京津冀地区钢铁企业大气污染影响评估

伯 鑫[1,2],徐 峻[3],杜晓惠[3],郭倩倩[2],甄瑞卿[4],田 军[5],蔡博峰[6],王龙飞[2],马方曙[1*],周北海[1] (1.北京科技大学能源与环境工程学院,北京 100083；2.环境保护部环境工程评估中心,北京 100012；3.中国环境科学研究院,北京 100012；4.北京京诚嘉宇环境科技有限公司,北京 100053；5.南京大学环境规划设计研究院有限公司,江苏南京 210093；6.环境保护部环境规划院,北京 100012)

摘要：利用京津冀钢铁行业高分辨率排放清单,结合区域具体淘汰产能设备名单,采用空气质量模式 CAMx 模拟并分析现状和化解产能情景下京津冀地区钢铁行业大气污染物对区域空气质量的贡献情况.结果表明,现状情景下,冬季钢铁企业对整个区域 $PM_{2.5}$、SO_2、NO_x 最高浓度贡献比例分别为 14.0%、28.7%、43.2%,夏季分别为 13.1%、28.7%、53.4%.化解产能情景下京津冀钢铁行业 SO_2、NO_x、烟粉尘、$PM_{2.5}$ 与 2012 年排放现状相比,排放量分别下降了 10.75%、10.65%、9.75%、9.75%,排口数量下降了 11.74%,钢铁企业对京津冀各城市 $PM_{2.5}$、SO_2、NO_x 浓度贡献比例均有减少,冬季贡献比例最多减少了 1.4%、2.5%、3.1%,夏季贡献比例最多减少了 0.9%、2.0%、3.5%.

关键词：京津冀；钢铁；大气污染；CAMx；$PM_{2.5}$

中图分类号：X51,X823 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2017)05-1684-09

Impacts assessment of steel plants on air quality over Beijing-Tianjin-Hebei area. BO Xin[1,2], XU Jun[3], Du Xiao-hui[3], GUO Qian-Qian[2], ZHEN Rui-Qing[4], TIAN Jun[5], CAI Bo-Feng[6], WANG Long-Fei[2], MA Fang-Shu[1*], ZHOU Bei-Hai[1] (1.School of Energy and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China；2.The Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China；3.Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China；4.CERI eco Technology Co., LTD, Beijing 100053, China；5.Academy of Environmental Planning and Design, Nanjing University, Nanjing 210093, China；6.Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China). *China Environmental Science*, 2017,37(5)：1684~1692

Abstract：Regional air quality model CAMx was used to project the air pollution contribution from steel plants to the Beijing-Tianjin-Hebei area under different scenarios, based on emission inventory of steel industry of the region and the eliminating list in the reduced capacity scenario. The results implied that in current situation, the steel plants could contribute to as high as 14.0%, 28.7% and 43.2% in winter, and 13.1%, 28.7% and 53.4% in summer to regional concentration of $PM_{2.5}$, SO_2 and NO_x, respectively. Compared with 2012, under the scenario of resolving production overcapacity, the emissions of SO_2, NO_x, TSP and $PM_{2.5}$from steel plants would decrease by 10.75%, 10.65%, 9.75%, and 9.75% respectively, and the number of emission sources decline by 11.74%. The contribution to the regional concentration of $PM_{2.5}$, SO_2 and NO_x from steel plants would decrease by 1.4%, 2.5% and 3.1% in winter, and 0.9%, 2.0% and 3.5% in summer respectively.

Key words：Beijing-Tianjin-Hebei region；steel plant；air pollution；CAMx；$PM_{2.5}$

京津冀地区钢铁行业产量和排污量增长迅猛,2014 年京津冀地区粗钢产量占全国产量的 25.30%[1], SO_2、NO_x 和烟粉尘排放量占京津冀地区工业源排放总量分别为 27.75%、13.56%、17.17%[2],钢铁行业是京津冀地区主要的大气污染排放、过剩产能行业,也是京津冀地区污染联防联控、限产限排等焦点之一.为满足钢铁行业淘汰落后产能、加快污染治理等要求,根据《国务院关于化解产能严重过剩矛盾的指导意见》,京津冀地区计划在 2020 年之前将产能压缩至约

收稿日期：2016-09-27

基金项目：国家重点实验室开放基金课题(16K01ESPCT);环境保护部基金课题(1441402450017-2)

* 责任作者, 副研, mfsustb@sina.com

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

2.1 亿 t,陆续出台《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》、《天津市人民政府关于推进供给侧结构性改革加快建设全国先进制造研发基地的实施意见》等污染控制措施.截至 2016 年 7 月底, 京津冀地区削减钢铁产能的任务完成了不到 35%,钢铁企业面临巨大的污染物减排和化解产能的压力.

