

Views & Comments

中国钢铁行业碳达峰、碳中和实施路径研究

殷瑞钰^a, 刘正东^a, 上官方钦^b

^a Central Iron and Steel Research Institute, China Iron and Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China

^b Steel Industry Green and Intelligent Manufacturing Technology Center, China Iron and Steel Research Institute Group, Beijing 100081, China

1. 中国钢铁行业 CO₂ 排放现状

钢铁行业作为国民经济的重要基础部门，是能源消费大户，同时也是 CO₂ 排放大户。基于本团队前期的研究基础[1–3]，对 1991—2019 年中国钢铁行业 CO₂ 排放进行初步估算，结果见图 1，从图中可见：

(1) 由于粗钢产量的迅速增长，中国钢铁行业 CO₂ 排放总量从 1991 年的 2.78×10^8 t 增加到 2019 年的 1.625×10^9 t，但 CO₂ 排放总量的增幅（4.85 倍）远低于钢产量的增幅（13.02 倍）。初步估算，中国钢铁行业 CO₂ 排放量约

占全国 CO₂ 排放总量的 15%~17%。

(2) 从 1991 年到 2019 年，中国钢铁行业吨钢 CO₂ 排放量从 3.91 t 降低到 1.63 t，下降幅度达 58%。

(3) 中国钢铁行业 CO₂ 排放总量在 2014 年出现了拐点，达到排放量最高峰 1.731×10^9 t，随后开始呈现下降态势。但与 2014 年相比，2020 年粗钢产量达到 1.065×10^9 t，CO₂ 排放总量又出现反复，达到与 2014 年相近的水平（约为 1.738×10^9 t）。可见，碳达峰与粗钢产出量具有很强的相关性。

以上三点充分说明了中国钢铁行业在过去 30 年的节

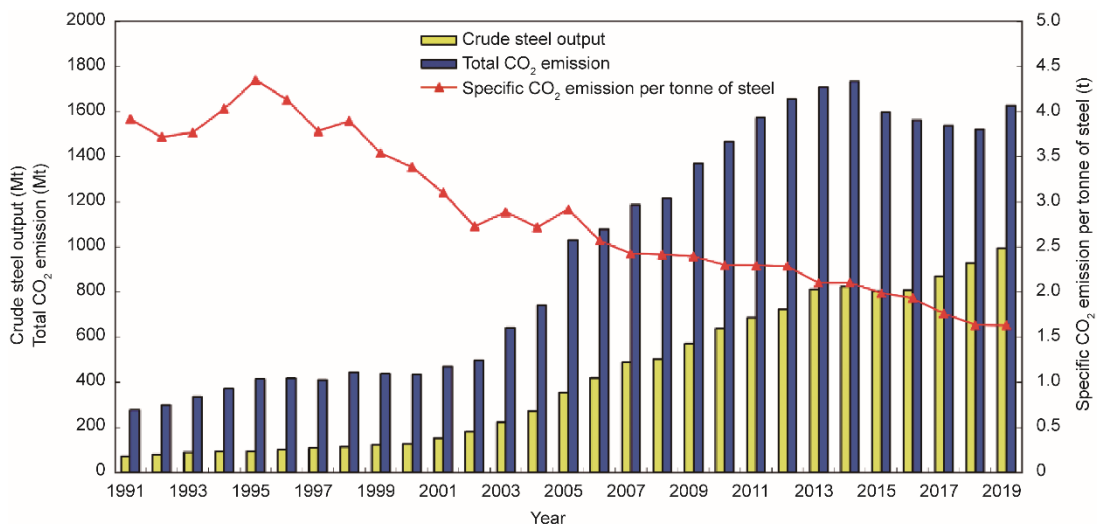


图 1. 1991—2019 年中国钢铁行业粗钢产量和 CO₂ 排放总量、吨钢 CO₂ 排放量的变化。

能减排工作取得了明显进展。然而，由于我国粗钢产量较大，钢铁行业的CO₂排放量占全国CO₂排放总量的贡献仍然较高。未来，要实现国家的碳减排承诺，钢铁行业必须走脱碳化发展道路。

2. 对钢铁行业碳达峰、碳中和的理解

钢铁行业CO₂排放总量一方面取决于钢铁行业吨钢CO₂排放量，另一方面取决于钢铁行业粗钢总产量，即：

$$C_{\text{排放}} = I \times P$$

式中， $C_{\text{排放}}$ 为钢铁行业CO₂排放总量； I 为钢铁行业吨钢CO₂排放量； P 为钢铁行业粗钢总产量。

可知，钢铁行业碳达峰是比较容易实现的，而且有可能已经在2014年实现。当然，由于近几年粗钢产量增长过快，也有可能还会出现新的峰值。可谓“达峰”不难，“下坡”不易，并非完全取决于钢铁行业自身。钢铁行业的碳达峰既取决于吨钢的排放强度（包括高炉-转炉长流程和全废钢电炉短流程之间的比例），同时也受到粗钢总产量的影响。为此，初步判断，钢铁行业的碳达峰时间节点为2014年或“十四五”前期（图2）。钢铁行业越早实现碳达峰，越有利于后续碳“下坡”和碳中和的实现。

