

扬华管理科学丛书

有害物品运输 问题研究

李 军 郭晓林 魏 航 李继兵 著



科学出版社

www.sciencep.com

扬华管理科学丛书

有害物品运输问题研究

李 军 郭晓林 魏 航 李继兵 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书介绍了有害物品运输风险度量 and 路径选择的基本理论和方法,重点阐述了作者近年来在该领域的最新研究成果,主要包括有害物品运输风险度量方法的改进,时变条件下有害物品运输的最短路算法,以及有害气体泄漏的扩散模拟等。为石油、化工、烟花、炸药等有害物品生产与运输企业合理安排运输路径,最大限度避免运输风险提供了理论依据和解决方法。

本书注重概念的准确性、逻辑性,也注意深入浅出、循序渐进,可供管理科学与工程、安全管理、交通运输工程、物流管理等专业大学生、研究生学习参考,对企业进行运输决策提供帮助,对政府运输管理部门制定相关政策也有较大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

有害物品运输问题研究/李军,郭晓林,魏航,李继兵著. —北京:科学出版社, 2010. 7

(扬华管理科学丛书)

ISBN 978-7-03-028288-0

I. ①有… II. ①李…②郭…③魏…④李… III. ①危险货物运输-研究 IV. ①U294. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 133392 号

责任编辑:王剑虹 王国华/ 责任校对:桂伟利

责任印制:张克忠/ 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 7 月第一次印刷 印张: 13 3/4

印数: 1—2 000 字数: 270 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序 言

欣闻西南交通大学经济管理学院在学校学科发展工程基金的资助下，出版一套管理科学丛书，我备感高兴并接受邀请为这套丛书作序。国内不乏关于管理科学的著作，但此次一次性集结同一研究机构不同研究人员近年来的研究成果以系列丛书形式出版，在国内可以算是一次有益的尝试。

众所周知，管理既是一门科学也是一门艺术。管理科学重点关注于管理中科学性的一面，强调综合运用经济学、运筹学、心理学、人类学等多学科知识基础以及研究方法，探索管理中的一般性规律，发掘经过实证检验的知识，为科学管理和科学决策提供借鉴与指引。

西南交通大学经济管理学院拥有西南地区最早的管理科学与工程一级学科博士学位授权点以及管理科学与工程博士后流动站，取得了众多高水平的研究成果，在国内管理科学与工程领域产生了较大的影响。此次出版的这套系列著作，撷取了学院教师近年来的研究成果，为国内对管理科学感兴趣的研究者提供了一次饕餮大餐。

我国管理科学的研究近年来取得了较大的进步，一些研究成果开始获得国际学术界的认可并发表在国际主流学术期刊上，但我们也应看到，我们在管理科学领域和国际一流研究水平相比还有一定差距。希望以此次系列著作丛书的出版为良好的开端，涌现出更多的学术机构定期将研究人员最新的研究成果集结成册，

与同行交流分享，共同推进我国管理科学领域的研究迈向国际一流水平，并更好地满足我国经济社会持续稳定健康发展过程中对管理方法和技能的需求！

汪燕洛

2010年6月

前言

有害物品是一种具有物理、化学或生物特性的物品，它容易在生产、储存、运输中引起泄漏、燃烧、爆炸等，造成灾害事故，对周围的人口、环境和财产会产生一定的危害。随着经济的发展，有害物品的运输量在大幅增长，有害物品对环境与人类（潜在）的危害正在扩大和加深。而有害物品运输与一般物品运输的区别也主要在于有害物品运输具有的这种运输风险。因此，相对于一般物品运输而言，有害物品运输问题呈现以下特点：①由于运输风险的存在，如何合理度量路径运输风险就成为解决有害物品运输问题的基础；②在有害物品运输的路径的选择中，需要同时考虑风险和行车成本等因素，这样，就将传统单目标的运输路径问题转变成了多目标问题；③时间因素对有害物品运输的行车成本和风险等因素都会产生一定的影响，因此，有害物品运输问题具有明显的时变特性。

在人类生存和环境保护被广泛重视的今天，降低运输成本和提高运输的安全性成为在运输中的两个重要因素。研究有害物品运输问题有利于从社会经济可持续发展的角度解决资源紧缺、交通拥挤、保护人类和生态环境系统等诸多的社会问题，具有极强的社会背景和应用前景。同时，对有害物品运输问题的研究也可以促进决策科学理论与方法、组合优化理论与方法的发展，对学科交叉有着积极的推动作用。

