

中国钢铁行业 CO₂ 排放现状及点源分布特征

赵晏强^{1,2}, 李小春³, 李桂菊^{1,2}

(1. 中国科学院武汉文献情报中心, 湖北 武汉 430071; 2. 中国科学院国家科学图书馆武汉分馆, 湖北 武汉 430071; 3. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要:在对中国钢铁企业的产能、产量数据进行调研的基础上, 计算了单个钢铁企业及整个行业 CO₂ 排放量, 分析了中国钢铁行业的 CO₂ 排放现状及 2000~2009 年间的变化情况。在此基础上绘制了中国钢铁行业 2000、2004 和 2009 年的排放点源空间分布图, 分析了排放点源随时间的变化趋势及空间分布特征。结果表明, 近年来, 中国钢铁行业 CO₂ 排放量呈现快速增长, 2009 年达到 969.49 Mt, 是 2000 年的 2.4 倍。2009 年, 中国钢铁行业 CO₂ 排放点源数量 312 个, 主要集中于河北、江苏、山东、辽宁、山西、上海、广东、湖北等省市, 且大规模排放源逐年增多, CO₂ 减排压力巨大。

关键词:钢铁; 二氧化碳; 排放量; 点源

文献标志码:A **文章编号:**1001-0963(2012)05-0001-04

Current Situation of CO₂ Emission and Point Sources Distribution in China's Iron and Steel Industry

ZHAO Yan-qiang^{1,2}, LI Xiao-chun³, LI Gui-ju^{1,2}

(1. Wuhan Library, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, Hubei, China; 2. The Wuhan Branch of the National Science Library, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, Hubei, China; 3. Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, Hubei, China)

Abstract: Base on the investigation of capacity or production data of China's iron and steel enterprises, the current situation of CO₂ emission and point sources distribution were analyzed. The amount of CO₂ emission from the iron and steel industry were calculated to analyze the CO₂ emission trends in 2000—2009. Finally, the CO₂ emission point sources maps of 2000, 2004 and 2009 were drawn and the temporal and spatial distributing characteristics were analyzed. The results show that the CO₂ emissions of China's steel industry has rapid growth in recent years, CO₂ emissions in 2009 is 969.49 Mt, 2.4 times in 2000. In 2009, the number of point sources is 312, mainly distributed in Hebei, Jiangsu, Shandong, Liaoning, Shanxi, Shanghai, Guangdong and Hubei provinces, large-scale emission point sources increases every year, CO₂ reduction will face great pressure.

Key words: iron and steel; carbon dioxide; emission; point source

温室气体特别是 CO₂ 的大量排放是气候变暖的主要因素, 控制和减少 CO₂ 排放已成为人类社会面临的紧迫任务。自工业化时代以来, 由于人类活动已引起全球温室气体排放增加, 其中在 1970 年至 2004 年期间增加了 70%。有资料显示, 在 1970 年至 2004 年间, CO₂ 的排放增加了大约 80%。2005 年大气中 CO₂ 的质量分数达到了 379×10^{-6} , 远远

超过了过去 65 万年的自然变化范围^[1]。

2009 年哥本哈根气候峰会召开, 中国作为发展中国家做出了到 2020 年在 2005 年的水平上削减碳密度 40%~50% 的承诺, 这对于工业处于快速发展的中国来说压力巨大。钢铁在社会生产生活的各个领域都有着广泛的应用, 是不可或缺的战略基础性工业品, 是工业化国家不可替代的重要产业。不过,

基金项目: 中国科学院青年人才领域前沿项目(Y0QNRC01)

作者简介: 赵晏强(1985—), 男, 硕士, 助理研究员; E-mail: zhaoyq@mail.whlib.ac.cn; 收稿日期: 2011-05-04

钢铁行业大规模、高耗能的特点,也决定了其是中国工业 CO₂ 的主要排放源头之一,因此降低中国钢铁行业的 CO₂ 排放,对于中国实现温室气体减排目标具有非常重要的现实意义。目前,迫切需要对中国钢铁行业 CO₂ 排放源的现状进行调查分析,为中国制定 CO₂ 减排方案和实施提供数据支持。

1 钢铁行业 CO₂ 排放源排放量计算方法

目前中国学者对钢铁行业 CO₂ 排放进行了较为详细的研究,包括计算方法、排放因子的确定,但大都仅限于从整个钢铁行业的角度出发进行量化,并没有对于单个排放点源的统计和计算^[2-7],本研究对中国的钢铁企业的产能和产量进行了统计,并借鉴已有的计算方法对单个排放源的排放量进行了计算,以求找出中国钢铁行业点排放源排放量的时空变化和分布情况。

