

文章编号: 1002-0268 (2001) 03-0101-05

综合交通枢纽布局规划模型与方法研究

袁虹, 陆化普

(清华大学交通研究所, 北京 100084)

摘要: 首先定义综合交通枢纽的规划研究范围和功能, 在分析现有综合交通枢纽规划模型和方法的基础上, 从综合交通枢纽运转过程中的交通需求产生机理的角度, 探讨解决综合交通枢纽规划中存在问题的新思路。

关键词: 综合交通枢纽; 规划; 场站布局

中图分类号: U491.13

文献标识码: A

Study on Model and Method of Comprehensive Transportation Terminal Planning

Yuan Hong, Lu Hua-pu

(Institute of Transportation Engineering of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on the analysis of the transportation demand generation mechanism in the operation process of comprehensive transportation terminals, a new point of view is proposed to solve the problems existing in the planning of such terminals. This paper takes the automobile as the link of other modes and the key access to the comprehensive planning approach. And the intercity and intracity traffic of the terminal city is considered synthetically.

Key words: Comprehensive transportation terminal; Planning; Station distribution

1 综合交通枢纽规划的现状和存在问题

1.1 综合交通枢纽规划的研究背景与功能定义

综合交通枢纽是全国或区域交通运输系统的重要组成部分, 是不同运输方式的交通网络的交汇点, 是由若干种运输所连接的固定设备和移动设备组成的整体, 共同承担着枢纽所在区域的直通作业、中转作业、枢纽地方作业以及城市对外交通的相关作业等。

根据党的十三大提出的以综合运输体系为主轴的全国交通运输业发展方针, 交通部 1989 年提出了我国水运、公路建设的长远规划设想, 并进行了全国 45 个公路主枢纽和 20 个港口主枢纽的宏观布局。在国家级运输网和区域级运输网上, 这些主枢纽就成为几大运输系统的交汇、转换节点, 形成了同时具备两种或两种以上交通主枢纽功能的综合交通枢纽。这种综合交通枢纽往往以一个城市为依托, 不仅承担着联系全国交通运输网的任务, 还要负责城市对外交通的运输, 并与城市交通系统有着密切的联系。本文对综

合交通枢纽规划的研究, 主要是站在联系国家级交通网, 服务于区域交通网的层次, 以综合交通枢纽所依托的城市为对象, 研究综合交通枢纽内最优的交通运输场站设施的数量、规模和布局。

综合交通枢纽作为一个国家的综合运输网络中, 同时承担几种运输方式的主枢纽功能的节点, 是交通运输的生产组织基地和综合运输网络中客货集散、转运及过境的场所, 具有运输组织与管理、中转换乘换装、装卸储存、多式联运、信息流通和辅助服务 6 大功能, 对所在区域的综合运输网络的高效运转具有重要的作用。同时, 综合交通枢纽也是城市对外联系的桥梁和纽带, 对它所依托的城市的发展有着巨大的带动作用。

1.2 我国综合交通枢纽规划的现状和存在问题

综合交通枢纽规划的目的, 是使各种交通方式在枢纽所依托的城市内有机衔接, 保证最方便快捷的换装和换乘。同时, 综合交通枢纽的规划, 还应该与枢纽所在城市的城市交通系统有机结合, 使城市的对内

对外交通衔接流畅, 保证城市基本功能的实现。

但由于各种运输方式在运输特性、发展历程、适应范围等方面都有各自的特点, 相互之间既有牵制又有补充, 很多因素难于量化, 使得综合运输体系各个层次上的规划(交通网络、枢纽、线路等)具有很大的不确定性和复杂性。特别是铁路、水运和航空的运输线路和枢纽布置受地理条件的限制较大, 交通枢纽的总体布局还要受所在城市的自然条件、城市性质和格局的约束, 因此要把几种交通枢纽的规划完全放在一个模型中进行, 在实际操作中还有很大困难。目前我国仍然按照公路主枢纽、港口主枢纽、铁路主枢纽和航空主枢纽的形式, 分别进行专门规划, 在每一类规划中适当考虑其它交通方式的影响。这种各自为政的规划模式带来的主要问题之一, 就是造成不同交通方式规划和建设缺乏统一的部署, 导致条块分割、重复建设乃至互相矛盾, 极不利于整个综合交通系统的发展。

在我国现有的交通主枢纽规划中, 主要采用定量计算与定性分析相结合的方法, 大致分为以下3个步骤:

- 社会经济和交通运输的现状分析与发展趋势预测;
- 交通主枢纽场站选址与布局规划方案的形成;
- 交通主枢纽规划方案评价与选优。

其中第2和第3阶段是交通枢纽规划工作中, 不断产生新问题、促使人们进行研究的热点所在。

在第2阶段, 枢纽场站选址与布局通常采用定量计算模型, 早期的方法多为单纯的数学物理模型如解析重心法、微分法, 或者从运输成本的角度进行的分析; 随着运筹学、物流学的完善和发展, 出现了用线性规划、整数规划、混合整数规划等进行交通枢纽场站布局规划的模型和方法。但这些方法都建立在对所规划的交通网络进行高度抽象和简化的基础之上, 没有很好地反映枢纽所在区域的实际交通状况。例如城市道路网络上的流量-速度关系、运输费用的非线性特征、不同交通方式的相互制约关系等, 都会影响综合交通枢纽场站的优化布局结果。总体而言, 上述模型和方法在实际应用中主要存在以下问题:

- (1) 模型大多采用固定的参数值(如运输费用), 没有考虑枢纽所在地交通网络的动态变化以及综合运输网络的节点层与其它层面的互动关系。
- (2) 模型主要侧重于交通枢纽内部的场站数量和规模的计算, 缺乏对交通枢纽和交通网络的一体化分析。
- (3) 由于综合交通枢纽的规划和建设, 可能改变

原有交通网络的交通分布特性, 所以一个合理的综合交通枢纽规划模型应该具有反映这种变化的反馈机制, 而上述的模型和方法都不具备这一分析过程。

由于原有的模型和方法在实际应用中存在的这些问题, 使得综合交通枢纽规划在保证不同方式交通枢纽的有机衔接和高效运转方面存在很多困难, 迫切需要深入研究综合交通枢纽的运行机制, 开发能够反映综合交通枢纽规划特征和解决上述问题的新模型和方法体系。

2 解决综合交通枢纽规划中存在问题的新思路

在综合交通枢纽规划中, 一方面由于受自然条件的限制, 使得火车站、港口和机场的选址和布局可以调整的空间比较狭窄, 另一方面对综合交通枢纽在中转换乘、运输组织方面的要求, 又使得一体化考虑综合交通枢纽中各种交通运输场站的布局非常必要。在5种交通方式中, 公路运输系统作为联系其它交通方式的纽带, 其灵活性和可调整性较大, 因此本文从公路主枢纽的布局入手, 对公路主枢纽的场站数量、位置进行优化和调整, 而把铁路、水运、航空和管道这几种交通方式的场站作为公路场站布局的约束条件, 使得公路场站的布局最大限度地保证各种交通方式的有机衔接, 从而提高综合交通枢纽的运转效率。

由于综合交通枢纽与所在城市的性质和功能有着密切的联系, 在进行综合交通枢纽布局规划时, 还必须考虑城市交通系统与综合交通枢纽的相互关系。下面, 我们从城市内外交通有机衔接的角度, 分析综合交通枢纽运转过程中的交通需求产生机制, 并提出解决综合交通枢纽规划中存在问题的新思路。

综合交通枢纽的运转, 是由旅客(或货主)、运输企业和政府3个部分共同参与的。它不仅与枢纽所在区域的交通网络的物理特征有关, 还与3个参与枢纽运营的主体的相互关系有关。以货物运输为例, 我们可以把交通枢纽的运转分为枢纽内部的短距离散货运输和枢纽与运输网络上其它枢纽之间的长距离集中运输两部分, 而枢纽就是联系两个阶段的节点。

枢纽内部的短距离运输实际是交通需求者(旅客或货主)利用城市内道路进行的, 它与交通需求者对运输路径和站点位置的选择行为有关, 并与城市交通融为一体。从微观意义上讲, 选择什么路径、什么场站完全取决于交通需求者个人对整个交通运输网络的判断和期望, 政府只能借助完善城市内部交通网络的方式实现对需求者个人行为的合理诱导。这个阶段的交通行为可以用交通规划理论进行描述。

枢纽之间的长距离运输则利用城市间的公路、铁路、水路和航空线路等进行, 交通需求者对这部分关心程度较低, 相反运输企业会在这个阶段对自己的运力、运输线路的安排进行较为详细的研究, 保证运输企业的经济效益最大化。综合交通枢纽的运行机制可以用图 1 的两个层次来说明。

