京津冀地区钢铁行业高时空分辨率排放清单方法研究

伯 鑫[1,2],赵春丽[1],吴 铁[1],苏 艺[1],王龙飞[1,2],田 军[3],史元良[4],罗 梦[5],李时蓓[1,2*] (1.环境保护部环境工程评估中心,北京 100012；2.环境保护部国家环境保护环境影响评价数值模拟重点实验室,北京 100012；3.南京大学环境规划设计研究院有限公司,江苏 南京 210093；4.北京科技大学土木与环境工程学院,北京 100083；5.中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院,北京 100083)

摘要：针对目前京津冀地区钢铁行业大气污染物排放量基数不清,排放清单缺失的现状,以钢铁行业调研、企业在线监测、污染源调查等数据为基础,综合考虑钢铁行业具体工艺设备、环保措施、产能等信息,按照自下而上的方法建立了一套高时空分辨率排放清单.经计算,2012 年京津冀地区钢铁企业排放 SO_2 为 47.16 万 t,NO_x 为 37.22 万 t,烟粉尘为 34.15 万 t,其中烧结和高炉工艺为京津冀钢铁行业污染物的主要来源;从空间分布来看,唐山、邯郸两地区集中了整个京津冀地区一半以上的钢铁企业,其污染物排放量占到了整个区域钢铁企业排放总量的一半以上.

关键词：排放清单；高时空分辨率；钢铁；京津冀

中图分类号：X513 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2015)08-2554-07

Emission inventory with high temporal and spatial resolution of steel industry in the Beijing-Tianjin-Hebei Region.

BO Xin[1,2], ZHAO Chun-li[1], WU Tie[1], SU Yi[1], WANG Long-fei[1,2], TIAN jun[3], SHI Yuan-liang[4], LUO Meng[5], LI Shi-bei[1,2*] (1.The Appraisal Center for Environment and Engineering,The State Environmental Protection Ministry, Beijing 100012, China；2.State Environmental Protection Key Laboratory of Numerical Modeling for Environment Impact Assessment, Beijing 100012, China；3.Academy of Environmental Planning and Design, Nanjing University, Nanjing 210093, China；4.School of Chemical and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China；5.College of Chemistry and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China). *China Environmental Science*, 2015,35(8)：2554~2560

Abstract：Aiming at the situation of the unclear air pollutants emission of the steel industry in the Beijing-Tianjin-Heibei Region, and lacking of research on steel industry emission inventory, an emission inventory which is routing-based, from bottom to top and high temporal and spatial resolution of steel industry in the Beijing-Tianjin-Hebei Region was developed based on the data of the steel industry research, on-line monitoring and investigation of pollution sources, considering the concrete information of process equipment, environmental protection measures, productivity of the steel industry. In the research, the air pollution emissions of steel industry in the Beijing-Tianjin-Hebei Region in 2012 were calculated: SO_2 was 47.16 kt, NO_x was 37.22 kt, PM_{10} was 34.15 kt. Sintering and blast furnace units are the main air pollution emission sources. Air pollution emissions of steel enterprises in Beijing-Tianjin-Hebei region are unbalanced and mainly concentrated in Tangshan, Handan of Heibei province. Emission load and number of steel enterprise of Tangshan and Handan exceeded over 50% of the all region.

Key word：emission inventory；high temporal and spatial resolution；steel；Beijing-Tianjin-Hebei region

目前,京津冀地区钢铁行业发展迅猛,造成了能源消耗量和排污量的持续增加,给区域环境带来了巨大的压力.钢铁行业大气污染的治理仍存在着一些问题,一方面,钢铁行业污染源在数量和结构上均不清楚,部分地区甚至还存在着大量未批先建的违法项目,这些现象给区域钢铁大气污染物排放清单研究带来了巨大的困难[1-5].以河北为例,只有不到半数的钢铁企业纳入了清单统

收稿日期：2015-01-19

基金项目：国家环保公益性行业科研专项(201309062);环境保护部基金课题(1441402450017-2)

* 责任作者, 研究员, lisb@acee.org.cn

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

计.但即使这样,2012 年河北的粗钢产能仍能达到 2.75 亿 t,占全国总产能的 31%[6];另一方面,众多研究机构对京津冀地区大气污染的成因还存在着巨大分歧[7-16],导致环境主管部门在制定相关环保政策时缺乏有力的技术指导.因此,综合考虑京津冀地区钢铁行业生产工艺、污染源分布、实际生产状况等因素,编制钢铁行业排放清单,对区域灰霾来源解析和环境管理政策的制定有着非常重要的意义[17-23].