本书作者自进入 21 世纪以来便开始关注有害物品运输问题，并在教育部新世纪优秀人才支持计划与国家自然科学基金的支持下，对有害物品运输风险的评价方法以及时变条件下有害物品运输路径选择问题进行了深入研究，到目前为

止,已经在上述领域取得诸多创新性研究成果。其主要包括:

(1) 将事故分级、时变以及人口分布等因素引入有害物品运输风险度量模型,有效地发展了有害物品运输风险评价方法。

(2) 发现了决策者对风险的时间依赖性,建立了决策者风险等效曲线及其相关公理,并提出了考虑决策者风险态度情形下的有害物品运输风险度量方法。

(3) 提出了路径既定条件下的有害物品运输问题。在建立运输成本和运输风险与运输次数的函数关系基础上,分别研究了大事故厌恶者及风险中性决策者对运输策略选择的决策机理。

(4) 提出了时变网络下单目标和多目标最短路的最优条件和比较原则,建立了时变条件下到达时间约束和具有多个出发时间的有害物品运输的最短路模型,以及时变条件下有宵禁限制的有害物品运输最短路模型,设计了求解时变条件下有软、硬宵禁限制的多目标最短路算法,给出了宵禁限制对于网络中可行路径的目标值的影响。

(5) 对原始的多式联运运输网络进行了变形,建立了时变条件下多式联运有害物品运输的最短路模型,设计了求解时变条件下多式联运的多目标最短路问题的算法,完善了有害物品运输的风险平衡模型和避免重大事故发生的模型。

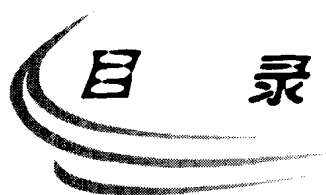
(6) 研究了有害气体运输中的泄漏扩散模拟问题。分析了风向、风速、地理条件等因素对气体扩散的影响,讨论了气体扩散不确定情形下危险区面积的估计以及风险度量问题。

本书力图给读者系统地呈现有害物品运输风险度量以及路径选择的一般方法,但由于该研究领域还处于发展过程中,诸多问题还有待于进一步研究,一般方法也有待进一步提炼,因此,书中内容难免挂一漏万,本书的初衷也恐难完全实现。希望同行和广大读者不吝赐教,批评指正。

本书在撰写的过程中参考了国内外大量的文献资料,是这些在有害物品运输问题研究中做出过开拓性贡献专家、学者为本书提供了智慧支持,在此对他们表示崇高的敬意和由衷的感谢。

作者

2010年5月



序言
前言

第1章	
	绪论 1
1.1	有害物品运输问题的产生 1
1.2	有害物品运输风险分析综述 3
1.3	有害物品运输路径安排综述 4
1.4	多目标最短路问题综述 6
1.5	时变条件下的最短路问题综述 13
第2章	
	有害物品运输风险及其度量 15
2.1	有害物品运输传统风险定义 16
2.2	有害物品运输风险度量模型 21
2.3	有害物品运输风险模型相关公理 29
2.4	不同人口分布情形下的有害物品运输风险度量模型 40
2.5	时变条件下的有害物品运输风险度量模型 45

第3章

事故分级情形下的有害物品运输风险度量..... 50

- 3.1 事故分级概述..... 50
- 3.2 事故分级与传统风险模型..... 51
- 3.3 事故分级与总影响后果风险模型..... 54
- 3.4 事故分级与可感知风险模型..... 58
- 3.5 事故分级与其他风险度量模型..... 60

第4章

考虑决策者风险态度的有害物品运输风险度量..... 62

- 4.1 决策与决策者风险态度..... 62
- 4.2 决策者风险等效曲线..... 65
- 4.3 决策者风险等效曲线的相关公理..... 66
- 4.4 有害物品运输路径风险度量过程..... 68
- 4.5 决策者风险等效曲线的变异..... 68
- 4.6 应用举例..... 71

