

# 产业园区建成环境对低碳通勤的影响机制和优化策略研究\*——以天津高新区为例

Influence Mechanisms and Optimization Strategies of the Built Environment in Industrial Parks on Low-carbon Commuting: A Case Study of Tianjin Hi-tech Zone

董宏杰 张赫 高畅 张宇童 王睿 田征

DONG Hongjie, ZHANG He, GAO Chang, ZHANG Yutong, WANG Rui, TIAN Zheng

**摘要** 产业园区作为以生产就业为主导功能的城市空间,其内部的职工通勤行为呈现较为明显的高碳特征。选取天津市高新区华苑片区(城内园区)和华苑产业园(城外园区)2个不同区位的典型产业园区为研究对象,采用主成分分析法和多元Logit回归模型,从步行环境、功能与活力、交通连通度和交通基础设施建设4个维度分析建成环境对职工通勤选择的影响机理,并针对不同园区的建成环境提出共性和差异性低碳优化策略。研究结果显示:(1)交通连通度和步行环境始终是影响职工通勤选择的重要因素,在进行建成环境优化时应予以重点关注;(2)城内园区需强调功能多样性和活力的提升,而城外园区则应以交通基础设施的建设为重点。

**Abstract** Industrial parks are urban spaces with production and employment as the dominant function, in which the commuting behaviors of employees present more obvious high-carbon characteristics. Two typical industrial parks with different locations, Huayuan Area (inner-city park) and Huayuan Industrial Park (outer-city park) in Tianjin Hi-tech Zone, are selected as the research objects. Principal component analysis and the multiple Logit regression model are applied. The influence mechanisms of the built environment on employees' commuting choices are analyzed from four dimensions, namely walking environment, function and vitality, traffic connectivity, and the construction of transport infrastructure. Commonalities and differences of low carbon optimization strategies for the built environment of different industrial parks are proposed. The results of the study show that: (1) Transport connectivity and walking environment are always important factors influencing employees' commuting choices, which should be given special attention when optimizing the built environment; (2) The inner-city park should emphasize the enhancement of functional diversity and vitality, while outer-city park should focus on the construction of transport infrastructure.

**关键词** 城市规划;低碳通勤;主成分分析;Logit模型;产业园区;建成环境;天津高新区

**Key words** urban planning; low-carbon commuting; principal component analysis; Logit model; industrial parks; built environment; Tianjin Hi-tech Zone

文章编号 1673-8985 (2024) 04-0017-07 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20240403

## 作者简介

董宏杰

天津大学建筑学院 博士研究生

张赫(通信作者)

天津大学建筑学院

教授,博士,博士生导师,147792505@qq.com

高畅

天津大学建筑设计规划研究总院有限公司

高级规划师,硕士

张宇童

天津大学建筑学院 硕士研究生

王睿

天津大学建筑学院 副研究员,博士

田征

天津大学建筑学院 正科级秘书,硕士

## 0 引言

在全球气候变化日益严峻的背景下,低碳发展已成为社会共识,控碳减排成为我国现阶段发展的重要工作任务之一。以产业集群为特征的园区是我国经济发展的重要空间载体<sup>[1]</sup>,产业园区如何在保持经济活力的同时进行低碳化建设,是一项重要的议题。2013年,国家工信部和发改委联合发布《关于组织开展国家

\*基金项目:国家重点研发计划项目“面向碳中和的低碳城市建设技术框架与评价体系研究”(编号2023YFC3807701);国家自然科学基金项目“基于城镇公共服务设施引导差异性居民行为的低碳空间规划方法研究”(编号52078328);国家自然科学基金项目“基于碳排放强度约束的城市建成区典型功能组团空间布局优化方法”(编号52208073);天津市研究生科研创新项目“基于物联网技术的绿地系统碳汇效率评价与智能监测”(编号2022BKY089)资助。

低碳工业园区试点工作的通知》，推动形成了中新天津生态城、北京经济技术开发区等低碳示范产业园区。2020年，我国明确提出2030年“碳达峰”与2060年“碳中和”目标。2022年，为更好地实现绿色低碳转型，党的二十大报告提出“推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展”“积极稳妥推进碳达峰碳中和”。2021年，在“双碳”目标的引领下，国务院发布《2030年前碳达峰行动方案》，提出在全国范围内选择100个具有典型代表性的城市和园区开展碳达峰试点建设。2023年，国家发展和改革委员会印发《国家碳达峰试点建设方案》，提出“提升园区绿色低碳循环发展水平”“提升园区建筑、交通、照明、供热等基础设施节能低碳水平”的建设内容和任务<sup>[2]</sup>。推进产业园区的低碳化转型和发展，在推动我国经济社会向绿色低碳全面转型、减少能源资源消耗、缓解生态环境压力等方面，具有不可替代的积极作用<sup>[3]</sup>。

产业园区作为生产最为集中的城市空间，也是人口、能源等要素最为集聚的区域，具有高能耗、高碳排的特征。交通碳排放是产业园区碳排放的重要组成部分。受职住不平衡的影响，产业园区内的职工通勤行为存在明显的高碳特征，而建成环境在一定程度上会影响职工的低碳出行意愿<sup>[4]</sup>，进而影响交通出行碳排放。分析产业园区通勤碳排放的建成环境影响因素，便于形成科学、合理的评价体系，及时把握产业园区的碳足迹，为产业园区的低碳规划提供有益依据，有助于根据实际情况对产业园区进行精细化、针对性的建设和管理。

