

深圳市跨界交通调查理论与技术研究

谭泽芳^{1,2,3}, 周军^{1,2}, 黄嘉俊^{1,2}, 杨心怡^{1,2}, 胡家琦^{1,2}

(1. 深圳市规划国土发展研究中心, 广东 深圳 518040; 2. 广东省城市规划与交通仿真决策工程技术研究中心, 广东 深圳 518040; 3. 东南大学交通学院, 江苏 南京 211189)

摘要: 湾区是国家重要的经济增长极, 作为测定经济发展、人员流动、货物流通等方面指标的重要因素, 在湾区日常运作过程中获取精准的跨界交通特征和规律尤为重要。通过总结国内外跨界交通调查的发展历程, 系统探讨湾区主要城市跨界交通调查的理论基础。总结城市规划管理对跨界交通的调查需求, 制定以经验评估和大数据新技术新方法评估贯穿主线的调查框架, 提出样本量设计、数据校核、数据扩样和大数据融合等具体调查方法。最后以深港跨界客流空间分布、深港跨界旅客深圳侧接驳交通方式分布、融合手机信令和调查问卷数据的深圳机场旅客空间分布为例证, 证实了跨界交通调查方法的有效性和提高获取指标精度的可行性, 为湾区、城市群、都市圈等区域的跨界交通调查提供参考。

关键词: 交通规划; 跨界交通调查; 抽样技术; 大数据方法; 湾区; 深圳市

Theoretical and Technical Research on Cross-Border Transportation Surveys in Shenzhen

TAN Zefang^{1,2,3}, ZHOU Jun^{1,2}, HUANG Jiajun^{1,2}, YANG Xinyi^{1,2}, HU Jiaqi^{1,2}

(1. Shenzhen Urban Planning & Land Resource Center, Shenzhen Guangdong 518040, China; 2. Guangdong Urban Planning & Traffic Simulation Decision Engineering Technology Research Center, Shenzhen Guangdong 518040, China; 3. School of Transportation, Southeast University, Nanjing Jiangsu 211189, China)

Abstract: The Bay Area is a key economic growth hub in China. Obtaining accurate cross-border transportation characteristics and patterns is crucial for measuring factors such as economic development, population mobility, and goods movement. This paper presents a review of the domestic and international development history of cross-border transportation surveys and systematically explores the theoretical foundations of cross-border transportation surveys in major cities within the Bay Area. The paper summarizes the urban planning and management needs for cross-border transportation surveys and establishes a survey framework guided by experience evaluation and new technologies and methods evaluation of big data. Specific survey methods are proposed in the framework, including sample size design, data verification, data expansion, and big data integration. Finally, using examples such as the spatial distribution of cross-border passengers between Shenzhen and Hong Kong, the distribution of connecting modes on the Shenzhen side, and the spatial distribution of passengers at Shenzhen Airport based on mobile signaling and survey data, the paper verifies the effectiveness of cross-border transportation survey methods and the feasibility of improving indicator accuracy. The method provides valuable insights for cross-border transportation surveys in regions such as the Bay Area, urban agglomerations, and metropolitan areas.

Keywords: transportation planning; cross-border transportation surveys; sampling techniques; big data methods; Bay Area; Shenzhen

收稿日期: 2023-07-18

作者简介: 谭泽芳(1984—), 男, 广东佛山人, 博士研究生, 教授级高级工程师, 副主任规划师, 研究方向为交通模型和交通大数据分析, 电子邮箱 14711557@qq.com。

0 引言

湾区是海岸带地区一种特定的地域单元, 通常是由一个或若干个海岸线向内陆凹

陷的海湾、与海湾接壤的陆域地区以及相邻岛屿共同组成的区域^[1]。湾区经济是因共享海湾而形成的具有高度开放性的区域经济发展模式^[2]。跨界交通是经济发展、人才合

谭泽方 周军 黄嘉俊 杨心怡 胡家琦
深圳市跨界交通调查理论与技术研究

作、货物流通等方面的载体,分析其特征及变化规律可揭示经济联系度、空间演化等变化趋势,进一步为湾区等区域的跨界设施规划、政策制定和综合治理提供理论支撑。

跨界交通调查是以区域行政界限为整体,以城市内部行政辖区或跨界交通设施为统计单元,对城市跨界的人、车、货流动特征进行调查的行为。由于涉及不同行政区、不同制度,跨界交通调查的总体设计、组织实施和数据校核融合的难度相对较大。本文在总结跨界交通发展历程和理论的基础上,提出跨界交通调查重点需求、技术路线和方法设计等内容,并以深圳市历届开展的跨界交通调查和数据分析结果为例证,为湾区、城市群、都市圈等区域的跨界交通调查提供参考。

1 跨界交通调查发展历程

1.1 以居民出行调查为主的阶段(1999年以前)

20世纪30年代,美国开展城市出行起讫点的家访调查研究^[3]。1953年,底特律开展了都市区域交通研究(Detroit Metropolitan Area Traffic Study),完成3.9万份家访调查问卷,同时在对外交通枢纽对进出研究区域的7200辆货车和出租汽车进行访问调查^[3]。英国伦敦交通调查始于1961—1962年,以1961年为基准年,统计土地利用与交通数据,预测1971年和1981年的公路网交通量^[3]。

交通及运输调查的概念于1964年被引入香港,同年香港成立了公共运输调查小组^[4],调查居民常用交通工具、出行路线、出行时段等相关数据。1985年,天津市首次开展居民出行调查工作,之后短短七八年时间内,北京、上海、南京等几十个城市先后开展居民出行调查^[5]。

此阶段国内外并未进行专项城市跨界交通调查,居民出行调查的对外交通调查中包含部分城市跨界交通调查,主要调查方式为简单的境界线流量调查和拦截式车辆OD问卷调查。

1.2 萌芽阶段(1999—2013年)

为充分了解跨界旅客运输情况以及政府的跨界交通基建发展、社区及旅游设施的规划工作,香港自1999年开始“北往南来”跨界旅客运输统计调查。香港特区政府主要

从统计学的角度结合各部门的自身需求,制定了采用分层等距抽样法的调查方案,调查的总体抽样率为略少于所有跨界出行的1%。此阶段香港于1999年、2001年、2003年、2006年、2007年、2009年和2011年开展7次跨界交通调查^[6],调查方向主要为跨界口岸旅客或驾驶人的社会经济特征与出行特征。此阶段侧重统计学方法问卷调查,较为耗费人力物力且获取的信息有限。

1.3 探索阶段(2013年以后)