早在 20 世纪 80 年代,西方发达国家就开展了污染源清单方面的研究,目前已经形成了较为完备的清单管理体系.美国环境保护署结合在线监测、排放因子估算等方法,建立了一套高分辨率的国家排放清单(NEI),其中钢铁污染源数据主要来自于企业在线监测、污染源核查等数据;欧盟在大气污染物清单方面出台了一套统一的技术指南,按照污染源的重要程度,分别通过不同的核算方法,建立了排放因子与活动水平之间的复杂关系,最终通过定量计算得到了区域层面的排放清单.相比于欧美发达国家,国内排放清单的编制工作开展得较晚,相关研究主要集中在区域排放源清单方面[24-28],而对钢铁行业生产工艺、环保措施等具体信息的考虑不够全面,不能反映企业的实际排放情况[29-31].

本研究以企业在线监测排放数据(CEMS)、污染源调查数据(环境影响评价、卫星遥感等)、钢铁行业调研数据为基础,从生产工艺入手,按照自下而上的方法,建立了一套京津冀钢铁行业高时空分辨率的排放清单(BTH-Steel version 1.0),在此基础上讨论了京津冀钢铁行业在不同控制情景下的污染物排放量情况.

1　材料与方法

1.1　研究区域与对象

本文研究区域包括了京津冀地区(北京、天津、河北)的所有省市,研究对象包括了区域内所有钢铁企业,涉及的工艺流程包括焦炉、烧结、球团、高炉、转炉、电炉、轧钢等,选取的污染因子为 SO_2、NO_x、烟粉尘.由于目前我国缺少针对钢铁企业原料场、冶炼车间等无组织源的计算方法,所以本研究中未考虑钢铁企业的无组织排放,仅研究其点源排放情况.

1.2　数据来源

排放清单(BTH-Steel V1.0)以 2012 年为基准年,基础资料主要包括在线监测、污染源调查(环评、卫星遥感)、排放因子等数据.其中在线监测数据来自环境保护部环境监察局重点污染源在线监测系统,环评数据来源于环保部历年审批的钢铁项目,卫星遥感数据来自京津冀地区重点污染行业遥感项目,钢铁行业调研数据参考了全国钢铁行业及相关政府部门的统计数据,相关企业统计信息见表 1.

表 1　京津冀钢铁企业不同来源数据对比

Table 1　Contrast of different data from steel enterprises in Beijing-Tianjin-Hebei region

名称	在线监测企业数量	遥感企业数量	国家级审批企业数量	钢铁行业调研企业数量	BTH-Steel 清单企业数量
北京	0	1	1	0	1
天津	5	6	2	0	6
河北	53	163	7	164	185
合计	58	170	10	164	192

1.3　编制方法

工业源排放清单的编制方法包括在线监测法、污染源调查法、排放因子法等.在线监测法是通过对排口进行连续监测来获取企业的实时排放量,精确度最高;污染源调查法主要依据环保部门现场调研、排查获得的数据来进行核算,精确度相对较高;排放因子法主要根据企业生产活动水平和行业平均排污因子进行核算,其结果存在着较大的不确定性,但由于排放因子数据易获取,目前在清单研究领域应用最为广泛.本研究综合考虑了以上 3 种方法的优缺点,在编制清单时优先采用在线监测(CEMS)数据;对于没有安装 CEMS 的企业,通过环评、遥感等数据来编制清单;对于没有上述资料的企业,则采用排放因子法进行补充完善.

(1)在线监测法[32]

在线监测数据包括了烧结、高炉、转炉等工

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

艺连续排放的污染物浓度、排放量、烟气量、烟气温度等信息.但是对于大型全流程钢铁企业,在线监测数据无法涵盖全厂所有排放源(例如焦炉、轧钢等),故本研究采用污染源调查法和排放因子法对在线监测数据进行补充和完善.对于在线监测所缺失的排放参数(例如企业经纬度、烟囱高度、烟囱出口直径等),本研究根据环评报告、卫星遥感等相关信息来补充.

