

## 基于轨道交通的 TOD 模式影响因子研究——以纽约和香港为例\*

崔翀 杨敏行 陈可石

**摘要：**近年来，TOD 理念在减少汽车使用和提高运输能力的可持续性方面得到了广泛的认同。在经济社会特征相似的情况下，TOD 社区居民的公共交通出行频率远高于其他社区。但现有的 TOD 模式研究往往关注近年来新开发地段和郊区的邻里社区等，而鲜有在城市层面通过站级数据的对比分析和深入研究。本文以轨道交通网络发达的纽约和香港作为范本进行实证研究，运用多元回归的方法对影响轨道交通客运量的可能因素进行分析。研究认为以下几组相关变量对轨道交通客流量影响较大：①土地利用；②车站特征；③社会经济和人口特征；④模式竞争。结果表明，车站特征为影响轨道交通载客量的首要因素，应该作为今后轨道交通模式研究的重点方向和优化手段；高的汽车保有量会伴随更频繁的上落、停车和换乘等活动，从而提升远距离出行的公共交通比例；而地方特定因素对轨道交通载客量影响也很积极。

**关键词：**TOD；轨道交通载客量；土地利用；纽约；香港

### 1 引言

过去的几十年内，如何通过有效的政策措施减少汽车使用以及对社会和环境方面的负面影响一直是学术关注的重点。常见措施主要集中在两方面：一、限制交通需求，比如道路收费、停车管理和交通静化；二、增加交通供给，包括公路建设、铁路投资和提供停车和慢行系统等。然而，人们逐渐认识到，仅仅通过交通措施解决问题的效果非常有限，人们的出行行为受到很多综合因素的影响，而城市规划和土地利用成为重要的影响因素。

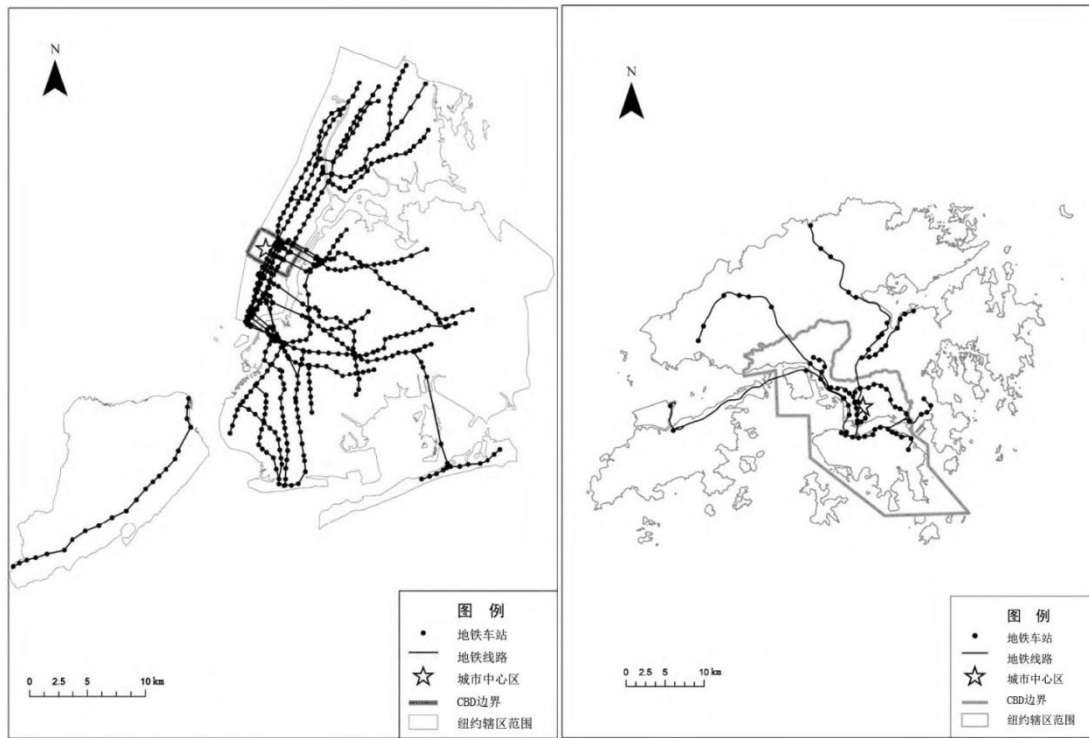
TOD 模式基本理念是：相对高密度、紧凑、混合的城市形态，高品质、高效率的公共交通服务，以及行人友好的环境。于是，精明增长(Smart Growth)、交通联合开发(Transit-Joint Development)、新传统开发(Neo-Traditional Development)以及交通集中发展(Transit-Focused Development)等一系列发展战略被陆续提出 (Cervero et al, 2002)。尽管这些理念涵义不尽相同，但结合交通混合开发等策略逐渐得到广泛接受，并被认为可以降低机动车使用率。

既有的大多数 TOD 模式研究更加关注未开发的新城和郊区等，而对交通系统已经高度发展的特大城市层面关注不足。这些城市往往已经拥有较高的轨道客流量，并且交通换乘多分布于中央商务区(CBDs)等高密度地区，而郊区和城市边缘逐渐兴起的大型居住、办公和

---

\*本文系北京大学和深圳规划国土发展研究中心联合研究课题，部分内容根据《Rail-based transit-oriented development: Lessons from New York City and Hong Kong》翻译整理,原文刊于 Landscape and Urban Planning, 2010(6),202-212; 作者 Becky P.Y. Loo, Cynthia Chen, Eric T.H. Chan.

