

建成环境对城镇建设用地碳排放的影响研究进展

张小平¹, 李鹏^{2*}

1. 山东建筑大学建筑城规学院, 济南 250101

2. 淄博市规划设计研究院有限公司, 淄博 255037

摘要 在明确城镇建设用地碳排放概念内涵及计量方法的基础上,从建成环境与城镇建设用地碳排放的关系出发,按照密度、功能和形态3个方面,分析了城镇建设用地碳排放产生影响的建成环境要素。分析表明,未来研究需从建立城镇建设用地碳排放数据库、人工智能等新技术的应用,转向与空间规划管理单元相衔接的地块空间分析尺度的研究,关注城镇建设用地碳排放在多因素影响下的综合碳排放效应分析方法,增加对于建成环境与城镇建设用地碳排放关系分析的实证研究。

关键词 建成环境;城镇建设用地;碳排放;影响;城市规划

城镇建设用地(以下简称“建设用地”)既是人类居住生活、休闲娱乐和工业生产的基本空间载体,同时也是碳排放的主要载体^[1-2]。虽然建设用地上面积仅占全球面积的2.4%,但却承载了全球约80%的CO₂排放^[3]。在中国,建设用地上承载的碳排放也已经超过碳排放总量的70%^[4]。降低建设用地上承载的碳排放对于应对全球气候变暖具有重要意义。

空间规划是控制建设用地碳排放的重要手段。大量研究表明,空间规划通过在空间上明确建设用地上承载的碳排放与用地功能、开发容量、建筑空间

形态等建成环境之间的关系,并进行相应优化调整,可以使碳排放的形式、数量与强度在一定程度上得以固化,从而实现对建设用地碳排放的“锁定效应”和“统筹功能”^[5-6]。

由建筑能耗引起的碳排放已经逐渐成为建设用地碳排放的主要来源^[7-8]。建筑能耗不仅是表征建设用地碳排放的重要形式,也是城市低碳发展水平的重要评价指标,是架起建成环境与建设用地碳排放之间相互关系的重要桥梁。探究建成环境、建筑能耗与建设用地碳排放之间的相互关系,有利于比较城市在不同建成环境情景下的碳排放水平,为

收稿日期:2020-09-30;修回日期:2021-04-25

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR202108090061);济南市哲学社会科学课题(JNSK21C04)

作者简介:张小平,讲师,研究方向为低碳可持续城市规划,电子信箱:380512160@qq.com;李鹏(通信作者),高级工程师,研究方向为国土空间规划,电子信箱:8506217@qq.com

引用格式:张小平,李鹏. 建成环境对城镇建设用地碳排放的影响研究进展[J]. 科技导报, 2021, 39(24): 65-74; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.24.008

我国低碳城市物质空间建设提供依据。

1 城镇建设用地碳排放概念内涵及计量

1.1 城镇建设用地碳排放概念内涵

建设用地碳排放并非城乡规划学中的规范用语,因此目前并没有关于建设用地碳排放的明确定义,主要与“建设用地”和“碳排放”有关。《城乡用地分类与规划建设用地标准(2018)》(征求意见稿)将建设用地定义为城镇内各类建设用地的统称,是城镇中人类能源活动、工业生产和居住生活的基本空间载体,包括居住用地、公共管理与公共服务设施用地、工业用地等,共计9大类、36中类、47小类。碳排放是指温室气体排放的总称,根据联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)发布的国家温室气体清单指南,碳排放的来源主要包括能源、工业过程和产品使用、农业、林业其他土地利用、废弃物及其他5个方面。由于农业与土地利用变化及林业并不主要发生在建设用地范围上,并且能源活动是碳排放的主要来源^[9],越来越多的研究机构及学者将建设用地碳排放定义为发生在建设用地范围上的能源活动引起的碳排放,并得到了广泛的应用^[10-12],而在城市研究领域,与建成环境相关的建设用地碳排放研究主要关注地块尺度上的建筑能源活动碳排放。综上可知,建设用地本身并不直接参与碳排放过程,碳排放主要是指发生在其范围内的人类活动碳排放,包括建设用地上承载的能源、工业过程和产品使用、废弃物碳排放等。由于本文主要聚焦在城市研究领域,探究地块尺度上建成环境对建设用地碳排放的影响,故将建设用地碳排放定义为建设用地上承载的建筑能耗碳排放。

1.2 空间视角下城镇建设用地碳排放计量

建设用地碳排放的计量是分析建成环境与建设用地碳排放关系的基础。因此围绕碳排放的核算与计量方法,学界展开了丰富的讨论,主要可以分为3类:实测法^[13]、物料衡算法^[14]和IPCC清单法^[15-16]。其中,IPCC清单法是基于IPCC发布的国

