

中国钢铁工业二氧化碳排放研究

韩颖^{1,2} 李廉水^{1,2} 孙宁³

摘要

我国钢铁产量连续 11 a 位居世界第一,同时也消耗了大量的化石燃料,排放出大量的温室气体。根据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的通用方法计算我国钢铁工业的碳排放情况并进行研究分析。结果显示:1994—2006 年内钢铁工业碳排放量平均占碳总排放的 14%,煤炭类能源产生的 CO₂ 平均占钢铁工业碳排放量的 97%,钢铁年产量的增长伴随着 CO₂ 排放量的增加且两者的相互依赖性有加强的趋势,但 1994—2006 年内吨钢 CO₂ 排放量呈降低的趋势。因此,钢铁工业是我国碳减排的重点行业,其碳减排工作应该尽快展开,而优化能源消费结构是最有效的减排路径,此外也要加强技术创新或是引进国外先进技术以提高能源利用效率。

关键词

气候变化;钢铁工业;碳减排;能源效率

中图分类号 TQ028.2;X511

文献标志码 A

收稿日期 2009-11-26

资助项目 国家自然科学基金(70873063);科技部公益性行业专项基金(GYHY200806017);教育部人文社科重点研究基地重大项目(08JJD-630006)

作者简介

韩颖,硕士,主要从事制造业节能减排政策方面的研究。bluehomp@ sina.com

李廉水,男,博士,教授,博士生导师,主要从事制造业、技术创新、政府政策等方面的研究。

0 引言

全球气候变化引发的海平面上升,冰川融化,极端气候频繁等,造成全球范围的自然生态系统的改变,对世界各国的社会、经济和可持续发展也带来了重要的影响^[1]。为了缓解乃至遏止全球变暖的趋势,必须对人类的碳排放活动加以限制。钢铁产业是我国国民经济的重要基础产业,也是资源能源密集型行业(国家发改委规定我国资源能源密集型行业包括钢铁业、水泥业、化学工业、交通运输业、居民生活和电力工业),消耗了大量的化石燃料,排放出大量的温室气体。2006 年,我国钢产量达到 4.7 亿 t,消费量达到 3.84 亿 t,已连续 11 a 居世界首位^[2]。2007 年,国际钢铁协会(IISI)和国际能源署(IEA)发表声明认为世界钢铁企业所有碳排放中约有 51% 是由中国排放的,呼吁中国钢铁企业提高能源效率以减少碳排放^[3]。可见,我国的钢铁产业的碳减排压力巨大,因此,研究分析我国钢铁工业碳排放的历史数据和现状特征,对于未来碳减排压力下我国钢铁工业可持续发展和参与国际谈判意义重大。

日本学者 Dolf 等^[4]及 Osamu^[5]的研究表明,2001 年日本钢铁工业的能耗约占全国总能耗的 14%,温室气体排放量约占全国的 14.6%,吨钢 CO₂ 排放量为 1 652 kg。Jürgen^[6]研究发现,2000 年德国钢铁工业温室气体排放量约占全国的 7%,吨钢 CO₂ 排放量为 1 300 kg。Rynikiewicz^[7]研究了碳减排压力下欧洲钢铁产业的发展思路,提出了欧洲钢铁产业要走超低碳炼钢(ULCOS)的可持续发展道路。据世界资源研究所(WRI)估算,2000 年中国钢铁工业温室气体排放量占全国的 10.44%,2002 年吨钢 CO₂ 排放量为 2 390 kg^[8]。杨晓东等^[9]介绍了钢铁生产过程中不同工艺流程阶段温室气体的产生。王克等^[10]利用 LEAP China 模型模拟了 3 个不同情景下中国钢铁行业 2000—2030 年 CO₂ 排放量及相应的减排潜力。张春霞等^[11]指出我国钢铁工业碳排放量仅次于电力部门和建筑材料部门,排第 3 位,并比较分析了我国钢铁工业碳排放和发达国家的差距。蔡九菊等^[12]建立了吨钢 CO₂ 排放量的计算模型及物质流、能量流对 CO₂ 排放的影响模型。从国内外研究情况来看,钢铁工业的 CO₂ 排放是国际国内关注的焦点之一,但是在国外要求我国钢铁工业大幅减排的压力之下,学者们对于我国钢铁工业历年的碳排放情况研究较少,因而难以整体把握我国钢铁工业碳排放的历史数据和现状特征,本文基于此点展开研究。