而从钢铁行业CO₂排放的绝对量来说，单靠钢铁行业自身要实现碳中和是极其困难的，但如果考虑全社会的协同，如采取碳捕集、利用与封存技术（CCUS），利用可再生能源，增加碳汇，开展行业间的碳交易等措施，钢铁行业未来也许是有可能趋近碳中和的。

3. 中国钢铁行业实现碳达峰、碳中和的思路

为实现钢铁行业的碳达峰、碳中和，提出如下思路：

（1）中国钢铁行业首先是要从宏观上调整产业结构，实行总量削减、淘汰落后，不应继续提高产量，不能大量出口低附加值钢材；应该走高质量、减量化的发展道路。

（2）钢铁企业要走节能、减排、脱碳等绿色发展道路。当前要高度重视脱碳化。脱碳化意味着：

- 资源脱碳化，特别是合理使用废钢；
- 能源脱碳化，少用或不用化石能源，转用电，特别是充分利用电网弃电和绿电；

- 生产制造流程脱碳化，首先从建筑用长材的生产流程变革做起，建筑用长材以全废钢电炉短流程生产为主，合理布局城市周边钢厂；

- 进出口贸易脱碳化：以税收、配额等措施限制焦炭、铁合金、低附加值钢材等高碳负荷产品的出口总量；

- 政策法规脱碳：分行业实施碳交易、分阶段分产品、分制造流程开征碳税，出台脱碳化负面清单，酝酿脱碳化立法；从钢铁行业超低排放的成功经验可以看出，一系列配套的政策是实现目标的强大杠杆。由此看来，行业/企业碳排放总量配额、碳交易、碳税、碳负面清单、碳规划、脱碳化立法是必须高度关注的。

- 通过供给侧结构性改革，推动国民经济产业结构优化，降低高能耗制造业、能源行业、交通运输业的碳排放，同时，加强提高碳汇能力。

（3）中国钢铁行业的生产制造流程结构应该在减量化的发展进程中作出调整，应该以全废钢电炉流程生产建筑用长材来替代以中、小高炉-转炉生产螺纹钢、线材等大宗产品，亦即以适当的布局发展城市周边钢厂、利用“城市矿山”。这一措施对钢铁行业脱碳潜力很大。

（4）对于一些生产扁平材的大型钢铁联合企业，也要进一步开发节能、脱碳化技术，进一步降低碳排放总量。

4. 中国钢铁行业碳中和的技术路线图

假设2021—2060年粗钢产量呈等差级数下降，到2030年为 8×10^8 t，2060年进一步下降到 6×10^8 t。所有废钢[4-6]都集中用于电炉短流程的生产，同时考虑电力能源结构的调整对电炉流程CO₂排放水平的影响。2030年氢冶金（氢还原+电炉）比例为3%，2040年为8%，2050年

