

碳达峰目标下我国节能潜力分析及对策

黄海霞¹, 程帆², 苏义脑³, 姚良忠⁴, 胡健祖⁵

(1. 中国石油天然气集团有限公司, 北京 100007; 2. 中国工程院战略咨询中心, 北京 100088; 3. 中国工程院, 北京 100088; 4. 武汉大学电气与自动化学院, 武汉 430072; 5. 中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192)

摘要: 当前, 我国是全球主要的能源消费和碳排放国家, 推行节能战略将是助力实现碳达峰、碳中和目标的重要手段。本文分析了国内外能源消费的现状和特点, 研判了我国能源消费的发展趋势, 阐述了节能措施对能源发展路径的关键作用, 以此厘清我国的节能潜力; 基于投入产出法, 建立了包括高耗能工业、交通业、建筑业在内的节能潜力评估模型, 估算了现有政策场景、强化节能措施场景下我国总体能源消费量和节能潜力情况。在节能场景下, 我国的能源消费总量将有效减少, 可助力碳排放提前达峰。推进产业结构调整和产能更新, 加快能源结构转型, 突破革命性绿色低碳能源技术, 推广普及节能技术及工艺, 降低高耗能产品需求, 倡导绿色低碳理念和节能生活方式, 是落实节能增效的关键措施。研究建议, 持续推动能源消费强度和总量双控; 促进高耗能、低附加值产业的转型升级; 加强低碳节能技术宣传, 加大技术创新支持力度; 健全节能法律法规和标准体系; 推动渐进式城市更新与无废化建设; 强化节能教育并提升节能意识, 充分发挥节能增效对碳减排的关键作用。

关键词: 节能增效; 能源强度; 节能潜力分析; 能源结构; 产业重构

中图分类号: F242 **文献标识码:** A

Energy-Saving Potential Analysis and Countermeasures for Carbon Peaking in China

Huang Haixia¹, Cheng Fan², Su Yinao³, Yao Liangzhong⁴, Hu Jianzu⁵

(1. China National Petroleum Corporation, Beijing 100007, China; 2. Center for Strategic Studies, Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China; 3. Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China; 4. School of Electrical Engineering and Automation, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 5. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: China is a major country in energy consumption and carbon emission; therefore, it is critical for China to promote an energy saving strategy for realizing carbon peak and neutrality goals. In this study, we summarize the current status and characteristics and analyze the future trend of energy consumption in China, illustrating the significant role of energy saving measures regarding energy development. Subsequently, we build an energy saving potential evaluation model using the input-output method and apply it to the energy intensive industries, transportation, and building industry. In this manner, we evaluate the total energy consumption values and energy saving potentials under the current policy scenario and a scenario that strengthens energy saving measures. The results show that strengthening energy saving is an effective way for reducing energy consumption and peaking carbon emissions in advance. Key

收稿日期: 2021-10-13; **修回日期:** 2021-11-08

通讯作者: 程帆, 中国工程院战略咨询中心博士后, 研究方向为低碳能源转型发展战略; E-mail: chengfan5566@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“我国碳达峰、碳中和战略及路径研究”(2021-HYZD-16)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

measures should include: promoting industrial structure adjustment, accelerating energy structure transformation, developing low-carbon energy technologies, popularizing energy-saving technologies, reducing the demand for high energy-consuming products, and advocating energy-saving lifestyles. Furthermore, we propose several suggestions, including (1) continuously controlling energy consumption intensity and amount, (2) promoting the low-carbon transformation of energy-intensive and low-value-added industries, (3) strengthening the publicity and innovation of low-carbon energy-saving technologies, (4) improving the energy-saving regulations and standards system, (5) gradually promoting urban renewal and zero-waste construction, and (6) encouraging education to promote energy-saving awareness.

Keywords: energy-saving and efficiency improvement; energy intensity; energy-saving potential analysis; energy resource structure; industry reconstructing

一、前言

能源作为现代人类社会发展的基石，其开发利用水平和规模自工业革命时代以来飞速进步，显著推动了社会生产力发展和人类文明进步。目前，人类的能源活动高度依赖化石能源，化石能源燃烧及利用过程中的碳排放问题是造成全球气候变暖的主要原因 [1]。因此，为了实现可持续发展，推动能源清洁转型、控制化石能源消费总量是实现碳达峰、碳中和目标的重要手段。

目前，我国的能源消费量和碳排放量位于全球前列，2020 年的能源消费总量约为 4.98×10^9 tce [2]，占全球总量的 27%；能源活动产生的 CO₂ 排放总量约为 1.03×10^{10} t，占全球总量的 32% [3]。然而，我国一次能源强度约为世界平均水平的 1.5 倍，是欧盟、美国、日本等发达国家或地区的 2~3 倍，较低的能源利用效率表明具有极大的能效提升潜力。我国石油、天然气的对外依存度较高 [4]、消费需求总量大且仍有较大增长空间 [5]。全面强化节能对提升能效水平、保证能源安全、提高经济发展质量都具有重要价值，也是达成碳达峰、碳中和目标，实现经济可持续发展的关键举措之一。

能源消费的预测方法主要有时间序列预测法和相关关系预测法两大类 [6]；前者基于历史数据对能源需求总量进行预测，但难以对各构成部分进行分析，典型代表是差分整合移动平均自回归模型 (ARIMA) [7]；后者中的投入产出法通过建立各部门的能源关系来实现对各部门节能潜力、部门间节能协同效应的分析 [8,9]，可为节能潜力评估提供重要依据。此外，也有研究基于能源转换和消费过程来建立能源模型 [10]，对未来场景的能源消费总量和碳达峰情况进行预测 [11,12]，但未对节能潜力

进行评估；还有研究立足国情和现状，从能源结构和产业结构调整的角度出发对我国节能潜力进行评估 [13,14]。我国经济发展模式、内外因素、要素调节、供需结构等因素已经或正在发生新的变化，需要结合新阶段特征开展节能潜力评估研究，进一步明晰节能增效对碳减排工作的推进作用。

本文采用投入产出法建立能源消费模型，对我国高耗能工业、建筑、交通领域的节能潜力进行评估。首先，通过分析能源消费水平和发展情况，阐述节能措施对我国减少化石能源消费和发展模式转型的意义；其次，基于我国能源桑基图，剖析我国能效提升方向和节能重点领域；第三，选取工业、交通和建筑等领域及细分行业门类，对我国未来场景下的节能潜力进行评估，探讨节能措施对推动碳排放顺利达峰的作用。最后，概扩未来全面实施节能战略的关键措施，针对性提出发展建议。

