



广东省近零碳排放区示范工程 关键性支撑研究报告

Research on Key Support of Pilot Projects of
Near-zero Carbon Emissions Zones in
Guangdong Province

中国质量认证中心
China Quality Certification Centre
Nov. 2019

本报告由能源基金会和可持续发展合作研究所资助。
报告内容仅代表作者个人观点，并不代表任何组织、机构、政府观点。

This report is funded by Energy Foundation & Institute for Sustainable Communities.
The opinions expressed in this report are the authors own and do not represent the views of any organization, institution or government.

摘要

国家“十三五”规划明确提出要实施“近零碳排放区示范工程”，广东于 2017 年 1 月在全国率先发布《广东省近零碳排放区示范工程实施方案》，并开展了首批试点项目建设工作。

“广东省近零碳排放区示范工程关键性支撑研究”项目与广东省内正在开展的近零碳排放区示范工程相关工作结合开展，构建了近零碳排放实施技术路线、近零碳排放区示范工程效果评价等系统性支撑，为广东深化开展近零碳排放区示范工程建设工作提供了技术支撑，同时积极推广宣传广东省近零碳排放区示范工程成功经验，为其他地区研究制定近零碳排放区示范工程建设相关政策提供参考。

本研究报告针对广东省近零碳排放区示范工程涉及的建筑、交通、企业、园区、社区和城镇六个领域，研究分析各领域碳排放现状、评价范围与边界、技术应用现状及发展趋势，并提出各领域近零碳排放区示范工程技术路线建议。

项目成员：史志呈，许文强，卢 峰，薛 薇，万 如，侯 坚，杨 抒，
冯丹燕，周延霞，雷 蕾，何明珠，俞 波，何程杰，燕 东

关键词：近零碳排放区 示范工程 技术路线

Summary

According to the national 13th Five-Year Plan, China will demonstrate the establishment of Near-zero Carbon Emissions Zones (NCEZ). In Jan. 2017, the government of Guangdong province took the lead in publishing the implementation plan of NCEZ. And the first batch of pilot projects of NCEZ have been launched in Guangdong.

The project of Research on Key Support of Pilot Projects of Near-zero Carbon Emissions Zones in Guangdong Province, worked with the ongoing works of the NCEZ in Guangdong, and drew up the technical route and the pilot projects evaluation system to providing systematic supports for the establishment of NCEZ. This project also publicized and promoted the experiences of the establishment of NCEZ in Guangdong, which would provide references for other provinces and cities to research and develop policies on NCEZ.

The research focuses on six fields of the NCEZ in Guangdong province, including building, transportation, enterprise, industrial zone, community and town. The report analyzes the current situation of carbon emission, the evaluation scope and boundary, the current situation and the development trend of technology application, and puts forward the technical route Suggestions in each field.

Project Team: Shi Zhicheng, Xu Wenqiang, Lu Feng, Xue Wei, Wan Ru, Hou Jian,
Yang Shu, Feng Danyan, Zhou Yanxia, Lei Lei, He Mingzhu, Yu Bo,
He Chengjie, Yan Dong

Key Word: Near-zero Carbon Emissions Zones, Pilot Project, Technical Route

目 录

第 1 章 广东省实施近零碳排放区示范工程综述	1
1.1 近零碳排放区示范工程建设进展	1
1.2 近零碳排放区示范工程基本内涵	2
1.3 广东实施近零碳排放区示范工程面临的挑战.....	3
第 2 章 近零碳排放区示范工程建筑领域 技术路线分析	5
2.1 建筑领域碳排放现状分析	5
2.2 建筑领域碳排放评价范围与边界	6
2.3 近零碳排放区示范工程建筑领域技术分析.....	7
2.4 近零碳排放区示范工程建筑领域技术路线建议.....	10
参考文献.....	14
第 3 章 近零碳排放区示范工程交通领域 技术路线分析	15
3.1 交通领域碳排放现状分析	15
3.2 交通领域碳排放评价范围与边界.....	16
3.3 近零碳排放区示范工程交通领域技术分析.....	18
3.4 近零碳排放区示范工程交通领域技术路线建议.....	24
参考文献.....	27
第 4 章 近零碳排放区示范工程工业企业领域 技术路线分析	28
4.1 工业企业领域碳排放现状分析	28
4.2 工业企业领域碳排放评价范围与边界.....	32
4.3 近零碳排放区示范工程工业企业领域技术分析.....	34
4.4 近零碳排放区示范工程工业企业领域技术路线建议.....	37
参考文献.....	41
第 5 章 近零碳排放区示范工程园区领域 技术路线分析	43
5.1 园区领域碳排放现状分析	43
5.2 园区领域碳排放评价范围与边界.....	44
5.3 近零碳排放区示范工程园区领域技术分析.....	46

5.4 近零碳排放区示范工程园区领域技术路线建议.....	53
参考文献.....	56
第 6 章 近零碳排放区示范工程社区领域 技术路线分析.....	57
6.1 社区领域碳排放现状分析	57
6.2 社区领域碳排放评价范围与边界	58
6.3 近零碳排放区示范工程社区领域技术分析.....	60
6.4 近零碳排放区示范工程社区领域技术路线建议.....	65
参考文献.....	68
第 7 章 近零碳排放区示范工程城镇领域 技术路线分析.....	69
7.1 城镇领域碳排放现状分析	69
7.2 城镇领域碳排放评价范围与边界.....	71
7.3 近零碳排放区示范工程城镇领域技术分析.....	73
7.4 近零碳排放区示范工程城镇领域技术路线建议.....	78
第 8 章 总结与展望.....	88

第1章 广东省实施近零碳排放区示范工程综述

1.1 近零碳排放区示范工程建设进展

气候变化问题是 21 世纪人类生存发展面临的重大挑战。2015 年 12 月，《联合国气候变化框架公约》近 200 个缔约国在巴黎气候变化大会上一致通过了具有里程碑意义的《巴黎协定》，确立了 2020 年后全球气候治理的总体框架。2018 年 12 月，卡托维兹气候变化大会如期完成了《巴黎协定》实施细则谈判，进一步推进全面落实《巴黎协定》各项要求，传递了推动加强气候行动和支持力度的积极信号，彰显了推进全球生态文明建设、构建人类命运共同体的大势所趋。

“近零碳排放区示范工程”是国家“十三五”规划在新时代背景下提出的一项低碳生态发展创新举措，也是进一步深化各类低碳试点的重要抓手，并在《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中，规划到 2020 年建设 50 个示范项目。国家在“十三五”规划提出近零碳排放区示范工程建设工作，广东、陕西、浙江、海南、北京、江苏、云南、上海、江西、安徽、贵州等省市积极响应。

广东自 2010 年启动国家低碳省试点工作以来，制定实施了一系列低碳发展政策措施，有序开展了碳排放权交易、低碳城市、低碳园区、低碳社区、低碳产品、碳普惠制等低碳试点示范工作，并在碳捕集利用封存技术、绿色金融、绿色建筑、新能源利用等新兴领域做出积极探索与尝试，为开展近零碳排放区示范工程奠定了良好的工作基础。广东省“十三五”规划纲要首次提出要实施广东省近零碳排放区示范工程，并列入省政府年度工作报告重点工作之一。广东实施近零碳排放区示范工程，是对现阶段低碳试点工作的整合提升，有利于低碳技术研究成果的集成推广，能够为实现更高层次“零碳”发展目标探索路径、识别障碍和积累经验，也是打造绿色低碳发展新“名片”的良好契机。

2017 年 1 月，广东在全国率先发布《广东省近零碳排放区示范工程实施方案》，为实施近零碳排放区示范工程提出明确的指引。随后，组织完成试点项目遴选工作，并正式启动汕头南澳县、珠海万山镇、广州状元谷园区、中山小榄北区社区、佛山禅城岭南大道交通枢纽站等 5 个示范工程试点项目建设工作，预期到 2020 年完成首批示范工程试点项目建设，广东省在该领域走在了全国前列。

1.2 近零碳排放区示范工程基本内涵

《广东省近零碳排放区示范工程实施方案》提出，近零碳排放区示范工程是指基于现有低碳试点工作基础、涵盖多领域低碳技术成果，在工业、建筑、交通、能源、农业、林业、废弃物处理等领域综合利用各种低碳技术、方法和手段，以及增加森林碳汇、购买自愿减排量等碳中和机制减少碳排放，在指定评价范围内的温室气体排放量逐步趋近于零并最终实现绿色低碳发展的综合性示范工程。

“近零碳排放区示范工程”包含了“碳排放”、“近零”、“区”和“示范工程”四个关键词，其定义包含以下内容：

1. 涉及所有类型的温室气体。“近零碳排放区示范工程”中作为低碳工作的进一步深化，“碳排放”不仅仅局限于二氧化碳这一类温室气体，还将扩展到包括甲烷（CH₄）、氧化亚氮（N₂O）、六氟化硫（F₆S）、氢氟碳化物（HFC_s）和全氟碳化物（PFC_s）等京都议定书中规定的温室气体。

2. 以减少碳排放总量为目标。“近零碳排放”是指实施对象的碳排放总量趋近于零。目前我国的减排目标正从现阶段的降低碳排放强度，逐渐向控制并减少碳排放总量的方向转变，这意味着“近零碳排放”将比“低碳”更为严格。

3. 在统一的边界内采用统一方法进行核算。“区”是承载实施的主体，示范工程是围绕实施主体的碳排放量，对其实施前后的减排效果进行对比。目前，无论是国际还是国内，相关主体（如：城镇、企业等）的碳排放量都是以相关数据为基础按照相关方法核算得出。为了确保减排效果可比性，核算的过程有两个基本要素：一个要素是实施主体的边界明确清晰，实施前后保持一致；另一个要素是用统一的方法学来核算碳排放量。

4. 以工程建设为支撑。要实现实施主体的碳排放量逐步下降并趋近于零，必须对实施主体从新技术的应用、系统的综合集成、管理的创新等多方面进行全面升级，这些内容最终是以工程建设的形式来实现。工程建设通常包括两种类型：一种是对实施主体进行重新规划和建设；另一种是在实施主体现有基础上进行优化改造。

5. 是多种技术和方法的综合运用。“近零碳排放”是实施主体的碳排放量在动态中接近于零。实施近零碳排放是一项系统集成的过程，涉及工业、建筑、交通、能源、农林业、废弃物处理等各领域相关减碳技术以及增加碳汇等相关方

法的综合运用。

6. 是一个动态的过程。“近零碳排放”对于碳排放的控制比“低碳”更为严格,由于涉及的实施技术要求更高、资金需求更多、需要协调管理的范围更广、难度更大,意味着围绕“近零碳排放”目标的实施将是一个时间较长的、动态的过程,不可能一蹴而就。

1.3 广东实施近零碳排放区示范工程面临的挑战

广东省实施近零碳排放区示范工程,是对现阶段低碳试点工作的整合提升,因此,分析广东省各领域低碳发展现状,有助于识别近零碳排放区示范工程建设可能存在的问题和挑战。

(1) 产业低碳化趋势明显,但工业碳排放比重仍超过六成。

广东省加快淘汰落后产能,积极促进产业向中高端化发展,推动重点行业开展企业电机能效提升、注塑机节能改造、清洁生产和发展循环经济等专项节能技改项目,“十二五”期间单位工业增加值能耗累计下降 34.94%,超额完成下降 21%的目标,单位工业增加值碳排放也在持续下降。但工业碳排放占总碳排放比重超过 60%,工业仍是未来节能减碳的重点领域。

(2) 能源结构不断优化,但结构性矛盾依然突出。

广东省以保障能源供应安全和加快能源结构调整为主线,积极转变能源发展方式,促进能源结构的清洁低碳,至 2015 年底,天然气、核电、西电、可再生能源等清洁能源占一次能源消费比重达 33.3%,非化石能源占能源消费总量比例达 20%。但广东省一次能源消费结构中煤炭消费占比仍然高达 42%,能源消费结构难以在短期内根本改变,结构性矛盾依然突出。

(3) 区域发展不平衡,珠三角地区碳排放占七成。

广东省不同区域社会经济发展存在较大差距,粤东西北地区¹的土地和人口分布约占全省的 70%和 50%,而人均 GDP 却不到珠三角²的 1/3,全省 80%的国内生产总值、80%的工业增加值、90%的财政收入、80%的城乡居民存款均产生于珠

¹ 粤东西北地区包括东西两翼和粤北山区,东西两翼指汕头、潮州、揭阳、汕尾、湛江、茂名、阳江等 7 个地市,粤北山区指韶关、梅州、清远、河源、云浮等 5 个地市。

² 珠三角指广州、深圳、佛山、珠海、东莞、中山、惠州、江门、肇庆等 9 个地市。

三角。低碳发展方面也同样存在区域不平衡，全省 70%的能源消耗、75%的电力消耗以及 70%碳排放均产生于珠三角，珠三角人均碳排放约为粤东西北地区的 2 倍，而单位 GDP 碳排放仅为一半。因此，珠三角城市群碳排放总量控制并尽早达峰，对全省低碳发展具有关键作用。

（4）低碳发展体制机制建设成效显著，试点示范需进一步深化。

广东高度重视国家低碳省试点工作，积极完善统筹协调机制，稳步推动创新体制，积极构建多层次试点示范网络。体制机制逐步完善，建立了温室气体排放综合性数据库、碳排放信息报告与核查系统等信息化平台。2013 年正式启动碳交易市场以来，已纳入电力、钢铁、水泥、石化、航空、造纸等六大行业，碳市场成交量和成交金额位居全国第一。广州、深圳、中山市列入国家低碳试点城市，深圳国际低碳城、珠海横琴新区成为国家低碳城（镇）试点。目前，广东已基本形成“城镇-园区-社区-企业-产品”的多层次示范网络，为探索不同发展阶段、不同区域、不同领域的低碳发展模式形成了基本框架，而开展近零碳排放区示范工程，需要对上述各类低碳试点进行整合深化。

第2章 近零碳排放区示范工程建筑领域 技术路线分析

建筑领域是广东省近零碳排放区示范工程试点的六大领域之一，也是实施范围最小的试点领域。由于现代社会经济活动多以建筑为活动场所和载体，其他试点领域也会涉及建筑领域的内容，因此，近零碳排放区示范工程建筑领域技术路线的分析研究对其他领域均具有借鉴意义。本章将结合广东省建筑领域碳排放现状，分析适用于近零碳排放区示范工程的技术，并提出近零碳排放区示范工程建筑领域建设目标、技术路线和实施建议，为建筑领域主管部门、项目规划建设和运营单位实施近零碳排放区示范工程提供参考。

2.1 建筑领域碳排放现状分析

虽然广东省在建筑节能减排领域具有一定工作基础，但建筑节能减排工作任务非常繁重。全省建筑碳排放呈现如下特征：（1）城镇建筑碳排放总量大；（2）建筑碳排放总量与建筑面积的增长呈相同趋势；（3）建筑碳排放量季节差异大。

民用建筑根据使用功能可分为居住建筑与公共建筑，不同类型建筑的碳排放特征如下：（1）公共建筑的单位建筑面积能耗较高，远大于居住建筑的单位建筑能耗，其中商业、医院、酒店等建筑类型是耗能大户，节能潜力巨大；（2）居住建筑的单位建筑面积能耗相对较低，仍具有节能潜力。

从建筑碳排放来源进行分析：（1）空调系统、照明系统等建筑设备是碳排放的直接来源；（2）建筑布局及朝向是影响建筑得热的主要因素；（3）门窗、墙体、屋面等围护结构是主要的热传递途径；（4）遮阳与通风对建筑能耗有重要影响。

目前建筑领域实施近零碳排放区示范工程的重点和难点主要包括：（1）提高近零碳技术创新的实用性和集成程度；（2）强化全过程全链条的建筑节能设计运营；（3）加强既有建筑的节能化改造的研究；（4）完善近零碳建筑评价体系和认证标准。

2.2 建筑领域碳排放评价范围与边界

2.2.1 建筑领域近零碳排放的内涵

本研究提出的“近零碳建筑”，是指建筑在运营期间，全年的能耗基本由场地产生的可再生能源提供，碳排放趋近于零。其主要特点是除了强调建筑围护结构被动式节能设计外，将建筑能源需求转向太阳能、风能、浅层地热能、生物质能等可再生能源，为人类、建筑与环境和谐共生寻找到最佳的解决方案。

2.2.2 本研究提出的建筑领域碳排放评价范围与边界

本研究主要围绕建筑在运营周期如何实现温室气体排放最大程度接近零。从建筑生命周期来看，近零碳建筑主要评价建筑运营阶段温室气体排放；从考察周期来看，近零碳建筑的碳排放核算周期应为年；从空间边界来看，近零碳建筑的碳排放空间边界为建筑物土地许可证边界；从评价内容来看，近零碳建筑的碳排放评价包括为该建筑提供服务的能量转换与输送系统（如各种形式的发电系统、集中供冷系统等）的燃煤、燃油、燃气、生物质能源、风能、太阳能、垃圾产热等能量所产生的碳排放^[9]。本研究参考国内外建筑碳排放评价范围的界定以及国家发改委发布的《省级温室气体清单编制指南》和《公共建筑运营单位（企业）温室气体排放核算方法和报告指南（试行）》，结合广东建筑领域碳排放的主要影响因素，将建筑碳排放评价的范围划分如表 2-1 所示。

表 2-1 “近零碳建筑”碳排放评价范围

评价范围	范围说明	参考标准
直接排放	<ul style="list-style-type: none">项目范围内锅炉、后备电源等设备燃烧天然气、柴油等化石燃料产生的排放；考虑项目范围内绿化等碳汇；	参照建筑行业相关碳排放核算标准及《省级温室气体清单编制指南》
间接排放	<ul style="list-style-type: none">建筑空调通风系统、生活热水系统、照明采光系统、电梯控制系统等楼宇设备，以及给排水系统、供配电系统、垃圾处理系统等配套设施在运营期间使用外购的电力、热力导致的排放；考虑电力调入调出情景：光伏发电、风力发电、生物质燃烧等可再生能源利用外输能源产生的减排量；	
抵消机制	<ul style="list-style-type: none">项目管理主体或用户为抵消项目范围内碳排放量购买的外部核证减排量(限定比例)，例如广东省碳普惠减排量(PHCER)。	减排量备案证明

2.3 近零碳排放区示范工程建筑领域技术分析

2.3.1 技术概况

根据对国内外建筑领域低碳技术应用现状情况以及零碳建筑时间案例的分析，可以看到目前国内外在建筑领域碳排放控制方面主要的三个技术特征：

一是设计阶段决定建筑运营产生的碳排放。由于建筑所在区域周边环境、气候条件、光照以及风向等因素对建筑运营产生的碳排放起到重要的决定性作用，随着“零碳”、“零能耗”等概念的进一步推广，零碳建筑设计的理念将引入到建筑的规划设计阶段。规划项目设计时，充分利用多种低碳技术来量身打造，如利用建筑布局加强自然通风与自然风光，避免太阳的直接照射；利用建筑形体形成自遮阳体系；利用各种计算机模拟技术开展建筑设计优化等。

二是强调被动式技术与主动式技术相结合。近零碳建筑将通过加强被动式技术的应用，强化建筑对自然资源的利用，降低建筑原有传统能源的利用需求，并利用主动式技术弥补被动式技术对环境调节能力的不足。

三是可再生能源的使用至关重要。由于广东省的气候特征，夏季空调能耗较高，只有进一步加大对太阳能、地热能以及生物质能等可再生能源的运用，才能抵消对市政用电的依赖。

2.3.2 规划与布局

建筑的朝向、布局形态直接影响到建筑所接收到的太阳辐射量以及热损失量，从而影响建筑能耗。目前，广东省在建筑朝向与布局方面的较为成熟的技术包括采用优化建筑朝向、优化建筑总体布局、优化建筑平面布局等。

未来，在建筑朝向与布局设计中，优化建筑朝向、总体布局、平面布局等技术依然发挥重要作用。随着软件模拟技术的发展，建筑能耗模拟技术将在该领域扮演更为重要角色。建筑能耗模拟技术主要指通过 Ecotect、EnergyPlus、DOE-2 等软件对建筑能耗进行模拟技术。通过运用软件，可以针对不同的建筑方案建立数字化模型，在建筑的采光、通风等方面进行模拟比对，选择最优的建筑朝向和布局方案。该技术的节能减碳效果好，经济性较高，但由于建筑能耗模拟技术运用具有一定难度，有待推广。

2.3.3 围护结构

建筑的围护结构主要包括墙体、屋面、外窗玻璃等，是建筑物吸收热量的关键部位。目前，广东省在建筑围护结构方面的低碳技术主要集中在提高围护结构的热工性能以及采取遮阳隔热措施。常用较为成熟的技术包括采用建筑自遮阳技术、外墙及屋面材料隔热技术、门窗节能技术、架空屋面技术、构件遮阳技术等。

未来，在建筑围护结构领域，架空屋面、节能门窗以及遮阳构件等现有高效节能减碳技术将会被进一步推广。随着建筑智能化发展，智能遮阳系统以及立体绿化表皮、屋顶系统将会扮演愈加重要角色。智能调节控制的遮阳系统可根据太阳高度角变化以及使用者的需求，对遮阳构件的角度进行调节，达到最有效节能。立体绿化表皮及绿色屋顶技术是通过绿化后的建筑由于植物本身对太阳辐射有反射和遮挡作用，其表面温度会降低，这种降温效应在炎热夏季午后的高温时段最为明显。

2.3.4 通风系统

目前，广东省在通风系统的低碳技术主要集中在对自然通风的高效利用上。常用较为成熟的技术包括运用对流通风、热压通风、冷巷通风等设计手法增加自然通风。对流通风指空气由一幢大厦或房间的一边进入，流动至另一边离开。热压通风技术是基于一定空间范围中空气温度差所形成的空气密度不同，由此而形成的热空气上升从建筑顶部通风口排出、冷空气从建筑底部涌入的空气流动现象。冷巷通风技术源于岭南传统建筑的“冷巷”，即传统聚落中具有遮阳、通风效果的窄巷道，在其中的空气可以得到冷却，作为通风冷热源之间的风道，与天井或庭院共同构成建筑自然通风系统，有效组织自然通风。

未来，在建筑围护结构领域，对流通风、热压通风、冷巷通风等传统设计手法仍将发挥作用。风帽等辅助通风设备，结合自然通风与机械通风优点的混合通风方式将被进一步推广。风帽技术是一种安装在屋顶的风驱动热回收装置，利用自然界的自然风速推动风机的涡轮旋转及室内外空气对流的原理，将任何平行方向的空气流动，加速并转变为由下而上垂直的空气流动，以提高室内通风换气效果，从而免去了传统空调通风系统的能耗同时回收显热和潜热。混合通风技术是通过自然通风和机械通风的相互转换或同时使用这两种通风模式来实现。

2.3.5 空调系统

目前，广东省在空调系统的低碳技术主要集中在合理选用冷热源、建筑冷热输配系统的节能减排技术等方面。选用合适冷热源是根据建筑所处环境特点，因地制宜地利用空气源、水源、夜空冷源、太阳辐射等自然冷热源。建筑冷热输配系统的节能技术是通过实现泵和风机与输配管网的匹配，实现输配系统的节能。

未来，合理设计空调系统等设计手法在节能减排方面仍将发挥重要作用。蓄冰空调技术、温湿度独立控制空调技术等相关空调技术将会更广泛应用到低碳建筑工程中。蓄冰空调作为蓄能空调的一种，在电网负荷低谷期制冷，并通过蓄冷介质的显热与相变潜热将冷量积蓄起来，在用电高峰期再将冷量释放，以承担高峰期空调所需的全部与部分负荷。温湿度独立控制空调系统中，采用温度与湿度两套独立的空调控制系统，分别控制、调节室内的温度与湿度，从而避免了常规空调系统中热湿联合处理所带来的损失。

2.3.6 照明系统

目前，广东省建筑在照明系统的低碳技术主要集中在运用设计手段最大化自然采用、选用 LED 等节能灯具等方面。充分利用自然采光是通过中庭、天窗、侧窗、采光井等建筑方式使得室内采光最大限度地利用自然采光，减少人工照明的使用。在同等使用条件及照明效果的情况下，LED 节能灯具耗电量只有传统灯具的三分之一，该技术节能减碳效果显著，目前已得到广泛推广和运用。

未来，随着建筑智能化发展，照明智能控制系统将会愈加发挥其减少照明能耗、延长灯具使用寿命的作用。导光管、光纤等照明设备将会更广泛应用在如地下车库、大进深空间等难以利用自然光的建筑空间中。导光管是采用采光罩、传输系统、弯管、漫射器等部件，高效利用自然光。照明智能控制技术是通过为照明系统分别安装感应及控制装置，进行动态调光控制。

2.3.7 可再生能源利用

目前，广东省建筑在可再生能源利用领域的低碳技术主要以太阳能、生物质能、风能等可再生能源利用技术为主，其中，太阳能光伏发电与太阳能供热水等技术应用较为广泛。太阳能光伏发电技术是根据光生伏特效应原理，利用太阳能

电池将太阳光能直接转化为电能。太阳能供热水技术是利用太阳能集热器采集太阳热量，在阳光的照射下使太阳的光能充分转化为热能。以生物质能源做为燃料的锅炉叫生物质锅炉，生物质能源可以以沼气、压缩成型固体燃料、气化生产燃气、气化发电、生产燃料酒精、热裂解生产生物柴油等形式存在。生物柴油三联供技术是通过使用生物柴油（由废弃食油提炼）供电，过程中产生的废热可用作制冷和除湿。风力发电技术是指把风的动能转为电能。余热/废热利用技术是将能源利用设备中没有被利用的能源，也就是多余、废弃的能源进行回收利用。

未来，随着对建筑节能要求的进一步提升，可再生能源利用的领域将进一步拓宽，地热能以及生物质能的利用将进一步加强，地源热泵、水源热泵以及生物质锅炉等相关可再生能源利用技术将更广泛应用。此外，随着太阳能光电玻璃与太阳能电池瓦等将太阳能电池板与建筑材料相结合的产物进一步普及，将推动太阳能板作为建筑的一部分，与建筑融为一体，实用又不失美观。

2.3.8 结论

根据对国内外建筑领域现有低碳技术与未来近零碳技术发展趋势的分析，从建筑规划与布局、建筑围护结构、通风系统、空调系统、照明系统、可再生能源利用等 6 个技术领域，对各类技术的应用、普及以及减碳效果开展了具体的介绍分析，结合各类技术的应用实例，考虑各类技术的经济性、减碳成效、应用领域以及目前的普及度进行初步的判断，可以得出未来广东省推进近零碳建筑示范工程所适宜的近零碳技术。其中，外墙屋面材料隔热技术、节能门窗技术、架空屋面技术、构件遮阳技术、智能遮阳系统、混合通风、LED 节能照明灯具、照明智能控制技术、太阳能光伏发电技术、太阳能供热水技术、太阳能与建筑一体化技术等技术措施，以及对流通风、建筑自遮阳、选用合适的冷热源、自然采光最大化等设计手法具有较高的推广性，可在后续近零碳排放区示范工程建筑领域中进一步推广。

