



成都市低碳发展路径 分析研究报告

该报告由以下单位
共同合作完成：



能源战略与低碳发展研究中心
Energy strategy and Low-carbon Development Research Center

项目顾问：

李 政 清华大学气候变化与可持续发展研究院 副院长

清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心 主任

杨 秀 清华大学气候变化与可持续发展研究院 研究部主任、副研究员

项目协调员：

王彬彬 清华大学气候变化与可持续发展研究院 院长助理

项目管理：

王伟康 世界自然基金会（瑞士）北京代表处能源转型 项目主任

刘笑宇 世界自然基金会（瑞士）北京代表处能源转型 高级项目专员

刘 倩 世界自然基金会（瑞士）北京代表处能源转型 助理项目专员

课题组负责人：

李伟起 清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心 执行主任、副研究员

课题组成员：

王裕祥 清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心 助理研究员

杨 丽 清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心 研究助理

沙天泽 清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心 实习生

王文怡 清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心 实习生

冯可欣 清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心 实习生

清华四川能源互联网研究院能源战略与低碳发展研究中心简介

清华四川能源互联网研究院成立于2016年3月，是清华大学、四川省、美国华盛顿大学、美国华盛顿州在“气候智慧型/低碳城市”建设领域开展“2+2”合作的重要技术依托、交流平台和承载单位。能源战略与低碳发展研究中心作为研究院的战略研究部门，以四川省能源、经济、环境的可持续发展为主题，开展学术引领、战略咨询、科技服务与人才培养等多维度工作，为四川省清洁能源发展与低碳转型提供高层次和前瞻性的战略研究与咨询成果。

世界自然基金会（WWF）简介

WWF是在全球享有盛誉的、最大的独立性非政府环境保护组织之一。自1961年成立以来，WWF一直致力于环保事业，在全世界拥有将近520万支持者和一个在100多个国家活跃着的网络。WWF的使命是遏止地球自然环境的恶化，创造人类与自然和谐相处的美好未来。为此WWF致力于：保护自然世界生物多样性；确保可再生自然资源的可持续利用；推动降低污染和减少浪费型消费的行动。





摘要

2020年9月，习近平主席提出中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。成都是世界可持续发展试点城市以及国家发改委第三批低碳试点城市，清洁资源优势明显，有条件、有责任起带头作用，强力推进城市率先达峰，探索碳中和发展路径，为其他城市提供经验借鉴，助力实现国家自主贡献目标。

首先，本报告梳理了国内外应对气候变化的形势以及城市低碳发展案例，对成都市整体及重点部门碳排放发展现状和趋势进行分析，并使用KAYA公式及LMDI分解法分析了影响因素对碳排放增长的驱动作用。

其次，考虑了人口、经济、城镇化发展与产业结构等社会经济宏观因素，以及各部门需求、能耗强度、能源结构与电力清洁化等碳排放影响因素之间的相互关联，搭建了成都市低碳发展路径仿真模型。

然后，结合各部门历史发展趋势，从服务需求、能效、能源结构及电力结构四个维度设计了三个情景，包括基准情景、低碳情景与净零排放情景：（1）基准情景下，成都市整体于2037年达峰，人均碳排放为3.72吨/人，单位GDP碳排放为0.17吨/万元；（2）低碳情景下，成都市整体于2025年达峰，人均碳排放为3.89吨/人，单位GDP碳排放为0.33吨/万元；（3）净零排放情景下，成都市整体于2025年达峰，人均碳排放为3.81吨/人，单位GDP碳排放为0.32吨/万元。

再次，对成都各部门实现碳排放达峰的主要举措进行了梳理分析，提出了：

- （1）交通部门通过合理控制私家车千人保有量、提高交通能效以及发展电动汽车可于2025年实现碳排放达峰，峰值为：3308万吨；
- （2）工业部门通过降低高耗能产业占比、降低能耗强度以及提高电力占比可于2025年实现碳排放达峰，峰值为：2083万吨；
- （3）建筑部门通过控制人均建筑面积、延缓单位面积能耗增速以及提高建筑用电比例可于2040年实现碳排放达峰，峰值为：1361万吨。

紧接着，对成都各部门实现净零排放进行了梳理分析，提出了：

- （1）交通部门2050年碳排放量将降低至1181万吨，不含民航、铁路碳排放量将降低至385万吨，加上碳汇量可基本实现净零排放；
- （2）工业部门2050年碳排放量将降低至54万吨，加上碳汇量可基本实现净零排放；
- （3）建筑部门可于2050年实现净零排放。

最后，通过对成都市生物质资源量、发电成本以及政策支持三方面进行分析，成都市具备将燃煤电厂改造为100%生物质发电的潜力，但仍需在电厂改造、上网电价、发电量指标等方面给予政策支持，而成都市实现100%非化石电力目标取决于外调电的清洁程度。

报告对成都市响应习近平主席宣誓奠定了基础。同时，研究成果可为成都市编制“十四五”气候规划和《低碳城市建设及达峰行动年度计划》提供政策参考。最后，报告也可为其他城市低碳转型发展提供经验、参考和借鉴。

Abstract

In September 2020, President Xi Jinping said at the United Nations General Assembly (UNGA) that China will scale up its intended Nationally Determined Contributions by adopting more vigorous policies and measures. China will aim to have carbon dioxide (CO₂) emissions peak before 2030 and achieve carbon neutrality before 2060. As one of China's international sustainable development pilot cities and the third batch of low-carbon pilot cities, Chengdu has abundant clean and renewable energy resources. Therefore, Chengdu has the responsibility to play a leading role in reaching carbon emissions peak and exploring the roadmap for carbon neutrality. Furthermore, Chengdu's low carbon roadmap could be a positive example for other cities and help achieve the intended Nationally Determined Contributions.

Firstly, this report summarizes the domestic and global responses to climate change and reviews cases of low carbon cities. It also analyses the current status and trends of low carbon development in Chengdu. By adapting the KAYA formula and LMDI decomposition method, this report analyses the driven force of influencing factors on carbon emission growth. Secondly, considering macro factors such as population, economy, urbanization, and industrial structure as well as correlations among energy demand, energy intensity, energy structure, and clean electricity in different sectors, this report builds a simulation model for Chengdu's low-carbon development pathway. Thirdly, by taking into account the historical trends in each sector, three scenarios are designed in terms of service demand, energy efficiency, energy mix, and electricity mix: (1) In the baseline scenario, Chengdu peaks in 2037, with carbon emissions intensity of 3.72 tons per capita and 0.17 tons per ten thousand yuan; (2) In the low-carbon scenario, Chengdu peaks in 2025, with carbon emissions intensity of 3.89 tons per capita and 0.33 tons per ten thousand yuan; (3) Under the net-zero carbon emissions scenario, Chengdu peaks in 2025, with carbon emissions intensity of 3.81 tons per capita and 0.32 tons per ten thousand yuan.

Fourthly, this report proposes the main measures to achieve carbon emission peak for various sectors in Chengdu. (1) Carbon emissions peak of 33.08 million tons in transportation sector can be achieved in 2025 by reasonably controlling the number of motor vehicles per 1,000 people, improving energy efficiency, and promoting electric vehicles; (2) The industrial sector can achieve carbon emissions peak of 20.83 million tons in 2025 by reducing the proportion of energy-intensive industries, reducing intensity in energy consumption, and improving industrial electrification. (3) The building sector can achieve carbon emissions peak of 13.61 million tons in 2040 by controlling average floor space per capita, slowing down the growth of building energy consumption per unit area, and promoting building electrification.

Fifthly, this report analyzes the various sectors in Chengdu to achieve net-zero emissions, and proposed that: (1) the transportation sector will reduce its carbon emissions to 11.81 million tons in 2050. Excluding the carbon emission from civil aviation and railroad sector, the transportation sector will reduce emissions to 3.85 million tons and will generally achieve net zero carbon emissions combined with carbon credits; (2) The industrial sector will reduce its carbon emissions to 540,000 tons in 2050. It can generally achieve the net-zero carbon emissions through carbon credits; (3) The building sector will achieve net-zero carbon emissions in 2050.

Finally, by analyzing the number of biomass resources, power generation costs, and policy support in Chengdu, the results show that Chengdu has the potential to convert coal-fired power plants to 100% biomass-based power plants. However, the conversion still requires policy support in terms of power plant renovation, feed-in tariff, and power generation targets. What's more, achieving the goal of 100% non-fossil electricity in Chengdu depends on how green of the input electricity.

The report lays the foundation for Chengdu to respond to Xi's announcement. Besides, the results provide policy references for the preparation of the *14th Five-Year Plan* and the *Annual Plan for Low Carbon City development and Actions of Reaching Carbon Emission Peak* in Chengdu. Finally, the report also provides experience and be a good example for other cities in low-carbon transition.





目录

1. 成都市低碳发展背景分析	1
1.1 国内外低碳发展趋势	1
1.2 国内外低碳城市发展形势	4
1.3 成都市低碳城市建设现状	7
1.4 研究思路	17
2. 成都市低碳发展现状与影响因素分析	19
2.1 成都市碳排放总体现状及影响因素趋势分析	19
2.2 成都市重点行业碳排放现状及影响因素趋势分析	21
3. 成都市低碳发展路径研究方法学	31
3.1 时间尺度	31
3.2 核算边界	31
3.3 计算方法	32
3.6 局限性	41
4. 成都市低碳发展路径分析	44
4.1 成都市整体低碳发展路径分析	44
4.2 成都市重点部门低碳发展路径分析	48
5. 成都市100%非化石电力 可行性分析	59
5.1 成都市化石能源电力现状调研	59
5.2 英国DRAX燃煤电厂100%生物质电力改造案例分析	59
5.3 成都市金堂电厂100%生物质发电可行性分析	60
5.4 成都市100%非化石电力政策建议	63



1. 成都市低碳发展背景分析

1.1 国内外低碳发展趋势

1.1.1 全球气候变化挑战日趋严峻紧迫，绿色低碳转型成为国际应对气候变化的潮流

为应对气候变化的挑战，全球195个国家在2015年的巴黎气候变化大会上进一步明确：将本世纪全球平均气温较工业化前水平升高幅度控制在2°C之内，并为1.5°C温控目标而努力。根据联合国政府间气候变化专门委员会的科学评估，实现2°C目标需要全球于本世纪下半叶（2070年左右）实现碳中和（净零排放），实现1.5°C目标需要于2050年实现碳中和¹。然而，根据联合国环境署的年度《2019排放差距报告》，目前各国承诺目标与2°C目标存在巨大差距，要实现把温升控制在2°C内的目标，2030年的年排放量必须比当前的无条件国家自主贡献低150亿吨二氧化碳当量；而要实现1.5°C的目标，年排放量必须比当前的无条件国家自主贡献低320亿吨二氧化碳当量，具体如图1-1所示。2017—2018年全球平均气温已比工业革命前高出1°C，按照当前的排放趋势和各国现有行动力度，2040年左右将达到1.5°C，2065年左右将达到甚至超过2°C，本世纪末将达到3-4°C甚至更高，无法实现《巴黎协定》的目标。这将给全球带来一系列不可逆转的生态灾难，严重影响水资源安全、土壤安全、粮食安全以及人类健康。

图1-1 各国承诺目标与2°C目标差距²

面对日趋严峻紧迫的气候形势，联合国秘书长古特雷斯呼吁：气候变化是未来最重要的挑战，全球主要经济体领导人应凝聚和强化携手应对气候变化的共识和政治意愿，制定2050年实现净零排放计划，提高各国的国家自主贡献。目前，贡献全球78%碳排放量的G20（Group20，二十国集团）国家中，法国出台了《法国国家低碳发展战略》，确立了2050年温室气体较1990年下降75%的目标；德国出台了《气候行动方案》，提出2050年温室气体较1990年减排80-95%的目标，并以大范围实现碳中和为指导原则；加拿大和墨西哥也宣布通过2050年减排目标；美国在《气候危机行动计划》确立了不迟于2050年在美国经济范围内实现温室气体净排放零的目标，并发布《美国本

1 《IPCC1.5°C特别评估报告》

2 《Emissions Gap Report 2019》

世纪中叶深度脱碳战略》，很多州已经开始采取积极的气候行动；欧盟委员会发布了《欧洲绿色新政》，提出2030年温室气体较1990年减排50%-55%，到2050年在全球范围内率先实现碳中和的目标。为实现碳中和，欧盟早已开始推进经济现代化转型，从1990年到 2018年，欧盟温室气体排放减少了23%，而经济却增长了61%；此外，英国在《气候变化法案》中提出2050年实现温室气体“净零排放”目标，并将其纳入法律，具体如表1-1所示。当前，全球已经有114个国家宣布将提出强化的自主贡献目标，有121个国家承诺2050年实现碳中和³。尽管新冠肺炎疫情打乱了世界各国经济与社会发展的常规节奏，但《巴黎协定》确定的绿色低碳发展大趋势不可逆转，应对气候变化仍然在全球治理和各国经济社会发展议程中占有重要地位，各国仍将绿色低碳转型作为打造竞争力、领导力及增强可持续发展的重要抓手。

表1-1 各国绿色低碳转型目标⁴

	英国	加拿大	法国	德国	墨西哥	美国	欧盟
战略名称	《气候变化法案》	《加拿大本世纪中长期低温室气体发展战略》	《法国国家低碳发展战略》	《气候行动方案》	《气候变化本世纪中叶战略》	《美国本世纪中叶深度脱碳战略》	《欧洲绿色新政》
近中期目标	——	2030 温室气体较 2005 年下降 30%	2030 年温室气体较 1990 年减排 40%	2030 年温室气体较 1990 年减排 55%	2030 年温室气体较 2000 年下降 22%	2025 年温室气体较 2005 年下降 26-28%	2030 年温室气体较 1990 年下降 50%-55%
长期减排目标	2050 年实现温室气体“净零排放”	2050 年温室气体较 2005 年水平降低 80%	2050 年温室气体较 1990 年下降 75%	2050 年温室气体较 1990 年减排 80-95%，以实现碳中和为指导原则	2050 年温室气体较 2000 年减排 50%	2050 年温室气体较 2005 年减排 80% 或更多	到 2050 年欧洲要在全球范围内率先实现气候中和

1.1.2中国高度重视应对气候变化，积极推动绿色低碳发展

中国是一个发展中国家，人口众多、经济发展水平低、气候条件复杂、生态环境脆弱，易受气候变化的不利影响。然而，由于快速城镇化和工业化发展，中国已经成为全球碳排放量最大的国家，碳排放总量及人均碳排放量均呈持续增长趋势，具体如图1-2所示。按《巴黎协定》要求，如果本世纪全球温升不超过2℃，2050年全球碳排放需达到113亿吨，这要比1990年的225亿吨减少50%，其中发达国家要减排80%（二氧化碳排放量从101亿吨降至25亿吨），发展中国家减排20%（二氧化碳排放量从124亿吨降至88亿吨）。然而，中国2017年化石燃料产生的碳排放达到92亿吨，超过发展中国家的碳排放总量。因此，中国减排压力更大，绿色低碳转型的任务也将更加严峻紧迫。

3 解振华：携手应对全球挑战，合作推动绿色复苏

4 公开资料整理

图1-2 世界主要国家排放趋势⁵

中国充分认识应对气候变化的重要性和紧迫性，始终高度重视应对气候变化，将其作为促进高质量可持续发展的重要战略举措，并采取了一系列积极的政策行动。中国先后发布了《国家应对气候变化规划（2014- 2020年）》、《国家适应气候变化战略》、《单位国内生产总值二氧化碳排放降低目标责任考核评估办法》、《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》以及《城市适应气候变化行动方案》，逐渐将城市作为推动落实控制温室气体排放行动目标的重要抓手，鼓励城市先试先行，率先实现绿色低碳转型。2020年9月，习近平主席提出中国将提高国家自主贡献力度，力争于2030年前碳排放达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。中国在控制住新冠肺炎疫情后，相继提出强化自主贡献目标，积极推动疫情后世界经济“绿色复苏”，树立了负责任大国形象，也同时彰显了大国担当。

2017年底，中国提前完成了2020年前碳排放强度比2005年下降40%至45%的国际承诺；2019年，中国GDP（Gross Domestic Product，国内生产总值）比2005年增长超4倍，同时单位GDP二氧化碳排放比2005年下降了48.1%，相当于减少二氧化碳排放约56.2亿吨，非化石能源占一次能源比重达15.3%；可再生能源装机总量约占全球30.4%，新增量约占全球32.2%。这充分说明，中国正在走上一条符合国情的、兼顾经济社会发展，以及积极应对气候变化的绿色、低碳、可循环和可持续发展道路。

5 《Emissions Gap Report 2019》

1.2国内外低碳城市发展形势

1.2.1城市成为应对气候变化先锋队，在低碳转型方面展开诸多实践

随着城市规模、人口和经济总量的不断增长，城市已成为全球一半以上人口的家园，国家与城市的关联越来越密不可分。据IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change，联合国政府间气候变化专门委员会）第五次评估报告，全球城市所产生的与能源相关的碳排放量占全球总排放量的71~76%，成为碳排放的主力军。此外，环境威胁及其成因并不是均匀分布的，城市中的环境威胁比其它任何地方都要严重和复杂。因此，城市成为了应对气候变化的先锋队，在低碳转型方面开展了诸多实践。为了探索绿色低碳发展模式的最佳途径，同时共享经验、增进合作、提高气候变化适应性，全球各地的城市正携起手来，成立了诸多城市应对气候变化联盟，共同应对全球气候变化，例如：全球市长盟约、C40城市气候领导联盟、ICLEI（Local Governments for Sustainability，地方可持续发展协会）、中国达峰先锋城市联盟等。其中，全球市长盟约是一个全球性城市联盟组织，以欧洲、美洲为主，共覆盖9149个城市，承诺的减排量超过各国国家自主贡献承诺的减排量的总和；C40组织包含全球共91个成员城市（主要是特大城市），占全球经济总量的四分之一；ICLEI是一个由1750多个致力于城市可持续发展的地方和地区政府组成的全球城市网络联盟，旨在影响地方可持续发展政策，推动行动；中国达峰先锋城市联盟成员城市均公布了早于国家二氧化碳排放达峰目标的率先达峰目标，为中国落实2030年左右碳排放达到峰值提供支持。

与此同时，为了鼓励、引导、推动城市的低碳发展转型，各组织发起了诸多获得较高国际认可的奖项，例如C40城市奖、一个地球城市挑战奖、全球绿色低碳领域蓝天奖等。“C40城市奖”用于表彰在改善气候方面采取积极行动、获得成就并分享成功经验的城市，其中包含城市的能源、城市的交通、城市的零废弃物、城市的行动、城市的未来奖项；“一个地球城市挑战”是由ICLEI管理的一项全球活动奖项，由国际专家组成的评审团评选各国“国家领袖城市”，并从所有国家的领袖城市中评选“全球领袖城市”；全球绿色低碳领域“蓝天奖”是由联合国工业发展组织指导开展的绿色低碳领域国际性奖项，包括全球可再生能源领域领先技术蓝天奖、全球绿色低碳领域先锋城市蓝天奖和全球绿色低碳领域卓越人物蓝天奖。其中，中国城市积极参与国际应对气候变化治理与合作，武汉获C40城市奖中“城市的未来”奖项，广州获城市“绿色技术”奖项；深圳获选“一个地球城市挑战”中“国家级领袖城市”奖项；成都、深圳、武汉分别获“全球绿色低碳领域先锋城市蓝天奖”。

在应对气候挑战日趋紧迫、国家政策推动、国际组织引导的情况下，城市在创新战略、政策、技术、目标及行动举措等领域引领低碳潮流。其中，国际城市在包括气候影响评估、经济成本分析、基准排放水平和排放增长预测、气候变化适应报告、能效提高战略及绿色就业实施战略等方面展开研究；我国的低碳试点城市也在包含建立碳排放总量控制目标、考评管理制度、碳中和示范工程、碳数据管理制度、低碳技术和产品、新建项目碳评价制度、温室气体清单编制、光伏低碳产业扶贫机制等方面进行深层次探

索。此外，国际上发达城市包括伦敦、波士顿、纽约等已率先承诺碳中和目标；国内包括北京、广州、深圳等城市提出了碳排放峰值年份目标，并呈现出人均GDP越低峰值年份越靠后的趋势，具体如图1-3及1-4所示。

图1-3国际城市零碳目标图⁶

图1-4 国内城市碳排放峰值目标图⁷

1.2.2国内外先进低碳城市建设案例分析

城市的低碳化转型是一项长期性的工作，国内外许多先进城市在低碳城市建设方面已经形成较多可参考借鉴的经验：因地制宜，提出科学合理的目标和行动方案；通过目标倒逼，探索符合本地实际的绿色低碳发展模式，实现培育经济增长新动能、促进就业、保障健康、保护环境与应对气候变化相结合等多重效益，促进自身经济绿色高质量

6 综合Carbonneutral、C40、CDP平台数据收集结果

7 中国达峰先锋城市峰值目标

发展，增强城市发展的活力和后劲。

巴黎：巴黎在2018年通过了新的巴黎气候计划，以指导巴黎到2050年实现碳中和。为了在2050年实现碳中和目标，巴黎市加快行动以在2020年实现能源转型；制定从2020年到2030年的中期行动计划，以减少碳排放和能源消耗；制定将城市能源消耗减半，实现100%的可再生能源供应的长期计划。巴黎气候计划的实施，在社会方面促进了新经济模式下新职业的出现，例如能源促进者和生态管理者等；在经济方面，碳中和战略提高了巴黎对投资者和制造商的经济吸引力。此外，绿色金融工具的发展有助于利用外国投资，帮助巴黎实现其成为国际绿色金融中心的目标，并加快向低碳经济的转变；在健康方面，改善公共交通被纳入了气候计划，其中包括到2020年建成1000公里以上的自行车道，到2025年建成100%无碳的公共交通，市民将呼吸到更清洁的空气。在环境方面，气候计划为城市引入更多的自然元素，例如将校园改造成绿色绿洲，以及到2030年种植2万棵新树等，城市环境将更为美好栖居。

伦敦：英国是低碳城市规划和实践的先行者，伦敦市在低碳城市建设方面更是起到了领跑者的作用。2004年伦敦市政府便把气候变化纳入《伦敦能源策略》。前伦敦市长利文斯顿时于2007年2月发表《今天行动，守候将来》计划，将二氧化碳减排目标定为在2025年降至1990年水平的60%。同年，伦敦市颁布了《市长应对气候变化的行动计划》，该计划明确提出从2007年到2025年每年的碳排放量要降低4%，碳排放总量控制在6亿吨之内。此外，为实现大伦敦区2025年25%的能源使用来自分布式能源的目标，所有新开发项目必须尽量纳入伦敦的分布式热电联产系统，并且必须安装自用可再生能源利用设备以降低二氧化碳排放。利用分散能源满足伦敦的电力需求，可以提供每年848个岗位，到2025年，共产生2500个永久岗位。

哥本哈根：哥本哈根是丹麦政治、经济、文化的中心，也是北欧最大的城市。丹麦的食品、造船、机械、电子等工业大多集中在哥本哈根，这里既是传统的贸易和航运中心，又是新兴制造业城市。哥本哈根于2009年8月正式出台《哥本哈根气候规划2009》，提出了分两个阶段实施的二氧化碳减排目标：第一阶段，到2015年二氧化碳排放量比2005年减少20%；第二阶段，到2025年二氧化碳降低到净零排放，使哥本哈根成为全球首个碳中和城市。2012年8月，哥本哈根议会通过了相关计划，制定了《哥本哈根2025年气候规划》行动计划书。该计划描述了如何通过政府、商界、学术机构和市民的通力合作，使哥本哈根在2025年实现碳中和。近年来，随着清洁技术产业的快速发展，哥本哈根在低碳环保等方面成绩斐然，享有“童话之都”、“自行车之都”、“设计之都”、“最适合居住的城市”、“设置企业总部的理想城市”等美誉。2012年，哥本哈根凭借生态创新和可持续交通方面取得的卓越成绩，获得了“欧洲绿色首都奖”，证明这座城市在节能减排、低碳环保领域始终走在世界前列。

纽约：2007年，纽约市提出了“规划纽约2030”计划，纽约市所采取的行动包括节能项目、街道植树项目、高效道路照明、新能源汽车以及固体废物回收利用等。纽约市2007年的排放清单进展情况表明，实施这些项目每年减少了44.6万吨二氧化碳的排

放。2015年，“规划纽约2030”由“一个纽约”计划取代，但其气候变化的核心目标并没有改变：2030年，碳排放在2005年基础上削减40%；2050年，碳排放在2005年的基础上削减80%。自2005年以来，纽约市的温室气体排放持续下降，截至2015年，纽约市温室气体排放量为5200万吨二氧化碳当量，比2005年下降了14.8%。2015年人均排放达到6.1吨二氧化碳当量，大大低于美国19吨的人平均水平。

上海：上海市作为第二批国家低碳试点城市，在《城市总体规划（2017-2035）》中提出“全市碳排放总量与人均碳排放量于2025年之前达到峰值，到2020年二氧化碳排放总量控制在2.5亿吨以内，至2040年碳排放总量较峰值减少15%左右”的目标。“十二五”以来，上海碳排放总量上升趋势趋于平缓，经济增长与碳排放的关系呈现相对脱钩的状态。截至2017年，上海在保持经济快速增长、经济总量超过3.26万亿元的基础上，能源消费总量下降为11453.7万吨标煤，单位GDP能耗降至0.38吨标煤/万元，单位GDP二氧化碳排放量降至0.66吨/万元，碳排放强度处于全国中大型城市中等水平。

1.3 成都市低碳城市建设现状

1.3.1 成都市积极开展低碳城市建设

成都市一直以来坚持生态优先、绿色发展的战略，积极开展低碳城市建设。2010年，成都市政府出台了《成都市建设低碳城市工作方案》，包含强化节能减排、促进产业结构调整、树立低碳理念、创新体制机制、发展低碳经济以及促进低碳城市建设等方面的目标。此后又陆续出台《成都市“十二五”节能减排综合性工作方案》、《成都市人民政府关于下达“十二五”各区（市）县碳强度下降目标的通知》及《成都市绿色低碳村镇建设技术指南》等政策，逐步推进低碳发展。2017年，成都正式获批成为第三批国家低碳试点城市，并发布了《成都市低碳城市试点实施方案》。2019年，成都市发布《成都市低碳城市建设2019年度计划》，首次提出实施低碳城市建设“636”工程，从构建绿色低碳的城市、产业、能源、消费、碳汇和制度6个方面，提出36条具体措施。

第一，科学规划绿色低碳的城市空间。统筹推进“东进、南拓、西控、北改、中优”战略，积极优化城镇空间格局、合理控制人口数量、科学划定城市开发边界和生态红线，构建与生态资源禀赋、环境承载容量相适应的城市空间格局，形成更有效率、更可持续的城市综合承载体系。第二，加快构建绿色低碳的城市产业体系。重点培育新能源、新材料、智能制造、新能源汽车等绿色低碳制造业，突出发展数字经济、智能经济、绿色经济等新经济产业，加快建设绿色金融中心等绿色低碳服务业，积极发展低碳循环产业，坚持走“产业结构优化、科技含量高，资源消耗少，环境影响小，质量效益好，发展可持续”的高质量发展之路。第三，加快构建绿色低碳的能源体系。强化能源消耗总量和强度“双控”，加快清洁能源设施建设，实施清洁能源替代，推动可再生能源的利用，多举措降低用能成本。第四，加快构建绿色低碳的消费体系。深入推进国家低碳城市试点建设，倡导简约适度、绿色低碳的生活方式，鼓励绿色低碳消费，推广绿色办公，倡导绿色低碳出行，营造绿色低碳生活消费的社会氛围。第五，加快构建碳汇体系。加快城乡绿化建设，强化森林保护管理，推进湿地保护修复，保护生物多样性，

坚持全域增绿，突出公园城市特点。第六，加快构建绿色低碳制度能力体系。健全目标考核制度，出台《成都市“蓉城碳惠”建设工作方案》及管理办法，深化低碳产品认证制度，支持绿色低碳技术创新平台建设，加强低碳发展能力培训，积极推进绿色低碳国际合作。其中，成都市低碳城市建设及重点部门绿色低碳发展具体政策梳理如表1-2至表1-6所示。

