

中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助项目

ZHOUFUSHI WULIU WANGLUO SHEJI
DE XUANZHI YU LUXIAN YOUHUA YANJIU

轴辐式物流网络设计 的选址与路线优化研究

翁克瑞 / 著



电子科技大学出版社

中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助项目

ZHOUFUSHI WULIU WANGLUO SHEJI
DE XUANZHI YU LUXIAN YOUHUA YANJIU

轴辐式物流网络设计 的选址与路线优化研究

翁克瑞 / 著



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

轴辐式物流网络设计的选址与路线优化研究 / 翁克瑞

著. —成都: 电子科技大学出版社, 2009.3

ISBN 978-7-5647-0073-7

I. 轴… II. 翁… III. 计算机网络—应用—物流—研究

IV. F253.9

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第026825号

中国地质大学(武汉)优秀青年教师资助项目

轴辐式物流网络设计的选址与路线优化研究

翁克瑞 著

出版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 曾艺

责任编辑: 曾艺

主页: www.uestcp.com.cn

电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn

发行: 新华书店经销

印刷: 荆州市鸿盛印务有限公司

成品尺寸: 175mm×260mm 印张 8 字数 200 千字

版次: 2009年3月第一版

印次: 2009年3月第一次印刷

书号: ISBN 978-7-5647-0073-7

定价: 20.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83208003。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

以枢纽站为核心的轴辐式物流网络在邮政业务、航空运输、企业物流、旅游管理等诸多领域都有着广泛的应用。同时,针对我国物流业发展迅速却呈散、弱、小的局面,轴辐式物流网络是整合我国物流资源、提高物流资源利用效率、降低物流成本的有效网络结构。相比直通式物流网络,轴辐式物流网络具有产生规模效益、促进物流资源整合、推动第三方物流的发展、减少运输工具等众多优点,但也带来绕道成本、节点成本等缺点。为充分发挥轴辐式物流网络的优势,减少其负效应,推动该网络在国内的应用,论文围绕轴辐式物流网络的选址与路线优化,对多分配枢纽站覆盖问题,成本—路线优化、分段成本函数的轴辐式物流网络设计问题,带节点成本的轴辐式物流网络设计问题等内容进行了系统地研究,并以航空运输网络与邮政运输网络的若干实际问题为例进行了实证研究。

第1章介绍枢纽站、轴辐式物流网络的概念及其特点,说明论文的选题背景动机,归纳研究的现实与理论意义。同时,论文回顾了枢纽站选址问题、轴辐式网络设计问题及相关算法的研究现状,提出本论文的研究目标与路线。

第2章介绍多分配枢纽站的中位选址问题及其模型,并提出求解该问题的禁忌搜索算法。以此为理论基础,结合我国航空运输业的具体情况,研究了关于中枢航线网络优化的一个实际问题。

第3章研究多分配枢纽站的最大覆盖选址问题,论文建立了该问题的一个改进模型,并提出了求解问题的遗传算法、禁忌搜索算法、路径重连算法,同时,我们以AP数据包提供的实例为平台,对模型、算法进行计算实验。此外,我们将问题应用于我国中枢航线网络优化的一个具体实例。最后,论文以AP2-11网络为参照对象,分析多分配枢纽站最大覆盖问题的网络设计结果。

第4章研究多分配枢纽站的集覆盖选址问题,论文建立了该问题的一个改进模型,并提出了求解问题的遗传算法、分散搜索算法,同时,我们以AP数据包提供的实例为平台,对模型、算法进行计算实验。最后,我们以AP2-11网络为参照对象,分析多分配枢纽站集覆盖问题的网络设计结果。

第5章首先分析多分配枢纽站的中位、覆盖选址问题的不足之处,通过引入一个新的假设条件,提出了成本—路线优化的轴辐式物流网络设计问题。同时,论文建立了该问题的一个混合整数规划模型,分析了模型的最优解特征,设计了求解问题的贪婪算法,并以AP数据包提供的实例为平台,对模型、算法进行计算实验。最后,我们以AP2-11网络为参照对象,比较分析这一问题的网络设计结果。

第6章针对成本—路线优化的轴辐式物流网络设计问题只考虑二段成本函数的不足,通过引入分段成本函数,提出了分段成本函数的轴辐式物流网络设计问题。同时,论文建立了该问题的一个混合整数规划模型,设计了求解问题的贪婪算法,并以

