



宏观经济研究院国地所

中国城镇化低碳发展的关联分析及对策研究 ——以石家庄为案例

Correlation Analysis and Strategies for Low-carbon Urbanization in China

国家应对气候变化战略研究和国际合作中心

2018.3.5

**Natural Center for Climate Change Strategy
and International Cooperation**

March 5, 2018

目 录

前言	1
一、 背景与意义	3
(一) 研究意义	3
(二) 低碳城镇化的内涵和国内实践	4
(三) 城镇化低碳发展的关键要素识别	17
(四) 研究方法与技术路线	21
(五) 案例城市选择	22
二、 石家庄市城镇化变化特征分析	24
(一) 城镇化率：以年均 1 个百分点提高	24
(二) 城镇化区域差异：由中心城区依次向外围递减	25
(三) 城镇化驱动力：经济增长迈入“新常态”	27
(四) 城市空间结构：由“中心集聚”布局向“点核联动，轴带拓展”格局转变	28
(五) 工业用地类型：随经济转型将加快调整优化	30
三、 石家庄能源消费及碳排放现状	34
(一) 全市能源消费及碳排放现状	34
(二) 工业部门能源消费及碳排放现状	38
(三) 建筑部门能源消费及碳排放现状	45
(四) 交通部门能源消费及碳排放现状	50
四、 石家庄城镇化水平与碳排放关联分析	61
(一) 影响石家庄城镇化发展的政策因素	61

(二) 石家庄城镇化发展模式设定	71
(三) 不同城镇化模式下重点部门碳排放情景设定	79
五、 石家庄不同城镇化模式下碳排放分析	96
(一) 工业部门	96
(二) 交通部门	104
(三) 建筑部门	108
(四) 能耗和碳排放总量	112
(五) 城镇化关键因素的影响分析	122
六、 研究结论	128
(一) 基本结论	128
(二) 石家庄城镇化低碳发展几点建议	130
(三) 推进我国城镇化低碳发展的政策建议	133
附件	137

前言

随着全球温室气体的大量排放，尤其是二氧化碳排放量的连年剧增，已经导致全球气温逐渐上升，但同时也开始引起世界各国对于能源消耗以及碳排放的普遍关注。为了有效控制碳排放气候变化带来的各种不利影响，各国都在开始努力探索寻求有效途径。而低碳城市发展模式则被认为是在保持经济增长的同时实现能源节约及减少相关排放的最可能的解决方案。

进入“十三五”以来，我国的城镇化建设进入了一个全面改革的新时期，党的十九大报告进一步提出中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段，城镇化是迈向高质量发展的必由之路，建设能源节约、环境友好、经济稳定的多元性城镇已经成为社会发展的必然趋势。多年来传统城镇化模式的推广，能源结构对城镇发展的负效应越来越显著，能源消费带来的环境问题更是直接影响到了城镇发展的质量与居民的生活环境，因此我国对城镇化建设的改革必须抓住能源结构与城镇发展、城镇经济发展的互动关系，处理好城镇建设、土地利用、能源、经济的协调关系，建设高质量低碳的新型城镇。本研究在对不同发展模式的城镇化和碳排放的关系进行量化分析的基础上，以河北省省会石家庄为案例，深入分析了不同城镇化模式下的工业、建筑和交通部门能源消费及碳排放特征，尤其是对石家庄不同行业的“单位用地面积的碳排放强度”进行了量化分析。并在石家庄经验的基础上，从全国宏观层面提出了城镇化低碳

发展的政策建议，以期对我国快速城镇化过程中的碳排放控制提供有益借鉴。

一、 背景与意义

（一）研究意义

中国作为一个发展中大国，正经历着一个快速的城市化进程，2011 年我国城镇化率首次突破 50%，2017 年达到 58.52%，“十二五”期间我国城镇化率年平均提高 1.2 个百分点。随着我国人口数量的不断攀升，新型城镇化中许多资源与环境的矛盾不断显现。对此党的十八大报告将生态文明建设提升到了一个新的高度，提出我国新型城镇化经济建设应坚持低碳发展、循环发展、绿色发展，借助产业结构优化调整、转变消费模式等方式以实现城镇化的健康、可持续前进。

有研究显示，中国 287 个地级及以上的城市消耗的能源约占全国总能耗的 56%，其 CO₂ 排放占全国的 59%。近年来国务院颁布实施的《国家新型城镇化规划》，进一步提出了以人为核心的新型城镇化，并强调将生态文明理念全面融入城镇化进程，把生态文明、绿色低碳作为新型城镇化的核心原则之一。实现中国城镇化和低碳发展的有效结合，已成为中国推进新型城镇化面临的一项紧迫而又艰巨的重要任务。

但是对如何实现城镇化过程中的低碳发展，当前我国还没有一个清晰的认识，在规划政策和行动实践上还没有找到切实可行的途径和办法，推动低碳城镇化还遇到诸多障碍。一是对不同发展模式的城镇化和碳排放的关系还缺乏量化评估，对城镇化进程中的碳排放影响机制和原因尚无精确分析和准确认识。二是当前我国注重从

技术手段解决低碳问题，但从城镇化的规划及空间布局层面减少碳排放的认识还相当薄弱，缺乏有效的政策手段。

开展此研究有利于识别中国城镇化碳排放的内在机理，厘清影响城镇化碳排放的相关问题，以期为国家相关决策提供强有力的支撑；有利于丰富我国促进城镇化低碳发展的政策手段，从规划布局、土地利用等源头层面探索提出更精准、更切实可行的低碳措施，使我国的低碳城镇化推进更加顺利、更加有效；有利于衔接各地城市政府，探索出一条城镇化发展与碳排放关联分析可视化的技术方法。

（二）低碳城镇化的内涵和国内实践

1. 低碳城镇化的理论内涵

城镇化是一个综合性概念，是一个国家或地区人口从农村向城市转移、农村地区逐步演变成为城市地区，城市人口不断增长的过程，同时也是城市的空间结构即产业、建筑、交通等各种要素和资源在城市中的分布状态逐步发生变化的过程。在快速城市化过程中，城市空间结构影响着人口分布、居民出行方式、交通运输需求、建筑形态和模式以及产业结构，由此造成土地利用方式的改变影响着城市碳排放。

由于研究的侧重点和视角不同，不同的学科和学者对其有不同的理解。纵观国内外研究，低碳城镇化内涵的发展经历了城镇化、新型城镇化到低碳城镇化的过程。要厘清低碳城镇化的内涵要从低碳城市追溯。国内外对低碳城市的定义经历了不断地发展过程。城市的聚集性使得城市成为碳排放的主体，因此，实施低碳经济也需以城市作为

核心载体。低碳城市已成为一些发达国家发展低碳经济的重点，但目前低碳城市的概念尚未形成统一的定义概括。综合相关学者所做的研究，对于低碳城市理解可概括为：在保持城市本身综合竞争力不变和人民生活水平持续增长的前提下，在城市内部实现经济发展模式、消费理念(包含能源和消费理念)、生活方式的变化，从而有效降低 CO₂ 排放量。因此，低碳不是指标，低碳是一种发展模式，也是一种生活方式。18 世纪工业革命以来，传统的以家庭、作坊经济为主体的分散式城乡空间格局迅速瓦解，规模效益、集聚效益使人口、资金和技术不断向城镇集聚，城镇化成为推动经济 社会发展的主要动力，同时也导致了城镇的繁荣和乡村的衰败。随之关于城市的起源、城市的发展、城市问题以及乡村人口向城市的流动所引起的后果等等的论述也出现在一些著作中。马克思和恩格斯在其著作中也充分论述了城镇化的必要性和重要性，提出了“城乡融合”的城镇化目标。20 世纪初，欧美大部分国家已初步实现了城镇化(城市人口占总人口的 50%以上)，城镇化过程中的主要问题开始不断暴露，这不仅提出了对城镇化研究的理论需求，而且也为深入的城镇化研究提供了现实基础，对城镇化的研究由传统的形态偏好开始转向功能空间研究。国外学者对城镇化问题的理论研究从大的方面可分为区位理论、城乡结构转换理论、非均衡发展理论和协调发展理论等四大类型。20 世纪 90 年代以后，信息化、经济一体化、可持续发展等理论与思想融入到城镇化的研究之中。美国规划大师赖特(H.Wright)提出了自然生态空间融合的区域城市。欧盟从 1993 年起开始了“欧洲空间展望”跨国空间规划工作，以

实现区域与城市空间的集约发展。加拿大与美国也采取“生长控制”之类的措施 ,来调控区域城镇空间的演化。我国正处于城镇化、工业化、信息化和农业现代化快速发展的重要时期 ,城镇化被认为是我国经济增长的持久动力和新的经济增长驱动 ,也是我国未来扩大内需的最大潜力所在。通过对城镇化发展理论的梳理 ,了解城镇化发展演变的规律、机制与手段 ,可以更好地促进人口、资源与环境与发展的相互协调。

欧美发达国家在 20 世纪已经基本完成了城镇化过程 ,目前处于城镇化的后期阶段 ,而发展中国家城镇化任务艰巨。同时 ,发展中国家在城镇化的过程中所面临的国际环境、经济发展状况与历史时期欧美等发达国家不尽相同 ,要实现跨越式发展 ,完全照搬发达国家的城镇化模式是不现实的 ,必须在传统的城镇化道路的基础进行创新。

表 1 国内学者关于低碳城市的主要观点汇总

作者	年份	观点
夏堃堡	2008	低碳城市是“在城市实行低碳经济 , 包括低碳生产和低碳消费 , 建立资源节约型、环境友好型社会 , 建设一个良性的可持续的能源生态体系” , 该定义描述了低碳城市经济发展的方式 , 在目标上侧重于“能源体系”。
顾朝林	2008	低碳城市是指在保持经济社会稳定健康发展、人民生活水平不断提高的前提下 ,CO ₂ 排放维持在一个较低的水平 , 对自然系统产生较小的负面影响

谷永新	2008	低碳城市应该以低碳经济为发展模式和方向 ,城市市民应该以低碳生活为理念和行动特征 ,政府公务管理层应该以低碳社会为建设标本和蓝图 ,并提出推广太阳能、地源热泵和垃圾填埋场的气体回收利用等技术的应用
中国科学院可持续发展战略研究组	2009	以城市空间为载体 ,发展低碳经济 ,实施绿色交通和建筑 ,转变居民消费观念 ,创新低碳技术 ,从而最大限度地减少温室气体的排放
张泉	2011	低碳城市通过在城市发展低碳经济 ,创新低碳技术 ,倡导和践行低碳生活方式 ,最大限度减少城市温室气体排放 ,改进以往大量生产、大量消费和大量废弃的社会经济运行模式 ,形成结构优化 ,循环利用、能效较高的经济体系 ,形成健康节约低碳的生活方式和消费方式 ,最终实现城市的高效发展、情节发展、低碳发展和可持续发展
WWF		低碳城市应在经济高速发展的前提下 ,保持能源消耗和CO ₂ 排放处于较低的水平
中国城市科学研究会	2009	低碳城市是通过零碳和低碳技术研发及其在城市发展中的推广应用 ,节约和集约利用能源 ,有效减少碳排放的城市
中国科学院上海高等研究院	2012	低碳城市包括自然型低碳城市、产品型低碳城市及智慧型低碳城市。自然型低碳城市是指以农耕生活为主的准现代化城市 ,主要依靠降低生活质量 ,回归原始的手段

		实现低碳。产品型低碳城市是指以系能源设备生产为主的 的城市。智慧型低碳城市是指以提升市民生活品质为目标 ,优化融合现代信息技术和现代低碳技术、节能减碳 ,实现可持续发展的宜居城市。智慧型低碳城市完全符合当今现代城市的诉求
胡秀莲		低碳城市定义为“在城市可持续发展过程中 , 其经济发展模式、能源供应、生产和消费模式、技术发展、贸易活动、市民和公务管理层的理念和行为等体现为低碳化”, 此定义是基于过程视角 , 指出了低碳城市的核心标准是发展过程的“低碳化”
庄贵阳		低碳城市的特征是“较高的碳生产力 ; 较低的碳消费水平 ; 较清洁的能源结构 ; 公众有较高的低碳意识 , 企业有社会责任感”, 属于静态视角 , 即指出了低碳城市应具备的特征。
付允		低碳城市就是“通过在城市发展低碳经济 , 创新低碳技术 ,改变生活方式 ,最大限度减少城市的温室气体排放 ,彻底摆脱以往大量生产、大量消费和大量废弃的社会经济运行模式 ,形成结构优化、循环利用、节能高效的经济体系 ,形成健康、节约、低碳的生活方式和消费模式 ,最终实现城市的情节发展、高效发展、低碳发展和可持续发展”, 此定义将“情节发展、高效果发展、低碳发展和可持续发展”等目标一并纳入低碳城市范畴 , 在某种

		程度上容易降低城市的行政职能部门对于低碳低碳城市的理解,将其与循环经济、生态城市等其他类似称呼相混淆。
戴亦欣		低碳城市是“通过消费理念和生活方式的转变,在保证生活质量不断提高的前提下,有助于减少碳排放的城市发展模式和社会发展方式”,该定义基本上阐明了低碳城市的特征、条件,并阐明了“保证生活质量不断提高”这一关键前提。
李同德		以降低城市运转能耗和减少平均出行时间为基础,综合生产、生活等多种因素,提出了低碳城市的最佳规模为20万-100万人的概念,这是国内学者第一次就低碳城市的最佳规模做出定量化定义。

国内学者于2009年后逐渐开始关注低碳城镇化。中国城镇化低碳发展战略的概念最早于2009年被提出,随后开始有学者关注低碳城镇化,并开始提出低碳城镇化概念。学者对低碳城镇化的定义有不同见解。陈晓春等认为低碳城镇化是指在城镇化建设过程中,坚持可持续发展原则,制定低碳科学的城镇规划,建设低碳的城镇基础设施,形成低碳的能源消费结构,发展低碳经济。潘家华等认为低碳城镇化要摒弃高碳型城镇化发展道路,其不仅仅是简单的节能减排,还应该包括空间与规模相协调、遵循自然规律、以民为本、绿色乡土田园自主、明确并严格执行低碳目标等内涵。王富平认为低碳城镇化是指通

过设定更高的城镇发展目标 ,以低碳经济为方向培育新的低碳生产力要素 ,最终构建可持续的城镇发展模式。姚维刚等认为低碳城镇化要依托于市场机制 ,通过新政策促进技术进步 ,实现产业结构的低碳化 ,进而实现经济、社会和环境三者的可持续发展。弋振立等认为低碳城镇化是指在城镇化进程中以低能耗、低污染、低排放、高效率、高产出为特征来进行低碳城市的规划设计与建设。韩春虹等认为低碳城镇化转型需要体现可持续发展原则和低碳发展理念 ,它关系到经济社会的系统转型问题 ,具体表现为生产、生活和消费模式的转变。总的来说 ,低碳城镇化作为一个近年来新兴的研究热点 ,目前还没有明确的定义 ,但是研究的不断深入 ,其科学内涵也在不断丰富和完善。

学者对低碳城镇化的实现模式有不同见解。杨正东等认为在新型低碳城镇化应从降低能源强度、调整产业结构、持续调整能源结构降低碳排放强度、发挥碳排放权交易市场等方面着手。潘家华等指出低碳城镇化需要着力推进产业结构优化升级、鼓励发展新能源等低碳产业、加快传统高碳产业的低碳化改造 ;促进消费模式和生活方式转型 ,在建筑、交通等领域形成低碳城市生活方式。陈晓春等认为实现新型城镇化的低碳发展 ,低碳科学的城镇规划是前提 ,低碳基础设施建设是基础 ,产业结构转型升级是支撑 ,低碳排放的能源结构是关键 ,生态环境的综合治理是保障。庄贵阳等提出从能源、建筑和交通等 3 个部门破解城镇化过程中资源约束 ,实现低碳发展。刘希雅等认为阻碍低碳城镇化的原因包括经济因素和政策因素 ,经济因素指工业高碳排放、建筑面积持续扩张、交通出行需求量的持续上升和居民生活水平

的显著提高，政策因素指“摊大饼式”的城市规划和侧重国内生产总值指标的地方官员考核机制，低碳城镇化亦应该从上述几方面着手。郝华勇认为实现低碳城镇化需要以生态文明的价值理念做引领，以主体功能区规划做基底保障，以传统产业的低碳化改造和新兴低碳产业培育来匹配，将低碳城市群作为主体形态来发挥集聚集约效应，统筹城乡发展来探索符合不同地域的低碳发展模式。

综合上述论述，本研究认为，低碳城镇化就是在城镇经济快速发展和大规模人口流动的背景下，通过优化升级产业结构、合理布局发展空间、科学调整土地利用模式、构建绿色交通体系、促进绿色低碳技术的进步和应用等措施优化城市空间结构，控制能源消耗和碳排放处于较低水平的城市“低碳”发展模式。低碳城镇化的主要内涵如表 2 所示。

表 2 低碳城镇化的内涵

低碳城镇化 重点领域	标准	内涵
低碳产业体系	绿色、低碳、生态高效的生产和产业结构	● 碳排放量较大和强度较强的产业占比较低； ● 较高的能源利用效率和节能水平； ● 绿色低碳的能源消费结构； ● 绿色、低碳技术的广泛应用

低碳空间形态	紧凑集约型空间结构	● 合理控制城市规模； ● 高密度紧凑发展 ● 保持合理的地块尺度和土地开发强度
低碳土地利用模式	绿色集约的用地结构和土地利用模式	● 较高的土地利用效率； ● 支撑低碳产业体系的土地利用结构； ● 较强的碳排放吸纳能力
低碳交通体系	较低的交通出行的能源消耗	● 优先发展公共交通和非机动出行方式 ● 推行交通工具使用清洁能源
建筑低碳化	较低的建筑建造和建筑终端使用能耗	● 较高的新建建筑能效标准 ● 建筑节能改造 ● 再生能源在建筑中的广泛应用

2. 低碳城镇化的国内实践

实证研究，作为一种重要的社会科学研究方法，被广泛应用于低碳城镇化研究中。低碳城镇化评价体系和城镇化与碳排放关联关系的研究是其中的两大热点问题。总的来说，研究低碳城镇化评价体系构建的文章相对较少，已发表的研究成果均是根据自身的研究方法选择相应的指标，没有统一的评价体系，其适用性和可操作性受到限制。研究城镇化和碳排放关联关系的文章则较多，主要从理

论和实证两方面进行了分析和探索。理论研究主要倾向于城镇化进程对产业结构和能源结构的影响，进而对碳排放的影响。实证研究多是利用数量模型开展定量分析，常用的数量模型有Kaya、LMDI、IPAT、STIRPAT、时空地理加权回归模型、多指标面板数据聚类分析等。

本文重点归纳总结了城镇化和碳排放关联关系的相关研究成果。归纳整理后发现，大部分研究认为提高城镇化率会增加碳排放，如林伯强等利用修正后的Kaya恒等式分析我国1978-2008年城镇化阶段碳排放的影响因素，结果表明碳排放量和城镇化水平之间存在稳定的长期均衡关系。部分研究认为城镇化率的提高有助于碳减排。如卢祖丹等利用三阶段最小二乘法探讨了我国城镇化对碳排放，研究显示城镇化发展有利于我国实现碳减排。还有些学者认为城镇化进程对碳排放的影响存在阶段性规律或空间性规律。如Dong等利用结构向量自回归模型对我国1979-2009年间的碳排放、城镇化率等相关数据进行回归分析，结果表明城镇化率与碳排放呈U型关系。总的来看，针对我国城镇化与碳排放关联关系的研究方法多样、研究内容深入，但城镇化与碳排放之间到底存在何种关联却没有形成一致的判断，笔者认为其主要原因是：一是分析方法的局限性，不同学者采取了建模原理迥异的模型方法，所采用的指标类型亦有不同；二是时空范围的不同，不同学者根据研究需要，选取了不同的空间区域或者时间系列。我国省市城镇化发展阶段有快有慢，且不同的城镇化发展阶段对能源需求增速不一，如果研究覆盖

的时空范围不同也会导致不一样的结果。

表 3 关于我国城镇化和碳排放之间关系的实证研究

第一作者	研究区域 /时间范围	研究方法	主要结论
林伯强	全国/1978-2008	Kaya恒等式	城镇化和碳排放之间存在稳定的 长期均衡关系
周葵	全国/1978-2009	协整分析	城镇化与碳排放呈正相关关系
王小斌	省级/1995-2011	STIRPAT模型	城镇化造成碳排放增加，同时碳 排放存在明显的区域差异
朱高鹏	山东/1985-2010	协整分析	城镇化与碳排放存在长期稳定均 衡关系且富有弹性
宋德勇	省级/1995-2008	STIRPAT模型	城镇碳排放是我国碳排放的主体
卢祖丹	省级/1995-2008	三阶段最小二乘法	城镇化发展有利于碳减排
肖宏伟	省级/2006-2010	空间计量模型	城镇化有利于降低全国平均碳强 度；东部地区城镇化有利于降低 碳强度，而中西部地区则反之
谭黎阳	省级/2005-2012	地理加权回归模型 /STIRPAT模型	中东部地区，城镇化会增加碳排 放；在西部地区则反之
董向阳	全国/1989-2009	结构向量自回归模 型	城镇化与碳排放呈U型关系
余晶晶	省级/1995-2012	STIRPAT扩展模型	城镇化与碳排放呈倒U型关系；城

			镇化对碳排放的影响有区域差异
胡建辉	城市群/2005- 2012	STIRPAT模型	城镇化对长三角城市群的碳排放有抑制作用；对京津冀地区则反之；珠三角地区呈U型关系

各级政府逐步开始推动低碳城镇化。低碳城镇化理念在“十二五”前被引入我国，从中央政府到地方政府都在摸着石头过河，探索如何推动低碳城镇化。2007年《中国应对气候变化国家方案》的发布标志着我国应对气候变化工作的正式开始，2011年国务院出台《“十二五”控制温室气体排放工作方案》指导“十二五”期间的应对气候变化工作，随后更多的相关政策陆续出台，在这些政策文件中没有明确提及低碳城镇化，但是控制温室气体所运用的多种措施均涉及低碳城镇化。2014年出台的《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》将低碳发展成为作为新型城镇化的重要发展方向，低碳城镇化理念开始进入政策文件，进入“十三五”后，国务院印发的《“十三五”控制温室气体排放工作方案》明确提出从城乡低碳化建设和管理、建设低碳交通运输体系、加强废弃物资源化利用和低碳化处置和倡导低碳生活方式等4个方面推动低碳城镇化。截至2017年9月底，全国27个省、自治州、直辖市陆续发布了省级“十三五”控制温室气体排放工作方案或相关规划，在这些控温方案或规划均明确提及如何推动低碳城镇化。因此，低碳城镇化将受到各级政府越来越多的重视，其发展将走上快车道，但是发

展效果如何仍有待检验 ,这也是学术界在后续研究中应重点关注的方向之一。

从提出低碳城镇化理念到低碳城镇化写入政府发布的政策文件中所用的时间前后不到 10 年时间 , 社会所积累的实践经验仍相对较少 ,但是仍有学者总结了部分省份低碳城镇化的探索实践。姚维刚等分析了河北省城镇化发展现状 ,指出河北省低碳城镇化过程中存在能源消费结构偏高碳、产业结构偏重、城镇基础设施建设不完善、公共低碳消费习惯尚未形成等问题 ,提出通过调整能源结构、优化产业结构 ,构建低碳产业体系、倡导低碳生活等措施解决河北省低碳城镇化存在的问题。张瑶等分析了山西省城镇化发展现状 ,梳理了城镇化发展中的高碳困境 ,提出了山西省低碳城镇化发展路径应该是发展低碳经济、实施低碳规划、推行绿色交通和建筑、倡导低碳生活等。邓逸等分析了湖北省低碳城镇化面临的障碍 ,提出了湖北省低碳城镇化的思路应该是加强分类指导 ,推动形成差异化的城镇化发展模式 ,科学推进旧城改造和新城建设 ,发展低碳产业体系、建设绿色建筑体系和低碳交通网络 ,加强节能环保 ,倡导低碳生活。孙菲等通过翔实的数据分析了黑龙江省新型城镇化低碳发展的现状 ,找出了黑龙江省的低碳发展水平低的客观原因。总的来说 ,学者总结了不同省份在推进城镇化低碳发展面临的机遇和挑战 ,尝试从经济增长转型、能源系统转型和消费模式转型三个方面解释如何推进低碳城镇化。由于我国不同省份的城镇化发展阶段有所不同 ,在低碳城镇化中所面临的问题也会有所不同 ,所以学者所提出的针对性措施也有所不同。另外 ,目前总

结城镇化低碳发展成果的文章仍有不足，一是文章数量相对较少，评价政策实施效果的文章也相对较少，二是现有研究多集中在省级范围上，随着低碳城镇化的稳步推进，未来学者们应从全国、省级甚至地市级层面上总结低碳城镇化的经验，为后续发展提供借鉴。

（三）城镇化低碳发展的关键要素识别

根据kaya公式，影响一个地区的碳排放的因素主要有人口、GDP、能源结构和能源消费强度等4个指标，所以在城镇化地区影响碳排放量增长的关键因素同样是影响城镇化低碳发展的关键因素。

人口是碳排放量增长的重要贡献因素。我国人口绝对数一直在增加，到2015年全国人口达到13.68亿人，相比2000年增加了1亿人。人口数量的增加伴之以城镇化率的提高、居民生活水平的提升，使得经济产出必须持续增长以及与之对应的能源消费持续增加以满足人们的基本生存和发展的需求。2015年我国“全面二孩”政策将在一定程度上适当增加出生人口。根据有关部门预测，如果按照“全面二孩”政策之前的情形发展，到2020年全国总人口约14亿，实施“全面二孩”政策后，2020年总人口约为14.2亿，到2029年总人口达到峰值14.5亿。可以预期的是，中国人口控制政策将越来越宽松，人口增长将以自然规律增长，在人口总数达峰之前，人口增长将一直是推动碳排放增长的重要因素。

经济持续增长是我国碳排放增长的主导因素。能源是维持经济运行的基本投入物，而二氧化碳排放是化石能源消费的直接产物。如果

保持能源强度不变，随着经济规模的增加，能源消费也会相应增加，伴之而来的是碳排放。我国 GDP 已由 2000 年的 15.36 万亿元（2010 年不变价）增长至 2015 年的 59.57 万亿元（2010 年不变价），相应的，我国能源活动相关的碳排放量由 2000 年的 33.74 亿吨增加至 2015 年的 93.12 亿吨。我国经济增长已由高速增长调速换挡至中高速，相对较慢的经济增速将适度放缓碳排放的增长，但是决定为控制碳排放而牺牲经济增长也是不可取的。

产业结构轻重与否一定程度上影响碳排放量增速。理论上来说，第二产业对能源消费的需求远大于第一产业和第二产业。“退二进三”即降低第二产业比重并提高第三产业比重有助于降低能源消费的过快增长。产业结构调整一直是我国经济转型升级的重点工作，近年来，我国的产业结构也一直在优化调整，2015 年三次产业结构为 9%：40.5%：50.5%，2015 年的第二产业比重相比 2010 年降低 6.3 个百分点，第三产业提高了 7.5 个百分点。

能源消费强度的下降有利于控制碳排放。能源消费强度指的是能源消费量与国内生产总值之比，即单位 GDP 能耗强度。该指标反映了一国经济生产中能源利用效率高低的指标，提高能源利用效率，同样能有效减少碳排放。2015 年单位 GDP 能源强度为 0.72 吨标煤每万元（2010 年价），相比 2010 年的 0.88 吨标煤每万元下降了 18%，完成了国家下达的节能目标。

能源结构优化有助于控制碳排放。能源消费结构是指消费的各种能源品种在能源消费总量中所占的比例关系。一吨标煤的煤炭、石油、

天然气燃烧产生的碳排放分别为 2.78 吨、2.08 吨和 1.63 吨。不同能源品种的碳排放强度不同则意味着通过改变能源消费结构能够控制碳排放。我国的能源消费结构在不断的优化,2015 年煤炭能源比重降低至 64.5%，相比 2010 年下降了 4.7 个百分点，而 2015 年非化石比重达到 12%，相比 2010 年上升了 2.6 个百分点。

人口、经济增长、产业结构、能源结构和能源消费强度是影响一个国家或地区的碳排放的关键指标。在识别中国城镇化低碳发展的关键指标时，上述指标同样至关重要。本研究认为，应在这几个指标的基础上再筛选出能够针对土地利用变化的指标。这是因为，城镇化过程中也伴随着土地利用变化，土地利用类型发生了变化，相应产生的碳排放量也会不同，例如：一次产业用地和工业用地的单位用地碳排放会有明显的区别。因此，影响城镇化低碳发展的关键指标是人口、经济增长、能耗强度、能源结构和土地利用（表 4）。

表 4 影响城镇化低碳发展的关键要素识别

关键指标	指标内涵	对碳排放的影响方向
人口数量	一个地区或城市的人口总量，通常指常住人口数量	一般情况下，人口数量越高，碳排放量越大
经济增长	是指一个国家(或地区)在一定时期内生产的全部最终产品和服务价值的总和	在经济结构一定的条件下，GDP越高，碳排放量越大
产业结构	指第一产业、第二产业和第三产	相同经济总量下，第二产

	业在一国经济结构中所占的比重	业比重越高，碳排放量越高
能耗强度	一次能源消费量与国内生产总值(GDP)的比值	一般情况下，能耗强度越高，碳排放量越大
能源结构	在一次能源消费总量中各种能源品种的构成及其比例关系	相同的一次能源消费总量条件下，非化石能源比重越高，碳排放量越低

（四）研究方法与技术路线

城镇化的发展过程也伴随着工业、建筑和交通部门的快速发展。中国城市化和工业化是能源消费变动的原因，工业化是城市化的主要驱动因素。目前我国各城市正处于工业化和快速城镇化共同驱动能源消费和碳排放增长的阶段。本研究以石家庄为典型案例，对不同城镇化模式下的工业、交通和建筑行业的发展水平、空间布局与碳排放的关系进行数量分析，构建起涵盖石家庄经济发展、工业、建筑与交通领域的城镇化碳排放关联分析模型框架，预测分析石家庄在不同城镇化模式下工业、建筑和交通部门的发展趋势以及能源消费和碳排放量（图1）。

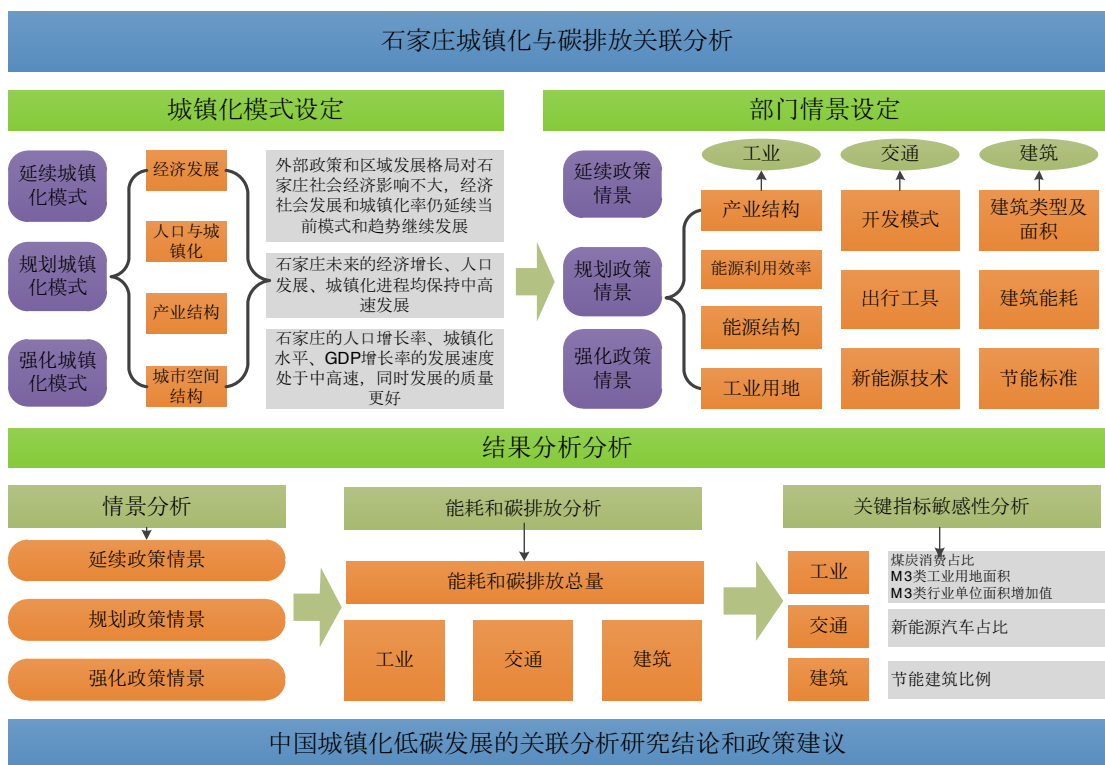


图1 石家庄城镇化与碳排放关联分析方法学路线图

工业部门碳排放核算：首先将M1、M2、M3¹三类工业行业的用地面积和行业增加值或产量进行关联，计算得到单位土地面积的产量和单位土地面积的工业增加值数据。然后根据单位产量（增加值）能耗、产量（增加值）和能源结构来核算出工业行业碳排放量。

建筑部门碳排放核算：建筑年代决定其采用的节能标准，不同节能标准对应不同水平的能耗因子，再结合人均居住/公建面积，以及不同情景下各区县人口，可推算各区县建筑总量，进而计算不同能耗强度的建筑总能耗和碳排放量。

交通部门碳排放核算：根据区位、有无轨道覆盖、密度和功能将市域内的街区划分为不同的场地类型，基于场地类型对交通出行特征做出假设，不同情景下的场地类型比例不同，结合该情景下的人口分布，可推算每个街区的居民出行行为特征值，如交通出行方式分担率、拥车率和车公里数。交通出行方式主要考虑步行、自行车、小汽车、公共汽车和轨道交通，不同交通出行方式对应的能耗因子不同，结合街区出行行为特征值，可推算每个街区的总能耗以及碳排放量。

（五）案例城市选择

近年来，我国的区域合作发展迅速。“十一五”期间，我国首次提出把发展“城市群”作为推进区域经济发展的新思路，珠三角

¹ 本研究所提及的三类工业用地，指的是按照《城市用地分类与规划建设用地标准》将工业用地分成的三种类型。包括基本无污染、能耗较低（M1）、对环境有一定干扰和污染、能耗较高（M2）、对环境有严重干扰和污染、高能耗的工业用地（M3）

经济区、长三角经济区、京津冀区域、长株谭城市群和成渝经济区等国家重点城市群快速发展。石家庄所在的京津冀区域，是一个经济规模较大，城镇体系比较健全的特大城市群。目前京津冀协同发展已上升到国家战略层面，如何探索京津冀城市群具有生态文明时代特征的城市发展模式是当前重要的研究课题。因此对京津冀城市群进行城镇化低碳发展研究具有极其重要意义。

但是京津冀地区各城市低碳发展水平不均衡，其中河北省低碳发展水平远远低于周边北京和天津市。石家庄作为河北省的政治经济中心，目前它的次中心经济地位优势开始显现，其经济影响力不断增加，辐射能力和范围不断增强和扩大。但同时石家庄也存在产业结构较重、低碳发展水平相对不高的问题。石家庄作为省会，其发展模式在河北省具有显著的代表性，因此，本研究选取石家庄作为案例城市开展城镇化低碳发展研究，探索在快速城镇化过程中的低碳发展模式，不仅对于提升石家庄低碳发展水平，对于推动整个河北省乃至京津冀整体的低碳发展水平也具有良好的示范意义。

二、 石家庄市城镇化变化特征分析

石家庄位于东经 113°30′~115°20′、北纬 37°27′~38°04′之间，居于河北省中南部，东与衡水接壤，南与邢台毗邻，西倚太行山，与山西省接壤，北与保定交接。石家庄现辖 6 个区、五个县级市、十二个县。

石家庄作为河北省省会，是全省的政治、经济、文化、交通中心，京津冀都市圈的重要组成部分。工业以纺织、医药、化工、机械、电子为主，服务业也比较发达，是全国重要的现代服务业基地之一。交通发达，京广、石太、石德铁路交汇于此，是全国重要的铁路交通枢纽之一，石家庄民航机场与国内外有 19 条航线相通，为石家庄的对外交通提供了极为便利的条件。作为一个较新的省会城市，石家庄城市发展历史较短，但是经过多年的建设，已经成为我国北方重要的商品商贸中心和全国知名的“药都”。

（一）城镇化率：以年均 1 个百分点提高

近年来，石家庄围绕率先在全省全面建成小康社会的目标，坚持工业化、信息化、城镇化和农业现代化同步推进，城镇化率稳步提升。2000 年以来，石家庄全市的城镇化率以每年超过 1% 的速度提高，2015 年全市的城镇化率已经达到 58.3%（图 2），高出全省平均水平大约 7 个百分点（图 2）。

