



迈向零碳

基于科技创新的
绿色变革

红杉中国
2021年4月



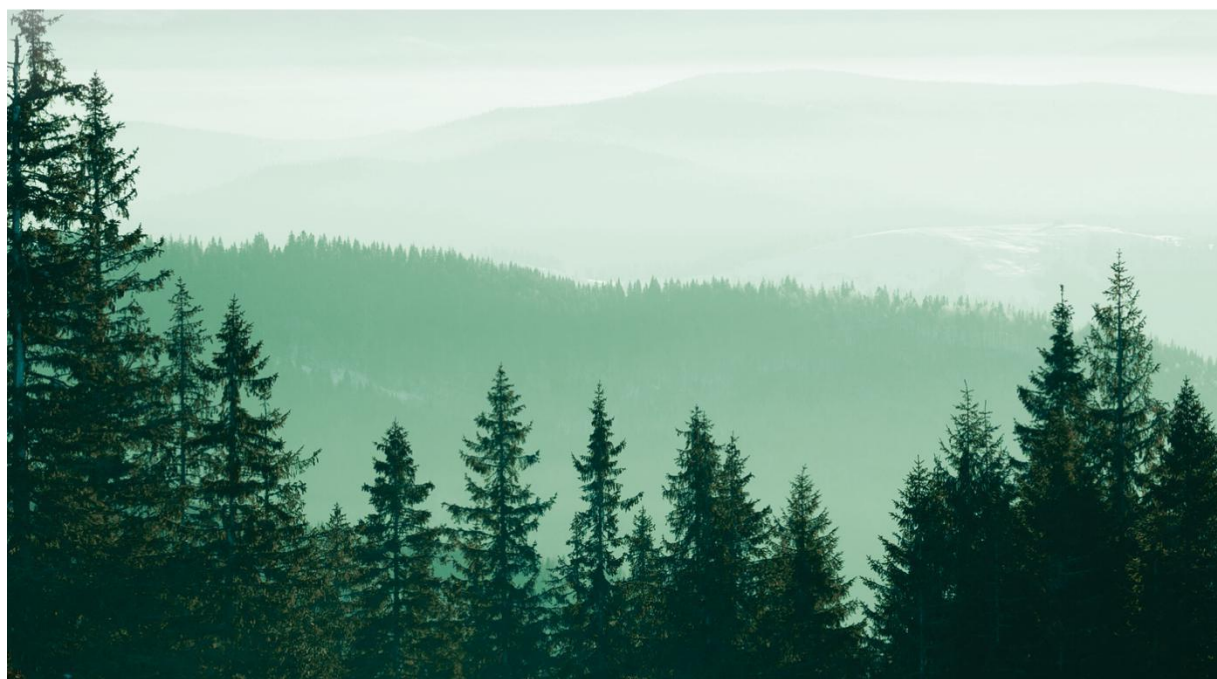
目录

0. 责任：全球“碳共同体”中的中国担当	1
0.1 “隐含碳”：中国肩负的世界责任	1
0.2 “2030 碳达峰、2060 碳中和”：中国的承诺与担当	3
1. 全局：低碳化重塑的政策制定约束	5
1.1 中央政府面临的“碳约束”	5
1.1.1 如何为碳排下好定义、算好账	5
1.1.2 经济发展如何与化石燃料消耗脱钩	5
1.1.3 如何协调好长短期目标	8
1.2 地方政府面临的“碳约束”	10
1.2.1 行动方案编制的属地化适配	10
1.2.2 “3060”目标对地方财政的不均衡影响	11
1.2.3 “3060”目标对地方就业的不均衡影响	12
2. 解析：碳中和目标的全方位分解	14
2.1 时间维度分解：中国碳约束目标的节奏把控要点	14
2.2 空间维度分解：中国碳排放活动的区域格局要点	16
2.3 要素维度分解：中国碳目标的政府和市场协同要点	23
3. 投资：为决定性低碳转型调集资金	24
3.1 碳中和资金缺口测算	24
3.1.1 已有研究概览	24
3.1.2 碳中和资金缺口测算过程	25
3.2 当前碳中和投资面临的主要问题	27
3.2.1 资本来源单一：社会资本激励有待强化	27
3.2.2 资本结构失衡：股权投资占比明显偏低	27
3.2.3 他山之石：国外碳中和投资的经验借鉴	28
4. 技术：创新技术引导零碳产业化	32
4.1 碳中和图景中的技术前瞻/技术洞见	32
4.2 碳中和背景下可加速商业化落地的十大技术方向	33
4.2.1 破局续航天花板的固态电池技术	33
4.2.2 太阳能搭配锂电池的一体化家用储能	34
4.2.3 促进节能减排的新材料技术	34
4.2.4 缓堵减排的智慧车路协同技术	35

4.2.5 暖通空调 AI 数据采集与节能控制系统.....	35
4.2.6 高能效比的存算一体 AI 芯片.....	36
4.2.7 “化石能源+CCUS”的低碳排放技术.....	37
4.2.8 直接空气中碳捕获技术.....	37
4.2.9 碳排放的量化和审计技术.....	37
4.2.10 增强环境友好性的合成生物技术.....	38
5. 使命：红杉中国赋能零碳科技创新生态	40
5.1 红杉中国 Family 的零碳部署.....	40
5.1.1 红杉中国的零碳生态.....	40
5.1.2 红杉中国被投的零碳建树.....	42
5.2 红杉中国的十大碳中和未来行动愿景.....	44
5.2.1 坚定拓展布局碳中和长坡赛道.....	44
5.2.2 关注全面覆盖五大排放部门的终端节能.....	45
5.2.3 培育提升碳中和各细分赛道的隐形冠军.....	45
5.2.4 挖掘更多基于自然解决方案的早期优秀企业.....	45
5.2.5 继续坚定将 ESG 因素纳入投资和决策流程.....	46
5.2.6 扩大绿色实践及相关信息披露.....	46
5.2.7 强化零碳产业政策研究 使投资符合可持续发展目标.....	46
5.2.8 加速低碳新技术从实验室到市场的转换.....	47
5.2.9 2025 年前完全放弃本地数据中心 采用云端数据中心	47
5.2.10 充分行使积极所有权与被投共建“公民碳普惠”社会.....	48
6. 合力：中国长期低碳发展的政策建议	49
6.1 市场化推动新技术相关政策.....	49
6.2 促进市场化资本助力碳中和的政策.....	50
6.3 完善相关配套性基础政策.....	51



0. 责任：全球“碳共同体”中的中国担当



人不率则不从，身不先则不信

——《宋史·宋祁传》

0. 责任：全球“碳共同体”中的中国担当

从工业革命开始，人类活动便前所未有地撼动了地球的自然平衡。碳循环体系首当其冲，碳源和碳汇的平衡不再，引发了世界对全球变暖、海平面上升等后果的思考。面对日益严峻的气候危机挑战，习近平主席宣布中国在 2030 年前碳达峰（排放达到峰值）、2060 年碳中和（净零排放）的目标。欧盟决定 2030 年前加大减排，2050 年实现碳中和；拜登政府上任后宣布美国重返巴黎气候协议……实现碳中和、回归人与自然和谐关系的重任需要各国鼎力合作，但纵观历史、遍览各国，在构建人类命运共同体的过程中，中国为全球气候治理承担的责任与展现的勇气未有先例。

0.1 “隐含碳”：中国肩负的世界责任

中国在国际贸易中为其他国家生产消费品的同时，承担了大量本应属于他国的“隐含碳”排放，数量上约等于美、日、加、英四国滞留在他国的碳排总和。在国际贸易中，制造业多集中于发展中国家、而最终产品却很多被发达国家所消费。如此一来，这些消费在发展中国家的碳排放，实则是发达国家通过产业链生产端的外包而形成的、对发展中国家的碳排放转移，这一类碳排被称为国际贸易中的“隐含碳”。中国作为“世界工厂”，生产了大量用于其他国家消费的产品，因而中国本土滞留了大量“隐含碳”。OECD 数据显示，中国净出口贸易中的隐含碳排在 2015 年高达 20.14 亿吨，接近美、日、加、英滞留他国的“隐含碳”总量（共 22.04 亿吨），相当于全球碳排放第四大国印度一年的碳排放总量。为了计算更为精准，可以在净出口贸易口径基础上，进一步统计加上净进口中的国内隐含碳，那么中国承担的“隐含碳”总量为 20.94 亿吨，超过 OECD 所有成员国滞留他国的“隐含碳”总量之和（共 29.82 亿吨）的 70%。

“隐含碳”排放国的界定关乎国际责任，但中国毅然以一己之力承担了占中国全部碳排放量约 1/4 的隐含碳排放责任¹。

¹ 世界银行数据显示中国 2015 年总碳排 74 亿吨，哈佛大学 Belfer Center 显示 85 亿吨

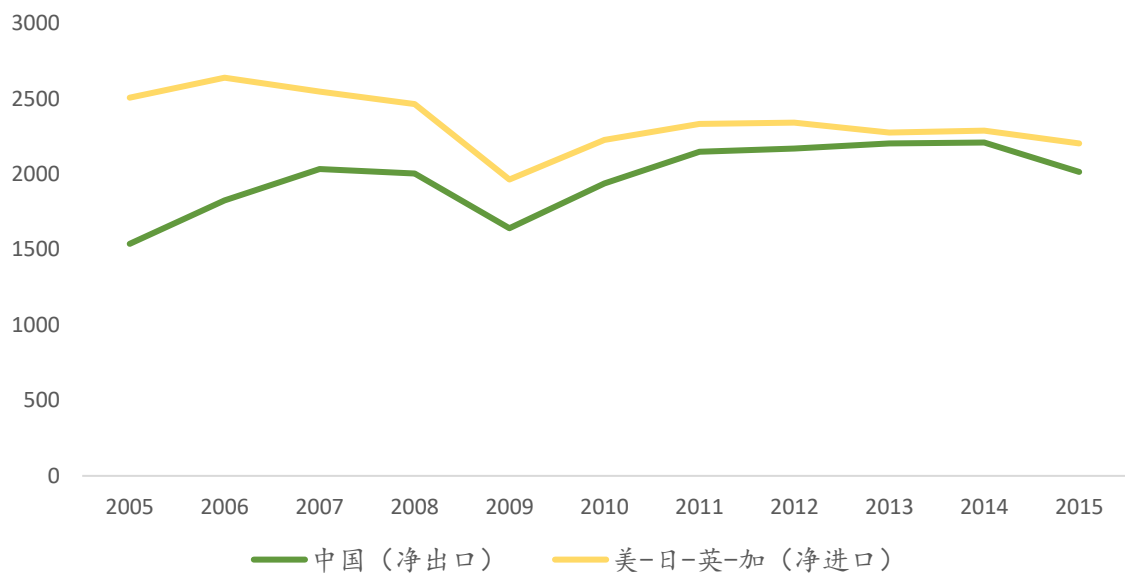


图 1 2005-2015 年主要经济体贸易中的隐含碳趋势 (单位: 百万吨)

数据来源: OECD, 红杉中国

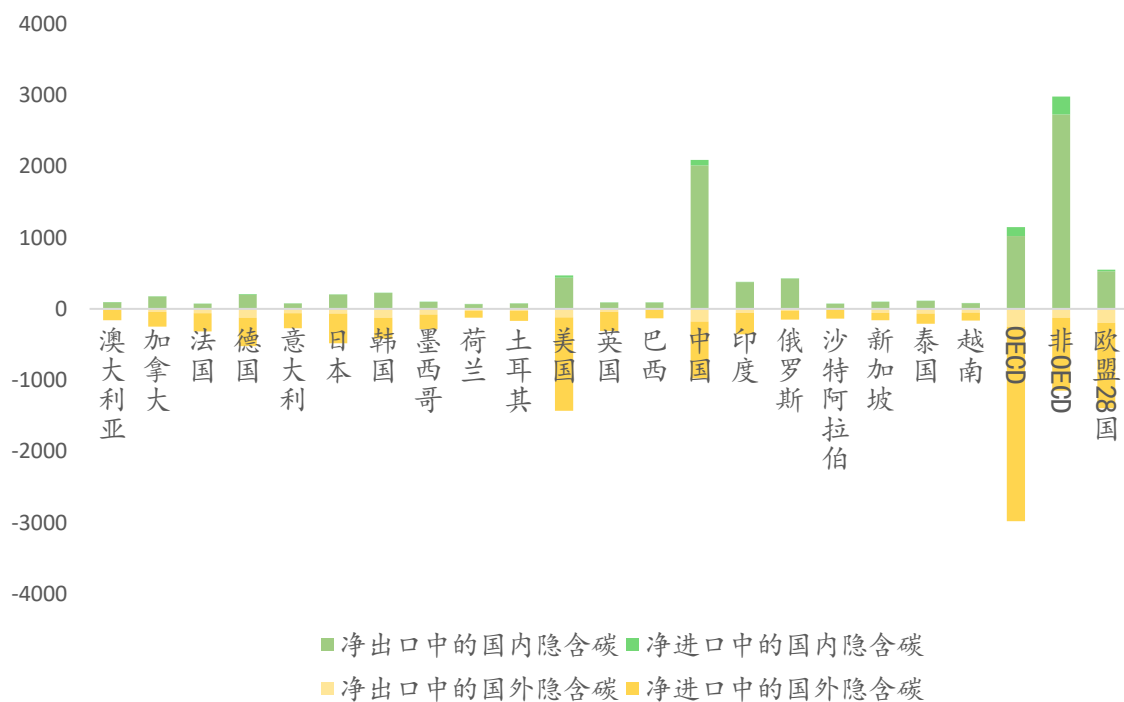


图 2 2015 年各国进出口贸易中的隐含碳对比 (单位: 百万吨)

数据来源: OECD, 红杉中国

0.2 “2030 碳达峰、2060 碳中和”：中国的承诺与担当

“目前中国人均国内生产总值为 1 万美元，按照十四五规划目标，到 2035 年人均国内生产总值达到中等发达国家收入水平，到 2050 年达到发达国家的人均收入水平。在这种背景下，中国将面临双重挑战；用一句通俗的话来形容，既要马儿跑得快，又要马儿少吃草，即少排放，或者是零排放。”

——刘世锦 十三届全国政协经济委员会副主任

中国推进碳中和的速度将远快于欧美，减排任务的艰巨程度史无前例。《自然》的研究成果指出²，15 个已知的全球气候临界点，已有 9 个被激活。在这样的大背景下，世界其他主要经济体也纷纷显示其减排决心：欧盟和美国都表示在 2050 年实现碳中和。然而欧盟已于 1979 年碳达峰，美国于 2005 年达峰，各自有 71 年和 45 年的时间从峰值走向净零排放。作为世界上最大的发展中国家，中国“2030 碳达峰、2060 碳中和”的决心要求仅用 30 年从峰值降至零排放，中国的中和斜率会远陡峭于欧美，减排速度要超出欧盟一倍，未来四十年的碳中和任务时间紧、任务重。

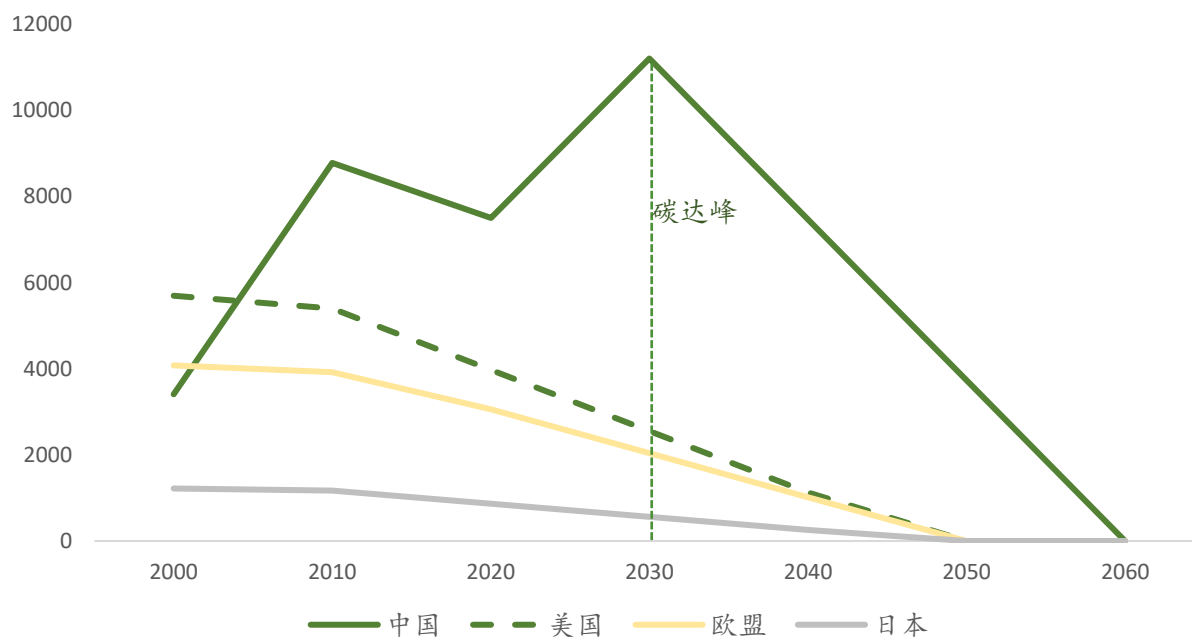


图 3 主要经济体达成碳中和任务的预期速率对比（单位：百万吨/年）

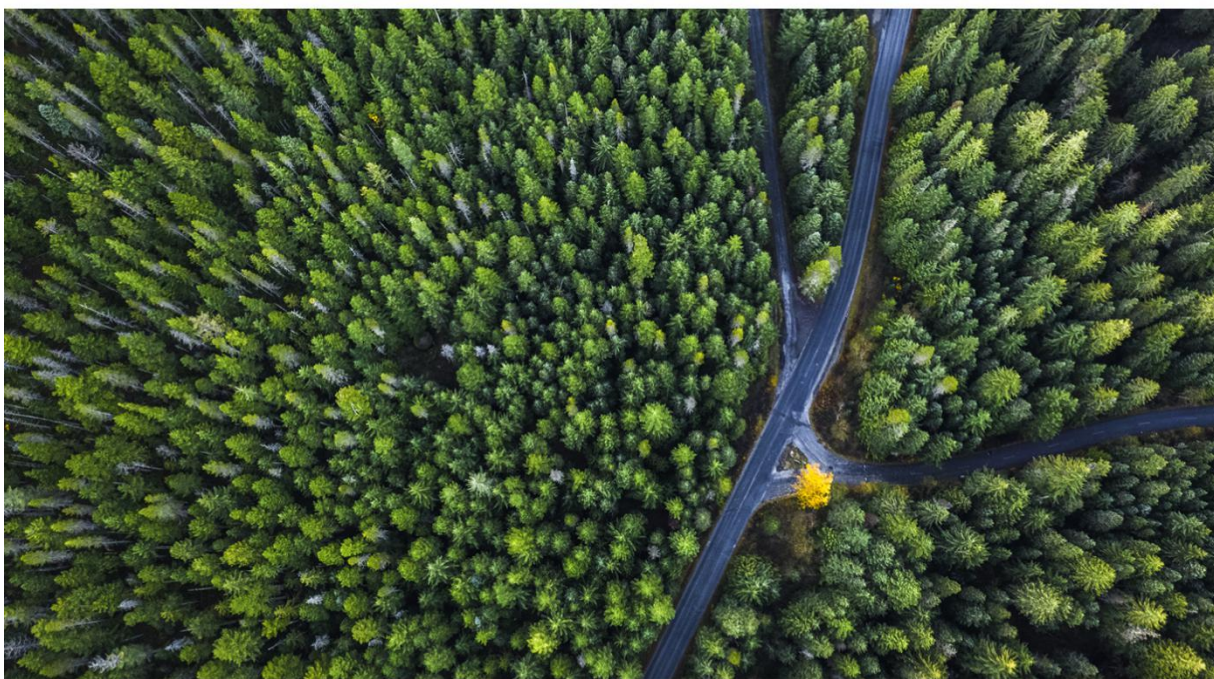
数据来源：世界银行、清华-布鲁金斯公共政策研究中心、红杉中国

² 光明日报，绿色低碳发展道路彰显中国责任担当，2021 年 01 月 25 日

同时，不同于欧美“先污染、后治理”的策略，中国“碳达峰、碳中和”目标采取低碳或者零碳的绿色技术和产业体系，同时实现高生产率，力争减碳和增长双赢。所以，作为一个超大型经济体，在人均 GDP 已达 1 万美元、又有碳中和减排巨大压力的背景下，中国仍然要承担国际贸易中的“隐含碳”任务、协同“一带一路”沿线国家走向绿色清洁、保持较高增速和高质量发展。某种意义上讲，中国选择了一条刀锋之路，彰显了负责任大国的担当与决心。