家温室气体清单指南,统计一定区域范围内的不同类型能源消耗量,通过乘以相应的排放因子,得到碳排放量,由于IPCC清单法简洁实用,且准确性较高,是目前空间视角下建设用地碳排放计量的主要方法^[17]。因此,越来越多的学者开始借助IPCC清单法,通过建立温室气体清单指南与建设用地的关联框架,计量建设用地碳排放。起步阶段主要是在国家、城镇群、省域、大都市区等宏观尺度,以建设用地整体作为研究对象,计量建设用地整体的能源活动、工业生产过程和废弃物处理等产生的碳排放。代表性研究如Hutyra等^[18]采用IPCC清单法,核算了美国西雅图大都市区1986—2007年间的建设用地碳排放及其变化特征。黄潮清^[19]以广东省为例,通过IPCC清单法对全省建设用地碳排放进行计量,进而探讨了广东省建设用地碳排放的时间变化规律。随着研究的深入,开始有学者通过建立IPCC国家温室气体清单指南和城镇内部不同类型建设用地的对应关系,但受限于IPCC清单法中能源活动的统计范围,只能核算居住、服务业、工业和交通等大类建设用地上能源活动碳排放,难以与空间规划中对于建设用地的类型及边界相结合,无法适应建设用地上错综复杂的地块划分与建筑空间分布情况,更无法针对用地类型进行亚类细分,比如区分城乡住宅用地、不同产业类型的工业用地、商业用地、商务用地与行政办公用地等的排放差异等。代表性研究如Zhang等^[20]以厦门为例,建立了IPCC国家温室气体清单指南和建设用地碳排放的对应关系,将温室气体排放清单中的能源活动碳排放量对应到建设用地上,得到建设用地的平均碳排放强度,并提出通过构建合理的碳排放空间格局来控制温室气体排放。邓红兵等^[21]通过将IPCC国家温室气体清单指南与厦门功能分区尺度的建设用地关联,建立建设用地碳排放的空间分区体系,在分区尺度上实现对厦门建设用地碳排放核算的定量化、空间化和可视化。近年来,开始有学者以地块为基本单元,通过收集不同类型建设用地上承载的建筑运行阶段的用电能源消耗量,通过乘以相应的排放因子,核算不同类型建设用地的碳排放量。但受限于相关数据开放程度较低,研究多

以某一类或某一块建设用地的碳排放进行计量分析,对于在城市尺度的以地块为基本单元的建设用地碳排放的计量及影响分析还处于初级阶段。代表性研究如 Wang^[22]随机抽样了台湾 231 个教育用地,包括 67 所高中、62 所初中和 102 所小学,通过核算各个学校用地的各项能源消耗情况,发现用电能源消耗占比达到 96%,提出将用电能源消耗碳排放量表征教育用地的碳排放水平。同样, Luis 等^[23]、Subodh 等^[24]通过实地调研方法收集资料,发现用电能耗引起的碳排放是商业零售用地、办公用地、酒店和旅馆用地上碳排放的主要部门。国内学者江亿等^[25]通过大量的实证研究提出,在建筑的全生命周期能耗中,建筑运行阶段能耗约占 90%,从统计的电力、煤炭、天然气、液化石油气和人工煤气 5 种能源中,电力占比达 90%,是建筑运行阶段能耗的最主要的能源,可以在一定程度代表建设用地碳排放水平^[26-27]。因此,以微观地块为基本单元,基于建筑能耗的建设用地碳排放计量方法,对建成环境对建设用地碳排放的影响研究进展进行梳理,并提出未来我国相关研究和规划实践的发展方向,这也是研究立足的前提。一方面在不同的空间尺度上,建设用地碳排放来源的构成不同,计量原理也不同。如在城镇整体尺度,能源供给碳排放、交通能耗碳排放、工业过程碳排放、废弃物碳排放等都占有重要比例。但是在地块尺度,建筑能耗引起的碳排放占有绝对比例,对居住用地和公共用地而言,建筑能耗碳排放占比约 95%,废弃物碳排放占比约 5%,交通能耗碳排放占比约 1%^[28],而且建筑能耗及其碳排放与地块上的建成环境要素关系最密切。另一方面,在地块尺度上,不仅可以精确测度不同类型建设用地的碳排放量(如高密度 CBD,大型居住社区,体育、文博地块等),还可以定位其空间位置,实现与空间规划中用地分类的衔接。

2 建成环境与城镇建设用地碳排放的关系

“环境”顾名思义,即围绕主体的周围事物^[29],在城市规划领域,建成环境主要是指一种用于给人

们提供日常活动的人造环境,包括街区尺度^[30]、不同性质的用地类型^[31]、不同功能的建筑及其形态^[32]等,是与建设用地的密度、功能和形态相关的若干要素的组合^[33]。

目前,国内外学者对影响建设用地碳排放的建成环境要素进行了广泛研究,并取得了较为成熟和学界认可的成果^[34]。如 Ewing 等^[35-36]提出了建成环境的“3D”理论,并分为密度、多样性和设计 3 个维度,其中密度要素中,地块的建筑面积、建筑密度、人口密度要素被认为与建设用地碳排放存在密切关系^[37];而建成环境的多样性主要表现在土地利用特征方面,也称为功能要素,包括用地性质、用地混合度、用地建设时间、用地面积要素被证明对建设用地碳排放具有显著影响^[38];在设计要素方面,建成环境中的一系列形态设计因素会对建设用地碳排放产生影响,包括建筑层数、建筑体形系数、建筑长宽比、建筑朝向要素^[39-40]。

