

中国全球基建项目中使用的 钢铁与水泥绿色化转型

作者：HANJIE WANG, CECILIA SPRINGER, ALI HASANBEIGI

2026年3月



引用建议：

Wang, H.、Springer, C.、Hasanbeigi, A., 2026年。《中国全球基建项目中使用的钢铁与水泥绿色化转型》。波士顿大学全球发展政策研究中心。

致谢：

作者谨向 Danlei Liao、Soyoung Oh 和 Lin Zhu 在本研究中所作的宝贵贡献，以及对本文早期版本提出的深刻见解表示诚挚感谢。

作者



Hanjie Wang 曾任波士顿大学全球发展政策研究中心中国与全球发展倡议博士研究生。她是一名政治学家，持有华盛顿大学政治学博士学位。研究与教学兴趣涵盖国际与比较政治经济学、环境政治以及中国政治，目前工作聚焦于中国、美国和印度电动汽车政策的比较分析，以及全球电动汽车贸易与投资政策背后的政治因素，同时她对政府在促进绿色技术转型中的作用，以及贸易与环境政策之间的互动抱有广泛兴趣。



Cecilia Springer 是波士顿大学全球发展政策研究中心中国与全球发展倡议非常驻高级研究员，兼任 Synapse 能源经济学咨询公司首席助理，持有加州大学伯克利分校能源与资源组的硕士和博士学位、布朗大学环境科学学士学位，曾任哈佛大学肯尼迪学院的博士后研究员、“中国与全球发展倡议的助理主任。她的跨学科研究关注中国海外投资的环境影响、中国的政策制定过程以及工业脱碳。



Ali Hasanbeigi 是工业脱碳咨询公司 Global Efficiency Intelligence 创始人、首席执行官兼研究总监，主导工业脱碳、能源系统效率、工业电气化、产品隐含碳、脱碳政策及新兴技术的咨询与市场研究。凭借20年的国际经验，他提供战略分析和技术研究，致力于推动向低碳工业未来的转型。他的工作支持了包括美国及全球各地的政府、工业界、非营利组织、学术界和公用事业在内的广泛利益相关者。

目录

执行摘要	7
引言	12
钢铁生产与二氧化碳排放	14
水泥生产与二氧化碳排放	16
水泥和钢铁在全球基础设施项目中的作用	18
中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求	22
中国海外开发性金融概况及行业流向	22
中国海外基础设施发展的气候影响	24
中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源	25
“一带一路”建设项目中水泥与钢铁的预估用量	25
接受中国发展融资国家的材料使用区域分布	28
中国全球基础设施项目的水泥与钢铁采购来源	32
中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量	34
水泥	34
钢铁	35
中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量	36
中国全球发展融资中的绿色采购：为低碳水泥和钢铁创造需求	36
减排潜力情景分析	37
设定绿色采购目标	37
绿色采购对中国全球基础设施项目的潜在影响	38
脱碳杠杆在中国全球基础设施项目实现绿色采购目标中的作用	41
“一带一路”项目中水泥脱碳的策略	41
“一带一路”项目中钢铁脱碳的策略	42

绿色采购的国际最佳实践	45
多边开发银行	46
双边发展机构	47
对中国的启示及对“一带一路”融资机构的建议	48
“一带一路”绿色采购政策建议	50
实施挑战	50
中国海外投资绿色采购政策框架	51
实施机制	55
结论	57
参考文献	60
附录	66
材料采购与排放估算方法	66
二氧化碳排放与影响分析	69
数据缺口与不确定性	70
缩略语列表	71



印度尼西亚，雅加达 | 图源：Fasyah Halim via Unsplash.

执行摘要

以国家开发银行（CDB）和中国进出口银行（CHEXIM）为主的中国开发性金融机构（DFI），已成为全球基础设施发展的核心参与者。这些开发性金融机构通过破除基础设施瓶颈、促进贸易往来、改善基础设施与能源获取状况，为东道国的经济增长作出了贡献（Gallagher等，2023年）。与此同时，中国海外基础设施项目的气候影响也日益受到关注。尽管关注的焦点常集中于其在化石燃料与可再生能源电力项目融资中的角色，本报告则凸显了气候影响的另一关键维度：即“一带一路”倡议（BRI）项目中所使用的巨量钢铁和水泥——这两种材料均为碳密集型。这些材料对于公路、铁路、桥梁、港口和电站的建设不可或缺，然而其生产过程约占全球二氧化碳（CO₂）排放量的五分之一。因此，覆盖140多个国家的“一带一路”倡议不仅塑造着能源体系和交通网络，也锁定了未来数十年与材料相关的排放。

在发展中经济体，尤其是“一带一路”项目最为集中的亚洲和非洲地区，钢铁和水泥需求预计将持续强劲。随着中国国内钢铁和水泥需求趋于平稳，“一带一路”基础设施建设也为中国这些行业超过国内消费水平的工业生产产能提供了输出渠道。在此背景下，绿色采购可成为一种强有力的工具，通过在水泥和钢铁的采购中嵌入低碳要求，来削减隐含排放。本报告中，我们量化了“一带一路”重点交通与能源项目的材料需求及相关排放，探讨了绿色采购的可行情景，并讨论了使中国融资支持的基础设施项目与全球气候目标相一致的实施方案。

自2008年以来，以国家开发银行和中国进出口银行提供的公共及政府担保贷款为代表的中国海外开发性金融，累计提供贷款超过4720亿美元，使其成为全球基础设施与发展的最大双边贷款方。这种模式在为海外拓展经济机遇的同时，也将巨额资金导向了碳密集型行业。能源部门是最大的贷款接收领域，自2008年以来获得1840亿美元，其中大量资金用于化石燃料开采、煤电和大型水电项目。交通是第二大接收领域，涵盖了公路、铁路、机场和港口等，这些项目均为高度材料密集型。

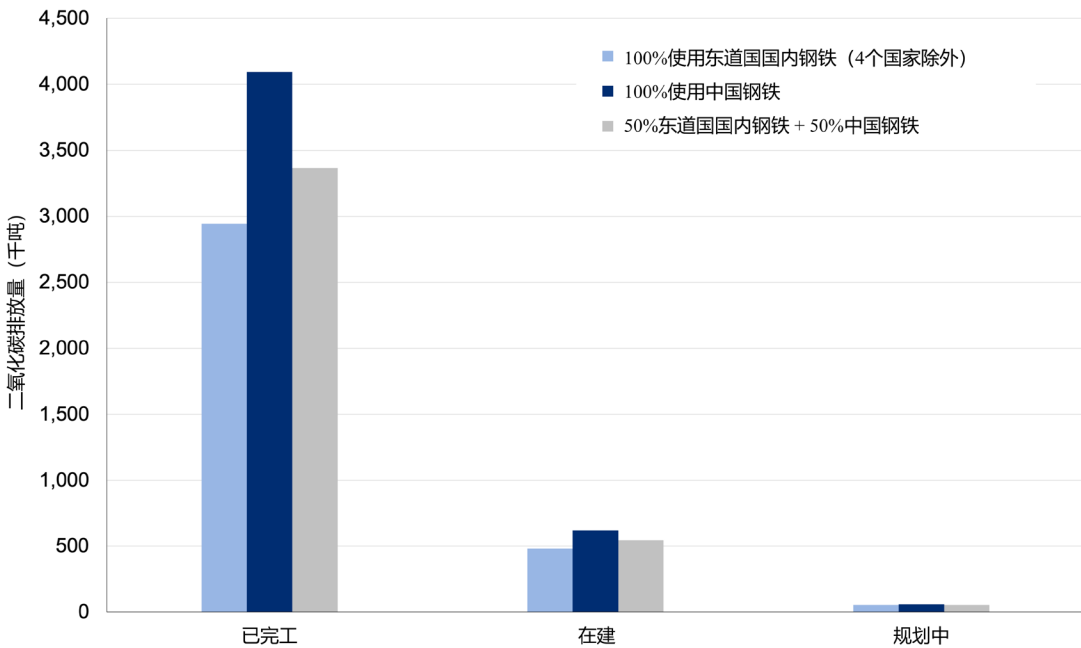
钢铁和水泥是这些项目的核心材料。例如，钢铁是构成电力系统的锅炉、汽轮机和输电塔的基础，而钢筋增强的水泥则构成了大坝、公路和桥梁的基础。这些材料确保了项目的耐久性，但它们也是生产中碳排放最高的材料之一。中国历史上对化石燃料的重点关注放大了其气候影响：由中国提供融资的全球电站目前已产生每年2.87亿吨的二氧化碳排放量，若规划中的项目得以推进，这一数字还可能再增加5300万吨。¹有中资支持的燃煤电厂在其生命周期内的排放量可能达到110亿吨二氧化碳，约占亚洲总排放量的三分之一。除了直接排放，“一带一路”项目还常常导致森林砍伐、生物多样性丧失和土地利用变化，同时也面临洪水、台风和水资源压力等气候风险。这种双重动态使得减少隐含排放和运营排放、同时提高气候韧性成为迫切需求，这也是许多东道国的核心优先事项。

假设所有水泥均从项目所在国当地采购，由中国开发性金融机构资助的能源和交通项目的水泥使用预计将产生245.2万吨二氧化碳排放。已完工项目占排放量的大部分，为198.8万吨二氧化碳；在建项目产生40.6万吨二氧化碳；规划中项目仅产生5.8万吨二氧化碳。排放高度集中，南非、印度尼西亚、阿根廷、埃塞俄比亚和安哥拉五国合计排放约97.7万吨二氧化碳，占总量的40%。这表明少数国家推动了水泥相关隐含排放的较大部分，并且由于近年来新增海外开发性金融的减少，已完工项目在排放足迹中占据主导地位。

¹ 本报告中所有“吨”均指公吨。

钢铁排放则因采购假设不同而差异更大。如果所有钢铁均由“一带一路”伙伴国或东道国本土生产（中国仅供应那些缺乏本土钢铁工业的国家），排放总量约为348万吨二氧化碳；相比之下，如果所有钢铁均来自中国，排放量则为477.2万吨二氧化碳。我们还模拟了本土与中国供应各占50%的情景，该情景下的排放量估计为396.6万吨二氧化碳。在所有情景中，已完工项目均占据大部分隐含排放：本土供应情景下超过290万吨二氧化碳，中国供应情景下超过400万吨二氧化碳。在排放最高的五个国家（阿根廷、南非、印度尼西亚、埃塞俄比亚和安哥拉）中，本土供应情景下的钢铁相关排放占比约为62%。这些结果强调了采购选择的重要性：由于中国钢铁的碳强度较高，依赖中国供应会使排放增加37%；即使是混合采购方式也会使排放增加14%。因此，绿色采购策略在减少“一带一路”基础设施项目碳足迹方面发挥着至关重要的作用（见图ES1）。

图ES1：中国海外开发性金融能源与交通领域项目所用钢铁的二氧化碳排放量



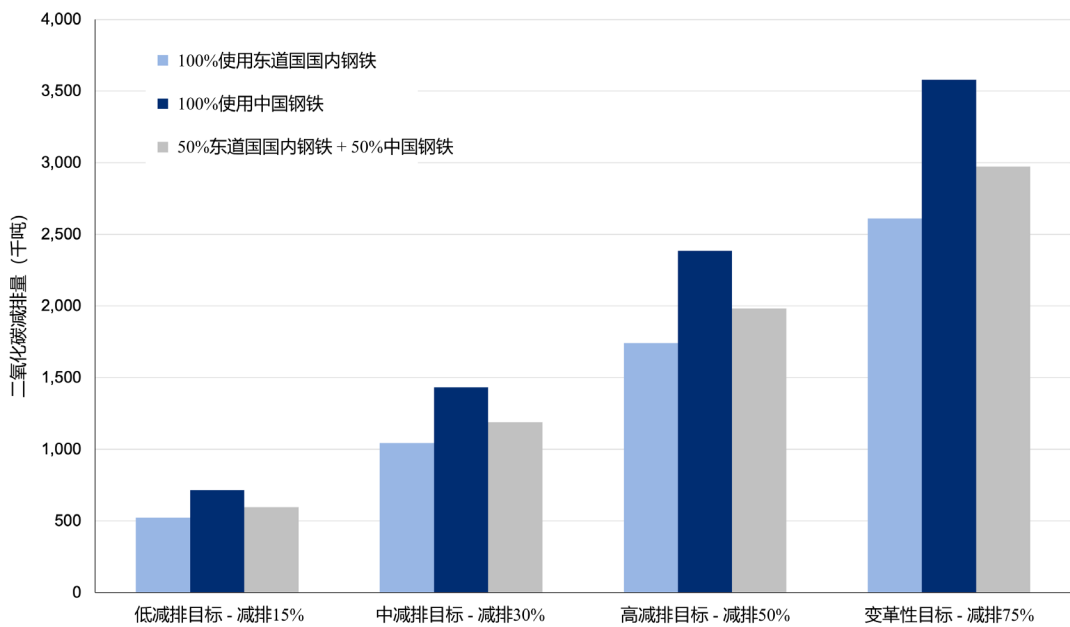
来源：作者自行编制。

注释：本研究涵盖的项目仅包括接受中国开发性金融的重点交通与能源行业项目，详见第3节。

对于水泥而言，分析表明绿色采购可显著削减中国资助的交通和能源项目的排放。数据集 中与水泥相关的排放总量约为245.2万吨二氧化碳，其中近200万吨二氧化碳来源于已完工项目。若逐步应用提高二氧化碳强度要求的采购标准，本可实现可观的减排：在低减排情景（15%）下约36.8万吨二氧化碳，中等减排情景（30%）下为73.5万吨二氧化碳，高减排情景（50%）下超过122.6万吨二氧化碳。最雄心勃勃的减排情景（75%），本可实现184万吨二氧化碳的减排。尽管已完工项目在排放足迹中占主导地位，但将此类政策应用于在建和规划中项目仍将确保实现减排。除了直接减排，这些政策还将向东道国生产商发出强烈的市场信号，促使其投资于能效提升、熟料替代以及石灰石煅烧粘土水泥（LC3）等创新技术，从而加速更广泛的脱碳进程。

对于钢铁，减排潜力既取决于采购政策的雄心水平，也取决于采购来源的组合。在低减排目标（15%）下，绿色采购可减排52.2万至71.6万吨二氧化碳（取决于采购来源），若钢铁由本土和中国各供应一半，则可减排约59.5万吨二氧化碳；在中等减排目标（30%）下，减排潜力增至104.4万至143.2万吨二氧化碳；在高减排目标（50%）下为174万至238.6万吨二氧化碳；在变革性减排目标（75%）下为261万至357.9万吨二氧化碳，其中混合采购情景下的项目分别可减排119万、198.3万和297.4万吨二氧化碳。大部分减排潜力来自已完工项目，尽管在建项目（7万至34.9万吨二氧化碳）和规划中项目（0.8万至3.8万吨二氧化碳）仍可贡献可观的减排量。结果凸显了两个关键杠杆：高目标的采购要求和明智的采购选择。以电弧炉（EAF）工艺为主的本土钢铁通常排放较低，而对进口中国钢铁提出低碳标准要求，则可推动更深度的整体减排，并刺激供应地区的脱碳进程（见图ES2）。

图ES2：不同采购情景下，所分析交通与能源项目所用钢铁的二氧化碳减排潜力



来源：本研究。
注释：本研究涵盖的中国开发性金融项目仅包括重点交通与能源行业项目。

在“一带一路”项目中实施水泥和钢铁的绿色采购面临重大挑战。这些挑战包括：中国与东道国机构在治理框架上的差距；有限的排放数据与报告能力；低碳材料的较高成本；某些脱碳化钢铁与水泥生产技术的成本制约；以及对更严格标准的政治支持力度不一。然而，一系列有利条件可有效支撑其实施。这些因素包括：与全球绿色采购政策保持一致；中国开发性金融机构和国有企业（SOE）在推动供应链转型中的杠杆作用；东道国生产商的能力建设；通过合作推广石灰石煅烧粘土水泥和氢基炼钢等创新技术；以及与降低能源成本、提升竞争力、改善空气质量等发展目标的协同效应。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

参考文献

附录

建立针对中国海外开发性金融的绿色采购框架，对于减少“一带一路”基础设施项目的碳足迹至关重要。通过设定清晰的低碳钢铁和水泥标准，中国可以使其全球投资与气候目标保持一致，支持东道国的工业现代化，并在日益重视气候问题的市场中保持竞争力。表ES1中总结的建议概述了面向各部委、开发性金融机构和国有企业的具体行动，以及支撑有效实施的跨领域机制。

表ES1：“一带一路”绿色采购政策建议

行为主体	关键建议
监管部委： 商务部（MOFCOM）、国家发展和改革委员会（NDRC）、财政部（MOF）、住房和城乡建设部（MOHURD）、工业和信息化部（MIIT）、生态环境部（MEE）	- 联合发布针对海外项目的绿色采购指南，其中包含钢铁和水泥的碳强度基准 - 在招标和项目审批中，强制要求提供环境产品声明（EPD）或经核证的碳排放数据 - 建立与国际标准接轨的分级碳强度阈值（基础级、先进级、最优级） - 借鉴国内经验（如财政部采购清单、住房和城乡建设部绿色建筑标准），为制定海外指南提供参考 - 将绿色标准纳入境外投资审批与监管流程
开发性金融机构： 国家开发银行、中国进出口银行	- 在贷款申请中，要求提交包含采购策略与排放数据的绿色采购计划 - 为使用低碳材料提供金融激励措施 - 建立内部评分体系，对项目的采购绩效进行评级 - 发布技术指南和借款人案例研究报告 - 与国际金融机构（IFI）合作，协调统一标准并互认环境产品声明
国有企业，由国务院国有资产监督管理委员会（国资委，SASAC）监管	- 将低碳标准，如环境产品声明、碳强度阈值、生命周期评估（LCA），纳入供应商合同和采购规则 - 开展低碳钢铁和水泥采购的试点示范项目 - 通过增设绿色采购关键绩效指标（KPI），使国有企业绩效考核与气候目标对齐 - 提升采购人员和项目管理者的技术能力，并建立相关数据系统
跨领域实施机制	- 与国际标准进行协调对接，如ISO 14040/44、“负责任钢铁”认证、全球水泥与混凝土协会（GCCA）标准 - 通过培训、技术援助和南南合作，加强东道国的能力建设 - 建立健全的监测、报告与核证（MRV）体系，包括第三方审计和数字化追踪工具 - 为海外项目中使用的钢铁和水泥创建集中式的绿色材料登记平台



引言

中国的开发性金融机构在全球基础设施发展进程中扮演着重要角色。实证研究表明，这些机构提供的流动性和发展融资规模可观，为东道国的显著经济增长作出了贡献。由于专注于基础设施贷款，中国的开发性金融机构在破除基础设施瓶颈、提升能源可及性方面，其成效甚至超越了世界银行等传统开发性金融机构。同时，它们在全球经济治理中支持了南方主导的替代性机构，助力增加了补充性和替代性融资的规模，为东道国进一步提供了发展机遇（Gallagher等，2023年）。

然而，鉴于气候变化影响的日益加剧以及全球对能源转型的承诺，以国家开发银行和中国进出口银行为主的中国开发性金融机构正愈发认识到，必须使其投资组合与全球低碳能源转型保持一致。近期，大量关注点集中于中国开发性金融机构在发电项目（尤其是作为二氧化碳主要来源的燃煤电厂）贷款中的构成（例如，Kong和Gallagher，2021年；Springer，2022年）。

尽管中国海外贷款从化石燃料向可再生能源的转变是实现气候目标的关键一步，但中国推动全球基础设施建设的进程中，还存在另一个主要的排放驱动因素：碳密集型建筑材料的使用。钢铁和水泥几乎是所有基础设施（桥梁、港口、电站、铁路和公路）的核心材料。它们是必不可少的投入品，但也是全球生产中碳排放强度最高的材料之一。对于参与“一带一路”倡议的中国开发性金融机构和承包商而言，解决钢铁和水泥的隐含排放问题，是同样重要的气候行动前沿。

近几十年来，随着各国的工业化和城市化，全球对钢铁和水泥的需求急剧增长。在发展中经济体，尤其是“一带一路”项目集中的亚洲和非洲地区，这种需求预计将持续强劲。然而，钢铁和水泥的生产在全球工业温室气体（GHG）排放中占有最大份额。仅水泥生产就占全球二氧化碳排放量的7%以上，而钢铁生产则约为11%（Hasanbeigi，2021年，2025年）。

中国在这两个领域均占据主导地位，生产了全球超过一半的钢铁和水泥。随着国内需求（尤其是建筑领域）开始趋于平稳并在某些情况下出现下降，这引发了对中国这些产业长期经济竞争力的担忧。“一带一路”倡议帮助中国企业进入了新市场，中国企业得以出口钢铁和水泥，投资于海外生产设施，并为海外大型基础设施项目供应材料。因此，“一带一路”项目不仅蕴含着大量的材料相关排放，也影响着全球钢铁和水泥生产的未来轨迹。

“一带一路”倡议是全球规模最大的跨国基础设施融资计划，覆盖超过140个国家，调动了数千亿美元的资金。许多参与国对气候变化高度脆弱，面临着在发展需求与可持续性目标之间取得平衡的压力。例如，本研究发现安哥拉和埃塞俄比亚是“一带一路”基础设施项目中钢铁和水泥用量排名前五的国家，而它们在所有国家的气候脆弱性排名中均处于垫底的20%（美国诺特丹大学，2024年）。在“一带一路”框架下融资和建设的基础设施，将在较长时期内塑造其能源使用、交通系统和工业发展。如果使用传统的碳密集型材料建造，这些项目可能会损害东道国的气候承诺和全球净零排放目标的实现。

在中国海外能源和交通项目方面引入绿色采购标准，是降低这一风险、为东道国和中国创造共同利益的务实路径之一。通过将环境绩效要求嵌入钢铁和水泥的采购过程，中国金融机构和承包商可以减少项目的碳足迹，同时为低碳材料（包括从中国采购的材料，尤其是钢铁）创造需求。这种需求侧的信号可以加速东道国工业以及中国国内钢铁和水泥行业的脱碳进程，因为这些行业的生产商正日益寻求绿色的出口市场。

与已有商业化可再生能源替代方案的电力行业不同，钢铁和水泥行业的脱碳面临技术和经济上的挑战。水泥煅烧过程中的工艺排放，以及钢铁生产对碳密集型高炉的依赖，意味着要实现深度减排需要多种手段，从能效提升到替代材料、氢基直接还原铁和碳捕集技术。其中许多解决方案已经存在，但尚未大规模部署。

绿色采购可通过为低碳产品创造可预测的大规模需求，来弥合这一差距。欧盟和美国各州的公共采购计划已经证明，设定基于碳的产品标准可以影响行业行为（Hasanbeigi等，2019年）。将类似原则应用于“一带一路”项目，可同时实现两个目标：减少基础设施的隐含排放，并刺激整个供应链对更清洁生产技术的创新和投资。“一带一路”项目可以作为创新低碳水泥和钢铁技术的示范平台。通过将低碳要求纳入采购，中国可以帮助扩大对长期脱碳至关重要的技术的应用规模。

本报告量化了“一带一路”交通和能源项目中所用水泥和钢铁的潜在碳足迹，以及采用绿色采购标准可能带来的减排机会。利用项目级数据库，我们估算了材料需求规模，应用了针对具体国家的生产工艺和熟料系数假设，并在多种采购情景下对排放进行了建模。这些情景涵盖了从适度减排（15%）到与净零目标相一致的变革性情景（75%）。

