



WWF

报告

中国

2020

张家口市碳排放总量 控制方法学及政策建议

本报告由IBR在
WWF的支持下完成

iBR

深圳市建筑科学研究院股份有限公司
Shenzhen Institute of Building Research Co., Ltd.



关于世界自然基金会 (WWF)

世界自然基金会 (WWF) 是在全球享有盛誉的、最大的非政府环境保护组织。WWF 于 1961 年成立，总部位于瑞士格朗。WWF 在全世界超过 100 个国家有办公室、拥有 6000 多名全职员工，以及超过 500 万名志愿者。作为第一个受中国政府邀请来华开展保护工作的国际非政府组织，WWF 在中国的工作始于 1980 年的大熊猫及其栖息地保护。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：保护世界的生物多样性；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的消费行动。



深圳市建筑科学研究院股份有限公司
Shenzhen Institute of Building Research Co., Ltd.

关于深圳市建筑科学研究院股份有限公司 (iBR)

深圳市建筑科学研究院股份有限公司 (iBR) 是国家级高新技术企业，作为中国建筑节能、绿色建筑和生态低碳城市领域技术的先行者之一，十多年来积极推动绿色低碳理念和技术的普及，并积极承担社会责任，率先开展规模化的绿色建筑和绿色低碳生态城市实践。

iBR 秉承“平视城市，共享生命精彩”的愿景，多年来专注于探索中国特色新型城镇化之路，构建了绿色建筑、社区、城区、城市 4 个层面的“生态诊断、平衡规划、动态实施、智慧运营、实时评估”五位一体的生态城市技术服务体系，在国内绿色城市发展技术服务领域处于领先地位。



官方微信: SZ_iBR
网站: szibr.com

版权信息

版权所有：世界自然基金会（瑞士）北京代表处

主 编：深圳市建筑科学研究院股份有限公司 (iBR)，世界自然基金会（瑞士）北京代表处

撰 写：李芬、赖玉珮、彭锐、高楠楠、杨雷、Daniel Jacques Corne Va、林盈晖、黄智怡、陆颖
王伟康、李瑛、单诗尧、刘倩等

文本和图片：世界自然基金会保留所有版权

致 谢

庄贵阳 中国社会科学院可持续发展研究中心
冯相昭 环境保护部环境与经济政策研究中心
田永英 住房和城乡建设部科技与产业化发展中心
田智宇 国家发改委能源研究所
杨 秀 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心
付 琳 国家应对气候变化战略研究和国际合作中心
陈 莎 北京工业大学环境与能源工程学院
王 克 中国人民大学环境学院
单 峰 中国城市科学研究会数字城市工程研究中心
王亚男 《城市发展研究》编辑部

摘要

随着城市不断发展，能源消费日益增长，由能源消费带来的环境和气候影响日趋严重。低碳发展作为一种低能耗、低污染、低排放的可持续发展模式，是缓解能源和环境问题的重要途径。深入开展低碳发展建设研究，明确实现碳排放峰值路线图，并在此基础上探索零碳排放目标，已成为当下中国应对气候变化和生态文明建设的重要任务。国务院印发的《“十三五”控制温室气体排放工作方案》明确提出：到 2020 年，单位国内生产总值二氧化碳排放比 2015 年下降 18%；支持优化开发区域在 2020 年前实现碳排放率先达峰；鼓励其他区域提出峰值目标，明确达峰路线图；要求在部分发达省市研究探索开展碳排放总量控制，鼓励“中国达峰先锋城市联盟”城市和其他具备条件的城市加大减排力度，力争提前完成达峰目标。

张家口市位于河北省西北部和我国“三北”地区交汇处，既是京津冀地区重要的生态涵养区和国家规划的新能源基地之一，也是“一带一路”中蒙俄经济走廊重要节点城市。随着京津冀协同发展战略的全面实施、北京携手张家口申办冬奥会的成功和可再生能源示范区规划的获批，张家口迎来了千载难逢的发展机遇，同时也面临着严峻的低碳转型工作所带来的压力和挑战。张家口市提出了“到 2020 年实现可再生能源消费量占终端能源消费量的比重达到 30%”的目标；到 2020 年 40% 的工业企业实现零碳排放，并在张家口市崇礼县建设国际领先的“低碳奥运专区”，打造低碳奥运场馆，实现体育场馆的供热及用电 100% 采用可再生能源；“十三五”期间，张家口碳排放强度比 2015 年下降 22%。面对城市发展、申办冬奥会和碳减排的多目标要求，如何有效协调各目标，实现低碳发展，是张家口市目前面临的主要问题。探索张家口市碳排放总量控制方法和政策研究，明确张家口市未来中长期的转型发展路径，将有力推动其碳减排目标、可再生能源示范区以及冬奥建设等目标的实现。

本研究在世界自然基金会的支持下，由深圳建筑科学研究院股份有限公司承担本课题研究。现阶段，张家口市的城市特征为高耗能高排放产业比重大，建筑部门和交通部门能耗占比较低。研究团队采用自上而下和自下而上的预测模型对张家口市 2016–2030 年能源消费总量和碳排放进行预测，共分为三个情景，分别为参考、低碳和示范区情景，研究发现在三个情景下，张家口市能源消费总量均将呈现不断上升的趋势，但由于张家口市非化石能源消费比重的不断增加，其碳排放总量虽在参考情景下不断增加，但在低碳和示范区情景下，其碳排放总量将分别于 2025 年和 2020 年左右达到峰值。在总量预测基础上，对张家口市碳排放进行部门分解，自下而上的建立了张家口市分部门碳排放预测方法，对工业、交通和建筑三部门 2030 年前碳排放量进行了情景预测。通过预测发现，三部门在参考情景下，其碳排放均将呈现快速增长的趋势。工业部门在低碳情景和示范区情景下将分别于 2020 年和 2016 年达到峰值，为实现工业部门尽快达峰，应严格控制火电和钢铁行业碳排放。交通部门由于受冬奥会影响较大，参考情景下其排放将在 2022 年之后呈现略微下降之后快速上升。但低碳情景和示范区情景下，交通部门碳排放将分别在 2022 年和 2020 年达到峰值，若实现交通部门碳排放尽快达峰，减排贡献主要在公路货运和私家车。建筑部门由于数据中心的建立和发展，将大量消耗电力，从而导致其在三情景下能耗均快速增长，且数据中心的建立将逐渐成为建筑部门的主要能耗组成，但随着张家口市非化石能源电力替代程度增加，数据中心能耗虽大但碳排放量快速下降，建筑部门碳排放在示范区情景下将在 2023 年左右达到峰值。

根据《河北省张家口市可再生能源示范区发展规划》等要求，在推动能源消费、能源供给、能源技术和能源体制四个方面的“革命”和一个国际合作的要求下，结合张家口市的特征情况，提供工作方案建议张家口市应充分发

挥京津冀协同发展战略优势，与北京市在自然资源、农业生产、电力工业以及投资资金等方面，形成“供给－需求”的互补关系。应当以京张联动为契机，进一步加大力度发展张家口的旅游休闲业，提升张家口的城市影响力。应当抓住 2022 年冬奥会的契机，大力发展冰雪产业，实现产业链的优化升级。坚持“冰雪＋”的发展模式，形成“冰雪＋文化”的特色产业发展思路。提高体育休闲旅游服务业的比重，使体育休闲服务业成为张家口体育产业发展的“龙头”，把张家口打造成为冬季滑雪度假圣地。同时通过发展绿色金融产品，助推张家口“生态涵养功能区”“水源涵养功能区”的产业布局。

碳排放总量控制是实现碳达峰的重要约束手段，是落实碳排放控制目标的主要方法。在详细了解张家口市碳排放情况的基础上，建立城市碳排放总量控制方法学研究，提出城市碳排放总量控制分解优化方案，推进城市的低碳发展进程，有助于落实全国碳排放总量控制的要求，并促成碳排放达峰目标的尽快实现。课题在执行过程中也得到了生态环境部环境与经济政策研究中心、住房和城乡建设部科技与产业化发展中心、国家发改委能源所、国家应对气候变化战略研究和国际合作中心政策法规处、中国社会科学院可持续发展研究中心、中国人民大学环境学院、中国城市科学研究会的专家团队的支持和指导，在此表示感谢！

ABSTRACT

With the continuous development of cities, energy consumption is increasing rapidly, the environmental and climate impacts caused by which are becoming more and more serious. Low-carbon development, as a sustainable development pattern with low energy consumption, low pollution and low emissions, is an important way to alleviate energy and environmental problems. Carrying out in-depth research on low-carbon development and construction, clearly defining the road map for carbon emission peak, and exploring zero-carbon emissions targets on this basis have become an important task for China to deal with climate change and to promote ecological civilization. "Work Plan for Controlling Greenhouse Gas Emissions during the Thirteenth Five-Year Plan" issued by the State Council clearly stated that by 2020, carbon dioxide emissions per unit of GDP will fall by 18% compared with 2015; support for optimized development regions to take the lead in achieving the carbon emission peak by 2020; encourage other regions to propose carbon emission peak targets and clarify the road map to achieve the carbon emission peak; require research and exploration on total carbon emission control in some developed provinces and cities, and encourage the cities which are the member of "The Union of Chinese Model Cities for Reaching Carbon Emission Peak" and other qualified cities to increase emissions reductions intensity, striving to achieve the goal of reaching the carbon emission peak in advance.

Zhangjiakou City is located at the northwestern Hebei Province and the intersection of China's "Three North" regions. The city is an important ecological conservation area and one of the nationally planned new energy bases, which is also an important node city of the "Belt and Road" China-Mongolia-Russia Economic Corridor. With the comprehensive implementation of the Beijing-Tianjin-Hebei coordinated development strategy, the success of Beijing and Zhangjiakou's bid to host the Winter Olympics and the approval of the renewable energy demonstration area plan, Zhangjiakou has ushered in a rare development opportunity, meanwhile facing a severe pressure and challenges to transform to a low carbon city. Therefore, Zhangjiakou City has put forward the goal of achieving 30% of renewable energy consumption as a proportion of final energy consumption and 40% of industrial enterprises should achieve zero carbon emissions by 2020, building an international low-carbon Olympic venues and a leading low carbon in Chongli County to achieve 100% use of renewable energy for heating and electricity in stadiums. During the 13th Five-Year Plan period, carbon emission intensity of the city is supposed to decrease by 22% compared with 2015. Based on the multi-goal requirements of urban development, bidding for the Winter Olympics and carbon emission reduction, how to effectively coordinate the various goals and achieve low-carbon development is the main problem currently faced by Zhangjiakou City. Exploring the control methods and policies for total carbon emission and clarifying the medium and long-term transformation and development path in Zhangjiakou will strongly promote the realization of its goals including the carbon emission reduction, renewable energy demonstration zone construction and to host the Winter Olympics.

With the support of WWF, this research was undertaken by the Shenzhen Institute of Building Research Co., Ltd. (IBR). At this stage, Zhangjiakou City is characterized by a high proportion of energy-intensive and high-emission industries, with relatively low energy consumption in the construction and transportation sectors. The research team used top-down and bottom-up prediction models to predict the total energy consumption and carbon emissions of Zhangjiakou City from 2016 to 2030. It is divided into three scenarios, including the reference scenario, low-carbon scenario and demonstration area scenario. The study found that under three scenarios, the total energy consumption of Zhangjiakou City will show a rising trend. However, due to the increasing proportion of non-fossil energy consumption in Zhangjiakou City, although its total carbon emissions continue to increase under the reference scenario, while their total carbon emissions will reach the peak around 2025 and 2020 respectively under the low-carbon and demonstration zone scenarios. Based on the total amount forecast, the carbon emissions of Zhangjiakou City were decomposed by sectors, and the carbon emission forecast methods of the sub-sectors of Zhangjiakou City were established bottom-up to predict the carbon emissions of the three sectors of industry, transportation and construction by 2030. By prediction, it is found that under the reference scenario, the carbon emissions of the three sectors will show a rapid growth trend. More specifically, the industrial sector will reach carbon emission peak in 2020 and 2016 under the low-carbon scenario and the demonstration zone scenario, respectively. In order to achieve the peak as soon as possible, carbon emissions from thermal power and steel industries should be strictly controlled. As the transportation sector is greatly affected by the Winter Olympics, under the reference scenario, its emissions will show a slight decline after 2022 and then rise rapidly. However, under the low-carbon scenario and the demonstration zone scenario, the carbon emissions of the transportation sector will reach the carbon emission peak in 2022 and 2020, respectively. If the transportation sector is supposed to reach the peak as soon as possible, the contribution of emission reduction will mainly be road freight and private cars. Due to the establishment and development of the data center, the construction department will consume a large amount of electricity, resulting in rapid growth in energy consumption under the three scenarios, and the establishment of the data center will gradually become the main energy consumption component of the construction department. Nevertheless, as the degree of substitution of fossil energy power has increased, although the energy consumption of data centers is still large, the carbon

emissions will fall rapidly, which will benefit the construction sector to reach a carbon emission peak around 2023 in the demonstration zone scenario.

According to the “Development Plan for Renewable Energy Demonstration Zone of Zhangjiakou City, Hebei Province”, combined with the requirements of promoting the revolution in energy consumption, energy supply, energy technology and energy system and conduct international cooperation, considering the characteristics of Zhangjiakou City, our study has provided a work plan. It suggests that Zhangjiakou City should give full play to the strategic advantages of Beijing-Tianjin-Hebei coordinated development to form a complementary supply-demand relationship with Beijing in natural resources, agricultural production, power industry, and investment funds. The Beijing-Zhangjiakou linkage should be used as an opportunity to further intensify the development of tourism and leisure industry and enhance the urban influence of Zhangjiakou. The city should seize the opportunity of the 2022 Winter Olympics, vigorously develop the ice and snow industry, optimizing and upgrading the industrial chain. Moreover, Zhangjiakou needs to adhere to the mode of “Ice and Snow +” to form a special industry development idea of “Ice and Snow + Culture”, increasing the proportion of sports leisure tourism service industry, and make sports leisure service become the “leader” of the development of Zhangjiakou sports industry. At the same time, through the development of green financial products, the city should promote the industrial layout of Zhangjiakou’s “Ecological conservation Functional Area” and “Water Conservation Functional Area”.

Total quantity carbon emission control is an important restrain method of reaching the carbon emission peaks and implementing carbon emission control goals. Based on a detailed understanding of the carbon emissions in Zhangjiakou City, the establishment of urban carbon emission control methodology research and the putting forward of total carbon emission control decomposition optimization plan will greatly and impressively promote the city’s low-carbon development process, helping to implement the requirement of national carbon emission quantity control and promote the realization of the goal of carbon emission peak as soon as possible. With sincere appreciation, the study of the project is inseparable from the supports and guidance of Environmental and Economic Policy Research Center of the Ministry of Ecology and Environment, Science and Technology Development Center of Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Energy Institute of National Development and Reform Commission, Policy and Regulation Division of National Research Center for Climate Change Strategy and International Cooperation, Sustainable Development Research Center of Chinese Academy of Social Sciences, the Environment Academy of the Renmin University of China, and the China Urban Science Research Institute, many of thanks!

目录 CONTENTS

一 研究背景、目标与内容	01
1.1 研究背景与意义	01
1.2 研究目标与主要任务	05
二 张家口的现状特征	06
2.1 社会经济发展概况	06
2.2 发展机遇与挑战	09
2.2.1 京津冀协同发展战略	09
2.2.2 国家级可再生能源示范区	10
2.2.3 2022年北京-张家口冬季奥运会	15
2.3 张家口市能源消费和碳排放现状特征	15
2.3.1 能源供需和消费现状	15
2.3.2 分部门能耗发展现状	17
2.3.3 碳排放现状特征	22
2.3.4 碳排放控制进展	23
2.4 低碳发展目标	31
2.4.1 控制碳排放总量	31
2.4.2 利用可再生能源	32
2.4.3 空气质量优化提升	32
2.5 小结	33
三 张家口碳排放总量预测及部门分解	34
3.1 模型构建	34
3.2 能耗总量及碳排放预测	36
3.2.1 能耗总量预测	36
3.2.2 碳排放总量预测	38

3.3 碳排放总量目标部门分解	41
3.3.1 工业部门	41
3.3.2 交通部门	43
3.3.3 建筑部门	48
3.4 小结	56

四 张家口碳排放总量控制的政策建议

4.1 碳排放总量控制路径研究的方法学	57
4.2 碳排放总量控制目标	58
4.3 基于利益相关者需求的政策建议	59
4.3.1 政府管理者经验与建议	59
4.3.2 用能企业需求	60
4.3.3 城乡居民需求	60
4.4 碳排放总量控制工作方案建议	64
4.4.1 指导思想和主要目标	64
4.4.2 主要任务	64
4.4.3 保障措施	66
4.5 小结	67

参考文献

附件1：张家口市碳排放目标部门分解模型参数设置	70
附件2：张家口市“四方协作机制”实施现状	76
附件3：张家口居民低碳参与意愿调研概况	79
附件4：张家口居民低碳参与意愿的调研问卷	86

一 研究背景、目标与内容

1.1 研究背景与意义

随着城市不断发展，能源消费日益增长，由能源消费带来的环境和气候影响日趋严重。低碳发展作为一种低能耗、低污染、低排放的可持续发展模式，是缓解能源和环境问题的重要途径。深入开展低碳发展建设研究，明确实现碳排放峰值路线图，并在此基础上探索零碳排放目标，已成为当下我国应对气候变化和生态文明建设的重要任务。国务院印发的《“十三五”控制温室气体排放工作方案》明确提出：到2020年，单位国内生产总值二氧化碳排放比2015年下降18%；支持优化开发区域在2020年前实现碳排放率先达峰；鼓励其他区域提出峰值目标，明确达峰路线图；要求在部分发达省市研究探索开展碳排放总量控制，鼓励“中国达峰先锋城市联盟”城市和其他具备条件的城市加大减排力度，力争提前完成达峰目标。

目标：

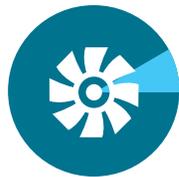
CO₂

2020年单位国内生产总值二氧化碳排放比2015年下降

↓ 18%

“十三五”期间张家口碳排放强度比2015年下降

↓ 22%



2020年张家口市可再生能源消费量占终端能源消费量的比重

30%

碳排放总量控制是实现碳达峰的重要约束手段，是落实碳排放控制目标的主要方法，是开展碳排放权交易体系的支撑条件。城市是国家碳排放的主要组成部分，因此，在详细了解城市碳排放情况的基础上，建立城市碳排放总量控制方法学研究，提出城市碳排放总量控制分解优化方案，推进城市的低碳发展进程，有助于落实全国碳排放总量控制的要求，并促成碳排放达峰目标的尽快实现。

张家口市位于河北省西北部和我国“三北”地区交汇处，既是京津冀地区重要的生态涵养区和国家规划的新能源基地之一，也是“一带一路”中蒙俄经济走廊重要节点城市。随着京津冀协同发展战略的全面实施、北京携手张家口申办冬奥会的成功和可再生能源示范区规划的获批，张家口迎来了千载难逢的发展机遇，同时也面临着严峻的低碳转型工作所带来的压力和挑战。

《张家口市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《河北省张家口市可再生能源示范区发展规划》均提出了“到2020年实现可再生能源消费量占终端能源消费量的比重达到30%”的目标。后者还明确要求：到2020年40%的工业企业实现零碳排放，并在张家口市崇礼县建设国际领先的“低碳奥运专区”，打造低碳奥运场馆，实现体育场馆的供热及用电100%采用可再生能源。此外，《河北省“十三五”控制温室气体排放工作实施方案》要求：“十三五”期间，张家口碳排放强度比2015年下降22%。面对城市发展、申办冬奥会和碳减排的多目标要求，如何有效协调各目标，实现低碳发展，是张家口市目前面临的主要问题。探索张家口市碳排放总量控制方法和政策研究，明确张家口市未来中长期的转型发展路径，将有力推动其碳减排目标、可再生能源示范区以及冬奥建设等目标的实现。

1.1.1 全球气候变化紧迫性-IPCC 升温 1.5℃ 特别报告

《巴黎协定》提出本世纪末全球平均气温升幅较工业革命前水平控制在 2℃ 以内，并尽可能推动 1.5℃ 目标的实现。同时，政府间气候变化专门委员会（IPCC）于 2018 年 10 月 8 日在韩国仁川发布《IPCC 全球升温 1.5℃ 特别报告》，报告强调了全球气候行动的紧迫性，全球温升 2℃ 带来的影响可能远超一些脆弱性国家的应对能力；而自工业革命以来，人类活动所造成的全球温升已达到 1℃ 左右，若以目前发展速度，2030—2052 年间温升将达到 1.5℃；若实现 1.5℃ 目标，全球各国家和地区碳减排政策和目标需进一步增强；同时再次提出到 2050 年必须实现净零排放的目标，从而大大减少气候变迁的风险和影响。

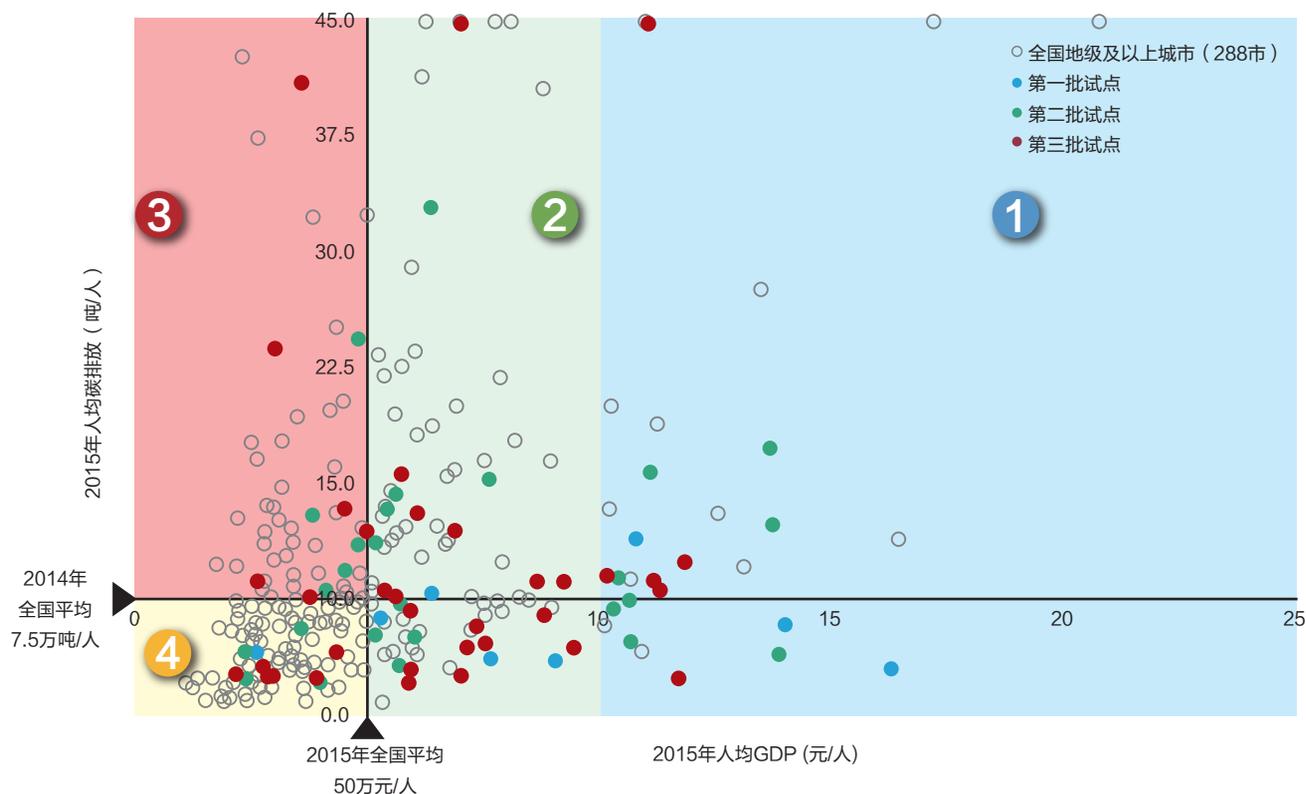
欧、美、日、韩多国根据自身实际情况制定了区域碳排放目标，积极地采取实际行动，已取得了一定成效。如冰岛已实现 99% 电力来自可再生能源（地热、水力资源），建筑供暖和电力生产已经完全实现了碳中和，仅 1% 的家庭消耗化石燃料用于供暖；丹麦·提斯特德能量和热量消耗几乎完全来自可再生能源，如风能、太阳能、沼气、地热发电厂、生物质焚烧和工业余热，可再生能源提供 100% 的电力供应，以及全市 85% 的热量供应；丹麦·哥本哈根是世界上第一个提出二氧化碳零排放的首都城市，以发电、取暖为主的能源供应将承担 75% 的短期减排任务，交通运输和节能建筑将各自承担 10%，到 2025 年争取能够全面实现碳中和；瑞典·马尔默已经从工业城市成功转型为知识型生态城市，其能源 100% 来自可再生能源，包括太阳能、风能和垃圾发电。

1.1.2 中国城市碳排放快速增长的局面得到初步扭转

2015年，我国向联合国气候变化框架公约秘书处提交《强化应对气候变化行动—中国国家自主贡献》，提出我国二氧化碳排放将在2030年左右达到峰值并争取尽早达峰，单位GDP碳排放强度较2005年下降60%–65%，非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右的目标。《中国应对气候变化的政策与行动2018年度报告》中指出我国单位GDP二氧化碳排放相较于2005年下降约46%，非化石能源占比达到13.8%。有研究表明，按照目前趋势，我国可提前实现自主贡献设定目标，碳排放快速增长的局面已得到初步扭转。随着我国碳排放控制目标的增强，低碳发展行动不断推进碳排放强度和总量双向控制策略已成为各低碳试点示范城市主要行动和政策，同时各城市纷纷探索建设城镇、园区、社区、交通、企业等领域近零碳示范项目。

依据经济发展水平（人均GDP）和人均碳排放两个指标，采用2015年数据，将我国288个城市进行分类，通过对比研究了解我国低碳试点城市目前所处经济发展阶段。1类城市人均GDP为全国均值的2倍及以上地区；2类城市为人均GDP全国均值的1–2倍（包括1倍）地区；3类城市人均GDP小于全国均值，且人均碳排放大于等于全国人均碳排放均值（7.5吨/人，采用2014年数据）；4类地区人均GDP小于全国均值且人均碳排放小于全国均值。

从经济发展水平看，我国58.3%的城市人均GDP低于全国均值，且在这些人均GDP落后于全国平均水平的城市中，有2/3的城市属于4类城市，即人均碳排放水平也较低。从图1-2中可看出，在1类和2类城市中，人均碳排放高于全国均值的城市多于人均碳排放低的城市。从而可说明我国目前人均碳排放和人均GDP呈现正比关系的城市偏多，且大多数城市处于人均GDP和人均碳排放指标均低的水平。



相较于我国其他城市，低碳试点城市明显呈现经济发展水平高。其中1类和2类地区占68.1%，体现经济发展水平越高的城市其低碳发展需求越大。此外，低碳试点城市3类和4类地区数量一致，从而说明试点城市在选取过程中针对经济发展水平较差的城市，均有所考虑。但作为试点城市，应起到示范作用，3类城市的试点应尽早步入2类和1类城市。3类城市经济发展落后，碳排放水平较高，反映其目前仍处于粗放式发展阶段，亟需低碳转型，以顺应我国生态文明建设的大趋势。

张家口市虽为非试点城市，但其处于首都北京的后花园，应起到环境友好，低碳发展示范试点的效果。目前张家口市处于3类城市，冬奥会为张家口市发展带来了机遇，作为中国向全世界展示的一张名片，应尽快找到未来发展的同时实现生态环境双赢的路径。本研究在对张家口市能源消费和资源状况进行摸底的情况下，开展对张家口市碳排放总量控制研究，为未来张家口市低碳发展奠定基础。

	1类	2类	3类	4类
人均GDP	≥全国平均2倍	全国平均 1~2倍	<全国平均	
人均碳排放	——		≥全国平均(7.5)	<全国平均
城市数量 (288市中比重)	29 10.1%	91 31.6%	55 19.1%	113 39.2%
试点城市 数量占比	24.6%	43.5%	15.9%	15.9%

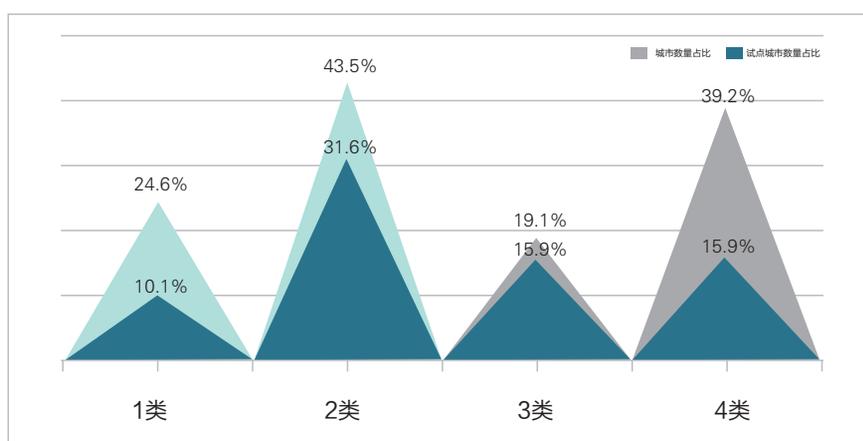


图 1-3 我国低碳城市试点经济发展和碳排放水平对比

1.2 研究目标与主要任务

本研究将围绕张家口市能源资源本底现状，针对张家口市能源特征及未来潜力，开展张家口市碳排放总量控制方法学和政策建议研究。该研究的主要目标如下：

- **张家口市资源现状摸底：**全面了解张家口市自然资源、社会经济以及电力等领域现状，开展张家口市能源需求综合本底调查；
- **张家口市区域能源供需特征研究：**提出基于综合本底现状的张家口市主要能源供应结构，分析能源需求趋势，评价可再生能源潜力；
- **张家口市各领域碳排放特征与减排空间：**开展张家口市建筑、工业、电力等领域碳排放特征和减排空间研究；
- **张家口市碳排放总量控制的工作方案：**基于区域总量控制的方法学，提出张家口市碳排放总量控制的工作方案。

研究框架如图 1-4。

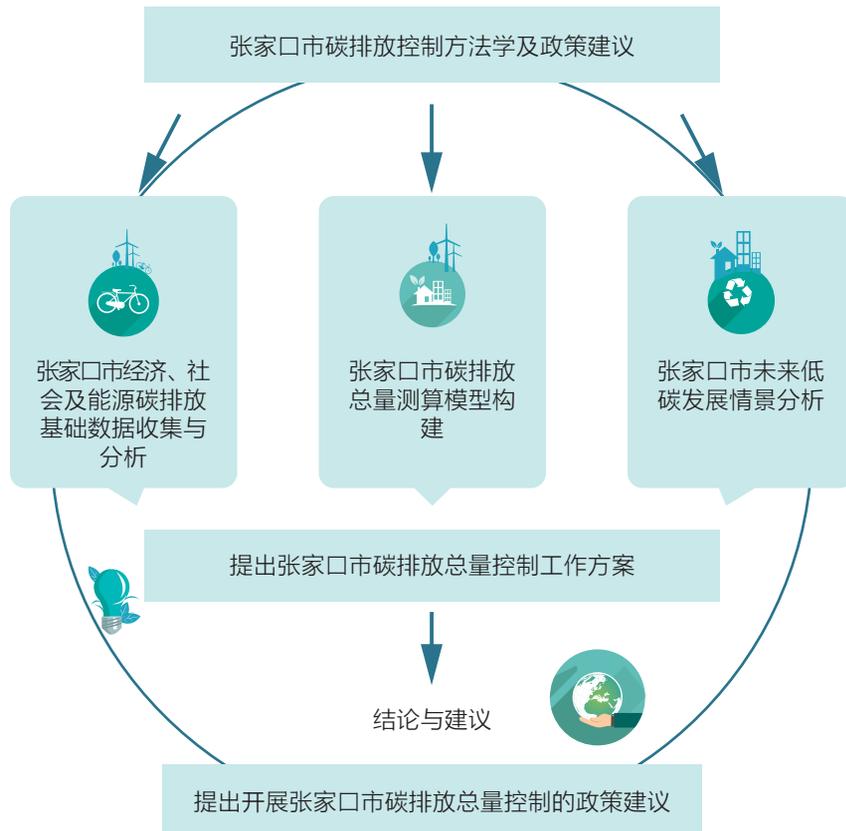


图 1-4 研究框架

二 张家口市的现状特征

本研究以张家口全市域为研究范围。张家口市地处河北省西北部，京、冀、晋、蒙四省市交界处，作为京津冀（环渤海）经济区和冀晋蒙（外长城）经济区的交汇点、冀西北地区的中心城市，连接京津、沟通晋蒙的交通枢纽，当前面临重大发展机遇，如处于京津冀协同发展战略地，已成为国家级可再生能源示范区，即将与北京市共同举办冬季奥运会这一重大事件。

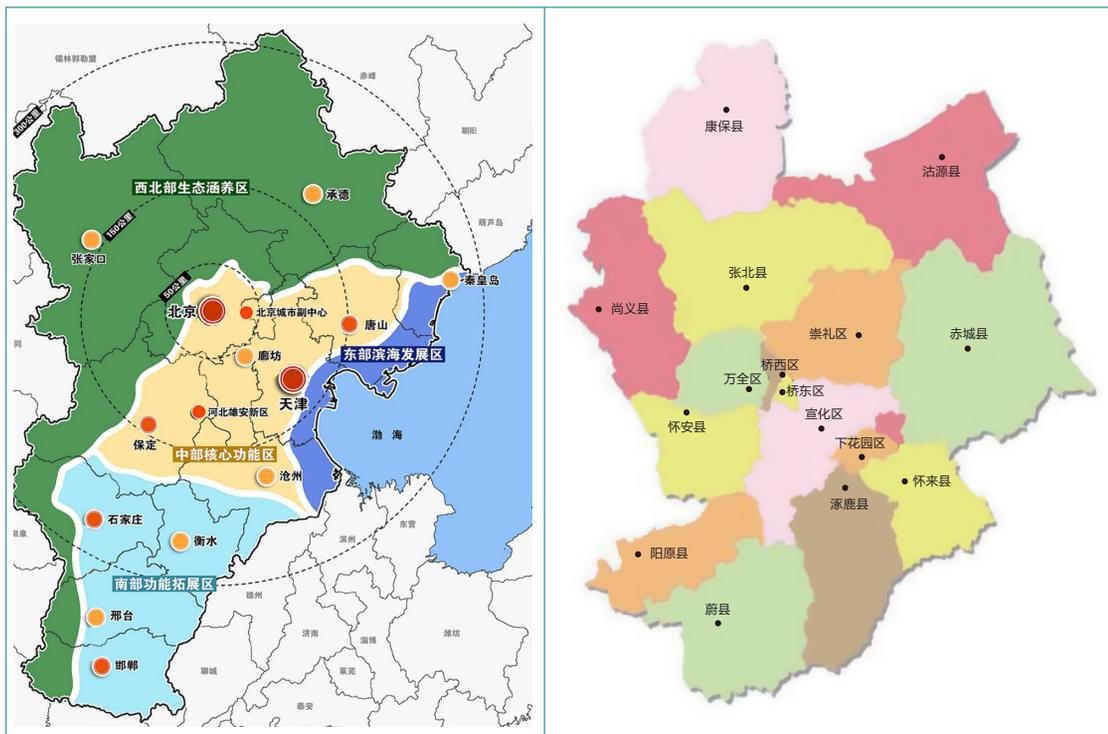


图 2-1 张家口市的地理位置与行政区划

2.1 社会经济发展概况

2.1.1 人口发展

张家口市辖 6 区 10 县，总面积 36357 平方公里，2018 年全年全市户籍总人口 465.4 万人，年末常住人口 443.4 万人，比上年增加 0.05 万人。其中城镇人口 253.78 万人，常住人口城镇化率为 57.24%，比上年提高 1.32 个百分点。常住人口出生率为 9.37‰，死亡率为 7.77‰，人口自然增长率 1.60‰。据规划，2020 年市域常住人口为 460 万人，常住人口城镇化率约 60%，户籍人口城镇化率约 45%；2030 年市域常住人口为 495 万人，常住人口城镇化率约 71%，户籍人口城镇化率约 60%。

表 2-1 张家口市人口发展趋势与目标

年份	历史值 *					计划值 **	
	2014	2015	2016	2017	2018	2020	2030
常住人口 (万人)	442.1	442.2	442.5	443.3	443.4	460	495
常住人口城镇化率 (%)	5.5	52.2	54.2	55.9	57.2	60	71
人口自然增长率 (‰)		3.4	5.2	4.4			
集中建设区常住人口 (万人)			120			155	205

数据来源:

* 张家口市国民经济和社会发展统计公报 (历年)

