

# 面向城市管理的城市建筑存量研究综述

杨东<sup>1</sup>, 刘晶茹<sup>2</sup>, 李玉<sup>1</sup>, 贾永飞<sup>1</sup>, 石峰<sup>1\*</sup>

(1. 齐鲁工业大学(山东省科学院)山东省科技发展战略研究所, 山东济南 250014;

2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

**【摘要】** 城市建筑存量研究是为适应当前城市管理的需要而出现的理论研究, 与国家制定的城市可持续发展战略具有内在一致性。本文对城市建筑存量的概念进行解析, 全面阐述了城市建筑存量研究的意义, 概述了城市建筑存量研究的系统边界、内涵和研究方法等, 总结了城市建筑存量研究的三大领域: 城市建筑存量时空演变及影响因素研究、城市建筑废弃物资源化开发潜力分析研究和城市可持续管理决策支持系统开发的研究现状。目前城市建筑存量理论体系尚不够完善、定量工具和基础数据库严重缺乏, 对于城市决策支持不足, 未来应在城市建筑存量时空演变及环境影响分析、开发融合多学科交叉及新技术应用的分析方法和辅助城市可持续管理决策三个领域加强和深化研究。

**【关键词】** 城市建筑存量; 可持续管理; 城市代谢; 物质流

**【中图分类号】** X32

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1674-6252(2019)05-0088-06

**【DOI】** 10.16868/j.cnki.1674-6252.2019.05.088

## 引言

我国是全球城市化进程最快的地区之一, 2017 年我国城市化率已达 58.52%<sup>[1]</sup>, 经估算, 2020 年有望达到 60%, 届时将大约有 8 亿人居住在城市之中<sup>[2]</sup>。在城市化进程取得瞩目成就的同时, 大气污染、交通拥堵、城市内涝、垃圾围城等一系列“城市病”开始集中涌现<sup>[3,4]</sup>。党的十九大报告明确提出“绿色发展已经成为时代的主题, 是引领未来国家经济和社会发展的方向”, 城市可持续管理作为解决城市综合问题的必要手段在社会绿色发展过程中起着至关重要的作用<sup>[5]</sup>。

建筑系统是城市系统最主要的组成部分, 是为满足城市社会生产和居民生活活动而建设的基础设施<sup>[6]</sup>, 城市扩张直接导致城市建筑面积和密度的增加。建筑在建材生产、施工、装修、使用维护以及最终拆除的整个生命周期过程中都与周围环境有着大量的物质和能量交换<sup>[7]</sup>, 建设过程汇聚了城市大量的资源、能源和资金<sup>[8]</sup>, 运行过程维护了城市系统的正常运转和发展, 拆除产生了大量的城市建筑固废, 建筑系统是城市资源消耗和环境问题产生的主要根源之一。从产业生态学角度来看, 城市资源环境问题可以概括为城市物质代谢过程产生的错位或者失调<sup>[9,10]</sup>。

经过多年的理论发展和实践应用, 城市建筑存量可持续管理已经逐渐成为城市物质代谢研究的重要内容和研究热点。大量研究表明, 城市建筑存量与城市可持续管理诸多领域如城市资源管理、城市循环经济、城市规划等问题

密切相关, 由此深入开展城市建筑存量研究对于解析城市资源时空演替规律和辅助城市可持续管理决策具有重大的意义。

目前国内城市建筑存量研究还未形成体系, 本文拟通过对相关研究进行归纳和分析, 总结城市建筑存量研究进展, 提出建筑存量研究的系统框架, 意在解析城市建筑存量的动态演替规律, 以使其更好地服务城市可持续管理决策。

## 1 城市建筑存量的科学内涵

### 1.1 城市建筑存量的概念

存量研究具有多学科交叉解析城市生态问题的特点, 其概念的产生和发展也受到了多学科的共同影响。经济学中, “存量”(stock)被定义为某一时间点上过去生产与积累起来的产品、货物、人力、资本以及负债等经济变量的结存数量。与之相对的概念即为流量, 流量是指一定时间内发生的某种经济变量变动的数值。流量来自存量, 存量又归于流量之中, 存量分析和流量分析是现代西方经济学中广泛使用的分析方法<sup>[11]</sup>。在地球科学中, 存量一般指一定时间内某种元素或者物质在某种库中的留存数量。存量概念后来被引入社会经济代谢研究分析当中, 存量在空间上和物理上联系了社会系统对于资源量的需求(输入端)和废物量的产生(输出端), 社会系统中的存量被系统外的流量所影响, 同时存量也是社会系统和自然系统之间流量