本分析旨在实现三个目的。首先，它强调了“一带一路”基础设施中隐含排放的重要性，这一议题相较于化石燃料融资所受到的关注要少得多。其次，它展示了采购政策在推动难以减排行业实现减排方面的潜在作用。第三，它为中国的政策制定者、开发性金融机构、行业利益相关者以及“一带一路”东道国提供了实证依据，阐明今日的采购选择如何影响长期的脱碳路径。

本报告其余部分结构如下：第2节回顾了“一带一路”基础设施投资的规模及其对材料需求的影响。第3节概述了我们估算水泥和钢铁使用量及相关二氧化碳排放的方法。第4节展示了“一带一路”项目中隐含排放的基准结果。第5节探讨了在针对水泥和钢铁的不同绿色采购情景下（包括本土供应、中国供应和混合采购情景）的减排潜力。第6节讨论了发展融资中绿色采购的国际最佳实践。第7节总结了对“一带一路”相关方的政策启示和建议。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

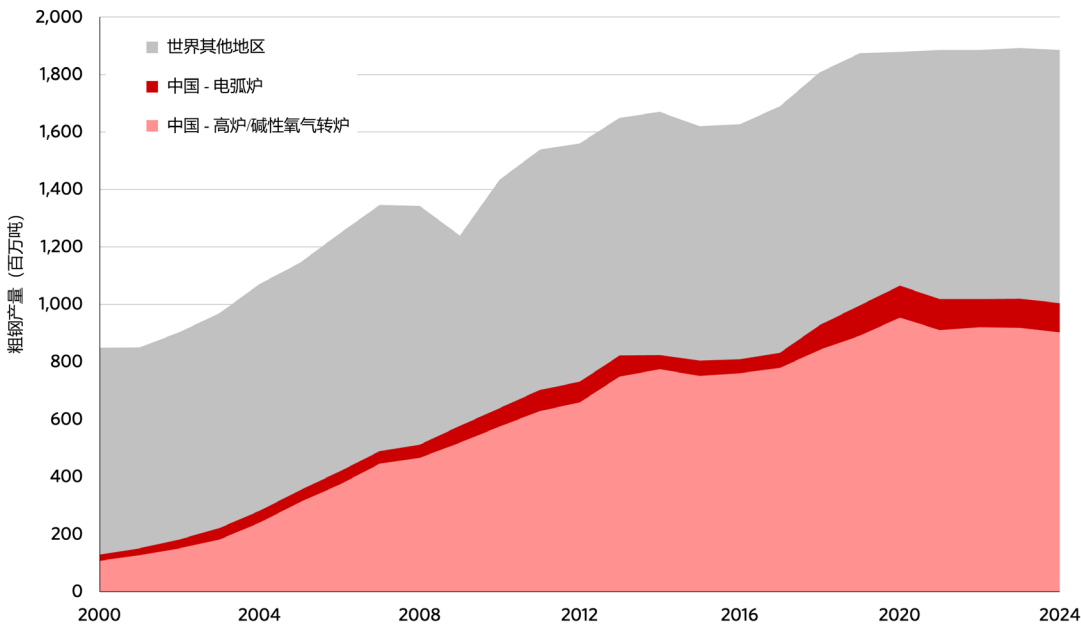
参考文献

附录

钢铁生产与二氧化碳排放

自2000年以来，全球钢铁产量增长了一倍多，这得益于中国钢铁产量的急剧增加。中国目前生产了全球53%的钢铁（世界钢铁协会，2025年；见图1）。受其经济结构变化和国内需求转变的驱动，未来几十年中国的钢铁产量预计将显著下降。几项研究预测，到2050年，中国的年度钢产量将降至6亿至7.5亿吨的区间（Hasanbeigi等，2023年），较2024年的10亿吨以上有所下降。这一下降主要归因于房地产行业的放缓、制成品出口增长乏力，以及能源、交通和卫生系统等重大基础设施建设的完成。

图1：粗钢产量，中国与世界其他地区对比（2000–2024年）



来源：世界钢铁协会（各年份）。
注释：BF-BOF=高炉-碱性氧气转炉；EAF=电弧炉。下文将进一步讨论这些生产工艺。

尽管中国钢铁产量放缓，但全球钢铁需求预计将从2024年的18.84亿吨增加到2050年的25亿吨（国际能源署，IEA，2020年），需求增长由南亚、非洲和中东的新兴市场驱动。如果没有重大干预措施来推动钢铁生产脱碳，这种增长也将导致钢铁行业的能源使用量和二氧化碳排放量增加。

钢铁生产是一个复杂的工业过程，涉及几种不同的工艺路径，每种路径都有不同的能源需求和相应的二氧化碳排放量。生产钢铁最常见的方法是高炉-碱性氧气转炉（BF-BOF）路径和电弧炉路径，新兴的替代方法包括直接还原铁（DRI）和熔融还原技术。

高炉-碱性氧气转炉路径约占全球钢铁产量的70%（世界钢铁协会，2025年）。在中国，高炉-碱性氧气转炉路径占当前钢铁产量的90%，其中煤炭是绝对主导的一次能源。高炉-碱性氧气转炉路径始于通过烧结和球团制备原料，将铁精矿粉聚结成适合在高炉中使用的较大颗粒。这些制备步骤因燃料燃烧而排放二氧化碳。

接下来，冶金煤在无空气条件下加热以生产焦炭，这是一种多孔的富碳材料，在高炉中既充当燃料又充当还原剂。此过程因煤的燃烧和副产气体的释放而排放二氧化碳。在高炉中，铁矿石、焦炭和石灰石分层装料并经受热风喷吹。焦炭燃烧，产生还原铁氧化物所需的热量和一氧化碳，生成铁水。这一步是高度碳密集的，焦炭燃烧和铁矿石的化学还原过程均会排放大量二氧化碳。

铁水随后被转移到碱性氧气转炉中，向其中吹入纯氧以氧化并去除多余的碳。虽然转炉本身消耗的能源相对较少，但该过程会因氧气与铁水中的碳发生反应而排放二氧化碳。总体而言，在一个主要使用煤炭的国家新建的联合高炉-碱性氧气转炉炼钢厂，每生产一吨粗钢约排放2.3吨二氧化碳（世界钢铁协会，2025年）。

电弧炉路径约占全球钢铁产量的29%，主要依赖回收的废钢，但也可使用生铁和直接还原铁作为原料。电弧炉利用电能在碳电极和废钢之间产生电弧，将其熔化成钢水。电弧炉的能源使用量显著低于高炉-碱性氧气转炉操作。由于电弧炉（在使用废钢时）不需要焦炭或还原铁矿石，其直接二氧化碳排放量较低，但辅助过程中燃烧化石燃料、电极消耗以及发电过程（尤其是在电网依赖化石燃料的地区）仍会产生排放。

直接还原铁工艺涉及使用天然气、煤或氢气在固态下化学还原铁矿石。最常用的技术MIDREX使用竖炉，其中氢气和一氧化碳的混合物（来自重整的天然气）与铁矿石球团逆向流动，剥离氧气，生成直接还原铁或“海绵铁”，而直接还原铁随后可用作电弧炉的原料。虽然该路径避免了能源密集的焦炭和高炉步骤，但使用化石基还原气体仍会排放二氧化碳。然而，如果使用绿色氢气，该路径具有显著减少二氧化碳排放的潜力。目前，直接还原铁-电弧炉路径仅占全球钢铁产量的约0.5%（世界钢铁协会，2025年）。

钢铁在转炉或电弧炉中生产出来后，要经过铸造、轧制和精整工序，包括对钢进行再加热和成型，以制成最终产品。这些步骤也会因消耗电力和/或加热用燃料而产生一些二氧化碳排放。

鉴于高炉-碱性氧气转炉钢铁生产工艺的碳强度及其在全球的主导地位，钢铁生产产生的二氧化碳排放占全球二氧化碳排放总量的11%（或占全球温室气体排放的7%）。

由于结构性、技术性、监管性和资源相关因素的综合作用，不同国家的钢铁生产碳强度差异很大。最重要的决定因素之一是高炉-碱性氧气转炉与电弧炉生产的占比，因为电弧炉生产的二氧化碳排放通常较低。美国、土耳其、墨西哥和意大利等国的电弧炉生产占比较高，因此其平均碳强度较低。相比之下，中国和印度严重依赖碳强度更高的高炉-碱性氧气转炉路径。其他影响因素包括燃料结构、电网的碳强度（对以电弧炉为主的生产商至关重要）以及钢铁厂的役龄和效率。环境法规、产能利用率和当地能源价格也会影响碳强度。因此，钢铁生产的碳足迹不仅受技术选择影响，还受到更广泛的国家工业和能源背景的塑造（Hasanbeigi，2022年）。这些差异，根据钢铁的来源地，会影响基础设施项目中隐含的碳排放总量。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

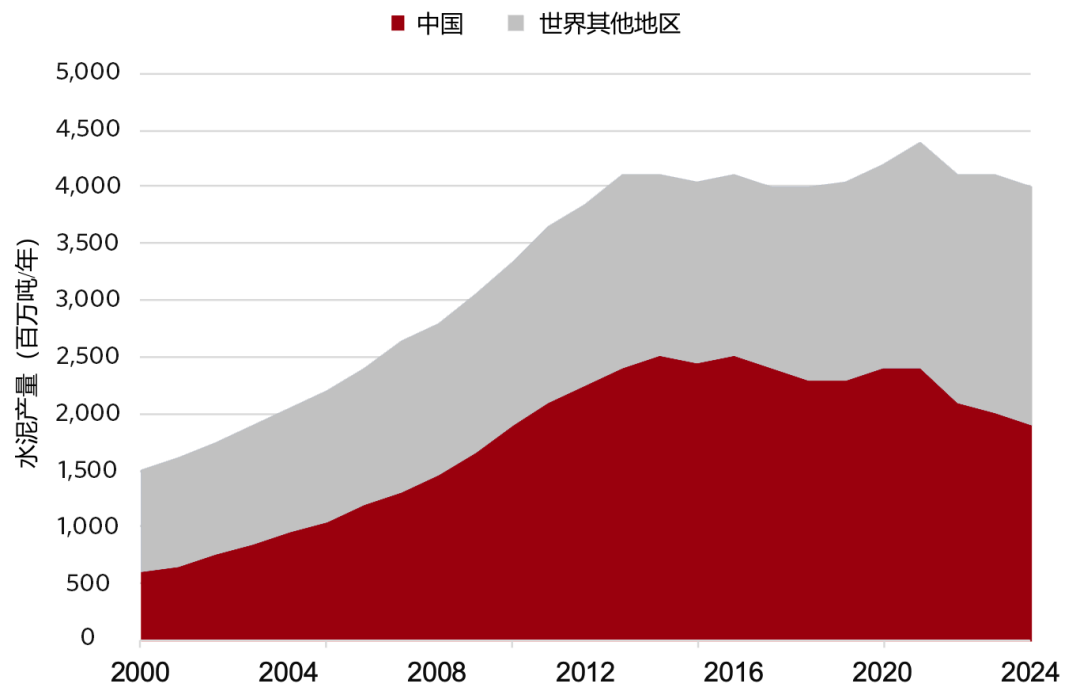
参考文献

附录

水泥生产与二氧化碳排放

自2000年以来，全球水泥产量的增长甚至超过钢铁，在2000年至2024年间产量增长了近两倍（图2）。水泥是混凝土中的关键胶凝材料，而混凝土是全球最常见的人造产品。中国是全球最大的水泥生产国，产量占世界总量一半以上，并占据自2000年以来全球水泥需求增长的大部分，这主要归因于快速城市化进程和大规模基础设施建设。中国生产的水泥几乎全部用于满足国内需求，这与约有7%用于出口的钢铁行业存在关键差异。

图2：水泥产量，中国与世界其他地区对比（2000–2024年）



来源：Hasanbeigi等（2024年）。

全球水泥需求预计将因各地区经济发展、城市化和人口增长路径不同而呈现不均衡增长。随着中国经济成熟和基础设施扩张放缓，其水泥需求预计将显著下降。经济合作与发展组织（OECD）国家的水泥需求预计将稳步下降，到本世纪末减少近50%，这反映了其基础设施老化和增长放缓。非洲、亚洲和中东地区的城市化和人口增长预计将推动水泥需求上升。尤其是非洲，尽管人均消费量较低，但由于人口快速增长，预计到本世纪末将成为世界上最大的水泥生产地。根据荣鼎集团的预测，从各地区来看，水泥产量预计将持续逐年增长，直至2040年达到峰值，之后将下降并趋于平稳（Rutkowski等，2024年）。除非采取重大的脱碳措施，否则未来15年产量的持续增长也将意味着与水泥生产相关的温室气体排放量的增加。

水泥生产过程既是能源密集型，也是排放密集型的，几乎在每个阶段都会产生温室气体排放。该过程始于采矿和采石，即提取原材料（主要是石灰石）、粘土和页岩，这些材料通常在水泥厂附近获取。虽然这一阶段仅贡献总二氧化碳排放量的约5%，但由于石灰石资源的可用性，它是将水泥生产锚定在特定地理位置的必要的的第一步。

接下来是原料制备和粉磨，包括将开采的矿物粉碎并研磨成细粉或泥浆，具体取决于采用干法还是湿法工艺。干法工艺更节能，水分含量约为0.5%；而湿法工艺由于水分含量更高（高达40%），能耗显著增加。此阶段消耗大量电力。

碳强度最高的阶段是熟料生产，即将研磨后的原料在回转窑中加热至1500°C以上。熟料是水泥生产中的中间产物，这一阶段占水泥生产总能源使用的90%以上，并几乎消耗全部燃料。同时，碳酸钙（CaCO₃）转化为氧化钙（CaO），并释放二氧化碳，这种化学反应就是“煅烧”过程。仅此步骤就约占水泥生产总二氧化碳排放量的60%，每生产一吨熟料约排放520公斤二氧化碳。

熟料形成并快速冷却（以保持特性）后，工艺进入终粉磨阶段，即将熟料与少量石膏以及可能的其他辅助胶凝材料（SCM，如粉煤灰或矿渣）混合，以生产最终的水泥产品。此步骤也根据材料硬度和所需细度消耗电力。虽然电力使用产生的二氧化碳排放相对较少（约占排放总量的5-10%），但各地区因其当地电网的碳强度不同而有所差异。

最后，水泥用于生产混凝土，混凝土由水泥浆与细骨料和粗骨料混合而成。虽然水泥按体积计只占混凝土的一小部分，但它对混凝土的碳足迹负有绝大部分责任。

各国水泥生产的碳强度差异显著，主要源于最终产品中熟料用量的不同（因为熟料生产是水泥生产过程中排放最密集的步骤）。中国和印度等国每吨水泥的二氧化碳排放强度处于全球最低水平，因为它们在水泥中掺入了高比例的辅助胶凝材料，从而减少了所需熟料的用量。相比之下，美国，尤其是加利福尼亚州，其位居前列的高强度排放主要是由于高熟料和水泥比。导致这种高强度的其他因素包括水泥厂役龄较长、生产的水泥类型以及熟料粉磨的细度，所有这些都会影响能源使用和排放。虽然燃料结构也起一定作用，因为不同燃料的碳强度不同，但熟料系数仍然是解释国家间水泥相关排放差异的主导因素。这些差异，根据水泥的来源地，会影响基础设施项目总体的碳足迹。

鉴于钢铁和水泥生产的碳强度，激励基础设施项目进行更绿色的采购政策，可以在减少特定项目的总体排放影响。凭借其发展使命和在新兴市场中扮演的先行者角色，中国的开发性金融机构完全有能力在设定国际融资基础设施项目的钢铁和水泥绿色采购标准方面发挥变革性作用。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

水泥和钢铁在全球基础设施项目中的作用

钢铁因其强度、耐久性和多功能性，是全球基础设施发展的基础材料。钢铁的特性，如承受拉力和压力的能力、耐腐蚀性（经处理后）和易加工性，使其成为大型基础设施项目的关键材料（Kadezabek，2023年）。通常，基础设施项目中使用的钢铁可以通过任何生产工艺（如高炉-碱性氧气转炉或废钢-电弧炉）生产。某些应用需要特种或高品质钢材，这些只能通过高炉-碱性氧气转炉生产；然而，就本分析而言，我们假设中国海外基础设施项目中使用的钢铁可以通过任何生产工艺采购。需要注意的是，中国90%的钢铁产量是通过高炉-碱性氧气转炉路径生产的。

钢铁是中国开发性金融机构提供发展融资的行业（特别是能源和交通行业）所必需的材料。在能源领域，钢铁对于电站建设至关重要，用于锅炉、汽轮机、发电机、压力容器和配套基础设施。它也是能源传输和分配系统的关键组成部分，包括输电塔、变电站和输电线路的线芯。在化石燃料开采中，钢铁用于钻机、管道和储罐。在交通领域，它是公路、铁路、桥梁和机场建设的基础。例如，钢筋对于增强公路和桥梁的耐久性至关重要，而钢轨对于铁路基础设施不可或缺。钢铁也用于港口设施（包括起重机、码头和航站楼）的建设，以及地铁和轻轨系统的发展，其中钢结构和轨道构成了基础设施的骨架。

由于本报告聚焦于接受中国开发性金融的电站、公路和铁路项目中的钢铁和水泥使用，我们接下来阐述钢铁如何用于这些类型的项目。钢铁对电力行业至关重要，因为它提供了结构完整性、耐高温高压能力以及在严苛运行条件下的耐久性。实际上，在所有这些能源系统中，钢铁都用于结构支撑和加固。它通常用作混凝土基础和结构部件中的钢筋，以确保稳定性和抵抗压力、重量和环境应力等作用力。钢铁也是涉及机械运动或能量转换的系统所必需的，例如各类能源项目中的汽轮机和发电机（天津浦项集团，2025年）。

中国已为全球的火电、水电、核电和地热电站以及风电和太阳能项目提供了发展融资。在通过燃烧煤、天然气或石油等化石燃料发电的火电厂中，钢铁用于建造锅炉、换热器、压力容器和汽轮机。锅炉是火电厂中最关键的部件之一，需要优质钢材来承受内部压力和燃烧产生的热量。常用材料包括碳钢和合金钢，部分极端高温部件（如过热器和再热器）则需要高级合金钢等级。钢管和管道对于在整个系统中输送蒸汽和水也至关重要。水电站尤其依赖钢铁，尤其是在大坝、水轮机、压力管道和发电机的建造中。压力管道是将水从水库引向水轮机的大型管道，通常由碳钢制成，以承受流经其中的巨大水压。地热发电厂主要依靠钢铁建造管道和涡轮机部件。管道系统将高温的地热流体从地表输送到电厂的发电系统，用于输送的钢管通常由碳钢或不锈钢制成。

在核电站中，钢铁广泛用于关键区域，如反应堆压力容器、蒸汽发生器、冷却系统和安全壳结构。发生核裂变反应的反应堆压力容器由高强度合金钢或不锈钢制成，以承受反应堆内部的极端压力和温度条件。类似地，不锈钢和合金钢用于蒸汽发生器和冷却系统，以确保长期耐久性和耐腐蚀性，因为这些部件既接触高压蒸汽，也可能接触放射性物质。旨在防止辐射泄漏的安全壳建筑，是一种钢筋混凝土结构，使用碳钢、不锈钢和钢筋混凝土的组合。

在风电场中，钢铁主要用于建造风力发电机的塔架和地基。塔架通常由碳钢或高强度钢制成，为沉重的转子和叶片提供必要的支撑，同时承受极端风力和环境条件的影响。钢铁也用于下部结构和加固地基，以确保稳定性，尤其是在风力强劲的地区。钢铁也是齿轮箱、制动器和涡轮机械系统中其他运动部件的关键材料。

尽管钢铁在太阳能电池板或大型太阳能电站中的使用较少，但它用于安装太阳能电池板的结构支架以及太阳能跟踪系统等配套基础设施。太阳能电池板支架必须由耐腐蚀的镀锌钢或不锈钢制成，以经受户外暴露。钢铁梁和柱用于电站支撑结构的建造，而钢管可能用于水冷系统。钢铁也用于逆变器的制造，逆变器将电池板产生的直流电转换为并入电网的交流电。

钢铁是道路建设和加固中必不可少的材料，它拥有高强度、耐久性，以及承受重载和环境应力的能力。在混凝土道路建设中，它主要以钢筋和钢丝网的形式被嵌入混凝土中，以增强其抗拉强度并防止开裂。混凝土虽然抗压强度高，但抗拉强度可能较弱，因此加入钢材可以提供急需的支持，以处理可能导致损坏的拉伸和弯曲力。钢铁也是道路网络中桥面、立交桥和涵洞建造的组成部分，其中的钢梁、钢筋混凝土桁架和钢支撑确保这些结构能够承载巨大重量，并抵抗持续交通和恶劣天气条件的磨损。但需要注意的是，沥青公路是许多中国融资的海外基础设施项目中最常见的道路类型，而这些道路不需要大量的钢材。

钢铁是铁路建设的基础材料，特别是在钢轨、铁轨和轨枕中。钢轨本身通常由高碳钢或合金钢制成，能够承受列车的重载和应力，同时保持光滑耐用的表面以确保安全通行。轨枕要么完全由钢制成，要么带有钢筋加固，用于将钢轨固定在地面上并保持正确的轨道对准。钢铁也用于桥梁、高架桥和隧道的建设。这些结构需要钢梁、钢筋混凝土桁架和钢支撑，以提供必要的强度、柔韧性和对环境应力的抵抗能力。

与钢铁一样，水泥是基础设施发展中最关键的材料之一，尤其是在能源和交通领域。作为混凝土中的主要胶结材料，它对构建大多数类型基础设施项目中的基础元素至关重要。其强度、耐久性、抗环境退化能力以及多功能性，使其成为需要长使用寿命和抵御自然及机械应力的项目的必需材料（美国水泥协会，ACA，2025年）。

水泥广泛用于各类电站，为基础支撑和安全壳结构提供材料。在火电厂中，水泥对于汽机房、锅炉基础、冷却塔和烟囱内衬至关重要，确保了在严酷条件下的稳定性和耐热性。水电站依赖于庞大的水泥结构，包括大坝、溢洪道和输水渠道，这些结构必须承受静水压力和水流冲刷。水泥用于建造陆上和海上风电场的风机基础，其设计旨在保持风机在高风载下锚定稳固。太阳能项目使用少量水泥，用于预制面板基脚、安装支架系统和电气设备基础（Clinker Production，2025年）。在核电站中，水泥用于安全壳建筑、反应堆基础、辐射屏蔽墙以及需要卓越结构完整性、长寿性和安全性的其他屏障。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

水泥对于交通基础设施，特别是公路的建设和耐久性至关重要。它是混凝土路面的关键成分，赋予路面抗压强度和使用寿命，使其能承受重型车辆荷载并抵抗持续摩擦。通过适当的维护，混凝土路面可以使用30至50年，从而降低了生命周期成本，并最大限度地减少了维修造成的中断。水泥还用于路缘石、挡土墙、桥面板、中央隔离带以及连接各种结构构件的预制件。但同样需要指出，接受中国发展融资的大多数道路项目是沥青公路，它们使用的混凝土/水泥量极少。

铁路系统在很大程度上依赖水泥来建设轨道和支持性基础设施。水泥用于生产混凝土轨枕、站台基础、桥梁支座、涵洞和隧道，凭借其卓越的抗压强度来承受过往列车的动态荷载以及户外暴露的环境应力。基于水泥的混凝土也因其隔音和减震特性而备受青睐，这对于轨道稳定性和乘客安全至关重要。预制水泥结构的使用加快了施工进度，并能对沿铁路走廊的基本要素（如车站建筑、维护设施和挡土墙）实现更好的质量控制。



