

从两次污染源普查数据浅析中国生态环境保护进展

卢广亮¹, 刘子嫣^{1,2}, 尹哲玉^{1,3}, 王建城^{4,*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院大学中丹学院, 北京 100049;
3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 101314; 4. 滨州魏桥国科高等技术研究院, 滨州 256606)

摘要: 基于 2007 年的第一次全国污染源普查(简称“一污普”)和 2017 年的第二次全国污染源普查(以下简称“二污普”)结果, 分析了十年来各类污染物相关现状。两次普查内容存在差别, 同时对比两次普查数据说明, 我国生态环保工作已取得积极进展, 其中我国水污染综合治理能力大幅提升, 工业源水污染物排放状况大幅改善, 大气污染物控制效果显著, 各项环境指标得到全面优化。但环境保护工作依旧存在挑战: 全国水污染物排放量依然巨大, 其中农业源与生活源水污染物排放贡献率加大, 生活源成为水污染物排放控制的重点; 全国大气污染物防控潜力巨大, 工业源依然是全国大气污染物重要排放源, 移动源成为大气污染控制的重点, 同时总结了在“碳达峰碳中和”背景下大气污染物控制方向已经做出的改变; 固废的处置利用效率仍需加强, 工业危废累积存量剧增。总而言之, 我国污染防控整体卓有成就, 未来的生态环境工作任重道远, 污染治理整体需以“二污普”为依据, 精准施策。

关键词: 污染源普查; 污染物; 污染源; 污染防治

DOI: 10.48014/pcep.20230918003

引用格式: 卢广亮, 刘子嫣, 尹哲玉, 等. 从两次污染源普查数据浅析中国生态环境保护进展[J]. 中国生态环境保护进展, 2023, 1(4): 36-48.

0 引言

依据《全国污染源普查条例》的相关规定, 全国污染源普查每 10 年开展 1 次, 普查标准时点为普查年份的 12 月 31 日, 目前已经开展了 2 次, 普查时期资料分别为 2007 年度资料与 2017 年度资料。全国污染源普查是切要的国情摸底调查, 是精准把握我国污染物排放及处理现状、审定环境形势、加强生态环境保护的基础性与指导性工作。

从第一次全国污染源普查(以下简称“一污普”)到第二次全国污染源普查(以下简称“二污普”)的十年间, 我国着力推进社会经济结构和产业

结构的优化协调发展, 众多环境保护工作相继开展, 生态环境质量快速改善, 各类污染源的基本情况也随之发生巨变。因此, 相较于“一污普”, “二污普”的普查内容更详细、普查对象更广泛、普查手段更现代、普查任务更明确, 科学精准地摸清了各类污染源的数量、行业和地区分布情况, 掌握了主要污染物的产生、排放和处理情况, 并建立健全了重点污染源档案、污染源信息数据库和环境统计平台。“二污普”立足于实际生态环境保护工作的需求, 结合云计算、互联网、遥感观测等信息化手段, 为实现生态环境保护大数据平台一体化的综合应用提供支撑, 为制定针对性的生态环境保护政策及

* 通讯作者 Corresponding author: 王建城, wangjiancheng@wqucas.com

收稿日期: 2023-09-18; 录用日期: 2023-10-09; 发表日期: 2023-12-28

基金项目: 魏桥国科低碳技术专项(GYY-DTFZ-2022-004)、教育部“产学研协同育人”项目(BINTECH-KJZX-20220831-05)、中国科学院战略性先导科技专项(XDA2301040103)资助。

规划提供依据,为持续推进生态文明建设,实现社会经济绿色、协调、可持续的高质量发展做出贡献^[1]。

1 两次污染源普查内容的差别

对比第一次和第二次全国污染源普查公报发现,相比“一污普”,“二污普”的普查指标有了明显调整:水污染物普查指标增加了动植物油、挥发酚和氰化物三项,大气污染物普查指标将“烟尘”调整成“颗粒物”,并尝试性调查了部分行业和领域的挥发性有机物指标状况;大气污染物增加了重点区域的普查项目,对水污染物的重点流域范围进行了调整,流域代表性提升。

对比“一污普”和“二污普”的普查对象发现,二者的工业源、集中式污染治理设施的普查对象区别较小,工业源类别中新增‘伴生放射性矿’作为普查对象。不同普查对象的数量变化明显,医疗、航空、通信、计算机和信息化学品等行业相关的高新技术制造企业数量显著增加,其增长幅度在20%—60%左右;集中式污染治理设施数量同样有显著增加;能源消耗密集型行业和部分重点污染行业的企业数量则大幅削减。两次普查中农业源、生活源、移动源的普查对象则区别较大,“二污普”公报中农业污染源普查对象仅突出“畜禽规模养殖场”;相比“一污普”的生活源普查对象主要包括住宿、餐饮、理发、汽车摩托车维护保养、城镇居民生活源等,“二污普”公报中生活污染源普查对象优化为行政村、非工业企业单位锅炉及对外营业的储油库和加油站。机动车尾气排放状况在“一污普”中被纳入生活污染源范围,但“二污普”新增移动源为独立的普查类别,包括机动车和非道路移动污染源^[2,3]。

与“一污普”相比,“二污普”需求更精准、科学,普查内容更系统、明确,普查范围更具针对性,全面覆盖现代社会各项生产生活活动中的污染物排放行为,有效提升了普查效率和普查数据的科学性、可用性。

2 全国水污染物排放数据对比分析

从全国水污染物排放情况看,相比“一污普”,

“二污普”全国水污染物排放量均大幅下降,其中化学需氧量排放量为2143.98万吨,同比下降884.98万吨,降幅29.22%;氨氮排放量为96.34万吨,同比下降76.57万吨,降幅44.28%;总氮排放量为304.14万吨,同比下降168.75万吨,降幅35.68%;总磷排放量为31.54万吨,同比下降10.78万吨,降幅25.47%;重金属排放量为182.54吨,同比下降717.46吨,降幅下降79.72%;石油类(含动植物油)排放量为31.74万吨,同比下降46.47万吨,降幅59.42%(图1)。污染物排放总量控制制度在“十一五”到“十三五”期间都是重要的环境管理手段,由普查数据对比分析可见水污染物排放控制效果凸显,水生态环境质量持续改善,但水污染物排放量依然巨大,其中化学需氧量排放量仍处于千万吨级别,氨氮、总氮排放量为百万吨级别,对标2030“美丽中国”目标,我国水生态环境治理任务依然艰巨,全国水污染物防控形势依然严峻^[4]。“十四五”时期,应充分利用普查数据的汇总评估结果,结合我国水污染物排放特征,以“减排”为目标,持续推进污染物控制制度建设,稳抓水污染物减排工作中的重难点,做到精准减排。