表1-2 成都市低碳城市建设政策梳理

日期&单位	文件名称	发展目标/主要内容
2020； 市政府办公厅	《成都市人民政府关于构建“碳惠天府”机制的实施意见》	2020 年，形成“碳惠天府”顶层设计，制定相关制度标准体系，建设软硬件设施，开发公众低碳场景和碳减排项目。2021 年，初步建立政府引导、市场运作的运营机制。2022 年，基本形成应用场景丰富、系统平台完善、规则流程明晰、商业模式成熟的碳普惠生态圈。
2020； 市生态环境局	《成都市低碳城市建设 2020 年度计划》	《计划》提出深入实施低碳城市建设“636”工程，工作目标，到 2020 年规模以上节能环保产业产值达到 900 亿元，新经济营业收入增长 18%；单位地区生产总值能耗进一步降低，二氧化碳排放较 2015 年下降 20.5%，力争清洁能源消费占比达到 65%；地铁运营总里程达 500 公里以上，中心城区公共交通机动化出行分担率进一步提升；新开工天府绿道 800 公里，森林蓄积量达 3592 万立方米，森林覆盖率达 40.2%，建成区绿化覆盖率达 45%。
2019； 市生态环境局	《成都市低碳城市建设 2019 年度计划》	首次提出实施低碳城市建设“636”工程，加快构建绿色低碳的产业、能源、城市、碳汇、消费和制度能力体系，到 2019 年底，环保产业产值达到 900 亿元，新经济产值增长 18%，单位地区生产总值能耗和二氧化碳排放分别下降 2.5%、3%，清洁能源消费占比提升至 60% 以上，中心城区公共交通机动化出行分担率进一步提升，新能源汽车推广不低于 1.6 万辆，森林覆盖率达 39.9%，建成区绿化覆盖率达 43.8%。
2018； 中共成都市委	《关于深入贯彻落实学习习近平总书记来川视察重要指示精神加快建设美丽宜居公园城市的决定》	提出构建资源节约、环境友好、循环高效的生产生活方式，彰显公园城市的经济价值，着力以公园城市理念指导城市建设。
2017； 市生态环境局	《低碳城市建设 2017 年度计划》	明确到 2017 年，单位地区生产总值能耗和二氧化碳排放分别降低 3%、5%，非化石能源占一次能源消费比重达到 27.5%；绿色建筑占新建建筑比例达到 33%，中心城区公共交通机动化出行分担率达到 47%。内含《低碳城市建设区（市）县目标评价考核办法》，明确将二氧化碳排放总量及强度作为约束性目标对各区（市）县进行考核，对区（市）县落实低碳城市建设年度计划目标任务情况进行集中考评。
2017； 市生态环境局	《成都市低碳城市试点实施方案》	明确到 2020 年，成都的能源利用效率实现显著提升，主要行业碳排放水平接近或达到世界先进水平，碳排放强度进一步下降，温室气体排放总量将得到合理控制。在 2025 年之前实现碳排放总量达到峰值，成为国内低碳发展先进城市。提出实施“碳惠天府”计划和探索建立碳排放达峰追踪制度。
2015； 市建委	《成都市绿色低碳村镇建设技术指南》	绿色低碳村镇规划指导、新建建筑绿色设计指导、生态景观设计指导、既有建筑绿色化改造指导措施、绿色基础设施建设指导、绿色施工与运营管理指导。
2013； 市政府办公厅	《成都市人民政府关于下达“十二五”各区（市）县碳强度下降目标的通知》	“十二五”单位 GDP（地区生产总值）二氧化碳排放需下降 18%。另附：《区（市）县“十二五”碳强度下降目标分解表》。

2012; 市政府办公厅	《成都市“十二五”节能减排综合性工作方案》	2015 年，单位地区生产总值能耗比 2010 年的 0.806 吨标准煤下降 16%，比 2005 年的 1.01 吨标准煤下降 32.97%；单位工业增加值能耗比 2010 年的 1.261 吨标准煤下降 23.5%，比 2005 年的 1.89 吨标准煤下降 48.96%。
2010; 市政府办公厅	《成都市建设低碳城市工作方案》	包含了促进结构调整，发展低碳经济、强化节能减排，树立低碳理念，建设低碳社会、开展试验示范，带动低碳发展、创新体制机制，促进低碳城市建设等几个方面的目标。

表1-3 成都市能源政策梳理

日期&单位	文件名称	发展目标/主要内容
2019; 市经信局	《关于拟支持 2019 年成都市节能改造项目的公示》	主要是各区能源项目的改造升级。
2019; 市发改委	《成都市发展和改革委员会转发省发展改革委关于做好天然气行业增值税税率调整相应调整天然气价格工作有关事项的通知》	降低天然气价格水平，由现行每立方米 1.54 元，降为每立方米 1.53 元。
2018; 市发改委	转发《四川省发展改革委关于转发国家发改委会办公厅关于清理规范电网和转供电收费有关事项的通知》	为落实《政府工作报告》关于一般工商业电价平均降低 10% 的要求。1. 取消电网企业部分垄断性服务收费项目；2. 全面清理规范转供电环节不合理加价行为；3. 加快落实已出台的电网清费政策。
2018; 市经信委	《关于 2018 年燃煤锅炉淘汰及清洁能源改造项目的公示》	2018 年燃煤锅炉淘汰和清洁能源改造财政补助项目名单。
2018; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于进一步加快电网建设的实施意见》	2018 — 2022 年，成都电网规划总投入 500 亿元以上，新（扩）建 220 千伏及以上变电站 34 个，新（扩）建 110 千伏及以下变电站 72 个，新增变电容量 3230 万千伏安。
2017; 市发改委	转发省发展改革委《关于调整地方电网并网发电光伏和风电项目可再生能源基金补贴资金方式的补充通知》	为支持光伏扶贫工作，在国网四川省电力公司供区以外地方电网并网发电的光伏（含分布式光伏）和风电项目及既往工程，符合享受可再生能源基金补贴政策，按财建【2012】102 号和财建【2013】390 号文规定办理。
2017; 市政府办公厅	《成都市加快能源消费结构调整实施方案（2017-2020 年）》	到 2020 年非化石类能源消费比重提升到 30.3% 以上；清洁能源在全市能源消费中的比重达到 57.4% 以上，其中，电力消费量在全市能源消费中的比重达到 40.5% 以上，天然气消费量比重达到 16.9% 以上。
2017; 市经信委	《关于组织开展 2017 年燃气基础设施建设项目补助资金申报工作的通知》	申报当年自行投资建设燃气应急储备设施设备并投入使用的项目；支持标准：按近两年建设投入的 20% 给予最高不超过 100 万元的资金补助。
2017; 市发改委	《成都市发展和改革委员会转发省发展改革委转发国家发展改革委关于调整光伏发电陆上风电标杆上网电价的通知的通知》	2017 年 1 月 1 日新建光伏发电标杆上网电价为每千瓦时 0.75 元（含税）；陆上风电 2018 年标杆上网电价为每千瓦时 0.57 元（含税）等。

2016; 市发改委	《成都市发展和改革委员会转发省发展改革委关于进一步完善大工业基本电价执行方式的通知的通知》	放宽用电企业申请调整计费方式、减容、暂停的政策条件，电力用户可根据企业实际需要选择其最有利的计费方式。简化用户电力增容、减容、暂停、变更等办理手续，缩短办理时限，减轻大工业用户基本电费负担。
2016; 市发改委	转发省发展改革委《关于降低电力和非居民用天然气价格促进经济稳定增长和提质增效有关事项的通知》	降低工商业用电价及非居民用天然气，减轻企业基本电费负担。
2016; 市发改委	《成都市发展和改革委员会关于地方电力价格调整的通知》	1. 降低一般工商业及其他用电价格；2. 降低大工业用电电价；3. 调整中小化肥生产用电价格；4. 取消汶川地震灾区电价优待；5. 提高可再生能源电价附加征收标准。
2012; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的实施意见》	到 2015 年，建成诚信有序、高效繁荣的合同能源管理市场，建成配套服务体系完善的合同能源项目节能量收益转让平台，力争成都市合同能源管理市场规模增长速度在全国领先，实现节能服务产业倍增。
2012; 市政府办公厅	《成都市能源发展“十二五”规划》	规定了“十二五”能源发展目标：整体目标、总量目标、结构目标、节能目标。
2011; 市政府办公厅	《成都市 2011 年节能工作要点》	包括节能目标管理、节能工作体系、重点领域（工业节能、建筑节能、交通、商业等）。

表1-4 成都市低碳建筑政策梳理

日期&单位	文件名称	发展目标/主要内容
2018; 市建委	《成都市勘察设计与科技2018 年工作要点》	推动高标准绿色建筑和装配式建筑示范项目建设、继续做好绿色建筑和装配式建筑培训工作等。
2017; 市建委	成都市城乡建设委员会关于发布《成都市建筑绿色设计施工图审查技术要点（2017 版）》的通知》	规范了成都市建筑绿色设计施工图审查。审查包含：居住建筑、公共建筑、工业建筑。
2017; 市建委	《成都市城乡建设委员会关于把绿色建筑和装配式建筑建设条件作为项目基本情况纳入建设全过程进行管理的通知》	对项目设计的设计招标、施工图审查、施工图备案中做出要求：需包含绿色建筑和装配式建筑设计要求的相关条文。对施工招标和中标及合同备案、质监安监备案、施工许可、施工过程、竣工验收等流程都规定了绿色建筑和装配式建筑相关要求。
2017; 市建委	《成都市城乡建设委员会关于进一步明确土地出让阶段绿色建筑和装配式建筑建设要求的通知》	规定了民用和工业建筑工程项目的绿色建筑建设要求和装配式建筑建设要求。
2016; 市建委	《成都市民用建筑绿色设计技术导则（2016 版）》和《成都市民用建筑绿色设计审查技术要点（2016 版）》	成都市民用建筑绿色设计的具体细节，包含场地及平面、建筑、结构、给排水、暖通空调、建筑电气、景观环境、室内装修等方面的具体标准。

2014; 市政府办公厅	《成都市绿色建筑行动方案》	到 2015 年全市实现年人均建筑能耗不超过 1.2 吨标准煤，年人均建筑水耗不超过 50 吨，年人均建筑二氧化碳排放量不超过 3.2 吨，新建居住建筑人均居住用地指标低、多、中高、高层分别不超过 43、28、24、15 平方米，新建居住人均公共绿地面积不小于 1 平方米，政府机关办公建筑及大型公共建筑能耗监测系统安装率达 80% 以上。
2013; 市政府办公厅	《成都市淘汰落后小砖瓦厂及扶持绿色墙材产业工作方案》	用 1 至 2 年时间，在保证墙材供给、市场稳定的前提下逐步淘汰落后产能，同时扶持一批符合产业布局规划，有技术、有规模的新型墙材骨干企业。

表1-5成都市低碳交通政策梳理

日期&单位	文件名称	发展目标/主要内容
2019; 市经信局	《成都市支持氢能暨新能源汽车产业发展及推广应用若干政策》	支持氢能暨新能源汽车产业、对燃料电池汽车给予购置补贴、对加氢站给予建设和运营补贴、支持充电基础设施建设和运营、优化产业发展和新能源汽车使用环境等。
2019; 市经信局	《关于进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》	1. 从 2019 年 6 月 26 日起，不再对新能源汽车（新能源公交车和燃料电池汽车除外）给予地方购置补贴。2. 2015—2016 年度的新能源汽车市级补贴，继续按照《成都市人民政府关于促进经济稳中求进的若干意见》和原市经信委等 5 部门《关于印发成都市新能源汽车市级补贴实施细则（暂行）的通知》等有关文件执行。2017—2019 年度的新能源汽车市级补贴，按照成都市人民政府办公厅《关于印发成都市支持新能源汽车推广应用若干政策的通知》和市财政局等 5 部门《关于印发成都市新能源汽车市级补贴实施细则的通知》等有关文件执行。
2019; 市财政局	《成都市新能源汽车市级补贴实施细则》	补贴对象：在成都市新购置新能源汽车（二手车除外），且在成都市公安车辆管理部门注册登记的消费者（个人、单位用户）。机关事业单位、人民团体、国有及国有控股企业使用财政资金购买、租赁的新能源汽车不适用本细则；补贴标准：在中央财政补贴基础上，给予中央财政单车补贴额 50% 的市级配套补贴。
2018; 市经信委	《关于申报 2016 年度（第二批）新能源汽车推广应用市级财政补贴的通知》	1. 申报对象：本市新能源汽车整车生产企业；非本市新能源汽车整车生产企业注册登记的或委托的一家在本市注册登记、具有独立法人资格的汽车经销商。2. 申报条件：在本市销售且车辆状态正常。3. 补助标准：中央财政补贴基础上，市级财政按中央财政补贴标准的 60% 给予配套补贴。
2018; 市发改委	《成都市发展和改革委员会关于成都市交通运行协调中心 TOCC（一期）系统项目建议书的批复》	项目名称：成都市交通运行协调中心 TOCC（一期）系统项目；项目内容：建设成都智慧交通顶层平台，形成 TOCC 框架，包括 TOCC 数据中心、TOCC 应用平台以及 TOCC 支撑平台建设。
2018; 市经信委	《关于申报 2016 年新能源汽车推广应用市级财政补贴的通知》（成经信财〔2018〕51 号）	1. 申报对象：本市新能源汽车整车生产企业、非本市新能源汽车整车生产企业注册登记的或委托的一家在本市注册登记、具有独立法人资格的汽车经销商；2. 补助标准及对象：在中央财政补贴基础上，市级财政按中央财政补贴标准的 60% 给予配套补贴；在本市新购置新能源汽车（二手车除外）且在本市公安车辆管理部门注册登记的消费者（个人、单位用户）。
2017; 市交委	《关于鼓励和规范新能源汽车分时租赁业发展的指导意见》成办函〔2017〕165 号	至 2018 年底，全市基本形成新能源汽车分时租赁服务网络，服务网点达到 2500 个，充电桩达到 10000 个。至 2020 年底，全市形成覆盖广泛的新能源汽车分时租赁服务网络，服务网点达到 5000 个，充电桩达到 20000 个。
2017; 市发改委	《成都市发展和改革委员会关于我市电动汽车充电服务有关问题的通知》	相关充电设施经营企业提供电动汽车充电服务，可在收取电费的同时，收取充电服务费。电动汽车充电服务费按充电电量收取，充电服务费指导价格上限为 0.60 元/千瓦时，鼓励充电设施经营企业向下浮动充电服务费。

2017; 市政府办公厅	《成都市支持新能源汽车推广应用的若干政策》	一、对购置新车给予补贴：对在本市公安车辆管理部门注册登记的新能源汽车新车，按中央财政单车补贴额的 50% 给予市级配套补贴；二、加大充电基础设施建设力度：将新建居民小区配建停车位预留充电基础设施安装条件达到 100%、建成比例不低于 10% 的要求纳入建设条件、土地出让条件；三、优化新能源汽车使用环境：本市域内出行不受尾号限行限制、纯电动城市物流配送车入城不受限、我市注册登记的新能源汽车，在政府财政全额投资建设的公共停车场（点）首 2 小时免停车费、新能源客运车辆，优先发放相关许可证等。
2017; 市经信委	《市政府关于同意成都市电动汽车充换电基础设施建设专项规划的批复》	基础目标：至 2020 年全市建设充电桩超过 11 万个，总体桩车比不小于 1: 1，超过北京、上海建设水平；充（换）电站 780 座，公共桩车比不小于 1: 8，公共充电服务覆盖率达到 70% 以上，满足不少于 12 万辆电动汽车的充电需求。奋斗目标：划至 2020 年，全市建设充（换）电站 780 座，通过提高充（换）电站的服务能力，力争实现 20 万个充电桩的建设，满足不少于 20 万辆电动汽车的充电需求。
2016; 市经信委	《关于成都市 2016 年新能源汽车充电设施市级补贴的通知》	现有加油站、加气站增建、改建经营性充电设施，给予建设投资（不含土地费用）20%、最高 200 万元补贴。
2015; 市政府办公厅	《成都市人民政府关于推动城市轨道交通加速成网建设计划的实施意见》	加快建设已获批 380 公里轨道交通项目，到 2020 年，实现成都市地铁建设 15 条线路共计 650 公里的任务（绕城高速内 303 公里，外 347 公里），轨道交通客运量占公共交通客运量比重达到 40% 以上。
2013; 市政府办公厅	《关于进一步加强成都市中心城区机动车排气污染防治工作实施方案》	新上户柴油汽车、重型汽油车执行国Ⅳ排放标准；重型燃气汽车执行国Ⅴ排放标准；未达到国Ⅰ排放标准以上的汽油车及未达到国Ⅲ排放标准以上的柴油车的执法和淘汰。
2013; 市政府办公厅	《成都市综合交通运输“十二五”规划》成府发〔2013〕2 号	完善包括航空、铁路、公路的对外综合交通；完善天府新区交通、周边区域路网、市域铁路建设、市域公路建设的市域综合交通体系。
2010; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于扶持电动汽车产业发展的意见》	在电动汽车产业的技术攻关、科研成果转化、本地配套率、技术改造、融资、人才引进、销售渠道等提供支持。
2010; 市政府办公厅	《成都市电动汽车产业化行动方（2010—2012 年）》	到 2012 年，公交、出租车、旅游观光、绿化、市政、环卫、城市管理等行业（领域）推广应用电动汽车千辆以上，建成与电动汽车拥有规模相匹配的电动汽车充换电站网络；培育和引进电动汽车整车生产龙头企业 1—2 户、动力电池生产龙头企业 2—3 户、电机及控制系统生产龙头企业 1—2 户，形成年产电动汽车整车 2 万辆、动力电池 3 亿安时、电机及控制系统 2 万台（套）以上的生产能力，实现销售收入 100 亿元。重点工作包括：应用示范、环境建设、产业规划三个部分。

表1-6成都市低碳工业政策梳理

日期&单位	文件名称	发展目标/主要内容
2019; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于促进成都绿色食品产业高质量发展的实施意见》	到 2020 年，产业营业收入达到 2400 亿元；到 2025 年，产业营业收入突破 4000 亿元；到 2030 年，产业营业收入突破 7000 亿元。将成都打造成为全球川菜中央厨房、川酒振兴主阵地大平台、特色方便休闲食品创制中心、健康饮料生产基地，培育一批中国 500 强企业、中国食品饮料 100 强企业，年营业收入 100 亿元以上企业 2 户、10 亿元以上企业 30 户，建成 2 个以上具有鲜明特色、世界水平的产业功能区。
2019; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于促进成都新材料产业高质量发展的实施意见》	到 2020 年，全市新型材料产业主营收入突破 1500 亿元，力争培育 2 家百亿级企业、3 家 50 亿级企业、30 家 10 亿级企业、200 家亿级以上企业。
2019; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于促进装备制造产业高质量发展的实施意见》	到 2020 年，全市装备制造产业规模达到 8000 亿元，培育营收 300 亿元以上企业 4 家、100 亿元以上企业 8 家、10 亿元以上企业 40 家，以及一批“专、精、特、新”中小企业；建设 10 个以上示范引领强、特色优势突出、配套功能完善的产业功能区。到 2022 年，力争产业规模达到 10000 亿元。
2019; 市经信局	《成都市氢能产业发展规划（2019—2023 年）》	1. 产业发展目标：到 2023 年，全市氢能产业力争实现主营业务收入超过 500 亿元。培育从事氢能相关业务企业 100 户，其中百亿以上企业 1—2 户、50 亿以上企业 2—3 户；2. 技术创新目标：到 2023 年，力争质子交换膜燃料电池电堆体积功率密度达到 3.5 千瓦 / 升，冷启动温度达到零下 30 摄氏度以下，车载高压储氢及加注压力达到 70 兆帕；3. 应用推广目标：到 2023 年，全市在客车、物流车、环卫车、出租车、公务车、共享汽车等领域推广应用燃料电池汽车 2000 辆以上；建设燃料电池有轨电车示范线 2 条，示范线路总长 30 公里以上；燃料电池在无人机、分布式能源、船舶、各类电源等领域开展示范应用；建设覆盖全域成都的加氢站 30 座以上。
2019; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于促进成都医药健康产业高质量发展的实施意见》	到 2020 年，产业营业收入达到 5000 亿元；到 2025 年，产业营业收入达到 10000 亿元；到 2030 年，产业营业收入达到 20000 亿元，建成世界级医药健康产业高地，将成都打造成为全球生物医药创新创造中心、面向“一带一路”医疗健康服务首选地、国际医药供应链枢纽城市，培育 20 个百亿级和千亿级医药健康企业，一批头部企业、独角兽企业，建成 3 个以上具有鲜明特色、世界一流水平的千亿级产业功能区。
2017; 市经信委	《转发四川省经济和信息化委员会关于印发四川省“十三五”工业领域生产性服务业发展指导意见的通知》	内含文件《四川省“十三五”工业领域生产性服务业发展指导意见》，其中，主要发展领域包括“节能环保”。提出：提升节能环保装备研发制造水平，提高产业系统集成和一体化服务能力，加强新技术、新产品、新模式推广应用，建立完善节能环保法规和标准体系，推动节能环保服务产业化、专业化、规模化发展。
2017; 市经信委	《关于公布成都市 2017 年淘汰落后产能目标任务的公告》	预计淘汰企业绝大多数属于建材行业、另有少量轻工、造纸、冶金。
2017; 市经信委	关于印发《成都市 2017 年度节能改造项目申报指南》	1. 工业企业：对工业企业实施的节能量 100 吨标准煤以上 200 吨标准煤以内（含 200 吨）的节能改造项目给予 10 万元奖励；对节能量超过 200 吨标准煤的项目，节能量每增加 100 吨标准煤，再给予 5 万元奖励。单个项目奖励最高不超过 200 万元。2. 非工业单位：节能量 50 吨标准煤以上 100 吨标准煤以内（含 100 吨）的节能改造项目给予 10 万元奖励；对节能量超过 100 吨标准煤的项目，节能量每增加 50 吨标准煤，再给予 5 万元奖励。单个项目奖励最高不超过 200 万元。

2012; 市政府办公厅	《成都市人民政府办公厅关于印发成都市“十二五”战略性新兴产业发展规划的通知》	其中涉信息技术产业、新材料产业、生物产业、高端装备制造产业、新能源产业（到 2015 年，全市新能源产业年主营业务收入达到 650 亿元，年均增长 28%；力争培育年主营业务收入超 100 亿元企业 1 户，50-100 亿元企业 2 户，10-30 亿元企业 5 户，1-2 家有区域竞争力的系统集成企业；建设成为“西部第一、全国一流”的国家新能源产业基地。）、新材料产业（到 2015 年，全市新材料产业年主营业务收入达到 1000 亿元，年均增长 34%；力争培育年主营业务收入超 100 亿元企业 2 户，50-100 亿元企业 3 户，30-50 亿元企业 2 户，10-30 亿元企业 5 户；建设成为特色鲜明、优势突出的国家级新材料产业基地。）、节能环保产业（全市节能环保产业主营业务收入达到 750 亿元，年均增长 25%；力争培育年主营业务收入超 30 亿元企业 1 户，超 10 亿元企业 15 户；建设成为国家节能环保产业示范基地。）、新能源汽车产业（到 2015 年，全市新能源汽车企业年主营业务收入达到 300 亿元，年均增长 55%；力争培育年主营业务收入超 100 亿元企业 1 户，10-30 亿元企业 6 户）。
2012; 市政府办公厅	《成都市工业发展“十二五”规划》	“十二五”期间单位工业增加值能耗下降到 0.964 吨标准煤 / 万元，单位工业增加值用水量比 2010 年降低 30%。重点发展产业中包括：新能源（大力发展太阳能，支持晶硅、薄膜、聚光光伏等太阳能电池技术和系统集成技术的研发及产业化，着力突破太阳能聚光、集热、传热、储热、发电等光热系统集成技术。优化发展核能和风能产业，加强第三代核电（AP1000、CPR1000）及第四代核电（高温气冷堆）相关技术及关键配套产品研发）、新材料、节能环保、新能源汽车等。

1.3.2成都市与国内城市对比，绿色低碳特征鲜明

成都市是典型的能源受端城市，主要依靠外部能源调入。如图1-5所示，成都市2018年外部调入能源占比达95.8%，外部调入能源石油、电力和天然气分别占比43.0%、31.4%和17.1%；自给能源供应中，水电占比达80.7%，少量天然气生产及垃圾发电。成都市终端能源消费清洁水平优势明显，2018年电力占比40%，油品占比34%，天然气占比19%，煤炭占比不足7%⁸。此外，根据成都市统计局提供的与10大城市横向对比数据看，成都实现了人均能源消耗、人均二氧化碳排放和单位GDP二氧化碳排放“三低”，能源消费总量和强度控制处于全国前列。其中，能源方面：成都市能源消费和强度控制较好，能源消费总量在10大城市中仅高于深圳和杭州，人均能源消费仅高于重庆，单位GDP能耗处于第6位；低碳方面：成都市二氧化碳排放总量、单位GDP二氧化碳排放量均较低，人均二氧化碳排放量在10大城市中最低，表明能源利用效率较高，低碳特征鲜明。从与国际城市对比来看，由于所处发展阶段不同，成都市的单位GDP二氧化碳排放量、单位GDP能耗及人均能源消费量与发达城市还有较大差距，但人均碳排放已处于国际先进城市领先水平。具体如表1-7及1-8所示。

8 《城市能源变革推进成都经济高质量发展研究报告》

图1-5 2018年成都市能源分配图

表1-7 成都与国内城市经济、能源及碳排放数据对比情况⁹

指标名称	单位	成都	北京	上海	广州	深圳	重庆	杭州	武汉
GDP 总量	亿元	15343	30320	32679	22859	24221	20363	13509	14847
常住人口	万人	1633	2154	2424	1490	1303	3102	981	1108
能源消费总量	万吨标煤	4788	7193	11454	6130	4309	7453	4346	5280
单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	0.36	0.25	0.38	0.27	0.18	0.42	0.34	0.39
人均能源消费	吨标准煤/人	2.93	3.34	4.73	4.11	3.31	2.40	4.43	4.76
二氧化碳排放总量	万吨	5598	10404	18949	10299	10011	24405*	8708*	9790*
单位 GDP 二氧化碳排放量	吨/万元	0.42	0.40	0.66	0.49	0.48	0.89	0.47	0.79
人均二氧化碳排放量	吨/人	3.48	4.79	7.84	7.10	7.99	5.49	5.96	9.16

表1-8 成都与国际城市经济、能源及碳排放数据对比情况¹⁰

指标名称	单位	成都	伦敦	东京	纽约	新加坡
GDP 总量	亿元	15343	42223	63980	59806	22848
常住人口	万人	1633	879	1372	847	561
能源消费总量	万吨标煤	4788	1654	2117	1758	609
单位 GDP 能耗	吨标准煤/万元	0.36	0.039	0.033	0.029	0.027

9 1. 经济、人口和能源数据主要来自各地统计公报及年鉴，为2018年数据；2. 单位GDP能耗基于各地地区生产总值2015年可比价折算，人均能源消费量由能源消费总量/常住人口计算得出；3. 碳排放数据主要来自中国社科院城市发展与环境研究所《中国城市绿色低碳发展评价研究（2019年）》及《中国城市温室气体排放数据集（2015）》等研究报告，除标*为2015年数据外，其余为2017年数据。

10 伦敦、纽约、新加坡为2017年数据，东京为2016年数据。

人均能源消费	吨标准煤 / 人	2.93	1.88	1.54	2.08	1.09
二氧化碳排放总量	万吨	5598	3030	5855	6950	5250
单位 GDP 二氧化碳排放量	吨 / 万元	0.42	0.071	0.092	0.12	0.23
人均二氧化碳排放量	吨 / 人	3.48	3.45	4.27	8.20	9.36

