

超大城市近郊组团职住空间结构低碳优化策略

——以天津市为例

王 睿，黄雅哲，张 赫，刘静娴

【摘 要】 承载居住、就业两大功能的职住空间结构作为城市布局的基本骨架，其碳约束作用已成为学界共识，但该作用在居住分离显著、长距离机动车通勤的中观组团层级得到的关注较少，且现有的低碳路径对职住空间结构的差异性考虑不充分。聚焦职住空间结构，以超大城市近郊组团为研究对象，结合定性逻辑框架与定量机理分析，刻画三重维度下3类组团的职住空间特征，识别差异化的关键控碳因素，分类提出职住空间结构低碳优化策略：①居住主导型组团应优先调控职住用地构成，引导功能复合、土地集约的空间布局；②职住平衡型组团应重点关注职住中心位置，形成职住极核多且辐射范围广的空间结构；③就业主导型组团应关注职住空间连通效率，构建“公共交通+”的绿色出行体系。

【关键词】 低碳导向；职住空间结构；技术路径；近郊组团

【文章编号】 1006-0022(2023)11-0047-08 **【中图分类号】** TU984 **【文献标识码】** B

【引文格式】 王睿，黄雅哲，张赫，等. 超大城市近郊组团职住空间结构低碳优化策略：以天津市为例[J]. 规划师，2023(11): 47-54.

Low Carbon Optimization Strategy for the Structure of Employment and Residence Spaces in Near Suburban Cluster of Mega-city: Taking Tianjin as an Example/WANG Rui, HUANG Yazhe, ZHANG He, LIU Jingxian

【Abstract】 Spaces for employment and residence form the skeleton of urban layout. Although their carbon confinement is evident in the academic circle, little attention is paid to the employment-residence separated and long-distance motorized commuting clusters, and the difference in low carbon pathways is not fully taken into account. Based on qualitative and quantitative analyses, three types of employment and residence space are illustrated, and the different elements of carbon confinement are recognized to establish a low carbon optimization strategy: first, residence dominated clusters shall adjust land use structure towards a compact and mixed use pattern; second, employment-residence balanced clusters shall focus on central places for a multi-centered wide range structure; third, employment dominated clusters shall stress employment-residence connection and establish a green transit system.

【Keywords】 low carbon orientation; employment and residence spatial structure; technical path; near suburban cluster

近年来，如何在国土空间规划体系的“一张蓝图”下，融入控碳减排的价值导向已成为生态文明建设的重要内容。其中，国土空间详细规划针对城市边缘地段和新城新区，强调以职住用地布局、职住中心位置及职住连接空间为抓手落实职住平衡、产城融合的规划原则^[1]。随着“双碳”工作的深化落实，我国生活、产业领域的碳排放已得到有效控制。截至目前，我国交通领域的二氧化碳排放量约占化石燃料的二氧化碳

排放总量的26.0%^[2]，这与气候变化和能源消费危机密切相关^[3]。城市组团发展中的职住空间分离与长距离通勤等成为影响我国交通碳排放的重要因素，由此产生的碳排放量占日常交通出行碳排放量的50%以上^[4]。因此，空间结构亟待优化、布局要素尚可调整的超大城市近郊组团成为存量规划时代交通控碳减排的关键区域。

既有的职住空间结构与碳排放相关理论研究多聚

【基金项目】 国家自然科学基金项目(52208073)

【作者简介】 王 睿，天津大学建筑学院副研究员。

黄雅哲，工程师，现任职于北规院弘都规划建筑设计研究院有限公司。

张 赫，通信作者，天津大学建筑学院教授。

刘静娴，天津大学建筑学院硕士研究生。

焦于城市与社区。在宏观上,有学者认为紧凑、用地混合、精明增长是减少出行碳排放的有效手段^[5-8],TOD结构、圈层结构及复合化开发更有利于缩小居民生活出行范围^[9-10];在微观上,有学者已经证实人口密度、土地利用混合度、公共交通可达性等空间要素对通勤碳排放的影响显著^[11-16]。基于此,传统规划实践方法多着眼于城市整体的交通减碳总量预测^[17]或某个地块的设计方案低碳模拟^[18-20],侧重于通过引导出行行为等实现交通领域的控碳减排,此类方法更适用于增量规划。当前的存量规划多以政策引导与指标约束为主,协调空间结构与功能布局的关系^[21-24],或针对土地集约利用、可持续交通等某一特定角度建立指标体系,为特定城市街区或新区低碳发展路径的建立提供理论基础^[25-27]。中观通勤组团是理想的职住平衡单元^[28-30],但目前对职住关系的研究仍停留在如何实现人口或岗位的数量平衡上^[31],缺少对职住空间要素、出行行为特征、通勤碳排放三者的关联作用及调控应用的整体性探索。对于存量空间中哪些空间布局要素可被低碳化改善,以及空间优化策略仍有待进一步探究。

当前,随着天津市进入人口规模、经济总量高速增长的时期,其社会可持续发展与能源安全面临极大压力。从碳效率视角进行比较,天津市内6区的单位GDP碳排放量为0.2~0.6t/万元,人均碳排放量为1.50~4.0t,近郊4区的单位GDP碳排放量均大于1.0t/万元,人均碳排放量均超出10.0t。由此可见,天津市低碳发展需求迫切,近郊区控碳减排潜力巨大。

因此,本文在理清职住空间结构对通勤碳排放的影响机制的基础上,提出职住空间用地构成、职住中心相对位置及职住空间连通效率等 3 种理论假设,并以天津市近郊组团为例进行实证检验,以建立适应差异化职住特征、多样性通勤行为的职住空间结构优化路径,为超大城市近郊区域低碳空间规划与更新治理提供借鉴。

