

城市低碳评价指标体系研究进展*

Research Progress on Urban Low-Carbon Index Evaluation

尚丽 苏昕 汪鸣泉 王茂华

SHANG Li; SU Xin; WANG Mingquan; WANG Maohua

* 上海市科委重点研发任务(No.15DZ1170600); 基金委青年科学基金项目(No.41503119); 中科院上海高研院交叉学科青年创新基金项目(No.Y756806ZZ1)

■ 中图分类号: TU984
■ 文献标识码: A
■ DOI: 10.12049/j.urp.201801010
■ 文章编号: 2096-3025(2018)01-0078-06

作者信息

尚丽 中国科学院上海高等研究院
助理研究员
苏昕 中国科学院上海高等研究院
助理研究员
汪鸣泉 中国科学院上海高等研究院
副研究员
王茂华 中国科学院上海高等研究院
高级工程师(通讯作者)

摘 要 全球人为源碳排放的70%来自于城市,科学的城市低碳评价指标体系可以为城市碳减排指明方向。本文从与城市低碳发展相关的标准规范、评价体系的构建以及评价指标的应用三大方面,对城市低碳评价的指标体系进行梳理分析,发现:①我国城市生态发展相关的政策较为完善,但是专注于城市低碳领域的标准或指南体系尚未建立;②不同城市低碳评价的准则不相同,指标的选取各有侧重,导致城市之间低碳发展的可比性较差;③基于统计数据的城市低碳评价时效性相对滞后,且忽略了与城市碳排放空间相关的特征,已有评价体系较少包含时空信息的指标。最后,本文从政策完善、数据获取以及指标体系的构建等方面提出建议,为建立全国性城市低碳评价指标体系提供参考。

关键词 低碳评价, 指标体系, 时空信息

Abstract The study of urban carbon emissions is significantly important as it accounts for 70% of global anthropogenic carbon emissions. The scientific urban low-carbon evaluation can specify the development direction of carbon emission reduction. This paper studies the index system of low-carbon evaluation from three aspects, which are the related standards of urban low-carbon development, the construction of evaluation system and the application of evaluation index. Several conclusions are achieved: ① The standards or guidance with a focus on low-carbon development have not been established, although the policies on urban ecological development have been relatively completed in China; ② The comparability of low-carbon development between cities is poor, mainly due to the difference in evaluation criteria and indicator selection; ③ The existing low carbon evaluation system, which is mainly based on statistical data, has defects on timeliness and spatial characteristics. There are fewer indicators containing temporal-spatial information in the current evaluation system. In the end, several suggestions have been proposed on the policy improvement, data acquisition and index system construction, aiming to provide references for the establishment of national index system on urban low-carbon evaluation.

Keywords low-carbon evaluation, indicator system, temporal-spatial information

1 引言

气候变化背景下，二氧化碳排放成为全球可持续发展的热点议题，2015年6月30日，中国政府向第21届《联合国气候变化框架公约》秘书处提交的中国应对气候变化国家自主贡献文件中提出：二氧化碳排放到2030年左右达到峰值并争取尽早达峰；单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%—65%^[1]；城市作为人类生产和消费活动最为集中的区域，低碳城市是节能减排和发展低碳经济的重要载体^[2]。

近年来我国掀起了一股低碳城市建设热潮，2010年，国家发改委确定广东省、辽宁省等5个省份和天津市、重庆市等8个城市开展第一批低碳试点工作，2012年，低碳试点省份和城市又扩增了29个，其中包括北京市和上海市。2017年1月，包括内蒙古乌海市在内的45个城市成为第三批试点^[3]。至此，三批低碳试点地区共包括6个省份、81个城市。在低碳城市建设如火如荼进行的同时，学者们也纷纷开展了城市低碳评价的研究，主要以学术探讨为主。侯依玲^[4]、郑云明^[5]、朱婧^[6]、刘钦普^[7]等人围绕低碳城市内涵及评价指标体系的构建开展深入研究，综述并分析了国内低碳城市及评价领域的现状、困难以及未来发展方向；庄贵阳基于对低碳经济概念的界定，构建了以低碳产出、低碳消费、低碳资源和低碳政策四个维度的衡量指标体系^[8]；辛玲从经济低碳化、基础设施低碳化、生活方式低碳化、低碳技术发展、低碳政策完善以及生态环境六大方面构建低碳城市评价体系^[9]；王云等人结合现有的部分低碳生态城市的控制性详细规划，构建出以41个指标为主的低碳生态城市详细规划的指标体系^[10]；叶祖达针对城市控制性详细规划的管理手段，按主要政策领域和重要功能进行划分，初步建立了适合中国绿色生态城区的碳排放评价方法^[11]；吴健生从低碳开发、低碳经济、低碳环境、城市规模与能源消耗五个方面构建低碳城市评价体系，并引入遥感影像，利用夜间灯光值及PM2.5浓度反演数据来增加评价的全面性^[12]；王勇等人利用遥感（RS）和地理信息系统（GIS），将基于统计数据的指标与带空间信息的指标相结合，综合评估城市的低碳发



