



“一带一路”绿色发展国际联盟
2021年政策研究专题报告

“一带一路” 绿色城市发展案例报告



2019年4月,中外合作伙伴在第二届“一带一路”国际合作高峰论坛期间共同启动“一带一路”绿色发展国际联盟(简称绿色联盟)。绿色联盟旨在建设政策对话和沟通平台、环境知识和信息平台、绿色技术交流和转让平台的目标,促进实现“一带一路”绿色发展国际共识、合作和行动。

中国与许多共建“一带一路”国家均面临着快速城镇化带来的生态环境问题,城市绿色转型和可持续发展是共同的发展需求和方向。推动绿色城市建设是世界各国城市发展的必然趋势,也是保护城市生态环境、应对气候变化的必为之策。本报告结合联合国2030年可持续发展目标,汇编了10余个国家的21个“一带一路”城市绿色发展经验,重点关注绿色低碳城市规划、无废城市、污染治理与环境改善、绿色能源、生物多样性与基于自然的解决方案、可持续交通、绿色建筑等与城市绿色发展密切相关的8个领域。通过梳理及汇总不同国家不同领域间共性的城市绿色发展经验,为解决复杂的、跨领域的城市管理难题提供借鉴,帮助更多城市将绿色发展理念转化为具体行动,为城市可持续发展提供动力。

“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处 乔宇杰女士

电话:+86-10-82268647

传真:+86-10-82200535

地址:中国北京西城区后英房胡同5号

邮编:100035

网址:<http://www.brigc.net/>

电子邮件:secretariat@brigg.net

brigg@fecomee.org.cn



研究团队*

李永红	生态环境部对外合作与交流中心副主任
蓝 艳	“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处副处长
丁士能	“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处副处长
乔宇杰	“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处
李盼文	“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处
张 敏	“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处
曹 东	生态环境部环境规划院研究员
张鸿宇	生态环境部环境规划院
李 勃	生态环境部环境规划院
刘楚彤	生态环境部环境规划院
刘岱宗	世界资源研究所（美国）北京代表处可持续城市部门主任
李 威	世界资源研究所（美国）北京代表处可持续城市项目研究员
戎伟君	一带一路环境技术交流与转移中心（深圳）
文 雯	一带一路环境技术交流与转移中心（深圳）
张 洁	一带一路环境技术交流与转移中心（深圳）
周 爽	C40 城市气候领导联盟中国传播与推广经理
卢克·夏洛克	C40 城市气候领导联盟中国建筑项目主任
孙 璐	C40 城市气候领导联盟中国气候行动规划项目主任
侯 静	C40 城市气候领导联盟中国建筑项目顾问
姜婧婧	C40 城市气候领导联盟中国气候行动规划项目官员
谭 娅	对外经济贸易大学国际经济贸易学院

*本报告由“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处与“环境质量改善和绿色城市”专题伙伴关系等合作伙伴共同编写。研究团队成员以个人身份参加研究工作，报告中表达的观点不代表其所在单位及“一带一路”绿色发展国际联盟观点。

目 录

摘 要.....	i
第一章 引 言.....	1
第二章 绿色低碳城市规划.....	5
一、 中白工业园区	5
二、 深圳市龙岗国际低碳城	10
三、 广州可持续发展经验	15
第三章 无废城市.....	21
四、 意大利卡潘诺里无废城市	21
五、 新加坡无废城市	27
六、 深圳无废城市	35
第四章 污染治理与环境改善.....	43
七、 北京大气污染综合治理	43
八、 以色列的污水处理与资源化利用	50
九、 南宁那考河黑臭水体整治	55
第五章 绿色能源.....	62
十、 沙特萨勒曼国王能源城	62
十一、 敦煌建设 100%可再生能源城市.....	68
第六章 生物多样性和基于自然的解决方案	74
十二、 阿根廷罗萨里奥的都市农业	74
十三、 昆明市多措并举保护生物多样性	80
十四、 里斯本绿色走廊战略	84
十五、 武汉市武青堤江滩综合整治工程	90
第七章 可持续交通.....	96
十六、 智利清洁电动公交车	96
十七、 马来西亚混合动力米轨动车	102
十八、 杭州公共自行车共享与骑行文化推广	106
第八章 绿色建筑.....	112

十九、 南非绿色建筑评级工具	112
二十、 新加坡翠绿都市计划(LUSH)	117
二十一、 福州可再生能源建筑应用试点示范城市.....	120
结 语.....	129



摘 要

在全球碳中和背景下，城市建筑、交通、能源等领域的发展将面临更加严格的“低碳约束”，推动城市绿色转型及可持续发展，对建立健全多层次绿色低碳循环发展经济体系至关重要。当前，全球很多城市已探索推动可再生能源城市、碳中和城市、气候韧性城市建设，陆续提出可持续发展规划并实施，相关理念及其实践经验可为其他城市绿色转型提供借鉴。

很多共建“一带一路”国家正经历高速经济发展和快速城镇化进程，由此引发资源消耗、温室气体排放、环境污染、生物多样性丧失等问题。随着城镇化进程的加速推进，经济发展与生态环境之间的矛盾将进一步凸显，推进绿色转型和可持续发展已成为当前共建国家的迫切需求和发展方向。

“一带一路”绿色发展国际联盟设立了“环境质量改善与绿色城市”专题伙伴关系，由生态环境部环境规划院、一带一路环境技术交流与转移中心（深圳）、世界资源研究所担任召集机构，与合作伙伴共同探讨“一带一路”城市资源能源节约、人居环境改善、绿色交通体系建设、绿色智慧城市建设等城市绿色发展的重点议题。

《“一带一路”城市绿色发展案例报告》由“一带一路”绿色发展国际联盟秘书处组织，由“环境质量改善与绿色城市”专题伙伴关系及 C40 城市气候领导联盟提供技术支持并共同编写。报告结合联合国 2030 年可持续发展目标，通过科学研究和数据分析，汇集了“一带一路”城市绿色发展的宝贵经验，重点关注绿色低碳城市规划、无废城市、污染治理与环境改善、绿色能源、生物多样性与基于自然的解决方案、可持续交通、绿色建筑等与城市绿色发展密切相关的 8 个领域。案例选自共建“一带一路”国家城市，特别是丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的节点城市；所选案例优先选择有中国企业投资建设的项目，东道国发起、中国企业承建的项目，以及对城市绿色发展有启发性的案例。

本报告选取了来自 10 余个国家的 21 个绿色发展案例，包括：深圳龙岗国际低碳城、广州可持续发展经验、中国-白俄罗斯工业园、意大利卡潘诺里无废城市、新加坡无废城市、深圳无废城市、北京市大气污染综合治理、以色列的污水处理与资源化利用、南宁那



考河黑臭水体整治、沙特萨勒曼国王能源城、敦煌建设 100%可再生能源城市、阿根廷罗萨里奥的都市农业、昆明市多措并举保护生物多样性、里斯本绿色走廊战略、武汉武青堤江滩综合整治工程、智利引进清洁电动公交车、马来西亚混合动力米轨动车、杭州公共自行车共享与骑行文化推广、南非绿色建筑评级工具、新加坡翠绿都市计划及福州可再生能源建筑应用试点示范城市。

报告所选取的案例虽来自不同国家不同领域，但具有共性的城市绿色发展经验。一是政府注重政策引导及整体规划设计。政府支持在城市绿色发展中发挥了重要的引导作用，科学制定发展战略目标、综合规划发展路径、合理编制建设规章及评估标准，在城市的绿色发展建设过程中至关重要。二是因地制宜推动具体实践。不同城市根据当地实际情况及城市发展目标，将先进理念付诸实际，从城市综合发展及重点领域的绿色发展为切入点不断进行试点探索，摸索出适合自身发展的发展路径。三是利用科学技术推动创新发展。在城市建设过程中，积极引入先进的、成熟的科学与实用技术，并大力鼓励新技术研发与应用。四是建立城市间沟通与合作机制。借鉴先进经验技术，积极寻求外部支持，共同促进地区绿色发展，强化优秀经验的可复制和可拓展性。五是增加参与机制的包容性，增强社会参与度。通过教育及舆论的作用，调动公众参与度，推动社会形成节能环保的生产和生活消费方式。六是以项目为载体，鼓励资本参与绿色发展。以政府投资为驱动，非政府组织、企业以及民间自发建设相协同，多种方式相结合解决资金问题，更有效的推进城市绿色发展。

案例经验分享将为解决复杂的、跨领域的城市管理难题提供借鉴，增强共建“一带一路”国家推动城市绿色发展的信心，帮助更多城市将绿色发展理念转化为具体行动，为城市可持续发展提供动力。



第一章 引言

全球经济的快速增长往往伴随着能源消耗和环境污染，而城市化是造成这些问题的主要因素之一^[1]。研究表明，城市面积仅占全球陆地总面积的 1%，却拥有超过 54% 的人口，消耗了全球 70% 以上的能源，排放了全球 70% 以上的温室气体^[2]。随着全球城市化进程的飞速发展，世界城市人口将进一步增长，并有望于 2030 年达到 50 亿^[3]。在过去 70 年内，全球城镇化率从 1950 年的 29.4% 迅速提升到 2020 年的 56.2%^[4]，尤以东南亚、南亚、非洲区域的发展中国家以及“一带一路”沿线国家贡献巨大，且未来仍有潜力。然而，发展中国家快速的城市化也带来了温室效应、大气臭氧污染损耗、土壤侵蚀、森林砍伐、土地荒漠化和水污染等一系列生态环境问题^[5]。提高城市发展质量，寻求“绿色”的城市发展道路已逐步成为国际共识^[6]。

绿色城市是对传统的工业化带动的城市发展模式的反思，它在本质上减少对自然资源的高度依赖，强调人与自然的和谐共生，追求社会、经济、生态有机融合的发展目标，适应城市可持续发展的内在要求^[7]。其中，“绿色”的内涵与“可持续发展”密不可分^[8]。1991 年，联合国人居署（UN-Habitat）和联合国环境署（UNEP）在全球范围内提出并推行“可持续城市发展计划”（SCP）^[9]。绿色城市是开放的、包罗万象的，生态、宜居、低碳、森林、海绵、智慧等城市发展理念，均是以人为本和可持续发展思想的阐释，是绿色城市展现的不同侧面。不同城市因地制宜地诠释着绿色的内涵，可以表现为能源利用的绿色化、生态系统保护、可持续交通建设、环境质量改善、无废城市创建、低碳城市规划等。

从国家层面来看，英国是最早提倡绿色发展的国家之一，将绿色城市建设作为绿色发展的载体。德国则在绿色环保技术发展上取得突破。日本在 2012 年制定了“绿色发展战略”总体规划，并据此开展了经济、社会层面的绿色革命。2012 年，中国提出把生态文明建设放在突出位置，将生态文明放在与政治文明、经济、社会和文化发展同等的位置，提升到“五位一体”的高度；并于 2013 年底明确“要把生态文明理念和原则全面融入城镇化全过程，走集约、智能、绿色、低碳的新型城镇化道路”；《国家新型城镇化规划（2014—2020 年）》详细阐述了绿色城市在绿色能源、绿色建筑、绿色交通、产业园区循环化改造、城市环境综合整治和绿色新生活行动等领域的建设重点，为中国城市的发展指明了方向。蒙



古国为促进城市的绿色发展，于 2015 年发布《乌兰巴托绿色发展战略行动计划 2020》，努力改善乌兰巴托市生态环境，打造城市低碳发展模式。

自 1930 年法国建筑大师勒·柯布西耶提出“绿色城市”以来，绿色城市的概念和内涵不断丰富。到上世纪末，学术界逐步形成了衡量绿色城市的一些基本标准：1. 绿色城市在自然界里具备完全的生存能力；2. 绿色城市是生物资源、文化资源、经济资源、生态环境资源以最和谐的关系有机联系的生态系统；3. 绿色城市拥有广阔的自然环境空间和丰富的生态环境类型，从而最大限度地保护并维持与人类同居共存的生物多样性；4. 绿色城市最重要的功能是维护人类健康，鼓励人类在自然环境中生活、学习和工作；5. 绿色城市保护自然资源，循环再生利用不可避免产生的各种废弃物；6. 绿色城市促进文化全面发展，是一个充满欢乐与向上进步的地方；7. 绿色城市中的各个组成要素按美学关系进行规划布局，从而给人类提供优美有韵律感的安居地；8. 绿色城市科学规划城市与人类社会活动的空间格局，从而为人类提供面向未来不断进步的生存地和新空间^[10]。

进入 21 世纪，随着新型技术发展和科技进步，城市的绿色化进程有了新的变化；在保持人与自然和谐共生的基础上，绿色城市迎来了新的机遇。

一是城市基础设施的现代化。城市发展需要现代化、数字化基础设施、便捷高效的都市生活网络等，与此同时，也要打造绿色城市，生态城市，形成科技与绿色交融，高效与生态并举的文明城市新局面。城市发展，势必需要建设和翻新基础设施。如以 5G、物联网、工业互联网为代表的通信网络基础设施；深度应用互联网、大数据、人工智能等技术支撑传统基础设施转型升级，进而形成的融合基础设施比如智能交通基础设施、智慧能源基础设施；以及重大科技设施、科教设施、产业技术创新等具有公益属性的基础设施等。将这些新的基础设施建设，融入城市的绿色发展中，是现代化城市发展的新方式。新兴技术也为城市绿色发展提供了更多的机遇。诸如，原材料方面，更多环境友好型和可二次利用的材料诞生，极大地降低了基础建设的资源消耗和生态污染。5G 技术、人工智能、物联网为监测和排查环境污染提供了更智能和灵敏的平台，从而更快更精准地发现并追踪污染源，有效降低环境污染^[11]。

二是全球碳达峰碳中和承诺。气候变化以及极端天气对城市的影响越来越大。为减缓和适应气候变化，城市发展逐步向绿色、低碳转型，同时大力提升城市的气候韧性。截止到目前，已有 120 余个国家做出了碳中和承诺，欧盟、德国、法国等发达国家相继发布了



绿色新政及碳中和战略，英国、瑞典等国家也将碳中和写入法律，中国也提出了双碳目标。在控制碳排放的约束下，各国纷纷开发绿色低碳技术、发展新能源技术、开展低碳建筑、打造可持续交通体系等建设，为绿色城市的发展引入了新的方向标。

新冠疫情的暴发让我们重新审视人与自然的关系，注重山水林田湖草沙冰一体化保护和系统治理，深入思考生态文明建设当中如何构建人与自然协调发展的管控体系，城市需要在绿色发展中寻找机遇和动力。所有环境、社会和经济挑战都相互关联，人类必须紧急采取行动，共同应对全球性环境问题。通过国际承诺和低碳行动，走城市绿色发展之路，守好健康的地球家园，实现人类的可持续发展。

随着城市发展理念的转变，以及绿色、可持续的深入人心，未来城市的建设将朝着低碳、绿色的方向迈进。推动绿色城市建设是世界各国城市发展的必然趋势，也是保护城市生态环境，应对气候变化的必为之策。城市是“一带一路”经贸活动的主体，是建设绿色丝绸之路的重要载体，绿色城市的建设不仅能够满足共建“一带一路”国家经济社会发展需要，还将推动实现人与自然和谐共生的可持续发展。绿色城市发展经验将帮助“一带一路”城市共同寻找城市可持续发展之路，助力区域绿色低碳转型。



参考文献

- [1] Wang M X, Zhao H H, Cui J X, et al., 2018. Evaluating green development level of nine cities within the Pearl River Delta, China[J]. Journal of Cleaner Production, 174:315-323
- [2] Cohen B, Munoz P, 2016. Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework[J]. Journal of Cleaner Production, 134:87-97
- [3] 王小鲁, 2010. 中国城市化路径与城市规模的经济分析 [J] . 经济研究, 45(10):20-32
- [4] World City Report 2020. The Value of Sustainable Urbanization [R].
https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf
- [5] Sun C, Tong Y, Zou W, 2018. The evolution and a temporal-spatial difference analysis of green development in China[J]. Sustainable Cities and Society, 41:52-61
- [6] 黄云凤, 张项童, 崔胜辉, 黄葳, 许肃, 王岚, 2020. 绿色城市评价指标体系的构建与权重[J]. 环境科学学报. 40(12): 4603-4612
- [7] 陈志, 2015. 新型城镇化背景下的绿色生态城市发展[J]. 城市发展研究, 22(02):1-6+19.
- [8] 欧阳志云, 赵娟娟, 桂振华等, 2009. 中国城市的绿色发展评价[J]. 中国人口·资源与环境, 19(5):11-15
- [9] 赵景柱, 崔胜辉, 颜昌宙等, 2009 . 中国可持续城市建设的理论思考[J]. 环境科学, 30(4):1244-1248
- [10] 人民网, 2018. 正确认识“一带一路”[EB/OL]. 2021-07-09.
<http://theory.people.com.cn/n1/2018/0226/c40531-29834263.html>
- [11] 唐雪梅, 马吉德, 2020. 中国与海湾阿拉伯国家绿色城市建设合作机制研究[J]. 中阿科技论坛(中英阿文), (07):1-4



第二章 绿色低碳城市规划

一、 中白工业园区

中白工业园（Great Stone），全称中国—白俄罗斯工业园，位于丝绸之路经济带中贯通欧亚的重要枢纽——白俄罗斯明斯克州，是中白合作共建丝绸之路经济带的标志性工程。该工业园区在规划时，将资源节约、环境友好、生态保护作为核心理念纳入园区建设和发展规划中，确保了绿色发展理念贯彻到产业部门、空间单元，有效保证了资源要素的高效利用。

（一） 背景

白俄罗斯是“丝绸之路经济带”向欧洲延伸的重要节点，地理位置优越。处于欧盟和独联体之间以及波罗的海诸国到黑海的交通交汇点，是中亚进入欧洲的陆路交通必经之地，90%的中欧班列经白俄罗斯在与波兰交界的布列斯特换轨。有欧亚铁路、公路、输油输气管道、通讯系统、水路和航空交通交汇，是欧亚大陆交通物流枢纽，可以连接欧亚经济联盟和欧盟两大消费市场，连通东西，交接南北。

（二） 概况

中白工业园由中国和白俄罗斯两国元首亲自倡导，两国政府大力支持推动，国机集团和招商局集团两大央企主导开发运营，占地面积约 112 平方千米，规划开发面积 91.5 平方千米，是目前中国参与投资开发的规划面积最大、开发建设规模最大、合作层次最高的境外经贸合作区。

2010 年 10 月，卢卡申科总统访华期间，白俄罗斯经济部与中工国际签署《关于在白俄罗斯共和国境内建立中国-白俄罗斯工业园区的合作协议》。2011 年 9 月中国、白俄罗斯共同签署《中华人民共和国与白俄罗斯共和国关于中白工业园区的协定》，这标志着中白工业园的正式开发，并将开始规划建设。2013 年 7 月，习近平主席与斯卢卡申科总统宣布两国建立全面战略合作伙伴关系，提出扩大相互投资、办好合资企业和中白工业园建设。2015 年 5 月，习近平主席表示要把中白工业园建设作为合作重点，发挥政府间协调机制作用，谋划好园区未来发展，将园区打造成丝绸之路经济带上的明珠和两国互利合作的典



范。

该园区位于白俄罗斯明斯克州斯莫列维奇区，距首都明斯克市仅 25 千米，毗邻明斯克国际机场，交通极为方便。园区主要产业定位是以机械制造、电子信息、精细化工、生物医药、新材料、仓储物流为主的高新技术产业园区。园区内规划有生产和居住区、办公和商贸娱乐综合体、金融和科研中心。



图 2-1 中白工业园地理位置

截止 2021 年 6 月底，共有入园企业 71 家，协议投资额超过 12 亿美元。园区一期 8.5 平方千米基础设施建设已完成，建成了 32 千米道路、供电系统、天然气管道、通信管道、污水处理厂及雨水处理厂，形成可租售土地面积 515 公顷，建成标准厂房 8.5 万平米，为企业入园创造了良好环境。园区建设的办公楼项目相继荣获“白俄国家杰出工程奖”和“中国海外工程鲁班奖”，基础设施建设项目荣获“园区明星工程奖”。

(三) 园区绿色发展经验

1. 将绿色纳入总体规划体系

中白工业园从示范选址、项目商务谈判起，园区开发主体就委托中国国际工程咨询公司参与并编制了示范园区总体规划，同时对园区经济可行性进行了测算和分析。示范园总体规划详细分析了当地的政治经济社会环境、园区发展条件、园区定位和发展目标等，尤其明确了园区建设目标就是力求将其打造成为产业特色鲜明、基础设施完善、服务功能齐



全、管理智能高效、生态节约友好的示范园区，把生态节约友好，绿色可持续发展作为园区建设的重要目标任务之一。总体规划还就环境保护提出了具体规划专篇，就规划目标、水文地质、生态、环境设施等进行了明确说明，为后续可持续发展进行了科学指导和引领。

此外，中白工业园构建了层级较高、相对合理的管理构架，实现多级管控，并以开发公司为主体，会同当地高校、科研机构，共同推动园区的规划编制。中国商务部、国资委与白俄罗斯经济部等多个国家级部委组建协调工作组，并召开多次专题会议，积极沟通交流。

2. 引进专业环保机构

中白工业园区开发公司聘请了通过欧盟认可的 EMAS (Eco-management and audit scheme)环境管理与审核系统公司，对园区进行环保评测和认证，并于 2018 年获得欧盟 EMAS 环境管理与审计计划证书，是白俄罗斯首家获得该证书的企业。该管理体系被认为是世界最优秀的可持续发展管理体系。



图 2-2 中白工业园欧盟 EMAS 环境管理与审计计划证书

3. 提高土地资源利用率

优化园区布局可以有效提高土地资源利用率。中白工业园按照园区功能规划，科学利用土地资源，形成“一带、两轴、三核”的结构布局。“一带”指以 M1 洲际高速公路防护绿地及滨水景观带共同组成的生态景观带，“两轴”指东西向的城市观光体验和生活发展轴、南北向的生产发展轴，“三核”指北部的展销核心、中部的商业核心和西部的休闲核心。按照功能划分，园区规划有综合生产区、高新技术区、科研和发展区、住宅区、度假区，还预留了一定规模的未来发展区。此外，园区十分重视生态环境保护，在整体规划时详细保存了园区范畴内的保护区、水体、15 个村和 13 个种植区。



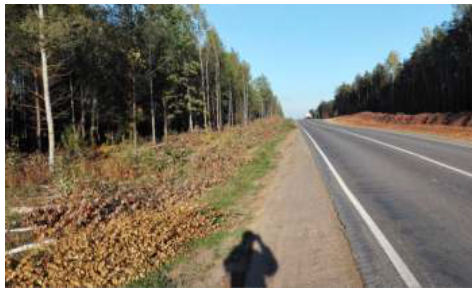
图 2-3 中白工业园总规划图

4. 环境建设生态化

提高绿色覆盖率是园区生态环境优化的重要指标，园区注重对生态系统保护，统筹安排生产、生态和生活的空间布局，加强功能区、绿色系统、空间环境的联系，有效推进生态屏障的建设。中白工业园从规划开始就明确了生态环境保护的要求，最大限度保护、使用和再生现有自然资源，实现可持续发展。园区内总体绿化率近 50%；完全保留了园区范围内的村庄和种植园；制定了园区环保及绿化保护措施制度，要求园区的基础设施建设及入园企业的建设均按照措施内容执行，必须符合总体规划的绿化标准。此外，中白工业园内持续增加绿化面积，营造景观形象。



(a) 中白商贸物流园



(b) 园区 4 号街



(c) 污水处理厂



(d) 雨水处理厂

图 2-4 中白工业园 2014 年与 2019 年园区实景对比

(四) 案例小结

中白工业园是“一带一路”倡议在白俄罗斯规模最大的项目，也是白俄罗斯最具发展潜力的项目之一。园区构建科学的总体规划，设立绿色发展专项规划，确保绿色发展理念融入各空间单元，将资源节约、环境友好、生态保护作为核心内容纳入园区建设和发展，提倡资源节约及能源有效利用，积极改善和提高园区周边生态环境质量，是共建绿色“一带一路”的生动实践。



二、 深圳市龙岗国际低碳城

（一） 背景

龙岗国际低碳城位于深圳市东北部的龙岗区，面积 388.21 平方千米，常住人口约 398 万，是深圳市人口增长最快的区。昔日的龙岗还是一片荒芜，但是自 2012 年底正式启动国际低碳城建设以来，经过 8 年多的城镇绿色化发展探索，国际低碳城所在的片区产业转型升级，经济实体不断壮大。2020 年，国际低碳城规划范围内地区生产总值达 163.02 亿元，是 2012 年的 3 倍；规模以上工业增加值达 92.96 亿元，较 2012 年的 29.78 亿元增长两倍之多。片区内应用了绿色建筑、清洁交通、污水循环、废物回收、能源低碳等十大技术系统，97 项先进技术，海绵城区建设理念贯穿始终，已发展成为绿色低碳技术示范区。

龙岗区以国际低碳城为代表，践行绿水青山就是金山银山的理念，把生态文明建设作为提升龙岗核心竞争力的重大战略，实行最严格的生态环境保护制度，先后获评“国家级生态示范区”“全国第二批水土保持监督管理能力建设区”“国家低碳城（镇）首批试点”“全国首批产城融合示范区”“国家级文旅特色小镇”“国家森林乡村”“国家生态文明建设示范区”等，已成为深圳市参与粤港澳和“一带一路”建设的重要支撑点。

（二） 概况

深圳龙岗国际低碳城位于龙岗区坪地街道，这里曾经是深圳发展滞后的区域，单位面积 GDP 仅为全市平均水平的 1/5，但能耗和碳排放强度约是全市平均水平的 2 倍。2008 年，深圳开始谋划建立国际低碳城。2010 年 6 月，深圳市与荷兰有关部门就合作建设中荷（欧）低碳城项目进行了多次沟通交流，并明确规划建设荷兰低碳城意向。2011 年 12 月，在国家发改委的支持下，深圳市政府与荷兰有关部门举办了“中荷（欧）低碳城专家研讨会”，共同探讨了低碳城的规划和远景。次年提出深圳与荷兰合作规划建设深圳国际低碳城的意向。基于坪地位于深莞惠交汇点，辖区开发建设强度低，生态保护良好，建设低碳城基础条件优越，有利于打造中欧可持续城镇化合作旗舰项目。

2012 年 8 月，深圳国际低碳城项目正式启动。园区总规划面积 53.14 平方千米，以高桥园区及周边共 5 平方千米范围为拓展区，以核心区域约 1 平方千米范围为启动区。目前，正按照“核心区—拓展区—全域范围”三个圈层滚动开发建设，建筑面积约 180 万平方米，建设周期为 7 年。

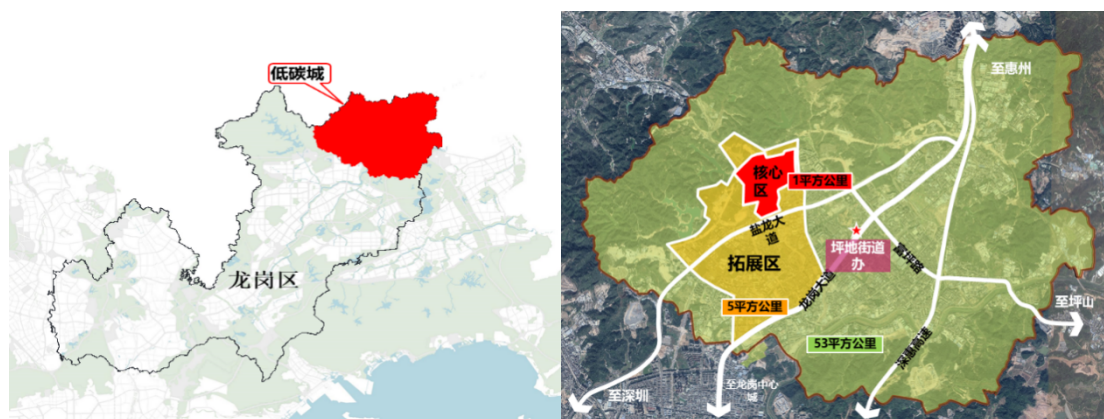


图 2-5 国际低碳城区位规划

优越的地理位置和便利的交通为国际低碳城创造了显著的发展机遇。2016 年以来，区域集中签约 17 个板块 30 个旗舰项目，例如中欧未来城、德国小镇、华侨城国际低碳示范城等，一年内投入破 750 亿；引进柔宇科技、杰科电子、太空科技南方研究院等企业，高新企业比重显著上升。2019 年与 2012 年相比，规模以上企业从 94 家增至 282 家，国高企业从 9 家增至 246 家，亿元企业从 13 家增至 76 家。初步形成了集高新科技、生物科技、航天科技、环保产业以及大型服务业于一体的产业布局。

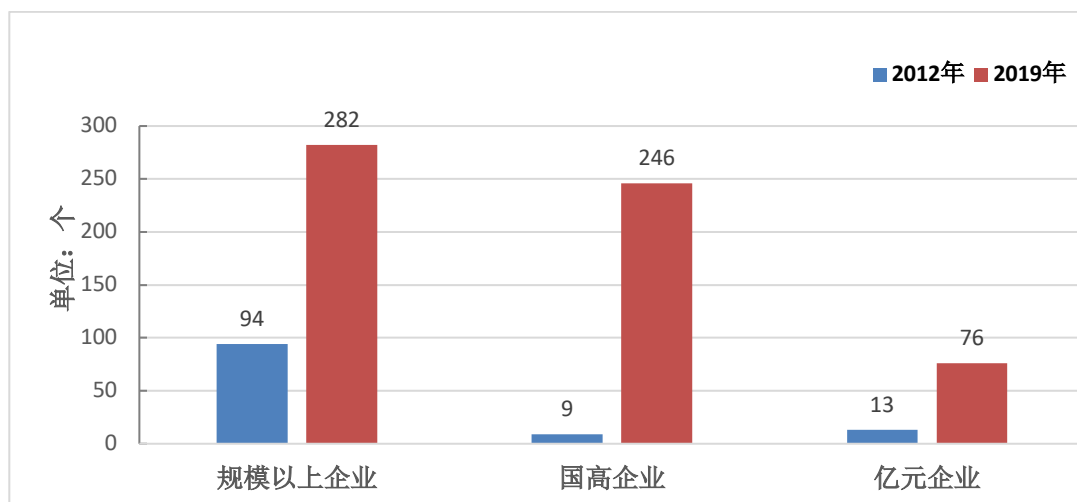


图 2-6 国际低碳城企业数量变化

截至 2019 年，地区生产总值达 151.33 亿元，比 2012 年的 54.07 亿元增长近两倍，年均增长 13.7%；规模以上工业增加值达 82.24 亿元，比 2012 年的 29.78 亿元增长 176.2%，年均增长 13.4%；固定资产投资总额 121.04 亿元，比 2012 年的 25.01 亿元增长 383.9%，年均递增 21.8%。

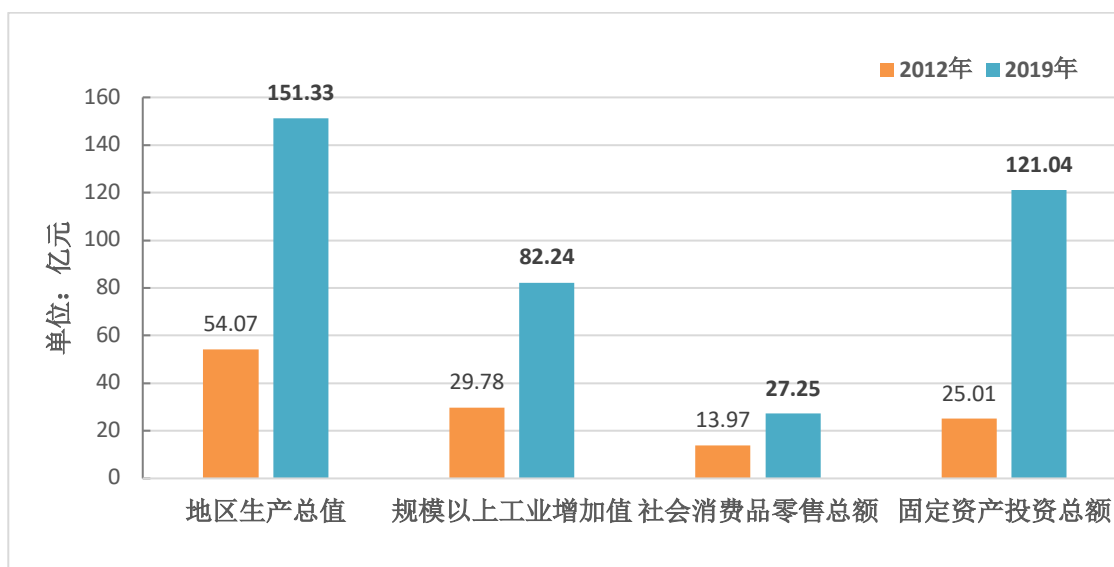


图 2-7 国际低碳城经济指标变化

从 2013 年起，国际低碳城先后承办深圳国际低碳城主论坛 5 次，为国家、省市在绿色低碳和可持续发展领域带来众多有益尝试和经验探索，是深圳市 18 个重点发展区域中，唯一以绿色低碳发展为特色的重要载体和示范窗口。国际低碳城获得多项国内外荣誉奖项：2012 年被列为国家发改委中欧可持续城镇化合作旗舰项目；2014 年入选国家行政学院、人民网全国十大新型城镇化范例，被列为亚太经合组织低碳城镇示范项目，获得保尔森基金会“可持续发展规划项目奖”；2015 年入选国家发改委首批国家低碳城（镇）试点、获得首届“中欧绿色和智慧城市奖”先行奖；2016 年获得国家发改委、欧盟委员会授予的“中欧城镇化伙伴关系示范区”称号；2016 年获得中欧城镇化伙伴关系示范区、全国城乡规划设计一等奖；2017 年获得美国绿色建筑协会嘉力达低碳研究院铂金级认证（LEED-CI）；2018 年获得低碳城海绵城市详细规划优秀城乡规划设计奖；2020 年低碳城乐城项目获得世界领先的设计奖法国 NDA（Novum Design Award）2020 年金奖。

