

探路中和：两个四十年的碰撞

彭文生

分析员

SAC 执证编号: S0080520060001

SFC CE Ref: ARI892

wensheng.peng@cicc.com.cn

谢超

分析员

SAC 执证编号: S0080520100001

chao.xie@cicc.com.cn

刘臻

分析员

SAC 执证编号: S0080512120001

SFC CE Ref: BEI881

liu.liu@cicc.com.cn

李瑾

分析员

SAC 执证编号: S0080520120005

jin3.li@cicc.com.cn

要点

如何应对碳排放这样一种罕见的超时空外部性，对于全球而言都是一件难事。对于中国而言，这种困难尤为严重，主要体现在既有的经济增长目标与新增的碳中和目标之间的协调难度更大。

改革开放四十年来，我们早已习惯了经济增长目标的硬约束。近些年，伴随着潜在增长率长周期下降，增长的约束虽有所弱化，但作为全球最大的发展中国家，经济增长仍然是我国第一要务。预计“十四五”末我国有望达到现行的高收入国家标准，到 2035 年有望实现经济总量或人均收入翻一番¹。

当前，我们正在给未来的四十年增加一条新约束。作为全球第一排放大国，我国给出的碳中和时间表也非常明确：到 2030 年碳排放强度较 2005 年下降 65% 以上，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。需要说明的是，欧盟 1979 年碳达峰，美国 2005 年达峰，各自有 71 年和 45 年的时间从峰值走向净零排放。中国这样一个“30 达峰、60 中和”的时间表意味着，未来四十年的碳中和任务时间紧、任务重，尤其是将会面临比欧、美陡峭得多的中和斜率。

两个四十年的硬约束碰撞之际，如何求得一个交集？我们尝试从总量和结构两个方面进行探讨。对于总量层面的分析而言，最重要的是判断中国 2030 年的碳排放峰值在哪里。根据我们的测算，这个峰值约为 108 亿吨。从结构视角看，最主要是探讨如何实现这样一个达峰、中和目标。我们在绿色溢价的框架下，以八大高排行业为重点分析对象，提出了“技术+碳定价”的初步思路，并通过 CGE 模型的一般均衡分析，佐证这一思路能够兼顾经济增长与碳中和两个目标的约束。最后，通过探讨绿色溢价为负值的含义，纳入对社会治理的分析，并最终提出“碳中和之路=技术+碳定价+社会治理”的公式。

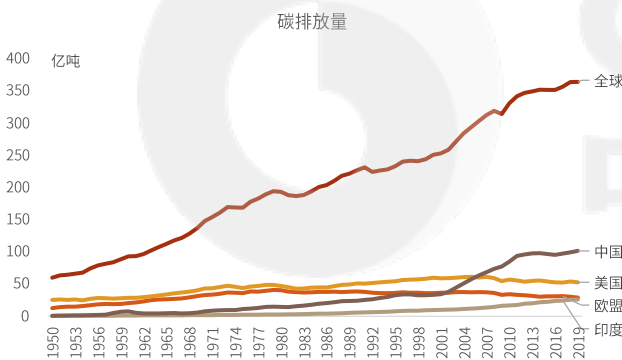
¹ 详见 2020 年 11 月 3 日习近平关于《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》的说明：在征求意见过程中，一些地方和部门建议，明确提出“十四五”经济增长速度目标，明确提出到 2035 年实现经济总量或人均收入翻一番目标。文件起草组经过认真研究和测算，认为从经济发展能力和条件看，我国经济有希望、有潜力保持长期平稳发展，到“十四五”末达到现行的高收入国家标准、到 2035 年实现经济总量或人均收入翻一番，是完全有可能的。

总量寻峰：净碳排放 108 亿吨

如何看待中国的碳排放问题，有历史和未来两个视角。过去，我们经常强调中国当年排放量虽远超其他经济体，但欧、美工业化起步较早，积累的碳排放量也更大²。而且从人均碳排数据看，中国是 7.1 吨/人，仍不足美国 16.06 吨的一半。这样一个历史的视角，对于各国协调应对碳中和目标时区分“共同但有差别”的责任非常重要。但是从着眼未来的角度看，历史视角对于实现中国自己既定的“30 达峰、60 中和”目标意义不大，更不意味着中国应该抓住未来十年达峰“缓冲期”，以更多排放换取尽快发展。

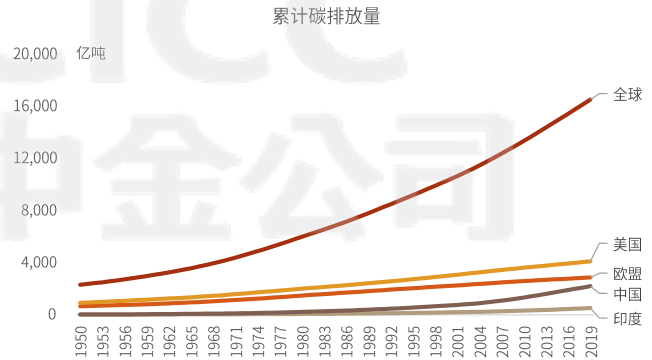
尤其是从碳排放强度来看，中国过去几十年虽在主要经济体中下降最快，由于产业结构与欧美存在较大差异，碳排放强度目前仍约是欧洲的 5 倍、美国的 3 倍。如果将未来十年的碳达峰之路理解为抓住“缓冲期”以实现累积排放、人均排放向美国对标，则后面三十年的中和之路将会压力巨大。事实上，作为碳中和上半场的目标，碳达峰并不仅仅指碳排放量在某一年达到峰值，而是指净碳排放进入平台期并做好随后逐年下降所需要的一系列调整。因此，“30 达峰”目标的制定并不意味着未来十年可以自由排放，恰恰相反，在碳中和已然成为新的约束背景下，这个目标要求从现在开始改变思路、立刻行动，将眼光更多的朝向未来，尽早达峰、尽力降低峰值。

图表 1：碳排放总量对比



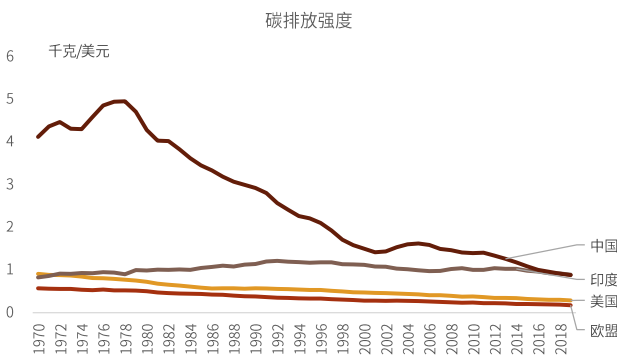
资料来源：Our World In Data，世界银行，中金公司研究部

图表 2：欧美工业化起步早，累计碳排放量也更高



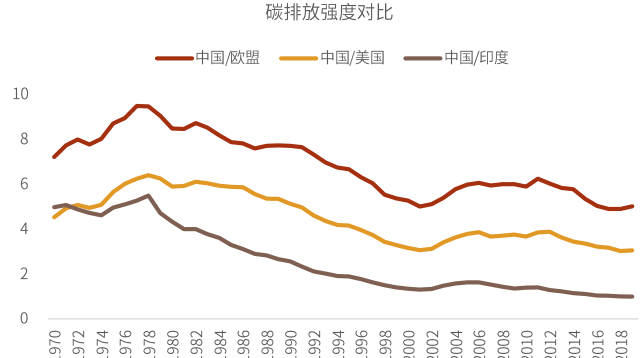
资料来源：Our World In Data，世界银行，中金公司研究部

图表 3：中国碳排放强度持续下降，但仍高于欧美



资料来源：Our World In Data，世界银行，中金公司研究部

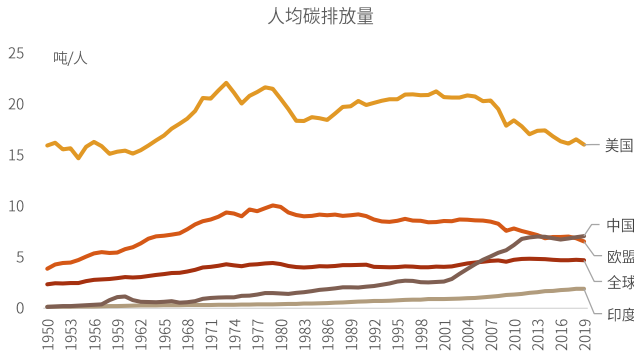
图表 4：碳排放强度对比



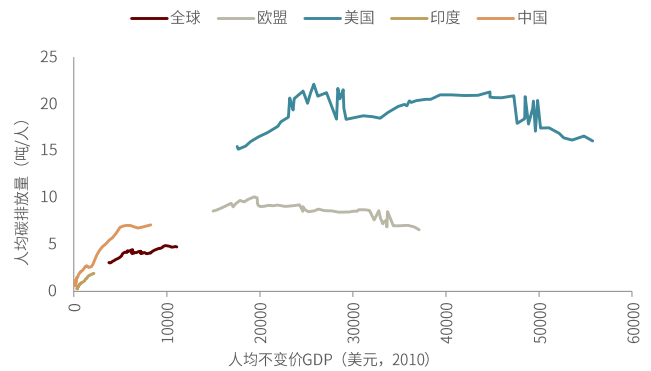
资料来源：Our World In Data，世界银行，中金公司研究部

² 累计碳排放量根据 1751 年以来数据计算。

图表 5：中国人均碳排放量超越欧盟，但不足美国一半 图表 6：随人均 GDP 提升，欧美人均碳排放量先增后降

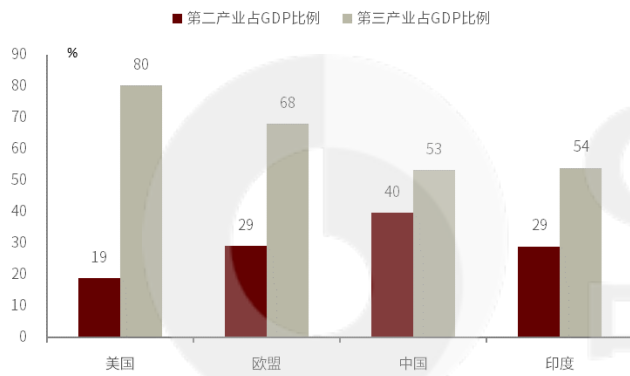


资料来源：Our World In Data, 世界银行, 中金公司研究部



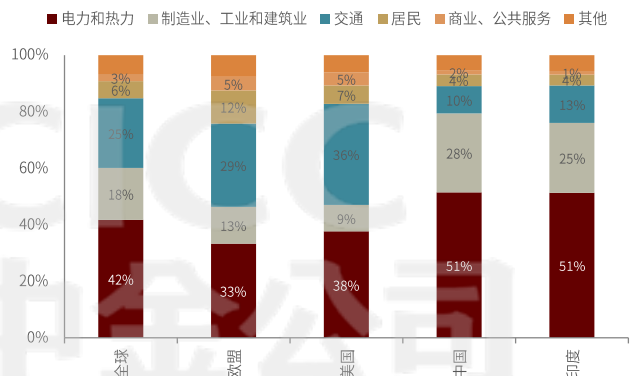
资料来源：Our World In Data, 世界银行, 中金公司研究部

图表 7：主要经济体产业结构 (2018)



