

中国设施层面的净零钢路径

Chris Bataille博士，Seton Stiebert职业工程师和Francis Li博士
可持续发展与国际关系研究所 (*IDDRI.org*)

2021年9月23日

25分钟内容大纲

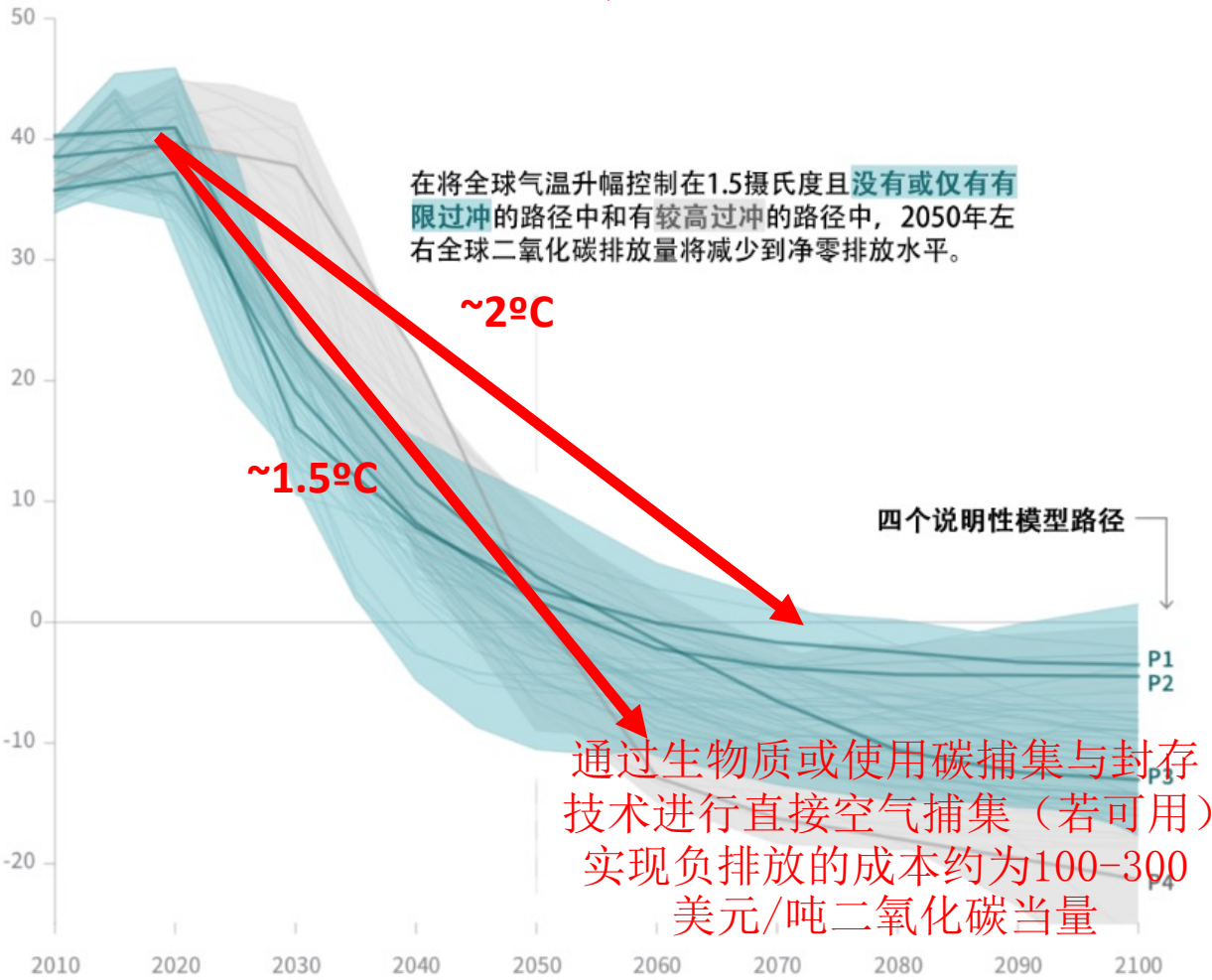
- 为什么我们需要钢材行业实现净零温室气体（GHG）排放；全球碳预算
- 为什么我们有机会实现净零钢；7条路径
- 高级别方法：一系列地理空间信息详细的工厂级别净零钢转型案例，包括需求预测、二次回收产量和新初次炼钢产量的变化等
- 情景设计与数据来源
- 在全球背景下中国的初步结果
- 有关钢排放量测算方式的一些重要细节 —— 有三种测算方式。
- 全球政策影响

全球净温室气体排放总量

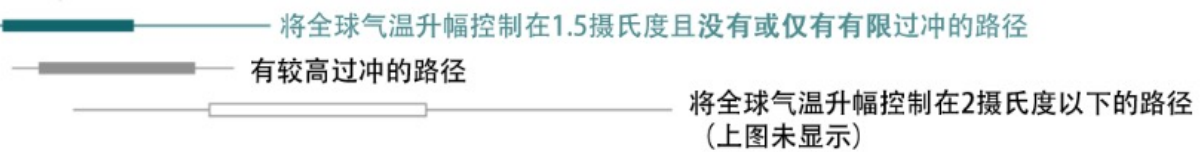
单位：10亿吨二氧化碳/年

为什么净零钢铁至关重要？

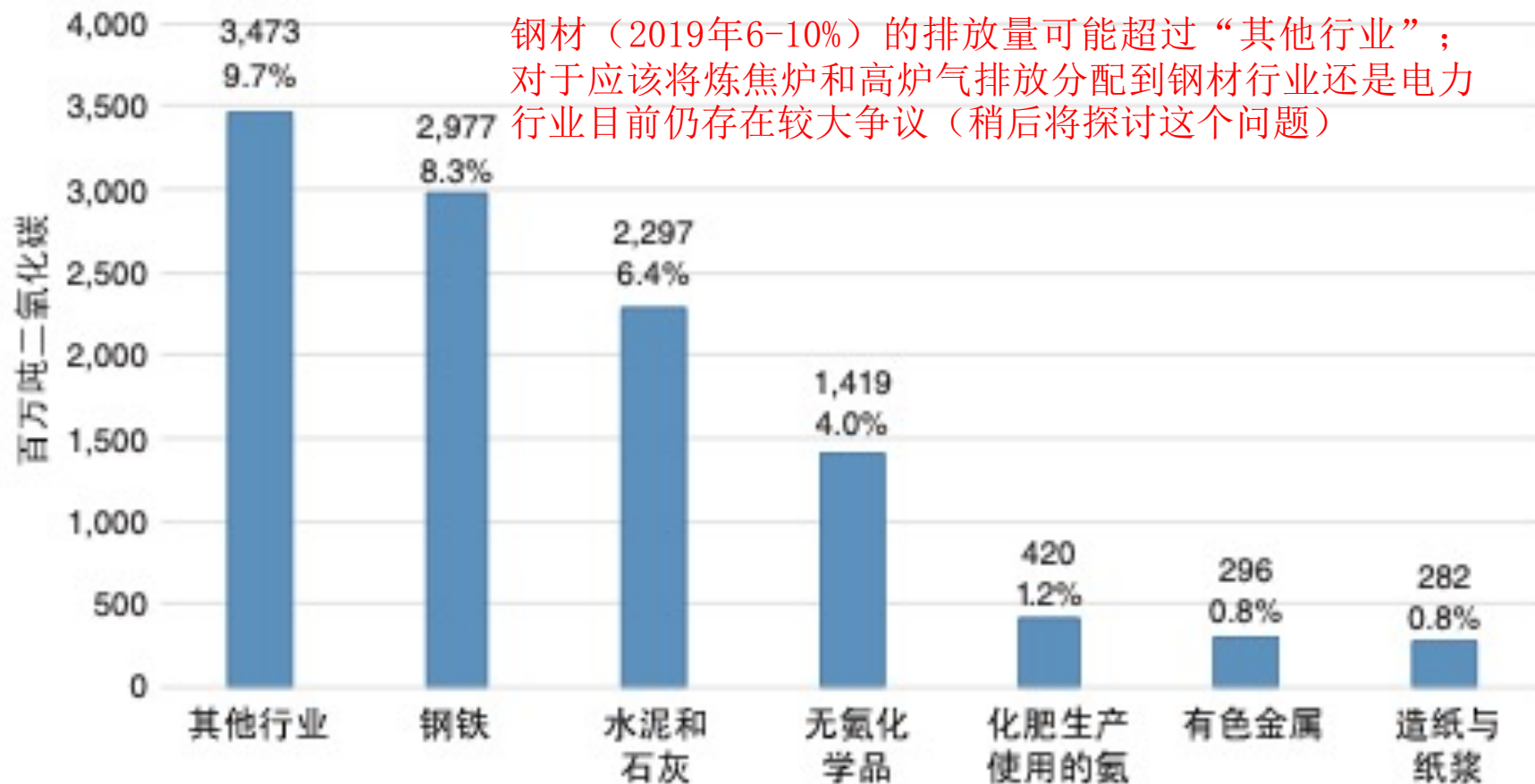
- 炼钢目前仍属于温室气体强度极高的行业，仅次于混凝土，是全球使用量第二高的原材料。
- 钢材对于现代文明必不可少，无论在发达国家还是在发展中国家都不可或缺，能源、水、卫生、交通运输基础设施和车辆与机械等行业的发展均离不开钢材。



