



从全球百余城市低碳发展水平异同 看中国城市低碳发展之道

LOW-CARBON CITY DEVELOPMENT IN CHINA: EVALUATION
RESULTS FOR MORE THAN 100 CITIES AROUND THE WORLD

邱诗永 林嘉颖 刘岱宗 蒋洪强 曹东 王媛 张鸿宇 李勃 梁晨



生态环境部环境规划院
Chinese Academy of Environmental Planning

WRI.ORG.CN



引用建议:

邱诗永, 林嘉颖, 刘岱宗, 蒋洪强, 曹东, 王媛, 张鸿宇, 李勃, 梁晨. 2024. 从全球百余城市低碳发展水平异同看中国城市低碳发展之道. 世界资源研究所研究报告. <https://doi.org/10.46830/wrirpt.22.00105>

校对

谢亮 hippie@163.com

设计与排版

张烨 harryzy5204@gmail.com

目录

III 执行摘要

VII Executive Summary

1 研究背景

- 1 全球气候变化呼吁城市低碳发展
- 1 开展全球城市低碳发展评价对指导中国城市低碳发展具有重要意义
- 2 研究目的和范围

5 方法和数据

- 5 城市选择
- 6 分析方法
- 9 数据来源
- 9 研究局限性

11 评价结果

- 12 中国城市的低碳发展已经取得积极进展
- 13 中国城市在低碳消费方面表现更为出色
- 17 低碳先锋城市多位于温暖带和冷温带地区
- 18 服务型城市整体低碳表现更为优秀

21 案例分析

- 22 以上海为代表的超大型城市应加大在生产和消费方面的低碳投入，起引领带头作用
- 23 以桂林为代表的服务型城市应结合地方资源禀赋，升级优化产业结构，发展适合的低碳经济模式
- 24 以唐山为代表的工业型城市应利用经济发展的上行周期动力进行绿色产业转型
- 25 以武威为代表的农业型城市应在深化第一产业产业链的同时，积极促进第三产业的发展

27 结论与建议

- 27 超大型城市应从低碳发展规划、产业内部结构优化和能源结构调整三方面推进绿色低碳高质量发展
- 28 服务型城市应因地制宜，制定气候行动目标和方案，发展适合的低碳经济模式，以积极推动城市和经济高质量低碳发展
- 29 工业型城市可以通过数字化手段提升“两高”行业绿色化程度，并增加智力投资，推进绿色产业转型
- 30 农业型城市可以整合农村资源优势，在优化第一产业结构的同时，大力发展第三产业，助力低碳发展

33 附录一 评价城市清单

36 注释

36 参考文献



执行摘要

亮点

- 本研究构建了包含低碳生产、低碳消费、低碳环境、低碳进程在内的城市低碳发展评价指标体系，是首个针对全球上百个城市开展统一口径下的城市低碳发展评价。
- 评价结果显示，中国城市在低碳发展方面取得积极进展，排名前三的城市均为中国城市，其中深圳排名第一。
- 超大型城市应从低碳发展规划、产业内部结构优化和能源结构调整三方面推进绿色低碳高质量发展。
- 服务型城市应因地制宜，制定气候行动目标和方案，发展适合的低碳经济模式，以积极推动城市和经济高质量低碳发展。
- 工业型城市可以通过数字化手段提升“两高”行业绿色化程度，并增加智力投资，推进绿色产业转型。
- 农业型城市可以整合农村资源优势，在优化第一产业结构的同时，大力发展第三产业，助力低碳发展。

背景

全球气候变化需要城市积极探索低碳转型。人口和经济的高度集聚，使得城市成为气候变化的高度敏感和脆弱区。但同时，城市贡献了全球70%的碳排放，是全球实现温室气体净零排放的关键区域。推动城市低碳发展还可以产生积极的经济效益：一系列现有可行的低碳措施不仅可使城市主要部门到2050年减少近90%的碳排放，而且至少可获得总净现值高达169.8万亿元的回报（CUT 2019）。

开展全球城市低碳发展评价，对国内城市低碳建设有重要的指导意义。现有研究缺少对国内外城市低碳发展的综合比较研究：国内研究大多关注中国城市之间的低碳发展评价，较少涉及国际同类城市的比较研究；一些研究进行了国内外城市的低碳发展对比，但只局限在少数国际大城市，代表性有限；一些研究虽然覆盖了较多国内外城市，但分类及可比性不足，难以针对性地指导国内城市低碳政策制定。因此，开展对国内外典型城市低碳发展的综合比较研究，有助于从全球视野衡量地区低碳发展的现状和水平，总结城市低碳发展经验，为不同类型城市的低碳政策制定和实践创新提供借鉴参考和技术支持。

关于本报告

本报告由世界资源研究所和生态环境部环境规划院共同完成，从城市绿色低碳的角度构建了包含低碳生产、低

碳消费、低碳环境、低碳进程的指标评价体系，创新性地选取低碳信息指数、第二产业碳生产力等11个典型指标，针对全球102个城市（国际城市43个，国内城市59个）开展了统一口径下的城市低碳发展评价。其中，低碳生产用于表征城市在生产过程中的低碳表现，低碳消费用于衡量一个城市居民的低碳消费行为，低碳环境用于表征城市与自然、生态环境和谐共生的程度，低碳进程则更多强调城市低碳行为取得的一些发展成效。指标权重采用“主观”+“客观”赋权相结合的方式，“主观”赋权法邀请行业内顶尖研究学者打分评估，“客观”方式采用熵权法，确保了指标权重的权威性与科学性。同时，为进一步探讨不同类型城市的低碳发展方向和路径，本研究按柯本气候分类法以及城市的产业结构将城市进行划分，便于更好地比较分析，为中国城市低碳发展提供借鉴。

报告的最终结果会在由世界资源研究所联合多家机构共同搭建的“城市气候圈”平台（Citysphere.net）上同步展示。“城市气候圈”是一个综合展示与评估全球城市的气候目标、政策、低碳进展的可视化平台，致力于推动城市实现气候雄心，加速城市低碳转型。

关键结论分析

从整体评价结果来看，将中国城市置于国际背景下，发现中国城市在低碳发展方面已经取得积极进展，排名前十的城市中，中国城市位居前三。其中，中国城市在低碳



消费方面进入前十的数量较多，在形成绿色低碳的生活方式和消费模式方面，已取得了不错的成效，但在低碳生产、低碳环境和低碳进程方面还需进一步提高。

从气候类型来看，四个分类指标下不同气候区城市的表现呈现异质性，其中温暖带和冷温带由于气候适宜，城市优先发展，发达城市相对集中，涌现不少低碳先锋城市，排名前25%的城市大部分位于这两个气候区。从城市类型来看，服务型城市在低碳发展方面远远领先于工业型城市和农业型城市，特别是在低碳生产和低碳进程两个方面，反映了城市的产业升级对于低碳发展的正面影响。

政策建议

为促进中国城市低碳发展，促进实现双碳目标，结合上述评价结果，及国际国内典型城市低碳发展案例和对比分析，本研究提出以下政策建议。

针对超大型城市，如上海，与国际城市如新加坡相比，在第二产业碳生产力、可再生能源消费、绿色消费等方面相对落后，建议上海做好低碳发展规划并倡导绿色消费，一方面合理规划产业布局，有序引导人才引进，为城市低碳发展谋好局，另一方面，营造低碳出行和消费环境，开展各类环保低碳行动；优化、调整第二产业内部结构，减少对高耗能产业的依赖，朝着新兴产业和高端制造

业方向发展；持续优化能源结构，加大对可再生能源的投资与研发，提高绿色能源消费占比。

针对服务型城市，如广西桂林，与国际城市如澳大利亚布里斯班和英国伦敦相比，在第三产业增加值占比、第二产业碳生产力、城市低碳关注度等方面表现欠佳，建议桂林结合地方资源禀赋，升级优化产业结构，例如通过整合旅游资源和结合游客需求，开发多样化、独特的旅游文化产品，完善相关产业链建设；同时做好城市低碳发展规划，将交通、建筑、减污降碳协同、产业、国土空间等规划有效衔接，提出切实有效的气候变化目标与行动。

针对工业型城市，如河北唐山，与国际城市如美国匹兹堡相比，唐山的经济发展方式仍以资源消耗为主，绿色低碳属性欠佳，对于化石燃料依赖程度较高。唐山提高低碳发展水平的核心是产业转型，建议唐山根据城市定位，找准产业转型路径，淘汰高耗能落后技术，提高生产过程中绿色化、低碳化水平，并增加智力投资，提高工人的就业技能和企业的科研能力，朝着高、精、尖等行业发展。

针对农业型城市，如甘肃武威，和澳大利亚布里斯班相比，在经济发展、产业结构和第二产业碳生产力等方面落后较多，建议武威一方面通过发展农业加工业，提高农产品附加值，促进第一产业结构优化；另一方面结合乡村振兴，整合农村资源优势，打造特色农村休闲旅游业，在帮助农民提高收入的同时，实现绿色低碳发展。





SPUR

SKIPPERKROEN

On the SUNNYSIDE

EXECUTIVE SUMMARY

HIGHLIGHTS

- This study constructs an indicator evaluation system containing four areas—low-carbon production, low-carbon consumption, low-carbon environment, and low-carbon progress—and evaluates the low-carbon development of 102 cities around the world.
- The evaluation results show that the overall performance of low-carbon development in Chinese cities has achieved progress. Of the 102 cities studied, the top three were in China, and Shenzhen ranked first.
- Megacities should promote green, low-carbon, and high-quality development from three aspects: low-carbon development planning, optimization of internal industrial structure, and adjustment of energy structure.
- Service-oriented cities should formulate climate action plans according to local conditions, and develop suitable low-carbon economic models, to actively promote high-quality and low-carbon development.
- Industrial cities can use digital means to improve the greening degree of the "two high" industries, increase intellectual investment, and promote the transformation of green industries.
- Agriculture-oriented cities can integrate the advantages of rural resources, optimize the structure of the primary industry, and vigorously develop the tertiary industry to promote low-carbon development.

Background

Global climate change requires cities to actively explore low-carbon transformation.

The high concentration of population and economy makes cities highly sensitive and vulnerable to climate change. But at the same time, cities contribute 70 percent of global carbon emissions and play a key role in achieving net zero emissions globally. Promoting low-carbon urban development can also have positive economic benefits: a batch of existing and feasible low-carbon measures could not only reduce carbon emissions in major urban sectors by nearly 90 percent by 2050 but also yield a total net present value return of up to ¥169.8 trillion (CUT 2019).

Global low-carbon city development evaluations provide important guidance for low-carbon development in Chinese cities.

Existing studies either focus on Chinese cities only or apply to a few large international cities, failing to consider the applicability and comparability of a large number of international cities (i.e., more than 100). Therefore, conducting comprehensive low-carbon development evaluation research for multiple world cities can help assess the cities' low-carbon development status from a global perspective, facilitate learning between cities toward early peaking and carbon neutrality, and thus guide the low-carbon development of different types of cities.

About this report

This report is jointly completed by World Resources Institute (WRI) and the Chinese Academy of Environmental Planning of the Ministry of Ecology and Environment. It constructs an indicator evaluation system from the perspective of low-carbon production, low-carbon consumption, low-carbon environment, and low-carbon progress. We innovatively select 11 typical indicators, such as the low-carbon information index and carbon productivity, and evaluate the low-carbon development of 102 cities around the world (43 international cities and 59 domestic cities). Specifically, *low-carbon production* is used to represent the city's low-carbon performance in the production process, *low-carbon consumption* measures the low-carbon consumption behavior of city residents, *low-carbon environment* is used to characterize the degree of harmonious coexistence between the city and the natural and ecological

environment, and *low-carbon progress* is used to highlight some of the low-carbon development progress of cities. The evaluation of low-carbon city development was carried out under a unified standard. The weighting of the indicators is based on a combination of "subjective" and "objective" approaches—with the subjective approach based on the scores of top research scholars in the related fields and the objective approach based on the entropy weighting method—to ensure the authority and science of the indicator weights. Meanwhile, to further explore the low-carbon development direction and path of different types of cities, cities are classified into different categories based on the Köppen climate classification and the industrial structure and international status of the cities; this facilitates better comparative analysis and provides a reference for the low-carbon development of Chinese cities.

The final results of the report will be posted on the Citysphere platform, which is developed by WRI and other partner organizations. Citysphere is a visualization platform that showcases and evaluates cities' climate goals, policies, low-carbon progress, and so forth to drive cities to achieve climate ambitions and accelerate the low-carbon transition.

Key findings

From the evaluation results, the overall performance of low-carbon development in Chinese cities has achieved progress. Of the 102 cities studied, the top three were located in China. Chinese cities have performed better in terms of low-carbon consumption, which indicates that they have achieved some success in promoting a green, low-carbon lifestyle and consumption mode. However, they need further improvement in terms of low-carbon production, low-carbon environment, and low-carbon progress.

From the perspective of different climate zones, the performance of cities under the four areas is heterogeneous. More low-carbon development occurs in pioneer cities in the warm temperate zone and the continental zone, where most of the top 25 percent of cities are located. In terms of city types, service-oriented cities perform better than industrial and agricultural cities for low-carbon development, especially in the areas of low-carbon production and low-carbon progress,

reflecting the positive impacts of urban industrial upgrading on low-carbon development.

Policy recommendations

To promote low-carbon development in Chinese cities and realize the goals of carbon peaking and carbon neutrality, this study proposes the following policy recommendations for different city types in China.

When compared with international cities such as Singapore, megacities such as Shanghai are relatively backward in terms of the secondary sector's carbon productivity, renewable energy consumption, and green consumption. It is recommended that Shanghai improve its low-carbon planning and advocacy of green consumption. On the one hand, Shanghai should plan its industrial layout more reasonably for future sustainable development. On the other hand, Shanghai should create a low-carbon travel and consumption environment and carry out various environmental protection and low-carbon actions. Meanwhile, Shanghai should optimize and adjust the internal structure of the secondary industry, reduce dependence on high energy-consuming industries, and develop emerging industries and high-end manufacturing. In addition, it is recommended that Shanghai continue to optimize the energy structure, increase investment in the research and development of renewable energy, and increase the proportion of green energy consumption.

Service-oriented cities such as Guilin, Guangxi, compare poorly with international cities such as Brisbane and London in terms of the added value of the tertiary industry, carbon productivity, and policy focus on low-carbon development. It is recommended that Guilin upgrade and optimize its industrial structure based on its local resources. For example, it could integrate tourism resources and combine tourist needs, develop diversified and unique tourism cultural products, and improve the construction of related industrial chains. Meanwhile, Guilin should focus on its urban low-carbon development plan; coordinate with its transportation, buildings, pollution-reduction, industrial planning, and land-use plans; and develop effective climate change goals and actions.



When compared with international cities such as Pittsburgh, the economic development mode for industrial cities such as Tangshan, Hebei, is still dominated by resource consumption. These industrial cities have very limited green, low-carbon attributes and are highly dependent on fossil fuels. The core of Tangshan's low-carbon development is focused on industrial transformation. It is recommended that Tangshan identify its path of industrial transformation based on the city's positioning. It should eliminate high energy-consuming and outdated technologies and improve the level of green and low-carbon production in the production process. Tangshan should also increase intellectual investment to improve workers' productivity, focusing on high-end, high-quality, and cutting-edge industries.

Agricultural cities such as Wuwei, Gansu, compare poorly with Brisbane in terms of the economic development, industrial structure, and carbon productivity of the secondary sector. It is suggested that Wuwei develop the agricultural processing industry to increase the added value of agricultural products and also promote the structure optimization of the primary industry. Wuwei should also integrate the advantages of rural resources to create a characteristic rural leisure tourism industry and help farmers increase their income while achieving green, low-carbon development.



第一章

研究背景

1.1 全球气候变化呼吁城市低碳发展

气候变化已经并将继续加剧对全球和中国的影响。IPCC报告显示，全球地表平均温度较工业化前高出约1摄氏度，人类活动的影响已造成大气、海洋和陆地变暖（IPCC 2022）。中国地区高温、强降水等极端天气气候事件趋多、趋强（中国气象局气候变化中心 2022）。过去十年，各种自然灾害造成中国平均每年1.94亿人次受灾，直接经济损失3708.1亿元¹。一项针对全球百万人以上沿海大城市的研究显示，如果不立刻采取气候行动，2050年全球沿海洪灾损失最严重的20个城市中，有5个是中国城市，其中广州损失最为严重，每年因洪水造成的经济损失预计将达924亿元，居全球沿海城市首位，是排名第二的印度孟买的两倍多（Hallegatte, et al. 2013）。此外，华北平原可能自2070年起反复遭受高温高湿热浪袭击，变得不再适宜生存（Kang and Eltahir 2018）。

为避免此类灾难的发生，控制全球升温不超过1.5℃，政府间气候变化专门委员会（IPCC）提出，全球必须在2050年左右实现温室气体净零排放（IPCC 2018），并强调了城市在减排中的重要作用（Dodman, et al. 2022）。2019年12月，欧盟委员会推出“绿色新政”，宣布到2050年，欧洲将成为全球首个“碳中和”的大洲；截至2022年10月底，全球已有近140个国家设立了碳中和目标（Lang, et al. 2022），其中，中国承诺将努力争取2060年前实现碳中和。

城市是赢得碳中和战役的重要主体。城市贡献了全球70%的碳排放，集聚了全球57%的人口，预计到2050年还将新增22.7亿城镇居民，即届时全球将有68%的人口在城市生活（United Nations Population Division 2018）。根据世界资源研究所领导的城市转型联盟（Coalition for Urban Transitions, CUT）的研究，一系列现有可行的低碳措施可使城市主要部门（如建筑、交通、材料使用和废弃物防治利用等）到2050年减少近90%的碳排放；这些措施具有积极的经济和就业效益，到2030年可为城市创造绿色就业岗位8700万个，到2050年至少可获得总净现值高达169.8万亿元的回报，如果考虑能源价格上涨和技术更新速度加快，这些措施的净现值可增加到271.3万亿元，这些数字还不包括低碳发展带来的公众健康改善等更广泛的效益（城市转型联盟 2019）。因此，推动城市低碳发展势在必行。

1.2 开展全球城市低碳发展评价对指导中国城市低碳发展具有重要意义

自从中国于2010年开展国家低碳城市试点工作以来，许多国内城市积极开展低碳发展的实践与探索，众多机构与学者也就城市低碳发展评价指标体系进行探索构建、案例研究及城市排名，如中国社会科学院的中国低碳城市评价指标体系、黄伟光和汪军主编的《中国低碳城市建设报告》、21世纪经济研究院碳中和课题

