

关于钢铁工业温室气体减排的探讨

张春霞¹, 上官方钦¹, 张寿荣², 殷瑞钰¹

(1. 钢铁研究总院, 北京 100081;

2. 武汉钢铁集团公司, 武汉 430081)

摘要: 基于对钢铁制造流程中碳排放源的解析, 分析了国内外钢铁工业温室气体排放的现状和特点, 指出钢铁工业排放的温室气体中主要是 CO₂, 且主要由能源消耗引起。钢铁工业或企业的 CO₂ 排放计算方法有多种, 涉及直接排放、间接排放和排放权抵扣等方面, 因此, 不同出处的 CO₂ 指标之间一般不具有可比性。对 1991—2008 年中国钢铁工业的 CO₂ 排放的直接排放量进行估算, 结果表明, 中国钢铁工业生产 1 t 粗钢的 CO₂ 直接排放量由 1991 年的 3.29 t 下降到 2008 年的约 1.92 t, 说明中国钢铁工业的节能减排工作取得了重大进展。此外, 介绍了国外钢铁行业 CO₂ 减排技术 (如 ULCOS、COURSE 50 等) 的开发进展; 分析了中国钢铁工业以二次能源利用为主的低碳技术在“十二五”时期末的温室气体减排潜力, 指出随着低碳 (节能) 技术的普及率的提高, 预计到“十二五”时期末 (2015 年), 生产 1 t 粗钢将在 2005 年的基础上产生 104.01 kg 的 CO₂ 减排量。最后提出了中国钢铁工业温室气体减排发展的途径、措施、减排路线图及政策建议。

关键词: 钢铁工业; 温室气体排放; 低碳技术; 减排途径; 路线图; 政策建议

中图分类号: X757

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2012)03-0221-10

引言

由温室气体引起的全球气候变化已成为国际社会关注的热点。中国政府在气候变化方面, 也做出了积极应对。2009 年 11 月 25 日, 中国宣布, 到 2020 年中国单位国内生产总值二氧化碳排放量比 2005 年下降 40%~45%, 作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。2011 年 12 月 1 日, 国务院下达关于印发《“十二五”控制温室气体排放工作方案》的通知, 提出到 2015 年全国单位国内生产总值能耗比 2010 年下降 16%, 全国单位国内生产总值二氧化碳排放量比 2010 年下降 17%, 并且在“十二五”期间要加快建立温室气体排放统计核算体系及碳排放交易市场^[1]。

因此, 控制温室气体排放是我国积极应对全球气候变化的重要任务, 对于加快转变经济发展方式、促进经济社会可持续发展、推进新的产业革命具有重要意义。

钢铁工业作为中国工业的重要领域, 是资源、能源密集型产业, 同时也是 CO₂ 排放大户。中国钢铁工业的粗钢产量已经连续 16 年保持世界第一。进入 21 世纪以来, 粗钢产量年均增长率达到了 15.52%, 2011 年中国粗钢产量达到 6.83 亿 t, 约占当年世界粗钢产量的 45.85%^[2-3]。中国由于大规模基础设施和城镇化发展还将持续, 钢铁生产也将在今后多年内维持较高产量。中国工程院的研究表明, 2005 年中国钢铁行业的 CO₂ 直接排放

收稿日期: 2012-07-09; 修回日期: 2012-07-25

作者简介: 张春霞(1963-), 女, 博士, 教授级高工, 主要从事冶金过程工程及环境工程方面的研究。E-mail: hellenzster@gmail.com

上官方钦(1984-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事冶金过程工程及环境工程方面的研究。E-mail: htshgfgq@gmail.com

张寿荣(1928-), 男, 中国工程院院士, 主要从事钢铁冶金工作。E-mail: srzhang@public.wh.hb.cn

量约为 7.45 亿 t, 占当年中国化石燃料引起的 CO_2 排放总量的 15 %^{[4]77[5]1}, 而 2008 年中国钢铁行业的 CO_2 直接排放量约为 9.69 亿 t^{[6]40}。2011 年 10 月 24 日工业和信息化部颁布了《钢铁工业“十二五”发展规划》, 提出“十二五”期间, 钢铁工业单位工业增加值能耗和二氧化碳排放量均要降低 18 % 的目标^[7], 这对钢铁工业是新的挑战。

1 钢铁制造流程碳排放源分析

1.1 钢铁工业温室气体排放的特点

钢铁工业是典型的铁-煤化工过程。钢铁制造流程的物理本质是铁素物质流(如铁矿石、废钢、铁水、钢水、铸坯等)在能量流(主要是碳素流)的驱动和作用之下, 按照特定的运行程序, 在“流程网络”中作动态有序的运行。在“流程”的运行过程中^{[8]100}, 最重要的能量推动是碳素流, 因此, 钢铁生产过程中排放 CO_2 是不可避免的, 大约生产 1 t 钢要排放 CO_2 约 2 t 左右^{[6]37}。

钢铁工业的温室气体排放主要有如下三个特点:

