

DOI: 10.13671/j.hjkxxb.2016.0214

李瑞芃, 吴琳, 毛洪钧, 等. 2016. 廊坊市主要大气污染源排放清单的建立[J]. 环境科学学报, 36(10): 3527-3534

Li R P, Wu L, Mao H J, et al. 2016. Establishment of an air pollutant emission inventory for Langfang urban area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 36(10): 3527-3534

廊坊市主要大气污染源排放清单的建立

李瑞芃, 吴琳, 毛洪钧*, 何建军, 荆博宇, 邹超

南开大学, 环境科学与工程学院, 天津 300071

收稿日期: 2015-12-14 修回日期: 2016-05-26 录用日期: 2016-05-26

摘要: 通过调研、统计廊坊市工业、城中村及机动车等资料, 结合以往清单文献研究结果及清单编制指南中的排放因子, 计算了廊坊市主要大气污染物的排放量, 得到廊坊市 2014 年主要大气污染源排放清单。结果显示, 2014 年廊坊市工业源(固定燃烧) NO_x 、 SO_2 、NMVOC、CO、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 排放总量分别为 6.4×10^3 、 1.2×10^4 、31、 1.0×10^4 、 7.3×10^2 、 4.4×10^2 t, 其中热电行业排污贡献率最高, 分别占 NO_x 、 SO_2 、CO、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 工业源(固定燃烧)年排放总量的 55%、48%、67%、63%、69%; 安次区工业企业对气态污染物贡献较高, 广阳区及开发区工业企业对颗粒物排污贡献较大。低矮面源(城中村) NO_x 、 SO_2 、NMVOC、CO、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 年排放总量分别为 1.8×10^2 、 3.6×10^3 、3.0、 4.9×10^3 、 1.5×10^2 、72 t。道路移动源 CO、HC、 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 年排放总量分别为 2.4×10^4 、 1.9×10^3 、 2.2×10^3 、44 t, 其中小型客车对 HC 和 CO 贡献率较高, 分别为 53% 和 61%; NO_x 年排放总量中 26% 由重型货车贡献; $\text{PM}_{2.5}$ 则主要由轻型货车和重型货车贡献, 占比分别为 39% 和 21%。

关键词: 廊坊市; 大气污染源; 排放因子; 排放清单

文章编号: 0253-2468(2016)10-3527-08 中图分类号: X513 文献标识码: A

Establishment of an air pollutant emission inventory for Langfang urban area

LI Ruipeng, WU Lin, MAO Hongjun*, HE Jianjun, JING Boyu, ZOU Chao

The College of Environmental Science & Engineering, Nankai University, Tianjin 300071

Received 14 December 2015; received in revised form 26 May 2016; accepted 26 May 2016

Abstract: Based on the statistical data of industry, urban village and vehicle in Langfang, the amounts of several air pollutants emitted in different districts of Langfang urban area for the year 2014 were calculated by emission factors from literatures and emission inventory guidebooks. The results showed that the total industrial emissions (combustion sources) of NO_x , SO_2 , NMVOC, CO, PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ for the Langfang urban area in 2014 were 6.4×10^3 , 1.2×10^4 , 31, 1.0×10^4 , 7.3×10^2 and 4.4×10^2 t, respectively. The thermal power industry emission was the main source and contributed to 55%, 48%, 67%, 63% and 69% for above pollutants except NMVOC. Industrial enterprises in Anci district contributed more on gaseous pollutants, while Guangyang district and the Economic Development Zone had more particulate matter emitted from industrial sources. The total annual emissions of NO_x , SO_2 , NMVOC, CO, PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ from urban village were 1.8×10^2 , 3.6×10^3 , 3.0, 4.9×10^3 , 1.5×10^2 , and 72 t. Moreover, the annual emissions of CO, HC, NO_x and $\text{PM}_{2.5}$ mainly emitted from the mobile sources were 2.4×10^4 , 1.9×10^3 , 2.2×10^3 , and 44 t in Langfang urban area. Light duty vehicle contributed 53% and 61% to HC and CO, while heavy duty truck contributed 26% to NO_x . $\text{PM}_{2.5}$ mainly came from light duty truck and heavy duty truck, accounting for 39% and 21%, respectively.

Keywords: Langfang urban area; atmospheric pollution sources; emission factors; emission inventory

1 引言 (Introduction)

大气污染源排放清单是对某一地区一种或几

种大气污染物排放源的排放量进行统计或估算, 是空气质量研究和大气环境容量测算的基础, 建立大气污染源排放清单, 对了解区域内的大气污染程度

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (No.2014BAC23B02); 科技部科技基础性工作专项 (No.2013FY112700-02); 中央高校基本科研业务费专项资金

Supported by the National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China (No. 2014BAC23B02), the Special Program for Key Basic Research of the Ministry of Science and Technology (No.2013FY112700-02) and the Special Foundation for Basic Research Program of the Higher Education Institutions

作者简介: 李瑞芃 (1986—), 女, E-mail: lrp1226@163.com; * 通讯作者 (责任作者), E-mail: hongjunm@nankai.edu.cn