2.4 近零碳排放区示范工程建筑领域技术路线建议

总体看来，在建筑领域的近零碳排放主要有六大方面 35 项技术（表 2-2，图 2-1），其中优化建筑朝向、软件模拟能耗优化技术、建筑自遮阳、外墙屋面

材料隔热技术、智能遮阳系统、选用合适的冷热源、混合通风、蓄冰空调技术等 16 项技术措施具有较好的碳减排效益和减排潜力。由于我国幅员辽阔，不同地区气候环境差异较大，各技术的推广难度和减排效果也会存在差异，广东应根据地区气候特点，选择符合地方实际的建筑近零碳技术措施。

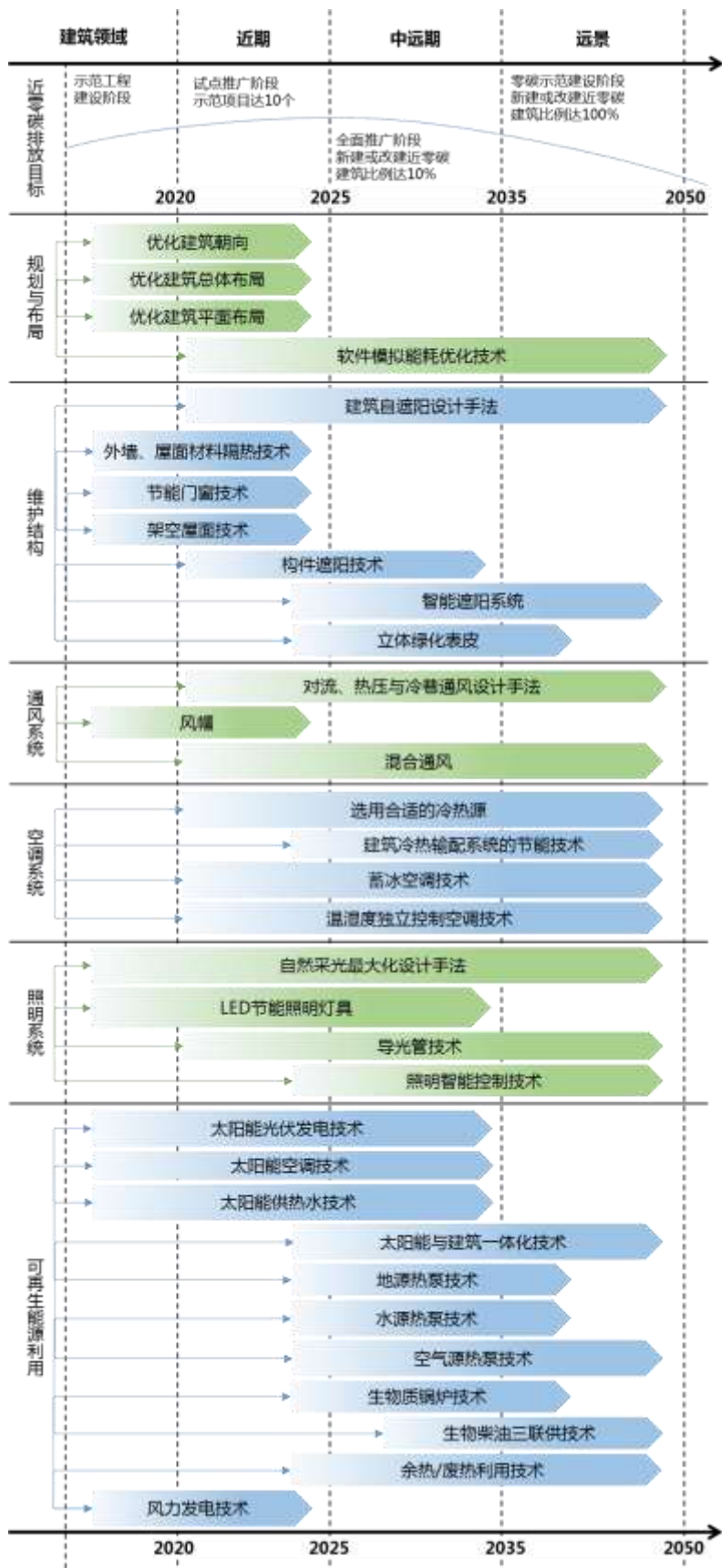
表 2-2 建筑领域实施近零碳排放区示范工程技术趋势分析评估

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		2020-2025	2025-2035	2035-2050			
规划与布局	优化建筑朝向	○			▼▼▼	+++++	★★★★
	优化建筑总体布局	○			▼▼	++++	★★★
	优化建筑平面布局	○			▼▼	++++	★★★
	软件模拟能耗优化技术	△		○	▼▼▼	++++	★★★★
围护结构	建筑自遮阳设计手法	△		○	▼▼▼	+++	★★★★
	外墙、屋面材料隔热技术	○			▼▼▼▼ ▼	+++	★★★★★
	节能门窗技术	○			▼▼▼	+++	★★★
	架空屋面技术	○			▼▼▼	+++	★★★
	构件遮阳技术	△	○		▼▼▼	++++	★★
	智能遮阳系统	△		○	▼▼▼▼	++	★★★★
	立体绿化表皮	△	○		▼▼▼	++	★★★
通风系统	对流通风	△		○	▼▼▼▼	++++	★★★
	热压通风	△		○	▼▼▼	+++	★★★
	冷巷通风	△		○	▼▼▼▼	++++	★★★
	风帽	○			▼▼▼	+++	★★★
	混合通风	△		○	▼▼▼	++++	★★★★
空调系统	选用合适的冷热源	△		○	▼▼▼▼	++++	★★★★
	建筑冷热输配系统的节能技术	△		○	▼▼▼	+++	★★
	蓄冰空调技术	△		○	▼▼▼▼	++	★★★★
	温湿度独立控制空调技术	△		○	▼▼▼	+++	★★★
照明系统	自然采光最大化	△		○	▼▼▼▼	++++	★★★★
	LED 节能照明灯具	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★★
	导光管技术	△		○	▼▼▼	++	★★
	照明智能控制技术	△		○	▼▼▼	++	★★★
可再生能源利用	太阳能光伏发电技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★
	太阳能空调技术	△	○		▼▼	++	★★
	太阳能供热技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★
	太阳能与建筑一体化技术	△		○	▼▼▼	+++	★★★★
	地源热泵技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		2020-2025	2025-2035	2035-2050			
	水源热泵技术	△	○		▼▼▼	+++	★★★★
	空气源热泵技术	△		○	▼▼▼	+++	★★★★
	生物质锅炉技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★
	生物柴油三联供技术		△	○	▼▼▼▼	+++	★★★
	余热/废热利用技术	△		○	▼▼▼	+++	★★★
	风力发电技术	○			▼▼▼▼	+++	★★★★

注：

- ① 预期技术应用和普及年限，△表示预期技术应用年限，○表示预期技术普及年限；
- ② 技术减排潜力，▼越多表示技术减排效果越好，最优5个▼；
- ③ 技术经济性，+越多表示单位投入减排量（tCO₂/万元）越多，经济性越好，最优5个+；
- ④ 技术综合推荐等级，依据技术的减排潜力及经济性进行综合推荐，★越多表示建议该项技术研发推广的力度应越大，最高等级5个★。



(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 2-1 建筑领域实施近零碳排放区示范工程技术路线图

参考文献

- [1] 《中国建筑能耗研究报告（2017）》.
- [2] 广东省统计局,国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2006, 2011.
- [3] 邱平,冀兆良,张金明. 广州城市居住建筑能耗现状及节能浅析[J]. 建筑节能, 2010, 38(08):48-51.
- [4] 李志生,李冬梅,梅胜,王晓霞,李利新,卢绍辉. 夏热冬暖地区办公建筑能耗模拟与分析[J]. 节能技术, 2006(06):483-486.
- [5] 胡达明,陈定艺,单平平,黄福来,黄海波. 夏热冬暖地区居住建筑朝向对能耗的影响分析[J]. 建筑节能, 2017, 45(05):57-60.
- [6] CHAN A L S. Effect of adjacent shading on the thermal performance of residential buildings in a subtropical region[J]. Appl Energy, 2012, 92(2): 516-522.
- [7] 陈莎,崔东阁,张慧娟. 建筑物碳排放计算方法及案例研究[J]. 北京工业大学学报, 2016, 42(04):594-600.
- [8] 诸大建,王翀,陈汉云. 从低碳建筑到零碳建筑概念辨析[J]. 城市建筑, 2014(2):222-224.
- [9] 陈硕. 零碳建筑技术指南[J]. 建筑技艺, 2011(Z5):127-131.
- [10] 《建筑碳排放计算标准（征求意见稿）》（建标工征[2017]38号）.
- [11] 张继军,夏热冬暖公共建筑被动式节能共性技术研究, [硕士学位论文], 哈尔滨工业大学, 2013.
- [12] 马京涛,广州地区窗口外遮阳构造透光率分析, [硕士学位论文], 广州:华南理工大学, 2003.
- [13] http://www.eere.energy.gov/consumer/news_detail.cfm/news_id=9566
- [14] 阳江英,丛刚,彭家惠. 夏热冬冷地区外窗遮阳对居住建筑能耗的影响[J]. 墙材革新与建筑节能, 2009, (05): p48-50.
- [15] 刘刚. 基于有限元分析与试验的窗口物理环境品质综合提升研究[D]. 博士学位论文, 天津大学, 2008.
- [16] Athanassios Tzempelikos, AndrasK thienitis, The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. Solar Energy 81(2007)369-382.
- [17] 马伟斌. 南方建筑节能技术集成系统示范. 中国科学院广州能源研究所, 2002.
- [18] 李诚. 零碳建筑的发展现状[J]. 绿色建筑. 2015; 3: 19-23.
- [19] 邓可祥,谢华,透光型围护结构对建筑能耗的影响. 新型建筑材料, 2008(12): 68-69.
- [20] Akbari H, Kurn DM, Bretz SE, et al. Peak power and cooling energy savings of shade energy savings of shade trees [J]. Energy and Buildings, 1997, 25(2): 139 - 148.
- [21] 林宪德. 台湾第一座零碳绿建筑——成功大学绿色魔法学校[J]. 建设科技, 2011(02):35-39.
- [22] 《广东省“十三五”建筑节能与绿色建筑发展规划》

第3章 近零碳排放区示范工程交通领域

技术路线分析

交通领域作为区域碳排放的主要来源之一，随着社会经济活动日趋活跃，跨区域交流更加频繁，交通领域碳排放呈快速上涨趋势。据 2013 年 IPCC 第五次评估报告，全球交通运输产生的二氧化碳占碳排放总量的 14%，仅次于能源供应、工业和农林土地利用^[1]。根据发达国家过去发展的经验表明，交通运输行业的能源消费及碳排在总量中占的比例会随经济发展越来越大。因此，“技术手段+政策支持”双管齐下，来减少交通运输产生的碳排放，对于构建可持续发展的城市和地区具有十分重要的意义。本章将结合广东省交通领域碳排放现状，分析适用于不同交通类型近零碳排放区示范工程的技术，并提出近零碳排放区示范工程交通领域建设目标、技术路线和实施建议，为交通领域主管部门、项目规划建设和运营单位实施近零碳排放区示范工程提供参考。

3.1 交通领域碳排放现状分析

随着经济的发展和城市化进程的加速，交通运输领域在社会发展中的地位日益重要，随着广东省交通行业飞速发展，能源消费和二氧化碳排放也是逐年增加。经核算，2015 年全省交通运输部门能源消费约 3100 万吨标煤，较 2010 年增加 13.4%。其中水上运输业增加最为明显，2015 年较 2010 年增加 49.0%，航空运输业增加 26.1%，道路运输增加约 2.0%。道路运输中使用电力、燃气等清洁能源的占比逐渐增加。

2015 年营运客车、营运货车、营运船舶单位运输周转量能耗和港口生产单位吞吐量综合能耗对比 2010 年分别下降 14.5%、14.3%、15.2%和 15.0%，均完成节能减排“十二五”规划目标。2015 年，全省交通运输行业用能结构显著改善，柴油、燃料油、汽油、清洁能源消费比例为 66:21:9:4，天然气及电力等清洁能源消费量持续上升。

基于《省级温室气体清单编制指南》和《广东省统计年鉴》，测算得到 2015 年广东省交通部门的 CO₂排放量约为 9100 万吨（包括各行业移动源排放），同比

增长 2.2%，较 2010 年增加约 54.2%，2010 年到 2012 年期间，CO₂ 排放增加较为明显，年均增速约 21.9%，2013 年到 2015 年增速比较平稳，年均增速约 1.3%。2015 年全省营运客车、营运货车、营运船舶单位运输周转量 CO₂ 排放及港口生产单位吞吐量综合 CO₂ 排放对比 2010 年分别下降 15.4%、13.1%、16.6% 和 18.6%，均完成全省交通节能减排“十二五”规划目标。

2015 年广东省交通行业 CO₂ 排放中，公路是主要排放源，约占总排放的 79.5%，水运约占 11.2%，航空约占 9.2%。

2015 年广东省公路通车里程达到 216023 公里，较 2010 年增加约 13.6%；民用汽车超过 1470 万辆，较 2010 年增加约 87.8%。道路运输业是广东交通行业 CO₂ 排放主要排放源，2015 年全省道路运输业 CO₂ 排放约 7128 万吨，约占总排放量的 78.3%，较 2010 年增加约 60.1%，年均增速约 9.8%。

2015 年全省港口货物吞吐量约 171109 万吨，港口旅客吞吐量约 3432 万人，分别同比增长约 3.4% 和 2.6%，较 2010 年分别增长约 39.9% 和 38.2%。2015 年全省水路运输 CO₂ 排放约 1019 万吨，较 2010 年增加约 30.9%，年均增长约 5.53%。

2015 年全省民航航线里程约 237.29 万公里，民用运输飞机 625 架，航站楼旅客吞吐量约 10493 万人，较 2010 年分别增长约 31.3%，41.7% 和 45.9%。2015 年航空运输 CO₂ 排放约 989 万吨，较 2010 年增加约 61.7%，年均增长约 10.1%。

广东省交通领域在低碳发展工作上取得了一定成绩，但面对日益严峻的能源资源形式，以及全面落实绿色发展理念、创建绿色交通省的更高要求，还存在一定的差距与不足，主要体现在：（1）交通运输节能结构性矛盾依然存在；（2）交通运输节能减排监管能力仍显薄弱；（3）交通运输节能减排科技支撑与服务能力有待增强；（4）交通运输节能减排市场机制亟待强化。

3.2 交通领域碳排放评价范围与边界

3.2.1 交通领域近零碳排放的内涵

考虑到未来推广低碳技术应用、“零碳”创新示范以及对碳排放情况的评估，本研究提出的“近零碳交通”，是指交通运输企业/项目（或其它申报主体）在运营期间，全年在边界范围内的用能系统/运输工具能耗基本由边界内利用的可

再生能源提供，申报主体边界内的总碳排放量趋近于零。其主要特点是除了强调交通运输边界内建筑物的电气系统、空调通风等系统与运营车辆的节能设计外，对太阳能光伏等可再生能源在交通运输领域中加以利用，结合绿色低碳交通运输技术的应用趋势，对未来交通领域实现零碳化的潜力进行分析和研判。

3.2.2 本研究提出的交通领域碳排放评价范围与边界

交通枢纽站的碳排放主要来自于枢纽站各电气系统、空调通风系统及相关辅助系统的耗能和运营工具的耗能，其中：1) **道路交通领域**的主要耗能设备有环控设备、电梯、弱电系统、给水系统、变电所、照明、控制中心、空调通风等；2) **轨道交通领域**的主要耗能设备有牵引供电、通风空调、照明、电扶梯、给排水系统等；3) **港口交通领域**的主要耗能设备有起重机械、输送机械、装卸搬运机械、专用机械、照明、空调通风、电梯、给排水、其它特殊设备等；4) **航空交通领域**的主要耗能设备有照明、电器设备、空调、通风设备、电梯、给排水、变压器损耗、用热等。

交通领域实施近零碳排放，即考虑交通运输边界内用能设备及运营工具的总能耗基本由边界内利用的可再生能源提供，在总碳排放量中可将边界内绿化产生的碳汇进行扣减。

本研究主要从交通领域近零碳排放评价的阶段、周期、主体与内容四个方面确定建筑碳排放评价边界。从评价阶段来看，交通领域近零碳排放主要评价交通运输边界内的运营阶段碳排放；从周期来看，交通领域近零碳排放的核算周期为年；从评价主体来看，交通领域近零碳排放的主体边界为交通运输申报主体的土地许可证边界（包含主体所拥有的运营工具）；从评价内容来看，交通领域近零碳排放评价包括交通运输主体提供服务的各类系统及运营工具所消耗的燃煤、燃油、燃气等燃料所产生的碳排放、利用的可再生能源量及碳汇抵扣的碳排放量。

本研究参考国内外建筑碳排放评价范围的界定以及国家发改委发布的《省级温室气体清单编制指南》和《陆上交通运输企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》，结合广东建筑碳排放的主要影响因素，将交通领域碳排放评价的范围划分如表 3-1 所示。

表 3-1 “近零碳交通”碳排放评价范围

评价范围	范围说明	参考标准
直接排放	<ul style="list-style-type: none"> • 锅炉等设备燃烧天然气、柴油等化石燃料产生的排放；机场、港区场内热电联产系统燃烧天然气等化石燃料产生的排放；机场、港区场内运输车辆或装卸设备燃烧柴油、汽油、液化天然气等化石燃料产生的排放； • 考虑项目范围内绿化等碳； 	参照交通行业相关碳排放核算标准及《省级温室气体清单编制指南》
间接排放	<ul style="list-style-type: none"> • 项目使用外购的电力、供热和/或制冷等二次能源产生的排放； • 考虑电力调入调出情景：光伏发电、风力发电、生物质燃烧等可再生能源利用外输能源产生的减排量； 	
抵消机制	<ul style="list-style-type: none"> • 项目管理主体或乘客为抵消项目范围内碳排放量购买的外部核证减排量(限定比例)，例如广东省碳普惠减排量(PHCER)。 	减排量备案证明

3.3 近零碳排放区示范工程交通领域技术分析

根据广东省交通领域近零碳排放试点建设项目的类型(交通枢纽站及其运载工具)和建设情况(新建或改造)，结合项目的自身特点，针对**道路交通**的新能源汽车技术、车辆节能技术、道路设计与交通管理技术等；**轨道交通**的再生制动、重载运输、牵引、辅助及控制系统高效化、新材料、车体轻量化、新型机车等节能减排技术；**港口交通**的起重机“油改电”、柴油机转速控制、起重机势能回收、清洁燃料应用、岸电应用和绿色船舶等节能减排技术；**航空交通**的高效清洁发动机、轻质替代材料、地面节能滑行、机场协同决策系统、新型清洁能源应用和绿色机场建设等节能减排技术，以及枢纽站内的通风系统、照明系统、空调系统以及可再生能源利用等方面(该部分节能减排技术可详见第2章近零碳排放区示范工程建筑领域技术分析)，科学选择减少碳排增加碳汇的技术与方法，将零碳理念始终贯穿交通领域近零碳建设方案中。

3.3.1 道路交通

1. 新能源汽车技术。

(1) **纯电动汽车**。纯电动汽车是现代汽车技术、电化学、新材料、新能源、

微电子学、电力拖动技术、电子计算机智能控制等高新技术的集成产物。电动发电机和车载电池是其关键部件。纯电动汽车在运行使用过程中不产生 CO₂，具有无污染、低噪音、高效能、易维修的优点。作为纯电动汽车的车载电源，既可以来源于煤等化石能源，也可以来源于水能、风能、太阳能、热能等可再生能源。

(2) 混合动力汽车。混合动力汽车是指车上装有两个或两个以上动力源并能协调工作的车辆。混合动力汽车对现有汽车制造技术以及社会基础设施改动要求较少，具有更好的燃油经济性，在运行使用过程中比传统燃料汽车节约燃油 30-50%。随着汽车电池尤其是锂电池技术的突破性发展，混合动力汽车必将向着纯电动汽车方向发展其关键技术是混合动力。

(3) 燃料电池汽车。燃料电池汽车是以燃料电池作为汽车的动力源，将燃料中的化学能直接转化为电能来进行动力驱动的新型汽车，它主要包括氢燃料电池车和生物（粮食和非粮食）燃料车。与混合动力汽车和纯电动汽车相比，它最大的特点就是完全不进行燃料的燃烧过程，而是通过电化学的方法，将氢和氧结合，直接产生电和热，具有无污染、高效能、低噪音、良好的动力及操控系统等优点，从能源的利用和环境保护方面看，它也是一种理想车辆。

(4) 太阳能汽车。太阳能汽车是利用汽车车身直接把太阳能转化为电能来作为动力源的汽车。虽然太阳能作为无污染的可再生能源，取之不尽用之不竭，但太阳能必须以蓄电池的形式储存，用于汽车的太阳能电池，因技术上难以取得突破，价格非常昂贵，短期内难以普及应用，但从长远看，有可能成为未来交通工具的重要品种。

2. 车辆节能技术。

(1) 车辆行驶效率提高技术。① 减少行驶阻力技术。空气阻力每减少 10%，汽车每百千米油耗可以减少 0.15 升，从而有效减少了汽车温室气体排放。例如：车身局部优化设计技术、外型整体优化技术以及提高车身表面质量的技术等。② 车身轻量化技术。汽车本身的重量对燃油消耗影响最大，汽车节油 37% 靠减轻汽车重量，汽车总重量减轻 10%，可降低油耗约 8%，从而使汽车温室气体排放减少。

(2) 汽车发动机运行节能技术。对传统汽车发动机进行改造，改善发动机的性能，可以提高燃油利用率，降低能耗和温室气体排放等。

总之，每项节能技术都具有一定的节能减排效果，但要使汽车低燃油消耗和碳排放的效果达到最大，既需要将单个的技术集成应用，更要发挥人的主观能动性，实现绿色驾驶。

3. 道路设计与交通管理技术。

(1)道路低碳化设计。① 道路的微循环设计。改变传统的大街坊路网设计，增加城市的支路网密度，创建街道密集网络，改善步行、自行车和机动车的出行环境，形成道路的微循环，尽可能减少大多数乘客的换乘次数。②道路新材料。绿色道路胶凝材料。以工业废渣为主要原料生产的道路胶凝材料作为道路水泥替代产品，能源消耗只需要普通硅酸盐水泥的 1/2-1/3，不存在水泥生产过程中的碳排放，是一种低碳道路建设材料。2) 泡沫沥青。泡沫沥青技术就是通过向热沥青中加入一定量的常温水，改善沥青粘性，降低沥青混合料生产过程中的拌和温度，从而节约能源消耗、减少碳排放。

(2) 交通智慧管理技术。智能交通技术 (ITS) 是以汽车为节点、网络为基础，将电子视野技术、电子传感技术、测量技术、判断处理技术、数据库技术等众多高科技集成为一个大系统，实时、准确、高效地进行综合交通运输管理。有数据显示，利用现有的智能交通技术至少可以降低 15% 的汽车能耗，减少 15% 的氮氧化物排放，减少 15% 的拥堵和 15% 的交通事故。

3.3.2 轨道交通

1. 节能设备技术。

(1) 再生制动节能技术。由于城市轨道交通车辆采用再生制动，停车时需要向电网回馈能量，如果电网的吸收能力不足，多余的能量将会消耗在车辆自身携带的制动电阻或摩擦空气制动上，能量利用率就较低。如果能够在供电电网中增加储存能量的装置（如超级电容），不能被其他车辆吸收的能量可迅速储存在超级电容上，并在车辆需要加速运行时释放出来，从而节约能耗，降低排放。

(2) 重载运输节能技术。重载运输能降低能耗。铁路重载运输已成为许多国家追求的现代货运组织方式，被世界公认为铁路货运发展的重要趋势。

(3) 牵引、辅助及控制系统高效节能。在车辆设计、制造和运用时应采取

各种措施,以降低车辆运营能耗。城市轨道交通运营公司通过合理调整运营时分,可在高峰时按设计旅行速度全速运行,确保大运量输送,在低峰时段则按照适当降低的速度运行,以实现节能。

2. 车体系统优化。

(1) **新材料节能技术。**通过机车和车厢制造材料的更新实现节能,其目的是通过开发车辆发电系统的降耗技术以及能量储藏技术来实现铁路系统的进一步节能化。

(2) **车体轻量化。**在满足使用要求的前提下降低列车质量,可降低运营能耗和全生命周期成本。香港地铁长期运营研究经验表明,空载质量每轻 1 吨,每年可节电 8000kWh,降低 CO₂ 排放 6.2t,30 年寿命期内可节电 24 万 kWh,降低 CO₂ 排放 186 吨。

(3) **新型节能机车。**由于列车能耗主要体现在机车上,因此,机车是否节能是降低列车运行能耗的关键所在。因此,设计制造新型节能机车,能有效实现节能目标。

3.3.3 港口交通

1. 港口装备节能技术。

(1) **轮胎式集装箱门式起重机采用“油改电”技术。**我国港口集装箱堆场装卸设备的 90%以上采用轮胎式集装箱门式起重机(简称 RTG)。通过 RTG“油改电”,将起重机驱动系统动力来源由柴油改成电力,可以有效减少装卸设备对港口所在区域包括 CO₂ 在内的各种排放。

(2) **采用根据负载控制柴油机转速技术。**常规 RTG 只要处于工作状态,不论是否起吊集装箱,发电机组都处于运行状态。由于几乎 90%的运行时间为轻负荷,RTG 长期处于大马拉小车状态。基于负载控制的 RTG 发动机调速技术可使发电机组根据负载的变化而改变机组转速,提高运行效率,最高可节省油耗 50%以上。

(3) **起重机采用势能回收或超级电容技术。**起重机势能回收与超级电容技术可应用于港口岸边集装箱起重机、桥式抓斗起重机、门座起重机、门式起重机

和港口轮胎起重机等。势能回收是有效地将势能产生的电动机再生电能高效回送给交流电网，供周边其它用电设备使用，节电效果十分明显，一般节电率可达 30%。

2. 清洁能源利用。

(1) 采用天然气为燃料或电力驱动的流动机械或水平运输车辆。现阶段，港口流动机械和水平运输车辆大多采用燃油驱动，是港区燃油消耗和排放的重要因素。以港内牵引车为例，其消耗的燃油一般可占到港区装卸设备总油耗的 35%。采用各种基于外接电力、锂电池组、LNG 和燃油的混合动力流动机械与车辆的使用，能十分显著的降低港区燃油消耗和排放，提高港区环保水平。

