



Climate Bonds^{INITIATIVE}
气候债券倡议组织

金融驱动 重工业行业低碳转型





关于落基山研究所(RMI)

落基山研究所(RMI),是一家于1982年创立的专业、独立、以市场为导向的国际智库。我们与政府部门、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,加速能效提升,推动可再生能源取代化石燃料的能源结构转变。落基山研究所在北京、美国科罗拉多州巴索尔特和博尔德、纽约市、加州奥克兰、华盛顿特区及印度尼西亚设有办事处。

关于气候债券倡议组织(Climate Bonds Initiative)

气候债券倡议组织(Climate Bonds Initiative)是一个致力于调动全球资本以应对气候变化的国际非营利机构。气候债券倡议组织关注的重点是帮助降低大型气候相关基础设施项目融资成本,并为希望通过加大资本市场投资而实现气候目标的政府部门提供支持。气候债券倡议组织开展市场分析、政策研究、市场开发工作,为政府和监管机构提供建议,并在全球范围内进行绿色债券的认证机制。



作者与鸣谢

作者

落基山研究所：李抒苒，李威，路舒童，王珮珊，薛雨军，闫榕，张博雅
气候债券倡议组织：谢文泓，徐小云

作者姓名按姓氏首字母顺序排列。

联系方式

路舒童，llu@rmi.org

版权与引用

李抒苒，李威，路舒童等，金融驱动重工业行业低碳转型，落基山研究所，气候债券倡议组织，2023，
<https://rmi.org.cn/insights/transition-finance-report/>

落基山研究所重视合作，旨在通过分享知识和见解来加速能源转型。

因此，我们允许感兴趣的各方通过知识共享 CC BY-SA 4.0 许可参考、分享和引用我们的工作。

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

除特别注明，本报告中所有图片均来自iStock。

鸣谢

作者们感谢以下个人与组织在报告撰写过程中给予的重要贡献与帮助：

陈金龙，联合赤道绿色金融事业部总经理助理

邓曼姝，气候债券倡议组织

刘淑娟，中国建筑材料工业规划研究院高级工程师，结构工程与生态环境材料研究中心副主任

刘斯博，联合赤道绿色金融事业一部总经理助理国际业务负责人

罗子萱，清华四川能源互联网研究院绿氢技术经济研究所研究员高级工程师

Matthew MacGeoch，气候债券倡议组织

倪清，普华永道中国ESG可持续发展市场主管合伙人

秦丹

岳勇，德龙钢铁集团绿色低碳研究院院长

石佳，气候债券倡议组织

王芳，中国能源研究会能效与投资评估专委会副主任

王海洋，北京建龙重工集团有限公司董事长秘书

王集杰，中国科学院大连化学物理研究所研究员

翁慧，中国石油和化学工业联合会高级工程师

夏凌风，中存大数据科技有限公司工业智能技术中心主任

本报告所述内容不代表以上专家和所在机构的观点。



目录

一.背景	5
二.中国重工业的低碳转型路径	8
2.1 钢铁行业	8
2.2 水泥行业	10
2.3 石化和化工行业	13
三.金融工具支持重工业低碳转型	16
3.1 重工业转型资金需求量	16
3.2 重工业转型资金需求特征	19
3.3 现有金融指南与工具	23
3.4 重工业企业的转型金融债务工具概览与融资案例	25
四.下一步行动展望	27
4.1 进一步解锁绿色金融市场潜力	27
4.2 抓住转型金融市场窗口期	28
参考文献	31



一、背景

重工业的低碳转型对于在全球范围内实现《巴黎协定》中设定的温控目标至关重要。为实现比工业化前水平高2°C以内并尽量限制在1.5°C以内的温控目标，需要在不长期依赖土地利用领域的碳抵消的情况下，实现CO₂的净零排放。未来十年，重工业领域的减碳行动至关重要，既要降低其自身的CO₂排放量、实现早期减排，又要为其他领域在本世纪中期实现净零排放奠定基础。

目前，钢铁、水泥、化工三个行业的CO₂排放约占全球总排放的18%，总耗能约为33亿吨标煤ⁱ，与美国全国一次能源需求总量相当。其中化石燃料消耗27亿吨标煤，占比约为82%¹。不难看出，重工业领域对化石燃料的严重依赖加大了该领域实现转型的难度。

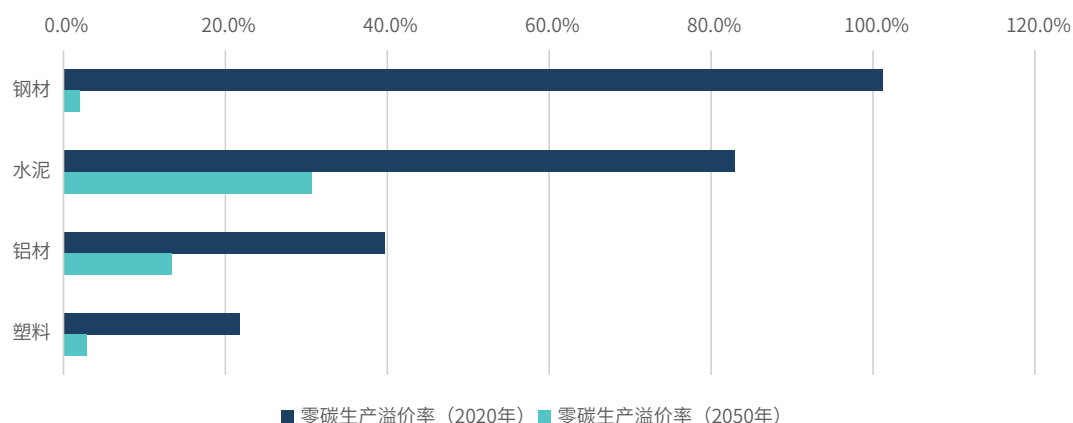
从转型所需投入的角度看，重工业低碳转型主要面临以下挑战：

- 较长的资产寿命提升了由快速转型带来的资产搁浅风险。工业资产一般有较长的使用寿命，通常在30~40年左右。在快速转型的要求下，提前淘汰现有产能将产生巨大经济成本。因此目前较新的工业产能具有“锁定”效应，除非进一步加大投资进行改造。
- 重工业深度减排需要投资大量减碳新技术。与建筑、交通和一般的工业行业不同，重工业可通过电气化和电力清洁化实现的减排潜力有限，其深度减排需要依靠更多颠覆性的技术。然而，目前这些颠覆性减碳技术尚处于较早期开发阶段，尚未经过充分的盈利能力验证，因此缺少投资吸引力，最主要体现在：
 - 重工业用能的革命性转变需要大量投资新能源技术才能实现。重工业的许多工艺需要高温热能，最高温度可达到1500°C，几乎完全由化石燃料提供，因为目前的技术还较难实现大规模的高温电气化，且电气化成本较高。此外，生物质燃料的可用性问题限制了其应用能力，其他新型能源如绿色氢能则尚处于早期发展阶段。
 - 过程排放较难消除，且需要对碳捕集等负碳技术及新工艺、新产品进行投资。一些工业的化学反应过程中会产生CO₂排放，例如水泥熟料煅烧会产生大量二氧化碳，占该行业直接排放量的三分之二左右。解决方案之一是生产新产品或使用新工艺流程，但此类新技术的应用能力尚未证实。在不改变工艺的情况下，大量投资负碳技术依然是必要的。
- 低碳工业产品生产在短中期内的绿色溢价仍然较高。和传统路径相比，目前生产零碳工业产品的成本溢价率达20~100%（图表 1）；而多数工业产品具有市场竞争充分、利润率低的特点，下游产业承受高溢价能力有限。由于目前碳市场制度尚未完备，生产商在不被压价的情况下转向更昂贵的低碳生产路径需要面临较大挑战。此外，较低的利润率也降低了重工业企业及金融机构投资早期低碳转型的意愿。

ⁱ 据IEA，总耗能23亿吨标油。按1吨标准煤等于0.7吨标准油折算。

<https://www.iea.org/articles/the-challenge-of-reaching-zero-emissions-in-heavy-industry>

图表1 生产主要零碳工业原材料的溢价率(基于中国情形预测)



来源：本课题组

中国工业部门约占全国能源总消费量的66%ⁱⁱ；占总CO₂排放量的近40%²；若含间接排放，则占到全国总CO₂量64%左右。其中仅钢铁、水泥、石化和化工、铝四类重工业行业的碳排放总计约占全国总排放的52%。可见重工业低碳转型对中国实现双碳目标至关重要。

自“十四五”以来，国家部委相继发布了一系列文件，形成了碳达峰、碳中和“1+N”政策体系，明确提出工业是我国推进碳达峰、碳中和的重点领域。之后，政府又相继发布《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南（2022年版）》³（以下简称《指南》）、《工业领域碳达峰实施方案》⁴（以下简称《方案》）等文件，对工业行业低碳发展提供了进一步指引。与此同时，中国重工业行业的脱碳也面临一些重要挑战：

- **产能体量较大：**钢铁、水泥、电解铝的生产和消费均占到全球50%以上，主要基础化工产品的产量和消费量也位居全球首位，且产能具有重资产、高能耗的特征，转型任务艰巨。
- **原料、燃料结构高碳：**基于我国“富煤、贫油、少气”的资源禀赋，重工业生产的主要原料高度依赖以煤为代表的化石原料。此外，重工业生产过程中多采用高温高压工艺，其中，以煤为主的化石能源提供了主要的燃料来源。燃料的低碳化面临来自技术、经济性、地理空间方面的较大阻力。例如，国内90%以上的钢铁生产是基于以焦炭为还原剂的高炉-转炉长流程，煤占据了水泥生产过程中95%以上的热量来源，而在化工生产中，煤在合成氨、甲醇的原料中占比近80%。
- **资产运行时间较短：**我国重工业产能主要在过去30年间建成⁵，其中大多数产能仍处于使用早中期。在双碳要求下，国内工业资产面临加快退出和资产搁浅的风险，对企业财务和金融机构收益带来负面压力。

重工业的低碳转型迫切需要大规模资金支持。为实现低碳转型目标，重工业企业必须从现在开始采取行动，应用已经成熟的转型技术，开启设备升级改造工作。然而，由于重工业以重资产为产业基石，设备升级改造涉及大规模设备和基础设施的更新和替代，需要巨额的资本投入。除此之外，单纯依靠现有成熟技术是远远不够的，不管是短期的突破性目标还是长期的可持续目标，都需要大量资源和资金在布局技术的创新与推广。若将化石能源替换为清洁能源，重工业新型技术路线普遍与现有技术路线区别较大，具有研发成本高、前期投资需求大、技术不确定性强、投资回收期长的特点。在新旧技术路线交替过程中，资产搁浅风险也需被格外关注，需要大量资金与金融工具来缓解与分担此类风险。

ii 国家统计局：2020年，中国能源消费总量为49.8亿吨标煤，其中工业部门消耗约33亿吨标煤，占比66%

在能源危机和全球经济低迷的背景下，重工业企业已经普遍面临着较大的资金压力。在运营资金承压的情况下，重工业企业的自有资金很难满足低碳转型的需求，急需外部资金的支持。以钢铁行业为例，根据中国钢铁工业协会统计，2022年对标钢铁企业炼焦煤采购成本比上年上升24.9%、喷吹煤采购成本上升24.3%，重点钢铁企业营业收入比上年下降6.35%，利润下降72.27%⁶。

近年来中国绿色金融快速发展，市场规模不断扩大，为整个市场的转型提振信心。2023年6月末，21家主要银行绿色信贷余额达25万亿元，规模居世界首位，是低碳转型重要的外部资金来源⁷。然而，绿色金融相关投资大量集中于清洁能源、绿色交通、绿色建筑等“纯绿”且技术成熟度高的项目，对于重工业这类高碳排放行业或技术处于相对早期的项目，资金的支持力度仍然不足，难以满足行业转型需求。如何更好地设计融资机制，以引导更多资金流向重工业低碳转型领域，尤其是针对创新技术的研发和推广，将成为实现重工业低碳转型的重要机遇和关键挑战。





二、中国重工业的低碳转型路径

2.1 钢铁行业

中国是全球最大的钢铁生产国和消费国，2020年国内粗钢产量为10.65亿吨，占全球56.4%⁸，钢材消费量为9.95亿吨，占全球的56.2%。2020年，中国钢铁行业碳排放约占全国15%，占全球钢铁碳排放总量的60%以上⁹。目前，国内钢铁生产仍以长流程为主，其吨钢生产碳排放为短流程的三倍左右。未来，国内的钢铁生产需要向低碳冶金等方向转型，其碳减排手段则包含能效提升、废钢短流程、氢冶金工艺和碳捕集等。

