

# 城市跨江轨道交通对居住用地分化的影响 ——以湖北省武汉市为例

王 昆<sup>1</sup>, 宋振江<sup>2</sup>, 杨 俊<sup>3</sup>

(1.武汉市规划研究院, 湖北 武汉 430014; 2.华南农业大学经济管理学院, 广东 广州 510642; 3.东华理工大学测绘工程学院, 江西 南昌 330013)

**摘要:** 在当前城市交通系统建设中, 城市跨江轨道交通建设对城市居住用地分化产生极大影响。利用结构方程模型, 对武汉市跨长江地铁线路——2号线金银潭站、范湖站、积玉桥站3个典型车站的土地利用格局进行度量, 并结合现状予以分析。研究表明: 城市跨江轨道交通的开通使长江两岸交通互通性得以提升, 进而引发高档住宅在城市跨江轨道交通沿线的集聚效应; 城市跨江轨道交通的开通使沿线地价上涨、土地利用效率提升、土地利用格局变化, 在商业服务、居住用地格局升级的同时, 受市场杠杆的调节作用影响居住用地形成圈层式居住等级变化。

**关键词:** 城市跨江轨道交通; 居住用地分化; 结构方程模型; 武汉市

**Impact of Urban Cross-River Rail Transit on the Differentiation of Residential Land: A Case Study in Wuhan, Hubei Province**

Wang Kun<sup>1</sup>, Song Zhenjiang<sup>2</sup>, Yang Jun<sup>3</sup>

(1.Wuhan Planning & Design Institute, Wuhan Hubei 430014, China; 2. College of Economics & Management, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong 510642, China; 3.Faculty of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang Jiangxi 330013, China)

**Abstract:** The construction of urban cross-river rail transit has a great impact on the differentiation of urban residential land use. Based on structural equation model, this paper assesses the land use development at three typical stations, i.e. Jinyintan, Fanhu, and Jiyuqiao Stations of the cross-river subway line 2 in Wuhan. The results show that the development of urban cross-river rail transit has improved the transportation connection between the two sides of the Yangtze River, resulting in agglomeration effect of high-end residential buildings along the urban cross-river rail transit. The operation of urban cross-river rail transit has increased the land price along the rail transit as well as the land use efficiency, while brought about change in land use layout. While the commercial services and residential land layout undergoes upgrading, a hierarchy of residential land is promoted by market leverage.

**Keywords:** urban cross-river rail transit; residential land differentiation; structural equation model; Wuhan

收稿日期: 2016-05-27

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费资助项目“中部城市圈节约集约用地信息化控制技术研究”(201511009)

作者简介: 王昆(1986—), 男, 湖北仙桃人, 硕士, 规划师, 主要研究方向: 土地规划、多规融合等。E-mail: hsfhwqwk1986@163.com

通信作者: 宋振江(1991—), 男, 辽宁鞍山人, 在读博士研究生, 主要研究方向: 森林资源与环境、土地利用与管理。E-mail: tgsongzhenjiang@126.com

## 0 引言

城市轨道交通建设是城镇化进程中不可忽略的重要因素, 对地价、房价变动具有驱动作用, 对城市居住用地分化具有重要影响。针对城市轨道交通对居住用地房价的影响, 国外学者通过对多伦多、费城、赫尔辛基等城市的实证研究证实城市轨道交通的建

设导致沿线居住用地地价、房价上涨, 涨幅为1.7%~10.6%<sup>[1-2]</sup>, 且距离城市轨道交通车站越远, 轨道交通对房价的影响越小<sup>[3]</sup>。中国学者对北京、上海、南京、杭州、沈阳等城市地铁沿线房价影响进行实证研究, 结果表明地铁对沿线房价具有提升作用, 且提升幅度具有极大的离散性, 幅度从10%左右到2~3倍<sup>[4-6]</sup>。房价上涨带来城市居住用地开发

强度提高,体现为居住用地容积率上升(香港和日本的容积率高达5~12)、高层住宅鳞次栉比<sup>[7]</sup>。对此,文献[8]基于TOD模式提出,合理的轨道交通换乘站周边居住用地容积率应相对较高且为高档高层居住小区,以优化土地利用效率。文献[9]研究得出城市轨道交通枢纽用地综合开发容积率的建议值,认为市级枢纽、片区级枢纽的建议容积率应分别为4.5~6.5和4.0~6.0,中心组团级和外围组团级枢纽的建议容积率应为3.5~5.5和2.5~4.5。

区位差异对房价亦有影响,体现为城市轨道交通在郊区比中心城区更能够影响居住用地房价,原因在于中心城区的轨道交通车站多选择在原有商业服务聚集、人流密度高、高地价处,而郊区则随城市轨道交通的延伸逐渐步入城镇化序列。与此同时,城市轨道交通的核心区站、区域中心站、次级区域中心站、新城中心站等因其区位优势而对沿线房价有较明显影响,主要表现在商业服务聚集度、公共服务、交通便利度等存在差异致使居住用地上的房屋类型、档次、价格不同<sup>[10-11]</sup>。这种区位差异导致城市轨道交通居住用地的分异。文献[12]以南京地铁为例,研究发现地铁沿线的居住用地表现出明显的廊道效益(即从轨道交通线向两侧居住用地面积逐步递减),纵向比较表现出沿线居住用地面积逐年扩大、高档住宅区比例增加,并且地铁在提升交通通达性的同时通过地价疏解旧城区人口向郊区迁移<sup>[12]</sup>,致使城市内各种用地性质发生重构、城市贫富居住用地分化<sup>[13]</sup>。