1.1 数据来源及调研方法

对于大中型钢铁企业,产量数据主要来源于中国钢铁行业年鉴,对于没有进入中国钢铁年鉴的中小型钢铁企业,通过企业网站、政府网站、政府文件查询其产量或产能信息。

1.2 CO₂ 排放量计算方法

在中国,钢铁行业的能源消耗占全国能源消费总量的 9%~10%^[6],每生产 1 t 钢,采用高炉工艺将

排放出 2.5 t CO₂,电炉工艺也要排放 0.5 t CO₂^[7]。上官方钦等采用碳平衡原理,其计算公式为:钢铁行业 CO₂ 排放=(碳输入-碳输出)×44/12,然后利用中国钢铁行业的年度(或某一时期内)能源、熔剂及含碳原料的消耗数据,并扣除产品/副产品带走的碳量,计算出中国钢铁行业的 CO₂ 排放量,然后通过钢产量数据得出 2000~2007 年的 CO₂ 的吨钢排放因子,2008 和 2009 年的排放因子为按照此公式估算得到的数值^[3](表 1)。在本研究中同样采用此排放因子进行反向计算,利用钢产量获得 CO₂ 排放量,因此在统计钢铁行业企业产量和产能时仅统计钢产量即可。

本统计数据以钢铁企业产量和产能为基础,计算点源的排放量和行业总排放量。计算公式如下^[8]:

$$E_i = F_i \times P_i \quad (1)$$

$$E_i = F_i \times C_i \times A_i \times T_i \quad (2)$$

$$E_{\text{总}} = F \times P_{\text{总}} \quad (3)$$

E_i 为第 i 个企业 CO₂ 年排放量, F_i 为企业 CO₂ 综合排放因子(emission factor), P_i 为钢铁年产(production), C_i 为企业年产能(capacity), A_i 为产能利用系数(utilization rate), T_i 为设备平均利用时间(full load hours)。当依据产量计算排放量时采用式(1),当依据产能计算排放量时采用式(2),计算行业总排放量 $E_{\text{总}}$ 时采用式(3)。

表 1 中国钢铁行业 2000~2009 年吨钢 CO₂ 排放因子

										t/t
2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	
2.58	2.24	2.00	2.08	2.03	2.13	2.00	1.87	1.84	1.83	

2 中国钢铁行业 CO₂ 排放现状

钢铁行业是国际公认的 8 类 CO₂ 排放量最大的行业之一,2004 年 CO₂ 排放量占到中国工业 CO₂ 排放量的 10%,仅次于火电和水泥^[8]。

图 1 是 2000~2009 年钢产量随时间的变化趋势图。曲线 a 是通过点对排放源的调研数据得出的中国钢产量,对比世界钢铁统计年鉴中的相应数据(曲线 b)可以看出,调研结果略高于世界统计年鉴中的数据,这主要有两个原因,一是企业调研过程中将一些较小的企业也统计在内,二是不少中小型企业网站上提供的产能数据很大程度上有略微夸大的

情况出现,但是调研数据与世界统计年鉴中的数据差别并不大,由此确定了此调研数据的准确性。从

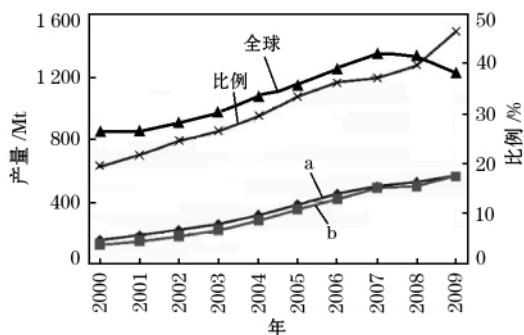


图 1 2000~2009 年钢产量随时间的变化趋势

Fig 1 Steel products of China's steel industry in 2000-2009

图 1 中可以看出,中国的钢产量在 2000~2009 年间出现爆炸式增长,2009 年达到 567.14 Mt,占全球钢产量的 46.33%,比 2000 年上升 23.8 个百分点。

图 2 是 2000~2009 年中国钢铁行业排放点源数量及 CO₂ 排放量的情况,从图中可以看出,中国钢铁行业 CO₂ 排放点源数量并没有出现很大增长,基本维持在 300 家左右,2009 年为 312 家,较 2000 年有少量增长。通过分析 CO₂ 排放总量的年度变化,可以看出,CO₂ 排放总量呈现非常快的增长速度,

