

基于集散效用和运输一体化枢纽布局优化模型

彭 辉,赵建华,靳朝阳

(长安大学 公路学院,陕西 西安 710064)

摘 要:分析了综合运输枢纽规划与综合运网规划相互反馈的互动机制,提出以城市集散节点为主导的综合运输枢纽布局优化思路,并以综合运输集散、衔接综合广义费用最小为目标,建立了枢纽布局选址优化的混合整数规划模型;通过模型求解,从大型综合枢纽建设与综合运输体系构建的关系出发,引入了提高枢纽衔接效率和实现运输一体化的分析思路。分析认为:提出的综合运输枢纽布局优化模型构建、求解简单清晰,容易得到全局最优解,且能够反映枢纽和对外运网适应性密切的互动机制。

关键词:枢纽布局;互动机制;广义费用;混合整数规划模型

中图分类号:U115

文献标志码:A

文章编号:1671-6248(2012)03-0037-05

综合运输枢纽规划与交通运输网络规划是区域交通规划中2个紧密联系、互相影响的重要内容。综合运输枢纽在位置上是多种交通运输方式线路的交汇点,在设施构成上是集车辆集散、到发线路、客货运转转换乘以及配套服务设施于一体的设施,是实现乘客、货物集散、转运、装卸的交通吸引源、发生源,所有客货运输需求必须经过枢纽的一系列整装、换乘、中转等过程,才能完成全程的运输服务作业的过程。同样,枢纽的存在又必须依托于综合运网的基础设施,没有综合运网的支撑,交通运输需求和枢纽的功能就无法实现^[1-2]。

宏观层面上,综合交通枢纽的优化布局必须以区域对外交通运输网络的合理规划为前提,而综合交通枢纽的规划和建设又会影响其所在区域的交通运输网络的运转。即使是一个达到最优化的交通运输网络,在布设了综合运输枢纽以后,也可能导致网络的交通流分布发生改变,从而改变其原有的最优平衡状态。在综合交通枢纽规划过程,应充分反映

两者之间的这种互动的反馈关系^[3]。因此,在进行综合枢纽规划时,应该使其与线网规划和建设相协调和相适应,做到枢纽与其相衔接的各条交通运输线路同步建设,同时进行技术改造,以确保线路畅通,各环节的运输能力都能得到合理利用,并能相互调剂与补充^[4]。微观层面上,综合交通枢纽的优化布局以集散城市合理的城市总体规划为前提,综合交通运输枢纽的选址、规模以及形式的确定与城市用地布局、城市交通条件以及对外交通出行特征密切相关。这些因素的变化作用与综合交通枢纽布局特点同样也是相互影响、相互制约的关系,所以城市内综合交通枢纽的布局优化必须充分考虑这些因素互动的影响作用。目前在微观层面的综合交通枢纽布局优化的研究主要运用系统工程学、运筹学的成熟理论以及最新理论成果,主要研究成果集中在选址模型、布局模型以及网络优化模型等方面。李旭宏等提出大型客运枢纽的双层布局优化模型,该模型以城市交通的动态平衡分配为底层模型,以城市

收稿日期:2012-04-20

基金项目:陕西省自然科学基金项目(SJ08E223)

作者简介:彭 辉(1963-),男,陕西扶风人,教授,工学博士。

内对外综合出行需求的综合衔接换乘时间为上层目标函数,并设计了求解算法^[5];朱彦东等以城市内对外出行需求的集散链的广义费用为目标建立公铁联合布局优化模型^[6];程世东阐述了确定枢纽城市功能定位的分析角度与方法,详细论述了城市内运输枢纽体系规划的内容与分析方法^[7]。虽然目前国内对微观层面集散城市内综合运输枢纽布局优化的理论研究取得了初步的成果,但是仍然存在以下局限:第一,城市交通的动态随机复杂特性的考虑给模型建模以及求解带来很大的难度,在很多情况下只得到局部最优解;第二,无法把枢纽的布局优化与运营组织优化很好地衔接结合起来。本文在分析城市枢纽布局与城市交通的反馈作用机制基础上,建立以集散城市内对外运输需求综合广义衔接费用最小的枢纽规划模型,以选址位置和相应周转量为变量,模型的求解结果不仅可以实现布局优化,而且可以为枢纽的运营组织提供依据。