轨道交通对房价影响及贫富居住用地分化具有反向性与时效性特征。反向性由区位差异而来,表现为城市轨道交通在中低收入人口集聚的郊区呈现对居住用地房价正向影响,而在高收入人群居住区(尤其是别墅区)开拓轨道交通可能带来低收入人群在周围居住而使房价走低。调研发现高薪阶层由于出行方式可选择范围更大,故而更愿选择远离城市轨道交通且风景秀美、恬静地段居住<sup>[14]</sup>。新增高层高档住宅多分布在新城中心站等原郊区地段,居住郊区化状态导致郊区房价剧增,而老城区轨道交通沿线居住用地地价呈现增长乏力的特征<sup>[15]</sup>。时效性则表现在施工前的超前性影响与施工中的反向性。超前性影响主要表现为城市轨道交通在规划期即成为地产商的销售噱头以销售期房,而轨道交

通建设期的现房则受施工期环境等因素的负面影响,其开通营运后二者影响逐步减弱<sup>[16]</sup>。此外,文献[17]提出,城市副中心与轨道交通协同地区使城市地价空间分布得以优化是城市居住用地贫富格局分化的动因;文献[18]提出城市轨道交通车站对人口、土地开发具有吸引效应,加之空间可达性不同,导致土地利用的空间分异效应,在地价的驱动下居住用地和住宅级别亦由此显现。

上述研究对城市跨江轨道交通对城市居住用地分化的系统性驱动研究鲜有论述,且多为基于个别因素对地价、房价、城市空间格局变化等领域加以研究,缺乏系统的研究体系,对综合性评价和诊断城市轨道交通对居住用地分化问题的根源和发生机制尚十分缺乏。因此,本文主要致力于对城市跨江轨道交通对居住用地分化的表现形式、现状态势等进行研究,并以典型区域为例进行实证评价,进而丰富关于城市跨江轨道交通对居住用地分化影响问题研究的理论体系。

## 1 研究对象

湖北省武汉市位于长江中游流域,地处长江中下游平原,江汉平原东部,位列长江中游城市群中,长江穿城而过,其地理位置被誉为“九省通衢”以彰显其交通优越性。武汉市国土面积8 594.41 km<sup>2</sup>,建成区面积552.61 km<sup>2</sup>。武汉市是中国中部地区的核心城市,是武汉城市圈的核心,是长江经济带战略中沿江的重要节点城市,是中部地区发展的引擎,在长江经济带发展中具有举足轻重的作用<sup>[19-20]</sup>。

当前武汉市拥有地铁1号线(一期、二期、汉口北延长线)、2号线一期、3号线一期、4号线(一期、二期)等4条城市轨道交通线路,共7个换乘节点,联通武汉三镇,总里程125.42 km。本文选取2012年12月28日开通的地铁2号线一期作为研究对象(见图1),该线路为金银潭—光谷广场,全长27.73 km,设站21个,联通长江两岸,横贯武汉,是典型的城市跨江轨道交通线路,有利于衡量城市跨江轨道交通对居住用地分异的影响。

研究数据包括由Google Earth获取的武汉市2005年和2015年的影像(其中交通、居住用地、商业服务用地等技术数据通过矢量化获取)、源于《武汉市统计年鉴》的社会

经济数据等构成。对于城市跨江轨道交通对沿线居住用地的影响范围问题,欧美学者认为该影响范围半径一般为0.5~0.8 km,中国学者选取的范围为0.4~2.5 km(0.4~0.8 km方差最小)<sup>[21-22]</sup>。因此本文选取半径为0.5 km的范围作为影响缓冲区。与此同时,为弥补定量研究的缺陷,辅以访谈调研方式对利益相关者进行走访,调查内容为地铁站缓冲区1.5 km内居民对商业服务机构的偏好,以此统计调查对象居住地距地铁站核心商业服务机构聚集圈的距离,进而综合得出商业服务机构辐射度。本文采用重点调查的方式,对选取的3个典型地铁站(金银潭、范湖、积玉桥)分别抽取200名调查对象进行访谈,其中有效访谈526份,有效率87.67%,综合访谈数据,并通过影像测量调查对象居住地距地铁站核心商业服务机构聚集圈的距离显示:金银潭、范湖、积玉桥地铁站区域商业服务机构服务辐射半径分别为700 m,1 100 m,1 000 m,该数据用以衡量区域商

业服务便利性以及对区域地价的拉动性,进而为探索城市跨江轨道交通对居住用地分化影响提供支撑。

## 2 研究模型与方法

结构方程模型 (Structural Equation Modeling, SEM)是一种融汇回归分析、路径分析、因子分析和方差分析的多变量复杂关系模型。该模型的优势在于可分析多因多果的观测变量间的联系以及潜变量之间的关系,并能够模拟多因子的内在逻辑关系,模型中既含有观测变量,又含有无法直接观测的潜变量<sup>[23-25]</sup>。结构方程模型分为测量方程 (Measurement Equation, ME)和结构方程 (Structural Equation, SE)两部分,测量方程用以描述潜变量与观测变量之间的关系,结构方程用以描述潜变量之间的关系,观测变量含有随机误差和系统误差<sup>[26-27]</sup>。



图1 武汉市现状轨道交通线网

Fig.1 Rail transit network in Wuhan

资料来源:武汉地铁集团有限公司 <http://www.whrt.gov.cn/>。

## 2.1 测量方程

测量方程描述潜变量(内生潜变量  $\eta$ 、外生潜变量  $\xi$ )与观测变量(测量指标  $y$ 、 $x$ )之间的关系。

$$\begin{aligned} x &= \Lambda_x \xi + \delta \\ y &= \Lambda_y \eta + \varepsilon \end{aligned} \quad (1)$$