钢铁生产中的能效提升主要包含余热余压利用、分布式能源耦合等。过去十年，中国钢铁行业在能效提升方面发展迅速，重点钢企吨钢能耗从2010年的600千克标准煤降至2020年的545千克标准煤。但在对比同样的工艺流程时，中国的吨钢碳排放和能耗与先进国家仍有差距，我国能效水平还存在一定提升空间。

废钢短流程是以废钢为原料、利用电炉生产粗钢，是未来钢铁低碳转型的主要方向之一。现阶段，受制于国内废钢资源和电炉产能不足，短流程钢产量约占全国粗钢的10%。未来，随着社会废钢和进口废钢资源的逐步扩大和回收体系的完善，短流程工艺得益于其自身在降低对进口铁矿石的依赖、大幅减少吨钢碳排放方面的关键作用，将在中国钢铁产业结构中占据重要的位置。

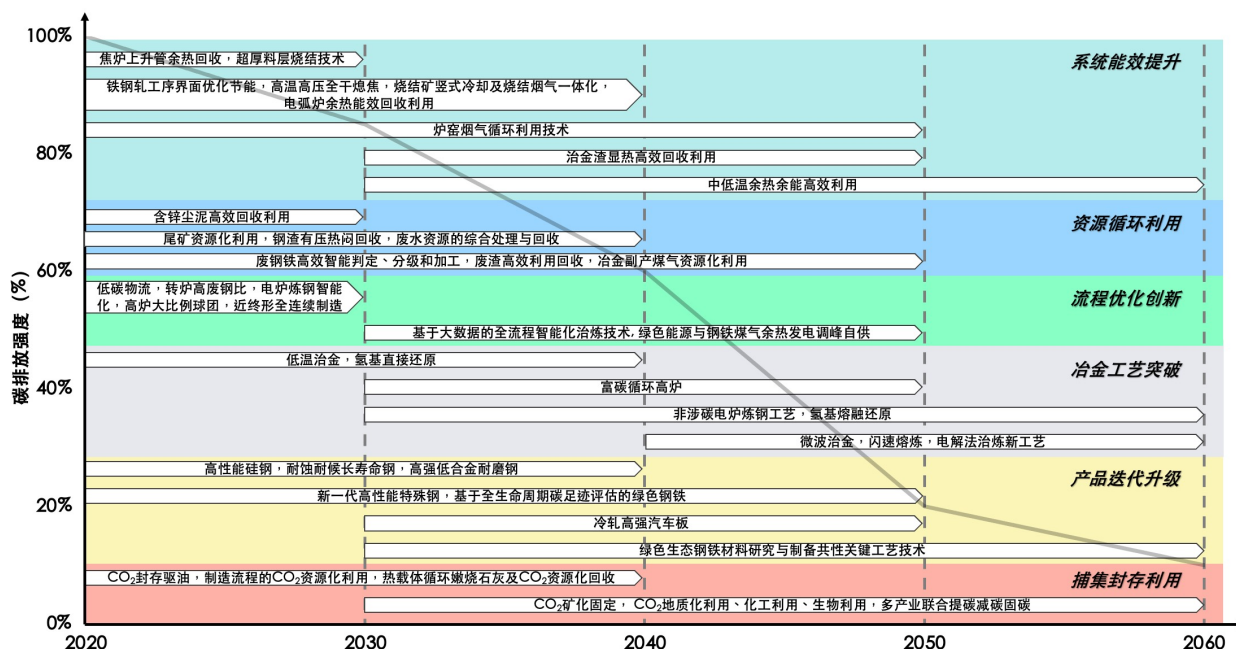
氢冶金主要分为高炉喷吹氢气和氢气直接还原铁。其中，高炉喷吹氢气可对现有的高炉资源进行有效利用，从而避免年轻资产大规模搁浅，并通过使用氢气替代部分喷吹煤和焦炭来降低碳排放。而直接还原铁的减碳潜力大，氢气可将球团矿直接还原成固态海绵铁，在使用绿氢的情况下，减排潜力可达到95%。短期内，高炉喷吹氢气将是行业的发展重点，而直接还原铁目前尚处于试点阶段，预见将在中长期实现更大规模投产。

碳捕集在钢铁行业的主要应用场景是对高炉-转炉路径中生成的二氧化碳进行捕集用于利用或封存。钢铁行业受其自身工艺特点影响，排放源较多且浓度较低，碳捕集的难度和成本高。高炉气的二氧化碳含量相对转炉等其他工序较高，可优先作为捕集对象，但冶金行业的碳捕集整体仍属于高成本技术。

此外，电解铁矿石等新兴技术如果能在中期大幅提升其技术成熟度，并有大规模成功试点落地，也将有可能在钢铁行业产能结构中扮演重要角色。电解铁矿石是直接利用电能在高温或低温的情况下将铁矿石还原为铁，但目前国内尚未有试点或规划，因此未来发展存在不确定性。

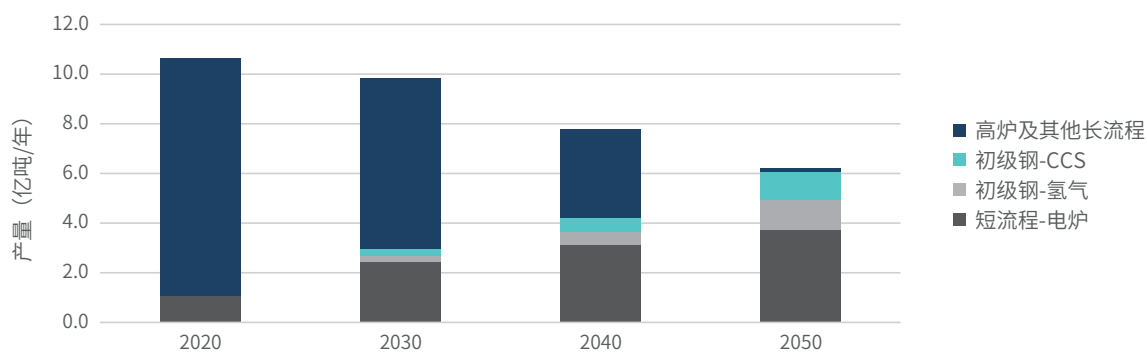
结合对各碳减排路径的技术成熟度、成本经济性等多方面考虑，中国钢铁行业在短、中、长期的碳减排路线可归纳如下：

图表2 中国钢铁行业碳减排路线图¹⁰



数据来源：中国钢铁工业协会

图表3 粗钢不同生产路径产量预测 (2020-2050)¹¹



来源：落基山研究所

- 近期（2020-2030年）：钢铁行业主要依靠能效提升和废钢短流程的规模化发展实现碳减排。国家、行业的相应政策中对超低排放改造、吨钢能耗及短流程炼钢发展等方面的要求也将进一步加速相关技术部署。2022年1月，工信部发布了《关于促进钢铁工业高质量发展的指导意见》，要求力争在2025年80%以上钢铁产能完成超低排放改造，吨钢综合能耗降低2%以上，确保在2030年前实现碳达峰。2022年7月工信部等三部委发布的《方案》指出，到2025年，废钢铁加工准入企业年加工能力超过1.8亿吨，短流程炼钢占比达15%。
- 中期（2030-2040年）：产量控减、废钢短流程成为降碳的主要抓手，氢冶金和碳捕集逐渐进入商业化阶段。2030年后钢铁行业将从产量平台期进入产量下降期，预计到2040年粗钢产量将下降至7.8亿吨/年，将对钢铁行业的优化发展和落后产能淘汰提出更高要求。2040年，废钢的可获取量将进一步扩大，回收比例和质量也将不断提高，预计短流程钢将扩大产能达到3.1亿吨/年。2040年，在氢气成本降低、碳价、设备规模扩大等因素的驱动下，氢气直接还原铁和碳捕集技术路线将逐渐进入商业化试点阶段，路线产量占比将各达到7%，共贡献每年约1.08亿吨的钢铁产量。2040年，钢铁行业的碳排放总量预计为8.5亿吨/年，吨钢碳排放可以降至1.1吨CO₂/吨粗钢¹¹。
- 远期（2040-2050年）：产量控减、废钢短流程仍将发挥重要作用，氢冶金和碳捕集将发挥更大作用，助力实现碳中和目标。2050年粗钢产量预计为6.2亿吨/年，相较2040年减少20%。短流程产能有望支撑高达60%钢铁产量，废钢需求量将达到4.1亿吨/年。氢气直接还原铁和碳捕集技术将实现规模化，可分别达到总钢铁产量的近20%，即2.4亿吨/年左右的产量规模。2050年，钢铁行业的碳排放总量预计为1.9亿吨/年，吨钢碳强度可以降至0.3吨CO₂/吨粗钢。

2.2 水泥行业

中国的水泥生产和消费量位于全球第一，2021年共生产水泥23.63亿吨，占世界的57%；消费量也占全球一半以上¹²。从碳排放的角度出发，2020年，中国水泥行业CO₂排放量为13.7亿吨，仅次于电力和钢铁行业。目前，水泥行业脱碳正面临来自过程减排与燃料替换的双重挑战。首先，水泥生产过程中由碳酸盐分解产生的过程排放约占全行业排放（范围一与范围二）的60%。作为水泥生产的核心原材料，目前市场上尚不存在可以大规模替代现有工艺的路径，也不存在水泥的大规模替代品。其次，水泥生产高度依赖化石燃料，煤炭在水泥工业中的热值占比95%以上。

水泥行业要实现完全脱碳，必须采用综合措施，包括从需求端降低水泥消耗、创新低碳水泥品种、加大低碳能源在燃料及电力中的替代率，以及推广碳捕集与封存利用技术以抵消难以消除的过程排放。

目前，国内的水泥生产能效水平已位于国际前列，但还有进一步提升空间。目前常用的水泥节能技术有熟料烧成节能减排技术、粉磨系统节能减排技术、水泥生产数字化技术三种。基于这些技术应用，当前，我国水泥熟料单位产品综合能耗在98~136千克标准煤/吨（2.9~4.0GJ/t）之间，与欧美水平持平或更优。然而，仍有部分能耗较高的企业达不到国家标准的限定值，急需技术改造。如果能将全国水泥生产线从目前的熟料综合能耗3级标准提升为1级，则可减少约14%的能耗与排放。

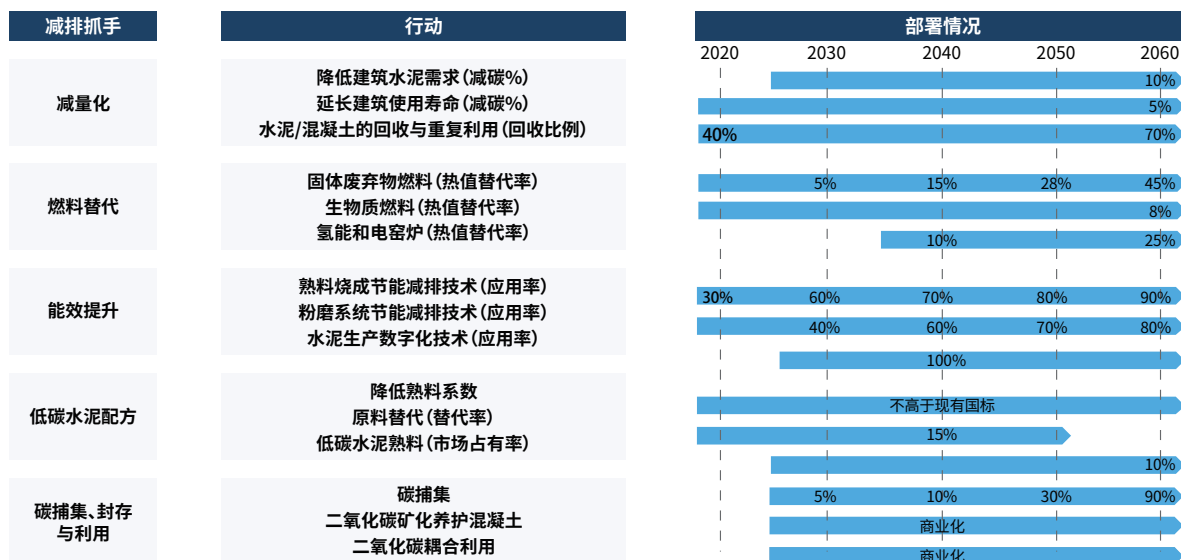
燃料替代发展尚处初级阶段，但提升空间巨大。从燃料替代技术路径看，近期可使用固体废物燃料、生物质燃料，远期可考虑氢能、电力等其他新型燃料。固体废弃物燃料是较适合水泥行业的燃料替代方案。但中国水泥工业的替代燃料发展较晚，水泥生产的热替代率较低，相比部分欧洲国家水泥行业50%以上的比率仍有较大提升空间。