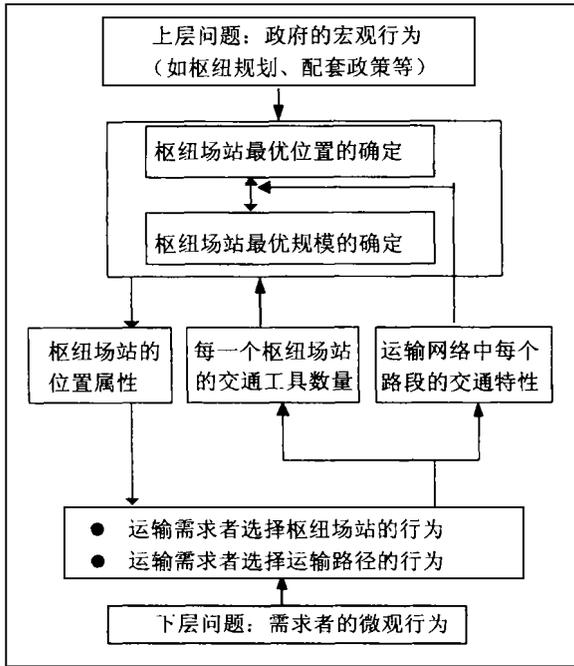


图 1 综合交通枢纽运转机理示意图

因此, 综合交通枢纽规划的最终目的, 就是通过合理的交通枢纽场站布局, 来引导交通需求者和运营者的微观行为, 使之符合综合运输系统社会效益最大化的宏观目标。在本文中, 我们以公路主枢纽城市中的公路场站优化布局为目标, 把其它交通方式的枢纽场站抽象成一系列与公路场站有关的交通发生吸引点, 综合考虑城市对外交通网与城市道路网的衔接, 用“交通发生地——交通场站”和“交通场站——目的地”的两个阶段来模拟人们对综合交通枢纽的使用, 进行公路主枢纽场站的优化布局。这种思路的优点在于考虑了客货流在交通网络上流动的特性, 把运输过程分为微观和宏观两个层次进行考虑, 比较接近实际情况。

3 综合交通枢纽规划的模型与方法

根据前面提出的思路, 本文提出了用两个阶段进行综合交通枢纽场站布局规划模型和方法。第 1 个阶段是公路主枢纽服务范围内的旅客或货物分别从其客、货发生源出发, 根据用户平衡原理, 选择各自认为最优的路径, 到达客、货运站场。这个过程是利用城市

交通系统完成的, 我们用交通规划的四阶段模型, 分析各场站在枢纽内部的分布状况和对路段走行时间、运输成本的影响, 从而初步确定枢纽的数量和位置。

第 2 阶段是旅客或货物到达枢纽的有关场站后, 由运输企业根据本企业的运营管理情况, 按一定的时间、线路和配载方法, 把它们运到目的地。两个阶段的连接点就是综合交通枢纽的场站。由于规划者不能控制交通市场供需双方的微观行为, 只能通过合理规划和布局枢纽的场站, 来达到宏观引导需求者的选择和供给者的决策行为, 使整个运输系统达到社会效益最大或者广义费用最小的目标。所以, 一个合理布局的公路主枢纽规划方案, 不仅要使不同性质的交通场站衔接方便, 还要在枢纽运转过程的两个阶段间起承上启下的作用。

3.1 第 1 阶段模型

第 1 阶段的优化模型作如下 2 点假设。

假设 1: 交通需求者对不同交通方式场站的选择, 取决于该次出行的距离。而且按照一般化费用最小的原则选择通往场站的路径。

假设 2: 每个交通场站内部的运营管理处于最优状态。

基于以上 2 个假设, 交通需求者在选择不同交通方式场站时的方式划分问题, 主要根据不同出行距离的比例构成而得到。公路主枢纽场站与其它交通方式场站之间的中转换乘成本, 主要由场站之间的行车时间和费用构成, 不考虑旅客或货物在场站内部的等待时间和作业费用。此外, 以其它性质的交通场站为重心的发生吸引点与公路主枢纽场站之间的交通量, 主要是它们之间的中转换乘量。

在第 1 阶段, 交通出行者是利用城市道路来实现他们从出发地到交通场站的出行的, 可以采用四阶段交通需求预测法, 分析它们在城市交通网络上的分布特征, 并根据这一特征初步确定公路主枢纽场站位置的备选集合。具体的工作流程和计算步骤如下。