1 职住空间结构优化方向与低碳关联机制

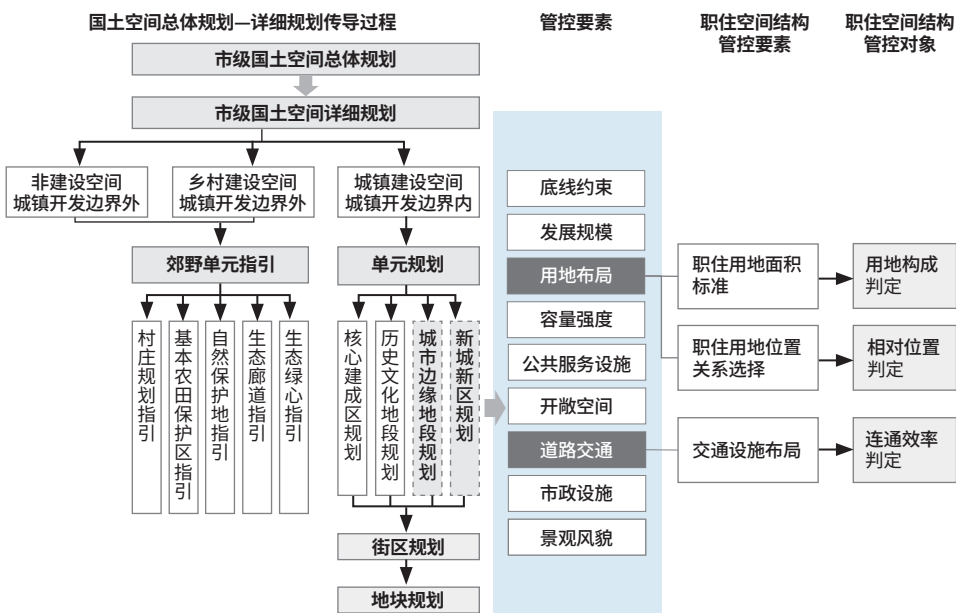
1.1 国土空间详细规划对职住空间结构的优化内容

近年来,我国已有多个大城市对如何建立上下联动、全域全要素的国土空间总体规划—详细规划传导机制进行了探索。参照相关理论基础与已有城市的规划经验,本文将总体规划与详细规划的传导机制划分为纵向、横向两方面。在纵向延展上,在详细规划中增加单元规划层次,将近郊组团中 $10 \sim 30 \text{ km}^2$ 的用地规模与单元规划层次相对应,并以单元为空间管控载体,由其向上承接总体规划的“三区三线”等结构性内容,向下指导街区规划与地块规划的设施配置、指标转译等实施性内容。在横向分化上,单元规划可实现规划范围全地域全覆盖,并对接“三生”空间将详细规划划分为3种类型。此外,由于规划类型多样,应在单元规划中进一步将城镇建设空间细分为4类控制区,结合近郊组团地处中心城区外围且与城区产业、设施等互动频繁的特征,判断近郊组团在横向分化中隶属于城市边缘地段,因此增量新建规划与存量更新规划应并行,并提出相应的管控要求。

从居住与就业功能着手,分析近郊组团的职住空间结构,发现在传导过程中用地布局与道路交通两类规划要素对其具有调控和优化作用,将用地布局与道路交通两类规划管控要素归纳为用地构成、相对位置、连通效率三重维度(图1)。为了理清各维度对职住空间结构存在管控作用的具体内容与审查要点,本文提出低碳导向下可行的优化方向。首先,用地布局要素通过协调居住、产业两类功能用地的规模来管控职住空间的用地构成,以“职住平衡”“产城融合”为规划原则,以职住用地比、功能混合度等审查要点为管控要素;其次,用地布局要素通过居住—产业用地的布局结构与以居住—服务—产业用地为核心的生活圈构建来调整职住中心的相对位置,并以职住中心位置与公共服务中心位置为管控要素;最后,基于用地构成与相对位置建立的职住用地空间布局,在道路交通要素中加入沟通职住空间的“点”与“线”,进一步优化职住连接空间,借助点状空间(即公交场站布局)与线性空间(即道路网体系)进行连通效率管控。见图2。

1.2 职住空间结构对通勤碳排放的影响机制

空间结构对碳排放并不产生直接影



响,学界普遍认同空间结构是通过多种中介要素的共同作用与碳排放产生关联的^[32-33]。本文聚焦组团层级,重点关注就业、居住两类功能的空间关系,从职住空间结构着手,以建立职住空间联系的通勤行为选择为中介要素,以机动车通勤产生的出行碳排放为交通能耗的主要来源,展开近郊组团职住空间结构对通勤碳排放的影响机制分析。见图3。

(1) 职住空间用地构成

职住空间用地构成指一定区域内的职住功能比例,对居民的通勤距离和通勤方式选择都会产生影响,进而影响通勤碳排放。本文主要从就业、居住用地规模分配角度分析职住空间匹配性。从影响通勤距离的角度看,单一功能组团(居住或就业占据主导地位)仅邻近居住地或工作地一侧而远离另一侧导致长距离通勤,功能混合组团(居住、就业功能相辅相成,职住空间匹配)中多种用地类型在空间上相互结合,极大地缩短了通勤出行距离,减少了通勤碳排放量。从影响通勤方式的角度看,功能混合不仅意味着居住地邻近就业地,还表明居住地周边服务设施配套丰富,在一定范围内居民的日常需求可以得到满足,远距离的出行需求被削弱。同时,职住平衡导向下的混合开发多伴随着交通基础设施的建设,公共交通的高覆盖率为居民通勤、接驳换乘提供了更多选择,非机动车等零碳出行与公交、地铁等低碳出行比例增加,私家车高碳出行比例减少,这有助于在源头上降低通勤碳排放量。

(2) 职住中心相对位置

职住中心相对位置指职住用地的空间分布形式,会对通勤距离与通勤方式选择产生直接影响,并间接影响通勤碳排放量。本文主要从职住布局角度分析职住分布紧凑性。组团层级的职住用地相对位置主要有紧凑、分散两种。从通勤距离看,分散的就业中心和居住中心在空间上拉长了通勤距离,紧凑的就业中心和居住中心的空间可达性与功能可获取性均较强,通勤距离被缩短,有效削减了通勤碳排放量。从通勤方式看,