深圳市自2013年起每两年开展一次深港莞惠跨界交通调查,调查组织和获取指标主要借鉴香港跨界旅客运输调查,同时逐步探索以深圳市为视角的跨界交通调查体系和指标的总体构成。从2015年开始,深圳市扩展了机场、铁路客站等综合交通枢纽以及深港惠边界线的调查,并逐步引入中国电信、联通、移动以及公共交通刷卡数据、车牌识别等多源大数据进行校核^[7-10]。此阶段探索了大数据的应用,侧重点为校核完善问卷调查的结果、降低问卷调查分层抽样方法的抽样率。

此外,部分学者尝试仅通过多源大数据对跨界交通特征进行分析,如Liu J. X.等^[11]利用地铁刷卡数据分析香港居民在深圳市的出行模式等;方煜等^[12]利用手机信令数据对大湾区人员流动网络进行强、中等、弱联系分类,但尚缺乏具体的分类值。

2 理论基础

2.1 调查方式

金勇进等^[13]将调查定义为使用明确的概念、方法和程序,以专门设计的调查方案为指导的方式,从一个总体全部或部分单元中收集感兴趣的指标信息,并将这些信息综合整理成数据系列的有关活动,同时指出抽样调查是调查最常用的方式。刘建平等^[14]从中美抽样调查发展的比较与思考中得到抽样调查为主体地位的启示。贺明光等^[15]提出交通调查发展新趋势:交通行为特征发生深刻变化、传统调查方式越来越困难、信息采集与数据统计手段趋于多样化、各行业信息统计制度日渐完善等。既有研究表明,城市每日涉及数十万甚至百万人的跨界出行不可能进行普查等全面调查,而随着官方系统数据的共享和多源大数据的应用,跨界交通调查应

以抽样调查为主体、结合大数据的方式进行。

2.2 抽样理论基础

抽样方法主要包括简单随机抽样、分层抽样、整群抽样、多阶段抽样和系统抽样^[13]。其中, 分层抽样将抽样单元按照某种特征或某种规则分为不同的层, 然后从不同的层中独立、随机地抽取样本, 将各层的样本结合起来, 对总体的目标量进行估计。跨界交通调查可获取分口岸、分类型跨界旅客的总体数量, 由于各个口岸通过人数差异较大, 采用分层抽样较为合适。

理论一: 对于分层随机抽样, 每层中的抽样都独立地按照简单随机抽样进行, 加权平均得到的总体均值估计 $\bar{Y}_{st}$ 是简单随机抽样总体均值 $\bar{Y}$ 的无偏估计^[13]。

理论二: 对于分层随机抽样, $V(\bar{y}_{st})$ 是 $\bar{Y}$ 的估计量 $\bar{y}_{st}$ 的方差, $V(\bar{y}_{st})$ 的无偏估计量

$$\hat{V}(\bar{y}_{st}) = \sum_{h=1}^L W_h^2 \frac{1-f_h}{n_h} s_h^2, \quad (1)$$

式中: W_h 为第 h 层的权重; L 为分层随机抽样划分的层数; f_h 为第 h 层的抽样比例; n_h 为第 h 层的样本量; s_h^2 为第 h 层的样本方差。其中,

$$s_h^2 = \frac{1}{n_h - 1} \sum_{i=1}^{n_h} (y_{hi} - \bar{y}_h)^2, \quad (2)$$

式中: y_{hi} 为第 h 层的第 i 个样本值; $\bar{y}_h$ 为第 h 层的样本均值。

由式(2)可知 $n_h - 1 \neq 0$, 当采用估计值 $V(\bar{y}_{st})$ (定义为根据一个具体的样本计算出来的估计量的数值^[16]) 作为方差 $V(\bar{y}_{st})$ 的无偏估计时要求每层的样本量 $n_h \neq 1$ ^[13]。