由于京津冀地区政治地位的特殊性,当开展区域性重大活动(例如 APEC、阅兵等)时,区域内钢铁企业采取减产关停等应急保障措施,但缺少关停钢铁企业对区域空气质量改善贡献报道[3-6].部分城市污染源解析结果显示,北京、天津、石家庄等本地工业源对其 $PM_{2.5}$ 浓度贡献为 17%~25.2%[7-9],唐山市冶金行业是其 $PM_{2.5}$ 主要来源(贡献率为 20.67%)[9],一些研究者对京津冀不同行业的空气污染贡献率、排放清单等进行分析[10-18],例如温维等分析了唐山市冶金行业对夏季 $PM_{2.5}$ 浓度贡献情况[14];陈国磊等[15]研究结果表明,承德市冶金行业对当地 $PM_{2.5}$ 浓度贡献为 13.3%.此外研究者采用 CMAQ、CAMx 等空气质量模型开展了大量来源情景模拟研究[19-20],例如 Song 等[19]采用 CALPUFF 模拟发现,2000 年 1 月 1 日~2 月 29 日期间首钢对石景山工业区 PM_{10} 污染浓度贡献达到了 46%,而对北京中东部地区影响不大.上述研究均未从区域环境影响的角度出发,定量分析钢铁企业对区域空气质量的影响情况.

为了解决上述问题,本研究基于京津冀高分辨率钢铁排放清单数据,利用 CAMx 模式定量评估了现状情景下京津冀钢铁企业排放 SO_2、NO_x、$PM_{2.5}$ 浓度贡献情况,并结合具体淘汰产能设备名单,分析化解产能情景下京津冀地区钢铁企业对空气质量改善情况,为产能化解、大气源解析等工作提供科学技术支撑.

1　研究方法

1.1　源排放

本研究采用的高时空分辨率京津冀地区钢铁行业排放清单(BTH-Steel Version 2.0)[18],是环境保护部环境工程评估中心考虑京津冀地区钢铁企业工艺设备、环保措施、产能等信息,自下而上建立的清单产品,清单基准年为 2012 年,共 239 家钢铁企业(图 1),污染源排口数量为 2776 个,炼钢产能 2.7 亿 t,主要工艺流程包括焦炉、烧结、球团、高炉、转炉、电炉、轧钢等,污染源信息包括企业名称、工艺名称、排口名称、烟囱高度等,污染物信息为 SO_2、NO_x、烟粉尘等.钢铁排放清单结果显示(表 1),京津冀地区钢铁企业 SO_2、NO_x、烟粉尘、$PM_{2.5}$ 排放量分别为 43.56、52.55、20.48、13.32 万 t,京津冀地区钢铁企业大气排放集中在唐山和邯郸两个地区.根据京津冀不同行业排放比例结果显示(图 2),唐山、邯郸城市钢铁企业排放主要污染物占当地排放总量比例较高,其中唐山市钢铁企业排放大气污染物占比最高,SO_2、NO_x 排放量占当地总排放量比例均超过 40%,$PM_{2.5}$ 接近 30%,是当地最主要的大气污染物排放来源.

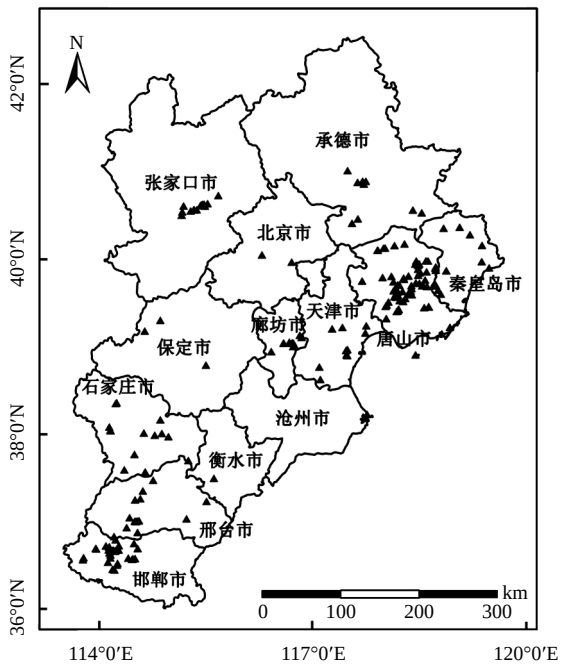


图 1　京津冀钢铁企业分布

Fig.1　Distribution map of steel plants in Beijing – Tianjin – Hebei region

其他人为源排放清单综合考虑 MEIC[21-22] 和 REAS2.1[23]两种数据并进行优选,基于近几年《中国环境统计年报》[24]中 SO_2、NO_x 和 PM_{10}