**资助项目:** 国家自然科学基金青年基金(41701627); 山东省自然科学基金(ZR2017LD003); 山东省科学院青年基金(2017QN0014); 山东省科学院杰出青年专项和创新工程智库项目; 济南市软科学计划(201806005)。

**作者简介:** 杨东(1987—), 男, 助理研究员, 博士, 研究方向为产业生态和资源环境管理, E-mail: yangdong@sdas.org。

**\* 责任作者:** 石峰(1972—), 男, 研究员, 博士, 研究方向为产业生态和资源环境管理, E-mail: shifeng1224cn@126.com。

变化的驱动因素<sup>[12]</sup>。

20 世纪 50 年代美国政府首次把存量分析应用于社会经济代谢分析，用于评估和预测美国未来 25 年社会经济发展的资源需求，随后全球各国政府和学者纷纷开展了诸多社会经济系统存量的研究和实践<sup>[13-17]</sup>。伴随着全球城市化水平的不断提升，研究者逐渐将目光转向城市系统边界内部的物质存量分析，研究对象涉及住宅<sup>[18]</sup>、道路<sup>[19]</sup>、基础设施<sup>[20]</sup>以及家庭耐用消费品<sup>[21]</sup>等。

城市物质存量是指城市系统边界内某一时点测度的任意物质质量、能量和信息量的积累量<sup>[22-24]</sup>。相应的“城市建筑存量”被定义为“城市系统边界内，某一时间点测算的构筑物的积累量”，广义的建筑包含住宅建筑、非住宅建筑、道路、桥梁以及其他公共基础设施。城市建筑存量研究的边界主要包括城市建筑的建造、维修改造和拆除以及最终处置的全生命周期过程，涉及建筑过程的能耗核算、建筑材料存量核算、资源需求预测、建筑废弃物产生及资源化

等多个领域<sup>[25]</sup>。城市建筑存量研究可以直观描述能量和物质在自然界与城市建筑系统之间的交换、存储和转换过程，可以确定城市建筑系统资源和能源的有效积累量和动态变化趋势，为城市发展、产业政策和资源环境政策的制定和实施提供科学依据<sup>[26]</sup>。

1.2 城市建筑存量研究的框架

基于国内外城市建筑存量研究，本文提出了城市建筑存量研究的系统框架（图 1），该框架主要包含城市建筑存量核算、存量特征分析、存量演替及优化评估、城市建筑可持续管理决策服务等几个方面。

城市建筑存量核算是城市建筑存量研究的基础。根据研究对象和研究目的需要，城市建筑存量的研究对象并不局限于城市中的建筑物本身，还可以包含城市道路、桥梁、管道等其他城市常见的建筑基础设施。城市建筑存量核算的指标不仅包含建筑面积、建筑质量等建筑物本身的存量

