

· 专论与综述 ·

欧盟黑碳监测现状及我国开展黑碳监测的建议

赵思琪 张明顺

(北京应对气候变化研究和人才培养基地,环境与能源工程学院,北京建筑大学,北京 100044)

摘要:介绍了欧盟关于黑碳概念的定义及黑碳的来源和危害,着重从政策、技术、实践3个层面分析了欧盟黑碳监测的发展现状。借鉴欧盟的先进发展经验,对我国开展黑碳监测的必要性进行了分析,并提出了相关的发展建议。

关键词:黑碳监测;空气污染;欧盟

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 1006-2009(2014)03-0007-04

Black Carbon Monitoring in European Union and Recommendations for China Developing Black Carbon Monitoring

ZHAO Si-qi ZHANG Ming-shun

(Beijing Climate Change Response Research and Education Centre, School of Environment and Energy Engineering of Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: This paper has introduced the concept of black carbon from European Union, the sources and hazards of black carbon, and discussed the issue of black carbon monitoring from three aspects of policy, technology and practice. Learning from the experiences of the European Union, this paper analyzes the necessities and recommends measures for China developing black carbon monitoring.

Key words: Black carbon monitoring; Air pollution; European Union

1 欧盟关于黑碳相关概念的定义

1.1 黑碳的概念

黑碳(Black carbon)是大气气溶胶的一种,主要由化石和生物质燃料不完全燃烧产生,不仅是大气气溶胶的重要组成部分,而且是大气污染的重要指示物^[1]。黑碳是一种具有吸光性的含碳颗粒物,在可见到红外波段范围内对太阳辐射均有强烈的吸收。因此,对黑碳的定性描述为大气气溶胶体系中的一种含碳吸光物质,习惯上亦被称为黑碳气溶胶。黑碳颗粒的体积较小,粒度一般在 $0.01\ \mu\text{m}$ ~ $1\ \mu\text{m}$ 之间,粒径中值为 $0.1\ \mu\text{m}$ ~ $0.2\ \mu\text{m}$,尺度分布呈现积聚态^[2]。

根据热力学特性,气溶胶中的碳元素被分成有机碳(OC)和元素碳(EC)两类。根据光学性质来划分,气溶胶中具有强烈吸光能力的碳元素被定义为黑碳(BC)。同时,由于有机碳对光的吸收作用不明显,而元素碳对光具有强烈的吸收能力,因而在碳质气溶胶的光学特性中,元素碳通常被认为等

同于黑碳^[3]。

1.2 黑碳的来源

与其他由前体形成的污染物不同,黑碳直接排放到大气中,其来源主要分为交通排放和燃烧两大类。交通排放源主要包括:①机动车,尤其是依靠柴油驱动的越野车;②非道路车辆,如林业、农业等工作机械车辆;③船舶。此外,全球大约有54%~57%的黑碳来自于化石燃料燃烧,其他大部分来自生物质燃烧^[4],包括依靠煤炭、木材等燃烧取暖的住宅,以及生物质的开放燃烧,如森林火灾、农业废弃物燃烧等。

1.3 黑碳的危害

黑碳是空气中重要的污染物之一,其存在的危害不可小视。由于黑碳体积极小,其颗粒物可以通过呼吸道传送到整个肺膜并渗透到呼吸系统的敏

收稿日期:2014-01-08;修订日期:2014-04-03

作者简介:赵思琪(1989—),女,北京人,硕士,从事环境规划管理方面的研究。

感区域,将会引发呼吸系统哮喘及心血管、癌症等疾病^[5]。黑碳进入血液后,还可能转移到其他器官,引发更多的疾病。世界卫生组织(WHO)的一项审查表示,黑碳可能本身并不带有毒性,但它却是有毒化学物质的运输载体,可以通过呼吸作用,夹带所吸附的多环芳烃类等有毒物质进入人体,对公众健康造成危害。目前,黑碳已被 WHO 列为重要的致癌物质。

由于具有强吸光作用,黑碳可以将吸收的太阳辐射能量转化为周围大气分子的内能,增加地—气系统的能量,进而影响气候变化^[6]。相关数据表明,黑碳的吸收系数比其他气溶胶高两三倍^[7],而且在不同地区的吸收系数有量级之差^[8]。因此,黑碳会促使大气对流和环流产生变化^[9]。黑碳粒子在大气顶产生正的辐射强迫,减少到达地表的太阳辐射,在地表产生负的辐射强迫^[10],而黑碳的净效应仍是正的辐射强迫。Ramanathan 等^[11]研究表明,黑碳吸收太阳辐射,在大气中的辐射强迫值为 2.6 W/m^2 ,减少了到达地表的太阳辐射,从而形成负的辐射强迫值 -1.7 W/m^2 ,而大气顶辐射强迫