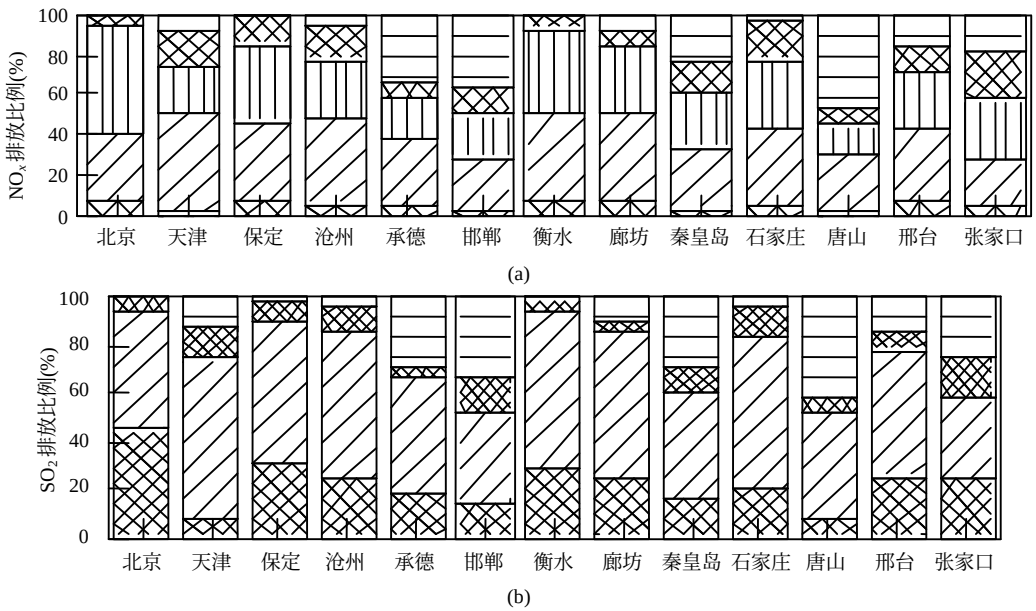
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的排放量对京津冀地区分行业的排放总量进行调整;依据已掌握的分行业排放因子,对一次 $PM_{2.5}$ 排放的组分进行了改进,利用以往研究中积累的电力行业资料[25-26]对电力行业点源的地理位置进行了核实,使人为源排放输入尽可能体现实际的区域排放特征.最后将网格化面源分配到模拟区域网格的过程中,针对不同行业的源排放,采用了各自对应的空间映射关系系数,保证各行业排放源在模拟区域中空间分布的合理性.自然排放源利用陆地生态系统估算模型 MEGAN[27]计算得到.为评估京津冀钢铁企业大气污染浓度贡献影响,本研究将钢铁排放清单数据从背景工业源排放清单中分离出来,避免模式模拟过程中重复计算钢铁行业排放量贡献.

表 1 京津冀各城市钢铁企业排放量情况(t/a)

Table 1 Emission of steel plants in cities of Beijing – Tianjin – Hebei region (t/a)

名称	SO_2	NO_x	烟粉尘	$PM_{2.5}$	排口数量(个)
北京市	11.4	61.9	4.9	3.2	2
天津市	34382.9	30899.6	12308.3	8004.1	130
石家庄市	6100.0	8465.3	2630.6	1710.7	96
唐山市	186892.1	228576.9	92244.2	59986.4	1292
秦皇岛市	27210.2	27607.5	12023.8	7819.1	140
邯郸市	97736.9	124747.3	44167.9	28722.4	593
邢台市	17536.6	23923.7	9553.4	6212.6	134
保定市	2948.7	3717.7	1780.3	1157.8	28
张家口市	25235.6	25346.3	9052.3	5886.7	136
承德市	26245.3	35288.9	14625.6	9511.0	124
沧州市	3611.2	8775.3	2393.9	1556.8	27
廊坊市	7515.1	7656.3	3873.9	2519.2	66
衡水市	143.5	389.0	129.8	84.4	8
合计	435569.5	525455.7	204788.9	133174.2	2776



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

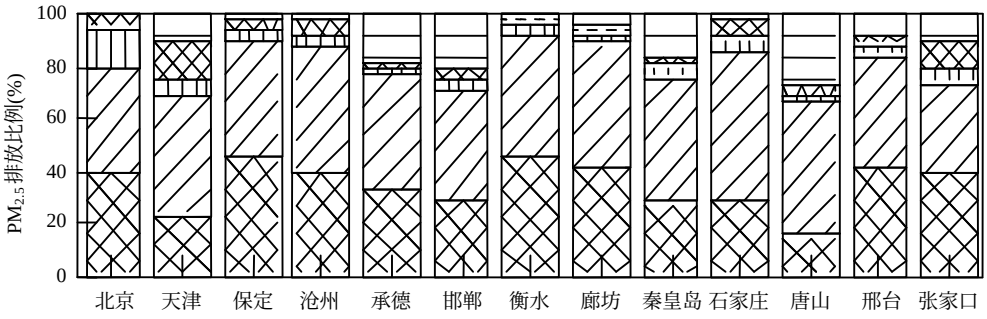


图 2　京津冀钢铁行业大气污染物排放量占比情况

Fig.2　Ratio of Emission from steel industry in Beijing - Tianjin – Hebei region

1.2　模拟模型

采用区域空气质量模型 CAMx 进行模拟,主要利用颗粒物源示踪技术(PSAT)[28],追踪钢铁企业排放对京津冀各地级市一次、二次颗粒物及其气态前体物的浓度贡献.本次模拟时段选定为 2014 年 1 月和 7 月,分别作为冬季和夏季的典型时段.模拟区域覆盖整个东亚地区,模式网格水平分辨率为 36km,网格数为 200×160,垂直层次 20 层,模式顶高约为 15km.本研究重点关注区域为京津冀地区,PSAT 将北京、天津 2 个直辖市及河北省 11 个地级市取做受点,将钢铁行业排放作为一个单独的源输入条件并分离出来,追踪其 SO_2、NO_x 和颗粒物排放对京津冀地区主要空气污染物的影响.