资料来源：CEIC, 中金公司研究部

图表 8：主要经济体碳排放来源 (2018)



资料来源：IEA, 中金公司研究部

聚焦未来，有两个因素决定了中国的碳排放峰值。一是，现在到 2030 年的 GDP 增长路径。根据《十四五规划纲要》，假设 GDP 从 2020 年到 2035 年实现翻番并且 GDP 增速由 2019 年³的 6% 匀速下降，可以得出 2020-2030 年 GDP 复合增速为 5%。二是，2030 年相比于当下的碳排放强度下降幅度。目前的权威说法是，2030 年碳排放强度较 2005 年下降 65% 以上。另外，国务院近些年每年公布当年碳排放强度较 2005 年的下降幅度，比如 2019 年碳强度较 2005 年下降 48.1%。“十三五”和“十四五”规划明确提出碳排放强度下降 18% 的目标，假设“十五五”规划亦提出“18%”的下降目标，那么未来十年碳排放强度将会年均下降 3.9%，最终得到 2030 年碳排放强度可以实现较 2005 年下降 66.5%。

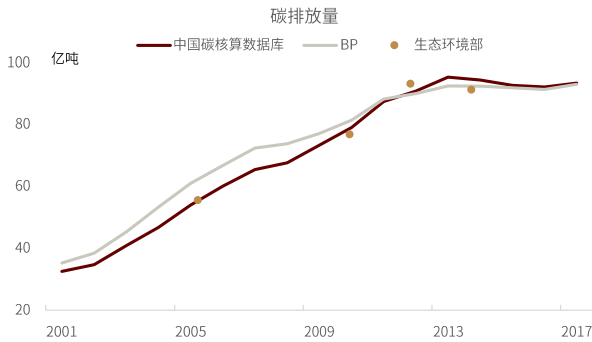
基于上述有关未来 GDP 增长和碳排放强度下降的路径，我们可以进一步去探讨 2030 年的碳排放峰值。首先需要解决基础的碳排放数据问题。现有的碳排放量数据库主要包括中国碳核算数据库 (CEADs)、BP 和生态环境部的数据。由于生态环境部数据不够连续，中国碳核算数据库和 BP 两个时间连续的数据库更适合做研究。此外，2005 年，三个数据库统计的碳排放量（未计入碳汇）分别为 54、61、59.8 亿吨；2014 年，三个数据库统计的碳排放量分别为 94.4、92.4、102.8 亿吨⁴；2017 年中国碳核算数据库、BP 的统计碳排放量分别为 93.4、93.0 亿吨。

³ 这里我们排除 2020 年疫情的临时性冲击。

⁴ 官方数据对工业生产过程的碳排放统计较为全面，因而其碳排放数据往往较大。

可见，近些年中国碳核算数据库和 BP 数据库之间的数值差异显著缩窄，考虑到中国碳核算数据库包含 29 个行业的排放数据，便于进行结构分析和 CGE 模型模拟，因此我们最终使用中国碳核算数据库进行分析。

图表 9：不同数据库的碳排放量



资料来源：中国碳核算数据库，BP，生态环境部，中金公司研究部

图表 10：碳排放强度年度降幅

年份	碳排放强度年度降幅 (较2005年)
2013	下降28.5%
2014	下降33.8%
2015	下降约37%
2016	下降40.7%
2017	下降约46%
2018	下降45.8%
2019	下降48.1%

资料来源：发改委，生态环境部，中金公司研究部

为了规避不同数据库早期碳排数据之间较大差异带来的不确定性，我们选取 2017 年中国碳核算数据库的碳排放量 (93.4 亿吨) 作为测算基准。并按照碳排放强度下降的两种情形分别测算 2030 年的峰值：1) 基于 2017 年和 2030 年碳强度较 2005 年分别下降 46% (官方统计) 和 65% (官方目标)；2) 基于达峰前碳强度年均下降 3.9%，即 2030 年碳强度较 2005 年下降 66.5%。在这两种情形下，2030 年碳排放将分别达到 117 亿吨和 108 亿吨。考虑到 2030 年将有 9.1 亿吨农林碳汇⁵，2030 年净排放预计达到 108 亿吨和 99 亿吨峰值。由于情形 2 是基于“十五五”仍提出碳排放强度下降“18%”目标的额外假设，增加了测算结果的不确定性，因此我们倾向采用情形 1 的测算结果，即 108 亿吨峰值。另外，虽然我们用中国碳核算数据库作为基准数据库，但为了评估测算不确定性的严重程度，我们用 2019 年的 BP 数据和 2014 年的官方数据采取同样逻辑进行测算，具体测算数值见下表。

图表 11：2030 年达峰值 (净排放) 测算

2030年峰值测算 (净排放, 亿吨)		
	2030年碳强度较2005年下降65%	每个五年规划碳强度下降18%
中国碳核算数据库 (2017年93亿吨)	108	99
BP(2019年98亿吨)	104	100
生态环境部(2014年103亿吨)	119	120

资料来源：中国碳核算数据库，BP，生态环境部，清华大学气候变化与可持续发展研究院，中金公司研究部

图表 12：其它研究对 2030 年碳排放量峰值的估算

作者	论文	碳排放量峰值 (亿吨)
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	105
世界资源研究所	零碳之路：“十四五”开启中国绿色发展新篇章	109
刘强、陈怡、陈济、李俊	新常态下我国碳排放达峰形势分析	105-110

资料来源：《中国人口·资源与环境》，《气候战略研究简报》，世界资源研究所，中金公司研究部

⁵ 根据清华大学气候变化与可持续发展研究院测算，详情请见《中国长期低碳转型战略与路径》。

关于测算不确定性的讨论：值得注意的是，过去碳排放强度下降目标的实际完成情况普遍要好于官方目标，例如，“十二五”规划的碳排放强度降低目标为 17%，最终实际下降了 20%；2019 年碳排放强度较 2015 年即已下降 18.2%，提前完成了“十三五”规划目标。因此，我们估算的 2030 年碳排放量峰值或可以被视为一个峰值上限。此外，由于我们是基于碳排放强度对 2030 年的碳排放峰值进行的测算，因此还可能在三个方面产生不确定性，即：对于 GDP 未来增速的假设、碳排放历史数据的质量，以及对碳排放强度下降目标本身的理解。

①GDP 增速假设主要依据是“2035 年实现经济总量或人均收入翻一番”，不确定性在于对未来十五年 GDP 增速由 2019 年匀速下降的假设。

②正如很多研究注意到的，早期碳排的历史数据质量不够高，例如关于中国 2005 年的碳排放数据究竟是多少有很多争议。我们在测算过程中注意到了两个现象，一是伴随着时间推移，BP 数据和中国的碳核算数据库数据趋于一致、分歧减少，二是发现，2017 年官方公布了碳排放强度相比于 2005 年实现了 46% 的下降，而且 2017 年作为较新的碳排放数据争议较少。因此，我们放弃了数据分歧较大的 2005 年，改用数据质量更高的 2017 年作为测算基准，在一定程度上规避了早期碳排放数据质量不高形成的误差风险。

③在学术上，学者对峰值的测算通常明确是指扣减碳汇后的净排放。中国的碳核算数据库与 BP 数据库统计的是不扣减碳汇的毛排放。但是，对于如何理解“2035 年比 2005 年下降 65%”中的碳排放强度，似乎并没有明确说明。我们前述测算方法，是从毛排放的角度去理解的这一目标的，计算出 117 亿吨的毛排放之后，再扣减 2030 年的碳汇，得到了 108 亿吨净排放的峰值，大致位于清华大学、世界资源研究所等机构测算的峰值数据之间。如果从净排放的角度去理解上述目标，我们需要先根据清华大学等机构测算的历史碳汇数据，将中国的碳核算数据库中的毛排放数据处理成净排放再去计算，结果大约是 2030 年的峰值是净排放 109 亿吨，与基于毛排放的数据测算相差不大。经与中金公用事业组讨论，我们倾向于采用毛排放的角度去理解排放强度下降 65% 的目标，即 2030 年的净排放峰值约在 108 亿吨。

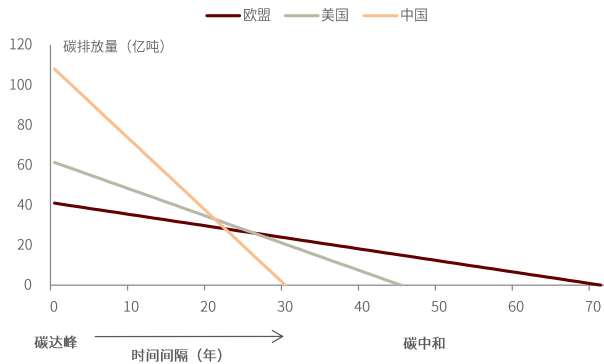
综上，与 2020 年的排放⁶相比，这意味着未来十年中国碳排放仅有 8% 的提升空间，年均仅能增长 0.77%，与此同时，GDP 年化实际增速需要达到 5%，这凸显未来十年中国达峰的难度。国际比较来看，这样一个远高于欧美历史峰值的碳排放峰值数据，意味着中国达峰后碳中和的实现难度更大。欧盟成员国早在 1979 年就实现了碳达峰，碳排放峰值约 41 亿吨、相应人均碳排放 9.9 吨；美国 2005 年碳达峰，碳排放峰值约 61 亿吨、相应人均碳排放 19.6 吨。按照前述测算，中国 2030 年碳排放峰值为 108 亿吨、对应人均碳排放 7.4 吨。目前，欧⁷、美⁸碳中和的目标时间均是定在了 2050 年，如果将达峰到中和定义为碳中和下半场，这意味着欧盟碳中和下半场长达 71 年，美国下半场也有 45 年，中国却只有 30 年的时间。从总量的角度看，我们将面临比欧盟陡峭得多的碳中和下半场斜率。如何才能实现这一艰难的目标呢？下文将从结构视角探讨行业层面的实现路径。

⁶ 清华大学气候变化与可持续发展研究院：《中国长期低碳转型战略与路径》，《中国人口·资源与环境》2020 年第 30 卷第 11 期。

⁷ https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

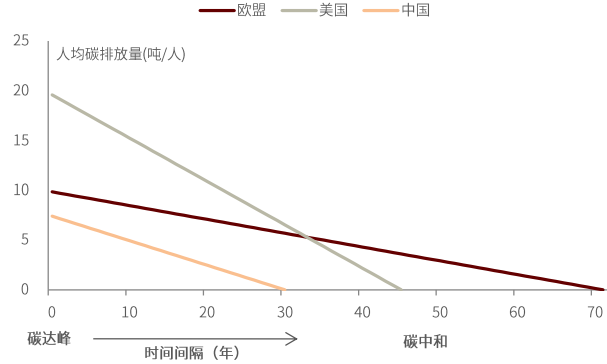
⁸ <https://joebiden.com/climate-plan/>

图表 13: 各国碳达峰后的碳减排斜率测算⁹



资料来源: Our World In Data, 世界银行, 中金公司研究部
注: t=0 代表碳达峰时点

图表 14: 各国碳达峰后的人均碳减排斜率测算¹⁰



资料来源: Our World In Data, 世界银行, 中金公司研究部

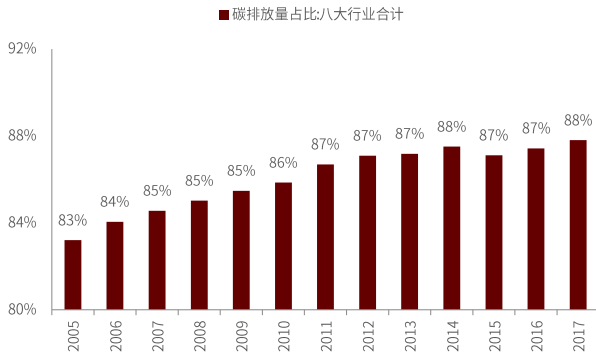
结构路径：基于绿色溢价的探讨

总量目标确定后，接下来就是探索如何实现这 108 亿吨峰值和碳中和目标的问题，无外乎两个方式，即在需求侧节能减排甚至直接遏制需求（比方说拉闸限电），以及在供给侧推广清洁能源、改进生产工艺、发展碳捕捉。然而，限制需求不只是与过去四十年的经济增长约束相悖，而且拉闸限电、推动节能减排等需求侧管理也只能实现碳排放量（暂时）下降，难以达到碳中和。因此，要想从根本上解决问题，关键在于供给侧使用零排放能源、采用零排放生产工艺。因此，将峰值控制在 108 亿吨以内、在下半场通过 30 年实现碳中和，供给侧是核心抓手。