1.3.3成都市推动低碳城市建设的机遇与挑战

在成都层面，为深入贯彻落实习近平总书记对成都市建设公园城市的工作指示，成都市把建设美丽宜居公园城市作为加快建设全面体现新发展理念城市的重要组成部分，倡导绿色、低碳、人与自然和谐共生的城市发展观，将引领城市建设新方向，让绿色低碳成为成都最鲜明的特质和最持久的优势；在四川层面，成都市“十三五”规划提出成都将“基本建成西部经济核心增长极，初步建成国际性区域中心城市”。西部经济核心增长极的定位要求成都要确保自身经济的低碳高质量发展，建设中西部先进制造业领军城市、全国服务业核心城市，并发挥带动区域发展的重要任务；在国家层面，成都市在2016年中美气候峰会上申请加入“中国达峰先锋城市联盟”，在2017年正式获批成为第三批国家低碳城市试点。同年3月《成都市低碳城市试点实施方案》正式印发，明确提出了成都将在2025年实现碳排放总量达到峰值的目标，并将实施“碳惠天府”计划、探索碳达峰追踪制度作为低碳城市试点的创新重点；在国际层面，成都正以全球视野和国际标准，保护并改善生态环境，减少温室气体排放，减缓并适应气候变化，保护生物多样性，立足成为可持续发展的世界城市。成都市未来应结合在成都、四川省、国家以及国际发展上的关键发展定位与使命，把握机遇，积极推动成都市低碳城市建设。

此外，低碳城市建设是一项复杂、长期的系统工程。随着低碳城市建设的不断推进，未来成都市将面临一些深层次的挑战，亟需进一步凝聚共识，强化使命，大胆探索，力争在重大制度执行和发展模式创新上取得突破。第一，成都市人口规模持续增加，碳排放总量控制难度加强。2019年成都市年末常住人口为1658.1万人，相比2018年增加25.1万人。根据《成都市2018-2035战略研究》规划公开信息，成都市计划2035年人口规模达到2300万，2070年人口规模达到3000万，人口规模持续增长，碳排放总量控制难度进一步加大¹¹；第二，城镇化率进一步提高，能源消费需求进一步加大。2019年成都市城镇人口数量为1233.8万人，占比74.4%。根据《成都市城市总体规划（2016-2035）》提出，2035年成都市城镇化率达到90%，城镇化和生活水平的进一步提高，工业部门、建筑部门、交通部门等重点部门的能源需求将进一步提升¹²。第三，根据公安部交通管理局数据显示，2019年成都的汽车年均增加量为35万辆，与2017年40万辆的增加量相比，仍保持着相对稳定的增长速度。2019年成都市汽车保有量位居全国第二，交通部门碳排放量持续增大，减碳任务严峻¹³。

1.3.4成都市有条件、有义务实现率先达峰，协同促进社会、经济、环境可持续发展

应对气候变化，既是挑战也是机遇。面对日益严峻的气候变化形势，世界各国开始提高行动力度，绿色低碳转型成为应对气候变化的潮流。欧盟、美国等更是把低碳发展作为打造竞争力、领导力及增强可

11 《成都市2018-2035战略研究》规划与“建设全面体现新发展理念的国家中心城市规划建设新举措”新闻发布会公开信息

12 《成都市城市总体规划（2016—2035）》

13 <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1655799847092326196>

持续发展的重要抓手。城市作为碳排放的主力军，在低碳转型方面展开了诸多实践，获得增加就业、改善环境、培育经济发展新动能、打造城市名片等多重效益。成都素有“天府之国”“休闲之都”的美誉，作为长江上游重要生态屏障、美丽宜居公园城市、西部经济核心增长极、国家低碳试点城市 and “中国达峰先锋城市联盟”成员城市，以及世界可持续发展试点城市，且清洁资源优势明显，有条件、有义务起带头作用，强力推进城市绿色低碳转型，实现率先达峰，打造成成都新名片，为其他城市提供经验，推动国家低碳转型发展。回顾以往，成都市积极开展低碳城市建设，同时能耗强度、碳排放强度、GDP及产业结构等不断优化，绿色低碳理念初见成效。综上，成都市应积极总结自身及国内外先进城市的发展经验，把握机遇，主动对接应对气候变化国家战略，积极推动碳排放率先达峰，探索符合本地特色的绿色低碳发展路径，占据低碳转型产业制高点，培育经济增长的新动能，增强城市发展的活力和后劲，协同推进环境质量改善，促进自身经济绿色高质量发展。

1.4研究思路

本研究首先对国内外低碳发展趋势以及成都市低碳城市建设现状进行系统分析，为成都市低碳发展路径研究提供参考；其次，对成都市碳排放整体现状及其宏观影响因素进行分析，在此基础上识别重点排放部门，并对各部门碳排放现状及其关键影响因素进行分析；再次，通过建立社会经济宏观因素和各部门碳排放影响因素之间的关联搭建碳排放估算模型，并围绕成都市碳达峰与碳中和目标进行情景设置；紧接着，根据碳排放估算模型和情景设置，就成都市整体及其重点排放部门低碳发展路径进行研判；最后，在上述研究基础上，研究成都市实现100%非化石能源发电的可行性，并提出政策建议。

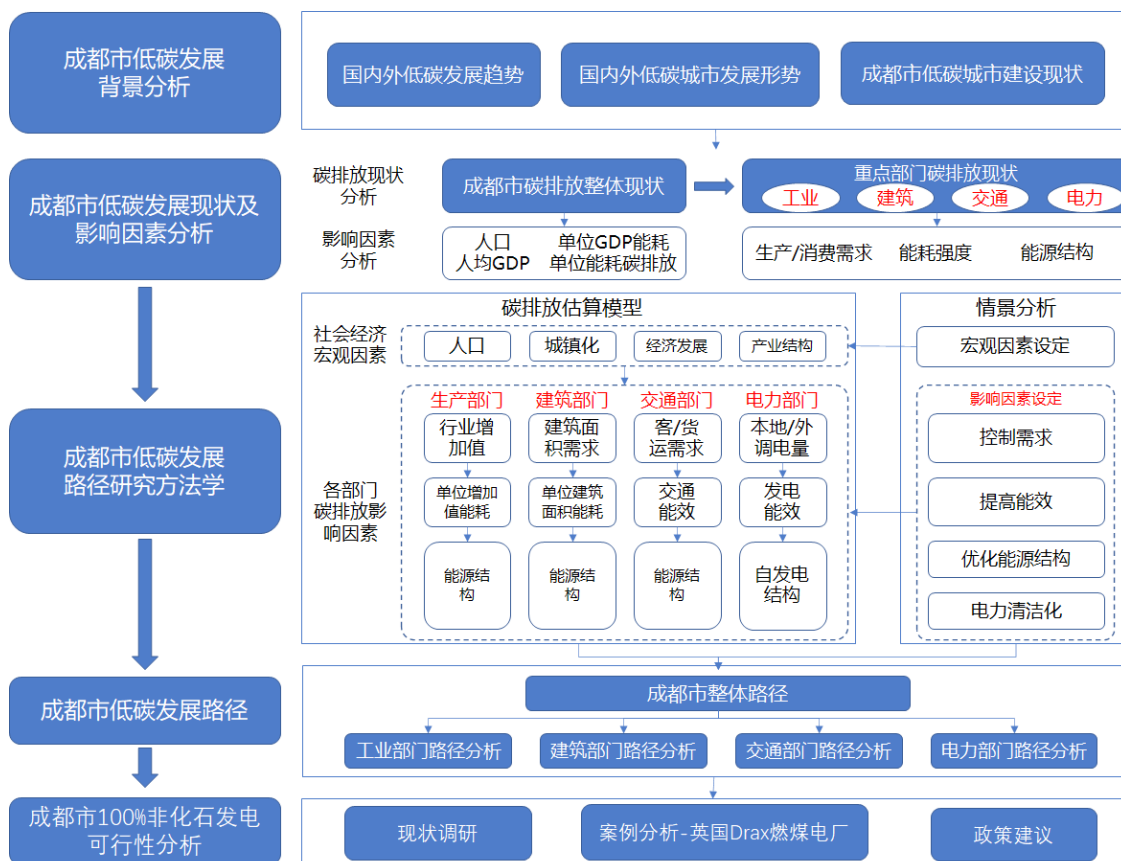


图1-6 研究技术路线图

2. 成都市低碳发展现状与影响因素分析¹⁴

2.1 成都市碳排放总体现状及影响因素趋势分析

本研究首先回顾历史，成都市2010-2018年能源消费总量及碳排放总量整体呈上升趋势，能源消费总量由3022万吨标煤上升至4788万吨标煤，二氧化碳排放总量4635万吨上升至5827万吨，能源消费总量、碳排放总量与经济发展呈现相对脱钩趋势。此外，单位GDP二氧化碳排放呈现下降趋势，由0.74吨CO₂/万元下降为0.46吨CO₂/万元；单位GDP能耗由0.48吨标煤/万元下降至0.36吨标煤/万元；单位能耗碳排放由1.55吨CO₂/吨标煤下降至1.30吨CO₂/吨标煤，能源强度、碳强度均呈下降趋势。具体如图2-1至2-2所示。

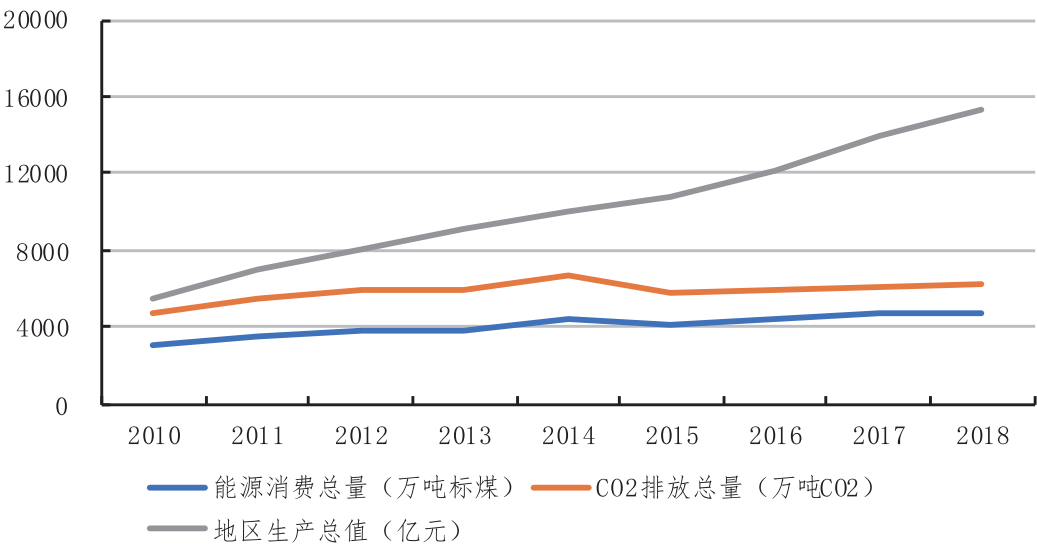


图2-1成都市历年能源消费及碳排放总量情况变化图

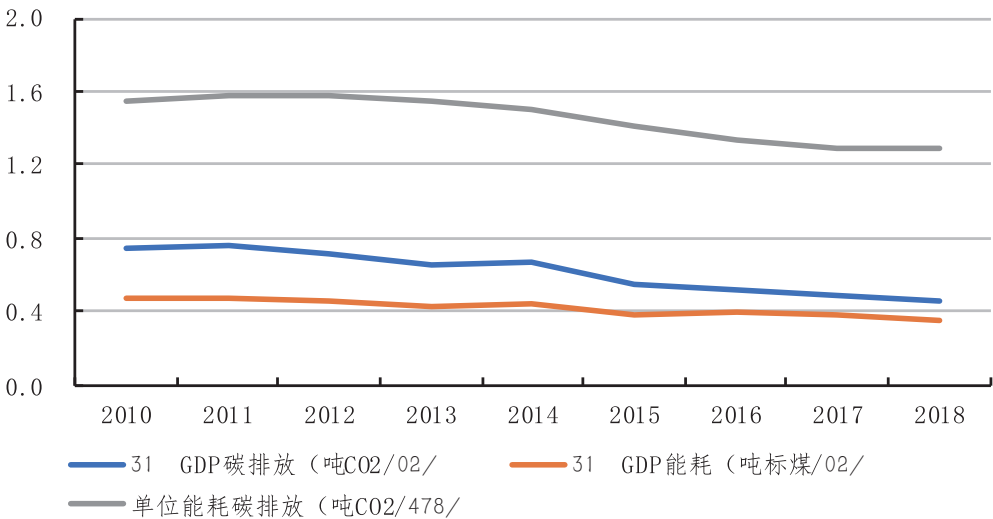


图2-2成都市历年碳排放指标变化图

14 数据来源：1.《成都市统计年鉴》、《四川统计年鉴》、《成都市国民经济和社会发展统计公报》2.成都经研院数据提供、成都统计信息网公开数据3. 本研究中碳排放因子按照《成都市2016年温室气体清单报告》中不同能源品种低位发热值、单位热值含碳量与碳氧化率缺省值计算而得，因此碳排放会高于官方统计值

根据KAYA公式对影响成都市历史碳排放的因素分析表明：促进成都市碳排放的因素为人口及人均GDP，人均GDP为主要贡献因素；抑制碳排放的因素为单位GDP能耗以及单位能耗CO₂排放，单位能耗CO₂排放贡献量大于单位GDP能耗贡献量，具体如图2-3所示。

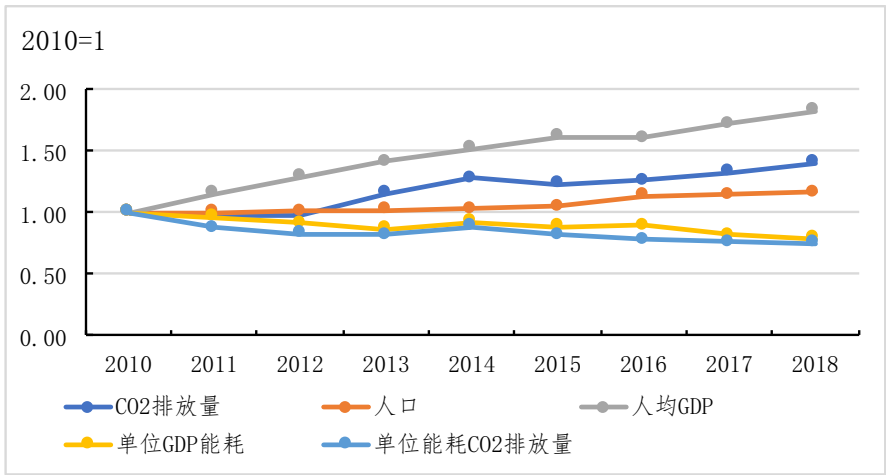


图2-3成都市二氧化碳排放影响因素分析

此外，本研究使用LMDI分解法量化了各因素对碳排放的贡献。横轴以上表示该因素增加排放，横轴以下表示该因素促进减排。2014 年由于彭州石化投产，能耗显著上升，汽油、柴油的消费比例升高，导致单位 GDP 能耗较前一年增加，能源结构略微“重碳化”，单位 GDP 能耗、单位能耗碳排放成为增加排放的因素。人口和人均 GDP 都发挥增加排放的作用。其中，人均 GDP 是增加排放的主力因素。2010 年常住人口较上年增加 9.2%，2016年较上年增加 8.6%，人口对排放的推动作用明显增强，其余年份人口的增排作用相对较小，具体如图2-4所示。

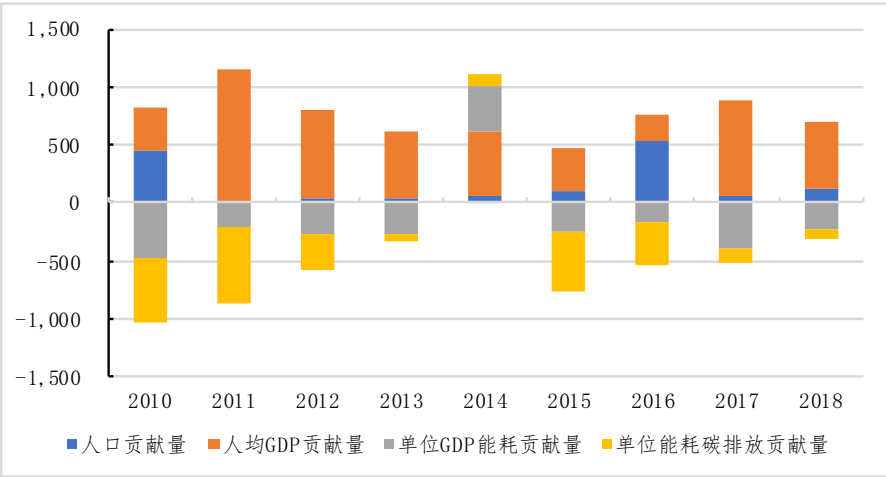


图2-4成都历史减排量贡献情况

2.2 成都市重点行业碳排放现状与影响因素趋势分析

在2018年成都市能源活动相关碳排放中，二产（工业和建筑业）、建筑、交通、农业分别占37.3%、16.2%、44.9%和1.6%，且工业碳排放量占二产碳排放量的83.7%。从历史情况来看，成都市碳排放来源一直以工业部门、建筑部门和交通部门为主。其中，从2016年开始，交通部门碳排放量超过第二产业，成为第一大碳排放部门，具体如图2-5所示。

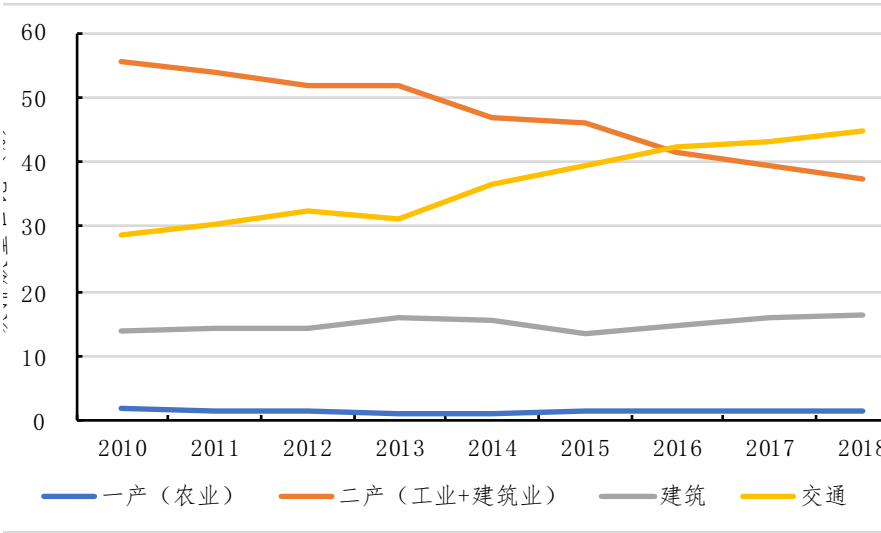


图2-5成都市碳排放结构

2.2.1 工业

一、碳排放总体情况

2010-2018年期间，成都市工业领域能源消费总量及碳排放量呈先上升后下降趋势。能源消费总量由2010年1530万吨标煤升高至2015年1830万吨标煤，后降低至2018年1653万吨标煤；碳排放量由2010年2221万吨升高至2013年2549万吨，后下降至2018年1820万吨。此外，工业领域二氧化碳排放占比持续下降，由47.6%下降至31.2%，但仍是高排放部门，具体如图2-6所示。

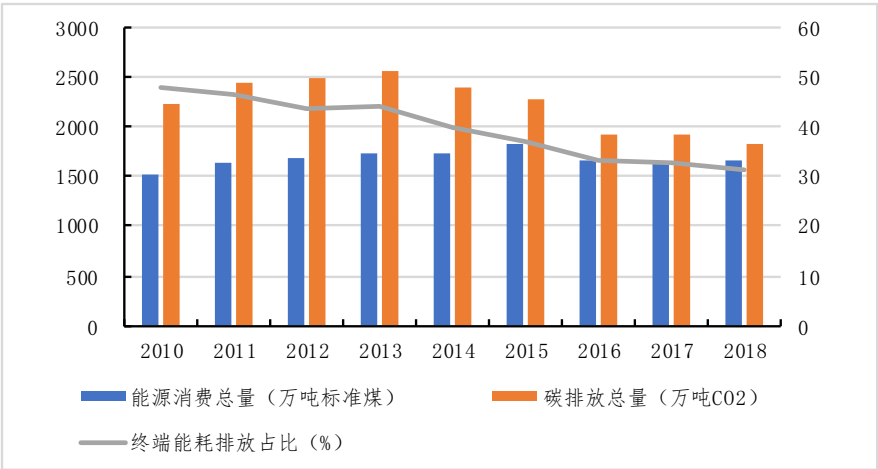


图2-6工业部门碳排放

二、低碳工业建设情况¹⁵

大力发展先进制造业：成都市大力发展电子信息、装备制造、医药健康、新型材料、绿色食品五大先进制造业，2018年五大产业增加值增长11%，占全市工业增加值比重达82%。

持续升级传统耗能产业：2018年成都市印发《成都市钢铁、水泥、平板玻璃、烧结砖瓦结构调整方案》，控制钢铁、水泥等传统能耗行业发展，进行绿色化升级改造，全市规模以上工业六大高耗能行业能耗占地区规模以上工业能耗比重同比下降1.7%。

加快淘汰落后产能：2018年成都市印发了《成都市利用综合标准依法依规推动落后产能退出工作方案》、《关于建立全市落后产能举报核查处置机制的通知》，全市共淘汰造纸、化工、砖瓦窑等行业落后产能49户，“十三五”以来累计关停淘汰落后产能企业200户，清理整治“散乱污”工业企业1.4万户。

持续加强工业节能：对石化、化工、造纸、水泥等工业企业开展能耗限额标准，并实施节能监察。2018年全市规模以上工业增加值能耗下降15.4%，较2015年累计下降27.1%。

三、影响因素分析

行业结构：2018年成都市工业生产总值为6516.2亿元，大力发展五大先进制造业¹⁶，占全市工业增加值比重达82%。其中，石油化工、食品烟草、建材冶金、其他工业¹⁷的增加值占比分别为7.4%、12.2%、8.9%、13.2%，较2010年累计下降0.3%、2.4%、0.8%、10.1%；受鸿富锦精密电子（富士康）、TCL王牌电器、京东方带动，电子信息产业保持高位增长态势，对工业增加值的贡献率达25.2%，增加值占比累计上升0.4%。受一汽大众、重汽王牌、高原汽车带动，汽车产业增势强劲，相较于2010年增加值占比增加了11.5%，达到28.7%。此外，医药行业增加值占比累计上升1.6%，贡献率达4.7%。

能耗强度：如图2-7所示，成都市六大工业子行业能耗强度均呈下降趋势，建材冶金行业及石油化工行业下降率最大，2018年二者能耗强度分别为1.26吨标煤/万元、0.57吨标煤/万元；其他工业由于2014年彭州石化的投产，石油加工行业能源消费快速上升并成为高耗能行业，2018年升高至0.64吨标煤/万元；电子信息产品制造业、医药工业、食品饮料及烟草工业、机械（含汽车）工业能耗强度下降趋势平缓，分别降至0.07吨标煤/万元、0.24吨标煤/万元、0.17吨标煤/万元、0.16吨标煤/万元。

¹⁵ 成都市绿色低碳发展报告

¹⁶ 五大先进制造业涵盖电子信息、装备制造、医药健康、新型材料、绿色食品

¹⁷ 其他工业涵盖石油和天然气开采业，文教体育用品制造业，化学纤维制造业，石油加工、炼焦及核燃料加工业，金属制品业，仪器仪表及文化、办公用机械制造，工艺品及其他制造业，废弃资源和废旧材料回收加工业，金属制品、机械和设备修理业以及其他新兴绿色低碳产业

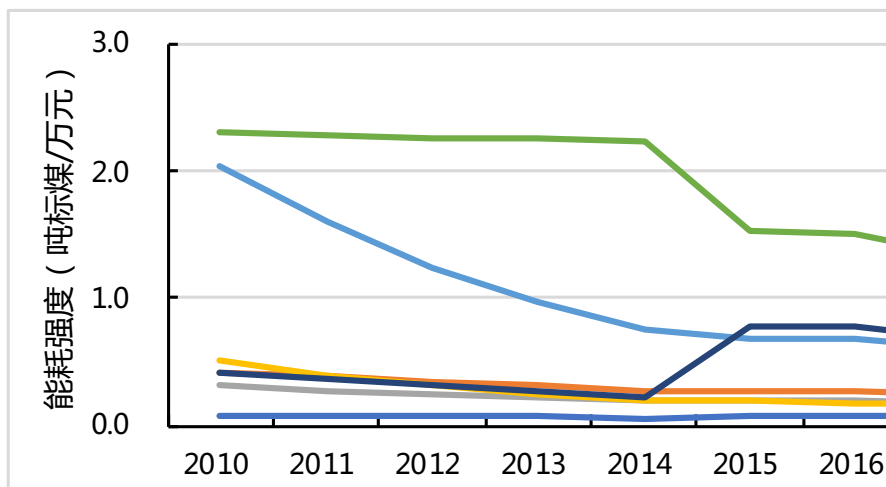


图2-7工业子行业能耗强度

能源结构：如图2-8所示，2018年成都市工业部门煤炭、天然气、汽油、柴油、燃料油、电力消费占比分别为12.3%、28.0%、0.3%、0.6%、1.3%、57.5%；煤炭、天然气、汽油、柴油相较于2010年分别下降了6.3%、2.8%、0.3%、0.3%，燃料油上升了1.2%，电力上升了8.4%；2010-2018年期间，成都市在工业领域大力推进“煤改电”、“煤改气”、“气改电”，能源结构逐渐趋向清洁化。

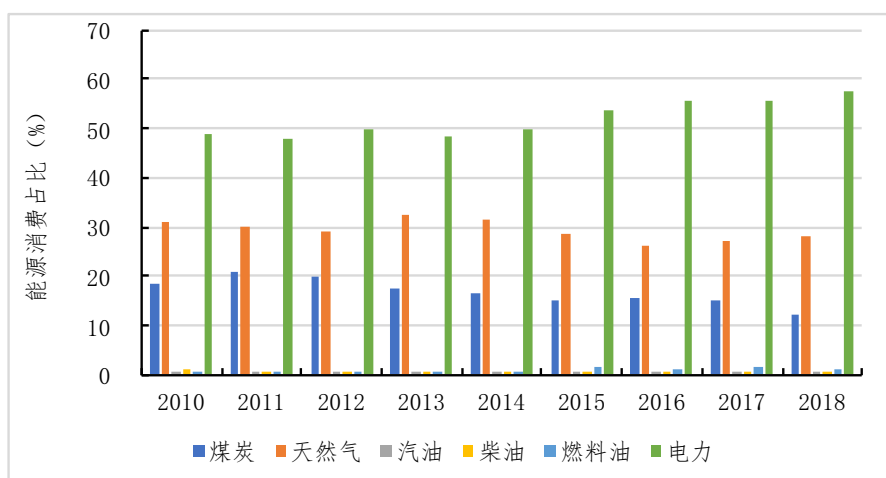


图2-8工业部门能源结构

2.2.2 建筑

一、碳排放总体情况

2010-2018年期间，成都市建筑领域能源消费总量及碳排放量呈上升趋势。能源消费总量由554万吨标煤升高至1116万吨标煤，碳排放量由648万吨上升至943万吨。排放占比由14.0%上升至16.1%，各项指标均在持续增长，具体如图2-9所示。

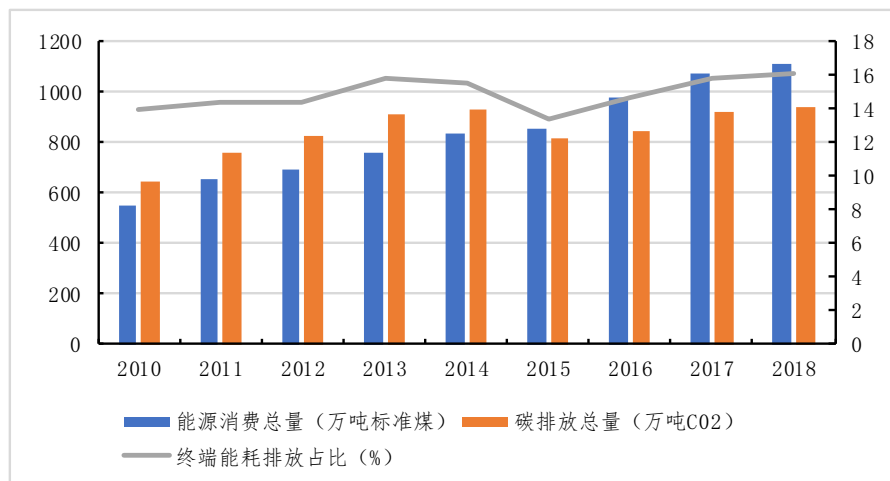


图 2-9 建筑部门碳排放

二、低碳建筑建设情况¹⁸

近年来，成都市积极践行生态文明建设有关要求，认真贯彻“适用、经济、绿色、美观”新时期建筑方针，把推进绿色建筑、建筑节能作为加快建设低碳城市的重要举措，实现了“建筑节能—绿色建筑—绿色片区”三步跨越式发展。