表 2　CAMx 模拟选项

Table 2　Schemes adopted in CAMx simulation

气相化学机理	SPRAC99
液相化学机理	RADM-AQ
气溶胶模块	CF Scheme
气溶胶热力学平衡模式	ISORROPIA
干沉降参数化方案	WESELY89
水平平流方案	PPM
垂直扩散方案	标准 K 理论

本研究 CAMx 模拟系统已在东亚区域空气污染物长距离[29-30],以及京津冀重污染成因分析[31]等多个研究中应用,其间进行了详细的模拟验证和效果评估,表明该系统能够较好地再现区域污染的状态特征.模式参数见表 2,本次参数的选取已在多个研究项目中得到了应用,取得了很好的模拟效果[29-31].

2　结果与讨论

2.1　现状情景钢铁对区域污染物浓度贡献分析

表 3　现状情景下钢铁企业排放对京津冀各城市主要大气污染物的浓度贡献比例(%)

Table 3　Concentration ratio to the main air pollutants of cities in Beijing - Tianjin – Hebei region from steel plants in current situation (%)

城市	$PM_{2.5}$ 冬季平均贡献	$PM_{2.5}$ 夏季平均贡献	SO_2 冬季平均贡献	SO_2 夏季平均贡献	NO_x 冬季平均贡献	NO_x 夏季平均贡献
北京市	2.7	2.3	2.7	2.7	2.4	1.9
天津市	4.4	3.2	4.8	4.2	5.4	5.0
石家庄市	1.5	2.1	1.8	2.9	3.8	4.0
唐山市	9.0	9.3	13.3	18.0	21.7	33.5
秦皇岛市	10.1	6.0	18.8	12.4	27.3	22.3
邯郸市	4.9	4.9	8.2	10.4	17.3	24.6
邢台市	1.9	2.4	2.5	3.6	4.8	5.0
保定市	1.9	1.5	2.7	2.4	5.2	3.3
张家口市	1.3	3.0	1.7	5.1	2.4	6.5
承德市	8.5	8.3	11.1	16.4	21.4	35.1
沧州市	3.0	1.9	5.5	3.8	9.4	8.1
廊坊市	4.2	2.9	8.2	6.0	11.0	9.9
衡水市	2.4	1.6	4.0	3.1	8.3	6.4
区域城市最高	10.1	9.3	18.8	18.0	27.3	35.1

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

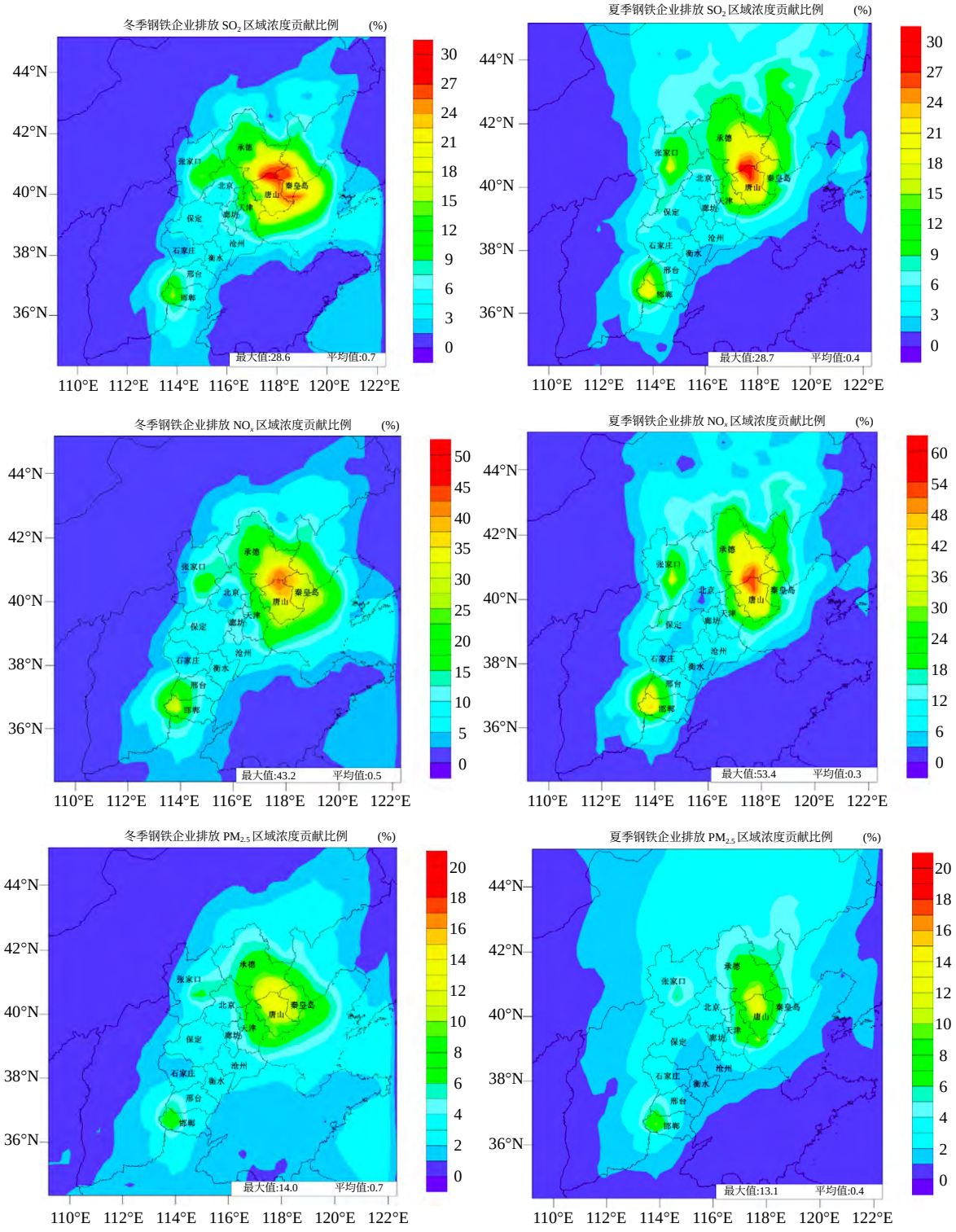


图 3 京津冀地区钢铁企业排放 SO_2、NO_x、$PM_{2.5}$ 对区域浓度贡献比例(冬季、夏季)