图1 我国各部委关于可持续发展、生态城市的政策和标准

Fig.1 Policy and standards of the sustainable development and eco-city by ministries, commissions and municipal governments

资料来源：笔者自绘

展^[13]；整体来看，从时间尺度上看，早期研究主要关注生态城市的指标体系构建，近期开始关注低碳城市的评价体系；从地理空间上看，研究从早期的国家尺度、省市尺度，到近期的地级市尺度以及功能区尺度；从数据基础方面来看，早期研究以统计数据为主，近期则开始结合卫星遥感监测数据。

本文从与城市低碳发展相关的标准规范、体系的构建以及指标的应用三个方面，对城市低碳评价的现状展开调研，分析并探讨现有城市低碳评价体系存在的不足并提出建议，一方面希望能够为低碳城市建设的成效提供测评工具，另一方面希望对低碳城市建设存在的问题及时把脉，为实现城市低碳建设的良性发展提供参考。

2 研究现状

2.1 城市评价相关标准规范

针对可持续发展、生态城市等概念，我国各部委、各地

表 1 相关政策和标准的核心指标汇总

Tab.1 The core indicators of relevant policies and standards

类别	核心指标
经济发展	(1) 人均 GDP; (2) 城乡居民收入比例; (3) 第三产业增加值比例; (4) 城镇化率; (5) 城镇居民人均可支配收入; (6) 单位工业增加值新鲜水耗; (7) 单位工业用地产值;
能源 / 资源利用	(8) 能源消费总量; (9) 单位 GDP 能耗; (10) 非化石能源占一次能源消费比重; (11) 单位 GDP 的碳排放量; (12) 人均城市建设用地; (13) 新增建设用地规模; (14) 新能源利用量占总消费比重; (15) 工业固体废物综合利用率; (16) 农业废弃物利用率; (17) 城镇污水集中处理率; (18) 自来水普及率; (19) 绿色建筑的比例; (20) 绿色出行比例;
社会进步	(21) 城镇新增就业人数; (22) 劳动年龄人口平均受教育年限; (23) 基本养老保险参保率; (24) 公众对环境的满意率; (25) 研究与试验发展经费占 GDP 比重; (26) 资源节约和生态环保投入占财政支出比例; (27) 环境信息公开率;
生态环境	(28) 森林覆盖率; (29) 地级及以上城市空气质量优良天数比例; (30) 地表水达到或者优于Ⅲ类水体比例; (31) 主要污染物排放总量减少率; (32) 城市建成区绿地面积; (33) 温室气体排放总量; (34) 二氧化碳浓度; (35) 噪声环境质量;

资料来源：笔者整理

区先后制定了生态城市建设指标、新能源示范城市评价指标、生态文明建设试点示范区指标等相关的政策和标准（图 1）。

尽管一系列政策和标准陆续颁布，但是各项政策和标准各有侧重。本文对以上政策和标准的 35 个核心指标^[14-21]进行分类、统计，详见表 1。

大部分指标体系关注了经济、能源、人口及环境的各个方面，少数指标关注与低碳或气候变化相关的主题，其中《关于加强应对气候变化统计工作的建议》，其指标体系包括了二氧化碳浓度与温室气体排放量指标。随着国家碳排放控制力度的不断加大，可持续发展相关的政策也不断完善，但是专注于低碳城市领域的标准或指南尚未发布。

