

中国钢铁生产过程中的 CO₂ 排放现状及减排措施

Current Situation of CO₂ Emission in Iron and Steel Producing and its Controlling Methods

冉 锐/RAN Rui, 翁 端/WENG Duan

清华大学材料科学与工程系先进材料教育部重点实验室, 北京 100084

Key Laboratory for Advanced Materials of Ministry of Education, Department of Material Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China

[摘要] 随着我国钢铁产量的逐年提高,我国钢铁工业的碳排放总量呈逐年上升趋势,年碳排放量在万 t 以上,钢铁工业的 CO₂ 减排任务面临着巨大的压力。针对我国钢铁产业发展特点,降低能耗、提高能源利用效率、加大废钢重炼以及 CO₂ 回收和资源化力度等,是我国钢铁工业实现 CO₂ 减排的主要途径。此外,充分利用《京都议定书》中提出的清洁发展机制,也是实现 CO₂ 减排的另一有效措施,这同时也有利于改善我国的能源结构。

[关键词] 钢铁工业; CO₂ 减排

[中图分类号] X701

[文献标识码] A

[文章编号] 1000- 7857(2006)10- 0053- 04

Abstract: CO₂ emission is one of the most imperative problems in Chinese iron and steel industry. It can be estimated that much more than 10 thousand tons of CO₂ are produced every year in the iron and steel making- process concomitantly, and this number is continuously increasing. Currently, there are several effective methods for CO₂ emission control in China, including energy economy, scrap smelting, and recycling of CO₂. Furthermore, the practice of CMD can also be utilized for reducing the CO₂ emission, as well as improving our energy sources.

Key Words: iron and steel industry; CO₂ emission control

CLC Number: X701

Document Code: A

Article ID: 1000- 7857(2006)10- 0053- 04

收稿日期: 2006- 07- 28

作者简介: 冉 锐,女,北京海淀区清华园清华大学材料科学与工程系先进材料教育部重点实验室,博士生,主要从事稀土催化材料及环境材料理论研究; E- mail: ranrui@mails.tsinghua.edu.cn

翁 端(通讯作者),男,清华大学材料科学与工程系先进材料教育部重点实验室,教授,主要从事环境材料及工业生态学研
究; E- mail: duanweng@tsinghua.edu.cn

- | | | |
|--|--|--|
| <p>[J]. 地下水, 2003, 25(3):129- 130.</p> <p>[4] LUIZ G T, ALEXANDRE M B. Water pricing reforms: Issues and challenges of implementation [J]. Water Resources Development, 2005, 21(1):19- 29.</p> <p>[5] 裴源生, 方 玲, 罗 琳. 黄河流域农业需水价格弹性研究[J]. 资源科学, 2003(6):25- 30.</p> <p>[6] 毛春梅. 农业水价改革与节水效果的关系分析[J]. 中国农村水利水电, 2005(4):2- 4.</p> <p>[7] 周春应, 章仁俊. 农业需水价格弹性分析模型[J]. 节水灌溉, 2005(6): 24- 26.</p> <p>[8] 雷 波. 政府干预与市场行为对实现节水农业的作用[J]. 节水灌溉, 2004(2): 36- 38.</p> <p>[9] [美] 保罗·萨缪尔森, 威廉·诺德豪斯. 微观经济学[M]. 萧琛, 等译. 北京: 华夏出版社, 1999.</p> <p>[10] 厉以宁, 吴易风, 李 懿. 西方福利经济学评述[M]. 北京: 商务印书馆, 1984:84- 99.</p> | <p>[11] J A GOMEZ, J BERBEL. Multicriteria analysis of derived water demand functions: a Spanish case study[J]. Agricultural Systems, 2000, 63:49- 72.</p> <p>[12] 贾大林, 姜文来. 农业水价改革是促进节水农业发展的动力[J]. 农业技术经济, 1999(5):4- 7.</p> <p>[13] 贾绍凤, 康德勇. 提高水价对水资源需求的影响分析——以华北地区为例[J]. 水科学进展, 2000, 11(1): 49- 53.</p> <p>[14] 沈大军, 梁瑞驹, 汪 浩, 等. 水价理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 1999.</p> <p>[15] 郭善民, 王 荣. 农业水价政策作用的效果分析[J]. 农业经济问题, 2004(7):41- 44.</p> <p>[16] 王密侠, 汪志农, 尚虎君, 等. 关中九大灌区农业水价与农户承载力调查研究[J]. 灌溉排水学报, 2005, 24(3):1- 4.</p> | <p>[17] 卓汉文, 王卫民, 宋 实, 等. 农民对农业水价承受能力研究[J]. 中国农村水利水电, 2005(11): 1- 5.</p> <p>[18] KNAPP K C. Irrigation management and investment under saline, limited drainage conditions [J]. Water Resource Research, 1992, 28(2):3099- 3109.</p> <p>[19] 胡 浩. 价格杠杆在关中地区水资源配置中的作用研究 [D]. 西北大学硕士学位论文, 2002:26- 42.</p> <p>[20] 畅明琦, 刘俊洋. 农业供水价格与需求关系分析[J]. 水利发展研究, 2005(6):21- 24, 42.</p> <p>[21] [美] 肯尼思·阿罗. 信息经济学[M]. 何宝玉, 等译. 北京经济学院出版社, 1989:157- 193.</p> <p>[22] 关良宝, 李 曦, 陈崇德. 农业节水激励机制探讨[J]. 中国农村水利水电, 2002(9):19- 21.</p> |
|--|--|--|