(2) 靠港船舶使用岸电。美国西雅图港 2005 年 CO₂ 排放来源分析结果表明，运输船舶靠港发电机发电、运输船舶港内运行以及港作船舶运作排放的 CO₂ 分别占全港 CO₂ 排放的 35%、4% 和 5%。靠港船舶使用岸电，能有效降低 CO₂ 排放，目前已在我国连云港港、上海港、深圳蛇口港等地开展示范性应用。

3. 绿色船舶。

(1) 绿色动力技术。船舶动力绿色技术是当前技术发展的重点，目前已经较为成熟或正在研发的有关技术包括低转速长冲程设计技术、降低最大持续运转功率（MCR）点油耗技术、气体燃料技术等。

(2) 船体设计优化。① 流体设计优化。主要是降低船舶的航行阻力和提高船舶的推进效率。在降低船舶航行阻力方面主要包括降低兴波阻力、纵倾优化、风阻优化等。在提高船舶推进效率方面，通过大直径螺旋桨匹配低速主机来实现。② 减轻船舶重量。目前通常采用的方法有两种，一是对船体结构进行优化，在满足安全性和使用性的前提下，尽可能的减少板材的用量；二是采用轻质复合材料替代传统的钢材。

(3) 绿色船舶营运技术。① 船舶能效优化系统。船舶能效优化系统各国船东减少燃料消耗，控制运输成本、降低 CO₂ 排放的有效途径，同时大量减少 NO_x、SO_x 等有害气体的排放。② 岸电技术。全球船舶每年消耗的燃油有 5% 是在港口消耗的。岸电计划是通过岸电替代船上发电，减少 CO₂ 以及硫氧化物，氮氧化物和颗粒物质的排放量。

3.3.4 航空交通

1. 高效节能技术。

(1) **高效清洁发动机。**高效清洁发动机是国际社会关于绿色航空研发的核心和重点，新一代齿轮传动式涡扇发动机、大涵道比涡扇发动机在节能和降噪方面优势显著，使其达到耗油率下降 8%-20%，噪声下降 6-20dB，NO_x 污染物排放减少 40%-80%，运行成本降低 15%-30%。

(2) **轻质替代材料。**航空业轻质替代材料研发和应用的重点包括铝合金、镁合金和复合材料。当前，航空主力机型所用材料呈现以铝合金为主、复合材料为辅的特征，其中复合材料应用比重在逐步增加。

(3) **地面节能滑行。**窄体机地面滑行 3min 的油耗相当于空中飞行 1min 的油耗，飞机每年在地面滑行的油耗而产生的 CO₂ 排放总量不可小觑。例如电动滑行技术装置（EGTS）。经测算，与传统的双发滑行相比，电动滑行可减少 61% 的二氧化碳排放、51% 的氮氧化物排放和 73% 的一氧化碳排放。

(4) **机场协同决策系统。**以往，当航班在等待离场时，飞行员难以掌握准确的起飞时刻，常常需要提前点火、提前推出，并在滑行道上排队等待起飞指令。机场协同决策系统（A-CDM），即通过系统使空管、机场、航空公司、地面保障部门等方面同时共享航班起飞时间，并据此高效互助完成航班保障任务，减少能源消耗。

2. 清洁能源技术。

新型清洁能源包括太阳能电池、生物能源、氢燃料、燃料电池系统等，均取得了长足进步。其他新概念的动力还包括等离子推进、场推进、反重力推进等，也是基础理论研究的热点。例如：生物能源方面，采用生物燃油可降低约 60% 的温室气体排放。

3. 绿色机场建设。

推广实施 GPU（地面电源装置）替代 APU（辅助动力装置）。截止到“十二五”期末，年旅客吞吐量 500 万人次以上机场 APU 替代设备安装率超过 90%，使用率逐年提高，年减排 CO₂ 能力近 30 万吨。

3.4 近零碳排放区示范工程交通领域技术路线建议

根据近零碳排放区示范工程交通领域技术分析,通过专家评估法对交通相关技术的预期应用和普及年限、减排潜力、经济性以及综合推荐等级进行评价,结果如表 3-2 所示,并绘制近零碳排放区示范工程交通领域技术路线图(图 3-1)。

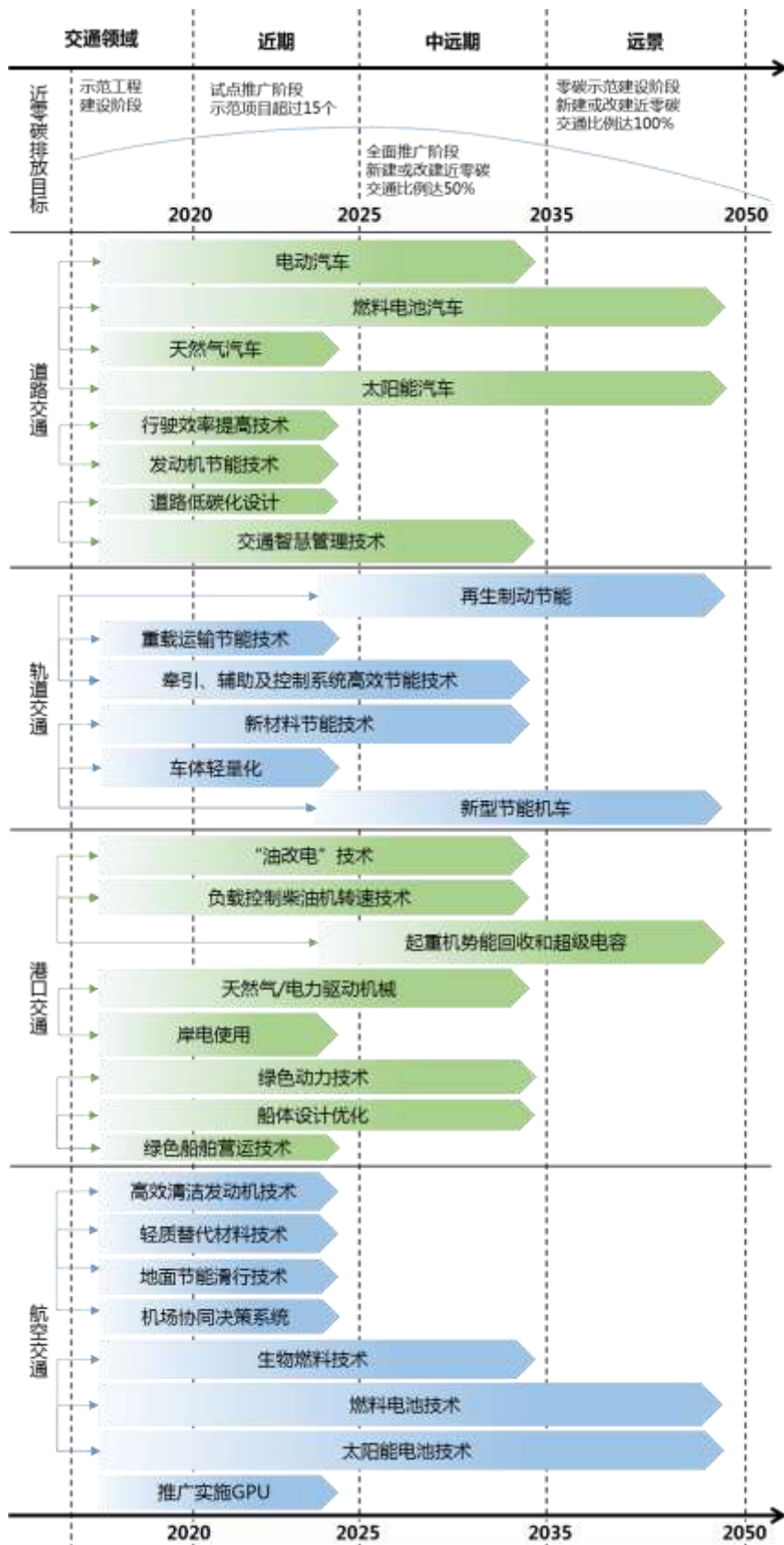
表 3-2 交通领域实施近零碳排放区示范工程技术趋势分析评估

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④	
		2020-2025	2025-2035	2035-2050				
道路交通	新能源汽车	电动汽车	△	○		▼▼▼▼▼	+++++	★★★★★
		燃料电池汽车	△		○	▼▼▼▼▼	+++	★★★★
		天然气汽车	○			▼▼▼▼	+++	★★★
		太阳能汽车	△		○	▼▼▼▼▼	+++	★★★
	车辆节能技术	行驶效率提高技术	○			▼▼▼	++	★★
		发动机节能技术	○			▼▼▼▼	+++++	★★★★
	道路设计与交通管理技术	道路低碳化设计	○			▼▼	+++	★
		交通智慧管理技术	△	○		▼▼▼▼▼	+++++	★★★★★
轨道交通	节能设备技术	再生制动节能	△		○	▼▼▼▼▼	+++++	★★★★★
		重载运输节能技术	○			▼▼▼	++	★★★
		牵引、辅助及控制系统高效节能技术	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★★
	车体系统优化	新材料节能技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★
		车体轻量化	○			▼▼▼▼	+++	★★★★
		新型节能机车	△		○	▼▼▼	+++	★★★
港口交通	港口装备节能技术	“油改电”技术	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★★
		负载控制柴油机转速技术	△	○		▼▼▼	+++	★★★
		起重机势能回收和超级电容	△		○	▼▼▼▼▼	+++++	★★★★★
	清洁能源利用	天然气/电力驱动机械	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★
		岸电使用	○			▼▼▼▼	+++++	★★★★★
	绿色船舶	绿色动力技术	△	○		▼▼▼	+++	★★★

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④	
		2020-2025	2025-2035	2035-2050				
	船体设计优化	△	○		▼▼	++	★★	
	绿色船舶营运技术	○			▼▼	+	★	
航空交通	高效节能技术	高效清洁发动机技术	○			▼▼▼▼	++++	★★★★
		轻质替代材料技术	○			▼▼▼	++++	★★★★
		地面节能滑行技术	○			▼▼▼	++++	★★★
		机场协同决策系统	○			▼▼▼	++++	★★★
	清洁能源技术	生物燃料技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★
		燃料电池技术	△		○	▼▼▼▼▼	++++	★★★★★
		太阳能电池技术	△		○	▼▼▼▼▼	++++	★★★★
绿色机场建设	推广实施 GPU	○			▼▼▼	+++	★★★	

注：

- ① 预期技术应用和普及年限，△表示预期技术应用年限，○表示预期技术普及年限；
- ② 技术减排潜力，▼越多表示技术减排效果越好，最优5个▼；
- ③ 技术经济性，+越多表示单位投入减排量（tCO₂/万元）越多，经济性越好，最优5个+；
- ④ 技术综合推荐等级，依据技术的减排潜力及经济性进行综合推荐，★越多表示建议该项技术研发推广的力度应越大，最高等级5个★。



(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 3-1 交通领域实施近零碳排放区示范工程技术路线图

参考文献

- [1] 胡秀莲, 苗韧. 对 IPCC 第五次评估报告部门减排路径和措施评估结果的解读[J]. 气候变化研究进展. 2014(05): 331-339.
- [2] 池熊伟. 中国交通部门碳排放分析[J]. 鄱阳湖学刊. 2012(04): 56-62.
- [3] 柴麒敏, 傅莎, 郑晓奇, 等. 中国重点部门和行业碳排放总量控制目标及政策研究[J]. 中国人口·资源与环境. 2017(12): 1-7.
- [4] 杨颖. 城市轨道交通低碳技术应用研究[J]. 铁路技术创新. 2011(05): 16-21.
- [5] 刘晋川, 张玉波. 绿色港口建设中的港口装备技术发展[J]. 起重运输机械. 2016(02): 8-11.
- [6] 张信学, 赵峰, 王传荣, 等. 绿色船舶技术发展战略研究[J]. 中国工程科学. 2016(02): 66-71.
- [7] 贾爱娟. 绿色航空技术与产品标准化研究[J]. 航空标准化与质量. 2016(03): 23-26.
- [8] 黄莹, 廖翠萍, 赵黛青. 基于情景分析法的广东交通运输节能减排潜力研究[J]. 开放导报. 2011(04): 40-43.

第4章 近零碳排放区示范工程工业企业领域 技术路线分析

工业领域作为区域最大的碳排放源，在广东省碳排放总量中占比超过六成，但传统行业节能减排技术改造空间不断收窄，淘汰落后产能余量空间大幅缩小，传统行业工业企业节能减排难度不断加大，随着工业领域高质量发展的态势，产业转型升级将能释放出较大的节能减排空间。因此，控制工业领域碳排放仍是未来长期的减排工作重点，也是近零碳排放区示范工程建设的一个重点和难点。本章将结合广东省工业企业领域碳排放现状，分析适用于近零碳排放区示范工程工业企业领域的共性技术和典型行业相关技术，并提出近零碳排放区示范工程工业企业领域建设目标、技术路线和实施建议，为工业领域主管部门、企事业单位实施近零碳排放区示范工程提供参考。

4.1 工业企业领域碳排放现状分析

广东省是我国社会经济发展的先导地区，在快速工业化、城市化的进程中，资源消耗和环境污染问题日益严重，碳排放量的增长不容忽视。广东省是工业大省，能源消耗大省，更是碳排放大省。预计广东省未来的碳排放量仍然高居不下，同时减排潜力巨大。广东省作为国家低碳试点省份，提出到 2020 年全省单位生产总值 CO₂ 排放比 2005 年降低 45% 以上的总目标，因此广东省面临的减排任务十分严峻。

广东省作为中国能源消费量最大的省份之一，能源消费量呈现不断上涨的趋势。近年来，由于大力开展节能减排措施，广东省能源消费量增长速度有一定程度的降低。工业行业作为广东省的支柱产业，对经济社会发展起着决定性的作用。同时，工业行业也是能源消费的主体，占广东省能源消费量的一半以上。根据《广东统计年鉴 2017》的数据对 2016 年广东省各行业的能源消费情况进行了分析（表 4-1），2016 年广东省的能源消费总量合计 31240.75 万吨标煤，其中工业能源消费量为 18217.90 万吨标煤^[1]，占比为 58%，是各行业中能源消费量最大的行业，是节能减碳工作关注的重点行业。

表 4-1 2016 年广东省各行业能源消费情况^[1]

行业	能源消费总量(万吨标准煤)	占比 (%)
农、林、牧、渔业	530.55	2%
工业	18217.90	58%
建筑业	740.18	2%
交通运输、仓储及邮政业	3510.58	11%
批发和零售贸易餐饮业	1591.03	5%
其他行业	1793.80	6%
生活消费	4856.71	16%
能源消费合计	31240.75	100%

为完成节能减排目标，广东省采取了一系列的措施来开展节能减排工作，得到了省政府及相关机构、企业和公众的大力支持，取得了良好的效果。2016年，广东加快实施创新驱动发展战略，着力推进供给侧结构性改革，全省规模以上工业经济保持平稳增长态势，同时产业结构不断优化，转型升级取得一定成效，全省规模以上工业企业累计完成工业增加值突破3万亿元，工业能源消费量比2015年下降了0.5%。进一步了解全省各行业领域碳排放现状及能源消费情况，识别近零碳排放区建设潜在的障碍与挑战，使广东省节能减排措施取得更大的成效，需对广东省内各种工业企业的能源消费情况进行深入研究，并针对典型行业进行重点分析，发掘其进一步节能的潜力。

按照工业生产过程能源消耗强度，目前国内通常将工业企业分为高耗能企业 and 非高耗能企业两类。根据《广东统计年鉴2017》的数据对2016年广东省工业部门的36个行业的能源消费情况进行了分析。根据能源消费总量、工业增加值等数据，将广东省工业行业分为高耗能行业和非高耗能行业，其对应的能源消费、工业增加值及企业数量见表4-2和表4-3。

1. 高耗能型工业企业碳排放特点。

高耗能行业在国际上通常也称为能源密集型行业（Energy-intensive processing industries, EPI）。目前广东省的高耗能行业主要包括六个，分别为：化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、有色金属冶炼及压延加工业、石油加工炼焦及核燃料加工业和电力热力的生产及供应。在这六大高耗能行业中，广东省已经将其中的钢铁、石化、有色金属、水泥、电力5个行业纳入广东省碳排放权交易试点机制体系^[2]，通过该体系来推

动这些行业的节能减排和低碳发展。

从表 4-2 可知，高耗能行业能源消费量占工业能源消费量的比例为 71.7%，是工业行业节能减碳工作的重中之重。高耗能行业大多为重工业，能源消耗巨大，其节能减排的潜力较大，效果明显，应重点分析高耗能行业中能源消费量较高的行业，降低其能源消费量，提高能源效益。高耗能行业中，能源消费量占比排在工业行业前 4 名的行业有：非金属矿物制品业、电力、热力的生产和供应业、黑色金属冶炼及压延加工业和石油加工、炼焦及核燃料加工业，能源消费占工业能源消费的比例分别为 18%、12%、8%和 7%。可选择这四大行业作为高能耗工业企业近零碳排放项目的重点分析对象，挖掘其近零碳排放的潜力。

表 4-2 2016 年高耗能行业占工业能源消费情况

高耗能行业	能源消费总量 (万吨标准煤)	占比 (%)	工业增加值 (亿元)	占比 (%)	企业数量 (家)
有色金属冶炼及压延加工业	427.77	3.28%	491.29	4.83%	616
化学原料及化学制品制造业	1168.36	8.95%	1435.48	14.11%	2193
石油加工、炼焦及核燃料加工业	1322.8	10.13%	896.26	8.81%	84
黑色金属冶炼及压延加工业	1534.36	11.75%	408.65	4.02%	427
电力、热力的生产和供应业	2104.37	16.13%	1946.61	19.13%	364
非金属矿物制品业	3309.56	25.35%	1287.34	12.65%	2865
金属制品业	655.73	5.02%	1404.23	13.8%	3372
橡胶和塑料制品业	766.01	5.87%	1239.72	12.18%	3321
纺织业	652.10	5%	596.06	5.86%	1464
造纸及纸制品业	1112.73	8.52%	468.65	4.61%	1030
高耗能行业能源消费合计	13053.79	100%	10174.29	100%	15736
高耗能行业占工业能源消费比例	71.7%				
高耗能行业占工业增加值比例	32.5%				

数据来源：广东省统计局，国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2017[M]. 北京：中国统计出版社，2017.

2. 非高耗能型工业企业碳排放特点。

从表 4-3 可知，非高耗能行业能源消费量占工业能源消费量的比例为 28.3%，但其工业增加值却占总工业增加值的 67.5%，说明非高耗能行业的能源消耗量较低，但其能源效益较高，远高于高耗能行业，达到近零碳排放的潜力较大。非高耗能行业中，能源消费量和工业增加值排在前列的有：通信设备、计算机及其他电子制造业、电气机械及器材制造业、汽车制造业，能源消费占非高耗能行业能源消费的比例分别为 28.43%、12.71%、5.26%。同时，这三大行业是广东特色工

业行业、产业规模较大等特点，具有较强的代表性，其产业基础条件优越，减碳潜力较大、相对容易实现近零碳排放目标，故选择这三大行业作为非高能耗工业企业近零碳排放项目的重点分析对象。

表 4-3 2016 年非高耗能行业占工业能源消费情况

非高耗能行业	能源消费总量 (万吨标准煤)	占比 (%)	工业增加值 (亿元)	占比 (%)	企业数量 (家)
汽车制造业	271.73	5.26%	1612.66	7.62%	762
通信设备、计算机及其他电子制造业	1468.13	28.43%	7204.72	34.06%	5085
电气机械及器材制造业	656.26	12.71%	3011.13	14.23%	4296
医药制造业	108.14	2.09%	494.03	2.34%	421
家具制造业	114.55	2.22%	514.64	2.43%	1265
通用设备制造业	196.86	3.81%	868.35	4.1%	1672
专用设备制造业	184.25	3.57%	787.78	3.72%	1586
食品制造业	154.17	3%	616.22	2.91%	735
纺织服装、服饰业	272.47	5.27%	1012.83	4.79%	2806
文教、工美、体育和娱乐用品	239.44	4.63%	816.92	3.86%	1595
印刷业和记录媒介的复制	129.63	2.51%	343.23	1.62%	838
其他行业 ³	1368.48	26.5%	3873.43	18.32%	5912
非高耗能行业能源消费合计	5164.11	100%	21155.94	100%	26973
非高耗能行业占工业能源消费比例	28.3%				
非高耗能行业占工业增加值比例	67.5%				

数据来源：广东省统计局，国家统计局广东调查总队，广东统计年鉴 2017[M]. 北京：中国统计出版社，2017.

3. 工业企业领域实施近零碳排放区示范工程的重点和难点

《广东省工业绿色发展实施方案（2016-2020 年）》指出，到 2020 年，工业绿色发展理念成为企业和各级政府的普遍共识，工业绿色发展推进机制基本形成，绿色制造产业成为广东省经济增长新引擎和国际竞争新优势，工业绿色发展整体水平显著提升。报告要求广东省单位工业增加值能耗持续下降，工业用能增速减缓，重点用能行业单位产品能耗达到或接近世界先进水平，清洁能源、非化石能源在能源消费结构中的比重明显提高。

今后广东工业行业发展的重点任务为：大力推进节能降耗，优化工业和能源消费结构，严格控制高耗能行业产能扩张，依法淘汰落后和化解过剩产能。加快发展能耗低、污染少的先进制造业和战略性新兴产业，促进生产型制造向服务型

³其他行业： 农副食品加工业、化学纤维制造业、废弃资源综合利用业、烟草制品业、 仪器仪表制造业等行业

制造转变。大力调整产品结构，积极开发高附加值、低消耗、低排放产品。能源利用高效低碳化改造。加快应用先进节能低碳技术装备，提升能源利用效率。

通过分析 2016 年广东省各行业的能源消费量可知，工业能源消费量占广东省能源消费量的比例为 58%，六大高耗能行业的能源消费量占工业能源消费量的比例为 54.2%，因此工业企业实施近零碳排放时，重点应首先围绕高耗能行业进行近零碳排放技术的分析和挖掘。

高耗能行业生产工艺复杂、设备成本高，如何综合技术的经济效益和减排潜力，对典型高耗能行业零碳/减碳/储碳技术类型的经济效益和单位减排量成本进行科学分析，得出近期、中期及远期可推广应用零碳/减碳/储碳技术，促进工业企业实现近零碳排放目标，是工业企业实施近零碳排放的难点。

4.2 工业企业领域碳排放评价范围与边界

4.2.1 工业企业领域近零碳排放的内涵

结合广东工业企业当前碳排放实际现状，广东省的近零碳排放工业企业应该是：在建立系统有效的低碳生产基础上，通过采用突破性近零碳排放工艺与技术、在综合利用可再生能源、碳捕集等方法上逐步实现企业的碳排放量相比现有水平大幅度下降的目标。

由此可见，近零碳排放工业企业的内涵包括：

(1) 是建立在现有低碳基础上。“近零碳排放”是低碳的升级，而目前的实际现状是许多广东工业企业连基本的企业碳排放管理都没有建立，更不用说是低碳生产。因此企业实施应首先建立系统有效的碳排放管理体系，主要包括：企业碳排放源的识别、系统管理、优化与改进，企业碳排放数据的监测、统计与分析等内容。工业企业的“近零碳排放”相关工作是必须建立在企业已完成这些低碳工作基础之上才能开展的，否则就成为了空中楼阁，无本之木。

(2) 是多种技术和方法的综合运用。现有的工艺技术、设备技术碳排放减低的边际效应已经越来越低，因此要实现比现有低碳基础上更进一步降低碳排放的目标，工业企业首先需对这些工艺技术、设备能耗技术进行突破性甚至是颠覆性的创新；其次，在工业企业生产过程中能源的消耗活动比不可少，用可再生能

源逐步部分替代或全部替代目前的化石能源是实现跟进一步减低碳排放的重要手段；最后，由于在可预见的相当时期内，化石能源不可能被完全替代，通过日益成熟的碳捕集技术是将更进一步实现减少化石能源燃烧产生的碳排放。这些技术、方法和手段应该是综合运用，从而实现最佳效果。

(3)目标是与自身/同行业水平对比大幅度降低碳排放总量。“近零碳排放”是指实施对象的二氧化碳排放量趋近于零，是以减少碳排放总量为目标。因此，工业企业开展近零碳排放的目标是“双降”，即既要求企业碳排放强度下降，也要求企业碳排放总量的下降。“近零碳排放”要求全部工业企业的碳排放量接近于零并不现实，因此其目标是在综合运用多种方法和技术的基础上，实现其碳排放量与自身/同行业水平对比大幅度降低。至于下降的具体幅度，由于目前广东省各工业行业的低碳基础不一样，不可能用一个统一的量化值来确定，需要根据各行业的实际来自行确定。同时，由于涉及的实施技术要求更高、资金需求更多、需要协调管理的范围更广、难度更大，意味着围绕“近零碳排放”无论是目标还是具体的实施工作都将是一个动态调整的过程，所需时间较长，不可能一蹴而就。

4.2.2 本研究提出的工业企业领域碳排放评价范围与边界

工业企业开展近零碳排放，需要首先明确其自身的碳排放评价范围与评价边界，并在确定的范围和边界内，通过综合运用相关减碳技术、管理方法等一系列措施逐步减少自身碳排放，并使自身碳排放逐步减少。

本研究主要从工业企业近零碳排放评价的周期、主体与内容四个方面确定建筑碳排放评价边界。从周期来看，工业企业近零碳排放的核算周期为年。从评价主体来看，工业企业的碳排放评价边界通常可按生产边界和法律边界两种方式进行划分和明确：按生产边界划分是指企业产品生产过程中涉及的厂界区域，可借助厂区平面图或工艺流程图来识别，适用于企业所属权单一、规模相对较小的企业；按法律边界划分是从企业控制权（如股权）的层面，基于法律角度明确企业的二氧化碳排放评价的边界，适用于所属权比较复杂、无法按照生产边界或物理边界进行划分的企业。

从评价内容来看，包括需评价的温室气体种类和需评价的排放活动。工业企业在其工业活动中产生的温室气体种类涵盖了“京都议定书”中规定的全部六种温室气体^[4]，因此，工业企业理论上应该统计全部六种温室气体，但通常情况下，