中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国海外开发性金融概况及行业流向

中国通过一系列国家主导、商业运作的机制为其海外基础设施项目提供融资，这些机制调动了其政策性银行、国有企业，并日益借助其商业银行、特殊目的载体和其他实体。中国的开发性金融提供了一种独特的商业与私营部门融资相融合的模式。为助力中国金融资本和企业“走出去”，中国的开发性金融机构为中国商业金融机构、国有企业及其他企业作为投资者或服务提供商参与其中，创设了协同信贷空间（Chin和Gallagher，2019年）。中国的开发性金融机构能够为发展中国家政府提供成本较低但非优惠的融资，从而帮助中国投资者和寻求海外市场的出口企业降低融资环境的风险。

中国海外基础设施项目的融资模式通常为主权贷款、出口信贷或项目融资。此类融资多为债务型，通常以向外国政府或国有实体提供贷款的形式进行。除贷款外，中国的融资还包括其他类型，如股权融资。中国的海外开发投资基金主要投向能源资源、一般基础设施、制造业和农业等关键的发展导向型基础设施领域（Moses等，2022年）。近年来，中国越来越多地尝试采用公私合作伙伴关系（PPP）和建设-经营-转让（BOT）模式。这些模式允许中国公司在固定期限內投资并运营基础设施，通过用户付费或收取服务费收回成本，之后再移交给东道国。此外，中国银行也通过银团贷款，与国际多边机构或当地银行以共同融资安排的方式合作，以分散风险。

中国的海外基础设施融资主要由两家政策性银行驱动：国家开发银行和中国进出口银行。作为中国最大的开发性金融机构，国家开发银行为海外战略性项目提供长期融资，并广泛参与全球范围内的能源、矿产和大型基础设施项目。中国进出口银行则专注于出口信贷和优惠买方信贷，在促进涉及中国企业的贸易和基础设施交易中发挥关键作用。

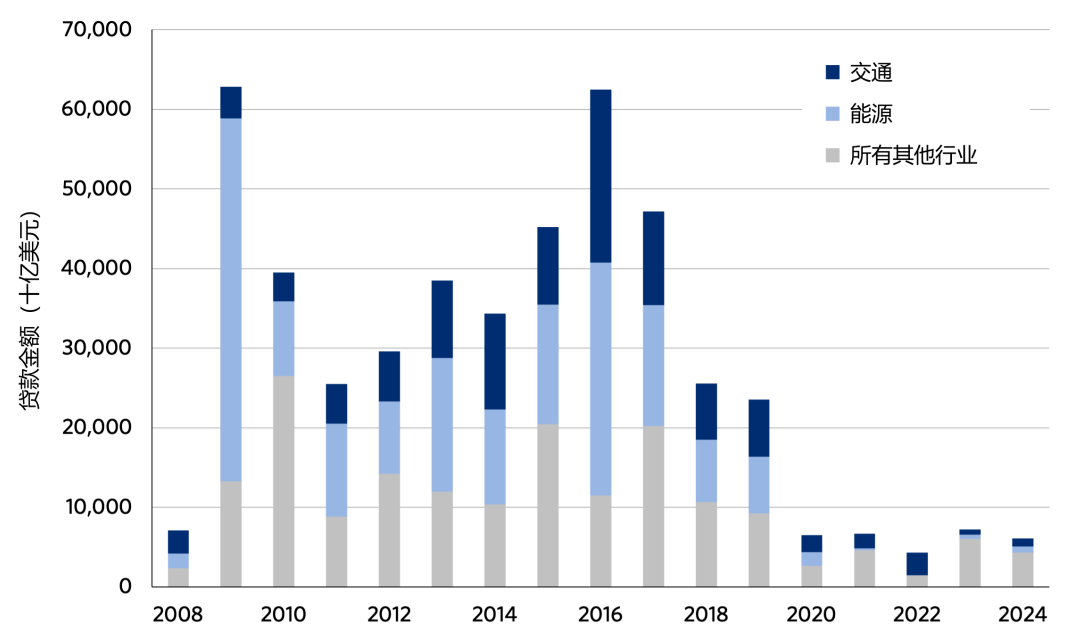
在本报告中，我们将基础设施项目的范围界定为由这两家开发性金融机构提供贷款、借款方为公共部门，即公共和公共担保（PPG）贷款。

自2008年以来，中国的开发性金融机构已承诺向全球众多基础设施和发展项目提供4720亿美元的公共和公共担保贷款（Ray等，2025年），涉及能源、采矿、交通、电信、供水与卫生、金融、教育、卫生等多个行业。

能源一直是中国海外开发性金融最大的行业流向，自2008年以来获得1840亿美元，其中大部分贷款于2008年至2019年间承诺。在能源行业内，化石燃料开采是获得融资最多的子行业，其次是电力生产，再次是能源输配。在电力生产中，海外煤电和水电项目在中国开发性金融机构的融资中占据最大份额。

交通是中国海外开发性金融的第二大行业流向。交通相关项目包括公路、铁路、机场、桥梁、地铁、轻轨和港口。如图3所示，从长期来看，能源和交通行业合计占中国海外开发性金融的大部分。

图3：中国海外开发性金融分布（按年份和行业，2008–2024年）



来源：中国海外开发性金融数据库（CODF），波士顿大学全球发展政策研究中心（GDP中心），2025年。
注释：本研究并未分析该数据库中所有的能源和交通项目，而是针对下文所述的一个特定子集进行分析。

并非所有接受中国发展融资的项目都有实体建设。中国的开发性金融机构也为公共机构提供一般预算支持，并向国家及区域开发银行以及其他国家政府金融项目提供转贷。这类项目与建设或实体基础设施无直接关联，不直接消耗钢铁和水泥，因此不在本分析的范围之内。

- 执行摘要
- 引言
- 中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求
- 中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源
- 中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量
- 中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量
- 绿色采购的国际最佳实践
- “一带一路”绿色采购政策建议
- 结论
- 参考文献
- 附录

中国海外基础设施发展的气候影响

尽管中国正在海外支持可再生能源项目，但其历史上在全球能源领域的大部分融资都流向了化石燃料。从2008年到2024年，中国的开发性金融机构为能源领域承诺了1840亿美元的海外发展融资，其中约三分之二用于化石燃料基础设施（波士顿大学GDP中心，2025年b）。在电力领域，燃煤电厂迄今为止在中国资助的发电装机容量中占据最大份额。

此类化石燃料基础设施导致了大量的温室气体排放。全球范围内由中国提供融资的电厂运营所产生的年排放总量约为2.87亿吨二氧化碳（波士顿大学GDP中心，2025年a）。如果目前在建或规划中的、接受中国融资和外商直接投资（FDI）的电厂全部投产，每年可能再增加5300万吨二氧化碳排放。从全生命周期排放的角度看，有中国母公司或工程、采购和建设公司参与的亚洲（中国以外）煤电厂，预计在其剩余生命周期内将排放110亿吨二氧化碳，占亚洲煤电厂生命周期总排放量的31%（Springer等，2021年）。

除了基础设施运营产生的直接排放或钢铁、水泥等材料的隐含排放，中国的海外基础设施还通过若干间接渠道对气候产生影响。例如，为修建公路、铁路、管道或水电站大坝而清理东南亚、非洲或拉丁美洲的热带雨林等森林区域，会导致关键碳汇的丧失，释放大量储存的碳，并削弱未来的碳吸收能力。带有大坝的水电站虽然常被归类为“清洁能源”，但淹没植被的分解会释放强效温室气体甲烷，从而产生排放。

对化石燃料勘探和开采的基础设施投资，可能会增加全球化石燃料供应，从而压低价格并刺激持续的消费，这会削弱全球减缓气候变化的努力。对其他碳密集型行业（如采矿业和制造业）的支持也可能产生类似效应，而交通或能源基础设施的改善往往又为这些行业的发展提供便利或扩张条件。

最后，环境和安全保障措施不足可能导致减缓措施执行不力，加剧这些间接影响，并降低基础设施的整体气候韧性。

除了作为二氧化碳的直接和间接排放源，中国的全球基础设施项目还面临着与气候适应和韧性相关的风险。与接受其他来源外商直接投资的项目相比，全球范围内接受中国外商直接投资的项目更多地暴露在与气候变化相关的水资源压力、洪水、飓风和台风风险之中（Li和Gallagher，2022年）。因此，在规划建设接受中国发展融资的全球基础设施项目时，气候减缓与气候适应都是重要的考量因素。

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

“一带一路” 建设项目中水泥与钢铁的预估用量

在中国的海外发展融资项目中（根据中国海外开发性金融数据库记录），交通（33.1%）和发电（23.2%）是最大的两个行业，两者合计占中国海外开发性金融项目总数和贷款总额的一半以上（见表1）。鉴于这两个行业同时也是建设密集型程度最高、水泥和钢铁用量最大的领域，我们的分析将主要聚焦于此。

表1：中国海外开发性金融项目与融资细分，2008-2024年

行业	项目数量（个）	占项目总数百分比	贷款金额（百万美元）	占贷款总额百分比
交通	432	33%	109,658	23%
能源	302	23%	183,855	39%
其他	570	44%	178,583	38%
总计	1,304	100%	472,096	100%

来源：作者自行编制。

在我们筛选的“一带一路”交通与能源行业项目中，我们选择重点关注公路、铁路和发电（电站）项目。这些子类别代表了钢铁和水泥用量的主要部分，并且相比港口、输电线路或管道等其他子行业，它们在材料使用需求方面有更完善的数据。

对于归属于这些类别的233个项目²，我们估算了水泥和钢铁的总用量（表2及图4、图5）。总体而言，根据2008年至2024年间的贷款承诺，本数据集中由中国提供全球发展融资的项目预计需要约360万吨水泥和250万吨钢铁³，其中水泥需求集中在能源项目，而钢铁需求在能源和交通项目之间几乎平均分布。“一带一路”项目中的水泥用量总体上大幅超过钢铁用量。

² 本分析仅限于中国海外开发性金融数据库和中国全球电力数据库（CGP）中具备地理定位的长度或容量数据的新建项目。由于翻新和改造项目的巨大差异性和缺乏可靠的材料强度估算，此类项目被排除在外。所有阶段（已完工、在建和规划中）的项目均包含在内。详细细分和汇总统计数据见附录。

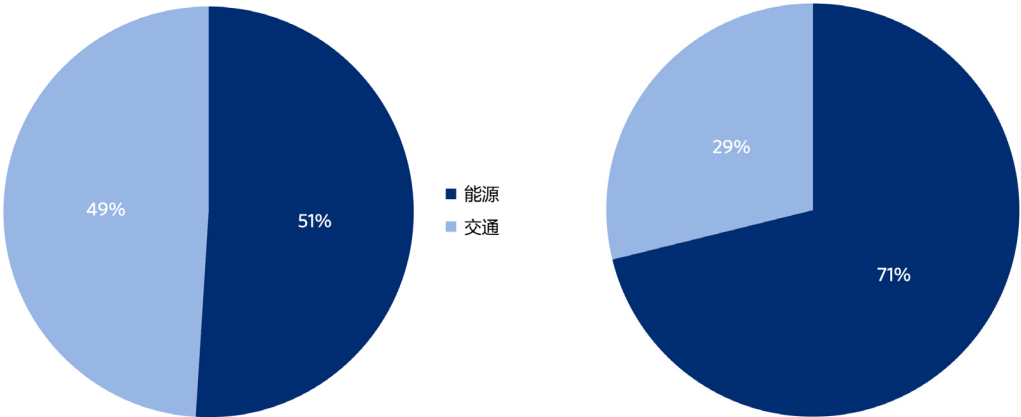
³ 贷款承诺作出后，项目建设可能于多年后才进行，我们在后文将根据项目的建设状态（已完工、在建和规划中）而非贷款承诺年份进行分类时会讨论这一点。

表2：本研究所涵盖行业的钢铁与水泥用量

行业	钢铁总用量（百万吨）	水泥总用量（百万吨）
能源	1.29	2.57
交通	1.23	1.04
总计	2.52	3.61

来源：作者自行编制。

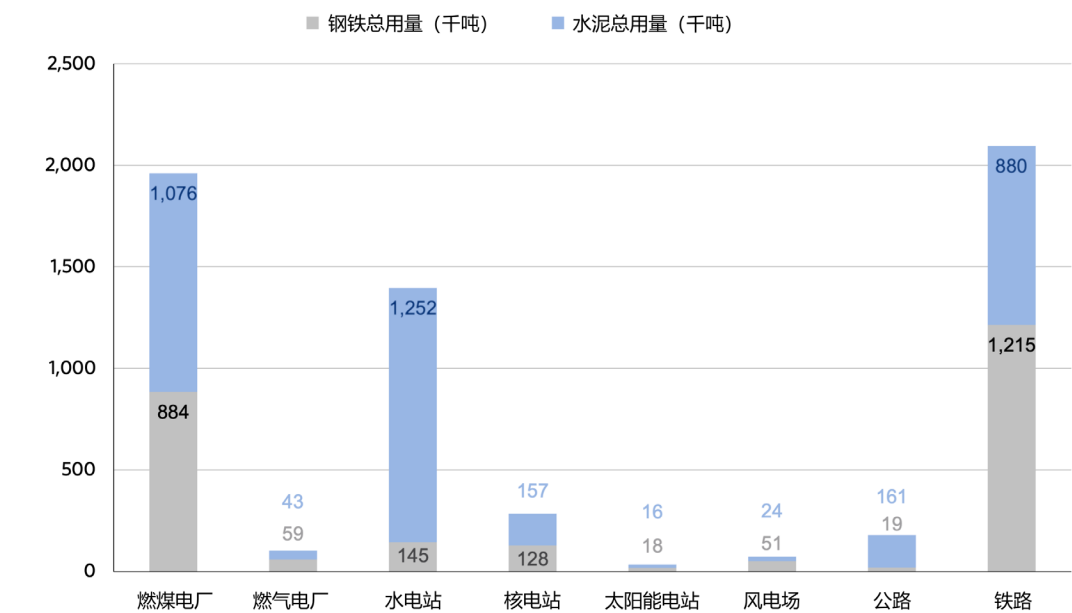
图4和图5：本研究所涵盖行业的钢铁（上）与水泥（下）用量



来源：作者自行编制。

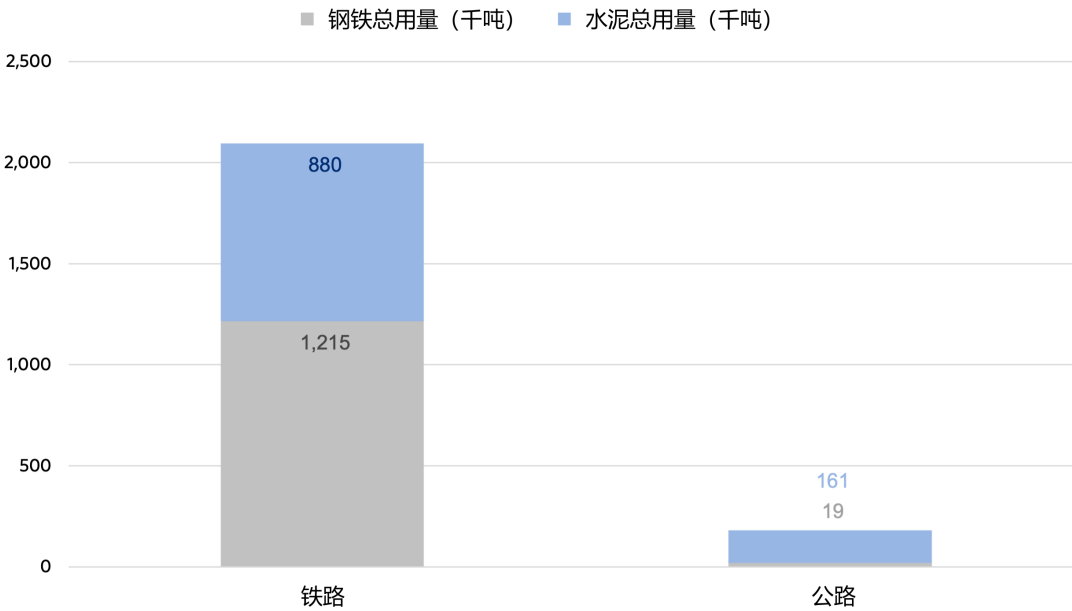
按子行业细分，不同基础设施类型在水泥和钢铁用量上存在显著差异。铁路占钢铁需求的最大份额，用量约120万吨，其次是燃煤电厂（88.4万吨）。在水泥方面，水电站占主导地位，用量超过125万吨，超过了燃煤电厂（108万吨）和铁路（88万吨）的水泥用量总和。这主要是由于建造基于大坝的水电站需要大量水泥，而这类电站在中国海外水电项目中非常普遍。其他行业贡献的用量则小得多：天然气电厂、核电站、风电场和太阳能电站合计占水泥和钢铁总用量的不到10%。公路项目虽然数量众多，但由于中国全球基础设施项目中以沥青公路为主，而这类公路不大量使用钢铁或水泥，因此其对总体用量的贡献相对较小（钢铁约1.9万吨，水泥约16.1万吨）（见图6和图7）。

图6：中国海外发展融资项目中各类电站的水泥与钢铁用量



来源：作者自行编制。

图7：中国海外发展融资项目中各类交通基础设施的水泥与钢铁用量



来源：作者自行编制。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

参考文献

附录

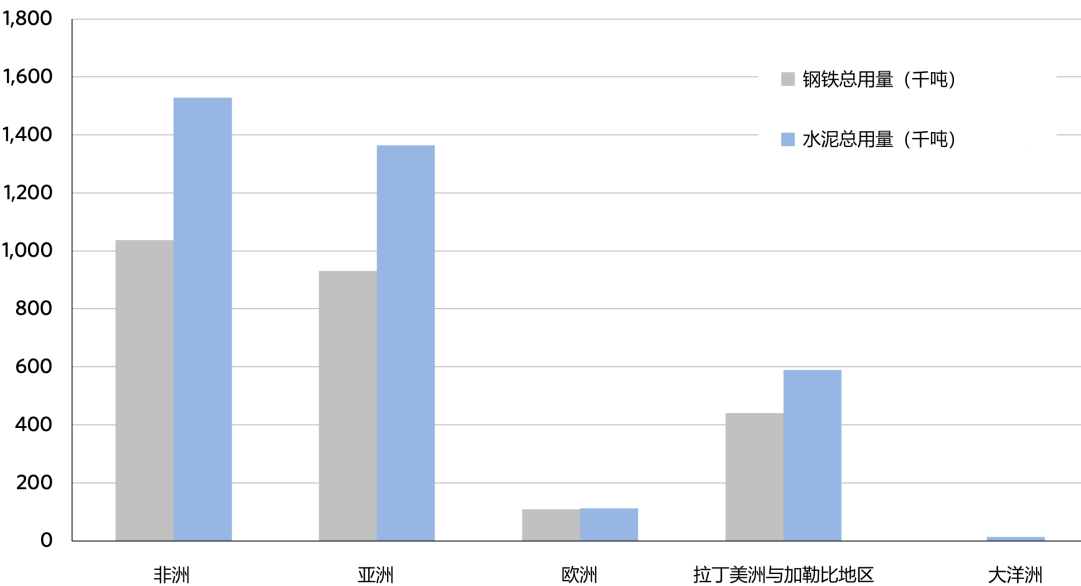
接受中国发展融资国家的材料使用区域分布

材料使用的区域分布反映了中国海外发展融资的总体格局，即集中在亚洲和非洲（图8）。钢铁和水泥用量的细分则体现了中国全球发展融资项目行业构成的差异以及东道国的产业特点（图9和图10）。

非洲总体上成为最大的消费地区，这可能归因于该地区众多的公路和水电项目。在亚洲，南亚和东南亚是钢铁和水泥的主要消费地区，这得益于大规模的水电和铁路建设。尤其是南亚，其水泥需求最高，反映了大型水电和燃煤项目的存在；而东南亚的钢铁需求相对较高，与铁路基础设施建设相关。中亚地区的情况则更为均衡，铁路建设产生了大量钢铁需求，同时也有耗用水泥的水电大坝项目。相比之下，欧洲和中东对总量的贡献相对较小，反映了数据集中这些地区大型建设项目数量较少。

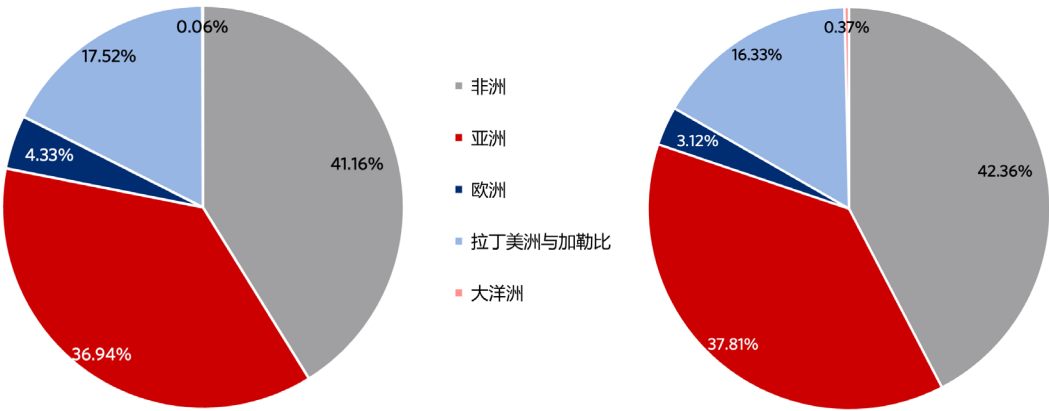
总体而言，虽然各地区对这两种材料都有需求，但其分布显示出清晰的模式：水泥需求集中于水电项目密集的地区（南亚、非洲），而钢铁需求则在交通项目密集的地区（非洲、东南亚、中亚）最高。