(责任编辑 肖庆山)

1 引言

世界工业化进程引起的能源大量消耗,导致大气 CO₂ 剧增。从人类已有经验看,CO₂ 对人类社会造成的危害是无法估量的。由于 CO₂ 等气体带来的温室效应,致使冰川融化、海平面上升、自然生态退化、自然灾害频发,直接威胁着部分地域人类的生存发展。鉴于目前 CO₂ 问题日益凸现的事实,世界各国政府都在政策方面加大了 CO₂ 减排的支持力度,并逐步形成同盟,共同遏制全球 CO₂ 排放量的增加。1997 年 12 月,联合国颁布《气候变化框架公约》,全球 159 个缔约国签署《京都议定书》;2005 年 2 月 16 日,《京都议定书》正式生效。《京都议定书》规定^[1],到 2010 年,所有发达国家 CO₂ 等 6 种温室气体的排放量要比 1990 年减少 5.2%。

我国是《京都协定书》签约国之一。按协定要求,中国属于发展中国家,只在 2012 年后,承担温室气体减排的要求。但是 1990-2001 年,我国 CO₂ 排放量净增 8.23 亿 t,占世界同期增加量的 27%;预计到 2020 年,CO₂ 排放量要在 2000 年的基础上增加 1.32 倍。这个增量要比全世界 1990-2001 年的总排放增量还要大^[2],我国的 CO₂ 排放情况极需引起各方的高度重视。由于巨大的产量和能源消耗,钢铁工业是我国 CO₂ 排放的主要源头之一,CO₂ 排放量占全国 9.2%,因此,降低我国钢铁工业的 CO₂ 排放,对于我国实现温室气体减排目标,促进社会、经济、环境可持续发展等方面都具有非常重要的现实意义。

2 中国钢铁产业 CO₂ 排放现状

我国的钢铁工业是能源、水资源、矿石资源消耗大的资源密集型产业。其中煤炭消耗占钢铁生产过程总能耗的 72.19%。有关资料显示,每生产 1 t 钢,采用高炉工艺将排放出 2.5 t 的 CO₂,电炉工艺也要排放 0.5 t 的 CO₂^[3]。2004 年,中国生铁产量为 2.51 亿 t,钢产量为 2.72 亿 t,占世界钢铁总产量的 26.31%,比产钢量居世界第二、第三、第四位国家的产量之和还要多^[4],由此可以估算我国钢铁工业目前的 CO₂ 年排放量在 5 亿 t 以上,形势十分严峻。

表 1 罗列了 20 世纪 90 年代以来我国钢铁工业碳排放量的情况^[4]。由此不难发现,随着我国钢铁产量的逐年提高,碳排放总量呈逐年上升趋势,这也是我国以煤为主的能源结构所决定的。

