

东北长春民用散煤燃烧大气污染物排放清单研究*

刘 洋^{1,2} 神祥金^{1#} 陈卫卫¹ 鲍秋阳³

(1.中国科学院东北地理与农业生态研究所湿地生态与环境重点实验室,吉林 长春 130102;

2.中国科学院大学,北京 100049;3.吉林省环境科学研究院,吉林 长春 130012)

摘要 民用散煤燃烧是大气污染的重要来源,由于民用散煤活动水平获取难度较大,目前有关民用散煤燃烧大气污染物排放量的研究较少。计算了2016年长春6个城区内民用散煤燃烧产生的CO、SO₂、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀、挥发性有机化合物(VOCs)的排放量,编制了民用散煤燃烧大气污染物排放清单,并分析了大气污染物排放的时空分布特征。结果表明:长春城区燃煤棚户区共计287处,总面积26.64 km²,棚户区户均燃煤量约为2.1 t/户,住户燃煤比在0.6~0.8;2016年长春城区民用散煤CO、SO₂、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀、VOCs的排放量分别为12 462、329、142、961、1 201、356 t,CO为长春地区民用散煤燃烧主要污染物,占民用散煤燃烧污染物总排放量的80.7%;长春各城区民用散煤燃烧总排放量为绿园区>宽城区>朝阳区>双阳区>二道区>南关区;大气污染物排放日变化峰值在6:00~7:00、12:00、19:00;民用散煤燃烧污染物排放的周变化差异不大,周末排放量较工作日稍高;采暖期大气污染物排放的月变化与气温的变化同步,排放量呈现1月>12月>2月>11月>3月>10月>4月的变化规律。

关键词 排放清单 民用散煤 大气污染物 时空分布 长春

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2019.10.016

Study on air pollution emission inventories from civilian coal combustion in Changchun, Northeast China LIU Yang^{1,2}, SHEN Xiangjin¹, CHEN Weiwei¹, BAO Qiuyang³. (1. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun Jilin 130102; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 3. Jilin Provincial Academy of Environmental Sciences, Changchun Jilin 130012)

Abstract: Civilian coal combustion is one of the important sources of atmospheric pollutants. As it is hard to get the activity data, few studies have investigated the atmospheric pollutant emissions from civilian coal combustion. In this study the CO, SO₂, NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ and VOCs emissions in 6 districts of Changchun, Northeast China for the year of 2016 were calculated, and the spatial-temporal distributions of these atmospheric pollutant emissions were analyzed. The results showed that there were 287 coal-burning shantytowns in urban areas of Changchun, with a total area of 26.64 km². The average amount of coal burned in shantytowns was about 2.1 t per household, and the ratio of coal burned by households was between 0.6-0.8. In 2016, the emission of CO, SO₂, NO_x, PM_{2.5}, PM₁₀ and VOCs in Changchun was 12 462, 329, 142, 961, 1 201, 356 t, respectively. CO was the main air pollution in Changchun, which accounted for 80.7% of the total emissions. The civilian coal emissions of different districts followed the order of Lyuyuan District>Kuancheng District>Chaoyang district>Shuangyang District>Erdao District>Nanguan District. The diurnal variation peak of air pollutant emission was 6:00-7:00, 12:00 and 19:00. The difference of emissions between the weekend and workday was not obvious, the pollutant emission was little larger in weekend than in workday. The monthly changes of pollutant emissions were similar to the monthly changes of air temperatures, with the pollutant emission values from high to low was January>December>February>November>March>October>April.

Keywords: emission inventories; civilian coal; atmospheric pollutant; temporal-spatial distribute; Changchun

民用煤是指用于居民炊事、取暖等分散使用的动力用煤,可分为民用散煤和民用型煤两类^{[1]35}。民用散煤燃烧污染物排放量主要受燃烧技术和燃煤类型影响,燃烧过程中会释放大量污染物,如CO、

SO₂、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀、挥发性有机化合物(VOCs)等,其中温室气体CO的排放会加剧气候变暖;SO₂、NO_x是形成酸沉降的关键反应性成分^[2];PM_{2.5}对大气能见度有重要的影响;PM₁₀严重影响人体健康,

第一作者:刘 洋,女,1988年生,博士研究生,助理研究员,研究方向为大气环境监测和排放清单。* 通讯作者。

* 国家重点研发计划项目(No.2017YFC0212303);国家自然科学基金资助项目(No.41601048)。

其短期浓度的变化与人群逐日死亡数有着密切的关系^[3]。近年来,因国家政策调控,电厂以及大型企业的燃煤排放量得到了有效控制,而民用散煤燃烧设备简陋、燃烧效率低、污染控制难度大,成为大气污染物的重要来源^[4]。相关数据表明,我国能源使用过程中 49.8%(质量分数,下同)的黑炭和 62% 的多环芳烃物排放来自居民生活燃煤^[5]。据统计,北京 2014 年采暖季民用散煤燃烧的 PM₁₀、SO₂、PM_{2.5}、NO_x 日排放量约为电力行业的 8.0、7.0、5.0、1.2 倍^[6]。因此,控制民用散煤燃烧产生的大气污染物排放以及清单编制对于提高区域大气环境质量具有重要的意义。