二、国内外能源消费现状及我国能源消费发展趋势

(一) 国际能源消费现状

根据 2020 年全球能源消费统计 [3]，我国人均能源消费总量和能源强度均高于全球平均水平；英国、法国、德国、日本等发达国家的人均能源消费量与我国接近，但能源强度仅为我国的 1/3 左右，体现了较高的能效水平；美国、澳大利亚等国家的能源强度虽为我国的 40%，但人均能源消费是我国的 2 倍以上，在发达经济体中能效水平较低；印度、越南等发展中国家的人均能耗和消费强度均低于全球平均水平。图 1 是 2020 年部分经济体的能源消费气泡图，圆圈面积表示对应国家的能源消费总量。

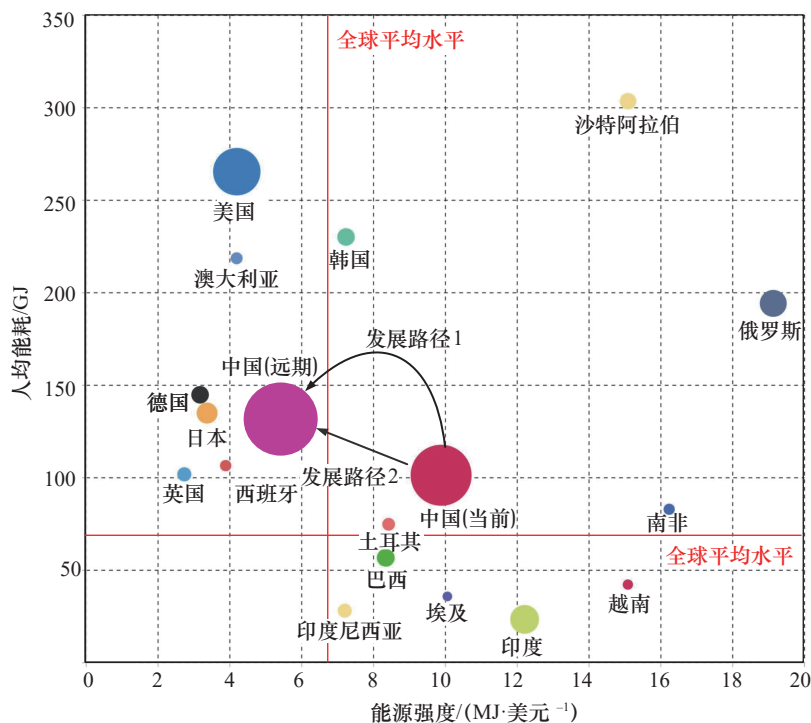


图 1 2020 年部分国家能源消费现状及我国节能措施下能源发展路径

发展中国家在逐步向发达国家过渡的过程中，一般会经历“人均能耗水平快速提升后缓慢下降，能源强度不断下降”的过程 [15]（如图 1 中的发展路径 1）；而节能措施可使发展路径上凸幅度显著减小，从而降低发展过程的能源消费需求（如图 1 中的发展路径 2）。国际发展经验表明，节能不仅可以促进产业向知识和技术密集型转变，也可以助推经济的稳定增长 [16]。我国当前正处于人均能耗增速和能源强度下降速度均放缓的转型关键时期，通过实行节能增效，不仅可以有效减少能源消费总量、降低对化石能源的依赖、助力碳达峰，还可以加快经济发展模式向高质量发展的转变。因此，实施节能战略事关我国经济发展模式转型，也将深度影响我国未来的能源生产和消费格局。

（二）我国能源消费现状与特点

评估节能潜力、实施节能举措，需要结合当前我国能源消费构成和特点来开展。根据 2019 年能源消费数据 [17]，采用电热当量法绘制了我国能源消费桑基图（见图 2），以直观清晰地描述各类能源转换和消费的路径及数量 [18]。

在我国的一次能源消费中，化石能源占比约

为 85%，其中煤炭消费量占一次能源消费总量的 60%；在终端能源消费中，工业领域占比超过 60%，整体呈现“能源偏煤、产业偏重”的特点。从能源流向来看，在化石能源消费中，煤炭主要用于发电和煤化工领域，石油的炼化产品主要流向化工和交通领域，天然气的工业燃料和城镇燃气 [19]。我国的电力终端能源消费占比约为 25%，而全球平均水平为 19%、经济合作与发展组织国家的平均水平为 22% [20]。综上，我国节能潜力的主要落脚点是能源侧的清洁转型、消费侧的产业调整，需要结合我国未来的经济发展目标和节能技术前景来研判能源消费发展趋势。

（三）我国能源消费发展趋势

我国能源消费总量在 2030 年前将呈现缓慢上升趋势 [21]，2030 年会达到 5.6×10^9 tce，2035—2040 年能源需求进入峰值平台期，对应峰值约为 5.8×10^9 tce。在能源消费方面，我国化石能源的消费占比将逐步下降，在 2030 年将由 2021 年的 85% 降低到 75%；电力在终端能源消费的占比将呈持续快速上升趋势，预计 2030 年的相应占比将达到 30%。