组撰写的《中国净零碳城市发展报告(2022)》，以及中国环境科学研究院和公众环境研究中心共同开发的“城市碳达峰碳中和指数”等，旨在通过客观评估和测评中国不同地区、不同发展阶段的城市低碳建设成效，挖掘城市低碳发展存在的问题，为城市低碳建设提供参考和建议。但是，这些评价只集中于中国城市，并未涉及国际同类城市的比较研究，无法使国内城市了解自己在全球低碳发展中所处的位置，也因此缺少积极开展低碳行动的激励。同时，国际发达城市开展低碳建设较早，也拥有很多可供中国城市参考和借鉴的经验，对国内外城市开展低碳发展评价对国内城市的低碳建设有重要的指导意义。

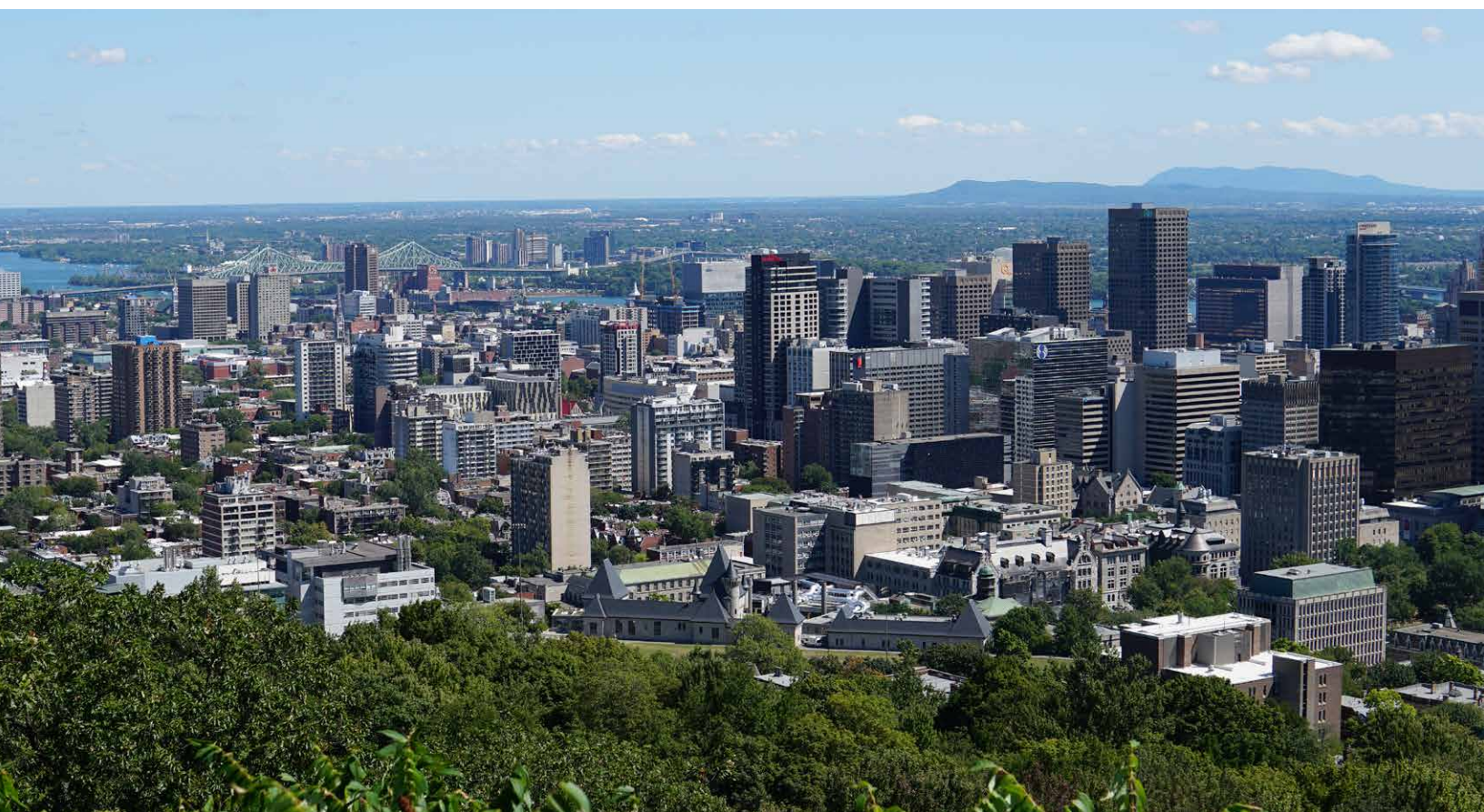
意识到对全球城市进行低碳发展评估的重要意义后，有些研究已经开始进行相关探索(Tan, et al. 2016; Azizalrahman, Hasyimi 2018)，但只局限在包括伦敦、圣保罗、斯德哥尔摩、温哥华、约翰内斯堡、东京、悉尼、墨西哥城、纽约和北京在内的十个国际大都市，对于处于其他发展阶段的中国城市借鉴意义有限；另外一些研究则覆盖了国内外多城市，如全球城市实力指数(Global Power City Index)、全球城市指数(Global Cities Index)、城市可持续发展指数(Sustainable Cities Index)，但这些研究的低碳比重较小，无法很好地指导低碳政策制定。因此，开展对国内外多城市低碳发展的综合比较研究，有助于衡量城市低碳发展水平，总结城市低碳发展经验，从而指导不同类型城市的低碳政策制定。

1.3 研究目的和范围

鉴于现有研究缺少对国内外多城市低碳发展的综合比较研究，世界资源研究所联合生态环境部环境规划院，基于现有各类低碳城市评价指标体系，结合国内外城市的数据可用性和可比性，构建具有代表性、适用于全球不同类型城市的低碳评价指标体系，对全球102个城市的低碳发展水平进行评估，并选取典型案例，深入探讨不同类型城市低碳发展现状和路径，以期对中国城市和国际同类城市的低碳发展现状和努力程度进行客观评价，为不同类型的城市推进低碳建设提供研究参考和决策依据。

1.3.1 低碳城市的内涵

开展城市低碳发展评价需要首先明确“低碳城市”的概念。低碳城市的概念源于低碳经济，最早由英国政府于2003年提出，主张通过技术创新、制度创新、产业转型、新能源开发等多种手段，以更少的自然资源消耗获得更多的经济产出，减少温室气体和环境污染排放，实现经济繁荣和民生改善(郑云明 2012)。随着国内对低碳经济研究和讨论的深入，低碳城市的概念也被提出。近年来，中国也通过探索模式创新、制度创新、技术创新和工程创新，以制度建设、能源优化利用、产业转型、城乡建设和管理、技术研发应用和低碳消费等为重点，开展低碳城市建设工作(国



家发展改革委 2017)。综合学者们的研究(夏堃堡 2008; 付允, 刘怡君, 汪云林 2010; 辛玲 2011; 谈琦 2011; 连玉明 2012; 刘钦普 2013), 低碳城市的构建是一个复杂的系统工程, 需要将低碳融入城市发展的各个方面, 包括能源利用、经济发展、生产消费、环境保护、社会生活和管理体制等, 以减少温室气体排放, 实现经济繁荣、社会发展和环境改善。

1.3.2 报告分析框架

本报告的分析框架如下: 第一章介绍了报告的研究背景和主要内容。第二章介绍了研究方法, 包括城市选择、指标体系搭建、指标权重计算和数据收集的过程, 为后面的国内外城市低碳发展评价奠定基础。第三章进行了实证分析, 从整体排名、分指标类型、分气候区和分城市类型四个方面介绍了城市低碳发展评价结果。第四章开展了案例比较, 进一步从不同城市类型中选取中国典型城市案例, 深入探讨不同类型城市低碳发展现状和路径, 并结合国际同类型城市的发展经验, 为各案例城市提出低碳发展建议及实施路径。第五章结合国家双碳目标, 为中国不同类型城市建设低碳城市提出具体政策建议。

本报告深入探讨不同类型城市低碳发展现状和路径, 以期对中国城市和国际同类城市的低碳发展现状和努力程度进行客观评价, 为不同类型的城市推进低碳建设提供研究参考和决策依据。





第二章

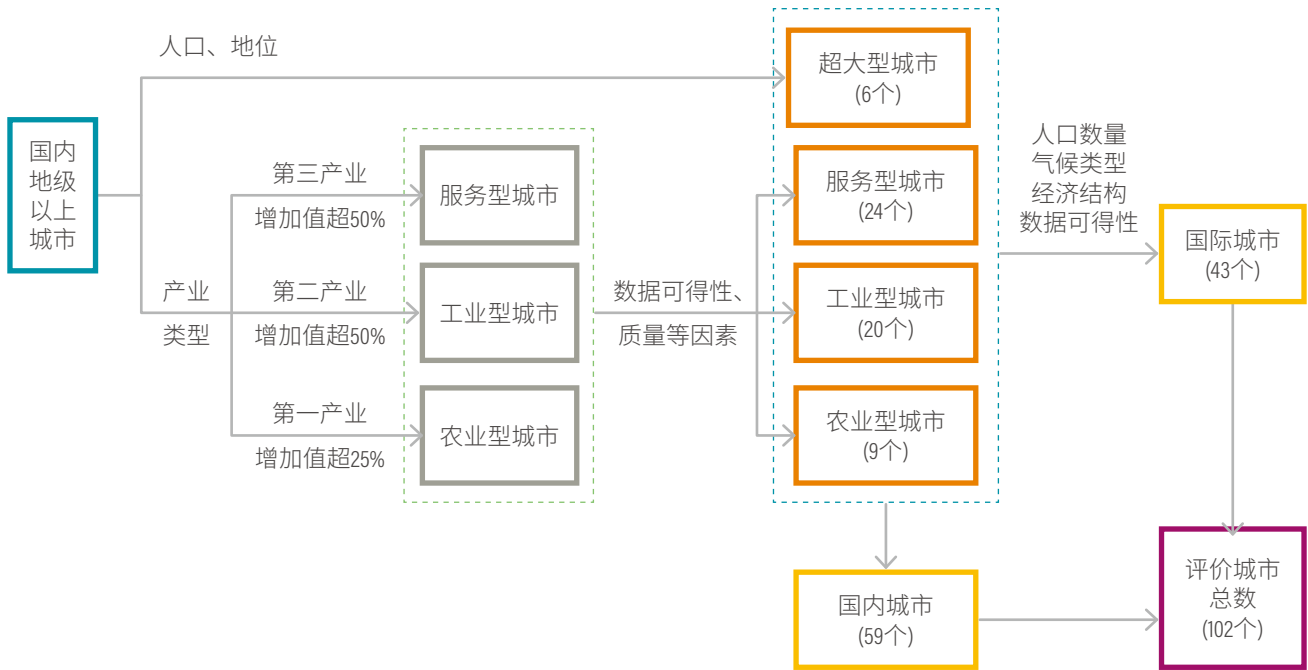
方法和数据

2.1 城市选择

基于国内外城市对比的出发点，在选取国内城市时，本研究首先将直辖市（北京、天津、上海、重庆）以及广州、深圳等国际一线城市归为一类²，然后将全国剩余所有地级及以上城市按照产业类型进行分类，即三次产业增加值占比。鉴于中国城市经济结构多以二产和三产为主，第一产业产值不高，在筛选城市的过程中，农业型城市的第一产业增加值占比应超过25%³，工业型城市的第二产业增加值占比应超过50%，服务型城市的第三产业增加值占比应超过50%。最后，根据城市数据收集情况，择其代表性选取国内城市59个（其中国家级低碳城市试点22个）。由于数据可获得性的原因，国际城市更多以发达国家城市为主，并尽量囊括巴西、南非、印度等其他发展中国家城市；同时，考虑到城市发展的历史历程，将曾经是工业型城市、农业型城市但如今实现较高发展水平的城市纳入；在收集大量国际城市数据基础上，考虑到人口（O'Neill, et al. 2012）、经济水平（Fan, et al. 2006；张英

杰，霍焱 2010）和气候区（Bohne, Huang, Lohne 2016；Li, et al. 2018）对城市碳排放及低碳发展的影响，城市人口按《国务院关于调整城市规模划分标准的通知》进行划分，分为超大城市、特大城市、大城市、中等城市和小城市五类⁴；经济水平按世界银行的最新标准，依照人均国民总收入划分为中低收入城市、中高收入城市和高收入城市三类（World Bank 2021）；气候区采用国际通用的柯本气候分类法，根据城市的气温和降水将全球分为五个气候组，包括热带、干带、温暖带、冷温带和极地带⁵（Peel, Finlayson, McMahon 2007；Beck et al. 2018；李一曼，叶谦 2019）。结合中国59个城市在人口、经济和气候等方面的分布情况，进一步优化选取同中国城市人口数量接近、气候类型相似、经济水平相似的国际城市43个，进入评估样本的国内外城市共计102个（图2-1）。尽管入选的城市有102个，但受限于数据可用性因素，发展中国家城市涉及不多，并不能代表全球所有的城市。同时，在评估过程中，由于样本数据的因素，如统计口径差异，难免对结果造成一定的影响。

图 2-1 | 城市选择流程图



2.2 分析方法

2.2.1 指标体系建立

我们对低碳城市相关文献研究进行整理后发现，研究人员在构建评价指标体系时，通常有四种主要方法：一是选取与低碳信息直接相关的几个有代表性的指标，如单位GDP二氧化碳排放量、单位GDP能源消耗量、人均能源消耗量等。该方法虽然使评估过程简单快捷，但是仅仅几个指标难以做到以点带面，不符合低碳城市的综合性内涵。二是选取对城市碳源、碳汇影响较大的指标，如工业、交通、建筑、土地碳汇等方面指标。该方法虽突出了低碳这一概念，却忽略了低碳城市的发展离不开经济和社会等方面发展的特征。三是基于驱动力—压力—状态—影响—响应（Drivers—pressures—status—impacts—responses, DPSIR）模型，逐一分析从属于驱动力（主要包括经济活动和产业发展）、压力（包括资源能源消耗和环境污染排放等）、状态（表现为压力作用下城市生态系统和环境状态等方面的状况）、影响（指城市资源环境、社会经济和人类生活在上述作用下所受的影响）、响应（指社会问题解决人采取的对策）等五个层次的指标，以此来构建评价指标体系（朱婧等 2012; Zhou et al. 2015）。该模型虽然能很好地解释低碳城市发展的整个过程，但在指标归类时容易出现分类混淆。四是从经济、社会、环境等宏观层面，以城市的均衡发展为依据，选取能代表各个层面的指标来构建评价体系。该方法虽然操作起

来较为复杂，但却能从各个层面全面概括城市的低碳发展情况，符合低碳城市的内涵要求（张新莉 2017）。

总结发现，前两种方法仅仅关注碳排放结果相关指标，对因果关系和社会经济协同发展的指标关注不够。城市是一个系统，进行低碳城市研究时不能仅仅关注碳排放结果，还需要关注其驱动因素、来源、表现、影响、响应的全过程信息，以及与其相关的社会、经济、局地环境等可持续发展综合指标。

因此，为系统全面地表征城市的低碳发展程度，本研究采用第四种方法，基于“能源—经济—环境”系统准则，构建了包含低碳生产、低碳消费、低碳环境、低碳进程四个维度的评价指标体系，强调城市的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。在具体的指标选取上，本研究则结合文献计量法与实证分析法，基于四个维度的定义，通过梳理文献中“能源—经济—环境”系统准则下的高频指标，对比实证研究中多选用具有代表性的指标，综合考虑国际城市数据的可获得性、统计口径等问题，选取了具有可操作性的、高频次的二级指标共计11个。

■ 低碳生产

低碳生产是指将低碳发展的理念和模式整合到产品的整个生产活动，是决定一个城市经济发展方式的重要

因素,也是衡量城市低碳化发展水平和生产质量的首要标志。选取低碳生产作为一级指标,能够表征城市作为生产者,在产品生产过程中的低碳表现。低碳生产包括第三产业增加值占比、非化石能源占一次能源比重和第二产业碳生产力三个二级指标:第三产业增加值占比指标表征城市服务业发达程度,一般认为服务业比工业更加低碳,能够代表城市低碳生产水平;第二产业碳生产力指标是指第二产业中单位碳排放产生的经济价值,该指标越高,表示低碳生产能力越强;非化石能源占一次能源比重指标表征能源结构的清洁程度,该指标越高,表示生产过程的绿色低碳程度越强。

■ 低碳消费

低碳消费是指在产品或资源使用过程中采取的低碳行为,主要表现在两个方面:一是消费者在选择产品过程中倾向于选择对环境造成较少损害的商品或服务;二是消费者在满足自身基本需求的同时降低对环境密集型产品与能源密集型产品的需求,并形成公共交通出行、垃圾分类、节水节电等低碳生活方式。该指标能够衡量城市作为消费者,在资源消耗与产品使用过程中的低碳表现。低碳消费包括人均建筑二氧化碳排放量、人均地面交通二氧化碳排放量两个二级指标:人均建筑二氧化碳排放量指标衡量城市建设领域的低碳消费情况,表征城市建筑领域对资源和产品的平均消耗情况,可用于评估居民低碳生活方式情况;人均地面交通二氧化碳排放量指标反映城市绿色出行水平。

■ 低碳环境

低碳环境是指城市与自然、生态环境和谐共生的程度,表现在城市空气质量的优劣、森林覆盖率的高低、生物多样性保护程度的好坏等方面。该指标通过生态环境保护的表现,从侧面反映出一个城市低碳发展的程度。低碳环境包括绿化覆盖率和PM_{2.5}浓度两个二级指标:绿化覆盖率指标反映城市的碳汇能力和人与自然和谐共生的程度,PM_{2.5}浓度指标表示空气质量的好坏,从侧面反映城市绿色发展的水平。因生物多样性方面数据不易获得,故低碳环境指标中不考虑生物多样性方面指标。

■ 低碳进程

低碳进程是指城市推进低碳化发展措施的效果和表现,是一个动态的过程,强调城市低碳行为取得的一些进展。低碳进程包括人均GDP、低碳信息指数、GDP增速(5年平均)和单位GDP二氧化碳排放下降率(5年平均)四个二级指标:人均GDP是城市发展的根本动力,也反映一个城市整体的经济发展水平;低碳信息指数表征城市开展低碳工作的信息公开情况,也从侧面反映低碳相关工作的努力程度,低碳信息指数的计算以百度、谷歌搜索“城市名称+低碳+可持续”获

取信息数量的ln指数值为表征;GDP增速(5年平均)和单位GDP二氧化碳排放下降率(5年平均)指标则通过研究过去五年(中国“十三五”时期),城市在GDP和单位GDP二氧化碳排放量方面的变化情况,衡量城市低碳发展取得的成效。

