【交通物流 / Transportation Logistics】

城市公交过剩通勤分析与评价——以广州市为例

李 军, 郑培庆

中山大学智能工程学院, 广东智能交通系统重点实验室, 广东广州 510006

摘 要: 利用公共交通出行的 IC 卡 (smart card) 数据, 对城市公交通勤出行进行多种交通方式的过剩通勤分析, 综合评估城市公交通勤, 提出多交通方式的优化建议. 以中国广州市作为研究案例, 结果表明, 广州居民公共交通平均通勤距离处于合理水平, 不区分交通方式的过剩通勤指标与北京和上海近似, 体现了 3 个城市整体公共交通发展水平一致; 但广州市常规公交的过剩通勤指标高于地铁, 与交通方式的预期不符, 表明广州市常规公交和地铁尚有较大优化空间. 过剩通勤可以有效评价城市公共交通空间结构的合理性, 多交通方式的过剩通勤分析可以进一步发掘多种交通方式联合优化方向.

关键词: 交通运输工程; 公共交通; 过剩通勤; IC 卡数据; 多交通方式; 广州

中图分类号: U491.1

文献标志码: A

doi: 10.3724/SP.J.1249.2020.06623

Analyzing and evaluating of the urban transit excess commuting: a case study of Guangzhou City

LI Jun and ZHENG Peiqing

School of Intelligent Systems Engineering, Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Transportation System,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, Guangdong Province, P. R. China

Abstract: We carry out the excess commuting analysis of various transit modes by using the smart card data of public transportation, and comprehensively evaluate the spatial structure of urban transit system and explore the optimization strategies for multiple transit modes. A case study of Guangzhou City indicates that Guangzhou's average commuting distance for residents is at a reasonable level and the excess commuting index without distinguishing traffic modes is similar to that of Beijing or Shanghai, which is consistent with the accordant level of development of transit systems. However, the excess commuting index of conventional bus system in Guangzhou is higher than that of the metro system, which is inconsistent with the expectation of transportation mode, indicating that both bus and metro system in Guangzhou can be further optimized. The results show that the excess commuting theory is suitable to evaluate the overall performance of urban transit systems, and the excess commuting analysis by multiple transit modes is useful to find the joint optimization direction of multiple modes of transportation.

Key words: transportation engineering; public transit; excess commuting; smart card data; multiple transit modes; Guangzhou

通勤能够在一定程度上反映城市的职住空间结构, 基于通勤视角测度城市职住空间关系有利于城

市规划者深度认识城市居民的通勤行为, 从而有针对性地进行资源优化配置. 过剩通勤理论提供一种

Received: 2019-11-29; **Accepted:** 2020-01-06

Foundation: Research and Development Project in Key Areas of Guangdong Province (2019B090913001)

Corresponding author: Associate professor LI Jun. E-mail: stsljun@mail.sysu.edu.cn

Citation: LI Jun, ZHENG Peiqing. Analyzing and evaluating of the urban transit excess commuting: a case study of Guangzhou City [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2020, 37(6): 623-629. (in Chinese)

<http://journal.szu.edu.cn>

用于研究城市就业与居住空间关系和评价通勤效率的研究范式,可以定量研究通勤与城市内部空间结构之间的关系。

过剩通勤理论经过 30 多年的发展和完善,形成一套较为完整的理论框架体系,包括 4 个基准指标和 5 个度量通勤效率指标。过剩通勤理论通过这些指标量化城市居民职住空间关系,从而衡量城市或区域通勤效率^[1-8]。在过剩通勤的发展和完善过程中,单元问题成为一个重要影响因素,NIDZIELSKI 等^[9]利用地理信息系统与泰森多边形分形方法,探讨过剩通勤理论相关指标和单元问题之间的关系,这也为本研究提供了重要的单元划分基础。KANAROGLOU 等^[10-11]对过剩通勤理论研究进行梳理,并基于 2006 年加拿大的普查数据对过剩通勤指标进行比较分析,得出各项指标的应用场合。刘望保等^[12]基于 2001—2005 年的 1 500 份调查问卷,对中国广州市的过剩通勤变化进行评价。然而,过剩通勤理论的发展和完善主要基于传统的人口普查数据及问卷调查数据^[12-17],利用交通大数据开展研究的较少,虽然在手机信令数据和公交刷卡数据方面进行了相关研究^[18-22],但仅对部分指标进行评价,常规公交和地铁的差异性有待探讨,大数据如何引起城市规划研究范式的革新仍然需要深入思考^[23]。