（三） 低碳城绿色发展经验

1. 严守生态保护红线，践行绿色低碳规划

深圳龙岗国际低碳城总规划面积 53.14 平方千米，但建设用地规模仅 19 平方千米，基本生态线控制区域达 63%，绿化覆盖率达 52%。园区内有红花岭、松梓坑山系、黄竹坑、长坑水库、龙筋山系等五大生态体系，资源丰富，环境优越。区域内还有丁山河、黄沙河、龙岗河、桉梓河四条河流，水系发达，河流纵横。从规划设计方面来看，绿色低碳



的理念无处不在，道路两旁的路灯采用风光互补灯，降低能耗；街道上安装了配套充电设施，保证电动车的充电需求；钢结构完成后废弃的钢材做成了广场、花园里的各式雕塑；新桥世居客家围屋变成为国际低碳体验中心。此外，园区内还有低碳会展中心、体验中心、文化会议中心等地标建筑，既可提供公共服务，也成为极具低碳内涵的亮点。

2. 打造绿色低碳技术应用示范平台

2012 年底，国际低碳城首批启动项目动工，半年后投入使用，是国内低投入快见效 1.5 级开发模式的创始，取得较好成效；区域内既有建筑物及周边环境均采用绿色建筑三星级标准改造，应用了绿色建筑、清洁交通、污水循环、废物回收、能源低碳等十大技术系统，97 项先进技术；区域内建筑未来大厦，是首个走出实验室规模化应用的全直流建筑，于 2019 年底通过住建部净零能耗综合示范项目验收，并入选中美建交四十周年 40 项科技合作成果和联合国开发计划署（UNDP）中国建筑能效提升示范项目；区域内建有 2.08 千米的综合管廊，是深圳市首个成系统的区域性综合管廊系统；海绵城区建设理念贯穿城区规划、建设和运营的全过程，建有自组织、自循环的生境网络组织系统、雨洪调蓄及水质净化等系统，成为绿色低碳技术的示范区。

3. 创建绿色低碳生活新风尚

深圳龙岗国际低碳城通过开展绿色机关、绿色家庭、绿色学校、绿色社区、绿色商户、绿色出行、绿色建筑、绿色环境八大创建行动，大力宣传推广简约适度、绿色低碳、文明健康的生活理念，积极营造绿色低碳生活新时尚。例如，在**绿色机关**创建行动中提出，实行能耗分楼栋、分办公室计量，建立能耗消耗统计台账，实行能耗公示；在**绿色家庭**创建行动中提出，签订《绿色家庭生活行为公约》，建立完善“碳账户”和运用普惠机制，并开展“绿色家庭”挂牌和表彰活动；在**绿色社区**创建行动中提出，打造“近零排放”示范社区，推进职住平衡，引导坪地辖区商户制定节能减排和循环利用管理制度，开展创建单位签订绿色低碳承诺活动；在**绿色商户**创建行动中提出，建立绿色管理制度，完善绿色供应链体系，严格落实《企业绿色采购指南》要求，大力推广简化商品包装，依法依规禁止使用不可降解塑料制品等措施；在**绿色出行**创建行动中提出构建安全畅达、绿色惠民的生态绿廊，完善骑行和行走慢行网络；在**绿色建筑**创建行动中提出，辖区建设用地范围内新建建筑全部按照绿色建筑标准进行规划、设计、建设、运营，安排专项资金推动既有公共建筑开展节能改造；在**绿色环境**创建行动中提出，大力推进各类公园规划建设和百里碧道建设，推



进生态空间保护和修复，建设水污染治理工程等。

（四） 案例小结

龙岗国际低碳城从 2012 年开始建设以来，以其优越的地理位置和便利的交通吸引了大批高新技术产业，生产总值增长了近两倍。积极践行绿水青山就是金山银山的发展理念，严控生态红线，大力推行绿色基础设施、节能改造、废物利用等措施。通过应用绿色建筑、清洁交通、污水循环、废物回收、能源低碳等十大技术系统，打造绿色低碳技术的示范区。同时，通过开展绿色机关、绿色家庭、绿色学校、绿色社区、绿色商户、绿色出行、绿色建筑、绿色环境八大创建行动，引领绿色低碳生活新风尚。龙岗国际低碳城的实践经验为粤港澳大湾区低碳生活示范街区以及国家绿色生活创建和推行贡献了龙岗智慧和深圳模式。



三、广州可持续发展经验

广州是古代海上丝绸之路的发祥地，是海上丝绸之路经济带的中心城市，广州积极参与“一带一路”建设，始终注重将可持续发展的理念贯穿于“一带一路”的建设过程中。

（一）背景

广州市地处中国大陆南方，广东省东南部，珠江三角洲北缘，濒临南海，毗邻香港和澳门。广州市是广东省省会，是广东省政治、经济、科技、教育和文化中心，交通运输体系发达，地理区位优势，是中国远洋航运的优良海港和珠江流域的进出口岸，素有中国“南大门”之称。广州也是一座历史文化名城，是中国古代“海上丝绸之路”的发祥地。自秦汉起，广州一直作为对外贸易的重要港口，历两千余年而经久不衰，成为具有世界影响的东方大港和海上丝绸之路的重要枢纽，在东西方商贸活动和文化交流中发挥不可替代的作用。

今天，广州作为改革开放的前沿城市以及对外贸易的窗口，经济突飞猛进，各项事业得到全面的发展，成为中国经济最活跃的城市之一，经济综合实力位居全国主要城市的三甲之列。2020年，面对百年不遇的新冠疫情和复杂多变的国内外形势，广州经济仍显现出稳步向好的韧性和活力，2020年广州地区生产总值为2.5万亿元，同比增长2.7%。同时，广州不断深入与“一带一路”沿线国家和地区的双边交流和贸易往来，2020年1-8月，广州对“一带一路”沿线国家和地区进出口1644.7亿元，增长11.5%，“一带一路”沿线国家和地区在广州实际投资4.73亿美元，同比增长70.9%。

（二）概况

广州作为千年商都、海上丝绸之路的重要起点，“一带一路”的重要枢纽城市，具备先发优势和巨大潜力。数据显示，2020年1-11月，广州市外贸进出口8645.4亿元，其中出口4939.5亿元，同比增长9.8%；对“一带一路”沿线国家和地区进出口2357.2亿元，同比增长15.1%。其中对东盟进出口1393.7亿元，同比增长23.4%，东盟稳居全市外贸进出口第一大市场。自南沙自贸试验区挂牌以来，红利持续释放，2014-2019年，注册企业由8400户增加到12.4万户，年均增长71.4%；累计引进172个世界500强企业投资项目。2020年前三季度，广州市在“一带一路”沿线国家投资设立了31家企业（机构），同比增长6.9%；中方协议投资额1.13亿美元，占同期中方协议投资额20.1%。由此可见，广州在“一带一路”沿线的进出口贸易增长强劲。

此外，广州在“一带一路”建设过程中，已经在政策沟通、设施联通、贸易畅通、民心



相通等方面取得了显著成效。政策沟通方面，广州拥有相对完善的对外交流体系，有效优化了跨地区的政策沟通；设施联通方面，广州具备全方位、立体化的交通枢纽，能支撑跨地区设施联通；贸易畅通方面，广州不断推动外贸外资产业转型升级，保证了跨国家跨地区的贸易畅通，并且依托广交会、广东 21 世纪海上丝绸之路港口城市发展论坛等活动，深化对外进出口贸易合作；民心相通方面，广州牵头成立海上丝绸之路保护和联合申遗城市联盟，会员城市数量达 26 个。

（三） 城市绿色发展经验

1. 建设绿色产业园区，投资绿色环保项目

广州注重城市自身的绿色发展，对绿色产业加大投入和扶持力度，加快绿色产业园区建设。广州市黄埔区和开发区是全国首批绿色产业示范基地，截止 2021 年 3 月，全区绿色产业规模以上企业 211 家，产值约 2364 亿元，其中，氢能产业则是该区绿色能源产业的重点，目前广州正加快人才引进、技术研发、核心装备产业化，加快规划建设广州国际氢能产业园等园区。

广州在努力实现城市自身绿色发展的同时，也与共建“一带一路”国家和地区围绕绿色发展开展了领域广泛、内容丰富、形式多样的交流与合作，推动共建绿色丝绸之路取得积极进展和显著成效。

2. 基础设施互联互通，为经济增长提供新动力

“一带一路”倡议通过改善基础设施互联互通，有助于消除发展中国家经济增长和贸易投资的瓶颈，助力区域经济一体化进程，并为世界经济提供新的增长动力。广州积极参与建设“一带一路”基础设施互联互通，努力建设交通枢纽型城市，目前，广州已具备全方位、立体化的交通枢纽，能支撑跨地区设施联通，这有效提升了广州在全球资源配置中的辐射力、影响力和竞争力。

2020 年，广州港已经与世界 100 多个国家和地区有海运往来，货物吞吐量居全球第 4 位。广州白云机场的航线网络已经覆盖全球 230 余个航点、辐射 29 个“一带一路”沿线国家 50 个城市，旅客吞吐量高居全球第 11 位。地铁、高铁等立体交通网络，具备沟通港澳、联系泛珠腹地的交通枢纽优势，有力促进了粤港澳大湾区及内地城市和海上丝绸之路资源对接聚合。

3. 创新绿色金融，支持低碳经济发展



金融作为实体经济的血脉，在引导资源优化配置上起着不可替代的作用。2017 年，国务院批准广州花都区成为绿色金融改革创新试验区，这是广州市首个经国务院批准建设的金融专项试验区，也是华南地区唯一一个绿色金融改革创新试验区。该试验区具有四大定位，分别是绿色金融改革创新的试验田、绿色金融与绿色产业协调发展的示范区、粤港澳大湾区合作发展的新平台、“一带一路”建设的助推器，该举措对广东发展绿色金融、推动绿色发展具有重大意义和深远影响。

广州市绿色金融改革创新举措如下：第一，加大金融供给，支持乡村振兴和企业融资难题。例如，依托人民银行广州分行“粤信融”开发建设广州市绿色金融改革创新试验区融资对接系统，实现了绿色企业和绿色项目 24 小时在线申报、绿色项目产融对接以及绿色金融业务统计分析等功能。截至 2021 年 4 月，融资对接系统共有 2544 个企业和项目进行展示推荐，15 家银行机构发布 92 个绿色信贷产品。第二，创新金融产品，打造碳金融交易体系。落地国内首笔碳排放权抵押贷款业务，为碳排放权（抵）质押融资在更大范围内实施提供示范效应，截至 4 月底，累计完成 15 笔碳排放权（抵）质押融资业务，融资金额 7171.65 万元。第三，深化粤港澳大湾区绿色金融合作，研究构建支持粤港澳大湾区绿色建筑发展的绿色金融服务体系，深入交流粤港两地在绿色金融与绿色建筑标准对接、绿色供应链金融、绿色企业项目认证和香港建筑业内地开业等方面的合作。

4. 推动产业协同升级

粤港澳大湾区是我国开放程度最高、经济活力最强的区域之一。2019 年 2 月，《粤港澳大湾区发展规划纲要》明确指出，粤港澳大湾区要成为“一带一路”建设的重要支撑。

粤港澳三地在“一带一路”建设中各有优势，作为大湾区核心引擎之一的广州产能优势突出，推动产业协同升级是广州建设“一带一路”的重要举措。广州提出重点发展新一代信息技术、人工智能、生物医药和新能源、新材料等战略性新兴产业，壮大云计算、数字经济、融资租赁等新业态和新模式，大力发展海洋经济。早在 2017 年，广州推出首个区块链产业扶持政策“区块链 10 条”，黄埔区财政计划每年投入 2 亿元扶持区块链产业发展，推进区块链与 AI、生物医药、工业互联网、物联网等技术融合应用，帮助珠三角制造业迈向智能制造，推动产业协同发展，共同打造“一带一路”建设重要支撑区。2019 年广州再度出台“区块链 10 条 2.0”政策，支持粤港澳大湾区区块链联盟建设，并鼓励设立 10 亿元规模区块链产业基金，强化金融支撑能力。



5. 推动制造业绿色发展

广州将可持续发展作为建设制造强市的重要着力点，强化约束机制，构建绿色制造体系，推动制造业绿色发展，走生态文明的发展道路。

广州推动绿色制造主要包括四方面内容。第一，提升企业绿色发展能力，加大节能环保技术、工艺、装备的研发和推广力度，鼓励企业进行环保改造，实现规模以上企业清洁生产全覆盖；第二，推动绿色制造产业发展，支持企业开发绿色节能产品，积极推行生态设计，减少物质和能源的消耗、减少有毒有害物质的排放；第三，大力发展循环经济，鼓励工业园区开展集中供热、土地集约利用、企业间废物交换利用、水的循环利用等，推进园区循环化改造，打造国家级循环经济示范园区；第四，强化节能环保监管，严格实施项目能评和环评制度，严格落实高能耗行业新增产能能耗等量或减量置换约束要求。

6. 提升环境品质

近年来，广州坚持生态优先、践行绿色发展理念，注重以环境保护优化经济发展，深入展开空气、水和节能减排等环境综合整治，致力于建设宜居宜业宜游的花园城市。持续提升生态环境水平，优化营商环境。

广州推进大气污染综合治理和联防联控，加强 PM_{2.5} 和臭氧协同治理，PM_{2.5} 平均浓度连续三年达到国家二级标准；加强生活垃圾分类全链条科学管理，目前广州已实现所有居住小区 100% 楼道撤桶、生活垃圾无害化处理率 100%、市民垃圾分类知晓率达 99.1%；河长制、湖长制与网格化治水机制不断完善，国家督办的 147 条黑臭河涌已全面消除黑臭，污水处理能力跃居全国第二；已建成绿道 3560 千米，2019 年广州森林覆盖率达 42.31%，森林蓄积量为 1702.6 万立方米，城市人均公园绿地面积 17.7 平方米，高居全国同类城市前列；此外，广州在 2021 年政府工作报告中提到，要科学制定碳排放达峰行动方案，完善能源消费双控制度，加快优化能源结构，培育壮大节能环保产业，推广应用节能低碳产品，大力推行绿色建筑。

（四） 案例小结

广州是海上丝绸之路的重要起点，“一带一路”的重要枢纽城市，具备先发优势和巨大潜力。一直以来，广州努力践行“创新、协调、绿色、开放、共享”的新发展理念，致力于探索广州特色的超大城市可持续发展之路。在参与建设“一带一路”的过程中，广州也始终注重将绿色发展理念贯穿其中。通过加大力度扶持绿色产业、重视基础设施互联互通、鼓



励投资环保项目、开展绿色金融改革创新试验区、支持粤港澳大湾区区块链联盟建设、推动产业协同升级积极以及共建“一带一路”国家和地区围绕绿色发展开展交流合作等多种措施，积极推动共建“一带一路”向高质量发展转变。



参考文献

- [1] 白俄罗斯共和国官网. 中白工业园—“巨石”.<https://www.belarus.by/cn/business/business-environment/industrial-park-great-stone>
- [2] “巨石”中白工业园官网. “巨石”中白工业园 2010-2019 年大事记.
https://www.zbggy.cn/cn/Memorabilia/index_96.aspx
- [3] 人民网. 中白工业园迈向高质量发展期 (2020-05-12)
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1666463185423287045&wfr=spider&for=pc>
- [4] 北京日报. 中白工业园入园企业已达 68 家, 投资总额超 12 亿美元 (2021-02-22) .
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1692373365706416870&wfr=spider&for=pc>
- [5] 中国一带一路网. “一带一路”在白俄的最大项目, 中白工业园怎么样了? (2020-07-29).
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1673479515871809936&wfr=spider&for=pc>
- [6] 深圳国际低碳城: 一个绿色低碳发展的样本.
https://www.sznews.com/news/content/2021-03/26/content_24079030.htm
- [7] 关于加快推进低碳城(镇)试点工作的通知.
http://www.ncsc.org.cn/SY/dtsdysf/202003/t20200319_769719.shtml
- [8] 深圳国际低碳城系列规划. http://www.upssz.net.cn/newsInfo_803_1065.html
- [9] 深圳国际低碳城再升级, 拟打造“低碳+”产业新城样本.
http://www.ncsc.org.cn/SY/dtsdysf/202003/t20200319_769719.shtml
- [10] 深圳国际低碳城绿色生活创建行动方案(2021—2023 年)(征求意见稿)
- [11] 广州市统计局. 2020 年广州市国民经济和社会发展统计公报.
http://tjj.gz.gov.cn/gkmlpt/content/7/7177/post_7177236.html#231
- [12] 广州市商务局. 开放引领: 奋进大湾区 服务新格
局.http://sw.gz.gov.cn/swzx/swyw/content/post_6862825.html
- [13] 广州市政府官网. 广州建设“一带一路”重要枢纽城市蓝皮书发布.
http://www.gz.gov.cn/xw/zwlb/content/post_7004593.html
- [14] 广州黄埔再迎近千亿元投资项目! 如何助力绿色产业集群发展.
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1695690693068818792&wfr=spider&for=pc>
- [15] 广州市商务局. 打造“一带一路”枢纽城市的广州样本.
http://sw.gz.gov.cn/ztzl/qyzcq/zcqd/content/post_7215911.html
- [16] 广州市政府官网. 广州市花都区持续发力绿色金融改革创新.
http://www.gz.gov.cn/zwgk/cssj/content/post_7344060.html
- [17] 广州市黄埔区政府. “区块链 10 条”政策力度全国最大.
http://www.hp.gov.cn/xwzx/mtxx/content/post_3634337.html
- [18] 广州市生态环境局. 经济发展跑出“广州速度”, 民生建设升级“广州温度”.
http://sthjj.gz.gov.cn/ysxw/content/mpost_6551296.html



第三章 无废城市

四、意大利卡潘诺里无废城市

卡潘诺里是欧洲第一个签署零废战略的城市。为实现无废城市理念，卡潘诺里依托全面系统的废物管理法律法规，采用自下而上的政策执行模式，政府、企业、民间组织与民众多方参与。除实施“门到门”垃圾回收模式外，卡潘诺里引入了计量收费制度，特别强调垃圾的堆肥、回收、再利用和升级再造，缩短产品供应链，并减少一次性用品使用。此外，卡潘诺里还建立了无废研究中心，推进无废研究。

（一）背景

卡潘诺里位于意大利比萨省，由平原和南北两侧的丘陵链组成，总面积约 22.67 平方千米，人口 46,177 人（2017 年）。卡潘诺里是一个市镇（*commune*），经济以农业为主，下辖 40 个村庄（*hamlet*）。



图 3-1 卡潘诺里市区位图

2007 年，卡潘诺里市的托斯卡纳小镇签署了欧盟零废弃战略协议，成为首个签署此协议的小镇。小镇发起社区运动阻止当地焚烧厂的建设，市政当局承诺到 2020 年实现零废填埋，由此引发意大利全国范围内的“零废弃”基层运动。卡潘诺里的无废政策是由市长内阁发起的，以大型、参与性进程形式设计的环境倡议。



（二）概况

卡潘诺里的无废城市进程可分为三个阶段：

第一，实验阶段。2004 年，卡潘诺里的垃圾回收率仅为 37%。2005 年，新环境政策的实施始于卡潘诺里的一个名为瓜莫（Guamo）的小村庄。工作人员对村庄 600 名居民进行上门回收垃圾服务，通过移除路边原有铺设的垃圾箱，以迫使居民使用新方式对垃圾进行收集和分类。

第二，政策巩固阶段。2006 年 2 月 1 日，上门回收垃圾的方式被推广至另外两个村庄，涵盖 1 万名居民（占卡潘诺里总人口的 23%）。9 个月后，该地区的垃圾回收率跃升至 82%。

第三，政策深化阶段。2007 年，卡潘诺里市加入了国际零废物战略。2008 年 3 月，共计 2 万 6 千名居民参与了上门回收垃圾服务，其 18 个村庄的废物回收率提高到 82%（卡潘诺里市达到 65%）。2010 年 6 月，上门回收垃圾服务覆盖了全部 4 万 5 千名公民，同时市政府还进一步推进了其他举措的实施。卡潘诺里现已成为欧洲“无废城市”的先行者和领军者，是 2013 年戈德曼环境奖得主。

（三）城市绿色发展经验

1. 无废城市的顶层设计：管理机制和法律法规基础

意大利的废物管理法律法规为“无废城市”提供了制度基础。国家层面的废物管理法律法规建立在欧盟相关框架指令之上，体系全面、分类细致。意大利实行废物管理一体化政策，基本上形成从产品产生、消费和废物产生的全过程管理。这一政策集合垃圾减量化、分类处理、源头治理等废物管理理念，重视废物再利用、再循环、能源回收和安全处置的综合管理办法。国家层面的法律法规规定了垃圾分类办法及相应设施的设置。例如，意大利对生活垃圾进行了严格分类，共分为纸类、塑料、玻璃、厨余垃圾、干式无法回收（不可回收）垃圾、花草林木类垃圾等六大类。每一个垃圾站都有几个垃圾箱，供市民丢弃不同类型的垃圾。居民如果随意抛弃“危险和特殊的”垃圾会面临刑罚。此外意大利《反食品浪费法》为反对食品浪费和食品回收创造了有力保障，通过简化即将过期食品捐赠的程序、鼓励餐厅为消费者提供打包袋等措施，减少食物资源浪费。

卡潘诺里为实现无废城市理念，实施了政府、企业、民间组织与民众多方参与的机制。



通过与 ASCIT SPA 环境服务公司、地方联盟、城市组织委员会、社区、学校、二手市场等合作，实现自下而上的共同协作机制。其垃圾处理设施主要采用政府、企业共同投资，政府控股，成立专业公司运营的方式。同时，卡潘诺里市镇议会 2007 年 6 月 14 日通过了第 44 号决议，决定到 2020 年实现零废城市目标，为卡潘诺里长期实施零废战略提供了决策依据。

2. 挨家挨户提高民众参与率

“零废弃”战略的实施依靠的是强有力的政策推行和广泛的社区参与。公众参与是项目成功的关键之一，重点工作是与居民沟通和询问意见。卡潘诺里市最初推行零废政策时，由于信息不畅等原因引起了公众的抵制。为此卡潘诺里市举行了多次公共集会，并让当地非政府组织参与管理新政策的执行，获得了民众的普遍认可。同时卡潘诺里市还为社区居民提供必要的废物回收分类培训。在上门分发垃圾分类包时，受培训的志愿者会为居民答疑解惑，回答有关回收策略的相关问题。

2010 年以来，“门到门”垃圾回收模式在卡潘诺里实施，广泛的群众参与度让垃圾回收策略取得了巨大成功，并成功降低了垃圾回收和后续处置的成本。卡潘诺里的无废政策是从小村落推广至整个地区。在一个地区开始实施上门回收政策的前几周，项目志愿者会向所有家庭分发免费的垃圾分类工具包，包括所需的各种垃圾桶和分类垃圾袋。新的垃圾回收策略促进了有机废物的分流。到 2010 年时，当地 82% 的垃圾已经能从源头进行分类，只有 18% 进入垃圾填埋程序。到 2012 年时，该地区又开始推行一项针对丢弃垃圾的收费，将垃圾分类比率提升到 90%。

卡潘诺里的无废政策是自下而上设计的。卡潘诺里市采取了积极主动的整体方法，并让居民参与到政策制定的各个阶段当中。公民和社区的任务是组织和领导社区的所有部门。这种自下而上的设计不仅改善了垃圾回收的效率，而且使民众在采购、源头减废、不断创新方面建立起良好的生态意识，同时能促进自下而上的项目（如零废家庭挑战）的推广，促进生态研究和教育。

零废家庭挑战是卡潘诺里零废研究中心试点的一个零废项目，是促进民众参与的一个案例。该项目涉及 85 个家庭，共 240 名公民。项目鼓励公民进一步减少家庭废物的产生。参与该挑战的家庭会收到颜色各异的笔记本，分别对应分类收集垃圾袋的不同颜色，并被要求对该类残余垃圾进行每周一次称量和记录。研究中心会在全年对参与挑战的家庭进行



进一步减废指导和培训。

3. 计量收费，鼓励废物源头减量化

卡潘诺里的无废政策是可持续发展、经济高效的环保政策。2012 年，卡潘诺里引入了计量收费制度。即用残余垃圾袋上贴纸的微芯片来衡量每个家庭的收集频率，并由收集车上的阅读器进行扫描读取数据。这个系统给该镇的垃圾管理系统带来了重大变化。新的收费标准激励了更好的垃圾分类和垃圾减量，使当地的源头分类率上升到 90%。同时利用经济激励措施、特别基金和按产生或填埋的废物吨数计算的费用，确定专门针对专业人士的教育和培训方案，以实施“零废物”战略。

2019 年，卡潘诺里废物产生量减少 40%以上，85.45%的废物实现了分类收集，人均残余垃圾减少了 57%，居民的废物处理费减少了 20%，同时共计 93 吨物品被回收至再利用中心。据统计，卡潘诺里人均产生的废物总量从 2006 年的 672 千克减少到 2019 年的 498 千克，而人均产生的未分类垃圾从 2006 年的 340 千克下降到 2017 年的 54.56 千克。



图 3-2 工作人员通过扫描垃圾袋上微芯片进行记录（图片来源：AIMEE VAN VLIET）

4. 提高废物循环使用率

卡潘诺里强调堆肥、回收、再利用和升级再造。项目鼓励居民进行家庭堆肥。进行家庭堆肥的公民，会得到 10%垃圾费的折扣。总共有 2200 个家庭领取了免费的堆肥器，并接受堆肥技术的培训，抽查显示，截止 2019 年，96%的家庭仍在使



禁止生产社区不能重复使用、回收或堆肥处理的材料。卡潘诺里建立了 6 个维修再利用中心。其中一个用于维修废旧电子电气设备，修复并销售二手产品。中心维修的物品包括家具、旧衣服和其他家用电器等。目前再利用和维修中心共有 12 名员工，参与木工车间、家具和自行车的维修、纺织品的再零售等工作。

市政府根据材料回收再利用所取得的成果预计，自 2004 年至 2009 年，该政策减少了 1 万 3 千吨的二氧化碳排放。该项目由市政府提供基础资金，通过利用回收废物材料（特别是不在垃圾填埋场处理的未分类废物）回流资金，使项目在经济上自给自足。自该政策开始实施以来，该市已雇用 70 名新工人从事废物分类收集工作。

5. 缩短产品供应链，减少一次性用品使用

卡潘诺里鼓励减少一次性用品的使用，也是重要的废物源减量化措施。小镇兴建了两个自助牛奶加注站，采用了“短链”食物分配模式。当地农民直接向牛奶加注站供货，提供给消费者，省去了送往包装厂或零售商的过程，居民可以更低的价格买到牛奶，农民也能获得更多收益。91%的居民自带容器来购买牛奶，每天有 200 升牛奶通过加油站售出，减少了约 9 万包装瓶的使用。这种创新商业模式避免了废包装盒的产生，也被用于其他日用洗涤用品、饮用水、化妆品等的售卖。同时卡潘诺里鼓励销售可重复使用与可降解的个人卫生用品，例如可清洗的尿布等，以进一步降低一次性用品量。卡潘诺里还禁止在公共场所使用一次性餐具和平面器皿，并向 17800 个家庭和 5000 个企业发放帆布袋。



图 3-3 自助牛奶加注站（图片来源：AIMEE VAN VLIET）



（四） 案例小结

卡潘诺里通过实施一系列措施，从废物源头的减量、增进废物循环使用、缩短供应链、减少一次性物品消费等方面着手，有效降低了终端固体废物量。卡潘诺里无废城市项目的成果离不开公众参与与政策支持。无论是“门到门”垃圾回收模式、计量收费的垃圾定价系统、还是其他零废措施的推行，都离不开强有力的政策支持与社区参与。



五、新加坡无废城市

（一）背景

新加坡，又名狮城，是东南亚的岛屿国家，位于马来半岛最南端，北隔柔佛海峡，以新柔长堤与第二通道两座桥梁与马来西亚相连，南隔新加坡海峡与印尼相望，扼守印度洋和太平洋的重要航道——马六甲海峡的最南端出口。面积 728.6 平方千米（2021 年），由新加坡岛及附近 63 个小岛组成，其中新加坡岛占全国面积的 88.5%。总人口 568.6 万（2021 年），公民和永久居民 404.4 万。



图 3-4 新加坡地图

由于国土面积狭小，自然资源匮乏，新加坡经济主要以电子、石油化工、金融、航运、服务业为主，高度依赖中、美、日、欧及周边市场，属外贸驱动型经济。依赖于优越的地理位置和开放的经济环境，新加坡 GDP 曾长期保持 9% 的增长率，被誉为亚洲四小龙之一。2020 年，尽管受新冠疫情影响，经济衰退 8.2%，GDP 仍达到 3500 亿美元，人均 GDP 达 6.2 万美元，人类发展指数（HDI）极高（0.938），平均预期寿命 83 岁，全球排名第三。新加坡拥有世界级的基础设施、严格的经济处罚制度和数万名环卫大军，这些因素共同造



就了新加坡“花园城市”和“最干净的城市”的美誉。狭小的空间让新加坡非常注重可持续发展，并分别于 2009 年和 2015 年提出了《新加坡可持续蓝图》（The Sustainable Singapore Blueprint），从一系列指标衡量可持续绩效。2021 年 3 月，新加坡出台了《2030 年绿色发展蓝图》，从基础设施、交通、教育、经济发展和应对气候变化等方面，阐述绿色理念，打造宜居环境，提升国家竞争力。

（二）概况

新加坡人口众多，但土地资源稀少，这导致“垃圾围城”问题格外突出。2013 年，新加坡产生了超 785 万吨垃圾，足以填满 14,950 个奥运规格的游泳池。尽管其中有 60% 得到回收，但仍有 7,740 吨垃圾需要送到当时的 4 大垃圾焚烧发电厂进行焚烧。而且焚烧产生的灰烬和不可焚烧的废物（如化学废物）也不得不占用土地进行填埋，而新加坡现存唯一的垃圾填埋场——实马高垃圾填埋场也即将在 2035 年耗尽。

在这样的背景下，新加坡提出建设“无废城市”，并经历了两个重要时期：一是 2014 年发布《新加坡可持续蓝图 2015》（The Sustainable Singapore Blueprint，以下简称《蓝图》），标志着国家层面的无废城市总体规划出台，提出建设“零废弃”国家愿景和总体目标；二是 2019 年发布的《零废物总体规划》（Zero Waste Masterplan Singapore，以下简称《规划》）和专门针对食品、包装和电子废弃物管理的《可持续资源法案》（以下简称《法案》），进一步强化了总体目标，并提出了实现目标的主要措施。

具体而言，《蓝图》提出通过减量（Reduction）、再利用（Reuse）和再循环（Recycle），努力实现食物和原材料零浪费，并尽可能将其再利用和回收，给所有材料第二次生命，使新加坡成为一个“零废物”国家。到 2030 年，废物综合回收率达到 70%，生活垃圾回收率从 2013 年的 20% 上升到 30%，非生活垃圾回收率从 2013 年的 77% 上升到 81%。为此，《蓝图》提出四项措施：在新组屋中建设可回收物品垃圾溜槽、在更多组屋中引入气动垃圾运输系统、建立一个综合性的废物管理设施分离可回收物品、减少食品饮料行业的垃圾和改善电子废弃物回收利用。

2019 年，《规划》在《蓝图》的基础上进一步提出，为了延长实马高垃圾填埋场的使用寿命，将每人每天产生的不可回收垃圾从 2018 年的 0.36kg 减少到 2030 年的 0.25kg，这相当于将 2018 年产生的飞灰和填埋垃圾减少 30%。

《可持续资源法案》则从法律的角度明确了食品、包装和电子废物管理三大优先领域



并提出三项具体目标：产品生产商应承担产品变成垃圾时的收集和处理费用；鼓励包装制造商实行包装减量、重复使用和循环利用；实行食品垃圾分类和妥善处理。另外，《法案》还制定了 2020-2025 年的阶段性目标和路线图。

表 3-1 《可持续资源法案》阶段性目标

时间	目标
2020 年	包装强制报告制度
2021 年前	电子废物生产者责任延伸制度
2024 年起	食品垃圾强制分类处理制度
2025 年前	塑料和包装行业生产者责任延伸制度

经过六年的努力，新加坡废物总量从 2016 年之后逐渐下降，减少的部分主要来源于可回收垃圾，不可回收的部分也略有下降，但下降幅度不大。回收率相比 2014 年有所上升，并一直稳定在 61%，即使是 2019 年和 2020 年受疫情影响，回收率也高达 59% 和 52%。

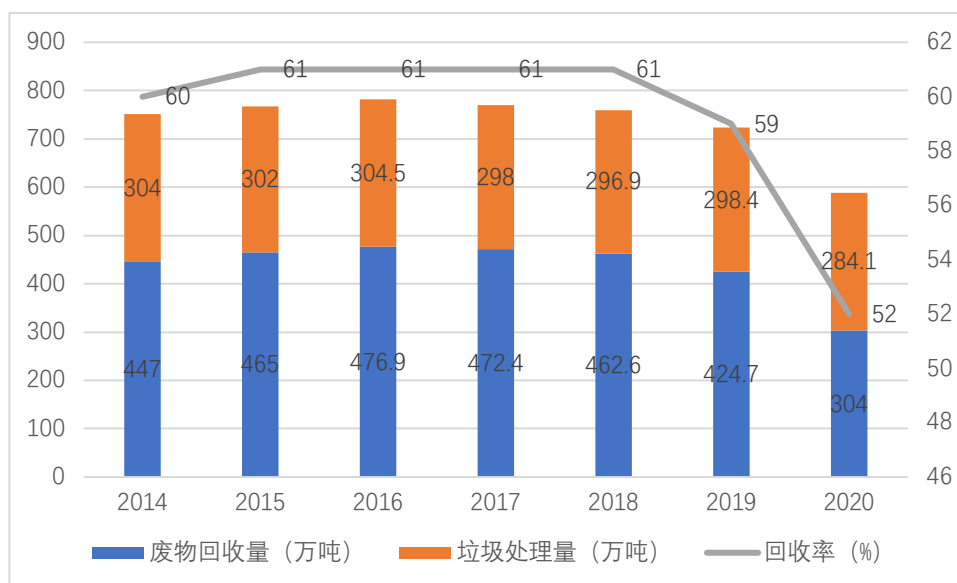


图 3-5 新加坡垃圾回收和处理量 (2014-2020)