1 南京信息工程大学 中国制造业发展研究院,南京,210044

2 南京信息工程大学 经济管理学院,南京,210044

3 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

1 方法和数据

1.1 CO₂ 排放估算方法

要科学客观地估算钢铁工业 CO₂ 的排放量,方法是关键.考虑到化石燃料消耗是钢铁工业 CO₂ 排放的主要来源,依据《IPCC 国家温室气体清单指南 2006》,主要根据钢铁工业的化石能源消耗来估算其 CO₂ 排放,公式为

$$E_i = \sum \delta_i \times E_i \times (1 - \alpha) \times R. \quad (1)$$

其中: E_i 为 CO₂ 排放量; E_i 为分品种能源消耗标准量; δ_i 为分品种能源类型 CO₂ 排放系数; α 为碳固定化比率; R 为平均碳氧化率,按照文献[13],钢铁行业的平均碳氧化率为 91.1%.

除此之外,还要考虑钢铁工业电力消耗产生的 CO₂ 排放.我国钢铁工业中的电力生产主要靠煤炭火电,因此全面考量钢铁工业的 CO₂ 排放情况有必要将其电力消耗产生的部分也计算在内,按照下式将钢铁工业电力消耗折算成煤炭消耗:

$$\text{电力等同煤炭消耗量} = \text{电力消耗量} \times \text{当年火电比重} \times \text{折标准煤系数} \times \text{折煤炭系数}. \quad (2)$$

其中:当年火电比重依据历年《中国统计年鉴》中的“电力平衡表”计算;折标准煤系数与折煤炭系数来自《中国能源统计年鉴 2007》.故电力 CO₂ 排放量的计算等同于煤炭消耗所产生的 CO₂ 量.

根据 IPCC 和有关规定以及国家发展改革委员会、财政部文件(发改环资[2008]704号)《节能项目节能量审核指南》中公布的能源发热量系数值进行折算,各种碳源的碳排放系数如表 1 所示.

表 1 碳源转换系数表

Table 1 The conversion coefficients of carbon sources

化石能源种类	热值/ (kJ/kg)	碳排放系数/ (t/TJ)	CO ₂ 排放系数/ (g/kg)
煤炭	20 908	25.8	1.977 90
焦炭	28.435	29.2	3.042 53
原油	41 816	20.0	3.065 11
汽油	43 070	18.9	2.984 78
煤油	43 070	19.6	3.096 77
柴油	42 652	20.2	3.160 54
燃料油	41 816	21.1	3.236 56
天然气	38 931(kJ/m ³)	15.3	2.184 01(kg/m ³)

注:据《IPCC 国家温室气体清单指南》能源分为煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气.

本文分析钢铁工业 CO₂ 排放量主要考虑钢铁工业能源活动中化石能源的消耗所排放的 CO₂. 所以,

钢铁工业 CO₂ 年排放量 = 公式(1) + 公式(2).

1.2 数据来源

通过查询《中国统计年鉴》(1995—2007年)和《中国能源年鉴》(1995—2007年)得到我国钢铁工业的化石能源消耗和内部电力消耗情况,依据前述估算方法,得到我国钢铁工业的 CO₂ 排放量,据此进行相关研究.

2 结果与讨论

2.1 我国钢铁工业碳排放量(1994—2006年)

表 2 给出了 1994—2006 年 13 年间,我国钢铁工业 3 种不同种类能源 CO₂ 排放量,钢铁工业 CO₂ 排放总量以及每吨钢铁 CO₂ 排放量的数据.