产业集群，逐渐改变了传统的城市结构和形态，单中心也逐渐向多中心转换(Loo 和 Chow, 2008; Newman et al, 1995)。这些土地利用和其他经济社会因素，共同促成了交通客流量的巨大变化。众所周知，纽约是世界的文化、商业和金融中心(Sassen, 2001)；而香港作为亚洲最繁华的城市之一，拥有高密度的人口和紧凑城市形态(Loo 和 Chow, 2008; Tong 和 Wong, 1997)。因此本研究选取这两座人口超过 500 万、地铁轨道系统发达的世界大都市作为范本进行实证研究，旨在探讨轨道载客量的影响因素并量化其内在联系。



纽约和香港都拥有密集的网络连通结构和大规模的交通乘客量，稳固的轨道系统已经成为城市交通必不可少的一部分。同时，这两个城市的地铁和轨道系统也是世界上最繁忙的(MTA NYC Transit, 2008a)。纽约地铁轨道总里程 660 英里，拥有 25 条地铁线和 468 座车站，客流量世界排名第四(2007 年高达 15.6 亿)；而香港地铁轨道总里程 104.5 英里，拥有 10 条地铁线和 80 个车站，客流量排名第九(2008 年高达 8.67 亿)。据统计，纽约公共交通客流量比例高达 54.2%，高居美国榜首，而轨道交通分担上下班人流的 38.1%(The American Community Survey, 2005)，地铁月载客量达 135 万(MTA NYC Transit, 2008)；而香港公共交通的日常出行比例高达 90%，轨道分担率为 37% (Transport Department, 2006)。图 1 和图 2 分别显示了纽约和香港铁路网络和城市中心。

然而纽约和香港在地域、文化、体制和政策方面存在较大差异，本研究通过两个城市对比验证轨道客流量的影响因素，探讨优化 TOD 模式的有效措施并促进城市交通可持续发展。

## 2 研究综述

土地利用对交通行为的影响研究始于 20 世纪 70 年代后期(Handy, 2005), Newman 和 Kenworthy (1989)比较了各大城市密度与汽油消耗量的关系, 加剧了这一问题的讨论, 20 世纪 90 年代新都市主义运动和新传统城市设计理念出现, 研究更加关注建筑环境和交通行为之间关系, 尤其是对出行距离、模式选择和出行数量等交通行为的影响因子方面 (Cervero 和 Kovkelman, 1997; Frank 和 Pivo, 1994; Levinson 和 Kumar, 1997; Loo, 2009)。近年来, TOD 模式研究重点逐渐转移到二者的因果关系方面, 然而难点在于, 很难判断究竟是 TOD 的成功减少了人们对汽车的使用, 还是人们喜欢使用公共交通而选择就近居住(Cao et al, 2007; Handy et al, 2005, 2006)。

TOD 模式的研究方法分为以下三类: 模拟研究、描述性研究和多元统计分析(Boarnet 和 Crane, 2001)。模拟研究假设街区和交通需求预测模型, 通过构建简化但控制严格的模型环境观测不同条件下的变化趋势, 从而估计城市形态对交通行为的影响。但有学者指出, 这种模拟研究极大的简化了城市形态和交通行为而并未真正解释行为本身, 因而结果具有投机性和偶然性, 不能作为决策者的依据(Handy, 1996)。

描述性研究关注在不同状况下的行为状况, 比如 Lund et al. (2004) 等在 TOD 调查网站上提供的加利福尼亚州详细资料等; 部分学者将出行行为比较作为特定方法, 通过划分以土地利用方式为基础的不同居住类型, 并比较了政策、法规和项目对轨道地区发展的影响, 如 Porter (1998) 研究了对 19 个交通类发展项目的研究。描述性研究的优点是能够显示出行为的一般特征, 并为进一步研究提供支撑, 但是缺乏对土地利用等影响要素的控制, 因而很难量化出行影响因素的具体效用。

与以上两类方法相比, 多元统计分析由于能够同时处理多重因素并具有定量分析的优势, 越来越受到重视。这种方法通过出行数量、通行距离、模式选择等一系列因变量解释社会人口和土地利用等的变化, 并通过量化具有统计价值的评估系数解释变量的影响。

相对于欧洲和亚洲等地区, 北美在城市扩张和汽车依赖性方面问题突出(Newman et al, 1995), 里弗赛德、格林斯博罗、亚特兰大等都市区蔓延最为严重(Ewing et al, 2002), 这一现象可以归咎于战后汽车销量和小型家庭的增长。同时, Bernick 和 Cervero (1996)对新加坡、东京和斯德哥尔摩等其他城市进行了研究, 详细验证了影响 TOD 模式的积极因素; Cervero 和 Murakami (2008)研究了香港轨道和物业结合的开发模式。

单元分析是土地利用和交通行为研究的另一个重要方向。Handy (1996) 通过汇总和分类的研究方法, 分别从在区域、人口普查、城市、社区层面和个人和交通层面进行数据分析; Bernick 和 Cervero (1996)以城市为分析单元对 TOD 模式进行了汇总研究; 还有不少研究以城镇和社区为单元展开(Boarnet 和 Compin, 1999; Loo, 2009; Lund, 2006)。Crane (2000)以及 Ewing 和 Cervero (2001)的文献综述详细回顾并总结了土地利用和交通出行研究的异同点。