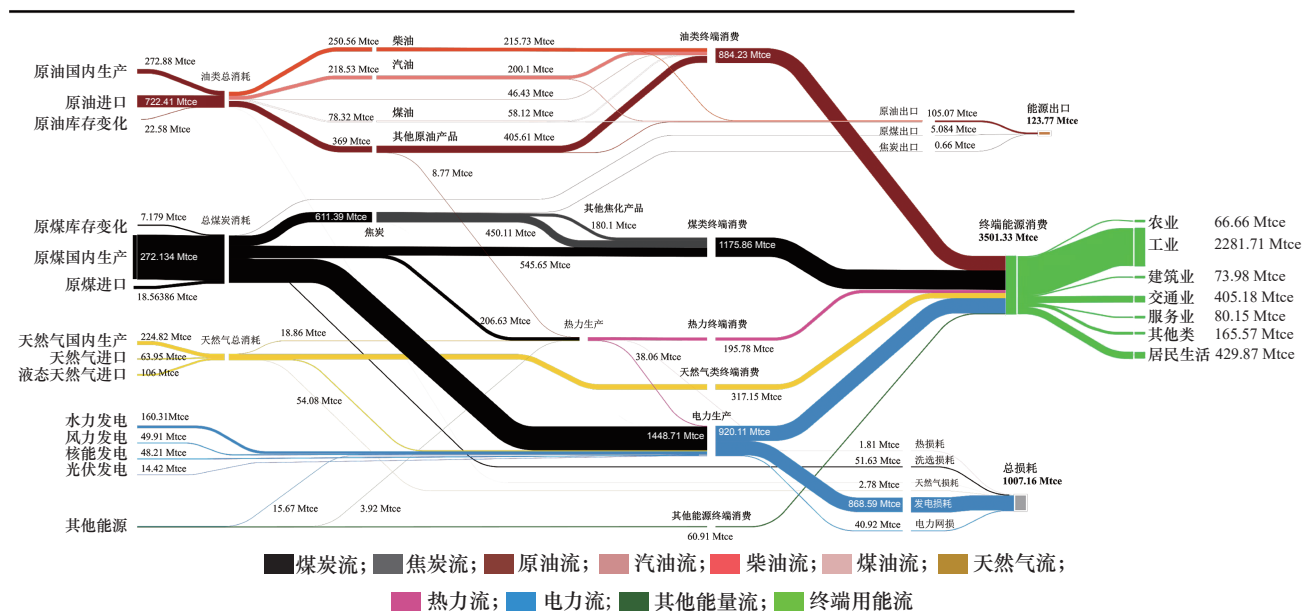


图2 2019年我国能源桑基图

在各领域的能源需求方面，到2030年，工业能源需求将实现达峰并开始逐步下降，建筑业能源需求将随着居民生活水平提升和第三产业占比增大而继续保持上升趋势，交通业能源需求将进入平台期并维持稳定。整体来看，面向中长期，我国能源需求将呈现工业能源消费逐步降低，交通业和建筑业占比逐渐增大的趋势，能源消费变化情况符合发展中国家步入发达国家的发展规律。

三、我国节能潜力分析

(一) 模型构建与研究方法

本文选取能源消费占比较大的工业、交通、建筑3个领域作为节能重点部门并对各领域下属门类进行划分，构建了我国节能潜力评估模型（见图3）。其中，工业领域按照产品和工艺划分，建筑领域按照建筑物类型和供能方式划分，交通领域按照交通运输方式划分。以工业领域为例，根据2019年统计数据[17]，钢铁、电力生产、有色金属、水泥、燃料加工、化工6个产业的能耗占工业总能耗的80%以上，可纳入工业节能重点部门进行考虑。在产品工艺方面，对于钢铁产业，因其能耗受流程影响较大而可划分为长流程、短流程两类；对于化工产业，主要统计炼焦、炼油、合成氨、电石、烧碱

等高耗能化工原材料产品类别。

在确定统计领域和门类后，运用投入产出法计算能源消费量。通过反映能源相关活动的预测结果和单位活动能耗，计算各领域下各部门的能源消费总量。对于能源相关活动的指标，工业领域采用产品产量描述，建筑业领域采用电/暖/燃气等终端用能方式的能源需求描述，交通领域则通过各类交通工具数量和年平均里程来描述。在得出各活动能源消费总量的基础上，结合流程、工艺变化、节能技术运用情况，对单位活动能耗进行修正，最终得到各领域的能源消费情况。

结合我国2020年能源消费情况和未来能源消费预估[21]，本文设计了强化节能措施的节能场景、现有实施政策的基础场景，对两种场景的能源消费进行预测，结合两者的差值来评估我国节能潜力（见图4）。在节能场景下，到2030年，按照电热当量法计算的能源消费总量相比基础场景可降低约 8×10^8 tce；按照等值煤耗法计算则可降低约 8.5×10^8 tce，相当于2019年能源消费总量的17.2%；2021—2030年的累计节能量为 4.626×10^9 tce，约为2017年的能源消费总量。在节能场景下，我国能源消费呈现缓慢上升趋势并在2030年左右进入平台期；而在基础场景下，预计2030年我国能源消费仍会保持较快上升速度，尚未进入平台期。

(二) 各领域节能潜力分析

1. 工业领域节能潜力分析

对于我国工业领域的节能潜力情况（见图 5），预计到 2030 年，在节能场景下，电力生产部门通过加大新能源装机容量、提高气电在火电中的占比可实现节能约 1.6×10^8 tce，钢铁产业通过降低产量、优化长短流程结构和提升工艺能效等手段可实现节能约 2.2×10^8 tce，水泥产业、有色金属冶炼产业、高耗能化工产业、燃料加工产业分别可实现节能约 1.0×10^8 tce、 3.6×10^7 tce、 3.25×10^7 tce、 5.6×10^7 tce。

综上，我国高耗能工业领域在 2030 年可实现节能约 6×10^8 tce，相当于 2019 年该领域能源消费总

量的 24.5%；2021—2030 年累计节能约 3.37×10^9 tce，节能潜力贡献主要来自于钢铁和电力部门。在基础场景下工业领域总能源消费呈持续上升趋势，而采取节能措施后可实现总体能源消费的逐步下降。

2. 交通领域节能潜力分析

交通领域节能潜力分析模型主要涉及客运和货运两大类，其中公路交通因能源消费占比较高是重点节能部门。预计到 2030 年，在节能场景下我国公路客运节能潜力约为 4.35×10^7 tce，主要来自于新能源汽车对燃油汽车的替代；通过综合运用“公转铁”“公转水”、多式联运、发动机能效水平提升等手段，公路货运的节能潜力约