在供给侧探索实现碳中和的路径，关键是处理好八大重点行业的排放问题。2016 年，发改委发布了《关于切实做好全国碳排放权交易市场启动重点工作的通知》，将石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力（火电）、交运里的航空作为重点排放行业。根据中国碳核算数据库，2000~2017 年，全国二氧化碳排放量由 30.03 亿吨上升至 93.39 亿吨，这八个行业¹¹的碳排放量占比由 80% 升至 88%，比例提升主要由电力、钢铁贡献。八个行业中，2017 年碳排放占比由高到低依次是电力（主要是火电，44%）、钢铁（18%）、建材（13%）、交运（含航空，8%）、化工（3%）、石化（2%）、有色（1%）、造纸（0.3%）。

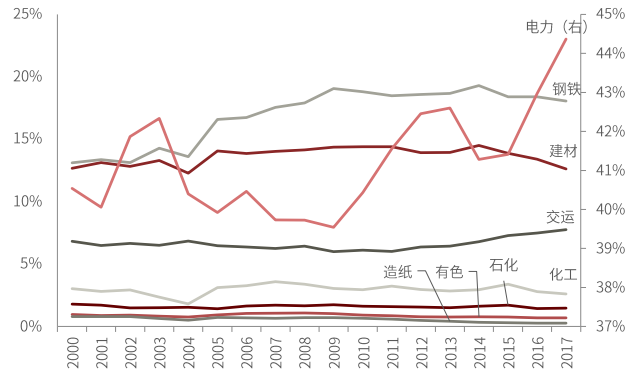
⁹ 由于 Our World In Data 数据库并未明确说明各国的碳排放量属于净排放，还是毛排放，因此此处比较具有一定的不确定性。
¹⁰ 由于 Our World In Data 数据库并未明确说明各国的碳排放量属于净排放，还是毛排放，因此此处比较具有一定的不确定性。
¹¹ 受中国碳核算数据库统计口径影响，航空使用交运（含航空）碳排放数据。

图表 15：八大行业合计碳排放占比



资料来源：中国碳核算数据库，中金公司研究部

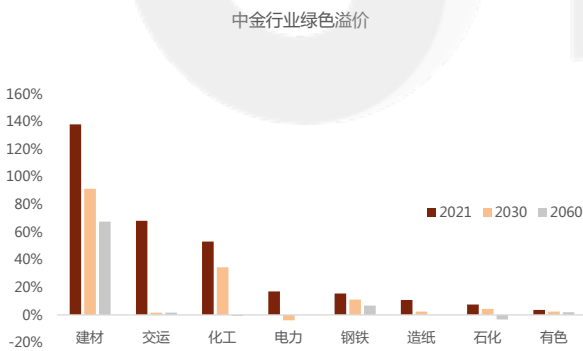
图表 16：八大行业各自碳排放占比



资料来源：中国碳核算数据库，中金公司研究部

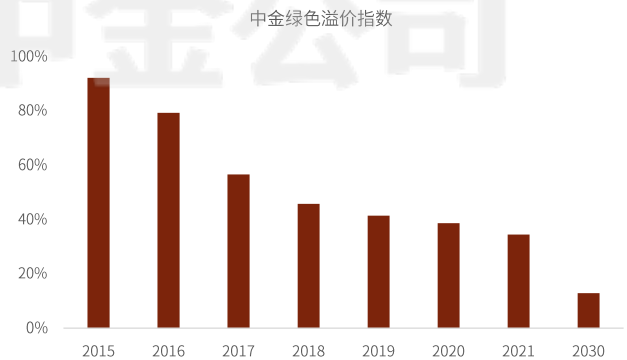
需要说明的是，中国碳核算数据库对于碳排放行业结构的统计，主要是基于生产环节的净排放，并没有将高耗能行业通过耗电产生的间接排放也算在各行业的排放占比中。因此，电力行业排放量占比近半，是因为工业、居民等全部用电部门的电力能耗碳排放都统一计算在了电力行业中，钢铁、建材、有色、化工等其他高排行业统计的碳排放，则是在生产过程中产生的直接排放，例如，钢铁高炉炼钢因消耗铁矿石和焦炭产生的碳排放，水泥熟料煅烧阶段分解石灰石和燃煤烧窑等产生的碳排放。

图表 17：行业间绿色溢价差异巨大



资料来源：中国碳核算数据库，中金公司研究部
注：按照比尔盖茨的定义，绿色溢价用成本上升的幅度来表示。

图表 18：中金绿色溢价指数



资料来源：中国碳核算数据库，中金公司研究部

很明显，这样一个生产环节的直接排放与生产的技术工艺是高度相关的，由此我们也可以从改进生产技术的角度来思考达峰、中和之路。比方说，发电可以从有排放的燃煤技术转向零排放的光伏发电，炼钢采用电炉钢的工艺可以大量减少二氧化碳排放，对于水泥熟料煅烧这种无法通过更改生产技术而降低的排放，则可以考虑通过增加碳捕捉、封存装置的方式来降低甚至实现零排放。这样一个思路反映在经济层面，即是“绿色溢价 (Green Premium)”。这个概念由比尔·盖茨提出，在本文中我们将绿色溢价定义为，与当前有排技术的生产成本相比，使用零排放技术的的生产成本提升的比例。因此，在一定意义上来看，碳中和的关键即是在于降低绿色溢价。一旦绿色溢价为零，意味着碳中和的生产技术非常成熟，没有必要再使用化石能源。

不过，如图表 17 所示，不同行业的绿色溢价存在着巨大的差异，最高的建材与最低的有色之间差了近 38 倍。如何理解这种差异？需要将八大高排放行业划分为三大类：电力、交运和制造业（建材、化工、钢铁、造纸、石化、有色）。这三类行业生产方式存在较大差别，需要分开讨论。详细分析如下。

(1) 电力行业。从发电环节看，绿色溢价已经为负。目前水电和风电发电成本低于火电，核电和光伏成本略高于火电，按照当前电力能源结构测算（火电 66%、水电 19%、风电 6%、核电 5%、光伏 4%），清洁能源综合发电成本低于火电。但是消纳环节碳中和成本较高，综合考虑，中金相关行业组估计 2021 年电力行业绿色溢价为 17%。电网接纳新能源，需要在辅助服务市场增加电网灵活性资源调度，包括火电机组调节功率、抽水蓄能机组抽水、储能电站充电等方式。消纳成本会随着风电和光伏在发电结构中占比上升而增加。目前火电调峰仍然是成本最低的电网调度消纳方式。在消纳环节出现新技术大幅降低成本以前，火电不太会退出电力系统。

(2) 交通运输行业。交通运输业包括公路、铁路、航空、航运等不同运输方式，绿色溢价存在较大差别，中金相关行业组估计 2021 年交通运输行业总体绿色溢价为 68%。在现有技术下，交通运输各个子行业实现零碳排放需要采用不同手段。假定乘用车、中轻卡和铁路用清洁电力，重卡、航空和航运用氢能满足，估计各子行业绿色溢价为：公路客运 18%，公路货运 127%，航空 343%，航运 319%，铁路-29%。由于氢能成本远高于清洁电力成本，因此重卡、航空、航运绿色溢价远高于公路客运和轻卡。目前铁路电气化不断上升，绿色溢价已经为负。

(3) 制造业。在现有技术下，制造业绿色溢价和生产技术有关，水泥、化工等高排放行业需要采用高成本的碳捕捉等技术实现零排放。中金相关行业组的测算表明，2021 年高排放制造行业绿色溢价分别为：建材 138%、化工 53%、钢铁 15%、造纸 11%、石化 7%、有色 4%。

对这三大类行业的分析表明，经济层面的技术成熟度是决定绿色溢价的重要因素。以排放占比最高的电力行业为例，过去 10 年，得益于规模效应、材料替换和效率提升，非化石能源技术取得进步，风电、光伏成本大幅下降，零碳的电力能源已经具备可行性，即使考虑电网成本，电力能源都有望在 10 年内实现负的绿色溢价。事实上，过去几十年中金绿色溢价指数之所以持续下降，最主要的贡献也主要来自于电力行业的技术进步。

对于建材、钢铁、有色、化工等制造行业来说，当下绿色溢价偏高，除了生产过程电气化水平提升带来的成本增加外，主要是因为部分产品生产工艺存在不可避免的原料使用和化石能源燃烧，需要借助氢能、碳捕捉技术实现碳中和目标，而这些技术尚不成熟，使用成本较高。交运当前存在较高的绿色溢价，是因为如果要想实现零排放，重载领域如重卡、航空和航运需要用氢能替代现有燃油技术，未来绿色溢价下降也需要氢能技术的成熟。

综上所述，技术进步是降低绿色溢价的重要方式。不过，这并非全部答案。从前述绿色溢价的计算方式可以看出，降低绿色溢价既可以通过技术进步降低零排放技术生产成本的方式实现，也可以通过提升有排技术的生产成本的方式实现。事实上，这也是主流经济学框架下，最受推崇的碳中和方式。在主流经济学看来，碳排放之所以成为一个问题，是因为负外部性的存在。从时间尺度来看，碳排放导致气候变化、气候变化累计到一定程度产生严重后果，这一过程往往要数十年、甚至数百年，因此这种外部性对当下的经济活动、日常生活的影响可能是相对较小的。从空间尺度上看，碳排放进入全球的大气循环，任何一个地区的碳排放都会对全球的气候产生影响。而从后果上来看，全球生态系统是人类生存发展的基础，如果不能妥善解决这一问题，其后果我们可能是无法负担的。因此，目前主流的认识框架认为，要解决“碳排放”这种巨大的、超时空的外部性，就必须把这种外部性内部化。

从绿色溢价的角度看，也即提升现有排放技术的生产成本。

因此，对于思考碳中和之路而言，绿色溢价是一个更具有兼容性的分析框架，内含着两条基本的碳中和道路：一是，主流的碳定价做法，即通过碳税或者碳市场的定价机制实现负外部性的内部化，以提升有排技术的生产成本；二是促进技术进步，提升零排技术的经济成熟度，以降低零排技术的生产成本。这两种方式哪种更有效？对于经济的总量与结构有什么样的含义？如何才能实现既定的达峰、中和目标？对于这些问题，我们将在下一节的 CGE 模型分析中尝试进行解答。