Fig.3 The regional contribution ratio of SO_2, NO_x and $PM_{2.5}$ from steel plants in Beijing – Tianjin – Hebei region (winter and summer)

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

表 3、图 3 为现状情景下京津冀钢铁企业对各城市主要大气污染物浓度贡献情况,从各城市主要大气污染物浓度贡献比例来看,京津冀钢铁企业对唐山市、秦皇岛市、承德市、邯郸市等城市主要大气污染物浓度贡献比例较大,其中钢铁企业冬季排放 SO_2 对区域大气污染贡献比例较高的城市为秦皇岛市、唐山市、承德市,分别为 18.8%、13.3%、11.1%;排放 NO_x 对区域大气污染贡献比例较高的城市为秦皇岛市、唐山市、承德市,分别为 27.3%、21.7%、21.4%;排放 $PM_{2.5}$ 对区域大气污染贡献比例较高的城市为秦皇岛市、唐山市、承德市,分别为 10.1%、9.0%、8.5%.钢铁企业夏季排放 SO_2 对区域大气污染贡献比例较高的城市为唐山市、承德市、秦皇岛市,分别为 18.0%、16.4%、12.4%;排放 NO_x 对区域大气污染贡献比例较高的城市为承德市、唐山市、邯郸市,分别为 35.1%、33.5%、24.6%;排放 $PM_{2.5}$ 对区域大气污染贡献比例较高的城市为唐山市、承德市、秦皇岛市,分别为 9.3%、8.3%、6.0%.

钢铁行业排放污染物浓度贡献在京津冀各地体现出的季节变化并不一致.唐山、邯郸、承德和张家口等钢铁大气污染物占比较高的地区季节变化较显著,其中 SO_2 和 NO_x 在夏季的浓度贡献明显高于冬季.对于唐山等地钢铁行业排放夏季影响大于冬季,主要原因是:华北平原冬季大气边界层较低,而钢铁企业污染物排放量大的工序(烧结等)为高架源排放,高空排放加上抬升后,污染物将在边界层之上,对地面的影响反而减小.夏季边界层发展充分,高架源排放很容易通过湍流混合作用扩散到低层,因而对地面浓度的影响加大.

唐山市、承德市冶金部门(包括钢铁、铁合金、有色金属冶炼等)对当地 $PM_{2.5}$ 浓度贡献比例分别为 20.67%、13.3%[9,14-15].本研究结果中钢铁行业对唐山市、承德市 $PM_{2.5}$ 浓度贡献比例最大为9.3%、8.5%,本研究浓度贡献比例结果与唐山、承德等城市已有来源解析结果较为一致.差异原因可能为本研究模拟中,采用的排放具体到每一个排放口(焦化、烧结、球团、高炉、转炉、电炉、轧钢等),作为点源来处理,考虑了源高、直径、流速等具体排放参数,排放量大的污染源为高架点源;此外,不同研究者使用背景排放清单不同、对钢铁行业源排放输入条件的处理存在差异,造成源解析结果存在一定差异.

从北京公开 $PM_{2.5}$ 源解析结果看,主要为机动车、燃煤等,未提及钢铁行业对污染贡献,本研究发现京津冀钢铁企业对北京市等主要大气污染物浓度贡献比例相对较小,对北京市 $PM_{2.5}$、SO_2、NO_x 冬季平均浓度贡献仅为 2.7%、2.7%、2.4%,夏季平均浓度贡献仅为 2.3%、2.7%、1.9%,两者结果较为一致.

从整个区域主要大气污染物浓度贡献比例来看,钢铁企业对整个区域 $PM_{2.5}$、SO_2、NO_x 冬季最高浓度贡献比例分别为 14.0%、28.7%、43.2%,夏季最高浓度贡献比例分别为 13.1%、28.7%、53.4%,这说明京津冀钢铁企业对区域污染物浓度贡献最大的是 NO_x,需加强钢铁企业 NO_x 等前体物控制;钢铁行业大气污染物浓度贡献比例较高的区域主要集中在唐山、邯郸为中心的区域.

秦皇岛、承德的钢铁行业排放量占京津冀区域比例较低(主要污染物排放量不超过京津冀钢铁总排放量的 8%),由于唐山市离这两个城市最近,加上钢铁行业高架源排放的区域传输,造成周边地市钢铁企业对秦皇岛、承德的大气污染浓度贡献比例较高(图 3 可看出此趋势),说明京津冀钢铁企业,尤其是唐山市钢铁企业排放对周边城市大气环境影响显著,在特殊气象条件下对周边环境的影响不容忽视.

