

基于出行时耗和距离分布规律的供需时空单元组织秩序研究

张建明, 蔡军, 祁梦迪

(大连理工大学建筑与艺术学院, 辽宁 大连 116024)

摘要:厘清居民出行时耗和距离(以下简称“时距”)分布所含供需间时距衰减和时距阈值规律,进而构建生活圈和通勤圈(时距)标准所对应供需时空单元的组织秩序,是以人为本推进城市空间结构优化的关键。将差异显著的124组居民出行时距分布进行相对自身出行时距均值的标准化处理,得到的相对时距呈现先升后降的规律性分布。以相对时距规模效用和衰减效用构建时距分布的解释机理,并拟合校验其函数模型,得到相对时距衰减效用为参数取值2.07的负指数函数。进而将相对时距分布转换为累积比例分布,得出时距阈值与时距均值呈稳定的2倍关系。将上述分布规律解析作为生活圈和通勤圈出行时距标准所对应供需时空单元组织的基础,构建了城市方格网道路背景下以供给设施为中心、时距阈值为边长且4角对接的同级供需时空单元组织秩序,并引入不同出行方式的速度关系,构建了切合四级居住单元和四级通勤单元的出行方式基础单元结构秩序。

关键词:生活圈;通勤圈;出行时距分布;距离衰减;时距阈值;供需时空单元;出行方式基础单元
Temporal-Spatial Units Organizational Order of Supply and Demand Based on the Distribution Pattern of Travel Time and Distance

ZHANG Jianming, CAI Jun, QI Mengdi

(School of Architecture and Fine Art, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning 116024, China)

Abstract: Clarifying the rules of time/distance decay and threshold values between supply and demand associated with residents' travel time/distance distribution is crucial for constructing the temporal-spatial units organizational order corresponding to the (travel time/distance) standards of living and commuting circles. It is also critical for promoting the optimization of urban spatial structures using a people-oriented approach. By standardizing the 124 sets resident's travel time/distance distributions with significant differences relative to their average travel time/distance, a pattern emerges where relative travel time/distance initially increases and then decreases. The explanatory mechanism for the relative travel time/distance distribution is constructed using the scale utility and decay utility of relative travel time/distance, and its function model is fitted and verified, resulting in a negative exponential function with a parameter of 2.07. After converting the relative travel time/distance distribution into a cumulative proportional distribution, a stable 2:1 ratio is obtained between the travel time/distance threshold and the average travel time/distance. Using this distribution pattern analysis as the foundation for the temporal-spatial units organization of supply and demand corresponding to the travel time/distance standards of living and commuting circles, an organizational order of the same-level temporal-spatial supply and demand units is constructed. Within a city gridded roadway network, this order centers on supply facilities with travel time/distance thresholds as the boundary length and four-corner alignment. Additionally, by introducing the relationship among different travel mode speeds, a fundamental unit structural order that aligns with four-level residential units and four-level commuting units is established.

Keywords: living circle; commuting circle; distribution of travel time/distance; distance decay; travel time/distance threshold; temporal-spatial units of supply and demand; fundamental units of travel modes

收稿日期: 2023-03-22

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“城市与街区双动力视域下路网品质提升的规划理论与智慧方法研究”(52278048)

作者简介: 张建明(1993—), 男, 河南郑州人, 在读博士研究生, 研究方向为基于短距离出行需求组织的城市片区更新, 电子邮箱2279083801@qq.com。

通信作者: 蔡军(1970—), 男, 山东平原人, 博士, 教授, 博士生导师, 院长, 研究方向为城市交通规划、城市道路网规划, 电子邮箱caimans@126.com。

0 引言

在以人为本推进城市空间结构优化和品质提升的城市更新背景下,为破解居民生产及生活空间供需错位、布局失序、结构失衡的系统性难题,规划界引入了区别于传统供需服务半径空间约束的“生活圈”“通勤圈”的人本时空发展理念^[1],以居民15 min生活出行、30 min通勤出行时耗和距离(以下简称“时距”)标准作为单元内供需关系的约束,探索在城市新发展阶段这一约束对应的供给设施(提供就业岗位和生活服务的生产、生活设施)与居民需求间(以下简称“供需”)时空组织秩序的重构。

在生活圈和通勤圈时空发展理念下,规划相关研究主要从供需或时距视角出发,围绕“概念化”的供需时空组织展开。面对复杂多变的供需情境,既有研究多延续“局部化、经验化、模式化”的供需分解思路,或通过规划理念的解析,探究居民生产和生活空间布局结构、层级体系等的理想模式,引导城市空间的更新建设^[2-4];或通过15 min生活出行、30 min通勤出行对应时耗和距离的论述,构建居民生产和生活设施场域(即影响区域)圈层结构、时距阈值(即某目的、方式出行活动适宜或可接受的时距限度,对应某目的、方式出行时距分布的95%分位值)界限等的尺度依据,推进城市空间结构的有序发展^[5-6]。然而,受限于时距衰减(即随出行时距增大而供需联系强度减弱的特征)、时距阈值等关键供需时空组织逻辑不清^[7-8],即缺乏“整体化、理论化、模型化”的供需融合思路,导致生活圈和通勤圈时距标准所对应“概念化”供需时空组织的“实体化”转型困难^[9],相应地,供需时空组织秩序缺失下人本导向的城市空间结构优化也难以保障。

从“供给设施—出行时距—居民需求”的整体供需时空关系角度看,供需间时空组织逻辑不清关联着居民出行时距分布(即居民某方式、目的等出行调查数据按时耗或距离分段统计的比例分布)的研究不足。由相关研究可知,居民出行时距分布是交通需求预测“四阶段法”中出行分布模型对应时距衰减的求解依据^[10-12],常用于重力模型、目的地选择模型等阻抗函数的模型选择和参数估计^[13-14]。然而,受限于微观因素(如出行对象、方式等)综合影响下居民出行时距分布差异较大且规律不明,相关研究通常用某统

