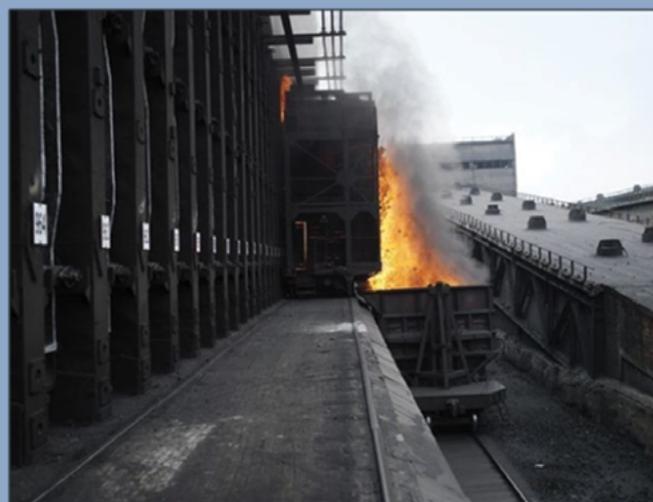


中国黑碳防控研究 摘要报告(2012)



CAAC知识系列

CAAC Knowledge Series

“CAAC知识系列”专注于将清洁空气相关的科普知识、国内外管理经验、政策机制、工具方法、研究进展等信息进行归纳介绍，以支持中国清洁空气工作的开展。“CAAC知识系列”由中国清洁空气联盟秘书处联合联盟成员与专家共同编制。

“协作网络报告”是CAAC知识系列的一个有机的组成部分，报告均来自CAAC专业协作网络所开展的研究、讨论及进展摘要。

黑碳防治协作网络将通过信息共享、合作研究和组织相关活动，推进中国在黑碳研究与减排方面的工作。

清华大学环境学院是黑碳网络的技术协调单位。



本报告作为CAAC黑碳防治协作网络的产品，摘要性展示了黑碳防治研究的进展。

作者

中国清洁空气联盟秘书处：
解洪兴，白愈，杜娟，孙玮鸿

清华大学：
张强，康思聪

气候工作基金会：
Catherine Witherspoon

能源基金会：
赵立建

鸣谢

郝吉明、丁一汇、Catherine Witherspoon、
Michael Walsh、Zbigniew Klimont、白志鹏、
陈晓夫、陈长虹、贺泓、贺克斌、雷宇、
廖宏、汤大钢、王书肖、王聿绚、朱彤

免责声明

本报告中所包含的内容和观点均来自黑碳防治协作网络的诸位专家及所援引的文献，并不代表中国清洁空气联盟以及其支持机构的观点。在注明来源的前提下中国清洁空气联盟鼓励出于个人和出于非商业目的对本报告所含信息进行印刷或复制。本研究报告由中国清洁空气联盟秘书处（柯灵爱尔（北京）环境技术中心）所有，未经联盟秘书处书面同意，使用者不得出于商业目的销售、传播或制作相关衍生作品。

目录

1 背景介绍.....	1
2 黑碳气溶胶科研进展介绍.....	3
3 黑碳气溶胶的控制策略.....	7
4 总结.....	14
附录I. 中国黑碳领域的主要研究机构和人员.....	15
附录II. 黑碳控制策略国际研讨会.....	16

2012年11月15日，由能源基金会支持，清华大学承办，近70位国内外专家参加的“第三届黑碳气溶胶控制策略国际研讨会”在北京召开，就黑碳气溶胶对环境及健康的影响、排放特征以及控制策略等议题展开了深入研讨。以此次会议为基础，本报告综合整理了中国黑碳领域的研究以及防控政策进展，并形成摘要性介绍报告。

1 背景介绍

什么是黑碳?

对于黑碳气溶胶的定义目前在学术界还未形成统一的共识，所存在的差异通常与测定黑碳所采用的测量技术相关。美国环保署¹将黑碳气溶胶描述为一种由化石燃料、生物燃料以及生物质的不完全燃烧所产生的，具有强光吸收成分的颗粒物，但是并没有强调相应的测量方法。在2013年由多位科学家共同完成的《黑碳综合研究报告》²中，对黑碳提出了一个综合性的定义：“黑碳是在燃烧中产生，并直接排放到大气中的一类特殊的含碳物质。它具有一系列特殊的物理性质：会强烈吸收可见光；可耐高温，汽化温度高达4000K；以小球体聚合的形式存在；不溶于水和有机溶剂。”

需要指出的是，黑碳气溶胶来自粗放式的低温燃烧源，通常又被称为“烟尘”。黑碳以直径小于1微米的细颗粒物的形式直接排放到空气中，也正因如此，黑碳是PM_{2.5}的主要组成之一。

黑碳会产生什么影响?