表 2 1994—2006 年我国钢铁工业年碳排放量

Table 2 CO₂ emissions of the iron and steel industry in China (1994—2006)

年份	CO ₂ 排放量				
	煤炭类 能源/ (万 t)	石油类 能源/ (万 t)	天然气 能源/ (万 t)	钢铁工业/ (万 t)	吨钢/ kg
2006	110 863.06	907.51	265.83	112 036.39	2 389
2005	93 765.16	978.73	231.15	94 975.04	2 515
2004	74 888.70	980.65	165.36	76 034.71	2 378
2003	62 814.77	1 346.83	70.56	64 232.16	2 664
2002	50 525.55	1 251.01	49.78	51 826.34	2 692
2001	45 087.80	1 355.60	36.15	46 479.53	2 893
2000	44 185.73	1 417.33	37.01	45 640.07	3 472
1999	44 663.56	1 372.36	24.67	46 060.60	3 804
1998	44 951.12	1 530.54	61.25	46 542.92	4 335
1997	46 955.38	1 659.42	52.81	48 667.62	4 877
1996	46 679.42	1 657.72	89.61	48 426.74	5 186
1995	47 223.06	1 857.25	79.87	49 160.17	5 475
1994	41 167.50	2 330.52	63.42	43 561.44	5 169

注:为了简化分析,将表 1 中所述的 8 种化石能源分成煤炭类、石油类和天然气 3 大类.

根据《中国统计年鉴》(1995—2007年)数据,我国钢铁工业产量从 1994 年的 8 428 万 t 增长到 2006 年的 4.7 亿 t,13 年间增长了 5.6 倍,与此同时,相应的碳排放总量却仅增长 2.6 倍,如果从吨钢碳排放量来看,1994 年为 5 169 kg,而 2006 年为 2 389 kg(图 1).这充分说明了我国钢铁工业节能减排取得了很大的成绩,为世界范围的碳减排做出了一定的贡献.当然在看到成绩的同时,差距也很明显,德国 2000 年吨钢 CO₂ 排放量为 1 300 kg,日本 2001 年吨钢 CO₂ 排放量为 1 652 kg,我国钢铁工业的能源效

率离世界先进水平尚有较大差距。

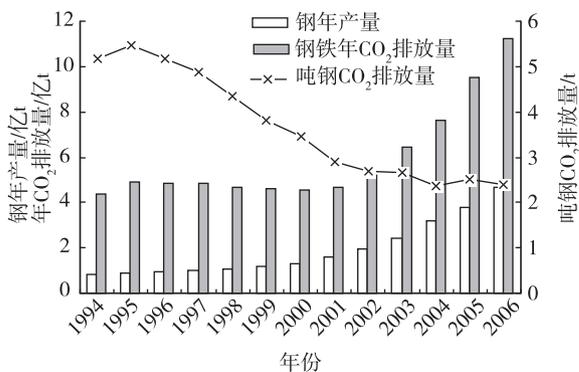


图1 1994—2006年我国钢铁工业产量及碳排放情况

Fig. 1 The yield and CO₂ emissions of the iron and steel industry in China (1994—2006)

2.2 我国钢铁工业碳排放结构(1994—2006)

为了简化分析,将8种能源分成煤炭类(煤炭、焦炭)、石油类(原油、汽油、煤油、柴油、燃料油)和天然气(天然气)3大类。由表3可以清楚地看到我国钢铁工业CO₂排放量大部分来自煤炭类能源的消耗。1994—2006年煤炭类化石能源占能源消耗总量的平均值为97.10%,最低值为1994年的94.50%,且呈逐年上升的趋势,而石油类能源和天然气消耗导致的CO₂排放几乎可以忽略。究其原因,一方面是由于煤炭在钢铁工业中属于重要的还原剂和生产原料,最主要的原因还是在于我国目前以煤炭为主的能源消费结构。由此可以清楚地揭示出,优化我国钢铁工业的能源消费结构具有极大的节能减排潜力,优化的核心是减少煤炭类能源的消耗。

2.3 钢铁工业碳排放形势

考虑我国能源消耗的总量,按照同样的CO₂排放估算方法计算我国CO₂总排放量(非CO₂净排放量)。图2给出了1994—2006年来我国钢铁工业CO₂排放占CO₂总排放比重的变化趋势,同时给出了我国钢铁工业能源消耗占全国能源消耗总量的比重的变化趋势。