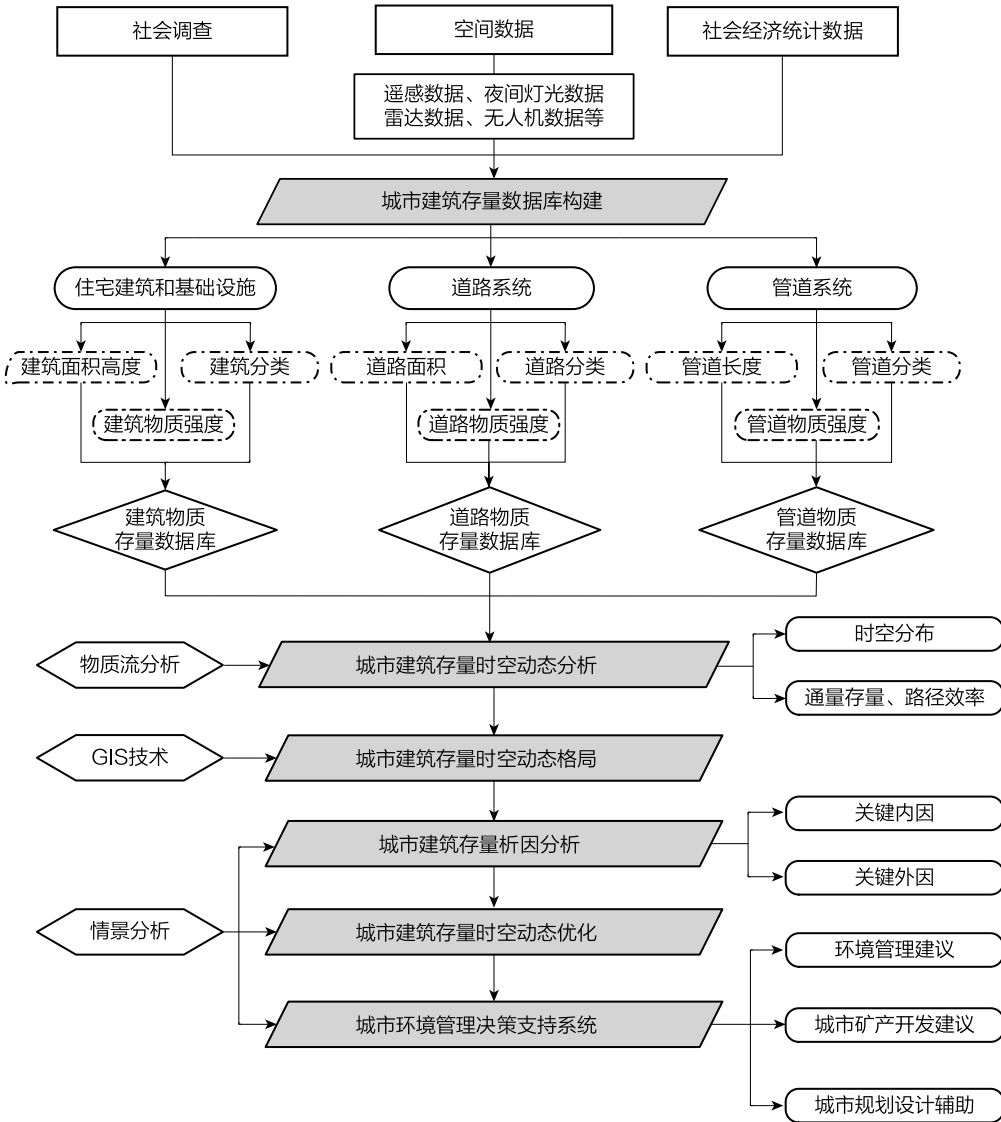


图 1 城市建筑存量研究框架

指标,而且包含建筑之中金属(钢铁、铜、铝等)和非金属(混凝土、木材、塑料等)的存量指标。城市建筑存量研究主要以社会调查获取的数据、空间遥感数据和社会经济统计数据等作为基础数据源开展核算。

开展城市建筑存量的时空特征演替分析是城市建筑存量研究的主要内容。基于GIS技术和存量核算的结果,识别城市建筑存量演替的时空变化特征,揭示城市区域内部以建筑系统为代表城市化规律,分析影响城市存量演替特征的诸多内外因素和影响机制。

优化评估城市建筑存量时空特征是城市建筑存量研究的主要目的。基于城市建筑存量特征优化评估的结果,结合情景分析和多维评估方法,开展城市建筑存量时空特征的评估优化模拟,揭示城市建筑存量演替的最优结果。

服务城市建筑存量的可持续管理决策是城市建筑存量研究的最终目标。基于城市建筑存量研究的主要结果,结合城市资源管理、城市环境问题分析、城市矿产开发、城市规划等城市可持续发展研究,开发科学的定量化决策服务工具,为城市可持续发展提供科学决策工具和参考依据。

## 2 城市建筑存量核算方法

建筑物质存量核算主要基于质量守恒定律,以物质质量为基础单位,对进入城市建筑系统的资源的累积量进行核算。根据数据的来源,城市建筑存量核算方法大致可以分为“自上而下”(Top-down)<sup>[27]</sup>和“自下而上”(Bottom-up)<sup>[28]</sup>两种方法。

### 2.1 “自上而下”的核算方法

“自上而下”的核算方法是根据质量守恒原理,把研究对象看作一个“黑箱”,通过计算新投入研究对象内的物质流和由于物质报废而流出的废物流之间的差值,来核算某一特定时间累计在研究对象内的物质存量,再通过逐年相加,得到特定时间点内研究对象内的物质存量。“自上而下”的核算方法主要基于各种宏观经济社会统计数据开展研究。Fishman<sup>[29]</sup>等基于美国和日本1930—2005年的经济社会统计数据,分析了美、日两国近75年来的物质存量和流量的变化关系,研究发现,日本工业化末期人均物质强度和美国社会的人均物质强度较为接近,为310~375t,这表明社会发展程度与社会人均物质存量强度呈现一定正相关性。Kapur<sup>[30]</sup>等基于统计数据核算的美国目前建筑系统中的在水泥存量为42亿~44亿t。Tanikawa<sup>[31]</sup>采用自上而下的核算方法调查研究了2010年日本主要城市的建筑存量,结果发现,矿物、木材和钢分别占到存量的94%、2%和3%。