为了保证数据的准确性和代表性,本研究以所有在线监测装置的长期浓度数据为基础,制定了钢铁行业不同工艺排放参数的取值范围和统计指标,开展海量数据清洗流程,建立了一套在线数据质量控制系统(QA/QC,质量保证/质量控制)开展非线性、高维度、大样本数据的异常检测,剔除由于客观原因造成的部分异常值.

(2)污染源调查法(环评、卫星遥感)

对于大型全流程钢铁企业,在线监测数据无法涵盖全厂所有排放源(例如焦炉、轧钢等),故本研究采用污染源调查法对各排放源数据信息进行补充.污染源调查法综合考虑了环评和卫星遥感数据,其中环评数据包括了所有钢铁企业环评报告中大气点源的相关信息,该数据覆盖较为全面,可反映企业的真实排放情景.卫星遥感数据主要来自遥感二号、遥感八号和遥感十四号,空间分辨率以 2m 和 5.5m 为主,可满足目视解译的需求.本研究通过外部构筑物布局组合、尺寸、形状等信息,建立了钢铁行业主要工艺解译库,完成对可见光波段遥感影像的解译,获取了京津冀地区钢铁企业主要排污设施(焦炉、烧结、高炉、炼钢车间、露天原料场、煤气柜、烟囱、轧钢车间)的地理位置信息,实现了对所有污染源的精确定位.

(3)排放因子法

对于既没有安装 CEMS,也没有污染源调查信息的企业,采取的是排放因子法进行核算.首先通过文献调研获取钢铁行业各工艺环节的污染物排放因子[33-37],然后结合烧结、高炉、转炉、电炉等工艺的产量、规模、产能、环保措施等信息,按照自下而上的方法,最终计算得到企业所有污染源的排放信息.公式如下:

$$E_{x,y} = A_{z,y} \times F_{z,y} \times (1-\eta_{n,x}) \quad (1)$$

式中:x 为污染物种类,y 为具体的工艺环节,z 为具体工艺的规模,n 代表环保措施,$A_{z,y}$ 为 y 工艺在 z 规模下的产量,$F_{z,y}$ 为 y 工艺在 z 规模下对应的排放因子,$\eta_{n,x}$ 为环保措施 n 对 x 污染物的去除效率,$E_{x,y}$ 为 y 工艺 x 污染物的排放量.表 2 给出了各主要生产环节的分级标准,对于烧结机头来说,若已安装了脱硫或者除尘设施[38-44],则在核算时将相应的产污系数归为 1 级标准,对于未安装环保设施的污染源,如果烧结装置面积大于 180m^2 则按照 2 级标准核算,其余情形归为 3 级标准;烧结机尾面积如果大于 180m^2 按 1 级标准来核算,反之归为 2 级标准;出铁场根据高炉体积来划分,1200m^3 以上的归为 1 级,其余按 2 级来核算;转炉产污系数根据转炉容量来划分,100t 以上归为 1 级,其余归为 2 级;电炉产污系数根据电炉容量来划分,100t 以上归为 1 级,100t 及以下归为 2 级.

表 2 不同规模不同工艺的污染物排放因子

Table 2 Pollutant emission factors in different size and process

工艺名称	分级	SO_2 产污系数	NOx 产污系数	烟粉尘产污系数	单位
烧结机头	1 级	0.72	1.2	0.06	kg/t
	2 级	0.8	1.2	0.08	
	3 级	2.4	1.2	0.2	
烧结机尾	1 级			0.06	
	2 级			0.1	
高炉热风	1 级	0.009	0.0072	0.135	
出铁	1 级			25	mg/m^3
	2 级			50	
转炉一次	1 级			50	
	2 级			100	
电炉一次	1 级			20	
	2 级			50	