计样态的居民出行时距分布拟合某种形式的函数,依据拟合结果推断其特征出行所关联时距衰减的适合模型。例如石飞等^[10]通过对10座城市居民出行数据的拟合,提出了居民出行距离分布的瑞利密度模型;王成金^[15]通过5种距离衰减模型的拟合比选,识别出城际交通流距离衰减符合Pareto模型;通过拟合通勤者步行距离分布数据,R. Goel^[16]指出步行距离衰减符合负指数模型。由于缺少横向的系统性解析,上述案例式的模型研究除了未能解释微观因素的影响机制而不可移植外,还因缺少佐证的函数拟合加剧了时距衰减的模型争议。

复杂诱因下出行时距的分布差异以及无规律可循的时距衰减,使得供需时空单元内的时距衰减差异难以评估、单元间的时空组织效益难以维系,严重制约了生活圈和通勤圈时距标准所对应供需时空组织秩序的建立。供需时空单元是一个描述供需时空互动关系的概念模型,用以概括生活圈和通勤圈供需时空互动关系受时距衰减的影响,其单元间关系包括时距标准一致、呈时空邻近的同级单元(如以30 min通勤为限的城区单元或10 min生活圈),以及时距标准等级分异且呈层级结构关系(如10 min与5 min生活圈层级或以30 min通勤为限的城区单元和城市轨道交通站域单元)的异级单元。为了厘清居民出行时距分布所含供需间时距衰减和时距阈值规律,进而构建生活圈和通勤圈时距标准所对应人本化的供需时空组织秩序,本文针对既有研究存在的“分布差异无规律”和“模型认定依据不足”问题,开展居民出行时距分布规律的系统研究。首先,对差异显著的124组居民出行时距分布数据做除以自身出行时距均值和单位跨度比例均值的标准化处理,获得相对于出行时距均值稳定的相对时距分布,厘清出行时距分布可做数值(即出行时距均值)和形态(即相对时距分布)层面拆分的规律;其次,在厘清相对时距分布抽象映射供给设施对周边相对时距处居民需求吸引关系的基础上,依据重力模型原理,以相对时距规模效用和衰减效用构建相对时距分布的解释机理,并拟合校验其函数模型;最后,将生活圈和通勤圈的时距标准与出行时距均值相关联,厘清了可抽象映射生活圈和通勤圈供需时空关系的供需时空单元。在此基础上,将时距标准所对应的时距阈值、出行方式所对应的速度关系作为生活圈和通勤圈单元所对应供需时空组织的依

据, 构建城市方格网道路背景下以供给设施为中心、时距阈值为边长且4角对接的同级供需时空单元组织秩序, 以及切合四级居住单元和四级通勤单元的出行方式基础单元结构秩序。

1 数据处理揭示出行时距分布规律

1.1 实验数据概况

为了厘清时距衰减和时距阈值规律, 本文从相关文献中搜集了124组居民出行时耗和距离分布数据(含77组出行时耗分布和47组出行距离分布), 开展居民出行时距分布规律及其数理逻辑的系统研究。出于规律通用性检验的考虑, 所获实验数据的来源不一、属性各异(调查年份跨度达20余年, 涵盖7种常见的居民出行方式且涉及不同的城市规模, 总体概况见表1), 相互之间的差异显著。图1为居民出行时耗和距离分布数据于多项式趋势线下的呈现, 可以看出, 实验数据除了包含不同出行方式的出行时距区间跨度差异, 还包含相同出行方式的时距阈值

差异, 仅从直观上看, 不同实验数据间并无明显共性规律。

1.2 数据标准化处理

协调居民出行时耗和距离分布差异、揭示出行时距分布相对稳定的内在关系是解析供需间时距衰减和时距阈值的前提。均值是对总体一般水平的反映, 不同出行时距分布的数值意义与数值差异可由其均值来反映。数值差异在出行时距分布中表现为横、纵轴区间范围差异。由此, 本文推断出行时距分布可做数值与形态层面的拆分, 其中出行时距均值关联数值层面的“纵横伸缩变形”(如时距区间跨度)差异, 而先升后降的出行分布关系关联形态层面的“伸缩不变性”规律。同时提出可验证该推断的标准化处理方法: 将居民出行时距分布数据于横轴(时距)、纵轴(比例)方向分别除以其出行时距均值、单位跨度比例均值(反映横轴和纵轴区间伸缩约束关系的特征值, 与出行时距均值彼此关联, 两者可作为出行时距分布稳定测度的理想参照), 得到相对时距和相对比

表1 实验数据概况

Tab.1 Overview of experimental data

出行方式	城市人口规模/万人				调查年份			总计/组
	>1 000	500~1 000	100~<500	<100	2005年以前	2005—2015年	2015年以后	
步行	4	5	3	2	5	9	0	14
自行车	11	12	5	6	2	22	10	34
离到站 ¹⁾	7	6	3	1	5	6	6	17
摩托车	0	3	2	1	2	4	0	6
私人小汽车	5	3	3	2	1	11	1	13
出租汽车	10	1	5	2	1	14	3	18
公共交通 ²⁾	12	6	2	2	1	16	5	22

1)指公共交通出行对应离站后、到站前不含换乘的短距离出行环节, 即公共交通出行“最后一公里”, 鉴于出行调查一般不包含时耗小于5 min、距离不足500 m的出行数据, 本文取其作为短距离出行数据的补充, 具体包含自行车离到站、步行离到站等; 2)包含公共汽电车、城市轨道交通等。