2.2.2 指标权重

目前,常用的指标体系赋权方法可以分为主观赋权法和客观赋权法,但都存在一定局限性。主观赋权法通常针对无法量化的指标,通过专家打分法来定义权重,受个人影响较大。客观赋权法虽然可以避免人为因素带来的偏差,但有时会忽略指标本身的重要程度,导致权重失真(朱保昌 2019)。因此,本研究采用“主观”+“客观”相结合的方法计算指标的权重。其中,“主观”方法采用专家打分法,邀请行业内知名专家对本研究的指标按照重要程度(0~7分,7分为满分)一一进行打分;“客观”方法采用熵权法,利用熵值计算各个指标的权重,指标的信息熵值越小,意味着该指标能够提供的有用信息越多,其权重也相应会越大(Zou, Yun, Sun 2006)。熵权法作为一种常用的确定评价权重的方法,对数据要求较其他客观方法而言相对较低,因而广泛用于城市评价工作领域(Azizalrahman, Hasyimi 2018;王威,闫晓丽 2022)。同时,熵权法还可以为每个指标设立标准值,以此衡量各个城市的低碳表现(Wang et al. 2015)。这种“主观”与“客观”相结合的方法确保了指标权重的权威性和科学性。但也需要注意,由于城市在不同指标的表现上差距较大,尽管我们采取了“主观”与“客观”相结合的方法确定权重,但针对数据离散度较高的指标采用熵权法往往会赋予较高的权重,容易高估某些城市的低碳表现;一些重要的低碳指标的数据离散程度低,其影响很可能被低估,造成城市低碳评价结果的误差。

具体计算方法如下:

(1) 指标标准值设立。指标体系建立后,我们为每个二级指标设定一个标准值来评估城市的低碳表现,若城市满足了所有标准值,可认为城市的低碳表现优异。指标标准值应足够高,如果太低,很可能会削弱在该指标表现优秀的城市继续提高低碳水平的动力;但标准值又不能设立得过高,否则将难以区分低碳表现优秀和一般的城市(Zhou et al. 2015)。参照相关研究(Tan et al. 2017; Zhou et al. 2015)设立标准值的原则,结合本研究的城市数据离散程度,本研究各二级指标的标准值选取原则如下: I) 首先采用国际组织制定的标准值,例如,PM_{2.5}浓度指标采用世界卫生组织《全球空气质量准则》IT4标准。II) 若是没有国际组织制定的标准值,则优先采用已有规划或政策目标,如非化石能源占一次能源比重指标以欧洲2030年可再生能源占比目标为标准值,单位GDP二氧化碳排放下降率以中国“十三五”时期单位GDP二氧化碳排放下降目标为基准。III) 若没有找到已有规划或政策

目标,则优先采用评价指标体系中表现最好的城市的最佳实践,例如,低碳信息指数指标采用表现最佳的伦敦的数据为标准值。若国际最佳实践不太符合中国城市实际,则采用中国表现最好的城市实践,例如,俄罗斯伊尔库茨克绿化覆盖率高达86%,但不符合中国城市实际情况,因此绿化覆盖率指标以2020年中国绿化覆盖率最高的城市秦皇岛为标准值。不过,有些指标因数据离散程度太高,采用最佳实践会导致标准值设立过高,难以区分低碳表现优秀和一般的城市。在这种情况下,标准值可基于表现较好的城市的实践来设立,正向标准值通常在数据组的90%分位数左右,逆向标准值在数据组的10%分位数左右,例如,第二产业碳生产力指标(正向)以2020年第二产业碳生产力较高的中国南通为标准值,位于数据组的90%分位数。IV)经济发展相关指标考虑各国城市发展水平的参差,以发达国家平均水平为标准值。详细的指标标准值及选取依据如表2-1所示。

(2) 数据标准化。在计算城市的得分时,本研究首先将所有的指标数值进行0~1区间的数值标准化,并按照正向指标和逆向指标进行区分。针对正向指标,指标值越大意味着城市在这方面表现越优,若一个城市的指标值大于等于标准值,则认为该城市在该项指标的表现优异,数值标准化后得分为满分(即为1);针对逆向指标,指标值越小意味着城市在

这方面表现越优,若一个城市的指标值小于等于标准值,则认为该城市在该项指标的得分为满分(即为1)。其规范化处理如下(杨艳芳 2012):

$$\text{正向指标: } I_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij} - \min x_i}{z_i - \min x_i}, & x_{ij} < z_i \\ 1, & x_{ij} \geq z_i \end{cases} \quad (\text{I})$$

$$\text{逆向指标: } I_{ij} = \begin{cases} 1 - \frac{x_{ij} - z_i}{\max x_i - z_i}, & x_{ij} > z_i \\ 1, & x_{ij} \leq z_i \end{cases} \quad (\text{II})$$

其中, I_{ij} 为城市 j 第 i 项指标的得分, x_{ij} 为指标的原始数据,即城市 j 的第 i 项指标值; $\max x_i$ 为第 i 个指标在所有 j 个城市中的数据最大值; $\min x_i$ 为第 i 个指标在所有 j 个城市中的数据最小值; z_i 为第 i 个指标的标准值。 I_{ij} 越大,表示第 j 个城市的第 i 个评价指标表现越优; I_{ij} 越小,表示第 j 个城市的第 i 个评价指标表现越差。

(3) 计算第 j 个城市第 i 项指标在所有城市中的权重:

$$Y_{ij} = \frac{I_{ij}}{\sum_{j=1}^m I_{ij}} \quad (\text{III})$$

其中, Y_{ij} 为第 j 个城市第 i 项指标在所有城市中的权重, m 为待评估城市数量,本研究为102。

表 2-1 | 城市低碳发展评价指标及标准值

一级指标及权重 ⁶	二级指标及权重	单位	指标方向	指标标准值	参考数据来源
低碳生产 (0.272)	第三产业增加值占比 (0.061)	%	正向	65.00	以发达国家第三产业增加值平均占比为基准
	第二产业碳生产力 (0.113)	万元/吨	正向	6.44	以2020年第二产业碳生产力较高城市中国南通为基准 (90%分位数)
	非化石能源占一次能源比重 (0.097)	%	正向	45.00	以欧洲2030年可再生能源占比目标为基准
低碳消费 (0.247)	人均建筑二氧化碳排放量 (0.093)	吨/人	逆向	0.39	以2020年人均建筑二氧化碳排放量较低的中国珠海为基准 (10%分位数)
	人均地面交通二氧化碳排放量 (0.154)	吨/人	逆向	0.26	以2020年人均地面交通二氧化碳排放量较低的城市成都为基准 (10%分位数)
低碳环境 (0.231)	绿化覆盖率 (0.129)	%	正向	60.00	以2020年中国绿化覆盖率最高城市秦皇岛为基准
	PM _{2.5} 浓度 (0.102)	微克/立方米	逆向	10.00	以2021年世界卫生组织 (WHO) 《全球空气质量导则》IT4标准为基准
低碳进程 (0.25)	低碳信息指数 (0.050)	—	正向	36.17	以数值最高的伦敦为基准
	人均GDP (0.098)	万元	正向	17.20	以2020年发达国家人均GDP为基准
	GDP增速 (5年平均) (0.044)	%	正向	3.60	以2020年所有国家中GDP最高增速为基准
	单位GDP二氧化碳排放下降率 (5年平均) (0.058)	%	正向	4.00	以中国“十三五”时期单位GDP二氧化碳排放下降目标为基准

(4) 计算第*i*项指标的信息熵值:

$$H_i = -k \sum_{j=1}^m Y_{ij} \cdot \ln(Y_{ij}) \quad (IV)$$

其中, H_i 为第*i*项指标的信息熵值, $0 \leq H_i \leq 1$ 。 $k > 0$, \ln 为自然对数, $k=1/\ln m$ 。由于采用线性插值的标准化方法, 为避免出现 $\ln 0$ 的情况, 将标准化后的0值替代为0.00001进行计算。

(5) 计算第*i*项指标的客观权重值:

$$W_{i-客} = \frac{1-H_i}{\sum_{i=1}^n (1-H_i)} \quad (V)$$

其中, $W_{i-客}$ 为第*i*项指标的客观权重值。

(6) 低碳生产、低碳消费、低碳环境和低碳进程4个一级指标采用主观法确定权重, 二级第*i*项指标的最终权重值计算为:

$$W_i = \frac{1}{2} (W_{i-主} + W_{i-客}) \quad (VI)$$

其中, W_i 为第*i*项指标的最终权重值。

基于城市在不同指标表现的数值 I_{ij} , 再乘以指标*i*的权重 W_i , 即可计算得出城市*j*在指标*i*的得分。最后将城市*j*在所有指标的得分相加, 即求出城市*j*的最终得分。

2.3 数据来源

本研究指标数据包含国内数据和国际数据, 主要年份为2020年, 部分低碳进程指标也用到2015年数据进行变化率计算。如果某城市2020年数据实在无法获得, 会采用上一级数据估算或是以最新可获取的数据进行替代。其中, 国内城市数据主要来源于《中国统计年鉴2020》(国家统计局 2021)、《中国城市统计年鉴2020》(国家统计局城市社会经济调查司 2021)、《中国城市建设统计年鉴2020》(住房和城乡建设部 2021)、《中国能源统计年鉴2020》(国家统计局能源统计司 2021)以及相关学者研究报告(Cai, et al. 2022; Zhang, et al. 2022)等。国际城市数据主要来源于各国家和城市的官方数据, 包括人口普查数据、统计年鉴和政府网站数据等, 国际上广受认可的数据库, 如世界银行数据库(World Bank 2022)、国际能源署(IEA 2022)、经合组织统计库(OECD 2022)、欧盟统计局(Eurostat 2022)等, 以及相关机构的研究和数据, 如碳监测(Carbon Monitor)(Huo et al. 2022)、世界资源研究所(World Resources Institute 2022)、IQAir(IQAir 2022)等。

2.4 研究局限性

需要指出的是, 尽管本研究已经尽量覆盖了全球不同发展类型和发展阶段的城市, 包括一些发展中国家城市, 并试图尽可能地综合、全面评价城市低碳发展水平, 但考虑到城市低碳发展的复杂性和多面性, 本研究仍然存在一些局限性, 其他研究机构可以在未来的研究中进一步深化。

- (1) **研究范围有限:** 受限于数据可用性及时间和人力等因素, 研究只评估了全球102个城市, 尽管我们已经尽量囊括巴西、南非、印度等其他发展中国家城市, 但由于数据可获得性的原因, 国际城市更多以发达国家城市为主, 发展中国家城市涉及不多, 并不能代表全球所有的城市。
- (2) **评价维度的局限性:** 受国内数据和国际数据统计口径及数据可获得性的影响, 本研究在选取评价指标时存在一定的局限, 对于综合、全面评价城市低碳发展水平而言可能还有所欠缺。例如, 森林覆盖率指标能够更好地表征城市的碳汇能力, 但国际城市核算的范围仅为城区部分, 与中国以行政边界为划分依据的口径不同, 在综合对比了森林覆盖率和绿化覆盖率的数据质量后, 本研究选择了绿化覆盖率作为评价指标。
- (3) **数据可用性:** 研究依赖于数据可用性, 在评估过程中, 由于样本数据的因素, 如统计口径差异, 难免对结果造成一定的影响。
- (4) **不同年份数据的可比性:** 为确保本次评价指标权重的权威性和科学性, 本研究采取了专家打分法(“主观”)与熵权法(“客观”)相结合的方法确定权重。但需要指出的是, 熵权法所采用的标准化赋分会导致不同年份间的城市得分无法直接进行对比, 只能将城市排名的变化作为城市低碳进展的依据。未来若要进行不同年度的城市低碳发展评价也可以更有针对性地进行设计。
- (5) **不同气候对评估结果的影响:** 已有研究(Bohne, Huang, Lohne 2016; Li, et al. 2018)和本次的评价结果均显示, 城市低碳发展评价结果受地域气候影响较大, 在不去除不同地区气候影响的情况下, 可能无法准确反映城市在低碳领域的真实对比。然而, 除了气候(特别是温度)会对城市能源消耗产生影响外, 城市的社会经济情况(如人口、人均GDP、经济增长趋势等), 甚至国家和地方的传统、文化及风俗都会对城市的能源消耗产生影响(Bohne, Huang and Lohne, 2016)。由于我们目前掌握的城市数据无法支撑刨去其他变量后, 不同温度带平均值的计算, 只能单独用一小节来描述不同气候区的城市在不同低碳发展指标下的表现。



永和

永和

蓝牌

P

THE BLIND PIG

第三章

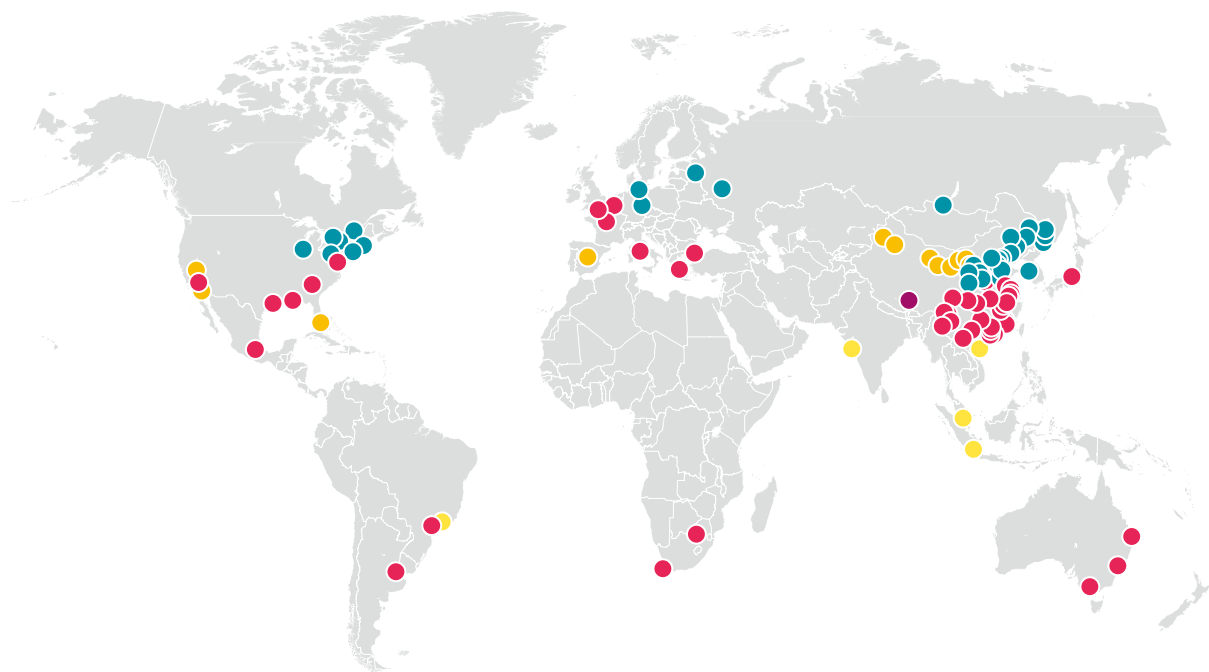
评价结果

基于已构建的城市低碳发展评价指标体系，本研究对102个国内外城市低碳发展水平进行评估，所选城市如图3-1所示，并按照不同的分类方法对比分析了城市的排名情况，结果将在本章进行详细介绍。所有

102个城市的具体得分和排名，以及低碳生产、低碳消费、低碳环境和低碳进程四个指标类型的得分情况，会在WRI联合多家机构共同搭建的“城市气候圈”平台（Citysphere.net）上同步展示。

图 3-1 | 评估的国内外102个城市分布情况

气候区 ● 热带 ● 干带 ● 温暖带 ● 冷温带 ● 极地带



专栏1 | “城市气候圈”平台简介

“城市气候圈”(Citysphere.net)是一个综合展示与评估全球城市的气候目标、政策、低碳进展的可视化平台,由世界资源研究所中国办公室联合多家机构合作开发,致力于推动城市实现气候雄心,加速城市低碳转型。该平台涵盖了全球上千个城市,通过城市气候观察、城市低碳发展评估和城市气候政策覆盖度评估等功能,促进城市气候领域实践和经验的分享。

通过“城市气候圈”平台,使用者可以:

- 深入了解城市的低碳发展现状和碳中和目标设置情况;
- 追踪城市的低碳进展和气候政策变化,进行横向和纵向比较;
- 分析城市的问题,特别是在低碳发展方面存在的挑战;

- 参考其他城市的最佳实践,制定具体有效的计划和政策。

特别对于要应对气候变化的相关地方政府部门官员和研究学者,平台可以进一步助力:

- 相关地方政府部门官员可以通过城市低碳发展评估、气候政策覆盖度评估,以及与同行城市进行比较等版块,确定城市在低碳发展和气候政策方面的优势和劣势,参考学习优秀城市的先进经验,从而增强城市的气候雄心,制定具体有效的计划和政策;
- 研究人员可以利用平台的城市气候观察、城市低碳发展评估和城市气候政策覆盖度评估等功能来识别政策研究的领域和差距,寻找强有力的城市层面的数据进行分析,以支持低碳城市转型,助力城市气候行动。

3.1 中国城市的低碳发展已经取得积极进展

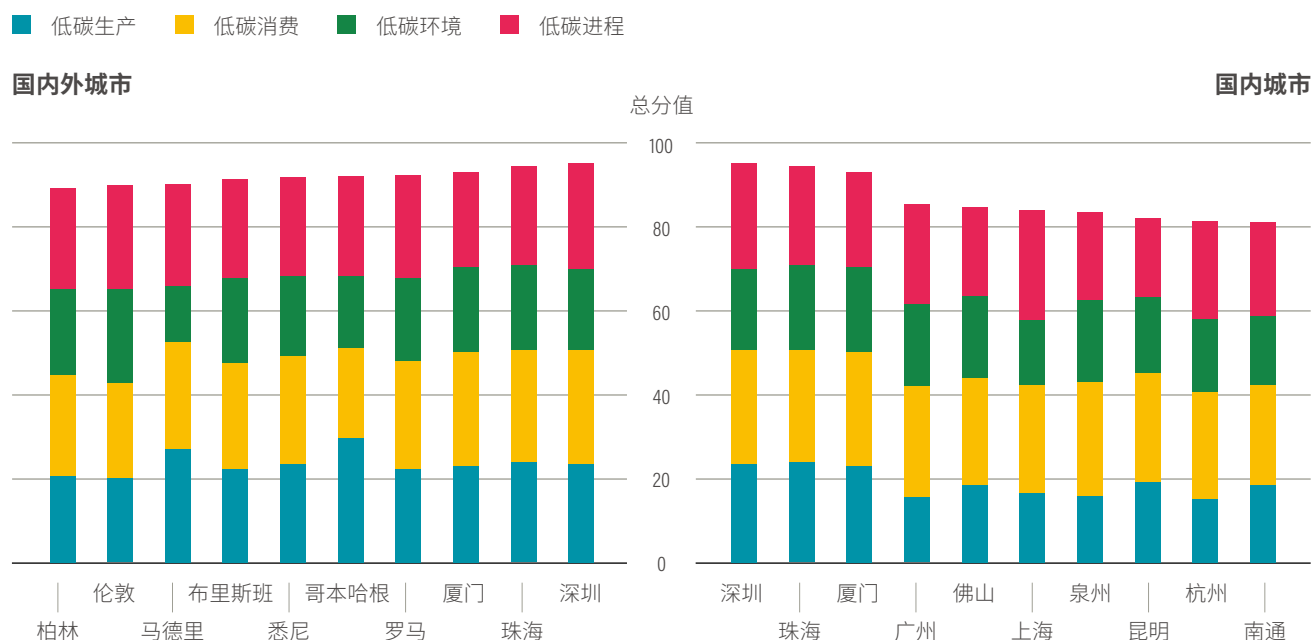
从国内外城市整体排名来看(表3-1和图3-2),排名前十的城市分别是深圳、珠海、厦门、罗马、哥本哈根、悉尼、布里斯班、马德里、伦敦和柏林。尽管国际城市数量居多,

