

重塑能源： 中国

面向 2050 年能源消费
和生产革命路线图研究

REINVENTING FIRE: CHINA

A ROADMAP FOR CHINA'S REVOLUTION IN ENERGY
CONSUMPTION AND PRODUCTION TO 2050

摘要报告

2016年9月

中国国家发展和改革委员会能源研究所
美国劳伦斯伯克利国家实验室
落基山研究所
能源基金会



本报告内容仅代表作者个人观点,并不代表任何组织、机构、政府观点。本报告力求数据和内容的准确完整,作者所属机构并不对使用本报告而产生的任何后果承担责任。

版权2016©中国国家发展和改革委员会能源研究所(ERI),美国劳伦斯伯克利国家实验室(LBNL),和落基山研究所(RMI)。

重塑能源：中国

面向2050年能源消费和生产革命路线图研究

摘要报告

2016年9月

REINVENTING FIRE: CHINA

A ROADMAP FOR CHINA'S REVOLUTION IN ENERGY
CONSUMPTION AND PRODUCTION TO 2050

合作机构



支持机构



作者

中国国家发展和改革委员会能源研究所



国家发展和改革委员会能源研究所（以下简称能源研究所）成立于1980年，为国家发展和改革委员会直属事业单位，是综合研究中国能源问题的国家级研究机构。能源研究所主要研究宗旨是，为国家制定能源发展战略、规划和政策以及相应的能源法规、能源标准等提供理论科学依据和咨询建议。研究范围涵盖了能源生产、流通、消费各个领域。重点是围绕我国的能源经济、能源效率、能源与环境以及可再生能源发展等方面开展软科学研究。

美国劳伦斯伯克利国家实验室



劳伦斯伯克利国家实验室由1939年诺贝尔物理学奖得主、加州大学伯克利分校物理学家欧内斯特·劳伦斯于1931年建立。劳伦斯发明的粒子回旋加速器打开了高能物理的大门。劳伦斯教授坚信科学研究最好通过不同领域的科学家共同合作完成。劳伦斯伯克利国家实验室通过多学科团队合作、创造先进的科学探索工具实现基础科学的突破、提供应对能源和环境挑战的变革型方案。

落基山研究所



落基山研究所（Rocky Mountain Institute, RMI）是一家于1982年创立的专业、独立、以市场为导向的智库，现任首席科学家卢安武是联合创始人。我们与政府、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。落基山研究所致力于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。

支持机构

能源基金会（中国）



能源基金会（中国）于1999年在北京成立，是致力于中国可持续能源发展的非营利公益组织，其总部位于美国旧金山。机构在中国民政部正式注册的官方名称为能源基金会（美国）北京办事处，业务主管部门为国家发展和改革委员会。

专家指导委员会及课题组成员

专家指导委员会:

刘燕华 赵家荣 吴吟 李海岩 白荣春 何建坤
周大地 魏一鸣 张欣欣 赵忠秀 武涌 Amory
Lovins Mark Levine Jack Wadsworth and
Gary Rieschel

重塑能源课题组组长:

戴彦德 Lynn Price Jon Creyts

重塑能源课题组成员:

能源研究所: 杨宏伟 白泉 朱跃中 田智宇 熊华
文 张建国 陶冶 谷立静 康晓文 符冠云 伊
文婧 裴庆冰

美国劳伦斯伯克利国家实验室: David Fridley, Ali
Hasanbeigi, Nina Khanna, Hongyou Lu, Feng Wei,
Nan Zhou with additional support from Gang He,
Lixuan Hong, Jing Ke, Xu (Angela) Liu, and
Bo Shen.

美国落基山研究所: Josh Agenbroad, Michael
Bendewald, Brett Bridgeland, Kate Chrisman,
Kendall Emst, Ellen Franconi, Claire Henly,
Yi Ke, Ruosida Lin, Robert McIntosh, David
Mullaney, Clay Stranger, Eric Wanless, Daniel
Wetzel, Cyril Yee with additional support from
Evan Bouchier, Kitty Bu, Maiyue Cheng, Yifan
Jia, Becky Li, Ting Li, Sha Liu, Amory Lovins,
Darrin Magee, Zihe Meng, Meiling Shi, Jiayin
Song, Kerui Zhou, and Zeqi(Zach) Zhu.

序 言

过去三十多年,化石能源发展助力中国经济增长,推动成为全球第二大经济体,但也带来巨大资源环境代价,造成发展方式不可持续后果。面临全面实现小康和现代化艰巨任务,推动能源发展加快转型,是破解资源环境矛盾、促进发展方式转变、创新可持续发展道路的关键。2012年中国提出推动能源消费和生产革命,上升为国家长期战略;2014年确定2030年左右二氧化碳排放要达到峰值并争取尽早达峰的目标;2015年明确2030年单位GDP二氧化碳排放比2005年下降60-65%。在绿色低碳国际发展潮流背景下,中国主动加快能源变革转型,对全球可持续进程具有重要意义。

中国国家发展和改革委员会能源研究所(ERI)联合美国劳伦斯伯克利国家实验室(LBNL)、落基山研究所(RMI)于2013年7月至2016年7月完成《重塑能源:中国》研究项目,广泛借鉴国内外前沿研究、先进理念、成熟技术、政策经验、最佳实践案例,采取情景分析和模型定量测算等方法,对重塑中国能源生产和消费体系,实现2050年全面现代化和“美丽中国”愿景目标的可行路径、实施效果和路线图进行了全面研究,提出了一系列研究发现和政策建议。

《重塑能源:中国》研究描绘了一条依靠政策努力、依托现有成熟技术的可能和可行路径,但能源问题涉及方方面面,未来国内外经济、社会、技术发展和能源景象存在很大不确定性。本研究报告内容仅代表联合课题组的观点,不反映所属机构和单位的立场。疏漏和不当之处,敬请批评指正。

能源基金会(EF)为本项目的实施提供了资助。

01 概览	09
02 重塑能源为实现“两个一百年”、“美丽中国”目标提供 坚实保障	13
重塑能源推动中国加快发展转型	14
重塑情景2050年节能潜力及结构	15
重塑与参考情景主要部门一次能源需求展望	16
2050年重塑情景的部门节能潜力	17
重塑与参考情景一次能源需求及结构	18
重塑与参考情景电力需求及发电结构	19
重塑与参考情景煤炭需求、二氧化碳排放、一次能源需求展望	20
中国能源强度和碳排放下降（与2005年相比）	21
重塑情景中国二氧化硫和氮氧化物排放	22
重塑与参考情景相比经济性分析	23
03 重塑能源主要路径	25
工业	26
建筑	27
交通运输	29
能源转换(电力为主)	30
04 重塑能源实施路线图	33
05 主要政策建议	37
尾注	40
免责声明	41



中国重塑能源生产和消费
体系势在必行

01

中国重塑能源生产和消费体系势在必行

传统能源发展方式难以支撑“两个一百年”目标实现。中国能源消费总量大、增长快，但整体能源利用效率水平不高。1978—2015年，中国一次能源消费年均增长5.6%，是同期全球能源消费增速的2.9倍。2015年，我国一次能源消费占全球的22.4%，但创造的GDP仅占全球的12.2%，单位GDP能耗与发达国家相差4—6倍。与发达国家普遍进入油气时代、部分发达国家开始步入可再生能源时代相比，煤炭长期在中国能源消费总量和增量中占主导地位。如果延续传统能源发展道路，即使考虑未来技术进步，到2050年中国一次能源总需求将达70亿吨标准煤以上，无论资源保障、生态环境，还是能源安全、经济代价等都将难以承受。

破解生态环境压力和应对气候变化要求推动能源转型。中国各种主要污染物排放总量过高，二氧化硫、氮氧化物、烟（粉）尘以及可吸入颗粒物长期高居世界第一位，已经远远超过环境容量。传统以煤为主的能源发展方式不仅对生态环境造成不可逆的破坏，也给经济社会和人民生命健康发展造成严重的损害。在全球积极应对气候变化背景下，中国作为世界第一温室气体排放大国，排放总量很快接近美国及欧盟排放总和，人均排放量将明显超过部分欧盟国家人均排放水平，面临尽早实现温室气体排放峰值和持续大幅减排的压力不断加大。

打造中国经济“现代版”要求加快能源生产消费革命。在新的国内外形势下，传统“高投入、高消耗、高污染、高速度”与“

低产出、低效率、低效益、低科技含量”的经济增长方式难以继，面临市场需求不足、资源环境约束、缺乏核心竞争力等诸多制约。在全面实现现代化进程中，中国已经不具备先行发达国家崛起过程中有利的国内外环境，面临的经济社会发展内外部条件、发展速度与内容将发生深刻变化，必须探索新的能源生产方式、利用模式，培育新的现代化发展动力。加快重塑能源生产消费体系，实现有中国特色、更高标准要求的现代化，对人类社会发展和文明进步具有重要借鉴意义。

重塑能源是重构未来中国全球竞争力的重要途径和标志。全球能源技术酝酿重大突破，市场变革和科技创新不断加快，许多发达国家提出了宏伟的能源重塑目标。欧盟在“3个20%”目标基础上，进一步提出到2050年，温室气体排放相比1990年水平减少80—95%，可再生能源占终端能源消费比重达75%。美国在《中美气候变化声明》中提出到2025年实现在2005年基础上减排26%—28%；美国落基山研究所进一步提出重塑美国能源体系，到2050年，在美国GDP增长1.58倍前提下，不再使用石油、煤炭、核能、并大大减少天然气用量。作为全球最大的能源生产消费国，中国面临发挥后发优势、重塑能源体系的巨大战略机遇。