因此，本文选取天津市高新区管辖的华苑片区（城内园区）和华苑产业园（城外园区）2个不同区位的典型产业园区作为研究对象，探究产业园区建成环境对低碳通勤行为的影响机理，并从步行环境、功能与活力、交通连通度和交通基础设施建设4个维度比较产业园区内通勤行为影响因素的差异，提出具有针对性的产业园区建成环境低碳优化策略。

## 1 既有研究综述

作为以生产就业为主导功能的城市空间，

产业园区是高能耗和高污染的重点区域，也是城市碳排放最集中的空间<sup>[5]</sup>，在“双碳”目标实现的过程中扮演着举足轻重的角色。交通碳排放总量和强度是产业园区低碳评价的重要参考指标<sup>[6]</sup>，其中职工通勤碳排放是产业园区交通碳排放的重要组成部分。一方面，出于对选址成本和环境污染等方面的考虑，园区中极易产生职住不平衡的现象，由此引发的高碳通勤问题是低碳城市研究的重点。另一方面，由于精细化设计的缺失，我国在快速城镇化阶段建设了大量产业园区，其内部的设施及环境质量堪忧，且建设时未将低碳转型纳入考虑范畴。研究发现，建成环境对交通碳排放具有一定的影响，主要体现在对居民出行行为选择的引导方面，其质量会在一定程度上影响居民的通勤选择，进而影响交通碳排放总量<sup>[7]</sup>。

目前针对建成环境评价指标体系的构建多围绕“5D”要素展开。“5D”即密度、多样性、设计、可达性和公共交通邻近度5个方面<sup>[8-9]</sup>。在此基础上，相关学者根据特定研究对象的空间特征对其建成环境评价指标体系进行了调整。在城市层面，闫凤英<sup>[10]</sup>、张赫<sup>[11-13]</sup>、朱婉盈<sup>[14]</sup>、檀稳<sup>[15]</sup>等学者探究了用地规模、土地利用、产业结构、城市交通等宏观层面的空间规划指标与碳排放之间的关联性。在社区或居住区层面，秦棚超<sup>[16]</sup>、项宏艳<sup>[17]</sup>、易燕平<sup>[18]</sup>、郭佳星<sup>[19]</sup>、荣培君<sup>[20]</sup>等学者探讨了人口密度、土地利用、建筑布局、公共交通、基础设施等建成环境指标对居民出行碳排放的影响，并更多关注低碳出行行为的选择，如各类轨交站点周边范围内居民的出行偏好<sup>[21-22]</sup>、步行交通环境的规划<sup>[23]</sup>等。在产业园区层面，郭亚成<sup>[24]</sup>、刘骏鹏<sup>[25]</sup>、袁海红<sup>[26]</sup>等学者主要从土地利用、道路交通、空间环境、绿化环境、配套设施、建筑改造等维度构建了建成环境评价指标体系，而未能进一步探讨建成环境与通勤行为乃至出行碳排放之间的关系。从既有研究来看，目前已有的建成环境指标体系多适用于研究对城市、社区或居住区居民出行碳排放的影响机制，尚缺乏对产业园区的针对性。

因此，为缓解产业园区内部的高碳通勤问

题，本文将着重探讨产业园区建成环境对低碳出行意愿的影响机制，并在低碳通勤导向下提出建成环境优化策略，促进产业园区的低碳转型和发展。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 研究区域

2022年，天津市发布《天津市碳达峰实施方案》，提出“着力构建绿色交通出行体系”“推进产业园区低碳循环发展”<sup>[27]</sup>。研究结合天津市的城区空间特征，分别选取位于天津市高新区的华苑片区和华苑产业园2个产业园区作为典型园区（见表1），探究不同区位产业园区的通勤特征及主要影响因素。2个园区建设时间较为接近，功能均以商务办公为主，土地利用均较高；片区内部及周边建设完善，功能较为齐全。其中，华苑片区位于天津市中心城区内部，即“城内园区”；华苑产业园位于天津市外环以西的城市中心区边缘，与中心城区相邻但并未完全相接，即“城外园区”。二者均属于华苑科技园，以科技公司、软件园、研究所、大学等科技创新产业为主，是天津市区内唯一成片开发的区域。2014年8月，华苑科技园被国家工信部纳入首批低碳工业园区试点，正在大力推动绿色低碳发展，助力高新区早日实现“双碳”目标。

### 2.2 数据来源

研究使用数据主要包括所选区域建成环

表1 产业园区基本情况对比

Tab.1 Comparison of basic conditions in industrial parks

项目	华苑片区	华苑产业园
区位	城市中心区内部	城市中心区边缘
面积	小	较小
居住区数量	多	较多
就业企业数量	较少	多
建设阶段	建设较完善	建设不够完善
交通情况	路网南北狭长，地铁3号线贯通园区，片区内部建有华苑站	路网形式为方格路网，建设较完善，片区紧邻地铁3号线学府工业区站及高新区站