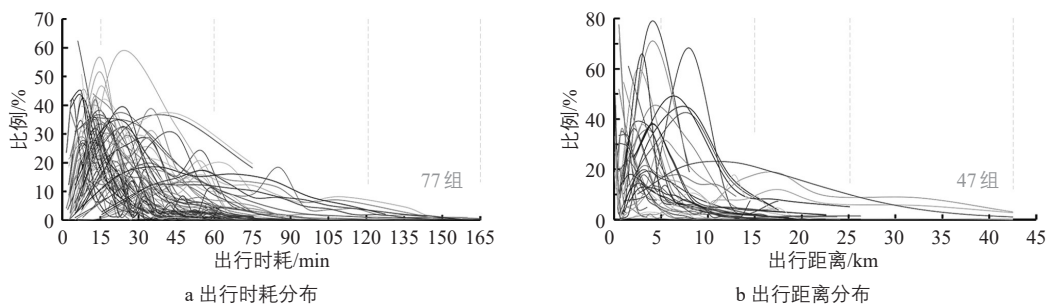


图1 居民出行时耗和距离分布

Fig.1 Distributions of residents' travel time and distance

例。以一组居民出行时耗分布数据为例详解该标准化处理过程(见表2)。

该标准化处理的原理是：将出行时距均值作为出行时距分布的标准化参照，用于分离关联数值和量纲差异的出行时距属性(对应“横纵伸缩变形”差异)，仅保留指代出行分布关系的相对时距分布(对应“伸缩不变性”规律)。图2为图1所对应居民出行时耗和距离分布数据标准化处理后的结果，可以看出原本差异显著的出行时耗和距离分布经标准化处理后更加收敛，呈现先升后降的分布共性。该处理结果在证实出行时距分布可做数值与形态层面拆分、均值标准化可有效协调出行时距分布差异的同时，揭示了居民出行时距分布相对于自身出行时距均值的稳定的规律。

2 相对时距分布解析

2.1 机理解析

厘清相对时距分布映射关系并构建其解释机理，可避免相对时距分布模型拟合求解的偏误，是破解时距衰减无规律难题的关键。从“供给设施—出行时距—居民需求”的整体供需时空关系角度看，居民出行时距分布可视为调查范围内不同供给设施与其周边居民出行需求吸引关系(如公园对周边居民步行出行的吸引)的集合，对“供给设施—出行时距—居民需求”集合进行均值标准化处理，即对供需时空关系做均质化假设，则相对时距分布抽象映射了标准供给设施对其周边相对时距处标准居民需求的吸引关系，而出行时距均值抽象映射了标准供给设

表2 数据标准化处理过程示例

Tab.2 Illustration of data standardization process

内容		统计段序 i							
		1	2	3	4	5	6	7	8
统计区段/min		5~<10	10~<15	15~<25	25~<35	35~<45	45~<55	55~<65	65~<75
居民出行时耗分布基础数据	区段跨度 d_i /min	5	5	10	10	10	10	10	10
	代表值 x_i /min	7.5	12.5	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0
	区段比例 y_i /%	11.5	42.4	24.6	16.2	2.5	1.0	0.7	1.1
	累积比例/%	11.5	53.9	78.5	94.7	97.2	98.2	98.9	100.0
相对比例	单位跨度比例 k_i ¹⁾ (%·min ⁻¹)	2.30	8.48	2.46	1.62	0.25	0.10	0.07	0.11
	单位跨度比例均值 \bar{y} ²⁾ (%·min ⁻¹)	3.17							
	相对比例 y_i' ³⁾	0.73	2.68	0.78	0.51	0.08	0.03	0.02	0.03
相对时耗	出行时耗均值 \bar{x} ⁴⁾ /min	18.63							
	相对时耗 x_i' ⁵⁾	0.40	0.67	1.07	1.61	2.15	2.68	3.22	3.76

1) $k_i = \frac{y_i}{d_i}$; 2) $\bar{y} = \frac{y_a}{d_a}$, 式中 $y_a = 95\%$, 对应时耗阈值处的累积比例, d_a 为 y_i 以累计比例计算达到95%时对应的区段总跨度, 后5%的 y_i 数据对出行时耗均值的贡献不高, 但其“长尾”对 \bar{y} 的干扰较大, 故舍弃, 因此 $\bar{y} = 95/(35-5) = 3.17$; 3) $y_i' = \frac{k_i}{\bar{y}}$; 4) $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i y_i$; 5) $x_i' = \frac{x_i}{\bar{x}}$ 。

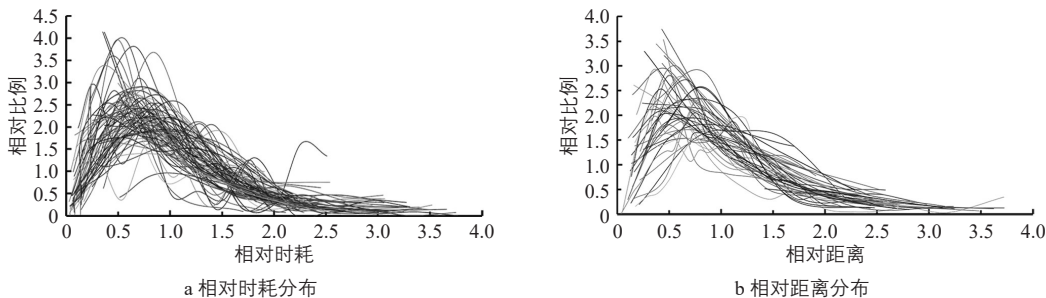


图2 标准化处理后的居民出行时距分布

Fig.2 Standardized distribution of residents' travel time and distance

施的影响范围(后文证实该范围边界对应的出行时距阈值为出行时距均值的2倍)。结合上述抽象认识,本文以重力模型中生成与衰减的基本原理^[17-18]为依据,构建相对时距分布的解释机理。

2.1.1 相对时距的规模效用

本文采用理想实验法构建“出行生成关系均质且无衰减”的假想出行模型,以演绎供给设施与其周边相对时距处居民需求间的出行发生(吸引)关系。假想出行模型如图3所示,其中心圆点P的直径为 Δt ,且由P点向外生成增量为 Δt 的若干同心圆环。取中心圆点P为基准点,则P点的出行吸引关系(即到达P点的生成量分布)可由P点外围不同相对时距区段的圆环(圈层)面积来模拟。已知P点外围首个相对时距区段的圆环面积为 $2\pi\Delta t^2$,且第二个及第n个圆环的面积分别为 $2\pi \times 2\Delta t^2$ 和 $2\pi \times n\Delta t^2$ (圆环面积可按梯形面积计算,对应每个圆环中心圆的周长 $2\pi n\Delta t$ 乘以增量 Δt),即圈层关系中后一圈层均比前一圈层面积多 $2\pi\Delta t^2$ 。因此在假

