

# 智慧环保背景下餐饮油烟在线监测监控技术应用现状及展望

林子吟

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

**摘要:** 餐饮油烟在线监测监控技术作为城市污染源智慧监控管理的应用之一, 全国很多城市正积极开展试点, 但目前大规模推广仍存在诸多问题。通过对我国餐饮油烟在线监测监控技术发展和应用情况的深入调研, 系统阐述目前我国餐饮油烟在线监测监控主流技术的分类及原理、现行的相关法规标准和实际应用现状, 分析目前技术和应用层面存在的问题, 并基于智慧环保背景对未来餐饮油烟在线监测监控推广的技术路径提出思路与建议。

**关键词:** 餐饮油烟; 在线监测; 智慧环保; 排放过程监控; 创新监管模式

**中图分类号:** X851

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2022060036

## Application status and prospect of online monitoring technology for cooking fumes under the intelligent environmental background

LIN Ziyin

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

**Abstract:** As one of the applications of urban pollution sources intelligent monitoring and management, the online monitoring technology for cooking fumes is actively conducting pilot projects in many cities. However, there are still many problems in a large-scale promotion. The development and application of online monitoring technologies for cooking fumes in China is thoroughly analyzed. In this paper, the classification and principles of the mainstream online monitoring technologies for cooking fumes were summarized, and the relevant laws, standards, and the status of the practical application were illuminated. The existing problems of current technologies and application aspects were also analyzed. Base on the intelligent environmental background, ideas and suggestions were proposed for the technical promotion of the online monitoring technologies of cooking fumes in the future.

**Keywords:** cooking fumes; online monitoring; intelligent environmental background; emission process monitoring; innovative regulatory model

**CLC number:** X851

多元的生活方式促使了人们消费方式的升级, 近些年来, 我国城市餐饮业规模的迅速增长带来了日趋严重的餐饮油烟污染问题。目前, 餐饮油烟已成为城市大气污染的重要来源之一。与工业污染源不同, 餐饮企业多位于居民区附近, 且量大面广。并且随着我国“放管服”改革的持续开展, 餐饮企业的开办已无需任何环保审批手续, 这对生态环境部门的事中事后监管提出了更高的要求。为有效解决餐饮企业量大面广、油烟瞬时超标难以抓取、手工监测效率低等监管难问题, 全国各地正积极探索餐饮油烟在线监测监控的创新监管模式。

与此同时, 近几年智慧环保的理念随着我国智慧城市的建设应运而生。智慧环保体系是物联网技术在数字环保应用的基础上形成的, 即将多种感应传感器应用到环境中以获取多种环境信息, 并利用云计算、数据挖掘等处理环境信息, 最终提出更智慧的决策和管理方式<sup>[1]</sup>。其中, 污染源监控管理是目前智慧环保体系在环境治理中应用的主要方面之一<sup>[2]</sup>, 餐饮油烟这一最贴近民生的污染源也纳入了城市智慧环保系统当中。餐饮油烟在线监测监控设备的安装, 实现了对油烟排放浓度或者净化设备的运行情况数据化的实时自动上报、统计和展

收稿日期: 2022-06-23

录用日期: 2022-07-04

基金项目: 上海市生态环境局重大科研项目(沪环科[2021]第3号)

作者简介: 林子吟(1987-), 女, 博士、工程师。研究方向: 餐饮油烟污染控制技术 & 政策。E-mail: linzysaes@163.com

引用格式: 林子吟. 智慧环保背景下餐饮油烟在线监测监控技术应用现状及展望[J]. 环境保护科学, 2023, 49(2): 44-49.

示,可为生态环境部门的监管提供数据支撑,也使环境执法更有针对性。

餐饮油烟在线监测监控技术在我国部分城市已经试点数年,推广实操过程中也遇到了重重阻碍,例如,法律法规的支撑、设备的技术成熟度和数据应用等各方面都存在诸多问题。文章通过对我国餐饮油烟在线监测监控技术的分类和原理的分析、现行相关法规标准的梳理,结合对目前油烟在线监测监控技术发展和应用情况的深入调研,提出对未来餐饮油烟在线监测监控推广技术路径的思路与建议。