2 结果与讨论

2.1 2012 年京津冀地区钢铁污染物排放清单

按照 BTH-Steel V1.0 的方法,计算得到了

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2012 年京津冀地区钢铁企业排放的 SO_2、NO_x、烟粉尘分别为 47.16,37.22,34.15 万 t.从生产工艺的角度来看(表 3),京津冀钢铁行业中烧结工艺排放的 SO_2 最多,可达 36.72 万 t,占总排放量的 77.87%;NO_x 排放较高的环节为烧结和高炉,排放量分别为 27.62,4.35 万 t,分别占 NO_x 总排放量的 74.22%、11.69%;烟粉尘贡献较大的为烧结和高炉工艺,排放量分别为 10.57,8.06 万 t,占总排放量的 30.96%、23.61%.由此可见烧结和高炉工艺是京津冀钢铁行业大气污染物的主要排放环节,两者排放之和分别占 SO_2、NO_x、烟粉尘总排放量的 79.12%、85.91%、54.57%.

将 BTH-Steel V1.0 的结果与环境统计年报的结果进行对比发现,两者对 SO_2 的估算基本一致,分别为 47.16,46.5 万 t/年,但是对 NO_x、烟粉尘的估算则存在着较大的差异(表 4).统计年报中钢铁行业 NO_x、烟粉尘的排放量分别为 16.9,21.6 万 t/年,仅为 BTH-Steel V1.0 的 45.4% 和 63.3%.从方法上来说,BTH-Steel 是自下而上编制的,计算过程中综合考虑了企业在线监测、环评报告、工艺、排放因子、产能、装备等信息,较为全面可靠,而环境统计年报主要为重点调查企业自报数据,缺乏对数据准确性的有效监督和审核[45],现有的环境统计年报对 NOx、烟粉尘等大气污染物存在着严重的低估,需要进一步的补充和完善.

表 3　2012 年京津冀地区钢铁不同工艺污染物排放量

Table 3　Pollutant emissions of different processes

工艺名称	SO_2 排放量 (万 t)	占 SO_2 总排放量比例(%)	NO_x 排放量 (万 t)	占 NO_x 总排放量比例(%)	烟粉尘排放量 (万 t)	占烟粉尘总排放量比例(%)
焦化	0.58	1.23	0.73	1.95	4.42	12.94
烧结	36.72	77.87	27.62	74.22	10.57	30.96
球团	0.70	1.48	0.18	0.49	1.12	3.27
高炉	0.59	1.25	4.35	11.69	8.06	23.61
转炉	0.81	1.71	0.28	0.75	3.48	10.20
电炉	-	-	-	-	0.91	2.67
轧钢	4.93	10.45	1.81	4.86	2.91	8.51
自备电厂	0.02	0.03	0.13	0.36	0.24	0.70
其他公辅设施	2.82	5.98	2.12	5.69	2.43	7.13
合计	47.16	100.00	37.22	100.00	34.15	100.00

表 4　京津冀钢铁清单比较情况(万 t/a)

Table 4　The comparison of Steel Industry emission inventory in Beijing–Tianjin–Hebei region (ten thousand t / a)

名称	SO_2 排放量	NO_x 排放量	烟粉尘排放量
环境统计年报	46.50	16.90	21.60
本清单	47.16	37.22	34.15

2.2　京津冀地区钢铁污染物排放空间分布及特征

通过对遥感影像的解译和分析,得到了京津冀钢铁企业的空间分布情况(图 1),从中可以发现,唐山和邯郸两市的钢铁企业最为密集,而北京、廊坊、沧州等京津冀中部城市相对较少.经核算,邯郸、唐山两市钢铁企业的 SO_2 排放量分别为 13.74,13.67 万 t,NO_x 排放量分别为 9.83,9.61 万 t;烟粉尘排放量分别为 13.40,10.85 万 t.两市钢铁企业无论是数量上还是排放量上均超过了京津冀地区钢铁企业一半以上,成为了区域污染物防治的重点区域.从图 3 可看出,污染物排放较大的企业均集中在邯郸、唐山两市.

2.3　不同减排情景下京津冀地区钢铁企业污染物总量核算

本研究对钢铁企业污染物减排的核算主要基于以下 2 种情景:

(1)假设京津冀地区所有钢铁企业均采用了脱硫工艺(考虑经济效益、环保效益后,无脱硫信

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

息的排口按石灰石-石膏湿法考虑,脱硫效率为90%).