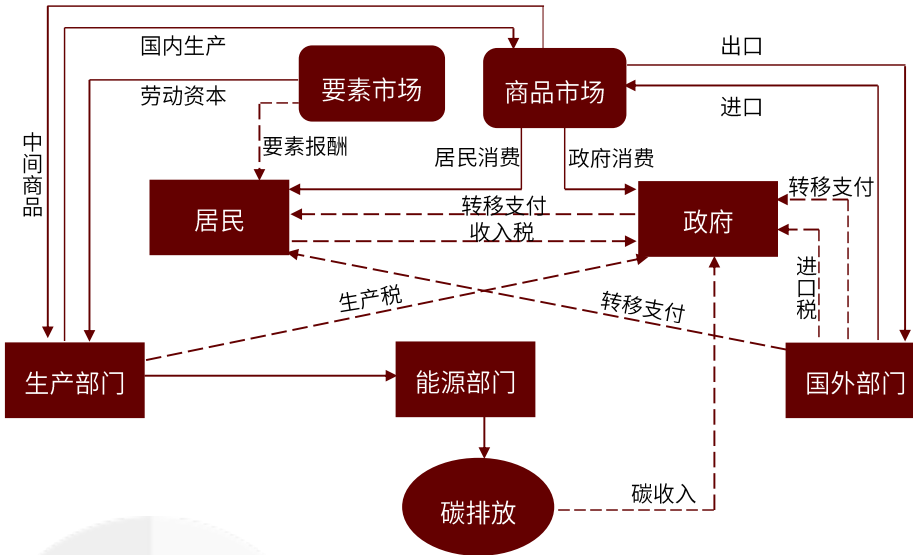
四种情境：CGE 模型下的一般均衡分析

可计算一般均衡 (CGE) 模型是基于一般均衡理论、宏观经济结构关系和国民经济核算数据建立的全景式描述经济系统运行的数量模拟系统，通常用于研究总体经济的长期、确定性行为及其对于外部冲击的反应，现已经成为全球经济、政策分析的标准工具。在模型中，任何一部分结构的变化都会影响整个系统，导致商品和要素价格和数量发生变化，当外生冲击发生时，系统会从一个均衡状态过渡到另一个均衡状态，从而全面展现冲击产生的影响。

在约束条件下，生产者最小化成本，而消费者最大化效用，通过生产、分配、交换和消费环节达到生产要素和商品市场的供需平衡，从而确定各个市场的均衡价格。在传统研究环境经济的 CGE 方法基础上，我们将内生气候友好技术纳入框架，因此本文 CGE 模型包含生产模块、能源模块、收支模块、贸易模块、碳税/碳交易模块、动态模块、能源模块、气候友好技术模块和闭合模块。

在碳中和背景下，能源模块是模型的重点。能源模块由化石能源（煤炭、石油、天然气）和电力两部分组成，其中火电和新能源构成了电力能源系统。在此基础上，基于煤炭、石油、天然气、火电和新能源的能源结构由模型内产生并随时间变化。能源与非能源要素构成中间投入，与由资本和劳动力构成的增加值共同组成总产出。本质上，在模型中我们将化石能源作为生产要素之一，并通过碳税/碳交易的方式对其赋予价格来纠正碳排放的外部性。从这个意义上讲，其内核与诺贝尔经济学奖得主 Nordhaus 的包含了碳循环的古典增长模型有异曲同工之处。在没有气候友好技术进步的情况下，由于碳成本的存在，企业会在多使用一单位化石能源所获得的收益和额外支付的成本之间做出权衡。在总量上，经济最终会收敛到一条新的均衡增长路径。在这条新的均衡路径上，经济产出往往更低。新旧两个均衡产出之间的差距，我们可以理解为碳减排的社会成本。气候友好技术的引入，可以帮助降低碳减排的社会成本，进而提高均衡增长路径。气候友好技术由投资驱动，而该投资由企业投资和碳费（来自碳税或碳交易）再利用两部分组成，其力度越大，越有助于降低企业由于碳成本带来的额外开支，进而最小化碳税/碳交易对产出带来的负面影响。

图表 19: CGE 模型框架示意图



资料来源: 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部

模型数据

Leontief (1941) 创立的投入产出分析方法使得现代经济学走向数量分析成为可能, 在一张棋盘式纵横交错的表格中, 生产、要素投入、消费、投资和贸易间的关系以数量形式呈现, 产品在经济系统流动的全貌和结构被完整展示, 其中产业部门间的关系构成投入产出表的核心, 反映产业部门之间的联系。Stone (1947) 将投入产出分析扩展到机构部门, 设立收入账户, 不仅记录产品流, 还记录收入流以及机构间收入转移, 随后发展出的社会核算矩阵体系成为 CGE 模型及其他大规模数量经济结构模型建模必需的数据基础 (Rose, 1995)。

具体而言, 我们选择 2017 年作为基准年, 模型主要数据来源包括: 第一, 中国社会核算矩阵 (SAM), 依据《中国 2017 年 149 部门投入产出表》, 通过合并及拆分出包括煤炭、石油、天然气、火电及新能源电力等 29 个部门的能源投入产出表, SAM 中财税数据源于《2018 年税收年鉴》、《2018 年财政年鉴》。第二, 外生给定替代弹性, 如生产函数中投入品之间的替代弹性、对外贸易模块 CES 函数中进口品与国内品的替代弹性等, 数据参考 GTAP 数据库。第三, 二氧化碳排放系数, 通过计算部门二氧化碳排放和能源产品消耗计算得到, 二氧化碳数据来源于中国碳核算数据库数据库。

情景假设

为量化分析前述两条路径, 在碳中和和经济发展两个维度上的不同效力, 我们重点分析下述四种情境。

(1) 基准情形 (BAU): 没有碳排放约束, 经济增长速度参考中金宏观团队基于“2035 年实现经济总量或人均收入翻一番”进行的预测。

(2) 征收碳税情形 (M1): 对碳排放行业征收统一碳税, 使碳排放尽可能实现“30 达峰 60 中和”; 如能达峰, 峰值尽可能接近 108 亿吨。

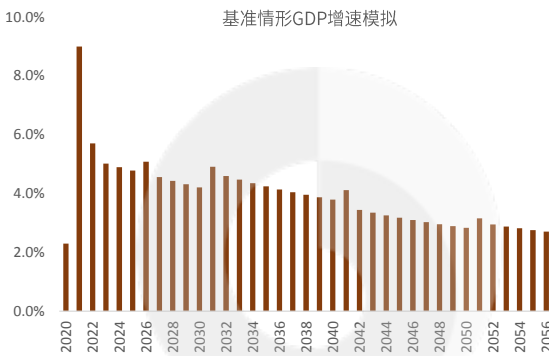
(3) 碳交易情形 (M2): 对八大行业实施碳交易。碳免费配额依据行业绿色溢价制定: 绿色溢价越高的行业免费配额越低, 以强化其减排动机。在此情形下, 使碳排放尽可能实现“30 达峰 60 中和”; 如能达峰, 峰值尽可能接近 108 亿吨。

(4) 碳税+碳交易+技术进步情形 (M3): 三管齐下, 实现“30 达峰 (108 亿吨峰值) /60 中和”和保增长的双目标。

基准情形 (BAU)

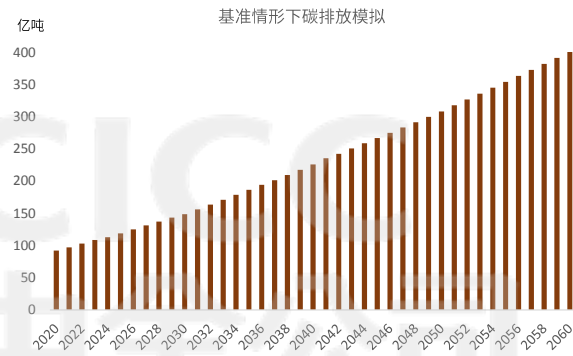
在此情形下, 没有碳排放约束, 唯一目标是实现“2035 年实现经济总量或人均收入翻一番”。以下两图描绘了相应的经济增长和碳排放路径模型模拟: 2021 年至 2030 年, 年均增长 5.2%¹²。2030 年碳排放 158 亿吨, 扣除 9 亿吨碳汇后, 净排放 149 亿吨。

图表 20: 基准情形 GDP 模拟



资料来源: 中国碳核算数据库, 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部

图表 21: 基准情形碳排放路径模拟



资料来源: 中国碳核算数据库, 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部

碳税情形 (M1)

理论上, 只要不断提高碳税水平, 是可能实现“30 达峰、60 中和”, 并使峰值接近 108 亿吨目标。这背后付出的代价是经济系统可能瘫痪, 体现在 CGE 模型的计算中, 即是模型过程无法收敛到均衡路径, 这意味着设置碳税水平需要综合考虑经济发展和碳中和两个并不完全一致的约束。根据中金行业组测算的绿色溢价, 我们推导出全社会的平价碳成本¹³约为 377 元/吨碳。国际上, 从已征收碳税的国家 (大多为发达国家) 来看, 碳税大致在 80-800 元/吨碳。另外, 根据中金基础材料组测算, 考虑到行业的盈利需要后, 钢铁、水泥行业能够承受的最大碳税水平为 100 元/吨碳, 电解铝约为 60 元/吨碳。与此同时, 我们在 CGE 模型计算中发现, 当碳税高于 150 元/吨碳时¹⁴, 模型无法收敛到均衡路径。综合考虑下来, 我们将碳税设置在 100 元/吨碳。在最后, 我们将进行碳税的敏感性分析, 试图寻找“极限碳税”以及碳税税率变化的时间路径。

在此情形下, 碳排放持续上升, 无法达峰, 更无法实现碳中和。具体而言, 2030 年净排放 123 亿吨¹⁵, 2060 年高达 334 亿吨, 不过, 相较于基准情形依然会分别下降 26 亿吨和 166 亿吨。相较于基准情形的 GDP, 2030 年国内生产总值损失 0.6%, 2060 年损失 0.9%。价格方面, 碳税情形下的价格压力高于基准情形, 且上行压力集

¹² 除去高增长的 2021 年, 年均增长 4.8%。

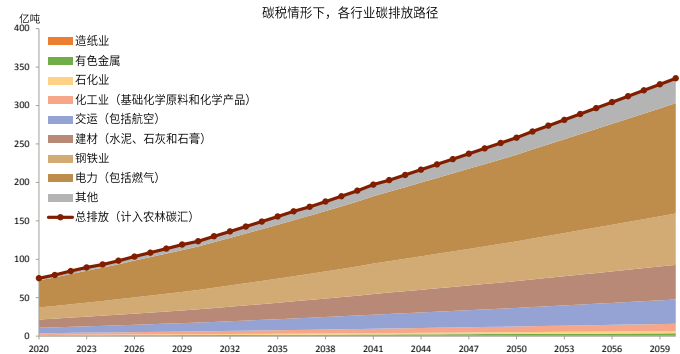
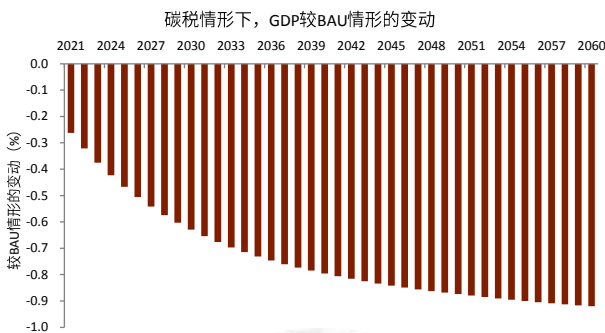
¹³ 是指根据绿色溢价测算的, 需要排放者为碳排放额外付出的成本, 以确保排放者生产成本与碳中和技术下的生产成本平价。