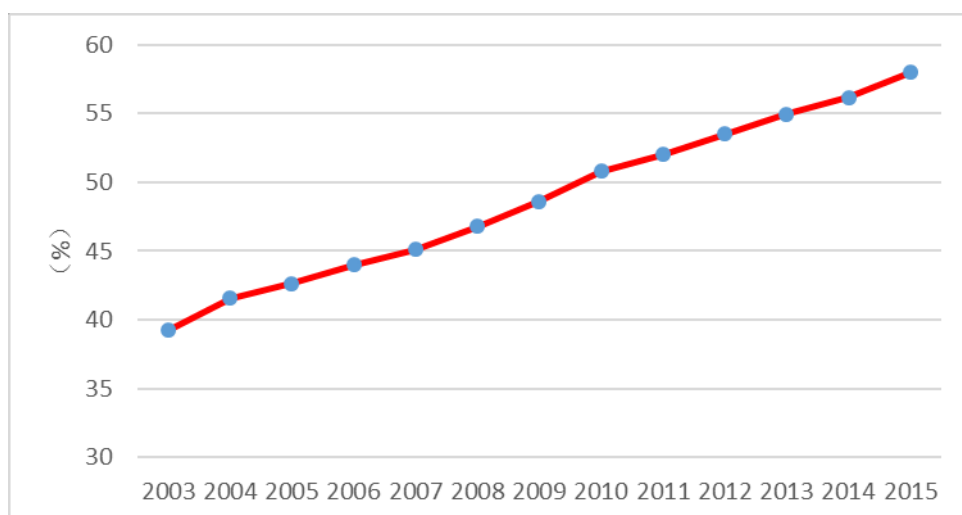
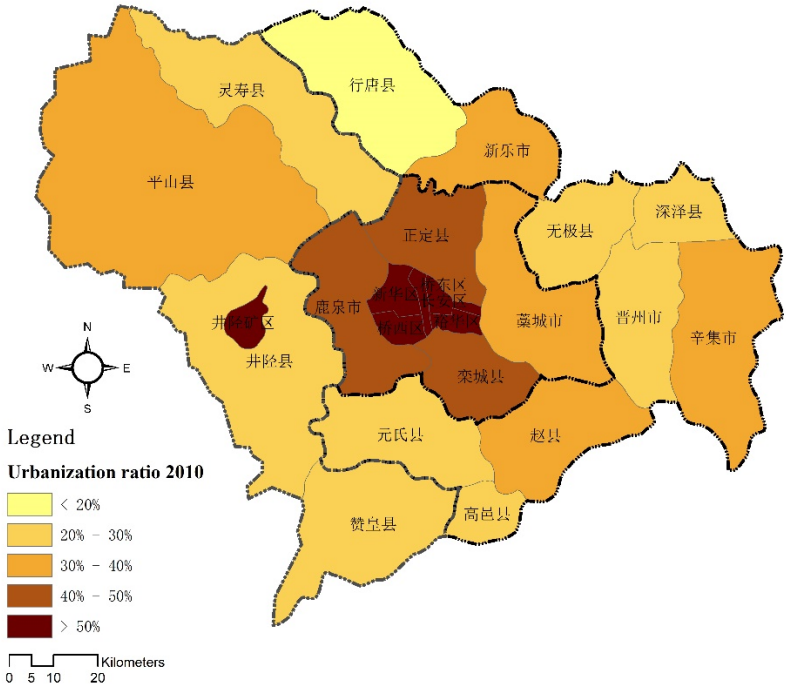
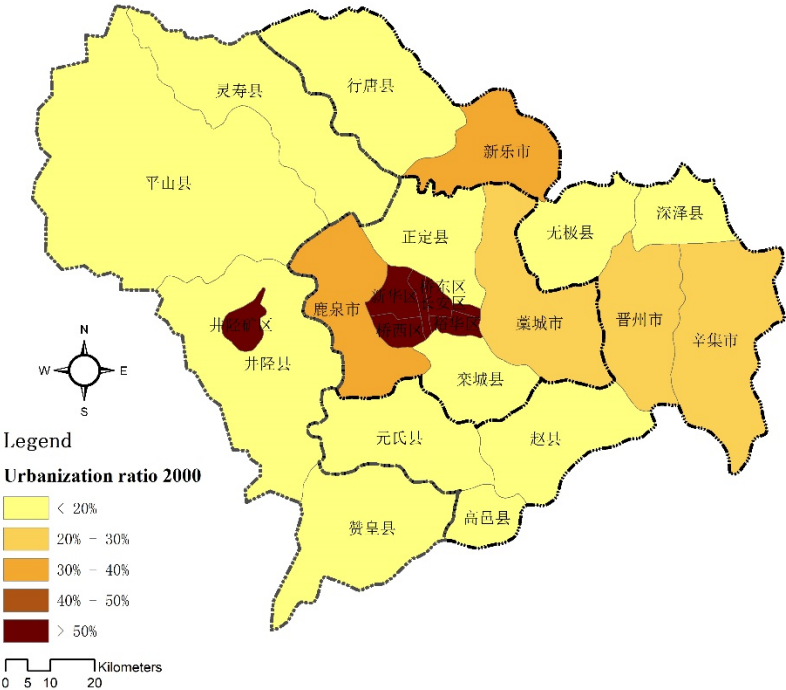


图2 石家庄市城镇化水平（%）发展趋势

（二）城镇化区域差异：由中心城区依次向外围递减

石家庄全市内部，城镇化发展水平也存在较大差异，中部的中心城区城镇化发展水平明显高于东西部的辖县和县级市。2000年，中心城区的城镇化率均超过90%，东部的两个县级市新乐和鹿泉的城镇化率超过30%，其他县市的城镇化率均低于30%，尤其西部和北部的几个县，比如：平山县、灵寿县、赞皇县等，城镇化率大概只有10%左右。相比于2000年，2010年石家庄各区县市的城镇化率有了比较大的提升，尤其是中心城区附近的几个区县，包括正定县、鹿泉市、栾城县、藁城市等，其次是东部的几个县市城镇化率增长比较快。2012年，中心城区及周边几个区县的城镇化率已经都高于50%，东部地区的晋州市、赵县等几个县市的城镇化率也已经突破50%。最新的数据显示，2015年中、东、西部的城镇化率分别为80.32%、36.92%和36.8%。从增速上看，东部城镇化发展最快，比上年同期提高2.44

个百分点，高于中部(1.68 个百分点)和西部(1.81 个百分点) (图 3)。



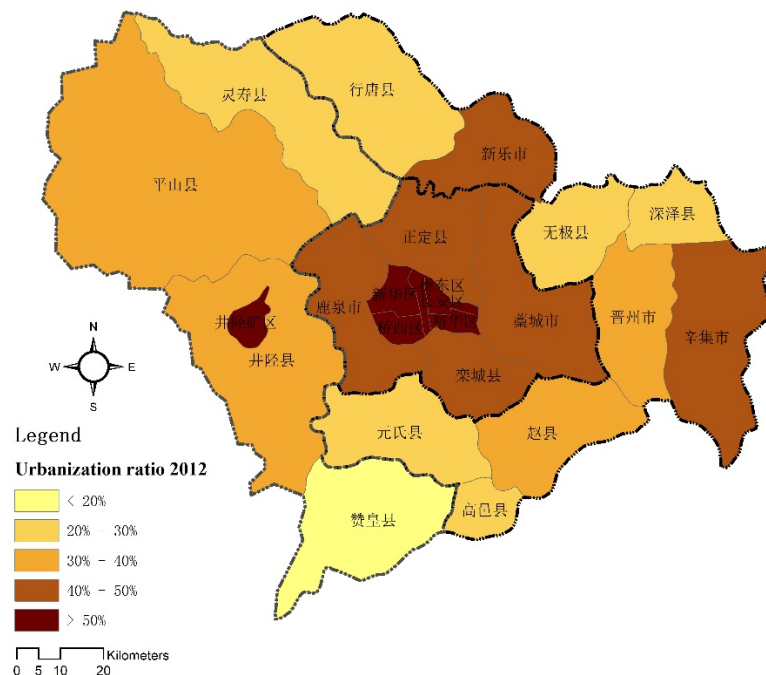


图 3 石家庄城镇化水平变化趋势

（三）城镇化驱动力：经济增长迈入“新常态”

从经济总量和人均值看，石家庄正处于中等收入水平向高收入水平过渡的阶段。石家庄 2015 年全市地区生产总值达到 5440.6 亿，在全国所有城市中排名 39 位，在河北省内低于唐山市排名次席，全市人均 GDP 超过 5 万元，与全国水平基本持平（图 4）。

从 GDP 增长率看，石家庄经济增长步入“新常态”。2000 年以来，石家庄 GDP 的年增长率在 10% 左右；2006-2009 年的 GDP 增长率较高，超过 12%；2011 年以来增长率逐步下降，回归到 8% 左右，并且趋于平稳，与全国经济增长的趋势基本相同（图 5）。可以预见，在全国经济进入“新常态”下，未来一段时期石家庄的经济增长率将转为中高速或中速。

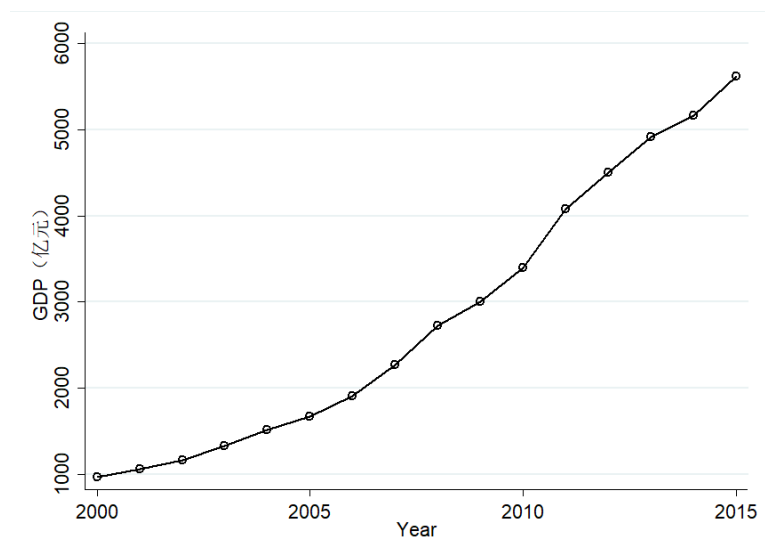


图 4 石家庄 GDP 水平(亿元)

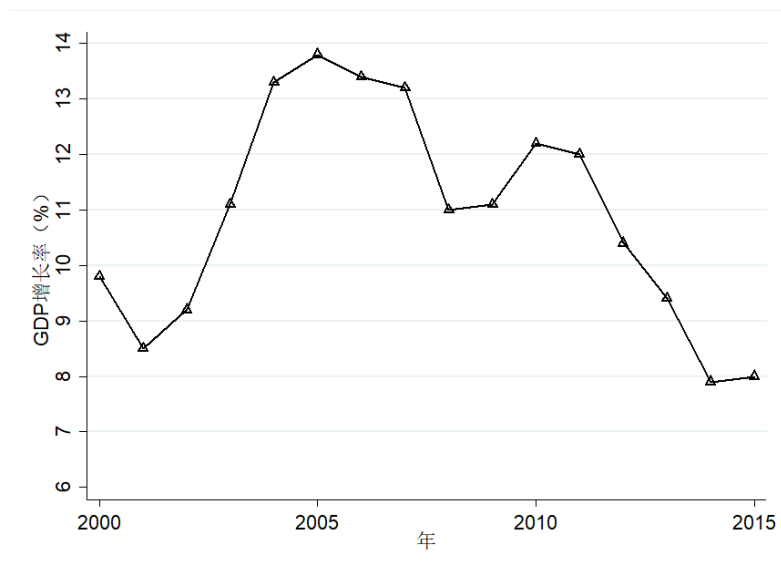


图 5 石家庄 GDP 增长率 (%)

（四）城市空间结构：由“中心集聚”布局向“点核联动，轴带拓展”格局转变

石家庄的城市空间结构经历了一系列的演变。早期城市空间结构呈现“中心集聚”特点，发展主要集中在滹沱河南岸的中心城区，包括了新华区、桥西区、桥东区、长安区、裕华区。

上一版的《石家庄市城市总体规划 (2011-2020 年) 》在城市空间发展上重点实施“北跨”战略，建设正定新区，并且实施“西控”、“南优”和“东延”战略。其中，中心城区为全市工业化和城镇化的重点推进区域，东部区域为城市产业发展外延区域，西部和南部以生态保护和绿色生态产业发展为主。石家庄空间结构的远景发展将按照“一城三区三组团”的城市发展框架，远景都市区城镇人口规模达到 600 万，中心城区 (含正定) 达到 500 万，形成“双核、双轴、双带”的城市空间布局结构 (图 6)。

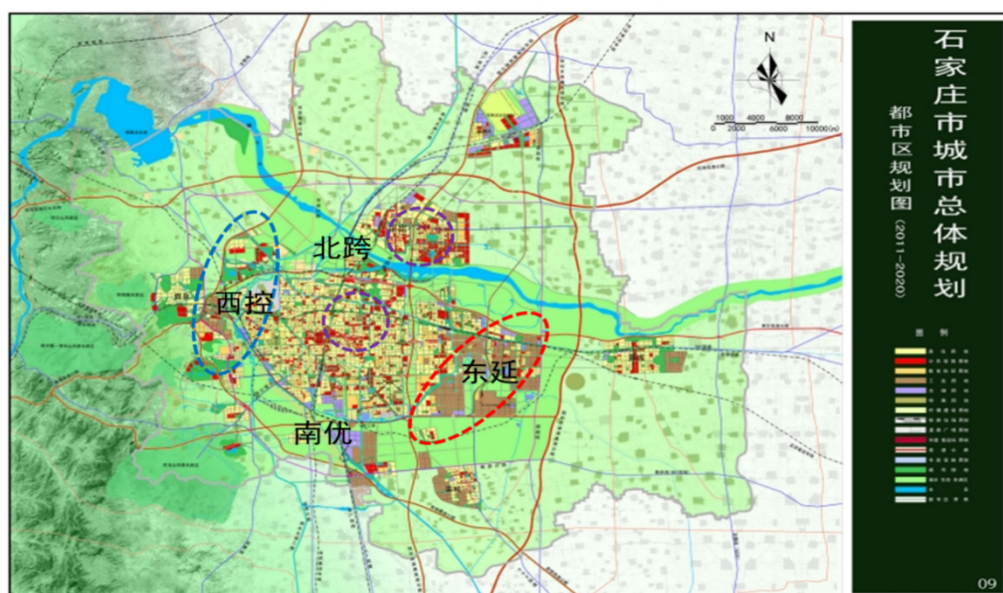


图 6 石家庄城市总体规划

石家庄“十三五”规划提出了“一核一带两轴三区”的市域空间结构。其中，“一带”是指沿滹沱河生态休闲景观带。“两轴”为依托京广集疏通道的南北向协同发展轴和依托石太集疏通道的东西向联动辐射轴。“三区”为中部综合功能区，包括主城区、藁城区、鹿泉区、栾城区和正定县；东部产城拓展区，包括行唐县、新乐市、无极县、深泽县、

晋州市、赵县、元氏县和高邑县；西部生态优化区，包括平山县、灵寿县、井陉县、井陉矿区和赞皇县（图7）。

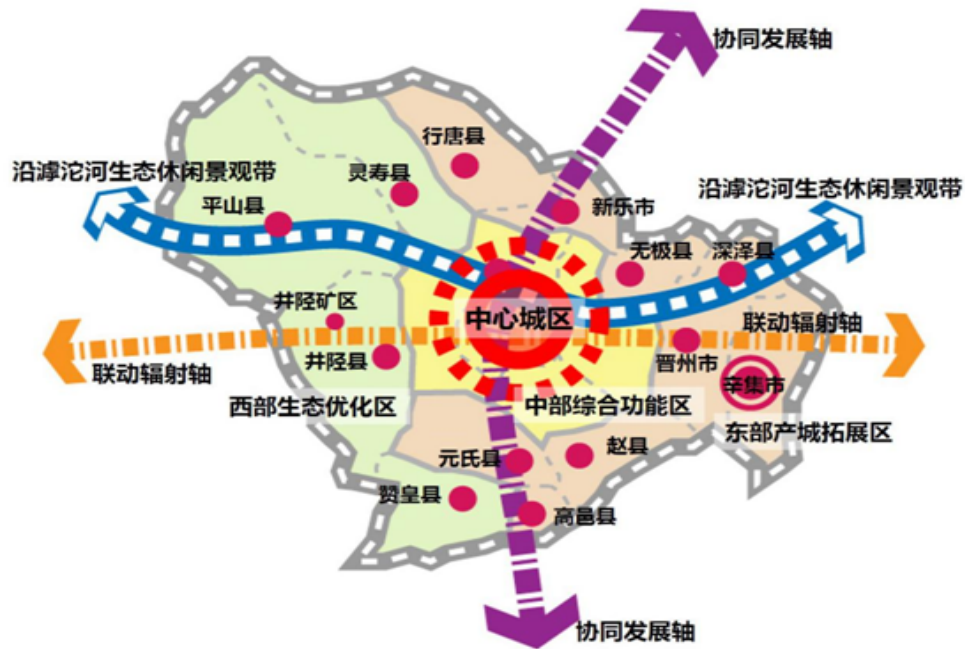


图7 “一核一带两轴三区”市域空间结构

总体来看，石家庄的城市空间将以“点核联动、轴带拓展”结构发展，中心城区与市域次中心相互呼应，是未来全市的主要增长极。从全市区域发展格局看，主城区的趋势是向北发展，中心城区与正定新区形成“一河两岸”融合发展的格局，东部区域是石家庄产业的延展区，而西部和南部的生态保护、控制强度会比较大。

（五）工业用地类型：随经济转型将加快调整优化

长期以来，石家庄处于工业化中后期和城镇化加速期，社会经济增长极大地依赖于对土地资源的占用，导致用地相对粗放、效率较低，结构偏重，布局不尽合理。总体来看，石家庄是传统制造业大市，兼具工业化中后期特征。从结构看，第二产业比重较大（图

8)，2015 年之前，全市整体呈现“二三一”的产业结构，且制造业内部结构仍然偏重。由于石家庄偏重的工业结构，M3 用地类的制造业占比较大（表 4），导致碳排放强度较大的 M3 类工业用地，特别是资源性产业用地，规模相对较大（图 9）。从空间分布来看，石家庄工业布局较为分散，各县市区工业结构“大而全、小而全”的现象比较明显，集聚程度不够，导致石家庄土地利用方式相对粗放，空间分布零散，建设用地集约利用水平低，单位面积建设用地经济效益相对较低。

表 4 按工业用地类型产业划分

M1 用地类工业	M2 用地类工业	M3 用地类工业
● 电气机械及器材制造业； ● 工艺品及其他制造业； ● 通信设备、计算机及其他电子制造业； ● 仪器仪表及文化、办公用机械制造业	● 纺织服装、鞋、帽制造业； ● 纺织业； ● 废弃资源和废旧材料加工业； ● 家具制造业； ● 交通运输设备制造业； ● 金属制品业； ● 木材加工及竹、藤、棕、草制品业； ● 农副食品加工业； ● 食品制造业； ● 塑料制品业； ● 通用设备制造业； ● 文教体育用品制造业； ● 橡胶制品业； ● 烟草制造业； ● 医药制造业； ● 饮料制造业； ● 印刷业和记录媒介的复制； ● 专用设备制造业； ● 建筑业	● 非金属矿采选业； ● 黑色金属矿采选业； ● 煤炭开采和洗选； ● 石油和天然气开采业； ● 非金属矿物制品业； ● 黑色金属冶炼及压延加工业； ● 化学纤维制造业； ● 化学原料及化制品制造业； ● 皮革、毛皮、羽毛（绒）及其制品业； ● 石油加工、炼焦及核燃料加工业； ● 有色金属冶炼及压延加工业； ● 造纸及纸制品业； ● 水的生产和供应业； ● 电力、热力的生产供应业； ● 燃气生产和供应业； ● 有色金属采选业； ● 其他采矿业

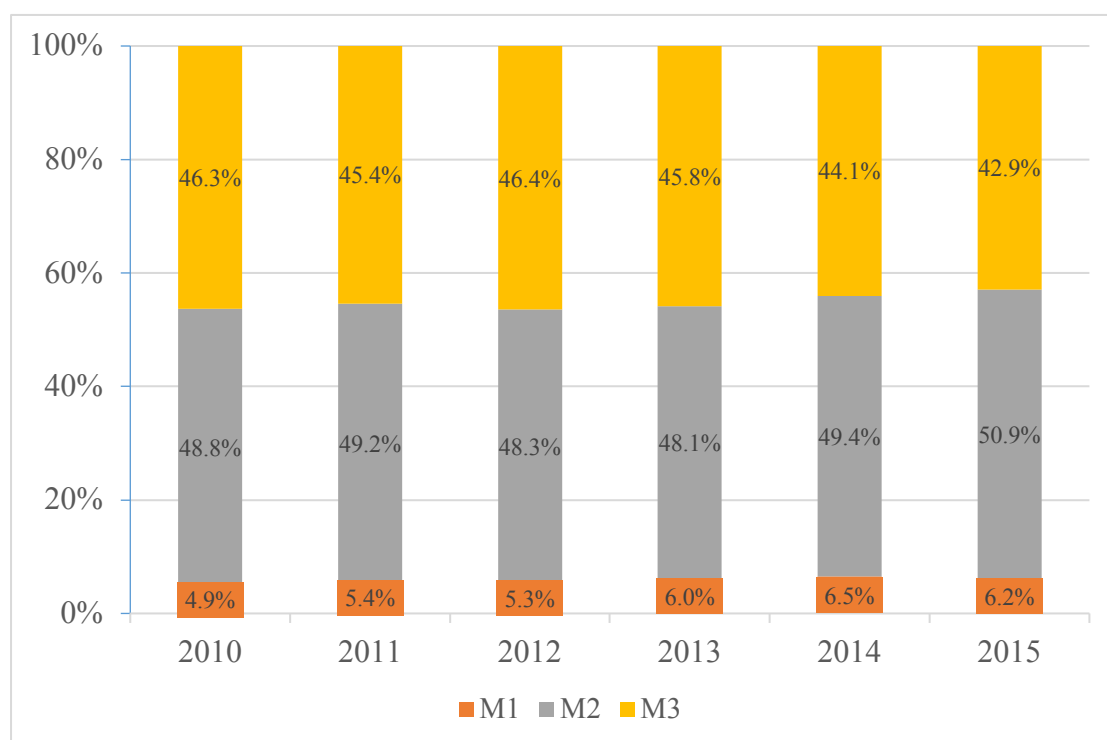


图 8 石家庄市三类工业行业增加值占比

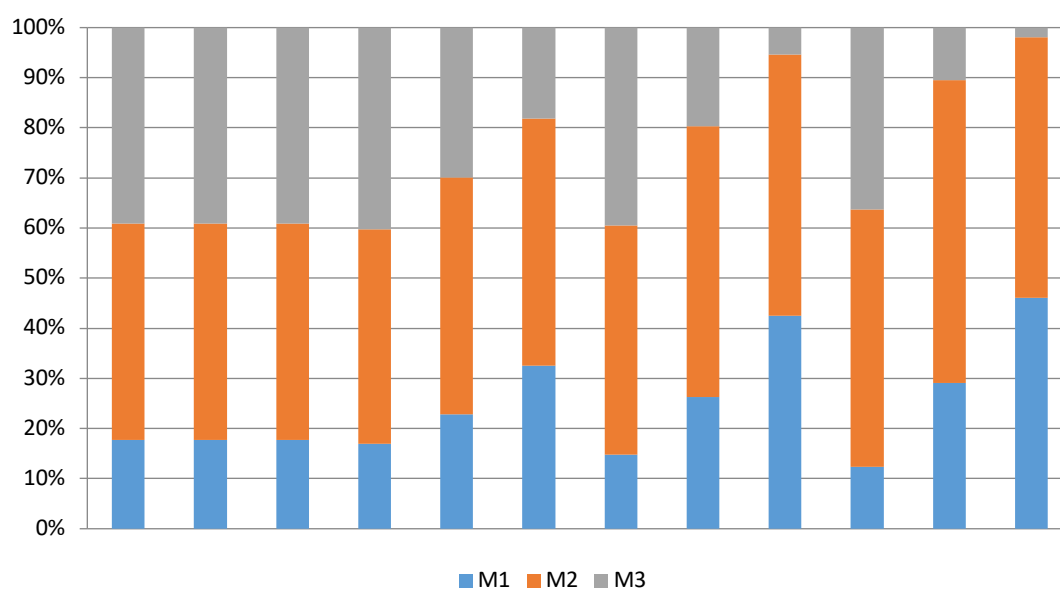


图 9 石家庄三类工业行业用地占比 (%)

近年来，随着石家庄经济转型升级步伐加快，用地结构和布局将加快调整优化。从结构上看，全市重点实施了 246 个战略新型兴产业项目，初步形成了以生物医药、电子信息为特色，高端装备制造、新材料快速发展，节能环保、新能源稳步增长的战略性新兴产业体系；同时，石家庄有序推进全市炼铁、炼钢、水泥、造纸、制革、化工等工业企业淘汰落后产能，高耗能行业增加值比重不断下降，M3 类工业用地将逐步减少。从布局上看，石家庄将按照“企业集中布局、资源集约利用、功能集合构建”的原则，基于人口和生态环境承载力，推进产业集聚发展，工业用地的空间布局将进一步集聚优化。

三、 石家庄市能源消费及碳排放现状

从全国层面来看 ,城镇化过程中高碳排放主要集中在工业、建筑、交通部门。2005—2011 年间 ,我国年均工业(制造业和能源工业)CO₂ 排放占全社会 CO₂ 排放总量的 75 . 6 %。1995—2011 年 ,我国能源消耗中建筑能耗占总能耗已从 10.1 % 上升到 19.74 %。从 2005 年到 2012 年 ,交通运输 CO₂ 排放在全国化石能源 CO₂ 排放中所占的比重从 8.86 % 上升为 2012 年的 12.19 %。同样 ,石家庄快速城镇化过程中的碳排放也主要来自工业、建筑和交通部门。

(一) 全市能源消费及碳排放现状

1、能源消费

随着社会的发展 ,石家庄经济发展迅速 ,综合实力显著增强。从图中可以看出 ,2000~2016 年石家庄 GDP 持续不断增加 ,从 2000 年的 963 亿元增长到 5858 亿元。“十二五”期间 ,石家庄围绕着转型升级、跨越赶超两大任务 ,努力促进经济发展 ,全市经济社会发展取得了重大成就。2015 年 ,全市生产总值为 5441 亿元。2016 年全市生产总值达到 5857.8 亿元。GDP 的增长速度在十几年间经历了大致三个阶段。2000~2005 年持续上升 ,2006~2010 年稳中有降 ,2011~2016 年持续下降 ,尤其是“十二五”后期开始进入新常态之后 ,GDP 增长速度也大幅度下降 ,“十二五”期间年均增长率为 9.6 %。2016 年增长率降到历史新低 ,为 6.8 % (图 10)。

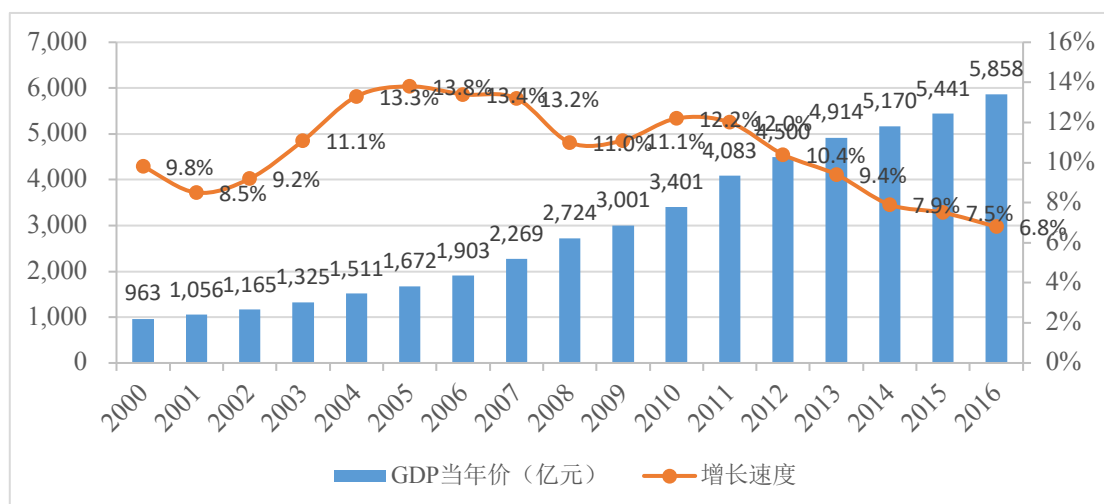


图 10 2000~2016 年石家庄 GDP 变化趋势

数据来源：2011 年~2016 年《石家庄统计年鉴》，2016 年数据为快报数。增速以可比价格计算。

近年来石家庄能源消费总量没有较大波动。石家庄的电力调入调出情况在 2012 年发生了较大变化，2012 年前因石家庄电力生产供应不足，每年石家庄都需要调入电力，2012 年后则每年都调出电力。但由于调入调出量都不大，2014 年全年调出量为 30 亿度电，对石家庄的能源消费格局影响不大。从总体来看，石家庄能源消费总量最大的特点是近年来保持了近零增长态势。2014 年石家庄能源消费量为 4724 万吨标煤，略低于 2012 年水平，和 2013 年持平，这主要是因为 2012 年我国政府发布了《大气污染防治计划》，严格控制京津冀地区能源消费，尤其是煤炭消费。在这样的政策环境下，石家庄的煤炭消费基本保持稳定并略有下降，这也导致了整个石家庄能源消费总量保持近零增长（表 5）。

表 5 2010-2014 年石家庄市一次能源消费量

	煤炭	石油	天然气	一次电力	电力调出	其他能源	加总
2010	3699	483	52	13	3	13	4263
2011	3966	641	50	22	44	24	4746
2012	4147	621	71	10	25	26	4900
2013	4000	697	102	10	-49	34	4794
2014	3907	696	139	23	-94	53	4724

注：电力调入调出情况用正负号表示，正好表示电力由外地调入，负号表示电力调出本地。

2、碳排放

石家庄能源活动产生的碳排放量近年来增长缓慢。2014 年石家庄能源活动产生的碳排放量为 14586 万吨 ,相比 2010 年增加了 2300 万吨左右 ,年均增加 4.4% ,而同时期石家庄的 GDP 年均增加 13%左右。石家庄能源活动产生的碳排放增速缓慢原因是多方面的 ,一方面是《大气污染防治计划》实施后 ,京津冀地区煤炭消费增速得到了明显控制 ,石家庄的煤炭消费甚至出现了负增长 ,这为控制碳排放起到了很好的助推作用。另一方面 ,驱动碳排放增长的关键因素是 GDP 增长 ,在新的经济形势下 ,石家庄经济转型压力大 ,经济增速明显下降 ,这也在一定程度上减缓了碳排放增速 (图 11)。

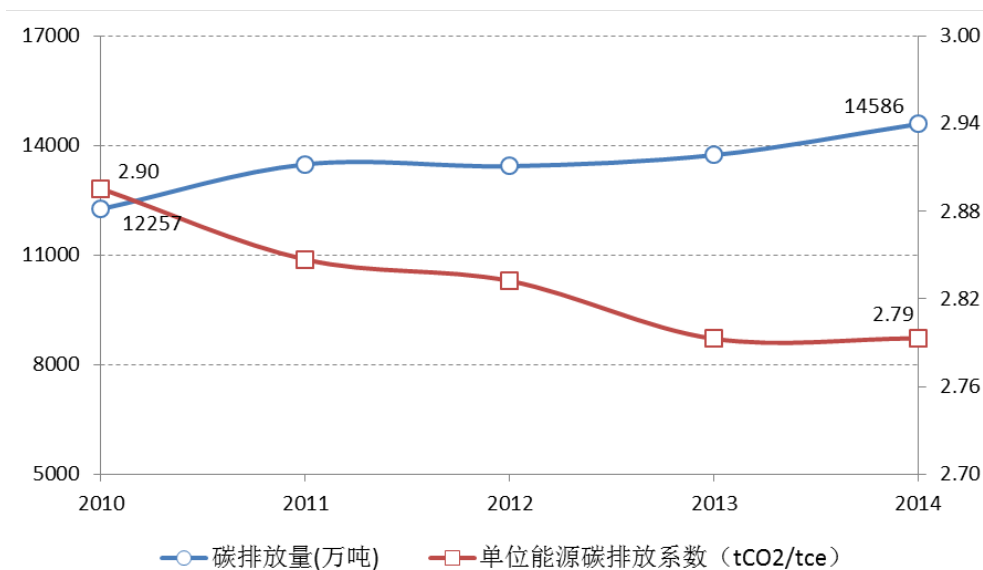


图 11 石家庄市能源消费活动产生的碳排放量

据测算，石家庄的城镇化水平与碳排放呈现高度的相关性，相关性达到 96% (图 12)。

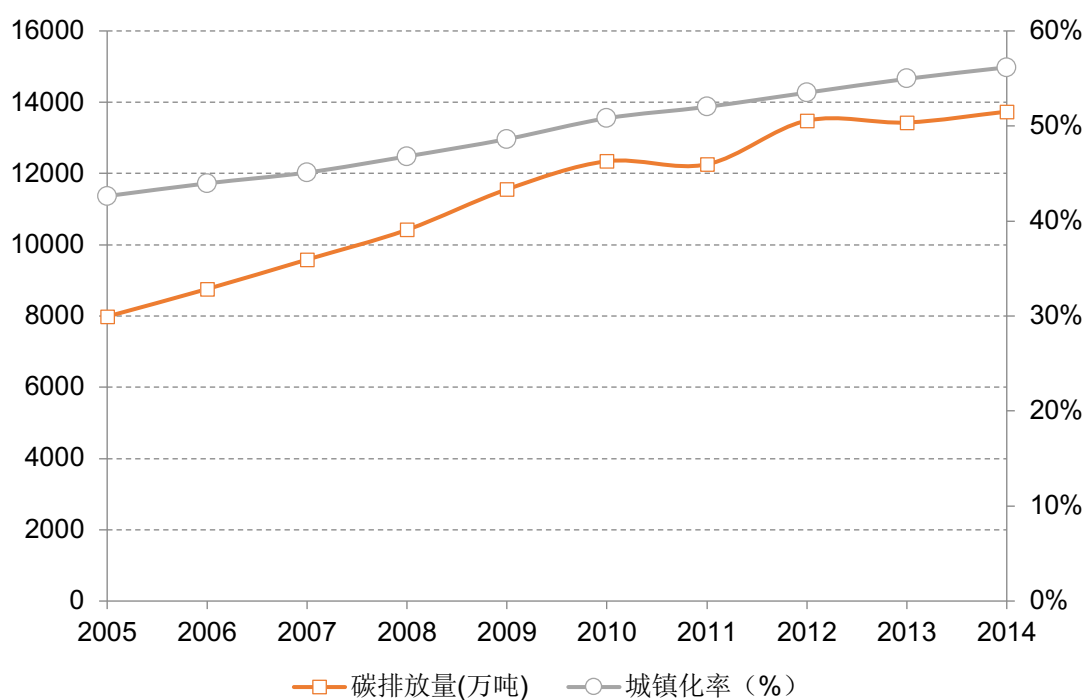


图 12 石家庄城镇化水平与碳排放关系

（二）工业部门能源消费及碳排放现状

1、发展现状

石家庄的产业结构发展处于工业化中后期，第二产业的比重较大，同时第三产业快速稳步增长。从 2000 年以来石家庄三产发展的情况来看，第二产业比重一直略高于第三产业，第二产业增加值的增长从 2011 年左右开始速度有所降低，而第三产业保持了稳步的增长态度，直到 2015 年，第三产业的增加值超过了第二产业。根据发展态势看，未来石家庄的第二产业在经济发展中仍然会占据重要的地位，但是发展预期速度会低于第三产业（图 13）。

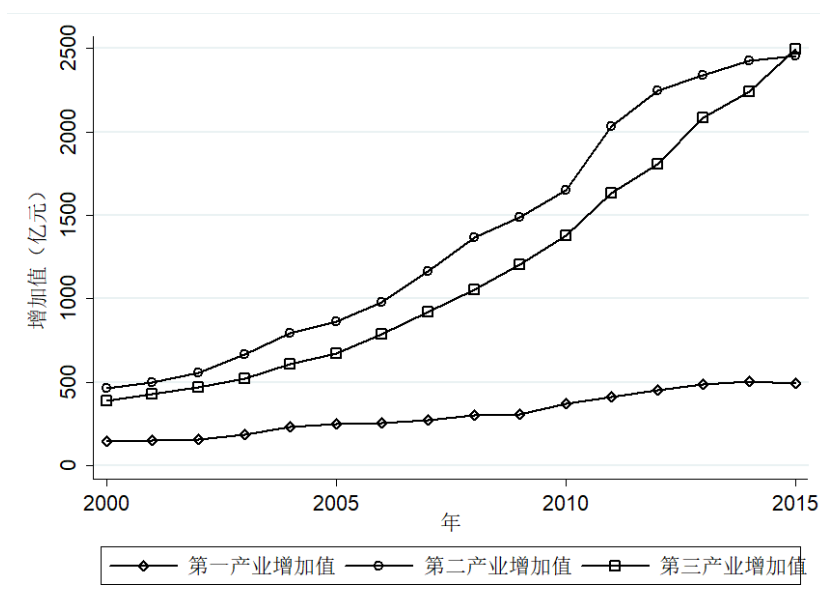


图 13 石家庄三产增加值变化趋势

质量效益呈下降趋势。石家庄是伴随着工业的兴盛而迅速成长起来的省会城市，以工业立市，历经数十年发展，已形成装备制造、石油化工、纺织服装、食品、医药、钢铁、建材七大主导产业，涵盖国

民经济行业分类中的 38 个行业大类，形成了门类齐全、产业发展相对均衡的综合性工业体系，是我国工业体系较为完善的城市之一。统计数据显示，2000~2016 年间，全市工业总量持续扩大。2016 年，全市规模以上工业企业达到 2285 家，完成增加值 2190.3 亿元，占 GDP 的比重达到 37.4%。其中，在 2000~2004 年间，石家庄规上工业增加值增长速度突飞猛进，从 11.2% 提高到 25.0%；2005~2009 年间，总体波动式下降趋势，2007 年到 2009 年间出现了继续下降，之后出现反弹；2010~2016 年，石家庄规上工业增加值增长速度由 2010 年的 16.5% 下降到 2016 年的 4.6%，呈逐年下降趋势。工业增加值在 GDP 的比重整体上升。从 2000~2006 年，占比从 26% 提高到 41%，之后略有小幅下降，2011 年达到目前历史的高峰 43%。近几年由于城镇化的发展，其他行业也不断兴起，工业占比逐渐平稳，趋于下降（图 14）。

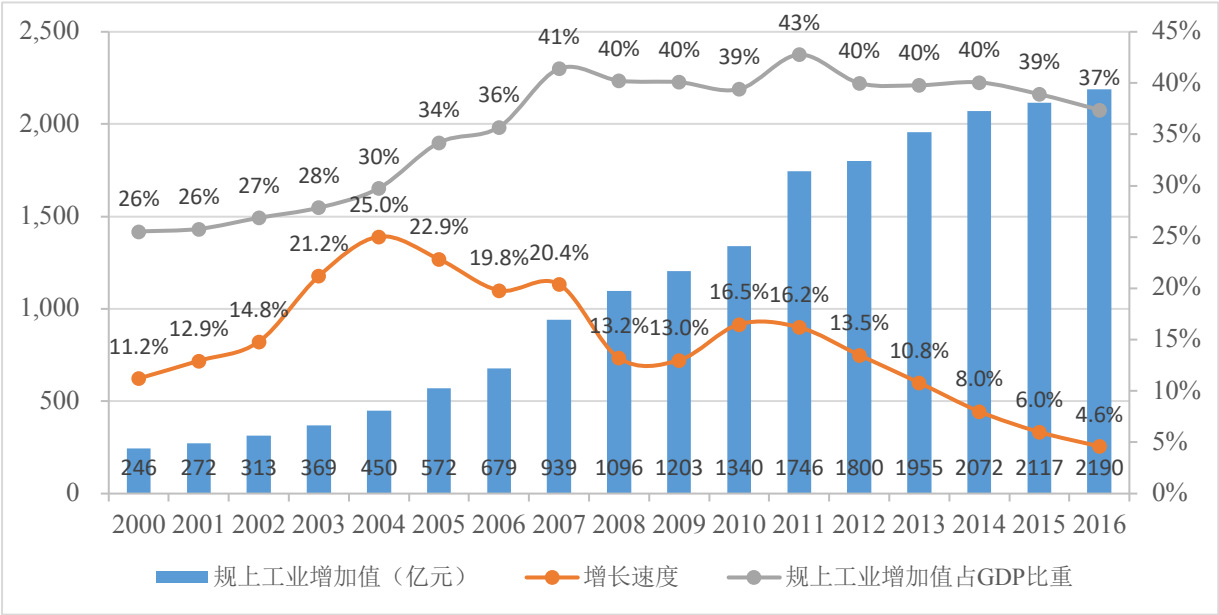


图 14 2000~2016 年石家庄工业增加值（规上）变化趋势以及占 GDP 比重

从石家庄工业行业内部结构来看，石家庄的工业内部结构偏重。以主营业务收入作为指标，电气机械及器材制造业、纺织业、金属制品业、农副食品加工业、通用设备制造业、医药制造业、非金属矿物制造业、黑色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化学制品制造业、皮革、毛皮、羽毛（绒）及其制品业、石油加工、炼焦及核燃料加工业等行业占据较大的比重（图 15）。