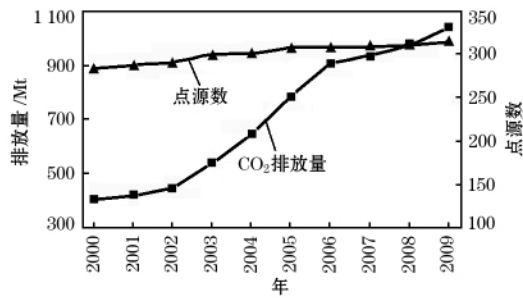


图 2 2000~2009 年中国钢铁行业 CO₂ 排放点源数量及排放量

Fig 2 Point sources number and CO₂ emissions of China's steel industry in 2000-2009

度,2000 年排放量为 401.6 Mt,到 2009 年升至 969.46 Mt,是 2000 年的 2.4 倍,这与中国钢铁产量的迅猛增长是分不开的。

图 3 为 2009 年中国各省份钢铁行业 CO₂ 排放量情况。如图所示,河北以 243.8 Mt 的 CO₂ 排放量排名首位,其次是江苏、山东、辽宁、山西、上海等省市。表 2 列出了 2000~2009 年间部分省份的 CO₂ 排放量的年度排放量。通过对比可以发现,广东的 CO₂ 排放量增长了 4.8 倍,湖南、江西、天津、江苏增长了 3 倍左右,山东、河北、山西、辽宁、安徽、河南、湖北、上海、四川、内蒙古等省份的增长率也都

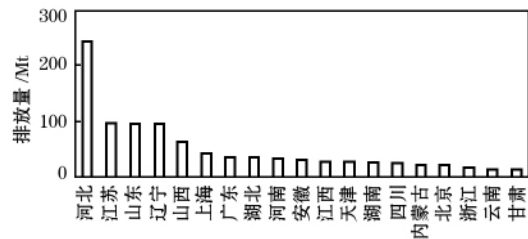


图 3 2009 年中国各省份钢铁行业 CO₂ 排放量

Fig 3 CO₂ emission amount of Iron and steel industry provincial ranking in 2009

表 2 2000~2009 年部分省份的 CO₂ 排放量

地区	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
河北	115.8	105.4	102.7	127.4	168.1	199.2	189.9	193.8	216.5	243.8
江苏	32.4	33.7	35.0	40.3	60.7	71.4	96.1	92.4	89.0	96.3
山东	37.7	34.3	36.5	47.5	51.1	80.2	90.1	91.8	89.1	94.6
辽宁	50.3	44.3	49.4	58.5	55.5	70.5	78.8	79.4	81.6	94.5
山西	32.8	30.5	32.5	49.5	47.2	54.1	57.5	63.6	63.6	62.6
上海	29.2	19.2	23.2	24.0	24.1	39.1	43.5	43.5	45.2	43.7
广东	7.4	7.4	11.6	14.3	22.6	17.4	25.0	24.4	22.3	35.8
湖北	21.1	20.6	21.0	23.5	23.1	31.1	32.9	32.9	35.3	35.2
河南	18.1	16.3	18.7	23.4	20.8	26.6	27.9	32.6	39.4	32.8
安徽	16.2	16.1	16.1	17.8	21.3	25.6	25.7	29.7	30.8	30.3
江西	8.2	8.9	10.9	12.5	15.2	20.3	23.4	23.9	22.1	28.4
天津	9.2	8.8	9.6	11.4	13.0	15.1	22.8	25.7	24.8	27.5
湖南	7.3	9.1	9.8	10.8	13.0	15.4	21.2	24.5	23.6	25.9
四川	16.8	15.1	19.2	21.7	18.6	22.8	25.5	20.4	20.4	24.8
内蒙古	15.6	14.2	13.9	15.3	15.3	19.5	19.2	20.5	22.0	22.3
北京	20.7	18.5	16.3	17.0	17.2	22.2	21.1	23.9	22.4	21.7

在 2 倍左右。

3 2009 年全国钢铁行业 CO₂ 排放源分布情况

碳捕获与封存对于钢铁行业实现 CO₂ 减排具有重要作用,为了促进 CO₂ 减排的实施,了解中国钢铁

行业 CO₂ 排放源分布特征,图 4~6 选取了 2000、2004 和 2009 年的点排放源数据,使用 GIS 软件绘制了中国钢铁行业 CO₂ 排放源地理分布图。从图中可以发现,除西藏、宁夏、海南以外,其他各省均有 CO₂ 集中排放源分布。排放点源较为集中的地区主要分布于河北、山东、辽宁、北京、天津、江苏、上海、湖