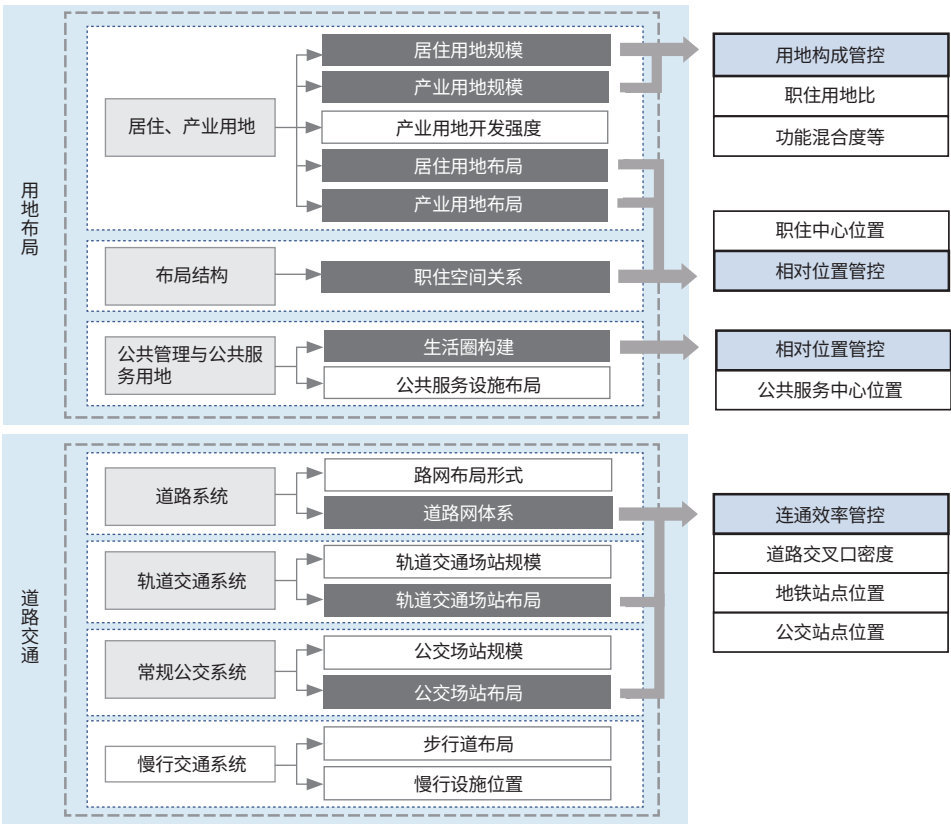


图2 国土空间详细规划对职住空间结构的管控与优化示意图

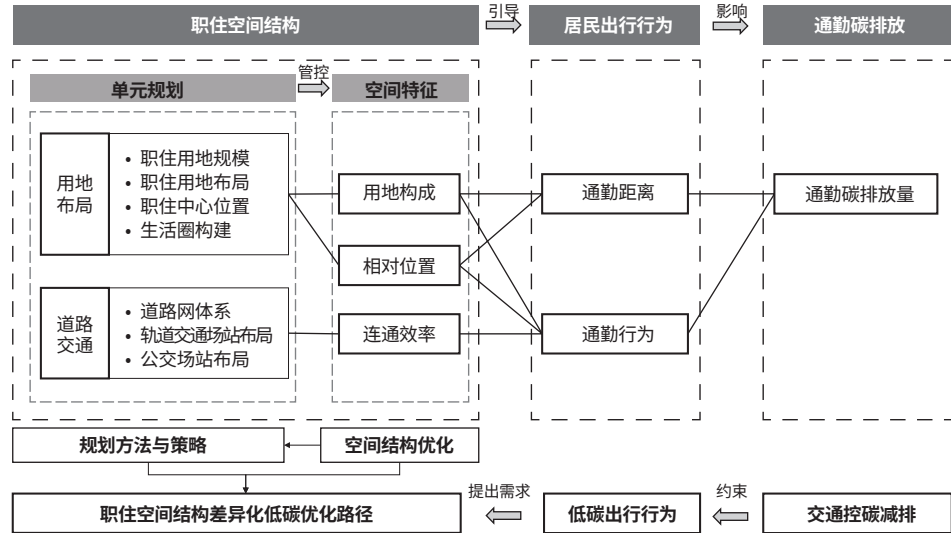


图3 职住空间结构—居民出行行为—通勤碳排放关联框架图

职住中心的相对分散与低密度开发使公共交通难以离散式发展,长距离通勤刺激了私家车使用数量的增长,导致通勤碳排放量剧增。一般而言,职住中心的集聚必然会形成交通枢纽,在通勤高峰时段易引发交通拥堵,增加了碳排放量,然而交通拥堵也促使居民更倾向于选择地铁或公交等公共交通出行,这在一定程度上又抑制了碳排放量的增长。

(3) 职住空间连通效率

在职住空间连通效率分析方面,本文关注沟通职住用地的物质载体选择,主要从供需联系角度分析交通配置的可达性。道路系统的通达程度和交通设施的均衡配置不能改变职住地的空间位置,对通勤距离的影响并不显著,但对居民通勤方式的选择有巨大影响,进而影响通勤碳排放。这主要体现在居住地与就业地之间的

道路服务水平与公共交通网络可达两方面。一方面，衡量道路服务水平的路网密度、交叉口密度等指标越高，在通勤高峰期当机动车处在交通拥堵路段时，路线的可选择性、可调整性就越大，可以有效缩短拥堵时间，减少碳排放量。同时，较高密度的道路网有助于构建慢行交通体系，引导居民绿色出行，进而减少通勤碳排放量。另一方面，公共交通的可达性越高，即居住地或工作地周边一定范围内交通基础设施数量和可达线路数量越多，居民以步行或自行车等方式接驳公交或地铁就越省时、便捷，选择公共交通出行的人员比例就越高，通勤碳排放量也会随之减少。

综上所述，本文提出以下3个理论假设：①职住空间用地构成越趋于均衡，所产生的通勤碳排放量就越少；②职住中心相对位置越紧凑，所产生的通勤碳排放量就越少；③职住空间连通效率越高，所产生的通勤碳排放量就越少。