黑碳气溶胶对气候和人类健康均有显著的影响。黑碳会通过吸收太阳辐射，向大气中释放热能加热大气。当黑碳沉降在冰雪上时，会改变其

表面的反照率，从而加速冰雪的融化。与工业革命前相比，黑碳的辐射强迫值达到了每平方米1.1瓦，所带来的地球升温影响仅次于二氧化碳（同时期为1.66瓦/平方米）。关于黑碳的全球增温潜力尚存在争议。根据《黑碳综合研究报告》，排放1克黑碳带来的百年致暖效应是1克二氧化碳的900倍³。由于黑碳对气候的影响是比较直接的，因此它的短期影响更大，这与二氧化碳所带来的长时间效应不同。而且，由于黑碳排放会集中在一定的地理区域内，因此还会产生很强的局部气候效应。

黑碳会严重地影响人体健康。它可以被吸入人体肺部的最深处，引发呼吸系统和心血管系统的炎症。与所有粒径小于2.5微米的细颗粒物一样，黑碳会导致过早死亡、低出生体重、高发病率、严重的哮喘，削弱肺部功能，降低生命质量和劳动力丧失等现象。

黑碳是怎样产生的?

一般而言，黑碳气溶胶的主要排放源包括柴油机动车、生物质燃烧、燃煤锅炉、砖窑以及民用炊事和取暖。美国环保署的报告提到，在2000年，露天生物质燃烧占到了全球黑碳排放源

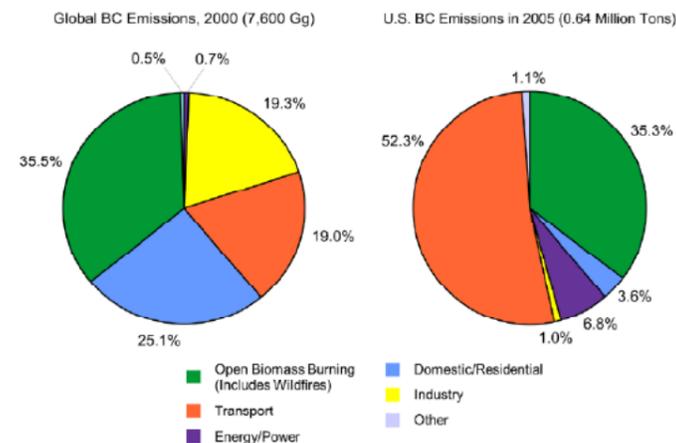


图1 全球和美国的黑碳主要排放源分类（来源：美国环保署）

的35.5%。在中国，民用燃烧是目前最大的黑碳排放源，年排放量约90万吨，占中国黑碳总排放量的50%以上⁴。随着中国社会经济的发展，来自柴油机动车的排放比重会持续加大。相关研究表明，在中国的长三角地区，柴油车已经是最主要的排放源，超过了民用燃烧和秸秆燃烧⁵。

基于时间序列的研究显示，发达国家和地区的黑碳排放量已经大幅下降，但是非洲、拉丁美洲以及南亚等地区的排放量仍在增加。从全球来看，基准情景下的黑碳的总排放量在未来会持续下降，而其中民用燃烧、砖瓦、非道路移动源等排放源的贡献比例将会上升⁶。

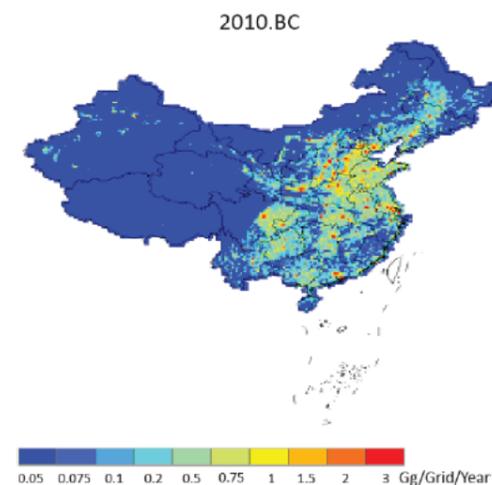


图2 中国人源黑碳排放的空间分布情况（来自MEIC模型⁷）

1. EPA, Report to Congress on Black Carbon, 2012

2. Bond, T. C. et. al. (2013), Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment.

3. IPCC (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp; Bond, T. C. et. al. (2013), Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment.

4. Lei, Y., Q. Zhang, K. B. He, and D. G. Streets (2011), Primary anthropogenic aerosol emission trends for China, 1990–2005, Atmos. Chem. Phys., 11, 931-954, doi:10.5194/acp-11-931-2011.

5. Chen, C. H., H. L. Wang, C. Huang, S. R. Lou, L. P. Qiao, and M. Zhou (2012), Haze Formation and Its Precursor Emission in Yangtze River Delta Region.

6. 温室气体与空气污染相互反应及协同(GAINS), 2011. <http://gains.iiasa.ac.at/gains/docu.GCC/index.menu>.

7. MEIC模型：中国多尺度排放清单模型(Multi-resolution Emission Inventory for China)，是清华大学在国家863重大项目支持下开发的排放清单模型，旨在为各类大气化学模式和气候模式提供高精度的排放数据。<http://www.meicmodel.org/>.