资料来源：笔者自制。

境相关数据和职工通勤方式数据。其中,建成环境相关数据通过实地调研及百度街景图片、图像自动识别、百度数据爬取等方法获取;职工通勤方式数据来源于研究区域内开展的实地调研。团队采用实地调研和随机采访等方式,为增加数据的真实性,选取工作日早高峰(7:30—9:30)以及晚高峰(16:00—18:30)中的等长时间段,收集一定时间内道路上各类交通方式对应的出行人群到发数量,其中公交车到发人数按10人/站计算,每个样本道路收集时间均为5 min。经过对收集数据的清洗、剔除无效数据等预处理操作,共收集到城内园区18个街区共3 128名职工、城外园区14个街区共940名职工的有效通勤数据。

### 2.3 研究方法

#### 2.3.1 主成分分析法

研究涉及的产业园区职工通勤方式主要包括步行通勤、公共交通和小汽车通勤3类。通过实地调研获得以上3类通勤方式的占比,基于优化后的指标体系对产业园区的建成环境进行集成评价,运用主成分分析法识别并归纳园区建成环境中的不同因素对职工低碳通勤选择的影响程度。首先,建立指标体系的原始数据矩阵;其次,进行KMO值和Bartlett值的检验,以KMO值大于0.6作为纳入主成分的标准;最后,根据各级指标共同度排名,得出各指标的影响程度排序。

#### 2.3.2 多项Logit回归模型

多项Logit回归模型是适用于因变量为无序变量,且因变量数量在3个及3个以上的模型。研究将职工的日常通勤方式分为3类,针对居民低碳通勤行为选择的影响程度分析采用Logit回归模型进行计算。模型公式为:

$$\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) = \beta_1 A + \beta_2 B + \beta_3 C + \beta_4 D + \beta_5 \quad (1)$$

式中: $\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$ 为任意2种主要通勤方式概率比值的自然对数; $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 为系数, $\beta_5$ 为常数项; $A$ 为步行环境相关指标; $B$ 为功能与活力相关指标; $C$ 为公共交通连通度相关指标; $D$ 为交通基础设施建设相关指标。

## 3 产业园区建成环境评价指标体系

研究在“5D”要素的基础上,参考既有文献中对于城市、社区或居住区建成环境评价指标体系的构建方法,结合产业园区的建成环境空间特征,从中提取对职工低碳通勤具有影响的指标,将其归纳为步行环境、功能与活力、交通连通度和交通基础设施建设4个评价维度,并对相关指标进行细化和增补,构建产业园区建成环境评价指标体系(见表2)。其中,步行环境维度对应了“5D”要素中的设计指标,功能与活力维度对应了多样性指标,交通连通度维度对应了可达性指标,交通基础设施建设对应了公共交通邻近度指标。

### 3.1 步行环境

街道空间尺度影响了人们对步行环境的感知程度。人车道路宽度比是出行路权平等性的表征,会对职工的出行体验造成影响;街道开敞度能衡量园区中职工的步行感受,开敞度适中的街道能提升职工的步行通勤意愿;连续的街道界面会给人良好的空间感受,也有利于街道两侧服务功能的设置;街道安全度指标在规划中主要体现为街道两侧建筑窗墙比。

### 3.2 功能与活力

园区街道活力度受到周边区域功能多样性及混合度的影响。通常情况下,较高的功能混合度可以更好地满足职工在通勤过程中产生的各种需求。考虑到产业园区的特征,研究聚焦居住、就业及商业3类功能来考察街区内部功能多样性;在街道周边商业设施丰富度方面,结合选区特征及相关文献研究成果,将商业设施划分为餐饮、购物、科教、金融4种类型,分类研究商业设施的混合度。

### 3.3 交通连通度

交通连通度在很大程度上影响着产业园区内职工的通勤方式选择。若产业园区与周边其他功能片区之间有较为紧密的公共交通联系,则可以缩减通勤时间与通勤成本,进而提升职工的公交出行意愿。研究根据不同交通方式对交通连通度进行分类,分别对轨道交通、公交车和共享单车3种交通工具的可达性进行评价。

### 3.4 交通基础设施建设

交通基础设施影响着城市交通的服务水平,较好的交通基础设施建设水平能吸引更多

表2 产业园区建成环境评价指标及计算方法  
Tab.2 Built environment evaluation indicators and calculation methods

建成环境要素	评价维度	评价指标	表征指标	算法及获取方式	最佳数值
设计指标	步行环境	人车道路宽度比	人行道宽度与车行道宽度之比	人行道宽度/车行道宽度	大于0.3
		街道开敞度	街道高宽比	沿街建筑高度/街道宽度	1—2
		街道连续度	贴线率	街墙立面线长度/建筑控制线长度×100%	大于60%
		街道安全度	两侧建筑窗墙比	某方向建筑外窗总面积/该方向墙体总面积	大于0.35
多样性指标	功能与活力	周边地块功能混合度	周边地块功能(商业、居住、就业3类)	现场调研获取	—
		周边商业设施多样性	周边商业设施种类(餐饮、购物、科教、金融4类)	现场调研获取	—
可达性指标	交通连通度	轨道交通站点可达性	街道中心点距最近轨道交通站点距离	现场调研获取	—
		公交站点可达性	道路上公交站点数量	现场调研获取	—
		共享交通可达性	道路上共享单车停车点数量	现场调研获取	—
公共交通邻近度指标	交通基础设施建设	道路上站台服务水平	站台上是否配有休憩设施,是否有显示时间等	现场调研获取	—
		公共交通服务水平	车隔、车速、票价	现场调研获取	—
		道路上新能源汽车服务水平	道路上新能源汽车充电桩数量	现场调研获取	—