上述研究仍存在一些问题和不足。比如大量描述性研究仅仅试图从一个特定案例解释 TOD 模式的影响因素，而缺乏通过多元统计方法对不同地区城市的比较分析。同时，由于政府和交通部门数据获得相对简单，大多数研究仅仅使用区域、地区和社区层面的汇总数据或者家庭和个人层面的分解数据，而缺乏深入到站点层面、关注空间要素和土地利用特征等方向的深入分析研究。本研究基于以上基础和特征展开。

### 3 数据和方法

表 1 独立变量数据统计表

| 特征        | 变量      | 内容                        | 纽约         |             |       | 香港         |            |    |
|-----------|---------|---------------------------|------------|-------------|-------|------------|------------|----|
|           |         |                           | Mean       | S.D.        | n     | Mean       | S.D.       | n  |
| 乘客量       |         |                           | 12174.06   | 15881.57    | 438   | 43888.38   | 29.443.7   | 79 |
| 土地利用      | C/R     | 商住建筑面积(m <sup>2</sup> )   | -          | -           | -     | 25993.04   | 64023.02   | 79 |
|           | COM     | 商业建筑面积(m <sup>2</sup> )   | 6891715.39 | 13738482.32 | 411   | 3291404.98 | 5434398.31 | 79 |
|           | GAR     | 停车场面积(m <sup>2</sup> )    | 238795.39  | 326997.16   | 406   | -          | -          | -  |
|           | GAR_D   | 小型停车区(虚拟变量, 面积小于平均值 90%)  | 0.90       | 0.29        | 438   | 0.97       | 0.16       | 79 |
|           | MIXED   | 混合功能(虚拟变量)                | 0.73       | 0.45        | 412   | 0.44       | 0.50       | 79 |
|           | PARK    | 远离街道停车面积(m <sup>2</sup> ) | -          | -           | -     | 12020.24   | 11555.30   | 79 |
| 车站特征      | CBD_D   | CBD 商务中心区 (虚拟变量)          | 0.17       | 0.37        | 412   | 0.32       | 0.47       | 49 |
|           | UM      |                           |            |             |       |            |            |    |
|           | DIST_MI | 车站到市中心的正常出行成本(美元)         | 11.73      | 3.69        | 432   | 7.69       | 3.28       | 79 |
|           | INTER   | 主要换乘站(虚拟变量)               | 0.07       | 0.25        | 438   | 0.19       | 0.40       | 79 |
| YES_OP    | 运营时间(年) | 84.82                     | 15.86      | 383         | 21.39 | 17.80      | 79         |    |
| 社会经济和人口特征 | CARS    | 每户汽车保有量                   | 0.09       | 0.05        | 411   | 0.17       | 0.13       | 79 |
|           | POP_S   | 人口规模                      | 16003.00   | 8403.74     | 411   | 28590.64   | 17686.36   | 79 |
|           | POP_D   | 单位居住面积人口密度                | 27629.33   | 9241.32     | 411   | -          | -          | -  |
|           | EMPOV   | 就业人口数                     | 15309.79   | 32964.43    | 412   | 17453.24   | 22349.44   | 79 |
| ERPOP     |         |                           |            |             |       |            |            |    |
| 竞争模式      | BUS     | 公交站数量                     | 27.18      | 13.36       | 412   | 21.78      | 12.31      | 79 |

注：表中数据仅显示三个最终的回归模型包含的描述性统计变量，并非所有独立变量。

本研究中，香港的乘客人数数据直接从香港地铁公司(MTRC)和九广铁路公司(KCRC)获得<sup>①</sup>；纽约站级层面的数据则来源于纽约大都会交通管理局(NYMTA)。数据包含香港 80 座和纽约 468 座全部车站，且均以 2005 年轨道交通车站层级的周均载客量为准，缺失时采

用最近数据替代。数据并不排除由于街区层面数据的限制和不同统计口径造成的偏差。

两个城市分别建立回归模型,并将众多影响因子和变量分为以下四个方面:①土地利用;②车站特征;③社会经济和人口特征;④竞争模式(见表1)。过程中并未直接测试空间自相关性(Anselin和Rey,1991;Cliff和Ord,1972;Leung et al,2000;McMillen,2003),而是通过与站点空间位置紧密相关的多个独立变量,如距市中心距离、CBD虚拟变量、所属铁路线性性质等,来确定因子对轨道载客量的影响。虽然事实上不同方法观测的影响因素则可能相关,但研究中假定多元回归变量相对独立,同时,鉴于纽约和香港城市状况以及轨道载客量影响因素的差别,两个模型均通过一些特定变量的组合进行针对性分析。模型绝大部分样本变量在通过共线性和多重共线性的检验<sup>②</sup>的基础上,最大限度的选定作为模型的最终数据,并设定显著性水平为0.05作为决策报告的显著变量标准进行分析。研究尽最大努力保证数据的质量(Hair et al,1995),但不排除生成的残差图在一致性判定中带来的非线性和异性方差问题。