2.2　化解产能情景钢铁对区域污染物浓度贡献分析

本研究根据《河北省钢铁产业结构调整方案》中淘汰产能设备名单,假设淘汰河北省过剩产能设备(淘汰 6684 万 t 炼钢产能),化解产能情景下京津冀钢铁行业 SO_2、NO_x、烟粉尘、$PM_{2.5}$ 排放量分别为 38.87、46.94、18.48、12.02 万 t/a,与 2012 年排放现状相比,分别下降了 10.75%、10.65%、9.75%、9.75%,排口数量下降了 11.74%(表 4).

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

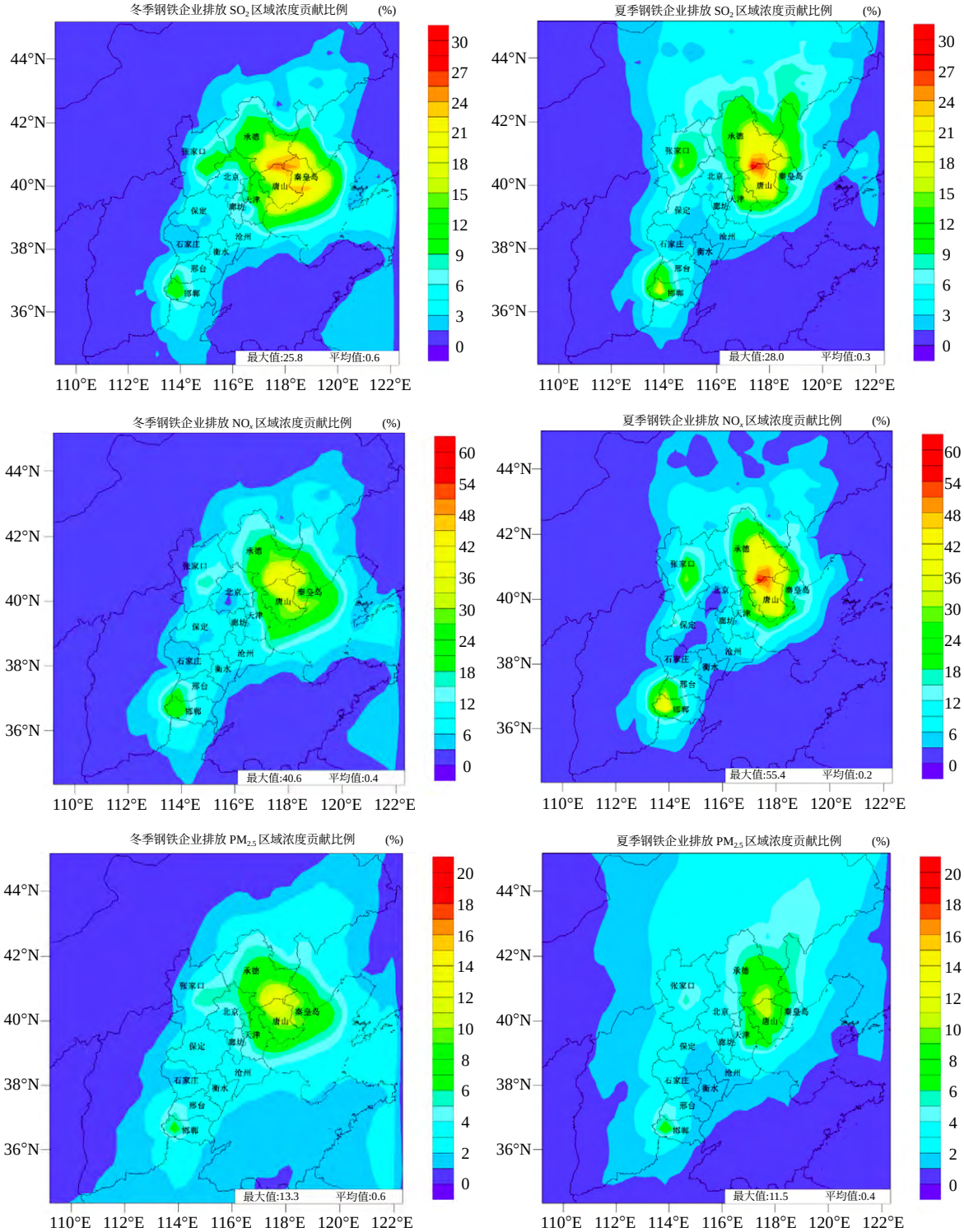


图 4 化解产能情景下京津冀地区钢铁企业排放 SO_2、NO_x、$PM_{2.5}$ 对区域浓度贡献比例(冬季、夏季)

Fig.4 Contribution ratio of SO_2, NO_x and $PM_{2.5}$ from steel plants in Beijing – Tianjin – Hebei region under the situation of resolving production overcapacity (winter and summer)

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

表 4　化解产能情景下京津冀各城市钢铁企业排放情况(t/a)

Table 4　Emission of the steel plants in cities of Beijing – Tianjin – Hebei region under the situation of resolving production overcapacity (t/a)