总体而言,辨析影响建设用地碳排放的建成环境要素一直是学界热点,由于产生影响的作用机制复杂,目前尚未形成统一的研究框架。但是可以明确建筑能耗作为联系建成环境与建设用地碳排放的重要纽带,同时对建成环境产生一定的反作用。一方面,建筑处在城镇环境之中,其能耗表现不可避免地受到周边建成环境的影响,周边建成环境的优劣直接影响建筑表面可达太阳辐射的吸收或反射量,以及建筑吸收或反射太阳辐射后与周围空气发生热交换,引起室外气温发生改变和地块内风环境变化的情况,可以说,建筑周边建成环境的优劣决定了建筑能源需求的高低。而且既有研究也表明,建筑使用者的能耗需求归根结底来源于使用者对周边建成环境的舒适性需求。密度、形态类建成环境要素会通过建筑使用者产生特定的物理性影响,如温湿度、采光、气流、辐射等,促进建筑使用者使用人工照明、人工制冷或取暖的方式来对居住或工作环境的生物舒适度进行调节,进而加重建筑自身的抗干扰调节而造成能源消耗和排放;功能类建成环境要素对于建设用地碳排放的影响表现在用地上所承载的不同类型的建筑功能不同,而不同功能的建筑用能服务对象不同,根据服务对象活动

的内容、强度等不同,建筑能耗终端需求也不同^[41];另一方面建设用地碳排放直接来源于建筑能耗,可以通过影响热岛效应等地块微气候对建成环境产生缓慢的、间接的影响。

从影响关系的强弱性和顺序性来说,建成环境对建筑能耗产生直接的影响,建筑能耗则对建设用

地碳排放产生直接的影响,也就是说建成环境影响建筑能耗,从而影响建设用地碳排放,呈现出“建成环境—建筑能耗—建设用地碳排放—建成环境”的循环作用关系(图1)。通过对现有研究的梳理,将影响建设用地碳排放的建成环境要素分为密度、功能和形态要素3种类型。

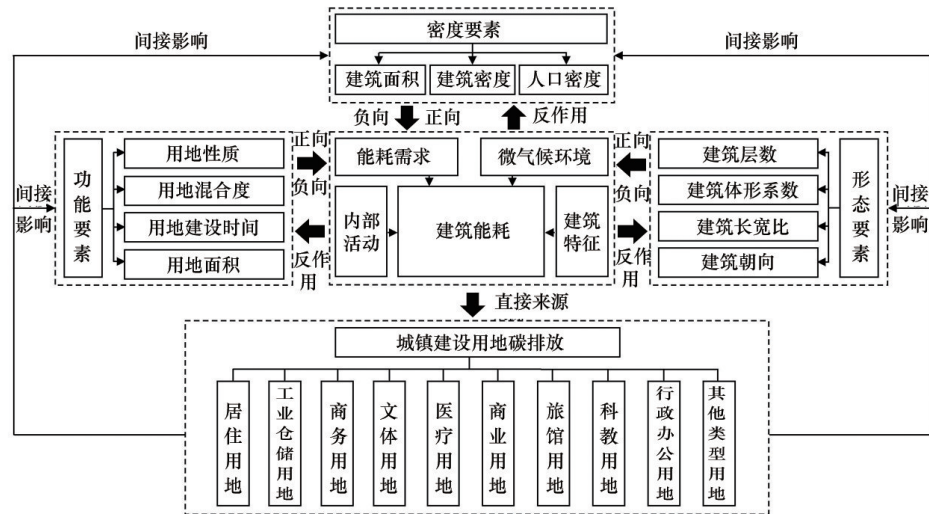


图1 建成环境、建筑能耗与城镇建设用地碳排放的关系

3 密度要素对城镇建设用地碳排放的影响

密度要素主要包括建筑面积、建筑密度和人口密度。密度要素主要通过影响建筑能耗终端需求、建筑使用者的用能活动内容与强度等影响建筑能耗,进而影响建设用地碳排放。现有研究通常运用调研问卷、现场统计、实测等进行数据收集整理,通过统计分析区域内的各项建成环境指标,并建构定量模型,分析对其与建设用地碳排放的相关性及影响程度。研究方法主要划分为基于历史数据的统计研究、基于计算机技术的模拟研究及统计与模拟相结合的综合研究^[42]。

1) 建筑面积是衡量土地利用经济效益的重要指标,但高建筑面积也意味着高制冷或采暖需求,同时高建筑面积对城市下垫面的空气流动、辐射得热过程产生影响,通过影响区域微气候,影响用地的制冷或采暖能耗^[43]。关于建筑面积对建设用

地碳排放影响的研究较早被关注,Rosenfeld等^[44]认为随着建筑面积升高,会导致热环境恶化,区域热岛效应增加,因此需要耗费更多能源用于调节空气温度,从而导致碳排放量增加。江海燕等^[45]通过对广州33个小区进行实地调查,发现小区建筑面积与碳排放呈正相关关系。而与此相反,一些学者的研究显示随着建筑面积增加反而有助于降耗减排。Wong等^[46]选取32个不同建筑面积的街区案例,通过模拟分析建筑面积对碳排放产生的影响,结果表明,在相同条件下随着建筑面积的增加,可将街区温度降低2℃,同时降低4.5%的碳排放。邓寄豫^[47]通过能耗模拟软件模拟2组不同的地块,发现2组地块都呈现出随着地块建筑面积增加,而碳排放降低的趋势。认为主要是由于地块建筑面积不同,引起地块空间形态的变化,从而影响并改变室外微气候条件及建筑室内热增益,最终导致由建筑能耗引发的碳排放的差异。

