



城市落实“2060年碳中和”国家战略的创新路径： 以零碳为目标的综合能源规划



作者与鸣谢

作者

李婷，郝一涵，王萌，
国萃（北京市建筑设计研究院）
*如无特别注明，作者均来自落基山研究所。

联系方式

郝一涵，yhao@rmi.org
王萌，mwang@rmi.org

建议引用格式

李婷，郝一涵，王萌，国萃.
城市落实“2060年碳中和”国家战略的创新路径：以
零碳为目标的综合能源规划，落基山研究所，2020.

主要合作单位

北京市建筑设计研究院有限公司（简称BIAD），成立
于1949年，是与共和国同龄的大型国有建筑设计咨询
机构。

致谢

感谢下列个人及单位对本报告的支持。

王喆，落基山研究所
路舒童，落基山研究所
刘秉祺，落基山研究所
张杰，北京市建筑设计研究院有限公司
贺克瑾，北京市建筑设计研究院有限公司
刘青，北京市建筑设计研究院有限公司
卞晓曦，北京市建筑设计研究院有限公司
刘晓茹，北京市建筑设计研究院有限公司
江海华，北京市建筑设计研究院有限公司
宁波梅山物流产业集聚区（国际海洋生态科技城、梅
山保税港区）管委会
北京未来科学城管委会

特别鸣谢能源基金会（中国）、洛克菲勒兄弟基金会
对本报告的支持。

*除特别注明，本报告中所有图片均来自iStock。

关于我们



关于落基山研究所 (ROCKY MOUNTAIN INSTITUTE)

落基山研究所是一家于1982年创立的专业、独立、以市场为导向的智库，与政府、企业、科研机构及创业者协作，推动全球能源变革，以创造清洁、安全、繁荣的低碳未来为目标。落基山研究所着重借助经济可行的市场化手段，加速能效和可再生能源取代化石燃料的能源结构转变。落基山研究所在北京、美国科罗拉多州巴索尔特和博尔德、纽约市及华盛顿特区设有办事处。

前言

习近平主席在第七十五届联合国大会上提出了“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”的战略目标，为我国下一阶段的绿色发展和能源转型指明了方向。城市作为碳排放的主要来源，应探索深度减排创新路径，响应国家战略目标。在新城新区层面探索以零碳为目标的城市能源转型是落实国家“碳达峰”及“碳中和”战略的重要创新举措，而针对园区开发建设范围的综合能源规划是实现城市零碳目标的核心工具。

相较于传统的能源规划，综合能源规划通过整合能源投资和能源技术，统筹协调城市能源需求与能源供给，为城市能源规划、城市能源基础设施建设、城市能源运行管理提供决策依据。作为综合能源规划家族的新成员，“以零碳为目标的综合能源规划”在现有的基础上进行了进一步的优化和升级，以明确的零碳目标作为规划的总体指引，通过跨专业的统筹协调实现深度减排和零碳目标，极大地提升了城市能源利用效率和减排力度，为城市落实“碳中和”战略提供了可执行的路线图。

通过在新城新区规模化推广以零碳为目标的综合能源规划，能够全面解锁新城新区的减排潜力，贡献于中国2030年“碳达峰”目标和2060年“碳中和”目标。根据本报告的研究，新城新区采用以零碳为目标的综合能源规划能够为中国“碳中和”目标贡献约15%的减排量。

以零碳为目标的综合能源规划体系目前仍处于不断完善的过程中。落基山研究所基于国内国际示范项目，与合作单位共同开展规划框架研究、减排潜力分析和案例经验总结，希望通过本研究进一步完善这种新型的规划方法，为更好地支撑城市能源转型和绿色发展、落实零碳目标提供方法论探索和实践总结，也为后续落地实施示范项目提供理论支撑和基础研究。

目录

- 摘要03
- 1. 综合能源规划的发展现状04
 - 1.1综合能源规划助力新城新区能源转型05
 - 1.2综合能源规划体系有待完善08
 - 1.3 综合能源规划落地面临的挑战16
- 2.以零碳为目标的综合能源规划11
 - 2.1 综合能源规划家族的新成员12
 - 2.2以情景分析的方法制定零碳目标体系13
 - 2.3零碳目标与综合能源规划的深度融合16
- 3. 助力城市零碳发展20
 - 3.1 支撑城市进一步探索零碳发展的创新路径21
 - 3.2 对“碳中和” 国家战略的贡献21
- 4. 案例分析23
 - 4.1宁波梅山近零碳排放区24
 - 4.2北京未来科学城28
- 5.下一步工作32

01

综合能源规划的发展现状



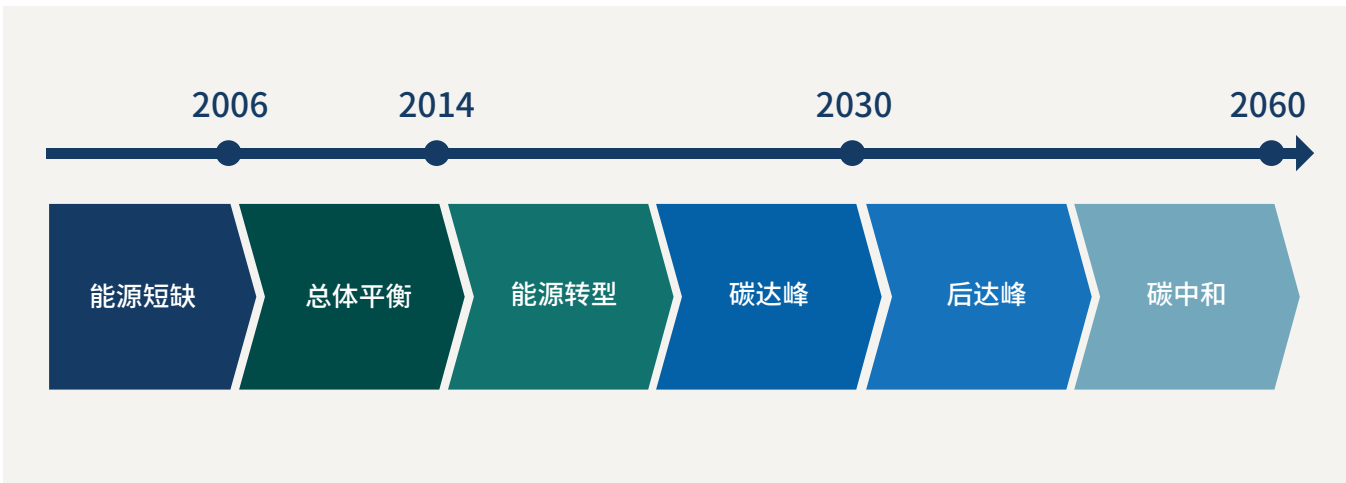
1. 综合能源规划的发展现状

1.1 综合能源规划助力新城新区能源转型

能源系统是贯穿于城市生产生活等各项经济社会活动的核心要素。中国过去几十年经历了快速城镇化的过程，从1985年到2019年，城镇化率从23%增长到60%，新城新区如雨后春笋般拔地而起，建成区面积从10,000平方公里增长到近60,000平方公里¹。中国能源工业经历了几个时期（见图1），能源供应短缺曾经是新城新区建设的瓶颈，尤其是中国加入WTO之后GDP两位数高速增长期，冶金化工等工业用电大幅增加，空调冰箱的普及带来居民用电大量增加，拉闸限电曾经是解决缺电问题的常用手段。随着西电东送、西气东输等一系列重大能源工程的开展，中国能源工业发展改变了能源供应紧张的状况，进入了能源转型的新阶段，支持中国2030年碳达峰和2060年碳中和的目标。

