

辽宁省重点钢铁企业碳排放与配额分配分析

张文凤^{1,2}, 郝凤明^{1,3}, 王娇月^{1,3*}, 邴龙飞^{1,3}, 尹岩^{1,3}, 常莎莎^{1,3}, 韩耀鹏⁴

1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016
2. 中国科学院大学, 北京 100049
3. 中国科学院污染生态与环境工程重点实验室, 沈阳 110016
4. 辽宁省电力有限公司沈阳供电公司, 沈阳 100300

摘要 钢铁行业能耗大、碳排放高,是碳交易市场建设的重要参与者。分析辽宁省重点钢铁企业的碳排放核查数据发现,2013—2017年辽宁省重点钢铁企业主营产品粗钢产量为5465.49~5876.37万t;辽宁省重点钢铁企业纳入碳排放权交易体系的碳排放总量为10046.39~12468.14万t,碳排放强度呈下降趋势。从碳排放类别看,化石燃料燃烧产生的碳排放量最多,占企业总排放量的80%以上,其次是净购入电力、热力使用产生的碳排放量,约占13%。从不同工序看,炼铁工序碳排放量最大,平均占比40.82%,且呈明显下降趋势,其他辅助工序碳排放呈大幅度上升趋势。企业碳排放总量和总能耗均与主营产品产量呈显著线性正相关关系。以2017年辽宁省钢铁行业碳排放量为基础,发现纳管的15家企业的配额总量约为10700.51万tCO₂,总体表现为配额盈余。

关键词 钢铁行业;CO₂排放核查;能耗;减排潜力

全球气候变暖及其引发的一系列生态环境问题受到广泛关注。各国纷纷针对高耗能、高碳排放行业进行研究,提出减排目标。中国是碳排放大

国,2015年中国CO₂排放量为104亿t,约占全球总排放量的29%^[1]。为遏制逐渐失控的全球变暖,减少CO₂排放,中国积极推动碳减排工作。2015年中

收稿日期:2019-11-30;修回日期:2020-03-28

基金项目:国家自然科学基金项目(41603068,41473076);中国科学院青年创新促进会项目(2020201);世界银行市场伙伴准备基金项目(P145586)

作者简介:张文凤,硕士研究生,研究方向为能源活动碳排放,电子信箱:1447868736@qq.com;王娇月(通信作者),助理研究员,研究方向为人类活动影响下碳循环,电子信箱:wangjiaoyue@iae.ac.cn

引用格式:张文凤,郝凤明,王娇月,等.辽宁省重点钢铁企业碳排放与配额分配分析[J].科技导报,2020,38(11):98-106;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2020.11.011

国向联合国气候变化框架公约秘书处提交的应对气候变化国家自主贡献文件中提出,到2030年单位国内生产总值的CO₂排放将比2005年降低60%~65%,并提出在2030年左右CO₂排放达到峰值并争取尽早达峰^[2-4]。2017年底,中国启动了全国碳排放权交易体系(emissions trading scheme, ETS),采用市场手段控制CO₂排放,并在发电行业稳定运行的情况下,逐步扩大到石化、化工、建材、钢铁、有色金属、造纸、航空等重点排放行业,到2020年力争建成制度完善、交易活跃、监管严格、公开透明的全国碳排放权交易市场,实现稳定、健康、持续发展^[5-7]。

钢铁材料是当今社会经济发展重要的大宗基础物质材料,2017年中国粗钢产量达到8.31亿t,位居世界第1位,约占当年全球粗钢产量的55%^[8-9]。作为能源密集型行业,钢铁也是中国CO₂排放的重点部门^[10-11],其CO₂排放约占中国总排放的12%^[12],且在2000—2014年,由于经济活动的影响导致中国钢铁行业CO₂排放量年均增长11.23%^[13]。为了降低钢铁行业CO₂的排放,促进钢铁产业的可持续发展,中国政府制定了“钢铁行业调整和升级计划(2016—2020)”,要求中国钢铁产业的总能耗从2016年到2020年下降10%以上,粗钢产能减少1亿~1.5亿t^[4]。因此,钢铁行业肩负着国家应对气候变化目标的责任和节能减排的压力,有效降低钢铁生产过程中CO₂排放已成为钢铁行业亟待解决的问题。辽宁省作为中国四大工业区之一,钢铁行业一直是辽宁省的支柱产业,也是温室气体排放的重点行业^[15]。根据国家统计局资料显示,2017年辽宁省粗钢产量为6423万t,约占当年中国粗钢产量的8%^[8]。有研究发现,2012年辽宁省CO₂排放总量达4.74亿t^[16],80%以上来自工业,钢铁行业占比约25%^[17]。因此,本研究对辽宁省钢铁行业碳排放与配额分配作一分析。