第5章

时变条件下有害物品运输的最短路问题 75

- 5.1 基本理论..... 75
- 5.2 时变条件下有害物品运输的最短路问题..... 84
- 5.3 时变条件下有害物品运输的最短路问题的求解..... 85
- 5.4 应用举例..... 88

第6章

时变条件下有宵禁限制的有害物品运输最短路问题..... 97

- 6.1 问题描述和数学模型..... 98
- 6.2 时变条件下有宵禁限制的有害物品运输最短路问题的求解 103
- 6.3 应用举例 106

第7章

时变条件下多式联运有害物品的最短路问题	115
---------------------------	-----

7.1 引言	116
--------------	-----

7.2 时变条件下多式联运有害物品最短路问题求解	120
--------------------------------	-----

7.3 应用举例	123
----------------	-----

第8章

有害物品运输中运输工具载重量选择问题	132
--------------------------	-----

8.1 引言	133
--------------	-----

8.2 路径事故可能性最小化下的运输工具载重量选择	134
---------------------------------	-----

8.3 风险中性决策者对运输工具载重量选择	135
-----------------------------	-----

8.4 大事故厌恶者对运输工具载重量的选择	141
-----------------------------	-----

8.5 应用举例	146
----------------	-----

第9章

有害气体运输中的泄漏扩散模拟	153
----------------------	-----

9.1 气体扩散模型	153
------------------	-----

9.2 ALOHA 模拟扩散区域	158
------------------------	-----

9.3 Matlab 对泄漏扩散的浓度变化模拟	165
-------------------------------	-----

9.4 有害气体泄漏扩散模型的应用	174
-------------------------	-----

9.5 有害气体泄漏后的人口避险分析	178
--------------------------	-----

第10章

其他相关问题研究	186
----------------	-----

10.1 有害物品运输中的风险平衡性问题	186
----------------------------	-----

10.2 有害物品运输中避免重大事故的路径选择问题	193
---------------------------------	-----

参考文献	200
------------	-----



绪 论

1.1 有害物品运输问题的产生

有害物品(hazardous materials)是一类具有某种特殊物理、化学或生物特性的物品,它们在生产、储存、运输中容易引起燃烧、爆炸、中毒、污染等灾害事故。其种类主要包括爆炸物、气体、易燃品、易氧化品、有毒物质、放射性物质、腐蚀性物质以及有害废料等。随着工业化进程的加快,生产、储存和使用的有害物品的种类和数量在日益增加,而绝大多数有害物品并非当地生产当地使用,从生产地到使用地往往需要经过很长距离的运输。据估计,美国每天有有害物品运输在 25 万~50 万次,这意味着每年有害物品的运输量将达到 15 亿~40 亿吨,累计里程为 7840 亿英里^①·吨。为了使这个数字更直观,根据美国商务部的数据粗略估计,公路上行驶的运输车辆中每 15 辆车就有 1 辆是运输有害物品的(Erkut and Verter, 1998)。在弗吉尼亚州,Schmdit 和 Price(1979)发现,13%的运输任务是有害物品的运输。

在欧洲,为了满足顾客的需要,有害物品制造、运输、存储和使用的数量也在逐年增加。从有害物品事故的总量构成来看,发生在运输环节的事故又占据了相当大的比率。据一项时间跨度为 1926~1997 年的调查显示,报告了 3222 起与有害化学制品有关的事故,其中,54%是固定装置引起、41%是交通事故、5%是其他事故(Fabiano et al., 2002)。在不同的运输方式中,铁路有更高的损失潜在危险性,

^① 1 英里=1.609 344 公里,下同。

因为这种方式运输的货物量更大。但是,考虑到对生命和财产可能产生的损失,公路运输更危险,因为公路往往经过人口密集区域,特别是在发展中国家。在有些国家,公路运输的安全和效率是被作为战略目标来考虑的。例如,在意大利,大约80%的货物通过这种手段进行运输,并且根据“2010 预测”,仍有30%的增长。此外,一些严重事故,如 Monte Bianco 和 San Gottardo 隧道事故,强化了这一问题,让我们清楚地认识到现有的系统运行并不理想,并且与有害物品运输相关的风险已经可以和固定设施的风险相提并论了(Fabiano et al., 2002)。

