

# 城市交通与土地利用互动机理研究

A Study on Mechanism of Interactions between Urban Transportation and Land-Use

杨励雅 邵春福 刘智丽 聂伟

(北京交通大学交通运输学院, 北京 100044)

YANG Liya, SHAO Chunfu, LIU Zhili, NIE Wei

(School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

**摘要:** 城市交通与土地利用之间存在着复杂的互动关系, 研究二者的互动机理, 对从根本上解决城市交通问题以及实现城市可持续发展具有重要的理论与现实意义。首先分析城市交通与土地利用的关系, 指出二者之间存在相互依存、相互促进的互动关系; 然后建立数学模型描述二者互动的方向及程度, 从模型稳定性分析可以看出, 当满足一定条件时, 二者能够达到一种“互补共生”的稳定平衡状态; 在此基础上, 结合实例对模型进行仿真, 验证了模型的稳定性条件; 最后, 基于二者的互动机理提出一些城市规划对策。

**Abstract:** Urban transportation and land-use are interrelated and interact with each other. In this paper, the interaction mechanism of urban transportation and land-use was investigated in great detail. Firstly, the interacting process of urban transportation and land-use was analyzed. Secondly, a model that represents the interaction mechanism was established. Using this model, the trend of interacting can be determined. Based on a stability analysis of the model, a conclusion was drawn that the interaction between urban transportation and land-use will reach a stable state of equilibrium when some conditions are satisfied. In addition, a simulation example was given to validate stability conditions of the model. As a result, this paper recommends some urban planning countermeasures based on the interaction mechanism.

**关键词:** 城市交通; 土地利用; 互动机理; 稳定性分析

**Key words:** urban transportation; land-use; interaction mechanism; stability analysis

中图分类号: U491

文献标识码: A

收稿日期: 2005-06-17

基金项目: 北京交通大学“十五”重大专项基金项目

作者简介: 杨励雅, 女, 北京交通大学博士研究生, 主要研究方向: 交通与土地利用。E-mail: liya\_yang@263.net

## 0 引言

城市交通与土地利用之间存在着复杂的互动关系。一方面, 土地利用形态是产生城市交通的源泉, 决定城市交通的发生、吸引及方式选择, 从宏观上规定了城市交通需求及供给模式, 不同的城市土地利用状况要求不同的城市交通模式与之相适应。另一方面, 城市交通系统的发展又对城市空间结构和土地利用形态产生反作用, 交通改变了城市各地区的可达性, 而可达性对城市用地的规模、强度及空间分布具有决定性作用。

研究城市交通与土地利用互动机理是制定交通政策和解决复杂城市交通问题的基础, 同时, 有助于解决如何以有限的土地资源实现最佳的利用效益, 对实现城市交通和城市的可持续发展具有重要意义。国内外学者对此进行了大量研究<sup>[1-6]</sup>。国内学者多侧重定性分析, 定量研究相对薄弱, 且定量研究多从静态角度出发, 较少反映二者之间的互动关系<sup>[4,7-11]</sup>; 国外学者在定量研究方面起步较早, 利用数学规划理论、微观经济学理论以及微观模拟的方法, 建立了大量描述出行、居住与就业之间关系的模型, 如Lowry模型、POLTS模型、MEPLAN模型、Kim模型等等, 但这些模型大都具有复杂的功能与细节, 不仅约束了模型的灵活性, 同时对基础数据的要求也越来越高, 一些学者开始致力于模型简化及模型有效性方面的研究<sup>[12]</sup>。