2 黑碳气溶胶科研进展介绍

目前国际上对黑碳气溶胶的科学研究主要包括：黑碳及其他气溶胶对气候和生态系统的影响（包括大气、海湖沉降物以及冰芯等不同介质中黑碳浓度的测量，黑碳在碳循环中的变化，黑碳对气候影响的模型模拟等）；测算不同排放源的黑碳排放量以及在不同时间和空间下的排放模式和趋势；黑碳对人类健康的影响；个体黑碳排放源的潜在控制方法等。

在中国，相关科研工作主要集中在黑碳气溶胶对气候和生态环境的影响研究、黑碳气溶胶对人类健康的影响研究以及关于黑碳排放特征的研究。

黑碳气溶胶对气候和生态环境影响及其机制研究

由于黑碳气溶胶与其他气溶胶粒子共同排放，因此黑碳对气候和环境的影响很难单独区分出来。另外，黑碳对大气的加热和致冷效应取决于它在大气中的位置。若靠近地表，黑碳会通过阻挡太阳光而使地面温度降低；若黑碳位于较高海拔的位置，它反而会加热大气并带来全球变暖的效应⁸。这样的交叉效应带来了一定的科学不确定性，需要开展更进一步的多污染物分析。

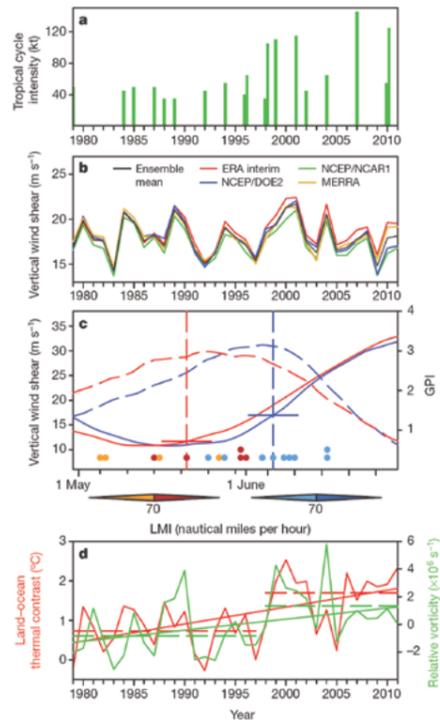


图3 阿拉伯海热带气旋加剧的原因 (来源: Wang B.等, 2012)

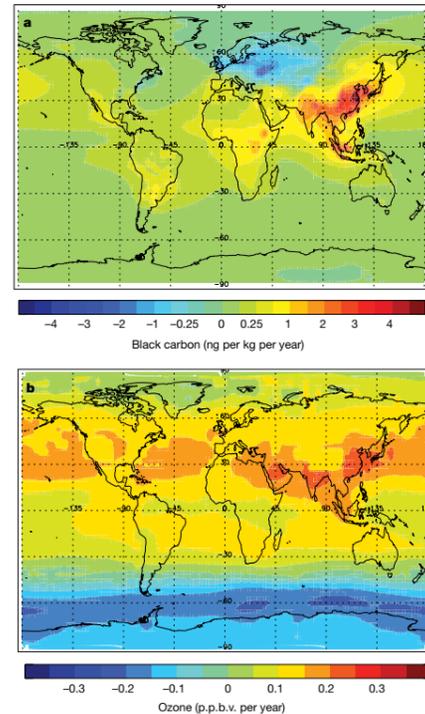


图4 1970-2009对流层臭氧和黑碳气溶胶年平均变化趋势 (来源: Allen R.J.等, 2012)

最新的研究发现黑碳气溶胶会影响热带风暴的强度⁹；其加热作用会加速热带膨胀，以及北半球气候带的北移¹⁰；黑碳的存在使得季风区降水减少，季风减弱¹¹；黑碳气溶胶会增加雾霾天气发生的几率等¹²。此外，由于黑碳气溶胶在被排放到大气中后，会发生一系列的老化反应，进而影响复合型大气污染物的形成¹³。总之，黑碳气溶胶的存在使气候变化和生态环境污染的研究变得更为复杂，需要进一步深入开展相关研究。

黑碳气溶胶对人类健康的影响及其作用机制研究

目前基于小范围人群的研究表明高浓度的黑碳气溶胶会对呼吸系统和心血管系统带来负面影响，会导致疾病和死亡率的增加，特别是对老人和儿童¹⁴。黑碳进入人体后会一系列复杂的生化反应，吸附在黑碳表面的芳香烃等物质也会对人体健康产生一定的影响¹⁵。一些研究指出，由于黑碳特有的化学成分、形态以及大小，与其他颗粒物相比，它可能会带来更为严重的健康影响。今后需要通过更多大范围人群和长时间序列的研究来证明黑碳对人体健康的直接效应。

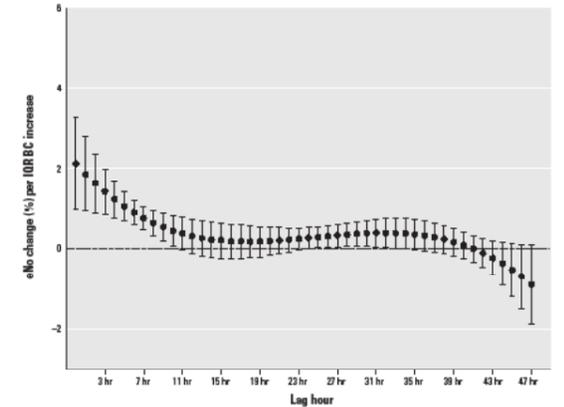


图5 在BC中每增加单位IQR (4.02 μg/m³) 带来的eNO的平均变化情况 (95%置信区间) (来源: Lin W.等, 2011)