“自上而下”的核算方法可以相对快速、准确地测算全球<sup>[32]</sup>、国家<sup>[33]</sup>等大区域尺度的建筑物质存量,但是该方法采用的数据主要依赖于经济社会统计数据,因此不可避免地受到统计数据口径和时滞性的影响,很难得到实时、全面的建筑存量数据。同时大量整体宏观经济社会统计数据的应用,又使得研究结果无法直接用于分析建筑系统内

部存量的动态演替过程,导致建筑系统存量研究的“黑箱化”,严重影响存量研究结果的实践指导意义。同时,城市作为中观尺度的研究系统,常常缺乏系统的城市统计数据,这些局限严重限制了“自上而下”的核算方法在城市建筑系统的物质存量核算中的应用。

### 2.2 “自下而上”的核算方法

“自下而上”的核算方法,采用基于城市建筑系统内部包含物质的不同服务单元(建筑物、道路系统或者管道系统)的数量和这些服务单元中物质的使用强度数据,核算研究对象的物质存量。与“自上而下”的核算方法相比,“自下而上”的核算方法可以得到较为精确的城市建筑存量的实时数据,同时也可以打开城市建筑系统的“黑箱”,准确识别城市建筑系统内部建筑存量的时空动态规律。董磊<sup>[34]</sup>基于实地调研数据,开展了天津市鞍山道、鞍山西道地块存量研究,分析了天津中心城区典型地块的动态规律。“自下而上”的核算方法依赖于大量实时、详细的底层单元数据,一般需要依靠实地调研获取,因此主要适用于社区、工业园区等中小尺度的建筑物质存量分析<sup>[35]</sup>。如果单纯依靠实地调研获取底层单元数据核算城市等中宏观尺度的建筑存量则常常需要耗费大量的人力和物力。

伴随着新技术的发展,国内外大量研究者逐渐尝试依托地理信息系统、遥感影像、夜间灯光、雷达、无人机以及人工智能等新技术实现城市建筑系统底层单元(建筑物、道路、管网等基础设施)信息的快速获取,在此基础上开发了一系列融合新技术的基于自下而上的空间物质存量核算方法。Liang<sup>[36]</sup>等使用时间序列的DMSP/OLS夜间灯光影像数据评估了中国公用市政建筑中的钢铁资源存量;Hattori<sup>[37]</sup>等用夜间灯光数据计算得出2010年世界土木工程建筑钢铁的存量;Giannetti<sup>[38]</sup>则采用无人机航拍数据评估了森林资源的存量;郭振<sup>[39]</sup>使用高分遥感影像作为数据源定量研究了山东庙岛的基础设施存量。这一系列空间物质存量核算方法在很大程度上解决了城市建筑存量研究所需数据庞大、耗时耗力的问题,对于快速开展城市尺度的存量研究有着积极的意义。

## 3 城市建筑存量的主要研究内容

### 3.1 城市建筑存量时空演替及影响因素研究

城市建筑系统是城市最重要的系统,也是城市可持续管理的重要领域。开展城市建筑存量时空演替及影响因素研究,有助于解析城市资源消耗和环境问题的根源和关键过程,识别城市建筑系统发展的关键性限制因素,总结城市建筑系统的时空变化规律,优化城市建筑系统的分析和评估模式,从而改进城市建筑的管理水平,提升城市可持续发展的社会经济环境综合效益。

近年来,一系列学者对此开展了相应研究。研究内容主要集中在以下几个方面:①建筑物质存量时空动态的影响因素研究,如Fishman<sup>[40]</sup>等核算了日本1960—2010年的

建筑存量变化,分析了人口、经济增长等因素与建筑存量动态演替的关系;Cao<sup>[41]</sup>等分析了中国住宅建筑的寿命周期,基于此估算了中国1950—2015年建筑存量的变化特征,分析了建筑寿命周期参数对于建筑存量研究的影响;Sing<sup>[42]</sup>等以中国香港为案例,分析了建筑年限、存量规模、建筑的维护状况以及建筑维修工人的数量等因素对中国香港私人建筑存量变化的影响。②城市发展过程中建筑系统对于资源和物质需求分析,如Muller<sup>[43]</sup>等基于瑞士地区1900—1997年建筑木材的消耗量,预测了2100年本地区城市建筑系统的木材需求量,并结合相应情景分析,针对本地区木材资源的现状提出了相应的措施和建议;Hou<sup>[44]</sup>等基于物质存量和情景分析方法,预测了中国2015—2050年为了满足城市污水处理设施的发展需要的物质和资源需求。