2) 建筑密度具体反映了单位建设地上的建

筑实体空间分布特征,因其会影响到建设用地上风、热和光环境的形成,并进而对碳排放有重要影响。法国城市形态研究室^[48-49]通过对世界上25个城市内的平均地块建筑密度与碳排放的关系进行分析,证明建筑密度是影响建设用地碳排放的关键因素。在现有研究中,建筑密度对建设用地碳排放的影响同样存在争议,没有定论。霍焱等^[50]以北京为例,通过问卷调查发现建筑密度对碳排放有显著正向影响;而Deng等^[51-52]通过HTB2模拟软件进行能耗模拟,发现地块建筑密度越小,单位面积日平均制冷能耗越高,导致碳排放增加,而建筑密度越大,碳排放则越低,二者之间存在明显的负相关性。此外,根据最新的研究还发现,建筑密度还通过建筑类型、房屋大小和人均收入等间接影响建设用地碳排放^[53]。

3) 人口密度指单位土地上的人口数量,其所引起的建设用地碳排放主要来源于不同类型建筑内部使用情况,与建筑面积等具有紧密关系。但是在一定建筑面积下,当土地上人口密度较高时,意味着建筑功能的使用强度较高,建筑物暴露于外的人均面积较小,从而减少了室内外热量交换,达到降低碳排放的效果。郭洪旭等^[54]通过对城镇不同类型建设用地上建筑面积与碳排放进行统计分析,发现在同等建筑面积的情况下,人口密度的增加,会降低建设用地碳排放。Glaeser等^[55]以家庭为基本单元,通过对美国66个城市的人口密度和碳排放的关系进行分析,发现高人口密度的中心城市区域碳排放水平远低于低人口密度地区的碳排放水平。同样,秦波等^[56]通过对北京1188份调研问卷进行统计分析,发现从北京核心功能区、城市功能拓展区、城市发展新区到生态涵养发展区的依次向外扩展中,建设用地上人口密度每增加1%,碳排放将分别随之降低0.037%、0.050%、0.064%和0.082%。

4 功能要素对城镇建设用地碳排放的影响

与偏建筑尺度的密度要素影响建设用地碳排

放的规律不同,当建筑成组群布置时,建设用地上碳排放并非是各个建筑能耗碳排放的简单相加,需要将地块尺度的建成环境要素考虑在内,而且不同地块的用地性质、土地混合利用程度、用地建设时间、用地面积建成环境因素,对建筑能耗产生不同效果^[57-58]。因此学界开始试图研究地块尺度的建成环境要素对建设用地碳排放的影响关系,根据研究的目的和数据收集的情况,常用方法包括一般线性回归、相关性分析等统计分析等。

1) 用地性质不同的建设用地承载的建筑功能不同,而不同功能的建筑由于使用的内容、强度、密度等不同,相应建筑能耗需求也不同,比如居住建筑中的家庭用电等能源消耗碳排放,公共建筑中的办公设备等能源消耗碳排放,此外,公共建筑种类繁多,如办公、商场、学校等,不同功能的公共建筑的能耗需求也不同,而将不同功能建筑的能耗转换到用地碳排放上,则体现为不同性质用地的碳排放之间表现出明显的差别。如Youngbae^[59]通过对Bundang城镇中的不同功能的用地进行碳排放及地表温度测度,发现居住用地、商业用地的碳排放更高,其次为交通设施用地。Weng等^[60]对广州的研究表明,工业用地的碳排放比居住和商业用地高,即使是高开发强度的居住用地和商业用地也不比工业用地的碳排放高。

2) 用地混合度主要指在单一性质用地上布置2种或2种以上的跨地类建筑。随着单一用地性质上混合的建筑类型越多,建筑面积越大,则建设用地碳排放相应呈现出更大的差异。根据邱红等学者的研究,用地混合度主要包括就业与居住的混合以及不同类型公共服务设施的混合,通过住宅、商业、办公、公共开放空间和其他功能等混合,提高居住区活力和公共设施利用效率,达到降低排放,节约能源的目的。此外,Mohammad-Reza等^[61]还认为用地混合度在影响建设用地上碳排放的同时,还可以进一步降低交通出行碳排放。

3) 用地建设时间具体反映为建设用地上建筑年代不同。建筑年代是不同建筑的信息体现之一,不同年代用地上建筑所采用的建筑围护结构、建筑材料、建筑内部暖通空调系统(heating, ventilation

and air conditioning, HVAC)等都有很大差别,而既有研究表明,上述建筑物理特征要素是影响建设用地碳排放的重要因素^[62]。

4) 用地面积大小主要体现在街区尺度,指由城市道路以及自然要素(如河流、绿化等)所包围的面积。吴巍等^[63]结合对于宁波市的调研问卷分析,通过相关性分析发现建设用地碳排放与用地面积呈负相关,相关系数为0.256。但是也有学者认为,随着用地面积增大,用地上的建筑面积也越大,因此会在一定程度消弱了用地面积增加对于碳排放的“稀释效应”,从而使用地面积与建设用地碳排放呈现正相关。如Ewing等^[64]根据对于美国典型城市的调研数据,通过回归统计分析发现随着用地面积不断增大,其所承载的碳排放也相应呈现增加趋势。此外,衡量用地面积的重要指标还包括街区尺度、路网密度等。