重塑能源为实现“两个一百年”、“美丽中国”目标提供坚实保障

02

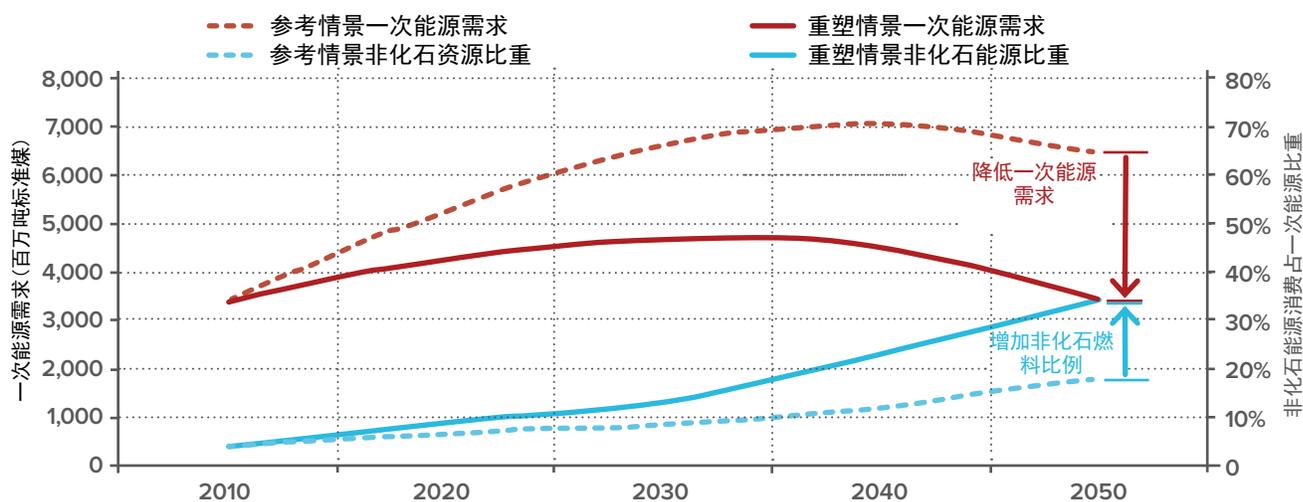
重塑能源为实现“两个一百年”、“美丽中国”目标提供坚实保障

1

重塑能源生产消费方式，实现“两个三十五年”发展转变

重塑情景下，中国完全有条件、有可能，以技术可行、经济合理、社会可接受的方式，到2050年，在满足届时中等发达国家现代化能源服务水平前提下，支撑经济增长6倍，一次能源需求仅比2010年增长1%，能源供应34%来自非化石能源，提前达到二氧化碳排放峰值，彻底突破资源环境约束瓶颈，在“前三十五年”改革开放发展成就基础上，实现“后三十五年”更高层次的升级版、现代版发展（见图1）。

图1 重塑能源推动中国加快发展转型



重塑能源主要宏观假设

GDP(万亿美元, 2010年价)	6.0	12.0	20.7	31.0	41.4
人口(十亿)	1.34	1.42	1.44	1.42	1.37
城市化率(%)	50	60	68	74	78

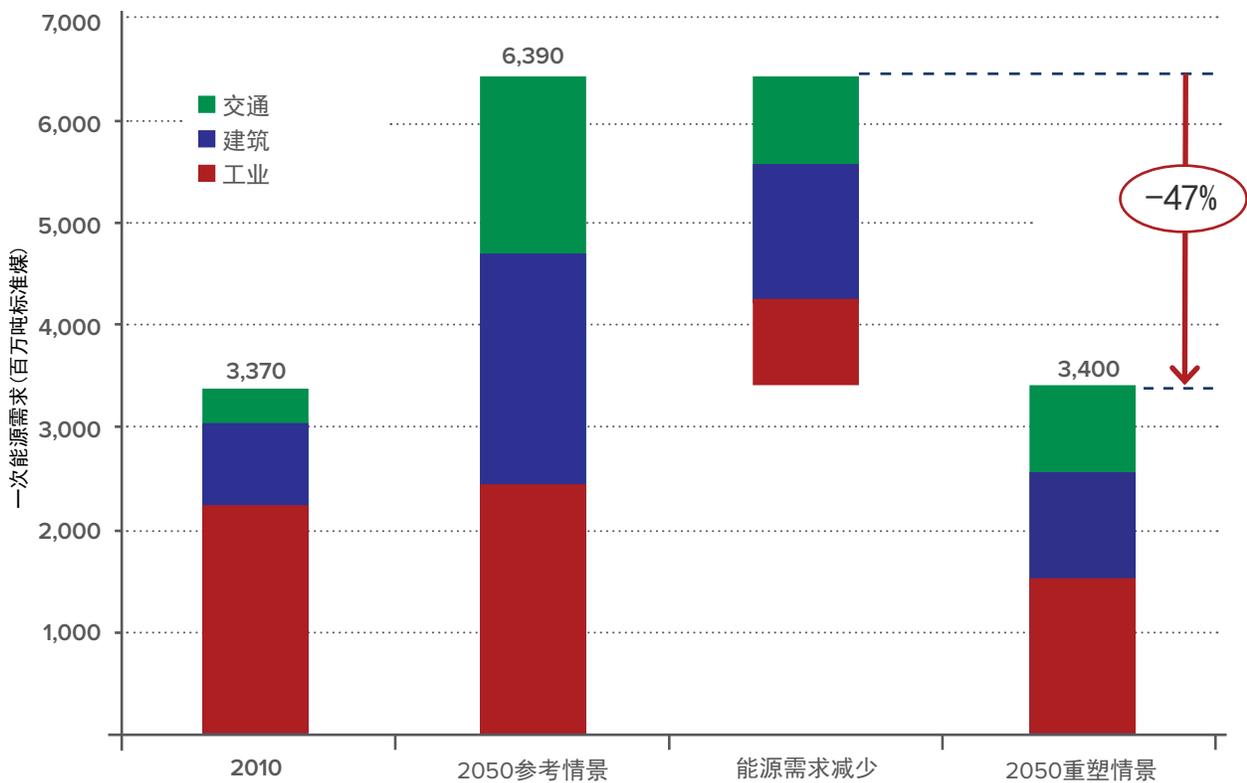
说明：一次能源需求和非化石能源比重按照电热当量法计算。
来源：重塑能源课题组。

2

依靠大幅提高能效，一次能源需求显著下降

重塑情景下，中国能源利用效率大幅提升，节能成为满足需求的“第一能源”，一次能源需求显著下降。按照电热当量法计算，到2050年，中国一次能源需求约34.0亿吨标准煤，比参考情景下降47%，仅比2010年增长1%；按照发电煤耗法计算，到2050年，中国一次能源需求约50.6亿吨标准煤，比参考情景下降40%（见图2）。

图2 重塑情景2050年节能潜力及结构



说明：一次能源需求按照电热当量法计算。

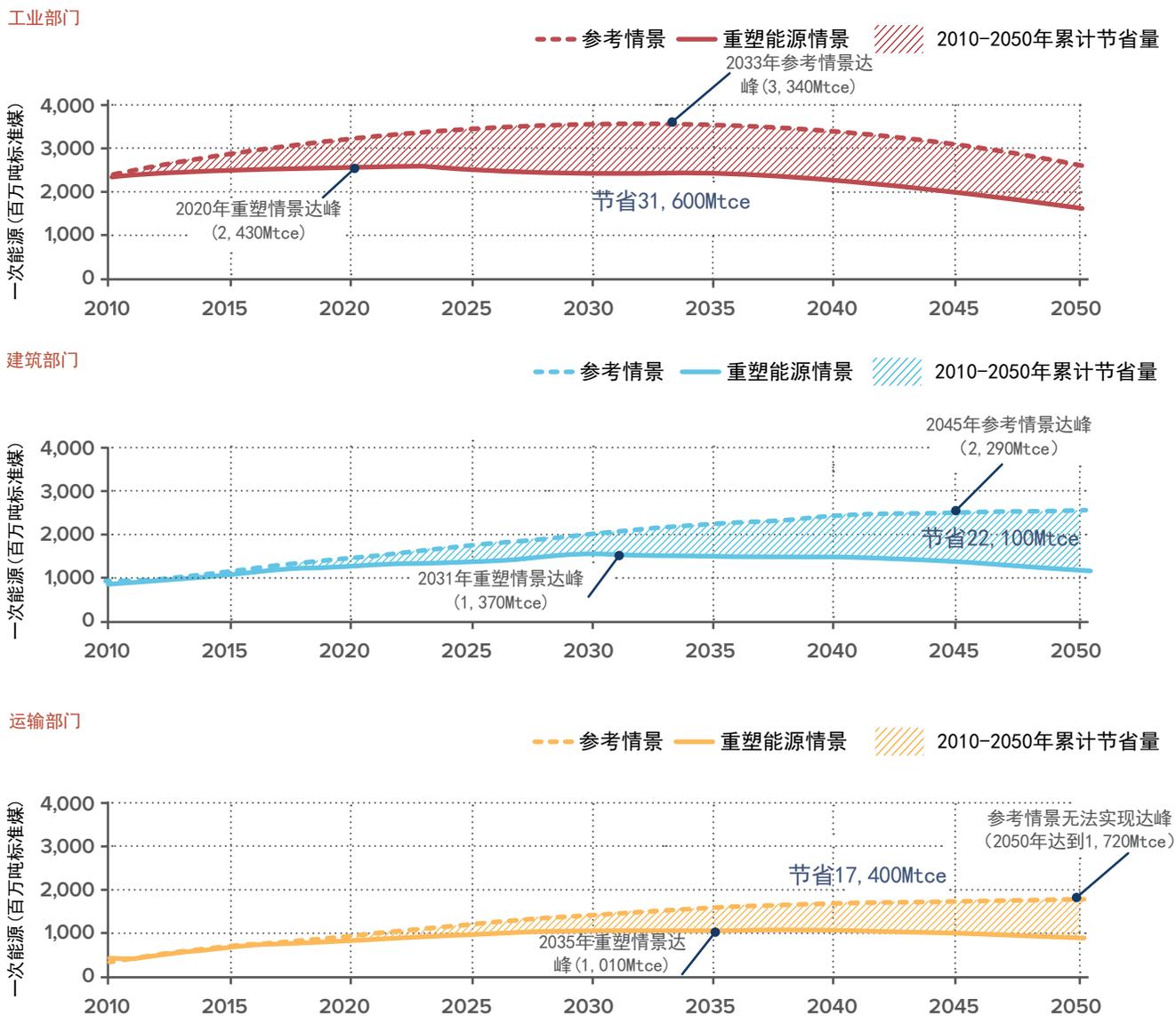
来源：重塑能源课题组。

3

工业、建筑、交通运输部门能源需求提前达到峰值

重塑情景下，工业2020年左右一次能源需求达到峰值，建筑2030年左右一次能源需求达到峰值，交通运输2035年左右一次能源需求达到峰值（见图3）。与参考情景相比，终端部门能源需求达峰时间普遍提前10-20年，并且峰值水平大幅下降。