2.2 城市低碳评价指标体系的构建

低碳城市的内涵复杂，尚未有公认的绝对标准，国内外对于城市低碳评价指标体系的构建处于研究探讨阶段。本部分调研对国内外具有较大影响力的城市低碳评价指标体系进行梳理，并以“低碳城市”“生态城市”“指标”“指数”为主题在中国知网以及 Web of Science 数据库中进行搜索，

选取了共计约 120 篇相关且引用频率较高的文献展开分析。

2.2.1 指标体系的准则

通过对以上材料的整理，发现国内外城市低碳评价的指标体系主要基于层次分析的原理。其中，目标层统一为城市的低碳发展，指标体系的准则层构建方法主要包括：

（1）基于“压力—状态—响应”（DPSIR/PSR）模型，并结合低碳城市的概念界定评价体系的准则。经济合作与发展组织（OECD）利用该模型构建了核心环境评价指标，并应用于 OECD 国家关键环境问题的分析^[22]；联合国可持续发展委员会（UNCSD）采用 PSR 方法，构建了一套可持续发展评估指数；Yang YF 等^[23]，Guo B.S.^[24]基于该模型，构建了城市低碳评价体系，并对北京市、贵阳市开展案例分析；Lei S^[25]、Hu B 等^[26]采用该模型对京津冀、长三角区域城市开展低碳评价。但这种方法在城市低碳评价中的应用尚有不合理之处，由于驱动力指标与状态指标之间没有必然的逻辑联系^[27]，导致一些社会、经济指标是属于“驱动力”还是“状态”的区分度不够明晰。

（2）基于“能源—经济—环境”系统，强调城市低碳评价指标体系是一个涉及能源利用、经济发展、环境保护、社会稳定等多方面协调、有序发展的统一体。中国社会科学院从经济转型、社会转型、设施低碳、资源低碳和环境低碳五个方面构建了中国城市低碳发展评价综合指标体系^[28]；世界自然基金会根据低碳产出、低碳消费、低碳资源及低碳政策四个维度构建了城市低碳经济发展水平的衡量指标体系^[29]；杜栋等人提出低碳城市评价体系本质上是生态指标，涉及经济、社会、资源、政策、技术等多个层面，并对应设定了城市低碳指标体系的构成^[30]；王玉芳根据数据的可获得性以及经济、低碳和社会发展三大体系的理解，提出以低碳发展为核心，经济发展为手段，社会发展为基础的城市低碳评价指标体系^[31]；付允等综合考虑经济、社会和环境三个方面，使用 23 项具体指标构建了评价城市低碳水平的指标体系^[32]。

（3）基于碳源 / 碳汇的过程来设定评价指标，对碳排

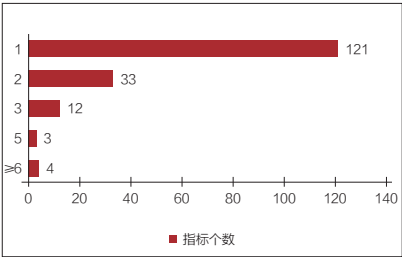


图 2 指标使用频率的统计
Fig.2 Statistics on the frequency of use of indicators
资料来源：笔者自绘

放开展全生命周期的分析。张良等基于碳源 / 碳汇角度，围绕工业低碳、交通低碳、建筑低碳和土地碳汇四个方面，构建了低碳城市评价指标体系^[33]；谈琦从碳排放的产生、处理以及最终结果出发，将技术经济、空气环保和城市建设作为评价准则，选取 13 个指标对城市低碳展开评价^[34]。

此外，还有一些研究采用影响因素分解法，根据碳排放核算范围开展指标选择，像林剑艺等人基于 IPCC 碳排放核算指南的部门分类，将影响每个部门碳排放的因素作为指标^[35]；有些评价指标的设计采用 3R 原则^[36]（3R 即 Reduce、Reuse 和 Recycle），其重点就是要通过节约资源、提高资源利用率和资源的循环使用率，实现人与自然协调发展的目的。

2.2.2 评价指标的选择

研究选择国内外 15 套共计 173 个完整的指标体系，对指标的使用频率展开分析。同时，考虑到一种事物可能存在多种指标表达方式，本研究把内涵一致的指标归为一类，如单位 GDP 的能耗和能源强度；对于同一指标评价对象，反映不同特征的指标视作两类，如人均 GDP 和人均 GDP 增长率，统计分析结果详见图 2。