碳捕集、封存与利用是水泥碳中和的必要技术。碳捕集技术中的液体化学吸收技术、钙循环技术、第二代富氧燃烧和LEILAC技术在水泥行业中均有较好的推广价值。但目前大规模采用CCUS还面临着不少挑战：一方面，水泥厂地理分布较分散，不利于集中建设CCUS设施，且增加了CO₂运输成本；另一方面，水泥窑烟气中的CO₂浓度通常低于30%，捕集能耗与成本较高。未来，随着技术成熟与规模化效应展现，CCUS有可能成为水泥行业实现碳中和的核心技术之一。CO₂还可以与下游混凝土结合生产建筑材料，并在地质封存、化工合成等场景中得以应用。

另外，采用熟料替代、原料替代、创新低碳水泥品种也可实现减排目的。低碳新型水泥具有烧成温度低、碳排放低的特点，有望在未来占有更高的市场份额。但由于新型水泥技术的成熟度和应用潜力具有不确定性，本文不做重点分析。

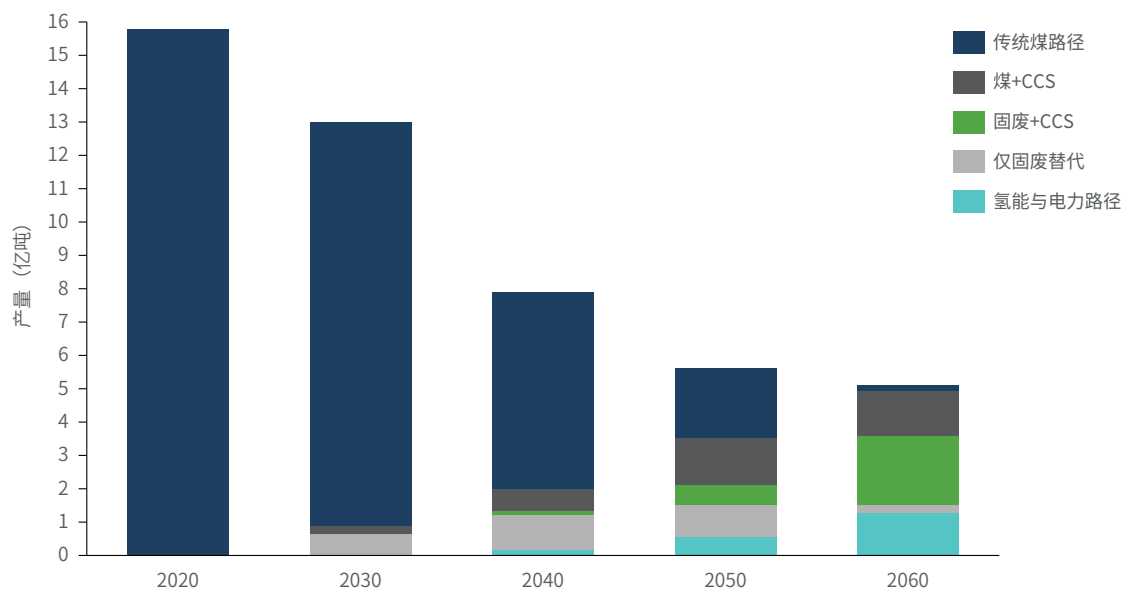
展望未来,中国的碳中和目标下,水泥行业的碳减排路线可归纳如下:

图表4 中国水泥行业碳中和主要行动部署路线¹²



来源：落基山研究所、中国水泥协会

图表5 水泥熟料不同生产路径产量预测(2020-2060)



来源：落基山研究所、中国水泥协会

- 近期（2020-2030年）：水泥行业减碳主要依靠降低水泥产量和提升能效来实现行业碳排放的尽早达峰。2022年2月，国家发改委发布的《指南》包括《水泥行业节能降碳改造升级实施制指南》，要求到2025年，水泥行业能效标杆水平以上的熟料产能比例达到30%，能效基准水平以下熟料产能基本清零，因此十年内水泥行业仍需大量部署节能技术。未来，熟料烧成和智能化节能技术普及率将从目前的30~40%提升到90%以上。2022年7月工信部等三部委发布的《方案》指出，建材行业到2030年原燃料替代水平要大幅提高，并突破包括氢能燃烧在内的低碳技术。因此，预计下一步也会开始初步推广将生物质和固废燃料作为替代性燃料，以此来逐步降低行业对煤炭的依赖。到2030年，预计水泥生产燃料热能的5%左右会被固废燃料替代；氢能和电力技术仍处于开发阶段。早期水泥生产用燃料热值的约5%将被固体废物燃料所取代。CCUS项目进入开发和示范阶段；到2030年，约2%的水泥碳排放可使用CCUS捕集。
- 中期（2030-2040年）：产量控减、替代燃料和CCUS将共同推动水泥行业减排。节能技术在这一时期减碳作用将大幅下降，除仍需部分发展不平衡地区进一步推广外，节能技术的普及率可以接近100%。随着废弃物的收集、分类和预处理实现标准化和商业化，到2040年，固废燃料将基本实现量产，可实现约15%的燃料热值替代。氢能和电力制水泥技术将开展试点和示范，并在部分新建窑炉中的采用过程中替代约2%的热值。CCUS技术已逐渐成熟，能捕集约10%的水泥碳排放。
- 远期（2040-2060年）：替代燃料和CCUS将在水泥行业减排中发挥更大作用。此时CCUS和替代燃料体现出较强的经济性，零碳水泥将与碳价机制相结合显示出其成本优势。到2050年，水泥行业中有40%的CO₂排放可以被捕集。2040年之后基于新型窑炉结构的技术如氢煅烧、电力窑、LEILAC等将在更大程度上得到应用，到2050年固废和氢能绿电将分别替代28%、10%左右的燃烧热值。2050-2060年，氢能与电力等新型替代燃料技术将成熟并实现商业化，CCUS技术将得到全面推广。在这个阶段，固废和氢能绿电将分别实现45%、25%的热值替代率。在水泥行业产生的CO₂排放中有90%可以被捕集。水泥行业的CO₂净排放以及水泥产品的碳强度将接近净零水平。

2.3 石化和化工行业

石化和化工是国民经济的支柱产业，也是主要重工业行业之一。近年来，随着我国工业扩张与生活水平的提升，化工品的供给与需求均实现高速增长。中国石化和化工行业每年约排放13亿吨CO₂，占全国碳排放总量的13%、工业碳排放总量的20%¹³。石化和化工行业产品类别多样且复杂，本文以合成氨、甲醇和乙烯三个代表性产品为例，对该行业的碳减排路径进行分析。

石化和化工行业脱碳面临的主要挑战来自原燃料低碳化和需求量上涨。我国化工品的生产高度依赖化石能源，进而导致化工产品碳含量较高，加剧了石化和化工行业在脱碳过程中所面临的挑战。与此同时，随着国内经济水平和国民生活品质的提升，中国对于化工产品需求总量有较大的增长空间，高端化工产品的对外依存度会不断下降，产能则将持续增加，因此石化和化工行业碳中和之路相较产量下行的行业将面临更大压力。

石化和化工行业的碳中和路径主要从供给侧和消费侧两个维度开展。在供给侧，碳排放主要来自反应过程和能源消耗，减碳路径除了传统的节能增效之外，原料替代、燃料替代和CCUS等末端治理技术也将带来极大的减排潜力。在消费侧，减排的重点则是减少对能耗密集型产品的依赖，并通过消费减量、产品结构调整、资源循环利用等手段进一步提升资源化利用水平。未来，节能措施仍将贡献一定的减排潜力；但能源结构调整、资源循环利用、末端捕集封存是实现零碳发展的必要途径。

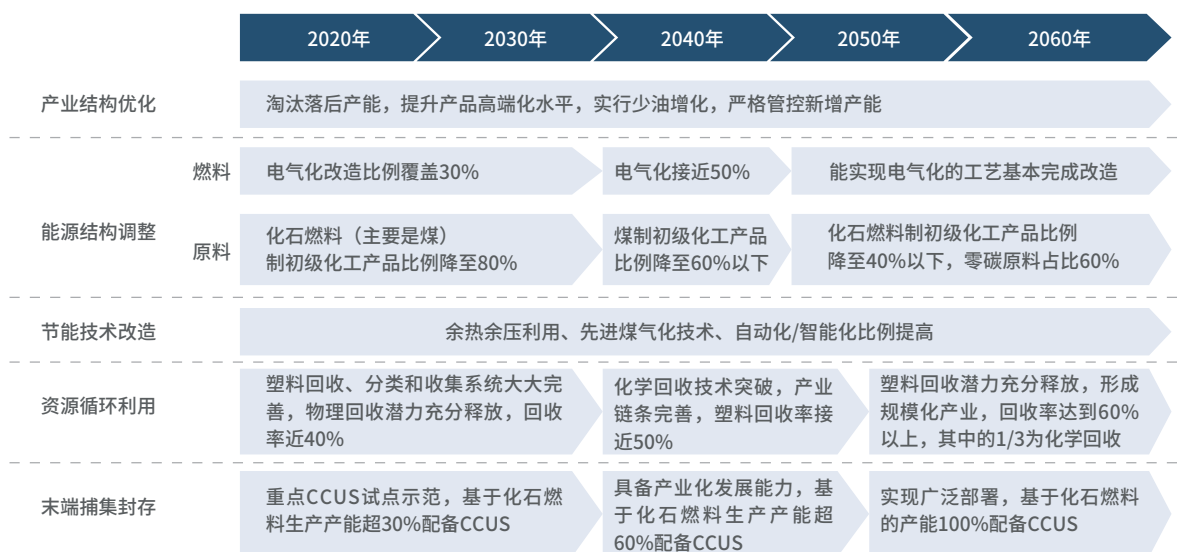
节能技术中，余热余压回收利用、蒸馏系统能效提升、循环水系统优化等是较为常见的技术选择。以合成氨为例，中国对主要高耗能产品单位综合能耗水平的要求已从2005年的1460千克标准煤/吨降至2020年的1264千克标准煤/吨，累计降幅约为15%。未来，能量转化效率、余热余压回收利用、过程热集成水平等技术的进一步提升，将为石化和化工行业节能降碳改造升级注入较大潜力。

绿氢的制储运技术是石化和化工行业减排的重要技术，将大幅降低化工原料中氢的碳排放。石化和化工行业是氢气的重要消费部门。以生产合成氨和甲醇为例，它们消耗的氢气约占氢气总产量的60%¹⁴，发展绿氢将为石化和化工生产带来极大的减排潜力。2020年，我国产氢中煤制氢、天然气制氢、工业副产氢的占比为62%、19%、18%，而绿氢占比仅为1%¹⁴。现阶段绿氢发展的主要障碍是成本。未来，随着电解槽成本的进一步下降、电解效率的提升、电力成本的降低，可使绿氢成本具有竞争力，并逐步替代化石能源氢。

碳捕集技术在石化和化工行业的应用具有较大优势，这主要得益于石化和化工生产中排放的高浓度二氧化碳使单位捕集成本更具经济性。以合成氨为例，2020年约有77%的产品来自以煤为源头的生产路径¹³，此路径下生产1吨合成氨将排放4.2吨二氧化碳¹⁵。由于降低了CO₂纯化成本以及规模经济性，高浓度CO₂使碳捕集单位成本更低。未来随着碳价对高耗能、高排放行业的约束，碳捕集技术不仅可以为企业节省环境成本，还可以在将捕集的二氧化碳从工业排放源分离后直接加以利用，为有机化学品提供碳源的同时减少煤炭的消耗。