大力推进绿色新建建筑：成都市出台优化系列政策措施，进一步规范新建项目绿色等级，按不同建设类型划分为一、二、三级。截至2018年底，绿色建筑标准项目面积同时快速增长，2016年、2017年、2018年，分别为2430、3488和5121万平方米，占当年新建建筑总面积比例的40%、49%和67%。

持续推进既有建筑改造：成都市印发了《市建委关于下达2018-2020年度公共建筑节能改造目标任务的通知》，2018年完成了74万平方米既有公共建筑改造工作；制定了《市建委等七部门做好民用建筑能源资源消耗统计工作的通知》，2018年完成约3900万平方米民用建筑能耗统计。

优化能源结构：积极推进可再生能源技术应用，实施可再生能源应用项目21个，示范面积113万平方米，大力实施清洁替代、电能替代。

三、影响因素分析

建筑面积需求：2010到2018年期间，成都市建筑面积由4.8亿平方米增长至8.2亿平方米，人均建筑面积由33.9平方米/人增长至50.2平方米/人，建筑面积需求持续增长；建筑面积增长速率由5.3%降低至2.2%，增长速率有所放缓。

建筑单位面积能耗：近年来，随着生活质量提高，农村住宅电器普及率提高，城镇住宅新增冬季采暖需求，住宅单位面积能耗呈增长趋势。如图2-10所示，2018年成都市建筑部门城镇住宅和农村住宅单位面积总能耗分别增长至12.9千克标煤/平方米和5.7千克标煤/平方米；2010-2015期间，各类终端用能需求（如空调、设备、照明等）的增

长，是公共建筑能耗强度增长的主要原因。2015-2018年由于大力推进公共建筑节能减排，单位面积能耗呈下降趋势，2018年建筑部门大型公共建筑、中小型公共建筑单位面积总能耗分别降至34.5千克标煤/平方米、33.2千克标煤/平方米。

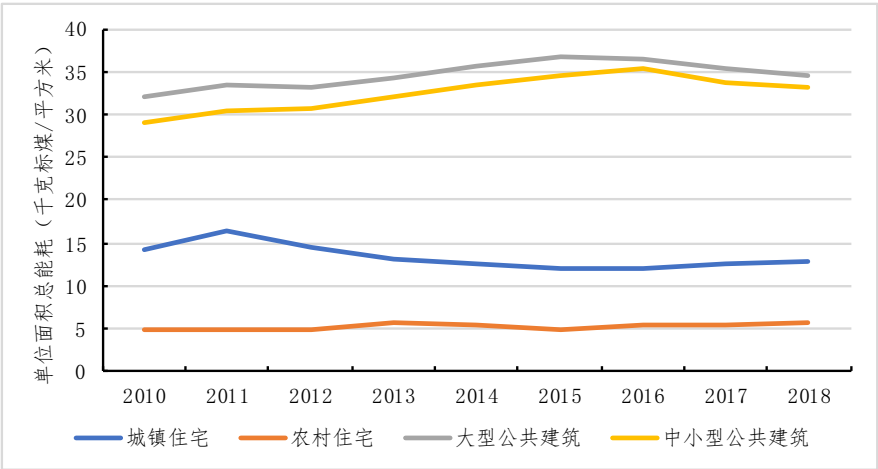


图 2-10 建筑部门各类型建筑单位面积能耗

建筑用能结构：2010-2018年期间，成都市的建筑用能结构中电力、天然气占比持续升高，2018年占比增加至66.4%、31.2%，较2010年累计增加了0.9%、2.0%；煤炭占比持续下降，2018年占比降至0.2%，较2010年降低了3.0%，建筑用能结构逐渐清洁化。各类型建筑用能结构变化具体趋势如图2-11至2-13所示。

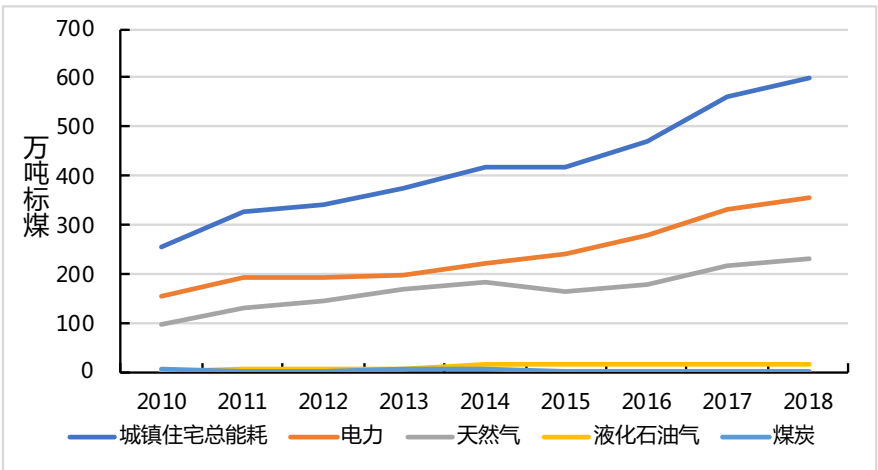


图2-11城镇住宅用能结构

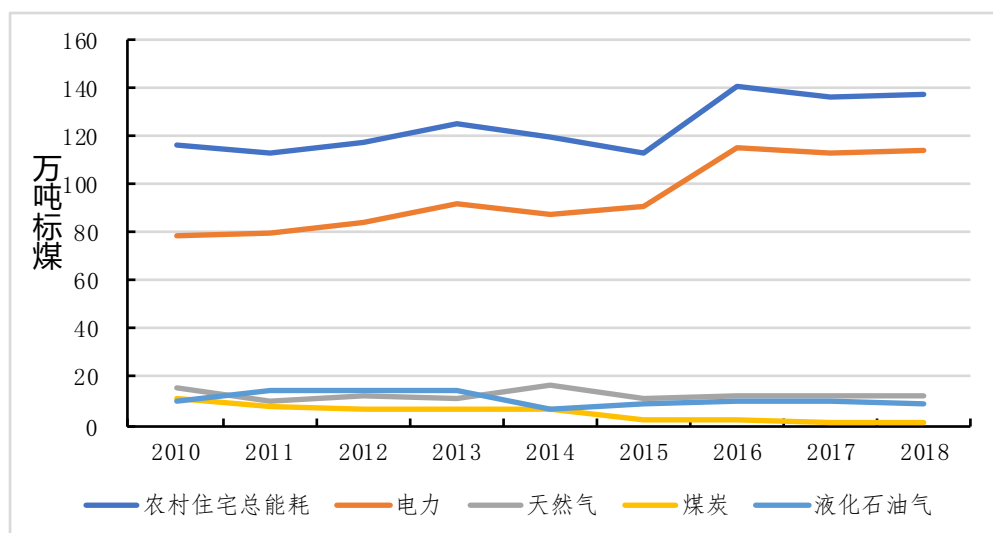


图2-12农村住宅用能结构

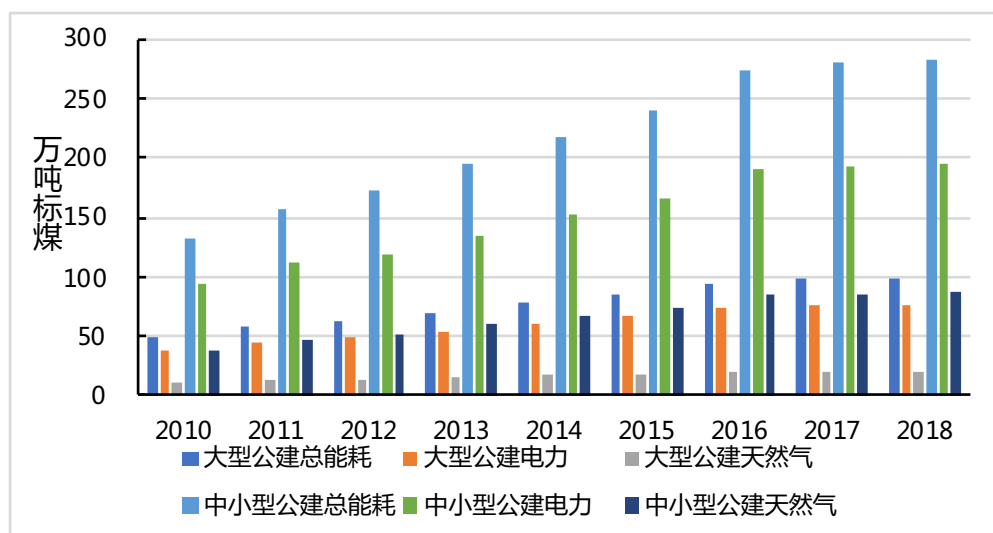


图2-13公共建筑用能结构

2.2.3 交通

一、碳排放总体情况

2010-2018年期间，成都市交通领域能源消费总量及碳排放量呈上升趋势。能源消费总量由672万吨标煤升高至1345万吨标煤，碳排放量由1330万吨上升至2616万吨。排放占比由28.7 %上升至44.8%，成为最高排放部门，具体如图2-14所示。

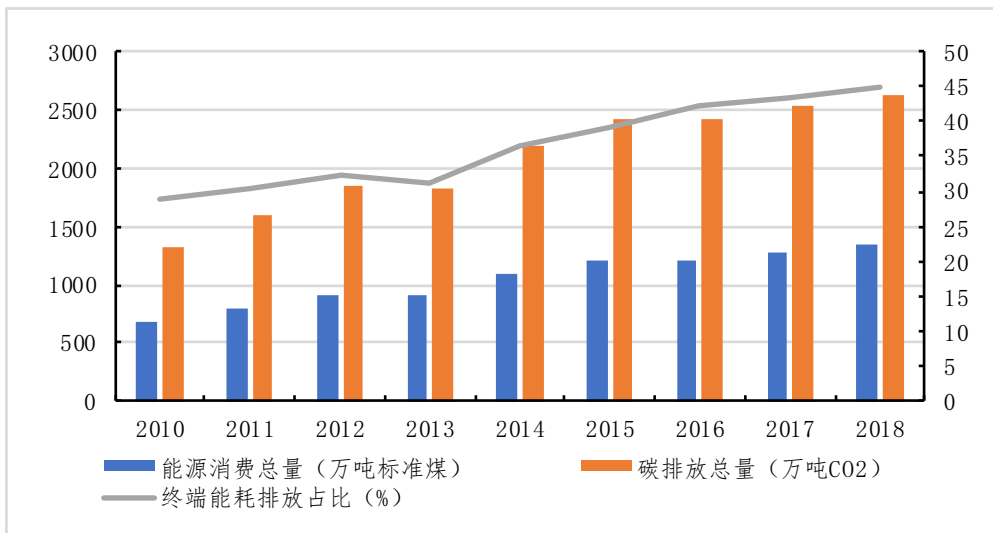


图2-14交通部门碳排放

二、低碳交通建设情况¹⁹

近年来，成都市认真贯彻落实市委市政府关于推进绿色低碳城市发展的决策部署，牢固树立绿色发展理念，以公交都市创建为主线，加快构建“轨道+公交+慢行”的绿色低碳城市交通运输体系，努力建设新发展理念的城市新区。

大力发展公共交通，提升公共交通出行率：近年来，成都市加速轨道交通成网，已开通7条地铁线路和1条有轨电车线路，形成“井+放射”城市轨道交通网络，线网运营里程达到341公里。其次，持续提升常规公交服务水平，完善“环+放射”快速公交网络，错位覆盖轨道交通服务空白区域，加强公交地铁接驳，持续消除公交线网覆盖盲区。目前，公交都市建设区公交线网密度达到3.4公里/平方公里，建成区内公交站点500米覆盖率达到99.7%，中心城区公交专用道里程达到1014公里。公交吸引力进一步增强，截至2017年底，中心城区公交机动化出行分担率达到47%²⁰。

大力推广新能源汽车应用，优化能源结构：成都市大力推广新能源汽车在交通运输行业应用，鼓励新增或更换公交车、出租车、物流车使用新能源汽车。截至目前，中心城区新能源公交车保有量达到4904辆（其中氢燃料电池公交车120辆），占在线运营车辆的39%；新能源出租汽车总数达4486辆，保有量占比达到41%。城市配送新能源车总数达2.8万辆，占比约80%。新能源分时租赁车保有量达6324辆，占比82%。

¹⁹ 成都市低碳城市建设专题会

²⁰ http://www.zgjt.com/sichuan/2018-09/12/content_212551.htm

三、影响因素分析

交通需求²¹：2018年客运周转量为1205亿人公里，较2011增加了56.6%（成都统计年鉴中2011年后数据较2010年前大幅下降）；2018年货运周转量为3818亿吨公里，较2011年增长了32.4%；其次，2018年车辆总量与私家车总量分别达到548万辆与420万辆，较2011年分别增加了74%和154%；公交车和地铁周转量分别增加了5.5亿人次、11.0亿人次，分别增至16.2亿人次、11.5亿人次。

运输结构：在客运领域，公路、铁路、民航的占比由2011年38%：4%：57%变为2018年7%：13%：79%，公路客运降低，铁路及民航客运逐渐提升（成都统计年鉴中2011年后数据较2010年前大幅下降）；在货运领域，公路、铁路、民航的占比由2011年71%：26%：3%变为2018年74%：22%：4%，公路及民航货运有所提升，铁路货运逐渐下降，具体如图2-15所示。截至2018年，“井+环”状轨道交通基础网络基本形成，中心城区公交线网密度3.35公里/平方公里，500米站点覆盖率99.4%，城市公共交通机动化出行分担率达到53%，公共交通在城市交通中的主体地位不断加强。

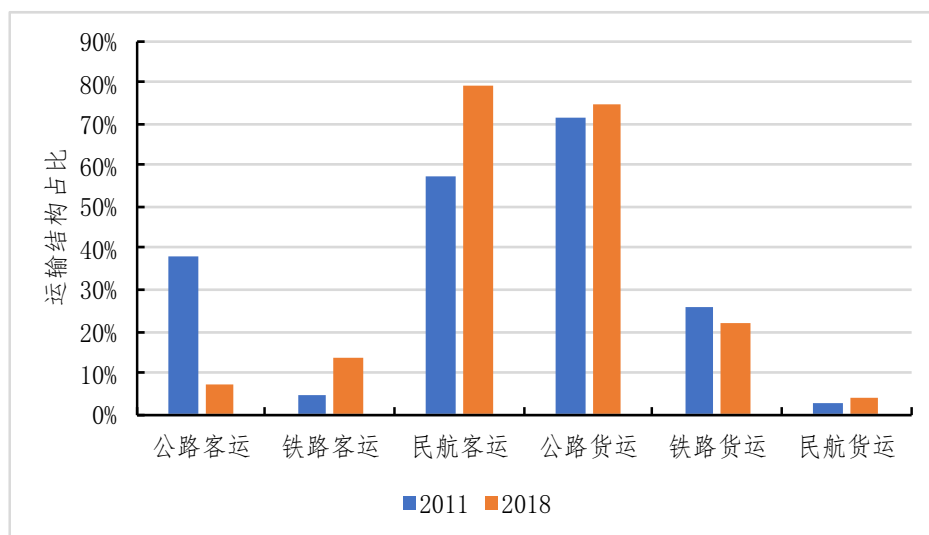


图2-15交通部门运输结构

能源结构：2010-2018年期间，成都市交通部门对汽油、天然气、喷气机煤油分别增加了10.8%、0.3%、1.9%，占比分别达到44.3%、5.9%、22.1%；柴油下降了12.8%，占比为23.2%；电力相较于2011年（统计年鉴中2011年后数据较2010年前大幅下降）增长了4.2%，占比达4.6%。交通部门能源结构以油品为主，具体如图2-16所示。

²¹ 交通需求涵盖营运交通需求与非营运交通需求：营运交通需求包含公路客/货运、铁路客/货运、民航客/货运以及城市公共交通（地铁、公交车）运输周转量；非营运交通需求则通过车辆保有量进行计算。

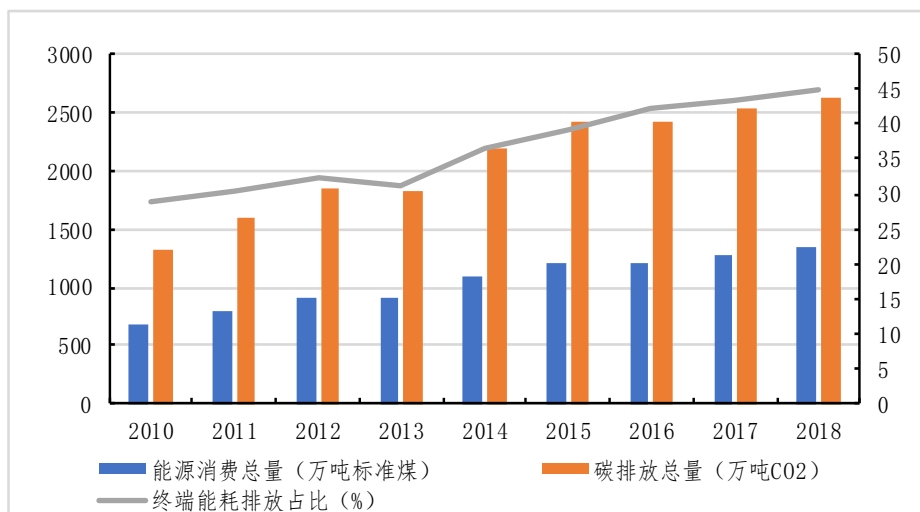


图2-16交通部门能源消费结构

交通能效：城市交通包括城际交通与城内交通，城际交通领域分为城际客运及城际货运。2010-2018年期间，成都市交通部门城际客运领域，公路客运能耗强度降低了0.75千克标煤/千人公里，降至4.25千克标煤/千人公里；铁路客运降低了0.04千克标煤/千人公里，降至0.47千克标煤/千人公里；民航客运降低了3.34千克标煤/千人公里，降至26.63千克标煤/千人公里；城际货运领域，公路货运降低了403.41千克标煤/万吨公里，降至1449.59千克标煤/万吨公里；铁路货运降低了1.78千克标煤/万吨公里，降至19.56千克标煤/万吨公里；民航货运降低了277.20千克标煤/万吨公里，降至3052.52千克标煤/万吨公里；城内交通领域，公交车降低了0.10吨标煤/万人次（相较于2011年，统计年鉴中2011年后数据较2010年前大幅上升），降至1.86吨标煤/万人次，轨道交通降低了0.14吨标煤/万人次，降至2.14吨标煤/万人次。

2.2.4 电力

一、碳排放总体情况

2010-2018年期间，成都市电力部门化石能源消费总量及碳排放量呈下降趋势。化石能源消费总量由175万吨标准煤下降至136万吨标准煤，碳排放量由461万吨下降至359万吨，具体如图2-17所示。

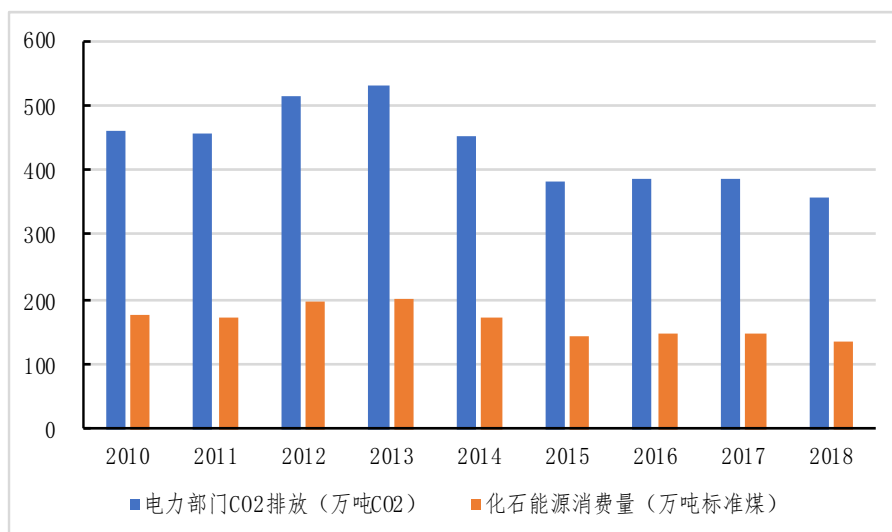


图2-17电力部门碳排放

二、电力清洁化建设情况²²

全面落实电能替代策略：近年来，成都市大力实施“两个替代”²³，推动电锅炉、电蓄能、电动交通、家庭电气化等项目建设，积极推进低碳或无碳能源使用，减少高排放的化石能源使用，全面落实电能替代策略。

持续优化电力生产结构：近年来，成都市在全面推进燃煤锅炉“清零”工作，减少火力发电，2017年以来全市累计完成燃煤锅炉及清洁能源改造1873台，目前仅剩三台大蒸吨燃煤锅炉。

三、影响因素分析

电力来源：成都市2010-2018年期间，成都市电力需求呈上升趋势。电力主要来源于外调电，外调电比例上升了21.4%，上升至83.1%，具体如图2-18所示。

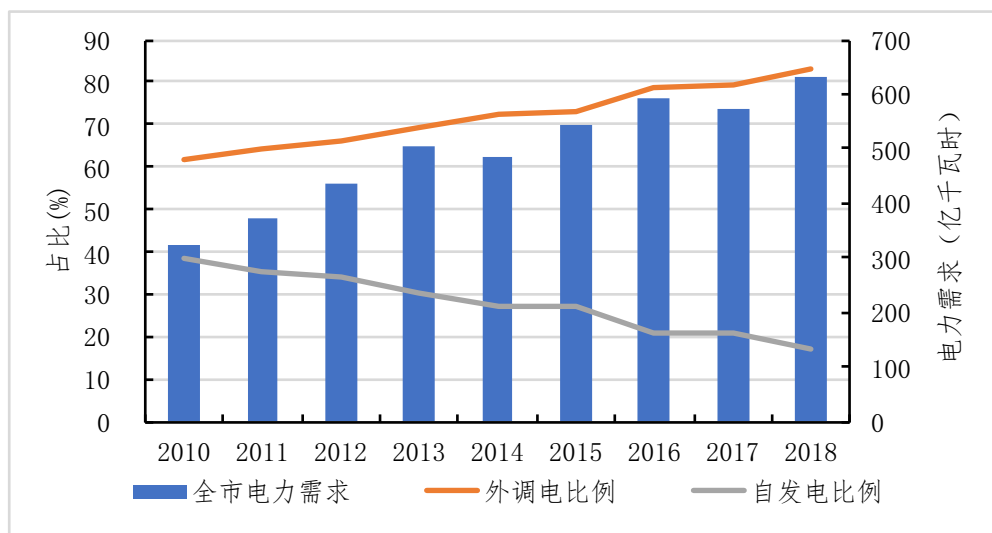


图2-18电力需求及电力来源占比

电力自发电结构：成都市积极推动清洁电力发展，火电发电量持续下降，2014-2018年间火电发电量由51.87亿千瓦时下降至42.75亿千瓦时。

发电能效：在2015-2018年期间，成都市煤炭发电能耗由325克标煤/千瓦时降低至321克标煤/千瓦时，发电能效持续提升。

²² 成都市绿色低碳发展报告

²³ 电能替代和清洁替代

3. 成都市低碳发展路径研究方法学

本研究围绕成都市碳达峰与碳中和为目标，考虑成都市近中期人口、经济、城镇化发展与产业结构等社会经济宏观因素，以及各部门能源消耗量、能耗强度与能源结构等碳排放影响因素，建立了成都市低碳发展路径估算模型。通过情景分析方法，从控制排放部门需求、提高能效、优化能源结构与电力清洁化4个方面对工业、建筑、交通、电力等部门的碳排放路径进行演算，进而分析成都市低碳发展路径。

3.1 时间尺度

本研究涉及的历史数据年份为2010-2018年，并以2020年作为基准年。其中2020年数据由成都市2019年统计公报、2018年统计年鉴，以及一系列“十三五”发展规划目标合理外推而得。成都市已有达峰路径研究仅到2035年，仍缺失在2050年中长期发展目标下的碳排放达峰以及碳中和目标下的路径研究。因此，本研究将预测2020-2050年成都市整体及重点行业的碳排放趋势，探索成都市低碳发展路径。

3.2 核算边界

本研究核算涵盖了成都市能源生产和消费部门，“碳排放”仅包含能源活动中化石燃料燃烧产生的直接碳排放，以及外购电力使用产生的间接碳排放。化石燃料燃烧排放源分为工业与建筑业（第二产业）、交通、建筑和农业四大领域，每个领域包括的内容如下：

工业与建筑业：其中工业分为电子信息产品制造业，医药工业、食品、饮料及烟草工业，机械(含汽车)工业，石油化学工业，建材冶金工业与其它行业共七类。

建筑：包括居民住宅建筑和公共/商业建筑。其中，居民住宅建筑包括城镇居民住宅和农村居民住宅；公共/商业建筑分为大型公共建筑和中小型公共建筑。

交通：包括营运交通与非营运交通。其中，营运交通包括公路客/货运输、铁路客/货运输、民航客/货运输、公交车以及地铁；非营运交通包括私家车、摩托车、出租车、机构用车。另一种分类方式是按照城市边界进行划分，即城际交通与城内交通。其中，城际交通包括公路客/货运输、铁路客/货运输、民航客/货运输；城内交通包括地铁、公交车、私家车、摩托车、出租车与机构用车。