有害物品运输与其他物品运输的区别在于运输过程中事故发生的相关风险。有害物品会对环境和人类健康产生极大的伤害,植物、动物和人接触到它们的有毒化学成分将导致损伤甚至死亡。这种危险已被社会所认识,很多情形下,对有害物品的流动有着严格的管理规章制度,因而有害物品的承运人比其他物品的承运人的事故发生率要低。不过,即使发生事故的情况较少,但在有害物品运输过程中事故还是时有发生。例如,在1979年,一列装有有毒化学物质的列车在安大略的 Mississauga 脱轨,从槽车上泄漏出的氯迫使20万人撤离。在1982年阿富汗那场极端恐怖的事故中,有2700人因为装运汽油的车辆在隧道内爆炸而丧生。1987年在德国,运输汽油的车辆撞上冰淇淋餐厅,造成6人死亡,此后,德国便禁止使用卡车大规模运输汽油。虽然每年因为有害物品运输事故导致的死亡人数相对每年因为常规的交通事故导致的死亡人数而言在不断减少(在美国为1:3500),有害物品运输中发生的事故还是受到媒体的特别关注,这使公众对有害物品运输的危险性更为敏感,从而使管理者也对此敏感起来(Erkut and Verter, 1998)。

而在我国,随着工业化进程的进一步加快,有害物品的生产量和运输量每年均在不断地增长。与此同时,有害物品运输事故也是层出不穷。2005年3月8日,一辆满载黄磷的运输大货车在湖北丹江口突然起火并爆炸,造成2人重伤、79人受伤的严重后果(蒋绶、龙桥, 2007)。2005年3月29日,在京沪高速公路上,一辆载有40.44吨液氯的槽罐车与一辆货车相撞,导致槽罐车液氯大面积泄漏,造成485人中毒,其中29人死亡,1万余名村民被迫疏散转移,近9000头(只)家畜、家禽死亡,2万余亩^①农作物绝收或受损,大量树木、鱼塘和村民的食用粮、家用电器受污染、腐蚀,各类经济损失约2000余万元(国务院法制办公室, 2009)。2005年7月4日,在上海奉贤,一辆运输液氨的车辆上,其中的一只液氨钢瓶突然发生爆炸,造成100余人氨气中毒(沈立安、金达峰, 2006)。2008年1月30日21时左右,山东淄博市金龙化工有限责任公司所拥有的车号为鲁A69806的卡车运载危险化学品硫酸二甲酯,行驶至107国道1169~1174公里处时发生泄漏事故,事故共造成101人中毒,其中1人死亡、重症2人、中度4人(田建军, 2007)。这些事故给人民

^① 1亩≈666.67平方米,下同。

群众的生命和财产造成了巨大的损失,也产生了不良的社会影响。因此,国内的管理者对有害物品运输问题也逐渐给予更多的关注。

由于有害物品运输事故往往是恶性事故,所以各地区、国家以及在国际社会制定条例以确保对有害物品运输安全。尽管关于有害物品运输问题的数据并不完整,有时甚至不连贯,但因其受到广泛的关注并可能产生严重的后果,而日益成为研究热点。因此,无论在国内还是在国际上,有害物品的运输中的事故、风险、路径选择等问题吸引了许多学者的研究。*Transportation Science* 杂志在 1991 年和 1997 年分别出了 2 期关于有害物品运输的专刊,对有害物品运输中的风险度量、路径选择、路径—选址等问题进行了讨论。

从另外一个角度看,运输问题的建模是运筹学中流行的应用领域。在大多数运输计划模型中,目标均为如何以最小成本将物品从起点运送到终点。但是,对有害物品运输而言,以成本最小化为目标通常是不合适的。与有害物品相关的风险使问题变得比其他物品运输问题更复杂(也更有趣)。在有害物品运输中考虑风险不仅仅是一个学术问题。1990 年的有害物品运输统一安全法案要求美国运输部为有害物品运输指派线路制定相关标准。显然,在这样的战略决策中对社会风险的考虑是非常重要的。

相对于一般意义上的运输问题,在有害物品运输的路径的选择中,需要同时考虑风险和行车成本等因素,这样,就将传统单目标的运输路径问题转变成多目标路径选择问题。同时,时间因素对有害物品运输的行车成本和风险等因素都会产生一定的影响,即有害物品运输的路径问题具有明显的时变特性。因此,对时变条件下有害物品运输的路径选择问题也是一个非常现实的问题。