开展城市建筑存量时空演替及影响因素研究可以对城市管理决策的制定提供有效的科学和数据支撑,另外城市管理政策可对城市建筑物质存量的变化产生显著影响。例如,延长现有建筑的实际使用寿命,可以大幅度降低城市建筑钢的代谢效率和需求量,同时也可以降低建筑垃圾和温室气体排放的产生<sup>[45]</sup>。优化城市建筑的空间结构、提高原材料的生产制备的品质和回收效率、强化废弃物回收利用环节的管理,均可对城市物质存量变化产生直接影响<sup>[46]</sup>。

### 3.2 城市建筑废弃物资源化开发潜力研究

城市建筑系统蕴含了大量的钢铁、铜、混凝土等资源,是城市矿产资源最主要的潜在来源。城市建筑废弃物开发潜力分析是城市废弃物资源化管理的前提和基础,是定量测度和评价城市建筑废弃物的社会蓄积量、明确城市建筑废弃物的存量及其时空分布的系统解析过程。国内外研究人员利用城市建筑存量研究开展了诸多重要金属与建筑固废在城市中的存量核算,以及未来可资源化利用的潜力研究。Tanikawa<sup>[47]</sup>等利用自下而上的存量分析方法估算了日本福岛地震之后产生的建筑垃圾量和相应的资源化潜力。Wang<sup>[48]</sup>测算了中国2000—2010年的钢铁社会存量,为中国钢铁产业发展规划和未来社会废钢资源再利用提供了相应的决策参考。唐守娟<sup>[49]</sup>等学者以北京为案例,结合系统动力学和存量分析方法,模拟了北京1949—2100年历年的建筑垃圾的产生量,研究发现,2057年和2096年左右北京将迎来建筑垃圾产生量的高峰。Liu<sup>[50]</sup>等分析了中国大城市产品和建筑系统的金属存量,研究发现,2016年我国大城市人均金属存量为2.6~6.3t。城市建筑废弃物资源化的开发潜力分析可以为城市废弃物资源开发及产业决策提供有效的科学依据。

### 3.3 城市可持续管理决策系统研究

近年来,城市发展已经开始从注重数量增长向注重质量发展过渡,城市管理逐渐走向专业化,有效的定量工具和数据支撑是实现城市管理专业化的关键要素<sup>[51]</sup>。城市管理者如果单纯借助传统经验来制定城市发展相关决策,在实施过程中,难免会影响决策的专业化和决策精度。发达

国家得益于强大的科研力量支撑,在城市管理中已经普遍依靠稳健的科学工具来进行项目的立项、规划建设以及管理维护等<sup>[52]</sup>。

辅助城市可持续管理决策是城市建筑存量研究的最终服务目标,即通过把握城市建筑存量的时空演替和环境问题产生的本质规律,建立城市建筑存量的可持续管理决策支持系统,进而实现整个城市建筑存量的科学、有序管理。近年来,伴随着空间技术和地理信息技术的发展,以城市为实体研究单位的城市可持续管理决策支持系统也得到了一定的发展。如Tanikawa<sup>[53]</sup>以日本的和歌山、名古屋、东京等地为案例,开发了四维地理信息系统(4D-GIS),该系统可以辅助当地城市管理部门开展城市物质存量的核算、再生资源开发潜力分析、城市拆迁及重大自然灾害废弃物产生评估等工作。Chen<sup>[54]</sup>利用同样的方法,基于中国鄂州市中心区的情况,开发了鄂州市的四维地理信息系统,用以辅助鄂州的城市规划研究。欧盟支持的FP7项目——可持续城市规划决策支持系统(BRIDGE)也从能量、水、碳、废弃物等组成元素出发进行了城市存量代谢研究,为城市规划和建设的终端使用者(如城市规划师、建筑师和工程师)提供了新的城市管理和发展理念,有效辅助了城市可持续发展的科学决策<sup>[55]</sup>。

## 4 结论与展望

本文就上述城市建筑存量相关研究进行了梳理和分析,现有城市建筑存量研究虽然在方法和工具创新等领域有所突破,但在理论研究、方法工具和决策支持服务等领域还存在较多的不足,城市建筑存量研究亟需在以下领域加强研究:

理论研究方面,目前城市建筑存量的定义已经较为清楚,但是城市建筑存量时空动态演替的关键过程、城市资源环境问题的具体节点及根源仍不明确。传统研究多采用“黑箱”理论,把城市看作整体进行分析,但是这些研究并未对城市内部的存量特征和组成进行探索,因此也无法描绘出城市内部的物质存量演替的关键过程与环境问题产生的机理,难以突破“黑箱”模型的限制<sup>[56]</sup>。“自下而上”的核算方法把宏观城市建筑系统分解成多个子系统,分析物质在各个子系统内部流动、代谢及变化的相关情况,这有助于辨识建筑物质存量变化过程中环境问题产生的根源。另外,现有建筑存量研究局限于物质存量时空演替模式的分析,忽视了物质存量变化所引发的城市环境问题,因此城市建筑存量的时空演替特征及其带来的环境影响的研究有待加强。