本研究基于广州市 IC 卡 (smart card) 数据,探讨过剩通勤理论在城市公共交通出行中的应用。对比分析常规公交、地铁及不区分交通方式情形下的过剩通勤相关指标,探讨多种交通方式联合优化的必要性;与其他城市对比,对广州市居民公共交通通勤进行整体评价,探讨如何基于 IC 刷卡数据应用过剩通勤理论,以及相关因素对指标的影响。

1 城市公交过剩通勤指标

评价城市公交过剩通勤的相关指标包括基准指标和度量指标。其中,前者描述当前职住关系下几种可能的通勤选择,一方面可以呈现几种通勤选择的差异化,另一方面可以与实际平均通勤距离进行对比来评价城市通勤效率;度量指标从不同角度描述城市通勤效率,熵变指标 E_e 可以度量调整城市职住关系所需付出的努力。

1.1 基准指标

计算基准指标时假设研究区域范围内就业和居住均具有同质性,即通勤者可以任意职住点,不考虑非出行成本因素的限制。

1) 理论最小平均通勤距离 $T_{\min}$ 可采用线性规划模型来计算。

目标函数为

$$\min (T = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} q_{ij}) \quad (1)$$

约束条件为

$$\sum_{i=1}^m q_{ij} = D_j, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n q_{ij} = O_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$q_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \quad (4)$$

其中, m 和 n 分别为居住小区总数和就业小区总数; O_i 为小区 i 的出行发生量; D_j 为小区 j 的出行吸引量; q_{ij} 表示小区 i 到 j 之间的出行量; Q 为总的交通生成量; c_{ij} 为小区 i 和 j 之间的出行成本,由于公交通勤中距离是一个主要因素且变化较小,所以使用距离作为出行成本。

2) 理论最大平均通勤距离 $T_{\max}$ 的计算方式与理论最小平均通勤基本相同。

$$T_{\max} = \left| \min \left(\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n -c_{ij} q_{ij} \right) \right| \quad (5)$$

3) 随机平均通勤距离 T_r 为通勤者不考虑通勤距离因素时随机选择结果,

$$T_r = \frac{1}{Q^2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n O_i D_j c_{ij} \quad (6)$$

1.2 度量指标

1) 过剩通勤率 E 评价通勤行为与城市空间结构的匹配程度,可表示为

$$E = (T_a - T_{\min}) / T_a \quad (7)$$

其中, T_a 为实际平均通勤距离。

2) 通勤容量利用率 C_u 值越大,通勤效率越低,居住与就业关系越趋于不平衡。

$$C_u = (T_a - T_{\min}) / (T_{\max} - T_{\min}) \quad (8)$$

3) 通勤节省 C_e 可表示为

$$C_e = (T_r - T_a) / T_r \quad (9)$$

4) 标准通勤节省 C_n 可表示为

$$C_n = (T_r - T_a) / (T_r - T_{\min}) \quad (10)$$

5) 熵变指标 E_e 可表示为

$$E_e = H_1 - H_2 \quad (11)$$

其中, H_1 和 H_2 分别为实际通勤与优化后通勤两种状态下的最大熵值。

2 案例分析

本研究选取广州市居民公共交通出行作为研究

对象, 包括常规公交和地铁出行方式, 研究区域地理空间范围为 $113^{\circ}10'11.60''\text{E}$ — $113^{\circ}32'0.93''\text{E}$, $23^{\circ}2'25.89''\text{N}$ — $23^{\circ}15'36.86''\text{N}$, 包含广州市中心城区和佛山东侧部分地区, 研究区域如图1中放大部分. 研究区域内公交和地铁站点分布如图2.