各层样本量的分配有比例分配、最优分配、内曼最优分配等方法。比例分配中每层的样本都与每层的大小成比例, 最优分配和内曼最优分配主要考虑一定费用下的最优分

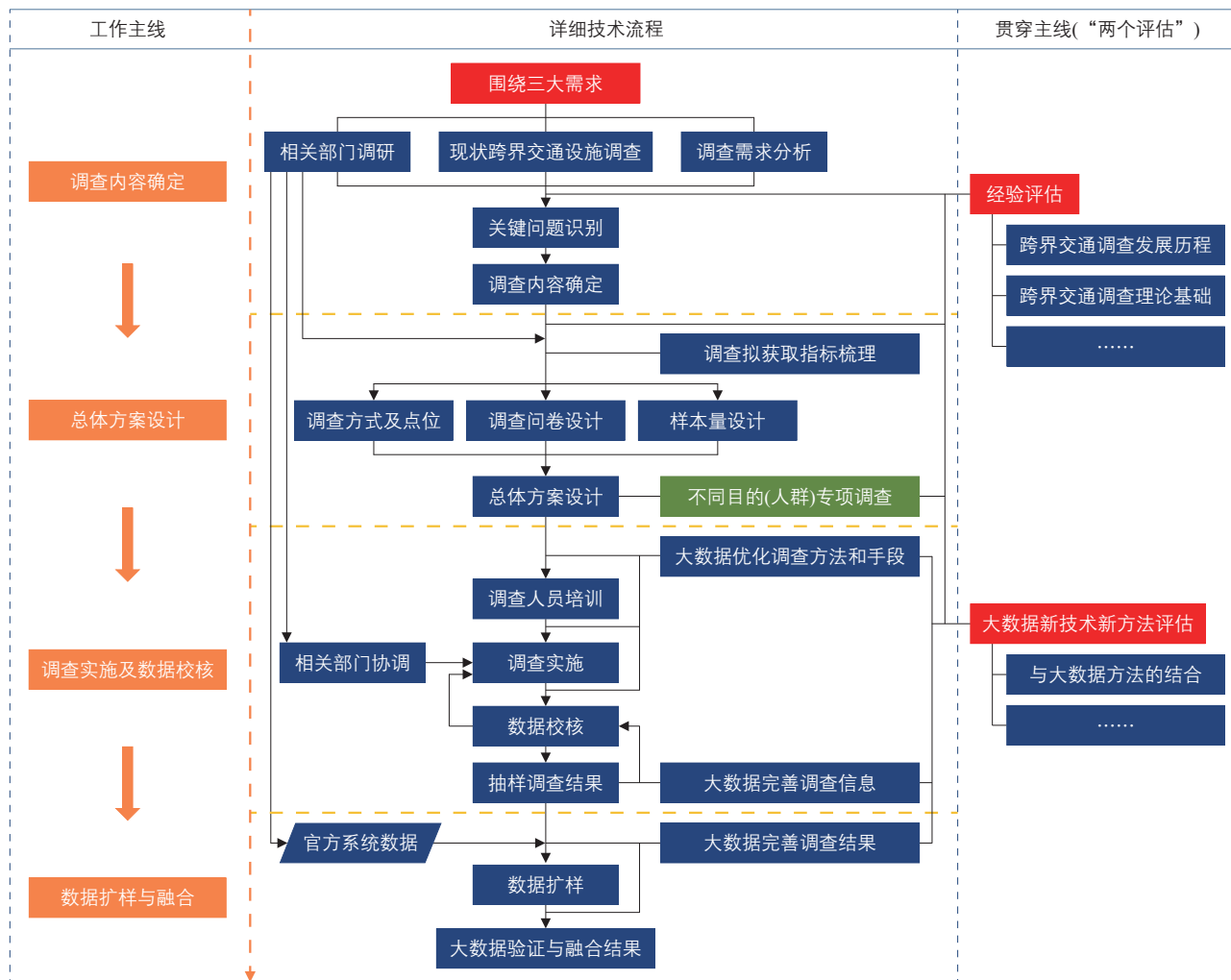


图1 跨界交通调查技术路线

Fig.1 Technical roadmap for cross-border transportation surveys

配^[13]。由于各口岸有官方系统的通关人数，同时在一定总体样本数的情况下外业成本费用差异不大，因此使用比例分配方法较为合适。

抽样调查样本量一般采用以下公式计算：

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}}, \tag{3}$$

式中： n 为样本量； n_0 为初始样本量， $n_0 = (z/\Delta)^2 \times \delta^2$ ，其中 z 为置信度对应的统计量， Δ 为最大允许绝对误差， δ^2 为总体方差； N 为抽样总体。

若样本量总体较大， n_0/N 比值一般都很小， $n \approx n_0$ 。而 $\delta^2 = P \times (1 - P)$ ， P 为抽中概率， $1 - P$ 为非抽中概率，一般情况下 P 的取值未知(范围为 0~1)，当 $P = 0.5$ 时(δ^2 的导数为 $1 - 2P = 0$ ， $P = 0.5$)， δ^2 达到最大值 0.25^[17]，基于此最大方差计算的样本量 n 可满足所有可能的 P 值对应的精度需求。同时为了每层的抽样针对各层均达到一定的精度，对样本小的分层设置最小的抽样样本，提高样本量后的分层均值和方差仍为该

分层的无偏估计，从而保持系统的样本均值和方差仍为无偏估计。

2.3 大数据方法

移动互联网背景下，出行调查应更注重大数据技术应用与现代化人工调查手段的充分融合^[17]。本文从融合层次由低至高将大数据方法划分为三类：大数据优化抽样调查方法和手段、大数据完善抽样调查信息和结果、革新大数据与调查统计结合方法。

1) 大数据优化抽样调查方法和手段。

该融合层次主要应用计算机、互联网、地理信息系统等技术，通过逻辑数据提高调查过程中信息录入的速度、广度和准确度，同时对错误的信息进行纠错。由于跨界交通调查与居民出行调查规模类似，在实施调查前可充分借鉴现代化人工调查手段。例如：北京市于 2014 年居民出行调查中开发了基于智能终端和互联网的出行调查采集系统；上海市于 2014 年居民出行调查中使用个人手持终端(Personal Digital Assistant, PDA)进行调查数据录入，并对信息完整性、出行空

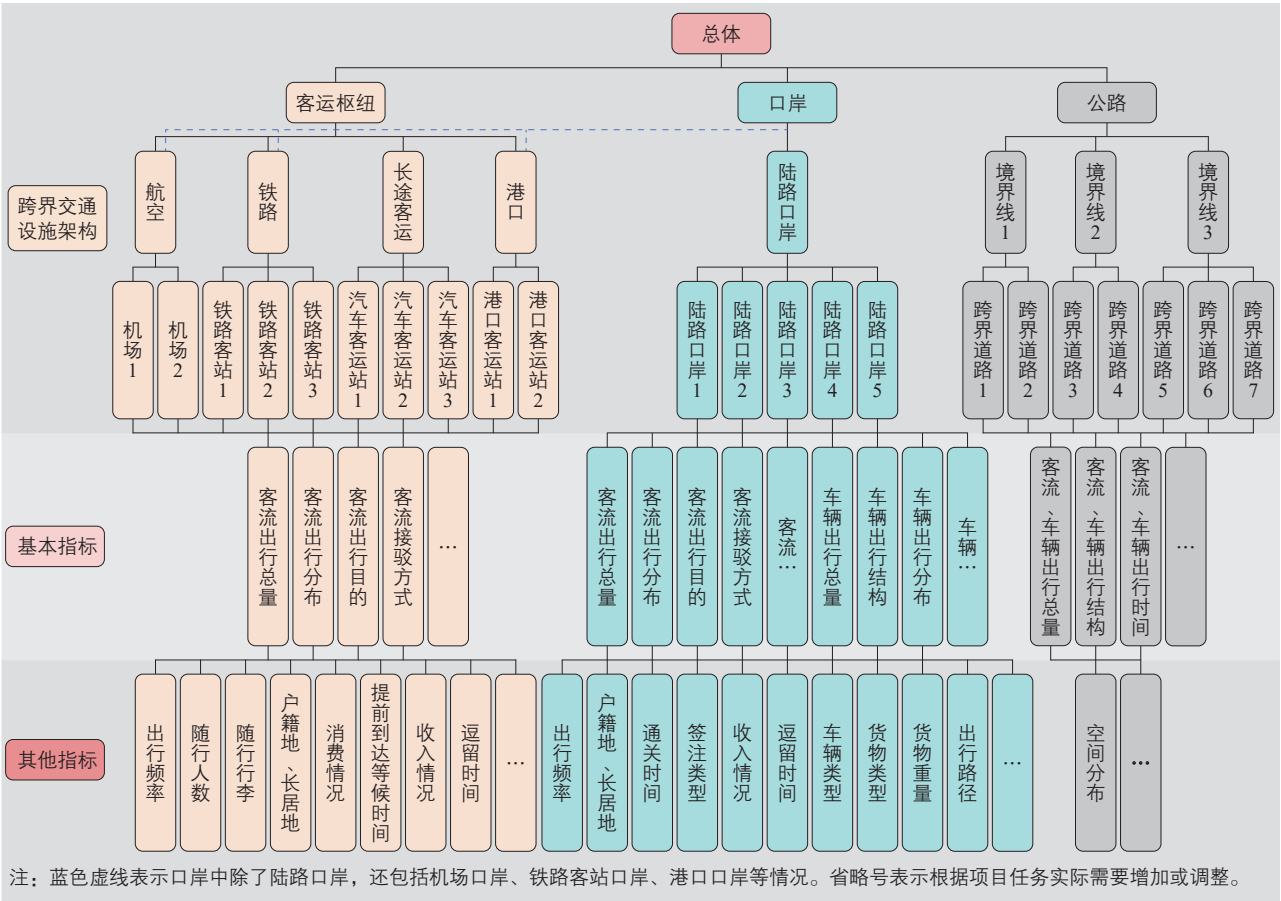


图2 跨界交通设施架构与基本指标、其他指标的关系

Fig.2 Relationship among cross-border transportation infrastructure architecture, key indicators, and other indicators