由图2可以看出,1995—2002年钢铁工业CO₂排放占CO₂总排放的比重呈递减趋势,2003年后呈递增趋势,历年比重都在13%以上,平均比重为14.08%,2006年更是达到了17.13%的历史最高值。可见总体上我国钢铁工业CO₂排放占CO₂总排放的比重较大,充分说明钢铁工业是我国碳减排的主要行业之一,并且2005、2006年的比重分别为近

表3 1994—2006年我国钢铁工业不同能源种类碳排放结构

Table 3 CO₂ emissions from different types of energy used in China iron & steel industry (1994—2006) %

年份	CO ₂ 排放比例		
	煤炭类能源	石油类能源	天然气能源
2006	98.95	0.81	0.24
2005	98.73	1.03	0.24
2004	98.49	1.29	0.22
2003	97.79	2.10	0.11
2002	97.49	2.41	0.10
2001	97.00	2.92	0.08
2000	96.81	3.11	0.08
1999	96.97	2.98	0.05
1998	96.58	3.29	0.13
1997	96.48	3.41	0.11
1996	96.39	3.42	0.19
1995	96.06	3.78	0.16
1994	94.50	5.35	0.15
平均值	97.10	2.76	0.14

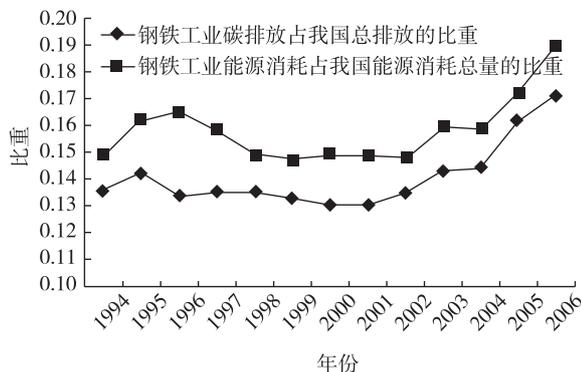


图2 1994—2006年我国钢铁工业碳排放和能源消耗

Fig. 2 Chart of CO₂ emission and energy consumption of the iron & steel industry in China(1994—2006)

13年来的第2高位和第1高位,可见对钢铁工业进行碳减排迫在眉睫。钢铁工业能源消耗占全国能源消耗总量比重的趋势基本和碳排放的趋势相似,平均比重为15.81%,2002年比重最低为14.81%,2006年比重最高为19.01%。可见,1994—2006年钢铁工业碳排放的比重一直低于其能源消耗的比重。

2.4 钢铁工业发展与碳排放

前文通过国际通用的CO₂排放估算方法得到了我国钢铁工业的CO₂排放状况,揭示了我国钢铁工业面临的比较严峻的碳排放形势,初步得出了减少煤炭类能源的消耗为主的减排路径。下面拟通过分

析 CO₂ 排放量与钢铁工业产量之间的关系来探讨 CO₂ 排放与钢铁工业发展的关系。

定义 CO₂ 排放弹性系数如下：

$$\text{CO}_2 \text{ 排放弹性系数} = \frac{\text{CO}_2 \text{ 排放增长率}}{\text{钢铁工业产量增长率}} \quad (3)$$

其中, CO₂ 排放增长率和钢铁工业产量增长率都是针对上年值的比率, 通过计算 1994—2006 年的相关数据得到 1995—2006 的 CO₂ 排放弹性系数, 结果如图 3 所示。

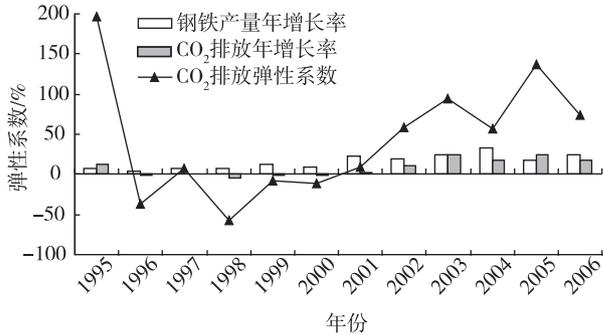


图 3 1995—2006 年我国钢铁工业发展和碳排放关系

Fig. 3 Chart of relationship between CO₂ emissions and the iron & steel industry development in China(1995—2006)