1. 全局：低碳化重塑的政策制定约束



万物并育而不相害，道并行而不相悖

——《礼记·中庸》

1. 全局：低碳化重塑的政策制定约束

1.1 中央政府面临的“碳约束”

1.1.1 如何为碳排下好定义、算好账

需要明确的是，“3060”目标是否只针对二氧化碳，还是涵盖所有温室气体（GHGs），对“排放”的界定将影响后续的测算和行动计划制定。目前学界对此未有统一口径，清华大学气候变化与可持续发展研究院（ICCS）在解读“碳中和”目标时，研究人员纳入了所有温室气体排放目录，马里兰大学在其对中国碳中和路径的研究中则将对象限定于二氧化碳。

中国提出“2030 碳达峰、2060 碳中和”的目标，描绘了全国的减排图景，而这个全国性目标分解下沉后，各地的压力和任务大不相同。在全国碳中和的大目标下，如何稳扎稳打、步步推进，需要中央引导地方先“算好账”：每个省现状是怎样的、排放了多少碳、每年可以减排多少碳、本省可以中和多少碳。没有系统的测算，各省即使对当地的实际情况有所了解，也无法有全局观地、科学地推进碳中和事宜。

国家发展改革委在碳排放核算专家座谈会上指出³，应尽快研究提出科学合理、简明适用的碳排放核算要求，明确核算边界与核算方法，指导各地区各行业扎实开展碳排放摸底和达峰前景分析。

1.1.2 经济发展如何与化石燃料消耗脱钩

“3060”目标的提出，必然引导中国向低碳经济转型，以更好与其他经济体在低碳技术、低碳产业和低碳规则中竞争与合作。低碳经济给中国的发展模式带来巨大挑战，究其原因，在于中国的经济发展长期以来与化石燃料密切相关。

第一，以煤为主的能源结构是中国向低碳发展模式转变的一个长期制约因素。高碳模式是中国能源结构的重要特征。国家统计局数据显示，近十年来，中国的能源生产、消费集中在化石燃料上。2019 年，高碳排的煤炭生产占全部生产的 68.8%，煤炭消费达 28 亿吨。根据国家统计局《中华人民共和国 2020 年国民经济和社会发展统计公报》，2020 年我国 GDP 增长 2.3%，达 1015986 亿元，其中第一产业增加值占 GDP 比重为 7.7%，第二产业占比 37.8%，第三产业比重为 54.5%。

这其中有两点值得关注：一、占 GDP 总量第二位的第二产业消耗了 76% 的化石燃料，显示工业生产技术具有高碳消费特征，说明中国的工业化与现代化仍由高碳驱动；二、结合 GDP 总量和能耗来看（见图 6），中国 GDP 单位能耗为世界平均水平的 1.5 倍，表明我国经济对能源的依赖程度仍旧很高，各行业内部能源利用效率有上升空间。因此，为

³ 国家发展改革委官网，国家发展改革委环资司召开碳排放核算专家座谈会，2021 年 3 月 26 日

实现“碳达峰、碳中和”目标，中国的目光应更多放在工业产业的减碳上，关注能源的使用效率。

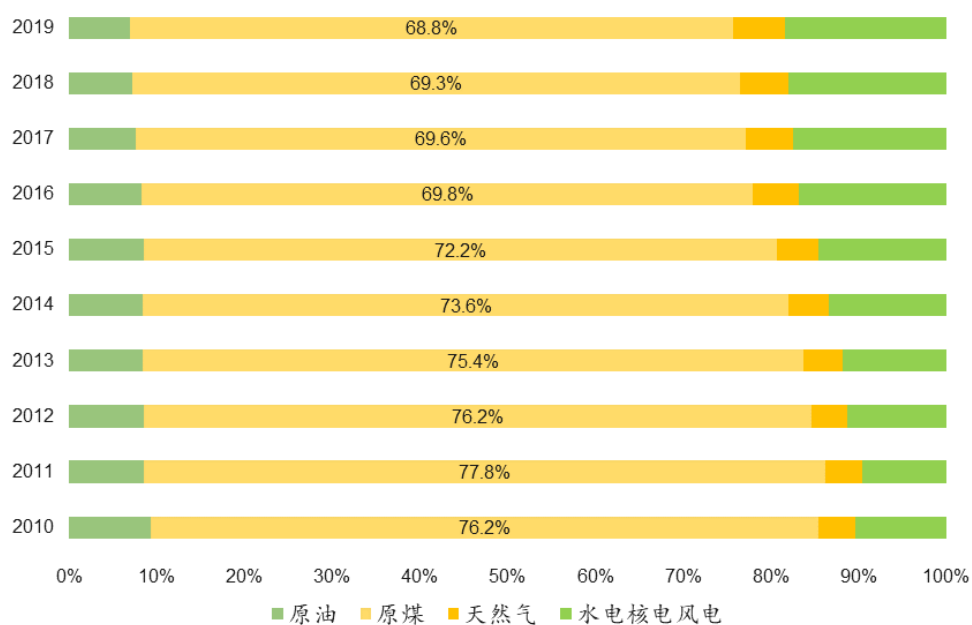


图4 2010-2019年中国能源生产结构

数据来源：国家统计局，红杉中国

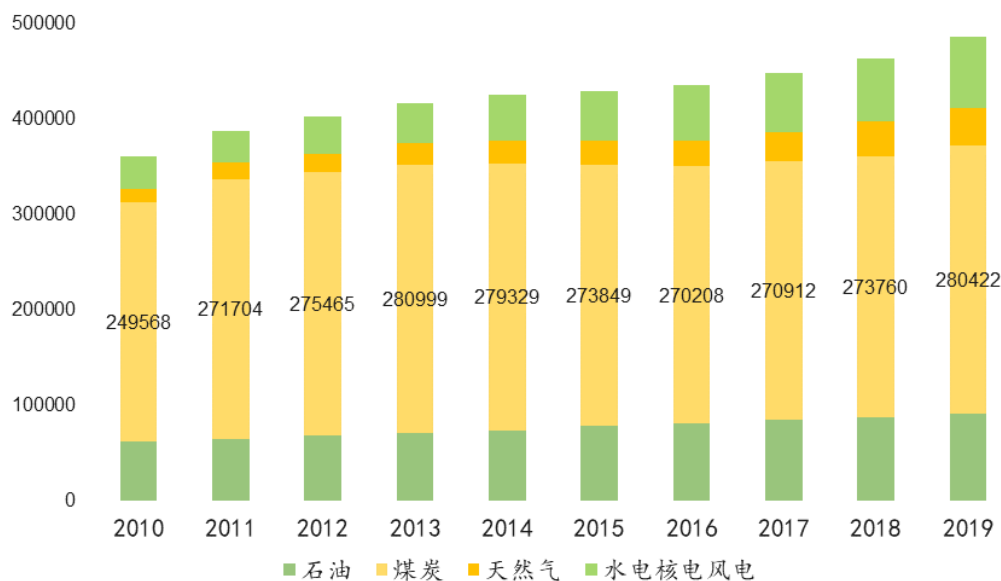


图5 2010-2019年中国能源消费情况（单位：万吨）

数据来源：国家统计局，红杉中国

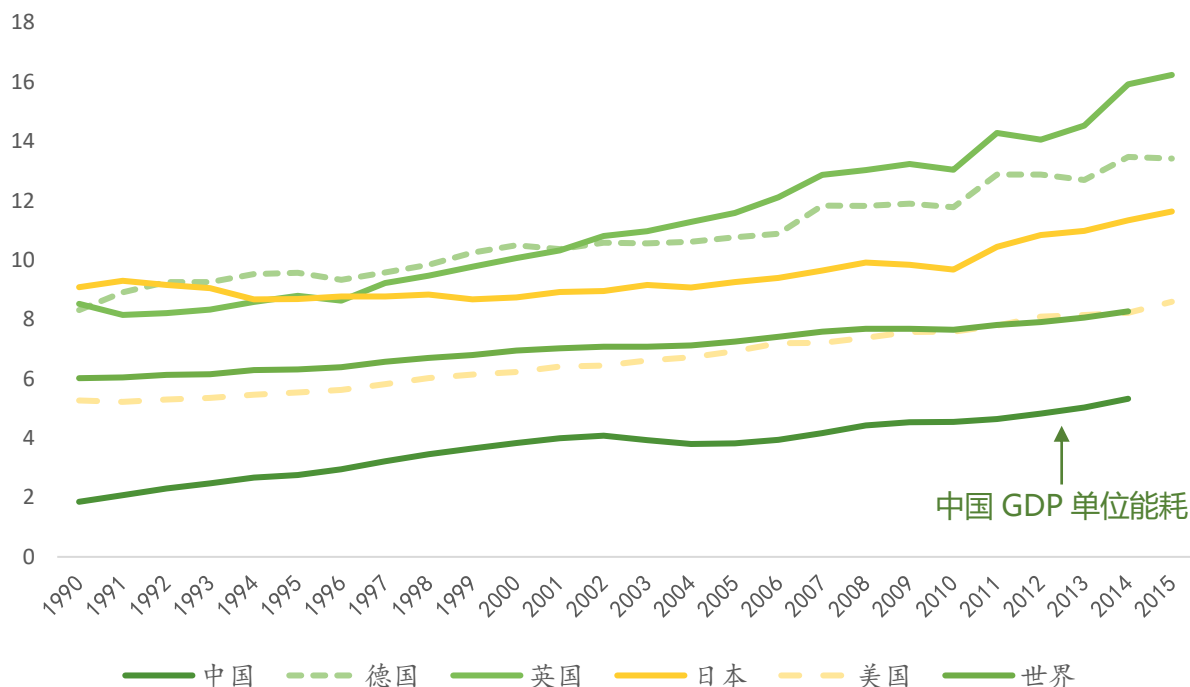


图 6 1990-2015 年世界主要经济体及世界平均 GDP 单位能耗对比⁴

(单位：2011 年不变价购买力平价美元/千克石油当量)

数据来源：世界银行，红杉中国

第二，长期以来的高碳经济发展模式是基于一系列以化石能源为基础的技术系统和能源利用系统建立起来的，随着该模式不断获得收益、扩大规模，路径依赖过程趋向于强化，中国经济容易出现“碳锁定”状态。由于火电厂一般都具有 50 年以上的寿命周期，即使不再新建火电厂，已经建成的火电厂也将继续发挥着供能的作用，这段时期的大部分排放仍会来自于燃煤电厂。根据清华大学气候变化与可持续发展研究院（ICCS）预测的低碳发展路径，至 2050 年，煤炭占中国能源供应的比例将不足 5%，占电力行业比例也将远低于 10%。这意味着，除少许例外，中国当前运转的 3000 台燃煤发电机组（见图 7）和 5000 座煤矿将被全部关闭。也就是说，这些燃煤电厂的平均退役年限将减少为 30 年。而中国拥有全球目前超过一半的煤电装机容量，且燃煤电厂的平均产能利用率不断下降。至 2019 年，这一数字下降到 50% 以下，这一数据警示，在实现碳中和的道路上，很可能出现资产搁置的状况。综上，在接下来的几十年里，中国面临着在逐步淘汰煤炭的同时平衡多个优先事项的巨大挑战，在避免资产搁置的同时，又要满足各地发展的用电需求。

⁴ 世界银行采用的单位为 2011 年不变价购买力平价美元/千克石油当量，即 GDP 单位能耗越大，数据越小

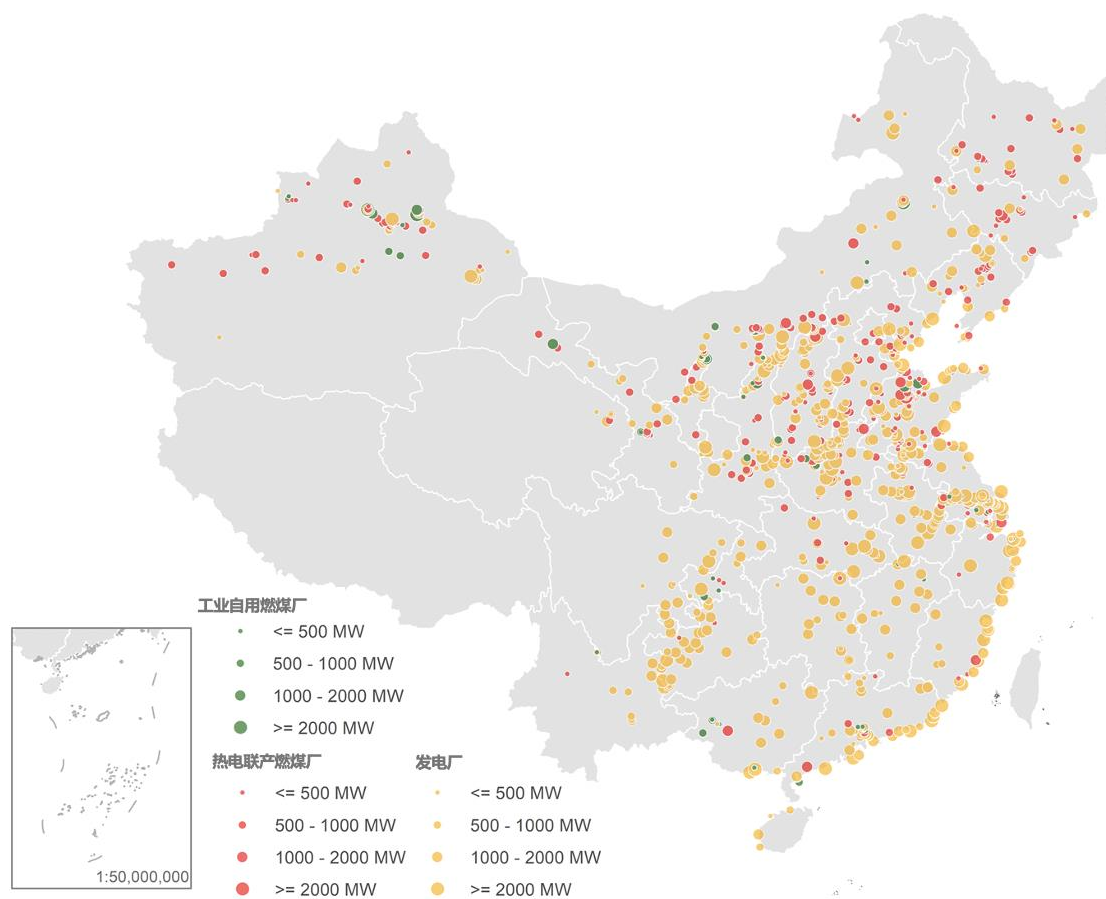


图 7 2021 年 3 月中国现有煤电厂位置、规模与类型

数据来源：Cui et al.⁵

1.1.3 如何协调好长短期目标

清华大学气候变化与可持续发展研究院（ICCSO）研究人员表示，按照当前的二氧化碳排放限额，排放量仍将在 2020 年到 2025 年间增长 4%，几乎是每年增长 1%。这些持续增长的碳排放，难以同应对气候变化的《巴黎协定》控制升温在 2°C 甚至 1.5°C 内的全球减排路径相一致。中国受限于自身发展系统的“惯性”，即前文所提到的“碳锁定”，将落后于上述目标，后期为了追赶，则各部门必然于碳达峰后加大减排压力。

若按照 ICCSO 的路径建议（见图 8），“2025 年非化石能源占比 20%、2030 年占比 25%”，那么非化石能源增速必须从当前的 0.8% 加速至 2030 年后 3%，速度接近翻两番；同理，2030 年后的碳排放量必须以每年 4% 左右的速度下降，如此才能在 2060 年达到“净零”。

⁵ Cui, Ryna Yiyun, et al. "A plant-by-plant strategy for high-ambition coal power phaseout in China." *Nature Communications* 12.1 (2021) : 1-10.

因而为实现“碳中和”目标，中国的近期经济发展目标和相关政策必须与长期“碳中和”目标相一致。若其中的矛盾无法调和，上述净零速度将会给 2030 后的中国施加巨大的压力。

“很多繁重的任务正在留给 2030 年以后。”

“扩大老式经济增长模式与促进绿色增长之间的核心矛盾似乎尚未解决。”

——Lauri Myllyvirta 赫尔辛基能源和清洁空气研究中心首席分析师

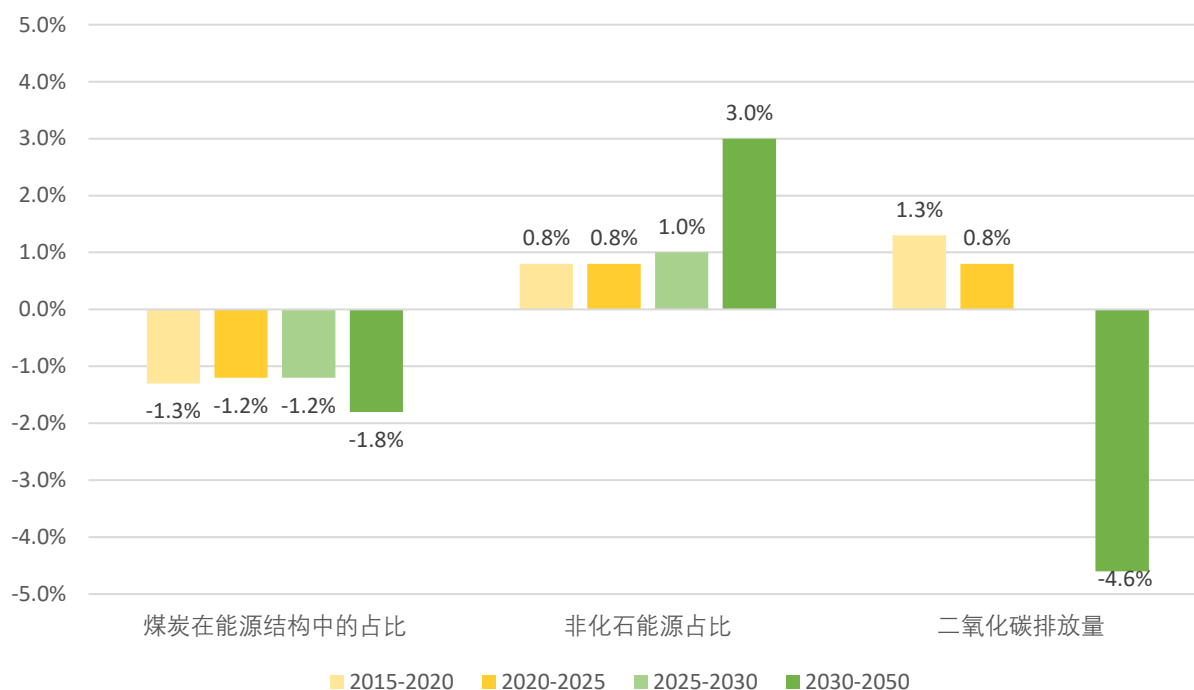


图 8 碳中和达成所需的各阶段能源结构和排放变化平均速率⁶

数据来源：清华大学气候变化与可持续发展研究院（ICCSA）

⁶ 清华大学气候变化与可持续发展研究院（ICCSA）对 2025 年、2030 年和 2050 年的预测（以年变化率显示）与 2015-2020 情况比较

1.2 地方政府面临的“碳约束”