¹⁴ 这里假设碳税恒定, 若碳税逐年递增, 可突破 150 元的限制。

¹⁵ 关于碳汇测算, 我们参考清华大学气候变化与可持续发展研究院和中金研究部行业组的测算。

中在头几年。其中，批发零售、餐饮住宿、交运、信息服务与金融服务行业未来几年将面临较大价格压力。征收碳税也将带来经济结构的变化。具体来说，除火电外的电力行业其工业产出较基准情形的工业产出在 2030 年均有 2% 以上的扩张，而煤炭、火电、天然气开采、建材均面临较大压力。其中，煤炭加工和采选的工业产出较 BAU 下降 7% 以上。

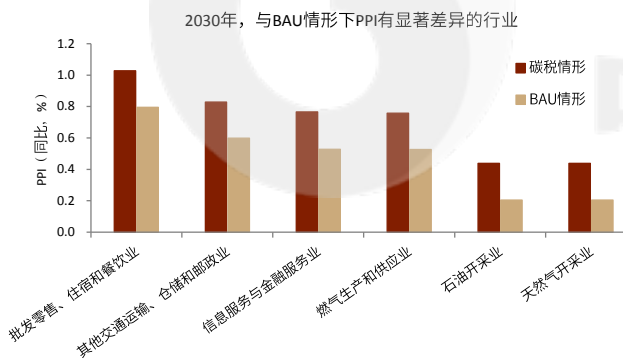
图表 22：碳税情形下 GDP 相较基准情形下的损失 **图表 23：碳税情形下碳排放路径模拟**



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

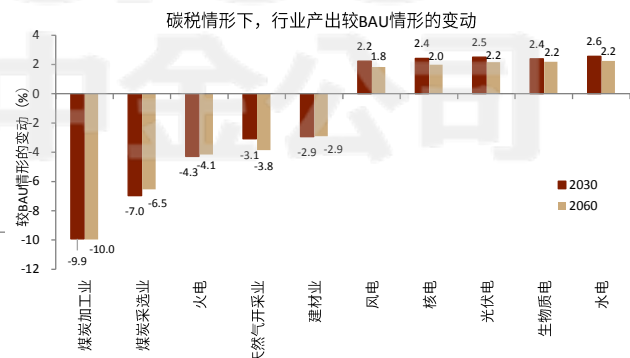
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 24：碳税情形下成本压力较大的行业



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 25：碳税情形下哪些行业收缩，哪些扩张？



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

碳交易情形 (M2)

假定仅石化、化工、建材、钢铁、有色、造纸、电力、航空八大行业在统一碳市场进行碳交易，并依据行业组测算的绿色溢价和广东省《2020 年度碳排放配额分配实施方案》来决定免费配额比例。行业绿色溢价越高，越应该给予其分配较低的免费额度，以给予相关行业更充分的负向激励，促使其转向零排放技术。具体来说，绿色溢价较低的行业诸如有色、石化、造纸，免费配额 90%；钢铁、电力、化工、航空免费配额 80%；绿色溢价最高的建材行业免费配额 70%¹⁶。

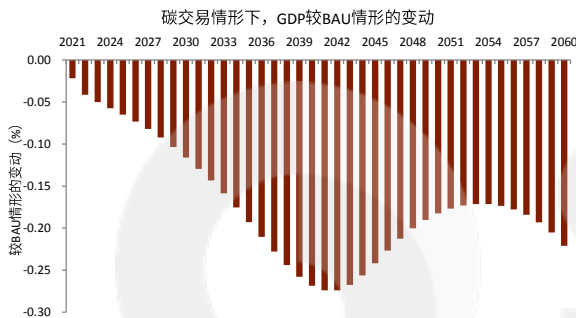
在此情形，碳排放于 2042 年达峰，峰值 171 亿吨，并于 2060 年回落至 130 亿吨。虽仍无法实现碳中和，但比起单纯开征碳税的情形，已有较大改善。GDP 的表现也优于碳税情形，相较于基准情形，未来几十年 GDP 总量

¹⁶ 这里仅从经济模型模拟的角度来分析配额问题。实际当中，按照中金行业组测算，70%的免费配额可能高于水泥行业的承受能力。

仅年均减少 0.15%。与碳税情形类似，碳交易亦带来通胀压力，且集中在头几年。其中，火电、建材、化工、钢铁、航空等面临较大价格压力。行业结构上，除火电外的电力行业 2030 年较基准情形均有明显扩张，而煤炭加工和采选的工业产出分别下降 10%和 5.5%。

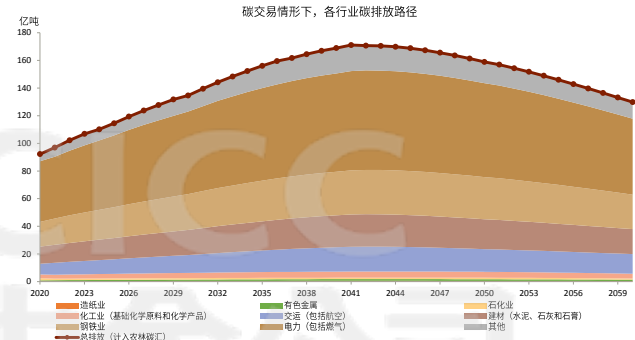
需要说明的是，在一般均衡模型中，要素价格由要素市场供需双方力量共同决定，碳交易价格也不例外。绿色溢价隐含的平价碳成本，衡量的则是排放部门转向零排技术的相对成本。当碳交易价格接近该成本时，理论上可以实现有效减排。根据 M2 模型分析，假定 2021 年引入碳交易机制，则碳价格会从 31 元/吨碳一路上涨至 2060 年的 650 元/吨碳。如前所述，绿色溢价隐含的整体平价碳成本为 377 元/吨碳。模拟结果表明，未来二十年，碳交易价格显著低于该平价碳成本，这可能是碳排放无法实现及时达峰的重要原因。当碳价格接近甚至超过平价碳成本后，碳排放显著降低。这意味着，提升碳价、特别是将其提升至平价碳成本附近时，能够有效降低排放。

图表 26：碳交易情形下 GDP 相较基准情形下的损失



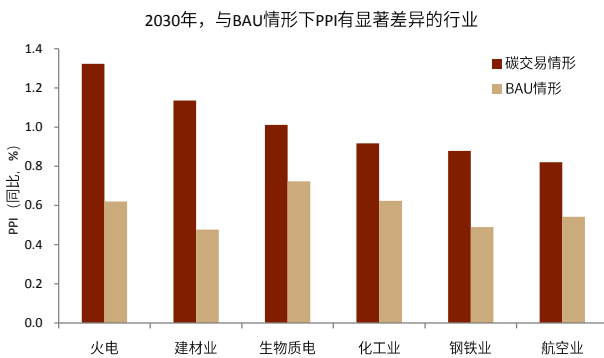
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 27：碳交易情形下碳排放路径模拟



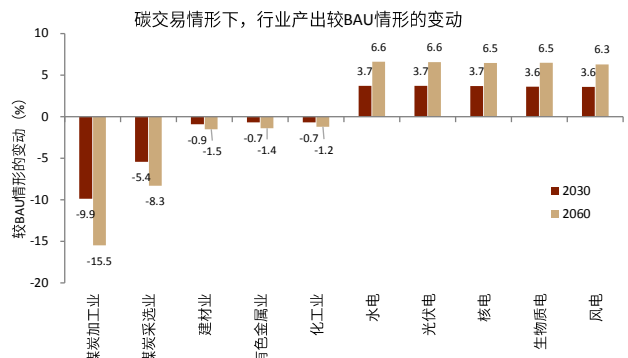
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 28：碳交易情形下成本压力较明显的行业



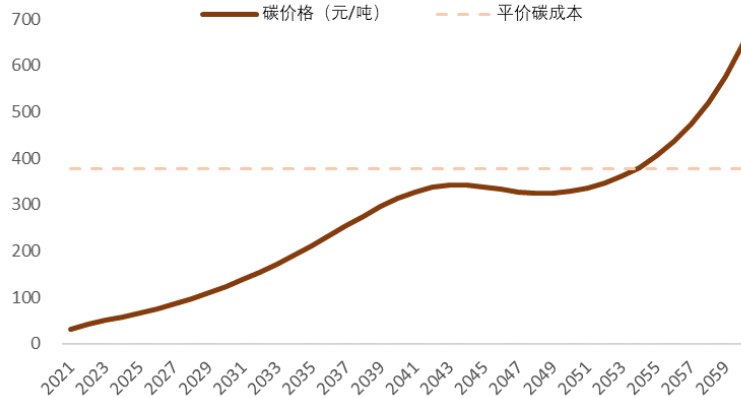
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 29：碳交易情形下哪些行业收缩，哪些扩张？



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 30：碳交易价格逐年上涨



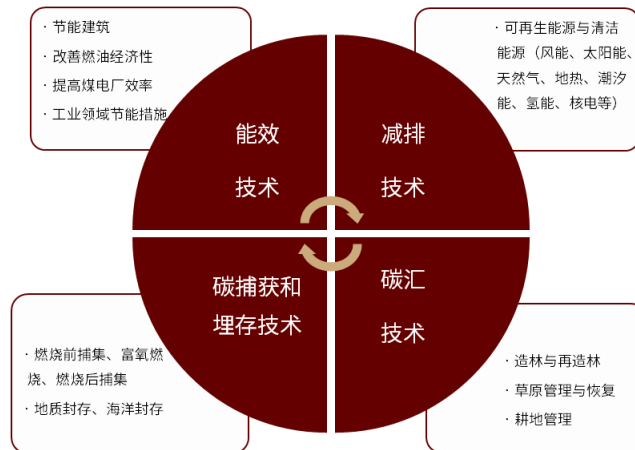
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

碳税+碳交易+技术进步情形 (M3)

如前所述，如果仅依靠碳定价这种解决外部性的主流方式，无论是碳税还是碳市场，均无法在 GDP 增长与碳中和之间求得平衡，或者说如果不放弃 GDP 约束，则难以仅通过碳定价的方式实现碳中和。因此，我们有必要从主流的碳定价思路转向绿色溢价的分析框架，既要考虑通过碳定价的方式提高有排技术的生产成本，也要通过技术进步的方式促使零排技术生产成本下降。

对于技术进步方面的分析，我们采用了技术创新的“S 形曲线”理论。Freeman 和 Louçã (2001) 从历史维度，提出一个关于技术变革的长波（或康德拉季耶夫波动）理论。任何被广泛使用的技术，其生命周期要经历六个阶段：实验室发明、决定性示范、爆发式增长、持续高增长、增长放缓、技术成熟，整个过程也呈现为“S 形曲线”，Köhler (2005) 提出这可能由投资路径驱动，这种描述技术变化的“S 形曲线”被广泛接受。在该模型中，这条 S 形技术曲线以简化形式 (reduced form) 囊括了一切相关的气候友好技术：能效技术、减排技术、碳汇、碳捕捉和封存等。