AP 数据包提供的实例为平台, 对模型、算法进行计算实验。最后, 我们以 AP2-6 网络为参照对象, 分析分段成本函数相比二段成本函数的优越性。

第 7 章针对轴辐式物流网络容易产生节点成本这一不足之处, 讨论带节点成本的轴辐式物流网络设计问题。我们以论文建立的模型与算法为基础, 将问题应用于我国中枢航线网络优化的一个具体实例。

第 8 章对全文内容及研究结论进行了总结, 并对文中有待进一步深入研究的地方提出日后研究的方向和展望。

作 者

2009.1

Preface

The hub-and-spoke logistics network has a wide application within the design of supply chain, tourism routing, air transportation network, postal delivery network, etc. Today Chinese logistics industry was rapidly developing, small size as well as dispersed distribution, so the hub-and-spoke logistics network would do great help to collaborate logistics resource, improve efficiency and reduce cost for Chinese logistics industry. Compared to the nonstop logistics network, the hub-and-spoke logistics network has the advantages of producing scale merit, collaborating logistics resources, developing the third party logistics, reducing conveyances and so on, while it also brings the disadvantages of bypass cost and node cost, etc. To exert the advantages, avoid the disadvantages and popularize the application of hub-and-spoke logistics network, this dissertation concentrages on location and routing optimization, and studies the problems of multi-allocation hub maximal covering, cost & route optimization for hub-and-spoke network, network design with multiple cost functions or node cost fundamentally with some innovative perspectives, and demonstrates the empirical research based on sereral airline transportation networks and postal delivery networks.

Firstly, the thesis introduces the definitions and characters of hub as well as hub-and-spoke logistics network, explains the background and the significance of choosing this topic, summarizes the theories of hub location and relative optimization problems and proposes the research objection and research route.

Secondly, the thesis introduces the model of multi-allocation hub median problem, which approached by tabu search and applied to one case of Chinese hub-and-spoke airline network.

Thirdly, the thesis presents an improved model for multi-allocation hub maximal covering problem, provides genetic algorithm, tabu search and path relinking approach for the problem. Both the model and the heuristics are experimented on AP data set. The model and heuristics are also applied to one case of Chinese hub-and-spoke airline network.

Fourthly, the thesis presents an improved model for multi-allocation hub set covering problem, and provides the heuristics of genetic algorithm and scatter search for the problem. Both the model and the heuristics are experimented on AP data set. We evaluate the design result of multi-allocation hub set covering problem by AP2-11 network.

Fifthly, according to the disadvantages of multi-allocation hub median problem and hub covering problem, the thesis presents the cost & route optimization problem for hub-and-spoke network (CROPHN) by a new hypothesis. We establish a mixed-inter

model and a greedy approach for the CROPHN. Both the model and the algorithm are experimented on AP data set. The design result of the CROPHN is evaluated by AP2-11 network.

Sixthly, due to the shortcoming that the CROPHN only concerns two cost functions between cost and flow, the thesis presents the problem of network design with multiple cost functions (HNDMCF). We establish a mixed-inter model and a greedy approach for the CROPHN. Both the model and the algorithm are experimented on AP data set. We compare design result of the CROPHN and HNDMCF by AP2-11 network.

Seventhly, due to the shortcoming of node cost, the thesis discusses the problem of hub-and-spoke network design with nodes cost. The empirical analysis for Chinese hub-and-spoke airline network with node cost is presented by the model and algorithm in paper.

Finally, the thesis gives conclusion to the contents and the innovative achievements of the research, and presents the future scope, the purpose and the prospect of this topic in further studies.

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 研究背景及概念	1
1.1.1 面临的问题	1
1.1.2 问题概念、特点	2
1.2 研究意义	5
1.2.1 实践意义	5
1.2.2 理论意义	6
1.3 研究现状	6
1.3.1 枢纽站中位问题研究综述	7
1.3.2 枢纽站覆盖问题研究综述	10
1.3.3 枢纽站中心问题研究综述	11
1.3.4 轴辐式网络设计研究综述	12
1.3.5 关于枢纽站选址问题的启发式算法研究综述	12
1.4 研究目标、路线与创新点	14
1.4.1 研究目标与路线	14
1.4.2 主要创新点	15
1.5 论文的总体结构	16
第 2 章 多分配枢纽站中位问题	18
2.1 问题背景	18
2.2 MAHMP 模型	19
2.3 求解 MAHMP 的禁忌搜索算法	20
2.3.1 算法要素	21
2.3.2 算法流程	21
2.4 AP2-11 网络计算实例	22
2.5 MAHMP 在我国中枢航线网络优化问题中的实际应用	25
2.5.1 中枢航线网络的优缺点	26
2.5.2 规模效益的评估	27
2.5.3 建站数量的设定	27
2.5.4 航空枢纽港选址	28
2.6 本章小结	30