图1 研究区域

Fig. 1 Study area

2.1 通勤筛选

本研究使用的数据源为2014-01-06至2014-01-12 (其中, 包含5个工作日和2个周末) 广州市的4 192 521张公交IC卡数据 (包括羊城通和岭南通). 地铁刷卡数据包括完整的进出站信息, 因此, 已具备完整的出行起讫点 (origin destination, OD) 记录. 常规公交出行记录经数据清洗与站点匹配后, 有65%的刷卡数据成功推断得到下车站点^[24], 加上已具备完整OD信息的地铁数据, 得到公共交通出行活动的数据总量为22 429 915条出行记录, 覆盖中心城区2 905个公交及地铁站点. 其中, 公交站点为2 801个, 地铁车站为104个.

对具有完整OD信息的数据进行简单推断和筛选获得通勤数据, 数据筛选过程如下.

(a) 公交站点分布

(b) 地铁站点分布

图2 公共交通站点分布

Fig. 2 (Color online) Locations of transit stations

1) 交通出行时间分布统计, 确定通勤时间范围. 将1 d从00:00开始以0.5 h为单位划分成48个区间, 统计每个区间的交通出行量, 其中, 换乘数据只考虑起讫点, 不考虑中间换乘站点, 如图3.

由图3可见, 相较于周六和周日, 周中的早高峰大概在06:00—09:00, 晚高峰大概在17:00—19:00. 为了获得更加完整的通勤者, 对早晚高峰时间段进行扩展, 分别统计各时间段中具有相同起

图3 各时间区间段内交通生成量

Fig. 3 The travel volume in different time periods

讫点的出行数量, 如表 1. 可见, 对早晚高峰时间段进行扩展, 特别是晚高峰时间段, 能够获得更多的出行对, 因此, 基于扩展的早晚通勤时间段 06:00—10:00 及 16:00—00:00 进行通勤者筛选.

表 1 不同时间段内具有相同起讫点的出行数量

Table 1 The number of trips with the same origin and destination in different time periods

时间段	出行数量
06:00—09:00	3.2×10^6
17:00—19:00	2.9×10^6
06:00—10:00	4.3×10^6
16:00—00:00	6.1×10^6

2) 通勤初步筛选. 分别对早晚通勤时间段内的数据进行统计筛选, 以每周最少 3 次具有相同起讫点作为判定条件, 一定程度上减少了偶发性因素的影响, 如先聚会或休闲再回家的情形, 得到具有通勤可能性的通勤者和通勤起讫点.

3) 通勤匹配, 确定通勤者和职住点. 对早晚通勤时间范围内的可能通勤者进行匹配, 删除可能的非通勤者, 保证居住地和工作地一致, 删除条件包括只在早或晚通勤时间内出行, 以及在早或晚通勤时间内多次往返出行.

由于本研究更强调从宏观层面评价广州市居民通勤, 因此, 对于 OD 精度要求不高, 若需进一步提升精度, 可以增加识别天数, 如选择 1 个月的数据进行识别, 一些偶发性因素的影响会随之减少, 居住地和工作地的一致性也会显著提升. 经过上述步骤筛选得到具有明显通勤特点的通勤者. 区分交通方式时, 为分析常规公交与地铁特性, 本研究剔除了常规公交与地铁换乘出行的数据, 见表 2.

表 2 通勤基本信息

Table 2 The basic commuting information

交通方式	通勤人数/人	起点数/个	终点数/个
常规公交	0.4×10^5	1 809	1 719
地铁	1.8×10^5	104	104
不区分交通方式	2.2×10^5	1 840	1 739

由表 2 可见, 相较于地铁而言, 常规公交通勤者数量较少, 这是由于在推断常规公交完整 OD 信息和通勤者数量时数据不确定性造成的, 但是并不影响研究结果. 此外, 不区分交通方式的站点数少于常规公交和地铁两者之和, 这是由于站点名和地理位置重复造成的.