近年来,已有学者开展了燃煤源大气污染物排放清单的研究工作,但主要集中在京津冀、珠三角、长三角等发达地区^[7-11],且多为电厂和大型企业点源的研究。周春瑶^[12]分析了京津冀区域重点耗煤行业污染物排放特征,评估了重点耗煤行业对京津冀 PM_{2.5} 的贡献程度。段文娇等^[13]建立了京津冀地区钢铁行业细化至焦化、烧结和球团、炼铁、炼钢、轧钢等工序的多污染物排放清单。张英杰等^[14]基于在线监测系统分析了江苏省大型固定燃煤源的总排放量和月变化特征。与大型电厂和企业燃煤相比,民用散煤具有排放源数量大、空间数据难把握、活动水平难获取的特点^[15],导致我国在民用散煤大气污染物清单编制的研究相对较少。

东北地区冬季漫长寒冷,除楼房采取集中供暖以外,棚户区仍采用传统地炉燃煤取暖的方式,采暖季大气污染问题严重。据统计,2016 年东北三省城乡居民生活消费用煤 1 116.2 万 t^[16-18],由此产生的大气污染物在空气中长期停留,毒害人体健康,影响生态系统,阻碍社会经济发展。在特定气象条件下,大气污染物还会通过远距离传输的形式造成区域性空气污染问题^[19]。目前,关于东北地区民用散煤燃烧大气污染物排放清单及其空间分配的研究仍较少。为此,本研究以东北中心省会城市长春为代表,采用自下而上的清单编制方法对其民用散煤燃烧大气污染物排放进行综合评估,并分析其时空分布规律以及排放的不确定性,旨在为其他东北城市民用散煤燃烧排放清单编制提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

长春(43°05'N~45°15'N,124°18'E~127°05'E)位于北半球中纬地带,欧亚大陆东岸的东北大平原

腹地,地处京哈与珲乌两条交通线交会处,是吉林省的政治、经济、文化中心。长春共辖七区三县/市,本研究选取其中 6 个城区(朝阳区、南关区、宽城区、绿园区、二道区、双阳区,见图 1)为研究对象。长春介于东部山地湿润与西部平原半干旱区间的过渡带,属温带大陆性半湿润季风气候类型。冬季受蒙古高压系统影响,冷气流自北及西北侵入,盛行偏西风,气候寒冷、干燥,平均气温 -12℃ 左右^[20]。目前长春中心地区基本实现集中供暖,少数未拆迁集群及城郊棚户区依然采用传统炉灶燃煤取暖。

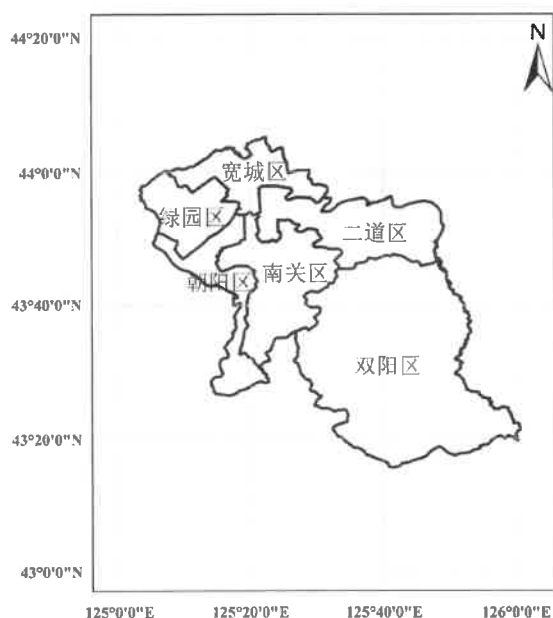


图 1 研究区域

Fig.1 Location of study area

1.2 清单编制方法

1.2.1 排放量计算

采用排放因子法核算民用散煤燃烧排放清单^[1]^[33],污染物排放量计算见式(1):

$$E_i = \frac{\sum_m A_m \times EF_{i,m}}{1\ 000} \quad (1)$$

式中: E_i 为污染物 i 的排放量,t; m 为燃煤类型序号; A_m 为燃煤类型 m 的活动水平,t; $EF_{i,m}$ 为排放因子,kg/t。

民用散煤活动水平数据的计算主要有两种方法,方法 1 为中国环境科学院大气研究所推荐方法,计算公式见式(2):

$$A = N \times Q \quad (2)$$

式中: A 为民用散煤活动水平,t; N 为燃煤户数,户; Q 为户均燃煤消耗量,t/户。

方法 1 在使用中需要先对不同采样点民用燃煤

区域面积与燃煤户数建立函数关系,然后根据勾画棚户区面积计算得到燃煤户数,户均燃煤量由实际问卷调查获得。该方法计算参数较少,操作便捷,但由于棚户区面积计算时缺少对道路、绿化以及公共区域等面积的考量,对计算结果可能带来一定误差。

