

百方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

- 主办 中国科学院生态环境研究中心
- 出版 科学出版社



2019

Vol.40 No.4
第40卷 第4期

目次

南京江北新区大气单颗粒来源解析及混合状态 于兴娜, 时政, 马佳, 李梅, 龚克坚(1521)

西安市 PM_{2.5} 中碳质气溶胶污染特征 牟臻, 陈庆彩, 王羽琴, 沈振兴, 华晓羽, 张梓萌, 孙浩堯, 王玛敏, 张立欣(1529)

太原市冬季 PM_{2.5} 化学组分特征与来源解析 刘素, 马彤, 杨艳, 高健, 彭林, 曹力媛, 逢妮妮, 张浩杰(1537)

郑州市大气细颗粒物中水溶性离子季节性变化特征及其源解析 闫广轩, 张靖雯, 雷豪杰, 黄海燕, 唐明双, 曹治国, 李云蓓, 樊静, 王跃思, 李怀刚(1545)

珠海市郊区大气 PM_{2.5} 中元素特征及重金属健康风险评价 杨毅红, 贾燕, 卞国建, 于晓巍, 钟昌琴, 全鼎余(1553)

一次沙尘事件对沿海及海洋大气气溶胶中金属粒径分布的影响 金同俊, 祁建华, 郝梓延, 林学辉(1562)

基于 SOA 转化机制的沧州市重点企业秋冬季大气污染模拟 高爽, 伯鑫, 马岩, 雷团团, 王刚, 李时蓓, 陆朝阳, 毛娜, 郝明亮, 黄向峰(1575)

京津冀大气污染变化规律及其与植被指数相关性分析 孙爽, 李令军, 赵文吉, 齐梦溪, 田欣, 李珊珊(1585)

2015~2017年北京及近周边平房燃煤散烧及其污染排放遥感测算 赵文慧, 李令军, 鹿海峰, 姜磊, 张立坤, 王新辉, 邱昀(1594)

基于地基遥感的杭州地区气溶胶光学特性 齐冰, 车慧正, 徐婷婷, 杜荣光, 胡德云, 梁卓然, 马千里, 姚杰(1604)

四川省人为源挥发性有机物组分清单及其臭氧生成潜势 周子航, 邓也, 谭钦文, 吴柯颖, 宋丹林, 黄凤霞, 周小玲(1613)

餐饮源挥发性有机物组成及排放特征 高雅琴, 王红丽, 许睿哲, 景盛翱, 刘跃辉, 彭亚荣(1627)

广州番禺大气成分站一次典型光化学污染过程 PAN 和 O₃ 分析 邹宇, 邓雪娇, 李菲, 殷长泰(1634)

北京市典型道路扬尘化学组分特征及年际变化 胡月琪, 李萌, 颜旭, 张超(1645)

南昌市扬尘 PM_{2.5} 中多环芳烃的来源解析及健康风险评价 于瑞莲, 郑权, 刘贤荣, 王珊珊, 赵莉斯, 胡恭任(1656)

道路扬尘排放因子建立方法与应用 樊守彬, 杨涛, 王凯, 李雪峰(1664)

现实工况下挖掘机电尾气排放特征分析 马帅, 张凯山, 王帆, 庞凯莉, 朱怡静, 李臻, 毛红梅, 胡宝梅, 杨锦锦, 王斌(1670)

雾-霾天人体平均呼吸高度处不同粒径气溶胶的微生物特性 杨唐, 韩云平, 李琳, 刘俊新(1680)

霾天能见度参数化方案改进及预报效果评估 赵秀娟, 李梓铭, 徐敬(1688)

支持向量机回归在臭氧预报中的应用 苏筱倩, 安俊琳, 张玉欣, 梁静舒, 刘静达, 王鑫(1697)

基于中国电网结构及一线典型城市车辆出行特征的 PHEV 二氧化碳排放分析 郝旭, 王贺武, 李伟峰, 欧阳明高(1705)

岩溶槽谷区地下河硝酸盐来源及其环境效应:以重庆龙凤槽谷地下河系统为例 段世辉, 蒋勇军, 张远瞩, 曾泽, 王正雄, 吴韦, 彭学义, 刘九缠(1715)

胶州湾表层水体中邻苯二甲酸酯的污染特征和生态风险 刘成, 孙翠竹, 张智, 唐燎, 邹亚丹, 徐擎擎, 李锋民(1726)

湛江湾沉积物中六六六(HCHs)、滴滴涕(DDTs)有机氯农药的分布特征与风险评估 彭诗云, 彭平安, 孔德明, 陈法锦, 于赤灵, 李嘉诚, 梁宇钊, 宋建中(1734)

生态净化系统中 DOM 光学特性及影响因素分析:以盐龙湖春季为例 马睿, 李璇, 王莲, 王家新, 马卫星, 丁成, 吴向阳(1742)

溶解性有机物(DOM)与区域土地利用的关系:基于三维荧光-平行因子分析(EEM-PARAFAC) 李昀, 魏鸿杰, 王侃, 张招招, 于旭彪(1751)

汉丰湖流域农业面源污染氮磷排放特征分析 谢经朝, 赵秀兰, 何丙辉, 李章安(1760)

基于 RZWQM 模型模拟太行山低山丘陵区农田土壤硝态氮迁移及淋溶规律 郑文波, 王仕琴, 刘丙霞, 雷玉平, 曹建生(1770)

澜沧江流域梯级水库建设下水体营养盐和叶绿素 a 的空间分布特征 程豹, 望雪, 马金川, 杨正健, 刘富雷, 马骏(1779)

福州地区海湾和河口潮汐沼泽湿地秋季上覆水营养盐分布特征 何露露, 杨平, 谭立山, 仝川, 黄佳芳(1788)

尾水受纳河流中 PhACs 在传统水相中的分布及环境风险 王硕, 刘建超, 郑超亚, 张吉琛, 许嘉诚, 徐莹莹, 陆光华(1797)

绿色屋顶雨洪调控能力与效益评价 李俊生, 尹海伟, 孔繁花, 陈佳宇, 邓金玲(1803)

超声活化过硫酸盐降解水中典型臭味 孙昕, 孙杰, 李鹏飞, 汤加刚, 杨晴, 唐晓(1811)

金属有机框架 MIL-53(Fe)可见光催化还原水中 U(VI) 闫增元, 刁海玲, 袁立永(1819)

覆盖材料对洱海不同湖区沉积物溶解态有机磷和无机磷释放影响及差异 龚佳健, 倪兆奎, 肖尚斌, 赵海超, 席银, 王圣瑞(1826)

气氧化铜改性介孔稻壳生物炭除磷性能 许润, 石程好, 唐倩, 石稳民, 康建雄, 任拥政(1834)

改性污泥基生物炭的性质与重金属吸附效果 陈坦, 周泽宇, 孟瑞红, 刘彦廷, 王洪涛, 陆文静, 金军, 刘颖(1842)

纳米磁性磷酸二氢钙对 Cd 的吸附、回收与再生 李玉娇, 杨志敏, 陈玉成, 黄磊, 唐海燕(1849)

赤铁矿抑制硫酸盐废水厌氧消化产甲烷过程中硫化氢形成与机制 黄绍福, 叶捷, 周顺桂(1857)

微藻膜反应器处理海水养殖废水性能及膜污染特性 马航, 李之鹏, 柳峰, 徐仲, 尤宏, 王芳, 陈其伟(1865)

生活污水预沉淀-SNAD 颗粒污泥工艺小试 李冬, 崔雅倩, 赵世勋, 刘志诚, 张杰(1871)

生活污水与人工配水对好氧颗粒污泥系统的影响 李冬, 王樱桥, 李帅, 张杰, 王玉刚(1878)

硫磺/硫酸铁自养反硝化系统脱氮性能 周娅, 买文宁, 梁家伟, 代吉华, 牛颖, 李伟利, 唐启(1885)

异养硝化细菌 *Pseudomonas putida* YH 的脱氮特性及降解动力学 汪旭晖, 杨垒, 任勇翔, 陈宁, 肖倩, 崔坤, 郇丹(1892)

污泥龄及 pH 值对反硝化除磷工艺效能的影响 韦佳敏, 黄慧敏, 程诚, 蒋志云, 刘文如, 沈耀良(1900)

盐度条件下 ANAMMOX-EGSB 反应器颗粒污泥微生物群落 王晗, 李瀚翔, 陈猷鹏, 郭劲松, 晏鹏, 方芳(1906)

内源磷 PHA 的贮存对混合菌群耐低温特性的影响 杨建鹏, 张健, 田晴, 朱艳彬, 李方, Wolfgang Sand(1914)

中国市政污泥中磷的含量与形态分布 王超, 刘清伟, 职音, 程柳, 王宁, 李彩丹, 毛宇翔(1922)

广州市售水产品中全氟烷基化合物的污染特征和安全风险评价 王旭峰, 王强, 黎智广, 黄珂, 李刘冬, 赵东豪(1931)

长江上游典型农业源溪流溶存氧化亚氮(N₂O)浓度特征及影响因素 田琳琳, 王正, 胡磊, 任光前, 朱波(1939)

内蒙古河套灌区不同盐碱程度土壤 CH₄ 吸收规律 杨文柱, 焦燕, 杨铭德, 温慧洋(1950)

水稻光合碳在植株-土壤系统中分配与稳定对施磷的响应 王莹莹, 肖谋良, 张昀, 袁红朝, 祝贞科, 葛体达, 吴金水, 张广才, 高晓丹(1957)

土壤水分和温度对西南喀斯特棕色石灰土无机碳释放的影响 徐学池, 黄媛, 何寻阳, 王桂红, 苏以荣(1965)

黄土丘陵区侵蚀坡面土壤微生物量碳时空动态及影响因素 覃乾, 朱世硕, 夏彬, 赵允格, 许明祥(1973)

农用地土壤抗生素组成特征与积累规律 孔晨晨, 张世文, 聂超甲, 胡青青(1981)