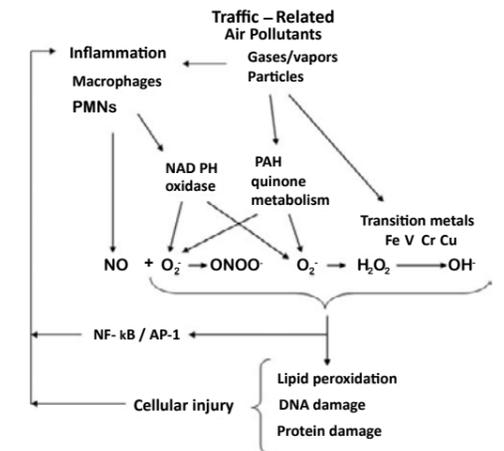


图6 交通源大气污染物引起的氧化应激反应和细胞损伤途径推测 (来源: Laumbach和Kipen, 2010)

8. IPCC (2007), Climate change 2007: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 2007: 104.

9. Evan, A. T., J. P. Kossin, C. E. Chuang, and V. Ramanathan (2011), Arabian Sea tropical cyclones intensified by emissions of black carbon and other aerosols, *Nature*, 479, 94-97; Wang, B., S. B. Xu, and L. G. Wu (2012), Intensified Arabian Sea tropical storms, *Nature*, 489, E1-E2.
 10. Allen, R. J., S. C. Sherwood, J. R. Norris, and C. S. Zender (2012), Recent Northern Hemisphere tropical expansion primarily driven by black carbon and tropospheric ozone, *Nature*, 485, 350-354.
 11. Si, D., and Y. H. Ding (2012), The tropospheric biennial oscillation in the East Asian monsoon region and its influence on the precipitation in China and large-scale atmospheric circulation in East Asia, *Int. J. Climatol.*, 32: 1697-1716; Bollasina, M. A., Y. Ming, and V. Ramanaswamy (2011), Anthropogenic aerosols and the weakening of the South Asian summer monsoon, *Science*, 334, 502-505.
 12. 中国气象局国家气候中心, 极端事件监测, 2012.
 13. Han, C., Y. C. Liu, J. Z. Ma, and H. He (2012), Effect of soot microstructure on its ozonization reactivity, *Journal of Chemical Physics*, 137, 084507; Han, C., Y. C. Liu, and H. He (2013), Heterogeneous photochemical aging of soot by NO₂ under simulated sunlight, *Atmospheric Environment*, 64, 270-276.
 14. Lin, W. W., W. Huang, T. Zhu, M. Hu, and et al. (2011), Acute respiratory inflammation in children and black carbon in ambient air before and during the 2008 Beijing Olympics, *Environmental Health Perspectives*, 119(10), 1507-1512; Huang, W., T. Zhu, X. C. Pan, M. Hu, and et al. (2012), Air pollution and autonomic and vascular dysfunction in patients with cardiovascular disease: Interactions of systemic inflammation, overweight, and gender, *American Journal of Epidemiology*, 176(2), 117-126.
 15. Laumbach, R. J., and H. M. Kipen (2010), Acute effects of motor vehicle traffic-related air pollution exposures on measures of oxidative stress in human airways, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1203, 107-112; Kaiser, J.C., Riemer, N., and Knopf, D.A (2011), Detailed heterogeneous oxidation of soot surfaces in a particle-resolved aerosol model, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 4505-4520.

黑碳排放特征研究进展

由于中国仍大量使用煤和生物质作燃料，因此被认为是全球黑碳气溶胶排放量最大的国家。现有的排放清单研究中，采用的黑碳排放因子多依赖于国外的试验结果，而对国内典型黑碳排放源的排放水平和特征缺乏系统的监测和研究。中国已有很多关于民用燃煤和生物质燃烧的黑碳排放特征研究。研究者发现煤种和燃烧方式对民用燃煤的黑碳排放因子影响很大，中等挥发度烟煤散烧的黑碳排放因子很高，而型煤和无烟煤的排放因子相对较低¹⁶。目前中国尚缺乏炼焦、砖窑、移动源等重要排放源测试数据的积累，给黑碳排放清单的准确编制以及相关控制对策的制定带来一定困难。

根据清华大学MEIC模型的最新测算结果，2010年中国人为源黑碳排放量约为175.5万吨，其中工业源排放57.3万吨，民用源排放90.7

万吨，交通源排放27.4万吨。民用燃烧是目前中国最大的黑碳排放源。在基准情境下（即未来没有更加严格的政策干预），2030年民用燃烧的黑碳排放量将于现状持平。如果采取使用清洁能源、生物质炉灶改良、小煤炉淘汰等控制措施，2030年民用燃烧的黑碳排放量将比2010年减少50%以上。同时，转向使用低硫柴油，并要求所有新的柴油车辆安装颗粒物过滤器可以帮助中国在2030年减少10%以上的黑碳排放。

目前中国黑碳排放清单研究的不确定性很大，不确定度范围普遍在100%以上。这是由于现有的清单中还存在较多缺陷：例如缺乏对民用能源使用情况，尤其是农村能源使用情况的深入了解；排放因子多采用其他国家的有限测试结果，缺乏本地可靠实验数据的支持；对砖瓦、土焦等中国特有排放源的认识不足等¹⁷。