(三) 城市绿色发展经验

1. 发展循环经济，实现源头减量

为建设“无废城市”，新加坡首先通过发展循环经济，从生产端和消费端入手，实现垃圾减量。就生产端而言，针对商品包装带来的大量废弃物，新加坡实施了《新加坡包装协议》(Singapore Packaging Agreement, SPA)。该协议是政府、工业界和非政府组织的一项



以自愿为原则的联合倡议，旨在减少占新加坡生活垃圾重量三分之一的包装废弃物。自 2007 年推出第一个 SPA 以来，已有 200 多个组织共同参与减少包装垃圾。截至 2019 年，累计减少了约 54,000 吨包装废物，节省了 1.3 亿美元的包装成本。同时，环境署还于 2020 年开始实行强制性包装报告框架，要求年营业额超过 1000 万美元的包装产品生产商和超市必须报告他们投放市场的包装数据和他们的包装 3R 计划。新加坡还出现了许多无包装商店，其商品比有包装的商店在价格上更具竞争力，以此来鼓励居民购买无包装商品。

对于含有害物质的电子产品，新加坡自 2017 年就对六价铬、多溴联苯、多溴二苯醚、铅、汞、镉这六种有害物质进行了限制，以避免其由于处置不当而进入环境。自 2018 年 3 月 31 日起，新加坡已逐步淘汰所有含汞量超过 5 ppm 的电池（包括纽扣电池）。2020 年 1 月 1 日前，荧光灯（超过特定汞限值）和非电子测量设备等某些添加汞的产品的生产、进出口也被逐步淘汰。

从消费端而言，新加坡有较完善的绿色产品标识，如绿色标签计划（Singapore Green Label Scheme, SGLS）、家用电器强制性能源标签计划（Mandatory Energy Labelling Scheme, MELs）和缩减包装的标志，它们确保认证产品对环境影响最小或使用可回收的材料制成，从而引导消费者优先购买此类产品，政府部门则要根据公共部门环境可持续性倡议（Public Sector Taking the Lead in Environmental Sustainability, PSTLES）带头采取绿色公共采购政策。新加坡环境署从 2015 年 11 月还启动了减少食物浪费的宣传计划，以提高公众意识，鼓励理性消费，从而减少食物浪费。2017 年又发起了“零废弃自带袋子”活动，鼓励消费者在购买食品、饮料和杂货时使用可重复使用的袋子和容器。目前，已有 400 多家零售店加入该活动，为自带可重复使用物品的顾客提供奖励，这节省了大约 200 万件塑料一次性用品和包装材料。2019 年 6 月 8 日还启动了“对减少浪费说是”运动，倡导公众“做出正确的选择，选择可重复使用的东西”，例如，可重复使用的瓶子、袋子或食品容器而不是一次性用品。

2. 加强基础设施，提高废物回收率

新加坡拥有高达 60% 的垃圾回收率，这首先得益于新加坡拥有良好的垃圾收集基础设施。首先，新加坡规定，组屋的每一层必须配备可回收和不可回收两个集中式溜槽，使居民更容易投放可回收物品，从而提高回收率。在大型商场附近安装反向自动售货机，回收 PET 瓶和铝罐并提供小额奖励作为回报，例如折扣或兑换券。其次，由于新加坡地处热带



地区，垃圾长期存放易产生臭味和虫害，甚至可能引发和传播疾病。为此，新加坡要求新建组屋必须配备气动废物输送系统（Pneumatic Waste Conveyance System, PWCS）。这些系统通过隐藏在地下的管道网络抽吸空气，将废物有效地输送到小区甚至整个区的中心位置。这将极大地减少臭味和虫害，让居民享受更宜居的生活环境。智能气动垃圾输送系统还可以监控垃圾投放的频率以优化垃圾收集周期，减少垃圾收集和运输的人工及交通，节约人力和能源。

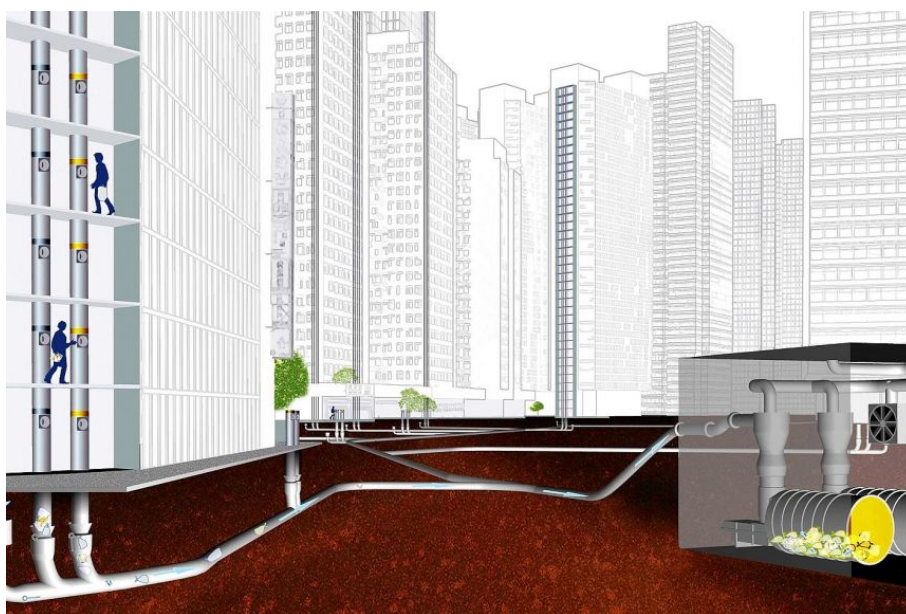


图 3-6 气动废物输送系统示意图

针对有害电子垃圾，新加坡环保署 2012 年发起了一项名为“回收电子废物”（Recycling nation's electronic waste, RENEW）的计划。截至 2019 年 3 月，该计划已经在 400 多个地点放置了 450 多个垃圾箱，收集了 320 多吨电子垃圾，仅 2018 年就收集了 126 吨垃圾，比 2012 年多 2 吨。同时，新加坡从 2021 年开始实行生产者延伸责任制，要求电子产品生产商（包括制造商和进口商）对其产品的报废处理承担物理或财务责任。这意味着他们需要收集并确保产品由获得许可的公司回收。具体处理电子商品的运营商将由环境署任命，负责开发电子产品回收系统，包括安排收集时间、提供电子垃圾箱、将电子垃圾运送到获得许可的回收商并向环境署报告电子垃圾的吨位。面积超过 300 平方米的大型电子产品零售商必须在店内提供电子垃圾收集点。生产太阳能光伏（PV）面板和服务器的生产商必须根据客户需要为所有报废设备提供免费回收服务。

新加坡建筑废弃物、黑色金属和有色金属的回收率接近 100%，这主要得益于建设局



(Building and Construction Authority, BCA) 实施的拆迁协议 (Demolition Protocol)。根据这一协议，在拆迁之前，必须先识别建筑物中可重复使用和不可重复使用的部分，然后分别拆除和移除。可重复使用的部件包括管道和电线，它们被放置在单独的垃圾箱中并送到回收设施。污染的混凝土碎片，例如天花板和瓷砖等不可回收废弃物将被丢弃。只有当建筑物被拆解到只剩下框架时，才能开始拆除。

3. 运用先进技术，实现无害化处置

针对食物垃圾，新加坡要求，从 2021 年开始，所有预计会产生大量食物垃圾的新商业和工业场所必须在其设计规划中为食物垃圾就地处理系统分配和预留空间。该系统可将食物垃圾转化为非饮用水、液体营养物质或堆肥，然后用于屋顶花园等。这不仅节省了商家的垃圾处理费用，还制造了有机肥。同时，从 2024 年开始，大型商业和工业厨余生产商必须将厨余垃圾分类，但他们可以选择最适合的厨余垃圾处理方法，如安装食物垃圾就地处理系统，或将食物垃圾送到场外处理设施。

对其他无法进行回收的垃圾，新加坡主要通过焚烧来进行处理。1979 年，新加坡耗资 1.3 亿美元建造了第一座垃圾焚烧发电厂。此后，又陆续新建了大士垃圾焚烧发电厂（1986 年）、圣诺古垃圾焚烧发电厂（1992 年）、大士南垃圾焚烧发电厂（2000 年）和吉宝西格斯大士垃圾焚烧发电厂（2009 年）。这 5 座垃圾焚烧发电厂每日可焚烧垃圾 7600 吨，极大地减少了垃圾填埋量，从而节约了土地资源。新加坡正在建设第 6 座垃圾焚烧厂——TuasOne Waste-to-Energy Plant。该焚烧厂占地面积 4.8 公顷，每天可焚烧 3600 吨垃圾，将满足新加坡未来 25 年的垃圾焚烧需求。建成后，它将成为世界上最集约的工厂，也将是新加坡现有垃圾焚烧发电厂中最节能的一个。

新加坡还将建设一个集污水处理 (Integrated Waste Management Facility, IWMF) 和固废处理 (PUB's Tuas Waste Reclamation Plant, TWRP) 于一体的工厂——Tuas Nexus。它可以同时处理多种垃圾，从而减少不必要的运输和碳足迹。例如，IWMF 生产的水可以供垃圾处理厂进行使用，产生的污泥可以和厨余垃圾一起进行处理，这比单独处理污泥可产生 3 倍多的沼气。这些沼气可以输送给固废处理厂，用来提高蒸汽的温度，从而最大化电力生产。脱水后的污泥可直接送到 TWRP 进行燃烧发电，产生的电力可以用于 IWMF 和 TWRP，多余的电力可以上网；产生的蒸汽可以供污水处理厂用于热水解工艺，预处理污水中的污泥和含油废物；污泥干燥产生的冷凝水可以输送到 IWMF 进行处理。该项目第



一期将于 2024 年完成，而第二期将于 2027 年完成。

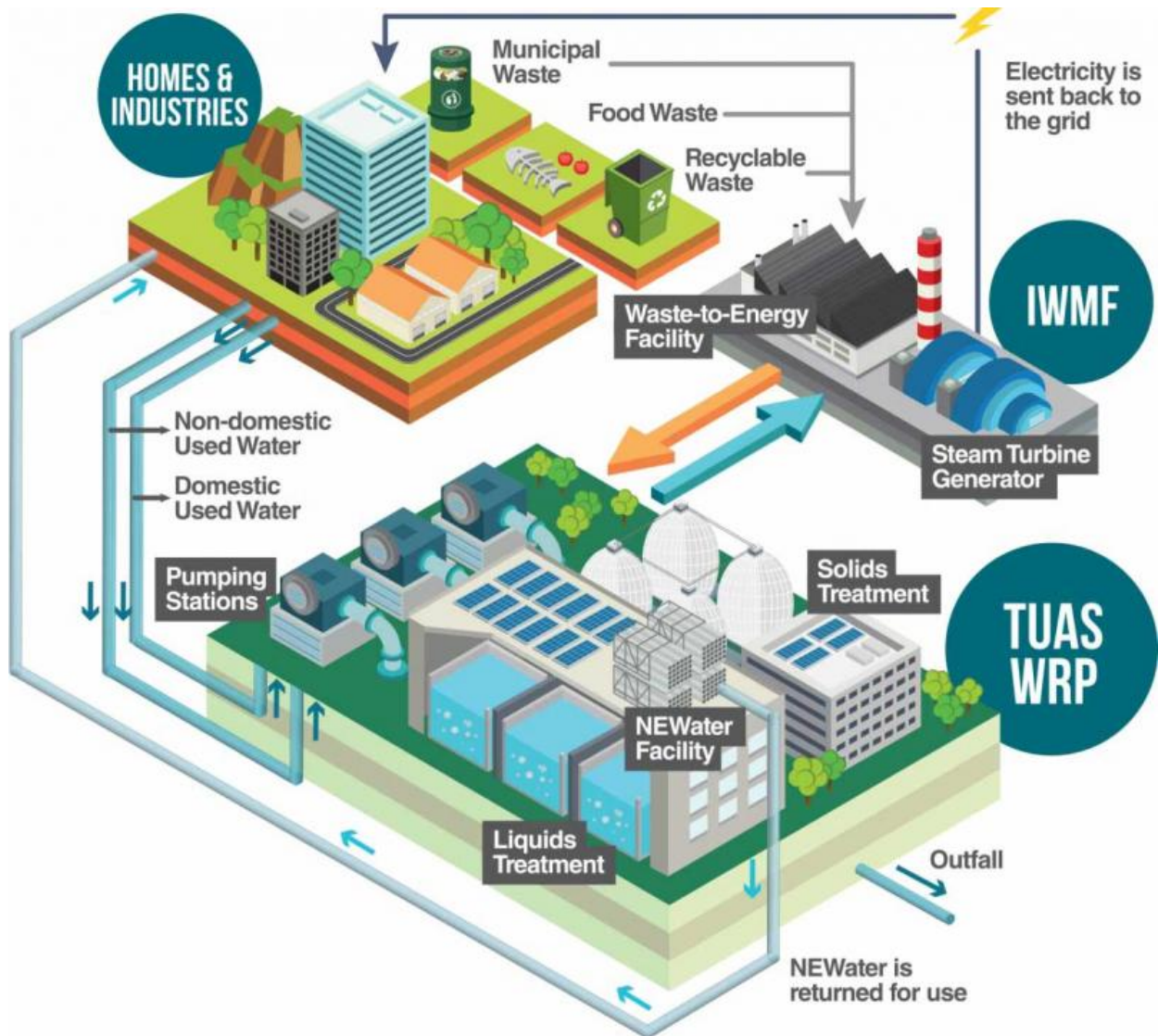


图 3-7 集污水处理和固废处理于一体的工厂——Tuas Nexus

对于无法进行焚烧的垃圾以及焚烧后产生的飞灰仍然需要进行填埋处理。上世纪 90 年代，当位于 Lorong Halus 的最后一个内陆垃圾场的空间用完后，新加坡于 1995 年建立了第一个离岸垃圾填埋场——实马高垃圾填埋场（Semakau Landfill）。该垃圾填埋场占地面积达 350 公顷，可容纳 2800 万 m^3 废物。在建设过程中，新加坡采取了多项措施尽可能减少对环境的影响，包括种植 400,000 棵红树林，以及在工作区附近安装淤泥筛网减少沉积物对珊瑚的影响等，完整地保存了当地的生物多样性。



图 3-8 实马高垃圾填埋场

（四） 案例小结

新加坡作为一个热带岛国，人口多，面积小，很早就面临着“垃圾围城”的问题。从 2014 年提出建设“无废国家”以后，新加坡首先通过发展循环经济，从生产端和消费端入手，实现垃圾源头减量。其次，通过加强基础设施，如设立可回收和不可回收垃圾溜槽、建立气动垃圾回收系统，提高废物回收率。最后，通过运用先进技术，如建立垃圾焚烧厂、Tuas Nexus、对垃圾填埋场进行生态修复等，最终实现无害化处理。



六、深圳无废城市

深圳经济特区成立于1980年8月26日，是全国的经济中心、科技创新中心、区域金融中心、商贸物流中心。作为中国改革开放的排头兵、先行地、实验区，深圳市深入贯彻落实习近平生态文明思想，践行绿水青山就是金山银山的理念，以探索超大型城市固体废物治理样板为使命，通过四大体系建设，六大领域固废治理，发动全民参与三个方面，全面深化固体废物综合治理体系改革，如期完成“无废城市”建设试点任务，试点工作取得显著成效。

（一）背景

深圳位于南海之滨，毗邻港澳，面积1997.5平方千米，2020年常住人口1756万，管理人口2200万人，GDP达2.767万亿元。作为中国最早实施改革开放、影响最大、建设最好的经济特区，深圳不仅发挥着经济引擎的作用，在生态文明建设方面也一直走在中国城市前列。在“一带一路”建设中，深圳是中国改革开放的“窗口”，海上丝绸之路的桥头堡。深圳正以创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念引领和带动粤港澳大湾区，积极参与绿色丝绸之路建设。从2019年，中国启动“无废城市”建设试点工作以来，深圳市圆满完成了100项任务和56项指标，亮点突出，成效显著，其先进经验为“一带一路”国家和城市提供了重要参考和借鉴。

（二）概况

2018年12月29日，中国国务院办公厅印发了《“无废城市”建设试点工作方案》，提出要在全国范围内筛选10个左右有条件、有基础、规模适当的城市，在全市域范围内开展“无废城市”建设试点。2019年4月30日，经中国发展改革委等18个部门讨论，最终确定深圳市等“11+5”个试点城市及地区开展“无废城市”建设试点。2019年12月6日，深圳市印发了《深圳市“无废城市”建设试点实施方案》（以下简称“方案”）。方案提出四个阶段、十大任务和三大保障措施，并构建了58项指标和100项具体任务，明确落实到各机关单位。

2020年1月21日，为有效推进“无废城市”建设，深圳市成立“无废城市”建设试点领导小组，高位统筹推动“无废城市”建设。深圳市印发《深圳市“无废城市”建设试点任务进度安排表》《深圳市“无废城市”建设试点工作制度》《深圳市“无废城市”建设试点宣传方案》



等一系列文件，有序推动各项工作开展，建立起完善的“无废城市”建设组织体系。

经过两年的努力，深圳市于 2020 年 12 月 31 日顺利完成生活领域固体废物、工业固体废物、建筑废弃物、危险废物、市政污泥、农业废弃物、保障体系等 100 项年度建设任务，和 56 项建设指标。

（三） 城市绿色发展经验

1. 完善法规规定，构建固废综合治理制度体系

深圳市充分利用特区立法权限，制订 4 个地方法规和 3 个地方规章，出台 77 个政策文件，强力推进生活垃圾分类管理，强制开展建筑垃圾限额排放，拓展绿色信贷、绿色税收、绿色债券产品种类，完善各类固体废物全过程监管、申报登记、电子联单等管理制度，加快填补固体废物治理法律空白，改革创新固体废物行政管理政策措施，为固体废物综合治理提供制度引领。

2. 聚焦绿色循环，全力推进固体废物源头减量

坚持源头减量。在生活垃圾方面，深圳印发《关于进一步加强塑料污染治理的实施方案》，禁止、限制不可降解塑料制品的生产、销售和使用，推广塑料替代产品市场应用；印发《同城快递绿色包装管理指南和循环包装操作指引》，发起“绿色快递”倡议；全面开展“光盘行动”，打造 11 月 8 日“垃圾减量日”，倡导节俭消费。

在建筑废弃物方面，印发《建筑废弃物排放限额标准》和《建筑废弃物减排与综合利用技术标准》，在国内首次明确各类建设工程的建筑废弃物排放限额、减排与综合利用设计和验收要求；修订深圳市建筑设计规则，有效控制地下空间开挖，减少工程弃土源头排放。

在一般工业固废方面，通过产业升级清理淘汰无证无照、高排放、高污染低端落后企业；创建绿色工厂、绿色供应链、绿色园区，促进产业绿色化转型；推广应用创新替代技术，采用高压水刀替换传统钢砂对船壳进行除锈，每年从源头减排一般工业固体废物约 10 万吨。



图 3-9 采用高压水刀代替传统钢砂对船壳进行除锈的友联修船基地

在市政污泥方面，推进污水处理厂污泥厂内干化减容减重，创新“微波调理+板框压滤”“板框压滤+低温快速干化”“板框压滤+低温冷凝干化”等 3 种具有代表性的污泥深度脱水技术路线，污泥可就地减容稳定至含水率 40% 以下。全市 37 座污水处理厂共建成投产 18 座污泥深度脱水设施，干化处理能力 5635 吨/日（按含水率 80% 计），大幅度降低运输成本，避免外运中的滴漏和臭气二次污染。

3. 实行分类回收，努力加强废弃物资源化利用

优先开展资源化回收利用。在生活垃圾方面，强制开展生活垃圾分类管理，创新“集中分类投放+定时定点督导”模式；出台全国最严生活垃圾行政处罚措施，个人违反生活垃圾分类投放规定最高处罚 200 元，单位违反生活垃圾分类投放规定最高处罚 50 万元；出台生活垃圾分类工作激励措施，累计发放激励资金 4835 万元，引导全社会积极参与生活垃圾分类。配置分类收运车辆，建设分类处理设施，分类收运覆盖率 100%；生活垃圾分流分类回收量达 15500 吨/日，生活垃圾回收利用率达到 45%。



图 3-10 彩田村 8 栋垃圾分类投放点

在建筑废弃物方面，通过开展拆除工程建筑废弃物减排与利用项目、渣土综合利用试点、工程泥浆施工现场处理试点、建筑废弃物固定式综合利用设施建设等，促进建筑废弃物本地资源化利用。

在一般工业固废方面，发展生物医药、新能源汽车、电子信息等新型低碳产业，加强能源梯次利用、资源循环利用、废弃物无害化处理和再生利用，启动 5 家国家级园区循环化改造，有 7 家企业入选广东省工信厅新能源汽车动力蓄电池回收利用典型模式。比亚迪以深圳为基地打造全国直营 4S 店、园区、基地多级回收体系，乾泰工业园区形成 120 辆/日新能源汽车和 50 吨/日电池包拆解利用能力。

在市政污泥方面，建成投产华润海丰电厂燃煤掺烧污泥耦合发电项目，污泥能源化掺烧利用能力达到 6000 吨/日（按含水率 80%计），成为全球规模最大的燃煤掺烧污泥耦合发电利用项目，全市 5300 吨/日污泥百分百资源化利用和零填埋，真正实现污泥本地资源化、能源化利用。



图 3-11 华润海丰污泥焚烧项目

在农业废弃物方面，全市规模化养殖场畜禽粪污处理设施装备配套率达 100%，畜禽粪污综合利用率达到 75%以上，秸秆全部机械粉碎还田利用。科学设置农药、化肥包装废弃物回收设施，回收废品全部焚烧处置。



图 3-12 农业废弃物分类收集亭

4. 加强基础设施，大力提升各类垃圾处理能力

实现无害化处理。在建筑废弃物方面，建成 5 处固定消纳场，总容纳能力 3395 万吨。建成 9 处中转设施，设计转运能力达 5800 万吨/年，先后与中山翠亨新区管委会、惠州潼



湖生态智慧区管委会签订合作协议，强化土方跨区域平衡处置协作监管模式。

在生活垃圾方面，建成投产宝安、龙岗、南山、平湖、盐田 5 个能源生态园，生活垃圾焚烧能力达到 1.8-2.0 万吨/日，生活垃圾实现全量焚烧和零填埋，生活垃圾百分百无害化处置；出台严格生活垃圾焚烧发电大气污染物排放控制标准，按照焚烧处置量给予周边社区生态补偿费，为周边社区提供热电联供低价能源，帮助周边社区利用炉渣开办环保砖厂，投资建设登山道、游泳馆和科普展厅回馈社区居民，创新企业社区共建模式，实现邻避到邻利的转变。

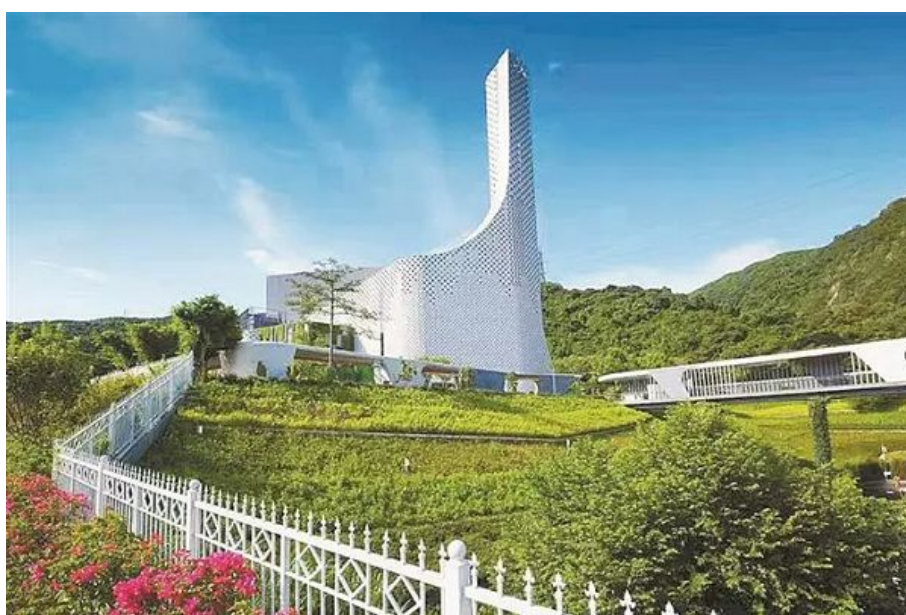


图 3-13 盐田能源生态园

在危险废物方面，新建危险废物收集单位及危险废物利用处置设施，提高危险废物收集处置率。全面开展粤港澳大湾区城市危险废物协同处置合作，共享危险废物处置设施，焚烧类危险废物处置价格降低至 3000-4500 元/吨，重金属污泥处置价格降低至 1300-1800 元/吨，处置价格同比均下降 50%以上，大幅度降低企业生产成本。

5. 实现科技赋能，全面建成闭环智慧监管体系

深圳市投入 1.58 亿元建设智慧环保监管平台，完成危险废物、医疗废物、一般工业固体废物、建筑废弃物、市政污泥等 GPS+视频全覆盖、全过程智慧监控体系。开发固体废物远程视频执法系统，执法人员通过同步视频在线检查企业固体废物管理台账、废物贮存间等规范化管理情况，发现问题实时交办整改，企业整改情况线上提交执法人员审查确认，形成全链条闭环执法监管，大幅提升执法监管效能，执法人员缩减 80%，同时提高企



业抽检比例，有效提升企业规范化管理水平。具体而言，在危险废物方面，深圳打造危废处置交易平台，为企业提供签约、检测、支付“一站式”线上服务；在一般工业固废方面，率先开展申报登记和电子联单管理；在建筑废弃物方面，构建智慧监管系统，实现建筑废弃物排放、运输和处置“两点一线”全过程实时监控和电子联单管理；在污泥处置方面，建设污泥处理及输运调度监管信息化平台，建立资质备案制度、检查考核制度、驻场监管制度、转移联单制度、通报处罚制度及智能监管技术“5+1”污泥监管制度体系。



图 3-14 深圳“无废城市”建设试点实施方案

(四) 案例小结

深圳市从源头减量、资源化利用、最终处理三个方面，对生活垃圾、建筑垃圾、一般工业垃圾、市政污泥、危险废物和农业废物等六大来源，逐一解决，各个击破，全方位推进固废综合整治，并在这一过程中充分发挥深圳创新优势，用技术赋能环保，让垃圾处理和监管实现智慧化、高效化和全生命周期管理。经过短短两年的时间，深圳市圆满完成“无废城市”建设，为其他城市提供了重要参考和借鉴。



参考文献

- [1] AIMEE VAN VLIET. The Story of Capannori - A Zero Waste Champion[EB/OL](2013-09-25).
<https://zerowasteurope.eu/2013/09/the-story-of-capannori-a-zero-waste-champion/>.
- [2] 欧洲无废城市网络. The Story of Capannori[EB/OL].
<https://zerowastecities.eu/bestpractice/best-practice-the-story-of-capannori/>.
- [3] 加拿大国际发展研究中心. The First Case of the Application of the ‘Zero Waste Strategy’ in Italy (and Other Measures to Reduce our Ecological Footprint)[EB/OL](2010)
<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:xip0E7-YSl0J:https://www.uclg-cisdp.org/en/observatory/first-case-application-%25E2%2580%2598zero-waste-strategy%25E2%2580%2599-italy-and-other-measures-reduce-our+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=hk>.
- [4] SONIA HENAM, SWATI SINGH SAMBYAL. Ten Zero-Waste Cities: How Capannori Inspired Other European Municipalities on Zero Waste[EB/OL](2019-12-30).
<https://www.downtoearth.org.in/news/waste/ten-zero-waste-cities-how-capannori-inspired-other-european-municipalities-on-zero-waste-68623>.
- [5] JACK MCQUIBBAN. State of Zero Waste Municipalities Report 2020[EB/OL](2021-01-04).
<https://zerowastecities.eu/the-story-of-zero-waste-cities/>.
- [6] 卡潘诺里零废研究中心. Comuni Rifiuti Zero – Comitato di Garanzia Nazionale Zero Waste Italy[EB/OL](日期不详).
<http://www.rifiutizerocapannori.it/rifiutizero/mappa-numeri-successi-criticita-dei-comuni-italiani-rifiuti-zero-a-cura-del-comitato-di-garanzia-nazionale-e-di-zero-waste-italy/>.
- [7] 中华人民共和国生态环境部. 无废城市国际案例分析报告[EB/OL].
http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/bczc/wfcsjgy/201907/t20190726_712408.shtml.
- [8] 李金惠. “零废弃”战略国际经验与我国“无废城市”建设[Z/OL]
<http://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/bczc/wfcsjgy/201904/P020190401615606838876.pdf>.
- [9] 中国外交部. 新加坡国家概况. March 2021.
https://www.fmprc.gov.cn/web/gjhdq_676201/gj_676203/yz_676205/1206_677076/1206x0_677078/
- [10] 张敏, 蓝艳, 李盼文, 姚颖. 新加坡“无废城市”建设顶层设计及对我国的启示[J]. 环境与可持续发展, 2020, 45(05): 196-199.
- [11] “Sustainable Singapore Blueprint 2015.” Ministry of the Environment and Water Resources & Ministry of National Development. 2014.
<https://www.nccs.gov.sg/docs/default-source/default-document-library/sustainable-singapore-blueprint-2015.pdf>.
- [12] “Zero Waste Masterplan Singapore.” Ministry of the Environment and Water Resources & Ministry of National Development. 2019. <https://www.towardszerowaste.gov.sg/images/zero-waste-masterplan.pdf>.
- [13] 生态环境部. 深圳市“无废城市”建设试点工作总结报告.
https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/sdjz/ldms/202105/t20210518_833252.shtml
- [14] 从“深圳模式”到一带一路 改革开放让中国走近世界舞台中心. 2017. 中文网.
https://china.chinadaily.com.cn/2017-10/10/content_33073547.htm
- [15] 生态环境部. 国务院办公厅关于印发“无废城市”建设试点工作方案的通知.
https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/dcsj/wfcszcwj/202006/t20200602_782280.shtml
- [16] 生态环境部. 关于发布“无废城市”建设试点名单的公告.
https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/201905/t20190505_701858.html
- [17] 生态环境部. 深圳市“无废城市”建设试点实施方案.
<https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/sdjz/ssfa/202003/P020200311602633221248.pdf>
- [18] 生态环境部. 深圳市“无废城市”建设试点“四大体系”任务完成情况（截至2020年12月31日）.
https://www.mee.gov.cn/home/ztbd/2020/wfcsjssdgz/sdjz/sdtx/202102/t20210208_820867.shtml



第四章 污染治理与环境改善

七、北京大气污染综合治理

作为中国的首都、国际化现代大都市，北京面临着社会经济快速发展所带来的环境压力，面对严峻的空气污染问题，北京积极采取大气污染综合治理措施，实现了空气质量的显著提升，在 GDP 保持高速增长的同时，单位 GDP 的能源消耗强度和二氧化碳排放强度持续下降。北京市大气污染治理经验被纳入联合国环境署“实践案例”，为全球其他城市，特别是发展中国家的城市提供借鉴。

（一）背景

北京市作为中国的政治中心、文化中心、国际交往中心、科技创新中心，是“一带一路”倡议实施的“排头兵”，在参与“一带一路”建设中发挥着重要作用。“一带一路”构筑了北京与共建“一带一路”国家重点城市开放、融合的合作机制，并具有巨大的合作潜能。

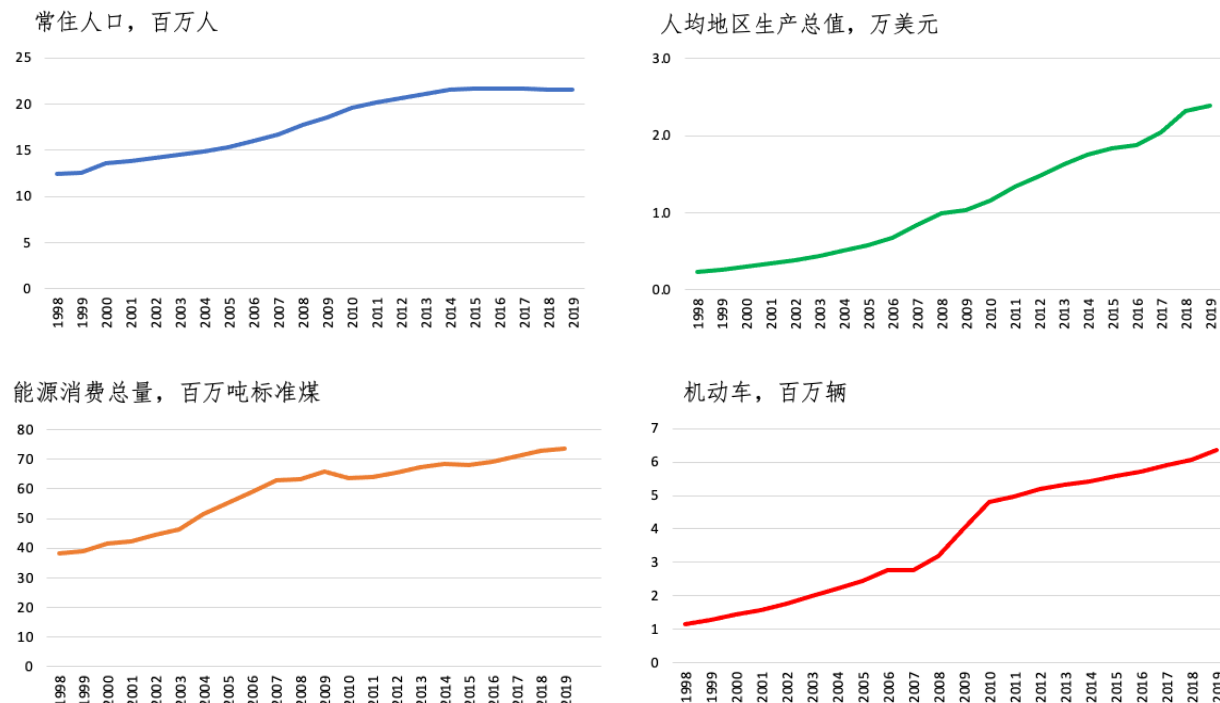


图 4-1 北京市社会经济发展状况（1998-2019）（数据来源：北京统计年鉴）



过去 20 多年来，北京经历了高速发展。截止 2019 年底¹，北京市常住人口为 2153.6 万人，人均地区生产总值达到 2.4 万美元，机动车保有量达 636.5 万辆，年能耗达到 7360 万吨标煤（图 4-1）。与 1998 年相比，2019 年北京市的经济总量增长了 1035%，人口增长了 76%，机动车保有量增长了 447%，能耗增长了 93%。社会经济的高速发展带来了巨大的环境压力，生态环境质量退化、大气煤烟-机动车复合污染加剧、空气重度污染时有发生，对工作健康及人民生活质量带来了负面影响。

