005(10): 267-269.  
 [ 10 ] Revelle C, Cohon J, Shobrys D. Simultaneous siting and routing in the disposal of hazardous wastes[J]. Transportation Science, 1991, 25(2): 138-141.  
 [ 11 ] Sung K, Bell M G H, Seong M, et al. Shortest paths in a network with time dependent flow speeds[J]. European Journal of Operational Research, 2000, 121(1): 32-39.  
 [ 12 ] 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.  
 Ren Chang-xing, Wu Zong-zhi. On route-choice analysis of hazardous materials transportation[J]. Journal of Safety and Environment, 2006, 6(2): 84-88.