方法2为《民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》中给出的方法,计算公式见式(3):

$$A = \sum_n S_n \times J_n \times h_n \times dr_n \times 10^3 \quad (3)$$

式中: n 为统计区县(或县市)的序列号; S_n 为区县(或县市) n 居住平房高分率遥感影像解译成果的面积,km²; J_n 为区县(或县市) n 采暖面积折算系数; h_n 为区县(或县市) n 平房层数系数; dr_n 为区县(或县市) n 单位采暖面积燃煤量系数,kg/m²。

方法2考虑的影响因素较全面,但结合东北棚户区建筑普遍单层结构、户均燃煤量差异不大等特点,该方法略显繁琐,此外由于其用面积与多个因子建立函数关系,也增加了计算结果的不确定性。

本研究根据上述两种研究方法特点,结合东北地区的民用散煤燃烧特点,建立方法3计算民用散煤的活动水平,计算公式见式(4):

$$A = \sum H \times R \times P_m \quad (4)$$

式中: H 为矫正户数,户; R 为燃煤比,数值等于燃煤户数/总户数; P_m 为燃煤类型 m 的燃煤系数,t/户。

1.2.2 时空分布特征

根据民用散煤燃烧排放量以及长春城区行政区划数据,利用ArcGIS软件绘制长春民用散煤燃烧CO、SO₂、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀、VOCs在1 km×1 km分辨率上的排放量空间分布。根据长春地区民用燃煤信息及实地调查走访获取的数据,获得民用散煤燃烧大气污染物日变化、周变化和月变化的时间谱。

1.2.3 不确定性分析

大气污染物排放源清单由于在数据收集过程中存在不可避免的监测误差、随机误差、数据代表性不足等因素而具有不确定性,需通过不确定性分析方法对不确定性程度进行评估。本研究中数据不确定性主要来自污染物排放因子和民用散煤活动水平,可分别采用加法合并和乘法合并计算两参数的不确定性^[21]。

1.3 数据来源

由于三级分类下的民用散煤数据无法从相关统计部门取得,本研究主要采用自下而上的实地调查与自上而下的卫星遥感数据相结合的方式获取,技术路线见图2。本研究以2016年为基准年,首先利

用卫星影像数据和街景地图相结合的方式,根据棚户区在卫星地图上分布呈现出高程矮、基底面积小、分布散乱等特点,确定出长春地区所有棚户区的地理位置;为保证其准确性,进一步用街景地图软件查看实地图景,确认无误后利用软件定位出棚户区的经纬度,同时勾画出棚户区分布矢量图(不包括街道、绿化等公共面积);根据勾画出的棚户区分布,逐个统计出各棚户区面积。

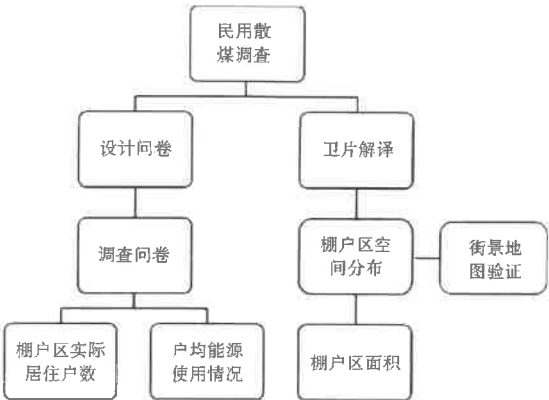


图2 民用散煤燃烧数据调查技术路线
Fig.2 Technical route for survey of civilian coal combustion data

通过卫片解译方法共确定长春地区棚户区451处,为进一步了解棚户区的实际情况,确保卫片解译的数据更加准确,设计了民用散煤调查问卷并对卫片解译所确定的燃煤区域进行实地抽样调查。实地调查区域涵盖绿园区、宽城区、南关区、二道区、朝阳区、双阳区,抽样调查比例为5%。通过实地调查的方法,在451处棚户区的基础上剔除了城郊区域一些燃烧秸秆、稻草等棚户区,最终获得有效燃煤棚户区共计287处,总面积26.64 km²(见表1)。