步骤 1 确定综合交通枢纽的服务范围。

根据综合交通枢纽所在城市的城市总体规划、土地利用规划和国家综合交通网络的总体布局规划和实际的交通需求, 确定综合交通枢纽的服务范围, 即客货流通区。

步骤 2 以公路主枢纽为基准, 根据土地使用特性划分综合交通枢纽内部的客货运交通小区。

以综合交通枢纽所在城市的城市总体规划为依据, 调查规划区域内的人口、土地利用现状、综合交通运输现状和公路场站、水运港口、火车站等的布局

现状, 分别确定客货运交通小区。

步骤3 确定交通路网。

在整个规划区域所包含的小区范围内, 以各小区内起关键作用的交叉路口、港口、铁路客货运站、机场为节点, 以客货流通小区内主要对外运输干道和各小区间的主要干道(公路和城市道路)为边, 确定规划区的现状客货运交通干道网。在现状交通网的基础上, 根据已有的道路建设规划, 确定规划年的客货运交通干道网, 作为交通分配的基础。

步骤4 公路主枢纽交通小区的交通量发生、吸引预测。

根据现状调查得到发生、吸引交通量, 各小区的客货运发生、吸引量。同时预测各规划目标年度规划区域的总运输量、分交通方式的运输量。

步骤5 交通分布预测。

对公路网中的机动车进行现状OD调查, 分别得到规划区域的区域间全日或高峰小时的机动车出行OD矩阵, 客、货运OD矩阵, 并调查客流、不同货种的主要流向。

在现状机动车OD矩阵的基础上, 预测规划年份的区域机动车OD矩阵。

步骤6 客货运交通量分配。

采用目前交通规划理论很多成熟的分配方法, 如用户均衡分配法(F-W法)、多路径概率分配法等, 把预测得到的客运、货运OD交通量在路网上进行分配, 得到每个路段上的客、货运交通流量。在分配过程中, 要特别考虑港口、火车站、机场、大型经济技术开发区之类的特殊节点的发生吸引量与公路主枢纽场站之间的关系, 充分体现其它交通方式与公路之间的衔接。同时, 还要在分配中区别客运与货运交通。

步骤7 初步确定客货运枢纽场站的备选位置。

根据交通分配结果, 选择那些连接路线多、通过交通量大的节点作为第2阶段公路主枢纽场站布局优化的备选位置。

3.2 第2阶段模型

得到公路主枢纽场站的备选集合后, 第2阶段的模型采用运筹学和物流学中求解物流中心选址问题的模型和方法, 从备选集合中求解合适的场站位置。由于4阶段交通需求预测法预测的是道路交通量, 而与交通场站各项指标关系更为密切的是客、货运的运输量, 因此需要对综合交通枢纽的总运输量、分交通方式运输量进行预测, 进而确定公路主枢纽的组织量和适站量。

第2阶段模型的具体工作流程和计算步骤如下。

步骤1 综合交通枢纽交通小区的运输量的发生、吸引预测。

调查每个客、货运交通小区的主要客货源点的分布和现状发生吸引强度, 确定小区的客货运运输量的发生量和吸引量(不考虑区域内部的出行, 客运单位取人次、货运单位取吨), 并预测未来各交通小区的客货运发生量和吸引量。

步骤2 确定运输网络。

公路主枢纽转运网络的节点有3类:

转运点即交通枢纽, 由第1阶段得到的场站备选集合构成, 其流入量等于流出量;

发生点由规划区域内部的各小区构成, 发生量从第1阶段计算得到;

吸引点由规划区域外的各大区构成, 吸引量从第1阶段计算得到。

运输网络的边由各发生点到转运点的城市主干道和由转运点到吸引点的公路主干道组成。

步骤3 确定广义费用矩阵。

调查综合交通枢纽所在城市的客货运市场, 综合考虑社会定价和实际运价, 确定一个合理的客货运价格函数。根据第1阶段的交通量分配结果, 用最短路径法计算城市路网上从发生点到转运点之间行走时间。转运点到吸引点的最短距离取公路主干道的距离。把运输价格与行走时间价格加总, 得到每一条路径上的广义费用, 作为转运模型优化计算的费用标准。

步骤4 客货运枢纽场站理论位置和规模的计算。

以运输成本最小化为目标, 总发生量不超过生产规模、总吸引量不小于需求规模、总发生量等于总吸引量为约束条件, 利用转运模型的求解方法, 在第1阶段得到的备选方案中选择确实需要建设的站点。

计算的数学模型如下。

目标函数:

$$\min F = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q (C_{ik} + C_k) \times X_{ik} + \sum_{k=1}^q \sum_{j=1}^n C_{kj} Y_{kj} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} Z_{ij}$$