间轨迹逻辑性进行检查；新加坡 2016 年、美国 2017 年、日本 2018 年通过手机、网页回复自主填报出行调查问卷的居民^[18]；深圳市 2020 年居民出行调查利用微信小程序替代纸质问卷，并通过出行时间、填表用时等系统与人工相结合的方式复核和纠错^[19]。

2) 大数据完善调查信息和结果。

国内外对公共汽车和地铁刷卡、手机定位、车牌识别、GPS 定位等多源大数据技术研究较多。例如：B. Barua 等^[20]进行跟车调查并采用地理信息系统分析公共汽车 OD；戴霄等^[21]提出单条公共汽车线路运营及客流信息的分析处理方法；周崇华^[22]提出基于 IC 卡数据的深圳地铁 OD 信息处理技术；杨飞等^[23]分析了基于手机定位系统的交通数据采集技术的关键问题；张永强^[24]在浮动车交通信息采集系统中研究抽取平均速度、行程时间等交通特征参数。由于数据共享机制等问题，香港“北来南往”项目并未采用相关大数据分析。

2010 年后，学者进一步强化单个交通系统的数据，挖掘和开展多源大数据的融合分析。例如：黄美灵等^[25]提出基于手机定位的交通 OD 数据获取技术；侯艳等^[26]提出基于

公共交通 IC 卡刷卡记录的居民出行 OD 推算方法；李娜等^[27]以上海市为例分析了遥感用地、手机信令、车牌识别和车载 GPS 数据的挖掘技术和方法；基于手机信令、公共交通 IC 卡、自动售检票、GPS 等大数据，苏跃江等^[28]提出通过出行时间分布、OD 分布和交通结构对居民出行特征进行综合矫正。

深圳市自 2013 年开始交通仿真二期系统建设，之后每年动态更新城市轨道交通、公共汽车刷卡、车牌识别等大数据；同时新增手机定位数据，一方面采用手机信令空间分布替代存在安全隐患的跨界道路拦车问卷调查，另一方面对调查问卷数据和大数据进行融合分析(如接驳数据、机场客流空间分布数据等)。

3) 革新大数据与调查统计结合方法。

大数据环境营造了多种数据源，提供了更加多样的调查方式，但是对于不同调查数据源的结合，特别是线上、线下数据的融合，仍有待研究^[29-30]。国内外统计学研究从理论上对抽样调查和统计方法进行革新，突破原抽样调查的工作量限制和大数据属于非概率抽样等限制，实现进一步接近真值、减少误差。

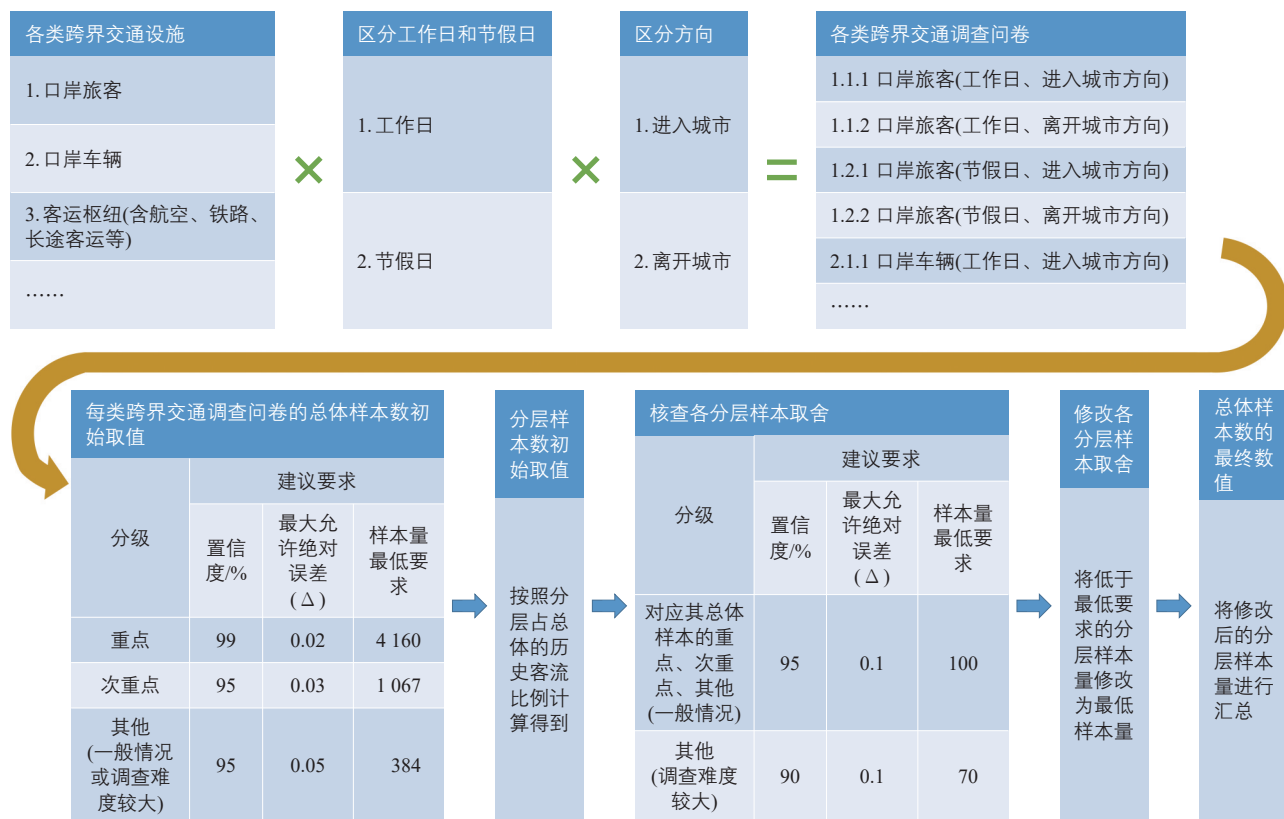


图3 跨界交通设施调查问卷总体和分层样本量生成流程

Fig.3 Generation process of overall and stratified sample size in cross-border transportation facility questionnaires