本研究基于 ArcGIS 软件的反距离权重插值法, 将上述筛选过程得到的不区分交通方式的通勤站点交通发生量, 转换为研究范围的全局分布图, 以自然间断点分级法确定分组边界, 得到如图 4 的居住地和工作地通勤强度分布图. 图 4 中的颜色逐渐变化, 深色代表高值, 浅色代表低值. 根据图 4 可以较为直观地看出广州市职住地分布情况: 居民居住地较为分散, 主要分布在白云区、天河区东部、越秀区和海珠区; 居民工作地相对较为集中, 主要分布在天河区西部和越秀区. 此外, 由于常规公交通勤者数量与地铁相比较少, 职住点分布呈沿地铁分布态势.

(a) 居住地分布

(b) 工作地分布

图 4 通勤者职住地分布

Fig. 4 (Color online) Distribution of commuters' residences and workplaces

2.2 指标计算

本研究对研究区域进行 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 的单元格划分, 共得到 950 个单元格, 将城市居民公共交通出行站点与所得单元格进行匹配, 删除站点出行量为 0 的单元格, 最终得到交通发生和交通吸引单元数, 如表 3.

表3 通勤单元基本信息
Table 3 The basic commuting information

交通方式	交通发生 单元格数/个	交通吸引 单元格数/个
常规公交	541	516
地 铁	97	97
不区分交通方式	545	519

表4 过剩通勤理论相关指标计算结果
Table 4 Results of excess commuting indicators

		T_a /km	T_{min} /km	T_{max} /km	T_r /km	E /%	C_u /%	C_e /%	C_n /%	E_c
欧氏距离	常规公交(广州)	7.3	1.5	28.8	9.5	80.1	21.4	22.9	27.0	1 298.8
	地铁(广州)	7.0	2.8	12.5	8.0	60.1	43.0	12.4	19.0	4 410.0
	不区分交通方式(广州)	7.1	2.4	27.8	8.3	65.7	18.3	14.7	20.8	6 094.0
	手机信令数据(上海) ^[20]	8.2	3.2	49.4	16.6	61.6	11.0	50.1	61.9	—
	常规公交(北京) ^[25]	8.2	2.5	24.7	—	69.5	25.7	—	—	—
曼哈顿距离	常规公交(广州)	9.3	1.9	39.0	12.1	79.8	20.0	23.4	27.6	—
	地铁(广州)	8.6	3.3	13.5	10.0	61.3	51.7	13.8	20.6	—
	不区分交通方式(广州)	8.8	3.0	37.5	10.4	66.3	16.9	16.0	22.4	—

2.3 结果分析

根据表4对欧式距离下广州市不同出行方式的差异性,以及3个城市之间的差异性分别进行如下对比分析。

2.3.1 广州市不同出行方式的差异性

1) 实际平均通勤距离 T_a 。对比可以发现3种情形下 T_a 均比较接近,几乎不受交通方式选择的影响。此外,广州市常规公交通勤的 T_a 值高于地铁通勤,表明其没有发挥自身优势,这也与广州市公交运营特点有关,广州市常规公交是由多家运营公司运营,导致长距离通勤较多,线路不优化。

2) 理论最小平均通勤距离 T_{min} 。3种情形下的 T_{min} 值略有差异,其受到通勤者数量的影响,说明通勤者交通方式的选择对 T_{min} 值存在一定影响,但是不影响城市整体空间组织结构。

3) 理论最大平均通勤距离 T_{max} 。广州市常规公交通勤大于地铁,主要由于地铁站点分布更为集中,服务覆盖范围相较于常规公交受限,如图2。这也表明两种方式都存在较大的优化空间,地铁 T_{max} 较小表明其覆盖范围较小,缺少环线等线路,结构有待优化;常规公交 T_{max} 较大进一步表明长距离通勤较多,线路不优化。