资料来源:笔者自制。

职工使用公共交通工具进行日常通勤。研究主要从公交服务、站台设施和新能源设施3个方面对园区交通基础设施建设情况进行评价。

#### 4 产业园区建成环境对居民低碳出行意愿的影响机制研究

##### 4.1 职工通勤行为及建成环境的描述性统计分析

选取城内园区内部18条街道和城外园区内部14条街道作为分析样本,通过实地调研,获取园区内部各街道高峰时段职工的通勤方式比例。园区内主要通勤方式为步行、公交和小汽车3类,其中步行通勤与公交通勤为低碳出行方式,小汽车通勤为高碳出行方式。

根据调查分析结果,在城内园区(见图1a),小汽车出行占据总体比例的39.86%,而公交出行占比为37.08%,步行出行占比为23.06%;在城外园区(见图1b),小汽车总占比达到79.26%,在通勤方式中占据主导地位,而步行与公交出行占比相对较低,其中步行约占17.55%,公交仅占3.19%。由此可以看出:(1)城内园区中3类出行方式的占比较为平均,职工选择低碳交通方式的几率更大;(2)在城外园区,小汽车通勤的比例明显高于城内园区;(3)同一园区内不同道路上的通勤方式比例具有一定的差异性。

为了更加精确地对园区建成环境进行对比分析,基于前文所述指标体系对2个产业园区的建成环境的4个维度分别展开集成评价(见图2),并基于自然间断法分类法将评分结果分为高、中、低3个等级。可以看到,城内园区道路的评价结果总体高于城外园区,其中功能与活力、交通连通度2个评价维度具有显著优势。这也导致了城内园区的低碳通勤占比高于城外园区,可初步证明选取的指标对低碳通勤具有一定的影响。对于城内园区来说,功能与活力、交通连通度的集成评价结果高于步行环境、交通基础设施建设,且北部片区道路的评价结果高于南部片区,因此城内园区北部片区道路的低碳通勤占比高于南部片区。对于城外园区来说,功能与活力的集成评价结果高于步行环境、

交通连通度、交通基础设施建设,且园区外部道路的整体评价结果低于内部道路,因此,城外园区外部道路的低碳通勤占比高于内部道路。

##### 4.2 职工通勤选择的主要影响因素判定

采用主成分分析法对建成环境评分与各类通勤方式比例数据进行计算,深入分析影响

职工通勤选择的建成环境因素。首先,提取2个主成分进行分析,得到的累积方差解释率为91.076%(见表3);其次,以共同度<sup>①</sup>作为职工通勤选择影响程度高低的判定标准,共同度得分越高的因子,对职工低碳通勤选择的影响越大;最终,得到不同指标的影响力排序结果(见图3)。结果中显示的各指标对职工低碳通勤选