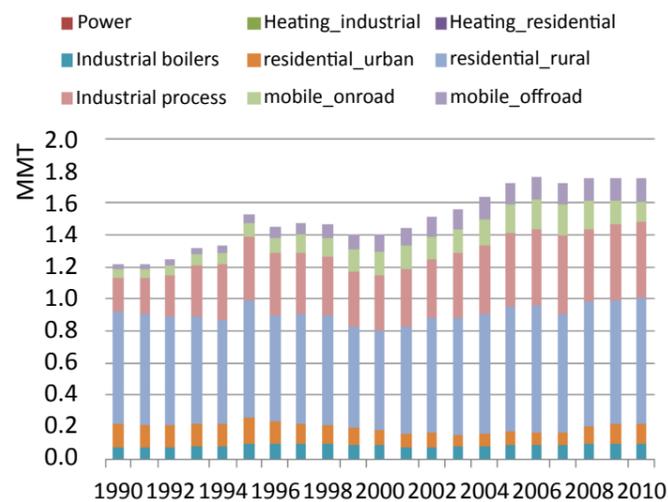


图7 中国人为源黑碳排放历史趋势（来自MEIC模型）

16. Zhang, Y. X., J. J. Schauer, Y. H. Zhang, L. M. Zeng, Y. J. Wei, Y. Liu, M. Shao (2008), Characteristics of particulate carbon emissions from real-world Chinese coal combustion, Environ. Sci. Technol. 2008, 42, 5068–5073

17. Lei, Y., Q. Zhang, K. B. He, and D. G. Streets (2011), Primary anthropogenic aerosol emission trends for China, 1990–2005, Atmos. Chem. Phys., 11, 931–954; Rong Wang, Shu Tao, Wentao Wang, Junfeng Liu, Huizhong Shen, Guofeng Shen, Bin Wang, Xiaopeng Liu, Wei Li, Ye Huang, Yanyan Zhang, Yan Lu, Han Chen, Yuanchen Chen, Chen Wang, Dan Zhu, Xilong Wang, Bengang Li, Wenxin Liu, and Jianmin Ma (2012), Black Carbon Emissions in China from 1949 to 2050, Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 7595–7603

3 黑碳气溶胶的控制策略

黑碳气溶胶对气候、环境以及人体健康的负面影响不容置疑，需要采取有效措施，控制黑碳气溶胶的排放。目前，中国的主要黑碳排放源包括柴油机动车、生物质燃烧、燃煤锅炉、窑炉和民用炉灶等。

从全球范围的经验来看，目前被证明技术验证且经济可行的黑碳控制措施包括¹⁸：

- 在柴油机（包括道路用和非道路用）上安装颗粒物捕集器并使用低硫燃料；
- 通过用型煤代替原煤、推广天然气使用、通过安装内置风扇以改良生物质炉灶（提高燃烧温度，实现完全燃烧）方式减少民用黑碳排放；
- 提高炼焦行业的能效及采用清洁燃料；
- 改进烧砖的方法或工艺技术，包括末端废气处理工艺；
- 改造或者淘汰老旧的、低效的、高排放的燃煤低温燃烧源。

3.1 中国已经开展的黑碳控制措施和效果

(1) 燃煤工业锅炉整治工作

中国燃煤工业锅炉的煤耗量非常大，2010年62万台工业燃煤锅炉共消耗煤炭6.4亿吨。中国燃煤工业锅炉的综合热效率在70%左右，低于国际平均水平10-15%，而且污染物的排放标准也相对较低。据估算，2010年燃煤工业锅炉的黑碳排放量在20万吨左右。

目前用于燃煤工业锅炉颗粒物排放的控制技术有机械式除尘、湿式除尘、静电除尘和布袋

除尘等。其中机械式多用于6t/h及以下的小型锅炉，除尘效率低；湿式除尘器多用于10t/h及以上锅炉，正常运行时的烟尘排放浓度可达到国家规定的一类地区和二类地区的排放限值要求；静电除尘和袋式除尘多用于近几年新建的热电联产、集中供热锅炉等，能满足更严格的地方烟尘排放标准要求。

为支持《十二五重点区域大气污染综合防治规划》的开展，环保部在2012年开展了燃煤工业锅炉综合整治工作，重点安排了淘汰中小锅炉、推广天然气和生物质成型燃料、推广集中工业和采取高效除尘技术等四个方面的工作。在“三区十群”中选择了15个城市进行燃煤工业锅炉的综合整治，投入资金10.9亿，改造锅炉2.8万蒸吨，预计可节煤500万吨左右，削减黑碳排放4700吨。今后这一工作还将推广到“三区十群”的所有城市，并逐步推广到全国。

(2) 柴油车颗粒物的排放控制

中国柴油车每年消耗柴油约1亿吨，排放颗粒物60万吨左右。与之相比，先进的柴油机几乎不产生颗粒物。

目前在控制柴油颗粒物排放方面有两种主要技术，但是只有其中一种能够控制黑碳排放。一种是柴油机氧化型催化转化器（DOC），颗粒物的总去除率在20-30%，但是基本无法去除黑碳；优点是经济性较好，而且不需要使用额外的低硫燃料。如果中国所有的柴油机都强制安装DOC，可以削减20%以上的柴油机颗粒物总排放，约每年10万吨。另一技术是柴油机颗粒过滤器（DPF），可以高效去除包括黑碳在内的颗粒

18. UNEP, Integrated assessment of Black Carbon and tropospheric ozone, 2011; USAID, Black Carbon emissions in Asia: sources, impacts and abatement opportunities, 2010; Climate Works, Abatement opportunities for non-CO2 climate forcers, 2011.