图 1

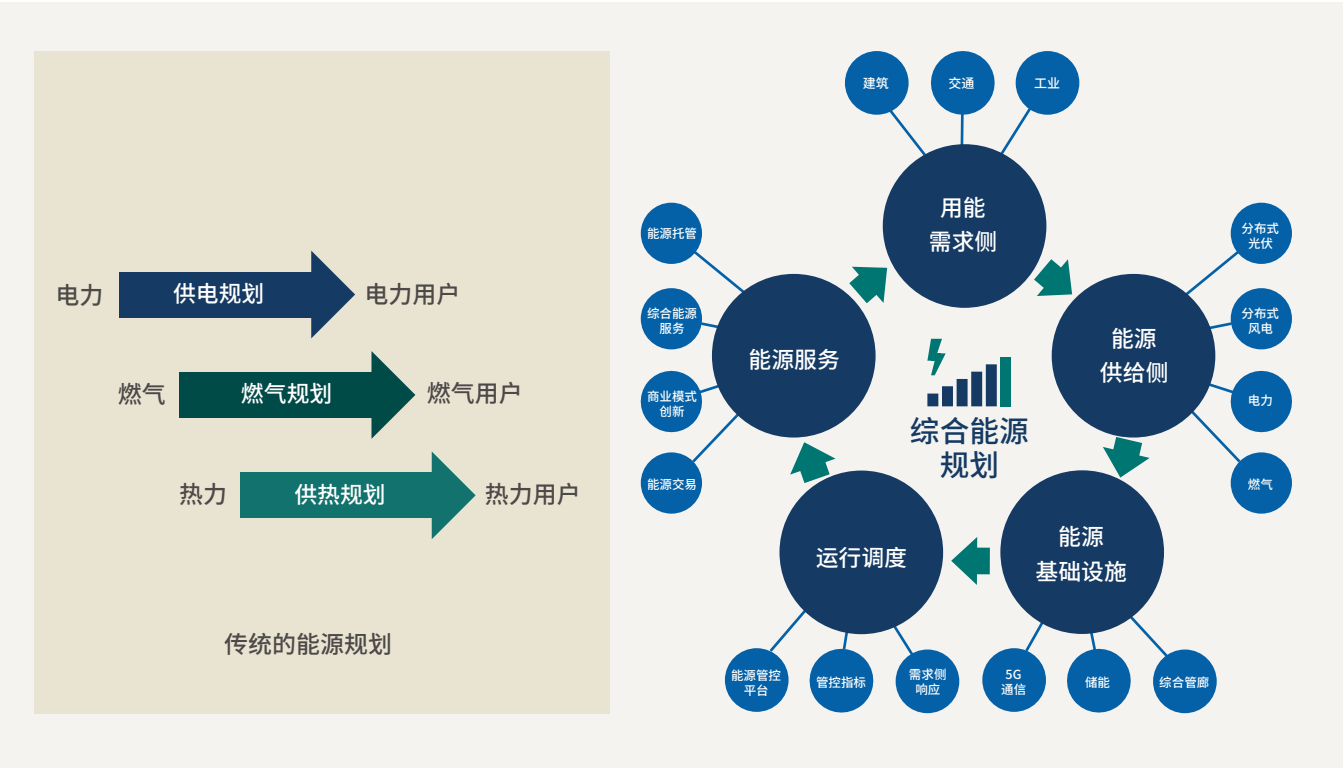
中国能源工业发展阶段



在新的发展阶段，解决新城新区建设在能源结构、能源利用效率、能源消耗量、碳排放量、污染物排放等方面的问题成为新的课题，而综合能源规划为新城新区建设提供了实现能源清洁、高效利用的机会。传统的一次能源规划立足于能源供应侧，目标是能源供给满足能源需求，规划的重点在于通过统筹协调，获得足够的能源供应渠道，并规划建设相应的能源设施，保证国家、城市或城区的能源安全。传统的一次能源规划通过对一次能源的开发调运等手段解决能源供需矛盾，一般不考虑不同种类能源的相互替代，各类能源（燃气、电力、热力）由对应的能源部门分项规划建设，满足各类用户的能源需求。相对于传统的城市能源工程系统规划，综合能源规划是基于终端需求和节能减排目标的各种形式能源系统的集成和整合。综合能源规划的思路从能源供给侧向能源需求侧转变，重点关注建筑、交通、工业三大类的城市能源消费部门，囊括的能源形式包括电力、燃气、燃煤、热水/蒸汽（供热）、冷水（供冷）、燃油、氢能等，考虑不同种类能源的相互替代和阶梯利用。

¹数据来源：国家住房与城乡建设部

图 2
传统的城市能源规划 VS 新型城市综合能源规划



与传统的只管供电、燃气、热力的能源规划相比，综合能源规划旨在优化新城新区的资源能源配置，实现能源清洁、高效、可靠的阶梯利用，提高资源、能源、空间利用效率，避免能源资源重叠配置、错配、漏配、过量配置，降低能源系统投资成本，提高能效，降低运营成本。相较于传统能源规划，综合能源规划有四大优势（见表1）。

表 1
综合能源规划的四大优势

明确的战略目标	着重于新区规划的能源消耗强度与总量目标、碳排放强度与总量目标、污染物排放目标，例如低碳排放、近零碳排放、净零碳排放、全口径零排放等。
更加地关注需求侧	结合新区社会经济发展关键指标、城市空间布局、产业结构布局，对建筑、交通、工业等能源消费部门进行需求预测，包括用能的形式、强度及总量。
更全面的技术应用	基于区域内的能源资源禀赋以及区域外的能源供给能力，尤其注重挖掘各种余热、可再生能源的利用潜力，整合优化能源需求侧与供给侧，考虑经济性、技术可行性、碳排放等多个评价因素，形成最理想的综合能源解决方案。
更综合的解决方案	有条件采用城市地下综合管廊，将电力、通信、给水、排水、热力、燃气等市政管线集中。虽然地下综合管廊一次性投资较高，但是节省地下道路空间、解决路面反复开挖、架空线网密集、地下基础设施滞后等问题。

1.2综合能源规划体系有待完善

综合能源规划与宏观能源规划、国家或城市尺度的一次能源规划功能有所不同，是以城市的物理空间为载体进行实现，在指标层面、空间布局层面、和资源配置层面都有着与传统能源规划不同的侧重点，综合能源规划的内容具体如表2所示。综合能源规划内容对于城市开发建设、城市规划生态/能源指标的实现、城市基础设施建设、城市产业规划引导等方面均有不同程度的影响。综合能源规划只有与城市规划的开发建设、生态绿色、空间布局、基础设施建设、道路交通等专项统筹协调，才能通过城市规划管理体系逐级落实到城市建设层面。