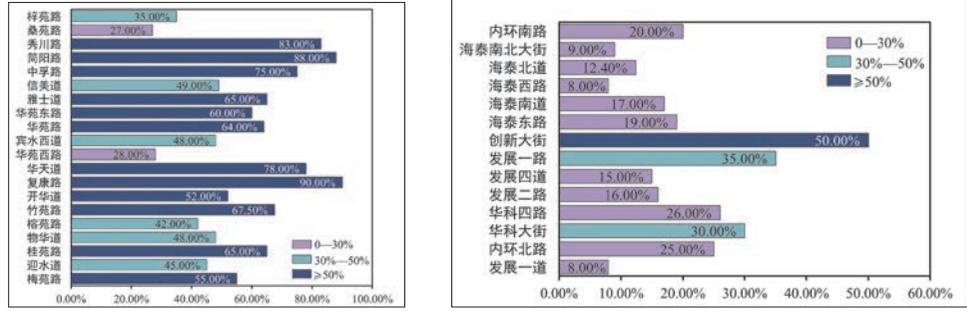


图1 产业园区各道路低碳通勤比例

Fig.1 Percentage of low-carbon commuting by roadway in industrial parks

资料来源:笔者自绘。

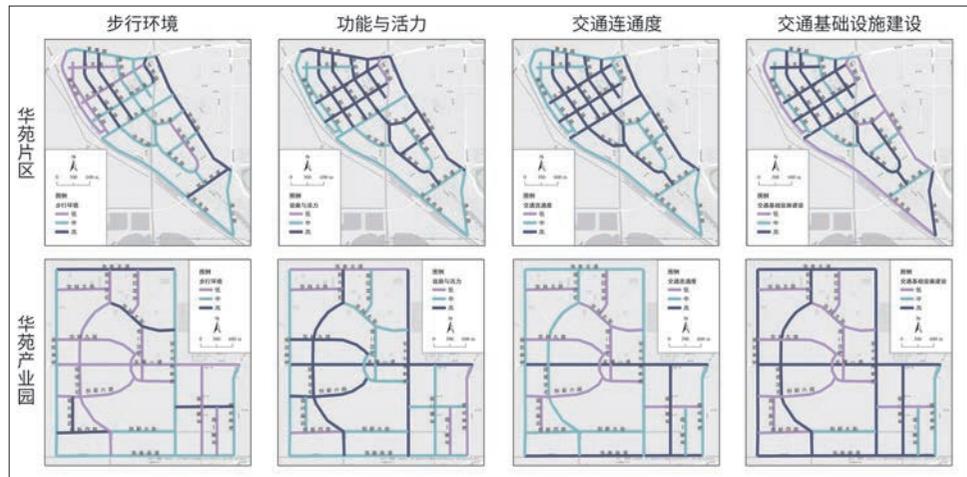


图2 产业园区建成环境集成评价

Fig.2 Integrated evaluation of the built environment in industrial parks

资料来源:笔者自绘。

表3 主成分提取分析结果<sup>②</sup>

Tab.3 Results of principal component extraction analysis

编号	特征根			主成分提取		
	特征根	解释率/%	累计/%	特征根	解释率/%	累计/%
1	7.237	72.368	72.368	7.237	72.368	72.368
2	1.871	18.708	91.076	1.871	18.708	91.076
3	0.418	4.184	95.260	—	—	—
4	0.347	3.473	98.733	—	—	—
5	0.093	0.934	99.667	—	—	—
6	0.017	0.168	99.835	—	—	—
7	0.012	0.117	99.952	—	—	—

资料来源:笔者自制。

注释: ① 共同度代表某项指标可被提取的信息量。  
② 此表已对特征根为0的指标予以省略。

择的影响程度高低,可作为低碳产业园区建成环境优化的依据。

对于城内园区,一级指标的影响力强度排序结果为:交通连通度>步行环境>功能与活力>交通基础设施建设;影响作用最强的6个二级指标排序为:轨道交通站点可达性>人车道路宽度比>公交站点可达性>周边地块功能混合度>共享交通可达性>街道开敞度。

对于城外园区,按照影响力强度由强到弱对一级指标进行排序,得到排序结果为:交通连通度>交通基础设施建设>步行环境>设施与活力;提取得到影响最为显著的6个二级指标排序为:轨道交通站点可达性>公交站点可达性>道路上站台服务水平>人车道路宽度比>共享交通可达性>周边地块功能混合度。

通过上述分析可以得到,不同影响因素对职工的通勤方式选择存在差异性的影响强度;同时,在城外、城内不同区位的2个产业园区中,各个指标的影响程度也具有一定的差异性。

### 4.3 减少交通碳源贡献度计算

为进一步明确各指标对职工低碳通勤选择的具体影响,剔除影响不够显著的指标,采用多项Logit回归模型计算剩余指标的贡献度(见表4),将其作为指标变化对减少交通碳排放效果的判定标准。

计算得到当建成环境某项指标改善1%后,选择该出行方式的人群将提升或减少的比例。根据贡献度计算结果,大部分指标的改善均能提高低碳通勤出行的比例。其中,对于步行出行比例贡献度较大的指标为轨道交通站点可达性、人车道路宽度比和公交站点可达性;对公交出行贡献度较大的指标为公交站点可达性、公共交通服务水平和道路上站台服务水平;而对减少私人汽车出行贡献度最大的指标为公交站点可达性、轨道交通站点可达性和共享交通可达性。若将未来建成环境各指标改善程度按预计30%—50%计,可大致计算出在建成环境得到改善后,每年的交通碳源排放量将减少117.49—176.23 t。

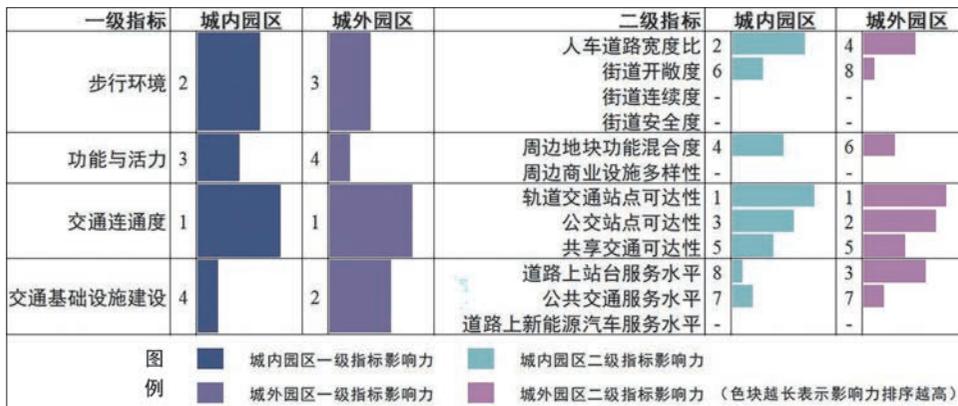


图3 产业园区低碳通勤指标影响力排序  
Fig.3 Ranking of the impact of low-carbon commuting indicators in industrial parks

资料来源:笔者自绘。

表4 建成环境对职工通勤选择影响的多项Logit回归结果

Tab.4 Multinomial Logit regression results for the impact of built environment on employee commuting choices

评价维度	评价指标	标准化回归结果			贡献度计算结果/%		
		步行	公交	小汽车	步行	公交	小汽车
步行环境	人车道路宽度比	0.764	0.012	-0.103	1.13	0.14	-0.17
	街道开敞度	0.285	0.016	0.006	0.83	0.26	0.02
功能与活力	周边地块功能混合度	0.012	0.021	0.004	0.19	0.26	0.01
	轨道交通站点可达性	0.862	0.025	-0.809	1.16	0.32	-0.87
交通连通度	公交站点可达性	0.724	1.052	-1.359	1.03	1.36	-1.19
	共享交通可达性	0.032	0.206	-0.653	0.93	0.35	-0.74
交通基础设施建设	道路上站台服务水平	0.052	0.073	0.011	0.38	0.79	0.02
	公共交通服务水平	0.216	0.809	-0.247	0.74	1.02	-0.46