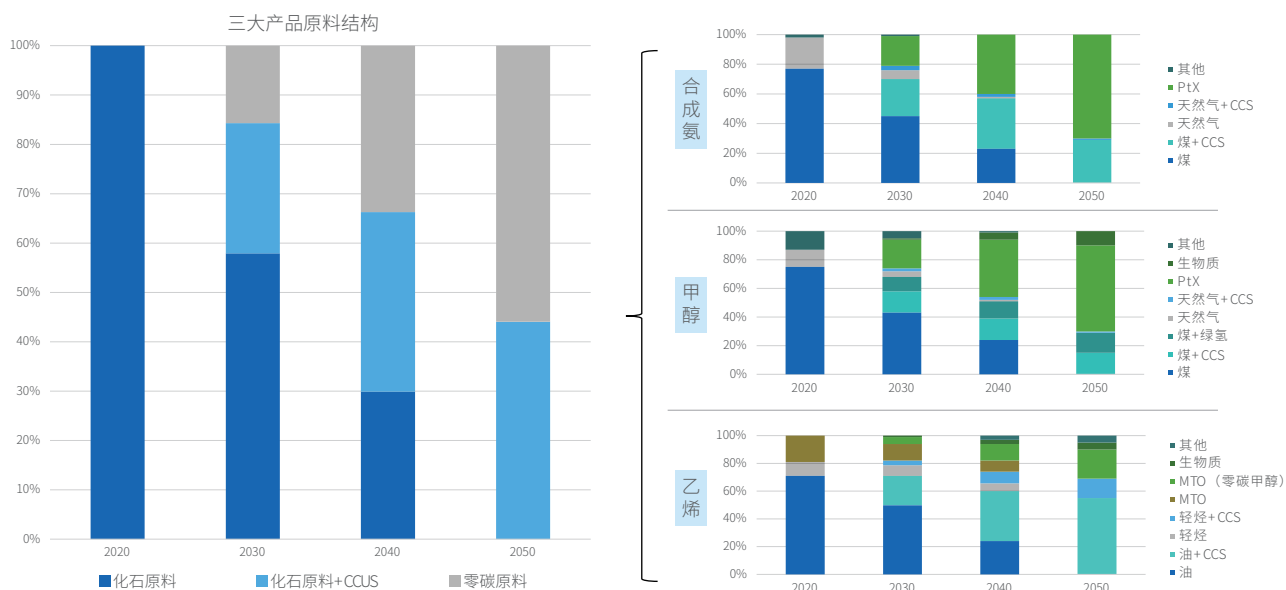
从在短、中、长期的部署和发展重点看，中国的石化和化工行业的碳减排路线如下：

图表6 中国石化和化工行业转型路线图



来源：落基山研究所

图表7 中国石化和化工行业三大产品原料结构变化¹³



来源：落基山研究所

- 近期（2020-2030年）：石化和化工行业的减碳以节能增效技术和淘汰落后产能为主，并重点培育前沿技术开发应用。2022年国家发改委发布的《指南》中对合成氨、现代煤化工、乙烯等行业分别提出了更高的发展目标。在能效方面，要求到2025年，合成氨行业、煤制甲醇行业能效标杆水平以上产能比例分别达到15%、30%，能效基准水平以下产能基本清零；乙烯行业在提升规模化水平、原料结构轻质化、低碳化发展的同时，实现行业标杆产能比例达到30%以上，能效基准水平以下产能有序开展改造提升。在技术应用领域，加快节能装备、余热余压利用、能量系统优化等成熟工艺应用；同时将培育绿色能源、绿氢的耦合利用、电气化等前沿技术的应用与示范。预计到2030年，绿氢替代灰氢为石化和化工生产提供原料的生产路径在合成氨和甲醇行业的普及率有望达到20%。碳捕集技术在石化和化工中的应用相对较成熟，2030年在合成氨、甲醇、乙烯生产中的普及率分别可达20%-30%¹³。
- 中期（2030-2040年）：绿氢和碳捕集技术的成熟度和经济性会有显著提升，将在石化和化工行业中实现普遍应用。预计到2040年，石化和化工产品生产路径更加低碳化，绿氢制合成氨、甲醇的路径将成为新产能的最优选择，在合成氨和甲醇行业的普及率有望达到40%¹³。与此同时，绿色甲醇制乙烯的生产路径也有望实现小规模应用。碳捕集技术在合成氨、甲醇、乙烯生产中的普及率进一步提升，最高可超过40%。节能增效技术与落后产能淘汰等传统手段也将继续发挥减碳潜力。
- 远期（2040-2050年）：绿氢和碳捕集技术将在石化和化工行业中实现约90%的普及率，推动石化和化工行业实现近零排放¹³。到2050年，随着老旧产能的退出与绿氢的市场化发展，新增石化和化工产能将以绿氢为原料的生产路径为主，绿氢路径在合成氨和甲醇行业的普及率有望分别达到70%和60%¹³。虽然仍有部分在运行或新增的产能以化石能源为原料，这些产能也将通过安装碳捕集装置实现降碳目标。乙烯行业以石脑油和轻烃为原料的生产路径也将配备碳捕集装置，并实现70%的普及率；近20%的乙烯产能将由绿色甲醇联产，实现零碳化¹³。到2050年石化和化工行业的过程排放将实现近零排放。



三、金融工具支持重工业低碳转型

3.1 重工业转型资金需求量

钢铁行业：

钢铁行业转型所需投资的关键技术领域主要为节能增效、工艺路线和碳捕集三大类，其中，工艺路线投资技术领域主要是废钢电炉和氢直接还原铁及其配套工艺。据本研究估算，从目前到2050年，钢铁行业转型所需固定资产投资总量至少为1.6万亿元ⁱⁱⁱ。

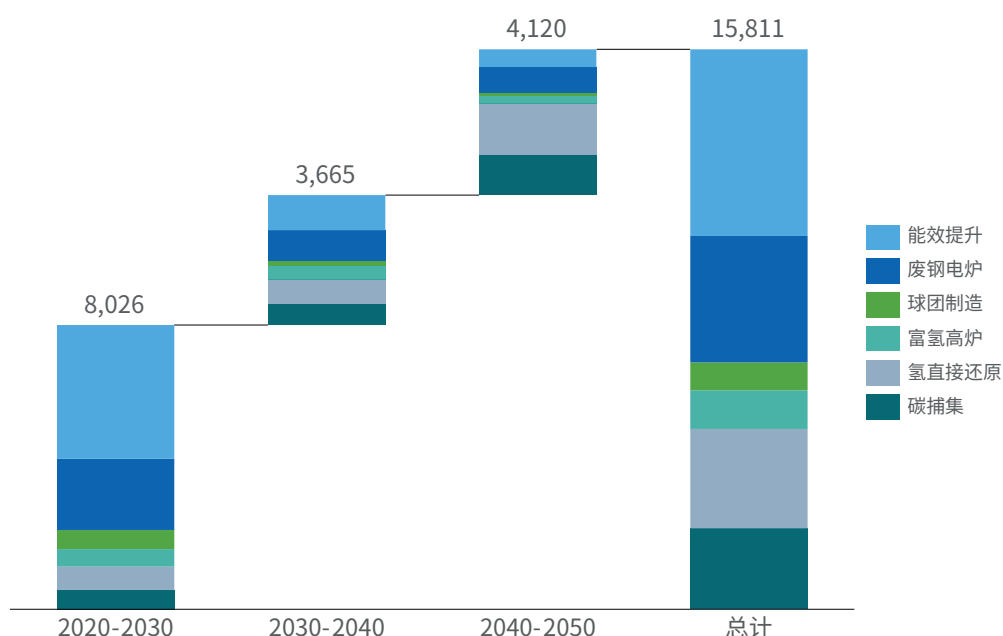
如以投资领域进行划分，受中短期内长流程钢落后产能置换和已有设备增效的大量需求影响，当前，能效提升已成为钢铁行业所需投资量最大的技术门类，其总投资额约为5300亿元，占比33%。此外，由于电炉需要在较大程度上完成产能提升，这也使废钢电炉成为钢铁行业低碳投资的第二大重点技术，总投资额约为3600亿元，占比23%。与此同时，氢直接还原和碳捕集技术也需要较多的投资，投资额分别约为2800亿元和2300亿元，占比18%和14%。原因一方面是这两种新技术路径的产能将稳步增加，另一方面是对应的竖炉设备和碳捕集设备单位投资成本较高。除此以外，富氢高炉和球团制造的投资额则相对较小，分别约为1000亿元和700亿元，占比7%和5%。

从时间维度看，钢铁产能变化和各项技术的成熟度决定了钢铁低碳转型的投资窗口期。从目前到2050年，总投资需求呈现先降后增的趋势：

- 近期（2020-2030）：在这一时期内，主要投资需求领域为能效提升和废钢电炉。其中，余热利用等能效提升技术将在未来十年内增加约3800亿元的投资需求。同时，随着废钢回收体系逐渐完善、废钢可用量稳步提升，废钢电炉技术也将成为这一时期内的主要降碳技术，需要约2000亿元投资。球团制造、富氢高炉的投资需求主要来自对现有长流程炼钢的改进，以实现效率提升和部分碳减排。而此阶段对氢直接还原和碳捕集的投资则主要用于早期研发与示范。
- 中期（2030-2040）：在这一时期内，主要投资需求领域包括能效提升、废钢电炉、氢直接还原和碳捕集等。能效提升和废钢电炉在中期的投资需求有所下降，但仍分别增加950亿元和850亿元。氢直接还原铁的技术成熟度在此阶段大幅提升，同时在降碳需求的刺激下，氢源需从灰氢和副产氢转为绿氢，预计需要至少680亿元的投资。伴随着碳捕集技术的不断发展，在钢铁生产中低浓度碳排放应用场景有更好的适用性，预计需近600亿元投资。按中国的现有高炉平均使用时间12年¹⁶、高炉自然寿命约25年计算，本阶段也将出现高炉产能的大规模退役潮。因此，新型冶金路径部署期的投资需求也将在2030年前后有较大增长。
- 远期（2040-2050）：在这一时期内，投资需求主要来自氢直接还原铁、碳捕集技术和废钢电炉这三个领域。氢直接还原铁技术在这一时期将达到技术成熟，并在钢铁行业实现商业化应用，投资额预计将达到1500亿元。碳捕集技术可以应用在现有的部分能效水平较高的年轻高炉资产上，预计需要1200亿元投资。在未来三十年，基于废钢的短流程将逐步提升渗透率，并在远期成为主要技术路线，因此在2040-2050年仍需要约700亿元的较大规模投资。

ⁱⁱⁱ 本报告估算的转型投资规模包含了各工业实现零碳所需技术的固定资产投资，不包含技术研发、运行成本，也不包含传统生产路径（如钢铁的高炉-转炉、传统水泥窑等）未来退役后重建的投资。估算的边界与行业现有业务边界保持一致，例如钢铁行业的投资不包含绿电生产投资，因为大多数钢厂不直接从事电力生产。

图表8 中国钢铁行业碳中和关键技术投资预测(单位:亿元)



来源：本课题组

水泥行业：

水泥行业实现碳中和需要大规模投资的关键技术主要分为能效提升，燃料替代，碳捕集、封存与利用（CCUS）三类。在仅考虑上述主要技术的前提下，我们估算2020-2060年水泥行业碳中和转型的固定资产投资总量至少8000亿元。

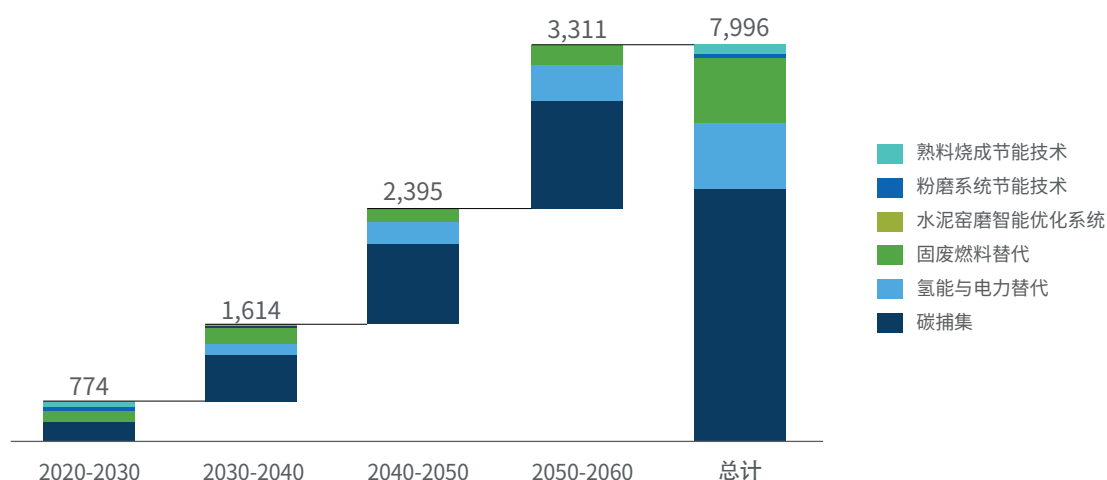
分投资领域看，CCUS为水泥行业所需投资量最大的技术，总投资额约为5200亿元，占比64%。原因一方面是因为碳捕集技术较为昂贵，另一方面由于水泥行业的过程排放较难清零，需要广泛地建设碳捕集设施。除CCUS外，位居第二的是燃料替代技术，其中氢能与电力水泥窑技术总投资额约为1400亿元，占比17%；固废燃料替代技术所需投资额达到1300亿元，占比16%。最后，节能类技术总投资额较小，约为220亿元，占比3%左右。