但中国城市位居前三,其中深圳表现最优,排名第1位,这意味着中国城市的低碳发展已经取得积极进展。中国城市排名前十的分别是深圳、珠海、厦门、广州、佛山、上海、泉州、昆明、杭州和南通。排名前十的城市中,除了珠海、佛山、泉州、南通以外,均是国家低碳试点城市,可以发现,经过多年建设和努力,国家低碳试点城市政策取得较好的效果。

表 3-1 | 国内外城市及中国城市低碳发展整体排名

国内外城市排名		中国城市排名		
名次	城市	名次	城市	国际排名
1	深圳	1	深圳	1
2	珠海	2	珠海	2
3	厦门	3	厦门	3
4	罗马	4	广州	12
5	哥本哈根	5	佛山	13
6	悉尼	6	上海	14
7	布里斯班	7	泉州	15
8	马德里	8	昆明	16
9	伦敦	9	杭州	17
10	柏林	10	南通	18

图 3-2 | 国内外城市及中国城市整体得分情况



3.2 中国城市在低碳消费方面表现更为出色

表3-2和图3-3展现了低碳生产、低碳消费、低碳环境和低碳进程等不同指标类型中分别排名前十的城市情况，每个

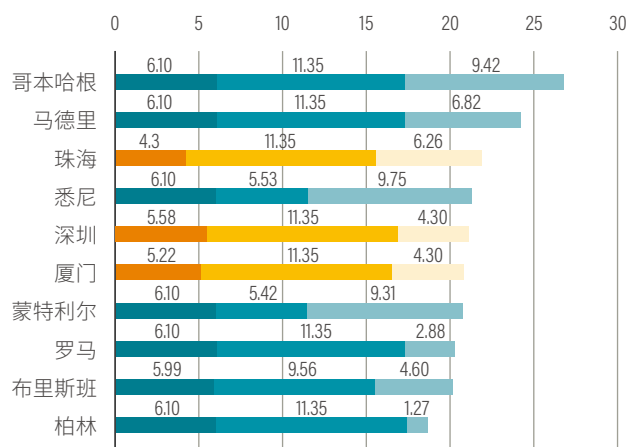
类型均有中国城市跻身前十，但数量有所不同。可以发现，中国城市在低碳消费方面进入前十的数量较多，意味着中国城市在形成绿色低碳的生活方式和消费模式方面，取得了不错的成效，但在低碳生产、低碳环境和低碳进程方面还需进一步提高。

表 3-2 | 国内外城市按指标类型排名

名次	指标类型			
	低碳生产	低碳消费	低碳环境	低碳进程
1	哥本哈根	厦门	伊尔库茨克	北京
2	马德里	雅加达	东京	新加坡
3	珠海	圣保罗	莫斯科	上海
4	悉尼	深圳	亚特兰大	首尔
5	深圳	伊斯坦布尔	伦敦	巴黎
6	厦门	墨西哥城	新加坡	深圳
7	蒙特利尔	开普敦	圣地亚哥	墨尔本
8	罗马	南宁	三亚	纽约
9	布里斯班	成都	三明	克拉玛依
10	柏林	许昌	黄山	新奥尔良

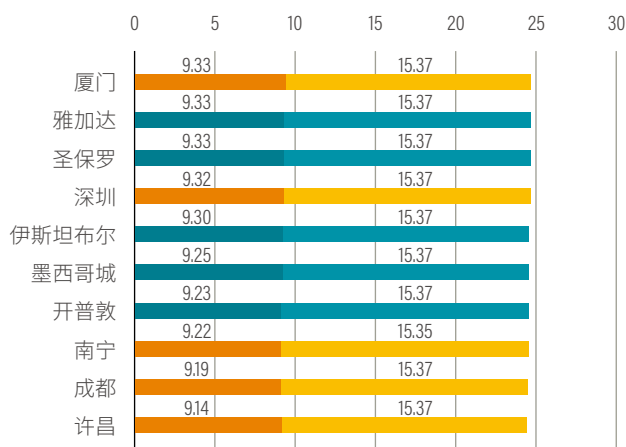
图 3-3 | 国内外城市不同指标类型排名前十得分情况

a. 低碳生产



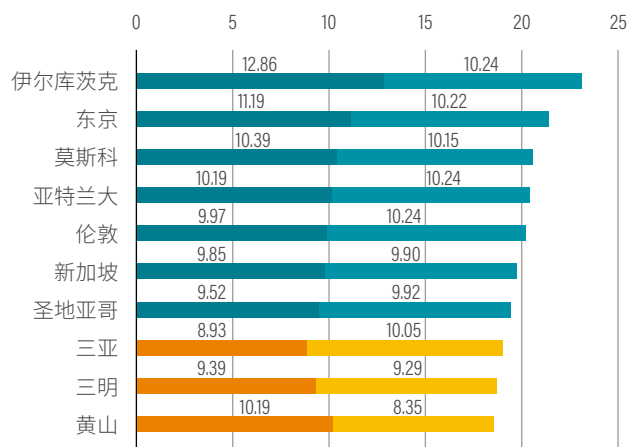
中国
 第三产业增加值占比
 第二产业碳生产力
 非化石能源占一次能源比重
 国际
 第三产业增加值占比
 第二产业碳生产力
 非化石能源占一次能源比重

b. 低碳消费



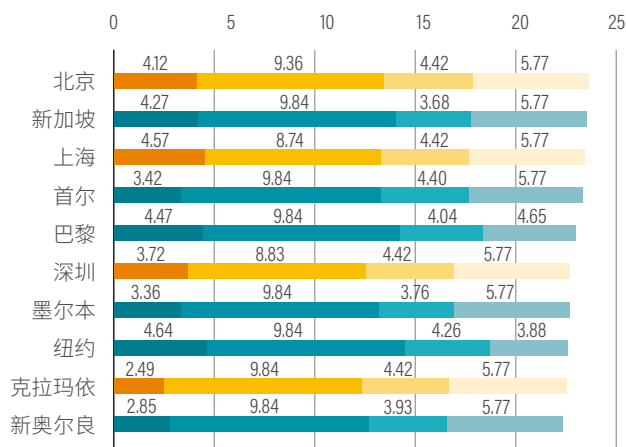
中国
 人均建筑二氧化碳排放量
 人均地面交通二氧化碳排放量
 国际
 人均建筑二氧化碳排放量
 人均地面交通二氧化碳排放量

c. 低碳环境



中国
 绿化覆盖率
 PM_{2.5}浓度
 国际
 绿化覆盖率
 PM_{2.5}浓度

d. 低碳进程



中国
 低碳信息指数
 人均GDP
 GDP增速(5年平均)
 单位GDP二氧化碳排放下降率(5年平均)
 国际
 低碳信息指数
 人均GDP
 GDP增速(5年平均)
 单位GDP二氧化碳排放下降率(5年平均)

低碳生产指标中，排名前十的城市分别是哥本哈根、马德里、珠海、悉尼、深圳、厦门、蒙特利尔、罗马、布里斯班和柏林（图3-4），中国有三个城市入榜，珠海、深圳和厦门分别位居第3位、第5和第6位。中国城市中，低碳生产指标排名前十的分别是珠海、深圳、厦门、成都、昆明、拉萨、佛山、南通、上海和泉州，大部分位于南方地区。由此可以看出，中国城市低碳生产方面整体水平仍有较大提升空间，特别是中国北方城市的低碳生产水平亟待提高。

低碳消费指标中，排名前十的城市分别是厦门、雅加达、圣保罗、深圳、伊斯坦布尔、墨西哥城、开普敦、南宁、成都和许昌（图3-5），中国有5个城市入选。中国城市排名前十的分别是厦门、深圳、南宁、成都、许昌、海口、丽江、泉州、郑州和莆田。研究发现，中国城市在形成绿色低碳的生活方式和消费模式方面，取得了不错的成效，全球排名前30%的城市中有三分之二来自中国，占比高达57%，特别是在居民绿色出行方面表现较为优秀。

图 3-4 | 低碳生产指标排名前十城市分布情况

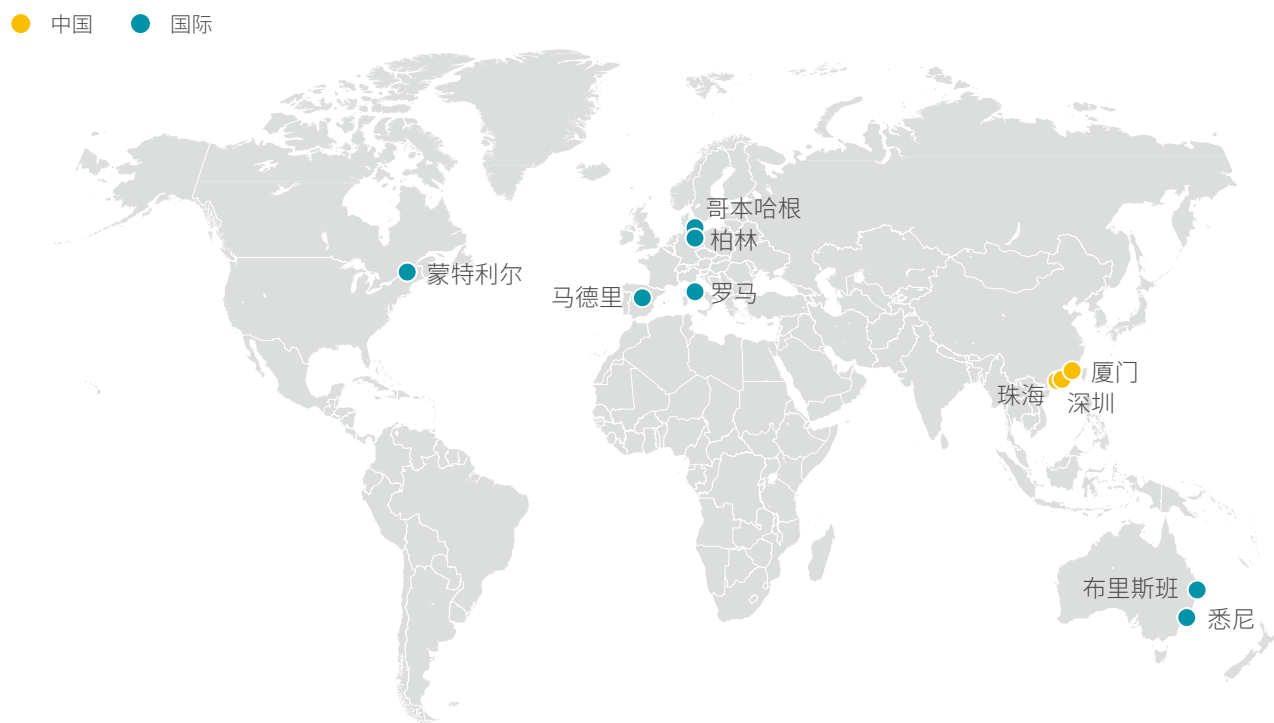


图 3-5 | 低碳消费指标排名前十城市分布情况



低碳环境指标中，排名前十的城市分别是伊尔库茨克、东京、莫斯科、亚特兰大、伦敦、新加坡、圣地亚哥、三亚、三明和黄山(图3-6)，中国有3个城市入选。中国城市排名前十的分别是三亚、三明、黄山、厦门、丽江、珠海、海口、泉州、深圳和佛山，大部分位于东南沿海地区。研究发现，全球排名前30%的城市中有17个城市来自中国，占比高达57%，可以看出中国城市在环境治理方面已经取得一些成绩。但具体指标来看，多数中国城市在PM_{2.5}浓度指标上表现不佳，未来还需要继续在改善空气质量方面下大力气。

低碳进程指标中，排名前十的城市分别是北京、新加坡、上海、首尔、巴黎、深圳、墨尔本、纽约、克拉玛依和新奥尔良(图3-7)，其中北京和上海排名国际前三。可以看出，中国部分城市在“十三五”期间在低碳发展方面进步显著，但人均GDP水平偏低导致中国其他城市处于相对弱势位置，未来还有进步的空间。中国城市排名前十的分别是北京、上海、深圳、克拉玛依、南京、苏州、广州、珠海、杭州和武汉，得分较高的城市大多数分布于南方，与城市的经济发展水平呈现一定的正相关性，未来国家应重点关注西部、北部等欠发达地区城市的发展，加快绿色转型进程，提高城市的低碳进程表现水平。

图 3-6 | 低碳环境指标排名前十城市分布情况

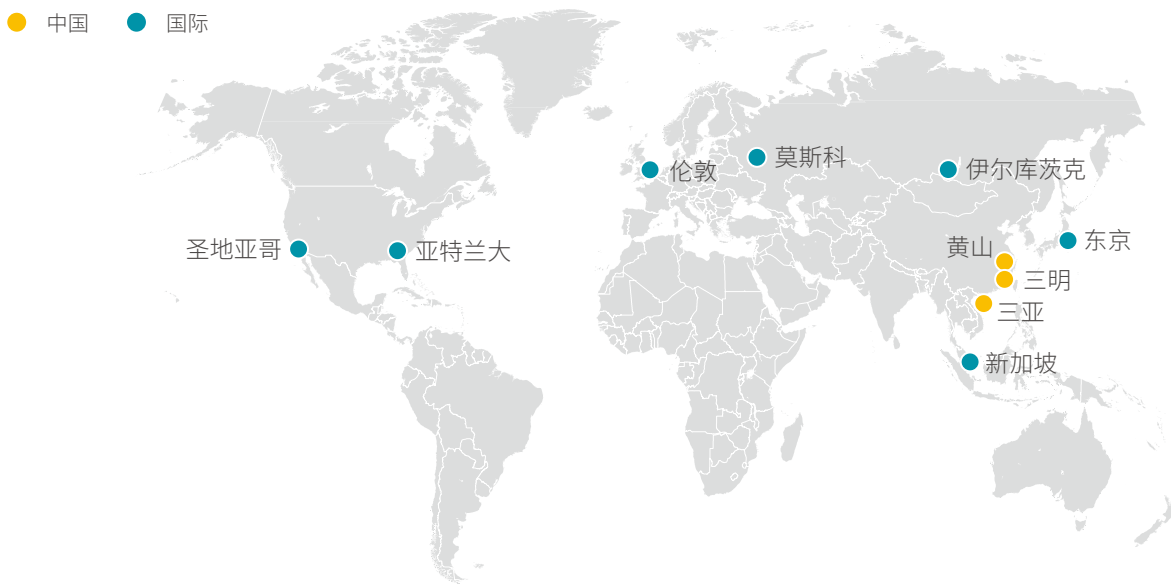


图 3-7 | 低碳进程指标排名前十城市分布情况



3.3 低碳先锋城市多位于温暖带和冷温带地区

考虑到气候会通过影响城市的能源效率、能源结构、城市规划、设施建设、建筑碳排放、交通碳排放和城市环境等影响城市低碳发展(黄艳雁,冯时 2016),如前所述,本研究采用柯本气候分类法将研究城市分为五个气候区(热带、干带、温暖带、冷温带和极地带),其中热带7个城市,干带11个城市,温暖带48个城市,冷温带35个城市,极地带1个。

不同气候类型的城市的低碳城市建设整体排名如表3-3所示。其中,总分平均值由高到低分别是温暖带城市、热带城市、干带城市和冷温带城市,冷温带城市和干带城市相差很小,极地带城市只有拉萨一个,不参与和其他气候区的城市做比较(图3-8)。其中温暖带和冷温带由于气候适宜,城市优先发展,发达城市相对集中,涌现不少低碳先锋城市,排名前25%的城市大部分位于这两个气候区(温暖带城市19个和冷温带城市4个)。

横向从各气候区分类来看,不同气候区的城市在低碳生产、低碳消费、低碳环境和低碳进程四个分类指标下的表现也呈现异质性。如图3-9所示,低碳生产类别中,平均值由高到低分别是温暖带城市、热带城市、干带城市和冷温带城市。干带和冷温带城市的平均表现较差,主要是因为干带和冷温带的中国城市基本是资源型城市(克拉玛依、唐山、鄂尔多斯、吕梁、四平),能耗大,第二产业碳生产力和可再生能源利用率皆低,整体低碳生产表现不佳。低碳消费类别中,热带城市分值高,其次是温暖带和冷温带城市,干带城市评分最低。低碳环境类别中,不同气候带间城市平均分差距较小,热带和冷温带城市分值略低。这也进一步说明城市空气质量的好坏($PM_{2.5}$ 浓度表征)、绿色化程度的高低(绿化覆盖率表征)与所处的气候环境关系不大。低碳进程类别中,温暖带城市得分最高。一方面,这得益于温暖带地区发达城市居多,人均GDP较高;另一方面,发达城市低碳意识较强,已率先开展低碳转型,低碳进程表现较好。

表 3-3 | 国内外城市按气候类型排名

名次	热带	干带	温暖带	冷温带
1	新加坡	马德里	深圳	哥本哈根
2	三亚	圣地亚哥	珠海	柏林
3	海口	榆林	厦门	北京
4	里约热内卢	乌鲁木齐	罗马	伊尔库茨克
5	雅加达	嘉峪关	悉尼	匹兹堡
6	迈阿密	武威	布里斯班	波士顿
7	孟买	弗雷斯诺	伦敦	纽约
8	—	张掖	广州	西安
9	—	乌海	佛山	郑州
10	—	克拉玛依	上海	盘锦