约束方程为

$$\sum_{k=1}^q X_{ik} + \sum_{j=1}^n Z_{ij} = a_i \quad i=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{k=1}^q Y_{kj} + \sum_{i=1}^m Z_{ij} = b_j \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^q X_{ik} = \sum_{k=1}^q Y_{kj} \quad K=1, 2, \dots, q$$

$$X_{ik}, Y_{kj}, Z_{ij} \geq 0$$

式中, X_K ——从发生点 i 到备选枢纽场站 K 的运输量;

Y_{Kj} ——从备选枢纽场站 K 到吸引点 j 的运输量;

Z_{ij} ——直接从发生点 i 到达吸引点 j 的运输量;

C_K ——从发生点 i 到备选枢纽场站 K 的单位运输费用;

C_{Kj} ——从备选枢纽场站 K 到吸引点 j 的单位运输费用;

C_{ij} ——直接从发生点 i 到达吸引点 j 的单位运输费用;

C_K ——备选枢纽场站 K 中单位运输量的中转费用。

求解此线性规划模型, 可得决策变量 X_K, Y_{Kj} 的值。 X_K 表示了枢纽场站 K 与发生点的关系, $\sum_{i=1}^m X_K$

决定了该枢纽场站的规模, 若 $\sum_{i=1}^m X_K = 0$ 说明备选节点 K 处不应设置枢纽场站, 即 K 点被淘汰。 Y_{Kj} 表示了枢纽场站 K 与吸引点的关系。

此阶段计算结束后, 我们得到了一个综合交通枢纽中的公路主枢纽场站的布局方案。但是, 一旦交通网络中出现了新的场站, 交通网络的物理结构和交通流分布形态上都可能发生新的改变。而之前的场站优化是基于没有场站的交通网络进行的, 为了消除这个偏差, 切实反映交通网络运行的实际情况, 合理诱导客货流的分配, 还要返回第 1 阶段, 重新确定增加了场站的交通网络, 再分配一次。比较前后两次分配的路段交通流的偏差, 如果满足一定的准则, 则接受所得的场站集合, 否则再循环进行第 1、2 阶段的计算, 直至前后两次交通量分配结果的偏差满足要求。

4 结论

本论文根据综合交通枢纽运转过程中的交通需求

产生机理, 以公路主枢纽的场站布局为突破口, 用交通规划的四阶段需求预测法和物流学的场站选址模型来模拟和分析综合交通枢纽的运营机制, 提出了基于交通需求产生机理的综合交通枢纽布局规划的两阶段联合模型。在《温州市现代化交通枢纽规划研究》中, 我们采用该模型对温州这个集国家公路主枢纽和港口主枢纽为一体的综合交通枢纽城市进行了交通场站的规划布局, 并取得了科学、可靠的结果, 受到评审专家的充分肯定。

需要指出的是, 综合交通枢纽的规划是一个受多种因素影响和约束的过程, 上述的理论计算结果是经过多次抽象后得到的, 它们还不能完全代表实际情况。因此, 还需要在国家宏观政策和上级规划的指导下, 结合综合交通枢纽所在区域的实际土地利用情况和交通干道分布情况, 对计算得到的场站规划布局方案进行分析调整, 最后确定场站的实际布局方案。

本文提出的综合交通枢纽布局规划模型只是对一体化解决综合交通枢纽规划问题走出的第 1 步。在今后的进一步研究中, 还需要对综合交通枢纽的交通方式划分的问题、交通流在不同交通网络中的竞争分配问题和综合交通运输的广义费用函数进行深入的研究, 力求开发出体现 5 种交通方式一体化的综合交通枢纽布局规划模型。

参考文献:

- [1] 陆化普. 交通规划理论与方法. 清华大学出版社, 1998
- [2] 交通部水运规划设计院. 全国港口主枢纽总体布局规划, 1992
- [3] 交通部公路规划设计院. 全国公路主枢纽总体布局规划, 1992
- [4] Eiichi Taniguchi, Michihiko Noritake et al. Optimal size and location planning of public logistics terminals. Transportation Research Part E 35, 1999; 207-222
- [5] 沈志云编著. 交通运输工程学. 人民交通出版社, 1999; 8-47.
- [6] 王莉. 物流学导论. 中国铁道出版社.
- [7] 王加林, 张蕾丽. 物流系统工程. 中国物资出版社.
- [8] 张三省, 黄立生. 区域性公路运输场站布局与选址方法研究. 西安公路交通大学学报, 1998, 17 (28): 97-101.