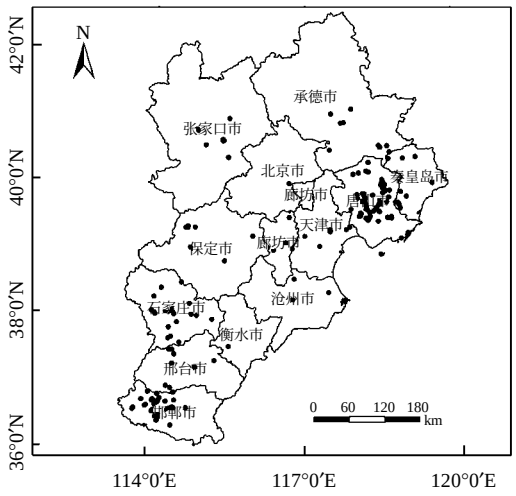


图 1 京津冀钢铁企业位置示意

Fig.1 Locations of Steel enterprise in Beijing–Tianjin–Hebei region

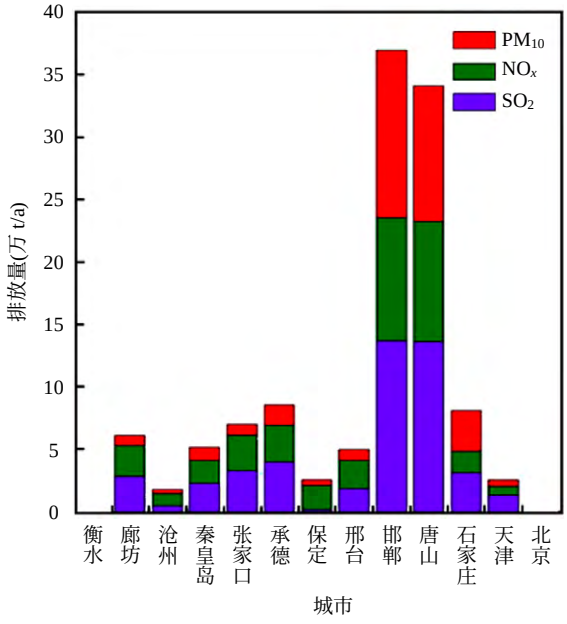


图 2 京津冀各城市钢铁企业污染物排放情况

Fig.2 Emissions of steel enterprises in Beijing-tianjin-hebei region

(2)假设京津冀地区不符合国家产业政策的企业均关停,即淘汰 90m^2 以下的烧结机、400m^3 及以下的高炉、30t 及以下的电炉和转炉.