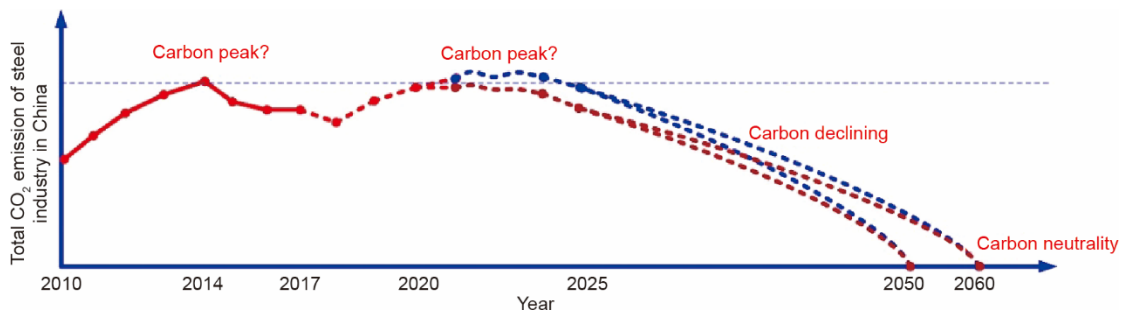


图2. 我国钢铁行业碳达峰、碳中和关键时间节点的判断。

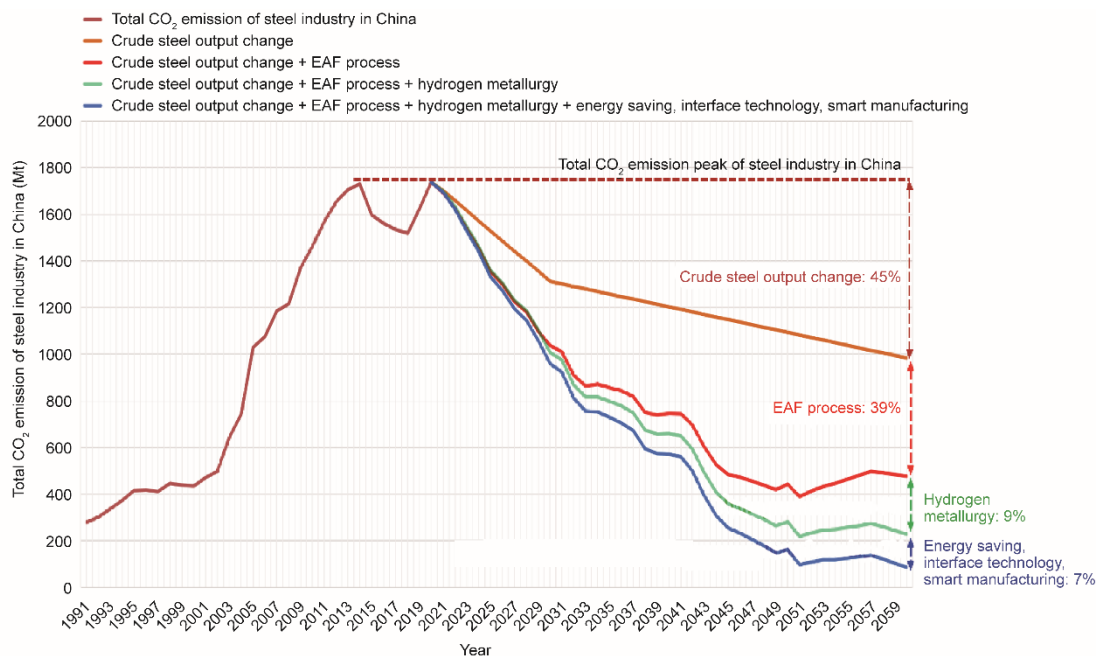


图3. 中国钢铁行业实现碳中和的技术路线图。

为15%，2060年为25%。未来节能潜力还有10% [7-8]，界面技术优化的潜力约为每吨钢35 kgce（千克标准煤），智能化赋能低碳化潜力为12%。为避免与建材行业的重复计算，暂不考虑冶金炉渣资源综合利用。在以上假设的基础上进行估算，并绘制了中国钢铁行业实现碳中和的技术路线图（图3）。从图中可见：

（1）我国钢铁行业碳达峰可能在2014年或“十四五”前期实现，峰值约为 $1.7 \times 10^9 \sim 1.8 \times 10^9$ t；

（2）如果上述措施全部采纳，到2060年将还有约 1×10^8 t CO₂排放量，通过CCUS或碳汇或碳交易等措施，钢铁行业也许是有可能趋近碳中和的；

（3）2021—2060年累计碳减排贡献：粗钢产量下降因素约占45%，全废钢电炉流程钢厂发展的因素约占39%，氢冶金因素约占9%，节能、界面技术、智能化等因素约占7%。

5. 结论

上述针对中国钢铁行业碳达峰碳中和实施路径的研究可以归纳为如下几点：

（1）从总体上看，对钢铁行业碳达峰而言主要在于减产减排，继续增产对碳达峰而言是背道而驰的；对碳中和而言，减排减产仍然是主要的，增加碳汇是必要的辅助。

（2）钢铁行业碳达峰的时间点主要由粗钢产量的峰值决定，初步判断，钢铁行业的碳达峰时间节点为2014年

或“十四五”前期，CO₂排放峰值约为 $1.7 \times 10^9 \sim 1.8 \times 10^9$ t，钢铁行业越早实现碳达峰，越有利于后续碳“下坡”和碳中和的实现。

（3）单靠钢铁行业自身要实现碳中和是极其困难的，但如果考虑全社会的协同，则钢铁行业未来也许是有可能趋近碳中和的。

（4）削减粗钢产出总量和流程结构调整发展全废钢电炉短流程钢厂是中国钢铁行业实现碳中和的两大抓手，其余技术对碳减排贡献相对较小。

References

- [1] Shangguan FQ, Zhang CX, Hu CQ, Li XP, Zhou JC. Estimation on CO₂ emission in Chinese steel industry. *China Met* 2010;20(5):37-42. Chinese.
- [2] Shangguan FQ, Zhang CX, Li XP, Fan B, Huang D. Discussion on the CO₂ emission calculation methods in iron and steel industry. *J Iron Steel Res* 2010;22(11):1-5. Chinese.
- [3] Shangguan FQ, Zhou JC, Wang HF, Li XP. Climate change and decarbonization development of steel industry. *Iron Steel* 2021;56(5):1-6. Chinese.
- [4] Shangguan FQ, Li XP, Zhou JC, Wang FJ, Bu QC, Zhang CX. Strategic research on development of steel scrap resources in China. *Iron Steel* 2020;55(6):8-14. Chinese.
- [5] Shangguan FQ, Yin RY, Zhou JC, Li XP. Discussion on strategic significance of developing full scrap EAF process in China. *Iron Steel* 2021;56(8): 86-92. Chinese.
- [6] Shangguan FQ. Study on the optimization of full scrap EAF process: city steel plants & decarbonization of steel industry [dissertation]. Beijing: Central Iron and Steel Research Institute; 2021. Chinese.
- [7] de Pee A, Pinner D, Roelofsens O, Somers K, Speelman E, Witteveen M. Decarbonization of industrial sectors: the next frontier. McKinsey & Company 2018.
- [8] World Steel Association. Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient societies: worldsteel position paper. Brussels: World Steel Association; 2019.