二氧化碳实现净零排放的时间
线的宽度代表情景的第5至第95个
百分位和第25至第75个百分位

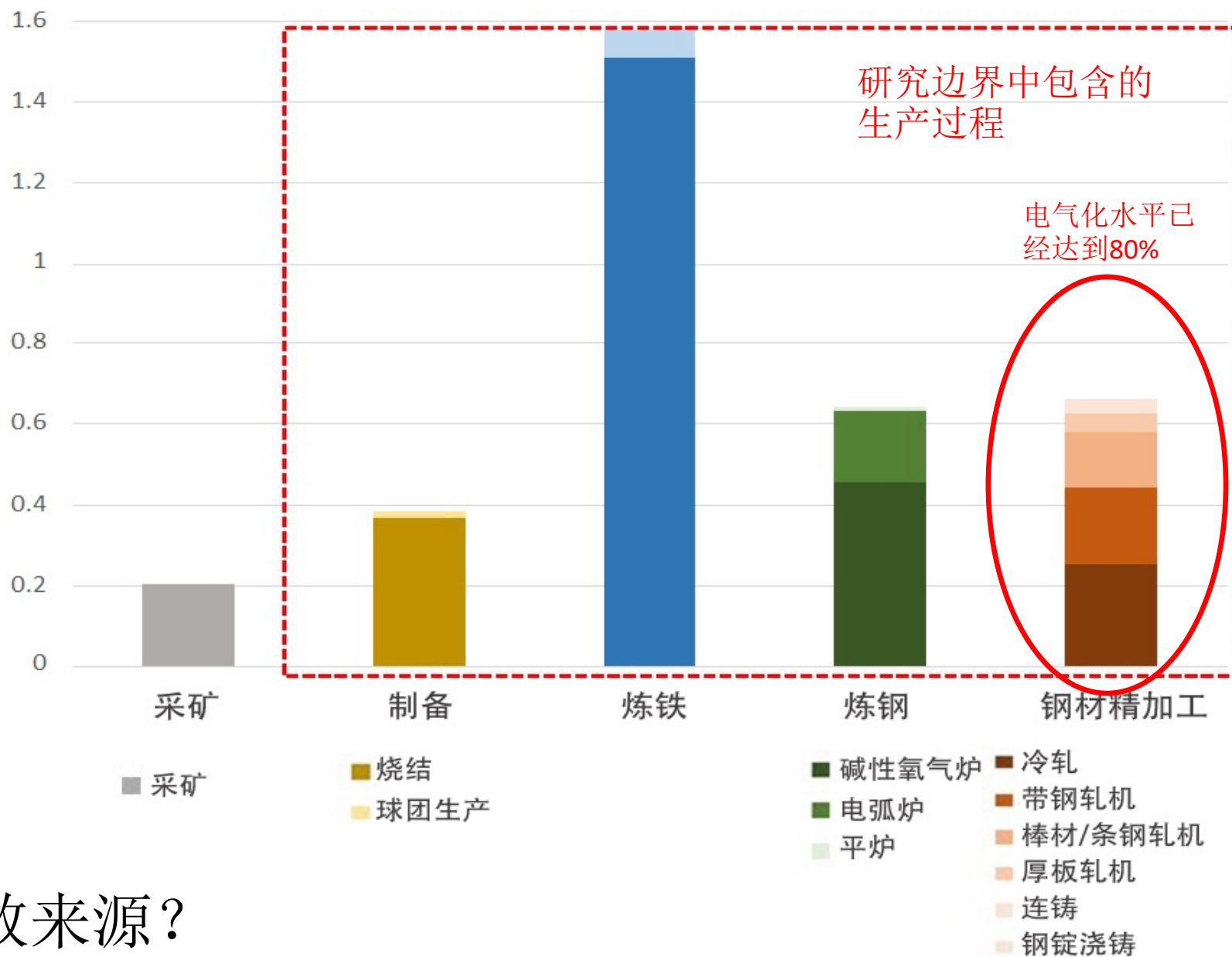


2016年全球各行业的燃烧和过程二氧化碳排放量



资料来源：净零排放行业的物理和政策路径。Bataille, WIRES跨学科评价，2019年。

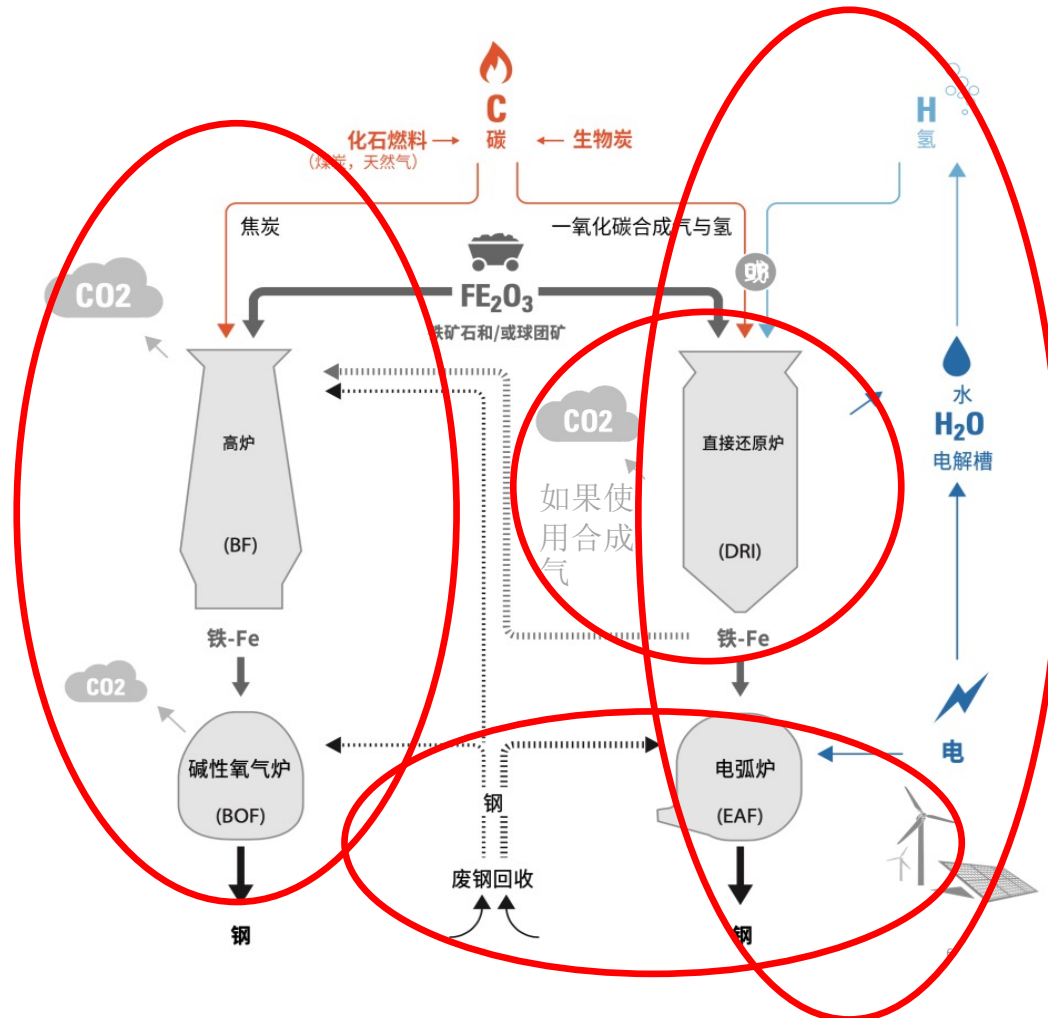
2015年全球直接和间接排放量（单位：10亿吨二氧化碳）



实现钢材净零排放的技术途径

- 降低需求，提高材料效率
- 增加回收再利用。取决于合理质量的废钢供应 + 直接还原铁脱硫和废钢收集网络（技术成熟度9级）
- 高炉-碱性氧气炉，90%以上碳捕集与封存，生物质能技术成熟度可能达到5级*（2030年？）
- 使用碳捕集与封存技术的高级熔炼（未显示，技术成熟度7级）
- 基于合成气的直接还原铁电弧炉，集中流碳捕集与封存的技术成熟度达到9级*
- 绿氢直接还原铁电弧炉，技术成熟度5-7级以上（2028-2030年）
- 熔融氧化物或水性氧化物电解，技术成熟度4级（2035 - 2040年？）图中未显示。