5 形态要素对城镇建设用地碳排放的影响

形态要素主要包括建筑层数、建筑体形系数、建筑长宽比和建筑朝向。与其他两类要素不同,形态要素主要通过改变建筑本体特征和微气候环境等方式,来对建筑能耗施加影响,进而影响建设用地碳排放,相关的研究主要由建筑领域的相关学者开展,其中国外研究主要基于国外已经建立的较为完善的建筑能耗统计数据库,结合能耗模拟方法,通过比较验证后分析建筑尺度的建成环境要素对建设用地碳排放的影响,而国内研究受限于数据开放程度限制,尚处于起步阶段,相关研究有待进一步深入。

1) 建筑层数主要通过影响地块周围的微气候及建筑本体特征,进而影响建设用地碳排放。如Theodoridou等^[65]基于希腊统计局数据,以建筑层数为分类要素对希腊存量住宅建筑进行类型划分,并通过Energyplus能耗模拟软件对不同层数类型的典型建筑进行能耗模拟,结果显示平均误差在15%~18%之间。Waldron等^[66]采用Virvil Plugin对建筑层数与空气温度及碳排放的影响分别进行模

拟分析,结果表明建筑层数通过影响微气候环境对碳排放产生显著影响。此外根据既有研究,建筑层数还可以通过另外两种途径对建设用地碳排放产生影响:一是通过影响空气温度的变化导致建筑在热、湿传递过程中的用能;二是通过影响建筑室内外空气交换对房屋热平衡产生的影响。

2) 建筑体形系数指建筑物表面积与体积的比值。林美顺等^[67]以上海地区的多层板式办公楼和高层筒式写字楼为例,采用能耗模拟软件,发现建筑体形系数与建筑能耗碳排放呈现显著的正相关关系。Soocho等^[68]通过模拟比较也发现,在其他条件相同情况下,随着建筑体形系数的增加,建设用地碳排放相应增加。周燕等^[69]通过能耗模拟软件模拟,进一步发现在相同条件下体形系数每增大0.01,建设用地碳排放增加约2.5%。但整体而言,随着近些年对建设用地上建筑能耗的关注,建筑围护结构的保温性能得到极大改善,建筑能耗引起的碳排放受到建筑体形系数的影响在逐渐降低。

3) 建筑长宽比主要是指建筑的长度(面宽)与宽度(进深)的比值。研究表明大面宽小进深的建筑虽然有利于提升使用者的舒适性,但是却增加了外墙面积,从而增加碳排放,而大进深小面宽的建筑则有利于减少外墙面积,从而降低碳排放,达到一定的节能效果,可见建筑长宽比与建设用地碳排放正相关^[70]。Li等^[71]以重庆市渝中区某片区为例,采用建筑长宽比对建筑进行分类,通过选取不同类型下的典型建筑在Energyplus软件模拟建筑能耗,并与实测值进行比较,发现平均误差在3%以内。任彬彬^[72]以宽度为定值,通过变化长度对建筑长宽比与建设用地碳排放的相互关系进行计算机模拟,发现增加长度,会使得建筑细长比过大,进而增加建设用地碳排放。

4) 建筑朝向。建筑朝向不同,意味着不同朝向上的日照条件不同,进而直接影响建筑表面可达太阳辐射的吸收或反射量,以及建筑吸收或反射太阳辐射后,与周围空气发生热交换,引起室外气温发生改变情况,因此建筑朝向对建设用地碳排放有着重大的影响^[73]。Krüger等^[74]对以色列干旱气候条件下地块建筑朝向对建设用地碳排放的影响进行

模拟研究,当地块建筑朝向分别设置为东-西、北-南、西北-东南、东北-西南,结果表明,当三维密度较高时,北-南朝向的地块能使建筑之间相互产生遮阳效果,从而降低建设用地碳排放。张杰等^[75]采用结构方程模型对石家庄、郑州和太原3个华北南部大城市的碳排放调查数据进行分析。发现朝南户型的碳排放相比其他朝向户型的碳排放更低。

6 展望

既有研究围绕建成环境对建设用地碳排放的影响,通过采用实验测试、数值模拟、统计分析或相互结合的方法展开了相应的分析,说明建成环境能够在很大程度上影响建设用地碳排放,良好的建成环境可以显著改善建设用地的上的微气候环境、能耗需求、能耗强度等方面内容,进而影响建设用地碳排放,具有一定的参考和启发。但是由于不同的研究在空间尺度、研究对象和研究问题的选择上都不同,使得部分建成环境要素如建筑面积、建筑密度、用地面积、建筑层数等与建设用地碳排放的影响关系尚存在一定的争议,还需要进一步展开更多的实证研究。其次关于研究对象,学者们更多是选择形态更为统一的居住用地,对于工业仓储用地及公共用地的研究有所欠缺,并且部分研究以调研问卷数据或理想模型模拟数据为基础,缺少实测数据的检验,得到的结果与实际碳排放之间会存在一定偏差。此外受限于我国相关数据的开放程度限制,目前大量基础研究集中在北美、欧洲发达国家和地区,但是已证实的研究成果在中国的适用效果有待进一步验证。综上,结合当前研究进展,提出以下5个方面研究展望。