1) 按《京都议定书》制定的 6 种温室气体, 对钢铁工业而言, CO_2 排放是最主要的, 其温室效应贡献大约占 95 %^[9-11]。

2) 钢铁工业的 CO_2 排放主要由能源消耗引起, 约占其 CO_2 排放总量的 95 %^{[4]78[5]2}。

3) 钢铁制造流程相对其他工业流程来说, 工序多, 流程长, 结构更复杂^{[8]98}, 钢铁联合企业至少包括原料、焦化、烧结、高炉、转炉、精炼、连铸、热轧、冷轧及其他深加工等十多个工序环节, 其中铁素物质流和碳素能量流时而“耦合”、时而分离, 分别形成了铁素物质流的“流程网络”和能量流的“流程网络”, 因此, 钢铁制造流程的 CO_2 排放源繁杂。但对于钢铁生产流程, 特别是高炉-转炉长流程中的能源消耗, 主要集中在铁前系统(焦化、烧结和高炉), 其能量流(碳素流)网络是最复杂的^[12](图 1), 也是 CO_2 排放的主要部分。

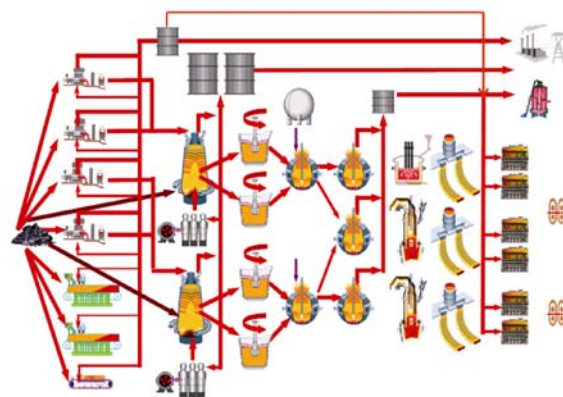


图 1 典型的钢铁联合企业制造能量流网络示意图

1.2 钢铁制造流程的碳排放源分析

钢铁企业的碳素流与能量流以及环境是密切相关的^[13]。从能量流角度看, 碳素能源是钢铁企业的主要购入能源, 是能量流的主体。

钢铁生产构成的碳排放源的输入表现为流程中的含碳原燃料(煤、焦炭等)、熔剂和炭电极的使用, 其中碳素能源是 CO_2 排放的最主要源头。碳素能源最终以 CO_2 的方式排放到周围环境, 这是直接排放。

而在钢铁流程中的 CO_2 排放源, 可分为三种: 第一种是直接排放源, 第二种是间接排放源, 第三种是碳排放权的抵扣。直接排放^[14]是指排放源由报告实体所有或控制的、在生产过程中排放的 CO_2 , 即企业自身购入且消耗的化石燃料和熔剂等产生的 CO_2 排放。间接排放是指报告实体活动所使用的 CO_2 , 但排放是发生在其他实体所控制的排放源上, 如电力, 其排放是由电力生产部门燃烧矿物燃料产生的。钢铁企业使用的外购电的 CO_2 排放为间接排放。此外, 副产煤气发电、冶金渣用作水泥、 CO_2 捕集后外卖进行啤酒生产等则属于潜在的可抵扣的碳排放权。

对钢铁行业和企业来说, 钢铁生产过程是铁-煤化工过程, 碳素的输入端(CO_2 的排放源)主要来源于煤等化石燃料的燃烧、石灰石等含碳熔剂的分解以及废钢等原料的消耗。碳素的输出端主要包含钢材等产品、焦油等副产品以及高炉渣

等所含的碳量（表 1）。间接排放主要包含外购原燃料、动力介质、非含碳熔剂等上游生产产生的排放，还包含副产品如高炉渣生产水泥、副产煤气发电等带来的排放权抵扣（表 2）。

表 1 钢铁企业中各工序的碳直接输入输出分析

工序	输入			输出		
	化石燃料	含碳熔剂	其他原料	产品	副产品	其他
焦化	洗精煤、加热焦炉用煤气等	—	—	焦炭	COG（焦炉煤气）、粗苯、焦油等	—
烧结	固体燃料、点火煤气等	石灰石、白云石等	铁矿粉、高炉粉尘、返矿等	烧结矿	—	回收的粉尘、返矿等
炼铁	焦炭、煤粉、热风炉消耗煤气等	石灰石等	烧结矿、块矿、球团矿等	铁水	BFG（高炉煤气）	高炉渣、回收的粉尘等
炼钢	—	白云石、菱镁矿等	铁水、生铁、块烧结矿（氧化球团）、废钢、铁合金等	钢水	BOFG（转炉煤气）	钢渣、回收的尘泥等
连铸-热轧	加热用煤气	—	钢水	钢材	—	—
钢铁企业	煤、焦炭、石油、天然气等	石灰石、白云石、菱镁矿等	铁矿石、废钢、铁合金、球团、生铁、烧结矿等	钢材、生铁、焦炭等	COG、BFG、BOFG、焦油、粗苯等	高炉渣、钢渣等

表 2 钢铁企业的碳间接输入输出分析

输入（上游生产排放）			输出
动力介质	非含碳熔剂	外购原燃料	排放权抵扣
电力、氧气、氮气、氩气、蒸汽等	消石灰、轻烧白云石等	焦炭、球团、生铁、烧结矿废钢、铁合金等	高炉渣、钢渣生产水泥，副产煤气发电等

1.3 钢铁工业 CO₂ 排放监测、计算

不同于用仪器在某设备的烟气出口进行 SO₂、NO_x 等污染物的测量，世界各国钢铁工业（企业）的 CO₂ 排放量不是直接测量出来的。钢铁企业的 CO₂ 排放监测更多的是针对钢铁企业的各种输入、输出物料和能源的性质及其消耗量，以及产品产出及其对应的 CO₂ 排放因子等各种数据进行监测，并基于这些数据，通过特定的计算方法，核算得到钢铁企业的 CO₂ 排放量。因此，钢铁工业 CO₂ 排放的相关指标亦受不同计算方法的影响。