方法工具方面,成熟的定量方法与完备的数据支撑是成功开展城市建筑存量研究的关键因素。目前的研究一直受到估算模型和数据收集的制约,模型核算依赖于大量的假设参数估算,不仅增加了研究的工作量,也降低了结果的可信度和深度,限制了存量研究的广泛应用。因此,在开展城市建筑存量研究的过程中要注重多学科方法的交叉

融合以及高新技术的应用,利用传统的存量核算方法结合生命周期评价、情景分析、地理信息技术、高分遥感影像解析、无人机、智慧城市以及人工智能等技术,突破现有建筑存量分析的模型和数据获取方法与工具的瓶颈。

决策支持服务方面,城市建筑存量分析归根结底是为城市可持续管理服务的。但是现有城市建筑存量研究很少考虑城市经济发展和社会管理因素,因而研究所得出的大多数结论只能为城市管理决策提供一种导向而无法直接应用。因此未来的研究应增强研究结果的直接指导意义,结合环境、社会和经济因素探索城市可持续管理服务的科学模式。

总之,我国城市建筑存量研究刚刚起步,本地化基础数据尚未得到有效积累,科学决策工具也相对匮乏,并且难以简单照搬国外研究成果与成功管理模式,亟需开展城市建筑存量研究,开发相应定量工具,这有助于探寻解决城市生态和环境问题的有效途径,为城市相关决策者提供建设的科学支撑,促进城市可持续管理的专业化。