总体来看, 我国钢铁工业的年产量一直呈增长趋势, 1995—2006 年年均增长 15.71%, 2001—2006 年更是年均达到 20.31%。与此同时, 钢铁工业的 CO₂ 排放量增加并不显著, 1995—2006 年年均增长只有 8.67%, 其中 1996 年, 1998—2000 年钢铁工业的 CO₂ 排放量甚至有所降低, 这主要得益于能源效率的提高, 而 2001 年后 CO₂ 排放量的较大增长主要原因在于同期我国钢铁工业急剧扩张的同时能源效率提高速度却相对较慢。

从 CO₂ 排放弹性系数来看, 1995—2006 年平均为 43.28%, 其中可以明显分为两个阶段。1996—2001 年 CO₂ 排放弹性系数平均为 -16.34%, 这意味着 1996—2001 年我国钢铁工业的增长比较集约, 钢铁工业的增长没有造成 CO₂ 排放量的大幅增加, 相反由于能源效率的提高, 部分年份的 CO₂ 排放量甚至有所减少, 事实上在钢铁工业产量增长的情况下, 1996—2001 年的 CO₂ 排放量一直没有超过 1995 年的 CO₂ 排放量; 而 2002—2006 年 CO₂ 排放弹性系数平均达到 84.21%, 从图 3 中可以明显地看出 1995 年以及 2002—2006 年 CO₂ 排放弹性系数均处于一个比较高的水平, 说明在此期间我国钢铁工业的增长越发依赖于能源消耗的增加, 进而导致了

CO₂ 排放量的不断增加。

如果从吨钢 CO₂ 排放量这个指标来看就更加明显, 1996—2001 年吨钢 CO₂ 排放量从 1995 年的 5 475 kg 下降到 2001 年的 2 892 kg, 下降了 47.18%, 2002—2006 年吨钢 CO₂ 排放量从 2001 年的 2 892 kg 下降到 2006 年 2 389 kg, 下降了 17.39%, 这说明 2002—2006 年由于技术上的限制, 我国钢铁工业能源效率提高不快, 需要从技术上突破制约, 这也是我国大力呼吁发达国家应该向发展中国家转移减排技术的主要原因。

3 结论

1) 我国钢铁工业 CO₂ 排放量十分巨大, 1994—2006 年内平均占我国总排放的 14% 以上, 2003 年来其 CO₂ 排放量的增长更加迅速。尽管我国是发展中国家, 还不需要承担碳减排的任务, 但是作为世界第 2 大温室气体排放国, 我国正面临着巨大的国际压力, 因此钢铁工业是我国碳减排的重点行业, 其碳减排工作急需尽快展开。

2) 钢铁工业的 CO₂ 排放结构显示, 煤炭类能源消耗产生的 CO₂ 排放量最大, 1994—2006 年内平均为 97%, 并且呈逐渐上升的趋势, 而石油和天然气类能源消耗导致的 CO₂ 排放几乎可以忽略。针对排放结构的分析揭示出, 优化能源消费结构是最有效的减排路径。

3) 吨钢 CO₂ 排放量从 1994 年的 5 169 kg 降低到 2006 年的 2 389 kg, 降幅达到 53.78%, 充分说明了我国钢铁工业节能减排取得了很大的成绩, 为世界范围的碳减排做出了一定的贡献, 当然我国钢铁工业的能源效率离世界先进水平尚有较大差距, 2002 年以来更是遇到了提高能源效率的瓶颈。

4) 从钢铁工业 CO₂ 排放弹性系数来看, 1995—2006 年平均为 43.28%, 且呈增长的趋势, 可以看出我国钢铁工业的增长越发依赖于能源消耗的增加, 进而导致了 CO₂ 排放量的不断增加, 特别是 2002 年以来两者之间的相互依赖性有加强的趋势。

参考文献

References

- [1] IPCC. Summary for policymakers of climate change 2007 [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 国家统计局工业交通统计司. 中国工业经济统计年鉴 2007 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2007