个评估”，以保证调查安全、提高精确度、控制调查成本为目标，判断大数据新技术能否替代抽样调查。若仍需抽样调查，考虑获取指标的重要程度和难易程度，按照分层抽样调查的理论和精度要求，对同一项调查问卷项目进行样本量设计。图3为跨界交通设施调查问卷总体和分层样本量生成流程图。总体指交通设施类型如口岸旅客、口岸车辆、客运枢纽(含航空、铁路、长途客运等)，调查日，方向(进入或离开城市)等组合生成的各类跨界交通调查问卷；分层为总体下一层的具体跨界交通设施。

2) 数据校核。

调查现场主要由督导和调查员负责。结合“两个评估”，如何充分利用调查系统(开发的IPAD、手机等调查问卷软件)和多源大数据有效准确地提示督导对调查员是否随机抽样进行核查和订正是决定抽样调查质量的关键。如图4所示，跨界交通调查数据校核方法为：一方面利用所开发的调查系统对调查点位、时间、方向(进入或离开城市)、出行方式及其时空合理性等进行核查；另一方

面利用后台人工和现场人工参与的方式，通过多源大数据(地铁刷卡、公共汽车刷卡、出租汽车GPS、停车场进出数据等历史或实时数据)对现场督导形成提示，核查调查员是否随机抽样，从数据生产的全过程进行监督校核，形成可靠准确的抽样问卷调查数据。

3) 数据扩样。

按照调查期间分层的母体数据进行扩样，并与通过官方系统取得的某项统计数据真值(如性别、年龄等)作对比验证(若无真值数据可不验证)。若验证不通过，则将该项分层的官方统计数据按比例调整后重新扩样。验证通过后，统计得到陆路口岸、客运枢纽等各层次的基本指标、其他指标等结果。由于安全因素，公路跨界问卷调查难以开展，结合公路境界线交通量及实载率调查，再通过基于手机信令数据的境界线客流出行链识别及分布集计，可得到公路跨境界的客流基本指标(出行总量、交通结构、时间分布)和其他指标(空间分布)。最后，通过汇总陆路口岸、客运枢纽和公路的客流量和分布，得到客流总量和总体空间分布。跨

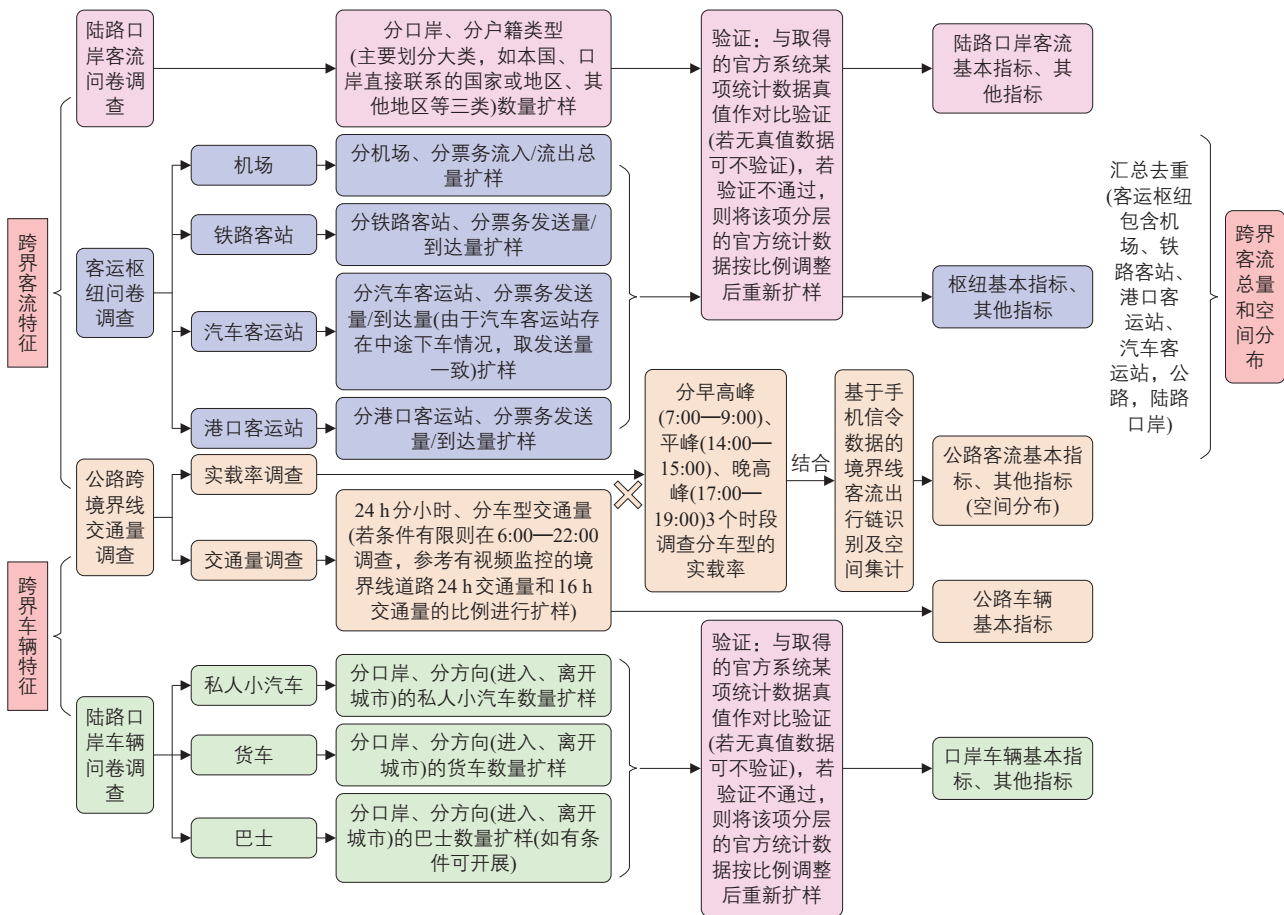


图5 跨界交通调查扩样和指标生成过程

Fig.5 Sample expansion and indicator generation process in cross-border transportation surveys