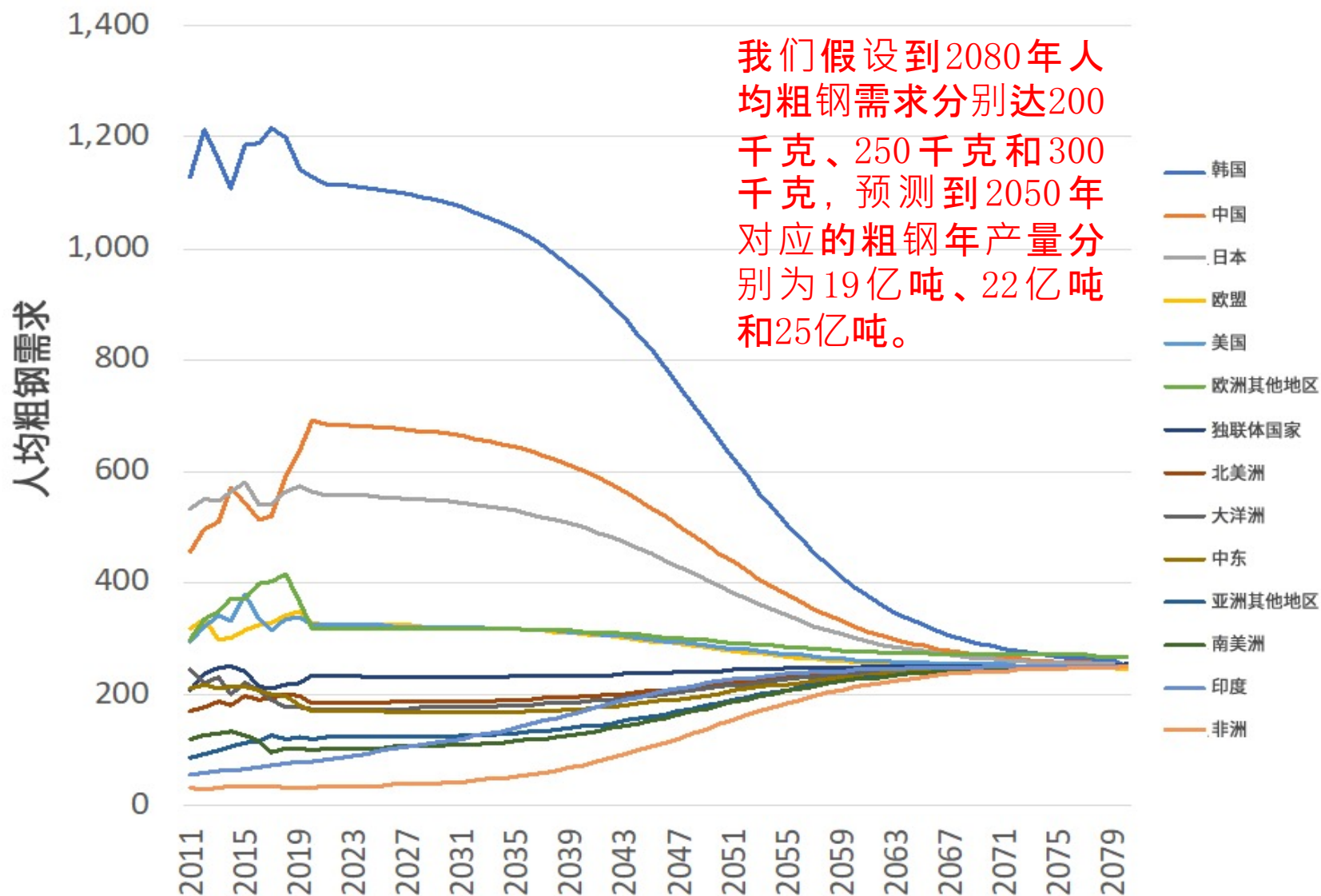
* 氢混合可支持部分还原



高级别方法

- 首先我们使用全球能源监测器提供的2019年年产能超过100万吨的地理空间不同的现有炼钢厂全球数据集
- 使用“s”曲线，假设到2080年人均需求200千克、250千克和300千克，评估全球需求变化

