

基于整体效率的 都市区交通结构与土地利用研究

蒋涛 刘澜 汪娟 文子娟

西南交通大学, 交通运输学院, 成都 610031, China

摘要: 从现代城市的演化特点出发, 利用整体效率的思想, 把交通系统满足城市交通需求的正效应以及环境污染、能源消耗的社会负效应联系起来, 推导出在一定的经济、土地、环境、人口、交通设施的约束下交通结构与土地利用的多目标优化模型, 并且给出了模型的求解算法。从整体效率的角度研究城市土地利用, 能够为可持续发展的城市交通运输系统规划建设与土地利用提供理论依据。

关键词: 城市交通; 土地利用; 整体效率; 可持续发展; 交通系统

中图分类号: U491.12

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2007)01-0091-05

Research of Urban Land-use and Traffic Model Based on General Efficiency

JIANG Tao LIU Lan WANG Juan WEN Zi-juan

College of Traffic and Transportation,

Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

Abstract: From the characteristics of city's progress, using the idea of general efficiency, a multi-objective programming model under certain restrictions of economy, land, environment, population was deduced, in which satisfying the plus efficacy of transport demands and negative efficacy in environment pollution and resource consuming were concerned, then, a solving method was proposed at last. Research of land-use from general efficiency could provide theory assistance in urban transportation system sustainable development and the land-use.

Key words: Urban traffic, land-use, general efficiency, sustainable development, urban transportation system

收稿日期: 2006-02-28.

作者简介: 蒋涛(1981-), 男, 四川遂宁人, 硕士研究生, 研究方向: 交通运输规划与管理。

0 引言

现代城市的发展表现出向心聚集和离心分散的形式,城市由一个功能强大的中心城区和它的卫星城区组成,这些空间分离的区域称为一个组团。各个组团内部都有自己的产业结构,这种集群的组合方式为提高交通效率奠定了基础。组团内部由于合理的产业结构减少了组团之间交通生成,同时,组团与组团之间由高效、高速、大容量的运输系统衔接,使任何一个城市都能通过便捷的交通与周边组团实现分工协作和功能互补,促进各种要素跨越组团重新组合,把相对分离的组团聚合成一个整体。城市发展的这种集群特点能提高交通效率,并通过交通提升城市群体能力。缺少周边组团城市,中心城区交通压力难以分流,是城市交通难的重要原因,本文将探讨在城市发展的这一模式下如何规划城市土地与交通结构,使得整体交通效率最高,在这种总体交通效率最高的条件下,必将提高城市的整体竞争力和城市的机动能力。

结合向心聚集和离心分散的城市组团结构,笔者提出如图1所示的城市空间和交通网络形态作为研究对象。一个城市由中心城区和卫星城区组成,各个组团之间由各种等级的道路系统联系。这种空间形态可以通过调整各中心组团的规模、中心组团之间的距离和交通联系方式,变化成为单中心同心环、扇形、网络结构等不同的城市土地利用形态,因此,具有一定的普遍意义。这一空间形态具有如下特征:整个城市的空间外观为一个多中心的放射状城市体系,由一

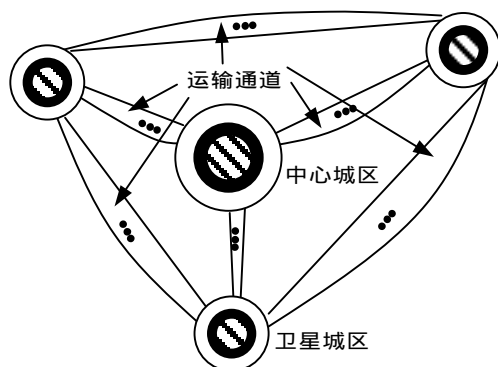


图1 研究对象的空间模型

Fig.1 Space model of study object

个中心城区和若干卫星城市组团构成;各组团自身的土地利用形态都具有单中心同心环结构。

1 整体效率的思想

系统、科学、合理地规划交通运输系统和土地利用,不仅要考虑交通供给和交通需求管理,更要注重最大化城市“交通运输效率”的实现。因为“交通运输效率”是城市交通供给规模和交通供需关系的重要因素。用“交通运输效率”可以把道路网络的建设费用投入、满足城市交通需求的正效应以及环境污染、能源消耗的社会负效应联系起来。