北京市的大气污染发展迅速，引起了政府、公众和全社会的关注，自上世纪 70 年代建立环境保护机构到 1997 年左右，北京市主要以末端治理手段为主治理工业排放的粉尘及其他大气污染物。1998 年，由于 SO₂、总悬浮颗粒物等污染物浓度严重超过了国家环境空气质量标准，并且有进一步恶化的趋势，北京首次发布了《北京市人民政府关于采取治理大气污染措施的紧急通知》，自此开启了北京积极治理大气污染的历程。

（二） 概况

北京市自 1998 年开始，在地方层面启动大气污染治理专项行动，针对城区内的燃煤，工业和扬尘排放的污染以及机动车排放连续采取了数百项治理措施，扭转了空气质量恶化的趋势，大幅度降低了 SO₂、TSP、PM₁₀、CO 等污染物浓度。2008 年在北京举办的第 29 届夏季奥运会，北京市以此为契机实施了一系列空气污染治理措施，所采取的污染治理措施也逐渐从末端治理转向结构调整过渡，取得了良好的效果。奥运会期间首次尝试了与周边的联防联控，空气质量持续向好。

2012 年底，北京周边多次发生空气重污染，市区 PM_{2.5} 最大值达到 867 微克/立方米，许多城市地标建筑被雾霾“吞没”。生态环境部修订了国家环境空气质量标准，将 PM_{2.5} 列为控制指标。2013 年，按照国家《大气污染防治行动计划》要求，北京市制定了《北京市 2013-2017 清洁空气行动计划》，以减轻 PM_{2.5} 为目的，在减少燃煤、移动源排放控制、工业污染减排、减少降尘等领域采取了持续的治理措施。2015 年，政府发布了《京津冀协同发展规划纲要》，对京津冀实施《大气污染防治行动计划》情况进行评估并要求区域内各省制定强化措施。随后，北京市发布了《北京市贯彻<京津冀大气污染防治强化措施（2016-2017 年）>实施方案》等文件，提出加强版措施。

¹截止到报告完成时，由北京市统计局发布编写的《北京统计年鉴》最新版本为 2020 年，年鉴中最新数据年份截至 2019 年。



2018年5月，全国生态环境保护大会在北京召开，大会正式确立习近平生态文明思想，提出绿水青山就是金山银山、用最严格制度最严密法治保护生态环境、共谋全球生态文明建设之路等一系列新思想新理念新战略，为加强生态环境保护尤其是大气污染治理提供了思想指引和根本遵循。大会明确要求，坚决打赢蓝天保卫战是重中之重，要以空气质量明显改善为刚性要求，强化联防联控，基本消除重污染天气。

2018年6月，国务院印发《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，要求通过3年努力，大幅减少主要大气污染物排放总量，明显降低PM_{2.5}浓度，明显减少重污染天数，明显改善大气环境质量。2018年3月，北京市印发《北京市蓝天保卫战2018年行动计划》，分区设定了PM_{2.5}浓度下降目标并要求推进低排放区扩展到全市域。同年9月，发布了《北京市打赢蓝天保卫战三年行动计划》，做出了移动源低排放化、扬尘污染管控精细化、工业生产绿色化、能源消费清洁化、生活和农业污染排放减量化等具体的安排。2020年2月，《北京市污染防治攻坚战2020年行动计划》正式发布，其中“蓝天保卫战”聚焦重型柴油车、扬尘、生产生活源治理等重点领域，进一步提升精细化、系统化、规范化管理水平。

北京市自1998年以来，由于各方面不懈努力，在经济社会快速发展的同时，空气中主要污染物浓度均呈现持续下降特征。从2004年开始SO₂稳定达到国家二级标准，2019-2020年PM₁₀和NO₂均达到国家二级标准。2020年，经过多方共同努力、区域协同，在气象条件整体有利的情况下，北京市空气质量改善取得标志性、历史性突破，大气环境中细颗粒物（PM_{2.5}）年均浓度首次实现“30+”，为38微克/立方米；PM₁₀、NO₂连续两年达到国家二级标准；SO₂年均浓度稳定达到国家标准并保持个位数水平；全年空气质量优良天数为276天，优良率达到75.4%；重污染发生频率、峰值浓度、持续时间均明显下降。

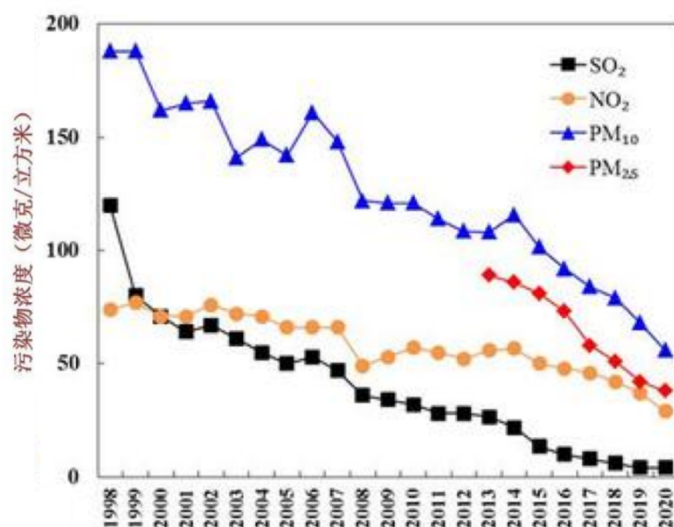


图 4-2 北京市各项污染物浓度变化趋势（1998-2020 年）

（三） 城市绿色发展经验

1. 有效的空气质量管理体制

北京市围绕空气质量改善目标任务，构建市级统筹、区级落实、乡镇（街道）具体监督、村（社区）巡查的工作机制。企业生态环境保护主体责任意识普遍增强，努力建设资源节约型、环境友好型企业；社会公众主动参与生态环境监督治理，绿色发展理念深入人心，逐渐形成了“政府主导、企业施治、公众参与”的社会共治的格局。

在大气污染治理过程中，北京逐步形成了一套有效的空气管理体系，通过规划和实施改善能源结构、综合治理机动车污染、调整产业结构、提高城市精细化管理水平、加强生态保护以及提升公众意识等一系列措施，实现了空气质量的持续改善。具体特点包括：1）完善的法规和有效的执行；2）系统的大气污染防治规划；3）严格的地方标准；4）完善的监测体系；5）高涨的公众环保意识。

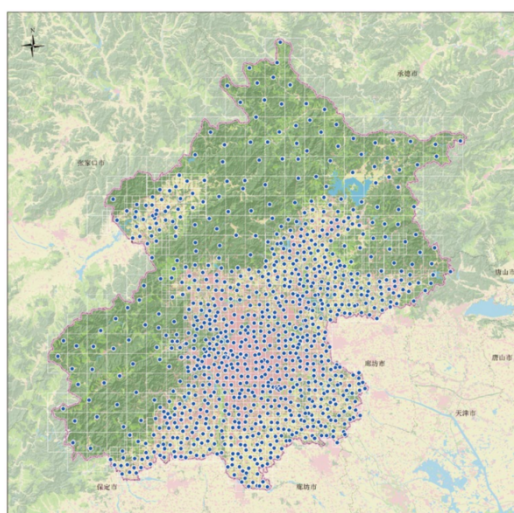
2. 经济政策和财政支持

为推动大气污染治理措施的有效实施，北京市逐步建立了包括补贴、收费、奖励、价格、金融等多种手段的地方环境经济政策体系，为实施针对燃煤源、机动车、工业和扬尘等各项污染源治理措施提供资金支持。政府在大气污染治理领域的财政投入也逐年增长，同时带动了全社会环保投资，为有效实施各项污染治理措施提供了经济激励手段和资金保障。

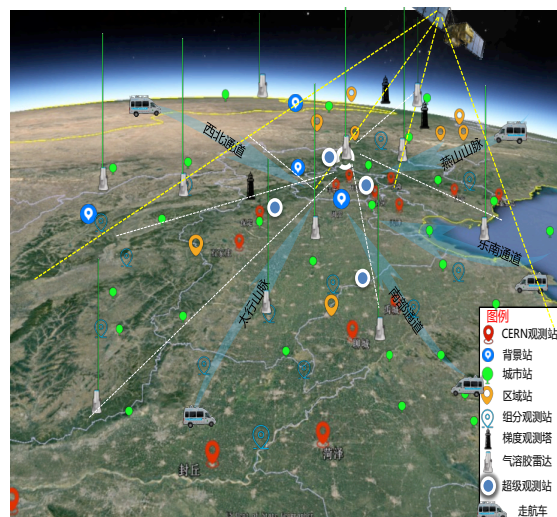


3. 完善的监测体系

北京市自上世纪 80 年代起开始建设空气质量监测系统，2013 年建成了可全面监测细颗粒物（PM_{2.5}）和臭氧（O₃）等 6 项污染物，覆盖全市的 35 个自动监测站；2016 年结合新一代高时空分辨率卫星遥感，激光雷达等技术，建设了“天地空”一体化空气质量监测网络。目前，在全市布设了 1000 余个小型 PM_{2.5} 传感器，这套高密度监测网络帮助监测人员实现了从市一级，到区一级，再到街道（乡镇）一级的三级空气质量点位部署，形成了高密度 PM_{2.5} 监测网络，对全市 300 多个街道（乡镇）实现了全覆盖，提供的空气质量监测结果可以精确到公里级别，精准识别高排放区域和时段，为高效治污提供了科学支持。



(a) 北京市高密度 PM_{2.5} 传感器监测网络



(b) 京津冀及周边地区“2+26”城市大型“天地空”综合立体观测网

图 4-3 建设完善环境空气质量监测网络体系

4. 燃煤源污染控制

煤炭燃烧长期以来是北京市空气污染的主要来源之一。在过去 20 年间，北京市不断推进末端治理技术升级和能源结构调整，从燃煤电厂、锅炉和民用散煤三方面入手，同时加强对源头和末端的治理管控，取得了显著成效。

以燃煤电厂为例，北京市从 2005 年起实施“煤改气”政策，至 2017 年末削减年燃煤量近 1100 万吨，并不断推动安装高效末端处理设施，逐步完成了超低排放改造。2017 年燃煤电厂 PM_{2.5}、SO₂ 和氮氧化物（NO_x）的排放较 20 年前分别削减了 97%、98% 和 86%，实现了显著的环境和健康效益。



5. 机动车污染控制

机动车污染排放控制一直是北京市空气污染治理的重点任务。1998 年以来，北京市制定和实施了针对新车和在用车排放管理，以及油品质量等多个方面的严格地方标准，采取综合性治理措施，不断加强交通管控和经济激励，逐渐形成了“车-油-路”一体化的城市机动车排放综合控制体系。采取的主要控制措施包括：地方排放标准加严、用车改造（如柴油车加装颗粒过滤器）、区域限行、老旧车淘汰、提升油品质量以及积极发展新能源车。同时，全市大力发展大运量的公共交通，推动公众选择绿色低碳出行方式。20 年间，北京市在机动车保有量增加了超过 3 倍的情况下，仍然实现了污染物排放量显著下降。

6. 北京市与周边地区的协同控制

在不断强化空气污染防治的同时，北京也积极寻求与周边区域开展污染协同治理。2013 年底，在国务院的支持下，北京市牵头，中国发展改革委、财政部、生态环境部、工业和信息化部、住房和城乡建设部、中国气象局以及国家能源局等七个部委和北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、山东省（区、市）共同建立了京津冀及周边地区大气污染防治协作机制；2017 年生态环境部进一步确立了京津冀及周边地区 2 + 26 个大气污染传输通道城市，通过协同规划、统一标准、应急联动和信息共享等政策措施，来提高整个区域的空气质量。

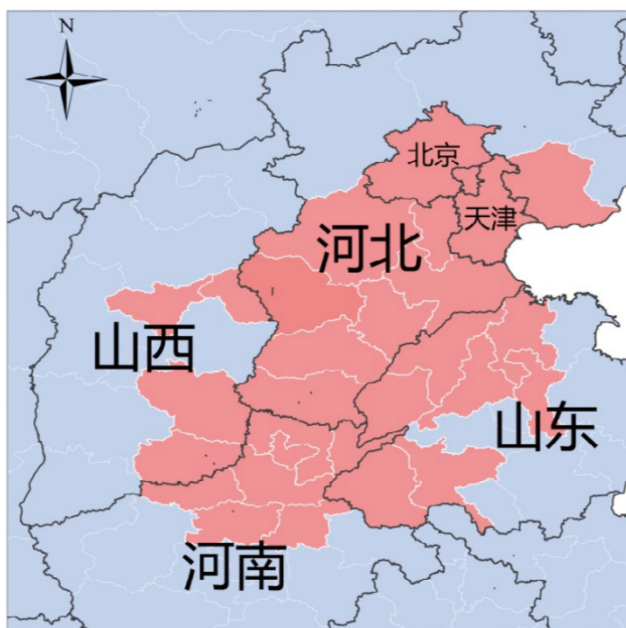


图 4-4 京津冀及周边地区“2 + 26”大气污染传输通道城市（图中红色部分）分布图
（来源：原北京市环境保护局）



（四） 案例小结

空气质量的持续改善是伴随着北京这座首都城市社会经济的持续飞速发展实现的。清洁空气行动为推动社会经济的高质量可持续发展做出了积极的贡献。中国的环保产业随着污染治理的推进不断壮大，已经成为新的就业增长领域。北京案例中一些措施的有效性也得益于中国的治理模式，其中也有很多共性的经验。总的来看，实现地方环境质量改善和可持续发展的关键在于政府坚定的决心、清晰的目标、制定能够提供有效支撑的法规、计划和政策，以及有效的实施安排和执法监察。在这个过程中，公众的积极参与对于推动环境改善和促进社会的和谐都是至关重要的。尽管多年来北京市空气质量改善成效显著，但空气污染形势依然严峻。目前，北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度仍然没有达到国家的环境空气质量标准距离世界卫生组织推荐的安全水平还有很大的差距，秋冬季节重污染过程仍然时有发生，解决这些空气污染问题仍需要一个长期的过程。



八、 以色列的污水处理与资源化利用

以色列属地中海气候，少地缺水，但却是水资源管理最为成功的国家之一。以色列对水资源的管理采用政府、企业、人民多方参与的机制。以色列每年在水务上投入专项资金用于供水、排水基础设施的建设运营，并制定有关税价政策。通过污水处理、资源化再利用与节水灌溉并行的方式对水资源开源节流。同时，以色列政府还十分重视废水资源化利用的科技创新，注重全民节水意识的提高。

（一） 背景

以色列地处中东，超过 60%的国土面积为沙漠与旱地，是世界上淡水资源最稀缺的国家之一。目前，以色列的年总可利用水量为 18 亿立方米，耗水量则约每年 22 亿立方米。除了地下水和海洋淡化外，约 4 亿立方米的城市废水是最大的潜在水资源。经过有效处理，城市废水可被回收利用于农业灌溉等。以色列通过不断探索开发新淡水资源、提高水资源利用效率、避免水资源污染和浪费的方法，成为世界上水资源科学高效管理最成功的国家之一。如今，以色列不仅解决了城市缺水问题，还成为向欧洲各地出口大量蔬菜、瓜果、鲜花等高耗水农产品的欧洲“果园”。



图 4-5 以色列区位图



（二）概况

以色列对污水处理和管理的条例可追溯到 1959 年颁布《水法》。1962 年，以色列出台《地方政府污水管理法》规定了地方政府在规划、建造和管理污水处理系统中的权利和义务。1973 年，为了解决缺水问题，耐特菲姆公司（Netafim）首次开发滴灌技术。1977 年，全国首个且最大的污水处理厂，沙夫丹污水处理厂始建。1981 年，《公共卫生条例》进一步规定了废水处理的相关内容，并对适用于灌溉废水的农作物出台了具体清单。1991 年，《水法》修订案中增加了水污染防治内容。2001 年，根据《供水和污水处理公司法》的规定，以色列对其水管理权责进行改革，把隶属于政府职能的供水和污水处理职责分离，组建市政供水和污水处理公司。2006 年，水务管理局依据同年《水法》修正案的实施而成立。2010 年，以色列对水价进行了调整，平均上涨 40%，以进一步促进全社会节约用水。现在，以色列有近 90% 的废水被循环利用，全国实现水盈余，并向其邻国出口水。

（三）城市绿色发展经验

1. 政府、企业、人民多方参与机制

以色列对水资源的管理采用的是政府、企业、人民多方参与的机制。以色列水务管理局、麦克罗特国家水公司和区域供水公司三者构成完整的水生产、水供应和污水处理体系，共同执行以色列政府的水资源政策。同时也有发动民众节约用水的宣传与激励政策。

在以色列政府结构中，水务隶属中央政府管理。2007 年，由来自财政部、能源部、环保部和内政部的资深代表组成了议事决策委员会，负责制定水务管理相关政策制度，对水务管理局进行直接监管。水务管理局属于跨政府机构组织，负责以色列水资源的运营、开发、修复、规范、分配、监督等工作，其职责包括保护和恢复自然水源，开发新水源，以及监督生产者和消费者，以有效提供高质量和可靠的供水和污水处理服务，同时保持水的可持续性发展，确保以色列居民的生活品质。环境保护部负责制定饮用水水质标准，财政部门负责税费和投资政策的制定等。

以色列政府建立了相对完善的水资源管理法律法规体系。除建国初期就已拟定的《水法》草案外，以色列于 1959 年通过了《水资源法》，确立水资源归国家所有。国家统一管理全国水资源，并对用水权、用水额度等进行统一安排。《水资源法》于 1971 年进行修订，明令禁止任何人直接或间接污染水资源。以色列政府还先后出台了如《关于通过限制排放



从污染源中流出的废水以保护水资源免受重金属及其他污染物污染的规定》等详细法律法规。为推动以色列《水法》中各项制度的执行，以色列还专门成立了水特别法庭，以处理与水法相关的法律事务，对违反水法的企业或个人进行行政处罚，为水资源管理和保护提供法律保障。

以色列的水务市场比较集中，主要包括麦克罗特国家级水公司以及 52 家区域级或市级水公司。1937 年成立的麦克罗特国家水公司是 Israel 成立时间最早、规模最大的水务国有企业，负责以色列全境约 3 千座水处理设施的经营，服务约 80% 的以色列居民，供水量约占全国用水量的 70%。除提供饮用水服务外，麦克罗特国家级水公司还负责全国 40% 的污水处理事务。以色列还有相关的协会机构将专业人员、企业、政府机构工作人员联合起来，为水务管理提供法律技术支持。

在做好制度保障的同时，以色列政府还非常注重培养和提高全民节水意识。在《水法》中就提出“每个人都必须以最经济有效的方式来对待水”。以色列水务局和环境保护部通过海报、报纸、网站、标语等宣传方式号召全民节水，建设节水型社会，并开展相关宣传活动。同时，以色列通过宣传和教育性雨水收集项目将节水深入教堂。

2. 财政、税价激励政策

以色列在水务上的财政、税费激励政策主要体现在资金投入以及税价政策两个方面。在资金投入方面，以色列政府每年至少投入 2.45 亿美元用于供水、排水基础设施的建设运营。地方市政府也会对其管理的部分供水管网、污水处理设施进行投资。

在制定与水资源相关的税价政策方面，以色列政府遵循的原则是，所有的服务都要基于实际发生成本并完全收回成本。以色列收取的所有水费全部用于国家水基础设施的建设运营上，不允许任何人挪作他用，否则将受到国家水务局的惩罚。2010 年，以色列水价平均上涨了 40%，水价上涨后，无论是农业，还是工业、生活用水，用水量都有明显程度的下降，所节约的水资源量约为此前节水量的 2 倍。

3. 污水处理与节水灌溉

以色列近 90% 的废水被回收利用。这比世界上其他国家的废水利用率高四倍左右。近 50% 的再生水被用于农业灌溉，剩余的小部分（10%）用于环境相关用途，如补充河流流量和灭火；只有 5% 的水被排入大海。以色列污水再生利用率到达了约 86%，居全球首位。

从 2000 年开始，以色列为集中式水回收投入了超过 7.5 亿美元，增加了 518 亿立方



米/年的水，其中大部分是经过三级处理的。以色列现在有 67 个大型废水处理设施，涵盖 80 个城镇及其他定居点，其中最大的 10 个废水处理厂能处理全国 56% 以上的废水。废水处理设施采用大小结合的方法发挥各自优势，大型集中式水厂可以利用规模经济的优势，而小型的分散式水厂选址在使用点附近，既有与大型水厂相媲美的效率，也避免了过度建设的风险。以色列的输水管网遍布全国，连接不同地区，在需要时可以快速分配剩余的水。2010 年出台的《污水处理的水质标准和规则》还首次包括限制盐度和有毒金属含量的标准。再生水利用支持经济增长，使以色列更容易抗衡气候变化带来的持续干旱影响。

以色列共有 500 多个污水处理设施，其中近 30 个是污水处理厂。其中沙夫丹(Shafdan)污水处理厂是以色列国家水务公司最大的污水处理厂，承担特拉维夫地区约 250 万居民的生活和工业污水，日处理污水 30 多万吨（图 4-6）。该工程始于 1977 年，经过数次改造升级，2003 年该工程设计年处理能力为 1.4 千万立方米污水，拥有总长约 70 千米的地下管线，主要和次要载体管道的直径约 0.6 到 2.2 米不等，投资约 1.5 亿美元。该项目的目标是弥补以色列水资源不足与特拉维夫海岸污染问题。污水厂采用最新的生物污水处理技术，通过“生物载体”设备消耗生物垃圾。城市污水在机械生化污水厂经过包括硝化/反硝化过程在内的活性污泥法处理。土壤含水层处理系统通过物理/化学过程能够进一步去除污染物。处理后的再生水通过快速自然过滤，经指定管道导入用于农业灌溉的地下水库，被用于当地及南部地区大规模的农业灌溉。

来自以色列工业贸易和劳动力部的数据显示，以色列年均污水量达到 5.2 亿立方米。目前，经过处理的废水约占以色列总用水量的 21%，占农业用水量的 45%。据 2015 年的数据可知，以色列当年产生约 5.1 亿立方米污水，其中 97% 的污水被收集，约 91% 被重新利用（4.75 亿立方米），75% 的污水被回收用于灌溉（约 3.6 亿立方米）。经过预处理、沉淀池、生物反应、螺旋水泵、厌氧分解池等处理步骤，净化后的污水甚至能达到饮用水级别。



图 4-6 沙夫丹（Shafdan）污水处理厂（图片来源：新华网）

4. 新科技的使用

以色列政府非常重视废水资源化利用的科技创新，对原创性、突破性技术的研发提供资金支持，由政府分担研发的风险、支持最高 50% 的项目研发成本。以色列的科技创新不仅运用在节水领域，还体现在开发进一步淡化及污水处理技术。以色列企业开发的突破性废水处理解决方案包括：污水抽吸扫描技术、激光分析仪、微生物燃料电池技术、附好氧气升式反应器技术、污水循环再利用系统、微孔曝气系统、过滤器与过滤膜等。

以色列国家政策支持智能水管理。为了提高水系统效率，以色列把地下水、湖中淡水与污水、海水等混合使用。通过计算机精确监控，减少盐和矿物在水中的百分比，降低盐和矿物浓度过量的风险，以满足居民用水需求。在滴灌技术领域，以色列通过计算机精确控制电脑微灌。该技术通过检测植物茎和果实的直径变化来确定植物灌溉间距。同时，农业专家可以依据气象条件、土壤含水量、农作物需水量等参数，通过该系统及时调整滴灌水量和频率，实现有效利用水资源，避免水资源浪费。

（四） 案例小结

以色列通过顶层制度设计、财政税价政策、污水资源化利用、节水灌溉与新科技等措施，成功地在缺水的地理条件上建立起高效率的水资源管理体系，避免了水资源污染和浪费，提高了水资源利用效率，解决了水资源紧张的难题，实现了水资源最大化利用。



九、 南宁那考河黑臭水体整治

黑臭水体治理的“南宁模式”，在那考河流域综合治理项目上得到充分体现。该项目发挥了 PPP 模式的优势，实施全流域治理，践行生态治水、科学治水和系统治水的治理模式，将昔日的臭水沟变成了河畅水清、岸绿景美的休闲滨水景观带。那考河黑臭水体整治得到社会的广泛认可，也为南宁市和其他地区的水环境整治提供了可复制、可推广的经验。

（一） 背景

南宁市位于广西中部偏南，面向东南亚，背靠大西南，东邻粤港澳，南临北部湾，处于“一带一路”的重要节点，是华南经济圈、西南经济圈、中国-东盟经济圈的交汇点，地理位置突出。南宁是广西壮族自治区首府，全区政治、经济、文化、教育、科技和金融中心，是中国-东盟博览会举办地、北部湾经济区核心城市、“一带一路”有机衔接的重要门户城市。

随着南宁城市化发展进程的加快，南宁市中心城区的土地硬化面积和城区人口迅猛增加，城市内河生态环境严重恶化。与城市化发展速度相比，南宁市市政管网建设相对滞后，水系沿岸截污管道建设和污水处理厂的规模均无法满足日益增加的城市化要求，内河水体纳污情况严重。南宁市政府为了城市可持续发展，改善城市环境，从 2014 年开始向国家进行申报海绵城市建设，以实现工程治水向生态治水的转变。2015 年，南宁市入选全国首批“海绵城市”试点城市，与此同时，政府在公共服务领域大力推行 PPP 模式，经仔细调研和精心准备，那考河黑臭水体治理模式应运而生。2015 年 3 月，南宁市以“全流域管理”与“海绵城市”相结合作为创新理念的那考河黑臭水体整治项目，成为全国首个开工建设的水流域治理 PPP 项目，也是国内首个集流域治理、海绵城市建设于一体的 PPP 项目，项目的成功经验对 PPP 模式在流域治理项目中的应用、以及流域治理与海绵城市建设的有效融合等方面具有重要的示范意义。

（二） 概况

那考河位于南宁市区东北部，是市区主要内河竹排江的上游支流，发源于南宁市东北郊的高峰岭，流域呈长条型，承担着防洪排涝、水系生态和景观休闲等多种功能，同时，那考河也是南宁城市内河道与郊区自然山水格局过渡的区域，位于海绵城市示范区内。在那考河进行综合治理之前，水质多为劣 V 类，河道沿岸有 40 个污水直排口，河道自然植被衰退、水生生物多样性锐减，环境问题突出。



那考河黑臭水体整治项目是广西省南宁市海绵城市试点工程建设中的重点示范项目，该项目工程区总面积 71.9 公顷，治理河道全长 6.35 千米。于 2015 年 3 月 31 日开工，总投资为 11.9 亿元，项目特许经营期 10 年，包括建设期 2 年，运营期 8 年。整个项目包括河道整治及截污、河道净化及补水、污水处理厂及沿途景观建设、海绵城市示范建设、信息监控一体化等工程。

那考河经过综合整治后，生态环境保护已经取得了明显的成效。经过专业检测机构检测显示，那考河的水质指标已基本满足地表四类水水质指标、河道行洪满足 50 年一遇的洪水标准要求，生态环境质量明显改善。根据那考河流域治理 PPP 项目绩效再评价报告中指出，现场核查情况来看，评价范围内污水处理率达到 100%，污水泵站日均进水量超过 3 万吨，每年能为城市多补给净化后可利用水资源 1080 万吨，回灌河道的水量超过 90%，每年减少排放化学需氧量 1.2 万吨、氨氮量 0.1 万吨。

那考河项目应用 PPP 模式进行流域治理后，在改善城市内河水系、引入社会资本参与城市建设等方面取得了一定的成效，进一步推动政府治水职能转变，为广大市民创造更好的水生态环境，产生了显著的社会经济效益。

（三） 城市绿色发展经验

1. 全流域综合整治模式

由于河网水系的复杂性，在生态恢复的过程中，既不能多条河流采用同一种治理方案，也不能一条河流分段治理，而是必须从系统化、专业化、整体化和特色化的角度，对城市内河进行综合整治。从治理工艺来看，必须把上游和源头的“控源截污”和中下游的“黑臭水体治理”有机联系起来进行综合考虑，从源头、过程、末端统筹推进水环境治理，才能从根本上恢复自然生态。

全流域综合治理是那考河流域治理的显著特点，结合不同区段污染特征对河流进行全流域治理，分段同步进行，该项目采取“源头控制与污水拦截，内源处理与用水循环，清水补给与水质治理、生态恢复与信息监控”的技术路径。河道上游的污水处理厂负责处理全流域的污水和黑臭水体，通过膜生物反应器和先进的生态处理技术，使水质达到一级 A 排放标准，同时将经过生态湿地净化的水体作为补充水源注入那考河；河道中游调水净水，强化配套管网系统功能，缓解河道水体污染问题；河道下游在绿化区、公园广场等公共空间增设污水处理设施，进行污染治理。水利、城市污染治理、水生态，海绵城市建设、园林景观建设、信息管理等内河治理的同步协调发展，实现了整个流域的水控制。



2. 采取 PPP 模式

为提高项目建设效率，充分发挥社会资本作用，南宁市政府决定采用 PPP 模式。经过竞争性磋商采购，北京排水集团以社会投资人的身份中标，与南宁建宁水务投资集团联合成立了南宁北排水环境发展有限公司（项目公司）。项目公司承担那考河项目的建设和运营，总投资为 11.9 亿元，项目包括 2 年的建设期和 8 年的运营期。

PPP 模式与传统模式相比，由单一的政府行为转变为政府与市场结合，社会资本与政府共同进行流域治理。对于政府而言，PPP 模式能让他们免于繁琐的融资投资和建设业务，政府需要做的仅是聘请有资质的第三方机构，按照此前确定的水质、水量、防洪等考核指标体系，对项目定期监测考核，并每季度按效果付费。采取 PPP 模式，让专业的社会资本进行流域治理工作，政府从以前的建设者转变为管理者，提高了公共服务效率，实现政企双赢。

3. 海绵城市设施建设

那考河湿地公园除打造出美丽的湿地景观外，更重要的是其“海绵化”设计，可以分级净化，调蓄雨水。例如，种植了很多美人蕉和蓼衣草的潜流湿地下面，深埋有二层管道，最底下的管道是从污水处理厂排放出来的补充水源。管道上都有一些小孔，小孔中排放出来的水经过潜流湿地的渗透净化，再进入到上层管道。上层管道也有一些小孔，把经过渗透的水质排流到河里，同时，潜流湿地上的植被，也有去除水质中的磷和氮的作用。此外，河道两侧的层层梯田景观绿化带，能够对沿河两岸的初期雨水进行吸纳、蓄渗和缓释、利用，是天然的雨水净化器。

通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等技术措施，当遇到有降雨时，海绵化的设施能够就地就近吸收、存蓄、渗透、净化雨水，补充地下水，调节水循环；在干旱缺水时，则有条件地将蓄存的水释放出来，从而让水在城市中的迁移活动更加“自然”，节约城市补水能耗。通过海绵城市设施建设，对沿河两岸初期雨水进行吸纳、蓄渗和缓释、利用，改善河道生态，构建人水和谐的那考河生态环境。

4. 河道截污及水质净化

那考河治理项目按照“控源截污、清淤疏浚、水质改善、活水循环、清水补给、生态修复”的技术路径，在那考河上游建设了一个截污坝，主河道上游还设置一座日处理量达 5.0 万立方米的 MBR 污水处理厂。将上游的污水截入沿河流截污管内，同时，在河道的游步道下敷设截污管道，收集污水及初期雨水，保证治理流域范围内污水及初期雨水不直



排河道。通过建设截污管道，将河道两岸及周边片区污水就近接纳进厂处理，再经生态净化后达到地表水Ⅳ类标准，再经过湿地净化后作为那考河补水水源，从而实现“清源洁流”。水体整治的同时，实现竹排江上游与下游水生态、水循环、水景观、水安全的有机统一，并实现那考河水环境与全流域海绵城市建设的协调发展。

5. 引进专业流域治理公司

那考河治理项目涉及多个系统工程，对于综合治理者的专业技术和管理水平要求较高。项目可行性研究报告完成后，该项目于2014年10月向公众招标，四名社会投资者通过了资格预审，两名社会投资者进入竞争性谈判竞标阶段。通过对该项目区域特征及周边环境的研究，北京城市排水集团有限责任公司设计了极具南宁地方特色壮乡“那”文化的“那色生香”主题，在众多的投标者中脱颖而出。2015年2月，该公司中标。月末，南宁市内河管理处，北京城市排水集团，南宁建宁水利投资公司共同签订了PPP项目合同，并成立了北京城市排水集团持有股权90%，南宁建宁水利投资公司持有股权10%的项目公司，即南宁北方排水环境发展有限公司。