从时间维度上看，水泥主要技术的投资窗口期随着技术成熟与水泥产能而变化，投资额总体呈逐渐升高趋势：

- 近期（2020-2030）：在这一时期，主要投资需求领域为节能技术、固废燃料替代和早期的CCUS技术。随着国家推动水泥行业能效达标的行动逐步走深走实，未来十年内的节能技术将是重点投资方向之一，需要约200亿投资规模。与此同时，2030年以前，在传统能源价格上涨和水泥企业绿色化转型压力下，预计水泥企业将比较有动力采用垃圾衍生物和生物质材料替代煤炭；此外，固废燃料替代可以在现有技术迭代发展，预计总投资规模将达约200亿。目前，CCUS技术正处于试点和示范阶段，在近期将出现约370亿元的投资需求。同时，在2020-2030年间，中国水泥行业将开展比较全面的淘汰落后产能活动，基于产能、能效等原则加快落后水泥产能的退出。当下，我国仍有26%左右的水泥产线处于2500t/d以下的低产能，是未来十年优先淘汰的小生产线。

- 中期（2030-2040）：这一时期主要投资需求集中在固废燃料替代、CCUS推广和早期的氢能与电力窑技术。伴随着新建水泥产能的投产，出现了新建固废燃料、氢能、电力窑等使用可再生能源水泥产线的需求，燃料替代类技术的总投资在500亿元以上。与此同时，CCUS技术将开始进行市场化推广，所需投资额进一步增加到约950亿元。此外，正在使用中的大部分新型干法水泥窑是在2005年至2016年间投产的。按照水泥窑大约35年的使用寿命，现有水泥窑将在2040年起陆续进入淘汰期。在2030-2040年间，随着产能集中化趋势进一步加强，4000t/d以下的中小产能也将面临退出。因此，在水泥设备的自然老化和加速淘汰两重因素作用下，在2030-2050年期间将出现一批新建水泥产能的窗口期。
- 远期（2040-2060）：在这一时期，CCUS、氢能与电力窑技术投资需求将大幅增加，固废燃料技术投资稳步发展，2050年前也仍将出现新建水泥产能替代。随着CCUS的大范围普及，碳捕集投资将迅速提升，远期投资总额有望达到3800亿元以上。氢能与电力窑技术出现突破后，也将在水泥行业实现市场化应用，远期投资总额约1200亿元。与此同时，固废燃料替代技术投资也将持续实现稳定发展，得益于新建固废燃料的水泥窑及部分现有水泥窑改造，其远期投资额将达700亿元以上。

图表9 中国水泥行业碳中和关键技术投资预测(单位:亿元)



来源：本课题组

石化和化工行业：

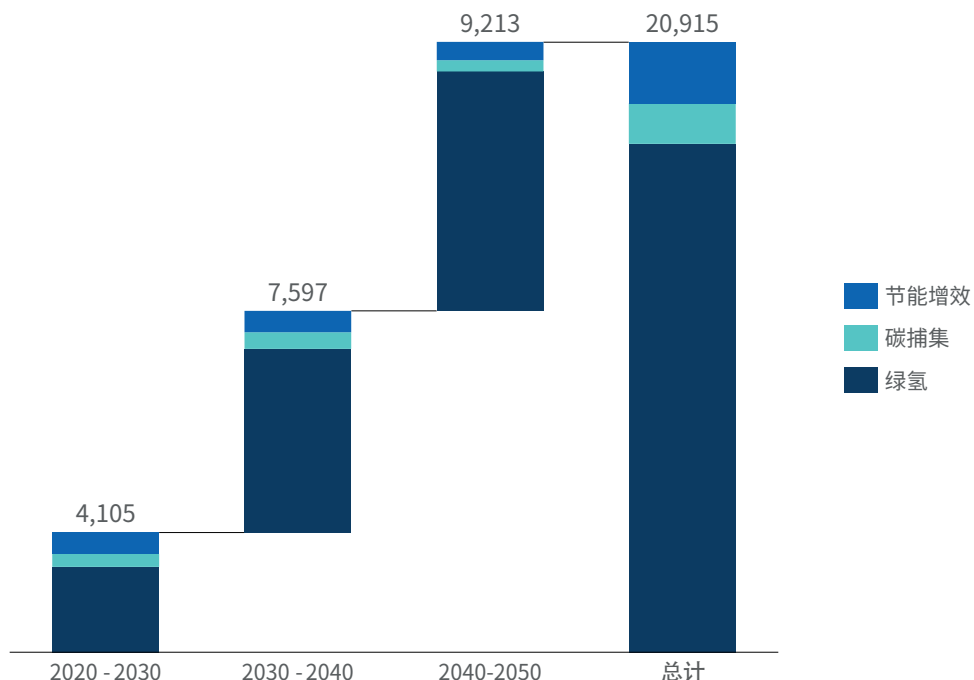
在石化和化工行业，以合成氨、甲醇、乙烯三个典型化工品为例，实现碳中和需要大规模投资的技术主要分为三类：节能增效、绿氢、碳捕集。如仅考虑上述三类主要技术，则2020-2050年化工行业碳中和转型的固定资产投资总额至少为2.1万亿元。

分领域看，绿氢生产技术是所需投资量最大的技术，投资总额约为1.7万亿元，约占化工行业整体碳中和转型投资的83%。其次是节能增效技术投资，预计到2050年至少将投入0.2万亿元，占比10%。碳捕集技术的总投资额较小，主要有两方面的原因：一是得益于二氧化碳的高浓度，石化和化工行业的碳捕集成本较低；二是绿氢的逐渐普及能大幅降低生产过程的碳排放。我们预计碳捕集技术的总投资额约为0.14万亿元，占比7%。

从时间维度上看，石化和化工碳中和转型在近中远期的投资都主要集中在绿氢技术上，投资额呈现上升趋势（图表10）。

- 近期（2020-2030）：这一阶段的主要投资需求集中在绿氢技术的研发与升级，以及一部分能效提升与碳捕集技术。由于绿氢在合成氨和甲醇生产中逐渐提高技术成熟度、降低成本，将面临超过2900亿元的投资需求。而节能增效技术改造和碳捕集技术的投资需求将分别超过700亿元和400亿元，前者主要得益于其遵循《指南》等国家政策对提高能效水平的要求，后者则是由于将从试点项目逐步开始商业化普及。
- 中期（2030-2040）：这一阶段的投资需求主要集中在绿氢技术的规模化应用上。在这一时期，经过上一阶段的培育完成技术与经济性的提升，绿氢技术已具备进行行业大规模部署的条件。我们估算此阶段绿氢技术在合成氨和甲醇行业的投资额将近6300亿元，是近期投资额的两倍以上。此外，节能增效技术将继续在现有化工产能中的持续布局，而碳捕集技术将开始在行业内商业普及，其投资额将进一步增至逾500亿元。
- 远期（2040-2050）：在这一时期，绿氢的投资需求将进一步扩大30%，进入全面部署阶段。绿氢技术已具备成熟的上下游配套，在合成氨和甲醇行业的投资额可达8200亿元。随着节能装置与技术的进步，技术改造仍可释放部分减碳潜力，预计远期投资总额可超过600亿元。而得益于绿氢技术的渗透、过程排放的降低，所需碳捕集投资也将呈下降趋势，总投资额将近400亿元。

图表10 中国石化和化工行业碳中和转型主要技术投资估算(单位:亿元)



来源：本课题组

3.2 重工业转型资金需求特征

重工业企业低碳转型是在内部及外部的多种压力驱动下开始的。不同的转型驱动力影响了企业转型技术路径的规划，而技术路径又决定了企业的转型资金需求。尽管不同行业内重工业企业在转型路径上存在一定差异，但其转型驱动力通常较为相似，可分为四大类，分别为：技术驱动、供应链驱动、政策驱动及声誉驱动。

- **技术驱动**是指由于碳减排技术的发展，低碳生产的成本逐渐下降，导致传统高碳排放技术丧失其经济性，促使企业自发选择低碳技术。目前，能效提升技术比较成熟、经济性较好，因此，企业自发采取这类技术的意愿较强。新型技术则大多处于原型和演示阶段，尚未具备经济性。
- **供应链驱动**是指由于上下游企业的低碳转型，或者消费者偏好发生变化，导致企业外部的供需关系发生变化，传统高碳排放产品需求下降，低碳生产的产品需求上升，促使企业进行低碳转型。例如，汽车企业为降低其范围三排放实行供应链管理，大量采购低排放的绿色钢铁，则传统工艺生产的钢铁市场将会缩小，促使企业采用新型高效工艺。
- **政策驱动**是指政府颁布促进企业低碳转型的政策后，传统高能耗生产方式的合规成本上升，低碳排放的新技术获得更多政策利好，引导企业低碳转型。国家对企业的政策包括强制性政策和激励性政策。强制性政策包括颁布法律、制定标准、强制淘汰等，例如对于环保或能耗不达标的钢铁企业采取强制关停淘汰措施，此类政策主要负责引导企业采用能效提升等成熟减排技术。激励性政策是指通过经济激励引导企业选择低碳生产方式，如碳排放权交易、对转型技术提供贷款优惠、对做出新技术示范试点的企业给予奖励补贴等，此类政策可以引导企业采用更加多元化的减排技术。
- **声誉驱动**是指企业因考虑其社会声誉而进行低碳转型。重工业企业普遍具有高污染高排放的公众形象，企业采取减排技术可以提升其社会形象，为企业带来潜在收益。

尽管所有企业均会受到四种驱动力的影响，但各类驱动力的作用有所区别。整体而言，当前重工业企业主要受到技术及政策驱动，供应链及声誉驱动力有望在未来进一步增强。在技术驱动及强制性政策的驱动作用下，企业面对不同类型的重工业碳减排技术在资金需求方面存在较大差异。

当前，重工业的碳减排抓手可以归纳为能效提升、循环利用、电气化、绿氢、生物质、碳捕集、封存与利用，及碳汇和新型工艺多个方面。图表11基于对各抓手的技术可行性、成本经济性、资源可得性等方面的综合考量，分别展现了七个抓手在不同重工业行业碳减排中的重要性。通过此分析可以看出，对于任何一项抓手，都需要识别其应用潜力最大的行业，引导资本与政策支持流向优先级更高的应用场景；而对于同一行业，则需要识别减碳潜力最大的抓手，优先布局、积极引入投资。

图表11 四大重工业行业的七类碳减排抓手

	能效提升	循环利用	零碳电气化	绿氢	生物质	CCUS	新型工艺
钢铁	余热余压利用（焦炉上升管余热等） 煤气发电、产品化、回收技术 能源管控精细化技术	废钢循环利用： 以废钢为原料的再生钢/电炉钢	能源替代： 短流程电炉钢 新型工艺： 直接电解法炼铁	作还原剂和燃料： 高炉富氢冶炼 直接还原铁 氢等离子体熔融还	作还原剂和燃料： 资源量有限，优先用于无其他零碳替代技术等	现有高炉-转炉路径碳排放的处理	直接电解法炼铁
水泥	煅烧节能技术 粉磨系统节能技术 数字化技术	水泥与混凝土回收	电水泥窑技术	氢能煅烧	生物质替代燃料 固体废物替代燃料	液体化学吸附 第二代富氧燃烧 集成式钙循环 LEILAC CO ₂ 矿化混凝土技术	新型水泥产品
石化和化工	余热回收利用 能效管理体系建设 推广节能技术应用	废弃塑料回收 工业废气回收作为原料	电加热蒸汽裂解技术	提供热源 原料替代	原料：生物基可降解材料和生物燃料 燃料：供热	CO ₂ 回收利用： 作为原料制化学品 CCUS驱油	甲烷裂解制氢技术
电解铝	系统优化：使用计算机保证生产过程稳定连续 电解槽优化 湿润阴极：通过使极距和电压下降，降低耗电量	再生铝：以废铝为原料，重新熔化提炼	现行技术即使用电力；如未来绿电比例提升用电的间接	电解铝的生产主要消耗电力，未见氢能替代	电解铝主要消耗电力，未见生物质替代	使用碳素阳极，电解过程排放的处理；	惰性阳极