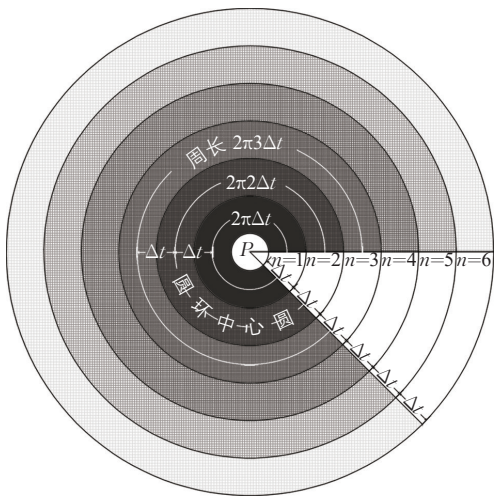


图3 假想出行模型示意
Fig.3 Schematic of hypothetical travel model

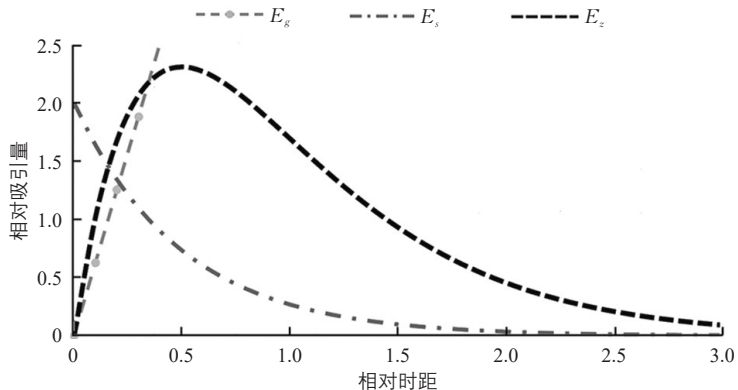


图4 相对时距的效用关系示意
Fig.4 Utility relationship of relative travel time/distance

想出行模型中,不同相对时距圈层的生成量与相对时距 x 成系数为 2π 的正比关系,即相对时距的规模效用 $E_g = 2\pi x$ 。

2.1.2 相对时距的衰减效用

已知随相对时距 x 的增加,居民出行的时耗、费用等成本也增加,并且伴随出行边际效用的影响,出行概率逐渐降低。相对时距的衰减效用 E_s 可用不同相对时距圈层与P点间的出行阻抗进行表征,后文拟合证实其符合负指数分布,概率密度函数为 $\lambda e^{-\lambda x}$ ^[19-22],其中 λ 为相对时距衰减参数。

2.1.3 相对时距的综合效用

以出行吸引为例说明相对时距的综合效用。不同相对时距圈层出发至P点的出行量 E_z 等于出发地相对时距圈层上的可能生成量(对应 E_g)与出发地相对时距圈层至P点的发生概率(对应 E_s)的乘积,即 $E_z = E_g E_s$ 。由此,图3中P点因受规模效用和衰减效用的双重影响,相对吸引量随着相对时距增大呈现先升后降的稳定分布(见图4)。

2.2 模型校验

函数模型的拟合校验是相对时距分布论证求解的关键。在相对时距分布机理解析的基础上,本文提出相对时距分布的待拟合公式

$$y = 2\pi x \times \lambda e^{-\lambda x}$$

式中: y 为相对比例,与 E_z 相对应。

利用该公式拟合居民全方式出行以及分方式出行的相对时距分布数据(相对时耗和相对距离分布数据合并后的统称),验证相对时距分布的机理解释;同时,通过求解各方式出行相对时距衰减参数,进一步证实函数模型的有效性及其通用性。

由函数模型的拟合结果可知(见图5),除公共交通出行可能受线路制约影响规模效用不完整而拟合效果不佳($R^2 = 0.5015$)外,拟合公式对于全方式出行以及其他6种交通方式的相对时距分布均展现了较好的拟合效果。因此,相对时距规模效用和相对时距衰减效用可以较好地解释均质关系下的相对时距分布。此外,7种交通方式相对时距衰减参数取值为1.91~2.13,差异较小。若将全方式出行的拟合结果作为标准参数用于相对时距分布的定量估计,则 λ 可取值2.07。因此,通过拟合校验得出的相对时距分布函数