## 1 城市交通与土地利用的互动关系

城市交通与土地利用之间的互动关系，如图1所示。

在图1所示的关系链中，任一环节的改变都将给其他环节带来影响。城市中的土地开发，无论是商业、工业还是居住，都会使交通需求增加，从而对交通设施提出更高要求。通过交通设施的改善，使交通容量扩大，该地区的交通可达性提高，造成地价上升，这样又会吸引开发商进一步的开发，土地利用与城市交通互动机理进入新的循环。该循环过程是一个正反馈的过程，但该过程不可能无限进行下去。这是因为，城市交通设施发展到一定程度后是难以通过改建来增加其容量的，从而当土地开发超过一定强度时，所引发的交通流将使得某些路段出现拥挤现象，导致已开发区域可达性下降，土地利用边际效益也随之下降，该地区的土地开发将会受到抑制。

由此可见，城市交通与土地利用之间是一种相互依存、相互促进的互动关系，二者通过一系列的循环反馈过程，将有可能达到一种“互补共生”的稳定平衡状态。

## 2 城市交通与土地利用互动机理模型

这里，通过建立数学模型来描述城市交通与土地利用互动的方向、程度及其含义，为二者关系的研究提供理论依据。

### 2.1 模型假设及说明

为简化模型及叙述方便，进行以下假设和符号说明：

1) 影响土地利用的交通参数包括交通容量、交通需求、可达性等等；影响交通的土地利用参数则包括土地利用规模、土地利用密度、人口密度等等<sup>[1]</sup>。为简化模型，深入分析城市交通与土地利用互动的实质，分别选用交通容量和土地利用密度表示模型中的交通参数和土地利用参数。

2) 假设城市交通和土地利用不受对方影响而独立发展时服从Logistic扩散规律。

3)  $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 分别表示t时刻城市某地区的交通容量和土地利用密度。

4)  $r_1$ 和 $r_2$ 分别表示城市某地区交通容量和土地利用密度的固有增长率，假设均为常数，可根据统计数据或经验确定。

5)  $N_1$ 和 $N_2$ 分别表示交通容量和土地利用密度各自独立增长时，城市某地区所能达到的最大交通容量和最大土地利用密度，假设为有限常数。

6)  $\alpha_1$ 表示城市某地区土地利用密度对交通容量的促进程度， $\alpha_2$ 表示城市某地区交通容量对土地利用密度的促进程度，二者均为大于零的常数。

### 2.2 模型的建立

城市交通与土地利用相互影响、相互促进的互动机理可以用如下数学模型来描述：

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = r_1 x_1 \left(1 - \frac{x_1}{N_1} + \alpha_1 \frac{x_2}{N_2}\right), & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dx_2}{dt} = r_2 x_2 \left(1 - \frac{x_2}{N_2} + \alpha_2 \frac{x_1}{N_1}\right), & (2) \end{cases}$$

其中， $\frac{dx_1}{dt}$ 和 $\frac{dx_2}{dt}$ 分别表示城市某地区交通容量和土地利用密度的增长率；因子 $(1 - \frac{x_1}{N_1})$ 和 $(1 - \frac{x_2}{N_2})$ 分别反映交通容量和土地利用密度独立发展时服从Logistic规律， $(1 - \frac{x_1}{N_1})$ 表示最大容许交通容量对交通容量自身增长的阻滞作用， $(1 - \frac{x_2}{N_2})$ 表示最大容许土地利用密度对土地利用密度自身增长的阻滞作用；因子 $(\alpha_1 \frac{x_2}{N_2})$ 和 $(\alpha_2 \frac{x_1}{N_1})$ 则分别反映单位土地利用密度对交通容量的促

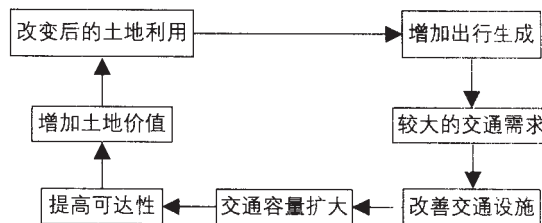


图1 城市交通与土地利用的互动过程

Fig.1 Interacting process of urban transportation and land use

进作用以及单位交通容量对土地利用密度的促进作用。

### 2.3 模型稳定性分析

为研究城市交通与土地利用互动反馈的结果是否达至一定的平衡点以及平衡点是否稳定，需要对模型进行稳定性分析，即分析t 时， $x_1(t)$ 及 $x_2(t)$ 的趋向。