3 钢铁工业 CO₂ 减排的主要措施

3.1 国外钢铁工业 CO₂ 减排措施

随着京都议定书的生效,不少发达国家纷纷采取措施,提倡绿色生产,力求使行业对环境的污染达到最小化。排放物较少的电炉炼钢流程 2003 年占世界钢产量的比例超过 35%^[5];欧盟进一步制定和推荐实施最佳可利用环保技术文件(BAT)作为环保标准 TI-APC 的补充。德国在此影响下,制定了到 2005 年 CO₂ 排放量在 1990 年基础上减少 25%的目标,并实现高炉渣 100%利用、炼钢渣利用率超过 90%。奥钢联和阿塞勒与水泥等行业结合实施名为“避免固体副产品和二氧化碳”的合作项目;其他一些国家的情况如表 2 所示^[6-7]。另外,2005 年一个由克鲁斯、阿塞洛和蒂森·克虏伯钢铁公司等 48 家欧洲企业和组织组成的联盟,已开始了一项可以显著降低钢铁工业 CO₂ 和其他温室气体排放的新的钢铁生产流程的研究,研究经费初步估计为 4 000 万欧元。这项计划被称为 ULCOS (即 Ultra Low CO₂ Steelmaking,超低 CO₂ 炼钢),并与《京都议定书》在同一周内生效。这项计划将采用一系列的突破性理念,以使 CO₂ 的排放量减少 30%~70%^[8]。

3.2 我国钢铁工业的减排措施

尽管到 2012 年之前,我国并不设定具体的减排指标,但由于巨大的产量和能源消耗,我国的钢铁工业也承受着减排的严峻压力。对此,在我国钢铁企业制定的“十一五”发展规划中明确指出:按照可持续发展和循环经济理念,着力提高环境保护和资源综合利用水平,节能降耗,最大限度地提高废气、废水、废物的综合利用水平,力争实现“零排放”,建立循环型钢铁工厂。针对我国钢铁产业发展特点,降低能耗、提高能源利用效率、加大废钢重炼以及 CO₂ 回收和资源化力度等,都是我国钢铁工业 CO₂ 减排的主要途径。此外,充分利用《京都议

定书》中提出的清洁发展机制(下面简称 CDM),也是另一实现 CO₂ 减排的有效措施,甚至能够改善我国的能源结构。

3.2.1 降低能耗

最可行也是最有效的技术减排措施,就是采取清洁生产等技术来提高能效。能效技术不仅减少能源利用、减少排放,同时还能提高成本效益。由于节能及环保受到越来越多的重视,钢铁工业加快了技术进步和节能技术改造,从表 1 可以看出,单位产品耗能量已经实现了逐年降低。

我国已经在《钢铁产业发展政策》中规定^[9],2010 年全行业吨钢综合能耗、吨钢可比能耗和吨钢耗新水分别降到 0.73 t 标煤、0.685 t 标煤、8 t 以下;2020 年分别降到 0.7 t 标煤、0.64 t 标煤、6 t 以下。在政府方面的推动下,我国的钢铁企业也纷纷积极采取各种措施,力争尽可能多地减少生产过程中的污染物。首都钢铁公司为建设资源节约型工厂,实施整体搬迁、结构调整和环境治理方案。该方案已经国务院批准,也是北京市产业结构调整的重点项目之一。所建新厂将利用当今国际、国内最成熟和最先进的技术,建成搬迁后能源消耗将会比现在平均水平下降 30%,且基本可实现废物“零排放”。目前总投资 64 亿元、产能 150 万 t 的首钢冷轧薄板生产线已在北京市顺义区李桥镇奠基。另一个重要建设项目——河北省曹妃甸港口和首钢新厂也在紧张建设之中,预计于 2010 年完成搬迁。除此之外,宝钢、鞍钢等国内大型钢铁公司都积极响应在资源节约、降低排放方面大力加强新工艺的研究和推广^[9]。宝钢集团公司 2004 年每万元产值综合能耗达到 1.47 t 标煤,连续 4 年下降;吨钢产品综合能耗 675 kg 标煤,实现了“破七进六”的目标,连续 13 年持续下降;吨钢耗水 4.08 t,比上年下降 0.49 t,连续 6 年持续下降。2005 年前 5 个月又创造了月均吨钢耗水 3.76 t 的最好水平,实现了“破四进三”的目标。各项生产消耗指标均居国内领先水平,有些指标还突破了世界先进水平。鞍山钢铁集团公司 2004 年每万元产值综合能耗达到 2.21 t 标煤,比上年下降 28.2%。每吨钢可比能耗达到 792 kg 标煤,比上年减少 57 kg 标煤。2005 年一季度又创造了吨钢可比能耗 777kg 标煤和吨钢耗水下降到 7.5 t 的新水平。炼钢转炉工序首次连续 3 个月实现负能炼钢,开创了余热利用的崭新局面。