1) 建立建设用地碳排放数据库。尽管随着“国家机关办公建筑和大型公共建筑节能监管平台”的推广以及住建部《民用建筑能耗统计报表制度》的颁布,相关统计工作已逐渐展开,但是仍存在平台监测的建筑数量有限、数据开源性低等问题^[85]。而建立完善的建设用地碳排放数据库,可以为未来相关研究的展开提供基础、可靠、翔实的数据,增加研究的科学性。

2) 人工智能等新技术的应用。在新数据环境下,关于建成环境与建设用地碳排放关系的相关研究会越来越多,同时也会有许多新技术新方法出现,加上人工智能正在迅速发展,在该领域开发的许多新的和更强大的技术可以在后续研究方面带来升级或突破。

3) 转向与空间规划管理单元相衔接的地块空间分析尺度的研究。目前学界对于建成环境对建设用地碳排放影响的相关研究侧重于宏观尺度,以地块为空间分析尺度开展的相关研究尚处于初级阶段,而我国的控制性详细规划及修建性详细规划等都是地块为基本的空间管理单元。因此,通过将建成环境对建设用地碳排放影响的空间分析尺度和相应空间规划管理单元相结合,提出相对应的建成环境要素控制要求,是未来在城市规划编制和管理过程中将低碳规划策略定量化、空间化的前提。

4) 关注建设用地碳排放与建成环境、建筑物理特征、建筑使用者用能行为等多因素影响下带来的综合碳排放效应分析方法。对建筑面积、建筑密度、建筑层数、体形系数等建成环境要素与建设用地碳排放的关系进行研究固然重要,但是用地上建筑内承载的建筑屋里特征及建筑使用者的用能行为活动因素的影响也很重要,还需要结合居民家庭、企业等进行实地调研问卷发放,通过建立多源数据融合的研究新方法,全面的分析影响建设用地碳排放的因素,从而支持和引导更加综合的低碳空间规划的编制。

5) 增加对于建成环境与建设用地碳排放关系分析的实证研究。与其他数据相比,建筑能耗引起的碳排放数据的时间序列还需要延长,通过增加多年的面板数据的变化规律分析,提高建成环境与建设用地碳排放的关系分析结果的稳健性。此外,随着大数据采集技术的不断发展,研究还需要进一步延伸,通过对比不同地域和发展阶段的建设用地碳排放与建成环境的关系,增加实证研究,提升研究结果的准确性和科学性。

总之,通过城市规划和设计优化建成环境,可以显著降低建筑能耗,从而降低建设用地碳排放。

因此,如何提高空间规划对于建设用地碳排放的控制作用,需要各国和不同城市收集建成环境空间数据和碳排放数据,开展相应的实证研究,建立符合本地发展实际的建成环境要素分析框架和要素内容,明确降低建设用地碳排放的设计原则,进而指导各个空间尺度的空间规划及相关低碳节能政策的制定。

参考文献(References)

- [1] 赵荣钦, 黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. 地理研究, 2010, 29(9): 1639-1649.
- [2] 张秀梅, 李升峰, 黄贤金, 等. 江苏省1996—2007年碳排放及时空格局分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 768-775.
- [3] 肖华斌, 安洪, 盛硕. 新数据环境下低碳生态城市碳排放评价研究——以济南市西部新城为例[J]. 现代城市研究, 2019, 65(10): 65-74.
- [4] Liu L C, Wu G, Wang J N, et al. China's carbon emissions from urban and rural households during 1992-2007 [J]. Journal of Clean Production, 2011, 19(15): 1754-1762.
- [5] 张彦飞, 任艳辉. 低碳城市规划建设思路探析[J]. 城市建设理论研究, 2014, 20(2): 14-26.
- [6] Ishii S, Tabushi S, Aramaki T, et al. Impact of future urban form on the potential to reduce greenhouse gas emissions from residential, commercial and public buildings in Utsunomiya, Japan[J]. Energy Policy, 2010, 38(9): 4888-4896.
- [7] Agency I E. Energy and climate change: World energy outlook special report[R]. Paris: International Energy Agency, 2015.
- [8] US Energy Information Administration. International energy outlook 2019—with projections to 2050[R]. Washington DC: Monthly Energy Review, 2019.
- [9] 谢鹏程, 王文军, 廖翠萍, 等. 基于能源活动的广州市二氧化碳排放清单研究[J]. 生态经济, 2018, 34(3): 18-22.
- [10] 李参军. 长江中游城市群城市建设用地碳排放强度的空间格局与效应研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [11] 郭洪旭, 肖荣波, 李晓晖, 等. 城市控制性详细规划的碳排放评估[J]. 城市规划, 2019, 43(9): 86-94.
- [12] Tso G K, Yau K K. Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks[J]. Energy, 2007, 32(9): 1761-1768.
- [13] 张德英, 张丽霞. 碳源排碳量估算办法研究进展[J]. 内蒙古林业科技, 2005, 1(1): 20-23.
- [14] 郝千婷, 黄明祥, 包刚. 碳排放核算方法概述与比较研究[J]. 中国环境管理, 2011, 4(4): 51-55.
- [15] 姜洋, 何永, 毛其智, 等. 基于空间规划视角的城市温室气体清单研究[J]. 城市规划, 2013, 37(4): 50-56.
- [16] 张晓梅, 庄贵阳. 城市温室气体清单编制实践体系设计研究[J]. 生态经济, 2015, 31(10): 21-24.
- [17] 李彤. 哈尔滨市建设用地对城市碳排放量影响研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [18] Hutrya R L, Yoon B, Hepiinstall-Cymerman J, et al. Carbon consequences of land cover change and expansion of urban lands: A case study in the seattle metropolitan region[J]. Landscape and Scape and Urban Planning, 2011, 103(1): 83-93.
- [19] 黄潮清. 广东省陆域碳收支时空格局研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2013.
- [20] Zhang G Q, Ge R B, Lin T, et al. Spatial apportionment of urban greenhouse gas emission inventory and its implications for urban planning: A case study of Xiamen, China[J]. Ecological Indicators, 2018, 85(2): 644-656.
- [21] 邓红兵, 陈喆菲, 卢璐, 等. 城市温室气体排放空间特征及分区[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2017, 45(4): 605-609.
- [22] Wang J C. Energy consumption in elementary and high schools in Taiwan[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 227(1): 1107-1116.
- [23] Pe'rez-Lombard L, Ortiz J, Pout C. A review on buildings energy consumption information[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(3): 394-398.
- [24] Paudel S, Elmitri M, Couturier S, et al. A relevant data selection method for energy consumption prediction of low energy building based on support vector machine[J]. Energy and Buildings, 2017, 138(3): 240-256.
- [25] 彭琛, 江亿, 秦佑国, 等. 低碳建筑和低碳城市[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2018.
- [26] 彭琛, 江亿. 中国建筑节能路线图[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [27] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告(2018)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [28] 郑德高, 吴浩, 林辰辉, 等. 基于碳核算的城市减碳单元构建与规划技术集成研究[J]. 城市规划学刊, 2021, 264(4): 43-50.
- [29] 金彦, 刘峰. 建成环境下的城市建筑设计[M]. 南京: 东南大学出版社, 2012.
- [30] 阿摩斯·拉普卜特. 建成环境的意义——非预言表达方