1.2.1 行动方案编制的属地化适配

“我国地域辽阔，各地方产业结构、资源禀赋不一样，低碳发展的路径及工作重点也不一样。”

——李高 生态环境部应对气候变化司司长

中国地域广大，各地区发展不平衡，自然资源条件迥异，国家对不同区域发展的战略定位、产业布局也有很大差别。学界和产业界已经有基于城市产业特征对其进行分类的尝试，中国人民大学重阳金融研究院通过采集与城市绿色发展和碳减排相关数据（GDP、工业发展指数、空气污染指数等），根据城市发展特点将城市进行分类（如下表所示）：服务型城市、工业型城市、综合型城市和农业型城市。

城市类型	代表城市	城市特征
服务型城市	北京	服务型企业占比大，工业企业占比很少，重工业企业基本外迁
工业型城市	宁波	工业企业的碳排放占比大，碳排放总量和强度基数高，增长惯性大，碳减排任务繁重
综合型城市	武汉	工业与服务型企业占比相当，碳排放总量和强度基数不低
农业型城市	西双版纳	农业养殖和农业机械耕种的碳排放占比高

在编制具体的行动方案时，资源禀赋不同的各地存在着不同挑战。例如，青海省产业结构偏粗放、第二产业占比大；以江苏省为例的东部沿海省份则存在土地资源少、电力供给紧张等生产要素方面的短板。

对于碳排已达峰和尚未达峰的地区来说，其工作重心亦有所不同。

巩固达峰成效是已达峰地区的关键任务。“十四五”是北京稳定碳排放的关键期，因北京工业比重已经很小，服务业比例达到 83.1%，凸显了能源消费面向服务业、面向都市的特征，所以目前治理燃煤的效应会减小。

尚未达峰的地区面临更大的能源转型压力。以粤港澳大湾区为例⁷，尽管大湾区能源结构和能源强度处于全国先进水平，但化石能源占比仍然超过 60%，与世界先进湾区仍有差距：大湾区的能源强度是东京湾区的 2.3 倍、旧金山湾区的 1.4 倍。截至 2019 年 6 月底，广东统调煤电机组装机占比为 49%，而东京湾区煤电占比仅为 5%。大湾区作为经济发展重要引擎，仍有较大节能降耗空间。

⁷ 中国科学院广州能源研究所，粤港澳大湾区“十四五”碳达峰愿景和目标研究，2020 年 10 月 30 日

目前，多地“十四五”加码“碳达峰”布局，将“碳达峰”纳入地方“十四五”规划。截至目前，北京、天津、山西、山东、海南等多地都提出了明确的碳排放达峰目标。我国各地区经济发展水平、能源结构和利用效率都存在着差距，因此“碳达峰”的图景分解到各地时，应梳理本地产业结构、优势与短板，遵循各地差异，实行差异化适配。另一方面，各地处于“碳达峰、碳中和”的不同阶段，对于各阶段的不同现实难题，需要对症下药。

1.2.2 “3060”目标对地方财政的不均衡影响

碳减排对各地财政产生的影响不一。具有资源禀赋的地区，如山西、内蒙古、陕西等省，其地方财政对采矿业、电力行业等的依赖程度高。由于这几个行业均为“排碳大户”，可以预见，“3060”目标的提出，可能导致当地税收收入骤减。

如图9所示，税收依赖采矿业的省份有山西、内蒙古、陕西、黑龙江等；依赖电力行业的有青海、内蒙古、云南等；依赖建筑业的有贵州、甘肃、青海等。值得注意的是，山西、内蒙古、黑龙江、陕西等省份，采矿业、电力行业、建筑业在其财政税收中占比最大，山西省高达48%。可以预见，“3060”计划对其的冲击将远大于其他省份。

根据马里兰大学的研究⁸，在低于50%的产能利用率情况下，煤电公司的盈利能力受到极大影响，目前中国有近50%的煤电公司处于亏损状态⁹。这些迹象都表明煤电行业现存的投资和财务风险。如前文所述，我国的燃煤电厂的平均产能利用率已降至50%以下，这一数字伴随而来的是经济效益的下降和产能过剩，将对上述依赖采矿、电力行业的地区造成更大的冲击。

该挑战的另一个焦点在于，这些地区依赖资源的税收特征是由我国能源供给系统“北多南少”格局决定的，而这些地区集中生产的能源亦有被其他省份使用的部分。“3060”背景下，其他省份是否需要分摊资源大省的减税冲击和转型成本、共享低碳技术，成为必须回答的问题。

⁸ 中外对话，2060碳中和目标为中国带来多重机遇和挑战，2020年10月23日

⁹ CarbonBrief，分析：中国会在十年内新建百余座燃煤电厂吗？，2020年3月30日

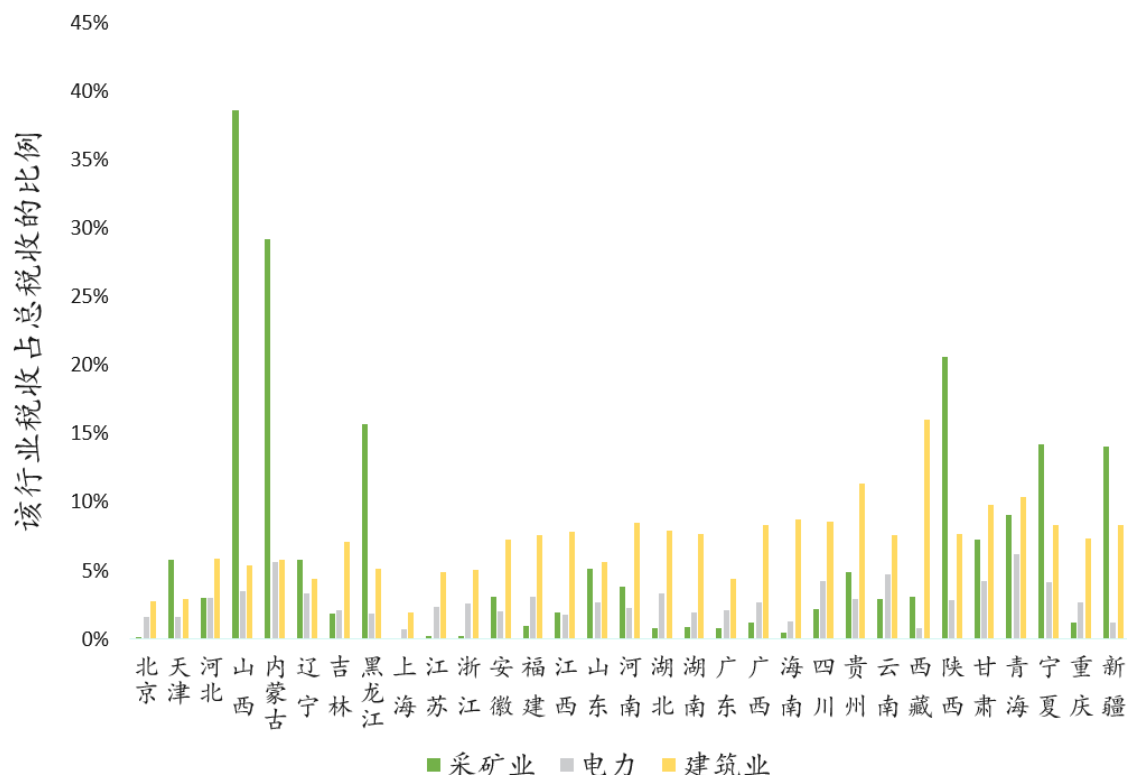


图9 2018年各省市自治区税收对采矿业、电力行业、建筑业的依赖程度
数据来源：中国税务年鉴（2018），红杉中国

1.2.3 “3060”目标对地方就业的不均衡影响

长久以来，煤炭一直是推动国民经济增长和支持社会繁荣的重要能源基石。“3060”大背景下，能源和电力行业的转型升级势在必行。能源和电力行业的转型升级导致煤炭与煤电的增量不断减少，特别是煤炭的上下游行业——包括开采、运输、煤电、煤化工等，在零碳转型中将受到巨大的冲击，导致与其相关行业的就业机会减少，给严重依赖煤炭的地区带来显著的社会经济影响。

数据显示，煤炭行业从2004至2013年走过“辉煌十年”，煤炭从业人员的数量从377万人增加到了峰值的530万人¹⁰，煤炭从业者中初中以下学历的超60%¹¹。

另一方面，即使在不关闭煤电厂、没有煤电转型压力的情况下，我国煤炭行业劳动生产效率的提高亦会导致就业人数的下降。万吨煤炭需员人数从1990年的55人降至2010年的29人、2016年的11.6人，且随着技术发展，能源生产效率会进一步提高，更多煤炭工

¹⁰ 中国能源网，煤电和煤炭转型的就业影响，2020年8月9日

¹¹ 国家煤炭工业网，康红普：“十四五”煤炭消费需多少产多少，2020年1月13日

人面临失业风险。综合上述两个风险，预计到 2050 年，整个煤炭行业从业人员可能减少到 20 万人¹²。

“3060”目标的提出，要求煤炭行业要向“高质量发展”迈进。高质量发展在于“三高三低”：高效率、高安全、高水平人才，低损害、低排放、低伤害。在智能化、自动化的基础上，煤炭行业对高水平人才的需求更大，因而对现有的煤炭从业人员提出了更高的要求。

这些数据和趋势共同表明，依赖煤电的地区，更容易受能源转型与人力资源发展程度低的影响。因而各地在进行能源转型布局时，实现煤炭平稳转型，将面临双重压力：如何有序实现煤炭工人的转岗再就业、如何帮助这批文化程度不高且在崭新就业市场上竞争力弱的工人寻求更多更好的工作机会。

¹² 国家煤炭工业网，康红普：“十四五”煤炭消费需多少产多少，2020 年 1 月 13 日

2. 解析：碳中和目标的全方位分解



物之不齐，物之情也

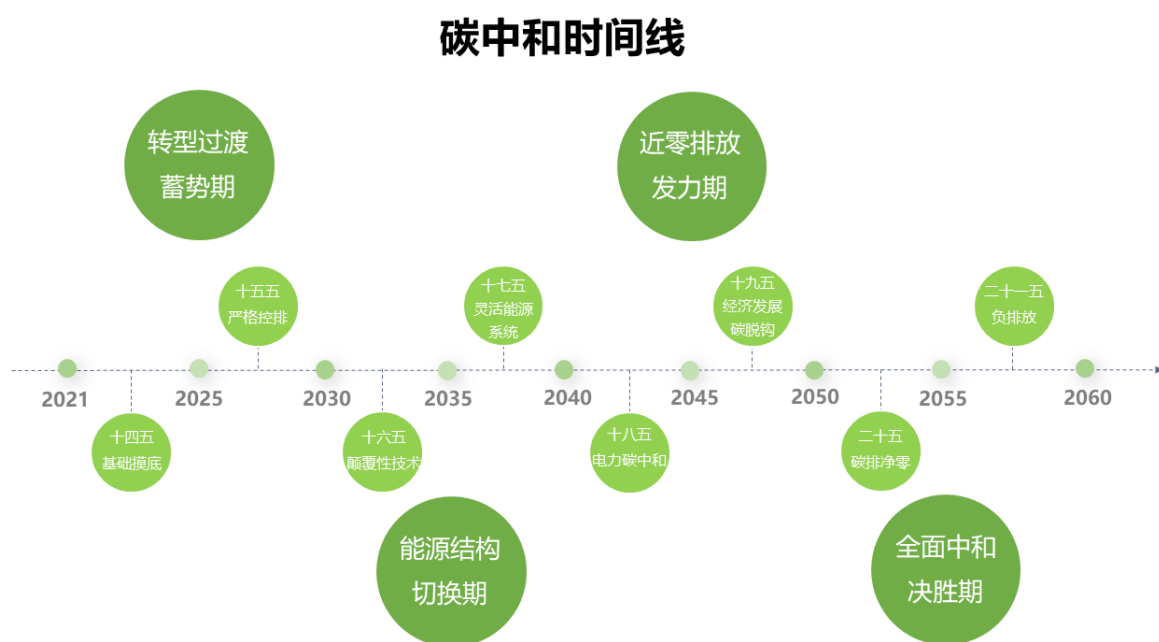
—《孟子》

2. 解析：碳中和目标的全方位分解

各界充分认识“碳达峰、碳中和”这一任务的艰巨性后，下一步工作重点应如何在时间紧、任务重背景下逐步推动减排工作，动员社会各方力量，以保证 2030 年“碳达峰”及 2060 年“碳中和”目标实现。在这一工作要点中，统筹规划及落实尤为重要，通过规划和实施方案来引领全国低碳事业发展，对有关指标进行分解，分行业分地区压实减排责任，帮助“碳达峰、碳中和”形成时间图及路径图。本章聚焦分析长期路径中的关键战略要点，从时间、空间、要素三大维度讨论“碳中和”目标分解。

2.1 时间维度分解：中国碳约束目标的节奏把控要点

根据“3060”目标，从时间维度上看，可分为四个十年，期间包括八个五年规划。而依据减排工作部署，四个十年分别对应转型过渡蓄势、能源结构切换、近零排放发力、全面中和决胜四个阶段。



第一阶段（2021—2030 年）：转型过渡蓄势期。在这一阶段的主要任务是凝成共识，建设性引导经济转型过渡。各主体应提高思想认识，正确理解碳达峰、碳中和两大目标及其内在关联性，认识到碳达峰这一拐点在整体战略部署中的阶段性功能，紧守行业、地区减排任务红线，谨防“碳达峰”变为“攀高峰”。

这一阶段内含两个五年规划，分别需要紧抓以下战略要点：“十四五”期间侧重**基础工作与过渡转型**两点。碳达峰、碳中和基础工作包括“摸清家底”，推进碳核算工作，为减排工作提供数据支撑；以及储备新技术，引导资金、人才等生产要素流向减排领域，刺激技术开发与改进。同时，转变发展模式必然经历改革阵痛期，“十四五”期间要做好“缓冲”工作，给予企业至少 5 年的适应与转型过渡时间。

“十五五”期间要在**控制碳排放**方面，出台更为严格严厉的指标和惩罚措施。“十四五”给予过渡适应时间是为了削减转型阵痛期带来的负面影响，但在时间紧、任务重的背景下，“十五五”期间应压实减排责任，通过制定更为严格的指标和严厉的惩罚举措，倒逼各方主体形成战略主动，保证碳达峰拐点出现，以及碳排放从平台期向持续下降阶段转变完成。

“在调研中发现，不少地方认为 2030 年前还可以继续大幅提高化石能源使用量，甚至还在‘高碳’的轨道上谋划‘十四五’发展规划，攀登碳排放‘新高峰’，达到‘新高峰’后再考虑下降。”

——王金南 中国工程院院士、生态环境部环境规划院院长
严刚 研究员 生态环境部环境规划院副院长

第二阶段（2031—2040 年）：能源结构切换期。成本控制，是这一阶段的战略要点。革新能源生产与消费方式，确保可再生能源发电成本低于煤电，让新能源成为经济增长的“引擎”，弱化经济增长与化石燃料消耗关联性。根据国际能源署（IEA）2017 年能源展望报告预测，在考虑实现环境质量改善，可靠及可持续获得现代能源以及气温升幅不超 2 度等多重目标作用下，采取更加严格的节能标准、碳交易、CCS 等政策技术情形下，2040 年中国能源相关的碳排放可能下降到 2001 年水平¹³。

颠覆性低碳技术的出现与应用、更为系统灵活的能源手段应成为“十六五”“十七五”的关键词。“十六五”要做好低碳能源成本控制，必须依仗新技术力量，通过低碳技术革新与应用，排解系统成本增长压力。能源转型委员会研究表明，到 2035 年零碳发电系统成本仅为 31 美元/MWh，远低于火电为主的系统成本。“十七五”应将重点放在不同低碳技术与供能方式的协同发展，提高能源系统整体灵活性。通过扩大电力区域调度范围、优化跨省电力输送负荷、火电灵活性改造等手段，协同生物质能发电、燃煤厂加装 CCS 装置，构建更为低碳、灵活的能源供给系统。

第三阶段（2041—2050 年）：近零排放发力期。采取严格标准和更多资源投放，超前部署长期目标成为这一阶段的要点。清华大学气候变化与可持续发展研究院《中国长期低碳发展战略与转型路径研究》综合报告（简称清华报告）提出，2050 要基本实现二

¹³ 陈美安，iGDP 观察，与纽约时报商榷：中国减排努力真的不够吗？，2019 年 11 月 1 日

氧化碳净零排放，全部温室气体减排约 90%，这一深度脱碳目标的实现需要坚实的产业基础与技术“打好地基”，引导资源持续流向减排领域。同时，完成长期目标的超前部署和规划，提供更为全面的政策保障和良好的市场环境。

实现电力系统的碳中和是“十四五”核心要点。中国能源研究会常务理事李俊峰介绍，按照国际惯例，电力的碳中和一般要早于一个国家和一个地区的碳中和大概 10-15 年。依据 2060 年我国实现整体碳中和目标，电力系统需要尽量在 2045 年左右要实现碳中和¹⁴。可通过光伏发电、风电成为主要发电方式，实现能源结构多元化及电力供需平衡高度耦合，推动储能高度发展等手段，迈向电力碳中和道路。

“十四五”要实现经济社会发展与二氧化碳脱钩，单位 GDP 能耗达全球领先水平。清华报告提出，到 2050 年 GDP 总量将比 2005 年增加 10 倍以上，单位 GDP 的能源强度将比 2005 年下降 80% 以上，二氧化碳强度下降超 95%，实现这一目标需要更大规模的资金投入和成本代价，同时进行超前部署，进一步加强非二氧化碳温室气体减排和采用 BECCS 技术等负排放措施，为碳中和目标实现做好最后的冲刺准备。

第四阶段（2051-2060 年）：全面中和决胜期。基本建成零碳产业、零碳经济、零碳社会、零碳国家，开启多维度综合成本效益评估的“负碳”征程是这一阶段的战略要点。在此阶段，减排“马拉松”接近尾声，一旦松懈，前期努力将功亏一篑，因此需要各参与主体继续咬紧牙关，取下碳中和最终胜利。此外，减排网络已有序运行，减排成本的下降有利于负排放技术的开发与大规模应用，同时减排的成果能为搭建负排放技术成本—效益评估体系提供重要参考。

“二十五”应实现全社会碳排放净零。在这一时期内，以深度脱碳、碳捕集和封存技术、增加森林碳汇为工作重点，助推能源和电力生产进入负碳阶段，实现全社会碳排放净零¹⁵。“二十一五”要关注负排放，控制和减少累积碳排放量。这一阶段已基本完成能源替代工作，深度脱碳的要求将会刺激负排放技术广泛启用。

2.2 空间维度分解：中国碳排放活动的区域格局要点

要探索适应国情的碳减排道路，实现碳中和目标，首先需要摸清我国碳排放规律，依据我国碳排放的区域—产业排放特点，对症下药，因地制宜推进相关工作。目前，根据不同口径计算出的碳排放量差异较大，本报告旨在利用已有数据，为我国区域产业碳排放提供可行测算思路。

¹⁴ 每日经济新闻，政府工作报告：“十四五”二氧化碳排放降低 18% 今年设立碳减排支持工具，2021 年 3 月 5 日

¹⁵ 摘自全球能源互联网发展合作组织发布的研究报告对 2055 年碳中和进程的预测

从排放领域来看，能源活动是我国二氧化碳排放的主要来源，2019 年能源活动二氧化碳排放量占全国二氧化碳总排放量 87%¹⁶，因此，通过摸清各省市区能源活动中二氧化碳排放量，能有效了解各地碳排现状，从而为碳减排与碳中和行动方案制定提供数据支撑。