关于城市低碳评价指标的选择，数据显示 70% 的指标在 15 套指标体系中只出现了一次，即：除了“单位 GDP 能耗（能源强度）”“人均碳排放”“人均水耗”“人均 GDP”“人均绿地面积”“绿化覆盖率”和“第三产业 GDP

表 2 国内外机构低碳评价指标体系的应用情况
Tab.2 Application of low-carbon evaluation index system at home and abroad

指标名称	机构	应用区域	制定时间	所评价对象的年份
城市低碳经济发展水平的衡量指标体系 ^[29]	世界自然基金会	深圳市	2011 年	2009 年
亚洲绿色城市指数 ^[37]	经济学人才智库	北京、上海、南京、武汉和广州	2011 年	除交通指标为 2010 年，其他指标为 2009 年及以前
低碳指标清单 ^[38]	世界银行	中国四个直辖市	2012 年	2010 年及以前
中国城市低碳发展评价综合指标体系 ^[28]	中国社会科学院城市发展与环境研究所	德州市、昆明市、保定市等典型城市	2012 年	2005 年和 2010 年
城市低碳发展指标体系 ^[39]	中国科学院上海高等研究院	中国 262 个地级及以上城市	2014 年	2011 年

资料来源：笔者整理

增加值占比”，其余的 166 个指标在不同城市低碳评价体系中的出现频次较低，说明不同城市低碳评价在指标的选择上存在较大的差异。

2.3 城市低碳评价指标的应用

已建的城市低碳评价指标体系主要应用于地级及以上城市，以国内外机构指标体系的应用情况为例（表 2），空间区域上集中在四个直辖市以及省级城市，关键原因是评价基础数据的可获得性。目前城市低碳评价的数据主要来自国家 / 地区的统计年鉴，而地级及以上城市的统计数据相对完备；不过，在评价结果的时效性上，通过对比评价体系的制定时间与所评价的年份，发现基于统计年鉴数据的指标体系时效性有待提高。以《中国城市统计年鉴 2015》为例，该年鉴于 2015 年年底发布，包括了全国 653 个建制城市（含县级及以上城市）社会、经济发展方面的主要统计数据，不过其收录数据截止到 2014 年年底，采用该统计年鉴的指标基本上滞后两年才能够获得评价年的数据。因此，基于统计数据的评价更多是对城市过去某种低碳状态的评价，时效性上相对受限。

此外，开展城市低碳评价的目标是用来指导低碳城市建设实践，目前基于统计数据的指标体系可以实现对城市低碳发展水平的综合评估，但结果是提出的建议在促进政策的实施方面存在问题。由于评价主体对政策建议的可行性以及相关部门的职能缺乏判断和了解，导致一些建议相

对空泛,评价结果对客体的针对性不足,相应职能部门难以直接落实政策建议。其中,以“提高城市碳汇”的建议为例,如果关于城市碳汇的指标数据带有空间信息,评价的结果能够直观地反映城市不同区域的碳汇现状和需求,相应的政策就可以有重点、有目标地提高城市碳汇。蔡博峰等人的研究也指出中国二氧化碳排放空间格局受重点城市影响和驱动,开展城市层面的空间排放分析更具有政策针对性^[40]。然而,与低碳发展直接相关的具有空间信息的碳源、碳汇、碳浓度数据未被纳入到目前的研究当中,在调研的173个指标中,仅有5个指标的数据来自遥感监测,目前城市低碳评价的指标体系中关于时空信息的概念很少被考虑到。

3 讨论与分析

通过对以上资料的分析,发现目前城市低碳评价的指标体系进展如下:

我国在生态城市的方面相关政策较为完善,但是支撑或规范城市低碳发展的标准体系尚未健全。“生态”和“低碳”是紧密相关的两个概念,它们都关注生态环境问题,是实现可持续发展的必要内容;但是两者也有差异,“生态”关注自然环境、人居环境等多个方面的和谐与可持续,而“低碳”则主要关注气候变化、碳排放等,因此相应的政策针对性会存在一定的差异。