项目采取PPP模式后，项目控制权基本交给社会资本方，并且施工不需要招标，政府投资管控部门对可行性研究阶段、初步设计概算阶段的论证深度提出了更高的要求。南宁市内河管理处针对自身技术力量薄弱的特点，聘请具有资质的第三方专业顾问公司，上海济邦投资咨询有限公司及北京清控人居环境院有限公司，从项目前期一直为业主把关，在很大程度上确保了项目技术方案、建设标准、工程质量、工程投资的合理性。

6. 河道生态修复

通过对河道护岸堤防的生态设计，河道型湿地、湿地公园以及生物多样性重构等技术手段的利用，因地制宜地创造各种生态自然景观，营造人与自然和谐的水环境。例如，那考河在上游河段设置了溢流坝4座、蓄水闸、分洪闸和连通闸各1座。溢流坝设置后，可直接将上游来水储存起来，使河道形成水深为0.5-2.0m的常水位，漫成较大面积的水域景观。雨季时若出现城市内涝，则开启滞洪区的连通闸放空库容，并开启分洪闸，滞留部分洪水，待洪峰过后再排往下游至邕江。为营造出生机盎然的水环境，还建设了沿岸景观工程，主要位于河道两侧8-120米绿地范围，面积约44.77公顷，打造出一条以植物多样性为主题，集防洪、旅游、文化和休闲等多功能一体的生态景观绿道。



（四） 案例小结

南宁市城市化高速发展的同时，市政管网建设相对滞后，内河水体纳污情况严重。市政府开展一系列措施，持续改善城市环境，探索出了以“全流域管理”与“海绵城市”相结合的创新理念，开展了那考河黑臭水体整治。该项目成为中国首个开工建设的水流域治理 PPP 项目，也是中国首个集流域治理、海绵城市建设于一体的 PPP 项目，那考河进行流域治理后，在改善城市内河水系、引入社会资本参与城市建设等方面取得了积极成效，为广大市民创造更好的水生态环境，同时也产生了显著的社会经济效益。



参考文献

- [1] 联合国环境规划署 2019, 北京二十年大气污染治理历程与展望. 联合国环境规划署. 内罗毕, 肯尼亚
- [2] 蓝条保卫战—中国空气质量改善报告 (2013-2018). 生态环境部. 2019 年 6 月
- [3] 《北京统计年鉴》, 北京统计局. <https://www.yearbookchina.com/navibooklist-n3022013060-1.html>
- [4] 北京市印发蓝天保卫战 2018 年行动计划. 中国政府网. 2018-03-22.
http://www.gov.cn/xinwen/2018-03/22/content_5276414.htm
- [5] 北京市人民政府关于印发《北京市打赢蓝天保卫战三年行动计划》的通知. 北京市人民政府.
2018-09-14. http://www.beijing.gov.cn/zhengce/zhengcefagui/201905/t20190522_61552.html
- [6] KARYN SIMPSON. What the world can learn from Israel's water reuse programs[EB/OL](2018-10-18).
<https://news.medill.northwestern.edu/chicago/what-the-world-can-learn-from-israels-water-reuse-programs/>.
- [7] MARIN P, TAL S, YERES J, 等. Water Management in Israel[J]. 2017: 56.
- [8] 以色列环境与健康基金. Wastewater[EB/OL](2018-02-07).
<https://www.ehf.org.il/en/wastewater>.
- [9] ZASK A, 以色列环境保护部. URBAN WATER QUALITY MANAGEMENT[J].
- [10] JIM LAURIA. Israel's Wastewater Recycling: A Look at Water's Future[EB/OL](2010-07-29).
<https://www.wwdmag.com/channel/casestudies/israel%E2%80%99s-wastewater-recycling-look-water%E2%80%99s-future>.
- [11] TEAM F N. Israel Leads World in Water Recycling[EB/OL](2020-07-20).
<https://www.fluencecorp.com/israel-leads-world-in-water-recycling/>.
- [12] CRISTINA NOVO. Israel Leads the Way in Wastewater Reuse[EB/OL]. Smart Water Magazine, 2020(2020-07-29).
<https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/israel-leads-way-wastewater-reuse>.
- [13] MARCELO JUANICO. Israel as a Case Study - Wastewater Reclamation and Reuse[EB/OL](2008-01).
https://www.researchgate.net/publication/292320772_Israel_as_a_Case_Study_-_Wastewater_Reclamation_and_Reuse_-_2008.
- [14] 中华人民共和国驻以色列使馆经商处. 以色列污水处理与回收产业介绍及合作建议[EB/OL](2012-08-19). <http://il.mofcom.gov.cn/article/c/201208/20120808292336.shtml>.
- [15] 中国中小企业协会. 以色列如何高效利用水资源[EB/OL](2015-07-29).
<http://www.ca-sme.org/content/Content/index/id/10317>.
- [16] 王炯. 以色列何以走出缺水困境[EB/OL](2019-07-19).
https://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2019-07/19/nw.D110000gmrb_20190719_4-12.htm.
- [17] 王耀琳. 以色列的水资源及其利用[J/OL]. 中国沙漠, 2003, 23(4): 464-470.
<http://www.cqvip.com/QK/97197X/200304/8069268.html>.
- [18] 高伟, 韩煜, 宋海燕, 等. 以色列城镇水务管理经验与启示[J/OL]. 给水排水, 2020, 46(6): 11-14.
<http://www.cqvip.com/qk/90520x/202006/7102180109.html>.
- [19] 谭璐. 流域治理 PPP 融资模式应用研究[D]. 广西大学, 2019.
- [20] 黄文源, 董彦希. PPP 项目在污水治理中的运用——以广西南宁那考河为例[J]. 纳税, 2019, 13(09): 210+213.
- [21] 覃思. 南宁市那考河湿地公园使用后评价研究[D]. 广西大学, 2019.
- [22] 陈琴. 南宁那考河 PPP 项目启示[J]. 新理财(政府理财), 2017(06): 41-42.
- [23] 秦颖, 鞠磊, 赵世强. 流域水环境治理 PPP 模式应用研究——以南宁那考河项目为例[J]. 工程经济, 2016, 26(12): 26-29.
- [24] 社会资本参与南宁那考河治理[J]. 城乡建设, 2015(11): 12.
- [25] 梁素萍, 李钦琳. 基于模糊综合评价法的 PPP 项目绩效评价体系研究——以广西壮族自治区那考河流域治理项目为例[J]. 财政监督, 2018(23): 55-58.
- [26] 梁柳华. 南宁竹排江上游那考河段流域治理 PPP 项目风险管理研究[D]. 广西大学, 2017.



- [27] 李蕊. 流域水环境治理 PPP 项目绩效评价研究[D].北京建筑大学,2017.
- [28] 熊春艳.“PPP+ 海绵城市”那考河华丽蜕变[J]. 当代广西, 2017, 10.
- [29] Liu J, Xue X. Application of a performance-based public and private partnership model for river management in China: A case study of Nakao River[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 236: 117684.
- [30] 梁萍,龙娟,孙冬婧,朱慧,张幸,曾怡嘉,李开祥.绿色“一带一路”倡议背景下广西与东盟国家林业合作探究[J].广西林业科学,2020,49(04):618-622.
- [31] 吴欢欢,王造兰.“一带一路”倡议下“南宁渠道”升级的路径研究[J].廊坊师范学院学报(社会科学版),2018,34(02):95-99.
- [32] 梁妍妍. 基于“一带一路”战略的广西生态经济发展[J]. 经贸实践, 2016,
- [33] 张家寿. 广西参与推进“一带一路”建设研究[J]. 桂海论丛, 2019, 1.
- [34] 朱芳阳, 谭保华, 王婷婷. 生态位视角下区域物流产业竞争力评价——以“一带一路”重点省份为例[J]. 经济与管理, 2019 (2019 年 01): 30-35.
- [35] 农斯予. 浅析广西乡镇参与“一带一路”建设中的环境保护问题[J]. 大学教育, 2016 (10): 177-180.



第五章 绿色能源

十、 沙特萨勒曼国王能源城

萨勒曼国王能源城位于沙特东部省份，是沙特为满足本地能源需求，实现能源供应本地化，并从中获取收益的重要举措，也是其《2030 年愿景》的重要组成部分。该项目通过聚集石油化工全产业链，实现产业本地化、高效化和集约化。同时，它还将吸引相关产业，推动沙特经济向多元化发展。能源城内不仅有工业区，还有商业和居住区，并提供完善的配套设施，实现了产-城-人相融合的绿色可持续发展。

（五） 背景

沙特阿拉伯王国（以下简称“沙特”）位于西亚的阿拉伯半岛，东与卡塔尔、巴林及阿拉伯联合酋长国相邻，南与阿曼、也门交界，西与埃及、苏丹、厄立特里亚隔海相望，北与约旦、伊拉克和科威特接壤，是唯一一个同时拥有红海和波斯湾海岸线的国家，地理位置极其重要。国土面积达 225 万平方千米，在阿拉伯国家中仅次于阿尔及利亚。人口约 3481 万人，其中沙特公民约占 62%，伊斯兰教为国教，逊尼派占 85%，什叶派占 15%。沙特盛产石油，原油探明储量 363.5 亿吨，占世界储量的 16%，仅次于委内瑞拉，居世界第二位，是最大石油出口国。天然气储量 8.2 万亿立方米，居世界第六位。石油和石化工业是沙特的经济命脉，石油收入占国家财政收入的 87%，占国内生产总值的 42%。正因为如此，沙特被列为高收入经济体之一，人类发展指数极高，是二十国集团中唯一一个阿拉伯国家。



图 5-1 沙特阿拉伯王国区位图

然而，由于地处荒漠地带又严重依赖石化工业，沙特面临着水资源短缺、大气污染、气候变化和土地荒漠化等环境问题。近年来，为摆脱对石油产业高度依赖，推进多元化发展战略，沙特于 2016 年推出《沙特 2030 年愿景》（Saudi Vision 2030）和《2020 国家转型规划》（National Transformation Program 2020），充分利用本国丰富的石油、天然气资源，积极引进国外的先进技术设备，大力发展钢铁、炼铝、水泥、海水淡化、电力工业、农业和服务业等非石油产业，依赖石油单一经济结构的现状有所改观。目前，沙特已成为世界上最大的淡化海水生产国，其海水淡化量占世界总量的 20% 左右。与此同时，沙特还大力发展可再生能源，努力实现能源转型，例如，在《沙特 2030 年愿景》中，沙特提出到 2023 年可再生能源装机容量要达到 9.5GW。2018 年，沙特发布的《国家新能源计划》（National Renewable Energy Program）将这一目标提高到了 27.3GW（包括 20GW 光伏和 7GW 风能），并提出到 2030 年达到 58.7GW（包括 40GW 光伏、16GW 风能和 2.7GW 的聚光太阳能），将天然气和可再生能源在电力生产中的比例提高到 50%。



（六）概况

沙特的能源需求很高，而且还在不断攀升，为了满足本地的能源需求，实现能源供应本地化，并从中获取收益，沙特决定建立能源城。正如《沙特 2030 年愿景》所说，“我们将建设一座新的能源城市，把天然气产量翻倍，并修建国家天然气输送管网。我们还将利用石油和石化领域的全球领军地位和专业水平，投资于相关产业的发展。”于是，萨勒曼国王能源城便应运而生。

萨勒曼国王能源城（King Salman Energy Park, SPARK）（见图 5-1）位于沙特盛产石油和天然气的东部省份，介于达曼和阿赫萨两大城市之间，由沙特国有石油企业——沙特阿美（Saudi Aramco）开发、运营和管理。该项目占地面积 50 平方千米，分三期完成，预计于 2035 年竣工。2018 年 12 月正式动工，第一期占地 17 平方千米，预计于 2021 年底完工，目前已完成 80%。第二期、第三期分别占地 18 平方千米、15 平方千米。

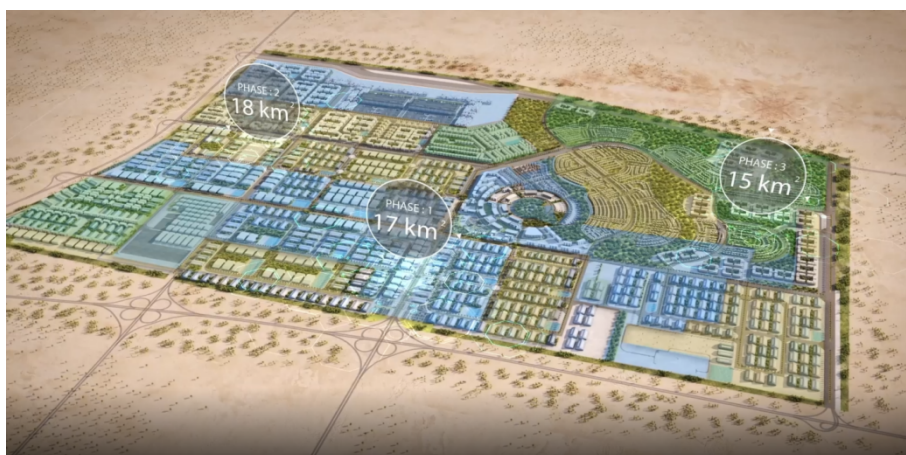


图 5-2 萨勒曼王国能源城一、二、三期建设面积（分别为蓝色、黄色、绿色）

作为《沙特 2030 年愿景》的一部分，能源城旨在通过能源供应链的本地化以满足沙特日益增长的能源需求并从中获取经济价值。其愿景是以创新、协作和强有力的治理为基础，成为卓越的综合性全球能源和工业中心。其使命是通过提供世界一流的基础设施和服务平台，促进企业业务增长，为社区带来持续价值，从而将业主置于能源市场的核心地位。能源城将成为能源行业 21 世纪的新生态系统，一个以卓越和创新为基础的充满活力的国际工业社区，吸引世界一流的劳动力。该项目预计将为沙特的 GDP 贡献超 60 亿美元，并在达到一定阶段后，创造多达 100,000 个直接和间接就业机会。



（七） 城市绿色发展经验

1. 构筑全产业链，实现产业本地化

萨勒曼国王能源城将围绕石化工业，吸引包括上游、下游、石化、发电、水生产和水处理五个行业领域，重点吸引管道和管材、电子和控制系统、钻井化学品、冷却系统、船只和集装箱、能源、建筑材料等产业。通过能源城内的基础设施，这些产业链的投资者将弥补本地的产业空白，形成完整的产业链，实现产业的本地化，为本地提供充足的能源。沙特阿美在 SPARK 开发中居于核心地位，将促进效率提升和技术发展，助推制造业和出口增长，打造世界一流的能源供应链。能源、工业和矿业资源部部长兼沙特阿美公司董事长 H.E. Khalid A. Al-Falih 表示：能源园区独特的价值主张使其成为希望投资于蓬勃发展的沙特阿拉伯能源服务市场的理想目的地。沙特阿美总裁兼首席执行官阿明·纳赛尔说：“萨勒曼国王能源城将为沙特阿拉伯王国能源部门的发展开启新时代。它将成为沙特阿拉伯经济的一个‘中央门户’，而沙特阿美也将继续在全球油气行业中居于核心地位。我们现在希望能够和我们的首批 SPARK 核心伙伴合作，努力在国际投资者和沙特阿拉伯王国的私营部门企业创造商业机会。我们现在能够一起打造一个世界一流的能源中心，而这将加速为未来世代的价值链开发解决方案。”

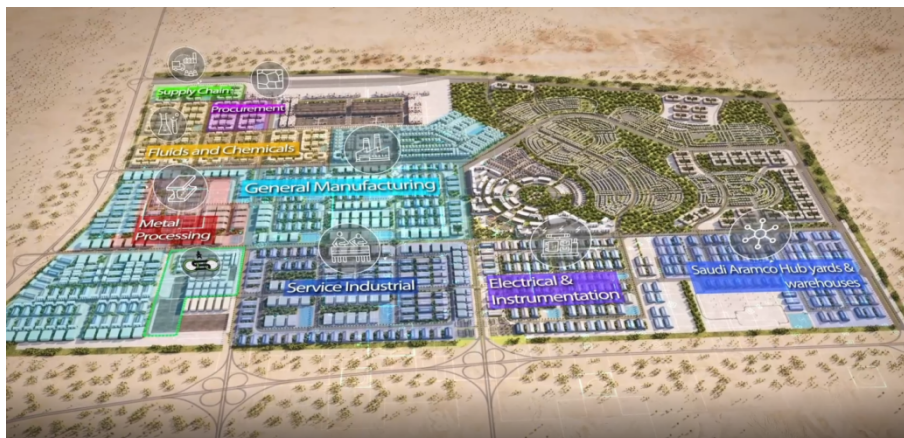


图 5-3 萨勒曼能源城内不同产业所在位置

2. 吸引中小企业，促进经济多元化

除了吸引制造业、石化和能源工业之外，能源城还将发展其他相关产业如现代物流，并培育中小企业，激发创新创业，为更加多元化的经济格局做出重要贡献。能源城内将包括工业区、陆港和物流区、居住区、商业区和培训区五大区域。工业区将分为通用制造业、



电气设备、液体化工、金属加工、工业服务等五个专业区。物流区将包括一个内陆陆港、一个保税区以及一个带有仓库和其他物流服务的物流园区，并与未来的海湾合作委员会铁路相连。建成后，具有高度自动化水平的内陆陆港将拥有 800 万公吨的年货运能力。

3. 产-城-人相融合，实现可持续发展

萨勒曼国王能源城不仅包括工业区，还包括物流区、居住区、商业区和培训区，不仅实现了产-城-人相融合，还处处体现着绿色理念。例如，萨勒曼国王能源园区（SPARK）是世界上第一个获得能源与环境设计领导力（LEED）银级认证的工业城。能源城总裁兼首席执行官 Saif S. Al Qahtani 表示：“该认证重申了我们对减少城市碳足迹的承诺。我们的目标是为与能源相关的公司创建一个生态系统，以便在环境影响最小的情况下实现发展，我们鼓励其他工业城市也效仿我们。”2021 年 6 月 30 日，萨勒曼国王能源城（SPARK）还与沙特最古老的大学-费萨尔国王大学（KFU）签署了清洁能源和可持续性研究谅解备忘录。该协议将有助于开发可再生能源的创新解决方案，并将其应用于王国的配电网、可持续景观，最大限度地减少环境影响。除此之外，中国铁建在负责能源城基础设施与管线建设过程中也积极践行环保理念，助力当地绿色发展。例如，项目部将 5000 多个混凝土入井变更为玻璃钢入井，大大减少了混凝土用量；项目 1900 个路灯全部采用太阳能路灯；在材料仓库采用塑料透光屋面板等。



图 5-4 萨勒曼国王能源城功能区划分



图 5-5 萨勒曼国王能源城与费萨尔国王大学签署清洁能源和可持续性研究谅解备忘录

（八） 案例小结

沙特萨勒曼能源城尽管仍然是一个以传统化石能源为基础的工业园区，但是因为将能源全产业链的企业和相关要素汇集在一起，并通过现代化的物流和智能化的基础设施将不同环节高效融合，以一种新的方式发展传统能源行业，在保障能源供应和经济增长的同时，实现了降低成本、提高效率、减少能源消耗、实现绿色可持续发展的目的。这为其他“一带一路”沿线依赖于资源和能源的发展中国家提供宝贵经验。



十一、 敦煌建设 100%可再生能源城市

甘肃省敦煌市地处中国西北，太阳能和风能资源丰富，荒漠和半荒漠土地资源充足，电网输出条件较好，是发展可再生能源产业的理想之地。2009 年建立了我国第一座大型光伏电站，可再生能源市场快速发展，2011 年开始创建新能源示范城市，2015 年提出打造 100%可再生能源城市，目前，依托敦煌高比例新能源示范城市创建工作，敦煌市将打造多能互补新能源综合基地。

（一） 背景

敦煌市位于甘肃省西部，河西走廊²最西端，地处甘肃、青海、新疆三省交汇处，是隶属于甘肃省酒泉市管辖的县级市，总面积 3.12 万 km²，总人口 20 万人，以旅游业为龙头的第三产业在市域经济中的比重超过 50%。敦煌市是古丝绸之路咽喉要地、大漠戈壁中的绿洲，也是推进“一带一路”建设的重要节点城市。

敦煌市化石能源资源贫乏，煤炭、石油、天然气等化石能源均依靠外部供应，太阳能和风能资源丰富，荒漠和半荒漠土地资源充足，电网输出条件较好，具有大规模开发应用可再生能源的条件。敦煌市是中国太阳能资源丰富的 I 类地区，全年日照时数达 3257h，日均光照 8.9h，年太阳总辐射量为 1754kWh/m²；四季多风，风力资源丰富，70m 高度平均风速为 6.9m/s；可用于建设光伏电站和风电的荒漠戈壁面积约 4000km²，潜在光伏发电装机容量达 1.2 亿 kW。

多年来，敦煌市致力于可再生能源的推广和应用，是全国首批新能源示范城市、首个百万千瓦级光伏发电示范基地、国家可持续发展试验区和甘肃省循环经济示范区，以清洁能源、资源循环利用为优势产业的新型工业已占全市经济总量的 1/3。

（二） 概况

2009 年，敦煌市抓住全国首个 20 兆瓦并网光伏发电特许权示范项目落户的有利时机，启动了百万千瓦级光电基地建设项目，2010 年 5 月，国务院办公厅在《关于支持甘肃经

² 河西地区系指今甘肃的酒泉、张掖、武威等地，因位于黄河以西，自古称为河西，其地斜处祁连山与北部山系间，东南起自乌鞘岭，西北止于疏勒河下游，宽仅数里至一二百里，长达 2000 余里，势成一狭长的天然走廊，亦称河西走廊，是中原地区通往西域的咽喉要道。汉唐以来，成为“丝绸之路”一部分。地域上包括甘肃省的兰州和“河西四郡”：武威（古称凉州）、张掖（甘州）、酒泉（肃州）和敦煌（瓜州）。



济社会发展》中明确提出“建设以敦煌为主的百万千瓦级以上太阳能发电示范基地”。到2015年底,敦煌市并网光伏发电装机容量达到66.3万kW,备案装机容量达到96.9万kW。2018年底,全国首个百兆瓦级熔盐塔式光热电站——首航节能敦煌100兆瓦熔盐塔式光热发电站在敦煌实现并网发电,并于2019年6月实现满负荷发电,该发电站设计年发电量3.9亿度,每年可减排二氧化碳35万吨,释放相当于1万亩森林的环保效益。



图 5-6 首航节能敦煌 100 兆瓦熔盐塔式光热发电站

在大力推动光伏发电基地建设的同时,敦煌市自2011年开始建设国家新能源示范城市。2011年6月,国家能源局批准了《敦煌新能源城市发展规划》,支持敦煌市创建国家级新能源示范城市,敦煌成为最早获批的国家新能源示范城市之一。根据《敦煌新能源城市发展规划》,敦煌市将以太阳能多种利用方式为重点,有序推进各类新能源技术在城市供电、用热、供暖和建筑节能中的应用,并提出了力争到2015年实现可再生能源生产量超过城市能源消费总量的目标。2012年,国家能源局启动新能源示范城市工作,敦煌市根据国家对新能源示范城市的指导和要求,对可再生能源开发量及可再生能源在本地消纳的规模进行了调整。

2015年1月,敦煌市入选国家能源局和德国联邦环境、自然保护、建筑及核安全部(BMU)联合支持的“中德可再生能源示范城市规划研究项目”³,成为中德合作项目的3个示范城市之一。2016年12月,国家能源局以《关于敦煌、日喀则、扬中创建高比例新

³由德国联邦环境、自然保护、建筑及核安全部发起并资助的“100%可再生能源地区”项目,其目的是选定那些愿意付出长期努力将其能源供应彻底转变成可再生能源的地区,为这些地区提供帮助,并最终实现这一目标。



能源示范城市的复函》(国能新能〔2016〕319号),支持敦煌市创建100%可再生能源应用示范城市。敦煌市成为全国3个创建100%可再生能源应用示范城市之一。

2017年7月,中德专家共同完成了《敦煌市综合能源规划方案》,研究提出了实现100%可再生能源电力、热力和交通燃料的发展情景和实施方案。该项研究设置了5种能源供需情景,即常规情景、洁净情景、能效情景、热泵情景、困难情景,并估算了2025年敦煌市在不同情景下终端能源需求量、能源供应量及能源设备装机容量。2025年常规情景是2020年常规情景的延续,即在2020年至2025年将继续按照相同规模扩建风电和光伏电站。其他4种情景以可再生能源在全年的每个小时都能够100%满足敦煌市的能源需求为目标,研究设计不同的发展路径和措施手段。该项研究表明,随着可再生能源技术和能源协同技术的快速进步和发展,到2025年,从能源资源和能源技术的角度看,在全年中的每个小时实现100%可再生能源本地供应是可行的。

表 5-1 敦煌市 2025 年能源供需情景

项目	常规情景	洁净情景	能效情景	热泵情景	困难情景
可再生能源在终端能源需求中的占比(%)	66~76	100	100	100	100
终端能源需求量(万tce)	81.6~122	113.1	81.6	81.6	122
能源供应量(万tce)	207	814	535	255	873
能源设备装机容量(GW)	8.64	45.79	27.8	11.82	49.43

“十四五”时期,敦煌市持续推进新能源多能互补基地建设。建设大通道、融入大电网,促进敦煌新能源资源在大范围进行配置。截止到2021年6月,敦煌市已编制完成《敦煌市多能互补新能源综合基地规划报告》《新型风力发电基地规划》及《光热光伏协同示范基地规划》。初步规划,到2025年新增风电、光伏、光热及电化学储能多能互补装机规模在300万千瓦至500万千瓦,到2030年建成敦煌多能互补基地,届时基地总装机规模为1700万千瓦。

(三) 城市绿色发展经验

1. 新能源发展思路不断完善和提升

敦煌100%可再生能源城市的发展思路经历了项目建设、概念初步形成、目标提出三



个阶段，发展思路不断调整和完善，目前正努力向 100%可再生能源城市的目标迈进。

第一阶段是 2009 年开始建设百万千瓦太阳能发电基地。其工作思路是大力推进大型光伏电站和风电场的建设，将所发电力全部并入电网。发展目标是风电和光伏发电基地的建设规模达到 100 万 kW 以上。关注的重点是能源生产端的绿色电力建设和并网外输，对消费端的关注较少。

第二阶段是 2011 年开始是创建国家新能源示范城市。其工作思路是着重推动各种可再生能源技术在城市中的规模化应用，提出的发展目标是到 2020 年可再生能源在能源消费中的比例要达到 28% 以上。在大力推动光伏发电基地建设的同时，敦煌市认识到，从能源生产的角度，大型光伏电站建设能够有效提高绿色电力的比重，但是，从能源消费的角度，光伏发电并入中高压电网，对本地能源消费的贡献并不大，本地能源消费仍严重依赖化石能源。所以该阶段关注的重点是能源消费端的可再生能源的本地化生产和应用，特别是城市建成区的分布式项目开发 and 利用，开始考虑可再生能源在本地消纳的规模，但可再生能源系统与节能、常规能源体系、城市规划建设体系的协调配合尚有待加强。

第三阶段是 2015 年开始建设 100% 可再生能源城市。其工作思路是，通过节能和发展可再生能源两个方面的政策和措施，大幅度提高可再生能源在城市能源消费（包括电力、热力和交通燃料）中的比重，到达 100% 可再生能源城市的发展目标。研究结果显示，在 2030 年左右，敦煌市能够实现电力和热力的 100% 可再生能源。

2. 强化组织管理及保障措施

敦煌市加强国家新能源示范城市的组织领导，成立由常务副市长任组长，各相关部门主要负责人为成员的“敦煌市建设国家新能源城市建设工作领导小组”，总体协调新能源城市规划与建设工作，建立新能源城市评价指标体系，并纳入社会管理综合治理责任制进行考核，确保新能源城市各项任务落到实处。

建立强有力的政策支持体系，将新能源城市建设工作融入敦煌市经济社会长期发展规划。设立新能源城市建设专项资金，切实保障落实重点项目建设和运维资金。加强全市新能源城市建设项目专项资金的统筹力度，加大城市基础设施新能源技术利用投资，优化信息化资金结构。建立和完善银企沟通对接机制，充分利用敦煌市清洁能源投融资平台，完善多元投融资机制，吸引和鼓励多元化社会资本参与创建工作。

构建科学有效的综合绩效评估体系。建立方案实施目标分级责任制度，把新能源城市



建设方案实施工作作为各级党政领导干部政绩考核的重要内容。加强监督检查，确保惠民实效。制定《敦煌新能源城市建设工作绩效考核指标及管理办法》等，建立严格科学的年度及月度考核制度，细化考核目标，确保新能源城市建设工作稳步推进。

3. 坚持项目带动全域推进新能源城市建设

全面推广新能源技术应用。例如全面推广太阳能热水应用工程，在全市有条件的宾馆饭店，学校宿舍楼，住宅小区等建筑屋顶安装大型太阳能热水系统，提供生活热水，减少以天然气为主的石化能源的消耗。以自来水公司储水库为储热介质，建成水源热泵项目，为公司办公楼、家属楼及周边商业住宅供热制冷。在农村示范推广光伏农业大棚，将农业生产和新能源产业有机结合，对全市集中连片的农村日光大棚进行太阳能改造，建设分布式光伏农业大棚示范园区，在满足农业大棚卷帘机、自动调控等装置用电之余，进一步增加农民收入。

大力推进城市设施绿色改造。对路灯，广告牌，道口交通信号灯进行了太阳能改造，投资近 800 万元，在 8 个农村乡镇安装太阳能路灯 3071 盏。从 2017 年起，城区 50 辆公交车全部更新为纯电动公交车，是甘肃省唯一一个城区公交全部采用新能源汽车的城市。目前，累计推广应用各类新能源汽车约 340 辆。

持续布局建设微电网工程。在玉门关、河仓城、汉长城、悬泉置遗址等景区无电区域，布局建设集中分布式光伏电站小型微网工程，建成太阳能野外试验站、分布式屋顶电站灯。开展乡镇太阳能微电网示范和太阳能供热综合利用项目，为农户安装分布式屋顶光伏系统，采用“集中调峰，分户计量”的模式，为农户提供绿色电力。

（四） 案例小结

敦煌市是古丝绸之路咽喉要地，也是推进“一带一路”建设的重要节点城市。由于敦煌市化石能源资源贫乏，煤炭、石油、天然气等化石能源相对匮乏，太阳能和风能资源丰富，电网输出条件较好，具有大规模开发应用可再生能源的条件。多年来，敦煌市立足资源优势，抢抓新能源产业发展政策机遇，可再生能源城市发展思路不断完善提升，建立了强有力的政策支持体系及科学有效的评估体系，全力推进了新能源示范城市建设。



参考文献

- [1] 中国外交部. 沙特阿拉伯国家概况. 2021.
https://www.fmprc.gov.cn/web/gjhdq_676201/gj_676203/yz_676205/1206_676860/1206x0_676862/
- [2] “Saudi Arabia facts and figures.” Organization of the Petroleum Exporting Countries. No Date.
https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/169.htm.
- [3] “Know About Kingdom.” Unified National Platform. No Date.
<https://www.my.gov.sa/wps/portal/snp/aboutksa>
- [4] “Environmental Protection in KSA.” Unified National Platform. No Date.
https://www.my.gov.sa/wps/portal/snp/aboutksa/environmentalProtection#header2_2.
- [5] “Saudi Vision 2030: An ambitious vision for an ambitious nation.” Kingdom of Saudi Arabia. No Date.
<https://www.vision2030.gov.sa/v2030/overview/>.
- [6] “Saudi Arabia Launches renewable energy initiative.” Argaam. 18 April 2017.
<https://www.argaam.com/en/article/articledetail/id/481210>.
- [7] “The Kingdom of Saudi Arabia National Renewable Energy Program.” July 2017.
<https://www.powersaudiarabia.com.sa/web/attach/media/webinar.pdf>.
- [8] “Saudi Arabia National Renewable Energy Program.” International Energy Forum. No Date.
https://www.ief.org/_resources/files/events/third-ief-eu-energy-day/turki-al-shehri-24.02-repdo---ief_riyadh_v2-2.pdf.
- [9] “History of Oil in the Kingdom.” Vision 2030. No Date.
<https://www.vision2030.gov.sa/thekingdom/explore/energy/>.
- [10] “King Salman Energy Park.” SPARK. No Date. <https://www.spark-ksa.com/about/>.
- [11] “SPARK Sustainability Shines Through Silver Level LEED Certification.” September 28, 2020.
<https://www.spark-ksa.com/spark-sustainability-shines-through-silver-level-leed-certification-1/>.
- [12] “King Salman Energy Park (SPARK) and King Faisal University (KFU) Sign Memorandum of Understanding for Clean Energy and Sustainability Studies.” SPARK. July 6, 2021.
<https://www.spark-ksa.com/king-salman-energy-park-spark-and-king-faisal-university-kfu-sign-memorandum-of-understanding-for-clean-energy-and-sustainability-studies/>.
- [13] 中国贸易新闻. 中国企业在沙特建设沙漠绿城. 2021.
<https://www.chinatradenews.com.cn/content/202104/16/c131015.html>
- [14] 腾讯网. 敦煌市: 将积极打造多能互补新能源综合基地, 推进大成光热+一体化项目落地 (2021-04-21). <https://new.qq.com/omn/20210402/20210402A0DHRB00.html>
- [15] 新浪网. 敦煌市启动建设多能互补新能源综合基地(2021-04-21)
http://k.sina.com.cn/article_7453132258_1bc3dc5e200100v1bh.html
- [16] 首航节能敦煌 100MW 熔盐塔式光热电站建设与运行全过程.
https://www.sohu.com/a/329551512_120093798
- [17] 胡润青, 敦煌市建设 100%可再生能源城市发展思路研究, 中国能源, 2017, 39(9)
- [18] 敦煌 100%可再生能源应用示范城市获批, 《中国太阳能产业资讯》2017 年 2 期
- [19] 冯奎等, 《绿色城市》, 中国环境出版社, 2018