图8：各洲钢铁与水泥总用量



来源：作者自行编制。

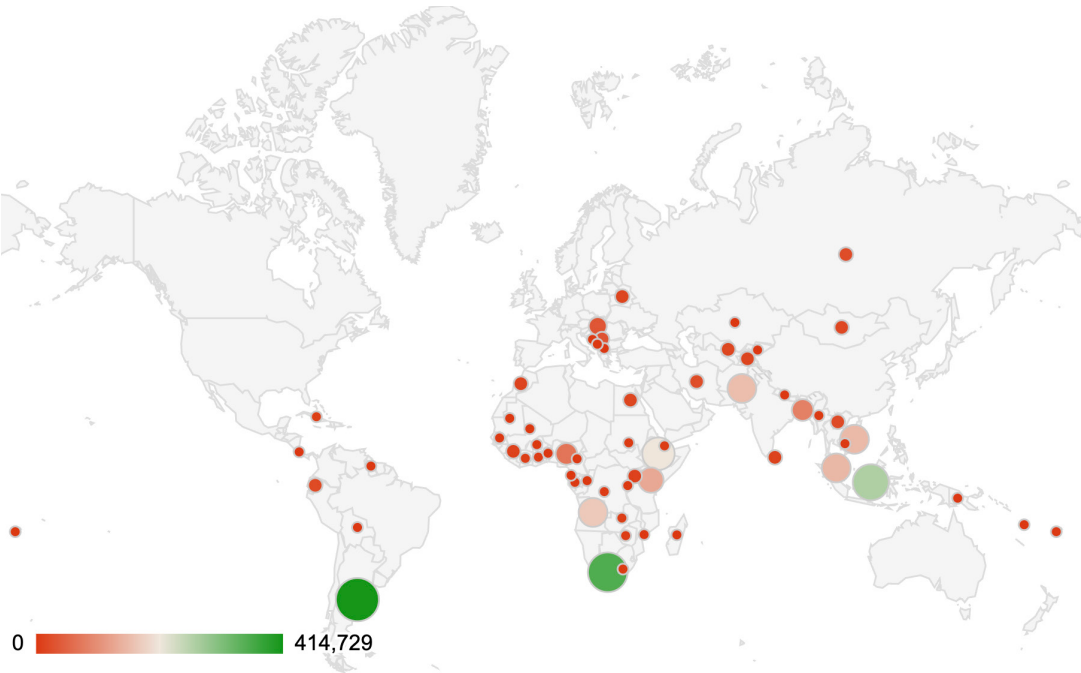
图9和图10：各洲钢铁（上）与水泥（下）用量占比



来源：作者自行编制。

在国家层面，钢铁用量的分布高度集中，少数国家占据了大部分需求。阿根廷、南非和印度尼西亚是前三大消费国，三者合计约占前二十个国家钢铁总用量的三分之一。其他用量较大的国家包括埃塞俄比亚、安哥拉、巴基斯坦、越南和马来西亚，每个国家的用量均超过15万吨，这反映了这些国家在交通和电力项目上的重大投资。非洲，肯尼亚、尼日利亚、埃塞俄比亚和安哥拉占据了相当大的需求份额，凸显了中国在该大陆发展融资项目的密集材料使用。在亚洲，巴基斯坦、越南、马来西亚、孟加拉国和老挝也位列前茅；而在欧洲，匈牙利和塞尔维亚因大型铁路项目而用量突出。其余国家，包括伊朗、俄罗斯、厄瓜多尔、蒙古、埃及和乌兹别克斯坦，用量较小，通常各低于2.5万吨（见图11）。

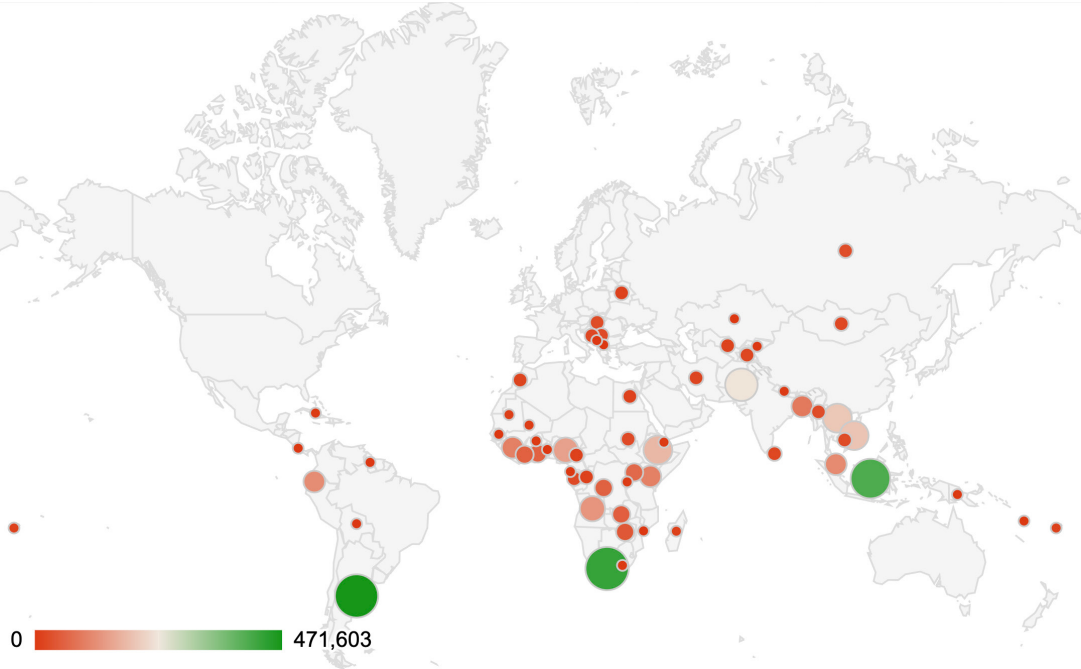
图11：接受中国发展融资的选定能源与交通项目中钢铁用量的全球分布（按国家，单位：吨）



来源：作者自行编制。

“一带一路”项目中的水泥需求也高度集中，阿根廷、南非和印度尼西亚以明显优势领先；每个国家的水泥用量均超过40万吨，三者合计约占前二十个国家总用量近三分之一。其他主要消费国包括巴基斯坦、老挝和越南（各消耗约18万至23万吨），这很可能是大型水电和燃煤项目的结果。在非洲，埃塞俄比亚、尼日利亚、安哥拉、肯尼亚、几内亚、乌干达、加纳、刚果民主共和国、科特迪瓦、赞比亚和津巴布韦等一系列国家共同推动了可观的水泥需求，尽管大多数国家的单独用量低于15万吨。总体而言，与钢铁相比，水泥用量在非洲国家的分布更为广泛，有多个中等用量国家；而亚洲仍只有少数国家占据本分析量化的大部分水泥（见图12）。

图12：接受中国发展融资的选定能源与交通项目中水泥用量的全球分布（按国家，单位：吨）

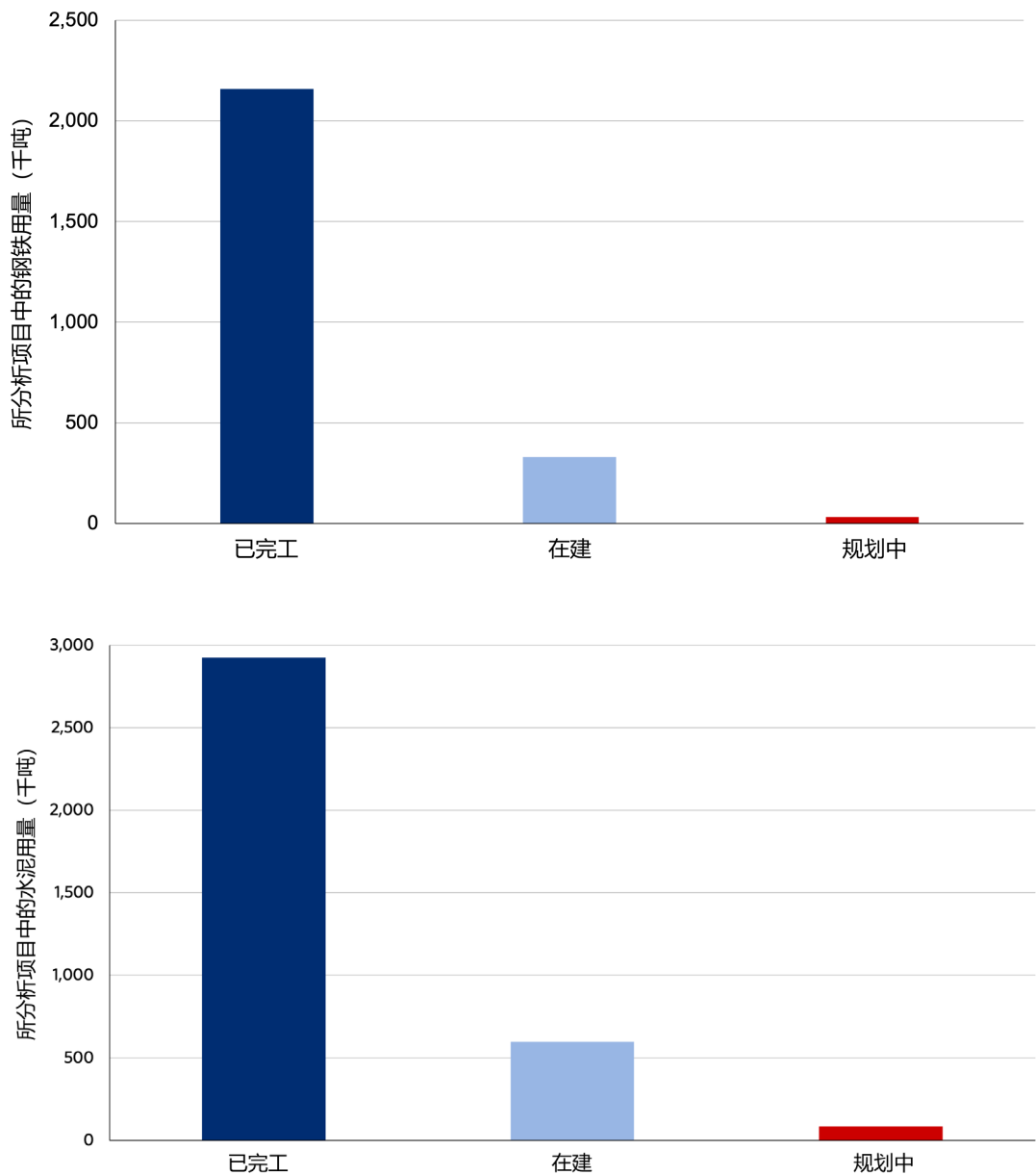


来源：作者自行编制。

总而言之，水泥和钢铁用量的区域和国家模式有所不同。水泥需求广泛分布于众多“一带一路”国家，尤其是在水电和燃煤项目驱动下用量巨大的非洲和南亚。相比之下，钢铁需求则更集中于阿根廷、南非、印度尼西亚和埃塞俄比亚等少数国家，这可能反映了关键铁路及其他交通投资的材料密集度。

我们还按项目状态对所分析项目中的水泥和钢铁用量进行了分类（图13和图14）。在三种项目状态（已运营、在建、规划中）中，目前的绝大部分用量来自已运营项目，这反映了2020年之前中国海外发展融资和大型基础设施贷款的历史性较高流量。尽管基础设施项目从开工建设到投产可能需要多年时间，但中国的海外发展融资从2016年到2022年逐年下降。

图13和图14：所分析项目中钢铁（上）与水泥（下）用量（按项目状态）



来源：作者自行编制。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

中国全球基础设施项目的水泥与钢铁采购来源

鉴于水泥运输成本高且本身沉重，某一国家内的建筑项目所需水泥通常在当地采购。此外，与需要更大量资本投入的钢铁生产相比，全球水泥生产在国家间的分布也相对更广。

对中国资助的基础设施项目的若干案例研究表明，这些项目遵循了这一趋势，水泥通常从国内供应商处采购。这既反映了高昂的运输成本，也在许多情况下反映了当地成分要求。相比之下，钢铁，尤其是铁路项目用钢，由于质量标准和规格要求，更常从中国进口（Yang，2022年）。例如，在巴基斯坦的卡洛特水电站项目（2016-2022年）中，水泥是在当地采购的（中国国际电视台，CGTN，2021年）；而在柬埔寨的金港高速公路（金边-西哈努克港）项目（2019-2022年）中，所需的50万至60万吨水泥来自贡布水泥厂（与暹罗水泥集团的合资企业）等本土工厂，但钢铁是进口的，鉴于当地缺乏大型钢厂，很可能进口自中国（《金边邮报》，2019年）。同样，在尼日利亚的拉伊铁路（拉各斯-伊巴丹）项目（2017-2020年）中，156公里轨道使用了从中国进口的钢轨，而混凝土则可能从包括丹格特水泥公司和拉法基非洲公司在内的当地供应商处采购（Abolarin，2017年；Lewis，2017年）。

为说明钢铁原产地对其整体碳足迹的重要性，我们描述了数据集中钢铁用量排名前列国家的钢铁来源。在中国发展融资项目中钢铁用量排名前五的国家是阿根廷、南非、印度尼西亚、埃塞俄比亚和安哥拉。除埃塞俄比亚外，所有这些国家都是国内钢铁生产国，其钢铁产量远高于中国资助项目中的使用量。为便于分析，我们假设埃塞俄比亚为中国发展融资项目从中国进口钢铁，这与上述案例中的情况一致。

阿根廷、南非和印度尼西亚有相当大比例的钢铁是通过高炉-碱性氧气转炉工艺生产的，这使得这些国家生产的钢铁碳强度仅略低于中国生产的钢铁。然而，安哥拉通过废钢-电弧炉工艺生产钢铁，因此其国内来源的钢铁碳强度远低于从中国进口的钢铁。因此，就隐含碳而言，安哥拉的钢铁采购决策在国内钢铁和从中国进口的钢铁之间面临着更鲜明的选择。

鉴于钢铁的碳强度因其来源地不同可能存在巨大差异，为了进行下文中的减排分析，我们设定了三种钢铁采购情景：（1）100%使用东道国国内钢铁；（2）100%使用从中国进口的钢铁；（3）50%使用东道国国内钢铁，50%使用从中国进口的钢铁，并据此计算每个国家所用钢铁的碳强度。对于像埃塞俄比亚这样没有国内钢铁生产的国家，我们假设钢铁从中国进口，不应用多种情景。

对于水泥，我们数据集中所有国家的国内产量都远大于其接受中国发展融资项目中的水泥用量。因此，我们假设中国资助项目的水泥将在当地采购。预计我们数据集中各国水泥生产的碳强度差异不大。大多数水泥生产设施采用相似的基于熟料的工艺，并严重依赖化石燃料。此外，石灰石煅烧产生的工艺排放占主导地位，以及低碳替代方案使用有限，导致各国生产的水泥碳强度相对一致。



尼日利亚，阿布贾 | 图源：Baqeer Gashua via Unsplash.

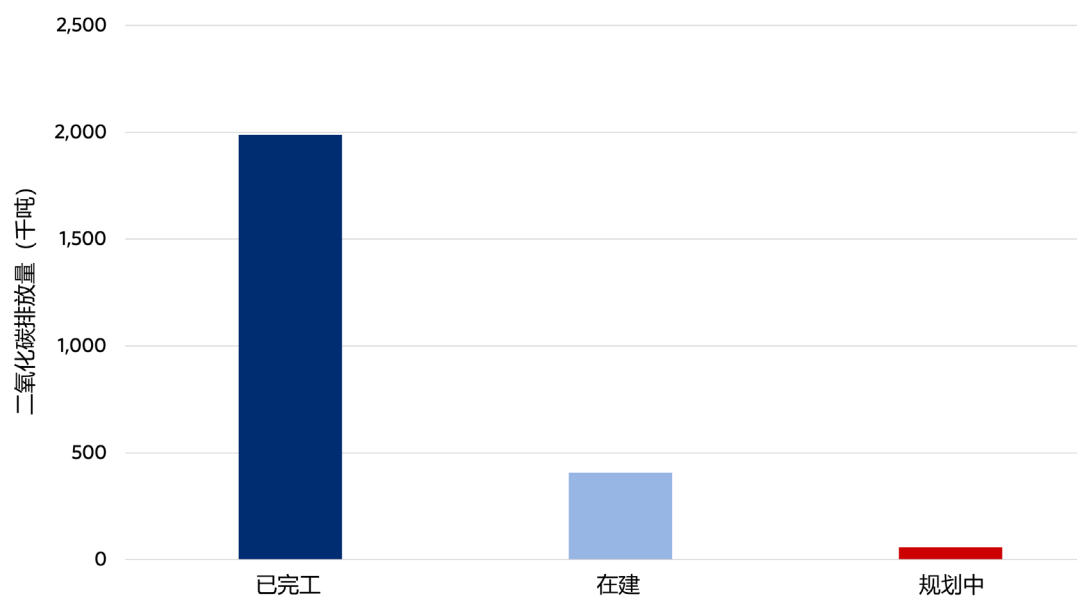
中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

水泥

在我们的数据集中，假设全部使用东道国国内水泥，能源和交通项目中的水泥使用所产生的二氧化碳排放总量估计为245.2万吨。其中，大部分排放与已完工项目相关，达到198.8万吨二氧化碳；在建项目贡献40.6万吨二氧化碳；而规划中项目仅增加5.8万吨二氧化碳（图15）。

排放量在国家间的分布极不均衡。前五个国家（南非、印度尼西亚、阿根廷、埃塞俄比亚和安哥拉）合计排放约97.7万吨二氧化碳，约占水泥相关排放总量的40%。因此，这一小部分国家在中国海外基础设施发展的水泥排放足迹中占据了显著份额。已完工项目在总排放中占主导地位，进行中及规划中项目所占份额小得多，部分原因在于近年来中国海外发展融资水平较低。

图15：中国海外发展融资能源与交通领域项目所用水泥的二氧化碳排放量



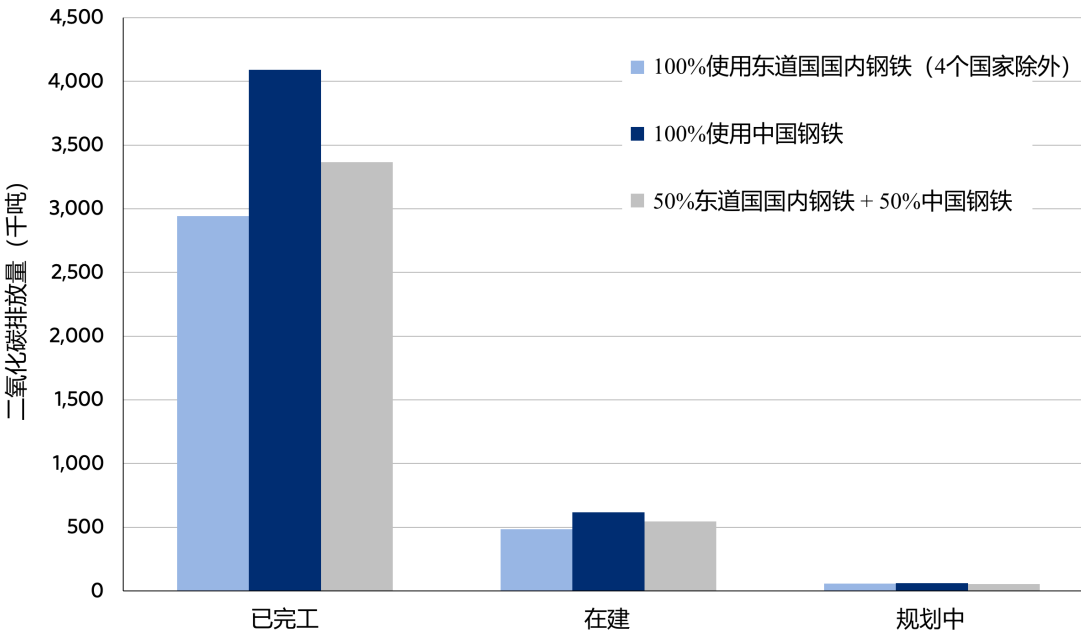
来源：作者自行编制。

在我们的数据集中，能源和交通项目所用钢铁的二氧化碳排放总量因采购情景不同而有显著差异。如果所有国家都使用100%的东道国国内钢铁（不包括四个没有国内钢铁工业的国家，我们假设这些国家使用中国钢铁），总排放量约为348万吨二氧化碳，其中大部分（294.2万吨）来自已完工项目，在建项目排放48.3万吨二氧化碳，规划中项目排放5.6万吨二氧化碳。反之，如果所有钢铁均由中国供应，估计排放量将升至477.2万吨二氧化碳。在此情景下，仅已完工项目就产生409.2万吨二氧化碳，而在建和规划中项目分别贡献61.9万吨和6.1万吨。各占50%的情景（即一半钢铁来自东道国国内，一半来自中国）导致中间水平的排放量，约为396.6万吨二氧化碳，其中已完工项目排放336.4万吨，在建项目排放54.7万吨，规划中项目排放5.5万吨（图16）。

在我们数据集中，项目所用钢铁的二氧化碳排放量前五位的贡献者是阿根廷、南非、印度尼西亚、埃塞俄比亚和安哥拉，在东道国国内钢铁情景下，这些国家合计排放约215.5万吨二氧化碳（所有这些国家均为钢铁生产国）。这约占我们数据集中交通和能源项目钢铁相关排放总量的62%。

三种情景的比较凸显了中国全球基础设施项目中钢铁相关排放对采购决策的敏感性。与仅使用东道国国内钢铁相比，完全依赖中国钢铁会使总排放量增加约37%，这是因为中国钢铁生产的碳强度高于许多采用低碳生产工艺（尤其是废钢-电弧炉工艺）的其他国家。相对于仅使用东道国国内钢铁的情况，平衡的50/50采购方式仍会使排放量增加约14%。图16显示，在所有情景下，已完工项目构成了排放的主体，但钢铁来源的选择对其碳足迹有重大影响。这些结果强调，采购策略，特别是东道国国内钢铁与中国进口钢铁之间的平衡，是减少“一带一路”基础设施投资气候影响的关键杠杆。

图16：中国海外发展融资能源与交通领域项目所用钢铁的二氧化碳排放量



来源：作者自行编制。

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

中国全球发展融资中的绿色采购：为低碳水泥和钢铁创造需求

绿色采购，亦称为“清洁采购”，是一项强有力的政策工具，可应用于中国海外基础设施项目，以应对能源和交通基础设施项目巨大的碳足迹。水泥和钢铁是碳排放强度最高的建筑材料之一，它们构成了交通和能源项目中材料需求的绝大部分。引入支持低碳水泥和钢铁的采购要求，将利用中国大规模全球投资的杠杆作用，推动市场向更可持续的生产方向转变。

具体而言，在中国全球交通和能源项目中实施绿色采购，意味着中国的开发银行、国有企业和东道国政府将碳绩效标准纳入其招标和签约流程。招标将不仅仅关注成本和交付，而是要求供应商通过环境产品声明或其他可信的报告标准，证明其水泥或钢铁的二氧化碳排放强度。可为最高允许的二氧化碳排放强度设定阈值，并对在此限度内的产品给予优先评分或设定强制性要求。随着时间的推移，这些阈值将根据脱碳路径逐步收紧。这种方法将在中国开发银行提供贷款的国际市场上，为低碳材料创造可预测且不断增长的需求。

对于水泥而言，此类政策可激励东道国的生产商投资于能效升级、增加辅助胶凝材料的使用，并试点应用石灰石煅烧粘土水泥等技术。许多东道国缺乏强有力的国内气候法规，中国的采购标准可以通过建立一个奖励低碳实践的市场信号来填补这一空白。

对于钢铁而言，绿色采购尤为重要，因为中国海外基础设施（交通和能源）项目中使用的部分钢铁可能源自中国。通过要求为交通和能源项目供应的钢铁达到更低的二氧化碳排放强度，中国的钢铁厂将面临更强的激励，以增加电弧炉中废钢的使用比例，加速部署氢基直接还原铁技术，并减少对高排放的高炉-碱性氧气转炉工艺的依赖。在东道国国内生产钢铁的情况下，采购标准也将鼓励当地生产商进行现代化改造和脱碳。

将绿色采购应用于中国海外项目，其效益超越了单个项目本身。通过产生对低碳水泥和钢铁的稳定需求，该政策将有助于为新兴技术建立规模经济，并随着时间的推移降低成本。它还将使“一带一路”项目与全球气候目标保持一致，并在欧盟碳边境调节机制等国际碳法规日益严格的情况下，降低搁浅资产的风险。重要的是，将这些政策与中国全球发展融资相关联，可以通过创造一个自我强化的循环来支持东道国和中国实现其气候目标：采购标准刺激需求，需求驱动创新和投资，而创新则降低生产的碳强度。

减排潜力情景分析

设定绿色采购目标

为估计绿色采购对中国海外交通和能源项目中水泥和钢铁消费相关二氧化碳排放的潜在影响，我们设定了四种具有不同采购目标的情景，代表了二氧化碳强度的不同百分比减排目标（表3）。当前的二氧化碳排放强度是根据水泥的本地生产情况以及前述三种钢铁采购情景进行估算的。