图表 31：气候友好技术泛指一切与应对气候变化直接相关的技术



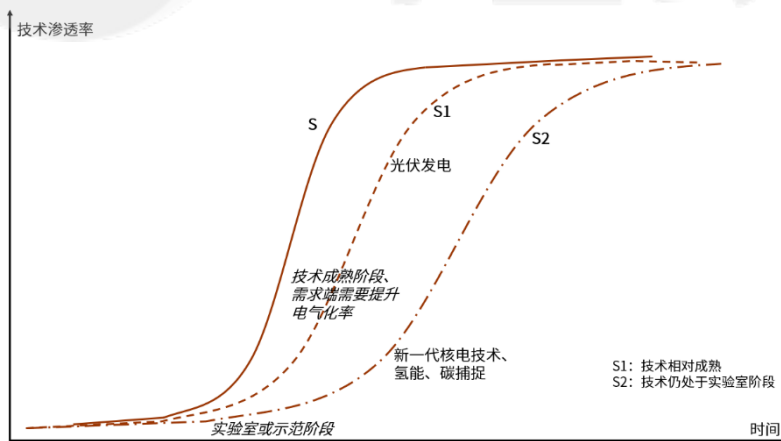
资料来源：中金公司研究部

以占碳排放大头电力行业为例，供给端采用清洁能源（如光伏）发电配合需求端提升电气化率是实现碳中和的最优技术路径。目前，光伏发电技术成熟并已成功产业化；但另一方面，因为储能尚未平价，电力消纳仍然面临挑战。从电力传输来看，建立分布式智能电网，改变电力结构，从集中式坚强电网走向智能电网，实现全面电气化的基础设施技术，是技术进步路径上有待突破的下一环节。最后从应用端来看，全面提高电气化率（电动车、电锅炉）乃是治本的解决方案。如下图所示，纵轴表示随时间变化的技术应用程度或者渗透率，S1 曲线则描绘了电力行业碳中和的技术路径，目前技术处在技术曲线由平缓逐渐进入陡峭的阶段。

与这条技术路径形成对比的是，以新一代核电技术、氢能、碳捕捉为代表的 S2 曲线，这些技术目前还在实验室阶段或者示范阶段，面临很大不确定性，离成功商业化尚有距离。将两条不同进度的技术曲线叠加在一起，我们得到了曲线 S。它代表了与气候友好技术相关的一切技术路径，我们定义其为 SNCT (share of non-carbon technology) 曲线。曲线越快进入陡峭阶段，表明该技术越快商业化；曲线越陡峭，表明该技术大规模应用的速度越快。

SNCT 曲线衡量了随着气候友好技术的进步，经济系统碳排放系数的下降程度。这里我们用一条曲线来模拟气候友好技术的整个生命周期，这条曲线由 5 个外生参数（控制曲线形态以模拟技术生命周期、成长速度等）加一个内生变量（气候友好技术投资）来控制，这里我们假设采取应对气候变化的行动将引发传统能源技术投资向气候友好技术投资转移，并且该投资能够有效提升气候友好技术的份额。从这个意义上讲，这条曲线以简化形式概括了以投资驱动的从提高能源利用率到脱碳减碳（诸如碳捕捉、碳固定）一系列技术进步。因此，这条曲线可以降低碳排放系数从而降低碳排放量。

图表 32：气候友好技术进步曲线



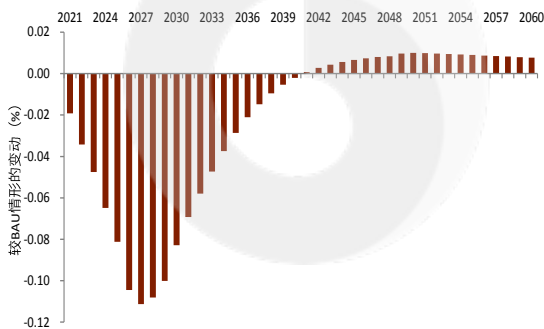
资料来源：经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

在此情景下，我们保持 100 元碳税与 M1 模型一致、八大行业碳配额与 M2 模型一致。通过模拟我们发现，碳税+碳交易+技术进步的组合有望实现保增长与碳中和的双目标。GDP 相较于基准情形，差距几乎可以忽略。2040 年后，GDP 甚至超过了基准情形，说明了技术进步抵消了甚至超过了碳定价对经济增长带来的负面冲击。碳排放于 2030 年达峰，峰值为 109 亿吨。随后逐年递减，向净零目标收敛。

模拟结果还显示，可能是因为技术进步的力量在初期还未能充分发挥作用，碳税、碳交易仍给经济带来成本上升的压力，但相较于没有技术进步的情形，其成本压力已有所缓解。关于行业的结构性变化，我们从两个维度去分析：①行业产出相较于基准情形的变化；②行业产出占比在该模型中随时间的变化。首先，光伏、水电、风电、核电等非火电类发电产出较基准情形于 2030 年均扩张 3% 以上，而煤炭加工和采选出现较大萎缩。其次，农林牧渔、公共服务和轻工业产出占比随时间下降明显，而装备制造业、房地产与租赁业、信息与金融服务业产出占比逐年上升。

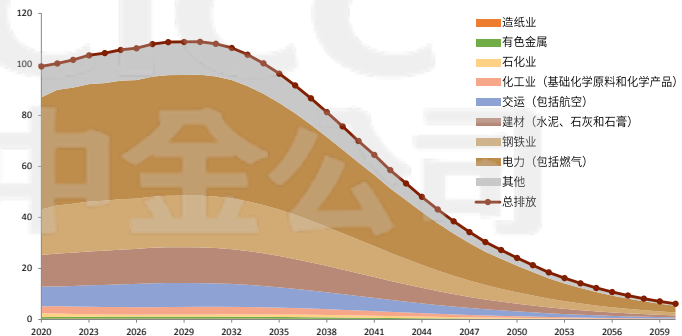
与此同时，碳交易价格由 2021 年的 10 元/吨逐步上涨到 2030 年前的 140 元。在气候友好技术尚未大规模渗透的情况下，逐年升高的碳价有助于及时碳达峰并将峰值控制在 109 亿吨左右。当绿色技术大规模铺开使用之后，碳价也随之下降。作为 S 形技术曲线的内生变量，投资是驱动技术进步的关键。模型测算绿色技术研发投资占比 GDP 将达到 2% 左右，并在最初几年逐年增加，以帮助技术研发跨越 S 曲线的实验室阶段、投入商用。M3 模型中，气候友好技术曲线 SNCT 模拟出了 S 曲线的形态，SNCT 值在 2030 年达到 0.32、2060 年达到 0.99，意味着碳排放系数¹⁷分别为 2020 年的 68% 和 1%，从而实现了老的经济增长与新的碳中两大约束的兼顾。能源结构也出现逐年优化，2030 年清洁能源占比达到 44%，2060 年高达 96%。

图表 33: M3 情形下 GDP 与基准情形比较



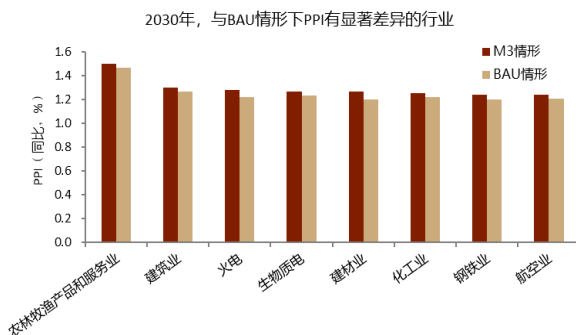
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 34: M3 情形下行业碳排放路径模拟



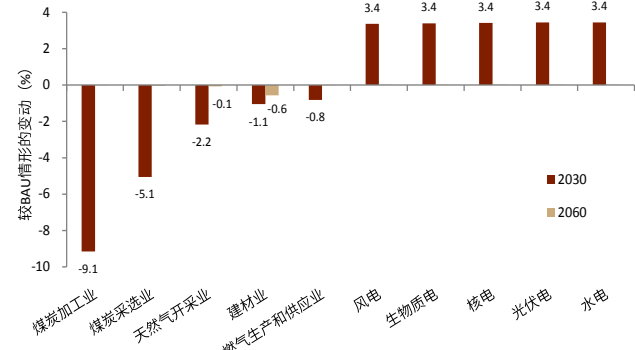
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 35: M3 情形下成本压力较明显的行业



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

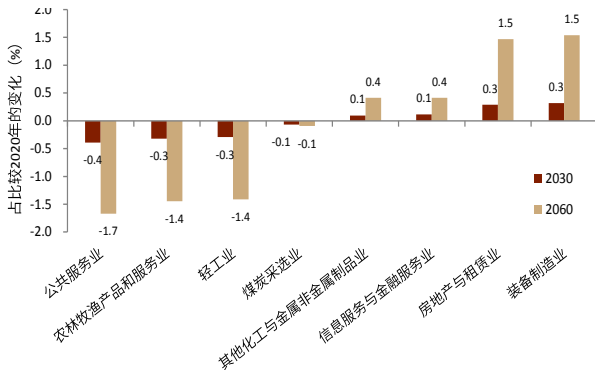
图表 36: M3 情形下哪些行业收缩，哪些扩张？



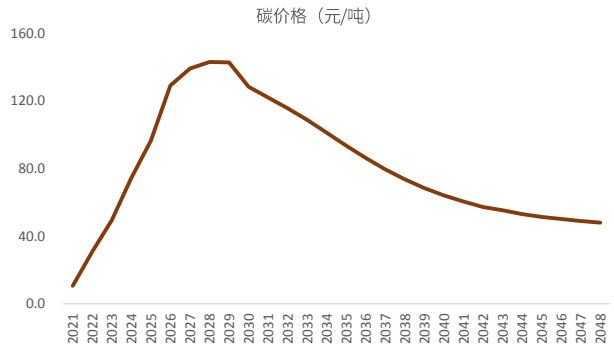
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

¹⁷ 单位产出的碳排放。

图表 37: M3 情形下, 行业产出占比较 2020 年的变化 **图表 38: M3 情形下碳交易价格**



资料来源: 中国碳核算数据库, 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部



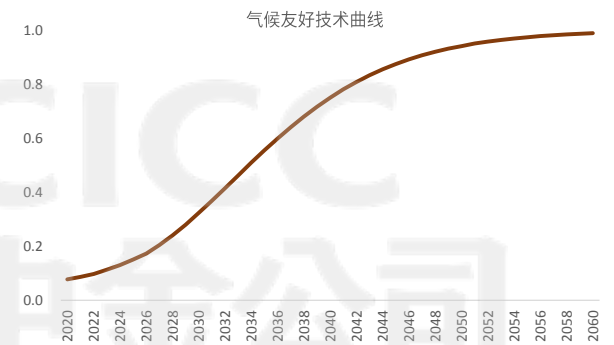
资料来源: 中国碳核算数据库, 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部