以机场为例，通过手机信号的驻留点、

目的地识别机场旅客的空间分布。对当天突然出现的手机信号识别为机场到达旅客手机信号,对突然消失并且当天在本城市内不再有信号的手机信号识别为机场出发旅客手机信号。然后,通过机场票务的总量数据扩样可得到基于手机数据的机场旅客空间分布。由于部分旅客采用其他手机运营商、可能携带两部手机、年龄尚小未携带手机等原因,基于手机信号扩样相对于真实结果的误差仍未可知。因此,为了提高精度,通过对比调查问卷数据,用部分相对较准确的问卷数据修正部分手机识别的过大空间数据量(如由于数据漂移产生的手机空间识别扩样数据远大于问卷扩样数据等),以及修正部

如果调查过程严格按照随机抽样, 扩样结果就符合样本量设计时的精度要求, 但是实际调查中难以避免误差。为进一步减少误差、提高数据的精度和细化空间的颗粒度, 可利用大数据对直接扩样的问卷数据进行融合(见图 6)。例如: 通过基于手机信令数据的跨界口岸出行链识别及分布集计修正客流出行总量、出行分布指标; 通过地铁刷卡车站进出量、公共汽电车刷卡车站上客量、出租汽车 GPS 上下客量和停车场刷卡进出量等数据融合修正客流接驳方式指标; 通过跨界货运 GPS 数据融合修正陆路口岸的车辆空间分布指标。

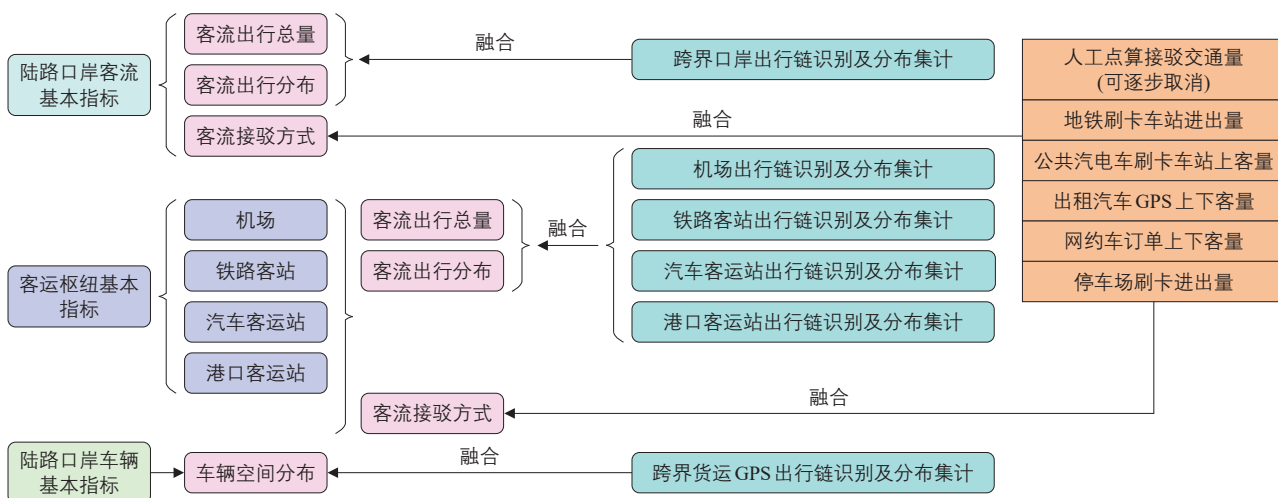


Fig.6 Integration and application of big data in cross-border transportation surveys

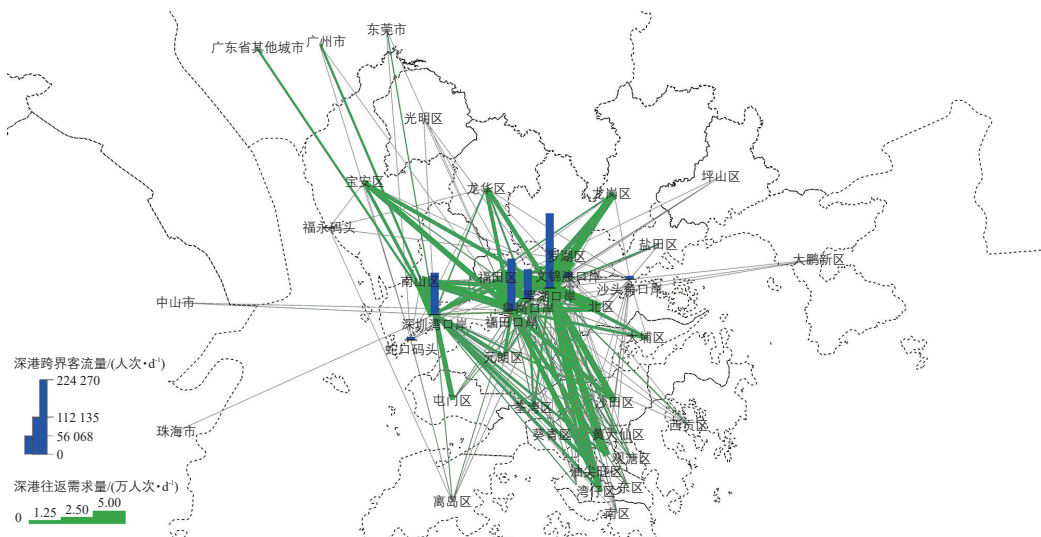


Fig.7 Spatial distribution of cross-border passengers flow between Shenzhen and Hong Kong in 2018

资料来源：基于2017年深港莞惠跨界交通调查项目(调查时间2018年)数据分析绘制。

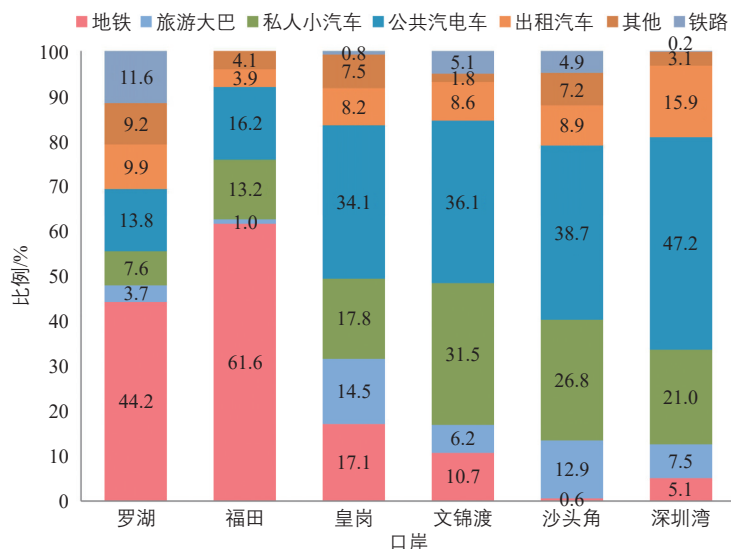


图8 2018年深港跨界旅客深圳侧接驳交通方式分布

Fig.8 Distribution of connecting modes on the Shenzhen side for cross-border travelers between Shenzhen and Hong Kong in 2018