图 3-8 | 分气候区城市分值分布情况

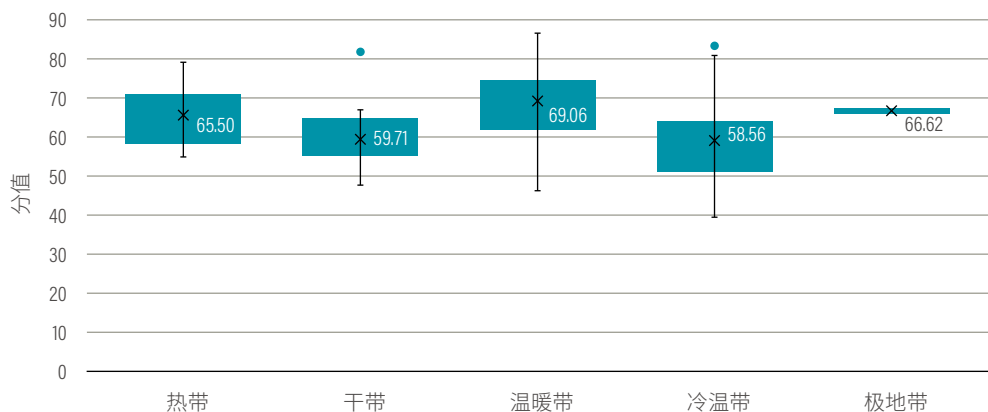
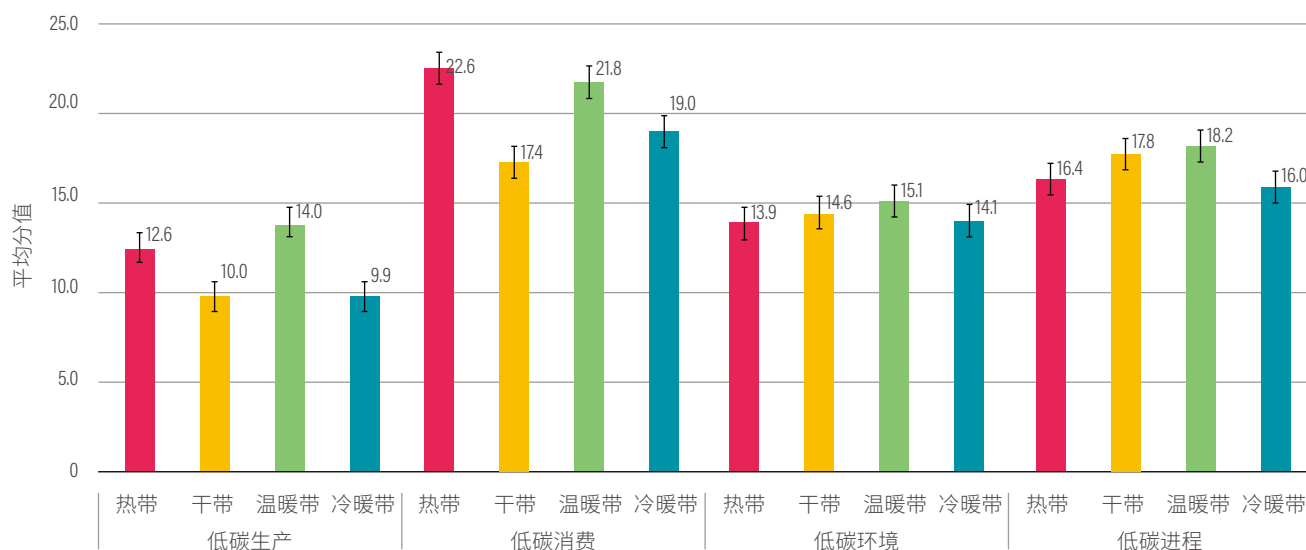


图 3-9 | 城市分气候区平均分值情况



3.4 服务型城市整体低碳表现更为优秀

按照各城市产业结构对城市进行分类，其中72个城市第三产业增加值占比较高，在本研究中归属于服务型城市（含超大型城市）；20个城市第二产业增加值占比较高，属于工业型城市；10个城市第一产业增加值占比较高，属于农业型城市。表3-4展示了不同城市类型下评价总分排行前十的城市。其中，如图3-10所示，总分平均值由高到低分别是

服务型城市、工业型城市和农业型城市，服务型城市得分远高于其他两个类型城市，反映了城市的产业升级对于低碳发展的正面影响。

同时，不同类型的城市在低碳生产、低碳消费、低碳环境和低碳进程四个分类指标下的表现也呈现异质性。如图3-11所示，低碳生产类别排名由高到低分别是服务型城市、工业型城市和农业型城市，服务型城市分值远高于其他两类城市，主要原因是服务型城市自身产业结构以三产

表 3-4 | 国内外城市按城市类型排名

名次	城市类型		
	服务型	工业型	农业型
1	深圳	佛山	临沧
2	珠海	泉州	武威
3	厦门	伊尔库茨克	张掖
4	罗马	莆田	双鸭山
5	哥本哈根	鹰潭	伊春
6	悉尼	三明	鸡西
7	布里斯班	榆林	白城
8	马德里	盘锦	佳木斯
9	伦敦	攀枝花	河内
10	柏林	许昌	四平

图 3-10 | 不同类型城市分值分布情况

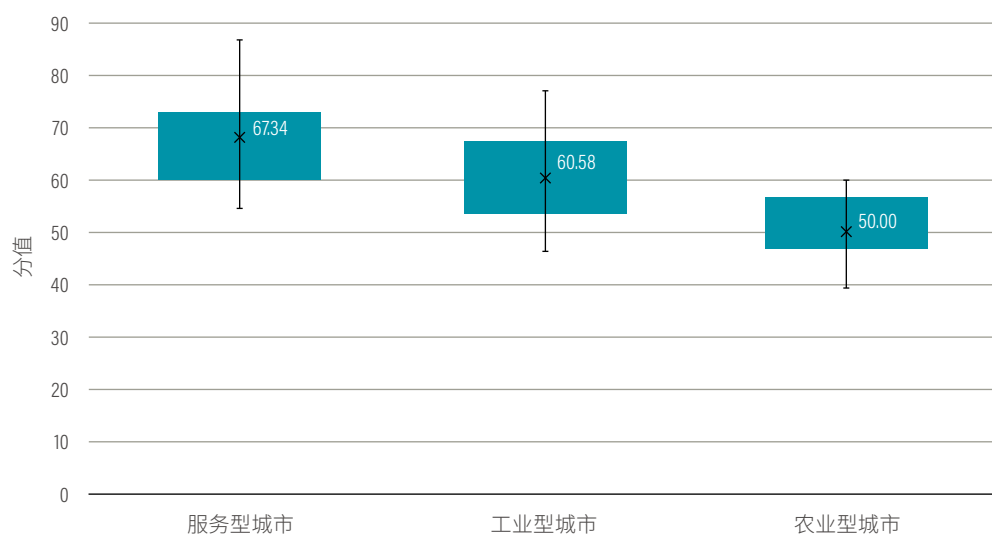
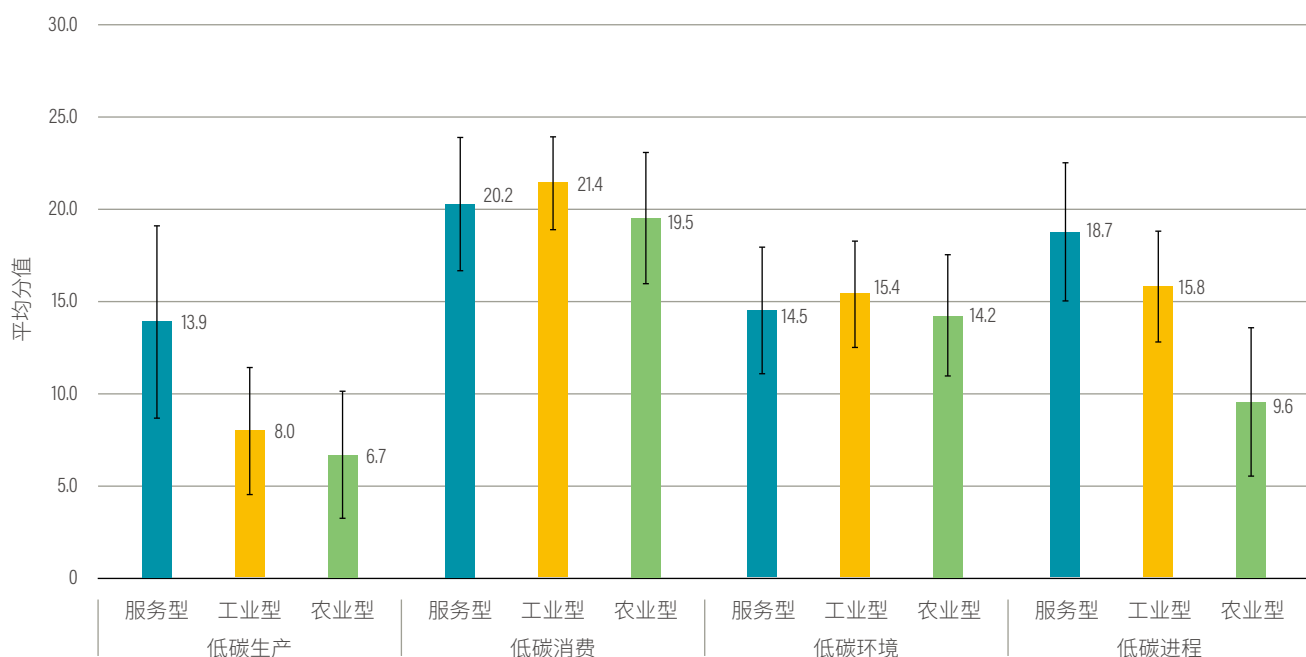


图 3-11 | 城市分类型平均分值得情况



为主，第二产业碳生产力和绿色能源占比均较高。低碳消费和低碳环境类别中三个类型城市的得分差距均不大，工业型城市略高一点，其次是服务型城市和农业型城市。低碳进程类别排名由高到低分别是服务型城市、工业型城市和农业型城市，其中农业型城市得分仅为服务型城市得分的一半，说明农业型城市低碳转型的推动力远远不够，低碳转型进程缓慢。



上海市第一食品商店
First Foodhall

上海市第一百货商店
SHANGHAI NO.1 DEPARTMENT STORE

世界

百味

百味

東

百味

百味

COMI

第四章

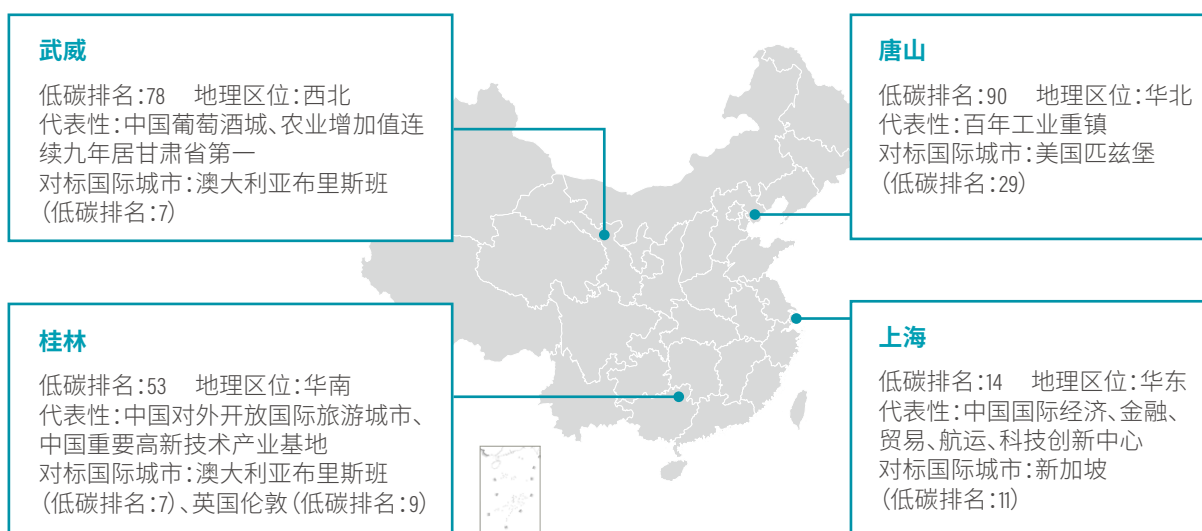
案例分析

尽管城市的低碳发展在不同指标类型、不同气候区、不同城市类别等维度表现出一定的相似性和差异性，但要指导中国城市实现碳中和目标，仅做这些比较是远远不够的。只有深入了解每种类型城市的特点，深入挖掘低碳发展的潜能，才能更好地规划城市碳中和路径。为促进中国城市低碳发展，本研究进一步按照不同城市类型（超大型、服务型、工业型和农业型）分别选取典型中国城市进行深入分析，根据案例城市在低碳生产、低碳消费、低碳环境和低碳进程方面的表现，结合低碳发展评价结果对标本研究范围内的国际最佳案例，找寻适合城市自身发展特征的低碳发展方向和路径。其中，超大型城

市虽属于服务型城市，但由于其特殊的社会经济地位，本研究将其单列为一种城市类型进行专门的案例分析。

在选取国内城市案例时，主要考虑城市的低碳排名、地理区位和代表性等因素，尽量选取排名中等或偏下的城市，明确其在城市低碳发展过程中遇到的挑战和问题，国际对标案例的选择则根据国内城市的类型、人口经济和产业结构、所属气候区、发展路径，以及在低碳生产、低碳消费、低碳环境和低碳进程四个领域的表现等方面进行挑选（图4-1），以匹配合适、可以参考的国际发展经验，以便能够更好地为同类型城市提供借

图 4-1 | 案例城市选取标准



鉴。其中，由于国际城市数据可获得性较差的原因，工业型城市和农业型城市未能找到适合的同类型国际对标城市。考虑到借鉴国际经验的目的是为了推动国内城市的低碳发展，从这个角度出发，选择了曾经是工业型城市、顺利进行低碳经济转型的美国匹兹堡和曾经是农业型城市、具有富饶农业资源的澳大利亚布里斯班分别作为工业型城市和农业型城市的国际案例进行分析借鉴。

4.1 以上海为代表的超大型城市应加大在生产和消费方面的低碳投入，起引领带头作用

超大型城市由于其独特的政治、经济地位，是中国未来发展的领航者和风向标，在中国提出双碳目标和二十大“降碳减污扩绿增长”目标背景下，超大型城市如何绿色低碳转型意义重大，但同时也由于巨大的人口、交通、居住压力，任何变动对社会影响较大，给转型带来一定挑战。

上海是中国典型的超大型城市，区位优势明显，气候温和湿润，属于温暖带气候区。绝佳的地理位置以及怡人的气候使上海独具魅力。一方面，上海人口众多，经济总量全国领先，2020年全市常住人口超过2489.4万人，GDP总量达到38701亿元。另一方面，上海也是中国全社会用电量最高的城市，2020年用电量达到1726亿千瓦时。高人口数量和高用电量使上海成为仅次于唐山（全国工业重镇）的中国第二大二氧化碳排放城市，2020年二氧化碳排放总量达到24399万吨。作为中国的经济、金融、贸易、航运中心，以及国家低碳试点城市，上海走低碳发展之路对于推动中国新兴城市低碳高质量发展、助力国家实现碳达峰碳中和目标具有重要意义。

从评价指标总体情况来看，上海在所有城市中排名前15%，处于中等偏上水平，在中国城市中排名第6位，总体表现良好，但仍有进步空间。从分类指标来看，上海在低碳进程方面表现最好，排名第3，低碳生产和消费方面表现一般，位于中游（前50%），低碳环境方面表现不佳，排名后50%，中等偏后，亟待改善与提升。

在低碳生产方面，上海三次产业结构相对合理，以第三产业为主，第三产业增加值占比与发达国家城市如日本东京、加拿大多伦多等比例相近，第一二产业增加值占比较少，因此调整三产结构对促进上海低碳减排作用有限。上海低碳生产表现一般的主要原因还是第二产业碳生产力相对落后，上海第二产业碳生产力排名在前50%，不如珠海、厦门和深圳等国内城市，与哥本哈根、马德里、伦敦、巴黎、悉尼等国际大都市相距甚远，最高可相差2倍以上。究其原因，上海仍有不少高耗能、高排放产业，如钢铁、石油和精细化工、汽车制造等。因此，上海若要提高低碳生产水平，需要调

整第二产业内部结构，减少对高耗能产业的依赖，大力发展高、精、尖等高附加值新兴产业，提高城市第二产业碳生产力。同时，非化石能源占比方面，上海非化石能源占一次能源比重为18%，排名前25%~50%，与表现优秀的国内、国际城市（如昆明、成都、悉尼、哥本哈根等）仍有不小差距。2020年上海的煤炭消费仍占能源消费总量的32%，必须进一步发展可再生能源。上海可以考虑因地制宜发展海上风力发电，扩大光伏在建筑物屋顶的应用，加速非化石能源替代应用，持续优化能源结构。

在低碳消费方面，上海人均地面交通二氧化碳排放表现中上，排名前25%，人均建筑二氧化碳排放表现较差，排名后25%。上海的人口规模给城市基础设施的建设和运行带来巨大压力，并由此导致建筑碳排放的增长。建筑碳排放的减少一方面需要从规划入手，将绿色低碳规划设计理念贯彻至国土空间规划与建设全过程，严格管控高能耗建筑建设；另一方面，针对存量人口带来的住房、垃圾等压力，大力发展建筑物节能改造，加大宣传力度，提高居民节能环保意识，开展节水节电环保行动，开展无废城市建设，不断挖掘城市低碳发展潜力，助力城市低碳发展。

在低碳环境方面，上海绿化覆盖率表现一般，排名前50%~75%，绿色空间有待进一步完善。在这方面，新加坡的做法值得上海学习，在高人口密度和城市地域有限的情况下，依然能够保持高绿化覆盖率（46.5%）。新加坡的城市设计从一开始就融入了可持续发展的理念，将绿色融入城市的发展进程中，与自然和谐共生。“清洁和绿色新加坡”（Clean and Green Singapore, CGS）运动持续近20年，绿色屋顶、层叠的垂直花园、翠绿的墙壁在新加坡随处可见。此外，新加坡实施了“绿色新加坡2050”（Green Singapore 2050, GS2050）计划，为年轻人提供平台用于展望未来，尤其是关注环境与气候变化问题并提出解决方案。上海同样可以在建筑物或基础设施设计阶段，把绿色元素作为基础性或约束性指标，提早谋划；针对已建建筑或基础设施，实施绿色化改造，不断提高绿色底蕴。在空气质量方面，经过多年的治理，尽管上海的生态环境已大幅改善，2020年PM_{2.5}浓度降至32μg/m³，但仍远远不够，与世界卫生组织（WHO）最新的《全球空气质量导则》（Global air quality guideline 2021）IT4标准中规定的对人体健康风险较小的PM_{2.5}浓度应低于10μg/m³还有很大差距。为持续降低空气污染，上海一方面需要继续加大末端减污力度，另一方面需制定和实施减污降碳协同方案，从源头治理环境问题。

在低碳进程方面，上海表现优秀，排名前三，尤其在GDP增速（5年平均）和单位GDP二氧化碳排放下降率（5年平均）两个方面表现很好。人均GDP虽全国领先，但仍未达到发达国家平均水平（2.5万美元，约合17.2万元），未来还需要加快经济建设脚步。