3.2.2 废钢重炼

铁矿石和废钢是支撑我国钢铁工业的 2 种重要原料。不过从资源利用和环境保护的角度看,利用废钢炼钢具有铁矿石不可比拟的优势^[10]。从环境保护方面看,用废钢

表 1 我国钢铁工业碳排放量(万 t)
Tbl. 1 The CO₂ emission of iron and steel industry in China

类别	1990	1992	1994	1996	1998	2004
钢产量	6 303.57	7 601.03	8 718.37	9 598.01	10 963.2	27 200
碳排放总计	5 557.37	6 187.31	7 024.14	7 330.93	7 546.01	~13 600
吨钢碳排放量	0.88	0.81	0.81	0.76	0.68	~0.50

注: 钢产量为钢铁系统内数据; 此表最终计算的结果是碳,如果转换成二氧化碳需要再乘以系数 3.666; 2004 年碳排放量数据为估算数据。

表 2 发达国家钢铁工业 CO₂ 减排目标及对策措施
Tbl. 2 The controlling methods and targets of CO₂ emission in some of the developed countries

国家/地区	目 标	内 容
日本	到 2010 年, 能源消耗比 1990 年减少 10%	设备改造时采用提高设备效率的对策; 采用蓄热式烧嘴等设备回收燃烧废气中的余热, 用来预热空气; 通过焦炉中使用废塑料, 减少原料煤使用
韩国	到 2008 年, CO ₂ 排放减少 8%	液化天然气替代锅炉 C 级燃油作炼钢炉燃料; 大力投资改进生产设备、节省能源
比利时弗兰德	在 2012 年前达到并保持最佳的国际标准; 在能源利用率和 CO ₂ 方面避免过多的政府干预	世界级的基准承诺 (比 BAT 优秀 10%), 每年报告监控和进展情况
瓦隆	到 2010 年, 能源利用率将比 2000 年提高 5.6%, 单位 CO ₂ 排放量减少 5.8%	由独立的专家进行能源审计, 并提出投资建议
法国	CO ₂ 排放量要比 1990 年减少 11%, 即 2003-2007 年间, CO ₂ 排放减少约 600 万 t	“尽力而为”的承诺: 有效使用能源; 优化废钢的使用; 更好地利用副产品; 更好的钢铁性能 (高抗蚀钢); 每年报告核实的放散量
卢森堡	从 1990-2010 年, 工业的能源利用效率要提高 20%	根据能源部的规范, 在承诺的开始与结束时进行能源审计

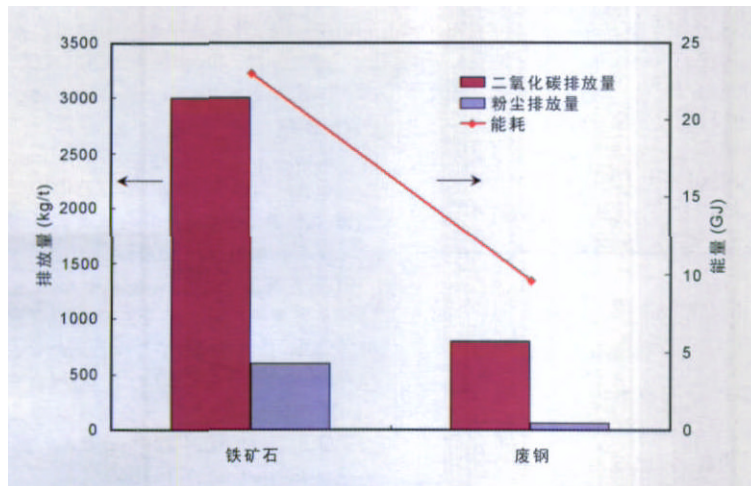


图 1 铁矿石和废钢炼铁过程能耗及排放情况对比

Fig. 1 The comparison of energy consumption and emissions in smelting between iron ores and steel scrap