2 超大城市近郊组团职住空间低碳发展技术路径

本文基于超大城市近郊组团职住空间结构低碳优化面临的现状问题，以居民出行行为为桥梁，在理清职住空间结构—居民出行行为—通勤碳排放三者递进式逻辑传导关系的基础上，提出了适应超大城市近郊组团职住空间低碳发展需求的规划技术路径（图4），即依据问卷数据计算各类职住特征下近郊组团的人均通勤碳排放量情况，描述各个类型组团的碳排放特征，并进行职住空间特征的对比分析。同时，结合对比结果与上文理论假设选取适当的职住特征，分析该特征下不同类型的近郊组团职住空间结构的关键控碳因素及其对通勤碳排放的调控机制。

2.1 基于通勤碳排放量测算的近郊组团职住空间特征分类

由于地理位置远离市中心的区位劣

势，近郊组团大多存在通勤距离较长的问题，由于各组团的通勤距离相差不大，不同的主导通勤方式才是各组团碳排放水平各异的主要原因。差异化的职住空间特征通过影响居民通勤方式选择影响通勤碳排放，因此本文结合居民通勤方式调查结果，运用基于距离理论的碳排放系数法^①分别计算用地构成、相对位置、连通效率三重特征分类下的各近郊组团的人均通勤碳排放量，对比分析三者的异同点并以此作为控碳要素识别与调控机制量化的研究基础。

(1) 用地构成特征分类

用地构成特征决定了职住空间能否满足区域内居民居住就业的需求。参照既有研究成果^[34-35]，求解不同类型新建组团的规划用地比例与理想职住平衡状态下的职住用地比（表1），同时考虑到近郊组团通常被划分为工业、居住与综合等3种类型，因此选取职住用地比0.7：1

和2.0：1作为节点进行用地构成特征分类。见图5。

(2) 相对位置特征分类

相对位置特征指当集聚或分散的职住功能组织改变了就业中心与居住中心的空间布局（即二者之间的位移距离、实际距离、通勤时间）时，通勤碳排放量也随之改变。通勤人群在不同时段、地点具有稳定且规律的空间聚集特征，人口的时空聚集差异在区域内部形成了就业中心与居住中心，而人口在就业中心、居住中心间的时空位移产生了通勤碳排放^[36]，因此本文通过就业中心与居住中心的相对距离的远近来判断相对位置特征分类。见图6。

(3) 连通效率特征分类

在连通效率维度中，小汽车、地铁等不同的出行方式引发了通勤方式与通勤时间的差异化，影响了通勤碳排放。轨道交通因高速、准时、污染小等优势

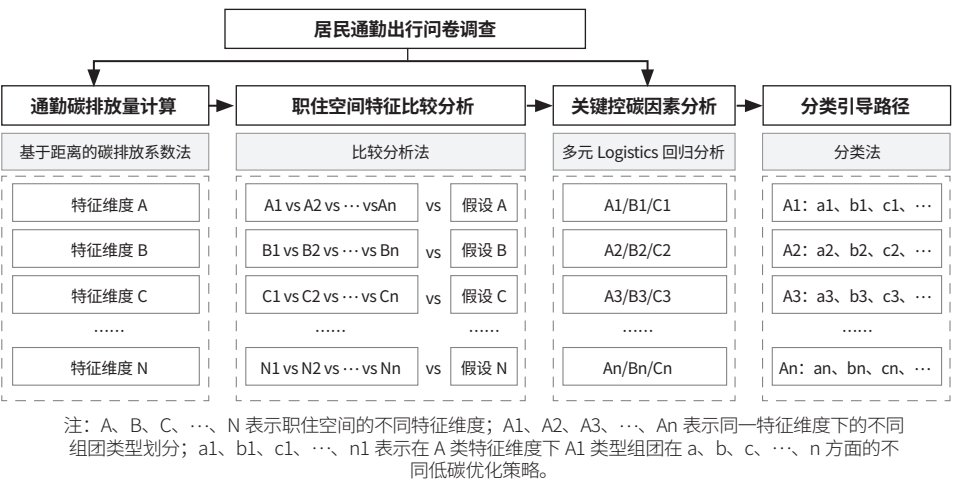


图4 职住空间结构低碳规划技术路径图

表1 理想职住平衡状态下的组团职住用地比

新建组团类型	特征指标设定	职住用地比
工业型	就业率为 0.7；人均就业面积为 50 m ² ；人均居住面积为 18 m ²	居住用地面积占比为 34.21%；工业用地面积占比为 65.79%；职住用地比为 2.0：1
居住型	就业率为 0.5；人均就业面积为 50 m ² ；人均居住面积为 35 m ²	居住用地面积占比为 58.14%；就业（商服）用地面积占比为 41.86%；职住用地比为 0.7：1
综合型	就业率为 0.7；人均就业面积为 50 m ² ；人均居住面积为 35 m ² ；人均配套设施为 2 m ²	居住用地面积占比为 41.24%；商服用地面积占比为 22.03%；工业用地面积占比为 36.72%；职住用地比为 1.4：1

成为低碳通勤的高频选择,步行作为地铁的主要接驳方式,当地铁站点位于就业或居住中心周边半径 800 m 的步行可达范围内时,可以认为就业或居住中心的轨道交通可达性较强^[37]。因此,本文根据就业中心、居住中心半径 800 m 的缓冲区内是否存在地铁站点进行连通效率特征分类。其中:当就业中心、居住中心半径 800 m 缓冲区内均存在 1 个及以上的地铁站点时,组团类型为轨交—职强住强型 (C1);当只有就业中心半径 800 m 的缓冲区内存在 1 个及以上的地铁站点时,组团类型为轨交—职强住弱型 (C2);当只有居住中心半径 800 m 的缓冲区内存在 1 个及以上的地铁站点时,组团类型为轨交—职弱住强型 (C3);当就业中心、居住中心半径 800 m 的缓冲区内均不存在地铁站点时,组团类型为轨交—职弱住弱型 (C4)。见图 7。