图3 重塑与参考情景主要部门一次能源需求展望



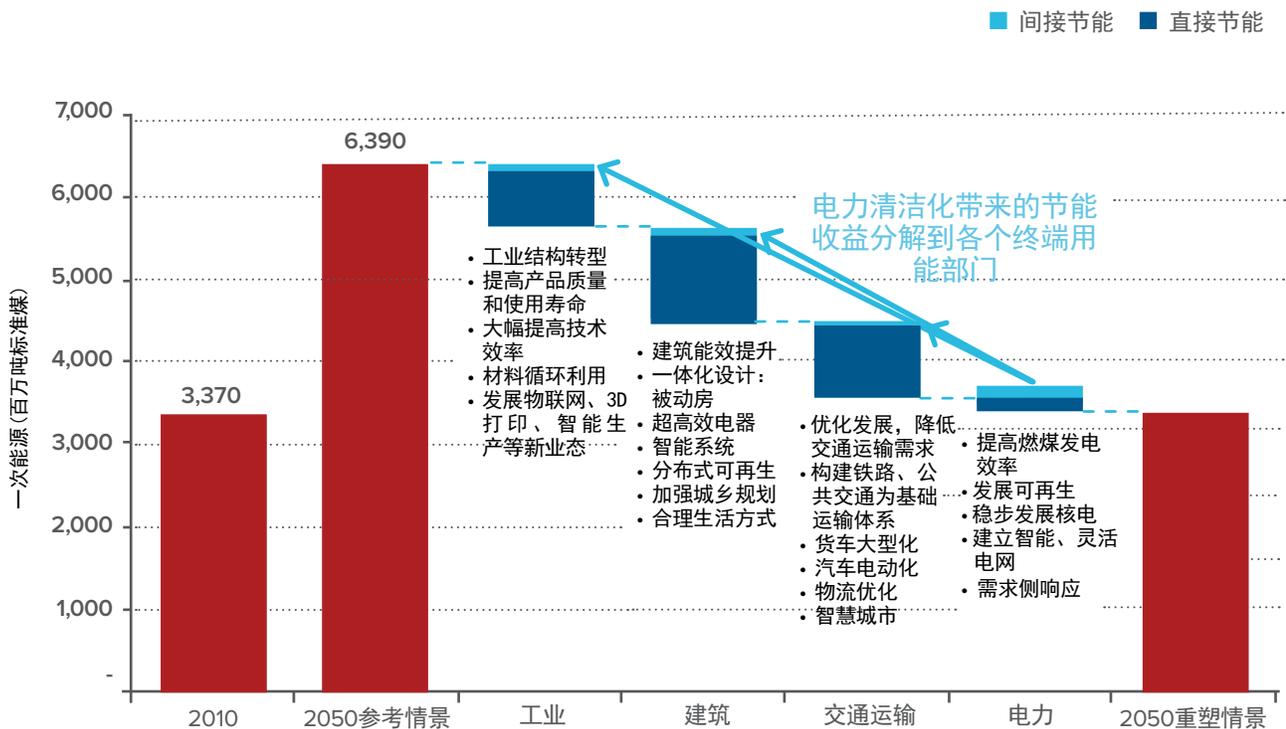
说明：一次能源需求按照电热当量法计算。
来源：重塑能源课题组。

4

用能模式和技术加速变革, 节能潜力充分开发

重塑情景下, 终端用能部门加快推广先进节能技术, 不断转变发展模式, 积极引入商业模式创新, 持续释放巨大的节能潜力。工业长期将是节能潜力重要来源, 建筑和交通运输伴随能源需求快速增长, 节能潜力空间十分巨大(见图4)。

图4 2050年重塑情景的部门节能潜力



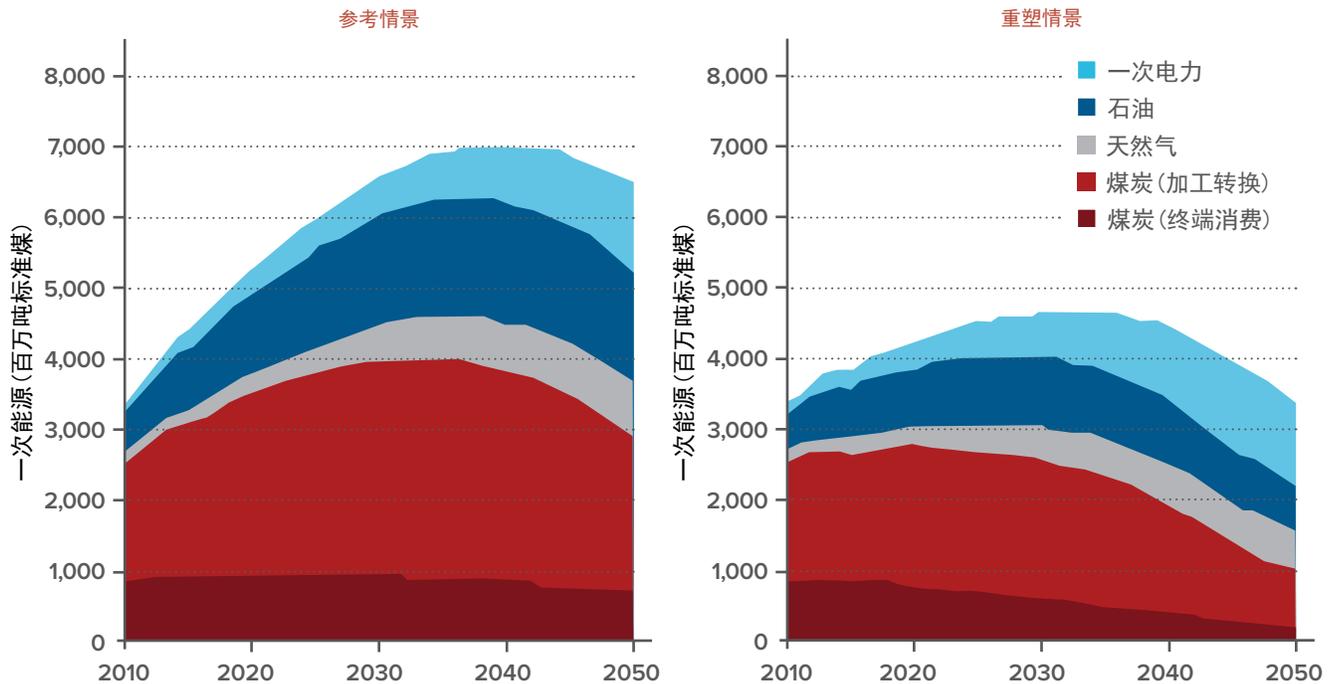
说明: 一次能源需求按照电热当量法计算。
来源: 重塑能源课题组。

5

化石能源需求相继达峰，非化石能源成为消费主体

重塑情景下，中国非化石能源高比例发展，成为能源供应主体。2050年，按照发电煤耗法计算，非化石能源占一次能源比重达到55%；按照电热当量法计算，非化石能源比重达到34%（见图5）。煤炭需求2020年前达峰，石油需求2035年左右达峰，天然气需求2045年左右达峰，主体能源逐步实现更替。

图5 重塑与参考情景一次能源需求及结构



参考情景非化石能源占一次能源比重

	2010	2020	2030	2040	2050
电热当量法	4%	7%	8%	12%	18%
发电煤耗法	11%	17%	21%	28%	38%

重塑情景非化石能源占一次能源比重

	2010	2020	2030	2040	2050
电热当量法	4%	9%	13%	23%	34%
发电煤耗法	11%	21%	28%	42%	55%

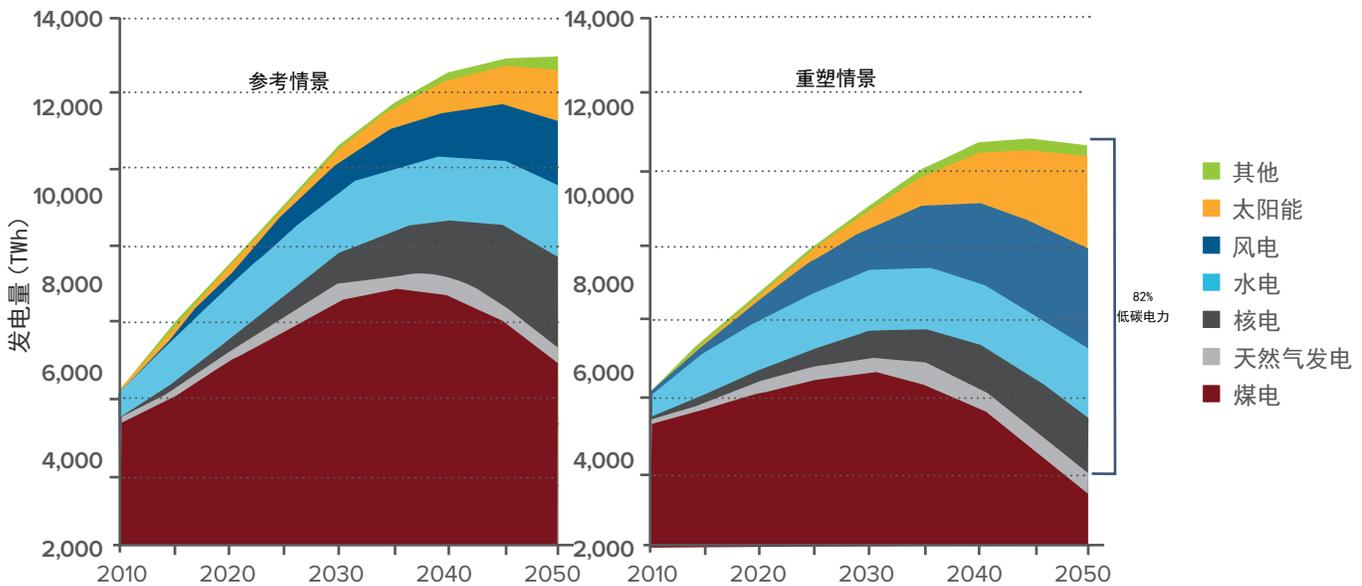
说明：一次能源需求按照电热当量法计算。
来源：重塑能源课题组。

6

电气化水平显著提高，以煤为主电力格局彻底改变

重塑情景下，中国电气化水平持续提升，2050年人均电力需求达到7900千瓦时/年，电气化率达到41%（见图6）。可再生电力加快发展，电力系统向分布式、智能化转变，非化石电力占全国发电总量82%，可再生电力占全国发电总量68%。