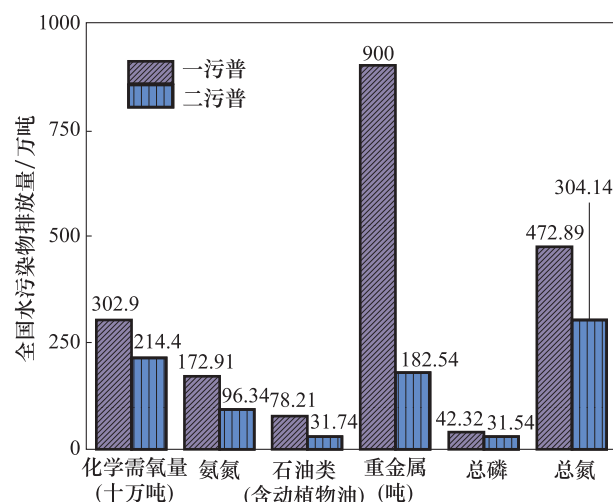


图1 两次全国污染源普查水污染物排放量

Fig. 1 Total discharge amount of water pollutants in two national surveys of pollution sources

2.1 我国水污染综合治理能力大幅提升

10年间我国环境治理基础设施建设成效显著,废水污染治理能力大幅提升,污染物排放总量明显

降低。从“一污普”到“二污普”，集中式污染治理设施数量由 4790 个跃升到 8.40 万个，增加 16 倍，污水处理设施数量则由 2094 个攀升到 7.80 万个，增加 36 倍；“二污普”数据中化学需氧量、氨氮、总氮、总磷这几类主要水污染物的消减量分别为 1523.40 万吨、144.43 万吨、153.40 万吨、21.75 万吨，较“一污普”数据显示的 590.58 万吨、37.62 万吨、28.82 万吨、4.53 万吨而言大幅提高(图 2)。有序推进我国环境治理的基础设施建设是系统推进我国污染治理体系协调发展的重要举措，综合分析“二污普”集中式污染处理设施相关信息，推进城镇集中式处理设施优化布局，更新与提升，优化城镇集中式处理设施的设计处理能力与污水收集范围，提升城镇周边农村生活污水收集及处理能力；持续增加环境基础设施资金投入，因地制宜地建立符合农村特点的污水治理与管理体系，有针对性的加大农村集中式基础处理设施建设力度与长效维护体制，提升农村污水收集及治理水平；依据工业园区废水排放特点，不断增强工业园区的废水集中收集处理能力，确保设施系统、整体稳定运行的同时，不断优化处理技术降低处理成本；加大工业废水的处理技术综合研发，探究工业废水的无害化、资源化应用，不断提升我国水环境污染综合治理能力，大幅降低污染物排放总量的同时，增强废水的循环利用体系建设，实现水资源的高效利用。

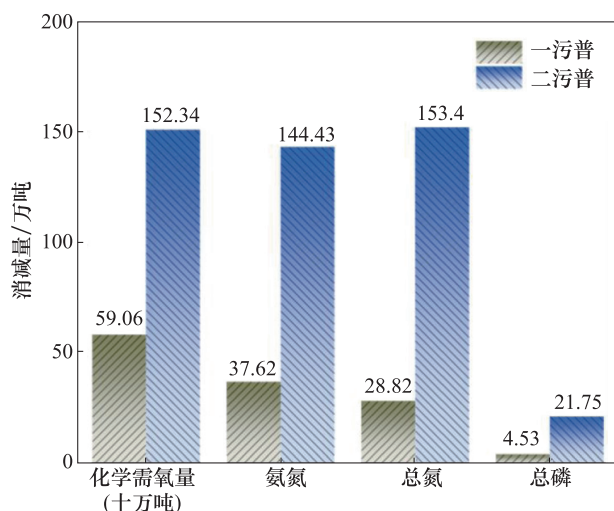


图 2 两次全国污染源普查主要水污染物消减量

Fig. 2 Total reduction of major water pollutants in two national surveys of pollution sources

2.2 工业源水污染物排放状况大幅改善

随着工业企业废水治理力度的加强及废水治理设施的完善，工业源污水处理能力大幅提升、工业废水循环利用能力迅速提高。10 年来，工业企业废水处理设施数量由“一污普”的 14.07 万套增加到“二污普”的 33.12 万套，设计处理能力由 2.35 亿吨提升到 2.98 亿立方/日；2017 年我国共有工业污水集中处理厂 1520 个，处理污水 40.75 亿立方，较 2007 年增加 27.85 亿立方；工业源水污染物消减量大幅增加，工业源水污染物排放量逐年减少，工业源对废水主要污染物排放量的贡献率逐年下降。与“一污普”相比，“二污普”时期工业源废水主要污染物排放量大幅下降，对化学需氧量、氨氮的贡献率大幅降低。可见，在“一污普”到“二污普”的十年间，我国水污染治理工作成效显著，工业污水排放控制工作取得极大进展，未来应在已有的工作基础上，充分利用普查数据，制定并及时更新污染物排放标准，建立企业环保信用体系，加强跨部门合作，从法律法规、监管体制、技术创新、市场机制等多个方面综合考虑，推动工业企业、工业园区污染控制持续优化，尤其加强工业企业废水治理设施维护，建立系统的长效的设施运维体系，确保工业污水设施的稳定性和可靠性。针对工业企业废水特点，综合分析考虑，不断革新工业源污水处理技术，提升处理能力的有效性、连续性，以经济性为基础、创新性为导向进一步推进工业源水污染物排放控制与工业废水的无害化、资源化应用。

2.3 农业源与生活源水污染物排放比例加大

“二污普”中农业源与生活源的化学需氧量、氨氮、总氮和总磷排放量之和占比均超九成。二者的化学需氧量排放量由“一污普”的 80.30% 提升至“二污普”的 95.64%；氨氮排放量由“一污普”的 86.13% (农业源未统计) 提升至“二污普”的 95.01%；总氮排放量在“二污普”中占比 94.70%，在“一污普”占比 100% (工业源、集中式未统计)；总磷排放量在“二污普”中占比 97.46%，在“一污普”中占比 99.89% (工业源未统计)。

通过对比两次全国污染源普查公布的数据可以发现，十年间农业源和生活源的水污染排放控制

治理工作虽然已取得较大进展,但仍是水污染治理的重点领域。农业源和生活源在水体主要污染物排放中的贡献率高,涉及的污染对象多,且多为无组织排放或面源排放,面临管理程度低、治理难度大、监管挑战多的难题,随着乡村振兴的积极推进,应持续增强农业面源污染控制政策驱动,加大污染控制技术创新力度,结合我国农业源实际情况,积极开展农业面源污染的分类治理,推进农业绿色生态转型;在综合提升城镇污水治理水平的同时加大力度推进农村生态环境基础设施建设,应构建多种收集处理模式相结合的农村污水处理体系,同时尤其重点建立农村污水处理设施长效运维机制,确保农村污水处理设施的稳定运行,大幅提高农村生活源水污染物治理能力和农村水污染控制管理能力,助力农业农村绿色健康发展。