炼钢比用铁矿石炼钢要减少水污染 76%、节水 40%、减少采矿废弃物 97%、减少气体污染 86%, 如图 3 所示^[9]。如果我国电炉短流程炼钢工艺从目前的粗钢生产总量的 17% 上升到 50%, 每年可节能 3 800 万 t 标煤, 占我国钢铁工业整个能耗的 13%, 其吨钢综合能耗将接近国际先进水平。另外, 从投资方面看, 用“废钢-电炉炼钢-轧钢”的短流程的废钢炼钢轧钢工艺比传统的矿石-高烧炉-转炉-轧钢工艺节约投资 1/3-1/5 (视产品不同而异)。从资源利用角度看, 土地资源是我国最宝贵的资源, 短流程电炉炼钢可节约用地 70%。不过就目前而言, 我国的废钢回收和利用方面并未得到充分的重视, 因此, 迫切需要政府和钢铁生产企业主动地逐步调整产业结构, 促进

废钢回收利用, 鼓励废钢进口, 使钢铁工业早日建成为绿色产业。

3.2.3 CO₂ 回收与资源化

CO₂ 一方面是造成温室效应的最重要的气体之一, 而另一方面具有较高的民用和工业价值, 在多种领域有着广泛的应用, 是一种非常宝贵的资源。它不仅广泛应用在石油开采、冶金、焊接、低温冷媒、机械制造、人工降雨、消防、化工、造纸、农业、食品业、医疗卫生等方面, 还可以应用于超临界溶剂、激光技术、核工业等尖端高科技领域^[11-13]。近年来开发出的新用途, 如棚菜气肥、蔬菜(肉类)保鲜、生产可降解塑料等, 也展现出良好的发展前景。因此, 世界上许多国家已经开始重视对 CO₂ 资源的回收和利用, 如加拿大、美国、英国、日本等都积极开

展回收和转化 CO₂ 的研究工作, 有的国家还通过立法 (如挪威对排放 CO₂ 征收碳税) 及国家财政支持, 引导人们加快 CO₂ 转化工作的开展^[14]。

这里我们暂不考虑 CO₂ 的下游利用问题, 因为要使钢铁生产过程中的 CO₂ 排放实现回收和利用, 最关键的技术难点是 CO₂ 的分离、提纯和存储运输。目前易于大规模实施的 CO₂ 分离方法有: 化学与物理吸附、溶剂吸收法、低温蒸馏、气体分离薄膜等。这些方法的制程简单, 对环境冲击小, 且具经济价值^[15], 其特点比较如表 3 所示^[14]。可以考虑钢铁生产流程末端增建溶剂吸收-膜分离耦合装置, 以达到 CO₂ 的低成本、高效的回收和提纯, 便于后续利用。

目前, 我国的 CO₂ 回收和利用已经取得了一些成绩, 一些项目已投入工业化生产, 但是从每年利用量与排放量相比是相当不够的, 其中过高的费用、技术上的不确定性、可能出现的环境负效应以及社会经济发展不平衡状况等, 都是制约此方面普及和发展的主要原因。

3.2.4 改善能源结构

表 4 总结了我国钢铁工业从 20 世纪 80 年代以来的能源结构及消耗情况, 再次表明, 煤一直都是我国钢铁工业的主要能源。而在所有的化石燃料中, 煤燃烧所产生的 CO₂ 最多^[14]。因此从控制 CO₂ 的角度看, 改变钢铁工业的能源结构是从根本上解决钢铁生产过程中 CO₂ 排放问题的有效措施之一。