图6 重塑与参考情景电力需求及发电结构



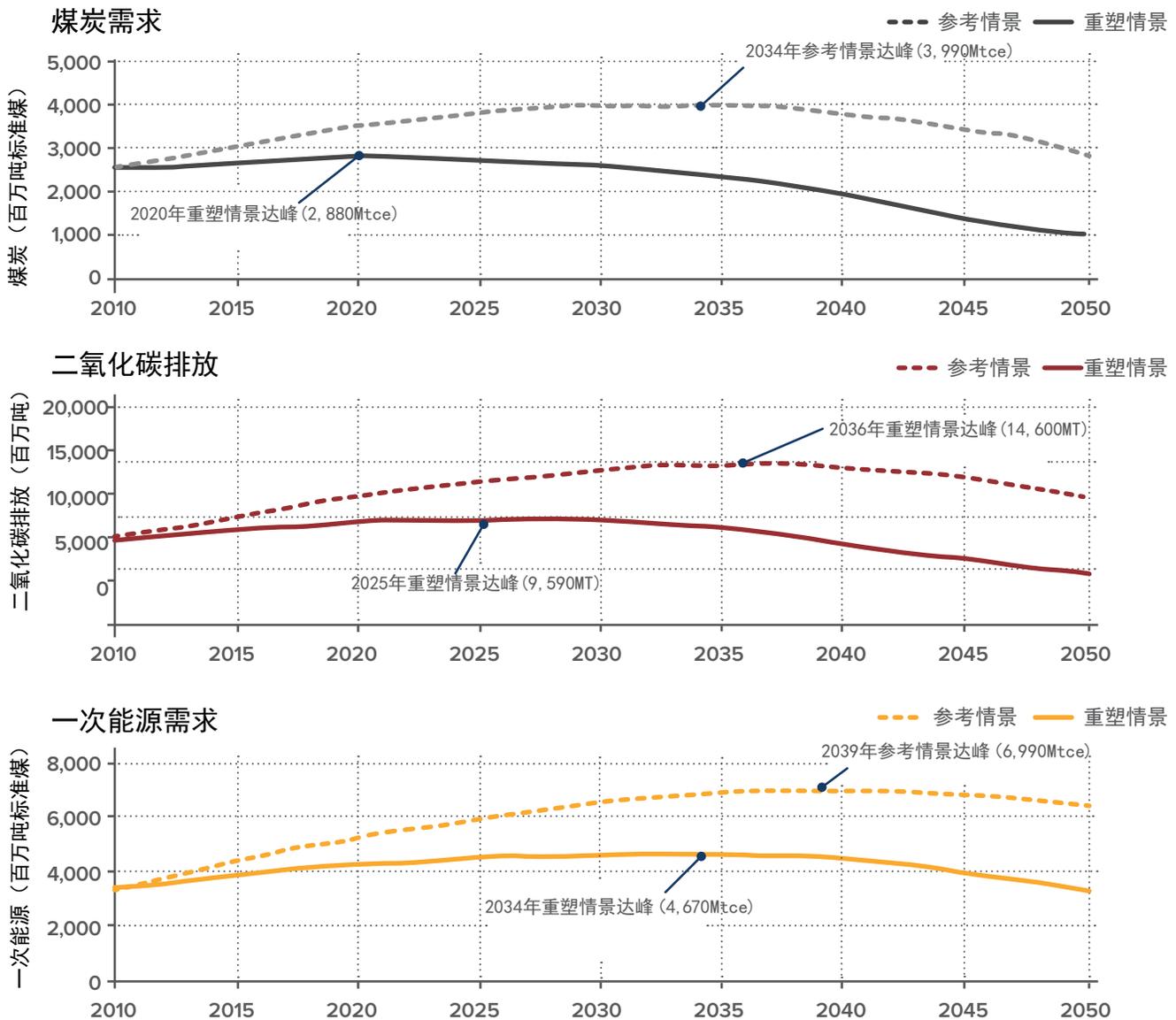
说明：其他可再生能源包括垃圾发电、沼气发电、秸秆发电、生物质发电、地热发电、海洋能等。
来源：重塑能源课题组。

7

提前达到“三个峰值”，为全球应对气候变化做出更大贡献

重塑情景下，中国2020年前实现煤炭消费峰值，2025年左右实现二氧化碳排放峰值，2035年左右实现一次能源消费峰值（见图7）。与参考情景相比，达峰时间普遍提前10-20年，并且峰值水平大幅下降。2050年，中国人均二氧化碳排放约3.2吨，仅是目前欧盟国家人均水平的一半左右。

图7 重塑与参考情景煤炭需求、二氧化碳排放、一次能源需求展望



说明：一次能源需求按照电热当量法计算。

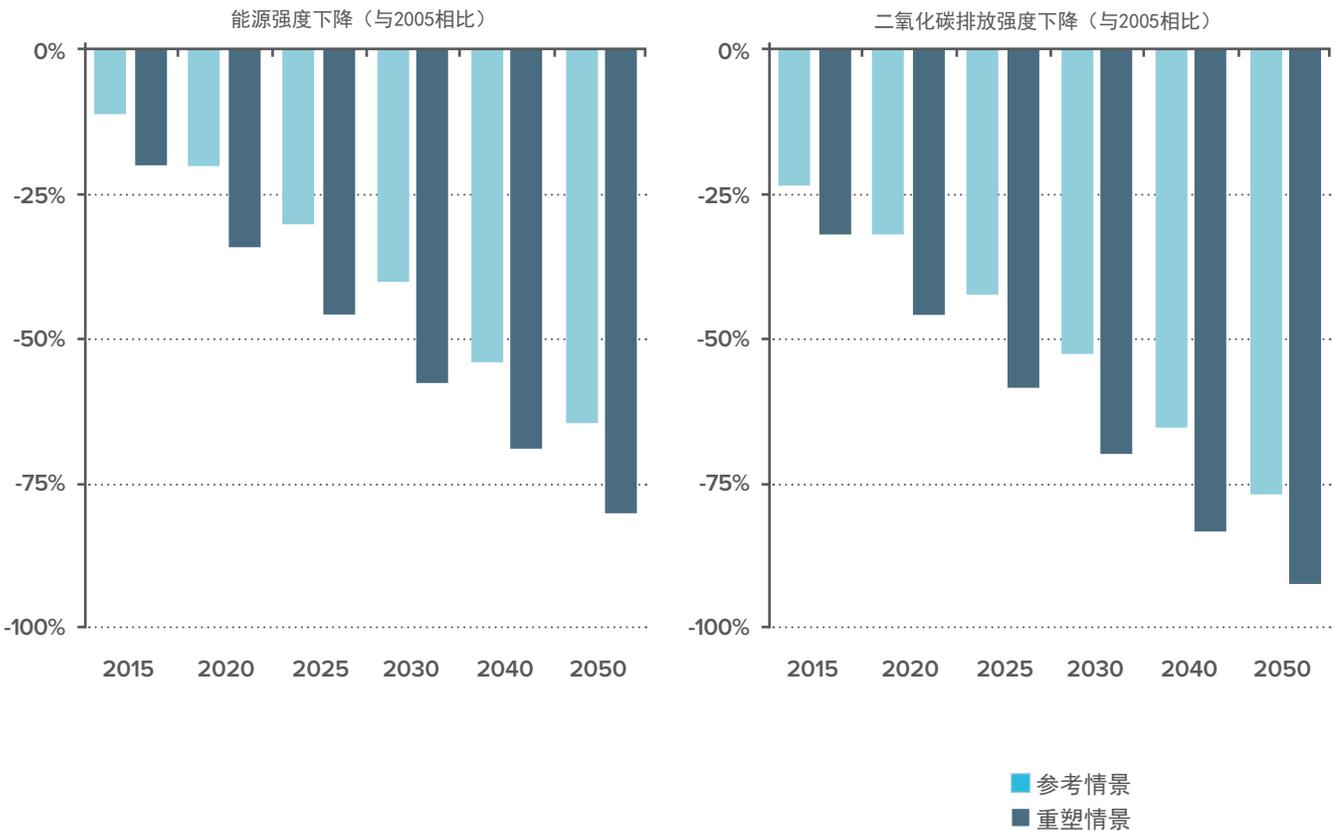
来源：重塑能源课题组。

8

能源强度和碳强度大幅下降，生产力实现跨越式倍增

与2005年相比，重塑情景下，2050年中国单位国内生产总值能源消耗强度下降87%，单位国内生产总值二氧化碳排放强度下降93%（见图8）。中国超额实现2020、2030年国际承诺减排目标任务，能源生产力和碳生产力实现跨越式倍增。

图8 中国能源强度和碳排放下降（与2005年相比）



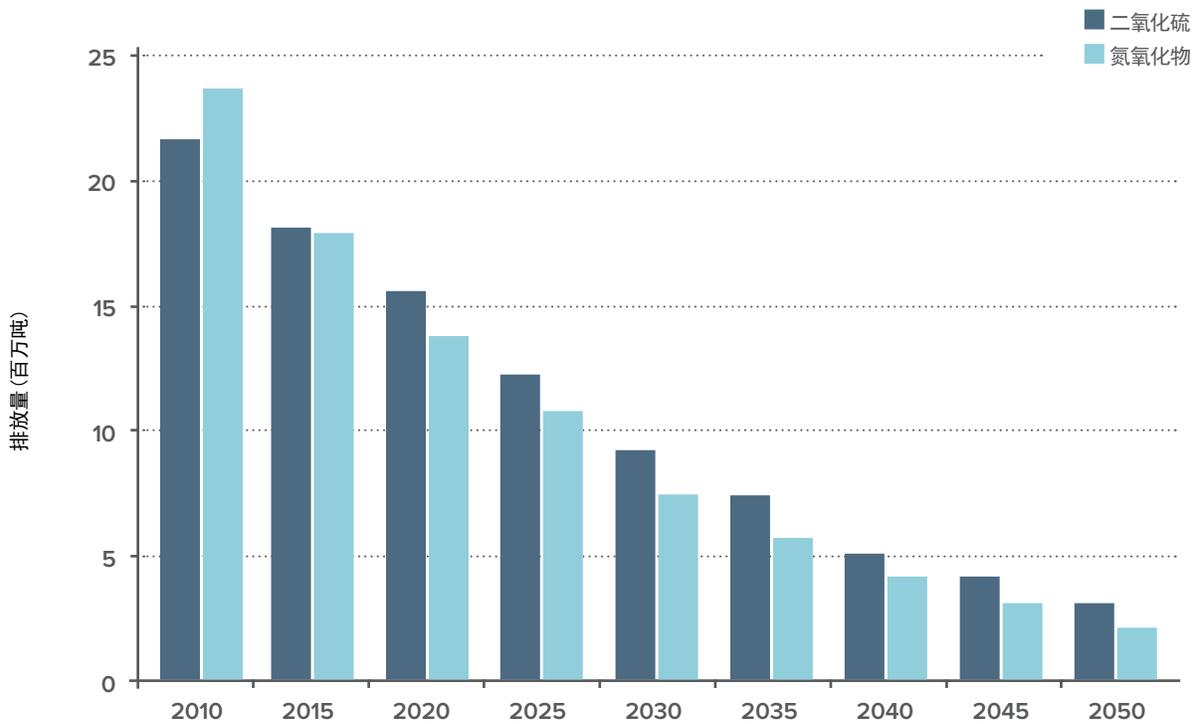
说明：一次能源需求按照电热当量法计算。
来源：重塑能源课题组。

9

主要污染物排放下降九成，重现碧水蓝天、美丽中国

重塑情景下，2050年中国二氧化硫、氮氧化物排放量分别比2010年下降85%和90%，达到改革开放以前水平（见图9）。2050年中国二氧化硫、氮氧化物排放总量相当于目前美国水平的1/4，相当于目前欧盟水平的30%。生态环境质量大幅改善，实现“美丽中国”发展目标。