第六章 生物多样性和基于自然的解决方案

十二、 阿根廷罗萨里奥的都市农业

罗萨里奥的都市农业项目（Programa de Agricultura Urbana，简称 PAU）于 2002 年 2 月启动，现已发展成为该市包容性气候行动规划的基石。该项目的初衷是通过战略性再利用公共土地和城郊空间来缓解城市粮食短缺问题，帮助改善低收入居民的粮食安全和营养问题，并为其提供经济就业机会。在实施过程中，项目利用城市闲置土地创造了有生产价值的绿色空间，增加了城市“绿化带”建设，使城市在气候灾害中更有韧性，同时也有利于生态系统质量的提升。

（一） 背景

罗萨里奥（Rosario）位于阿根廷中部圣菲省巴拉那河西岸（图 6-1），是阿根廷第三大城市，人口约为 175 万（2020 年）。作为阿根廷的工业中心、交通枢纽以及港口综合体，罗萨里奥的经济以服务业和工业为基础，农工业、石油加工业、化工业以及机械工业为其四大支柱产业。



图 6-1 罗萨里奥市区位图



都市农业项目的启动与 2001 年阿根廷遭遇经济危机有关。2001 年阿根廷经济崩溃，使得罗萨里奥市有四分之一的劳动力失业，超过一半以上的人口跌至贫困线以下。为帮助失业者，市政府启动了该都市农业项目。项目共有两个主要合作伙伴，一个是罗萨里奥的非政府组织农业生态生产研究中心(CEPAR)，另一个是全国性的“菜园项目”(Pro Huerta)项目。前者自 1987 年以来在罗萨里奥贫困地区持续推广蔬菜种植，后者是阿根廷为促进低收入地区生产小规模、自给自足的新鲜食品而成立的全国性项目。

(二) 概况

罗萨里奥都市农业项目的直接目标系满足失业的贫民窟居民的紧急需求，但它的项目愿景更加长久，目标是“使都市农业成为一项永久性城市活动”，并且缓解气候灾害带来的风险。气温上升和洪水加剧了 2001 年阿根廷经济危机的遗留损害，使城市不平等现象更加严重。2002 年，都市农业项目启动，通过重新利用未充分利用的公共土地以缓解洪水灾害、补充城市绿带，发展成具有包容性的气候适应项目。2004 年 9 月批准的一项市政条例授予居民将城市空地用于都市农业的临时使用权。2011 年，罗萨里奥市政府通过了“绿化带工程”(the Green Belt Project)土地使用条例，该条例被纳入 2015 年启动的战略计划当中。经过近 20 年发展，该项目为本地居民提供了健康的、就近生产的农产品，为低收入家庭提供了生计，提高了城市土地利用率，减少了碳排放，同时提高了城市对洪水和极端气候的抵御能力。罗萨里奥都市农业项目还产生了示范效应，为全市范围整治空置土地提供了样板，影响力还扩大到城市周边地区。

(三) 城市绿色发展经验

1. 增加弱势群体收入和生产能力

实施罗萨里奥都市农业项目的主要任务是增加小生产者等弱势群体的收入，加强食品生产和商业化，同时发展相关行为者的生产能力。加强食品生产的基本手段是举办培训班，对失业人员进行技术和实践知识培训。罗萨里奥都市农业项目通过与“菜园项目”合作，建立了生产者团体的城市网络，创建了名为“生态果园(eco-huertas)”的培训区，居民可以在家里学习有机食品生产、安全、卫生和产品质量控制的基本知识，接受有关市场分析、商业管理和项目制定方面的培训。同时相关技术人员和推广人员还为生产者提供技术援助以及优质种子和堆肥。居民通过接受培训，建立小型工业，实施短期生产计划和全年的连



续生产计划。除了开展有关培训，罗萨里奥都市农业项目通过建立农贸市场（图 6-2），开展罗萨里奥社区送货上门计划、大众传媒宣传等方法来实现商业化。

与此同时，该市制定了“社会认证”系统，以取代私人机构认证。该系统由市政府、生产者团体城市网络、“菜园项目”（Pro-Huerta）和一个由 450 名消费者组成的名为“绿色生活”（Vida Verde）的网络共同参与认证，旨在保障农产品安全和质量，促进当地有机食品公平贸易。



图 6-2 居民在社区集市上购买本地生产的农产品（图片来源：prizeforcities.org）

2. 利用闲置城市土地进行都市农业生产

高效利用城市土地资源是罗萨里奥都市农业项目的另一重要手段。市政府与联合国人居署城市管理项目以及罗萨里奥国立大学进行了联合研究，对未被充分利用的城市土地进行清查。调查显示 36% 城市用地适合用于农业改造。这些可作为农业用地的区域包括铁路和高速公路沿线的土地、地势低洼且易受洪水侵袭的城郊土地，以及因缺乏资金而未能实现的规划绿化隔离用地。

为保障园丁们的使用权，2004 年 9 月市长批准了一项市政条例，将城市空地的临时使用权正式授予居民用于都市农业。市政规划秘书处随后与国际伙伴合作，起草了将都市农业纳入罗萨里奥城市发展计划的建议，包括将都市农业纳入城市发展计划和社会住房计划，免除土地所有者的财产税，以及建立一个土地银行等。为实现长期战略目标，罗萨里奥市政府还在全市范围内为一些永久性和临时性的市场创造了运营空间，城市农民可以在



那里销售本地种植的农产品和自家制的商品，如腌制蔬菜、酱料、糖浆、有机化妆品以及腌制水果和果酱。

2014 年，超过 30 公顷的土地被用于种植蔬菜、水果以及药用和芳香植物（图 6-3）。种植区包括沿铁路线穿过城市北部地区的绿色走廊。这些果蔬园的平均面积达到 2 公顷，被逐一分为 500 至 1000 平方米的地块，每个地块由一名园丁或一个家庭为单位负责。每个生产性果蔬园提供能约 20 人的就业机会。花卉、蔬菜、草药和药用植物是在被称为菜园和花园的小块土地上种植的。



图 6-3 本地居民在原本闲置的土地上开展都市农业生产（图片来源：prizeforcities.org）

3. 增加城市气候韧性

虽然都市农业项目有助于解决贫困和粮食不安全问题，但极端洪水事件为罗萨里奥带来新的危机。2007 年，创纪录的降雨量迫使该市疏散了 3000 多名居民。为解决随气候变化而恶化的洪水问题，水务管理部门绘制了一张洪水风险地图，以确定洪水问题区域。洪水风险的信息还服务于《罗萨里奥城市规划（2007-2017 年）》。通过将都市农业纳入城市战略规划，罗萨里奥市政府已将城市韧性嵌入了城市未来的发展之中。果蔬园的大量建立增加了土地蓄水能力，提高了城市的抗洪能力，同时为都市农业提供额外土地；将未充分利用的土地转化为绿地的同时，也可以吸收多余积水和减缓洪水影响。

城市韧性不仅取决于其内部社区的土地转换，还取决于城市化地区周边的环境。都市农业项目已逐渐扩展到罗萨里奥的城郊地区。为了推动项目扩展，罗萨里奥市政府于 2011 年通过了一项土地使用条例——“绿化带工程”（the Green Belt Project），指定了 800 公顷的城郊土地，永久性地用于生态农业的果蔬生产。绿化带工程正式纳入该市的战略计划，



并于 2015 年启动，该项目有助于遏制城市扩张，同时以生态敏感的方式恢复土地。它还提高了罗萨里奥对洪水的抵御能力，扩大了可用于粮食生产的土地总量。

4. 注重政府、企业、民间组织的广泛参与

罗萨里奥都市农业注重政府、企业、民间组织的广泛参与。项目的财政和人力支持是由多方构成的。市政府是财政资源的主要来源。罗萨里奥市社会促进秘书处为项目提供了后勤支持、技术援助和培训、投入供应和基础设施。此外，项目利用联合国人居署颁发的迪拜最佳实践奖的奖金，购买了园艺设备供居民集体使用。“菜园项目”主要为居民提供粮食作物种子。除此之外，非政府组织、教育机构以及当地的消费者网络也为项目提供了专业技术支持。

在增进民众参与方面，罗萨里奥市政府将都市农业扩展到公共空间、学校、市场和各种社会项目中，特别是针对青少年和老年人建立了围绕食品生产的城市文化。低收入社区的果蔬园已经成为开展其他社会项目（包括教育和青年发展项目）的关键地区。例如，市政府工作人员对 2400 多个家庭和 40 所学校进行了生态农业生产方面的培训，使他们能够开始自己的果蔬园建设。

5. 环境与社会效益

20 年来，罗萨里奥的都市农业项目从试点发展扩大到全市项目，成为市政府整合推进都市农业的典范。罗萨里奥的城市农业项目从单纯的食物生产，发展成创造就业的机会，再升级成为应对气候变化的战略，已经完全融入了该市的各项规划中，包括 2007 年的罗萨里奥城市规划、2008 年和 2018 年的十年战略规划以及 2015 年的环境规划。罗萨里奥市政府已将都市农业纳入到国家资助的街区建设和改善项目当中，并构成家庭创收。

首先，都市农业项目为本地居民提供了生计来源，提高了居民的生产技能，在粮食安全、就业保障、为弱势群体赋能等方面发挥了重要作用。超过 1 万个生产性家庭参与了罗萨里奥都市农业项目，每年生产超过 2500 吨水果、粮食作物，并确保罗萨里奥约 4 万名居民的粮食供应。截止目前，罗萨里奥建立了 791 个果蔬园、7 个农贸市场和 342 个在册企业，为近 2000 名公民在项目中获得就业机会。总共有 800 位女性在罗萨里奥都市农业项目中发挥着特殊的作用，改善了社会的性别平等。

其次，都市农业项目产生了重要的生态和气候效益。如果城市从 400 多千米以外的地方采购其他食品，将形成一条产生大量温室气体排放的供应链。现在，罗萨里奥每年有近



2500 吨的水果和蔬菜是以生态农业方式在本地生产的。根据国立罗萨里奥大学和国际都市农业基金会（RUAF）针对城市农业和食品系统的一项研究，本地化的蔬菜生产比罗萨里奥的农产品进口少产生了 95% 的温室气体排放。同时，闲置土地转化为农业用地并与城市绿化项目整合以后，能有效缓解洪水、高温等不利气候灾害的影响，产生气候适应性价值。

第三，项目通过有效利用闲置城市土地，为城市提升了宜居性。项目创建的五个大型景观绿地（花园公园），总面积为 72 公顷，用于支持农业和文化、体育和教育等活动。居民会和建筑师和景观设计师一起参与花园公园的设计。项目还将居民从城市边缘不安全或面临气候灾害的社区迁出，改善住区的居住环境，不仅增强了居民应对气候灾害的能力，也改善了城市环境与生活质量。

（四） 案例小结

罗萨里奥都市农业项目不仅是一项环境基础设施倡议，也是一项社会经济倡议。该项目通过战略性地重新利用闲置城市土地，改善低收入居民的粮食安全和营养问题；通过缩短食品供应链，减少食品生产运输环节的碳排放；并通过增强城市绿地系统建设而提高了城市应对极端气候灾害的能力，改善了城市生态系统。



十三、 昆明市多措并举保护生物多样性

昆明市坚持生态优先，主要从三方面开展生物多样性保护工作。一是高位推动生态环境保护工作，成立生物多样性保护领导小组，统筹协调昆明市生物多样性保护工作；二是多措并举，建立健全生态保护补偿机制，推进生态环境损害赔偿制度改革等，全面助推生物多样性保护；三是加强各类生境保护，建设滇池湖滨湿地、城市绿地系统，完善生物物种出入境查验制度等。昆明市生物多样性保护成效显著，丰富的生物多样性资源为昆明绿色高质量发展奠定了坚实的基础。

（一） 背景

昆明市位于云南省中部，是云南省的省会城市，是云南省政治、经济、金融、文化、科技、教育中心和交通、通讯枢纽，西南地区的中心城市之一。昆明市域范围内，垂直高差较大，海拔从 4344 米至 746 米，由于丰富的环境变化，地势高差悬殊，立体气候造就了丰富的动植物资源。

昆明市生物多样性状况总体可概括为物种较丰富，生态系统类型较多，局部地区生物多样性高度丰富。在植物资源方面，昆明有 9 个植被类型，20 个植被亚型，56 个群系，118 个群丛，分别占云南植被类型的 75%，占云南植被亚型的 59%，占云南群系的 33%，占云南群丛的 56%。在动物资源方面，昆明地区脊椎动物至少 500 多种，其中鱼类约 50 种，两栖类约 22 种，爬行类约 26 种，鸟类约 300 多种，兽类约 100 多种，属于国家重点保护的动物约 60 种，此外，昆明市还分布许多具有观赏价值和经济价值的种类，野生动物资源较为丰富。

生物多样性是人类赖以生存的条件，是保障区域生态与粮食安全、经济社会可持续发展的基础。“十三五”时期，昆明市坚持生态优先，采取多种有效措施积极开展生物多样性保护、资源可持续利用与惠益分享，通过发展绿色经济不断增强生物多样性保护的能力。

（二） 概况

生物多样性是生物及其环境形成的生态复合体以及与彼此相关的各种生态过程，是人类赖以生存和发展的基础，保护、培育和丰富城市生物多样性具有重要意义。近年来，昆明市多措并举推动生物多样性保护工作，并取得阶段性成效。

第一，生态环境质量持续改善。滇池全湖水水质从 2015 年的劣 V 类提升到Ⅳ类，阳宗



海水水质从 2015 年的Ⅳ类提升至Ⅲ类，2020 年国考（省考）地表水断面水质达标率首次达到 100%，昆明市纳入云南省考核的 17 个市、县级集中式饮用水源地，均达到或优于Ⅲ类水。入选国家城市黑臭水体治理示范城市，率先在全省建立河道生态补偿机制。城乡绿化有力推进，累计完成营造林 317.6 万亩，水土流失治理面积达 1691 平方千米，森林覆盖率达 52%以上，环境空气质量优良率持续保持在 98%以上，在全国省会城市中保持前 5 名。

第二，昆明市初步形成了布局广泛、类型比较齐全、具有一定管理水平的自然保护区体系。近年来，昆明市不断加大自然保护区建设力度，目前已建成各级、各类自然保护区、保护小区、森林公园、湿地公园、地质公园及风景名胜区等保护区，昆明市共有各级自然保护区 6 个，并都编制了保护区规划。保护区的建立使昆明物种种类不断丰富，植物群落类型得以保存。

第三，动植物资源更加丰富。目前，昆明市有 20 多种森林类型，其中云南松的分布面积和蓄积量最大，分别占 57.0%和 53.3%。全市现有种子植物 195 个科，1099 个属，3229 个种，占云南省种子植物科数 266 科的 73%，占全国 291 科的 67%。昆明有重点保护野生植物喜马拉雅红豆杉、攀枝花苏铁等共 11 种，特有物种富民枳 1 种，有陆生野生动物约 460 种，有国家重点保护陆生野生动物黑颈鹤、林麝、白肩雕、黑鹳、白腹锦鸡、红隼等 30 余种。

（三） 城市绿色发展经验

1. 建立管理长效机制，加强组织领导和协调

昆明市政府以保护生物多样性为目标，成立了多个领导小组，聘请专家提供决策咨询，统筹协调昆明市生物多样性保护工作。

首先，成立了昆明市生物多样性保护领导小组，制定并印发了《昆明市生物多样性保护战略与行动计划“十三五”实施方案》。其次，聘请驻昆植物、动物、生态、林学等专业人员成立了生物多样性保护专家委员会，成立了昆明市野生动植物保护专家委员会、昆明市自然保护区专家委员会、昆明市湿地保护专家委员会，研究提出生物多样性保护的政策建议等，为全市生物多样性保护管理提供决策咨询。成立由市委、市政府主要领导任组长的生态文明建设排头兵、中央环保督察“回头看”问题整改、河（湖）长制、环境污染防治等工作领导小组，扎实推进昆明市生态环境保护工作。



2. 采取就地保护和异地保护相结合

保护生物多样性的最有效途径是就地保护，自然保护区建设是就地保护的主要方式。昆明市在推进自然保护区建设方面做出努力，例如，滇池湖滨湿地建设成效显著，滇池湖滨生态系统得到初步恢复，生态状况持续改善，在滇池已消失多年的一些鸟类、鱼类又重新出现，生物多样性不断丰富。环滇池湿地植被覆盖率从 2007 年的 13.1%提升到现在的约 81%，植物物种从 232 种增加至 303 种。此外，在不影响生物物种、种群及其栖息地的情况下，对一些重点保护物种采取必要的异地保护措施。昆明市依托中国科学院昆明动物研究所、中国科学院昆明植物所，持续开展滇池土著鱼、极小种群物种培育增殖工作。例如，富民枳这种已野生绝灭的濒危植物，通过人工栽培育苗，现已成活 6390 株，实现了物种的原生地野外回归，有望实现自我繁殖，从而彻底摆脱濒危状态。

3. 建设城市绿地系统

在城市化进程中，统筹规划并塑造满足野生生物生存需求的城市绿地景观格局是保护城市生物多样性长远发展的关键。目前，昆明市所有县市均编制实施了城市绿地系统规划。在“十三五”期间，昆明市绿化部门加强城市园林绿化建设，实现市民出行 300 米见绿，500 米见园，着力营造优美的人居环境，打造人与自然和谐的“花园城市”，为生物多样性保护和发展奠定基础。

4. 推进生态环境损害赔偿制度改革

自 2018 年全国试行生态环境损害赔偿制度以来，云南省采取强有力措施加快全面深化生态文明体制改革进程，生态环境损害赔偿制度改革试点工作取得了实质性进展。云南省成立了由分管副省长任组长的改革工作领导小组，制定印发《生态环境损害赔偿制度改革实施方案》，对全省范围内的生态环境损害赔偿案件适用范围进行细化，同时明确有关部门的责任分工。昆明市制定出台了《进一步做好 2020 年生态环境损害赔偿制度改革工作的工作方案》《昆明市生态环境损害赔偿资金管理办法（试行）》等文件。截至 2021 年 3 月底，昆明市启动办理 2 件生态环境损害赔偿案件。

5. 建立健全生态保护补偿机制

昆明市创新实施滇池流域生态补偿机制，健全完善森林生态保护补偿机制，积极探索开展饮用水源地生态补偿机制。以滇池流域生态补偿机制为例，2017 年，昆明市印发《滇池流域河道生态补偿办法（试行）》，正式在滇池流域全面推行河道生态补偿工作。遵循谁污染、谁治理，谁污染、谁付费的原则，昆明市强化滇池流域水环境保护治理工作，积极



探索建立公平公正、完善有效的河道水生态补偿机制,让产生水污染并且治理不力的县(区)对相邻县(区)给予经济补偿,鼓励受益地区与保护生态地区、流域上下游通过资金补偿开展跨地区生态保护补偿试点。通过实施河道生态补偿为开展水资源保护治理提供资金支持,强化属地责任,调动区域治污积极性,促进水环境持续改善。

6. 高度重视入侵物种防控工作

云南地理位置特殊,是外来物种入侵的重要通道,也是外来林业有害生物多发频发的省份。昆明市高度重视外来物种入侵防控工作,主要从下面三个方面进行防控。第一,中科院昆明动物所、植物所等科研院所和昆明市有关部门加大入侵物种监测及防控等工作,指导各地加大入侵物种防治。第二,突出抓好松材线虫病、黄脊竹蝗、草地贪夜蛾、红火蚁等外来入侵有害生物的防控,在抓好源头管控的同时,一旦发现疫情,快速反应,及时处置,有效防范外来有害生物的入侵和蔓延。第三,昆明海关加强口岸检验检疫工作,严防有害生物传入。

7. 加强生物多样性保护执法监督

在国家及云南省相关法律法规的基础上,昆明市结合实际情况,首先,制订了一系列地方性条例、办法或细则,如《昆明市轿子雪山保护和管理条例》《昆明市市级公益林生态效益补偿资金管理办法》等。其次,建立公安、海关、生态环境、林业草原、农业农村等多部门合作的协调机制,加大对生物多样性违法活动的打击力度和物种资源出入境的执法检查力度。此外,组织实施自然保护区和国家级、省级自然保护地遥感监测及问题核查整改,加强生物多样性保护执法。

(四) 案例小结

昆明市有自然条件上的“先天优势”,而严格的生态环境保护举措,则为昆明提供了“后天条件”。昆明市通过建立管理长效机制、推进生态环境损害赔偿制度改革、建设城市绿地系统、推进生态环境损害赔偿制度改革、建立健全生态保护补偿机制、重视入侵物种防控工作以及加强生物多样性保护执法监督等一系列措施,始终将生态环境保护和生物多样性保护作为一项重点工作抓紧抓实,并取得明显成效。



十四、 里斯本绿色走廊战略⁴

（一） 背景

葡萄牙共和国首都里斯本市在 2016 年批准了《生物多样性 2020 战略》和《生物多样性行动计划》，在市内建立互相连通的城市绿色基础设施(Urban Green Infrastructure, UGI)，以促进土地可持续利用，同时与周边城市的城市绿色基础设施相匹配。

随着城市的不断发展，为了应对城市热岛效应、洪水和空气污染带来的挑战，同时为加强城市气候变化适应性和气候变化缓解行动，在《总体发展规划》的框架下，里斯本市在全市范围内实施生物多样性行动计划。这些举措推动了绿色基础设施和基于自然的解决方案的实施，其中包括绿色走廊战略，建造连续自然设施，加强绿色空间使用，并在以汽车为中心的城市发展历史背景下，将协调的生态系统引入城市内部。

（二） 概况

从 2009 年到 2017 年，里斯本新增新绿地面积约为 190 公顷，分布在 9 条主要绿色走廊上，并设立了明确环境指标。该市新增和重建的绿色空间增加了 16%。根据里斯本的气候行动规划，到 2030 年，将建成 9 条绿色走廊，新增超过 25 个主要公园、10 个人行与自行车道桥（5 个已完工）共 220 千米，连接整个城市的主要绿色设施。为遏制过度开发，里斯本重新划分了规划和生态敏感区，为绿色走廊战略奠定了基础。该计划还旨在保护和增加可渗透区域，恢复地下水道。除绿色走廊外，该市还制定了城市农业战略，将其与绿色区域和绿色走廊结合起来。此外，该市还建造了若干城市公园，并配备了相关设施，包括草坪、操场、小卖部、健身设备和自行车道，以改善市民的生活。

这些行动计划已被纳入里斯本《总体发展规划》的城市生态设施中。该规划规定了具体规划和地方发展的指导方针和目标。市政生态建筑还考虑到了生态原则和保护自然、森林、农业和文化遗产的重要性。

（三） 绿色发展经验

1. 集中打造项目亮点：孟山都绿色走廊

上述计划的工作重点之一是建造绿色走廊，连接公共空间。2012 年，里斯本建造的

⁴ 本案例主要参考资料来自里斯本市政府和 C40 城市气候领导联盟建筑项目提供的相关数据和材料。



一条主要绿色走廊是其中最具代表性的例子。这条绿色走廊贯穿了爱德华七世公园(Eduardo VII Park)，将孟山都森林公园(Monsanto Forest Park)和市中心连接起来。



图 6-4 孟山都绿色走廊和里斯本其他绿色走廊及绿色基础设施

孟山都森林公园占地 1123 公顷，是里斯本最大的绿色区域。孟山都绿色走廊长 2.3 千米，连接了孟山都森林公园和市中心，是城市最大的绿色基础设施之一。里斯本增加了多处面积广阔且具备生物多样性的草场，而不仅仅是草坪。由于维护这些草场需要的水和氮肥更少，因此物种多样性更高，绿地生态更平衡。

这些绿地和绿色设施具有冷却效果，可以抵消欧洲南部城市典型的“城市热岛”效应。研究表明，即使是小的绿地，如沿街的树木，也有助于缓解“热岛”效应。



图 6-5 孟山都绿色走廊覆盖区域示意图

1. 项目目标

孟山都绿色走廊的建设有许多目标，包括：

- 通过缓解城市热岛效应，应对洪水、空气污染和绿地分布不均等挑战，提高城市生活质量；
- 通过提供娱乐和健康生活空间，提高城市的吸引力；
- 调节空气质量；
- 建立和改善生态系统和设施。

2. 实施活动

孟山都绿色走廊由多个单元组成，包括自由大马路(Avenida da Liberdade)、爱德华七世公园、阿玛利亚-罗德里格斯花园(Alto do Parque)、马克斯-弗朗忒拉街(Marquês da Fronteira Street)的西克洛匹多纳尔桥(Ciclopedonal Bridge)（2012 年落成）、司法宫旁约 1 公顷的生物多样性草地、一个滑板公园、两个健身区、一系列观景点、西克洛匹多纳尔桥的“贡萨洛-里贝罗-泰勒斯”(“Gonçalo Ribeiro Telles”)、大赦国际花园(Gardens of Amnesty International)、贾丁斯-堪姆珀里德 (Jardins de Campolide) 园艺公园、儿童和青少年游乐场，以及何塞-平托-昆塔(José Pinto Quinta)城市公园。所有这些公园和绿地都通过人行道和自行车道连接起来。



图 6-6 孟山都绿色走廊示意图

3. 融资

项目包含 10.7 公顷的核心区，总预算为 330 万欧元，资金来源包括：市政预算、葡京赌场应尽义务和私营伙伴关系。

4. 监测与评估

《生物多样性行动计划》通过连通性指标（树冠和渗透性土壤）对城市的生态设施进行评估。孟山都绿色走廊在评估中显示的主要成果如下：

- 创造了一条从市中心到森林公园的步行和骑行通道，激活了一个服务区、一座法院和一个大学校园；
- 里斯本首次试点了雨水灌溉的生物多样性草地，为以后在其他地区推广提供了示范；
- 市民志愿者一起植树，社会参与度高，植树选用本地品种；
- 通过城市花园和果树种植推广城市农业。

2. 综合评估环境、经济和社会预期效益

里斯本的绿色走廊战略，旨在解决两个主要的可持续发展目标（SDGs）：

- 绿色空间、栖息地和生物多样性(SDG 15)



- 健康和福祉(SDG 3)

孟山都森林公园为城市提供了 1123 公顷的绿化面积，对绿色基础设施产生了重要影响。此外，公园具有一定人文用途，搭建人行道和自行车道混合体系，目前延伸到 220 千米，给步行和骑行提供了更多空间。这些基础设施的绿色化优化了生态连通，并有助于控制大气污染。行道树让城市更具吸引力，并更好地连接了绿色空间，为骑行提供了阴凉。里斯本还成立了一个工作小组，以促进和加强城市农业，这是里斯本《绿色计划（2008 年）》的一部分，在《生物多样性 2020 战略》中也有所强调。

虽然这些措施来自不同时期的单独规划，但综合来看，这些举措成功提供了关键的生态系统服务，在应对一系列社会挑战方面发挥了协同作用。

总体评估：

- 市民认可了绿色城市的重要性；
- 城市附加值和共同福祉：生态、健康、新用途、稳定房地产价格；
- 城市绿化的成本变低，实施率高，增加了更多的绿化面积，但绿地的整合较为缓慢；
- 创新、可持续和可复制的战略；为城市提供了更多生态系统服务；
- 动态发展的城市景观，可随时调整

正面影响：

- 实施快速有效，自然和生物多样性得到改善，基于自然的解决方案（NBS）得到采用，城市复原力提高；
- 开放、民主及与社会相关（娱乐、出行等）的战略，解决社交孤独问题；
- 有助于提升公共健康（体育、放松、积极娱乐）；
- 建立一个综合、统一的网络，连接自行车道和城市居民自用的小块绿地。

负面影响：

- 雨水灌溉和气候适应的绿地（如生物多样性的草地）经常不被认可为一级绿地；
- 如果市民不能意识到基于自然的解决方案（NBS）景观的重要性，绿色设施的整合会更加困难。
- 无法密集使用，不适用于小型城市空间。



图 6-7 孟山都绿色走廊实景图

（四） 案例小结

里斯本市在全市范围内实施生物多样性行动计划，通过一系列举措推动绿色基础设施和基于自然的解决方案的实施，其中绿色走廊战略旨在建造连续自然设施，加强绿色空间使用，使自然和生物多样性得到改善。



十五、 武汉市武青堤江滩综合整治工程⁵

（一） 背景

武汉地处中部和江汉平原东部，长江将武汉城区一分为三，形成武昌、汉口、汉阳三镇隔江鼎立的格局，是中国内陆最大的水陆空综合交通枢纽之一，也是承东启西、接南转北的国家地理中心，历来有九省通衢之称。武汉是长江经济带与“一带一路”的战略交汇点，也是内陆地区少有的集铁、水、公、空等国家级运输通道、枢纽于一体的综合运输城市。在陆路交通基础设施方面，京广高铁与沪汉高铁在武汉交汇，14条国家级高速公路交汇于此，将武汉城市群经济圈与京津冀、长三角、珠三角和成渝经济圈紧紧相连，从武汉出发的汉新欧中欧国际货运班列也为湖北架起了向西开放的桥梁，让武汉成为全球货物运转中心。在水运方面，武汉是长江黄金水道的枢纽港口，武汉新港已经成为长江中游地区首个亿吨大港，是川渝陕豫湘等省市内外贸集装箱的目的地港和中转港，成为长江中上游最大的集装箱港口，跨入世界内河集装箱港口“第一方阵”，并且开通了到东盟四国的试验航线，使武汉成为落实“21世纪海上丝绸之路”国家战略的重要节点。

武汉近年来坚持新发展理念，积极打造绿色发展、经济驱动转型升级和老工业区创新发展典范，助推长江经济带高质量发展。武青堤江滩综合整治工程所在地武汉市青山区是武汉市七个中心城区之一，是传统老工业基地，支柱产业为冶金等重化工业。青山区积极探索生态绿色优先和经济发展协同推进的新路径，建成重化工业绿色转型发展典范。其中武青堤江滩综合整治工程获得了2017年C40城市奖“城市的未来”奖项。

（二） 概况

武青堤江滩综合整治工程是武汉市打造“两江四岸”滨江景观的重点工程，总投资10.84亿元。工程位于武汉市青山区长江南岸，全长7503米，总面积135.48公顷。工程于2013年10月22日开工，2017年6月26日竣工。该工程由体育运动、都市时尚、雨水花园、生态草溪、阳光草坪和青山记忆等六大特色景观区构成，是集防洪、生态、民生为一体，以“延续青山文脉、演绎生态风貌”为主题，践行“长江生态大保护”理念的综合性园林景观工程。该工程首次在长江一级干堤采用“似堤非堤”的微地形手法，在确保

⁵ 本案例主要参考资料来自武汉市生态环境局提供的“武青堤申请C40城市奖”的相关数据和材料。由C40城市气候领导联盟及其合作伙伴中国质量认证中心武汉分中心绿色发展部部长赵光洁共同编写。



防洪功能的前提下，打造生态园林景观，并同时应用“渗、滞、蓄、净、用、排”的海绵城市改造理念，大量采用海绵新技术、新材料，倾心打造国家首批海绵城市建设试点样板。同时，项目为生态江滩建设理念创新的成功尝试，打破了传统堤防阻隔人水相亲的桎梏，将城市立体空间开发的概念引入江滩建设，新的生态建设理念的成功实践。

（三） 主要建设成果

1. 水环境和水源地保护

项目对原场地上的砂场、码头、货场、企业厂房等高污染企业和设施进行整治改造，取消原直排长江的污水口，通过海绵化改造降低了雨水径流的面源污染，有效保护了长江水环境。

2. 增加碳汇量和降低城市热岛效应

本项目总面积 135.48 公顷，新建园林绿化面积 94.8 公顷，绿化占到了总面积的 70%，增加了城市碳汇量；多层次的绿色植物栽种系统通过吸热、遮荫和蒸腾水分作用，消耗掉太阳辐射能量，缓解了城市的“热岛效应”。滨江带状绿地空间还将城市的自然气流引入城市内部，为炎夏城市的通风创造良好条件；在冬季则可使风速减低，起到防风的作用。

3. 降低沿江城市的洪涝风险

拆除滩地 3.15 万平方米阻水建筑物，增加了长江河道过洪断面，保证河道行洪安全；缓坡堤防改造，新建水泥搅拌桩防渗墙，增大了堤防断面，增强了堤防的防洪能力。缓坡式的堤防与江滩内的滩地有机融合，缓坡式的植被缓冲带、生态草沟、雨水调节池、透水地面铺装等海绵城市设施实现“小雨不积水、大雨不内涝、水体不黑臭、热岛有缓解”。江滩上设置的缓坡式植被缓冲带、生态草沟、雨水调节池、透水地面铺装等海绵城市设施，能够有效抵御较强的暴雨形成的洪涝和冲刷，减轻暴雨对江滩设施的破坏，防涝标准达到 50 年一遇。

2016 年，武汉市受超强厄尔尼诺影响，全市梅雨期平均降雨量 959.2mm，是常年梅雨期降雨的 2.5 倍，排历史第一位。最大 7 日降雨量达 733.7mm，24 小时降雨量 370.6mm 均超 100 年一遇标准（344mm）。面对特大暴雨，本项目场地内未出现渍水现象。



（四） 绿色理念实践和环境社会效益

1. 江、滩、堤、路、城五位一体

空中俯瞰青山江滩，宛如一道生态绿带，让长江和城市有机结合。改造过程中充分践行海绵城市建设理念，设置植被缓冲带、生态草沟等设施，构建“江、滩、堤、路、城五位一体”景观，营造出开放式滨江亲水休闲空间，在提升防洪能力的同时，最大限度还原长江原生态景观。青山江滩把绿色、生态、海绵理念和防汛融合在一起，为武汉践行长江大保护战略和“四水共治”行动计划提供示范。

2. 滩地绿化增加碳汇量

项目绿化总面积 70 万平方米，总共种植乔木 4.5 万株，种植灌木 32.5 万平米，种植草花和草坪 38.7 万平方米，估算本项目每年可增加碳汇量 700 余吨。

3. 改善区域环境

本项目拆除砂场（21 家）、码头（4 家）、货场（2 家）、企业厂房（2 家），减少二氧化碳排放（29000）吨，新增公园面积 135.48 公顷，极大改善了青山滨江区域的环境质量和城市面貌。