物,效率达到99.9%以上。在美国和欧洲,所有新的柴油车都安装该设备。但是比起DOC,每车安装DPF的价格明显偏高。此外,要求使用低硫燃料,而且会更费油。如果现在起所有新柴油机都安装DPF,5年后中国柴油机颗粒物排放将比2010年减少20%左右。

中国应当早日推动在柴油车上采用这两种技术,以实现颗粒物的减排。对现有柴油发动机进行DOC技术改进,在新的柴油汽车和卡车上都安装DPF。

控制柴油机颗粒物排放的有效措施

控制柴油车颗粒物排放是削减交通部门黑碳排放的关键,而且是实现在气候变化、空气质量、健康影响等方面多重效益的“无悔选择”。除了采用在柴油机上安装DPF和DOC的技术手段,控制柴油机颗粒物排放的有效措施还包括:

- 加严新车及油品标准
- 老旧机动车提前报废
- 对非道路机动车实施控制
- 削减沿海船只及港口污染物排放等

(3) 清洁炉灶的使用和推广

全世界每天有30亿以上人口在使用固体燃料作为主要能源,排放出大量的一氧化碳、颗粒物等污染物,极大降低了室内空气质量,严重影响了用户,尤其是妇女和儿童的身体健康。中国有超过7亿人口(约2/3在农村,1/3在城市)仍然依靠固体燃料进行炊事和取暖。最新发布的《全球疾病负担研究2010(GBD2010)》²³中测算,2010年,家庭固体燃料所产生的室内空气污染,在全球范围导致350万人的过早死,其中有超过100万在中国。值得注意的是,使用老旧炉灶所带来的室内空气污染会对贫穷地区的妇女、婴儿和儿童带来更为严重的影响。

采用清洁炉灶是改善室内空气污染最有效的途径之一。为了能够同时减少黑碳排放,可以采取以下方法:1)采用型煤代替原煤;2)通过内置风扇提高生物质炉灶的燃烧温度;3)改用清洁能源(天然气或者电力)。中国从上世纪80年代后期开始推广改良炉灶,2005年之后高效清洁生物质炉灶产量和保有量均迅猛增长。2011年生物质清洁炉具的保有量达到215万台,是2005年的30倍。

目前中国炉灶主要是通过政府补贴进行采购,直接或者间接来自政府采购项目占到了70%

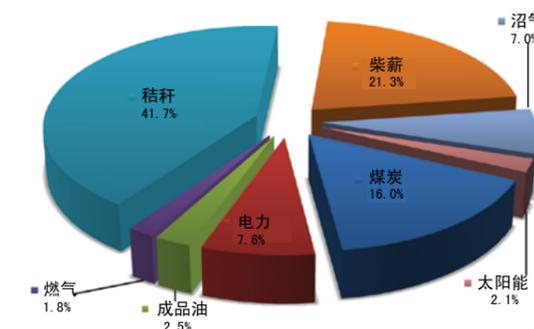


图10 2010年农村生活用能结构图
(数据来源:煤炭、电力、成品油、燃气数据来源于2011年中国能源统计年鉴;秸秆、薪柴、沼气、太阳能数据来源于2010年中国农业统计资料)

2010年中国20个首要致死风险因子

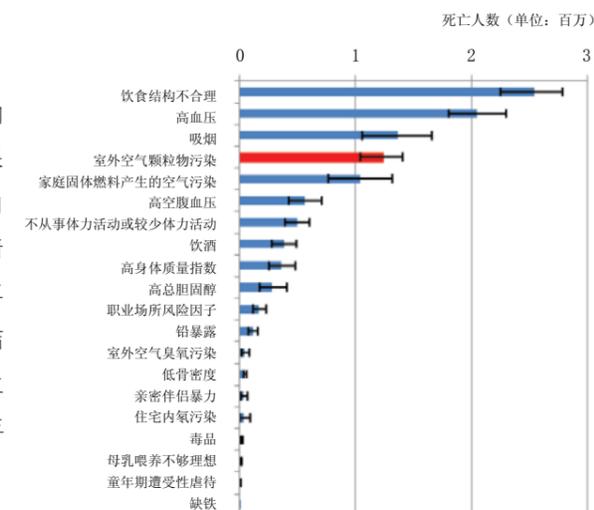


图11 GBD2010: 中国20个首要致死风险因子(来源: HEI, 2013)

Country	Year	Standard																			
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	01	02	03	04	05	06	07	08	09
US	Emission Standard	Tier0			Tier1										Tier2						
	S content	2000			500										30			15			
EU	Emission Standard	EURO1			EURO2			EURO3			EURO4			EURO5							
	S content	3000			2000			500			350			50			10				
CHINA	Emission Standard				CHN1			CHN2			CHN3			CHN4							
	S content				10000			2000			500										
BEIJING	Emission Standard				CHN1			CHN2			CHN3			CHN4			CHN5				
	S content							500			350			50							

图8 全球柴油车排放标准及油品标准(来源: 环保部机动车排污监控中心)