** 张家口城市总体规划 (2016-2030 年)

2.1.2 经济发展

张家口 2018 年地区生产总值 1536.6 亿元, 城乡发展不平衡, 是制约经济均衡发展的重要因素。2013-2018 期间, 张家口人均 GDP 明显低于河北省和全国平均水平, 且差距存在扩大趋势, 2018 年人均 GDP 34725 元/人, 约是全国平均水平的 54%、河北省人均 GDP 的 72.6%。2018 年张家口城乡居民人均可支配收入分别为 31193 元和 11531 元, 同样低于河北省 (32997 元和 14031 元) 和全国 (39250 元和 14617 元) 水平。城乡居民可支配收入比为 2.71, 高于全国和河北省平均水平 (全国: 2.68, 河北省: 2.35)。

2014 年 10 月, 国务院扶贫开发领导小组办公室网站公布国家级贫困县名单, 张家口 17 个区县中, 有 10 个县上榜, 数量居河北之首。据 2016 年统计, 全市贫困人口 43.89 万人, 接近总人口的十分之一。2019 年 4 月, 张家口市崇礼区、万全区、宣化区和涿鹿县退出贫困县序列。

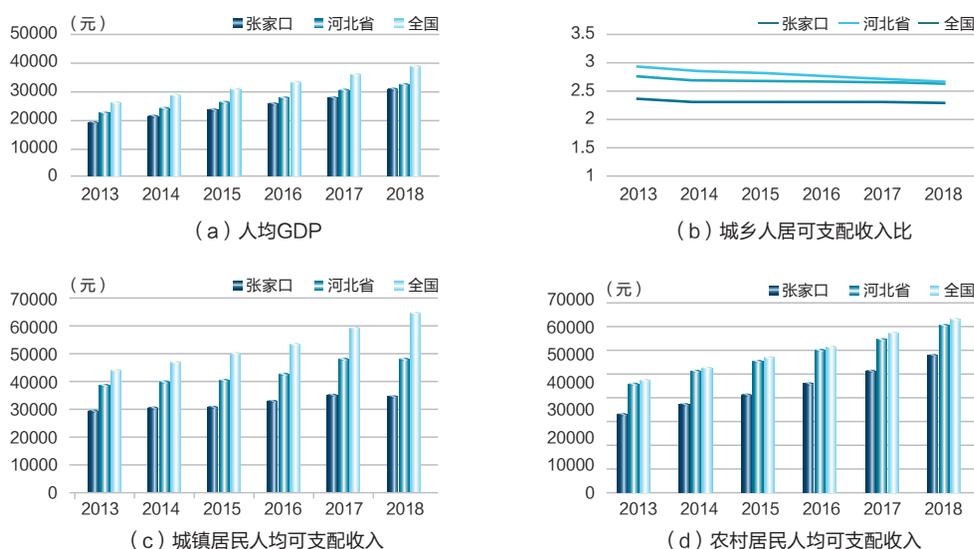


图 2-2 张家口市与河北省及全国主要经济指标对比

数据来源:

1. 河北省国民经济和社会发展统计公报 (历年)
2. 河北经济年鉴 2018
3. 国家统计局

表 2-2 张家口市经济发展趋势与目标

年份		历史值 *				计划值 **			
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2020	2030
经济总量	GDP (亿元)	1317.0	1358.5	1363.5	1461.1	1555.6	1536.6	/	/
	GDP 年均增速 (%)	8.0	5.2	5.8	7.0	6.8		7.5	6.0
	人均 GDP (元/人)		30756	30840	33030	35123	34725	/	/
	人均 GDP 年均增速 (%)		2.8	5.7	6.9	6.6		7.0	7.0
经济结构	第一产业 (%)	18.0	17.7	17.9	18.2	18.1	14.8	/	/
	第二产业 (%)	43.2	41.8	40.0	37.2	35.3	33.7	/	/
	第三产业 (%)	38.8	40.5	42.1	44.6	46.7	51.5	50	55
	高新技术产业占 GDP 比重 (%) **				6.4			7	10
	新兴产业增加值占 GDP 比重 (%) ***							15	30

数据来源:

* 张家口市国民经济和社会发展统计公报 (历年)

** 张家口城市总体规划 (2016-2030 年)

*** 张家口可再生能源示范区规划: 示范区以新能源、大数据、新材料、新能源汽车等为代表的新兴产业增加值年均增长 15%, 2020 年占比达到 15% 左右, 2030 年达到 30% 左右

2.1.3 气候与资源特征

(1) 气候与水资源

张家口市四季分明, 冬季寒冷而漫长。坝上地区太阳能光资源丰富, 昼夜温差大; 雨热同季, 生长季节气候凉爽, 高温高湿炎热天气少。冬季, 以崇礼、赤城为代表的坝上与坝下过渡地带, 降雪量可达 1 米以上, 存雪期长达 150 多天, 地形坡度多在 $5 \sim 35^\circ$, 且风速仅为 2 级, 平均气温为 -12°C , 是华北地区最大的天然滑雪场, 被誉为东方“达沃斯”。

张家口市人均水资源占有量不足 400 立方米, 不到全国人均的五分之一 (全国人均 2200), 且需优先保障北京供水, 地下水严重超采, 近十年年均地下水超采量是地下水可开采量的 15.4%, 造成了张家口市水资源严重不足的现状。

(2) 资源能源特征

张家口市是河北省矿产资源较丰富市之一。截至 2012 年末, 张家口市已发现矿产 97 种, 探明资源储量的矿产有 33 种, 其中能源矿产 1 种、黑色金属矿产 2 种、有色金属矿产 4 种。张家口市能源资源主要有煤炭、风能和太阳能, 是我国华北地区风能和太阳能资源最丰富的地区之一。

- 1) 煤炭资源主要集中在蔚州煤田、宣下煤田和张家口以北煤田, 煤炭总储量 29.34 亿吨;
- 2) 风能资源可开发量达 4000 万千瓦以上, 各种生物质资源年产量达到 200 万吨以上;
- 3) 太阳能资源丰富, 地域日照时数 2756 ~ 3062 小时, 年太阳总辐射为每平方米 1500 ~ 1700 千瓦时, 属于太阳能辐射 II 类区域, 发电可开发量达 3000 万千瓦以上。
- 4) 赤城、怀来等县地热资源蕴藏丰富, 尚义、赤城、怀来等县具备抽水蓄能电站建设条件。

2.2 发展机遇与挑战

当前张家口市处于多个重大机遇发展期，处于京津冀协同发展战略腹地、成为国家级可再生能源示范区，并将于 2022 年与北京共同举办 2022 年第 24 届冬季奥林匹克运动会。在多个重大机遇背景下，张家口市将持续享受红利，同时也将对城市的低碳可持续发展带来挑战。

2.2.1 京津冀协同发展战略

京津冀协同发展作为一项重要的国家战略，将切实推动张家口与北京的一体化发展，是张家口面临的重大且长期的发展机遇，同时雄安新区与张北地区形成“河北两翼”，将共同打造河北发展新高地。作为中国北方重要的经济增长区域，京津冀地区协同发展需将低碳发展融入到三地生态文明一体化建设中，探索三地协同可持续发展道路。

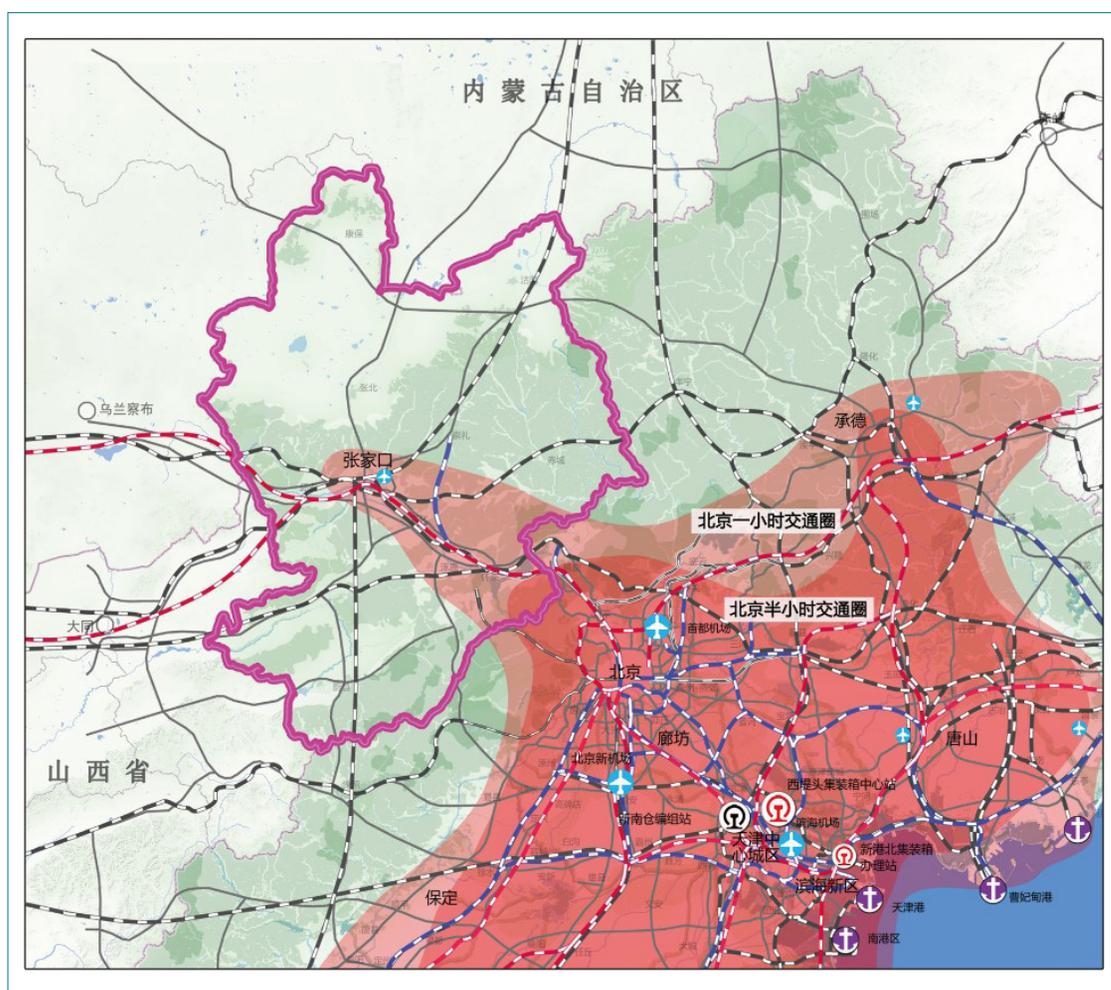


图 2-3 京津冀协同发展策略图

京津冀三地中，节能减排效率总体不断提升，但张家口与北京的差距仍较大，张家口应抓住机会，有效利用京津冀协同发展带来的科技创新优势，充分运用科技与低碳发展之间的协同关系，利用京津冀协同发展过程中的共享技术应用在张家口市未来建设中，充分克服现阶段创新能力不足、经济发展质量和效率较低等问题。

2.2.2 国家级可再生能源示范区

2015年7月，国务院批复同意《河北省张家口市可再生能源示范区发展规划》，同意设立张家口可再生能源示范区，以张家口全境为核心区域，辐射京津冀及其他周边地区，规划期为2015年至2030年。示范区的建立，能够促进新能源产业的发展壮大，为我国乃至世界可再生能源发展提供可复制推广的经验。

张家口被选为首个国家级可再生能源示范区，其优势在于：首先，张家口可再生资源丰富，是我国华北地区风能和太阳能资源最丰富的地区之一；其次，张家口区位优势独特，是京津冀地区向西北、东北辐射的链接点，是京津冀地区的生态涵养区、我国重要的可再生能源生产基地和电力输送通道节点。同时，张家口所在的京津冀地区是我国主要的电力负荷中心之一，这为张家口示范区可再生能源发展提供了巨大的市场空间。

建立国家级示范区为张家口市可再生能源发展提供了强力的政策支持，同时为了实现高目标要求也带来了一定的压力和挑战。张家口在紧抓发展机遇的同时，必须清楚认识到随之而来的挑战。

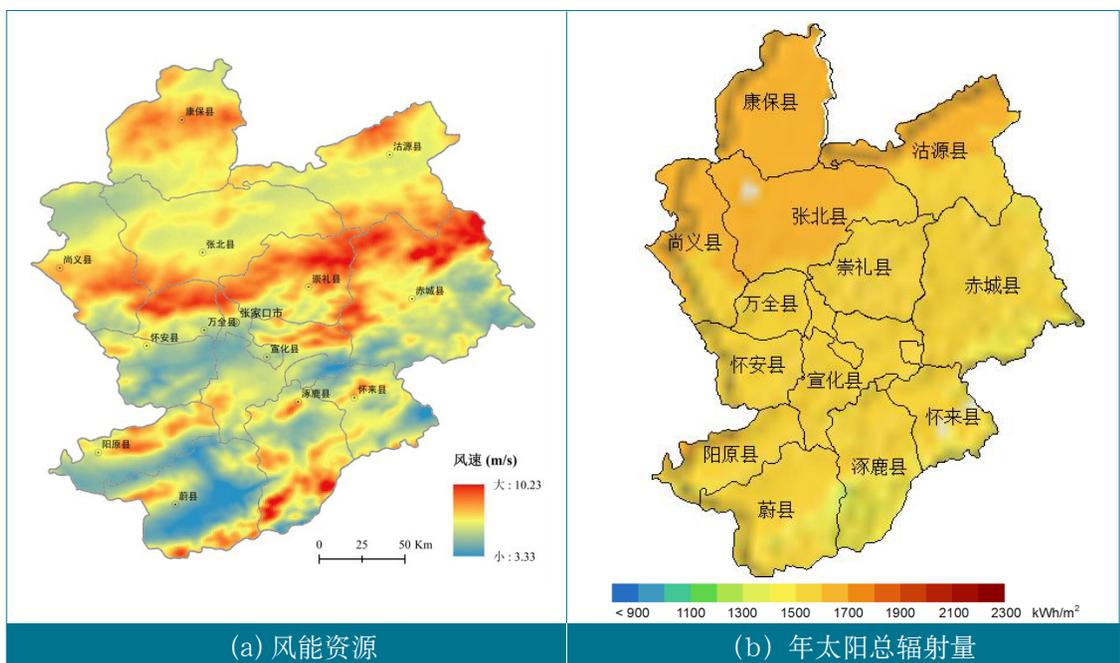


图 2-4 张家口市可再生能源发展潜力

(1) 全面提高张家口可再生能源发展水平，跻身世界前列

按照张家口可再生能源示范区规划，2020年张家口市可再生能源消费量占终端能源消费总量比例达到30%，2030年达到50%。到2030年，实现80%的电力消费来自可再生能源，工业、公共交通、商业及公用建筑等领域全部采用可再生能源功能，全面形成以可再生能源为主的能源保障体系。如何顺利将能源系统结构由传统能源转向可再生能源，推进可再生基础设施建设，实现可再生能源的大面积覆盖，张家口市将不断克服转型过程可能带来的困难与挑战。

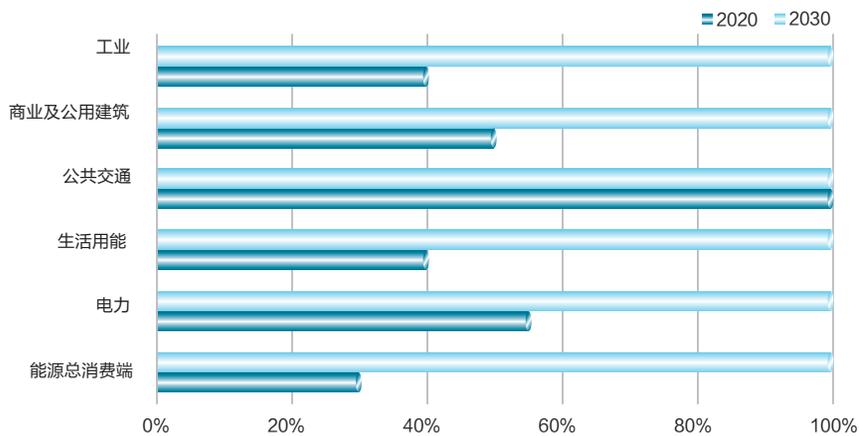


图 2-5 2020 年和 2030 年可再生能源应用目标

(2) 大幅实现 CO₂、SO₂ 和 NO_x 减排，改善环境质量

利用可再生能源代替传统化石能源进行发电，可以显著减少气体污染物的排放量，有利于持续改善大气环境，促进经济技术地区生态文明建设。规划指出，2020年可实现年替代化石能源1400万吨标准煤，减少二氧化碳（CO₂）、二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）排放分别约为3600万吨、35万吨和6万吨；2030年实现年替代化石能源3300万吨标准煤，减少CO₂、SO₂、NO_x排放分别约为8500万吨、84万吨和14万吨。如何经济有序实现化石能源替代，在保证工业生产和人民生活能源需求的基础上进行能源结构转型，为张家口市快速实现能源转型带来压力。

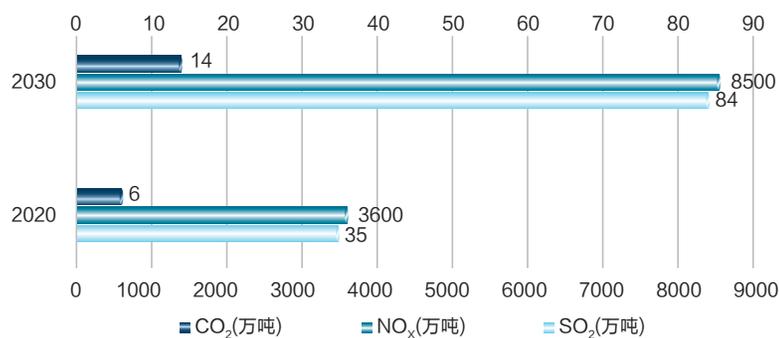


图 2-6 2020 年和 2030 年 CO₂、NO_x 和 SO₂ 减排量

(3) 加快技术创新，引领建立低碳绿色能源系统

通过引进技术人才，增加研发投资，开发可再生能源发展应用新模式，力争到 2030 年，将张家口再生能源示范区建成世界知名的可再生能源技术交流交易中心，具备全球领先的可再生能源技术应用示范及推广能力。目前张家口市创新能力缺乏，可再生能源及相关领域的高端人才较少，如何制定有力政策吸引人才，提升张家口市技术和科研水平，是张家口目前必须解决的问题。

(4) 大力促进新兴产业集群的经济增长，为经济转型奠定基础

规划期内，张家口将以新兴产业年增加值年均增长 15% 为目标，大力发展以新能源、大数据、新材料、新能源等为代表的新兴产业，实现 2020 年新兴产业增加值占地区生产总值比例达 15% 左右，2030 年达到 30% 左右的总体目标。新兴产业替代传统重工业，如何平稳腾退传统工业，进而由新兴产业逐步替代并承担就业和经济增长任务，张家口市需制定一系列保障措施。

2.2.3 2022 年北京 - 张家口冬季奥运会

2022 年第 24 届冬季奥林匹克运动会将在北京市和张家口市联合举行，这是中国历史上第一次举办冬季奥运会，对张家口来说是独特的国际发展机遇。因此，以冬奥为契机和突破口，将带动张家的城市建设、生活条件改善和城市品牌的全面升级，对城市的拉动作用和发展增长具有极其重要的作用。同时伴随申奥成功，张家的绿色经济全方位崛起，并提出全力打造“绿色生态体系、绿色城镇系、绿色能源体系、绿色产业体系、绿色交通体系”五大绿色体系。

(1) 高铁开通迎接机遇

为保障 2022 年北京冬奥会顺利举办，交通保障设施逐渐完善，京张高铁即将开通。京张高铁轨道全线贯通，建成后乘高铁从北京到张家口的时间将缩短到 1 小时内，并与呼张和大张两条高铁线路相连，对于促进京津冀协同发展，为张家口带来更多机遇。

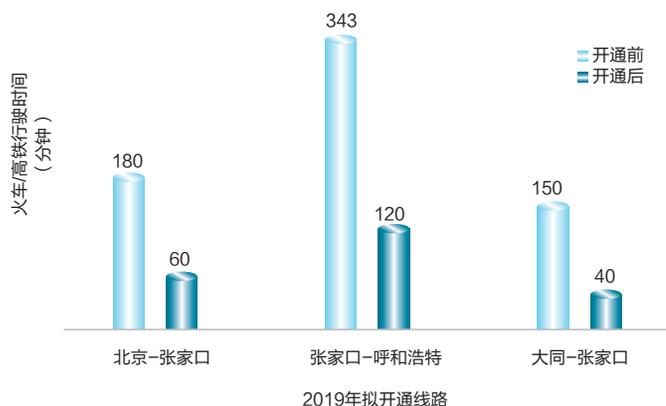


图 2-7 张家口高铁线路前后时间比较 (左) 及京张高铁线路图 (右)

(2) 旅游业发展日益增速

张家口市域内旅游资源十分丰富，截至 2017 年，全市共有 64 家 A 级景区。在北京申奥成功后，张家口城市名牌打响，城市吸引力不断提升。2016 年张家口旅游收入显著上升，较申奥前增幅达到 70% 以上，甚至超过了同年高铁开通对秦皇岛旅游收入增幅的影响，可见冬奥会的成功申办对其旅游业的蓬勃发展起到了显著的促进作用。



图 2-8 申奥成功对张家口市旅游收入影响

张家口市以此为契机，提出“一带两路三区”旅游定位。“一带”即以京张高铁和张石高速为轴，沿怀来县、宣化区、经开区、桥东区、张北县一线，加快产业园区及创新服务平台建设，构建充满活力的大数据产业发展隆起带，实现京张区域协同发展、产业融合创新，形成京张文化体育旅游产业带，加快张家口融入首都一小时经济圈；“两路”指草原天路和桑洋水路，形成“坝上有天路，坝下有水路”的新格局；“三区”指冰雪温泉康养度假片区、坝上草原旅游休闲片区、历史文化体验旅游片区，依托张家口天然的冰雪资源、生态环境以及历史文化优势，打造国家级文化旅游休闲区。

同时高铁开通势必对旅游业带来积极影响，张家口市作为北京的后花园，将更加方便快捷接待来自北京以及各地的游客。在本研究 1.1 中城市分类中，与张家口一样同处于 3 类城市但已开通高铁的有秦皇岛（2015 年）、衢州（2015 年）、池州（2017 年）、景德镇（2017 年）。图 2-8 可明显看出，高铁开通促进当地旅游业收入增加，增加游客消费，成为旅游业发展的重要拐点。待张家口高铁开通后，加之冬奥会的名片，张家口市旅游业或将迎来高峰，但随之也将带来能耗快速增加，张家口市应针对如何保障能源供给并在此基础上尽可能节能低碳，提早应对并制定相应策略。

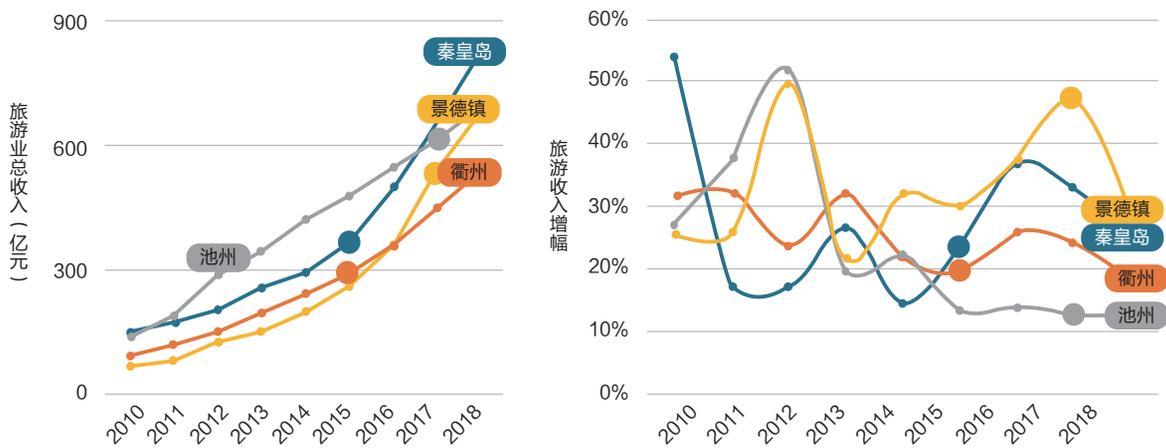


图 2-9 四个 3 类城市旅游业总收入 (亿元) 和旅游总收入增幅对比

注：数据来源：各市社会经济统计公报（2009—2018 年）

(3) 产业结构加快调整

冬奥会“绿色、低碳、可持续发展”的理念，将使得张家口以此为契机，淘汰、搬迁、分流落后产能，加快产业结构调整，张家口提出将积极发展高端体育装备制造业、物流产业，促进冰雪产业发展，加快区域产业转型升级步伐，将体育及其衍生产业逐步发展为张家口的支柱产业。

近些年来张家口市常住人口增长稳定，随着冬奥会的宣传与红利，张家口市人才需求将有所增加，常住人口应继续稳定增长。冬奥会的举办需要交通、住宿、购物、医疗、安保、通讯等配套设施都应达到奥运会的标准，还需建设相关比赛场馆。因此，张家口市需要大规模的兴建和完善市政基础设施，这将创造大量的就业机会，吸引本地劳动力和各地高端人才参与其中，带来人口回流，会缩小常住人口与户籍人口的差距，截至 2017 年，已由原来的 30 万缩小到 22 万。

申奥成功后，张家口市 GDP 增速逐渐加快，由冬奥会带来的 GDP 增速效应可能将持续一段时间，之后张家口市 GDP 随我国大趋势持续新常态发展。三产结构中，一产和二产比重已呈现减少趋势，而三产比重不断增加，其增速大于 GDP 增速。

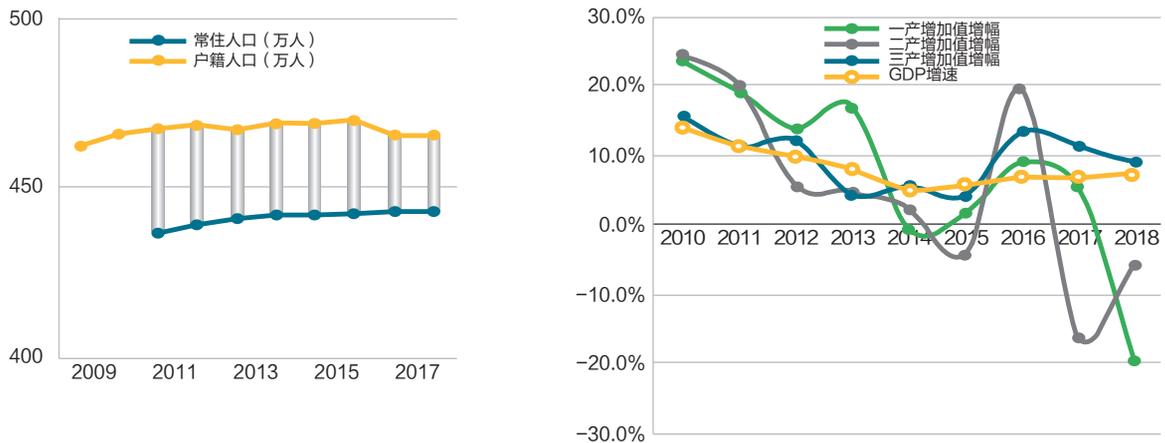


图 2-10 张家口市人口与经济指标变化

冬奥会的红利是有时效的,如何在冬奥会举办后依然能够可持续消纳冬奥会带来的机遇,加强对赛后设施的利用,张家口市可借鉴参考世界其他冬奥会曾经举办场地的实践经验。在历年来举办过冬奥会的城市中,张家口与美国盐湖城的气候最为相近,降水和日均温度相差较小,张家口可以将盐湖城在城市绿色低碳发展方面的经验作为参考样本。盐湖城冬奥被视为史上最成功的冬奥会之一,场馆在赛后的高使用率更是其成功的标志,可以分别从场馆规划建设、投资主体、管理模式、经营策略等几个方面对盐湖城冬奥会场馆的赛后利用进行研究,总结分析其成功经验,为2022冬奥会的举办提供参考。但在借鉴的同时也应充分考虑两城市人口、经济等方面的差异。

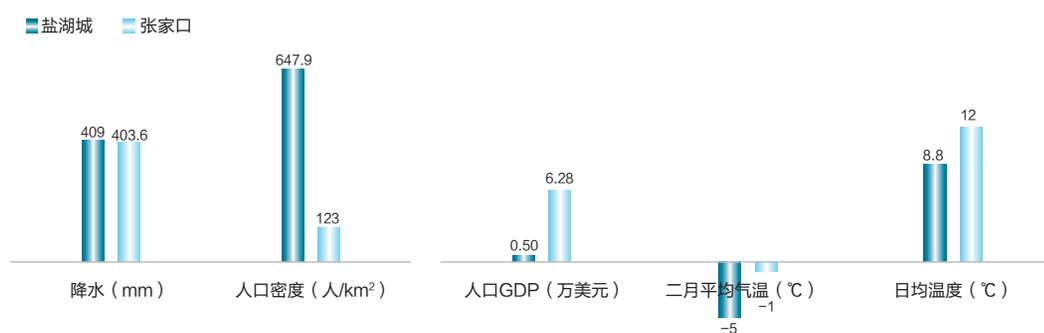


图 2-11 张家口和盐湖城人口经济和气候对比

2.3 张家口市能源消费和碳排放现状特征

张家口市目前能源消费呈现以煤炭为主的结构，工业和能源产业目前为碳排放的主要部门。

2.3.1 能源供需和消费现状

(1) 能耗供给和消费总量及结构

张家口市作为可再生能源较为丰富的地区，可再生能源发电占比较高，且其属于电力外调城市。2016年，张家口市能源生产2374万吨标煤，其中传统能源供给1892万吨标煤，可再生能源电力供给481万吨标煤，可再生能源生产占比20.3%。张家口传统能源结构中，呈现较为明显的以煤为主，少油少气的特征，煤炭生产占能源生产总量的71%，而石油和天然气共占9%。

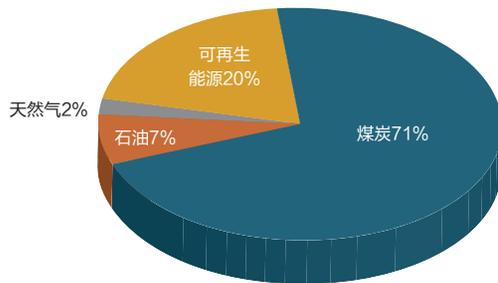


图 2-12 能源生产结构图

作为能源外调城市，张家口市能源生产的39%用于外调，仅58%用于本地消费。2016年，张家口本地终端能源消费1384万吨标煤。其中主要为工业部门消费，共消费981万吨标煤，占总消费的70%，其次为居民生活，占比15%，服务业和交通分别为8%和6%。

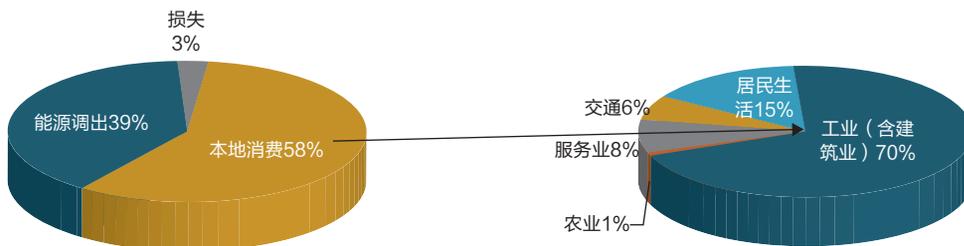


图 2-13 能源消费结构图

(2) 能流图

根据张家口市 2016 年能源平衡表绘制张家口市能流图，进行能源输入输出、供应、消费的梳理，便于直观了解能源以及碳排放结构与特征，为路径和情景设置分析提供依据。

从能流图可看出，张家口市能源结构仍以煤炭为主，但可再生能源占比相较于其他城市已较高。可再生能源主要以可再生电力形式存在。2016 年，张家口市共生产电力 367 亿千瓦时，其中可再生能源电力 157 亿千瓦时，占 42.9%。可再生能源中以风电为主要电力，占到可再生能源电力的 94% 左右。能源外调主要形式也为电力，2016 年，调出电力 237 亿千瓦时，占总发电量的 64.5%。此外，煤制品也是张家口市能源调出的主要类型，共有 13.2% 的煤制品调出。

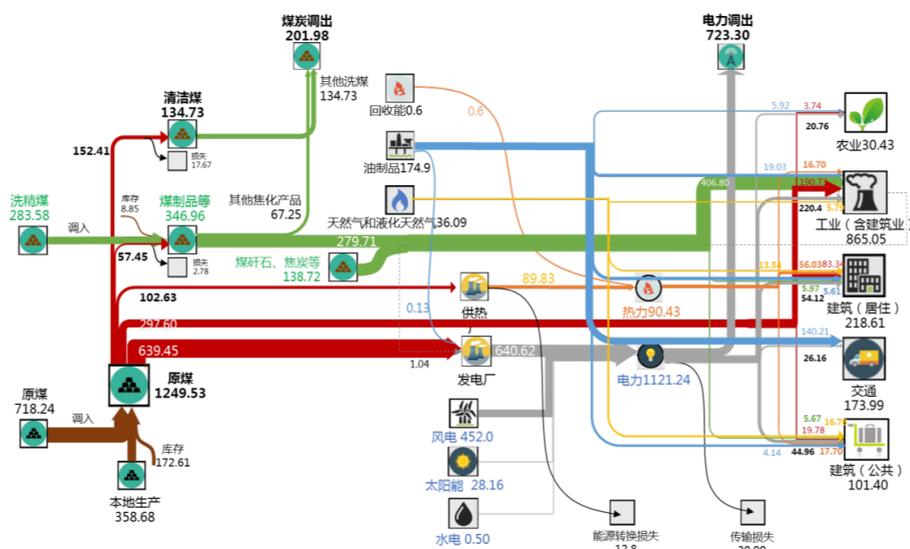


图 2-14 张家口市能流图 (2016 年)

2.3.2 分部门能耗发展现状

(1) 工业部门

在工业部门各行业产值及能耗总量方面，2011–2016 年间，张家口市工业部门产值稳中有升，2016 年较 2011 年提升了 3.4%。但工业部门总能耗以年均 1.5% 的速度不断下降。2016 年，工业部门终端能耗 981 万吨标煤。在工业部门能耗组成中，电力、热力生产和供应业是主要能源消耗行业，2016 年共消费 427 万吨标煤，占工业总能耗的 43.5%，其中 5 家主要火力发电 / 热电厂能耗 394.68 万吨标煤，约占行业总能耗的 92.5%。其次为黑色金属冶炼与压延加工业，占工业总能耗的 41.2%。但其中电力、热力生产和供应业在 2011–2016 年间能耗年均增幅不断下降，而黑色金属冶炼与压延加工业能耗总量略有提升。

在其他能耗占比较小的工业行业，虽有些行业能耗增幅较大，如文教体育用品制造业、计算机、通信和其他电子设备业，但由于其占比较小，若无大的产业调整，未来一段时间对张家口市能源消费影响不大。但能耗占比较大的两大高耗能行业占据了2016年工业能耗总量的84.7%，寻找高效控制两大高耗能行业的碳排放方法，是有效控制工业部门碳排放的重要手段。

表 2-3 2016 年工业部门能耗各行业消耗组成

分类	对应行业	占工业能耗的比重	2011-2016 能耗年均增幅 (%)
电力	电力、热力生产和供应业	43.5%	-4.4%
	黑色金属冶炼与压延加工业	41.2%	1.4%
制造业	非金属矿物制品业	5.5%	-0.2%
	化学原料和化学制品制造业	2.7%	-1.3%
采矿业	煤炭开采和洗选业	2.3%	0.3%
	黑色金属采矿业	1.3%	-9.1%
其他工业	上述 6 个行业之外	3.4%	/