图表 39: M3 情形下非碳能源研发投入强度



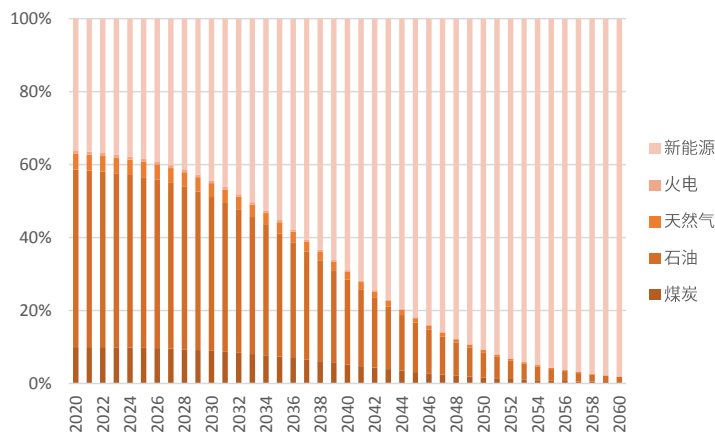
资料来源: 中国碳核算数据库, 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部

图表 40: M3 情形下气候友好技术曲线



资料来源: 中国碳核算数据库, 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部

图表 41: M3 情形下能源结构演变



资料来源: 中国碳核算数据库, 经济系统模拟研究中心, 中金公司研究部整理

技术曲线的敏感性分析

上述四种情形的比较分析可以看出，技术进步对兼顾经济增长和碳中和至关重要。但技术创新不确定性较大，因此我们有必要考察乐观、悲观技术前景对经济总量和碳排放的影响。假设 M3 情形中的气候友好技术曲线为技术进步的基准前景，悲观前景指的是技术发展不及预期或较难商业化的情形。直观上，该情境下的技术曲线较基准曲线更为平缓：停留在实验室阶段的时间较长、技术大规模应用的阻力较大、或技术渗透率较低。现实中，对应超前且不确定性较大的技术：如氢能、碳捕捉等。乐观前景则相反。

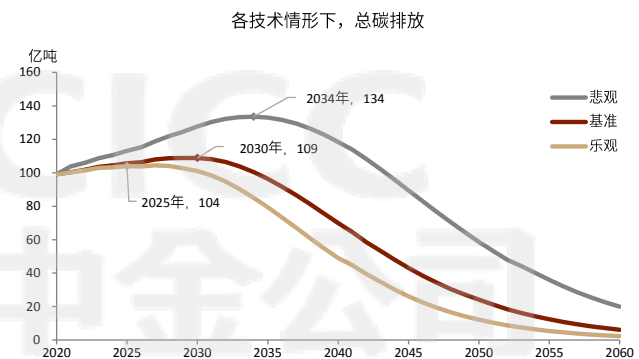
与直觉相符，悲观技术前景下的 GDP 遭受较大的负面冲击，而且碳排放曲线显著抬高：推迟到 2034 年达峰且峰值高达 134 亿吨。模拟出来的技术曲线也符合我们对于悲观情境下技术路径的演绎。技术进步不及预期，导致清洁能源占比较低，碳交易价格在碳中和的下半场显著高企。另外，相较于基准和乐观前景，悲观前景下的碳交易市场存续时间较长，即价格机制需要从价格和时间两个维度发挥更大作用。

图表 42：不同技术前景下较 BAU 的 GDP 变动



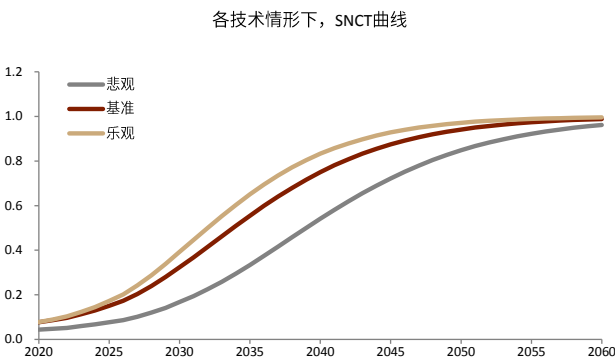
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 43：碳排放模拟



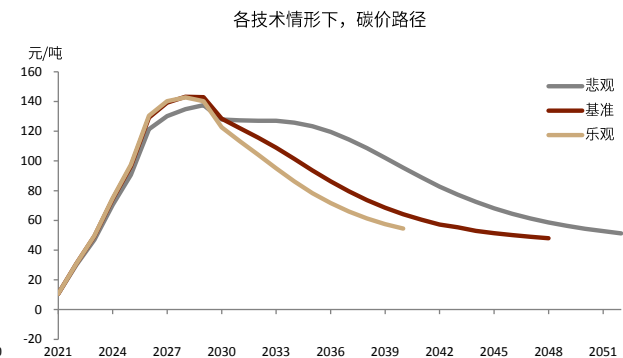
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 44：气候友好技术曲线



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 45：碳交易价格

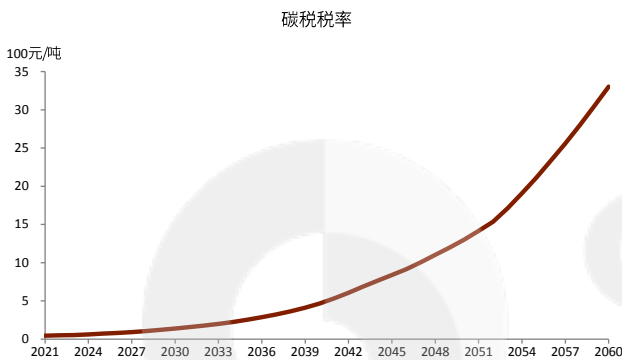


资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

碳税的敏感性分析

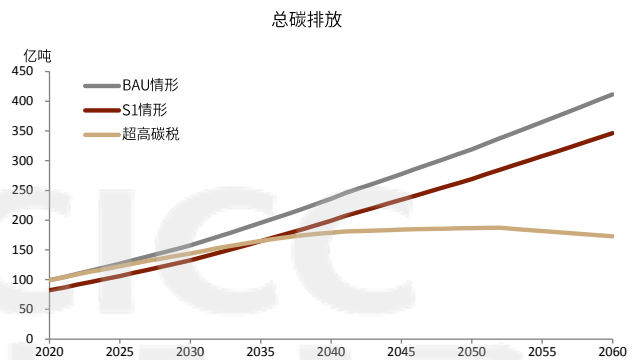
通过 M1 情形的模拟，可以发现能够实现模型收敛的碳税水平很难完成达峰任务。如前所述，只要肯付出经济增长的代价，只要碳税税率足够高依旧可以纠正碳排放的负外部性，使得碳排放曲线在某个时点掉头向下。M1 模型中 2060 年前未能达峰说明了两点：测算时间跨度不够，或者说模型中使用的碳税税率太低。此处，我们设定 2060 年前要达峰¹⁸的目标，反推出需要多大的碳税。经模拟估算，我们得到下图的碳价格曲线。这条曲线大致遵循指数形式递增，从 2021 年的 46 元/吨到 2030 年的 140 元，再激增到 2060 年的 3300 元。在如此之高的碳税下，碳排放于 2040 年进入平台期并于 2052 年开始缓慢降低。经济增长也将承受巨大压力，GDP 总量在最后十年相较 BAU 将损失 3%-5%。这个模拟进一步印证仅靠碳税无法完成“30 达峰、60 中和”的目标。

图表 46：“极限碳税”税率



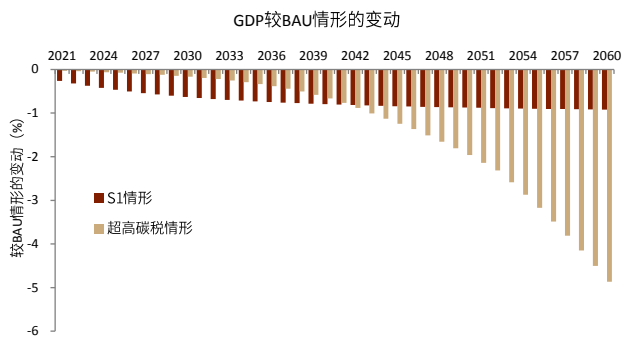
资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 47：碳排放模拟



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

图表 48：GDP 较 BAU 变动



资料来源：中国碳核算数据库，经济系统模拟研究中心，中金公司研究部

¹⁸ 仅有碳税下，中和是不可能的，所以退而求其次看能否达峰。

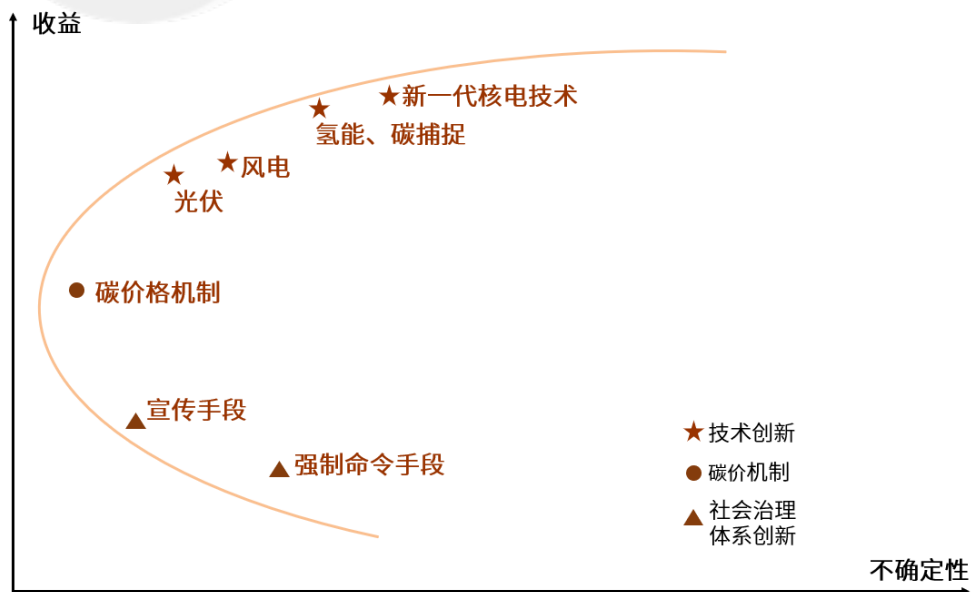
碳中和之路=技术+碳定价+社会治理

上述基于 CGE 模型的一般均衡分析表明，仅靠负外部性的内部化无法避免新、老两个四十年约束的激烈碰撞，只有绿色溢价框架下的“技术+碳定价”才有可能兼顾经济增长与碳中和两大目标。不过，这样一个结论并不意味着研究的结束，而是探索中国碳中和之路的开始。以技术为例，既然对于碳中和如此重要，那究竟有哪些碳中和技术值得期待？这些技术目前的发展阶段又各是什么样的？对此，我们将在《碳中和经济学》第三章中专门对于碳中和技术问题进行探讨。

在碳定价方面，全国统一市场正在加速构建，八个高排放行业或将在“十四五”期间逐步纳入全国统一碳市场。通过搞统一市场，对不同行业施行统一碳价，这一点似乎已经成为了中国推进碳中和毋庸置疑的共识。我们的分析却表明，情况可能没有那么简单。比方说：在思考负外部性的内部化时，可能不宜按照主流做法去计算社会成本的折现，还是应该从社会净成本的角度采取差别定价视角；绿色溢价的分析表明，仅根据排放占比来选择碳定价方式可能并不妥当；统一碳市场有可能加剧京津冀地区的污染问题等等。对于这些问题的详细分析可以参考《碳中和经济学》第四章“同一碳排放，不宜统一碳定价”的论述。