生物发酵制药 VOCs 与臭味治理技术研究与发展 王东升, 朱新梦, 杨晓芳, 焦茹媛, 赵珊, 宋荣娜, 吕明哈, 杨敏(1990)

《环境科学》征订启事(1612) 《环境科学》征稿简则(1787) 信息(1663, 1796, 1833)

2015 ~ 2017 年北京及近周边平房燃煤散烧及其污染排放遥感测算

赵文慧^{1,2}, 李令军^{1,2}, 鹿海峰^{1,2}, 姜磊^{1,2}, 张立坤^{1,2}, 王新辉^{1,2}, 邱昀^{1,2}

(1. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 2. 大气颗粒物监测技术北京市重点实验室, 北京 100048)

摘要: 利用2015~2017年8~9月2 m级高分辨率遥感影像, 对北京市平原区平房面积和分布进行遥感监测, 其中2017年增加北京周边地区(廊坊、保定)的监测, 获取平房信息, 并利用平房采暖面积调查、燃煤量入户抽样调查等技术手段, 估算了北京及周边地区平房燃煤总量, 同时结合排放因子, 测算了燃煤PM_{2.5}、SO₂、NO_x的排放量。结果表明2015~2017年, 北京市平原区平房燃煤量大幅度下降, 燃煤总量下降了75%, 煤改电(气)措施效果显著。现阶段(2017年)北京城六区、南部平原城乡地区基本实现“无煤化”, 燃煤散烧主要集中在北部平原区, 其中昌平、顺义区燃煤量均超过30万t, 平谷、延庆区的燃煤量在15万t以上。从空间分布来看, 2015年燃煤量空间呈环状分布, 2016年呈半环状, 燃煤集中在位于环面区域的昌平、顺义、通州、大兴区。2017年各区平房燃煤所产生的大气污染物排污量差别明显, 其中昌平区的SO₂和NO_x排放量最高, 分别为1 113.3 t和279.2 t。2017年保定、廊坊市煤改清洁能源工作初见成效, 但燃煤总量依然较大, 煤质差、使用方式粗放, 燃煤强度由北至南逐渐增大。保定、廊坊市平原区燃煤量分别约为1 043万t和407万t。保定市近郊村庄燃煤量普遍较少, 北市、南市和新市区村庄燃煤量均低于5万t。廊坊市平原区燃煤量空间分布较为平均, 其中文安县平原区燃煤量最多, 为69万t, 大厂回族自治县燃煤量最低。

关键词: 北京; 近周边; 居住平房; 燃煤量; 污染物排放量

中图分类号: X51; X87 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)04-1594-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.201806208

Estimation of Coal Consumption and the Emission of Related Contaminants in the Plain Area Around Beijing During 2015-2017

ZHAO Wen-hui^{1,2}, LI Ling-jun^{1,2}, LU Hai-feng^{1,2}, JIANG Lei^{1,2}, ZHANG Li-kun^{1,2}, WANG Xin-hui^{1,2}, QIU Yun^{1,2}

(1. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 2. Beijing Key Laboratory of Airborne Particulate Matter Monitoring Technology, Beijing 100048, China)

Abstract: Spatial distribution of bungalow areas in the plain area of Beijing was interpreted using high resolution remote sensing images from 2015-2017, and data for the nearby surrounding areas was added in 2017. The bungalow development areas were then refined by a combination of field sampling and imagery interpretation. A statistical model was developed to estimate the coal consumption in bungalow areas based on statistical records of the developed areas. Emissions associated with coal burning emissions, namely, particulate matter (PM_{2.5}), sulfur dioxide (SO₂), and nitrogen oxide (NO_x), were estimated from emission factors collected from the relevant research. The results showed that residential coal burning decreased drastically by 75% during the period 2015-2017 in Beijing. The effect of coal modification (gas) measures is remarkable. Beijing's six downtown districts, and the urban and rural areas of the southern plain, have eliminated coal use at this stage. The districts in which coal burning is centered are located in the northern plains of Beijing. Coal consumption is greater than 300 000 t in the Changping, Shunyi district, and greater than 150 000 t in the Pinggu, Yanqing District. The spatial distribution of coal consumption in 2015 was focused in the city center, then became a circular and later a semi-circular distribution. Coal burning was centered in the districts of Changping, Shunyi, Tongzhou, and Daxing, which are all located on the ring perimeter. The emissions of SO₂ and NO_x in the plain areas of Beijing were obviously different. The highest emissions of SO₂ and NO_x were observed in the Changping district, and reached 1 113.3 t and 279.2 t, respectively. The Coal Clean Energy Policy in Baoding, Langfang in 2017 has achieved initial success. However, the coal consumption is very large; the quality of the coal was poor and coal was used extensively. The coal burning intensity showed an increasing trend from north to south in Baoding and Langfang. The coal consumption in Baoding and Langfang totaled $1\ 043 \times 10^4$ t and 407×10^4 t respectively. The villages in the suburbs of Baoding and Langfang used less coal, with a coal consumption of less than 5×10^4 t in Beishi, Nanshi, and Xinshi villages. The spatial distribution of coal consumption for the Langfang plain was relatively even and uniform. The highest coal consumption was found in Wen'an, with a value of 69×10^4 t, and the lowest was observed in Dachang.

Key words: Beijing; nearby surrounding areas; bungalow coal; coal burning; pollutant emission

近年来京津冀及周边地区重污染事件频发, 由颗粒物、SO₂、NO_x等污染物导致的区域复合污染问题日趋严重。在全国74个新标准第一阶段监测实施城市中, 空气质量最差的10个城市中有6个

收稿日期: 2018-06-26; 修订日期: 2018-10-15

基金项目: 市委、市政府重点工作及区县应急项目 (Z161100001116013)

作者简介: 赵文慧(1982~), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为环境遥感监测, E-mail: dianer82@126.com

位于京津冀地区^[1]。2017年,北京市PM_{2.5}年均浓度为58 μg·m⁻³,同比下降20.5%,但仍超出国家标准0.66倍,大气污染形势严峻。

2014年北京市PM_{2.5}来源贡献中,机动车、燃煤、工业生产和扬尘为主要来源,贡献率分别占31.1%、22.4%、18.1%和14.3%^[2],燃煤污染居第2位,尤其是冬季散煤的燃烧很值得重视^[3]。民用源由于采暖季排放较高而冬季贡献更明显^[4],采暖季燃煤对北京大气细颗粒物的贡献在27.0%左右^[5,6],对有机气溶胶^[7,8]和黑碳^[9]的贡献分别为20%~30%和60%,同时也导致其它组分(如重金属、离子等)的浓度增加^[10]。燃煤面源排放高度低、抬升高度小,虽然其消耗总量不大,但由于缺乏污染控制措施,多为直接排放,因此,其单位污染物排放对地面浓度的贡献比有控制的高架源大得多,对周边大气环境造成较大的影响。同时,燃煤散烧由于燃烧和脱硫除尘技术的限制,大气污染排放严重,对人体健康危害大^[11,12],因此获取民用燃煤的源排放信息,对于开展面源污染监控与治理具有重要意义。

民用燃煤散烧,由于底数不清、对象不明、来源不清晰等客观因素影响,一直是压减燃煤工作的难题。随着政府、公众对燃煤关注度的提升,越来越多的学者围绕燃煤散烧及其污染排放展开了研究^[15~20]。庞军等^[21]指出城市利用天然气替代燃煤集中供暖对CO₂、颗粒物(PM)、SO₂和NO_x都有较明显的减排效果。支国瑞等^[22]对北方雾、霾频发与燃煤集中在冬季高度重合的现象进行深入分析,指出农村散烧煤的排放问题应引起特别关注。而根据京津冀农村地区生活能源的调研结果,农村地区绝大部分的燃煤用于采暖,采暖煤耗占生活煤耗总量的90%左右^[23]。梁云平等^[24]获得了北京市2014年3种散烧民用煤燃烧排放的气态污染物的排放清单。

燃煤散烧因其使用的分散性及炉具差异,燃煤量统计是一大难题,大多以统计数据为基础,导致污染物排放量的估算精度大打折扣。因此,准确估算燃煤散烧量就显得尤为重要。传统方法上,一般是基于人口密度、统计等数据,并通过调查来估算污染排放量,信息变更周期长,精度受到多方面因素的影响。加之散煤的供应渠道较多,可能是造成统计误差的主要原因^[25]。遥感技术结合现场调查数据能快速准确地获取散煤的分布信息,得到精细化的燃煤散烧活动水平;结合排放因子的现场调查实验,可以快速、大范围获取全市乃至区域燃煤散烧污染排放量及其空间分布情况^[26,27]。

本研究利用遥感与GIS技术,通过现场调查指标统计结合遥感监测数据,计算得到2015~2017年北京及2017年廊坊、保定燃煤总量,并对其空间分布特征进行分析,在此基础上,进一步估算出污染排放量及其变化。

1 材料与方法

1.1 燃煤量调查方法

针对北京及周边城市平原区平房分布广泛、数量较大的特点,采用分层随机抽样的方法,同时结合北京市2015~2020年和涉及廊坊保定地区的禁燃区规划实施方案,将各区域叠置分析,使用分层随机抽样的方式确定各行政区调查村庄数量。2015~2016年北京市调查范围涉及除东、西城外的14个区;2017年,为进一步说清区域燃煤散烧污染排放,2017年新增廊坊、保定两个邻近城市开展燃煤调查,其中保定市23个区县的平原地区,廊坊市全部10个区县。

结合遥感解译成果,按照分区选取、均匀分布、突出重点和局部加密的原则,选取了北京市284个典型村庄、2840户,保定市100个典型村庄、1000户,廊坊市70个典型村庄、700户开展现场入户调查工作,包括采暖面积、采暖方式、燃煤来源、块煤与型煤量、采暖设备等28项指标。