表1 长春不同城区民用散煤分布情况
Table 1 The civilian coal combustion in different districts of Changchun

项目	燃煤棚户区/处	面积/km ²
宽城区	74	5.73
绿园区	51	6.60
朝阳区	45	5.15
南关区	38	3.06
二道区	50	3.55
双阳区	29	2.55
合计	287	26.64

1.3.1 排放因子

本研究排放因子数据来自于《民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》,数值见表2。其中CO、SO₂、NO_x、PM_{2.5}排放因子均基于完善可靠的方法实际测量获得,质量分级为B级,PM₁₀、

VOCs 排放因子是参考相关文献中相同燃料和炉具的排放因子,质量分级为 C 级。通过实地走访调查,得出长春市散煤类型主要是烟煤,属于特低硫煤和低硫分煤,其中特低硫煤占比大于 60%^[22],根据煤炭质量分级标准^[23],本研究干燥基全硫分质量分数($S_{d,d}$)估值 0.5%。

表 2 长春民用散煤燃烧的污染物排放因子
Table 2 Emission factors for civilian coal combustion in Changchun kg/t

项目	SO ₂	NO _x	CO	VOCs	PM ₁₀	PM _{2.5}
排放因子	3.7	1.60	140.1	4	13.5	10.8
质量分级	B	B	B	C	C	B

1.3.2 活动水平

由于长春旧城改造相关政策,很多棚户区面临待拆迁,部分地区存在空户现象。通过棚户区面积与燃煤户数函数计算得到的是理论户数,需要根据实际调查情况进行人工矫正。在民用散煤活动水平计算中,本研究构建的方法 3 采用较能反映实际棚户区燃煤现状的矫正户数进行计算。实地走访中发现,许多长春市棚户区居民采用煤与木柴相结合或者只烧木柴的燃烧方式,根据实地调查情况,长春市城区棚户区人均燃煤量约为 2.1 t/户,住户燃煤比在 0.6~0.8。

2 结果与讨论

2.1 长春城区民用散煤燃烧排放清单

根据本研究构建的方法 3,利用排放因子法计算得出 2016 年长春城区民用散煤燃烧 CO、SO₂、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀、VOCs 排放量分别为 12 462、329、142、961、1 201、356 t(见表 3)。CO 为长春地区民用散煤燃烧的主要污染物,占民用散煤燃烧总排放量的 80.7%,颗粒物 PM₁₀、PM_{2.5}排放量占比分别为 7.8%、6.2%,VOCs 排放量占比为 2.3%,SO₂、NO_x排放量占比分别为 2.1%、0.9%。将长春地区民用散煤燃烧的污染物排放清单与国内其他省市相比较,乌鲁木齐 2015 年城郊民用散煤燃烧的 PM_{2.5}排放量为 5 790.15 t^[24],西安 2015 年城镇民用散煤燃烧的 PM₁₀排放量为 3 979 t^[25],远高于 2016 年长春 PM_{2.5}、PM₁₀的排放量,主要原因是不同地区民用散煤消耗量存在巨大差异,2015 年乌鲁木齐城郊区

域散煤消耗量为 95×10⁴ t,西安城镇散煤的消耗量约为 64.36×10⁴ t^[26],而长春棚户区散煤消耗量仅为 8.9×10⁴ t。与北京朝阳区民用散煤燃烧的 PM_{2.5}排放量(785 t)^[27]相比,长春 PM_{2.5}排放量相对较高,主要是由于棚户区面积差异导致的,北京朝阳区清单统计的平房面积为 12.16 km²,小于本研究的 26.64 km²,但北京朝阳区单位面积燃煤量为 0.31 kg/(m²·d),折算成户均燃煤量约为 3.3 t/户,高于本研究的 2.1 t/户,因此 PM_{2.5}排放量差距并不悬殊。

为探究不同计算方法在东北地区民用散煤大气污染物排放清单中的有效性,对比了 3 种方法的计算结果,由表 3 可见,方法 1 计算的各项污染物排放量最大,计算数值高出方法 3 的 2 倍之多,其原因可能是由于方法 1 中以面源的整体面积与户数建立的函数关系,没有考虑到道路、绿化以及公共环境所占比例对结果的影响;方法 2 的计算结果较方法 1 有所下降,但同样为方法 3 的 1.6 倍左右,其原因可能是由于该方法没有考虑到东北地区的燃煤特点和政策发展,缺少对旧城改造空户、棚户区燃煤户与非燃煤户占比的考量。通过对比 3 种方法计算结果,可以看出燃煤比、公共面积以及政策导向对排放清单的结果有很大影响,本研究构建的方法 3 更适用于民用散煤燃烧的污染物排放清单计算,而当前常用的两种民用散煤活动水平计算方法可能高估了大气污染物排放量。