大部分工业企业只需统计自身的二氧化碳排放，部分行业企业则根据自身所在行业特点，针对重点的其他温室气体进行统计，例如生产或使用冷媒、灭火剂、清洗溶剂、发泡剂等产品的企业除了二氧化碳还需统计 HFCs 和 PFCs 等。工业企业自身生产活动涉及的碳排放活动主要包括直接排放、能源间接排放和其他间接排放^[5]：直接排放是指工业企业生产活动中直接使用各种燃料（如煤、油、气等，目前暂不包括生物质燃料）燃烧过程中产生的二氧化碳或者是由于使用含碳原料加工以及化石燃料等非能源利用释放的二氧化碳（例如：碳酸钙作为生产物料，在生产过程中分解产生的二氧化碳）；能源间接排放是企业生产活动中由于外购电力、热力而间接产生的二氧化碳排放；其他间接排放通常是指企业生产活动中，不属于直接排放和能源间接排放类型的排放，例如企业运营控制的车辆、船只等交通工具由于消耗燃料而间接产生的二氧化碳排放。

本研究参考国内外企业碳排放核算指南、《GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则》、《DB44/T 1382-2014 企业碳排放信息报告指南通则》以及国家和广东省发布的相关行业企业碳排放核算指南，结合广东工业企业碳排放的主要影响因素，将工业企业领域碳排放评价的范围划分如表 4-4 所示。

表 4-4 “近零碳企业”碳排放评价范围

评价范围	范围说明	参考标准
直接排放	<ul style="list-style-type: none"> 企业内部能源活动（工业、交通和建筑）、工业生产过程、废弃物处理活动产生的温室气体排放； 考虑企业范围内绿化等碳汇； 	参照相关行业工业企业碳排放核算标准及《DB44/T 1382-2014 企业碳排放信息报告指南通则》
间接排放	<ul style="list-style-type: none"> 为满足企业生产而外购的电力、供热和/或制冷等二次能源产生的排放； 考虑电力调入调出情景：光伏发电、风力发电、生物质燃烧等可再生能源利用外输能源产生的减排量； 	
抵消机制	<ul style="list-style-type: none"> 企业管理主体或员工为抵消项目范围内碳排放量购买的外部核证减排量（限定比例），例如广东省碳普惠减排量（PHCER）。 	减排量备案证明

4.3 近零碳排放区示范工程工业企业领域技术分析

现阶段广东省大部分工业企业仍处于向低碳转型，只有少量行业领先企业正

在摸索如何开展近零碳排放相关工作，这些现状和未来的发展都离不开技术作为企业开展相关工作的基础和保障。目前，国际和国内通常把具备减排效果特性的技术都统称为“低碳技术”。近零碳排放技术、甚至是零碳排放技术这些名称是在“近零碳排放”和“零碳排放”概念提出之后而伴随提出的。目前并没有严格的定义来界定和区分哪些是近零碳排放技术以及零碳排放技术。鉴于近零碳排放是低碳的升级，近零碳排放的技术也是建立在低碳技术基础上的，因此其仍然属于低碳技术的大范畴里。本章将从低碳技术和近零碳相关技术两个方面对工业企业尤其是高耗能行业开展近零碳排放相关技术工作进行说明。

4.3.1 工业企业低碳技术应用现状

工业企业涉及多种行业，每个行业的工艺流程、生产技术等方面都有着各行业自身的特点，但在温室气体减排方向，仍然有许多共性的通用型的低碳技术在各行业运用。针对工业企业都是能源消耗大户，因此工业企业控制温室气体排放主要集中通过运用相关低碳技术提高自身能源利用效率。目前工业企业通用型的低碳技术主要可以归为五大类，分别是：企业配电系统效率提升技术、工业过程余热余压的回收与利用技术、提高热效率技术、用电设备的节电技术、和企业用能综合管理技术。

(1) 清洁能源替换。广东的工业企业中仍然有大量企业使用各种燃煤、煤焦油作为燃料，用于生产过程的热力获取，使用天然气(LNG)、液化石油气(LPG)等清洁能源的比例仍比较低。以天然气为例，不考虑热效率等外在因素，在达到同等热值的前提下，使用天然气所产生的碳排放要比常用的无烟煤低 41.9%，比煤焦油低 46.7%。也就是说，理论上，只需将使用的各种燃煤和煤焦油等目前常用能源替换成 LNG 等清洁能源，就能实现碳排放同比下降 40%以上的效果。

(2) 余热余压的回收与利用技术。工业企业由于使用各类炉窑、锅炉等设施而在生产过程中产生了大量仍含有一定的温度和压力的中间产品及废气、废水、废渣等排放物。这些中间产品和排放物所含的温度和压力若不加以利用，将造成能源的极大浪费并直接增加了碳排放。余热余压的回收与利用就是针对工业企业生产过程中的中间产品或排放物中所含的温度和压力，通过相关技术，尽可能回收并充分利用所含的热能和压差能，实现减少能源消耗量，降低碳排放的目标。

(3) 提高热效率技术。目前，我国各类工业炉窑数量超过 13 万台，其中分

布工业领域的冶金、建材、机械和化工等行业，其总量约占我国炉窑总数的 85% 以上，总耗能约占我国能源消费总量的 1/4 左右。我国工业炉窑的平均热效率在 30%-40%，而先进国家的工业炉窑热效率在 50% 以上，工业炉窑领域具有较大的节能潜力。

(4) 用电设施的节电技术。电动机是工业企业的用电设施中的重要耗能设备，也是工业企业碳排放中间接排放的主要来源。全国电动机装机总容量已达 4 亿多 kW，年耗电量达 12000 亿 kWh，占全国总用电量的 60%，占工业用电量的 80%；其中风机、水泵、压缩机的装机总容量已超过 1.8 亿 kW，年耗电量达 8000 亿 kWh，占全国总用电量的 40% 左右。目前，仅有约 15% 左右变频调速运行。

(5) 配电系统效率提升技术。企业配电系统效率提升技术就是针对于配电系统相关设备，通过相关技术优化和减少配电过程中出现的功率因数低、空载损耗大和配变三相负荷不平衡等问题，在配电系统实现减少能源消耗，降低碳排放的目的。

(6) 企业用能综合管理技术。企业用能综合管理技术是从管理角度，在公司用能管理的体系中，通过对能源生产方、供应方、输配方及终端用户的协同管理，改善公司的能源成本并提高使用环节的能源使用效率的一种管理方式。本质上是通过一系列的技术和管理措施，减少终端装置或系统对能源供应的需求，在满足生产要求前提下节约能源。

4.3.2 工业企业近零碳排放技术发展

在工业领域，各行业为进一步大幅度降低碳排放并努力实现近零碳排放，已经从原来仅仅关注于降低企业生产过程碳排放向企业原材料的使用、生产过程产生的 CO₂ 的处理、新能源等涵盖工业生产全产业链方向扩展。因此，未来工业企业实现近零碳排放主要围绕四个方向进行，分别是：大幅提高生产过程的能源利用效率、提高再生材料使用率、使用新能源替代和实施 CO₂ 的捕集、存储与利用。

大幅提高生产过程的能源利用效率是针对工业企业现有的工艺技术、设备技术而言。企业目前应用的低碳技术更多的是针对工艺技术或设备技术的改进和优化，从而提高生产过程的能源利用效率。但随着时间的推移，各行业都面临着现有工艺技术和设备技术优化瓶颈问题，即已无法通过改进现有工艺技术和设备技术带来更多的碳排放下降。与低碳技术不同的是，近零碳相关技术是各行业针对

自身特点，从工艺、设备等方面进行创新性的开发，从系统的角度用新工艺、新设备大幅提升生产过程的能源利用效率，从而实现碳排放的大幅度下降。

(1) 提高再生原材料的利用率。原料获取与制造阶段，作为企业生产制造产品的重要一环，往往占据了工业企业生产过程中较高比例的碳排放。目前工业企业往往使用的是从自然界中开采再经过加工后的产品，作为自身的生产原料（例如铁矿石、焦炭加工成的铁水/生铁，铝土矿加工成的原铝等），若能直接使用再生材料如废钢、再生铝作为原料，提高将大幅降低产品生产过程的碳排放。

(2) 清洁能源及新能源的利用与替代技术。清洁能源及新能源的利用与替代技术是指工业企业使用温室气体排放相对较少的清洁能源（如液化石油气、液化天然气等）或完全没有温室气体排放的可再生能源（如风电、太阳能、地热能、生物能等）替代目前使用的温室气体排放较大的一次能源（如燃煤、燃油等）。

(3) 碳捕集、利用与封存技术。二氧化碳的捕集、利用与封存技术（CO₂ Capture Utilization and Storage，简称 CCUS）是指将二氧化碳（CO₂）从工业或其他排放源中分离出来，并运输到特定地点加以封存或利用，以实现被捕集 CO₂ 与大气的长期隔离。目前，对于 CCUS 的推广和应用除了技术的成熟度这一制约因素外，最大的制约就是技术的经济性问题，但 CCUS 技术的减碳能力和潜力巨大，各国都在积极展开相关技术的研发与示范。

4.4 近零碳排放区示范工程工业企业领域技术路线建议

技术路线的选择对于工业企业开展近零碳排放区示范工程至关重要。影响工业企业选择近零碳排放技术路线存在多种互为关联、互为影响的因素。这些因素通常涉及企业所属的行业、企业的规模、企业对于相关资金投入的接受度、是高耗能类型还是非高耗能等等诸多类型。

最为关键的影响因素是企业对实施近零碳排放相关工程的接受度。接受度的评估不但涉及工程的建设成本、还包括工程建成后期运行维护的运营成本、实施难度、给生产和产品销售带来的显性和潜在影响、产生的收益、收益的回报期等一系列综合性评价指标。由于目前许多近零碳排放技术还处在前期研究或试验阶段，存在较多的不确定性，这对于企业准确评估近零碳排放区示范工程相关指标、明确投资意愿带来巨大的挑战。同时企业规模对于接受度也有巨大影响。通常规

模大、效益好的企业对于近零碳排放区示范工程的接受度要远高于规模小的。

是属于高耗能类型还是非高耗能类型是影响工业企业实施近零碳排放技术路线的另一个重要因素。高耗能类型企业主要是能源加工类（如电力）和基础原料加工类（钢铁、水泥等）的企业。这类企业在制造过程中往往涉及大量含碳物质参与的工艺过程（如钢铁生产用的石灰石、水泥生产用的熟料等），而能源通常涉及外购和自产的电力和热力，而自产部分又存在多种能源物料（如煤、油、气等），其能源结构、碳排放源的种类和排放类型十分复杂。因此高耗能型企业在实施近零碳排放区示范工程时往往需要多种相关技术的系统运用，实施技术难度复杂、资金投入量大、减排难度大。而非高耗能型企业通常是产品加工企业（如日用品生产），不存在大量含碳物质参与的工艺过程，其能源结构往往也是以外购电力为主，其能源结构、碳排放源的种类和排放类型相对单一。目前该型企业近零碳相关的部分技术已经相对成熟，实施近零碳排放区示范工程资金投入相对较小、技术难度相对较低、减排效果相对明显。

综合上述因素，不可能存在一种适用于所有工业企业的近零碳排放通用技术路线。企业在进行技术路线选择时，往往会综合评估上述因素，选择最适合于自身实际的技术路径。本章从技术角度出发，主要围绕现有的低碳技术和近零碳相关技术，从技术的经济性、减排性进行综合评价，为企业选择适用于自身的技术路径提供参考，具体如表 4-5 所示，并绘制近零碳排放区示范工程工业企业领域技术路线图（图 4-1）。

表 4-5 工业企业领域实施近零碳排放区示范工程技术趋势分析评估

技术类型	典型代表技术	适用领域		预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		高耗能企业	非高耗能企业	2020-2025	2025-2035	2035-2050			
配电系统效率提升技术	可控自动调容调压配电变压器技术	√	√	○			▼▼	+++++	★★
	动态谐波抑制及无功补偿节能技术	√	√	○			▼▼▼ ▼	+++++ +	★★★ ★
企业用能综合管理提升技术	企业能源综合管控系统	√	√	○			▼▼▼ ▼	+++++	★★
	全功率匹配节能数控柔性联动技术	√	√	○			▼▼	+++	★
余热余压的回	非稳态余热回收及饱和蒸汽发电技术	√		○			▼▼▼ ▼	+++++	★★

技术类型	典型代表技术	适用领域		预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		高耗能企业	非高耗能企业	2020-2025	2025-2035	2035-2050			
收与利用	余热锅炉尾部增加受热面	√	√	○			▼▼▼▼	+++++	★★★ ★
	钢铁高炉炉顶煤气循环	√		△		○	▼▼▼▼	+++	★★★
燃烧效率提升技术	无引风机无换向阀蓄热燃烧节能技术	√	√	△	○		▼▼▼	+++++	★★★
	聚能燃烧技术	√	√	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★
清洁能源利用技术	煤改气技术	√	√	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★ ★
	油改气技术	√	√	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★ ★
设施节电技术	高压变频调速技术	√		○			▼▼▼	+++++	★★★ ★
	变频调速节能技术	√	√	○			▼▼▼	+++++	★★★ ★
	照明智能调控技术	√	√	○			▼▼	+++	★★★
提高再生原料利用技术	钢铁原料中提高废钢比	√		△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★
	铝加工中提高再生铝比例	√		△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★ ★
可再生能源利用技术	分布式光伏发电	√	√	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★ ★
	垃圾发电技术	√	√	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★ ★
工业各行业的突破性减碳工艺技术	钢铁新型熔融还原工艺	√		△	○		▼▼▼	+++	★★★
	钢铁电解铁矿石工艺	√			△	○	▼▼▼▼	++	★★★
	水泥行业的熟料替代	√		△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★ ★
碳捕捉、存储与利用技术（CCUS技术）	二氧化碳捕捉技术	√		△		○	▼▼▼▼	++	★★
	二氧化碳储存技术	√		△		○	▼▼▼▼	+	★
	二氧化碳再利用技术	√	√	△		○	▼▼▼▼	++	★★

注：

- ① 预期技术应用和普及年限，△表示预期技术应用年限，○表示预期技术普及年限；
- ② 技术减排潜力，▼越多表示技术减排效果越好，最优5个▼；
- ③ 技术经济性，+越多表示单位投入减排量（tCO₂/万元）越多，经济性越好，最优5个+；
- ④ 技术综合推荐等级：依据技术的减排潜力及经济性进行综合推荐，★越多表示建议该项技术研发推广的力度应越大，最高等级5个★。

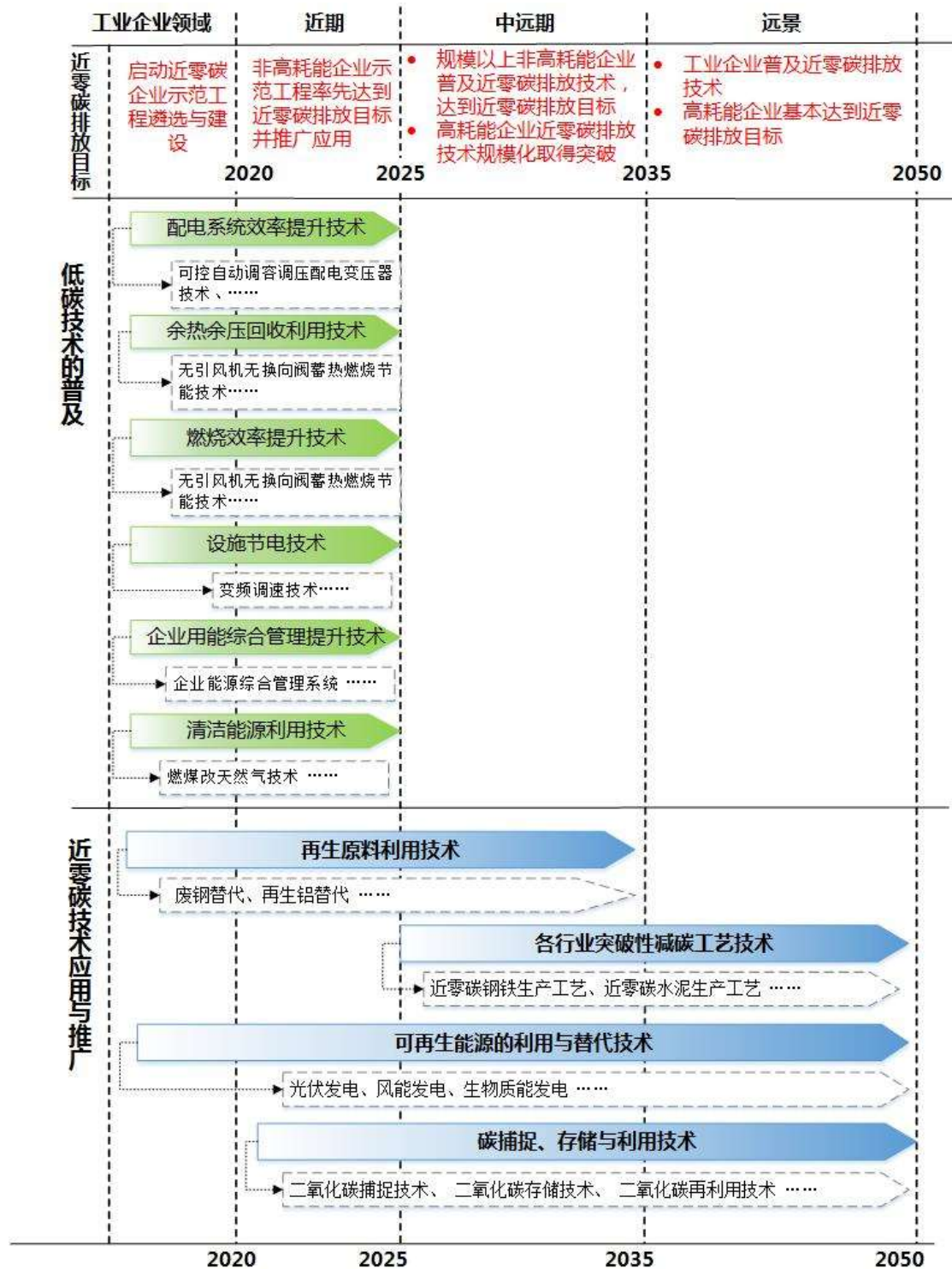


图 4-1 工业企业领域实施近零碳排放区示范工程技术路线图

参考文献

- [1] 广东省统计局, 国家统计局广东调查总队. 广东统计年鉴 2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [2] 广东省碳排放权交易试点分析报告 (2016-2017)
- [3] 广东省 2017 年度碳排放配额分配实施方案
- [4] 2006 年 IPCC 国家温室清单指南
- [5] ISO14064-1 温室气体 第一部分 组织层面的温室气体排放和清除的量化与报告的技术规范 (Greenhouse gases-Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emission and removal)
- [6] 国家重点节能低碳技术推广目录 (2014-2017)
- [7] 低碳经济下钢铁供应链排放测算与控制研究
- [8] 火电“低碳突围”路线图. 21 世纪经济报道. 2009 年第 017 版
- [9] The transition of energy intensive processing industries towards deep decarbonization: Characteristics and implications for future research. Renewable and Sustainable Energy Review 79(2017)1303-1313
- [10] Decarbonization the energy intensive basic materials industry through electrification-Implication for future EU electricity demand. Energy 115(2016)1623-1631
- [11] A Steel Road map for low carbon Europe 2050. A European Steel Association
- [12] Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the U.S. Iron and Steel Industry An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers. ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY
- [13] 原铝与再生铝生产的能耗和温室气体排放对比. 中国有色金属学报. 2012 年 10 月
- [14] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. JRC REFERENCE REPORT 2013
- [15] Industrial Efficiency Technology Database. <http://ietd.iipnetwork.org/>
- [16] 欧盟超低 CO₂ 钢铁生产试点示范项目 (ULCOS Project) . http://www.ulcos.org/en/about_ulcos/home.php
- [17] 我国钢铁与水泥行业碳排放核查技术与低碳技术. 中国环境出版社
- [18] 水泥技术路线图 2009——直至 2050 年的碳减排目标. IEA/CSI, 2009
- [19] 国外水泥工业替代燃料的应用进展. 王新颖等, 水泥技术. 2016
- [20] 水泥生产 CO₂ 减排技术及案例分析. 刘晶等, 山西建筑, 2014
- [21] CO₂ abatement in the cement industry .Qian Zhu, IEA report, 2011
- [22] 2050 技术路线图 CCS 技术在工业中的应用. 联合国工业发展组织 (UNIDO) 和国际能源署 (IEA)
- [23] 技术文件 2017——水泥制造先进技术发展. CSI/ECRA
- [24] 全球碳捕集与封存技术进展及其在水泥行业应用前景初探. 李娟, 中国水泥, 2012
- [25] EC. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in

2050/*.COM/2011/0112 final*/.2011

- [26]中国碳捕集、利用与封存(CCUS)技术进展报告. 科技部社会发展科技司, 国际合作司和中国 21 世纪议程管理中心. 2011 年 9 月
- [27]全球二氧化碳减排不应是 CCS, 而应是 CCU. 谢和平等. 四川大学学报. 2012 年 7 月
- [28]二氧化碳离岸封存评估-中英评估对比. 中英(广东)CCUS 中心. 2016 年 12 月
- [29]CCU 与 CCS 有望将成为节能减排关键技术. 中国天气网.
<http://www.weather.com.cn/index/lssj/01/376188.shtml>
- [30]中国钢铁行业二氧化碳捕集技术经济性评估报告. 中英(广东)CCUS 中心
- [31]赵振家, 张鹏, 赵明楠, 等. 汽车制造过程的能耗及碳排放分析[J]. 中国人口·资源与环境. 2017(S1):186-190.

第5章 近零碳排放区示范工程园区领域

技术路线分析

产业园区是区域经济发展和产业调整升级的重要载体和组成部分。国家应对气候变化规划（2014-2020年）也提出要加强园区低碳规划，优化园区产业链和生产组织模式，建设园区低碳能源供应和利用、低碳物流、低碳建筑支撑体系，积极探索低碳产业园区管理模式。因此，通过园区开展近零碳排放区示范工程建设，大幅降低产业园区碳排放，是区域可持续发展的有效途径之一。本章将结合广东省园区领域碳排放现状，分析适用于近零碳排放区示范工程的技术，并提出近零碳排放区示范工程园区领域建设目标、技术路线和实施建议，为产业园区相关主管部门、项目规划建设和运营单位实施近零碳排放区示范工程提供参考。

5.1 园区领域碳排放现状分析

广东省园区分布主要呈现“中心强，周边弱”的格局，珠三角地市主要都是高新技术、物流、文化创意等园区为主，粤东西北以产业转移工业园为载体，承接珠三角产业转移，融入到珠三角的产业分工中，分享珠三角发展的优势和成果，带动工业化与城市化进程，促进资源开发和要素集聚，优化产业结构和空间结构，从而培育出经济增长点。

党的十八大以来，各地、各部门按照省委、省政府工作部署，大力推进产业园区提质增效，不断深化产业共建，促进粤东西北地区协调发展，取得了明显成效。2016年全省产业园实现规上工业增加值2257亿元，实现全税收口径407亿元。2012-2016年，全省产业园规上工业增加值年均增长21.9%，约为同期全省平均增速的2.8倍，粤东西北12市的省产业园规上工业增加值占当地比重从2012年的15%提高到2016年的28%；园区全口径税收年均增长23.9%，约是同期全省平均增速的2倍。2016年，全省产业园实现工业产值9784亿元，年产值超100亿元的园区达到27个，较2011年增加14个，其中超500亿元的4个，较2011年增加4个，预计2017年园区工业总产值将突破万亿大关。

广东省园区耗能总体上呈现以耗电为主，煤炭和油品为辅的格局。2016年，

广东省园区总耗能约 1.84 亿吨标准煤（图 5-1），其中电力消耗 3400 亿度，占总耗能的 56.0%；煤合计消耗 2965 万吨标煤，占总耗能的 16.0%；油合计约 2560 万吨标煤，占总耗能的 14.0%；天然气消耗约 595 万吨标煤，占总耗能的 3.0%；其他耗能 2024 万吨标煤，约占总耗能的 11.0%。

2016 年，广东省园区二氧化碳排放约 3.03 亿吨（图 5-1），其中电力间接二氧化碳排放约 1.70 亿吨，占总排放量的 56.1%；煤炭消耗二氧化碳排放约 0.79 亿吨，占总排放量的 26.1%；油品消耗二氧化碳排放约 0.45 亿吨，占总排放量的 14.9%；天然气消耗二氧化碳排放约 946 万吨，占总排放量的 2.9%。

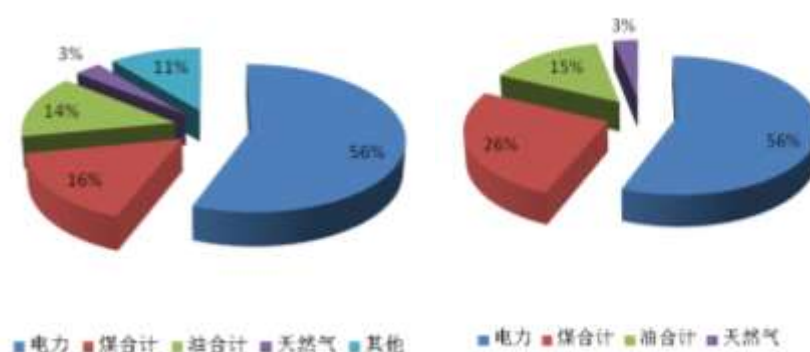


图 5-1 广东省园区能源消费结构（左）和二氧化碳排放构成（右）

广东省园区类型较多，且分布不均衡，发展水平也参差不齐。珠三角地区主要以综合性大园区为主，粤东西北主要以传统的工业加工制造类园区为主，各类园区实现近零碳排放的难易程度也不一样，主要存在以下几方面的问题：（1）各类园区能源消费结构差异大；（2）各类园区实现近零碳排放面临的挑战不同；（3）缺乏系统性与整体性，功能定位上单一化；（4）缺乏完善的体制机制和法规政策，管理不规范；（5）缺乏创新驱动力量主导下的低碳产业核心技术知识产权保障支撑；（6）缺乏相对科学统一的园区碳排放核算指标体系和强有力资金投入；（7）政府与企业各自功能及其协同作用未有效发挥。

5.2 园区领域碳排放评价范围与边界

5.2.1 园区领域近零碳排放的内涵

“近零碳园区”是“低碳园区”的进阶版，因此，本研究提出“近零碳园区”