钢铁工业/企业 CO₂ 排放量的计算原理是，根据碳平衡原理，通过对系统内碳平衡的输入与输出，计算系统内氧化的碳的数量，然后折算为 CO₂，即：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放量} = (\sum \text{碳输入量} - \sum \text{碳输出量}) \times 44 \div 12$$

目前，国际钢铁协会（World Steel Association，WSA）在 IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）的 CO₂ 排放量计算方法的基础上，借鉴 LCA（Life Cycle Assessment）的思路，正在编制形成钢铁企业 CO₂ 排放量计算方法的 ISO14404 标准。而中国目前还没有关于 CO₂ 排放监测、统计和计算方法的规范和标准。

2 国内外钢铁工业 CO₂ 排放现状

2.1 国际主要钢铁企业的 CO₂ 排放现状

2007 年，国际钢铁协会在“气候变化与世界钢铁工业”的内部报告上指出，全球钢铁工业排放的温室气体约占全球温室气体总排放量的 3.2%，且主要是 CO₂。2005 年国际钢铁协会会员企业生产 1 t 粗钢的温室气体排放量为 1.7 t^[15]，2010 年为 1.8 t^[16]（表 3）。2010 年国际主要钢铁企业以及 2005—2010 年韩国浦项制铁集团公司（Pohang

表 3 2010 年国际主要钢铁企业 CO₂ 排放情况

来源	生产 1 t 粗钢的 CO ₂ 排放量/t	备注
日本住友金属株式会社 ^[17]	1.95	能源消耗
日本 JFE 钢管公司 ^[18]	1.91	其中, 原料、熔剂消耗 0.06 tCO ₂ /t-s
新日本制铁株式会社 ^[19]	1.93	能源消耗
韩国 POSCO ^[20]	2.13	包括 2.04 t 的直接排放和 0.09 t 的间接排放
台湾中钢公司 ^[21]	2.32	包括 2.18 t 的直接排放和 0.14 t 的间接排放
ArcelorMittal ^[22]	2.15	—
国际钢铁协会 ^[16]	1.80	国际钢铁工业可持续发展指标

Iron and Steel Co. Ltd, POSCO) 的 CO₂ 排放情况分别见表 3 和图 2。

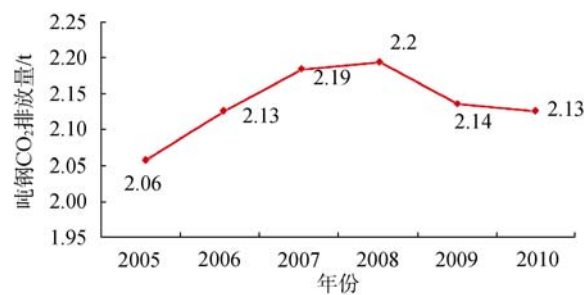


图 2 2005—2010 年韩国 POSCO 生产 1 t 粗钢的 CO₂ 排放情况

资料来源: 文献[20, 23]。

通过以上结果分析可见, 一方面, 一个钢铁企业的吨钢 CO₂ 排放量并不一定是逐年下降的, 另一方面, 国际上钢铁工业或企业的任何一个 CO₂ 排放指标都不能简单地不同主体间进行比较, 主要存在以下五方面的原因:

- 1) 不同企业的 CO₂ 排放指标是根据不同的计算方法得到的, 其计算边界差异大。
- 2) 由于各个国家和地区原燃料条件的差异, 各个企业在 CO₂ 排放因子的选择上也会有很大的差异。
- 3) CO₂ 排放水平还和企业的流程结构、产品结构特点有关, 不能在采用不同流程结构和产品结构的企业之间进行 CO₂ 排放的简单、直接比较。
- 4) CO₂ 排放水平还与企业的用能结构有关。客观上由于煤炭利用过程中的能源效率较低、污染排放严重、产品能源成本高, 企业用能结构中煤炭比例高的, 其 CO₂ 排放水平必然要高。

5) 不同企业实际生产中的 CO₂ 排放水平还与该企业的装备水平、技术水平以及管理水平有很大关系, 如企业的装备技术、工艺技术和管理水平高, 则其用能效率高, CO₂ 排放也就相对要少。

因此, 对于不同来源的生产 1 t 粗钢的 CO₂ 排放数据, 需综合考虑其计算方法、统计口径和范围、能源结构、废钢利用方式、原燃料质量及企业自身装备、工艺技术、管理水平等因素的影响方可客观比较。

2.2 中国钢铁工业的 CO₂ 排放现状

基于数据的连续性与可靠性, 以 2009 年版的《中国能源统计年鉴》^[24]中黑色金属冶炼及压延加工业的能源消耗数据为基础, 剔除重复计算和铁合金行业的能耗, 得到钢铁工业的能源消耗数据。熔剂消耗的数据是通过调研对中国主要钢铁企业的平均消耗水平估算得到。结合 IPCC 和 WSA 的方法, 主要计算直接排放, 避免与电力行业发生重复计算, 未考虑外购电力的间接排放。

对 1991—2008 年的中国钢铁工业 CO₂ 排放量进行估算, 得到如下几点结论:

- 1) 由于近年来, 钢产量增长迅速, CO₂ 直接排放总量由 1991 年的 2.34 亿 t 增加到 2008 年的 9.64 亿 t。但 CO₂ 排放总量的增幅 (313 %) 远低于钢产量的增幅 (606 %), 说明钢铁工业的节能减排工作取得了重大进展。
- 2) 中国钢铁工业生产 1 t 粗钢的 CO₂ 排放总体趋势是逐年降低, 生产 1 t 粗钢的 CO₂ 直接排放量由 1991 年的 3.29 t 下降到 2008 年的约 1.92 t, 下降约 41.64 % (图 3)。