效率是描述投入与产出之间的一种关系。整体效率就是系统在所有相关的因素相互作用下表现出来的系统效率。如果将城市交通系统的投入以与交通系统的产出(这种产出包括满足城市交通需求的正效应和环境污染与能源消耗的负效)统一用交通效率的概念来衡量的话,则用交通运输系统的整体效率可以涵盖可持续发展的交通运输系统的社会可持续性、经济可持续性和环境可持续性的意义。从交通效率的角度研究城市交通规划理论,能够为可持续发展的城市交通运输系统的规划建设与土地利用提供理论依据^[2]。基于交通效率的城市土地利用与交通规划基本思路是,从道路交通网络的投入和产出两个角度出发,考虑道路网络的交通功能目标、环境保护目标和资源利用目标,建立能够反映道路网络总体交通效率的土地利用与交通模式。

从系统的角度出发,运用整体效率的思想研究城市交通系统与土地利用。

2 基于整体效率的城市交通结构与土地利用的优化模型

2.1 运输效率函数表达

从交通需求角度来说,人们对一个高效率交通系统的最基本要求是:以最短的时间、最佳的速度(包含安全性、舒适性等因素在内)到达最理想(最远或最

多)的目的地^[3]。这3个变量都可以作为城市交通效率的衡量标准,在此,笔者选择城市交通系统的总出行时间作为在一定土地利用情况下城市交通运输系统的效率度量指标。

如图1所示,城市由n个组团构成,其中包括1个中心城区和n-1个次级组团。各个组团之间有m种交通方式和k种道路等级。由于中心城区和组团之间的出行距离不是很远,所以,出行总时耗T应该是组团内部出行总时耗T₁和组团间出行总时耗T₂之和。即:

$$TT = T_1 + T_2 \quad (1)$$

组团内部出行总时耗T₁计算公式为:

$$T_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m f(T_{il}) Q_{il} \quad (2)$$

式中, f(T_{il})为第i个组团内、第l种交通方式的平均出行时间函数; Q_{il}为第i个组团内、第l种交通方式的出行总量。利用原单位法得:

$$Q_{il} = \sum_{x=1}^X S_{ix} P_{ix} r_{il} \quad (3)$$

式中, S_{ix}为第i个组团内第x种功能的土地面积; P_{ix}为第i个组团内第x种功能的土地的出行发生强度; r_{il}为第l种交通方式的分担率。

组团间出行总时耗T₂计算公式为:

$$T_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m \sum_{s=1}^k C_{ij} \frac{d_{ij}^s}{v_{ij}^{sl}} \quad (4)$$

式中, d_{ij}^s为第i个组团内和第j个组团之间s等级道路的距离,如果第i个组团内和第j个组团之间有s等级道路,那么, d_{ij}^s取实际值,如果第i个组团内和第j个组团之间没有s等级道路d_{ij}^s,那么, v_{ij}^s取值为0;为第i个组团内和第j个组团之间s等级道路的平均行驶速度; C_{ij}为第i个组团内和第j个组团之间的交通量,主要与组团之间的经济地理关系和各组团的人口规模等有关。利用重力模型得:

$$C_{ij} = \frac{\lambda_{ij} P_i^\alpha P_j^\beta}{e^{\zeta d_{ij}}} \quad (5)$$

式中, P_i为第i个组团内人口; λ_{ij}为第i个组团内和第j个组团之间的交通关联强度; α、β、ζ为待定参数。

综上所述

$$TT = T_1 + T_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m f(T_{il}) \left(\sum_{x=1}^X S_{ix} P_{ix} r_{il} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m \sum_{s=1}^k \frac{\lambda_{ij} P_i^\alpha P_j^\beta}{e^{\zeta d_{ij}}} \frac{d_{ij}^s}{v_{ij}^{sl}} \quad (6)$$

2.2 环境污染函数表达

城市交通排放的废气是城市大气污染的重要源头,由于很多建设不注重社会经济活动的环境代价,追求表面政绩,致使环境遭到巨大破坏。我国不但环境状况严峻,而且环境污染和生态破坏造成的经济损失也很大。据估计,仅计算污染损失就占GDP的3%~8%。我国科学家的研究估计大致在4%~5%。世界银行在1995年估计,中国的污染损失(仅大气和水这两项)一年共540亿美元,占1995年当年GDP的8%,如果加上生态破坏可能达到12%^[1],所以,交通规划与土地利用必须考虑环境(主要考虑大气)的承受力。假设污染物种类为G,则由交通系统组团间出行的第g种污染物可以表示如下:

$$PL_g = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^k \sum_{l=1}^m d_{ij}^s q_{ij}^{sl} \sigma_g(v_{ij}^{sl}) \quad (7)$$

式中, PL_g为第g种污染物的排放量; q_{ij}^s为组团第i个组团内和第j个组团之间s等级道路第l种交通方式的出行总量; σ_g(v_{ij}^{sl})为组团第i个组团内和第j个组团之间s等级道路第l种交通方式以速度v行驶时第g种污染物的排放因子函数。