1 研究方法

1.1 核算边界

为了解未来辽宁省纳入ETS钢铁行业碳排放

情况,按照《中国钢铁生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》的核算方法^[18]及《关于做好2018年度碳排放报告与核查及排放监测计划制定工作的通知》^[19]的要求,对辽宁省钢铁行业2013—2017年碳排放数据进行核算。核算的排放气体为CO₂,核算的边界包括钢铁生产企业的直接生产系统、辅助生产系统以及直接为生产服务的附属生产系统,按工序划分包括焦化工序、烧结/球团工序、炼铁工序、炼钢工序、钢铁加工工序、供热工序和其他辅助工序;按类别划分包括化石燃料燃烧、净购入电力和热力使用、工业生产过程和固碳产品隐含排放(图1)^[18]。其中,生产工序中化石燃料燃烧和工业生成过程中含碳溶剂和电极消耗等所产生的排放为直接排放,钢铁企业净购入电力和热力使用产生的排放为间接排放。

1.2 核算方法

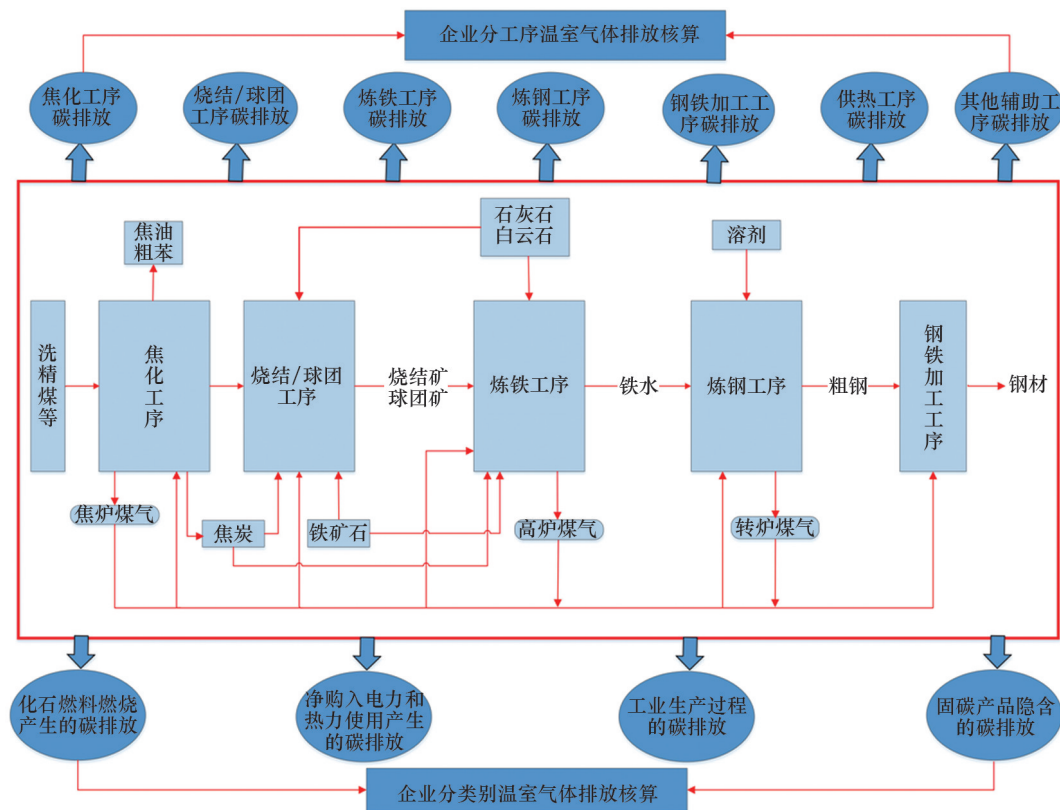
钢铁企业CO₂排放总量的核算等于企业边界内所有的化石燃料燃烧产生的CO₂排放量、工业生产过程产生的排放量及企业净购入电力和净购入热力使用产生的CO₂排放量之和,并扣除固碳产品隐含的排放量,计算公式为

$$E_{\text{CO}_2} = E_{\text{燃烧}} + E_{\text{过程}} + E_{\text{电和热}} - R_{\text{固碳}} \quad (1)$$

按照钢铁企业碳排放核算方法^[18]及《关于做好2018年度碳排放报告与核查及排放监测计划制定工作的通知》^[19]要求,2013—2017年任意1年温室气体排放量达2.6万t CO₂当量,或综合能源消费量约1万t标准煤及以上的钢铁企业将纳入ETS。纳入ETS的钢铁行业碳排放量只包括企业边界内所有的化石燃料燃烧产生的CO₂排放量,和企业净购入电力和净购入热力使用产生的CO₂排放量。钢铁行业的配额分配方法采用应用较为广泛的历史强度下降法^[20-21],计算方法为

$$A_{\text{配额}} = B_{\text{排放强度}} \times F_{\text{减排系统}} \times Q_{\text{主营产品}} \quad (2)$$

式中, $A_{\text{配额}}$ 为钢铁企业配额,单位为万t; $B_{\text{排放强度}}$ 为历史碳排放强度,是钢铁企业最近3年单位主营产品CO₂排放量的算术平均值; $F_{\text{减排系数}}$ 为减排系数,目前国家对钢铁行业的减排系数未具体给出,本研究中结合辽宁省的碳减排任务及经济发展水平,参考福建省参数^[20-21],暂定辽宁省的减排系数为96%;