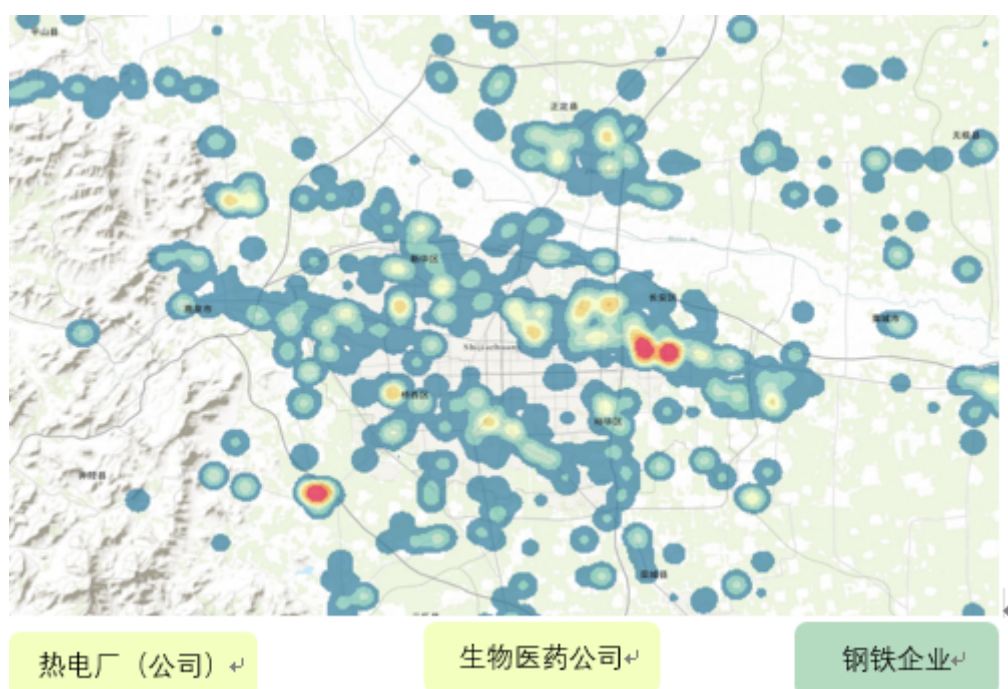


图 15 石家庄主要高耗能行业分布

2003-2008 年期间，主营业务收入增长较快的行业主要包括电气机械及器材制造业、工艺品及其他制造业、仪器仪表及文化、办公用机械制造业、金属制造业、橡胶制品业、非金属矿物制品业和黑色金属冶炼及压延加工业。2008-2013 年期间，各个行业主营业务收入的增速差别缩小，相对来说，电气机械及器材制造业、通信设备、计算

机及其他电子设备制造业、纺织业、食品制造业、印刷业和记录媒介的复制、专用设备制造业等行业的增速较快(图 16)。

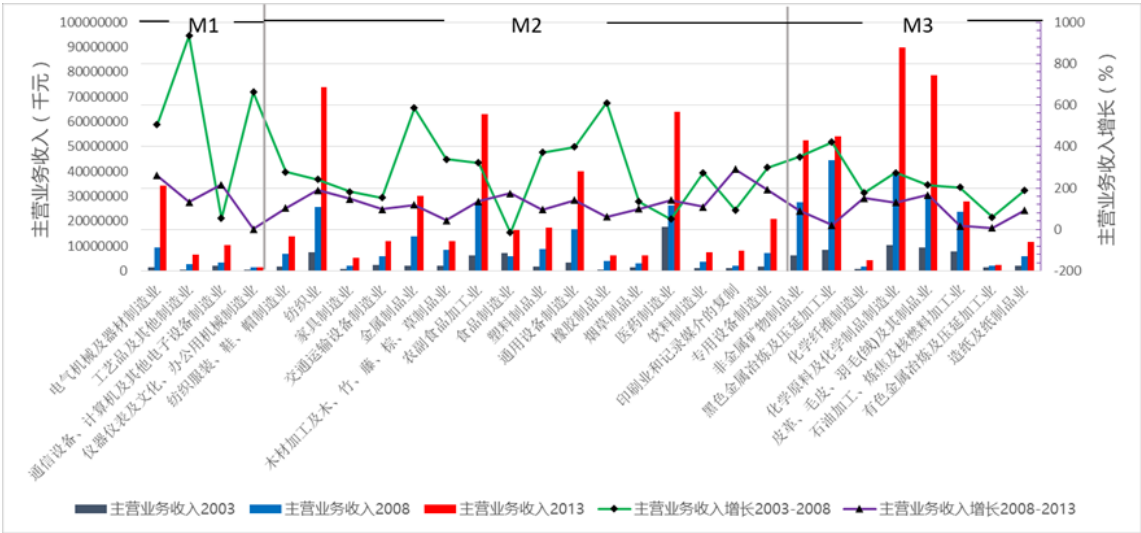


图 16 石家庄各工业行业经济效益

2、能源消费

能源消费结构以煤为主和能源消费部门以第二产业为主是石家庄一次能源消费量的两大结构性特征。首先，石家庄能源消费一直是以煤为主，根据石家庄能源平衡表可以发现，虽然煤炭消费占能源消费量的比重近年来一直呈下降趋势，但是其绝对比重仍过高，一直维持在 80%以上，远高于全国平均水平。其次，第二产业消耗了石家庄 70%以上的能源，2010 年第二产业能源消费总量占能源消费总量的比重达到 78.4%，随后几年虽有所下降，但都保持在 70%以上。石家庄的高耗能行业众多，例如黑色金属冶炼及压延、非金属矿物制品制造业、化学原料和化学制品制造业和石油加工、炼焦和核燃料加工业等行业，这些行业直接推高了石家庄的工业行业能源消费总量，也同时

推高了石家庄工业行业对煤炭的消费需求 ,这也是石家庄之所以形成以煤为主的能源消费结构的主要原因。

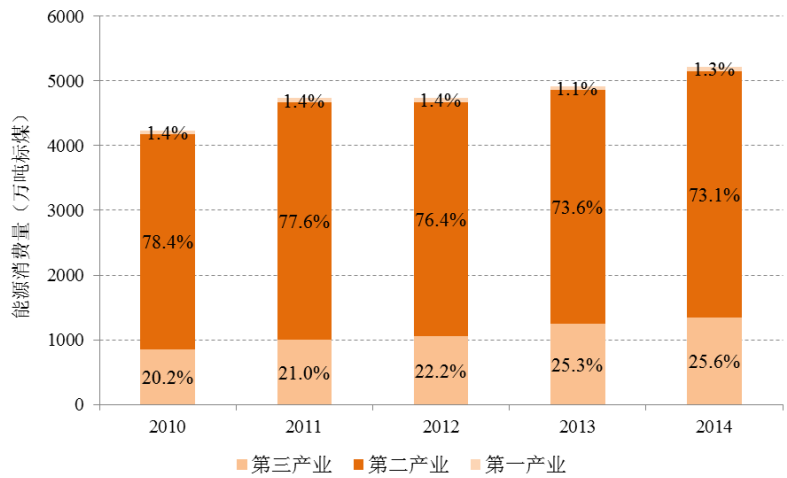


图 17 石家庄市一次能源消费总量的结构变化（按产业结构分）

在石家庄的工业体系中，M3 类行业的能源消费比重最高，其次是 M2 类行业，最后才是 M1 类行业（图 18）。近年来，M3 类行业的能源消费总量都超过 2000 万吨，2014 年达到 2728 万吨，占工业行业的能源消费量的比重为 72%（图 18）。

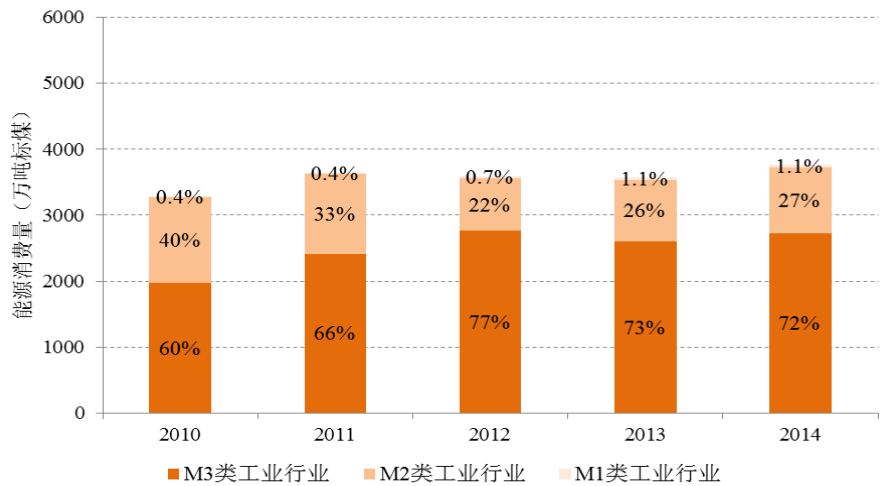


图 18 石家庄市工业行业的能源消费总量变化

3、碳排放

如果从产业结构的角度来看石家庄碳排放量,第二产业是碳排放量的主要部门。2014 年第二产业碳排放量为 11238 万吨, 占全社会总排放量的 77%, 相比 2010 年水平降低了 3 个百分点。第二产业碳排放量的比重最高, 其次是第三产业, 最后是第一产业。之所以第二产业碳排放量比重如此之高, 主要是因为工业行业碳排放量是石家庄碳排放的最多的部门, 2014 年工业行业碳排放量为 11122 万吨, 占全社会碳排放量总量的 76%, 占第二产业碳排放量的 99%(图 19)。

石家庄碳排放的重要贡献行业之一是工业, 就工业而言, 用地类型的不同导致三类工业用地的碳排放在工业碳排放的占比也有很大差异。工业碳排放主要来自 M3, 主要包括矿采选业、石油和天然气开采业、非金属矿物制品业、黑色金属冶炼及压延加工业、化学原料及化制品制造业、石油加工、炼焦及核燃料加工业等高耗能高排放行业; 其次是 M2, 大约占比为 57%~75%; 占比最小的是 M3, 大约 1% 左右。M2 和 M3 碳排放之和占三类工业用地碳排放的 90% 以上。从历年的整体情况来看, M1 和 M2 的碳排放占比一直缓慢提高, M3 的碳排放占比持续小幅下降, 仍然占四分之三的比重。这是近几年由于大气污染防治计划以及节能减排政策措施, 工业结构的优化调整, 但由于石家庄经济发展和工业结构的锁定效应, 以及京津冀地区的总体规划的影响, 推进相对困难。

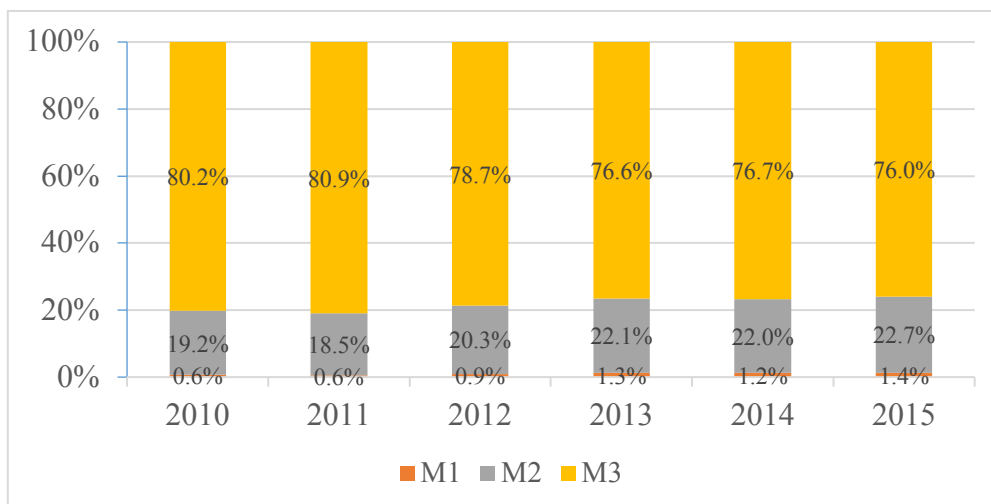


图 19 石家庄市三类工业行业碳排放占比

从空间分布来看，石家庄工业分布仍比较分散，在市区以及各区县都有分布，工业的集聚度较低，尤其是在城区，仍有较大面积的工业用地，尤其是 M3 类工业用地仍占较大比重。与工业用地的分布相一致，工业碳排放分布较分散，但城区及其附近地区相对集中（图 20、21）。

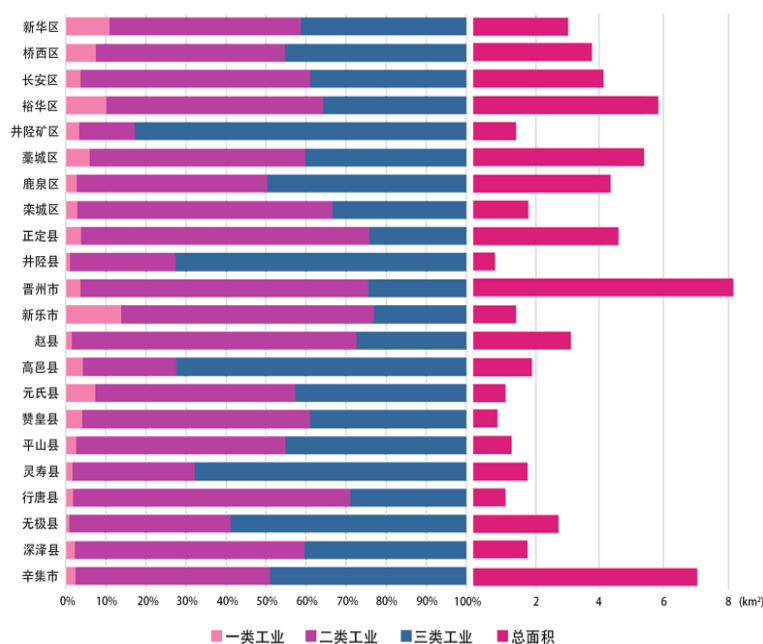


图 20 石家庄市三类工业行业碳排放占比

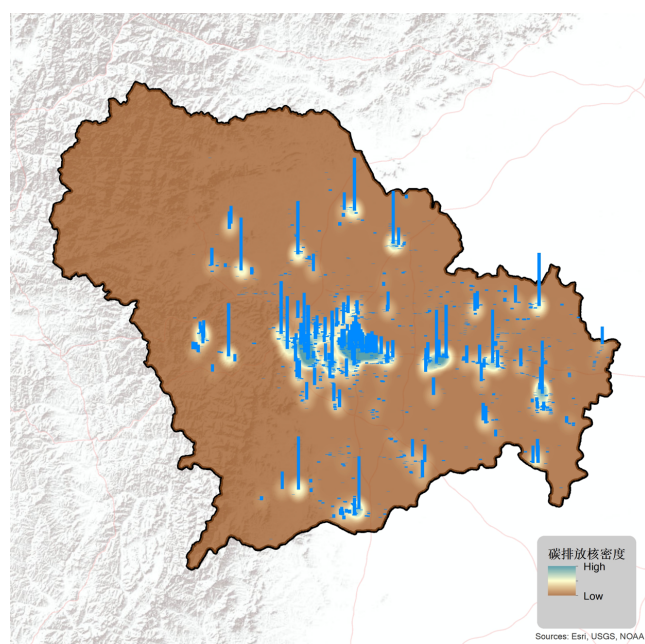


图 21 石家庄市三类工业行业碳排放占比

（三）建筑部门能源消费及碳排放现状

1、发展现状

2014 年《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》的提出，全国加快了轰轰烈烈的城镇化进程。石家庄城镇化进程带动着建筑行业的发展。从历史趋势来看，一是城市建设用地呈现阶段式发展趋势。2010 年-2013 年有所增长，从 206 平方公里到 215 平方公里，扩大了 10 平方公里。2014 年城镇化进程加快，城市建设用地出现了迅速增长，达到 263 平方公里，之后平台期，趋于平稳。二是公共建筑和居民建设用地逐年增长。2014 年达到 95 平方公里之后用地收紧，略有增长。从 2010-2015 年居民用地从 59 平方公里扩大到 96 平方公里，增长了 64%。2015 年石家庄区城市住宅建筑面积为 148 平方公里，农村住宅建筑面积为 33 平方公里，公共建筑面积为 39 平方公里，城镇住宅建筑和农村建筑人均建筑面积分别为 42 平方米和 53 平方米（图 22—24）。

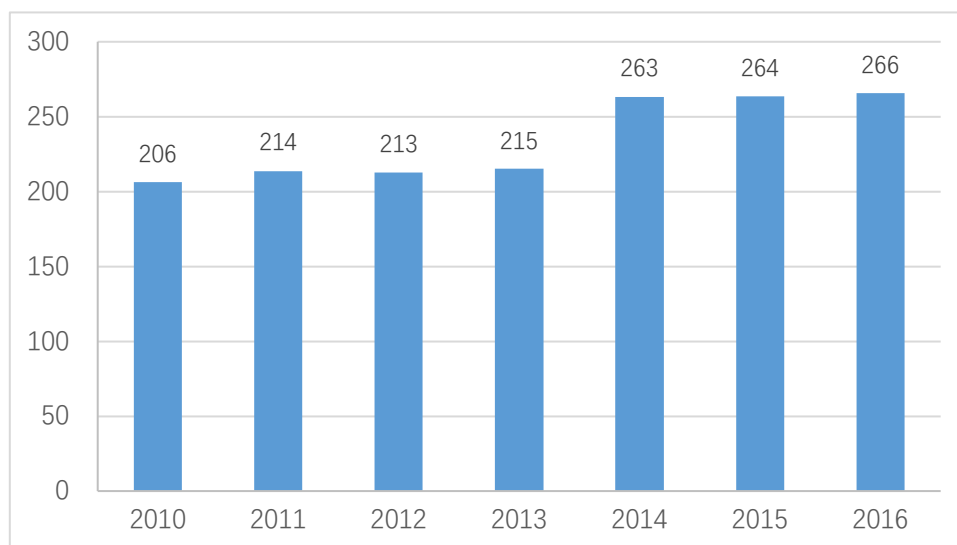


图 22 石家庄市城市建筑用地面积历史变化（平方公里）

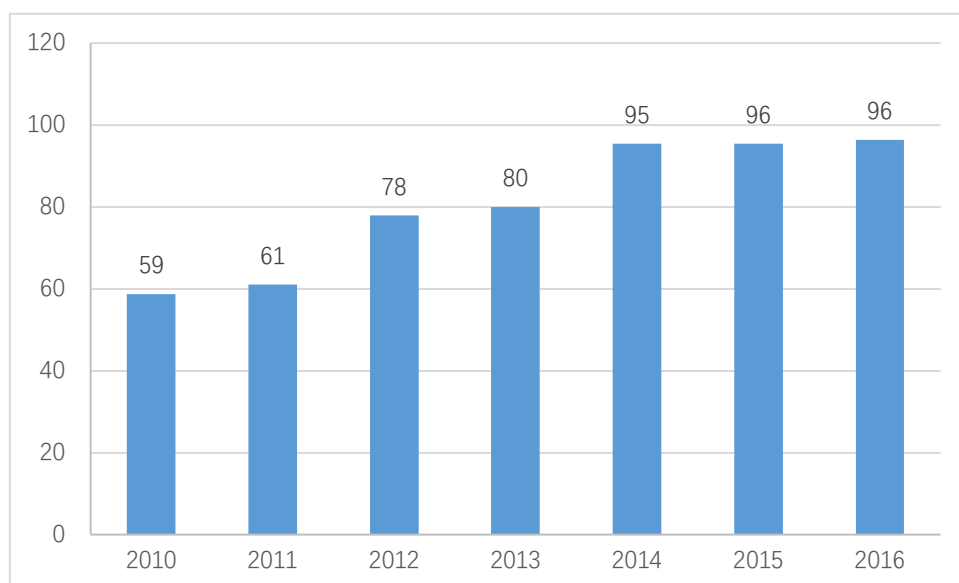


图 23 石家庄市居民用地面积变化历史趋势（平方公里）

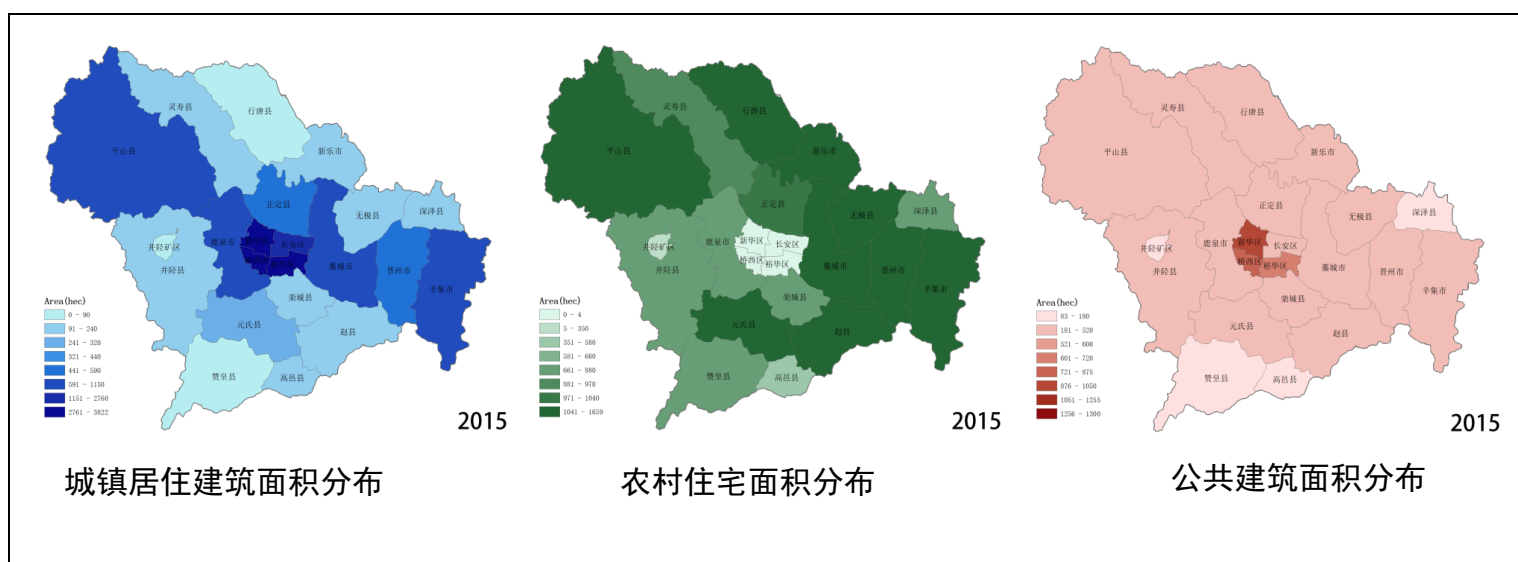


图 24 石家庄市建筑用地分布图（平方公里）

2、能源消费

由于城镇化的推进，居民生活水平的不断提升，我国城镇建筑面积总量随之快速的增长，所以建筑行业已经逐步成为能源消费和碳排放的主要增长源之一。总体来看，石家庄建筑行业呈现总量高、单位人均建筑面积能耗低、潜在增长空间大等特点。石家庄建筑面积的扩张推动建筑业能源消费总量持续增长，从 2010 的 22 万吨标准煤增

加到 2015 年的 39 万吨标准煤。据本报告模型核算结果显示，2015 年工业、建筑和交通三大部门总体能源消费量 5938 万吨标准煤，建筑部门能源消费总量达到 1073 万吨标煤，其中，城镇住宅建筑、公共建筑和农村住宅建筑能源消费量分别为 447、403 和 223 万吨标准煤。石家庄建筑能耗占能源消费总量的比重在 18%左右（图 25）。

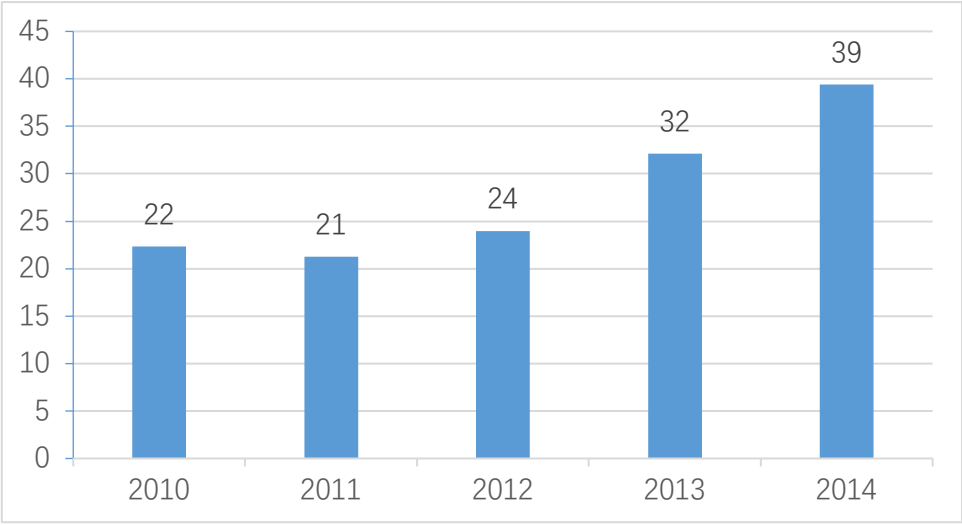


图 25 石家庄市建筑业能源消费量历史变化（万吨标准煤）

“十二五”时期，是石家庄加快转型升级、提高城市建设水平、完善城市功能、改善城市环境、建设幸福石家庄的关键时期；是建筑节能领域开拓创新、攻坚克难，着力提高新建建筑节能标准，全面开展老旧小区和农村节能抗震综合改造，强化公共建筑节能运行管理，大力推动绿色建筑、装配式建筑以及可再生能源建筑一体化应用的关键时期。石家庄实现建筑节能减排的措施有建筑能耗统计、能耗监测、能效测评和供热计量等。石家庄绿色建筑的发展实现了全面推广。一是新建建筑能效水平提升。新建建筑节能执行过程中，出台了《关于加强建筑节能工作的通知》、《2017 年全市建筑节能与绿色建筑工作

方案》、《石家庄市建筑节能专项资金管理办法》等政策，促进了石家庄新建建筑能效水平的提升。“十二五”期间，石家庄审核备案民用建筑节能工程 2691 项，面积 4740.91 万平方米，办理节能专项验收备案 2049 项，面积 3383.89 万平方米；其中有 171 个项目按照绿色建筑标准进行施工设计，39 个项目获得绿色建筑运行标识。二是既有建筑节能改造稳步推进。为有效降低建筑采暖和制冷能耗，实现节能减排，出台了《关于推进既有建筑节能改造工作实施意见》、《石家庄市既有建筑节能改造工作指南》等文件，推进石家庄既有建筑节能改造工作。

实现公共建筑节能设计和运行是国家和各省市“十二五”期间建筑节能和绿色建筑工作重点领域，通过推进公共建筑节能监管体系建设，对重点用能建筑实行监测与约束，有效推动了公共建筑单位面积能耗在“十二五”期间逐步下降。在公共建筑节能改造方面，对河北省建筑科学研究院办公楼、鹿泉市建筑业管理办公楼进行综合节能改造，并取得良好的经济效益，为公共建筑节能改造积累技术经验，利于石家庄公共建筑综合节能改造的推广。在居住建筑节能改造方面，通过大力提升建筑物保温性能、升级改造供热锅炉和管网，实施家用电器能效标识制度等系列措施，城镇居住建筑能耗强度呈现逐年下降趋势。“十二五”期间石家庄完成既有居住建筑供热计量及节能改造 839.46 万 m^2 。在农村居住建筑领域，由于农村建筑工作启动和开展相对滞后，再加上城镇化推进过程中由于生活水平提升带来的农村居住条件的提升和传统生物质消费比例的下降，农村居住建筑的单位面积

能耗和单位面积电耗都呈现出较快的上升趋势，未来农村居住建筑能效仍有很大的优化空间。

4、碳排放

建筑部门终端商品能源消费构成以煤炭和电力为主，2015 年石家庄建筑行业能源消费占比依次为煤炭（13%）、油品（23%）、热力（40%）和电力（24%）。从能源清洁和低碳的角度，高碳化石能源在终端能源消费中占比很高，是居民生活用能的主体，意味着单位能耗的污染物和碳排放仍然偏高。2015 年石家庄建筑部门总体碳排放为 3191 万吨 CO₂，其中城镇住宅建筑、公共建筑和农村住宅建筑碳排放分别为 1162、1359 和 670 万吨 CO₂、分别占比为 36%、43% 和 21%(图 26)，从空间分布来看，建筑部门的碳排放密度城区远远高于各郊区各区县 (图 27)。

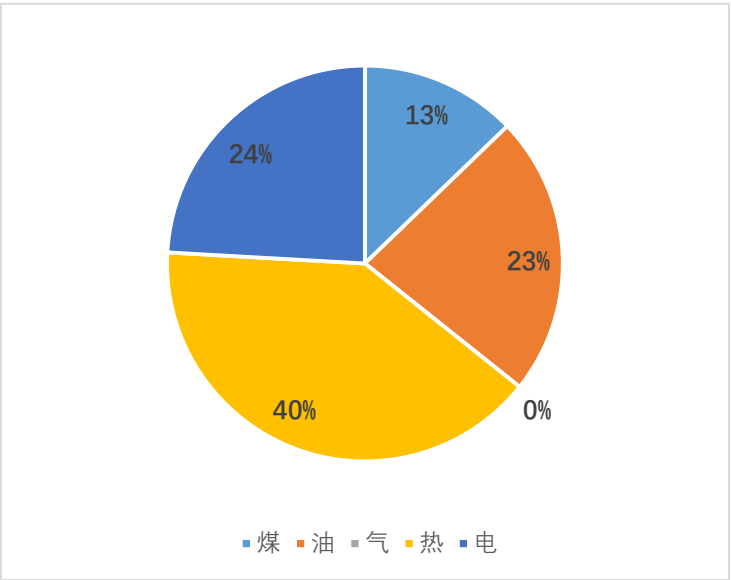
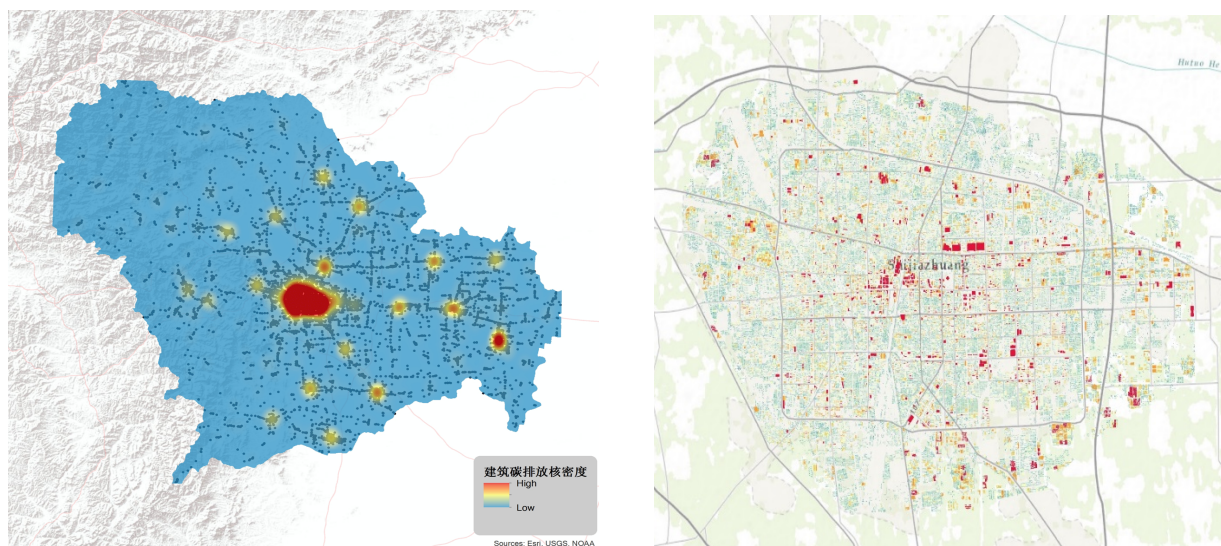


图 26 2015 年建筑部门终端能源消费结构



建筑部门碳排放分布

建筑碳排放空间分布（单体建筑尺度）

图 27 2015 年石家庄建筑部门碳排放分布图

（四）交通部门能源消费及碳排放现状

1、发展现状

（1）石家庄中心区道路高度饱和

石家庄是以火车站为中心围绕京广铁路向两侧发展起来的的城市。在火车站周围的城市中心区，购物、娱乐、换成等设施和功能高度集中，形成城市最稠密的经济活动和人车流动的区域。近年来石家庄建成区不断扩展，基本形成了“” “三横失踪二环九射”的路网结构，但人流与交通仍主要集中于一环路以内约 17km² 的范围内。城市等级分化薄弱，中心区道路高度饱和（图 28）。

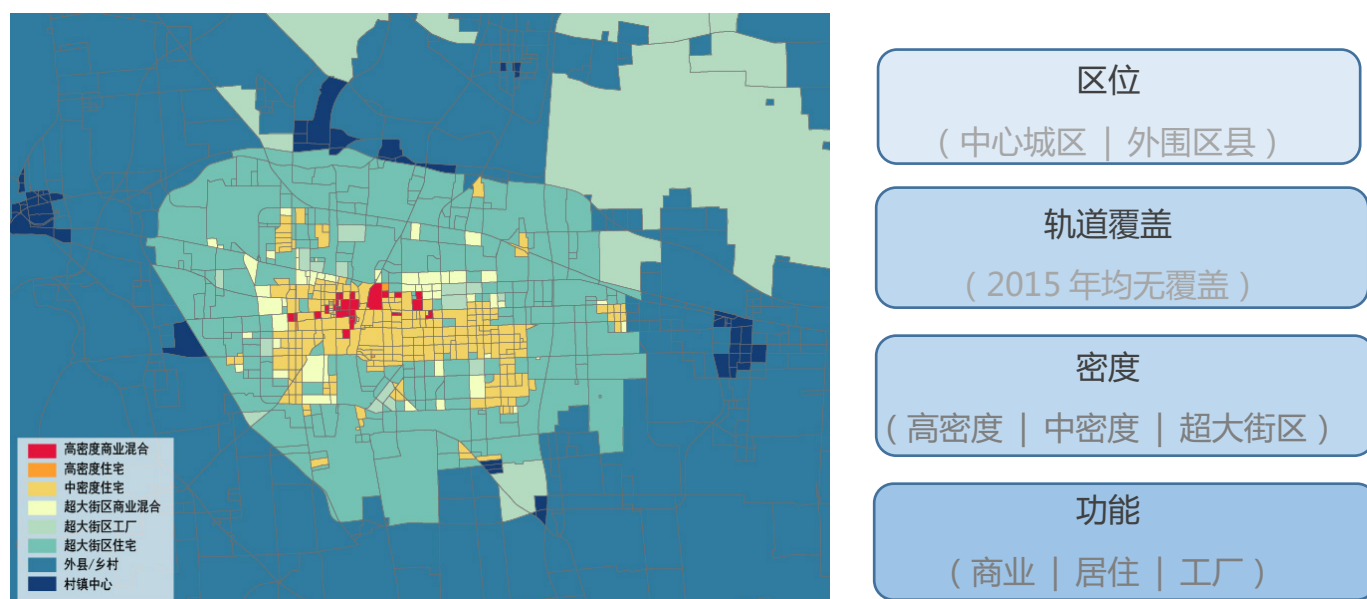


图 28 石家庄路网结构及功能区空间布局

(2) 交通运输基础设施发展迅速，交通运输需求量快速增加

随着京津冀一体化的发展，石家庄的城市空间的不断扩大、人口不断增长、机动化程度越来越高，城市交通需求不断增长。机动车保有量增加迅速。石家庄公路里程逐年增长，从 2011 年的 15769 公里提高到 2015 年的 18862 公里，提高了 3093 公里，提高了 20%。据统计，截至 2016 年底石家庄机动车保有量为 248 万辆，小汽车保有量为 208 万辆，私家车数为 143 万辆，比 2015 年增加 208674 辆，增长 17.02%。限行政策的实施导致私家车数量增长加快，2014 年前增长迅速，2014 之后增长幅度逐渐变缓，但总量持续上升。所以随着京津冀一体化的发展，石家庄经济地位的加强，交通需求的持续增长，交通需求结构不断发展，私家车的保有量必然会持续增，小汽车的高强度使用、高密度聚集，加上居民绿色出行意识低，对石家庄实现低碳交通带来了严峻挑战（图 29-32）。

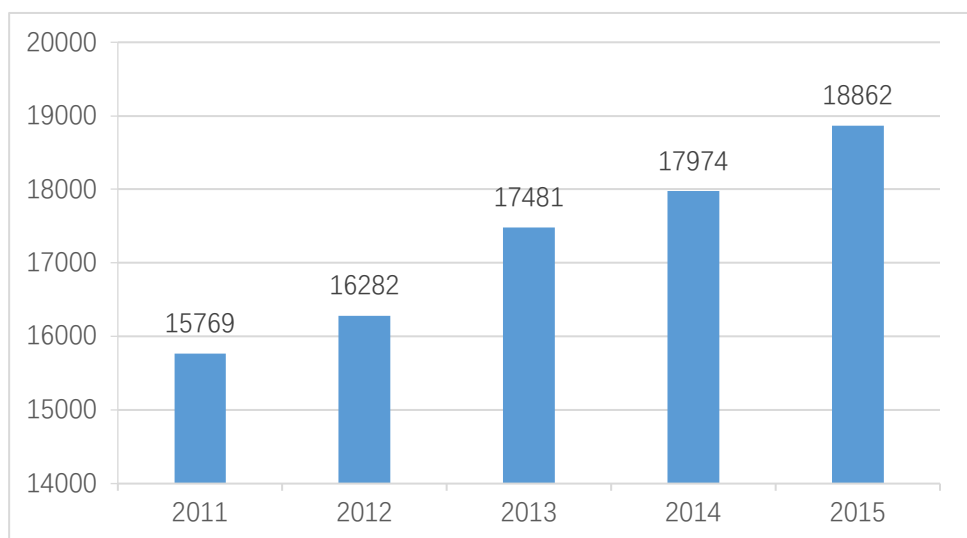


图 29 石家庄公路里程变化 (公里)