式中： $x$  为  $q$  个外生观测变量组成的  $q \times 1$  向量； $\Lambda_x$  为外生观测变量( $x$ )在外生潜变量( $\xi$ )上的  $p \times m$  因子负荷矩阵； $\xi$  为  $n$  个外生潜变量组成的  $n \times 1$  向量； $\delta$  为外生观测变量( $x$ )的误差项； $y$  为  $p$  个内生观测变量组成的  $p \times 1$  向量； $\Lambda_y$  为内生观测变量( $y$ )在内生潜变量( $\eta$ )上的  $q \times n$  因子负荷矩阵； $\eta$  为  $m$  个内生潜变量组成的  $m \times 1$  向量； $\varepsilon$  为内生观测变量( $y$ )的误差项<sup>[26]</sup>。

## 2.2 结构方程

结构方程用以描述潜变量之间的关系。

$$\eta = B\eta + \Gamma\xi + \xi, \quad (2)$$

式中： $B$  为内生观测变量之间的相互影响效应系数； $\Gamma$  为外生观测变量对内生潜变量的影响效应系数，即外生潜变量对内生潜变量的影响效应系数； $\xi$  为  $\eta$  的残差向量。

## 2.3 基于PLS-SEM的参数估计

结构方程模型主要有两大类参数估计方法：一是基于最大似然估计(ML)的协方差结构分析方法，用以衡量实证数据与理论模型的拟合程度；二是基于偏最小二乘(PLS)的结构方程模型，用以反映实证研究数据变量对研究对象的影响程度。本文探索轨道交通对城市土地利用格局变化的影响，因此采用PLS方法求解结构方程模型，以使方程误差项最小化，提高研究精度。

参数估计的目的在于获取变量间、模型未能解释部分、变量测量上的误差等指定参数，其能够反映各关系的强弱程度。基于PLS-SEM的参数估计步骤为：1)反复迭代以得到潜变量的估计值；2)通过偏最小二乘法进行线性回归以得到测量方程和结构方程的参数估计值。

## 3 实证研究

### 3.1 变量释义

#### 3.1.1 内生变量

城市跨江轨道交通对居住用地分化影响

的内生变量为沿线居住用地出让价格(见表1)。沿线居住用地出让价格对应的观测变量为居住用地的单位面积基准价格，该变量设置的目的在于探索城市轨道交通建设对房价增长、房地产开发的影响，用以分析城市跨江轨道交通对居住用地等级、居住用地贫富分异的影响。

#### 3.1.2 外生变量

外生变量主要包含商业服务机构的聚集性、辐射性，以及居住用地的工作便利性、交通便利性、生活便利性(见表1)。

商业服务机构的存在对居住用地的生活便利性产生巨大影响，因此测量商业服务机构的聚集性和辐射性以衡量其对居住用地生活便利性乃至居住用地分化的影响。对商业服务机构聚集性的研究在于探索地铁站对商业的吸引程度，故而文献[21, 28]设定商业服务机构密度、聚集半径等观测变量加以测量。而文献[21, 29]认为商业服务机构辐射度变量是对不同城市跨江轨道交通车站商业影响程度(进而影响土地利用格局)的衡量，并采取问卷调查形式调查区域内消费者(调查区域范围选择为地铁站1 500 m缓冲区)对商业服务机构的偏好，以此统计调查对象居住地距地铁站核心商业服务机构聚集圈的距离，进而综合得出商业服务机构辐射度。因此本文采用商业服务机构服务半径对影响范围内土地利用格局加以研究。

文献[21, 30]研究表明，居住用地工作、交通、生活的便利性对购房需求产生影响，其对地价的影响是导致城市贫富居住分布分异的重要因素，因此通过测量观察变量居住

表1 城市跨江轨道交通对土地利用格局变化的影响变量

Tab.1 Effect variables of urban cross-river rail transit on changes in land use layout

项目	潜变量	观测变量
内生变量	沿线居住用地出让价格 $\eta_1$	居住用地的单位面积基准价格 $y_1 / (\text{万元} \cdot \text{m}^2)$
	商业服务机构聚集性 $\xi_1$	商业服务机构密度 $x_1 / (\text{户} \cdot \text{m}^2)$ 商业服务机构聚集半径 $x_2 / \text{m}$
外生变量	商业服务机构辐射性 $\xi_2$	商业服务机构服务半径 $x_3 / \text{m}$
	居住用地工作便利性 $\xi_3$	居住用地至政府机构的距离 $x_4 / \text{m}$
		居住用地至企业的距离 $x_5 / \text{m}$
	居住用地交通便利性 $\xi_4$	居住用地至地铁站的距离 $x_6 / \text{m}$
		居住用地至公共汽车站的距离 $x_7 / \text{m}$
居住用地生活便利性 $\xi_5$	居住用地至商业服务用地的距离 $x_8 / \text{m}$ 居住用地至公共服务机构的距离 $x_9 / \text{m}$	

用地至政府机构、企业、地铁车站、公共汽车站、商业服务用地、公共服务机构的距离探究其对居住用地利用格局分异的影响，进而剖析其对城市居住用地分化的影响。

### 3.2 实验样点与典型数据分析

文章选取武汉地铁2号线的3个典型车站区域作为实验样点，分别为金银潭地铁站区域(地铁2号线起始点，长江西岸)、范湖地铁站区域(地铁2号线与地铁3号线换乘点、汉口繁华区，长江西岸)、积玉桥地铁站区域(武昌城区繁华地段，长江东