值为二者之和 0.9 W/m^2 。黑碳直接辐射强迫作用已超过甲烷,是大气中引起全球变暖的仅次于二氧化碳的第二个重要因素^[12]。因此,黑碳已被视为气候变化的主要贡献者。

2 欧盟黑碳监测现状

黑碳监测已经在欧盟的多个大气质量监测网络中得以实现,欧盟大部分地区在 2006 年—2009 年就已经开展黑碳监测,其余少部分地区也于 2012 年开展了此项监测,其中有些地区的黑碳监测网络中包含了 5 个以上的监测站点。

2.1 欧盟黑碳监测相关的现行政策

2.1.1 欧盟空气质量(AQ)指令(2008)

欧盟空气质量(AQ)指令的立法基石是欧盟理事会于 2008 年 5 月 21 日针对空气质量问题颁布的 2008/50/EC 指令,要求所有成员国对细颗粒物采样监测,并对其浓度分析和报告。此外,该指令还特别规定了 PM_{10} 短期(24 h)和长期(年)暴露限值,以及 $\text{PM}_{2.5}$ 长期(年)暴露限值,见表 1。

表 1 空气质量指令中规定的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 极限值和标准值

Table 1 Air quality limit and target values for PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ as given in the Air Quality Directive

颗粒	平均周期	数值	备注
PM_{10} 极限值	1 d	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	每年不得多于 35 d 2005 年 1 月 1 日完成
PM_{10} 极限值	历年	$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2005 年 1 月 1 日完成
$\text{PM}_{2.5}$ 标准值	历年	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2010 年 1 月 1 日完成
$\text{PM}_{2.5}$ 极限值	历年	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2015 年 1 月 1 日完成
$\text{PM}_{2.5}$ 极限值	历年	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2020 年 1 月 1 日完成
$\text{PM}_{2.5}$ 暴露度		$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2015 年
$\text{PM}_{2.5}$ 暴露度减少目标	减少 0 ~ 20% 的暴露(取决于年平均暴露)		2020 年完成

2.1.2 《远距离越境空气污染公约(UNECE)》

在公约中,各缔约国于 2012 年 5 月制定了截至 2020 年的减排承诺。该公约将黑碳作为大气污染物的一部分,要求所有缔约国“优先减排措施,为保证人体健康,减缓气候变暖,必须显著地减少黑碳排放”。一旦协议生效,缔约国就要在本国的大气污染物排放清单中加入黑碳排放量。

2.1.3 现行欧盟大气政策及其审查工作

在欧盟成员国的现行法律中,有许多关于大气污染物的管理条例与控制黑碳排放间接相关,具体涉及以下方面:①规范管理农林业废弃物燃烧;②规范燃料出售,如在港口船只等用途中强制使用清洁能源;③限制城市与农村区域的生物质燃烧;④

限制工业排放量,要求定期更新、改造设备,换发许可证。

欧盟于 2012 年对现行大气政策进行了历时 18 个月的审查,由 WHO 和欧盟委员会共同完成,审查中提到了黑碳问题,包括:①减少交通行业黑碳排放量;②限制住宅取暖的中小型燃烧炉具设备的黑碳排放量;③加强欧盟多国相继推出的农业废弃物露天燃烧禁令的实施。审查最终报告提出,黑碳除了对公众健康及空气质量有所影响外,还是助推气候变暖的一个重要驱动因子。减少黑碳排放量,降低黑碳浓度,有利于人体健康,有助于减缓气候变化。

2.2 欧盟黑碳监测技术与仪器

2.2.1 黑碳仪

黑碳仪是欧盟使用最广泛的黑碳在线监测仪器,其工作原理为:空气连续通过滤膜带的采样区,颗粒物被收集在该区滤膜上;每隔1个时间周期,仪器测量有光源照射和无光源照射两种条件下透过石英滤膜采样区和参照区的光强,并根据光强信号计算每个测量周期内采样区的光学衰减增量^[13],最终检测到环境中黑碳的吸收系数(B_{abs} ,单位为 m^{-1}),通过数据处理换算得到黑碳浓度。

2.2.2 多角度吸光光度计(MAAP)

MAAP和黑碳仪的基础都是在短时间内利用过滤器所收集颗粒物的光学特性。MAAP将多角度光反射和光学传输测量相结合,将监测得到的黑碳吸收系数换算得到黑碳浓度,目前还无法测量多波长的光吸收。

2.2.3 监测注意事项及数据处理

在实际监测中,为了能够使水对光吸收测量和粒径分布的影响最小化,建议气体进入仪器之前先干燥。采样系统进样可以包括 $PM_{2.5}$ (或 PM_{10}),应减少大颗粒物。黑碳可以吸收所有波长的光,为了能够使来自于褐碳和矿尘的干扰最小,建议选择红色和近红色波长的光。