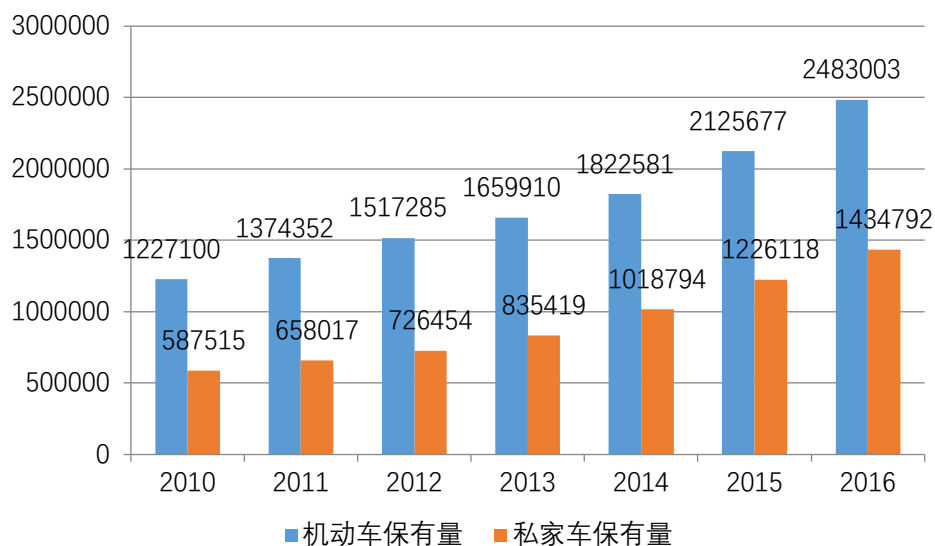


图 30 石家庄市城区机动车和私家车保有量变化

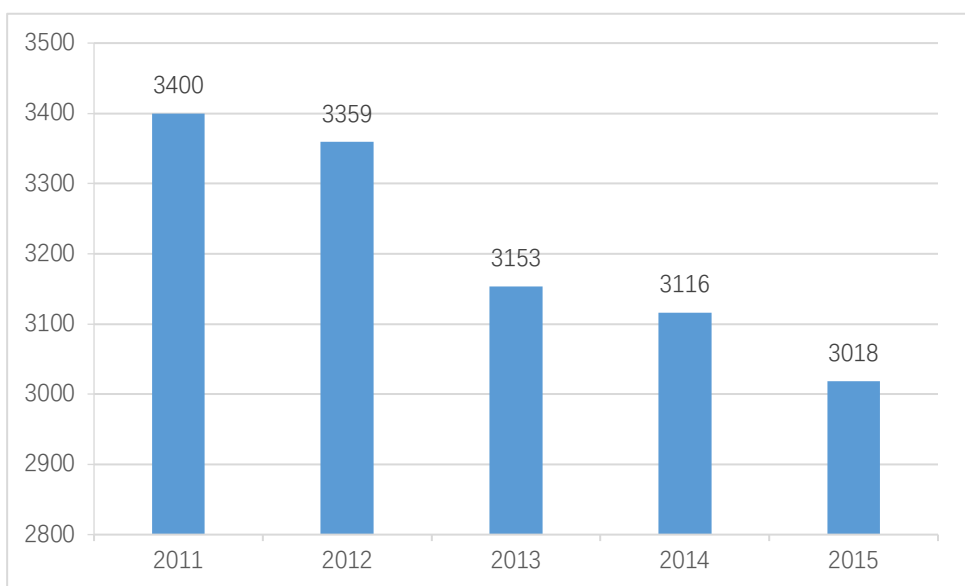


图 31 石家庄客运车辆数量变化（辆）

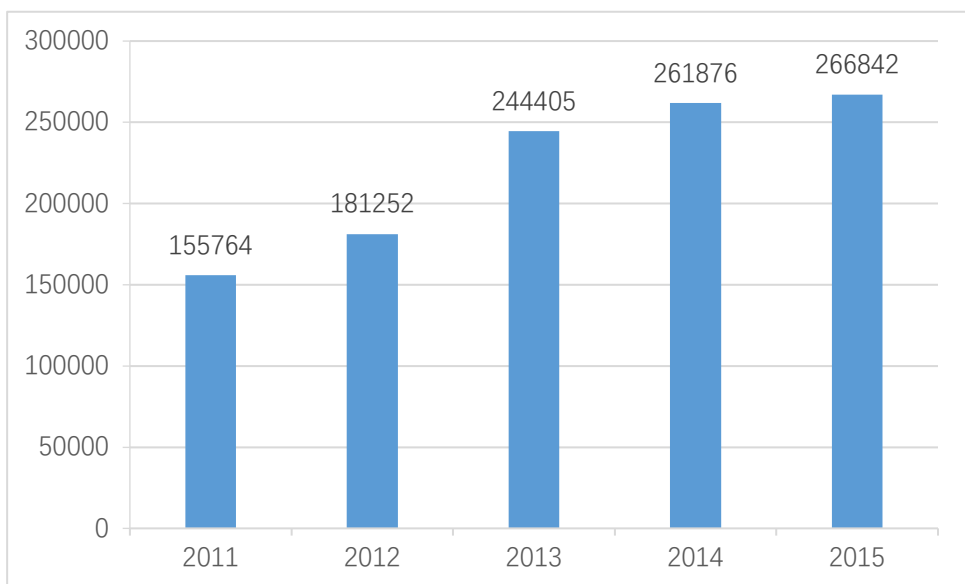


图 32 石家庄货运车辆数量变化（辆）

从机动车结构上来看，“十二五”期间，石家庄客运车辆数量逐年下降，从 2011 年的 3400 辆下降到 2015 年的 3018 辆，减少了 392 辆，下降了 11%。货运车辆数量逐年上升，从 2011 年的 155764 辆上升到 2015 年的 266842 辆，增加了 111087 辆，提高了 71%（图 33、34）。

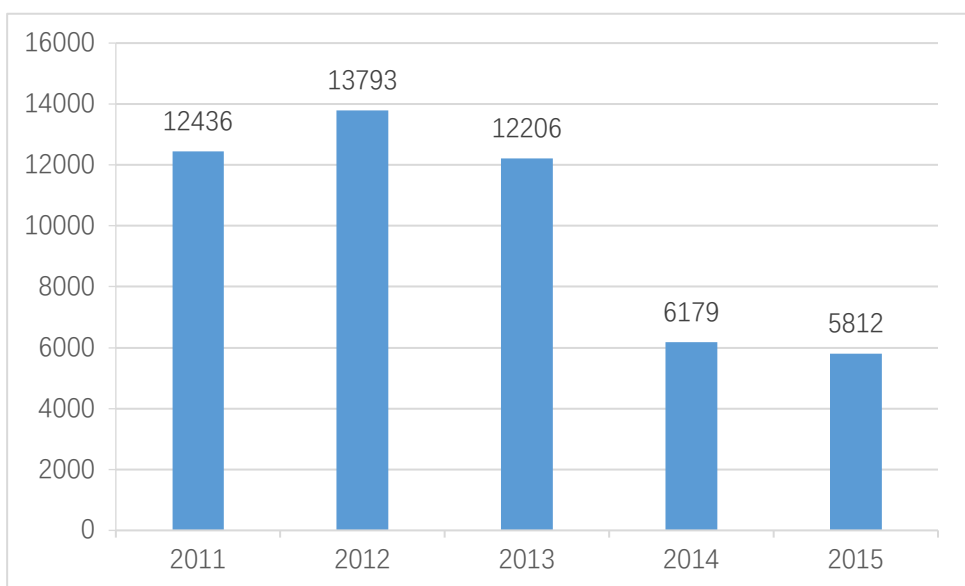


图 33 石家庄公路客运量变化（万人）

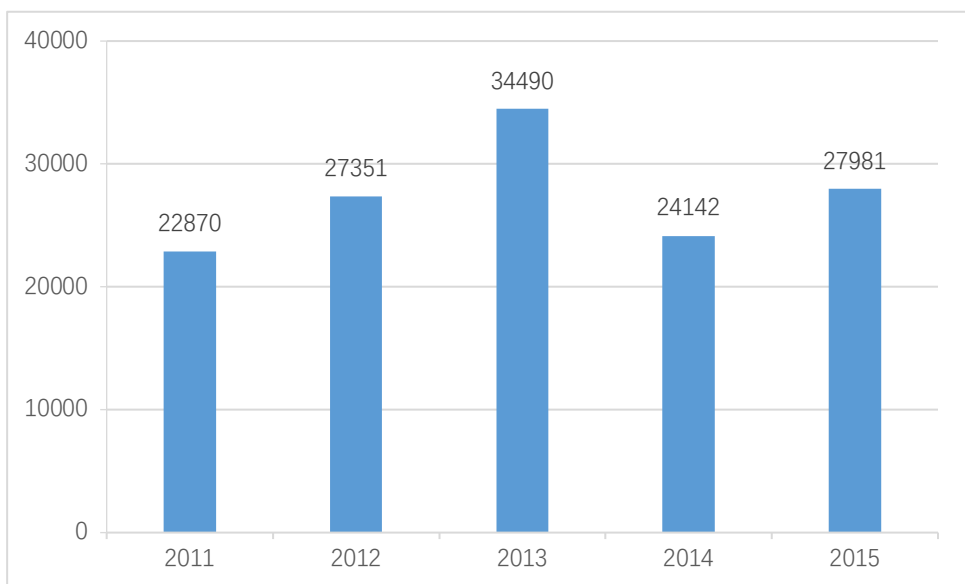


图 34 石家庄公路货运量变化（万吨）

石家庄公路客运量先增长后下降，从 2011 年的 12436 万人提高到 2012 年的 13793 万人，之后逐年大幅度下降，2015 年下降到 5812 万人，2015 年下降到 2011 年 53%。公路货运量总体增长有所波动，2013 年的最高达到 34490 万吨，2015 年与 2010 年相比提高了 22%。随着京津冀一体化的发展，石家庄货运周转量会持续增长（图 35、36）。

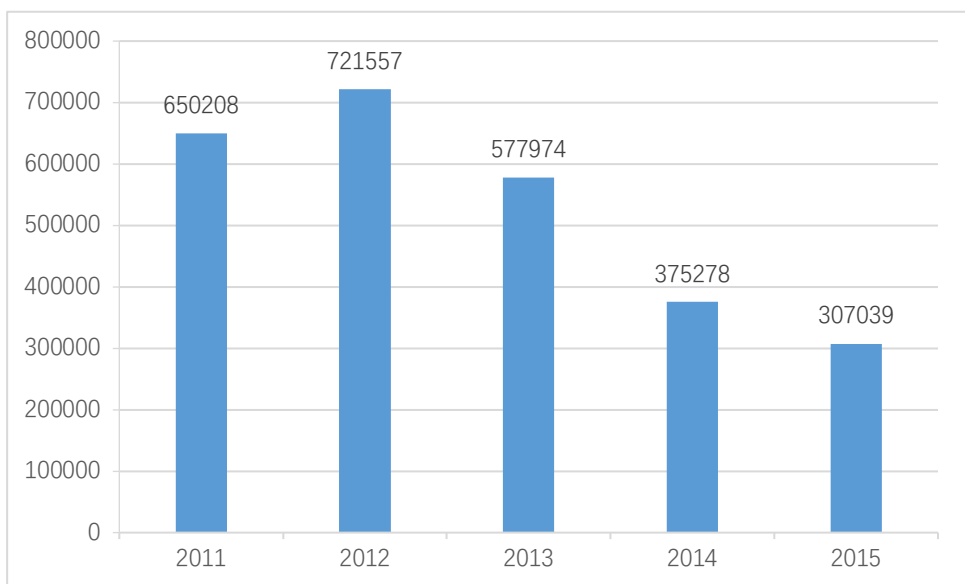


图 35 石家庄公路客运周转量变化（万人公里）

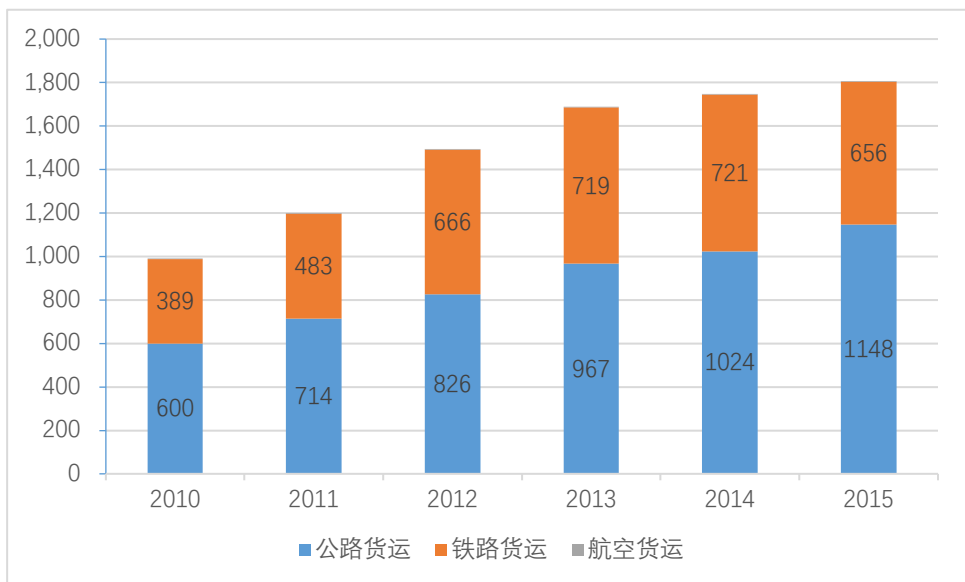


图 36 石家庄货运周转量变化（亿吨公里）

2、公交出行比重增长缓慢，出行方式有待优化

居民出行总量是城市交通系统承受能力限度的基本度量指标之一。在交通系统比较完善的发达国家，公共交通分担比例相对较高，新加坡的公交分担率为 66%，法国、美国部分地区公交分担率高达 80% 以上。虽然近年来石家庄公共交通体系建设取得了很大成就，但其出行分担率仍然很低。石家庄居民的出行主要受第一方面的影响,出行

总量随时间的推移呈较大幅度的增加。公交出行比重也是呈现先增长后下降的趋势，最高值为 2013 和 2014 年的 29%，客运总量在 2014 年达到最高值 65233 人次，之后开始下降。石家庄公交出行比重在 22%-29%之间，变化不大，公交出行比例相对较低。公交出行比重上升缓慢，2016 年石家庄公交出行比例为 22%6 年间仅上升 2%。而个体机动车交通比重增长迅速，个体小汽车方式出行比重则从 3%提高到 15%。随着轨道交通的开通，石家庄公交分担率在未来几年内会得到很大提高（图 37）。

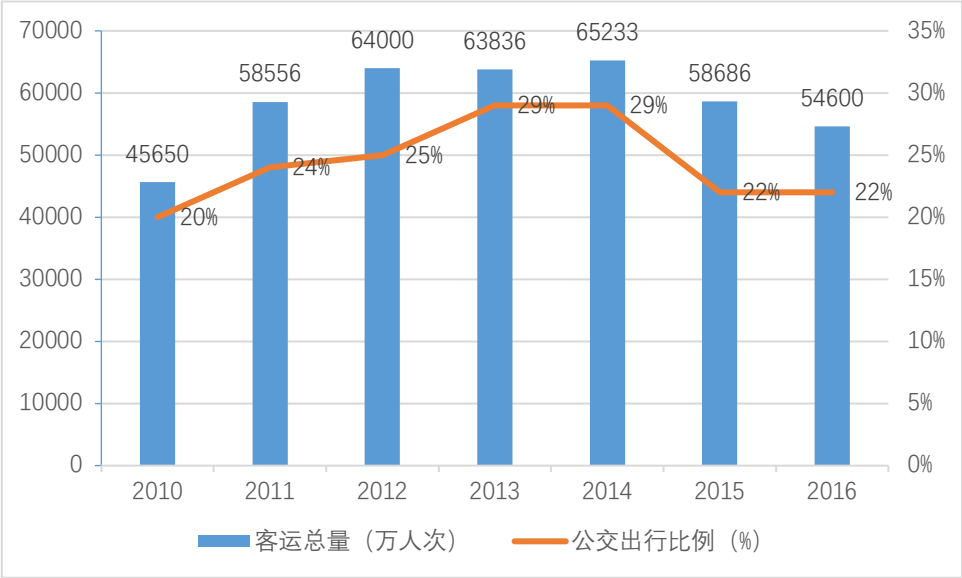


图 37 公交出行比例 (%)

3、新能源汽车的规模化将推动能效的提升，但增长缓慢

清洁绿色交通发展加快，**新能源公交车比重有待提高**。2016 年公交车数量为 4882 辆，其中清洁能源公交车（包含天然气公交车和电动公交车）为 4683 辆，占全部公交车的 96%。随着城市低碳化进程的加快，新能源车会成为城市配送领域的主力。2010 年至 2016 年石家庄公交车能源结构发生了很大变化，公交车总量成线性增长趋势，

增长比例除了 2013 和 2014 年稍低外变化不大，新能源公交的比重逐年增加，天然气公交车的增长从 2013 年起开始变缓，电动公交车从 2013 年开始投入使用，至 2016 年达到 1072 辆，不足天然气公交车的 1/3。

2010 年至 2016 年石家庄公交车能源结构发生了很大变化，公交车总量成线性增长趋势，增长比例除了 2013 和 2014 年稍低外变化不大，新能源公交的比重逐年增加，天然气公交车的增长从 2013 年起开始变缓，电动公交车从 2013 年开始投入使用，至 2016 年达到 1072 辆，至 2016 年底新能源公交车的使用到 95.92%。

随着出行需求的增加，石家庄公交车数量在逐年增加，伴随低碳交通概念的深入，应逐渐淘汰传统的柴油车，加大新能源车使用力度。目前，石家庄公交车天然气车的比重为 73.97%，电动车的比重为 21.96% (图 38)。

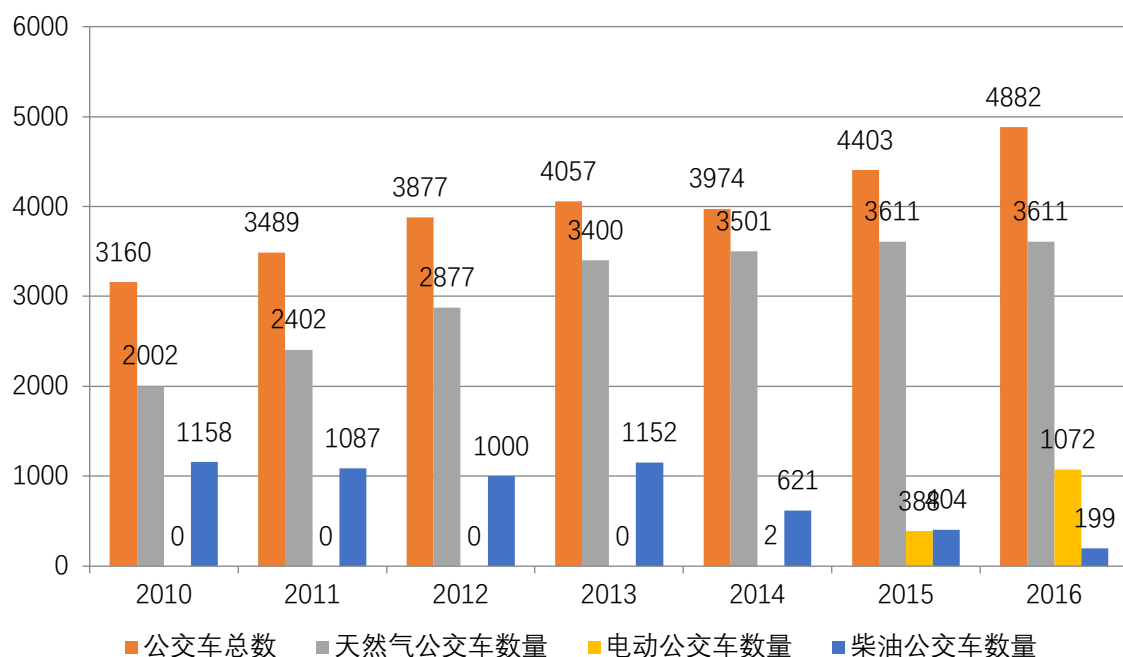


图 38 石家庄公交车结构变化

2、能源消费

交通部门与工业和建筑部门一样是能源消费的主要贡献部门。本报告核算结果表明，2015 年石家庄交通部门能源消费量占三大部门能源消费总量的 25%。伴随着交通运输基础设施快速发展和运输服务质量不断提高，交通部门能源消费也呈现快速增长趋势。2015 年石家庄交通运输部门能源消费量达到 1407 万吨标煤。从能源消费结构来看，交通部门主要消费柴油、汽油、燃料油等成品油，天然气和电力，其中以成品油为主。从运输模式来看，客运和货运是交通用能的主体。2015 年客运能耗达到 954 万吨标准煤，占客运和货运能源消费之和的 68%。在货运能耗中，占比较高的是公路运输。公路运输近年来迅猛发展，其能源消费亦快速增加，成为货运中能耗占比最高的运输方式，其比重超过 95% (图 39)。

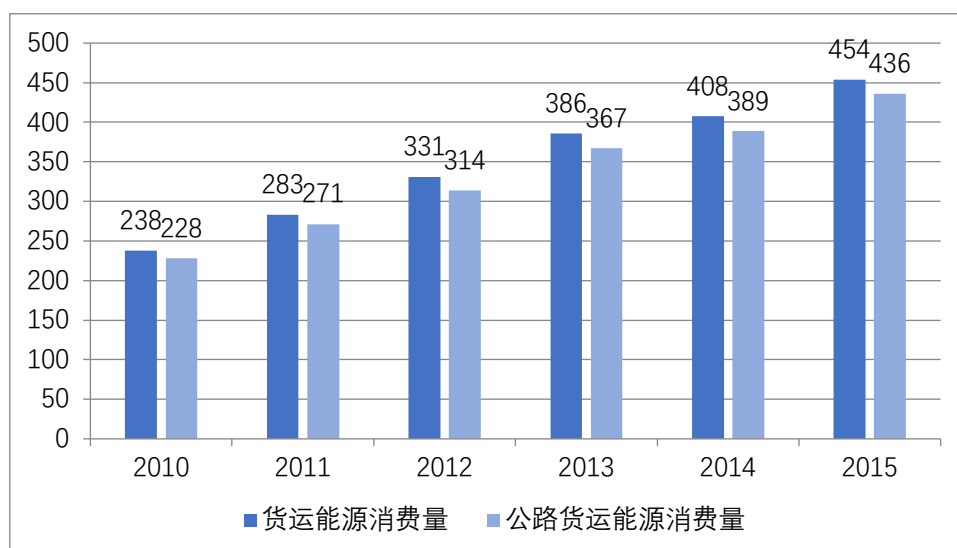


图 39 交通部门货运能耗能源消费量变化

3、碳排放

经济的增长以及居民收入水平的增加，往往伴随着机动车保有量、交通流量、出行距离以及出行频率等方面的增加。人均增长导致了石家庄交通业能耗的不断加剧。另外，出行距离的增加是城市交通碳排放逐渐加重的主要影响因素。2015 年石家庄客运和货运碳排放总量达 3097 万吨 CO₂，其中客运 2067 万吨 CO₂，货运 930 万吨 CO₂，分别占 70%和 30%。货运碳排放迅速增长，2015 年约为 2010 年的 2 倍。货运碳排放中主要是公路货运碳排放，一直保持在 97%以上。今后随着物流的增加，货运碳排放将会有一定增长（图 40）。

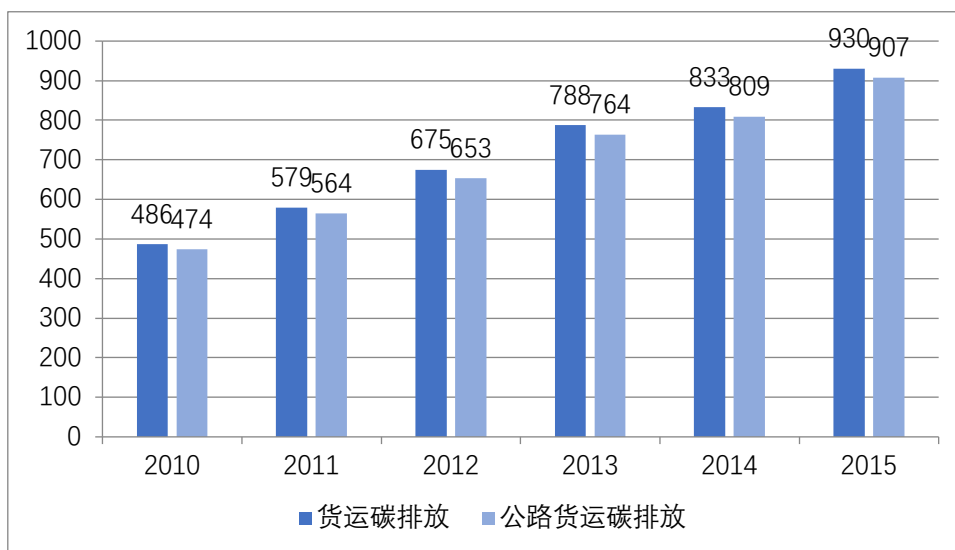


图 40 交通部门货运碳排放量变化

从空间布局来看，与石家庄交通路网高度集中于中心城区，相对应的，交通碳排放的空间布局在城区也远高于周边地区（图 41）。

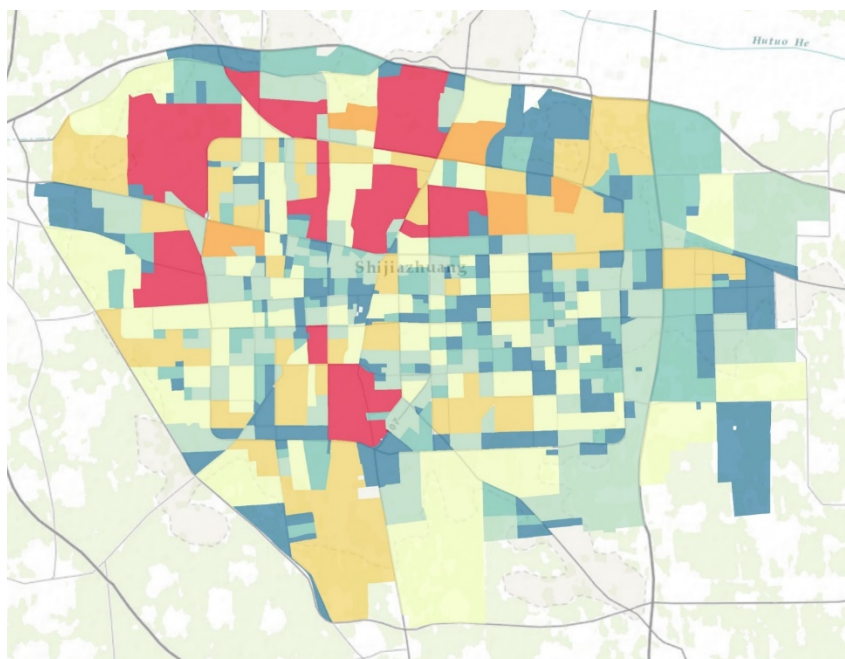


图 41 2015 年石家庄交通碳排放空间分布

四、 石家庄城镇化水平与碳排放关联分析

（一）影响石家庄城镇化发展的政策因素

影响石家庄城镇化发展的核心相关政策大致可以分为三类：区域发展政策、城市空间政策、产业政策。其中，区域发展政策主要通过影响区域人口流动、集聚和扩散，进而影响石家庄城镇化的总体水平；与城市空间相关的规划政策主要影响城市内部人口、产业、用地的空间布局；产业发展政策决定了城镇化的动力，影响着城镇化发展的产业结构和土地利用结构等(图 42)。石家庄的城镇化发展既受到京津冀协同发展、雄安新区设立等区域政策和区域发展新态势的影响，也受到与城市空间结构相关的规划政策和城市产业发展规划政策的影响(表 6)。

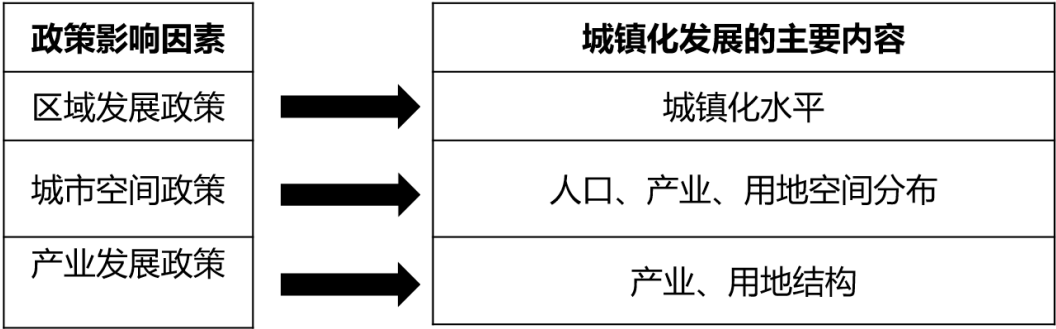


图 42 城镇化政策影响因素

表 6 影响石家庄低碳城镇化相关政策

类别	规划/政策	对石家庄影响
区域发展相关规划与政策	京津冀协同发展、雄安新区设立	● 区域人口集聚效应凸显，城镇化水平将显著提高 ● 石家庄区域集聚能力和区域辐射带动能力将显著提高； ● 通过承接京津产业转移，石家庄的产业结构将加快优化转型
城市空间结构相关规划与政策	《石家庄市国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》 《石家庄新型城镇化和城乡统筹发展规划（2016~2020年）》等	● 形成“一核一带两轴三区”的市域空间结构和“中部引领、东部突破、西部优化”的区域发展格局； ● 石家庄中心城区和市域次中心的人口、产业、用地的集聚能力将会进一步突显
产业相关规划政策	《石家庄市国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》、 《石家庄十三五工业转型升级与优化布局》、《石家庄市重点工业行业结构调整提升规划（2017-2019年）》等	● 产业结构进一步优化，将着力打造六大战略新兴产业和促进五大传统优势产业转型升级； ● 钢铁、焦化、水泥、建筑陶瓷平板玻璃炭素、钙镁、石材加工、铸造、煤化工等 8 大行业的“三高”企业加快退出； ● 按照“企业集中布局、资源集约利用、功能集合构建”的原则，基于人口和生

		态环境承载力，推进产业集聚发展 ● “三高”产业对应的工业用地将逐步减少，用地结构和分布加快调整优化
--	--	---

1、区域发展政策

(1) 京津冀协同发展战略

目前，京津冀协同发展进入了加快推进期，有利于石家庄进一步发挥区位优势，加强与周边地区联动发展，促进城市功能提升和产业升级转型。同时，京津冀区域交通一体化也会进一步促进人口和产业向石家庄集聚。

首先，石家庄区域集聚能力将显著提高。在京津冀协同发展规划纲要中，河北省的定位为“三区一基地”，即全国现代商贸物流重要基地、产业转型升级试验区、新型城镇化与城乡统筹示范区、京津冀生态环境支撑区，其中，石家庄定位为京津冀协同发展中的重要节点、区域性中心城市，其城市综合承载能力和服务能力将显著提高，从而有序推动产业和人口聚集。

其次，通过承接京津产业转移，石家庄的产业结构将加快优化转型。石家庄“十三五”规划中提到，2020 年将努力建成京津冀城市群第三极，全方位融入京津冀协同发展，精准承接北京非首都功能疏解和产业转移，在更高层次上参与区域产业分工协作，实现在新一代信息技术、生物医药、高端装备制造、新材料、节能环保等产业上的突破，同时依托各产业园区和开发区，积极承接生物医药、轻工食品、集成

电路和信息设备制造等产业转移，带动先进制造业集聚发展。此外，石家庄还将通过加强与京津大专院校、科研院所、龙头企业、行业协会和产业联盟等单位合作共建，培育打造一批有特色、有支撑的本地创新产业。

（2）雄安新区的规划局建设

雄安新区是深入推进京津冀协同发展的一项重大决策部署，对于集中疏解北京非首都功能，探索人口密集地区优化开发模式，调整优化京津冀城市布局 and 空间结构，培育创新驱动发展新引擎，具有重大现实意义和深远历史影响。雄安新区将建成绿色生态宜居新城区、创新驱动引领区、协调发展示范区、和开放发展先行区，对包括石家庄在内的河北其它城市也具有深远影响。

首先，雄安新区作为北京非首都功能疏解集中承载地，对于河北其它市县具有强大的示范和引领作用，有利于石家庄等河北其它城市加快改革和转型步伐，构建有利于承载北京非首都功能疏解的环境和条件。其次，雄安新区作为新的区域增长极，也能带动河北其它城市加快发展，提高河北其它城市吸引要素集聚、激发市场活力的能力，从而解决京津冀区域内部长期发展不均衡的问题。

2、城市空间政策

根据《石家庄市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》和《石家庄新型城镇化和城乡统筹发展规划（2016~2020年）》，总体来看，石家庄城镇化水平将进一步提高，2020年全市城镇化率将超

过 63%，城市集聚产业、人口和生产要素能力明显增强，中心城区和市域次中心城市将是未来石家庄经济社会发展和产业升级转型的重点区域。

首先，从市域总体来看，石家庄将基本形成“一核一带两轴三区”的市域空间结构（图 43）和“中部引领、东部突破、西部优化”的区域发展格局（表 7）。按照规划，石家庄将根据各区域发展条件，实施分区发展战略，全面协调城镇化、工业化与生态建设的关系，统筹产业、城镇和人口布局。其中，中部综合功能区和东部产城拓展区将是未来城镇化建设、产业发展和生产要素集聚的重点区域，而西部生态优化区将坚持生态优先，增强重点镇集聚能力，发展绿色经济。



图 43 “一核一带两轴三区”市域空间结构

表 7 石家庄分区发展战略

区域	县（区）市	发展重点
----	-------	------

中部综合功能区	市内七区（新华区、桥西区、长安区、裕华区、藁城区、鹿泉区、栾城区）、高新区和正定县	● 全市发展的中心区域、工业化和城镇化建设的重点推进区域
东部产城拓展区	晋州市、无极县、新乐市、赵县、深泽县、行唐县、元氏县、高邑县	● 集中力量改造和建设县城和重点建制镇，实现东部城市功能显著提升； ● 发展一批主营业务收入过百亿的大园区
西部生态优化区	平山县、井陘县、井陘矿区、赞皇县、灵寿县	● 按照生态城市（镇）建设要求，加快县城及重点建制镇的改造和建设，增强城镇人口吸纳能力和承载力，在确保生态安全的基础上，加速富民强县进程； ● 重点发展绿色工业、农副产品加工业、生态农业、休闲旅游，形成西部山区人口和产业集聚中心

其次，石家庄中心城区和市域次中心的集聚能力将会进一步突显。一是石家庄中部综合功能区将突出省会城市功能，大力发展城市经济，着力构建“一河两岸三组团”的都市区，在推进城市北跨滹沱河发展战略和主城区与正定及正定新区、藁城、鹿泉、栾城一体

化建设的框架下，形成以主城区、正定古城和正定新区为核心，以藁城、鹿泉、栾城规划建设区为组团，以滹沱河、环城水系为生态廊道的组团式生态型空间布局结构（图 44）。二是石家庄将着力打造 5 个经济基础好、发展潜力大、功能地位突出、产业集聚能力强的市域次中心，包括平山、晋州、新乐、井陉—井陉矿区、赵县，增强对全市以及京津冀城市群南部的辐射带动作用。按照规划，石家庄中心城区和区域次中心人口和产业发展占全市的比重将会进一步提升。

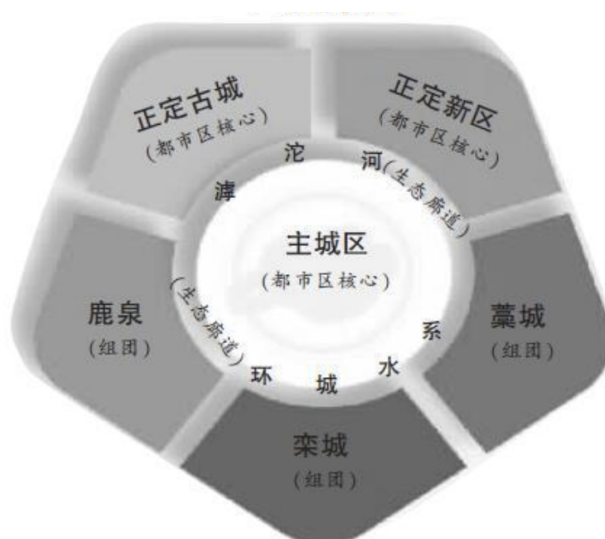


图 44 “一河两岸三组团”的都市区

3、产业发展政策

通过分析《石家庄市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《石家庄十三五工业转型升级与优化布局》、《石家庄市重点工业行业结构调整提升规划（2017-2019 年）》等规划和相关产业政策，石家庄未来的产业结构和布局将呈现以下几个发展趋势。

从产业结构上看，石家庄工业转型步伐将进一步加快。“十三五”期间石家庄将建成全国先进制造业强市、国家生物医药产业基地、和河北省产业转型升级试验区，重点发展六大战略新兴产业和五大传统优势产业。一是石家庄将着力打造六大战略新兴产业集群，包括生物医药产业、新一代信息技术产业、先进装备制造产业、新材料产业、节能环保产业、新能源汽车产业；二是做优做强食品、纺织服装和化工等传统优势产业，通过工艺、技术和装备升级，转为绿色循环低碳发展模式；三是通过兼并重组、改造转产等方式，石家庄将加快产业结构调整步伐，推动高能耗、高排放、高污染的企业加速退出钢铁、焦化、水泥、建筑陶瓷平板玻璃炭素、钙镁、石材加工(含蛭石加工、云母加工)、铸造、煤化工等8大行业(表8)。

表8 石家庄新型工业体系

六大战略新兴产业	五大传统优势产业
● 生物医药 ● 先进装备制造 ● 新一代信息技术 ● 新材料 ● 新能源汽车 ● 节能环保	● 石油化工 ● 冶金 ● 服装纺织 ● 食品加工 ● 建材

从产业布局上看，石家庄将按照“企业集中布局、资源集约利用、功能集合构建”的原则，基于人口和生态环境承载力，推进产业

集聚发展。 一是按照“中部创新高效，东部增产减污、西部突出生态”的区域发展总体思路，全市构建中部高端、东部先进、西部生态的产业发展体系：中部高端优势产业带以主城区为核心，主要布局现代服务业和都市型制造业；东部先进制造产业带，加快转型升级步伐，加强产业集聚度，重点发展先进制造业，集约发展现代高效农业；西部绿色环保产业带以绿色、生态、节能、环保为导向，重点发展生态旅游、健康养老产业和特色农业。二是通过打造重点拓展板块、核心增长板块、特色产业板块和生态转型板块等四大工业板块，各板块、县（市、区）依托自身优势，明确产业发展重点和特色产业，促进产业向园区集聚（表 9、10）

表 9 石家庄四大工业板块

板块	包含县（市、区）	重点发展产业
重点拓展 板块	正定县、新乐市、行唐县、灵寿县	承接京津产业转移、重点培育电子信息、新能源汽车、高端生物制造和环保科技四大高科技产业
核心增长 板块	老城区（长安区、裕华区、新华区、桥西区）； 新城區（藁城区、栾城区、鹿泉区）	生物医药、装备制造和电子信息产业，工业经济总量占据全市一半以上
特色产业 板块	无极县、深泽县、晋州市、赵县	生态皮革、装饰家居、纺织、生物医药产业
生态转型 板块	平山县、井陘县、井陘矿区、元氏县、 赞皇县、高邑县	新材料、能源、装备制造产业