表2 纽约和香港最终模型

| 特征        | 变量       | 纽约       |         |            |       |      | 香港        |          |            |       |      |
|-----------|----------|----------|---------|------------|-------|------|-----------|----------|------------|-------|------|
|           |          | B        | SE      | $\beta$ 系数 | t     | Sig. | B         | SE       | $\beta$ 系数 | t     | Sig. |
| 常量        |          | 15554.01 | 1977.50 |            | 7.87  | 0.00 | -31468.99 | 10461.63 |            | -3.01 | 0.00 |
| 土地利用      | C/R      |          |         |            |       |      | 0.01      | 0.00     | 0.32       | 3.39  | 0.00 |
|           | GAR      |          |         |            |       |      | 0.08      | 0.02     | 0.32       | 3.40  | 0.00 |
|           | MIXED    |          |         |            |       |      | 10629.22  | 4866.84  | 0.18       | 2.18  | 0.03 |
|           | GAR_DUM  | -6160.87 | 1145.75 | -0.16      | -5.38 | 0.00 |           |          |            |       |      |
|           | COM      | 0.00     | 0.00    | 0.21       | 5.78  | 0.00 |           |          |            |       |      |
| 车站特征      | YES_OP   |          |         |            |       |      | 689.29    | 123.62   | 0.42       | 5.65  | 0.00 |
|           | INTER    | 35242.99 | 1602.50 | 0.60       | 21.99 | 0.00 | 17987.12  | 5776.97  | 0.24       | 3.11  | 0.00 |
|           | DIST_MID | -715.42  | 124.18  | -0.23      | -5.76 | 0.00 |           |          |            |       |      |
| 社会经济和人口特征 | CARS     | 28070.24 | 9106.93 | 0.11       | 3.08  | 0.00 | 60238.57  | 20515.90 | 0.26       | 2.94  | 0.01 |
|           | POP_D    |          |         |            |       |      | 3.06      | 1.34     | 0.18       | 2.29  | 0.03 |
|           | POP_S    | 0.23     | 0.04    | 0.17       | 5.58  | 0.00 |           |          |            |       |      |
|           | EMPOV    |          |         |            |       |      | -3702.71  | 1361.32  | -0.30      | -2.72 | 0.01 |
| 竞争模式      | BUS      |          |         |            |       |      | 860.67    | 216.03   | 0.36       | 3.98  | 0.00 |
| R平方调整值    |          | 0.74     |         |            |       |      | 0.59      |          |            |       |      |
| 样本数(n)    |          | 406      |         |            |       |      | 79        |          |            |       |      |

两个独立模型建立后,结合两个城市数据集制定了多元回归的组合模型,并通过两类模型比较,更清楚的了解各层面影响因素与轨道载客量的一般关系。在此过程中,对纽约的度

量单位，以及香港小型车库虚拟变量进行转换，以在均等条件作对应分析。此外，为区分两个城市轨道换车站点的差异，研究创建纽约换车站特定变量作为城市独特变量的开始。同时，鉴于香港(n=79)和纽约(n=406)有效数据个数的巨大差异，为消除纽约对组合模型结果的过大影响，将有效数据样本个数作为权重进行加权平均，以保证一般性特征。

## 4 结论和讨论

### 4.1 纽约和香港的多元回归分析

表 2 是纽约和香港两个城市回归模型的最终结果。两个城市调整后的 R 平方值分别为 0.74 和 0.59，这意味着约因变量(轨道乘客量)的 74%和 59%能被独立变量所解释。纽约模型的条件指数为 17.15，最小公差为 0.407，方差膨胀因子最大值为 2.458；香港模式条件指数为 13.87，最小公差为 0.439，方差膨胀因子最大值为 2.28；此外两个模型中均无其他二元独立变量的相关性超过 0.7。这表明，两个模型的共线性和多重共线性均无问题。此外，残差图不能显示任何非线性和异性方差等趋势。在 0.05 的水平上，纽约模型的 6 个独立变量和香港模型的 9 个变量表现显著<sup>③</sup>。

#### 4.1.1 土地利用

结果显示，轨道客流量的影响因素存在于以上变量之中。土地利用方面，两个模型分别使用不同的独立变量，但表现出很多相似性，比如商业建筑面积均是重要的影响因子并且呈现正相关。香港的数据表明，商住混合建筑规模对日载客量产生积极影响，其面积每增加 10000 平米，轨道日载客量增加 100 人<sup>④</sup>；而纽约模型则显示商业建筑面积每增加 10000 平米，轨道日载客量增加 20。因此，大城市中心区常见的商业及其相关的土地利用模式，有利于铁路载客量的提升。

另一个值得关注的变量是停车场地。香港模型的停车场面积变量显示了与轨道载客量积极重要的关系(B = 0.08, p = 0.00)。这些主要站点附近的停车场，可能与地铁公司大规模复合型综合体的开发模式密切相关，停车位是为满足商业和住宅本身的需要，而并非为提升轨道客流量而发展。

纽约模型中，小型停车区虚拟变量(对应标准为小于 53202 平米)影响效果显著，并且呈现负相关(B=-7705.19)，这表明，站点附近的车库规模受限会对轨道载客量产生负面影响，并且其面积过小会直接导致模型拟合度的恶化。这可能是因为纽约的地铁站附近停车位在充足的情况下，不会对轨道乘客量产生较大影响，但车库缺乏却会导致客流量瓶颈。