4.2 以桂林为代表的服务型城市应结合地方资源禀赋, 升级优化产业结构, 发展适合的低碳经济模式



第三产业较第一、第二产业而言碳生产力更高, 服务型城市因其第三产业增加值占比已占主流, 与工业型、农业型城市相比, 具备低碳转型的天然优势。但是中国很多服务型城市刚发展起来, 仍面临产业结构不优、第三产业(特别是生产性服务业)发展偏慢等问题。在中国“双碳”和“降碳减污扩绿增长”目标的背景下, 服务型城市如何积极推动城市和经济高质量低碳发展, 发挥低碳转型的先锋引领作用, 意义重大。

服务型城市选取桂林作为代表, 因其是服务型城市推动低碳发展的典型城市之一。桂林是广西壮族自治区省域副中心城市。桂林山水秀丽, 气候温和, 属于温暖带气候区, 是国务院批复的对外开放国际旅游城市、全国旅游创新发展先行区和国际旅游综合交通枢纽。2020年, 桂林服务业增加值占比54.4%, 在新冠肺炎疫情影响下全年旅游收入仍超过千亿元, 达到1256.54亿元。作为目标锚定世界级旅游城市, 以及第二批国家低碳试点城市, 桂林正在探索坚持生态优先, 以发展旅游产业为抓手、推动经济高质量发展的特色发展之路。因此, 桂林在城市低碳发展中遇到的挑战和问题, 以及可以参考的国际发展经验, 能够为其他服务型城市提供借鉴。

在本研究的低碳发展评价中, 桂林在所有城市中排名前50%~75%, 位于中间偏后位置, 说明桂林在城市低碳发展方面仍有很大的进步空间。

桂林在低碳生产领域表现不佳, 在所有城市中排名前50%~75%。虽然桂林在发展非化石能源方面表现较好: 2020年, 桂林清洁能源发电占比达到66.47%, 非化石能源消费比重在所有城市中排名前25%, 处于相对领先水平。然而, 桂林面临产业结构不够优化、工业化进程滞后且能耗高、第三产业(特别是生产性服务业)发展偏慢, 以及科教、生态等优势资源没有很好地转化为经济发展优势等挑战(桂林市人民政府2021), 在低碳生产的其他两个指标第三产业增加值占比和第二产业碳生产力(万元/吨)方面表现欠佳, 特别是第二产业碳生产力更是排名后25%, 与英国伦敦、澳大利亚布里斯班等世界级旅游城市相比(第二产业碳生产力均排名前15%), 还有较大的发展空间。桂林可以向伦敦和布里斯班学习, 以打造世界级旅游城市为契机, 结合地方资源禀赋, 优化产业结构, 加快旅游业、现代服务业和战略性新兴产业创新发展, 提升碳生产力。

低碳消费方面桂林表现一般, 人均建筑和地面交通二氧化碳排放量均排名前25~50%。鉴于良好的交通系统是旅

游型城市低碳发展的重要环节, 也有助于城市和企业繁荣发展, 桂林可以参考布里斯班的交通规划(Brisbane City Council 2018), 以以人为本、可达、可持续、高效为原则, 和土地利用规划相结合, 基于游客和本地居民出行需求, 完善绿色交通基础设施, 建设一体化、高质量的公共交通网络, 提供安全、平等、负担得起和方便的交通选择, 并确保交通网络的设计和运营对环境 and 气候变化的影响最小化, 如推动车辆电动化。

桂林在低碳环境方面表现中上, 在所有城市中排名前25%~50%。作为全国绿化模范城市, 桂林绿化覆盖率为41.24%, 达到《城市园林绿化评价标准》中的一级评价标准要求和国家生态园林城市标准要求。不过, 对于目标是世界级山水旅游名城的桂林而言, 生态建设可进一步加强。例如, 桂林可向伦敦学习(绿化覆盖率47%, 排名前10%), 将绿色基础设施政策纳入相关城市战略和规划中, 并建立具有成本效益的监测框架及相应自然环境数据的收集和管理机制, 搭建绿色基础设施专项地图(Green Infrastructure Focus Map), 帮助决策者识别绿色基础设施改善空间, 减少或制止对绿色空间造成损失的城市开发, 同时积极探索创新的投融资渠道, 与开发商、建筑师和景观设计师等利益相关方合作, 推动在城市开发和城市更新项目中将绿色基础设施和建成环境相结合, 如屋顶花园、城市农场、垂直绿化等, 提升绿色空间可达性(Greater London Authority 2018)。空气质量方面, 桂林近几年大力推进大气污染防治工作, 成效明显, 2020年PM_{2.5}浓度平均为29μg/m³, 比2019年下降14.7%, 实现连续六年下降。尽管如此, 桂林的空气质量与WHO建议的IT4标准(10μg/m³)仍有较大差距。桂林的空气污染来源主要包括施工扬尘、工业废气和机动车尾气等方面, 可以考虑进一步采取减污降碳的协同措施。

作为仍在建设发展的城市, 桂林在低碳进程方面表现不佳(排名前50%~75%), 主要是因为人均GDP低(排名后20%), 以及城市对低碳关注水平不足(低碳信息指数排名前50%~75%)。前面的指标随着桂林的产业结构优化、产业振兴和经济高质量发展, 能够得以提升, 这里主要关注低碳信息指数指标。英国伦敦、美国纽约和洛杉矶、法国巴黎、日本东京、意大利罗马和澳大利亚悉尼等世界级旅游城市都在以身作则, 积极采取气候行动, 设立城市碳中和目标, 推动城市低

碳发展，其中，英国伦敦更是于2021年将原先2050年的净零目标提前至2030年，即2030年实现净零排放。桂林作为首批国家绿色旅游示范基地、国家生态文明先行示范区、全国水生态文明建设试点城市和国家级低碳城市试点城市，应该向这些世界级旅游城市学习，结合城市实际情况，设定积极的气候行动目标和方案，从宏观政策层面推动城市低碳发展。

4.3 以唐山为代表的工业型城市应利用经济发展的上行周期动力进行绿色产业转型

工业型城市的发展过程中短时间内聚集大量资本、劳动力和生产要素，形成高度依赖资源、能源结构和产业结构偏重的发展路径。工业型城市的成功转型往往难度较大，一方面需要摆脱长期对传统工业和资源的路径依赖，另一方面需要寻找替代产业弥补传统工业退出造成的就业、税收、产业空心化。在二十大“减污降碳扩绿增长”的背景下，绿色低碳是工业型城市转型的重要机遇，在中国宏观战略与城市转型发展的共振下，工业型城市有望找到成功转型的中国路径。

唐山是中国近代工业的摇篮，因煤而建、因钢而兴，是一座典型的资源型城市。新中国成立以后，唐山以其深厚的工业基础逐渐形成钢铁、水泥、化工等主导产业，是中国重要的能源和原材料基地。同时，唐山也面临资源依赖弊端显现、经济结构性矛盾比较突出、开放型经济竞争力偏低、产能过剩、污染严重等问题。为跳出传统工业城市资源枯竭、产业变迁、经济衰退的诅咒陷阱，推动低碳绿色发展转型是必经之路。

从指标总体来看，唐山在所有城市中排名后15%，在中国城市中排名后10%，排名均靠后，分类指标排名中低碳消费和低碳进程排名稍好，低碳生产和低碳环境排名靠后。总体而言，唐山低碳发展水平现状有待提高。

在低碳生产方面，唐山在所有城市中排名后10%，具有较大的上升空间和潜力。唐山非化石能源占一次能源比重为7%，排名靠后（后20%），说明其经济发展方式以资源消耗为主，对于煤炭等化石燃料依赖程度较高，第三产业增加值占比较低，仅38.6%（排名后15%），第二产业碳生产力也不足（排名后5%）。

在低碳消费方面，唐山表现稍好，在所有城市中排名前25~50%。其中，人均建筑二氧化碳排放量排名前50%，人均地面交通二氧化碳排放量排名前25~50%，说明唐山作为全国绿色出行创建达标城市，在推动市民绿色出行方面取得了一些成绩。

在低碳环境方面，唐山在所有城市中排名后25%，处于偏后的位置，未来仍需要努力提高。唐山绿化覆盖率达到42.3%（排名前25%~50%），PM_{2.5}浓度49μg/m³（排名后10%），可以看出在低碳环境方面唐山2个指标水平差异也较大，绿化覆盖率表征唐山绿化水平，总体水平良好，而表征空气质量的PM_{2.5}浓度排名倒数，是唐山低碳环境方面未来建设的重点。

在低碳进程方面，唐山在所有城市中排名前50%~75%，仍有较大的上升空间和潜力。其中，唐山在GDP增速（5年平均）方面表现较好（排名前25%），2015~2020年间平均GDP增速达5%，可以看出唐山仍保持较高的GDP增速，但经济发展的绿色低碳属性欠佳，单位GDP二氧化碳排放量仍呈现上升趋势，相关指标得分排名前50%~75%。因此，如何利用好经济发展的上行周期动力进行绿色发展转型，是唐山未来低碳发展需要重点关注和考虑的。

可以看出，与上海和桂林不同，作为工业型城市，唐山要想整体提高低碳发展水平，核心问题是产业转型。这方面，与唐山相似的美国匹兹堡和英国曼彻斯特等西方重工业城市转型路径可以为唐山所借鉴。匹兹堡煤炭存量丰富，是美国著名的钢铁工业基地。1982年，匹兹堡抓住宾夕法尼亚州建立先进技术中心的契机，在城内建立匹兹堡先进技术中心，为初创企业和科技企业提供了技术支持和骨干力量，为绿色经济转型奠定坚实基础。而曼彻斯特与唐山的相似之处在于都是基于制造业发展的工业城市，同时又兼具港口城市的特点，转型港口城市也是唐山未来重要的战略方向之一。曼彻斯特利用科教资源、港口资源等禀赋优势，以及大曼彻斯特经济区内中心城市的区位优势，将提振新兴产业作为转型发展主引擎，推动以工业为主导的经济形态向以服务经济、新经济为主的经济形态转变，积极承接伦敦外溢的金融、科技、新媒体、创意等服务行业，使自身成长为仅次于伦敦的全英第二大金融中心和第二大科技中心。因此，唐山想要培育新兴产业，摆脱对工业的依赖，一方面需要积极推动传统产业迭代升级，提升高耗能、高排放产业的绿色程度，另一方面需要依托教育提升劳动要素的边际产出并辅以政策、资金、技术支持，逐步形成新兴产业体系。



4.4 以武威为代表的农业型城市应在深化第一产业链的同时,积极促进第三产业的发展

农业是中国国民经济的基础,农业的低碳发展是中国乡村振兴的重要途径,在中国“双碳”目标和“降碳减污扩绿增长”目标的背景下,农业型城市由于产业结构不合理,存在农产品深加工不足,产品附加值较低等问题,低碳发展能力仍须进一步提升。

武威农业发达,属于干带气候区,是甘肃省的商品粮基地之一,第一产业增加值占比30.6%,远高于国家平均水平,是典型的农业型城市。相比于国内其他的农业型城市,武威在促进第一产业低碳发展的同时,具有发展第三产业的潜在优势,如历史文化底蕴丰富,被评为“中国优秀旅游城市”、“中国葡萄酒城”等,因此,在本部分以武威为农业型城市案例进行讨论。

从指标的总分排名来看,武威排名后25%,处于偏后水平。从不同指标类型来看,武威在低碳消费、低碳生产和低碳环境方面表现一般(排名前50%~75%),低碳进程方面表现最差(排名后20%),意味着武威需要在低碳进程方面多下功夫,探索合适的发展路径。

从低碳生产方面来看,武威在第三产业增加值方面排名50~75%,第二产业碳生产力指标方面排名后20%,意味着武威现有经济结构下每吨碳产生的经济效益低于其他多数城市。产业结构方面,武威为“三一二”结构,但第三产业占比仅53.1%,远低于相同产业结构的国际城市,说明武威若发展低碳城市,产业结构仍有调整空间,重点是在深化第一产业链的同时,积极促进第三产业的发展。在这方面,武威可以参考澳大利亚布里斯班的发展路径。作为澳大利亚昆士兰州自然资源和农业资源最富饶的城市,布里斯班是澳大利亚种植业和畜牧业主要的生产和出口地,农牧产品(如甘蔗)产业链发展成熟,农产品附加值得到提升,市场化程度高,并能出口到国际市场,具备很强的市场竞争力。不仅如此,布里斯班的第一产业还和第二、第三产业融合发展,形成了独具特色的农业生态旅游产品(王德卿 2020),且在农业旅游的基础上增加独具新意的创新,如葡萄酒主题旅游、农场休闲旅游以及特色主题旅游等。武威可以参考布里斯班的经验,在“中国葡萄酒城”基础上,设置葡萄采摘、葡萄酒厂品酒和酿酒等将葡萄酒与旅游相结合的体验式专项旅游。除葡萄产业外,武威畜牧业发展迅速,可以考虑建立休闲农场,供旅游者参观农场的日常活动,如剪羊毛、挤牛奶等。

从低碳消费方面来看,武威人均建筑二氧化碳排放量排名前25~50%,人均地面交通二氧化碳排放量排名前50



~75%。武威人均地面交通二氧化碳排放量表现不佳,主要是因为其公共交通系统建设还不够完善。2020年,武威每万人拥有公交车数量为2.75辆,远低于同类型(第一产业占比较高,为36.2%)的国际城市河内,也低于伊春、双鸭山等国内农业型城市。发达的公共交通体系不仅可以降低城市碳排放,还可以促进区域经济的发展。武威需要通过优化交通布局结构,提高交通枢纽建设的连通性水平,促进经济发展,全面提高立体化交通通达能力。

从低碳环境方面来看,武威2020年绿化覆盖率为36.41%,在干带城市中处于中下水平,距离其他干带城市如克拉玛依(43.7%)、乌海(43%)、西安(41.5%)等还有一些差距。 $PM_{2.5}$ 浓度为 $35\mu g/m^3$,与同类型的城市白城($18\mu g/m^3$)和伊春($21\mu g/m^3$)相比尚有差距,与布里斯班($6.7\mu g/m^3$)、墨尔本($8.3\mu g/m^3$)、悉尼($7.2\mu g/m^3$)等国际城市则差距较大。未来,武威在促进城市低碳发展的同时,需增加城市绿化面积,创新政策措施,优化治理路线,推动减污降碳协同增效,促进低碳环境发展。

从低碳进程方面来看,武威2020年GDP增速(5年平均)为2.74%,人均GDP值为3.59万元,略高于伊春(3.31万元/人)、白城(3.17万元/人)、四平(2.9万元/人),仍低于张掖(4.13万元/人)、双鸭山(4.04万元/人)等其他农业型城市,与第一产业占比较高的河内(6.35万元/人)相比,相差近1倍,经济发展水平较低,未来仍需努力提高经济发展水平。

“十三五”期间,武威的单位GDP二氧化碳排放量已开始略微下降,在评估城市中处于中等水平。未来,武威可以利用自身的自然地理条件,大力发展光能、风能等清洁能源,进一步降低二氧化碳的排放量。



第五章

结论与建议

本研究构建了全球首个能够针对国内外多城市低碳发展评价的指标体系，并应用于国内外102个城市。结果表明中国城市在低碳发展方面取得积极进展，全球排名前十的城市中前三位均为中国城市（深圳、珠海和厦门），中国城市排名第十位的南通市在国内外城市整体排名第18位。

从具体指标类型来看，中国城市在低碳消费方面进入前十的数量较多，整体表现较好，但在低碳生产、低碳环境和低碳进程方面还需进一步提高。从气候类型来看，四个分类指标下不同气候区城市的表现呈现异质性，其中温暖带和冷温带低碳发展先锋城市更多，排名前25%的城市大部分位于这两个气候区。从城市类型来看，服务型城市在低碳发展方面远远领先于工业型城市和农业型城市，特别是在低碳生产和低碳进程两个方面，反映了城市的产业升级对于低碳发展的正面影响；农业型城市整体表现欠佳，低碳转型的推动力不足，低碳转型进程缓慢；工业型城市则需要生产方面更加努力，积极探索绿色产业转型的道路。后续我们也将继续收集监测城市数据情况，根据数据可获得性的进展更新评价指标，以期更好地对国内外城市的低碳发展进展进行评估，将这套城市低碳发展指标体系转化成长期机制，助力国内外城市低碳发展和气候目标的实现。所有的城市数据和后续评价结果的更新都会在“城市气候圈”平台展示，让使用者可以追踪城市的低碳进展和气候政策变化，识别城市在低碳发展和气候政策方面的优势和劣势，并与同行城市进行比较，参考学习优秀城市的最佳实践，以制定具体有效的计划和政策。

结合国内外城市低碳发展案例和评价数据对比分析，不同类型的中国城市因为资源禀赋、产业结构、经济发展水平等不同，应采取不同的发展路径，因地制宜地实现城市和经济的绿色低碳高质量发展，本研究进一步提出有针对性的低碳发展政策建议。

5.1 超大型城市应从低碳发展规划、产业内部结构优化和能源结构调整三方面推进绿色低碳高质量发展

中国超大型城市由于特殊的政治、经济地位而具有强大的虹吸效应，通过人力、资本的不断涌入，带动经济突飞猛进发展。自改革开放以来，这种效应已持续了40余年，中国超大型城市早已步入成熟阶段，进入到稳固提质的发展状态。由于过度的虹吸效应，部分非主流功能造成城市人口密集，给交通和住房带来极大压力。在“双碳”目标背景下，超大型城市地方政府及相关职能部门更应该顺势而为，积极谋划，走绿色低碳高质量发展之路。本研究政策建议如下：

一、做好低碳发展规划并倡导绿色消费。超大型城市的人口规模会给城市交通和建筑等生活基础设施的建设和运行带来巨大压力，并由此导致温室气体排放增长。因此，建议超大型城市市级政府，以及发改、规自、住建等职能部门，一方面做好相关低碳发展规划，合理规划产业布局，有序引导人才引进，为城市低碳

发展谋好局；另一方面，针对存量人口带来的交通、住房、生活垃圾等压力，大力发展绿色低碳交通和建筑物节能改造，加大宣传力度，提高居民节能环保意识，开展节水节电环保行动，开展无废城市建设，不断挖掘城市低碳发展潜力，助力城市低碳发展。