2.3.1 畜禽养殖场水污染物控制形势依然严峻

10年来我国畜禽养殖业持续向规模化、规范化、精细化方向发展,畜禽规模养殖场发展迅速,2017年末我国畜禽养殖场数量达37.88万个。随着畜禽养殖业规模化生产水平逐年提升,相关治理设施建设不断优化,废水治理能力大幅提升,资源化利用程度持续增强,畜禽规模养殖场的水主要污染物的排放总量及排放强度明显下降,但畜禽养殖业污染防治工作仍相对滞后,在农业源水主要污染物排放贡献中占比最高。2017年,畜禽养殖业化学需氧量、氨氮、总氮、总磷排放量分别为1000.53万吨、11.09万吨、59.63万吨、11.97万吨,在农业源水主要污染物排放量中的占比分别为93.76%、51.30%、42.14%、56.46%,其中畜禽规模养殖场化学需氧量、氨氮、总氮、总磷排放量分别为604.83万吨、7.50万吨、37.00万吨、8.04万吨,在农业源水主要污染物排放量中的占比分别为56.68%、34.69%、26.15%、37.92%,可见畜禽规模养殖场的水污染物排在农业源水污染物排放中占比较大,为重点控制对象。目前,在深入推进规模化、规范化畜禽养殖模式的同时,不断提升生产与处理技术,加强生产及处理技术的提升,目的就是要做到源头减量与末端减排二者双管齐下,有效减少污染物的产生与排放。一是要引进生产清洁化技术,以转变养殖方式为抓手,从养殖工艺、节水用料等方

面进行优化;二是提高粪污处理技术,处理工艺更新优化,实现无害化处理,推广生物垫床零排放处理养殖污染技术等先进的养殖污染治理技术,增大养殖粪污消纳。

以绿色生态转型为思路,建立种植-养殖-农产品加工-生态旅游一体化的生态循环发展模式。综合利用资金、耕地、人力等资源积极推进种养高度融合一体化经营模式,做到“无害化处理、资源化利用、容量化控制、生态化发展”。种植业产品深度加工,加入养殖生态链,高效资源化利用畜禽粪便、高浓度废水,生产生物有机肥,生产绿色食品。鼓励污水集中处理中心、有机肥类加工生产工业企业规模集中化发展。畜禽规模养殖废水中COD、氮、磷的含量非常高,污染物排放量比重大。这些废弃物可以通过生物转化高效回收利用,生产高品质生物有机肥,再用于种植业,能够大幅度削减农用化学品的使用,有利于从源头防控农业面源综合污染。提升农业农村地区的环境质量,增加农民收入,提高区域的生态系统生产总值(GEP)。

2.3.2 种植业水污染物流失不容忽视

2017年种植业的总氮流失量为71.95万吨,在农业源总氮排放量中占比为50.85%,氨氮、总磷流失量分别为8.30万吨、7.62万吨,在农业源总磷排放量中占比为38.39%、35.94%,与畜禽规模养殖场的排放量相当。氮、磷是植物生长的基本元素,对提升土壤肥力至关重要,为了促进农作物高产优质生长,平衡作物与土壤之间的营养供需关系,在种植业领域应加大资源化应用技术研发力度,控制氨氮、总氮、总磷的流失,不断提升资源化利用效率,推动种植业绿色健康发展。

从2016年中央1号文件提出的“加大农业面源污染防治力度,实施化肥农药零增长行动”到2020年中央1号文件进一步提出“深入开展农药化肥减量行动”,可见,政府长期将农业面源污染控制作为工作重心,种植业的规模化、绿色可持续发展是推动我国农业健康发展的重要组成,因此,种植业的化肥、农药等面源污染控制是实现农业绿色可持续发展的重要抓手^[5]。种植业面源污染在农业面源污染中的贡献较为显著,由于其随机性强,监测控制难度大、分布较广等特点,尤其种植业的化肥与农

药施用造成的水体氮、磷超标富营养化程度加重,已对我国水环境质量安全构成重大影响^[6]。为实现种植业面源污染的有效防治,最大程度减小氮磷流失对土壤、水体的影响,要对当地种植特点、实际问题实现精准把控,针对性制定农药及化肥减量增效策略,协调有机肥、微生物肥料、有机可降解农药等的研发工作,积极推进替代工程,加快推进种植业绿色健康发展;政策支持农业面源特别是种植业面源污染防治的基础性、应用性、探索性、热点性、前瞻性科学问题研究是推进绿色农业研究进展、落实生态农业建设、实现农业可持续发展的有力抓手;同时灵活运用大数据、物联网、人工智能等技术,构建种植业面源污染控制模型,建立种植业面源污染监测网络,拓宽数据获取渠道,实现种植业面源污染的实时监测、数据抓取、多方共享、及时响应,依托人工智能实现具体问题的系统分析和处理方案制定,做到种植业面源污染的实时控制和针对性处理,有效推进农业数字环保领域的健康发展^[7]。

2.3.3 生活源成为水污染物排放控制的重点

2017 年生活源对水主要污染物对总排放量的贡献率分别为化学需氧量 45.87%、氨氮 72.57%、总氮 48.18%、总磷 30.25%,城镇生活源的化学需氧量、氨氮、总氮、总磷、动植物油排放量在生活源水污染物排放量中占比为 49.20%、64.95%、69.53%、61.32%、36.07%;农村生活源化学需氧量、氨氮、总氮、总磷、动植物油排放量在生活源水污染物排放量中所占比例为 50.80%、35.05%、30.47%、38.68%、63.93%(图 3)。10 年来,城镇管网、城镇污水处理厂等基础治理设施建设逐步完善,城镇生活污水治理能力逐步提升,2017 年我国城镇污水处理厂数量增加到 8969 个,污水处理量由“一污普”的 194.41 亿吨,提升到 595.75 亿立方,但城镇生活污水污染物的排放量依然巨大。为进一步推进生活源水污染物排放控制工作,应持续加强城镇污水处理相关基础设施建设、污水处理厂提标改造及污水处理技术创新应用,持续推动城镇生活污水的高效处理及综合利用。农村生活污水治理在 10 年间同样取得较大成绩,农村集中式污水处理设施数量达到 66612 个,污水处理量达 10.26 亿立