是能源利用低碳化、资源利用低碳化、基础设施低碳化、产业低碳化、生态环境低碳化、运行管理低碳化，最大限度地减少温室气体排放的绿色低碳园区。

5.2.2 本研究提出的园区领域碳排放评价范围与边界

根据《省级温室气体清单编制指南》，园区温室气体排放主要包括能源活动、工业生产过程、农业活动、土地利用变化和林业以及废弃物处理五个领域，其中二氧化碳排放主要集中在能源活动和工业生产过程两个领域，土地利用变化和林业主要以碳汇净吸收为主，因此，对园区碳排放的评价边界暂时只考虑能源活动、工业生产过程和林业碳汇三个方面。

园区评价范围主要是政府集中统一规划指定的区域，政府对区域内有专门设置某类特定行业、形态的企业、公司等进行统一管理，包括区域内以工业企业为主的工业园区，以农业生产为主的特定区域的农业园区，以高科技研发企业为主的科技园区、软件园区、高新园区等，以物品集散、交易、转运为一体的各种产品的物流园区、港口园区和交易园区等。

本研究参考国内外建筑碳排放评价范围的界定以及《省级温室气体清单编制指南》、《GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则》、《DB44/T 1382-2014 企业碳排放信息报告指南通则》以及国家和广东省发布的相关行业企业碳排放核算指南，结合广东园区碳排放的主要影响因素，将园区领域碳排放评价的范围划分如表 5-1 所示。

表 5-1 “近零碳园区”碳排放评价范围

评价范围	范围说明	参考标准
直接排放	<ul style="list-style-type: none"> 园区内部能源活动（工业、交通和建筑）、工业生产过程、废弃物处理活动产生的温室气体排放； 考虑园区绿化等碳汇； 	参照《省级温室气体清单编制指南》、《DB44/T 1382-2014 企业碳排放信息报告指南通则》及相关行业企业碳排放核算标准
间接排放	<ul style="list-style-type: none"> 为满足园区生产而外购的电力、供热和/或制冷等二次能源产生的排放； 考虑电力调入调出情景：光伏发电、风力发电、生物质燃烧等可再生能源利用外输能源产生的减排量； 	
抵消机制	<ul style="list-style-type: none"> 园区管理主体或入驻企业为抵消项目范围内碳排放量购买的外部核证减排量（限定比例），例如广东省碳普惠减排量（PHCER）。 	减排量备案证明

5.3 近零碳排放区示范工程园区领域技术分析

5.3.1 园区规划技术

1. 土地利用合理。

土地利用是影响碳排放的重要因素，较高的人口、建筑、经济活动密度以及混合的土地利用和紧凑的空间形态可以减少园区内出行距离和需求，提高公共交通设施的利用率，从而减少化石能源消耗，降低交通源碳排放；其次，较高的密度可以减少建筑用于冬季供暖、夏季降温的能耗，达到间接减排的效果。

2. 低碳交通规划。

(1) **完善区域背景下交通路网规划。**在园区综合交通规划阶段，从宏观层面把握未来园区交通管理方向，以指导后续交通管理基础设施的设计或具体管理措施的制定。优先发展公共交通。完善公共交通规划，推进轨道交通及常规公交的规划建设，尽可能提高公共交通的可达性及出行效率。为公交换乘提供各种便利，并从公共交通出行价格上给予出行者优惠，提高公共交通吸引力。加强公共交通服务意识，提高服务质量，改善公共交通出行环境。控制小汽车使用水平对小汽车政策的总体思想应该是限制使用，不限制拥有。通过经济杠杆来调整出行分布或减少不同模式出行的需求量，可以对鼓励的交通行为实行低收费，对限制的交通行为实行高收费。

(2) **低碳交通导向性措施。**园区内部交通规划确立公交+慢行的交通模式，并保证慢行交通的主体地位。园区规划公交线路、公交车站服务覆盖均匀，深入居住区，并尽可能联系其他区域，使公交线路的客流稳定、客源稳定，减少乘车人的中转和换乘次数。园区内慢行系统规划主要包括慢行系统规划、城市驿站和自行车租赁点布局规划以及慢行系统过街设施规划，提倡园区内居民采用自行车出行，减少机动车的使用量。

3. 绿色建筑规划。

采用绿色建筑技术改造现有写字楼及建造新建写字楼，在建筑的全寿命周期内，有效地节约资源、保护环境和减少污染，为人们提供健康、适用和高效的使用空间，与自然和谐共生的建筑。园区内绿色建筑确定以《绿色建筑评价标准》的指标为主要依据，根据生态园实际情况，主要通过绿色建筑和绿色工业建筑标

准管用园区绿色建筑。园区根据低碳发展的客观制定相关规划和行为准则，一方面通过示范项目的经济节能效益带动其他企业，吸引更多的企业积极加入生态建设的队伍中来，另一方面也要采取政策手段，淘汰高能耗建筑，促进节能建筑和绿色建筑的发展。

5.3.2 园区建筑技术

低碳建筑相关技术可详见第 2 章近零碳排放区示范工程建筑领域技术分析，本章根据园区适用情况，将低碳建筑技术分为建筑能源供给低碳技术、建筑围护结构低碳技术、建筑设备低碳技术和建筑排放系统低碳技术。

1. 建筑能源供给低碳技术。

建筑能源供给低碳技术主要包括：常规能源、新能源、余热回收再利用、能量存储技术。其中，常规能源包括热电冷联供系统和热电煤气三联供系统；新能源包括太阳能、风力发电、生物质应用技术、污水和废水热泵技术、地热发电；余热回收再利用包括烟气换热器、余热换热器、余热型吸收式热泵、集中空调热回收技术；能量存储技术包括提水蓄能技术、蓄能空调技术、冷蓄冷技术等。

2. 建筑围护结构低碳技术。

围护结构的低碳建筑技术可分为围护结构节能技术、围护结构节能材料、遮阳技术、楼地面技术。其中，围护结构节能技术包括体型系数控制技术、窗墙比控制技术、墙体保温隔热技术、相变墙体等；围护结构节能材料包括门窗节能材料、节能墙体材料、节能屋面材料；遮阳系统包括窗户外遮阳、窗户内遮阳、中空玻璃夹百叶遮阳；楼地面技术包括浮筑式楼面、架空楼面和相变蓄热地面等。

3. 建筑设备低碳技术。

建筑设备低碳技术包括供热制冷系统低碳技术、空调通风系统低碳技术、冷暖供给末端系统低碳技术、配电照明系统低碳技术。其中，供热制冷系统低碳技术包括管道保温隔热、集中供热/制冷、分散供热/制冷；空调通风系统低碳技术包括自然风模拟技术、独立除湿技术、变频空调技术、通风控制技术；冷暖供给末端系统低碳技术包括高效散热器、低温辐射技术、空调变风量水量技术；配电照明系统低碳技术包括箱式变压器供配电技术、节能光源灯具应用技术和节能调节设备应用等。

4. 建筑排放系统低碳技术。

建筑排放系统低碳技术包括排水系统低碳技术、再生利用系统低碳技术、绿化景观系统低碳技术、垃圾收集处理低碳技术。其中，排水系统低碳技术包括同层排水、设备管井及夹层、排水系统卫生安全、节水设备系统；再生利用系统低碳技术包括中水、雨水收集处理与回用、污水处理回用技术；绿化景观系统低碳技术包括地下水涵养技术、绿化景观用水控制技术、湿地环境水工程技术；垃圾收集处理低碳技术包括有机垃圾生化处理技术、垃圾压缩集中转运技术、垃圾焚烧技术和垃圾管道输送技术等。

5.3.3 园区交通技术

低碳交通相关技术可详见第 3 章近零碳排放区示范工程交通领域技术分析，本章根据园区适用情况，主要介绍园区鼓励使用新能源汽车、鼓励绿色出行和采用交通智慧管理技术。

1. 新能源交通工具。

推进园区充电桩建设，积极做好节能和新能源汽车、电动汽车推广工作，鼓励园区企业及人员购买纯电动或混合动力等新能源汽车。积极降低园区自身控制的移动排放源产生的碳排放。购置参观电瓶车，用于园区参观交通工具。购置新能源车辆作为员工通勤以及接驳就近地铁站的交通车。在省内有关配套设施逐步完善时，逐步购置新能源车辆替代现有运输车队的柴油车辆，降低柴油燃烧产生的碳排放。

2. 低碳出行模式。

倡导低碳出行模式，加强相关理念宣传，启动园区绿道建设工程，鼓励园区内人员出行有限选择公共汽车、自行车及步行等绿色出行方式。推广拼车服务、公交定制等新交通模式。积极降低园区内员工上下班通勤产生的碳排放。与区交通主管部门沟通，在园区新建公交车站，增加途径园区的公交线路比例，鼓励员工使用公共交通出行。建设公共自行车服务网点。与政府沟通，在公交车站边上建设一个标准的公共自行车服务网点，方便员工骑自行车出行。

3. 智能交通管理技术。

智能交通技术（ITS）是将电子视野技术、电子传感技术、测量技术、判断

处理技术、数据库技术、信息技术、数据通讯传输技术、控制与服务机构技术、计算机技术、人-机联系技术、人体机理学、交通工程以及道路引导技术等众多高科技集成为一个大系统，以汽车为节点、网络为基础，实时、准确、高效地进行综合交通运输管理，使人、车、路、网协调发展。采用智能交通技术建立的城市智慧交通管理系统不仅可以保障城市交通安全、实现交通基础设施供给能力的最大化，而且可以降低交通燃油消耗、减少温室气体排放并改善交通环境质量，ITS已成为国际公认解决道路交通问题的最佳途径。目前，智能交通在美国的应用已达80%以上。

5.3.4 园区科技技术

1. 低碳公共技术发展平台。

以园区的科技服务平台为基础，依托科研院校，积极支持园区企业，特别是重点先进企业联合开展低碳生产工艺技术、新能源、节能减排技术、低碳监测评价评估技术等技术开发，形成一个低碳发展技术支撑和创新的综合平台。

2. 产业低碳技术标准平台。

组织园区重点先进企业和科研机构制定产业低碳技术标准，通过技术领先，提高准入标准，确保园区企业在市场竞争中的优势地位。

3. 淘汰高耗能工艺、设备和产品。

园区全面贯彻执行《高耗能落后机电设备产品淘汰专项监察》，落实绿色发展理念、推进生态文明建设的客观需要，促进企业转型升级、节能降耗和新旧动能转换。

4. 低碳产品推广与应用。

研究制定园区产业发展低碳经济的技术指导目标和技术发展指导意见；推广工业和信息化部编制的《工业领域节能减排电子信息应用技术导向目录》和国家发改委编制的《国家重点推广的低碳技术目录》中节能减排的电子技术和计算机技术、通信技术及其他先进成熟适用的低碳技术及产品。优先推广建设领域的节能减排技术及产品。

5. 低碳发展改造示范建设。

将节能、节水、节地、节材、资源综合利用和CO₂减排长期作为园区企业改

造的基本要求，开展清洁生产、能源审计、能耗诊断，在改造中鼓励发展研发设计，降低生产性碳排放。开展低碳发展改造关键技术研究。

5.3.5 园区能源技术

1. 太阳能利用工程。

利用现有金融、技术等平台创新光伏商业模式，运用园区可利用建筑面积进行光伏发电项目建设，打造“工业厂房屋顶光伏”、“园区光伏”和“公共建筑光伏”。

2. 微电网工程。

鼓励发挥园区企业科华等公司及相关技术研发平台的优势，充分利用国家新能源微电网试点政策及资金，率先开展微电网试点建设，将各类分布式能源、储电蓄热（冷）及高效用能技术相结合，通过智能电网及综合能源管理系统，形成以可再生能源为主的高效一体化分布式能源系统。

3. 智慧能源技术。

推进分布式能源站和智能电网建设，推动智能电网、储能设施、分布式能源、智能用电终端协同互补发展；积极拓展能源大数据采集范围，逐步覆盖电、气等能源领域及气象、经济、交通等其他领域，实现多领域能源大数据集成融合，构建全面覆盖能源生产、运输、消费和储存的一体化信息管控平台，建成能源生产消费的智能体系、多能协同综合能源网络、与能源系统协同的信息通信基础设施，发展基于能源大数据的信息挖掘与智能预测业务，面向能源终端用户开展用能大数据信息服务，形成特色鲜明、功能完善的国际一流综合能源示范区、国家低碳先行区和近零碳排放示范区。

4. 需求侧能源管理。

加大对节能变压器的使用，加大低碳技术和节能产品在用户需求侧的推广。实行 100%节能办公计划，加快普及节能产品，建设节能办公示范园区。加快绿色照明推广应用，积极推进 LED 路灯节能改造计划，建设绿色照明示范园区。

5. 能效提升与可再生能源利用。

（1）大力推动节能减排技术的应用。加大园区建设和运营过程中节能减排技术的应用，推行绿色物流主题，突出以科技、低碳、节能、环保为主要内容，最大限度发挥高效率、低成本、低排放的运行模式，打造低碳示范产业园区。挖

掘节能减排技术在商务办公中心、电商孵化中心、综合服务中心应用的潜力。在园区新建工程建设过程和运营过程中，应继续推动蒸发冷却降温设施、节能环保型虹吸式雨水系统、新型环保功能建材或构造等节能减排技术的应用，并结合建设和运营的实际情况，继续挖掘应用新的节能减排技术，最大限度地降低碳排放。

(2) 大力发展可再生能源。全面落实太阳能开发利用各项扶持政策，实施更加简易的、更加便捷的项目管理方式，加强政策宣传引导、提升全社会认知和重视，鼓励各类社会主体投资建设屋顶分布式光伏发电。面向园区开发建设屋顶资源丰富、电量消纳能力强的大型公共建筑、商业楼宇、工厂厂房等场所，积极推广小型太阳能光热、光电设备，普及风、光、电互补路灯。结合生活垃圾科学化集中化处理、发展循环经济等工作，探索垃圾资源化利用；对园区内供电可靠性需求较高的片区，依托分布式能源站合理布局电池储能系统或多个光储微电网，拓展水源热泵、空气能 and 地热能利用，实现新能源和可再生能源综合高效利用。在有条件地区建设风电示范项目，研究氢能推广应用的可行性。

5.3.6 园区管理与服务

1. 建立低碳目标与评价指标。

建设园区低碳建设发展评价指标体系，对园区建设发展进行碳排放指标限额和考核，逐步实现碳排放责任目标化。

2. 能耗统计和碳标识制度。

研究建立单位工业产品能耗统计和碳标识制度，引导企业开展产品碳标识认证工作，提高企业产品竞争力。

3. 低碳发展企业认证。

制定企业低碳发展管理技术规范，规范企业低碳行为标准，推行低碳发展企业认证，对优秀企业进行资助。推行国内外先进的低碳发展认证及后评估工作，推动节能产品认证，提高企业生产发展水平，降低企业生活排放。

4. 园区用地低碳评估。

提高对园区内产业的支持保障能力，对于进入园区的企业申请用地，实行节能低碳评估论证，加强用地项目资格审查，提高项目用地标准，严把能耗、水耗、碳排放水平等约束指标的落实。

5. 碳资产管理。

研究建立碳排放报告、核查制度、支持和培育第三方审核评估机构开展碳审计、碳资产管理业务。引导和支持各类银行、贷款机构、融资担保机构低息贷款给经营节能减排业务的企业，减少节能减碳企业的经营风险。

6. 低碳生活。

(1) 实施低碳发展培训计划。制定园区低碳发展培训计划，重点针对低碳、节能、清洁生产和资源综合利用等低碳领域，开展不同方向、不同层次政策和技术培训，使园区企业及时了解政府鼓励节能的相关政策，掌握当前适用的节能减排技术。积极发动企业基层员工投身园区的低碳发展行动。

(2) 加强宣传、交流和合作力度。与学会、协会等公共组织好每年一度的节能宣传周、低碳日和地球日等宣传活动。

(3) 推广低碳办公。加快实施低碳化改造，逐步建立低碳产品采购制度，推进低碳理念进园区，切实执行好夏冬季的空调温度控制、无纸化办公、节水、节电等相关规定。

7. 合同能源管理机制。

结合电力需求侧管理和资源综合利用，开展合同能源管理服务。鼓励太阳能光热企业，采用合同能源管理方式，开展太阳能供热服务。

8. 水资源循环再用。

对园区范围内的工业用水、环境用水、城市杂用水进行污水收集回用，采用先进的污水处理和循环工艺，发展综合排污系统工程，生活污水处理率达到 100%。建立雨水渗透集蓄、截留储存和处理利用系统。最大限度地拓宽中水回用的范围，提高中水使用比例，为园区景观、公共设施、消防和冲厕等提供中水。全面提高园区水资源利用强度。

9. 低碳发展基金。

以园区管委会为中心，联合园区重点企业积极筹建园区低碳发展基金，研究制定基金的商业化运行管理机制，吸引社会多元化投资，与科研院所共同成立专业化节能低碳服务公司，为园区内外企业提供服务。研究与省级碳基金的对接方案，保障基金增值保值的有效运作。

5.4 近零碳排放区示范工程园区领域技术路线建议

根据近零碳排放区示范工程园区领域技术分析,通过专家评估法对园区相关技术的预期应用和普及年限、减排潜力、经济性以及综合推荐等级进行评价,结果如表 5-2 所示,并绘制近零碳排放区示范工程园区领域技术路线图(图 5-2)。

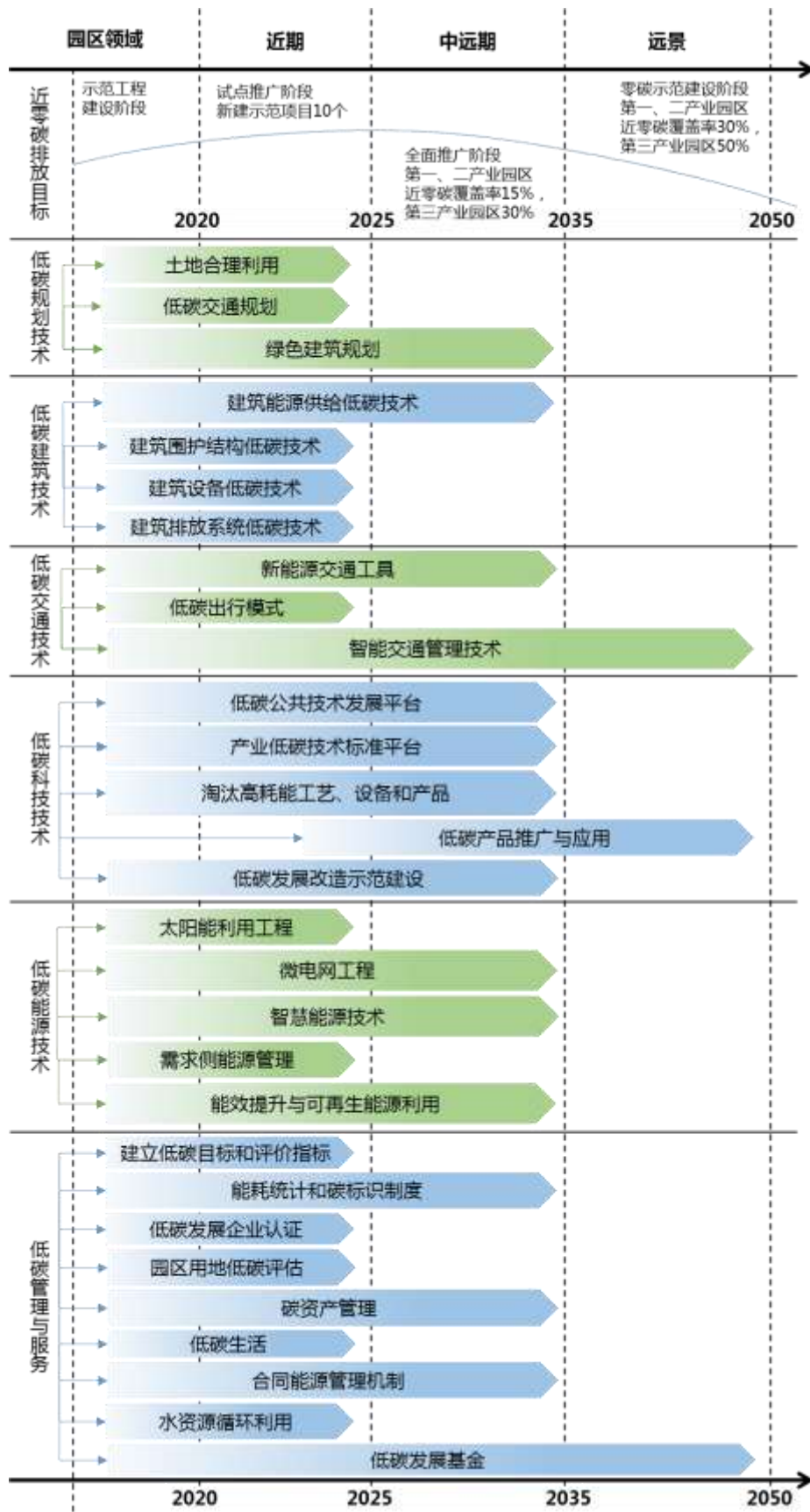
表 5-2 园区领域实施近零碳排放区示范工程技术趋势分析评估

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		2020-2025	2025-2035	2035-2050			
低碳规划技术	土地合理利用	○			▼▼▼	+++	★★★
	低碳交通规划	○			▼▼▼	+++	★★★
	绿色建筑规划	△	○		▼▼▼ ▼	+++++	★★★★★
低碳建筑技术	建筑能源供给低碳技术	△	○		▼▼▼ ▼	+++	★★★★★
	建筑围护结构低碳技术	○			▼▼▼	+++	★★★
	建筑设备低碳技术	○			▼▼▼	+++	★★★
	建筑排放系统低碳技术	○			▼▼	++	★★
低碳交通技术	新能源交通工具	△	○		▼▼▼	+++	★★★
	低碳出行模式	○			▼▼	++	★★
	智能交通管理技术	△		○	▼▼▼ ▼	+++++	★★★★★
低碳科技技术	低碳公共技术发展平台	△	○		▼▼▼ ▼	+++++	★★★★★
	产业低碳技术标准平台	△	○		▼▼▼ ▼	+++++	★★★★★
	淘汰高耗能工艺、设备和产品	△	○		▼▼▼ ▼▼	+++++	★★★★★
	低碳产品推广与应用	△		○	▼▼	++	★★★
	低碳发展改造示范建设	△	○		▼▼	++	★★★
低碳能源技术	太阳能利用工程	○			▼▼▼	+++	★★★
	微电网工程	△	○		▼▼▼ ▼	+++++	★★★★★
	智慧能源技术	△	○		▼▼▼ ▼	+++++	★★★★★
	需求侧能源管理	○			▼▼▼	+++	★★★
	能效提升与可再生能源利用	△	○		▼▼▼ ▼	+++	★★★★★
低碳管理与服务	建立低碳目标和评价指标	○			▼▼	++	★★

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		2020-2025	2025-2035	2035-2050			
	能耗统计和碳标识制度	△	○		▼▼▼	+++	★★★
	低碳发展企业认证	○			▼▼	++	★★
	园区用地低碳评估	○			▼▼▼	+++	★★★
	碳资产管理	△	○		▼▼▼	+++	★★★
	低碳生活	○			▼	++	★
	合同能源管理机制	△	○		▼▼▼▼ ▼	+++	★★★
	水资源循环利用	○			▼▼▼	++++	★★★
	低碳发展基金	△		○	▼▼	++	★★

注：

- ① 预期技术应用和普及年限，△表示预期技术应用年限，○表示预期技术普及年限；
- ② 技术减排潜力，▼越多表示技术减排效果越好，最优5个▼；
- ③ 技术经济性，+越多表示单位投入减排量（tCO₂/万元）越多，经济性越好，最优5个+；
- ④ 技术综合推荐等级，依据技术的减排潜力及经济性进行综合推荐，★越多表示建议该项技术研发推广的力度应越大，最高等级5个★。



(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 5-2 园区领域实施近零碳排放区示范工程技术路线图

参考文献

- [1] 低碳物流园区建设与运营创新实践[J]. 中国物流与采购. 2017(08): 56-61.
- [2] 张巍. 低碳形势下我国园区经济的发展趋势研究[J]. 经贸实践. 2018(04): 151.
- [3] 郭玲, 李云飞. 低碳园区总体规划路径探索——以无锡太科园规划实践为例[J]. 中外建筑. 2017(02): 83-86.
- [4] 钱瑛. 关于我国低碳产业园区的发展模式探析[Z]. 中国北京: 20161.
- [5] 禹湘. 国家试点工业园区低碳发展分类模式研究[J]. 中国人口·资源与环境. 2018(09): 32-39.
- [6] 魏丹青. 国内外低碳园区建设经验的启示[J]. 浙江经济. 2016(10): 44.
- [7] 黄叶飞, 董伟, 刘旸. 开展低碳绿色工业园区试点 推动我国绿色发展进程[J]. 质量与认证. 2018(06): 40-41.
- [8] 刘英淼. 某经济园区电气节能设计[J]. 现代建筑电气. 2016(03): 24-27.
- [9] 吕斌, 康艳兵, 赵盟. 推进国家低碳工业园区试点创建的思考与建议[J]. 中国经贸导刊. 2015(10): 50-54.
- [10] 吴雪莲, 鲍仁冬, 万迎峰. 武汉市低碳产业园发展模式探讨[J]. 工业安全与环保. 2017(08): 103-106.
- [11] 吕斌, 熊小平, 康艳兵, 等. 中国产业园区温室气体排放核算方法研究[J]. 中国能源. 2015(09): 21-26.
- [12] 王为炜. 中国低碳产业园区的发展模式探析[J]. 中国商论. 2016(22): 103-104.
- [13] 广东省发展和改革委员会, 南方日报社. 广东“十二五”低碳发展报告(2016) [M]. 南方日报出版社. 2017.