2.2 基于通勤方式选择的近郊组团职住空间关键控碳因素识别

选取碳排放强度计算结果与理论假

设存在矛盾冲突或解释性不强的职住特征维度作为关键控碳要素及对通勤碳排放调控机制研究中近郊组团的分类依据和标准。当回归分析中的因变量为 3 个及以上的多分类变量时,通常选择多元 Logistics 回归模型进行分析,通过因变量各分类与参照分类的对比,描述不同分类中各因素的作用关系、作用程度,进而求解不同因变量分类的选择概率^[38-39]。运用多元 Logistics 回归分析方法,以步行、自行车、公交车、地铁、私家车等通勤方式变量为因变量,以居住地/工作地功能混合度、交叉口密度、到邻近公共服务中心距离、到最近地铁站的距离等职住空间结构要素变量为自变量,建立通勤方式选择 Logistics 回归模型,识别并分析某一特定特征维度下不同特征类型的近郊组团职住空间结构的关键控碳因素及关键控碳因素对通勤方式选择、通勤碳排放的调控机制。

2.3 数据来源

本文选取天津市 16 个近郊组团作为

研究对象,并遵循以下 4 项选取原则:

- ①自然条件(水系、绿地)、交通干线等因素的物理界限分隔;
- ②《天津市新型居住社区城市设计导则(试行)》划定的街道社区类型分区;
- ③综合考虑居民的教育、收入、私家车保有量等个人或家庭属性;
- ④将职住用地比、职住中心距离等职住空间要素的对比考量纳入组团选择标准。最终选取的近郊组团用地面积为 25~45 km²,职住空间特征各异,街道社区类型不一,同时各组团内部居民社会经济结构(年龄结构、职业构成、受教育水平、私家车保有量等)大致相近。

本文从线上、线下两个渠道进行居民通勤出行问卷调查。其中,线上调查在问卷星平台发布调研问卷,信息初筛后,于 2022 年 5 月 10 日至 6 月 20 日开展线下调查进行数据补充,选取工作日的 16:30—20:30 与休息日的 10:00—18:00 两个时间段对 16 个近郊组团内 18 岁以上居民的通勤行为展开调查。线上、线下随机调查共发放 413 份问卷,排除 12 份数据缺失、信息失真的问卷,最