本报告根据各省市区统计年鉴公布的能源终端消费总量，排除能源加工转换损失量和能源损失量影响，以能源终端消费量拟合能源消费总量，进一步测算出各省市区碳排量示意性数据¹⁷。从区域角度看，经济发达、人口稠密的东部地区是二氧化碳排放的主要地区，西部地区部分省市区碳排放量较大，粗放式的经济结构与低能源利用率也是影响碳排放量的重要因素。

各省市区碳排放总量显示，江苏、广东、河北、山东、河南是能源消耗及碳排大省，其中，江苏省 2019 年排放二氧化碳 9.32 亿吨，居全国首位。河南省是全国第五大碳排大省，2019 年共消耗 2.23 亿吨标准煤，排放 5.92 亿吨二氧化碳。从能源消耗结构来看，煤炭是河南产能的主要燃料，占比高达 67.4%，比同期全国平均数据高 9.7%。煤炭是高碳能

¹⁶ 经济日报，国内两轮换电生态联盟成立 产业协同推动行业新发展，2021 年 4 月 6 日

¹⁷ 由于无法获得西藏自治区和香港、澳门、台湾的能源统计数据，本报告仅测算 30 个省市区的能源终端消费情况和碳排放量

内蒙古、黑龙江、江苏、湖南、海南、宁夏能源终端消费总量与三大产业能源终端消费量数据缺失。本报告根据《中国能源统计年鉴 2019》地区能源平衡表，以原煤、汽油、柴油、液化石油气、天然气、热力、电力、其他能源这八种主要能源的终端消费量分别与对应的折标准煤系数相乘（选用《中国能源统计年鉴 2019》各种能源折标准煤参考系数），计算出本省市区的能源终端消费总量与产业能源终端消费量数据

为尽可能选用官方公布的最新数据，广西数据为能源消费量数据，而非能源终端消费数据，根据能源消费总量=终端能源消费量+能源加工转换损失量+能源损失量，因能源加工转换损失率与能源损失量数值较小，能源消费总量与终端能源消费量能包含一致的数据信息，对测算结果并未造成较大影响

因统计数据缺失，河北、山东采用 2015 年数据，新疆采用 2017 年数据。河北、江苏、安徽、福建、江西、河南、湖北、四川、贵州、甘肃、新疆仅公布了能源终端消费量与工业能源终端消费量数据，本报告根据综合能源平衡表中，以行业能源终端消费量 = $\sum \left(\frac{\text{细分部门能源消费量}}{\text{总能源消费量}} \right) * \text{能源终端消费总量}$ 进行各产业对应的能源终端消费量计算

本报告均选用能源等价值核算单位。因各省份不同产业对应的各种能源消费量缺失，且能源终端消费量单位均为万吨标准煤，因此本报告选取现有的 2.7725t CO₂/tce 作为标准煤碳排放因子进行大致碳排放量估算，因不同能源碳排放系数存在差异，本报告测算仅为示意性测算。计算步骤如下：本报告选取简化版化石燃料燃烧产生的碳排放量计算公式：能源碳排放量 = 能源消费量 * 每单位标准煤碳排放量

按照国际能源燃烧碳排放公式，能源燃烧产生的碳排放总量 = 能源消费量 * 能源低位发热量 * 碳排放系数 * 碳氧化因子 * $\frac{44}{22}$ ，标准煤的热值为 7000kcal/kg=29.3076GJ/t，根据 IPCC（2006）数据，典型煤种如褐煤焦煤含碳量为 25.8kg/GJ，选取 IPCC（2006）推荐默认值 100%作为标准煤碳氧化因子，故标准煤碳排放因子为 $29.3076 * 25.8 * \frac{44}{22} * 100\% \div 1000 = 2.7725\text{tCO}_2/\text{tce}$

在计算各省市区能源终端消费部门行业碳排量占比时，受上述测算方法影响，吉林、江苏、山东、河南、广东、海南、四川、贵州、甘肃、新疆、全国占比合计不等于 100%

源，高度依赖煤炭的能源消费模式导致河南碳排放量居高不下。同时，河南能源消费结构在全国省市区横向对比中明显落后，要实现 2060 碳中和目标，能源结构优化压力较大。

要稳扎稳打推进碳中和工作，厘清碳减排主要矛盾，需要摸清三大产业的碳排放情况。经测算，我国各区域呈现“二产绝对领头”的碳排放态势，西部地区尤为明显，第二产业占比超 70% 的九个省市区中，五个位处西部，这说明资金密集型、资源消耗型产业是当地经济增长的主导动力，因此，西部地区应多渠道弥补产业结构偏粗偏重的短板。

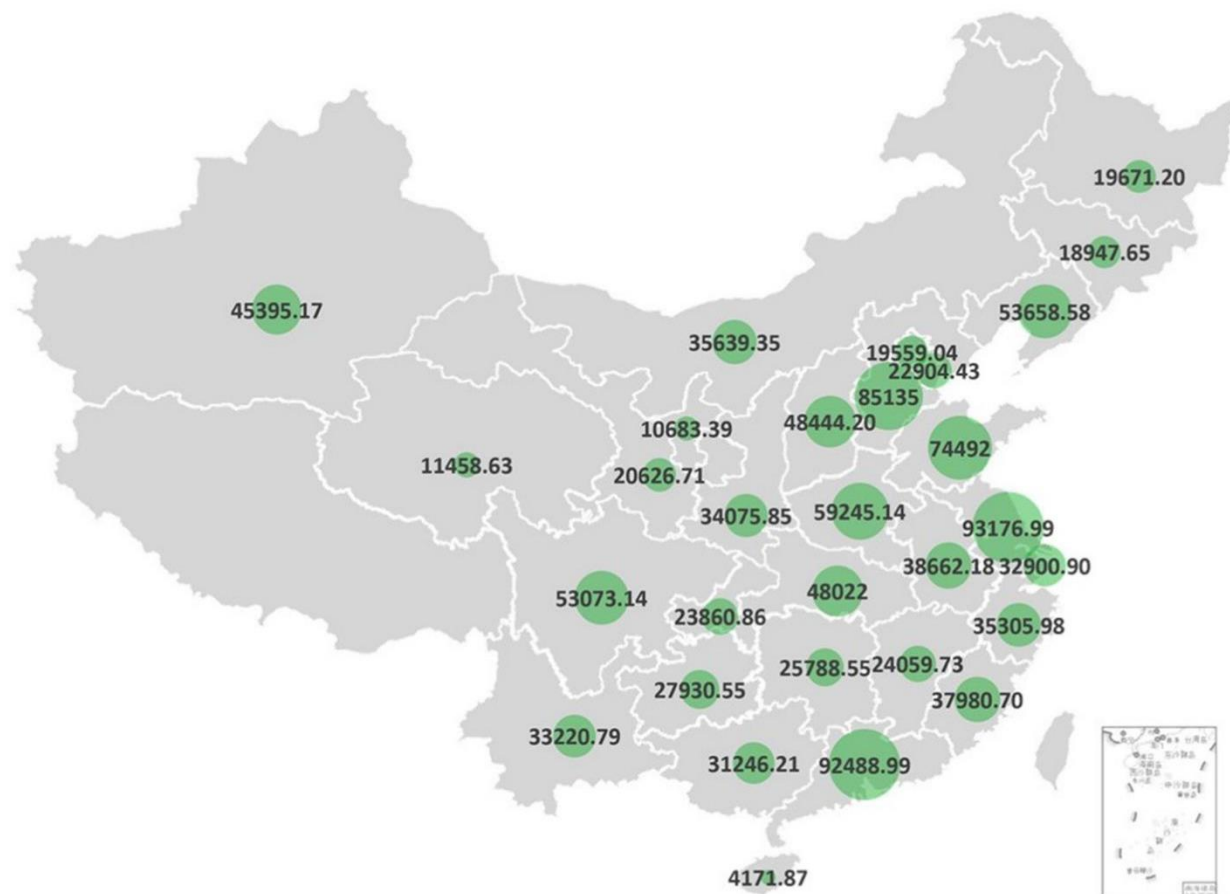
在二产碳排占比突出这一主要特征下，各省市区又存在一定的产业碳排差异，在此基础上结合省情具体分析，对统筹区域碳减排动态平衡具有重要意义。宁夏作为第二产业碳排领头的典型省份，第二产业碳排放量占比突出为 87%，第三产业和生活消费碳排放占比仅为 8% 和 4%。宁夏是我国大型煤炭基地及西电东送的火电基地，实现碳中和，需重点加速对已有燃煤机组的环保技术改造工作，优先发展超临界、超超临界节能环保机组，发挥首个新能源综合示范区优势，加快新能源产业落户，实现从“挖煤”向“输电”转变。

而作为全国重要的能源工业基地的黑龙江则是第二产业、第三产业及生活消费三大部分“三足鼎立”之地，排放占比分别为 35%、33% 和 24%，第一产业碳排放量占比全国最高。受地理与气候影响，黑龙江生活消费耗能较大，应以地热能、太阳能光伏、生物质能等新能源和清洁能源供暖改造为重要抓手，推动黑龙江实现碳中和目标。

北京是唯一第三产业碳排放量超过第二产业的省市区，第二产业占比与生活消费相当，分别为 22% 和 24%。凭借资金、技术和人才优势，北京“十三五”期间开始了疏解整治促提升专项工作，显著降低了本市工业碳排放量。而以低能耗的第三产业作为支柱产业，北京市整体碳排放控制压力较低，可重点从第三产业的现存企业存量优化和增量把控入手，推进现有企业优先使用可再生能源，利用资源优势加强对高精尖产业的吸引力。

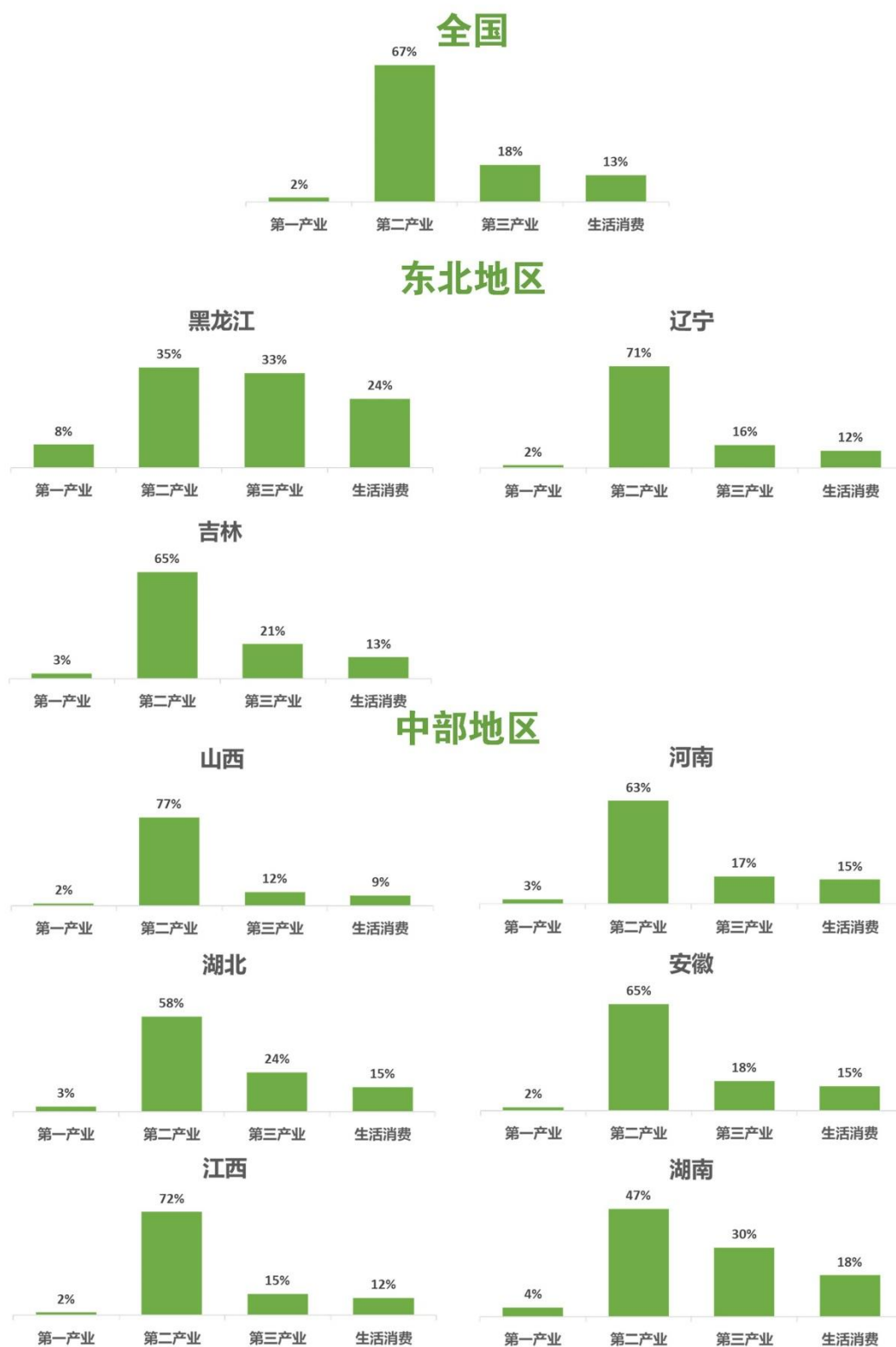
2019年各省市区碳排放量示意性测算

(单位: 万吨)