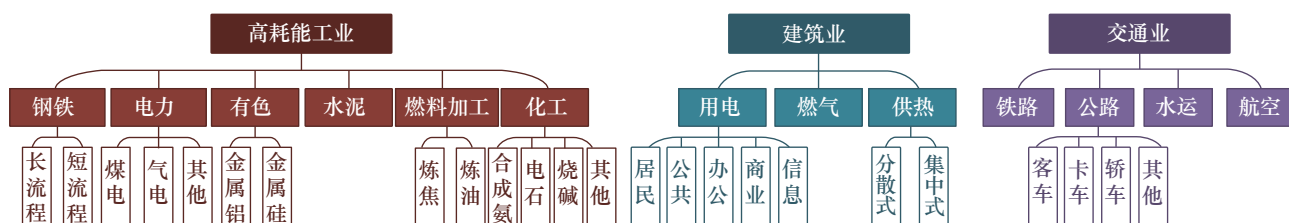


图 3 我国节能潜力评估模型的部门构成

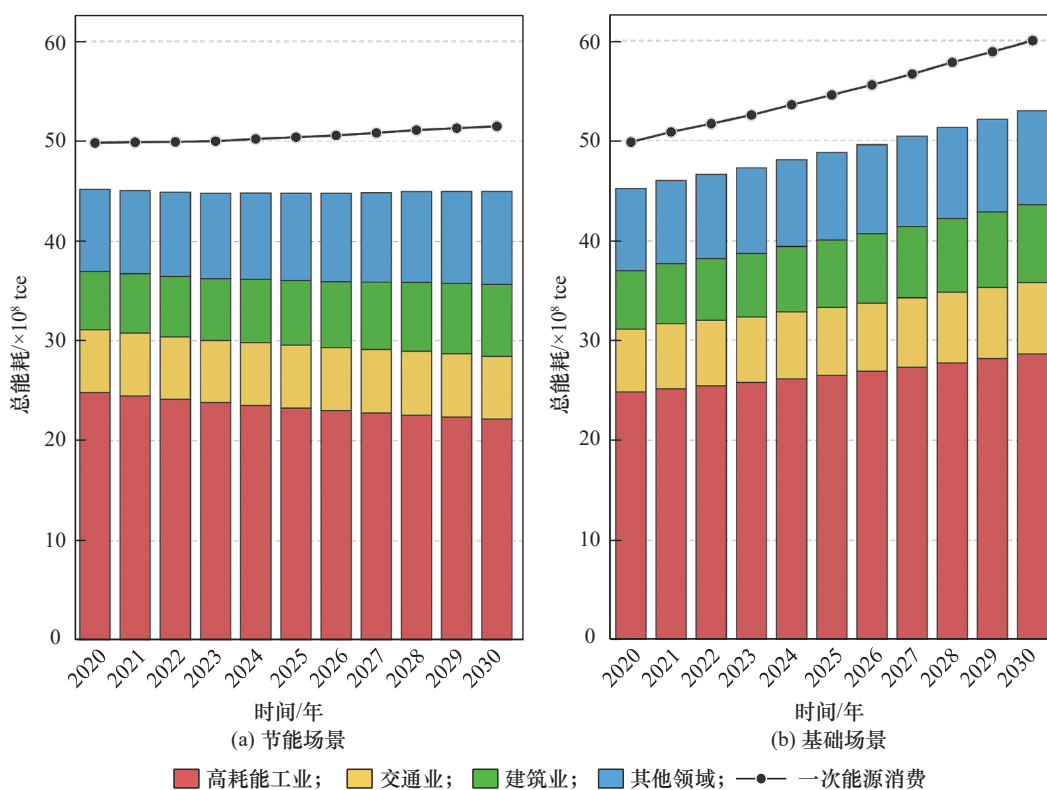


图 4 我国总体节能潜力评估

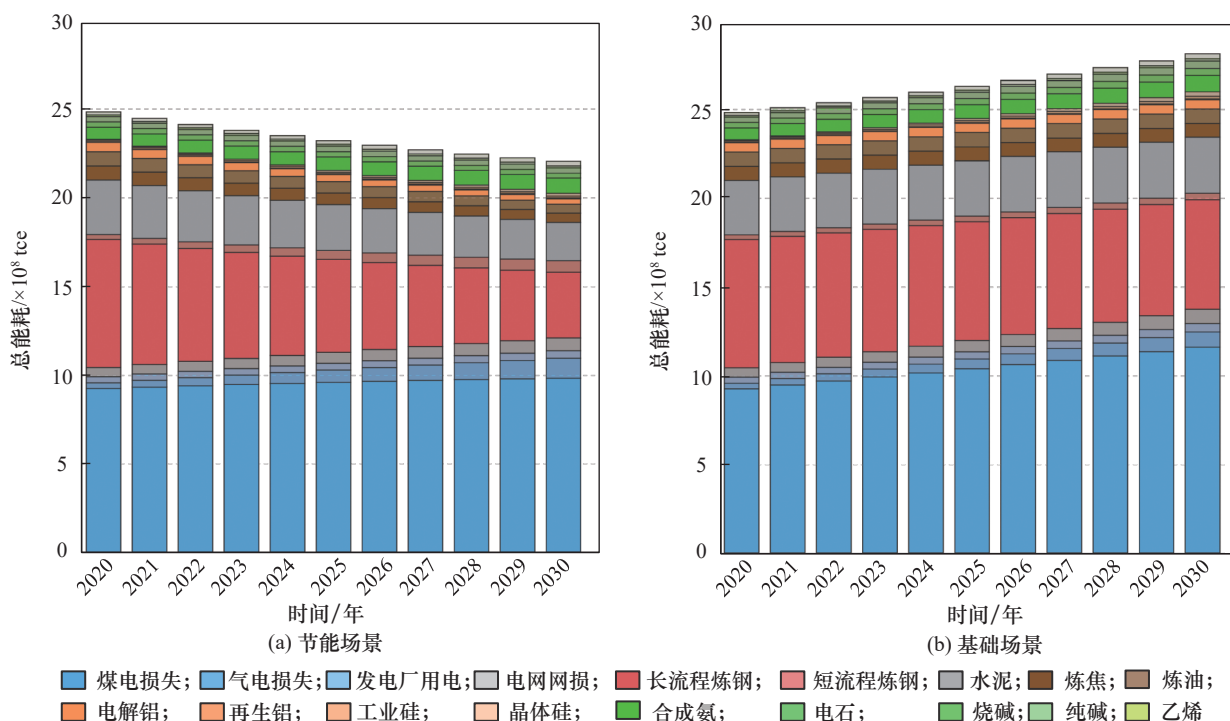


图5 我国工业领域节能潜力评估

为 3.7×10^7 tce，水路和铁路货运交通能耗则上升至 7.8×10^6 tce，航空运输通过提升发动机能效可实现节能约 1×10^7 tce。

综上，我国交通领域在 2030 年可实现节能约 8.6×10^7 tce，相当于 2019 年交通领域能源消费总量的 13.5%；2021—2030 年的累计节能约为 5.1×10^8 tce，主要贡献来自公路客运和货运的能效提升。在基础场景下交通领域总能源消费呈持续上升趋势，而采取节能措施后交通能源消费快速进入平台期（见图 6）。