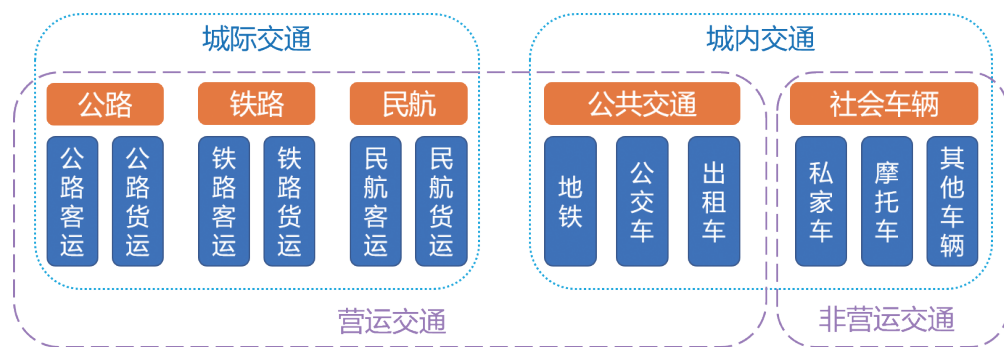


图3-1 交通部门领域分类示意图

农业：包括农、林、牧和渔业。

本地电力行业另行计算。各行业计算排放量时，对本行业消耗外购电力所对应的碳排放，通过成都市供电平均排放因子进行计算，作为行业的间接排放。

3.3 计算方法

本研究对未来能源相关CO₂排放的预测遵循如图3-2所示分析框架。其中，生产部门包括第一产业（农业）和第二产业（工业+建筑业）。

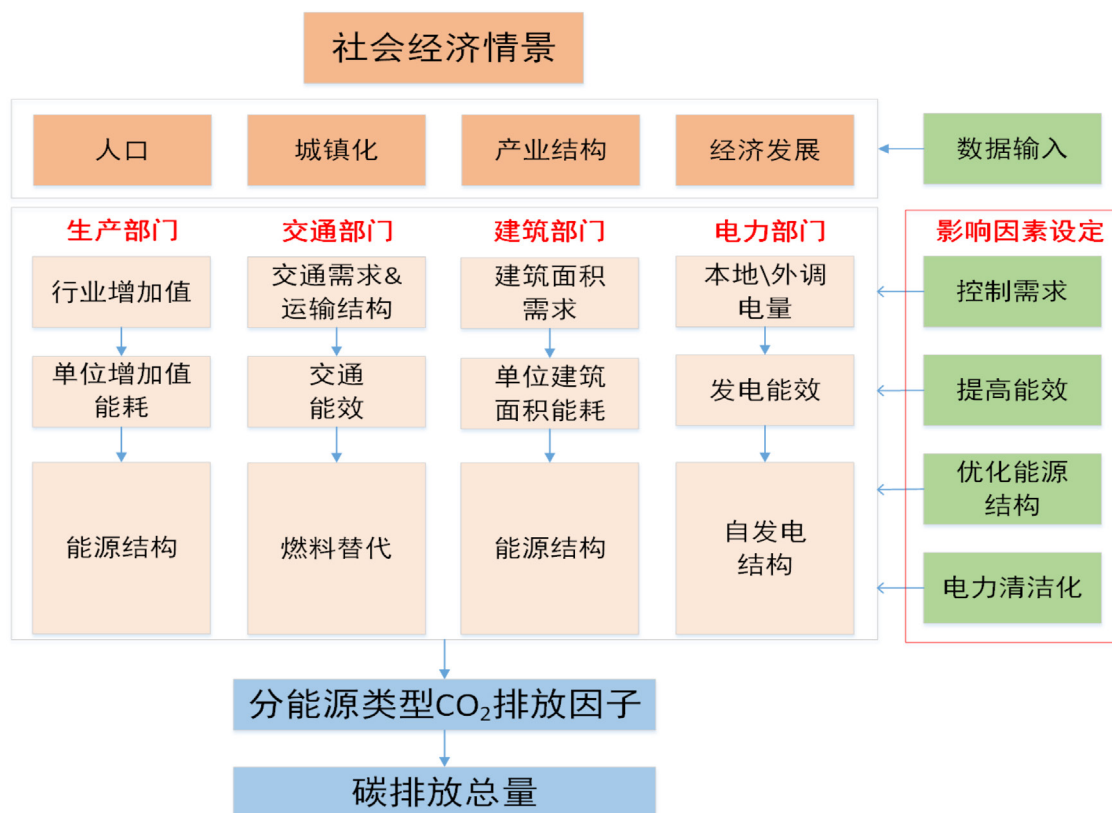


图3-2 碳排放计算方法

本研究具体计算方法：首先，输入人口、城镇化进程、产业结构及经济发展等社会经济宏观数据；其次，根据历史变化趋势及未来发展情况，分别控制各部门生产与消费需求，提高各部门能源使用效率，优化能源结构，得到各部门不同能源类型的消耗量；最后，分能源类型结合碳排放因子进行计算，并考虑各行业电力清洁化进程，得到各部门碳排放量。

3.3.1 农业

农业碳排放量由公式（1）计算：

$$E_{农业} = \sum_j AD_{农业} \times EI_{农业} \times \rho_j \times EF_j \dots\dots\dots (1)$$

式中，E_{农业}为农业碳排放量，AD_{农业}为农业增加值，EI_{农业}为农业单位增加值能耗，ρ_j为农业第j类能源占比，EF_j为农业第j类能源碳排放影响因子。

其中，农业增加值由公式（2）计算：

$$AD_{农业} = GDP \times PI \dots\dots\dots (2)$$

式中，AD_{农业}为农业增加值，GDP为城市GDP总量，PI为农业占比。计算流程如图3-3所示。

图3-3 第一产业(农业)碳排放计算方法

3.3.2 工业

工业碳排放量由公式（3）计算：

$$E_{工业} = \sum_{i,j} AD_i \times EI_i \times \rho_{i,j} \times EF_j \dots\dots\dots (3)$$

式中：E_{工业}为工业碳排放量，AD_i为工业第i种行业的行业增加值，EI_i为第i种行业的单位增加值能耗，ρ_{i,j}为第i种行业第j类能源占比，EF_j为第j类能源碳排放影响因子。

其中，AD_i为由公式（4）计算：

$$AD_i = GDP \times SI \times IN \times \gamma_i \dots\dots\dots (4)$$

式中：AD_i为工业第i种行业的行业增加值，GDP为城市GDP总量，SI为第二产业占比，IN为工业在第二产业中的占比，γ_i为第i中行业在工业中的占比。计算流程如图3-4所示。

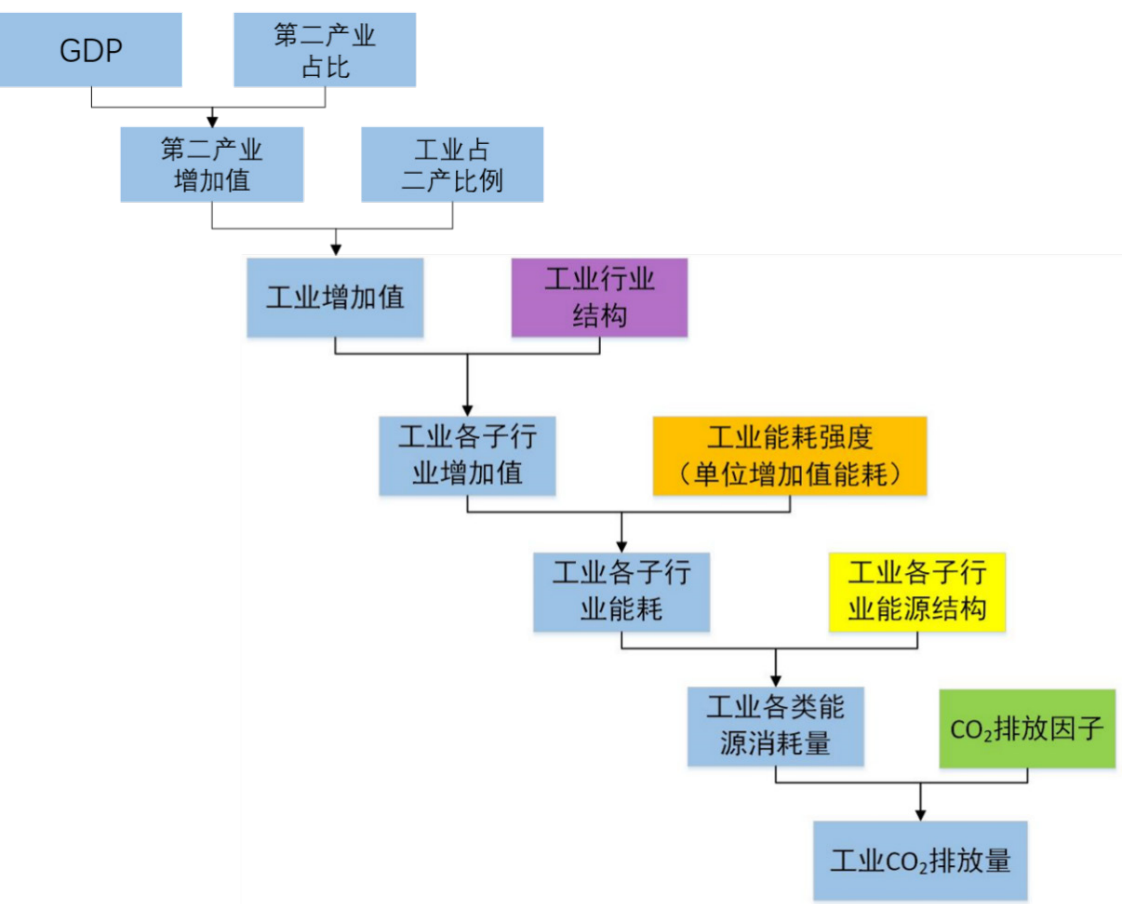


图3-4 工业碳排放计算方法

3.3.3 建筑业

建筑业碳排放量由公式（5）计算：

$$E_{\text{建筑业}} = \sum_j S \times EI_{\text{建筑业}} \times \rho_j \times EF_j \dots\dots\dots (5)$$

式中，E_{建筑业}为建筑业碳排放量，S为建筑施工面积，EI_{建筑业}为建筑业单位面积能耗，ρ_j为建筑业第j类能源占比，EF_j为建筑业第j类能源碳排放影响因子。计算流程如图3-5所示。

图3-5 建筑业碳排放计算方法

3.3.4 建筑部门

建筑部门碳排放量由公式（6）计算

$$E_{\text{建筑}} = \sum_{i,j} AD_i \times EI_i \times \rho_{i,j} \times EF_j \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：E_{建筑}为建筑碳排放量，AD_i为第i类建筑的建筑面积，EI_i为第i类建筑的单位面积能耗，ρ_{i,j}为第i种行业第j类能源占比，EF_j为第j类能源碳排放影响因子。

其中，各类建筑建筑面积（AD_i）由公式（7）、（8）、（9）计算：

$$AD_U = P \times UR \times BI_U \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$AD_R = P \times (100\% - UR) \times BI_R \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：AD_U与AD_R分别为城镇住宅与农村住宅建筑面积，P为城市人口，UR为城镇化率，BI_U与BI_R分别为城镇人均住宅面积与农村人均住宅面积。

$$AD_{P,k} = P \times BI_P \times \gamma_k \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中，AD_{P,k}为第k类公共建筑的建筑面积，P为城市人口，PB为人均公共建筑面积，γ_k为第k类公共建筑占公共建筑建筑面积的比例。计算流程如图3-6所示。

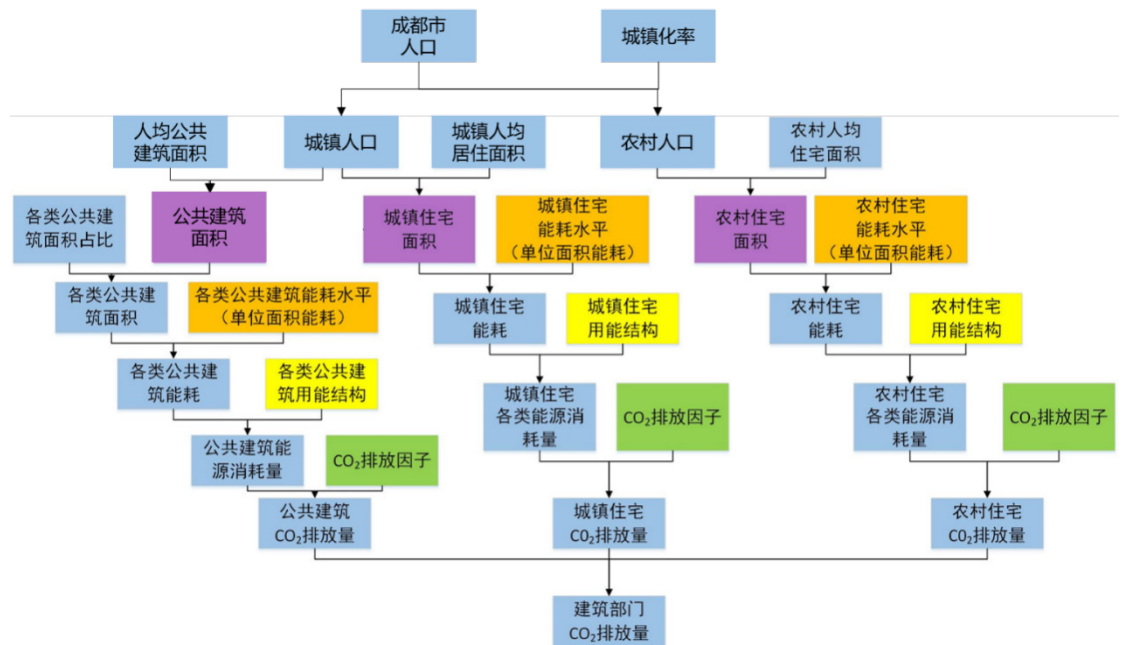


图3-6 建筑部门碳排放计算方法

3.3.5 交通部门

交通部门碳排放由营运交通碳排放与非营运交通碳排放组成，计算方法如公式（10）所示：

$$E_{\text{交通}} = E_{\text{营运}} + E_{\text{非营运}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

其中，营运交通碳排放由公式（11）计算：

$$E_{\text{营运}} = \sum_{i,j} TT_i \times EI_i \times \rho_{i,j} \times EF_j \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中， $E_{\text{营运}}$ 为营运交通碳排放量， TT_i 为第*i*类营运交通的交通周转量， EI_i 为第*i*类营运交通的单位周转量能耗， $\rho_{i,j}$ 为第*i*种营运交通的第*j*类能源占比， EF_j 为第*j*类能源碳排放影响因子。客运周转量由历史城市人口与客运周转量线性拟合得到；货运周转量由历史城市GDP与货运周转量线性拟合得到。

非营运交通碳排放由公式（12）计算：

$$E_{\text{非营运}} = \sum_{i,j} VP_i \times MI_i \times EI_i \times \rho_{i,j} \times EF_j \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中， $E_{\text{非营运}}$ 为非营运交通碳排放量， VP_i 为第*i*类非营运交通的车辆保有量， MI_i 为第*i*类非营运交通的年均行驶里程， EI_i 为第*i*类非营运交通的单位里程能耗， $\rho_{i,j}$ 为第*i*种非营运交通的第*j*类能源占比， EF_j 为第*j*类能源碳排放影响因子。其中车辆保有量由公式（13）计算：

$$VP_i = P \times VPK_i \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中， VP_i 为第*i*类非营运车辆保有量， P 为城市人口， VPK_i 为第*i*类车辆千人保有量。计算流程如图3-7所示。

图3-7 交通部门碳排放计算方法

3.3.6 电力

成都自发电力碳排放量由公式（14）计算：

$$E_{\text{电力}} = \sum_i FC_i \times EF_i \dots\dots\dots (14)$$

式中，E_{电力}为成都自发电力碳排放，FC_i为第i类化石能源发电能源消耗量，EF_i为第i类化石能源碳排放影响因子。

其中各类化石能源消耗量由公式（15）计算：

$$FC_i = GC \times LC \times TP \times \gamma_i \dots\dots\dots (15)$$

式中，FC_i为第i类化石能源发电能源消耗量，GC为城市电力需求量，LC为城市自发电比例，TP为城市火电占自发电比例，γ_i为第i类化石能源发电占火电自发电比例。计算流程如图3-8所示。

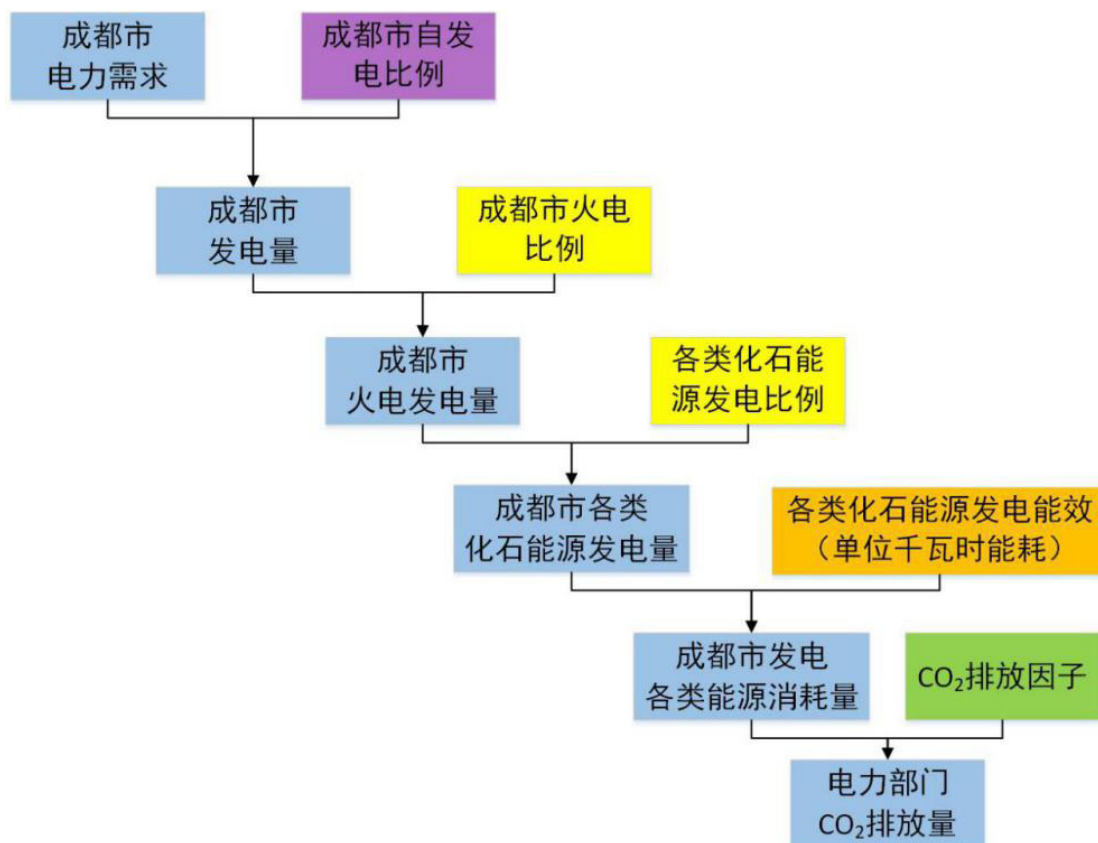


图3-8 电力部门碳排放计算方法

各部门电力间接碳排放由电力消耗量与成都市供电CO₂排放因子计算获得。计算方法如公式（16）、（17）、（18）所示：

$$EF_{\text{成都}} = EF_{\text{四川}} \times \eta + EF_{\text{自发}} \times (1 - \eta) \quad \text{..... (16)}$$

$$EF_{\text{四川}} = (\sum_i FC_i \times EF_i) \div E_{\text{四川}} \quad \text{..... (17)}$$

$$EF_{\text{自发}} = (\sum_j FC_j \times EF_j) \div E_{\text{自发}} \quad \text{..... (18)}$$

式中， $EF_{\text{成都}}$ 为成都市电力排放因子， $EF_{\text{四川}}$ 为四川省电力排放因子， $EF_{\text{自发}}$ 为成都市自发电力排放因子， η 为外调电力比例， FC_i 为四川省火力发电第*i*类化石能源消耗量， EF_i 为四川省火力发电第*i*类化石能源碳排放因子， $E_{\text{四川}}$ 为四川省供电量； FC_j 为成都市火力发电第*j*类化石能源消耗量， EF_j 为成都市火力发电第*j*类化石能源碳排放因子， $E_{\text{自发}}$ 为成都市自发电量。计算流程如图3-9所示。

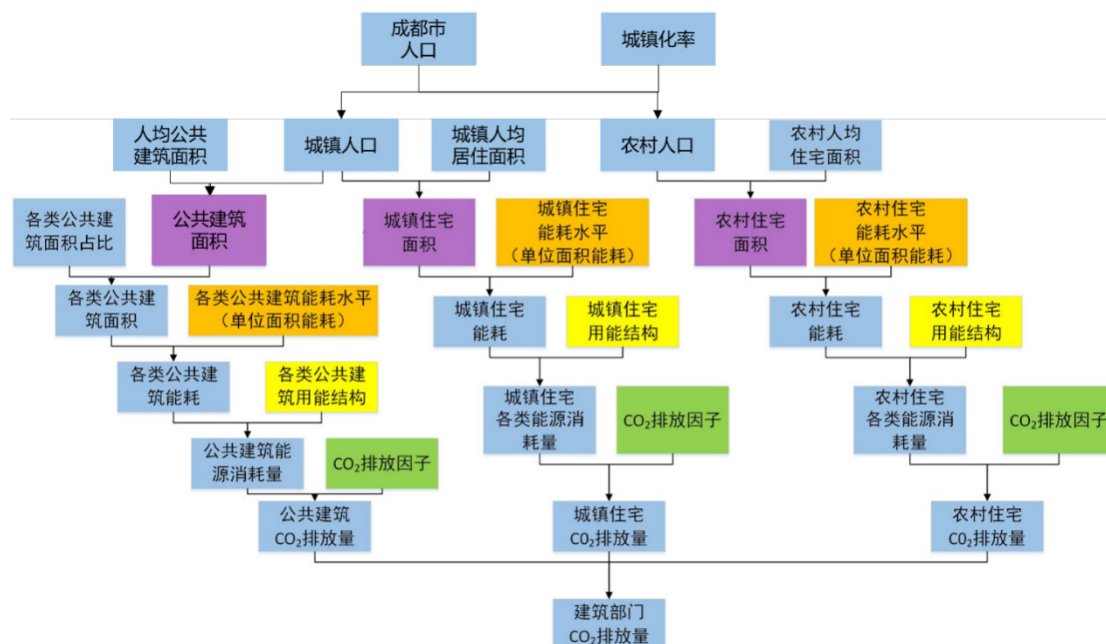


图3-9 成都市供电排放因子计算方法

3.4 影响因素

影响城市碳排放的社会经济宏观因素主要包括人口、城镇化进程、产业结构、经济发展四个方面。对于城市碳排放各重点部门，工业部门的主要影响因素包括行业结构、能耗强度、工业能源结构、电力清洁化与技术革新；建筑部门的主要影响因素包括建筑需求、建筑能耗水平、建筑用能结构及电力清洁化；交通部门的主要影响因素包括交通需求、运输结构、交通能效、燃料替代及电力清洁化；电力部门的主要影响因素包括电力来源、自发电结构、发电能效与技术革新。这些内容将成为情景分析中设置未来参数值的主要影响因素。

3.5 情景设置

本研究包含三个情景：基准情景、低碳情景与净零排放情景。三种情景下人口增速、城镇化进程、GDP增速与产业结构等社会经济宏观因素保持一致，具体设置与变化趋势如表3-1和图3-10、3-11所示：

表3-1 社会经济宏观因素设定

宏观因素	设定条件
人口增速	设置成都市常住人口 2030 年为 2000 万、2035 年 2300 万，并以 2070 年达到 3000 万的长期目标反推 2050 年人口为 2700 万 ²⁴ 。2020-2050 年每五年年均人口增速分别为 2.3%、2.0%、1.9%、1.5%、1.1% 与 0.7%。
城镇化进程	2020-2050 年每 5 年末分别达到 80%、86%、90%、90.5%、90.8% 与 91% ²⁵ 。

24 《成都市2018-2035战略研究》规划与“建设全面体现新发展理念的国家中心城市规划建设新举措”新闻发布会公开信息

25 《成都市城市总体规划（2016-2035）》提出2035年成都市城镇化率达到90%

GDP 增速	为实现“两个一百年”中 2050 年“社会主义现代化强国目标”，结合成都市“十三五”经济平均增长速率，设置 2020-2050 年每五年年均 GDP 增速分别为 7.6%、7.3%、7.0%、6.1%、5.1% 与 4.2%，2035 年与 2050 年全市 GDP 分别达到 5.2 万亿人民币与 11.1 万亿人民币（2020 年不变价）。
产业结构	逐步增加第三产业的占比，第一、二、三产业比例由 2018 年的 3.4%：42.5%：54.1% 逐渐变化为 2050 年的 1.0%：29.0%：70.0% ²⁶ 。

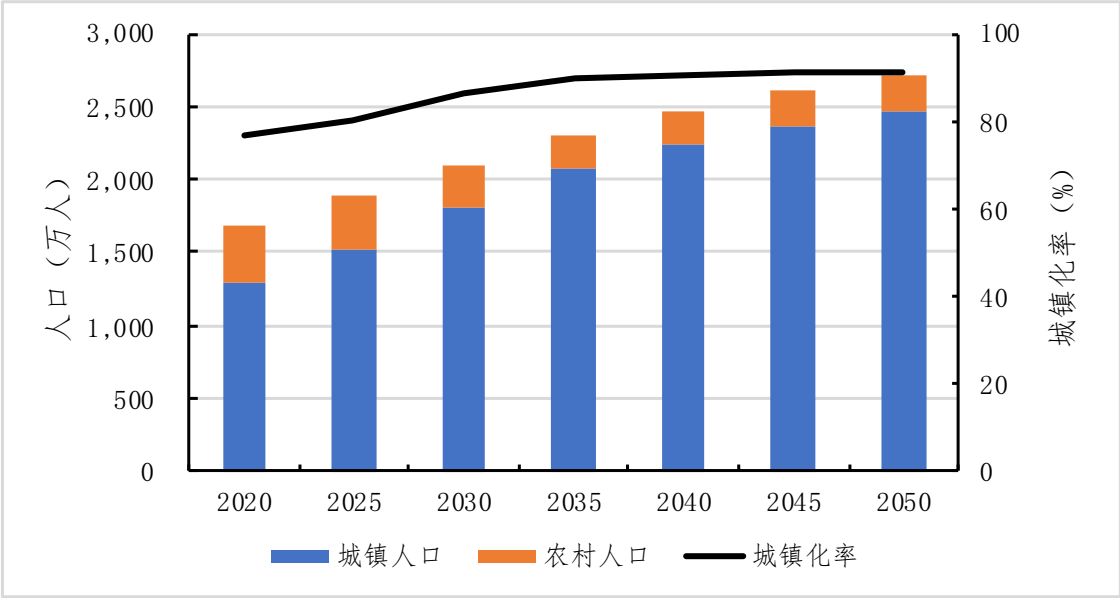


图3-10 成都市人口与城镇化率变化趋势图

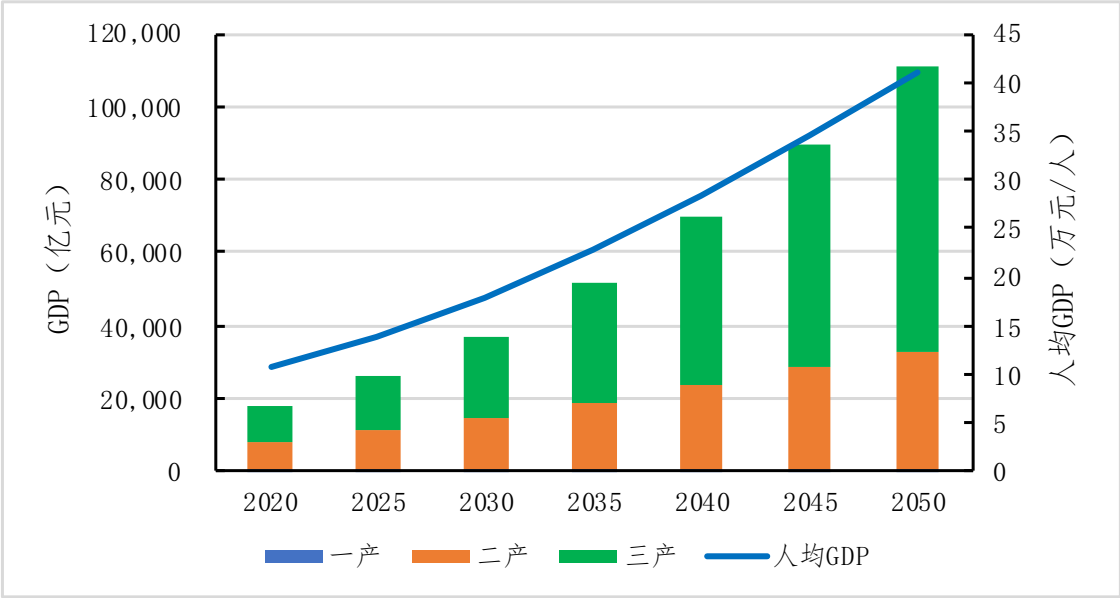


图3-11 成都市GDP与人均GDP变化趋势图

26 成都市经信委预测数据，2050年成都第三产业比例将达到70%

基准情景：基于成都市“十三五”期间历史发展趋势设置相关参数。其中，各部门服务需求按照“十三五”趋势进行设定；根据《成都市能源发展“十三五”规划》，能耗强度保持15%的下降速率并逐渐减缓；能源结构保持优化，严格控制并减少煤炭消费量，突出电力与天然气的消费比重；成都市火电发电量维持在稳定范围。

低碳情景：在基准情景基础上，对各部门服务需求、能效、能源结构予以优化，以实现2025年碳达峰目标。其中，各部门服务需求通过科学合理规划，较基准情景增速减缓；能耗强度较基准情景进一步下降；进一步推动“煤改气”、“煤改电”、“气改电”，天然气与电力消费比重较基准情景进一步提高；逐步推动成都市火电生物质掺烧与替换，最终实现成都100%非化石电力应用。