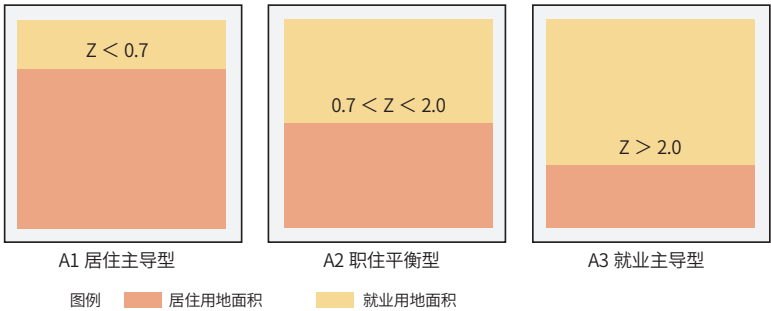


图 5 用地构成特征分类示意图
注:Z 指职住用地比。

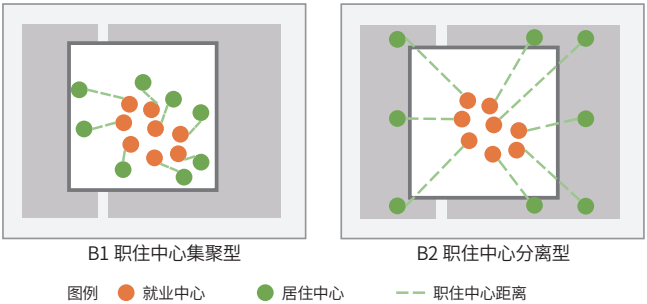


图 6 相对位置特征分类示意图

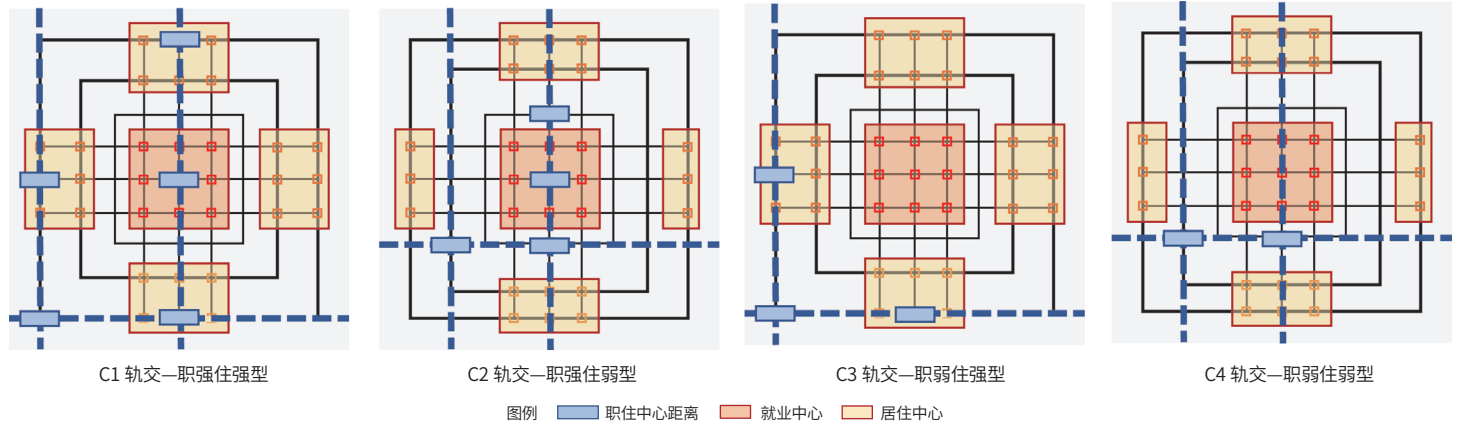


图 7 连通效率特征分类示意图

终得到 401 份有效问卷，问卷回收率为 97.09%。

3 天津市近郊组团职住空间结构分类及关键控碳因素识别分析

3.1 天津市近郊组团职住空间结构分类

基于职住空间结构特征的三重分类，结合调查问卷数据中通勤方式选择概率的统计结果，计算并比较天津市 16 个近郊组团的人均通勤碳排放量，得到 3 个结论：①在用地构成分类情况下，居住主导型组团的人均通勤碳排放量 (1.40 ~ 2.00 kg) > 职住平衡型组团的人均通勤碳排放量 (0.80 ~ 1.20 kg) ≈ 就业主导型组团的人均通勤碳排放量 (0.80 ~ 1.00 kg)；②在相对位置分类情况下，职住分散型组团的人均通勤碳排放量 (0.80 ~ 1.60 kg) > 职住集聚型组团的人均通勤碳排放量 (0.70 ~ 0.80 kg)；③在连通效率分类情况下，轨交—职弱住弱型组团的人均通勤碳排放量 (1.40 ~ 2.00 kg) > 轨交—职强住弱型组团的人均通勤碳排放量 (1.20 ~ 1.50 kg) ≈ 轨交—职弱住强型组团的人均通勤碳排放量 (1.00 ~ 1.40 kg) > 轨交—职强住强型组团的人均通勤碳排放量 (0.80 ~ 1.20 kg)。结论②和③可分别验证有关通勤碳排放的理论假设，即职住中心相对位置越紧凑，所产生的通勤碳排放量就越少；职住空间连通效率越高，所产生的通勤碳排放量就越少。但结论①却与上文关联机制推导的猜想 (即职住空间用地构成越趋于均衡，所产生的通勤碳排放量越少) 存在冲突。

3.2 基于用地构成分类的关键控碳因素识别分析

为解释实证结果与理论假设之间的矛盾，以用地构成分类为切入点，构建天津市近郊组团通勤方式选择 Logistics 回归模型，分别探究居住主导型、职住平衡型、就业主导型等 3 类近郊组团的职住空间结构与通勤方式选择的关键影

响要素及其调控机制。

分析天津市居住主导型、职住平衡型、就业主导型等 3 类近郊组团职住空间结构要素与通勤方式选择的影响关系发现，不同用地构成类型内部影响通勤方式选择的关键要素虽存在一定交集，但其调控机制、作用方向和形成原因并不完全相同。

分析各类组团的量化影响机理发现，不同类型的近郊组团职住空间结构与通勤碳排放在居住地 / 工作地功能混合度、功能密度、交叉口密度、与最近地铁站距离等关键影响因素，以及各因素对步行 (自行车)、公交车、地铁和私家车出行等 4 种出行方式选择的调控机制方面存在差异。见表 2。

4 天津市近郊组团职住空间结构低碳优化策略

结合职住空间结构—居民出行行为—通勤碳排放的理论框架以及天津市近郊组团职住空间结构的关键控碳因素识别结果，针对居住主导型、职住平衡型、就业主导型等 3 类组团，建立天津市近郊

组团职住空间结构低碳优化分类引导路径 (表 3)，并总结 3 类近郊组团的职住空间低碳优化的重点方向。

4.1 居住主导型组团：用地功能复合开发，优化服务设施布局

居住主导型组团以居住功能为主，就业功能不够成熟，就业岗位与居住用地供给关系失衡，同时大面积的居住用地连片增长，就业空间点状分布，导致居民通勤距离增加，通勤碳排放量增加。

因此，该类型组团的低碳职住空间结构优化应优先从用地构成维度出发，形成功能高度复合的职住空间结构，使公共服务设施高效匹配接驳空间环境和地铁周边功能布局。一方面，提高土地混合使用程度 (图 8)，形成“组团级活力中心—街区级邻里中心”两级中心结构，对组团现有规模较小的功能设施进行改造升级与空间整治，形成多个功能核心，进而形成交通核心完善的公共交通网络。另一方面，按照共建共享的原则，加强低碳城镇生活圈规划，划定日常生活圈、拓展生活圈与机会生活圈，逐步补足各级生活圈的城镇公共服务设施数

表 2 天津市近郊组团职住空间结构控碳要素分类分析

组团类型	关键控碳因素	调控机制	作用方向	影响程度
居住主导型	工作地功能密度	影响公交车、地铁、私家车出行率	负	显著影响；抑制程度为：公交车 > 地铁 > 私家车
	工作地交叉口密度			
	居住地交叉口密度	影响地铁、私家车出行率	正	微弱影响；促进程度为：私家车 > 地铁
	居住地功能混合度	影响地铁出行率	正	显著影响
	工作地地铁站可达性			
职住平衡型	居住地到公共服务中心的距离	影响公交车、私家车出行率	正	显著影响；促进程度为：公交车 > 私家车
	居住地功能密度			
	居住地地铁站可达性	影响地铁出行率	正	显著影响
	工作地地铁站可达性			
	居住地功能混合度	影响私家车出行率	负	显著影响
就业主导型	居住地功能密度	影响公交车、地铁出行率	正	显著影响；促进程度为：公交车 > 地铁
	工作地功能密度	影响地铁、私家车出行率	正	显著影响；促进程度为：私家车 > 地铁
	工作地交叉口密度	影响私家车出行率	正	显著影响

量，提高公共服务设施的可达性。

4.2 职住平衡型组团：多中心极核化构建职住结构新格局

职住平衡型组团内的职住用地比仅能保证就业岗位与居住用地相对均衡，但就业中心和居住中心相对独立，呈离散型分布，居民通勤出行方式受限，提高了私家车出行率，通勤碳排放量增加。