1.2 有害物品运输风险分析综述

对风险的估计和分析是对有害物品运输问题进行管理的一个重要组成部分。有害物品不同于其他物品,若处理不当便会对人类健康和周围环境带来严重灾难。因而,有害危险物品的风险表示和风险分析评估(risk analysis evaluation)是有害危险物品后勤管理研究的中心问题之一(Ashtakala and Eno, 1996)。

在风险分析中,大多数学者在研究中采用了“期望损失”(expected loss)的风险表示方法,即认为风险等于事件概率与事件所带来后果的乘积。由于有害物品对于人口、环境和财产等具有一定的威胁,早在 1971 年,美国国家管理委员会(Drummond et al., 2001)就提出了基于风险的有害物品运输问题的条例。早期用于风险估计分析的许多技术和方法开始于对核电工业的应用,主要应用于运输的风险分析与核燃料的循环使用等方面。在 20 世纪 80 年代后半期,Ang 等(1989)提出了分析有害物品运输风险的一般性框架,这一方法将风险分解为三个相互独

立的部分:①确定事故率;②确定人口、环境和财产的分布;③估计后果的等级。然后,根据这三部分的结果获得有害物品运输风险。基于 Ang 等提出的风险度量框架,在过去的 20 年中,各国的学者应用各种方法对有害物品的运输风险的估计又进行了深入的研究,多种风险的测度方法在研究中被应用,有的是利用对后果的直接测度,有的是应用相对测度。目前,在有害物品运输问题中,常用的风险度量模型主要有八种,包括传统风险模型、总影响人口模型、总事故概率模型、最大影响人口模型、均值-方差模型、可感知风险模型、负效用模型以及条件风险模型。除此之外,Erkut 和 Verter(1998)还在满足基本公理的基础上,对传统风险模型进行了改进,提出了传统风险模型的精确形式。

除了对于风险度量的不同方式的研究之外,其余对于有害物品运输中风险的研究主要集中在对不同情况下的风险进行的实证研究。最早在 Battelle's Pacific Northwest Laboratory(Drummond et al., 2001)的一系列研究中,对用卡车、铁路和空运方式运输铀等有害物品的风险进行了估计。Glickman(1988)在泄漏事故中将各种变量分为模式、车辆类型、装载形式和路况,然后在不同情况下对有害物品运输中的风险进行了研究。Saccomanno 和 Chan(1985)利用加拿大的数据,对此进行了研究。他们的研究主要集中在分析不同时段和不同天气情况对事故发生率的影响,他们发现事故率的差异性主要依赖于道路的类型。比如,在低速的城市主干道上,在潮湿条件下车辆的事故率低于在干燥条件下的事故率。然而,在高速公路上,结果却正相反。List 和 Abkowitz(1986)发现铁路运输和公路运输的事故率并不相同,且在公路运输中的低估比在铁路运输中要高。Saccomanno 和 Shortreed(1993)对在 Sarnia-Toronto 200 公里的运输通道上利用罐装车运输液态氯的风险进行了分析。

国内对于有害物品运输风险问题的研究主要在风险度量模型的应用分析上,对风险度量模型本身的研究却涉及很少。毕军和王华东(1995)在以往有害废物运输风险研究的基础上,利用基元路段的概念,描述了相关特征,建立了运输风险、运输成本的计算模型及运输路线优化的多目标决策模型,对沈阳市有害废物运输的环境风险进行了分析,并在运输路线优化过程中得到应用。王刊良和张朋柱(1999)对迄今提出的几种模型进行了分析比较,在此基础上分析了这些模型的性质,讨论了有害危险物品风险分析的双准则方法。

1.3 有害物品运输路径安排综述

有了对有害物品运输中的风险度量之后,就可以对有害物品运输中的路径选择进行研究。在有害物品运输中,对有害物品运输问题的路径安排可以被看做“多到多”问题,货物从一些起始点驶向更多的终点。在美国,终点与起始点之比为 3:1(List and Abkowitz, 1986)。对于有害废物,因为处理点和掩埋点的数量是有限的,路