方,呈现井喷式增长。农村生活污水具有的水质波动大、排放分散、收集难度大、治理设施建设维护难度高、管理困难等特点,使其治理率仍相对较低,是水污染排放控制工作的重大短板。针对农村生活污水的排放特点及其水环境承载力,做好农村水污染防治规划,优化农业结构和布局,构建城乡一体化处理、集中式处理、分散式处理相结合的处理模式,一方面,加大资金支持力度,设立专项财政资金,同时引导与鼓励社会资本参与到农村污水治理基础设施建设,推动财政资金与社会资本的通力合作,构建财政资金保障为主,社会资本为辅的多元资金保障体系,另一方面,构建稳定的污水治理技术团队,培训相关技术队伍,加强实践与学习,沟通与交流,不断提升技术能力,实施巡查维护措施,建立长效的运维体系,更需注重提升农村生活污水的循环利用能力,随着乡村振兴工作的深入推进,因地制宜、环境友好、逐步推进、管建并重地完善推进农村生活污水收集治理工作,不断优化农村污水管控水平,切实减少污染,持续改善农村生态环境质量。此外还需加强环保宣传教育,在农村全面扩展环保知识普及范围,以提高居民的环保意识和法制观念为抓手,高效调动其对保护环境的主观能动性,这对打破城乡之间发展壁垒,促进城乡协调发展有重要意义。

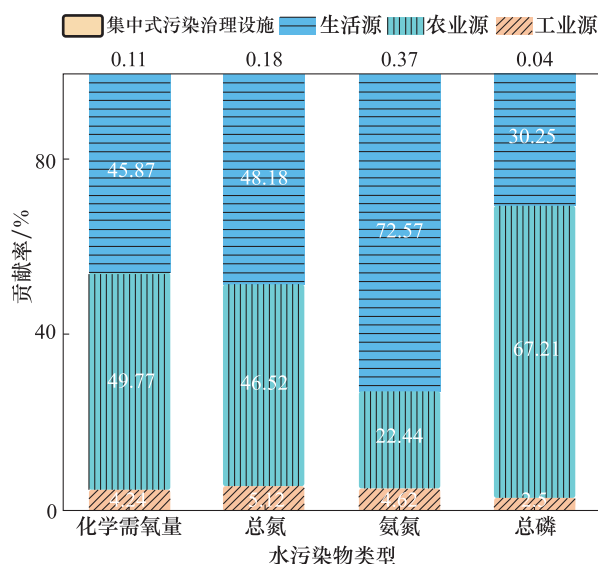


图3 两次全国污染源普查主要水污染物排放源

Fig. 3 Major discharge sources of water pollutants in two national surveys of pollution sources

3 全国大气污染物排放数据对比分析

相比“一污普”,“二污普”公报显示全国大气污染物排放量中二氧化硫排放量为 696.32 万吨,下降 1623.68 万吨,下降近 7 成;氮氧化物排放量为 1785.22 万吨,下降仅 12.48 万吨,与“一污普”基本持平;颗粒物排放量为 1684.05 万吨,上升 517.41 万吨,增幅 44.35%(图 4)。十年间,二氧化硫治理能力显著提升,排放量大幅下降,但全国大气污染物排放总量依然巨大,二氧化硫排放量仍是“百万吨”级别,氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物排放量为“千万吨”级别;而且“二污普”的氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物排放量较“一污普”的数据下降不明显甚至有所上升。我国大气污染现阶段防控潜力依旧巨大,防控形势仍然严峻,多种污染物协同减排、精准控制是未来改善我国空气质量,开展全国大气污染物治理的重心^[8]。

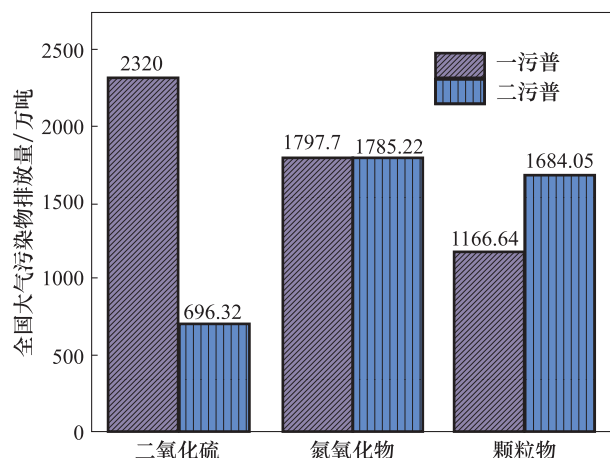


图 4 两次全国污染源普查大气污染物排放量

Fig. 4 Total discharge amount of air pollutants in two national surveys of pollution sources

3.1 工业源仍是全国大气污染物重要排放源

随着大气污染治理力度的增大,2017 年我国工业企业脱硫设施、脱硝设施和除尘设施的安装使用量分别达 7.67 万套、3.44 万套和 89.79 万套;工业源二氧化硫、氮氧化物、颗粒物排放量大幅缩减,2017 年排放量分别为 529.08 万吨、645.90 万吨、1270.50 万吨,较“一污普”分别下降 75.04%、45.65%、27.26%。从两次污染源普查公报数据来

看,工业源大气污染物排放综合治理已取得显著成绩,污染治理设备安装使用率大幅提升,各主要污染物的排放量明显下降,工业源对大气污染贡献率总体呈下降趋势。

“二污普”公报显示,2017 年二氧化硫排放主要来自工业源和生活源,分别占比 75.98%、17.91%;氮氧化物排放主要来自移动源和工业源,分别占比 59.65%、36.18%;颗粒物排放主要来自工业源和生活源,分别占比 75.44%、22.45%;挥发性有机物排放主要来自工业源和生活源,分别占比 47.34%、29.15%(图 5)。除氮氧化物排放工业源为仅次于移动源的第二大排放源外,其他污染物排放中工业源均为第一大排放源。与“一污普”相比,二氧化硫、氮氧化物、颗粒物排放量居前三位的产业仍是电力、热力生产与供应业,非金属矿物制品业和黑色金属冶炼和压延加工业,依然是重要的大气主要污染物排放行业(“二污普”中颗粒物排放量居第二位的是煤炭开采和洗选业);三大行业占比工业源二氧化硫、氮氧化物排放量的 66.75%、75.34%。可见,工业源依然是全国大气污染物的主要排放源,多种污染物排放贡献比例仍较高,部分行业与污染物的治理水平仍较低,由“一污普”的粗放发展到“二污普”的生态转型,高污染的煤炭、焦炭等能源消费逐步有所控制,但工业企业以煤炭为主的能源消费结构未得到根本的改变,依然较为单一,清洁能源的占比依然较小。随着“碳达峰碳中和”(简称“双碳”)目标的落地,大力发展生物质能等清洁能源是实现绿色可持续发展的重要举措;进一步加大工业源污染治理力度,降低主要污染物排放强度及排放量,根据各地工业源的排放特点,有针对性的增强电力、能源、冶炼等重点行业的减排升级改造工作,重点解决工业源污染的突出问题。强化工业企业排污许可管理,加强排污许可标准执行监管,重点针对大气污染物 SO_2 、 NO_x 总量控制和减排计划的相关要求。进一步优化工业产业结构,利用工业园区集中发展模式提升重点大气污染物控制能力尤其是工业企业 VOC_s 无组织废气收集和综合治理,强化工业园区的大气污染物集中处理能力,不断提升工业园区大气污染物的综合治理水平。