图1 钢铁行业CO₂核算边界示意

$Q_{\text{主营产品}}$ 为主营产品产量,单位为万t。

为了解钢铁企业碳排放和能源结构的关系,分析了辽宁省重点钢铁企业的CO₂综合排放因子(general emission factor, GEF),用于评价钢铁企业单位能耗的碳排放量,即生产过程中的碳排放与相应的能耗之比^[22]。

1.3 活动水平和排放因子数据

在核算过程中需要量化导致CO₂或清除的生产或消费活动的各排放源的活动水平数据,包括每种燃料的消耗量、电极消耗量、购入的电量、购入的蒸汽量,活动水平的数据来自企业的上报并核证的数据;涉及到与活动水平相对应的排放因子的数据包括化石燃料的单位热值含碳量、化石燃料的碳氧化率和溶剂、电极、原料等。其中,化石燃料的平均低位发热量、氧化率优先采用企业实测值,对于燃煤的单位热值含碳量、碳氧化率没有实测值的企业,暂采用《中国钢铁生产企业温室气体排放核算

方法与报告指南(试行)》^[18]和国家碳市场帮助平台(<http://edu.mayortraining.org/welcomeJump.action>)中的缺省值。电网购入电力和自备电厂供电对应的排放因子采用2015年全国电网平均排放因子0.6101 tCO₂/MWh^[19]。

1.4 数据处理

经核查发现,2013年辽宁省钢铁行业年综合能源消费量约1万t标准煤及以上的钢铁企业为17家,2014年和2015年分别为18家,2016年和2017年分别为21家,其中有15家企业为2013至2017年共有企业。为了保证数据的连续性和可比性,对2013至2017年所共有的15家企业(钢铁产量占辽宁省钢铁产量80%以上)进行了详细分析。采用Pearson相关性分析方法分析了15家钢铁企业连续5年共75个数据样本的碳排放、能耗与主营产品的相关关系。

2 结果与分析

2.1 辽宁省钢铁企业碳排放特征

2013—2017年辽宁省重点钢铁企业碳排放总量在10046.39~12468.14万t,且呈降低趋势。主营产品粗钢产量为5465.49~5876.37万t,略有增加趋势。碳排放强度总体呈下降趋势,从2013年到2017年下降了19.30%。正是由于碳排放强度的降低,才导致2013—2017年间即使粗钢产量呈增加的情况下,碳排放总量仍处于降低趋势(图2)。这表明近年来,由于生产技术条件和管理水平的提高,辽宁省重点钢铁企业在减少碳排放方面取得了明显成效(图2)。

从钢铁企业碳排放的不同类别看,2013—2017年化石燃料燃烧产生的碳排放量最多,平均排放占总排放量的比例为87.23%,且呈下降趋势。其次

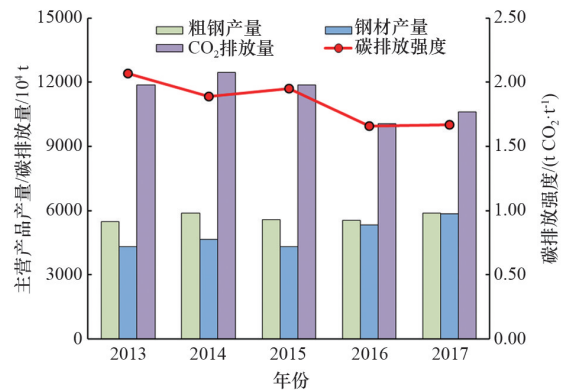


图2 辽宁省重点钢铁企业主营产品和碳排放情况

是净购入电力、热力使用产生的碳排放量,虽呈降低趋势但变化幅度不大。工业生成过程产生的碳排放量和固碳产品隐含的碳排放量随着年份的递增分别呈明显升高和降低趋势,工业生成过程产生的碳排放量增加了48.05%,固碳产品隐含的碳排放量减少了56.57%(表1)。

表1 辽宁省重点钢铁企业不同类别碳排放(单位:万t)

分类	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年
化石燃料燃烧排放	10264.15	10837.77	10371.09	9458.80	9979.74
工业生成过程排放	405.67	519.25	498.23	593.40	600.61
净购入电力和热力使用排放	1601.77	1630.37	1506.27	1448.60	1552.73
固碳产品隐含排放	732.10	808.91	776.19	309.80	317.93
企业二氧化碳排放总量	11539.50	12178.48	11599.40	11191.14	11815.52

对辽宁省重点钢铁企业不同工序碳排放的识别有助于明确企业碳排放的重点工序,深化了解辽宁省钢铁企业碳减排潜力。如表2所示,2013—2017年,炼铁工序平均排放量占比最大,其次为其他辅助工序。炼钢工序由于副产品转炉煤气大部分外销,导致炼钢工序的碳排放占比出现负值。但随着年份的变化,辽宁省钢铁企业不同工序的碳排