表 10 石家庄各县（市、区）产业发展重点

县（市、 区）	重点产业	县（市、 区）	重点产业
藁城区	生物医药、机械制造、光电通信等产业	井陘县及 井陘矿区	重钙镁、建材、物流、能源和 旅游业
鹿泉区	电子信息、食品加工、文化创意以及休闲旅游等产业	平山县	文化旅游业、轻工业
栾城区	依托装备制造基地，重点提升通用航空、轨道交通、能源装备和中医药产业发展	晋州市	纺织业、装备制造业、精细化工和生物制药
老城区	金融、文化、商务、科技、信息等高端服务聚集区	新乐市	临空产业、食品加工、装备制造业和文化旅游业
正定县、 正定新区	生物医药、电子信息、高端装备制造等战略性新兴产业和金融、商贸物流、电子商务、信息服务、会展服务、科技研发、服务外包、文化创意等现代服务业和文化旅游业	无极县	皮革业和装备制造业
赞皇县	农产品加工业、林果种植业和旅游业	深泽县	医药化工、装备制造、新材料、轻工纺织和特色农业

元氏县	循环化工、装备制造产业	赵县	食品加工、生物产业和文化旅游业
高邑县	纺织、建材产业	行唐县	装备制造业、节能环保和农产品加工
灵寿县	旅游业和农产品加工		

（二）石家庄城镇化发展模式设定

基于对石家庄城镇化发展的历史趋势及现状的综合分析，本研究设定了石家庄今后一段时期城镇化发展的三种模式，即**延续城镇化模式**、**规划城镇化模式**和**强化低碳城镇化模式**。

延续城镇化模式，指石家庄执行原有区域发展政策、城市空间政策和产业发展政策，经济社会发展和城镇化发展延续当前态势。**规划城镇化模式**，指现有的区域发展政策、城市空间政策和产业发展政策顺利推进，对石家庄城镇化发展的影响如预期，政策目标基本实现。**强化低碳城镇化模式**，指在现有政策的影响下，以实现低碳城镇化突破发展为目标，加快融入京津冀协同发展，加大产业结构、城市空间结构调整优化力度，城镇化发展水平显著提升，城镇化发展动力、土地利用结构和布局实现突破性转型优化（表 11）。

表 11 三类城镇化模式下政策因素的影响

城镇化模式	内涵	区域发展政策影响	城市空间政策影响	产业发展政策影响
延续型城镇化模式	延续石家庄当前经济社会发展和城镇化发展态势	执行原有政策		
低碳城镇化模式	区域发展政策和新态势影响显著，城市空间政策和产业政策顺利推进	影响如预期： ● 逐步承接京津产业转移 ● 区域辐射带动能力有所提升 ● 人口、城镇化水平稳步提高	顺利实施，基本实现既定目标： ● 城市空间结构按照分区发展战略稳步调整，“一河两岸三组团”都市圈结构逐渐形成 ● 中心城区和市域次中心集聚程度有所上升	顺利实施，基本实现既定目标： ● 战略新兴产业培育和传统产业转型升级稳步加快推进 ● “三高”产业逐步退出 ● 四大工业板块逐步形成
强化低碳城镇化模式	在既有政策规划影响基础上，加快产业	影响远超出预期： ● 加快承接京	影响远超预期： ● 城市分区发展战略实现	影响远超预期： ● 六大战略新兴产业培育和五大传

	结构调整、城市空间结构，石家庄实现突破性低碳绿色发展	津产业转移 ● 区域集聚和辐射带动力显著提高 ● 人口、城镇化水平显著提高	突破，“一河两岸三组团”实现一体化发展 ● 中心城区和市域次中心人口产业集聚程度显著提高	统优势产业转型实现突破 ● “三高”产业基本退出 ● 产业实现高水平集聚空间布局
--	----------------------------	---	---	--

1、延续城镇化模式

城市发展的惯性会长期影响城市的产业转型和空间结构调整，即存在路径依赖。当前，石家庄城市正经历着产业和区域结构的双重调整，这两方面的调整均受到来自内部和外部的政策、宏观经济形势、区域经济格局调整等因素的影响。延续城镇化情景描述的是石家庄促进结构调整的力量不能突破城市发展的传统路径，继续沿着当前的城镇化路径继续发展的模式，即沿着当前的经济态势以及工业、建筑和交通部门的既有模式持续发展。此模式的具体特征为：

- 1) **城镇化水平**：人口与城镇化水平的发展延续当前态势，常住人口的增长率保持当前的水平，大约每年 1% 的增长率，远

期考虑到自然增长率的下降，常住人口以每年 0.8%左右的速度增长，城镇化水平提高的幅度与当前态势基本相同，以平均每年 1.5 个百分点的速度提高；

2) 城镇化驱动力：石家庄经济增长延续当前态势，由中高速逐步进入中速增长，GDP 增长率延续当前的发展态势，2020 年以前以每年 6.5%的增长率增长，2021-2025 年以每年 5.5%的增长率增长，2026-2030 年以每年 5%的增长率增长；

3) 城市空间结构：石家庄城市空间发展上延续组团式发展态势，继续实施“北跨”“西控”“南优”和“东延”战略，依“十二五”相关城市规划推进，“一城三区三组团”的城市组团逐渐清晰，中心城区规模缓慢上升，但占比仍然不高（表 15）；

4) 土地利用结构：由于产业结构转型和空间布局调整延续当前态势，制造业土地利用延续当前特征，M3 类工业用地量占比依然较大，利用粗放、布局分散问题将仍然存在。

表 12 延续型城镇化模式主要指标预测

		2020	2025	2030
GDP (亿元)		7535.9	9849.1	12570.2
城镇化率 (%)		63. 7	70. 4	77. 7
人口	城镇人口 (万人)	730. 6	861. 3	1019. 1
	农村人口 (万人)	416. 3	362. 1	292. 4

产业 结构	第一产业增加值 (亿元)	487.8	631.4	921.6
	第一产业占比 (%)	6.5	6.4	7.3
	第二产业增加值 (亿元)	3457.9	4413.2	5369.4
	第二产业占比 (%)	45.9	44.8	42.7
	第三产业增加值 (亿元)	3590.1	4804.4	6279.2
	第三产业占比 (%)	47.6	48.8	50
城市空间结构		依“十二五”相关城市规划推进，“一城三区三组团”的城市组团逐渐清晰，中心城区规模缓慢上升		

2、规划城镇化模式

规划城镇化模式为一种低碳转型升级情景，即石家庄未来的经济社会发展按照各类规划政策取得较好成效，积极融入京津冀区域协调发展的大格局，逐步实现经济结构和城镇发展的提质转型。在《石家庄市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《石家庄新型城镇化和城乡统筹发展规划（2016~2020 年）》等要求下，石家庄未来的经济增长、人口增长、城镇化进程均保持中高速发展。此模式的具体特征为：

- 1) **城镇化水平**：常住人口的增长速度高于当前水平，未来年均人口增长率保持中高速，约 1.3-1.4%，远期虽然自然增长率会有所下降，但是能够吸引人口迁入，使得机械增长率提

高。城镇化水平持续提升，以每年 1.8-2 个百分点的速度提高，中心城区的城镇化率提升至 85%以上；

2) 城镇化驱动力：石家庄经济增长保持中高速，加快建设京津冀协同发展中的重要节点和区域性中心城市；产业结构调整取得一定成效，重点发展六大战略新兴产业和五大传统优势产业，高端制造业、现代服务业比重加速提升，加快建设全国先进制造业强市、国家生物医药产业基地、和河北省产业转型升级试验区；GDP 增长率保持中高速发展态势，2020 年以前保持年均 6.5%的增长率，2021-2030 年期间的经济增长率保持在 5.5%左右；

3) 城市空间结构：石家庄分区发展战略稳步推进，按照“中部引领、东部突破、西部优化”的分区发展战略，市域“一核一带两轴三区”的空间结构和都市区“一河两岸三组团”空间结构初步构建，中心城区和市域次中心人口和产业的集聚程度有较大的提高（表 15）；

4) 土地利用结构：工业用地结构按照产业结构的变化加快调整，用地效率逐步提高，M3 类工业用地面积和比重逐步降低。

表 13 低碳城镇化模式主要指标预测

	2020	2025	2030
GDP (亿元)	7535.9	9848	12872.3

城镇化率 (%)		63.7	70.4	77.7
人口	城镇人口 (万人)	730. 6	861. 3	1019. 1
	农村人口 (万人)	416. 3	362. 1	292. 4
产 业 结构	第一产业增加值 (亿元)	484.4	506.4	896.3
	第一产业占比 (%)	9.1	5.1	7.0
	第二产业增加值 (亿元)	3393.7	4331.3	5269.7
	第二产业占比 (%)	45.1	44.0	41.0
	第三产业增加值 (亿元)	3657.7	5011.4	6706.4
	第三产业占比 (%)	45.8	50.9	52.0
城市空间结构		城市空间结构调整的步伐较快，通过实施“中部引领、东部突破、西部优化”的分区发展战略，逐步形成“一核一带两轴三区”的市域空间结构和“一河两岸三组团”的都市区发展框架，中心城区和市域次中心人口和产业的集聚程度有较大的提高		

3、强化低碳城镇化模式

强化低碳城镇化模式为一种低碳转型突破情景，各类促进石家庄转型发展的政策规划成效远超出预期，京津冀协同发展、创新驱动发展、新型城镇化、供给侧结构性改革等，能够形成合力，共同促进石家庄社会经济和城镇化的突破性发展。此模式的具体特征为：

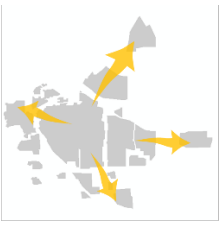
- 1) **城镇化水平**：常住人口高于当前水平，未来年均人口增长率保持中高速，约 1.3-1.4%，远期虽然自然增长率会有所下降，但是能够通过吸引人口迁入保持常住人口的中高速增长提高。城镇化水平提升速度较快，以年均 2-2.5 个百分点提升，中心城区基本实现了全域城镇化；
- 2) **城镇化驱动力**：石家庄经济发展的势头保持中高速，经济增长模式发生了明显的改变；产业结构升级转型实现重大突破，高端制造业和现代服务业成为主导产业，“三高”产业基本退出，新型工业体系全面构建，全国先进制造业强市、国家生物医药产业基地、和河北省产业转型升级试验区全面建成；GDP 增长率保持中高速发展态势，2020 年以前以每年 6.5% 的增长率增长，2021-2025 年以每年 6% 的增长率增长，2026-2030 年以每年 5.5% 的增长率增长；
- 3) **城市空间结构**：分区发展战略实现突破，“中部引领、东部突破、西部优化”的区域发展格局全面实现，形成了迈向国际大都市的区域结构框架，“一河两岸三组团”实现一体化发展，中心城区和市域次中心集聚程度显著提升（表 15）；
- 4) **土地利用结构**：土地利用效率显著提高，M3 类工业用地面积和比重显著下降。

表 14 强化低碳城镇化模式主要指标

	2020	2025	2030

GDP (亿元)		7535. 9	9895. 7	12933. 3
城镇化率 (%)		63. 7	70. 4	77. 7
人 口	城镇人口 (万人)	730. 6	861. 3	1019. 1
	农村人口 (万人)	416. 3	362. 1	292. 4
产 业 结 构	第一产业增加值 (亿元)	536. 4	881. 7	881.7
	第一产业占比 (%)	5. 4	6. 8	6.8
	第二产业增加值 (亿元)	4229. 2	5022. 9	7028.7
	第二产业占比 (%)	42. 7	38. 8	38.3
	第三产业增加值 (亿元)	5130. 1	7028. 7	7028.7
	第三产业占比 (%)	51. 9	54. 4	54.4
城市空间结构		城市空间结构调整成效显著 ,分区发展战略实现突破 ,“一河两岸三组团”实现一体化发展 ,基本形成了迈向国际大都市的区域结构框架 ,中心城区和市域次中心集聚程度显著提升		

表 15 不同低碳城镇化模式下石家庄城市空间结构

	2015 年	2030 年 延续城镇化路径	2030 年 规划城镇化路径	2030 年 强化低碳城镇化路径
城市 空间 结构				

建设用地面积	227km ²	336 km ²	314 km ²	296 km ²
土地消耗量		+59 km ²	+37 km ²	+19 km ²

（三）不同城镇化模式下重点部门碳排放情景设定

分别对应延续城镇化模式、规划城镇化模式和强化低碳城镇化模式，本研究设定了石家庄工业、建筑和交通部门碳排放的 3 种情景，分别是延续城镇化情景、规划城镇化情景和强化低碳城镇化情景。

1、工业部门情景设定

1) 延续城镇化情景：在延续城镇化模式下，工业部门的产业结构、用地结构、能源利用率和能源结构没有突破目前发展模式，继续沿着“十二五”期间既定政策延续发展。

- **产业结构：**产业结构转型升级延续当前趋势，第三产业的比重稳步上升，第二产业尤其是工业行业实现结构优化，低端和污染行业逐步向高端制造业转型升级（表 17）。
- **工业增加值：**工业增加值总量增加，增速下降。2015-2020、2020-2025、2025-2030 年的年均增速分别为 6.8%、6.2%和 5.5%。
- **能源利用效率：**通过技术升级、节能减排等工作，到 2020、2025、2030 年工业增加值能耗强度相比 2015 年水平分别下

降 20%、30%、35%。

- **能源结构**：控煤、压煤行动持续开展，“煤改气”、“煤改电”有序推进，到 2020 年、2025 年和 2030 年工业部门煤炭消费比重分别为 71%、69%和 67%，电力消费比重分别为 27%、28%和 29%。
- **工业用地结构**：2015 年，石家庄工业用地总面积为 7159 万平方米，M1、M2、M3 类工业行业用地面积分别为 310 万平方米、3957 万平方米和 2892 万平方米。依照目前的工业行业发展模式，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄 M1 类工业用地面积将面积在逐步减少，分别为 551 万平方米、634 万平方米和 725 万平方米，M2 类工业用地面积基本保持平稳，分别是 4085 万平方米、4092 万平方米和 4155 万平方米；M3 类工业用地面积在逐步减少，但减少的速度较慢，将分别是 2473 万平方米、2189 万平方米和 1827 万平方米。

2) **规划城镇化情景**：在规划城镇化模式下，在京津冀协同发展战略推动下，充分考虑石家庄“十三五”既定发展规划，工业部门承接产业转移成效明显，工业部门转型升级取得较大改观，工业集约化程度逐渐提升。主要规划政策包括《石家庄市国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《石家庄十三五工业转型升级与优化布局》、《石家庄市重点工业行业结构调整提升规划（2017-2019 年）》等。

- **产业结构**：依据《石家庄工业转型升级与布局优化“十三五规划”》，供给侧结构性改革出实效，传统产业的退出和新型产

业的培育同步推进，第三类工业（M3）的比重显著降低，高端制造业比重提升，第三产业比重稳步提高，现代服务业竞争力显著增强（表 17）。

- **工业增加值：**工业增加值总量持续增长，但增速持续下降，2015-2020、2020-2025、2025-2030 年的年均增速分别为 7.6%、5.7%和 5.4%。
- **能源利用效率：**因地制宜地采取技术升级、节能减排、去产能、淘汰落后产能等多种政策措施挖掘行业减排潜力，到 2020、2025 年和 2030 年工业增加值能耗强度相比 2015 年水平分别下降 28%、42%、50%。
- **能源结构：**严格实施煤炭消费总量控制，积极推进“煤改气”、“煤改电”等能源低碳化行动，到 2020 年、2025 年和 2030 年煤炭消费比重分别下降到 69%、66%和 62%，电力消费比重分别为 29%、32%和 33%。
- **工业用地结构：**十三五期间，依照石家庄城市总体规划和工业发展规划，工业部门重化工业逐步退出，同时积极发展战略性新兴产业，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄 M1 类工业用地面积逐步增加，将达到 551 万平方米、922 万平方米和 725 万平方米，M2 类工业用地面积小幅减少，分别是 4180 万平方米、4131 万平方米和 3294 万平方米；M3 行业用地面积较趋势城镇化情景明显下降，M3 类工业用地面积分别是 2185 万平方米、1718 万平方米和 1378 万平方米。

3) 强化低碳城镇化情景：在强化低碳城镇化模式下，石家庄工业行业在行业结构、用地布局、能源结构以及经济效率等方面将实现突破性发展。

- **产业结构调整：**产业转型取得突破，第三类工业（M3）大幅度退出，部分低端和存在污染的第二类工业（M2）比例也逐步降低，第三产业发展迅速，现代服务业和高端制造业等战略性新兴产业成为城市的主导产业，科技创新能力大幅度增强（表 17）。
- **工业增加值：**工业增加值总量持续增长，但增速持续下降，2015-2020、2020-2025、2025-2030 年的年均增速分别为 8.4%、5.4%和 4.7%。
- **能源利用效率：**节能减排政策相比规划城镇化情景进一步强化，到 2020、2025 年 2030 年单位工业增加值能耗强度相比 2015 年水平分别下降 35%、48%和 60%。
- **能源结构：**严格实施煤炭消费总量控制，电力在工业行业能源消费结构中的占比大幅提高，2020 年、2025 年和 2030 年占比分别达到，煤炭消费继续下降，分别为 67%、63%和 58%，电力消费比重分别为 30%、33%和 36%。
- **工业用地：**石家庄采取力度更大的产业结构调整措施，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄 M1 类工业用地面积较规划情景继续增加，分别是 589 万平方米、1114 万平方米和 1020 万平方米；M2 类工业用地面积在 2025 年前基本保持平稳，但

之后有较明显下降，分别是 4236 万平方米、4059 万平方米和 2186 万平方米；M3 类工业用地面积进一步减少分别是 2039 万平方米、1374 万平方米和 983 万平方米（图 45）。

表 16 不同城镇化模式下工业部门主要指标

		2020 年	2025 年	2030 年
延续 城镇化 情景	工业增加值年均增速	6.8%	6.2%	5.5%
	单位工业增加值能耗强度	1.57	1.37	1.22
	煤炭消费占比	71%	69%	67%
	电力在工业行业占比	27%	28%	29%
	M3 类工业用地占比	35.9%	33.1%	28.3%
规划 城镇化 情景	工业增加值年均增速	7.6%	5.7%	5.4%
	单位工业增加值能耗强度	1.40	1.13	0.93
	煤炭消费占比	69%	66%	62%
	电力消费占比	29%	32%	33%
	M3 类工业用地占比	32.7%	27.3%	26.2%
强化低碳 城镇化 情景	工业增加值年均增速	8.4%	5.4%	4.7%
	单位工业增加值能耗强度	1.27	1.03	0.80
	煤炭消费占比	67%	63%	58%
	电力在工业行业占比	30%	33%	36%
	M3 类工业用地占比	28.3%	22.7%	25.5%

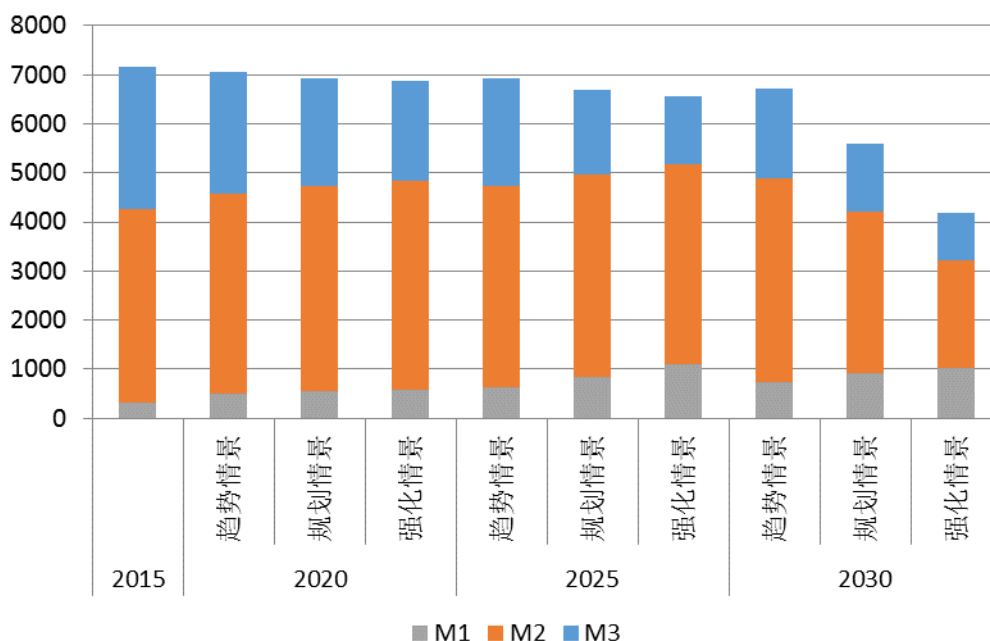


图 45 不同情景下石家庄三类工业行业用地面积（万平方米）

表 17 2030 年高耗能企业技术升级

2030 年 延续城镇化情景	2030 年 规划城镇化路径	2030 年 强化低碳城镇化路径
低 高		

2、交通部门情景设定

(1) 延续城镇化情景：

- **交通发展模式**：延续城镇化遵循传统模式的低密度城市扩张，公共交通发展滞后，居民出行高度依赖小汽车，拥车率快速增长。如石家庄将保持较为粗放的城市形态开发态势，延续

宽马路、大街区的模式 (图 47) 。

- **交通服务量及结构**：由于 2015 年石家庄尚无轨道线建成，所以基准年轨道里程使用 2017 年数据，2017 年石家庄轨道里程 29 公里，轨道站点 800 米范围覆盖 8% 的人口。2017-2025 年轨道里程增长率保持稳定，由于城市蔓延式发展，小汽车出行需求不断增长，公交出行需求下降，轨道建设在 2025 年之后减缓，2030 年仅达到 220 公里，轨道站点 800 米范围覆盖 25% 的人口 (图 48)。2015 年人均拥车 0.22 辆，延续城镇化情景下 2015-2030 年人均拥车数快速增长，预计到 2030 年达到 0.4 辆。
- **交通能源结构**：综合交通运输体系逐渐建立，交通运输工具技术效率稳步提升，交通能源结构逐步优化，2015-2030 年客运交通单位公里碳强度年均下降 0.3%。
- **交通技术及能效**：新能源汽车为交通部门技术升级的代表，延续城镇化情景下，稳步推动公共汽车电动化，2015-2030 变化率保持稳定，预计到 2030 年，新能源公共汽车比例达到 30% (图 49) 。

(2) **规划城镇化情景**：遵循公交优先和紧凑的发展，推进小街区、密路网的城市发展理念，从而减缓小汽车保有量的增长。依据石家庄总体规划，应建成以轨道交通为骨干的公交优先系统。

- **交通发展模式**：保持较为粗放的城市形态开发态势，延续宽马路、大街区的模式 (图 47) 。

- **交通服务量及结构**：在规划政策情景下，2015-2030 年轨道建设保持较高的增长速度，2030 年轨道里程达到 260 公里，轨道站点 800 范围覆盖人口比例达到 35%（图 48），城市格局让轨道交通能服务于更多的人口。2015-2030 年人均拥车数的增长率保持在可控范围内，预计到 2030 年达到 0.36 辆。
- **交通能源结构**：综合交通运输体系加快建立，智能交通管理逐渐普及，交通运输工具技术效率加快提高，交通能源结构优化力度加快，2015-2030 年客运交通单位公里碳强度年均下降 0.7%。
- **交通技术及能效**：大力推动公共汽车电动化，2015-2030 变化率逐年增长，预计到 2030 年，新能源公共汽车比例达到 85%（图 49）。

（3）强化低碳城镇化情景：遵循公交优先和紧凑的发展，推进小街区、密路网，结合技术进步，进一步降低交通能源消耗和碳排放量。

- **交通发展模式**：推进小街区、密路网的城市发展模式，建设以人为本的城市新区。通过城市再开发，优化中心区的城市空间结构，推行 TOD（公交导向开发）的发展理念，加大轨道站点周边的开发强度，并优化职住结构（图 47）。
- **交通服务量及结构**：轨道建设快速增长，运营里程在 2030 年达到 300 公里，轨道交通可服务于 47%的人口（图 48）。
- **交通能源结构**：综合交通运输体系加快建立，智能交通管理

快速普及，实现交通部门能源消费革命，交通运输工具技术效率稳步提升，交通能源结构优化力度加快，2015-2030 年客运交通单位公里碳强度年均下降 1.0%。

- **新能源技术及能效：**大力推广新能源汽车，全面实现公共汽车电动化，2030 年电动公共汽车比例达到 100%。严格限制小汽车的增速，鼓励购买电动汽车和混合动力汽车，小汽车人均拥车数增长逐渐平缓，截至 2030 年，人均拥车数控制在 0.3 辆以内（图 49）。

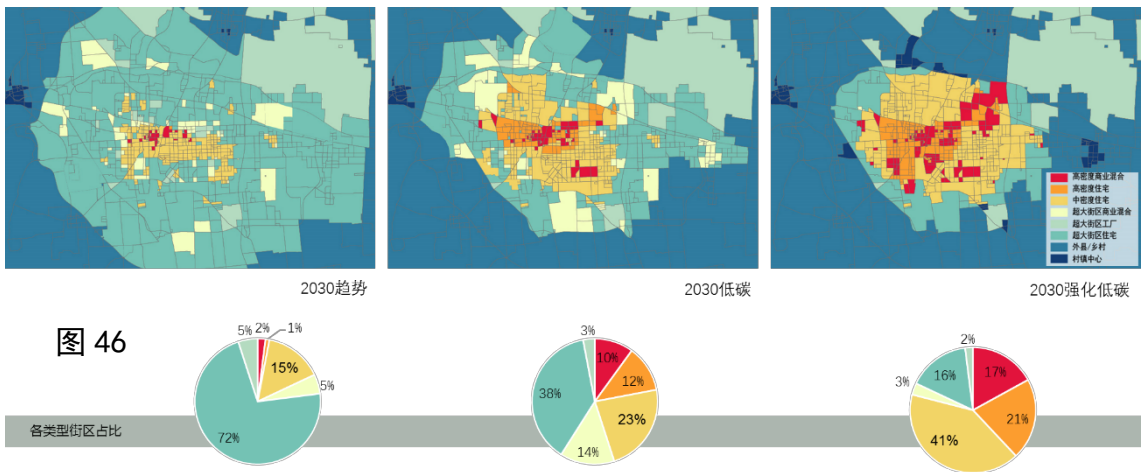


图 47 2030 年石家庄各类型街区占比（%）

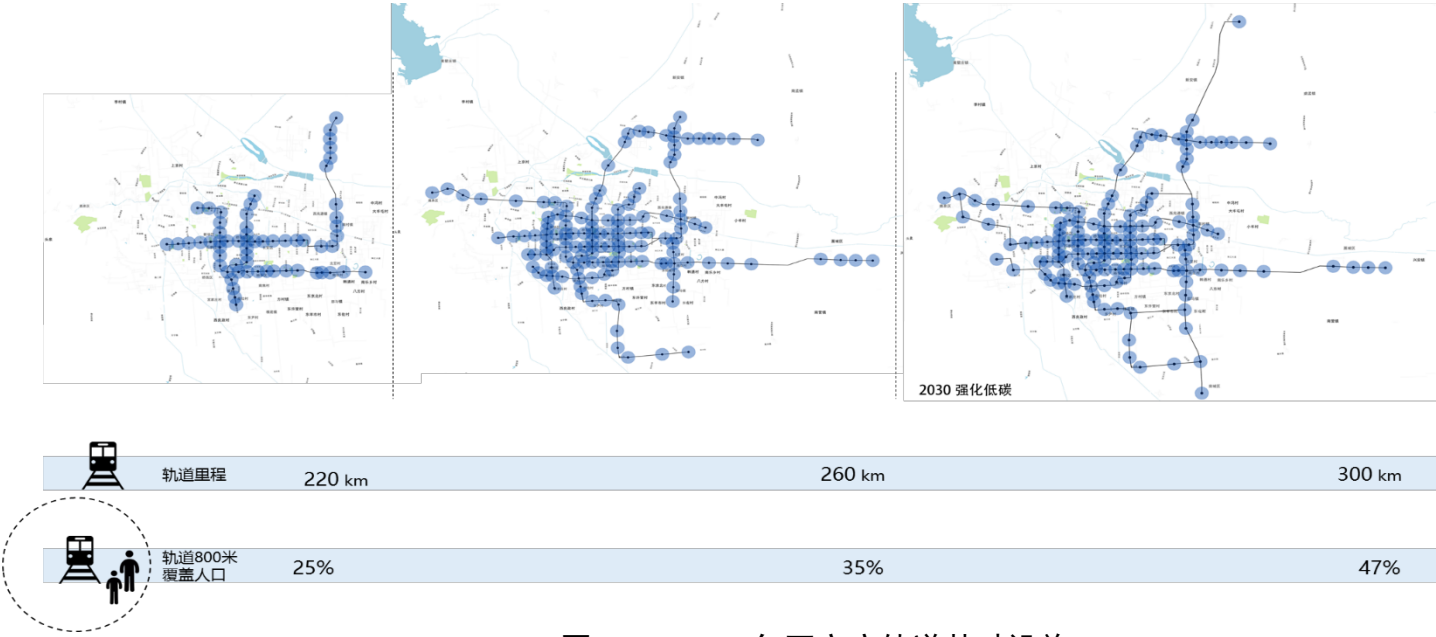


图 48 2030 年石家庄轨道基础设施

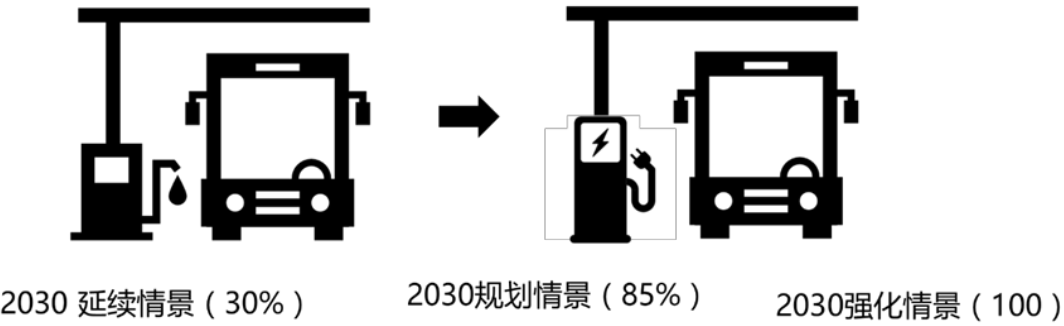


图 49 2030 年新能源汽车占比

表 18 不同城镇化模式下交通部门主要指标

情景名称	交通指标	2020 年	2025 年	2030 年
延续城镇化模式	小汽车人均拥车数	0.26	0.32	0.4
	轨道运营里程	48	130	220
	轨道人口覆盖率	15%	20%	25%
	电动公共汽车比率	15%	23%	30%
规划城镇化模式	小汽车人均拥车数	0.25	0.3	0.36
	轨道运营里程	65	155	260

	轨道人口覆盖率	18%	25%	35%
	电动公共汽车比率	30%	60%	85%
强化低碳城镇化模式	小汽车人均拥车数	0.25	0.28	0.3
	轨道运营里程	80	185	300
	轨道人口覆盖率	20%	35%	47%
	电动公共汽车比率	40%	75%	100%

3、建筑部门情景设定

1) 延续城镇化情景：预设目标与十二五建筑节能规划一致或稍低。

- **建筑类型及面积：**延续目前对公建和民建的需求，根据人口增长趋势，2020 年、2025 年和 2030 年人均城镇居住建筑面积分别达到 305、292 和 279 平方米，农村人均居住建筑面积分别达到 48、52.8 和 58.08 平方米，人均公共建筑建筑面积分别为 76.65、84.31 和 92.74 平方米。
- **能耗强度：**2020 年、2025 年和 2030 年石家庄城镇居住建筑单位能耗强度分别为 22.02、20.93 和 19.89 千克标准煤/平方米；公建能耗强度分比为 51.36、49.72 和 47.76 千克标准煤/平方米；农村居住建筑能耗强度分比为 12.13、12.13 和 12.13 千克标准煤/平方米。
- **能源结构：**推进建筑领域节能减排，能源消费低碳化发展，2015-2030 年建筑部门能耗碳强度年均下降 0.6%。
- **节能标准：**全市城镇新建居住建筑全面执行 65%的建筑节能

标准 ,新建公共建筑执行 50%的建筑节能标准 ,2020 年、2025 年和 2030 年城镇建筑中节能建筑占比分别为 48%、53%和 60% (图 50) ; 其中居住建筑中节能建筑占比分别为 58%、63%和 68% , 公共建筑中节能建筑占比分别为 30%、32%和 36% , 农村新建建筑节能标准保持在 5%。2020 年、2025 年和 2030 年既改执行标准保持在 50%。

2) 规划城镇化情景 :

- **建筑类型及面积** : 在此城镇化模式下 , 2020 年、2025 年和 2030 年石家庄人均城镇居住建筑面积分别达到 26.62、32.07 和 36.88 平方米/人 ,农村人均居住建筑面积分别达到 46、52.9 和 60.84 平方米 ,人均公共建筑建筑面积分别为 74.47、72.98 和 71.52 平方米。
- **能耗强度** : 2020 年、2025 年和 2030 年石家庄城镇居住建筑单位能耗强度分别为 21.81、19.83 和 18.45 千克标准煤/平方米 ; 公建能耗强度分比为 50.25、47.29 和 43.94 千克标准煤/平方米 ; 农村居住建筑能耗强度分比为 11.93、11.70 和 11.14 千克标准煤/平方米。
- **能源结构** : 深入推进建筑领域节能减排 , 因地制宜建设超低能耗建筑及“零排放”建筑 , 2015-2030 年建筑部门能耗碳强度年均下降 1.0%。
- **节能标准** : 2020 年、2025 年和 2030 年全市城镇新建居住建筑分别执行 75%、78%和 82%的建筑节能标准 , 新建公共建

筑分别执行 65%、75%和 79%的建筑节能标准，农村新建建筑分别执行 30%、50%和 65%的建筑节能标准。2020 年、2025 年和 2030 年城镇建筑中节能建筑占比分别为 50%、55%和 62%（图 50）；其中居住建筑中节能建筑占比分别为 60%、65%和 70%，公共建筑中节能建筑占比分别为 30%、35%和 43%。2020 年、2025 年和 2030 年既改执行标准分别为 50%、50%和 65%。

3) 强化低碳城镇化情景：

- **建筑类型及面积：**在此城镇化模式下，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄人均城镇居住建筑面积分别达到 26.67、26.21 和 25.35 平方米/人，农村人均居住建筑面积分别达到 44、42.24 和 38.86 平方米，人均公共建筑建筑面积分别为 71.49、68.63 和 63.09 平方米。
- **能耗强度：**2020 年、2025 年和 2030 年石家庄城镇居住建筑单位能耗强度分别为 20.78、19.40 和 18.09 千克标准煤/平方米；公建能耗强度分比为 50.06、47.27 和 43.78 千克标准煤/平方米；农村居住建筑能耗强度分比为 11.65、11.14 和 10.56 千克标准煤/平方米。
- **能源结构：**深入推进建筑领域节能减排，加强可再生能源资源化利用，因地制宜建设超低能耗建筑及“零排放”建筑，2015-2030 年建筑部门能耗强度年均下降 1.2%。
- **节能标准：**2020 年、2025 年和 2030 年全市城镇新建居住建

筑分别执:75%、78%和 82%的建筑节能标准，新建公共建筑分别执行 65%、75%和 79%的建筑节能标准，农村新建建筑分别执行 50%、65%和 75%的建筑节能标准。2020 年、2025 年和 2030 年城镇建筑中节能建筑占比分别为 52%、57%和 64% (图 50) ；其中居住建筑中节能建筑占比分别为 62%、67%和 72%，公共建筑中节能建筑占比分别为 32%、37%和 45%。2020 年、2025 年和 2030 年既改执行标准分别为 50%、65%和 65%。

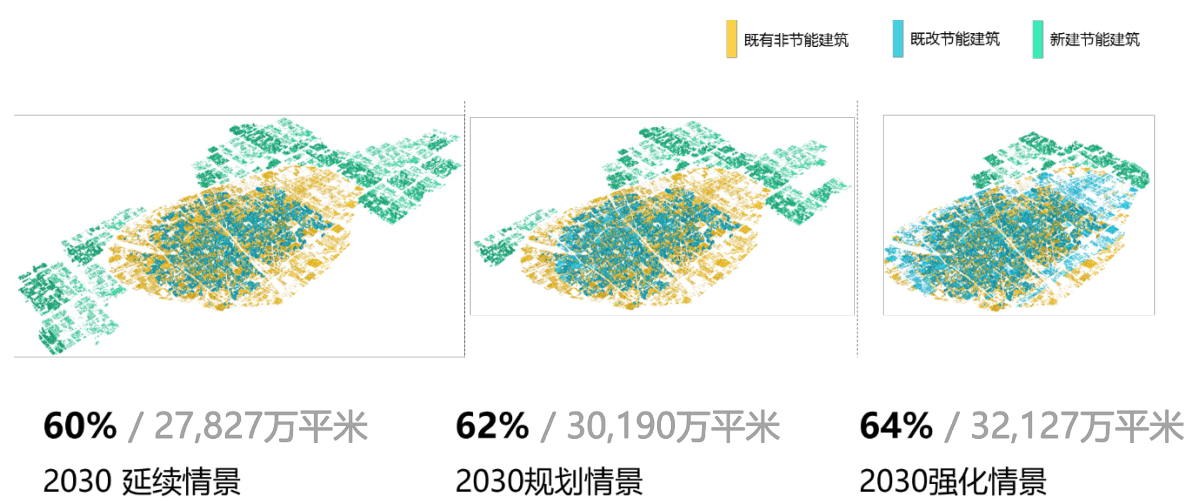


图 50 2030 年石家庄节能建筑比例

表 19 不同城镇化模式下建筑部门主要指标

				2020	2025	2030
延 续 城 镇	人均建筑 面积（平 方米/人）	民建	城镇	305	292	279
			农村	48	52.8	58.08
		公建		76.65	84.31	92.74
	节能	民建	城镇	65%	65%	65%

化 情 景	标准		农村	30%	30%	30%	
		公建		50%	50%	50%	
	能耗 强度	民建	城镇	22.02	20.93	18.98	
			农村	12.13	12.13	12.13	
		公建		51.36	49.72	47.76	
	既改执行标准			50%	50%	50%	
规 划 城 镇 化 情 景	人均建筑 面积（平 方米/人）	民建	城镇	26.62	32.07	36.88	
			农村	46.52	52.9	60.84	
		公建		74.47	72.98	71.52	
	节能 标准	民建	城镇	75%	78%	82%	
			农村	30%	50%	65%	
		公建			75%	79%	
	能耗 强度	民建	城镇	21.81	19.83	18.45	
			农村	11.93	11.70	11.14	
		公建		50.25	47.29	43.94	
	既改执行标准			50%	50%	65%	
	强 化 城 镇 化 情	人均建筑 面积（平 方米/人）	民建	城镇	26.67	26.21	25.35
				农村	44	42.24	38.86
公建			71.49	68.63	63.09		
节能 标准		民建	城镇	75%	78%	82%	
			农村	50%	65%	75%	
		公建		65%	75%	79%	