图9 重塑情景中国二氧化硫和氮氧化物排放



来源：国家发展和改革委员会能源研究所排放量计算。

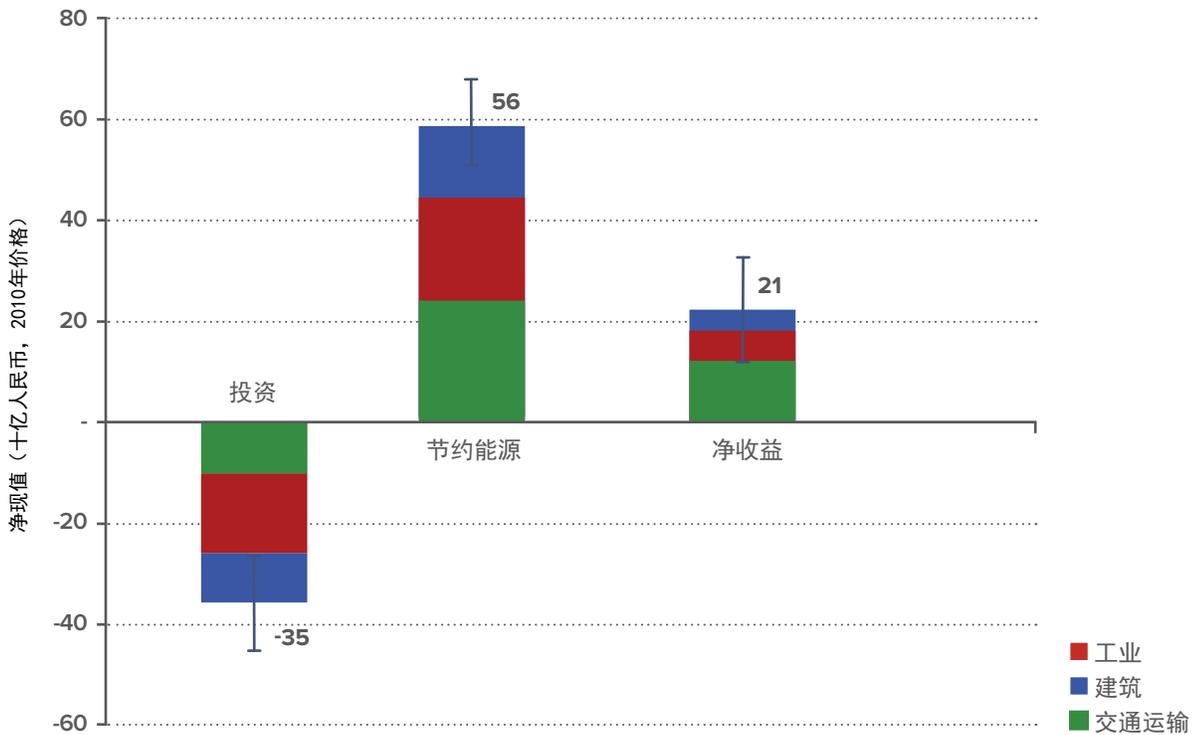
重塑能源课题组。

10

重塑能源带来显著经济效益，环境和社会效益巨大

重塑能源蕴含大量既有益实体经济、又增进民生福祉的增长机会（见图10）。2010-2050年，按照净现值计算，重塑情景下仅节约的能源总成本达56万亿元（2010年价），需要新增的总投资为35万亿元（2010年价），实现的净收益为21万亿元（2010年价）。如果考虑间接带来的经济效益、能源安全改善红利，以及污染物大幅减排带来的健康效益和环境效益等，其产生的综合经济、环境、社会效益更加巨大。

图10 重塑与参考情景相比经济性分析



来源：重塑能源课题组。



重塑能源主要路径

03

重塑能源主要路径

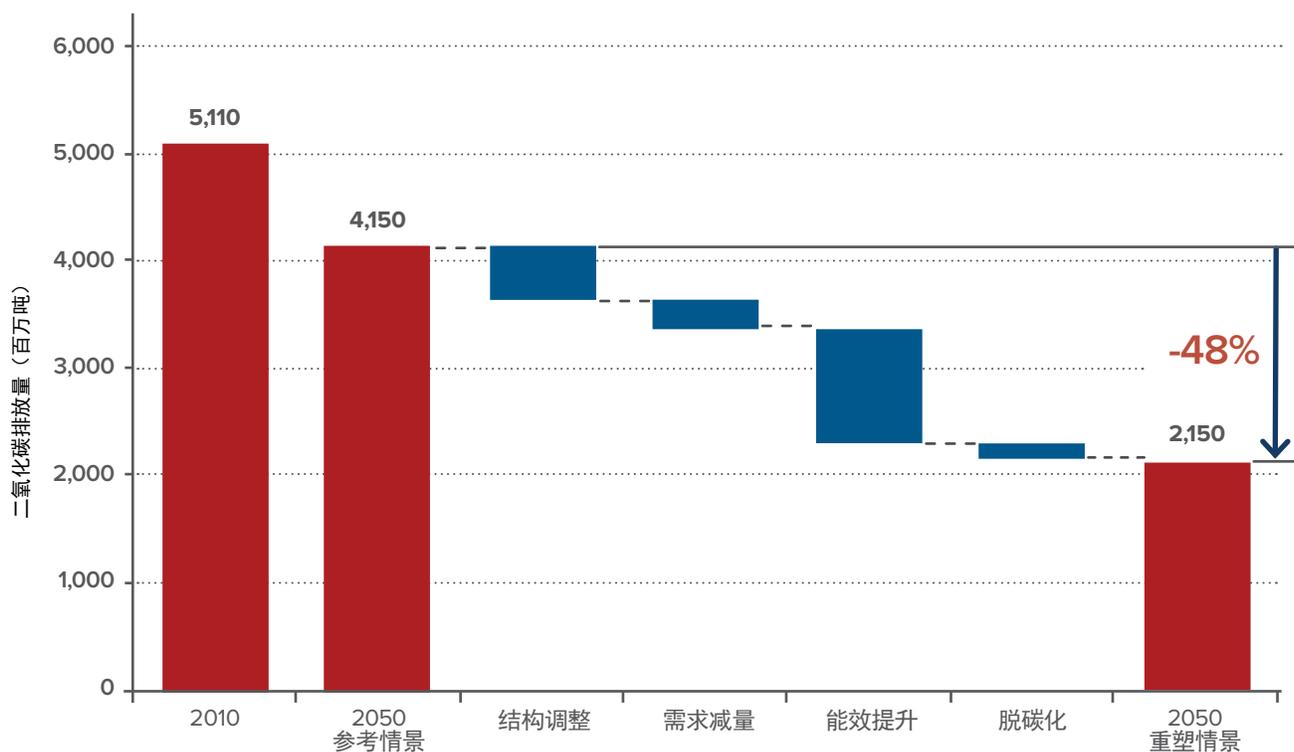
1、工业：以产业革命为契机推动用能率先达峰

改革开放以来，工业在国民经济发展中处于主导地位，创造40%左右的经济产出，但由于发展模式和能源利用方式粗放，工业一次能源消费量占比一直维持在70%左右，二氧化硫、氮氧化物、烟尘等环境污染物以及二氧化碳排放占全国的比重也高达70%以上。

中国正面临着工业转型升级的挑战，也具备以信息技术改造传统产业的潜力。工业部门利用新产业革命所释放的技术红利，通过结构调整、需求减量、能效提升和脱碳化这四大途径，最大可能利用成本有效的高能效技术和可再生能源，到2050年，将实现由大到强的战略转变、构建起全球领先的绿色高效生产体系、为全社会提供高质量原材料和产品，工业部门能源消费和二氧化碳排放率先达到峰值。

到2050年，与参考情景相比，重塑情景下工业一次能源需求下降35%，节约8.4亿吨标准煤，减少二氧化碳排放约20亿吨（见图11）。2010-2050年，重塑情景下工业部门新增投资12.9万亿元（2010年价），节约能源成本19.7万亿元（2010年价），实现净收益6.8万亿元（2010年价）。