本研究中使用的绿色公共采购（GPP）目标是行业层面的目标，而非针对特定的水泥/混凝土或钢铁产品。实际上，一项绿色采购政策可以设定针对特定产品的强度目标。然而，由于缺乏信息且存在众多不同的混凝土和钢铁产品，无法使用产品层面的目标进行此类影响估算。因此，我们使用行业层面的强度目标来展示水泥和钢铁绿色采购的潜在影响。

表3：中国全球基础设施项目所用水泥与钢铁的绿色采购目标情景

绿色公共采购目标	二氧化碳强度较基线减排百分比	水泥潜在的二氧化碳减排行动	钢铁潜在的二氧化碳减排行动
低	15%	在能效提升、转向低碳燃料方面做出适度努力，并小幅增加辅助胶凝材料的使用以替代熟料。	适度提升能效和燃料转换，小幅增加可再生能源的使用，并提高电弧炉炼钢的占比。
中	30%	最大化能效提升，更积极地转向低碳燃料，并更大规模地使用辅助胶凝材料替代熟料。	进一步提高能效和燃料转换，同时更多地转向使用脱碳电力的电弧炉炼钢工艺。
高	50%	最大化能效提升，大幅淘汰煤炭并转向低碳燃料，大幅增加辅助胶凝材料的使用以替代熟料。	能效显著提升，更积极地转向低碳燃料，以废钢为基础的电弧炉炼钢占比大幅提高，可再生能源比例高，并部分应用绿色氢基直接还原铁-电弧炉等变革性技术。
变革性	75%	应用碳捕集、利用与封存（CCUS）技术，以及创新和采用变革性技术	综合运用上述所有措施，更积极地采用绿色氢基直接还原铁-电弧炉等变革性技术，100%使用可再生能源，并实现高比例（大于50%）的电弧炉应用。

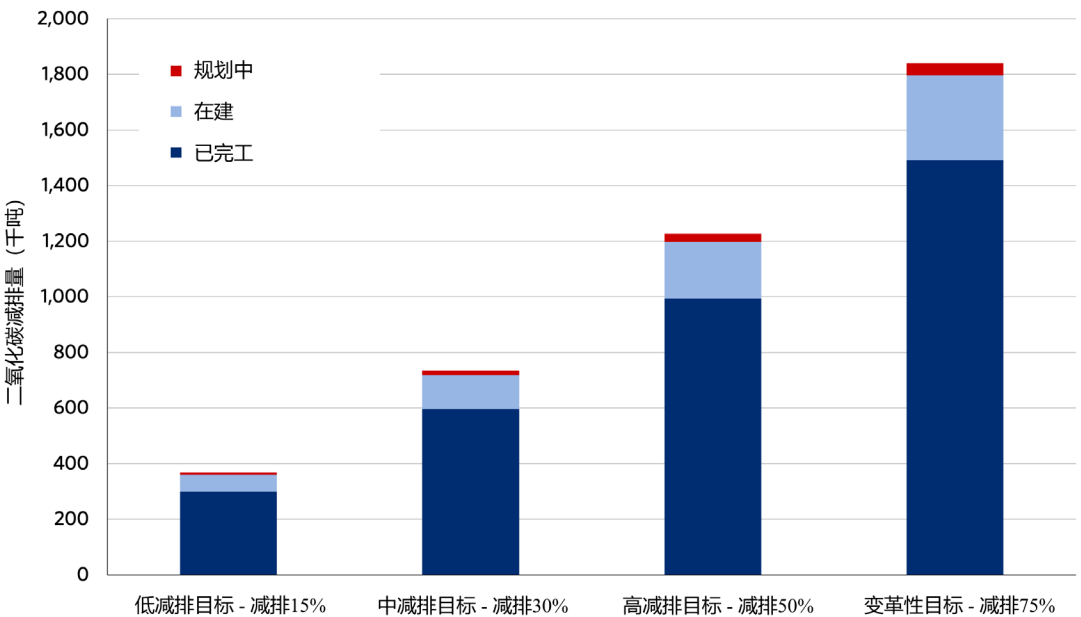
执行摘要	
引言	
中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求	
中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源	
中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量	
中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量	
绿色采购的国际最佳实践	
“一带一路”绿色采购政策建议	
结论	
参考文献	
附录	

绿色采购对中国全球基础设施项目的潜在影响

水泥

利用上一节中展示的分析项目水泥使用的年二氧化碳排放量以及表3中设定的目标，我们估算了“一带一路”交通和能源项目水泥绿色采购所带来的二氧化碳减排潜力。根据目标雄心水平的不同，对“一带一路”项目中的水泥应用绿色采购可以带来显著的二氧化碳减排。在低减排情景下（15%），可节约的排放量约为36.8万吨二氧化碳，其中大部分（29.8万吨）来自已完工项目。这反映了一个反事实案例，即已完工项目当时若使用了绿色水泥。在中等减排情景下（30%），减排量增至73.5万吨二氧化碳；而高减排情景50%）可避免约122.6万吨二氧化碳的排放。75%的变革性情景带来的节约最大，达到184万吨二氧化碳。图17显示，即使已完工项目的水泥使用已然锁定，它们仍占潜在减排量的最大份额。这有助于说明若早期应用了绿色采购，本可以避免的排放规模。在建项目也贡献了可观的额外节约。

图17：所分析交通与能源项目所用水泥的二氧化碳减排潜力



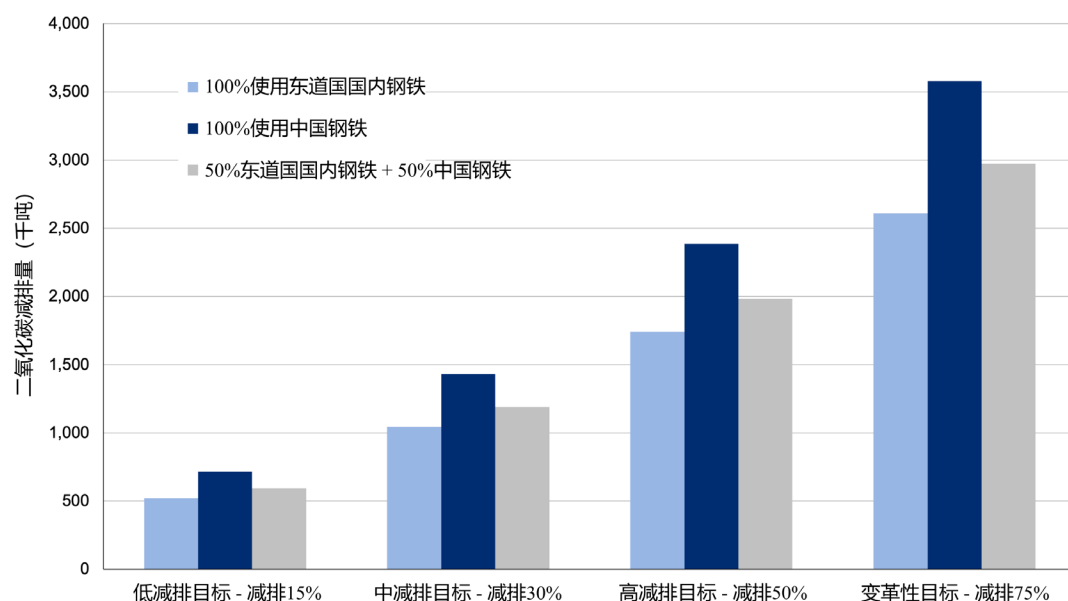
来源：作者自行编制。

这些结果凸显了雄心勃勃的采购标准在塑造中国海外水泥使用碳足迹方面可能发挥的关键作用。即使是适度的减排也能带来可观的效益，而变革性情景则展示了如果中国相关机构要求深度削减水泥排放，可能产生的影响规模。此类政策不仅将减少当前和未来项目的排放，还将向生产商发出强烈的市场信号，鼓励其投资于熟料替代、能效提升和碳捕集等低碳技术。通过这种方式，绿色采购有助于加速东道国和全球供应链中水泥生产的更广泛脱碳。

利用上一节中展示的分析项目钢铁使用的年二氧化碳排放量以及表3中设定的目标，我们估算了中国资助的交通和能源项目钢铁绿色采购所带来的年二氧化碳减排潜力。图18展示了在不同采购情景和目标雄心水平下的潜在减排量。

在低减排路径（15%）下，减排量在使用东道国钢材时为52.2万吨二氧化碳，在全部从中国采购钢材时为71.6万吨，而各占50%的组合方案可实现59.5万吨。在中等减排水平（30%）下，使用东道国钢材的减排量增至104.4万吨，使用中国钢材的减排量增至143.2万吨，组合方案则减排119万吨。在高减排情景（50%）下，减排量提升至174万吨至238.6万吨之间，中点为198.3万吨。变革性情景（75%）带来的减排量最大，从采购东道国钢材时的261万吨二氧化碳到使用中国钢材时的357.9万吨，各占50%的组合方案则达到297.4万吨。

图18：不同采购情景下所分析交通与能源项目所用钢铁的二氧化碳减排潜力

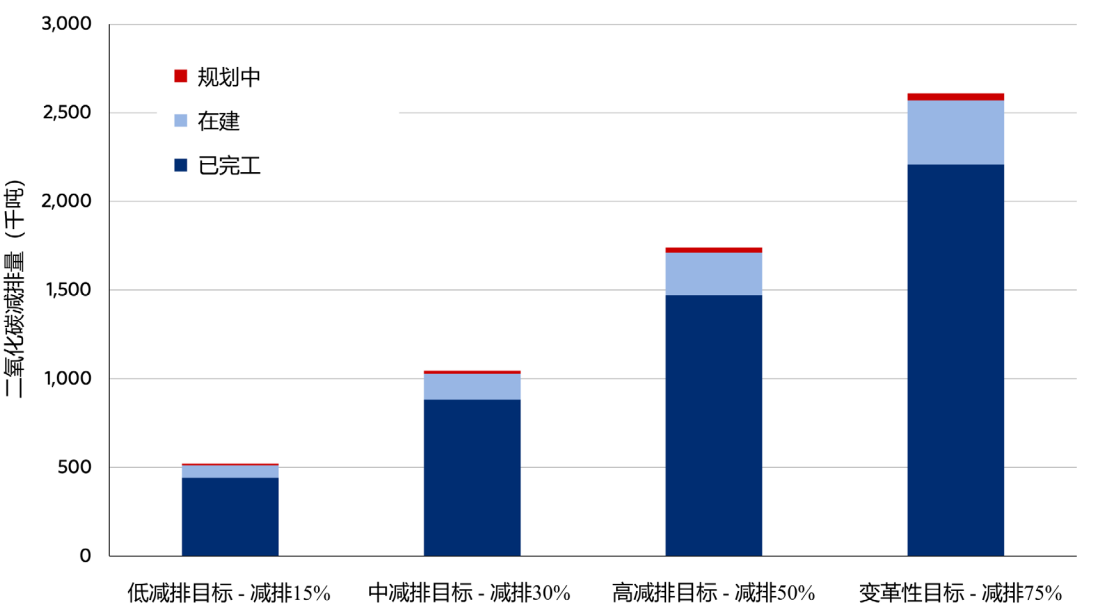


来源：作者自行编制。

图18显示，变革型减排目标带来的节约最大，同时钢铁采购来源也影响着整体气候影响。由于中国钢铁的平均碳强度高于许多东道国的国内钢铁，推动其向低碳路径转型可带来更大的绝对减排量。尽管如此，即使在东道国国内或混合采购情景下，强有力的采购标准也能实现可观的减排。这强调了绿色采购的双重作用：（1）直接降低中国资助的基础设施项目的排放；（2）为中国和东道国的生产商创造强烈的需求信号，以加速钢铁行业的脱碳。

图19展示了在所研究项目中，假设100%使用东道国国内钢铁并按项目阶段细分，钢铁使用带来的潜在二氧化碳减排量。已完工项目占潜在减排量的大部分，其减排范围从低减排情景（15%）下的44.1万吨二氧化碳到变革性减排情景（75%）下的220.7万吨，这代表了通过绿色采购本可以避免的排放。在建项目额外贡献了7.2万至36.2万吨的二氧化碳减排，而规划中项目则增加了0.8万至4.2万吨的减排量。这表明，虽然大部分排放已被锁定在已完工项目中，但对进行中和未来项目应用更严格的绿色采购标准，仍能带来可观的额外节约。

图19：100%东道国国内钢铁采购情景下，不同项目阶段所分析交通与能源项目所用钢铁的二氧化碳减排潜力



来源：作者自行编制。

“一带一路” 项目中水泥脱碳的策略

在“一带一路”交通和能源项目中，大部分水泥由东道国本土生产商供应，这使得当地水泥工业成为项目排放的核心。水泥生产是高度碳密集的，约一半的二氧化碳总排放来自石灰石的煅烧过程，而非燃料使用。这意味着仅靠能效提升和燃料转换无法实现深度减排。为实现有意义的脱碳，中国机构为其海外项目进行的绿色采购，可以向东道国的水泥生产商发出强烈的需求信号，促使其采用先进措施，如熟料替代、循环经济实践，并最终采用碳捕集技术。通过在采购中嵌入碳绩效要求，项目不仅可以降低自身的碳足迹，还能刺激当地水泥工业的升级，否则这些行业可能在脱碳方面滞后。

能源效率：许多东道国的水泥厂与全球最佳实践相比，设备更陈旧、规模更小、效率更低。针对低碳水泥的绿色采购要求，可以推动采用经过验证的能效措施，如余热回收、现代熟料冷却机、高效粉磨机、改进的窑控制以及数字监控系统。这些升级将减少能源需求和燃料相关排放，同时降低生产成本，若通过采购合同保障了需求，将对生产商具有吸引力。

材料效率与循环经济：减少对原生熟料和水泥的需求，是新兴市场背景下可用的最有效策略之一。优化混凝土配合比、改进设计标准以及建筑和拆除废物的再利用和回收，可以减少项目的总体水泥需求。研究表明，此类措施可实现8-30%的减排，而全球估计通过改进材料效率，到2050年可实现20%或更高的减排（全球企业传播学会，GCCA，2022年；国际能源署，2019年）。奖励高效材料使用的采购标准，可以推动当地建筑行业转向循环实践，而目前许多东道国在该领域发展不足。

燃料转换与电气化：在许多东道国，煤炭仍然是水泥窑的主要燃料。在可行的情况下，转向低碳替代燃料，如生物质、废物衍生燃料或可再生天然气，为立即减排提供了机会。从长远来看，可再生电力或绿色氢气可用于高温加热，尽管这些选择尚未广泛商业化。通过优先考虑那些展示了燃料多样化或试点低碳燃料的水泥供应商，中国海外项目的绿色采购可以鼓励试验并在当地积累替代燃料的经验。

熟料替代与替代原材料：熟料是水泥中碳强度最高的部分，而“一带一路”国家的熟料水泥比通常高于发达经济体。用辅助胶凝材料（如粉煤灰、高炉矿渣、煅烧粘土、石灰石粉或天然火山灰）替代熟料，可以大幅削减排放。一个特别有前景的选择是石灰石煅烧粘土水泥，它利用了许多“一带一路”国家丰富的粘土和石灰石资源，在某些应用中可替代高达50%的熟料，同时保持性能。通过设定奖励低熟料水泥比的采购标准，中国的全球基础设施项目可以创造可靠的需求，鼓励当地生产商扩大辅助胶凝材料的使用并采用新的胶凝技术。

碳捕集、利用与封存：由于煅烧排放无法通过能效或燃料替代来避免，碳捕集、利用与封存将是长期深度脱碳所必需的。虽然目前成本高昂且处于试点阶段，但碳捕集、利用与封存最终可应用于东道国的水泥厂，以捕集并封存或再利用排放。利用方面的选择，如在混凝土养护或骨料生产中使用二氧化碳，在新兴建筑市场中可能尤其具有相关性。在短期和中期内，绿色采购应优先考虑能效和熟料替代等更易实现的杠杆，同时仍将碳捕集、利用与封存视为关键的未来选项。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

参考文献

附录

“一带一路” 项目中钢铁脱碳的策略

为中国海外项目供应的钢铁脱碳，必须同时考虑提供海外建设用材料很大一部分的中国钢铁工业，以及东道国的国内钢铁工业。许多“一带一路”东道国主要依赖电弧炉生产，通常产能较小，而中国的钢铁工业仍以高炉-碱性氧气转炉工艺为主。这一区别决定了可用的减排策略：在东道国，脱碳在很大程度上依赖于能效提升和使用可再生电力；而在中国，更深层次的转型，如扩大废钢利用、发展绿色氢基直接还原铁和碳捕集、利用与封存，则至关重要。中国海外项目中的绿色采购政策可以为两种情境下的低碳钢铁创造强劲需求，鼓励供应商更快地采用这些杠杆。

能源效率：中国和东道国的生产商都可以提高能源绩效，但优先事项不同。在中国的长流程钢厂，余热回收、高炉煤气余压透平发电装置、干熄焦和智能数字控制等技术可以带来显著的节约。包括预测性维护、数字孪生和过程分析在内的先进数字化工具，正越来越多地应用于优化能源使用。在以电弧炉为主的东道国，机会更集中于降低每吨钢的电力消耗、提高炉子效率以及现代化改造轧制和精整线。优先考虑低碳钢铁的绿色采购，将推动中国和东道国的生产商扩大此类措施的规模，从而降低与能源相关的排放。

燃料转换与电气化：对于中国的长流程钢铁工业，煤炭和焦炭仍是炼钢的基石，但用低碳燃料（如天然气、生物质或氢气）逐步替代可以减少排放。随着时间的推移，某些工艺（如再热炉或感应熔炼）的电气化将发挥越来越大的作用。中国的一个重要机遇是扩大电弧炉炼钢，目前其占产量不到10%，但随着国内废钢供应量的增加，这一比例有望上升。对于已经严重依赖电弧炉的东道国，主要途径是确保供应给这些电弧炉的电力来自可再生能源，而非基于化石燃料的电网。当由可再生能源供电时，轧制和精整过程中辅助工艺的电气化可以进一步减少碳足迹。通过要求或奖励更低的二氧化碳排放强度，中国的海外采购政策可以鼓励基于废钢的生产和可再生电力的采购。

变革性技术：实现钢铁深度脱碳需要突破性技术。其中最主要的是氢基直接还原铁，它可以替代直接还原铁厂中的天然气，并几乎消除所有化石燃料的使用。中国已经在试点这种方法：河钢集团（HBIS）正在测试富氢直接还原铁，宝武钢铁正在湛江建设新的直接还原铁设施。如果“一带一路”采购创造了低碳钢铁的需求，这有助于加速将此类试点项目推向大规模的商业部署。对于东道国而言，虽然氢基直接还原铁可能无法立即实现，但采购可以发出长期需求信号，并吸引投资伙伴关系，逐步将这些技术引入发展中经济体。

碳捕集、利用与封存：鉴于中国对高炉-碱性氧气转炉工艺的严重依赖，碳捕集、利用与封存将是长期脱碳的重要组成部分。燃烧后捕集技术可以改造到高炉上，尽管成本仍然很高。捕集的二氧化碳可以在地质条件允许的地方进行地下封存，或用于生产化学品、燃料甚至建筑材料。对于东道国而言，由于电弧炉生产占主导地位，碳捕集、利用与封存在短期内相关性较低，但在仍运行长流程钢厂的地区，它可能变得重要。采购框架可在长期内认可碳捕集、利用与封存，同时强调近期措施，如能效、废钢利用和可再生能源采购。

材料效率与循环经济：在需求侧，减少对原生钢铁的需求是另一个强有力的杠杆。优化设计、建筑轻量化和提高回收率都可以减少钢铁需求。对于东道国，加强废钢收集系统对于向电弧炉供应清洁、高质量的废钢尤为重要。在中国，随着城市拆除和工业废钢供应量的增加，回收利用的作用将扩大，从而减少新建高炉的压力。通过嵌入对回收成分和高效材料使用的要求，中国的海外采购可以放大这些循环经济策略。

总之，中国海外项目中的钢铁脱碳需要双管齐下的方法：在东道国，重点应放在提高电弧炉效率、使用可再生电力和加强回收利用上；在中国，更深层次的结构性转型，即向基于废钢的炼钢、氢基直接还原铁和碳捕集、利用与封存转变，至关重要。绿色采购可以通过为低碳钢铁创造稳定需求，将这两条路径联系起来，确保中国的供应商和东道国的生产商都有动力加速转型。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

荷兰，海牙 | 图源：Fer Troulik via Unsplash.