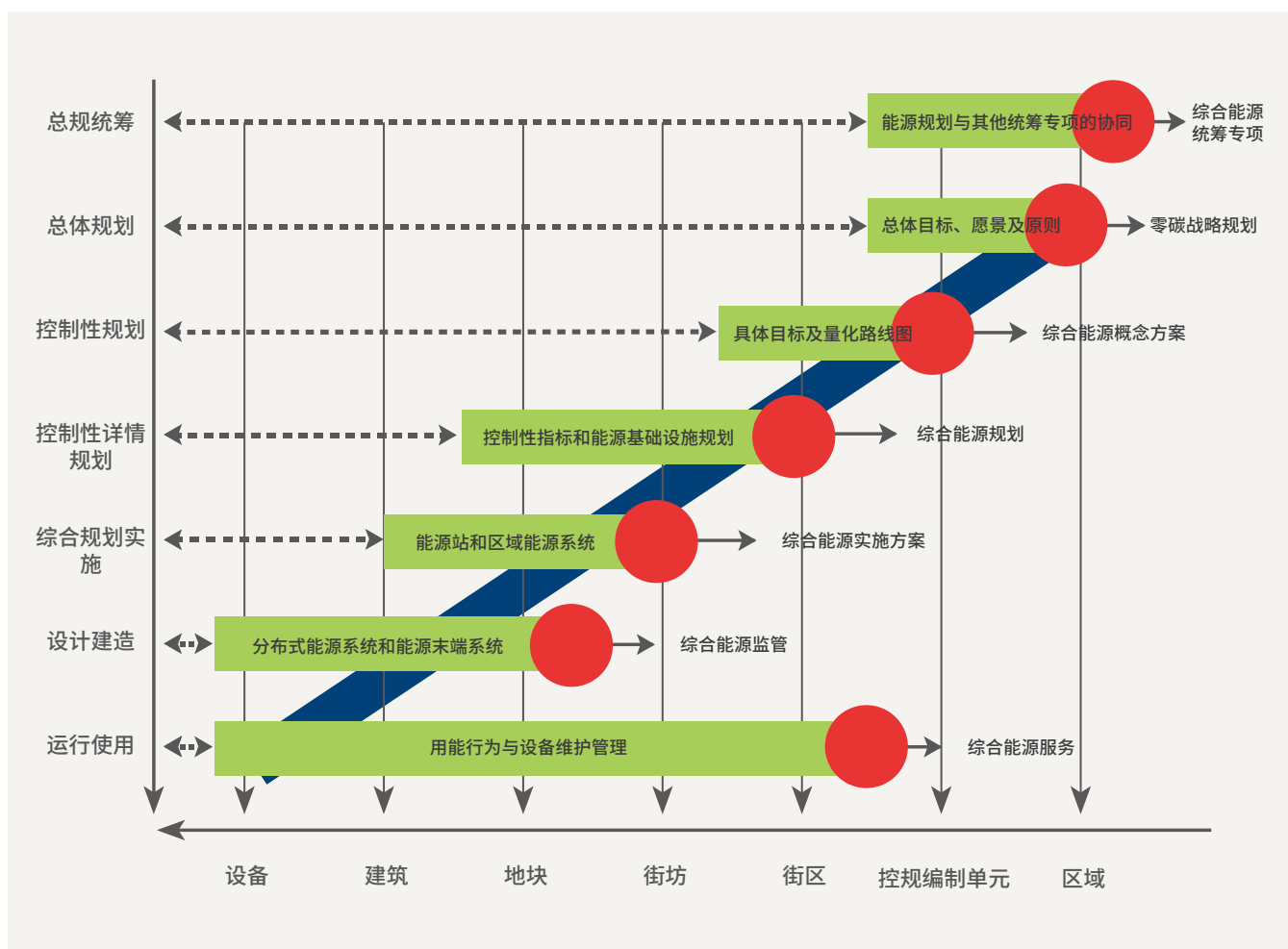
表 2
综合能源规划的内容

指标层面	主要包含规划区域内的能源消耗强度、能源消耗总量、碳排放强度与总量目标、污染物排放目标、绿色出行率、余热利用率、电气化水平、节能率、可再生能源占比等量化指标。
空间布局层面	主要包含规划区域内的能源站选点，对建筑、交通、工业等能源消费部门在开发强度、开发时序、空置率、城市空间塑造等方面的要求，相关管线主路由（含城市综合管廊路由），以及综合能源相关技术应用场景在城市空间布局中的具体落位。
资源配置层面	深入研究各种余热、可再生能源的利用潜力，制定能源之间的替代与集中调度策略，整合优化能源需求侧与供给侧配比关系，综合考虑能源方案的经济性、技术可行性、碳排放等评价因素。

当下，我国各省市自治区的综合能源规划属于非法定规划项目，形式多样，标准不一，例如区域能源规划、区域可再生能源规划、近零碳战略规划等。综合能源规划编制单位尚无明确资质与行业约束，基本上由城市规划与建筑设计领域的研究部门、能源领域研究部门、高校科研院所等相关单位承担。但是以企业研究项目或者政府课题身份出现的综合能源规划缺乏对于基础建设、工业用能、建筑用能、交通设施、电力供给、可再生能源应用主体等多方的统筹力度。因此，必须确定综合能源规划在规划体系中的定位和作用，才能够更好地发挥作用，推动城市综合能源转型。与现有的规划流程相结合的理想综合能源规划体系框架如图3所示。在规划深度方面，从总规统筹到总体规划、控制性规划、控制性详细规划、综合规划实施、设计建造、运行使用，综合能源规划内容配合规划进程逐步深入；在规划尺度方面，针对的空间对象从区域到控规编制单元、街区、建筑逐渐细化。

图3

综合能源规划体系建设目标框架



1.3 综合能源规划落地面临的挑战

综合能源规划集技术创新、量化指标为一体，强调“源-网-荷-储”相互协同，注重多种能源互联互通，构筑与区域协调的高效、清洁、安全的能源体系。但是由于目前标准缺失、体制约束、商业模式不足、用户认知欠缺、政策工具空白的原因，综合能源规划在落地过程中面临挑战。

（1）标准缺失：

综合能源规划处于方兴未艾的阶段，行业内还未形成标准的综合能源规划设计规范，编制单位缺少对综合能源规划内容和深度的共同认识，不同参与方编制的综合能源规划的质量参差不齐，可能出现综合能源规划与实际情况差距较大的情况，导致规划无法落地。

（2）体制约束：

传统的冷、热、电、油、气等能源的供应相对独立，在进行统一综合能源规划前需要先破除原有单一供应者人为建立的资源供应壁垒。分布式光伏、风电的大规模部署对于现有电力系统的管理与运行方式将会有较大的影响，需要对配电网的系统平台和管理机制进行升级以匹配多点接入和管理的需求；分布式可再生能源的大规模接入也对预测、控制、调节等相关模块提出了升级和改造的要求，随着可再生能源将推进调度管理中心一定程度的下沉，需改变传统电网输网为主、配网配合的模式，对于配网调度技术的要求会逐步提升。

（3）商业模式：

结构完整、功能完善的综合能源规划往往需要多主体、多环节的共同协同落实。当前综合能源服务的商业模式还处于探索之中，不够明确的商业前景和不够明朗的商业回报影响到相关主体和投资方参与到综合能源业务的热情。在规划阶段应该充分考虑经济效益，优化创新商业模式，夯实综合能源规划的软实力，实现投资、运营、收益的良性循环。

（4）用户认知：

综合能源规划虽然在资源的提供和配置方面需要投入大量的精力，但是用户对综合能源服务优势的感知并不够直接、也不够强烈，对于新兴综合能源服务模式的潜在收益也没有清晰的认知，所以在对于综合能源的热情与关注上也略显薄弱。由于能源用户（建筑、交通、工业）对于各种新的清洁能源技术的认知有限，因而做出保守的决定，而放弃了采用新技术的机会。

（5）政策工具：

综合能源规划的政策工具是规划落地的保障手段。尽管综合能源规划设定了区域能源利用的积极目标，在缺少政策工具约束的情况下，针对具体地块的落实执行尚待完善。而在规划落地之后，同样需要相应的政策工具来衡量和评价实施情况，例如可再生能源的应用比例、电气化率的水平、是否达到规划的目标值。目前综合能源规划的政策工具种类较少，有待积累实践经验形成可复制可推广的政策工具。



2.以零碳为目标的综合能源

2.1 综合能源规划家族的新成员

综合能源规划是近年来助力城市绿色低碳发展的一种新兴政策工具，而以零碳为目标的综合能源规划是对该工具的再一次升级，提升了综合能源规划的战略定位，使综合能源规划与国家“碳中和”总体战略相契合，从城市层面探索零碳发展的创新路径，全面服务于国家“2030年碳达峰”和“2060年碳中和”顶层战略的落实。以零碳为目标的综合能源规划通过创新的量化分析方法论制定明确的零碳目标体系并以此为指引为城市开发建设绘制近期、中期、远期三个阶段的零碳图景，通过跨部门、跨行业的一体化优化深入挖掘城市生产生活全过程的减排潜力，基于建设项目的规模和类型有针对性地制定工程实施方案，并以明确的责任主体为载体将零碳综合能源规划落实到后续工程规划建设中。