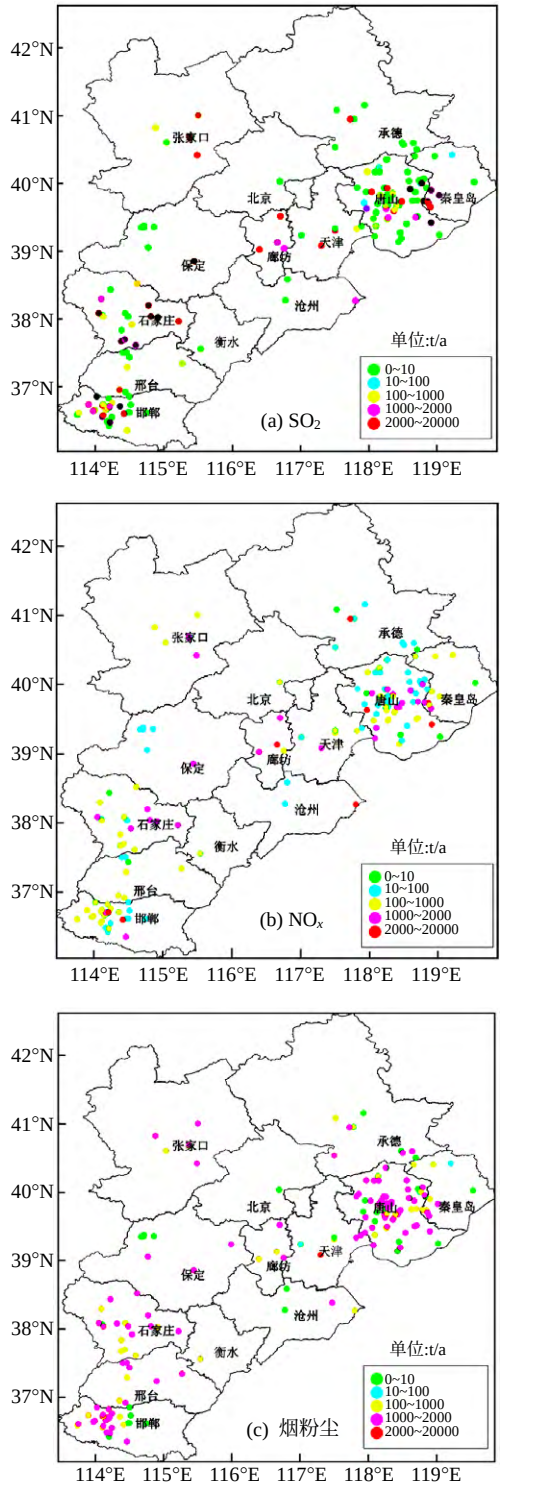


图 3 京津冀各地区钢铁企业 SO_2、NO_2、烟粉尘排放量分布情况

Fig.3 SO_2、NO_2、and PM_{10} emission distribution of steel enterprises in Beijing-tianjin-hebei region

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

根据现状调查结果,京津冀地区 2012 年仍有 67 家钢铁企业使用 90m^2 以下小烧结机,46 家钢铁企业仍存在 400m^3 及以下小高炉,14 家钢铁企业仍存在 30t 及以下的小电炉.图 4 给出情景 1、2 与现状 SO2、NO_x、烟粉尘排放量的对比情况.经核算,情景 1 中京津冀钢铁行业 SO_2 排放总量为 15.03 万 t/a,与 2012 年排放现状相比,下降了 68.11%;若情景 2 中的淘汰措施都落实到位后,京津冀钢铁行业 SO_2、NO_x、烟粉尘的排放总量分别为 34.07,29.22,28.07 万 t/a,相比于 2012 年分别降低了 27.76%、21.48%和 15.97%.

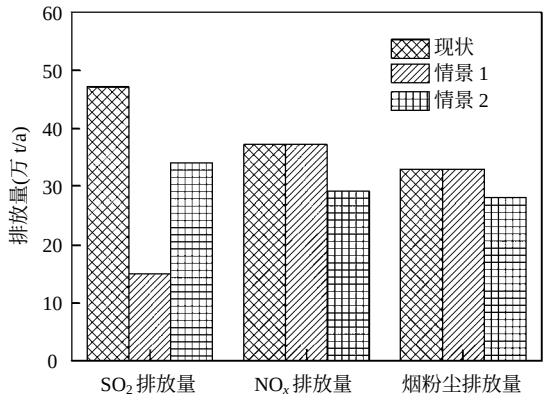


图 4　情景 1、2 与现状 SO_2、NO_x、烟粉尘排放量对比

Fig.4　Contract chart of SO_2、NO_x、PM_{10} emissions of Scenario 1、2 and status

3　结论

3.1　本研究以 2012 年为基准年,建立了一套基于在线监测、污染源调查(环评、卫星遥感)和排放因子等数据的钢铁行业大气污染物清单编制方法.该方法在全面考虑生产工艺、环保措施、产能等具体信息的基础上,优先采用在线监测(CEMS)数据,其次考虑通过污染源调查数据进行核算,对于没有在线监测或者污染源调查数据的企业则考虑通过排放因子法进行补充完善.

3.2　按照 BTH-Steel V1.0 的方法,计算得到了 2012 年京津冀地区钢铁企业排放的 SO_2、NO_x、烟粉尘分别为 47.16 万 t,37.22 万 t,34.15 万 t.从生产工艺来看,烧结和高炉工艺是京津冀钢铁行业污染物的主要来源,两者 SO_2、NO_x、烟粉尘排放之和分别占总排放量的 79.12%、85.91%、54.57%.