Biography: LI Ruipeng (1986—), female, E-mail: lrp1226@163.com; * **Corresponding author**, E-mail: hongjunm@nankai.edu.cn

和分布、模拟该区域的大气环境质量状况等具有重要的意义(赵斌等,2008;周晶等,2014).大气污染源排放清单按照研究覆盖地域尺度可分为全球排放源清单、国家排放源清单(张强等,2006;Cao等,2011)、区域排放源清单(赵斌,2007;吴晓璐,2009)及城市排放源清单(王社扣等,2012;谈佳妮等,2014),计算方法包括“自上而下”和“自下而上”(郑君瑜等,2013):“自上而下”方法是依靠能源消耗的宏观统计数据计算污染物排放量,在全球及大区域尺度范围的清单编制中应用较广;“自下而上”方法是以污染源为对象,结合排放因子和活动水平数据,估算污染物排放量,从而定量识别不同污染源的贡献大小和污染物排放特征,常用在城市尺度的排放清单研究中.

廊坊市位于北京与天津交界,其空气质量受京津冀区域共同影响(郭鑫等,2012;邵平,2012).2014年环保部发布的全国城市空气质量排名中,廊坊市排名倒数第8,日益凸显的大气污染问题不仅严重影响本地居民身体健康及城市可持续发展,也影响京、津两大城市间污染扩散、传输过程,并对区域气候产生一定干扰(田溢等,2013).目前已有研究针对廊坊地区空气质量及重污染天气特征等进行了分析和讨论(田溢等,2013;周贺玲等,2014;郭立平等,2015;周贺玲等,2015),但针对其开展的大气污染源排放清单研究尚未有文献报道.本次研究通过调查廊坊市污染源,结合廊坊市2014年环境统计资料,从工业、城中村民用及机动车3方面计算廊坊市区 NO_x 、 SO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、CO、NMVOC(非甲烷挥发性有机物)等主要大气污染物的排放量,采用“自下而上”方法初步建立了廊坊市区2014年主要大气污染源排放清单,不仅为廊坊市本地大气污染防治及空气质量改善工作建立基础数据库,更为今后制订相关污染控制政策及京津冀地区大气污染联防联控工作拓展研究思路、提供科学依据.

2 研究方法(Methods)

2.1 研究区域概况

廊坊市位于河北省中部偏东,是京津冀城市群地理中心,辖区与京、津两市接壤(图1).本次排放清单研究区域为安次区、广阳区 and 廊坊经济技术开发区3个区,总面积约980 km^2 .

2.2 清单计算方法

2.2.1 数据来源 工业源排放包括固定燃烧源及

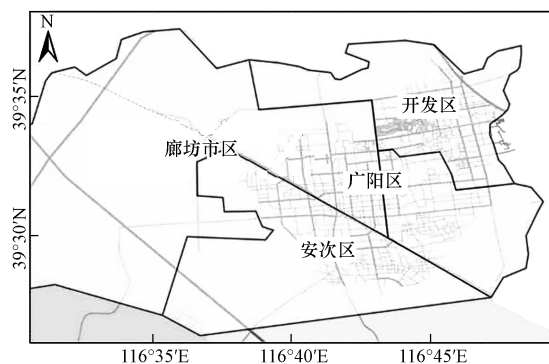


图1 廊坊市区地理位置示意图

Fig.1 Langfang urban district

工艺过程源,其中固定燃烧源是指利用燃料燃烧时产生热量,为发电、工业生产和生活提供热能和动力的燃烧设备,工艺过程源是指工业生产和加工过程中,以对工业原料进行物理和化学转化为目的的工业活动(环境保护部,2015).针对工艺过程中颗粒物及挥发性有机物的排放计算,所涉及基础信息包括不同企业的原料、产品、工艺过程、工艺技术、排放类型(有组织/无组织)及污染控制措施等资料,但本次研究调研过程中获得的相关资料有限,由于条件限制也未对工艺过程开展现场实测,因此各工业企业具体工艺生产过程排放尚未能纳入统计范畴.本文中工业源大气污染物排放量主要是针对工业固定燃烧源进行了统计.

工业源基础数据主要来自《廊坊市工业企业污染排放及处理利用情况(2014年)》统计资料,包括廊坊市区共151家在统工业企业名称、地址、经纬度、行业类别、年能源消耗量等资料;另针对部分重点排污企业进行了实地走访调研,核实了企业排污处理设施类型、运行情况及排污口经纬度等,对排放量计算所必须的相关信息进行了审核确认,确保信息的准确可靠,计算过程中主要按燃料类型对设备进行了分类,同类污染物采用相同的计算方式,确保数据的可比性.城中村基础数据为其所属社区统计,包括城中村名称、位置、面积、户数等资料;购煤量、燃煤时段等情况为实地走访调查得到.移动源基础数据主要包括廊坊市区机动车保有量、车辆注册信息及车辆年行驶里程等.排放量计算方法及排放因子参考以往文献中的研究结果及环境保护部相关清单编制指南(2015年)的要求.