## 1 餐饮油烟在线监测监控技术分析

餐饮油烟在线监控,也被称为餐饮油烟在线监测,是一个实时的监控系统,通过芯片无线网的传输器,对餐饮油烟净化设备在工作时产生的各种情况、油烟污染物的排放情况等进行连续、实时的自动监测并通过无线网络实时上传<sup>[3]</sup>。有些地区对油烟在线监控和在线监测做了明确的区分,即在线监控主要指的是用于实时监控污染防治设施运行情况的仪器、仪表等设施;而在线监测设施则指的是用于实时监控、监测污染物排放的仪器、仪表等设施。

### 1.1 技术分类

目前,市场上油烟在线监测监控技术按原理主要分为对油烟排放浓度的监测和对净化设备工况的监控。油烟排放浓度在线监控指通过油烟探头采样排烟管道内的油烟,输送至控制主机中进行计算分析,输出油烟等污染物的浓度值;净化设备工况监控主要通过对静电式净化设备低压端的电流、风机的开关量进行监测,有些设备商还会结合一定的数学模型推算分析该净化设备的净化效率和模拟清洁程度。油烟浓度在线监测设备从形式上也分为固定式设备和便携式设备<sup>[4]</sup>。固定式设备即传感器安装于排烟管道内的固定连续采集某排烟管道内的油烟污染物的在线监测设备,而便携式则指小型手持式的油烟浓度监测设备,目前多用于生态环境辅助现场执法以及物业或餐饮企业的日常自查工作中。

### 1.2 技术原理分析

1.2.1 排放浓度在线监测技术 油烟排放浓度在线监测技术根据传感器监测原理的不同可分为4大类别:光散射法、红外分光光度法、半导体气敏

法和电化学法。

光散射法多用于颗粒物的测量,因其具有快速、灵敏、稳定性较好等优点,目前在大气环境监测、扬尘监测和油烟监测中得到较多的应用。光散射法测量油烟浓度的工作原理是利用激光照射到颗粒物时产生的微弱光散射,在特定方向上的光散射波形与油烟粒径有关,通过不同粒径的波形分类统计及换算即得到不同粒径的实时颗粒物的质量浓度<sup>[5]</sup>,再经过标定得到相应的油烟质量浓度数据。光散射法主要分为粒子集合光散射法和粒子计数法。深圳市《饮食业油烟控制规范:SZDB/Z 254—2017》<sup>[6]</sup>将粒子集合光散射法作为油烟现场和在线监测的等效测试方法在其规范性附录里给出。粒子集合光散射法的原理是通过稳定光束照射被测气体,测定粒子集合散射光的强度来推知粒子集合的总表面积,在已知颗粒物数谱的前提下,通过颗粒物密度即可计算出颗粒物的质量浓度<sup>[4]</sup>,此种方法的优点是测量下限低、精度高<sup>[7]</sup>。粒子计数法的原理是利用散射光通过光电转换器变为电信号,粒子越大该脉冲信号就越大,通过波峰值和脉冲数即可得出每个粒径的个数浓度,即通过测试散射光的波峰数量和强度,得出颗粒物的质量浓度,此方法多适用于低浓度的测量<sup>[8]</sup>。同时,光学元件的防污染对于监测设备的维护和使用尤为重要,有学者提出利用文丘里效应引射洁净空气以保护光学元件<sup>[9]</sup>。

红外分光光度法是依据气体分子红外吸收定律,利用油类物质的甲基( $\text{CH}_3$ )和亚甲基( $\text{CH}_2$ )在近红外区( $3.4\ \mu\text{m}$ )的特征吸收从而进行油烟浓度测定的方法<sup>[10]</sup>,主要测量的是油烟中油的含量。

半导体气敏法是基于简单回路检测低浓度还原性气体的半导体气体传感器TGS2100的油烟浓度测定方法,主要测量的是油烟中的气体成分,但该类传感器易被油烟覆盖而导致寿命较短,并且其测量结果是通过标准油烟浓度与电化学反应电流标定得到,由于实际油烟与标准油烟差距较大,导致检测精度不高<sup>[11]</sup>。

电化学法则是利用电化学传感器通过与被测气体发生反应并产生与气体浓度成正比的电信号来工作,实际工作中由于电机表面连续发生电化学反应,传感电极电势并不能保持恒定,传感器性能会在使用较长时间后退化<sup>[12]</sup>。