岸)。通过对三处样点2005年与2015年影像及用地类型进行对比，可以看出武汉市地铁对城市居住用地格局变化的巨大影响(见图2)。本文以金银潭地铁站为例，分析居住用地、商业服务用地的建设情况，通过对初始数据的分析探究居住用地分化机理，并简要介绍范湖、积玉桥地铁站的研究结果。

#### 1) 金银潭地铁站区域。

2005年金银潭地区土地性质为农村集体土地，该区域存在农用地、荒地、农民自建房、企业生产建设用地等。地铁开通后(2015年)，农用地转换为工业用地、公共绿



图2 样点车站区域土地利用格局对比

Fig.2 Land use layout adjacent to the sampling stations

资料来源:《武汉市城市总体规划(1996—2020年)》《武汉市城市总体规划(2010—2020年)》。

地等；荒地开发为居住用地、商业服务用地，其建筑为高档高层住宅小区，商业服务用地形成新的商圈；新增道路数条。可见，该区域由于城市跨江轨道交通的建设而推进了城镇化进程，城市形态亦沿城市跨江轨道交通外扩。

金银潭地铁站地区截至2016年6月有常青花园五小区、新康苑两个房地产项目，通过对一年中两个楼盘均价的分析发现，位于地铁站核心区(200 m范围内)的常青花园五小区房屋均价高于常青花园地区房屋均价，且房价呈上升趋势。而在地铁站次核心区的新康苑房屋均价则低于常青花园地区以及武汉市房屋均价，表明地铁对房价的拉动作用(见表2)。

如表3~表5所示，由金银潭地铁站观测变量值来看，商业服务机构密度、聚集半径、服务辐射半径均比周边地区大，其居住用地距政府机构、企业、地铁站、公共汽车站、商业服务用地距离适中(皆为

200~700 m)。居住用地距最近的教育机构(将军路中学、常青花园六小区实验学校)距离为300~1 300 m、距最近的服务与事业机构距离为250~850 m，便于区域人口上学、接受服务。与此同时，通过对比地铁开通前后数据发现，区域居住条件有显著改善，存在由农田、荒地向城市社区的转变过程。故而，该区域在地铁开通后受居住与商业服务便利性的影响，致使地价、房价存在显著升值，建筑类型、结构、等级提升，居住用地等级由此分化。

#### 2) 范湖地铁站区域。

2005年范湖地区绝大多数用地类型为居住用地，该居住用地主要为低矮预制板结构房，存在土地利用效率较低的问题。而2015年地铁4号线开通后与2号线在该处交汇，该地区居住用地面积缩小，兴建高层住宅，将原有未利用的居住用地以及工业用地转化为公共绿地，实现了城市土地利用效率提升、城市生态环境与城市和谐发展，进而使

表2 金银潭站周边房屋均价及区域房屋均价(2015年7月—2016年6月)

Tab.2 Average housing price adjacent to Jinyintan Station and average housing price in the region (July 2015-June 2016)

居住项目	常青花园五小区房屋均价	常青花园五小区月均租金	新康苑房屋均价	新康苑月均租金	武汉房屋均价	常青花园房屋均价
价格	11 260.17	44.64	8 296.67	24.52	11 347.83	9 549.33

资料来源：房价网 <http://wh.fangjia.com/>。

表3 金银潭地铁站基准地价与商业服务机构外生观测变量值

Tab.3 Benchmark land price of Jinyintan Station and observational variables of commercial service agencies

观测变量	商业服务用地基准地价/(元·m <sup>2</sup> )	居住用地基准地价/(元·m <sup>2</sup> )	商业服务机构密度/(户·m <sup>2</sup> )	商业服务机构聚集半径/m	商业服务机构服务辐射半径/m
金银潭	2 154	2 108	44.59	150	700

表4 金银潭地铁站居住用地外生观测变量值

Tab.4 Observational variables of residential land adjacent to Jinyintan Station

观测变量	距政府机构平均距离	距企业平均距离	距地铁站距离	距公共汽车站距离	距商业服务用地平均距离
常青花园五小区	227	450	351	290	405
新康苑	445	676	619	147	605

表5 金银潭地铁站居住用地距公共服务机构平均距离

Tab.5 Average distance from residential land adjacent to Jinyintan Station to public service agencies

公共服务机构	中环北路社区	武汉教育电视台	将军路中学	常青花园六小区实验学校
常青花园五小区	262	556	1 100	375
新康苑	420	832	1 300	331

土地利用格局得以优化。

3) 积玉桥地铁车站区域。

2005年积玉桥地区存在大面积荒地与居住用地(以低矮预制板结构房屋为主、房屋建设位置规划混乱)。而地铁2号线在此贯通后的2015年,该区域兴建高档高层建筑,改善房屋容积率,增加绿地面积,在提升土地利用效率与城市生态文明建设的前提下实现土地利用格局优化。

3.3 模型结构

基于结构模型(见图3)研究发现:1)外生变量中商业服务机构聚集性( $\xi_1$ )由机构密度( $x_1$ )及其聚集半径( $x_2$ )所度量,通过测度商业服务机构服务辐射半径( $x_3$ ),刻画商业服务集聚半径轨迹,以体现商业服务机构的辐射性( $\xi_2$ ),由此形成 $\xi_1 \rightarrow \xi_2$ ;2)居住用地至政府机构的距离( $x_4$ )以及其至企业的距离( $x_5$ )是衡量居住用地工作便利性( $\xi_3$ )的标准,然而对工作便利性( $\xi_3$ )的衡量并非仅由距离工作地点远近单纯衡量,同样应由交通便利性( $\xi_4$ )予以支撑;3)居住用地交通便利性( $\xi_4$ )由居住用地至地铁站的距离( $x_6$ )以及其至公共汽车站的距离( $x_7$ )进行度量,由此形成 $\xi_4 \rightarrow \xi_5$ ;4)房价的根本支撑因素即居住用地生活便利性( $\xi_5$ )由诸多因素汇集形成,其直接度量变量为居住用地至商业服务用地的距离( $x_8$ )以及其至公共服务机构的距