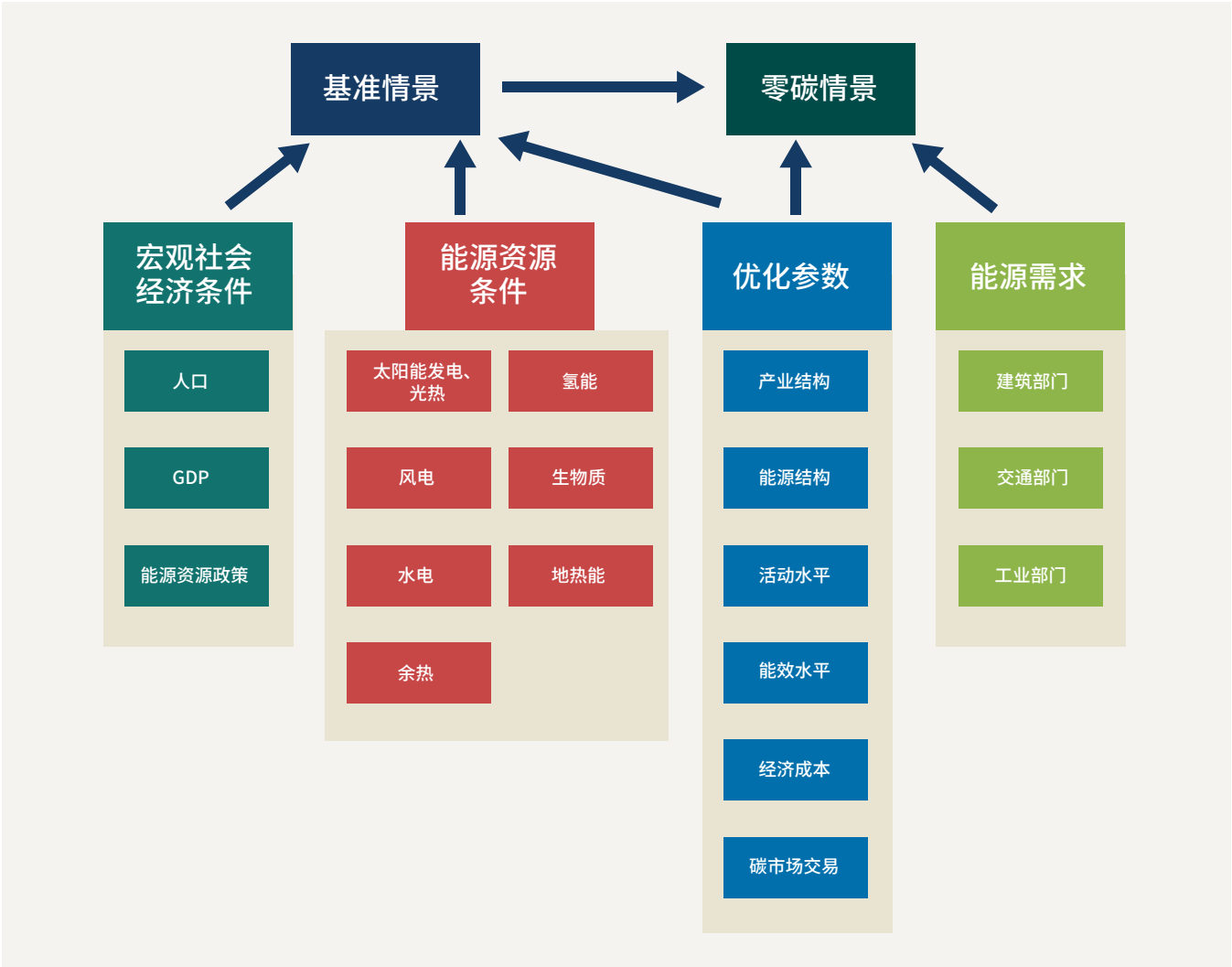
以零碳为目标的综合能源规划将进一步助力综合能源规划体系的完善与提升。通过与国家顶层战略的绑定，以零碳为目标的综合能源规划将更有望加速成为城市法定规划体系的一部分，为综合能源规划体系的搭建提供了助力。同时，以零碳为目标的综合能源规划具有量化精准的特征，在规划内容和深度上有着更加明确的战略目标，更容易形成统一的规划标准，更有利于综合能源规划行业的发展。以零碳为目标的综合能源规划也有利于突破体制约束，以共同的零碳目标形成合力，统筹协调各利益相关方开放合作，以多方共赢的方式落实零碳综合能源规划。以零碳为目标的综合能源规划可以避免技术堆砌，以明确的目标为指引搭建合理的技术应用场景，结合5G、物联网、人工智能、云计算、边缘计算、新能源等新兴技术，重新定义多维度、多层次的城​​市综合能源应用和能源服务。以零碳为目标的综合能源规划不但强调合理的技术应用，也将经济性和成本效益作为规划判断的重要依据，这种对经济性的强调为后期的项目执行和商业合作打下了良好的基础。综合能源规划长期存在用户认知不清晰的问题，而以零碳为目标的综合能源规划提出了明确的战略愿景，并以此为基础实现价值转化和资产升值，提升了综合能源规划的整体战略定位。在规划落地方面，以零碳为目标的综合能源规划也更加有利于约束性政策工具的制定，将零碳目标贯彻到城市开发建设全过程。

以零碳为目标的综合能源规划作为一种新型的规划手段，在中国部分城市已经开展了一些探索和实践，其成效与优越性也逐渐显现。通过对试点案例的调研，这种新型的规划手段可以大幅提高减排率，部分项目的减排率甚至翻倍，各项指标均得到了较大幅度的全面提升。同时，由于以零碳为目标的综合能源规划对城市生产生活各部门进行了全面的分析，为各部门实现零碳目标和部门间的协同提供了指导，与城市总体规划的结合性更好，部分项目甚至在规划开展过程中提升这种新型规划的地位，将其前置于城市总体规划，成为整个项目总体规划的核心，全面指导城市建设所涉及的产业、基础设施、建筑、交通、能源等方面的工作。实践证明，以零碳为目标的综合能源规划具有大幅减排、跨部门协同、保障落实等优越性，部分项目已开始尝试将该类型的规划以各种形式纳入城市法定规划的流程，与其他城市规划专项充分互动，成为城市规划体系的有机组成部分，更好地引领城市达成零碳发展目标。

2.2以情景分析的方法制定零碳目标体系

以零碳为目标的综合能源规划的首要任务是设定科学的、合理的、全面的零碳目标体系。综合能源规划的零碳目标体系并不是局限于一个或两个单独的数值，而是一套完整的指标体系，涉及分析对象的能源消费和能源生产的全过程，需要通过全面的情景分析法来完成。基于量化分析并结合技术经济分析的情景分析法是制定零碳目标体系的重要工具。情景分析法是通过假设、预测、模拟等手段生成未来情景，并分析情景对目标产生影响的方法，为制定高质量能源发展规划及政策提供支持。城市能源情景分析从各部门的能源转化形式、能源消费特点出发，统筹规划各用能部门的能源需求量，非石化能源的规模化应用，优化各用能部门的能源结构。量化的情景分析的前提是建立全面的城市能源模型，如图4所示，基于宏观社会经济条件和能源资源条件，体现能源供给侧和能源需求侧各种能源种类的平衡关系，并在此基础上挖掘优化潜力，开展相应的情景分析。

图 4
城市能源情景量化分析模型框架



能源情景量化分析对城市能源的各类情景进行研究，基于不同的经济发展、人口、城镇化等驱动因素，构建不同的综合能源供求情景，进行技术、政策、经济性分析，制定关键指标。以零碳为目标的综合能源情景分析按照时间维度设置近期、中期、远期三个发展阶段，并按照碳排放维度搭建基准情景和零碳情景两种情景，具体的设定方式如表 3 所示。

表 3
情景设定方式

时间维度： 通常以规划期为基准跨度，在此基础上向未来延伸，划分为近期、中期、远期三个发展阶段	现状到规划期，以实施落地为目标，需要考虑规划期内城市开发建设的重大发展节点，例如十四五规划节点、示范城市考核等等。要求节点上的规划内容可实施可考核。需要考虑设置节点的均匀度与可实施性。
	规划期到未来，以展望引领为目标，需要考虑国家重大战略规划、行业发展战略规划、技术发展趋势、城市建设愿景等重要要素设置，要求节点上的规划内容符合国家、行业发展战略要求，符合技术发展逻辑，符合能源消费各场景的未来需求。例如习近平主席在第七十五届联合国大会上提出“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”，可以设定2030年、2060年为关键节点。
碳排放维度： 按照城市发展规律与规划建设计划，设为基准情景和零碳情景。	基准情景：按照目前城市建设标准的最低节能标准，定量推算近期、中期、远期的能源消费强度和碳排放强度。
	零碳情景：按照目前城市建设标准的最高节能标准，同时，在城市建设中引入大量成熟且先进的新能源与可再生能源技术，综合考虑实际发展情况、政策引导力度与技术发展潜力，定量的分析出以近零碳为近期目标、以零碳为远期目标、能够尽快落地实施的零碳模式。

一般来讲，城市能源模型将城市划分为建筑、工业、交通等几个主要用能部门（见表4），每个部门均有若干因素可作为基础数据进行该部门的用能预测，通过优化关键因素，得到不同的情景。通过对城市能源消费侧的精准分析，自下而上充分发掘建筑、交通、工业等主要用能部门的节能与可再生能源消纳能力，才能够实现能源供给与需求的合理配比，探索能源体系总体效率的最大化，指导以零碳为目标的综合能源体系建设。

表 4
城市用能部门能源需求影响参数

用能部门	描述	用能预测的关键因素
建筑部门	指用地红线内满足所有建筑功能需求的用能，包含建筑运行能耗和市政系统运行能耗。（建筑中含实验、中试、数据中心等特殊工艺的，可根据工艺能耗考虑单独设立特殊用能消费部门。）	• 建设规模 • 建筑功能 • 建筑能效 • 市政用能
交通部门	主要指规划区域内路面交通、轨道交通、航运、海运等各种交通形式的能源消耗。（其中，交通枢纽站站点的用能应归于建筑部门用能。）	• 交通工具种类 • 出行量 • 用能方式 • 交通能效
工业部门	主要指工业生产工艺工法所需要的能源消耗总量。（不包括工业原材料生产、运输的能耗以及工业建筑的常规能耗。）	• 产业结构 • 工艺需求 • 工业产量 • 工业能效

能源情景的优化路径应主要考虑需求减量、结构调整、效率提升、能源替代。首先从需求侧入手，考虑例如降低热岛效应、鼓励绿色出行、合理规划利用建筑等方式降低总体的能源需求；其次，通过产业结构调整 and 空间结构调整，鼓励绿色低碳新兴产业，合理地利用国土空间，建立近零碳的经济结构；同时，通过一体化的协同设计提升能源体系总体效率，优化转换与传输关系，加大余废资源的有效利用，配置高效的能源系统，提升单位GDP能源利用率；最后，构建灵活互动的用能体系，提升可再生能源占比，逐步实现可再生能源的100%消纳。经济分析是贯穿综合能源规划的重要价值判断工具，应通过充分的评估，分析城市能源系统的经济性，综合考虑建设成本增量、节约能源费用、规划所创造的投资、物业等增量成本、以及规划所创造的就业机会与税收，评估综合能源方案的市场价值，测算投资回报率，保证规划内容的可持续性。