人均钢铁需求 -
250千克/人，目前全球平均需求 = 222千克/人

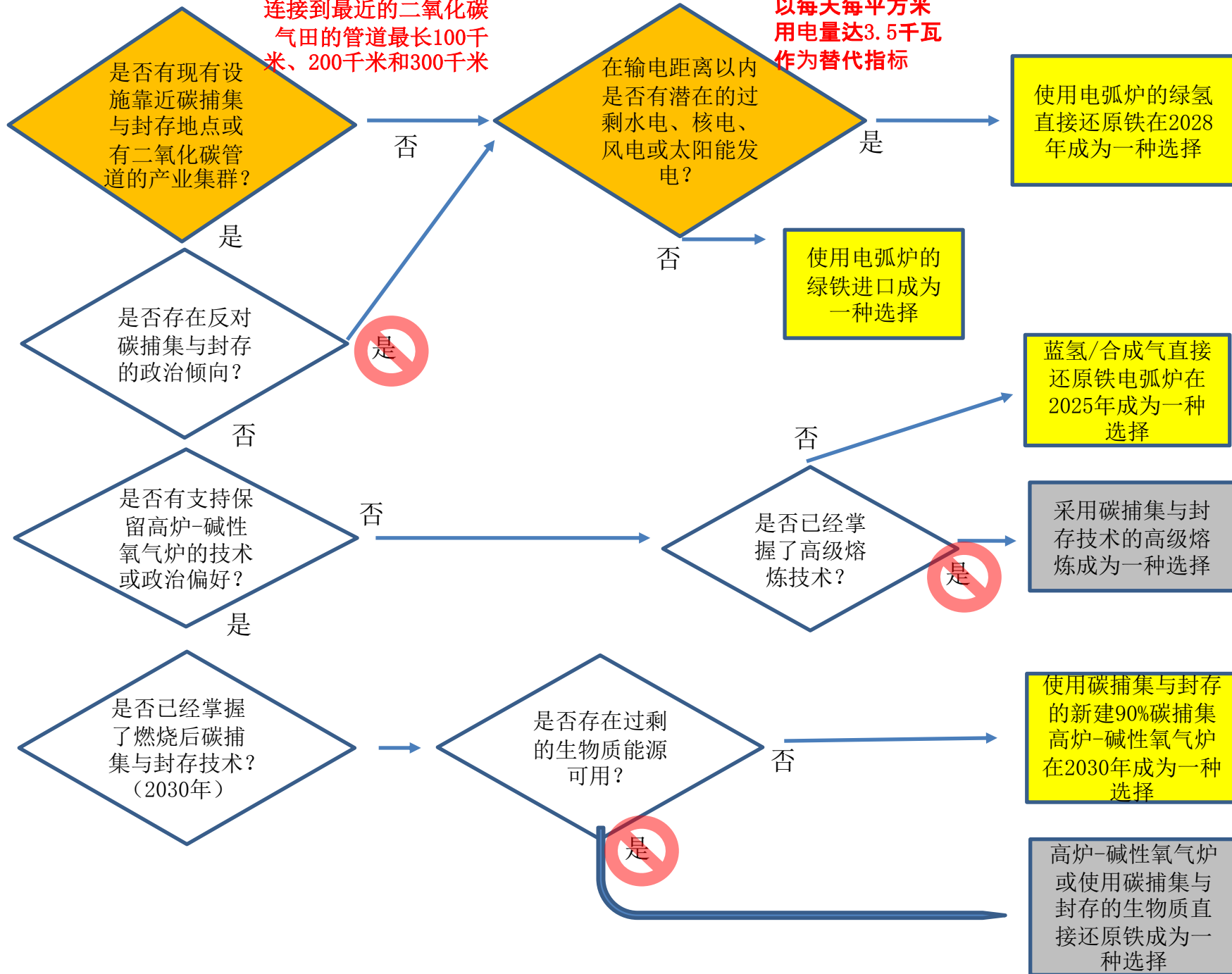


高级别方法

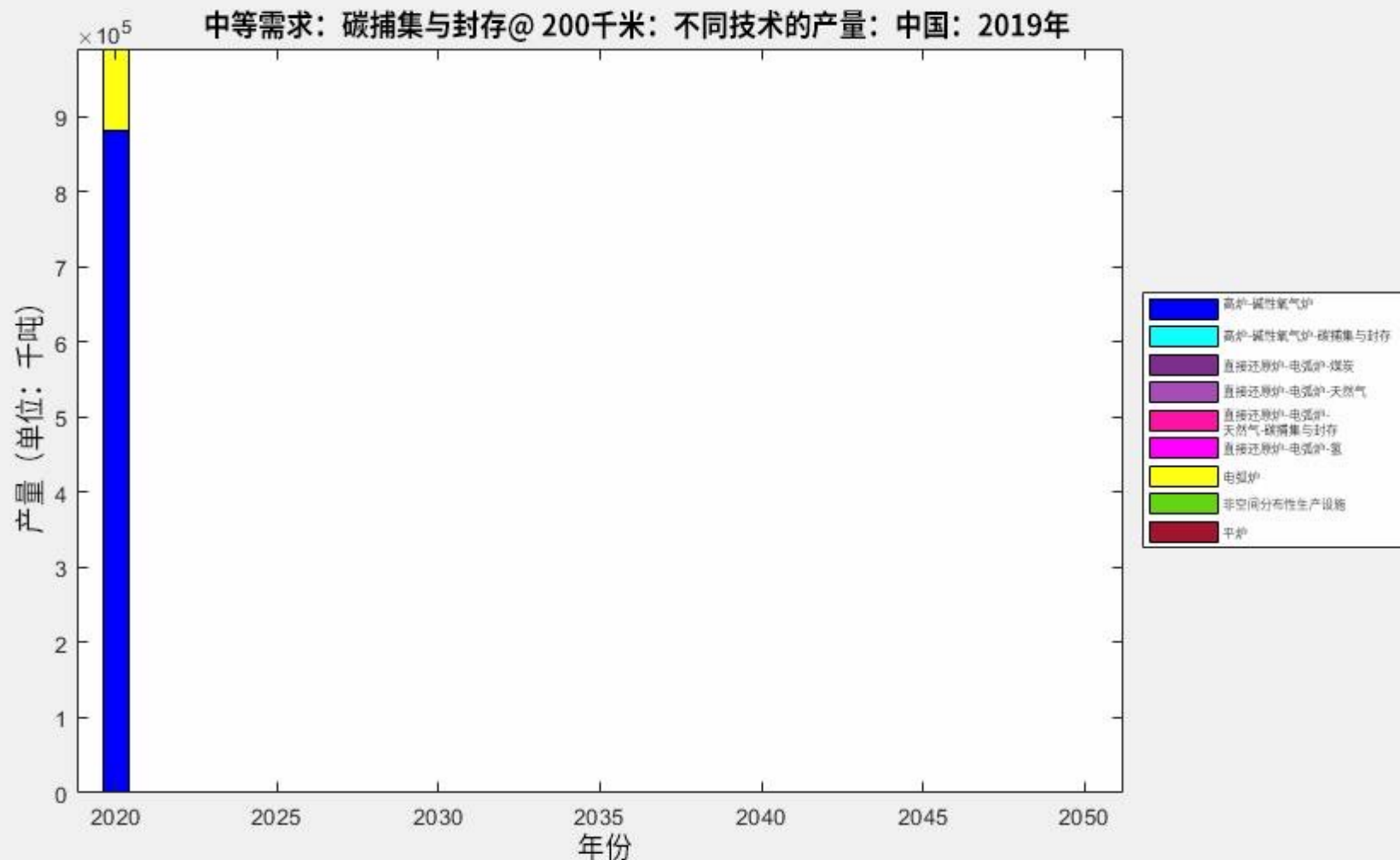
- 首先我们使用全球能源监测器提供的2019年年产能超过100万吨的地理空间不同的现有炼钢厂全球数据集 之后增加世界钢铁协会的其他设施，得到85%的产量和约600家设施。
- 使用“s”曲线，假设到2080年人均需求200千克、250千克和300千克，评估全球需求变化
- 由于废钢成本更低，因此废钢可用性决定了回收产量。在类似需求情境下，预计2050年全球废钢可用性约为14亿吨，使用率约为83%。模型假设了133个国家，预测到2050年废钢供应量将相当于废钢电弧炉产量(**目前已知61个国家没有电弧炉生产设施的国家将成为废钢生产商**)
- 对于新的初次炼钢施，选择的前提是炼钢厂愿意尽可能继续使用现有设施，并且改造周期为25年。我们对这些设施使用全球能源监控器的数据，并预估其下一次改造的时间。对于新初次炼钢设施的改造，我们使用下列算法