3. 建筑领域节能潜力分析

建筑领域节能潜力分析模型主要涉及居民建筑和各类建筑的用电、采暖、燃气以及信息通信基础设施的用电。预计到 2030 年，在节能场景下，我国建筑用电的节能潜力约为 2.71×10^7 tce，其中居民用电的节能潜力为 8×10^6 tce，商业、办公、文化等公共建筑用电的节能潜力约为 1.8×10^7 tce；信息通信基础设施节能潜力约为 1×10^7 tce。另外，在节能场景下，用于集中供暖的化石能源占比为 30%，供暖节能潜力约为 3.1×10^7 tce；通过电能替代可减小居民厨房燃气需求的节能潜力为 2×10^7 tce。

综上，我国建筑领域在 2030 年可实现节能约

8.05×10^7 tce，相当于 2019 年建筑能源消费总量的 14.7%；2021—2030 年的累计节能约为 5.3×10^8 tce，将显著降低碳排放量的上升速度，主要贡献来自清洁供暖和节约用电。两种场景下的建筑领域的能源消费量均呈持续上升趋势，但节能场景下的能源消费量上升速度明显低于基础场景（见图 7）。

（三）实施节能举措的减碳效果分析

在建立节能分析模型的基础上，通过各种活动的碳排放因子估算两种场景下的碳排放情况，进而评估实施节能措施下的碳减排效果。本文仅计算能源和工业活动中产生的碳排放，不考虑碳汇和碳移除技术的作用。在基础场景下，碳排放总量虽呈现增长逐步放缓的趋势，但在 2030 年前仍不能顺利实现达峰；而在节能场景下，碳排放将很快进入平台期并在 2026 年前后开始稳步下降。预计到 2030 年，在实施节能措施后，可减少碳排放量约 1.95×10^9 t CO₂，2021—2030 年将累计减少碳排放量约为 1.05×10^{10} t CO₂，相当于 2020 年我国能源活动的碳排放总量（见图 8）。因此，强化节能措施可以有效降低未来能源消费需求并显著降低碳排放总量，从而成为推动我国碳达峰、碳中和目标实现的重要手段。