绿色采购的国际最佳实践

迄今为止，全球范围内的多数绿色采购政策都是在国家层面实施的。例如，美国联邦政府于2021年通过第14057号行政令启动了“联邦清洁采购倡议”，标志着美国首次在全国范围内努力在联邦采购中优先考虑碳含量较低的美国制造建筑材料。该倡议特别关注钢铁、水泥/混凝土、沥青和平板玻璃等隐含碳问题最突出的建筑材料和产品，旨在联邦采购及联邦资助项目中优先考虑隐含碳较低的因素（联邦首席可持续发展官办公室，未注明日期）。它还规定了环境产品声明的要求，并制定了倾向于选择隐含碳较低产品的指导方针。鉴于联邦层面实施“清洁采购”存在不确定性，值得注意的是，加利福尼亚州、华盛顿州、科罗拉多州和纽约州也在开展州级的“清洁采购”倡议。

自2008年以来，欧盟一直倡导“公共采购助力环境优化”（欧洲委员会，EC，2008），欧洲委员会为多个产品组制定了自愿性绿色公共采购标准。继2020年《循环经济行动计划》通过后，欧洲委员会还在行业立法（包括建筑业）中提出了最低强制性绿色公共采购标准和目标，并开始逐步推行强制性报告以监测采用情况。对于欧盟成员国而言，绿色公共采购的推广主要通过自愿性的国家行动计划进行。一些国家现在强制要求进行低碳采购。例如，在意大利，国家法规要求对某些产品类别（如建筑和道路）设定环境标准（Casier和Strömgård，2025年）。爱尔兰要求对公共建筑项目中材料（如混凝土）的隐含碳设定限值或要求进行减排（爱尔兰企业、旅游与就业部，2025年）。

在欧盟层面，欧洲委员会已针对公路和办公楼宇的设计、施工和管理采用了自愿性绿色公共采购标准。其道路建设的招标授标标准侧重于将生命周期和碳考量纳入材料选择。这些标准包括：（1）主要道路要素的生命周期评估；（2）对原材料开采、制造和运输的全球变暖潜能值进行碳足迹评估；（3）对回收或再利用含量的最低阈值要求；（4）对重型材料运输提出减排要求，奖励较低的二氧化碳当量结果。因此，欧盟的道路招标将生命周期评估、碳足迹分析、及回收含量和低排放运输要求相结合，使隐含碳在采购决策中得以体现并采取相应措施。

2024年，欧盟和美国发布了《美国-欧盟绿色公共采购最佳实践联合目录》（美国-欧盟贸易和科技委员会气候与清洁技术工作组，2024年）。该目录总结了绿色公共采购在不同阶段的最佳实践，包括战略规划、预采购、采购本身及合同授予后阶段。

在加拿大，“清洁采购”政策的某些要素已经到位（Hasanbeigi等，2022年）。2017年宣布的联邦政府绿色化战略确立了到2050年实现净零排放的目标，包括在商品和服务采购中。从2025年开始，政府将通过使用可回收和低碳材料、提高材料效率以及采用基于绩效的设计标准，将隐含碳减少30%，并计划到2025年对重大项目进行全建筑生命周期分析。截至2026年，隐含碳要求已通过联邦建设标准和采购指导得以实施。然而，政府绩效报告尚未公布全部部门范围的数据，以确认30%减排目标的实现程度。为此，政府正在通过“生命周期评估低碳资产”（LCA2）倡议建立一个可靠的排放数据库。

在荷兰（公认的绿色公共采购领跑者），政府实现了其雄心勃勃的2005年目标：中央政府在2010年实现100%绿色采购，其他公共当局在2015年实现100%绿色采购。在建筑行业，荷兰公共工程与水资源管理总局制定了加强可持续采购的具体指南，其中招标不仅根据价格进行评估，还根据质量标准进行评估，包括设计的二氧化碳排放绩效（Hasanbeigi等，2022年）。

多边开发银行

多边开发银行因其与借款国建立的债权-债务关系，在推动绿色采购方面具有独特优势。通过控制资金流向，多边开发银行可以借助其资助的项目、采购指南、能力建设和知识转移来塑造借款方的行为（Erizaputri和Bechauf，2024年；Mendez和Houghton，2020年；Ocampo和González，2024年）。

多边开发银行方法的核心是“物有所值”（VFM）理念，该理念已从狭隘地关注货币成本演变为一个更广泛的概念，在采购评估中也纳入了环境和气候影响等因素（美洲开发银行，IDB，2024年）。近期，多边开发银行之间开展了协调一致的联合努力，以推广和鼓励绿色采购实践。例如，2023年，多边开发银行采购负责人发起了《可持续采购联合声明》，表明了“将可持续采购主流化的集体意愿”，旨在支持各政府实现其经济脱碳和气候目标（多边开发银行采购负责人，2023年）。各多边开发银行相应地采纳并更新了其采购政策和战略以支持可持续采购（联合国环境规划署，UNEP，2022年），使其资助项目的采购流程与这些规定保持一致。值得注意的是，2023年世界银行发布了由四份文件组成、关于可持续采购的《采购指南》（世界银行，2023年）。类似地，美洲开发银行发布了一份研究报告，旨在指导绿色采购的采纳与实施（Cota等，2018年）。亚洲开发银行（ADB，2021年）提供的《可持续公共采购指南》，概述了其可持续公共采购方法以及如何在各个采购阶段加以整合。非洲开发银行（AfDB）于2020年发布了《可持续公共采购指南》。所有这些指南都强调，在采购评估标准中纳入环境和气候影响等评分因素，以实现“物有所值”（非洲开发银行，2020年）。

除了政策和法规层面，多边开发银行还实地推行了可持续采购实践，并取得了切实成果。例如，亚洲开发银行为印度的一个2亿美元项目“北阿坎德邦与韧性城市发展”提供融资，通过优先采用绿色水泥和节能设备来减少温室气体排放，融入了可持续采购实践（Taylor，2024年）。同样，世界银行在土耳其2023年地震后重建小型工业园区的项目中，规定所有新建筑必须使用来自回收废钢的低碳钢和熟料含量降低的混合水泥（土耳其工业和技术部，2024年）。

然而，尽管在规则制定和试点项目方面做出了努力，多边开发银行并未在监测或强制执行可持续性标准的实施方面发挥直接作用，而是将这些标准视为自愿性的，并取决于借款国的同意。虽然多边开发银行通过提供技术专长支持成员国实现国家和区域公共采购框架的现代化和改革（联合国环境规划署，2022年），但其角色主要是监督和促进性的。多边开发银行并未正式要求借款国使用“二氧化碳绩效阶梯”这样的综合评估工具（在荷兰已被广泛采用）。因此，对于通过这些可持续采购实践所实现的实际（环境和气候减缓）效果，特别是二氧化碳减排量，目前了解仍然有限。

对于多边开发银行的绿色采购而言，大型建设项目（尤其是基础设施项目）及其材料采购尤为重要，因为这涉及到大量投资，并且建筑材料具有潜在的气候和环境影响，这对“物有所值”至关重要。多边开发银行和政府积极寻求对其资助项目中使用的材料进行规范。在世界银行2023年的指南中，强调了使用水泥和钢铁等碳密集型建筑材料的气候影响，并指出世界银行项目支出的很大一部分用于这些建筑材料。在欧盟层面，建筑业位列优先行业之首，特别强调混凝土和钢铁等材料。常见做法包括使用生态标签和绿色建筑认证，如能源与环境设计先锋（LEED），以及欧洲复兴开发银行（EBRD）采用的建筑研究院环境评估方法（BREEAM），来规范碳密集型建筑材料的使用。然而，所有这些指南都侧重于一般层面而非项目层面，并且没有要求对水泥或钢铁等特定材料的碳强度进行规范。

双边发展机构

与多边开发银行类似，双边发展机构在利用采购规则影响其资助的项目和国家方面也发挥着重要作用。然而，每个双边发展机构都采用独特的方法，反映了其独特的机构优先事项和使命。在此，我们以日本国际协力机构（JICA）和德国复兴信贷银行（KfW）等主要双边发展机构为例进行说明。

日本国际协力机构已将绿色采购纳入其公司政策和项目流程。自2010年起，其《环境和社会考量指南》（ESC）即与国际标准接轨，以最大限度地减少项目影响（日本国际协力机构，2022年）。该指南被描述为“日本国际协力机构提供援助的先决条件”，是根据项目潜在的环境和社会风险进行分类的基础。根据不利影响的程度，项目被分类并接受不同程度的环境和社会尽职调查。2022年的重大修订引入了气候变化措施，例如，日本国际协力机构现在要求在环境影响评估中估算和披露项目的温室气体排放总量。这些指南确保环境和社会考量因素在项目周期早期（从可行性研究和评估开始）就得以整合，并允许日本国际协力机构在发生严重违法或环境违规行为时暂停或更改项目，这体现了其对问责制和持续改进的承诺。受影响的民众还可以在指南被违反的情况下，通过日本国际协力机构的“审查与同意”程序或公共“异议程序”机制提出投诉。

德国复兴信贷银行在发展融资领域将绿色采购正规化方面脱颖而出，使其做法与世界银行的环境和社会标准、赤道原则以及国际金融公司（IFC）绩效准则等国际公认标准保持一致。所有投标人都被要求签署遵守这些标准的声明，并执行为项目确定的任何环境和社会风险缓解措施。德国复兴信贷银行方法的一个显著特点是将生命周期思维融入采购：投标的评估不仅基于初始价格，还基于生命周期成本，这考虑了运营、维护和寿命终止处置的成本。这种方法使得在可行的情况下，可以将环境外部性（如温室气体排放或污染的成本）纳入财务评估。为支持一致的应用，德国复兴信贷银行开发了一个关于可持续采购的“工具箱”，为其员工和伙伴国提供实用方法，以便将可持续性贯穿于招标过程的始终，从规划和规格制定到合同条款（德国复兴信贷银行，2014年）。正如德国复兴信贷银行所强调的，“可持续采购将生态、经济和社会层面联系起来”，确保采购在实现“物有所值”的同时，同步推进环境保护、更安全的工作条件和地方发展效益。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

其他主要双边发展机构也坚持绿色公共采购。例如，瑞典国际开发合作署（Sida）强调“自然资源的可持续利用和环境保护”是瑞典国际发展合作的六个基本目标之一（瑞典国际开发合作署，2002年；另见 Openaid，未注明日期）。其可持续采购指南要求进行环境影响评估并推广生命周期评估，同时优先考虑那些节能、耐用、可回收或可安全处置，且由可再生或可持续来源材料制成的商品和服务。自2021年以来，瑞典国际开发合作署还支持了关于可持续采购的能力建设项目，特别是为东非和拉丁美洲的合作伙伴。此外，英国的主要双边援助机构——外交、联邦和发展事务部（FCDO），将可持续采购纳入其发展项目，旨在“在最大限度地减少环境损害和浪费的同时实现物有所值”（英国外交、联邦和发展事务部，未注明日期）。

对中国的启示及对“一带一路”融资机构的建议

中国的开发性金融机构在制定和实施绿色采购政策方面处于比多边开发银行更早的阶段。鉴于中国海外发展融资集中在基础设施领域，需要大量采购建筑材料，因此采纳可持续采购实践对于气候减缓努力尤为重要。即使超出中国的发展融资范围，自2013年“一带一路”倡议启动以来，中国累计的海外工程承包合同额已达到1.175万亿美元，仅2024年授予的合同额就达到了创纪录的707亿美元（Wang，2025年）。因此，即使不是由中国开发性金融机构直接融资的基础设施项目，也可能涉及中国企业，根据政策设计的不同，这些企业可能受到中国绿色采购政策的约束。考虑到这一资金规模以及建筑材料使用的环境影响，将碳强度因素纳入采购决策可以成为中国推动全球钢铁和水泥脱碳的一个重要杠杆。

迄今为止，绿色采购在中国的海外投资政策中仅被泛泛提及，缺乏与其潜在影响相称的详细关注。例如，2021年中国商务部和生态环境部发布的《对外投资合作绿色发展工作指引》广泛鼓励采用绿色采购实践以及购买环境友好型产品和服务。2022年，上述两部委发布的《对外投资合作建设项目生态环境保护指南》强调了绿色采购，并优先考虑环境友好型产品。然而，这些政策广泛针对海外投资，并未具体说明应如何实际实施绿色采购。

尽管存在使“一带一路”更加绿色和可持续的共识与承诺，但对于如何在实践中实施绿色和低碳采购，仍然没有明确的定义或实用的指导。一些文件提及要参考全球绿色建筑认证所设定的高标准进行对标，但目前尚不清楚这些参考标准具体包含哪些内容。学者们量化其影响似乎也具有挑战性。现有的有限研究表明，中国资助的采购合同通常授予中国企业，并且与多边开发银行的做法相比，中国机构的采购流程透明度较低（Ghossein等，2018年，2021年）。这种透明度的缺乏使得研究人员难以评估合同的技术细节，特别是所用材料的可持续性水平，从而难以评估通过绿色公共采购所能实现的气候影响和潜在减排效果。

中国资助海外基础设施的机构可以从国际绿色采购最佳实践中汲取若干经验教训，以提升可持续性成果并与全球气候目标保持一致。世界银行和亚洲开发银行等多边开发银行已将采购策略从狭隘地关注成本转变为更广泛的“物有所值”方法，该方法包含环境和气候考量，将可持续性贯穿于项目阶段和材料选择之中。这种方法与中国最近关于注重“高质量”发展和海外“小而美”项目的政策声明是一致的，尽管这些原则的实施方式仍有待确定。

日本国际协力机构和德国复兴信贷银行等双边发展机构已自愿承诺实施环境与社会保障措施。最佳实践绿色采购项目的其他特点包括将生命周期思维融入采购决策，以及建立工具和问责机制来监督实施。欧盟和加拿大等地的国家层面政策正越来越多地强制要求使用低碳材料、发布环境产品声明要求，并设定隐含碳减排目标。相比之下，中国的开发性金融机构迄今为止仅对绿色采购做出了高层次承诺，缺乏详细的实施框架或可执行的标准。为追赶国际领先者，中国机构可以优先为海外项目制定具体的绿色采购指南，引入针对特定材料的碳标准（特别是针对水泥和钢铁），加强透明度和披露要求，并采用基于绩效的采购工具，如生命周期评估。这些建议和可能的政策设计将在下一节进一步探讨。

从上述两个例子中，可以为中国总结出若干政策启示。成功的绿色公共采购往往依赖于四个因素：制定有坚定政策支持的明确且雄心勃勃的量化目标；采用界定清晰并定期更新的标准；通过系统化的追踪和监测促进透明度；以及开发实用工具、平台和开展能力建设活动以支持实施。以法律或政策为依托的明确、具有雄心的目标对于推动进展至关重要：荷兰实现100%可持续采购的承诺和欧盟至少50%的自愿性目标，与法国30%的目标和奥地利模糊的国家目标形成对比，已被证明在确保成果方面更为有效。

同样重要的是既精确又动态的标准。欧盟的经验表明，当标准落后于市场或立法发展时，它们就会失去效力；而在荷兰，最低标准每年审查并根据需要收紧，不断提高供应商的门槛。透明度也很重要，韩国展示了媒体监督如何能够加剧竞争并加强政府各部门的问责制。最后，工具和支持活动的可用性增强了绿色公共采购的一致和可信应用：荷兰的 DuboCalc 生命周期评估工具、二氧化碳绩效阶梯认证体系、芬兰的JUHILAS碳足迹工具以及德国的柏林能源署是辅助实施的技术资源的典范，而奥地利、意大利和德国的平台、网络和培训项目则为采购官员提供了嵌入可持续实践所必需的知识和支持。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

“一带一路”绿色采购政策建议

实施挑战

在中国全球基础设施项目中成功引入针对水泥和钢铁的绿色采购，将取决于能否有效应对挑战并创造有利条件。尽管减排潜力巨大，但仍需进行旨在解决制度、技术、金融和政治障碍的改革。

制度与治理挑战

主要挑战之一是中国机构内部缺乏成熟的绿色采购框架。与已开始将环境绩效标准的多边开发银行相比，中国的开发性金融机构和国有企业在低碳采购方面经验有限。东道国政府也常常缺乏要求采用基于碳的采购标准的监管框架、能力或法律授权。这造成了碎片化的治理环境，导致没有单一机构拥有实施低碳采购政策的明确权限。因此，协调多方参与者（如中国金融机构、承包商和东道国机构）的采购规则将十分困难。

此外，许多“一带一路”项目涉及由多个承包商和分包商组成的复杂供应链，这使得追踪水泥和钢铁的碳强度具有挑战性。在许多东道国，有限的透明度、薄弱的数据系统以及缺乏统一的二氧化碳排放报告标准，进一步增加了监测和执行的复杂性。没有清晰的问责制和强有力的治理，绿色采购要求可能会被削弱或忽视。

技术与数据挑战

一个重大障碍是许多东道国缺乏可靠的、针对具体国家的水泥和钢铁生产碳强度数据。由于大多数发展中经济体缺乏工厂或行业层面的数据，本研究不得不依赖标准化假设（例如，平均熟料水泥比、炼钢工艺的基准二氧化碳强度）。没有准确的基线数据，就难以设定既符合实际又雄心勃勃的采购阈值。

另一个技术挑战是东道国生产者测量和披露其碳足迹的能力有限。环境产品声明、生命周期评估和其他报告工具并未广泛使用。许多中小型水泥和钢铁生产商缺乏准备此类披露材料的技术专长和资源。这使得采购机构更难根据碳绩效评估投标，并增加了报告不一致或无法验证的风险。

金融与市场挑战

引入绿色采购可能引发对成本的担忧。低碳水泥和钢铁产品可能具有较高的前期成本，特别是在它们需要投资于新技术的情况下，例如熟料替代系统、由可再生能源供电的电弧炉或碳捕集试点项目。对于融资渠道有限的东道国生产商而言，满足更严格的采购标准可能被视为市场准入的障碍。对于中国供应商而言，从高炉-碱性氧气转炉工艺向电弧炉或氢基直接还原铁等低碳路径转型需要大量的资本投入。如果没有分担成本和风险的机制，中国和东道国的生产商可能都不愿做出承诺。

另一个与市场相关的挑战是某些地区低碳替代品的可用性有限。例如，某些国家可能无法获得大量的辅助胶凝材料，而其他国家为电弧炉供电的可再生电力仍然稀缺。如果在制定采购标准时不考虑这些限制，可能会造成合规困难或意外的供应短缺。

政治与战略挑战

为“一带一路”项目制定绿色采购政策必须应对复杂的政治动态。东道国政府可能优先考虑快速的项目交付和低成本，而非环境绩效，尤其是在基础设施缺口巨大的情况下。在一些国家，当地的水泥和钢铁行业可能出于对竞争力的担忧而抵制绿色采购标准等更严格的要求，因为这些企业的减排成本可能高于中国或其他海外生产商，在以绿色采购为导向的招标中竞争力可能较弱。在中国方面，开发银行和国有企业可能对引入可能减缓项目审批或增加融资成本的采购规则持谨慎态度。此外，“一带一路”倡议在众多具有不同监管环境、经济能力和政治优先事项的国家开展业务。这种多样性使得设计“一刀切”的采购框架变得困难。在灵活性与雄心之间取得平衡将是实施过程中的核心挑战。

中国海外投资绿色采购政策框架

为中国海外发展融资制定绿色采购指南和标准是一项战略举措，符合中国促进绿色发展、提升在全球气候治理中的领导地位，以及确保“一带一路”等海外战略长期可持续性的更广泛目标。通过纳入对低碳钢铁和水泥的要求，中国可以减少其未来国际项目的环境足迹，同时支持全球脱碳议程。随着国际市场和金融机构日益要求基础设施项目与气候目标保持一致，此类标准也将有助于中国企业保持竞争力。

中国可以借鉴指导国内采购的初步绿色采购政策体系。多年来，绿色采购已被纳入国家战略，包括“十二五”和“十三五”规划。2019年，四个部委联合发布通知，强制要求根据更新的认证体系采购节能环保产品，明确纳入了水泥和混凝土等建筑材料，这标志着碳密集型材料领域取得重大进展。最近的碳达峰实施方案（2022年）强调了对钢铁、水泥等原材料的生命周期碳足迹核算（Hasanbeigi等，2024年）。

尽管中国目前并未对这些材料强制实施国家层面的二氧化碳强度阈值，但绿色采购框架通过自愿性标准、数据库和技术指导，日益支持此类目标。这一绿色采购框架可以扩展应用于国际采购。同时，现有的国内框架不应制约国际采购政策的发展：中国的海外环境标准领先于国内政策已有先例，例如在淘汰燃煤电厂方面（Springer，2022年）。

为中国海外发展融资项目中的低碳钢铁和水泥制定绿色采购相关政策，可以由多个机构负责，从部委到开发性金融机构再到国有企业。每个机构在全球基础设施项目的开发和潜在的绿色采购政策中都可以发挥独特的作用。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

参考文献

附录

部委

中国的关键部委，如国家发展和改革委员会、商务部和财政部，在监督和指导国家海外发展融资活动方面发挥着核心的监管作用。其中许多部委也参与国内的绿色采购政策和实施。

在国内，财政部管理中国的总体公共采购预算，并监督集中采购目录，包括节能产品（ECP）清单和环境标志产品（ELP）清单。财政部在制定和执行指导绿色公共采购的政策方面发挥着关键作用，包括联合发布重要的绿色公共采购政策通知，如2019年调整节能产品和环境标志产品采购机制的通知。在海外基础设施融资方面，财政部负责制定支撑中国发展融资体系的财政和金融政策。它通常设定贷款的监管框架，并监督中国进出口银行等机构使用的融资机制，特别是对于有政府补贴或担保支持的项目。财政部还可以影响是否以及如何将绿色标准附加到用于海外基础设施投资的金融工具中。财政部在国内绿色采购和国际融资中角色的互补性，使其成为制定国际绿色采购政策的关键部委。

在国内绿色采购中，住房和城乡建设部是负责制定绿色建筑和建筑材料技术标准的关键机构。它管理着绿色建材信息应用数据库，并领导推广使用低碳建筑产品的试点项目。在国际上，住房和城乡建设部较少直接参与发展融资，但影响着中国海外建筑项目中使用的技术标准和规范。通过其对建筑行业大型国有企业的监督及其技术指导，住房和城乡建设部有潜力影响海外基础设施项目中的绿色设计标准和材料选择，特别是当国内标准被输出到由中国企业主导的外国项目时。

在国内，工业和信息化部通过为包括钢铁和水泥在内的建筑材料等工业产品制定技术指南和评估方法，来支持绿色采购。它提供用于认证产品是否符合节能或环境标志标准的准则。在海外基础设施发展方面，工业和信息化部通过为钢铁和水泥等行业制定产业政策来发挥间接作用。其政策影响着中国制造商的生产标准和技术升级，进而影响海外基础设施项目中使用材料的碳强度。

在国内，生态环境部是制定和发布环境标志标准的核心机构。它对产品的环境绩效进行认证，并支持创建生命周期评估方法。生态环境部还与其他部委合作，通过将环境指标纳入采购政策来支持绿色公共采购。虽然生态环境部不是中国海外发展融资的主要参与者，但通过塑造中国的环境治理标准，它正在发挥越来越大的影响力。这些标准可以通过诸如《对外投资合作绿色发展工作指引》（2021年）等政策扩展到对外投资中。

国家发展和改革委员会与财政部共同管理节能产品清单，并有权对重大投资计划进行审批，包括对大型项目的可持续性评估。它在实施中国更广泛的绿色转型中发挥协调作用，包括支持关键材料和行业的基于生命周期的碳核算。在国际舞台上，国家发展和改革委员会是规范中国对外投资和基础设施发展的最有权力的行为体之一，特别是通过其在审批海外项目和发布“一带一路”政策指导意见方面的作用。其支持对于在国际项目中设定绿色采购标准至关重要，并且它有权要求将任何与低碳采购相关的标准作为海外项目审批流程的一部分。

为促进在中国海外发展融资基础设施项目中采购低碳钢铁和水泥，中国的监管部委可以设计和实施有针对性的政策措施。这些部委作为对外投资、采购政策和金融监管的把关人，具有独特的优势来设定标准和规定，使中国的国际基础设施足迹与其气候雄心保持一致。

首先，国家发展和改革委员会、商务部和财政部可以联合发布一份指导文件，为发展融资的海外项目建立海外低碳采购的基础框架，明确规定此类项目中使用的钢铁和水泥必须满足明确定义的碳强度基准。

其次，各部委可以将提交环境产品声明作为招标和项目审批流程中的正式要求。负责审批重大海外基础设施投资的国家发展和改革委员会可以将提交环境产品声明作为项目批准的前提条件。这将提高材料选择的透明度和问责制，并有助于将生命周期碳分析常态化地纳入采购程序。负责管理国际经济合作的商务部可以将环境产品声明要求纳入涉及中国公司和金融机构的项目的合同模板和招标文件中。

最后，各部委可以为钢铁和水泥设定可执行的碳强度阈值，采用分级体系（例如，基础级、先进级、最优级），以允许逐步但渐进地向低排放材料过渡。这些阈值可以随着技术进步和行业脱碳轨迹的发展而定期更新，鼓励材料生产商通过低碳工艺进行创新和差异化竞争。

开发性金融机构

作为海外基础设施贷款和信贷的主要提供者，中国开发性金融机构的金融政策和尽职调查流程对大型项目中使用的材料以及遵循的环境标准具有重要影响。开发性金融机构激励更绿色采购的最直接方式之一，是将低碳材料的使用纳入其项目评估和风险评估框架。例如，国家开发银行和中国进出口银行可以要求借款方或实施企业将绿色采购计划作为贷款申请或环境与社会风险评估的一部分。该计划需要展示如何以最小化生命周期温室气体排放的方式来采购关键建筑材料（如钢铁和水泥），并辅以环境产品声明等文件作为支持。未能满足最低绿色采购标准的项目可能会被要求采取额外的减缓措施。

除了风险管理，开发性金融机构还可以为低碳材料的使用创造金融激励。这些激励措施将效仿全球范围内绿色信贷和可持续发展挂钩贷款的做法，并与中国更广泛的绿色金融体系建设保持一致。国家开发银行和中国进出口银行可以开发内部评分系统，根据项目采购低排放建筑材料的情况，使用分级的碳强度阈值来评估绩效，并给予相应的加分或优惠待遇。