2.3零碳目标与综合能源规划的深度融合

将零碳目标体系分解到综合能源规划中，是落实零碳目标的重要步骤。城市能源体系为零碳目标的落地实施提供了直接的载体。零碳目标体系通过综合能源规划分解细化到具体能源方案中、明确发展原则与应用远景、制定城市能源管理机制与引导策略，进而在城市建设过程中逐级落实。对于处在不同规划阶段的区域、街区、以及待建项目、在建项目和改造项目，零碳目标体系分别以不同方式结合综合能源规划进行落实，具体如表5所示。

表 5
城市用能部门能源需求影响参数

项目类型	如何拆解落实零碳目标
未编制街区控规的区域	在街区控规中应提出零碳排放相关指标及能源系统应用的具体要求，各项目、各地块在规划综合实施方案中应明确综合能源规划实施方案、智慧能源监测系统建设等内容。
已获得街区控规批复的区域	前期规划中未提出零碳排放指标要求的区域内，应尽快提出街区零碳排放指标的要求，启动综合能源专项规划的编制工作，在地块综合实施方案进行细化落实。对于未上市的开发地块，将零碳排放指标纳入土地上市条件；对于未上市的配套设施、教育科研等协议出让地块，将近零碳排放指标纳入协议出让的履约监管协议书中，作为用地合同的附件。
已有产权主体的待建项目	结合综合能源规划对后续建设提出零碳排放指标要求，建议规划主管部门在审核方案时应与项目所在辖区主管部门对指标落实情况进行联合审查，同时由发改委在项目立项节能审查阶段对相应指标落实情况进行审查。
已有产权主体的在建项目	结合综合能源规划提出的可再生能源等指标要求，建议在既有方案允许的条件下，尽可能地完成零碳排放指标。无法通过技术调整实现零碳排放指标的，可以采用市场交易的方式实现，如绿电交易。
既有项目改造	需要综合考虑节能属性，结合零碳排放指标要求，建议规划主管部门在审核改造方案时应与项目所在辖区主管部门对指标落实情况进行联合审查。

以零碳为目标的综合能源规划的编制可根据分析对象的规模大体上分为三种类型：以建筑群组为分析对象的综合能源规划、以街区（1km²至10km²）为分析对象的综合能源规划、以园区（10km²至300km²）为分析对象的综合能源规划。如表6所示，综合能源规划的编制内容根据不同的规模大小适当调整分析范畴、分析颗粒度和分析深度，才能更好的落实零碳目标。

表 6
不同规模区域的综合能源规划编制内容

分析对象	综合能源规划的编制内容
以建筑群组为分析对象的综合能源规划	（1）分析当地可利用的资源，特别是如何在城区里利用低能量密度的可再生能源。 （2）设定建筑能效提升的目标。制定或采用各类建筑的能效基准或能耗定额。 （3）预测建筑能源的负荷和能耗。采用计算机模拟技术，结合建筑采用的节能措施以及各类建筑的运行时间表，计算得到各类建筑负荷和全年能耗。再根据各类建筑的建筑面积，预估建筑能耗，满足建筑能耗目标。 （4）建筑光伏一体化。根据可利用的建筑体表面积、光伏投资来源、经营规模、光伏组件效率等，确定光伏安装的位置和功率。 （5）地源热泵、水源热泵等可再生能源技术应用。根据当地的资源条件和建筑冷热负荷特性，分析地源、水源热泵满足建筑群组冷热需求的可行性。 （6）建筑能源系统方案可行性研究，各种能源系统形式的经济技术分析与方案比选。 （7）城区绿色建筑建设规划。在国家 and 地方相关标准基础之上制定城区绿色建筑建设导则、选择合适技术。 （8）建筑能源管理和能耗限额，建立城区建筑能耗的管理体系和管理组织，建立城区建筑能耗对标和能耗公示制度。 （9）建筑可再生能源利用与城市规划、城市空间的协调。

表 6
不同规模区域的综合能源规划编制内容

分析对象	综合能源规划的编制内容
以街区（1km ² 至10km ² ）为分析对象的综合能源规划	(1) 当地可再生资源利用条件分析。 (2) 设定城区能源系统的能耗与碳排放的目标。 (3) 精细化预测电、气、热、冷负荷。 (4) 能源方案可行性研究，技术经济分析及方案比选。 (5) 设备选型和系统集成。 (6) 能源系统运行工况分析。 (7) 能源系统环境影响分析。 (8) 能源微网的总体方案和智能能源管理系统的架构方案。 (9) 能源微网与城市规划和建筑设计空间协调。
以园区（10 km ² 至300 km ² ）为分析对象的综合能源规划	(1) 能耗、碳排放总量与强度作为重要的控制性指标。 (2) 产业、交通、建筑专项规划的分析。 (3) 当地可利用的可再生能源、余热余冷资源分析。 (4) 需求预测，通过对城区发展战略的深化，预测中远期的能源需求，并在总量控制的前提下，调整产业、交通、建筑以及市政等各用能部门的用能比例。 (5) 综合能源总体方案，统筹区域用能需求，从技术、制度、管理三方面着手，充分应用先进能源生产技术。 (6) 综合能源专项方案，针对具体的能源利用方案，进行深入的专项规划。 (7) 建立城市能源管理体系，进行“策划——实施——检查与纠正——持续改进”的管理过程。 (8) 制定建筑、交通、工业节能减排发展路线图，包括实施技术路线及配套政策。 (9) 综合能源方案经济技术分析，明确经济效益、回报年限，使其具有投资吸引力。

项目建设单位作为落实项目零碳指标的第一责任人，应在建设过程中的每个阶段逐步落实零碳目标。城市开发建设在项目执行层面分为方案设计阶段、初步设计阶段、施工图阶段和竣工验收阶段。其中，方案设计阶段旨在落实规划内容并提出项目具体方案，初步设计阶段旨在指导建材和设备的采购，施工图阶段旨在指导施工建设、竣工验收阶段旨在检验建设成果。针对不同的阶段，项目建设单位应按照该阶段的工作内容、深度、颗粒度提出合理的零碳目标落实方法。如表7所示，项目建设单位应在方案设计阶段对项目所在辖区主管部门或区发改委做出零碳排放承诺，在初步设计阶段申报建设工程规划许可证前或取得“多规合一”协同平台综合审查意见前完成初步设计零碳指标自评价，在施工图阶段取得建筑工程施工图综合审查修改意见书前完成施工图零碳指标自评价，并在竣工验收阶段工程竣工联合验收前完成竣工验收零碳指标自评价。在建设项目审批的过程中，所在辖区主管部门根据需针对项目建设单位零碳目标的执行情况，组织开展评价及专家评审工作并出具意见。

表 7
以建设单位为责任主体分阶段落实零碳目标

建设阶段	节点	落实责任
方案设计阶段	方案设计文件提交时	对项目所在辖区主管部门或区发改委做出零碳排放承诺
初步设计阶段	申报建设工程规划许可证前或取得“多规合一”协同平台综合审查意见前	完成初步设计零碳指标自评价
施工图阶段	取得建筑工程施工图综合审查修改意见书前	完成施工图零碳指标自评价
竣工验收阶段	工程竣工联合验收前	完成竣工验收零碳指标自评价

03

助力城市零碳发展



3. 助力城市零碳发展规划

3.1 支撑城市进一步探索零碳发展的创新路径

2010年,中国城市碳排放量占全国总量约60%,这个数字到2030年将升至80%。² 城市地区探索零碳发展的创新路径是支撑中国自主碳排放贡献的重要举措,也是全国实现“2030年碳达峰”及“2060年碳中和”的基础和关键。中国在城市低碳绿色发展方面出台过一系列的支撑政策和试点示范项目,有着良好的工作基础。中国已有59个城市将城市碳排放峰值年限设定在2025年之前,更有16个城市将目标定在2020年以前。³ 随着多个城市进入“后达峰”时代,“碳中和”目标将成为下一个努力方向,努力实现深度碳减排并最终实现城市零碳发展将成为“后达峰”时期的工作重点,对未来生活在城镇的10亿中国人口产生深远的影响。

采用以零碳为目标的综合能源规划是支撑城市进一步探索零碳发展创新路径的重要政策抓手。这种新型的规划手段将挖掘城市深度减排和零碳增长的潜力,推动近零碳排放区、零碳新城、城市碳中和和开发建设的普及推广,支撑中国的城镇化进程与碳排放增长加速脱钩。以零碳为目标的综合能源规划以量化分析为手段,通过一体化的规划方法论、量化的目标设定、创新的管理机制和多方共赢的商业模式,推动建立以零碳为目标的技术应用场景,重塑城市能源生产与消费模式,减少各类污染物排放和交通拥堵并改善提升空气质量,助力城市以创新的方式实现零碳发展。