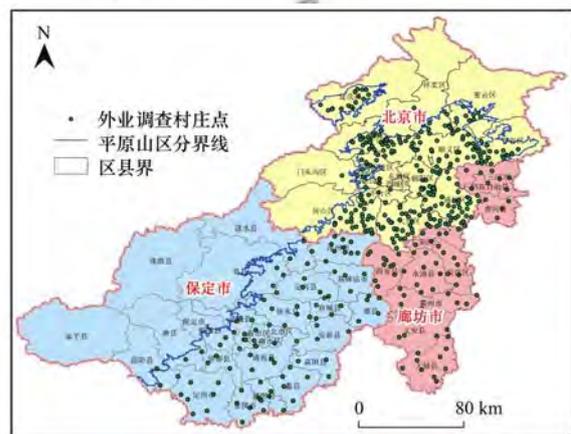


图1 研究区范围示意

Fig. 1 Study area

1.2 遥感数据处理

1.2.1 北京及周边地区平原区居住平房信息提取

利用2015~2017年秋季2 m级高分辨率遥感影像,参考上年冬季的高分影像,对秋季北京平原区及2017年廊坊、保定市平房面积和分布进行遥感监测,获取平房空间分布信息,并对结果进行外业验证、汇总与统计。

平原区平房监测满足1:10 000比例尺下视觉无偏差,图斑属性及边界精度均达90%以上。

1.2.2 居住平房修正面积信息提取

由于从高分辨率遥感影像上提取的居住平房包含了部分平房院落面积,使得面积出现高估,因此针对抽样的平房区进行房屋的二次精细提取,并进行实地调查核实.在RS、GIS、GPS技术的支持下,以谷歌0.5 m分辨率影像为底图,对选取的样本村庄进行识别和解译,并将煤改电(气)房屋面积做了剔除,获取样本村庄平房的实际建筑基底面积.

根据2017年北京市、保定市、廊坊市选取的村庄,搜集、下载调查村庄的影像数据.共下载454个村庄的影像(北京市284个、保定市100个、廊坊市70个),通过影像的预处理,包括校正、坐标系转换以及投影转换等工作,得到调查村庄影像大小共15.4 GB.

以实地调查的村庄为对象,精细提取村里每一户平房建筑面积,得到解译图斑数共26万余,解译结果经过拓扑检查以及质量控制检查,遥感提取数据抽样合格率达到95%以上,满足精度要求.

1.3 平房燃煤总量估算方法

平房燃煤总量采用由点到面的方式进行估算.在原有公式基础上^[27],优化后得到以下公式:

$$A = \sum (S_i \times J_i \times h_i \times dr_i \times D) \times 10^3 \quad (1)$$

式中, A 为平房燃煤量(t); S 为各区平房高分辨率遥感影像解译成果的平房面积(km^2), i 代表各区的序列号, $i=1, 2, 3, \dots$, D 为各区平均燃煤天数(d).

J 为各区采暖面积折算系数:

$$J = \sum (S_{2n}/S_{1n})/j \quad (2)$$

式中, S_2 为实地入户调查得到的采暖面积(m^2); S_1 为甚高分辨率卫星影像遥感解译的该户居民的建筑基底面积(m^2), n 代表该区县入户调查的序列号, $n=1, 2, 3, \dots$, j 代表各区各户调查的总数.

h 为各区平房层高系数:

$$h = \sum (h_n/j) \quad (3)$$

式中, h_n 为入户调查获取的房屋层数;其外业获取方法主要包括两种:①通过目视观察,在外业携带的A3图纸上将大于1层的建筑的层高数标注在对应图斑上;②在便携式终端设备上,录入大于1层的建筑物的层高.具体计算式:

$$h = \frac{\sum \text{层高} \times 0.5 \text{ m 解译图斑面积}}{\sum 0.5 \text{ m 解译图斑面积}}$$

dr 代表各区单位采暖面积燃煤量系数 $[\text{t} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{d})^{-1}]$:

$$dr = \sum (T/S_{2j} \times d)/j \quad (4)$$

式中, d 为入户调查中各家庭采暖期燃煤天数(d); T 为该家庭的采暖季燃煤总量(t).

1.4 污染物排放量估算方法

1.4.1 污染物排放因子的确定

国内民用燃煤的形式很多,主要包括散煤和型煤燃烧^[28],已有多名学者^[29~33]开展排放因子研究.受实验条件所限,笔者所用排放因子主要参考文献[34]中给出的数值.其中燃烧型煤产生的 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放因子分别为 $0.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,燃烧散煤产生的 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放因子为 $1.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$;燃烧型煤产生的 SO_2 和 NO_x 的排放因子分别为 $3.4 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 和 $0.8 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$,燃烧散煤产生的 SO_2 和 NO_x 的排放因子分别为 $2.5 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$ 和 $1.1 \text{ kg} \cdot \text{t}^{-1}$.

1.4.2 污染物排放量的计算

将燃煤量乘以相应污染物的排放因子就可得到各种污染物的排放量.

$$EV_i = C_i \times EF_i \times 10^{-6} \quad (5)$$

式中, EV_i 为*i*类燃煤污染物的排放量,t; C_i 为*i*类污染物对应的燃煤量,kg; EF_i 为*i*类污染物的排放因子, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2 结果与讨论

2.1 平房空间分布特征

根据历年监测结果显示(图2),2015~2017年,北京市平原区平房面积在逐年减少.平房面积排名前五的区均属于城市发展新区,城市拓展区中的朝阳区较其他区(丰台、海淀、石景山)面积大.平房面积较大的区主要包括顺义、大兴和通州,面积均超过 30 km^2 .近年来北京市城市格局逐步调整,通过优化空间布局实现“疏解非首都功能”,通州区城市副中心、大兴新机场的建设加大了平房拆迁力度,使得平房区面积相比上年有所减少.

从空间分布看(图2),北京市平原区平房主要分布在城市东南、西南和东北部,在城市拓展区中,五环路外的城乡过渡带平房分布密度高于城区,二环至五环间的平房分布密度相对较小.按功能区来分,城市发展新区的平房面积最大,占北京市平原区平房总面积的60%以上,同时分布也最为集中,是平房面源污染监测的重点区域;其次是生态涵养区,平房主要集中分布在城关镇及周边.

保定、廊坊市平房区空间分布(图3)可以看到,保定市西北部为山区,平房主要分布在中南部平原区,各区平房密度相差不大,尤以北部的涿州、高碑店和定兴县平房区密度相对较大.廊坊市北三县(三河、大厂、香河)平房区密度较大,广阳、固安和永清的平房密度次之.

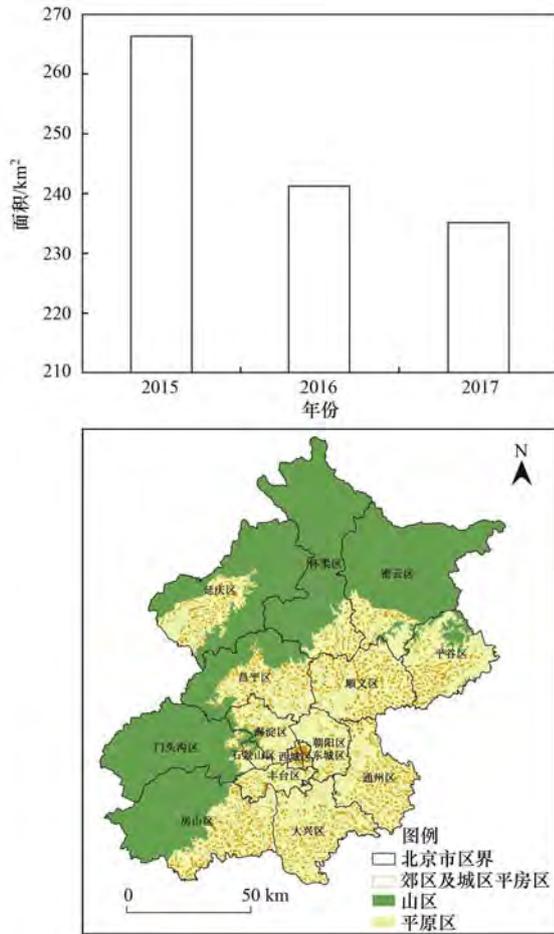


图2 2015~2017年北京市平原区平房面积变化和2017平房空间分布

Fig. 2 Bungalow area changes during 2015-2017 and the spatial distribution of bungalow dwelling areas in Beijing in 2017

2.2 平房燃煤情况分析

2.2.1 北京市平房燃煤调查情况

根据3a入户调查统计(表1),样本点为实际入户调查总量,有效样本点为除去清洁能源改造户数后的实际燃煤户数。调查统计显示,平房居民的

采暖方式有燃煤、生物质燃烧、电采暖这3种,燃煤供暖是主要供暖方式;已完成煤改电(气)的住户,所有炉灶均已拆除。

表1 2015~2017年北京市平原区平房燃煤入户调查样本数量

Table 1 Survey sample size in the plain area around Beijing during 2015-2017

调查年份	样本村庄	实际样本点	有效样本点
2015	60	320	316
2016	120	629	402
2017	284	2 840	437

平房燃煤来源主要分为游商散贩和政府统售两种。根据3a入户调查统计发现,随着北京市清洁燃煤补贴政策和对烟煤的大力管控,政府统售比例有了较大增长,由2015年的137户占比43%提高到了2017年的422户占比达97%(图4)。其中,通州、顺义、大兴等区的政府统售占比相对较高。

燃煤类型根据实际情况分为型煤(蜂窝煤、煤球)和块煤两种。调查统计可知(图5),2015年型煤用量比例较低,仅占调查总数的38%(63户),随着政府清洁能源与优质煤替代政策的实施,截止2017年,燃煤类型以型煤为主,达到98%(422户),块煤比例较低,且均来源于游商散贩。