第 3 章	多分配枢纽站最大覆盖问题	31
3.1	问题背景	31
3.2	MAHMCP 模型	33
3.2.1	原有模型	33
3.2.2	改进模型	34
3.2.3	模型改进实验	35
3.3	多分配枢纽站最大覆盖问题的算法求解	37
3.3.1	求解 MAHMCP 的禁忌搜索算法	37
3.3.2	求解 MAHMCP 的遗传算法	38
3.3.3	求解 MAHMCP 的路径重连算法	40
3.3.4	计算实验	41
3.4	MAHMCP 在我国中枢航线网络优化问题中的实际应用	42
3.5	带绕道限制的 AP2-11 轴辐式网络	44
3.6	本章小结	47
第 4 章	多分配枢纽站集覆盖问题	48
4.1	问题背景	48
4.2	MAHSCP 模型	49
4.2.1	原有模型	49
4.2.2	改进模型	50
4.2.3	模型改进实验	51
4.3	多分配枢纽站集覆盖问题的算法求解	52
4.3.1	求解 MAHSCP 的分散搜索算法	52
4.3.2	求解 MAHSCP 的遗传算法	54
4.3.3	计算实验	55
4.4	带绕道限制的 AP2-11 集覆盖轴辐式网络	57
4.5	本章小结	60
第 5 章	成本—路线优化的轴辐式物流网络设计	61
5.1	问题背景	61
5.2	CROPHN 模型	65
5.2.1	模型的建立	65
5.2.2	模型计算实验	66
5.3	CROPHN 的最优解特征	69
5.4	算法求解	71
5.4.1	算法程序	71
5.4.2	算例	75
5.4.3	算法实验	77

5.5	成本—路线优化的 AP2-11 轴辐式网络	78
5.5.1	近似假设条件下的 AP2-11 成本-路线优化轴辐式网络	79
5.5.2	严格假设条件下的 AP2-11 成本-路线优化轴辐式网络	82
5.6	本章小结	84
第 6 章	分段成本函数的轴辐式物流网络设计	85
6.1	问题背景	85
6.2	HNDMCF 模型	88
6.3	算法求解	91
6.3.1	算法程序	91
6.3.2	算法实验	95
6.4	分段成本函数的轴辐式网络设计效果	95
6.5	本章小结	98
第 7 章	带节点成本的轴辐式物流网络设计问题	99
7.1	问题背景	99
7.2	HNDNC 模型	100
7.3	求解 HNDNC 的禁忌搜索算法	101
7.3.1	算法要素	101
7.3.2	算法流程	102
7.4	HNDNC 在我国中枢航线网络优化中的实际应用	102
7.4.1	我国航空客运节点成本的估计	102
7.4.2	带节点成本的航空枢纽港选址	104
7.5	本章小结	106
第 8 章	总结与展望	107
8.1	主要结论	107
8.2	研究展望	110
参考文献		111
后记		118

第1章 导 论

1.1 研究背景及概念

1.1.1 面临的问题

从河南信阳到湖北孝感,这两个相近城市的信件为何在某些情况下先经过郑州与武汉?这种邮包运输路线是否正确?如何设计最优的邮政运输网络?2002年,在我国航空客运中,广州——宜昌、桂林——西安、温州——武汉、广州——柳州等众多跨省航线的平均客座率都在50%以下^①,如何避免低客座率的航空运输?如何设计最优的航空运输网络?回答这些问题^②,都需要研究轴辐式物流网络的选址与路线优化。