离( $x_9$ ),受到商业服务机构聚集性( $\xi_1$ )、商业服务机构辐射性( $\xi_2$ )以及居住用地交通便利性( $\xi_4$ )共同作用,由此形成 $\xi_1 \rightarrow \xi_5$ ,  $\xi_2 \rightarrow \xi_5$ ,  $\xi_4 \rightarrow \xi_5$ 。

内生变量中,居住用地出让价格( $\eta_1$ )(通过居住用地的单位面积基准价格( $y_1$ )予以衡量)的提升引发居住用地级别提高,但其不可规避外生变量中商业服务机构聚集性( $\xi_1$ )、商业服务机构辐射性( $\xi_2$ )、居住用地工作便利性( $\xi_3$ )、居住用地交通便利性( $\xi_4$ )以及居住用地生活便利性( $\xi_5$ )对其的影响作用。因此,实现高购买力人群集聚进而实现高收入人群居住地集聚,必须以商业服务完善、宜工宜居为前提。

外生潜变量对内生潜变量的影响印证了地铁带动的商业服务用地、居住用地变化对城市居住用地分化的影响。商业服务机构聚集性、辐射性导致居住用地生活便利性提升,进而形成人群集聚;居住用地工作、交通、生活便利性引起城市居住用地价格上涨,进而引发城市居住用地贫富格局分化。

3.4 模型结论

3.4.1 测量方程演算结果

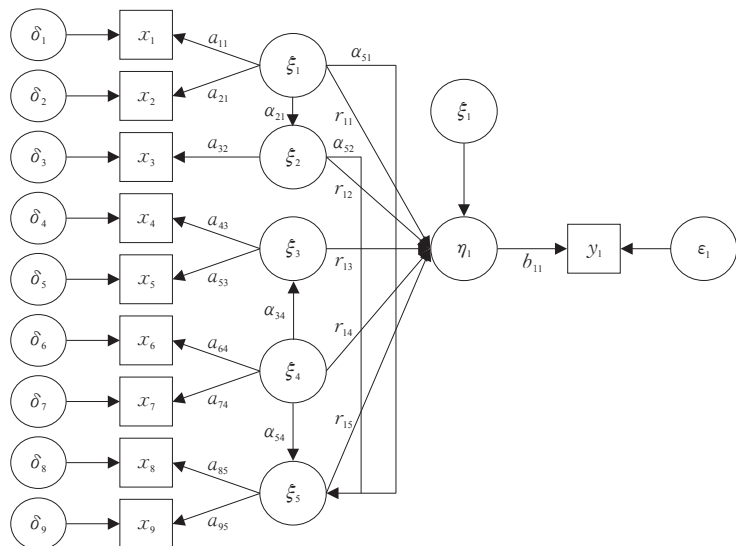
利用SmartPLS3.0软件构建测量方程。

标准因子负荷系数代表各观测变量与对应的外生潜变量之间的关系<sup>[17]</sup>。居住用地至地铁站距离( $x_6$ )的标准因子负荷系数最高,3个样点中该变量分别达0.861,0.963,0.976,说明居住用地受城市跨江轨道交通的影响显著(平均解释程度为93%),而3个样点对应的该变量标准因子负荷系数差异则表明受到经济容量、交通网络密度等因素影响,城市跨江轨道交通对不同区域的影响存在差异。因此,此观测变量所对应的潜变量——居住用地交通便利性可以诠释城市跨江轨道交通对商业服务集聚(平均解释程度为60%)、辐射(平均解释程度为55%)以及居住用地工作便利性(平均解释程度为60%)、生活便利性(平均解释程度为55%)等问题。

3.4.2 测量方程的信度与效度分析

1) 信度检验。

信度即测量数据结果的可靠性,检验测量值的一致性 & 稳定性。本文采用克朗巴哈系数(Cronbach's  $\alpha$ )值检验变量之间是否具有 一致性或内部同构性。克朗巴哈内部一致性检验公式为



注:  $\delta_i, \epsilon_i$  分别为外生观测变量( $x$ )与内生观测变量( $y$ )的误差项;  $\xi_i$  为  $\eta$  的残差向量;  $a, b, c$  为载荷。

图3 城市跨江轨道交通对土地利用格局变化影响的结构模型

Fig.3 Structural model of the influence of urban cross-river rail transit on the changes in land use layout

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n s_i^2}{s_x^2} \right), \quad (3)$$

式中： $n$ 为检验的变量数量； $s_i$ 为第*i*个变量数值的标准差； $s_x$ 为整个检验表总得分的标准差。

验证之前需对3个样点数据进行耦合，以便宏观验证具有代表性的地铁2号线对城市土地利用格局变化的影响。检测结果表明，商业服务机构聚集性、辐射性的克隆巴哈系数分别为0.726，0.711，居住用地工作、交通、生活便利性的系数分别为0.658，0.881，0.735(见表6)，上述信度系数均大于0.65，说明用观测变量来测量潜变量具有合理性，测量方程具有内部一致性。

#### 2) 效度检验。

效度检验目的在于检测各潜变量间相互区别的程度，通常采用平均萃取变异性(Average Variance Extracted, AVE)进行测度，其公式为

$$AVE = \frac{\sum \lambda_i^2}{(\sum \lambda_i^2) + (\sum 1 - \lambda_i^2)}, \quad (4)$$