3.3　从空间分布来看,京津冀钢铁行业大气污染物排放的地区分布极不平衡,体现了明显的区域特征,排放量最大的是位于京津冀两侧的唐山和邯郸市,排放量最小的则是位于中心区域的北京.根据统计结果,唐山、邯郸两市的所有钢铁企业,无论是在数量上还是排污总量上,均占到了整个京津冀钢铁行业的半数以上.

3.4　基于 2 种控制情景,评估了京津冀地区钢铁企业的减排效果.其中采取烧结脱硫措施后,区域钢铁行业排放的 SO_2 为 15.03 万 t/a,与现状相比下降了 68.11%;采取淘汰落后产能措施后,排放的 SO_2、NO_x、烟粉尘为 34.07,29.22,28.07 万 t/a,与现状相比,分别下降了 27.76%、21.48%、15.97%.

参考文献：

[1] 杨俊益,辛金元,吉东生,等.2008~2011 年夏季京津冀区域背景大气污染变化分析 [J]. 环境科学, 2012,33(11):3693-3704.

[2] 辛金元,王跃思,唐贵谦,等.2008 年奥运期间北京及周边地区大气污染物消减变化 [J]. 科学通报, 2010,(15):1510-1519.

[3] 徐小娟,刘子锐,高文康,等.后奥运时期京津冀区域大气本底夏季污染变化 [J]. 环境科学学报, 2012,25(9):959-967.

[4] 邹宇飞,吴其重,王自发,等.河北工业面源更新及其对奥运会期间京津冀区域空气质量模拟的影响 [J]. 气候与环境研究, 2010,15(5):624-635.

[5] Streets D G, Fu J S, Jang C J, et al. Air quality during the 2008 Beijing Olympic games [J]. Atmospheric environment, 2007, 41(3):480-492.

[6] 王跃思,姚　利,刘子锐,等.京津冀大气霾污染及控制策略思考 [J]. 中国科学院院刊, 2013,28(3):353-363.

[7] 郝吉明,吴　烨,傅立新,等.北京市机动车污染分担率的研究 [J]. 环境科学, 2001,22(5):1-6.

[8] 庞　杨.京津冀地区大气污染物分布和演变特征的模拟研究 [D]. 南京:南京信息工程大学, 2012.

[9] 吴其重,徐文帅,赵秀娟,等.北京市大气可吸入颗粒物排放源空间优化及模式验证 [J]. 环境科学学报, 2012,32(10):2548-2558.

[10] 张　强,霍　红,贺克斌.中国人为源颗粒物排放模型及 2001 年排放清单估算 [J]. 自然科学进展, 2006,16(2):223-231.

[11] 伯　鑫,王　刚,温　柔,等.京津冀地区火电企业的大气污染影响 [J]. 中国环境科学, 2015,35(2):364-373.