4. 提升城市环境和市民生活质量

武青堤江滩综合整治工程将工程技术与景观设计紧密结合，为居民在中心城区提供了丰富的休闲、娱乐和亲水活动场所，改善了当地居民的生存条件和生活质量。

项目建成总共 15 千米的慢行绿道、总面积约 5 万平方米的各类广场硬地、2 处共 7 片游泳池、13 个足球场、1 处沙滩排球运动中心及沿线布置的各类健身器材，为市民在中心城区提供丰富的休闲、娱乐场所，带动全民健身事业的发展。

2015 年 6 月开园以来，武青堤江滩入园人数约 1000 万人次，组织各类文体活动共千余次，包括六一儿童节创意涂鸦、百余家庭健步走、第二届广场舞排舞大赛总决赛、中仪杯海绵城市大赛；2019 年 3 月举办国际半程马拉松；2019 年 10 月举办军运会男子沙滩排球比赛，以及 2021 年举办全国沙滩排球巡回赛。

（五） 合作与沟通机制

武青堤江滩综合整治工程由武汉市青山区政府为项目提供拆迁、园林、城管等政府职



能部门的管理协调；武汉水务局作为水行政管理单位，为堤防江滩建设提供防洪技术指导和政策把控；武汉碧水集团有限公司为项目建设业主，提供项目资金及开展项目建设管理；中国一冶进行现场管理和施工。

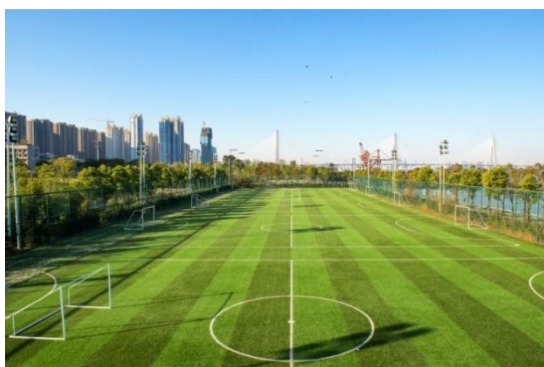
在项目实施过程中，项目审批单位、行政主管部门、项目指挥部及设计单位共组织项目评审会、单项工程专家咨询会 20 余次。青山区政府城管部门组织各类征地拆迁协调会 50 余次。项目成立了指挥部，成员单位包括市水务局、区政府、市水投公司、中一投资公司、施工、设计、监理单位，共计组织指挥长会议 30 余次。

为了扩大武青堤江滩的影响力，号召广大市民参与项目建设，2016 年项目面向公众征集主要广场雕塑、江滩 LOGO 方案的活动，先后有 10 多家设计单位和个人参与了本次方案征集活动。

（六） 案例小结

武青堤是武汉市首个“江、滩、堤、路、城”五位一体的生态江滩，也是湖北省首个“海绵江滩”。在景观设计、建设材料选用节能环保材料，地面像海绵一样，下雨时储水，干旱时将雨水释放出来，从而提高水资源的利用。做为武汉市内长江主轴的一部分，武青堤全长 7.5 千米，约占现有武汉市内长江堤岸总长的 14%，改造完成后武汉市江滩公园总长度由目前的 58 千米将增加到 102 千米，将成为世界上最大的城市江滩公园。

武青堤充分展现了武汉城市生态低碳转型的决心，是武汉市生态江滩建设理念创新的又一成功尝试，不仅打破了传统堤防阻隔人水相亲的桎梏，还将城市立体空间开发的概念引入江滩建设，新的生态建设理念的成功实践为全球城市江滩建设提供了有益借鉴。



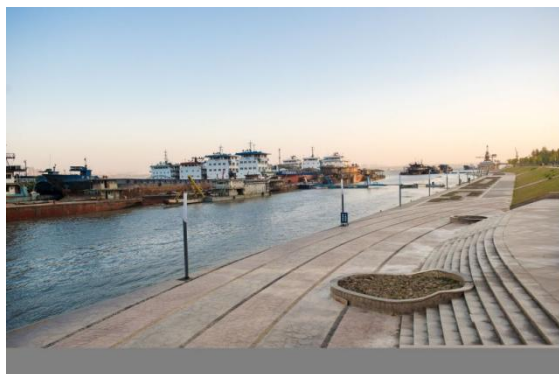
（a）武青堤江滩公园足球场



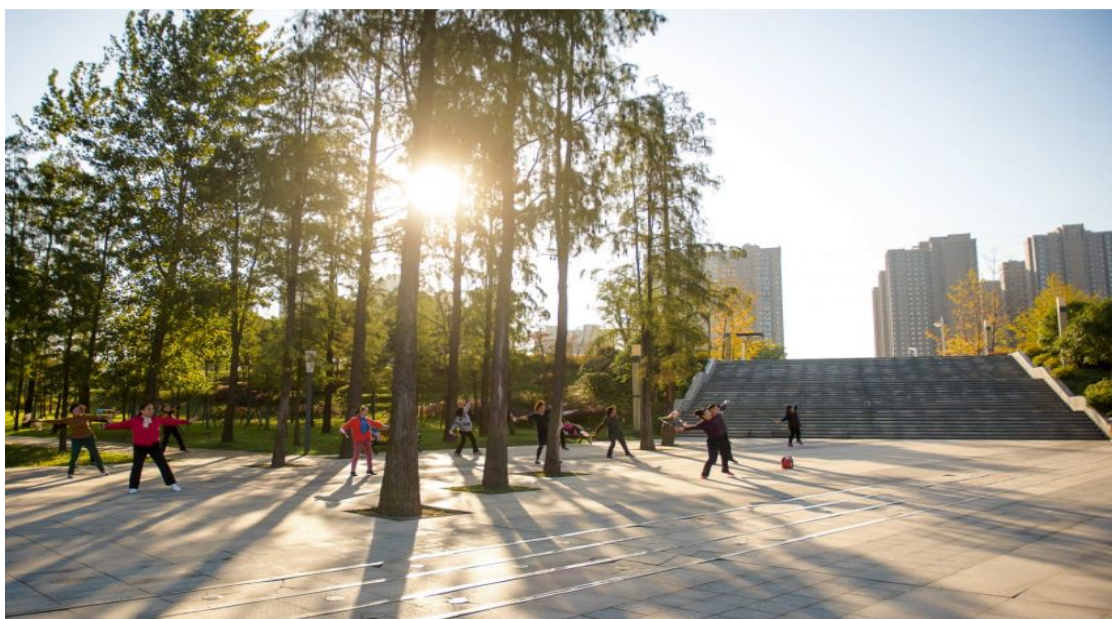
（b）武青堤江滩公园沿岸



(c) 武青堤江滩公园沿岸



(d) 武青堤江滩公园沿岸



(e) 武汉市民在武青堤江滩公园晨练

图 6-8 武青堤江滩公园沿岸



参考文献

- [1] URBAN SUSTAINABILITY EXCHANGE. Urban Agriculture Programme (UAP)[EB/OL](2021).
<https://use.metropolis.org/case-studies/urban-agriculture-programme-uap>.
- [2] 世界资源研究所. Sustainable Food Production for a Resilient Rosario[EB/OL](2021).
<https://prizeforcities.org/project/sustainable-food-production-rosario>.
- [3] 世界城市和地方政府联盟. Rosario (Argentina) promotes social inclusion through urban agriculture[EB/OL](2007).
<https://www.uclg-cisd.org/en/news/latest-news/rosario-argentina-promotes-social-inclusion-through-urban-agriculture>.
- [4] 罗萨里奥市政府. Agricultura Urbana[EB/OL](2015-09-24).
<https://www.rosario.gob.ar/web/ciudad/economia-social/agricultura-urbana>.
- [5] 联合国粮食及农业组织. Rosario: Growing greener cities in Latin America and the Caribbean[EB/OL](2020-05-15). <http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/en/ggclac/rosario.html>.
- [6] 加拿大国际发展研究中心. CASE STUDY: Rosario, Argentina — A City Hooked on Urban Farming | IDRC - International Development Research Centre[EB/OL](2010-12-17).
<https://www.idrc.ca/en/research-in-action/case-study-rosario-argentina-city-hooked-urban-farming>.
- [7] 昆明市政府. 昆明多措并举助推生物多样性保护工作(2021-05-19).
<http://www.km.gov.cn/c/2021-05-19/3935067.shtml>
- [8] 昆明市园林绿化局. 昆明市城市生物多样性保护规划 (2010-2020) (2011-9).
<https://www.doc88.com/p-9985264315992.html?r=1>
- [9] 人民法网. <https://www.rmfw.org.cn/contents/861/484632.html>
- [10] 潇湘晨报. 生物多样性保护凸显昆明力量 (2021-02-24) .
<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1692544277546265966&wfr=spider&for=pc>



第七章 可持续交通

十六、 智利清洁电动公交车

交通是城市温室气体排放与空气污染物的重要来源。发展绿色清洁的交通系统对于城市绿色发展具有重要意义。智利首都圣地亚哥通过大力发展清洁电动公交车，计划到 2035 年全面实现公交电气化。该项目以小型试点为基础，注重充分配备相应的充电及智能设备，创新投融资模式，并采用财政激励机制鼓励清洁电动车项目的实施。电动公交车项目在可持续性和减排方面产生了积极效应，同时提升了公交车乘车环境与服务水平。

（一） 背景

智利首都圣地亚哥是南美洲第四大城市（图 7-1），坐落在马波乔河畔，被安第斯山脉和智利中央谷地的沿海山脉所包围，拥有全国 40% 人口（超过 700 多万人）。20 世纪后半叶，圣地亚哥的经济增长、城市扩张和呈指数级增长的私家车给城市带来了严重的拥堵、空气污染和碳排放问题。据统计，交通部门约占智利二氧化碳排放量的近 25%（2018 年），主要是由私家车、航空业带来，运营车辆占比较小。到 20 世纪 90 年代初，圣地亚哥市已成为拉丁美洲污染最为严重的首都之一。2011-2012 年，圣地亚哥交通部门占该市细颗粒物（PM_{2.5}）排放总量的 40% 左右。2004-2014 年，该市二氧化氮呈每十年 $28.6 \pm 13.8\%$ 的趋势增长。



图 7-1 圣地亚哥市区位图



（二）概况

为解决交通部门产生的碳排放与污染物排放问题，智利对空气污染进行监测，对交通部门的排放进行监管，并对圣地亚哥的公共交通运营系统进行整合。2018 年，圣地亚哥成为拉丁美洲第一个对其公共交通系统施行欧 VI 排放标准的城市，为部署电动公交车奠定了基础。至 2020 年 3 月，圣地亚哥已经部署了近 600 辆满足欧 IV 排放标准的公交车和 400 多辆电动公交车（约占车队的 6%）。为减少交通带来的碳排放问题，圣地亚哥设定了到 2035 年实现全面电气化的目标。

（三）城市绿色发展经验

1. 试点+推广的循序渐进模式

2007 年，圣地亚哥启动了重组后的公共交通系统“圣地亚哥通”（Transantiago，现称为都市出行网络 Red Metropolitana de Movilidad，简称 RED）。如今，都市出行网络由 6 家私人运营商运营的 380 条公交线路组成，拥有 6756 辆公交车，覆盖超过 2946 千米的公交网络，载客量为 69 万人（图 7-2）。为纠正圣地亚哥公交系统一些体制缺陷，该市自 2011 年以来进行了持续改革，包括车队供应和车队运营分离，业务部门精简，合同期缩短以及鼓励运营电动公交车。

2017 年，该市开启电动公交车试点。2017 年 11 月，圣地亚哥公交运营商“都市公交”公司（Metbus）与意大利国家电力公司（Enel）和中国比亚迪公司进行合作。两辆身长 12 米的比亚迪 K9FE 电动公交车由意大利国家电力公司购买，再以租赁的方式交由“都市公交”公司运营。两辆 K9 电动公交车在 516 号线路上试点运行一年。该线路全程约 4~4.5 小时，共配备 5 名司机。试运行一年期间，两辆电动公交车共行驶了超过 10 万千米，运送了超过 35 万名乘客。

通过试点，“都市公交”公司对车辆运营成本进行了测算。测算发现，与传统的柴油公交车相比，纯电动公交运营成本可降低 70%。根据 0.10 美元/度的价格和 1.006 度/千米的能耗计算，电动公交车的运营成本约为 0.10 美元/千米。与此相比，能耗为 0.5 升/千米的柴油公交车的运营成本为 0.43 美元/千米。作为此次试点结果，“都市公交”公司与比亚迪和意电综合能源服务公司（Enel X，Enel 的子公司）合作，分别于 2019 年、2020 年先后增加 100 辆、150 辆比亚迪电动公交车，以扩大运营规模。



除了“都市公交”公司外，其他公交运营商也采用类似模式采购、运营电动公交车。2017年，“吉特迈”公交公司（Gildemeister）与法国天然气苏伊士公司（Engie）共同牵头在 2017 年 12 月至 2018 年 5 月期间试点运营一辆 12 米低地板宇通 E12 电动公交车。试点期间，该电动公交车共完成 1173 个回程，行驶 2.2 万多千米，每千米的运营成本约为 0.05 美元。作为试点结果，都市出行网络的 2 个子公司提供总共 100 辆电动公交车，总成本约为 3000 万美元。

2019 年 1 月，由中国企业郑州宇通集团有限公司研发制造的 100 辆纯电动客车在圣地亚哥投入运营。宇通纯电动客车配备 324kWh 大电量加上低能耗，可实现一天 300 公里续航，150KW 直流充电机，只需 2.5 小时即可实现满电快充，对比欧标 60KW 充电机节省 3 小时，让运营调配更加灵活。对于智利人民来说，宇通纯电动客车带来的是环保、舒适、便捷和安全，对于当地的运营商同样可以拥有高效的运营和较低的成本。目前，宇通在智利有 7 家服务站，以圣地亚哥为中心分别覆盖全国主要城市，且每年会对服务站设施进行评审和提升，保证车辆服务网络覆盖范围在 200 公里以内，做到有车就有服务站。



图 7-2 圣地亚哥采用电动公交车的公交线路，不同颜色代表不同运营企业（图片来源：Galarza 等）

2. 完善配套基础设施

电动公交车需要相应的充电及智能设备配套才能形成技术上可行、体验上有吸引力的公交运营模式。“都市公交”公司与比亚迪的合作项目共计获得 100 台比亚迪 EVA 080KI



交流充电桩，功率高达 80 千瓦。该交流充电桩采用联合充电系统，预计充电时间为 3 至 4 小时。法国天然气苏伊士公司与都市出行网络的一座公交场站有 13 个 150 千瓦的直流充电桩以支持 25 辆电动公交车的充电运营。林科纳达公交场站于 2019 年 3 月启用，包括 37 个 150 千瓦的直流充电桩以支持 75 辆公交车的运营。

除了充电设备外，电动公交线路还装配了绿色、智能、人性化的设施，进一步提升用户体验。例如，格雷西亚大道（Avenida Grecia）电动公交线路包含 40 个最先进的公交车站（图 7-3），包括免费 Wi-Fi、USB 充电器、公共汽车到达时间面板、满足电力需求的太阳能面板、LED 照明、轮椅通道，以及在一些车站设置购票区。



图 7-3 圣地亚哥的电动公交车与公交站（图片来源：MARCELA CASTILLO）

3. 创新投融资模式

圣地亚哥的电动公交投融资模式是促成车队迅速扩张的关键。汽车企业、公交车运营公司、电力提供商、政府等多方共同参与到投融资中，形成了一种创新融资模式。圣地亚哥市政府为更新车队提供补贴，而电动公交车的所有权和运营权分离，分别由能源公司和公交公司负责。具体来说，公交运营商无需采购公交车，只负责公交车运营和基本维护，以租赁的方式代替购买，并可选择融资租赁的方式在租赁期结束时获得公交车产权。第三方（能源服务公司）作为财务代理和能源供应商，购买和租赁电动公交车给公交车运营商，并监管充电基础设施的建设和电力供应。政府则为电动公交车采购提供担保，为电动公交运营提供运营补贴。电动公交车的维护责任将取决于利益相关者之间的合同。



在“都市公交”公司、比亚迪和意电综合能源服务公司的合同中，意电综合能源服务公司作为财务代理和能源供应商将公交车租给“都市公交”公司，租期为 10 年。“都市公交”公司则负责公交车队的运营并提供基本维护，而比亚迪则负责更为重要的维护维修业务，包括电池组和电力驱动系统。“都市公交”公司与比亚迪签订了 0.09 美元/千米的固定维修费合同，规定如果制造商的电动公交车不符合发车频率要求，应承担相应罚款。“都市公交”公司和意电综合能源服务公司之间的协议总金额约 4 千万美元，包括 100 辆巴士和充电基础设施的融资租赁，为期 10 年，之后这些资产将被移交给承租人“都市公交”公司。

在法国天然气苏伊士公司与都市出行网络两家下属公司的协议中，法国天然气苏伊士公司将作为财务代理为两家公交车运营商提供充电基础设施和认证的可再生能源。法国天然气苏伊士公司为两个子公司分别提供每年 330 万度和每年 880 万度的能源。

2020 年 3 月，致力于为零排放交通融资的投资平台 NeoT 绿色移动出行（NeoT Green Mobility）为德伐夫公司（Transdev）资助了 25 辆身长 12 米的金龙 DM2800 电动公交。该协议同样遵照意电综合能源服务公司或法国天然气苏伊士公司的商业模式，即向当地公交车运营商提供基础设施和巴士的独立资产所有权。

4. 政府激励措施

除了高额补贴以外，政府对采购电动公交车给予特定的激励措施。通常，采购传统内燃机公交车的公交供应商可以获得为期 10 年的公交租赁合同，而选择电动公交车的合同期则可延长至 14 年。公交公司与公交车供应商签订 5 年的租赁合同，根据业绩等因素，合同期可再延长 5 年。如果电动公交车占运营车队数量的 50% 以上，租赁合同可延长至 7 年，并依据绩效指标再延长 7 年。

尽管圣地亚哥出台了很多政策与措施推动电动公交车发展，并且目前已经是南美洲拥有最多电动公交车的城市，但是挑战仍然存在。首先需要明确对充电标准和充电设施兼容性的监管要求；其次，目前圣地亚哥的高额补贴系统已承受高压，大幅度给电动公交车扩容需要进一步研究经济可行性；再次，基础设施也面临挑战。为增加乘客的使用率并提高整个公交网络的客运能力，圣地亚哥需要配备更多的公交专用道，并对电网进行升级改造以适应高峰负荷的要求。最后，来自电力及电池废物方面的污染也需要进一步解决，电池回收及无害化处理对于降低电动公交车的全生命周期排放也至关重要。



5. 环境与社会效益

圣地亚哥的电动公交车项目在可持续性和减排方面产生了积极成果。初步计算显示，截止到 2019 年，“都市公交”公司的 100 辆电动公交车行驶 3,658,388 千米，共减少 2,564.1 吨二氧化碳排放量。根据世界资源研究所（WRI）计算，如果 670 辆公交车完全更新为电动公交车，每年将减少约 44.7% 的二氧化碳排放（约 27957.5 吨），337.5 吨一氧化碳排放，2.67 吨碳氢化合物排放，626.8 吨氮氧化物排放，70% 的 PM2.5（17.8 吨）和 56% 的 PM10 排放。空气污染物和碳排放的减少同时带来了社会效益。据估算，因为空气污染物减少，电动公交项目可以带来约 1000 万美元的健康效益，避免了 100 万美元的碳排放社会成本。

除了环境影响外，电动公交车通过技术升级提高了公交车的环境与服务水平。例如电动公交为乘客提供了 Wi-Fi、空调和更舒适的座椅靠背等便利设施。根据运营商提供的指标，电动公交车的运营可靠性与传统公交车一致，甚至优于后者。此外，电动公交车产生的噪音更少。研究表明，电动公交车产生的噪音比使用内燃机的公交车减 25% 到 70%。总体而言，公交用户对电动公交车的评价优于传统公交车，由此说明电动公交车的引入增加了公交系统的吸引力。

（四） 案例小结

智利清洁电动公交车项目自 2017 年开展试点至今，已成为了拉美电动公交车“先行示范区”。智利采用的创新电动公交投融资模式是促成车队迅速扩张的关键因素。截止 2020 年 3 月，智利拥有 400 多辆电动公交车，已成为拉美电动公交车保有量最大的国家。该项目遵循先试点再推广的循序渐进模式，创新投融资并配合政府财政激励采购电动公交车，同时完善充电、智能和人性化基础设施。该项目带来了巨大的环境效益，能促进公共交通发展，减少交通碳排放，为居民创造健康效益，并为“一带一路”其他国家推广清洁电动公交车提供重要经验。



十七、 马来西亚混合动力米轨动车

绿色节能环保是高速动车组技术的未来发展趋势。2021 年 4 月 11 日，由中车株洲电力机车有限公司（中车株机公司）专为马来西亚东海岸非电气化线路打造的混合动力米轨动车组上线运营，该动车组采用“绿色+智能”的设计理念，“超级电容器+智能运维”的先进技术，采用车载智能运维监控、超级电容、大数据远程诊断等多项新技术，具有节能、环保、降噪、高效等优势。

（一） 背景

马来西亚地处东南亚中心位置，扼守马六甲海峡，连接海上东盟和陆上东盟，区位优势明显。马来西亚的基础设施超过全球平均水平，其国内基础设施能够提供较为完善的公共服务，但是在不同领域有着较大的差异，尤其是在铁路方面存在较大短板。马来西亚政府认识到目前存在的问题，出台了相应的基础设施建设规划，这为外国参与马来西亚基础设施工程特别是铁路等领域的相关建设带来了机遇。马来西亚铁路网贯穿半岛南北，北面连接泰国铁路，南端可通往新加坡，2018 年，马来西亚铁路共运载 352.7 万人次，货物 594.4 万吨。

中国在马来西亚承包工程主要包括基础设施建设，积极实现建营一体化转型，在马来西亚承包工程项目范围已覆盖东、西马来西亚全境，在建项目主要集中在水电站、桥梁、铁路、房地产等领域。据中国商务部统计，截至 2019 年底，中国企业在马累计合同额 837.2 亿美元，累计完成营业额 482.7 亿美元，两项数据均在东盟国家中排名第二，仅次于印度尼西亚。2019 年我国对马来西亚直接投资流量 8.1 亿美元。据马来西亚投资发展局(MIDA)统计，2019 年，MIDA 批准的中国企业在马来西亚制造业领域投资金额为 37.4 亿美元。2016、2017、2018 年、2019 年，中国连续四年是马来西亚制造业领域第一大外资来源地，其中，中车机车东盟制造基地就是中国在马来西亚重要的合作项目之一。

（二） 概况

湖南坐拥工程机械、先进轨道交通装备、航空动力三大世界级产业集群，一批制造业龙头企业凭借创新优势在全球市场不断提升竞争力，中车株洲电力机车有限公司（中车株机公司）就是其中的杰出代表。中车株机公司与马来西亚已开展合作多个项目，目前在马来西亚已经投入运营的产品包括 SCS 城际动车组、ETS 米轨动车组、ETS2 米轨动车组和混合动力米轨动车组。



2012年,中车株机公司自主研发的SCS城际动车组在马来西亚首都吉隆坡上线运营。2016年,马来西亚本地化生产的ETS米轨动车组投入运营,主要往返于吉隆坡与马泰边境巴东勿刹之间,日均乘客量超10000人次。2019年,马来西亚本地化生产的ETS2米轨动车组下线,成为马来西亚首个具有商务座舱的动车组。

2021年4月11日,由中车株机公司为马来西亚研制的混合动力米轨动车组上线运营。该列车采用4节编组,运行时速120千米,专为马来西亚东海岸非电气化线路打造,是在中车株机公司为马来西亚研制的SCS动车组、ETS动车组等项目成功实施的基础上设计制造。



图 7-4 中国出口马来西亚高速米轨动车图片

(三) 城市绿色发展经验

1. 采用先进技术, 减少能源消耗

该款动车组使用“内燃动力包+超级电容储能电源”混合动力系统。列车牵引时, 超级电容器可短时间提供大功率电流供列车启动加速; 列车制动时, 超过 85%的制动能量可以被超级电容吸收存储供列车下次启动使用, 从而实现能量循环利用、减少能源消耗。列车采用超级电容储能电源作为动力源之一, 相比传统内燃动车组节约油耗 20%以上。

由于马来西亚动车组为米轨动车组, 车下空间非常狭小, 对动力包外形尺寸的要求苛刻, 因此专门为其定制设计了外形尺寸小、排放优、集成度高的车下布置动力包。该动力



包装车后，只需连接相关的燃油管路和线缆即可投入运用，方便高效，即插即用，为动车组提供牵引和辅助动力源。

此外，该款动车组采用全流线型车身设计，满足高速运营要求，全流线型车身不仅让列车外形更加动感和靓丽，同时也能减少高速时的空气阻力，有效减少能耗。

2. 绿色降噪，节能环保

高速列车车内噪声性能是高速列车的舒适性指标之一。为了避免高速列车车内噪声影响旅客乘车的舒适性，马来西亚南北向运行的电动车组采用了先进的技术，将低碳、节能、电力驱动、网络控制和轻量化设计相结合，以降低噪音。

一是采用了顶部送风、下部回风的通风方式，降低风速、噪声和提升通风效果，乘客体感更舒适；二是优化车头头型和车体外表，使全车轮廓表面平滑，并采用全包外风挡等结构降低车辆表面的气动噪声；三是采取部件隔声措施，从结构传声和空气声传播两方面控制噪声传递的路径，从而降低车内噪声；四是对整车的密封性能进行优化，阻挡车外噪声向车内的传播。

3. 智能保障，安全可靠

安全性是高速动车组最优先考虑的问题。该款动车组应用智能运维技术，可实时采集并传输运行状态、故障等信息，自动诊断车辆运行状态，并指导做出相应维保工作，提升了车辆智能化水平。同时通过车载设备、车地数据传输、地面系统，可以构建车地一体的全生命周期管理平台，为列车运营和维护提供决策建议，实现主动安全保障和智能维护。此外，在列车控制系统中集成了轴温报警系统、火灾报警系统、车外状况监控系统等先进安全装备，结合整车控制的安全导向设计，提升了整车运行安全。

4. 便民高效

这款动车组性能和车内设施大大优于现有列车，将极大提升吉兰丹州等马来西亚半岛东海岸地区民众出行的便捷度与舒适度。

第一，该款动车组运行时速 120 千米，相比平均时速 50-60 千米的传统列车，可大幅缩短通勤时间，极大方便民众出行，其较高的运行效率，也缓解了马来西亚现有公路交通、铁路交通的运营压力。第二，该款动车组充分考虑马来西亚伊斯兰宗教文化，列车设有祈祷室和包裹间，客室座椅调整灵活，搭配高度较低、宽度较宽的蹬车梯，可适应各种站台需求。



（四） 案例小结

中车株机公司打造的混合动力米轨动车组采用“绿色+智能”的设计理念，采用先进技术，减少能源消耗，降低线路运营线路的投资成本、采用了先进的技术绿色降噪技术及智能运维技术，极大的提升了当地民众出行的便捷度与舒适度。



十八、 杭州公共自行车共享与骑行文化推广⁶

（一） 背景

杭州市是浙江省会，历史悠久，人文荟萃，有 2000 多年建城史，京杭大运河的开通，使杭州市成为“一带一路”重要节点城市，联通了海上丝绸之路和陆上丝绸之路。在国家积极推进“一带一路”发展的大背景下，杭州发扬敢于担当、勇立潮头的精神，力争为落实“一带一路”倡议贡献力量。多年来，杭州抢抓机遇，与沿线国家的经贸往来日益频繁，并与“一带一路”沿线城市在城市治理、民生改善、生态保护等各领域展开对话交流和技术合作，共同探讨建立面向新科技革命和产业变革的政策制度体系，共同探索城市让生活更美好的发展路径。

上世纪七十年代，中国曾被称为“自行车王国”。但与许多其他国家一样，自此之后中国城市自行车使用量有所下降，汽车保有量不断增加，在北京、上海和杭州等经济较为发达城市尤为明显。同时，交通规划中对自行车的关注减少，转而更加注重汽车和公共交通。然而，近年来，自行车及其在整体交通系统中的作用重新获得了人们的关注。国家层面已经可以看到这种趋势，在杭州城市层面也是如此。

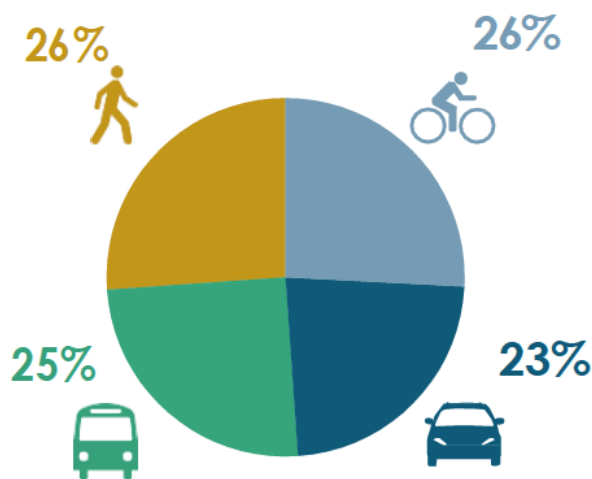


图 7-5 杭州交通方式分布

⁶ 本案例主要参考资料来自杭州市交通运输部门、杭州公共交通集团有限公司提供的相关数据和材料。由 C40 城市气候领导联盟中国气候行动规划项目组及 C40 城市气候领导联盟合作伙伴盖尔事务所哥本哈根办公室经理安德烈·罗尔（Mr. Andreas Røhl）、项目主任高慕思（Mr. Rasmus Duong-Grunnet）共同编写。



杭州是中国自行车发展领先的城市之一。其推广骑行的关键原因之一，就在于骑行在扩大公共交通面积方面的重要作用。经验表明，将自行车与火车、地铁等出行方式结合起来非常高效，因为它结合了铁路的载客量和速度，以及自行车灵活性的优势。杭州推广骑行的另一原因是它对旅游业的积极影响。杭州坐拥西湖等众多世界知名景点，在推广骑行融入旅游业和日常生活方面拥有悠久历史。西湖沿岸的自行车道就是很好的例子。此外，近年来，对健康和二氧化碳减排的积极影响为继续倡导骑行提供了理由和动力。



图 7-6 西湖边骑行

（二）概况

杭州市公共自行车共享项目于 2008 年启动，由杭州市政府主导，主要从规划、财力、法规等入手，并以市公交集团为运作主体具体负责杭州公共自行车的建设和运营管理。过去 15 年中，公共自行车共享项目已成为杭州增加自行车出行最重要的措施。

该项目主要定位为公益项目，免费租用率达到 98% 以上。杭州市委、市政府将公共自行车纳入杭州“四位一体”大公交体系，使得该项目有良好的政策保障。同时，项目定期组织志愿者队伍，开展义务修车、咨询等服务工作，获得了社会各界的广泛认同和支持。

其主要运作方式包括：

“统一品牌、统一标准、统一设施、统一平台”的管理办法，实现通租通还。

“无人值守、自助操作，智能管理”，通过刷卡或手机扫码实现提车或还车。

线上免押租车、实体卡缴纳保证金租车，实名制的实体卡可与线上平台绑定，实现“押金共享，一卡两用”。

对所有公共自行车向保险公司投保骑车者人身意外伤害险和第三者责任险。

杭州的公共自行车共享系统之所以能成为世界城市的典范，不仅在于其庞大的规模，



还在于它与公共交通紧密结合，也就是说，公共自行车共享系统被视为公共交通系统的重要组成部分，进行统一规划。

公共共享自行车并不是杭州市推广骑行的唯一措施，杭州市还专门设置自行车道，贯穿整个城市，并在多个十字路口完善自行车专用交通信号灯。

在新冠肺炎疫情期间，杭州市出台城市公共自行车行业首个疫情防控地方标准《疫情期间城市公共自行车卫生防控规范》，规定了在疫情防控期间公共自行车的硬件、服务、工作人员和租用者的卫生防控要求，为城市公共自行车行业在应对公共卫生突发事件时提供了科学的实施指南，完善了公共自行车应急管理服务体系，降低了疫病的传染风险，提升了疫情防控期间公众出行选择公共自行车的信心。



图 7-7 杭州市自行车道

（三）项目影响力

杭州市公共自行车交通系统投入运行以来，取得的成果已经超出当初“解决公交出行最后一千米”和缓解城市交通“两难”问题的初衷，在推进节能减排，建设低碳城市，倡导绿色出行，提高城市品位，改善城市形象以及提高市民身体素质等方面均取得一定的成果。

1. 杭州市公共自行车共享项目影响力数据：

- 2008 年开始试运营，最初设置服务点 61 个，投放公共自行车 2,800 辆，目前已发展至 4514 个服务点，公共自行车 126,600 辆。
- 累计出租次数达 10.98 亿次，平均出行里程 3-5 千米，累计里程约 32.94 亿千米，以平均每辆汽车承载 2 人计算，相当于减少了 5.49 亿辆汽车的出行量。



换算成二氧化碳排放量，相当于减排约 146.13 万吨。

- 融入城市公共交通体系，基本解决“公交最后一千米出行”问题。配套服务点分布在地铁、公交站周边、重要交通枢纽周边分别为 6.39%，7.18%，0.57%。租用时段集中在早晚出行高峰期，占日租用量 45%左右。
- 方便公众出行，降低杭州市民出行成本。租车费单日封顶 5 元，租车免费率 98%以上。

2. 杭州市公共自行车共享项目获得国内外奖项：

- 2015“中国好设计”
- 广州国际城市创新奖
- 艾希顿 2017 可持续交通项目奖
- 第二届德黑兰“金砖块”国际城市管理奖
- “全球 8 个提供最棒公共自行车服务的城市”之一（BBC）
- 全球最佳 16 个地区公共自行车系统排名第一（USA TODAY）