放量所发挥的作用有所改变。2013年炼铁工序碳排放量最多,其次为供热工序;2017年则转变为其他辅助工序碳排放量最多,其次为炼铁工序。其他的炼焦、烧结/造团、炼钢、钢铁加工工序在总排放量中所占份额比例变化不明显,但在2016年均出现峰值。而供热工序碳排放量降低幅度较大,达98%。

表2 辽宁省重点钢铁企业各工序碳排放所占比例(单位:%)

工序	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	平均值
炼焦工序	8.18	7.09	7.23	10.76	7.53	8.16
烧结/造团工序	12.14	11.41	11.47	16.87	11.42	12.66
炼铁工序	47.45	49.02	46.31	36.48	24.86	40.82
炼钢工序	-1.69	-2.19	-2.49	-4.40	-2.66	-2.68
钢铁加工工序	11.44	11.32	11.91	15.13	11.19	12.20
供热工序	15.73	16.95	18.84	0.44	0.27	10.45
其他辅助工序	6.75	6.40	6.74	24.72	47.40	18.40

总体看,本研究中占比约为87%的化石燃料燃烧碳排放的研究结果与福建省钢铁企业温室气体排放^[23]、柳州钢铁集团^[24]所得出的结果一致。这是因为钢铁企业是高耗能企业,各个工序都需要投入大量的化石能源。辽宁省重点钢铁企业碳排放因子较高的煤炭消耗量占钢铁企业能耗的80%以上,尤其是洗精煤占比达54%,而液化石油气、天然气和电力消耗所占比例较小,约占10%(图3)。虽然近几年来煤炭的消耗量呈下降状态,但仍占据主要地位。因此,煤炭仍是辽宁省钢铁行业能源消费的主要类型和碳排放的主要来源。

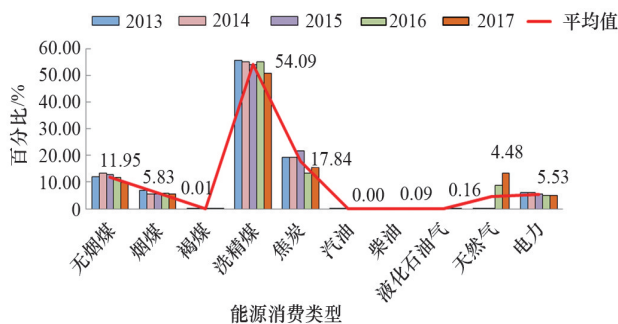


图3 辽宁省重点钢铁企业能源消费类型

从不同工序的碳排放看,2013—2017年辽宁省重点钢铁企业炼铁工序平均碳排放量最多,为40.82%,炼钢工序最少,这与福建省钢铁企业以及河北省某钢铁企业的高炉炼铁工序碳排放量占比较高的研究结果一致^[23,25]。这是因为高炉炼铁工序能耗占总能耗50%左右,其中碳素燃烧提供的能耗占70%左右^[26]。焦炭、煤粉等燃料的燃烧和石灰石、白云石等熔剂中碳酸盐的分解使得高炉炼铁工序排放大量的CO₂。中国钢铁生产过程中一直以长流程高炉/转炉流程为主,2015年,中国粗钢产量中长流程高炉/转炉流程炼钢占93.9%,而短流程电炉流程炼钢仅占6.1%,远低于25.2%的全球平均水平^[27-28]。通常,高炉/转炉工艺炼钢以铁矿石为原料生产钢铁,耗能高,碳排放强度约为1.7 tCO₂/t 钢;而电炉炼钢以使用再融废钢生产钢铁,耗能相对低,碳排放强度仅为0.5 tCO₂/t 钢^[29-30]。本研究中所调查的辽宁省15家重点钢铁企业中长流程钢铁企业11家,短流程和其他类型企业4家,因此,辽宁省重点钢铁企业以长流程企业为主体,炼铁工序碳排

放量占比也较大。虽然辽宁省重点钢铁行业近几年碳排放强度呈下降趋势,但仍有较大的减排空间,鉴于电炉短流程工艺利用废钢炼铁能有效减少碳排放,即利用废钢生产1 t钢大约减少1.4 t碳排放,因此,辽宁省钢铁企业应优化流程、提高技术装备能力、优化能源解构、充分发挥碳减排作用。

2.2 钢铁企业碳排放与能耗分析

钢铁企业碳排放量和能耗联系紧密,通过分析辽宁省15家重点钢铁企业连续5年的碳排放量、企业能耗与企业主营产品产量相关关系(图4),发现辽宁省重点钢铁企业碳排放量和企业能耗均与其主营产品产量呈显著线性正相关关系(R^2 分别为0.9427、0.9589),即随着企业主营产品产量的增加,碳排放和能耗逐渐增加。