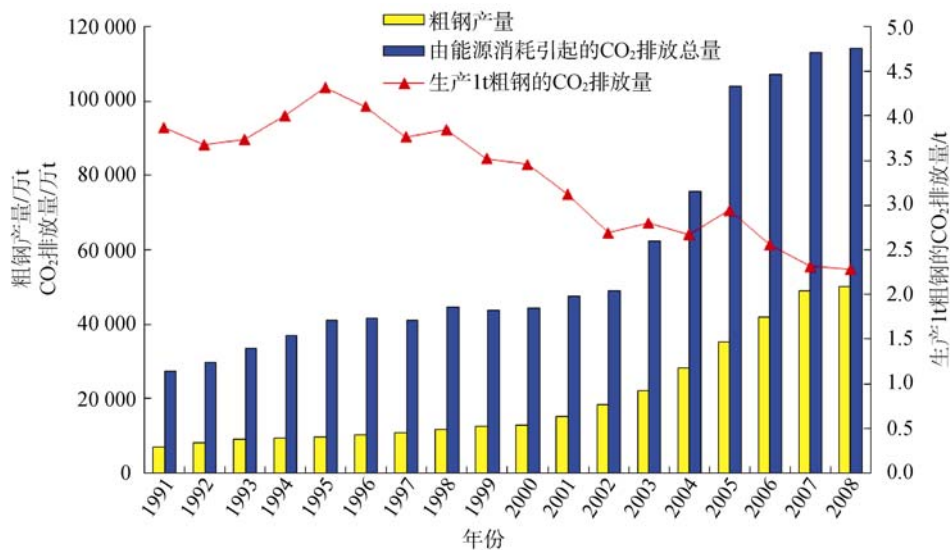


图3 1991—2008年中国钢铁工业 CO₂ 排放情况

中国钢铁工业生产 1 t 粗钢的 CO₂ 排放量之所以高于主要产钢国家，主要有两个先天不足：

1) 电炉钢比与世界平均水平相比低约 50 %~70 %^[25-27] (图 4)，主要是由于中国钢铁产量增长快，废钢资源缺乏，客观上造成中国钢铁工业温室气体排放量大。

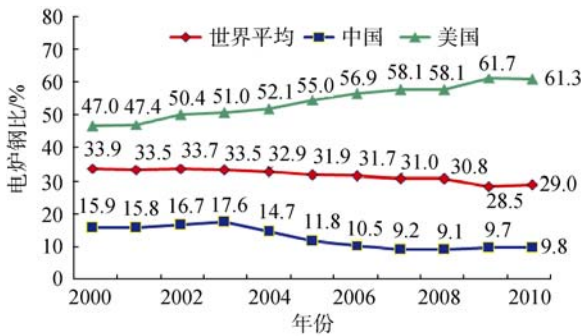


图4 2000—2010年中国与世界电炉钢比的对比图

2) 中国钢铁工业的一次能源中，煤炭占能源总量的 80 %以上^[24] (图 5)，此比例远高于世界其他主要产钢国，而天然气和燃料油的比例则明显低于发达国家。客观上煤炭利用过程中的能源效率较低，CO₂ 排放量高，污染排放严重。

3 钢铁工业低碳技术发展及潜力分析

进入 21 世纪以来，中国钢铁工业的节能减排

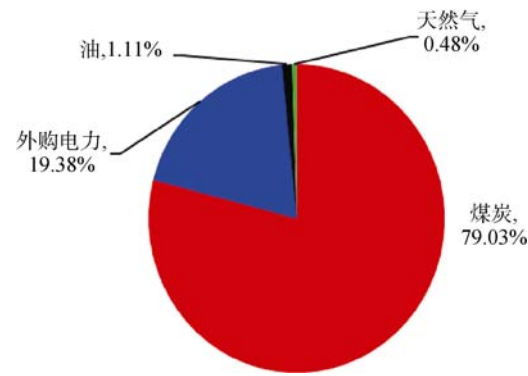


图5 2007年中国钢铁工业能源结构图

工作在理念和层次上取得了很大进步。殷瑞钰等在研究钢铁制造流程动态运行过程的物理本质的基础上，提出钢铁工业应拓展和发挥钢铁产品制造、能源转换和废弃物资源化处理等三大功能^[28-29]，为钢铁工业未来的节能减排工作指明了方向。在钢厂功能拓展的理念指导下，中国钢铁工业在淘汰落后技术的基础上，开发应用以干熄焦、高炉煤气干法除尘和转炉煤气干法除尘以及煤气和余热余能集成发电为代表的“三干一电”节水、节能减排技术，取得了明显效果。与 2000 年相比，2010 年重点钢铁企业生产 1 t 粗钢的能耗降低约 24.6 %。但是，中国钢铁工业的整体能源效率与先进的产钢国日本相比，仍有 5 %~8 % 的差距。从短期看，节能仍是钢铁工业减排温室