基本不适用

潜力较小

有一定潜力

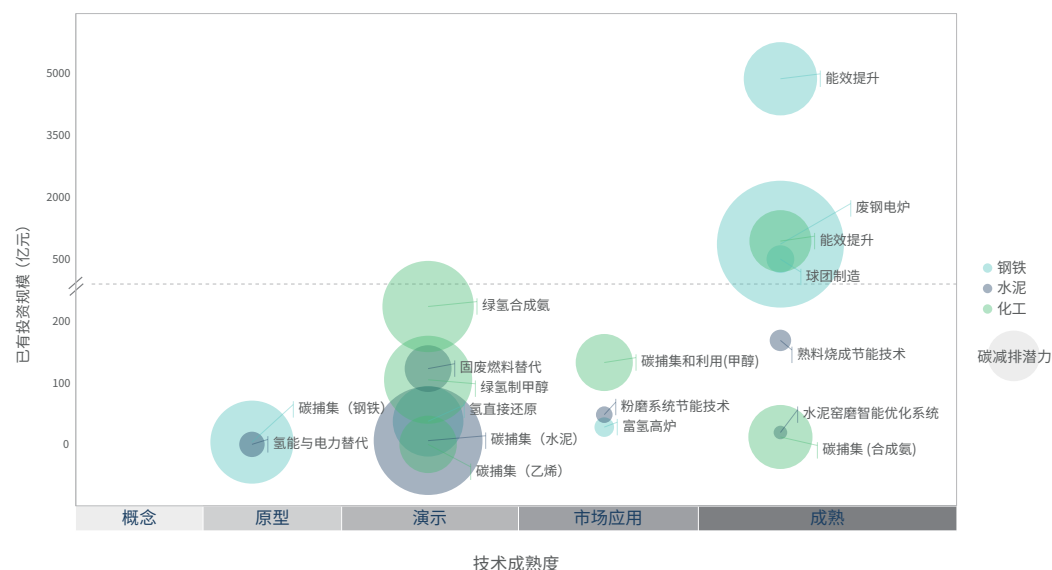
潜力较大

来源：本课题组

目前重工业领域减碳技术投资严重偏向技术成熟、经济性好的技术。从技术成熟度看，主要重工业行业的减排技术大多处于原型和演示阶段，较少处于市场应用和成熟水平。以零碳电气化、绿氢、生物质、CCUS、新工艺等为代表的新技术成熟度普遍较低，而能效提升和循环利用的技术成熟度较高。而从已有投资规模看，如图表14所示，成熟技术获得的投资规模较大，较早期的技术则难以获得充分投资，体现了金融机构对技术风险与回报风险的考量。目前，重工业领域的低碳投资有超过90%的资金投入到“成熟”技术。已有投资规模在500亿元以上的技术领域均处于“成熟”阶段，而在早期技术所获投资额最大值仅200亿元左右。

值得指出的是，目前处于早期阶段的技术在未来具有变革式的碳减排潜力，应获得更多的投资关注。我们对钢铁、水泥、石化和化工三大重工业行业中近20项技术路径的技术成熟度、碳减排潜力和已有投资规模进行分析发现（图表12），处于演示及更早期的技术可带来接近60%的碳减排潜力，但只获得了约6%的投资量。而成熟技术碳减排潜力仅占不足40%，却获得了90%以上的投资。

图表12 工业脱碳技术碳减排潜力、技术成熟度和已有投资规模



来源：本课题组

技术成熟度较高技术，如能效提升、循环利用等，其成本相对较低、收益较好，企业投资部署意愿强，资金需求量大。从偿债风险角度看，由于成熟技术的成本收益较明确，投资回收期较短，企业的偿债风险较低，因此可以接受利率较高、年限较短的资金。在资金获取速度上，由于项目规模通常较小，项目准备期较短，企业偏好门槛较低、资金获取速度较快的融资方式。因此，适合成熟技术的资金来源包括企业自投、银行信贷、合同能源管理等。

电气化、绿氢、生物质、CCUS等技术在当前尚未发展成熟。由于此类技术成本仍较高，投资回收期长，是中远期降碳的重点技术，当前尚无强制性的国家政策要求，从成本收益角度考虑难以大规模部署。但考虑到此类技术的减排潜力较大，具有长期战略意义，企业有意愿在当前部署少量示范性试点，初步验证其应用的可行性。新兴技术的项目规模大、前期投入高，企业对此类技术的资金需求也有一定规模。从偿债风险角度看，由于新兴技术具有更多不确定性，投资回收期较长，偿债风险相对较高，企业倾向于采取约束弱、灵活性高、利率更低、年限更长的融资方式。在资金获取速度上，由于项目准备期较长，企业可以接受投资门槛更高、资金获取速度更慢的融资方式。因此，适合新型技术的企业融资途径有企业债券、股权融资等。具体总结如图表13。

图表13 重工业转型资金需求特征

低碳转型技术类别	示例	特点	企业融资偏好	融资途径/方式
成熟度较高技术	如能效提升、循环利用等	投资回收期较短，企业的偿债风险较低，因此可以接受利率较高、年限较短的资金	企业偏好门槛较低、资金获取速度较快的融资方式	企业自投、银行信贷、合同能源管理
尚未发展成熟	如电气化、绿氢、生物质、CCUS等	减排潜力较大，新型技术的项目规模大、前期投入高	约束弱、灵活性高、利率更低、年限更长的融资方式	企业债券、股权融资

来源：本课题组

目前，中国绿色金融体系已经基本建成，重工业企业转型获取资金的渠道有所丰富，逐步拓展至绿色信贷、能效信贷、绿色债券等。然而，现有融资渠道涵盖的范围仍然较窄，部分企业碳减排技术没有被纳入融资目录中，而部分技术虽然被纳入目录，但目前市场上还未见到相关的具体实践（图表14）。

图表14 重工业企业碳减排技术、融资渠道及实践案例

重工业企业碳减排技术	融资渠道	实践案例
能效提升	融资渠道较为丰富，包括能效信贷、绿色信贷、绿色债券、合同能源管理等，市场上相关实践较为丰富。	兴业银行和国际金融公司合作开展能效融资项目，主要用于支持对能源利用效率的提升、温室气体（二氧化碳等）的减排有重大贡献的技改项目，包括水泥余热发电、焦炉煤气余热利用、高炉煤气余压发电、工业生产线节能改造、余热回收综合利用等。目前共推出五种贷款模式：企业技改直接贷款模式、EMC模式、设备供应商买方信贷模式、设备供应商增产模式、融资租赁模式。
循环利用	融资渠道较为丰富，包括绿色信贷、绿色债券等，市场上相关实践较为丰富。	河钢集团发行三年期绿色中期票据，用于河钢集团下属子公司废钢采购，预计实现废钢回收量57.32万吨，预计可实现二氧化碳减排量8.02万吨、节约标准煤15.30万吨、节约水80.25万吨 ¹⁸ 。
电气化	不在绿色信贷、绿色债券支持范围内，但部分省份将其从限制目录中排除。	江西、四川、河南三省在出台的“两高”相关文件中，明确电炉短流程炼钢不再纳入“两高”项目管理。
绿氢	绿色信贷、绿色债券中包括“氢能利用设施建设和运营”一项，但具体实践主要集中于交通领域，目前尚未看到重工业领域相关融资案例。	无
生物质	绿色信贷、绿色债券中包括“生物质能源利用设施建设和运营”一项，但目前尚未看到重工业领域相关融资案例。	无
CCUS	于《绿色债券支持项目目录（2021年版）》中新增，目前尚未看到重工业领域相关融资案例。	无
新型工艺	不在绿色信贷、绿色债券支持范围内。	无

来源：本课题组

3.3 现有金融指南与工具

重工业企业实现低碳转型需要规模资金支持，如其低碳或零碳生产的基础设施的投资、维护，老设备的退役，商业模式转变和公正转型等方面也需要资金支持。我国目前的绿色金融《绿色债券支持项目目录》中仅囊括了一小部分高碳排放行业的经济活动，绿色金融市场对重工业企业转型的针对性相对不足。而正在发展阶段的转型金融标准和工具为重工业企业提供了新的低碳转型融资方式。中国的监管部门和市场机构在转型金融框架、标准和市场产品机制方面都开展了积极探索，并分别于2021年和2022年开始对可持续发展挂钩债券和转型债券的发行进行试点。当前，中国人民银行正在牵头制定中国转型金融框架，预计将为钢铁、电力、建筑、农业等行业提供进一步的转型指引。

转型金融已在国际得到了广泛关注，越来越多的国家和地区的市场监管机构开启了在制定转型金融的定义、框架、分类方案、评判原则、披露要求、行业标准等方面的工作。2022年11月，国际可持续金融平台（International Platform on Sustainable Finance, IPSF）报告介绍了转型金融可以在不同的经济层面（包括经济活动、实体和投资组合等）鼓励转型融资，为转型金融市场的发展提供了思路¹⁹。2022年G20可持续金融报告中推出了《G20转型金融框架》²⁰，提出了可量化、可验证、实质性贡献、避免碳锁定、无重大损害、公正转型等原则。该框架旨在于全球层面建立初步准则，引导金融监管部门建立转型金融政策框架，推动金融支持高碳排放行业向零碳和低碳转型。气候债券倡议组织（CBI）和国际资本市场协会（ICMA）等国际行业机构分别于2020年推出了转型金融的框架和基本原则，推动高碳排放行业进行低碳转型的融资，应对气候变化（图表15）。ICMA强调转型金融适用于企业主体，达到减排路径的企业可以通过关键绩效指标挂钩的工具为其融资。CBI的转型金融框架中包括项目和实体层面的转型，分行业推出了相应的行业转型标准。值得关注的是，单个资产或项目很难影响公司的整体低碳转型状况²¹。因此，市场参与者需要制定短期、中期和长期的转型计划，关注行业特点的转型路径和技术特点，以减少资产搁浅和避免“碳锁定”。

图表15 转型金融指南

	气候债券倡议CBI	科学碳目标SBTi	转型路径倡议TPI
长期目标	到2050年净零排放	到2050年净零排放	到2050年净零排放
中期目标	到2030年，和3-5年目标	5-10年目标*	-
路径	1.5°C	1.5°C**	1.5°C、2°C和巴黎协定承诺
温室气体排放范围	范围1、2和3 各行业标准中对相应的行业指定的范围1、2和3做具体说明	范围1、2和3 若范围3排放量至少占总排放量（范围1、2和3排放量）40%，公司目标需包括范围3。近期目标（near term target）须至少涵盖范围3排放量67%。对于高排放行业产生的上游范围3排放，公司应审查相关行业指南，以了解何时适合设定绝对或强度目标。	范围1、2和3 范围3包括下游，不涵盖供应链
特点	为合格的债务工具（项目和实体层面）提供发行前、发行后和持续认证。	提供指导、标准和建议，以支持企业设定符合气候科学的净零排放目标。	评估和跟踪公司治理和管理温室气体排放的进度，以及与低碳转型相关的风险和机遇。

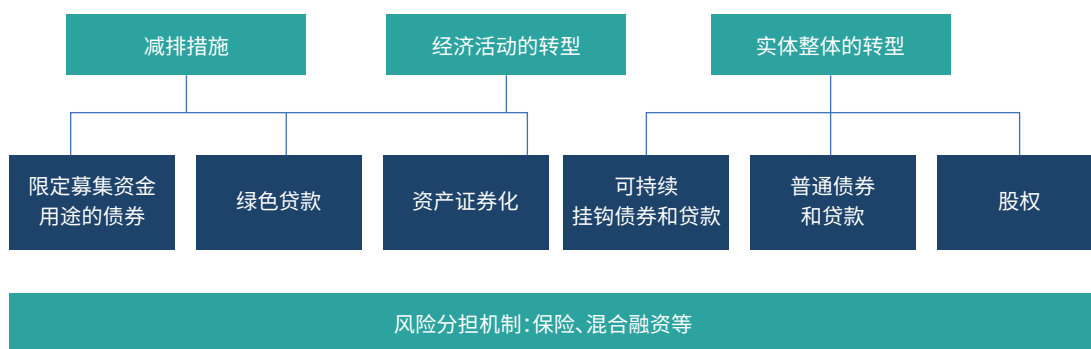
*此处指科学碳目标倡议中的近期目标（near-term target）

**从2022年7月15日起，科学碳目标倡议将仅验证范围1和范围2与1.5°C一致的目标²²

来源：本课题组

金融标准和工具的发展可为重工业企业提供多渠道的融资机会。从概念和适用范围上，不同类型的融资工具可以匹配不同层面的转型需求。例如，投资者可以通过限定募集资金用途的工具支持项目层面的减排措施，包括热回收、设备优化、监控系统优化和CCUS等。投资者也可以通过股权，和不限募集资金用途的贷款和债券等支持重工业行业企业实体层面的转型（图表16、17）。在经济合作与发展组织（OECD）2022年的一项研究中，大部分受访者认为债务工具是转型金融的重要金融工具。其中，有一半的调查回复指出债券、贷款、混合融资或公私合营机制是最常用，其次是项目融资（13%）和投资基金（10%）。据报告，只有13%的回复与股票工具相关，其中8%表示私募股权和风险资本将被部署最多，5%选择上市股票。剩余5%的回复选择了保险产品。而我国的很多重工业企业杠杆率较高，部分专家认为中国的转型金融市场有必要发展专门支持转型活动的权益类产品，支持此类企业有效的转型。此外，重工业企业的低碳转型需要改变商业模式，即加大创新和与一些初创企业合作，由企业本身来进行风险投资；长期引入股权投资，或以并购的方式引入低碳的商业模式。