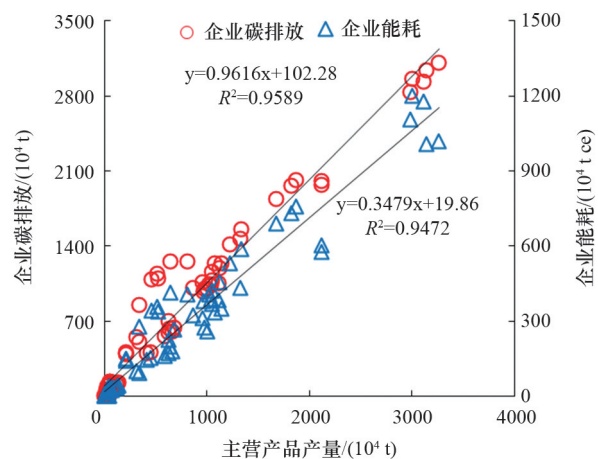


图4 CO₂排放和能耗与主营产品产量的关系

为进一步分析钢铁企业中CO₂排放与能耗之间的关系,用CO₂排放强度表示钢铁企业吨钢CO₂排放水平,通过碳排放强度和吨钢能耗之间的关系(图5)可以看出,碳排放强度和吨钢能耗变化趋势基本一致,随着年份的增加呈下降趋势,且2013—2017年碳排放强度减小速度大于吨钢能耗减小速度。这表明钢铁企业能源消耗结构类型有所改变,从图3中煤炭类能源消耗比例的降低,天然气消耗比例的升高也得到了印证。就吨钢能耗而言,辽宁省吨钢能耗在0.6 tce/t以上,大于2016年中国钢铁工业协会会员的0.59 tce/t的吨钢综合能耗^[26],表明辽宁省钢铁行业仍需加强节能减排。

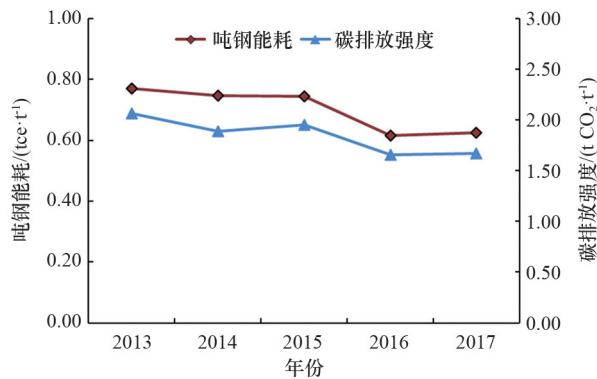


图5 辽宁省重点钢铁企业CO₂排放强度与吨钢能耗随年份变化特征

通常,以碳基燃料为主要能源结构的企业,通过节能方式可实现减排,通过进一步分析钢铁企业CO₂排放与能耗,特别是能源结构的关系可以发现,2013—2017年辽宁省重点钢铁企业综合排放因子逐渐下降(表3),表明其能耗组成中碳素比例逐年减少,单位能耗的碳排放逐年降低。从前文可知,虽然辽宁省重点钢铁企业吨钢能耗和碳排放都呈下降趋势,但碳排放强度下降幅度更大,这也是钢铁企业综合排放因子下降的原因,可以看出2013—2017年辽宁省节能减排工作取得了显著成效。

表3 辽宁省重点钢铁企业CO₂综合排放因子

CO ₂ 综合排放因子	
2013年	2.63
2014年	2.52
2015年	2.48
2016年	2.46
2017年	2.43
平均值	2.48

辽宁省重点企业的吨钢能耗由2013年的0.77 tce/t下降至2017年的0.62 tce/t,下降了19.5%,这是因为在“十二五”期间,辽宁省一些重点钢铁企业实施了节能减排项目。例如,鞍山钢铁集团有限公司实施了主要节能减排项目160多项,吨钢综合能耗降低6.13%;本溪钢铁集团有限公司紧接着鞍山钢铁集团有限公司建成了一批烧结机脱硫,烧结、炼钢、轧钢系统余热回收发电,烟气除尘等环保工

程,吨钢综合能耗下降9.94%,其中烧结工序能耗下降了13.97%,炼铁工序能耗下降了8.04%,炼钢工序能耗下降了160.61%;凌源钢铁集团有限责任公司也完成了焦化系统的干熄焦改造,大幅度降低了二氧化硫、氮氧化物以及烟粉尘的排放,节能减排效果也比较明显^[31]。2017年辽宁省重点钢铁企业碳排放强度为1.67 tCO₂/t,比2013年下降了19%,但远低于德国1.3 tCO₂/t的水平^[30,32]。辽宁省乃至中国的钢铁企业以长流程高炉/转炉炼钢为主,且能源消耗主要是煤炭,因此碳排放强度相对较高。通常,钢铁行业的碳排放强度受到一个国家的工业结构、技术、燃料选择、电网排放因子、钢铁厂的产能利用率和材料(例如废钢的可用性)等多方面的影响^[30]。以中国和墨西哥为例,墨西哥钢铁行业电炉钢所占比例为69.4%、天然气消耗占钢铁行业最终能源消耗的53%;而中国在2010年电炉钢产量仅为9.8%,天然气占钢铁行业能源消耗不足1%,因此,2010年中国钢铁行业碳排放强度几乎是墨西哥的2倍^[30]。目前,中国政府正在大力调整能源结构,加速向使用清洁能源过渡,并提出到2020年天然气使用占比达到10%,2030年非化石能源使用达到20%。因此,作为能源密集程度较高的钢铁工业的能源结构必将受到影响^[28]。钢铁企业应提高技术水平,优化能源结构,扩大清洁能源的使用,减少对煤炭能源的依赖,从而达到节能减排的目的。