图11 重塑情景工业部门减排二氧化碳潜力及途径



说明：一次能源需求按照电热当量法计算。
来源：重塑能源课题组。

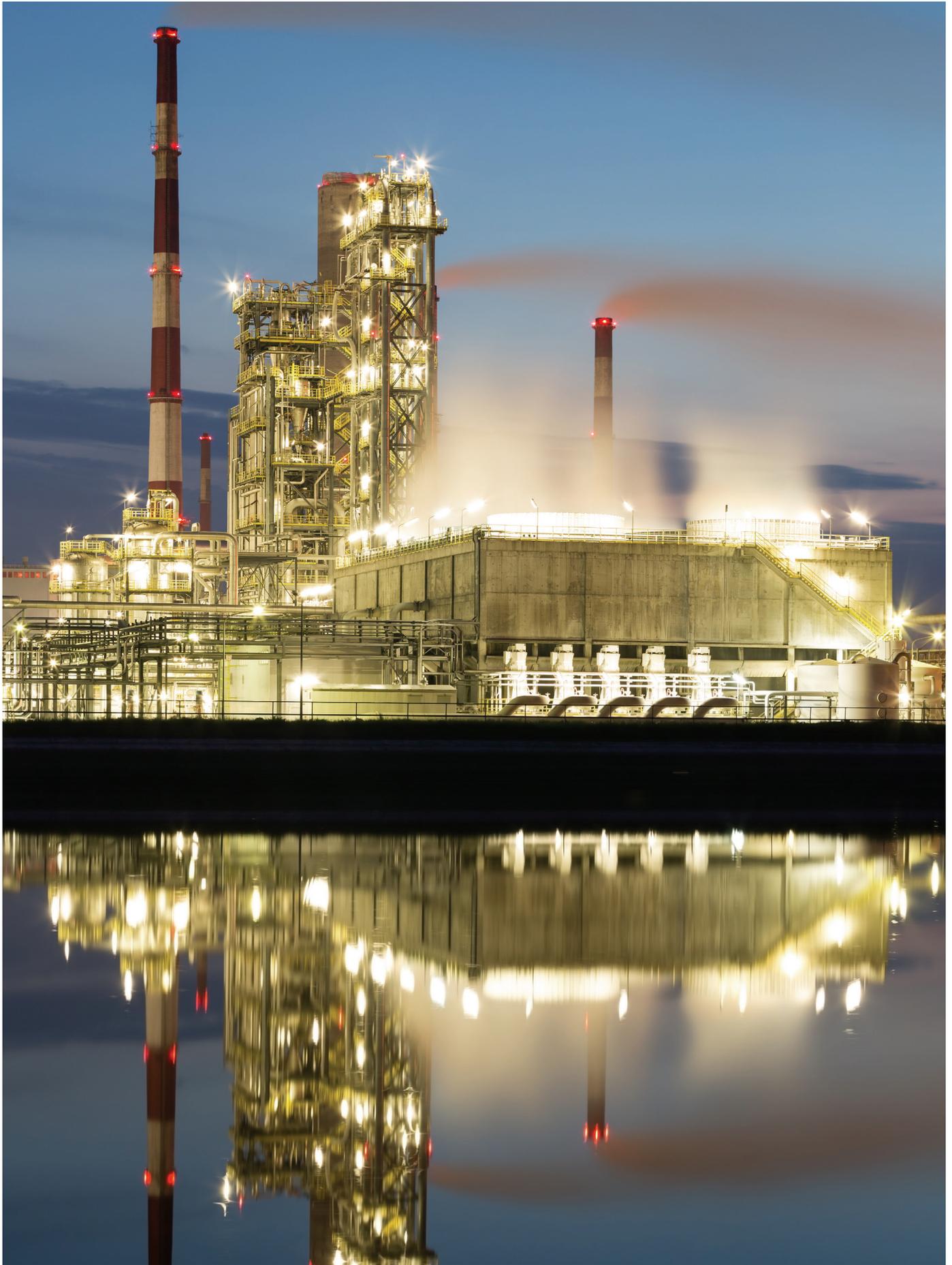
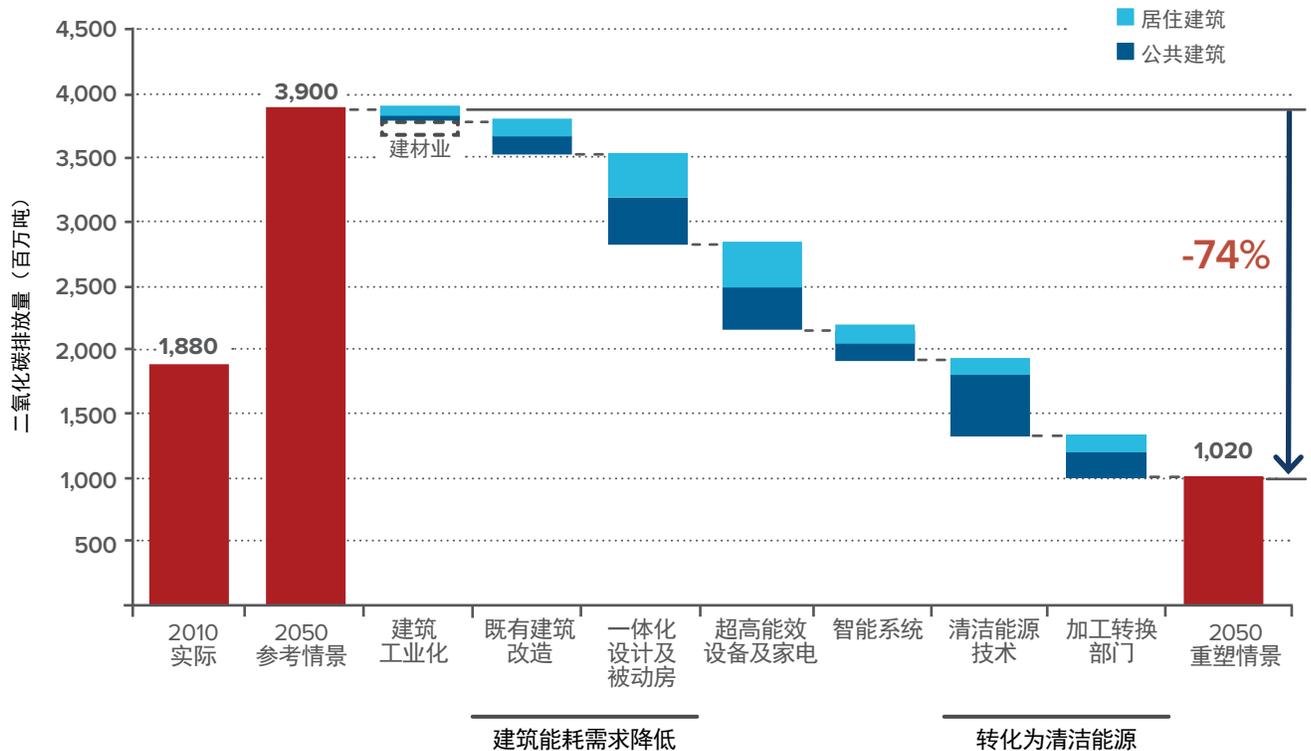


图12 重塑情景建筑部门减排二氧化碳潜力及途径



2、建筑：以超低能耗建筑为核心破解建筑用能高增长锁定效应

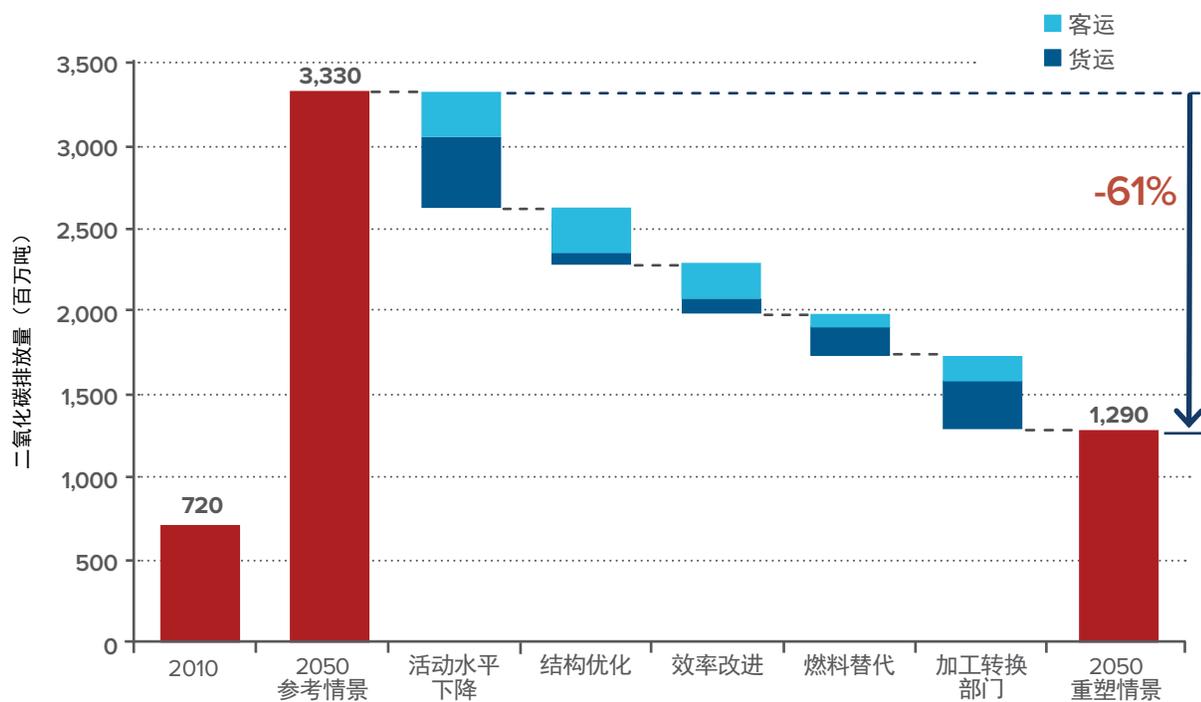
建筑与人们生产、生活密切相关，是重要的能源消费部门。2010年中国建筑部门能源消费约占全社会总能耗的21%，尽管人均建筑能耗强度、单位面积建筑能耗强度还远低于发达国家水平，并且建筑质量和使用寿命存在明显差距，但伴随城镇化进程不断推进，建筑用能持续快速增长。

在全球绿色转型背景下，高性能保温材料、LED、高效家电等新兴技术不断涌现，为建筑转型发展创造契机。通过实施引导建筑面积规模合理增长及推行建筑工业化、普及一体化和被动式设计、提高建筑用能系统和设备效率、发展智能系统、建筑终端用能清洁化，中国将破解建筑用能快速增长的锁定效应，既满足城镇化背景下建筑能源服务水平大幅提升和室内环境显著改善的需求，又实现建筑部门终端化石能源消费和二氧化碳排在2050年之前达到峰值。

到2050年，与参考情景相比，重塑情景下建筑一次能源需求下降56%，节约12.7亿吨标准煤，减少二氧化碳排放约28.8亿吨（见图12）。2010-2050年，重塑情景下建筑部门新增投资9.5万亿元（2010年价），节约能源成本13万亿元（2010年价），实现净收益3.5万亿元（2010年价）。



图13 重塑情景交通运输部门减排二氧化碳潜力及途径



说明：一次能源需求按照电热当量法计算。
来源：重塑能源课题组。

3、交通运输：以模式和技术创新推动交通运输去油化、电气化

交通运输是国民经济和社会发展的基础，伴随工业化和城镇化进程加速，交通运输部门能源需求持续增长，是继工业领域之后能源需求增长的主要来源。与发达国家相比，中国交通运输部门能源需求仍有很大增长空间，若延续当前“汽车化”、“公路化”以及“燃油化”发展方式，交通拥堵会加剧，大气质量、居民出行与生活质量将恶化，石油对外依存度将超过80%，能源安全问题更加突出。