图表16 转型金融支持重工业低碳转型



来源：本课题组

图表17 金融工具在不同层面支持低碳转型相关的融资

转型活动的层次	转型金融工具的适用场景	相关金融工具或机制示例
行业层面	支持推动单个或多个减排措施。	挂钩类、股权类
经济活动层面	指导部门减排路径，如行业减排路径图和阈值。	限定募集资金用途类
实体层面	支持企业层面的融资。企业需要对其业务活动进行脱碳，重新规划高碳排放的业务，从潜在的搁浅资产中逐步退出，投资于低碳活动。因此，企业需要制定与1.5°C相符的转型计划。	挂钩类、股权类
投资组合层面	支持金融市场趋净零（net-zero）的投资组合发展。投资机构可以通过与企业合作重新配置其商业模式，引导企业从高碳排放活动转向净零活动。	转型基金
措施层面	支持单个或减排措施层面的转型，例如绿电采购协议、提升能效的措施等。	限定募集资金用途类

来源：本课题组

3.4 重工业企业的转型金融债务工具概览与融资案例

由于债券市场为当下转型金融市场最活跃且最具规模的金融工具，同时，债券发行主体、支持项目和相关金融产品的转型计划、减排目标、利率、期限和关键绩效指标等信息公开度较高，基于上述原因，本章节聚焦市场现有的债券发行中的转型相关的趋势与要素，为转型相关产品的设计和转型金融市场发展提供参考。

全球重工业企业转型相关债务工具情况

据气候债券倡议组织（CBI）数据库统计，截至2023年6月30日，全球钢铁、水泥和化工行业共计发行50只可持续挂钩债券（SLB），共计165.12亿美元。其中14只债券的减排目标获得了科学碳目标（SBTi）的温室气体目标认证，31只债券（62%）选择了温室气体排放为关键绩效指标，这体现出了金融市场参与者对于温室气体排放的关注。

可持续挂钩债券和转型债券为目前市场上主要的转型相关贴标债务工具。可持续挂钩债券为现阶段主导的融资方式，而限定募集资金用途的转型债券的发行量很小，这可能与市场上对转型募集资金的指南有限，和挂钩类融资工具为高碳排放行业提供了更多的灵活性有关。可持续挂钩债券是一种前瞻性（forward-looking）的工具，因不限定募集资金用途，为重工业企业提供了绝佳的融资机会。发行的实体可以选取与其可持续发展战略相一致的关键绩效指标（KPI）挂钩，因此它使得发行人可以为可持续的商业模式和企业转型融资，而不仅局限于为太阳能发电厂或绿色建筑等特定项目的融资。此外，研究表明市场对高质量的可持续挂钩债券的需求强劲，投资人愿意支持各类发行人实现净零碳排放目标，即发行具有温室气体减排绩效的可持续挂钩债券可以帮助发行人获得更便宜的融资²³。

在低碳转型行动和融资实操方面，企业需设立净零排放目标，选取与行业相符的减排路径。依据净零排放目标规划短期、中期和长期的举措，选取关键绩效指标，并为减排举措融资。发行人一般会使用已有的可持续、转型、ESG战略和目标作为可持续发展绩效目标（SPT）和关键绩效指标（KPI），以向投资人展示发行人对此战略的承诺和投入。投资者可以影响或提高发行人选取的可持续发展绩效目标，或者调整在无法达到关键绩效目标的情况下的跳息额度（例如：将10bp调整成25bp）。

中国重工业企业转型相关债务工具情况

我国可持续挂钩债券和转型债券分别于2021年和2022年开始试点。截至2022年末，中国境内市场各类贴标转型债券累计发行规模合计1172.2亿元，其中，可持续挂钩债券、低碳转型挂钩债券、低碳转型债券和转型债券分别累计发行872亿元、223.9亿元、27亿元和49.3亿元²⁴。目前，国内的钢铁、水泥和化工企业均已参与到了可持续挂钩债券和转型债券的发行中。在发行规模方面，重工业行业中钢铁行业发行的总量最大，共计发行了12.8亿美元可持续挂钩债券，和2.5亿美元转型债券。

现阶段可持续挂钩债券关键绩效指标选取多样，大多数尚未和温室气体相关指标挂钩。华新水泥发行了总计9亿元人民币（1.331亿美元）的两笔债券交易²⁵是国内市场首个与温室气体排放挂钩的可持续挂钩债券，其以2024年底单位熟料碳排放量降至829.63kgCO₂/t为目标。此债券将有助于推动国内尚处于发展初期但蓬勃发展的可持续挂钩债券市场，并为将温室气体排放选为关键绩效指标挂钩开创良好先例。其余来自国内的转型相关债务工具尚未选择与温室气体直接挂钩的关键绩效指标。虽可持续挂钩债券可以挂钩不同维度的关键绩效指标支持企业的可持续发展，考虑到温室气体排放相关的指标有助于投资机构和监管机构纵向和横向比较发行人的减排进度，以及评估该企业的转型是否处于与1.5°C相符的路径上。因此，在应对气候变化和相应的融资中，我们建议发行人选取温室气体相关的关键绩效指标。

国内现有的转型相关债券期限通常在3-5年，而国际的债券期限通常为5-10年。全球多只可持续挂钩债券的期限为10年，例如，水泥公司瑞士豪瑞（Holcim）在2022年发行了于2032年到期的可持续挂钩债券，其可持续发展绩效为到2030年12月将其范围1中每吨水泥的二氧化碳排放量减少至等于或低于475千克²⁶。低碳转型是个长期的过程，固定资产投资和改造项目都具有资金需求量大，建设周期长的特点，而期限长的金融工具可为重工业行业的低碳转型提供有利的融资方式，因此，我们建议金融机构设计更契合重工业转型诉求的金融产品。

重工业企业的转型金融融资案例

案例1：瑞典绿色钢铁公司的股权与债务工具

瑞典绿色钢铁公司（H2 Green Steel）为一家基于绿氢和绿电进行钢铁生产的公司，相较传统的依赖煤炭的炼钢工艺，其生产模式能减少95%的二氧化碳排放²⁷。该公司通过股权和债务融资相结合的方式为在瑞典北部的氢动力绿色钢铁厂融资。

在债务融资方面，截至2023年3月，金融机构通过债务和信贷担保来为其提供支持，H2 Green Steel获得了来自欧洲主要金融机构的35亿欧元的债务融资²⁸。H2 Green Steel已预售该项目一期250万吨年产能的60%，客户包括宝马和美诺（Miele）等²⁹。作为银行抵押品，这一订单为项目筹集到了2/3的资金，其余融资来自股权投资，投资者包括著名风险投资公司，斯堪尼亚（Scania）和梅赛德斯-奔驰等汽车生产企业在2021年也入股了H2 Green Steel³⁰。

案例2：华新水泥可持续挂钩债券

华新水泥股份有限公司于2022年7月发行了两笔总计9亿元人民币（1.331亿美元）的债券，以2024年底单位熟料碳排放量降至829.63kgCO₂/t为目标，将基础期限最后一个计息年度的票面利率与该目标实现程度挂钩³¹。若未达到该目标，票面利率上调10BP。

在信息披露层面，根据华新水泥2021年ESG报告，2021年，该公司直接温室气体排放强度（范围1）为0.8198吨二氧化碳当量/吨熟料产量，间接温室气体排放强度（范围2）为0.026吨二氧化碳当量/吨熟料产量³²。华新水泥的创新融资获得市场认可，这也是国内市场首个与温室气体排放挂钩的可持续挂钩债券。



四、下一步行动建议

重工业的零碳转型不仅需要项目层面的技术升级转型，也需要引导行业的传统投资进行转型升级。转型所需的大规模资金需要有效的金融保障。未来，要切实推动绿色+转型金融概念，抓住转型金融市场发展窗口期，为重工业低碳转型提供所需资金支持。

4.1 进一步解锁绿色金融市场潜力

绿色金融经过多年发展，已成为支持低碳转型的重要引擎。然而，从过去经验来看，绿色金融对于重工业行业的支持却十分有限。究其原因，除了机制本身受限于“绿色”的定义、对重工业行业的包容性不高以外，不少重工业企业也因自身的高排放属性，缺乏探索绿色融资机制的积极性。然而，重工业行业并不是完全无法从绿色金融中获益。只要采取合适的策略和行动，重工业行业也是有望获取绿色资金的支持，加速其低碳转型的进程的。

首先，针对转型过程中的项目，最大化利用已有的绿色信贷或债务工具。随着我国绿色金融的发展，银行业绿色金融产品也在不断丰富，银行通过信贷方式或金融服务向绿色产业和绿色项目提供支持。绿色债券也为部分项目提供了融资机会。按符合CBI定义绿色债券计，中国于2022年成为世界上最大的绿色债券发行市场³³，同时，绿色债券也有成本低、期限长、市场化和国际化等特点³⁴。如前文提到在项目层面，如光伏、绿氢、CCUS等纯绿色的技术已经被增加到部分绿色债券、绿色信贷的产业目录中，重工业行业企业可依据支持目录，深度挖掘绿色债券或绿色信贷的支持重工业低碳转型的潜力。

其次，加强信息披露质量，以吸引更多可持续投资或ESG投资。在气候变化议题中，一部分可持续投资和ESG策略排除了高碳排放行业，也有投资决策通过评级纳入高碳行业内表现相对好的企业，或加强和企业的合作以推动企业建立碳管理机制和脱碳等。总体而言，可持续和ESG投资相关的评级体系和投资决策基于高质量的信息披露。因此，重工业企业应提升碳信息披露质量，在年报、ESG报告或官网等其他公开平台，披露范围一、二、三的温室气体排放，制定短中长期的温室气体减排目标，落实减排行动，以获得更多的此类金融产品的支持。

此外，在全球碳市场的背景下，提升企业碳管理能力，积极开展碳金融创新。碳市场与碳关税将加速推动重工业行业低碳转型。欧盟碳边境调节机制（CBAM）过渡期间将覆盖钢铁、水泥、铝、化肥、电力、氢气，相关行业需按要求披露碳排放量；在过渡期后，进口商品需根据进口国的碳市场价格支付碳关税，该机制预计将加大一部分国内重工业企业低碳转型的压力。在碳市场和碳金融的背景下，重工业企业可加强自身碳管理的能力，挖掘碳管理带来的融资机会，且考虑转向低碳或零碳的生产工艺以减少碳成本。

除了需要重工业企业积极开展行动，提升其融资能力以外，绿色金融支持重工业行业低碳转型还依赖于政策和金融机构双发力。重工业行业的转型需要有针对性的政策支持，可以支持脱碳绩效和潜力高的重工业企业获得资金，而不是因行业类别将部分企业排除在外，同时，需确保能实现减排、避免碳锁定风险，增加金融机构投资低碳转型的信心。配套机制可以包括补贴、绿色贸易窗口、能源转型机制、碳定价，以及研发、重点基础设施投资和绿色公共采购等。

4.2 抓住转型金融市场窗口期

工业生产设施往往使用寿命长，资本存量周转慢，若未有效地进行低碳投资，新的投资周期仍会将重工业企业锁定在高碳排放的生产工序中。因此，转型金融需抓住重工业行业转型的窗口期，在产能需要再一轮投资时，激励投资机构将资本投入低碳的工序中，协助高碳排放企业达到真正的温室气体减排绩效。

目前，全球转型金融市场尚处于初步发展阶段，转型融资还未得到广泛的实践。现阶段，行业的转型目标、路径的研究进展不一，还需要进一步推动形成市场共识。在现有的市场实践中，企业选取的目标、路径和关键绩效指标较为多元，使得投资机构和监管机构难以评估企业的温室气体减排绩效。在市场指南和框架发展方面，市面上现有转型与可持续发展挂钩债券和贷款的指引细节较少，未能和“浅绿”相区分，这加剧了资本市场对于“洗绿”和“粉饰转型”的担忧。然而，企业层面的具有深度和颗粒度的转型框架和指南，对于当前可持续金融市场的部分使用者来说可能过于复杂和难以执行。