式中： $\lambda_i$ 为观测变量在对应潜变量上的负载系数； $1 - \lambda_i^2$ 为测量误差方差。

AVE表示用潜变量的方差解释相应观测变量方差的百分比，通常认为AVE应至少大于0.5<sup>[31]</sup>，表明结构变量具有内部一致性。由表6可以看出，各潜变量的AVE均大于0.64，故而证明测量模型具备较好的区分效度。

### 3.4.3 结构方程演算结果

路径系数用以衡量不同外生潜变量对城市跨江轨道交通引发城市土地利用格局变化的影响程度。通过对实证研究中的3个样点结构方程数据进行耦合，获取耦合结构方程的路径系数与潜变量之间的相关系数，显示外生潜变量与内生潜变量之间的相关关系，亦验证了外生变量与内生变量间的因果关系。

如图4所示，外生潜变量之间的相关系数为0.611~0.791，总体低于AVE的值域0.649~0.863，但其差距较小，仍表明该耦合结构模型具有相对较优的区分效度；城市跨江轨道交通带来的居住用地交通便利性对城市土地利用格局变化的影响程度最强(路径系数0.537)，城市跨江轨道交通引发的连锁性因素是商业服务机构聚集性(路径系数为0.474)、居住用地生活与工作便利性(路径系

数分别为0.415，0.401)。因此，城市跨江轨道交通能够促使城市土地利用格局优化。

## 4 结论

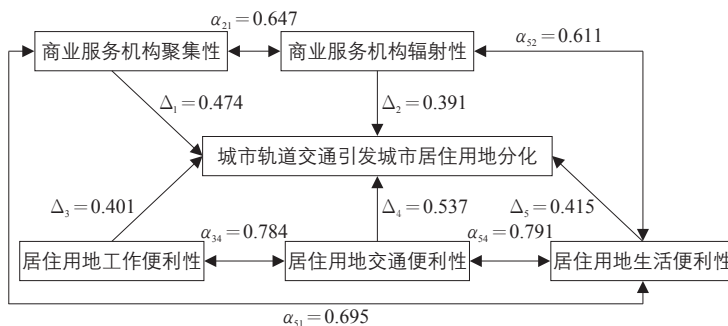
城市居住用地分化是一个集经济学、政治学、地理学等学科于一体的复杂性问题，本文利用结构方程模型分析武汉市跨江轨道交通对居住用地分化的影响。结果表明，交通便利性(路径系数达0.537)是促成城市居住用地分化的主因，商业服务集聚、生活便利、工作便利等因素则以交通因素为基础作用于城市居住用地分化。这表明，城市跨江轨道交通在提升长江两岸的贯通性以及提升地价与房价、聚集商业服务、实现居住用地生活与工作便利性方面发挥着重大作用，具有相当购房能力的购房者基于便利性因素驱动而更趋向于购买城市跨江轨道交通沿线区位优势房产，而调查表明这类房产通常为高档住宅，在购买意愿的反作用下使高档住宅聚集效应得以发生。文章得出以下结论：

1) 城市跨江轨道交通的开通使长江两岸交通互通性提升，引发高档住宅在城市跨江轨道交通沿线的集聚效应。这种集聚效应来源于两方面，一方面是交通便利性带来的

表6 信度系数与效度

Tab.6 Reliability coefficient and validity

潜变量	Cronbach's $\alpha$	AVE
商业服务机构聚集性	0.726	0.705
商业服务机构辐射性	0.711	0.703
居住用地工作便利性	0.658	0.649
居住用地交通便利性	0.881	0.863
居住用地生活便利性	0.735	0.726



注： $\alpha$ 为外生潜变量之间的相关系数； $\Delta$ 为路径系数。

图4 三样点耦合结构方程的路径系数及潜变量之间的相关系数

Fig.4 Correlation coefficient between path coefficient and latent variables of three-sampling points structural equation

区位优势提升,另一方面是市场调节下高购买力人群对优质高档住宅的需求。

2) 城市跨江轨道交通的开通使沿线地价上涨、土地利用效率提升、土地利用格局变化,在商业服务、居住用地格局升级的同时,受市场杠杆的调节作用影响,圈层式居住等级变化引发居住用地分化。