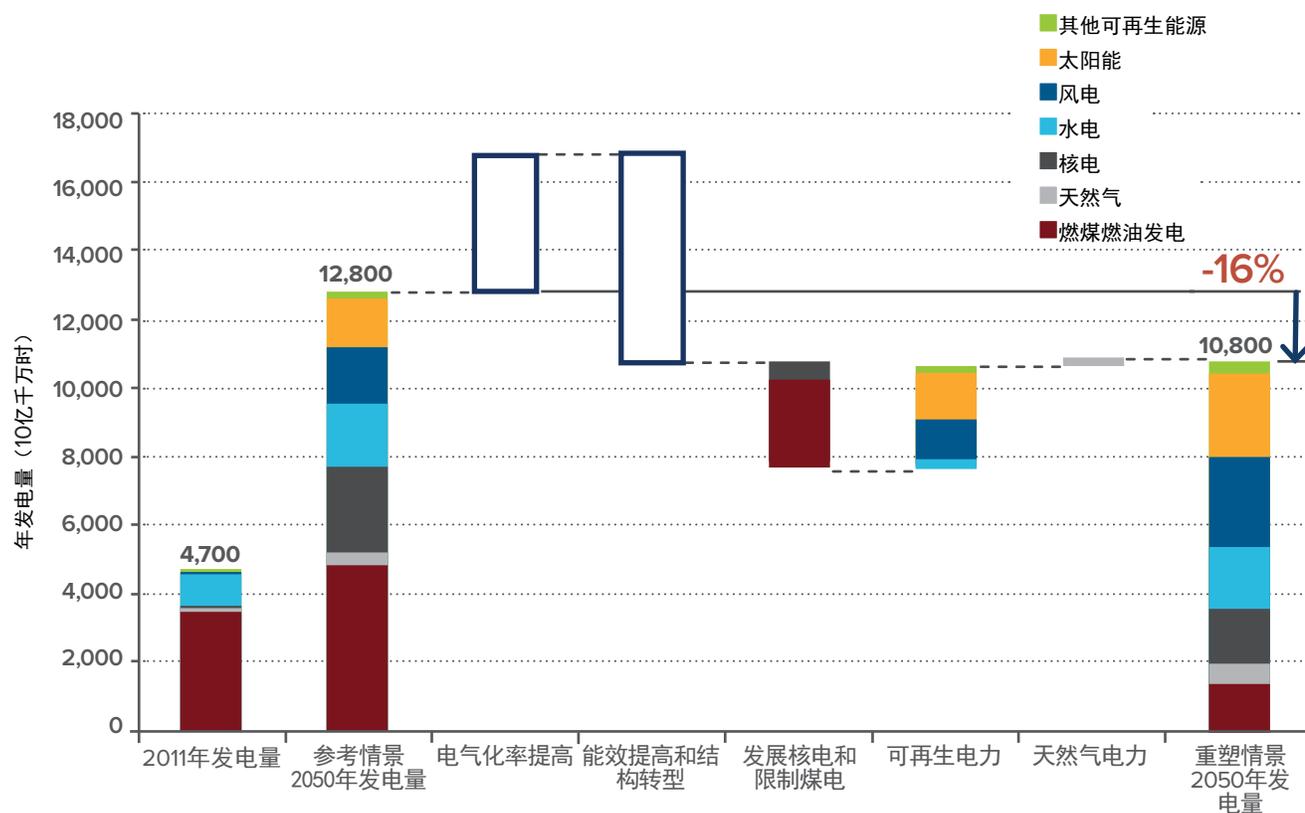
第三次工业革命在全球范围内不断扩展，为重塑交通运输提供了新的机遇。中国交通运输部门围绕模式创新和技术进步，通过合理引导交通服务需求、优化调整交通运输结构、加快清洁能源替代以及显著提升交通设备能效水平，在支撑实现美丽“中国梦”和现代交通运输需求、确保人人享有绿色低碳和高质量交通出行服务的同时，到2050年将建成全球领

先的覆盖城乡、结构合理、系统高效、绿色低碳、快捷舒适的节能型综合交通运输体系，交通用能转向多元化、清洁化、电气化，基本摆脱对油品的依赖，实现交通用能与油品、交通服务与碳排放、交通发展与能源需求“三个脱钩”。

到2050年，与参考情景相比，重塑情景下交通运输一次能源需求下降51%，节约8.8亿吨标准煤，减少二氧化碳排放约20.4亿吨（见图13）。2010-2050年，重塑情景下交通运输部门新增投资12.2万亿元（2010年价），节约能源成本23.4万亿元（2010年价），实现净收益11.1万亿元（2010年价）。



图14 重塑情景下发电量结构



来源：重塑能源课题组。

4、电力：以可再生电力加快发展为突破口实现能源供应转型升级

电力部门是现代能源生产体系的核心，电气化是一国经济社会发展现代化发展水平的重要标志。中国电力需求一直增长迅速，但长期“以煤电为主”，燃煤发电量占全部发电量的比重始终保持在80%左右。发挥电力部门减排的规模优势和节电的放大效应，提升电力系统的智能化水平，对提升整个能源系统发展水平具有重要作用。

伴随经济社会发展和电气化水平提升，到2050年中国电力需求将比目前增长一倍以上。通过变革理念、技术革命、制度创新，中国电力部门将进入清洁低碳、安全多元、经济高效、互联互通、永续发展的新时代。重塑电力将在发电侧、用户侧和电网侧实现系统变革：在发电侧，加快打造集中式的高效、清洁、灵活的发电能力；在用户侧，深度挖掘分布式的高效清洁发电、用电、储电资源；在电网侧，通过新一代智能电网整合上述两类资源，使电力系统实现清洁低碳、安全多元、经济

高效的目标。

到2050年，非化石电力占总发电量比重达82%，可再生能源发电技术将以近零边际成本提供清洁无碳的电力，成为远期电力部门的支柱性技术；化石电力技术从2010年占主导地位逐步转变为系统服务者，主要为电力系统提供灵活性服务（见图14）。





重塑能源实施路线图

04

重塑能源实施路线图

重塑中国能源生产和消费体系是一项庞大的系统工程，要结合经济社会发展、各个行业部门、不同地域特点等，制定分阶段、分步骤实施路线图（见图15）。要针对环境污染治理和应对气候变化核心约束，坚持在能源生产侧和消费侧“双管齐下”，推动中国能源发展道路实现根本转变。

1、2010-2020年：

以“向污染宣战”为核心的工业化后期转型发展阶段。中国进入全面建成小康社会关键时期，经济增速逐步放缓，增长动力和结构发生明显变化。工业、建筑、交通、电力发展避免高碳“锁定效应”，加快向高效绿色低碳发展转型。煤炭消费达到峰值，绿色低碳能源逐步成为增量主体。

2、2020-2030年：

以“2030年二氧化碳排放达峰”为目标的后工业化发展阶段。中国进入高收入经济体行列，经济发展开始呈现明显的后工

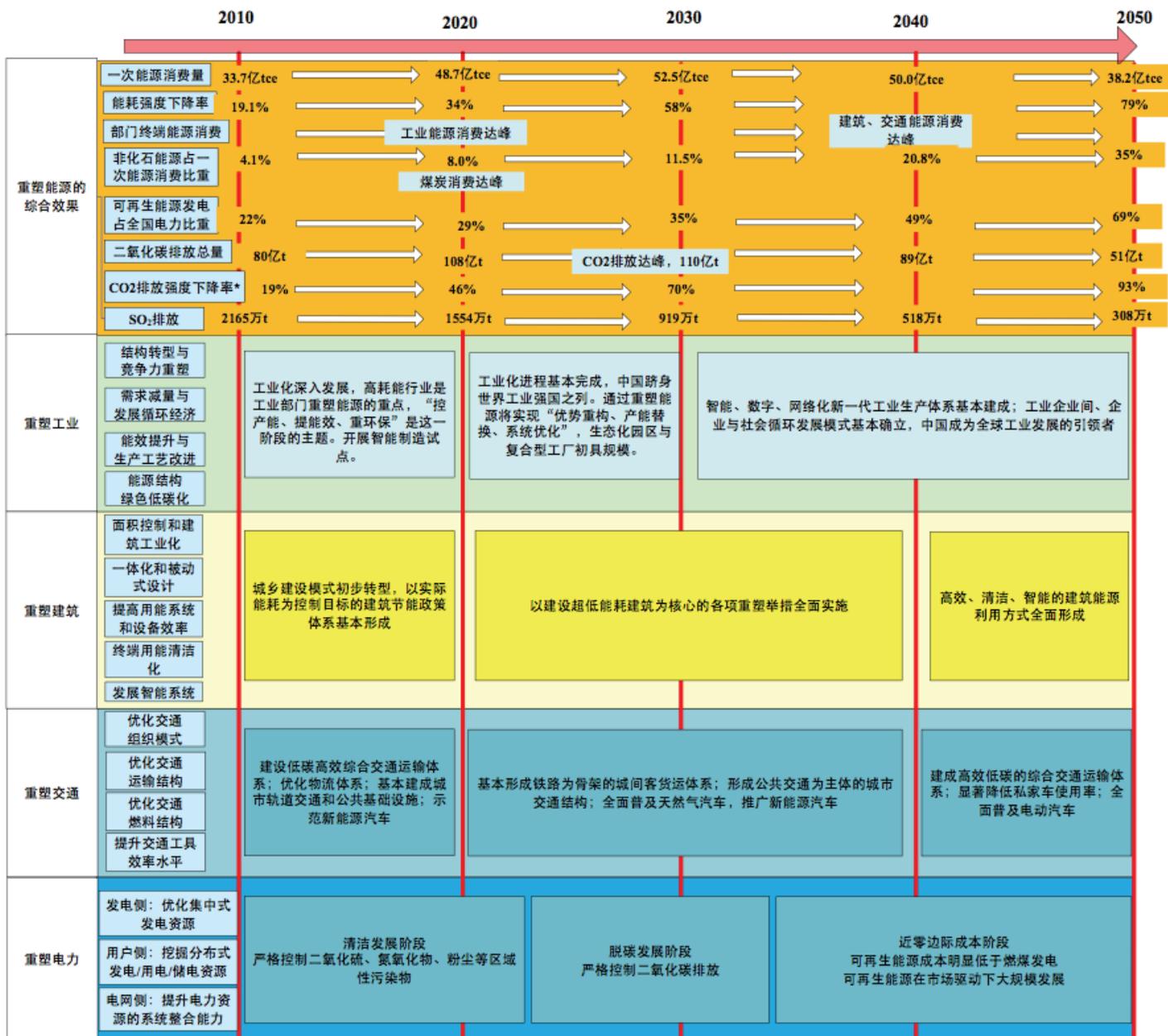
业化特征。能源生产消费体系进一步低碳化、清洁化，支撑环境质量持续改善，推动二氧化碳排放提前达到峰值。新型现代能源系统和市场体系初步建立，实现能源转型跨越发展。

3、2030-2050年：

以“非化石能源高比例”为目标的绿色化、智能化发展阶段。中国进入中等发达国家发展阶段，逐步实现“美丽中国”发展目标。互联网、云计算、机器人、智能电网等创新技术与新一代节能、低碳技术完全融合，非化石能源实现高比例发展。复合型高效工厂、近零能耗建筑、电动汽车全面普及，中国能源消费进入饱和阶段，绿色低碳竞争力达到世界先进水平。



图15 中国重塑能源总体路线图



主要政策建议

05

主要政策建议

1、明确重塑能源战略目标，推动尽早落实行动

(1) 制定重塑能源发展战略，加强顶层设计，把重塑能源作为从源头上破解生态环境和气候变化约束的根本途径，作为促进经济高效、绿色、低碳、可持续增长的新动力，明确分阶段发展目标和实施路线图。

(2) 全面统筹短期与长期、政府与市场关系，创新思考长期投资、能源资源、政策机制的优化配置，完善既有利于先进、成熟技术普及应用，又有利于革命性、突破性技术加快发展的市场和制度环境，构建富有活力和竞争力的高效、绿色、低碳现代能源体系。

(3) 尽早落实行动，为避免出现能源系统“锁定效应”，“十三五”时期，应把重塑能源战略纳入经济社会发展、城镇化、能源等各项规划政策中，明确目标和任务方向，促进全社会发展理念尽快转变，推动先进成熟技术装备尽早普及。