组团内出行的第g种污染物可以表示如下:

$$PL'_g = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m \bar{l}_i Q_{il} \sigma_g(\bar{v}_i^l) = \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m \sum_{x=1}^X \bar{l}_i S_{ix} P_{ix} r_{il} \sigma'_g(\bar{v}_i^l) \quad (8)$$

式中, \bar{l}_i 为第i个组团内的平均出行距离; \bar{v}_i^l 为第i个组团内第l种交通方式的平均出行速度; $\sigma'_g(\bar{v}_i^l)$ 为第i个组团内第l种交通方式以速度 \bar{v} 行驶时第g种污染物的排放因子函数。

则污染物排放总量为:

$$PL = \sum_{g=1}^G (PL_g + PL'_g) = \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^k \sum_{l=1}^m d_{ij}^s q_{ij}^{sl} \sigma_g(v_{ij}^{sl})$$

$$+ \sum_{g=1}^G \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m \sum_{x=1}^X \bar{l}_i S_{ix} P_{ix} r_{il} \sigma'_g (\bar{v}_i^l) \quad (9)$$

2.3 能源消耗函数表达

交通出行的能源消耗主要是燃油的投入,在满足一定交通需求前提下,燃油消耗量越少,则交通效率越高。假设组团内部出行和组团间出行的燃油消耗是同一水平,则燃油消耗函数可表示如下:

$$ERC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^k \sum_{l=1}^m d_{ij}^s q_{ij}^{sl} \tau(v_{ij}^{sl}) + \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^m \sum_{x=1}^X \bar{l}_i S_{ix} p_{ix} r_{il} \tau'(\bar{v}_i^l) \quad (10)$$

式中,ERC为交通系统的能源消耗量; $\tau(v_{ij}^{sl})$ 为组团第*i*个组团和第*j*个组团之间*s*等级道路第*l*种交通方式以速度*v*行驶时的能源消耗函数。

2.4 数学模型的表达

一个城市的土地利用、交通系统和环境是互相影响的,结合上述关于交通效率、环境污染和能源消耗的函数表达,笔者把视点集中在城市土地利用和交通结构的关系上,提出基于整体效率的城市交通结构与土地利用优化模型:

$$\begin{aligned} & \min [TT \quad PL \quad ERC] \\ \text{st.} \quad & \sum_{i=1}^n S_{ix} = S_x \quad \sum_{i=1}^n P_i = P \\ & \frac{P_i}{\sum_{x=1}^X S_{ix}} \quad \rho_{oi} \quad \sum_{s=1}^k \sum_{l=1}^m q_{ij}^{sl} \lambda_l \quad C_{ij}^s \\ & PL_g \quad PL_{g \max} \quad ERC \quad ERC_{\max} \end{aligned}$$

式中, ρ_{oi} 为第*i*个组团内的人口密度阈值; λ_l 为第*l*种交通方式转化为标准车的系数; C_{ij}^s 第*i*个组团和第*j*个组团之间*s*等级道路的能力。

所有参数满足非负约束。需要求解的变量是各组团不同功能的面积*S_{ix}*,人口数*P_i*、各等级道路的空间距离*d_{ij^s}*以及各等级道路上合理的出行量*q_{ij^{sl}}*。模型的意义表现为,在某一既定的经济区域,给定土地资源、人口总量、人口密度、大气污染以及能源消耗的约束,如何调整城市空间结构对象中各组团的土地功能、面积、人口规模和它们的地域空间距离以及交通出行方式使得对应的城市交通系统的总出行时间、污

染物排放量、能源消耗最小化,从而达到的城市交通系统的整体效率最优。

3 模型的求解算法

优化模型是从整体效率角度出发,提出对城市土地利用形态和交通方式进行优化的一般性表达,在模型建立时进行了大量的简化和假设,模型本身仍然存在较大的复杂性和不确定性,这是由城市土地利用与交通系统的本质决定的。所以,即使从数学的角度求得最优解,但很可能因为与实际的规划实践有很大出入,而最终使这个数学上的最优解失去意义,但是,模型本身所叙述的土地利用优化和交通方式思路是清楚的。