径问题变成了“多到少”。同时,因为这些废物是复杂的化学废物,所以有时需要将有害废物进行分类,然后再进行处理。在有害物品运输问题的路径安排的研究中,主要分为单目标模型和多目标模型。但是单目标模型不能同时考虑运输风险和运输成本,所以考虑多个目标的有害物品运输问题就得到了进一步的发展。

我们先回顾单目标的情形。经典的最短路问题可以应用最简单最短路算法来解决,它是一种在起始点 O 与终点 D 之间找出一条能最小化某个单一测度的方法。Joy 等(1981)利用最短路算法在有害物品的运输(包括高速公路运输和铁路运输)中进行了一些实证研究,Brogan 和 Cashwell(1985)对其应用进行了拓展。Glickman(1988)、Ivancie(1984)、Pijawka 等(1985)和 Kessler(1986)等利用人口覆盖率对有害物品运输中的路径选择进行了研究。Batta 和 Chiu(1988)为有害物品运输提出了两个单目标的最短路径的方法,一个不考虑网络连接点的不同的事故率,而另一个却考虑了这一点。在两个方法中,均考虑了有害物品泄漏而可能影响的人口规模。

由于单目标模型不能解决在运输风险和运输成本之间的冲突,所以多目标的有害物品运输路径选择问题就得到了进一步发展。

Shorys(1981)和 Robbin(1981)最早对多目标进行了研究。Shorys 考虑了两个目标:①最小化行驶里程;②最小化人口覆盖率。他指出,最优的决策必须来自于帕累托最优解集合。因此,可以通过应用不同的权重来组合两个目标。Shorys 提出一个同时考虑每一个路段的混合路径长度-人口的模型,并通过利用最短路算法得到一系列的帕累托最优解。

Robbins(1981)用一个 105 组 $O-D$ 连接于州际间的高速公路网的样本去验证下述假设:对于相同数量的运输量,在一个最小人口量的路径上发生的事故所影响的人口数量与最短路径上发生的事故所影响的人口数量没有太大的区别。然而,实证发现上述假设并不成立,并得出了结论,通过最小化有害物品运输中的风险能够降低由于有害物品泄漏所可能影响的人口数量。

Current 等(1988)提出了一个双目标的模型,它考虑了:①最小化路径所包括或是影响的人口数;②最小化路径的长度。最小化包括的人口数量和最短路径产生的一条连接于预先确定的 $O-D$ 组合权衡交换的曲线。

Abkowitz 和 Cheng(1988)提出了一个类似于 Shorys 和 Robbins 的双目标路径模型。他们工作的独特之处在于对风险估计的技巧,考虑了包括直接和间接的两类破坏。直接破坏发生于事故现场,而间接破坏则发生于周边区域。间接破坏的区域可以由一个模型来确定,它考虑了扩散,包括水平的和垂直的,以及风速及其方向。通过把灾难性、伤害性和财产损失综合组成一个整体来表示有害物品运输中的风险,这个综合的风险与成本组成了一条对单个 $O-D$ 组合的帕累托最优路径。

Saccamonmo 和 Chan(1985)检验了三种不同的有害物品运输策略:①最小化风险;②最小化事故发生率;③最小化运营成本。他们同时评估了在确定环境下,对有如路况(干燥或潮湿)和可视性(好或差)等随机变量的路径“运营”的灵敏度进行了分析,并分析了每种策略下事故中的获益方与损失方。

在对 Toronto 路径选择试验的基础上,Saccamonmo 和 Chan 得出了一系列的结论。第一,无论选择什么样的策略,环境中的不确定性因素对安全有着相当大的影响,没有任何一种策略能够得到一条完全安全的路径;第二,事故发生可能性的降低对于成本的降低并不明显,因为在成本很高的时候,风险降低对于成本回报的量是很小的。第三,他们总结出,最小化风险是最可取的,因为它对社会产生的效益远大于增加的成本,尽管运输成本增加了,但因为事故减少所带来的受益却远高于其成本。Saccamonmo 和 Chan 得到了在不同的规则之间的权衡交换。这些结论是建立在对三部分独立的单目标分析的基础上的,但他们的方法并没有提供任何关于各个变量之间的权衡交换的明确的信息。