气体最有效的低碳技术。

进入“十二五”时期后,以二次能源利用为主的低碳技术,由于技术效果的不同,推广有所不同。总体上,可分为三类:1)技术比较成熟,如CDQ(干熄焦)、TRT(高炉煤气余压回收发电装置,Blast Furnace Top Gas Recovery Turbine Unit)、转炉煤气回收技术等,节能效果已得到广泛认同的节能减排技术,应大力推广和普及;2)对于减排效果很明显,但技术还需进一步发展的,如蓄热式轧钢加热炉技术、铸坯热送热装技术、能源管理中心等;3)减排效果明显,但技术难度较大的,如煤调湿、烧结矿显热回收、转炉低压饱和蒸汽发电等技术,需要在加强开发应用的基础上进行示范推广,预计这些技术的普及率在2015年达到20%~30%。

对以上中国钢铁工业以二次能源利用为主的低碳技术,本研究对其应用状况及其在“十二五”时期的CO₂减排效果和潜力进行了分析,结果见

表4。随着以上低碳(节能)技术的普及率的提高,预计到“十二五”时期末(2015年),生产1t粗钢将在2005年的基础上产生104.01kg的CO₂减排量。若按“十二五”时期末全国粗钢产量7亿t计,钢铁行业CO₂减排总量约可达7280万t。

近年来,钢铁联合企业出现了副产煤气利用方式从燃料化向资源化的转变,这是实现钢铁企业能源优化利用和CO₂减排的新途径。以利用钢铁企业富余的焦炉煤气、转炉煤气生产甲醇为例:该技术的关键点是采用变压吸附法净化转炉煤气,使转炉煤气满足甲醇生产的要求,再将转炉煤气配加到焦炉煤气中生产甲醇。将钢铁企业焦炉煤气、转炉煤气生产甲醇(每生产1t甲醇可消耗焦炉煤气2000~2200m³)与传统的煤基制甲醇(每生产1t甲醇大约消耗原煤2.6t^{[4][187]})相比,钢铁企业焦炉煤气、转炉煤气生产甲醇可实现生产1t甲醇减排3.5tCO₂,这可作为钢铁企业的碳排放权进行抵扣。根据甲醇行业“十二五”发展

表4 “十二五”时期末以二次能源利用为主的低碳技术的CO₂减排潜力分析

序号	节能技术	节能效果	CO ₂ 减排量/kg	2005年普及率	“十二五”时期末(2015年)	
					预计普及率	生产1t粗钢的CO ₂ 减排量/kg
1	CDQ	平均每熄1t焦炭可回收4.5MPa、450℃(或9.8Mpa、540℃)的蒸汽0.50t左右	(生产1t焦炭)约105	15.9%	70.0%	22.73
2	TRT	每吨铁可发电约30kW·h,最高可回收电力约54kW·h	(生产1t铁)约30	75.0%	90.0%	4.28
3	转炉煤气回收技术	若生产1t粗钢的煤气回收量达到80Nm ³ ,可降低能耗约23kgce	(生产1t·m ³ 粗钢)约0.825	37.5%	66.7%	28.91
4	蓄热式轧钢加热炉技术	生产1t粗钢可降低工序能耗约18kgce	(生产1t粗钢)约50	10.0%	40.0%	15.00
5	铸坯热送热装技术	相对冷装,当热装温度高于600℃时,生产1t粗钢可节约能源12kgce左右	(生产1t粗钢)约36	30.0%	60.0%	10.80
6	能源管理中心	可实现全企业节能3%,折合为每生产1t粗钢节能22kgce左右	(生产1t粗钢)约62	6.5%	30.0%	14.57
7	CMC(煤调湿)	如果把装炉煤水分从11%降至6%,则生产1t焦炭可节约14kgce左右	(生产1t焦炭)约48	0	20.0%	3.84
8	烧结矿显热回收	生产1t烧结矿可回收余热蒸汽约100kg	(生产1t烧结矿)约10	10.0%	30.0%	2.20
9	转炉低压饱和蒸汽发电	生产1粗钢可回收电力近15kW·h	(生产1t粗钢)约14	3.0%	15.0%	1.68
合计		—	—	—	—	104.01

注:① CDQ普及率的计算范围只包括钢铁企业的焦化厂;② TRT普及率按照400m³以上高炉计算;③ 假设生产1t粗钢的煤气最大可回收量为120Nm³(8360kJ/m³),转炉煤气回收技术普及率等于实际回收量除以最大回收量;④ 生产1t粗钢的焦炭消耗量按0.4t计算;⑤ 生产1t粗钢的烧结矿消耗量按1.1t计算,铁钢比取0.95。

规划，到 2015 年要将甲醇总产能控制在 5 000 万 t，其中以焦炉煤气为原料生产甲醇所占的比例要由现在的 10 % 增加到 15 %，而现在的煤基制甲醇要由 38.2 % 下降到 20 %，天然气制甲醇要由 28.2 % 下降到 15 %。依此估算，“十二五”时期末以焦炉煤气为原料生产甲醇有望达到 750 万 t，可望实现减排 2625 万 t CO₂。因此，利用焦炉煤气制甲醇、二甲醚、人造汽油等的资源化开发利用方式比将其在钢厂内部作为燃料具有更大的经济和社会效益。

另外，从长远来看，开发 CO₂ 捕集、封存和

利用的技术是应该考虑和分析的。但是最重要的是 CO₂ 捕集需要消耗多少能源、是否经济，以及能否找到稳定利用 CO₂ 的用户。这方面还需要做长期、大量的研究开发。

4 国外钢铁行业的温室气体减排途径及措施

目前国际上除了以节能为主的低碳技术的普及和利用外，欧盟和日本为将来实现大规模减排 CO₂，投入了大量的资金，进行高炉炼铁工艺的改进和研发，并已经取得了一定的进展（表 5）。