净零排放情景：在低碳情景基础上进一步优化，使成都市实现城市碳中和。其中，各部门服务需求与低碳情景保持一致；通过扩大先进技术使用规模、使用信息化能源管理手段，较低碳情景进一步提高能效进而降低能耗强度；推动能源结构向“电气化”转变，尽可能使用非化石能源；推动全市100%非化石电力应用；对工业与电力部门推广应用碳捕捉与封存技术（Carbon Capture and Storage, CCS）。

重点排放部门各情景下的影响因素设置如表3-2所示（见下页）：

3.6 局限性

本研究数据分析仍存在一定的局限性，具体包括：受到数据可获得性的限制，除工业部门外，建筑与交通部门采用自上而下与自下而上相结合的方法估算了历史基年能源消耗量、能源结构与碳排放，导致未来碳排放趋势可能与实际值存在偏差；在无法获得成都市本地数据的情况下，部分历史参数采用了国家、四川省平均值，如人均公共建筑面积、交通能效参数与交通能源结构等；在对未来相关参数进行预测时，有规划数据的采用规划数据，没有规划数据的则根据历史趋势、专家判断等方式预测，存在一些不确定性。

表3-2 重点排放部门影响因素设置一览表

部门	影响因素	基准情景	低碳情景	净零排放情景
工业	行业结构	参照《成都制造 2025 规划》，提高电子、机械、医药等高附加值低能耗行业比重，降低建材冶金、石化等高能耗高排放行业比重。“高能耗”产业 2025 年比重较 2020 年降低 0.8%，2050 年比重较 2020 年降低 10.6%。	较基准情景进一步提高“低能耗”行业比重，快速降低“高能耗”行业比重。“高能耗”产业 2025 年比重较 2020 年降低 1.6%，2050 年比重较 2020 年降低 12.1%。	同低碳情景。
	能耗强度	各行业能耗强度参照十三五期间历史能耗强度变化趋势降低，并逐渐减缓下降速率。以 2020 年工业能耗强度指数为 100，2025 年工业能耗强度指数为 88，2050 年为 39。	通过进一步的节能改造与完善能源管理手段，较基准情景进一步降低各行业能耗强度。2025 年工业能耗强度指数为 85，2050 年为 31。	通过扩大先进技术使用规模并进一步完善能源管理手段，较低碳情景进一步降低各行业能耗强度。2025 年工业能耗强度指数为 84，2050 年为 30。
	能源结构	能源结构保持优化，严格控制并减少煤炭消费量，提高天然气与电力占比。天然气与电力消费占比 2020 年分别为 28.9% 与 58.9%，2025 年分别为 28.2% 与 61.7%，2050 年分别为 21.7% 与 77.3%。	较基准情景进一步“煤改气”、“煤改电”、“气改电”，快速减少煤炭使用比例，进一步提高电力占比。天然气与电力消费占比 2025 年分别为 28.7% 与 62.5%，2050 年分别为 19.7% 与 79.3%。	大力推动工业“电力化”，仅保留原料型化石燃料使用。天然气与电力消费占比 2025 年分别为 29.1% 与 62.6%，2050 年分别为 12.6% 与 86.4%。
	电力清洁化	外调电力排放因子每年下降 1%；自发电电量维持在 40-46 亿千瓦时范围内。	外调电力排放因子每年下降 1%；自发电逐步使用 100% 非化石电力。	外调电力与自发电力逐步使用 100% 非化石电力。
	技术革新	——	——	对石化、建材冶金与石油加工行业应用 CCS 技术，2050 年补集 90% 行业碳排放。
建筑	建筑需求	住宅与公共建筑面积增长率逐渐减缓。人均建筑面积 2020 年为 53.1 m ² / 人，2025 年为 56.5 m ² / 人，2050 年为 64.9 m ² / 人。	通过控制住宅平均套内面积与新建房屋数量，控制住宅与公共建筑面积合理增长，较基准情景进一步减缓建筑面积增长率。人均建筑面积 2025 年为 55.6 m ² / 人，2050 年为 60.4 m ² / 人。	同低碳情景。
	建筑能耗水平 (单位面积能耗)	因电器、制冷取暖需求提升，住宅单位面积能耗持续上升，但增速逐渐减缓；通过对公共建筑节能改造，其单位面积能耗参照十三五期间单位面积能耗下降速率持续下降。以 2020 年单位面积能耗指数为 100，住宅单位面积能耗指数 2025 年为 119，2050 年为 167；公共建筑单位面积能耗指数 2025 年为 93，2050 年为 70。	通过加强绿色建筑推广、扩大建筑节能改造范围、提高电器节能水平，住宅单位面积能耗增长速率较基准情景进一步减缓，公共建筑单位面积能耗进一步下降。住宅单位面积能耗指数 2025 年为 115，2050 年为 138；公共建筑单位面积能耗指数 2025 年为 89，2050 年为 61。	通过进一步扩大节能设备与技术应用范围，较低碳情景进一步降低建筑能耗水平。住宅单位面积能耗指数 2025 年为 114，2050 年为 136；公共建筑单位面积能耗指数 2025 年为 89，2050 年为 59。
	建筑用能结构	逐步取消煤炭的使用，减少液化石油气的使用，提高电力占比。建筑电力消费占比 2020 年为 70.8%，2025 年为 72.0%，2050 年为 75.2%。	较基准情景进一步提高电力占比。建筑电力消费占比 2025 年为 72.4%，2050 年为 76.9%。	逐步使用电炊事、电热泵设备，使电力占比较低碳情景进一步提高。建筑电力消费占比 2025 年为 73.5%，2050 年为 100%。
	电力清洁化	外调电力排放因子每年下降 1%；自发电电量维持在 40-46 亿千瓦时范围内。	外调电力排放因子每年下降 1%；自发电逐步使用 100% 非化石电力。	外调电力与自发电力逐步使用 100% 非化石电力。

部门	影响因素	基准情景	低碳情景	净零排放情景
交通	交通需求	随着城市 GDP 与人口的增长，客 / 货运周转量随之增长。车辆保有量增速逐渐减缓，私家车年均行驶里程（VKT）逐渐降低。私家车千人保有量 2020 年为 277 辆，2025 年为 322 辆，2050 年为 400 辆；VKT 于 2020 年为 1.8 万公里，2025 年为 1.75 万公里，2050 年为 1.3 万公里。	客 / 货运周转量与基准情景保持一致，合理控制车辆数量增长，较基准情景车辆保有量增速进一步减缓；进一步降低私家车 VKT。私家车千人保有量 2025 年为 314 辆，2050 年为 360 辆；VKT 于 2025 年为 1.70 万公里，2050 年为 1.0 万公里。	客 / 货运周转量、车辆保有量与低碳情景保持一致。较低碳情景进一步降低私家车 VKT。VKT 于 2025 年为 1.68 万公里，2050 年为 0.9 万公里。
	运输结构	逐步提高公共交通出行分担率，人均公共交通乘坐次数 2020 年为 216 次，2025 年为 268 次，2050 年为 419 次。逐步提高铁路运输占比，铁路客运周转量占比 2020 年为 12.9%，2025 年为 13.8%，2050 年为 15.1%；铁路货运周转量占比 2020 年为 20.8% 且之后保持不变。	较基准情景进一步提高公共交通出行分担率，人均公共交通乘坐次数 2025 年为 304 次，2050 年为 509 次。优化城际交通运输结构，进一步提高铁路运输占比，铁路客运周转量占比 2025 年为 14.3%，2050 年为 16.5%；铁路货运周转量占比 2025 年为 21.6%，2050 年为 42.8%。	较低碳情景进一步提高公共交通出行分担率与铁路运输占比。人均公共交通乘坐次数 2025 年为 340 次，2050 年为 519 次；铁路客运周转量占比 2025 年为 14.5%，2050 年为 16.7%；铁路货运周转量占比 2025 年为 21.8%，2050 年为 48.2%。
	交通能效	随着交通运输技术更新，单位周转量或单位里程能耗逐渐降低，以 2020 年各类交通能效指数为 100，私家车能效指数 2025 年为 96，2050 年为 68；公路能效指数 2025 年为 90，2050 年为 50；民航能效指数 2025 年为 96，2050 年为 68。	大力推动技术升级，较基准情景进一步降低单位周转量或单位里程能耗。私家车能效指数 2025 年为 94，2050 年为 66；公路能效指数 2025 年为 86，2050 年为 42；民航能效指数 2025 年为 94，2050 年为 65。	进一步提升技术与交通管理水平，较低碳情景进一步降低单位周转量或单位里程能耗。私家车能效指数 2025 年为 93，2050 年为 60；公路能效指数 2025 年为 85，2050 年为 40；民航能效指数 2025 年为 94，2050 年为 62。
	燃料替代	推动液化天然气、电动汽车发展，逐步减少燃油车比重。私家电动车占比 2020 年为 2%，2025 年为 3%，2050 年为 45%；公路货运电动车占比 2020 年为 0，2025 年为 1%，2050 年为 11%；民航生物航油使用占比 2020 年为 0，2050 年为 5%。	较基准情景进一步提高电动车比重；推动生物航油的使用。私家电动车占比 2025 年为 5%，2050 年为 90%；公路货运电动车占比 2025 年为 3%，2050 年为 50%；民航生物航油使用占比 2025 年为 2%，2050 年为 25%。	较低碳情景加速提高电动车比重；大力发展生物航油技术，进一步提高生物航油使用比重。私家电动车占比 2025 年为 7%，2050 年为 90%；公路货运电动车占比 2025 年为 4%，2050 年为 50%；民航生物航油使用占比 2025 年为 2%，2050 年为 40%。
	电力清洁化	外调电力排放因子每年下降 1%；自发电电量维持在 40-46 亿千瓦时范围内。	外调电力排放因子每年下降 1%；自发电逐步使用 100% 非化石电力。	外调电力与自发电力逐步使用 100% 非化石电力。
	电力			
电力	电力来源	逐步提升外调电力比例，外调电力比例 2020 年为 85%，2025 年为 87%，2050 年为 91%；外调电力排放因子每年下降 1%。	较基准情景进一步提升外调电力比例，外调电力比例 2025 年为 88%，2050 年为 93%；外调电力排放因子每年下降 1%。	外调电力比例与低碳情景一致；外调电力清洁电力占比逐步提升至 100%。
	自发电结构	逐步降低成都自发电火电比例，自发电火电比例 2020 年为 35%，2025 年为 34%，2050 年为 23%；化石燃料发电为 100% 煤电。	较基准情景进一步下降自发电火电比例，自发电火电比例 2025 年为 33%，2050 年为 20%；化石燃料发电逐步被生物质发电取缔。	同低碳情景。
	发电能效	火电发电能效逐步提升，2020 年为 319 克标煤 / 千瓦时，2025 年为 318 克标煤 / 千瓦时，2050 年为 300 克标煤 / 千瓦时。	较基准情景进一步提升火电发电能效，2025 年为 317 克标煤 / 千瓦时，2050 年为 295 克标煤 / 千瓦时。	同低碳情景。
	技术革新	——	——	应用 CCS 技术，2050 年补集 90% 自发电碳排放。





4. 成都市低碳发展路径分析

4.1 成都市整体低碳发展路径分析

4.1.1 成都市碳排放趋势

在回顾成都市碳排放历史数据的基础上，本研究对2020到2050年成都市的终端能耗碳排放进行研究。考虑到交通排放管辖权问题，本研究将分别从两个尺度来分析成都市碳排放趋势。一是全口径分析，即交通部门包含民航、铁路等所有交通类型。如图4-1所示，基准情景中，成都市碳排放于2037年达峰，峰值为8665万吨，较2020年增长28.1%。低碳情景下，成都市碳排放于2025年达峰，峰值为7202万吨，较2020年增长6.6%；2050年为4814万吨，较2020年减排28.8%。净零排放情景下，成都市碳排放于2025年达峰，峰值为7064万吨，较2020年增长4.5%；2050年为1101万吨，较2020年减排83.8%，为2060年实现碳中和奠定基础。

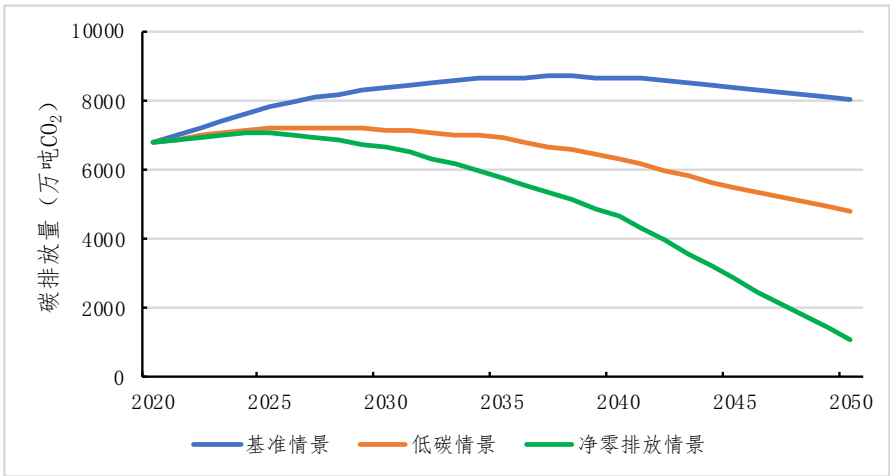


图4-1 成都市碳排放趋势(全口径)

第二种分析尺度则不包含民航与铁路。如图4-2所示，基准情景、低碳情景、净零排放情景分别于2035年、2025年、2025年达峰。其中，净零排放情景下2050年碳排放量为305万吨，较基准情景下降95.5%。根据《成都市2016年温室气体清单报告》以及《成都市城市总体规划（2016-2035）》内容进行推算，2016年成都市碳汇量为130万吨，2035年增长至210万吨，2050年增长至约300万吨。因此，在不含民航与铁路碳排放的情况下，净零排放情景2050年基本实现碳中和。

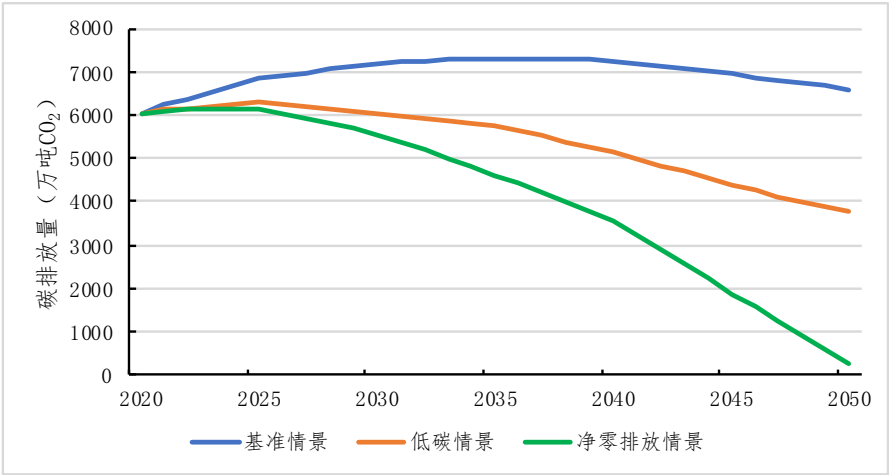


图4-2 成都市碳排放趋势(不含民航、铁路)

4.1.2 成都市分能源类型碳排放分析

2020年，成都市能源消费总量预计达到5300万吨标煤，其中一次电力与外调电力比重最大，为40.7%，煤炭、油品、天然气消费占比分别为5.8%、31.8%和19.9%。从碳排放量来看，油品是成都市最大碳排放源，碳排放量为3522万吨，占当年碳排放量的52.1%。相关指标如表4-1所示。

表4-1 成都市各情景下能源与碳排放指标变化

指标		单位	2020	2025			2035			2050		
			预估值	基准情景	低碳情景	净零排放情景	基准情景	低碳情景	净零排放情景	基准情景	低碳情景	净零排放情景
能源消费总量		万吨标煤	5312	6476	6163	6132	8414	7278	7110	9475	7482	7248
能源消费结构	煤炭	%	5.8	4.5	4.3	4.2	2.2	1.8	1.2	1.3	0	0
	油品	%	31.8	29.5	28.0	27.8	22.6	19.7	18.5	16.8	8.7	6.8
	天然气	%	19.9	20.1	20.8	20.6	20.9	21.1	18.8	20.0	19.3	7.0
	非化石能源	%	42.5	45.9	46.9	47.4	54.3	57.4	61.5	62.3	72.0	86.2
碳排放量		万吨 CO ₂	6762	7796	7202	7064	8651	6894	5764	8022	4814	1101
能源碳排放比例	煤炭	%	12.4	11.1	10.2	9.8	7.5	5.0	3.9	4.0	0	0
	油品	%	52.1	50.8	49.8	50.3	45.6	43.0	45.7	41.5	27.3	55.2
	天然气	%	25.9	27.6	28.5	28.7	33.4	36.5	36.8	38.1	48.1	44.8
	非化石能源	%	9.6	10.5	11.5	11.2	13.5	15.5	13.6	16.4	24.6	0

在人口增长与经济压力的双重压力下，按照“十三五”变化趋势发展的“基准情景”将无法实现2025年碳达峰目标。为此，成都市应在开展“煤改气”、“煤改电”工作的基础上，加速开展“油改气”与“油改电”工作，积极推动工业油品替代和新能源汽车普及进度。2025年，天然气与电力消费占比分别达到20.8%与45.1%，较2020年分别提高0.9%与4.4%；同时应进一步提高节能设备应用率和能源管理水平，控制能源消费总量，以实现2025城市碳达峰目标。

此外，为实现城市碳中和，推动能源转型是其必经之路。除了加速消减煤炭与油品的消耗外，天然气消耗量应在2035年之前趋于平稳并在之后的时间内逐步减少；同时，大力推动“电气化”进程，提高外调电力与本地非化石电力占比，使非化石能源占比于2050年达到85%以上，外调电力与本地电力为100%非化石电力。

4.1.3 成都市分部门碳排放分析

从终端排放部门来看，由于成都市私家车保有量居全国第二，城际交通结构以民航和公路为主，且交通部门能源结构以油品为主（油品消费占89.8%），2020年交通部门为成都市最大的碳排放部门，占当年碳排放量的45.5%；二产与建筑分别占2020年碳排放量的35.9%和17.2%。

低碳情景下，碳排放贡献最高的两个部门——交通与二产于2025年实现碳达峰，碳排放量分别为2454万吨与3308万吨。虽然建筑部门碳排放仍在持续升高，但其增长量被交通与二产的下降所抵消，使得成都市实现2025年碳达峰目标。就各部门减排贡献进行分析（如图4-3所示），2025年二产、建筑、交通碳排放较基准情景分别降低198万吨、94万吨和295万吨，碳减排贡献率分别为33.4%、15.9%和49.7%。因此，为实现成都市2025年碳排放达峰目标，2020-2025年期间应着重加大对工业和交通的低碳建设力度，快速降低其碳排放强度与排放量。

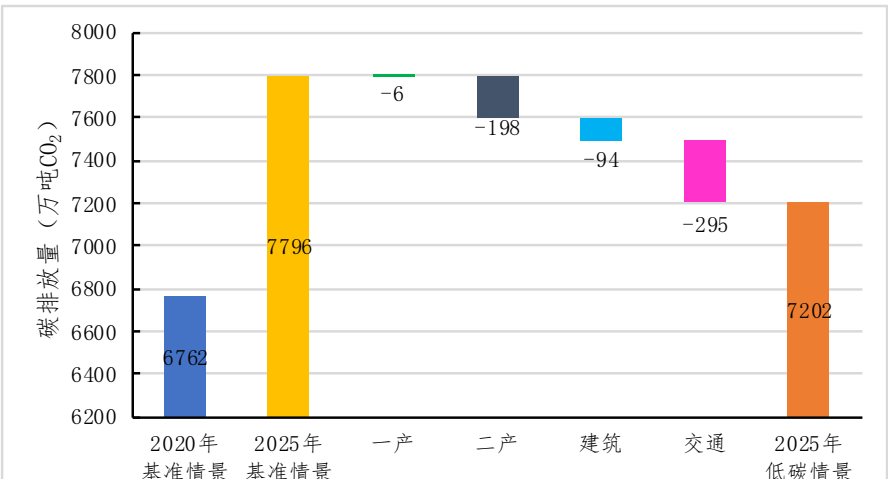


图4-3 成都市低碳情景碳达峰下各部门碳减排贡献（全口径）

净零排放情景下，2050年一产与建筑部门实现零排放，二产与交通占当年碳排放量的8.9%与91.1%（民航占61.4%）。相比于基准情景，2050年二产、建筑、交通碳减排贡献率分别为19.0%、31.0%与29.6%（如图4-4所示）。因此，应在继续推动工业节能与

“电气化”的基础上，大力开展建筑和交通部门的能源转型，全面推广非化石燃料使用，快速降低其碳排放量。此外，应推动工业与电力部门CCS技术应用，同时持续推动交通部门生物质燃料、氢燃料等非化石燃料替代工作，以实现城市碳中和目标。

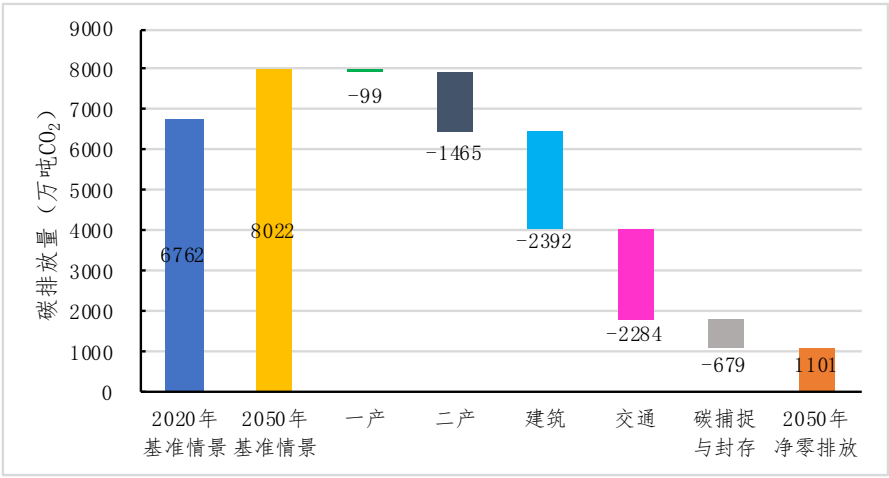


图4-4 成都市净零排放情景下各部门碳减排贡献(全口径)

4.1.4 成都市碳排放强度分析

如图4-5与图4-6所示，低碳情景下，2025年成都市单位GDP碳排放较2020年下降23.9%，2031年达到哥本哈根2018年水平（以下简称“哥本哈根水平”），2045年达到巴黎2018年水平（以下简称“巴黎水平”）；人均碳排放较2020年下降1.7%，2041年达到巴黎水平，2048年达到哥本哈根水平。

净零排放情景下，2050年成都市单位GDP碳排放较2020年下降97.4%，分别于2030年与2040年达到哥本哈根水平与巴黎水平；人均碳排放较2020年下降89.9%，分别于2031年与2041年达到巴黎水平与哥本哈根水平。

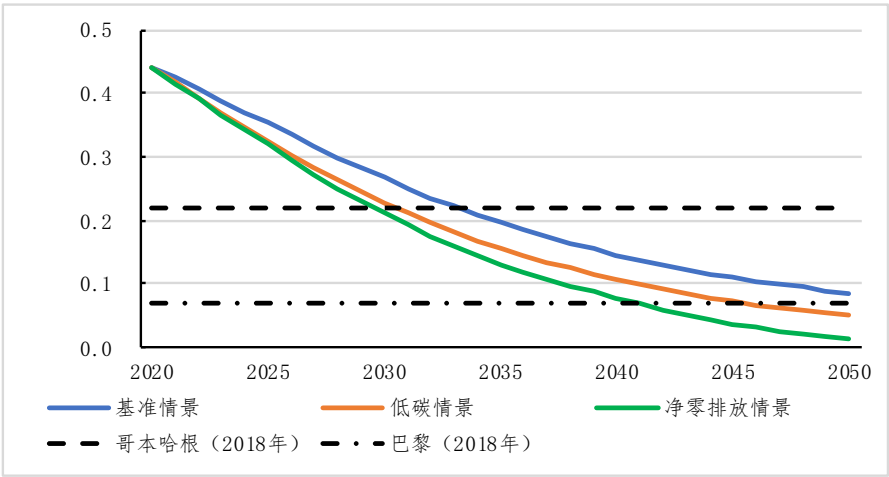


图4-5 成都市单位GDP碳排放变化趋势(全口径)

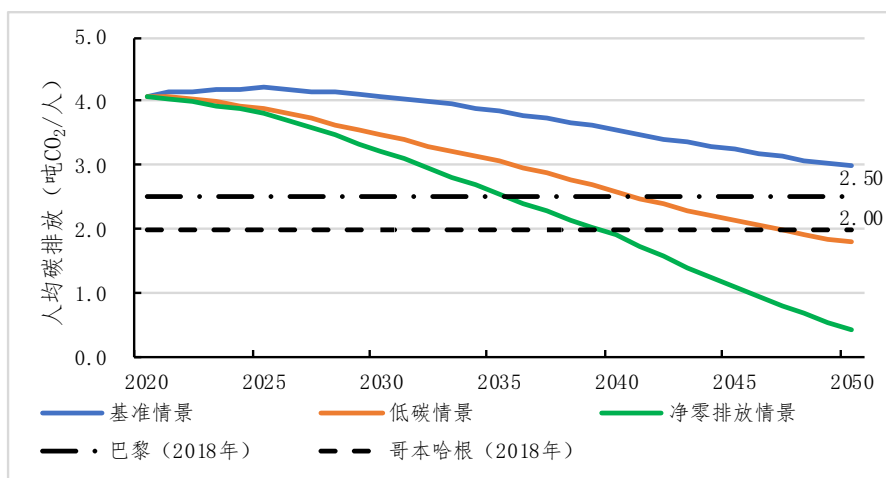


图4-6 成都市人均碳排放变化趋势(全口径)

4.2 成都市重点部门低碳发展路径分析

4.2.1 工业低碳发展路径分析

一、工业碳排放趋势分析

基准情景下，工业碳排放于2030年达到峰值2371万吨，较2020年增长19.6%。低碳情景下，工业碳排放于2025年达到峰值2083万吨，较2020年增长5.1%；2035年后呈快速下降趋势，并于2050年达到1285万吨，较2020年降低35.2%。净零排放情景下，工业碳排放于2025年达到峰值2030万吨，较2020年增长2.4%；2050年降低至54万吨，较2020年下降97.3%，具体如图4-7所示。

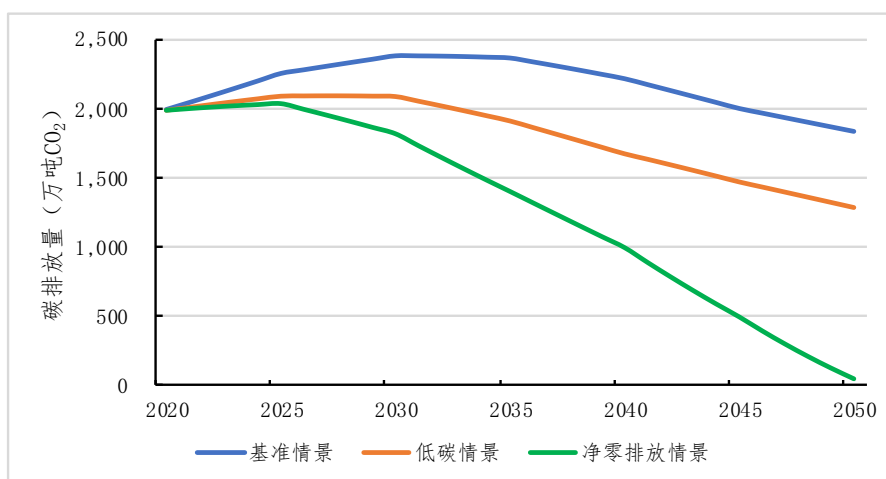


图4-7 工业部门碳排放趋势

工业部门各子行业碳排放趋势如图4-8所示。低碳情景下，由于大力发展高端制造业，电子信息产品制造业、医药行业、机械（含汽车）工业及其他工业（含绿色新兴产业）碳排放均呈现先增长后缓慢下降的趋势，分别于2037年、2045年、2040年与2025年达峰；同时，控制“高耗能”产业合理发展，重点提高“高耗能”产业能效并优化其能源结构，使石油化工工业与建材冶金工业碳排放快速达峰（分别于2020年与2025年达峰）是工业碳减排的主要方向。