第6章 近零碳排放区示范工程社区领域

技术路线分析

社区是构成社会的基本单位，也是人们社会生活的基础。随着我国经济的发展和人们生活水平的提高，生活方式的改变，社区在人们社会生活中的重要性也越来越明显。一个低碳社会的构建必定也是由无数个低碳社区单元形成的。因此，以社区单元开展近零碳排放区示范工程建设，大幅降低社区范围内居民生活碳排放，以点带面，有利于区域实现低碳可持续发展。本章将结合广东省社区领域碳排放现状，分析适用于近零碳排放区示范工程的技术，并提出近零碳排放区示范工程社区领域建设目标、技术路线和实施建议，为社区相关主管部门、规划建设和运营管理单位实施近零碳排放区示范工程提供参考。

6.1 社区领域碳排放现状分析

社区是指由居住在某一地域空间的人们结成多种社会关系和社会群体，从事多种社会活动所构成的社会区域生活共同体。根据社区地域条件特征，可划分为农村社区、集镇社区和城市社区三种类型。根据社区某些功能性特征，如经济功能、社会功能、文化功能，可划分为经济型社区、文化型社区、旅游型社区等。根据社区人口规模，可划分为大型、中型和小型社区，其中，大型社区是指大规模、公建设施配套完整的聚居地，人口规模 3 万人以上；中型社区人口规模 10000-30000 人；小型社区规模一般较小，人口 10000 人以下，是单纯的居住形式^[1]。本研究主要将社区划分为农村社区和城市社区。农村社区，是指以从事农业生产活动为主的居民所组成的地域性共同体，具有规模小、人口密度低等特点^[2]。城市社区，是指以从事非农业活动的居民组成的地域性生活共同体，具有规模大，人口密度高等特点。

社区是城市的基本组成，是城市碳排放的主要来源之一，建设低碳社会，也离不开社区这个重要基础和载体。2017 年广东居民生活能源消费占终端能源消费总量的 15.46%，仅次于工业部门（58.16%）而位居第二。根据广东省统计年鉴

可获得广东省 2008-2017 年的居民人均生活能耗，并根据各类能源的排放因子，计算得到广东省 2008-2017 年居民生活碳排放总量与人均碳排放。广东省居民生活碳排放总体呈逐年上升的趋势，人均碳排放从 2010 年的 498.81kgCO₂e 增至 2016 年的 777.03kgCO₂e，但随着人均生产总值的快速增加，单位人均总产值碳排放呈现总体下降趋势，从 2010 年的 11.14gCO₂e/元降至 2016 年的 10.68gCO₂e/元，近年略有回升。广东省居民生活碳排放来源包括煤炭、汽油、煤油、柴油、液化石油气等化石能源燃烧排放，以 2016 年碳排放情况为例，电力使用是居民生活碳排放的主要来源，占比近 60%，其次是油品消耗（其中汽油占 97%）和液化石油气消耗。从能源结构的变化趋势看，随着居民家庭燃气炉灶逐步替换成电力炉灶，液化石油气消耗碳排放比例逐步下降；随着居民家庭机动车保有量持续增加，油品（特别是汽油）消耗碳排放比例逐步上升；电力消耗碳排放总量保持上升趋势，所占比例则在 54%-62%之间波动。

随着人口的快速增长，新的社区也随之增长。低碳甚至零碳社区将成为发展的主流。相比较于传统社区，近零碳社区拥有如下四个显著的特点。首先，近零碳社区可以独立形成一个本地化的、自主的能源供给链，即通过利用社区所拥有的可再生能源资源为社区提供部分能源而不仅仅依靠公共电网。其次，近零碳社区的建筑房屋更加强调自然采暖、采光、通风等，通过提升房屋的建筑材料结构等减少能源消耗，提升了用户的舒适度也为用户减少了相关的费用。同时，近零碳社区增强了住户与生活环境的互动，帮助培养良好的低碳生活习惯。然而近零碳社区的实施存在以下障碍：（1）可再生能源利用推广普及受多种因素限制；（2）低碳社区规划及绿色建筑设计理念尚未普及；（3）居民低碳环保意识及公众参与度有待提高。

6.2 社区领域碳排放评价范围与边界

6.2.1 社区领域近零碳排放的内涵

“近零碳社区”是“低碳社区”最终发展为“零碳社区”的过渡阶段，主要强调碳排放总量指标，在实现区域碳排放总量达到峰值的基础上，碳排放强度指标不断下降，净碳排放不断趋近于零。因此，本研究提出的“近零碳社区”，是

基于低碳生活理念，在社区住宅和配套设施的建设和改造过程中综合运用各项低碳技术、方法和手段，通过优化社区物业管理、推广低碳生活方式、推行可再生能源利用以及相关自愿减排机制，实现社区范围内的温室气体排放量逐步趋近于零，并最终实现社区绿色可持续发展。

6.2.2 本研究提出的社区碳排放评价范围与边界

由于各国社区实际情况不同以及对绿色低碳社区理解的差异，不同国家绿色低碳社区评估体系评价内容和边界划分不尽相同。本研究参考国内外绿色低碳社区评价范围的界定以及广东省社区碳排放核算与报告方法，结合我国及广东社区碳排放的主要影响因素，将社区碳排放评价的范围划分如表 6-1 所示。

社区地理边界范围内的碳排放源包括社区内与生活、工作相关而消费的能源导致的碳排放，包括能源活动以及废弃物处理产生的直接碳排放和间接碳排放。社区内生产活动引起的碳排放不予考虑，如工业生产、农业生产等。若社区内房屋建筑包含生产活动，原则上只考虑生活用能引起的碳排放。在无法区分生产用能和生活用能的情况下，按照保守原则，相关数据可包含生产用能。

表 6-1 “近零碳社区”碳排放评价范围

评价范围	范围说明	参考标准
直接排放	<ul style="list-style-type: none"> 社区内居民活动（采暖、炊事等）和居民出行交通工具（公交车、私家车等）化石燃料燃烧产生的温室气体排放； 社区内垃圾焚烧、填埋和污水处理过程中产生的温室气体排放； 考虑社区范围内绿化碳汇； 	参照《社区碳排放核算与报告方法》及《省级温室气体清单编制指南》
间接排放	<ul style="list-style-type: none"> 社区内居民活动（采暖、空调、照明、炊事等）、居民出行交通工具（电动车）以及给水排水系统、污水处理系统、垃圾处理系统等社区配套设施运行过程中消耗电力和热力等二次能源产生的排放； 考虑电力调入调出情景：光伏发电、风力发电、生物质燃烧等可再生能源利用外输能源产生的减排量； 	
抵消机制	<ul style="list-style-type: none"> 社区管理主体或居民为抵消项目范围内碳排放量购买的外部核证减排量(限定比例)，例如广东省碳普惠减排量(PHCER)。 	减排量备案证明

6.3 近零碳排放区示范工程社区领域技术分析

6.3.1 技术概况

目前，国内外低碳社区的实践已经有很多。在国外，最早从 1979 年的丹麦太阳风社区^[3]开始，在欧洲、美国、澳大利亚、日本等地，陆续涌现出了许多优秀的低碳社区实践，通过运用各种零碳或低碳技术，使得社区碳排放均得到了不同程度的降低。无论是早一批的太阳风社区、贝丁顿零碳社区，还是后起之秀玛边绿地、藤泽生态智慧城，零碳或低碳技术都在其低碳建设中发挥了至关重要的作用。如今，新建低碳社区都会配置一定规模的光伏光热、电动汽车、储能设备等^[4]，这已是低碳社区创建的固定模式。随着科学技术的不断发展，更多零碳或低碳技术和产品问世，智能化形式的零碳或低碳技术将在未来低碳社区创建工作中占有非常重要的位置。

在社区管理方面，智能物业管理系统和社区智能碳排放管理系统是值得关注的重点发展方向。智能物业管理系统包括了物业的日常业务、设备管理、保修案件等功能和服务，将会节约大量人力、能源及资源的投入，实现物业管理的低碳以至零碳发展。智能碳排放管理系统以碳排放管理体系为理论支持，结合现代信息、通信、计算机、高级量测、自动控制等先进技术手段，实现多元化的社区智能碳排放管理系统，达到社区碳排放智能管理的目的。

在社区配套方面，智能照明系统、智能水环境系统和智能废弃物管理系统是社区零碳技术的主要发展方向。社区智能照明系统包括了室内与公共照明、路灯照明、景观照明、车库照明的集中管理与控制等内容，不仅节能效果非常明显，而且安全性高、不易发生触电事故、维护简单方便。

智能水环境系统的领先示范是天津生态城的水环境系统智能化管理平台。该系统将社区的水处理技术进行基于物联网的智能化管理，提高了水处理方式的效率，降低沟通成本，减少设备的重复购置和维护，从而使得社区水处理相关的碳排放大大降低。随着物联网技术的不断发展，该系统将不断的更新优化，并且降低使用成本，在不久的将来，将会在智能低碳社区得到推广。

智能废弃物管理系统是未来废弃物收集和处理的主要发展方向。封闭式垃圾收集智能管理系统采用封闭式地下管道真空抽送传递方式，通过智能化管理系统

控制垃圾转运的全过程。虽然目前造价比较昂贵，但随着科技进步，成本会逐渐降低。此外，智能废弃物收集系统可用于社区住宅以外的地方，比如广场和马路边，通过对垃圾进行智能分类，更有效的收集社区中的垃圾。

在社区住宅方面，零碳住宅设计是未来社区住宅的发展方向。虽然零碳建筑已经有很多实施案例，但完全实现零碳排放的建筑设计还没有。零碳建筑的实施和推广取决于多个因素，如社会观念、技术水平、建筑成本、管理制度、执行策略等。随着世界各国对气候变化的重视，以及科技水平的不断提高，在未来 30-50 年，零碳建筑会突破以上的限制因素，迎来快速的发展。此外，随着互联网的发展，智能家居进入了快速发展时期。在未来十几年，智能家居将替代传统的家居模式，借助互联网、物联网、人工智能等实现家居智能化，进一步降低住宅建筑的能源消耗，在为生活提供便利的同时，实现节能减排的目的。

在社区能源利用方面，太阳能、风能及地热能等清洁能源的复合应用及其智能化形式的零碳技术将是未来低碳社区的主要能源提供方式。目前，太阳能、风能、地热复合应用技术及智能电网的研究正在进展中，还有许多难题未能攻克，比如太阳能、风能的并网问题，以及电力的需求侧和供给侧的平衡问题等。随着智能电网研究的不断深入，太阳能、风能、地热复合应用及清洁能源智能电网技术将很快在社区单元推广开来。

6.3.2 社区管理

(1) **低碳社区规划**。低碳社区的整体规划是将空间、过程和资源一体化考虑，包括规划对气候变化的适应、土地利用空间布局、社区特色的塑造、公共开放空间营造、交通和街道体系以及基础设施建设。

(2) **低碳物业管理**。低碳物业管理是指低碳房地产的售后服务，它是解决低碳房地产后期的设备维修、园区绿化维护等难题，对降低用户或居民的生产、生活的碳排放量，改善的生存环境等起着至关重要的作用的重要组成部分。

(3) **居民低碳消费**。低碳消费观，包括三层含义：一是倡导消费者在消费时选择未被污染或有助于公众健康的低碳产品；二是在消费过程中注重对垃圾的处置，不造成环境污染；三是引导消费者转变消费观念，崇尚自然、追求健康，在追求生活舒适的同时，注重环保、节约资源和能源，实现可持续消费。

(4) **居民绿色出行**。低碳社区的交通系统以公共交通为主，通过增加路网

密度,增加自行车、电动车和新能源汽车的数量,来增加居民出行的多样化选择。

(5) **社区碳普惠制**。碳普惠制是广东首创的公众低碳激励机制。碳普惠制是指运用相关市场机制,通过社会广泛参与促使减少温室气体排放及增加碳汇行为的制度,包含碳普惠行为的确定、碳普惠行为产生减排量的量化及获益等环节。

(6) **智能物业管理系统**。智能化物业管理模式要求综合应用计算机通信技术、互联网技术、自动化技术、电子电力技术等实现对智能建筑的有效管理,是物业管理系统与楼宇自动化系统高度集成的产物。

(7) **社区碳排放管理系统**。未来居民社区碳排放管理需考虑节能减排的国家政策,结合现代信息、通信、计算机、高级量测、自动控制等先进技术手段,打造多元化的社区智能碳排放管理系统,该系统可以根据 PDCA 循环的模式来设定能源规划、能源及碳排放可视化管理、碳排放分析与诊断、碳排放效率控制等内容。

6.3.3 社区配套

(1) **公共照明节能技术**。通用技术建筑能耗可以通过降低照明功率或者减少使用时间来降低能耗,包括采用高效灯具替代效率较低的光源、节能灯具和局部开关等。

(2) **给排水系统节能技术**。节约用水、污水处理以及雨水利用成为社区水环境系统利用方面关注的工作重点,水资源利用包括雨水管理和雨水回收利用两部分。

(3) **垃圾分类及回收**。低碳社区在固体废弃物处理方面的工作重点即为垃圾分类回收以及循环利用,从垃圾产生的源头进行控制,也减轻了城市固体废弃物处理的压力。

(4) **废弃物资源化技术**。生活垃圾处理技术离不开一个核心原则,就是资源化利用,例如垃圾炭化后产生的生物炭、发酵后产生的残渣可替代化肥就地用于小区绿化、屋顶种植、有机农业等。

(5) **乔灌草绿化模式**。乔灌草绿化模式是模拟自然植物群落形式设计的复层生态群落,可在有限的绿化土地面积中,尽可能提升叶面积指数、增加绿量,同时也使绿化更具有层次和立体效果,充分利用植物蒸腾水分,调节空气湿温度、

生产氧气，来改善居住区的小气候，取得最大化的生态效益。

(6) **立体绿化**。立体绿化”，又称“垂直绿化”，是指为了充分利用空间，在墙壁、阳台、窗台、屋顶、棚架等处栽种攀缘植物，以增加绿化覆盖率，增加城市绿化景观，改善居住环境，是丰富社区绿化景观重要而有效的方式。

(7) **智能照明系统**。智能照明系统与传统照明系统相比较，最显著的特点就是节能效果好。借助各种不同的“预设置”控制方式和控制元件，该系统对不同时间不同环境下的光照度进行精确设置和合理管理，自动调节光照度。

(8) **智能水环境系统**。智能水环境系统由雨水管道系统、污水管道系统、景观湖（塘池河）蓄水系统、市政供水系统、人工湿地及径流管理系统、水处理系统、提升及喷灌系统等组成，以低影响开发为前提，节约水资源，提升社区生态环境为目标，实现对整个区域水环境的智能控制，综合提升水环境的整体质量。

(9) **智能废弃物管理系统**。封闭式垃圾收集智能管理系统是社区住户的垃圾采用封闭式地下管道真空抽送传递方式，通过智能化管理系统控制全过程，投放、抽送、压缩、打包后，由运输车运至市政垃圾处理场进行集中处理。智能废弃物收集系统是通过物联网技术，可以将传统垃圾箱变为智能垃圾箱，以便更有效的收集社区内的垃圾。

6.3.4 社区住宅

(1) **绿色建筑**设计。绿色建筑应往建造被动式住宅的方向发展，被动式住宅，即采用各种节能技术构造最佳的建筑围护结构，极大限度地提高建筑保温隔热性能和气密性，使建筑对采暖和制冷需求降到最低。在此基础上，通过各种被动式建筑手段，如自然通风、自然采光、太阳能辐射得热等来尽可能实现室内舒适的热湿环境和采光环境，最大限度降低对主动式的机械采暖和制冷系统的依赖或完全取消这类设施。

(2) **节能家居**。住宅建筑内部的能耗主要来源包括炊事、照明、制冷、供暖等。照明和制冷主要以电能为主，而炊事和供暖则主要以化石能源为主。节能家居可包括节能炉灶、节能灯具、节能空调及其他节能电器。

(3) **零碳建筑设计**。零碳住宅设计通过绿色技术手段合理利用可再生能源，如风能、太阳能、生物质能等，使住宅实现零排放，也可称为主动式建筑设计。目前，实现零碳排放的办法一般是将住宅内的能源全部替换为可再生能源，避免

煤炭、天然气等传统能源生产过程中碳排放，同时充分利用自然采光和自然通风来降低住宅能耗。

(4) **智能家居**。在未来十几年，智能家居将替代传统的家居模式，借助互联网、物联网、人工智能等实现家居智能化，进一步降低住宅建筑的能源消耗，在为生活提供便利的同时，实现节能减排的目的。

6.3.5 社区能源

现阶段，社区层面的清洁能源技术应用，主要是与建筑节能相结合，优先采用各种无污染的可再生能源，如太阳能、地热能、风能、生物质能，并采用先进水源地源热泵技术，利用湖水、河水、污水及浅层地下水，进行采暖和制冷。

(1) **分布式太阳能应用技术**。太阳能作为清洁的可再生能源，越来越受到人们的重视，应用领域也越来越广泛。太阳能在社区建筑中利用分为太阳能的利用方式主要包括以下几种：光能到热能的转换；光能到电能的转换；光能到化学能的转换。在日常的生产应用中，前两种转换方式最为成熟，最后光能到化学能的转换方式仍然在初步的研究开发阶段，未来不可限量，突破口就在太阳能制氢技术的完善与优化。

(2) **中小型风力发电技术**。在社区层面，可以考虑建设中小型风电站。将涡轮机纳入到人居区中，提高风力发电的灵活性，以便于其独立、轻松的把风能集成到混合动力系统中，与太阳能发电系统或储氢系统一起工作。除此以外，分布式的中小型风电还具有就近入网、就地消纳，不需要电网的远距离输送等优势。

(3) **地源热泵技术**。地源热泵技术是以地热（冷）源作为热泵装置的热源或热汇，对建筑进行供暖或制冷的技术。地源热泵通过输入少量的高品位电能，可实现能量从低温热源向高温热源的转移，在冬季向室内供热，夏季则对室内制冷，实现对建筑物的空气调节。

(4) **生物质能利用技术**。生物质能源是一种脱颖而出的新能源，它既具有能源功能，又能从事生物化工产品等物质性生产，既能缓解能源和环境压力，又是一种可再生能源，同时也是唯一一种可再生的碳源。有代表性的生物质如农作物、农作物废弃物、木材、木材废弃物和动物粪便等。

(5) **太阳能和低位热源复合智能供热系统**。复合智能采暖供热系统，主要

是利用太阳能热能、生活热水等低位热源并以空气源热泵作主动调节供热的复合智能系统。太阳能光热系统是利用太阳能转化为热能的制热系统，空气源热泵是利用空气能量作为热源，进行能源转换的制取热水系统，两者均是可再生的清洁能源技术。

(6) **智能微电网技术。**智能微电网将用户和分布式太阳能光伏电源及其他清洁能源以及外接市政电源之间形成网络互动和即时连接，实现智能控制^[9]，为社区居民日常用电、设施用电、水系统和社区交通提供基础动力。通过太阳能光伏发电、风力发电的接入，提高了清洁能源消费比重和效率，减少城市和社区的污染。

6.4 近零碳排放区示范工程社区领域技术路线建议

根据近零碳排放区示范工程社区领域技术分析，通过专家评估法对社区相关技术的预期应用和普及年限、减排潜力、经济性以及综合推荐等级进行评价，结果如表 6-2 所示，并绘制近零碳排放区示范工程社区领域技术路线图(图 6-1)。

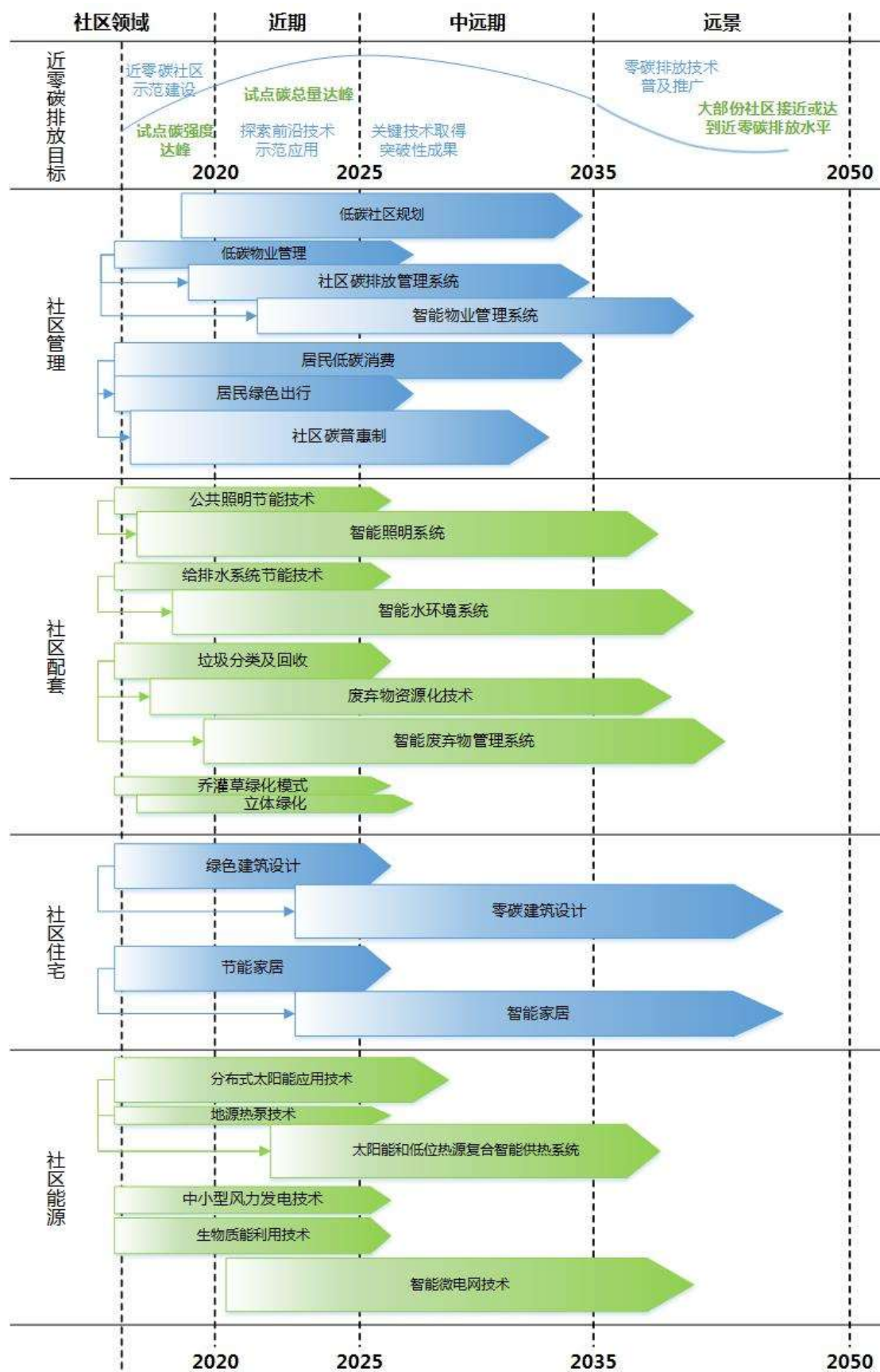
表 6-2 社区领域实施近零碳排放区示范工程技术趋势分析评估

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④	
		2020-2025	2025-2035	2035-2050				
社区管理	整体规划	低碳社区规划	△	○		▼▼▼	++++	★★★★
	物业管理	低碳物业管理	○			▼▼	++++	★★
		智能物业管理系统	△	○		▼▼▼	++	★★★
		社区碳排放管理系统	△	○		▼▼▼	+++	★★★
	低碳生活	居民低碳消费	△	○		▼▼▼	++++	★★★
		居民绿色出行	○			▼▼▼▼	++++	★★★
		社区碳普惠制	○			▼▼▼▼	+++++	★★★★
社区配套	公共照明系统	公共照明节能技术	○			▼▼▼▼	++++	★★
		智能照明系统	△	○		▼▼▼	+++	★★★★
	水环境系统	给排水系统节能技术	○			▼▼▼	+++	★★
		智能水环境系统	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★
	废弃物处置系统	垃圾分类及回收	○			▼▼▼▼	+++	★★★
		废弃物资源化技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★

		术				▼		
		智能废弃物管理系统	△	○		▼▼▼▼	++	★★★★
	社区绿化系统	乔灌草绿化模式	○			▼▼	+++	★
		立体绿化	△	○		▼▼	+++	★
社区住宅	住宅设计	绿色建筑设计	○			▼▼▼▼	+++	★★★★
		零碳建筑设计	△		○	▼▼▼▼ ▼	++	★★★★★
	住宅节能	节能家居	○			▼▼▼	++++	★★★★
		智能家居	△		○	▼▼	+++	★★★★
社区能源	可再生能源利用	分布式太阳能应用技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★
		中小型风力发电技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★
		地源热泵技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★
		生物质能利用技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★
		太阳能和低位热源复合智能供热系统	△		○	▼▼▼▼ ▼	++++	★★★★★
	能源基础设施	智能微电网技术	△		○	▼▼▼	++	★★★★★

注：

- ① 预期技术应用和普及年限，△表示预期技术应用年限，○表示预期技术普及年限；
- ② 技术减排潜力，▼越多表示技术减排效果越好，最优5个▼；
- ③ 技术经济性，+越多表示单位投入减排量（tCO₂/万元）越多，经济性越好，最优5个+；
- ④ 技术综合推荐等级，依据技术的减排潜力及经济性进行综合推荐，★越多表示建议该项技术研发推广的力度应越大，最高等级5个★。



(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 6-1 社区领域实施近零碳排放区示范工程技术路线图

参考文献

- [1] 吉海丽. 社区发展与社区人口规模合理化预测研究 [D]: 华中科技大学; 2007.
- [2] 杨斌, 石龙宇, 李春明. 农村生态社区概念及评价指标体系[J]. 环境科学与技术, 2015; 38:419-423.
- [3] 付允等, 低碳城市的发展路径研究[J]. 科学对社会的影响, 2008, (02):5-10.
- [4] 倪前龙等, 国内外低碳社区现状、发展趋势研究及我国低碳社区发展建议, 上海节能, 2015, 11:587-591.
- [5] 吴若华等, 基于绿色低碳理念的住宅技术管理[J]. 建筑, 2011(20): 63-64.