然而，从纯粹的低碳技术看，未来的 CO₂ 减

表 5 欧盟和日本钢铁工业应对气候变化的措施

国家	措施	参与成员	减排潜力
欧盟 ^[30]	ULCOS（超低二氧化碳炼钢）： 主要技术包括高炉炉顶煤气在脱碳之后的重新利用、CO ₂ 的捕集与贮藏、电解、氢的利用等。	由克鲁斯公司、阿塞洛公司和蒂森-克虏伯钢铁公司等 48 家欧洲企业和组织组成的联盟。	目标：使 CO ₂ 的排放量减少 30 %~70 %。 1) 高炉炉顶煤气循环：≈25 %。 2) 当与碳捕获和储存结合：>50 %。
日本 ^[31]	COURSE 50（创新的炼铁工艺技术）： 1) 减少高炉 CO ₂ 排放量技术开发 （1）开发为减排 CO ₂ 用氢等作还原剂还原铁矿石的反应控制技术，目的是降低高炉焦比。 （2）开发利用焦炉未利用余热（800 ℃），提高氢含量的焦炉煤气改质技术。 （3）开发高炉用氢作还原剂时使用的高强度、高反应性焦炭制造技术。 2) 从高炉煤气中分离、回收 CO ₂ 技术开发 （1）开发与从高炉煤气中分离、回收 CO ₂ 有关的化学吸收法和物理吸附法。 （2）推进扩大利用钢铁厂未利用余热，降低分离、回收 CO ₂ 所用能量技术开发。	由日本“五大钢”（新日本制铁株式会社、JFE 钢管公司、住友金属株式会社、神户钢铁公司、日新制钢株式会社）和新日铁工程公司共同负责。	通过抑制 CO ₂ 排放以及分离、回收 CO ₂ ，将 CO ₂ 排放量减少减排约 30 %，2030 年将确立此项技术，2050 年实现应用及普及，以期在全球范围内减排 50 %。

排技术主要着眼于能源替代、碳源替代和 CO₂ 捕集封存三个方面。国际钢铁协会环境委员会成立了 CO₂ 减排突破技术小组，其主要成员有美国钢铁联盟、欧洲钢铁联盟、日本钢铁联盟、韩国 POSCO、巴西 Acesita 钢厂等。主要技术途径有：用木炭（生物质能源）代替煤炭，用电解方式直接将铁矿石转变成金属铁，用氢气替代煤炭还原铁矿石，将钢渣制品放于海洋促进植物光合作用，采用钢渣颗粒过滤床吸收 CO₂，用氨吸收法分离 CO₂，采用高炉煤气预还原烧结矿，用氢氧化镁吸收 CO₂ 等，目前都处于试验阶段。

5 中国钢铁工业的温室气体减排途径、路线图及政策建议

5.1 中国钢铁工业 CO₂ 减排途径和路线图

结合中国钢铁工业的发展及国内外钢铁工业 CO₂ 减排途径和措施的应用现状，提出针对中国钢铁工业的 CO₂ 减排途径、措施和建议（见表 6），并在此基础上以 2005 年中国钢铁工业的 CO₂ 排放水平为基准，提出了中国钢铁工业 CO₂ 减排路线图（图 6）。分析可见，随着各种低碳技术的普及

表 6 中国钢铁工业 CO₂ 减排途径

钢铁工业内部的 CO ₂ 减排途径		钢铁工业外部的 CO ₂ 减排途径
短期途径	长期途径	
➢ 注重废钢资源的利用,降低铁钢比 ➢ 提高二次能源利用效率 ➢ 淘汰落后技术、工艺、装备,控制总量 ➢ 普及低碳技术	➢ 大幅度增加废钢利用 ➢ 掌控清洁能源 ➢ 延伸产品加工深度,提高产品质量 ➢ 开发低碳技术	➢ 与其他行业形成生态链,发展循环经济 ➢ 减少钢材浪费,延长钢材的使用寿命 ➢ 开发碳捕集与储存技术

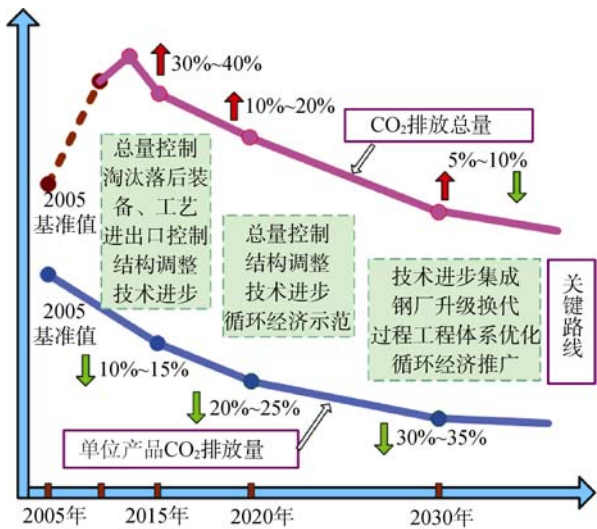


图 6 中国钢铁工业 CO₂ 减排路线示意图

利用和进一步开发,中国生产 1 t 粗钢的 CO₂ 排放量将逐年下降,但 2015 年后下降速度减缓;钢铁工业 CO₂ 排放总量大约在 2015 年左右达到顶峰,之后如果总量得到控制,加上生产 1 t 粗钢的 CO₂ 排放量持续降低,CO₂ 排放总量将继续逐年下降,到 2030 年钢铁工业 CO₂ 排放总量能达到 2005 年的 CO₂ 排放总量水平甚至更低一些。