2.2.2 排放量估算 (1)工业源.依据国家行业划分标准及廊坊市环境统计报告,将廊坊市区工业生

产划分为矿物开采、食品/调料生产、酒精/饮料生产、纺织/皮革制造、木材/家具生产、化工/塑料制品、非金属制品、金属制品、电子产品、热电厂等 10 大类。其中廊坊市区金属制品和非金属制品涉及的企业数最多,共 70 家。依据廊坊市 2014 年国民经济和社会发展统计公报、廊坊市政府工作报告和经济快报中相关数据资料,2014 年廊坊全市规模以上工业企业综合能源消费量 674.20×10^4 t 标准煤。《廊坊市工业企业污染排放及处理利用情况(2014 年)》统计资料中全市在统工业企业能源消耗总量约为 700×10^4 t 标准煤,与有关部门公布的能源统计结果相近,可以确定重点固定源包含在廊坊市工业企业污染排放及处理利用情况统计资料中,并已纳入本次清单核算。

2014 年廊坊市区工业源煤炭消耗总量约 6.1×10^5 t,热电厂消耗量最高(76%),其次为金属制品行业(14%);工业生产中天然气消耗总量约 1.8×10^8 m³,金属制品行业消耗天然气量最高(37%),其次为木材/家具生产(16%)和酒精/饮料生产(14%);燃料油(不含车船用)及焦炭消耗总量分别为 50 t 及 2.0×10^5 t,主要为电子产品(82%)、化工/塑料制品(18%),以及金属制品行业(100%)所消耗。

工业源大气污染物排放总量可用式(1)计算:

$$E_i = A \times EF_i \times (1 - \eta) \quad (1)$$

式中, E_i 为污染物 i 排放总量, A 为燃料消耗量, EF_i 为污染物 i 排放因子(若该因子未考虑各种污染控制措施,则在实际计算时应补充相应污染控制措施对各种主要大气污染物的去除效率), η 为污染物 i 清除效率(环境保护部,2015)。

排放因子(Emission Factor)是指在典型工况生产条件下,生产单位产品(使用单位原料)所产生的污染物经末端治理设施削减后的残余量,相当于排污系数。工业源排放因子一般采用现场实测方法进行,由于条件的限制,本次研究没有针对廊坊市区进行各种污染物排放因子的现场实测,而是参考了京津冀地区已有工业燃烧源排放清单研究中的各种排放因子(表 1)对排放量进行了计算(吴忠标,2001; Klimont *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2005; 张强,2005; Cao *et al.*, 2006; 张强等,2006; 赵斌,2007; 赵斌等,2008; 粮小洛等,2008; USEPA),考虑了能源结构及生产方式的相似性,可基本反映廊坊市区实际情况。另外基于廊坊市区工业企业锅炉运行实际情况,在本次研究中对电厂锅炉燃烧采取与其他工

业源相同的排放因子,且排放因子均为直排因子(即未考虑脱硫、除尘等处理措施影响),详细脱硫、除尘效率则依据各自企业填报信息另行计算。

表 1 工业源排放因子

Table 1 Emission factors of industrial sources

污染物	煤/ (g·kg ⁻¹)	燃料油/ (g·kg ⁻¹)	焦炭/ (g·kg ⁻¹)	天然气/ (g·m ⁻³)
NO _x	7.5	5.84	9	2.09
SO ₂	38×S×0.5	2.24	19	0.18
NM VOC	0.032	0.093	0.032	0.285
CO	15	0.78	6.6	0.35
PM ₁₀	5.4	0.31	0.288	0.24
PM _{2.5}	1.89	0.31	0.144	0.17

注:煤燃烧产生 SO₂的排放因子参照 USEPA,其中 0.5 为单位换算系数, S 为煤含硫率,如含硫率为 1%,则 S 值为 1,下同;排放因子均未考虑处理措施。

环境统计数据及补充调查资料中,廊坊市区大部分工业企业及单位有按照国家法律法规要求设置相应脱硫、脱硝及烟气除尘等设备,采取有效污染控制措施以降低大气污染物的排放量。其中《廊坊市工业企业污染排放及处理利用情况(2014 年)》统计资料中不仅包含各工业企业所消耗能源类型及年用量,其含硫率、脱硫效率、除尘效率也均有相应详细信息,具体参数范围分别为 0.9%~1.0%、10%~50%、60%~90%不等,与以往京津冀地区研究中相关数据相符(赵斌,2007),统计排放量时针对单个工业企业对应参数值逐一进行了计算。对 PM₁₀ 排放量计算采用了填报资料中的 PM 去除效率(约 90%),对 PM_{2.5} 则参考以往文献(张强等,2006)中研究结果(电厂 90%,其他企业 50%)。

(2) 低矮面源(城中村)

廊坊市区低矮面源(城中村)污染排放量计算方法参照工业源,其排放因子参考京津冀地区以往低矮面源(城中村)源排放清单研究相关文献(粮小洛等,2008;赵斌,马建中,2008),如表 2 所示。