## 参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴 2017[EB/OL]. [http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjcbw/201710/t20171012\\_1541643.html](http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjcbw/201710/t20171012_1541643.html).
- [2] 刘士林. 中国都市化进程报告 2017[M]. 北京: 北京大学出版社, 2018.
- [3] 唐孝炎, 王如松, 宋豫秦. 我国典型城市生态问题的现状与对策[J]. 国土资源, 2005(5): 4-9.
- [4] 陈哲, 刘学敏. “城市病”研究进展和评述[J]. 首都经济贸易大学学报, 2012(1): 101-108.
- [5] 刘晔, 刘丹. 面向环境管理的城市代谢物质实体空间研究评述[J]. 应用生态学报, 2015, 26(7): 2225-2236.
- [6] 段娟, 文余源. 中国城市化进程中基础设施建设和管理的问题与对策探讨[J]. 云南地理环境研究, 2007, 19(1): 80-84.
- [7] 崔胜辉, 张雅京, 周健, 等. 城市建筑代谢研究方法及其展望[J]. 生态科学, 2011, 30(3): 359-367.
- [8] PANDIT A, MINNÉ E A, LI F, et al. Infrastructure ecology: an evolving paradigm for sustainable urban development[J]. Journal of cleaner production, 2015, 163: S19-S27.
- [9] 段宁. 城市物质代谢及其调控[J]. 环境科学研究, 2004, 17(5): 75-77.
- [10] ZHANG Y. Urban metabolism: a review of research methodologies[J]. Environmental pollution, 2013, 178: 463-473.
- [11] 高鸿业. 西方经济学: 微观部分(第四版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.
- [12] MÜLLER D B. Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands[J]. Ecological economics, 2006, 59(1): 142-156.
- [13] SCHANDL H, SCHULZ N. Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day[J]. Ecological economics, 2002, 41(2): 203-221.
- [14] HASHIMOTO S, MORIGUCHI Y. Proposal of six indicators of material cycles for describing society's metabolism: from the viewpoint of material flow analysis[J]. Resources, conservation and recycling, 2004, 40(3): 185-200.
- [15] HUANG S L, LEE C L, CHEN C W. Socioeconomic metabolism in Taiwan: Emergy synthesis versus material flow analysis[J]. Resources, conservation and recycling, 2006, 48(2): 166-196.
- [16] KUSKOVA P, GINGRICH S, KRAUSMANN F. Long term changes in social metabolism and land use in Czechoslovakia, 1830-2000: an energy transition under changing political regimes[J]. Ecological economics, 2008, 68(1-2): 394-407.
- [17] LI Y T, ZHANG Y, YANG N J. Ecological network model analysis of China's endosomatic and exosomatic societal metabolism[J]. Procedia environmental sciences, 2010, 2: 1400-1406.
- [18] MARCELLUS-ZAMORA K A, GALLAGHER P M, SPATARI S, et al. Estimating materials stocked by land-use type in historic urban buildings using spatio-temporal analytical tools[J]. Journal of industrial ecology, 2016, 20(5): 1025-1037.
- [19] GUO Z, HU D, ZHANG F H, et al. An integrated material metabolism model for stocks of urban road system in Beijing, China[J]. Science of the total environment, 2014, 470-471: 883-894.
- [20] GLÖSER S, SOULIER M, TERCERO ESPINOZA L A. Dynamic analysis of global copper flows. Global stocks, postconsumer material flows, recycling indicators, and uncertainty evaluation[J]. Environmental science & technology, 2013, 47(12): 6564-6572.
- [21] LENZEN M, DEY C, FORAN B. Energy requirements of Sydney households[J]. Ecological economics, 2004, 49(3): 375-399.
- [22] TANIKAWA H, HASHIMOTO S, MORIGUCHI Y. Estimation of material stock in urban civil infrastructures and buildings for the prediction of waste generation[C]//Proceedings of the 5th International Conference on Ecobalance. Tokyo: Society for Non-Traditional Technology, 2002: 806-809.
- [23] BRUNNER P H, RECHBERGER H. Practical handbook of material flow analysis[J]. The international journal of life cycle assessment, 2004, 9(5): 337-338.
- [24] 郭振. 城市道路系统物质存量研究及其生态环境影响分析[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
- [25] 杨威. 可持续性建筑存量演进模型研究[D]. 天津: 天津大学, 2006.
- [26] 楼前, 石磊. 城市尺度的金属存量分析——以邯郸市 2005 年钢铁和铝存量为例[J]. 资源科学, 2008, 30(1): 147-152.
- [27] BARLES S. Urban metabolism of Paris and its region[J]. Journal of industrial ecology, 2009, 13(6): 898-913.
- [28] AUGISEAU V, BARLES S. Studying construction materials flows and stock: a review[J]. Resources, conservation and recycling, 2017, 123: 153-164.
- [29] FISHMAN T, SCHANDL H, TANIKAWA H, et al. Accounting for the material stock of nations[J]. Journal of industrial ecology, 2014, 18(3): 407-420.
- [30] KAPUR A, KEOLEIAN G, KENDALL A, et al. Dynamic modeling of in-use cement stocks in the United States[J]. Journal of industrial ecology, 2008, 12(4): 539-556.
- [31] TANIKAWA H, FISHMAN T, OKUOKA K, et al. The weight of society over time and space: a comprehensive account of the construction material stock of Japan, 1945-2010[J]. Journal of industrial ecology, 2015, 19(5): 778-791.
- [32] CHEN W Q, GRAEDEL T E. In-use product stocks link manufactured capital to natural capital[J]. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America, 2015, 112(20): 6265-6270.
- [33] DAIGO I, HASHIMOTO S, MATSUNO Y, et al. Material stocks and flows accounting for copper and copper-based alloys in Japan[J]. Resources, conservation and recycling, 2009, 53(4): 208-217.
- [34] 董磊. 基于资源节约的城市住宅建筑存量更新策略——以天津市鞍山道、鞍山西道地块为例[D]. 天津: 天津大学, 2013.