- tional Bureau of Statistics. China industrial economy statistical yearbook 2007 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2007
- [3] EA and IISI. New comprehensive overview of world industrial energy efficiency and CO₂ intensity [EB/OL]. [2009-11-06]. http://www.iea.org/Textbase/press/pressdetail.asp?PRESS_REL_ID=231, 2007-06-25
- [4] Dolf G, Yuichi M. CO₂ in the iron and steel industry: an analysis of Japanese emission reduction potentials [J]. Energy Policy, 2002, 30: 849-863
- [5] Osamu I. Environmental protection measures in Japan's steel industry [C] // Osamu Iimura. International Symposium on Global Environment and Steel Industry Proceedings (ISES' 03). Beijing: Chinese Society for Metals, 2003: 38-42
- [6] Jürgen A P. Present status and future aspects of environmental protection in the European and German steel industry [C] // Jürgen A. Philipp. International Symposium on Global Environment and Steel Industry Proceedings (ISES'03). Beijing: Chinese Society for Metals, 2003: 15-37
- [7] Rynkiewicz C. The climate change challenge and transitions for radical changes in the European steel industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2008, 16: 781-789
- [8] World Resources Institute. Climate analysis indicators tool (CAIT) version 2.0 [R]. Washington, DC, 2005
- [9] 杨晓东, 张玲. 钢铁工业温室气体排放与减排 [J]. 钢铁, 2003, 38(7): 65-69
- YANG Xiaodong, ZHANG Ling. Greenhouse gas emission from the iron and steel industry and its reduction [J]. Iron and Steel, 2003, 38(7): 65-69
- [10] 王克, 王灿, 吕学都, 等. 基于 LEAP 的中国钢铁行业 CO₂ 减排潜力分析 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2006, 46(12): 1982-1986
- WANG Ke, WANG Can, LÜ Xuedu, et al. Abatement potential of CO₂ emission from China's iron and steel industry based on LEAP [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2006, 46(12): 1982-1986
- [11] 张春霞, 胡长庆, 严定臻, 等. 温室气体和钢铁工业减排措施 [J]. 中国冶金, 2007, 17(1): 7-12
- ZHANG Chunxia, HU Changqing, YAN Dingliu, et al. GHG emission and its mitigation in steel industry [J]. China Metallurgy, 2007, 17(1): 7-12
- [12] 蔡九菊, 王建军, 张琦, 等. 钢铁企业物质流、能量流及其对 CO₂ 排放的影响 [J]. 环境科学研究, 2008, 21(1): 196-200
- CAI Jiuju, WANG Jianjun, ZHANG Qi, et al. Material flows and energy flows in iron & steel factory and their effect on CO₂ emission [J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(1): 196-200
- [13] 孟昭利. 企业能源审计方法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002
- MENG Zhaoli. Methods for enterprise energy audit [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002

Research on carbon dioxide emission of chinese iron & steel industry

HAN Ying^{1,2} LI Lianshui^{1,2} SUN Ning³

1 Institute of China Manufacturing Industry Development, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 College of Economics and Management, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

3 School of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The yield of chinese iron and steel industry has been ranked NO. 1 in the world for 11 years running, while at the same time, Chinese iron and steel industry has consumed a great deal of fossil fuel and discharged large amounts of greenhouse gas. The calculation and relevant analysis of the carbon emission by Chinese iron and steel industry have been done based on a common method of IPCC. The results indicate that the CO₂ emission generated by China iron and steel industry is enormous. It accounted for 14% of the total CO₂ emissions in this country on average from 1994 to 2006, with an enormous proportion of 97% CO₂ yielded by coal-type energy. The output of Chinese iron and steel industry increased with the growth of CO₂ emission, and there was a growing trend toward reinforced interdependence between the two factors. But during the years 1994—2006, CO₂ emissions per ton showed a declining trend. Therefore, the iron and steel industry is one of the key C Mitigation industries in China, and C Mitigation should be started as soon as possible. Optimizing energy consumption structure is the most effective approach to mitigation. In addition, the technological innovation or introduction should be enforced to improve energy efficiency.

Key words climate change; iron & steel industry; C mitigation; energy efficiency