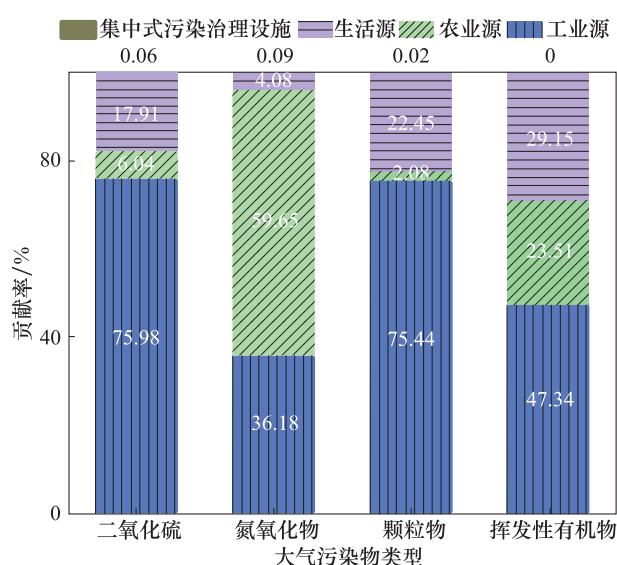


图5 两次全国污染源普查主要大气污染物排放源

Fig. 5 Major discharge sources of air pollutants in two national surveys of pollution sources

3.2 生活源的大气污染物治理仍需加强

生活源的大气污染物排放主要来自行政村燃煤、生物质燃烧、非工业企业单位锅炉燃料燃烧以及储油库和加油站挥发性有机物的排放,其中二氧化硫、颗粒物、挥发性有机物的排放量较大,贡献率也较高,“二污普”数据显示其排放量分别为124.72万吨、378.12万吨、296.63万吨,分别占大气污染物总排放量的17.91%、22.45%、29.15%。10年来,“煤改电”“煤改气”工程在农村迅速推进,有效遏制了农村生活源的大气污染物排放,但二氧化硫、氮氧化物、颗粒物的排放量较“一污普”有所增加(“一污普”的生活源普查对象与“二污普”存在差别)。

可见,生活源的大气污染物治理工作仍有极大的推进空间,主要农村仍需加大能源使用结构的优化,最大程度提升天然气、电力等清洁能源的使用比例,提升能源消费效率;分散式的农村使用电力、清洁煤炭等能源消费改造,不断优化农村空气质量,助力乡村振兴。针对非工业企业单位锅炉燃料燃烧提升使用天然气等清洁能源的比例,改电锅炉等措施进行污染管控;储油库、加油站油品蒸发是VOCs排放的重要来源,油品蒸汽中所含VOCs物种的化学活性高,在紫外线照射下会反应生成臭

氧,因而其VOCs排放对臭氧生成的贡献率不容忽视,大气中臭氧浓度上升也会导致光污染事件的发生,严重威胁人体健康和生态环境安全^[9]。为控制油品蒸发导致的VOCs排放,需清查区域内加油站、储油库的数量、分布及排放情况,加快设备升级改造实施;加油站、储油站日常运行时油气回收装置的排放检测需按规章高标准、严要求完成,完善并严格落实现场监督、联动执法等监督检查机制,并利用物联网和实时监测技术建立油气回收全面监测系统,确保油气回收设施长效稳定运行,保证油气高质量回收。

“十四五”期间,为进一步提升空气质量,仍应查补短板,科学精准治污,创新生活源管理模式,完善相关环境机构管理机制,推进生活源大气污染物减排工作更上新台阶。

3.3 移动源成为大气污染控制重点

随着我国经济10年来的高速发展,机动车、工程机械、农业机械、船舶、铁路运输、民航保有量及燃油量等均大幅提升,尤其机动车保有量在2017年达2.67亿辆。机动车污染源中氮氧化物、颗粒物、挥发性有机物的排放大幅增加,2017年各污染物排放量分别为595.14万吨、9.58万吨、196.28万吨,在各类源大气污染物排放量中占比为33.34%、0.57%、19.29%;非道路移动污染源氮氧化物的排放量为469.74万吨,在各类源氮氧化物总排放量中占比为26.31%。可见,移动源的氮氧化物、挥发性有机物在大气污染物排放量中占比较高,移动源污染已成为我国大、中城市空气污染的重要来源。

要根据各区域移动源具体情况和排放特征,针对性制定移动源污染控制方案。“十三五”期间,各区域通过运输结构调整、车辆转型升级、移动源污染监控系统构建等措施,实现移动源污染监控体系的构建与完善,大幅提升监管力度。未来,需进一步加大资金投入,进一步强化机动车监测监管能力、完善监管体系;建立机动车监管大数据平台,实现“天地车人”排放全链条一体化信息总体监管、智能综合分析;充分行使地方立法权,继续完善机动车监管制度体系,依据当地发展水平出台相关监管法规,实现移动源污染排放监管全落实;同时对非道路移动机械污染进行深度监管,有效管控区域内

非道路移动机械使用,同时,加强清洁能源使用,支持机动车及相关设备转型升级^[10]。移动源污染控制的紧迫性已日益凸显,提升其管理水平、优化管理模式、提高管理强度,有效降低移动源对大气污染的贡献率,改善区域空气质量^[11]。

3.4 “双碳”背景下大气污染物控制方向的改变

在目前“双碳”背景下,绿色低碳可持续道路是高质量发展的长远布局,推进温室气体排放控制、协同促进减污降碳发展也明确为国家重点战略方向^[12]。

工业源大气污染物排放量大的三大行业——电力、热力生产和供应业、黑色金属冶炼和压延工业和非金属矿物制品业,均是温室气体排放的重点行业^[13]。在实现二氧化硫、氮氧化物、颗粒物治理能力提升的前提下,还应该注重行业的绿色低碳发展,将温室气体的排放纳入重点关注方向,尤其是电力、热力生产和供应业,在行业或产品全生命周期的碳足迹核算过程中,使用或外购电力、热力是碳足迹核算的重要组成。工业源温室气体排放控制是实现“双碳”目标的重中之重,实现温室气体减排关键在于建立清洁、低碳、高效的能源体系。同时,加大工业体系低碳工艺流程设计,全链条、全流程、全覆盖体现低碳举措,逐步推进工业低碳可持续发展。

生活源涉及的燃煤、天然气燃烧(生物质燃烧是自然碳循环不计入碳足迹核算)等化石燃料使用过程会产生大量温室气体,随着乡村振兴的逐步推进,应准确、全面的贯彻新发展理念,农村应从传统粗放生活模式向低碳生活转变,在农村也应树立低碳生活理念,农村的能源低碳转型是农村低碳发展的重要工作,政府应通过设立专项资金等方式加大对农村能源基础设施建设的支持,鼓励引导社会资本投入到农村能源体系建设,同时加强农村能源体系的维护与管理,在农村基础条件好、积极性高的地方推进农村能源绿色低碳试点,构建当地特色的能源形态灵活转换模式,向能源清洁化、低碳化方向发展,坚持绿色低碳的乡村振兴道路。同时,加强生活源储油库、加油站绿色低碳转型,构建数字化、智能化监测、运维管理体系,实行全面数字化管