- [35] GERST M D, GRAEDEL T E. In-use stocks of metals: status and implications[J]. *Environmental science & technology*, 2008, 42(19): 7038-7045.
- [36] LIANG H W, TANIKAWA H, MATSUNO Y, et al. Modeling in-use steel stock in China's buildings and civil engineering infrastructure using time-series of DMSP/OLS nighttime lights[J]. *Remote sensing*, 2014, 6(6): 4780-4800.
- [37] HATTORI R, HORIE S, HSU F C, et al. Estimation of in-use steel stock for civil engineering and building using nighttime light images[J]. *Resources, conservation and recycling*, 2014, 83: 1-5.
- [38] GIANNETTI F, CHIRICI G, GOBAKKEN T, et al. A new approach with DTM-independent metrics for forest growing stock prediction using UAV photogrammetric data[J]. *Remote sensing of environment*, 2018, 213: 195-205.
- [39] 郭振, 张炫钊. 海岛基础设施物质存量构成及动态变化研究——以山东庙岛为例[J]. *青岛科技大学学报(社会科学版)*, 2017, 33(4): 40-46, 117.
- [40] FISHMAN T, SCHANDL H, TANIKAWA H. The socio-economic drivers of material stock accumulation in Japan's prefectures[J]. *Ecological economics*, 2015, 113: 76-84.
- [41] MESEGUER A S, COEUR D'ACIER A, GENSON G, et al. Unravelling the historical biogeography and diversification dynamics of a highly diverse conifer - feeding aphid genus[J]. *Journal of biogeography*, 2015, 42(8): 1482-1492.
- [42] SING M C P, LOVE P E D, LIU H J. Rehabilitation of existing building stock: a system dynamics model to support policy development[J]. *Cities*, 2019, 87: 142-152.
- [43] MÜLLER D B, BADER H P, BACCINI P. Long-term coordination of timber production and consumption using a dynamic material and energy flow analysis[J]. *Journal of industrial ecology*, 2004, 8(3): 65-88.
- [44] HOU W X, TIAN X, TANIKAWA H. Greening China's wastewater treatment infrastructure in the face of rapid development: analysis based on material stock and flow through 2050[J]. *Journal of industrial ecology*, 2015, 19(1): 129-140.
- [45] HUANG T, SHI F, TANIKAWA H, et al. Materials demand and environmental impact of buildings construction and demolition in China based on dynamic material flow analysis[J]. *Resources, conservation and recycling*, 2013, 72: 91-101.
- [46] HU D, YOU F, ZHAO Y H, et al. Input, stocks and output flows of urban residential building system in Beijing city, China from 1949 to 2008[J]. *Resources, conservation and recycling*, 2010, 54(12): 1177-1188.
- [47] TANIKAWA H, MANAGI S, LWIN C M. Estimates of lost material stock of buildings and roads due to the Great East Japan Earthquake and tsunami[J]. *Journal of industrial ecology*, 2014, 18(3): 421-431.
- [48] WANG T, MÜLLER D B, HASHIMOTO S. The ferrous find: Counting iron and steel stocks in China's economy[J]. *Journal of industrial ecology*, 2015, 19(5): 877-889.
- [49] 唐守娟, 张力小, 郝岩, 等. 城市住宅建筑系统流量 - 存量动态模拟——以北京市为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(4): 1240-1247.
- [50] LIU Q, CAO Z, LIU X J, et al. Product and metal stocks accumulation of China's megacities: patterns, drivers, and implications[J]. *Environmental science & technology*, 2019, 53(8): 4128-4139.
- [51] ADHVARYU B. Enhancing urban planning using simplified models: SIMPLAN for Ahmedabad, India[J]. *Progress in planning*, 2010, 73(3): 113-207.
- [52] YOUNG R F, MCPHERSON E G. Governing metropolitan green infrastructure in the United States[J]. *Landscape and urban planning*, 2013, 109(1): 67-75.
- [53] TANIKAWA H, HASHIMOTO S. Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS[J]. *Building research & information*, 2009, 37(5-6): 483-502.
- [54] CHEN C, SHI F, OKUOKA K, et al. The metabolism analysis of urban building by 4D-GIS- a useful method for new-type urbanization planning in China[J]. *Universal journal of materials science*, 2016, 4(2): 40-46.
- [55] CHRYSOULAKIS N. Urban metabolism and resource optimisation in the urban fabric: the BRIDGE methodology[C]//*Proceedings of EnvirolInfo 2008: Environmental Informatics and Industrial Ecology*. Germany, 2008: 301-309.
- [56] 卢伊, 陈彬. 城市代谢研究评述: 内涵与方法[J]. *生态学报*, 2015, 35(8): 2348-2451.

## A Review of Urban Building Stock Analysis for the Urban Management

YANG Dong<sup>1</sup>, LIU Jingru<sup>2</sup>, LI Yu<sup>1</sup>, JIA Yongfei<sup>1</sup>, SHI Feng<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Science and Technology for Development of Shandong, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan 250014, China; 2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** Urban building stock analysis is a basic theory for coping with urban environmental problems, which is coherent with the aims of urban sustainable development. The paper analyzed the concept of urban building stock, and pointed out the meaning of urban building stock analysis; reviewed the system boundaries, connotation and current methodologies; and summarized the three main areas in urban building stock analysis that including the research on metabolism and influencing factors of urban building stock, the research on the potential for utilization of urban building waste resources and the research on the decision supporting system of urban sustainable management. At last, we made conclusions that the urban building stock theoretical system is not perfect, lack of quantitative tools and basic database, which cannot fully support decision-making for local government. In the future, we need to strengthen the research on spatio-temporal evolution and environmental impacts of urban building stock, establish new analysis method that mix together with multidisciplinary and new technology such as geographic information system (GIS), remote sensing analysis, unmanned aerial vehicle and big data technology, and develop the decision support for urban sustainable management.

**Keywords:** urban building stock; sustainable management; urban metabolism; MFA