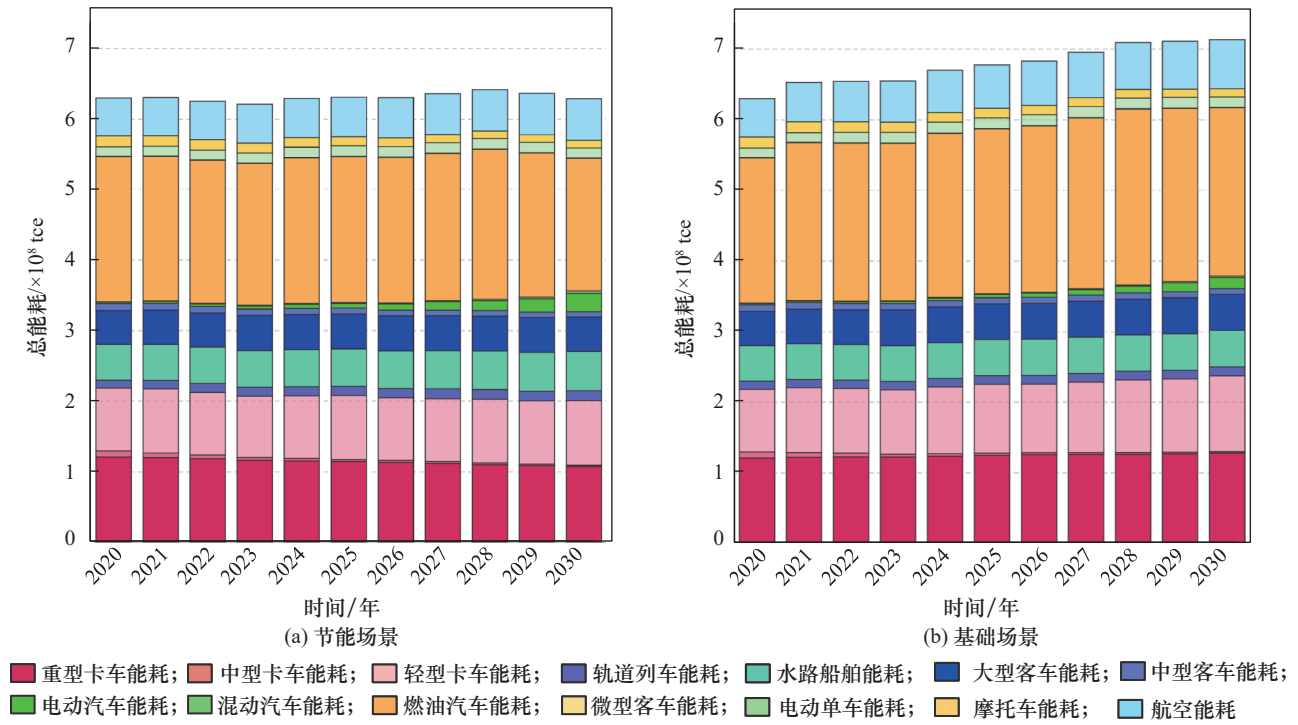


图6 我国交通领域节能潜力评估

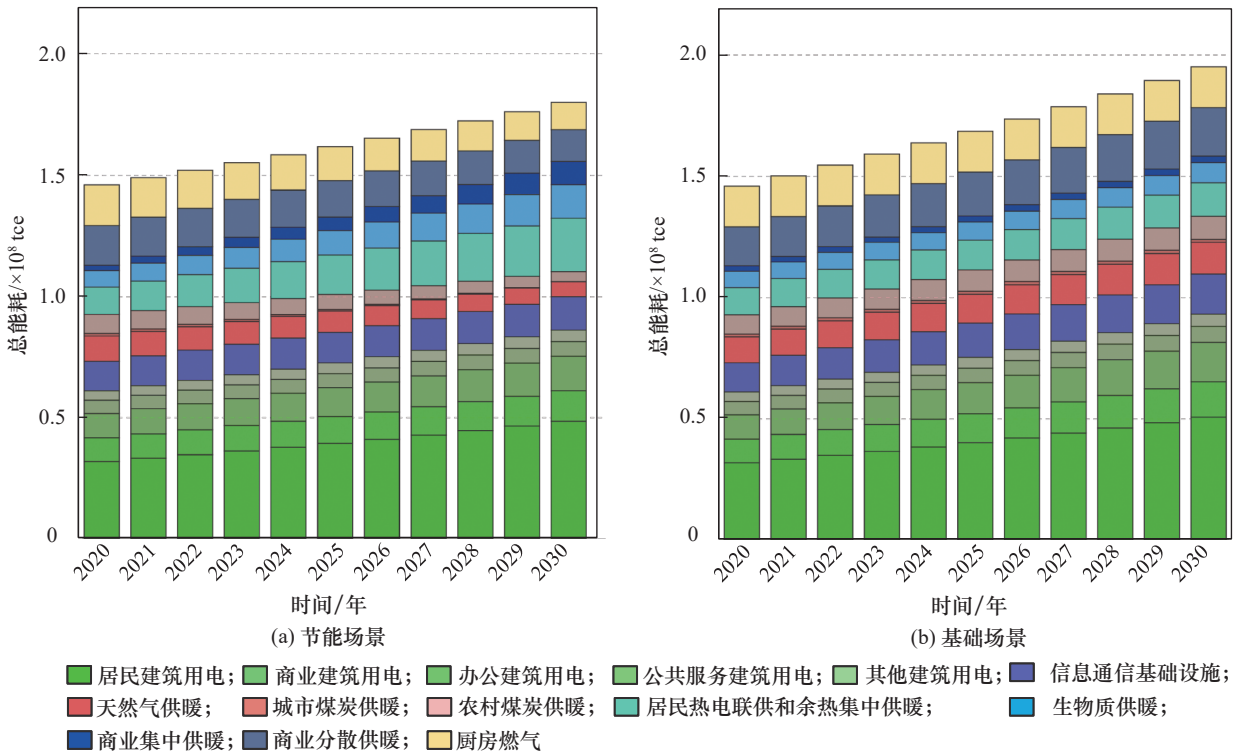


图7 我国建筑领域节能潜力评估

四、我国节能增效的关键措施

(一) 推动产业结构升级和产能更新

在高耗能工业领域，应逐步降低产业规模比重并提高企业的规模化水平，推动提高产业集中度和企业规模化水平来实现降低能效的目标。对于高度依赖高耗能产业的地区，应构建产业集群并与用能服务业相结合，逐步提高能效水平以摆脱发展路径依赖。在国家层面，推进区域经济协调发展，避免因高耗能项目重复建设带来的资源浪费和产能过剩；加快高耗能产业中的落后产能淘汰进度，合理加强对高耗能、低附加值产品出口规模的管控，逐步推动产业结构升级和产能更新。

(二) 加速能源结构的清洁低碳转型

在能源生产领域，加速能源生产结构转型。积极开发水、风、光等可再生能源以及核电等清洁能源，重点布局海上风电、内陆核电站、分布式能源建设。对于火电机组，有计划地逐步关停亚临界及以下的煤电机组，推动燃煤机组供热改造以取缔散烧煤供热，提高火电项目的能耗要求以及天然气发电在新增火电中的占比，提升化石

能源发电能效水平。

在能源消费领域，加快电能替代和清洁能源转型。通过交通领域的新能源汽车和氢燃料汽车推广，建筑领域的屋顶分布式光伏发电、终端用能再电气化、清洁供暖等技术应用，实现清洁能源高效利用。完善碳排放市场和电力市场机制，充分调动市场主体的节能积极性。通过电力需求侧管理，综合能源系统，电、热、氢、储能等技术应用，支撑更高比例新能源的接入。

(三) 突破革命性绿色低碳能源技术

在绿色低碳能源开发领域，重点突破以钙钛矿薄膜为代表的新一代光伏材料及光伏电池技术、漂浮式海上风电、第四代核反应堆等绿色低碳能源生产技术的商业化应用，布局人工光合作用燃料合成、行波反应堆、可控核聚变反应堆等颠覆性技术研究。

在绿色低碳能源利用领域，着力推进可再生能源制氢、规模化储能、柔性直流输电、综合智慧能源系统等技术的示范应用。加强全固态锂电池、钠离子电池、质子交换膜电解水制氢、宽禁带半导体功率芯片等关键技术的研发和产业转化。