理,在加油站屋顶建设光伏电站,布局多种经营业态,提升加油站综合能源管理;构建储油库碳中和规划思路,一是利用保温新材料,高效节能设备,减少能源消耗,二是利用空余空间布局光伏建设,高效利用光能,三是积极推动碳中和项目建设;全面利用低碳发展的思路,积极推进储油库、加油站低碳绿色、智能高效的经营模式。

移动源产生的氮氧化物、挥发性有机物等污染物是形成雾霾的重要因素,燃油也是产生温室气体的重要影响因素。面对移动源减污降碳的迫切需求,创新提升燃油品质,提高用油效率,发展清洁替代能源,不断优化移动源污染控制,是实现绿色低碳发展的新思路。

农业源温室气体减排是确保碳达峰、碳中和目标实现的重要支撑,也是实现乡村振兴战略的主要动力^[14]。在水稻种植、动物肠道发酵、动物粪便管理和农业土壤等重要农业活动中,甲烷、氧化亚氮排放分别为4.67亿吨和3.63亿吨二氧化碳当量(2014年中国农业活动排放数据),占中国所有甲烷、氧化亚氮排放当量的40.2%和59.5%,是非二氧化碳温室气体的重要来源^[15]。可见,农业温室气体排放已成为全球温室气体排放的最大贡献者,推动农业温室气体减排与农业生态系统固碳双发力是目前探索的重点。要实现农业减排固碳,还需针对其温室气体排放特点、碳排放与碳固定的影响因素等制定相关实施手段,构建绿色低碳的农业发展模式:一是大力推动低耗智慧农业设备研制及推广使用,以促进农业作业精细化、智能化的可持续发展;二是构建农药化肥精准施控系统,在人工智能、大数据、物联网等技术的加持下,高效准确地控制化肥、农药的使用,控制污染物流失和碳排放水平最小化;三是优化农业和养殖业污染控制技术体系和废弃物资源化利用技术体系,构建实时监管系统,以降低作业过程的能耗及碳排放;四是大力研发农业温室气体减排与固碳技术,有效降低提升碳汇;五是利用农业大数据,精准推进耕地质量保护与提升、酸化、盐碱化土地改良、增施有机肥、耕地水分精细化管理、废弃物资源化利用、保护性耕作等关键农业绿色循环发展技术的应用与推广,探索利用数字化新技术提升农业碳汇的新路径^[16]。

在双碳政策背景下,工业源、生活源、移动源、

农业源均需加大温室气体减排策略干预,推动各污染源大气污染物控制方向的改变,不断探索大气污染物排放控制的同时增加温室气体减排的路径,将温室气体减排提升到重要的控制方向,推进各领域全面的绿色可持续发展,努力高质量实现我国双碳目标。

4 固废的处理处置能力对比分析

固体废物的无害化、减量化和资源化是固体废物污染防治的三大途径。2017 年我国垃圾处理设施数量由“一污普”的 2353 个提升到 4449 个,生活垃圾处理量为 3.39 亿吨,较 2007 年 1.69 亿吨增加一倍,虽然我国垃圾处理能力大幅提升,处理量大幅增加,但主要的处理方式仍为填埋,2017 年填埋量为 2.26 亿吨,占比 2/3,生活垃圾的资源化利用效率依然较低。随着集中式污水处理设施数量的增多,污水处理能力增强的同时干污泥产生量也急剧增加,2017 年干污泥产生量 1026.71 万吨,处置量 1000.59 万吨,干污泥处置率达 97.46%,但污泥资源化利用技术创新能力不足,综合利用效率较低。10 年来,农业废弃物资源化创新技术的应用不断加深,资源化利用效率持续提升^[17],但高附加值资源化利用能力不足,仍需进一步提升。在干污泥和农业废弃物处理过程中深入应用创新资源化利用技术是统筹生态效益、经济效益和产业效益的有力手段。10 年间危废、医疗废物的综合利用能力和处置(处理)能力大幅提升,2017 年危险废物处置厂数量达 1125 个,医疗废物处理(处置)厂数量达 342 个,较“一污普”的 159 个,增加 8 倍;设计处置利用能力由 1.13 万吨/日增加到 12.85 万吨/日(4691.53 万吨/年),实际处理量由 117.42 万吨提升到 1584.41 万吨(处置工业危险废物 487.92 万吨,医疗废物 97.11 万吨,其他危险废物 57.10 万吨,综合利用危险废物 942.28 万吨),提高 12 倍。2017 年末,全国伴生放射性固体废物累积贮存量为 20.30 亿吨,其中活度浓度超过 10 贝可/克的固体废物 224.95 万吨,可见我国危险废物产生量和贮存量均处于较高水平,处理压力巨大。考虑到目前我国危险废物 4691.53 万吨/年的设计处置利用量远远大于 1584.41 万吨的实际处置利用量,实际处置

利用率仅为 33.77% 的现状,未来应加大危废处置利用管理力度,不断完善危废处置(处理)基础设施建设,持续提升危废处理处置设施的处置利用效率,不断增强危废综合处理处置能力。

4.1 一般工业固废综合利用率与处理处置能力仍需提高

“二污普”公报显示工业固废中一般工业固废产生量为 38.68 亿吨、综合利用量 20.62 亿吨、处置量 9.43 亿吨,相比“一污普”分别增加 0.16 亿吨、2.58 亿吨、5.02 亿吨,倾倒丢弃量由 4755.89 万吨降低至 158.98 万吨(图 6),总而言之,一般工业固废的综合利用量、处置量大幅提升,倾倒丢弃量大幅缩减。可见,10 年来,我国一直在持续推进一般工业固废的集中处置设施建设,其综合利用效率大幅提升,不断推进固体废物的“无害化、减量化、资源化”三原则有效落实^[18]。但一般工业固废产生量较综合利用量与处置量多 8.63 亿吨,大量的工业固废得不到有效利用和处置,应不断推进工业固废的处置(处理)技术及综合利用技术的优化创新,加大工业固废处理和综合利用设施的建设力度,提高工业固废的处理能力和利用效率;虽然工业固废倾倒丢弃量大幅缩减,但仍有 158.98 万吨的工业固废被倾倒丢弃,对环境的影响不容忽视,一方面要加强工业固废跟踪管理,构建完善的工业垃圾固废处理处置方案,另一方面加强工业固废综合利用技术的