研究机构和学者在对城市进行案例分析时,指标体系的架构方法各不相同,对于每个架构方法的适用性很难判断;同时在指标的选取过程中,每个城市低碳评价关注的内容存在差异,指标的筛选缺乏一致性,特别是一些指标的选取由所评价城市基础数据的可得性决定,这就导致不同城市低碳指标的选择存在差异,从而降低了城市之间低碳发展的可比性,不利于全国性的低碳城市评价管理机制的建立。

城市的低碳建设涉及到经济、社会、人口、环境、资源等各个领域,是一个长期、复杂的动态过程,这对评价数据的时效性提出了更高的要求。一方面,基于统计数据的指标受数据获取的时间约束,时效性有待提高;另一方面,其评价体系侧重于获得评价结果,缺乏对评价结果的应用

分析,难以提出下一阶段的政策措施。

4 建议

低碳城市已成为世界各地很多城市的共同追求,低碳城市的研究发展也日新月异,如何选择更为合适的评价指标,对低碳城市的良性发展非常关键。基于以上分析,本文从政策完善、数据获取以及指标体系构建三个方面对城市低碳评价体系的发展提出以下建议。

4.1 加强城市低碳发展的顶层设计

以低碳城市试点建设为抓手,细化城市发展在碳减排方面的要求,捕捉城市低碳发展的共性特征,加强中国低碳城市建设的顶层设计,力争构建一个基础互通、内在协调、具有弹性的城市低碳发展的规范或标准。而在满足共性要求的同时,每个城市可以根据自身区域的特点进行有侧重的指标筛选,一方面能够实现城市低碳发展水平的可比性,有效提高全国低碳城市的建设活力;另一方面可以为各个城市的低碳创新保留空间,促进因地制宜地开展低碳建设。

4.2 提高监测数据的质量和應用

数据的可获取性对研究工作的开展至关重要。随着环境监测技术的迅速发展,各地区、各部门应高度重视应对气候变化相关的统计工作,特别是要进一步加强二、三线等低行政级别城市的数据统计。随着中国碳卫星的成功发射,不同空间尺度的碳排放数据将得到极大完善,提高“天、地、空”监测数据的质量,扩大卫星、遥感数据在评价指标体系中的应用非常有必要。

4.3 构建基于时空信息的城市低碳评价指标体系

区别于基于统计数据的指标体系,设定基于时空信息的指标体系可以实现从时间和空间两个维度对比分析城市的低碳发展。一方面能够实时反馈低碳城市相关领域的碳排放特征;另一方面,带有时空信息的指标体系能够增强政策的针对性,评价不仅是为了获得量化的数据或者定性的结论,

同时可以结合空间地理位置,进一步明确问题所在的区域,提高评价建议的实施性。将传统统计数据与卫星遥感监测数据相结合,不仅可以提高城市低碳评价的时效性,同时可以有效促进城市碳排放空间格局的规划发展。 **URP**