在数据处理过程中,要将黑碳吸收系数换算得到黑碳浓度。该过程需要转换系数即质量吸收效率(MAE),其单位为 m^2/g ,是波长(λ)的相关函数,可将 $\lambda^{-\alpha}$ 作为参数,其中 α 被称为Angstrom吸收系数。城市地区的MAE值相对于农村地区来说可变性较低,数值相当稳定。因此,在城市区域内,用MAE值来确定最终的黑碳当量(EBC)转化,意味着将不确定性降到最低,结果的可比性最强。

2.3 欧盟黑碳监测实践

2.3.1 欧盟监测与评估项目(EMEP)与全球大气监测网(GAW-WDCA)计划

在黑碳研究方面,EMEP更加关注其对气候变化及人类健康和生态系统的影响。此外,该项目与世界气候组织(WMO)合作开展了GAW-WDCA计划,进行本底大气中黑碳的连续监测,其目的在于建立完全公开的全球大气气溶胶体系数据库(EBAS)统一全球范围内气候驱动因子的监测方法与工作。

目前欧盟有2个项目正在进行,分别是2011年的“欧盟超级站的大气气溶胶研究”和2013年的“气溶胶、云量以及痕量气体的基础设施网络研

究”。在这2个项目中,建成或在建的黑碳乡村监测站已超过20座,其监测数据将上报给EBAS。

2.3.2 欧盟监测网络建设

在欧洲的城市网络中,德国的超细气溶胶监测网(GUAN)最为全面和完善,建有16个监测站,包括阿尔卑斯山、乡村背景监测站及交通监测站。监测仪器为MAAP和黑碳仪, PM_1 或 PM_{10} 入口取决于具体的监测站,黑碳仪应用于城市背景监测站。其中1个监测站同时监测粒子质量,6个监测站同时监测 PM_{10} ,1个监测站同时监测 $PM_{2.5}$,8个监测站同时监测粒子浓度(PNC)。

比利时布鲁塞尔建有1个城市背景监测站和3个交通监测站,监测仪器为黑碳仪(AE22型),有3个监测站同时监测 PM_{10} ,其中2个交通监测站同时监测PNC。

此外,在国家层面,英国在黑碳浓度监测方面具有长期经验^[14]。英国已实现全国联网,建有3个农村背景监测站、3个郊区背景监测站、5个城市背景监测站和3个交通监测站,监测仪器为黑碳仪(AE21型),其中4个监测站同时监测 PM_{10} 。

3 我国开展黑碳监测的必要性及建议

相关数据表明,我国黑碳排放量约占全球排放总量的25%,是全球主要排放源之一^[15]。国内学者的相关研究表明,我国黑碳排放量较高的省份是山西、河北、山东、河南和四川,以全国11.5%的面积贡献了40.0%的排放量;黑碳排放强度大致呈东高西低的趋势,东部地区黑碳排放普遍较高,西部地区虽整体排放强度较低,但四川、重庆、贵州等地仍具有较高的排放量。这种分布特征主要与各地产业结构、工业发展状况及农村人口密度有关^[16]。有证据表明,污染物可能会通过中纬度西风从亚欧大陆跨太平洋输送到北美地区,因而我国较高的黑碳排放量可能会导致全球黑碳浓度升高,这给中国在国际气候与温室效应谈判中带来了巨大压力^[17]。此外,黑碳是温室效应中仅次于二氧化碳的重要贡献者,降低黑碳排放量可以在短时间内达到减缓全球变暖的目的。因此,我国开展黑碳监测很有必要。

根据欧盟黑碳监测的研究经验和成果,对我国开展黑碳监测提出以下建议:

(1) 政府主导,出台黑碳监测的相关政策。政府应尽快出台黑碳监测的相关政策,政策制定最好

以公众和学术界的调研为基础,尽量平衡政府、企业、非政府(NGO)组织及公众这4大相关者之间的利益分配。应尽早将黑碳监测问题提上日程,在摸清全国黑碳污染现状的基础上,从规划层面确立黑碳监测系统、技术规范、技术标准,制定黑碳监测的环境保护方针战略。此外,政府作为主导部门,在加大政策倾斜的同时,应增加经费投入,支持民间环保NGO工作,尽可能促进全社会各方人士对黑碳问题的关注。

(2) 重视黑碳监测的基础研究。我国学术界对黑碳的研究起步较晚,应从基础做起,先明确黑碳在我国的主要来源。我国黑碳排放量较大,有必要深入进行黑碳气候效应和环境影响方面的分析研究,重视黑碳对人体健康影响的研究。此外,结合国际经验,我国应积极发展和研制更先进的监测分析技术和仪器设备。