一、枢纽集散的综合运输过程解析

根据对外运输的全程性,集散城市内对外运输需求集散衔接过程如图1所示。

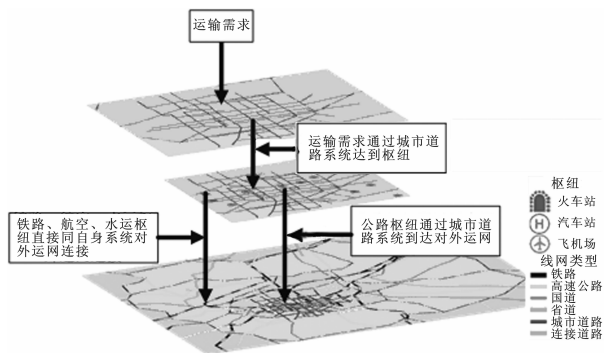


图1 对外运输需求通过枢纽集散过程解析

对公路对外运输方式来说,运输需求从交通生成源出发到综合运输枢纽,要通过城市交通系统实现,到达枢纽后就是运载工具整装出发到达对外运网的过程,同样需要通过城市道路系统实现。对于铁路、航空、水运等方式,从其全过程来说需要城市交通系统或者集散衔接公路的连接使得运输需求从交通生成源到达枢纽,而其运载工具通过枢纽自身衔接集散网络与对外运网连接。通过对不同类型枢纽对外运输城市内衔接集散过程的分析,虽然其形式不同,但是仍然可以拆解划分为两类:一类是各类运输需求到达枢纽的衔接过程,需要城市交通系统

的衔接,是运输需求自主选择到达枢纽的过程,此类运网可以称之为运输需求个体集散运网;另一类是从各类枢纽出发的运载工具到达对外运网集散衔接过程,是枢纽运营路线选择的过程,此类运网称之为运载工具集散运网。运载工具集散运网与对外运网有一个节点,运输工具通过这个节点以后便有了明确的运行方向,可以把这个节点作为集散运网与对外运网的分界点。在全过程运输中,需要消耗时间和成本,作为综合枢纽体系布局规划的城市主导方,以社会最大效益为目标^[7],应着重考虑枢纽运输需求集散成本低、时间短的综合目标,所以本文考虑以时间和费用消耗为指标的广义费用作为规划的目标。当运输需求个体集散与运输工具的集散需要通过城市交通系统时,本文确定集散时间消耗以城市道路系统的路阻延误和成本消耗的综合平均值,这样就可以充分在布局优化的基础上同时减少了对城市交通的影响。

二、枢纽布局优化模型构建

(一) 城市各个交通生成源与对外运网和集散运网节点的运输需求 OD

以对外综合运输需求分析为基础,把各种方式对外需求 OD 转化为城市各个交通小区到城市中各种方式集散衔接与对外运网节点的 OD。同时考虑综合运输需求的中转运输需求 OD,进行中转需求分析:

第一,分析各方式枢纽之间的换乘、中转量,形成以各方式枢纽为交通生成源和吸引源的综合运输需求 OD。

第二,分析各运输需求 OD 的去向构成,形成城市中集散衔接运网到对外运网节点的运输需求。

第三,以各个交通小区、对外枢纽为生成源,以对外运输与集散运网节点为吸引源,构造基于综合运输枢纽的城市综合运输需求 OD。

(二) 广义费用矩阵

以枢纽为中转节点,建立2个集散过程的广义费用矩阵,保证每个运输需求的满足都要经过枢纽的中转和集散:

第一,建立从交通生成源到各个对外枢纽(包括备选新建对外运输枢纽)的广义费用矩阵。

第二,建立各个对外枢纽(包括备选新建对外运输枢纽)到各运输方式集散衔接运网与对外运网节点的费用矩阵。

第三,广义费用的量化考虑 2 个集散过程的平均的时间消耗和成本消耗 2 个方面,用时间价值把时间转化为费用进行求和便得到广义费用^[8],即

$$G_{ij} = V_i t_{ij} + F_{ij} \tag{1}$$

式中: G_{ij} 为交通小区 i 到节点 j 的广义费用; V_i 为时间价值; t_{ij} 为交通小区 i 到节点 j 所消耗的平均时间; F_{ij} 为从交通小区 i 到节点 j 所消耗的成本费用。

(三) 基本模型

以各个枢纽站现状周转能力和可扩充能力的综合能力以及备选新建枢纽场站的周转能力为约束条件,以新建枢纽的选址以及各个枢纽的周转量为优化变量,求解综合衔接集散最小广义费用的布局优化方案。