1.2.2 净化设备工况监控技术 净化设备的工况监控技术主要应用于静电式油烟净化设备,是由早期最常见的设备开关状态监控发展而来。主要是对静电式净化设备和风机电源的输入电流的监测,其原理是在风机以及净化设备的电路上安装互感器,监测方法主要有电流互感法和霍尔电流互感器法。

此外,排放过程监控这一工业环保治理理念目前也开始被应用到餐饮油烟治理的在线监控中,其主要是通过通过对油烟净化设备运行的关键电气参数和工艺参数进行监控,从而判断油烟净化设备的运行状态和净化效果<sup>[13]</sup>。目前市场上已有的应用于静电式净化设备的智能高压电源,可具备将实时电

压、电流和功率等监控数据实时传输至采集终端或主站平台,并实现通过远程通信在线控制电源电压数值的功能。在此基础上,还可根据不同净化设备的特性或历史数据,对高压电源输出端的电流或电压设定正常工作的阈值范围,从而判定净化设备是否有效运行,并对超出范围的时间或频次做出限定,设定报警提醒等功能。探索建立高压电源输出电流、电压和功率等关键参数与静电式净化设备运行状态之间的关系,可实现对其净化效果的监控。排放过程监控不受现场实际排放油烟烟气的工况影响,同时可以对设备的维护清洗运维起到科学的指导作用,目前北京市有部分区已开展此类模式的试点,见表 1<sup>[6-13]</sup>。

表 1 餐饮油烟在线监测监控技术优缺点对比  
Table 1 Comparison of online monitoring technologies for cooking fumes

技术方法	测量参数	优点	缺点	应用现状
光散射法	颗粒物	快速、灵敏、稳定性好、精度较高	光学部件易被污染;成本较高	目前得到较多地区管理部门认可,成为油烟浓度监测的主流方法
红外分光光度法	油类物质	与国标手工监测方法原理相同,具有可比性	检测下限较高	具有一定的市场占有率和前景
半导体气敏法	还原性气体	造价低	精度较低;稳定性、重复性差;传感器寿命短	因造价低廉,推广初期得到广泛应用
电化学法	气体	对目标气体具有一定的敏感度,可测量油烟中VOCs	造价较高,对油烟指标敏感度较差	在中高端油烟在线监测中采用
工况监控	电信号	简易,价格低廉	仅能判断风机或净化设备是否开启	推广初期和小型餐饮店应用较多,多与其他监控或监测方法联用
排放过程监控	设备的各种关键运行参数	可更全面掌握净化设备运行状况	关键参数与净化效果之间的对应规律有待进一步研究验证	仅部分功能在小范围试点

## 2 餐饮油烟在线监测监控技术相关法规标准分析

### 2.1 法律法规

餐饮油烟在线监测监控技术的应用目前处于试点和推广的阶段,国家层面尚无相关法律法规对其做出相应规定,仅部分省市在其大气污染防治条例或饮食业环境污染管理办法等地方法规规章中对在线监控或监测设备的安装、运维等做了部分要求。其中,分别有 5 个省级层面和 5 个地市级层面的大气污染防治条例里对餐饮油烟在线监测(控)的安装等提出了相关要求;另外有 7 个省市在其餐

饮业污染防治的专门地方性政府规章里提出了在线监测或监控的具体管理要求。通过分析地方法规和规章中关于“油烟在线监测或监控”的相关条款,可以看出目前部分地方对于餐饮油烟在线监测(控)的要求主要体现在倡导性或笼统性的规定、在线监测(控)安装依据的划分、联网和信息平台建设等三大方面。大部分法规或规章里都对在线监测(控)安装依据的划分作了较为明确的规定,主要包括根据餐饮企业规模、是否位于敏感区域和油烟超标次数等进行划分,有些地区(如广州、三亚和中山市等)则是将三者结合起来作为安装在线监测或监控的依据,见表 2。

表 2 餐饮油烟在线监测监控现行相关法律法规

Table 2 Current relevant laws and regulations of online monitoring for cooking fumes