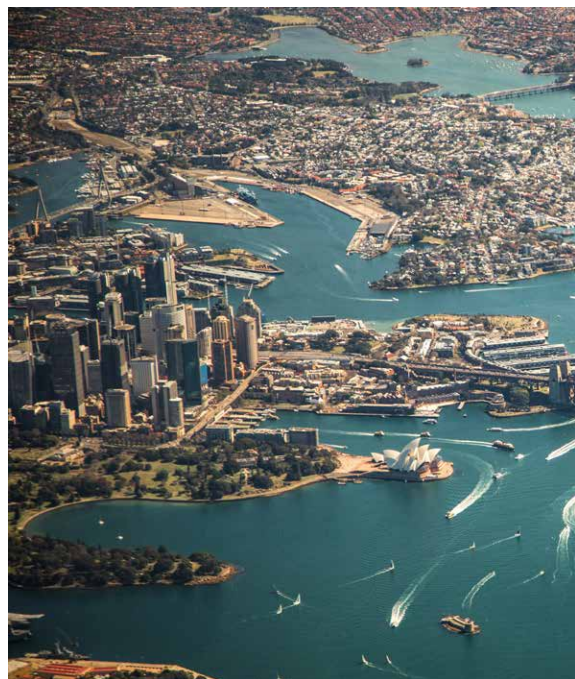
二、优化、调整产业内部结构。北京、上海等超大型城市已进入后工业化时期、现代服务业占据主导地位（第三产业增加值达到50%以上），但仍保留一定程度的第二产业。在第二产业内，由于城市的经济水平和资源条件不同，战略性新兴产业和高端制造业（如节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车等产业）比传统的高耗能制造业和能源密集型工业更加清洁。因此，地方政府，及经信、发改、科技、生环等职能部门，通过技术和管理措施调整第二产业内部结构同样至关重要。尤其像上海仍然保有上海申能星火等多家燃煤电厂，以及钢铁厂、化工厂等高耗能产业，导致上海全社会用电量和二氧化碳排放量异常突出，未来仍需要朝着高附加值、低能耗的新兴产业和高端制造业方向发展。

三、持续推进能源结构调整。中国“富煤少油贫气且可再生能源丰富”的资源禀赋虽然决定了当前煤炭在能源利用中占据突出地位，但也意味着中国具备构建以新能源为主体的新型电力体系的潜力。对于相对于相对发达的超大型城市（2020年上海煤炭消费占一次能源比重为32%）来说，在面临空气污染威胁人体健康的背景下，持续减少煤炭消费量，实现能源清洁低碳替代，依然是城市低碳发展的重要途径。一方面，目前，北京、上海等超大型城市主城区内基本全部禁煤，并在全市域范围内持续推进煤炭的减量

替代。按照《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》要求，“十四五”期间，京津冀及周边地区、长三角地区煤炭消费量分别下降10%、5%左右，汾渭平原煤炭消费量实现负增长。市级政府，及发改、经信和生环等职能部门，应持续出台相关政策，确保能源安全的同时，降低煤炭的使用量。另一方面，尽管中国超大型城市已经提出非化石能源消费比重目标（如上海到2025年将达到20%），但与国际先进水平相比，差距依然较大（悉尼、哥本哈根和蒙特利尔等城市的非化石能源消费占比远高于40%），同时面对经济发展带来的能耗增加压力，市级政府应联合发改、经信、规自、住建、交通、生环等部门，大力发展可再生能源技术，因地制宜发展风、光、水、核、氢等新能源，提高非化石能源消费占比。

5.2 服务型城市应因地制宜，制定气候行动目标和方案，发展适合的低碳经济模式，以积极推动城市和经济高质量低碳发展

总体而言，因为产业结构的关系，服务型城市在低碳建设方面的表现要优于工业型城市和农业型城市，特别是在低碳生产和低碳发展方面。在“双碳”目标背景下，服务型城市应发挥先锋带头作用，引领其他城市实现低碳转型。从桂林的案例可以看出，很多中国服务型城市尽管已经在绿色低碳发展方面取得了积极进展，但和国际其他城市相比仍有不小的差距。桂林的案例对于中国其他服务型城市而言具有启发和借鉴意义，鉴于桂林的经验，我们建议服务型城市政府可采取以下措施，积极推动城市和经济高质量低碳发展：



一、基于城市自身特征，制定科学、积极的气候行动目标和方案。服务型城市因其产业结构优势，在推动城市低碳发展方面比工业型等城市具备天然优势，因此地方市级政府更应以身作则，联合发改、自规、生环、经信、住建、交通等各职能部门，设定科学、积极的“双碳”目标和整体规划，完善顶层设计，从宏观政策层面统筹推进能源结构优化、产业结构升级、减污降碳协同、生态碳汇增加等措施，引导城市低碳发展。

二、结合地方资源禀赋，升级优化产业结构，发展适合的低碳经济模式。地方市级政府，以及经信、发改、人社等职能部门，应明确地方优势资源，升级优化产业结构，推动将资源优势转化为发展优势，同时组织开展绿色低碳产业相关的能力建设和技能培训，使城市具备促进相关产业增长所需的支持和工具，推动产业加快创新发展，提升碳生产力，增强城市竞争力。旅游资源丰富的城市市级政府，可以连同文旅、科技等部门，通过整合旅游资源和结合不同游客群体的需求，鼓励多样化、独特的旅游产品和环境友好的旅游基础设施的投资与开发，提升旅游服务品质和景区公共服务设施的质量，并引入数字化技术完善不同游客群体的旅游体验，推动低碳旅游业发展。

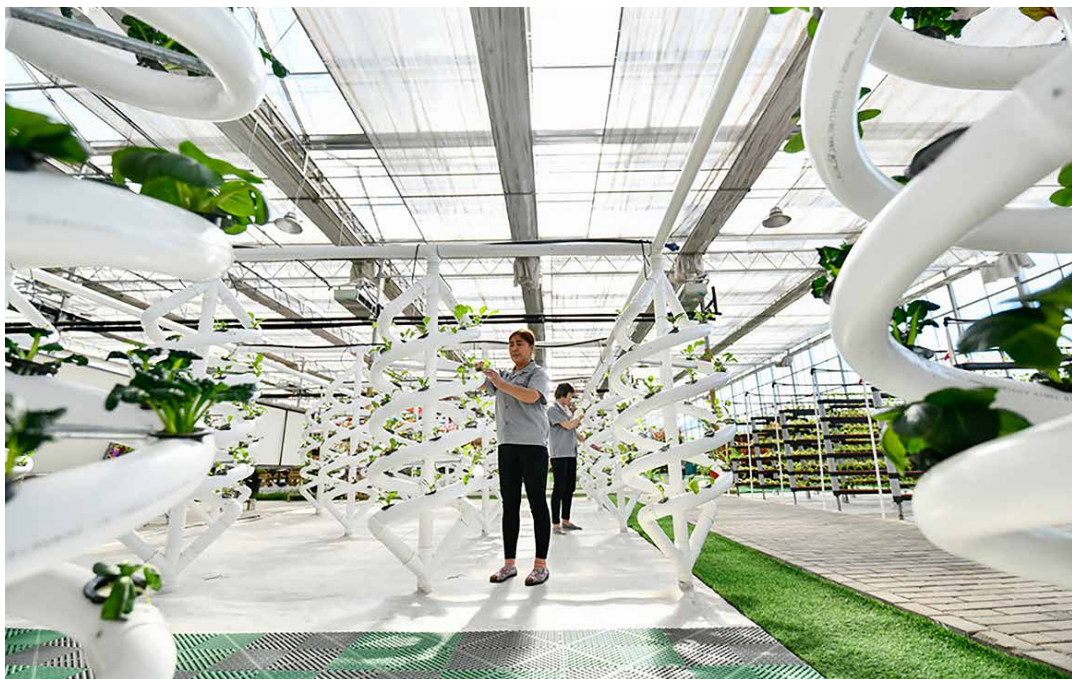
三、将城市交通和土地利用规划相结合，在满足市民和游客出行需求的基础上，确保交通网络最小化对环境和气候变化的影响。顺畅的城市交通网络是保持城市高效生产力的基础，尤其是对于以第三产业为基础的服务型城市而言。建议城市市级政府，协调自规、交通、住建等部门，将城市交通和土地利用规划相结合，以以人为本、可达、可持续、高效为原则，基于市民和游客的出行需求，完善绿色交通基础设施，

建设一体化、高质量的公共交通网络，提供安全、平等、负担得起和方便的交通选择，并确保交通网络的设计和运营最小化对环境和气候变化的影响，如推动车辆电动化。

四、加强城市生态环境建设，提升城市品质。营造良好的城市人居环境有助于吸引优势资源，从而进一步推动城市和经济高质量低碳发展。城市市级政府可以联合自规、市政、园林绿化、科技等部门，通过将绿色基础设施政策纳入相关城市战略和规划中，并建立具有成本效益的监测框架，收集和管理相应自然环境数据，以减少或制止对绿色空间造成损失的城市开发。同时建议城市市级政府，联合经信、发改、自规、住建、人行、金融监管、银保监局、证监局等部门，积极探索创新的投融资渠道，与开发商、建筑师和景观设计师等利益相关方合作，推动在城市开发和城市更新项目中将绿色基础设施和建成环境相结合，如屋顶花园、城市农场、垂直绿化等，提升绿色空间可达性。此外，考虑到中国城市空气质量和WHO标准仍有一定的距离，建议城市市级政府及生环部门，可以结合主要的空气污染来源，进一步采取减污降碳的协同措施。

5.3 工业型城市可以通过数字化手段提升“两高”行业绿色化程度，并增加智力投资，推进绿色产业转型

工业城市往往具有资源型城市的一面，其崛起也依赖优质廉价化石燃料的可获得性。工业城市转型的核心是经济转型，而经济转型的根本是产业转型。一般来说，国内产



业转型模式包括三个类别，一是替代型，即完全舍弃传统产业，实现彻底转型；二是延伸型，即进一步深化原有产业模式，实现纵深一体化或产业集群化的发展目标转型；三是混合型，即一种兼顾原有产业的延伸转型与培育新产业的混合型发展转型（韩喜平 2020）。结合工业型城市唐山在本次评价研究中的定位与分析，我们针对工业型城市的低碳转型提出以下政策建议：

一、破解钢铁行业等“两高”行业困局，提升“两高”行业绿色化程度。建议工业型城市市级政府，联合经信、发改等部门，积极推动传统产业迭代升级，推进“两高”企业依托产业链进行整合重组，形成共同转型的合力，如建立“焦化—钢铁—化工”产业链。进一步推广“两高”企业超低排放改造，实现碳排放与污染物排放的协同效益，实施“一厂一策”，并聘请第三方公司开展问题整改检查评估，通过数字化手段推动企业环保治理能力显著提升，进而提升企业生产效率。从结构调整、强化过程控制、推进绿色改造入手，支持企业发展先进低碳技术、引进先进低碳工艺、优化现有技术路线，逐步从“由化石燃料驱动”的发展模式转向“由绿色能源驱动”的发展模式。

二、大力发展新兴产业，实现经济结构的多元化。政府是工业型城市转型的重要推手，市级政府，以及经信、发改、市政、住建等部门，可通过改善投资环境、完善基础设施、提高服务质量和环境质量、提供各种经济优惠政策等方式，吸引新兴企业在工业型城市进行投资。不同类型、不同区域工业型城市的转型路径也不一致，市级政府需要找准城市定位，确保有限的政府投资能够发挥较强的撬动作用。主流路径是大力发展以贸易为核心的第三产业和替代产业，加大第三产业就业人数比重，实现产业结构和经济结构的调整和优化。

三、增加智力投资，提高工人的就业技能和企业的科研能力。智力投资是国外工业型城市实现公正转型的成功经验，匹兹堡通过对于卡内基梅隆大学和匹兹堡大学的投资，在钢铁等重工业衰落和退出以后转型成为美东教育高地之一。中国工业型城市也需要增加城市智力投资，但与西方不同的是，中国大部分地区教育资源仍然较匮乏，教育资源基础较薄弱，地方市级政府及发改、人社等部门采用引进优质教育资源设立分校的模式更为实际。在人口老龄化的背景下，制造业对于高级技术工人的需求逐步提高，依托优质的教育资源定向培养面向数字化、智能化和绿色化的高级技术工人是破解制造业人才瓶颈的途径之一。同时，针对优质技术工人匮乏的现状，地方人社部门可以增加对职业教育的投资，围绕转型方向，重点培养技术人才。本地培养、本地就业也是中国工业型城市智力投资的重要方向。

5.4 农业型城市可以整合农村资源优势，在优化第一产业结构的同时，大力发展第三产业，助力低碳发展

农业既是全球温室气体的重要排放源，同时又是一个巨大的碳汇系统，其生产过程中产生的碳排放量和带来的相关污染问题在不断加剧。而且，从评价结果的分析可知，农业型城市在低碳发展的四个领域均排名靠后，总分平均值处于末位，具有较大的减排潜力。因此，农业型城市的低碳发展对中国“双碳”目标的实现具有重要的意义。本研究结合对农业型城市武威与布里斯班等国际城市的分析，延伸出适合农业型城市低碳发展的政策建议：

一、大力发展农产品加工业，提高生产效率，增加农产品附加值，促进第一产业结构优化。大部分农业型城市均有第二产业占比相对较低的问题，以粗放型传统农业为主，生产效率低下，导致生产要素的浪费，造成了许多不必要的碳排放。因此，农业型城市有必要转换传统生产模式，从提效、节能、降碳的角度出发，市级政府联合发改、经信、农业农村等部门，基于城市自身优势资源，加强低碳农业与生态农业、绿色种植方式等的结合，做强区域特色鲜明、资源配置合理的农产品加工业产业集群；鼓励农民积极引入先进生产设备，不断拓展生产规模，利用深加工、精加工等方式取代过去的传统加工模式，增加农产品附加值，如推广科学种植、应用绿色节能农机、秸秆还田等方式；推广新技术以加快粗放型农业转型，全面提高农用物资利用效率，降低对高碳型农用物资的依赖，走出一条农业增效、农民增收的低碳农业之路。

二、整合农村资源优势，推动农旅融合，大力发展第三产业。相对于第一产业和第二产业，第三产业是最绿色的产业，建议农业型城市市级政府，以及经信、发改、农业农村、文旅等职能部门，基于乡村特有的旅游资源发展具有乡村传统文化特色、自然生态环境优美的旅游业，或开发以农家休闲旅游、民俗体验旅游为核心的旅游体系，如葡萄采摘园式的农业生态园、家庭式休闲农场等，并形成独具特色的农业生态旅游产品，一方面满足自身的食品需求，另一方面成为农业旅游观光景点，给游客提供食品，促进第一产业、第二产业、第三产业融合发展，形成集农产品生产、加工、销售、休闲旅游于一体的完整产业链，提升第三产业的市场份额，助力农业型城市的低碳发展。同时，市级政府和文旅部门还可以联合交通部门，不断提升、改善区域交通条件，在热门旅游景区可以设立旅游专线公交车，完善景区内外的基础设施。





附录一 评价城市清单

附表 1 | 评价城市清单

城市	国家	城市类型	城市人口	经济水平	气候区
北京	中国	超大型城市	超大城市	高收入城市	冷温带
天津	中国	超大型城市	超大城市	高收入城市	冷温带
上海	中国	超大型城市	超大城市	高收入城市	温暖带
广州	中国	超大型城市	超大城市	高收入城市	温暖带
深圳	中国	超大型城市	超大城市	高收入城市	温暖带
重庆	中国	超大型城市	超大城市	中高收入城市	温暖带
徐州	中国	服务型城市	特大城市	中高收入城市	冷温带
南通	中国	服务型城市	特大城市	高收入城市	温暖带
珠海	中国	服务型城市	大城市	高收入城市	温暖带
南宁	中国	服务型城市	特大城市	中高收入城市	温暖带
杭州	中国	服务型城市	超大城市	高收入城市	温暖带
许昌	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
南京	中国	服务型城市	特大城市	高收入城市	温暖带
厦门	中国	服务型城市	特大城市	高收入城市	温暖带
郑州	中国	服务型城市	超大城市	高收入城市	冷温带
宿迁	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
海口	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	热带
三亚	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	热带
哈尔滨	中国	服务型城市	超大城市	中高收入城市	冷温带
乌鲁木齐	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	干带
张家界	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
成都	中国	服务型城市	超大城市	中高收入城市	温暖带

附表 1 | 评价城市清单 (续)

城市	国家	城市类型	城市人口	经济水平	气候区
昆明	中国	服务型城市	特大城市	中高收入城市	温暖带
西安	中国	服务型城市	超大城市	中高收入城市	冷温带
武汉	中国	服务型城市	超大城市	高收入城市	温暖带
黄山	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
桂林	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
秦皇岛	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
拉萨	中国	服务型城市	中等城市	中高收入城市	极寒带
丽江	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
苏州	中国	服务型城市	超大城市	高收入城市	温暖带
佳木斯	中国	农业型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
鸡西	中国	农业型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
伊春	中国	农业型城市	中等城市	中低收入城市	冷温带
双鸭山	中国	农业型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
武威	中国	农业型城市	大城市	中高收入城市	干带
四平	中国	农业型城市	大城市	中低收入城市	冷温带
临沧	中国	农业型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
张掖	中国	农业型城市	大城市	中高收入城市	干带
白城	中国	农业型城市	大城市	中低收入城市	冷温带
克拉玛依	中国	工业型城市	小城市	高收入城市	干带
榆林	中国	工业型城市	特大城市	高收入城市	干带
嘉峪关	中国	工业型城市	小城市	高收入城市	干带
乌海	中国	工业型城市	中等城市	高收入城市	干带
延安	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
吕梁	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
泉州	中国	工业型城市	特大城市	高收入城市	温暖带
鄂尔多斯	中国	工业型城市	大城市	高收入城市	干带
东营	中国	工业型城市	大城市	高收入城市	冷温带
佛山	中国	工业型城市	特大城市	高收入城市	温暖带
攀枝花	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
晋城	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
焦作	中国	服务型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
三明	中国	工业型城市	大城市	高收入城市	温暖带
盘锦	中国	工业型城市	大城市	高收入城市	冷温带
唐山	中国	工业型城市	特大城市	高收入城市	冷温带
长治	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	冷温带
莆田	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
鹰潭	中国	工业型城市	大城市	中高收入城市	温暖带
哥本哈根	丹麦	-	中等城市	高收入城市	冷温带
雅典	希腊	-	大城市	高收入城市	温暖带
罗马	意大利	-	大城市	高收入城市	温暖带

附表 1 | 评价城市清单 (续)