景	能耗 强度	民建	城镇	20.78	19.40	18.09
			农村	50.06	47.27	43.78
		公建		11.65	11.14	10.56
	既改执行标准			50%	65%	65%

五、 石家庄不同城镇化模式下碳排放分析

（一）工业部门

1、能源消费

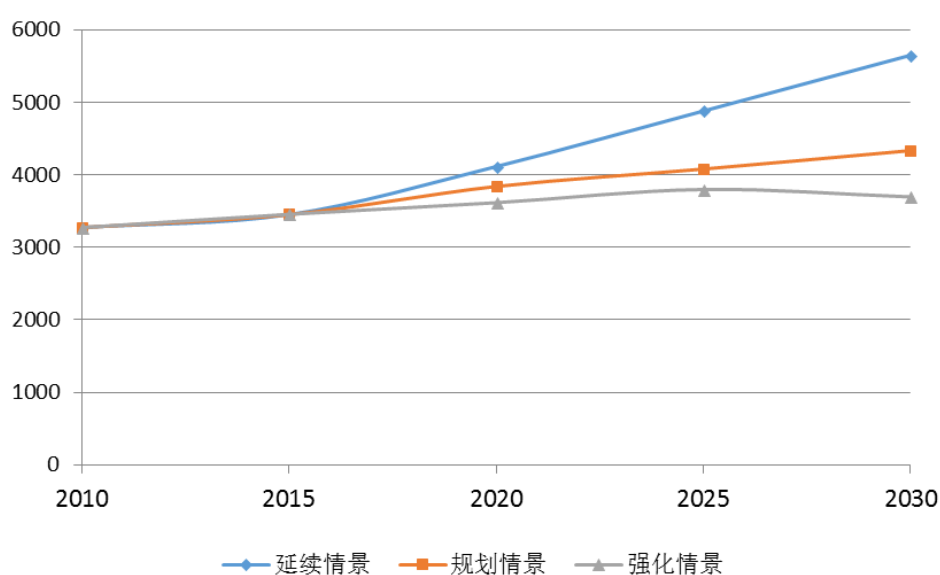


图 51 石家庄市工业行业能源消费总量（万吨标煤）

在延续城镇化情景和低碳政策情景下，石家庄工业部门能源消费量均逐渐增加。延续城镇化情景增加趋势快于低碳城镇化情景(图 51)。在强化低碳城镇化情景下，通过采取强有力的调整结构、优化能源结构、提高工业技术水平、优化工业布局，提高工业用地的集聚水平等强有力的综合措施，石家庄工业能源消费预计将在 2025 年达到峰值，之后工业部门能源消费量逐渐降低。

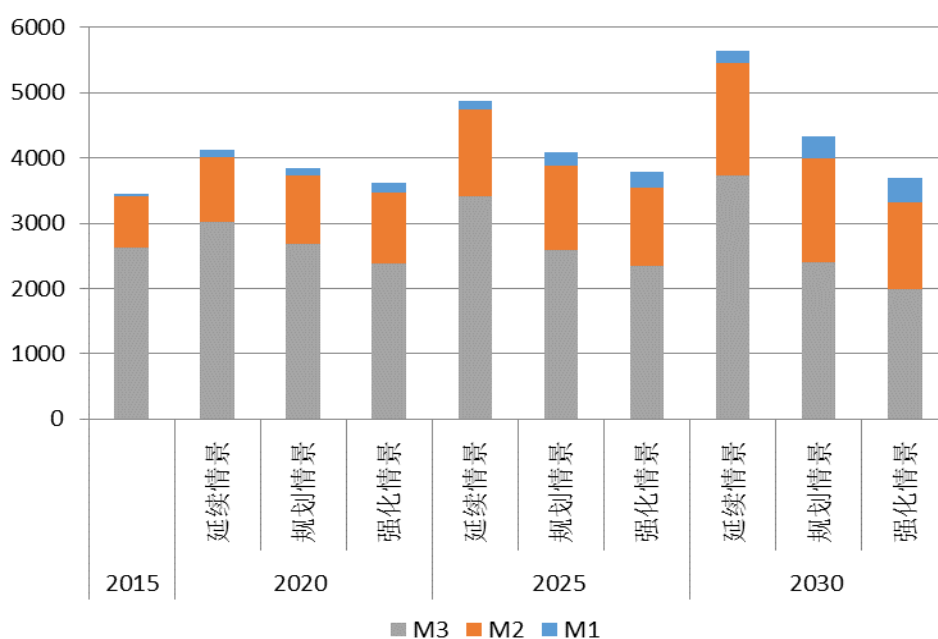


图 52 三类工业能源消费量（万吨标煤）

延续城镇化情景下，石家庄 2020 年、2025 年和 2030 年工业能源消费量分别达到 4119 万吨标准煤、4883 万吨标准煤、5650 万吨标准煤，较 2015 年分别增加 19.11%、41.21%和 63.38%(图 51)，M1、M2、M3 三类工业能源消费量均有显著增加。在规划城镇化情景下，石家庄 2020 年、2025 年和 2030 年工业能源消费量分别达到 3846 万吨标准煤、4086 万吨标准煤、4340 万吨标准煤，较延续城镇化情景能源消费量增速明显降低。2020 年只有 M3 工业能耗较延续城镇化情景降低 0.035 亿吨标准煤，2025 年、2030 年，M2、M3 类工业行业能源消费量均较延续城镇化情景有所减少，且减少量在逐步增加。在强化低碳城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年工业能源消费量分别达到 0.36 亿吨标准煤、0.38 亿吨标准煤、0.20 亿吨标准煤，相对延续情景石家庄工业部门能源消费量进一步减少排放 231 万吨、

293 万吨和 100 万吨 (图 52)。

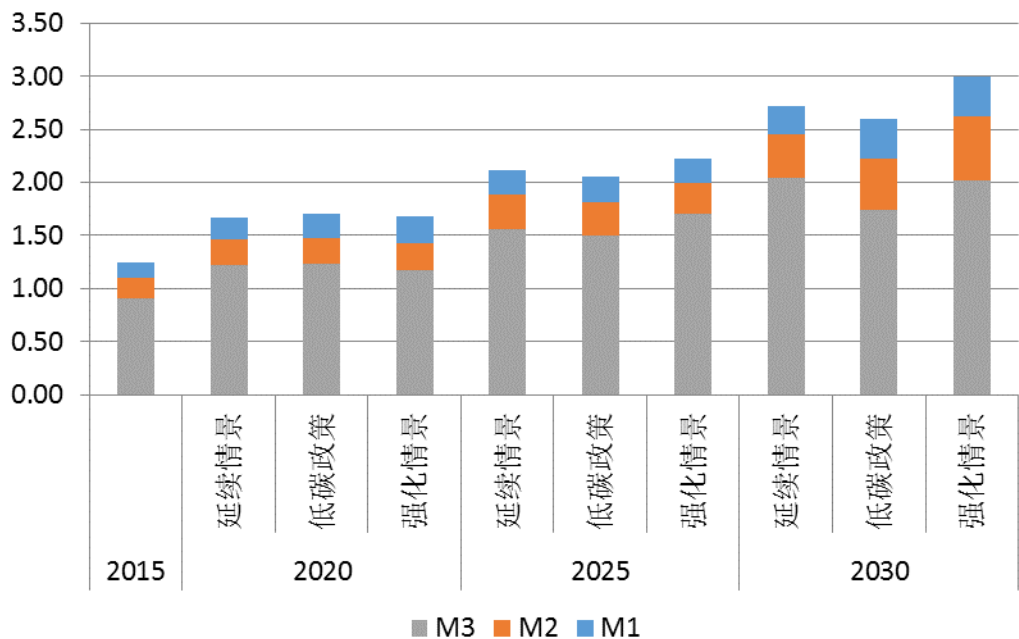


图 53 石家庄三类工业行业单位用地能耗强度 (tce/m²)

在延续城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄工业部门单位用地面积能耗分别是 0.58 吨/平方米、0.71 吨/平方米、0.84 吨/平方米。M1 类工业单位用地面积能耗分别是 0.2 吨/平方米、0.23 吨/平方米、0.26 吨/平方米。M2 类工业单位用地面积能耗分别是 0.24 吨/平方米、0.32 吨/平方米、0.42 吨/平方米。M3 类工业单位用地面积能耗分别是 1.22 吨/平方米、1.56 吨/平方米、2.04 吨/平方米，M3 类工业单位用地面积排放远远高于 M2 类工业行业和 M1 类工业行业。

在规划城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄工业部门单位用地面积能耗分别是 0.56 吨/平方米、0.61 吨/平方米、0.78 吨/平方米。M1 类工业单位用地面积能耗分别是 0.22 吨/平方米、0.24

吨/平方米、0.37 吨/平方米。M2 类工业单位用地面积能耗分别是 0.25 吨/平方米、0.32 吨/平方米、0.48 吨/平方米。M3 类工业单位用地面积能耗分别是 1.17 吨/平方米、1.70 吨/平方米、2.02 吨/平方米，M3 类工业单位用地面积排放远远高于 M2 类工业行业和 M1 类工业行业。在规划城镇化情景下，M1、M2 类工业行业单位用地面积能耗均较延续城镇化情景略有增加，但由于十三五石家庄工业规划对高耗能行业限制发展的政策规定，部分 M3 类工业行业进一步收缩，因此，M3 类工业行业单位用地面积能耗强度较延续城镇化情景有所降低。

在强化低碳城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄工业部门单位用地面积能耗分别是 0.53 吨/平方米、0.58 吨/平方米、0.88 吨/平方米。M1 类工业单位用地面积能耗分别是 0.25 吨/平方米、0.22 吨/平方米、0.37 吨/平方米。M2 类工业单位用地面积能耗分别是 0.25 吨/平方米、0.30 吨/平方米、0.61 吨/平方米。M3 类工业单位用地面积能耗分别是 1.17 吨/平方米、1.70 吨/平方米、2.02 吨/平方米。在强化低碳城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年石家庄工业用地面积较延续城镇化情景均有所减少，尤其是 M3 类工业用地面积减少幅度最大，因此，强化低碳城镇化情景下，三类工业行业单位用地能耗强度反而增加（图 41）。

2、碳排放

在延续城镇化情景、规划城镇化情景下石家庄工业部门碳排放量都将持续增长，但增长程度不同，延续城镇化情景下工业部门碳排放

增长程度显著慢于延续城镇化情景。延续城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年碳排放分别达到 1.6、1.89 和 2.14 亿吨，分别较 2015 年增加 14.30%、32.94%和 50.52%。规划政策情景下 ,2020 年、2025 年和 2030 年碳排放分别达到 1.54、1.63 和 1.71 亿吨，分别较 2015 年增加 8.44%、14.64%和 20.54%，分别较延续城镇化情景减少 5.12%、13.77%和 19.92%。强化低碳城镇化情景下，石家庄工业部门碳排预计在 2025 年之前依然呈现缓慢增加态势，2020 年和 2025 年碳排放分别达到 1.45 和 1.49 亿吨，分别较规划城镇化情景减排潜力为 5.49%和 8.57%。 2025 年之后碳排放量达到峰值并持续减少，到 2030 年减少为 1.40 亿吨 ,较规划城镇化情景 2030 年减排潜力为 17.99% (图 54)。

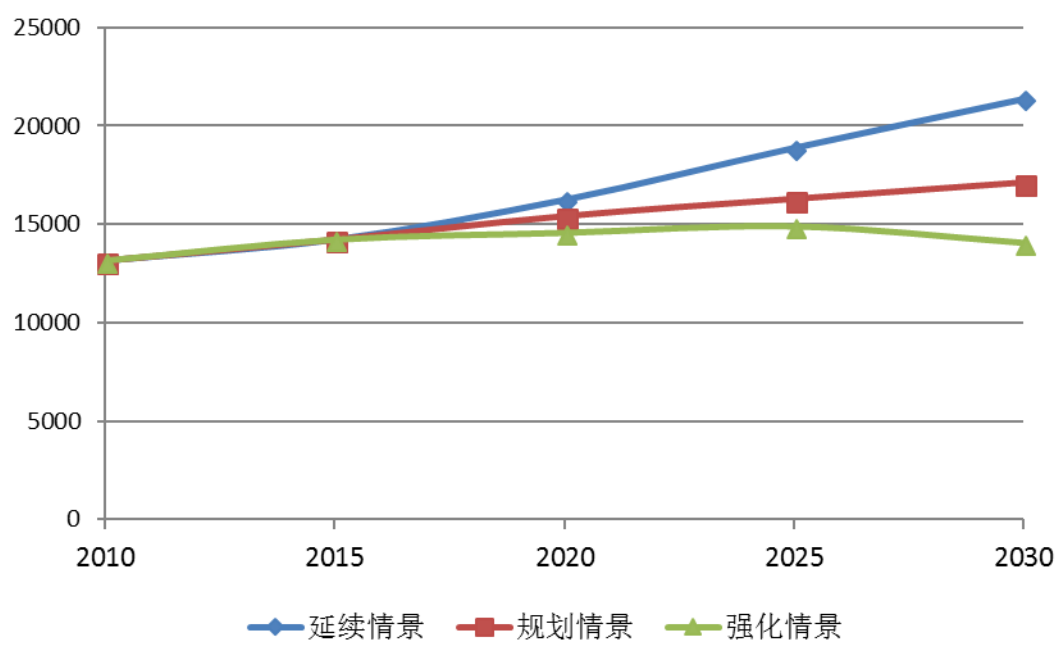


图 54 石家庄市工业部门碳排放（万吨 CO₂）

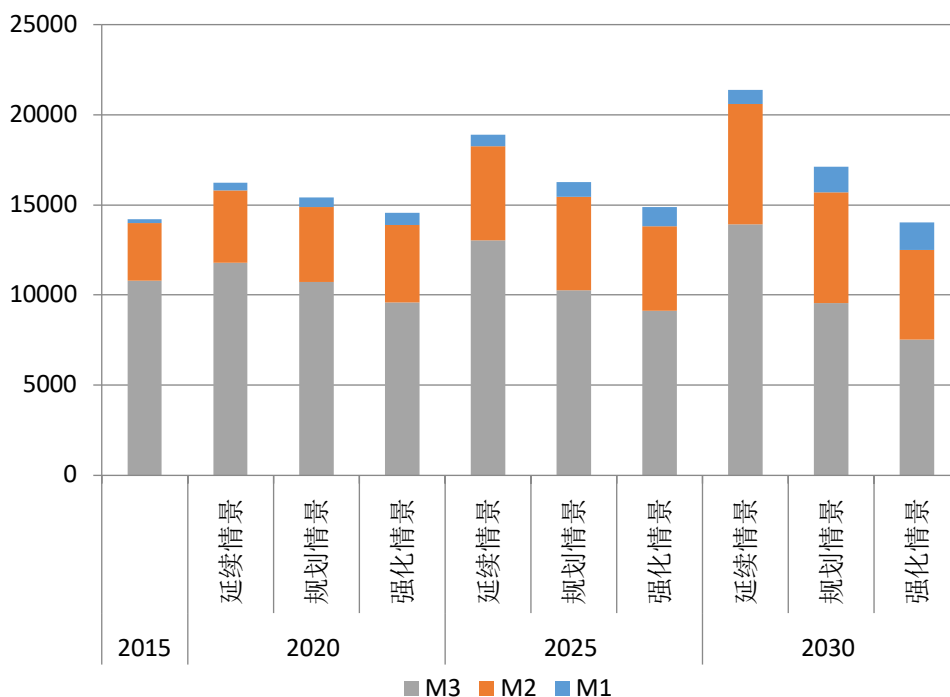


图 55 石家庄三类工业行业碳排放预测（万吨 CO₂）

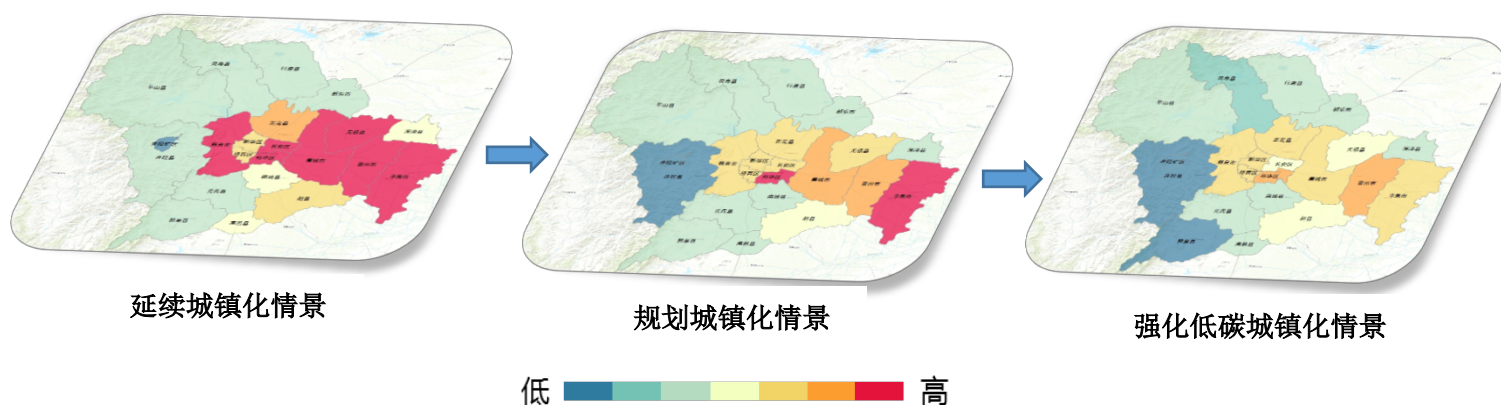


图 56 2030 年石家庄工业部门碳排放空间分布

在三种情景下，石家庄 M3 类工业行业碳排放量占比逐渐减少，而 M1 和 M2 类工业行业碳排放占比有所增加。在延续城镇化情景下，M3 类工业行业 2020 年、2025 年和 2030 年占比分别为 73%、69%和 65%；规划政策情景下占比分别为 70%、63%和 56%；强化低碳城镇

化情景下占比分别为 66%、61%和 54 (图 55)。在石家庄高碳排放行业的空间分布上也可以看出，2030 年高碳排放分布在三中情景下逐渐减少 (图 54)。原因在于三种情景下，针对 M3 类高耗能高排放行业，都采取了限制发展政策，但是限制力度有所差异。在强化低碳城镇化情景下 ,石家庄采取了力度较大的部分高耗能行业的退出政策。

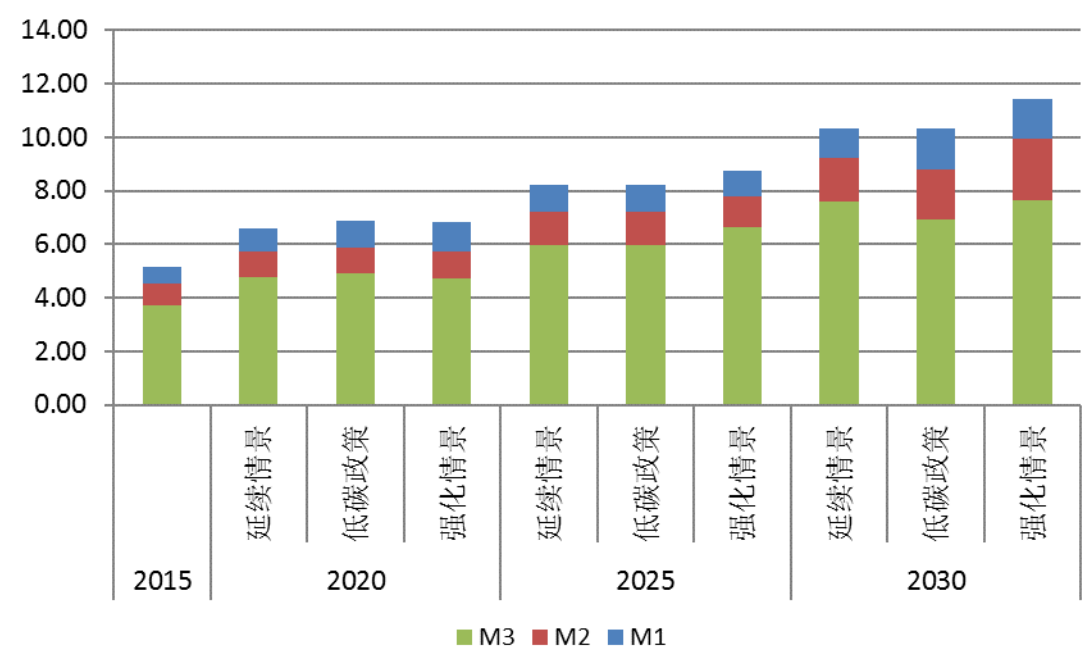


图 57 石家庄三类工业行业单位用地碳排放强度 (tco₂/m²)

在三种政策情景下，石家庄单位面积碳排放强度均有所增加 (图 57)。工业用地的集约化水平直接影响了单位工业用地的碳排放强度。尤其是在强化低碳城镇化情景下，石家庄工业部门的碳排放总量虽然已经达到峰值，但单位用地碳排放强度仍有所增加。主要原因在于，在强化低碳城镇化情景下，石家庄的工业园区进一步发展，大部分工业企业将进入园区，工业的专业化和集约化利用程度进一步加强。

总体来看，在不同的城镇化模式下，石家庄工业部门的空间布局也呈现出明显差异。从延续城镇化模式、规划城镇化模式到强化低碳城镇化模式，随着石家庄高污染和高排放行业的逐渐退出，以及工业布局进一步集约化发展，工业用地面积总体呈现逐渐减少趋势，其中一类工业用地在持续增加，二类工业用地呈现缓慢增加然后下降的趋势，三类工业用地持续减少。随着城镇化进程带来的工业结构和空间布局的变化，工业部门的能源消费以及碳排放总量以及单位用地面积的能源消费和碳排放也随时逐渐变化。在延续城镇化情景和规划城镇化情景下，石家庄工业部门能源消费和碳排放仍将继续增长。相较延续城镇化情景，规划城镇化情景能源消费和碳排放增长速度显著放缓。强化低碳城镇化情景下，2025年，石家庄工业部门能源消费和碳排放量都将达到峰值。在规划城镇化情景和强化低碳城镇化情景下，石家庄单位工业用地面积的增加值都呈现增加趋势，与之相反，单位工业用地面积的能耗和碳排放都呈现下降趋势。

（二）交通部门

1、能源消费

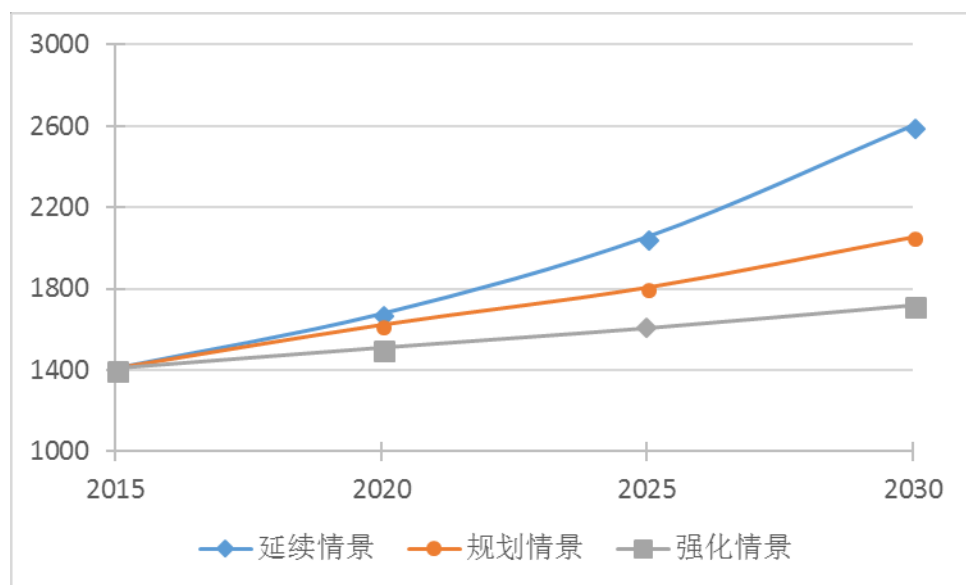


图 58 石家庄交通部门能源消费总量（万吨标准煤）

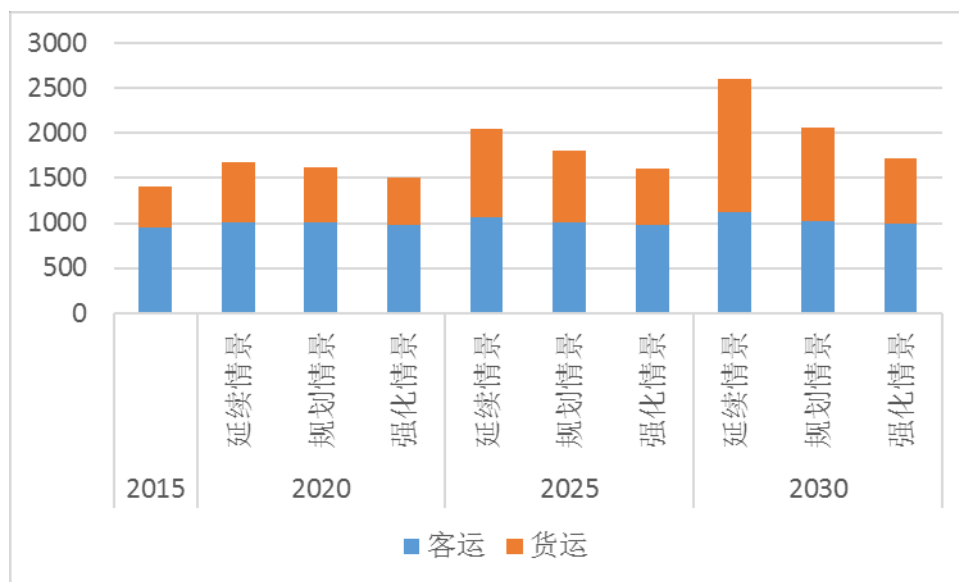


图 59 石家庄客运、货运能源消费总量（万吨标准煤）

在延续城镇化情景下，由于仍然延续了粗放的城市扩张模式，石

家庄交通部门能源消费仍呈现快速增长态势。2020 年、2025 年和 2030 年能源消费分别为 1675 万吨标准煤、2052 万吨标准煤和 2599 万吨标准煤。规划城镇化情景下相较延续情景，能源消费略有减少，2020 年、2025 年和 2030 年分别为 1622 万吨标准煤、1806 万吨标准煤和 2055 万吨标准煤。在强化低碳城镇化情景下，通过采取高密度，小街区的设计以及提高地铁覆盖范围等措施来促进公共交通出行，减少非机动化出行的比例，以及提高电动汽车比例、优化交通部门能源结构，能够显著减缓交通部门碳排放增长速度。相较规划情景能耗进一步降低（图 58）。在三种情景下，货运交通在能源消费总量中的占比都呈现不断增加趋势，客运交通的能耗总量占比持续下降（图 58、59）。

2、碳排放

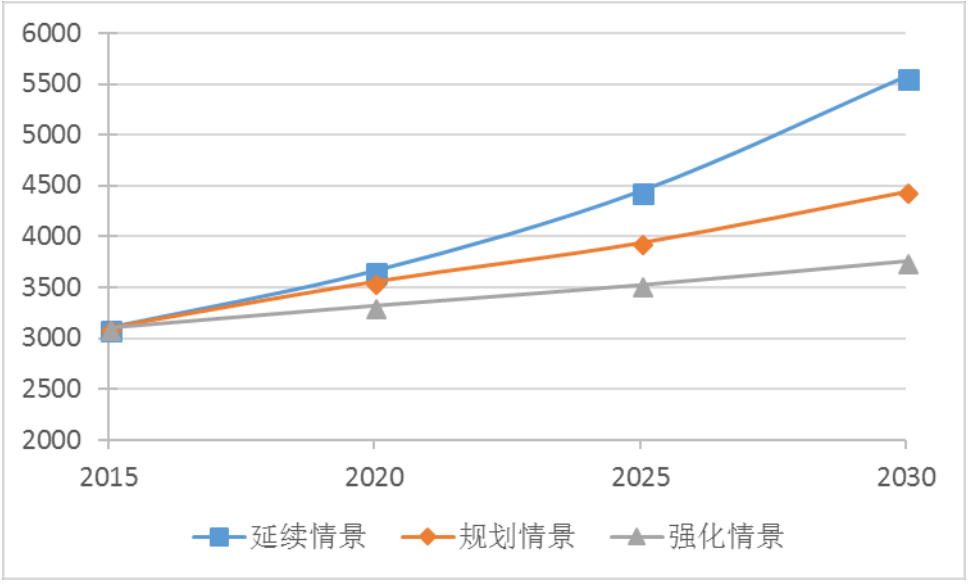


图 60 石家庄交通部门碳排放量（万吨 CO₂）

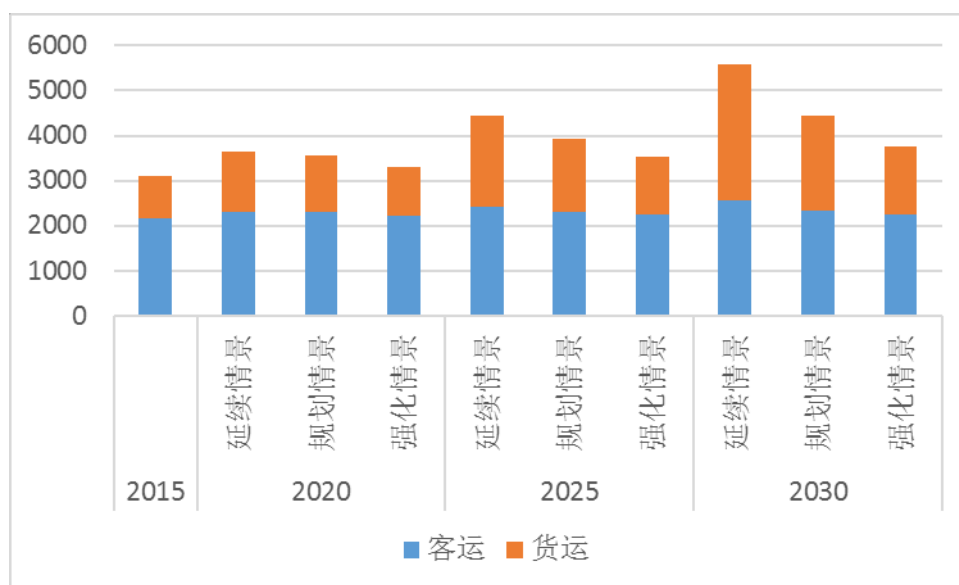


图 61 石家庄客运和货运交通碳排放量（万吨 CO₂）

与能耗趋势相同，石家庄交通部门碳排放在三种情景下也是都呈现增长态势，在 2030 年前交通部门不能实现碳排放达峰。尤其是在延续城镇化情景下，碳排放增长幅度显著大于规划情景和强化情景。在延续城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年碳排放分别为 3568 万吨、4443 万吨和 5575 万吨。规划城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年碳排放分别为 1622 万吨、1806 万吨和 2055 万吨。强化低碳城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年碳排放分别为 1510 万吨、1606 万吨和 1720 万吨（图 60）。在三种情景下，货运交通在石家庄交通部门碳排放总量中的占比也呈现不断增加趋势，客运交通碳排放占比持续下降（图 61）。从空间分布来看，2030 年在强化低碳城镇化情景下，交通高碳排放区域的占比也在快速降低（图 62）。

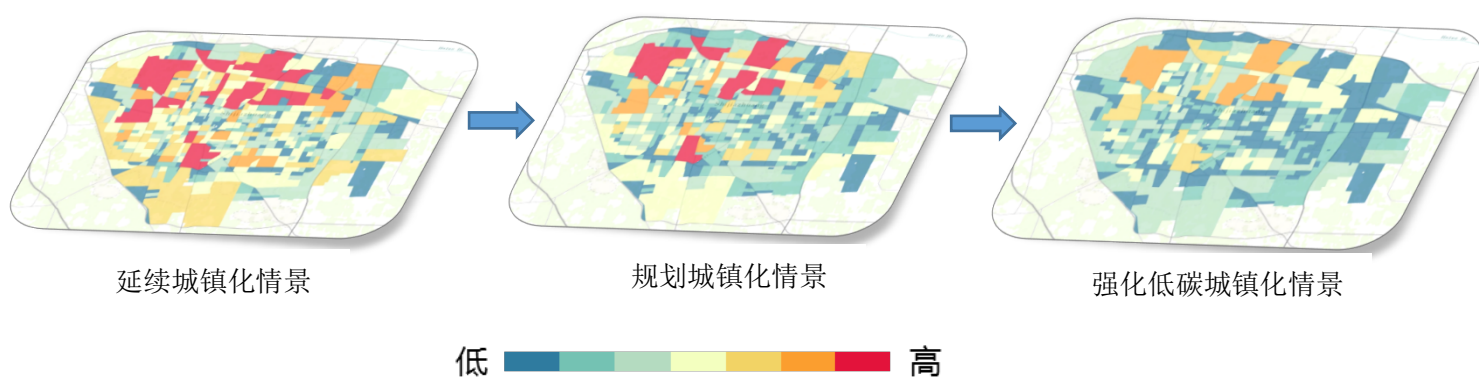


图 62 2030 年石家庄交通部门碳排放空间分布

总体来看，随着石家庄城镇化水平的提高，城镇人口对交通基础设施的需求也在大幅增加。在延续城镇化模式下，石家庄仍然延续粗放型的城市发展路径，交通部门的能源消费和碳排放呈现快速增长态势。在规划城镇化模式下以及强化低碳城镇化模式下，通过采取高密度，小街区的设计以及提高地铁覆盖范围等措施来促进公共交通出行，从而减少非机动化出行的比例，以及提高电动汽车比例、优化交通部门能源结构，能够显著减缓交通部门碳排放增长速度。但是由于城镇化的快速发展对交通基础设施需求的快速增加，在 2030 年前石家庄交通部门碳排放会呈现持续增长态势，不会达到峰值。

（三）建筑部门

1、能源消费

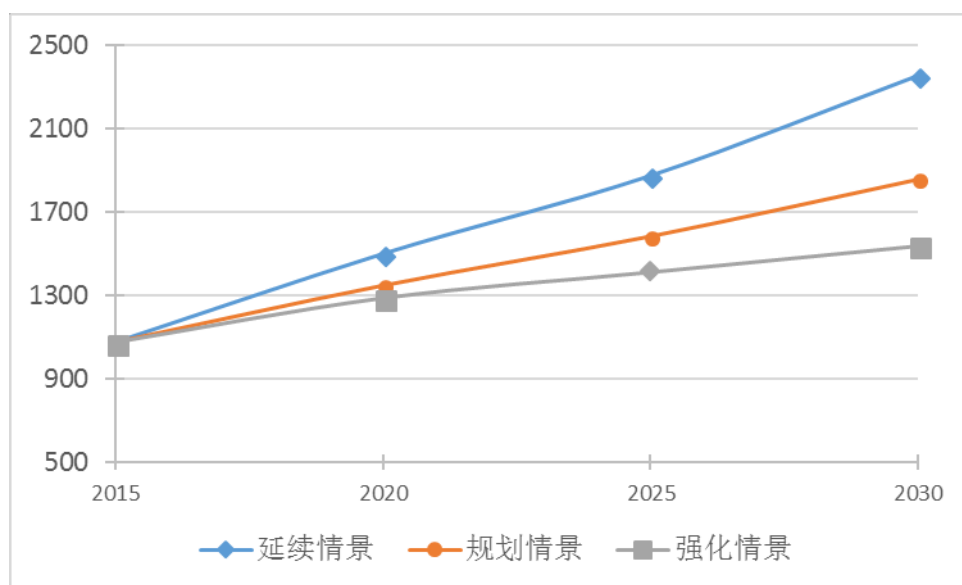
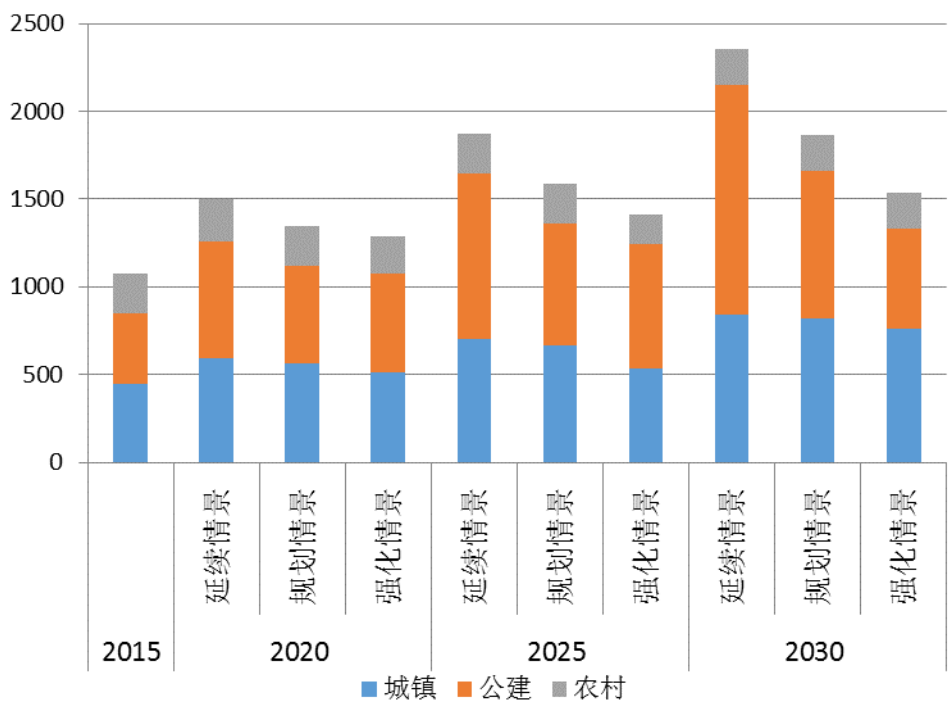


图 63 石家庄建筑部门能源消费总量（万吨标准煤）

在延续城镇化情景下，石家庄建筑部门的能源消费量呈现快速增长态势，2015 年、2020 年、2025 年和 2030 年石家庄建筑部门能源消费总量分别是 1073.46 万吨标准煤、1499.44 万吨标准煤、1875.63 万吨标准煤和 2357.71 万吨标准煤。在规划城镇化情景下，随着城镇化水平的进一步提高，城镇人口的持续增加，城镇民用建筑的需求也在持续增加，但由于建筑部门采取了提高了建筑节能标准并大力提倡适度消费，控制人均建筑面积等措施，石家庄建筑部门的能源消费量增速较延续城镇化情景显著减缓，2020 年、2025 年和 2030 年能源消费总量分别是 1499 万吨标准煤、1586 万吨、准煤和 1413 万吨标准煤。在强化低碳城镇化情景下虽然城镇人口继续增加，但能源消费