此外，开发性金融机构可以通过为借款方制定绿色材料采购指南和技术援助工具，为市场转型做出贡献。这将有助于标准化各项目的期望，并为东道国的项目发起方提供实际支持，因为后者可能缺乏识别和评估低碳建筑材料所需的技术知识或数据。技术援助的另一个方面是激励向东道国生产商进行低碳钢铁和水泥生产技术的知识和技术转让，以增强其在绿色采购中的竞争力。开发性金融机构可以为那些通过经核实的技术转让伙伴关系在当地采购低碳材料的项目提供激励措施。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

参考文献

附录

国有企业

中国的国有企业是国家海外发展融资项目的主要实施者，通常在全球南方国家大型基础设施项目的规划、建设和交付中发挥核心作用。这些企业，特别是在交通和能源等行业的企业，常常担任中国开发性金融机构资助项目的承包商或工程、采购和建设提供商。知名国有企业（如中国铁建股份有限公司、中国建筑集团有限公司和中国电力建设集团有限公司）会参与设计材料规格、采购施工材料和监督供应链。

为促进低碳采购，国有企业可以将环境绩效标准纳入其内部采购政策和供应商合同。这可能包括要求钢铁和水泥提供环境产品声明，为材料设定碳强度阈值，或创建低排放供应商的优先采购清单。试点项目或公司级的采购政策可以作为将碳核算纳入采购决策的试验场。

然而，要大规模实现这一点，国有企业需要获得激励，使环境绩效与其更广泛的商业和政治目标保持一致。目前，许多国有企业主要根据成本效益、交付时间和地缘政治考量进行评估，如果这些材料被认为价格更昂贵或采购物流更复杂，可能会阻碍企业选择低碳材料。

一个挑战是，国有企业通常在竞争激烈的国际市场中运营，利润空间很小，而东道国对环境绩效的要求又很低。在这种情况下，如果没有中国当局或金融机构明确的监管或财政激励，国有企业几乎没有理由优先考虑低碳采购。此外，全球碳标签的碎片化状态以及许多中国钢铁和水泥产品缺乏环境产品声明，使得项目管理者难以自信地选择更绿色的材料。

中国的国有企业监管机构可以在解决这些差距方面发挥重要作用。监督中央企业的国务院国资委可以修订国有企业绩效评估标准，纳入绿色采购目标或与排放相关的关键绩效指标。例如，国资委可以奖励那些在海外项目中持续采购低碳材料的国有企业，给予更高的内部绩效评级或政策支持。国资委还可以指示国有企业在项目投标和合同中直接纳入当地联合生产与培训要求，努力提高东道国低碳生产的竞争力。

在中国全球基础设施项目中有效实施针对低碳钢铁和水泥的绿色采购政策，需要一套协调的机制。在政策制定机构中，存在许多跨领域机制，可以应对排放数据和认证的技术挑战，建设东道国的能力，并确保项目开发商有财务和制度上的激励来优先考虑低碳材料。关键的实施支柱包括与国际标准协调、能力建设以及强有力的监测和报告体系。

政策制定者应努力使中国的绿色采购要求与成熟的国际排放核算和环境产品认证标准相协调。在国际上，绿色公共采购和“清洁采购”倡议正变得越来越普遍。钢铁和水泥的碳强度基准应基于全生命周期排放进行计算，并得到环境产品声明或等效的第三方核实文件的支持。使中国的标准与国际框架（如全球水泥与混凝土协会标准、“负责任钢铁”认证和ISO 14040/44生命周期评估标准）保持一致，将有助于确保环境可信度，并促进与多边开发银行和东道国监管体系的互操作性。

这种协调还将降低项目开发商和材料供应商的交易成本，否则他们将面临不一致或冲突的认证要求。为推进这一目标，中国的开发性金融机构可以与亚洲开发银行或亚洲基础设施投资银行等国际金融机构，以及国际金融公司或联合国环境规划署等技术组织建立伙伴关系。这些伙伴关系可以支持认证计划的互认、绿色材料数据库的联合开发，以及用于评估环境产品声明和碳绩效指标的联合培训项目。

许多国家缺乏支持绿色采购的监管框架、数据系统或市场准备。中国的发展金融机构、建筑行业的国有企业和政府机构可以通过将能力建设内容纳入项目规划和实施，帮助弥合这一差距。例如，项目协议可以包含关于碳核算或经认证的低碳材料采购的技术培训条款。中国的开发性金融机构还可以通过发布海外项目成功绿色采购实践的案例研究来支持知识共享。这些案例研究可以重点介绍低碳钢铁和水泥的使用，详述材料选择过程、供应商参与策略和环境成果。

为确保绿色采购政策的可信度和有效性，建立一个强有力的监测、报告和核证体系至关重要。监测、报告和核证框架应在项目和材料两个层面应用，追踪低碳采购承诺在整个项目周期中是否得到履行。这可能涉及第三方审计、标准化报告格式以及用于实时材料追踪的数字平台。中国的监管部委可以强制要求对官方发展融资渠道资助或批准的海外项目实施监测、报告和核证协议。可以试点应用基于区块链的溯源工具或材料护照等数字解决方案，以追踪国际项目中所用钢铁和水泥的来源和碳足迹。随着时间的推移，可以为海外基础设施开发一个集中的绿色材料登记平台，记录关于采购实践和环境绩效的经核实的数据。表4总结了我们的建议。

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

参考文献

附录

表4：“一带一路”绿色采购政策建议汇总

行为主体	关键建议
监管部委： 商务部、国家发展和改革委员会、财政部、住房和城乡建设部、工业和信息化部、生态环境部	- 联合发布针对海外项目的绿色采购指南，其中包含钢铁和水泥的碳强度基准 - 在招标和项目审批中，强制要求提供环境产品声明或第三方核实的碳排放数据 - 建立与国际标准接轨的分级碳强度阈值（基础级、先进级、最优级），并定期更新 - 借鉴国内经验（如财政部采购清单、住建部绿色建筑标准），为制定海外采购指南提供参考 - 将绿色标准纳入对外投资审批与监管流程（例如，通过国家发展和改革委员会）
开发性金融机构： 国家开发银行、中国进出口银行	- 要求借款方提交包含钢铁和水泥采购策略及排放数据的绿色采购计划 - 为采购低碳材料提供金融激励措施 - 建立内部绿色评分体系，对项目的采购绩效进行评级 - 发布技术指南和最佳实践案例研究，以支持借款方和承包商 - 与国际机构（如国际金融机构）合作，协调统一标准并互认环境产品声明
国有企业，由国务院国资委监管	- 将低碳标准（环境产品声明、碳强度阈值、生命周期评估）纳入采购政策和供应商合同 - 开展低碳采购的试点示范项目 - 通过增设绿色采购关键绩效指标，使国有企业绩效考核与气候目标对齐 - 提升采购人员和项目管理者的技术能力，并建立相关数据系统
跨领域建议与实施机制	- 与国际标准（如ISO 14040/44、“负责任钢铁”认证、全球水泥与混凝土协会标准）进行协调对接 - 通过培训、技术援助和南南合作，加强东道国的能力建设 - 在材料和项目两个层面建立健全的监测、报告与核证体系 - 创建集中式的绿色材料登记平台，追踪钢铁和水泥的碳强度，支持透明度

结论

以国家开发银行和中国进出口银行为首的中国开发性金融机构，已成为全球基础设施投资的核心参与者，自2008年以来提供了超过4720亿美元的贷款。大量关注聚焦于这些融资是支持化石燃料还是可再生能源，但同等重要的一个维度是，“一带一路”项目中大量使用了钢铁和水泥这两种碳密集型材料。这些材料对于公路、铁路、港口、桥梁和电站不可或缺，然而其生产贡献了全球近五分之一的二氧化碳排放。随着“一带一路”倡议覆盖140多个国家，中国的融资不仅塑造着能源和交通基础设施，也在未来数十年锁定了与材料相关的排放。

能源和交通在中国海外融资中占主导地位，两者合计占贷款的大部分，并产生最大的气候影响。仅能源领域在2008年至2024年间就获得了1840亿美元的贷款承诺，其中大部分用于化石燃料开采、煤电和大型水电项目。交通项目包括公路、铁路、港口和机场，这些行业高度依赖钢铁和水泥。这些材料为涡轮机、管道、桥梁和水坝提供了结构完整性，但也是生产中碳排放最高的材料之一。中国资助的海外电站每年已经排放2.87亿吨二氧化碳，如果规划中的项目得以推进，可能再增加5300万吨。在其生命周期内，由中国支持的亚洲煤电厂可能排放110亿吨二氧化碳，约占该地区燃煤相关排放总量的三分之一。除了这些运营影响，项目还常常导致森林砍伐、生物多样性丧失和土地利用变化，同时也面临日益增加的气候风险（洪水、台风、水资源压力）。因此，减少钢铁和水泥的隐含排放是摆脱化石燃料的重要补充。

尽管我们的研究结果显示，钢铁和水泥的隐含碳量相对于高碳密集型基础设施（如燃煤电厂）的直接排放而言较小，但它仍然代表了一类不可忽视且基本上未受监管的二氧化碳来源。在某些情况下，隐含排放可能在项目生命周期排放中占据相当大的份额。我们的分析涵盖了在中国海外开发性金融数据库中800多个有实体足迹项目中的233个有实体足迹的项目，主要是电站、公路和铁路。如果有关于港口、机场和化石燃料开采基础设施（这些也消耗大量钢铁和水泥）的更好数据，我们的总量将会增加。此外，我们仅分析了发展融资，排除了规模大得多的中国商业贷款和外商直接投资。例如，我们审查的项目包括4500万千瓦的电力装机容量，而CGP追踪了由中国外商直接投资支持的1.06亿千瓦装机容量，这些均未包含在我们的估算中。这意味着中国融资基础设施中隐含碳的实际规模要大得多，并且随着海外发展融资在数年后开始反弹，这一规模可能还会增长。如果没有新的政策，“一带一路”项目中钢铁和水泥使用产生的排放可能会扩大成为被忽视的气候影响的主要来源。

我们的估算显示，中国资助的交通和能源项目中的水泥使用已产生约245.2万吨二氧化碳排放，其中近200万吨来自已完工项目。南非、印度尼西亚、阿根廷、埃塞俄比亚和安哥拉占此足迹的40%。钢铁排放因采购来源而异：如果由东道国国内生产，总量为348万吨二氧化碳；如果完全从中国进口，则升至477.2万吨二氧化碳，这反映了中国较高的碳强度。各占50%的混合采购情景产生396.6万吨二氧化碳。在所有情况下，已完工项目在排放中占主导地位。在东道国国内采购情景下，阿根廷、南非、印度尼西亚、埃塞俄比亚和安哥拉合计占钢铁相关排放的62%。这些发现突显了采购决策如何显著影响结果，与东道国国内供应相比，使用中国钢铁会使排放增加37%。

要求使用低碳钢铁和水泥的绿色采购政策，为减少这些影响提供了一条途径。以水泥为例，若实施15%的减排标准，可减少二氧化碳排放36.8万吨；若将标准提升至30%，减排量可达73.5万吨；若推行50%的减排目标，则可实现122.6万吨的减排；而在最具雄心的75%减排情景下，累计减排量甚至能达到184万吨。在钢铁领域，绿色采购的减排潜力更为显著：在15%的减排目标下，可实现52.2万至71.6万吨的减排；在30%目标下，减排量可达104.4万至143.2万吨；在50%目标下，可进一步实现174万至238.6万吨的减排；而在追求75%的变革性目标时，预计可节省高达261万至357.9万吨的二氧化碳排放。虽然已完工项目占主导地位，但对在建和规划中项目实施更严格的标准仍将产生有意义的减排，更重要的是，这将发出市场信号，激励能效提升、推动水泥生产中的熟料替代，并加速基于废钢或氢气的炼钢工艺的发展。

在“一带一路”项目中实施绿色采购面临治理、技术和政治障碍。中国和东道国机构往往缺乏基于碳的采购框架，排放数据和报告仍然薄弱。低碳替代品可能前期成本更高，或面临供应限制，例如辅助胶凝材料有限或为电弧炉供电的可再生电力不足。东道国的政治优先事项可能更强调成本和速度，而非可持续性。然而，中国有多种选择来帮助其海外实践与绿色采购框架保持一致。它可以利用其开发性金融机构和国有企业重塑供应链，建设东道国在排放核算和低碳生产方面的能力，并试点石灰石煅烧粘土水泥和氢基炼钢等创新技术。绿色采购还将通过降低能源成本、提高竞争力和减少空气污染，支持东道国的工业现代化和经济发展。

为实现这一目标，需要一个协调的政策框架。监管部委（国家发展和改革委员会、商务部、财政部、住房和城乡建设部、工业和信息化部、生态环境部）应联合发布海外绿色采购指南，强制要求在招标中使用环境产品声明，并为钢铁和水泥设定与国际标准接轨的分级碳强度阈值。包括国家开发银行和中国进出口银行在内的开发性金融机构，应要求在贷款申请中提交绿色采购计划，引入金融激励措施，并发布技术指南。作为主要实施者的国有企业，应在国资委的支持下，将碳标准纳入合同，试点低碳采购，并使绩效指标与气候目标保持一致。跨领域措施应包括与国际标准协调、东道国能力建设、强有力的监测与核证体系，以及一个集中的绿色材料登记平台。

中国的海外发展融资已经在塑造全球基础设施的碳轨迹。钢铁和水泥的隐含排放虽小于电厂的直接排放，但仍是一类被忽视、未受监管且不断增长的二氧化碳来源。通过将绿色采购嵌入“一带一路”项目，中国可以减少隐含排放，推动材料行业的创新，并使其全球投资与国际气候目标保持一致。

阿根廷，布宜诺斯艾利斯 | 图源：Gabryel Alcantara via Unsplash.



参考文献

- Abolarin, Abisola. 2017. "Prodded by China Cash, CCECC Takes Over Rail Construction In Nigeria." *Nairametrics*, March 24. <https://nairametrics.com/2017/03/24/prodded-by-china-cash-ccecc-takes-over-rail-construction-in-nigeria>.
- AfDB (African Development Bank). 2020. *Sustainable Public Procurement Guidance Note*. Abidjan: AfDB. www.afdb.org/sites/default/files/2020/12/18/guidance_note_-_sustainable_public_procurement.pdf.
- Alves Dias, P., C. Pavel, B. Plazzotta, and S. Carrara. 2020. *Raw Materials Demand for Wind and Solar PV Technologies in the Transition towards a Decarbonised Energy System*. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/160859>.
- American Cement Association. 2025. "Applications of Cement." Accessed October 12, 2025. www.cement.org/cement-concrete/applications-of-cement.
- Antonio, Jason G. 2024. "Photos: An inside Look at SaskPower's New Power Plant." *MooseJawToday.Com*, December 20. <https://www.moosejawtoday.com/local-news/photos-an-inside-look-at-saskpowers-new-power-plant-9980304>.
- Asian Development Bank (ADB). 2023. Initial Environmental and Social Examination Report: SAEL Gujarat Solar Power Project. <https://www.adb.org/sites/default/files/project-documents/57191/57191-001-iee-en.pdf>.
- ADB (Asian Development Bank). 2021. *Sustainable Public Procurement: Guidance Note on Procurement*. Metro Manila: Asian Development Bank. <https://doi.org/10.22617/TIM210517-2>.
- Bechtel. 2025. "Prairie State Energy Campus." Bechtel. <https://www.bechtel.com/projects/prairie-state-energy-campus/>.
- BHP. 2022. "Steel and Iron Ore Market Outlook /Steel Decarbonisation Pathways." October 3. https://www.bhp.com/-/media/documents/media/reports-and-presentations/2022/221003_marketingspeeches.pdf.
- Boston University Global Development Policy Center. 2025a. "China's Global Power Database." www.bu.edu/cgp.
- Boston University Global Development Policy Center. 2025b. "China's Overseas Development Finance Database." www.bu.edu/gdp/chinas-overseas-development-finance.
- Casier, Liesbeth, and Sofia Strömgård. 2025. "Public Money, Public Value: The European Union's Public Procurement Directive Review Explained." *International Institute for Sustainable Development*, September 5. www.iisd.org/articles/explainer/european-union-public-procurement-directive-review.
- CGTN (China Global Television Network). 2021. "Belt and Road Initiative: Karot Hydropower Station in Pakistan Begins Water Storage." November 25. <https://news.cgtn.com/news/2021-11-20/VHJhbnNjcmlwdDYwNDc0/index.html>.
- Chin, Gregory T., and Kevin P. Gallagher. 2019. "Coordinated Credit Spaces: The Globalization of Chinese Development Finance." *Development and Change* 50(1): 245–274. <https://doi.org/10.1111/dech.12470>.
- China Energy News 中国能源报. 2017. "特种水泥特给力 Special Cement Is Especially Powerful." https://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2017-08/28/content_1801358.htm.
- City of Springfield. 2025. "Electric Generation - City Water, Light, and Power." <https://www.cwlp.com/departments/electricdephome/electricinformation/generation.aspx>.
- Clinker Production. 2025. "Integrating Cement with Renewable Energy Infrastructure." July 1. <https://clinkerproduction.com/icerik/integrating-cement-with-renewable-energy-infrastructure>.

Cooperman, Aubryn, Annika Eberle, Dylan Hettinger, et al. 2023. *Renewable Energy Materials Properties Database: Summary*. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO (United States). <https://www.osti.gov/biblio/1995804>.

Cota, Adriana Salazar, Luz Fernández, and Wilhelm Dalaison. 2018. "Green Procurement: How to Encourage Green Procurement Practices in IDB Funded Projects?" *IDB Publications*, ahead of print, October 9. <https://doi.org/10.18235/0010715>.

Department of Enterprise, Tourism and Employment. 2025. "Procurement Guidance for Public Bodies: Reducing Embodied Carbon in Construction." April 15. <https://gov.ie/en/department-of-enterprise-tourism-and-employment/publications/procurement-guidance-for-public-bodies-reducing-embodied-carbon-in-construction>.

Eberle, Annika, Aubryn Cooperman, Julien Walzberg, et al. 2023. *Materials Used in U.S. Wind Energy Technologies: Quantities and Availability for Two Future Scenarios*. <https://doi.org/10.2172/1995805>.

Engel, John. 2022. "Building Tomorrow's Clean Energy Systems on Green Steel." *Factor This™*, August 30. <https://www.renewableenergyworld.com/solar/building-tomorrows-clean-energy-systems-on-green-steel/>.

Erizaputri, Sharmila, and Ronja Bechauf. 2024. *The Role of Multilateral Development Banks for Low-Carbon Procurement in the Infrastructure Sector*. Winnipeg, Manitoba: International Institute for Sustainable Development. www.iisd.org/publications/report/multilateral-development-banks-low-carbon-procurement.

European Commission. 2008. "Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions Public Procurement for a Better Environment {SEC(2008) 2124} {SEC(2008) 2125} {SEC(2008) 2126}." July 16. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008DC0400>.

Gallagher, Kevin, William Kring, Rebecca Ray, Oyintarelado Moses, Cecilia Springer, Lin Zhu, and Yan Wang. 2023. *The BRI at Ten: Maximizing the Benefits and Minimizing the Risks of China's Belt and Road Initiative*. Boston, MA: Boston University Global Development Policy Center. www.bu.edu/gdp/2023/10/09/the-bri-at-ten-maximizing-the-benefits-and-minimizing-the-risks-of-chinas-belt-and-road-initiative.

Global Cement and Concrete Association. 2022. "Concrete Future: The GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete." <https://gccassociation.org/concretefuture/wp-content/uploads/2022/10/GCCA-Concrete-Future-Roadmap-Document-AW-2022.pdf>.

Ghossein, Tania, Bernard Hoekman, and Anirudh Shingal. 2018. "Public Procurement in the Belt and Road Initiative." Discussion Paper 10. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development/World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/143241544213097139/pdf/132786-MTI-Discussion-Paper-10-Final.pdf>.

Ghossein, Tania, Bernard Hoekman, and Anirudh Shingal. 2021. "Public Procurement, Regional Integration, and the Belt and Road Initiative." *The World Bank Research Observer* 36(2): 131-163. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkab004>.

Hasanbeigi, Ali. 2021. "Global Cement Industry's GHG Emissions." *Global Efficiency Intelligence*, May 17. www.globalefficiencyintel.com/new-blog/2021/global-cement-industry-ghg-emissions.

Hasanbeigi, Ali. 2022. *Steel Climate Impact: An International Benchmarking of Energy and CO2 Intensities*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence. www.globalefficiencyintel.com/steel-climate-impact-international-benchmarking-energy-co2-intensities.

Hasanbeigi, Ali. 2025. *Steel Climate Impact 2025: An International Benchmarking of Energy and GHG Intensities*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence. www.globalefficiencyintel.com/steel-climate-impact-2025-an-international-benchmarking-of-energy-and-ghg-intensities.

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目 及其对钢铁和水泥的 需求

中国资助的重点能源与 交通项目中钢铁与水泥 采购的规模与来源

中国发展融资重点能源 与交通项目所用钢铁及 水泥的二氧化碳排放 总量

中国海外基础设施项目 中水泥与钢铁绿色采购 的潜在减排量

绿色采购的国际最佳 实践

“一带一路” 绿色采购 政策建议

结论

参考文献

附录

Hasanbeigi, Ali, and Navdeep Bhadbhade. 2023. *Green Public Procurement of Steel in India, Japan, South Korea*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence. www.globalefficiencyintel.com/green-public-procurement-of-steel-in-india-japan-south-korea.

Hasanbeigi, Ali, and Adam Sibal. 2024. *Scale and Impact of Green Public Procurement of Steel and Cement in Canada, Germany, the UK, and the US*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence. www.globalefficiencyintel.com/scale-and-impact-of-green-public-procurement-of-steel-and-cement-in-canada-germany-uk-us.

Hasanbeigi, Ali, Renilde Becqué, and Cecilia Springer. 2019. *Curbing Carbon from Consumption: The Role of Green Public Procurement*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence.

Hasanbeigi, Ali, Hongyou Lu, and Nan Zhou. 2023. *Net-Zero Roadmap for China's Steel Industry*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence. www.globalefficiencyintel.com/netzero-roadmap-for-china-steel-industry.

Hasanbeigi, Ali, Dinah Shi, and Navdeep Bhadbhade. 2022. *Advancing Buy Clean Policy in Canada*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence. www.globalefficiencyintel.com/advancing-buy-clean-policy-in-canada.

Hasanbeigi, Ali, Cecilia Springer, and Navdeep Bhadbhade. 2024. *Advancing Green Public Procurement of Steel and Cement in China*. Tampa Bay, FL: Global Efficiency Intelligence. <https://static1.squarespace.com/static/5877e86f9de4bb8bce72105c/t/65db52f8e47a9b6caa99b069/1708872483620/China+GPP+report+-26Feb2024.pdf>.

Heads of Procurement at Multilateral Development Banks. 2023. *Joint Statement on Sustainable Procurement Initiatives by the Heads of Procurement at Multilateral Development Banks*. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/c75f83eb37fda5ce0cbd9ff7d769026d-0290032023/original/Joint-Statement-on-Sustainable-Procurement-Commitment.pdf>.

Hou, Lingli, Tomer Fishman, Ranran Wang, et al. 2024. "A Comprehensive Accounting of Construction Materials in Belt and Road Initiative Projects." *Environmental Science & Technology* 58 (35): 15575–86. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c04142>.

IEA (International Energy Agency). 2019. "Material Efficiency in Clean Energy Transitions – Analysis". <https://www.iea.org/reports/material-efficiency-in-clean-energy-transitions>.

IEA (International Energy Agency). 2020. "Iron and Steel Technology Roadmap: Analysis." October 8. www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap.