资料来源:笔者自制。

## 5 低碳通勤导向下的产业园区建成环境优化策略

根据计算结果,产业园区建成环境4个维度中的不同指标对园区中职工的通勤选择具有不同影响。无论是在城内园区还是城外园区,交通连通度和步行环境始终是影响职工通勤选择的重要因素。对于城内园区而言,功能与活力指标对低碳出行选择的影响较为显著;而在城外园区中,交通基础设施建设却是更为重要的影响因素。

### 5.1 共性优化策略

#### 5.1.1 交通连通度优化

产业园区的交通连通度是影响职工通勤选择的首要因素。对于华苑科技园等低碳产业园区来说,主要功能空间之间需具备高度关联的交通路网,才能保持内部各项功能的空间联动,实现园区的平稳、高效运行。为了提升园区内部低碳出行比例,结合分析结果,可从提升

公交站点可达性、轨道交通站点可达性、共享交通可达性等方面进行交通连通度优化。

首先,结合职工通勤数据和园区内主要功能空间的分布情况,对园区内部的公交站点布局进行调整,使之能最大程度地满足职工通勤需要。其次,依据交通量对现状道路进行分级,在主要交通性道路上开辟公交专用道,保证公交路权独立,提升其通行能力,并根据现状站点布局进行适当增补。再次,结合轨道交通站点及公交站点开辟公共活动空间,配置共享单车换乘场地,保证园区内外交通无缝衔接,构建公共交通与自行车换乘模式,改善园区的轨道交通站点及公交站点的交通接驳情况,增加步行交通与公共交通的接驳能力,并将其纳入慢行系统规划中,提升站点可达性。最后,对交通站点周边的步行空间进行改善提质,提升其对人群的吸引力。

#### 5.1.2 步行环境优化

职工步行出行的比例同时受到产业园区

步行环境质量的影响。华苑科技园等低碳产业园区更多依赖步行出行方式,因而应对步行环境质量予以更多的关注。对园区步行环境的优化可从改善人车道路宽度比、街道开敞度和搭建慢行网络等方面展开。

首先,根据街道功能及现状问题对道路进行分类优化,改造道路断面,对人车道路比过小的街道进行人行道拓宽。其次,通过适当提升底层建筑通透性、增加街道两侧商业设施数量和增设执勤岗亭等方式进行街道开敞性优化;合理调整厂区入口,将部分封闭院落打开,以减小步行绕行次数;对园区内部低等级道路进行街道空间安宁化,可采用路缘石偏移、缩短交叉口断面等方式增加沿街公共空间,提升步行安全性。最后,根据园区的空间布局特征统筹规划职工慢行通勤路线,编制产业园区慢行交通网络规划,优化公共交通与步行交通的接驳能力;结合职工的通勤路线对区域道路内出行景观进行优化,设置利于通勤者短暂休憩的街道设施<sup>[28]</sup>。

## 5.2 差异性优化策略

### 5.2.1 城内园区的功能与活力优化

对科技产业园进行混合功能布局可以有效提升园区活力,提高职工选择公交、步行出行方式的意愿。华苑片区位于中心城区内部,建设完善,分区明显,北侧为生产就业区,南侧为居住区,受功能与活力指标的影响相对较大。由于职住比例较为平均,园区内通勤行为主要以短距离出行为主,因此周边街区的设施服务水平及功能混合度对职工的通勤方式选择影响程度较大。

从产业园区规划的角度,应结合现状功能分区特点,适当提升街区功能混合度;也可结合交通站点的布局配置公共设施,鼓励周边街区功能混合开发,促进产业园区紧凑发展,引导职工采用低碳出行方式。首先,未来建议以南部区域作为功能优化重点地段,可将道路内侧商业功能向外渗透,结合小学等公共服务设施布局增设配套产业;其次,发挥不同功能的协同联动效应<sup>[29]</sup>,增加商业服务、教育培训

等就业岗位。

### 5.2.2 城外园区的交通基础设施建设优化

交通基础设施建设情况的提升能够有效提高公共交通的使用效率,减少城市交通碳排放。华苑产业园位于天津市中心城区边缘,内部未建设轨道交通站点,导致其对其他公共交通工具依赖度较高,因此交通基础设施建设尤其是公共交通设施是影响园区内职工通勤行为的重要指标。

在设施布局规划方面,不应再延续根据数量指标配置设施的规划方式,而应重视不同交通基础设施的空间属性,结合职工需求科学配置;在公交服务水平方面,应引入智慧交通技术,切实提升运营管理水平,使其更加符合科技产业园区的定位。首先,在公共交通站点布局方面,采用后绕式的设计手法与自行车道紧密结合,统筹考虑安全性、可接近性及可到达性;其次,增加公共交通站点视觉标识性并提升智慧化水平,例如提供实时公交信息显示功能等;最后,建立公交智能化运营平台,通过对客流密度、车辆速度、道路堵点的监测,实时优化行车间隔和线路调度,满足职工乘车需求。

## 6 结论与展望

本文以华苑科技园内的2个产业园区为研究对象,运用主成分分析法分别对华苑片区(城内园区)和华苑产业园(城外园区)内影响职工通勤选择的影响因素进行了分析,并选取多项Logit回归模型计算不同影响因素指标的贡献度,提出建成环境优化策略。得到以下结论:

(1) 交通连通度和步行环境始终是影响职工通勤选择的重要因素,在进行建成环境优化时应予以重点关注。可从提升公交站点可达性、轨道交通站点可达性、共享交通可达性等方面进行交通连通度优化,从改善人车道路宽度比、街道开敞度和搭建慢行网络等方面进行步行环境优化。

(2) 对于位于城市中心区的华苑片区来说,需强调功能多样性和活力的提升,业态丰富的活力街区可以引导更多的短距离出行,促

进慢行交通发展。

(3) 对于城市中心区边缘的华苑产业园区来说,应以交通基础设施的建设为重点,职工长距离通勤占比更大,通勤选择更容易受到交通基础设施建设情况的影响。

本文仅探讨了产业园区建成环境与职工低碳通勤方式选择的相关性,尚未涉及建成环境要素具体门槛值与通勤方式选择的内在联系。此外,职工对于通勤方式的选择不仅基于园区建成环境,还涉及园区的社会经济属性及样本个体差异等,未来可从这些方面入手进行更加深入细致的探讨。

## 参考文献 References

- [1] 鲍颖群,王-竹,石庄岩.上海市绿色低碳特色园区创建路径分析[J].上海节能,2023(11):1580-1584.  
BAO Yingqun, WANG Yizhu, SHI Zhuangyan. Analysis on creation path of green and low carbon characteristic parks in Shanghai[J]. Shanghai Energy Saving, 2023(11): 1580-1584.
- [2] 国家发展和改革委员会.国家碳达峰试点建设方案[R].2023.  
National Development and Reform Commission. National carbon peak pilot construction plan[R]. 2023.
- [3] 颜培霞.我国低碳产业园区的研究进展与未来展望[J].生态经济,2019,35(5):26-30.  
YAN Peixia. The research progress and future development of low-carbon industrial park in China[J]. Ecological Economy, 2019, 35(5): 26-30.
- [4] 袁玉娟,刘清春,周平,等.城市居民低碳交通意愿与行为一致性研究[J].城市问题,2021(8):93-102.  
YUAN Yujuan, LIU Qingchun, ZHOU Ping, et al. Congruence between residents' low-carbon travel intention and behavior[J]. Urban Problems, 2021(8): 93-102.
- [5] 吴翔宇,周桐,余佩华.绿色发展导向下产业园区空间协同机制及低碳化路径探新——以宝鸡市眉县经开区为例[C]//人民城市,规划赋能——2023中国城市规划年会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2023:1-13.  
WU Xiangyu, ZHOU Tong, YU Kanhua. Exploring the spatial synergy mechanism and low carbonization path of industrial parks under the guidance of green development: a case study of Meixian Economic Development Zone in Baoji City[C]//People's city, planning empowerment -