城市	SO_2	NO_x	烟粉尘	$PM_{2.5}$	排口数量(个)
北京市	11.4	61.9	4.9	3.2	2
天津市	34382.9	30899.6	12308.3	8004.1	130
石家庄市	5056.0	6992.6	2278.0	1481.4	88
唐山市	168976.8	206577.0	83643.9	54393.6	1124
秦皇岛市	25107.3	25920.9	11445.3	7442.9	132
邯郸市	80880.6	104520.8	35670.8	23196.7	489
邢台市	13370.2	18390.8	7407.8	4817.3	121
保定市	2472.8	3279.7	1583.5	1029.7	14
张家口市	21265.5	21183.0	7708.2	5012.7	125
承德市	26245.3	35288.9	16505.5	10733.5	124
沧州市	3611.2	8775.3	2393.9	1556.8	27
廊坊市	7220.4	7190.7	3737.0	2430.2	66
衡水市	143.5	389.0	129.8	84.4	8
合计	388744.0	469470.1	184816.9	120186.4	2450

表 5　化解产能情景下钢铁行业排放对京津冀各城市主要大气污染物浓度贡献比例(%)

Table 5　Concentration ratio to the main air pollutants of cities in Beijing - Tianjin – Hebei region from steel plants under the situation of resolving production overcapacity (%)

城市	$PM_{2.5}$ 冬季平均贡献	$PM_{2.5}$ 夏季平均贡献	SO_2 冬季平均贡献	SO_2 夏季平均贡献	NO_x 冬季平均贡献	NO_x 夏季平均贡献
北京市	2.5(0.2)	2.1(0.2)	2.5(0.3)	2.5(0.2)	2.2(0.2)	1.7(0.2)
天津市	4.1(0.3)	3(0.2)	4.5(0.3)	4(0.2)	5(0.4)	4.7(0.3)
石家庄市	1.4(0.2)	1.8(0.3)	1.6(0.2)	2.5(0.4)	3.4(0.4)	3.5(0.5)
唐山市	8.2(0.8)	8.5(0.8)	12.2(1.1)	16.7(1.3)	20.1(1.6)	31.5(2)
秦皇岛市	8.7(1.4)	5.2(0.8)	16.3(2.5)	10.4(2)	24.2(3.1)	19.2(3.2)
邯郸市	4(0.9)	4(0.9)	6.9(1.3)	8.7(1.8)	15.1(2.2)	21.1(3.5)
邢台市	1.7(0.2)	2(0.4)	2.2(0.3)	3.1(0.5)	4.2(0.6)	4.4(0.6)
保定市	1.7(0.2)	1.3(0.2)	2.4(0.3)	2(0.4)	4.6(0.6)	2.6(0.7)
张家口市	1.2(0.1)	2.6(0.4)	1.4(0.3)	4.4(0.7)	2(0.4)	5.5(1)
承德市	8.3(0.2)	8(0.3)	10.7(0.4)	15.9(0.5)	20.8(0.6)	34.5(0.6)
沧州市	2.7(0.3)	1.7(0.2)	5.1(0.4)	3.6(0.2)	8.6(0.8)	7.6(0.5)
廊坊市	3.9(0.3)	2.7(0.2)	7.6(0.6)	5.7(0.4)	10.2(0.9)	9.2(0.7)
衡水市	2.2(0.2)	1.4(0.2)	3.6(0.4)	2.8(0.3)	7.4(0.9)	5.5(0.9)
区域城市最高	8.7(1.4)	8.5(0.8)	16.3(2.5)	16.7(1.3)	24.2(3.1)	34.5(0.6)

注:括号内数字为减少的绝对值.

化解产能情景下,京津冀地区钢铁企业大气污染物排放对区域 $PM_{2.5}$、SO_2、NO_x 年均浓度贡献比例影响分布见图 4,对区域城市大气污染物年均浓度贡献比例见表 5.从各个城市污染物平均浓度贡献比例来看,钢铁企业总体对各城市大气污染浓度贡献均有不同程度改善,对各城市 $PM_{2.5}$、SO_2、NO_x 冬季浓度贡献比例减少了 0.1%~1.4%、0.2%~2.5%、0.2%~3.1%,夏季浓度贡献比例分别减少了 0.2%~0.9%、0.2%~2.0%、0.2%~3.5%.

3　结论

3.1　现状情景下,京津冀钢铁企业排放大气污染物主要影响以唐山、邯郸为中心的区域,这与当地钢铁企业集中、污染物排放量大等因素有关.从区域污染排放量及污染物浓度贡献角度来看,唐山市钢铁企业排放对承德、秦皇岛等周边城市的大气环境有一定的影响,说明区域大气污染联

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

防联控可一定程度改善相关城市的空气质量.

3.2 京津冀钢铁企业对区域大气环境影响最大的污染物为 NO_x,夏季最高浓度贡献比例达到了50%以上,结合当前钢铁行业现状来看,很少有企业对烧结工序采取脱硝措施,由此可见未来京津冀钢铁企业 NO_x 存在较大的减排空间.

3.3 在污染物排放量削减 10%的化解产能情景下,钢铁行业浓度贡献比例下降比较小(2%左右),可见当前化解产能力度对污染改善效果有限,仍需进一步加大化解产能力度,此外证明高架点源排放是降低局地污染的有利手段之一.

参考文献：

[1] 工业和信息化原材料工业司.钢铁产业发展报告, 2015 [M]. 北京:冶金工业出版社, 2015:365.

[2] 中华人民共和国环境保护部.中国环境统计年报 2014 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2015:287.