参考文献 References

- [1] 中国发展改革委员会应对气候变化司. 强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献(全文)[R]. 2015.
- [2] 中国社会科学院. 城市蓝皮书: 中国城市发展报告(NO.2)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2009.
- [3] 国家发展改革委员会. 国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知[EB/OL]. [2017-01-07]. http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201701/t20170124_836394.html.
- [4] 侯依玲, 谈建国, 刘校辰, 等. 低碳城市发展评价指标体系的研究进展[C]. 强化科技基础, 推进气象现代化——第29届中国气象学会年会, 2012:1-10.
- [5] 郑云明. 低碳城市评价指标体系研究综述[J]. 商业经济, 2012(4):28-30+39.
- [6] 朱婧, 刘学敏, 姚娜. 低碳城市评价指标体系研究进展[J]. 经济研究参考, 2013(14):18-28+37.
- [7] 刘钦普. 国内构建低碳城市评价指标体系的思考[J]. 中国人口资源与环境, 2013, 23(S2):280-283.
- [8] 庄贵阳, 潘家华, 朱守先. 低碳经济的内涵及综合评价指标体系构建[J]. 经济动态, 2011(1):132-136.
- [9] 辛玲. 低碳城市评价指标体系的构建[J]. 统计与决策, 2011(7):78-80.
- [10] 王云, 陈美玲, 陈志端. 低碳生态城市控制性详细规划的指标体系构建与分析[J]. 城市发展研究, 2014, 21(1):46-53.
- [11] 叶祖达. 绿色生态城区控制性详细规划决策工具碳排放评估模型[J]. 城市发展研究, 2016, 23(3): 76-86.
- [12] 吴健生, 许娜, 张曦文. 中国低碳城市评价与空间格局分析[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 204-213.
- [13] WANG Y, DING Q, ZHUANG D F. An eco-city evaluation method based on spatial analysis technology: A case study of Jiangsu Province, China[J]. Ecological indicators, 2015(58):37-46.
- [14] 环境保护部. 生态县、生态市、生态省建设指标(修订稿)[R]. 2007.
- [15] 环境保护部. “十一五”国家环境保护模范城市考核指标及其实施细则(修订)[R]. 2008.
- [16] 国家能源局. 新能源示范城市评价指标体系[R]. 2012.
- [17] 国家环保部. 国家生态文明先行示范区建设目标体系[R]. 2013.
- [18] 国家发改委、国家统计局. 关于加强应对气候变化统计工作的意见[R]. 2013.
- [19] 国务院. 国家新型城镇化规划(2014—2020)[R]. 2014.
- [20] 环境保护部. 中华人民共和国国家环境保护标准——生态环境状况评价技术规范[R]. 2015.
- [21] 国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[R]. 2016.
- [22] Organisation for economic co-operation and development. OECD Environmental indicators: Development, measurement and use[R]. 2003.
- [23] YANG Y F, LI L, ZHENG H X. Analysis on Beijing's low-carbon city evaluation index system[C]. Education and management. Springer-Verlag Berlin, 2011:163-169.
- [24] GUO B. Study on evaluation index system of economic level of low-carbon city in Guiyang[C]. Proceedings of the 2015 International Forum on energy, environment science and materials. S. B. Choi, 2015:392-395.
- [25] SONG L, LI F. The assessment index system of low-carbon city development[J]. Renewable and sustainable energy, 2012:1287-1294.
- [26] HU B, LI J Y. Dynamic comparison studies on development of low-carbon city in Beijing-Tianjin-Hebei Region[J]. Advanced materials research trans tech publications, 2014, 869:91-94.
- [27] 张志强, 程国栋, 徐中民. 可持续发展评估指标、方法及应用研究[J]. 冰川冻土, 2002(4):344-60.
- [28] 中国社会科学院城市发展与环境研究所. 重构中国低碳城市评价指标体系: 方法学研究及应用指南[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2013.
- [29] 雷红鹏, 庄贵阳, 张楚. 把脉中国低碳城市发展——策略与方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [30] 杜栋, 王婷. 低碳城市的评价指标体系完善与发展综合评价研究[J]. 中国环境管理, 2011(3):8-11+14.
- [31] 王玉芳. 低碳城市评价体系研究[D]. 保定: 河北大学, 2010.
- [32] 付允, 刘怡君, 汪云林. 低碳城市的评价方法与支撑体系研究[J]. 中国人口(资源与环境), 2010(8):44-47.
- [33] 张良, 陈克龙, 曹生奎. 基于碳源/汇角度的低碳城市评价指标体系构建[J]. 能源环境保护, 2011(6):8-11+6.
- [34] 谈琦. 低碳城市评价指标体系构建及实证研究——以南京、上海动态对比为例[J]. 生态经济, 2011(12):81-84+96.
- [35] LIN J Y, JACOBY J, CUI S H, et al. A model for developing a target integrated low carbon city indicator system: The case of Xiamen, China[J]. Ecological indicators, 2014, 40:51-57.
- [36] 马黎, 柳兴国, 刘中文. 低碳城市评价指标体系及模型构建研究[J]. 济南大学学报(社会科学版), 2014(4): 55-59.
- [37] Economist Intelligence Unit. Asian Green City Index: Assessing the environmental performance of Asia's Major Cities[R]. 2010.
- [38] Axel Baeumlér, Ede Ijjasz-Vasquez, Shomik Mehndiratta. Sustainable low-carbon city development in China[R]. The World Bank, 2012.
- [39] 黄伟光, 汪军. 中国低碳城市建设报告[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [40] 蔡博峰. 城市温室气体清单核心问题研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.