地区	名称	颁布时间	相关规定要点			
			提倡或笼统提出按照相关规定安装	根据餐饮企业规模划分安装要求	根据餐饮企业位置（是否位于敏感区）划分安装要求	联网及信息平台建设要求
陕西省	《陕西省大气污染防治条例》	2013-11	-	√	-	-
上海市	《上海市大气污染防治条例》	2014-07	√	-	-	-
江苏省	《江苏省大气污染防治条例》	2015-02	-	√	-	-
广东省	《广东省大气污染防治条例》	2018-11	-	√	-	-
湖南省	《湖南省大气污染防治条例》 (2020修正)	2020-06	-	√	-	-
潍坊市	《潍坊市大气污染防治条例》	2018-05	√	-	-	-
新乡市	《新乡市大气污染防治条例》	2019-04	-	√	√	-
汉中市	《汉中市大气污染防治条例》	2020-06	-	√	-	-
西宁市	《西宁市大气污染防治条例》	2021-05	√	-	-	-
无锡市	《无锡市实施<江苏省大气污染防治条例>办法》	2016-12	-	√	-	√
河南省	《河南省餐饮服务业油烟污染防治管理办法》	2018-06	-	√	-	-
广州市	《广州市餐饮场所污染防治管理办法》	2013-11	-	√	√	√
常州市	《常州市餐饮业污染防治管理办法》	2017-12	-	√	-	√
成都市	《成都市餐饮服务业油烟污染防治管理办法》	2021-07	-	√	-	√
三亚市	《三亚市餐饮业油烟污染防治办法》	2019-12	-	√	√	√
嘉兴市	《嘉兴市餐饮业油烟管理办法》	2020-04	-	-	-	√
中山市	《中山市餐饮业油烟污染防治条例》（征求意见稿）	/	-	√	-	√

注：“—”，表示文件中无要求；根据餐饮企业超标次数划分安装要求只有广州市和三亚市有相关规定，其他地区均无要求。

## 2.2 标准规范

我国关于餐饮油烟在线监测监控的技术规范或标准较少，全国尚无统一的行业标准，截至 2022 年 2 月，正式发布的有 4 个团体标准和 1 个认证规范，深圳市的地方标准尚处于征求意见稿阶段，见表 3。目前对于餐饮油烟在线监测监控技术的要求和规范处于行业的内部自律阶段，一些试点较为成熟的省市，如浙江省、杭州市、广州市和上海市等，根据自身的管理需求，通过协会发布团体标准的形式对目前餐饮油烟在线监控或监测的系统要求、功能要求、技术指标和安装维护等方面做出了相应的规范。全国层面，仅中国环境保护产业协会发布了团标《餐饮业废气排放过程（工

况）监控数据采集技术指南：T/CAEPI 35—2021》<sup>[14]</sup>，其是在工业领域《污染物在线监控（监测）系统数据传输标准：HJ 212—2017》<sup>[15]</sup>的基础上，结合餐饮行业特点进行了扩展，规定了餐饮业废气排放过程监控系统的结构与功能要求、技术要求和代码定义，对于餐饮油烟排放过程监控系统的建设，规范数据采集和传输，确保各种排放过程监控装置、传输网络和环保部门应用软件系统之间的有效连通起到一定的规范和指导作用。关于餐饮油烟在线监控或监测的设备标准，目前仅中国环境保护产业协会的认证中心出台了《餐饮业油烟浓度在线监测仪：RJGF 006—2021》，作为其环境保护产品认证的依据。

表 3 餐饮油烟在线监测监控现行相关标准与规范

Table 3 Current relevant standards and specifications of online monitoring for cooking fumes