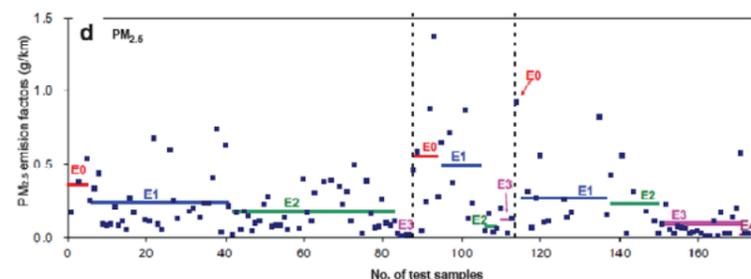


图9 柴油车在路排放因子随标准实施的变化(来源: Huo, H.等, 2012²²)

2013年2月的国务院常务会议提出要加快中国油品质量升级。由国家质检总局和国家标准委尽快发布第四阶段车用柴油标准(含硫量不大于50ppm),过渡期至2014年底;2013年6月底前发布第五阶段车用柴油标准(含硫量不大于10ppm)¹⁹。国家质检总局和国家标准委于次日批准发布了GB19147-2013《车用柴油(IV)》国家标准²⁰。在随后召开的全国标准化会议上,国家标准委透露,2013年内中国将发布第五阶段车用柴油标准²¹。

表1 高效清洁炉灶和传统炉灶性能对比

项目	生物质炉灶		传统炉灶
	玉米秸秆	秸秆压块	薪柴/干草
燃料类型	玉米秸秆	秸秆压块	薪柴/干草
热效率(%)	35	41	10-12
平均颗粒物排放(mg/m ³)	38	25	> 120
室内平均CO含量(mg/m ³)	8.2	5.0	97
燃料消耗(kg/h)	3.3	2.3	7-8

19. 中华人民共和国中央人民政府, 2013年2月6日国务院常务会议。http://www.gov.cn/lhdh/2013-02/06/content_2328473.htm

20. 国家标准化管理委员会, 国家质检总局, 国家标准委批准发布第IV阶段车用柴油国家标准。http://www.sac.gov.cn/gnbzhgzdt/201302/t20130208_132681.htm

21. 人民网, 第五阶段车用柴油标准今年将发布。http://scitech.people.com.cn/GB/n/2013/0222/c1007-20563280.html

22. Huo, H., Z. Yao, Y. Zhang, X. Shen, Q. Zhang, and K. He (2012), On-board measurements of emissions from diesel trucks in five cities in China, Atmos. Environ., 54, 159-167.

23. Lim S.S and many others (2012), A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990-2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010, Lancet, 380: 2224-60.; Cohen A (2013), Outdoor air pollution is in the top of health burden risk factors in 2010, especially in China and other Asia developing countries. Health Effects Institute, Press release.

以上。在未来应当从研究市场需求、加强产品供应、营造良好氛围、实施试点示范、加强宣传教育、推动国际交流等六个方面开展工作，大力推广清洁炉具的使用。已开展的项目包括：

中国政府支持的典型项目	国际合作项目
<ul style="list-style-type: none"> 省柴节煤炉灶推广项目 生物质颗粒燃料应用示范点 一炉一灶项目 生态家园项目 农村沼气国债项目 农机具购置补贴专项 绿色能源示范县 降氟改灶项目 巩固退耕还林项目 	<ul style="list-style-type: none"> 中荷项目“促进中国西部农村可再生能源发展应用” 壳牌基金会项目“促进中国和国际高效低排放户用生物质炉灶技术创新和推广” 美国环保署项目“中国西部地区高效低排放生物质炉灶扩大推广项目” 中美合作“中国清洁高效炊事取暖碳交易项目” 美国环保署“贵州清洁炉灶推广项目” 美国环保署“云南防止森林砍伐项目” 世界银行在贵州等四省的炉灶防止污染和健康项目 世界银行“中国清洁炉灶倡议”项目

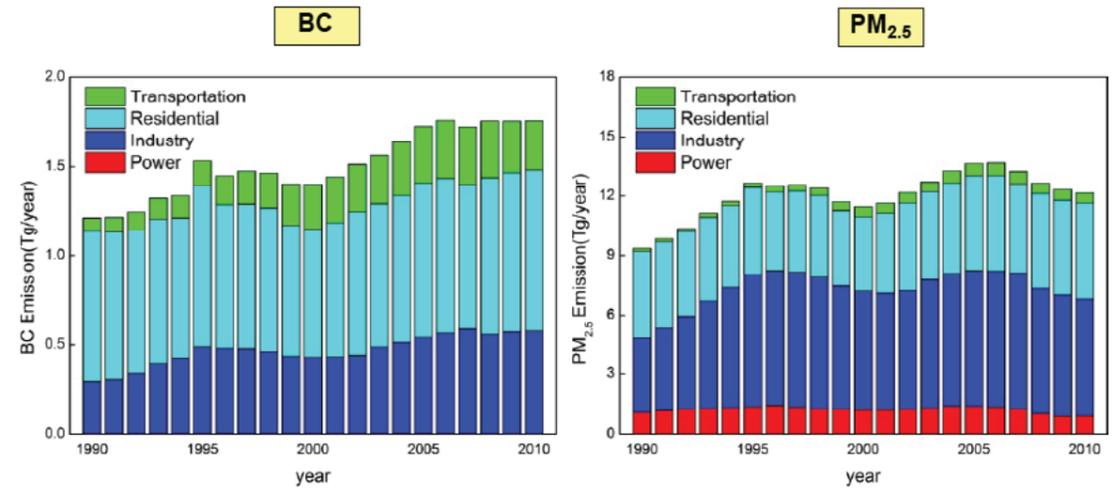


图12 1990-2010年人为中国人源黑碳气溶胶和PM_{2.5}的排放趋势 (MEIC模型)