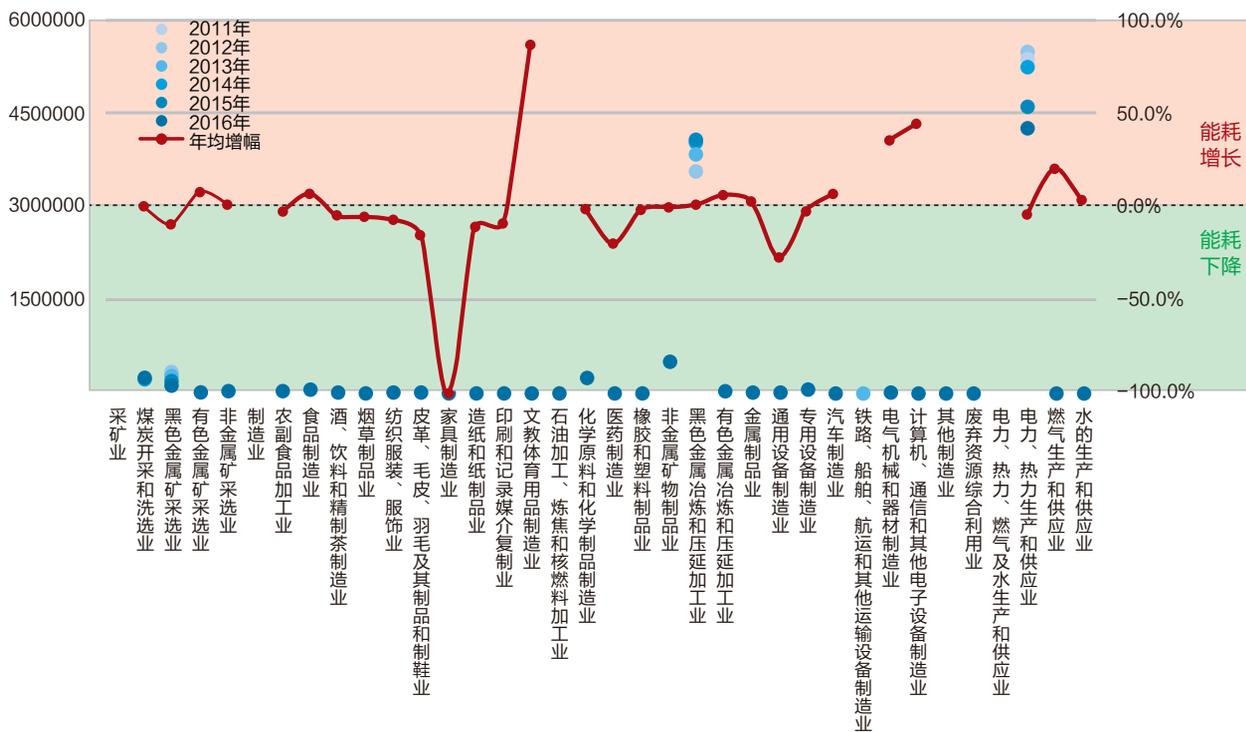


图 2-15 工业各行业 2011-2016 年能耗量 (吨标准煤) 及增幅

在推进工业部门低碳转型过程中，张家口市实施了传统优势产业绿色转型和产业体系绿色化等两方面举措。

首先，传统优势产业绿色转型。2016年以来，张家口市将化解过剩产能作为推动动能转换、结构转型的核心举措，成立了钢铁煤炭行业有序退出工作领导小组，各县区相应成立了组织领导机构，负责钢铁煤炭行业退出工作的组织实施，加快淘汰过剩产能，推动全市钢铁煤炭行业供给侧结构性改革。《张家口绿色产业体系发展规划》中指出，到2020年，基本完成过剩产能化解。推动实施宣钢搬迁、有序关停中小矿山企业，梳理产业发展新优势。

2016—2020年计划化解过剩煤炭产能总体目标1891万吨，截至2018年底，已关闭退出煤矿45处，化解产能1586万吨。在化解钢铁产能方面，2016年化解钢铁产能68万吨，并计划2020年底前钢铁产能从张家口市域内退出，出台并执行宣钢产能置换项目。在火力发电方面，根据张家口市火电2017年装机情况及火电发展规划，预计2030年火电累计装机量最多为546.6万千瓦。

其次，产业体系绿色化。张家口市提出依托可再生能源电力丰富、气候寒冷的优势，以及2030年可再生能源电价比煤电便宜的发展趋势，培育“四大两新一高”（大生态、大旅游、大数据、大健康，新能源、新技术，高端制造）产业，推动张家口市产业升级，形成高端绿色产业体系。

(2) 交通部门

2016年，交通部门能耗为173.99万吨标准煤，目前在碳排放总量中占比较低，但随着社会经济水平的提升，这一比重将逐步增长。交通部门在节能控碳改造中，已采取了一系列措施，且未来为保障持续节能降碳，提出了建设目标。

首先，实施公交车实施氢燃料电池车替代。张家口市作为第一批新能源汽车推广应用示范城市，为落实该项示范试点建设，实施了一系列措施。截至2017年底，市区公交车共777辆，其中绿色能源公交车已达到537辆，包括天然气公交车190辆，气电混合动力公交车197辆、纯电动公交车76辆（27辆已上路运营）、氢燃料电池公交车74辆，已逐步替代传统柴油车，成为城市公共交通出行的主力军。2018年，张家口中心城区保留的154辆燃油公交车全部淘汰，并新增200氢能公交车、100辆纯电动公交车。



图 2-16 张家口市的氢燃料电池公交车与电动出租车

此外，张家口市还印发一系列文件，保障新能源汽车推广应用示范城市建设落实。《张家口市创建国家“公交都市”示范城市实施方案（2018-2020年）》中提出，到2020年，万人拥有公交车达到13标台以上，营运车辆由现在的777辆提升至1162辆；中心城区、冬奥会赛区及相关保障区域全部使用清洁能源或新能源公交车，重点发展氢燃料公交车。按照《氢能张家口建设规划（2019-2035）》，到2021年将累计推广各类氢燃料电池车1500辆；2035年氢燃料电池公交保有量达到3000辆，并计划到2021年将张家口打造成国内一流的氢能城市，到2035年建成国际知名的氢能之都，全市氢能及相关产业累计产值达1700亿元。

目前张家口市在基础设施方面已建成2座加氢站，规划在2019年增建5座，达成2020年累计建成加氢站21座；2018年引入氢燃料电池公交车74辆，2019年购置氢燃料电池公交车100辆，到2021年规划累计推广各类燃料电池车1500辆，其中公交车累计推广1000辆。张家口市氢气主要来源为利用风能和太阳能发电供给的电解水制氢技术。

其次，出租车开展油改气工作。2013年，张家口市开始开展出租车油改气工作，共完成856部出租汽车“油改气”工作，约占总量的31.6%。2014年，共完成1400部出租汽车“油改气”工作，约占市区出租车总量的51.9%。同时，张家口积极推进出租车智能化，借助打车软件平台，推广智能叫车，增加了张家口市民就业，同时也降低了出租车空载率。截至目前，张家口市区的出租车已全部装上了智能终端。

再次，开展交通运输绿色建设。十三五时期，张家口市提出发展绿色交通，同时印发《“十三五”交通运输绿色发展规划研究》，其中针对如何实施绿色交通，提出了一系列建设目标。

表 2-4 “十三五”绿色交通发展目标

主题	重点领域	指标	单位	2012	2020年
目 标 导 向	节约资源	交通运输用地面积	万公顷	1.19	1.25(+5%)
		单位运输周转量用地面积	公顷/万吨公里	0.007	0.005(-28%)
	能源集约	清洁能源消费比重	%	12	21.5(+79%)
		单位运输周转量能耗	千克标准煤/百吨公里	5.3	4.8(-9.4%)
	控制排放	单位运输周转量碳排放	千克/百吨公里	9.8	8.9(-9.4%)
		干线公路车辆通行NOX年排放量	万吨	6.3	8.3(+31.7%)
	保护环境	重点监测路段环境质量达标率	%	—	80
		干线公路绿色通道建设达标率	%	20	50

在国家级可再生能源示范区及 2022 年冬奥会等发展契机下，张家口市建筑能耗及碳排放总量控制将面临较大的机遇与挑战：

首先，大数据产业发展带来显著的建筑能耗增量。依托可再生能源示范区及独特的地理区位，张家口近年来全面推进大数据建设，加快构建“一带三区多园”大数据空间布局。截至 2019 年初，已签约大数据项目 22 项，计划总投资约 800 亿元，2020 年服务器规模将逾 150 万台。目前，已在全市注册数据中心建设运维企业 16 家。大数据行业规模的迅猛增长，为张家口建筑能耗带来了较大的增量，并且这一增量预计还将进一步增大。

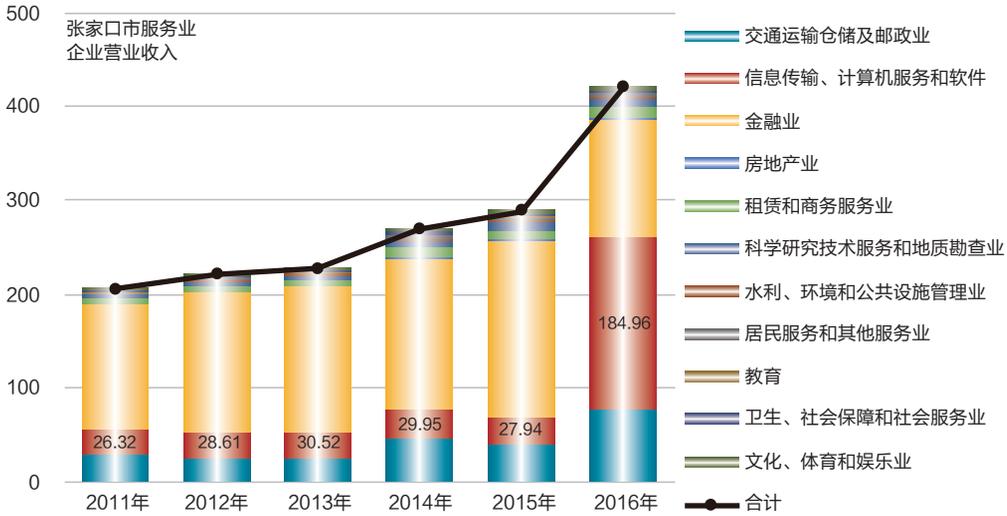


图 2-18 2011-2016 年张家口各服务业企业营业收入变化趋势

其次，采暖能耗结构将进一步优化。2017 年 6 月国家能源局批复了《张家口 2017 年度风电供暖实施方案》，2018 年 8 月张家口入选国家清洁能源取暖试点城市，在未来 3 年将累计获得 15 亿元中央财政奖补资金，目前累计建成清洁能源供暖工程超过 853 万平方米，有效破解张家口市在散煤污染治理、清洁能源取暖改造工程资金不足的制约瓶颈。

在张家口推行的“四方协作”机制中，2017 年供暖季共 180 家电供暖用户、13 家电能替代用户购买可再生能源电力用于电供暖，2018 年供暖季共 470 户集中式用户、6784 户分散居民用户、78 户电能替代用户参与交易。通过可再生能源电力市场化交易，电供暖用户可享受到每度 0.15 元左右的优惠电价，较正常的低谷电价每度 0.28 元降低了近一半，为清洁能源供暖推广扫清了最大障碍，为采暖能耗结构不断优化提供了基础。

2.3.3 碳排放现状特征

2016年，张家口市碳排放总量为4859万吨CO₂，其中有1622万吨CO₂为能源调出产生，约占总排放的1/3。单位GDP碳排放为3.31吨/万元，人均碳排放为11.0吨/人。碳排放主要部门为能源行业和工业，占比高达82%，排放主要来自煤炭的消费，占排放的91%。当前阶段，服务业和交通产生的直接碳排放较少。

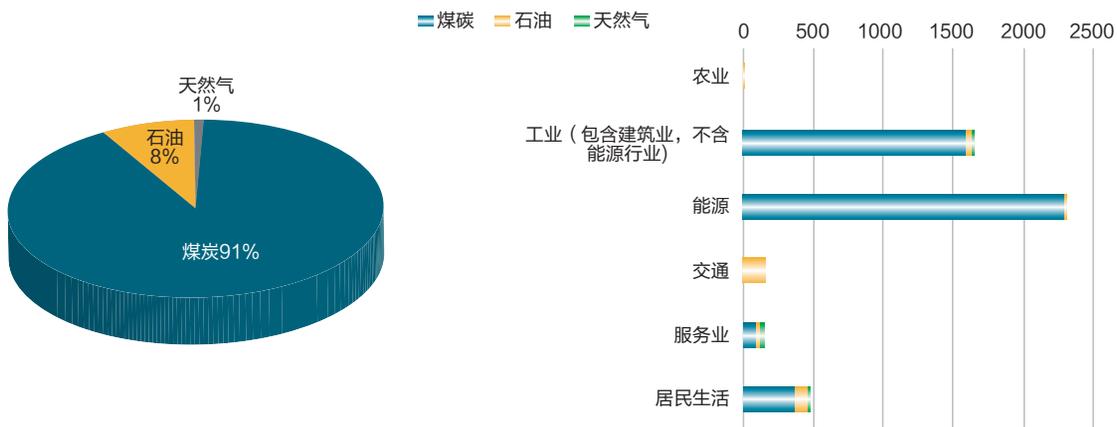


图 2-19 碳排放总量及构成结构

扣除能源调出后，张家口碳排放总量为3418万吨CO₂，单位GDP碳排放为2.27吨/万元，人均碳排放为7.72吨/人。工业和建筑业作为碳排放主要部门，占比达到66%。其次为建筑部门，占比达到22%，交通部门占比仅10%。

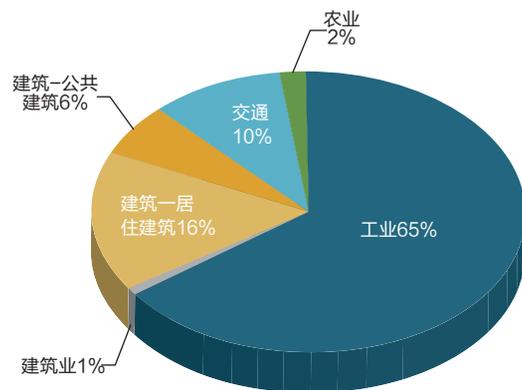


图 2-20 扣除外调能源后的碳排放构成

2.3.4 碳排放控制进展

张家口市主体的支柱产业由钢铁、煤炭、化工、装备制造等高耗能高排放行业构成，且由于张家口市有为附近城市输送电力的任务，从而使得其目前碳排放水平较高。张家口市目前一方面进行产业优化调整，逐渐由新兴产业和服务业替代传统工业；另一方面，已全力发展可再生能源替代传统煤电，预计 2030 年可再生能源装机容量可达 5000 万千瓦。

随着人们生活水平提高，建筑和交通部门排放未来将呈现不断上涨趋势，因此关注建筑和交通部门节能减排也日趋重要。

(1) 新能源装机快速增长，可再生能源占比不断提升

目前张家口市绿色基地建设初具规模，2018 年可再生能源装机容量为 1345.48 万千瓦（并网 1281.47 万千瓦），占全部电力装机的 74.2%，位居全国前列。该水平较 2017 年增长 14.6%，按照规划，距离 2020 年目标仍需增长 48.3%。到 2030 年可再生能源装机容量将达到约 5000 万千瓦，约是当前的 3.7 倍。2018 年的电力装机构成中，风电装机 932.67 万千瓦，较 2017 年增长 7%，距离 2020 年目标仍需增长 39.4%；光伏装机 408.81 万千瓦，较 2017 年增长 38.4%，距离 2020 年目标仍需增长 46.8%；生物质发电装机 2.5 万千瓦，光热发电装机 1.5 万千瓦，较 2017 年均无增长，对比 2020 年装机目标，生物质发电装机仍有 2.2 倍，光热发电装机仍有 12.3 倍的差距。可再生能源装机和发电量的提升，可在能源供给端有效降低张家口市碳排放，为其低碳发展提供能源保障。

表 2-5 张家口可再生能源的利用现状与目标

装机容量 (万千瓦)	2014	2015	2016	2017	2018	2020 目标	2030 目标	可开发量
可再生能源	702.5	844.5	1058	1176.2	1348.48	2000	5000	
风电	660			871.8	932.67	1300	2000	> 4000
光伏发电	40			295.4	408.81	600	2400	> 3000
光热发电	0			1.5	1.5	20	120	
生物质能	2.5			2.5	2.5	8	23	> 200
风电平均利用小时数				2180	2221			
光伏平均利用小时数				1502	1414			
平均弃风率 (%)				8.7	7.3			
平均弃光率 (%)				4.1	4.6			

由于张家口市风电、光伏等可再生能源开发利用装机规模迅猛发展，然而本地可再生能源电力的消纳能力却不足，可再生能源的输出成为可再生能源产业发展最主要的瓶颈之一。张家口近两年来，不断探索创新可再生能源电力上网输出方式，在柔性直流、特高压、智能电网等领域予以突破，着力构建智能化的可再生能源输电通道。¹同时，

¹ <http://www.gjjnhb.com/info/detail/5-33428.html>

为克服风电和太阳能发电不稳定、不可控的特点，张家口设立了风光储输示范工程，探索实现可再生能源稳定发电的可行方案。²目前，张北国家风光储输示范工程已申请并取得专利 33 项；尚义抽水蓄能电站正在开展可行性研究，力争 2019 年核准并开工建设；国际首套 100 兆瓦先进压缩空气储能技术示范与产业化项目已备案；中科院 3000 平米太阳能跨季节储热涿鹿矾山黄帝城示范工程已试运行；沽源、张北多能互补示范项目已开工建设。

此外，张家口市依托可再生能源产业开展绿色基地建设和光伏扶贫工程。

绿色基地建设包含的重点方向包括：积极实施国家光伏扶贫工程，在赤城县先行先试，总结经验后在示范区内推广；充分发挥坝上地区面积广袤、太阳能资源富集优势，利用荒山荒坡推进一批大型地面电站建设，重点发展大功率太阳能光热发电；遵循“绿色奥运、低碳奥运”的承办理念，支持大型光伏企业在怀来至崇礼高速公路沿线两侧建设百万千瓦级光伏廊道；着力推广太阳能光伏农牧业，实现“光农”、“光牧”互补；快速推动尚义县集光电、生态、旅游、度假为一体的大型太阳能示范园区建设等。³

光伏扶贫作为创新精准扶贫，精准脱贫方式的有效途径。张家口通过发展屋顶、村级、地面光伏电站，加强对贫困户的精准扶贫，严控项目质量和进度，光伏扶贫成效显著，为张家口打赢扶贫攻坚战做出了重要贡献。截至 2018 年底，全市 11 个贫困县累计建成并网光伏扶贫电站 123.7 万千瓦，带动 88838 户建档立卡贫困户稳定脱贫。⁴



图 2-21 农村屋顶安装光伏发电板

² http://www.sohu.com/a/149350842_244948

³ 《河北省张家口市可再生能源示范区发展规划》

⁴ <http://www.zjnews.com/news/nengyuan/201904/26/242767.html>

(2) 传统高耗能产业仍占主导，用能构成中电力占比仍需提升

张家口市目前的产业构成中，显著集聚的优势产业为：烟草制品业、有色金属矿采选业、食品制造业、电力热力生产和供应业、黑色金属矿采选业和专用设备制造业，其中烟草和电力供应行业产生的利税为所有工业行业中最高，分别占全市工业行业利税总额的 36.4% 和 34%。可以看出，传统高耗能产业仍占主导，产业转型空间巨大。

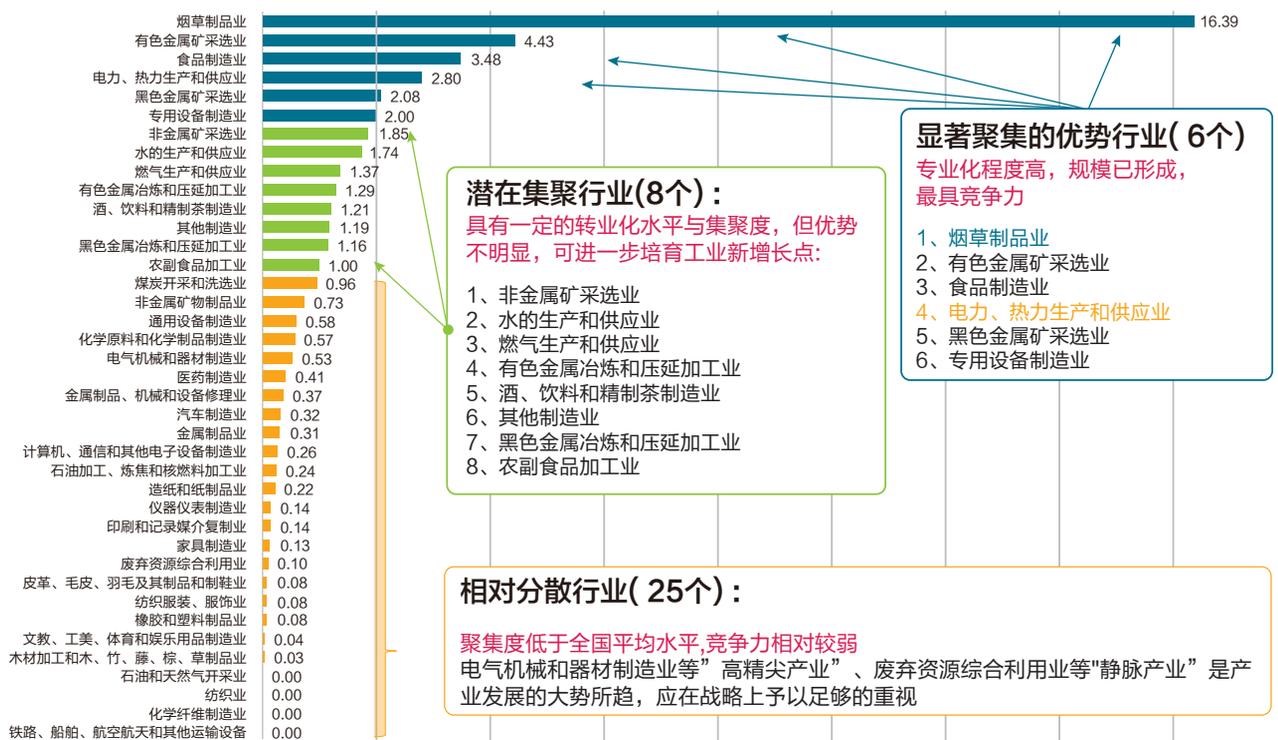


图 2-22 各行业产业规模对比

尽管按照中央对河北及张家口市生态涵养区的定位，张家口市的工业在逐步减少，目前主要发展冰雪、绿色新能源及大数据产业。但是，其目前的主要耗能用户仍以工业为主，传统高耗能产业仍占主导。2016 年能耗 5000 吨以上的企业共 57 家，总能耗约 950 万吨标准煤。其中宣钢能耗占工业总能耗的 42%，大唐电力占 22%。

表 2-6 张家口市主要耗能企业及能耗总量

单位	张家口主要耗能企业	2016 年能耗 (TCE)
1	宣化钢铁集团有限责任公司	4034548
2	大唐国际发电股份有限公司张家口发电厂	2125508
3	国电怀安热电有限公司	606748
4	河北建投宣华热电有限责任公司	571923
5	河北大唐国际张家口热电有限责任公司	497867
6	河北盛华化工有限公司	222074
7	涿鹿金隅水泥有限公司	201768
8	大唐国际发电股份有限公司下花园发电厂	144766
9	国网冀北电力有限公司张家口供电公司	134485
10	阳原龙阳钙业有限责任公司	117600
11	冀中能源张家口矿业集团有限公司	113410

数据来源：张家口市发改委环资处

张家口市工业能源结构中，呈现明显以煤炭为主的特征，2016 年，煤炭消费占工业总能耗比重为 73%，焦炭为 20%，其余仅 7%。与 2015 年上海市相比，煤炭和焦炭占比仅占工业总能耗的 63%。目前张家口市各行业对原煤、焦炭依赖较高，包括石油加工、金属冶炼、医药制造业等在内的 11 个行业煤炭占总能耗比重超过 80%，高于国家平均水平。充分体现张家口市目前工业部门能源结构不优的特点。结合张家口市作为电力外调市，电力供给充足，未来应加快推进工业电气化水平的提升，优化能源消费结构。

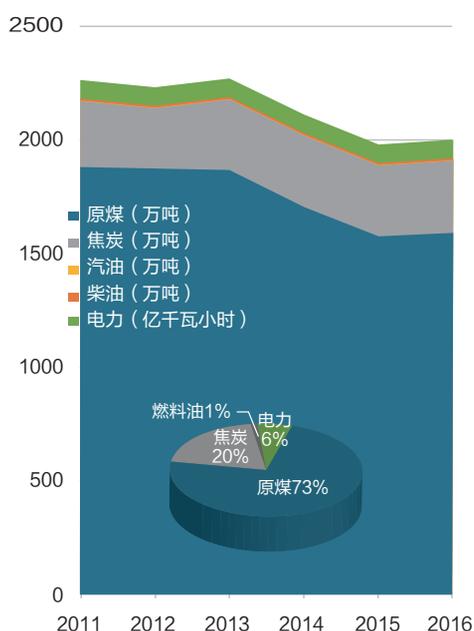


图 2-23 2011-2016 张家口规上工业主要能源消费量

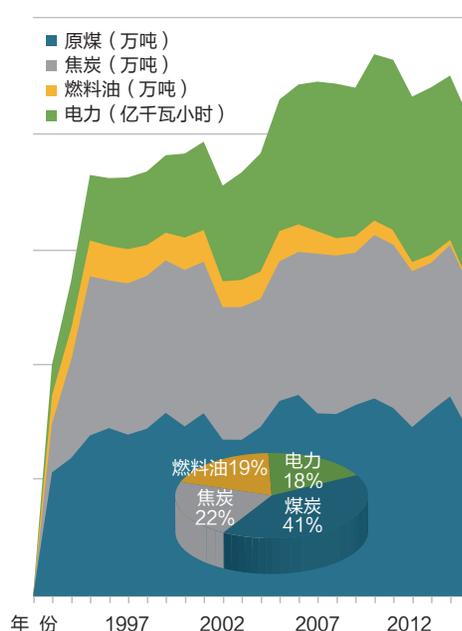


图 2-24 1980-2015 上海市工业主要能源消费量

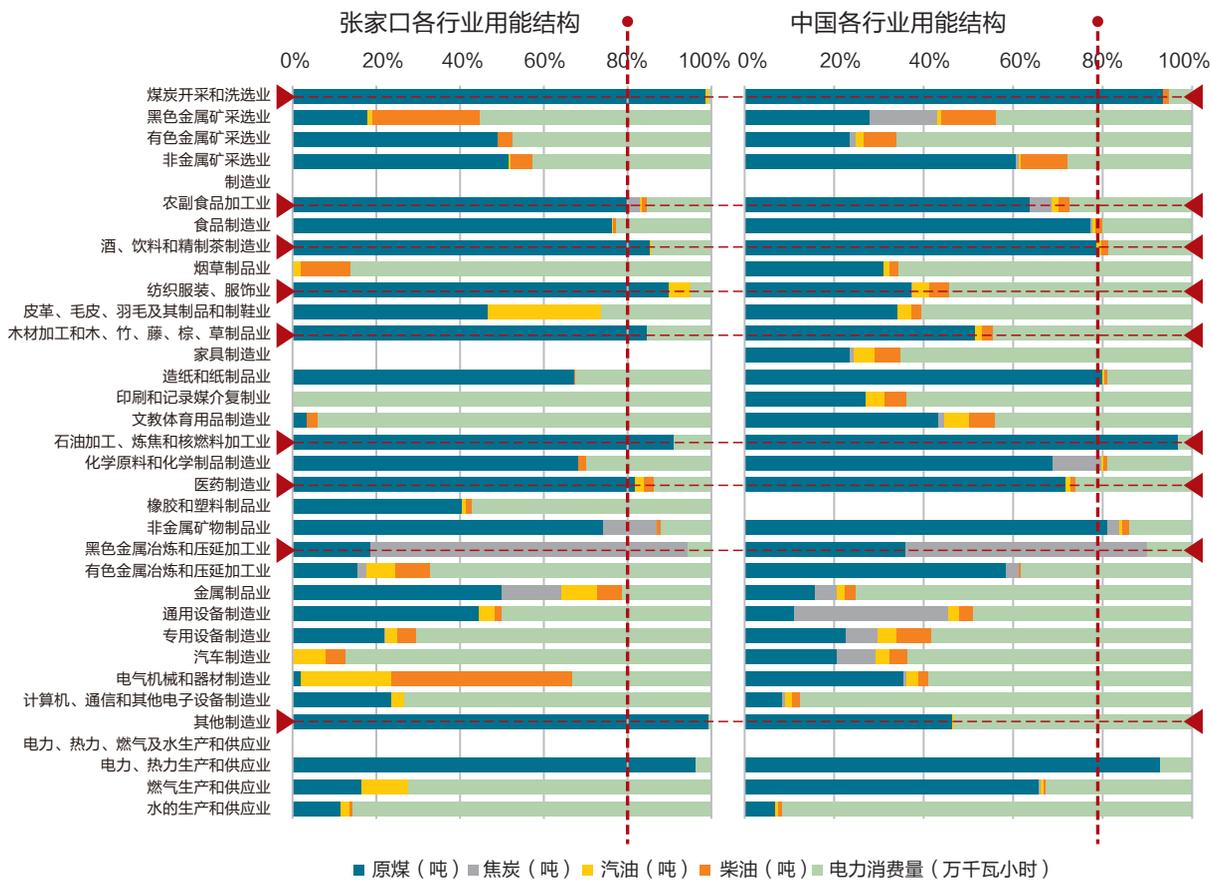


图 2-25 张家口市工业各行业用能结构与全国对比

(3) 清洁供暖工程重点推进，绿色建筑总体发展趋势良好

基于区位优势及特点，城区供暖以集中式供热为主。据统计，2016年张家口市城镇人均建筑面积为32.16平方米/人，农村居民人均建筑面积为25.25平方米/人。2017年张家口市实际取暖面积占建筑总量的81%，城区占比较大，多采用集中供暖、区域锅炉房和分散燃煤锅炉进行供暖。在采暖模式上，城乡建筑因其各自特点，需要因地制宜，采用合适的采暖供热模式。城区的区位优势和特点为负荷规模较大，且集中分布；供热基础条件优势明显，可充分利用现有基础因地制宜开展清洁能源取暖改造。

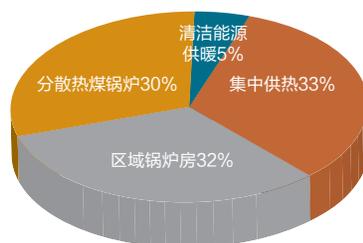


图 2-26 2017 年张家口采暖情况

张家口市 2015—2017 年间，每年供暖面积增加约 600 万平方米，主要为住宅供暖。2017 年起，张家口开始采用清洁能源供暖，拆除了大部分产能落后的锅炉房，多采用热电厂供热进行集中供暖，较 2016 年，传统能源供热量减少了 739 万吉焦。2018 年，张家口市新增 335.5 万平方米清洁能源供暖面积，其中电供暖面积占比为 84.65%，截至年底累计建成清洁能源供暖工程超过 853 万平方米。在可再生能源示范区建设期间，张家口计划继续推进清洁采暖过程，预计完成 2000 万平方米清洁能源供暖面积，其中电采暖面积 1500 万平方米。按照原有政策和价格机制，电

表 2-7 张家口市供热情况与计划表

年份	2015	2016	2017	2018	
供热面积 (万 m ²)	2568	3166	3812.9	计划	
供热面积 - 住宅 (万 m ²)	2064	2603	3065.7		
供热面积 - 公共建筑 (万 m ²)	504	563	747.2		
供热总量 (万吉焦)	1381	1801	1062		
热电厂供热	200	200	858		
锅炉房供热	1181	1601	204		
清洁能源供暖面积 (万 m ²)			469**	新建 335.5*** 累计 853.5	
电采暖面积 (万 m ²)			139	新建 284	2000
生物质热电联产供暖 (万 m ²)				11.2	1500
气供暖 (万 m ²)				40	
其他清洁能源供暖 (万 m ²)				0.3	

数据来源：

建设统计年鉴 2016，2017

** 关于河北省张家口市可再生能源示范区推进情况的汇报（2017 年）

*** 在张家口可再生能源示范区建设第八次协调推进会上的情况汇报（2019 年 1 月 17 日）

供暖成本比燃煤集中供暖高出近一倍，推广难度将非常大。为解决这一问题，张家口市利用四方机制将可再生能源的就地消纳和清洁采暖相结合，开启了国内可再生能源电力市场化交易先河，打破了清洁能源取代燃煤供暖成本居高不下的瓶颈，有力推动了建筑部门碳排放控制。

张家口市自 2017 年 5 月 1 日起实行居住建筑 75% 节能标准，并将城镇居住建筑作为集体供暖单位参与四方机制。

此外，张家口市 2015 年开始强制推行太阳能热水系统，实施太阳能热水系统与建筑一体化设计和施工，推广成绩显著，但存在应用类型单一的缺点，太阳能发电、地热、热泵技术应用较少。目前，张家口市累计应用太阳能热水系统 2900 多万平方米，可再生能源建筑应用比例达到 45%，下一步将大力发展装配式建筑，5 年计划完成比达到 30%。



图 2-27 太阳能热水 / 光伏系统



图 2-28 集中式电采暖的城镇居住建筑

农村地区呈现村落分散、人口分散等特点，部分地区空心化较严重。因此，负荷分布也相对分散，居民多采用分散市电采暖，仍存在采用煤炭采暖和提供生活热水的情况。农房建成年限久远，技术落后，窗墙的保温性能较差，能耗较高。



图 2-29 农村采暖现状

(4) 新能源公交发展快速，出行结构低碳化空间仍较大

按照规划，张家口市拟在 2020 年实现新能源公交车比例达到 100%(现约为 70%)，公共交通在全方式分担率在 2020 年达到 26%，2030 年达到 30%(现约为 21.85%)。此外，张家口市布局氢能产业的发展，目前已有 74 辆氢能公交车投入使用，已成为全国氢燃料电池公交车运营数量最多的城市，到 2021 年燃料电池公交累计推广量达到 1000 辆，建成 32 个加氢站并投入运营。

表 2-8 张家口市新能源汽车发展现状

投入运营	2017	2018	计划中
新能源汽车(辆)		2594	
纯电动公交车(辆)	1435		
充电站(座)	61	355	
充电桩(个)	2850	2974	
天然气加气站(座)	5		
加气量(立方米)	5400.73		
氢能公交车(辆)		74(7月)	100
加氢站(座)		2(可分别为50辆/日加氢)	21

根据调研，张家口居民主要出行方式以步行、自行车、私家车为主，桥东、桥西区首选自行车出行的人群比例比宣化低 20 个百分点，首选公共汽车出行人群比例占比较高。不难看出，张家口居民出行结构存在较大的优化空间，公交分担率较低，整体吸引力不足，小汽车依赖度高。虽然公交拥有量已达到规范要求，但中心城区线网密度仅为 $1.17\text{km}/\text{km}^2$ ，仅为规范值的 39%，且中心城区站点覆盖率也不符合要求，需要进一步完善。

居民选择步行出行方式占比为 37.61%，人行道长 195 公里，占道路总长度的 79%，人行空间稍显不足，部分人行道宽度过窄且不连续，且人行过街设施匮乏，设计不合理导致行人过街等候时间长，横穿马路现象严重，存在安全隐患。非机动车出行比例高达 24.24%，停车位供应量不足，造成路边停车挤压非机动车行车空间、非机动车与机动车混行的现象。步行交通和公共交通设施的完善是推进交通部门低碳发展的重要环节，张家口市低碳交通建设需不断完善基础设施。

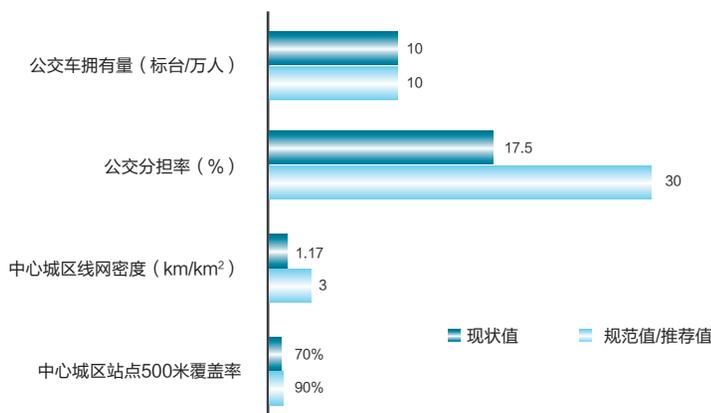


图 2-30 交通部门现状值和规范值对比

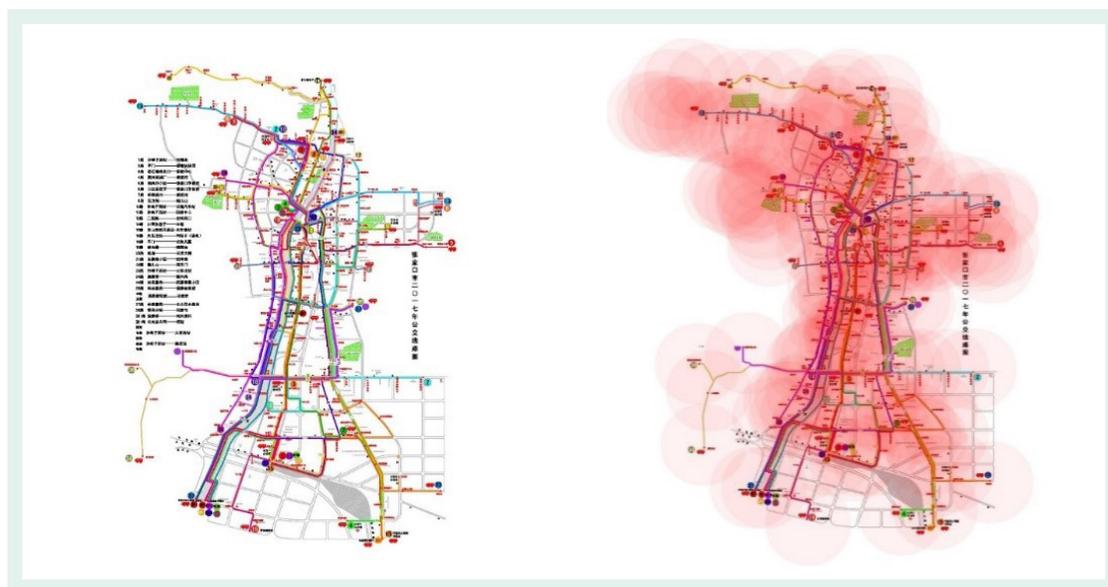


图 2-31 中心城区公交线路分布及公交站点 500 米覆盖情况

2.4 低碳发展目标

2019年9月，河北省省委对张家口提出相关目标：要大力发展生态产业，充分利用当地资源，积极发展风电、光伏、氢能等清洁能源产业和互联网产业、冰雪产业、旅游产业、职业教育产业等，实现生态效益和经济效益共赢。抓住冬奥会契机，结合张家口市特色资源和产业，实现能源和产业优化转型，为张家口市今后走生态经济，低碳发展道路打下基础。