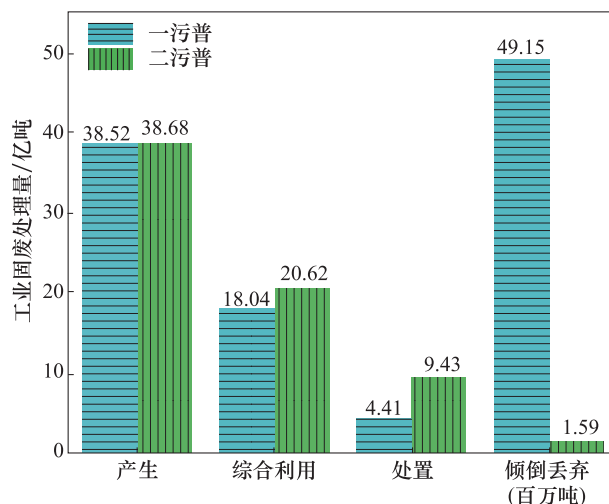


图 6 两次全国污染源普查工业固废处理量

Fig. 6 Disposal of industrial solid waste treatment amount in two national surveys of pollution sources

提升,强化政府、企业、研究机构的全力配合促进工业固废资源化利用经验技术的不断优化与创新,同时监管部门需加大监管力度,持续推动工业固废的综合利用效率和处理水平显著提高^[19]。

4.2 工业危废累积贮存量剧增

相比“一污普”,2017年工业危险废物产生量为6581.45万吨,综合利用和处置量为5972.78万吨,分别增加了2007.76万吨、2135.21万吨,无危废丢弃。10年来,我国高度重视危险废物的处理处置工作,危险废物集中利用处置(处理)单位快速增加,但工业危险废物的综合利用和处置量较产生量小,造成年末累积贮存量大幅提升,达8881.16万吨,较“一污普”的812.44万吨增加近10倍^[20]。可见,结合实际以加大工业危险废物处理厂的建设力度,提升危险废物的综合利用效率,在未来,对于工业危险废物,应实施更为严格的管理措施,建立完善的环保督察制度,从作为污染排放主体的企业入手,通过政策引导、政府监督等方式鼓励其加大环保投资力度,积极履行相应环保责任。首先,强制企业进行准确的危废识别和分类,确保危险废物得到专业处理。其次,建立危废收集、运输和处理的完整链条,不断提升危险废物的综合利用和处置量,同时将消纳危险废物贮存量作为工业危险废物污染防治工作重点。此外,加强监管和执法力度,对违规行为进行严惩,保障危废处理安全和环境可持续。

4.3 农业废弃物的综合利用空间依然较大

资源化利用是防控农业废弃物污染、降低碳排放的有效手段,2017年我国农业废弃物的综合利用效率较“一污普”已有显著提升,秸秆利用量为5.85亿吨,可收集资源量为6.74亿吨,综合利用效率为86.8%。秸秆综合利用是农业废弃物综合利用的重要组成部分,“秸秆还田”是实现我国秸秆综合利用量最大化的措施,随着科技不断进步,生物质制氢、热解等技术的研发进一步拓宽秸秆的利用方向,并大幅提升了其利用效率,使秸秆综合利用实现了科技指导、多元发展、高效实施的综合目标,对农民增收、环境保护和乡村可持续发展等工作有重要意义。这十年间,地膜累积残留量不断增加,于2017年达118.48万吨,较2007年的12.10万吨增

加了近9倍,地膜残留构成的环境污染严重破坏耕地的生态环境,给耕地的生态圈构成威胁,在未来,不断提升低成本可降解地膜的研发力度,提高地膜可降解稳定性将成为地膜污染控制的新方向;与此同时,还应持续加强对地膜回收利用技术的针对性研究,继续提升地膜回收利用效率,积极探索地膜污染控制新措施^[21]。其中,畜禽养殖废弃物一直是农业发展的优良肥料,也是农业与养殖业优质生态循环链中的重要元素,对该废弃物的综合利用是目前研究的热点,畜禽养殖废弃物可以作为热解的重要原料,其发酵产生的沼气、沼渣、沼液也可进一步实现多级循环利用,其利用路径包括发电、制备有机肥、液体肥料等,能够有效解决处理畜禽养殖废弃物的各项问题,并促进畜禽养殖业绿色、生态、健康、可持续发展^[22]。

5 总结

相比第一次全国污染普查,第二次全国污染源普查的普查方案更加成熟完善、普查技术更加全面先进,二污普查数据的准确性和权威性相比一污普有了进一步的提升,保证了普查结果的全面性、可靠性和科学性,具有重要的意义和价值。通过二污普,全面掌握了污染源的分布、排放情况和污染物种类,为制定环保政策和规划提供科学依据。同时揭示了污染源与环境问题的关联性,有助于更加准确地评估环境风险,采取有针对性的防治措施。此外,普查能够反映环保政策的实施效果,及时调整和优化环保工作的方向和策略,提升环保管理的效率和效果。

10年来,随着我国经济的高速发展,工业、农业、生活等领域均迎来巨大改变,工业企业数量大幅增长,产业结构持续优化,高新技术产业比重逐步上升;农业现代化程度不断提升,农业源污染得到有效遏制;随着城镇化进程的快速推进,生活源污染治理措施的不断完善,污染物治理能力显著增强;移动源污染防治技术不断优化升级。全国污染防治工作取得优异成绩,生态环境质量得到有效改善,主要污染物的排放量大幅下降,但全国污染物的排放总量依然巨大,各地、各部门、各行业仍需不断加大污染治理力度,增

强污染综合治理能力。

随着“双碳”工作的持续推进,大气环境污染治理仍需持续发力,工业企业不但面临主要污染物排放强度和排放量的控制要求,还要应对绿色低碳高质量发展的产业转型压力,依托科技创新和提标改造建立清洁能源体系。工业源依然是大气污染物的重要排放源,应大力推进大气污染综合防治工作,加大工业企业大气污染控制力度,持续降低工业企业的大气污染物排放强度和排放量,尤其是氮氧化物、颗粒物和挥发性有机物;工业固废、危废的处置(处理)也应持续加强,加强相关基础设施建设,创新处理和综合利用模式,提升累积贮存量消纳效能。农业源污染治理仍是生态环境保护工作的突出短板,农业源的畜禽养殖业水污染物排放比重较大,种植业的总氮、氨氮、总磷流失量也不容忽视,农业废弃物的综合利用效率也有进一步提升的空间,科学治污、精准治污水平相对落后,治理重难点突出,有极大的提升空间;生活源水污染物排放量比重加大,将成为今后水污染物控制的重点,生活源二氧化硫、氮氧化物和颗粒物治理能力仍需增强,且无组织排放、治理监管难度大的问题突出;移动源大气污染物排放量十年间大幅提升,其氮氧化物和挥发性有机物排放需加以重点管控,整体排放防控水平有待进一步优化。可见,生态环境工作任务重道远,生态环境污染治理工作整体而言需以“二污普”为依据,找准症结,精准施策,推动环境保护工作的健康发展。

利益冲突:作者声明无利益冲突。

参考文献(References)