将式(1)、式(2)等式右端为零，得到如下代数方程

$$\begin{cases} r_1 x_1 (1 - \frac{x_1}{N_1} + \frac{x_2}{N_2}) = 0, & (3) \\ r_2 x_2 (1 + \frac{x_1}{N_1} - \frac{x_2}{N_2}) = 0. & (4) \end{cases}$$

根据微分方程组稳定性理论<sup>[13]</sup>，代数方程组(3)、(4)的实根即为微分方程组(1)、(2)的平衡点，求解得到如下平衡点： $P_1(0,0)$ ， $P_2(N_1,0)$ ， $P_3(0,N_2)$ ， $P_4(\frac{N_1(1+\beta_1)}{1-\beta_1\beta_2}, \frac{N_2(1+\beta_2)}{1-\beta_1\beta_2})$ 。为使问题具有实际意义，首先应满足各点均在平面坐标系的第一象限，所以对 $P_4$ 要求 $\beta_1\beta_2 < 1$ 。显然，只有平衡点 $P_4$ 反映城市交通与土地利用相互依存相互促进的共生关系，因此着重对 $P_4$ 点进行稳定性分析(事实上， $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ 是不稳定的)。为了方便，在相平面上对 $P_4$ 进行稳定性分析。记

$$(x_1, x_2) = 1 - \frac{x_1}{N_1} + \frac{x_2}{N_2}, \quad (5)$$

$$(x_1, x_2) = 1 - \frac{x_2}{N_2} + \frac{x_1}{N_1}. \quad (6)$$

直线 $\phi=0$ 和 $\psi=0$ 将相平面 $(x_1, 0, x_2, 0)$ 划分为四个区域 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ (见图2)，且满足

$$S_1: \frac{dx_1}{dt} > 0, \frac{dx_2}{dt} < 0; \quad (7)$$

$$S_2: \frac{dx_1}{dt} > 0, \frac{dx_2}{dt} > 0; \quad (8)$$

$$S_3: \frac{dx_1}{dt} < 0, \frac{dx_2}{dt} > 0; \quad (9)$$

$$S_4: \frac{dx_1}{dt} < 0, \frac{dx_2}{dt} < 0. \quad (10)$$

对 $P_4$ 的稳定性分析如下：

如果轨线从 $S_1$ 出发，由式(7)可知随着t的增加轨线将向右下方运动，那么它或者趋向 $P_4$ ，或者分别进入 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ ；

如果轨线从 $S_2$ 出发，由式(8)可知随着t的增加轨线将向右上方运动，那么它或者趋向 $P_4$ ，或者进入 $S_4$ (可以证明，轨线从 $S_2$ 出发，不可能进入 $S_1$ 和 $S_3$ )；

如果轨线从 $S_3$ 出发，由式(9)可知随着t的增加轨线将向左上方运动，那么它或者趋向 $P_4$ ，或者分别进入 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_4$ ；

如果轨线从 $S_4$ 出发，由式(10)可知随着t的增加轨线将向左下方运动，那么它或者趋向 $P_4$ ，或者进入 $S_2$ (可以证明，轨线从 $S_4$ 出发，不可能进入 $S_1$ 和 $S_3$ )。

从以上分析可以看出，无论轨线从哪个区域出发，t 时都将趋向 $P_4(\frac{N_1(1+\beta_1)}{1-\beta_1\beta_2}, \frac{N_2(1+\beta_2)}{1-\beta_1\beta_2})$ ，因此 $P_4$ 是稳定的平衡点，轨线的变化趋向如图2所示。