第7章 近零碳排放区示范工程城镇领域

技术路线分析

城镇，通常指的是以非农业人口为主，具有一定规模工商业的居民点。对于“城镇”一词本身，国内外有不同的定义和划分标准，存在着“都市区”、“城市建成区”、“城区”、“镇区”等诸多概念。本研究所称的城镇，是相对国家、省级区域而言的，更侧重其行政意义的范畴，主要包括地级市、县、乡（镇）三级。城镇领域是广东省近零碳排放区示范工程试点的六大领域之一，也是范围最大、领域覆盖最全面的综合试点类型。因此，开展近零碳排放区示范工程城镇领域建设研究，需要综合建筑、交通、工业等领域相关研究，并进行整体系统分析。本章将结合广东省城镇不同领域、不同区域的碳排放现状，综合分析不同领域近零碳排放区示范工程的技术，并以城镇领域为切入点，运用 LEAP 模型工具构建了近零碳排放区示范工程情景分析框架，分析建筑、交通、工业和农林业等不同领域以及珠三角、东西两翼和粤北山区等不同区域，在不同政策措施下的减排潜力和趋势，提出近零碳排放区示范工程城镇领域建设目标、技术路线和实施建议，为各级行政主管部门以及应对气候变化、城市规划管理和各相关行业主管部门实施近零碳排放区示范工程提供参考。

7.1 城镇领域碳排放现状分析

从第一章对广东低碳发展现状的分析可以了解到，全省单位 GDP 碳排放呈持续下降趋势，人均碳排放则增长逐步放缓，碳排放总量在不断增长之后呈稳中有降的态势。在广东 2015 年碳排放总量中，工业领域碳排放占比 64%，建筑领域占比 20%，交通领域占比 14%，农林业占比 2%。在广东 2015 年一次能源消费量中，原煤占比 42%，原油占比 27%，电力占比 24%，天然气占比 7%，非化石能源消费比重约为 20%。

根据《国务院关于调整城市规模划分标准的通知（国发〔2014〕51 号）》，以城区常住人口为统计口径，将城市划分为五类七档：城区常住人口 50 万以下

的城市为小城市，其中 20 万以上 50 万以下的城市为 I 型小城市，20 万以下的城市为 II 型小城市；城区常住人口 50 万以上 100 万以下的城市为中等城市；城区常住人口 100 万以上 500 万以下的城市为大城市，其中 300 万以上 500 万以下的城市为 I 型大城市，100 万以上 300 万以下的城市为 II 型大城市；城区常住人口 500 万以上 1000 万以下的城市为特大城市；城区常住人口 1000 万以上的城市为超大城市。不同规模的城镇具有差异化的碳排放特征：

(1) 特大城市和超大城市（城区常住人口 500 万以上）。广州、深圳为城区常住人口 1000 万以上的超大城市，东莞为城区常住人口 500-1000 万的特大城市。特大城市和超大城市碳排放总量和人均碳排放量相对高于大城市和中小城市，而单位 GDP 碳排放强度则低于大城市和中小城市。2013 年广州市人均温室气体排放量为 16.5 吨/人，高于梅州市的 4.85 吨/人，而广州市单位 GDP 温室气体排放量为 1.37 吨/万元，低于梅州市的 2.36 吨/万元。特大城市和超大城市的经济总量和人口规模大，碳排放总量和人均碳排放也相对较高。

(2) 大城市（城区常住人口 100 至 500 万）。珠海、汕头、佛山、江门、湛江、茂名、惠州和揭阳等为城区常住人口 100-500 万的大城市。大城市的温室气体排放总量、能源消费总量、人均温室气体排放量和单位 GDP 温室气体排放强度均处于全省中等水平。惠州市的温室气体排放总量、能源消费总量和人均温室气体排放量均低于广州、深圳等超大和特大城市，而高于梅州、汕尾等中小城市，惠州市的单位 GDP 温室气体排放强度则高于广州、深圳等超大和特大城市，而低于梅州、汕尾等中小城市。

(3) 中等城市（城区常住人口 50 至 100 万）。韶关、肇庆、梅州、阳江、清远、中山、潮州和云浮等为城区常住人口 50-100 万的中等城市。中等城市的碳排放总量和人均碳排放量低于超大、特大和大城市，而单位 GDP 碳排放强度高于超大、特大和大城市。梅州市的人均碳排放量低于珠三角各市，而单位 GDP 碳排放强度高于珠三角各市。中等城市交通运输领域碳排放快速增长，但人均交通出行碳排放量处在较低水平。梅州 2014 年人均交通碳排放为 0.270 吨/人，较 2005 年的 0.123 吨/人，年均增长 9.13%，但相对广州、深圳等发达地区来说，仍处在较低水平。

(4) 小城市（城区常住人口 50 万以下）。汕尾、河源以及部分县级市为城

区常住人口 50 万以下的小城市。以梅州兴宁市为例，兴宁市人均碳排放量处于较低水平，而单位 GDP 碳排放强度较高，2014 年人均温室气体排放量为 3.13 吨/人，低于梅州全市 4.85 吨/人的平均水平，而单位 GDP 温室气体排放强度为 2.64 吨/万元，高于梅州全市 2.36 吨/万元的平均水平。小城市工业生产的能源活动是碳排放的主要来源，但农业活动的碳排放量也占有较大比重，如兴宁占了 8.86%，高于广州、深圳等超大和特大城市。

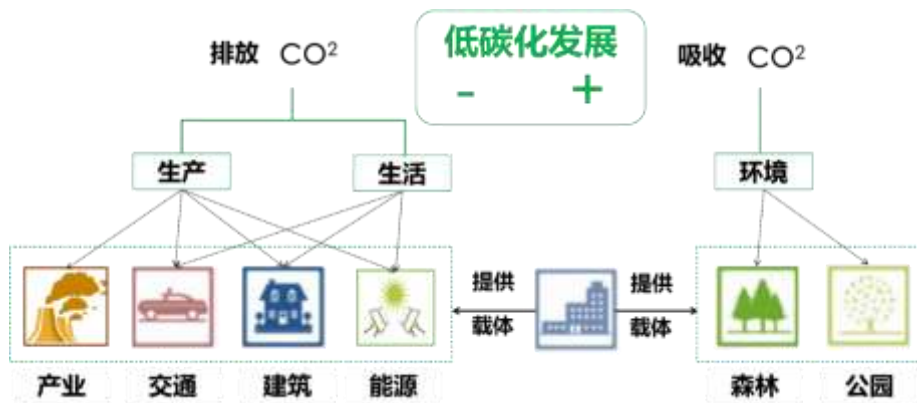
(5) 乡镇（城区常住人口 20 万以下）。由于乡镇的规模相对较小，且有工业、农业、旅游等不同的发展类型，其碳排放也具有不同的特征。以中山市三乡镇为例，是珠三角以工业、服务业为主导的乡镇，其碳排放具有以下特征：一是由于可开采的常规能源少，三乡镇对能源调入的依赖较大，作为能源消费最重要指标的电力，完全依赖外界调入；二是三乡镇的单位 GDP 碳排放强度逐渐降低，由 2012 年的 1.016 吨/万元降低到 2015 年的 0.818 吨/万元；三是三乡镇的能源活动碳排放逐渐升高，其中建筑业、交通运输业和服务业占能源活动碳排放的比例均有所上升，而居民生活和农业活动占能源活动碳排放的比例有所下降。

目前，城镇领域实施近零碳排放区示范工程的重点和难点主要包括：（1）碳排放总量逐年攀升，单位 GDP 和人均碳排放量仍处于较高水平；（2）城镇规模仍处于增长阶段，短期内碳排放控制难度较大；（3）城镇空间布局不断优化调整，是避免“碳锁定”的关键时期；（4）制定近零碳的相关的技术标准和规范；（5）全过程全链条集成近零碳规划建设技术；（6）建立和完善相关激励措施和政策支持。

7.2 城镇领域碳排放评价范围与边界

7.2.1 城镇领域近零碳排放的内涵

城市（镇）是一个复杂的巨系统，城市系统内部的碳过程与自然生态系统大不相同，据研究，人类排放碳总量的 78%—97%来自城市。城市的碳排和碳汇涉及空间布局、产业发展、交通发展、建筑布局、能源利用、绿色市政、碳汇建设等多方面的内容。城市密度、土地利用方式、建筑类型、交通方式、产业布局、居民消费对于城市能源需求和碳的产生、空间分布具有重要影响，植被主要起对碳排放的吸收作用。



（图片来源：广东省低碳生态和绿色城区规划编制指引）

图 7-1 城市碳排放系统模型

“近零碳排放”是近些年出现的新兴理念，是“低碳”的升级版，指城镇温室气体的输入、转化和输出达到平衡。本研究提出的“近零碳城镇”，就是最大限度地减少温室气体排放的环保型城镇，是“低碳城市”的一种理想状态，城市碳排放与自身碳吸收之间的平衡状态成为“零碳”或碳中和。如图 7-1 所示，城市碳排放包括生产活动碳排放、生活领域碳排放和生态环境碳吸收三个部分。

7.2.2 本研究提出的城镇碳排放评价范围与边界

本研究建议近零碳排放区示范工程城镇领域的温室气体排放清单编制应充分落实国家的行业标准要求，按照《广东省市县温室气体清单编制指南》进行编制，其他的核算方法可作为补充验证，城区的行政边界或地理边界为城镇碳排放的核算边界，以自然年为统计周期，将城镇碳排放评价范围划分如表 7-1 所示。

表 7-1 “近零碳城镇”碳排放评价范围

评价范围	范围说明	参考标准
直接排放	<ul style="list-style-type: none"> 城镇内部能源活动（工业、交通和建筑）、工业生产过程、农业、土地利用变化和林业、废弃物处理活动产生的温室气体排放； 考虑森林、园林绿化等碳汇； 	参照《省级温室气体清单编制指南（试行）》、《广东省市县温室气体清单编制指南》
间接排放	<ul style="list-style-type: none"> 为满足城市消费而外购的电力、供热和/或制冷等二次能源产生的排放； 考虑电力调入调出情景：光伏发电、风力发电、生物质燃烧等可再生能源利用外输能源产生的减排量； 	
抵消机制	<ul style="list-style-type: none"> 城区管理主体或居民为抵消项目范围内碳排放量购买的外部核证减排量（限定比例），例如广东省碳普惠减排量（PHCER）。 	减排量备案证明

7.3 近零碳排放区示范工程城镇领域技术分析

从“零碳城镇”的内涵及定义可以看出，零碳城镇建设是由组成城镇功能的各个系统的节能化、环保化实现的，通过“零碳交通”、“零碳建筑”、“零碳能源”、“零碳产业”、“零碳设施”，而最终造就“零碳城镇”，是一个复杂的系统工程，但也更有条件通过碳中和机制实现近零碳排放。如图 7-2，基于 7 项影响城镇碳排的核心构成要素和 2 项支撑要素构建城镇近零碳建设技术体系：一是从技术的种类与特点、技术内容、技术应用与推广情况分析城镇领域现有低碳技术；二是从技术趋势时间性，技术（政策）成熟度、系统性、经济性、减碳成效等角度分析未来近零碳技术趋势，在此基础上系统总结并提出该领域近零碳技术趋势。



图 7-2 城镇近零碳建设技术体系

7.3.1 城镇空间布局

城镇空间的范围差异巨大，一般几平方公里至几千上万平方公里不等，主要包括城市层面和街区层面两个尺度。在城市层面，主要以行政管辖范围为单元，强化城市空间管制，促进城市建设紧凑布局，利用城市形态的组织 and 优化影响城市的交通需求和交通效率，减少能耗并保护环境生态质量，从而实现低碳城市。在街区层面，优先发展公共交通，并结合 TOD 的理念，对于轨道站点及重要的公共交通走廊沿线站点区域进行高强度综合开发，并通过对街区的功能进行混合利用，达到服务便利、减少出行、降低碳排放的作用。

城镇空间布局的系统性强，涉及面广，未来的近零碳发展，主要是在现有的低碳城镇技术基础上，以形态结构、土地利用为重点，塑造近零碳城镇的系统格

局和框架。一是控制与保护区域型结构性绿地廊道，划定生态控制线，约束城市建设总体规模，在技术和政策上相对成熟，减碳成效也较为显著；二是强化城市的结构框架和中心体系，塑造整体结构与紧凑形态；三是结合 TOD 理念，促进土地与交通一体化发展；四是促进土地使用功能的有效混合，确保就业与居住之间的相对平衡。这些技术目前已基本成熟，其系统性都较强，虽然直接减碳成效一般，但是通过其作用于城镇其他方面的间接减碳成效显著。

7.3.2 能源供应体系

城镇能源低碳发展一般包括优化能源结构和建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系。在优化能源结构方面，主要以推广天然气、太阳、风能等清洁或可再生资源，严格控制使用煤炭资源，从而减少能源消费的碳排放。在建设现代能源体系方面，主要包括构建分布式能源体系、推广智能电网等，通过优化能源布局、供给和传输方式，提高能源利用效率，减少长距离运输所导致的能源损耗，从而达到降低碳排放的作用。

自工业革命以来，日益增长的能源消费给地球资源环境造成越来越大的影响，也引发了气候变化的全球生态危机。传统的以化石能源为支柱的能源体系和经济发展模式已难以为继，能源技术的低碳化转型是大势所趋。首先是充分利用可再生能源，促进可再生能源成为新增能源供应的主力能源，同时要构建高效、清洁、低碳的智慧能源互联网，通过优化能源供给网络推动能源消费的绿色低碳发展，最终建立起以新能源和可再生能源为主体的新型能源体系，取代当前以化石能源为主体的高排放和高碳能源体系，从而实现经济社会与资源环境的协调可持续发展。

7.3.3 产业低碳发展

发展低碳经济，倡导低碳生产，创新低碳技术是低碳城市的重要特征之一。低碳城市的一个重要目标就是要建立以低碳排放为特征的产业体系。低碳城市产业体系的主要包含三个方面的特征：一是大力发展第三产业；二是发展碳含量较低的行业及生产低碳技术的产业；三是引导高碳产业低碳化改造。现有的低碳技术主要从提高第三产业和低碳工业比例、发展低碳排产业、推进工业园区低碳化

改造、健全低碳发展市场体系等方面着手推动产业低碳发展。

随着产业发展的不断升级以及市场机制的逐步健全，未来近零碳产业发展有了新的趋势。一是加大创新投入，加强产学研的协同创新，推动低碳技术的进一步升级。二是充分利用核能、太阳能等新能源，发展新材料、新医药等战略性新兴产业，构建更为完善的低碳产业体系。三是优化产业空间布局，推动产城融合发展，建设第四代产业园。四是发展低碳金融，推广碳排放交易机制，健全低碳发展市场体系。

7.3.4 绿色交通体系

低碳交通是以节能减排为核心目标的一种行为方式，包括生产行为和消费行为。从生产角度上说，主要从优化道路布局、提高运输组织效率（智能化交通管理）、提高运输工具效能（新能源汽车）等途径实现低碳交通。从消费角度上说，体现在人们的日常交通出行中，通过倡导步行、骑自行车等非机动车行为实现低碳交通。

未来绿色交通领域的低碳技术，主要体现在优化道路布局、改善出行方式，实现车辆和交通低碳化、智慧化管理三大方面。在道路布局方面，主要采用“交通走廊+小街区”的道路网格模式，形成以公交和慢行为导向的路网结构。在出行方式方面，通过大力发展城市轨道交通，构建快速公交、常规公交、特色公交为一体的公共交通网络，以及完善城市绿道和换乘设施系统等，提高公交和慢行交通分担率。在车辆和交通管理方面，通过推广新能源汽车，推进加气站、充电设施、智能交通网络建设，实线车辆设配及交通调度的低碳化、智慧化。

7.3.5 推广绿色建筑

目前，在城镇层面推广绿色建筑主要从三个方面着手开展。一是在建筑个体方面，推广低碳建筑设计、低碳建筑施工、低碳建筑材料、节能照明等现代绿色建筑技术。二是在城镇方面，规模化发展绿色建筑，同时利用外遮阳、中水回用、节能照明等技术推进既有建筑的节能生态化改造。三是在推广机制方面，制定绿色建筑减税激励、财政补贴政策，提供绿色建筑信贷政策。

零能耗建筑已逐渐成为绿色建筑发展的重要趋势，在未来一段时期内，绿色

建筑领域将会规模化推广现代绿色建筑技术，更注重对可持续建筑材料的使用，更加关注空气对流设计以及水重复利用技术。将采取更加有力的措施推动绿色生态城区建设，并广泛采用地源热泵、中央空调、太阳能热水、建筑节能材料推进既有建筑的节能改造。此外，建立绿色金融、争取信贷支持、推动绿色建筑立法也成为推广绿色建筑的重要政策手段。

7.3.6 设施支撑体系

城市供排水、固体废弃物处理、工业废气处理等市政基础设施是城市运行的生命线，也是城市碳排放的重点之一。低碳市政技术是低碳城镇建设的重要硬性技术，其对城镇碳减排可以起到立竿见影的效果。在水资源供应方面，主要通过雨水利用、污水回用、分质供水、节水、污水收集处理等技术手段提高水资源的利用效率，减少水的净化和运输过程中的能源消耗。在固体废弃物处理方面，主要通过垃圾分类、减量化、资源化等技术手段减少需要处理的垃圾量，并选择合适的垃圾无害化处理方式和固体废弃物污染防治技术，来降低固体废弃物处理过程中的碳排放。在大气污染防治方面，主要通过活性炭吸附、深度催化冷凝回收等工业废气治理技术来降低碳排放。

市政设施领域及低碳市政技术的系统性较强，涉及面也较广，未来主要通过进一步推广低碳市政技术、完善市政基础设施来提高能源和资源利用效率，进而推动城镇近零碳建设。一是优化水资源供应体系，使污水管网、泵站等基础设施进一步完善，非常规水资源充分利用，水污染得到有效治理；二是完善固体废弃物处理设施，实现固体废弃物的无害化、减量化、资源化利用；三是加强大气污染防治，提高废气排放控制水平，提升环境空气质量。总体来看，市政设施领域的近零碳技术已基本成熟，系统性较强，而经济性较弱，水资源供应领域和固体废弃物处理领域的减碳成效较为明显。

7.3.7 生态碳汇建设

碳汇是指通过植树造林、森林管理、植被恢复等措施，利用植物光合作用吸收大气中的二氧化碳，并将其固定在植被和土壤中，从而减少温室气体在大气中浓度的过程、活动或机制，对于控制大气碳增量具有重要的作用。在现有的生态

碳汇技术中，主要推进林业、湿地等碳汇建设工程，提高城市碳汇能力；探索立体绿化和垂直绿化的新技术、新方法，提高城市绿化指数，提升公共开放空间品质；通过完善碳汇监测体系、建立碳汇交易平台和加强碳汇技术研发，实现碳汇提升。目前，碳汇领域的各项低碳技术在广东省推广情况良好。

生态碳汇建设对于促进城镇近零碳发展具有重要的作用，未来主要通过加强碳汇建设和管理，来控制碳排放和助推近零碳城镇建设。一是推进重点碳汇建设工程，提高碳汇能力，引导碳汇技术革新；二是推进城市增绿工作，优化城市绿地系统，提升绿化覆盖率；三是实施碳汇综合管理，提升城市碳汇，抵消碳排放。总体来看，生态碳汇领域的技术与政策基本成熟，系统性较强，虽然经济性较弱，但直接减碳成效较为显著。

7.3.8 总体规划设计

低碳的规划设计，不仅仅可以改变城市粗放的规划建设方式，更在于通过建设方式的改变，引导生活方式的改变，形成“低碳+活力+健康”多维目标相互促进的城市发展格局。在城镇总体层面的规划设计，目前主要通过确定目标、制定框架、明确行动等手段引导城镇低碳发展。

近零碳城镇总体规划设计是在城市总体规划范围和层面落实低碳生态发展相关政策和目标，明确策略、措施和近期行动计划的全局性、实施性、指导性专项规划，是合理配置城市资源、指导城市低碳化转型、控制温室气体排放、保障可持续发展的重要公共政策之一。未来的近零碳城镇规划设计，首先要确定碳排目标，将总目标在纵向、横向或时序上分解到各层次、各专项，其次要制定长远的发展规划，在全社会形成低碳发展的共识，第三应将具体工作事项细化到条、落实到款。目前，广东省低碳生态城市建设规划已出台了相应的编制指引和标准，近零碳城镇总体规划设计的技术标准相对成熟，将从顶层设计上决定近零碳城镇的减碳成效。

7.3.9 监测管理平台

城镇碳平台是近零碳城镇建设的重要支撑。在现有的低碳发展技术中，主要包括碳排放监测平台、碳排放评估指标体系和近零碳公众参与平台三个方面。在碳排放监测平台方面，主要以大数据、物联网等技术为支撑，进行碳排放数据的

在线监测；在碳排放评估指标体系方面，主要通过碳排放评价指标，建立碳排放评价体系和年度碳排放评估报告与核查机制；在近零碳公众参与平台方面，主要利用大数据技术搭建公众参与平台，并通过新兴媒体与传统媒体宣传、组织专题研讨会、开展规划公示等方式推动公众参与近零碳建设。目前，碳排放评估指标体系已有一定政策支持，但碳排放监测平台技术和近零碳公众参与平台技术还有待进一步推广。

在未来的近零碳城镇建设中，碳排放监测管理平台能够为制定近零碳排放政策提供数据和平台支撑，间接降低碳排放。一是建立智能信息化碳排放监测平台，实现碳排放监测的信息化、数字化；二是建立科学合理的碳排放评估指标体系，通过评估提出节能减碳的优化和改进建议；三是建立多渠道的近零碳公众参与平台，推动低碳、近零碳规划、实施、管理、评价全过程的公众参与。总体来看，城镇碳平台领域的技术和政策相对成熟，系统性较强，经济性和直接减碳城乡虽然一般，但能够为近零碳城镇建设提供重要的支撑。

7.4 近零碳排放区示范工程城镇领域技术路线建议

为实现碳排放总量大幅下降并不断趋近于零的近零碳排放区示范工程情景目标，根据城镇以及前文各个领域的减排技术分析，通过专家评估法对相关技术的预期应用和普及年限、减排潜力、经济性以及综合推荐等级进行评价(表 7-2)，并绘制城镇领域近零碳排放技术发展趋势图(图 7-3-图 7-7)。

表 7-2 城镇近零碳排放技术分析评估

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		2020-2025	2025-2035	2035-2050			
规划管理	碳排放目标责任考核	○			▼▼	++	★★★★
	低碳发展规划	○			▼	+	★★
	近零碳排放区示范工程建设行动方案	△	○		▼▼▼	++	★★★
	智能信息化碳排放监测平台	△		○	▼▼▼▼▼	+	★★★★★

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④	
		2020-2025	2025-2035	2035-2050				
空间布局	碳排放评估指标体系	△	○		▼▼▼▼	+	★★★	
	低碳公众参与平台	△	○		▼	+	★★	
	强化城市空间管制	△	○		▼▼▼▼▼	+	★★★★★	
	优化城市空间结构	△	○		▼	++	★	
	推行 TOD 开发模式	△	○		▼▼▼	+++	★★★	
	引导土地混合利用	△	○		▼▼	+++	★	
	能源	推广清洁能源	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★★★
充分利用可再生能源		△		○	▼▼▼▼▼	+++++	★★★★★	
发展分布式能源		△	○		▼▼	+++	★★★	
推进智能电网建设			△	○	▼▼▼▼▼	++	★★★★★	
工业	产业结构优化	调整产业结构	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★★★
		构建低碳产业体系	△	○		▼▼▼	+++	★★★★★
		优化产业空间布局	○			▼	+	★★
		健全低碳发展市场体系	△		○	▼	+++	★★★
	电气化	锅炉“煤改电”	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★★★
		生产工艺电气化	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★★★
	能效提升	配电系统效率提升技术	○			▼▼	+++++	★★
		企业用能综合管理技术	○			▼▼▼▼	+++++	★★
		余热余压的回收与利用	○			▼▼▼▼	+++++	★★
		燃烧效率提升技术	△	○		▼▼▼	+++++	★★★
		设施节电技术	○			▼▼▼	+++++	★★★★★
	工艺低碳化	提高再生原料利用技术	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★
		新型生产工艺技术	△	○		▼▼▼▼	+++++	★★★★★
	CCUS 商业化	二氧化碳捕捉技术	△		○	▼▼▼▼▼	++	★★
二氧化碳储存技术		△		○	▼▼▼▼▼	+	★	

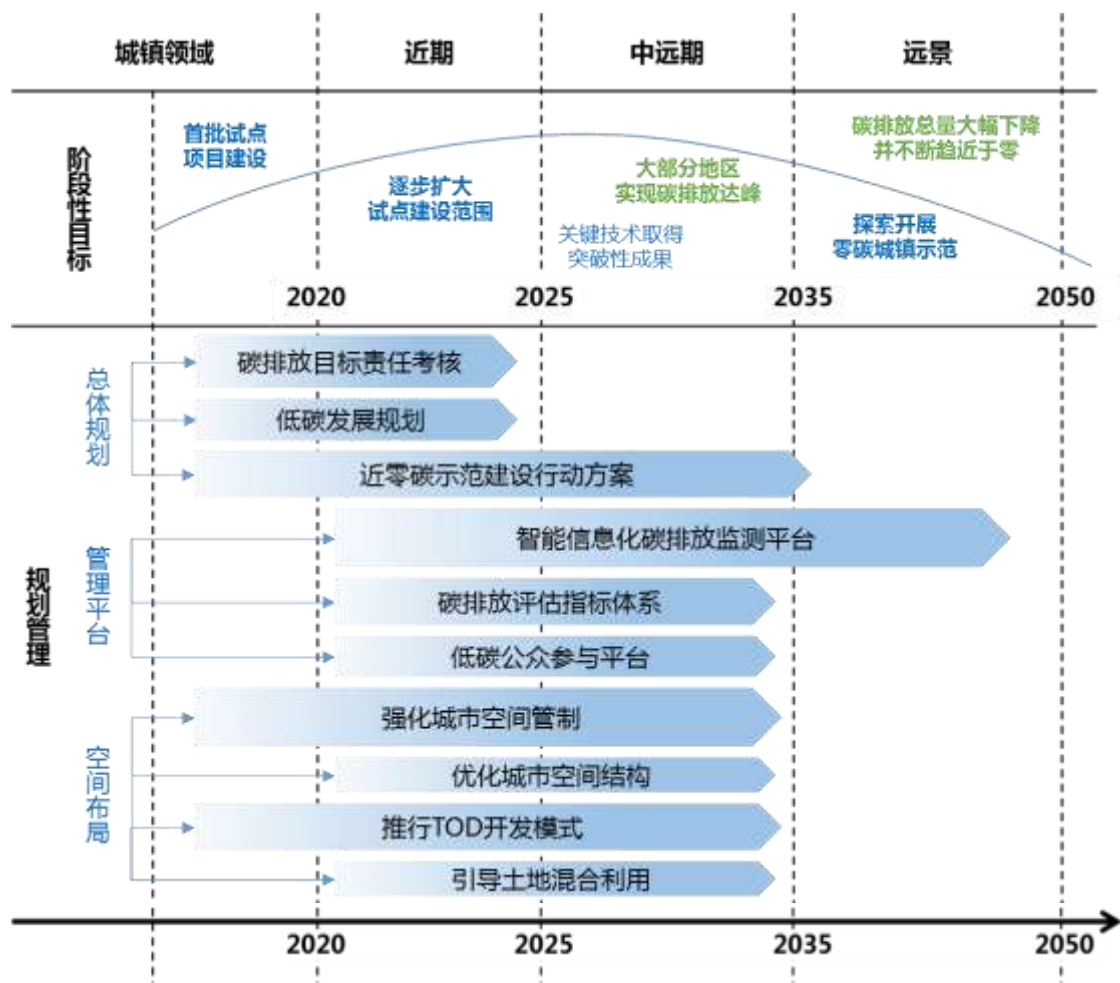
技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④	
		2020-2025	2025-2035	2035-2050				
	二氧化碳再利用技术	△		○	▼▼▼▼▼	++	★★	
交通	交通网络优化	优化路网布局	△	○		▼	++	★★★
		优先发展公共交通	△	○		▼▼▼	+++	★★★★★
		完善城镇慢行系统	△	○		▼▼	+++	★
		建设智能化交通管理系统		△	○	▼	+++	★
		道路低碳化设计	○			▼▼	+++	★
	电气化	新能源汽车	△	○		▼▼▼▼▼	++++	★★★★★
		港口装备“油改电”技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★★
		港口岸电使用	○			▼▼▼▼	++++	★★★★★
		船舶绿色动力技术	△	○		▼▼▼	+++	★★★
		绿色船舶营运技术	○			▼▼	+	★
		航空燃料电池技术	△		○	▼▼▼▼▼	++++	★★★★★
		航空太阳能电池技术	△		○	▼▼▼▼▼	++++	★★★★★
		电动飞机技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★★
		机场推广实施GPU	○			▼▼▼	+++	★★★
	能效提升	汽车节能技术	○			▼▼▼▼	++++	★★★★★
		轨道交通设备节能技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★★
		港口装备节能技术	△	○		▼▼▼	+++	★★★
		港口起重机势能回收和超级电容	△		○	▼▼▼▼▼	++++	★★★★★
		航空生物燃料技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★★
		航空地面滑行技术	○			▼▼▼	++++	★★★
航空高效清洁发动机技术		○			▼▼▼▼	++++	★★★★★	
航空轻质替代材料技术		○			▼▼▼	++++	★★★★★	
建筑	绿色建筑	推广现代建筑节能技术	△		○	▼▼▼▼▼	++++	★★★★★
		促进绿色建筑规模化发展	△	○		▼	+	★★★