来源: 红杉中国测算

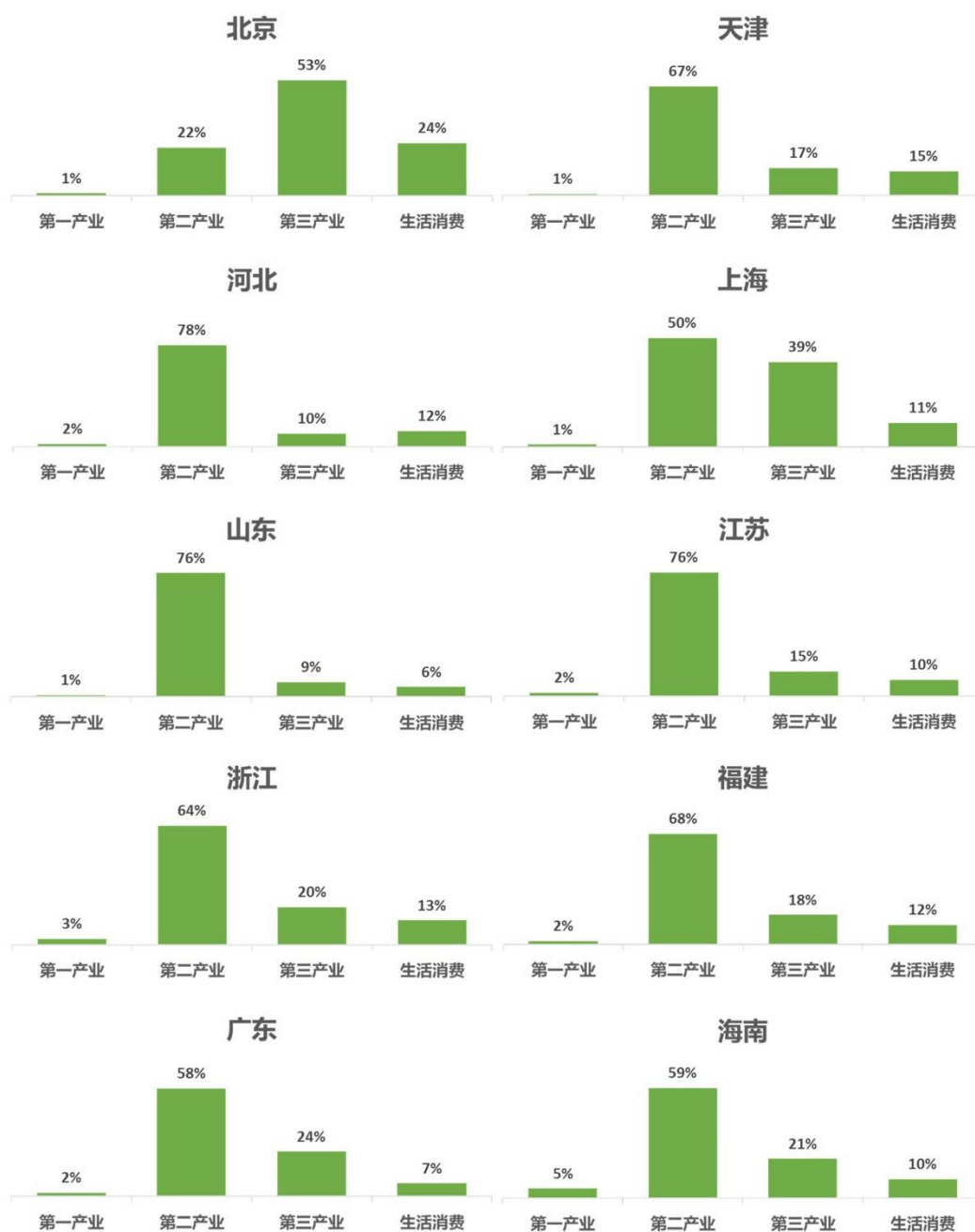
2019年各省市区能源终端消费部门行业的碳排放量占比示意性测算（一）



来源：红杉中国测算

2019年各省市能源终端消费部门行业的碳排放量占比示意性测算（二）

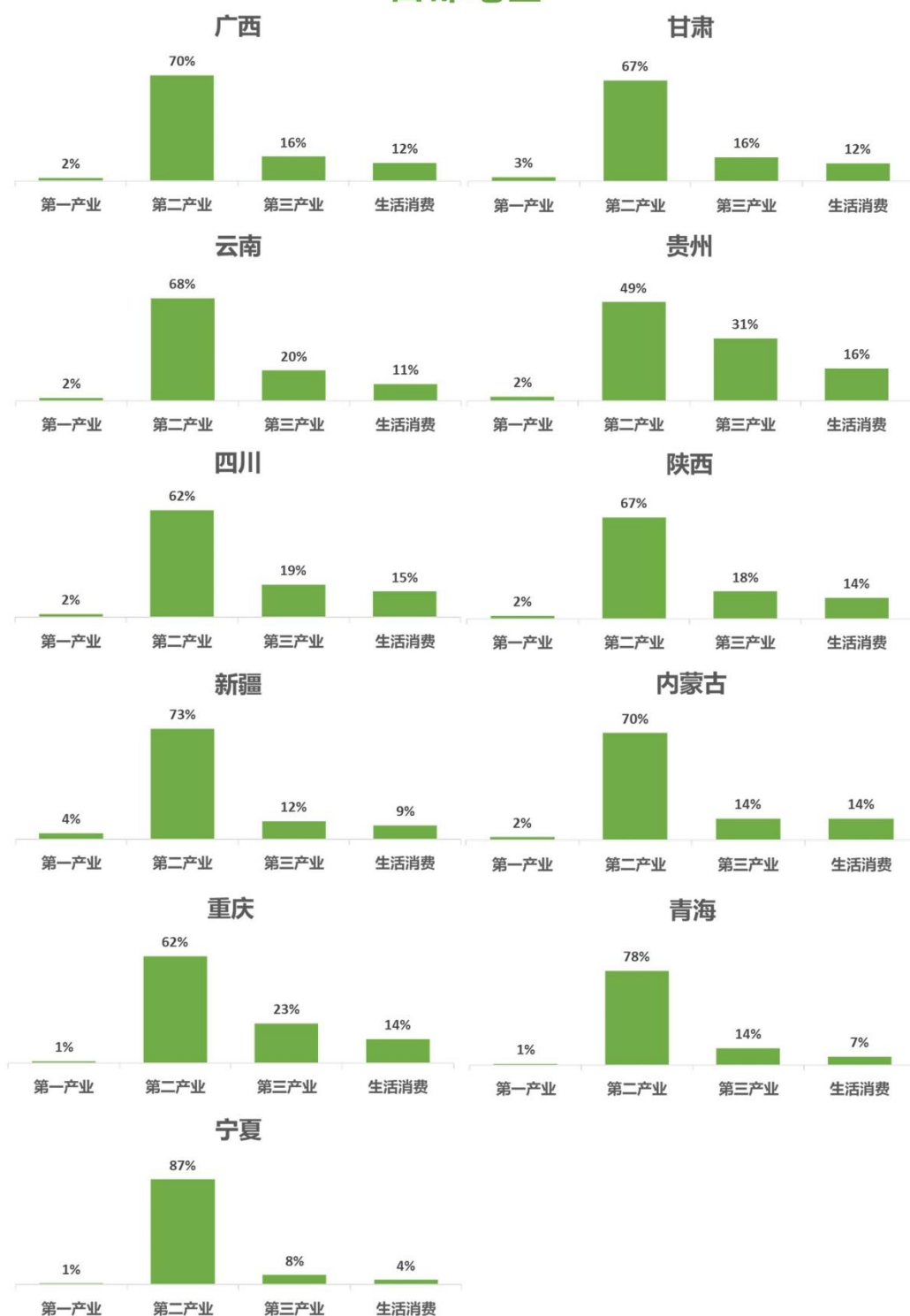
东部地区



来源：红杉中国测算

2019年各省市能源终端消费部门行业的碳排放量占比示意性测算（三）

西部地区



来源：红杉中国测算

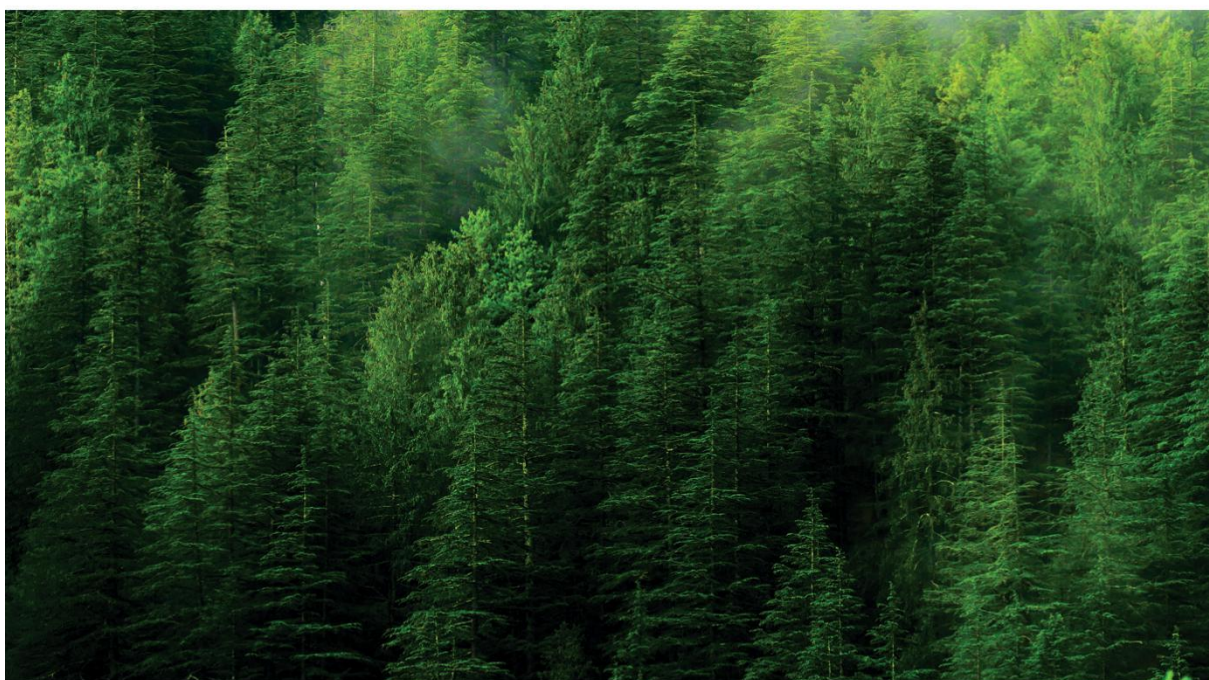
2.3 要素维度分解：中国碳目标的政府和市场协同要点



能源替代和提升能效是达成碳中和目标的“两条腿”，而政府和市场协同发力是碳中和“两条腿”走路的根本动力来源。“碳达峰”和“碳中和”的实现，首先需要政府充分重视、决心推进，一方面制定好短期及中长期工作规划，为我国碳减排工作推进提供方向性操作思路，另一方面运用行政力量，出台相关配套政策，保障减排工作都落到实处。自碳达峰、碳中和目标提出后，中央及地方政府充分重视，全国和地方两会、各省市区政府工作报告均提及相关内容，显示出中央及地方政府对碳减排的高度关注。但就目前而言，相关配套政策制定与落实仍有待加强，意识层面的高度关注需进一步转化为实际举措，要继续发挥政府在碳中和实现中的枢纽作用，强化相关市场机制在带动经济低碳转型的作用，充分激发非政府行为体的减排潜力。

市场机制能高效引导资金、技术等生产要素向绿色低碳经济领域流动，保证资金、技术这两大抓手能紧握能源替代、提升能效两要点，最终实现碳中和目标。实现长期低碳绿色转型，需要投资改造已有的能源及电力系统，以及建设新基础设施、终端节能和能源替代基础设施。仅依靠政府力量无法满足巨大的转型资金需求，需要发挥市场作用，刺激更多社会资本参与。同时，实现碳中和需要经济社会全面转向绿色低碳，为技术提供升级动力及应用的土壤。现有的技术水平下减排成本较高，巨大的绿色市场前景能倒逼现有减排技术优化，刺激企业更多投入开发减排新技术。

3. 投资：为决定性低碳转型调集资金



计利当计天下利

——于右任题赠蒋经国对联

3. 投资：为决定性低碳转型调集资金

3.1 碳中和资金缺口测算

3.1.1 已有研究概览

为了科学估算碳中和资金缺口，我们收集了一些有代表性的研究报告，并梳理了主要结论。

从资金需求总量看，预测差异较大。表 1 列示了几家机构的预测，其中，最小预测值为每年 2.6 万亿人民币，最大预测值为每年 4.2 万亿人民币，占 2020 年 GDP（101.6 万亿人民币）的比率从 2.6% 到 4.2% 不等。

来源	机构	针对目标	原文表述	规模
1	发改委	2030 碳达峰	实现碳达峰需要资金	每年 3.1 万亿-3.6 万亿
2	中金研究院	2030 碳达峰	绿色投资总需求	2020-2030 每年 2.2 万亿
		2060 碳中和	绿色投资总需求	2030-2060 每年 3.9 万亿
			中国绿色投资	每年平均 3.5 万亿
3	高盛	2060 碳中和	绿色投资总需求	每年 2.6 万亿
4	清华大学气候变化与可持续发展研究院	世纪末升温 2°C	绿色投资总需求	2020-2050 每年 4.23 万亿
5	Wenji Zhou, et al. ¹⁸	升温 2°C	低碳投资	每年 2.8 万亿
		升温 1.5°C	低碳投资	每年 3.6 万亿

表 1 各机构绿色投资总需求预测概览

¹⁸ Zhou, Wenji, et al. "A comparison of low carbon investment needs between China and Europe in stringent climate policy scenarios." *Environmental Research Letters* 14.5 (2019) : 054017.

来源	机构	关注点	原文表述	占比
1	中金研究院	公共部门资金占比	气候融资资金来源	52%
2	澎湃新闻专家访谈	发达国家公共财政在绿色投资中的比例	气候融资规模	20%-30%
3	北京绿色金融与可持续发展研究院	政府出资	绿色投资	10%
4	欧洲理事会	“下一代欧盟”经济复苏方案	绿色支出	30%
5	德国财政部	刺激资金	公共交通和绿色氢开发	33.30%
6	国际能源署	公共部门 R&D 贡献	能源研发投入	50%以上

表 2 各机构绿色投资公共部门投入概览

从资金来源构成看，社会资本占据主要部分。德国等发达国家的绿色投资中，公共财政的比例在百分之二三十左右。中国金融学会绿色金融专家表示，在绿色投资中，社会资本的比例占了 90% 左右。

3.1.2 碳中和资金缺口测算过程

我们对中国 2021-2060 年的碳中和资金需求及缺口进行建模预测，其中碳中和资金缺口为绿色投资需求与财政绿色投资的差额。

(1) 模型假设及计算公式：

假定绿色投资占 GDP 比例不变，财政绿色投资增速固定。

a_n 表示第 n 年的 GDP 总量

i 表示 GDP 年均增速

p 表示绿色投资占 GDP 比例

k 表示财政绿色投资年均增速

b_n 表示第 n 年的绿色投资需求总量

c_n 表示第 n 年的财政绿色投资总额

则碳中和资金缺口（用 d_n 表示）计算公式如下：

$d_n = b_n - c_n$ ，其中：

$b_n = a_{2020} * (1 + i)^{n-2020} * p$

$$c_n = c_{2020} * (1 + k)^{n-2020}$$

(2) 参数设定：

- A. 根据国家统计局的数据， $a_{2020} = 101.6$ ，2015-2019 年我国财政支出的年均增速为 7.9%。粗略假定财政绿色投资的增速等于财政支出的增速，即 $k = 7.9\%$
- B. “十四五”规划和 2035 年远景目标纲要提出，到 2035 年 GDP 实现翻一番，按此推算，GDP 年均增速应维持在 4.7% 以上¹⁹，保守假设 $i = 4.7\%$
- C. 引用研究报告²⁰数据，假定 $p = 2.5\%$
- D. 根据国家发改委²¹数据， $c_{2020} = 0.53$

	2020 年	2030 年	2040 年	2050 年	2060 年
GDP 年均增速 i (%)		4.7%	4.7%	4.7%	4.7%
绿色投资占 GDP 比例 p (%)		2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
财政绿色投资年均增速 k (%)		7.9%	7.9%	7.9%	7.9%
GDP 总量 a (万亿)	101.60	160.83	254.58	402.99	637.91
绿色投资需求 b (万亿)		4.02	6.36	10.07	15.95
财政绿色投资 c (万亿)	0.53	1.13	2.41	5.15	11.02
碳中和资金缺口 d (万亿)	2.5	2.89	3.96	4.92	4.93

表 3 测算结果汇总表

¹⁹ 经济日报，经济学家解读“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要，2021 年 3 月 14 日

²⁰ The European Commission, Roadmap for Moving to a Competitive Low-carbon Economy in 2050, 2011 年 3 月 10 日

²¹ 国家发改委价格监测中心的研究显示，与 2030 年实现碳达峰每年的资金需求 3.1 万亿-3.6 万亿相比，当前的资金供给严重不足，每年只有 5265 亿元，资金缺口超过 2.5 万亿

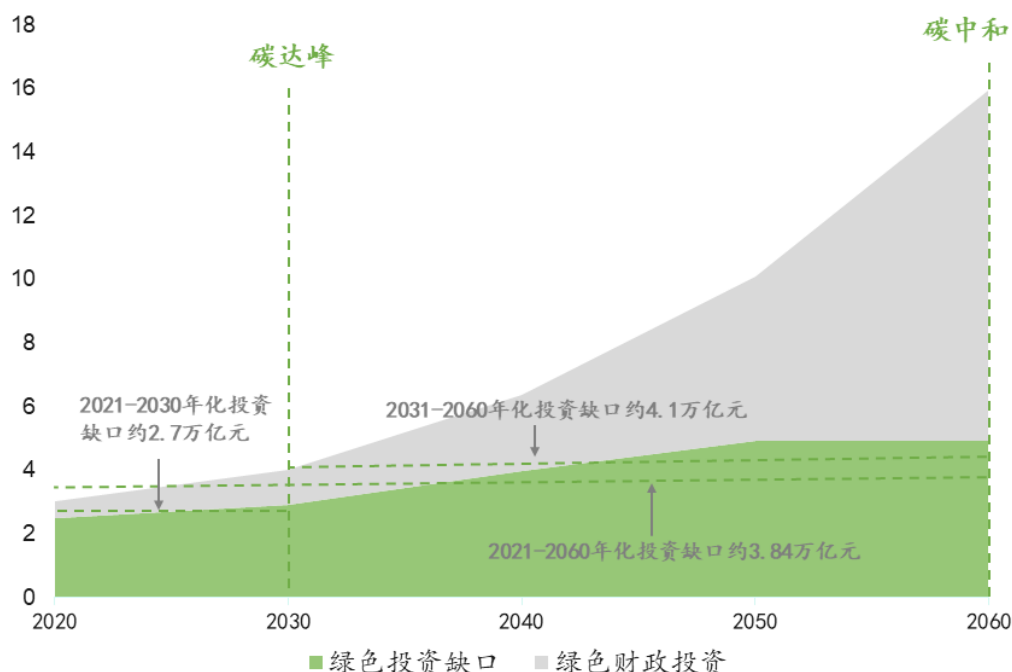


图 10 碳中和投资需求和缺口预测（2020 年价格）

测算结果表明，2021-2060 年，我国绿色投资年均缺口约 3.84 万亿元，其中，2021-2030 年平均缺口约 2.7 万亿元，2031-2060 年平均缺口约 4.1 万亿元，碳达峰以后资金缺口呈现明显扩大趋势。

3.2 当前碳中和投资面临的主要问题

3.2.1 资金来源单一：社会资本激励有待强化

从前述测算看，我国绿色投资存在 150 万亿元左右的资金总量缺口，若资金来源以有限的财政投入为主，巨额需求缺口难以填补。国际经验也表明，社会资本是填补资金缺口的主要来源。但对于社会资本而言，由于碳中和投资具有明显的正外部性，如果缺乏有效的资本激励机制，很难调动社会资本参与的积极性。

3.2.2 资本结构失衡：股权投资占比明显偏低

根据中金研究院对绿色投资需求结构的预测，2031-2060 年信贷的比例为 60%，股权投资的比例为 30%，但当前（2018-2020 年）的绿色投资资本工具中，信贷独大，占比达到 90%，而股权投资占比仅 3%。这充分说明，碳中和资本结构有待优化，需要均衡利用各类资本工具，特别是进一步加大股权投资力度。

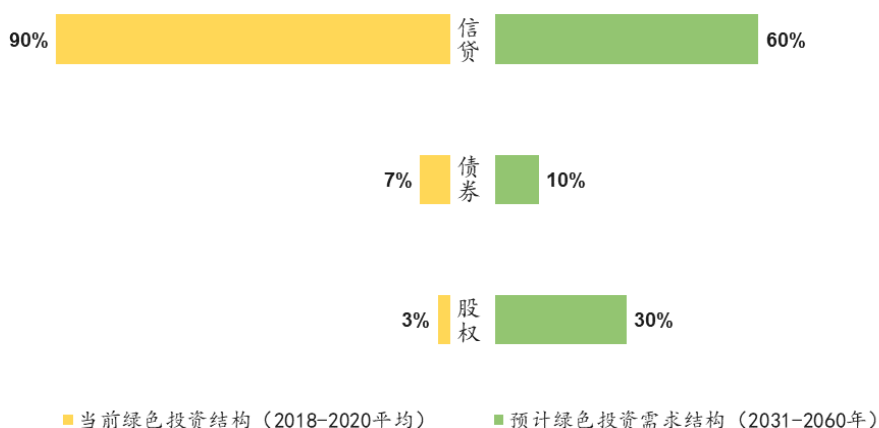


图 11 当前绿色投资结构与预测绿色投资需求结构²²
来源：Wind，中金研究院

3.2.3 他山之石：国外碳中和投资的经验借鉴

放眼全球，不少国家都对碳中和投资做了积极探索，特别是在推动社会资本参与投资方面，有很多成功的经验。我们整理了一些政府和产业合作发展绿色金融的典型案例供我国借鉴，其中既有成立绿色投资机构的方式，也有“财政资金+激励机制”的模式。

（1）成立绿色投资机构撬动社会资本

绿色投资机构主要是指由国家或地方政府设立的绿色银行和绿色基金，其以应对气候变化和环境保护、促进本国或地区绿色产业发展为主要目的，运作模式以发放贷款和提供担保为主。

²² 中金研究院，绿色金融：以引导促服务，化挑战为机遇，2021 年 3 月

级别	名称	资本金		来源	可从社会融资	需要政府持续提供资金支持
		折合人民币	外币			
国家级	马来西亚绿色科技融资计划	52 亿元	35 亿林吉特	财政出资	否	是
	英国绿色投资银行	358 亿元	38 亿英镑	财政出资	是 (股权、债权)	否
	澳大利亚清洁能源金融公司	510 亿元	100 亿澳元	财政出资	否	否
	南非绿色基金	3.6 亿元	8 亿兰特	财政出资	否	否
	日本绿色基金	7300 万元	14 亿日元	二氧化碳税收	否	是
	瑞士科技基金	1.6 亿元	2500 万瑞士法郎	二氧化碳税收	否	是
	丹麦绿色投资基金	1.9 亿元	2 亿丹麦克朗	财政出资	否	是
省（州）级	美国纽约州绿色银行	62 亿元	10 亿美元	州政府其他项目	否	否
	美国新泽西州能源适应银行	12.4 亿元	2 亿美元	政府灾后重建特别拨款	否	否
	美国夏威夷州绿色能源市场证券化项目	9.6 亿元	1.5 亿美元	绿色债券	是 (债权)	否
	美国康涅狄格州绿色银行	3.3 亿元 (2015 年)	5374 万美元 (2015 年)	公用事业收费碳排放交易平台债券基金	是	是

表 4 绿色投资机构资本金注资途径与金额

来源：世界资源研究所，《绿色投资机构发展绿色金融的国际经验及启示》

案例一：美国州政府设立绿色银行为绿色投资定制融资产品²³

美国的绿色银行在州政府主导下成立，具有公共或者准公共机构的性质。2011 年设立的康涅狄格州绿色银行（Connecticut Green Bank，下称 CGB）是全美首家绿色银行。该银行的启动资金主要来自两个部分，最大的资金来自于居民电力用户缴纳的电费附加费，另一部分来自区域温室气体减排项目的排放配额拍卖后所获得的收益资金。为了吸引和推动更多社会资本支持当地清洁能源项目，扩大可再生能源的应用范围，CGB 开发了一系列精准定位市场受众群体的创新融资产品，包括太阳能服务租赁（CT Solar Lease）、为居民建筑节能改造工程的增信服务（Smart-E Loans）和资产评估清洁能源项目（C-PACE）等。截至 2017 年 6 月，CGB 在该州实施了 114 个低碳项目，实现了共计 15.7 兆瓦的可再生能源的利用和能效提升。

²³ 中国金融信息网，美国绿色银行如何助力清洁能源发展？，2018 年 8 月 7 日

案例二：英国绿色投资银行私有化提高社会资本撬动比例²⁴

2012 年，英国绿色投资银行由英国政府全资设立，成为全球第一家绿色投资银行。其业务领域设定为离岸的海上风电、能效产业、废物处理和生物能源以及在岸的可再生能源等多个方面。2016 年，为吸引私人资本参与绿色投资，英国政府启动英国绿色投资银行的“私有化”进程，将其以 23 亿英镑出售给澳大利亚麦格理集团，并更名为“绿色投资集团”，此后通过发行绿色债券等方式筹资资本。为了防止绿色投资集团偏离绿色投资方向，英国政府在交易中引入了“特殊权益”安排，以维持其服务绿色经济的宗旨。目前，绿色投资集团除了传统业务，还同时开展绿色项目实施和资产管理服务、绿色评级服务、绿色银行顾问服务、绿色领域的企业兼并重组等多项新业务。