低矮面源(城中村)基础数据来源为廊坊当地能源统计数据及实地走访调研得到,调研对象主要是廊坊市区非集中供暖的自住型城中村,信息较为准确可靠。本次研究统计了廊坊市城区共 32 处城中村住户数量、主要能源消耗种类、消耗量等信息,其中廊坊市区城中村总住户数量约为 2.6 万户,家庭用煤类型主要是烟煤,平均含硫率约 2%,每户每年平均用煤量为 2~4 t,2014 年耗煤总量约 9 万 t。

表2 低矮面源(城中村)排放因子

Table 2 Emission factors of urban village

污染物	煤/(g·kg ⁻¹)	液化石油气/(g·kg ⁻¹)
NO _x	1.88	2.10
SO ₂	38×S×0.5	0.18
NM VOC	0.032	0.088
CO	52.3	0.42
PM ₁₀	1.62	0.22
PM _{2.5}	0.77	0.15

(3) 移动源

道路移动源主要是排放大气污染物的所有道路交通运输设备,包括各种客车、货车和摩托车.道路移动源排放清单的建立主要是采用排放因子法进行估算,如式(2)所示:

$$E_i = \sum_j 10^{-3} \times P_j \times M_j \times EF_{i,j} \quad (2)$$

式中, E_i 为机动车污染物*i*年排放总量(kg); P_j 为*j*车型的机动车保有量(辆); M_j 为*j*车型的年平均行驶里程(km); $EF_{i,j}$ 为*j*型车的第*i*类

污染物的排放因子(g·km⁻¹·辆⁻¹).

本次研究主要是通过依据廊坊市区各类型机动车的保有量数据,结合《道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》(环境保护部,2015)中各车型行驶里程及不同车型、燃油类型、排放标准条件下各污染物排放因子等参数进行计算,建立城市机动车大气污染物的排放清单.

3 结果和讨论(Results and discussion)

3.1 行业排放

2014年廊坊市区工业源NO_x、SO₂、NMVOC、CO、PM₁₀、PM_{2.5}总排放量分别为6.4×10³、1.2×10⁴、31、1.0×10⁴、7.3×10²、4.4×10²t,其中热电行业对NO_x、SO₂、CO、PM₁₀、PM_{2.5}贡献率最高,分别为55%、48%、67%、63%、69%,其次是金属/零部件制造行业,贡献率分别为38%、43%、25%、6%、12%(图2),这与廊坊市区能源结构中煤炭消耗行业占比分布情况一致.