IDB (Inter American Development Bank). 2024. "Inter-American Development Bank Sustainability Report 2023." *IDB Publications*, ahead of print, November 15. <https://doi.org/10.18235/0013246>.

Jean, Joel, Patrick R. Brown, Robert L. Jaffe, Tonio Buonassisi, and Vladimir Bulović. 2015. "Pathways for Solar Photovoltaics." *Energy & Environmental Science* 8 (4): 1200–1219.

JICA. 2022. "JICA Guidelines for Environmental and Social Considerations (January 2022)." Accessed October 12, 2025. www.jica.go.jp/english/about/policy/environment/guideline/index.html.

Kadezabek, Sam. 2023. "How Steel Is Used in Infrastructure." *Service Steel Warehouse*, March 21. www.servicesteel.org/resources/how-steel-is-used-in-infrastructure.

KfW. 2014. *Toolbox: Sustainable Procurement*. Frankfurt am Main: KfW Development Bank. www.kfw-entwicklungsbank.de/PDF/Download-Center/PDF-Dokumente-Richtlinien/Toolbox-zur-Nachhaltigen-Auftragsvergabe-EN.pdf.

Kong, Bo, and Kevin P. Gallagher. 2021. "The New Coal Champion of the World: The Political Economy of Chinese Overseas Development Finance for Coal-Fired Power Plants." *Energy Policy* 155: 112334.

Lewis, Scott. 2017. "With China's Help, Nigeria Builds a Vital Rail Artery." *Engineering News-Record*, April 17. [/www.enr.com/articles/46723-with-chinas-help-nigeria-builds-a-vital-rail-artery](http://www.enr.com/articles/46723-with-chinas-help-nigeria-builds-a-vital-rail-artery).

Li, Xia, and Kevin P. Gallagher. 2022. "Assessing the Climate Change Exposure of Foreign Direct Investment." *Nature Communications* 13(1): 1451.

Malafaia, Marcelo. 2019. "Brazil, Belo Monte - Green Energy for 60 Million People." <https://www.andritz.com/hydro-en/hydronews/hn34/belo-monte-brazil>.

Mendez, Alvaro, and David Patrick Houghton. 2020. "Sustainable Banking: The Role of Multilateral Development Banks as Norm Entrepreneurs." *Sustainability* 12(3): 972. <https://doi.org/10.3390/su12030972>.

METINVEST. 2021. "Steel in Road Construction." <https://metinvestholding.com/en/media/news/stalj-v-avtodorozhnom-stroiteljstve>.

Miatto, Alessio, Heinz Schandl, Dominik Wiedenhofer, Fridolin Krausmann, and Hiroki Tanikawa. 2017. "Modeling Material Flows and Stocks of the Road Network in the United States 1905-2015." *Resources, Conservation and Recycling* 127 (December): 168-78. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.024>.

Ministry of Industry and Technology. 2024. *Türkiye: Small Industrial Estates Reconstruction and Regional Economic Recovery Project. Environment and Social Management Framework*. Washington, DC: World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099012925082027779/pdf/P502837133103f0d18c5118e628f20e93d.pdf>.

Moses, Oyintarelado, Laura Gormley, and Cecilia Springer. 2022. "China's Paid-in Capital: Identifying and Analyzing China's Overseas Development Investment Funds." Working Paper 25. Boston, MA: Boston University Global Development Policy Center.

Mumba, Evans. 2015. "Angola's Laúca Dam Set to Produce Energy in 2017." *Zambian Mining News*, November 5. <https://www.miningnewszambia.com/angolas-lauca-dam-set-to-produce-energy-in-2017/>.

Nguyen, Thi Cuc, Tomer Fishman, Alessio Miatto, and Hiroki Tanikawa. 2019. "Estimating the Material Stock of Roads: The Vietnamese Case Study." *Journal of Industrial Ecology* 23 (3): 663-73. <https://doi.org/10.1111/jiec.12773>.

Ocampo, José Antonio, and Karla Daniela González. 2024. "The Role of Multilateral Development Banks and Development Assistance in the Provision of Global Public Goods." Background Paper 2-2024. New York: UN Development Programme.

Office of the Federal Chief Sustainability Officer. n.d. "Federal Buy Clean Initiative." Accessed September 29, 2025. www.sustainability.gov/archive/biden46/buyclean/index.html.

Openaid. n.d. "Capacity Development Programme Sustainable Public Procurement." Accessed October 13, 2025. www.openaid.se/en/contributions/SE-O-SE-6-12936#description.

Peterson, P. F., H. Zhao, and R. Petroski. 2005. "Metal And Concrete Inputs For Several Nuclear Power Plants (UCBTH-05-001)." *University of California, Berkeley*.

The Phnom Penh Post. 2019. "Siam Cement Group to Expand Cambodia Services and Products." February 13. www.phnompenhpost.com/business/siam-cement-group-expand-cambodia-services-and-products.

Pieters, L., E. Ester van der Voet, LM Linda Kamp, and J. Janneke van Oorschot MSc. 2021. "Towards a Circular Economy: Material Changes in the Dutch Railway Infrastructure until 2050." Leiden University/ Delft University of Technology, Leiden/Delft.

Polimex Mostostal S.A. 2025. "Grupa Enea's New 1075 MW Power Plant Transferred to Operation | Polimex Mostostal S.A." <https://www.polimex-mostostal.pl/en/news/grupa-eneas-new-1075-mw-power-plant-transferred-operation>.

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目 及其对钢铁和水泥的 需求

中国资助的重点能源与 交通项目中钢铁与水泥 采购的规模与来源

中国发展融资重点能源 与交通项目所用钢铁及 水泥的二氧化碳排放 总量

中国海外基础设施项目 中水泥与钢铁绿色采购 的潜在减排量

绿色采购的国际最佳 实践

“一带一路” 绿色采购 政策建议

结论

参考文献

附录

Ray, Rebecca, Diego Morro, Alice Ni, Mengdi Yue, and Riza Zhapabayeva. 2025. “Peer-to-Peer Lending China’s Overseas Development Finance Pivots to National and Regional Development Banks.” GCI Policy Brief 026. Boston, MA: Boston University Global Development Policy Center. www.bu.edu/gdp/files/2025/07/GCI-PB-26-CODF-2025-FIN.pdf.

RWE. 2020. “Staythorpe C Celebrates Its 10 Year Anniversary.” December 8. <https://www.rwe.com/en/press/rwe-generation/2020-12-08-staythorpe-c-celebrates-its-10-year-anniversary/>.

Rutkowski, Emma, Hannah Pitt, and Kate Larsen. 2024. “The Global Cement Challenge.” Rhodium Group, March 21. <https://rhg.com/research/the-global-cement-challenge>.

Shi, Feng, Tao Huang, Hiroki Tanikawa, Ji Han, Seiji Hashimoto, and Yuichi Moriguchi. 2012. “Toward a Low Carbon-Dematerialization Society: Measuring the Materials Demand and CO2 Emissions of Building and Transport Infrastructure Construction in China.” *Journal of Industrial Ecology* 16 (4): 493–505. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00523.x>.

Sida. 2002. *Sida’s Policy for Green Procurement, for Cooperating Partners*. Stockholm: Sida. <https://cdn.sida.se/publications/files/sida2025en-sidas-policy-for-green-procurement---for-cooperating-partners.pdf>.

Spath, Pamela L., Margaret K. Mann, and Dawn R. Kerr. 1999. *Life Cycle Assessment of Coal-Fired Power Production*. National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States). <https://www.osti.gov/biblio/12100>.

Springer, Cecilia Han. 2022. “China’s Withdrawal from Overseas Coal in Context.” *World Development Perspectives* 25: 100397. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2022.100397>.

Springer, Cecilia Han, Samuel Evans, and Fei Teng. 2021. “An Empirical Analysis of the Environmental Performance of China’s Overseas Coal Plants.” *Environmental Research Letters* 16(5): 054062.

State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council. 2020. “First Baihetan Hydropower Station’s Dam Sections Complete Concreting.” December 3. http://en.sasac.gov.cn/2020/12/03/c_11864.htm.

STRABAG. 2019. “HYDRO POWER PLANT ALTO MAIPO.” https://www.strabag.com.au/databases/internet/_public/files30.nsf/SearchView/C3E538D7FE54CB67C125852A003FC6C1/%24File/HYDRO%20POWER%20PLANT%20ALTO%20MAIPO.pdf.

Sullivan, Daniel E. 2006. *USGS Fact Sheet: Materials in Use in U.S. Interstate Highways*. <https://pubs.usgs.gov/fs/2006/3127/2006-3127.pdf>.

Taylor, Jeff. 2024. “Sustainable Procurement: ADB/WTO Trade Forum 2024.” Accessed October 12, 2025. <https://airdrive.eventsair.com/eventsairseasiaproduct/production-ADB-public/dec3387faedb478d8f39e7a1c36265fd>.

TIANJIN POSCO Group. 2025. “Application of Steel in the Energy Industry.” Accessed November 1, 2025. www.poscogroup.com/application-of-steel-in-the-energy-industry.

UK FCDO. n.d. “Procurement at FCDO.” Accessed October 13, 2025. www.gov.uk/government/organisations/foreign-commonwealth-development-office/about/procurement.

Underwood, Robert, Moonyong Kim, Storm Drury, et al. 2023. “Abundant Material Consumption Based on a Learning Curve for Photovoltaic toward Net-Zero Emissions by 2050.” *Solar RRL* 7 (8). <https://doi.org/10.1002/solr.202200705>.

UNECE. 2022. *Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-Cycle Assessment of Electricity Sources*.

UNEP. 2022. *Sustainable Public Procurement: 2022 Global Review. Part II. Diffusion of Sustainable Procurement to the Private Sector, International Organizations and the Role of Supporting Entities*. Paris: UN Environment Programme. www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/from-crm/377_II_UNEP_Global_Report_2022_EN.pdf.

US-EU Trade and Technology Council Working Group on Climate and Clean Tech. 2024. "Joint U. S.-EU Catalogue of Best Practices on Green Public Procurement." April 5. https://ustr.gov/sites/default/files/EU-US%20TTC6_Annex_GPP%20Best%20Practices.pdf.

Wang, Christoph Nedopil. 2025. "China Belt and Road Initiative (BRI) Investment Report 2024." *Green Finance & Development Center*, February 27. <https://greenfdc.org/china-belt-and-road-initiative-bri-investment-report-2024>.

World Bank. 2023. "Implementing Sustainable Procurement." World Bank, June 27. <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/products-and-services/brief/e-s-procurement-joint-guidance-on-sustainable-procurement>.

worldsteel. 2025. "World Steel in Figures 2025." Accessed September 5, 2025. <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures/world-steel-in-figures-2025>.

Yang, Shixun. 2022. "谈海外铁路项目钢轨国内采购." Accessed October 17, 2025. www.goalfore.cn/a/3620.html.

执行摘要
引言
中国海外基础设施项目 及其对钢铁和水泥的 需求
中国资助的重点能源与 交通项目中钢铁与水泥 采购的规模与来源
中国发展融资重点能源 与交通项目所用钢铁及 水泥的二氧化碳排放 总量
中国海外基础设施项目 中水泥与钢铁绿色采购 的潜在减排量
绿色采购的国际最佳 实践
“一带一路”绿色采购 政策建议
结论
参考文献
附录

附录1：材料采购与排放估算方法

本研究旨在估算中国开发性金融机构资助的海外基础设施项目所采购的建筑材料（水泥和钢铁）总量及其相关排放。该方法包括两个主要步骤：计算材料采购量和估算相关排放量。

鉴于估算全球规模材料采购量的文献有限，且发展中国家可用的数据稀疏且不均衡，我们开发了一种基于质量的计算方法，专门侧重于材料强度：

$$\text{材料采购总量（水泥/钢铁）} = \text{材料强度} \times \text{建成的基础设施单位}$$

材料强度基于每单位基础设施（例如，电站的兆瓦，或公路和铁路的公里）的钢铁和水泥用量的文献估算值。

我们的分析分两个阶段进行：识别项目和确定材料强度。

识别项目

我们利用波士顿大学GDP中心管理的两个数据库（中国海外开发性金融数据库，2025年更新；中国全球电力数据库，2025年更新）中的项目级数据来界定研究范围。通过唯一标识符链接这些数据集，我们能够全面了解中国的海外基础设施项目，获取项目容量、长度、融资细节和实施状态等详细信息。

我们特别利用了来自中国海外开发性金融数据库的最新可用项目状态数据（2025年8月），将项目分类为在建、规划中或已完工。这种分类使我们能够提供有针对性的政策启示，特别关注当前在建或规划阶段的项目，在这些项目中改进绿色公共采购实践可以减少未来建设中的隐含排放。

分析集中于两个基础设施部门：交通（公路和铁路）和发电（火电、水电、可再生能源和核电）。选择这些部门是因为它们在中国海外基础设施投资中占据主导份额，并且水泥和钢铁用量巨大。从这些部门获得的见解可以广泛应用于其他领域的基础设施采购实践。

在交通领域，分析具体侧重于公路和铁路项目，因为它们占主导地位。对于能源部门，分析针对新建电站，包括火电（燃煤和燃气）、水电、可再生能源（太阳能、风能）和核电项目，但排除了地热、生物质能和燃油电厂，这些仅代表少数项目（1-2个）。

尽管改造和修复项目在中国海外投资中占有显著比例（例如，占交通项目的40%），但分析中将其排除。这一决定基于两个因素：地理空间数据集未能清晰区分新建和扩建项目，可能导致结果偏差；仅关注新建项目确保了方法的精确性。

表A1：汇总统计

类别	子类别/类型	项目数量（个）	占比（%）
项目总数	—	233	100.00%
按部门			
	能源	101	43.30%
	交通	132	56.70%
按状态			占总数的比例
	已完工	187	80.30%
	在建	40	17.20%
	规划中	6	2.60%
能源	水电	54	53.50%
	火电	44	35.60%
	其他	11	10.89%
交通	公路	114	86.30%
	铁路	18	13.60%

来源：作者自行编制。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路”绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

确定材料强度

材料强度数据（每单位基础设施的水泥和钢铁用量）是通过广泛的文献综述获得的。这包括经过同行评审的学术研究、多边开发银行项目报告、建筑公司自行报告的数据以及行业协会报告。根据这些文献，确定了材料强度范围，并选定了最终强度值。由于材料强度的差异，某些基础设施类别需要进一步细分。例如，水电项目被分类为径流式和水坝式设施，而公路项目则根据路面类型（沥青路面或混凝土路面）进行分类。

表A2：所分析项目的材料强度汇总

部门	项目类型	钢铁乘数（吨/单位）	水泥乘数（吨/单位）
交通	公路（混凝土）	79吨/公里	653吨/公里
	公路（沥青与混凝土）	4.9吨/公里	45.71吨/公里
	铁路	232吨/公里	168吨/公里
能源	水电（水坝式）	14.5吨/兆瓦	140吨/兆瓦
	水电（径流式）	7.5吨/兆瓦	47.376吨/兆瓦
	燃煤电厂	37吨/兆瓦	45.024吨/兆瓦
	燃气电厂	14吨/兆瓦	10.08吨/兆瓦
	风电场	130吨/兆瓦	60.34吨/兆瓦
	太阳能电站	50吨/兆瓦	44吨/兆瓦
	核电站	43吨/兆瓦	52.752吨/兆瓦

来源：作者根据以下文献自行编制：Alves Dias等，2020年；Antonio，2024年；亚洲开发银行，2023年；Bechtel，2025年；必和必拓公司，2022年；《中国能源报》，2017年；斯普林菲尔德市，2025年；Cooperman等，2023年；Eberle等，2023年；Engel，2022年；Hou等，2024年；Jean等，2015年；Malafaia，2019年；乌克兰矿业和金属贸易集团，2021年；Miatto等，2017年；Mumba，2015年；Nguyen等，2019年；Peterson等，2005年；Pieters等，2021年；波兰Polimex Mostostal公司，2025年；莱茵集团，2020年；Shi等，2012年；Spath等，1999年；国务院国资委，2020年；STRABAG集团，2019年；Sullivan，2006年；Underwood等，2023年；联合国欧洲经济委员会（UNECE），2022年。

完成项目识别和细分，并从文献中整理出特定类型的材料强度乘数后，我们将每个项目类型与其对应的乘数进行匹配，并计算了水泥和钢铁的预估用量。结果在正文第4节中呈现。

水泥

鉴于中国全球发展融资的交通和能源项目中使用的水泥量，仅占各国水泥年产量的很小一部分（在大多数“一带一路”国家中低于10%），我们假设数据集中所有项目的水泥消费均在项目所在国当地采购。这也合乎逻辑，因为水泥体积大、重量重，长途运输成本高昂。因此，我们使用各国国内水泥行业的平均二氧化碳排放强度，作为设定水泥绿色公共采购目标的基线。

由于许多“一带一路”国家（特别是发展中经济体）缺乏针对具体国家的水泥生产二氧化碳强度数据，我们采用标准化假设来估算排放。我们使用了每吨熟料平均排放0.85吨二氧化碳的熟料二氧化碳强度，结合0.8的平均熟料水泥比。这得出每吨水泥约0.68吨二氧化碳的估算碳强度，本研究对所有国家均采用此值。在缺乏详细国家层面数据的情况下，这一恒定值为比较不同基础设施项目的水泥相关排放提供了合理的基础。

钢铁

为估算中国海外基础设施项目中所消耗钢铁的潜在二氧化碳排放，我们针对钢铁采购来源设定了几种情景。各国在中国发展融资的交通和能源项目中所用钢铁量，占该国钢铁年产量的份额在“一带一路”国家间差异很大。在有些国家，该份额低于10%；在另一些国家，则在30%至85%之间。因此，为便于分析，我们设定了以下三种采购情景：

- 1. “一带一路”项目所用钢铁100%由东道国国内采购
- 2. “一带一路”项目所用钢铁100%从中国采购
- 3. “一带一路”项目所用钢铁50%由东道国国内采购，50%从中国采购

采购来源对各国“一带一路”交通和能源项目所用钢铁的碳足迹有重大影响。这是因为各国钢铁行业结构（电弧炉与高炉-碱性氧气转炉生产比例）不同，导致该国生产的钢铁碳强度与中国生产的钢铁碳强度存在差异。

由于许多东道国（特别是发展中经济体）缺乏针对具体国家的钢铁生产二氧化碳强度数据，我们采用标准化假设来估算排放。我们首先确定了各国钢铁生产中来自高炉-碱性氧气转炉、废钢基电弧炉和天然气直接还原铁-电弧炉工艺的份额。然后，我们应用了平均二氧化碳强度：高炉-碱性氧气转炉每吨钢2.3吨二氧化碳，废钢-电弧炉每吨钢0.7吨二氧化碳，天然气直接还原铁-电弧炉每吨钢1.4吨二氧化碳（世界钢铁协会，2025年）。利用这些基准值，我们根据各国的生产工艺组合，计算了其加权平均二氧化碳强度。然后在我们的分析中应用这些国家层面的平均值，以估算“一带一路”交通和能源项目的钢铁相关排放。

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目及其对钢铁和水泥的需求

中国资助的重点能源与交通项目中钢铁与水泥采购的规模与来源

中国发展融资重点能源与交通项目所用钢铁及水泥的二氧化碳排放总量

中国海外基础设施项目中水泥与钢铁绿色采购的潜在减排量

绿色采购的国际最佳实践

“一带一路”绿色采购政策建议

结论

参考文献

附录

附录3：数据缺口与不确定性

估算整个“一带一路”项目的钢铁和水泥用量不可避免地涉及显著的数据缺口和不确定性。在项目层面，关于建筑材料采购的直接信息（如招标文件、投标书或合同）很少公开。因此，我们依赖间接估算方法，使用具有地理定位的项目属性，如公路或铁路的长度，或能源设施的装机容量。然后将这些度量值乘以现有文献中的材料强度乘数，以近似估算水泥和钢铁的总用量。因此，不确定性来自三个部分：（1）项目层面属性的准确性，（2）材料强度乘数的可变性，以及（3）分析中包含的项目数量。

对于项目层面属性（包括地理定位数据、容量和项目阶段完成状态），我们的分析基于2025年版的中国海外开发性金融数据库和中国全球电力数据库。这些来源提供了高质量且广泛使用的数据集，因此此处的不确定性相对较低。

第二个潜在局限性与材料强度有关，其变化范围很大。在每个项目类别内（例如，发电和交通），估算值可能因当地环境、建设标准和测量方法的不同而有显著差异。最后，一个关键局限性与被筛选掉的项目数量有关。我们的方法最适用于那些文献中材料强度估算相对一致的类别，例如公路、铁路和发电基础设施，因此仅纳入了那些已公布材料强度估算值且可以合理跨案例应用的部门。更复杂的设施，如港口和机场，由于设计异质性强且缺乏标准的强度数据，不得被排除在外，这使得可靠估算变得更具挑战性。基于我们的标准：（1）具有可用地理定位长度或容量数据的项目，（2）新建而非改造项目，（3）材料强度数据可用性，我们排除了大量项目。最终，我们仅保留了302个能源项目中的101个，以及432个交通项目中的132个。这在中国海外开发性金融数据库全部1304个项目中所占份额很小，但有助于确保更高的准确性和可信度。

大多数“一带一路”东道国缺乏针对具体国家的水泥和钢铁生产二氧化碳强度数据。为解决此问题，我们使用了平均二氧化碳强度，并将其应用于钢铁的特定国家电弧炉生产份额以及水泥的平均熟料水泥比。虽然这种方法为比较提供了一致的基础，但它也给结果带来了一定的不确定性。

附录4：缩略语列表

缩略语	定义
ADB	亚洲开发银行
BDA	双边发展机构
BF-BOF	高炉-碱性氧气转炉
BRI	“一带一路” 倡议
CODF	中国海外开发性金融数据库
CGP	中国全球电力数据库
CDB	国家开发银行
CCUS	碳捕集、利用与封存
CHEXIM	中国进出口银行
CO ₂	二氧化碳
DFI	开发性金融机构
DRI	直接还原铁
EAF	电弧炉
ECP	节能产品
ELP	环境标志产品
EPD	环境产品声明
FDI	外商直接投资
GHG	温室气体
GPP	绿色公共采购
Gt	十亿吨
GW	吉瓦
IFC	国际金融公司
IFI	国际金融机构
ISO	国际标准化组织
KPI	关键绩效指标
kt	千吨
LC3	石灰石煅烧粘土水泥
LCA	生命周期评估
MDB	多边开发银行

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路” 绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

执行摘要

引言

中国海外基础设施项目
及其对钢铁和水泥的
需求

中国资助的重点能源与
交通项目中钢铁与水泥
采购的规模与来源

中国发展融资重点能源
与交通项目所用钢铁及
水泥的二氧化碳排放
总量

中国海外基础设施项目
中水泥与钢铁绿色采购
的潜在减排量

绿色采购的国际最佳
实践

“一带一路” 绿色采购
政策建议

结论

参考文献

附录

MEE	生态环境部（中国）
MIIT	工业和信息化部（中国）
MOF	财政部（中国）
MOFCOM	商务部（中国）
MOHURD	住房和城乡建设部（中国）
MRV	监测、报告与核证
Mt	百万吨
MW	兆瓦
NDRC	国家发展和改革委员会（中国）
OECD	经济合作与发展组织
PPP	公私合作伙伴关系
RE	可再生能源
SASAC	国务院国有资产监督管理委员会（中国）
SCM	辅助胶凝材料
SOE	国有企业
t	吨
VFM	物有所值

Boston University
53 Bay State Road
Boston, MA 02215

 gdp@bu.edu
 [@GDP_Center](https://twitter.com/GDP_Center)
 bu.edu/gdp