4) 随机平均通勤距离 T_r 。常规公交 T_r 略高于

构建成本矩阵时,单元内部出行距离使用近似圆的半径(面积使用单元实际面积),单元之间出行使用质心间的欧氏距离,分别计算过剩通勤理论相关指标,计算结果如表4。其中,计算 E_c 时的双约束重力模型误差设置为3%,平均通勤距离优化度设置为3%。为进一步探讨距离变化所带来的影响,本研究使用曼哈顿距离构建成本矩阵,并计算相应过剩通勤相关指标,如表4。

地铁,进一步表明广州市常规公交线路存在不足。

5) 过剩通勤率 E 。广州市3种情形的 E 值都超过60%,表示其公交通勤结构的可优化空间较大。

6) 通勤节省 C_e 和标准通勤节省 C_n 。对比广州市两种出行方式可以发现,常规公交通勤的节省程度相较于地铁更高,表明常规公交通勤效率更高,进一步表明广州市地铁线路需要优化。

7) 熵变指标 E_c 。对比广州市两种出行方式可以发现,相较于地铁出行,通过公交出行优化更容易实现广州城市居民出行结构的优化。

8) 对比欧氏距离和曼哈顿距离可以发现,曼哈顿距离下的基准指标值均有所增加,度量指标值变化不大。说明当以通勤距离作为唯一衡量指标时,研究过程中基本可以采用简单的欧氏距离代替通勤者实际出行距离来构建距离成本矩阵。

2.3.2 北京、上海和广州的差异性分析

将广州市不区分交通方式时所计算的指标与北京、上海进行比较,探讨城市之间的差异性,为广州市空间结构优化提供辅助决策。选择北京和上海主要是由于其与广州具有较为相似的经济水平

和政策,虽然空间结构略有差异,但总体可比较。

1) 实际平均通勤距离 T_a 。广州的 T_a 略低于上海和北京,说明广州当前居民公交通勤结构与其经

经济发展相适应,较优于北京和上海.对比北京和上海可以发现, T_a 几乎不受研究范围、城市格局和人口规模等因素影响.

2) 理论最小平均通勤距离 $T_{\min}$. 广州和北京较为接近,但略低于上海,表明研究范围较大时,更多联系不紧密的远距离通勤对结果有较大影响.

3) 理论最大平均通勤距离 $T_{\max}$. 广州与北京较为接近,但约为上海的 1/2. 原因在于:① 与研究范围的选取有关,所选取的上海研究范围远大于广州和北京;② 与城市格局有关,即与区域之间联系的紧密型有关,虽然选取的广州研究范围比北京大,但两者有较为接近的 $T_{\max}$.

4) 随机平均通勤距离 T_r . 上海的 T_r 值约为广州的 2 倍,这与两者之间 $T_{\max}$ 的关系相近,表明 T_r 受到研究范围选取的影响.

5) 过剩通勤率 E 和通勤容量利用率 C_u . 3 个城市有较为相近的 E 值,体现了 3 个城市整体公共交通发展水平相当. 广州的 C_u 略低于北京,表明广州居民出行结构较北京更优.

3 结 论

本研究基于广州市居民 IC 卡数据,分析广州市不同交通方式过剩通勤差异性,对多种交通方式进行对比分析,寻求联合优化城市通勤网络的方向,并对比北京和上海,探讨过剩通勤理论在城市公共交通出行中的应用. 所取得的研究结论如下:

1) 在相似城市发展背景下,实际平均通勤距离几乎不受研究范围、城市格局及人口规模等因素影响,理论最小平均通勤距离、理论最大平均通勤距离及随机平均通勤距离受研究范围选取的影响. 在进行城市间比较分析时,应根据评价需求选择合适研究区域.

2) 广州市居民通勤远离两种极端情况,且广州市存在超过 60% 的过剩通勤,公交通勤结构存在较大优化空间. 对比北京和上海发现,3 个城市的过剩通勤率近似相同,体现了 3 个城市的整体公共交通发展水平一致.