案例三：联合国绿色气候基金支持发展中国家绿色投资

绿色气候基金（GCF）是由“联合国气候变化框架公约”（UNFCCC）缔约方的 194 个国家建立的，作为“公约”财务机制的一部分，旨在为发展中国家减缓和适应气候变化提供资金。“面向中小企业的气候智能农业（CSA）风险分担机制”是 GCF 在危地马拉和墨西哥支持的一个项目。GCF 提供优惠资金，用于创建风险分担工具，为拉丁美洲的气候智能农业（CSA）提供的资金支持包括长期和低成本债务融资、股权融资、担保和赠款。截至 2019 年 6 月，GCF 出资 2 千万美元，撬动了 1.38 亿美元社会资本，杠杆率为 1: 6.9，为墨西哥政府到 2024 年实现 35% 的电力靠陆上和海上风力以及太阳能发电的计划提供了有效支持，预计减排量为 920 万吨二氧化碳当量。

（2）“财政资金+激励机制”撬动社会资本投资

政府投入相对较少的财政资金，通过贴息和担保的方式为社会资本投资提供激励机制，放大财政资金杠杆。

案例四：德国政府贴息银行形成绿色信贷产品

德国政府与德国复兴信贷银行合作，向德国复兴信贷银行的绿色融资资金实施贴息补贴，由复兴信贷银行形成绿色信贷产品，测算出盈利利率和优惠利率后，将资本市场的融资开发为长期、低息的金融产品销售给各商业银行，商业银行根据微利原则适度调整利率，而后以优惠的利息和贷款期，为终端客户提供支持环保、节能和温室气体减排的绿色金融产品和服务。2012-2016 年间，德国复兴信贷银行支持能源转型行动计划的资金规模高达 1030 亿欧元。2017 年，德国复兴信贷银行提供了总计 76.5 亿欧元的资金，其中 43% 用于旨在保护气候和环境的措施²⁵。

²⁴ 中国人民银行金融研究所，英国绿色投资银行的转型及其启示，2017 年 10 月 31 日

²⁵ 孙彦红. 德国与英国政策性银行的绿色金融实践比较及其启示[J]. 欧洲研究，2018，36（01）

案例五：美国能源部设立绿色贷款担保计划助力绿色投资²⁶

美国能源部为支持清洁能源项目，建立绿色贷款担保机制，并于 2005 年发布了首个贷款担保计划。在该计划启动之前，美国没有任何达到上网规模的太阳能光伏发电项目。贷款担保计划的实施，通过为清洁能源项目增信，有效提高了项目融资能力，使得接下来的十个太阳能光伏发电项目完全由私营部门提供资金。近日，为支持美国的气候行动计划，美国能源部新增 40 亿美元贷款担保以支持本国的创新性可再生能源和高效能源项目。据统计，美国能源部共支持超过 300 亿美元的贷款、贷款担保和委托，支持了美国国内的 30 多个项目，包括世界上最大的风力发电厂之一、几个世界最大的太阳能发电和热能储存系统等。

补充：

	撬动社会资本	资金循环利用	量身定做融资方案	信息与数据公开
澳大利亚清洁能源金融公司	是	是	是	是
丹麦绿色投资基金	否	是	否	是
马来西亚绿色科技融资计划	是	否	否	否
美国康涅狄格州绿色银行	是	否	是	否
美国纽约州绿色银行	是	是	是	否
美国夏威夷州绿色能源市场 证券化项目	否	是	否	是
美国新泽西州能源适应银行	否	否	否	是
南非绿色基金	是	否	是	是
日本绿色基金	是	是	否	是
瑞士科技基金	是	否	否	否
英国绿色投资银行	是	是	是	是

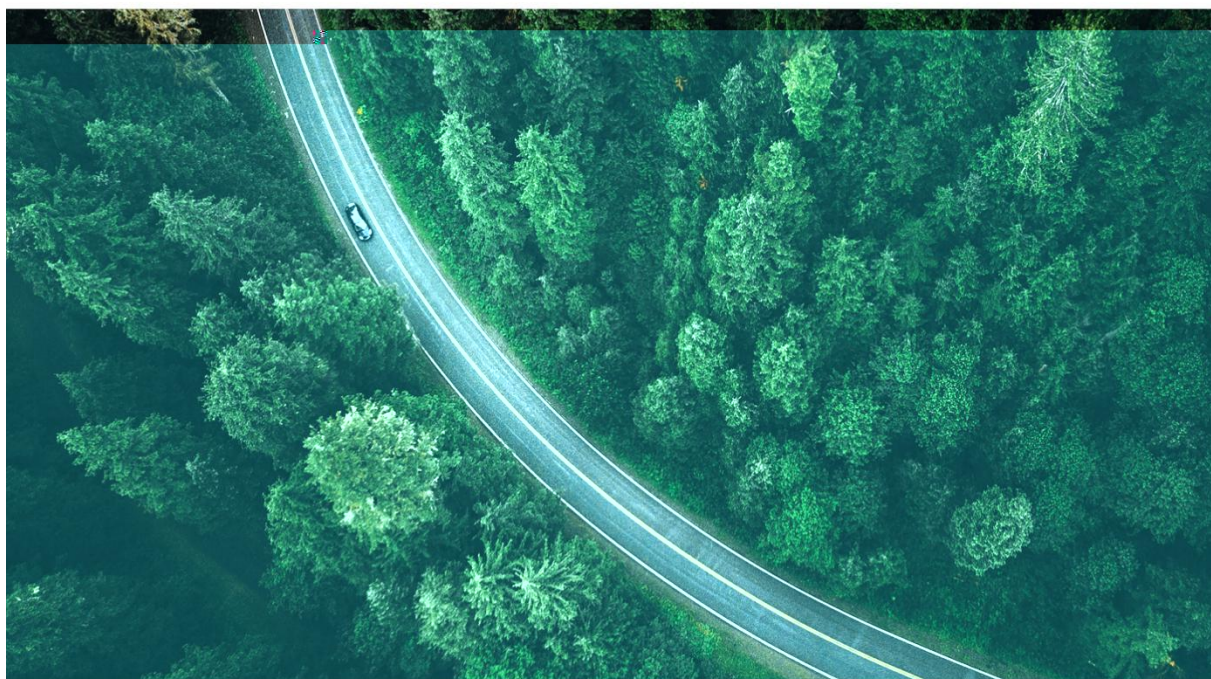
表 5 绿色投资机构资本金注资途径

来源：世界资源研究所，《绿色投资机构发展绿色金融的国际经验及启示》

²⁶ 索比太阳能，美国能源部首个贷款担保计划帮助 Solyndra 制造管式太阳能电池板，2009 年 3 月 31 日



4. 技术：创新技术引导零碳产业化



力，形之所以奋也

——《墨经》

4. 技术：创新技术引导零碳产业化

4.1 碳中和图景中的技术前瞻/技术洞见

实现碳中和目标，必须依靠突破性技术。目前在减少二氧化碳排放领域已有部分技术成功完成商业化推广，成为减排重要技术推动力。同时，生物质发电等低碳新技术也处于研发和起步阶段，市场前景尚未明朗。为取得碳中和全面胜利，在低碳技术浪潮中，政府与市场不仅需要对现有技术有较为清晰的了解，也需要对新技术或潜在的技术可能进行前瞻性预判，将其纳入长期目标的超前部署和规划之中，持续优化碳中和路径选择。

完成现有技术的盘点，是碳中和不同阶段选择何种技术路线的基础工作。图 12 从碳减排与碳吸收两个角度出发，纳入供给侧、需求侧分析，对已有的低碳技术进行大致梳理。供给侧减排主要围绕电力系统与能源系统两大板块进行技术盘点，需求侧减排以行业为主要标尺进行技术归类。

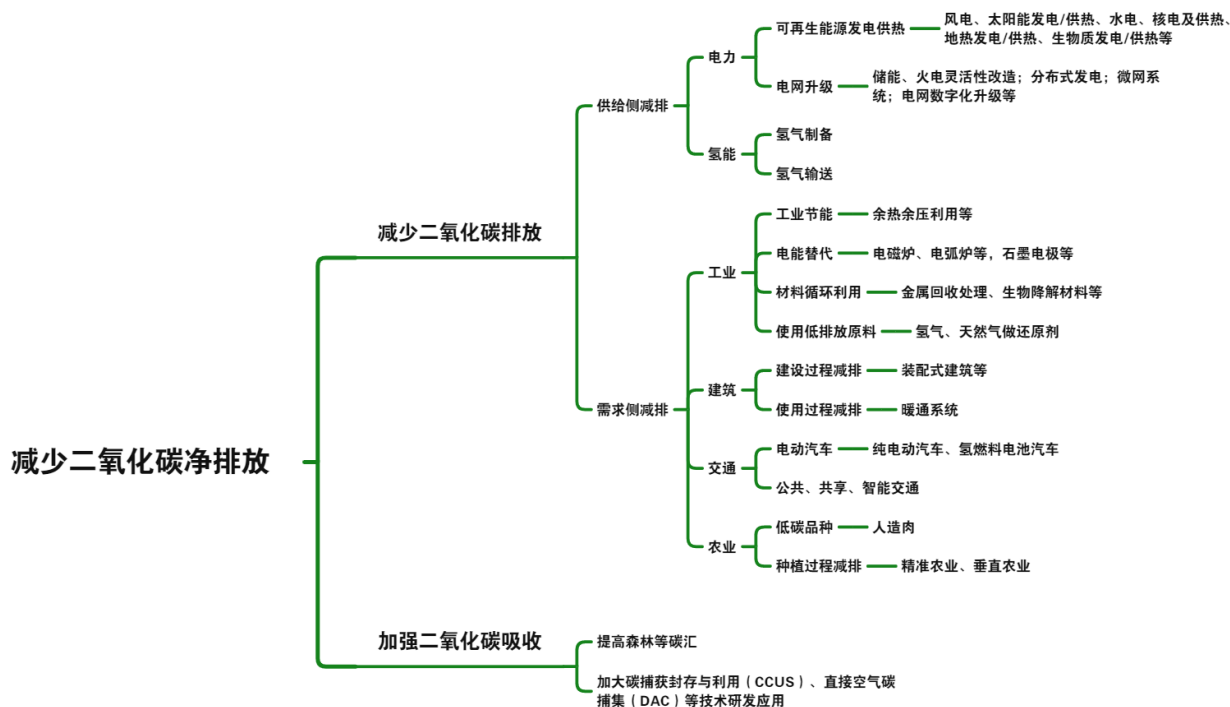


图 12 碳中和技术图谱

资料来源：信达证券研发中心，红杉中国

除掌握不同技术的应用场景外，更需要关注技术背后应用产业所处的生命周期，判断其市场前景，为技术在时间纵向摆布提供支持。表 6 总结了部分技术手段的优先发展顺序。因为产业替代空间大、紧迫性强，光伏、新能源汽车等技术应优先推广普及，而对于碳移

除、太阳辐射管理这类产业空间大但技术尚未成熟、短期见效慢的新技术，可继续进行技术培育与储备，待减排成本整体可控后，结合实际情况纳入超前规划之中。

优先级	能源替代	源头减量	回收利用	节能提效	工艺改造	碳捕集
第一档 (产业替代空间大、迫切性高)	光伏、新能源汽车	先进核能技术	电器电子产品回收、垃圾分类			
第二档 (产业竞争力处上升期、政策驱动需求前景看好)	风电、固态电池、家用和移动储能、物理储能	合成生物、分布式可再生能源	废钢利用、再生铝	暖通智能控制、车路协同	装配式建筑、智慧电网、新材料	
第三档 (产业空间大但短期见效慢)	面向可再生能源消纳的电化工 (P2X)	碳移除 (CDR)、太阳辐射管理 (SRM)	汽车拆解及电池材料回收	低碳区域供暖	特高压、生物降解塑料、精准农业、氢还原	碳捕获封存 (BECCS)

表 6 碳中和技术前景分析

4.2 碳中和背景下可加速商业化落地的十大技术方向

4.2.1 破局续航天花板的固态电池技术

埃隆·马斯克表示：“电池的生产是真正限制未来可持续能源发展的重要问题。”电动车最昂贵的部分就是电池组，续航里程直接取决于电池质量和电池容量。在同样重量下，决定电池容量的是电池系统的能量密度。目前，丰田在固态电池领域拥有超过 1000 项专利，位居全球前列，可于 2025 年前实现固态电池汽车量产，可以实现充电 10 分钟，续航 500 公里，使用 30 年后，仍然可以保持 90% 以上的初始性能²⁷。国内领先企业如宁德时代也在该领域持续研究和研发投入，2021 年公开了“一种固态电解质的制备方法”、“一种硫化物固态电解质片及其制备方法”两种固态电池相关专利²⁸。理论上全固态电池可达到 500Wh/kg 以上的能量密度，未来一旦越过商业化量产门槛，有望大幅提高续航里程并促进新能源汽车对传统燃油车的全面替代。

²⁷ 央视网，一辆车或将涨价近万元 新能源汽车厂商纷纷押注电池领域，2021 年 3 月 29 日

²⁸ TechWeb，宁德时代公开“固态电池”相关专利，2021 年 1 月 20 日

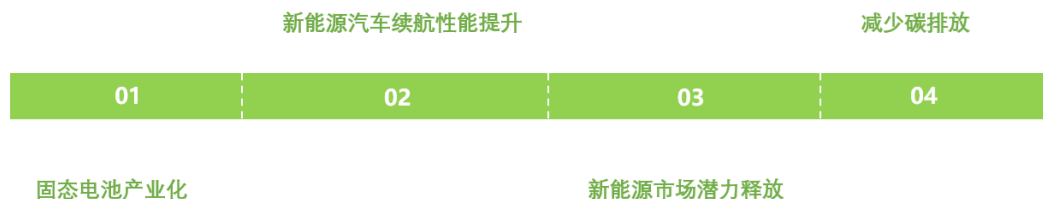


图 13 固态电池减排示意图

4.2.2 太阳能搭配锂电池的一体化家用储能

数据显示，2019 年中国居民用电量 10250 亿度，人均约为 732 度，每月 61 度电²⁹。当前，在峰谷电价差和储能系统补贴力度加大影响下，家庭侧储能项目的经济性在部分地区开始凸显。尤其考虑到（1）锂离子电池储能系统在电力行业有着广泛的应用场景；（2）中国锂电池的产业链高度发达，拥有全球锂电池 73% 的产能；（3）储能系统成本下降，预计到 2030 年储能项目电池架成本相比 2019 年下降超 60%³⁰。

“光伏+储能”未来的经济性将成为驱动需求增长的主要动力。目前 LG 和特斯拉等均已推出了采用锂电池组的家庭储能系统，特斯拉的太阳能屋顶 Solar Roof 和 Powerball 的家庭储能系统已开始在部分地区运行。该系统能在夜晚以及停电时为家庭供电，也可以接入电网，通过全集成太阳能新能源系统为家庭供电，缓解碳排放压力及加大对新能源的利用，同时也可以将多余的太阳能存储起来，避免资源浪费或过度使用。

4.2.3 促进节能减排的新材料技术

在碳中和目标驱动下，无论是实现小型、轻量化和廉价的能源设备，还是提升提高能源利用率，新型电池材料、非晶合金材料、超导材料、纳米材料、稀土功能材料、绿色建筑材料等在其中的重要价值日益凸显。尽管新材料开发的广度和难度很大，但不少技术领域依然取得了显著进展，并通过成果转化提高了商业化设备的性能。

如在电动车领域，高性能的电池材料可以应用在正极、负极、电解液、隔膜等环节，提升电池的可持续性、成本 and 安全性。以车规级碳化硅器件为例，碳化硅器件应用于车载充电系统和电源转换系统，可以有效降低开关损耗、减小模块体积重量、提升续航能力。丰田燃料电池车 Mirai 车型配置碳化硅，功率模块体积降低了 30%，损耗降低了 70%³¹。2020 年比亚迪汉也采用了碳化硅模块，加速性能、功率的提升和碳化硅器件的使用有很大关系³²。

²⁹ 界面新闻，数百万人断电：致命风暴，正在惩罚疯狂浪费的美国人，2021 年 2 月 19 日

³⁰ 西部证券，户用储能龙头，布局全球市场，2021 年 1 月 10 日

³¹ 国金证券，新能源车快速发展，碳化硅迎来发展良机，2020 年 12 月 31 日

³² 第一电动网，专访比亚迪吴海平：碳化硅产能正在爬坡以满足比亚迪汉生产需求，2020 年 9 月 18 日

在能源化工、环境领域处理环节，分子筛和过滤膜等新材料的应用场景较为广泛。例如运用分子筛吸附剂、催化剂收集、储存二氧化碳，达到工业碳减排与利用；运用沸石保水剂、修复剂固定水分等进行土壤保湿和修复，达到沙漠固水造林、盐碱地修复³³。在前端应用领域，气凝胶等高效保温材料可凭借低密度、低热导系数以及高孔隙率，在节能环保领域中发挥巨大作用。

4.2.4 缓堵减排的智慧车路协同技术

交通运输业是中国第三大碳排放行业³⁴，从国内各行业的碳排放占比来说，交通行业占28%，仅次于电力行业（主要是火电）的41%，建筑和工业的31%排在第三位³⁵。道路交通在行业整体碳排放中，占比高达75%³⁶，特别由于拥堵和城市规划不足，建成区扩张和通勤距离加大，出现更复杂的交通形态和潮汐出行，增加拥堵和碳排放。据统计，全国约有70%的城市交通在高峰时段出现过拥堵³⁷。道路交通状况恶化导致驾车时间和怠速增加，碳排放增加3.88倍³⁸，每年因拥堵多排碳2800万吨³⁹。

AI可通过“智慧红绿灯”、实时感知分配路权等，发挥在通行状况实时监测、诊断分析、趋势推断、预报预警方面的作用，使拥堵时间降低约20%⁴⁰，将汽车油耗和排放降低5%-20%⁴¹。一家名为希迪智驾的公司对长沙部分交叉路口V2X、公交线路、公交车进行了智能网联化先改造，数据显示⁴²：公交车通过率提升10%，准点率优化50%，聚客率提升20%，有效缓解了城市交通拥堵。随着交通运输业碳达峰任务的迫切性增强，提升道路通行率、打造高容量的运输系统，将更加依赖车路协同来提供疏堵减排的解决方案。

4.2.5 暖通空调 AI 数据采集与节能控制系统

当前中国建筑面积规模位居世界第一，暖通空调系统作为能耗大户，占据公共建筑物能耗的50%-60%⁴³。暖通空调AI数据采集与节能控制系统（后称智能暖通节能系统）能通过传感器等设备采集数据并对室内环境持续监控，感知并分析用户作息时间及个性化