[3] 王跃思,张军科,王莉莉,等.京津冀区域大气霾污染研究意义、现状及展望 [J]. 地球科学进展, 2014,29(3):388-396.

[4] 王凌慧,曾凡刚,向伟玲,等.空气重污染应急措施对北京市 $PM_{2.5}$ 的削减效果评估 [J]. 中国环境科学, 2015,35(8):2546-2553.

[5] 翟世贤,安兴琴,刘 俊,等.不同时刻污染减排对北京市 $PM_{2.5}$ 浓度的影响 [J]. 中国环境科学, 2014,34(6):1369-1379.

[6] 翟世贤,安兴琴,孙兆彬,等.污染源减排时刻和减排比例对北京市 $PM_{2.5}$ 浓度的影响 [J]. 中国环境科学, 2015,35(7):1921-1930.

[7] 北京市环境保护局.北京市正式发布 $PM_{2.5}$ 来源解析研究成果 [EB/OL]. http://www.bjepb.gov.cn/bjepb/323265/340674/396253/index.html, 2014-04-16.

[8] 天津市环境保护局.天津发布颗粒物源解析结果 [EB/OL]. http://www.tjhb.gov.cn/root16/mechanism_1006/environmental_protection_propaganda_and_education_center/201411/t20141112_6464.html. 2014-08-25.

[9] 石家庄市环境保护局.河北 11 市完成 $PM_{2.5}$ 源解析[EB/OL]. http://www.sjzhb.gov.cn/cyportal2.3/template/site00_article@sjzhbj.jsp?article_id= 8afaa1614cd9a176014d553231f26b33&parent_id=8afaa16142796386014279efe11b0937&parentType=0&siteID=site00&f_channel_id=null&a1b2dd=7xaac.2015-05-15.

[10] 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.

[11] 李珊珊,程念亮,徐 峻,等.2014 年京津冀地区 $PM_{2.5}$ 浓度时空分布及来源模拟 [J]. 中国环境科学, 2015,35(10):2908-2916.

[12] Hao J M, Wang L T, Shen M J, et al. Air quality impacts of power plant emissions in Beijing [J]. Environmental Pollution, 2007,147:401-408.

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

[14] 温 维,韩力慧,代 进,等.唐山夏季 $PM_{2.5}$ 污染特征及来源解析 [J]. 北京工业大学学报, 2014,40(5):751-758.

[15] 陈国磊,周 颖,程水源,等.承德市大气污染源排放清单及典型行业对 $PM_{2.5}$ 的影响 [J]. 环境科学, 2016,37(11):1-16.

[16] 王 堃,滑申冰,田贺忠,等.2011 年中国钢铁行业典型有害重金属大气排放清单 [J]. 中国环境科学, 2015,35(10):2934-2938.

[17] Wu X, Zhao L, Zhang Y, et al. Primary Air Pollutant Emissions and Future Prediction of Iron and Steel Industry in China [J]. Aerosol and Air Quality Research, 2015,15:1422–1432.

[18] 伯 鑫,赵春丽,吴 铁,等.京津冀地区钢铁行业高时空分辨率排放清单方法研究 [J]. 中国环境科学, 2015,35(8):2554-2560.

[19] Song Y, Zhang M, Cai X. PM_{10} modeling of Beijing in the winter [J]. Atmospheric Environment, 2006,40:4126-4136.

[20] 赵 瑜.中国燃煤电厂大气污染物排放及环境影响研究 [D]. 北京:清华大学, 2008.

[21] 清华大学.中国多尺度排放清单模型 [EB/OL].http://www.meicmodel. org. 2015-01-16.

[22] 谢祖欣,韩志伟.基于排放清单的中国地区人为排放源的年际变化 [J]. 中国科学院大学学报, 2014,31(3):289-296.

[23] Kurokawa J, Ohara T, Morikawa T, et al. Emissions of air pollutants and greenhouse gases over Asian regions during 2000-2008: regional emission inventory in Asia (REAS) version 2 [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2013,13(21):11019-11058.

[24] 中华人民共和国环境保护部.中国环境统计年报 2013 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2014:100-360.

[25] 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.2014 中国环境科学学会学术年会(第三章). 北京:中国环境科学出版社, 2014:1506-1510.

[26] 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.

[27] Guenther A, Karl T, Harley P, et al. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN (Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature) [J]. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 2006,6(1):107-173.

[28] Yarwood G, Wilson G, Morris R. Development of the CAMx Particulate source apportionment technology (PSAT) [R]. Prepared for the Lake Michigan Air Directors Consortium, by Environ International Corporation, Novato, CA, 2005.

[29] 王继康.东亚地区典型大气污染物源—受体关系的数值模拟研究 [D]. 北京:中国环境科学研究院, 2014.

[30] 程念亮.东亚春季典型天气过程空气污染输送特征的数值模拟研究 [D]. 北京:中国环境科学研究院, 2013.

[31] 杜晓惠,徐 峻,刘厚凤,等.重污染天气下电力行业排放对京津冀地区 $PM_{2.5}$ 的贡献 [J]. 环境科学研究, 2016,29(4):475-482.

致谢：本课题得到环境模拟与污染控制国家重点联合实验室专项经费的资助.

作者简介：伯 鑫(1983-),男,山东烟台人,高工,博士,主要研究方向为排放清单以及大气污染模拟.发表论文 40 余篇.

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