近年来,全球化竞争日益激烈,产品生命周期日渐缩短,顾客需求日益多样化,不断地促使厂商采取集中生产与分配,缩短库存成本,改变物流组织策略。不断发展的物流网络今天无不走向基于规模效益、标准化信息平台的整合物流网络。进入新世纪,中国物流业发展迅速,据统计目前国内已有70多万个与物流相关的机构和企业,然而总体上呈散、弱、小的局面,而且这些企业多数由传统企业的流通部门转换而来,包括钢铁、汽车、家电、医药、化工等不同行业,铁路、公路、水路、航空等不同运输部门。不同的物流标准导致我国水、陆、空运输装备规格不一,联运能力差。海运与铁路集装箱的标准不统一,极大地影响了我国海铁联运规模的扩展;仓库、站台、货架、储罐的标准不统一,极大地阻碍了货物运输、储存、搬运等机械化、自动化水平的提高,这些因素致使我国物流成本较高,物流效率低下。国家发改委、国家统计局2006年授权中国物流与采购联合会发布的数据显示^③,根据调整的统计数据计算,2005年全国社会物流总费用为3.39万亿元,占GDP的比率为18.6%,而当前工业化国家的物流成本只占GDP的12%左右,美国的这一比例更只有10.5%。同时,18.6%的比例意味着我国物流总成本约是公共教育支出的8倍,是国民医疗总支出的3.5倍,是国防支出的12倍。作为发展现代物流的主体,中国的生产厂商与物流企业,在加快经营方式转变,建立现代物流设施的同时,必须利用网络技术将物流企业散布在不同区域的服务网点连接起来,改变过去有点无网、有网无流的状况,构筑现代物流服务网络。以枢纽站为核心的轴辐式物流网络是整合物流资源、提高物流资源利用效率、

① 数据来源:《中国交通年鉴2003》。

② 将在第8章总结全文时回答这些问题。

③ 资料来源:《经理日报》2006年4月2日。

降低物流成本的有效网络结构，正成为现代物流网络结构发展的主流趋势。

1.1.2 问题概念、特点

枢纽站(Hub)是指一类起集中、分散、共同运输作用的服务设施。比如,物流系统中的中转仓库、中转站、物流中心、配送中心、集散中心等。“枢纽站”对应的英文单词是“Hub”,Hub在国内一般被理解为计算机网络中的集线器。在某种程度上,枢纽站在物流网络中的作用类似于集线器在计算机网络中的分散、中转作用。在计算机网络中,与“Hub”紧密关联的一个概念是“Hub-and-Spoke”,代表一种局域网的网络拓扑结构,通常被称之为星形网络结构,这种网络结构一般是让少数几个集线器连接许多个工作站,形成辐射状的“星形”网络结构。这一概念被引入物流邻域,我们就称之为轴辐式物流网络(张世翔,2005)。轴辐式物流网络(Hub-and-Spoke Logistics Network;简称轴辐式网络)又称中枢辐射式物流网络,是相对直通式物流网络(简称直通式网络)的一个概念,该网络是一种由许多O-D流(Origin-Destination,即从起点到终点的运输流)与若干个枢纽站构成的运输网络,网络一般要求每条O-D流汇聚于一个或两个枢纽站后到达终点,最终形成枢纽站之间集中流动的规模效益,进而节约系统的流动成本。图1-1与图1-2分别是典型的直通式物流网络与轴辐式物流网络。在图1-1的直通式物流网络中,8个节点之间全部存在OD关系,因此一共有28条直通路线。在图1-2中,用阿拉伯时刻数字表示的节点为OD节点(即O-D流的起点或终点),而A、B、C、D四个字母表示的节点就是枢纽站。从OD节点到枢纽站的细线我们称之为辐线或支线,枢纽站之间的粗线我们称之为轴线或干线。顾名思义,轴辐式网络也可以被理解为由轴线和辐线构成的网络。在研究轴辐式物流网络时,一般假设轴线的运输具有规模效益。在图1-1这个直通式网络中,所有的O-D流都是直接到达对方;而在图1-2这个轴辐式网络中,O-D流一般先经过一个或两个枢纽站后再到达终点。比如,从11点到4点的O-D流,它就不是直接到达,而是按照11-A-D-4的路线运动。