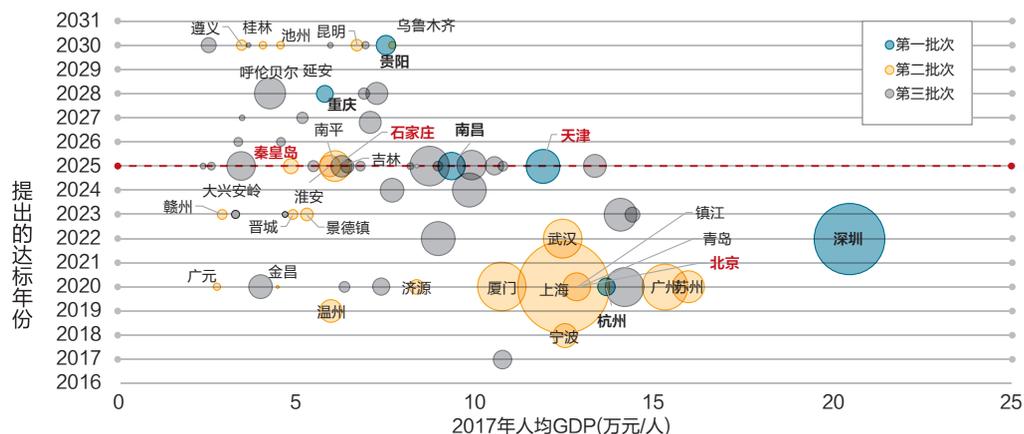
表 2-32 张家口市已提出的各项能源控制行动目标

	2020年	2030年	参考来源
可再生能源消费占终端能源消费总量比重	30%	50%	河北省国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要 河北省张家口市可再生能源示范区发展规划
电力消费中可再生能源占比	55%	80%	河北省张家口市可再生能源示范区发展规划
行动目标	碳排放强度比2015年下降率	22%	《河北省“十三五”控制温室气体排放工作实施方案》
	能耗强度比2015年下降率	19%	《河北省“十三五”规划》
能耗增量控制目标	121万吨标准煤		《河北省“十三五”规划》
其他	建成国际领先的低碳奥运专区		河北省张家口市可再生能源示范区发展规划 《河北省应对气候变化“十三五”规划》

2.4.1 控制碳排放总量

位于京津冀城市群的低碳试点城市有北京、天津、石家庄、秦皇岛，这些城市先后提出了其碳排放达峰的年份目标，其中北京市提出将在2020年实现达峰，其余三个城市均提出在2025年实现碳排放峰值目标。

作为国家级可再生能源示范区，以及国家生态涵养的功能区，张家口市在可再生能源开发和消纳方面采取了诸多实践与探索，张家口市有基础作为优化开发区，提前于全国2030年实现碳排放达峰的目标。探索张家口市碳排放总量控制以及达峰目标年和路径，实现本市能源和产业顺利优化转型，有利于张家口市未来走低碳发展之路，同时也为京津冀其他城市或处于同样3类地区城市实现碳排放达峰提供经验借鉴。



2.4.2 利用可再生能源

按照 2015 年国家发展改革委印发《河北省张家口市可再生能源示范区发展规划》，提出的发展目标包括：到 2020 年张家口示范区可再生能源消费量占终端能源消费总量比例将达 30%，55% 的电力消费来自可再生能源，到 2030 年可再生能源在终端能源消费中达 50%，80% 的电力消费来自可再生能源。

表 2-9 张家口可再生能源发展目标

指标	单位	2014 年	2020 计划	2030 计划
可再生能源消费量占终端消费比例	%	/	30	50
电力消费来自可再生能源	%	/	55	80
可再生能源装机容量	万千瓦	702.5	2000*	5000*
风电	万千瓦	660	1300	2000
光伏发电	万千瓦	40	600	2400
光热发电	万千瓦	0	100	600
生物质能	万千瓦	2.5	8	23

*数据来源：张家口可再生能源示范区规划

2.4.3 空气质量优化提升

2018 年，张家口市 PM_{2.5} 平均浓度 29 微克 / 立方米，同比下降 6.5%；空气质量综合指数 4.11，同比下降 1.7%；空气质量达标天数 277 天，达标率 81.2%，同比上升 2.4%。张家口的空气质量在京津冀地区 13 个城市中排名第一。2019 年 8 月，国家发展改革委联合河北省人民政府印发《张家口首都水源涵养功能区和生态环境支撑区建设规划（2019—2035 年）》提出，到 2035 年，张家口市全面建成首都水源涵养功能区和生态环境支撑区，全市 PM_{2.5} 年均浓度力争降至 25 微克 / 立方米，即达到世界卫生组织第二阶段标准。

2.5 小结

张家口市目前处于经济发展相对落后，发展需求空间大。恰逢京津冀协同发展战略和冬奥会为产业转型带来契机的重要阶段。它面临重大发展机遇，但是如何顺利实现能源转型、产业转型，正处于挑战和难度大的关键时期。

现阶段张家口市从产业上看，高耗能高排放产业比重大，建筑部门和交通部门能耗占比较低。但各产业在节能降碳绿色转型方面不断探索，如工业部门进行产业体系绿色化、传统优势产业绿色转型；交通部门实施新型燃料机动车替换；建筑部门实施节能改造等。

未来张家口市应探索控制碳排放总量的路径，优化提升生态环境。在提升可再生能源占比的同时，不断优化产业结构，提升第三产业比重。在摸清能源消费和碳排放结构的同时，预测中长期中城市碳排放的主要贡献部门，有针对性实施节能控碳措施，碳排放总量将得到有效控制，实现低碳转型。有效的碳排放总量控制方法和政策研究将推动张家口市碳减排目标、可再生能源示范区及低碳冬奥等建设目标的实现。

三 张家口碳排放总量预测及部门分解

本研究以张家口全市域为研究范围，仅考虑张家口市本地能源消费产生的碳排放，即不考虑外调电力产生的排放部门，以2016年为基年，利用分部门自下而上方法，详细描述张家口市2016–2030年工业、交通和建筑三部门各种类型能源消耗部门针对不同种类能源消耗量，充分考虑张家口市可再生能源电力不断增加的低碳电力结构，构建张家口市2030年前碳排放总量及结构预测模型，确定不同情景下张家口市碳排放总量及达峰情况，并基于Kaya公式：碳排放总量 = GDP × 能耗强度 × 单位能耗碳强度，确定未来一段时间能耗强度、单位能耗碳强度等指标，为张家口市制定其五年规划目标提供参考。

3.1 模型构建

本研究基于能源需求建立自下而上模型，主要针对张家口市工业、建筑和交通三部门能耗及碳排放进行预测，从而得出张家口市碳排放总量，并判断其达峰情况。工业部门基于张家口主要用能产业细分为电力行业、钢铁行业、其他传统高耗能、“四大两新一高”行业以及其他行业；建筑部门分为城镇采暖、城镇住宅、公共建筑和农村住宅。交通部门细分为对外交通和城市交通。

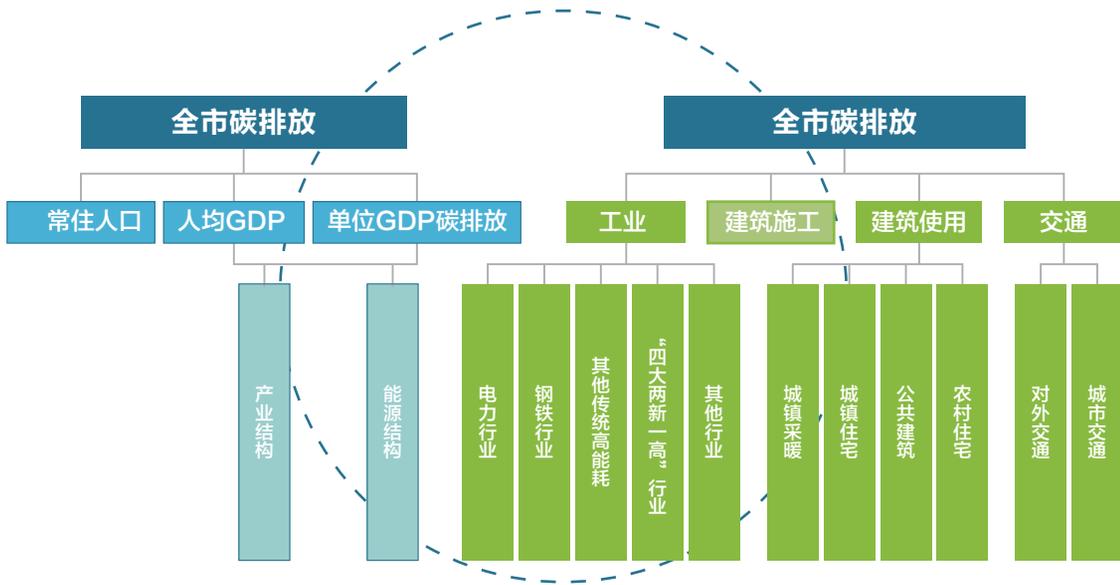


图 3-1 碳排放模型框架图

在模型框架基础上，研究进行情景分析，共分为三种情景，分别为参考情景、低碳情景和示范区情景。其中参考情景为张家口市仅保持现有已执行措施，不考虑规划和未执行措施，以现有的能源增长幅度持续增长而达到的碳排放量。低碳情景较参考情景，加入了优化产业结构、提高能源效率、调整用能结构等多项措施，其中按照张家口已有规划，设置钢铁工业、其他传统高耗能产业将逐步退出张家口产业，而新技术、大生态、大健康以及高端制造业等新兴产业

增幅不断提升。示范区情景基于张家口市建设可再生能源示范区的目标，在低碳情景基础上增加可再生能源占比逐渐提升至2030年达到80%的目标。

本研究以2016年为基年，2030年为目标年，由于2022年张家口市冬奥会的举办将其经济、产业、能源消费等各方面产生影响较大，因此本研究时间段分为2017-2022年，2022-2025年，2025-2030年三个阶段。

本研究根据张家口市以往人口变化情况，结合冬奥会影响，以及规划中提到的城镇化率目标。设定2017-2022年，常住人口年均增幅为0.2%，2022-2025年，2025-2030年人口年均增幅分别为1.2%和0.8%。此外，城镇化率在2017-2022年、2022-2025年和2025-2030年三个阶段分别以每年增长1.8，1.2和0.6个百分点速度增长。2018年，张家口市城镇化率为57%，这一指标将在2020年和2030年分别增加至61%和71%。

表 3-1 张家口碳排放总量预测经济参数

指标	2017-2022年	2022-2025年	2025-2030年	设定依据
GDP 增长率	8%	8.5%	7.5%	十三五规划目标为年均增长 7.5%，根据其往年超额完成经济目标情况，设为 8%；此外冬奥会举办后会对张家口市经济产生一定的红利效应，可能存在一段时间的经济快速增长期。
人口增长率	2‰	12‰	8‰	依据过去一段时间张家口人口历史变化率设定，且考虑冬奥会带来的人口增长机遇。
城镇化率	每年增长 1.8 个百分点	每年增长 1.2 个百分点	每年增长 0.6 个百分点	根据张家口市以往人口变化情况，结合冬奥会影响，以及规划中提到的城镇化率目标

* 数据来源：张家口可再生能源示范区规划

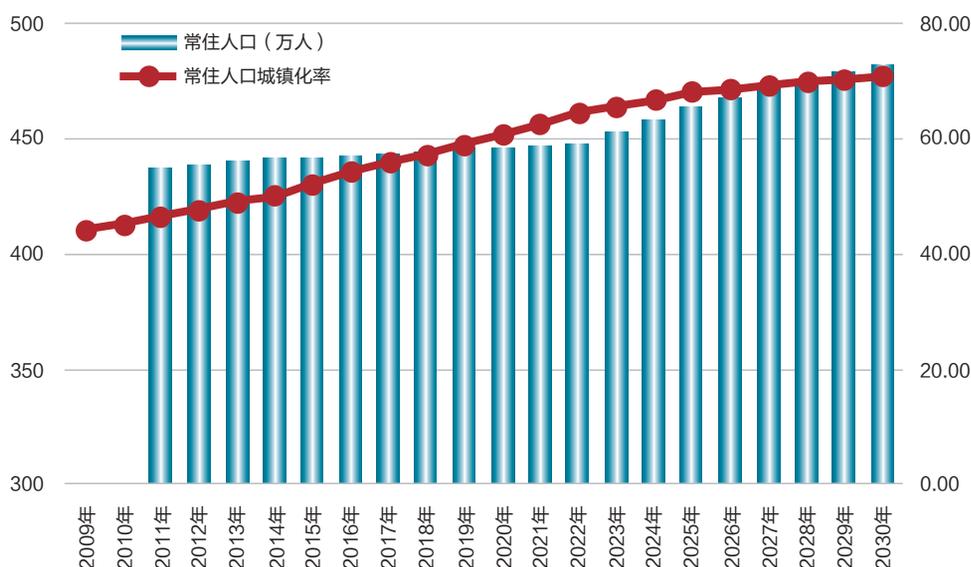


图 3-2 人口和城镇化率变化情况

3.2 能耗总量及碳排放预测

本节将运用 3.1 所构建模型，对张家口市 2016–2030 年间能耗和碳排放总量进行预测，分析张家口市未来一段时间能耗和碳排放总量和结构，从而为部门分解提供依据。

3.2.1 能耗总量预测

随着张家口市经济不断发展，人民生活水平不断提升，在三个情景下，张家口市能源消费均呈现不断上涨的趋势。在参考情景下，能耗总量快速增长，由 2016 年的 1384 万吨标煤迅速增长至 2030 年的 3577 万吨标煤，增长至 2016 年的 2.6 倍，年均增长率为 7.0%。2030 年，单位 GDP 能耗为 0.84 吨标煤 / 万元，较 2016 年下降 16.0%；人均能耗强度达到 7.4 吨标煤 / 人，增至 2016 年的 2.2 倍。

但随着张家口市冬奥会临近，绿色低碳奥运口号的宣传，张家口市节能低碳目标明确，并开展了一系列节能工程和改造。但由于张家口市目前能耗需求空间较大，因此在低碳和示范区情景下，其能耗总量将会进一步提升。由于本研究设置的低碳情景和示范区情景在技术进步、节能提效等方面虽有差别，但主要差别在可再生能源比重，因此在两情景下，能耗消费水平变化趋势差别不大，但示范区情景能耗总量低于低碳情景。

在低碳情景下，张家口市能耗水平在 2030 年将达到 1883 万吨标煤，示范区情景下 2030 年能耗总量为 1783 万吨标煤。均较参考情景有大幅下降，分别降低 47.4% 和 50.2%。低碳情景下，2030 年能耗总量增至 2016 年的 1.4 倍，能耗总量年均增速为 2.2%；示范区情景下，2030 年能耗总量增至 2016 年的 1.3 倍，年均增速为 1.8%。2030 年，低碳情景和示范区情景下，单位 GDP 能耗分别达到 0.44 吨标煤 / 万元和 0.42 吨标煤 / 万元，较 2016 年分别下降 55.8% 和 58.1%；较参考情景分别下降 47.4% 和 50.2%；人均能耗分别达到 3.9 吨标煤 / 人和 3.7 吨标煤 / 人，较参考情景分别下降 47.4% 和 50.2%。低碳情景和示范区情景虽能耗总量仍未达峰，但相较于参考情景已大幅降低。

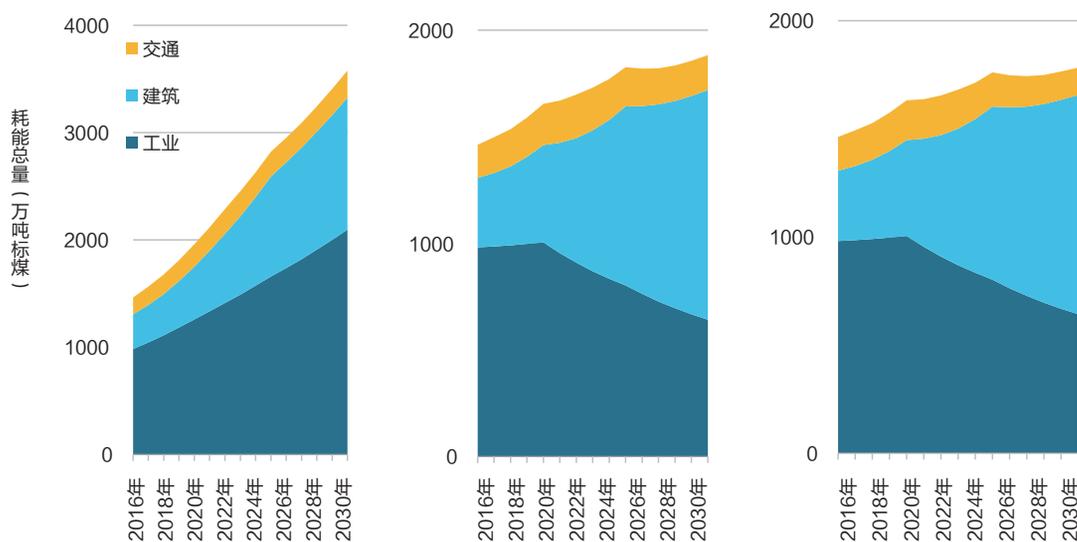


图 3-3 三情景下能耗总量预测

分部门看能耗总量的变化，参考情景下，工业、建筑和交通三个部门能耗总量均呈现不断上升的趋势。从增速上看建筑部门增速最快，2030年增长至2016年的3.8倍，随着未来人民生活水平提升，对生活品质及服务消费需求增加，建筑部门将成为未来一段时间内主要的能源增长动力；从增量上看，工业部门增量最大，占总增量的52.7%，从控制成本上讲，应首先控制工业部门能源消费量。

工业部门在低碳情景和示范区情景下，能耗量变化趋势一致，其主要差别为所消耗能源品种的不同，示范区情景下，非化石能源消费占比将大幅提升。在低碳和示范区情景下，工业部门排放将在2020年左右的达到峰值，此后快速下降，峰值水平为1004万吨标煤，为2016年的1.02倍，此后以年均4.4%的速度下降。

建筑部门在三情景下均呈现快速上升趋势，参考、低碳和示范区情景下，2030年建筑部门能耗分别达到1229万吨标煤、1077万吨标煤和1014万吨标煤，分别增至2016年的3.8、3.3和3.1倍。年均增速分别为9.9%、8.9%和8.4%。

与工业和建筑部门不同，在参考情景下，交通部门能耗不断增加，但在低碳和示范区情景下，交通部门能耗将均在2022年左右达到峰值，此后缓慢下降，其达峰一方面受到交通部门技术和能效水平的提升，另一方面由于冬奥会建设对其货运的影响在2022年之后迅速减弱从而使得其交通部门能耗得以达峰。2022年，三情景下交通部门能耗分别达到229、203和185万吨标煤，2030年分别达到253、164和127万吨标煤。

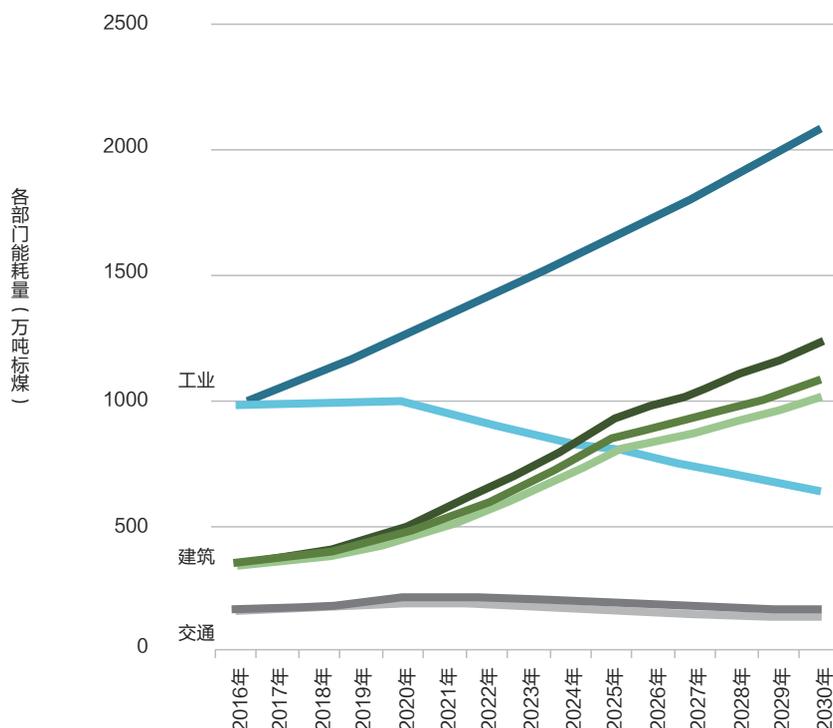


图 3-4 分部门三情景下能耗总量变化

从能源结构组成上看可以，相较于 2016 年的能源部门结构，三情景下均呈现工业部门能耗占比降低，建筑和交通部门占比增加的趋势。在参考情景下，工业、建筑和交通占总能耗比重分别为 59%、34% 和 7%，在低碳情景下，这一趋势将更加明显，三部门占比分别变为 34%、57% 和 9%。低碳情景下，建筑部门能耗总量超过工业部门，一方面由于现阶段工业部门节能潜力较大，未来一段时间工业部门能耗水平将得到大幅降低，另一方面也由于建筑部门能耗需求不断攀升且伴随着数据中心建设，建筑部门能耗将大幅增加，从而在低碳情景下，建筑部门能耗占比将超过工业部门。

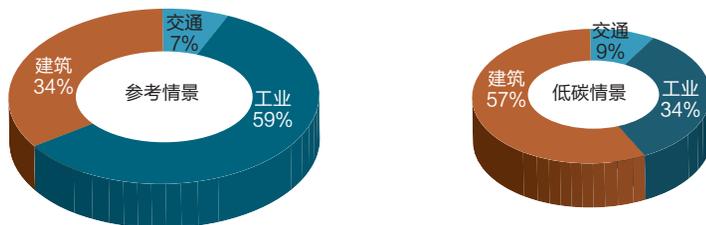


图 3-5 参考和低碳情景下能耗结构变化

3.2.2 碳排放总量预测

对张家口市未来一段时间内碳排放总量进行预测，在参考情景下，即张家口市仅维持当前已采取措施的情况下，以现有能源增长幅度继续增长，则张家口市碳排放量将快速增长，由 2016 年的 3418 万吨 CO₂，迅速增长至 2030 年的 9370 万吨，是 2016 年的 2.7 倍，年均增速达到 7.5%。2030 年，单位 GDP 碳排放为 2.19 吨 CO₂/万元，人均碳排放达到 19.4 吨 CO₂/人。

但实际上张家口市在十三五规划中已明确节能降碳目标，如单位 GDP 能耗下降 19%，可再生能源消费占终端能源消费比重占 30% 等，此外还提出了建成国际领先的低碳奥运专区的理念。因此，在实际工作开展中，随着各项约束目标的提出，张家口市只能执行低碳路径发展方式，并可在 2030 年前实现碳排放总量达峰。

在低碳情景下，张家口市碳排放总量将实现在 2025 年左右达到峰值，此后呈现缓慢降低的趋势。峰值水平碳排放总量为 4375 万吨 CO₂，达到 2016 年水平的 1.3 倍，2016–2025 年间，年均增速为 3.2%。此后碳排放逐渐下降，至 2030 年排放量达到 4055 万吨 CO₂，2025–2030 年间，年均增速为 -1.5%。2025 年，单位 GDP 碳排放强度达到 1.47 吨 CO₂/万元，人均碳排放达到 9.4 吨 CO₂/人；2030 年，分别降至 0.95 吨 CO₂/万元和 8.4 吨 CO₂/人，碳排放强度水平得到明显降低。

示范区情景下，由于张家口市非化石能源占比得到较大提升，因此自 2016 年起碳排放增速趋缓，且碳排放总量将在 2020 年就可实现达峰。峰值水平碳排放为 3713 万吨 CO₂，达到 2016 年水平的 1.08 倍，2016—2020 年间，年均增速为 3.1%。此后碳排放快速下降，2030 年碳排放总量达到 2094 万吨 CO₂，仅为 2016 年水平的 61.3%。2020—2030 年间，年均碳排放增速为 -5.6%。2020 年，单位 GDP 碳排放强度达到 1.86 吨 CO₂/万元，人均碳排放达到 8.3 吨 CO₂/人；2030 年，分别降至 0.49 吨 CO₂/万元和 4.3 吨 CO₂/人，约是欧盟 2014 年人均碳排放水平（6.4 吨/人）的 67%，碳排放强度水平得到大幅降低。

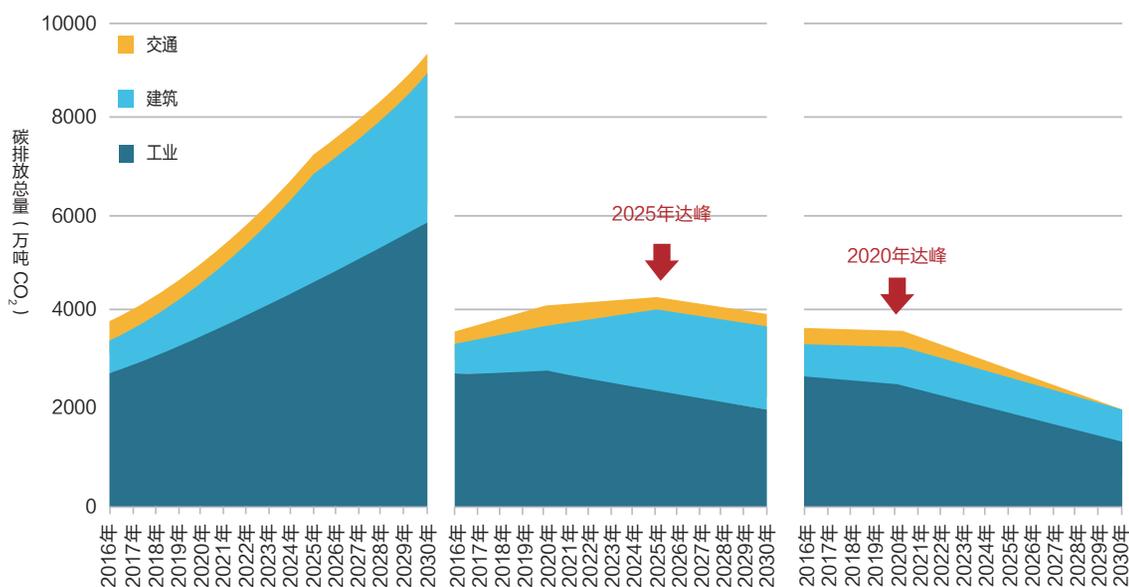


图 3-6 三情景下碳排放总量预测

从分部门看碳排放总量的贡献，参考情景下，工业、建筑和交通三个部门能源碳排放均将呈现不断上升的趋势。依据现阶段张家口市能源消费增长水平，建筑部门未来将成为碳排放的主要增长动力。2016 年，建筑部门碳排放占总排放的 18%，2030 年增至 32%。交通部门增速最慢，碳排放占比由 2016 年的 8% 降至 2030 年的 5%。

低碳情景下，在现有减排措施有所成效以及规划内的各项减排措施和目标逐渐实施后，工业部门碳排放将在 2020 年左右实现，此后逐年下降。建筑部门随着人们生活水平逐渐提升，能源需求不断增加，建筑部门碳排放将在 2030 年前将呈现逐渐增加的趋势。交通部门碳排放将在 2022 年左右实现峰值，其主要可能归因于交通部门实施的新能源车替换行动，包括电动车、氢能源车等替换传统柴油车和汽油车。

示范区情景下，工业部门碳排放自 2016 年起便呈现逐渐下降趋势，其主要原因一方面为工业节能效率的提升，另一方面为非化石能源的大力替代。建筑部门虽然能源需求不断提升，但由于张家口市非化石能源替代比重将大量提升，因此建筑部门碳排放将在 2023 年左右实现峰值。非化石能源占比的提升，使得电力更加清洁，从而交通部门中电动汽车碳排放将进一步降低，故其 2020 年左右碳排放将实现峰值。

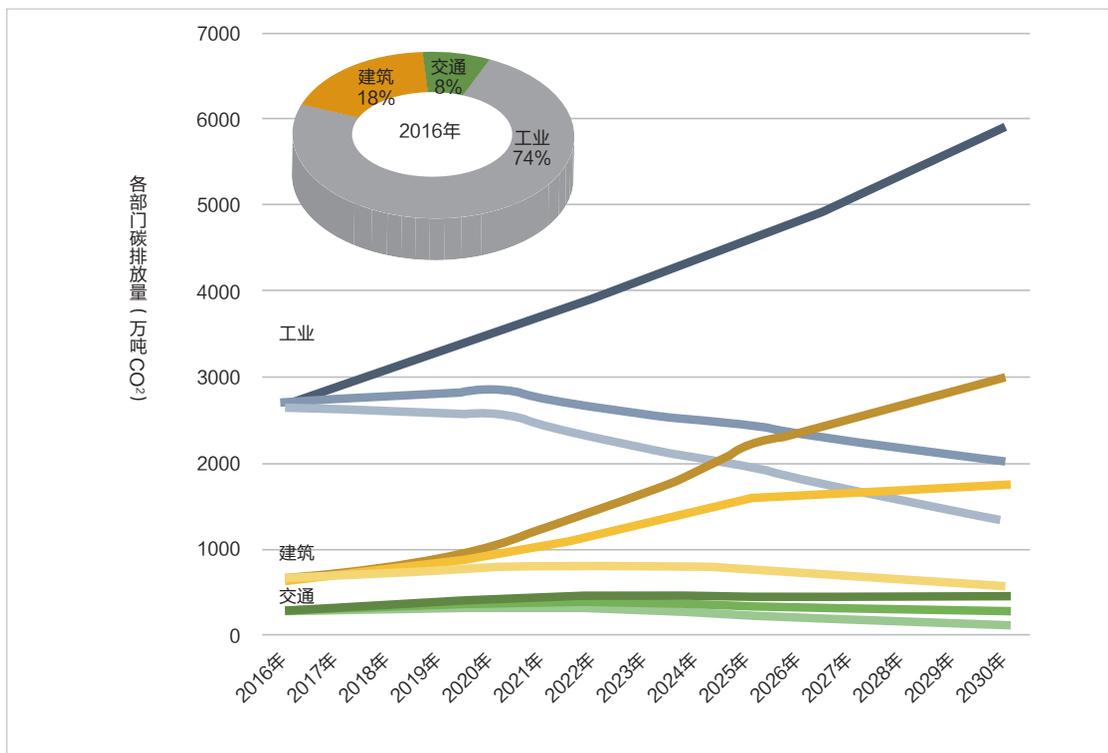


图 3-7 分部门三情景下碳排放变化

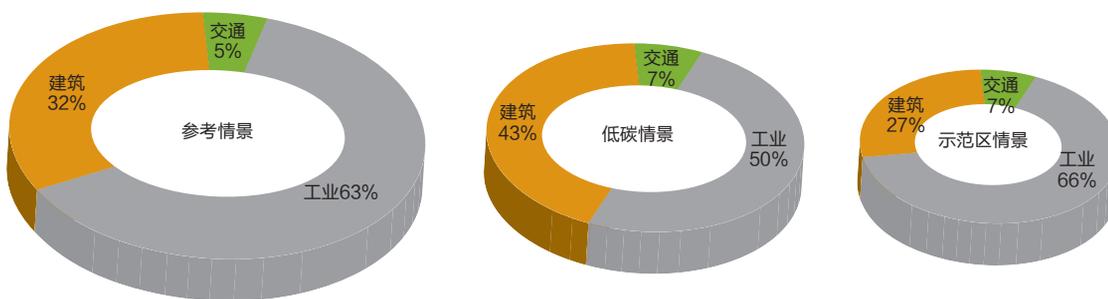


图 3-8 2030 年三情景下碳排放结构

3.3 碳排放总量目标部门分解

对张家口市工业、建筑和交通三部门的碳排放目前现状以及趋势进行分析，并在此基础上预测不同情景下三部门碳排放情况，可有针对性地实施张家口市碳排放控制，从而实现碳排放总量控制。

3.3.1 工业部门

工业部门为张家口市主要能源消费部门，2016年工业部门用能占终端用能总量的52%。分析工业部门能源消耗现状、趋势并在此基础上预测未来一段时间内工业部门的碳排放，是有效控制张家口市碳排放总量的必要环节。

(1) 预测框架

依据各行业总产值、单位产值能耗及单位能耗碳排放，对工业部门碳排放进行预测。目前张家口已采取政策措施，并充分考虑张家口市过去单位产值能耗变化情况，通过设定不同情景下，上述三个指标来实现工业部门碳排放预测。相较于其他传统行业，张家口市提出培育“四大两新一高”产业，推动张家口市产业升级，形成高端绿色产业体系的目标。本研究也充分考虑其产业行业转型进展。

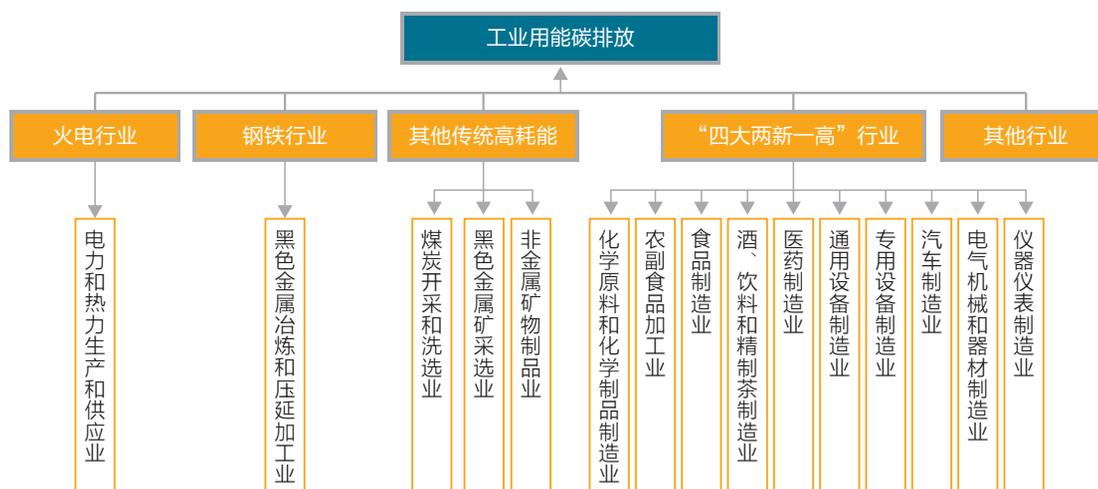


图 3-9 工业部门框架图

(2) 参数设计

工业部门碳排放，依据下式进行计算。工业碳排放 = \sum 工业总产值 * 单位产值能耗 * [(1 - 电力占比) * 单位能耗碳排放_{化石能源} + 电力占比 * (1 - 可再生能源电力占比) * 单位电力碳排放_{华北地区}]。各行业总产值年均增幅：研究参考张家口市 GDP 增速及工业在 GDP 中比重，设置在 2020 年、2025 年和 2030 年分别降低至 36%、35% 和 32%。在低碳情景和示范区情景下，火力、钢铁产能进行调整，参考近年来产能退出速度及规划计划设置，此外，四大两新

一高逐渐成为支柱产业。单位产值能耗：在参考情景下，单位产值能耗参考 2016 年水平；在低碳情景和示范区情景下，由于钢铁产业 2020 年前工业流程将进行电炉钢调整，因此钢铁行业在 2017–2020、2020–2022、2022–2025、2025–2030 四个阶段年均降低分别为 7%、5.6%、5.6% 和 4.36%。其他行业年均降幅保持在 4% 左右。各行业电力占能耗比重：参考情景下，各行业电力比重参考 2016 年水平不变；在低碳情景下，参考全国各行业平均水平，此外，农副食品加工业、医药制造业、烟草制品业等电力占比较低的行业电力占比逐年增加。示范区情景将在低碳情景下，进一步调整钢铁、化学原料等高耗能产业中的电力占比。电力中清洁电力占比：在参考情景和低碳情景下，清洁电力占比在 2030 年达到 20% 水平；在示范区情景下，由于大力发展可再生能源电力，工业部门清洁电力占比将大幅提升，2020 年达到 55%，2022 年达到 60%，2030 年达到 80% 的目标。

(3) 碳排放预测

通过对工业部门不同情景下预测，发现在参考情景下，工业部门碳排放量将不断上升，到 2030 年，工业部门排放总量将升至 5869 万吨 CO₂，增加至 2016 年的 2.15 倍，年均增速 5.6%。