资料来源：基于2017年深港莞惠跨界交通调查(调查时间2018年)数据绘制。

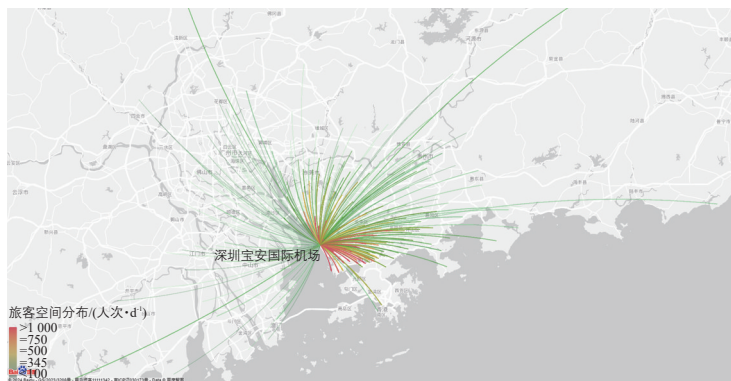


图9 融合手机信令和调查问卷数据的深圳宝安国际机场出发和到达旅客空间分布

Fig.9 Spatial distribution of departing and arriving passengers at Shenzhen Bao'an International Airport based on cellular signaling and survey data

资料来源：底图为百度地图，基于2019年深港莞惠跨界交通调查项目(调查时间2020年)和广东省移动数据分析绘制。

分手机未能识别的空间数据量(如问卷调查、地铁刷卡OD量等确定存在的空间数据量)，可得到修正后的机场旅客空间分布。

5) 不同目的(人群)专题调查。

由于跨界人群的多样性，跨界点的问卷量往往不足以支撑不同目的(人群)进一步的行为特征分析。因此，在制定调查计划时，可针对具体的某一目的(人群)作专题调查。为了避免专题调查对主体调查产生影响，不建议在主体问卷调查点开展专题调查，同时为解决非口岸地区(如跨界高速公路、主干路等)难以拦截等问题，可通过新闻热点或多源大数据等途径针对某一目的(人群)识别

其日常聚集点(如市界接驳地铁站、跨市通勤办公聚集点、跨市购物聚集点等)，施以小样本问卷调查。一方面，可利用专题调查的结果验证主体调查的准确性，扩充该类目的(人群)的行为特征；另一方面，未来可结合基于大样本粗粒度的匿名轨迹数据刻画并提取个体出行特征，进而划分目的(人群)类型，构建并训练多任务深度学习模型，实现城市功能区识别^[31]。

5 深圳市实践

5.1 扩样和指标生成结果

通过深港陆路口岸客流问卷调查，按照分口岸、分户籍类型(中国内地居民、中国香港居民、其他地区居民)的通关人数作为母体数量进行扩样，得到各口岸的跨界客流总量和起讫点的空间分布等基本指标(见图7)。

5.2 大数据融合的结果

通过深港陆路口岸问卷调查数据扩样，结合人工点算不同交通方式接驳量、地铁刷卡车站进出量、公共汽车刷卡车站上客量等数据综合分析，得到2018年深港跨界旅客在深圳侧抵离各深圳口岸的接驳交通方式(见图8)。其中，福田口岸地铁接驳比例为62%；罗湖口岸地铁接驳比例为44%；7号线皇岗口岸于2016年10月28日投入使用后，地铁接驳更加便利，皇岗口岸地铁接驳比例为17%^[9]。

由于2020年9—10月深圳境内新冠病毒感染疫情相对稳定，采用机场调查问卷数据扩样与基于手机信令数据的机场旅客出行链识别和分布集计的融合方法，得到2020年深圳宝安国际机场旅客空间分布(见图9)。

5 结束语

掌握湾区对外交通特征及演变情况对提升区域规划、交通规划、空间科学治理的决策水平尤为重要。本文总结了国内外跨界交通调查的发展历程，梳理了适合跨界交通调查的抽样调查和大数据结合的理论基础，并以深圳市为例提出面向湾区的跨界交通调查理论与技术体系。

基于抽样问卷调查和多源大数据采集，未来可采用机器学习算法进行样本训练和深度学习算法实现特征的深层卷积识别^[32]，从

而在方法层面实现对跨界出行特征的纵深挖掘。若能再从理论上提出基于大数据的新型抽样方法,不仅有助于更精准地揭示跨界出行的真实状况,还能深入解释其背后的成因机制,为相关研究提供更具创新性和实践价值的理论支持。

参考文献:

References:

- [1] 佚名. 蓝绿交汇 演绎什么样的生态逻辑?: 关于我国重点湾区生态文明建设的报告[J]. 中国生态文明, 2016(2): 23-33.
- [2] 张昱, 陈俊坤. 粤港澳大湾区经济开放度研究: 基于四大湾区比较分析[J]. 城市观察, 2017(6): 7-13.
ZHANG Y, CHEN J K. The economic openness of Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area: a comparative analysis of four renowned bay areas[J]. Urban insight, 2017(6): 7-13.
- [3] 大卫·博依斯, 胡·威廉姆斯. 城市出行预测学: 历史现状与未来[M]. 宇恒可持续交通研究中心, 译. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
Boyce D, Williams H. Forecasting urban travel: past, present and future[M]. The China Sustainable Transportation Center, translated. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [4] 陈晨. 1965年以来香港公共交通发展与运输政策演进[J]. 国际城市规划, 2011, 26(2): 67-73.
CHEN C. The evolution of transportation policy and public transport development in Hong Kong since 1965[J]. Urban planning international, 2011, 26(2): 67-73.
- [5] 全永荣, 潘昭宇. 建国60周年城市交通规划发展回顾与展望[J]. 城市交通, 2009, 7(5): 1-7.
QUAN Y S, PAN Z Y. Development of urban transportation planning: looks back & ahead at 60th anniversary of P. R. China[J]. Urban transport of China, 2009, 7(5): 1-7.
- [6] 香港规划署. “北往南来”: 二零一七年年跨界旅运统计调查[R]. 香港: 香港规划署, 2018.
Hong Kong Planning Department. “North-bound Southbound” cross-boundary travel survey[R]. Hong Kong: Hong Kong Planning Department, 2018.
- [7] 深圳市规划和国土资源委员会. 2013年深港跨界交通调查[R]. 深圳: 深圳市规划和国土资源委员会, 2014.
- [8] 深圳市规划和国土资源委员会. 2015年深港莞惠跨界交通调查[R]. 深圳: 深圳市规划和国土资源委员会, 2016.
- [9] 深圳市规划和国土资源委员会. 2017年深港莞惠跨界交通调查[R]. 深圳: 深圳市规划和国土资源委员会, 2018.
- [10] 深圳市规划和自然资源局. 2019年深港莞惠跨界交通调查[R]. 深圳: 深圳市规划和自然资源局, 2020.
- [11] LIU J X, SHI W Z. A cross-boundary travel tale: unraveling Hong Kong residents' mobility pattern in Shenzhen by using metro smart card data[J]. Applied geography, 2021, 130: 102416.
- [12] 方煜, 石爱华, 孙文勇, 等. 粤港澳大湾区多维空间特征与融合发展策略[J]. 城市规划学刊, 2022(4): 78-86.
FANG Y, SHI A H, SUN W Y. Multi-dimensional spatial characteristics and integrated development strategy of Guangdong-Hong Kong-Macao greater bay area[J]. Urban planning forum, 2022(4): 78-86.
- [13] 金勇进, 杜子芳, 蒋妍. 抽样技术[M]. 第四版. 北京: 中国人民大学出版社, 2015: 15-35.
JIN Y J, DU Z F, JIANG Y. Sampling technique[M]. 4th ed. Beijing: Chinese Renmin University Press, 2015: 15-35.
- [14] 刘建平, 王克林. 中美抽样调查发展的比较与思考[J]. 统计研究, 2009(9): 21-27.
LIU J P, WANG K L. Comparison and thoughts on the sampling survey development between China and the United States [J]. Statistical research, 2009(9): 21-27.
- [15] 贺明光, 孙杨, 叶臻. 新时期综合交通运输规划调查方法研究[J]. 综合运输, 2018, 40(12): 50-56.
HE M G, SUN Y, YE Z. Research on investigation methods for comprehensive transportation planning in new era[J]. China transportation review, 2018, 40(12): 50-56.
- [16] 贾俊平, 何晓群, 金勇进. 统计学[M]. 第六版. 北京: 中国人民大学出版社, 2015: 152-154.
- [17] 伊学义, 王亦兵. 贸易统计抽样调查样本量的研究[J]. 中国统计, 2004(2): 20-22.
- [18] 朱洪, 陈欢, 范瑱, 等. 移动互联网背景下

- 的上海市人员出行调查关键技术实践与创新[J]. 交通与港航, 2022, 9(2): 77-81.
- ZHU H, CHEN H, FAN Z, et al. Practice and innovation of key technology of Shanghai travel characteristics investigation in the context of mobile internet[J]. Communication & shipping, 2022, 9(2): 77-81.
- [19] 深圳市规划和自然资源局. 2020年深圳市居民出行调查及分析[R]. 深圳: 深圳市规划和自然资源局, 2022.
- [20] BARUA B, BOBERG J, HSIAO S, et al. Integrating geographic information systems with transit survey methodology[J]. Transportation research record: journal of the Transportation Research Board, 2001, 1753(1): 29-34.
- [21] 戴霄, 陈学武. 单条公交线路的IC卡数据分析处理方法[J]. 城市交通, 2005, 3(4): 73-76.
- DAI X, CHEN X W. The method of intelligent card data analysis for one public transportation route[J]. Urban transport of China, 2005, 3(4): 73-76.
- [22] 周崇华. 基于IC卡数据的深圳地铁OD信息处理技术[J]. 城市轨道交通研究, 2007(1): 54-56.
- ZHOU C H. OD matrix of Shenzhen subway based on IC data[J]. Urban mass transit, 2007(1): 54-56.
- [23] 杨飞, 裘炜毅. 基于手机定位的实时交通数据采集技术[J]. 城市交通, 2005, 3(4): 63-68.
- YANG F, QIU W Y. Mobile phone location based real time traffic data collection-research[J]. Urban transport of China, 2005, 3(4): 63-68.
- [24] 张永强. 浮动车交通信息采集系统研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- ZHANG Y Q. Traffic data collection based on probe vehicle[D]. Nanjing: Southeast University, 2005.
- [25] 黄美灵, 陆百川. 基于手机定位的交通OD数据获取技术[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2010, 29(1): 162-166.
- HUANG M L, LU B C. Traffic OD data collection technology based on mobile phone location[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (natural science), 2010, 29(1): 162-166.
- [26] 侯艳, 何民, 张生斌. 基于公交IC卡刷卡记录的居民出行OD推算方法研究[J]. 交通信息与安全, 2012, 30(6): 109-114.
- HOU Y, HE M, ZHANG S B. Origin-destination matrix estimation method based on bus smart card records[J]. Journal of transport information and safety, 2012, 30(6): 109-114.
- [27] 李娜, 董志国, 薛美根, 等. 上海市第五次综合交通调查新技术方法实践[J]. 城市交通, 2016, 14(2): 35-42.
- LI N, DONG Z G, XUE M G, et al. The practice of new survey technology and methodology in the 5th Shanghai comprehensive transportation survey[J]. Urban transport of China, 2016, 14(2): 35-42.
- [28] 苏跃江, 温惠英, 韦清波, 等. 多源数据融合驱动的居民出行特征分析方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(5): 56-63.
- SU Y J, WEN H Y, WEI Q B, et al. Resident travel characteristics analysis method based on multi-source data fusion[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2020, 20(5): 56-63.
- [29] 金勇进, 刘晓宇. 大数据背景下的抽样调查[J]. 系统科学与数学, 2022, 42(1): 2-16.
- JIN Y J, LIU X Y. Sampling survey in the context of big data[J]. Journal of systems science and mathematical sciences, 2022, 42(1): 2-16.
- [30] 金勇进, 刘展. 大数据背景下非概率抽样的统计推断问题[J]. 统计研究, 2016, 33(3): 11-17.
- JIN Y J, LIU Z. Statistical inference problems of non-probability sampling under the background of big data[J]. Statistical research, 2016, 33(3): 11-17.
- [31] 凌鹏, 诸彤宇, 周轶, 等. 基于人群出行行为轨迹的城市功能区识别[J]. 计算机工程, 2022, 48(7): 36-41.
- LING P, ZHU T Y, ZHOU Y, et al. Urban functional areas identification based on crowd travel behavior trajectory[J]. Computer engineering, 2022, 48(7): 36-41.
- [32] 刘志远, 张文波. 交通大数据理论与方法[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2020: 89-263.