城市	国家	城市类型	城市人口	经济水平	气候区
马德里	西班牙	-	特大城市	高收入城市	干带
巴黎	法国	-	大城市	高收入城市	温暖带
阿姆斯特丹	荷兰	-	中等城市	高收入城市	温暖带
柏林	德国	-	大城市	高收入城市	冷温带
东京	日本	-	超大城市	高收入城市	温暖带
悉尼	澳大利亚	-	特大城市	高收入城市	温暖带
布里斯班	澳大利亚	-	大城市	中高收入城市	温暖带
墨尔本	澳大利亚	-	特大城市	高收入城市	温暖带
首尔	韩国	-	特大城市	高收入城市	冷温带
洛杉矶	美国	-	超大城市	高收入城市	温暖带
弗雷斯诺	美国	-	大城市	高收入城市	干带
圣地亚哥	美国	-	大城市	高收入城市	干带
迈阿密	美国	-	特大城市	高收入城市	热带
华盛顿特区	美国	-	特大城市	高收入城市	温暖带
亚特兰大	美国	-	特大城市	高收入城市	温暖带
休斯敦	美国	-	特大城市	高收入城市	温暖带
费城	美国	-	特大城市	高收入城市	冷温带
新奥尔良	美国	-	大城市	高收入城市	温暖带
波士顿	美国	-	大城市	高收入城市	冷温带
芝加哥	美国	-	特大城市	高收入城市	冷温带
纽约	美国	-	超大城市	高收入城市	冷温带
罗切斯特	美国	-	大城市	高收入城市	冷温带
匹兹堡	美国	-	大城市	高收入城市	冷温带
墨西哥城	墨西哥	-	超大城市	中高收入城市	温暖带
布宜诺斯艾利斯	阿根廷	-	超大城市	中高收入城市	温暖带
新加坡	新加坡	-	特大城市	高收入城市	热带
伦敦	英国	-	特大城市	高收入城市	温暖带
雅加达	印度尼西亚	-	超大城市	中高收入城市	热带
伊斯坦布尔	土耳其	-	超大城市	高收入城市	温暖带
莫斯科	俄罗斯	-	超大城市	高收入城市	冷温带
圣彼得堡	俄罗斯	-	特大城市	中高收入城市	冷温带
伊尔库茨克	俄罗斯	-	中等城市	中高收入城市	冷温带
孟买	印度	-	超大城市	中高收入城市	热带
河内	越南	-	大城市	中高收入城市	温暖带
里约热内卢	巴西	-	特大城市	中高收入城市	热带
圣保罗	巴西	-	超大城市	中高收入城市	温暖带
多伦多	加拿大	-	特大城市	高收入城市	冷温带
蒙特利尔	加拿大	-	大城市	高收入城市	冷温带
约翰内斯堡	南非	-	特大城市	高收入城市	温暖带
开普敦	南非	-	大城市	中高收入城市	温暖带

注释

1. 根据民政部和应急管理部公布的信息进行计算得出。
2. 国际一线城市是指GaWC2020排名中A类城市。
3. 如果同时满足第二产业或第三产业增加值超过50%，仍归为农业型城市。
4. 《国务院关于调整城市规模划分标准的通知》以城区常住人口为统计口径，城区常住人口1000万以上的城市为超大城市，城区常住人口500万以上1000万以下的城市为特大城市，城区常住人口100万以上500万以下的城市为大城市，城区常住人口50万以上100万以下的城市为中等城市，城区常住人口50万以下的城市为小城市。
5. 满足以下三种情况的其中一种，即为干带城市：一是70%及以上的年降水量发生在夏季（北半球的4月到9月或南半球的10月到第二年3月），且年降水量小于 $280+20 \times$ 年平均气温（单位为毫米）；二是70%及以上的年降水发生在冬季（北半球的10月到第二年3月或南半球的4月到9月），且年降水量小于 $20 \times$ 年平均气温（单位为毫米）；三是夏季或冬季均不会发生70%及以上的年降水，且年降水量低于 $140+20 \times$ 年平均气温（单位为毫米）。热带城市最冷月平均气温在 18°C 以上，温暖带城市最热月平均气温超过 10°C 、最冷月气温为 $-3 \sim 18^{\circ}\text{C}$ 之间，冷温带城市最热月平均气温在 10°C 以上、最冷月平均气温小于 0°C ，极地带城市最热月平均气温小于 10°C 。
6. 括号内为权重值。
7. 由于极地带城市数量较少，及数据可获性原因，极地带城市无法满足国内外至少各1个的要求。

参考文献

- Azizrahman H, Hasyimi V. Towards a generic multi-criteria evaluation model for low carbon cities[J]. Sustainable Cities and Society, 2018, 39: 275-282.
- Beck H.E., Zimmermann N. E., McVicar T. R. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution[J], Scientific Data, 2018, 5:180214, doi:10.1038/sdata.2018.214
- Bohne R, Huang L, and Lohne J. A global overview of residential building energy consumption in eight climate zones[J]. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 2016, 7 (1): 38-51.
- City of Sydney. Economic Development Strategy[EB/OL].(2013-12-30). <https://www.cityofsydney.nsw.gov.au/strategies-action-plans/economic-development-strategy>.
- Cai B, Liu H, Zhang X, et al. High-resolution accounting of urban emissions in China[J]. Applied Energy, 2022, 325:119896.
- Dodman D, Hayward B, Pelling M, et al. Cities, Settlements and Key Infrastructure. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022: 907-1040.
- Eurostat. European statistics[EB/OL]. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data>.
- Fan Y, Liu L, Wu G, et al. Analyzing impact factors of CO₂ emissions using the STIRPAT model[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2006(26): 377-395.
- Greater London Authority. London Environment Strategy[EB/OL]. (2018-05-31). <https://www.london.gov.uk/programmes-and-strategies/environment-and-climate-change/london-environment-strategy>.
- Hallegatte S, Green C, Nicholls RJ, et al. Future flood losses in major coastal cities[J]. Nature Climate Change, 2013, 3(9): 802-806.
- Huo, D., Huang, X., Dou, X. et al. Carbon Monitor Cities near-real-time daily estimates of CO₂ emissions from 1500 cities worldwide[J]. Sci Data, 2022(9): 533.
- IEA. World Energy Outlook 2022 Free Dataset [R/OL].(2023.01). <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-outlook-2022-free-dataset>
- IPCC. Global Warming of 1.5°C : IPCC Special Report on impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels in context of strengthening response to climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty[M]. 1st ed. Cambridge University Press, 2022.

Kang S, Eltahir E. North China Plain threatened by deadly heatwaves due to climate change and irrigation[J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 2894.

Lang J, Hyslop C, Yeo Z, et al. Net Zero Tracker. Energy and Climate Intelligence Unit, Data-Driven EnviroLab, NewClimate Institute, Oxford Net Zero. 2022.

Li M, Cao J, Xiong M, et al. Different responses of cooling energy consumption in office buildings to climatic change in major climate zones in China[J]. Energy and Buildings, 2018: 38-44.

OECD. OECD.Stat.[EB/OL]. <https://stats.oecd.org/>.

O'Neill B, Liddle B, Jiang L, et al. Demographic change and carbon dioxide emissions[J]. The Lancet, 2012, 380(9837): 157-164.

Peel, M. C., Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2007, 11, 1633-1644.

Shi L, Xiang X, Zhu W, et al. Standardization of the Evaluation Index System for Low-Carbon Cities in China: A Case Study of Xiamen[J]. Sustainability, 2018, 10(10): 3751.

Tan S, Yang J, Yan J, et al. A holistic low carbon city indicator framework for sustainable development[J]. Applied Energy, 2017, 185: 1919-1930.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)[EB/OL]. <https://population.un.org/wup/>.

Wang, Q., Yuan X., Zhang J., Gao Y., Hong J., Zuo J., et al. Assessment of the sustainable development capacity with the entropy weight coefficient method. Sustainability. 2015, 7: 13542-13563

World Bank. World Bank Country and Lending Groups[EB/OL]. <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>.

World Bank. World Development Indicators[EB/OL]. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>.

World Resources Institute. Global Forest Watch[EB/OL]. <https://data.globalforestwatch.org/search?collection=Dataset>.

IQAir. World's most polluted cities (historical data 2017-2021)[EB/OL]. <https://www.iqair.com/us/world-most-polluted-cities>.

Zhang L, Wu P, Niu M, et al. A systematic assessment of city-level climate change mitigation and air quality improvement in China[J]. Science of the Total Environment, 2022, 839:156274.

Zhou N., He G., Williams C., Fridley D. ELITE cities: A low-carbon eco-city evaluation tool for China [J]. Ecological Indicators, 2015, 48: 448-456.

Zhu G, Singh J, Wu J, Sinha R., Laurenti R., Frostell B. Evaluating low-carbon city initiatives from the DPSIR framework perspective [J]. Habitat International, 2015, 50: 289-299.

Zou Z, Yun Y, Sun J. Entropy method for determination of weight of evaluating indicators in fuzzy synthetic evaluation for water quality assessment. Journal of Environmental Science, 2006, 18(5): 1020-1023.

城市转型联盟, 世界资源研究所 (WRI) 罗斯可持续城市中心, C40城市气候领导联盟气候危机, 城市机遇[R/OL]. https://urbantransitions.global/wp-content/uploads/2019/09/Climate_Emergency_Urban_Opportunity_ZH_Web-copy.pdf.

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, 20 (8) : 44-47.

范成杰. 临汾市低碳城市发展水平评价研究[C]//. 中国环境科学学会2022年科学技术年会论文集(一).

桂林市人民政府. 桂林市人民政府关于印发桂林市国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要的通知 [EB/OL]. (2021-07-30). https://www.guilin.gov.cn/zfxxgk/fdzdgknr/jcxxgk/zcwj/202109/t20210903_2117345.shtml.

国家统计局城市社会经济调查司. 中国城市统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.

国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.

韩喜平, 崔伊霞. 中国特色资源型城市转型发展的路径思考[J]. 西北工业大学学报: 社会科学版, 2020 (2) : 1-7.

黄西珞. 低碳城市评价指标体系的构建与实证研究[D]. 福州大学, 2015.

黄艳雁, 冯时. 基于气候特征的低碳城市评价指标体系构建[J]. 地域研究与开发, 2016, 35 (6) : 77-80, 154.

李一曼, 叶谦. ENSO 背景下基于柯本分类法的气候分类[J]. 气候变化研究进展, 2019, 15 (4) : 352-362

李雨璇, 武晋宇, 刘新龙. 澳大利亚蔗糖产业发展的特点与启示[J]. 中国糖料, 2022, 44 (03) : 81-88.

连玉明. 城市价值与低碳城市评价指标体系[J]. 城市问题, 2012 (1) : 15-21.

梁臻. 陕西省低碳城市发展水平评价研究[D]. 西安理工大学, 2020.

林云霞. 试析交通运输对经济发展的影响[J]. 价值工程, 2010, 29 (19) : 31.

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.

孙腾, 金颖. 国际大都市低碳发展策略对上海的启示[J]. 上海节能, 2017 (10): 565-569.

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.

覃朝晖, 刘佳丽, 刘志颐. 产业融合视角下澳大利亚生态农业发展模式及借鉴[J]. 世界农业, 2016 (08): 147-151.

唐中祺, 唐致宗. 武威市凉州区发展现代农业目标模式和主导产业战略选择[J]. 甘肃农业, 2020 (09): 62-64.

田旭, 戴瀚程, 耿涌. 居民家庭消费支出变化对上海市2020年低碳发展的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26 (5): 55-63.

王德卿, 钱莹, 郎小芸, 等. 甘肃省武威市出口农业现状问题及对策探讨[J]. 安徽农业科学, 2020, 48 (16): 245-247+250.

王威, 闫晓丽. 基于熵权法的智慧城市群发展评价研究[J]. 信息技术与标准化, 2022, (11): 61-67, 72.

夏堃堡. 发展低碳经济实现城市可持续发展[J]. 环境保护, 2008 (3): 33-35.

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.

杨艳芳, 李慧凤. 北京市低碳城市发展评价指标体系研究[J]. 科技管理研究, 2012, 32 (15): 88-90.

袁浩博. 吉林省农村三次产业融合发展研究[D]. 吉林大学, 2019.

张新莉. 基于TOPSIS的中国低碳城市评价研究[D]. 吉林大学, 2017.

张英杰, 霍焱. 城市增长与生活碳排放的理论研究[J]. 城市观察, 2010, 2: 69-79.

赵晨. 城市低碳发展评价指标体系的构建与应用——以保定市为例[J]. 行政论坛, 2016, 23 (05): 31-37.

针宏艳. 山西省低碳城市评价与空间格局分析[D]. 山西财经大学, 2017.

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.

中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书 (2022) [M]. 北京: 科学出版社, 2022.

中华人民共和国国家发展和改革委员会. 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]. (2017-01-24). https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201701/t20170124_962888.html.

中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.

中华人民共和国住房和城乡建设部. 中国城市建设统计年鉴2020[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.

朱保昌. 安徽省低碳城市评价及建设路径研究[D]. 合肥工业大学, 2019.

朱婧, 汤争争, 刘学敏, 等. 基于DPSIR模型的低碳城市发展评价——以济源市为例[J]. 城市问题, 2012 (12): 42-47.

致谢

在本工作论文编写及出版的过程中,有诸多专家、同事提供了大力支持,并提出了宝贵的意见与建议。感谢世界资源研究所方莉博士、苗红、刘哲博士对本论文提供的专业意见和指导。本论文在研究过程中,也获得了许多专家与同仁的大力支持,作者由衷感谢为报告的撰写提供了宝贵意见的专家和同事(排名不分先后):

薄宇	中国科学院大气物理研究所
付加锋	中国环境科学研究院
林澎	清华大学城市研究院
马莹莹	公众环境研究中心
马中	中国人民大学
吴志强	同济大学
郑艳	中国社会科学院生态文明研究所
房伟权	世界资源研究所
薛露露	世界资源研究所
郭禹琛	世界资源研究所
鹿璐	世界资源研究所
奚文怡	世界资源研究所
周伟琪	世界资源研究所

此外,特别感谢世界资源研究所中国可持续转型中心实习生应婕对研究工作的大力支持,感谢实习生范星怡、刘思怡、李欣雨、陶玥、左妮娜、张頔赅对数据收集工作的支持。感谢谢亮、任舒婷和Lauri Scherer对文章的编辑校对提供的帮助和建议,及张焯对文章的排版设计。感谢Romain Warnault、Renee Pineda、邓娅男、窦瑞云和赵雨滋在行政和协调方面提供的支持。

作者介绍

邱诗永, 研究员, 世界资源研究所中国可持续转型中心。
邮箱: shiyong.qiu@wri.org

林嘉颖, 助理研究员, 世界资源研究所中国可持续转型中心。
邮箱: jiaying.lin@wri.org

刘岱宗, 东亚区首席代表, 交通与发展政策研究所。

蒋洪强, 副总工程师 / 研究员, 生态环境部环境规划院。

曹东, 首席专家 / 研究员, 生态环境部环境规划院。

王媛, 教授, 天津大学环境学院。

张鸿宇, 助理研究员, 生态环境部环境规划院。

李勃, 助理研究员, 生态环境部环境规划院。

梁晨, 硕士研究生, 天津大学环境学院。

关于世界资源研究所

世界资源研究所是一家独立的研究机构，其研究工作致力于寻求保护环境、发展经济和改善民生的实际解决方案。

我们的挑战

自然资源构成了经济机遇和人类福祉的基础。但如今，人类正以不可持续的速度消耗着地球的资源，对经济和人类生活构成了威胁。人类的生存离不开清洁的水、丰饶的土地、健康的森林和安全的气候。宜居的城市和清洁的能源对于建设一个可持续的地球至关重要。我们必须在未来十年中应对这些紧迫的全球挑战。

我们的愿景

我们的愿景是通过对自然资源的良好管理以建设公平和繁荣的地球。我们希望推动政府、企业和民众联合开展行动，消除贫困并为全人类维护自然环境。

我们的工作方法

量化

我们从数据入手，进行独立研究，并利用最新技术提出新的观点和建议。我们通过严谨的分析、识别风险，发现机遇，促进明智决策。我们重点研究影响力较强的经济体和新兴经济体，因为它们对可持续发展的未来具有决定意义。

变革

我们利用研究成果影响政府决策、企业战略和民间社会行动。我们在社区、企业和政府部门进行项目测试，以建立有力的证据基础。我们与合作伙伴努力促成改变，减少贫困，加强社会建设，并尽力争取卓越而长久的成果。

推广

我们志向远大。一旦方法经过测试，我们就与合作伙伴共同采纳，并在区域或全球范围进行推广。我们通过与决策者交流，实施想法并提升影响力。我们衡量成功的标准是，政府和企业的行动能否改善人们的生活，维护健康的环境。

关于生态环境部环境规划院

生态环境部环境规划院成立于2001年，现有职工315人，其中院士1人。主要开展国家生态文明、绿色发展、环境经济等发展战略研究，是国家生态环境战略、规划与政策研究和制定领域的核心智库，位居环境事务类全球顶级智库第25名（大中华区第一）。为应对气候变化，生态环境部环境规划院成立了气候变化与环境政策研究中心，该中心建立了国内较为彻底的自下而上的中国高空间分辨率的排放网格数据，建立了长时间序列、全口径、全覆盖的中国城市温室气体排放数据集。开展了支撑国家双碳路径不断优化的社会-经济-能源-排放-环境系统研究以及应对气候变化政策、制度、标准体系研究等工作，目前已建立有特色的技术方法体系，形成了一套完备的支撑双碳目标的模型工具、技术方法、权威数据和品牌产品，为生态环境部和地方生态环境部门决策提供了大量支撑，其成果以内参、公众号、论文和会议等形式开展了广泛宣传。

图片说明

Cover Unsplash/Sergio Li; pg. i Unsplash/Qihai Weng; pg. iii Unsplash/gi xna; pg. iv Unsplash/LUFANG CAO; pg. iv Unsplash/Woo Winter; pg. v Unsplash/Vidar Nordli-Mathisen; pg. vi Unsplash/Febiyang; ix Unsplash/João Barbosa; pg. x Unsplash/Adam Vradenburg; pg. 2 Harry Zhang; pg. 3 Unsplash/李大毛 没有猫; pg. 5 Unsplash/zhou xuan; pg. 10 Unsplash/Michael Discenza; pg. 20 Unsplash/Hanny Naibaho; pg. 23 Unsplash/Conny Schneider; pg. 24 www.tangshan.gov.cn; pg. 25 www.gansu.gov.cn; pg. 26 Unsplash/Jason Yuen; pg. 28 Unsplash/zhao chen; pg. 28 Unsplash/Jamie Davies; pg. 29 pic.people.com.cn; pg. 31 stdaily.com; pg. 31 Unsplash/Erica Li.

世界资源研究所 (WRI) 出版物, 皆为针对公众关注问题而开展的适时性学术性研究。
世界资源研究所承担筛选研究课题的责任, 并负责保证作者及相关人员的研究自由, 同时积极征求和回应咨询
团队及评审专家的指导意见。若无特别声明, 出版物中陈述观点的解释权及研究成果均由其作者专属所有。





世界资源研究所
WORLD RESOURCES INSTITUTE

世界资源研究所(美国)北京代表处
北京市东城区东中街9号
东环广场写字楼A座7层K-M室
邮编:100027
电话:+86 10 6416 5697
WWW.WRI.ORG.CN