3.2 对“碳中和”国家战略的贡献

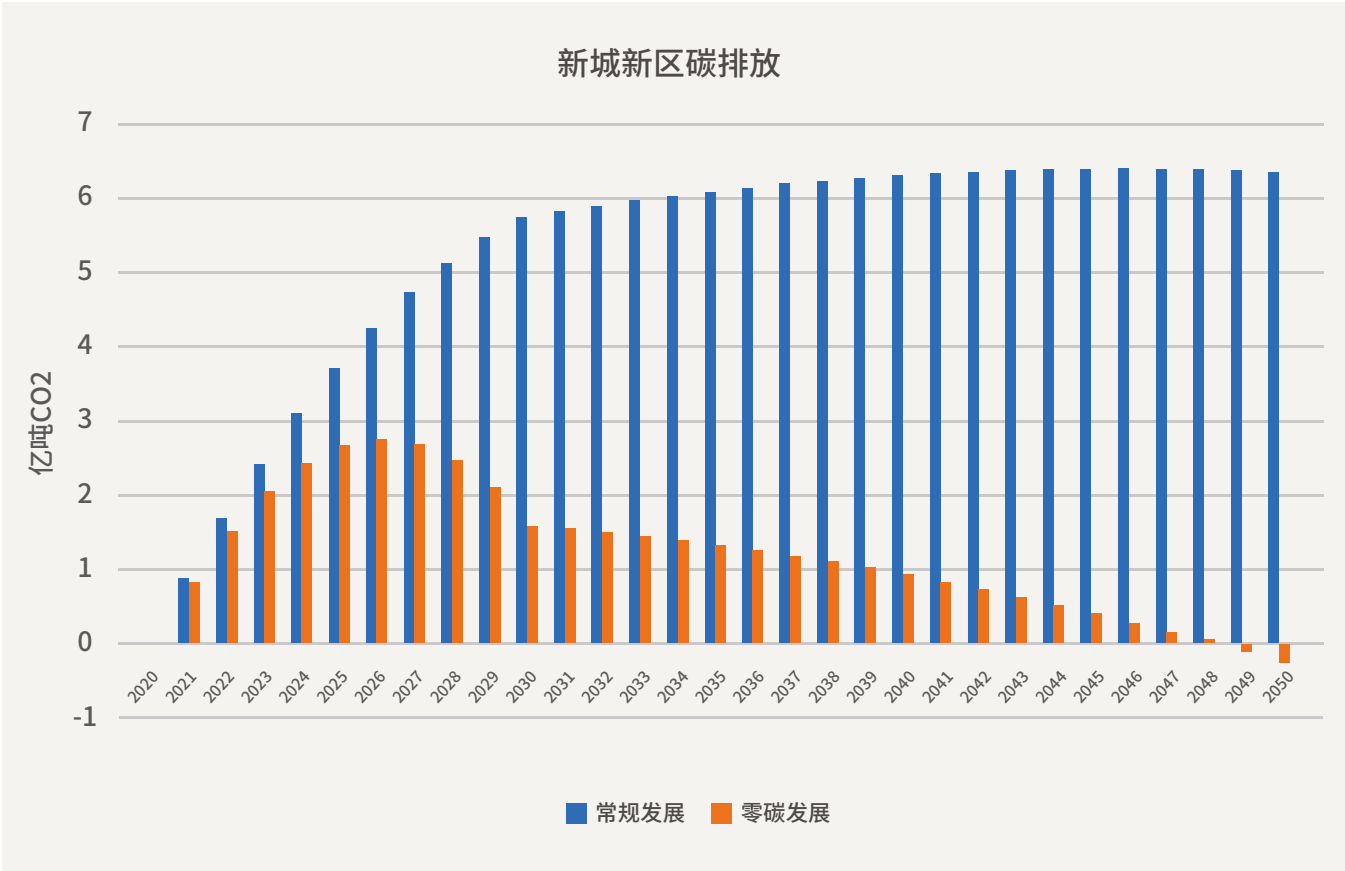
以零碳为目标的综合能源规划助力城市实现零碳发展,因此产生的减排潜力可以通过分析计算得到。据统计,中国县及县以上规划的新城新区数量达3500多个,到2050年将有2.55亿新增城镇人口居住在城市中。这些新城新区如果在规划初期采用以零碳为目标的综合能源规划,并通过有效的机制将规划落地实施,将从根本上改变城市的能源体系,实现可再生能源的规模化应用,能效的大幅度提升,到2050年左右能够实现“正零碳排放”,即城市不仅可以使自身的碳排放达到净零,还可以通过碳汇及可再生能源等平衡其他地区的碳排放。如图5所示,与常规发展情景相比,新城新区零碳发展情景到2050年累计减排190亿吨二氧化碳,减排比例为77%。

² 中国达峰先锋城市联盟秘书处: 最佳城市达峰减排实践比较和分享

³ 中国日报: 城市应制定气候行动计划: 更高、更细、更明确

<https://cn.chinadaily.com.cn/a/202006/05/WS5eda4fc1a31027ab2a8ceaec.html>

图 5
新城新区零碳发展的减排预测



2020年第七十五届联合国大会上，中国国家主席习近平指出“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。”落基山研究所《中国2050：一个全面实现现代化国家的零碳图景》分析指出，中国在本世纪中叶实现净零碳排放在技术和经济上都是可行的，中国经济脱碳的总成本不太可能超过2050年GDP的1%，累计碳减排量约为1267亿。根据计算，新城新区采用以零碳为目标的综合能源规划并落地实施能够对国家“碳中和”战略目标贡献至少15%的减排量。



4. 案例分析

以零碳为目标的综合能源规划在中国一些新城新区已经得到了实践应用，宁波梅山近零碳排放区和北京未来科学城是其中两个具体实践案例。落基山研究所直接参与到这两个项目的规划过程中，深度参与了零碳目标制定、综合能源规划等关键环节。宁波梅山近零碳排放区探索了目标与规划的相互融合，在近零碳排放区总体规划中明确了近期实现近零碳、远期实现零碳的发展目标，在综合能源规划的过程中落实了零碳目标。北京未来科学城项目探索了以零碳为目标的综合能源规划和其他专项规划的互相影响，通过把综合能源规划纳入规划统筹，与其他空间规划和创新规划沟通协调，为下一步进入法定控制性专项规划、使其具有法定约束力奠定了良好的基础。