2.2.2 保定廊坊平房燃煤调查情况

入户调查统计结果显示:燃煤平房主要分布在保定、廊坊市以南地区,燃煤改造村庄主要分布在靠近北京市的北部区域。保定市燃煤户数为506户,占总调查户数的50.6%;廊坊市煤改清洁能源户数为507户,占总调查户数的72.4%,北三县以煤改电为主,其他县市主要为煤改气工程。廊坊、保定市烟煤使用占比高,清洁燃煤使用少;总体来看使用方式粗放,型煤比例低,散煤比例近

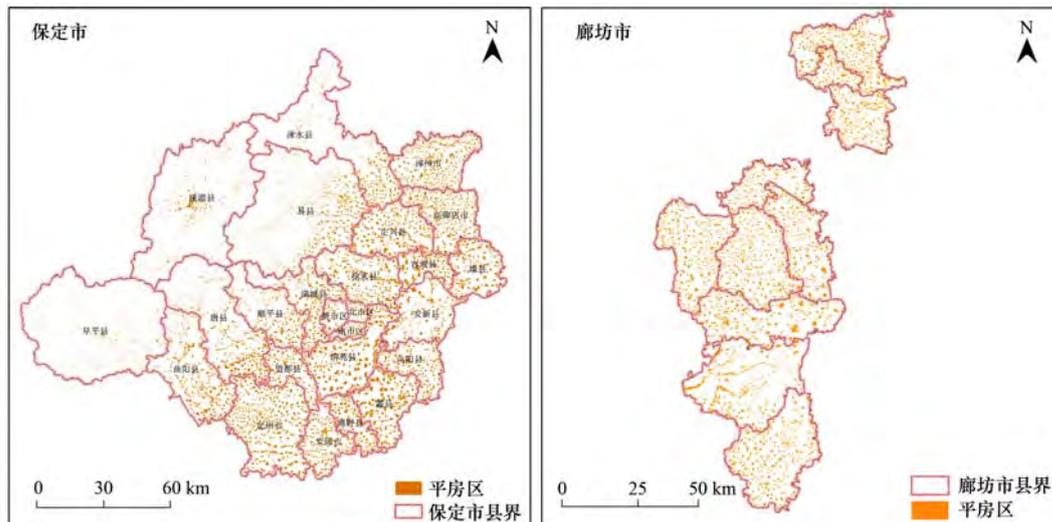


图3 2017年保定、廊坊市平房区空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of bungalow dwelling areas in Baoding and Langfang in 2017

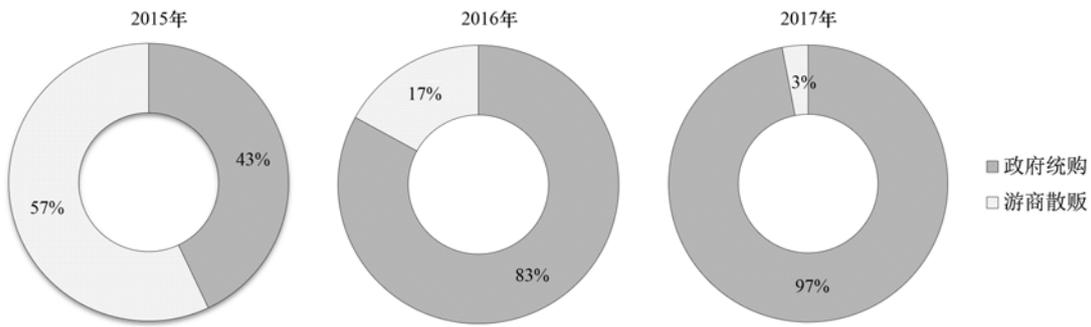


图 4 2015~2017 年北京市平房燃煤来源占比

Fig. 4 Proportion of coal sources in bungalow dwelling areas in Beijing during 2015-2017

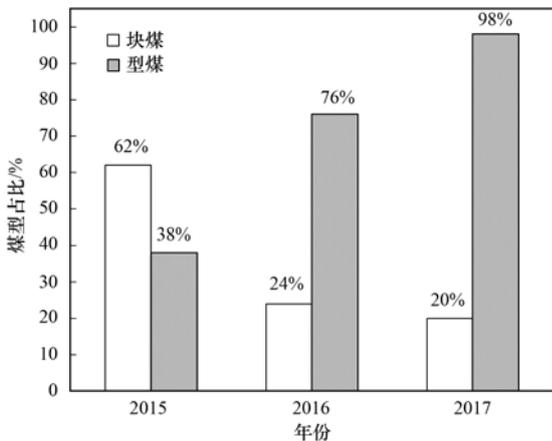


图 5 2015~2017 年北京市平房燃煤煤型占比

Fig. 5 Type of coal burning in bungalow dwelling areas in Beijing during 2015-2017

90%，大部分家庭使用小型煤炉；部分村庄清洁能源替代工作逐步开展，2018 年冬季仍需密切关注该地区燃煤使用情况。

2.3 平房燃煤量估算

2.3.1 燃煤系数确定

根据公式(1)，计算北京各区的综合燃煤系数如图 6 所示。2015 年朝阳区综合燃煤系数最高，延庆区最低，其余各区依次降低，但趋势较缓，差别不大；2016 和 2017 年政府着力实施推进压减燃煤

政策，部分区村庄完成煤改电(气)，取消燃煤采暖。综合燃煤系数城市拓展区的朝阳、海淀和丰台区相对较高，房山、延庆等远郊区相对较低。

图 7 显示，保定和廊坊市的综合燃煤系数最高值在雄县，其次是望都和高阳县，最低是在博野和清苑县，其他区县相差不大；廊坊市燃煤系数整体略低于保定市，最高值在安次区，其余县市较为相近。

2.3.2 北京市平房燃煤量及空间分布测算

(1) 北京地区燃煤量

根据测算结果统计可知(图 8)，各区 3 a 燃煤总量主要分为三档，第一档为燃煤量高于 100 万 t 的区，包含顺义、通州、昌平和大兴，该四区的燃煤量总和占全市平原区平房燃煤量的 55%；第二档为燃煤量高于 60 万 t 的区，有平谷、房山、密云、朝阳和延庆，这 5 个区的燃煤量总和占全市燃煤量的 34%；最后一档，是燃煤量小于 40 万 t 的区，有海淀、怀柔、丰台、门头沟和石景山。燃煤量主要集中在城市发展新区，燃煤总量占全市散煤量的 62%。

根据每年燃煤总量估算结果(图 9)可知，平房燃煤量大幅度下降，相比于 2015 年 526 万 t 散煤，2017 年仅为 129 万 t，下降了 75.3%。煤改电(气)

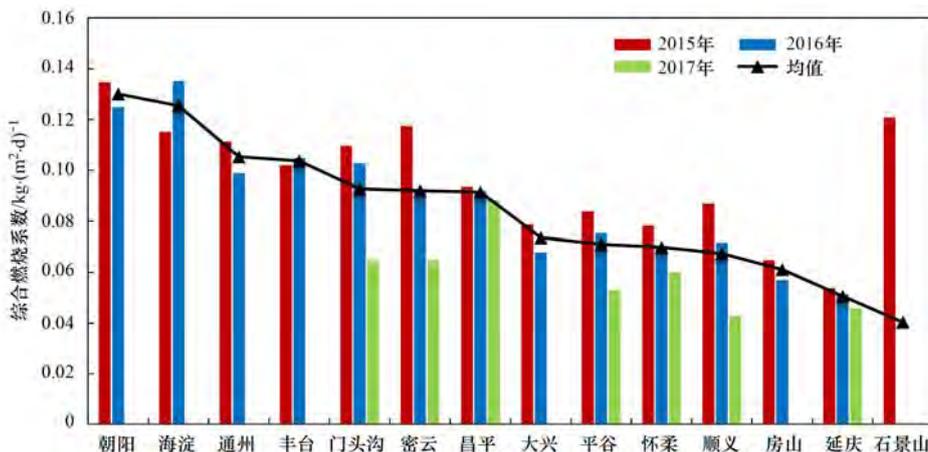


图 6 2015~2017 年北京各区综合燃煤系数

Fig. 6 Integrated coal coefficient for counties in the bungalow areas in the plain area around Beijing during 2015-2017

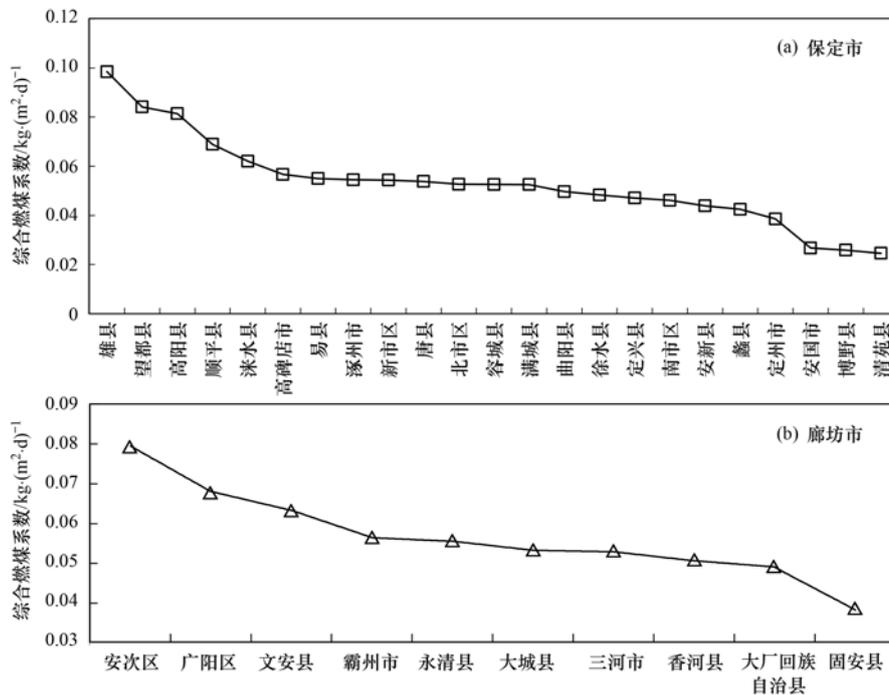


图 7 2017 年保定、廊坊市综合燃煤系数

Fig. 7 Integrated coal coefficient for counties in the bungalow areas in Baoding and Langfang in 2017