此外，混合功能虚拟变量(站点辐射范围土地类型并存状况)在香港的模型中相关性显著(B = 10,629.22, p = 0.03)，表明土地混合利用可以产生一天内的双向交通需求，有助于铁路载客量的提升。

#### 4.1.2 车站特征

尽管最终的模型在车站特征方面仅包含少数几个变量，但呈现出较高的相关性特征，表明轨道站点是影响客流量的重要因素。通过车站特征的改进可以显著增加轨道交通客流量。

纽约模型中，换乘站因子的相关性明显( $t$  值为 21.99)，回归系数在所有变量中也最高( $B=35242.99$ )。这可能因为，即换乘站到达其他站点的可达性较强因而能够吸引更多的乘客，这表明增加轨道网络的连通性对于增加乘客量非常重要。同时，纽约模型显示，距离城市中心区距离因子是车站特征方面的另一重要变量，并且呈现负相关( $B=-715.42$ ,  $p=0.00$ )，这表明离市中心越远，乘客的日常活动就需要支付较高的出行成本，也就伴随较低的铁路载客量。图 1 为纽约中心区(曼哈顿)的位置图。

香港模型中，换乘站因子( $B=17,987.12$ ,  $p=0.00$ )也被包含并显示出同样的结果趋势；而经营年限也具有最高的相关性( $t=5.65$ )，表明车站经营越早，客流量越大。这一结果表明城市中心尤其是老城区等处，由于设施和环境的逐渐完善，工作和购物都非常活跃。

#### 4.1.3 社会经济和人口特征

社会经济和人口特征方面，汽车保有量以及人口密度和规模等变量呈现与轨道载客量的正相关关系。其中，家庭汽车拥有量和轨道客流量正相关的结果看起来似乎匪夷所思，因为在私家车和轨道交通是竞争关系。然而通过分析不难发现，研究分析的是以拥有轨道交通站点周边不同社区类型，也就是说，在都拥有轨道服务前提下，保有量较高的社区往往能带来更大的轨道客流量。这可能是由于，汽车拥有家庭往往具有较高的出行率，而与使用的交通模式无关(Transport Department, 2002)；事实上，他们会使用汽车向轨道站点的短途输送。

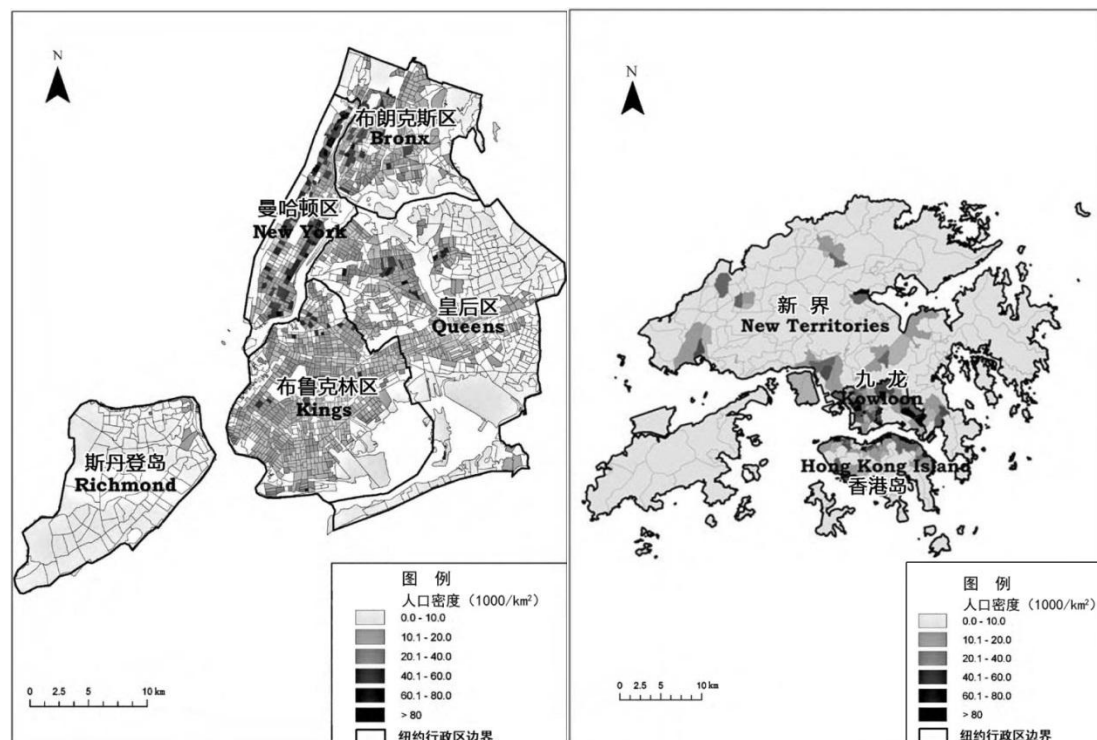


图 3 纽约人口密度空间分布

图 4 香港人口密度空间分布

除此之外，人口也是显著的变量因子。香港模型使用单位住宅面积人口密度这一因子衡量，即人口规模与住宅总建筑面积的比值；而纽约由于人口密度相对较低，为保证模型拟合度则使用绝对人口规模<sup>⑥</sup>。结果表明，人口增加对于轨道乘客量增加具有重要贡献。图 3 和图 4 分别显示纽约和香港的人口密度。