显而易见, 调整能源结构最有效的方法就是现有能源的相互替代, 使碳排放降到最低, 或者积极推广各种清洁替代燃料。不过对于现阶段上述 2 种方法的可行性到底有多大还有待考证。中科院大批专家从我国总体的能源结构调整角度出发, 重点研究了现有能源的相互替代的可能性与效果^[16]。在考虑宏观经济系统各个方面的复杂相互作用的基础上, 初步建立以减排政策为核心的一般均衡模型, 应用这一模型对能源结构调整、经济结构调整、征收碳税等进行了政策模拟分析。结果表明, 我国 2003 年能源消费中, 煤的比重为 67.1%, 天然气的比重为 2.8%。如果将煤的使用比重降低 1 个百分点, 代之以天然气, CO₂ 的排放量会减少 0.74%, 而 GDP 会下降 0.64%, 居民福利降低 0.60%, 各部门生产成本普遍提高; 如果“气代煤”的比例为 5%, CO₂ 的排放量会减少 4.9%, 而 GDP 会下降 2.0%, 居民福利减低 2.0%, 各部门生产成本也会有不同程度的提高。因此, 对于正处于发展中的我国钢铁工业, 即使在能源供给充分的条件下, 能源结构调整的速度也不可能太快。

表 3 CO₂ 分离提纯技术对比
Tbl. 3 The separation and purification technologies

分离方法	基本原理	分离特点及效果	经济性
化学与物理吸附	利用某些固体吸附剂对 CO ₂ 的可逆吸附作用	过程简单、无腐蚀,但对 CO ₂ 回收率不高	能耗低、成本低
溶剂吸收法	物理吸收、化学吸收	分离效果好,可获得浓度高达 99.9%	投资费用大,能耗高,回收成本高
低温蒸馏	利用 CO ₂ 和其他气体的沸点差异,使 CO ₂ 相变,而其他组分不变	适用于高浓度混合气 (CO ₂ > 60%), 分离效果差	投资费用大,能耗高,回收成本高
气体分离薄膜	基于 CO ₂ 与其他气体透过膜材料的速率不同	装置简单、寿命长、操作简单,分离效率高	投资较省,能耗低

表 4 我国钢铁工业能源消耗情况
Tbl. 4 The energy consumption of iron and steel industry in China

年份	指 标					
	钢产量(万 t)	能源消耗量 (万 t 标准煤)	煤(万 t)	焦炭(万 t)	电(亿 kW·h)	燃料油(万 t) 天然气(亿 m ³)
1980	3 172	7 089.60	5 963.2	2 903.48	314.78	— 9.57
1985	4 679	7 779.60	6 694.67	3 300.43	385.92	— 6.77
1990	6 635	9 871.84	8 069.10	4 626.16	579.65	— 7.42
1995	9 535.99	—	10 147	6 201	788.36	— 5.70
2000	12 850.00	18 077.70	11 159.24	7 340.67	1 012.65	220.87 5.75
2001	15 163.44	21 413.18	11 962.99	6 714.09	986.69	225.75 3.05
2002	18 224.89	24 572.61	12 877.69	7 856.55	1 103.01	182.84 3.72
2003	22 233.60	—	13 428.74	8 910.08	1 236.93	171.07 4.57
2004*	27 279.79	29 930	—	—	—	—

注:数据来自《中国钢铁工业年鉴》(2004);

* 2004 年数据来源:www.nyconsulate.prchina.org/chn/xw/t182457.htm

另一方面,从目前清洁能源技术的发展状况来看,短期内通过能源替代技术改变能源结构也并不现实,人类的清洁能源开发从实验室走向广泛应用还有一个漫长的过程。由此看来,尽管能源结构调整作为减排措施将是未来经济和社会发展的一个必然趋势,但现阶段并不是最合适的。

3.2.5 清洁发展机制(CMD)

CDM 的主要内容是发达国家通过提供资金和技术的方式,与发展中国家开展项目级的合作,通过项目所实现的“经核证的减排量”,用于发达国家缔约方完成减少本国二氧化碳等温室气体排放的承诺。其优点是发展中国家可以通过该机制获得额外的《议定书》附件——国家的资金支持和环境安全与无害技术的转移。无疑,清洁发展机制对我国来说,将带来一个巨大的市场。据预测,到 2010 年的 5 年间,发达国家通过京都包括 CMD 在内的三机制实现《京都议定书》减排目标的市场需求大约是每年 7.2 亿 tCO₂, 其中的 23% 需要通过 CDM 来完成,而中国将占据整个 CDM 市场份额的近 50%,即近 8 000 万 tCO₂。由此能极大地