基于结构方程模型的城市跨江轨道交通对城市居住用地分化的影响研究对于城镇化发展下的轨道交通布局具有较好的借鉴意义,亦有助于对规划轨道交通线路沿线的相关土地利用类型进行合理空间布局。本文所选变量以土地利用效率为指引,未就其他领域指标加以测量,相关因素的研究有待深入。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 侯爱敏, 翟青. 轨道交通对城市住房发展的影响综述[J]. 城市问题, 2009(6): 32-38.  
Hou Aimin, Zhai Qing. Research Review on the Effects of Rail Transit on the Developing of Urban Housing[J]. Urban Problems, 2009 (6): 32-38.
- [2] Chen H, Rufolo A, Dueker K J. Measuring the Impact of Light Rail Systems on Single Family Home Values: A Hedonic Approach with GIS Application[J]. Transportation Research Record, 1617(1): 38-43.
- [3] 申丽霞, 覃国添. 城市轨道交通对周边物业影响分析[J]. 城市轨道交通研究, 2006(4): 49-51+55.  
Shen Lixia, Qin Guotian. A Study on Metro Impacts over the Surrounding Properties[J]. Urban Mass Transit, 2006(4): 49-51+55.
- [4] 梁青槐, 孔令洋, 邓文斌. 城市轨道交通对沿线住宅价值影响定量计算实例研究[J]. 土木工程学报, 2007(4): 98-103.  
Liang Qinghuai, Kong Lingyang, Deng Wenbin. Impact of URT on Real Estate Value: The Case of Beijing Metro Line 13[J]. China Civil Engineering Journal, 2007(4): 98-103.
- [5] 尹爱青, 唐焱. 轨道交通对住宅价格的影响: 以南京市地铁一号线为例[J]. 城市问题, 2008(2): 29-34.  
Yin Aiqing, Tang Yan. The Impact on Real Estate Price by Urban Rail Transportation: Taking Nanjing Subway One For Example[J]. Urban Problems, 2008(2): 29-34.
- [6] 张沈生, 李辉, 吴杨. 基于互换论的沈阳地铁设施效能增加值研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2007, 23(3): 432-437.  
Zhang Shensheng, Li Hui, Wu Yang. Study on Efficacy Added Value of Shenyang Subway Facilities Based on the Exchange Theory[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University (Natural Science), 2007, 23(3): 432-437.
- [7] 郑捷奋. 城市轨道交通与周边房地产价值关系研究[D]. 北京: 清华大学, 2004.  
Zheng Jiefen. The Relationship Between Property Value and Urban Rapid Rail Transit: Based on Improved Hedonic Price Model(s) [D]. Beijing: Tsinghua University, 2004.
- [8] 宋珂, 周锐, 林宏志, 等. 轨道交通站点周边土地利用优化分析: 以上海轨道10号线五角场站为例[J]. 复旦学报(自然科学版), 2013, 52(1): 78-85.  
Song Ke, Zhou Rui, Lin Hongzhi, et al. Research on Optimal Method for Land Use Around Urban Rail Traffic Site: A Case Study of Wujiaochang Station on Shanghai Metro Line 10[J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2013, 52(1): 78-85.
- [9] 甘勇华, 邓兴栋. 合理确定城市轨道交通枢纽用地综合开发强度[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(8): 20-23+28.  
Gan Yonghua, Deng Xingdong. Rational Intensity of Comprehensive Land Use at Rail Transport Hub[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(8): 20-23+28.
- [10] 陈毕新, 陈小鸿. 轨道交通对城市住宅价格的影响因素分析[J]. 价格理论与实践, 2006(11): 28-29.  
Chen Bixin, Chen Xiaohong. Analysis of Influencing Factors of Rail Transit on Urban Real Estate Price[J]. Price: Theory & Practice, 2006(11): 28-29.
- [11] 王琼. 城市轨道交通对沿线房地产价格的影响[J]. 城市轨道交通研究, 2008(2): 10-13.  
Wang Qiong. URT Influences on Real Estate Prices Along the Lines[J]. Urban Mass Transit, 2008(2): 10-13.
- [12] 王锡福, 徐建刚, 李杨帆. 南京城市轨道交通建设潜在影响下的土地利用分异研究[J]. 人文地理, 2005(3): 112-116.  
Wang Xifu, Xu Jiangan, Li Yangfan. Potential Influences of Rail Transportation

- Construction to Land Use Differentiation in Nanjing[J]. Human Geography, 2005(3): 112-116.
- [13] 杨励雅, 秦燕燕, 邵春福. 轨道交通建设影响下土地利用性质空间分异的组合预测模型[J]. 中国铁道科学, 2008, 29(1): 114-119.  
Yang Liya, Qin Yanyan, Shao Chunfu. Integrated Forecasting Model for the Space Differentiation of Land Use Type Under the Influence of Rail Transit Construction[J]. China Railway Science, 2008, 29(1): 114-119.
- [14] 陈莉. 轨道交通对沿线房地产价格影响的研究[J]. 特区经济, 2007(8): 261-263.  
Chen Li. Research of Transportation Line's Influence on Real Estate Price[J]. Special Zone Economy, 2007(8): 261-263.
- [15] 陈有孝, 林晓言, 刘云辉. 城市轨道交通建设对地价影响的评估模型及实证: 以北京市轨道交通为例[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2005(3): 7-13.  
Chen Youxiao, Lin Xiaoyan, Liu Yunhui. Impacts of Rail Transport Construction on Land Value, Valuation Model and Empirical Study: Case Study on Beijing Light Rail[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2005(3): 7-13.
- [16] Bae Chang-Hee C, Jun Myung-Jin, Park Hyeon. The Impact of Seoul's Subway Line 5 on Residential Property Values[J]. Transport Policy, 2003, 10(2): 85-94.
- [17] 王真, 郭怀成, 何成杰, 等. 基于统计学的北京城市居住用地价格驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, 64(10): 1214-1220.  
Wang Zhen, Guo Huaicheng, He Chengjie, et al. Driving Force Analysis of Residential Land Price in Beijing Based on Statistical Methods[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(10): 1214-1220.
- [18] 郑文含. 居住型轨道交通站点地区用地布局探讨[J]. 规划师, 2009, 25(12): 58-62.  
Zheng Wenhan. Discussion on Land Use Layout of Residential Rail Transit Station Areas[J]. Planners, 2009, 25(12): 58-62.
- [19] 陈晓勇, 杨俊, 宋振江, 等. 长江经济带区域产业分工战略研究[J]. 中国发展, 2015, 15(2): 28-33.  
Chen Xiaoyong, Yang Jun, Song Zhenjiang, et al. On Regional Industrial Division Strategy in the Middle Reach of Yangtze River Economic Zones[J]. China Development, 2015, 15(2): 28-33.
- [20] 杨俊, 李争, 宋振江, 等. 长江经济带内陆节点城市生态系统状态评价研究: 以长江中游城市带为例[J]. 人民长江, 2016, 47(2): 11-14.  
Yang Jun, Li Zheng, Song Zhenjiang, et al. Study on Evaluation of Ecological System State of Inland Key Cities of Yangtze River Economic Belt: Case of Cities in Midstream of Yangtze River[J]. Yangtze River, 2016, 47(2): 11-14.
- [21] 江永, 叶霞飞, 王治. 上海轨道交通1号线对沿线房地产价格的影响范围研究[J]. 城市轨道交通研究, 2007(2): 28-31.  
Jiang Yong, Ye Xiafei, Wang Zhi. Impact Area of Shanghai Rail Transit Line 1 on Development Benefits[J]. Urban Mass Transit, 2007(2): 28-31.
- [22] 郑捷奋, 刘洪玉. 深圳地铁建设对站点周边住宅价值的影响[J]. 铁道学报, 2005(5): 11-18.  
Zheng Jiefen, Liu Hongyu. The Impact of URRT on House Prices in Shenzhen[J]. Journal of the China Railway Society, 2005(5): 11-18.
- [23] 曹小曙, 林强. 基于结构方程模型的广州城市社区居民出行行为[J]. 地理学报, 2011, 66(2): 167-177.  
Cao Xiaoshu, Lin Qiang. A SEM-Based Study on Urban Community Resident's Travel Behavior in Guangzhou[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(2): 167-177.
- [24] 王希荣. 地税系统顾客满意度指数研究与应用[D]. 天津: 天津大学, 2006.  
Wang Xirong. The Study and Application of the Customer Satisfaction Index in the Local Taxation System[D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.
- [25] 吴连朋. 基于UTAUT理论的ERP技术采纳建模与实证研究[D]. 天津: 天津大学, 2008.  
Wu Lianpeng. Modeling and Empirical Studies on ERP Technology Adoption Based on UTAUT Theory[D]. Tianjin: Tianjin University, 2008.
- [26] 蔺炜莹. 高校学生服务感知质量研究[D].