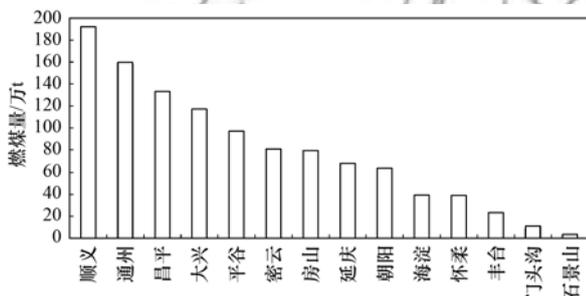
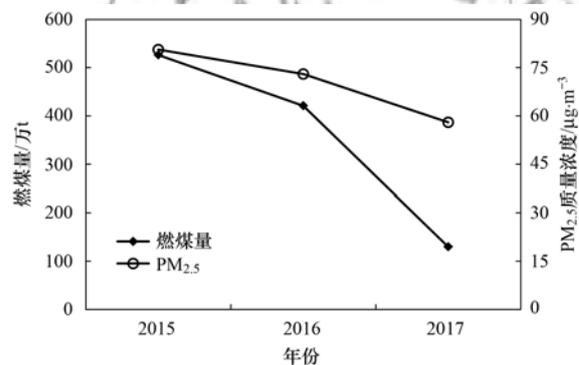


图 8 2015 ~ 2017 年北京市平原区各区燃煤总量统计

Fig. 8 Coal consumption in bungalow areas in the plain area of Beijing during 2015-2017

图 9 2015 ~ 2017 年北京市平原区平房燃煤散烧总量与全市 PM_{2.5} 平均浓度变化Fig. 9 Average PM_{2.5} and coal consumption during 2015-2017 in the plain area of Beijing

措施效果显著. 2018 年北京市环境保护局发布最新一轮 PM_{2.5} 源解析^[35], 现阶段本地排放贡献中, 移动源、扬尘源、工业源、生活面源和燃煤源分别占 45%、16%、12%、12% 和 3%. 与第一次源解析结果相比, 燃煤源已由排名第 2 (22.4%) 下降至第 5 (3%), 占比降低了 86%. 同时, 对比全市 3 a 的 PM_{2.5} 平均浓度, PM_{2.5} 浓度由 2015 年 80.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 下降至 58 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, PM_{2.5} 浓度的改善与机动车限行、工业治理、扬尘整治等一系列措施分不开, 压减燃煤政策的实施亦对空气质量改善有积极推动作用.

煤改电规模前所未有, 截止 2017 年, 城六区、南部平原城乡地区实现基本“无煤化”, 燃煤压减量创纪录. 图 10(a) 显示, 2015 ~ 2017 年, 北京市仍有 7 个区存在燃煤散烧. 总体来看, 顺义燃煤量最大, 门头沟由于平房面积相对较小, 燃煤量最少. 3

a 间, 燃煤量减少最多的区为顺义, 其次是平谷、昌平和密云. 至 2017 年, 燃煤量最大区为昌平. 图 10(b) 显示 7 个区 (通州、大兴、房山和城市拓展区) 2017 年无燃煤使用, 仅比较前两年, 燃煤量最高的 3 个区依次是通州、大兴和房山, 属于空气质量较差的南四区, 其余四区均为城市拓展区, 其中朝阳区燃煤量最大.

(2) 北京地区燃煤空间分布特征

空间分布上 (图 11), 2015 年燃煤量的分布呈现环状分布, 内环的朝阳、海淀、丰台和石景山的燃煤量处于中间水平, 外环的密云、怀柔、平谷的燃煤量相对也较低, 而位于两环中间区域的昌平、顺义、通州、大兴和房山的燃煤量较高. 2016 年燃煤量的分布呈现半环状, 散煤依然集中在位于环面

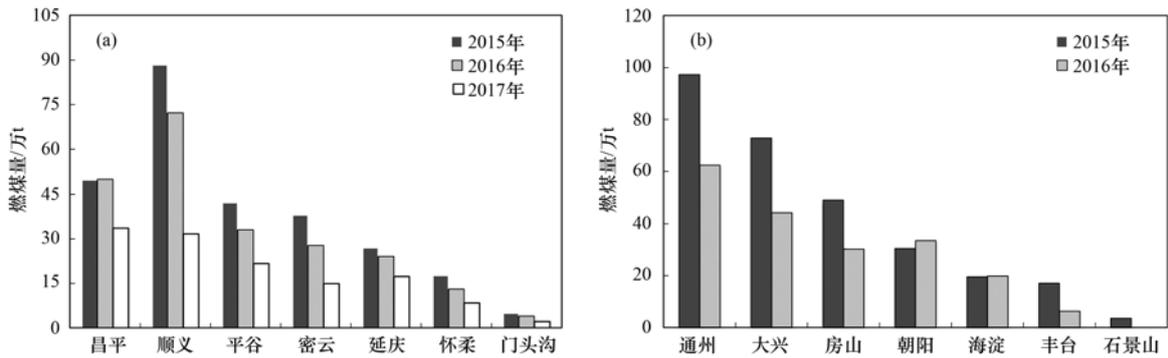


图 10 2015 ~ 2017 年北京市平原区各区平房燃煤量统计

Fig. 10 Coal consumption of counties in the bungalow areas in the plain area of Beijing during 2015-2017

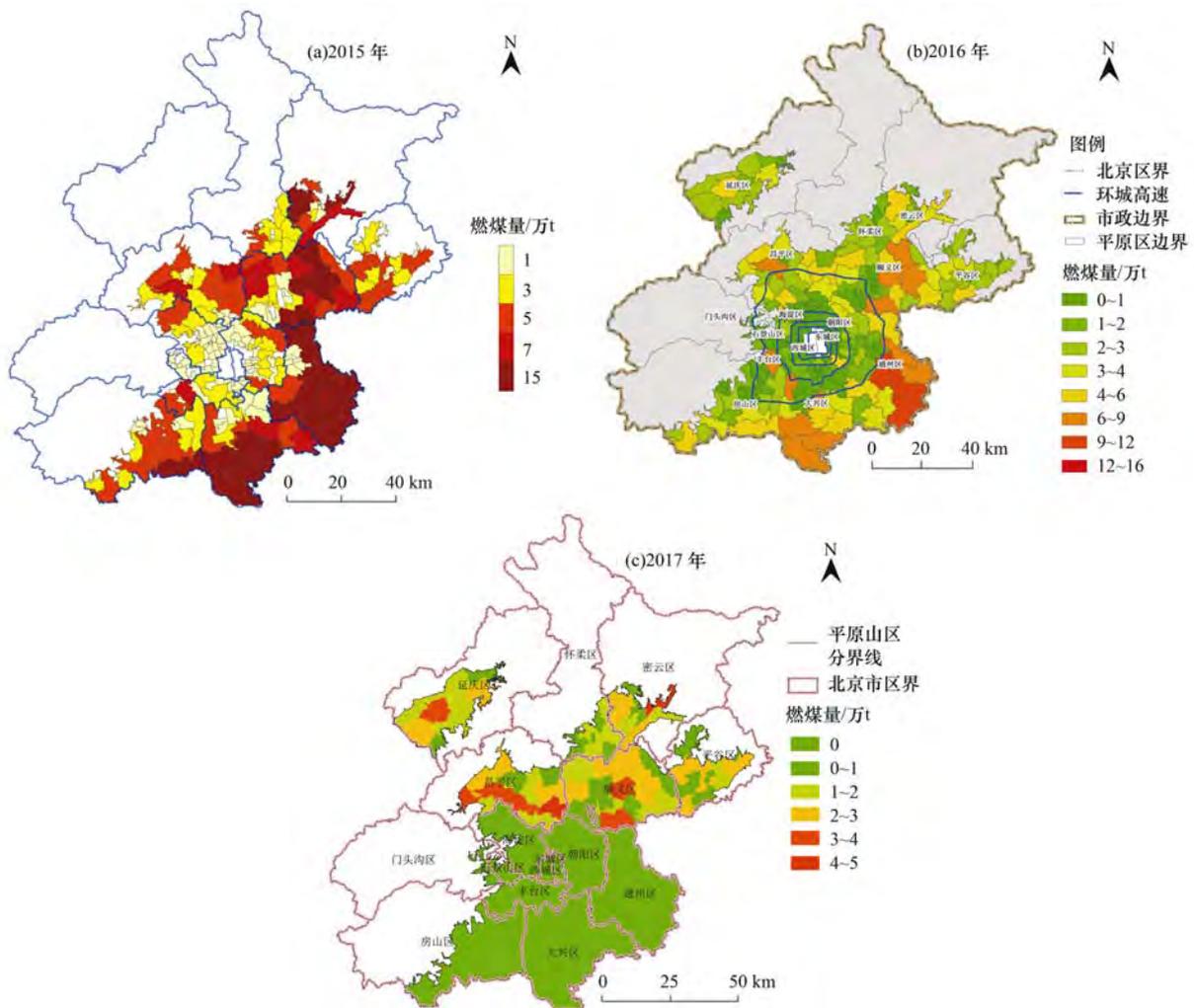


图 11 2015 ~ 2017 年北京市平原区平房燃煤量空间分布

Fig. 11 Spatial distribution of coal consumption for counties in the bungalow areas in the plain area of Beijing during 2015-2017

区域的昌平、顺义、通州、大兴区。2017 年北京市煤改电规模前所未有的，城六区、南部平原城乡地区实现基本“无煤化”，燃煤主要集中在北部平原区。

2.3.3 保定、廊坊市平房燃煤量测算及空间分布

保定市定州散煤燃烧最多，为 91 万 t，位于城区的 3 个区燃煤量最少，其他县市燃煤量总体相差不多。廊坊市北三县(大厂、三河、香河)燃煤量最少，南部的文安县燃煤量最大(图 12)。