- proceedings of the 2023 China Annual National Planning Conference. Beijing: China Architecture & Building Press, 2023: 1-13.
- [6] 马桂华. 广西工业园区低碳评价指标体系研究[D]. 桂林: 广西师范学院, 2018.  
MA Guihua. Study on low-carbon evaluation index system of Guangxi Industrial Park[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2018.
- [7] DING C, WANG Y, XIE B, et al. Understanding the role of built environment in reducing vehicle miles traveled accounting for spatial heterogeneity[J]. Sustainability, 2014, 6(2): 589-601.
- [8] 朱菁, 张怡文, 樊帆, 等. 基于智能手机数据的城市建成环境对居民通勤方式选择的影响——以西安市为例[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2021, 49(2): 55-66.  
ZHU Jing, ZHANG Yiwen, FAN Fan, et al. Impact of urban built environment on commute mode choice by smart phone app data: a case study of Xi'an City[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2021, 49(2): 55-66.
- [9] 郑红霞. 居住地建成环境对居民出行碳排放影响的空间差异研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.  
ZHENG Hongxia. The spatial heterogeneity of the residential environment's impacts on travel carbon emissions[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.
- [10] 闫凤英, 杨一苇. 空间规划的碳排放约束机制与治理框架[J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(3): 37-45.  
YAN Fengying, YANG Yiwei. Mechanisms and governance framework for carbon emission constraints in spatial planning[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2021, 36(3): 37-45.
- [11] 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.  
ZHANG He, ZHANG Jianxun, WANG Rui, et al. Built environment factors influencing CO<sub>2</sub> emissions from residential trips in small Chinese cities[J]. Urban Problems, 2020(7): 4-10.
- [12] 邓洪杰, 王睿, 张赫, 等. 双学科视角下国土空间低碳规划方法研究回溯与编制讨论[J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(6): 31-42.  
DENG Hongjie, WANG Rui, ZHANG He, et al. Backtracking and compilation of national territorial spatial low-carbon planning from the perspective of dual disciplines[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2021, 36(6): 31-42.
- [13] 张赫, 胡佳慧, 王睿, 等. 面向国土空间规划的县域规划建设低碳评价方法研究——以河北省武安市为例[J]. 西部人居环境学刊, 2021, 36(6): 23-30.  
ZHANG He, HU Jiahui, WANG Rui, et al. Construction evaluation method of county low-carbon planning oriented to territorial spatial planning: taking Wuhan City in Hebei Province as an example[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2021, 36(6): 23-30.
- [14] 朱婉莹. 基于低碳视角的浦东新区空间形态规划优化研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2023.  
ZHU Wanying. Research on spatial form planning optimization of Pudong New Area based on low-carbon perspective[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2023.
- [15] 檀稳. 基于交通出行视角的城市土地利用碳减排策略研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.  
TAN Wen. Research on carbon emission reduction in urban land use from the perspective of traffic trip: taking Wuhan City as an example[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020.
- [16] 秦棚超. 基于居民低碳出行的15分钟生活圈建成环境优化策略研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2022.  
QIN Pengchao. Study on optimization strategy of built environment of 15 minute living circle based on residents' low carbon travel: a case study of Xi'an High Tech Zone[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2022.
- [17] 项宏艳, 朱隆斌, 王强. 社区建成环境对家庭出行碳排放影响研究——以南京主城区典型社区为例[J]. 重庆建筑, 2020, 19(12): 17-21.  
XIANG Hongyan, ZHU Longbin, WANG Qiang. Research on impact of built community environment on carbon emission by family travel[J]. Chongqing Architecture, 2020, 19(12): 17-21.
- [18] 易燕平. 基于行为特征的家庭碳排放与住区用地功能混合度研究[D]. 绵阳: 西南科技大学, 2020.  
YI Yanping. Study on the mixed degree of household carbon emissions and residential land function based on behavioral characteristics[D]. Mianyang: Southwest University of Science and Technology, 2020.
- [19] 郭佳星. 不同街区形态居民生活能耗、排放特征与出行行为模型[D]. 北京: 清华大学, 2013.  
GUO Jiaying. Influence of neighborhood forms on household energy consumption/CO<sub>2</sub> emission and travel behavior model[D]. Beijing: Tsinghua University, 2013.
- [20] 荣培君, 张丽君, 秦耀辰, 等. 建成环境对城市居民日常出行碳排放的影响——以开封市248个居住区为例[J]. 地理研究, 2019, 38(6): 1464-1480.  
RONG Peijun, ZHANG Lijun, QIN Yaochen, et al. Impact of built environment on carbon emissions from daily travel of urban residents: a case study of 248 residential areas in Kaifeng[J]. Geographical Research, 2019, 38(6): 1464-1480.
- [21] 李国强. 建成环境对轨道交通站点客流及接驳方式的影响研究[D]. 南京: 东南大学, 2020.  
LI Guoqiang. The influence of built environment on ridership and connection modes of subway stations[D]. Nanjing: Southeast University, 2020.
- [22] 黄晓燕, 曹小曙, 殷江滨, 等. 城市轨道交通和建成环境对居民步行行为的影响[J]. 地理学报, 2020, 75(6): 1256-1271.  
HUANG Xiaoyan, CAO Xiaoshu, YIN Jiangbin, et al. The influence of urban transit and built environment on walking[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(6): 1256-1271.
- [23] 黄明瑜. 低碳视角下的步行交通规划策略研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.  
HUANG Mingyu. Study on the strategy of pedestrian traffic planning in the low-carbon perspective[D]. Xi'an: Chang'an University, 2013.
- [24] 郭亚成, 赵萌阳, 王冉, 等. 工业遗产改造类创意产业园建成环境后评价——以青岛中联U谷2.5产业园为例[J]. 城市建筑, 2022, 19(22): 26-28.  
GUO Yacheng, ZHAO Mengyang, WANG Ran, et al. Post construction environment evaluation of creative industry park transformed from industrial heritage: a case of Qingdao Zhonglian U Valley 2.5 Industrial Park[J]. Urbanism and Architecture, 2022, 19(22): 26-28.
- [25] 刘骏鹏. 北京工业遗产类创意产业园建成环境后评价[J]. 天津城建大学学报, 2018, 24(2): 81-87.  
LIU Junpeng. Environment post-evaluation of creative industry park in category of industrial heritage in Beijing[J]. Journal of Tianjin Chengjian University, 2018, 24(2): 81-87.
- [26] 袁海红, 吴丹丹, 马仁锋, 等. 杭州文化创意产业集聚与城市建成环境场耦合性[J]. 经济地理, 2018, 38(11): 123-132.  
YUAN Haihong, WU Dandan, MA Renfeng, et al. Spatial-correlation between agglomeration of cultural & creative industries and urban built environment field in Hangzhou[J]. Economic Geography, 2018, 38(11): 123-132.
- [27] 天津市人民政府. 天津市碳达峰实施方案[R]. 2023.  
Tianjin Municipal People's Government. Tianjin carbon peak implementation plan[R]. 2023.
- [28] 刘玮, 孙巳可, 吕小勇. 高新技术产业园区就业人群街道空间需求分析与优化策略[J]. 城市发展研究, 2021, 28(4): 90-98.  
LIU Wei, SUN Yike, LYU Xiaoyong. Analysis and optimization strategies of street space needs of employment crowd in high-tech industrial park[J]. Urban Development Studies, 2021, 28(4): 90-98.
- [29] 王兰, 蔡洁. 健康产业园区空间布局模式及其后疫情时代发展思考[J]. 西部人居环境学刊, 2020, 35(3): 29-35.  
WANG Lan, CAI Jie. Spatial planning pattern of healthy industry park and its development in the post-epidemic era[J]. Journal of Human Settlements in West China, 2020, 35(3): 29-35.