³³ 上海证券报，碳中和离不开这个新材料，这些上市公司“钱”景不错，2021年04月09日

³⁴ 杜祥琬在2020能源年会暨第12届中国能源企业高层论坛上的讲话，2020年12月11日

³⁵ 人民政协报，四位院士的碳达峰、碳中和之思，2021年01月05日

³⁶ 中国能源报，交通运输业节能减碳刻不容缓，2020年12月21日

³⁷ 南方日报，上班族道路耗时京穗排前2名 15座城市日损10亿，2011年4月23日

³⁸ 新华网，停车不熄火对空气污染最大 油耗也比行驶时高50%，2018年6月5日

³⁹ 南方日报，上班族道路耗时京穗排前2名 15座城市日损10亿，2011年4月23日

⁴⁰ 中国新闻网，滴滴参加全国低碳日主场活动，两年减排130万吨CO₂，2020年7月3日

⁴¹ 中国汽车工程学会《节能与新能源汽车技术路线图》，智能网联汽车到2020年油耗与排放降低5%，2020年至2025年油耗与排放均降低20%

⁴² 中国日报网，希迪智驾主动式公交优先系统助力城市碳达峰，2021年1月21日

⁴³ 中国电子报，占据公共建筑物能耗60%，这个领域中国企业如何“碳中和”，2021年4月7日

舒适要求，结合自然环境变化，自动调节供暖/供冷强度，并通过机器学习，分析暖通空调系统运行最佳状态，自动选用最佳节能方案，达到设备高效运行与降低能耗等多重最优。

智能暖通节能技术能够有效降低能源消耗，减少建筑使用阶段的二氧化碳排放。北京大兴区将智能暖通节能技术应用于煤改清洁能源工程。该系统在大兴全区推广后，每年节约电能 8810 万度，相当于节约标煤 2.73 万吨，减少二氧化碳排放 6.82 万吨，相当于植树造林 1.03 万亩的减排效果⁴⁴。在企业层面，海尔发布的生态级智慧建筑物联云平台 Hai-BMS，将中央空调、电梯、照明、消防等建筑耗能设施 300 余家生态方跨品牌接入⁴⁵，并根据大数据分析改进各设备的运行参数，为用户实现全生命周期的节能和智慧管理。

暖通空调市场前景乐观，2025 年暖通空调整体市场规模预计将达 1830 亿美元⁴⁶。作为暖通空调技术新方向，智能暖通节能技术备受青睐，尤其在碳达峰、碳中和目标驱动下，我国建筑业在使用环节的减排进程加快，为智能暖通节能系统创造了更广阔的市场。

4.2.6 高能效比的存算一体 AI 芯片

能效比是 AI 芯片的核心痛点之一，受制于冯·诺依曼架构，AI 芯片 90% 的性能功耗都用在和内存有关的数据传输及读写上。“能源密集型”的数据运算产生的碳排放不容小觑。

《中国数据中心能耗现状白皮书》显示，中国有 40 万个中小数据中心总体耗电超 1000 亿度，折算成碳排放约为 9600 万吨，接近目前中国民航年碳排放量的 3 倍⁴⁷。

存算一体，即在存储器颗粒本身进行算法嵌入，在存储颗粒内实现计算。存算一体芯片能在不降低准确度的前提下大幅提升算力、还可显著降低功耗，使其应用场景突破性能瓶颈，实现芯片能效比大幅提升。《自然·电子》显示，忆阻器存算一体 AI 芯片训练所需能耗仅为基于数字 CMOS 方法的十万分之一⁴⁸。存算一体技术将为无人小车、泛机器人等算力要求高的边缘端场景，提供大算力、低功耗的高能效比芯片及解决方案。中国在该领域也正在培育有实力的科创企业，如一家叫后摩智能的公司，正致力于打造每瓦功耗下算力高达 100TOPS 的新型智能计算芯片⁴⁹，一旦能够提供解决芯片性能瓶颈的解决方案，市场前景就会更乐观。

⁴⁴ 人民网，北京大兴：人工智能助力“煤改清洁能源”，2021 年 03 月 13 日

⁴⁵ 经济观察网，海尔中央空调：绿色“减碳”行动进行时，2021 年 4 月 7 日

⁴⁶ 千家网，2025 年全球暖通空调（HVAC）市场规模将达 1830 亿美元，2020 年 5 月 25 日

⁴⁷ 亿欧，疯狂追求算力却忽视能耗成本，AI 或成能源密集型产业，2019 年 8 月 12 日

⁴⁸ cnBeta，忆阻器存算一体 AI 芯片登 Nature 能耗仅有 CMOS 方法的十万分之一，2021 年 1 月 31 日

⁴⁹ 36 氪，后摩智能完成数千万美元天使轮融资，国产智能计算芯片瞄准新赛道，2021 年 3 月 5 日

4.2.7 “化石能源+CCUS”的低碳排放技术

目前，二氧化碳的排放大多还是来自化石能源的开发利用，CCUS（Carbon Capture, Utilization and Storage）是指碳捕集、利用与封存技术，即把生产过程中排放的二氧化碳进行提纯，继续投入到接下来的生产过程当中，实现对碳的循环再利用。

短期来看，CCUS 目前很多技术还在实验室阶段，由于投资成本高，政策支持力度国别差异等原因，CCUS 在全球的整体发展进程比较缓慢。但从长远看，CCUS 有望成为人类应对全球气候变化的关键技术之一。吉林油田二氧化碳驱油示范工程是国内规模最大的一体化 CCS-EOR 工程，已稳定运行超 11 年，累计封存二氧化碳 150 余万吨⁵⁰。挪威和美国通过税收支持政策，已初步形成一定的可行商业模式⁵¹。中国有很多的应用需求，技术一旦在经济性、成熟度及安全等方面通过工业化规模的测试论证，可与发电、炼油、煤化工等产业做有效整合，为未来的炼厂减排 15%-20%⁵²。

4.2.8 直接空气中碳捕获技术

从空气中而不是从工厂烟囱中捕获碳被称为“直接空气捕获”。美国能源部（DOE）奖励超两千万美元研究直接空气碳捕获技术，而私营部门也持续关注复制植物和树木吸收二氧化碳的技术，Climeworks、碳工程和 Global Thermostat 等多家直接空气捕获创业公司，都获得了千万美元级别的投资⁵³。瑞士初创公司 Climeworks 专门从事直接空气捕捉，该公司使用过滤器从空气中捕捉二氧化碳并将其储存起来或用于其他用途，比如制作肥料或作为添加碳酸饮料中的气泡等。冰岛初创公司 Carbfix 通过捕捉二氧化碳并将其溶解在水中后注入地下，将其转化为岩石。李嘉诚投资的澳大利亚土壤固碳技术公司 Soil Carbon Co，开发作物接种共生微生物技术，从植物根部提升土壤碳含量。美国 LanzaTech 公司捕获排放出来的废气，并利用细菌将其转化为可用的乙醇燃料。高昂的成本是技术推广的主要障碍，若能改进现有碳捕获技术将收集到的二氧化碳转化为其他更有价值的物品，大规模商业推广将提上日程。

4.2.9 碳排放的量化和审计技术

随着中国承诺 2060 年实现碳中和目标及消费者对可持续产品的需求增长，同时在 Apple、Unilever、Patagonia、Allbirds、Oatly、Impossible foods 等消费品牌计算并披露全线产品碳排放驱动下，未来中国数十万家供应商企业以及可持续创新企业将被动或主动开展碳管理和碳信息披露，以接受消费者、政府、国内外客户监督。此外，中国统一碳排放

⁵⁰ 人民网，为了可持续的未来——中国石油绿色低碳发展综述，2020 年 07 月 03 日

⁵¹ 能源杂志，徐忠华：道达尔将投入巨资开发 CCUS，2019 年 12 月 7 日

⁵² 中国石油新闻中心，能源企业纷纷探路 CCUS 商业化，2019 年 12 月 5 日

⁵³ 新华网，成本高昂久攻不下 碳捕获技术亟待突破，2021 年 2 月 10 日

权交易市场有望在 2021 年年中正式启动⁵⁴，将有千余家电力企业首批开始交易，参加碳交易的企业需要对碳资产精准量化与管理。再者，企业需要展示产品碳标签等创新方式增强与消费者在可持续议题下的互动。以上市场动向都将扩大对碳排放的量化和审计技术的需求。SINAI Technologies 等企业现有的碳排放量化和审计技术能监测企业活动碳排放数据，生成便于企业监控的排放数据报告，服务于碳交易减排量核算、备案、签发，计算碳预算及基于国家政策合规的碳审计等环节。在碳达峰碳中和目标驱动下，中国企业碳排放核算与管理相关技术需求将持续增长。

4.2.10 增强环境友好性的合成生物技术

合成生物学是生物学和工程学的交叉学科，致力于生物体及其成分的合理设计与工程化。长期以来，人类已意识到生物系统具有能量转换和储存、自我修复以及适应各种外部环境的能力。通过合成生物学领域提供的新工具和技术，生物体可通过改造实现特定的理想性能，创建全新具有能源和电子系统转化潜质的结构和材料。尤其是对于能源和电力系统，合成生物学在创造更小、更轻、更便宜、降低环境影响、确保安全可靠的能源技术方面具有潜在应用价值。

这些应用包括⁵⁵：在多种外部环境中发挥生物能量功能——由细胞和生物材料驱动，持续不断地从环境中获取能量，利用如阳光、尿液来发电，这种能力可以实现较低且一致的功率密度，减少对现有电网的需求；生物开矿——改进微生物或无细胞系统可提高回收的效率，例如在铜矿工业中，利用采矿现场自然存在的微生物从矿石中提取铜，与传统采矿方法相比降低能源需求；合成食品或农业方案——开发合成食品或帮助植物和动物健康生长的合成生物解决方案等。

合成生物学市场潜力庞大，被业界称为第三次生物技术革命。研究机构 BCC Research 预测，其规模 2022 年将达到 139 亿美元⁵⁶。多国政府亦看好合成生物学前景，纷纷制定发展计划扶持产业。美国国家科学基金会资助了哈佛大学、麻省理工学院等多所顶尖大学，共同建立合成生物研究中心，推动合成生物学的研究工作。英国于 2012 年制定合成生物学路线图，翌年更将该领域列入八大重点发展科技范畴之一⁵⁷。中国也很重视合成生物技术的研究，国家重点研发计划“合成生物学重点专项”已经启动，并且一流研究成果已开始涌现，比如第一个将酿酒酵母的 16 条染色体重新设计并人工合成 1 条的技术就出自

⁵⁴ 路透社，中国统一碳排放权交易市场有望于今年年中正式启动——上海能交所董事长，2021 年 1 月 11 日

⁵⁵ 中国科学院上海生命科学信息中心，合成生物学：电力和能源领域的未来发展，合成生物学快讯，2019 年第 10 期

⁵⁶ 新浪医药，合成生物二次“鲤”跃龙门，蓄势待发，2019 年 9 月 5 日

⁵⁷ 上海情报服务平台，合成生物学发达国家前瞻布局，2020 年 11 月 26 日

中国团队⁵⁸。随着产业端合成生物学各个环节更高效整合的实现，可实际应用合成生物技术的开发速度有望进一步加快。

⁵⁸ 新华每日电讯，用蓝藻建设“细胞工厂”，倪俊真才俊，2021年4月13日

5. 使命：红杉中国赋能零碳科技创新生态



浩渺行无极，扬帆但信风

——《送朴山人归新罗》

5. 使命：红杉中国赋能零碳科技创新生态

气候变化将改变全球资产配置格局，碳中和将成为塑造新型投资模式的有力工具。放眼全球，2020 年至今，多家清洁能源 ETF 大幅跑赢标普 500 指数。国内市场，2021 年 Wind 碳中和指数一直处于中枢上行态势。能源转变以及能源效率的提高也为创新型企业提供了机遇。作为“创业者背后的创业者”，红杉中国是长期主义的坚定实践者，在引领绿色科技创新与最佳实践的进程中始终做到三个“保持”：保持对绿色低碳循环相关行业的深度研究和观察、保持对低碳转型战略引导下的产业价值发掘和布局、保持对可持续发展领域的优秀企业家和创业者的长期关注。

这背后是红杉中国秉承“积极参与和推动以科技为核心的中国创新经济”使命，在应对可持续挑战中的充分体现：践行“商业向上”和“商业向善”——做负责任的社会企业，为用户创造价值，为社会带来正能量；矢志不渝做“伟大的事业”——用商业价值来支持社会事业的发展。在紧跟国家发展的快车道上，红杉中国享受了前瞻未来所带来的红利；在经济绿色低碳转型的新征程中，红杉中国也将继续义无反顾成为推动新兴产业发展的关键力量。

从清洁技术到能源环保，从循环经济到绿色消费，凭借着对产业背后商业本质精准且深刻的理解，红杉中国看好碳中和相关的行业与企业的发展前景，一方面更积极布局早期，另一方面向下延伸，入主更多头部项目，红杉中国在绿色科技行业的覆盖领域已变得更加广阔，在碳中和脉络下环环相扣，布局蓝图正变得前所未有清晰。

5.1 红杉中国 Family 的零碳部署

5.1.1 红杉中国的零碳生态



(1) 绿色投资版图持续扩大

红杉中国最早投资的工业科技版块，起步于涉及能源和环保的清洁技术。同时，广泛的社会环保需求成为了红杉中国投资的关注焦点。

在污水、大气、土壤等方向，红杉中国投资了不少头部环保企业，其中包括：做市政水处理的中持水务；生活垃圾发电公司百川环能；工业污水处理公司新大禹；解决了北方园林绿化和节水的双重诉求的蒙草抗旱；解决大气污染治理的国能中电；解决土壤污染土壤修复的建工修复等等。

在新能源和智能汽车领域，红杉中国的布局贯穿产业链上下游，通过推动供应链的革新和相关技术的进步，为新能源汽车产业快速、绿色和健康发展提供全方位的支持。

在消费服务领域，红杉中国在低碳出行、绿色电商等多个细分领域开展相关部署，通过数字化对接消费端不断涌现的家庭服务碳减排场景，倡导绿色消费、支持绿色生产的吃穿住行用低碳生活。

此外，红杉中国在能源管理、低碳节能新材料等诸多细分领域也进行了重点布局，绿色科技投资版图持续扩大。

打造红杉零碳生态圈——被投资企业

零碳工业	新能源	综合新能源：远景智能、英臻科技、创维互联
	能源管理	明略数据
	EV产业链	电动汽车/电动车产业链：蔚来汽车、小鹏汽车、威马汽车、零跑汽车、牛电科技、九号机器人、格雷博、芯驰科技、比亚迪半导体
		电池产业链：利维能、乾照光电、远景动力
	建筑节能	东鹏控股、博锐尚格
	新材料	慧晶新材料、研一新材料
	土壤修复	建工修复
	垃圾处理	百川环能
	大气治理	国能中电
	污水处理	中持股份、新大禹
绿色消费	园林绿化	蒙草抗旱
	吃穿住行用低碳化	喜茶、君乐宝乳业、全棉时代、世茂服务、斑布、滴滴出行

1 : 48 000 000

注：此表格未穷尽所有企业

(2) 百亿碳中和技术基金

红杉中国除了持续推动碳中和创新技术在新能源、数字经济、智慧交通等领域的价值重构外，还通过和新能源领军企业联合设立专项基金，共同探索常态化、系统化的低碳创

新应用方案，推动创新技术的研发与落地。2021年3月29日，红杉中国与远景科技集团宣布共同成立总规模为100亿元人民币的碳中和技术基金，投资和培育全球碳中和领域的领先科技企业，构建零碳新工业体系。这是目前国内首支创投机构和绿色科技企业共同成立的碳中和技术基金，旨在通过产业基金投资培育创新生态，加快形成碳中和技术和产业链，推动零碳转型。

(3) 为碳中和领域企业提供投后赋能

针对新能源、电动交通、建筑节能等碳中和领域企业初创期和发展期面临的问题，红杉中国从不同维度帮助各个领域的优秀企业快速成长，这其中既包括通过加速器为初创企业提供企业发展、资源链接、产业协同等支持，也包括针对环保、节能等新能源行业面临的新环境新政策，提供政策解读、公司治理、上市合规、财务等方面的运营赋能支持。

5.1.2 红杉中国被投的零碳建树

红杉中国助力了一系列绿色新兴产业公司的快速发展，一批明星企业凭借先进的技术和卓越的商业化运营取得了较大的成功。这些散布在碳中和图谱中的诸多领域的头部公司，也身体力行在碳中和转型过程中贡献着自己的力量。众多被投成员的贡献难以在本报告中充分展示，以下几个具体案例将呈现部分优秀企业在零碳生态中的建树：

(1) 国能中电：煤烟气污染物“超低排放”治理专家

国能中电主要从事燃煤烟气污染物“超低排放”治理、环保装置运营服务、环保核心设备制造、工业节能等业务。公司自主研发了超低排放技术系统、炭基催化剂干法烟气多污染物一体化脱出技术、小热电综合治理技术系统、SRS技术系统以及钛板贴衬防腐等一系列环保治理的技术与体系。

2012年，国能中电将一些创新理念应用在为上海外高桥第三发电厂改造装置上，改造后二氧化硫排放每立方米不足20毫克，大幅低于天然气燃烧后的指标。这项电力行业的超低改造技术获得国家发明一等奖。不仅如此，国能中电还为山钢日照炭基催化剂一体化脱除项目、牡丹江热电有限公司脱硫工程等一系列项目设计了全方位环保方案。国能中电更长期的规划业务、投入研发，也让其在2015年有机会将中科院的863“脱硫、脱硝、除尘一体化”的成果进行了产业化。

(2) 蔚来汽车：全球第一家帮用户认证碳减排的汽车品牌

蔚来汽车 NIO 是成功登陆美股的第一家中国电动车企业。除了创始股东外，红杉中国是最早在 A 轮就进入的股东。在 2020 NIO DAY 上蔚来发布“蓝点计划”，通过和中国船级社质量认证公司、上海环境能源交易所的战略合作，蔚来成为全球第一家帮助用户进行

碳减排认证的汽车品牌。基于“蓝点计划”，用户驾驶蔚来车（纯电动车零排放），通过蔚来 App 将碳减排量交由蔚来进行认证和交易，所得收入以发放蔚来积分的方式回馈用户，从 2018 年 6 月第一辆蔚来 ES8 交付开始，蔚来用户们共行驶了近 14 亿公里低碳行驶里程，共为蓝天减排超过 9 万吨。

（3）蒙草抗旱：风沙治理的植树造林高手

蒙草抗旱在 2010 年获得红杉中国 5000 万人民币的投资。公司在国家“低碳绿化”的背景之下启动了草原植物种植资源与基因库工程计划，其“低碳绿化，蒙草抗旱”的研发课题被列入“十二五”国家科技部支撑计划。蒙草抗旱尤其能熟练运用工程施工与植物配置技术，擅长在复杂多样的生态环境建设工程中应用低耗能、高适应力、本地特色鲜明的抗旱植物，如“蒙草”，因而在我国重点关注的自然生态建设工程，如京津风沙源治理工程、退牧还草等工程中起到了极大的积极推进作用。

（4）斑布：围绕竹纤维的生物质全价利用研发

四川环龙新材料是红杉中国投资的竹纤维本色生活用纸企业。经中国质量认证中心测算，旗下“斑布”1 千克本色生活用纸的碳足迹是 2.54 千克 CO₂，比漂白纸低 31%。随着能源计量器具配备率逐步，企业未漂化学浆（自用浆）每吨单位产品能耗同比 2017 年每吨减少 64.66 千克标准煤，下降 41.98%；生活用纸（非木浆）每吨单位产品能耗同比 2017 年每吨减少 99.64 千克标准煤，下降 18.17%。斑布致力于推动竹材全价利用，在生产过程中不添加漂白剂等助剂，使得生产余料可以深度开发成有机或无机肥料，实现环境效益、经济效益与设计效益的正向循环。

5.2 红杉中国的十大碳中和未来行动愿景

“3060”目标事关全局和长远，红杉中国从自身实践出发，在此承诺十大行动愿景，从投资决策到信息披露、从赛道布局到企业陪伴、从技术转化到政策研究，全面贯彻低碳理念。

红杉中国的十大碳中和未来行动愿景

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1 坚定拓展布局碳中和长坡赛道 | 6 扩大绿色实践及相关信息披露 |
| 2 关注全面覆盖五大排放部门的终端节能 | 7 强化零碳产业政策研究 使投资符合可持续发展目标 |
| 3 培育提升碳中和各细分赛道的隐形冠军 | 8 加速低碳新技术从实验室到市场的转换 |
| 4 挖掘更多基于自然解决方案的早期优秀企业 | 9 2025年前完全放弃本地数据中心 采用云端数据中心 |
| 5 继续坚定将ESG因素纳入投资和决策流程 | 10 充分行使积极所有权与被投共建“公民碳普惠”社会 |