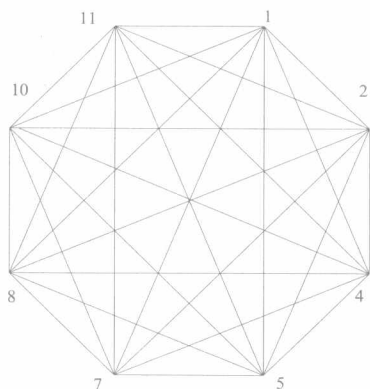


图 1-1 直通式物流网络

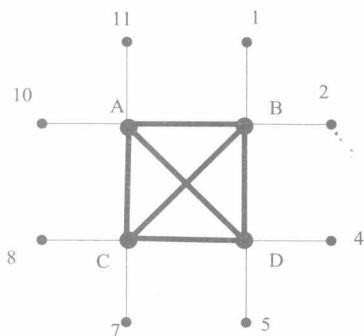


图 1-2 轴辐式物流网络

最初的轴辐式物流网络主要用于解决邮政业务、航空运输的成本优化问题。例如在邮政业务中,从小镇到小镇的邮包业务如果直通输送肯定需要巨大的运送成本,而

在轴辐式网络架构下,不同城市的小镇到小镇的邮包业务先在城市之间大规模运输后再输送到小镇,可以节约大量的城际间运输成本。在航空运输中,小城市之间的航线客座率一般不高,而在轴辐式航线网络架构下,小城市之间的航空客运可以通过大城市枢纽机场进行转载,大城市之间的干线运输配备大型客机,而大城市到小城市的支线运输配备小型客机,大量的支线需求集中到干线运输后可以极大程度地提高干线运输客座率,降低运载成本。现在,轴辐式物流网络已经应用到企业的配送网络甚至旅游网络等邻域中。在企业的配送网络中,轴辐式物流网络要求设置少数几个大型物流枢纽站,然后将原材料、产品流动由枢纽站统一配送。比如,沃尔玛在美国的 2500 家商店的配送、运输是由 30 个配送中心服务的。在旅游网络设计中,旅游公司可以利用轴辐式网络设置少数的旅游枢纽站及路线以节约旅行成本,并在支线旅游上满足游客的个性化需求。总之,随着现代优化方法与运输技术的发展,轴辐式网络将会广泛应用到各个行业的物流邻域,成为缩减大型物流网络运营成本的主要手段。

相比直通式物流网络,轴辐式物流网络具有三个明显的优点:

(1) 产生枢纽站之间运输的规模效益

在直通式物流网络中,单条线路需求量一般较少,运输车辆满载率往往不高,并且如果两点之间的物流需求是单向需求的话,将会产生空车返回的局面,物流成本损失较大。据统计,目前我国公路货运平均运距 60.8 公里,速度每小时 30 公里,实载率仅为 55%,这说明国内公路货运效率低下,空载率高。而在轴辐式物流网络中,O-D 流一般汇集于一个或两个枢纽站运输,网络中的轴线由集中运输而获得了规模效益。我们分别从经济学与物流运作的角度去理解轴线运输的规模效益。从经济学的角度来说,规模效益可能表现为规模效益不变或规模效益递减。在规模效益不变的情况下,现有研究一般把轴线运输的单位成本乘以一个固定的折扣系数;在规模效益递减的情况下,随着运输流量的增加,这种成本折扣会越来越小。从物流运作的角度来看,规模效益主要来自于两个方面。一是运输工具、运输方式的改变,比如以大型飞机代替小型飞机,以船舶运输代替公路运输,以轨道运输代替公路运输,以大型货车运输代替小型货车运输。例如,根据深圳当地货运公司的报价,由深圳龙岗区运至香港的货车,一辆 5 吨车的运费一般为 1550 元,而一辆 10 吨车的运费也只需要 1850 元,这说明 10 吨车的单位运输成本只有五吨车的 0.6 倍。规模效益的另一来源是满载率的提高。比如,在我国的航空客运中,一般的直通航线的平均客座率都在 65%左右,而经过枢纽机场的中转航线的平均客座率则在 80%左右。

(2) 促进物流资源的整合与第三方物流的发展

在直通式物流网络中,每个运营节点直接与自己的客户发生物流关系,因此缺乏发展第三方物流的动力。比如在图 1-1 中,每个 OD 节点都是直接与其他 7 个节点发生运输关系,网络复杂,管理困难,必须由第一方与第二方直接参与。而在图 1-2 的轴辐式网络中,每个运营节点只需要与一个物流枢纽站发生运输关系即可,容易促进第三方物流的产生与发展。

(3) 减少运输工具

对一个如图 1-1 的直通式网络来说,需要为 28 条运输线路设置运输工具。而对

一个如图 1-2 的轴辐式网络来说, 包括干线运输路线在内, 只需要为 14 条运输线路配置工具, 可以节约 50% 的运输工具。在航空运输中, 节约运输工具意味着节约飞机配置, 因此轴辐式网络在航空物流中的优势更加明显。