3) 广州市常规公交除理论最小平均通勤距离低于地铁外,其余通勤距离均高于地铁,与交通方式的预期不符,表明广州市常规公交和地铁均有较大优化空间,有必要针对常规公交的长距离通勤及地铁覆盖范围较小等问题进行改进. 相较于地铁出行,通过优化公交出行更容易实现广州城市居民出

行结构的优化.

4) 对比欧氏距离和曼哈顿距离所得结果可以发现,在城市过剩通勤评价中可以使用欧氏距离构建距离成本矩阵.

以上结论表明,过剩通勤可以有效评价城市公共交通空间结构的合理性,多交通方式的过剩通勤分析可以进一步发掘多种交通方式联合优化方向. 今后研究将对不同城市的公共交通刷卡数据进行对比分析,特别是增加中小城市进行对比,探讨不同经济发展条件下城市居民公共交通通勤的差异性.

基金项目: 广东省重点领域研发计划资助项目 (2019B090913001)
作者简介: 李 军 (1968—), 中山大学副教授、博士生导师. 研究方向: 交通运输规划与管理. E-mail: stslj@ mail.sysu.edu.cn

引 文: 李 军, 郑培庆. 城市公交过剩通勤分析与评价——以广州市为例[J]. 深圳大学学报理工版, 2020, 37(6): 623-629.

参考文献 / References:

- [1] HAMILTON B W, RÖELL A. Wasteful commuting [J]. Journal of Political Economy, 1982, 90(5): 1035-1051.
- [2] WHITE M J. Urban commuting journeys are not "wasteful" [J]. Journal of Political Economy, 1988, 96(5): 1097-1110.
- [3] SMALL K A, SONG Shunfeng. "Wasteful" commuting: a resolution [J]. Journal of Political Economy, 1992, 100(4): 888-898.
- [4] HORNER M W. Extensions to the concept of excess commuting [J]. Environment & Planning A: Economy and Space, 2002, 34(3): 543.
- [5] CHARRON M. From excess commuting to commuting possibilities: more extension to the concept of excess commuting [J]. Environment & Planning A: Economy and Space, 2007, 39(5): 1238-1254.
- [6] YANG Jiawen, FERREIRA Jr J. Choices versus choice sets: a commuting spectrum method for representing job-housing possibilities [J]. Environment & Planning B: Planning & Design, 2008, 35(2): 364-378.
- [7] O'KELLY M E, NIEDZIELSKI M A. Efficient spatial interaction: attainable reductions in metropolitan average trip length [J]. Journal of Transport Geography, 2008, 16(5): 313-323.
- [8] MURPHY E, KILLEN J E. Commuting economy: an alternative approach for assessing regional commuting efficiency [J]. Urban Studies, 2011, 48(6): 1255-1272.
- [9] NIEDZIELSKI M A, HORNER M W, XIAO Ningchuan.