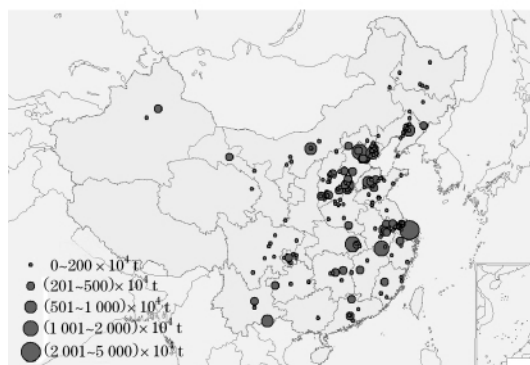


图 4 2000 年全国钢铁行业 CO₂ 集中排放源分布
Fig 4 CO₂ source distribution of iron and steel industries in China in 2000

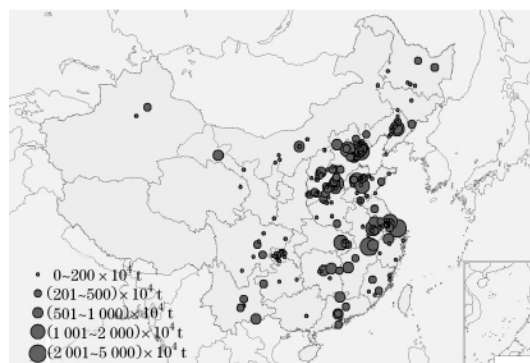


图 5 2004 年全国钢铁行业 CO₂ 集中排放源分布
Fig 5 CO₂ source distribution of iron and steel industries in China in 2004

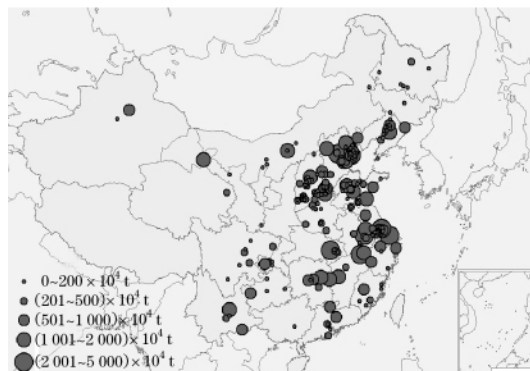


图 6 2009 年全国钢铁行业 CO₂ 集中排放源分布
Fig 6 CO₂ source distribution of iron and steel industries in China in 2009

北、湖南等省份,主要是与这些地区有着较为丰富的铁矿资源有关。通过对 2000、2004、2009 年的排放源地图进行对比,不难看出,排放点源数量并没有很大增长,而在原点源的基础上,排放量都有了较为显著的增长,排放量在 1000 万 t 以上的企业明显增

多,主要与中国钢铁企业近年来的扩能有关。

4 与其他文献中 CO₂ 排放量计算结果的对比

表 3 是本研究与其他文献中 CO₂ 排放量计算结果的对比,由表可见,本研究结果与其他文献的研究结果有较好的一致性,存在少量差异的原因主要是计算方式、数据源方面的不同。

表 3 本研究与其他文献中 CO₂ 排放量计算结果的对比

年	Table 3 Comparison of CO ₂ emission with other paper	
	其他文献	本研究
2007	960 ^[9] , 920 ^[3]	933.7
2005	750 ^[3]	784.9
2000	351.5 ^[6]	401.6

5 结语

1) 中国钢铁产量在 2000~2009 年出现了快速增长,2009 年的钢产量达到 567.14 Mt, 占全球钢产量的 46.33%, 相应的 CO₂ 排放量达到 969.49 Mt, 面临巨大的减排压力。

2) 河北、江苏、山东、辽宁、山西、上海、广东、湖北、河南、安徽、江西、天津、湖南、四川、内蒙古是主要的排放区域,年排放量在 2000 万 t 以上,是 CO₂ 减排的重点区域。

3) 在计算数据的基础上,绘制了钢铁排放源的地理分布图,标记出了大规模排放源的地理分布情况,为钢铁行业 CO₂ 捕获与封存的研究奠定了基础。

4) 通过对 2000、2004、2009 年的排放源地图进行对比,不难看出,排放点源数量并没有很大增长,而是在原点源的基础上,排放量都有了较为显著的增长,排放量在 1000 万 t 以上的企业明显增多,主要与中国钢铁企业近年来的扩能有关。

5) 由于钢铁生产工艺的不同,对应的 CO₂ 排放因子也不同,因此在计算单个企业 CO₂ 排放量时采用行业平均排放因子,与各个企业的实际情况会有差异,今后的研究将对各个排放源采用的生产工艺进行划分,以求得到更为准确的数据。

参考文献:

[1] Pachauri R K, Reisinger A. IPCC Climate Change 2007 [R]. Geneva: IPCC, 2007.