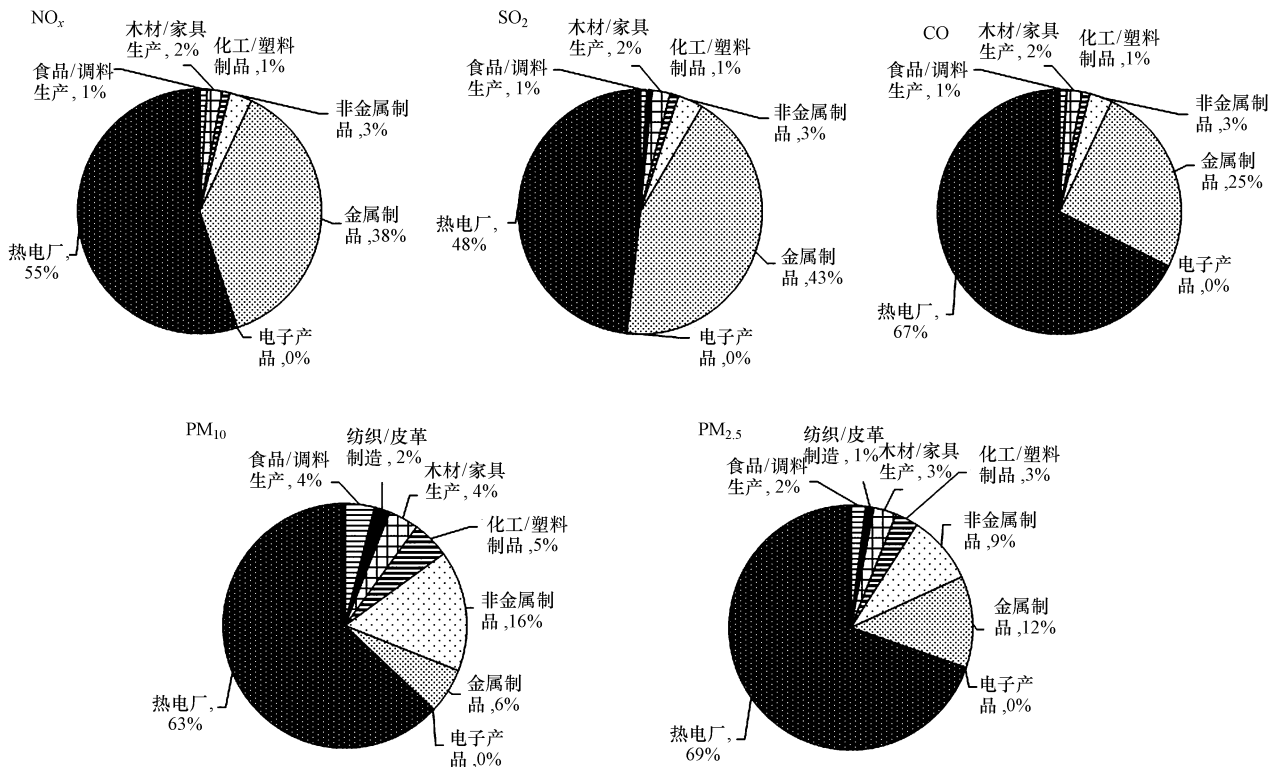


图2 廊坊市区工业源对污染物排放的贡献

Fig.2 Emission contributions of industrial sources in Langfang urban district

以往研究表明(范辞冬等,2012),我国人为源NMVOC主要来自生物质燃烧及工艺过程中有机溶

剂的使用等,而固定燃烧(化石燃料)源排放贡献最小,仅占5%.本研究中未涉及工艺过程排放,固定燃

烧源中热电企业能源消耗占比最大,因此采用相同的工业源(固定燃烧)NMVOC排放因子(表1)进行计算时,得到热电厂对NMVOC排放贡献也最大.为了避免该贡献率结果导致误解,本小节仅给出工业源(固定燃烧)排放NMVOC总量,不对其行业分担率进行讨论.

2014年廊坊市内安次、广阳、开发区3个行政区工业源大气污染物排放量占比较高的是安次区(图3), NO_x 、 SO_2 、NMVOC、CO排放量分别占工业源总量的52%、57%、56%、42%.颗粒物排放总量占比较高的地区是广阳区 and 开发区, PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 排放量分别占工业源总量的41%、38%和40%、34%.安次区工业企业数量较多,主要为非金属/矿物制品、金属制品,且有4家热力供应单位,能源消耗量大,对大气污染物排放总量的贡献较大.广阳区工业企业数量较少,主要为非金属/矿物制品生产等行业,但区内建有廊坊市热力总公司,对大气颗粒物排放贡献不可忽视.廊坊经济开发区建成时间较晚,发展速度较快,区内企业数量众多,主要为金属制品、化工/塑料制品以及木材制造等,企业规模较大但同时厂区建设及配套设设施相对先进,具有比较完善的排污处理设备,排污贡献相对较少.

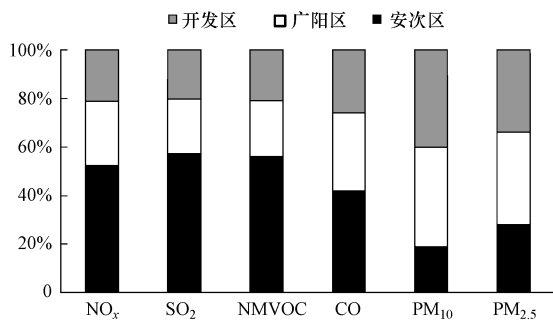


图3 廊坊市工业源排放在各辖区的分布
Fig.3 Regional distribution of industrial sources

污染源的空间位置影响污染物排放的空间分布格局(谈佳妮等,2014),对于工业源,排放口以企业为单位参考环境统计资料中的经纬度位置,并通过部分实地走访调研进行校正.由廊坊市主要工业源空间分布情况(图4)可知,廊坊市开发区大气污染工业源分布较为密集,但半数以上企业排污量较低;安次区、广阳区工业源数量相对较少,个别企业排污量较高.

3.2 低矮面源(城中村)排放

经计算得到廊坊市低矮面源(城中村)污染

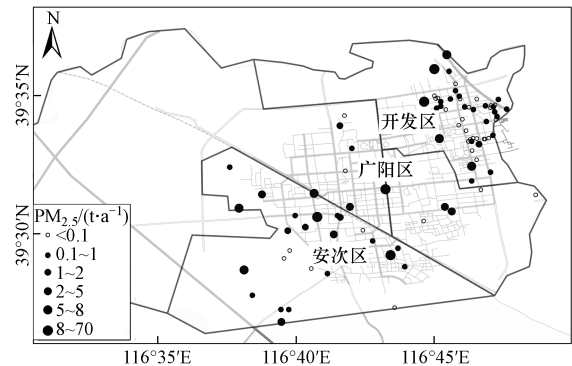


图4 廊坊市 $\text{PM}_{2.5}$ 排放主要工业源空间分布情况示意图

Fig.4 Spatial distribution of industrial sources in Langfang urban district

排放量如表3所示.由于家庭取暖、炊事等活动缺少相应排污处理措施, SO_2 、CO年排放总量较其他大气污染物高,分别为 $3.6 \times 10^3 \text{ t}$ 及 $4.9 \times 10^3 \text{ t}$;其次是颗粒物,总量约 $2.3 \times 10^2 \text{ t}$.另外2014年廊坊市内安次、广阳、开发区3个行政区低矮面源(城中村)大气污染物排放量占比基本一致,均为30%~35%.