连接到最近的二氧化碳
气田的管道最长100千
米、200千米和300千米

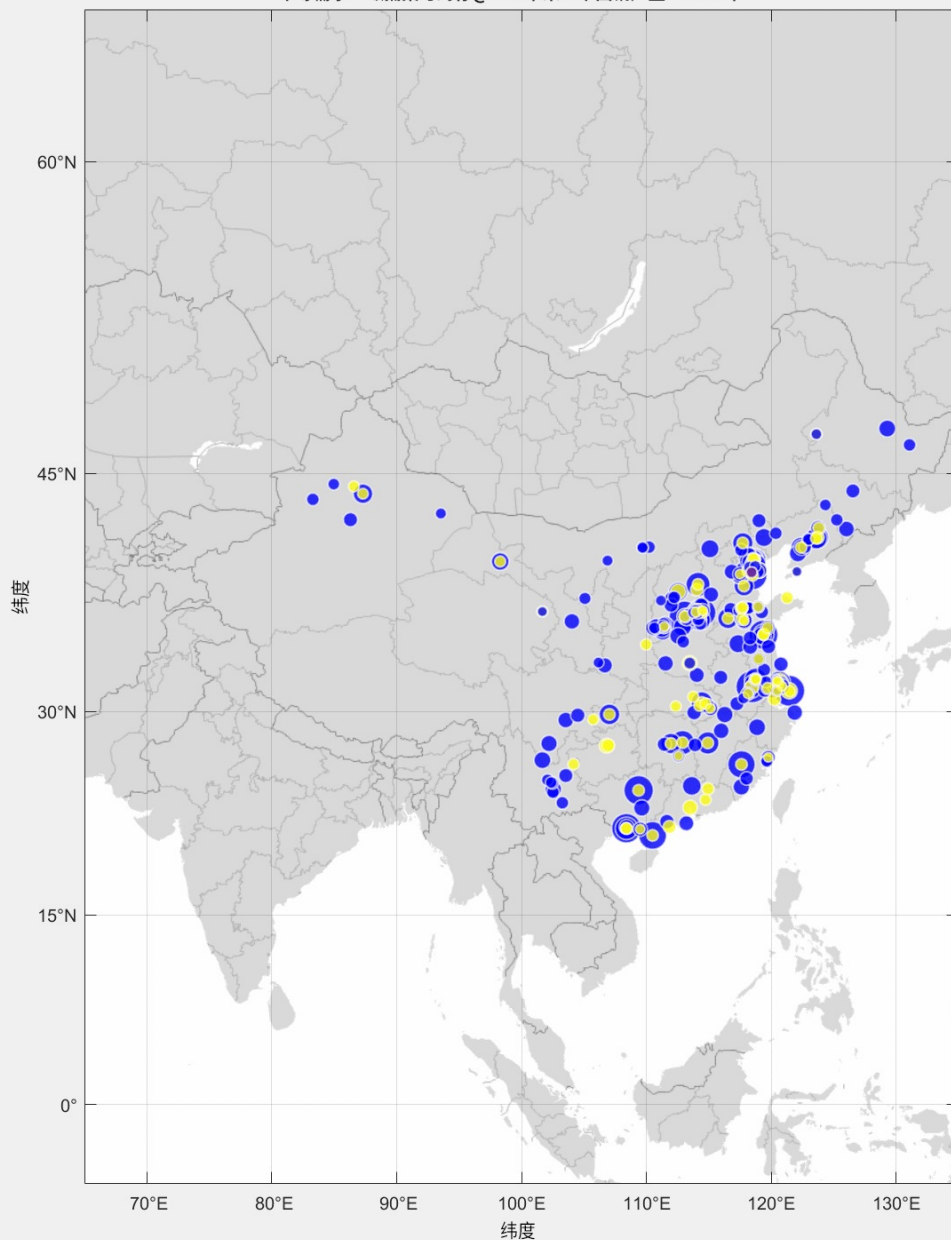
以每天每平方米
用电量达3.5千瓦
作为替代指标



中国的结果 – 中等需求，可用二氧化碳管道200千米



中等需求：碳捕集与封存@ 200千米：中国钢产量：2019年



产量（单位：千吨/年）



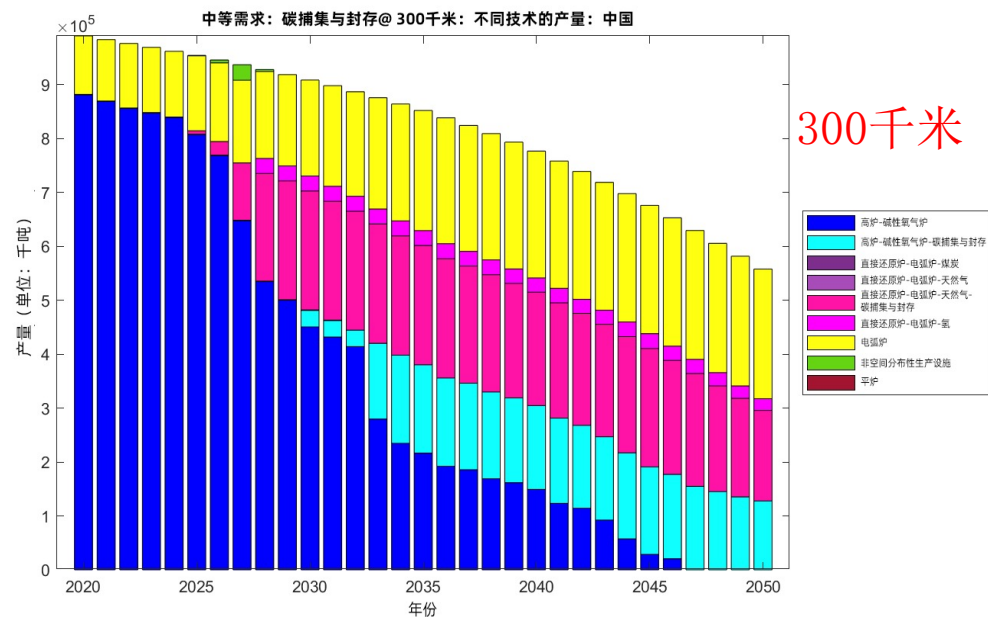
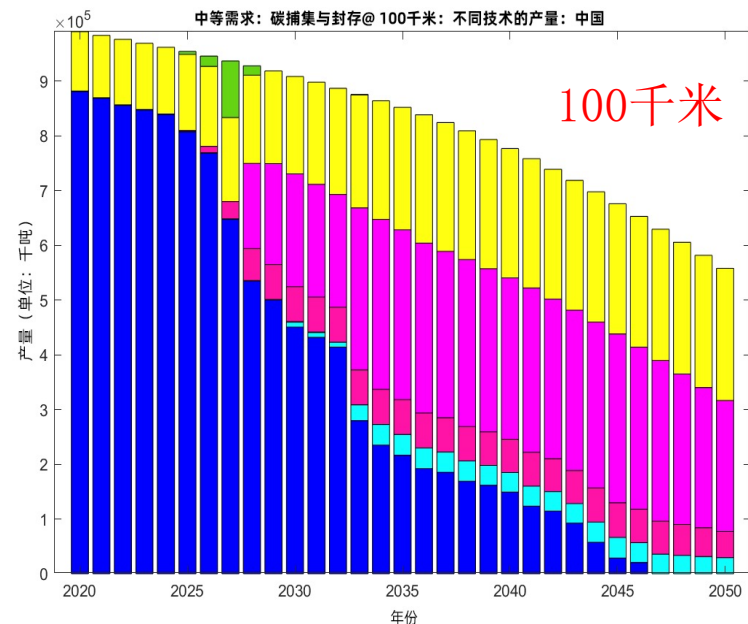
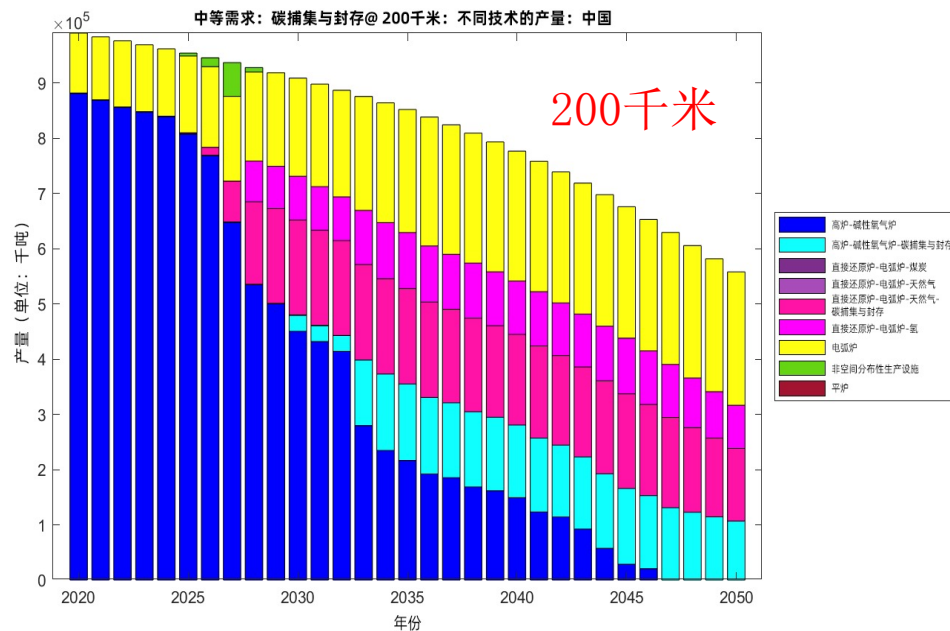
设备类型

- 高炉-碱性氧气炉
- 高炉-碱性氧气炉-碳捕集与封存
- 直接还原炉-电弧炉-煤炭
- 直接还原炉-电弧炉-天然气-碳捕集与封存
- 直接还原炉-电弧炉-氢
- 电弧炉
- 非空间分布性生产设施

在中等需求200千米情景中，
随着时间推移……

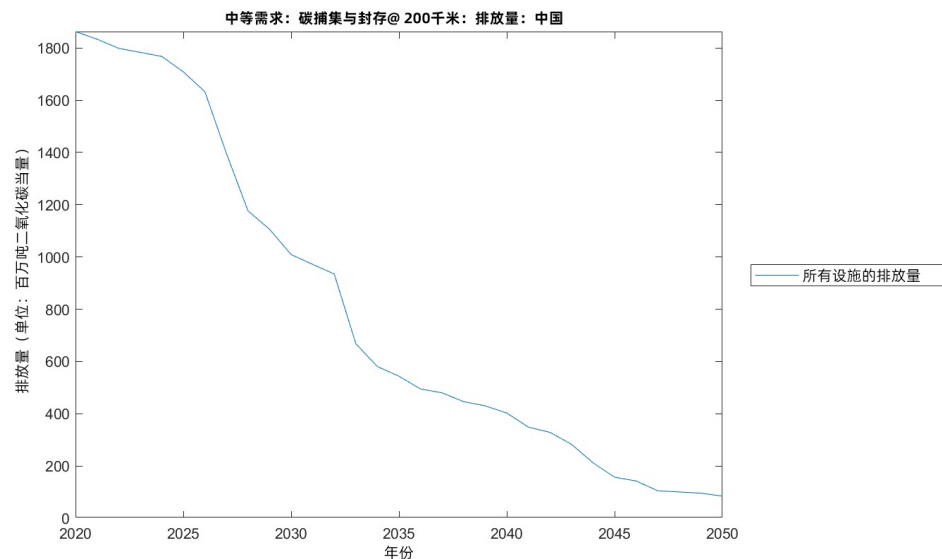
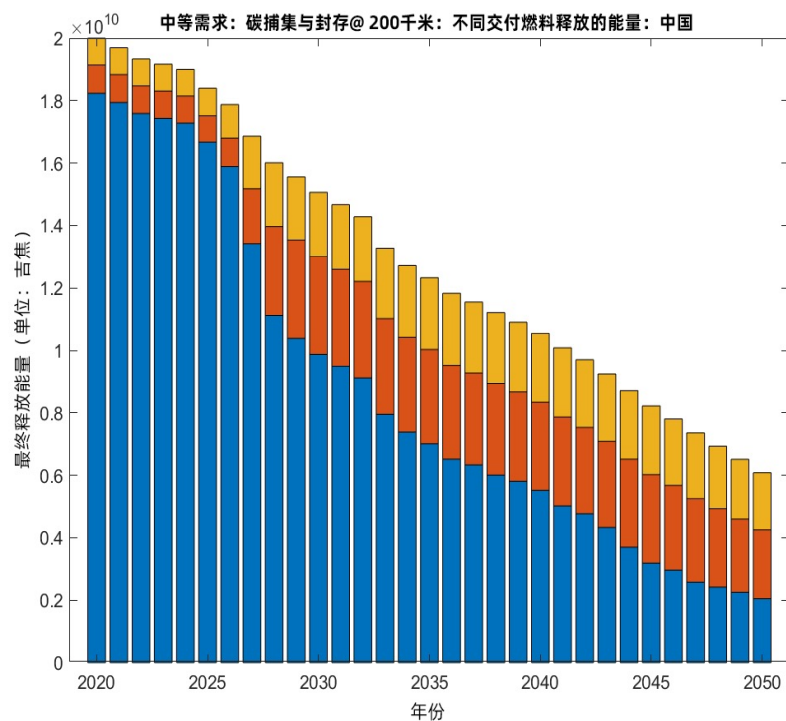
- 蓝色高炉-碱性氧气炉逐渐消失
- 黄色电弧炉逐步增加一倍
- 使用碳捕集与封存技术的红色合成气直接还原铁电弧炉出现
- 粉色氢直接还原铁电弧炉出现
- 最后，使用碳捕集与封存技术的淡蓝色高炉-碱性氧气炉出现，主要集中在东北地区，表明当地有二氧化碳网络。