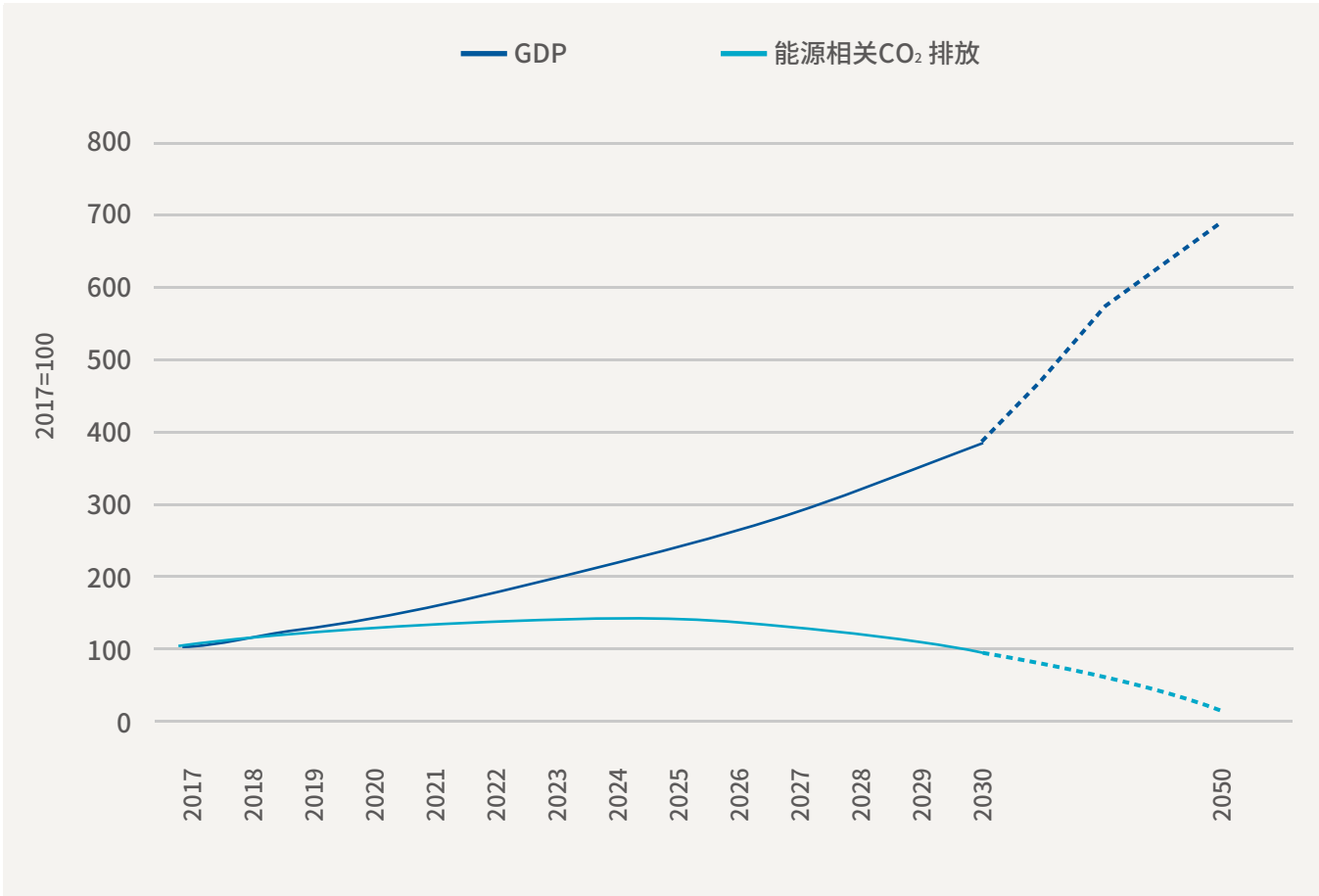
4.1 宁波梅山近零碳排放区

宁波梅山近零碳排放示范区位于宁波北仑区东南部，以梅山岛为核心，规划总面积333平方公里（其中陆地面积240平方公里），为宁波“一带一路”建设综合实验区的核心功能区和“港口-产业-城市”综合开发区，创新要素集中，生态环境优良，具备聚集中高端创新型绿色产业、高质高效推进近零碳发展的基础条件和发展潜力。

宁波梅山目标到2030年建成近零碳排放区示范工程。2018年到2030年，梅山将进入下一个高速发展期，基于“宁波梅山国际物流产业聚集区”进行更加综合的新城建设，区域面临着较高强度的“港-产-城”综合开发。通过打造近零碳排放区，实现经济的高速增长与碳排放脱钩。

梅山管委会通过规划流程和规划方法的创新，制定量化的梅山近零碳排放区战略规划。到2030年，梅山近零碳排放区相比2017年实现GDP增长4倍，人口增长3倍，CO₂排放总量维持2017年水平，人均碳排放低于1吨，达到国际领先水平。如图6所示，梅山在2050年实现碳排放趋近于零，远期实现零碳目标。

图 6
梅山经济发展及碳排放趋势



宁波梅山近零碳排放区示范项目的核心创新是打造清洁高效的综合能源体系。在梅山近零碳排放区的规划阶段（见表8），综合能源方案配合规划进程，在各个规划文件中逐步深化，最终形成一套完整的综合能源规划体系，将零碳排放的指标分解落地。

表 8
梅山近零碳排放区综合能源规划体系

规划文件	主要内容	能源相关量化目标
宁波国际海洋生态科技城控制性详细规划	属于法定文件，明确规划范围未来发展方向及策略、功能定位、发展思路、控制规模和规划结构。主要包括用地规划、公共服务设施规划、绿地及公共开放空间规划、道路交通规划、市政工程规划、防灾规划。	与能源相关的规划在市政工程规划部分，包含电力工程、燃气工程、热力工程、管线综合。
梅山分布式发电市场化交易试点方案	梅山分布式发电市场化交易试点方案包括分布式可再生电力交易模式、交易平台，用于申报分布式发电项目与电力用户进行电力直接交易的试点项目。	到2020年分布式风电100MW，分布式光伏30MW，参与分布式发电市场化交易项目的方案。
宁波梅山近零碳排放示范区总体规划	设定近零碳排放区总体目标，明确能源供给侧和需求侧减排实现路径，提供政策创新建议。近零碳排放示范区总体规划作为综合能源规划的参考文件。	到2030年，可再生能源占一次能源消费比重将有望超过71%，风能、太阳能、生物质能、海洋能等可再生能源在电力供应中的占比将达到90%，基本可实现电力的本地自给，不再依赖外调电力。终端部门电气化率接近80%，新能源汽车的占比将接近30%。到2050年可再生能源占一次能源消费超过90%，可再生电力占电力消费100%。

表 8
梅山近零碳排放区综合能源规划体系

规划文件	主要内容	能源相关量化目标
宁波梅山国际近零碳排放试验区综合能源概念性规划	综合能源规划优化从技术、制度、管理三方面着手，确保安全、提高能效、改善结构、引导消费、强化管理、创新制度，实现源侧提效增量，网侧互联互通，电热冷多位储能，荷侧响应提速。	至2030年可再生能源占一次能源比重接近70%，可再生电力占比超过90%。
梅山国际近零碳排放示范区综合能源规划	规划采用自下而上的需求侧能源规划方法，以近零碳为目标导向，基于开源、节流、互联互通等措施，通过资源评估、负荷预测、源-网-荷-储能源方案确定、综合评价、实施保障等关键环节，将近零碳目标落实到地块，细化到政策，分解到项目。	2030年光伏装机容量600MW，风电装机容量419MW，可再生能源占一次能源消费比重73%，可再生电力占电力消费比重98%。到2050年可再生能源占一次能源消费比重108%，可再生电力占电力消费比重111%。

由上述内容和指标的对比可见，梅山近零碳排放区综合能源规划并不是一蹴而就的，而是一个精细化研究规划的过程。随着对实际情况调研的逐步深入，各部门对技术路线的选择更加具有可实施性，呈现出迭代优化的效果。

在综合能源规划落地创新方面，梅山采用了综合能源服务商的模式。一方面搭建了PPP模式（政府-私营合作模式）的组织结构，保证了指标落地的同时提供更高效率的能源服务；另一方面建立能源生态平台，打造绿色智慧能源互联网，融合储能、LNG冷能利用、氢能汽车、港口无人驾驶等先进技术。

综上，宁波梅山近零碳排放区示范了如何从综合能源规划入手影响新区开发建设，落实近零碳、零碳目标。梅山在规划流程和落地实施方面实现创新突破，通过综合能源利用方案，解决了新城新区建设在能源结构、能源利用效率、能源消耗量、碳排放量、污染物排放等方面的问题，为其他新城新区开发项目提供借鉴。