5.2.1 坚定拓展布局碳中和长坡赛道

红杉中国布局碳中和“长坡赛道”，是由“3060”目标长时间跨度的现实所决定的。到2060的四十年间，四个十年，足有八个五年规划。每一规划期间的工作部署各有重点，红杉中国的“长坡赛道”力求疏通各部门低碳策略中的各种阻碍，从而实现充分蓄势、尽早达峰、减排加速、全面中和四步走。我们坚定做创业者背后的支持者，在这个长达40年的投资主题中与创业力量共进退。

“长坡赛道”的坚持，从技术角度来看，亦在于对每一层级的低碳技术的坚守：从产业替代空间大、迫切性高的技术，如光伏等；到产业竞争力仍处于上升期但前景较好的技术，如固态电池、家用储能等；再到产业空间大但成长周期长的技术，如碳移除、太阳辐射管理等，红杉中国都愿意做“麦田的守望者”，陪这些技术从萌芽到茁壮生长。每一条“长坡赛道”路阻且长，然而，红杉中国相信在变化中存在机遇、人民生活水平提高带来的需求会和“碳中和”目标一同带领我们发掘新企业、新力量。布局长坡赛道的路上，我们还要坚定抗噪音抗诱惑、不摇摆，始终以社会需求为标尺，服务实体经济的发芽和成长，从而创建碳中和的新图景。

5.2.2 关注全面覆盖五大排放部门的终端节能

在“3060”目标愿景下，五大排放部门的碳排路径与终端节能都值得我们关注：电力与热力部门的重点在于实现能源结构脱碳化，加快建成以可再生能源为主体的电力系统；工业部门急需实现产业升级，淘汰落后产能，提升能源使用效率；建筑部门推行先进节能标准，加快对既有建筑的节能和供热计量改造，引导人工智能协助暖控、楼宇管理，进行能源的全时段监督和高效率引导使用；交通部门要优化交通运输结构，改变以公路为主的运输方式，倡导绿色出行，提高公共交通比例，推进车路协同等智能交通系统让路更通畅、碳排更少；其他部门包括消费与生活等，其中的材料回收利用、绿色消费等理念，将低碳生活方式带入千家万户。

红杉中国将继续发力，关注五大部门各环节的低碳技术和低碳转型，帮助相关企业成长，为创新力量输血，从而实现生产链、生活链的低碳覆盖。

5.2.3 培育提升碳中和各细分赛道的隐形冠军

红杉中国相信，碳中和的细分赛道，诸如储能、废钢处理、生物降解等，其中存在着无数“隐形冠军”，他们仍处于“小而美”阶段，在各自领域深耕，专注原创技术和专利，有着强大的韧性和前景。这些企业的新技术将推动改造现有产业，所推行的新商业模式亦会迅速被市场广泛接纳。

红杉中国坚信，产品解决问题和满足社会需求的效率和效果是这些“小而美”企业成长为“大而强”企业的必要支柱。以此为基，这些企业定能成为推动各细分行业发展的重要力量，为“3060”目标铺设必要的物质基础。

5.2.4 挖掘更多基于自然解决方案的早期优秀企业

基于自然的解决方案，即遵循大自然的规律，通过生态系统的保护、修复、改进和加强管理，提升其服务功能，提高气候韧性。红杉中国看到，基于自然解决方案的企业，其技术的提升与业务的增长，将会增强森林、草原、湿地、农业用地的储碳能力，为碳循环系统增加碳汇，并可以提高水、土壤和空气等环境质量、保护生物多样性，亦会带来新的经济增长点和就业机会。

红杉中国相信，基于自然解决方案的早期优秀企业，具有撬动行业、引领革新的能量，关注这些优秀企业本身，就是关注自然，就是优先生态，就是人与自然和谐共存。红杉中国在该领域的布局，早已涉及垂直农业、空气碳捕捉等，我们受益于自然的力量，亦坚信科技能够赋能自然、回馈自然。

5.2.5 继续坚定将 ESG 因素纳入投资和决策流程

企业发展当与环境、社会 and 治理（ESG）共生，红杉中国相信 ESG 理念与价值投资的契合性。ESG 以环境、社会 and 治理为三大支柱，注重环境保护力度、承担社会责任以及企业治理效果等方面的非财务指标。价值投资的内核是理性评估投资标的的风险与收益，将潜在股息回报作为主要投资收益的投资理念，其主要原则之一是长期持有，促进被投资企业生产经营的良性发展，与可持续发展模式相一致。ESG 作为企业可持续性的关键衡量标准，能够有效甄别优质潜在投资标的，与价值投资观念一致。因此，我们会设置 ESG 评估专员，继续用系统化、流程化的方式将 ESG 因素嵌入尽职调查，将 ESG 作为投资和决策的重要参考。

同时，作为投资主体，红杉中国将继续提升自身的 ESG 建设，将其落实到“募、投、管、退”每一环节，与无数创业者一道迎接低碳转型的挑战，承担社会责任，构建低碳绿色的新产业生态。

5.2.6 扩大绿色实践及相关信息披露

对于风投机构来说，绿色实践与相关信息披露为公司兑现低碳承诺的重要一环。但是，当前风投机构中进行环境信息披露的仍然较少。除了投资机构本身的办公流程和行为的低碳化，风投机构亦需要关注被投企业的绿色实践和信息披露。

在碳中和政策目标与可持续消费意识增强的大背景下，红杉中国将会主动领跑低碳转型，在主动披露、宣传企业的绿色实践等可持续信息等方面做出应有的贡献。我们将继续贯彻七部委《关于构建绿色金融体系的指导意见》，继续加强可持续发展因素在投资决策中的角色，与无数同侪、科技创新力量一同建立成熟有序的绿色金融体系和实体经济市场。

5.2.7 强化零碳产业政策研究 使投资符合可持续发展目标

红杉中国充分意识到，在碳中和相关战略规划的引导下，零碳产业也将迈上新台阶。环保、节能等新能源行业面临着新环境新政策，工业科技的发展路径也随着宏观环境转变。碳中和，既是挑战，又是产业新机遇——“3060”目标的提出，将推动生产方式、生活方式、消费模式转型与改变，可以倒逼绿色低碳的技术萌芽与应用。

红杉中国将积极拥抱碳中和的浪潮，充分挖掘碳中和背景下消费、工业等部门的新力量，遵循零碳产业中的政策导向，向市场传递低碳信号，将资本注入绿色低碳循环发展领域。优质的投资决策离不开政策框架的指引，只有与政策导向携手同行，资本才能更好地为社会服务。红杉中国智库将更加聚焦于碳中和背景下各产业行业的政策文件，结合市场需求和技术供给，稳扎稳打地解读、响应政策、参与规范制定，助力零碳产业的有序转型和蓬勃发展。

5.2.8 加速低碳新技术从实验室到市场的转换

红杉中国一直秉承“科技兴邦、振兴产业”的使命，在投资策略中做到开放、专注、创新，深刻挖掘各长坡赛道中的科技力量。从原型到产品、从实验室到市场，一个成功的创业项目需经过研发、试验、量产等多环节的淬炼，每一步骤所需的能力和核心问题都在改变。技术的成熟和市场化亦往往带动一整个行业的前进，红杉中国深知低碳新技术在实现碳中和目标中关键性的推动作用，因此，我们将全面赋能新技术团队，从研发支持、梳理融资计划、战略规划等多方位、全角度地帮助这些低碳新技术从实验室走向市场，从而促进产业迭代和变革。

红杉中国承诺做低碳技术的陪伴者，这正是红杉中国团队的使命和热情所在。红杉中国将继续运用自己的平台，为知识与创新生产搭建桥梁，继续致力于科研成果的产业转化，务实地帮助低碳创业项目走向市场。

5.2.9 2025 年前完全放弃本地数据中心 采用云端数据中心

红杉中国承诺在 2025 年前，完全放弃本地数据中心、采用云端数据中心。数据表明，倘若采用绿色方法将现存于本地数据中心的数据迁移至云端，全球二氧化碳排放量每年可减少 5900 万吨⁵⁹。红杉中国数据的去本地化、转存云端数据中心（Internet Data Center），将有效实现我们的低碳承诺。

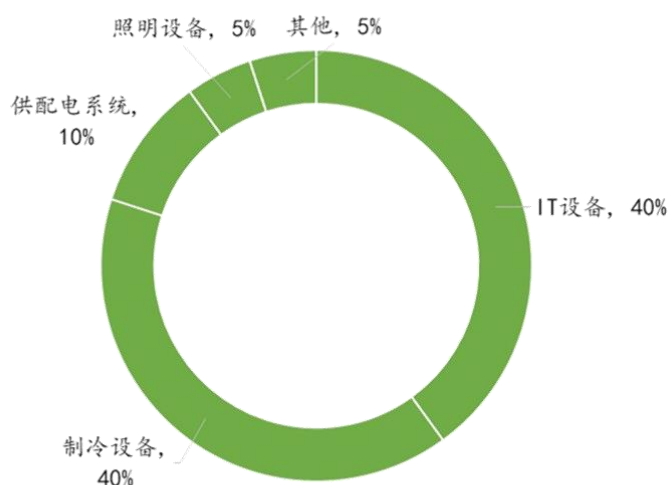


图 14 本地数据中心能耗结构

数据来源：中国数据中心冷却技术年度发展研究报告（2016）

⁵⁹ 埃森哲，绿色上云 开启企业可持续增长之旅，2020 年 11 月 24 日

随着数据的密集化增长，红杉中国在承诺“上云”的同时，也将关注服务供应商是否使用可再生能源发电、其数据中心硬件的重复利用和可回收能力等，从自身辐射至数据全链条的低碳环保，助力兑现“3060”目标。

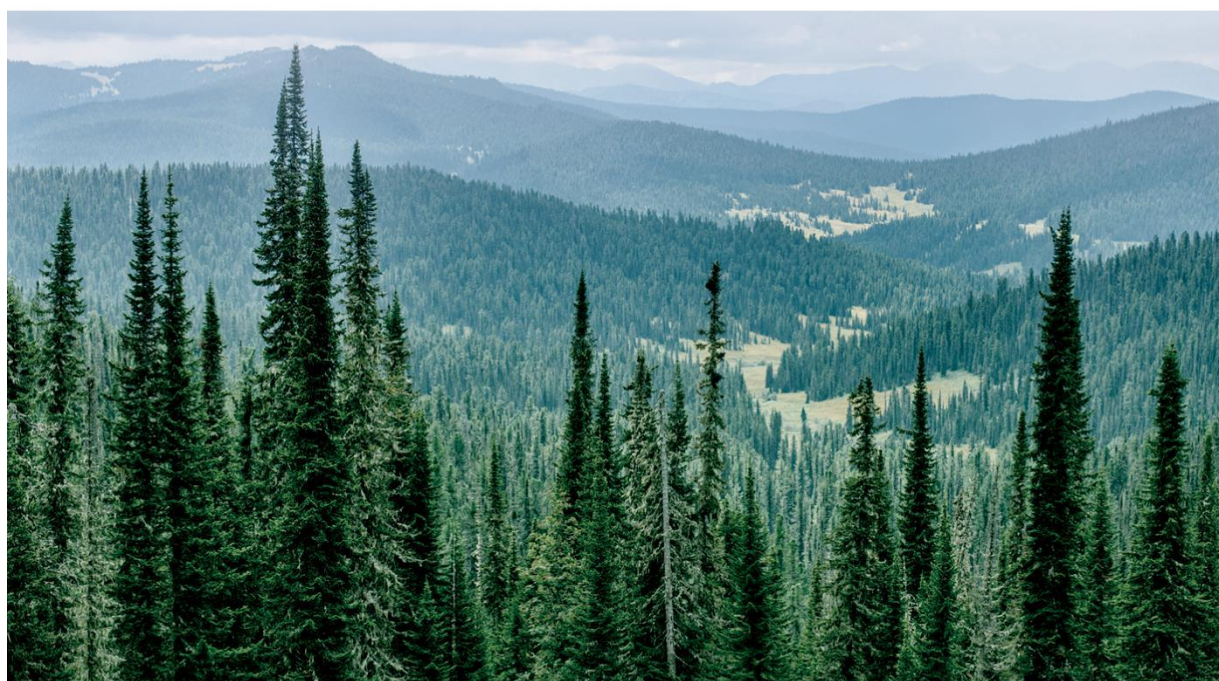
5.2.10 充分行使积极所有权与被投共建“公民碳普惠”社会

红杉中国深刻意识到，个人消费端排放具有“小散杂”的特点，难以采用与行业、企业节能减排相同的方法进行引导。作为股权投资机构，我们将主动运用积极所有权，和被投消费企业共同发力，遵循“谁减排、谁受益”的原则，从个人消费端为绿色低碳行为产生的碳减排量赋予一定价值，推动“碳普惠”机制建立。

在具体践行的过程中，红杉中国将和衣食住行用等消费领域布局的被投合作，在碳普惠场景建设方面，结合被投业务属性，筛选建立有明显碳减排效果且可推广、可实施、可低成本监测的碳普惠行为或场景，依托政府已有或指导建立的碳普惠应用平台，对自愿参与的民众实施“攒碳能量”的行为数据收集；在碳减排量化核算方面，推动被投通过示范活动设计等开发碳足迹计算软件、手持碳排放计算器等工具，探索尽量简化操作、可统一折算的减排量化标准；在碳信用的转化奖励方面，考虑市场需求和被投所处业态，将碳普惠行为减排量转化为用于兑换的实质激励，和政府、被投和金融机构等积极探索碳积分、碳信用直接兑换购物等创新性的碳普惠产品，用创新激励形式吸引更多民众加入。



6. 合力：中国长期低碳发展的政策建议



天行有常，应之以治则吉

——《荀子·天论》

6. 合力：中国长期低碳发展的政策建议

中国政府以明确的长期承诺强有力地支撑了中国的“碳达峰、碳中和”图景构建，也陆续出台了一系列相关政策。为更好响应碳中和的战略方针，红杉中国就技术、投资、配套性基础政策提出政策建议，协助激发更多创新力量、建设完备的投资市场、促进配套规章举措的落地。

6.1 市场化推动新技术相关政策

碳中和目标对不同产业的影响各不相同：钢铁、建材、有色、化工、石化、电力、煤炭等传统部门作为碳排大户，有着低碳转型升级的使命；互联网、大数据、再生能源等高新技术新部门，则需要继续深耕、不断创新，持续赋能碳中和行动。

针对亟需转型的传统部门，我们提出如下建议：

（1）加强碳达峰碳中和相关基础研究

我们建议政府运用政策工具引导、鼓励碳达峰碳中和相关基础研究的有序高效开展，从而更好更快实现传统部门中的新技术研发和新工程运用。建议碳达峰碳中和相关基础研究可以从以下几点展开：研究阐明减污降碳协同效应实现机制、深入分析脱碳路径、提升生态系统适应气候变化能力等。同时，我们建议政府联合多方力量，由国家自然科学基金委员会和生态环境部牵头，鼓励科研人员自由探索与国家科学需求的对接。

（2）鼓励产学研合作攻关碳中和关键技术

我们建议政府在碳中和关键技术领域建立产学研创新体系，发挥高校优质科研资源与产业界配套设备和管理经验的联动效应，以研促产，以产带研，从科研和运用层面实现技术和成本的突破，加快碳中和相关技术如碳捕捉等市场化运用。

（3）继续深化股权激励鼓励碳中和技术创新

当前，国务院出台的创新改革举措“允许转制院所和事业单位管理人员、科研人员以‘技术股+现金股’形式持有股权”已卓有成效。为进一步强化碳中和相关技术的创新，我们建议将此改革措施以碳中和技术为重点，更大范围推广、更大力度培育激活相关技术的动能。

针对新兴产业部门，我们提出如下建议：

(1) 加快建设运用低碳技术的新场景

我们建议政府出台创新场景发展新政策，加快建立运用低碳技术的新场景，建设上述场景的应用示范；同时建立场景建设长效工作机制，对优质落地场景给予技术创新、创业孵化、人才培养等支持，从而带动低碳技术在市场的落地和迭代。以智能交通为例，政府能够运用政策工具建设智能交通示范区，联合 AI、物联网、通信企业等共同参与技术和基础设施攻关，为智能网联车载、路侧设备关键技术等行之有效的低碳技术提供成长沃土，将之优化迭代后进入市场，发挥路面交通减碳排功能。

(2) 设立专项资金支持碳新技术

我们建议政府通过财政补贴等手段鼓励低碳技术的研发与落地。财政资金的引导带动作用能够鼓励科技企业围绕碳中和愿景开展创新活动，同时又吸引社会资本加大对低碳技术的投资力度。

6.2 促进市场化资本助力碳中和的政策

中国经济的低碳转型将深刻影响中国金融系统。为推动整个金融体系资产及投融资活动的低碳化重塑，我们提出以下几点建议：

(1) 完善统一相关绿色金融标准

我国现存与绿色金融相关的标准有国家发改委牵头的《绿色产业指导目录》、中国人民银行、国家发改委、证监会发布的《绿色债券支持项目目录》、银保监会发布的《绿色信贷指引》，以及中国人民银行出台的《绿色贷款专项统计制度》。因此，我们建议完善和统一绿色金融相关标准，从符合可持续发展的原则、实现碳中和愿景的需求出发，切实解决各产业尤其是高碳产业向低碳转型的融资需求。

(2) 明晰金融机构环境信息披露规范

多数金融机构尚未充分理解低碳转型的相关风险，普遍缺乏对低碳转型风险的前瞻性判断和风险防范机制。因此，评估风险尤为重要，而环境信息披露则是其中的一项基础性工作。

当前全球环境信息披露遵循的标准不一，有气候相关财务信息披露工作组（TCFD）、气候披露标准委员会（CDSB）、碳信息披露项目（CDP）、全球报告倡议组织（GRI）、绿色保险原则等主流披露框架。我们建议政府明晰对金融机构披露环境信息的标准，针对不同行业分别制定合理、精细的披露规范。

(3) 运用政策工具激励可持续的低碳投融资

我们建议政府运用政策工具扩大可持续的低碳投融资规模。包括鼓励地方加强财政投入、支持地方制定投资负面清单抑制高碳投资；在一段时期内实行政策激励，从而降低绿色产品的信用成本、税收成本、资本成本和交易摩擦成本，引导绿色金融产品发展；探索股权融资等多种方式组合建立完备的低碳投资市场；进一步完善资金安排的联动机制等措施。

6.3 完善相关配套性基础政策

(1) 建立统一规范的核算体系，摸清碳排放“家底”

提出科学合理、简明适用的碳排放核算要求，明确核算边界与核算方法，指导各地区各行业扎实开展碳排放摸底和达峰前景分析；

各地结合新技术编制道路运输业碳排放核算指南，建立可比较、本地化的排放核算模型，探索引入机器学习等在排放数据收集中的应用。

(2) 建立脱碳关键技术的综合成本收益分析框架

目前部分深度脱碳可发挥关键作用的战略性技术成本较高，建议对此类未来技术形成一套经济性及对社会、环境和生态影响的全面系统评估框架，对于突破性技术参照美国国家科学基金（NSF）的经验做法，政府及企业联合资助研究加速技术的研发和转化。

(3) 政府针对高碳行业人员提供转型培训支持

针对传统电力、煤炭、建筑等高碳行业就业人员，产业集聚区的地方政府可通过服务采购、培训消费券、税费优惠等举措吸引第三方培训机构参与，加大转型职前培训供给，减轻就业转换压力。

(4) 因地制宜推进区域差异化低碳转型

国家要根据各自区域特点，实现差别化和包容式低碳转型：重点生态功能区要划定生态红线，限制高能耗、高碳产业项目开发；边缘农村地区重视当地群众改善生产生活条件、保障清洁优质能源供应的需求。