若想抓住转型金融高速发展的窗口期，确保转型金融未来可以支持重工业行业有效脱碳，需关注以下几方面重点：

首先，重工业低碳转型的资金需求和金融机构的要求间存在错配，需要创新设计和采用定制化的融资方式。目前有很多重工业企业仍未上市，融资方式以银行信贷为主。很多高碳排放企业已经有很高的资产负债率，且债券融资主要来自于一年以内的短期贷款。而低碳转型是个长期的过程，企业需要低成本、期限长的资金支持，需要将短贷转为长贷，优化期限结构，同时给企业创造股权融资的支持³⁵。此外，单靠债务工具难以支持重工业行业低碳转型，逐步改变高碳排放的商业模式需要风险偏好更高的金融产品或产业投资基金支持。

其次，可持续挂钩债券选取合适的KPI对维持转型金融市场可信度至关重要。SLB为高碳排放企业的低碳转型提供融资，已成为高碳排放中受市场欢迎的金融工具。在全球范围内，SLB发行人选取的KPI差异较大，投资机构也因此难以评估和追踪发债主体和债券的减排绩效，评估转型的可信度。此外，发行人常选取与ESG评级挂钩的KPI，而因各家评级机构的方法论有差异，ESG评级的提升并不能有效体现企业在温室气体方面的减排绩效。欧洲中央银行(ECB)在评估资产是否有资格作为其信贷业务或资产购买计划的抵押品时，已不将ESG评级或分数的改善视为可接受的可持续绩效目标(SPT)³⁶。国内的钢铁、水泥和化工企业已参与到了可持续挂钩债券的发行中，为企业的低碳转型融资，然而，目前仅有华新水泥在关键绩效指标选取了与温室气体直接挂钩的相关指标。在市场对SLB的指引仍然缺失的情况下，规范化SLB相关的标准和认证有助于提高投资人信心和市场透明度，并将进一步推动SLB的强劲增长。

此外，重工业的低碳转型需要多方的支持和行业上中下游的协作。重工业低碳转型离不开大规模的投资，单靠企业自身难以完成低碳转型。支持政策可以作用于：上游的低碳能源与基础设施建设；中游企业低碳生产流程相应标准的建立及碳定价的合理实施；以及下游对低碳钢铁、水泥、化工产品等的市场需求促进。

为了能更好支持到重工业行业的低碳转型，同时维持市场可信度，减少洗绿风险，本报告对转型金融市场进一步发展提出以下几点展望：

- **转型金融需在当前绿色金融体系的基础上进一步发力**，对重工业企业转型发挥较强的支持作用。针对《绿色债券支持项目目录》未覆盖转型技术的问题，可以设置单独的转型金融支持项目目录，使重工业转型技术成为转型信贷、转型债券的投资焦点。
- **转型金融需着眼于碳减排目标逐步实现的动态过程**，除了目录式的合格项目类别外，转型金融也需阐明合格项目的减排标准，企业需满足的减排路径，对企业主体提出了较高的要求。企业可以通过设立合理的转型目标，制定低碳转型战略和计划，从而使用可持续发展挂钩贷款、可持续发展挂钩债券、普通债券、股权等金融工具资助其整体的低碳转型。
- **转型金融对重工业转型的支持需把握资产设施换代的窗口期**。例如，在产能需要新一轮投资时，激励投资机构将资本投入低碳的工序中。工业生产设施往往使用寿命长，在2060年前仅有一轮低碳转型投资的窗口期。有效的政策需加速引导资本投入重工业行业的低碳转型领域。
- **金融机构需持续创新转型金融产品**。目前转型金融实践以债务工具为主。而单靠债务工具难以支持重工业行业低碳转型，低碳转型的过程需要逐步改变高碳排放的商业模式，电气化、绿氢、生物质、CCUS等技术需要风险偏好更高的金融产品支持，从战略层面深入推动企业低碳转型。此外，开发性金融机构可以提供转型启动金，引入私有资本。可以设立转型股权投资基金、并购基金等，支持企业股权融资需求，从战略层面深入推动转型。
- **金融机构和监管机构要追踪投资企业的转型可信度**。转型金融旨在为高碳排放行业抵达净零排放终点提供支持，而不仅仅用于保障短期的降碳绩效。为促进可持续挂钩债券、转型债券和其它相关市场工具的长期稳定发展，需要引入能够有效规范市场实践的原则、标准和分类方案。监管机构可以引入自愿性的最佳实践关键绩效指标，帮助市场参与者评估金融产品的转型可信度。

附录：中国钢铁、水泥、化工行业可持续发展挂债券和转型案例

可持续挂钩债券							
发行人	行业	发行量	发行日期	到期日	机制	KPI类别	KPI描述
红狮水泥	水泥	3亿元	10/5/2021	10/5/2024	票面利息提升20BP	单位水泥生产能耗	2020年度单位水泥生产能耗80.1千克标准煤/吨(基准线)2023年度单位水泥生产能耗降低至77千克标准煤/吨(目标值)
华新水泥	水泥	4-5亿元	19/7/2022	19/7/2027	票面利率上调10BP	华新水泥单位熟料碳排放量	到2024年底,华新水泥单位熟料碳排放量降低至829.63kgCO ₂ /t(目标值)
鞍山钢铁	钢铁	20亿元	26/1/2022	26/1/2025	票面利息提升10BP	吨钢材综合能耗	2020年584千克标准煤/吨(基准数据) 2023年底565千克标准煤/吨(目标值)
宝山钢铁	钢铁	50亿元	6/9/2021	6/9/2024	票面利息提升10BP	氮氧化物排放量	2022年0.67千克/吨粗钢(基准数据) 2023年12月31日0.63千克/吨粗钢(目标值)
柳州钢铁	钢铁	2亿元	7/5/2021	7/5/2024	票面利息提升50BP	单位产品(粗钢)氮氧化物排放量	2020年柳州集团单位产品氮氧化物排放量为1.123千克/吨产品(基准线) 2022年柳州集团单位产品氮氧化物排放量为0.935千克/吨产品(目标值)
山东钢铁	钢铁	10亿元	30/8/2021	30/8/2024	触发赎回机制	生产能效提升	2020年604.00千克标准煤/吨(基准数据)2022年592.00千克标准煤/吨(目标值)截至2022年12月31日,山钢集团控股子公司山东钢铁吨钢综合能耗不超过592.00千克标准煤/吨。

转型债券					
发行人	行业	发行量	发行日期	到期日	募集资金用途
万华化学	化工	2亿元	2022/6/23	2024/6/23	募投项目为聚氨酯产业链一体化-乙烯项目。
宝山钢铁	钢铁	5亿元	2022/5/24	2025/5/24	宝钢湛江钢铁有限公司湛江钢铁氢基竖炉系统(一步)工程项目建设。
攀钢集团	钢铁	2亿元	2022/7/4	2025/7/4	钢铁企业厂内余热余能利用发电项目和工业电气化改造项目。
山东钢铁	钢铁	10亿元	2022/6/23	永久债券	莱芜分公司新旧动能转换系统优化升级改造项目。



参考文献

- 1 IEA (2020), *challenge of reaching zero emissions in heavy industry*, <https://www.iea.org/articles/the-challenge-of-reaching-zero-emissions-in-heavy-industry>
- 2 全国碳核算数据库, CEADs, <https://www.ceads.net.cn/>
- 3 关于发布《高耗能行业重点领域节能降碳改造升级实施指南(2022年版)》的通知: https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202202/t20220211_1315447.html?code=&state=123
- 4 关于印发《工业领域碳达峰实施方案》的通知: http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-08/01/content_5703910.html
- 5 邓洲、于畅, 新中国70年工业经济结构变迁[J]; *China Economist*, 2019年04期
- 6 中国钢铁工业协会, 2022年钢铁行业经济运行报告, 2022. <http://lwzb.stats.gov.cn/pub/lwzb/bzt/202306/W020230605413586261007.pdf>
- 7 中国银行保险报, 我国绿色信贷规模居世界首位, 2023. http://www.cbimc.cn/content/2023-09/04/content_493848.html
- 8 国家统计局(2021), 中华人民共和国2020年国民经济和社会发展统计公报
- 9 经济观察网, “2020年中国钢铁行业碳排占全国碳排总量15%: 钢铁减污降碳面临多方挑战”
- 10 中国钢铁工业协会(2022), 中国钢铁工业“双碳”愿景及技术路线图
- 11 RMI (2021), 碳中和目标下的中国钢铁零碳之路
- 12 RMI与CCA (2022), 加速工业深度脱碳: 中国水泥行业碳中和之路
- 13 RMI (2022), 碳中和目标下的中国化工零碳之路
- 14 KPMG(2022), 一文读懂氢能产业, <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/cn/pdf/zh/2022/09/understand-the-hydrogen-energy-industry-in-one-article.pdf>
- 15 东方证券, 化工碳中和系列报告二: 化工行业碳排放压力有多大? https://pdf.dcfw.com/pdf/H3_AP202103221474638930_1.pdf
- 16 IEA (2020), *Energy Technology Perspectives 2020*, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- 17 兴业银行从能效融资到赤道银行之路, https://www.cib.com.cn/cn/about-CIB/about/news/2008/20080729_3.html
- 18 河钢集团有限公司2023年度第一期绿色中期票据(科创票据)募集说明书, <https://www.chinamonney.com.cn/dqs/cm-s-notice-query/fileDownload.do?mode=open&contentId=2531144&priority=0>
- 19 IPSF(2022), *Transition Finance Report*. https://finance.ec.europa.eu/system/files/2022-11/221109-international-platform-sustainable-report-transition-finance_en.pdf

- 20 G20 (2022), *Sustainable Finance Report*. <https://g20sfwg.org/wp-content/uploads/2022/10/2022-G20-Sustainable-Finance-Report-2.pdf>
- 21 Natixis (2021), https://gsh.cib.natixis.com/api-website-feature/files/download/12519/brown_industries_the_transition_tightrope_full_version_natixis_gsh.pdf
- 22 Science Based Targets Initiative *Business Ambition for 1.5°C Guidelines and Frequently Asked Questions. Version 1.6 November 2021*. <https://sciencebasedtargets.org/resources/files/Business-Ambition-FAQ.pdf>
- 23 Climate Bonds Initiative (2022), *Green Bond Pricing in the Primary Market H1 2022*, <https://www.climatebonds.net/resources/reports/green-bond-pricing-primary-market-h1-2022>
- 24 Wind, 兴业研究
- 25 华新水泥股份有限公司(2022), huaxincem.com/view/5322.html
- 26 IFR(2020), <https://www.ifre.com/story/2623135/lafargeholcim-adopts-novel-structure-for-first-slb-b6qh9dwl0q>
- 27 H2 Green Steel, <https://www.h2greensteel.com/about-us>
- 28 H2 GreenSteel(2022), <https://www.h2greensteel.com/latestnews/leading-european-financial-institutions-support-h2-green-steels-35-billion-debt-financing>
- 29 IEEFA (2022), *Green finance has begun to flow into green steel funding*. <https://ieefa.org/resources/green-finance-has-begun-flow-green-steel-funding>
- 30 The Economist (2022), *Can Europe decarbonise its heavy industry*. <https://www.businessreview-global/zh-CN/laet/6350ab424dab785ac25ad1e6?token=f75fa3d75ea44bb60e3ab0793fdcf195d1d2c9d7>
- 31 华新水泥, <https://www.huaxincem.com/view/5322.html>
- 32 华新水泥, 2021年企业环境、社会及管治报告, <https://www.huaxincem.com/view/5282.html>
- 33 气候债券倡议组织(2023), 中国可持续债券市场报告2022
- 34 鲁政委、钱立华、方琦(2022), 碳中和与绿色金融创新
- 35 气候债券倡议组织&中节能衡准 (2022), 中国转型金融研究报告2022. https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_transfinchina_cn_01e.pdf
- 36 ECB (2022), *FAQ on sustainability-linked bonds*, <https://www.ecb.europa.eu/paym/coll/standards/marketable/html/ecb.slb-qa.en.html>.



除特别注明, 本报告中所有图片均来自 iStock。



RMI Innovation Center
22830 Two Rivers Road
Basalt, CO 81621

www.rmi.org

©2023年12月, 落基山研究所版权所有。Rocky Mountain Institute 和 RMI 是落基山研究所的注册商标。