2.2 大气污染物排放空间分布

根据排放量计算公式,不同区域同种污染物的排放量主要是由燃煤量决定的,因此各污染物的空间分布呈现较一致的规律。由表 4 可见,各辖区污染物排放的空间分布从大到小依次为绿园区>宽城区>朝阳区>双阳区>二道区>南关区。受民用散煤燃烧影响最严重的城区为绿园区,该区各污染物排放量均占同种污染物排放总量的 1/4 左右。绿园区位于长春主城区西北部,其前身为长春郊区,是长春最大的棚户区集中地,棚户区面积占全市总棚户区面积的 25%左右,较大面积的棚户区分布是其污染物排放量最高的主要原因。宽城区各污染物排放量仅次于绿园区,其对各污染物排放量的贡献率为

表 3 长春民用散煤燃烧污染物排放量
Table 3 The pollutants emission data for civilian coal combustion in Changchun t

计算方法	CO	NO _x	SO ₂	PM _{2.5}	PM ₁₀	VOCs
方法 1	26 452	302	699	2 039	2 549	755
方法 2	19 772	226	522	1 524	1 905	565
方法 3	12 462	142	329	961	1 201	356

表 4 2016 年长春各城区民用散煤燃烧排放基础数据
Table 4 The basic data for civilian coal combustion in different districts of Changchun

城区	CO/t	NO _x /t	SO ₂ /t	PM _{2.5} /t	PM ₁₀ /t	VOCs/t	贡献率/%
朝阳区	2 124	24	56	164	205	61	17
二道区	1 670	18	44	128	161	48	13
宽城区	2 361	27	63	183	227	68	19
绿园区	3 098	35	81	239	299	88	25
南关区	1 249	15	33	96	120	35	10
双阳区	1 960	22	52	151	189	56	16

19%。宽城区作为长春最老的城区,棚户区面积位列 6 个辖区的第 2 位(见表 1),该区流动人口基数大,烧煤烧柴现象普遍^[28],导致民用散煤污染物排放量较大。朝阳区位于长春西南部,是科技、文化与商贸中心城区^[29],朝阳区民用散煤燃烧集中在城郊区域,对各污染物排放量的贡献率为 17%。双阳区 1995 年撤县设区,是长春的新城区,与老城区相比其燃煤特点有一定差别,实地调查走访中发现,双阳区内居民普遍采用燃煤取暖,户均燃煤量相对较高,导致双阳区棚户区面积虽然不到长春棚户区总面积的 10%,但其对长春民用散煤燃烧排放的贡献率却达到 16%。二道区与南关区近年城市建设发展进程较快,棚户区面积相对较小,尤其城市新中心——南部新城的建设推进了旧城改造和新城开发,使得南关区棚户区面积仅占棚户区总面积的 11%,这也是该区污染物排放量最小的主要原因。

根据以上结果分析得出,在燃煤特点较一致的区域,棚户区面积是影响长春棚户区民用散煤大气污染物排放量的主要因素,在燃煤特点存在差异的情况下,除考虑面积之外,户均燃煤量应该作为重要的考量因素。此外,“十二五”期间,长春市政府把棚户区改造作为重中之重,打造了一批精品街路、精品园区、精品景观,使建成区整体旧貌换新颜。进入“十三五”后,绿园区延年路以南和皓月大路以北棚户区改造项目,宽城区“一号”、宽府路、北十条东等地块棚户区改造项目,双阳区域中村奢岭棚户区改造项目也陆续进入招投标阶段。上述一系列举措将进一步降低民用散煤大气污染对长春辖区的影响。因此,长春辖区未来政策的导向,也应作为该地区棚户区散煤污染物排放量变化的考量因素之一。

因各污染物排放量在空间分布呈现效果上相似,只是数值上的差异,故本研究以其中一种污染物 CO 为例,绘制其空间分布图,结果见图 3。长春城区民用散煤主要分布在三环以外及城郊区域,三环以内只剩 6 个棚户区集中分布点,面积较小,仅占总面积的 1%。从区域上看,民用散煤面源主要分布

在长春老城区(包括朝阳区、南关区、二道区、宽城区和绿园区)周边地带,且多集中在西北方向,与双阳区接连的东南方向南关区分布较少。绿园区燃煤住户主要分布在物流经济圈和工业经济圈,而在生态旅游经济圈、城市商业经济圈、都市农业经济圈分布较少。宽城区棚户区集群分布最多、但这些棚户区单个集群的大气污染物排放水平不大。朝阳区棚户区主要集中在长春绕城高速、京哈高速、扶长高速,3 条高速公路沿线城郊附近,四环以内棚户区已基本改造完成。南关区内棚户区集群数量最少,且主要棚户区集中在净月高新技术开发区。二道区棚户区分布较散乱,从二环到四环均有分布,城郊分布较多。双阳区虽然占将近长春城区总面积的一半,但是大面积为耕地和林地,调查走访发现该区主要民用散煤分布在中部地区,其他区域多为玉米穗轴、玉米秸秆、稻草等有机质燃烧。