量相较于规划城镇化情景增速进一步趋缓，能耗总量 2020 年、2025 年和 2030 年能源消费总量分别是 1287 万吨标准煤、1413 万吨标准煤和 1540 万吨标准煤（图 63）。

图 64 建筑部门不同情景下分领域能源消费量（万吨标煤）



从城镇民用建筑、城镇公共建筑和农村民用建筑几方面来看，随着石家庄城镇化水平的提高，城镇人口的不断增加，城镇民用建筑在建筑部门能源消费总量中一直占据较大比重，并持续增加。同时随着城居民对生活质量的要求不断提高，城镇公共基础设施需求的不断增加，城镇公共建筑的能源消费也呈现快速增长趋势。农村民用建筑的能源消费量相对平稳，未出现显著变化（图 64）。

2、碳排放

在延续城镇化情景下碳排放总量快速上升，2020 年、2025 年和 2030 年碳排放总量分别是 4376 万吨、5374 万吨和 6621 万吨。规划城镇化情景下，居民和公建建筑能耗水平较延续情景有所下降，既有建筑节能改造比例以及新建建筑节能标准逐步提高，碳排放总量增长趋势较延续情景明显趋缓，2020 年、2025 年和 2030 年碳排放总量分别是 3828 万吨、4296 万吨和 4794 万吨。强化低碳城镇化情景下，随着建筑能耗水平的大幅下降以及既有建筑节能改造比例和新建建筑节能标准的大幅提高，2020 年、2025 年和 2030 年碳排放总量持续降低，分别是 3638 万吨、3802 万吨和 3824 万吨，并在 2030 年左右达到峰值（图 65）。从空间分布来看，2030 年强化碳排放情景石家庄高碳排放建筑占比相较规划情景和趋势情景也是在逐渐降低。

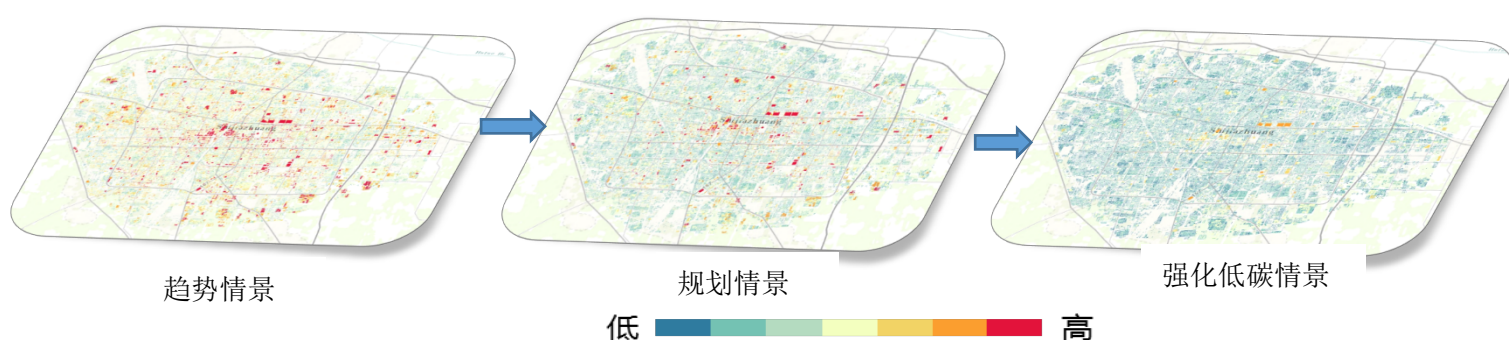


图 65 2030 年石家庄建筑部门碳排放空间分布

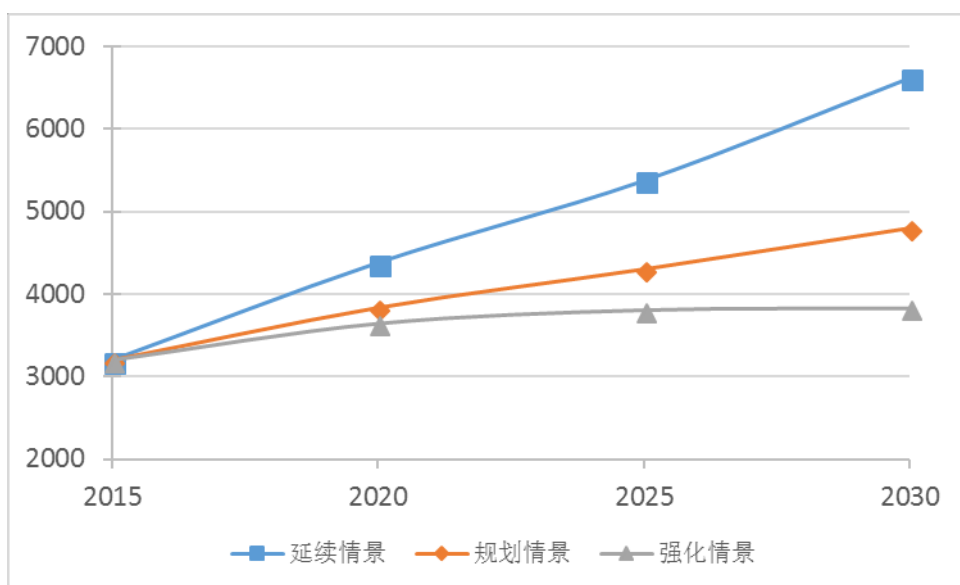


图 66 石家庄建筑部门碳排放总量

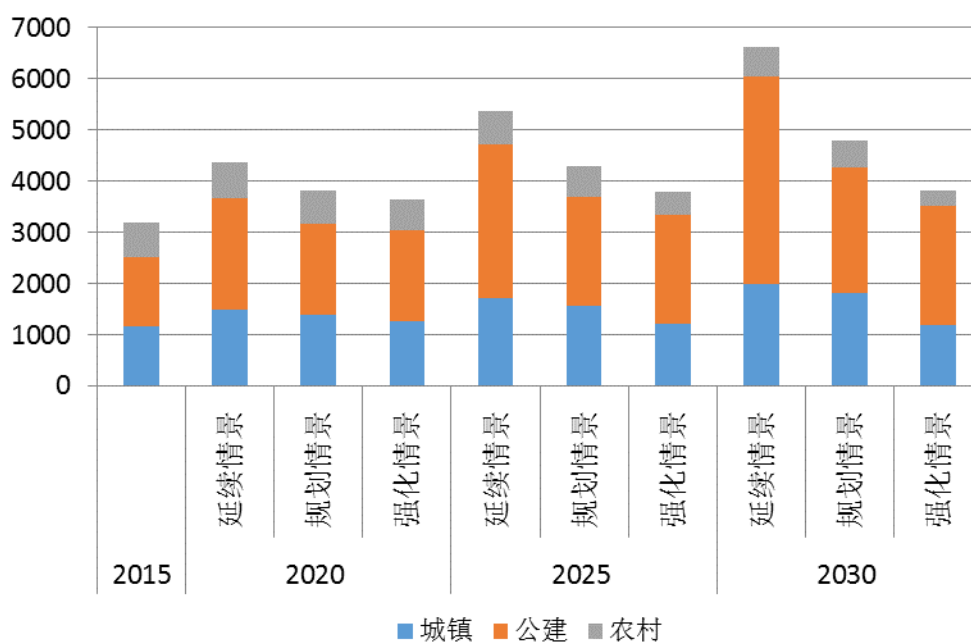


图 67 石家庄不同情景下分领域碳排放量 (万吨标煤)

从建筑部门碳排放构成来看，在三种情景下，城镇民用建筑碳排放一直是占比最高且增长最快的领域，其次是城市公用建筑，随着城镇化水平的提高，农村民用建筑的排放总量没有显著变化，而且在建筑部门排放总量中占比呈现下降趋势（图 66、67）。

总体来看，随着石家庄城镇化水平不断提升，城镇人口的持续增加，居民对居住和公共建筑的需求也在持续增加。在三种城镇化模式下，石家庄建筑部门能源消费总量持续增加，在 2030 年尚不能达到实现峰值。碳排放的变化趋势与能耗总量有所差异，在强化低碳城镇化模式下，随着建筑用能结构的优化、单位建筑能耗水平的下降、既有建筑节能改造比例以及新建建筑节能标准逐步提高，碳排放总量能够在 2030 年左右达到峰值。其中城镇居民建筑和公共建筑在能耗和碳排放总量中占比持续增加，农村居民建筑占比持续降低。

（四）能耗和碳排放总量²

1、延续城镇化情景

在延续城镇化情景下，石家庄经济社会以及工业、建筑和交通部门仍然延续目前的各项政策及发展模式。城镇化以年均 1.5% 的速度增长，但仍旧遵循传统模式的低密度城市扩张模式。工业部门的产业结构、用地结构、能源利用率和能源结构没有突破既有发展路径，M1、M2 和 M3 类工业行业结构和布局尤其是 M3 类行业仍然占据较大比重。交通部门仍延续宽马路、大街区的模式，公共交通发展相对滞后。建筑部门节能标准继续延续“十二五”末标准，城镇

2 在本研究中，石家庄的碳排放核算边界主要包括工业、建筑和交通部门能源消费产生的碳排放，未包括第二产业中的建筑业以及第一产业碳排放。

化过程中居民生活水平的提高带来了建筑面积和建筑使用过程中能耗的较快增长。

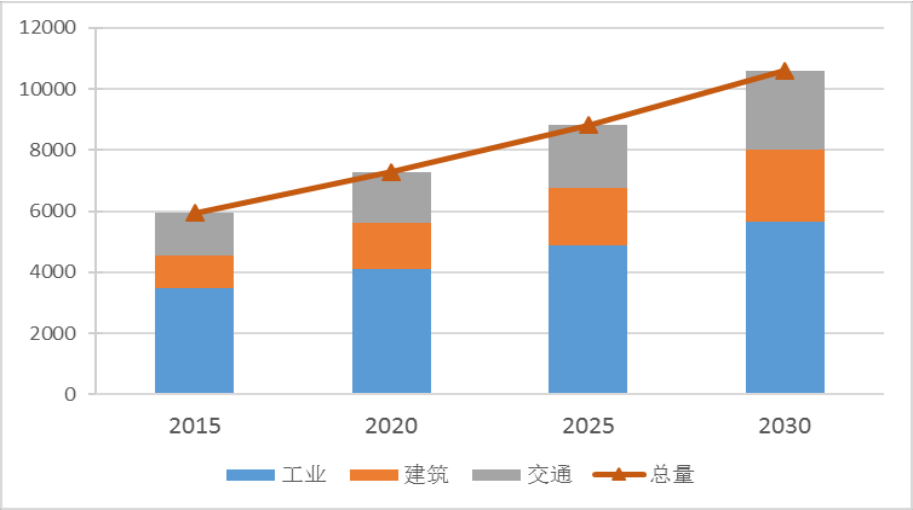


图 68 延续城镇化情景能源消费总量（万吨标准煤）

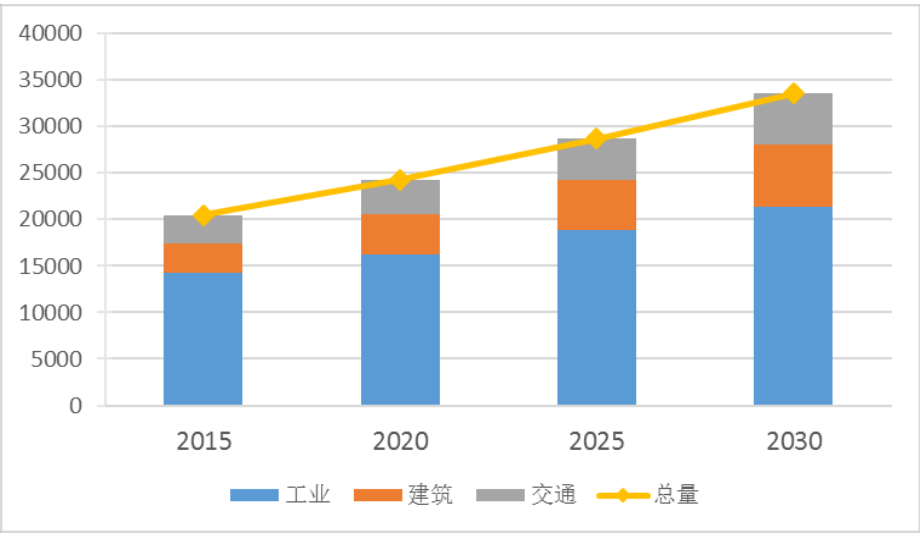


图 69 延续城镇化情景碳排放总量（万吨 CO₂）

在延续城镇化情景下，石家庄工业、建筑和交通部门的碳排放都保持较快的增长趋势。2020 年、2025 年和 2030 年，石家庄全市能源消费总量分别达到 7293.61 万吨标准煤、8810.73 万吨标准煤和 10606.23 万吨标准煤。碳排放总量分别达到 24263.27 万吨、

28693.44 万吨和 33568.37 万吨(图 68、69)，能源消费和碳排放都仍呈现快速增长态势。

与基准年 2015 年相比，2020 年、2025 年、2030 年能源消费分别增加 1354.36 万吨标准煤、2872.48 万吨标准煤和 4667.99 万吨标准煤；碳排放总量分别增加 3775.1 万吨、8205.3 万吨和 13080.2 万吨(图 70、71)。

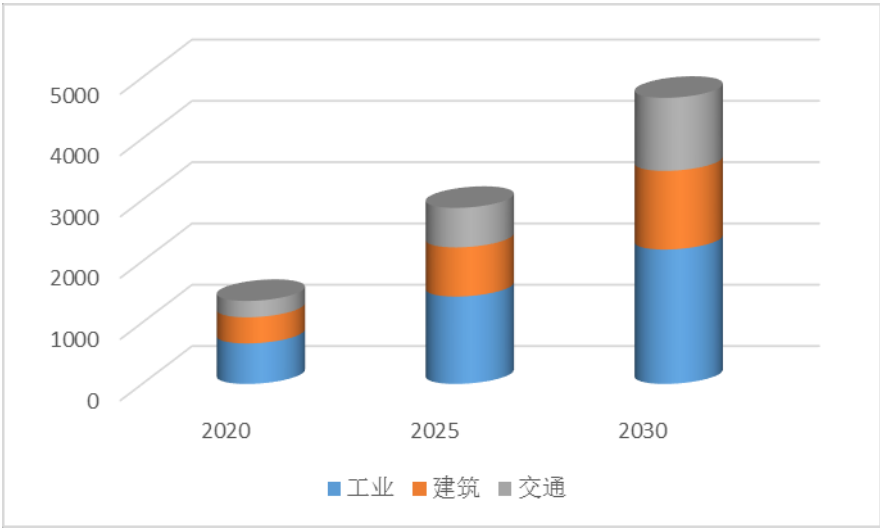


图 70 延续城镇化情景较 2015 年能源消费增量（万吨标准煤）

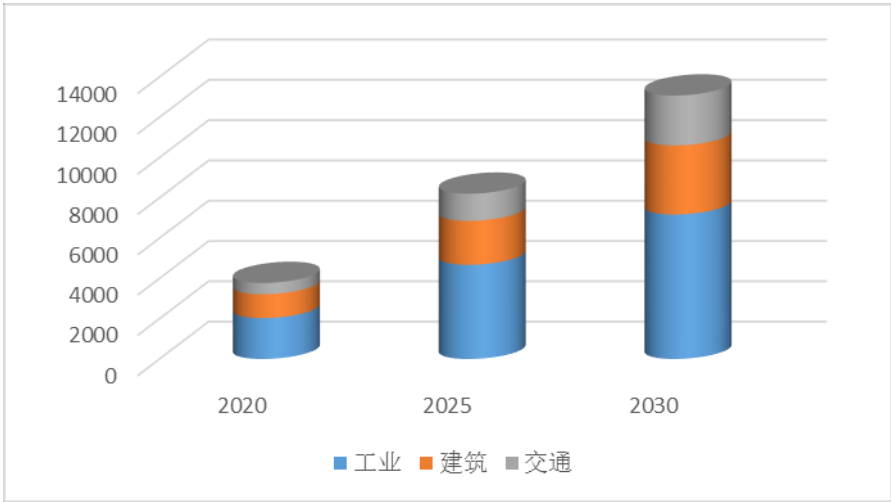


图 71 延续城镇化情景较 2015 年碳排放增量（万吨 CO₂）

2、规划城镇化情景

在规划城镇化情景下，石家庄按照《石家庄市国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》、《石家庄新型城镇化和城乡统筹发展规划（2016~2020年）》以及工业、建筑和交通等部门规划路径，未来的经济增长、人口发展、城镇化，以及工业化的进程均保持中高速发展。城镇化水平持续提升，以每年1.8-2个百分点的速度提高。通过技术升级、节能减排等工作，到2020、2030年工业增加值能耗强度相比2015年水平分别下降20%、35%。控煤、压煤行动持续开展，高耗能、高排放行业有计划退出，M3类工业行业的占比明显下降。公交部门推进小街区、密路网的城市发展理念，小汽车保有量的增长逐渐减缓。新建建筑的节能标准逐步提高，既有建筑节能改造步伐持续加快，建筑面积的增长趋势有所放缓。

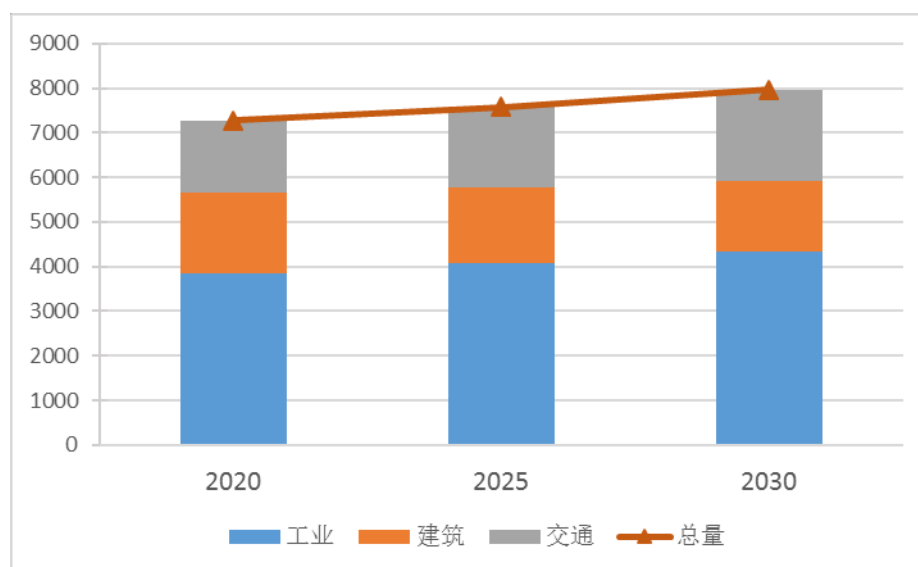


图 72 规划城镇化情景能源消费总量（万吨标准煤）

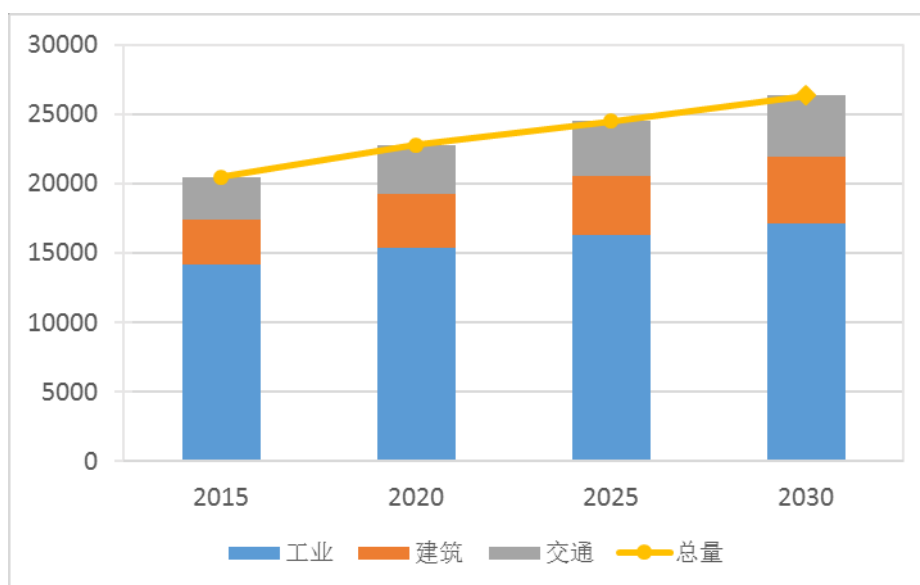


图 73 规划城镇化情景碳排放总量（万吨 CO₂）

在这种城镇化情景下，2020 年、2025 年和 2030 年，石家庄碳能源消费总量 7275.356 万吨标标准煤、7573.78 万吨标准煤和 7963.71 万吨标准煤。碳排放总量分别是 22777.78 万吨、24508.68 万吨和 26349.27 万吨(图 72、73)。相较于延续城镇化情景，石家庄碳排放总量以及工业、建筑和交通部门的能源消费和碳排放量增长趋势都明显放缓。

与延续城镇化情景相比，2020 年、2025 年、2030 年石家庄节能潜力分别为 17.24 万吨标准煤、1236.94 万吨标准煤和 2642.48 万吨标准煤；碳排放总量减排潜力分别为 1485.49 万吨、4184.77 万吨和 7219.1 万吨；2020 年工业、建筑和交通部门节能潜力分别为 272.89 万吨标准煤、308.82 万吨标准煤和 52.68 万吨标准煤；碳减排潜力分别为 1056.8、482.42 和 261.18 万吨；2025 年，工业、建筑和交通部门节能潜力分别为 796.59 万吨标准煤、194.35 万吨标准

煤和 246.01 万吨标准煤；碳减排潜力分别为 2944.86、1463.35 和 991.73 万吨；2030 年工业、建筑和交通部门节能潜力分别为 1309.92 万吨标准煤 788.73 万吨标准煤和 543.84 万吨标准煤；减排潜力分别为 4875.82、4457.16 和 2048.52 万吨(图 74、75)。

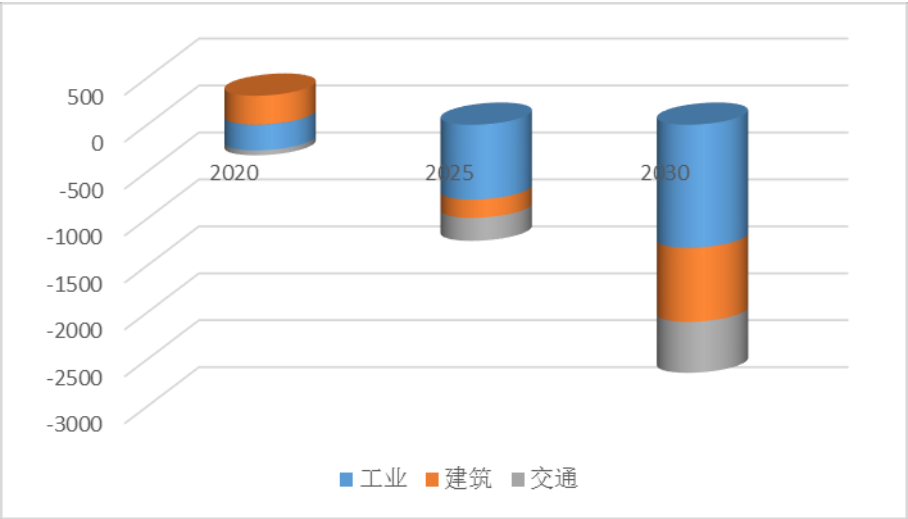


图 74 规划情景较延续情景节能量（万吨 CO₂）

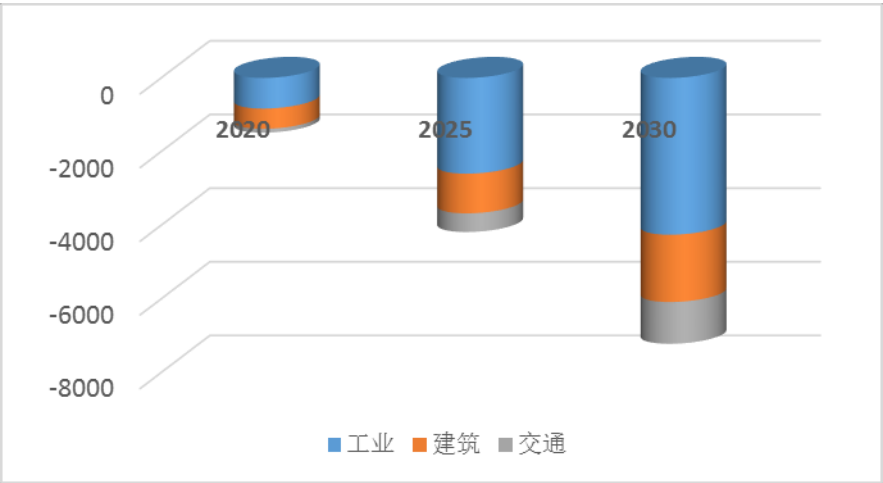


图 75 规划情景较延续情景碳减排量（万吨 CO₂）

3、强化低碳城镇化情景

在强化低碳城镇化情景下，石家庄的人口增长率、城镇化水平、GDP 增长率的发展速度处于中高速，同时发展的质量更好。城镇化水平以更快的速度提升，年均提高 2-2.5 个百分点，中心城区基本实现了全域城镇化。工业部门在行业结构、用地布局、能源结构以及经济效率等方面实现突破性发展，第三类工业（M3）大幅度退出，部分低端第二类工业（M2）比例也逐步降低，现代服务业和高端制造业等战略性新兴产业成为城市的主导产业，到 2020 年战略性新兴产业和先进制造业增加值比重占全市规模以上增加值比重超过 50%。采取更严格的措施控制煤炭消费总量，大幅提高了电力在工业行业能源消费结构中的占比。交通部门强力推进小街区、密路网的城市发展模式，轨道建设加速，严格限制小汽车的增速，大力推进新能源汽车，全面实现公共汽车电动化，2030 年电动公交车比例达到 100%。建筑部门节能标注大幅提高，新建建筑中近零能耗建筑比例显著增加，低碳消费的理念在全社会进一步深入，人均建筑面积有所下降。

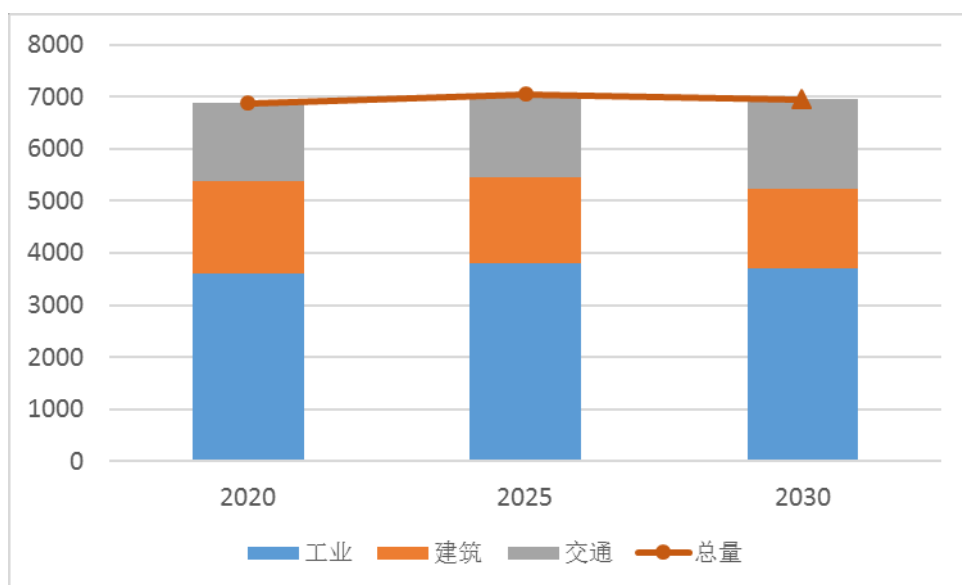


图 76 强化低碳城镇化情景节能量（万吨标准煤）

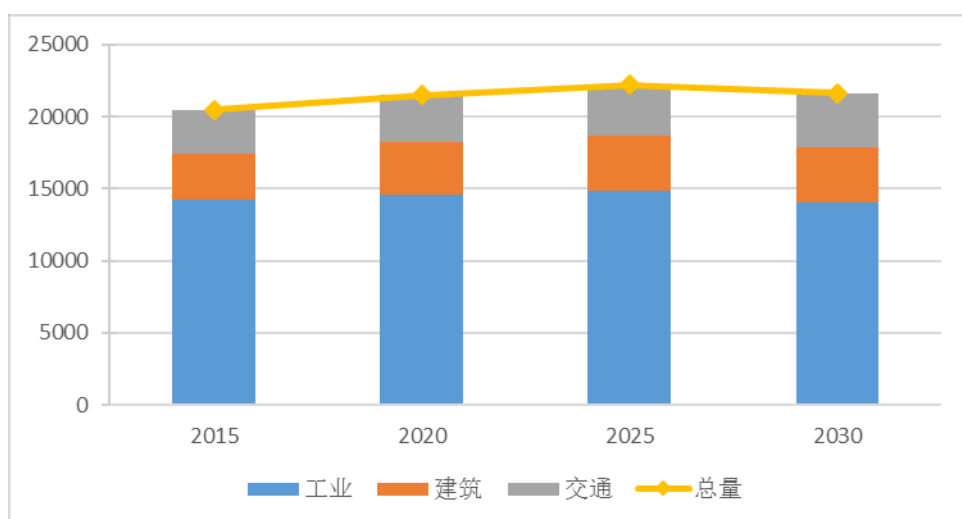


图 77 强化低碳城镇化情景碳排放量（万吨 CO₂）

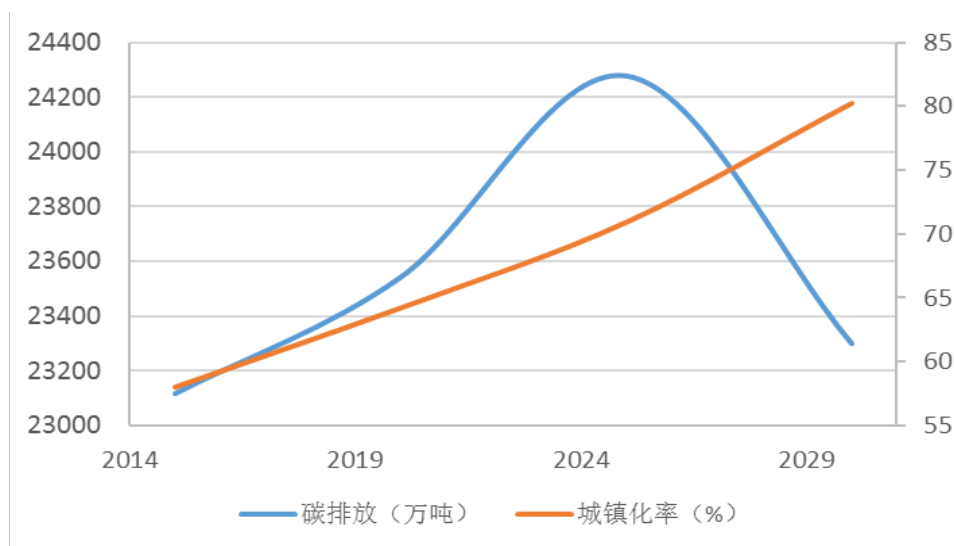


图 78 石家庄碳排放延续与城镇化关联关系

在这种城镇化情景下,石家庄能源消费总量和碳排放总量上升趋势进一步放缓。2020 年、2025 年和 2030 年,能源消费总量分别是 6880.82 万吨标准煤、7051.38 万吨标准煤和 1011,46 万吨标准煤;碳排放总量分别是 21506.32 万吨、22203.89 万吨和 21614.93 万吨,在 2025 年碳排放总量达到峰值(图 76、77),同时城镇化发展水平与碳排放实现了相对脱钩(图 78)。

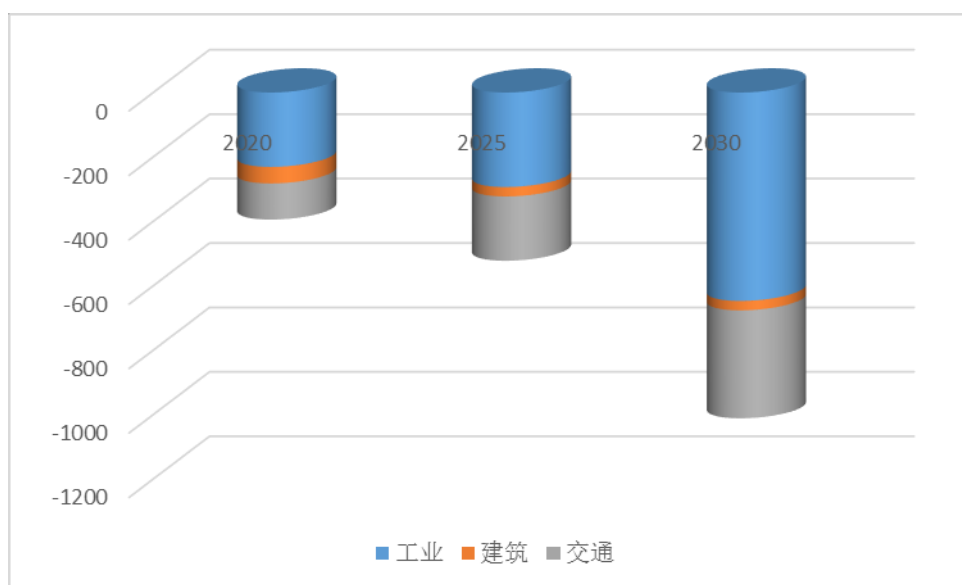


图 79 强化低碳城镇化情景相较于规划城镇化情景节能量 (万吨 CO₂)

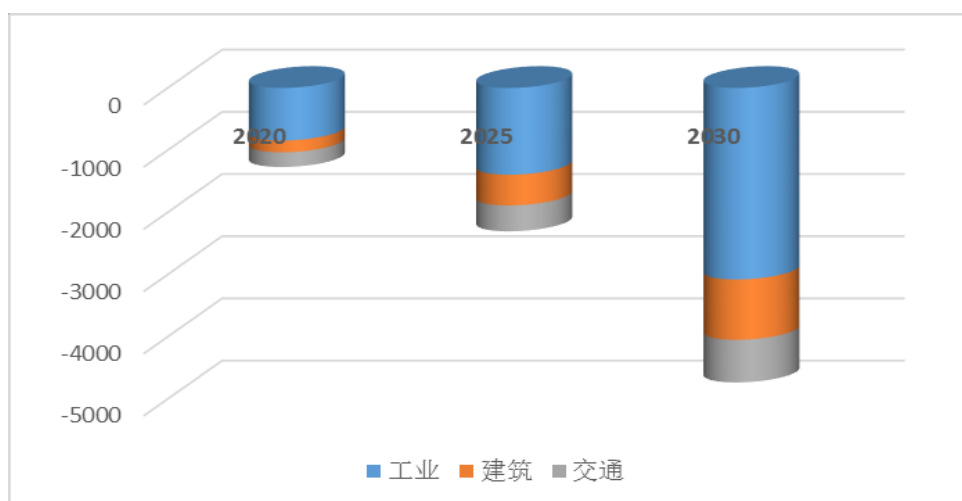


图 80 强化低碳城镇化情景相较于规划城镇化情景碳减排量（万吨 CO₂）

与规划城镇化情景相比，在强化低碳城镇化情景下 2020 年、2025 年、2030 年石家庄能源消费总量节能潜力分别为 1271.46 万吨、2304.78 万吨和 4734.33 万吨。2020 年工业、建筑和交通部门节能潜力分别为 230.9 万吨标准煤、51.35 万吨标准煤和 112.3 万吨标准煤；碳减排潜力分别为 845.17 和 189.3、236.99 万吨；2025 年，工业、建筑和交通部门节能潜力分别为 293.4 万吨标准煤、29.28 万吨标准煤和 119.72 万吨标准煤；碳减排潜力分别为 1395.32、493.66 和 415.8 万吨；2030 年工业、建筑和交通部门节能潜力分别为 674.01 万吨标准煤、29.26 万吨标准煤和 335.2 万吨标准煤；碳减排潜力分别为 3079.02、969.74 和 685.57 万吨(图 79、80)。

总体来看，石家庄在不同的城镇化模式下，能源消费总量和碳排放呈现不同的变化趋势。在延续城镇化模式下，石家庄的能源消费和碳排放呈现快速增长态势，在规划城镇化模式下，能耗和碳排放的增长趋势整体放缓，但都尚未达到峰值。在强化低碳城镇化模式下，

家庄步入了新型城镇化的轨道，能源消费和碳排放得到了有效控制，并且在 2025 年实现了峰值（图 81、82）。

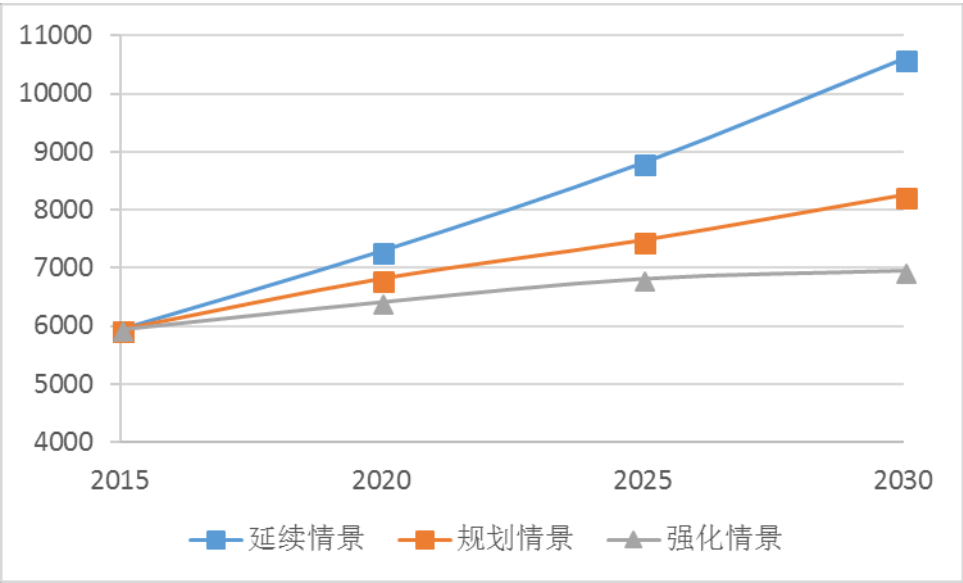


图 81 不同城镇化模式下石家庄能源消费（万吨标准煤）

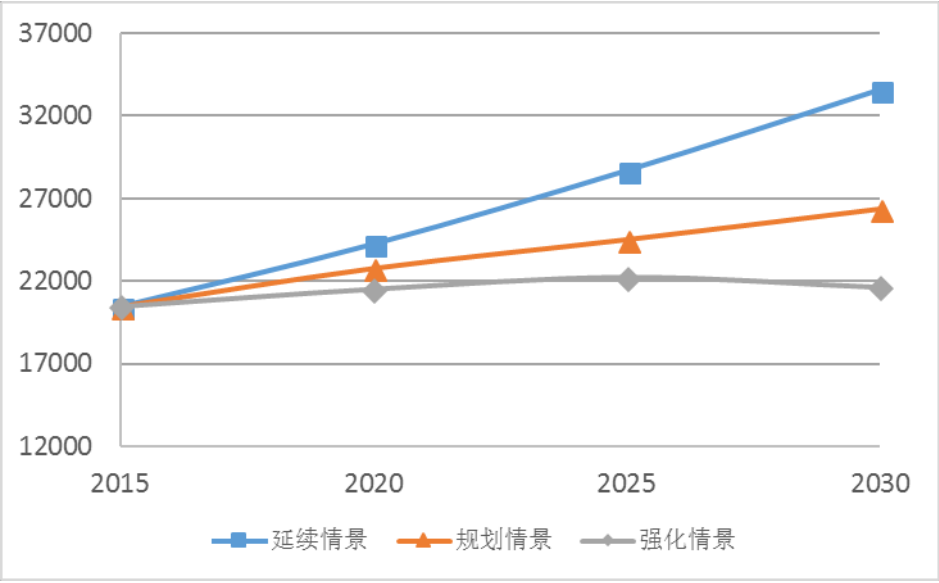


图 82 不同城镇化模式下石家庄碳排放（万吨 CO₂）

（五）城镇化碳排放关键因素的影响分析

关键因素影响分析主要对工业、建筑、交通部门在规划城镇化模式下的关键指标进行分析，评估关键指标的变化对各部门碳排放

所带来的影响。通过分析可以看出，在一定的城镇化模式下，对某些关键指标的优化，的确能够带来减排效益。

1、工业部门

(1) M3 类工业行业用地面积变化

M3 类工业用地面积变化的影响分析主要是指保持其他指标不变，仅调整 M3 类工业用地面积所带来的单位土地面积碳排放强度的变化。在此假设相比规划城镇化情景，M3 类工业行业集约化程度进一步提高，用地面积减少 5%，那么 2020 年、2025 年和 2030 年将分别较规划城镇化情景单位面积碳排放强度分别下降 5%、9.8%和 5%(图 83)。