目标函数 F (运输量产生点到枢纽场站的总费用最小)为

$$\min(F) = \min(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^s X_{ikt} G_{ik} M_{kt} + \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^d \sum_{t=1}^s Y_{kjt} G_{kj} M_{kt}) \tag{2}$$

约束方程为

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^s X_{ikt} M_{kt} = D_i \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^s Y_{kjt} M_{kt} = A_j \quad j = 1, 2, \dots, d \tag{4}$$

$$\sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^d \sum_{t=1}^s Y_{kjt} \leq C_j \quad j = 1, 2, \dots, d \tag{5}$$

式中: A_j 为各场站到节点 j 的总到达量; D_i 为交通小区 i 到各场站的总发运量; C_j 为节点 j 的容量; M_{kt} 为决策变量; X_{ikt} 为交通小区 i 到备选枢纽场站 k 的运输量,场站 k 类型为 t ; Y_{kjt} 为从备选枢纽场站 k 到节点 j 的运输量,场站 k 的类型为 t ; G_{ik} 为交通小区 i 到备选枢纽场站 k 的单位广义运输费用; G_{kj} 为从备选枢纽场站 k 到节点 j 的单位广义运输费用。

(四) 模型求解

本规划模型为混合整数规划模型,其中枢纽变量称作 0-1 整数变量,各个交通生成源到各个枢纽的运量为连续变量,允许取任何非负整数,一般线性规划算法无法快速有效求解。

本文运用 Excel 规划求解模块便可进行求解,优化变量有各个交通生成源到枢纽的运量,共 $m \times n$ 个,从枢纽到对外运网节点的运量有 $m \times s$ 个以及有 $n \times s$ 个 0-1 整数变量。模型求解时,应建立各交通小区到运网节点的运输量 OD 矩阵、各交通小区到枢纽的运输量 OD 矩阵与广义费用矩阵、各个枢纽到各个对外节点的 OD 矩阵和广义费用矩阵与枢

纽类型选择以及选址变量矩阵。求解该模型的有关基础数据以及变量如表 1~6 所示。

表 1 各交通小区到运网节点运输需求 OD 矩阵

交通小区	运网节点				
	1	2	...	12	13
1	78	93	⋮	70	62
2	30	81	⋮	84	35
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21	48	64	⋮	21	55

表 2 各交通小区到枢纽运输量 OD 矩阵

交通小区	枢 纽				
	1	2	...	10	11
1	78	93	⋮	70	62
2	30	81	⋮	84	35
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21	48	64	⋮	21	55

表 3 各交通小区到枢纽广义费用矩阵

交通小区	枢 纽				
	1	2	...	10	11
1	55	43	⋮	158	47
2	66	22	⋮	36	68
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21	120	123	⋮	91	119

表 4 枢纽到对外运网节点运输量 OD 矩阵

枢 纽	运网节点				
	1	2	...	12	13
1	78	30	⋮	65	70
2	93	81	⋮	91	80
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	70	84	⋮	2	16
11	62	35	⋮	47	53

表 5 枢纽到对外运网节点广义费用矩阵

枢 纽	运网节点				
	1	2	...	12	13
1	78	30	⋮	65	70
2	93	81	⋮	91	80
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	70	84	⋮	2	16
11	62	35	⋮	47	53

根据模型构建的目标函数以及约束条件,需要进行以下设置:

第一,由各交通小区到枢纽运输量 OD 矩阵与各交通小区到枢纽广义费用矩阵相应元素的乘积,以及枢纽到对外运网节点运输量 OD 矩阵与枢纽到

表 6 枢纽布局方案变量矩阵

枢 组	枢纽类型		
	I	II	III
1	1	0	0
2	1	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮
10	0	0	0
11	0	0	0

对外运网节点广义费用矩阵相应元素的乘积,可得到 2 个过程的广义费用变量矩阵。

第二,各个枢纽的存在与否取决于枢纽布局方案矩阵,对于现存的枢纽,相应位置应设置矩阵元素,即设置为 1,其他新建为变量元素。

第三,分别用 2 个广义费用矩阵分别乘以相应元素的行标和列标相应位置的方案布局矩阵的相应元素,没有枢纽为 0,有枢纽为 1,得到 2 个方案变量下的广义费用变量,汇总就可以得到目标函数。

约束条件设置:

第一,节点类型代表运输方式,枢纽同时代表运输方式,对交通小区到各个方式的运输量进行分方式汇总,等于各方式承担量。枢纽到节点运输量变量矩阵各行求和等于各交通小区到节点运输需求矩阵各列的求和。

第二,在备选新建枢纽集中,根据实际情况只能建立有限个(有时只有 1 个),可设立上限,对方案布局矩阵的求和小于某值。

第三,各个枢纽的汇总求和小于其周转能力。

(五) 结果分析

1. 对枢纽进行综合效率和一体化程度提高的必要性分析

从系统的整体性出发,使若干相关部分或因素合成为一个新的统一整体的建构、序化过程,系统内各个因素整体协调、相互渗透,使系统各要素发挥最大效益,确保有效资源的最大化利用,同时产生综合枢纽的集约化和规模化效应。当然,枢纽场站过度集中也会带来规模过大,并且使大量集散客流、车流汇集于枢纽场站周边相对狭小的区域内,局部交通组织困难等问题^[3]。

考虑各个集散节点以及区域的各种运输方式交通运输集散特性和中转特性,提出建立集各种运输方式于一体的大型综合交通运输枢纽的必要条件:

第一,集散节点和区域的各种方式的集散总量条件:建成集多种交通方式站场于一体的综合运输枢纽,要充分考虑其规模集聚效应对各个方式集散

总量的要求。太小的运输方式集散总量不能很好地体现综合交通运输枢纽的规模效应,同时枢纽配套服务设施的运营开发同样也需要一定的客货运总量条件。

第二,集散节点和区域各种运输方式之间的中 转或者换乘总量条件,对多种交通运输方式场站进行综合和集中,会直接减少中转客货运量的衔接距离和时间,但同时使其他非中转客货流集散距离增加,必须本着客货运输需求的中转、集散、换乘的方便性和经济性的总体减少的目标进行综合交通枢纽集中和综合的必要性分析。

第三,集散节点和区域各种运输方式多式联运和换乘中转的总成本效益以及集约化建设规划和独立规划建设的总体成本;从成本效益角度来看中转换乘客货运收益最大,但要综合考虑其他方面投资成本的增加。

2. 方案验证和评价

以确定新枢纽的选址方案以及产生 2 个衔接过程产生运输量 OD 为基础,可以分析方案对社会环境的影响,各个 OD 的集散对城市交通的影响,进而分析方案的综合社会效益,如果方案不可行,需要重新设定筛选条件,重新进行布局优化。

3. 确定枢纽的地址、规模

本模型的求解便可以得到枢纽的最佳选址,并且通过对第 j 个枢纽的客运周转量进行汇总,则总的周转量 W 为

$$W = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^s X_{ikt} M_{kt} L_{ikt} + \sum_{j=1}^d \sum_{t=1}^s Y_{kjt} M_{kt} L_{kjt} \quad (6)$$

式中: L_{ikt} 为交通小区 i 到备选枢纽场站 k 的实际距离; L_{kjt} 为备选枢纽场站 k 到节点 j 的实际距离。

由此可知,该枢纽的客运周转量规模为进行相关衔接场所、配套服务设施初步规模的推算提供了依据。

4. 为枢纽的运营组织提供依据

根据模型最优解中的运输需求第二个集散过程(亦即枢纽到对外运网节点运输量 OD)的运输量 OD 进行分析,可以为各个枢纽线路运营的优化提供依据。

(六) 案例分析

以典型的中心棋盘形、外围环形的城市道路网为例,准备现状对外运输需求分析数据、现有枢纽以及备选新建枢纽地址以及相应周转能力数据,如图 2、表 7、8、9 所示。

由表 7、8 可知:2 个衔接集散过程的运输量 OD



图 2 城市路网、对外运网以及枢纽布局

表 7 各交通小区到枢纽运输量 OD

交通小区	枢纽				
	1	2	...	10	11
1	600	350	⋮	2 300	457
2	730	670	⋮	1 340	900
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21	680	578	⋮	1 560	378

表 8 枢纽到对外运网节点运输量 OD

枢纽	运网节点				
	1	2	...	12	13
1	120	300	⋮	789	700
2	930	810	⋮	910	870
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
10	1 700	1 840	⋮	1 467	2 200
11	620	350	⋮	400	340

表 9 枢纽布局方案矩阵

枢纽	枢纽类型		
	汽车站	火车站	飞机场
1	1	0	0
2	1	0	0
3	1	0	0
4	1	0	0
5	1	0	0
6	0	1	0
7	0	1	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	1	1	0
11	0	0	0