在该类型的组团中，低碳职住空间结构优化应重点关注相对位置维度，形成职住中心紧凑集聚、多中心极核的职住空间结构。首先，强化组团内部现存居住中心与就业中心的空间集聚格局，引导邻近居住中心与就业中心适度迁移与交叉融合，形成“住中有职、职住交融”的职住中心格局。其次，划分通勤片区，在片区内部形成职住平衡极核，提升片区内循环比例，同时要维持组团向心通勤比例的稳定；建立动态反馈机制，及时通过功能置换与土地利用调整片区内职住中心的位置关系，避免居住人口或就业岗位在某一片区的过度聚集，保证组团内多中心极核模式的高效通勤。

4.3 就业主导型组团：路网密度分级控制，形成交通系统新模式

就业主导型组团的低碳空间规划面临的主要问题是道路网分布不均，组团间及组团内部衔接不畅，公共交通系统联通度较差，步行环境较为恶劣。这导致居民通勤时间过长，通勤碳排放量也随之增加。

该类型组团中的低碳职住空间结构优化应重点从连通效率维度着手，分区分管控路网密度与服务水平，并推广公共交通导向的绿色出行方式。一方面，梳理整合组团内部现状道路网系统，在增量规划中严格控制道路网密度，在轨道交通站点至周边地区的路网布局方面积极打造“密肋—疏网”的逐层过渡布局模式；另一方面，发展“B+R”交通模式，提高公共交通网络的覆盖率，提倡以步行或自行车等零碳出行方式接驳地铁或公

交出行。同时，通勤慢行系统沿组团道路分布，尽量实现人车分离，连接主要公共活动中心、就业密集区域，实现多种目的慢行交通的汇聚，为步行与公共交通提供接驳空间；街道慢行路以引导行人前往组团主通道为主要目的，衔接生活区域内部建设用地形成慢行道闭环。见图 9。

5 结束语

本文聚焦职住空间结构，分析了超

大城市近郊组团职住空间结构与通勤碳排放的逻辑关联机制与量化影响机理，基于此制定了差异化的职住空间结构低碳优化策略，构建了职住空间结构—居民出行行为—通勤碳排放的低碳关联框架，形成了通过空间规划手段引导交通领域控碳减排的递进式逻辑链条。同时，以天津市为实证，验证并量化识别了不同类型近郊组团的职住空间类关键控碳因素及其调控机制，为立足结构式碳减排视角研判未来空间规划的整体方向、优化时序与管控力度

表 3 低碳导向下近郊组团职住空间结构优化分类引导路径

组团分类	规划调控重点	目标	措施
居住主导型	用地构成	高度复合；集约利用	职住功能混合开发；公共服务设施高效匹配
职住平衡型	相对位置	强化集聚；多中心结构	强化就业中心、居住中心集聚格局；形成多职住极核模式
就业主导型	连通效率	严控密度；分区分管制	分区分管控交叉口密度；改善慢行环境，促进“公共交通+”出行

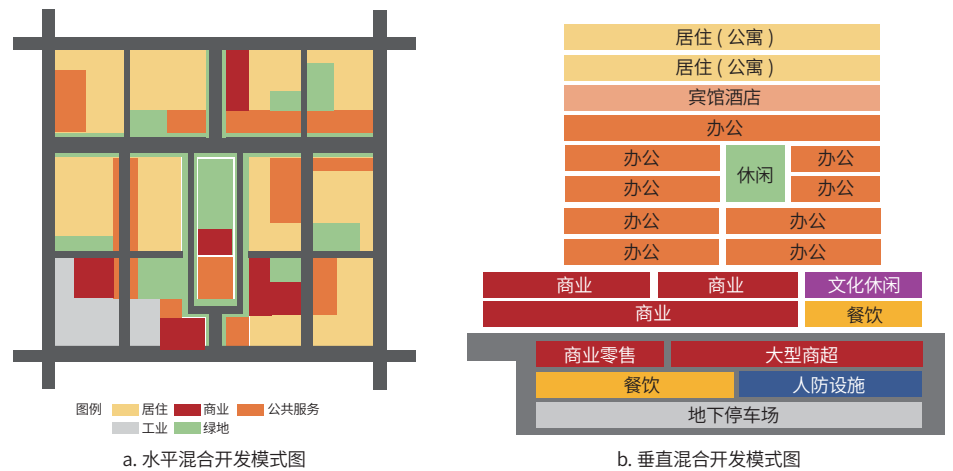


图 8 用地功能混合开发模式图

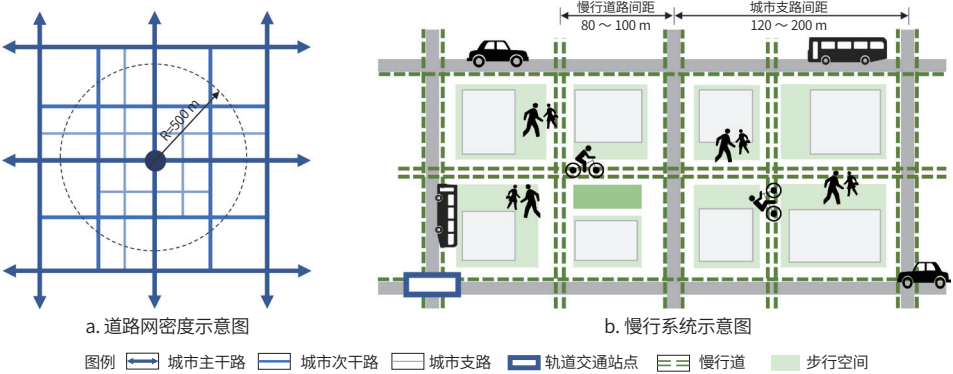


图 9 轨道交通站点周边道路系统示意图

提供数据和方法支撑。■

[注 释]

①通过不同交通工具的出行距离与其对应的单位距离碳排放强度的乘积计算碳排放总量。考虑到在不同的通勤距离下,内部家庭属性或外在环境因素不同会影响通勤方式的选择偏好差异,进而导致碳排放计量差异,因此本文在居民通勤出行碳排放的测算中,选择基于距离理论的碳排放系数法。

[参考文献]