更重要的是，“技术+碳定价”只是降低绿色溢价的两个基本手段，并非这个框架下实现碳中和的全部内涵。根据中金公用事业组的测算，2030 年电力行业的绿色溢价为-3.9%。负的绿色溢价意味着，从经济意义上讲，零排放技术已经完全优于有排放技术，但由于发展的路径依赖、相关决策者或整个社会对于碳中和重要性的认识不足等问题，行业的生产技术并没有转向更具有经济性的零排放技术，而是“锁定”在了高经济成本的有排技术上。要解决这些问题，就无法单纯的靠“技术+碳定价”的方式来实现，还需要社会治理或者说公共政策的介入。

图表 49：碳中和之路=技术+碳定价+社会治理



资料来源：中金公司研究部

就社会治理而言，主要有价格型、命令型和宣传型三类政策。事实上，在“碳中和之路=技术+碳定价+社会治理”的公式下，这三个工具之间并不是完全割裂的，而是高度相关的。比方说，技术进步和改进生产工艺离不开诸如财政补贴等公共政策的支持；碳税、碳市场拍卖则是筹措这些资金的重要来源；碳定价本身就属于公共政策的一部分，宣传型政策有助于提高全民碳中和意识，进而有助于降低碳定价政策推行过程中的摩擦成本。结合绿色溢价的分析框架，“技术+碳定价+社会治理”的公式，对碳中和之路的重要意义主要有三个。

一是，重视应对碳中和之路中的创新与公平问题。绿色溢价只是衡量零排技术和有排技术之间的生产成本差异，并没有衡量社会为碳中和付出的全部成本。前述 CGE 模型的模拟测算表明，煤炭、建材、化工等行业将面临较大的规模萎缩压力，信息和金融服务、房地产与租赁业等服务业规模占比或将扩大。这样一个结构变迁的背后，实际上意味着一系列的社会问题，例如大量零排发电产能上马，难免造成火电资产的大量闲置，以及随之而来的煤矿、火电厂关闭，银行坏账，乃至煤炭输出型省市的转型等问题。从更一般性的意义上来讲，碳中和之路对创新的依赖可能会造成高碳行业、从业者、区域，与低碳行业、从业者、区域之间的不公平发展问题，仅靠“技术+碳定价”的方式可能无法解决，而是需要从社会治理的角度统筹安排、提前规划，能否处理好碳中和过程中的创新与公平问题，关系到整个社会能否持续的迈向碳中和，在《碳中和经济学》第二章中我们将着重探讨这个问题。

二是，应对绿色溢价下降趋势出现反复的风险。大规模零排放技术的使用可能造成有排放技术需求下降，例如清洁能源发电大量上马，影响火力发电的需求，进而降低化石能源的价格和有排技术的生产成本，可能会导致绿色溢价反弹。当然，如果化石能源需求持续萎缩，价格下降也会导致这个行业自发进入供给侧收缩状态，所以在大规模推广零排技术的情况下，化石能源价格上升和下降的压力都会出现，虽然难以精确判断哪个因素会占主导地位，但有一点是确定的，即绿色溢价的变化是一个动态的过程，下降趋势可能会出现反复的风险，甚至有可能降低全社会的碳中和动力，因此，因此有必要在大规模使用零排技术具有经济可行性的时候，通过命令型政策限制化石能源产能重新扩张。

三是，重视绿色金融的作用。如前所述，2030 年电力行业的绿色溢价估算值是负的。也就是说，即便在经历碳定价和技术进步之后，在经济上已经具有优势的清洁发电技术，并没有在未来十年实现对火力发电的完全替代。当然，这既可以看作是技术仍有待进步，或者说碳价水平不够高，但也暴露了一个社会治理问题，即如何通过制定合理的公共政策，来促进具有经济效益的零排放产能尽快形成，以加速对现存有排资产的替代，绿色金融将在这方面发挥重要作用。事实上，绿色金融对碳中和的意义不仅在于成熟技术的加速推广方面，也体现在高度不确定的研发阶段。例如，对于氢能、碳捕捉等实验室阶段的碳中和技术，依旧需要大量的研发资金支持。碳中和技术的这两个不同发展阶段，是否需要不同形式的金融支持？绿色金融对碳中和而言还有哪些意义？我们将在《碳中和经济学》第五章中做重点探讨。

以上三个方面都是从一个封闭经济体的角度展开的思考。在强调国内、国外双循环互动的当下，去应对碳排放这样一个超时空的外部性问题，也应该有国际视角。事实上，2021 年 3 月 10 日，欧洲议会已经通过了一项关于欧盟碳边境调节机制(CBAM)的决议，也就是说如果与欧盟存在贸易关系的经济体不能遵守欧盟的碳排放规定，欧盟可以对来自于这些经济体的进口商品征收碳关税。这可以看成是 Nordhaus 提议的国际“气候俱乐部”落地的第一步，也是将碳税这种定价机制直接应用到了国际社会的治理层面。从国际层面看，“技术+碳定价+社会治理”又有怎样的表现和含义，《碳中和经济学》第六章将对这些问题进行分析。

法律声明

一般声明

本报告由中国国际金融股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但中国国际金融股份有限公司及其关联机构（以下统称“中金公司”）对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供投资者参考之用，不构成对买卖任何证券或其他金融工具的出价或定价或提供任何投资决策建议的服务。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐或投资操作性建议。投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，自主审慎做出决策并自行承担风险。投资者在依据本报告涉及的内容进行任何决策前，应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求，并就相关决策咨询专业顾问的意见对依据或者使用本报告所造成的一切后果，中金公司及/或其关联人员均不承担任何责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断，相关证券或金融工具的价格、价值及收益亦可能会波动。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。在不同时期，中金公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

本报告署名分析师可能会不时与中金公司的客户、销售交易人员、其他业务人员或在本报告中针对可能对本报告所涉及的标的证券或其他金融工具的市场价格产生短期影响的催化剂或事件进行交易策略的讨论。这种短期影响的分析可能与分析师已发布的关于相关证券或其他金融工具的目标价、评级、估值、预测等观点相反或不一致，相关的交易策略不同于且也不影响分析师关于其所研究标的证券或其他金融工具的基本面评级或评分。

中金公司的销售人员、交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。中金公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。中金公司的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见不一致的投资决策。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现。过往的业绩表现亦不应作为日后回报的预示。我们不承诺也不保证，任何所预示的回报会得以实现。分析中所做的预测可能是基于相应的假设。任何假设的变化可能会显著地影响所预测的回报。

本报告提供给某接收人是基于该接收人被认为有能力独立评估投资风险并就投资决策能行使独立判断。投资的独立判断是指，投资决策是投资者自身基于对潜在投资的目标、需求、机会、风险、市场因素及其他投资考虑而独立做出的。

本报告由受香港证券和期货委员会监管的中国国际金融香港证券有限公司（“中金香港”）于香港提供。香港的投资者若有任何关于中金公司研究报告的问题请直接联系中金香港的销售交易代表。本报告作者所持香港证监会牌照的牌照编号已披露在报告首页的作者姓名旁。

本报告由受新加坡金融管理局监管的中国国际金融（新加坡）有限公司（“中金新加坡”）于新加坡向符合新加坡《证券期货法》定义下的认可投资者及/或机构投资者提供。提供本报告于此类投资者，有关财务顾问将无需根据新加坡之《财务顾问法》第 36 条就任何利益及/或其代表就任何证券利益进行披露。有关本报告之任何查询，在新加坡获得本报告的人员可联系中金新加坡销售交易代表。

本报告由受金融服务监管局监管的中国国际金融（英国）有限公司（“中金英国”）于英国提供。本报告有关的投资和服务仅向符合《2000 年金融服务和市场法 2005 年（金融推介）令》第 19（5）条、38 条、47 条以及 49 条规定的人士提供。本报告并未打算提供给零售客户使用。在其他欧洲经济区国家，本报告向被其本国认定为专业投资者（或相当性质）的人士提供。

本报告将依据其他国家或地区的法律法规和监管要求于该国家或地区提供。

特别声明

在法律许可的情况下，中金公司可能与本报告中提及公司正在建立或争取建立业务关系或服务关系。因此，投资者应当考虑到中金公司及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。

与本报告所含具体公司相关的披露信息请访 <https://research.cicc.com/footer/disclosures>，亦可参见近期已发布的关于该等公司的具体研究报告。

中金研究基本评级体系说明：

分析师采用相对评级体系，股票评级分为跑赢行业、中性、跑输行业（定义见下文）。

除了股票评级外，中金公司对覆盖行业的未来市场表现提供行业评级观点，行业评级分为超配、标配、低配（定义见下文）。

我们在此提醒您，中金公司对研究覆盖的股票不提供买入、卖出评级。跑赢行业、跑输行业不等同于买入、卖出。投资者应仔细阅读中金公司研究报告中的所有评级定义。请投资者仔细阅读研究报告全文，以获取比较完整的观点与信息，不应仅仅依靠评级来推断结论。在任何情形下，评级（或研究观点）都不应被视为或作为投资建议。投资者买卖证券或其他金融产品的决定应基于自身实际具体情况（比如当前的持仓结构）及其他需要考虑的因素。

股票评级定义：

- 跑赢行业（OUTPERFORM）：未来 6~12 个月，分析师预计个股表现超过同期其所属的中金行业指数；
- 中性（NEUTRAL）：未来 6~12 个月，分析师预计个股表现与同期其所属的中金行业指数相比持平；
- 跑输行业（UNDERPERFORM）：未来 6~12 个月，分析师预计个股表现不及同期其所属的中金行业指数。

行业评级定义：

- 超配（OVERWEIGHT）：未来 6~12 个月，分析师预计某行业会跑赢大盘 10%以上；
- 标配（EQUAL-WEIGHT）：未来 6~12 个月，分析师预计某行业表现与大盘的关系在-10%与 10%之间；
- 低配（UNDERWEIGHT）：未来 6~12 个月，分析师预计某行业会跑输大盘 10%以上。

研究报告评级分布可从<https://research.cicc.com/footer/disclosures> 获悉。

本报告的版权仅为中金公司所有，未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式转发、翻版、复制、刊登、发表或引用。



中国国际金融股份有限公司

中国北京建国门外大街 1 号国贸写字楼 2 座 28 层 | 邮编: 100004

电话: (+86-10) 6505 1166

传真: (+86-10) 6505 1156

美国

CICC US Securities, Inc 32th Floor, 280 Park Avenue New York, NY 10017, USA

Tel: (+1-646) 7948 800

Fax: (+1-646) 7948 801

英国

China International Capital Corporation (UK) Limited 25th Floor, 125 Old Broad Street London EC2N 1AR, United Kingdom

Tel: (+44 - 20) 7367 5718

Fax: (+44 - 20) 7367 5719

新加坡

China International Capital Corporation (Singapore) Pte. Limited

6 Battery Road, #33-01

Singapore 049909

Tel: (+65) 6572 1999

Fax: (+65) 6327 1278

香港

中国国际金融（香港）有限公司

香港中环港景街 1 号

国际金融中心第一期 29 楼

电话: (852) 2872-2000

传真: (852) 2872-2100

上海

中国国际金融股份有限公司上海分公司

上海市浦东新区陆家嘴环路 1233 号汇亚大厦 32 层

邮编: 200120

电话: (86-21) 5879-6226

传真: (86-21) 5888-8976

深圳

中国国际金融股份有限公司深圳分公司

深圳市福田区益田路 5033 号

平安金融中心 72 层

邮编: 518048

电话: (86-755) 8319-5000