在低碳情景下，工业部门碳排放将于 2020 年达到峰值，峰值水平为 2867 万吨 CO₂，此后排放缓慢降低。2016–2020 年，工业部门年均碳排放增长率为 1.3%，2020–2030 年间，年均增长率变为 -0.14%。而在示范区情景下，工业部门碳排放 2016 年便达到峰值，此后逐渐下降。

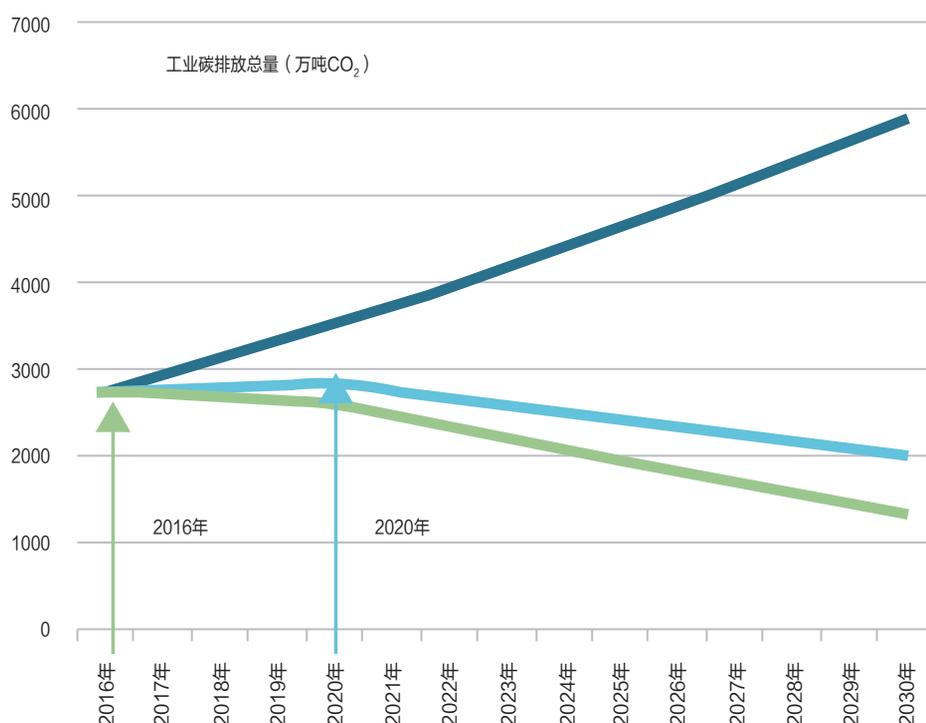


图 3-10 不同情景下工业部门碳排放预测

在工业部门碳排放构成中，火电行业、钢铁行业为主要贡献行业。参考情景下，2016–2030 年，工业部门碳排放增量中，钢铁行业、火电行业分别贡献 39.3% 和 34.3%，而四大两高一新兴产业仅贡献 9.27%。

示范区情景相较于参考情景，2030年需额外减排4494万吨CO₂，而减排贡献部门同样集中在火电行业和钢铁行业，其减排空间分别为35.2%和44.0%。火电行业和钢铁行业是张家口市能源消耗和碳排放的主要主体，能耗量和碳排放量较大、边际减排成本相对较小。因此在减排初期，重点控制钢铁行业和火电行业碳排放，可快速实现减排效果。

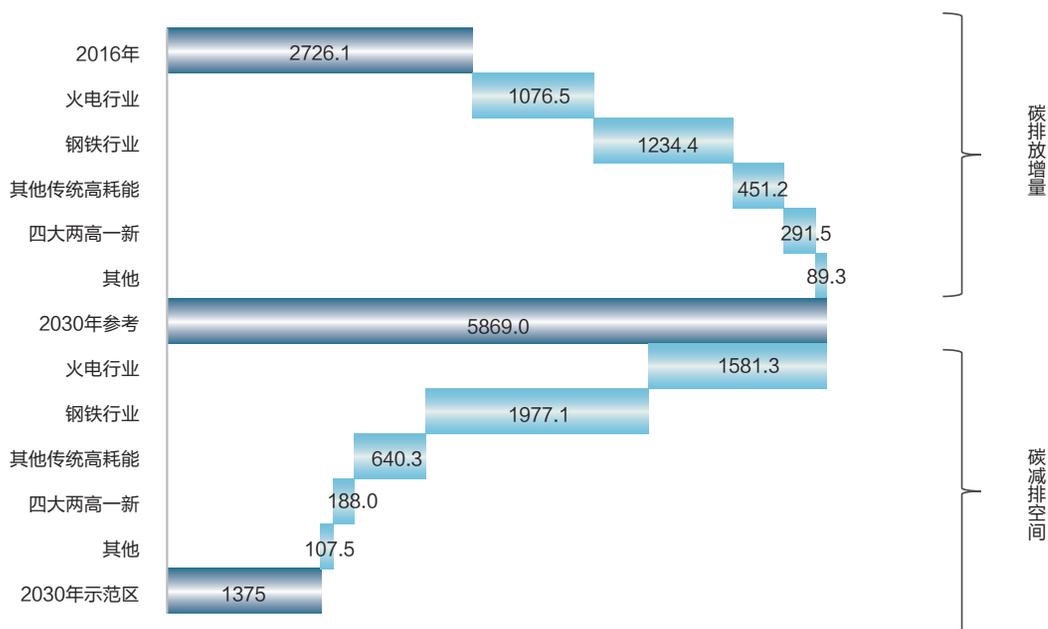


图 3-11 工业部门碳排放行业增量及减排空间 (单位: 万吨 CO₂)

3.3.2 交通部门

交通部门在未来一段时间碳排放量将不断增长，且交通部门受冬奥会影响较大，自冬奥会申办成功后，张家口市各项基础设施建设对客运碳排放增加量影响较大；随着冬奥会举办，张家口旅游业发展，客运需求增加，客运部门碳排放也将随之提升。

(1) 预测框架

交通部门碳排放预测中，考虑了对外交通和内部交通两部门，其中对外交通为除市内公交外的其他大型客运和货运交通。内部交通包括市内公交和出租车；社会私人交通：私人小汽车、摩托车等；以及慢行交通，包括自行车和步行。

参考情景下，交通部门碳排放总体上按照现状能耗水平与活动强度变化情况而定；低碳情景下，将参照河北省以及张家口市相关节能减排文件中目标设置而定；示范区情景在低碳情景基础上，增加了张家口市建设国家级可再生能源示范区相关指标设置。

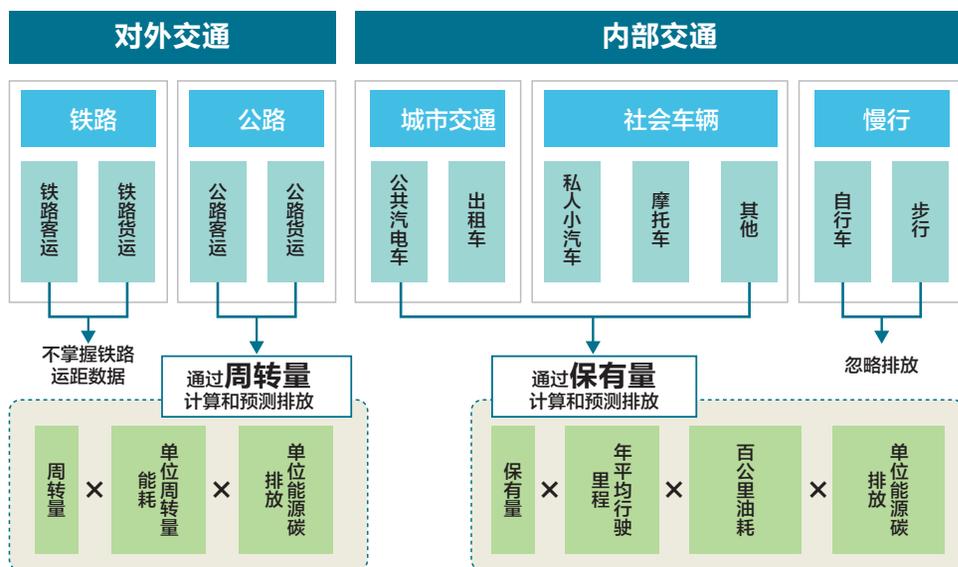


图 3-12 交通部门框架图

(2) 参数设计

交通部门在参数设置中，参考情景下，总体按照现状能耗水平与活动强度进行设置；低碳情景下，参照省或市节能减排相关文件目标设置；示范区情景下，在低碳情景的基础上，参考张家口市国家级可再生能源示范区相关目标设置。交通部门碳排放主要与各种类型机动车保有量、机动车周转量、单位周转量能耗以及单位能耗碳排放指标相关。交通部门详细参数见附件 1。

① 公交车

三情景下，公交车预计保有量将在 2030 年分别达到 11、18 和 20 标台 / 万人。在低碳情景下，2020 年柴油公交车将全部被替换，且新增车辆为电动汽车和氢能源公交车；示范区情景下，在低碳情景基础上，张家口市的天然气和气电混动车也逐渐由氢能源公交车替代。

② 出租车

三情景下，出租车保有量均将在 2030 年达到 25 辆 / 万人。在参考情景下，出租车中汽油、天然气和电动车将达到 54%：42%：4%。在低碳情景下，原有汽油出租车将在 2022 年前全部改为天然气车，新增车辆为电动汽车；示范区情景下，在低碳情景基础上，加大氢能公交车比重。

③ 私家车

由于私家车保有量与人均 GDP 存在正相关关系，因此在参考情景下，私家车保有量依据人均 GDP 关系计算；而低碳和示范区情景下，私家车增长略微放缓，2030 年分别达到 130 和 110 辆 / 千人。在低碳情景下，2030 年，电动私家车达到 10%；而示范区情景在低碳情景基础上，推广氢能源私家车，到 2030 年，推广为 1.28 万辆。

④ 对外客运

由于冬奥会影响，将对张家口市对外客运造成较大影响，在参考情景下，客运周转量将在

2016–2020年、2020–2022年、2022–2025年和2025–2030年年均增长率分别为5%、15%、20%和10%。而由于受到高铁开通分流影响，低碳和示范区情景下，预计2020–2030年分流量由30%增长到80%。受到氢能公交车推广影响，在2030年，低碳和示范区情景下，占比将分别达到10%和30%。

⑤ 对外货运

对外货运受到冬奥会建设影响，将快速增加，但2022年之后将逐年下降。货运单位运输周转量能耗将在低碳情景下和示范区情景下分别参考河北省和张家口市发展目标设定。

(3) 碳排放预测

在参考情景下，交通部门碳排放量将呈现持续增长趋势，但受到冬奥会影响，在2022年之后有小幅回落，调整后继续上涨。2016年，交通部门碳排放量为312万吨CO₂，此后快速增值2022年的462万吨CO₂，年均增幅达到6.8%。此后缓慢升至2030年的507万吨CO₂，2022–2030年，交通部门碳排放年均增幅仅为1.2%。

在低碳和示范区情景下，张家口市交通部门碳排放将分别于2022年和2020年实现峰值。其中低碳情景下，2022年峰值水平为391万吨CO₂，此后缓慢下降至2030年的278万吨CO₂。2016–2022年以及2022–2030年，碳排放增速分别为3.8%和-4.2%。而示范区情景下，2020年将达到峰值，排放为339万吨CO₂，之后快速下降至2030年的145万吨CO₂。2016–2020年以及2020–2030年增速分别为2.1%和-8.1%。

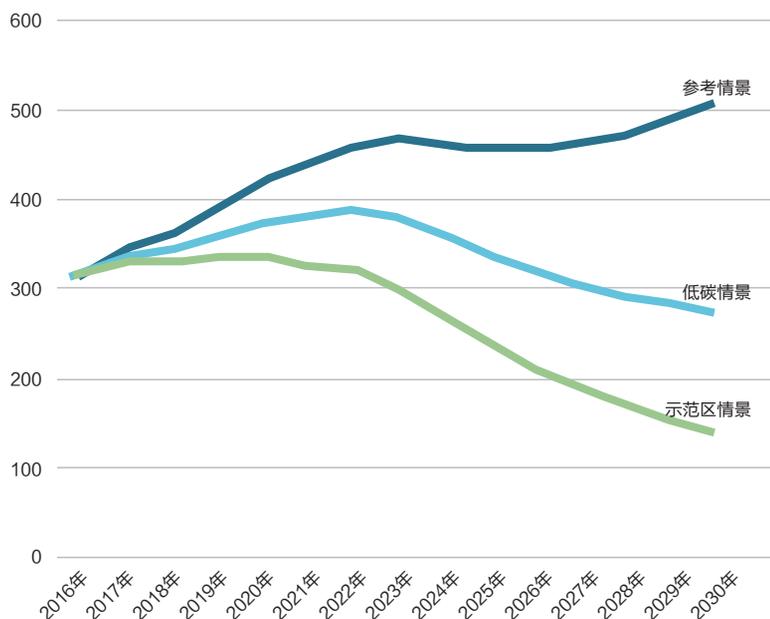


图 3-13 交通部门三情景下碳排放总量预测 (单位: 万吨 CO₂)

分类型看交通部门碳排放贡献，可看出参考情景下，2016–2030年，交通部门排放增长的主要贡献为私家车排放，贡献比达到69.5%，这与随着人们生活水平提升，私家车需求量加大关系密切。其次为公路货运，贡献比为14.2%，冬奥会带来的基础设施建设影响较大。若实现示范区情景2030年交通部门的大力减排，主要可通过公路货运和私家车两部门减排，可达到85.9%的减排量。

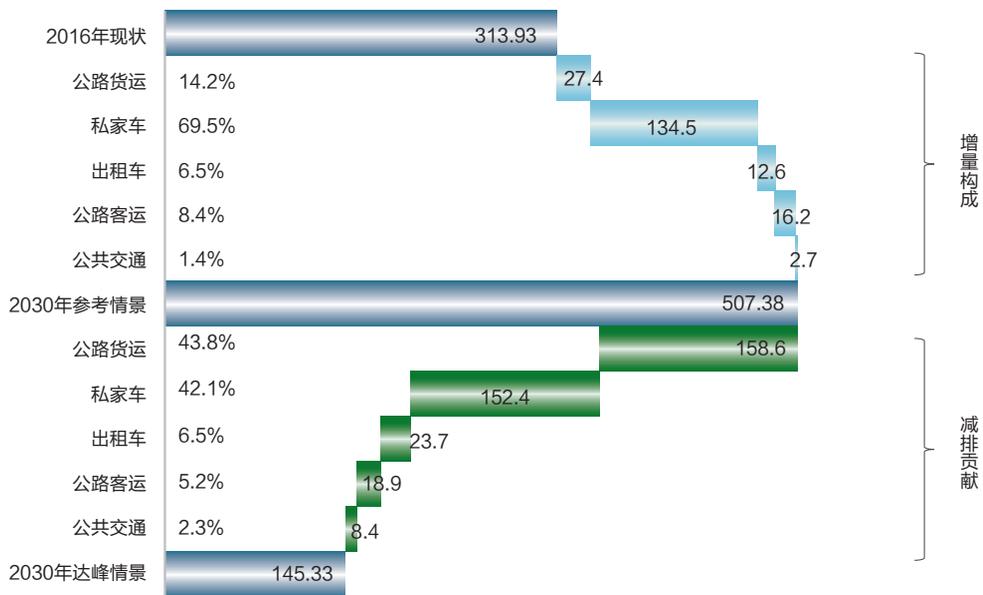


图 3-14 交通部门减排贡献 (单位: 万吨 CO₂)

内部交通中，在参考情景下，内部交通碳排放呈现快速增加的趋势，排放量由 2016 年的 103 万吨 CO₂，增长至 2030 年的 252 万吨 CO₂，共增长 2.45 倍，年均增长率高达 6.6%。私家车为主要贡献部门，2016 年，私家车排放占比为 83.2%，2030 年，占比进一步增加至 87.4%，这主要由于私家车拥有量快速增加，导致排放量增加。

低碳情景下，内部交通将在 2025 年左右实现峰值，此后缓慢下降，2025 年峰值水平为 123 万吨 CO₂，此后缓慢将至 2030 年的 120 万吨 CO₂。2016–2025 年间和 2025–2030 年，碳排放年均增长率分别为 2.0% 和 -0.5%。从占比看，仍以私家车占比最高，由 2016 年的 83.2% 增至 2030 年的 86.1%。

示范区情景下，内部交通将在 2020 年左右便实现峰值，峰值水平为 109.2 万吨 CO₂，此后快速将至 2030 年的 67.8 万吨 CO₂。

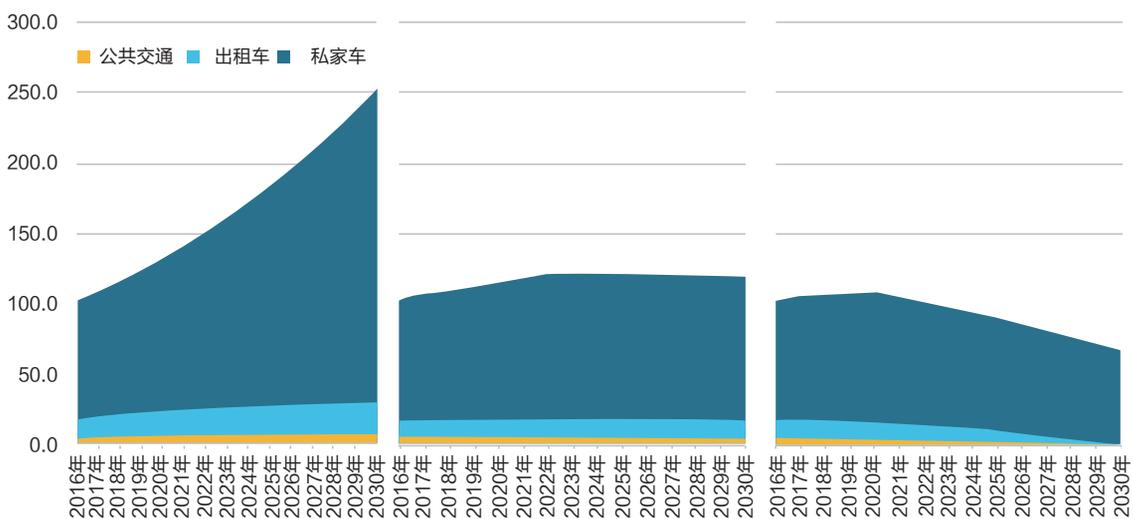


图 3-15 三情景下内部交通碳排放组成 (单位: 万吨 CO₂)

从交通类型看，公交车在参考情景下，2022年柴油车全部被替换，新增车辆中50%为电动车，50%为氢能源公交车，但由于公交车数量的增加，因此在参考情景下，公交车碳排放仍将不断上升，由2016年的5.7万吨CO₂到2030年升至8.4万吨CO₂。低碳情景下，除了柴油车替换，新增新能源公交车外，电动车的碳排放强度将随着电力结构的优化而排放量降低，因此2016–2022年间，公交车碳排放快速下降，但由于冬奥会后，张家口市各项基础设施建设的跟紧，公交车数量大幅增加，从而在2022–2030年间由呈现略微上升的趋势。示范区情景中，2020年前柴油车被替换，2020年后，天然气、气电混动逐渐被替换为氢能源公交车，且新增车辆均为氢能源公交车，此外，电动公交车的用能将在2030年达到100%可再生能源供给，因此，示范区情景下2030年公交车基本实现零碳排放。

参考情景下，出租车将按照现状燃料汽车构成不变，因此其碳排放量将呈现不断上升趋势，将由2016年的11.1万吨CO₂逐渐增至2030年的23.7万吨CO₂。低碳情景下，出租车将在2022年完成油改气，此后天然气车逐渐替代为电动汽车，且新增车辆全部为电动汽车。随着电动汽车用能中，非化石能源电力比重的增加，低碳情景下，出租车碳排放将在2022年达到峰值，峰值水平为14.2万吨CO₂，此后缓慢下降至2030年的11.7万吨CO₂。示范区情景下，2030年全部出租车替换为电动出租车，且用电全部来自非化石能源，因此，示范区情景下，出租车碳排放将逐年降低，到2030年基本实现零排放。

私家车作为内部交通的主要排放部门，在参考情景下，其碳排放将迅速增加，由2016年的86万吨CO₂增加至2030年的220万吨CO₂。但在低碳情景下，私家车将会在2025年达到峰值，峰值水平为104万吨CO₂，此后缓慢将至2030年的103万吨CO₂。在示范区情景下，将在2020年达峰，峰值水平为94万吨CO₂，之后逐渐降至2030年的68万吨CO₂。

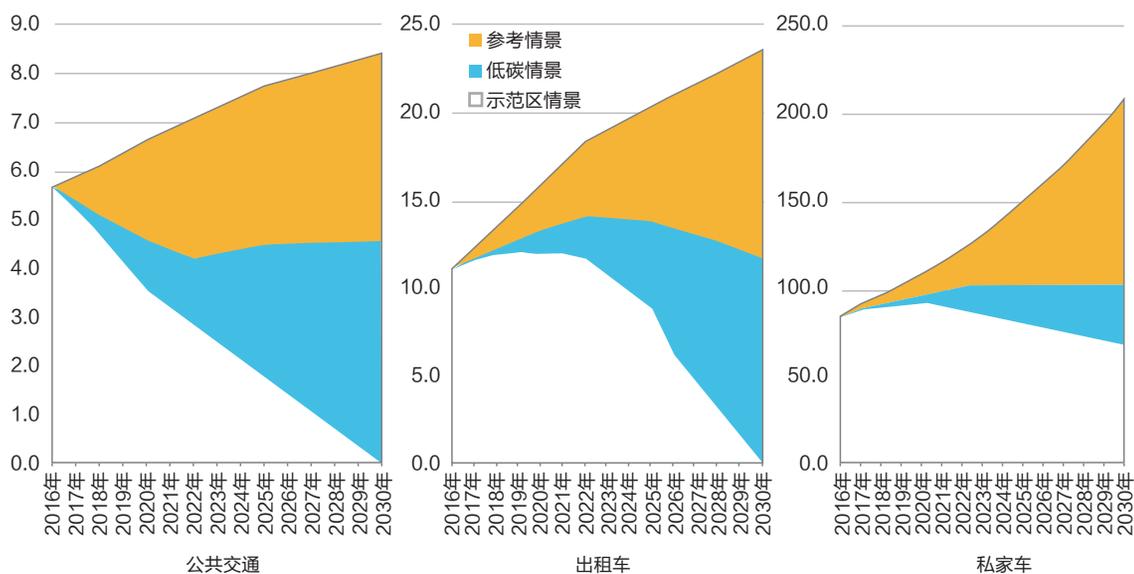


图 3-16 三情景下内部交通碳排放情况 (单位: 万吨 CO₂)

公路货运和客运中，客运占比较小，对对外交通达峰影响较小。在参考和低碳情景下，对外交通均将在2022年左右实现峰值，在示范区情景下，对外交通将在2020年实现峰值。其峰值实现时间与货运相同。

由于货运影响受到冬奥会影响较大，因此冬奥会之后，货运需求将大幅下降，碳排放也将随之降低。参考情景下，货运2022年达峰水平为303万吨CO₂，较低碳情景达峰水平的265万吨CO₂，多排放了38万吨CO₂。示范区情景下，货运2020年峰值水平为226万吨CO₂。2030年，三情景碳排放将分别为234万吨CO₂，155万吨CO₂和76万

吨 CO₂。由此看出，货运减排空间较大，且对对外交通整体影响大，控制货运碳排放，将明显影响交通部门碳排放量。

客运部门在参考情景下，其碳排放将不断增加，由 2016 年的 4.7 万吨 CO₂ 增至 2030 年的 20.9 万吨 CO₂，增幅十分迅速。但在低碳情景和示范区情景下，客运部门碳排放将在 2025 年左右实现峰值。

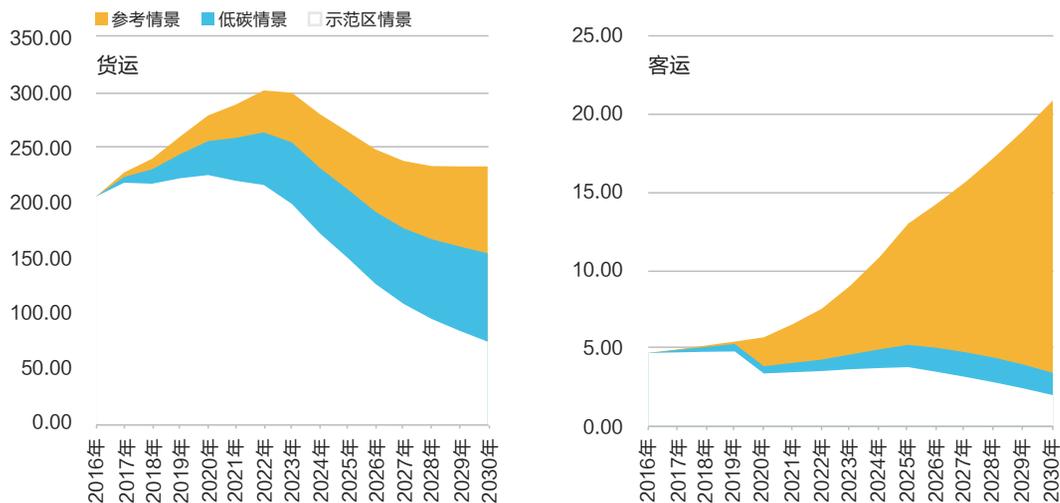


图 3-17 三情景下对外交通碳排放情况 (单位: 万吨 CO₂)

3.3.3 建筑部门

随着人们生活水平提升，建筑部门也将成为 碳排放的主要贡献部门，探索建筑部门碳排放构成，识别主要排放源，有针对性地控制建筑部门碳排放增量。

(1) 预测框架

建筑部门碳排放预测部门主要包括城镇住宅、公共建筑和农村住宅运行过程中的碳排放，主要分建筑采暖碳排放和其他碳排放分别进行预测分析。并考虑大数据产业快速发展带来的能耗碳排放影响。

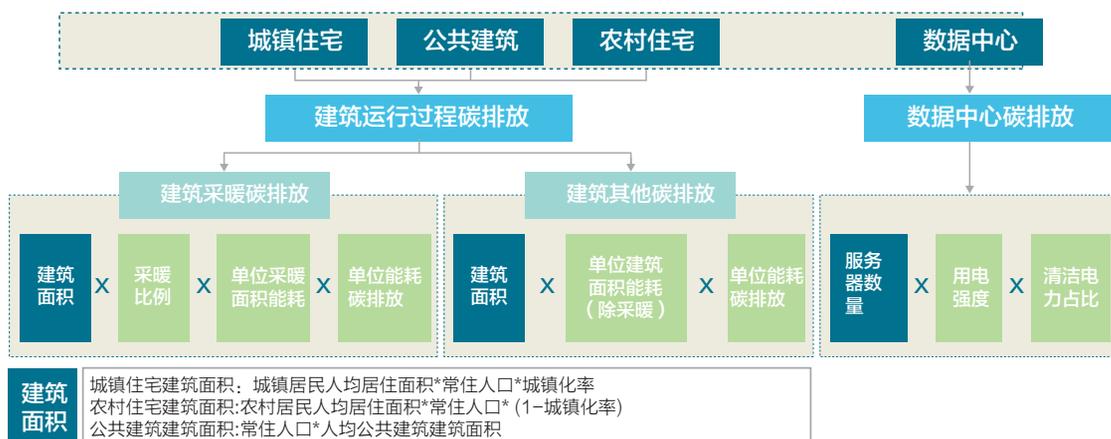


图 3-18 建筑部门碳排放框架

(2) 参数设计

①住宅和公共建筑参数设置

目前张家口市城镇化率为 54.2%，城镇住宅和农村住宅人均居住面积分别为 32 和 25m²/人，采暖建筑分别为 90% 和 61%，根据研究报告（江亿，2018），设定公共建筑和城镇住宅建筑采暖面积能耗分别为 14.2kgce/m²。

表 3-2 2016 年建筑部门各指标及来源

	指标	2016 年			数据来源
人口	常住人口（万人）	442.5			张家口经济年鉴
	城镇化率	54.2%			张家口经济年鉴
		公共建筑	城镇住宅	农村住宅	
面积	人均居住面积（m ² /人）	/	32.16	25.25	张家口经济年鉴
	人均公建面积（m ² /人）	6	/	/	按河北省估算
	采暖建筑占比	90%	90%	61%	按城管局数据估算
能耗强度	单位采暖面积能耗（kgce/m ² ）	14.2	14.2	/	江亿等.《中国碳排放：尽早达峰》
	农村生物质能（kgce/m ² ）	/	/	4.5	李永等，2016.
	单位面积非采暖能耗（kgce/m ² ）	21.3	9	7.5	参考：江亿等 2018；李永等，2016.

张家口市目前城镇人均住宅建筑面积为 32.2m²/人，全国平均水平为 28.1 m²/人。参考相关研究报告（江亿，2018），并充分对比各主要国家人均住宅面积与人均 GDP 变化对比图，设定张家口市城镇人均住宅面积参数，参考情景、低碳情景和示范区情景下，2030 年城镇人均住宅面积将分别为 40.2、38 和 36m²/人。

而与城镇住宅总面积不断提升不同，农村住宅面积随着城镇化水平的提升逐渐减少。2016 年，农村人均住宅面积为 25.3m²/人，总面积 5117 万平方米，根据文献调研和张家口历史趋势，设定 2030 年张家口市人均居住面积 35.3m²/人。

张家口市目前人均公共建筑面积约 6m²/人，略高于河北省 2013 年人均公共建筑面积的 5.5m²/人，低于当前中国人均公共建筑面积 7.3m²/人的水平。通过对几个主要国家人均 GDP 与人均公共建筑面积的关系分析，以及参考相关文献（江亿，2018）对中国未来人均公共建筑的情景分析，结合张家口现阶段基础，设定参考情景、低碳情景和示范区情景 2030 年人均公共建筑面积分别达到 12.4、10.6 和 9.5m²/人。

②数据中心参数设置

近些年来，张家口市全面推进大数据建设，加快构建“一带三区多园”大数据空间布局。2013 年，张北云计算产业基地建设启动。截至 2019 年初，已签约大数据项目 22 项，目前已在

全市注册数据中心建设运维企业 16 家。计划总投资约 800 亿元，2020 年服务器规模将逾 150 万台。新产业的布局，将带来新的能耗需求。

根据《中国数坝·张家口市大数据产业发展规划（2019—2025 年）》，通过 3 至 7 年时间，强化要素支撑，补齐基础设施短板，存储雄安、存储京津，大力推进总部经济建设，加快数字城市建设，推进大数据与实体经济深度融合，将张家口市打造成为世界级超大规模数据中心产业集群、国家级绿色数据中心创新示范区、国家级核心大数据装备制造基地、全国大数据创新应用先行区，建成“中国数坝”。到 2021 年，大数据服务器规模突破 150 万台；数据中心对绿色能源的消纳比例上升至 70% 以上。2025 年，大数据服务器规模达到 500 万台；数据中心绿色能源消纳比例上升至 90% 以上。

研究参考张家口市规划数据以及《中国数据中心能耗与可再生能源使用潜力研究》，设定数据中心能耗参数。从而计算其能源消耗带来的碳排放。

表 3-3 数据中心情景参数设置

年份		现状		情景设置	
		2016 年	2022 年	2025 年	2030 年
服务器数量（万台）		8.1	216	500	800
用电强度 万千瓦时 /（台服务器 * 年）		0.24		0.24	
绿色能源消 纳比例	基准情景			0%	
	低碳情景	0%	23%	34.5%	50%
	示范区情景		70%	90%	100%

* 数据来源：张家口可再生能源示范区规划

(3) 碳排放和能耗预测

2016 年，建筑部门能耗总量为 326 万吨标煤，碳排放量 164 万吨 CO₂。随着生活水平提升以及数据中心的建设，建筑部门能耗和碳排放均呈现快速增长趋势。

参考情景下，建筑部门能耗量快速增长，2030 年能耗总量增至 1229 万吨标煤，增至 2016 年的 3.8 倍。年均增速高达 9.9%。其中由数据中心产生的能耗增长最快，成为建筑部门未来中长期能耗主要需求部门，由 2016 年的 6 万吨标煤增至 2030 年的 594 万吨标煤，年均增速高达 38.8%。

低碳情景和示范区情景下，能耗总量均仍呈现高速增长期。2030 年能耗总量将分别达到 1077 万吨标煤和 1014 万吨标煤。剔除数据中心的影响，低碳情景下建筑部门能耗量在 2025 年后将呈现缓慢增长，示范区情景下能耗总量将在 2025 年达到峰值，峰值水平为 429 万吨标煤。

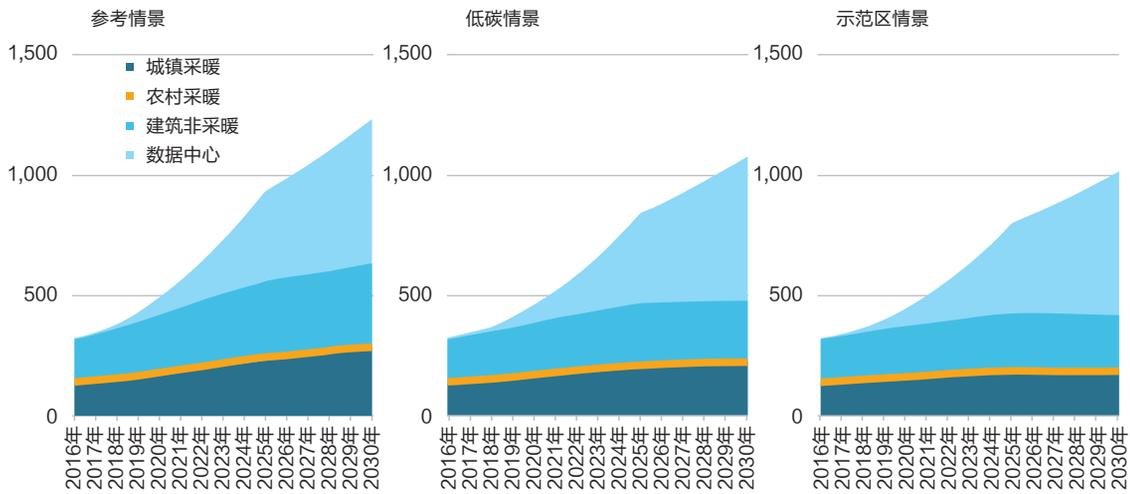


图 3-19 三情景下，建筑部门能耗总量（单位：万吨标煤）

对比参考情景和示范区情景，可得出，城镇采暖能耗强度、城镇住宅（除采暖）和公共建筑（除采暖）三部分能耗强度均得到大幅降低。其中城镇采暖能耗强度由 $14\text{kgce}/\text{m}^2$ 降至 $10\text{kgce}/\text{m}^2$ ，降幅达到 28.6%；城镇住宅（除采暖）能耗强度由 $11\text{kgce}/\text{m}^2$ 降至 $7.6\text{kgce}/\text{m}^2$ ，降幅达到 30.9%；公共建筑（除采暖）能耗强度由 $24\text{kgce}/\text{m}^2$ 降至 $19.25\text{kgce}/\text{m}^2$ ，降幅达到 19.8%。

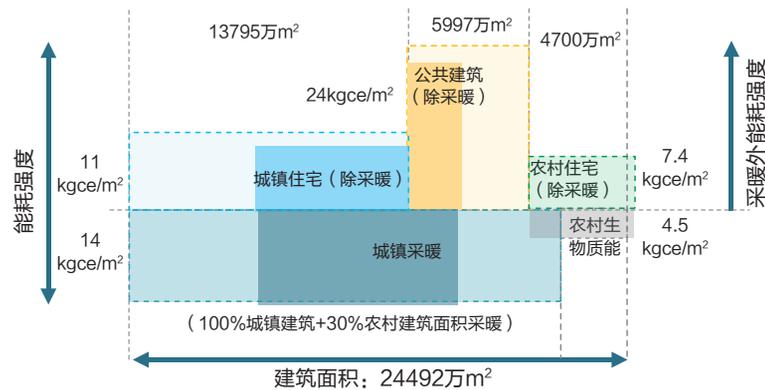


图 3-20 参考情景下能耗构成（不含数据中心）

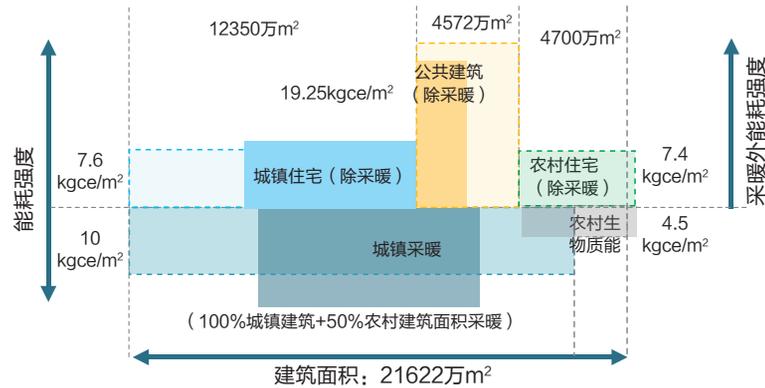


图 3-21 示范区情景下能耗构成（不含数据中心）

2030年前，建筑部门能耗总量在三情景下均快速增加，但由于能源结构优化，非化石能源占比大幅提升，因此在低碳和示范区情景下，碳排放量较参考情景大幅下降。示范区情景下碳排放将在2023年达到峰值。