5.2 中国钢铁工业 CO₂ 减排的政策建议

行业减排 (Sectoral Approach) 在气候变化谈判中已成为热点之一,国际上关注的四大行业有火力发电、钢铁、水泥和电解铝。因此,钢铁工业如何应对气候变化的挑战,除了在技术角度提出措施和途径外,相关的政策导向也是非常重要的。为此,提出六条政策建议:

1) 加快淘汰高能耗、高排放、低产能的落后工艺和落后产品。不断提高技术、工艺和产品的

行业准入门槛,严肃监督执行。同时要建立钢铁企业之间全要素公平竞争体制,即对国有企业或民营企业都应在其产品的成本中体现出完整的人力资源、能源效率、环境保护等全要素的成本,使不同钢铁企业在统一、公平的市场条件下进行竞争,以促进淘汰落后市场主体的步伐。

2) 应鼓励提高废钢使用量和比例,建议国家对废钢铁回收加工配送企业实行所得税减免政策,对进口废钢减免增值税,并规范废钢回收、分类、处理加工和供应产业,提高其国内市场的活力和适应国际进口废钢市场的竞争力。

3) 为真实地反映钢铁行业的能源消耗和 CO₂ 排放情况,应切实完善能源监测、统计和管理体系,研究制定中国钢铁行业 CO₂ 排放监测、统计和计算标准。

4) 尽快制定和落实发展循环经济的政策,打破行业壁垒,实现全社会资源能源节约和回收利用,使 CO₂ 环境负荷降低。

(1) 鼓励钢厂自备电厂并网和上网。政府应协调钢铁工业与电力行业间的协作,继续鼓励钢厂利用余热、余能等二次能源发电,制定钢铁企业电力并网、上网的合理政策和价格体系;同时应制定和出台支持电力行业和钢铁行业合作共赢的“共同火力”的混烧煤气和煤炭(或其他燃料)的大容量发电机组,以提高能源利用效率,并支持电力(蒸汽)直供钢厂。

(2) 钢厂副产煤气应逐步从燃料化利用方式向资源化利用方式转变,应在技术开发集成和政策上给予支持。

(3) 鼓励冶金炉渣在建材行业的利用。制定

和完善冶金炉渣等用于建材行业的相关政策和标准,提高建材行业消纳冶金炉渣的规模。

5) 加大科研投入,提前布局,大力支持开发具有自主知识产权的钢铁低碳技术,推动钢铁工业的低碳技术示范工程。

6) 促进与各类钢材用户结合的钢材应用技术进步,有关部门应及时协调相关行业部门,适时修订冶金企业和用钢行业的标准、钢材使用规范和设计标准,使这些规范和标准起到引导和服务的作用,以提高钢材使用效率,从钢材使用过程中寻找减少 CO₂ 排放的途径。

致谢

中国工程院、能源基金会、工业与信息化部、国家统计局和中国钢铁工业协会,以及来自武汉钢铁(集团)公司、唐山钢铁集团有限责任公司、宝钢集团有限公司、马鞍山钢铁股份有限公司、河南济源钢铁(集团)有限公司、首钢京唐钢铁联合有限责任公司、太原钢铁(集团)有限公司等单位的专家对本研究提供了支持,在此表示感谢!