表3 廊坊市低矮面源(家庭燃煤)污染物排放量

Table 3 Pollution emissions from urban village in Langfang urban district

污染物种类	NO_x	SO_2	NMVOC	CO	PM_{10}	$\text{PM}_{2.5}$
年排放量/t	177	3573	3	4918	152	72

对于开放源,采用和工业源同样的空间定位方法.由廊坊市低矮面源(城中村)空间分布情况(图5)可知,开发区及广阳区低矮面源(城中村)数量较多,但单个城中村的能源消耗量少,排污量相对较低;安次区低矮面源(城中村)数量少,但存在排污量较高城中村,主要是由于住户较多且集中,冬季燃煤取暖能耗较大.

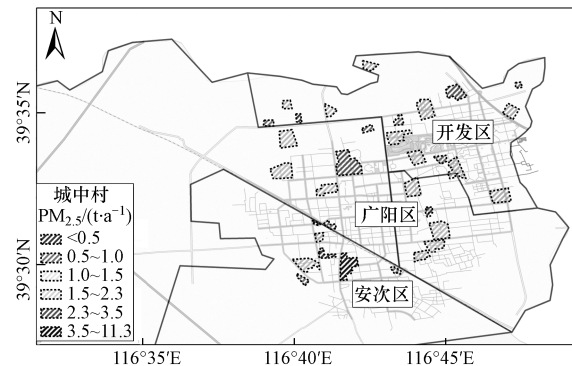


图5 廊坊市低矮面源(城中村)空间分布情况示意图

Fig.5 Spatial distribution of urban villages in Langfang urban district

3.3 道路机动车排放

根据环保部总量核算办法,得到 2014 年廊坊市区道路移动源的排放清单,其中 CO、HC、NO_x、PM_{2.5} 年排放总量分别为 2.4×10⁴、1.9×10³、2.2×10³、44 t. 按照机动车环保车型分类,分析各个车型的保有量和排放分担率,如表 4 所示.廊坊市区小型客车和轻型货车的保有量最大,分别占廊坊市区机动车保有量的 66% 和 11%.各个类型机动车排放的 NO_x 和 PM_{2.5} 分担率与机动车保有量构成情况并不完全一致,廊坊市区道路机动车的 NO_x 排放主要是由重型货车、低速载货汽车贡献的,排放分担率分别为 26% 和 19%;PM_{2.5} 排放主要是由轻型货车和重型货车贡献的,排放分担率分别为 39% 和 21%,而保有量最大的小型客车只占排放总量的 6%.廊坊市区道路机动车 CO 和 HC 排放的分担率与保有量基本一致,小型客车和轻型货车的分担率最大.分析结果表明,在廊坊市区内加强对小型客车及轻型、重型货车的管控力度,有利于进一步控制污染物排放量.

表 4 廊坊市区各类型机动车保有量和污染物排放分担率

Table 4 Vehicle amount and emission contribution rate in Langfang urban district

车辆类型	保有量占比	污染物分担率			
		CO	HC	NO _x	PM _{2.5}
微型客车	5.78%	7.84%	6.38%	3.13%	0.28%
小型客车	65.70%	61.15%	52.73%	10.58%	6.15%
中型客车	0.33%	1.49%	1.63%	2.88%	0.83%
大型客车	0.35%	2.34%	3.26%	14.12%	8.73%
微型货车	0.03%	0.04%	0.03%	0.01%	0.02%
轻型货车	11.30%	11.31%	11.52%	12.30%	39.20%
中型货车	0.82%	1.09%	1.72%	11.33%	4.42%
重型货车	0.71%	6.99%	8.06%	26.30%	20.88%
低速载货汽车	3.73%	0.86%	7.71%	18.75%	16.34%
摩托车	11.25%	6.91%	6.95%	0.60%	3.15%

3.4 清单比较

表 5 总结了以往针对国内城市排放清单的部分研究结果.与以往清单研究结果相比,廊坊市区主要大气污染源排污量低于京、津及长三角地区城市,

表 5 廊坊市区排放清单与以往清单研究结果比较

Table 5 Comparison of air pollutant emission inventories between this and previous studies

研究区域/资料来源	污染源类别	NO _x	SO ₂	NM VOC	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	
天津 2003 年 (赵斌, 马建中, 2008)	火电	2.59	3.33	0.18	0.98	0.34	0.24	
	工业能源	4.51	6.45	0.06	8.72	1.05	0.50	
	民用能源	1.94	6.08	0.06	24.85	1.12	0.53	
	移动源	6.06	0.66	10.20	34.68	1.28	1.22	
	总量	15.10	16.52	10.50	69.23	3.79	2.49	
华北 2003 年 (赵斌, 2007)	北京 总量	30.9	18.9	34.6	258	—	9	
	河北 总量	109.2	162.2	75.7	1220.2	—	121.4	
长三角 2004 年 (吴晓璐, 2009)	上海	工业	45.13	64.03	1.55	30.25	400.02	
		民用燃气	1.37	0.01			0.0002	
		交通	6.39		0.01	47.90	22.54	
		总量	52.89	64.04	1.56	78.15	422.56	
	江苏	工业	60.63	84.16	2.05	7.17	119.83	
		民用燃气	0.59	0.01			0.0002	
		交通	13.38		3.35	37.79	0.62	
		总量	74.60	84.18	5.40	44.96	120.45	
	浙江	工业	44.71	61.41	1.50	4.01	86.32	
		民用燃气	0.50	0.02			0.0003	
交通		27.09		6.59	72.78	1.28		
总量		72.30	61.43	8.09	76.79	87.60		
上海宝山区 2009 年 (谈佳妮等, 2014)	工业大点源	6.83	2.21	0.37	23.51	0.49	0.34	
	工业中小点源	0.68	0.33	4.58	0.41	0.08	0.04	
	生活点源	0.02	0.05	0.001	0.01	0.01	0.005	
	面源	0.001	0.0003	0.01	0.05	0.01	0.003	
	交通源	2.06	0.02	0.80	5.67	3.50	0.95	