矩阵进行汇总可以得到各个枢纽的运能扩展规模以及运营组织安排等进一步的优化方案。由表 9 可知:有必要在位置 10 建 1 个汽车站和火车站,在进行了一体化和综合性、建设性、必要性分析后,有必要对 2 个类型的枢纽进行一体化建设,提高其衔接

水平,充分发挥其集约化效益。

三、结 语

本文提出的枢纽布局优化思路,以综合统一规划为原则,充分考虑了枢纽布局与城市对外运网布局、各方式集散系统以及城市道路系统的互动机制,同时引入多种方式运输枢纽一体化规划布局分析方法。构建的综合运输枢纽布局优化数学模型求解过程简单,避免了城市交通的庞大性、复杂性、动态性给模型求解带来的困难;模型求解的结果不仅能得到最优的布局优化方案,还可以为确定城市中整个枢纽系统的功能合理分工、运营方案以及集散线路设置提供基础的数据支撑。由于该模型求解变量多,为了使求解过程简单,本文把 2 个集散过程的广义费用在考虑城市集散路网系统交通现状的基础上设定为常量,如何在模型中引入考虑城市交通动态特性简单可行的流量-广义费用函数是以后需深入研究的问题。

参考文献:

[1] 彭 辉,朱力争. 综合交通运输系统及规划[M]. 成都:西南交通大学出版社,2006.

[2] 陆化普,陈宏峰,袁 虹,等. 综合交通枢纽规划:基础理论与温州的规划实践[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[3] 陈大伟,徐 中,李旭宏. 区域综合货运枢纽布局优化模型[J]. 华南理工大学学报:自然科学版,2009,37(11):31-36.

[4] 王雪标. 城市综合交通枢纽的分类与布局[J]. 综合运输,2008(5):24-26.

[5] 李旭宏,肖为周,陈大伟,等. 大城市对外客运枢纽布局优化模型[J]. 交通运输工程学报,2010,10(2):75-81.

[6] 朱彦东,单 晋,李旭宏. 面向交通资源整合的大城市公铁枢纽联合布局模式[J]. 交通运输工程学报,2008,8(3):86-90.

[7] 程世东. 综合运输枢纽规划研究内容及分析方法[J]. 综合运输,2010(11):14-17.

[8] Peng H,Zhao J H,Li Y D,et al. Passenger flow assignment model in comprehensive transportation network based on connection and transfer efficiency in distribution nodes[C]//IEEE. Business management and international conference on electronic information, New York: IEEE,2011:108-112.

(下转第 64 页)

Study of Xi'an sustainable development based on ecological footprint method

GAO Quan-cheng, XU Jing-gui, ZOU Bo

(School of Economics, Xi'an University of Finance and Economics, Xi'an 710061, Shaanxi, China)

Abstract: In order to provide practical and theoretical basis for the sustainable development of Xi'an, this paper, on the basis of ecological footprint model, conducts computation and analysis for the ecological footprint demand and supply of Xi'an from 2003 to 2010 with the data from *Xi'an statistical yearbook*. The analysis shows that as the progress of urbanization has been sped up, the economy has been increased more quickly and the consumption levels has been raised, there is a rapid rise of the ecological footprint demand and the ecological deficit in Xi'an. Therefore, the more attention to the coordination between the ecological environment and economic development will be beneficial to the economy and society in the city.

Key words: Xi'an; ecological footprint demand; ecological footprint supply; ecological deficit

(上接第 41 页)

Layout optimization model of hub system based on distribution utility and transportation integration

PENG Hui, ZHAO Jian-hua, JIN Zhao-yang

(School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: This paper analyzes the recuperative interaction mechanism between comprehensive transportation hub planning and comprehensive transportation networks planning and proposes the layout optimization concept led by distribution nodes city. The layout optimization model of comprehensive transportation hubs is constructed by taking comprehensive distribution and connecting time as object, which is mixed integer optimization model. From the aspect of relation between comprehensive transportation hubs and comprehensive transportation system, the paper introduces the analysis concept of promoting the connecting efficiency and realizing transportation integration. The case proves that the model can be easily constructed and clearly solved, and the global optimal solution of the model can be easily obtained. What's more, the model can reflect the interaction mechanism between comprehensive transportation hub and external road networks.

Key words: transportation hub layout; interaction mechanism; general cost; mixed integer planning model