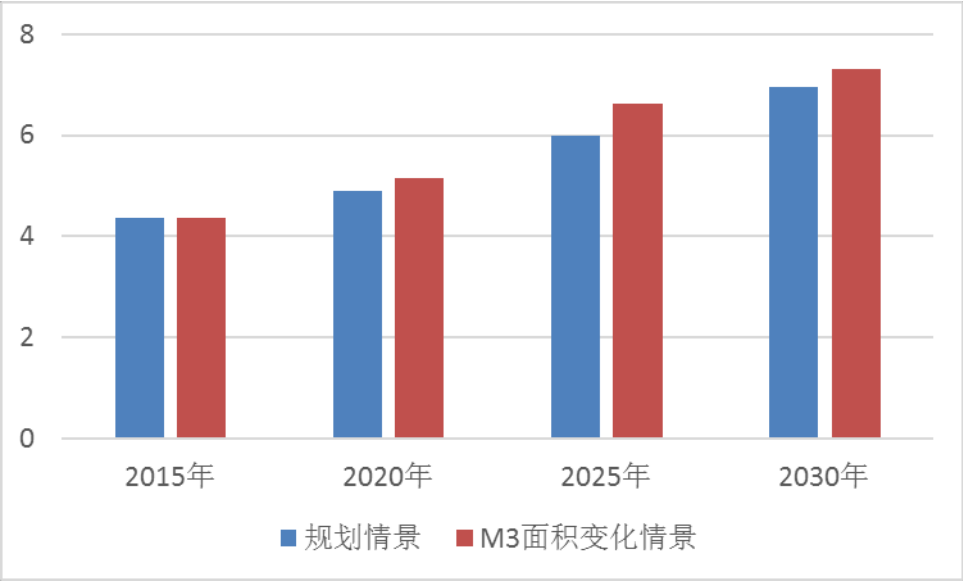


图 83 M3 类工业行业用地面积变化影响分析（吨 CO₂/平方米）

(2) M3 类工业行业能耗强度变化

M3 类工业行业能耗强度影响分析主要是指在保持其他条件不变的情况下，仅变动 M3 类行业能耗强度下降水平以比较工业行业的关

键指标变化。在此假设相比规划城镇化情景，到 2030 年 M3 类行业的每个行业的能耗强度相比低碳情景累计减少 5%，在 2020、2025 和 2030 年石家庄工业部门单位面积碳排放总量分别较规划城镇化情景下降 1.5%、2.4%和 4.6%（图 84）。

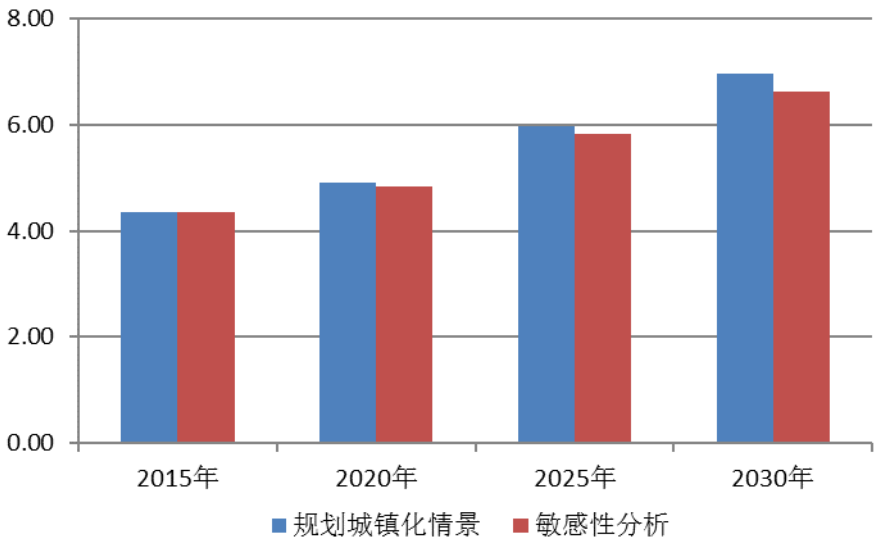


图 84 能耗强度变化对单位面积碳排放强度影响（吨 CO₂/平方米）

（3）M3 类工业行业能源结构变化

M3 能源结构变化影响分析主要是指在保持其他条件不变的情况下，仅变动 M3 行业能源结构以比较工业行业的关键指标变化。在此假设相比规划城镇化情景，到 2030 年 M3 行业的每个行业的煤炭消费比重累计下降六个百分点，同时电力消费比重上升六个百分点。则 2020、2025 年和 2030 年石家庄 M3 类工业行业单位面积碳排放强度并未降低，反之分别增加 1.2%、2.1%和 2.8%（图 85）。由于目前石家庄地区发电和输电效率的影响，工业行业中电力替代煤炭，并不能实现有效的减排³。

³ 在此计算中，石家庄工业行业电力排放因子采用华北电网排放因子。

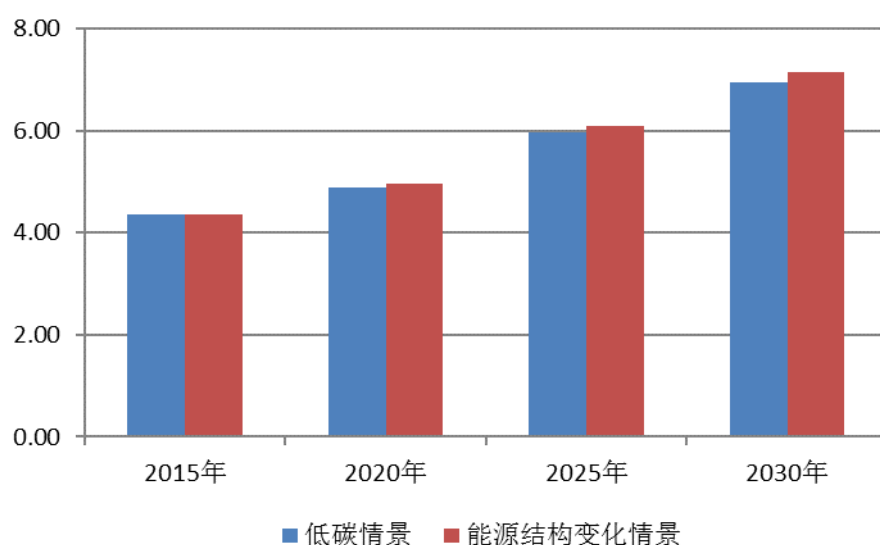


图 85 能耗强度变化对单位面积碳排放强度影响（吨 CO₂/平方米）

2、交通部门

（1）新能源汽车占比

新能源汽车影响分析主要是指在保持其他条件不变的情况下，仅调整新能源汽车占比所带来的交通部门碳排放的变化。在此假设相比规划城镇化情景，当新能源汽车占比增加 5%，则 2020、2025 和 2030 年的交通部门碳排放分别下降 0.3%、0.5%和 0.8%。新能源汽车的占比提高能有效改善汽车用能结构，提高清洁能源利用比例，从而有效降低客运交通部门碳排放（图 86）。

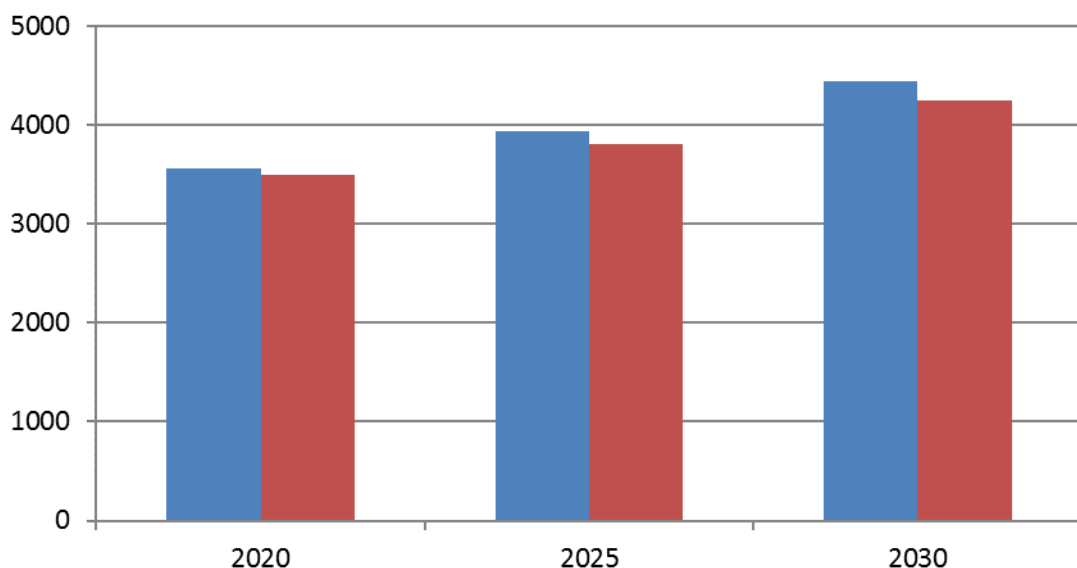


图 86 新能源汽车占比对交通行业影响分析

(2) 人均轨道里程

新能源汽车影响分析主要是指在保持其他条件不变的情况下 ,仅调整新能源汽车占比所带来的交通部门碳排放强度的变化。在此假设相比规划城镇化情景 ,人均轨道里程增加 5% ,则 2020 年、2025 年和 2030 年石家庄交通行业总碳排放分别下降 0.6%、1.2%和 1.7%。人均轨道里程的增加能有效优化客流出行结构 ,减少小汽车出行依赖。但总体而言 ,由于石家庄轨道交通发展水平较低 ,在规划水平上小幅增加轨道发展水平 ,对石家庄交通部门的碳排放并不能产生较显著影响 (图 87)。

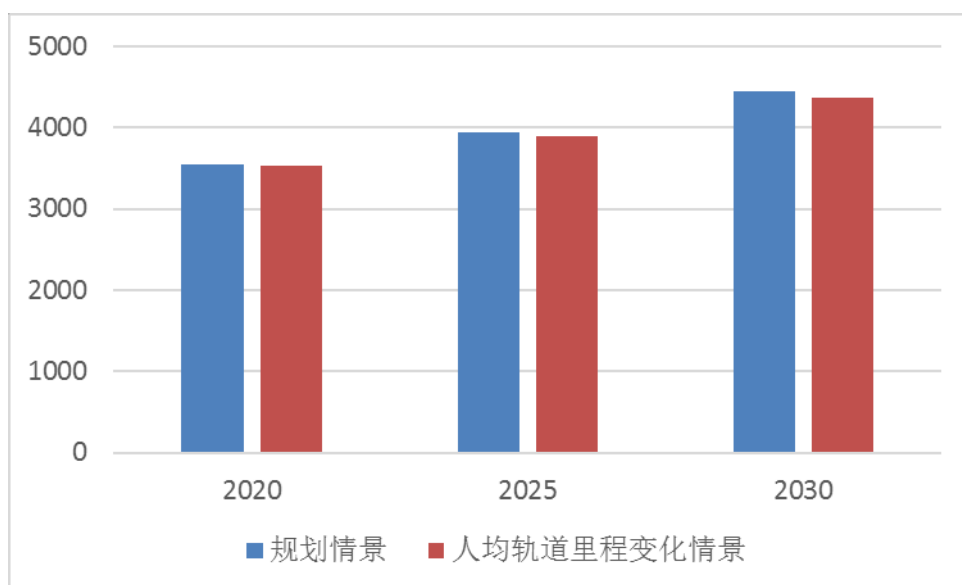


图 87 人均轨道里程变化对交通行业碳排放影响分析 (万吨 CO₂)

3、建筑部门

石家庄建筑部门碳排放影响分析是指在保持其他条件不变的情况下，仅变动建筑部门能耗强度，比较建筑部门的碳排放变化趋势。在此假设相比规划城镇化情景，到 2030 年石家庄建筑部门能耗强度年均下降 0.1%。则 2020、2025 和 2030 年石家庄建筑部门碳排放量相比规划城镇化情景分别下降 4%、15%和 25% (图 88)。

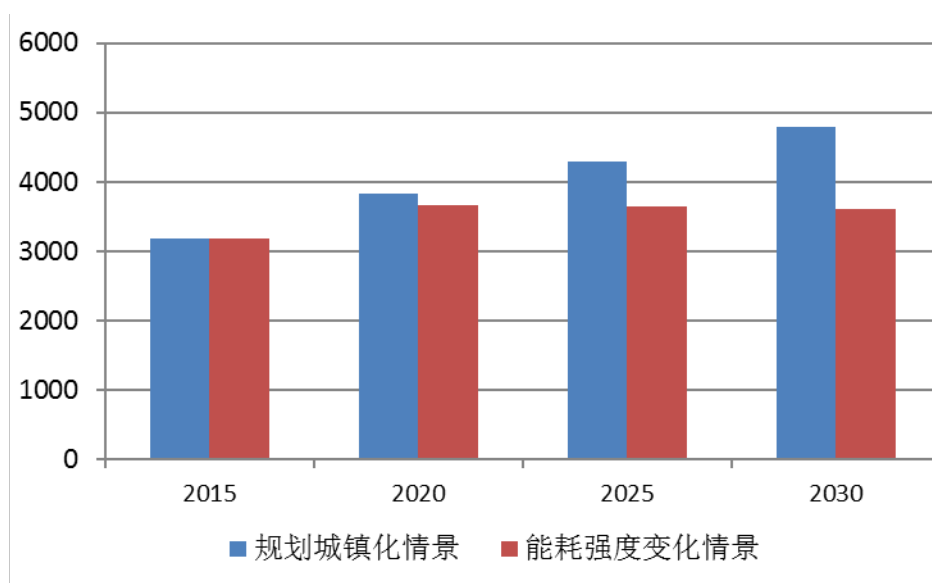


图 88 建筑部门能耗强度影响分析

六、 研究结论

（一）基本结论

通过对石家庄城镇化模式与碳排放的关联关系进行的定性与定量相结合的分析，研究得出以下结论：

1、石家庄城镇化发展模式与碳排放量密切关联

城镇化模式与城市的碳排放有着密切关系，城镇化模式的差异直接决定了城市的碳排放控制水平。由于城镇化、工业化的相互推进，工业仍然是石家庄城镇化过程中碳排放的主要来源。同时城镇化进程促进了建筑和交通运输的快速增长，同时相伴而生的是上述两部门碳排放量不断增长。今后随着石家庄城镇化进程不断推进，从延续城镇化情景、规划政策情景到强化低碳城镇化情景，通过合理规划城市建设、优化空间结构、推动工业、建筑和交通部门的低碳发展，有助于推动石家庄的城镇化水平从高速增长向高质量增长转变，碳排放总量在 2025 年达到峰值，并能够实现城镇化水平与碳排放的相对脱钩。

2、十三五系列发展规划对石家庄碳排放控制以及达峰目标，引导作用仍显不足

在规划政策情景下，石家庄经济、人口、城镇化水平均按照十三五国民经济和社会发展规划以及石家庄总体规划相关要求发展，同时工业、建筑和交通部门也按照各部门专项十三五规划的既定路径发展。在这种情景下，石家庄碳排放增量虽然较延续城镇化情景显著下降，但在 2030 年前排放峰值并未出现。可以看出石家庄目前的十三五各

项规划对今后一段时间石家庄城镇化低碳发展 ,发挥的导向性作用仍显不足。

3、城镇化带来的行业结构和空间布局的优化将能带来工业碳排放的大幅消减

作为一个产业结构偏重的城市 ,如果延续目前的城镇化和产业发展模式 ,石家庄的工业碳排放仍将保持快速增长。随着石家庄城镇化模式的转变 ,石家庄的工业布局将会进一步优化、工业园区将得到大力发展 ,工业用地集约化水平逐步提高 ,工业用地面积将会大幅减少 ,尤其是高耗能高排放行业的用地面积将会大幅减少 ,单位工业用地的经济产出将会显著提高。同时采取优化行业结构和能源结构 ,提高用能水平等综合措施 ,将会实现石家庄工业行业碳排放的显著降低。

4、不同城镇化模式引起的交通需求数量和结构的不同直接影响交通部门碳排放水平

在传统的低密度扩张的城镇化模式下 ,公共交通和慢行系统发展滞后 ,新能源交通工具占比仍然较低 ,石家庄交通部门碳排放将呈现快速增长态势。在规划和强化低碳城镇化模式下 ,遵循紧凑的发展原则 ,推进小街区、密路网的城市发展 ,优先发展公交系统 ,减缓小汽车保有量的增长 ,同时推广新能源技术 ,能够有效降低交通用地消耗 ,并大幅减少交通部门能源消耗和碳排放。

5、建筑部门将是石家庄快速城镇化过程中碳减排的重要领域

随着石家庄城镇化的推进 ,经济发展水平的提高以及居民生活水平的改善 ,人均居住面积和人均公建面积随之快速增加 ,建筑的面积

增加同时带来建筑材料及建筑使用过程中用能及碳排放的增长。因此，建筑部门是石家庄今后一段时期能源消费和碳排放的主要增长源，也是碳排放控制的重要潜力部门。据测算，石家庄城镇化水平增加 1%，会引起建筑碳排放变动 2.12%。在规划政策情景下，建筑部门将成为石家庄碳排放增长最快的部门。

（二）石家庄城镇化低碳发展几点建议

今后石家庄城镇化的发展必须逐渐从数量的扩张转移到质量的提升上来。本研究从以下几方面对石家庄城镇化低碳发展提出政策建议：

1、加快建立一套完善低碳城市规划体系，通过规划引领石家庄在快速城镇化发展的同时实现碳排放的有效控制

目前石家庄已经制定并正在实施各项十三五规划，但对于石家庄城镇化低碳发展的指导力度尚显不足。建议石家庄在制定 2025-2030 年及中长期城市总体规划及部门规划时，要基于全方位的视角，根据社会经济的发展目标，对城市的土地、交通、建筑、工业园区等进行综合部署及科学安排，在用地规划、工业区规划、道路交通规划、建筑行业发展等规划中将碳排放控制与城市发展有机结合起来，加快形成与自身发展相适应的比较完整的、科学的低碳城市规划体系，推动城镇化快速发展的同时碳排放的有效控制和碳排放达峰目标的尽早实现。

2、以工业布局的优化、行业结构的转型升级及用能清洁化来抑制城镇化过程中的工业部门碳排放

石家庄作为一个传统的产业结构偏重的工业城市,工业在城市总的碳排放中占据较高比例,工业部门的碳排放控制水平和速度直接决定了石家庄全市的碳排放目标的实现。因此,建议石家庄加速高耗能、高排放等传统产业的升级转型和淘汰退出,同时要大力发展低碳排放的支柱产业,包括生物医药、装备制造、电子信息、循环化工、纺织服装等支柱产业。大力优化产业布局,着力推进产业园区建设,促进传统工业在集聚中转型,同时通过政策推动、重点支持等方式,使新兴产业在集聚中成长。严格控制控制工业用地规模,提高工业用地效率。

3、通过土地与交通整合发展,构建快速、便捷、高效安全、节能的城市交通体系来降低交通部门的碳排放

交通基础设施的优化有助于提高石家庄城市空间利用率、使城市空间结构形态合理化,并能够在碳排放控制中发挥越来越大的作用。建议石家庄在城市规划阶段就要重视利用公共交通引导城市土地利用,坚持走建设高效“紧凑型”城市的发展道路,推动城市土地混合使用和密集开发,实现交通与土地利用整合发展,阻止城市无序蔓延。加强在政策上优化公共交通系统发展,引导小汽车合理使用,鼓励纯电动、混合动力等低能耗、高能效交通工具的使用。尽快建立与公共交通一体化、无缝衔接的安全、舒适、方便、高效、低成本的慢行交通系统。

4、提高建筑节能力度，加强公共建筑能耗强度控制政策力度，引导居民消费需求的改变，全面控制建筑领域碳排放

建议石家庄应进一步完善低碳建筑的相关政策法规，建立从低碳建筑的设计直到使用等各个环节的标准体系，提高新建建筑节能标准，提高新建建筑中近零能耗建筑占比、全面改造既有建筑，鼓励在建筑中使用地热能、太阳能等新能源。同时通过引导居民对建筑面积的适度需求等综合措施来控制建筑部门碳排放。

（三）推进我国城镇化低碳发展的政策建议

《国家新型城镇化规划（2014—2020年）》指出，要着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展，要节约集约利用水、土地、能源等资源，尽可能地降低对环境的损害。为此，我国应在推进快速城镇化的过程中，通过采取综合措施，实现城镇化水平增长与碳排放控制的协同。本研究虽然重点对石家庄的城镇化与低碳发展的关联关系进行了深入分析，但其在推进城镇化过程中的控制思路 and 措施对于其他城市在城镇化过程中的低碳发展具有借鉴和推广意义。因此，基于前述案例研究，同时考虑到中国众多城市城镇化发展的现状，提出中国城镇化低碳发展的政策建议。

1、践行科学的发展观，制定差异化的城镇化低碳发展的路线图

但由于我国区域差异性较大，城市类型多样，城镇化发展水平存在着显著的差异性特征，所以不同发展阶段和类型的城市低碳城镇化发展模式是不能通用的，各地政府应该根据具体省市的城镇、经济发展、能源消费以及碳排放现状，明确识别影响其低碳城市发展的关键因素，具体考虑各自城镇化低碳发展具体模式，制定出差异化的城镇化低碳发展的路线图和时间表。□□□□

2、优化城市空间布局，探索低碳的新型城镇化模式

城镇的规划和空间布局影响其不同功能区域及基础设施的分布和建设，不仅决定城镇的能源供应和设施分布，而且通过其形成的人

口通勤和居住模式影响居民的行为方式和生活方式。各城市在制定中长期城市发展总体规划和空间发展规划时,要把节能降碳的绿色理念融入城市的空间发展过程,结合城市自身资源、区位、发展等状况进行合理规划和设计,形成节能低碳的城镇模式。提倡紧凑的城镇形态,避免摊大饼式的低密度扩张,进行科学合理的功能分区,注重产业、商业、居住、生态等不同功能间的互补与协调。

3、编制城市低碳空间布局导则,完善低碳城镇化规划体系顶层设计

合理的城市空间布局是实现低碳城镇化的重要支撑。当前我国正处在城镇化中期加速阶段和提高城镇化质量的关键时期,但是也出现了城市土地粗放利用、空间布局不合理等问题。为进一步促进城市空间规划提升城市空间环境品质,优化城市空间布局,推动低碳城镇化发展,建议在国家层面编制城市低碳空间布局导则,以促进低碳发展为目标,对城市空间紧凑度、土地利用布局、开发策略、碳排放动态监测制度等制定规划编制原则和要求,指导各地结合实际,按照导则要求,编制修订相关空间规划,加强对城镇化低碳发展的引导和控制。

4、建立城镇化高碳源识别机制,精准实施低碳城镇化政策

建立自上而下的高碳源识别机制,建立碳评估数据库,摸清总体碳排放情况、碳排放结构、碳排放空间分布等基本现状,明确高碳源的空间分布,自上而下将减排任务分解到具体空间,从低碳角度直观地评估空间规划效果,通过大数据情景模拟等方法,精准识

别减排的重点城市、区域、企业/建筑，指导设计差异化的城市减排策略。

5、提高工业发展质量，降低“亩均能耗和碳排放”

就当前中国绝大多数城市而言，第二产业尤其是重工业是造成城镇化过程中能源消费和碳排放的重要主体。各城市应在现有产业发展基础上，结合自身禀赋和定位，进行科学的产业选择。一般而言，建议各城市在推进城镇化过程中要加速第三产业发展，培育发展战略性新兴产业，降低第二产业比重，尤其是抑制高耗能产业过快增长，降低城镇化过程中第二产业发展的能源消费和碳排放。二是加速第二产业内部转型升级。通过增加科技技术含量、增加产品附加值等方式促进制造业向价值链的两端延伸，增强产业竞争力，在“提高亩均经济产出”降低“亩均能耗和碳排放”。

6、转变居民消费方式，实现低碳消费□□

交通和建筑部门是城镇化过程中碳排放的重要部门，建议通过优化上述两部门的用能机构，积极倡导低碳消费等方式控制碳排放。一是在市区内大力提倡步行和自行车，构筑“以人为本”的慢行交通系统。通过步行、自行车与公交系统的紧密结合，达到引导“步行+公交”、“自行车+公交”出行方式。二是大力发展快速轨道交通系统，尽快实现以轨道交通为主，公共交通为辅，多种交通方式并存的结构。三是快速发展智能交通系统，提高出行效率。四是提高建筑节能标准，鼓励建设和使用绿色、节能、低碳住宅建筑。引入建筑物能效标准和标识制度，提高建筑节能标准，对高耗能建筑进行节能改造，大力发展及

普及建筑低碳技术如屋顶太阳能光伏发电 (PV)、太阳能热水器、热泵系统、家用生物质发电技术等。同时合理引导居民住房消费理念，避免追求过大居住面积。

附件

城市分类方法与评价

在当前我国城镇化快速推进的进程中，如何实现城市高质量的低碳发展，是每个城市需要迫切解决的问题。城市高质量的低碳发展，不仅仅体现在其经济规模、碳排放总量，更应体现在单位土地面积的能耗强度、碳排放强度等指标上。在今后的研究中，课题组将在本研究成果的基础上，建立不同城市单位用地面积能耗强度、碳排放强度综合评价方法。考虑到我国面积广阔，区位差异大，不同城市的发展水平、发展特点显著不同，初步考虑将对城市进行分类比较分析。由于时间所限，在此仅仅初步建立了城市分类的试评价指标体系和评价方法，在后续的研究中，还将进一步细化完善。

一、评价指标与评价方法

1. 方法原则和思路

在设计城市发展水平分类体系时主要考虑以下几方面，一是体现低碳发展内涵。低碳发展是在应对气候变化背景下的经济社会发展模式，城镇化进程也正是在这样的大背景下逐步推进，建立的城市发展水平分类体系也应该能够体现经济、社会、能源三个领域中的低碳发展的内容。二是筛选指标时要坚持全面性、代表性、可操作性等原则。全面性是指分类体系要能全面的反映城市发展水平，指标之间互相支持，且不重合。代表性是指选取的指标的含义清楚，易于理解，并且能够准备反映所表征的发展水平。可操作性是指标数据的选择必须

有可操作性，能够通过公开的统计年鉴、数据库等途径获取。

2. 评价方法构建

评价方法构建的思路是，筛选出合适的指标体系和城市，然后对各个城市的发展指标进行赋值和归一化处理，确定指标权重，根据计算公式得出不同城市的发展水平指数，并对评价结果进行分类，从而得到最终结果。

(1) 遴选指标

课题组构建了一套包括三个层级共 9 个指标的城市发展水平分类评价体系。

其中，第一层级是城市发展水平指数，是本文的最终评价指标。本文将按照该指标的最终计算结果对各个城市的发展水平进行评价。

第二层级反映了城市发展水平的主要方面，包括经济、工业化、能耗、城镇化和消费共 5 方面。

第三级指标包括了遴选出的城市发展的主要因素。在考虑到指标的全面性、代表性和可操作性等原则后，本文共选取了 9 个指标。其中：人均 GDP 和产业结构指数衡量经济发展水平；工业增加值占 GDP 比重和人均工业增加值反映工业化发展水平；工业能耗占总能耗比重和单位工业增加值能耗反映能耗指标；城市化指标用城市化率来表征，反映了城市化进程水平；消费指标主要用反映食品消费占消费的比重（恩格尔系数）和人均居民生活用电量来表示，反映了居民生活水平（表 1）。

表 1 城市评价指标

一级	二级指标	指标 权重	三级指标		指标 权重	指标 方向
城市发 展水平 指标 (A1)	经济指标 (B1)	20%	C1	人均 GDP (元) 当年价格	10%	+
			C2	产业结构指数	10%	+
	工业化指标 (B2)	20%	C3	工业增加值占 GDP 比重(%)	10%	-
			C4	人均工业增加值 (元/人)	10%	+
	能耗指标 (B3)	20%	C5	工业能耗占总能耗比重	10%	-
			C6	单位工业增加值能耗	10%	-
	城镇化指标 (B4)	20%	C7	城市化率(%)	20%	+
	消费指标 (B5)	20%	C8	恩格尔系数(%)	10%	-
			C9	人均居民生活电力消费量(千 瓦)	10%	+

(2) 设定权重

指标权重设置的根本目的在于反映不同类别指标的重要性。课题组采用专家打分法确定了每个指标的权重，权重设置见表 1。

(3) 计算方法

由于不同指标采用不同量纲，因此需要对指标数据做归一化处理以解决不同指标的量纲不统一的问题，同时也确定指标的方向问题。指标方向包括正向和负向两类，所谓正向指标就是指随着指标值的增加，指标评分结果应逐渐增加，如人均 GDP；负向指标指随着指标值

增加，指标评分结果应逐渐变小，如工业增加值占 GDP 比重。具体操作中，首先要对指标方向进行判定，并对不同方向指标采用相应的计算方法，正向指标按照公式 1 计算，负向指标按照公式 2 计算。指标方向判定结果见表 1。

指标归一化采用线性归一化方法，即将指标数据统一到区间[0,1]中。对于，任一指标 x_i ，设 $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 为最大值和最小值。

$$y_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{若 } x_i \text{ 为正向指标} \quad (\text{公式 1})$$

$$y_i = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad \text{若 } x_i \text{ 为负向指标} \quad (\text{公式 2})$$

在判定指标正负向后，最终的城市发展水平指数可以按照公式 3 进行计算。

$$I_i = \sum_{j=1}^n V_{ij} \times W_{ij} \quad (\text{公式 3})$$

其中： V_{ij} 表示第 i 个城市的第 j 个归一化后的指标值

W_{ij} 表示第 i 个城市的第 j 个指标的权重

本文将城市发展水平指数划分为 0-0.2、0.2-0.4、0.4-0.6、0.6-0.8、0.8-1.0 共 5 个区间，分别代表 5 类城市发展类型。第 1 类城市发展水平指数在 0.8-1.0 之间，其主要特征是人均 GDP 高、工业比重低、城镇化率高、居民生活水平高；第 5 类城市发展水平指数在 0-0.2 之间，这类城市的典型特征是人均 GDP 低、工业比重高、城镇化率低、居民生活水平低。第 2 类、第 3 类和第 4 类城市的城市发展水平介于第 1 类和第 5 类城市之间，城市发展水平指数分别在 0.6-0.8、0.4-0.6、0.2-0.4。这三类城市在不同指标方面表现各异，体现了不同发展的特征。

表 2 城市发展水平等级分类结果

城市等级分类	分值区间	城市特征描述
第 1 类	0.8-1	人均 GDP 高、工业比重低、城镇化率高、居民生活水平高
第 2 类	0.6-0.8	城市发展水平介于第 1 类和第 5 类之间，但在不同指标方面表现各异
第 3 类	0.4-0.6	
第 4 类	0.2-0.4	
第 5 类	0-0.2	人均 GDP 低、工业比重高、城镇化率低、居民生活水平低

(4) 城市选择

运用所构建的城市分类方法和指标体系,本文选取了部分城市进行了试分类。京津冀地区是本研究重点关注的区域,所以京津唐范围内的城市全部纳入,并选择全国不同区位的部分其他城市共 29 个,包括:北京、天津、石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、保定、张家口、承德、沧州、廊坊、衡水、上海、深圳、大同、镇江、青岛、武汉、广州、成都、哈尔滨、赣州、乌鲁木齐、西宁、呼伦贝尔、厦门、合肥、株洲、郑州、海口。

二. 结果分析

城市发展水平的计算结果见表 3。只有北京被纳入第 1 类城市中；第 2 类城市包括上海、深圳、广州、厦门和海口；第 3 类城市包括天津、石家庄、秦皇岛、廊坊、青岛、武汉、成都、哈尔滨、乌鲁木齐、呼伦贝尔、合肥；第 4 类城市包括唐山、邢台、张家口、保定、承德、沧州、衡水、赣州、西宁、株洲、郑州；第 5 类城市只有邯郸。通过比较可以发现，京津冀地区不同城市的发展水平区别很大，其中北京位列第 1 类城市，天津、石家庄、秦皇岛和廊坊列入第 3 类城市，河北省的其他城市除邯郸外都列入第 4 类城市。如果仅比较每个等级包含的城市数目，可以发现第 3 类和第 4 类城市数目最多，两类约占城市总数的 75% 左右。29 个城市中，除京津冀地区城市，其余 16 个城市，11 个城市位于第 3 类和第 4 类中，约占 68%。

基于城市分类结果，可以得出以下结论：一是在京津冀地区，河北省的城市总体发展水平远远落后于北京市，其中部分城市的发展水平与天津市接近。二是工业立市仍比较普遍

需要注意的是，本文所提出的这套城市发展水平分类体系与工业相关的指标权重占 50% 左右，所以如果某个城市工业发展水平较高，行业结构较优，布局较合理，那么它很有可能获得相对较高的分数，例如海口和天津，虽然天津在经济指标、城镇化指标和消费指标均表现好于海口，但是海口的工业比重低，从而获得更高的分数。在今后的研究中，本指标体系还需进一步修正与完善。

表 3 城市发展水平等级分类结果

城市等级分类	分值区间	城市
--------	------	----

第 1 类	0.8-1	北京
第 2 类	0.6-0.8	上海、深圳、广州、厦门、海口
第 3 类	0.4-0.6	天津、石家庄、秦皇岛、廊坊、青岛、武汉、成都、哈尔滨、乌鲁木齐、呼伦贝尔、合肥
第 4 类	0.2-0.4	唐山、邢台、张家口、保定、承德、沧州、衡水、赣州、西宁、株洲、郑州
第 5 类	0-0.2	邯郸

表 4 不同城市的指标数据

城市	经济指标		工业化指标		能耗指标		城镇化指标	消费指标	
	人均 GDP	产业结构 指数	工业增加 值占 GDP 比重	人均工业 增加值	工业能耗 占总能耗 比重	单位工业 增加值能 耗	城市化率 (%)	恩格尔系数 (%)	人均居民生活电 力消费量
	元	-	(%)	万元/人	%	tce/万元	%	%	千瓦时/人
北京	106497	0.93	16%	1.69	22%	0.38	86.5%	22.4%	805
天津	107960	0.84	42%	4.51	66%	0.79	82.9%	32.2%	564
石家庄市	51043	0.83	39%	1.98	48%	1.14	60.0%	25.3%	259
唐山	78398	0.74	51%	3.97	77%	2.35	60.4%	27.3%	132
秦皇岛市	40746	0.86	29%	1.19	56%	1.55	56.1%	24.0%	371
邯 郸 市	33450	0.69	42%	1.26	75%	2.42	48.0%	37.9%	104

邢台市	24256	0.69	40%	0.98	48%	1.54	49.8%	30.6%	61
保定市	29067	0.71	42%	1.20	52%	0.81	46.7%	28.0%	74
张家口市	30840	0.84	30%	0.92	59%	2.58	51.3%	29.6%	127
承德市	38505	0.71	41%	1.45	64%	1.82	49.0%	27.3%	94
沧州市	44819	0.70	43%	1.84	37%	0.51	46.2%	26.2%	42
廊坊市	54460	0.84	38%	1.98	45%	0.70	56.8%	20.0%	158
衡水市	27543	0.69	38%	1.01	44%	0.70	33.5%	33.0%	90
上海市	103796	0.89	28%	2.94	53%	0.85	87.6%	26.6%	768
深圳市	157985	0.86	39%	5.70	42%	0.24	100.0%	32.0%	1049
大同市	30989	0.85	34%	1.04	71%	2.70	59.0%	30.8%	306
镇江市	110351	0.68	45%	5.84	60%	0.68	67.9%	28.6%	333
青岛市	102519	0.85	37%	4.37	42%	0.67	70.0%	35.0%	536
武汉市	104132	0.84	37%	3.79	48%	0.58	79.4%	31.7%	505

广州市	136188	0.89	29%	3.74	42%	0.46	85.5%	32.8%	1149
成都市	74273	0.85	38%	2.55	52%	0.58	71.5%	34.4%	461
哈尔滨市	59027	0.88	23%	1.22	33%	1.30	65.0%	32.6%	382
赣州市	23148	0.68	44%	0.91	39%	0.35	45.5%	35.5%	101
乌鲁木齐市	74340	0.90	24%	1.76	61%	4.29	56.1%	36.5%	519
西宁市	49179	0.83	40%	2.25	80%	2.60	68.9%	35.7%	539
呼伦贝尔市	63131	0.69	38%	2.30	42%	0.89	70.8%	30.2%	107
厦门	90379	0.85	40%	3.57	23%	0.25	88.9%	33.2%	1158
合肥市	73102	0.70	35%	2.54	45%	0.47	70.4%	33.7%	317
株洲市	58661	0.75	51%	2.93	17%	0.30	62.1%	31.3%	284
郑州市	77179	0.67	47%	4.24	75%	0.53	46.9%	33.6%	627
海口市	52534	0.93	12%	0.63	4%	0.19	74.0%	34.2%	557