地区	名称	颁布部门	颁布时间	主要内容
全国	《餐饮业油烟浓度在线监测仪》(RJGF 006—2021)	中环协(北京)认证中心	2021-04	餐饮业油烟浓度在线监测仪的技术要求、检测方法和检测规则等
全国	《餐饮业废气排放过程(工况)监控数据采集技术指南》(T/CAEPI 35—2021) <sup>[14]</sup>	中国环境保护产业协会	2020-06	餐饮业废气排放过程(工况)监控系统的结构与功能要求、技术要求和代码定义
杭州	《餐饮油烟排放在线监测系统技术规范》(T/ZS 0220—2021) <sup>[16]</sup>	杭州市环保产业协会	2021-09	餐饮油烟排放在线监测系统的系统架构、终端监测设备、数据传输和智慧管理平台等(包括固定式与便携式)
广州	《高效稳定餐饮油烟净化系统第3部分:在线监测监控设备技术要求》(T/GZBC45.3—2021) <sup>[17]</sup>	广州市标准化促进会	2021-02	餐饮油烟在线监测监控设备的功能要求和技术要求等
浙江	《餐饮油烟在线监测仪及智慧监测平台技术规范》(T/ZAEIEP-001—2020) <sup>[18]</sup>	浙江省环保装备行业协会	2020-07	餐饮油烟在线监测系统在监测油烟过程中主要技术、性能、安装、调试、验收、运维管理和质量保证的有关要求(包括固定式与便携式)
深圳	《餐饮业油烟污染物在线监测技术规范》 <sup>[6]</sup>	深圳市市场监督管理局	征求意见阶段	餐饮业油烟污染物在线监测过程中油烟污染物在线监测系统主要技术、性能、安装、调试、验收、运维管理和质量保证的有关要求(包括固定式与便携式)
上海	《餐饮油烟在线监测(光散射法)与监控技术规范》	上海市环境保护产业协会	征求意见阶段	餐饮油烟在线监测与监控系统的系统组成与技术指标、设备安装与安全要求、数据采集与传输、信息平台、系统运行维护和系统交付等相关技术要求

### 3 餐饮油烟在线监控技术应用现状分析

在智慧城市、智慧环保的背景下,餐饮油烟在线监测监控设备近几年在很多城市得到推广和应用。本研究以上海市为例,通过对各区生态环境局相关管理部门的问卷调查和访谈调研,分析了目前城市餐饮油烟在线监测监控技术的应用现状以及推进过程存在的主要问题。截至 2021 年 11 月,上海市共计安装餐饮油烟在线监测监控设备 4 600 余套,目前仍以中心城区推广为主,中心城区的安装数量占总数的约 78%。同时,餐饮油烟的在线数据也在智慧城市的体系中得到了初步的应用。长宁区将餐饮油烟的在线数据接入上海市“一网统管”中生态环境治理应用场景,试点探索通过自动化感知设备的实时数据,第一时间发现问题并根据各类数据的集成、分析和研判进行风险预警等环境治理创新模式;徐汇区将餐饮油烟在线数据引入其分类分级监管执法体系,构建了线上线下餐饮油烟问题监管双闭环管理模式;静安区则通过共享监管和油烟在线数据,为餐饮集聚区物业属地化横向管理和餐饮品牌连锁纵向管理的试点上提供支撑服务。随着餐饮油烟在线监测监控技术的试点与推

进过程中,各种问题也随着显现,主要包括数据应用和监测监控技术 2 个层面。

#### 3.1 数据应用层面

餐饮油烟在线监测监控技术在数据应用层面存在以下 4 个方面问题:(1)数据质量差。餐饮油烟在线监测监控设备商的软件能力普遍较弱,实际使用中发现,系统存在大量无效数据。(2)数据标准不统一。由于现在无统一的标准规范,对于数据接口格式等无统一要求,设备厂商按照自己的技术能力对外提供数据,有些设备甚至未设置数据外传接口,导致接入其他平台时困难重重。(3)异常或超标情况时报警无序。由于无统一的报警规则,无序胡乱报警现象频出,容易形成报警风暴,最终导致报警系统形同虚设。(4)数据造假问题严重。因为涉及设备层、通讯层、设备商云平台和生态环境管理政务云平台等多个层级间的数据流转,导致数据易丢失,且难以查找丢失环节。设备商往往用重新发送历史数据的方式弥补数据丢失,并且此种造假数据的行为不易被发现。基于以上原因,导致了目前餐饮油烟在线监控或监测数据仅停留在生态环境管理部门监管或者设备商的平台层面,餐饮企