### 2.4 $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$ 演化趋势的稳定平衡条件

从模型稳定性分析可以看出，只要满足条件 $\beta_1\beta_2 < 1$ ， $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$ 的演化结果就能达至一个稳定的平衡点 $P_4$ 。因此， $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$ 演化趋势的稳定平衡条件为：

$$\beta_1 < 1, \beta_2 < 1, \beta_1\beta_2 < 1 \quad (11)$$

$$\text{或 } \beta_1 > 1, \beta_2 < 1, \beta_1\beta_2 < 1 \quad (12)$$

$$\text{或 } \beta_1 < 1, \beta_2 > 1, \beta_1\beta_2 < 1. \quad (13)$$

## 3 实例仿真

假设城市某地区的初始交通容量 $x_1(0)=5000$  pcu，固有增长率为10%，独立发展所能达到的最大值 $N_1=7000$  pcu；初始土地利用密度 $x_2(0)=0.25$ ，固有增长率为8%，独立发展所能达到的最大值 $N_2=0.30$ 。为验证前述模型稳定平衡条件，运用Simulink仿真软件分别对条件(11)、(12)、(13)下 $x_1(t)$ 与 $x_2(t)$ 的演化趋势进行模拟，各条件下 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 的取值如表1所示，模

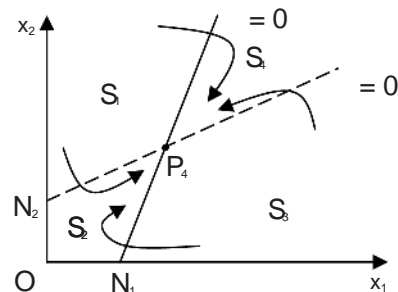


图2  $P_4$ 稳定的相轨线运动趋势图  
Fig.2 Phase trajectory of  $x_1$  and  $x_2$  towards point  $P_4$

拟结果见图3、图4。

从图3、图4中可以看出,当  $\alpha_1=0.15$ ,  $\alpha_2=0.20$  (即满足条件(11))时,  $x_1(t)$ 及 $x_2(t)$ 的演化曲线变化缓慢平稳,随着时间的增加分别趋向一个较为固定的常数,即达到了稳定平衡状态,在该状态下,  $x_1(t)=8\ 299$  pcu,  $x_2(t)=0.37$ , 均大于各自独立发展所能达到的最大值,符合交通容量与土地利用密度协调发展的要求;当  $\alpha_1=1.20$ ,  $\alpha_2=0.20$ (即满足条件(12))时,  $x_1(t)$ 及 $x_2(t)$ 的演化曲线虽然趋向稳定平衡状态,但 $x_1(t)$ 的演化曲线在较短时间内由初始值5 000 pcu急剧增长到20 263 pcu,在实际规划中这种变化是难以通过改善交通设施来实现的;当  $\alpha_1=0.15$ ,  $\alpha_2=1.50$ (即满足条件(13))时,  $x_1(t)$ 及 $x_2(t)$ 的演化曲线也趋向稳定平衡状态,但稳定平衡状态下,  $x_2(t)$ 的值高达0.97,显然不符合实际。

以上表明,尽管在条件(11)、(12)、(13)下,  $x_1(t)$ 及 $x_2(t)$ 均能达到稳定平衡状态,但只有条件(11)最符合交通与土地利用协调发展的实际要求。

#### 4 结语

研究城市交通与土地利用的互动机理,对从根本上解决复杂交通问题以及实现城市交通与土地利用的可持续发展具有重要的理论与现实意义。本文得到了如下研究成果:

1) 建立了城市交通与土地利用的互动机理模型。从模型的稳定性分析可以看出,无论初始状态如何,只要满足  $\alpha_1 \alpha_2 < 1$ ,即城市交通需求和土地利用密度相互促进作用的综合效应不是太大时,双方就能达到一种“互补共生”的稳定平衡状态。在稳定平衡状态,城市交通需求量与土地利用密度分别为  $\frac{N_1(1+\alpha_1)}{1-\alpha_1\alpha_2}$ ,  $\frac{N_2(1+\alpha_2)}{1-\alpha_1\alpha_2}$ ,且  $\frac{N_1(1+\alpha_1)}{1-\alpha_1\alpha_2} > N_1$ ,  $\frac{N_2(1+\alpha_2)}{1-\alpha_1\alpha_2} > N_2$ ,即二者均大于各自独立发展时所能达到的最大值。否则,若不满足  $\alpha_1 \alpha_2 < 1$ ,即二者相互促进作用过大,城市交通与土地利用的发展将偏离稳定的平衡状态,其结果是土地过度开发、交通容量超过土地承载能力,最终导致城市发展偏离可持续发展的方向。

2) 实例仿真进一步验证了模型的稳定平衡条件。仿真结果表明:在满足  $\alpha_1 \alpha_2 < 1$ 的条件下,  $x_1(t)$ 及 $x_2(t)$

的演化过程均达到了稳定平衡状态,其中,当  $\alpha_1 < 1$ ,  $\alpha_2 < 1$ ,  $\alpha_1 \alpha_2 < 1$ 时,  $x_1(t)$ 及 $x_2(t)$ 的演化过程最能反映交通与土地协调发展的实际要求。

3) 本文在建模过程中,抓住交通与土地利用互动

表1 各平衡条件下  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 的取值

Tab.1 Supposed value of parameters

条件	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1 \alpha_2$
条件(11)	0.15	0.20	0.03
条件(12)	1.20	0.20	0.24
条件(13)	0.15	1.50	0.225

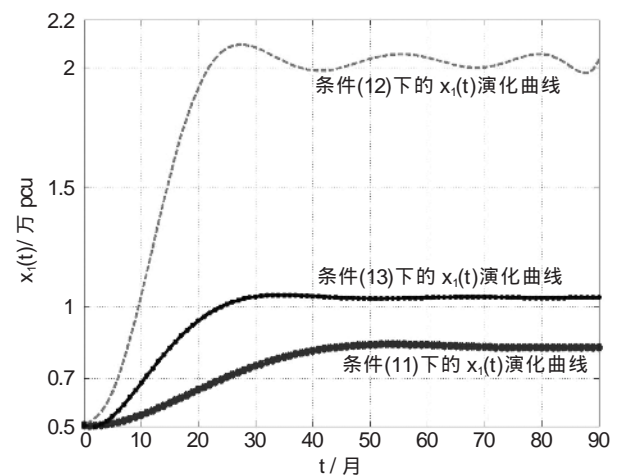


图3 不同平衡条件下 $x_1(t)$ 的演化曲线图

Fig.3 Movement curves of  $x_1(t)$  under different equilibrium conditions

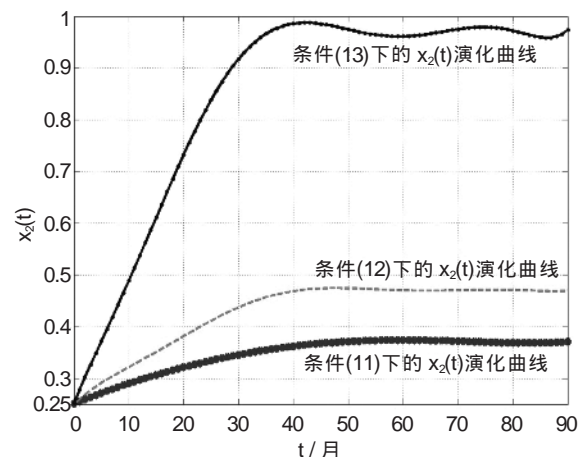


图4 不同平衡条件下 $x_2(t)$ 的演化曲线图

Fig.4 Movement curves of  $x_2(t)$  under different equilibrium conditions

机理的实质, 分别用交通容量和土地利用密度表示模型中的交通参数和土地利用参数, 因而得到城市某地区交通容量与土地利用密度的互动关系。在实际问题中, 也可选用其他参数, 例如分别用交通可达性和地价作为模型中的交通参数和土地利用参数, 将得到城市某地区交通可达性与地价的互动关系。当然, 也可以同时考虑若干个因素(交通需求、可达性、地价、土地利用密度、土地混合利用程度等等)的综合互动效应, 但模型将变得非常复杂。