轴辐式物流网络尽管有这些优点, 但也存在三个不可避免的缺点:

(1) 干线运输的规模效益难以实现

干线运输的规模效益是轴辐式物流网络存在的核心条件。但在许多情况下, 要获得这一外来收益并不容易。在同一运输方式下, 物流成本往往符合规模效益递减规律, 当直通物流需求达到一定程度后, 干线运输的规模效益将不再明显。比如, 在公路运输中, 如果原先直通式网络的运输满载率或实载率已经较高, 那么不改变运输方式的话, 建设轴辐式物流网络就显得没有意义。而实现规模效益的另一途径, 改变运输方式也要考虑交通的现实条件。很多情况下, 这些条件未必能满足实际需要的运输路线。

(2) 产生了绕道运输成本

图 1-1 中, 在直通式物流网络架构下, 11 点至 4 点的运输可以直接到达。而在图 1-2 的轴辐式物流网络中, 从 11 点到 4 点的运输路线为 11-A-D-4, 其运输距离显然大于 11-4 的直通距离。轴辐式物流网络往往要求原来的直通路线必须经过枢纽站后再分发送, 因此其运输路线往往不再是最短路, 这就造成了上面的绕道运输成本。在实际的运营过程中, 轴辐式网络的绕道运输成本问题会十分严重: 轴辐式航线网络的航班运营必须偏离原来的直通航线, 降落枢纽站机场后转载; 轴辐式内陆水运网络必须借道运河走向, 水运的运输速度也远远小于公路运输速度; 同样轴辐式轨道运输网络也必须借道轨道运输路线, 这些都使系统增加了额外的绕道运输成本。

(3) 增加了节点成本与等待时间

在直通式网络中, O-D 流从起点装货, 直接运到目的地卸货, 一气呵成; 而在轴辐式网络中, O-D 流在经过枢纽站时不仅需要重新装货与卸货, 还要等待其他路线上的货物全部到达以后, 才能一起运输。在航空运输中, 这意味着增加起降次数与顾客的等待时间, 增加许多运营成本。

具体来说, 设计轴辐式网络主要经过三个工作步骤:

①调查现状, 评估规模效益。设计轴辐式物流网络的主要动力是寻求并获得规模效益。这一工作的内容就是了解当前的物流网络存在哪些 O-D 流, O-D 流量是多少, O-D 之间的距离和费用是多少。同时, 必须调查清楚如果在某一路段采取集中运输, 那么能够带来多大的规模效益。

②制定网络设计目标。不同的问题面临不同的网络设计目标。比如, 枢纽站中位问题的网络设计目标是寻求总运输成本最小; 枢纽站覆盖问题的目标是构建一个考虑 O-D 流出行路线的成本、距离或时间限制的轴辐式网络; 成本—路线优化的轴辐式物流网络设计目标是既希望运输成本最小, 又尽量避免绕道运输。针对具体的问题, 网络设计者必须选择特定的目标, 才能适用相应的模型与算法。

③选址与路线分配。这两项工作是轴辐式物流网络设计最基本、最重要的工作, 一般运用数学规划模型与优化算法来求解。

在本文中, 如果不特别说明, 轴辐式网络设计的优化问题一般就是指关于选址、

路线优化问题。比如,成本一路线优化的轴辐式网络设计问题是一个关于 OD 流出行路线、轴线选址的优化问题。选址与路线优化主要解决选择哪些节点作为枢纽站或选择哪些边作为轴线,以及 O-D 流的出行路线分配问题。一般情况下,可以计算轴辐式物流网络的最短路径,然后将物流需求节点分配到路线上的枢纽站,也就是说从该节点出发或回到该节点的物流必须经过这个路线上的枢纽站。但在某些情况下,路线分配工作可能会显得较为复杂。比如图 1-2 中,1 点到 2 点的物流应该采用 1-2 的路线更加适合,而不应该采用 1-B-2 的路线。但如果考虑规模效益的情况,问题将变得更加复杂,因为选择直通路线将影响轴线运输的规模效益。