2.3 钢铁企业配额分配探讨分析

按照2017年辽宁省钢铁企业运营情况,对15家重点纳管企业主营产品的碳配额分配模拟研究发现,辽宁省钢铁行业主营产品为钢材和粗钢,其中钢材总产量为5475.72万t,粗钢总产量为5826.33万t。企业主营产品历史碳排放强度在0.21~3.53 tCO₂/t之间波动,主要集中在1~2 tCO₂/t,这与中国2.15 tCO₂/t的钢铁行业碳排放强度^[30]相接近。基于辽宁省主营产品产量和历史排放强度可知,辽宁省钢铁行业纳管的15家企业配额总量为10700.51万tCO₂。以2017年钢铁行业碳排放量看,辽宁省钢铁行业纳管的15家企业中将会有9家出现配额盈余,6家出现配额缺口,总的配额表现

为盈余, 盈余量为 98.42 万 tCO₂ (表 4), 表明辽宁省钢铁企业的技术水平参差不齐, 纳管的 15 家企业在碳交易过程中 9 家企业能顺利完成配额上缴任务, 但 5 家企业需要从外部购买配额完成上缴任务, 配额盈余的 9 家企业中大部分所剩配额余量不多, 大致在 1 万 t 至 30 多万 t, 只有企业 3 的剩余配额高达 129.27 万 t; 6 家配额缺口的企业缺口量大多在 20 万 t 左右, 只有企业 10 的缺口量最小, 为 0.05 万 t。按照 2019 年 6 月八大碳交易市场平均成交价格 30 元/t CO₂^[33] 计算, 辽宁省钢铁行业纳管的 15 家企业中配额盈余的企业通过碳市场交易最高可产生 3878 万元的价值, 配额缺口的企业通过碳市场交易最高需要花费 793 万元购买配额完成上缴任务。这意味着企业实施低碳发展, 制定有效的节能减排措施在碳市场交易过程中将为企业带来经济效益, 因此企业应抓住碳市场交易契机, 加强绿色生产、绿色管理理念, 发展清洁技术, 调整产品结构, 减少高耗能产品的生产, 同时培养碳资产管理团队, 评估和监控企业的碳排放, 从而提升企业的管理与生产技术水平, 并在碳市场交易过程中获益^[34]。

表 4 辽宁省重点钢铁企业模拟配额分配情况

企业	2017年主营产品产量 /万t	历史碳排放 强度(t CO ₂ /主营产品)	配额分 配量/万 tCO ₂	盈亏情 况/万 tCO ₂
企业 1	36.88	0.21	7.52	0.40
企业 2	12.47	1.07	12.82	1.58
企业 3	1552.35	1.80	2959.22	129.27
企业 4	50.04	2.21	106.28	13.29
企业 5	341.74	1.85	608.20	-15.90
企业 6	1228.27	1.76	1501.90	0.43
企业 7	637.94	2.07	1365.93	-26.45
企业 8	68.98	1.71	116.10	4.42
企业 9	16.10	0.35	5.46	0.48
企业 10	25.82	3.53	87.46	-0.05
企业 11	501.82	2.00	971.96	35.78
企业 12	225.01	1.72	377.82	0.33
企业 13	563.58	1.89	998.42	-10.01
企业 14	528.06	1.92	1121.09	-22.48
企业 15	138.95	2.44	460.32	-12.69
合计	5826.33		10700.51	98.42

3 结论

通过分析辽宁省重点钢铁企业碳排放情况发现, 2013—2017 年辽宁省重点钢铁企业碳排放总量为 10046.39~12468.14 万 t, 碳排放强度明显下降。辽宁省的重点钢铁企业碳排放源主要来自化石燃料燃烧, 占比达 80% 以上; 各工序中炼铁工序排放量最大, 平均占比 40.82%。辽宁省重点钢铁企业碳排放量和能耗均与主营产品产量呈显著线性正相关关系, 碳排放强度和吨钢能耗变化相一致, CO₂ 综合排放因子逐年下降。辽宁省纳管钢铁企业在未来碳市场交易过程中获取的配额总量约为 10700.51 万 t CO₂, 各个企业配额盈亏不同。