净零排放情景下，由于大力推动“电气化”进程并逐步使用100%非化石电力，电子信息产品制造业，医药行业，机械（含汽车）工业的碳排放量均呈现先增长后下降的趋势，分别于2030年、2035年、2030年达峰，并于2050年实现零碳排放；石油化工工业、建材冶金工业与其他工业碳排放量自2025年后呈持续下降趋势，且在使用CCS技术下，碳排放量于2050年分别达到7万吨、16万吨与31万吨，占工业碳排放量的13.0%、29.6%与57.4%。

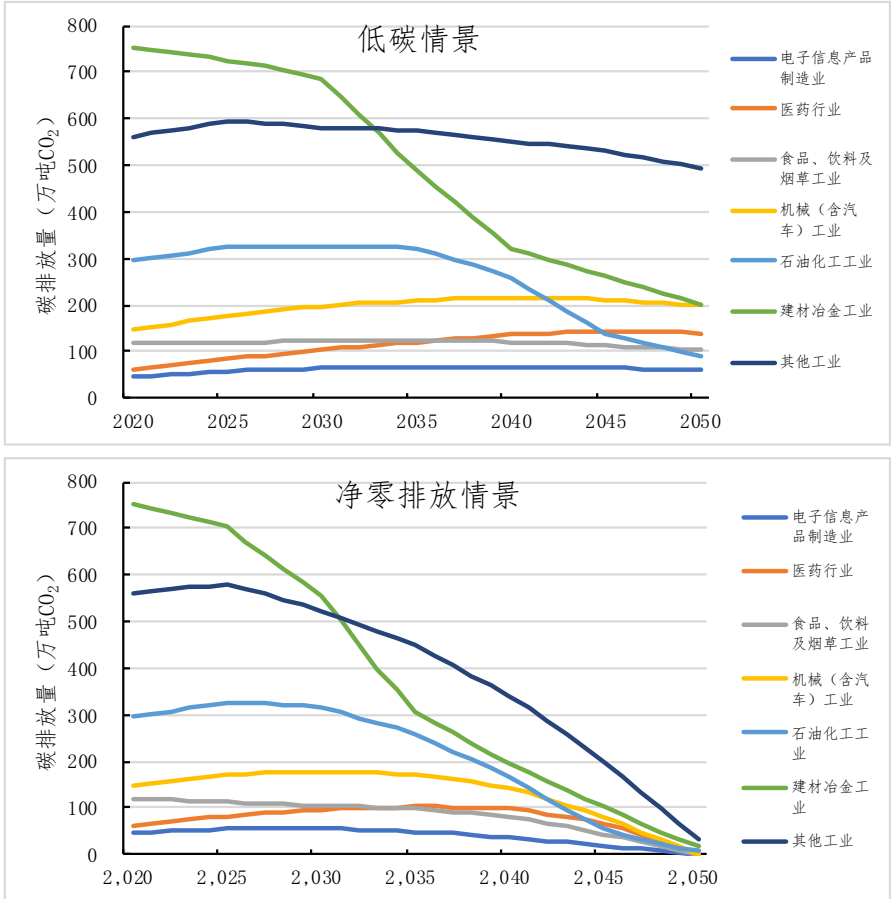


图4-8 工业子行业碳排放趋势

二、工业碳达峰路径分析

为实现成都市2025年碳排放达峰目标，工业部门可从调整行业结构、降低能耗强度、优化能源结构与电力清洁化四方面入手。如图4-9所示，在低碳情景2025年达峰年中，调整行业结构、降低能耗强度、优化能源结构与电力清洁化较基准情景分别产生了78万吨、44万吨、24万吨、14万吨碳减排量，碳减排贡献率分别为48.8%、27.5%、15.0%与8.7%，说明为实现成都市碳达峰，工业部门应以优先以调整行业结构为抓手，大力发展先进制造业并合理控制高耗能产业增长；同时辅以提高能效与优化能源结构等措施，推进设备节能改造，加强能源管理水平，提高天然气和电力消费占比。

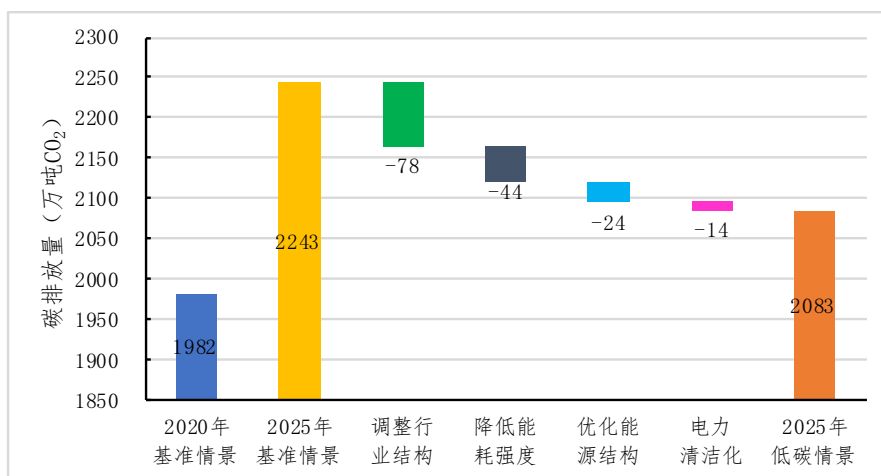


图4-9 低碳情景下工业部门各影响因素碳排放减排贡献

三、工业净零排放路径分析

为实现工业部门净零排放，需从调整行业结构、降低能耗强度、优化能源结构、电力清洁化与使用CCS技术五个方面着手。如图4-10与4-11所示，2020-2025年，工业部门应侧重于调整行业结构与降低能耗强度，助力工业碳排放尽早达峰；2025-2035年，工业部门应侧重于降低能耗强度和优化能源结构，提高节能设备应用率，推动工业“电气化”进程，同时应开始对石化、建材冶金、石油加工等高耗能行业应用CCS技术；2035-2050年，工业部门应侧重于优化能源结构、电力清洁化与使用CCS技术，仅保留原料型化石燃料的使用，大规模使用非化石能源，并通过CCS技术封存工业90%的碳排放，进而使工业向净零排放目标逼近。

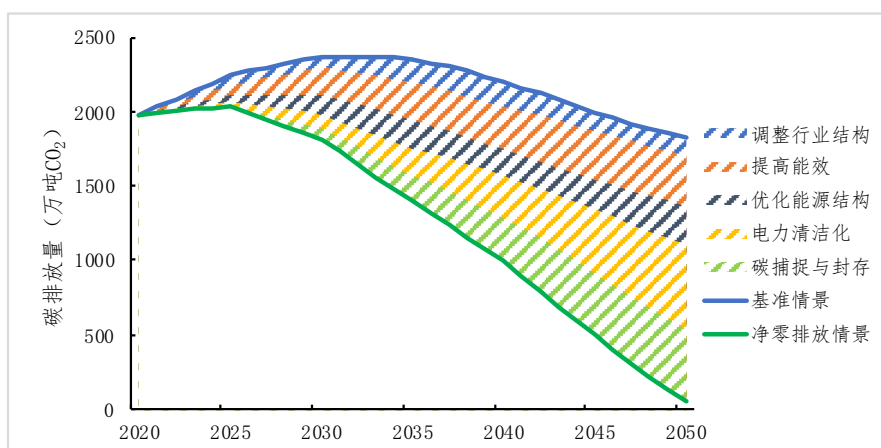


图4-10 净零排放情景下工业部门各影响因素累计碳排放趋势

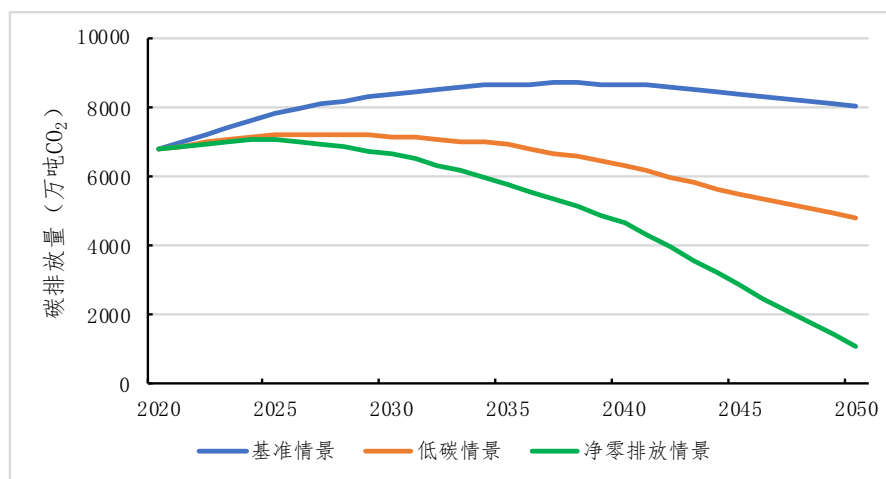


图4-11 净零排放情景下工业部门各影响因素碳排放减排贡献

4.2.2 建筑低碳发展路径分析

一、建筑碳排放趋势分析

基准情景下建筑部门碳排放呈持续上升趋势，并在2040年后趋于平缓。低碳情景下，碳排放于2040年达到峰值1746万吨，较2020年增加50.3%。净零排放情景下，碳排放于2030年达到峰值1437万吨，较2020年增加23.7%；之后呈现快速下降趋势，并于2050年实现零排放，具体如图4-12所示。

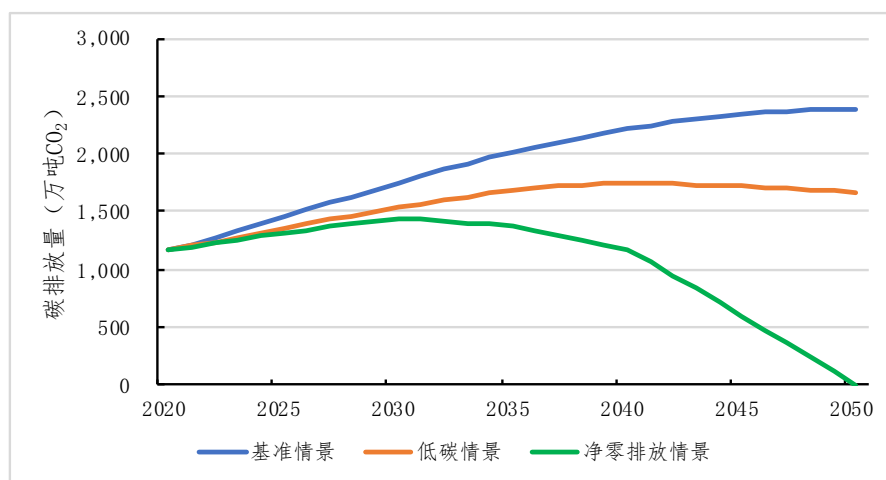


图4-12 建筑部门碳排放趋势

建筑部门各领域碳排放趋势如图4-13所示。低碳情景下，城镇住宅、农村住宅、大型公共建筑与中小型公共建筑分别于2040年、2020年、2035年与2036年碳达峰。其中，城镇住宅与中小型公共建筑是建筑部门碳排放的主要贡献来源，2050年分别占建筑部门碳排放量的71.4%与20.7%。因此，加快城镇住宅与中小型公共建筑的节能低碳建设对建筑部门碳减排尤为重要。

净零排放情景下，城镇住宅、农村住宅、大型公共建筑、中小型公共建筑碳排放量分别于2030年、2020年、2029年、2030年达峰。随着建筑能效提升，能源结构完全电气化、清洁化，四类建筑领域于2050年实现零碳排放。

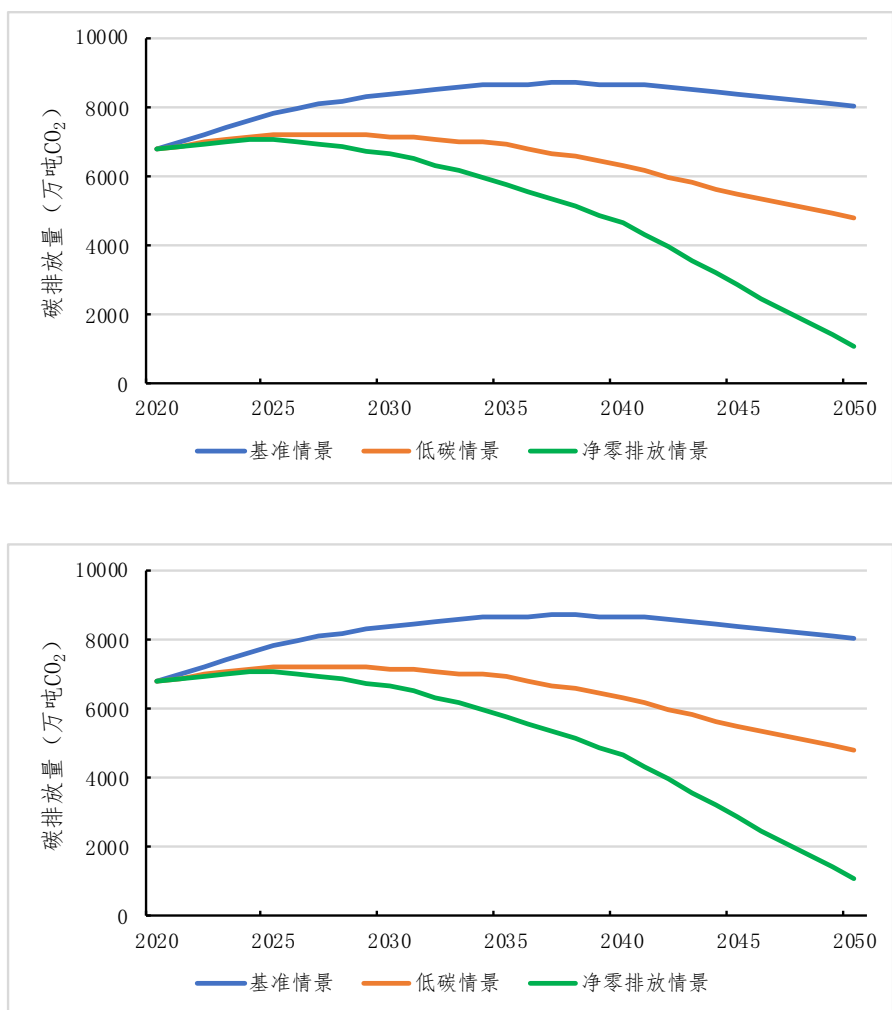


图4-13 建筑部门各领域碳排放趋势

二、建筑碳达峰路径分析

建筑部门可从控制建筑面积、提高建筑能效、优化能源结构与电力清洁化四个方面进行节能减碳。如图4-14所示，在低碳情景2025年达峰年中，控制人均建筑面积与提高建筑能效是建筑部门碳减排的主要措施，较基准情景分别产生了27万吨与44万吨碳减排量，碳减排贡献率分别为28.7%与46.8%；由于建筑部门能源结构清洁程度较高（2020年天然气与电力消费比例之和达到97.3%），电力清洁化进程仍在起步阶段，优化能源结构与电力清洁化分别产生了9万吨与13万吨碳减排量，贡献率为9.6%与13.8%。因此，为实现成都市碳达峰，建筑部门应科学规划城乡建筑布局，合理维持限购与限售政策，进而实现控制建筑面积过度增长；同时，推动绿色建筑建造与既有建筑改造工作，推广节能家用设备，建设园区/社区综合能源体系，倡导低碳生活方式，提高建筑综合能效。

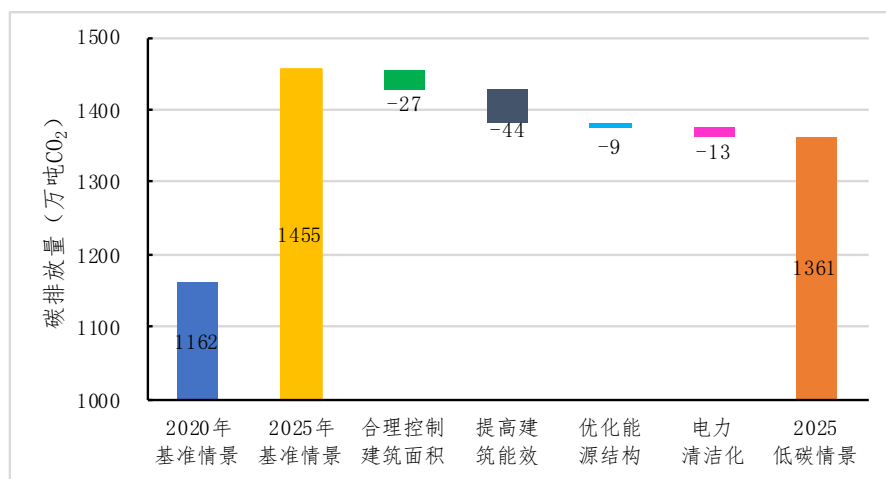


图4-14 低碳情景下建筑部门各影响因素碳排放减排贡献

三、建筑净零排放路径分析

如图4-15与4-16所示，为实现建筑部门净零排放，2020-2030年，建筑部门应以提高建筑能效与合理控制建筑面积作为主要措施，推动建筑部门尽早实现碳达峰；2030-2050年，随着建筑部门充分利用各类可再生能源，“电气化”程度不断提高，电力清洁化速率加快，优化能源结构与电力清洁化逐渐成为建筑部门实现净零排放的主要措施。2050年，建筑部门完全实现“电气化”和电力清洁化，优化能源结构、电力清洁化较基准情景分别产生1036万吨、848万吨碳减排量，碳减排贡献率分别达到43.9%、35.9%。因此，建筑部门在发展过程中应积极推动建筑用能低碳化，减少天然气、液化石油气等化石燃料使用，提高电力等清洁能源占比，充分挖掘浅层地温能、太阳能光伏等清洁能源潜力，进而实现建筑部门净零排放。

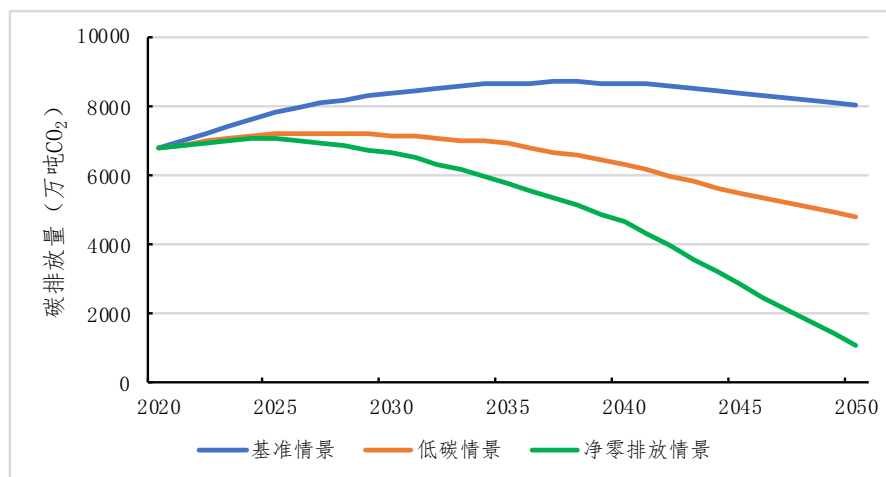


图4-15 净零排放情景下建筑部门各影响因素累计碳排放趋势

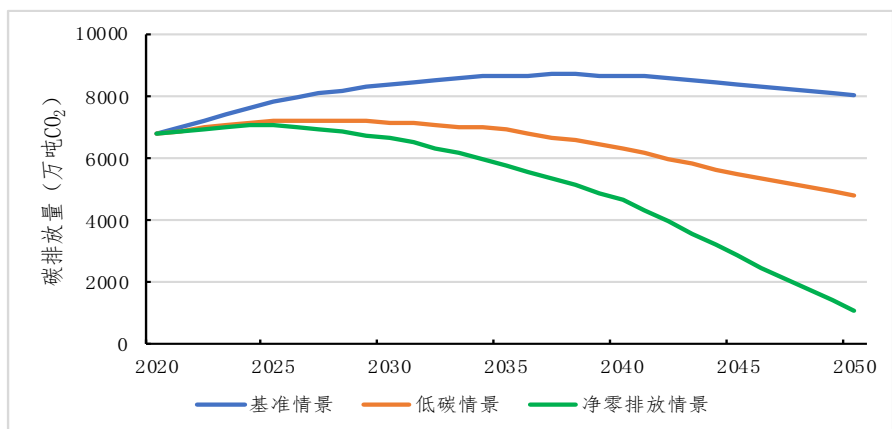


图4-16 净零排放情景下建筑部门各影响因素碳排放减排贡献

4.2.3 交通低碳发展路径分析

一、交通碳排放趋势分析

交通部门碳排放将从全口径与不含民航、铁路两个尺度来分析。首先是全口径尺度，基准情景、低碳情景与净零排放情景3种情景碳排放均呈现先上升后下降趋势，分别于2036年、2025年与2025年碳达峰，峰值分别为3857万吨、3308万吨与3277万吨，较2020年分别提高25.3%、7.4%与6.4%。2050年低碳情景与净零排放情景碳排放量分别为1669万吨与1181万吨，较2020年分别下降45.8%与61.6%。其次是不含民航、铁路尺度，该尺度下，基准情景、低碳情景与净零排放情景碳排放达峰年较全口径尺度均有提前，分别于2026年、2023与2022年达峰。具体如图4-17所示。

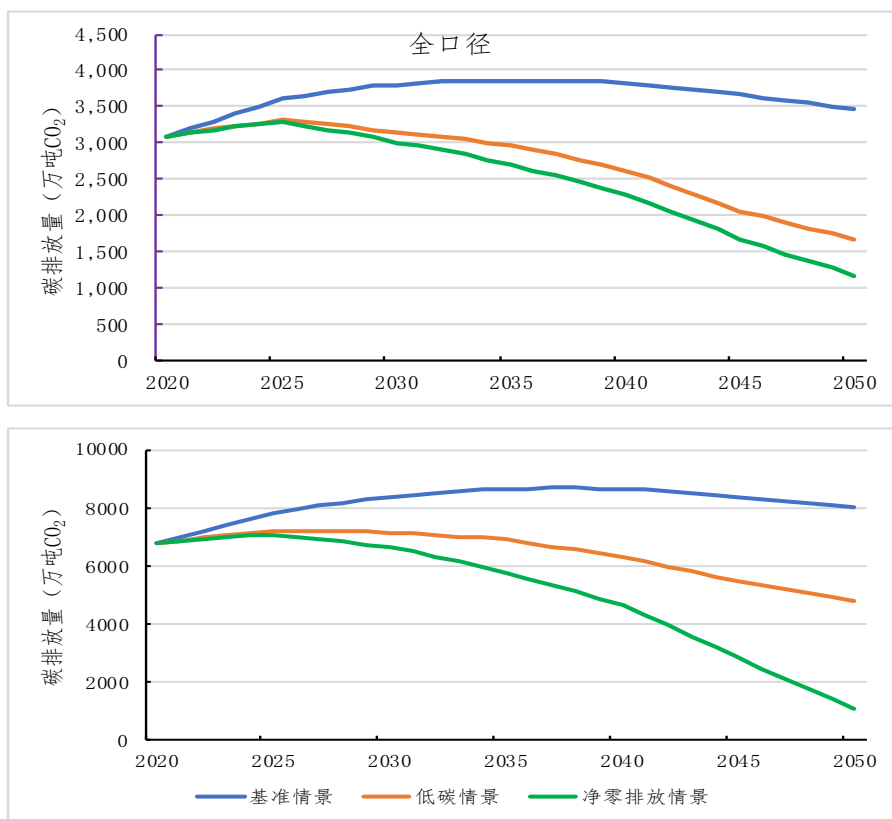


图4-17 交通部门碳排放趋势

交通部门各领域碳排放趋势如图4-18所示。低碳情景下，民航、公路与私家车是交通部门碳排放的主要来源，其中私家车碳排放于2025年达到峰值1230万吨，之后呈快速下降趋势，使得交通部门同年实现碳达峰；民航于2030年成为交通部门碳排放的最大来源，并于2035年碳达峰，峰值为1162万吨。因此，通过控制车量保有量，推行公共交通与慢行的绿色交通模式，加速推广新能源车辆应用等方式，能有效助力交通部门尽早实现碳达峰。

净零排放情景下交通部门各领域碳排放趋势与低碳情景相似。由于进一步提高交通运输能效、加速新能源车辆与生物航油的应用，电力逐步使用100%非化石电力，各领域碳排放下降速率较低碳情景更快。2050年，铁路、公交车、出租车、摩托车与地铁均实现零碳排放；民航、公路、私家车碳排放量分别下降至796万吨、315万吨与70万吨，占交通部门碳排放量的67.4%、26.7%与5.9%。

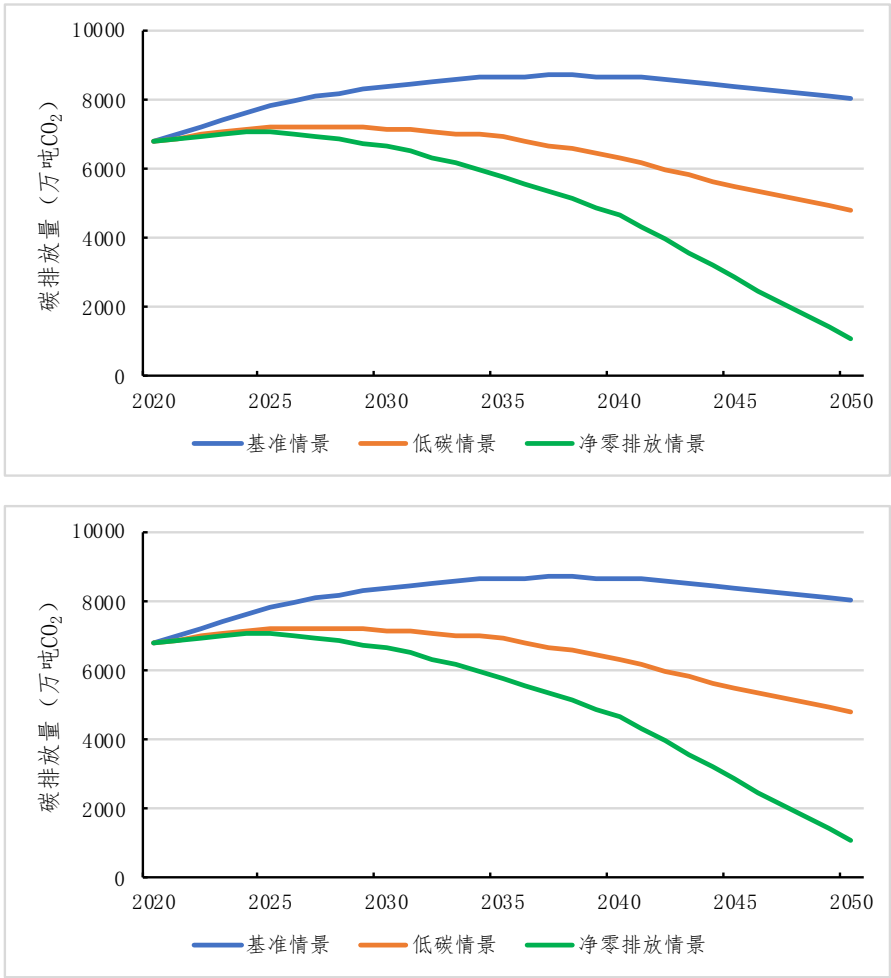


图4-18 交通部门各领域碳排放趋势(全口径)

二、交通碳达峰路径分析

为实现成都市2025年碳排放达峰目标，交通部门可从控制交通需求、调整运输结构、提高交通能效、推动燃料替代和电力清洁化五个方面着手。如图4-19所示，在低碳情景2025年达峰年中，控制交通需求、调整运输结构、提高交通能效、优化能源结构、电力清洁化分别产生了88万吨、13万吨、111万吨、82万吨与1万吨的碳减排量，碳减排