业或餐饮集聚区的物业管理部门并没有真正应用在线数据进行自我管理。

### 3.2 监测监控技术层面

监测监控技术层面的主要问题在于油烟浓度的传感器监测方法与国标手工监测方法的原理不同而导致的数据一致性较差的情况。在实际应用的比对监测中,在线监测的浓度数据较国标手工监测方法差距较大,且相关性也较弱。以光散射原理为例,由于传感器监测的是颗粒物的浓度数据,设备厂商一般会经过标定装置标定并根据经验公式换算成相应的油烟浓度。经验公式需基于大量的监测比对数据样本得到,实际操作中很多设备商仅仅用简单的公式换算,也未考虑不同菜系、基准灶头数的影响对数据进行校正或折算,所以实际使用中与国标手工监测方法的结果无可比性。

以上的诸多问题导致出现尽管安装了大量的在线监测监控设备,很多数据并没有接入统一平台,或者即使接入了平台,管理部门只能掌握油烟排放浓度的趋势以及净化设备是否开启等情况,数据发挥的作用十分有限。

## 4 技术路径展望

### 4.1 餐饮业特点决定了在线监测监控必须低成本、易维护

餐饮业多为小微企业,利润率普遍偏低,对成本支出有较高的敏感性。其次,餐饮企业的环保管理技术水平普遍不高,传统的工业污染源精细精准的监测思路并不适用。加之餐饮行业竞争激烈,餐饮企业的迭代速度很快,油烟在线监测监控设备必须具有低成本、易维护的特点,才能够得以大规模的推广。

### 4.2 深入探索基于排放过程的运行状态监控技术

餐饮油烟在线监测的浓度数据离判定餐饮企业油烟排放是否超标并直接应用于执法证据还有非常大的距离,目前主要用于管理部门对于餐饮企业油烟的排放做趋势性的判断,以及对餐饮企业自身管理提供参考依据。由于净化器的净化效果与其维护清洗有非常紧密的联系,管理部门监管的目的也在于判断餐饮企业的油烟净化设施是否保持正常高效的运行,因此,基于排放过程的运行状态监控的技术路线,将监控的目标从未端的排放结果转移至全流程的设备技术参数的监控中,也契合目

前智慧环保、万物物联的发展趋势,这种思路也更适用于小型餐饮企业的监管。

### 4.3 从系统的应用和功能上开始规范

随着智慧城市体系的建设,餐饮油烟在线监测监控技术的进一步推广与应用,目前市场上的各种基于物联网的监测监控技术百花齐放,并且技术还在不断地发展。在目前阶段,限定某种监测或监控方法,会对已有的各种监控方式造成冲击,且不利于技术的进步。因此,建议对油烟在线监控技术“开源”,不限制其监控或监测的原理,可以通过规范在线数据的传输、接口、格式以及系统的功能等,实现对“开源”数据的监管。

### 4.4 挖掘发挥数据的应用潜力

数据资产相对于其他资产的优势在于一份数据可以在非常低的成本下为多方所分享、使用,而且不减少数据拥有者的价值<sup>[19]</sup>。通过先进的大数据技术应用来提高企业生产和环保设施运行精细化管理水平是当前环保管理的迫切需求。目前餐饮油烟在线监测或监控的数据应用还停留在环境管理部门查看餐饮企业的油烟净化设备是否开启以及单个点位的油烟排放浓度情况,餐饮企业查看自身油烟污染排放数据以及历史数据的简单纵向统计等层面。管控区域内企业之间的横向比较或者更复杂的风险预知预警功能目前还尚未实现,数据的应用潜力有待于进一步的挖掘。目前,具备规模化学习、根据目标推理以及与人类互动能力的认知计算概念,已经在很多行业里得到应用,也可用于餐饮油烟在线数据的应用中<sup>[19]</sup>。环保管理部门可通过对餐饮企业历史数据的掌握,通过智能算法和模型的设定自动判断并提醒某个餐饮企业的异常情况,更有针对性地开展后续的现场执法工作。餐饮企业用户端可充分结合净化设备在生产运行中面临的特殊场景,通过建立油烟净化系统风量调节的节能降耗分析,吸附剂、紫外灯管等寿命预警,静电式净化设备的清洗预警等多个数学模型,不断对模型进行自学习与修正,解决企业经营过程中面临的实际问题<sup>[20]</sup>。

## 参考文献

- [1] 徐敏,孙海林.从“数字环保”到“智慧环保”[J].*环境监测管理与技术*,2011,23(4):5-7.