中国 —— 低、中、高管道可用性

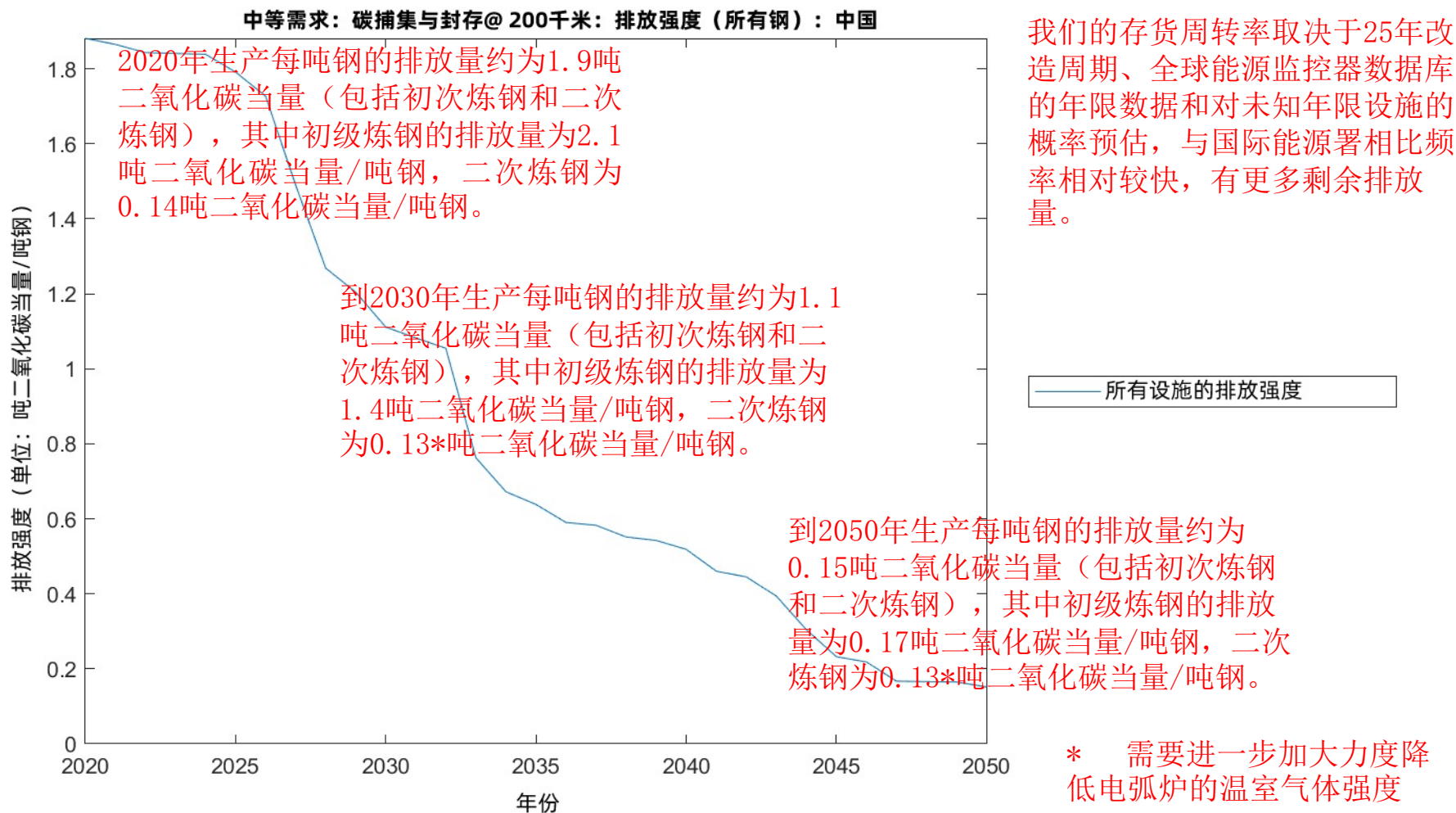


- 管道可用性，如穿过东北产业集群的管道，是使用碳捕集与封存技术的关键，但对于钢铁行业脱碳的意义并没有如此重要。
- 距离为现有钢材生产设施与油气行业气候倡议组织数据库中已知的潜在二氧化碳气田中心之间的距离。