- Analyzing scale independence in jobs-housing and commute efficiency metrics [J]. *Transportation Research Part A*, 2013, 58(3): 129-143.
- [10] 刘贤腾, 陈雪明, 周江评. 就业-居住空间关系及通勤效率——过剩通勤的评估潜力 [J]. *城市交通*, 2018, 16(2): 14-22.
- LIU Xianteng, CHEN Xueming, ZHOU Jiangping. Study on jobs-housing spatial relationship and commuting efficiency: evaluation potential of excess commuting [J]. *Urban Transport of China*, 2018, 16(2): 14-22. (in Chinese)
- [11] KANAROGLOU P S, HIGGINS C D, CHOWDHURY T A. Excess commuting: a critical review and comparative analysis of concepts, indices, and policy implications [J]. *Journal of Transport Geography*, 2015, 44: 13-23.
- [12] 刘望保, 闫小培, 方远平, 等. 广州市过剩通勤的相关特征及其形成机制 [J]. *地理学报*, 2008, 63(10): 1085-1096.
- LIU Wangbao, YAN Xiaopei, FANG Yuanping, et al. Related characteristics and mechanisms for excess commuting in Guangzhou [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(10): 1085-1096. (in Chinese)
- [13] 刘定惠. 中国西部大城市过剩通勤研究——以成都市和兰州市为例 [D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- LIU Dinghui. The study of excess commuting of large cities in Western China: the cases of Chengdu and Lanzhou [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012. (in Chinese)
- [14] 周江评, 陈晓键, 黄 伟, 等. 中国中西部大城市的职住平衡与通勤效率——以西安为例 [J]. *地理学报*, 2013, 68(10): 1316-1330.
- ZHOU Jiangping, CHEN Xiaojian, HUANG Wei, et al. Jobs-housing balance and commute efficiency in cities of central and Western China: a case study of Xi'an [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(10): 1316-1330. (in Chinese)
- [15] LIU Wangbao, HOU Quan. Excess commuting in transitional urban China: a case study of Guangzhou [J]. *Chinese Geographical Science*, 2016, 26(5): 599-608.
- [16] SCHLEITH D, WIDENER M, KIM C. An examination of the jobs-housing balance of different categories of workers across 26 metropolitan regions [J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 57: 145-160.
- [17] 韩会然, 杨成凤, 宋金平. 公共交通与私家车出行的通勤效率差异及影响因素——以北京都市区为例 [J]. *地理研究*, 2017, 36(2): 253-266.
- HAN Huiran, YANG Chengfeng, SONG Jinping. Impact factors and differences in commuting efficiency between public transit and private automobile travel: a case study on the Beijing metropolitan area [J]. *Geographical Research*, 2017, 36(2): 253-266. (in Chinese)
- [18] ZHOU Jiangping, SIPE N, MA Zhenliang, et al. Monitoring transit-served areas with smartcard data: a Brisbane case study [J]. *Journal of Transport Geography*, 2017, 76: 265-275.
- [19] ZHOU Jiangping, MURPHY E, LONG Ying. Commuting efficiency in the Beijing metropolitan area: an exploration combining smartcard and travel survey data [J]. *Journal of Transport Geography*, 2014, 41: 175-183.
- [20] ZHANG Ping, ZHOU Jiangping, ZHANG Tianran. Quantifying and visualizing jobs-housing balance with big data: a case study of Shanghai [J]. *Cities*, 2017, 66: 10-22.
- [21] 钱志诚. 基于地铁刷卡数据和问卷调查数据的深圳市过度通勤研究 [D]. 深圳: 深圳大学, 2017.
- QIAN Zhicheng. Analyzing excess commuting of Shenzhen by using smart card data of metro and questionnaire data [D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2017. (in Chinese)
- [22] ZHOU Jiangping, MURPHY E. Day-to-day variation in excess commuting: an exploratory study of Brisbane, Australia [J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 74: 223-232.
- [23] 冷炳荣, 余 颖, 黄大全, 等. 大数据视野下的重庆主城区职住关系剖析 [J]. *规划师*, 2015, 31(5): 92-96.
- LENG Bingrong, YU Ying, HUANG Daquan, et al. Big data based job-residence relation in Chongqing metropolitan area [J]. *Planners*, 2015, 31(5): 92-96. (in Chinese)
- [24] 李 军, 邓红平. 基于公交 IC 卡数据的乘客出行分类研究 [J]. *重庆交通大学学报自然科学版*, 2016, 35(6): 109-114.
- LI Jun, DENG Hongping. Classification of passenger's travel behavior based on IC card data [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University Natural Science*, 2016, 35(6): 109-114. (in Chinese)
- [25] ZHOU Jiangping, LONG Ying. Jobs-housing balance of bus commuters in Beijing: exploration with large-scale synthesized smart card data [J]. *Transportation Research Record*, 2014, 4: 1-10.

【中文责编: 方 圆; 英文责编: 淡 紫】