在轴辐式物流网络的特点中,规模效益与绕道运输分别是最重要的优点与缺点,也是最根本的一对矛盾,是本论文的重点研究内容。既然轴辐式物流网络既有优点也有缺点,那么如何充分利用轴辐式物流网络的优点,努力减少其负效应,设计最优的轴辐式物流网络,就成为需要研究与解决的问题。因此,在这些问题与背景下,本文围绕轴辐式网络的选址与路线优化,分别从多分配枢纽站中位问题、多分配枢纽站覆盖问题、成本一路线优化的轴辐式物流网络设计问题、分段成本函数的轴辐式物流网络设计问题、带节点成本的轴辐式物流网络设计问题等内容,探讨如何充分发挥轴辐式物流网络的规模效益,并尽量减少其绕道运输、节点成本带来的损失。在整个研究过程中,论文将以我国中枢辐射式航线网络(简称中枢航线网络)、澳大利亚邮政运输网络的若干具体问题为实例,说明问题的应用过程及效果。

1.2 研究意义

1.2.1 实践意义

(1) 本研究有利于推动整合物流资源,完善我国物流网络

目前国内物流企业普遍呈散、弱、小的特点,网络复杂,整合度差,物流成本高。在直通式网络中,由于运输路线多,网络错综复杂,存在多个运营主体等原因,造成标准不一、资源调配难以协调等问题。同时,由于直通式网络单线需求量少,造成物流运营商规模小而零散的局面,满载率、运输工具利用率小。而轴辐式物流网络通过集聚效应,集中支线的物流需求,可以有效地整合订单、仓库、运输等各个业务系统,并能促进不同运输部门的统一。所以,本文研究轴辐式物流网络的优化设计,将有利于指导国内物流资源的整合。

(2) 本研究有利促进第三方物流的发展

在直通式物流网络中,每个运营节点直接与自己的客户发生物流关系,因此缺乏发展第三方物流的动力。而在轴辐式物流网络中,枢纽站以及枢纽站之间的轴线形成了网络的中枢系统,该系统是网络中相对独立的子系统,容易形成专门的物流外包业务。本文通过系统介绍轴辐式物流网络的特点,并提供了多种网络设计方案,有利于指导这一网络的实践应用,带动第三方物流的发展。

(3) 本研究有利于指导物流企业广泛地运用轴辐式物流网络, 创造规模效益, 减少物流成本

轴辐式物流网络尽管有众多优点, 但这一物流网络结构在国内却并不十分普及, 主要原因是它的三个缺点限制了它的广泛应用。本文不仅介绍如何有效利用轴辐式网络的规模效益, 同时也研究如何有效避免它的绕道运输, 如何统一规模效益与绕道运输之间的矛盾, 如何减少它的节点成本带来的损失, 多种网络设计目标的解决方案更加符合现实工作中的实际情况, 推动轴辐式网络在国内的进一步应用与普及。

(4) 本研究有利于指导建设我国中枢航线网络以及邮政运输网络

中枢航线网络与邮政运输网络是轴辐式网络的两个重要应用。目前, 国内在设计相关的轴辐式物流网络的过程中普遍缺乏有效的优化模型与求解算法, 通过本研究, 我们将对这两个网络的某些具体问题提供不同目标的多种解决方案。

1.2.2 理论意义

本研究涉及的理论主要有枢纽站选址理论、启发式算法等优化方法与理论。在枢纽站选址理论中, 当前的研究主要集中于枢纽站中位问题。已有的研究成果在枢纽站中位问题的模型改进、算法设计、问题扩展等方面做了大量的工作, 因此论文难以在这个问题上有所突破。在这一问题里, 我们将把问题延伸到轴辐式物流网络设计问题, 并介绍了这一问题在我国中枢航线网络的应用情况。但多分配枢纽站最大覆盖问题与集覆盖问题仍然为较新的研究邻域, 论文将对这两个问题的模型改进、算法设计展开研究。同时, 论文也将研究成本一路线优化的轴辐式物流网络设计问题、分段成本函数的轴辐式物流网络设计问题、带节点成本的轴辐式物流网络设计问题, 这些研究在理论上都将进一步完善与丰富枢纽站选址理论与相关优化方法。

1.3 研究现状

枢纽站是轴辐式物流网络的核心, 枢纽站选址问题也是轴辐式物流网络的核心问题, 所以目前关于轴辐式物流网络设计问题的研究主要围绕枢纽站选址问题。类似于一般选址问题的分类, 枢纽站选址问题可以分为枢纽站中位问题 (Hub Median)、枢纽站覆盖问题 (Hub Covering) 和枢纽站中心问题 (Hub Center)。其对应的轴辐式网络分别为: 成本优化的轴辐式网络设计问题、带绕道限制的轴辐式网络设计问题、寻求最小最大到达期的轴辐式网络设计问题。根据一个节点 (起点或终点) 的多条 O-D 路线是否可以选路过不同的枢纽站, 我们可以将枢纽站选址问题分为单分配枢纽站选址问题和多分配枢纽站选址问题。前者是指每个节点的 O-D 流只能由同一个枢纽站集中和分配; 后者是指一个节点的 O-D 流可以任意选择不同的枢纽站作为中转站。本文的研究只考虑多分配的情况。