参考情景下，碳排放总量将由2016年的670万吨CO₂增至2030年的2994万吨CO₂，增幅达到4.5倍，年均增速达到11.3%。2030年，数据中心碳排放将成为建筑部门主要排放组成，占总排放的56.7%。

由于能源结构优化，低碳情景下，建筑部门碳排放在2025年前，增长迅速，但2025年后，由于非化石能源占比迅速提升，建筑部门碳排放逐渐放缓。2030年，碳排放总量为1747万吨CO₂。数据中心仍为主要排放部门，占48.6%。占比较参考情景略有下降。

示范区情景中，数据中心大幅采用非化石能源电力，并在2030年100%使用非化石能源电力，因此数据中心带来的碳排放影响较小。示范区情景下建筑部门碳排放将在2023年达到峰值，峰值水平为829万吨CO₂，并逐渐将至2030年的574万吨CO₂。由于2030年，数据中心基本实现零排放，建筑部门主要碳排放贡献为非采暖排放以及城镇采暖排放，分别占总排放的48.7%和47.5%。

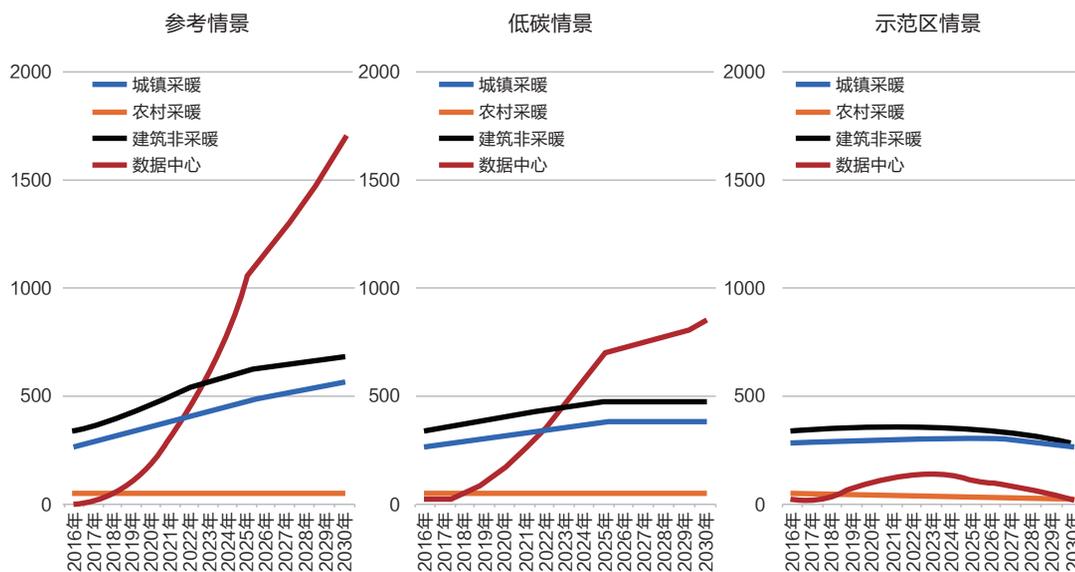


图 3-22 三情景下，建筑部门碳排放量 (万吨 CO₂)

参考情景下，碳排放的主要增长贡献为数据中心，共贡献72.3%，其次为建筑节能和城镇采暖，分别贡献14.6%和12.7%。示范区情景橡胶参考情景，在2030年碳排放将大幅下降，其中主要控制部门仍为数据中心，占70.1%，其次为建筑节能和城镇采暖，分别贡献16.3%和12.1%。

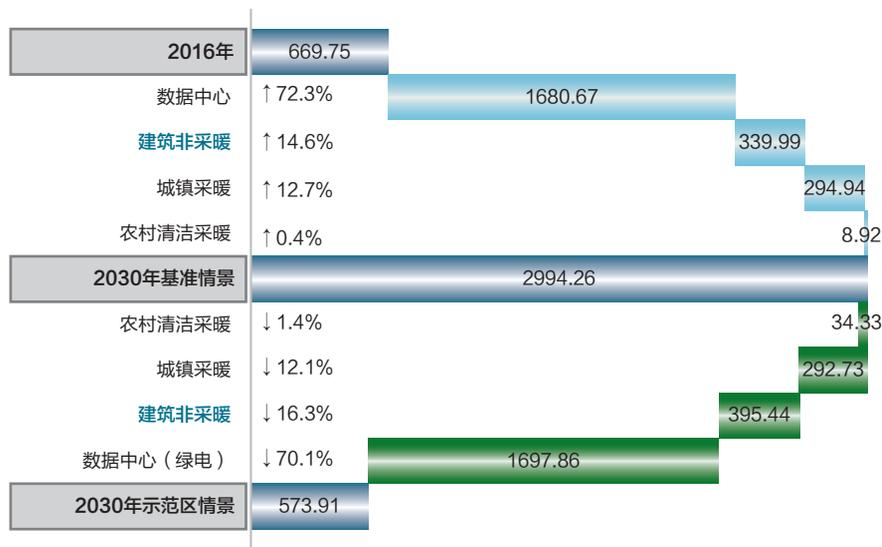


图 3-23 建筑部门排放贡献和减排空间 (单位: 万吨 CO₂)

2016年,城镇采暖中,公共建筑和城镇住宅采暖占比均为90%左右,根据规划,2030年采暖面积将实现100%覆盖。根据调研,目前张家口市单位面积采暖能耗约14.2kgce/m²,在三情景下,该单位能耗将呈现不同速度的下降。此外,非化石能源电力在采暖中的占比也将不断上升,从而推进张家口市实现非化石能源占终端能源消费比重大幅增长的目标。

城镇采暖能耗在参考情景和低碳情景下,将呈现不同速度的增长,分别增至2030年的277万吨标煤和209万吨标煤,年均增速分别为5.4%和3.3%。在示范区情景下,城镇采暖能耗将在2026年达到峰值,峰值水平为175万吨标煤,此后缓慢下降至2030年的169万吨标煤。

与能耗趋势一致,在参考情景和低碳情景下,城镇采暖碳排放将持续增加,分别增至2030年的565万吨CO₂和381万吨CO₂。年均增速分别为5.4%和2.5%。示范区情景下,碳排放总量将在2025年达到峰值,峰值水平为301万吨CO₂,此后缓慢将至2030年的273万吨CO₂。2030年示范区情景下碳排放仅是参考情景下的48.3%。

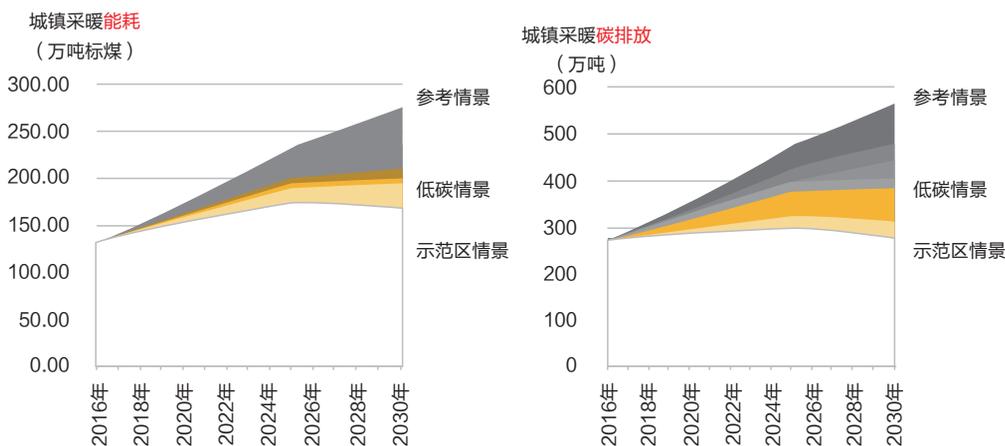


图 3-24 城镇建筑采暖能耗和碳排放

农村采暖多为分散式采暖，不同于城市的集中供暖。现阶段农村地区采暖均为分散式采暖，参考、低碳和示范区三情景下，将设置 2030 年农村地区清洁采暖比分别为 14%、30% 和 50%。此外，采用电采暖过程中，绿色电力比重将分别为 0、50% 和 100%。

相较于城镇采暖，农村采暖能耗和碳排放比重很小。三情景下，农村采暖能耗均将呈现不断上升趋势，将由 2016 年的 23 万吨标煤，分别增至 2030 年的 43.5 万吨标煤、31 万吨标煤和 24.8 万吨标煤。年均碳排放增长率为 4.7%、2.2% 和 0.5%。

参考情景下 2030 年前碳排放量不断增加，由 2016 年的 47 万吨 CO₂ 增至 89 万吨 CO₂，年均增速 4.7%。低碳情景下，农村采暖将在 2025 年达到峰值，此后呈现基本稳定的趋势。而示范区情景下，自 2016 年起，农村采暖碳排放便呈现下降趋势，2030 年降至 22 万吨 CO₂，年均增速 -5.3%。

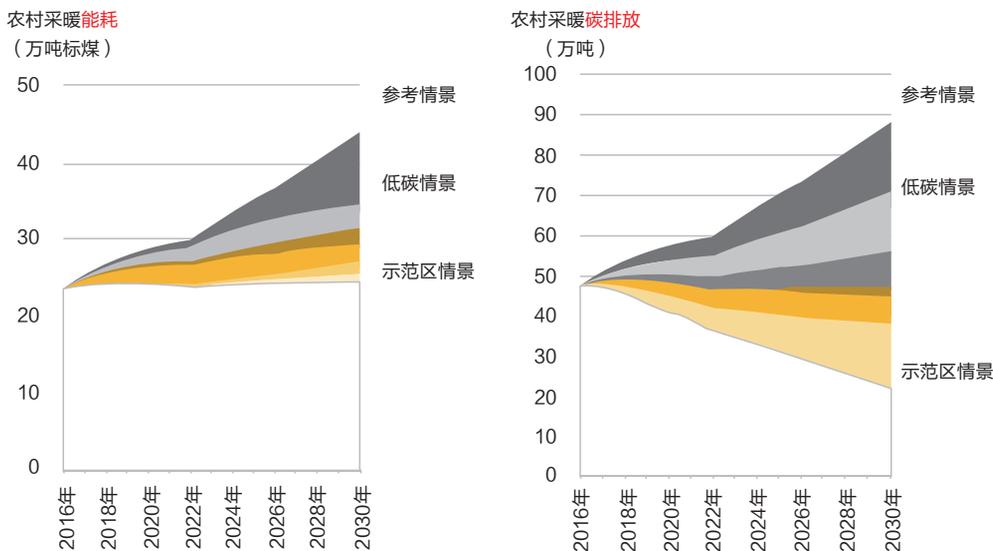


图 3-25 农村建筑采暖能耗和碳排放

建筑非采暖能耗中包括公共建筑能耗、城镇住宅和农村住宅非采暖能耗，主要有制冷、灶具、热水、照明等部分组成。研究在建筑非采暖能耗单位能耗强度中指标设置中，充分参考江亿院士关于建筑运行能耗强度优化情景分析中所采用指标设置。以及河北省政府印发的《河北省节能“十三五”规划》中提出的到 2020 年，单位建筑面积能耗下降 10%；公共机构单位建筑面积能耗下降 10% 以上；城镇公共建筑能耗降低 5% 等目标。在单位能耗碳排放指标设置中，参考《张家口可再生能源示范区规划》，到 2020 年，40% 的城镇居民生活用能、50% 的商业及公共建筑用能来自可再生能源到 2022 年，50% 的城镇居民生活用能来自可再生能源；到 2030 年，100% 的城镇居民生活用能来自可再生能源的目标。

参考情景下，在建筑非采暖能耗和碳排放均呈现不断上涨的趋势，2016 年，能耗总量为 164 万吨标煤，碳排放为 335 万吨 CO₂，增至 2030 年的 331 万吨标煤和 675 万吨 CO₂，碳排放年均增速 5.1%。在低碳情景下，非采暖能耗水平不断提升，2030 年达到 244 万吨标煤，碳排放水平在 2025 年达到峰值，峰值水平为 473 万吨 CO₂，此后缓慢下降至 2030 年的 471 万吨 CO₂。在示范区情景中，非采暖能耗将在 2025 年达到峰值，为 222 万吨标煤，此后缓慢降至 217 万吨标煤。而碳排放将在 2022 年达到峰值，为 358 万吨 CO₂，此后降至 280 万吨 CO₂。

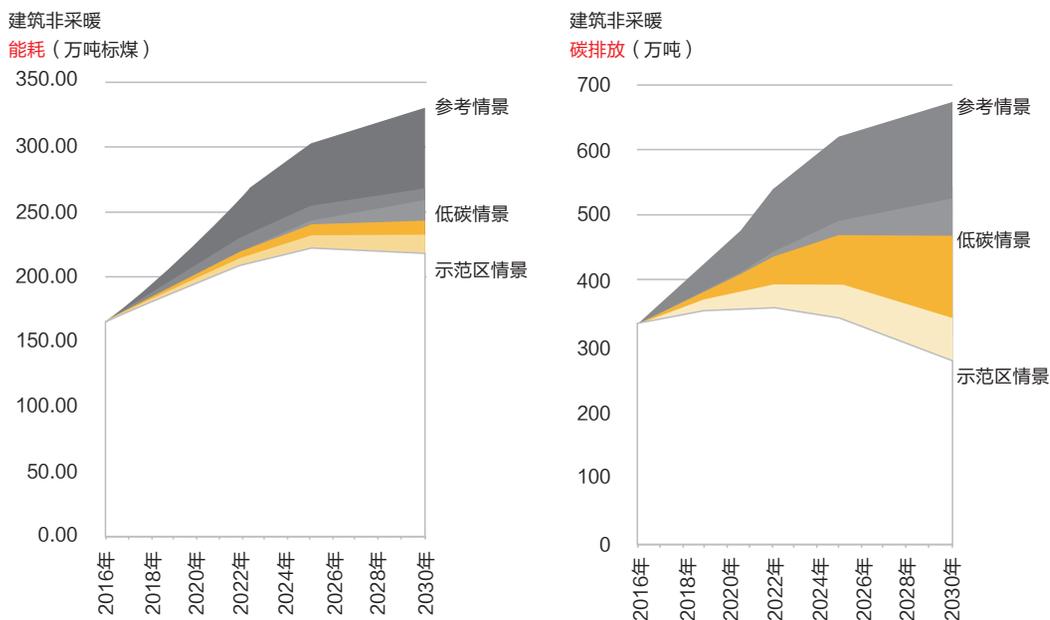


图 3-26 非采暖能耗和碳排放

数据中心的建设将对张家口市未来一段时间碳排放和能耗需求影响较大。由于数据中心主要能耗种类为电力，因此非化石电力占比对数据中心碳排放控制十分重要。根据调研，预计2022年，数据中心服务器将达到216万台，碳排放达到460万吨CO₂，但若将非化石用电占比提升至70%，则可减排321.6万吨CO₂。2025年时，预计服务器将达到500万台，此时参考情景下碳排放将达到1061万吨CO₂，若将非化石电力提升至90%，则可实现955万吨CO₂的减排量。2030年，预计服务器达到800万台，碳排放达到1698万吨CO₂，通过四方机制全部使用非化石电力，则可实现数据中心的零排放。

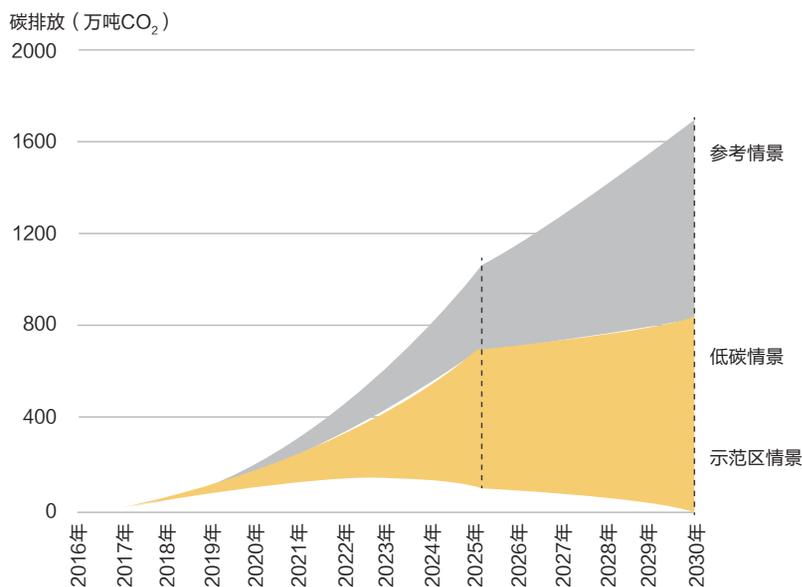


图 3-27 数据中心碳排放预测

3.4 小结

本节首先对研究方法学模型框架进行介绍，并利用所构建模型对张家口市 2016–2030 年能源消费总量和碳排放进行预测，共分为三个情景，分别为参考、低碳和示范区情景，研究发现在三个情景下，张家口市能源消费总量均将呈现不断上升的趋势，但由于张家口市非化石能源消费比重的不断增加，其碳排放总量虽在参考情景下不断增加，但在低碳和示范区情景下，其碳排放总量将分别于 2025 年和 2020 年左右达到峰值。

在总量预测基础上，对张家口市碳排放进行部门分解，自下而上的建立了张家口市分部门碳排放预测方法，对工业、交通和建筑三部门 2030 年前碳排放量进行了情景预测。工业部门针对本市主要高耗能行业以及“四大两新一高”行业，考虑到各行业工业总产值、单位产值能耗等设定；交通部门分为对外交通和内部交通两部门进行预测，通过对各交通工具周转量及交通工具能源类型以及能耗水平设置进行预测；建筑部门通过分析居民建筑和公共建筑的采暖和非采暖能耗及排放进行预测。

通过预测发现，三部门在参考情景下，其碳排放均将呈现快速增长的趋势。工业部门在低碳情景和示范区情景下将分别于 2020 年和 2016 年达到峰值，为实现工业部门尽快达峰，应严格控制火电和钢铁行业碳排放。交通部门由于受冬奥会影响较大，参考情景下其排放将在 2022 年之后呈现略微下降之后快速上升。但低碳情景和示范区情景下，交通部门碳排放将分别在 2022 年和 2020 年达到峰值，若实现交通部门碳排放尽快达峰，减排贡献主要矮子公路货运和私家车。建筑部门由于数据中心的建立和发展，将大量消耗电力，从而导致其在三情景下能耗均快速增长，且数据中心的建立将逐渐成为建筑部门的主要能耗组成，但随着张家口市非化石能源电力替代程度增加，数据中心能耗虽大但碳排放量快速下降，建筑部门碳排放示范区情景下将在 2023 年左右达到峰值。



图 3-28 张家口市农村地区的现有冬季保温措施

4 张家口碳排放总量控制的方法学及政策建议

处于国家级可再生能源示范区、冬奥会举办城市及京津冀协同发展战略等多个重大发展机遇期的张家口，可依托本地资源优势，以低碳发展推动城市建设，将有机会率先成为我国绿色低碳发展的先行城市，为同类城市提供发展经验。

为此，建议张家口市将碳排放总量控制工作纳入“十四五”国民经济与发展规划以及政府重点工作方案中，自上而下建立碳排放总量控制目标，将可再生能源基础设施建设及清洁能源本地消纳、电力等能源外输等进行综合考虑，自下而上分部门分解落实总量目标。优化形成以新能源等六大领域为代表的低碳产业，推进可再生能源本地消纳利用实现清洁采暖与建筑用能低碳化，构建以公共交通、氢能源交通为主的低碳交通体系，以确保张家口市碳排放总量得到有效控制，使碳排放尽快达峰。

4.1 碳排放总量控制路径研究的方法学

本研究构建碳排放总量控制路径研究的方法学（如图 4-1），在 2016—2030 年碳排放情景研究的基础上，对减排目标进行部门分解，提出各部门的碳排放总量控制目标与控制路径的初步方案。

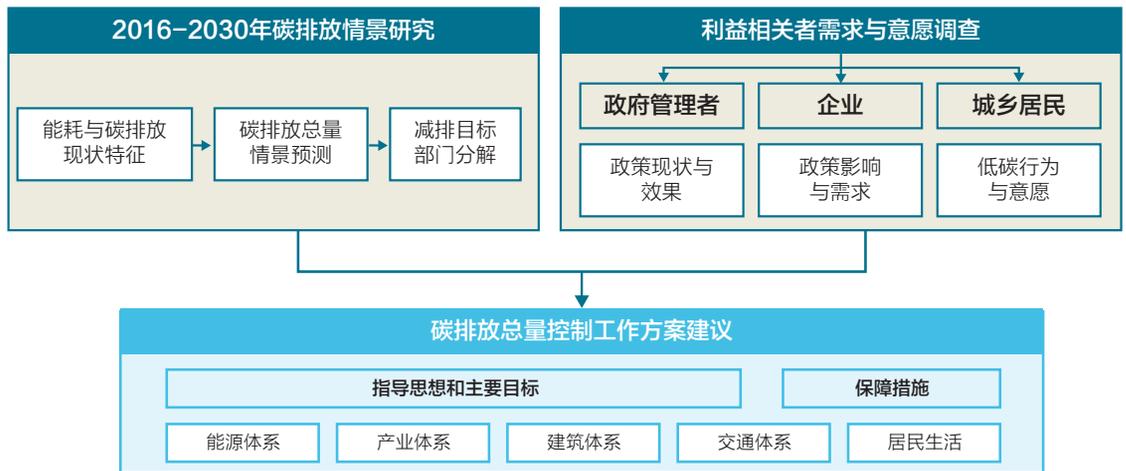


图 4-1 碳排放总量控制路径研究的方法学

城市的低碳发展需要城市管理者协调相关企业及城乡居民的利益，为了提出更有针对性的张家口市碳排放总量控制政策建议，项目组对城市管理者、用能企业及城乡居民进行了深入的需求与建议调研，其中关注城市管理者对政策现状与效果的评价、用能企业受相关政策影响及需求、城乡居民的低碳行为现状与意愿。

结合碳排放总量控制路径及各利益相关者的具体需求建议，进一步提出碳排放总量控制工作方案建议，以对城市未来发展提出具体的参考。

4.2 碳排放总量控制目标

针对张家口市目前发展目标及趋势，建议其在本研究低碳情景基础上进行碳排放总量控制，使得碳排在 2025 年实现峰值，先于全国 2030 年左右达到碳排放峰值目标，成为全国城市低碳发展的示范，从而为我国其他经济发展相对落后，可再生能源资源丰富的城市提供经验借鉴。

总量控制目标中，建议张家口市 2020 年碳排放总量控制在 4176 万吨 CO₂，2030 年控制在 4054 万吨 CO₂。2020–2025 年间和 2025–2030 年间，单位 GDP 碳排放年均下降 6.8% 和 8.4%。提出碳排在 2025 年左右实现峰值的目标，峰值水平控制在 4375 万吨 CO₂。

(1) 工业碳排放总量控制

建议张家口市工业部门的碳排在 2020 年左右实现峰值，峰值水平控制在 2867 万吨 CO₂，2030 年排放控制在 2029 万吨 CO₂。2020–2030 年间，累计碳排放下降 30% 左右。其中重点控制煤电行业和钢铁行业排放，一方面电力逐渐由非化石电力替代煤电，另一方面张家口市钢铁行业推进实施关小迁大行动，逐渐实现钢铁行业清退。

(2) 交通碳排放总量控制

建议张家口市交通部门的碳排在 2022 年左右实现峰值，峰值水平控制在 391 万吨 CO₂，2030 年排放控制在 278 万吨 CO₂。重点控制本市私家车及公路货运碳排放，其中内部交通中，提升公交出行分担率以及氢能源公交车和电动出租车替代；提倡私家车电动化。在对外交通中，推进公路客运氢能源汽车以及货运汽车节能改造和清洁能源替代化。

(3) 建筑碳排放总量控制

建议张家口市建筑部门的碳排在 2020 年和 2030 年分别控制在 933 万吨 CO₂ 和 1747 万吨 CO₂。重点控制本市数据中心建设能耗，实施建筑节能改造，控制居民生活过程中煤电等化石能源消费，提升建筑部门电气化水平。推进城镇地区集中供暖和农村地区分散供暖改造。

表 4-1 张家口市碳排放总量控制目标部门分解表

	2020	2025	2030
总量 / 万吨 CO ₂	4176	4375	4054
工业部门 / 万吨 CO ₂	2867	2443	2029
建筑部门 / 万吨 CO ₂	933	1591	1747
交通部门 / 万吨 CO ₂	376	341	278
单位 GDP 排放 / 吨 CO ₂ / 万元	2.09	1.47	0.95

4.3 基于利益相关者需求的政策建议

针对张家口市目前发展目标及趋势，建议其在本研究低碳情景基础上进行碳排放总量控制，使得碳排放在 2025 年实城市的低碳发展需要城市管理者协调相关企业及城乡居民的利益，为了提出更有针对性的张家口市碳排放总量控制政策建议，项目组对城市管理者、用能企业及城乡居民进行了深入的需求与建议调研（调研情况详见附件 2，附件 3）。

4.3.1 政府管理者经验与建议

(1) “四方协作机制”执行经验

张家口市从体制机制上求突破，首创“政府 + 电网 + 发电企业 + 用户侧”共同参与的“四方协作机制”，以四方协作机制为基础的可再生能源市场化交易实现了政府要绿、企业要利、居民要暖的多赢，为国家推进北方地区冬季清洁能源供暖、突破可再生能源消纳瓶颈提供了可复制、可推广的成功经验。

张家口市的管理者在政策制定过程中，与可再生能源发电企业、用电企业等形成良好的互动与反馈，较关注相关企业的收益，引导更多企业在张家口进行投资。在推进能源结构调整方面，张家口应当以“经济激励性”政策为主，当前行之有效的政策包括：

1) 可再生能源发电，标杆上网电价政策：上网电价及其稳定性，决定了相关企业从中获得收益的多少及预期，将直接影响相关企业投入资金的积极性；

2) 明确电网企业建设可再生电力接网工程：目前张家口市的风电、光伏发电发展速度较快，也存在一定比例的弃风、弃光现象，在“四方机制”的支持下，可接入电网的风电、光电增多，在一定程度上保证了可再生能源发电企业的投资回报；

3) 为可再生电力投资提供土地利用及土地相关收费方面的支持：当前我国可再生能源电力建设用地管控与审批趋于严格，客观上影响了可用于建设光伏、风电基地建设的土地，应寻找二者之间的平衡，更好的在保障生态和基本农田的前提下，引导可再生电力的科学有序发展；

4) 可再生能源优先发电和全额收购项目电量制度：该政策在保障电网整体调度稳定性的基础上，对可再生能源电力顺利发电、并网并取得收益提供了保障。

(2) “四方协作机制”实施建议

在当前“四方机制”实施经验的基础上，建议进一步优化相关机制体制，促进绿电的本地消纳，减少弃风、弃光率，并带动产业结构升级及本地城乡居民用电清洁化：

1) 供应端：逐步拓宽可再生能源发电企业的准入，将光伏及分布式清洁能源电力纳入范围，进一步降低弃风率、弃光率，技术创新提高供应稳定性；

2) 需求端：评估优先级分层次满足电力用户需求。居民电供暖、大数据产业及氢产业等用电优先满足；其次，逐

步将新能源产业、汽车装备制造等行业纳入范围；第三，设置符合绿色转型相关条件的传统产业准入要求，逐渐提高农副食品加工业、酒制造业等行业能耗中的清洁电力占比。

3) 实施层面：首先，保证一定的灵活性，按照对象实际运行特征进行灵活供给，例如集中电供暖用户的时间弹性；其次，统一准入标准，公开公平；第三体现示范性，对年度实施情况进行总结公报，通过示范典型的效益核算与宣传，以点带面，良性循环。

4.3.2 用能企业需求

项目组与集中供暖用户代表、大数据产业代表企业及氢产业代表企业进行了实地调研与座谈交流。张家口市出台相关政策促进可再生能源快速发展的情况下，各类发电、用电企业均希望能与政府形成良好的沟通与反馈，增加政策的透明度与灵活性，以保障企业的持续获益。

(1) 提高政策执行的灵活性

一方面，具体政策的执行应考虑实际技术应用的特征，提供一定灵活的空间。比如集中采暖小区通过“四方协作机制”所购电量只允许应用于采暖期（11月1日0点—3月31日24点），电采暖设备需要在采暖期前（10月31日晚）提前蓄热，而3月31日可以提前停止蓄热，希望可通过在采暖期基础上赋予一定时间上的灵活性来帮助企业运营降低成本，让政策优惠真正落到实处。另一方面，政府政策应当更加公平公开、市场化，制定全行业统一的标准，促进行业内优胜劣汰，提升总体行业技术水准。

(2) 可再生能源开发的土地资源分配倾斜

目前张家口市重点扶持的大数据产业电力需求较大，作为“四方机制”的需求用户可参与“四方机制”购买风电。尽管“四方机制”降低用电成本，但相关企业仍有意愿投资建设园区的光伏/风力发电，建立区域能源微网目前该类产业。在缩紧的用地供应情况下，希望在相关用地需求上可获得优先考虑。

(3) 强化技术创新与配套基础设施建设

对于氢产业发展来说，相关企业受访人提到虽然氢能源汽车因为其无污染、耐低温、加氢快等特点被汽车应用领域视为终极新能源动力解决方案，但是其实际推广应用中仍面临一些障碍。首先，由于氢能源汽车成本较高，售价约是传统汽车的4倍，相对于电动车亦没有价格优势，大规模推广仍需要依靠政府补贴，需要不断的技术创新降低生产成本。另外，加氢站等基础设施配套仍然不够完备，制约实际推广规模。

4.3.3 城乡居民需求

城乡居民的用能行为、既有住房的节能改造、绿色出行及新能源汽车的购买是居民参与城市低碳建设的主要内容。居民相关需求的调查，将有助于制定根据针对性的低碳政策。

(1) 供应稳定性及用能成本是居民选用清洁能源的主要考虑因素

居民在选用清洁能源时的考虑因素较多，从调查结果（图4-2）总体来看，主要考虑的因素有能源供应的稳定性、

用能成本、有无天然气管道。其中，“能源供应的稳定性”对选用清洁能源的影响最大，占比高达62.7%。对于目前使用煤炭和薪柴的居民，用能价格为首要考虑因素，其次是在天然气管道接通时，可接受使用天然气。

因此，建议在制定政策引导城乡居民选用清洁能源时：在农村地区大力推广太阳能热水/发电系统，对可再生能源代煤的农户提供补贴；低层住宅重点引导太阳能热水/发电系统的利用；在此基础上，进一步优化清洁电力电网、天然气管道的建设，提高能源供应的稳定性。

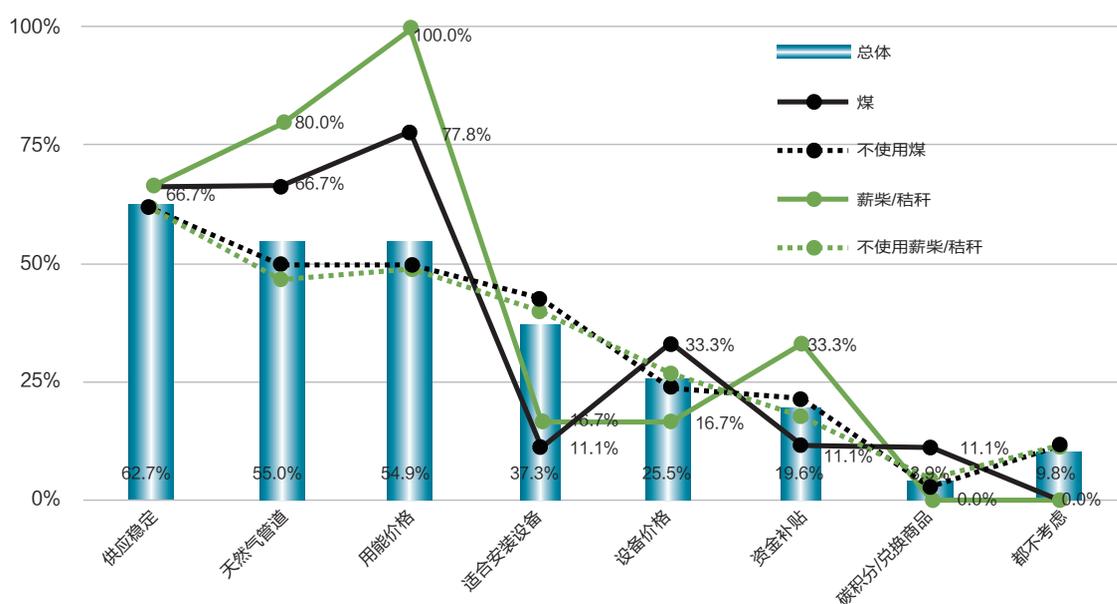


图 4-2 不同用能类型居民（煤、薪柴）选用清洁能源时的考虑因素

(2) 农房与低层住宅冬季保温问题严重，不同住宅宜采取差异化措施

在建筑节能的相关工作中，既有居住建筑的节能改造是主要的难点。

不同住宅的现存问题存在较大差异，张家口既有居住建筑严重的现状问题是低层住宅和农房保温问题，且以冬季保温问题最为严重。超50%农房居民反映存在夏季隔热、冬季保温及门窗漏风等问题；低层住宅样本居民中，69.2%的表示冬季保温性差，53.8%表示存在夏季隔热、门窗漏风以及噪声的问题。

总体而言，88%的样本居民愿意进行节能改造，其中安装太阳能热水、墙体改造、门窗材料更换及安装分室调温设施的可接受度比较高，平均达到40%以上。对于农房居民而言，大多数家庭需要更换门窗材料，安装光伏设备或太阳能热水的需求也较高，分别占比为56.5%和48.7%。对于低层住宅楼居民而言，对安装太阳能热水和墙体改造的可接受度较高，分别占比69.2%和61.5%，对安装光伏发电设备的需求较低，仅占比23.1%。在相关政策方面，居民对于统一改造，不用支付任何费用的改造政策接受度最高，占比74.5%，其次是由财政提供部分补贴个人改造（51.0%）。

因此，建议在既有居住建筑进行节能改造时，应针对不同类型住房，评估主要问题，因地制宜制定相关改造方案；重点强化既有住房的保温性能提升，财政支持门窗更换、墙体改造等工作。

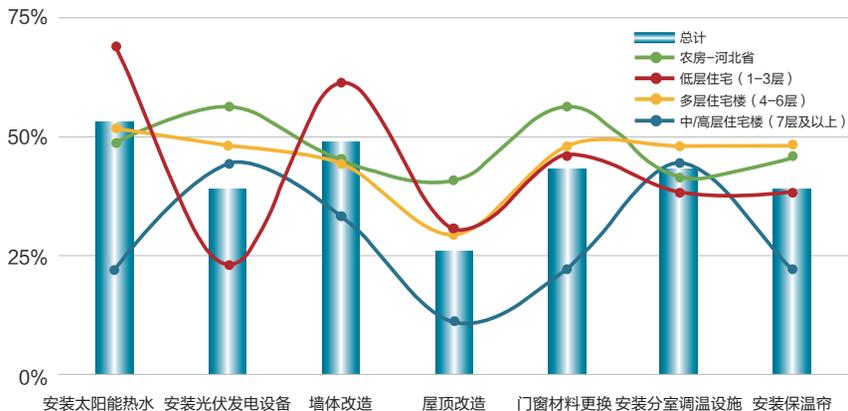


图 4-3 不同类型住房的改造意愿

(3) 私家车需求管理与公交线路是优化出行结构的要点

居民选择公交出行的主要原因是价格优惠，其次是线路方便、不受堵车影响。对于有私家车且不常乘坐公交出行的居民，主要的影响政策在于私家车的出行需求管理，一般在道路拥堵（34.6%）、停车位较少（30.8%）或者私家车限行（26.9%）时会考虑公交出行。同时，应优化公共交通管理，重点是提供更加方便的公交线路，将影响 26.9% 驾车出行居民的出行方式选择。

因此，为了提高公交车等绿色出行的比重，一方面应当加强小汽车的出行需求管理，提高街道的可步行性；另一方面应着重优化公交服务线路（郊区），改善公交服务。

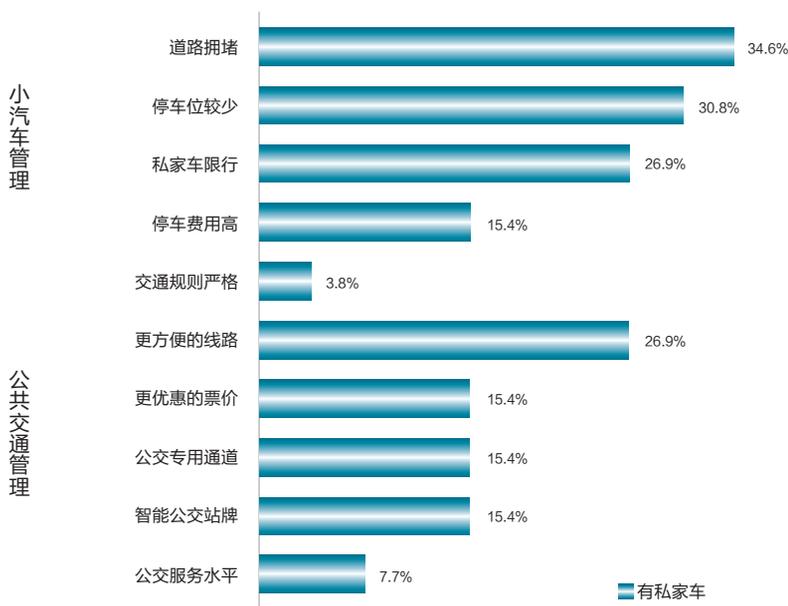


图 4-4 不同情景下选择公交出行的比例

(4) 超八成居民愿购买新能源车，购车补贴及充电设施分布影响最大

对低碳交通工具购置的影响因素调查中，总体而言有 82% 居民购车时会考虑购买新能源车。考虑购买新能源车的居民会综合考虑各方面的因素，最主要的原因是购车补贴和充电设施分布；不考虑购新能源车的主要顾虑的续航里程和充电 / 气时间。