促进能源产业的技术进步,提高能源利用效率,减少温室气体排放和改善当地环境质量^[7]。为此,我国政府专门成立了由相关部门组成的清洁发展机制审核理事会,并于 2004 年 6 月发布了《中国清洁发展机制项目暂行管理办法》。目前,中国 CDM 发展势头良好,今年新申报候选项目达到 180 项,分别来自 25 个省、自治区、直辖市,覆盖能源效率、新能源与可再生能源、能源替代、废弃物管理、造林、交通、甲烷回收与破坏等多项技术领域,这些也都将给我国钢铁工业的发展带来新的契机。

4 结语

CO₂ 排放会对全球气候产生巨大的影响。气候变化不仅是气候和全球环境领域的问题,而且是一个涉及到人类社会的生产、消费和生活方式以及生存空间等社会和经济发展的各个领域的重大问题。尽管到目前为止,我国并不需要承担具体的减排指标,但我国的 CO₂ 排放问题同样不容忽视,尤其在如今竞争激烈的钢铁生产行业表现得更为突出。在能源供给已经成为限

制中国工业化的主要制约因素的今天,中国作为世界第二大 CO₂ 排放国,应在各相关行业中提高能源利用效率和节能,减缓温室气体排放增长,并积极开发优质清洁能源,寻求低碳发展道路,维护我们共同的家园——地球!

参考文献(References)

- [1] 京都议定书[EB/OL]. (1997- 12- 11) <http://www.coi.gov.cn/question/q208a.htm>.
- [2] 庄贵阳. 国际气候制度与中国 [N]. 中国环境报, 2005- 02- 22(3).
- [3] 《京都议定书》将对钢铁工业产生影响[EB/OL]. (2005- 03- 06) <http://www.landnet.com/2103.mspx>.
- [4] 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.
- [5] 新世纪初世界与中国钢铁科技进步推动耐火材料生产优化[EB/OL]. (2005- 09- 27) <http://www.yoxun.com/CMS/Article/106001/20050927151726/index.htm>.
- [6] 马 春. 发达国家钢铁公司积极推行节能措施以降低 CO₂ 排放[EB/OL]. (2005- 11- 21) <http://www.istis.sh.cn/list/list.asp?id=237>.
- [7] 韩钢铁企业采取措施减少 CO₂ 排放[EB/OL]. (2004- 04) http://www.metalinfo.net.cn/second_list.asp?id=2004040.
- [8] 刘铁男. 钢铁产业发展政策指南 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2005.
- [9] 国务院国资委业绩考核局. 6 户中央企业开展创建资源节约型企业活动的调研报告[EB/OL]. (2005- 07- 01) <http://www.sasac.gov.cn/gzjg/yjkh/200507010143.htm>.
- [10] 炼钢用进口矿石与废钢优劣对比分析[EB/OL]. (2005- 08- 27) <http://www.cjtr.com.cn/news/view.asp?id=1849>.
- [11] 周家贤. 二氧化碳开发利用综述[J]. 化工设计, 2004, 14 (4): 7- 11.
- [12] 李建英. 二氧化碳的回收和利用[J]. 石油化工环境保护, 2004, 27(2): 40- 42.
- [13] 陈中明, 李传华, 凌 海, 等. 二氧化碳的生产及综合利用[J]. 精细化工中间体, 2001, 31 (5): 9- 11.
- [14] 郑楚光, 等. 温室效应及其控制对策[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001: 93- 120.
- [15] 杨斐乔. 二氧化碳的分离及捕集[EB/OL]. (2002- 03- 28) <http://www.itri.org.tw/cfc/co2/newsletter/gw07e.PDF>.
- [16] 魏一鸣, 范 英, 王 毅, 等. 关于我国碳排放问题的若干对策与建议 [J]. 中国科学院院刊, 2006, 21(1): 6.
- [17] 肖 华. 中国“CDM 契机”: 废气换技术[EB/OL]. (2005- 01- 31) <http://www.co2-china.com/shownews.asp?id=1148>.

(责任编辑 赵 佳)