1.3.1 枢纽站中位问题研究综述

枢纽站选址最初由 O'Kelly (1986) 提出。O'Kelly 在 1986 年提出了连续型枢纽站选址问题,并给出了基于 Weiszfeld 的启发式算法。此后,在离散选址方面,O'Kelly (1987) 提出了单分配枢纽站中位问题的一个二次规划模型,并给出了两类启发式算法。在他的研究中,算法一将每个 OD 节点分配给离其最近的一个枢纽站,而算法二则将 OD 节点分配给离其最近的两个枢纽站中的一个。但是,对于一个由 n 个 OD 节点构成的网络来说,启发算法二意味着对每一个枢纽站选址都需要检查 2^n 的分配组合,因此只能求解小规模问题。1992 年,O'Kelly (1992) 讨论了建站成本的枢纽站中位问题。此后,Klincewicz (1992) 对单分配枢纽站中位问题设计了禁忌搜索算法与随机贪婪算法,并在分配时考虑了多种交换策略,取得了较好的求解效果。Skorin-Kapov D 和 Skorin-Kapov J (1994) 利用 O'Kelly (1987) 的模型,设计了一个更加有效的禁忌搜索算法。O'Kelly (1995) 也对自己的模型 (O'Kelly, 1987) 提供了一个有效的下界计算方法。

Campbell (1994) 对单分配枢纽站中位问题 (SAHMP) 的模型进行了线性化工作。给定的网络 $G(N,A)$ 中, A 为所有边集合, $N = \{1, \dots, n\}$ 为节点集合。令 c_{ij} 表示节点 i 和节点 j 之间的直通成本; h_{ij} 表示从节点 i 到节点 j 的流量; $J = \{(i,j) | h_{ij} > 0, i, j \in N\}$ 表示所有 O-D 点对的集合; X_{ij}^{km} 表示流 $i-j$ 经枢纽站 k, m 的流量占 h_{ij} 的比例,当 $k=m$ 时表示单点中转; $Y_k = 1$ 表示在 k 点选址,否则 $Y_k = 0$ 。再令 $C_{ij}^{km} = c_{ik} + ac_{km} + c_{mj}$ 表示从 i 到 j 经枢纽站 k 和 m 所需花费的成本、时间或距离,其中 $a(0 \leq a \leq 1)$ 表示在枢纽站之间运输所产生的规模效益或折扣。二进制变量 Z_{ik} 表示节点 i 是否由枢纽站 k 服务。Campbell (1994) 的 SAHMP 模型如下:

$$(P1-1) \quad \text{Min} \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m h_{ij} X_{ij}^{km} C_{ij}^{km} \quad (1)$$

S.T:

$$\sum_k \sum_m X_{ij}^{km} = 1 \quad \forall i, j \quad (2)$$

$$0 \leq X_{ij}^{km} \leq 1 \quad \forall i, j, k, m \quad (3)$$

$$Z_{ik} \leq Y_k \quad \forall i, k \quad (4)$$

$$\sum_k Y_k = p \quad (5)$$

$$Z_{ik} + Z_{jm} - 2X_{ij}^{km} \geq 0, i, j, k, m \quad (6)$$

$$Y_k = 0, 1 \quad \forall k; Z_{ik} = 0, 1 \quad \forall i, k$$

在 P1-1 中,目标函数 (1) 表示总运输费用最小化;约束式 (2) 表示所有的 O-D 流都被服务;约束式 (3) 定义 X_{ij}^{km} 范围;约束式 (4) 表示只有当节点 k 被选择时,才能让节点 i 由 k 服务;约束式 (5) 表示枢纽站的设置总数限制。约束 (6) 表示只有当 Z_{ik} 与 Z_{jm} 都等于 1 时才能允许 $X_{ij}^{km} = 1$ 。因为每条流 $i-j$ 会自动选择运输成本最小的一个或一对枢纽站作为中转站,所以 P1-1 模型的最优解将会自动使 X_{ij}^{km} 取值为 0