- 天津: 天津大学, 2005.
- Lin Weiyang. Research on Student's Perception of Service Quality in University[D]. Tianjin: Tianjin University, 2005.
- [27] 王凤慧. 高校教师组织承诺结构与提升策略研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- Wang Fenghui. Study on the Structure and Improvement of University Teachers' Organizational Commitment[D]. Tianjin: Tianjin University, 2010.
- [28] 张志恒, 徐菊芬. 轨道交通站点周边用地开发强度分类研究: 以南京市地铁2号线为例[J]. 住宅科技, 2014, 34(10): 17-22.
- Zhang Zhiheng, Xu Jufen. Classified Study on Intensity of Land for Development Around Stations of Rail Transit: Taking Nanjing Metro Line 2 for Instance[J]. Housing Science, 2014, 34(10): 17-22.
- [29] 武文杰, 刘志林, 张文忠. 基于结构方程模型的北京居住用地价格影响因素评价[J]. 地理学报, 2010, 65(6): 676-684.
- Wu Wenjie, Liu Zhilin, Zhang Wenzhong. Determinants of Residential Land Price: Structure Equation Model Analysis Using Land-Leasing Parcel Data in Beijing[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(6): 676-684.
- [30] 谢中凯, 李飞雪, 李满春, 等. 大城市居住用地扩展特征及驱动力分析: 以南京市中心城区(长江以南)为例[J]. 测绘科学, 2015, 40(6): 92-97.
- Xie Zhongkai, Li Feixue, Li Manchun, et al. Study on the Expansion of New Residential Land in the Nanjing Downtown (South of the Yangtze River)[J]. Science of Surveying and Mapping, 2015, 40(6): 92-97.
- [31] Richard P B, Youjae Y. On the Evaluation of Structural Equation Models[J]. Journal of the Academy of Marketing Science, 1988, 16(1): 74-94.

## 第八届钱学森城市学金奖“城市交通”主题征集启事

### (一) 征集主题

改革开放40年: 智慧交通开启城市未来

### (二) 征集要求

1. 已公开发表或未公开发表的论文、研究报告、著作、译作均可参评(译著参评需经原作者书面同意); 应征作品要围绕主题, 观点鲜明, 见解独到、论述精辟、论据充分, 具有理论价值和实践价值; 论文和研究报告类正文篇幅为8 000~15 000字, 著作和译作类邮寄作品两部, 并提交篇幅为8 000~15 000字的内容概要; 应征作品均须提交各300字左右的中、英文摘要并提供作者信息; 每位应征者投稿数量最多不得超过2件, 译作须注明原著作者及其简况。

2. 以邮寄或发送电子邮件的方式提交应征作品均可, 作品应符合《第八届钱学森城市学金奖优秀成果格式规范》。请从“中国城市网”(http://www.urbanchina.org)下载填写《第八届钱学森城市学金奖成果使用授权书》, 经本人签名后传真或邮寄给组委会, 提交电子版无效。

### (三) 奖项设置

设置钱学森城市学金奖1名, 奖金10万元; 提名奖10名, 奖金各1万元; 优秀奖若干名。获奖作品全文或摘录编入《城市学研究》刊物。组委会将在“中国城市学会·2018”上为获奖者颁奖。

作品提交截止日期为2018年6月15日, 详情请登录“中国城市网”(http://www.urbanchina.org)。

联系人: 戴老师

联系电话: 0571-87357066, 85026667(传真)。

邮箱: csjt@vip.126.com

联系地址: 浙江省杭州市余杭区杭州师范大学仓前校区内杭州国际城市学研究中心(邮编: 311121)

本次征集活动最终解释权归钱学森城市学金奖征集评选活动组委会。

钱学森城市学金奖征集评选活动组委会

2018年3月