2、推动效率革命，重构节能优先的新型城乡用能方式

(4) 按照节能优先、精明增长和新城市主义理念，推动城乡空间和功能布局不断优化，加快紧凑型城市和城市群发展。以全面普及超低能耗建筑、公共交通、电动汽车、智能电网、分布式能源体系为重点，推动城市能源环境服务普惠化、公平化、现代化，促进智慧城市、物联网、云计算等与城市能源体系融合发展，全面提升中国城乡宜居程度和绿色低碳发展水平。

(5) 工业部门加快结构转型，大力发展第三产业、先进制造业，促进传统产业能效水平、产业链价值大幅提升，实现信息化、智能化与工业化深度融合；提升工业原材料质量性能，促进工业集约循环发展，实现钢铁、水泥等复合型工厂与城市发展融合。

(6) 建筑部门加快推广超低能耗建筑，2030年城镇新建住宅中超低能耗建筑占比达到70%，2050年达到100%。强化城乡建设规划管理，引导新增建筑合理布局有序发展。出台更严格的建筑节能设计标准，提升家用电器、办公设备等用能设备能效标准，实现标准更新机制化和标准执行法制化。发展分布式能源及微网系统，太阳能资源丰富地区居住建筑强制安装太阳能热水器，在农村地区推广应用高效生物质能采暖、炊事设备。

(7) 交通运输部门加快构建以铁路为主的节能型综合交通运输体系，构建以公共交通、慢行交通为主体的城市出行体系。大幅提升卡车、小汽车燃油经济性标准，鼓励碳纤维等节能高效汽车加快普及。加大电动汽车、混合动力汽车研究开发，加快充电桩等超前布局规划。发展天然气、生物液体燃料等替代油品，加强氢燃料汽车研发。

3、以电力转型为核心，推动能源供应体系低碳化、清洁化

(8) 从严限制新建燃煤电厂，东部地区燃煤机组加快退役，淘汰分散燃煤锅炉、窑炉；强化燃煤电厂污染物、二氧化碳等排放约束，大幅提升燃煤机组能效水平；加强技术研发突破，推动燃煤机组高效参与调峰。2030年燃煤机组装机规模控制在10亿千瓦左右，2050年装机规模控制在5.5亿千瓦左右。

(9) 推动清洁低碳能源加快发展。加快水电资源开发，统筹解决生态环境保护、移民安置、流域规划问题，2020年水电装机规模达到4亿千瓦左右，2050年达到5.0亿千瓦左右。安全高效开发核电，优先布局沿海负荷中心，2050年核电装机容量达到2.2亿千瓦。加快燃气发电资源开发，推动成为电网调峰和分布式能源发展重要支撑，到2050年装机容量达到3亿千瓦左右。协调有序开发风电，推动风电资源开发与电网输送能力匹配。多种方式并举推动太阳能资源开发，鼓励分布式太阳能光伏、热发电、光热利用。因地制宜推广垃圾、秸秆、生物质发电。

(10) 加强电力前瞻规划，强化发电侧、电网侧与需求侧衔接，增强多种电源调峰、调频、储能配套能力。加强电网建设，增强各地区电网的互联互通能力。建立电网灵活性服务市场，通过市场平台吸引各方参与调峰服务，挖掘需求侧节能和响应潜力，降低对新增发电容量的需求。优化调度方式，鼓励燃煤机组、天然气发电机组、抽水蓄能、化学储能、电容储能等灵活电源按调峰特性参与电力优化调度。

4、加快技术创新，实现基础设施“一体化”系统革命

(11) 加大科技投入，提高能源领域基础研究开发水平，推动超低能耗建筑、电动汽车、可再生电力、高效设备产品等不断增强成本竞争力。加强先进燃煤机组、燃气发电机组、核电装备、可再生发电设备、下一代电网等研究开发与示范推广，提升装备制造能力和国产化水平。

(12) 推广整合创新理念,对交通、建筑、工厂、园区、城市等进行“一体化”设计,从源头实现资源能源的集约、高效和优化利用。打破区域、产业和企业边界,整合产品设计、生产、消费全过程,转变大量生产、大量消费的发展模式,推动科学供给满足合理需求、适度消费匹配柔性生产。推动紧凑型城市和城市群发展,鼓励土地混合功能开发,实现复合型工厂、公共交通、绿色建筑等各类基础实施有效衔接、融合发展。

(13) 推动互联网、物联网、智能化技术加快发展,与各类能源基础设施进一步“一体化”升级。加快发展智能电网、微电网,推动光伏一体化建筑、家用电器、电动汽车等与电网实现双向调节,增强电网系统灵活调峰能力。完善价格政策,鼓励商业模式创新,开发电动汽车等储电服务市场。

5、加快体制机制改革,释放新的改革红利

(14) 把现代高效能源服务、优美生态环境作为最重要的公共产品,作为评价政府绩效和执政能力的重要标准,推动各级政府发展理念和治理思路根本转变。完善能源法规标准体系,推动全行业“能效领跑者”标准建设。发挥政府统筹规划作用,在能源系统优化中发挥主导作用,避免出现地方保护主义、就地平衡、技术垄断等。强化监督管理,健全监管组织体系和法规体系,促进公众、媒体、第三方机构依法行使监督权利,确保各项法规标准有效落实。

(15) 以能源价格、电力、油气改革为重点,深化能源市场化改革,建立统一开放、有效竞争的市场体系。理顺包括能源在内的资本、劳动力、土地、资源、环境等各类要素价格形成机制,建立切实反映供求关系、稀缺程度和环境外部性的公平市场竞争环境。完善资源税费改革,取消化石能源补贴,加快出台环境税、碳税,建立绿色低碳的价格财税体系。推动简政放权,鼓励先试先行,促进新业态、新技术、新商业模式加快创新发展,不断释放新的改革红利。

(16) 深化电力体制改革,区分自然垄断业务和竞争性业务,放发电、配电等竞争性领域和环节。推进电网建设运营体制改革,逐步建立公平接入、供需导向、可靠灵活的电力输送网络。转变电网盈利模式,推动电网企业盈利收入与电网售电量脱钩。加快铁路市场化改革,扩大多渠道融资来源,转变发展方式和运营模式,提高多式联运比重,发挥铁路在综合交通运输体系中的骨干作用。深化公共交通体制改革,探索公共交通引导城市合理发展模式,推动公共交通与

城市土地使用一体化规划,建立规划、建设、运营一体化的管理模式。

6、扩大国际合作,实现开放互利与合作共赢

(17) 加强绿色低碳资源开发合作,依托“一带一路”战略实施,推动跨国天然气管道加快建设、跨境水利资源合作开发,促进区域电网互联互通,增加绿色低碳能源供应和进口。推动中国能源企业海外发展,加强国际合作,提升国际化水平,进一步扩大国内市场开放,为提升低碳能源产业技术水平和竞争力创造良好的内外部环境。

(18) 推动全球能效、可再生能源领域加强合作,加强共同研发和最佳实践案例推广,在保护各自知识产权的基础上,促进发达国家先进技术向发展中国家转移以及发展中国家之间的技术转移。消除绿色贸易壁垒,不断增加先进高效节能技术产品供给和需求规模,推动节能环保和可再生能源相关产品和服务贸易自由化,促进高效节能和可再生能源技术产品在全世界加快推广应用。



ENDNOTES

¹ German Federal Ministry of Economics and Technology (BMW), German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), *Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply*. Berlin: BMW, BMU (2010). <http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/energy-concept,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=en,rwb=true.pdf>.

² European Commission, *A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050*. Brussels, EC (2011) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52011DC0112>

³ The Danish Government, *Energy Strategy 2050 – from Coal, Oil and Gas to Green Energy*, (2011) Copenhagen, Denmark. <http://www.efkm.dk/sites/kebmin.dk/files/news/from-coal-oil-and-gas-to-green-energy/Energy%20Strategy%202050%20web.pdf>

⁴ White House, U.S.-China Joint Announcement on Climate Change (2014) <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/11/11/us-china-joint-announcement-climate-change>; U.S. Government, Intended Nationally Determined Commitment, (2014) <http://www4.unfccc.int/submissions/INDC/Published%20Documents/United%20States%20of%20America/1/U.S.%20Cover%20Note%20INDC%20and%20Accompanying%20Information.pdf>

⁵ Mills, L., “H2 2015 Global LCOE Outlook,” BNEF Global Levelized Cost of Electricity Update (2015); Nykvist, B. and Nilsson, M., “Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles.” *Nature Climate Change* (2015) 5: 329–332.

⁶ National Bureau of Statistics, 2013 *China Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press (2013).

⁷ Ibid.

⁸ Current Affairs Reports, *Gap of Energy Intensity between China and Developed Countries 我国单位GDP能源消耗水平与发达国家的差距* (2010) http://www.ssbqzqs.com/txt/2010-05/26/content_3531305.htm

⁹ U.S. Energy Information Administration, *March 2015 Monthly Energy Review*; National Bureau of Statistics. 2013. *2013 China Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press (2015)

¹⁰ NRDC and WWF, *Coal and Electricity Consumption Control in the Building Sector* (2015). Retrieved from: <http://www.wwfchina.org/content/press/publication/2015/publication-20150527-coal.pdf>; Johansson, T., et al., 2012. *Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future*. Cambridge: Cambridge University Press.

¹¹ Qian Yi ed., *China's New Type of Urbanization Development Strategy*, Volume 3. Beijing: China Building Construction Industry Press (2013).

Energy Conversion Standard:

1 million tons coal equivalent (Mtce) =

0.0293 exajoules (EJ) =

0.0278 quadrillion British thermal units (Quads)

LBNL DISCLAIMER

This document was prepared in part as an account of work sponsored by the United States Government. While this document is believed to contain correct information, neither the United States Government nor any agency thereof, nor The Regents of the University of California, nor any of their employees, makes any warranty, express or implied, or assumes any legal responsibility for the accuracy, completeness, or usefulness of any information, apparatus, product, or process disclosed, or represents that its use would not infringe privately owned rights. Reference herein to any specific commercial product, process, or service by its trade name, trademark, manufacturer, or otherwise, does not necessarily constitute or imply its endorsement, recommendation, or favoring by the United States Government or any agency thereof, or The Regents of the University of California. The views and opinions of authors expressed herein do not necessarily state or reflect those of the United States Government or any agency thereof, or The Regents of the University of California.

Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory is an equal opportunity employer.

LBNL Funding Note:

Lawrence Berkeley National Laboratory was supported by Energy Foundation China through the U.S. Department of Energy under Contract No. DE-AC02-05CH11231.

重塑能源：中国

面向2050年能源消费和生产革命路线图研究

如需完整版报告及更多作者相关信息, 请访问

<http://www.eri.org.cn/>

<https://china.lbl.gov/>

<http://www.rmi.org/>; <http://www.rmi-china.com>

<http://www.efchina.org/>

REINVENTING FIRE: CHINA

A ROADMAP FOR CHINA'S REVOLUTION IN ENERGY
CONSUMPTION AND PRODUCTION TO 2050

合作机构



支持机构