任何一个城市的土地利用形态以及交通方式都

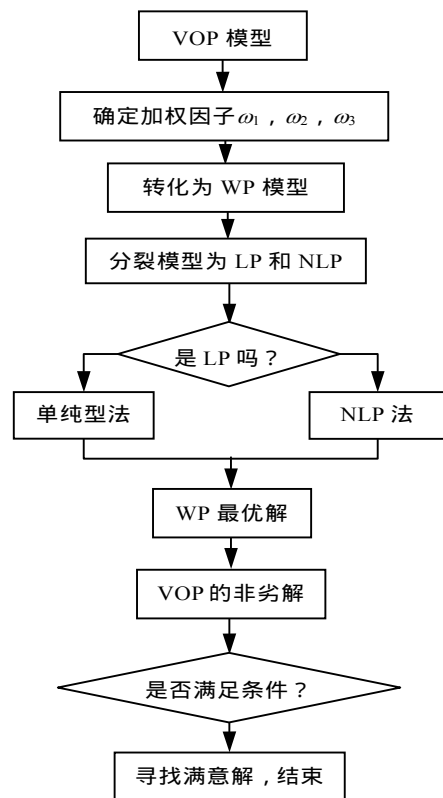


图2 基于整体效率的城市土地利用与交通方式优化模型求解流程

Fig.2 Flow chart of the optimal urban land-use and traffic modal based on general efficiency

是在一定的社会经济和自然空间下进行的,所以,组团之间的距离不可能由完全优化的结果确定,在很大程度上依赖于城市的历史发展以及自然形态,因此,各等级道路的空间距离 d_{ij}^s 可以看成是一个确定的常量。优化的目标就只有 S_{ix} , P_i 和 q_{ij}^{sl} 。第 3 个约束条件是关于人口密度的非线性约束,在规划的过程中,人口密度约束可以适当放宽,如果把它从约束条件中去掉,而在求出最优解后将人口密度作为附加的检验条件,予以适当的调整^[3],这样原优化模型就简化成一个约束条件线性的多目标规划问题。多目标规划问题又称向量最优化问题 (VOP-vector optimization problem),笔者采用加权法求解。通过一组加权因子 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$, 构造相应的单目标规划 (WP), 在一定条件下, WP 的最优解是 VOP 的非劣解,系统的改变加权因子 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 的值,求解一系列的 WP 问题,得到 VOP 的大量非劣解,构成近似的非劣集^[4]。

引入加权因子变成 WP 模型为:

$$\begin{aligned} & \min \omega_1 T_1 + \omega_2 T_2 + \omega_3 PL + \omega_4 ERC \\ \text{st.} \quad & \sum_{i=1}^n S_{ix} = S_x \quad \sum_{i=1}^n P_i = P, \\ & \sum_{s=1}^k \sum_{l=1}^m q_{ij}^{sl} \lambda_l \quad C_{ij}^s, \\ & PL_g \quad PL_{g \max} \quad ERC \quad ERC_{\max} \end{aligned}$$

参考文献

[1] 常永胜. 城市发展与城市交通效率的改进[J]. 华东经济管理, 2005, (4).
 [2] 王建伟, 陆化普. 基于交通效率的城市道路网方案比选研究[J]. 中南公路工程, 2004, (4).
 [3] 陆化普, 王建伟, 袁虹. 基于交通效率的大城市合理土地利用形态研究[J]. 中国公路学报, 2005, (3).

进一步研究发现, WP 中的第二项与其它项是互相独立的,所以, WP 模型可以分裂成线性规划 (LP) 模型和非线性规划模型 (NLP)。

$$\begin{aligned} (\text{LP}) \quad & \min \omega_1 T_1 + \omega_2 PL + \omega_3 ERC \\ \text{st.} \quad & \sum_{i=1}^n S_{ix} = S_x \quad \sum_{s=1}^k \sum_{l=1}^m q_{ij}^{sl} \lambda_l \quad C_{ij}^s, \\ & PL_g \quad PL_{g \max} \quad ERC \quad ERC_{\max} \end{aligned}$$

另一个模型为:

$$\begin{aligned} (\text{NLP}) \quad & \min \omega_1 T_2 \\ \text{st.} \quad & \sum_{i=1}^n P_i = P \end{aligned}$$

LP 模型可以用单纯型法求解,而 NLP 模型其实是一个二次规划,也很容易求解。所以,模型求解过程极大的简单化,具体求解过程见图 2。

4 结束语

模型的求解关键是参数的标定,如果参数标定不恰当,很有可能无法求解,以至于陷入理论正确但是缺乏实际应用的境地。但是,从整体效率的全新角度出发,把交通效率、环境污染与能源消耗统一起来的,形成一种可持续发展的交通规划思想,是对城市交通、土地利用和资源之间相互协调规划的有益尝试。

[4] 《现代应用数学手册》编委会编. 现代应用数学手册运筹学与最优化理论卷[M]. 北京:清华大学出版社, 1998: 323-326.
 [5] 吴世江, 史其信, 陆化普. 基于交通效率的城市公共交通路网布局模型[J]. 土木工程学报, 2005 (1).
 [6] 王炜, 陈学武, 陆建. 城市交通可持续发展理论与方法[M]. 北京:科学出版社, 2004.