4) 鉴于城市交通与土地利用的互动关系在城市发展中的重要意义, 在实践中应考虑:

城市交通规划与土地利用规划必须紧密结合, 在不同层次上取得密切配合与协调, 这是实现交通与用地系统整体优化, 发挥二者共生优势的基础。

建设基于公共交通的城市交通模式, 确立公交优先政策。城市公共交通尤其是城市轨道交通以速度快、运量大、能耗低的绿色方式, 在承担城市居民出行服务的同时, 可以拉动和优化土地利用布局<sup>[14]</sup>, 使城市交通与土地利用的发展实现稳定的平衡状态。

发展公交导向的土地开发模式。特定的交通模式需要特定的土地开发模式予以支持, 公交导向的土地开发模式是发展城市公共交通的重要保证。发展公交导向的土地开发模式可以采取很多措施, 如在进行土地开发时尽量缩短居民往返车站的距离、加大公交站距、完善轨道交通与土地综合开发投资政策等等。

#### 参考文献

- 1 Tomas De La Barra. Integrated Land Use and Transport Modeling [M]. England: Cambridge University Press, 1989
- 2 W.R.Bluden, J.A.Black.The Land use/Transportation System, 2nd Edition [M]. Germany: Pergamon Press SARLL, 1984
- 3 杨励雅, 邵春福.城市交通、土地利用及环境协调关系的灰色模型研究 [A].北京交通大学.全国博士学位学术论坛文集 [C].北京:中国铁道出版社, 2005: 287~291
- 4 邵德华.试论城市轨道交通对土地空间的利用 [J].城市话题, 2002, (4): 32~35

- 5 何宁, 顾保南.城市轨道交通对土地利用的作用分析 [J].城市轨道交通研究, 1998, (10): 32~36
- 6 刘金玲, 曾学贵.基于定量分析的城市轨道交通与土地利用一体化规划研究 [J].铁道学报, 2004, (6): 13~19
- 7 陈峰, 阚叔愚.土地利用与交通相互作用理论探讨 [J].中国土地科学, 2001, (5): 27~30
- 8 范炳全, 等.城市土地利用与交通综合规划研究 [J].城市规划, 1999, (11): 48~50
- 9 杨明, 等.城市土地利用与交通需求相关关系模型研究 [J].公路交通科技, 2002, (2): 72~75
- 10 杨励雅, 邵春福.基于随机效用理论的组团状城市土地开发选择行为研究 [A].中国工程院.中国综合交通运输发展战略 [C].西安:西安交通大学出版社, 2004. 285~291
- 11 毛蒋兴, 阎小培.我国城市交通系统与土地利用互动关系研究评述 [J].城市规划汇刊, 2002, (4): 34~37
- 12 王辑宪.国外城市土地使用与交通一体化规划的方法与实践 [J].国外城市规划, 2000, (1): 5~9
- 13 姜启源.数学模型 [M].北京:高等教育出版社, 1995
- 14 邵春福.公交优先与城市发展 [J].建设科技, 2004, (12): 20~21

## 本刊声明

- 1 本刊对所发作品享有中文专有版权(包括电子版权), 征得本刊及作者同意后可转载。
- 2 本刊所载内容仅代表作者观点, 不代表编辑部立场。
- 3 本刊对来稿保留修改权, 有特殊要求者请事先声明。
- 4 本刊来稿一般不退, 敬请作者自留底稿。
- 5 本刊在城市交通规划、设计、建设、管理、科研、运营等领域寻求协作办刊单位。
- 6 本刊增设“专业服务机构名录”, 相关事宜请与杂志社联系。