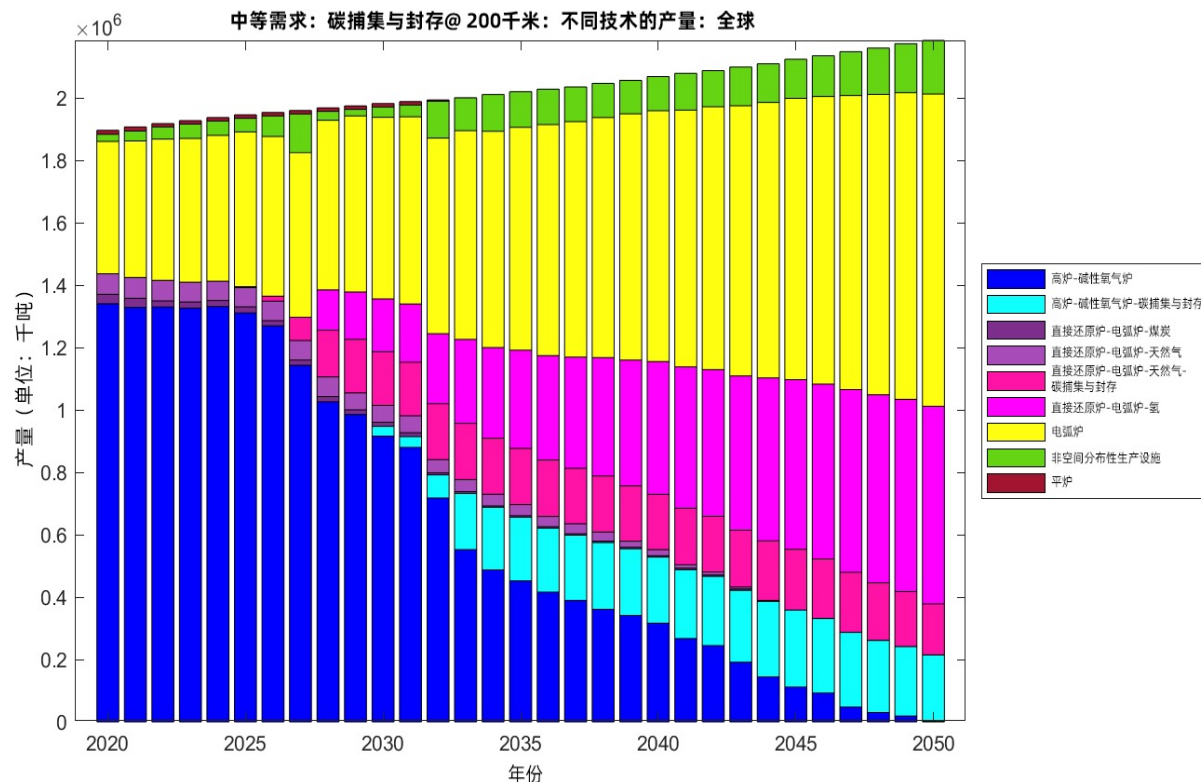
中国 —— 燃料消耗与范围一过程和燃烧直接排放。 中等需求，200千米



温室气体与能源强度基准 所有（初级炼钢和二次炼钢）设施



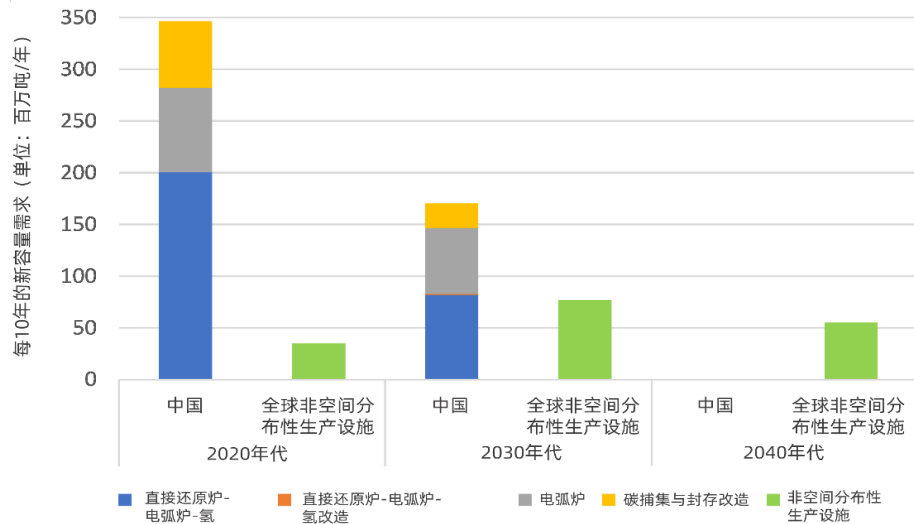
全球总体状况与出口机会



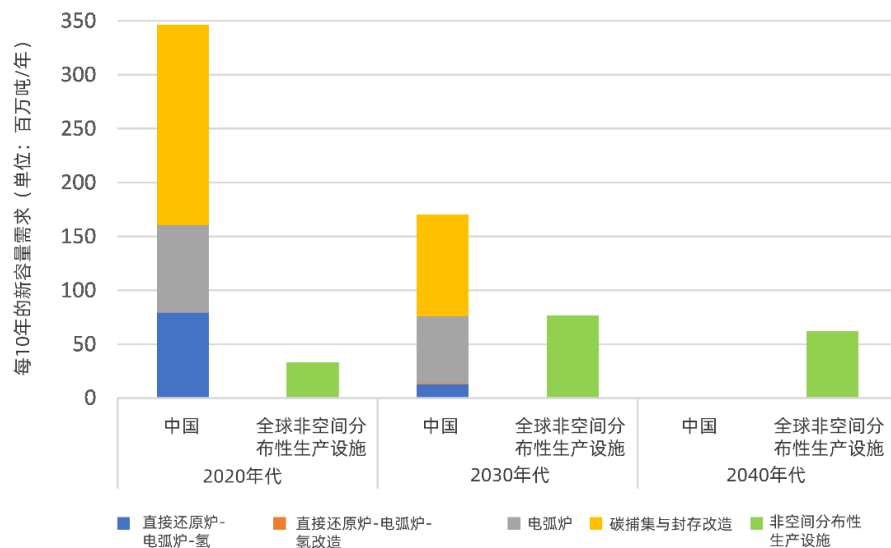
上方的绿线增长到约2亿吨/年，这部分在中国主要用于自给自足因此几乎没有表现出来，这部分在满足本地需求以外，代表了向全世界净出口绿色钢铁产品的机会。中国有抓住这个机会的空间。

中国 —— 低、中、高管道可用性 新容量增加计划

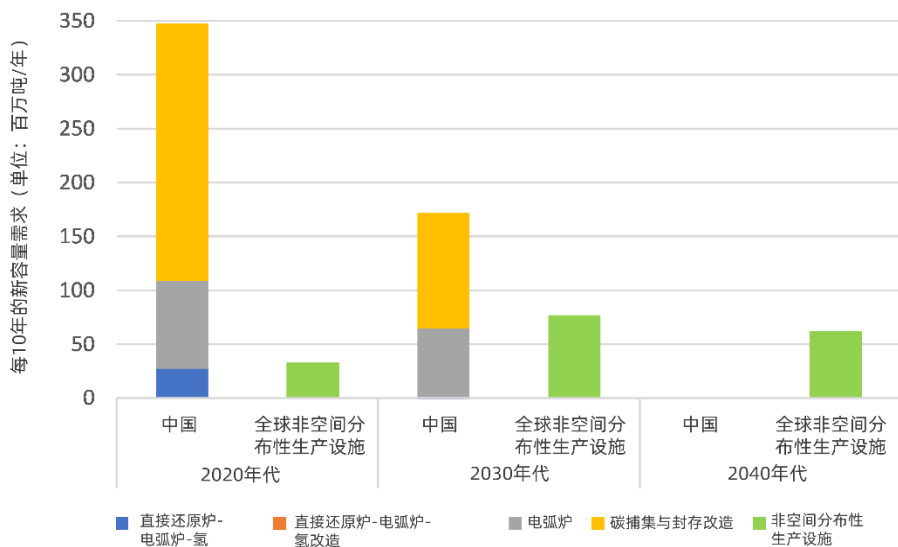
中等_需求_100千米, 中国



中等_需求_200千米, 中国



中等_需求_300千米, 中国



铁矿石产地……



其他可能性 – 供应链重组，以钢材为例

- 我们目前在煤炭和铁矿石产地附近进行钢铁初次生产，然后运送到需求所在地；通过氢直接还原铁技术，我们可以在靠近铁矿石、低成本清洁电力（绿色）或低成本甲烷和碳捕集与封存（蓝色）的地点进行初次生产，然后将绿铁运送到需求所在地。
- 电弧炉的位置不需要调整，可以继续靠近市场和供应链进行生产。
- 高炉-碱性氧气炉可以预装30%的绿铁，与氢共同燃烧，直至炉窑寿命终止。
- 最后可以在直接还原炉和电弧炉中熔炼通用钢，进行铁还原和全球交易。
- 最后，在有大量清洁电力和发电容量的情况下，熔融炉可以作为回收再利用的补充，最终将成为主导。
- 中国可以从澳大利亚、南非等进口还原铁，最终仅使用电弧炉生产通用钢。

但每吨钢产量的成本是多少？

- 这并非最佳实践。
- 技术采用率基于技术的可能性以及中国和全球的积极创新与技术应用政策。
- 对每吨额外成本的预估存在巨大差异，主要取决于电价和碳捕集与封存成本的差异，但对于能达到90%及以上减排效果的技术路径，其成本额外增加的幅度为20%至70%。
- 这只会导致车辆、桥梁或建筑成本增加1-2%。必须找到国内风险和成本转嫁的恰当途径。