模型为： $y = 2\pi x \times 2.07e^{-2.07x}$ 。

3 出行时距标准对应的供需时空单元组织秩序

相对时距分布规律解析为包含供需时空组织约束的生活和通勤出行，提供了由出行时距标准反推组织秩序的依据。本文将出行时距标准所对应的时距阈值作为供需间约

束、将出行方式所对应的速度关系作为时距间约束，探究生活圈、通勤圈出行时距标准所对应供需时空单元的组织秩序。

3.1 时距阈值与同级供需时空单元组织秩序

厘清时距阈值内涵是落实生活圈和通勤圈出行时距标准所对应时距阈值的前提，整理相对时距分布的相关测度是揭示时距阈值

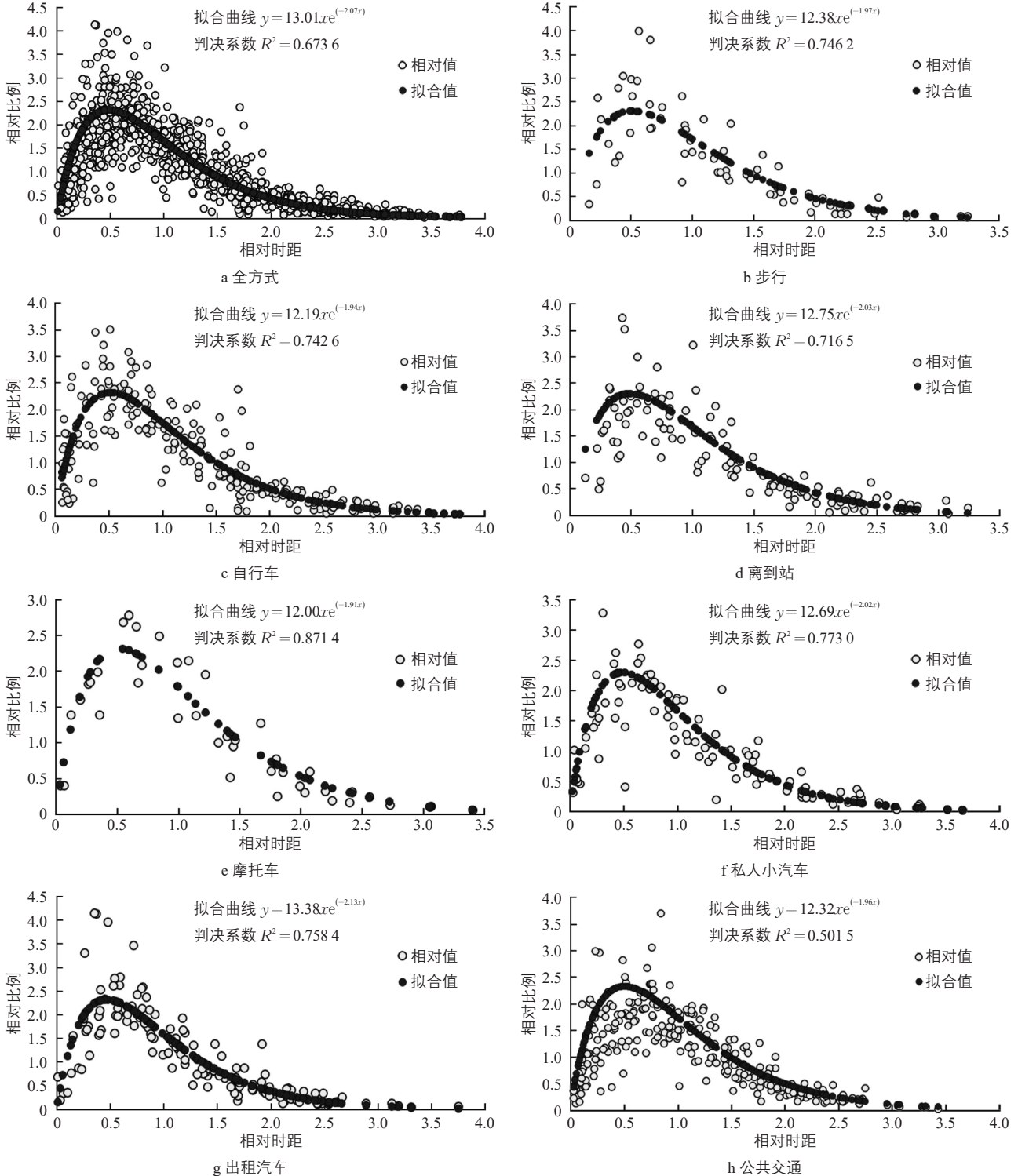


图5 相对时距分布拟合曲线

Fig.5 Fitted curves of relative travel time/distance distribution

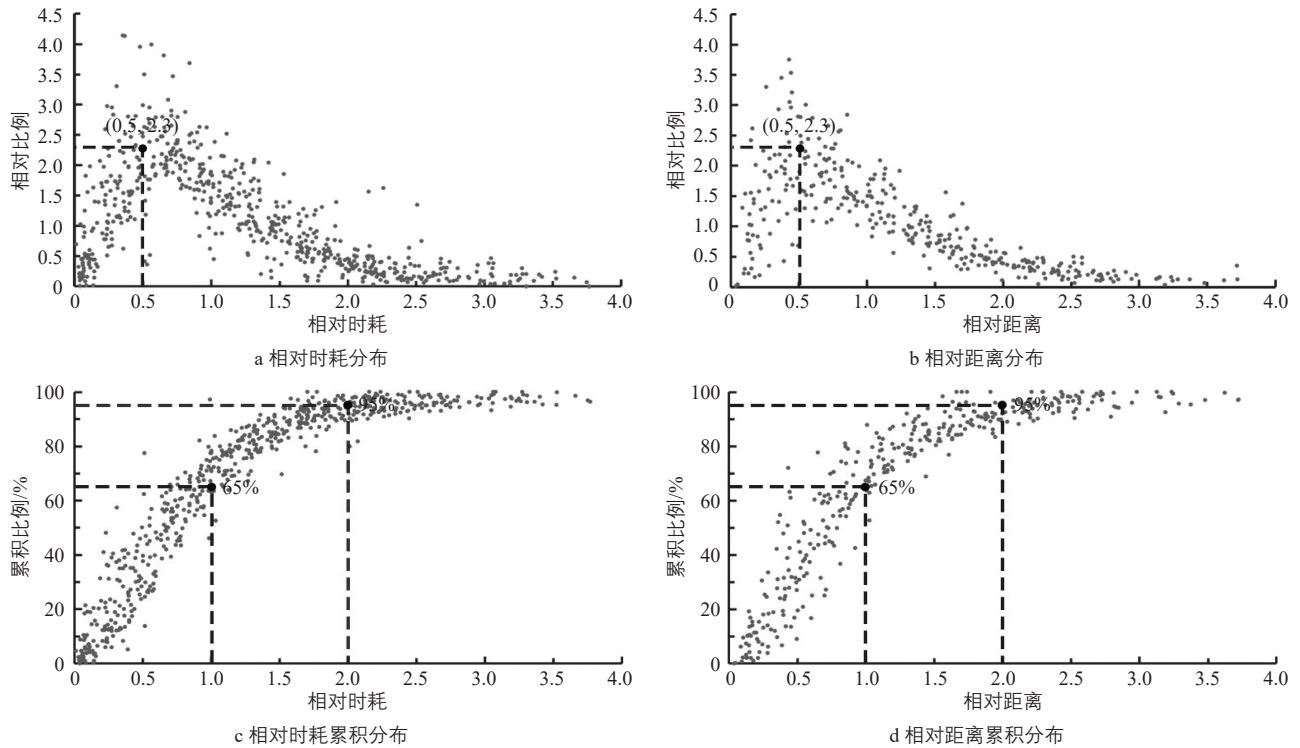


图6 相对时距分布及其累积比例分布

Fig.6 Distributions of relative travel time and distance and their cumulative proportional distributions