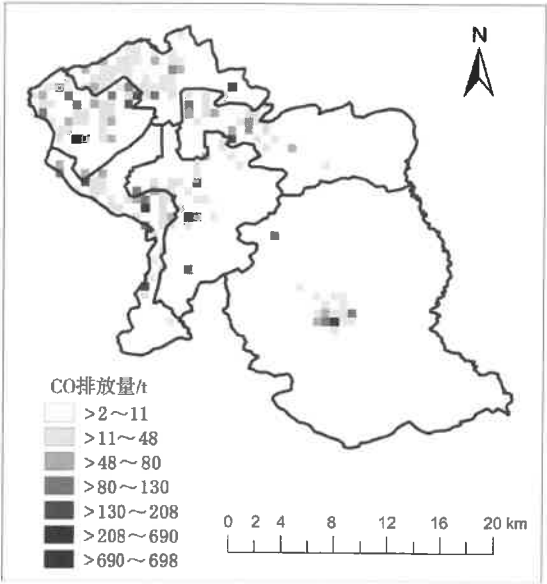
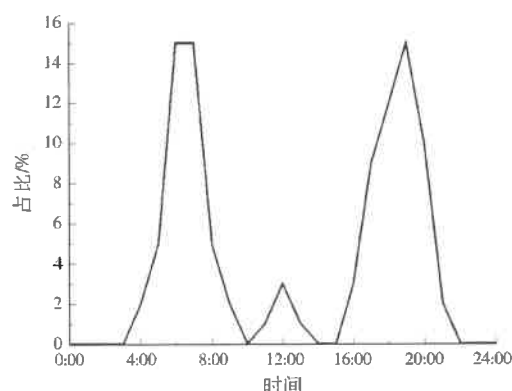


图 3 2016 年长春城区民用散煤燃烧 CO 排放量空间分布特征

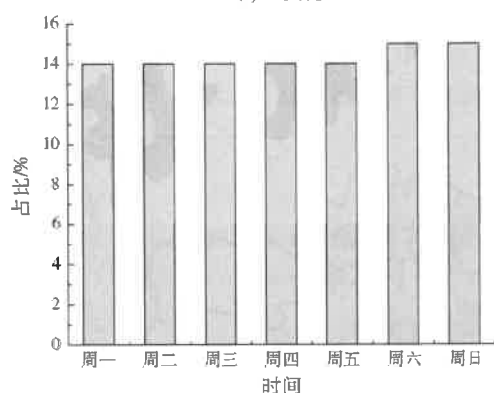
Fig.3 Spatial distribution of CO emission from civilian coal consumption in Changchun

2.3 长春城区民用散煤燃烧大气污染物排放时间分布
通过调查走访,本研究收集了大量棚户区居民

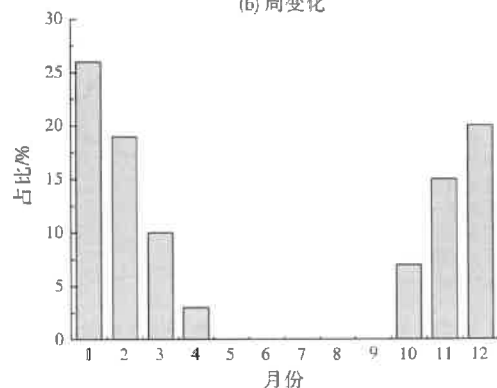
在不同时间点的燃煤数据,其中包括棚户区居民每天的燃煤时间、燃煤用途、人员组成、燃煤量影响因素等,基于上述调研数据,分析得出长春市民用散煤大气污染物排放的时间变化特征,结果见图4。由图4(a)可以看出,6:00、7:00、12:00、19:00分别出现污染物排放峰值,4个时间点的污物排放量分别占全天污染物总排放量的15%、15%、3%、15%,早、中、晚3个时段,各污染物排放量分别占全天总排放量的44%、5%、51%,10:00、14:00—15:00和22:00到次日3:00污染物排放量较小,早晚时段污染



(a) 日变化



(b) 周变化



(c) 月变化

图4 长春民用散煤大气污染物排放时间变化特征
Fig.4 Temporal variations of civilian coal combustion in Changchun