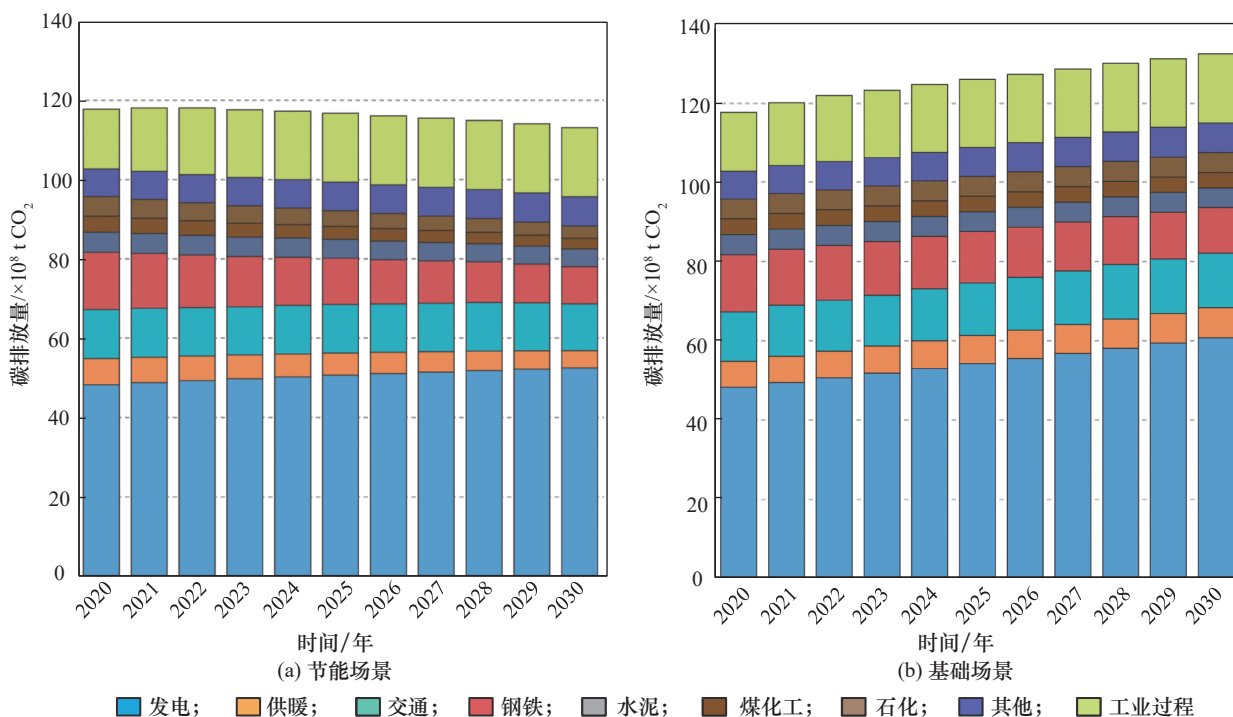


图8 我国碳排放总量分析

（四）推广普及节能技术及工艺

在工业领域特别是高耗能产业，大力推广节能技术和工艺。通过制备原料和流程替换，如天然气制合成氨、短流程炼钢、再生铝冶炼等技术，降低高耗能产品单位生产能耗；通过锅炉、电机、暖通系统节能，加强工业低品位余热的回收和再利用，提升生产企业的能效水平，持续推进绿色制造。

在建筑领域，应用被动式节能建筑、空气源热泵等节能设备、建筑能耗管理系统等，降低建筑运行能耗，推动低碳建筑的规模化发展。积极推进集中供冷和冷热联供，提升数据中心、通信基站等新型基础设施的能效水平，建设绿色数据中心。

在交通领域，通过共享出行、纯电动乘用车、公共交通系统的完善，采取“公转水”“公转铁”、多式联运等措施，提升交通系统的能效水平；鼓励重载卡车、船舶使用液化天然气等清洁能源。

（五）降低高耗能产品需求

科学规划城市乡村建设进程，合理约束城镇地产开发强度，采取老旧房屋节能改造、功能设施完善等手段，提高建筑在使用周期内的性能。通过政府规划引导，遏制农村宅基地过度建设引发的大规模闲置现象，有效降低房地产及相关高耗能产品的需求。

提升废物的资源化利用水平，发展循环经济，降低对高耗能产品的需求。提高废钢、再生铝的回收和循环利用水平，扩大废金属资源的进口规模；发展畜禽粪污肥料化利用等技术，降低化肥使用量；通过废纸造纸和再生塑料等技术减小原料制备的能源消耗，支持生态环境保护。

（六）倡导绿色低碳理念和节能生活方式

宣传倡导节能生活方式，通过网络平台、媒体等向全社会大力倡导节能意识。提倡多走楼梯少乘电梯、无纸办公及办公打印双面用纸、人走断电、夏季空调不低于 26℃、绿色低碳出行等节能生活方式，培养居民特别是年轻群体的节能意识。

应用数字化和信息技术，引入社会心理学，结合居民绿色消费统计、用能强度、个人碳足迹等指标，通过邻里间对比，激励和引导用户的自

发节能行为。运用互联网技术精准捕捉工业生产、居民生活的能源消费实时信息，通过大数据技术辨识潜在的节能环节，实现需求侧、供应链、生产过程、运营服务的精准化节能。结合用户的用能行为，设计相关激励机制，引导公众深度参与节能减排过程。

五、对策建议

（一）持续推动能源消费强度和总量双控

进一步健全和完善能耗双控制度。在国家层面统筹谋划的基础上，各地方按照自身经济发展水平、节能潜力等因素，设置本地区的能源消费总量目标，提出合理的时间表、线路图和施工图。建议将化石能源消费总量及强度纳入各地方政府工作的考核内容，落实用能预算管理制度，通过激励与问责机制相结合形成有效的约束机制。

推动各地方的节能工作重点落实到优化产业结构与能源结构、高耗能产业规模管控与企业能效考核上。适当扩充基层能源统计队伍规模，采用节能监察、能源计量与统计等手段，掌握能效情况，对超标单位进行严格管控。注重管控的及时性和精准性，避免“运动式”减碳、“突击式”减排现象。

建立用能权交易市场，充分发挥市场对能源要素的优化配置作用，逐步完善用能权的有偿使用和交易制度。

（二）促进高耗能、低附加值产业的转型升级

逐步降低高耗能、低附加值产业的规模。通过压减过剩产能，实行汰劣上优、化石能源能耗等量或减量替代方式，拓展用能空间。严控新上高耗能、高污染项目，要求新建项目能效水平达到国际或国内行业标杆水平，确保行业能效稳步提升。

开展中长期规划，逐步引导高耗能、低附加值产业的转型升级。将相关产业逐步融入轨道交通、船舶海洋、新能源汽车及装备等高端制造业的产业链，整合优势资源并合理提升产业集中度，发展一批具有重要影响力的产业集聚区和创新高地。

（三）加强低碳节能技术宣传，加大技术创新支持力度

大力宣传节能技术。通过定期更新国家重点节

能低碳技术推广目录，地区和城市推行能效指南，各行业、企业、协会组织节能技术推广与交流等方式，加强先进能效示范案例的普及宣传力度，实现经济、环境和社会效益的多赢。

提升节能技术的创新研发与应用支持力度。重点支持一批具有可复制性的节能示范项目建设，增加中小企业使用先进节能技术进行改造的融资支持力度；加大节能技术研发项目的资金支持，促进节能技术发展和落地应用。

（四）健全节能法律法规和标准体系

实施和修订《节约能源法》，结合地方根据自身发展水平和实际情况颁布的能源节约条例及管理办法，建立完善的节能法律法规体系。加强执法监督，强化事中事后监管，严格执法问责，切实确保相关法律法规的有效落实。

完善节能标准体系，突出标准的引领和约束作用。持续发布和实施相关的能效标准，实现各行业和各用能产品的全覆盖。将能效“领跑者”指标纳入标准指标体系，及时做好标准制定/修订，逐步扩展能效标识的产品覆盖范围。协调国际和区域相关标准互认，服务国产高效优质产品融入全球市场并扩大中国能效的影响力。

（五）推动渐进式城市更新与无废化建设

防止大拆大建行为带来的能源资源浪费，有序推进城市和乡村建设的更新进程。坚持“留改拆”并举，合理限定城市更新单元拆除面积规模，推行小规模、渐进式的有机更新和微改造，提升建筑节能水平。逐步提高新建建筑的节能标准并加强执行力度。