- [1] 中国物资再生协会. 国务院办公厅印发《第二次全国污染源普查方案》[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(09):143.
DOI:10.3969/j.issn.1007-9211.2017.19.002
- [2] 中华人民共和国农业部, 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家统计局. 第一次全国污染源普查公报[N]. 人民日报.
http://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/qttjgb/qgqttjgb/202302/t20230218_1913282.html
- [3] 中华人民共和国生态环境部. 第二次全国污染源普查公报[Z]. 2020.
https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202006/t20200610_783547.html
- [4] 王金南. 我国生态环境保护工作取得积极进展[J]. 中国环境报, 2020-06-15.
http://epaper.cenews.com.cn/html/2020-06/15/node_4.htm
- [5] 石凯含. 基于种植大户行为的化肥面源污染防治政策研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2020.
DOI:10.27009/d.cnki.gdblu.2020.000917
- [6] 赵祖军, 郑田甜, 赵筱青, 等. 云南高原湖泊流域种植业面源污染物的流失特征分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(01):40-47.
DOI:10.13254/j.jare.2017.0169
- [7] 孟涵, 赵凯嵩, 徐杉. 云南省农业面源污染现状及对策[J]. 中南农业科技, 2022, 43(05):66-70.
DOI:10.3969/j.issn.1007-273X.2022.05.018
- [8] 黄鸿华. 应用污染源普查数据推动大气污染防治工作[J]. 化学工程与装备, 2021(03):243-246.
DOI:10.19566/j.cnki.cn35-1285/tq.2021.03.124
- [9] 常艳文, 谢永霞, 王海鹏. 安阳市加油站、储油库挥发性有机物(VOCs)污染现状及控制措施[J]. 河南科技, 2021, 40(10):117-120.
DOI:10.3969/j.issn.1003-5168.2021.10.044
- [10] 马强, 刘得守. 浅谈移动源污染防治工作[J]. 青海环境, 2020, 30(04):165-170.
DOI:10.3969/j.issn.1007-2454.2020.04.002
- [11] 张仕军, 柳晓斌. 第二次全国污染源普查成果在环境管理中的应用分析[J]. 环境与发展, 2020, 32(12):209-210.
DOI:10.16647/j.cnki.cn15-1369/X.2020.12.103
- [12] 张兴琪, 王雪, 邹洋, 等. 基于双碳目标的绿色低碳高质量发展路径分析[J]. 中国资源综合利用, 2023, 41(02):174-176.
DOI:10.3969/j.issn.1008-9500.2023.02.045
- [13] 张继宏, 程芳萍. “双碳”目标下中国制造业的碳减排责任分配[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(09):64-72.
DOI:10.12062/cpre.20210607
- [14] 唐博文. 从国际经验看中国农业温室气体减排路径[J]. 世界农业, 2022(03):18-24.
DOI:10.13856/j.cn11-1097/s.2022.03.002
- [15] 中华人民共和国生态环境部. 中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告[R]. 北京: 中华人民共和国生态环境部, 2018.

- <https://www.mee.gov.cn/ywgz/xdqhbh/wsqtz/201907/P020190701765971866571.pdf>
- [16] 程秀娟. 农业温室气体排放与减排固碳措施分析[J]. 中南农业科技, 2022, 43(05): 84-90.
DOI:10.3969/j.issn.1007-273X.2022.05.023
- [17] 胡钰, 林煜, 金书秦. 农业面源污染形势和“十四五”政策取向——基于两次全国污染源普查公报的比较分析[J]. 环境保护, 2021, 49(01): 31-36.
DOI:10.14026/j.cnki.0253-9705.2021.01.007
- [18] 程多威. 推动绿色低碳循环发展, 把握“三化”之间的关系[J]. 环境经济, 2021, 307(19): 54-58.
- [19] 杨斌, 陈武权. 从两次污普数据看江西省工业固废治理变化情况和建议[J]. 江西化工, 2021, 37(05): 92-96.
DOI:10.14127/j.cnki.jiangxihuagong.2021.05.026
- [20] 杨燕, 李国学, 李旺旺, 等. 两次全国污染源普查结果对比分析[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2021, 33(06): 9-13.
DOI:10.19518/j.cnki.cn11-2531/s.2021.0137
- [21] 杨程, 张佳喜, 郭俊先, 等. 残留地膜回收技术与装备的研究现状[J]. 新疆农机化, 2016, 179(05): 15-19.
DOI:10.13620/j.cnki.issn1007-7782.2016.05.004
- [22] 唐剑飞. 论畜禽养殖废弃物资源化利用技术[J]. 广东蚕业, 2021, 55(09): 84-85.
DOI:10.3969/j.issn.2095-1205.2021.09.41

Review of the Eco-Environmental Protection Progress in China by the National Pollution Source Census Data Analysis

LU Guangliang¹, LIU Ziyang^{1,2}, YIN Zheyu^{1,3}, WANG Jiancheng^{4*}

- (1. Research Center for Eco-Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;
2. Sino-Danish College, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 101314, China;
4. Binzhou Institute of Technology, Weiqiao-UCAS Science and Technology Park, Binzhou 256606, China)

Abstract: Based on the results of the first national pollutant source census in 2007 (hereinafter referred to as the first pollutant census) and the second national pollutant source census in 2017 (hereinafter referred to as the second pollutant census), this paper analyzes the current situation of various pollutants in the past ten years. The differences in the contents of the two censuses, and the comparison of the data from the two censuses, show that China's ecological and environmental protection work has made positive progress, in which China's ability to comprehensively manage water pollution has been greatly improved, the discharge of water pollutants from industrial sources has been significantly improved, the control effect of atmospheric pollutants has been remarkable, and various environmental indicators have been optimized in a comprehensive manner. However, there are still challenges in environmental protection: the national water pollutant emissions are still huge, of which the contribution of agricultural sources and living sources of water pollutant emissions increased, living sources have become the focus of water pollutant emissions control; the national air pollutant prevention and control potential is huge, industrial sources are still an important source of air pollutant emissions in the country, and mobile sources have become a key focus of air pollution control. At the same time, the changes in the direction of air pollutant control under the background of "carbon peak carbon neutral" are summarized; The disposal and utilization efficiency of solid waste still needs to be strengthened, and the cumulative storage of industrial hazardous waste has increased dramatically. In conclusion, China's overall pollution prevention and control has made great achievements, and the future ecological environment work has a long way to go. The overall pollution management needs to be based on the "two pollution census", and the precise application of policy.

Keywords: Pollution source census; pollutants; pollution sources; prevention and control of pollutants

DOI: 10.48014/pcep.20230918003

Citation: LU Guangliang, LIU Ziyang, YIN Zheyu, et al. Review of the eco-environmental protection progress in China by the national pollution source census data analysis [J]. Progress in Chinese Eco-Environmental Protection, 2022, 1(4): 36-48.

Copyright © 2023 by author(s) and Science Footprint Press Co., Limited. This article is open accessed under the CC-BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