空间分布上(图 13)，2017 年保定市近郊村庄燃煤量普遍较少，北市区、南市区和新市区村庄燃煤量均低于 5 万 t。廊坊市平原区散煤量空间分布较为平均，其中文安县平原区燃煤量最多，为 69 万 t，大厂回族自治县燃煤量最低，为 14 万 t。总体来看，廊坊、保定市的燃煤强度由北至南逐渐增大。

2.4 北京居住平房燃煤大气污染物排放量

由于 2017 年有 7 个区无散煤燃烧，根据公式

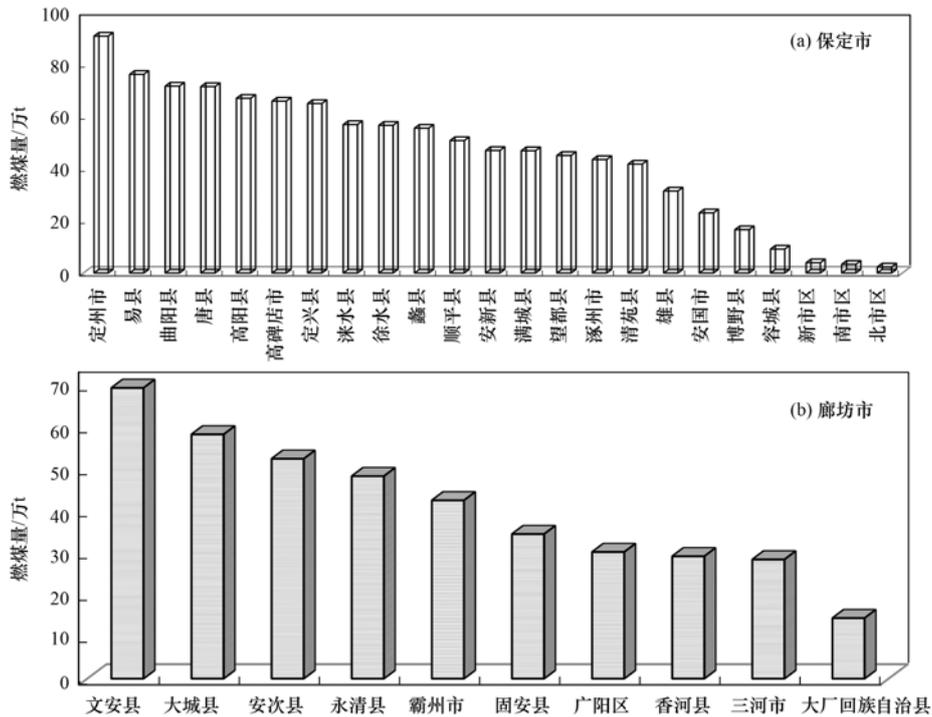


图 12 2017 年保定、廊坊市各区县燃煤量统计图

Fig. 12 Spatial distribution of coal consumption for counties in the plain area of Baoding and Langfang in 2017

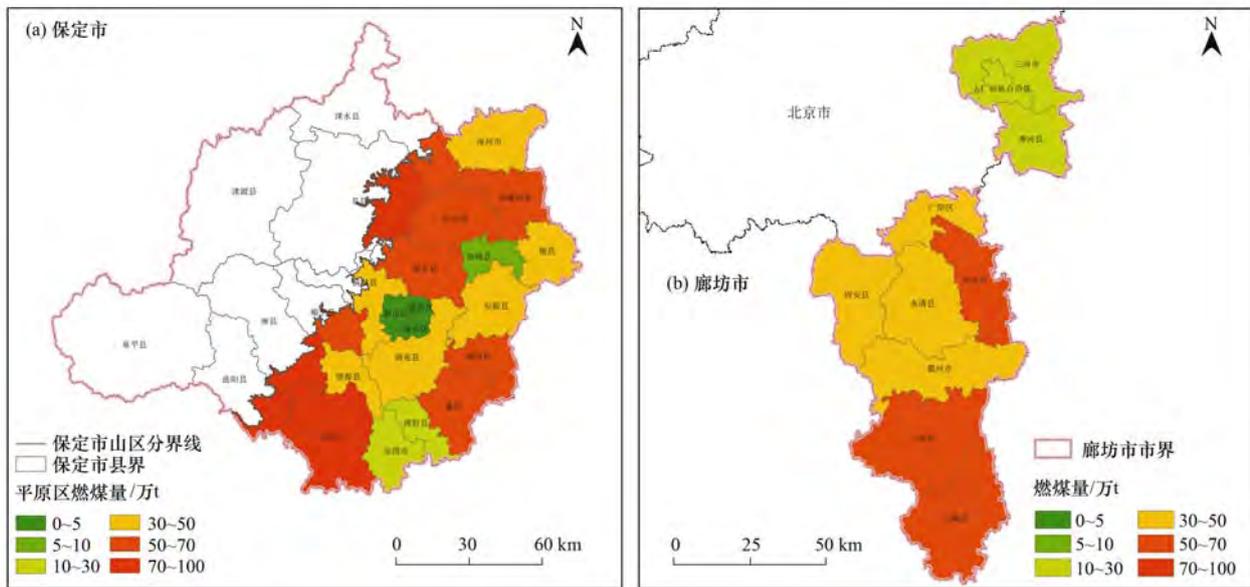


图 13 河北保定市和廊坊市平原区燃煤量空间分布

Fig. 13 Spatial distribution of coal consumption in the plain area of Baoding and Langfang, Hebei

(1) ~ (5) 估算了 2015 ~ 2016 年北京市平原区平房燃煤消耗产生的 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_x ，各区平房燃煤所产生的大气污染物排放量差别明显(见图 14)，其中顺义区的 SO_2 和 NO_x 排放量最高，分别为 5 315.3 t 和 1 332.8 t，而石景山的排放量低，均少于 50 t；2017 年，昌平区的 SO_2 和 NO_x 排放量最高，分别为 1 113.3 t 和 279.2 t。

3 结论

(1) 2015 ~ 2017 年，北京市平原区散煤使用总

量下降了 75%，煤改电(气)措施效果显著。现阶段北京散煤燃烧主要集中在北部平原区，昌平区燃煤量最大，压减燃煤工作重点仍集中在北六环外的区。平房燃煤消耗产生的 $PM_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_x 大气污染物排放量差别较明显，其中昌平、顺义区的污染物排放量较高。

(2) 保定、廊坊市煤改清洁能源工作初见成效，但燃煤总量依然较大，煤质差、使用方式粗放，燃煤强度由北至南逐渐增大。

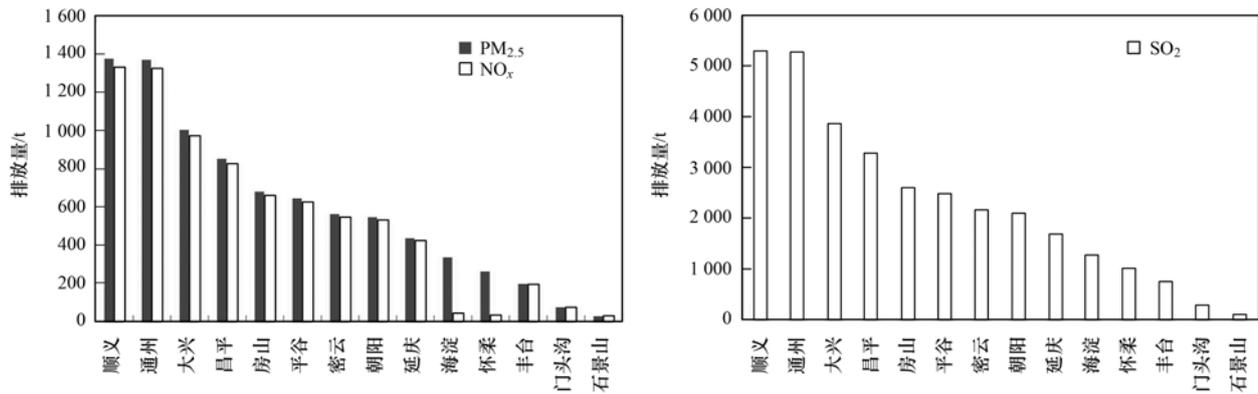


图 14 2015 ~ 2016 年北京各区燃煤大气污染物 (PM_{2.5}、SO₂ 和 NO_x) 排放总量

Fig. 14 PM_{2.5}, SO₂, and NO_x emissions for counties in the bungalow areas in the plain area of Beijing during 2015-2016