轨道辐射范围内的就业强度是影响香港模型的另一变量，而且是唯一一个负相关因素( $B = -3702.71$ )，也就意味着，轨道站点附近就业人数的增加并不利于轨道客流量的提升。

#### 4.1.4 竞争模式

公交站点数目是另外一个显著变量，尤其在香港模型中  $t$  值高居第二，这意味着轨道辐射范围内的公交站点数目增加有助于提升轨道载客量。这一结果表明，虽然公交巴士是轨道交通的主要竞争方式，但香港多种公共交通方式联运的模式，可以实现互补协调并显著提高轨道载客量，这一趋势尤其在步行街附近其作用更加明显(Jefferson, 1996)。

表 3 组合数据最终回归模型

| 特征        | 变量       | B         | 标准差      | $\beta$ 系数 | t      | 显著性  |
|-----------|----------|-----------|----------|------------|--------|------|
| 常量        |          | 25698.582 | 3933.705 |            | 6.53   | 0.00 |
| 土地利用      | COM      | 0.00      | 0.00     | 0.72       | 2.48   | 0.01 |
|           | GAR_DUM  | -9310.352 | 2867.137 | -0.08      | -3.25  | 0.00 |
| 车站特征      | DIST_MID | -600.75   | 204.43   | -0.09      | -29.4  | 0.00 |
|           | INTER    | 13697.36  | 2142.25  | 0.16       | 6.40   | 0.00 |
|           | YRS_OP   | 370.33    | 36.87    | 0.49       | 10.05  | 0.00 |
|           | CBD_DUM  | 12011.68  | 1486.93  | 0.18       | 8.08   | 0.00 |
| 社会经济和人口特征 | POP_S    | 0.09      | 0.05     | 0.05       | 1.68   | 0.09 |
|           | CARS     | 36668.48  | 7317.20  | 0.14       | 5.01   | 0.00 |
| 竞争模式      | BUS      | 410.76    | 67.85    | 0.19       | 6.05   | 0.00 |
|           | NYC_DUM  | -51439.33 | 3210.11  | -0.92      | -16.02 | 0.00 |
| R 平方调整值   |          | 0.64      |          |            |        |      |
| 未加权样本数(n) |          | 485       |          |            |        |      |

#### 4.2 组合模型多元回归分析

表 3 列出了合并数据集的最佳拟合结果。这个模型调整后的  $R$  值平方为 0.64，而包含的 10 个独立变量均通过共线性和多重共线性检验，并呈现高度显性特征，无任何残差迹象。自变量同样，包括土地利用、车站特征、社会经济和人口特征以及竞争模式等四个层面。



#### 4.2.1 地方因子

组合模型中，纽约地方虚拟变量最为显著( $t=-16.02$ )，并具有最高的回归系数( $B=-51.439.33$ )，表明地方具体状况因子对轨道客运量影响非常重要。通过两个城市比较，不难发现即使受到其他独立变量影响，纽约地方因子虚拟变量的回归系数( $B=-51439.33$ )仍显示，纽约的轨道客流量远低于香港，这与表 1 中数据相一致(纽约和香港的平均轨道周载客量分别为 12174.06 和 43888.38)。

#### 4.2.2 土地利用

土地利用方面变量包括商业建筑面积和小型停车区(该虚拟变量与纽约模型中车库面积低于平均水平 90%相一致)，结果表明，两个因素均为影响轨道乘客客运量的重要因素，但在两个城市中有不同的影响度。商业建筑面积的影响尤其明显( $B=0.00$ ,  $P=0.01$ )，这表明商业需求和就业机会联系紧密，加之上下班高峰时段城市道路的拥堵，促成了上下班人群的轨道客流贡献。而其他因子，比如开放空间和公共空间等，虽然与车站周边环境和空间的美学意象紧密联系，但对轨道客流量的影响并不显著。小型停车区虚拟变量与载客量负相关( $B=-9310.35$ )，表明周边停车规模较小的轨道站点客流规模较小。

组合模型中，香港模型的土地混合利用这一虚拟变量并未出现，而一旦加入纽约的数据，变量的影响又变得微不足道，这一结果应该与香港城市形态比纽约紧凑有关(图 3-4)；可以推测，土地混合使用会对高密度地区的轨道载客量影响显著，这一方面需要更多后续研究。

#### 4.2.3 车站特征

结合模型中，车站特征的因子仍然最为重要，除包含距离市中心距离、换乘站、经营年限外，另外增加了 CBD 虚拟变量。运营年限这一变量的  $t$  值排名第二( $t=10.05$ )，与轨道客流量联系紧密( $B=153.71$ ,  $p=0.00$ )，这表明城市中心区尤其是旧城地区，由于轨道的运营时间较长而比新建轨道周边客流量更大，并呈现向外依次递减的圈层结构。

CBD 虚拟变量是另一大显著变量( $B=12,011.68$ ,  $p=0.00$ )，改变了 CBD 并不是轨道载客量重要影响因素的观点(Kuby et al, 2004)。研究将此变量纳入回归模型<sup>⑥</sup>，并且分别将纽约的曼哈顿区，以及香港的港岛北中环附近和九龙半岛南侧作为 CBD 范围(图 1 和图 2)。结果显示，中心区站点的轨道载客量比其他地区每周大约多 12011 人。