续表5

研究区域/资料来源	污染源类别	NO _x	SO ₂	NM VOC	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}
	总量	9.59	2.61	5.76	29.65	4.08	1.34
廊坊市 2014 年 (本次研究)	工业源	0.64	1.23	0.003	1.04	0.07	0.04
	城中村	0.02	0.36	0.0003	0.49	0.015	0.007
	移动源	0.22	—	—	2.39	—	0.004
	总量	0.88	1.59	0.0034	3.92	0.09	0.05

一是本清单研究区域较小,涉及污染源数量少,二是廊坊市工业、人口、交通水平低于国内经济较发达城市地区,能源消耗及污染物排放量均相对较低。2014 年廊坊市 SO₂、NM VOC、PM 主要来自工业源的贡献,市区工业源排放控制措施仍需进一步加强,尤其是针对热电生产等能耗较高行业。廊坊市移动源对 CO 贡献较大,但总排污量统计结果显示,移动源排放 NO_x、PM 等在其污染物排放总量中的占比低于其他清单研究中移动源排放占比,一定程度上表明市区移动源管控措施较为合理。

3.5 清单不确定性分析

排放清单的不确定性有很多来源,例如污染源筛选及定义的不完整、监测数据误差、排放因子和活量统计的不确定性等(Benje y and Middleton, 2002)。其中对排放清单的不确定性影响最大的因素主要是排放因子及其相应活动水平的不确定性(伏晴艳, 2009)。结合以往排放清单研究结果(魏巍, 2009; 薛亦峰等, 2012), 针对廊坊市主要大气污染源排放清单的不确定性进行定性分析,主要来自以下 3 个方面:

①大气污染源选取的完整性。本清单仅考虑了工业生产排放、城中村民用燃烧排放及城市机动车排放这 3 种市区主要污染源。由于资料收集有限及数据量化较困难等原因,未计算工艺过程源、道路扬尘、建筑施工工地等开放源排放的颗粒物,以及非道路移动机械、餐饮油烟等排放对大气污染物的贡献。另外市区内没有农业生产活动,秸秆燃烧等农业污染源也未在统计范畴内。

②污染源活动水平的准确性。本清单计算所使用的污染源活动水平数据主要来自廊坊市环保局、交管局等相关部门的统计资料,数据较准确。

③排放因子与实际情况的匹配性。受实验条件限制,本研究并没有针对廊坊市主要大气污染源进行实际排放强度的测量,但在清单计算过程中主要参考了近年国内相关清单研究的排放因子,且优先选择与廊坊地理位置接近、环境和气候较为相似地区

的排放因子,考虑了能源结构及生产方式的相似性,可基本反映廊坊市实际情况,在一定程度上保证了清单计算的准确性。

4 结论(Conclusions)

1) 2014 年廊坊市 NO_x、SO₂、NM VOC、CO、PM₁₀、PM_{2.5} 年排放总量分别为 8.8×10^3 、 1.6×10^4 、 34.39×10^4 、 8.7×10^2 、 5.1×10^2 t, 低于以往京津冀地区清单研究中排放总量。

2) 2014 年廊坊市工业源(固定燃烧) NO_x、SO₂、NM VOC、CO、PM₁₀、PM_{2.5} 总排放量分别为 6.4×10^3 、 1.2×10^4 、31、 1.0×10^4 、 7.3×10^2 、 4.4×10^2 t, 热电行业对各污染物排污贡献率最高。市城区内工业源气态污染物排放量占比较高的地区是安次区,颗粒物排放量占比较高的是开发区、广阳区。

3) 2014 年廊坊市低矮面源(城中村) NO_x、SO₂、NM VOC、CO、PM₁₀、PM_{2.5} 分别为 1.8×10^2 、 3.6×10^3 、3.0、 4.9×10^3 、 1.5×10^2 、72 t, 各区划内污染物排放量占比分布较均匀;道路移动源 CO、HC、NO_x、PM_{2.5} 年排放总量分别为 2.4×10^4 、 1.9×10^3 、 2.2×10^3 、44 t, 小型客车及轻型、重型货车贡献显著。

此外,针对本清单不确定性,今后可在现有基础上作进一步改善:一是完善基础数据,对包括工艺过程源在内的各大气污染源详细资料、清除效率、活动水平等数据等进行更为系统的调查及统计,使清单内容更加全面、精准;二是开展排放因子本地化研究,对实际排放因子进行测量及验证,提高清单准确度。

责任作者简介:毛洪钧(1962—),男,教授(博士生导师),国家创新“千人计划”人才,国家特聘专家。长期从事大气污染防治、机动车尾气污染控制领域的研究工作。E-mail: hongjunm@nankai.edu.cn.