(3) 遥感手段估算平房燃煤量, 受平房斑块提取精度的影响, 同时受入户被调查人员认知差别, 导致燃煤调查系数误差的累积, 均会影响到最后的燃煤量估算精度。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国生态环境部. 2017 中国生态环境状况公报 [EB/OL]. <http://huanbao.bjx.com.cn/news/20180601/902314.shtml>, 2018-05-22.
- [2] 北京市环境保护局. 北京市 PM_{2.5} 来源解析正式发布 [EB/OL]. <http://www.bjepb.gov.cn/bjhrb/xxgk/jgz/jgsz/jjggszjz/xcyj/xwfb/607219/index.html>, 2014-04-16.
- [3] 张嫫. 京津冀开打散煤歼灭战 两年能否完成艰巨的任务? [EB/OL]. <http://chuansong.me/n/2641115?jdfwkey=lined>, 2016-03-10.
- [4] 吴文景, 常兴, 邢佳, 等. 京津冀地区主要排放源减排对 PM_{2.5} 污染改善贡献评估 [J]. 环境科学, 2017, **38**(3): 867-875.
Wu W J, Chang X, Xing J, *et al.* Assessment of PM_{2.5} pollution mitigation due to emission reduction from main emission sources in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(3): 867-875.
- [5] Tian S L, Pan Y P, Wang Y S. Size-resolved source apportionment of particulate matter in urban Beijing during haze and non-haze episodes [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, **16**(1): 1-19.
- [6] Huang R J, Zhang Y L, Bozzetti C, *et al.* High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China [J]. *Nature*, 2014, **514**(7521): 218-222.
- [7] Hu W W, Hu M, Yuan B, *et al.* Insights on organic aerosol aging and the influence of coal combustion at a regional receptor site of central eastern China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(19): 10095-10112.
- [8] Sun Y L, Du W, Fu P Q, *et al.* Primary and secondary aerosols in Beijing in winter: sources, variations and processes [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2016, **16**(13): 8309-8329.
- [9] Andersson A, Deng J J, Du K, *et al.* Regionally-varying combustion sources of the January 2013 severe haze events over Eastern China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, **49**(4): 2038-2043.
- [10] Yang H N, Chen J, Wen J J, *et al.* Composition and sources of PM_{2.5} around the heating periods of 2013 and 2014 in Beijing: Implications for efficient mitigation measures [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, **124**: 378-386.
- [11] Hu Z J, Shi Y L, Niu H Y, *et al.* Synthetic musk fragrances and heavy metals in snow samples of Beijing urban area, China [J]. *Atmospheric Research*, 2012, **104-105**: 302-305.
- [12] 严沁, 孔少飞, 刘海彪, 等. 民用燃煤排放分级颗粒物中重金属排放因子 [J]. 环境科学, 2018, **39**(4): 1502-1511.
Yan Q, Kong S F, Liu H B, *et al.* Emission factors of heavy metals in size-resolved particles emitted from residential coal combustion [J]. *Environmental Science*, 2018, **39**(4): 1502-1511.
- [13] Chen Y J, Zhi G R, Feng Y C, *et al.* Measurements of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, **33**(20): L20815.
- [14] Chen Y J, Tian C G, Feng Y L, *et al.* Measurements of emission factors of PM_{2.5}, OC, EC, and BC for household stoves of coal combustion in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2015, **109**: 190-196.
- [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] Shen G F, Tao S, Chen Y C, *et al.* Emission characteristics for polycyclic aromatic hydrocarbons from solid fuels burned in domestic stoves in rural China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(24): 14485-14494.
- [17] Zhang W, Wei W, Hu D, *et al.* Emission of speciated mercury from residential biomass fuel combustion in China [J]. *Energy & Fuels*, 2013, **27**(11): 6792-6800.
- [18] 蔡竟, 支国瑞, 陈颖军, 等. 中国秸秆焚烧及民用燃煤棕色碳排放的初步研究 [J]. 环境科学研究, 2014, **27**(5): 455-461.
Cai J, Zhi G R, Chen Y J, *et al.* A Preliminary study on brown carbon emissions from open agricultural biomass burning and residential coal combustion in China [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, **27**(5): 455-461.
- [19] 薛亦峰, 闫静, 魏小强. 燃煤控制对北京市空气质量的改善分析 [J]. 环境科学研究, 2014, **27**(3): 253-258.
Xue Y F, Yan J, Wei X Q. Impact on air quality of Beijing City by controlling the consumption of coal-fired [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, **27**(3): 253-258.
- [20] 张立坤, 李令军, 姜磊, 等. 北京市农业大棚冬季燃煤散烧污染排放估算 [J]. 环境科学研究, 2017, **30**(5): 654-662.
Zhang L K, Li L J, Jiang L, *et al.* Estimation of air pollutant emissions from coal burning for agricultural greenhouses in winter in Beijing [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2017, **30**

- (5): 654-662.
- [21] 庞军, 吴健, 马中, 等. 我国城市天然气替代燃煤集中供暖的大气污染减排效果[J]. 中国环境科学, 2015, **35**(1): 55-61.
Pang J, Wu J, Ma Z, *et al.* Air pollution abatement effects of replacing coal with natural gas for central heating in cities of China[J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(1): 55-61.
- [22] 支国瑞, 杨俊超, 张涛, 等. 我国北方农村生活燃煤情况调查、排放估算及政策启示[J]. 环境科学研究, 2015, **28**(8): 1179-1185.
Zhi G R, Yang J C, Zhang T, *et al.* Rural household coal use survey, emission estimation and policy implications [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, **28**(8): 1179-1185.
- [23] 章永洁, 蒋建云, 叶建东, 等. 京津冀农村生活能源消费分析及燃煤减量与替代对策建议[J]. 中国能源, 2014, **36**(7): 39-43.
Zhang Y J, Jiang J Y, Ye J D, *et al.* Analysis of rural life energy consumption in the Region of Beijing-Tianjin-Hebei and Policy Suggestion on Reduction and Replace of Coal [J]. *Energy of China*, 2014, **36**(7): 39-43.
- [24] 梁云平, 张大伟, 林安国, 等. 北京市民用燃煤烟气中气态污染物排放特征[J]. 环境保护, 2017, **38**(5): 1775-1782.
Liang Y P, Zhang D W, Lin A G, *et al.* Emission characteristics of residential coal combustion flue gas in Beijing [J]. *Environmental Science*, 2017, **38**(5): 1775-1782.
- [25] 柴发合, 薛志刚, 支国瑞, 等. 农村居民散煤燃烧污染综合治理对策[J]. 环境保护, 2016, **44**(6): 15-19.
Chai F H, Xue Z G, Zhi G R, *et al.* Complex control measures of rural coal combustion pollution[J]. *Environmental Protection*, 2016, **44**(6): 15-19.
- [26] 赵文慧, 徐谦, 李令军, 等. 北京平原区城乡结合部燃煤散烧及污染物排放量估算[J]. 环境科学研究, 2015, **28**(6): 869-876.
Zhao W H, Xu Q, Li L J, *et al.* Estimation of air pollutant emissions from coal burning in the semi-Rural areas of Beijing plain[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2015, **28**(6): 869-876.
- [27] 赵文慧, 姜磊, 张立坤, 等. 北京平原区平房冬季燃煤量及污染物排放估算[J]. 中国环境科学, 2017, **37**(3): 859-867.
Zhao W H, Jiang L, Zhang L K, *et al.* Estimation of coal consumption and related contamination emission in the plain area around Beijing during winter season [J]. *China Environmental Science*, 2017, **37**(3): 859-867.
- [28] 国家统计局工业交通统计司, 国家发展和改革委员会能源局. 中国能源统计年鉴: 2000-2002[M]. 北京: 中国统计出版社, 2004. 60-61.
- [29] Zhi G R, Chen Y J, Feng Y L, *et al.* Emission characteristics of carbonaceous particles from various residential coal-stoves in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, **42**(9): 3310-3315.
- [30] Chen Y J, Sheng G Y, Bi X H, *et al.* Emission factors for carbonaceous particles and polycyclic aromatic hydrocarbons from residential coal combustion in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(6): 1861-1867.
- [31] 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.
Liu Y, Zhang Y X, Wei J, *et al.* Measurement of emission factors of carbonaceous aerosols from residential-coal combustion [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, **27**(9): 1409-1416.
- [32] Shen G F, Yang Y F, Wang W, *et al.* Emission factors of particulate matter and elemental carbon for crop residues and coals burned in typical household stoves in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, **44**(18): 7157-7162.
- [33] 孔少飞, 白志鹏, 陆炳. 民用燃料燃烧排放 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 中碳组分排放因子对比[J]. 中国环境科学, 2014, **34**(11): 2749-2756.
Kong S F, Bai Z P, Lu B. Comparative analysis on emission factors of carbonaceous components in PM_{2.5} and PM₁₀ from domestic fuels combustion [J]. *China Environmental Science*, 2014, **34**(11): 2749-2756.
- [34] 环境保护部. 关于发布《民用煤燃烧污染综合治理技术指南(试行)》与《民用煤大气污染物排放清单编制技术指南(试行)》的公告[EB/OL]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201610/t20161031_366528.htm, 2016-10-22.
- [35] 北京市环境保护局. 最新科研成果新一轮北京市 PM_{2.5} 来源解析正式发布[EB/OL]. <http://bjepb.gov.cn/bjhrb/index/tpwx/832588/index.html>, 2018-05-14.