(下转第 9 页)

表 1 不同参数下箱体内部球团矿的状态

Table 1 Material status under different parameters

布料厚度/ mm	激振力/ kN	箱体内部球团矿的状态
30	55	有堆积,分布紧密
	60	单层厚度,分布均匀
	65	单层厚度,分布疏松
40	70	有堆积,分布紧密
	75	单层厚度,分布均匀
	80	单层厚度,分布疏松
50	85	有堆积,分布紧密
	90	单层厚度,分布均匀
	95	单层厚度,分布疏松

当布料厚度为 40 mm 时,最佳激振力 $F = 75$ kN。当布料厚度为 50 mm 时,最佳激振力 $F = 90$ kN。这与图 5 中的结果一致,证明了所提出的布堆料计算方法的正确性。

6 结语

1) 基于冶金振动布料系统的工作原理,分析表明,球团矿是否会在振动布料机堆料与入口流量、出料口流量及振动电机的激振力有关。

2) 从拉格朗日三自由度微分方程可以得出,振动布料机箱体和振动弹簧应采用对称设计,可以改善振动箱体前后摆动的状况,使振动箱体稳定运行。

3) 建立了与振动参数(如激振力、弹簧刚度、振动

方向角)相关的振动布料机运动学模型,给出了出口平均速度的求解方法。

4) 在 MATLAB 平台上,基于振动布料机的运动学模型及出口平均速度的求解方法,编制了振动布料系统出口速度的求解程序,得出了不同激振力下的出口平均速度。

5) 根据所需布料厚度下的入口流量,在满足入口流量不大于出料口流量的条件下,得到了布料厚度、所需流量及最佳激振力关系曲线,试验证明了曲线的正确性。

参考文献:

- [1] 秦廷许. 转底炉直接还原技术——电炉流程与高炉炼铁的对比如[J]. 江苏冶金, 2004, 35(2): 9.
- [2] 尤晟华. 振动给料机设计概述[J]. 机械与电子, 2007(5): 64.
- [3] 王振发. 分析力学[M]. 北京: 科技出版社, 2002.
- [4] 于辉. 振动给料及物料结合的实验研究[J]. 起重运输机械, 2006(4): 71.
- [5] 于辉. 物料结合对振动及动力学参数的影响[J]. 矿山机械, 1995(10): 58.
- [6] 李潜. 颗粒的受力分析[M]. 北京: 科技出版社, 1998.
- [7] 何育民. 振动式水平输送机设计与研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2004.
- [8] 闻邦春. 振动机械的理论及动态设计方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [9] 闻邦春. 振动筛、振动给料机、振动输送机设计与调试[M]. 北京: 化学工业出版社, 1989.
- [10] 任玉杰. 数值分析及其 MATLAB 实现[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.

(上接第 4 页)

- [2] 上官方钦, 张春霞, 酆秀萍, 等. 关于钢铁行业 CO₂ 排放计算方法的探讨[J]. 钢铁研究学报, 2010, 22(11): 1.
- [3] 上官方钦, 张春霞, 胡长庆, 等. 中国钢铁行业的 CO₂ 排放估算[J]. 中国冶金, 2010, 20(5): 37.
- [4] 上官方钦, 酆秀萍, 张春霞, 等. 钢铁生产主要节能措施及其 CO₂ 减排潜力分析[J]. 冶金能源, 2009, 28(1): 3.
- [5] 韦保仁, 八木田浩史. 中国钢铁生产量及其能源需求和 CO₂ 排放量情景分析[J]. 冶金能源, 2005, 24(6): 3.
- [6] WANG Ke, WANG Can, LU Xue-du, et al. Scenario Analy-

sis on CO₂ Emissions Reduction Potential in China's Iron and Steel Industry [J]. Energy Policy, 2007, 35(4): 2320.

- [7] 冉锐, 翁端. 中国钢铁生产过程中的 CO₂ 排放现状及减排措施[J]. 科技导报, 2006, 24(10): 53.
- [8] 白冰, 李小春, 刘延锋, 等. 中国 CO₂ 集中排放源调查及其分布特征[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(z1): 2918.
- [9] 佟贺丰, 屈慰双, 刘娅. 中国钢铁行业 CO₂ 排放的系统动力学情景分析[J]. 高技术通讯, 2010, 20(5): 524.