- 法[M]. 黄兰谷, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [31] Cervero R, Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design[J]. *Transportation Research Part D*, 1997, 2(3): 199-219.
- [32] Handy S L, Boarnet M G, Ewing R, et al. How the built environment affects physical activity: Views from urban planning[J]. *American Journal of Preventive Medicine*, 2002, 23(2): 64-73.
- [33] 潘海啸, 沈青, 张明. 城市形态对居民出行的影响——上海实例研究[J]. *城市交通*, 2009, 7(6): 28-32.
- [34] 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, 2016.
- [35] Ewing R, Bartholomew K, Winkelman S, et al. Growing cooler: The evidence on urban development and climate change [M]. Chicago: Urban Land Institute, 2007.
- [36] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A meta-analysis[J]. *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(3): 265-294.
- [37] 陈嘉梁, 李铮伟, 王信, 等. 基于能耗调研的北方小区形态优化策略研究[J]. *建筑节能*, 2018, 10(10): 8-14.
- [38] 邱红. 以低碳为导向的城市设计策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [39] Waldron D, Jones P J, Lannon S C, et al. Embodied energy and operational energy: Case studies comparing different urban layouts[C]//Proceedings of the 13th Conference of International Building Performance Simulation Association. Chambéry: International Building Performance Simulation Association (IBPSA), 2013: 1264-1271.
- [40] Li X Y, Yao R M, Yu W, et al. Low carbon heating and cooling of residential buildings in cities in the hot summer and cold winter zone—A bottom-up engineering stock modeling approach[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220(20): 271-288.
- [41] 王闯. 有关建筑用能的人行为模拟研究[D]. 北京: 清华大学, 2014.
- [42] 冷红, 陈曦, 马彦红. 城市形态对建筑能耗影响的研究进展与启示[J]. *建筑学报*, 2020, 2(2): 120-126.
- [43] 陈嘉梁, 李铮伟, 王信, 等. 基于能耗调研的北方小区形态优化策略研究[J]. *建筑节能*, 2018, 10(10): 8-14.
- [44] Rosenfeld A, Arthur H, Akbari H, et al. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates[J]. *Energy and Buildings*, 1995, 22(3): 255-265.
- [45] 江海燕, 肖荣波, 吴婕. 城市家庭碳排放的影响模式及对低碳居住社区规划设计的启示——以广州为例[J]. *现代城市研究*, 2013, 30(2): 100-106.
- [46] Wong N H, Jusuf S K, Syafii N I, et al. Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption[J]. *Solar Energy*, 2011, 85(1): 57-71.
- [47] 邓寄豫. 基于微气候分析的城市中心商业区空间形态研究——以南京市为例[D]. 南京: 东南大学, 2018.
- [48] Urban Morphology Lab. Building tomorrow sustainable cities[R/OL]. [2021-04-12]. <http://www.doc88.com/p-818902890885.html>.
- [49] 皮埃尔·雅克, 拉金德拉·K·帕乔里, 劳伦斯·图比媛娜. 城市: 改变发展轨迹[M]. 潘革平, 译. 北京: 社会科学文献出版社, 2010.
- [50] 霍焱, 郑思齐, 杨赞. 低碳生活的特征探索——基于2009年北京市“家庭能源消耗与居住环境”调查数据的分析[J]. *城市与区域规划研究*, 2010, 12(2): 55-72.
- [51] Deng J Y, Wong N H, Zheng X. The study of the effects of building arrangement on microclimate and energy demand of CBD in Nanjing, China[J]. *Procedia Engineering*, 2016, 169(30): 44-54.
- [52] Deng J Y, Wong N H. Impact of urban canyon geometries on outdoor thermal comfort in central business districts[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2020, 53(2): 1-18.
- [53] 黄明华, 王阳, 王羽. 紧凑式、混合型、时序性——对城市低碳总体布局模式的探讨[J]. *国际城市规划*, 2012, 22(6): 96-102.
- [54] 郭洪旭, 肖荣波, 李晓晖, 等. 城市控制性详细规划的碳排放评估[J]. *城市规划*, 2019, 43(9): 86-94.
- [55] Glaeser E L, Kahn M. The greenness of cities[EB/OL]. [2010-10-25]. http://www.hks.harvard.edu/var/ezp_site/storage/fckeditor/file/pdfs/centers-programs/centers/taubman/policybriefs/greencities_final.pdf.
- [56] 秦波, 戚斌. 城市形态对家庭建筑碳排放的影响——以北京为例[J]. *国际城市规划*, 2013, 28(2): 42-46.
- [57] Alberti M. Urban patterns and environmental performance: what do we know?[J]. *Journal of Planning Education and Research*, 1999, 19(3): 151-163.
- [58] Cervero R. Land use mixing and suburban mobility[J]. *Transportation Quarterly*, 1988, 3(1): 429-446.
- [59] Youngbae S. Influence of new town development on the urban heat island—the case of the Bundan area[J]. *Journal of Environment Science*, 2005, 17(4): 641-645.
- [60] Weng Q, Lu D, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies[J]. *Remote sensing of Environment*, 2004, 89(4): 467-483.
- [61] Mohammad-Reza M. The new millennium and the new urban paradigm: The compact city in practice. achieving