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十二五”控制温室气体排放工作方案的通知(国发〔2011〕41号)[EB/OL]. (2011-12-01)[2012-07-01]. http://www.gov.cn/zwgg/2012-01/13/content_2043645.htm.
- [2] World Steel Association. Crude steel production 2011[EB/OL].(2012-02)[2012-07-01]. <http://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive/2011-steel-production.html>.
- [3] 《中国钢铁工业年鉴》编辑委员会. 中国钢铁工业年鉴[M]. 北京:《中国钢铁工业年鉴》编辑部,1992/2011.
- [4] 中国工程院. 关于我国主要流程工业 CO₂ 排放的评估及对策报告[R]. 北京:2008.
- [5] 张春霞,上官方钦,胡长庆,等. 钢铁流程结构及对 CO₂ 排放的影响[J]. 钢铁,2010,45(5).
- [6] 上官方钦,张春霞,胡长庆,等. 中国钢铁工业的 CO₂ 排放估算[J]. 中国冶金,2010,20(5).
- [7] 中华人民共和国工业和信息化部. 关于印发《钢铁工业“十二五”发展规划》的通知(工信部〔2011〕480号)[EB/OL].(2011-11-24)[2012-07-01]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/14303771.html>.
- [8] 殷瑞钰. 冶金流程工程学[M]. 第2版. 北京:冶金工业出版社,2009.
- [9] 张春霞,齐渊洪,严定鏊,等. 中国炼铁系统的节能与环境保护[J]. 钢铁,2006,41(11):1-5.
- [10] 张春霞,胡长庆,严定鏊,等. 温室气体和钢铁工业减排措施[J]. 中国冶金,2007,(1):10-15.
- [11] 张春霞,胡长庆,上官方钦,等. 钢铁工业温室气体排放和减排措施[C].//中国金属学会. 中国钢铁年会论文集. 成都:中国金属学会,2007:504-510.
- [12] 殷瑞钰. 钢铁制造流程的能量流行为和能量流网络问题[J]. 工程研究:跨学科视野下的工程,2010,2(1):1-4.
- [13] 胡长庆. 物质流、能量流分析与新一代钢铁制造流程[D]. 北京:钢铁研究总院,2006:106-110.
- [14] 世界可持续发展工商理事会,世界资源研究所. 《温室气体议定书》企业核算与报告准则修订本[M]. 简体中文版. (2004)[2012-07-01]. <http://www.ghgprotocol.org/standards/corporate-standard>.
- [15] World Steel Association. 2008 Sustainability Report of the World Steel Industry[EB/OL]. (2008)[2012-07-01]. http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/Sustainability%20Report%202008_English.pdf.
- [16] World Steel Association. Sustainable steel Policy and indicators 2011[EB/OL]. (2011)[2012-07-01]. <http://worldsteel.org/publications/bookshop?bookID=787f1fe3-824a-49f9-8d2e-d5ff9d31526e>.
- [17] Sumitomo Metals. Annual Report 2011[R/OL]. (2011)[2012-07-01]. http://www.sumitomometals.co.jp/e/ir/library/pdf/ar/ar2011_en.pdf.
- [18] JFE. JFE Group CSR Report 2011[R/OL]. (2011)[2012-07-01]. http://www.jfe-holdings.co.jp/en/environment/csr_report/csr2011e.pdf.
- [19] Nippon Steel Corporation. Nippon Steel Sustainability Report 2011[R/OL]. (2011)[2012-07-01]. http://www.nsc.co.jp/en/eco/report/pdf/english_2011.pdf.
- [20] POSCO. Sustainability Report 2010[R/OL]. (2011)[2012-07-01]. http://www.posco.com/homepage/docs/kor2/dn/sustain/customer/2011_SR_eng.zip.
- [21] 台湾中钢. 中钢企业社会责任报告书[R/OL]. (2011)[2012-07-01]. <http://www.csc.com.tw/csc/hr/e/hr-2011.pdf>.
- [22] Arcelor Mittal. Corporate Responsibility Report 2010[R/OL].(2011)[2012-07-01]. <http://www.arcelormittal.com/corp/~media/Files/A/ArcelorMittal/corporate-responsibility/publications-and-reports/archive/global-corp-resp-reports/ArcelorMittal-CR-Report-2011single.pdf>.
- [23] POSCO. Sustainability Report 2005[R/OL]. (2006/2007/2008/2009/2010)[2012-07-01]. <http://www.posco.com/homepage/docs/eng2/jsp/sustain/report/s91d70500201.jsp>.
- [24] 国家统计局能源统计司,国家能源局综合司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2009:98-101.
- [25] World Steel Association. Steel Statistical Yearbook 2009[EB/OL].(2009)[2012-07-01]. [http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/SSY2008\[1\].pdf](http://www.worldsteel.org/pictures/publicationfiles/SSY2008[1].pdf).
- [26] World Steel Association. World Steel In Figures 2010[M]. Belgium: World Steel Association,2010:10.

- [27] World Steel Association. Monthly crude steel production, 2010[EB/OL]. (2011)[2012-07-01]. <http://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive/monthly-steel-archive.html>.
- [28] 殷瑞钰, 张春霞. 钢铁企业功能拓展是实现循环经济的有效途径[J]. 钢铁, 2005, 40(7): 1-8.
- [29] 殷瑞钰. 关于钢铁制造流程的研究[J]. 金属学报, 2007, 43(11): 1121-1128.
- [30] Schmöle Peter, Lungen Hans Bodo, Endemann Gerhard. Measures to Reduce CO₂ and Other Emissions in the Steel Industry in Germany and Europe[C]//Proceedings of the 5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking. Shanghai: The Chinese Society for Metals, 2009: 42-50.
- [31] Tatsuro Ariyama, Shigeru Ueda, Shungo Natsui, et al. Current Technology and Future Aspect on CO₂ Mitigation in Japanese Steel Industry[C]//Proceedings of the 5th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking. Shanghai: The Chinese Society for Metals, 2009: 55-62.

Discussion on GHG Emission Reduction in the Steel Industry

Zhang Chunxia¹, Shangguan Fangqin¹, Zhang Shourong², Yin Ruiyu¹

(1. Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081, China;

2. Wuhan Iron and Steel Corp., Wuhan 430081, China)

Abstract: Based on the analysis of carbon emission sources in steel manufacturing process, the status quo and the characteristics of GHG emission in the steel industry are analyzed. It is concluded that CO₂ is the major greenhouse gas that contributes to greenhouse effect and it is mainly caused by energy consumption. As there are many CO₂ emission calculation methods for the steel industry or plants, involving aspects such as direct emission, indirect emission, and credits, it should be noted that it makes little sense to compare CO₂ emission indexes from different sources. Based on the estimation of direct CO₂ emissions in the steel industry in China from 1991 to 2008, it is indicated that the specific direct CO₂ emission per ton steel is decreased from 3.29t in 1991 to 1.92t in 2008, which shows that energy-saving and emission reduction in the Chinese steel industry has made significant progress. Besides, this paper introduces international developments in low carbon technologies, such as ULCOS, COURSE 50, etc.. Meanwhile, the low-carbon technologies, mainly the secondary energy utilization technologies, and CO₂ emission reduction potential during the “Twelfth Five-year Plan” in China are analyzed. This paper predicts that, compared with the specific CO₂ emission per ton steel in 2005, the figure in 2015 will be reduced by 104.01kg. Finally, GHG emission reduction measures and roadmap in Chinese steel industry are put forward, and some policies are suggested.

Key words: steel industry; GHG emission; low carbon technology; emission reduction measures; roadmap; policy suggestions