（四） 案例总结

1. 公共自行车在增加公共交通、提高便利性等方面具有巨大潜力：公共自行车作为城市交通的重要组成部分，在短距离出行上具有公交、出租无法替代的优势：一是使用人力驱动，具有无废气排放和噪音小的环保优势，可为居民和旅游者提供便捷的出行；二是具有体积小、方便灵活、可达性高和投资少的优势，可作为联接地铁、公交的重要交通工具；三是具有对道路适应性强以及遇交通堵塞时可利用空隙和支路灵活疏散的优势，提高城市交通的整体运行效率。开展公共自行车服务系统项目建设已成为杭州市节能减排、提升城市绿色生态效益和竞争力的有力措施。

2. 公共自行车是公共交通的重要组成部分，并应当按照公共交通的标准进行规划、运营和监管：在中国，2008 年，由公共财政投入的公共自行车系统率先在杭州启动。随后，低碳环保、低价便利的公共自行车迅速掀起了一股“绿色旋风”，从杭州刮到了全国各地。从本质上来说，公共自行车共享项目由政府主导，是一项公共服务产品，其能够把社会效益放在第一，保障民生需求为先，相较于市场上的共享单车企业而言，能提供更优质、安全的短途出行服务，也更有利于纳入当地公共交通的统一规划、运营和监管中。杭州公共自行车已成功纳入杭州城市公共交通体系，成为杭州运行良好的综合公共交通系统的重



要组件。

3. 骑行不仅关乎日常生活的便捷，良好的骑行条件也受到游客的重视：自行车骑行是旅游者体验目的地城市的重要方式，规划建设高效合理的自行车旅游慢行系统已经成为众多旅游城市共同面临的重要任务。杭州作为全国知名旅游城市，旅游交通出行需求量大，其中游客以景区出行居多。自行车作为绿色便捷的交通工具恰好满足了游客出行需求，成为连接游客与旅游示范点的全新渠道。与此同时，发展骑行满足了杭城旅游多元化的发展需求，为旅游产业注入新元素、新活力。



参考文献

- [1] 世界银行. Lessons from Chile's Experience with E-Mobility[M/OL]. World Bank, Washington, DC, 2020. <http://hdl.handle.net/10986/34435>. DOI:10.1596/34435.
- [2] 智利数学建模中心零排放总线快速部署加速器（Zebra）. From Pilots to Scale: Lessons from Electric Bus Deployments in Santiago de Chile[EB/OL](2020-06). https://www.c40knowledgehub.org/s/article/From-Pilots-to-Scale-Lessons-from-Electric-Bus-Deployments-in-Santiago-de-Chile?language=en_US.
- [3] LAURA G, FRANCISCO BARRAZA, ANDRÉS CEBALLOS, 等. Evolution of air quality in Santiago: The role of mobility and lessons from the science-policy interface[EB/OL](2018-05-03). <https://online.ucpress.edu/elementa/article/doi/10.1525/elementa.293/112819/Evolution-of-air-quality-in-Santiago-The-role-of>.
- [4] CHARLES MORRIS. Charged EVs | IEA case study #2: electric buses in Santiago, Chile[EB/OL](2020-07-07). <https://chargedevs.com/newswire/case-study-2-electric-buses-in-santiago-chile/>.
- [5] 商务部. 《对外投资合作国别（地区）指南（马来西亚 2020 年版）》. http://ydyl.jiangsu.gov.cn/art/2021/2/1/art_76297_9661378.html



第八章 绿色建筑

十九、 南非绿色建筑评级工具

“南非绿色之星”是南非绿色建筑委员会推出的绿色建筑评级工具，用于对南非建筑的环境设计和性能进行综合评估并给出评级。绿色建筑兴起以来，越来越多的新建建筑加入绿色设计元素，采用更环保、更高效的技术，现有建筑也逐步向绿色方向升级改造。绿色建筑运动将为减缓资源枯竭、改善生态环境作出贡献。

（一） 背景

南非位于非洲大陆的最南端，素有“彩虹之国”的美誉，其东、南、西三面被印度洋和大西洋环抱，陆地上与纳米比亚、博茨瓦纳、莱索托、津巴布韦、莫桑比克和斯威士兰接壤。南非是非洲的第二大经济体，财经、法律、通讯、能源、交通业较为发达，拥有完备的硬件基础设施和股票交易市场，黄金、钻石生产量均占世界首位，深井采矿等技术居于世界领先地位。

建筑行业是应对气候变化的重要领域。全球范围内，建筑消耗了世界生产的 40%-50% 的能源、约 30% 的资源、20% 的淡水资源，并产生了世界上 50% 的垃圾、大部分的水污染以及 40% 的空气污染，远超其他行业。建筑业是南非四大工业部门之一。南非每年二氧化碳的排放量为 8 亿吨左右，预计到 2025 年将超过 12 亿吨，其中约 23% 的排放是由住宅和非住宅建筑的运营造成的。在这一背景下，绿色建筑的实施对于缓解资源消耗、应对全球变化具有显著的积极作用。随着 2008 年轮流停电带来的影响，建筑业主和承包商开始转向更环保的建筑技术，推动了南非绿色建筑市场的兴起。

（二） 概况

绿色建筑概念的提出是为了应对建筑对环境的负面影响，包括其对温室气体排放的贡献。绿色建筑的核心在于尽力创造对环境和居民友好的建筑设计、建造、运营方式。南非绿色建筑委员会（GBCSA）成立于 2007 年，是世界绿色建筑委员会的成员，也是绿色之星评级体系下的建筑认证机构，其成立的目的就是促进和指导绿色建筑设计。GBCSA 对绿色建筑的定义如下：“绿色建筑是指节能、节约资源、环保的建筑，它包含了显著减少



或消除开发对环境和居民负面影响的设计、建造和操作。绿色建筑不仅能有效利用资源、应对气候变化，同时为人们的生活和工作创造一个更健康、更高效的环境。”根据绿色原则建造的建筑，可以明显减少能源的消耗、水的使用以及固体废物的产生。通过在建筑中推广绿色原则，GBCSA 可以为缓解资源消耗和减缓气候变化提供手段。

2018 年 11 月 GBCSA 推出“南非绿色之星”评级工具，这是一个对南非建筑的环境设计和性能进行评级的综合评估系统。南非的绿色之星评级工具基于澳大利亚的绿色之星系统，并根据南非当地环境定制使用。绿色之星认可并奖励能减少环境影响的举措，旨在促使建筑施工和管理由传统模式向更为环保的新模式转变。南非绿色之星的目标主要包括：建立绿色建筑的标准；推广一体化、整体设计的建筑；激发人们对绿色建筑的认可；减少发展对环境的影响以及承认环保方面的领导地位。该评级工具通过设置标准和基准，使 GBCSA 能够对建筑的绿色程度进行客观评估。

截至 2016 年 GBCSA 已认证 200 家绿色之星评级建筑；2018 年 9 月，GBCSA 成立十年以来达到 400 家建筑认证的里程碑。绿色之星认证项目基本都分布在豪登省、西开普省和夸祖鲁-纳塔尔省。绿色建筑的位置也符合这三个省在南非的经济地位：在对南非 GDP 贡献方面，豪登省占主导地位，贡献超过 33%，其次是夸祖鲁-纳塔尔，贡献超过 15%，西开普省贡献超过 14%。

（三） 绿色之星评级过程

绿色之星评级工具为项目提供在两个不同开发阶段获得认证的机会，即“设计”认证和“建成”认证。“设计”认证在项目设计阶段结束后提交，表明建筑物可作为被绿色之星认证的建筑进行营销。“建成”认证是在项目建设结束后申请，表明所有策略均被纳入完成的建筑当中。认证过程中，首先由项目团队向 GBCSA 提交相关材料，随后由 GBCSA 雇佣独立评估人员，利用评级工具来确定建筑的绿色程度并授予适当的评级。

评级工具中共包含九大类别：管理、室内环境质量、能源、交通、水、材料、土地利用与生态、排放、创新。每一类别下如果达到绿色之星的评级标准就可以获得相应积分；在对每个类别进行评估后，将环境权重因子赋予各个类别进而计算整体得分。绿色建筑认证根据评级工具的加权得分划分为几个星级：1-3 星（10-44 分，不符合正式认证要求），4 星（45-59 分，最佳实践），5 星（60-74 分，南非卓越）和 6 星（≥75 分，世界领先）。达到 4 星及以上即表明该建筑被认证为绿色建筑。通过对 2009-2015 年间获得认证的 95 座



南非建筑进行分析，发现九个类别的得分百分比存在显著差异，最容易达到标准的三个类别分别是水（84%）、交通（79%）和能源（77%），达标率最低的两个类别分别是生态（37%）和创新（19%）。

由于不同的建筑类型有不同类型的环境问题，评级工具的权重也不同。对于建筑生命周期的各个阶段，即设计、施工、运营和翻新，以及不同的建筑类别，包括办公、零售、医疗、教育、住宅、工业和公共建筑，都设有不同的评级工具。

实际评估中还考虑到利用设计、材料和技术来减少能源和资源消耗，创造更好的人与自然环境。绿色之星评级系统列出了被纳入建筑设计和建造的绿色建筑措施，包括：减少热负荷、最大限度利用自然光线、促进新鲜空气循环、使用节能的空调和照明设备、采用环保、无毒的材料、减少废物并使用回收材料、高效用水的管道装置和水收集、可再生能源的使用等。

（四） 绿色之星中的节水措施

南非是一个水资源稀缺且分布不均的国家。绿色之星建筑评级工具通过促进减少水资源的使用，改变建筑景观，形成有效的节水机制。GBCSA 指出，评级系统中“水”类评分旨在通过建筑系统、雨水收集和水资源再利用的高效设计来减少水资源的使用。

绿色之星对雨水收集、灰水和黑水三个水源替代系统进行奖励。由于雨水相对清洁，只需一个简单的过滤系统就可以处理收集到的雨水，以供非饮用水使用。Sotiralis 咨询公司提倡使用的降水系统可以将所有的降雨在统一系统内收集，包括雨水沉淀和储存处理后的水。灰水的收集和过滤由于成本以及维护问题，更适合于低降雨量地区。黑水系统可以回收 99% 的建筑物中使用的水，但由于涉及资金成本、复杂度、持续维护以及病原体等问题，大多数客户认为黑水系统风险太高，黑水作为替代水源的阻力较大。

（五） 绿色建筑评级下的建筑材料选择

在绿色建筑背景下，建筑材料应当遵循以下选择原则：一是根据建筑所有阶段的影响进行评估，包括设计、施工、运营、报废等阶段；二是根据材料的能源效率、资源效率和环境影响进行评估。绿色建筑注重使用本地制造的建筑材料，因此供应商必须尽量满足产品供应。在南非，大型涂料制造商已经开始生产符合 GBCSA 标准的无毒、低挥发性有机涂料；水泥和砖行业也将产品向环保化发展。



能源效率方面，绿色之星评级系统目前只识别材料在使用前的能源效率。建筑过程以及材料的提取、制造、运输和处理过程都需要能源，这相当于隐含的温室气体排放。绿色建筑评级工具会减少或再利用水泥等具有高隐含温室气体排放的材料，并对就近采购、加工材料进行奖励，以实现温室气体减排，降低能量消耗。

资源效率方面，绿色建筑评级工具通过限制材料使用数量来减轻对环境的影响和对资源的消耗。设计师可以通过替换高污染材料、重复利用现有材料、建筑再利用、回收建筑材料、减少建筑垃圾等方法来减少材料使用、实现材料再利用和循环利用，进而提高资源效率。

环境影响方面，可持续性和有害物含量是需要重点考虑的因素。木材是绿色之星评级工具中唯一被认可的可再生资源。此外，绿色建筑考虑室内环境及居民健康，为确保居民健康，需要按照绿色建筑标准对建筑材料和室内环境中的有害成分进行处理。

（六） 绿色建筑实践

政府部门的推动将加速南非绿色建筑业的发展，例如国际关系与合作部和水资源与环境部建设的新总部大楼、彼得马里茨堡省的立法机构大楼均采用绿色建筑。在政府投标中已明确出现向可持续建筑方向发展的趋势，绿色设计和财务可行性在评标过程中发挥了重要作用。

南非的银行业在绿色建设方面一直走在前列，莱利银行二期是首批注册获得南非绿色之星评级的两个项目之一，在 2009 年获得四星级认证。

（七） 应用案例

● 案例一：2010 年南非世界杯体育场

南非作为 2010 年世界杯足球赛的主办方，需要对现有体育馆进行升级改造并建造新体育馆，以达到承办活动的标准。南非环境事务与旅游部（DEAT）对开普敦和德班体育场进行审查，评估列出了球场设计中涉及水、能源、废料和材料的所有绿化措施，并按照“良好做法”、“前沿做法”和“最佳做法”进行评级。

具体举措包括：建设合成草坪和天然草坪相结合的混合草坪；灌溉减少 50% 的水冷式可变制冷剂冷却系统；只在必要时打开风扇的停车场；二氧化碳监测。最佳措施包括：从蓄水池收集雨水用于灌溉；结合隔热板（减少热量吸收）和自然通风装置的网眼织物；购



买体育馆的“绿色能源”；再利用旧场馆拆除材料。此外，相关部门还提出楼宇管理系统、下水道处理设施、智能滴灌系统等建议措施。

- 案例二：世界自然基金会大楼

WWF 大楼坐落于约翰内斯堡，获得了 6 星级绿色建筑评级，同时也是南非第一个获得该评级的翻新建筑。这个项目反映了世界自然基金会对环境保护和自然资源节约的态度，通过实施用水相关的干预措施来减少建筑对水和电力的依赖。具体来说，该建筑不仅拥有一个用雨水浇灌植物的顶屋花园，还引入现场废水处理装置，在建筑内重复利用处理后的水。



二十、新加坡翠绿都市计划(LUSH)⁷

为了缓解城市持续发展和人们对绿色城市诉求之间的矛盾，新加坡出台了“翠绿都市计划”(LUSH)。该计划由新加坡市区重建局(Urban Redevelopment Authority, URA)负责，从绿色和美观的角度对城市进行了改造。

(一) 背景

新加坡政府与私营部门密切合作，于2009年出台了“翠绿都市计划”(LUSH)。这是一个针对城市建筑的综合绿化计划。LUSH计划利用城市发展来扩大绿化，具体要求是在首次或二次建筑开发时，开发商需要还原一部分由于开发而减少的绿植面积。

开发商可以选择在地面、屋顶或空中平台上进行绿化代替，包括景观绿化、屋顶花园、空中露台或花盆植物等形式。公众和楼宇使用者应能够进入这些绿色区域。

2014年，LUSH 2.0的覆盖范围和开发类型有所扩大，包括非土地住宅、商业、混用建筑及酒店。2017年，LUSH计划正式迈入了3.0阶段。

(二) 项目概览

LUSH 3.0的具体措施包括：

- 鼓励绿化建筑外墙和屋顶。这样不仅可以美化视觉效果，还可以降低周围环境的温度。
- 通过整合城市农场和屋顶花园等相关用途，使绿植景观更契合现有需求。采纳业界关于善用天台的意见，屋顶农场成为了一种绿化代替的方式。同时，鼓励开发商和业主利用屋顶空间放置太阳能电池，或建设屋顶花园、农场，来代替放置机械和电气设备。这些设备转移后所占空间可以不计作建筑面积。
- 引入绿色容积率(GnPR)标准，指导开发商和业主的建筑绿化量。绿色容积率是一种测量既定范围内绿化密度的方法。该标准适用于采纳绿化替代的开发项目，公开、透明地保障建筑开发中的绿化质量。

(三) 项目亮点——鼓励创新屋顶设计

新加坡市区重建局扩展了LUSH 3.0的范围，容许商业建筑及酒店楼宇的天台空间呈现更多用途。之前，如果屋顶用于休闲和娱乐等活动用途，从屋顶转移到顶部三层的机电

⁷ 本案例主要参考资料来自新加坡市区重建局(Urban Redevelopment Authority, URA)提供的相关数据和材料。



设备可免于计算总建筑面积(GFA)。现在，如果申请农业、屋顶花园（含太阳能电池）或绿色屋顶，就可以获得 GFA 奖励。这项政策有助于实现可持续发展目标，如提高粮食抗御能力、可再生能源利用率和城市整体绿化率，并加强社区联系。

位于市区的福南购物中心就采纳了 LUSH 3.0 的理念，在近期进行了改造设计，将现代农场元素注入屋顶设计，供公众参观游玩。



图 8-1 福南购物中心（照片来源：新加坡市区重建局）



图 8-2 福南购物中心（照片来源：新加坡市区重建局）



图 8-3 福南购物中心（照片来源：新加坡市区重建局）

（四） 项目效果

自 LUSH 计划启动以来，绿化已经逐渐成为新加坡建筑环境中的规范，积极融入于开发中的建筑项目。LUSH 计划在过去十年中发挥了关键作用，拉动了超过 250 公顷的绿化面积，约等于 400 个足球场的大小。也在高密度建筑群中被广泛应用，如新加坡的重点商业区、新型地块和区域中心。

为实现新加坡在未来十年成为“自然之城”的愿景，LUSH 计划可以实现绿色环保和建筑环境的和谐共存，提高城市的宜居性。

除了 LUSH 计划之外，新加坡还致力于将绿化融入其他方面。除了公园以外，道路、人行道和公用建筑也增加绿化面积。这些都示范了如何在一个建筑密集的城市中融入绿化，让市民意识到绿化带来的益处，及其在城市环境中的重要性。

（五） 案例小结

新加坡对于绿色优质居住环境的规划一直非常重视，同时该规划也是构建新加坡作为花园城市的一项重要战略。新加坡政府推出了 LUSH 计划，是一项综合性的城市绿化项目，有效的提高新加坡的植被覆盖率。2014 年及 2017 年推出的 LUSH 2.0 及 LUSH 3.0 计划，在地理范围和类型上进行了扩展，使城市绿化达到新的高度。



二十一、 福州可再生能源建筑应用试点示范城市⁸

福州市作为中国 21 世纪海上丝绸之路核心区、国家级新区、自由贸易试验区、自主创新示范区和生态文明先行示范区，积极融入“一带一路”建设，加速拓宽对外开放合作格局，全力推进绿色低碳发展，福州市在 2009 年、2015 年分别被列为“国家可再生能源建筑应用示范城市”、“全国公共建筑节能改造重点城市”，并于 2018~2021 年期间，在 C40 城市气候领导联盟的支持下，开展了“C40 中国建筑项目”试点工作，以可再生能源建筑应用为重点合作方向，全力推进建筑节能政策与行动，加速实施能力建设与经验分享，大力推广建筑可再生能源技术应用，为如期实现 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的目标提供了有利条件。

（一） 背景

2019 年，福州市常住人口 780 万人，城镇化率 70.5%，地区生产总值 9392 亿元，连续多年实现快速增长（见图 8-4）。随着经济快速发展和人民生活水平不断提高，福州市建筑能耗总量也达到 616 万吨标煤，占全市总能耗的 22%，需要采取针对性的措施降低建筑能耗和排放。福州市属海洋性亚热带季风气候，民用建筑除了夏季有供冷需求外，冬季也有部分供暖需求，同时民用建筑还有生活热水需求。根据近年来能源审计结果显示，福州市民用建筑空调供暖能耗以及生活热水能耗占建筑总能耗的 60%以上。因此，降低建筑能耗的工作重点在于如何降低空调供暖能耗和生活热水能耗。

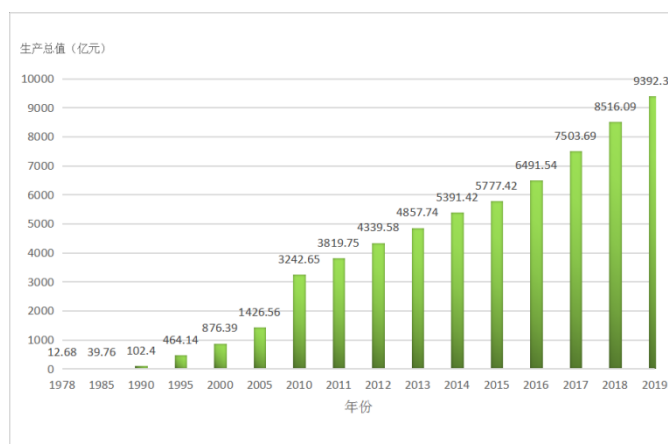


图 8-4 福州市历年国民生产总值（来源：福州市统计局）

⁸ 本案例由 C40 城市气候领导联盟中国建筑项目组及 C40 城市气候领导联盟合作伙伴福建省建筑科学研究院有限责任公司胡达明、陆观立、田原共同编写。



从福州市的自然资源禀赋情况来看，福州市具有优越的可再生能源建筑应用条件。首先，福州市年日照时数 1900h~2000h，全年保证率达 45%以上，年辐射总量为 4200MJ/m²~5200MJ/m²，适宜于太阳能光热和光伏技术的应用；其次，福州市位于闽江下游（见图 8-5），地表水资源量为 1306 亿 m³，总体上地表水资源水量丰富、水温适宜、水质优良，适宜于水源热泵技术的应用；最后，福州市属海洋性亚热带季风气候，全年冬短夏长，温暖湿润，年平均气温为 16~20 度，最冷月 1 月~2 月，平均气温也达 6~10 度；最热月 7 月~8 月，平均气温为 24~29 度，适宜应用空气源热泵热水技术应用。

福州市基于优越的可再生能源应用条件，通过水源热泵技术、太阳能光热及空气源热泵热水技术、太阳能光伏技术等可再生能源在建筑中的应用，可显著降低建筑能耗，减少温室气体排放。



图 8-5 闽江（福州段）

（二）概况

为深挖福州市可再生能源技术在建筑中的应用潜力，福州紧扣“国家可再生能源建筑应用示范城市”和“C40 中国建筑项目”试点城市契机，制定强制和激励相结合的可再生能源政策，完善可再生能源配套技术标准，加大宣传力度，加速各类可再生能源技术的推广应用。截至 2020 年 12 月，福州市共推动实施的协和医院空气源热泵热水项目、福州大学太阳能光热项目、福建省建科院太阳能光伏项目、福州市东部办公区水源热泵项目等 65 个可再生能源建筑应用项目（见表 8-1），总计建筑应用面积 479 万 m²，囊括了不同可再生能源建筑应用技术类型（见图 8-6 和图 8-7）。通过可再生能源技术应用，福州市每年可减少二氧化碳排放量 30700 吨，详见表 8-1^{[3][4]}。

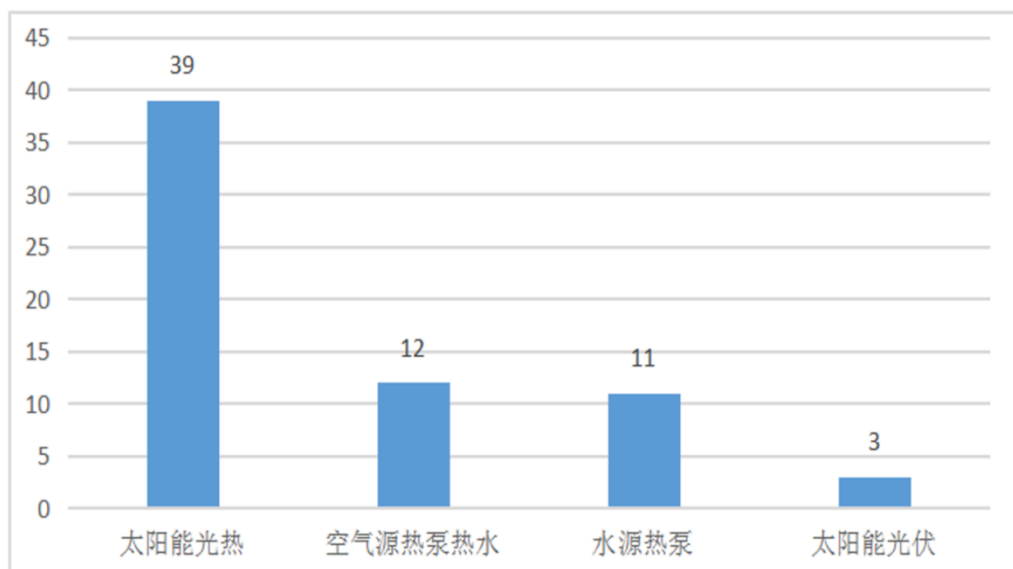


图 8-6 不同可再生能源建筑应用示范项目数量



(a) 协和医院空气源热泵热水项目



(b) 福州大学太阳能热水应用



(c) 福建省建科院太阳能光伏项目



(d) 福州市东部办公区水源热泵项目

图 8-7 典型技术类型项目



表 8-1 福州市可再生能源建筑应用示范项目碳减排量计算表（来源：福州市城乡建设局）

序号	类型	数量（个）	面积 (万m ²)	碳减排量 (tCO ₂ /a)
1	空气源热泵热水	12	67	7476
2	太阳能光热	39	181	10144
3	太阳能光伏	3	7	1295
4	水源热泵采暖	11	224	11785
合计		65	479	30700

（三） 城市绿色发展经验

1. 制定完善的应用政策

福州市制定了完善的可再生能源建筑应用政策，通过强制和激励相结合的政策措施，推动空气源热泵热水系统、太阳能热水系统等可再生能源技术在福州市的推广应用。从 2009 年开始就制定了可再生能源建筑应用发展规划，重点规划了可再生能源建筑应用目标和发展重点，以指导福州市可再生能源建筑应用工作，促进可再生能源建筑应用有步骤、有重点的推进。

（1）制定激励性政策

2018 年 12 月，为促进太阳能光热技术、太阳能光伏技术、空气源热泵技术以及水源热泵技术等可再生能源技术在节能改造项目中的应用，福州市组织专家团队对可再生能源技术应用进行经济性分析，修订了《福州市既有公共建筑节能改造示范项目专项补助资金管理暂行办法》，制定了激励性政策，对于采用可再生能源技术的学校教学楼类建筑补助标准从 20 元/m²提高到 40 元/m²，促进可再生能源的应用。

（2）制定强制性政策

2020 年 11 月，福州市通过可再生能源技术适宜性分析、政策调研和专家论证等基础工作，调整制定了强制性政策《关于新建建筑与既有建筑改造项目进一步推广高效空气源热泵技术应用的通知》。该政策明确要求：1）有集中热水需求的公共建筑（如医院病房、酒店、宿舍等），应根据情况进行技术经济比较，选择一种适宜的可再生能源技术进行应用；2）新建住宅应设计太阳能热水系统或为分户安装空气源热泵热水系统预留安装条件，



并要满足相关要求；3）项目设计、图审、施工、监理、验收等闭合管理要求。该政策的制定将为福州市建筑高效空气源热泵技术应用和可再生能源的推广发挥积极的作用。



图 8-8 可再生能源技术建筑应用专家论证会

2. 配套技术能力建设

（1）成立可再生能源建筑应用专家委员会

福州市组织成立了可再生能源建筑应用专家委员会，包含建筑、结构、设备、可再生能源设计、施工、工程造价等方面的专家团队，为可再生能源建筑应用示范项目的评审、实施监督、后期运行评价等工作提供有力的技术支持。

（2）完善可再生能源技术配套标准

根据福州市地域、气候、资源等情况，组织研究太阳能光热技术和浅层地能热泵技术等可再生能源的适用性，逐步完善可再生能源建筑应用技术标准和规范，目前《民用建筑太阳能热水和空气源热泵系统一体化技术应用规程》《福建省地源热泵⁹系统应用技术规程》《建筑光伏系统应用规程》《福建省公共建筑节能设计标准》以及《福建省居住建筑节能设计标准》等配套地方标准规范已正式颁布实施。此外，为总结福州可再生能源适用技术类型，福州市组织编制了《福州市可再生能源应用项目运营管理导则》以及《福州市可再生能源建筑应用项目验收评估技术导则》，以指导示范项目科学设计可再生能源应用系统，并开发了示范项目监测软件，为可再生能源的应用推广提供了技术支持。

⁹ 在中国，水源热泵技术属于地源热泵技术大类。

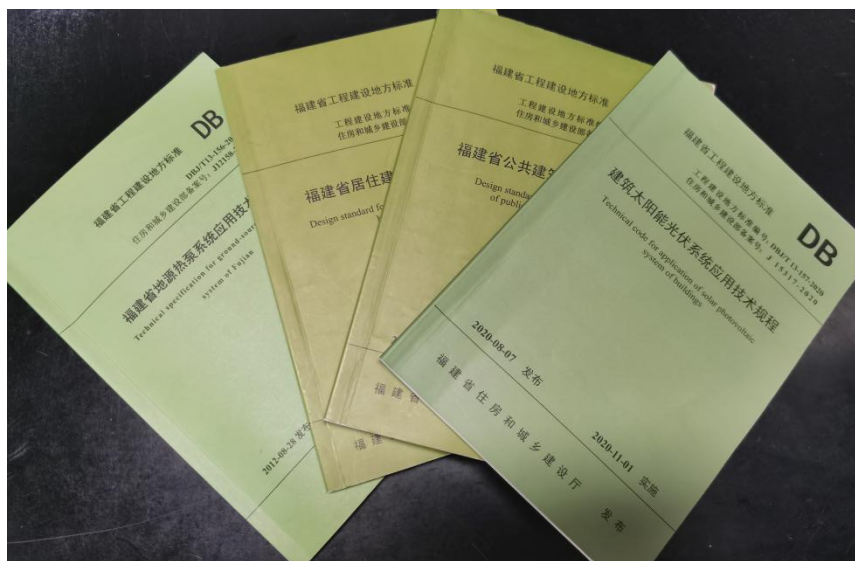


图 8-9 可再生能源建筑应用相关标准制编制情况

3. 示范宣传与交流

(1) 开展技术宣传

为了推动可再生能源技术在福州市的应用，让各专业设计人员、施工图审查师等相关人员掌握新的标准，先后组织开展了《建筑太阳能光伏系统应用技术规程》《福建省公共建筑节能设计标准》等标准宣贯会，对省内建筑设计、施工图审查、技术咨询等有关单位的各专业技术人员及建设行政主管部门等进行了培训，提高了相关人员技术和管理水平。



图 8-10 标准宣贯会

(2) 技术分享与交流



福州市积极组织行政管理人員和相关技術人員對建築可再生能源應用開展多種形式的技術交流與研討。一方面，福州市城鄉建設局主管官員和福州市 C40 項目團隊多次參加 C40 中國區域論壇與專題匯報，促進福州市與 C40 各成員城市之間的技術交流。同時，積極開展可再生能源建築應用調研與技術交流，總結可再生能源建築應用推廣模式。另外，通過承辦第十屆熱帶、亞熱帶(夏熱冬暖)地區綠色建築技術論壇等活動，共同探討推進綠色建築發展和可再生能源建築應用的相關問題和可行的技術路線。通過開展國內外的技術交流與研討，為福州市建築可再生能源相關政策、技術應用的“走出去、引進來”奠定了良好的基礎。



(a) C40 中國區域論壇



(b) 福州市 C40 項目專題匯報



(c) 太陽能光熱項目現場調研



(d) 第十屆熱帶、亞熱帶綠色建築技術論壇

圖 8-11 技術分享與交流

(3) 典型項目宣傳推廣

為加大推廣、宣傳力度，福州市組織專家依據可再生能源項目的實施成效，對近年實施的可再生能源項目進行比較研究，評選出閩江學院、福建工程學院以及福州大學等 8 個



优质项目成为“C40 中国建筑项目福州市示范工程”，并通过第十届热带、亚热带（夏热冬暖）地区绿色建筑技术论坛进行授牌宣传。



图 8-12 “C40 中国建筑项目—福州市示范工程”证书及授奖

（四） 案例小结

福州市近年来多措并举，在可再生能源建筑推广、应用、示范等方面取得了较好的成效，主要有以下经验：首先，福州市坚持技术先行，结合当地自然资源条件，开展可再生能源技术适宜性研究，制定完善的可再生能源建筑应用技术标准，奠定技术基础；其次，在技术可行基础上，制定强制和激励相结合的可再生能源政策，确立政策依据；最后，通过多渠道积极开展可再生能源技术交流宣传、推广，引导社会力量进行可再生能源建筑应用，激发市场动力。通过技术、政策、市场的合力推动，福州市可再生能源建筑应用将持续、有效、健康的发展。



参考文献

- [1] 福州市统计局 2019 年福州市国民经济和社会发展统计公报.
- [2] 福建省建筑科学研究院 福建省科技重大专项专题“建筑节能关键技术研究与应用示范”
(2008HZ0003-1) 第三子课题《可再生能源在建筑上综合利用技术的研究研究报告》.
- [3] 福州市城乡建设局 可再生能源建筑应用示范市验收评估报告.
- [4] 王珊珊等人 福州市试点加速推进可再生能源建筑应用的节能量与碳减排量评估 建设科技.



结 语

城市绿色可持续发展是一个永恒的议题，是谋求全球可持续发展的必由之路。城市是一个综合体，集中了经济发展、环境保护、民生等多个领域，城市对于可持续发展的重要性不言而喻，但是如何开展城市合作又是一个难题。中国与共建“一带一路”国家面临着快速城镇化带来的环境问题，而另一方面，如果城市积极改变旧有的发展模式，走可持续发展道路，将形成不可估量的变革动力，为解决生物多样性退化、自然资源短缺、废物剧增、爆发式污染等问题提供智慧和方案。

各国政府及城市需要深度开展合作，进一步推动共建“一带一路”国家绿色城市经验共享与协同合作，加强共建“一带一路”国家绿色城市政策对话，借助“一带一路”绿色发展国际联盟、生态环保大数据平台等加强政策沟通、经验分享，相互借鉴绿色城市建设最佳实践；加强共建“一带一路”国家在绿色城市标准体系和技术规范等方面的衔接，在绿色能源、绿色建筑、绿色交通等关键领域推动标准协同，打造人与自然和谐共生的宜居城市；加强共建“一带一路”国家地方政府、研究机构和企业之间的交流与合作，识别城市绿色转型的主要问题和优先领域，开展气候韧性城市建设试点示范，产出可复制、可推广经验。共同提升共建“一带一路”国家城市环境质量和绿色化水平，为加快实现 2030 年全球可持续发展的目标而全力以赴、共同行动。