(下转第57页)

- 16(19): 3707.
- [9] ACEVEDO E, BOTERO C, RODELO C, et al. Willingness to pay for beach ecosystem services: The case study of three Colombian beaches[J]. *Ocean and Coastal Management*, 2018, 161: 96 – 104.
- [10] CHU X, ZHAO J Y, WANG C, et al. Households' willingness to accept improved ecosystem services and influencing factors: Application of contingent valuation method in Bashang Plateau, Hebei Province, China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 255(C): 109925.
- [11] 赵玉, 张玉, 熊国保, 等. 区域异质性视角下赣江生态系统服务支付意愿及其价值评估[J]. *生态学报*, 2018, 38(5): 1698 – 1710.
- [12] 李英, 潘鹤思, 邹玉友, 等. 社会信任与城镇居民森林生态补偿支付意愿研究——基于黑龙江省的调查数据[J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(7): 90 – 96.
- [13] 宋静静, 陈璐, 张智鹏, 等. 基于支付意愿法的黄淮海物种多样性维持服务价值评估(2002—2012)[J]. *生态学报*, 2020, 40(12): 3901 – 3908.
- [14] 张颖, 张彩南. 青海省祁连山国家公园生态文化服务价值评价[J]. *环境保护*, 2019, 47(14): 56 – 60.
- [15] 何思源, 苏杨, 王蕾, 等. 国家公园游憩功能的实现——武夷山国家公园试点区游客生态系统服务需求和支付意愿[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 40 – 53.
- [16] 戴胡萱, 李俊鸿, 程鲲, 等. 三江平原保护区社区居民对湿地生态系统服务功能的贡献意愿[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 977 – 987.
- [17] 丁涛. 农户土地承包经营权流转意愿研究——基于 Logistic 模型的实证分析[J]. *经济问题*, 2020(4): 95 – 103.
- [18] 蔡志坚, 张巍巍. 南京市公众对长江水质改善的支付意愿及支付方式的调查[J]. *生态经济*, 2007(2): 116 – 119.
- [19] 陈琳, 欧阳志云, 王效科, 等. 条件价值评估法在非市场价值评估中的应用[J]. *生态学报*, 2006, 26(2): 610 – 619.
- [20] 苗赫萌, 元媛, 李天奇, 等. 开封城市水域生态系统服务价值评估及影响因素分析[J]. *生态学报*, 2021, 41(22): 9084 – 9094.
- [21] 武照亮. CVM 在中国资源环境价值评估中的应用: 理论、方法及实践[J/OL]. *中国环境科学*: 1-12[2022-07-08]. DOI: 10.19674/j.cnki.issn1000 – 6923.20220615.018.
- [22] 周晨, 李国平. 生态系统服务价值评估方法研究综述——兼论条件价值法理论进展[J]. *生态经济*, 2018, 34(12): 207 – 214.
- [23] 张志强, 徐中民, 程国栋. 条件价值评估法的发展与应用[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(3): 454 – 463.
- [24] 杨开忠, 白墨, 李莹, 等. 关于意愿调查价值评估法在我国环境领域应用的可行性探讨——以北京市居民支付意愿研究为例[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(3): 420 – 425.
- [25] 曹先磊, 刘高慧, 张颖, 等. 城市生态系统休闲娱乐服务支付意愿及价值评估——以成都市温江区为例[J]. *生态学报*, 2017, 37(9): 2970 – 2981.
- [26] 曹鹏, 陈兴, 刘章勇. 江汉平原农业多功能性保全的 CVM 研究[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2010(1): 32 – 35.
- [27] 齐绍洲, 柳典, 李轶, 等. 公众愿意为碳排放付费吗?——基于“碳中和”支付意愿影响因素的研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(10): 124 – 134.
- [28] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911 – 919.
- [29] 马宇菲, 刘进军, 吕文广. 黄河流域居民生态补偿支付意愿及其影响因素实证研究——以甘肃省兰州市 2396 位居民为例[J]. *生产力研究*, 2020(8): 54 – 57.
- [30] 马婷, 闵庆文, 徐坤, 等. 居民对三江源国家公园生态旅游资源的支付意愿及影响因素研究[J]. *资源与生态学报(英文版)*, 2021, 12(5): 693 – 706.