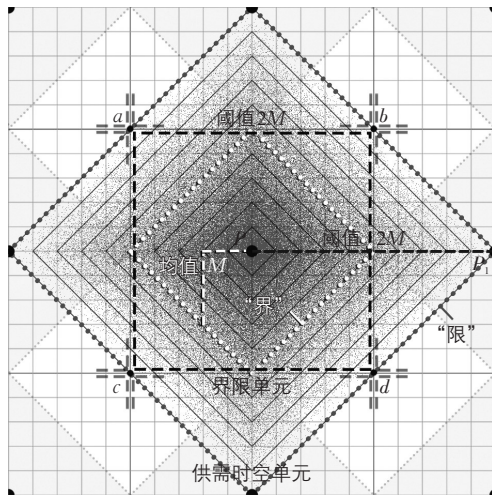


图7 供需时空单元间组织秩序示意

Fig.7 Organizational order among temporal-spatial units of supply and demand

内涵的重要途径。将124组居民出行时距分布数据进行标准化处理,得到如图6a和图6b所示结果;将相对比例分布转换为累积比例分布,得到如图6c和图6d所示结果。结合函数模型测算相对时距分布的概括性度量,可获得如下测度结果:1)相对时距分布呈右偏分布,众数值约位于0.5倍出行时距均值处;2)1倍出行时距均值处的累积比例约为65%,2倍出行时距均值处的累积比例约为95%。

由相对时距累积比例分布测度可知,出

行时距阈值与出行时距均值呈稳定的2倍关系,两者均可作为居民出行时距的理性参照,且可认为超出时距阈值的出行不被居民所选择。将相对时距分布规律引入生活圈和通勤圈出行时距标准所对应的供需时空关系中,即以相对时距分布为纽带将出行时距均值与出行时距标准相对应,则生活圈和通勤圈理应保障其供给设施在时距阈值(对应2倍时距标准)内对居民需求的有效覆盖。以该服务标准为约束,本文将相对时距分布作为供需间的人本化依据,探讨在城市方格网道路背景下生活圈和通勤圈出行时距标准所对应的供需时空组织秩序。厘清可抽象映射生活圈和通勤圈供需时空关系的基础单元是前提,将图3无路径约束的假想出行模型投射至仅能沿水平或垂直方向移动的城市方格网道路中,则P点外围的出行生成可转换成与同心圆环相似的同心方环。将时距衰减关系引入同心方环,依据相对时距累积比例分布测度得到包含“界-限”结构的供需时空单元(见图7),其中将可覆盖65%客源的出行时距均值处称为“界”,将可覆盖95%客源的时距阈值处称为“限”。以该界限关系为依据,探讨生活圈和通勤圈出行所对应同级供需时空单元之间的合理布局关系。依据公平布局、时距经济(大于时距阈值的需求难以覆盖,小于出行时距均值的供给不经济)

等布局要求,可构建位于“界”处4角对接的同级供需时空单元间组织秩序,并划分出如“界限单元”(abcd)所示的控制区域。

当以时距阈值作为“界限单元”的边长时,两供需时空单元中心点的距离(PP_1)亦为时距阈值,且“界限单元”的4个角(a, b, c, d)至 P 点的距离最远,同样为时距阈值。该“界限单元”中,当且仅当同级供给设施居中且集中布局时,可保障需求侧的出行时距不超“限”且供给侧在时距阈值内全面覆盖;进而保障同级供给设施单元在出行时距均值内彼此独立且实现时距阈值内互为补充。因此在城市方格网道路条件下,在

以时距标准为约束的生活圈和通勤圈供需时空关系中,除了应将时距阈值作为供给设施覆盖范围的限度外,还包含着以供给设施为中心、时距阈值为边长且4角对接的同级供需时空单元组织秩序。

3.2 速度关系与出行方式基础单元结构秩序

除同级供需时空单元间组织秩序外,供需时间单元与供需空间单元之间的秩序,即不同出行方式的速度秩序,也是生活圈和通勤圈时距标准所对应供需时空组织的可寻依据。将步行、自行车、电动自行车、汽车等