物排放量相对较大,这与棚户区居民年龄结构及日燃煤习惯等因素有关,棚户区居民以中老年为主,一般在6:00—7:00燃煤,中午部分棚户区居民会再次填煤,19:00左右居民活动频繁,燃煤量迎来峰值,由于少数上班族早晨不需燃煤,因此晚间污染物排放量占比稍高。

由民用散煤燃烧大气污染物排放周变化(见图4(b))可知,周一到周五的排放量基本相同,均在14%左右,这是因为棚户区居民一天两次的燃煤习惯较固定,因此周一到周五呈现比较一致的规律。与工作日相比,周六、周日的排放量稍高,均为15%左右,这可能是由于一些棚户区上班族周末休息期间,在中午燃煤用于炊事所致。由于近些年能源结构以及消费观念的改变,长春地区棚户区居民炊事逐渐使用燃气,因此从周变化来看,工作日与周末差别可能将进一步缩小。

由民用散煤燃烧大气污染物排放月变化(见图4(c))可知,长春地区民用散煤燃烧主要是在采暖季(1—4月、10月中旬至12月),其中1月的民用散煤燃烧大气污染物排放量最大,占全年排放总量的26%左右,其次是12月,占20%左右,2、11、3、10月分别占19%、15%、10%、7%,4月仅占3%左右。为研究民用散煤燃烧污染物排放与气温之间的联系,本研究对同年长春采暖期各月平均气温进行统计,呈现出1月($-16.61\text{ }^{\circ}\text{C}$)<12月($-9.94\text{ }^{\circ}\text{C}$)<2月($-9.38\text{ }^{\circ}\text{C}$)<11月($-5.90\text{ }^{\circ}\text{C}$)<3月($0.77\text{ }^{\circ}\text{C}$)<10月($5.81\text{ }^{\circ}\text{C}$)<4月($7.83\text{ }^{\circ}\text{C}$)的规律,民用散煤燃烧各污染物排放量与采暖季长春平均温度变化呈现较好的一致性,说明棚户区住户燃煤习惯受气温变化的影响显著。

2.4 排放清单的不确定性分析

不确定性分析是排放清单校对、质控核查的重要指标之一。本研究编制的排放清单不确定性主要来源于污染物排放因子和民用散煤活动水平,由表2可知 CO 、 SO_2 、 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 质量分级为B级, PM_{10} 、 VOCs 质量分级为C级,排放因子不确定性为 $-50\%\sim 50\%$ ^[30]。本研究根据理论数据结合实际调查结果,分别计算了棚户区面积、矫正户数、燃煤系数及燃煤比的不确定性,其中棚户区面积不确定性为 $-7\%\sim 7\%$,矫正户数的不确定性主要来自于拆迁空户量,其不确定性为 $-32\%\sim 32\%$ 。燃煤系数的不确定性为 $-15\%\sim 15\%$,燃煤比的不确定性为 $-11\%\sim 11\%$ 。计算得出 CO 、 SO_2 、 NO_x 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 VOCs 的不确定性分别为12.5%、

18.8%、18.9%、18.2%、18.0%、18.7%。不确定性结果表明,本研究计算得出的长春城区民用散煤燃烧大气污染物排放量结果较为可信,更准确的大气污染物排量时空排放结果仍有待于进一步研究。

3 结 论

(1) 结合卫片解译与实地调查得到长春城区燃煤棚户区共计 287 处,总面积 26.64 km²,棚户区户均燃煤量约为 2.1 t/户,住户燃煤比在 0.6~0.8,主要燃烧特低硫煤和低硫分煤,其中特低硫煤占比大于 60%,S_{td}估值为 0.5%。

(2) 2016 年长春市城区民用散煤燃烧的 CO 排放量为 12 462 t,SO₂ 排放量为 329 t,NO_x 排放量为 142 t,PM_{2.5} 排放量为 961 t,PM₁₀ 排放量为 1 201 t,VOCs 排放量为 356 t。CO 为民用散煤燃烧主要污染物,占民用散煤污染物总排放量的 80.7%。

(3) 长春棚户区主要集中分布在三环外及城郊处,其中绿园区棚户区分布面积最大,双阳区相较棚户区分布面积最小,棚户区空间分布面积从大到小依次为绿园区>宽城区>朝阳区>二道区>南关区>双阳区。长春各城区民用散煤燃烧产生的 CO、SO₂、NO_x、PM_{2.5}、PM₁₀、VOCs 排在空间分布上较为一致,排放量表现为绿园区>宽城区>朝阳区>双阳区>二道区>南关区。

(4) 民用散煤燃烧产生的污染物排放主要集中在 6:00—7:00、12:00 以及 19:00;周末散煤大气污染物排放量较工作日稍高,但差别不大;月季排放量与气温的变化一致,总体呈现 1 月>12 月>2 月>11 月>3 月>10 月>4 月的规律,其中 1 月气温最低,民用散煤燃烧的污染物排放量最大,占全年总排放量的 26%左右。