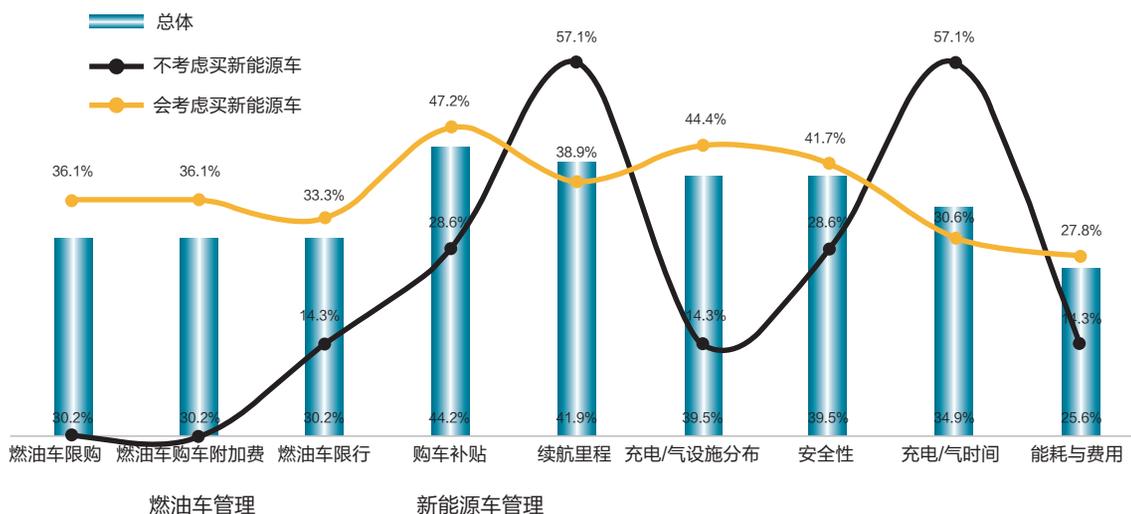


图 4-5 不同情景下的新能源车购置意愿

因此，引导居民选用新能源汽车时，一方面应当加大创新投入，强化氢燃料电池车等新能源车的技术实力，提高续航能力、缩短充电时间；另一方面，优化充电 / 气设施的空间布局，并且积极争取相关资金、为相关购车补贴提供保障。

4.4 碳排放总量控制工作方案建议

加快推进低碳张家口建设，加强碳排放总量控制，推动张家口市碳排放尽早达峰，根据《河北省张家口市可再生能源示范区发展规划》等要求，在推动能源消费、能源供给、能源技术和能源体制四个方面的“革命”和一个国际合作的要求下，结合张家口市的特征情况，提供工作方案建议。

4.4.1 指导思想和主要目标

(1) 指导思想

切实贯彻创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，把应对气候变化作为推进生态文明建设的重要内容，把控制温室气体排放作为提质增效的重要手段，坚持全面行动和重点突破兼顾、削减存量和控制增量并重，坚持科技创新、政策协同、示范引领和全民参与，以碳排放总量和强度双控倒逼结构优化调整和绿色低碳转型，促进生产方式和生活方式绿色、低碳水平提升，为全面建成高质量小康社会、建设低碳张家口的奋斗目标贡献力量。

(2) 主要目标

构建温室气体排放总量控制制度体系，工业、建筑、交通、能源等重点领域温室气体排放得到有效控制，能源体系、产业体系等低碳转型初具成效，公众低碳意识显著提升，城镇低碳发展达到国际先进水平，生态环境质量实现较大改善。到 2025 年，全市碳排放总量达到峰值，峰值控制在 4400 万吨 CO₂ 左右，单位地区生产总值二氧化碳排放比 2016 年下降 36% 以上；到 2030 年，全市碳排放总量控制在 4100 万吨左右，单位地区生产总值二氧化碳排放比 2016 年下降 60% 以上。

4.4.2 主要任务

(1) 推进能源体系低碳发展

1) 严格管控煤炭消费。严格控制新增煤电项目，逐步退役落后煤电机组，对现有符合要求煤电机组，全面进行升级改造，促进煤电向调峰电厂转变。逐步推进以煤炭为主要能源的工业企业电气化水平，降低工业煤炭利用。推进农村地区取暖改造，鼓励农村地区采用分布式电力取暖，严格控制居民生活中散煤消费。

2) 推动可再生能源发展。积极贯彻建设可再生能源示范区工作指示，到 2020 年可再生能源消费量占终端能源消费总量比重达到 30%，55% 电力消费来自可再生能源。到 2030 年，可再生能源消费占终端能源比重达到 50%，可再生能源电力提升至 80%。依托本地资源优势，大力推进风电和太阳能光伏发电建设，创新执行“四方机制”，促进可再生能源就地消纳，拓展可再生能源消纳应用途径。

3) 提升各部门电气化水平。推进各部门电气化改造，提升终端用电部门电气化水平。鼓励与可再生能源发电相协同的终端技术创新，推进可再生能源以电代煤、以电代油工程。推动工业企业采用非化石电力作为主要能源，2030 年，全部工业企业实现零碳排放目标。积极推进交通部门氢燃料电池汽车、纯电动汽车替换现有燃油、燃气公交车和出

租车等运营车辆；增加电动汽车基础设施建设，鼓励居民购买私人电动汽车。提倡农村地区利用分布式电力进行采暖和日常生活，2022年前禁止农村地区散煤利用。

(2) 推进产业体系低碳发展

1) **强化工业碳排放控制。**实施传统优势产业绿色转型，转移钢铁和关停煤矿、火电厂等高耗能企业并举，减少本地钢铁、火力发电高耗煤产业。对化工、水泥等高耗能企业生产设备进行节能改造，提高能效，实施清洁生产。严格标准，支持企业运用高新技术、先进适用技术对落后产能进行技术改造，鼓励优势企业兼并、收购重组改造落后产能企业。

2) **大力发展低碳排放产业。**依托本市优势资源，培育“四大两新一高”产业。加快引进战略投资者，集中资源发展新一代电子信息技术、新材料、节能环保、生物及新医药、通用航空、公共安全与应急产业等6大重点领域，推进数据中心建设。以数据中心全部消纳本地区非化石电力为试点，协同推动本市产业结构调整升级与提升电气化水平目标的统一。

(3) 推进建筑体系低碳发展

1) **开展城乡建筑节能改造。**城镇新建居住建筑执行节能标准水平较现行国家标准水平再提高30%，即全面执行居住建筑节能75%的标准，同时普及绿色建筑。既有建筑实施节能改造工程，到2021年，城区具有改造价值建筑全部完成节能改造，城乡结合部及所辖县完成80%以上。推进大数据产业区余热回收利用工程。

2) **实施清洁能源供暖工程。**2030年，单位采暖面积能耗水平较2016年降低20%以上，城镇和农村地区电力采暖能耗比重分别达到15%和50%。农村地区选择适宜的取暖技术路线，优先利用各类可再生能源资源，并以蓄热电采暖、空气源热泵、燃气壁挂炉等方式取代散烧煤采暖，同步配套开展配电网升级改造。到2021年，全市农村实现清洁取暖率达40%以上。

(4) 推进交通体系低碳发展

1) **加快推进运营车辆新能源替代。**加快推广电动汽车和氢燃料电池汽车，2022年，电动公交车和氢能源公交车全部替代原有柴油公交车。新增出租车全部为电动汽车，2030年，原有天然气出租车逐步由电动汽车替代。

2) **加大充电和加氢站建设力度。**结合当前新能源汽车及充电基础设施分布情况，以及当地电网规划，提出适当超前的设施建设规划。为推广居民使用电动汽车提供建装充电保障。保障《氢能张家口建设规划(2019—2035年)》实施，完善风电制氢、加氢站运营、氢燃料电池等氢能产业链，推进氢能产业发展。

3) **强化网约车管理。**网约车日出行里程是私家车的2倍以上（如2019年深圳网约车的日均行驶里程约为69公里/日，2017年上海私家车日均出行里程约为26公里/日，2018年北京私家车日均出行里程约为32.8公里/日），其无序发展将严重影响低碳交通体系的构建，建议参考深圳、郑州等地的做法，在2020年启动网约车登记注册及准入的强化管理，并在2022年前提出新增网约车必须是纯电动车或氢燃料电池车等准入套件的相关要求，以引导网约车有序且绿色发展。

4) **树立居民低碳出行理念。**以完善居民公共出行基础设施为基础，提倡居民绿色低碳出行。实现市政共享自行车与商业共享自行车互补结合，解决居民最后一公里问题，便利居民公共出行方式。

(5) 推进居民生活低碳发展

1) **试点推进垃圾分类。**选择优质小区或街道，开展垃圾分类试点。通过媒体宣传、电子显示屏等平台宣传垃圾分类，培训垃圾分类宣传员、指导员，引导试点居民实施垃圾分类，探索垃圾分类试点经验，为全市推行垃圾分类积累经验。

2) **倡导绿色低碳的生活方式。**加强低碳宣传教育，引导公众树立绿色低碳的价值观和消费观，形成“政府引导、全民参与”的良好氛围。通过开展“绿色家庭、绿色学校、绿色社区等行动”，宣传低碳生活理念。积极引导合理选购、适度消费、简单生活，使低碳消费理念成为社会时尚，形成低碳消费模式和低碳生活方式。

(6) 推进低碳政策体系发展

1) **完善低碳政策体系。**将碳排放总量和强度控制目标纳入国民经济规划，并成为约束性目标。开展“十四五”“十五五”控制温室气体方案研究，推进碳排放总量控制目标实施。优化推进“四方机制”，分层次设定绿电使用优先级，以低价绿电促产业结构升级及居民清洁采暖。积极协助碳排放量较大企业参与全国碳市场。

2) **加强低碳政策与环境政策的协同。**将碳排放总量控制目标分解至各部门，将目标实施措施与环保目标进行整合，充分实现低碳与环保的协同，降低成本。

4.4.3 保障措施

(1) **强化组织领导。**加强各职能部门协同管理，将碳排放总量控制目标分解至各职能部门，确定工作职责，切实执行落实分解目标要求。充分发挥企业、社会团体、公众等在各目标落实实施中的作用。

(2) **强化能力建设支撑。**将碳排放总量目标分解至各相关部门，将目标作为各相关部门业绩考核内容。开展碳排放清单核算方法学，实施重点工程，定期评估目标完成情况。

(3) **加强资金投入。**完善多元化资金投入机制，充分发挥财政资金、企业资金、民间资本、外资等多种资金渠道的作用，确保碳排放总量目标和分解目标落实中的资金投入。

(4) **实施重点工程。**开展风电制氢试点示范和产业化，大容量电化学储能应用工程，分布式能源多能互补等重点工程。打造高效电池组件、压缩空气储能、柔性直流、互联网+智慧能源等技术创新应用示范工程。

4.5 小结

张家口市应充分发挥京津冀协同发展战略优势，与北京市在自然资源、农业生产、电力工业以及投资资金等方面，形成“供给—需求”的互补关系。应当以京张联动为契机，进一步加大力度发展张家口市的旅游休闲业，提升张家口市的城市影响力。在疏解北京非首都功能的过程中，应当以推动张家口经济高质量发展、生态环境高质量保护这一目标为指导，以承接高新产业、绿色产业为主，积极推动北京相关优势产业落户、吸引优秀人才落户。

坚持“冰雪+”的发展模式，强化对张家口民风民俗、优秀传统文化的挖掘，形成“冰雪+文化”的特色产业发展思路。应当抓住2022年冬奥会的契机，大力发展冰雪产业，从服务产品提供、服务质量提升、产业拓展等方面着手，大力发展器材、场地设施、培训、医疗救护、旅游、地产、娱乐、餐饮等与冰雪体育相关联的产业链，实现产业链的优化升级，积极引入国内外知名体育发展企业，改善产业投资比例，加大其他配套产业的人力、物力、财力投入力度，深度发掘具有潜力的旅游资源，尤其是要提高体育休闲旅游服务业的比重，使体育休闲服务业成为张家口体育产业发展的“龙头”，把张家口打造成为冬季滑雪度假圣地。要注重提升旅游服务业的质量和水平，真正树立“服务第一”的发展理念和思路，以高质量的软硬件设施和人性化服务，迅速在冰雪产业竞争中站稳脚跟，从而增强第三产业独立增长能力，最终转向依靠消费增加拉动经济增长的局面。

在优化金融投资环境、提升金融支持力度方面，积极调动民间企业的参与积极性。针对目前项目融资面临的产权数量大、投资机构多、中介渠道少等问题，政府可以牵头搭建以项目为核心的金融服务综合平台，建立居中协调承接项目和金融机构的通道。对一些大型的优质项目，政府主导给予一定的倾斜政策，如可以考虑财政安排专项资金重点承接产业转移，或设立专项基金推动金融机构积极投入、支持承接产业转移。金融机构需要不断创新金融产品、创新投资模式，综合运用贷款、承兑、贴现、信用证、保函、融资租赁等多种信用方式和信用工具，为不同企业的个性化融资需求提供配套的金融产品。严格执行国家有关环保政策，按照区别对待、有保有控的原则，对“两高一剩”等行业的信贷审批严格把控，对符合国家政策的绿色项目进行信贷倾斜，通过发展绿色金融产品，助推张家口“生态涵养功能区”“水源涵养功能区”的产业布局。此外，充分调动环保、交通、安保、文化、教育等各部门的积极性，构建多部门协同、全社会参与的多元参与机制。充分调动人民群众的参与，加快促进张家口地区经济发展和社会进步，提升城市形象，实现跨越式发展。



参考文献

Asian Development Bank 2018. Sustainable Transport Solutions: Low-carbon Buses in P.R. China.

Zeng Li, Jingying Fu, Gang LI et al., Multi-Scenario Analysis of Energy Consumption and Carbon emissions: The Case of Hebei Province in China. *Energies*, 2019(12):624-641

Dhakal S. (2009) Urban energy use and carbon emissions from cities in China and policy implications. *Energy Policy* 37:4208-19

Wei Li, Shubin Gao Prospective on energy related carbon emissions peak integrating optimized intelligent algorithm with dry process technique application for China's cement industry. *Energy* 2018(165)33-54.

Zhu Liu, Dabo Guan, Weiwei, et al Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China, *Science*, 2015 524(20):335-347

Lombardi P, Toniolo J, Abastante F, et al. Multicriteria Spatial Decision Support Systems for Future Urban Energy Retrofitting Scenarios[J]. *Sustainability*, 2017, 9(7): 1252-1265.

Kammen D M, Sunter D A. City-integrated renewable energy for urban sustainability[J]. *Science*, 2016, 352(6288): 922-928.

Li, Z.; Fu, J.; Lin, G.; Jiang, D.; Liu, K.; Wang, Y. Multi-Scenario Analysis of Energy Consumption and Carbon Emissions: The Case of Hebei Province in China. *Energies* 2019, 12, 624.

联合国 (2016) 可持续发展目标十一 — 可持续城市：为何重要，<https://www.un.org/sustainabledevelopment/zh/cities/>

BP(2019)BP 世界能源统计年鉴 . 第 68 版

河北省人民政府办公厅关于印发河北省节能“十三五”规划的通知

张家口市综合交通发展规划

张家口市“十三五”交通运输绿色发展规划研究

张家口出租车行业的历史发展和管理

公路水路运输量统计试行方案（2014）

张家口市创建国家“公交都市”示范城市实施方案(2018-2020年)》

氢能张家口建设规划(2019-2035)

河北省推进氢能产业发展实施意见

交通运输部 . 2018 年交通运输行业发展统计公报

交通运输部 . 2017 年交通运输行业发展统计公报

交通运输部 . 2016 年交通运输行业发展统计公报

《河北省钢铁行业去产能工作方案（2018—2020 年）》

工信部钢铁工业调整升级规划（2016—2020 年）

河钢集团有限公司．河钢产业升级及宣钢产能转移项目产能置换方案

道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南

张家口市人民政府．张家口经济年鉴 2017，中国统计出版社，2017，北京，

河北省人民政府办公厅关于印发河北省节能“十三五”规划的通知

张家口可再生能源示范区规划

中国数坝·张家口市大数据产业发展规划（2019-2025 年）

绿色和平．《中国数据中心能耗与可再生能源使用潜力研究》，工作报告，2016 年．<http://www.huanjing100.com/p-9579.html>

薛露露、韦围、刘鹏、刘岱宗著．中国纯电动公交车运营现状分析与改善对策．2019．工作报告，北京：世界资源研究所．

伊文婧．我国交通运输能耗及形势分析[J]．中国交通观察 201739(1):5-10.

李永，句德胜，杨震等．河北省建筑能耗统计及分析[J]．华北地震科学，2016，34(B07):10-14.

江亿等．《中国碳排放：尽早达峰》．第七章．建筑领域尽早实现碳排放峰值的可行性和路径研究

王林钰．城市发展需要建设可持续能源体系[J]．中国能源报，2017，4: 1-2.

伯鑫，王刚，温柔等．京津冀地区火电企业的大气污染影响[J]．中国环境科学，2015，35(2):364-373.

世界资源研究所．武汉市交通碳达峰路径研究[R].2019．工作报告，北京

中国建筑节能协会．中国建筑能耗研究报告 2018，上海

中国国家气候变化专家委员会，英国气候变化委员会．中－英合作气候变化风险评估，中国环境出版集团，北京，2019.3

附件 1:

张家口市碳排放目标部门分解模型参数设置

在对张家口市碳排放总量目标各部门分解的参数设置中，本研究第四章已简要介绍，现将交通部门为例，详细叙述参数设置依据。

1. 内部交通排放参数设置

(1) 公共汽车

张家口市 2016 年运营公共汽电车数量已达到 10.6 台 / 万人。结合不同情景下，张家口市公交普及率不同，分别设定参考情景、低碳情景和示范区情景下 2030 年公交车保有量分别达到 11、18 和 20 标台 / 万人。

表 1 公共汽车碳排放预测参数设置

指标		单位	2016 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年
市区人口	情景一致	万人	125.9	142.5	151.5	165.8	180.1
人均公共汽(电)车运营标台数	参考情景		10.6	11	11	11	11
	低碳情景	标台 / 万人	10.6	12	13	15	18
	示范区情景		10.6	13	15	18	20
公共汽车动力类型构成	参考情景	/	柴油 : 天然气 : 气电混合动力 : 电动 : 氢燃料电池 = 2:1:1:1.4:0				
	低碳情景	/	2:1:1:1.4:0	2022 年柴油车全部被替换; 新增车辆 50% 为电动车; 50% 为氢能源公交车;			
	示范区情景	/	2:1:1:1.4:0	2020 年前柴油车被替换; 2020 年后天然气、气电混动逐渐被替换为氢能源公交车; 新增均为氢能源公交车			
年均出行里程	情景一致	公里	56000	56000	56000	56000	56000

(2) 出租车

为满足冬奥会区域间的交通需求，张家口拟在市区增设纯电动出租车 3713 辆，即到 2022 年，出租车总量将达到 9367 辆，每万人保有量水平达到 21 辆 / 万人。当前张家口市出租车共 5600 余辆，达到 12.8 辆 / 万人水平，对比我国其他城市公交车保有量，预计 2030 年，张家口市公交车保有量为 25 辆 / 万人。

表 2 出租车碳排放预测参数设置

指标		单位	国家标准	2016 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年
人均保有量	情景一致	辆 / 万人	20	12.8	18.3	21	22.5	25
保有量	情景一致	辆	/	5654	8154	9405	10457	12075
年均出行里程	情景一致	公里	120000	109500	109500	109500	109500	109500
动力结构	参考情景	/		汽油 : 天然气 : 电动车 = 54%:42%:4%				
	低碳情景	/		54%:42%:	原有汽汽车在 2022 年前改为天然气车; 全部新增的为电动车; 2022 年后天然气车逐渐替换为电动车			
	示范区情景	/		4%	原有汽油车在 2022 年前改为天然气车; 2022 年前全部新增的为电动车; 2022-2025 年新增及天然气车更换的: 电动占 60% 氢能占 40%; 2025 年后新增天然气车更换均为氢能车			

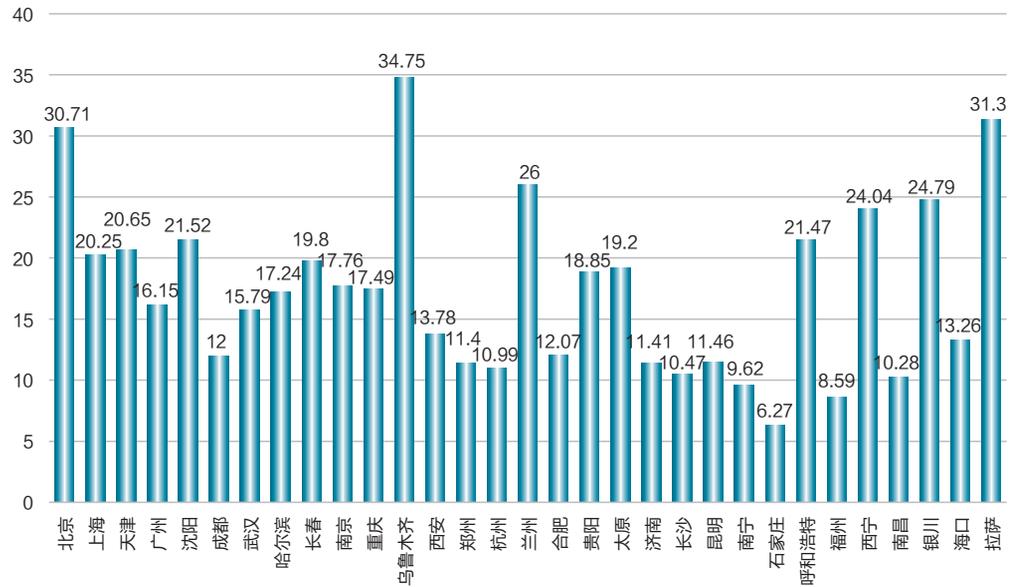


图 1 各地人均出租车拥有量

(3) 私家车

根据调研河北省各市私家车保有量与 GDP 关系发现，私家车保有量与人均 GDP 呈现正比关系，随着城市人均 GDP 的提升，私家车保有量将不断增加。对比目前河北省其他市私家车保有量发现，张家口市目前在河北省处于偏少水平。但新能源汽车保有量基本处于河北省平均水平。

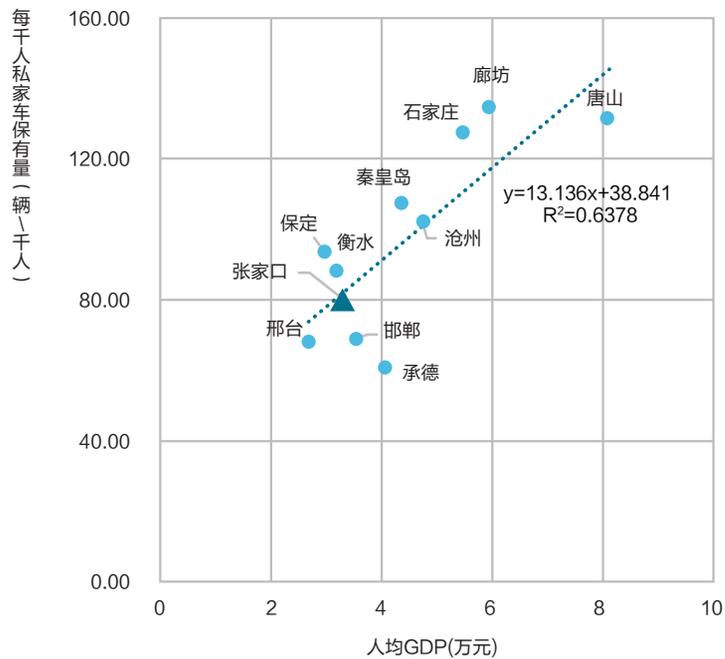


图 2 河北省各市私家车保有量与经济关系

参考情景下，依据每千人机动车保有量与 GDP 呈现的正比线性关系预测 2030 年张家口市私家车保有量将达到 155 辆 / 千人水平。但在低碳情景和示范区情景下，由于公共交通的普及，私家车增速应有所减缓，预计低碳情景下 2030 年私家车保有量将控制在 130 辆 / 千人，示范区情景下达到 110 辆 / 千人。

表 3 私家车保有量预测

情景		2016 年	2020 年	2025 年	2030 年
常住人口 (万人)		442.5	447.84 (年均增长 0.2%)	464.15 (年均增长 1.2%)	483.02 (年均增长 0.8%)
A 每千人	参考情景	79.94	107.08	122.94	154.85
私家车保有量低碳	低碳情景	79.94	99.71	110.25	130
情景 (辆 / 千人)	示范区情景	79.94	93.79	100.04	110

表 4 不同燃料私家车占比预测

情景		2016 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年
基准情景	私家车中，燃油车；电动车；氢燃料电池车	99.7%:0.3%:0				
低碳情景	燃油车	99.7%	98.5%	97.9%	95.5%	90%
	电动车	0.3%	1.5%	2.1%	4.5%	10%
	氢燃料电池车	0%	0%	0%	0%	0%
示范区情景	燃油车	99.7%	98.5%	97.9%	95.5%	90%
	电动车	0.3%	1.5%	2.1%	4.5%	10%
	氢燃料电池车	0%	0.1%	0.3%	0.9%	2.4%

考虑到当前张家口市私家车燃料类型共有燃油车、电动车两种，未来随着张家口市公交领域氢燃料电池车的普及，私家车领域氢燃料电池车比重将有所增长。2016 年，张家口市私家车保有量 35.37 万辆，其中纯电动汽车 1055 辆，占比 0.3% 左右。参考情景下，张家口市私家车燃油类型将保持目前状态不变。低碳情景下，暂时不考虑氢燃料电池车的普及，但电动汽车占比逐渐增加，到 2030 年占比将达到 10% 左右。而示范区情景下，依然维持电动汽车占比达到 10% 的目标外，随着张家口市氢燃料电池车成本下降，2020 年起开始在私人乘用车领域推广氢燃料电池车，到 2030 年，推广约 1.28 万辆。

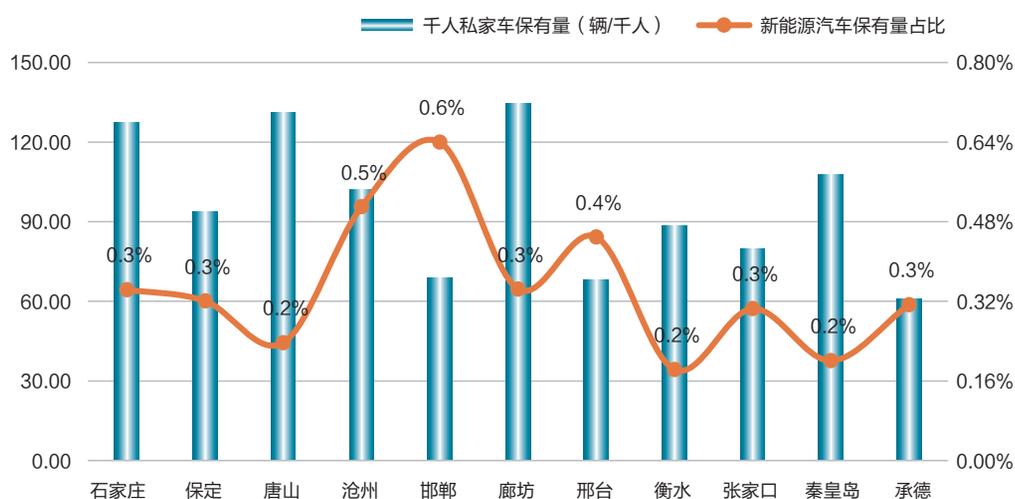


图3 河北省其他市私家车及新能源汽车保有量

2. 对外交通排放参数设置

对外交通中，主要考虑公路客运和公路货运对张家口市碳排放总量的影响。随着冬奥会的临近，运动会场馆等基础设施建设已逐渐开展，基础设施的建设以及冬奥会举办时游客的增加，将大量增加张家口市的公路客运和货运。

(1) 对外客运

2009–2018年，张家口市公路客运量和周转量均在2013年达到峰值的厚有所下降，但随着冬奥会临近，预计张家口市客运量将扭转下降趋势，呈现不断上涨。

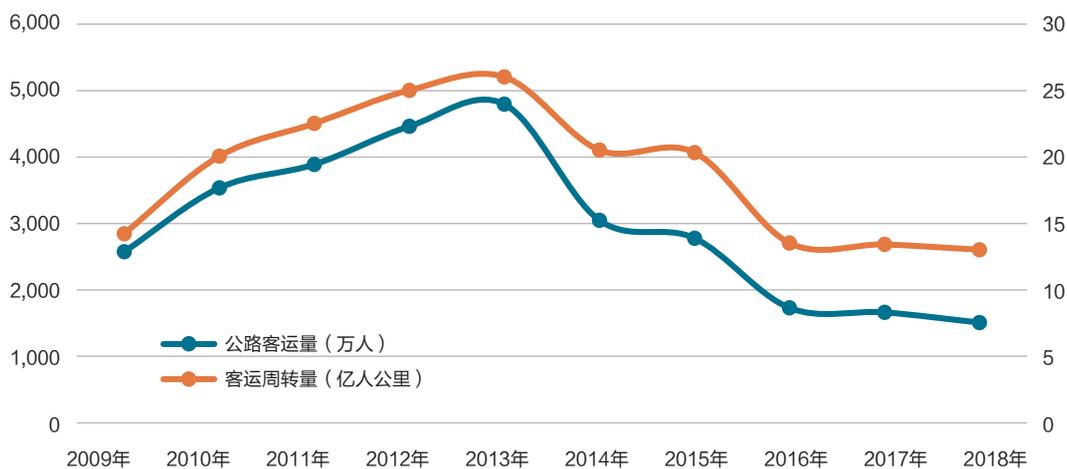


图4 2009-2018年公路客运量变化

随着冬奥会契机，以及高铁建设，张家口市将带来一段客运量的高速增长期。在参考情景下，设置该增长幅度较大，2016–2020 年均增长 5%，2020–2022 年均增长 15%，2022–2025 年均增长 20%，2025–2030 年均增长 10%。但在低碳和示范区情景中，考虑到 2019 年底高铁的开通，必将分流部分客流。假设 2020–2030 年间，高铁分散客流将由 30% 提升至 80%。

针对公路客运单位周转量能耗，参考情景下，该能耗参考我国交通运输行业发展统计公报，为 14.5 千克标煤 / 千人公里。但低碳情景下，依据《河北省人民政府办公厅关于印发河北省节能“十三五”规划的通知》中提出到 2020 年，城市客运单位运量能耗下降 10% 的目标设置。而示范区情景下，由于提高氢能源车、电动车等比重，以及清洁电力在交通能源中的占比，城市客运单位运量能耗将下降 30%。

表 5 公路客运碳排放预测参数设置

指标	情景	2016 年	2020 年	2022 年	2025 年	2030 年
公路客运周转量 (亿人公里)	参考情景	15.79	19.19	25.38	43.86	70.64
	低碳情景 示范区情景	15.79	13.43	15.23	19.74	14.13
B 公路客运单位 周转量能耗 (千克标煤 / 千人公 里)	参考情景	14.5			14.5	
	低碳情景	14.5	14.21	14.07	13.74	13.06 (比 2016 年下 降 10%)
	示范区情景	14.5	13.05	12.38	11.37	9.76 (比 2016 年下 降 32.7%)
C	基准情景	0%		0%	0%	0%
公路客运中氢能源 车 / 可再生能源占比	低碳情景	0%		3%	6%	10%
	示范区情景	0%		9%	18%	30%

(2) 对外货运

2009–2015 年，张家口市货运周转量增长较为稳定，但随着 2015 年成功申办冬奥会以及国家级可再生能源示范区确立，各项基础设施建设工作展开，2016 年起张家口市货运周转量显著增长。

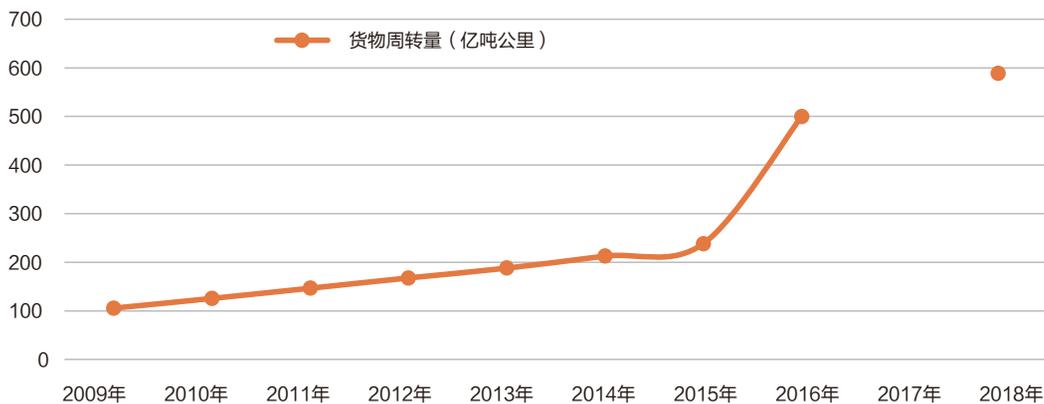


图 5 2009-2018 年货运周转量变化

在货运周转量设置中，因场馆建设等新增货运量按现阶段增长趋势设定，2016年—2022年，货运周转量逐年增加，2022年后，开始呈现下降趋势。单位运输周转量能耗设置中，参考情景下，依据交通运输部《2016年交通运输行业发展统计公报》设定为20.4kgce/千吨公里；低碳情景下，根据《河北省人民政府办公厅关于印发河北省节能“十三五”规划的通知》中设定，到2020年，铁路单位运输周转量综合能耗比2015年下降5%，2020、2025、2030年分别下降5%，6%和7%。示范区情景设置中，根据《张家口市交通运输绿色发展“十三五”发展目标》：单位货物运输周转量能耗由2012年的5.3kgce/百吨公里降至2020年目标：4.8kgce，2020、2025、2030年分别下降10%，12%，15%。

表6 公路货运碳排放预测参数设置

指标	情景	2016年	2020年	2022年	2025年	2030年
A货运周转量(亿吨公里)	参考情景	496.76	673.32	727.44	638.15	562.56
B	参考情景	20.4			20.4	
单位运输周转量能耗 (kgce/千吨公里)	低碳情景	20.4	19.38	18.89	18.21	16.93
	示范区情景	20.4	18.36	17.42	16.13	13.71
C	参考情景	0%	0%			
货运中 可再生能源占比	低碳情景	0%	3.5%	5.5%	10%	20%
	示范区情景	0%	7%	11%	20%	40%

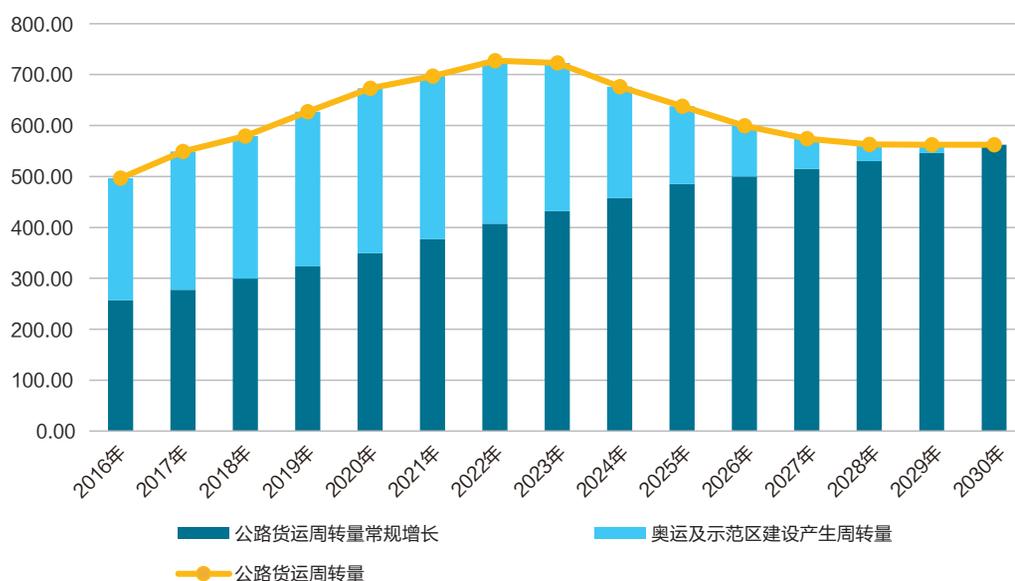


图6 冬奥会带来的货运周转量影响预测

附件 2:

张家口市“四方协作机制”实施现状

2017年2月，张家口市从体制机制上求突破，首创“政府+电网+发电企业+用户侧”共同参与的“四方协作机制”，与国网冀北电力有限公司合作建立可再生能源电力交易平台，政府部门每月在平台上发布下个月可再生能源需求电量和挂牌电价，可再生能源发电企业自愿参加，将最低保障收购小时数（1900小时）之外的发电量通过市场化交易直接销售给用户。

2018年8月22日，省发改委印发相关文件将“四方协作机制”服务对象由之前单一的居民电供暖用户拓展到电能替代、包括制氢及大数据在内的高新技术企业（含冬奥赛区场馆及配套项目）和符合省“双代办”下达的农村地区清洁供暖任务中的分散用户，服务区域也拓展至京津冀地区。2018年11月8日，在张家口市“四方协作机制”成功推行经验的基础上，正式推广至京津冀地区，为推进京津冀地区可再生能源一体化消纳提供政策支撑。



图1 参与“四方机制”的高新技术企业园区



图2 集中电供暖小区

张家口市四方协作机制可再生能源电力市场化交易平台从 2017 年 10 月开始交易以来，已经取得了一定的成效，累计交易电量 3.75 亿千瓦时，累计减少供暖、电能替代和高新技术企业电费支出近 1.4 亿元。2018—19 采暖季，张家口市四方协作机制绿色电力市场化交易累计交易可再生能源电量 5.56 亿千瓦时，同比增长 314%，使 470 户集中式用户、6784 户分散居民用户、78 户电能替代用户、4 家高新技术企业享受到交易优惠电价，减少用户电费支出约 1.3 亿元。绿色电力市场化交易机制正在逐步走向完善。在四方协作机制交易规模不断扩大的同时，市场活力也呈现激增态势。此次交易总挂牌电量 9175 万千瓦时，发电企业申报电量 13830 万千瓦时，申报电量比达到 151%，在历次交易中超出需求比例最多。尤其是电能替代板块，申报电量比更是高达 767%。以四方协作机制为基础的可再生能源市场化交易实现了政府要绿、企业要利、居民要暖的多赢，为国家推进北方地区冬季清洁能源供暖、突破可再生能源消纳瓶颈提供了可复制、可推广的成功经验。

2018 年，电能替代（工商业电采暖）、高新技术企业成功纳入四方协作机制绿色电力市场化交易，新增了省双代分散电采暖用户。下一步，张家口还将继续扩大四方协作机制交易范围，争取将充电基础设施、贫困县区绿色加工等产业用电纳入交易，并进一步优化完善原有板块。同时为满足夏季高新技术企业用电需求，争取将四方协作机制售电方范围向光伏发电拓展。

表 1 “四方机制”的发展与计划

	2017 年供暖季	2018 年供暖季	计划
供电侧	· 47 家风电企业	· 51 家风电企业	争取制售电方范围 向光伏发电拓展
用电侧	· 180 家电采暖用户 · 13 家电能替代用户	· 470 户集中式用户 · 6784 户分散居民用户 · 78 户电能替代用户 · 4 家高新技术企业	争取将充电基础设施、贫 困县区绿色加工等产业用 电纳入交易
交易电量	· 1.34 亿千瓦时	· 5.56 亿千瓦时	/

附件 3:

张家口居民低碳参与意愿调研概况

项目组对居民生活用能情况开展了调研，主要内容包括：居民生活用能、既有建筑节能改造以及低碳交通等，并提出了相关意见建议。研究组于 2019 年 7 月 4 日 -9 日，针对居民用能现状及需求进行的问卷调查，在全国范围进行了问卷调查，共获得 12000 份样本数据，其中得张家口市的有效样本 51 份。

1. 张家口市样本概况

(1) 样本的年龄

为了全面了解张家口市各个年龄段居民的用能现状，此次问卷调查选取了不同年龄段的居民样本进行调查。其中，样本居民的实际年龄分布在 19-40 岁之间的人群数量最多，占比达到 86%，41-65 岁占比 8%，18 岁及以下占比 4%，65 岁及以上占比最少，仅为 2%，样本对象总体偏向年轻化。

(2) 样本的职业

此次问卷调查中，各个行业的样本都有所涉及，其中从事于企事业单位和个体经营的样本居民占比较大，分别为 33.3% 和 25.5%，其余职业详细占比情况为：公职人员 9.8%、教师 7.8%、进城务工人员 5.9%、务农 3.9%、退休 / 全职在家 3.9%、学生 5.9%。

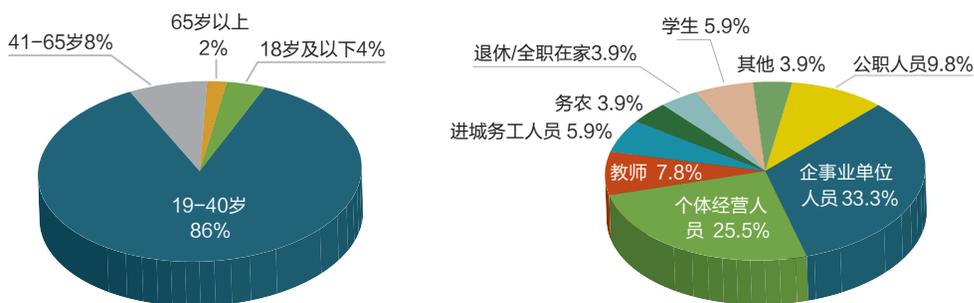


图 1 调研样本的年龄、职业分布情况

(3) 样本的受教育程度

张家口市调研样本的受教育程度覆盖情况较好，其中大学或大专占比最高，达到 58.8%，高于全国样本平均水平 54.41%，初中及以下占比 11.8%，高中或职高占比 21.6%，研究生及以上占比 7.8%。高中及以上学历总占比 88.2%，说明接受调查的样本居民受教育程度较高。

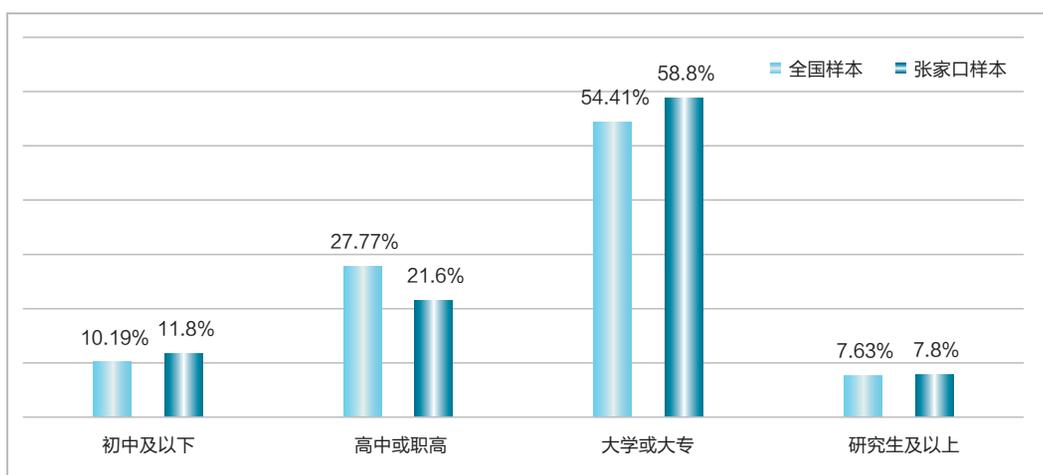


图 2 调研样本的学历构成情况

(4) 样本的收入

此次问卷调查结果显示，张家口样本居民的年收入在 3 万元以下的占比 19.6%，3-10 万占比 45.1%，这也是目前张家口市居民收入等级人数最多的收入层。张家口居民收入在 10 万元以下总占比全国均值高出 16.3%，说明张家口居民收入相对偏低。

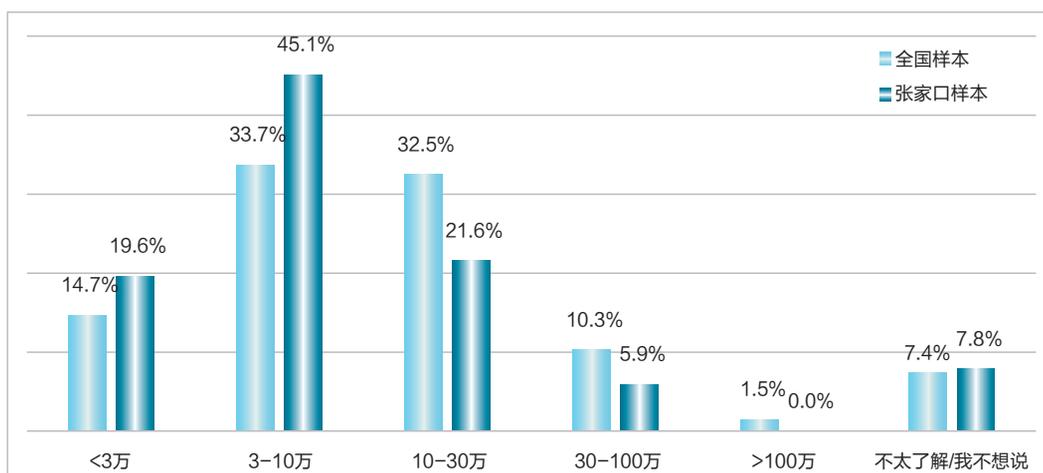


图 3 调研样本的家庭年收入构成情况

2. 居民生活用能现状与节能意愿

首先为居民生活用能构成。张家口市居民家庭日常生活中主要的能源需求来自室内取暖、烹饪、热水供应和家用电器四部分，按照调研结果，农房中使用散煤和薪柴/秸秆的现象仍然比较普遍，分别占比44.4%和24.2%。同时农房分布较为分散的特点，导致天然气管道铺设、维护费用较高，目前管道天然气的使用率较低，暂无集中供暖，所以38.7%的农房居民选择使用太阳能供暖设备或光伏发电系统来满足日常生活用能需求。住宅楼居民家庭生活用能主要以管道天然气和小区集中供暖为主，其中低层住宅管道天然气的覆盖率更高，为69.2%，又由于楼层较低，煤、薪柴/秸秆的使用比较方便，会有53.9%的样本居民仍然会选择使用此类非清洁能源；多层住宅居民家庭利用本身楼层优势，选择使用绿色能源太阳能（热水/发电）占比相对较大，为33.3%。

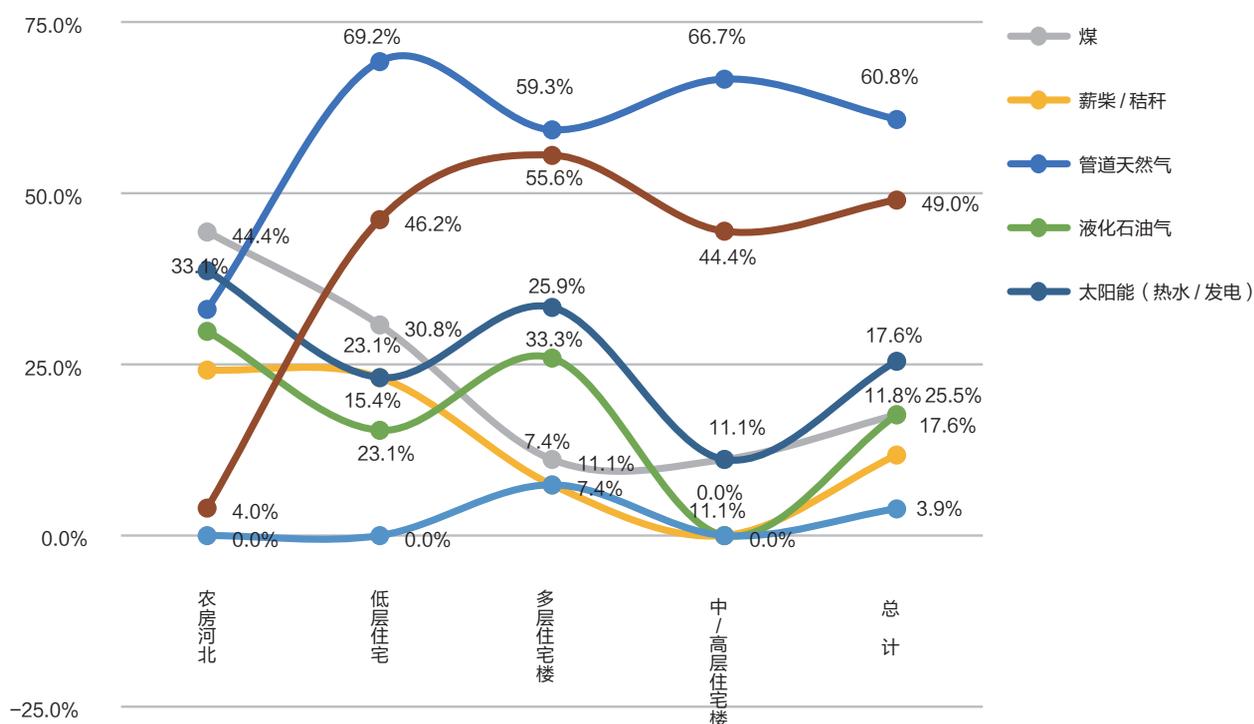


图4 不同住房类型的用能情况

其次，居民在选用清洁能源时的考虑因素较多，从调查结果总体来看，主要考虑的因素有能源供应的稳定性、用能成本、有无天然气管道。其中，“能源供应的稳定性”对选用清洁能源的影响最大，占比高达62.7%。对于目前使用煤炭和薪柴的居民，用能价格为首要考虑因素，其次是在天然气管道接通时，可接受使用天然气。

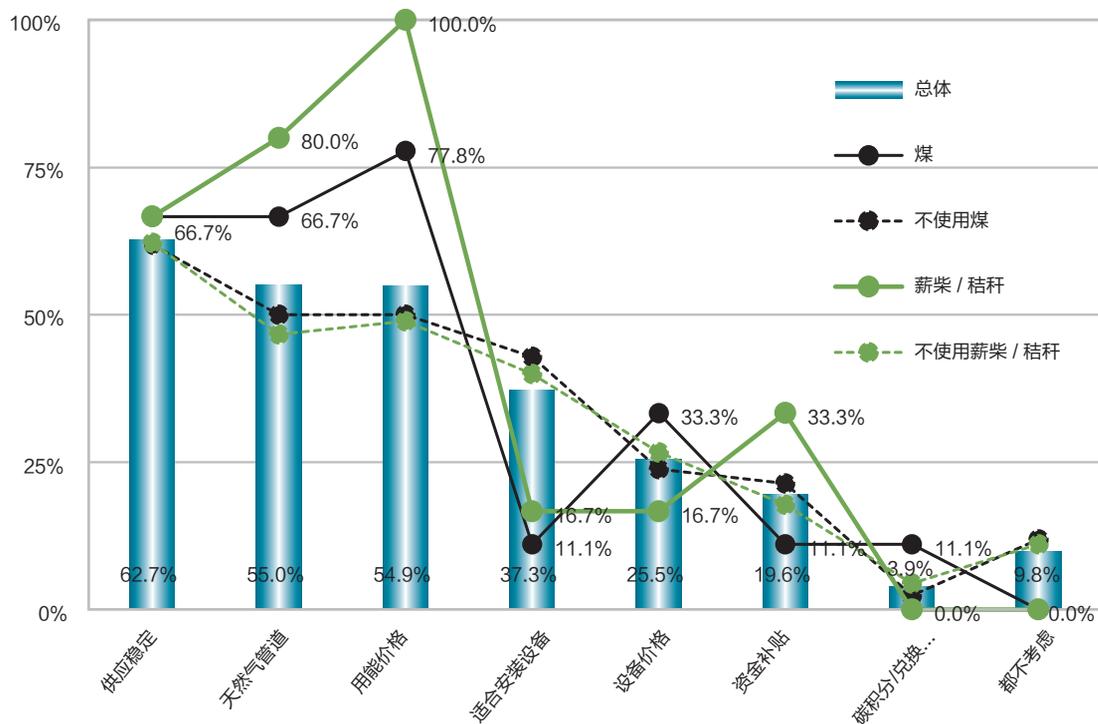


图5 不同用能类型居民（煤、薪柴）选用清洁能源时的考虑因素

针对上述情况，本研究提出：（1）在农村地区大力推广太阳能热水 / 发电系统，对可再生能源代煤的农户提供补贴；（2）低层住宅的太阳能热水 / 发电系统仍有较大发展空间；（3）优化清洁电力电网、天然气管网的建设，提高能源供应的稳定性。

3. 既有居住建筑节能改造

通过对既有建筑现状调查，发现目前住宅的居住环境主要存在 5 大问题：夏季隔热效果差、冬季保温效果差、门窗漏风、存在安全隐患、噪声大。农房大多采用砖木、土木为主要结构，50% 样本居民家庭反映农房夏季隔热效果差、冬季保温不好，农房在建设时很少会考虑门窗漏风以及噪声问题。因为低层、多层住宅楼大多位于老旧小区，建设年代久远，技术水平相对落后，建筑本身功能性退化也比较严重，低层住宅样本居民中，69.2% 的表示冬季保温性差，53.8% 表示存在夏季隔热、门窗漏风以及噪声的问题，安全性也较差，与之相比，多层住宅楼的情况会有一些改善。而高层住宅楼出现时间较晚，客户定位较高，房屋品质较好，55.6% 的受访居民表示居住过程中并未发现以上问题。所以，张家口既有居住建筑严重的现状问题是低层住宅和农房保温问题。

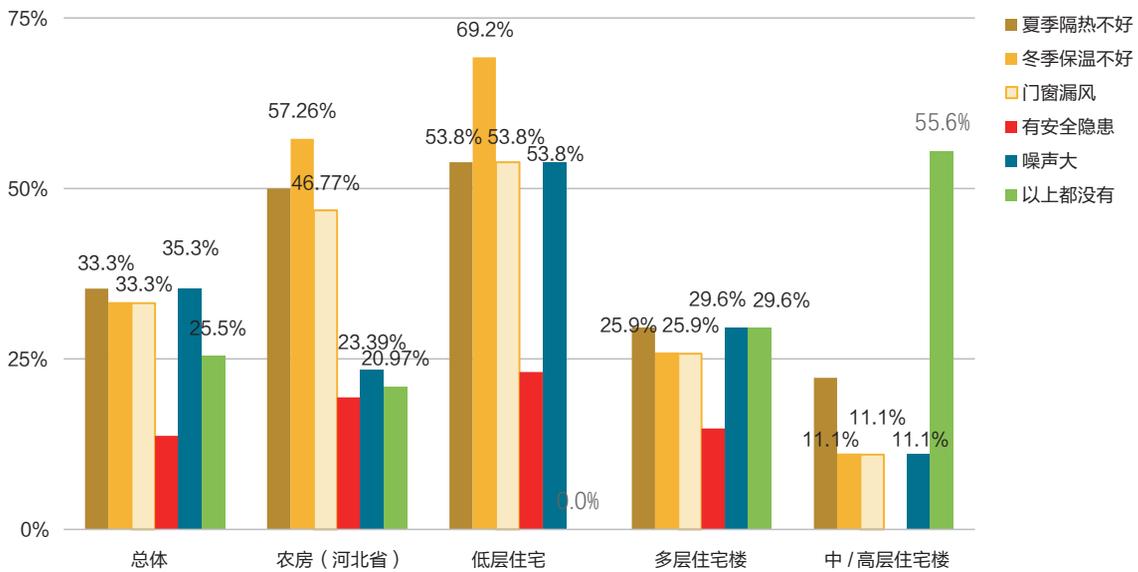


图6 各类住宅的现状问题

注：考虑到张家口目前农房样本少，在此以河北省样本进行分析作为参考

针对既有建筑改造需求，总体而言，88%的样本居民愿意进行节能改造，其中安装太阳能热水、墙体改造、门窗材料更换及安装分室调温设施的可接受度比较高，均在50%左右。对于农房居民而言，大多数家庭需要更换门窗材料，安装光伏设备和太阳能热水的需求也较高，分别占比为56.5%和48.7%。对于居住在低层住宅楼（1-3层）的居民而言，对安装太阳能热水和墙体改造的可接受度较高，分别占比69.2%和61.5%，对安装光伏发电设备的需求较低，仅占比23.1%。对于居住在多层住宅楼（4-6层）的居民而言，除屋顶改造认可度较低外，其他节能改造接受度较为平均，保持在50%左右。对于居住在中/高层住宅楼（7层及以上）的居民而言，比较愿意安装光伏发电设备及分室调温设备，占比均为44.4%，安装太阳能热水、屋顶改造和安装保温帘的需求较低。

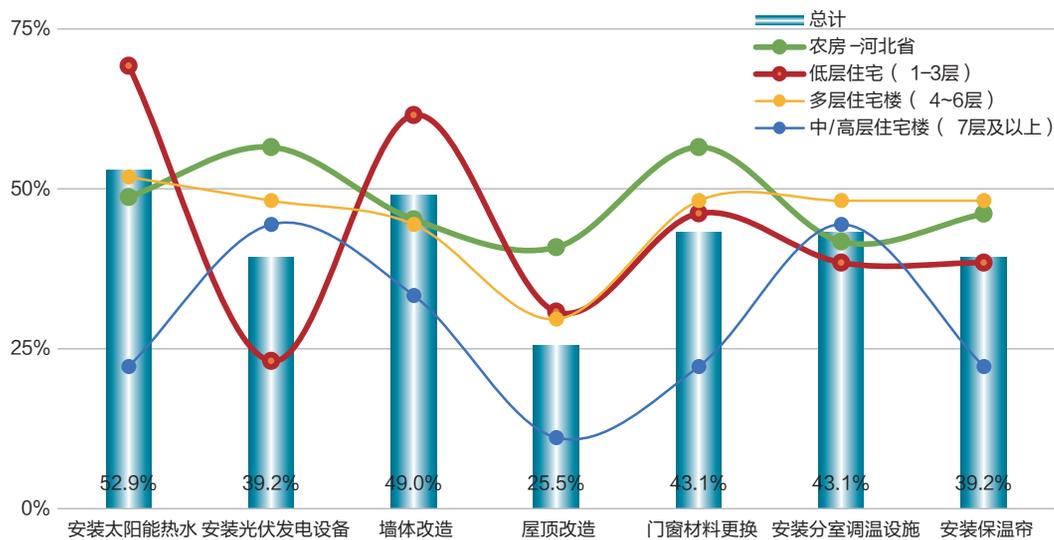


图7 不同类型住房的改造意愿

对既有居住建筑节能改造意愿调查发现，总体来看，不同政策情形下改造补贴、减少开支为居民进行节能改造的驱动力。愿意节能改造的居民样本中，有 73% 十分支持统一改造，不用支付费用时的政策，58% 支持个人改造，财政提供部分补贴的政策，而可获得改造技术指导与售后服务、改造石加建赠送部分面积政策支持率较低，都不足 20%。对于不愿意进行节能改造的样本居民来说，当出台统一改造，不用支付费用的政策时，有 83% 的居民改变了原本持有的态度，表示愿意接受节能改造。

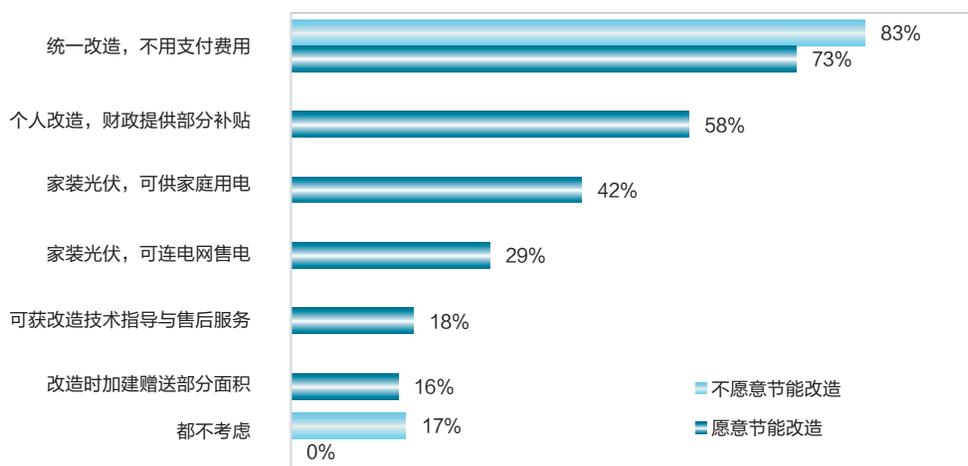


图 8 不同政策情形下的改造意愿

居民对于统一改造,不用支付任何费用的改造政策接受度最高,占比 74.5%,其次是个人改造,财政提供部分补贴,占比 51.0%。农房以及住宅楼居民家庭对改造政策持有的态度几乎一致,区别在于多层住宅楼以及农房的住户也认可改造时加建赠送部分面积的政策,而低/中/高层住宅楼住户则持有相反的态度。

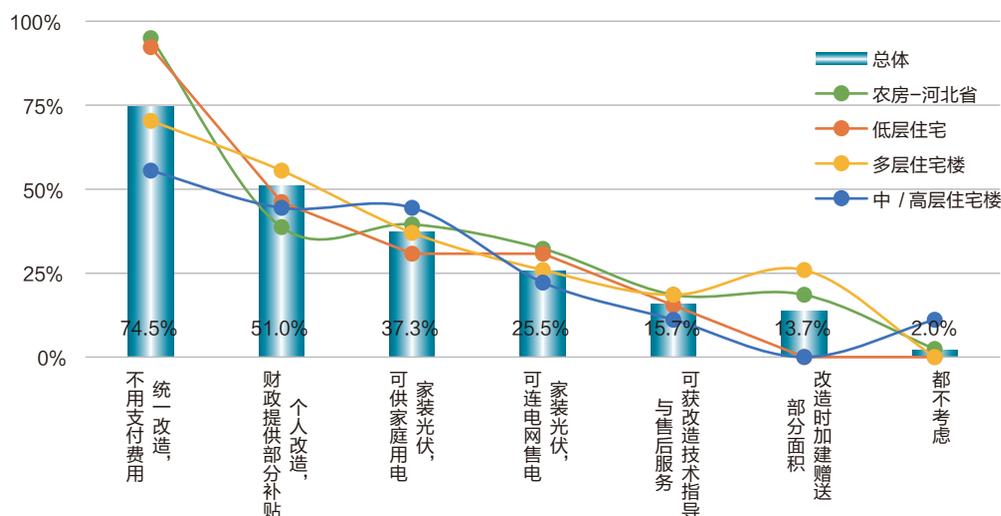


图 9 各类住房人群在不同政策情景下的改造意愿

针对居民建筑部门调研，本研究提出：

- (1) 针对不同类型住房，评估主要问题，因地制宜制定相关改造方案；
- (2) 强化既有住房的保温性能提升，财政支持门窗更换、墙体改造等工作。

4. 低碳出行

通过对公交出行意愿及影响因素调研，发现居民选择公交出行的主要原因是价格优惠，其次是线路方便、不受堵车影响，而在使用私家车作为出行方式时，经常会发生道路拥堵、停车位少、限行等问题，所以会有部分家里有私家车的居民仍然会选择公交出行。有 54.5% 的样本居民是为了践行低碳出行选择乘坐公共交通工具作为出行方式，表明张家口市部分居民具有低碳环保意识，但普及率仍旧较低。根据调查，居民对于公交服务的满意度并不高，还需要进一步加强管理。有车一族在道路拥堵、停车位较少、私家车限行等情况下会选择公交出行，无车人群更多考虑线路方便、价格优惠的因素。

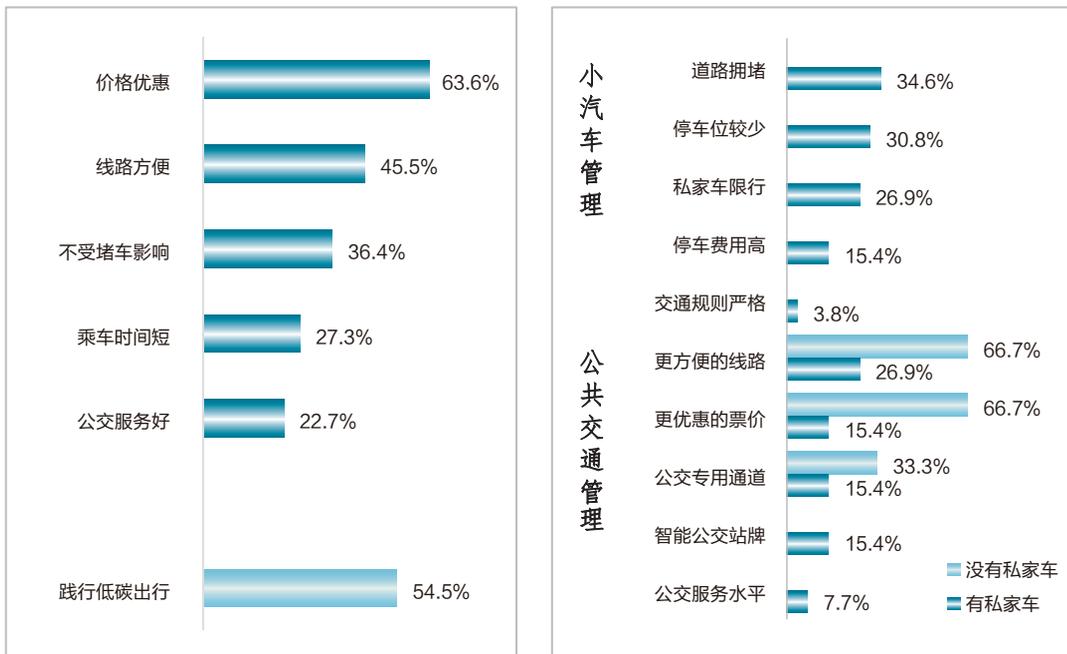


图 10 选择公共交通的原因（左）及不同情景下选择公交出行的比例（右）

对低碳交通工具购置的影响因素调查中，发现总体上看有 82% 居民购车时会考虑购买新能源车。考虑购买新能源车的居民会综合考虑各方面的因素，最主要的原因是购车补贴和充电设施分布；不考虑购新能源车的主要顾虑的续航里程和充电 / 气时间。

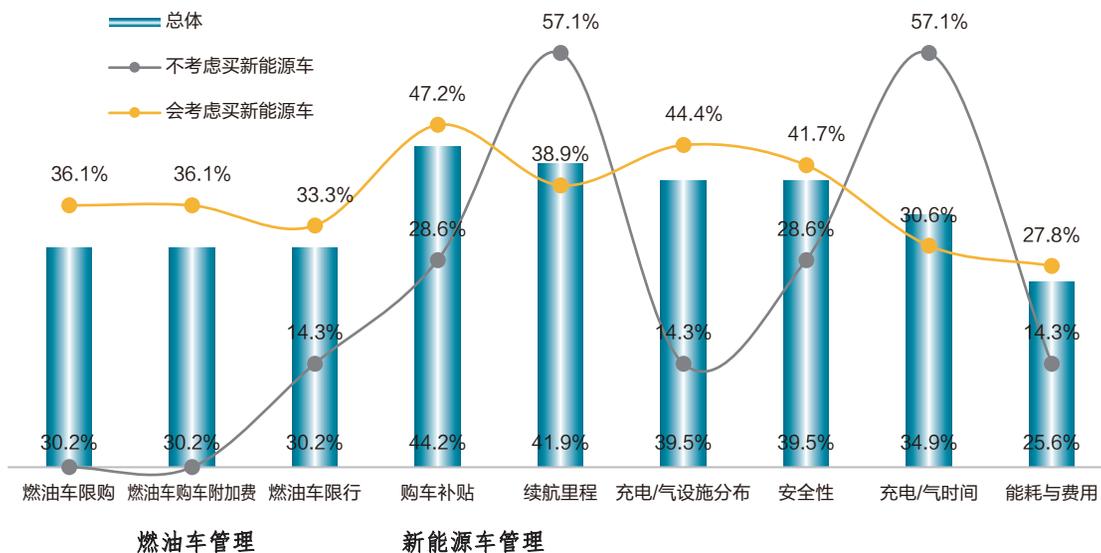


图 11 不同情景下的新能源车购置意愿

针对低碳出行，本研究提出：

- (1) 强化新能源车（氢能源车）的技术实力，提高续航能力、缩短充电 / 气时间，优化电 / 气设施布局；
- (2) 加强小汽车的出行需求管理，提高街道的可步行性；
- (3) 优化公交服务线路（郊区），改善公交服务。

附件 4:

张家口居民低碳参与意愿的调研问卷

我与低碳面对面

低碳，是一种新兴的生活态度！

绿色出行、节约用能、垃圾分类·····低碳可以从您生活中的点滴开始。

你的生活用能情况如何？哪些因素会影响您低碳出行的意愿？

直面生活细节，看看离低碳生活还有多远~

1. 您的年龄段：[单选题]*

18岁及以下 19-40岁 41-65岁 65岁以上

2. 您目前从事的职业：[单选题]*

公职人员 企事业单位人员 教师 个体经营人员 进城务工人员
 务农 退休/全职在家 学生 其他：_____

3. 您已工作了_____年 [填空题]*

一、生活用能

4. 您目前居住的房屋属于：[单选题]*

低层住宅（1-3层） 多层住宅楼（4~6层） 中/高层住宅楼（7层及以上）
 独栋别墅 公寓 农房
 其他：_____

5. 您的家庭生活中，使用的能源类型包括：[多选题]*

家庭生活用能指家庭烹饪、热水、供冷、供热所采用的能源。

薪柴/秸秆 煤 太阳能（热水/发电）
 电 管道天然气 液化石油气
 小区集中供热 小区集中供冷 其他：_____

6. 以下哪些，是您选用清洁能源的主要影响因素？ [多选题] *

(清洁能源包括：天然气、清洁电力、太阳能热水、屋顶光伏等)

有无天然气管道 (第5题中未选择“管道天然气”者可选择该选项)

能否稳定供应 能否获得资金补贴 是否适合安装设备

用能价格 设备价格 能否获碳积分 / 兑换商品

都不考虑 其他： _____

7. 您的住房是否具有以下特征： [多选题] *

夏季隔热不好 冬季保温不好 门窗漏风 光线不好

噪声大 有安全隐患 以上都没有 其他： _____

8. 您是否愿意对住房进行节能改造： [单选题] * 愿意 不愿意

9. 以下节能改造中，您可以接受的是： [多选题] * (第8题选择“愿意”填写该题)

墙体改造 屋顶改造 门窗材料更换

安装分室调温设施 安装保温帘 安装光伏发电设备

安装太阳能热水 其他，如： _____

10. “不愿意”主要的考虑是： [多选题] * (第8题选择“不愿意”填写该题)

改造成本高 影响日常生活 担心改造时间长

没有装修计划 不了解改造效果 没有成熟的技术方案

其他： _____

11. 哪些情况下，您会考虑对住房进行节能改造？ [多选题] *

统一改造，不用支付费用 个人改造，财政提供部分补贴

家装光伏，可连电网售电 家装光伏，可供家庭用电

改造时加建赠送部分面积 可获改造技术指导与售后服务

都不考虑 其他： _____

二、出行与用能

12. 您家是否有小汽车? [单选题]*

没有 有 1 辆 有 2 辆以上 (含 2 辆)

13. 您日常出行,最主要的交通方式是:[多选题]*

公交车 地铁 出租车/快车 私家车
电动自行车/摩托车 自行车 步行 其他: _____

14. 正常情况下,您从居住地到工作单位/学校的单程通勤时间一般是:[单选题]*

15 分钟足够 15-30 分钟 30-60 分钟 60 分钟以上

15. 您选择公共交通出行的主要原因是:[多选题]*

(第 13 题选择“公交车”或“地铁”填写该题)

价格优惠 线路方便 乘车时间短 践行低碳出行
不受堵车影响 公交服务好 其他: _____

16. 哪些情况,您会考虑选择公交出行?[多选题]*

(第 13 题选择未选“公交车”或“地铁”填写该题)

道路拥堵 停车位较少 停车费用高 交通规则严格
私家车限行 智能公交站牌 更优惠的票价 公交专用通道
更方便的线路 公交服务水平 其他: _____

17. 购车时,您是否会考虑购买新能源汽车?[单选题]*

会考虑买新能源车 不考虑买新能源车 不考虑买车

18. 以下情况中,对您购买新能源汽车影响最大的是:[多选题]*

燃油车限购 燃油车限行 燃油车购车附加费用多少
有无购车补贴 充电/气设施分布 充电/气时间
续航里程 安全性 能耗与费用
其他: _____

三、基本信息

19. 您现在常住在：[填空题] * _____ 省 _____ 市

20. 您的性别：[单选题] * 男 女

21. 您的年龄：[单选题] *

18岁及以下 19-40岁 41-65岁 65岁以上

22. 您的最高学历是：[单选题] *

初中及以下 高中或职高 大学或大专 研究生及以上

23. 您的家庭年收入约是：[单选题] *

<3万 3-10万 10-30万 30-100万 >100万

不太了解 / 我不想说

24. 对于生活节能以及低碳出行，您还有什么好的建议或意见？[填空题] *



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

© 2020
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