换乘站也具有较高的  $t$  值( $t=6.40$ )和显著性( $p=0.00$ )，并且与两个独立城市模型结论一致。结果表明，换乘站每周的乘客量比普通站多 13697 人左右。另外，距离城市中心<sup>⑦</sup>的距离变量影响同样显著 ( $B=-600.75$ ,  $p=0.00$ )，说明距离城市中心越远，轨道交通吸引力越小。

#### 4.2.4 社会经济和人口特征

社会经济和人口特征方面最终包含人口规模和汽车保有量两个变量，并且特征与上一部

分结果一致。其中，人口规模的回归系数是 0.09( $p=0.01$ )，这意味着站点 500 米辐射范围内居住人数每增加 1000，每日轨道乘客量将增加 90。汽车保有量回归系数为 36668.48( $p=0.00$ )，再次证明通轨道站点周围汽车保有量高的社区往往带来较高的轨道乘客量。

#### 4.2.5 竞争模式

公交车站的竞争模式变量因素同样重要，并显示出显著和积极影响<sup>⑥</sup>，这验证了轨道站点周围巴士站点的增加可以带来更多的轨道载客量。

## 5 结论与展望

研究中结合数据的多元回归模型加强了纽约和香港独立模型中部分结论。首先，在三个模型中，车站特征对轨道客流量的影响最为显著，这一结果表明 TOD 模式的轨道乘客量在不同社会经济条件下将产生差异性价值。因而后续研究应该更加关注如何通过改善车站特征总价轨道交通客流量。值得强调的是，汽车保有量因子也显示出显著的正相关关系，表明对于远途出行，高的汽车保有量将为轨道车站周边带来较多的上落、停车和换乘活动，因为大都市尤其是在繁忙时段和 CBD 地区，轨道交通往往比汽车提供更好更优质的服务，包括出行和停车成本、安全性、效率和可靠性等等。另外，地方特定因素对轨道载客量影响同样重要。此次研究中土地利用、车站特征、社会经济和人口特征以及交通竞争模式等四个方面的分析成果和结论，为增加轨道交通客流量和减少汽车依赖提供了数据支持和政策依据，并为城市交通的可持续发展提供了借鉴。

后续研究可以通过更广泛的比较研究，更进一步了解不同国家和地区的轨道载客量影响因素。但由于目前研究中站点层面的详细数据具有商业敏感性，因而应该注意数据搜集的难易程度和可行性，尤其是各条铁路站点附近土地利用数据的搜集分析。

### 注 释

- ①2007 年 12 月 2 日，九广铁路公司与香港地铁公司合并，成为香港唯一的快速交通运营商。
- ②假设条件指数大于 30，两个及以上的比例系数差异值上限为 0.90；公差下限为 0.10；方差膨胀因子阈值为 10。
- ③香港模型( $n=79$ )的样本数量足够，但多元回归模型的 9 个解释变量的略显单薄。
- ④香港数据表明，纯的商业用地功能并不如商住混合土地对客流量贡献显著。
- ⑤纽约使用单位住宅面积人口密度或者香港使用绝对人口规模都会导致模型拟合度的降低。
- ⑥香港交通署已经验对 CBD 的影响进行了严格的验证，但缺乏统计学价值(Transport Department, 2006)，因此城区界定以香港规划署的资料为准。
- ⑦这一过程中，CBD 外的其他城市中心同样可以检验，但缺乏统计的意义和可能性，因此假设两个城市均为单中心，且城市中心与 CBD 一致。
- ⑧这个变量在最佳拟合度的纽约模型中并未存在，但最终表明这一效果对纽约一样有效。

## 参考文献

- [1] Anselin, L., Rey, S., 1991. Properties of tests for spatial dependence in linear regression models. *Geogr. Anal.* 23, 112–131.
- [2] Becky P.Y. Loo, Cynthia Chen, Eric T.H. Chan. Rail-based transit-oriented development: Lessons from New York City and Hong Kong. *Landscape and Urban Planning* 2010(6), 202-212.
- [3] Bernick, M., Cervero, R., 1996. *Transit Villages in the 21st Century*. McGraw-Hill, New York.
- [4] Boarnet, M., Compin, N., 1999. Transit-oriented development in San Diego County: the incremental implementation of a planning idea. *J. Am. Plann. Assoc.* 65 (1), 80–95.
- [5] Boarnet, M., Crane, R., 2001. The influence of land use on travel behavior: specification and estimation strategies. *Transport. Res. A-Pol.* 35, 823–845.
- [6] Cao, X., Mokhtarian, P., Handy, S., 2007. Do changes in neighborhood characteristics lead to changes in travel behavior? A structural equations modeling approach. *Transportation* 34, 535–556.
- [7] Cervero, R., Ferrell, C., Murphy, S., 2002. *Transit-oriented Development and Joint Development in the United States: A Literature Review*. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [8] Cervero, R., Kivkelman, K., 1997. Travel demand and the 3Ds: density, diversity and design. *Transport. Res. D-Transport Environ.* 2 (3), 199–219.
- [9] Cervero, R., Murakami, J., 2008. *Rail + property development: a model of sustainable transit finance and urbanism*. Working paper, Berkeley: UC Berkeley Center for Future Urban Transport: A Volvo Center of Excellence.