(3) 加强黑碳排放的监测技术研究。对黑碳采样、监测、分析等建立国际统一的标准工作方法,是黑碳研究的重要任务。目前,国内需要加强黑碳排放的监测技术,改进监测方法,协助政府逐步完善包括技术路线、技术规范、方法标准、技术导则等在内的监测技术体系框架,并与国际标准统一。

(4) 有针对性地开展黑碳监测试点研究。尽可能多地开展黑碳监测实践,在我国空气质量相对较差的北方地区或工业发达地区的典型城市进行黑碳监测试点研究,逐步推进建立黑碳监测点制度,建立区域黑碳监测网。在试点城市监测过程中,动态、及时地查找和发现监测工作中存在的问题,收集、量化有关数据资料,为政府决策提供依据。

(5) 建立黑碳监测数据库,完善黑碳监测预警系统。我国有必要开展系统的黑碳排放清单编制工作,建立黑碳监测数据库,并将数据上报全球黑碳监测网。以数据库作为技术支持系统,总结黑碳污染规律,同时结合应急决策系统和通讯系统,完善黑碳监测的危害机制、预测预警系统及灾害后的事故评估系统。数据库应定期向社会公众发布区域黑碳监测数据、周期性评述与黑碳监测状况报告,以及黑碳污染预警信息,指导市民健康出行。

(6) 加强黑碳监测能力建设。一方面,应充分利用信息技术,就黑碳研究工作加大公众宣传力度,完善公众参与机制,拓展公众信息来源,采取激励措施,提高公众参与度;另一方面,应建立与欧盟等技术先进区域的交流与合作,加强业务水平和技

术技能培训,提高专业人员的工作能力与整体素质。此外,还可采取相应的职能考核制度,对从业人员定期考核。

[参考文献]

- [1] 赵敬德,亢燕铭. 黑碳气溶胶浓度测量的研究进展[J]. 能源与环境 2007(3): 92-94.
- [2] 秦世广,汤洁,温玉璞. 黑碳气溶胶及其在气候变化研究中的意义[J]. 气象 2001 27(11): 3-7.
- [3] MCMURRY P H, SHEPHERD M F, VICKERY J S. Particulate matter science for policy makers: A NARSTO assessment [M]. England: Cambridge University Press 2004.
- [4] LIOUSSE C, PENNER J E, CHUANG C, et al. A global three-dimensional model study of carbonaceous aerosols [J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101: 19411-19432.
- [5] 秦亚丽,张海青,张贵英,等. 大气颗粒物中黑碳浓度的反射法测定[J]. 原子能科学技术 2011(1): 102-107.
- [6] 许黎,王亚强,陈振林,等. 黑碳气溶胶研究进展 I: 排放、清除和浓度[J]. 地球科学进展 2006(4): 352-360.
- [7] DERWENT R G, RYALL D B, JENNINGS S G, et al. Black carbon aerosol and carbon monoxide in European regionally polluted air masses at Mace Head, Ireland during 1995-1998 [J]. Atmospheric Environment 2001 35: 6371-6378.
- [8] PETZOLD A, SCHONLINNER M. Multi-angle absorption photometry—a new method for the measurement of aerosol light absorption and atmospheric black carbon [J]. Journal of Aerosol Science 2004 35(4): 421-441.
- [9] 许黎,王亚强,罗勇,等. 黑碳气溶胶的气候效应和拓展的研究领域[J]. 气候变化研究进展 2007(6): 328-333.
- [10] 穆燕,秦小光,刘嘉麒,等. 黑碳的研究历史与现状[J]. 海洋地质与第四纪地质 2011(1): 143-155.
- [11] RAMANATHAN V, CARMICHAEL G. Global and regional climate changes due to black carbon [J]. Nature Geoscience 2008, 1(4): 221-227.
- [12] JACOBSON M Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols [J]. Nature 2005(409): 695-697.
- [13] 兰紫娟,黄晓锋,何凌燕,等. 不同碳质气溶胶在线监测技术的实测比较研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2011(1): 159-165.
- [14] 张明顺. 欧盟臭氧污染监测现状及我国开展臭氧污染监测的建议[J]. 环境监测管理与技术 2011 23(6): 17-20.
- [15] COOKE W F, LIOUSSE C, CACHIER H, et al. Construction of a 1° × 1° fossil fuel emission data set for carbonaceous aerosol and implementation and radiative impact in the ECHAM4 model [J]. J Geophys Res, 1999(104): 22137-22162.
- [16] 张楠,覃栋,谢绍东. 中国黑碳气溶胶排放量及其空间分布[J]. 科学通报 2013(58): 1855-1864.
- [17] WILKENING K E, BARRIE L A, ENGLE M. Trans-pacific air pollution [J]. Science 2000(290): 65-67.