### (上接第 49 页)

- [2] 李信茹, 周民, 米屹东, 等. 智慧环保体系在环境治理中的应用[J]. *环境工程技术学报*, 2021, 11(5): 992 – 1003.
- [3] 张卓宇. 油烟排放浓度在线监测技术对环保执法监管的作用[J]. *环境与发展*, 2017, 29(3): 130 – 131.
- [4] 深圳市市场监督管理局. 饮食业油烟排放控制规范: SZDB/Z254—2017[S/OL]. [2020-01-13]. [http://amr.sz.gov.cn/xxgk/qt/ztlm/szbz/szdsfzb\\_szbz/201412/W020170719417115046108.pdf](http://amr.sz.gov.cn/xxgk/qt/ztlm/szbz/szdsfzb_szbz/201412/W020170719417115046108.pdf).
- [5] 樊晓翠, 王树德, 滕世昌, 等. 激光光散射法与红外分光光度法测定油烟的对比分析[J]. *分析仪器*, 2020(5): 117 – 119.
- [6] 深圳市市场监督管理局. 餐饮业油烟污染物在线监测技术规范(征求意见稿)[S/OL]. [2021-07-09]. <http://amr.sz.gov.cn/hdjlpt/yjzj/answer/13076>.
- [7] 陈宜秋. 餐饮油烟在线监控系统在环保监管中的应用[J]. *皮革制作与环保科技*, 2021, 2(22): 176 – 178.
- [8] 顾芳, 杨娟, 卞保民, 等. 用粒子计数法测量颗粒物质量浓度[J]. *激光技术*, 2007(4): 360 – 363.
- [9] 秦金为, 周骛, 蔡小舒, 等. 自洁式餐饮油烟颗粒物浓度测量管段设计及影响因素分析[J]. *环境工程技术学报*, 2020, 10(2): 183 – 191.
- [10] 吕善翔, 李雪梅, 王兆山, 等. 基于非分散红外技术实时检测油烟浓度研究[J]. *传感器与微系统*, 2012, 31(1): 76 – 78.
- [11] 于天泽, 杨斌, 熊非, 等. 餐饮油烟排放在线监测仪器研究现状与进展[J]. *能源研究与信息*, 2020, 36(1): 9 – 15.
- [12] 深圳市市场监督管理局. 餐饮业油烟污染物在线监测技术规范编制说明[S/OL]. [2021-07-09]. <http://amr.sz.gov.cn/hdjlpt/yjzj/answer/13076>.
- [13] 林子吟, 林立, 戴郡. 上海市餐饮油烟污染控制及管理机制研究[J]. *环境保护科学*, 2020, 46(6): 133 – 137.
- [14] 中国环境保护产业协会. 餐饮业废气排放过程(工况)监控数据采集技术指南: T/CAEPI35—2021[S/OL]. [2020-07-07]. <http://www.caepi.org.cn/epasp/website/webgl/webglController/view?xh=1625535365756033771520>.
- [15] 环境保护部. 污染物在线监控(监测)系统数据传输标准: HJ 212—2017[S/OL]. [2019-01-02]. <https://max.book118.com/html/2019/0101/7040033004001201.shtml>.
- [16] 杭州市环保产业协会. 餐饮油烟排放在线监测系统技术规范: T/ZS0220—2021[S/OL]. [2021-09-15]. <http://www.ttbz.org.cn/Home/Show/29575>.
- [17] 广州市标准化促进会. 高效稳定餐饮油烟净化系统第 3 部分: 在线监测监控设备技术要求: T/GZBC45.3-2021[S/OL]. [2021-02-18]. [https://www.bzwc.com/s\\_62/s\\_108550.html](https://www.bzwc.com/s_62/s_108550.html).
- [18] 浙江省环保装备行业协会. 餐饮油烟在线监测仪及智慧监测平台技术规范: T/ZAEIEP-001-2020[S/OL]. [2020-07-20]. <http://www.ttbz.org.cn/Home/Show/16082>.
- [19] 詹志明, 尹文君. 环保大数据及其在环境污染防治管理创新中的应用[J]. *环境保护*, 2016, 44(6): 44 – 48.
- [20] 邹军, 唐坚, 赵喆, 等. 基于大数据的电力环保数据平台建设[J]. *电力大数据*, 2020, 23(1): 58 – 63.