- [10] Cliff, A., Ord, J.K., 1972. Testing for spatial autocorrelation among regression residuals. *Geogr. Anal.* 4 (3), 267–284.
- [11] Crane, R., 2000. The influence of urban form on travel: an interpretive review. *J. Plann. Lit.* 15 (1), 3–23.
- [12] Ewing, R., Pendall, R., Chen, D., 2002. *Measuring Sprawl and Its Impact*. Smart Growth America, Washington, D.C.
- [13] Ewing, R., Cervero, R., 2001. Travel and the built environment – a synthesis. *Transport. Res. Rec.* 1780, 87–114.
- [14] Frank, L., Pivo, G., 1994. The impacts of mixed use and density on the utilization of three modes of travel: the single occupant vehicle, transit, and walking. *Transport. Res. Rec.* 1466, 44–52.
- [15] Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 1995. *Multivariate Data Analysis with Readings*, 4th ed. Prentice-Hall International, Englewood Cliffs.
- [16] Handy, S., 1996. Methodologies for exploring the link between urban form and travel behavior. *Transport. Res. D-Transport Environ.* 1 (2), 151–165.
- [17] Handy, S.L., 2005. Smart growth and the transportation-land use connection: what does the research tell us? *Int. Regional Sci. Rev.* 28, 146–167.
- [18] Handy, S., Cao, X., Mokhtarian, P., 2006. Self-selection in the relationship between built environment and walking? Evidence from Northern California. *J. Am. Plann. Assoc.* 72 (1), 55–74.
- [19] Jefferson, C., 1996. Improving access by public transport. *Landscape Urban Plan* 35, 173–179.

- [20] Kuby, M., Barranda, A., Upchurch, C., 2004. Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transport. Res. A-Pol.* 38, 223–247.
- [21] Levinson, J., Kumar, A., 1997. Density and the journey to work. *Growth Change* 28, 147–172.
- [22] Leung, Y., Mei, C.L., Zhang, W.X., 2000. Testing for spatial autocorrelation among the residuals of the geographically weighed regression. *Environ. Plann. A* 32 (5), 871–890.
- [23] Loo, B.P.Y., 2009. How would people respond to a new railway extension? The value of questionnaire surveys. *Habitat Int.* 33, 1–9.
- [24] Loo, B.P.Y., Chow, A.S.Y., 2008. Changing urban form in Hong Kong: what are the challenges on sustainable transportation? *Int. J. Sustain. Transport.* 2 (3), 177–193.
- [25] Lund, H., 2006. Reasons for living in a transit-oriented development, and associated transit use. *J. Am. Plann. Assoc.* 72 (3), 357–366.
- [26] Lund, L., Cervero, R., Willson, R., 2004. Travel characteristics of transit-oriented development in California. Caltrans Transportation Grant, Statewide Planning Studies.
- [27] McMillen, D.P., 2003. Spatial autocorrelation or model misspecification? *Int. Regional Sci. Rev.* 26 (2), 208–217.
- [28] MTA NYC Transit, 2008a. MTA NYC transit info, subways. Retrieved September 30, 2008, from <http://mta.info/nyct/facts/ffsubway.htm#stations>.
- [29] MTA NYC Transit, 2008b. Subway and bus ridership statistics 2007. Retrieved November 10, 2008, from <http://www.mta.info/nyct/facts/ridership/index.htm#intro s>.
- [30] MTR Corporation, 2008. Patronage updates. Retrieved November 10, 2008, from

<http://www.mtr.com.hk/eng/investrelation/patronage.php>.

[31] Newman, P., Kenworthy, J., 1989. Gasoline consumption and cities: a comparison of US Cities with a Global Survey. *J. Am. Plann. Assoc.* 55 (1), 24–37.

[32] Newman, P., Kenworthy, J., Vintila, P., 1995. Can we overcome automobile dependence? *Physical planning in an age of Urban Cynicism.* *Cities* 12 (1), 53–65.

[33] Planning Department, 2003. Stage II study on review of metroplan and the related Kowloon density study review: final report. Planning Department, Hong Kong.

[34] Porter, D., 1998. Transit-focused development: a progress report. *J. Am. Plann. Assoc.* 64 (4), 475–488.

[35] Sassen, S., 2001. *The Global City.* Princeton University Press, New York, London, Tokyo, Princeton, N.J.

[36] Tong, C.O., Wong, S.C., 1997. The advantages of a high density, mixed land use. *Linear Urban Dev. Transport.* 24, 295–307.

[37] The American Community Survey, 2005. The American community survey. Retrieved November 10, 2008, from <http://www.census.gov/acs/www/>.

[38] Transport Department, 2002. Travel Characteristics Survey. Transport Department, Hong Kong.

[39] Transport Department, 2006. Annual Traffic Census. Transport Department, Hong Kong.

[40] Yoh, A., Haas, P., Taylor, B., 2003. Understanding transit ridership growth: case studies of successful transit systems in the 1990s. *Transport. Res. Rec.* 1835, 111–120.

论文标题：基于轨道交通的 TOD 模式影响因子研究——以纽约和香港为例

作者信息：崔 翀，男，1985 年 8 月生，硕士，深圳市规划国土发展研究中心，规划师

杨敏行，女，1986 年 4 月生，硕士，深圳建筑科学研究院有限公司，规划师

陈可石，男，北京大学中国城市设计研究中心主任，博士生导师