贡献率分别为29.8%、4.4%、37.6%、27.8%与0.4%，说明交通部门应合理控制私家车数量增长，综合提高客/货运能效，并大力推动新能源汽车及配套基础设施应用，以推动交通部门乃至成都市实现2025年碳达峰目标。

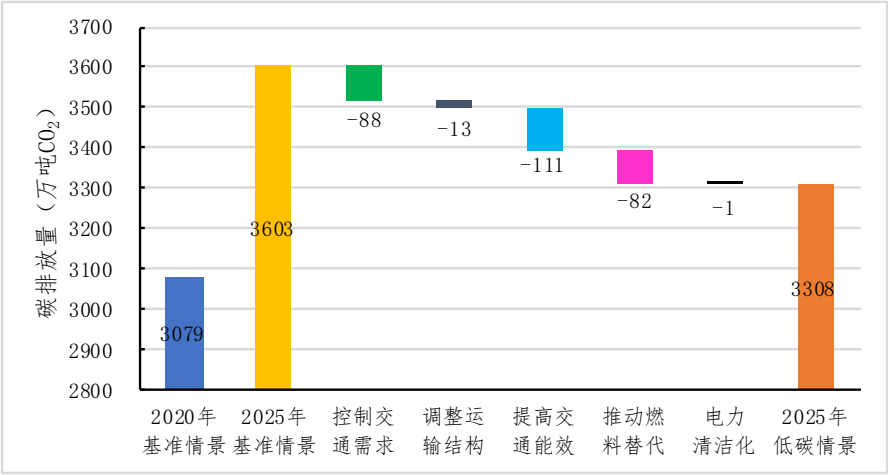


图4-19 低碳情景下交通部门各影响因素碳排放减排贡献(全口径)

三、交通净零排放路径分析

如图4-20与4-21所示，为实现交通部门净零排放，2020-2025年，交通部门应侧重于控制交通需求、提高交通能效与推动燃料替代等方式，使交通部门碳排放尽早达峰；2025-2040年，交通部门应积极推动运输结构调整，提高铁路运输比例，同时继续快速推动燃料替代；2040-2050年，交通部门应大力推动新能源替代进程，逐步限制燃油车生产与销售，实现交通用能清洁化和低碳化，进而使交通部门向净零排放目标逼近。

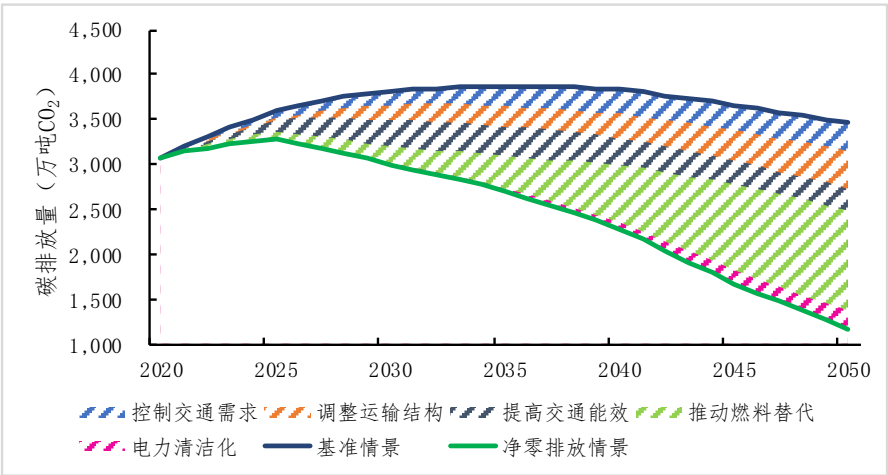


图4-20 净零排放情景下交通部门各影响因素累计碳排放趋势(全口径)

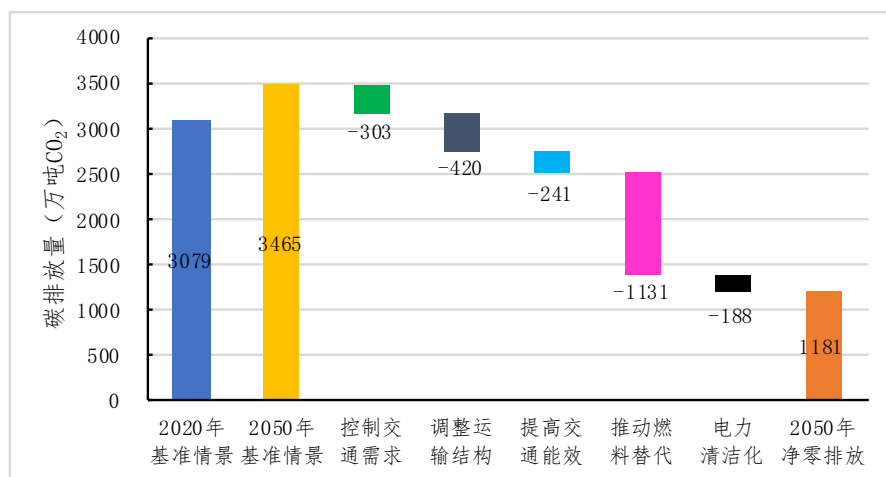


图4-21 净零排放情景下交通部门各影响因素碳排放减排贡献(全口径)

4.2.4 电力低碳发展路径分析

一、电力碳排放趋势分析

基准情景下，电力部门碳排放呈缓慢增长趋势并于2030年达峰，峰值为389万吨，较2020年提升14.7%；低碳情景下，随着本地火电逐步由生物质发电取缔，碳排放呈现下降趋势并于2050年实现零碳排放；净零排放情景下，随着生物质掺烧比例提高，且2030年后逐步应用CCS技术，2043年实现负碳排放，2050年碳排放量为-195万吨，具体如图4-22所示。

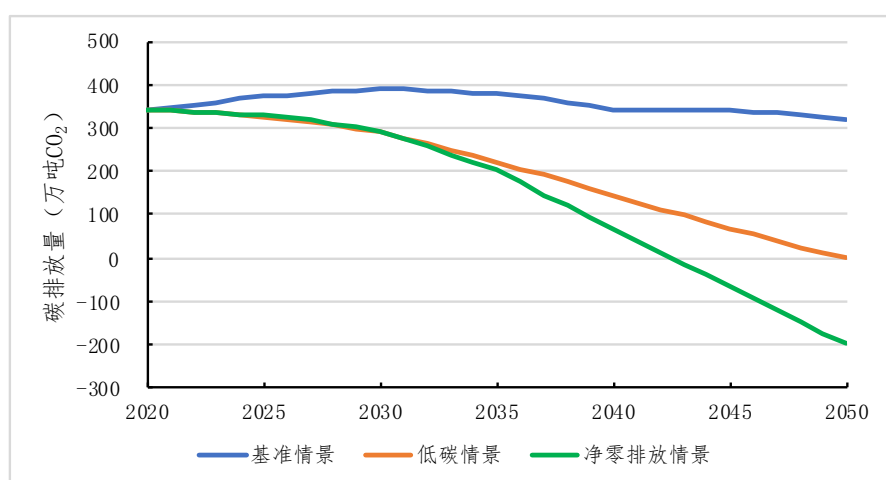


图4-22 电力部门碳排放趋势

二、电力碳达峰路径分析

如图4-23所示，在低碳情景2025年达峰年中，调整电力来源、调整自发电结构、提高发电能效分别产生了35万吨、10万吨、1万吨碳减排量，碳减排贡献率分别为77.8%、22.2%与2.0%，说明为实现成都市碳达峰，通过提高外调电力比例，挖掘本地可再生电力负荷能有效减少电力部门碳排放。

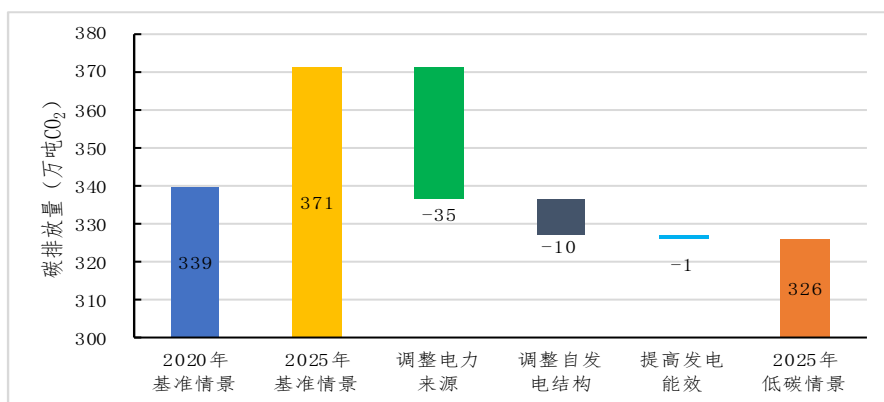


图4-23 低碳情景下电力部门各影响因素碳排放减排贡献

三、电力净零排放路径分析

为实现电力部门零排放甚至负碳排放，需从调整电力来源、调整自发电结构、提高发电能效和使用CCS技术四个方面着手。如图4-24与4-25所示，2020-2025年，调整电力来源是电力部门碳减排的主要措施；2025-2030年，随着生物质掺烧的应用，调整自发电结构成为电力部门碳减排的主要措施；2030-2050年，继续推动生物质替代燃煤直至完全替代，同时逐步应用CCS技术，使电力部门实现零排放并最终实现负碳排放，以中和其他部门剩余碳排放。

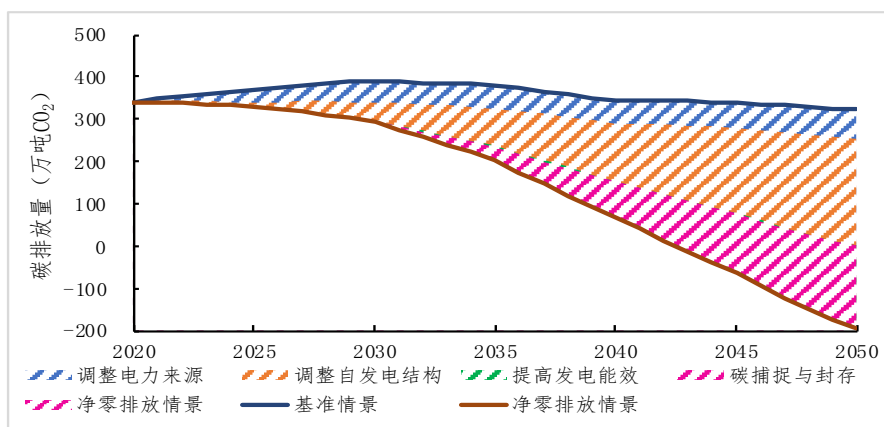


图4-24 净零排放情景下电力部门各影响因素累计碳排放趋势

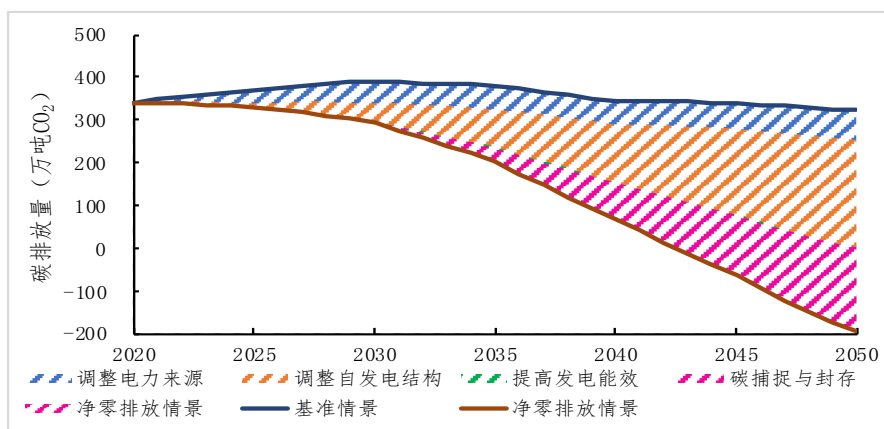


图4-25 净零排放情景下电力部门各影响因素碳排放减排贡献



5. 成都市100%非化石电力可行性分析

5.1 成都市化石能源电力现状调研

成都市自发电力以水电为主，国家能源成都金堂发电有限公司（以下简称“金堂电厂”）是成都唯一燃煤发电厂。金堂电厂于2007年开始投入使用，年发电量为40亿千瓦小时左右，历史最高发电量为70亿千瓦时，最低为30多亿千瓦时，系成都市能源“双控”重点单位与重点碳排放单位，对成都市低碳发展具有重要意义。

金堂电厂对节能减排持积极态度。一是积极降低单位发电煤耗，在“十三五”期间通过锅炉受热面改造，电机变频等措施，将煤耗水平由2016年的325克标煤/千瓦时降至2020年的320克标煤/千瓦时，最大程度的发挥了现有技术水平，现为省内环保水平最高的燃煤电厂。二是积极探索生物质发电的可行性，金堂电厂曾就探讨活性污泥掺烧与成都市水务局、成都兴蓉集团展开合作，后因活性污泥热值低、干化成本过高、损耗锅炉设备、燃烧产生二噁英等污染物，以及缺乏相应配套政策支持等因素，导致该方向的生物质发电未能如期推进；同时，金堂电厂亦与东方锅炉就秸秆、薪柴等生物质原料掺烧进行探讨，但由于原料收集与运输难度大，综合发电成本较高，且企业近几年连续亏损，无法实现经济效益，使得该方向生物质发电就此搁置。

5.2 英国Drax燃煤电厂100%生物质电力改造案例分析

燃煤电厂若要实现100%非化石发电，生物质耦合/转换发电是一条切实有效的途径。英国Drax燃煤电厂的生物质耦合/转换改造就是一个可参考的成功案例。

Drax电厂位于英国Selby，为英国最大的燃煤火电厂，总容量为3960 MWe，包括6台660 MWe前后墙对冲燃烧锅炉，前3台机组于1974年投运，后3台于1986年投运。2003-2010年间，Drax电厂将现有6台锅炉中的3台改造成具有单独生物质磨制和燃烧功能的混烧锅炉，该生物质混烧锅炉改造工程包括建设一座12000 m³的生物质燃料储仓，以及包含燃料卸载、输送、过筛、分离、磨粉直到炉前燃料仓的燃烧系统。改造后，电厂每年用于混烧的生物质为150万吨，成为世界上容量最大的生物质混烧煤粉炉电厂。英国将于2025年关闭全部燃煤电厂，Drax电厂已于2018年6月完成了将4台660 MWe的燃煤机组改造转换成100%纯烧生物质机组的计划，成为世界上容量最大的低碳生物质火力发电厂。英国Drax电厂生物质耦合/转换改造工程发展历程如图5-1所示。

Biomass evolution at Drax

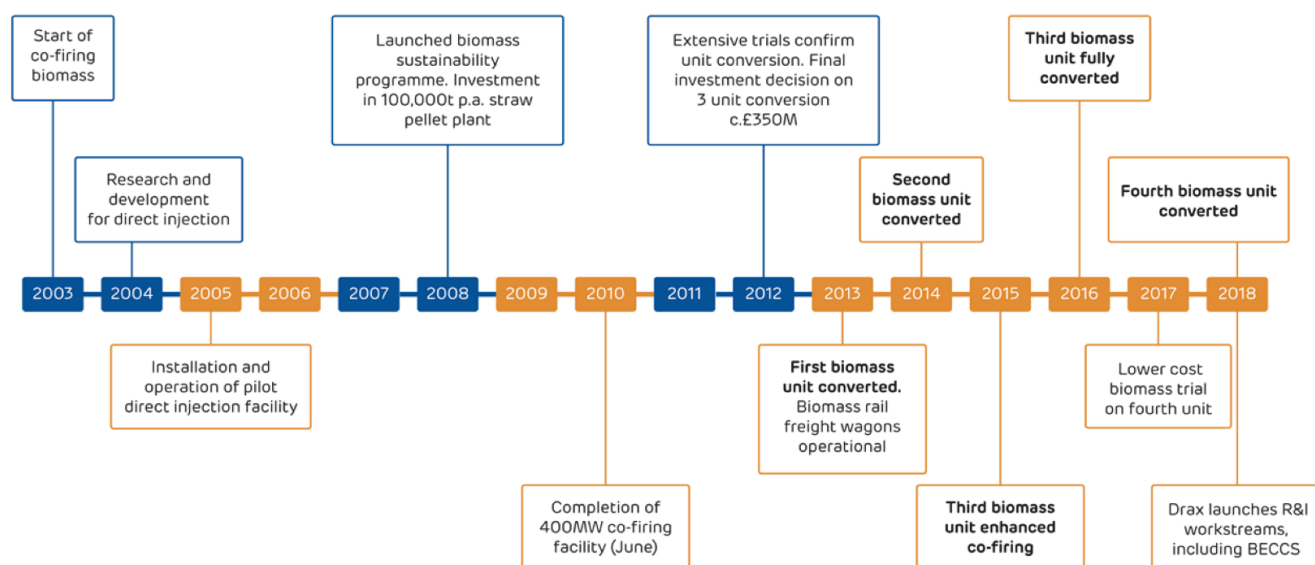


图5-1 英国Drax电厂生物质耦合/转换改造工程发展历程

为实现生物质原料的高效收集，该公司建立了生物质原料（秸秆）收集模式：公司负责集中采购种子、化肥、农药，以及回收秸秆的各种机械设备；在每个村设定1-2名负责向当地农民发放种子、化肥、农药的经纪人；当地农民在使用公司提供的机械设备将秸秆集中处理后暂存地头或转送至公司，以此满足由大容量煤粉炉机组转化为生物质混烧机组对木质颗粒生物质燃料的需求，使其能够高效、可靠、稳定地进行燃烧发电。

此外英国政府为鼓励生物质发电提供一系列政策扶持。一是对采用生物质能源发电所取代的化石燃料量（按照热值计算）给与补贴与减税政策。政策规定，生物质发电每取代相当于1 MWh热值的煤电则减税6.3欧元；每取代相当于1 MWh热值的油电则减税5.3欧元；每取代相当于1 MWh热值的天然气电则减税1.9欧元；除此之外，每实现1 MWh的生物质发电量则给予43.65英镑的补贴。二是对生物质发电给与上网电价优惠政策。政策规定，采用伐木或森林废弃物作为生物质原料发电，每1 MWh电的上网电价上浮6.9欧元；采用回收生物质材料发电，每1 MWh电的上网电价上浮2.5欧元。

5.3 成都市金堂电厂100%生物质发电可行性分析

通过对英国Drax电厂案例分析可知，燃煤电厂实现100%生物质发电是切实可行的。因此，本研究将从生物质资源量、发电成本、政策支撑3个方面分析成都市金堂电厂100%生物质发电的可行性。

生物质资源量方面，以金堂电厂为中心，考量其100公里范围内（包含成都市、德阳市）的生物质资源量。首先是秸秆，成都市农作物秸秆资源丰富，2018年秸秆产量约300万吨，全市秸秆可收集资源量约

为200万吨²⁷。以2018年全市可收集秸秆资源量以及现有秸秆“能源化”比例23%，秸秆平均热值15000 kJ/kg，燃料效率80%为计算基准，全市秸秆掺烧可实现15.5亿千瓦时的发电量，占金堂电厂平均发电量的39%。此外，德阳市同样拥有丰富的秸秆资源，德阳市年产秸秆量约260万吨²⁸，其中距离金堂电厂约50公里的德阳市中江县每年秸秆资源量达110万吨，可收集量约85万吨²⁹。按照德阳市秸秆可收集量与“能源化”比例计算，德阳市的秸秆资源可实现约13.5亿千瓦时的发电量，占金堂电厂平均发电量的34%。其次是薪柴，成都市2018年森林面积为56.6万公顷³⁰；德阳市森林面积为14.3万公顷³¹。针对两市不同林种所采取不同的产柴系数与产柴率来核算³²，两市薪柴量约可实现7.3亿-9.4亿千瓦时的发电量，占金堂电厂平均发电量的18%-23%。由此可见，金堂电厂100公里范围内的生物质资源已可覆盖其90%以上发电燃料需求，随着两市提高生物质可收集率与生物质“能源化”占比，建立完善的生物质“收运储”体系，2050年前有望实现金堂电厂100%生物质发电燃料需求。

发电成本方面，由于生物质燃料的供应仍处于原始分散的阶段，尚未形成一个完善的燃料供应体系，因此生物质发电相比传统燃煤发电而言存在包括采集成本、运输成本和地方贮藏成本等额外的成本。根据国内现有生物质发电电厂数据表明，目前生物质发电的直接燃料成本约为0.45元/千瓦时³³，考虑到折旧费用、工资费用等成本后，秸秆发电的总发电成本约为0.68元/千瓦时³⁴。金堂电厂2016年上网电价为0.40元/千瓦时³⁵，尚不足以覆盖直接燃料成本。以国家农林生物质发电标杆上网电价0.75元/千瓦时为基准核算收入，电厂可实现约9.6%的成本费用利润率。但若在运行期间发生大规模改造等维修费用，电厂也很可能面临亏损的风险。因此，除了落实国家统一生物质发电补贴电价0.75元/千瓦时以外，成都市还应考虑如税收、融资等的多方面政策支持。

政策支撑方面，四川省现有的秸秆利用相关政策《四川省支持推进秸秆综合利用政策措施》（以下简称《措施》）于2018年颁布，其政策措施主要分为以下四个方面：一是**税收补贴方面**，明确利用农作物秸秆生产的生物质压块、沼气等燃料、电力和热力，增值税即征即退100%；对企业以农作物秸秆为主要原材料，生产符合国家或行业标准的代木产品、电力、热力及燃气（产品原料70%以上来自秸秆）取得的收入，在计算应纳税所得额时，减按90%计入当年收入总额。二是**融资支持方面**，引导金融机构为秸秆综合利用等环保类企业制定适当的利率优惠措施，并支持符合条件的秸秆综合利用

27 《成都市2016年温室气体清单报告》、《成都市统计年鉴2019》

28 《德阳市秸秆综合利用率达95%》，四川省农业厅

29 《中江“五化”利用 80余万吨秸秆找到“归宿”》，四川新闻网

30 《2018年成都市森林资源与林业生态状况公告》

31 《德阳年鉴2019》

32 《中国林木剩余物数量估算》

33 《生物质电价政策研究报告》，中国产业发展促进会生物质能产业分会

34 《生物质发电突遇补贴锐减冲击》，中国能源报

35 《关于降低四川电网燃煤发电上网电价和一般工商业用电价格有关事项的通知》，四川省发展和改革委员会

企业，通过“新三板”和天府（四川）联合股权交易中心等多层次资本市场融资，或到银行间市场发行债券融资工具融资。三是土地支持方面，对符合《划拨用地目录》的秸秆产业项目用地，可采取划拨方式供地。鼓励秸秆加工企业和秸秆产业化项目进入园区，采取长期租赁、先租后让、租让结合和弹性年期出让等多种方式取得土地使用权，促进节约集约利用土地，降低企业用地成本。四是电价补贴方面，《措施》要求在制定年度电量平衡方案时，对纳入规划的秸秆发电项目优先发电。此外，秸秆发电上网电价将按照国家农林生物质发电标杆上网电价执行。属于我省燃煤机组标杆上网电价以内的部分，将由电网企业结算；高出部分，将通过可再生能源电价附加补助资金方式予以解决，由电网企业根据财政拨付的补助资金进行转移支付。

此外，成都市出台了《2020年农作物秸秆综合利用和禁烧工作实施方案》，方案中提出对纳入四川省农机购置补贴机具范围的秸秆综合利用机械，按照中央、省级相关政策试行敞开补贴，在中央资金补贴30%的基础上，市级财政累加补贴20%，达到50%；同时，对年度规模化利用市域内农作物秸秆（含果树枝条）达到1000吨及以上的经营主体，给予每吨100元的补贴。

结合金堂电厂的调研结果与本小节可行性分析发现，金堂电厂实现100%生物质发电存在以下挑战：一是生物质资源“收运储”体系亟需开发。尽管金堂电厂100公里范围内的生物质资源足以满足金堂电厂100%生物质发电，但生物质的可收集率较低、“收运储”体系仍不完善。二是生物质发电改造补贴政策激励不足。据金堂电厂节能规划指出，若电厂进一步推进节能减排改造工程，需投资近两个亿的成本，投资回收期高达26年，企业方将面临较大的资金压力。三是生物质发电上网电价仍有上升空间。四川省相关政策已支持生物质发电上网电价按照国家农林生物质发电标杆上网电价执行，但电厂成本费用利润率仍有限，仍低于全国火电平均利润率（2017年中国火电平均利润率为11.9%³⁶）。因此成都市可在国家政策基础上制定地方生物质发电上网电价优惠政策。四是缺乏对燃煤电厂生物质发电量扶持政策。为了城市低碳发展，金堂电厂发电需让步于市内与外调清洁水电，发电量维持在40亿千瓦时左右并呈下降趋势。金堂电厂进行生物质耦合/转换改造后理应提高其发电量，提升设备利用率与盈利水平，形成正向激励。因此，落实相应政策支持与补贴是推进成都市100%非化石电力的关键。

5.4 成都市100%非化石电力政策建议

为实现成都市100%非化石发电，结合金堂电厂调研现状、英国Drax电厂案例分析以及成都市金堂电厂100%生物质发电可行性分析，发现缺乏相关政策支撑是关键问题。因此，本研究从以下四方面提出政策建议：

一、完善生物质资源“收运储”体系

为实现金堂电厂100%生物质发电燃料需求，生物质资源“收运储”体系是生物质发电产业发展的共性基础。政府应加快生物质资源“收运储”服务体系建设，积极扶持

36 《2017年中国电力行业发电量增速、营业收入、毛利率、净利率分析》，北极星火力发电网

培育生物质资源“收运储”主体，打通收-储-运-加工的综合利用完整产业链，逐步建立“本地收储运+收储服务适度外包”相结合的稳固型生物质“收运储”运行机制。政府还应制定便于生物质资源运输的相关政策，如高速公路过路费用减免，以保障生物质资源能及时送达利用企业。此外，由于薪柴类生物质资源资源化利用还处于初级阶段，政府应鼓励企业对现有各种薪柴类生物质剩余物资源收集和利用，对薪柴类生物质资源化利用企业实行税收优惠、财政补贴、融资便利等支撑政策，进一步完善薪炭林培育、收割、处理、运输、发电等工艺流程的质量评价标准，规范生产，提高效率。

二、制定生物质发电改造税收优惠及补贴政策

由于我市生物质发电技术相关设备和技术尚不成熟，设备日常维护修理及改造所产生费用较高。成都市可参考国内外发展现状与已有模式，设立专项基金，对特殊型号的设备每年给予一定数额的拨款，进行专项补贴。此外，政府还可以通过对企业所得税、消费税等税种进行减免，以减轻生物质发电行业的税费压力，从多税种的角度落实税费补贴政策。

三、制定具有地方特色的生物质发电上网电价优惠政策

成都市可参考国内外发展现状与已有经验，在国家政策基础上制定符合成都市地方特色的生物质发电上网电价优惠政策，将生物质发电的优势在其电价中予以反映，在严格核定电网企业输配电成本的前提下，附加合理收益，通过成本和合理收益确定输配电价格，以激励火电发电企业采用生物质发电。

四、制定生物质发电量扶持政策

目前，金堂电厂发电量维持在40亿千瓦时左右。政府应在其进行生物质发电改造后，在满足化石能源“双控”与碳减排目标的基础上，可给予更高的发电量指标，提升发电利用小时数，提高电厂盈利能力。



WWF的使命是
遏止地球自然环境的恶化，
创造人类与自然和谐相处的
美好未来。



Working to sustain the natural
world for the benefit of people
and wildlife.

together possible™ panda.org

© 2019
Paper 100% recycled

© 1986 Panda symbol WWF – World Wide Fund for Nature (Formerly World Wildlife Fund)
® “WWF” is a WWF Registered Trademark. WWF, Avenue du Mont-Bland,
1196 Gland, Switzerland. Tel. +41 22 364 9111. Fax. +41 22 364 0332.

For contact details and further information, please visit our international
website at www.panda.org