统筹推进废旧物资回收网点与生活垃圾分类网点“两网融合”，着重推动高耗能产品再生利用的规模化、规范化、清洁化。结合各地区的能源消费、产业结构、居民生活特点，通过国家顶层设计和区域间协调，加快城市—园区的无废化进程。

（六）强化节能教育，全面提升节能意识

在社会层面，树立“发展必须节约，节约才能发展”的发展观，将节约、节能作为经济发展内驱力、经济增长新方式、社会文明新导向。弘扬崇尚节俭、反对浪费的优良文化传统，推动全社会践行

勤俭节约之风。

在个人层面，树立“节能光荣，浪费可耻”的价值观，宣扬个人节能行为对促进经济社会可持续发展模式的重要作用。通过节能宣传周、倡议书等方式，提升个人的节能意识和践行责任感。

参考文献

- [1] United Nations Environment Programme. Emissions gap report 2020 [R]. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2020.
- [2] 国家统计局. 中华人民共和国2020年国民经济和社会发展统计公报 [EB/OL]. (2021-02-28)[2021-10-13]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202102/t20210227_1814154.html. National Bureau of Statistics. Statistical bulletin of the People's Republic of China on the 2020 national economic and social development [EB/OL]. (2021-02-28) [2021-10-13]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/202102/t20210227_1814154.html.
- [3] BP p.l.c. BP statistical review of world energy 2020 [R]. London: BP p.l.c., 2021.
- [4] 黄维和, 韩景宽, 王玉生, 等. 我国能源安全战略与对策探讨 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(1): 112-117. Huang W H, Han J K, Wang Y S, et al. Strategies and countermeasures for ensuring energy security in China [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(1): 112-117.
- [5] 赵云龙, 孔庚, 李卓然, 等. 全球能源转型及我国能源革命战略系统分析 [J]. 中国工程科学, 2021, 23(1): 15-23. Zhao Y L, Kong G, Li Z R, et al. Strategic analysis of global energy transition and China's energy revolution [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(1): 15-23.
- [6] 刘爱芹. 基于组合模型的能源消费预测研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(11): 25-29. Liu A Q. Forecasting research of energy consumption based on combination model [J]. China Population, Resource and Environment, 2010, 20(11): 25-29.
- [7] 刘勇, 汪旭晖. ARIMA模型在我国能源消费预测中的应用 [J]. 经济经纬, 2007 (5): 11-13, 32. Liu Y, Wang X H. The application of ARIMA model in the prediction of the energy consumption of our country [J]. Economic Survey, 2007 (5): 11-13, 32.
- [8] 梁巧梅, 魏一鸣, 范英, 等. 中国能源需求和能源强度预测的情景分析模型及其应用 [J]. 管理学报, 2004, 1(1): 62-66. Liang Q M, Wei Y M, Fan Y, et al. A model for scenario analysis of China's energy requirement and energy intensity and its applications [J]. Chinese Journal of Management, 2004, 1(1): 62-66.
- [9] 杨明, 杜萍静, 刘凤全, 等. 能源消费发展及预测方法综述 [J]. 山东大学学报(工学版), 2020, 50(1): 56-71. Yang M, Du P J, Liu F Q, et al. Review of energy consumption and demand forecasting methods [J]. Journal of Shandong University(Engineering Science), 2020, 50(1): 56-71.
- [10] Nalley S, LaRose A, Diefenderfer J, et al. The national energy modeling system: An overview 2018 [R]. Washington DC: U.S. Department of Energy, 2019.

- [11] Feng F U, Zheng L I, Ma L W. Modeling China's energy dilemma: Conflicts among energy saving, energy security, and CO₂ mitigation [J]. *Frontiers of Energy & Power Engineering in China*, 2010, 4(3): 295–300.
- [12] Chen J H. An empirical study on China's energy supply-and-demand model considering carbon emission peak constraints in 2030 [J]. *Engineering*, 2017, 3(4): 512–517.
- [13] 向其凤, 王文举. 中国能源结构调整及其节能减排潜力评估 [J]. *经济与管理研究*, 2014 (7): 13–22.
Xiang Q F, Wang W J. Energy saving and emission reduction potential assessment of China energy structure optimization [J]. *Research on Economics and Management*, 2014 (7): 13–22.
- [14] 王文举, 向其凤. 中国产业结构调整及其节能减排潜力评估 [J]. *中国工业经济*, 2014 (1): 44–56.
Wang W J, Xiang Q F. Adjustment of industrial structure and the potential assessment of energy saving and carbon reduction [J]. *China Industrial Economics*, 2014 (1): 44–56.
- [15] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析 [J]. *管理世界*, 2009 (4): 27–36.
Lin B Q, Jiang Z J. Prediction of environmental kuznets curve of carbon dioxide in China and analysis of influencing factors [J]. *Journal of Management World*, 2009 (4): 27–36.
- [16] 陈叙光. 20世纪70年代日本重化型产业结构调整研究 [D]. 长春: 吉林大学(硕士学位论文), 2017.
Chen X G. The research on Japan's adjustment to the heavy chemical industrial structure in 1970s [D]. Changchun: Jilin University(Master's thesis), 2017.
- [17] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴2020 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
Department of Energy Statistics of National Bureau of Statistics of China. *China energy statistical yearbook 2020* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2020.
- [18] 章景皓. 基于能流图和LMDI的区域能源消费分解方法及案例研究 [D]. 清华大学(硕士学位论文), 2015.
Chong C H. Research on decomposition method and case studies of regional energy consumption growth based on energy flow diagram and LDMI [D]. Tsinghua University(Master's thesis), 2015.
- [19] 国家能源局石油天然气司, 国务院发展研究中心资源与环境政策研究所, 自然资源部油气资源战略研究中心. 中国天然气发展报告2021 [R]. 北京: 石油工业出版社, 2021.
Oil and Gas Department of National Energy Administration, Institute of Resources and Environmental Policy of Development Research Center of the State Council, Strategic Research Center of Oil and Gas Resources of Ministry of Natural Resources. *China natural gas development report 2021* [R]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2021.
- [20] International Energy Agency. World balance [EB/OL]. (2017-08-09) [2021-08-26]. <https://www.iea.org/sankey/>.
- [21] 中国石油经济技术研究院. 2050世界与中国能源展望(2020年版) [R]. 北京: 中国石油与天然气集团, 2020.
CNPC Economic & Technology Research Institute. *World and China energy outlook 2050 (2020 version)* [R]. Beijing: China National Petroleum Corporation, 2020.