CONTENTS

Source Apportionment and Mixing State of Single Particles in the Nanjing Jiangbei New Area	YU Xing-na, SHI Zheng, MA Jia, <i>et al.</i> (1521)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Pollution in PM _{2.5} in Xi'an	MU Zhen, CHEN Qing-cai, WANG Yu-qin, <i>et al.</i> (1529)
Chemical Composition Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} During Winter in Taiyuan	LIU Su, MA Tong, YANG Yan, <i>et al.</i> (1537)
Seasonal Variation and Source Analysis of Water-soluble Inorganic Ions in Fine Particulate Matter in Zhengzhou	YAN Guang-xuan, ZHANG Jing-wen, LEI Hao-jie, <i>et al.</i> (1545)
Elemental Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM _{2.5} in a Suburb of Zhuhai City	YANG Yi-hong, JIA Yan, BIAN Guo-jian, <i>et al.</i> (1553)
Impact of a Dust Event on the Size Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosols at a Coastal Region and over the Ocean	JIN Tong-jun, QI Jian-hua, XI Zi-yan, <i>et al.</i> (1562)
CALPUFF Modeling of the Influence of Typical Industrial Emissions on PM _{2.5} in an Urban Area Considering the SOA Transformation Mechanism	GAO Shuang, BO Xin, MA Yan, <i>et al.</i> (1575)
Variation in Pollutant Concentrations and Correlation Analysis with the Vegetation Index in Beijing-Tianjin-Hebei	SUN Shuang, LI Ling-jun, ZHAO Wen-ji, <i>et al.</i> (1585)
Estimation of Coal Consumption and the Emission of Related Contaminants in the Plain Area Around Beijing During 2015-2017	ZHAO Wen-hui, LI Ling-jun, LU Hai-feng, <i>et al.</i> (1594)
Column-integrated Aerosol Optical Properties Determined Using Ground-based Sun Photometry Measurements in the Hangzhou Region	QI Bing, CHE Hui-zheng, XU Ting-ting, <i>et al.</i> (1604)
Speciated VOCs Emission Inventory and Ozone Formation Potential in Sichuan Province	ZHOU Zi-hang, DENG Ye, TAN Qin-wen, <i>et al.</i> (1613)
Characterization of Volatile Organic Compounds from Cooking Emissions	GAO Ya-qin, WANG Hong-li, XU Rui-zhe, <i>et al.</i> (1627)
Analysis of Peroxyacetyl Nitrate and Ozone During a Typical Photochemical Pollution Process at the Panyu Atmospheric Composition Station	ZOU Yu, DENG Xue-jiao, LI Fei, <i>et al.</i> (1634)
Characteristics and Interannual Variation of Chemical Components in Typical Road Dust in Beijing	HU Yue-qi, LI Meng, YAN Xu, <i>et al.</i> (1645)
Sources Analysis and Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the PM _{2.5} Fraction of Fugitive Dust in Nanchang City	YU Rui-lian, ZHENG Quan, LIU Xian-rong, <i>et al.</i> (1656)
Methods and Application of Road Fugitive Dust Emission Factor Localization	FAN Shou-bin, YANG Tao, WANG Kai, <i>et al.</i> (1664)
Characterization of Tailpipe Emissions from in-use Excavators	MA Shuai, ZHANG Kai-shan, WANG Fan, <i>et al.</i> (1670)
Microbial Properties of Different Size Aerosols at Human Average Respiratory Height During Fog-haze Days	YANG Tang, HAN Yun-ping, LI Lin, <i>et al.</i> (1680)
Modification and Performance Tests of Visibility Parameterizations for Haze Days	ZHAO Xiu-juan, LI Zi-ming, XU Jing (1688)
Application of Support Vector Machine Regression in Ozone Forecasting	SU Xiao-qian, AN Jun-lin, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (1697)
Analysis of PHEV CO ₂ Emission Based on China's Grid Structure and Travelling Patterns in Mega Cities	HAO Xu, WANG He-wu, LI Wei-feng, <i>et al.</i> (1705)
Sources of Nitrate in Groundwater and Its Environmental Effects in Karst Trough Valleys: A Case Study of an Underground River System in the Longfeng Trough Valley, Chongqing	DUAN Shi-hui, JIANG Yong-jun, ZHANG Yun-zhu, <i>et al.</i> (1715)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Phthalate Esters (PAEs) in the Surface Water of Jiaozhou Bay	LIU Cheng, SUN Cui-zhu, ZHANG Ge, <i>et al.</i> (1726)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Sediments of Zhanjiang Bay	PENG Shi-yun, PENG Ping-an, KONG De-ming, <i>et al.</i> (1734)
Analysis of the Optical Properties and Factors Influencing DOM in an Ecological Purification System: A Case Study of Yanlong Lake in Spring	MA Rui, LI Xuan, WANG Lian, <i>et al.</i> (1742)
Analysis of the Relationship Between Dissolved Organic Matter (DOM) and Watershed Land-use Based on Three-dimensional Fluorescence-Parallel Factor (EEM-PARAFAC) Analysis	LI Yun, WEI Hong-jie, WANG Kan, <i>et al.</i> (1751)
Analysis of the Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Emissions from Agricultural Non-point Sources on Hanfeng Lake Basin	XIE Jing-chao, ZHAO Xiu-lan, HE Bing-hui, <i>et al.</i> (1760)
Simulation of the Migration and Leaching of Nitrate Nitrogen in the Farmland Soil Profile in a Hilly Area of Taihang Mountain with the RZWQM Model	ZHENG Wen-bo, WANG Shi-qin, LIU Bing-xia, <i>et al.</i> (1770)
Spatial Distribution Characteristics of Nutrients and Chlorophyll A in the Lancang River Basin Under Cascade Reservoirs	CHENG Bao, WANG Xue, MA Jin-chuan, <i>et al.</i> (1779)
Nutrient Distribution of Overlying Water in Tidal Marshes in Five Estuaries and Bays of the Fuzhou Region in Autumn	HE Lu-lu, YANG Ping, TAN Li-shan, <i>et al.</i> (1788)
Distribution and Environmental Risk of Pharmaceutically Active Compounds in the Traditionally Aqueous Phase of Effluent-receiving Rivers	WANG Shuo, LIU Jian-chao, ZHENG Chao-ya, <i>et al.</i> (1797)
Effects of a Green Roof on Stormwater Regulation and Cost-benefit Analysis	LI Jun-sheng, YIN Hai-wei, KONG Fan-hua, <i>et al.</i> (1803)
Ultrasonically Activated Persulfate Degrades Typical Odors in Water	SUN Xin, SUN Jie, LI Peng-fei, <i>et al.</i> (1811)
Metal Organic Framework MIL-53(Fe) as a Photocatalyst for Visible-light Catalytic Reduction of U(VI) in Aqueous Solution	YAN Zeng-yuan, XI Hai-ling, YUAN Li-yong (1819)
Effects and Differences of the Release of Dissolved Organic and Inorganic Phosphorus in Different Sediments Covered by Different Materials of Erhai Lake	GONG Jia-jian, NI Zhao-kui, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (1826)
Phosphate Removal Using Rice Husk Biochars Modified with Lanthanum Hydroxide	XU Run, SHI Cheng-hao, TANG Qian, <i>et al.</i> (1834)
Characteristics and Heavy Metal Adsorption Performance of Sewage Sludge-derived Biochar from Co-pyrolysis with Transition Metals	CHEN Tan, ZHOU Ze-yu, MENG Rui-hong, <i>et al.</i> (1842)
Adsorption, Reclaim, and Regeneration of Cd by Magnetic Calcium Dihydrogen Phosphate Nanoparticles	LI Yu-jiao, YANG Zhi-min, CHEN Yu-cheng, <i>et al.</i> (1849)
Effect of Hematite on the Inhibition of Hydrogen Sulfide Formation and Its Mechanism During Anaerobic Digestion and Methanogenesis of Sulfate Wastewater	HUANG Shao-fu, YE Jie, ZHOU Shun-gui (1857)
Pollutant Removal Performance and Membrane Fouling Characteristics in Marine Aquaculture Wastewater Treatment by a Microalgae Membrane Reactor	MA Hang, LI Zhi-peng, LIU Feng, <i>et al.</i> (1865)
Pre-precipitation of Sewage-SNAD Granular Sludge Process Test	LI Dong, CUI Ya-qian, ZHAO Shi-xun, <i>et al.</i> (1871)
Impact of Actual Domestic Sewage and Simulated Wastewater on an Aerobic Granular Sludge System	LI Dong, WANG Ying-qiao, LI Shuai, <i>et al.</i> (1878)
Nitrogen Removal Performance of a Sulfur/Pyrite Autotrophic Denitrification System	ZHOU Ya, MAI Wen-ning, LIANG Jia-wei, <i>et al.</i> (1885)
Nitrogen Removal by Heterotrophic Nitrifying Bacterium <i>Pseudomonas putida</i> YH and Its Kinetic Characteristics	WANG Xu-hui, YANG Lei, REN Yong-xiang, <i>et al.</i> (1892)
Effect of Sludge Retention Time and pH on the Denitrifying Phosphorus Removal Process	WEI Jia-min, HUANG Hui-min, CHENG Cheng, <i>et al.</i> (1900)
Microbial Community of Granular Sludge in an ANAMMOX-EGSB Reactor Under Saline Conditions	WANG Han, LI Han-xiang, CHEN You-peng, <i>et al.</i> (1906)
Effect of Intracellular Carbon Source (PHA) Storage on the Mixed Growth Microbial Community Resistance to Low Temperature	YANG Jian-peng, ZHANG Jian, TIAN Qing, <i>et al.</i> (1914)
Contents and Forms of Phosphorus in the Municipal Sewage Sludge of China	WANG Chao, LIU Qing-wei, ZHI Yin, <i>et al.</i> (1922)
Contamination Characteristics and Safety Risk Assessment of Perfluorinated Alkylated Substances in Aquatic Products from Guangzhou	WANG Xu-feng, WANG Qiang, LI Zhi-guang, <i>et al.</i> (1931)
Characteristics of the Dissolved Nitrous Oxide (N ₂ O) Concentrations and Influencing Factors in a Representative Agricultural Headwater Stream in the Upper Reach of the Yangtze River	TIAN Lin-lin, WANG Zheng, HU Lei, <i>et al.</i> (1939)
CH ₄ Uptake in Different Saline-alkaline Soils in Hetao Irrigation District, Inner Mongolia	YANG Wen-zhu, JIAO Yan, YANG Ming-de, <i>et al.</i> (1950)
Allocation and Stabilization Responses of Rice Photosynthetic Carbon in the Plant-Soil System to Phosphorus Application	WANG Ying-ying, XIAO Mou-liang, ZHANG Yun, <i>et al.</i> (1957)
Effect of Soil Moisture and Temperature on the Soil Inorganic Carbon Release of Brown Limestone Soil in the Karst Region of Southwestern China	XU Xue-chi, HUANG Yuan, HE Xun-yang, <i>et al.</i> (1965)
Temporal and Spatial Dynamics of Soil Microbial Biomass Carbon and Its Influencing Factors on an Eroded Slope in the Hilly Loess Plateau Region	QIN Qian, ZHU Shi-shuo, XIA Bin, <i>et al.</i> (1973)
Composition, Characteristics, and Accumulation of Antibiotics in the Soil in Agricultural Land	KONG Chen-chen, ZHANG Shi-wen, NIE Chao-jia, <i>et al.</i> (1981)
VOCs and Odors Control and Development in Pharmaceutical Fermentation Industry	WANG Dong-sheng, ZHU Xin-meng, YANG Xiao-fang, <i>et al.</i> (1990)