由于目前国家对钢铁行业碳配额的分配方法未出台政策, 本文采用了应用较为广泛的历史强度下降方法来评估辽宁省钢铁行业碳配额情况, 未来应增加钢铁行业历史强度下降方法和基准线方法对比研究; 由于企业缺乏关于碳排放因子核算的自测值, 核查过程中大多采用推荐的缺省值, 这对企业真实的碳排放结果及配额获得会造成一定影响, 未来企业应加强相关指标的自测, 提高核算的精确度, 进而为辽宁省钢铁行业更好地融入全国碳交易市场建设提供数据参考。辽宁省钢铁企业未来仍有很大的节能减排空间。为更好地实现节能减排目标, 在能源结构方面, 应加大非化石能源的开发利用, 减少煤炭能源的消耗; 在炼钢工艺方面, 应加快废钢加工配送体系建设, 鼓励废钢资源回收利用, 增加短流程电炉炼钢产量; 在能源强度方面, 应淘汰落后产能, 实施节能减排项目, 鼓励钢铁企业采用先进清洁生产实施升级改造, 大力发展干熄焦技术、高炉富氧喷煤技术等技能减排项目, 促进产业升级, 提高能源的利用率; 在政策方面, 政府可建立有利于创新的体制和机制, 鼓励钢铁企业技术创新、建立成果转化体系, 加大研发投入, 为节能减排技术发展提供良好的环境支持; 可通过提供财政补贴以及环境税限制火电消耗来鼓励钢铁企业使用清洁的能源, 提高非化石能源的使用比例; 可通过碳排放交易市场手段, 鼓励钢铁企业对碳排放指标进行交易, 对环保合格的钢铁企业予以资金奖

励,达到环保不合格的钢铁企业逐步淘汰的目的。

感谢辽宁省发展和改革委员会和辽宁省生态环境厅的支持、辽宁省信息中心张丽霞对数据核实工作的帮助、辽宁省工程咨询集团有限责任公司程永军和王磊的帮助。

参考文献(References)

- [1] 陈永城, 夏奕奕. FDI、产业结构对碳排放的影响研究——以我国东中西部为例[J]. 内蒙古煤炭经济, 2018(7): 12-13.
- [2] 巢清尘, 张永香, 高翔, 等. 巴黎协定——全球气候治理的新起点[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(1): 61-67.
- [3] 苏树辉, 袁国林, 李玉嵩, 等. 国际清洁能源发展报告(2015)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.
- [4] 国际能源署. 世界能源展望2017中国特别报告[R/OL]. (2018-07-10)[2019-07-10]. <https://www.iea.org/chinese>.
- [5] 国务院. 国务院关于印发“十三五”控制温室气体排放工作方案的通知[EB/OL]. (2016-10-27)[2019-07-10]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-11/04/content_5128619.htm.
- [6] 国家发展和改革委员会. 关于做好全国碳排放权交易市场重点工作的通知[EB/OL]. (2016-01-11)[2019-07-10]. http://www.ndrc.gov.cn/gzdt/201601/t20160122_772150.html.
- [7] 柴麒麟, 傅莎. 全国碳排放权交易市场的经济学分析[J]. 中国发展观察, 2018(1): 41-43.
- [8] 国家统计局. 中国统计年鉴2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [9] 国家统计局. 国际统计年鉴2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [10] 赵沛, 董鹏莉. 碳排放是中国钢铁业未来不容忽视的问题[J]. 钢铁, 2018, 53(8): 1-7.
- [11] Xu B, Lin B Q. Regional differences in the CO₂ emissions of China's iron and steel industry: Regional heterogeneity[J]. Energy Policy, 2016(88): 422-434.
- [12] 王俊岭, 张新社. 中国钢铁工业经济增长、能源消耗与碳排放脱钩分析[J]. 河北经贸大学学报, 2017, 38(4): 77-82.
- [13] Song Y, Huang J B, Feng C. Decomposition of energy-related CO₂ emissions in China's iron and steel industry: A comprehensive decomposition framework[J]. Resources Policy, 2018(59): 103-116.
- [14] 工业和信息化部. 钢铁工业调整升级规划(2016—2020年)[EB/OL]. (2016-10-28) [2019-07-10]. <http://www.miit.gov.cn/n1146295/n1652858/n1652930/n3757016/c5353943/content.html>.
- [15] 高杨. 低碳经济背景下的辽宁省钢铁行业的现状与SWOT分析[J]. 财经界(学术版), 2013(9): 30.
- [16] Shan Y L, Liu J H, Liu Z, et al. New provincial CO₂ emission inventories in China based on apparent energy consumption data and updated emission factors[J]. Applied Energy, 2016, 184: 742-750.
- [17] 王丽. 辽宁省工业全要素碳排放绩效及排放权分配研究[D]. 沈阳: 中国科学院沈阳应用生态研究所, 2017.
- [18] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委办公厅关于印发首批10个行业企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)的通知[EB/OL]. (2013-10-15) [2019-07-10]. http://www.gov.cn/zwgk/2013-11/04/content_2520743.htm.
- [19] 中华人民共和国生态环境部. 关于做好2018年度碳排放报告与核查及排放监测计划制定工作的通知[EB/OL]. (2019-04-19) [2019-07-10]. http://qhs.mee.gov.cn/tsejcs/201904/t20190419_700400.shtml.
- [20] 福建省生态环境厅. 福建省生态环境厅关于《福建省2018、2019年度碳排放配额分配实施方案》(征求意见稿)[EB/OL]. (2019-05-20) [2019-07-10]. http://hbt.fujian.gov.cn/zwgk/gsgg/qtgkgs/201905/t20190520_4879610.htm.
- [21] 中国碳交易网. 钢铁行业碳配额分配方法和思路分析[EB/OL]. (2017-04-08) [2019-07-10]. <http://www.tanji-aoyi.com/article-21073-1.html>.
- [22] 卢鑫, 白皓, 赵立华, 等. 钢铁企业能源消耗与CO₂减排关系[J]. 北京科技大学学报, 2012, 34(12): 1445-1452.
- [23] 江学书. 福建省钢铁行业温室气体排放量核算[J]. 能源与环境, 2016(4): 9-10.
- [24] 文旭林, 农小杰, 冯祖强, 等. 钢铁企业碳排放核算及减排研究——以广西柳州钢铁集团有限公司例[J]. 广西节能, 2018(4): 28-29.
- [25] 王韵铭, 马秀琴, 张宁. 河北省某钢铁企业能耗和CO₂排放的核查分析[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2017(27): 50-53.
- [26] 王维兴. 我国钢铁工业能耗现状与节能潜力分析[C]//第十一届中国钢铁年会论文集——S01. 炼铁与原料. 北京: 冶金工业出版社, 2017: 223-231.
- [27] 张辉, 李会泉, 陈波, 等. 基于碳物质流分析的钢铁企业碳排放分析方法与案例[J]. 钢铁, 2013(2): 86-92.
- [28] An R Y, Yu B Y, Li R, et al. Potential of energy savings and CO₂ emission reduction in China's iron and