Wijeratne 等(1993)对在随机条件下的有害物品运输的路径选择问题进行了研究,给出了进行比较的原则以及利用个人偏好获得运输路径的方法。

Zografos(1986)、Zografos 和 Davis(1989)提出了基于以下规则的有害物品的路径模型:①受到风险影响的人口数;②特殊人口下的风险;③财产损失;④用运输时间代替成本。在这一模型中,每一个网络的路段被赋予一个向量。他们提出的模型被处理成一个多准则下的最短路径问题,并且用优先目标程序来求得问题的解。

Nozick 等(1997)考虑了可以进行安排的情况下的路径问题,提出综合路径和安排能够降低整体风险,同时,在多目标情形下能够得到优先路径。他们运用了一个从 Portland 到 Wilmington 的案例来解释这一模型。

Iakovou 等(1999)从战略的高度对多容量、多起点—终点的海上有害物品运输的路径问题进行了研究。由于对每一起点—终点或每一种有害物品都选择路径是一种短视行为,因为这样可能导致网络中某些路段的负担过重,从而使整个网络的可操作性不高。为了解决这一多起点—终点和多容量的运输问题,他们运用网络流模型来替代传统的最短路模型,同时,他们提出了一种二阶段方法,并利用在墨西哥湾的石油产品运输的例子来解释这一方法。

总的来说,对于有害物品运输的路径选择问题,目前主要是在静态条件下进行研究,基本没有考虑网络的时变特性、风险的时变特性等动态环境。

1.4 多目标最短路问题综述

最短路问题是网络优化中的一个经典问题,该问题已经得到完满的解决,如

20 世纪 50 年代的 Dijkstra(1959)算法、60 年代的 Floyd 算法。但是,这些算法所解决的是单独一个目标最短路问题。由于在现实情况中有时需要同时考虑多个目标,因此,多目标最短路问题研究吸引了很多学者。而双目标最短路是多目标最短路中最典型的问题,研究也相对较多。一般的,双目标最短路中的算法基本上均可以应用于多目标最短路的求解,因此,双目标最短路问题就成为研究的重点。双目标最短路问题是多属性线性整数规划中最简单的问题之一,但在很多领域具有广泛的应用。比如,在运输过程中,可能会同时考虑多个目标,如运输时间、运输成本等。同时,双目标最短路也可能成为其他问题的子问题,如排序问题等。

对于双目标路径选择问题,一般的,可以描述为:对于网络 $G=(N,E)$, E 为节点间的有向边的集合, N 为节点集, $|N|=n$, $|E|=m$ 。在此,令 $z_1(i,j)$ 和 $z_2(i,j)$ 分别为从节点 i 出发,节点 i 和节点 j 之间的目标值 1 和目标值 2, $z_1(i,j)$ 和 $z_2(i,j)$ 均为一个非负的实数, $(i,j) \in E$ 。求从起点 O 到终点 D 之间的最短路。

为了得到双目标最短路模型,首先定义如下变量:

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{从节点 } i \text{ 到节点 } j \text{ 之间存在运输任务} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

这样,双目标最短路模型(BOSP)可以描述为

$$\min Z_1 = \sum_{(i,j) \in E} y_{ij} z_1(i,j) \quad (1-1)$$

$$\min Z_2 = \sum_{(i,j) \in E} y_{ij} z_2(i,j) \quad (1-2)$$

$$\text{s. t. } \sum_j y_{ij} - \sum_j y_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{若 } i = O \\ -1, & \text{若 } i = D \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad \forall i \in N \quad (1-3)$$

$$\sum_j y_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in N \quad (1-4)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad (1-5)$$

一般的,对于双目标的最短路算法,通常的处理方法是对不同的目标进行线性加权或是将某些目标转化为约束条件。但是,对于线性加权法而言,其权重的确定是一件很困难的事情。而有约束的最短路问题,已经被证明是 NP 完全问题,有时因为其算法复杂性太高而无法进行求解。而且线性加权法和转化为约束条件的方法在方法上与单目标最短路基本没有什么区别。通常,在双目标最短路问题中,很难获得从起点到终点之间的两个目标同时达到最小的路径,只要能找到满足决策者需要的有效路径就可以了。因此,对于双目标最短路的目前主要集中在如何获得有效路径的研究上,在此,对于双目标最短路的算法的回顾也限定在获得有效解的算法上,对于利用线性加权法和转化为约束条件的方法未作回顾和分析。