参考文献:

- [1] 环境保护部.民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)[A].北京:环境保护部,2016.
- [2] 曹国良,张小曳,龚山陵,等.中国区域主要颗粒物及污染气体的排放清单[J].科学通报,2011,56(3):261-268.
- [3] 张楚莹,王书肖,赵瑜,等.中国人为源颗粒物排放现状与趋势分析[J].环境科学,2009,30(7):1881-1887.
- [4] 刘源,张元勋,魏永杰,等.民用燃煤含碳颗粒物的排放因子测量[J].环境科学学报,2007,27(9):1409-1416.
- [5] 刘海彪,孔少飞,王伟,等.中国民用煤燃烧排放细颗粒物中重金属的清单[J].环境科学,2016,37(8):2823-2835.
- [6] 潘涛,薛亦峰,钟连红,等.民用燃煤大气污染物排放清单的建立方法及应用[J].环境保护,2016,44(6):21-24.
- [7] 郑君瑜,张礼俊,钟流举,等.珠江三角洲大气面源排放清单及空间分布特征[J].中国环境科学,2009,29(5):455-460.
- [8] SUN D,FANG J,SUN J Q.Health-related benefits of air quality improvement from coal control in China: evidence from the Jing-Jin-Ji region[J].Resources, Conservation and Recycling, 2018,129:416-423.
- [9] 杨柳林,曾武涛,张永波,等.珠江三角洲大气排放源清单与时空分配模型建立[J].中国环境科学,2015,35(12):3521-3534.
- [10] 叶贤满,徐昶,洪盛茂,等.杭州市大气污染物排放清单及特征[J].中国环境监测,2015,31(2):5-11.
- [11] 潘月云,李楠,郑君瑜,等.广东省人为源大气污染物排放清单及特征研究[J].环境科学学报,2015,35(9):2655-2669.
- [12] 周春瑶.京津冀区域重点耗煤行业排放特征及其对灰霾的影响研究[D].杭州:浙江大学,2018.
- [13] 段文娇,郎建全,程水源,等.京津冀地区钢铁行业污染物排放清单及对 PM_{2.5} 影响[J].环境科学,2018,39(4):1445-1453.
- [14] 张英杰,孔少飞,汤莉莉,等.基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征[J].环境科学,2015,36(8):2775-2783.
- [15] 陈颖军,姜晓华,支国瑞,等.我国民用燃煤的黑碳排放及控制减排[J].中国科学:D 辑 地球科学,2009,39(11):1554-1559.
- [16] 吉林省统计局,国家统计局吉林调查总队.吉林统计年鉴 2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
- [17] 黑龙江省统计局,国家统计局黑龙江调查总队.黑龙江统计年鉴 2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
- [18] 辽宁省统计局,国家统计局辽宁调查总队.辽宁统计年鉴 2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
- [19] 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.
- [20] 孙瑞丰,王晓飞.基于降低雾霾影响的长春市大气环境分析研究[J].四川建材,2018,44(4):202-203.
- [21] 吴雪伟,陈卫卫,王莹,等.长春市餐饮源 PM_{2.5} 和 VOCs 排放清单[J].中国环境科学,2018,38(8):2882-2889.
- [22] 唐跃刚,贺鑫,程爱国,等.中国煤中硫含量分布特征及其沉积控制[J].煤炭学报,2015,40(9):1977-1988.
- [23] GB/T 15224.2—2004,煤炭质量分级 第 2 部分:硫分[S].
- [24] 牛宏宏,王宝庆,刘博薇,等.乌鲁木齐市散煤燃烧大气污染物排放清单及时空分布特征[J].环境科学研究,2019,32(1):135-141.
- [25] 马丽萍,曹国良,郝国朝.陕西省民用散煤燃烧颗粒物排放因子测定及分析[J].环境工程,2018,36(10):161-164.
- [26] 陕西省统计局,国家统计局陕西调查总队.陕西统计年鉴 2017[M].北京:中国统计出版社,2017.
- [27] 刘茜,李泓,曹磊,等.北京市朝阳区城乡过渡带冬季采暖燃煤及大气污染物排放量估算[J].科技创新与应用,2018(4):1-4.
- [28] 莫畏,张碟.城市更新下长春市宽城区工业遗产地景观更新模式研究[J].四川建材,2017,43(3):52-54.
- [29] 姚勇.长春市朝阳区加速城区经济发展的财政对策研究[D].长春:吉林大学,2010.
- [30] 魏巍,王书肖,郝吉明.中国人为源 VOC 排放清单不确定性研究[J].环境科学,2011,32(2):305-312.

编辑:丁 怀 (收稿日期:2018-09-15)