4.2 北京未来科学城

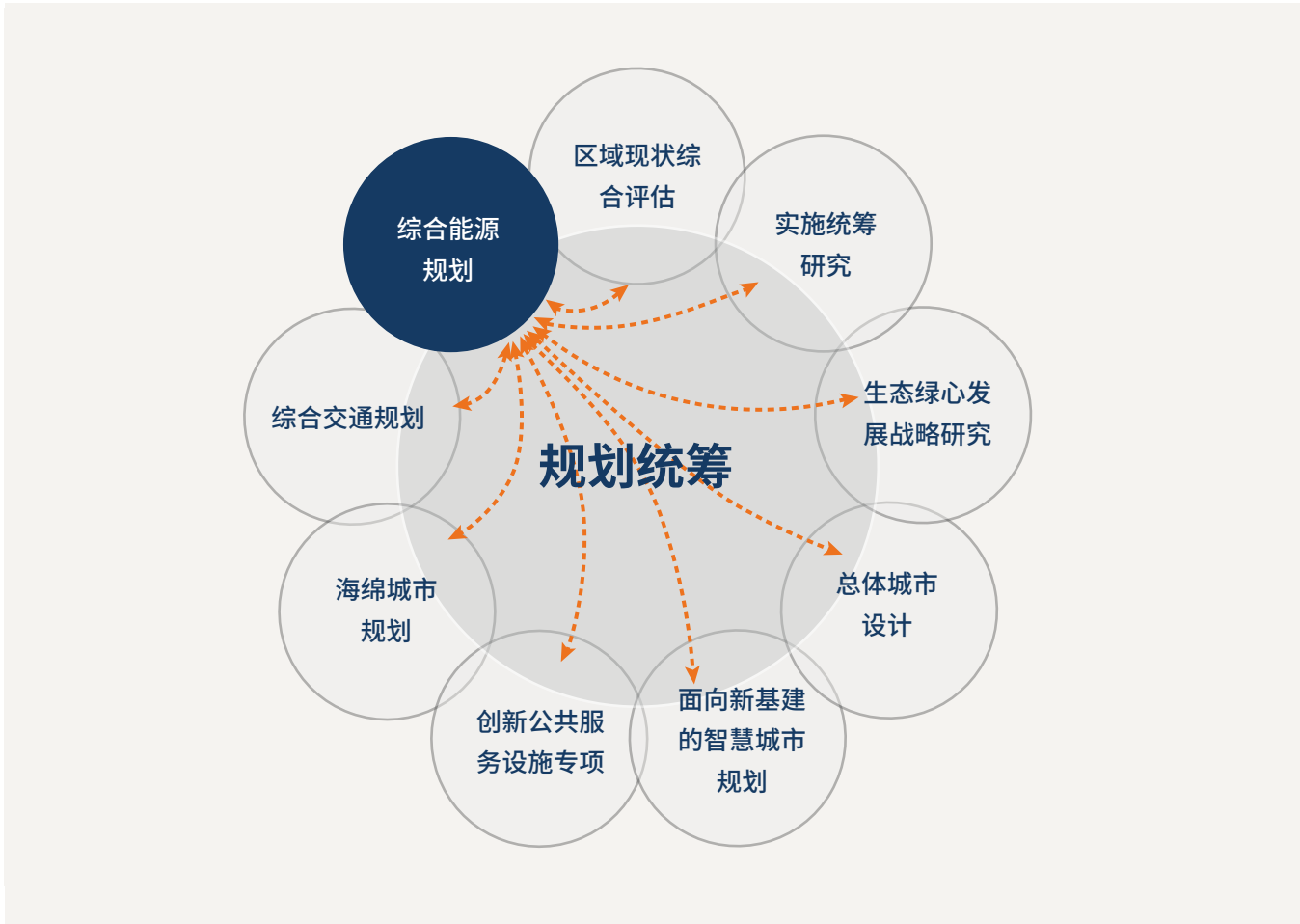
北京市未来科学城总面积170平方公里，属于北京市昌平区行政区划范围，待建面积约为48.5平方公里。未来科学城作为北京建设全国科技创新中心主平台之一，围绕国家重大战略需求，聚焦重点领域，深化央企、高校、院所汇聚优势，集聚一批高水平企业研发中心，建设重大共性技术研发创新平台，重点突破一批“卡脖子”的关键技术，打造全球领先的技术创新高地。

北京未来科学城以打造“绿色低碳、安全高效、智慧友好”的国际一流综合能源系统建设典范为愿景，发挥昌平区的产业优势，建成全球领先的“国际能源谷”，有效支撑国家创新驱动战略实施和北京建设具有全球影响力的全国科技创新中心。

预计到2035年，未来科学城相比2020年实现人口增长1.2倍，可再生能源占比提高20个百分点，CO₂排放总量维持2020年水平，人均能耗维持2020年水平，城市能源结构与关键技术达到国际领先水平。在远期目标上，未来科学城将努力争取实现零碳、零垃圾、零污染的绿色发展目标。

北京未来科学城综合能源规划的重大创新是将综合能源规划纳入规划统筹阶段。规划统筹是北京未来科学城控制性规划前的一个重要协调机制。如图7所示，综合能源规划作为创新型规划专项之一，在物理空间、站点落位、能源消费等方面与其他规划专项（区域现状评估、实施统筹研究、生态绿心发展战略、总体城市设计、智慧城市规划、创新公共服务设施、海绵城市规划、综合交通规划）进行协调。北京未来科学城综合能源规划专项的核心结论将被纳入未来科学城控制性规划文件，成为法定规划体系的一部分，具有法定的执行效力。

图 7
综合能源规划与其他专项互动关系示意图



昌平区政府、未来科学城管委会协同相关规划编制单位 and 研究部门从技术、政策、市场三个层面出发进行深入研究：技术层面，根据当地资源禀赋、产业发展条件、未来城市建设规模，采用情景分析法对城市用能进行详细预测，建构新能源与可再生能源技术创新应用场景，挖掘新能源与可再生能源技术的应用潜力，提出未来科学城建设发展的技术建议；政策层面，明确可再生能源总体指标，并分解到控规层面，明确政府在建设实施层面需要管控的重点内容；市场层面，提出新能源与可再生能源的市场引导策略，探讨综合能源服务模式。

北京未来科学城综合能源规划配合域内控规编制，采用多尺度、层级化的规划架构，需要根据规划条件，逐级细分方案实施范围，因地制宜的编制落地性较强的实施方案，保证指标逐级落实到位。如表9所示，北京未来科学城综合能源规划按照空间尺度，分为三个层级。

表 9
未来科学城综合能源规划内容

城区层级综合能源规划： 未来城全域170平方公里	未来科学城全域层级的综合能源规划以拆分未来科学城发展场景、测算新能源与可再生能源指标、建立与空间规划对应的实施方案架构、编制宏观控制层面的实施方案为核心内容，具体如下：以综合能源规划指标为导向，覆盖全域的创新应用；面向未来的综合能源示范应用指引与场景搭建；搭建面向未来的智慧能源建设架构。
控规编制层级综合能源规划：以控规编制范围为基本单元	未来科学城控规层级综合能源规划以控规为基本依据，对城区层面的综合能源指标进行分解，并写入规划条件，具体如下：分解测算各控规编制范围内的综合能源指标；进行能源站选址；相关指标与空间选址编入控规文件；智慧能源实施策略与平台建设架构。
街坊层级综合能源规划：以街坊为编制基本单元	街坊层级综合能源规划以“昌平区控规街区-单元指引”文件划分的未来科学城49个街区（含战略留白区）为基本单元，编制能源系统方案，核实综合能源指标，具体如下：以综合能源创新应用为目标的能源系统方案；差异化、多元化、因地制宜的技术应用；智慧能源关键技术研究。

未来科学城依托国际能源谷建设，以“能源”、“智慧”为主线，以未来城项目为载体，以城市运营为导向，通过产业互融、建管联动、创新协同等方式，打造“智慧能源示范区”，形成从顶层设计到“最后一公里”落地的“规划+技术+平台+场景+产业+金融”六位一体的发展模式，发挥昌平区的产业优势，建成全球领先的未来城市科技示范城。未来科学城综合能源规划具有以下特点。

（1）完善顶层设计，加强规划引导。

明确跨行业协同创新的原则，确定规划引领示范驱动的实施策略。以政府管理为导向，面向全域编制供给侧与需求侧相结合、物理空间建设与数字技术相结合的综合能源规划。统筹城市能源现状与长远发展需求；统筹建设空间与非建设空间的能源综合指标与管理措施；统筹新能源与传统能源体系的互补关系；统筹规划实施过程中政策、时序、主体、成本等问题。

（2）搭建智慧能源示范场景，驱动模式推广。

以项目为载体，进行能源技术与创新机制的集中应用与示范。通过智慧能源示范场景的搭建，带动城市能源系统配置的优化，激发各创新主体的积极性与能动性，为各项新技术新机制提供实施落地的空间载体，实现“最后一公里”的全面统筹与整合，进而为北京未来科学城高质量发展提供可期可视的示范样板，驱动模式化、规模化、系统化的创新生态建设。

（3）探索综合能源服务模式，带动产业发展。

以能源消费用户的业务需求为抓手，通过综合能源服务模式，帮助用户管理多种用能需求并提供市政接驳服务、分布式能源解决方案、节能方案、能源账单管理以及其他能源相关服务，为用户降低综合能源成本提供高质量的专业服务。综合能源服务为市政综合服务以及城市综合治理体系的升级提供了契机。通过更透彻的行业整合，进一步打造更加完备的市场多体系（冷热、电、气、水、电信、交通、园林、环卫、防灾、人防、地下公共设施等）统筹管理与城市综合治理系统，带动相关产业发展。



5. 下一步工作

本报告以落基山研究所在国内外城市零碳开发建设领域的长期实践为基础，开创性地提出了“以零碳为目标的综合能源规划”的理论框架、方法论、和应用场景，明确了这种新型规划方法的战略意义和减排贡献率，并通过先进案例解读实践过程中的创新点。目前，以零碳为目标的综合能源规划仍处于初步探索阶段，作为统筹协调各行业和相关专业合力实现零碳目标的重要抓手，其在城市落实“碳中和”战略中的作用有待于更多挖掘。我们期待和更多合作方一起推动标准规范、政策工具、机制创新等工作的全面开展，助力城市层面以创新路径落实国家“2030年碳达峰”和“2060年碳中和”战略。



北京市朝阳区景华南街5号远洋光华国际
C座16层06、07、08A
邮政编码：100020

© 2020年10月RMI版权所有。Rocky Mountain Institute® 和 RMI® 均为注册商标。