[12] 马锋敏.北京及周边地区典型大气污染过程的数值模拟研究

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[D]. 南京信息工程大学, 2007.
[13] 孟 伟,高庆先,张志刚,等.北京及周边地区大气污染数值模拟研究 [J]. 环境科学研究, 2006,19(5):11-18.
[14] 颜 鹏,黄 健.北京地区 SO_2 污染的长期模拟及不同类型排放源影响的计算与评估 [J]. 中国科学:D 辑, 2006,35(A01):167-176.
[15] Song Y, Zhang M, Cai X. PM_{10} modeling of Beijing in the winter [J]. Atmospheric Environment, 2006,40(22):4126-4136.
[16] 马 丽,赵竹青,中科院课题组:机动车对雾霾贡献 4%被严重低估 [EB/OL]. 2014, http://www.banyuetan.org/chcontent/zx/yw/201413/90011.html.
[17] 谈佳妮,余 琦,马蔚纯,等.小尺度精细化大气污染源排放清单的建立——以上海宝山区为例 [J]. 环境科学学报, 2014,34(5):1009-1108.
[18] 张 夏,郭占成.我国钢铁工业能耗与大气污染排放量 [J]. 钢铁, 2000,35(1):63-68.
[19] 马京华.钢铁企业典型生产工艺颗粒物排放特征研究 [D][J]. 西南大学, 2009,25(75):54-55.
[20] 王 婧,周 娟.钢铁工业废气及 $PM_{2.5}$ 排放特性与污染控制对策 [J]. 城市建设理论研究(电子版), 2014,(6):
[21] Gu Y, Xu J, Keller A A, et al. Calculation of water footprint of the iron and steel industry: A case study in Eastern China [J]. Journal of Cleaner Production, 2015:
[22] Lorenzi A, Rastelli D, Biavati A, et al. Immobilization of iron rich steel industry waste and products characterization [J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2014,3(1):196-201.
[23] Yu B, Li X, Qiao Y, et al. Low-carbon transition of iron and steel industry in China: Carbon intensity, economic growth and policy intervention [J]. Journal of Environmental Sciences, 2014:
[24] 杨文夷,李 杰,朱莉莉,等.我国空气污染物人为源排放清单对比 [J]. 环境科学研究, 2013,26(7):703-711.
[25] 赵 斌,马建中.天津市大气污染源排放清单的建立 [J]. 环境科学学报, 2008,28(2):368-375.
[26] 孙雪丽.河北省大气污染源清单建立及影响北京市大气污染的敏感源筛选 [D]. 北京:北京工业大学, 2007.
[27] 王占山,车 飞,潘丽波.火电厂大气污染物排放清单的分配方法研究 [J]. 环境科技, 2014,27(2):45-48.
[28] 伯 鑫,李时蓓.全国火电行业污染源排放清单建设研究 [C]//中国环境科学学会学术年会, 2014:1506-1510.
[29] Zhang Q, Streets D G, Carmichael G R, et al. Asian emissions in 2006for the NASA INTEX-B mission [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2009,9(14):5131-5153.
[30] 田贺忠,郝吉明.中国氮氧化物排放清单及分布特征 [J]. 中国环境科学, 2001,21(6):493-497.
[31] Ohara T, Akimoto H, Kurokawa J-I, et al. An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980–2020 [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2007,7(16):4419-4444.
[32] 环境保护部办公厅,国家重点监控企业自动监控系统建设运行管理考核实施细则 [Z]. 2013.
[33] GB28662 钢铁烧结,球团工业大气污染物排放标准 [S].
[34] GB28664 炼钢工业大气污染物排放标准 [S].
[35] GB16171 炼焦化学工业污染物排放标准 [S].
[36] GB28663 炼铁工业大气污染物排放标准 [S].
[37] GB28665 轧钢工业大气污染物排放标准 [S].
[38] 卢丽君,汤静芳,张 垒,等.NID 技术在武钢烧结烟气脱硫中的应用 [J]. 鞍钢技术, 2012,(1):47-50.
[39] 李 强,杨晓岗.半干法烧结烟气脱硫工艺技术分析 [J]. 山西冶金, 2008,31(5):1-4.
[40] 童志权,陈昭琼,彭朝辉.钙-钙双碱法脱硫技术及其在工业中的应用 [J]. 环境科学学报, 2003,23(1):28-32.
[41] 李 焕,曾日新.烟气脱硫技术的发展及其应用前景 [J]. 环境保护科学, 2002,28(6):1-3.
[42] 汪丽娟,徐小勇,陈美秀.广钢烧结厂一,二期烟气脱硫工程运行情况的探讨 [J]. 广州化工, 2009,37(7):184-185.
[43] 周安玉.烧结烟气脱硫工艺路线选择浅析 [J]. 中国钢铁业, 2008,(10):13-17.
[44] 袁 钢,马永亮,汪黎东.氧化镁烟气脱硫反应特性研究 [J]. 环境工程学报, 2010,4(5):1134-1138.
[45] 董广霞,陈 默,傅德黔.我国环境统计存在的主要问题及对策 [J]. 中国环境监测, 2009,25(5):70-73.
[46] GB11662 烧结厂卫生防护距离标准 [S].
[47] GB11661 焦化厂卫生防护距离标准 [S].
[48] GB11660 炼铁厂卫生防护距离标准 [S].
[49] 伯 鑫,张 玲,刘 梦,等.复杂地形下确定钢铁联合企业防护距离研究 [J]. 环境工程, 2011,29(S1):298-302.

作者简介：伯 鑫(1983-),男,山东烟台人,硕士,主要研究方向为大气环境质量模拟及环境影响评价.发表论文 30 余篇.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net