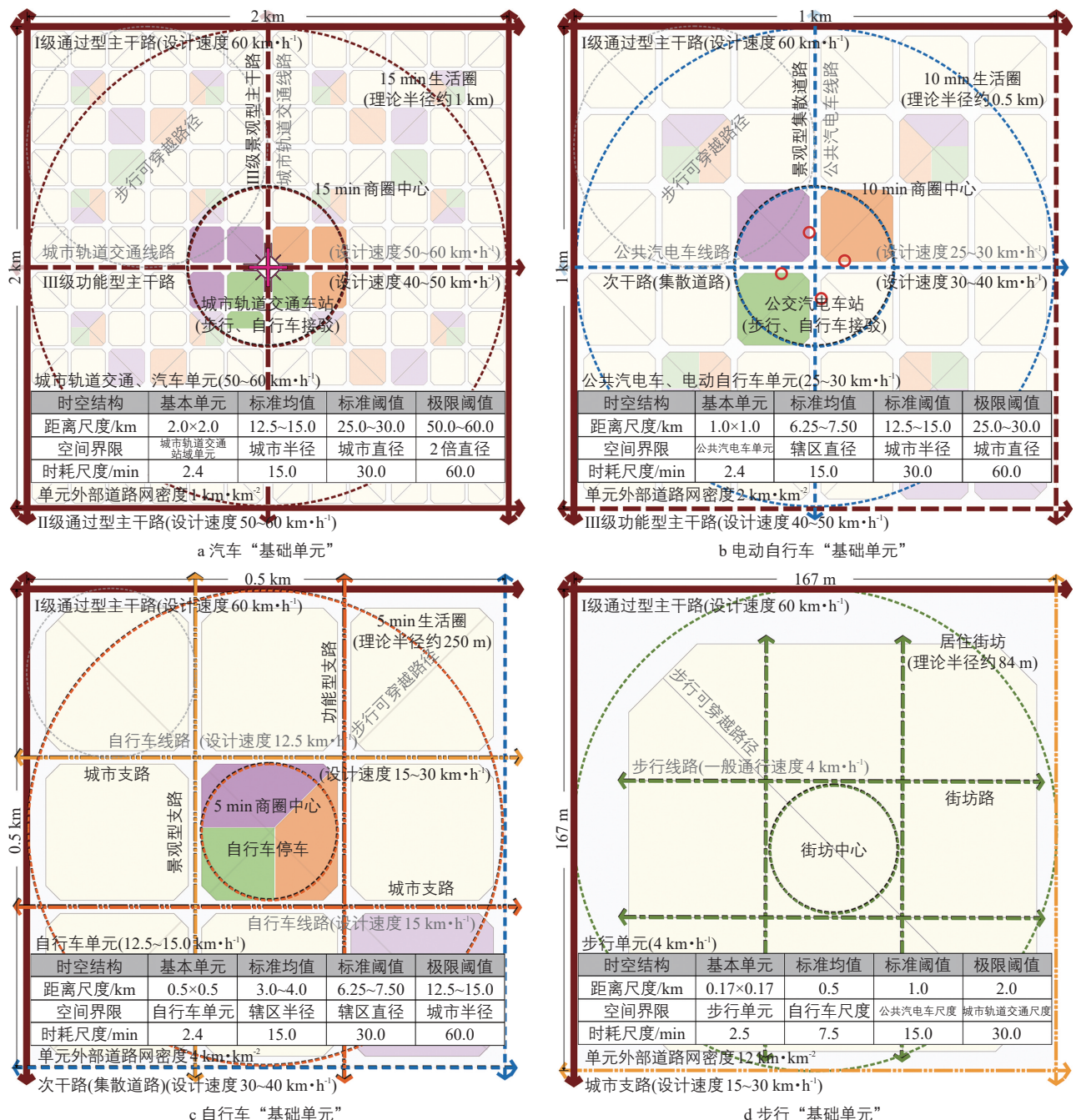


图8 出行方式基础单元示意

Fig.8 Schematic of fundamental units of travel modes

常见出行方式的速度关系引入“界限单元”，则不同出行方式的设计速度关系 $V_{汽} = 2V_{电} = 4V_{自} = 12V_{步}$ 决定了相同时间限制下的空间关系，即“界限单元”的边长 $L_{汽} = 2L_{电} = 4L_{自} = 12L_{步}$ 。以居民 30 min 通勤出行为“限”，则依据上述出行方式速度关系可划分通勤圈所对应的四级通勤单元，即城区单元(边长 25~30 km)、市区单元(边长 12.5~15.0 km)、辖区单元(边长 6.25~7.50 km)、城市轨道交通站域单元(边长约 2 km)。同时，为维系通勤圈和生活圈所对应异级供需时空单元间的组织秩序，本文将划分的四级通勤单元嵌入《城市居住区规划设计标准》(GB 50180—2018)规定的四级居住单元，即 15 min、10 min、5 min 生活圈及居住街坊，构建了如图 8 所示的出行方式基础单元。

出行方式基础单元是居住区内以某一方式出行理论上需保障相应通行权的最小构成单元，对应集约型公共交通的车站服务单元。基础单元边长关联最小路网间距和路网密度，对应某一出行方式设计速度下 2.0~2.5 min 的行驶距离。基础单元通行方面，内部道路设通行权限约束，主要用于支持基础单元内外间的连通以及生活服务设施中心的维护等；外部道路以出行方式的设计速度保障四级通勤单元的“向心”出行。同时还以出行方式速度关系协调不同层级供需时空单元的出行距离差异，即以距离-速度锚定下的时耗公平来协调异级单元的可达性差异。如图 8 所示，步行基础单元尺度(边长)增大至 3 倍后，实现向自行车出行的转移；增大至 6 倍时，实现向电动自行车出行转移；增大至 12 倍时，实现向汽车出行转移。彼此有序承接的基础单元除了保障出行方式间的公平外，还维护了基础单元及其所关联居住单元、通勤单元间的结构秩序，可作为城市空间结构人本化的探索方向。

4 结论

为了厘清居民出行时距分布所含供需间时距衰减和时距阈值规律，进而构建生活圈和通勤圈出行时距标准所对应的供需时空组织秩序，本文开展了居民出行时距分布规律与供需时空单元组织秩序的系统研究，主要研究结论如下：

1) 不同城市规模、年份、出行方式等调查属性背景下原本差异显著的 124 组数据，经过相对其自身出行时距均值、单位跨

度比例均值标准化处理后，呈现先升后降的分布共性，证实了居民出行时距分布存在相对于自身出行时距均值稳定的规律。

2) 相对时距分布机理解析与函数模型的拟合校验表明，相对时距规模效用和相对时距衰减效用可以较好地解释均质关系下的相对时距分布，其函数模型为 $y = 2\pi x \times 2.07e^{-2.07x}$ ，其中，相对时距衰减效用为参数取值 2.07 的负指数函数。

3) 相对时距累积比例分布测度显示，出行时距阈值与出行时距均值呈稳定的 2 倍关系，两者均可作为居民出行时距的理性参照，且可认为超出时距阈值的出行不被居民所选择。

4) 供需时空组织秩序的研究表明，城市方格网道路背景下以供给设施为中心、时距阈值为边长且 4 角对接的同级供需时空单元组织秩序，以及切合四级居住单元和四级通勤单元的出行方式基础单元结构秩序，是生活圈和通勤圈出行时距标准所对应供需时空组织秩序化推进的可寻路径。