- sustainable urban form[M]. London: E&FN Spon, 2000.
- [62] 吴颖. 基于“紧凑城市”的城市街区空间优化研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.
- [63] 吴巍, 宋彦, 洪再生, 等. 居住社区形态对住宅能耗影响研究——以宁波市为例[J]. 城市发展研究, 2018, 25(1): 15-20.
- [64] Ewing R, Rong F. The impact of urban form on U.S. residential energy use[J]. Housing Policy Debate, 2008, 19(1): 1-30.
- [65] Theodoridou I, Agis M, Manfred H P. A typological classification of the Greek residential building stock[J]. Energy and Buildings, 2011, 43(10): 2779-2788.
- [66] Waldron D, Jones P J, Lannon S C, et al. Embodied energy and operational energy: Case studies comparing different urban layouts[C]//Proceedings of the 13th Conference of International Building Performance Simulation Association. Chambéry: International Building Performance Simulation Association (IBPSA), 2013: 1264-1271.
- [67] 林美顺, 潘毅群, 龙惟定. 夏热冬冷地区办公建筑体形系数对建筑能耗的影响分析[J]. 建筑节能, 2015, 43(10): 63-66.
- [68] Soocho J C. Design methodology for tall office buildings: Design measurement and integration with regional character[D]. Chicago: Illinois Institute of Technology, 2002.
- [69] 周燕, 闫成文, 姚健. 居住建筑体形系数对建筑能耗的影响[J]. 建筑节能, 2007, 25(5): 115-116.
- [70] 张海滨. 寒冷地区居住建筑体型设计参数与建筑节能的定量关系研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.
- [71] Li X Y, Yao R M, Liu M, et al. Developing urban residential reference buildings using clustering analysis of satellite images[J]. Energy & Buildings, 2018, 169(15): 417-429.
- [72] 任彬彬. 寒冷地区多层办公建筑低能耗设计原型研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [73] 陈震, 何嘉鹏, 孙伟民. 夏热冬冷地区办公建筑不同朝向窗墙比配置研究[J]. 建筑科学, 2009, 12(6): 80-85.
- [74] Krüger E, Pearlmutter D, Rasia F. Evaluating the impact of canyon geometry and orientation on cooling loads in a high-mass building in a hot dry environment[J]. Applied Energy, 2010, 87(6): 2068-2078.
- [75] 张杰, 陈晓. 住区视角下的家庭夏季空调能耗影响机制模型研究[J]. 住区, 2016, 24(12): 82-89.

Research progress of the impact of built environment on carbon emissions of urban construction land

ZHANG Xiaoping¹, LI Peng^{2*}

1. School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China

2. Zibo Planning and Design Institute Co., Ltd., Zibo 255037, China

Abstract The impact of the built environment on the carbon emissions of the urban construction land is an essential factor for the urban and rural planning. The concept and the measurement method of the carbon emissions of the urban construction land are first explained, starting from the relationship between the built environment and the carbon emissions of the urban construction land, and then the built environmental elements that affect the carbon emissions of the urban construction land are analyzed according to the density, the function and the form, the research progress is reviewed, and the research prospect is put forward. It is desirable to establish a carbon emission database for the urban construction land, to use the artificial intelligence and other new technologies, to study the spatial analysis scale connected with the spatial planning management unit, and to use the comprehensive carbon emission effect analysis method for the urban construction land under the influence of multiple factors, as well as to explore the relationship between the built environment and the carbon emission of the urban construction land.

Keywords built environment; urban construction land; carbon emission; impact; urban planning ●



(责任编辑 卫夏雯)