技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④	
		2020-2025	2025-2035	2035-2050				
能效提升	推进既有建筑节能改造	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★	
	优化建筑朝向及体布局	○			▼▼	++++	★★★	
	软件模拟能耗优化技术	△		○	▼▼▼	++++	★★★★	
	建筑能源管理系统	○			▼▼	++++	★★★	
	建筑围护结构节能技术	○			▼▼▼▼▼	+++	★★★★	
	建筑通风系统设计	△		○	▼▼▼▼	++++	★★★★	
	建筑冷热输配系统节能技术	△		○	▼▼▼	+++	★★	
	建筑节能空调技术	△		○	▼▼▼▼	+++	★★★★★	
	建筑自然采光设计	△		○	▼▼▼▼	++++	★★★★	
	建筑照明系统节能技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★★	
	建筑低位热源热泵技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★	
电气化	建筑余热/废热利用技术	△		○	▼▼▼	+++	★★★	
	炉灶电气化	△	○		▼▼▼	+++	★★★★	
	建筑太阳能光伏发电技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★★	
	建筑太阳能空调技术	△	○		▼▼	++	★★	
	建筑太阳能供热技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★	
	建筑风力发电技术	○			▼▼▼▼	+++	★★★★	
	生物柴油三联供技术		△	○	▼▼▼▼	+++	★★★	
农林业	智能微电网	△		○	▼▼▼	++	★★★★★	
	电气化	农业设备“油改电”技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★
		光伏农业	○			▼▼▼	+++	★★★★
	能效提升	农业设备节能技术	△	○		▼▼▼▼	++++	★★★★
		节能型高产种植制度	○			▼▼	++	★★
推广节能养殖模式		○			▼▼▼	+++	★★★	

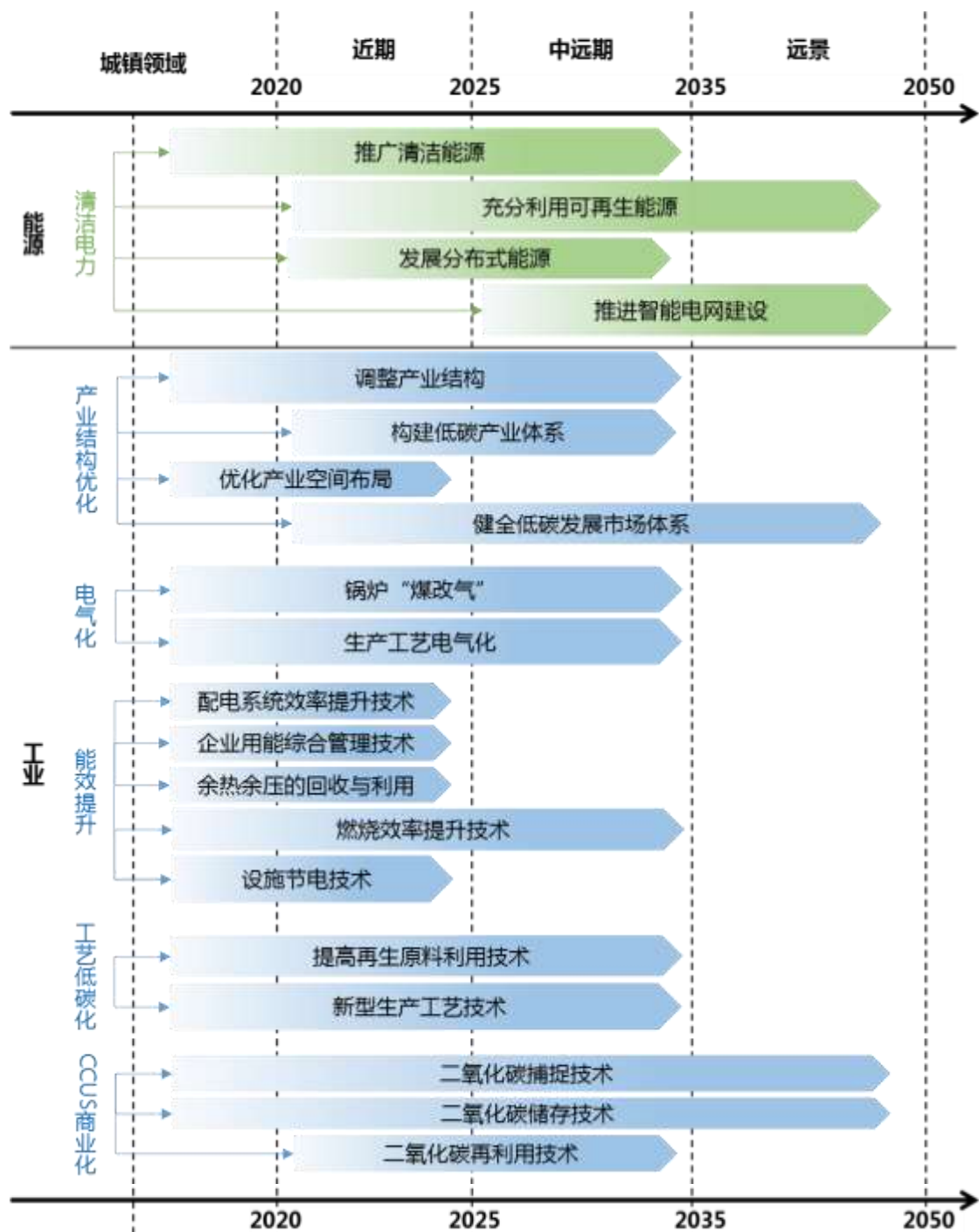
技术类别	技术名称	预期技术应用和普及年限 ^①			技术减排潜力 ^②	技术经济性 ^③	技术综合推荐等级 ^④
		2020-2025	2025-2035	2035-2050			
农业 低碳化	渔船节能技术	○			▼▼	+++	★★★
	测土施肥技术	○			▼▼▼	+++	★★★★
	复合农业技术	△	○		▼▼	+++	★★★
	农业废弃物综合利用技术	△	○		▼▼▼▼	+++	★★★★
林业 碳汇	推进碳汇造林	○			▼▼▼	+++	★★★★★
	推进城市增绿工作	○			▼	++	★★
	实施碳汇综合管理	△		○	▼▼	+++	★★★★★
	推广林业碳普惠	○			▼▼	+++++	★★★★★

注：

- ① 预期技术应用和普及年限，△表示预期技术应用年限，○表示预期技术普及年限；
- ② 技术减排潜力，▼越多表示技术减排效果越好，最优5个▼；
- ③ 技术经济性，+越多表示单位投入减排量（tCO₂/万元）越多，经济性越好，最优5个+；
- ④ 技术综合推荐等级，依据技术的减排潜力及经济性进行综合推荐，★越多表示建议该项技术研发推广的力度应越大，最高等级5个★。

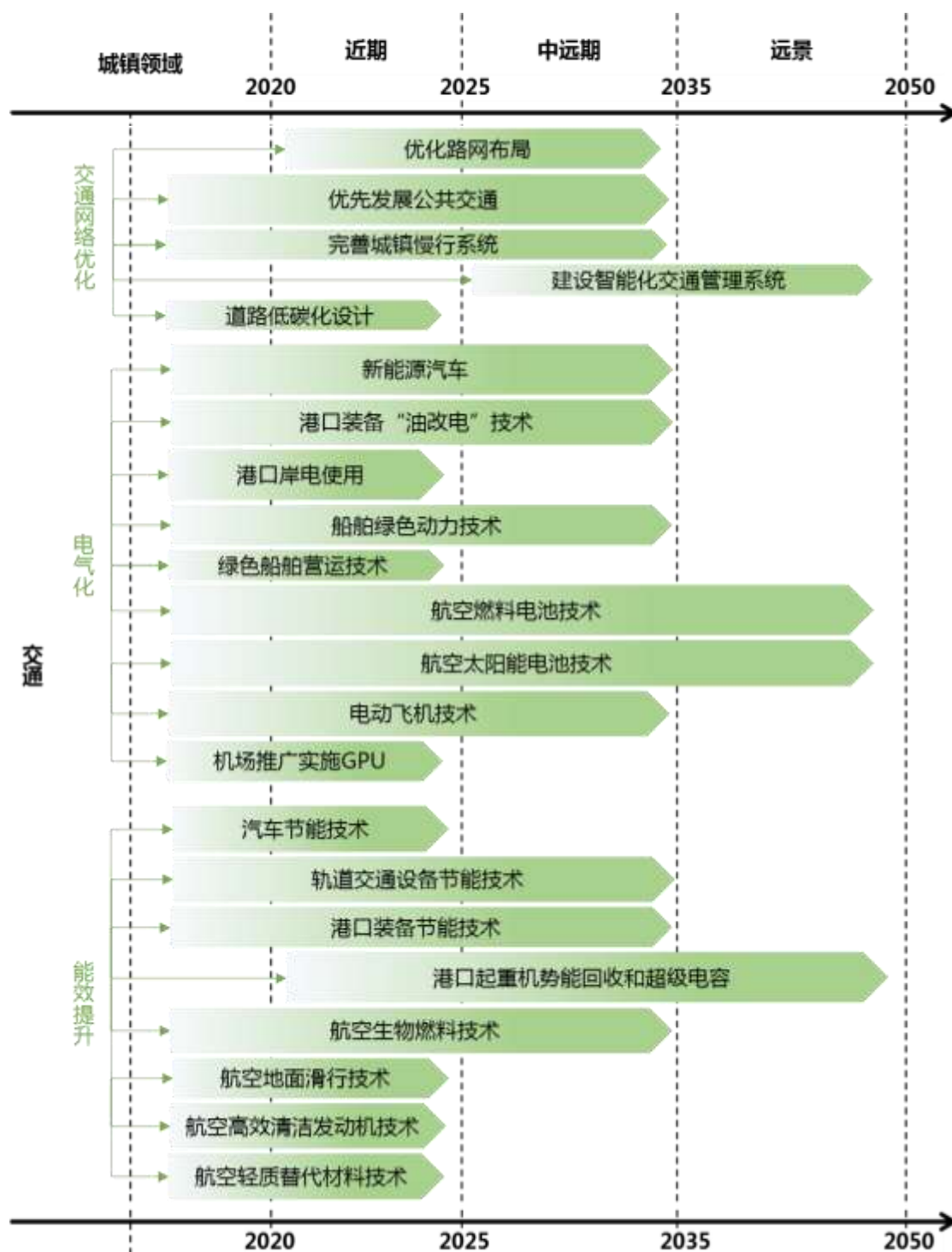


(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)
 图 7-3 近零碳排放区示范工程城镇领域技术发展趋势图（阶段性目标及规划管理部分）



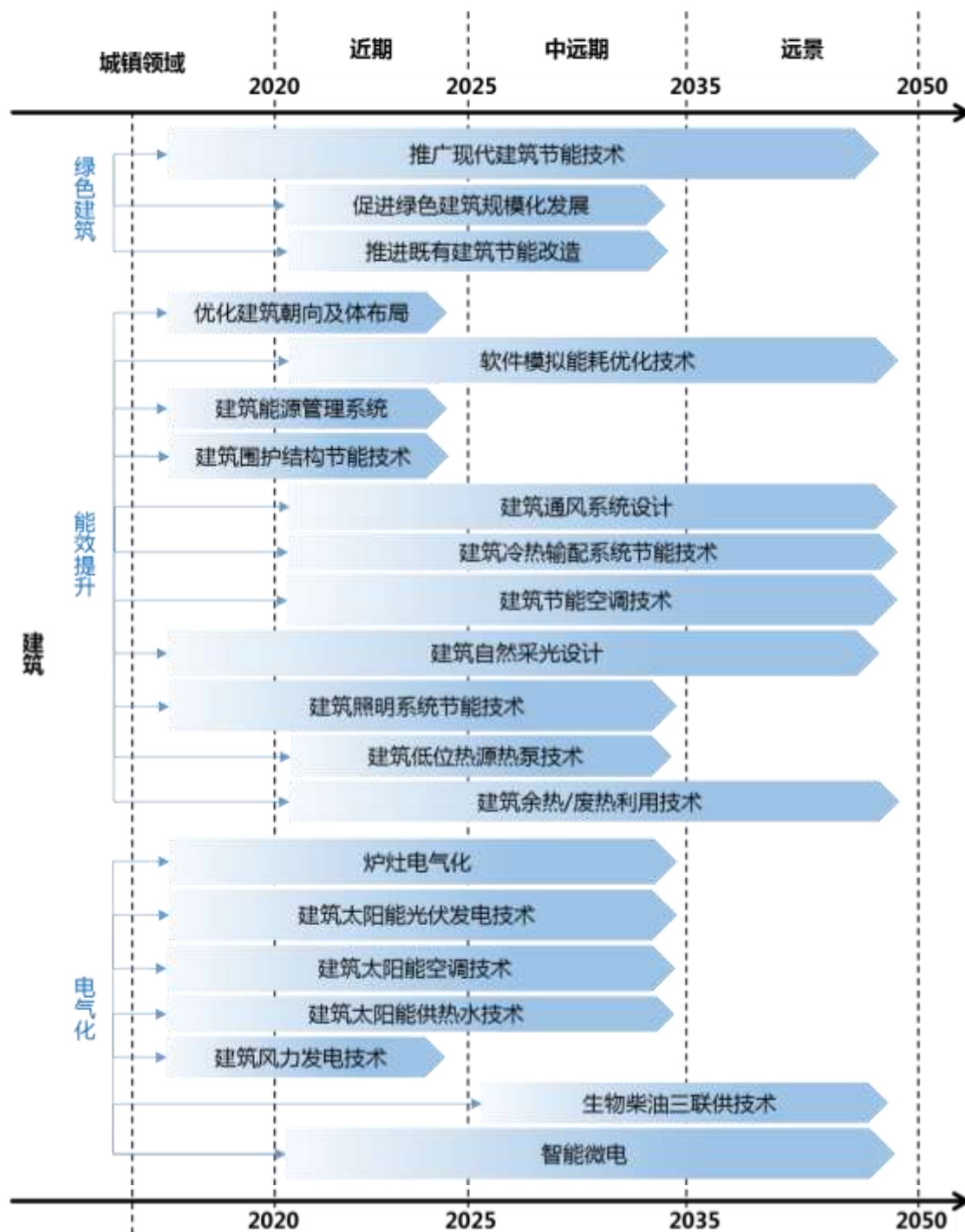
(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 7-4 近零碳排放区示范工程城镇领域技术发展趋势图（能源及工业部分）



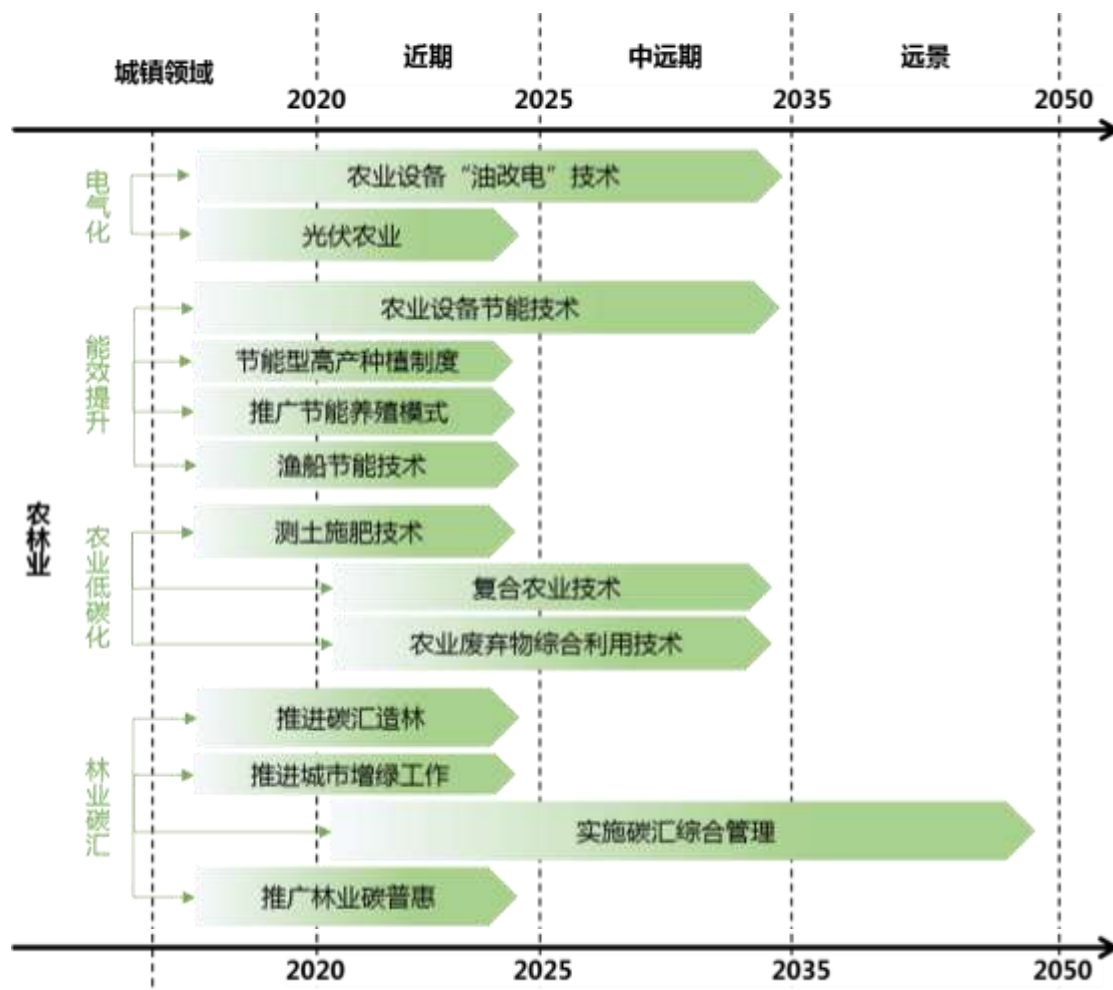
(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 7-5 近零碳排放区示范工程城镇领域技术发展趋势图（交通部分）



(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 7-6 近零碳排放区示范工程城镇领域技术发展趋势图（建筑部分）



(注：色块起始分别表示预期技术应用年限和预期技术普及年限；色块宽度表示技术综合推荐等级。)

图 7-7 近零碳排放区示范工程城镇领域技术发展趋势图（农林业部分）

第8章 总结与展望

“近零碳排放区示范工程”作为进一步深化各类低碳试点的重要抓手，是低碳工作的全面升级与深化。本研究针对广东省近零碳排放区示范工程涉及的建筑、交通、企业、园区、社区和城镇六个领域开展研究分析，包括各领域碳排放现状、评价范围与边界、技术应用现状及技术发展趋势，并提出各领域近零碳排放区示范工程的建设目标与技术路线建议。针对第一章分析提出的广东低碳发展现状及面临挑战，对广东省开展近零碳排放区示范工程的下一步工作，提出以下建议：

1. 以近零碳示范工程建设为契机，强化试点地区碳排放总量指标约束。

广东可以开展近零碳排放区示范工程建设为契机，结合低碳试点城市建设，鼓励先进地区开展近零碳排放区示范工程建设，根据不同区域不同阶段进行动态跟踪评价，并逐步扩大试点范围，在“十四五”和“十五五”规划期间建成一批近零碳排放区试点，带动各地市尽快实现碳排放总量达峰。针对广东单位 GDP 碳排放持续下降、人均碳排放增长放缓的现状，试点地区若要实现 2030 年左右碳排放达峰的目标，需进一步加强碳排放总量调控力度，采取包括能效提升、电气化、产业结构优化和清洁电力等各项强而有力的减排措施。同时，试点地区主管部门可进一步展望 2050 年，提出更具雄心的近零碳排放区示范工程建设目标，统筹碳排放峰值、碳排放总量和强度“双控”、低碳经济和产业布局、绿色低碳发展指标体系等规划研究，制定低碳发展中长期战略。

2. 政策支持与市场导向相结合，试点地区应重点提升工业能效水平。

针对广东产业低碳化趋势明显，但工业碳排放比重仍超过六成的现状，结合前文对工业领域减排潜力的分析，工业未来 30 年仍有超过 70% 的能效提升空间，而在近零碳排放区示范工程情景下，试点地区工业领域减排贡献率高达 48%，其中，工业电气化及清洁电力、工业能效提升和产业结构优化的减排贡献率分别为 46%、32%、和 18%。控制工业领域碳排放仍是未来长期的减排工作重点，试点地区工业领域碳排放总量应逐步下降，并大幅提升工业非化石能源消费比重，而这也是近零碳排放区示范工程建设的一个重点和难点。“十四五”和“十五五”规划期间，以 2015 年为基准年，建议试点地区将工业非化石能源消费占比提高到

52.2%以上，单位工业增加值能耗累计降幅提高到29.1%以上。工业能效的提升，不仅可以通过采用先进的技术手段实现（表7-2和图7-4），也可通过提高企业和供应链碳排放管理水平来进一步挖潜。在技术成本不断提高以及新时期经济增长放缓的情况下，除了开展低碳标杆引领计划、能效领跑者引领行动、推广低碳节能减排技术等政策支持，试点地区主管部门还可结合碳排放权交易、绿色金融、绿色采购、绿色供应链、产品碳标签、碳普惠等市场化机制，激发工业企业节能减排积极性。同时，有条件的试点地区可在工业领域推进碳捕集、利用和封存等近零碳排放相关前沿技术的试点示范，促进大规模减碳技术商业化。

3. 试点地区应以电力转型为核心，构建清洁低碳能源供应新体系。

针对广东能源结构不断优化，但结构性矛盾依然突出的现状，结合前文对建筑、交通和工业等领域减排潜力的分析，试点地区能源结构的低碳化，甚至零碳化，是实现区域近零碳排放的关键。近零碳排放区示范工程情景下，试点地区清洁电力措施的减排贡献率也达到17%，仅次于能效提升和电气化。目前广东省能源结构调整的思路是：积极发展核电和可再生能源等非化石能源，有序发展气电，优化发展煤电，合理增加接收西电，提高非化石能源消费比重。“十四五”和“十五五”规划期间，以2015年为基准年，建议非化石能源发电占比提高到44.9%以上。我国清洁能源发电的发展思路也是促进电力结构从煤电为主向非化石能源转换，展望到2050年，非化石能源电力占发电量比重可达82%。国内外大部分零碳、近零碳排放区示范工程项目，均以低碳化的能源体系为核心，例如阿联酋的马斯达尔计划建设不使用一滴石油的零碳城、丹麦的哥本哈根气候规划建设大规模使用可再生能源的零碳排放城市、荷兰大面积使用太阳能和风能的零碳排放“太阳城”社区以及伦敦贝丁顿大量使用生物质能的全球首个零碳社区。因此，试点地区以电力转型为核心，加快发展核能、风能、太阳能、生物质能等非化石能源，加快智能电网基础设施建设（表7-2和图7-4），推动能源产业转型升级，构建低碳、甚至零碳的能源供应体系，这是区域从低碳向零碳转型的根本措施。

4. 实施区域差异化战略，探索珠三角在积极达峰后推动近零碳示范工程。

针对广东区域发展不平衡，珠三角地区碳排放占七成的现状，结合前文对不同区域碳排放趋势的分析，区域发展的不平衡，在制定相关规划政策时，必须综合考虑各区域的发展阶段、资源禀赋、主体功能定位、生态环保等因素，分类确

定碳排放控制目标。由于珠三角地区经济体量大，短时间内实现转型进入近零碳发展阶段难度较大，但近年来区域 GDP 碳排放强度不断下降，逐步实现经济增长与碳排放脱钩。因此，珠三角城市群在全国、全省率先实现碳排放达峰是当前的重点，广州、深圳等发达城市也提出了在 2020 年左右达峰。而达峰后期，珠三角城市需要进一步深化低碳发展，大力开展近零碳排放区示范工程试点项目建设。粤东西北地区由于碳排放总量较小，部分地区较容易实现近零碳，可选择基础条件较好、减碳潜力较大、相对容易实现近零碳排放目标的区域，探索开展近零碳排放区示范工程试点，为将来扩大试点积累经验。然而，粤东西北地区单位 GDP 碳排放是珠三角的两倍，仍未实现经济增长与碳排放脱钩，随着粤东西北地区工业化和城镇化，碳排放量将进一步攀升。因此，要大力推动粤东西北地区低碳转型发展，支持粤东西北地区实现低碳振兴和绿色崛起。一方面，通过财政扶持和生态补偿的方式，支持粤东西北地区高标准推进绿色城镇化，为城镇基础设施提供绿色低碳技术（表 7-2 以及图 7-3-图 7-7）和绿色金融服务，以避免出现“碳锁定效应”；另一方面，探索多元的、市场化的生态补偿机制，鼓励开发风电、光伏、林业碳汇等自愿减排项目，推动自愿减排项目进入碳排放权交易市场，探索碳普惠等市场化运营机制，鼓励粤东西北地区发展绿色低碳产业，培育绿色发展新动能。