居民出行时距分布规律及其数理逻辑的解析，厘清了时距衰减、时距阈值等关键的供需时空单元间时空组织逻辑，为生活圈和通勤圈时距标准所对应的供需时空关系适配提供理论依据；基于时距衰减和时距阈值研究，构建了“界限单元”所对应的“公平布局下既相对独立又互为补充”的同级供需时空单元间组织秩序，以及出行方式基础单元所对应的“时耗公平下既尺度分异又高效协作”的异级供需时空单元间组织秩序。结合这一研究发现，或可推测，未能厘清并遵循这些组织秩序，可能正是生活圈和通勤圈时距标准难以人本化推进的关键所在。后续可围绕供需单元间的出行时耗、出行距离、费用等衰减规律的通用性拓展，出行分布预测的实用性检验，时距衰减规律下的供需时空公平以及出行方式基础单元模式推广等方面开展研究工作。

参考文献：

References:

- [1] 肖作鹏, 柴彦威, 张艳. 国内外生活圈规划研究与规划实践进展述评[J]. 规划师, 2014, 30(10): 89-95.
XIAO Z P, CHAI Y W, ZHANG Y. Overseas life circle planning and practice[J]. Planners, 2014, 30(10): 89-95.
- [2] 柴彦威, 张雪, 孙道胜. 基于时空间行为的

- 城市生活圈规划研究：以北京市为例[J]. 城市规划学刊, 2015(3): 61-69.
CHAI Y W, ZHANG X, SUN D S. A study on life circle planning based on space time behavioural analysis: a case study of Beijing[J]. Urban planning forum, 2015(3): 61-69.
- [3] 于一凡. 从传统居住区规划到社区生活圈规划[J]. 城市规划, 2019, 43(5): 17-22.
YU Y F. From traditional residential area planning to neighborhood life circle planning[J]. City planning review, 2019, 43(5): 17-22.
- [4] 张小东, 韩昊英. 基于均等化视角下的公共服务设施用地规划模式建构与实践探索：以浙江省S市产业新城公共服务设施规划设计为例[J]. 现代城市研究, 2019(8): 18-24.
ZHANG X D, HAN H Y. The construction and exploration of the land-use planning model of public service facilities based on the view of equalization: taking the planning and design of public service facilities in S-city of Zhejiang Province as an example[J]. Modern urban research, 2019(8): 18-24.
- [5] 严海, 杨荣荣, 熊文, 等. 步行和自行车接驳轨道交通时空阈值研究[J]. 城市交通, 2013, 11(2): 83-90.
YAN H, YANG R R, XIONG W, et al. Critical accessing time and distance for pedestrian and cyclists to urban rail transit[J]. Urban transport of China, 2013, 11(2): 83-90.
- [6] 钱征寒, 刘泉, 黄丁芳. 15分钟生活圈的三个尺度和规划趋势[J]. 国际城市规划, 2022, 37(5): 63-70.
QIAN Z H, LIU Q, HUANG D F. Three scales and planning trends of 15-minute life circle[J]. Urban planning international, 2022, 37(5): 63-70.
- [7] 岳丽莹, 李山, 李开明, 等. 商圈惠顾行为的空间衰减：幂律模式还是指数模式[J]. 地理科学, 2021, 41(3): 446-453.
YUE L Y, LI S, LI K M, et al. The spatial decay of patronizing behavior in trade areas: power law or exponential law[J]. Scientia geographica sinica, 2021, 41(3): 446-453.
- [8] 刘瑜, 龚俐, 童庆禧. 空间交互作用中的距离影响及定量分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(3): 526-534.
LIU Y, GONG L, TONG Q X. Quantifying the distance effect in spatial interactions[J]. Acta scientiarum naturalium universitatis pekinensis, 2014, 50(3): 526-534.
- [9] 柴彦威, 李春江. 城市生活圈规划：从研究到实践[J]. 城市规划, 2019, 43(5): 9-16.
CHAI Y W, LI C J. Urban life cycle planning: from research to practice[J]. City planning review, 2019, 43(5): 9-16.
- [10] 石飞, 陆振波. 出行距离分布模型及参数研究[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(2): 110-115.
SHI F, LU Z B. Research on trip distance distribution model and parameter[J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2008, 8(2): 110-115.
- [11] 刘丽华, 王伟, 华雪东, 等. 城市交通需求预测理论与模型研究综述[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(30): 12804-12813.
LIU L H, WANG W, HUA X D, et al. Review of urban traffic demand forecasting theory and model[J]. Science technology and engineering, 2021, 21(30): 12804-12813.
- [12] 陈卓, 金凤君, 杨宇, 等. 高速公路流的距离衰减模式与空间分异特征：基于福建省高速公路收费站数据的实证研究[J]. 地理科学进展, 2018, 37(8): 1086-1095.
CHEN Z, JIN F J, YANG Y, et al. Distance-decay pattern and spatial differentiation of expressway flow: an empirical study using data of expressway toll station in Fujian Province[J]. Progress in geography, 2018, 37(8): 1086-1095.
- [13] 丁亮, 钮心毅, 宋小冬. 基于个体移动轨迹的多中心城市引力模型验证[J]. 地理学报, 2020, 75(2): 268-285.
DING L, NIU X Y, SONG X D. Validating gravity model in multi-centre city: a study based on individual mobile trajectory[J]. Acta geographica sinica, 2020, 75(2): 268-285.
- [14] 王坤晓, 吴晋峰, 石晓腾, 等. 闲暇时间对旅游者目的地和交通选择行为的影响[J]. 地域研究与开发, 2023, 42(2): 86-92.
WANG K X, WU J F, SHI X T, et al. Impact of leisure time on tourist destination and transportation choice behavior[J]. Areal research and development, 2023, 42(2): 86-92.
- [15] 王成金. 中国交通流的衰减函数模拟及特征[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 690-696.
WANG C J. Function simulation and regularity of distance decay of inter-urban traffic flow in China[J]. Progress in geography, 2009, 28(5): 690-696.

(下转第94页)