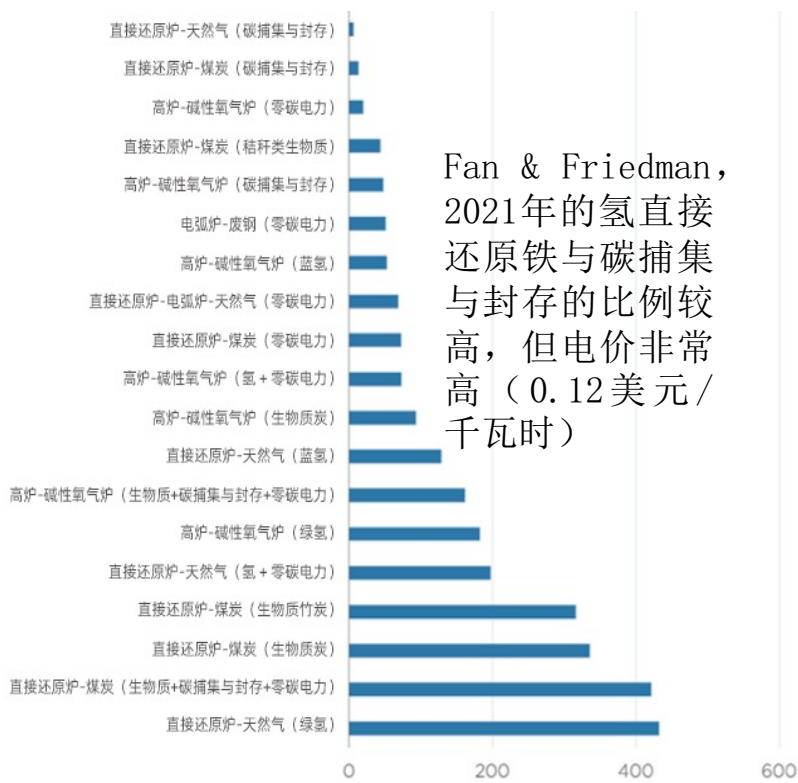
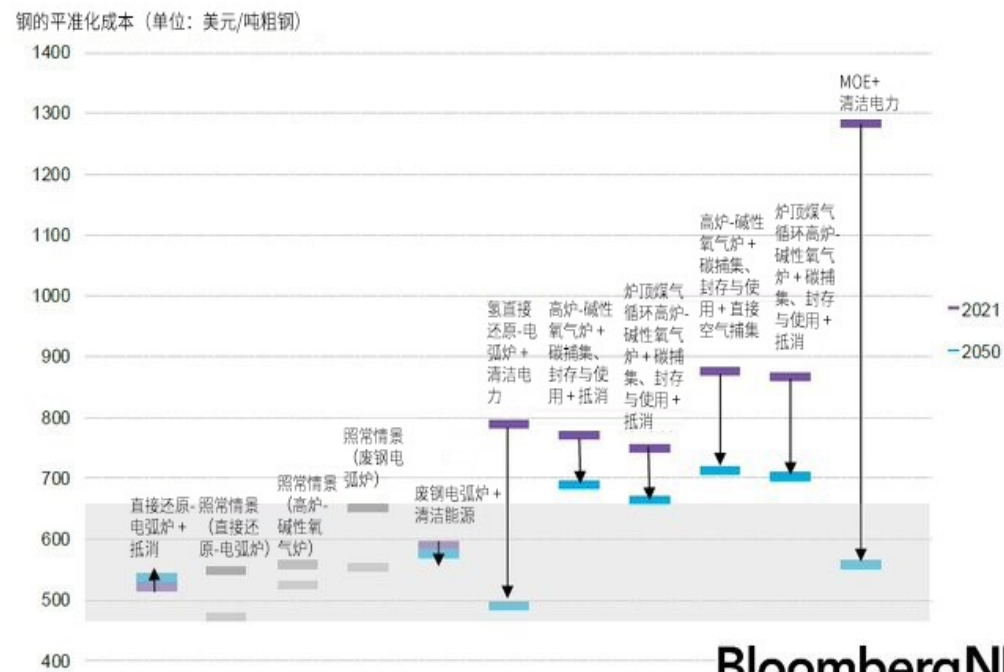
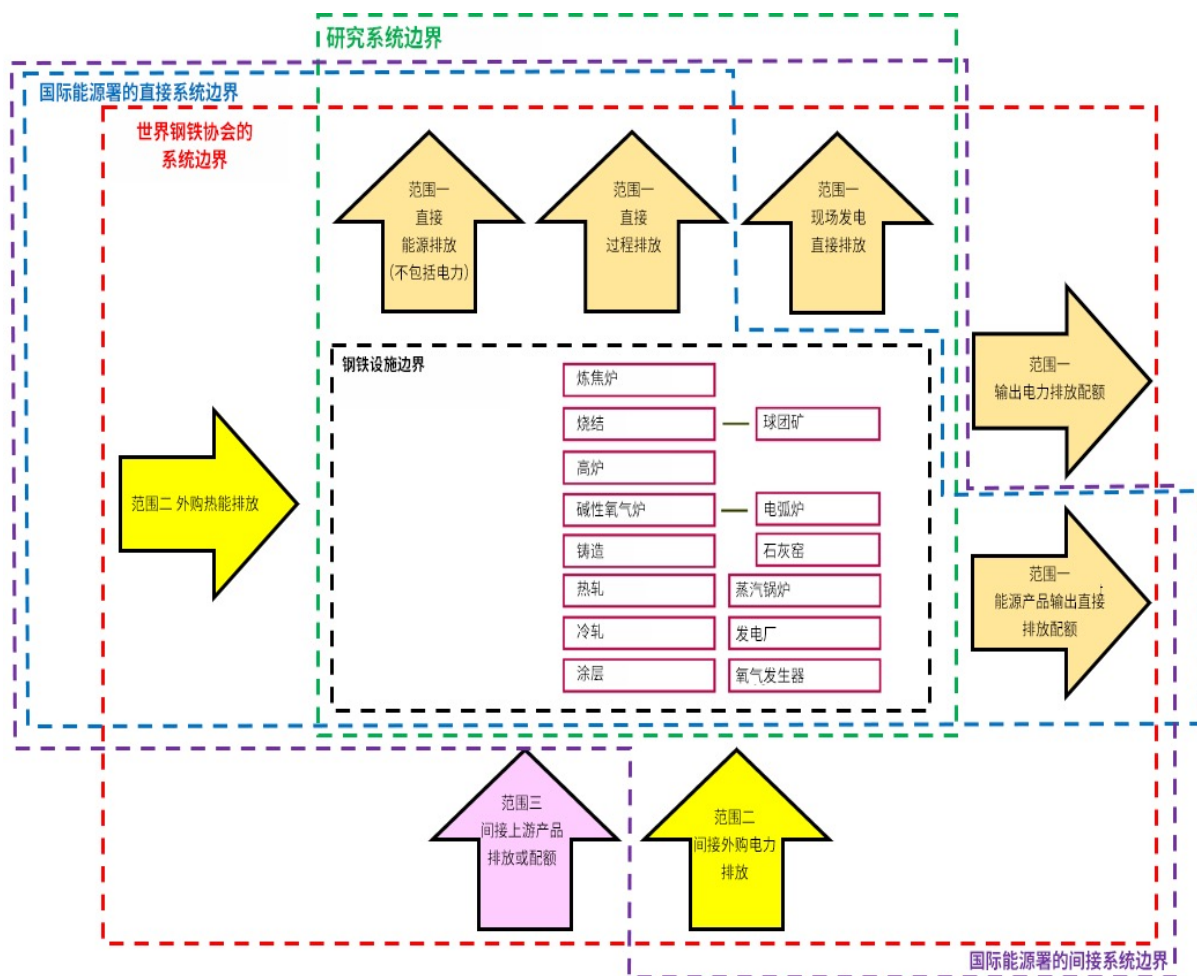


图1：与照常情景相比，2021至2050年净零钢平均平准化成本的变化



资料来源: BloombergNEF

研究排放边界



我们和国际能源署、世界钢铁协会对于钢温室气体强度的测算结果略有差异。有哪些重要的区别？

- 我们包含了进入设施的所有燃料产生的全部温室气体，不考虑配额出售
- 我们没有考虑外购电力出售（世界钢铁协会考虑了外购电力）
- 我们没有考虑废气或热能出售（世界钢铁协会和国际能源署均考虑到这两种情况）
- 我们不包括外购电力产生的温室气体排放（世界钢铁协会的测算结果包括这些排放），假设系统电力温室气体排放量为零。
- 我们的系统被设计为取代初次炼钢过程，并且电力温室气体排放量为零。

重要信息总结

“我们能做到，但时间至关重要。”

- 到2050年全球钢铁制造业脱碳，使用高成熟度的技术在技术上是可行的。这需要所有新设施和改造项目在2020年代末之前、最晚到2030年代初实现近零排放。如果无法在此之前实现这个目标，这些设施有必要提前停产。
- 中国将扮演关键角色，因为中国2000年至2010年建成的**高炉-碱性氧气炉**产能占全球总产能的54%。这些容量即将到期，需要进行改造。
- 需要通过全球创新和商业化项目，包括**私人和公共绿色采购与领导型市场合约**，确保有成熟的技术可以取代从2020年代末开始需要改造的所有炼钢设施。
- 所需要的投资规模庞大，但在过去已经完成
- 随着时间的推移，需求的地理分布会发生转移，这将对政府、制造商、贸易和最终用户产生影响。
- 全球资源（如废钢、碳封存地点、可再生能源发电）的空间分布差异，意味着不同国家和地区会有不同的机会和基础设施需求，回收再利用需要废钢收集网络，碳捕集与封存需要至少约200千米管道连接到现有的炼钢设施，氢能需要清洁发电和隔夜储氢设施（若基于太阳能光伏发电）。

« 这不是结束，甚至都还没到结束的时候。但这有可能是开始阶段的尾声 »

若有问题，请发送至：

电子邮箱： chris.bataille@iddri.org 推特私信： [@chris.bataille](https://twitter.com/chris.bataille)

DDP-INITIATIVE.ORG

模型中包含下列钢铁设施 (回答问题的额外幻灯片)

- 首先使用全球能源监控器数据库中设施（仅产能大于100吨的设施）
 - 2019年，67个国家622个设施20亿吨粗钢产能
 - 2019年产量约为16亿吨/占全球的86%
- 交叉对照GIDS数据库、世界钢铁协会确定的国家产量和经济合作与发展组织国家产能数据库，确定全球剩余14%的产量：
 - 已公布产量和/或产能的另外27个国家（总计94个国家）
 - 预计213处额外设施（主要为小型电弧炉）—— 基于设施的平均区域运营特征，在空间分布上位于现有生产设施附近或者在国家重点工业中心。
- 另外，基于废钢可用性和国家钢铁需求，模型中还包括其他39个国家，用于预测未来生产。