- steel industry[J]. *Applied Energy*, 2018, 226: 862–880.
- [29] Ren L J, Wang W J. Analysis of existing problems and carbon emission reduction in Shandong's iron and steel industry[J]. *Energy Procedia*, 2011(5): 1636–1641.
- [30] Hasanbeigi A, Cardenas J C R, Price L, et al. Comparison of energy-related carbon dioxide emissions intensity of the international iron and steel industry: Case studies from China, Germany, Mexico, and the United States[R]. San Francisco: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2015.
- [31] 辽宁省人民政府办公厅. 辽宁省人民政府办公厅关于印发全省“十三五”重点专项规划的通知[EB/OL]. (2016–06–26) [2019–07–20]. http://www.ln.gov.cn/zfxx/zfwj/szfbgtwj/zfwj2011_111255/201606/t20160628_2369800.html.
- [32] 沙高原, 刘颖昊, 殷瑞钰, 等. 钢铁工业节能与CO₂排放的现状与对策分析[J]. *冶金能源*, 2008(1): 3–5.
- [33] 中国碳排放交易网[EB/OL]. (2019–03–01)[2019–07–20]. <http://www.tanpaifang.com>.
- [34] Dai Y, Li N, Gu R R, et al. Can China's carbon emissions trading rights mechanism transform its manufacturing industry? Based on the perspective of enterprise behavior[J]. *Sustainability*, MDPI AG, 2018, 10(7): 2421.

The energy consumption and carbon emission verification of key iron and steel plants in Liaoning province

ZHANG Wenfeng^{1,2}, XI Fengming^{1,3}, WANG Jiaoyue^{1,3*}, BING Longfei^{1,3}, YIN Yan^{1,3}, CHANG Shasha^{1,3}, HAN Yaopeng⁴

1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
3. Key Laboratory of Pollution Ecology and Environmental Engineering, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China
4. Liaoning Electric Power Company, State Grid, Shenyang 100300, China

Abstract With its large amount of the fossil energy consumption and the high carbon emission, the steel industry is an important partner in the construction of the carbon trading market. This paper analyzes the verification of the CO₂ emission of the iron and steel plants in Liaoning province, and it is found that the main product of the crude steel is 54.6549~58.7637 Mt from 2013 to 2017; the total carbon emissions of the iron and steel plants in Liaoning province, included in the Carbon Emission Trading System (ETS), are 106.021~124.6814 Mt. The CO₂ emissions intensity is in a decreasing tendency. From the perspective of the different sectors, the fossil fuel combustion CO₂ emissions accounts for more than 80% of the total emission, followed by the emissions of net purchases of electricity and heat equivalent CO₂, accounting for about 13%. From the perspective of the different processes, the iron making produces the most carbon emissions, with the average proportion of 40.82%, in a significant decrease trend. The carbon emissions of the other auxiliary parts increase significantly. The Pearson correlation analysis shows that the total CO₂ emission, and the total energy consumption have a close linear correlation with the main products. Based on the carbon emissions of the iron and steel industry in 2017, it is found that the total quota of 15 iron and steel plants in Liaoning province will be 107.0051 Mt CO₂, and the overall performance is quota surplus.

Keywords iron and steel plants; verification of GHG; energy consumption; emissions reduction potential ●



(责任编辑 傅雪)