- [1] 鲍春,李信均.带状组团城市低碳交通规划策略与实践:以百色市中心城区为例[J].规划师,2022(增刊1):71-75.
- [2] AXEL B, IJASZ-VASQUEZ E, MEHNDIRATTA S. Sustainable low-carbon city development in China[M]. Washington D.C.: World Bank Publications, 2012.
- [3] 姜洋.基于城市形态的家庭出行碳排放模型研究[D].北京:清华大学,2016.
- [4] 张赫,张建勋,王睿,等.小城市建成环境对居民出行交通碳排放的影响机理[J].城市问题,2020(7):4-10,20.
- [5] 赵荣钦,范桦,张振佳,等.城市地铁对沿线居民通勤交通碳排放的影响:以郑州市为例[J].地域研究与开发,2021(2):151-155,161.
- [6] 刘锐,窦建奇.低碳导向下的紧凑城市[J].规划师,2014(7):79-83.
- [7] PETTERN. "New urbanism" or metropolitan-level centralization? A comparison of the influences of metropolitan-level and neighborhood-level urban form characteristics on travel behavior[J]. Journal of Transport & Land Use, 2011(1): 25-44.
- [8] IVAN M, VANIA S. Urban spatial form and structure and greenhouse-gas emissions from commuting in the metropolitan zone of Mexico valley[J]. Ecological Economics, 2018, 147: 353-364.
- [9] LEE S W, LEE B S. The influence of urban form on GHG emissions in the U.S. household sector[J]. Energy Policy, 2014, 68: 534-549.
- [10] CERVERO R, ARRINGTON G B. Vehicle trip reduction impacts of transit-oriented housing[J]. Journal of Public Transportation, 2008(3): 1-17.
- [11] 杨文越,曹小曙.居住自选择视角下的广州出行碳排放影响机理[J].地理学报,2018(2):346-361.
- [12] 戴刘冬,周锐,张凤娥,等.城市土地利用对居民通勤碳排放的影响研究[J].长江流域资源与环境,2016(增刊1):68-77.
- [13] 刘青春,张莹莹,肖燕,等.济南市主城区私家车日常出行碳排放特征及影响因素[J].资源科学,2018(2):262-272.
- [14] 柴彦威,肖作鹏,刘志林.居民家庭日常出行碳排放的发生机制与调控策略:以北京市为例[J].地理研究,2012(2):334-344.
- [15] FRANK L D, BRIAN S JR, BACHMAN W. Linking land use with household vehicle emissions in the central puget sound: methodological framework and findings[J]. Transportation Research Part D Transport & Environment, 2000(3): 173-196.
- [16] FRANK L, CHAPMAN J, BRADLEY M, et al. Travel behavior, emissions & land use correlation analysis in the central puget sound[R]. 2005.
- [17] 李沛妍.基于系统动力学的城市低碳交通发展模式与结构优化[D].西安:西安建筑科技大学,2018.
- [18] 杨源.基于居民出行规律实证研究的城市低碳交通政策模拟[D].北京:清华大学,2016.
- [19] 宣蔚,郑妍.低碳能源系统与城市规划一体化的理论构建[J].规划师,2014(11):82-86.
- [20] 尚雪峰,仇保兴,王文静.适应性视角下山地城市低碳设计策略:以贵州凯里市鸭塘片区为例[J].规划师,2023(3):117-124.
- [21] LEE S H, SUZUKI T. A scenario approach to the evaluation of sustainable urban structure for reducing carbon dioxide emissions in Seoul[J]. Null, 2016(1): 30-48.
- [22] LEE S W, LEE B S. Comparing the impacts of local land use and urban spatial structure on household VMT and GHG emissions[J]. Journal of Transport Geography, 2020, 84: 102694.
- [23] 童抗抗,马克明.居住—就业距离对交通碳排放的影响[J].生态学报,2012(10):2975-2984.
- [24] 刘志杰.家庭内部属性以及外部因素对家庭通勤交通碳排放的影响应用研究[D].西安:长安大学,2013.
- [25] 段亚琼,侯全华,张思祎.低碳出行与城市建成区土地集约使用相互关系研究述评[J].规划师,2019(10):5-11.
- [26] 段亚琼.低碳出行导向下的西安市建成区土地集约使用机制与优化研究[D].西安:长安大学,2019.
- [27] 钱云,贺凯,戴威,等.城市新区控制性详细规划的低碳策略实践:以苏南地区为例[J].国际城市规划,2013(2):47-52.
- [28] LIVINGSTON B L. Using jobs/housing balance indicators for air pollution Controls[R]. 1989.
- [29] ZHONG R P. The jobs-housing balance and urban commuting[J]. Urban Studies, 1997(8): 1215-1235.
- [30] SULTANA S. Effects of spatial structure, job-housing mismatch, and dual-earner households on commuting in the Atlanta metropolitan area[M]. The city of Athens: University of Georgia, 2000.
- [31] 张顺.基于多源数据的特大城市职住空间特征研究[D].南京:东南大学,2019.
- [32] 张赫,亚萌,王睿,等.不同规模城市居住建筑碳排放及影响因素比较研究[J].建筑节能(中英文),2021(3):1-8.
- [33] EWING R, FANG R. The impact of urban form on US residential energy use[J]. Housing Policy Debate, 2008(1): 1-30.
- [34] 程富花,赵珊,郭春娥.基于职住平衡的城市新区用地构成研究:以京津合作园区用地规划为例[C]//转型与重构:2011中国城市规划年会论文集,2011.
- [35] 刘德政.中新天津生态城职住关系评价与优化策略研究[D].天津:天津大学,2020.
- [36] 王录仓,常飞.基于多源数据的兰州市主城区城市职住空间关系研究[J].人文地理,2020(3):65-75.
- [37] 任鹏,彭建东,杨红,等.武汉市轨道交通站点周边地区职住平衡与建成环境的关系研究[J].地球信息科学学报,2021(7):1231-1245.
- [38] 李虹慧.京津冀城市群居民城际出行的交通方式选择行为分析[D].北京:北京交通大学,2020.
- [39] 李鹏程.基于MNL模型的居民出行方式选择行为分析[J].物流科技,2019(5):95-97,113.

[收稿日期] 2023-04-18