参考文献(References):

Benje y W, Middleton P. 2002. The Climate-Air Quality Scale Continuum

- and the Global Emission Inventory Activity [A]. The paper collection of 11th international emission inventory conference [C]. Atlanta: EPA:15-18
- Cao G L, Zhang X Y, Gong S L, *et al.* 2011. Emission inventories of primary particles and pollutant gases for China [J]. Chinese Science Bulletin, 56(8): 781-788
- Cao G L, Zhang X Y, Zheng F C. 2006. Inventory of black carbon and organic carbon emissions from China [J]. Atmospheric Environment, 40(34): 6516-6527
- Chen Y J, Sheng G Y, Bi X H, *et al.* 2005. Emission factors for carbonaceous particles and polycyclic aromatic hydrocarbons from residential coal combustion in China [J]. Environmental Science & Technology, 39(6): 1861-1867
- 环境保护部. 2015. 大气可吸入颗粒物一次源排放清单编制技术指南(试行) [EB/OL]. 北京: 环境保护部. <http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201501/W020150107594587771088.pdf>
- 环境保护部. 2015. 大气细颗粒物一次源排放清单编制技术指南(试行) [EB/OL]. 北京: 环境保护部. <http://www.qhepb.gov.cn/xwzx/zqyj/201407/W020140711608224118384.pdf>
- 环境保护部. 2015. 道路机动车大气污染物排放清单编制技术指南(试行) [EB/OL]. 北京: 环境保护部. <http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201501/W020150107594587831090.pdf>
- 范辞冬, 王幸锐, 王玉瑶, 等. 2012. 中国人类活动源非甲烷挥发性有机物(NM VOC)排放总量及分布[J]. 四川环境, 31(1): 82-87
- 伏晴艳. 2009. 上海市空气污染排放清单及大气中高浓度细颗粒物的形成机制[D]. 上海: 复旦大学
- 郭立平, 乔林, 石茗化, 等. 2015. 河北廊坊市连续重污染天气的气象条件分析[J]. 干旱气象, 33(3): 497-504
- 郭鑫, 赵林, 刘年磊, 等. 2012. 廊坊市大气环境质量与环境容量研究[J]. 环境保护科学, 38(3): 4-8
- Klimont Z, Cofala J, Bertok I, *et al.* 2002. Modeling particulate emissions in Europe: A framework to estimate reduction potential and control costs [R]. Interim report, IR-02-076, Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria
- 粮小洛, 曹国良, 黄学敏. 2008. 中国区域氮氧化物排放清单[J]. 环境与可持续发展, (6): 19-22
- 邵平. 2012. 张家口、北京和廊坊大气污染联合观测研究[D]. 南京: 南京信息工程大学
- 谈佳妮, 余琦, 马蔚纯, 等. 2014. 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, 34(5): 1099-1108
- 田谥, 吉东生, 王跃思, 等. 2013. 河北廊坊地区大气污染物变化特征与来源追踪[J]. 环境工程学报, 12(12): 4895-4903
- USEPA: Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors [OL]. 2011-12-11. <http://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/>
- 王社扣, 王体健, 石睿, 等. 2012. 南京市扬尘源排放清单估计[C]. 第29届中国气象学会年会
- 魏巍. 2009. 中国人为源挥发性有机化合物的排放现状及未来趋势[D]. 北京: 清华大学
- 吴晓璐. 2009. 长三角地区大气污染物排放清单研究[D]. 上海: 复旦大学
- 吴忠标. 2001. 实用环境工程手册: 大气污染控制工程[M]. 北京: 化学工业出版社
- 薛亦峰, 闫静, 宋光武, 等. 2012. 大气污染物排放清单的建立及不确定性[J]. 城市环境与城市生态, 2(02): 31-33
- 张强, Klimont Z, Streets D G, 等. 2006. 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, 16(2): 223-231
- 张强. 2005. 中国区域细颗粒物排放及模拟研究[D]. 北京: 清华大学
- 赵斌, 马建中. 2008. 天津市大气污染源排放清单的建立[J]. 环境科学学报, 28(2): 368-375
- 赵斌. 2007. 华北地区大气污染源排放状况研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院
- 郑君瑜, 王水胜, 黄志炯, 等. 2013. 区域高分辨率大气排放源清单建立的技术方法与应用[M]. 北京: 科学出版社
- 周贺玲, 秦云苗, 孙艺桃. 2014. 河北廊坊地区霾天气特征分析[J]. 中国人口资源与环境, (S2): 136-139
- 周贺玲, 周玉都, 李淑丽. 2015. 2014年廊坊市空气质量与气象条件分析[J]. 中国人口资源与环境, (S1): 259-262
- 周晶, 易晓娟, 刘佳泓. 2014. 大气污染物排放清单研究现状[C]. 2014中国环境科学学会学术年会, (S6): 5241-5245