3.2. 未来黑碳防控的建议

(1) 完善基础性工作，为黑碳减排提供有力的政策支持

中国的环境质量标准，包括最新的PM_{2.5}标准都缺乏基准文件的强力支撑。相比较，在美国制定颗粒物环境标准的进程中，其基准文件起到了非常强的支撑作用，如颗粒物健康效应基准研究方法、颗粒物对气候变化、生态、能见度、材料等多方面的影响等。中国应当加强这方面的工作，建立PM_{2.5}的环境质量基准体系，为开展颗粒物减排以及黑碳排放控制工作提供基础。

此外，针对黑碳排放，要开展多方面排放源的采样和监测，特别是低温燃烧源、柴油机动车和民用炊事及采暖。同时，要注重对人类健康影响的观测，可以通过对个人暴露观测等方式开展。

(2) 加强减排路径的研究，充分考虑协同减排政策

解决黑碳问题需要多元化的途径。虽然有研究表明在减排黑碳的同时，二氧化硫和有机碳的排放也会减少，这样会导致正的辐射强迫，不利于气候友好。从另一方面来看，硫酸盐和有机

碳等成分虽然对气候有致冷效应，但是对人体健康也会带来负面影响，因此削减这些污染物总体来说有利的。因此，应当加强对减排策略选择的研究，在制定污染物减排政策的同时兼顾环境影响、气候效应、人体健康等多方面的效益，实现多赢。

(3) 多领域开展颗粒物防控行动

在过去二十年间，中国在对一次颗粒物的控制方面取得了很大的成绩，但是同时期黑碳和PM_{2.5}的排放比值非但没有降低，反而一直在上升。主要原因是之前将颗粒物控制重点放在了电厂、水泥等部门，而对于黑碳排放较高的柴油机动车、砖瓦、小型燃煤锅炉、炼焦炉以及民用炊事和取暖等排放源关注不够。

中国应当加强在黑碳排放主要领域的污染控制工作，全方位开展对相关污染源的控制，如在交通部分采取多种措施控制柴油车排放；在民用炊事和取暖采取清洁燃料、推广改良生物质炉灶；提高炼焦部门的能效及采用清洁燃料等。这些措施会带来显著的黑碳减排效果。

4 总结

◎ 加强对黑碳气溶胶的关注

黑碳气溶胶对气候、环境和人体健康都会产生不良影响，中国需要加强对它的关注和防治；黑碳的影响以及它与其他污染物之间的相互作用是非常复杂的过程，也需要更多的关注和研究。

◎ 进一步推进相关科研工作，加强清单研究

黑碳气溶胶的来源和控制都很复杂，特别是黑碳的排放清单。目前中国在来源估算方面存在严重的数据缺失，且数据匹配和一致性较差，不确定性也很大，需要进一步加强研究。此外，黑碳气溶胶对人体健康的影响机制和在大气中的反应过程等基础研究，需要持续推进。

◎ 坚持气候友好的环境保护战略，实现“无悔选择”

控制黑碳排放会带来气候及环境的正面效益，中国要通过黑碳防治坚定不移地推进气候友好的大气污染防治战略，从而实现气候和环境的双赢。

附录I 中国黑碳领域的主要研究机构和人员

主要研究机构	核心研究人员	主要研究机构	核心研究人员
北京大学	朱彤、谢绍东	中国科学院地球环境研究所	曹军骥
环境保护部环境规划院	雷宇	中国科学院青藏高原研究所	徐柏青
环境保护部机动车排污监控中心	汤大钢、丁焰	中国科学院生态环境研究中心	贺泓
兰州大学	黄建平	中国科学院烟台海岸带研究所	陈颖军
上海市环境科学研究院	陈长虹	中国气象局	丁一汇、张华
清华大学	郝吉明、贺克斌、张强、王书肖、王聿绚	中国气象科学研究院	张小曳
中国环境科学研究院	白志鹏、高庆先	中国清洁炉灶联盟	陈晓夫
中国科学院大气物理研究所	廖宏、张仁健		

附录II 黑碳控制策略国际研讨会

黑碳气溶胶国家研讨会由清华大学和美国能源基金会主办，致力于中国黑碳最新研究进展与国际经验的分享。自2009年第一届会议起，黑碳气溶胶国际研讨会已成功举办了三届，并成为了国内外黑碳领域的专家分享其研究经验和成果的交流平台。

第一届的黑碳气溶胶国际研讨会于2009年4月25日在北京假日皇冠酒店举行。来自清华大学、北京大学、中国科学院、中国气象局、中国气象科学研究院、青藏高原研究所、国家发改委能源研究所、中国环境科学研究院、美国能源基金会和美国气候工作基金会的50名专家学者出席了研讨会。中国环境保护部科技司副司长高吉喜先生对与会者表示了热烈欢迎，并且阐述了当前环境保护面临的挑战。中国工程院院士、清华大学环境科学与工程研究院院长郝吉明在开幕式上发表致辞并做主旨发言。中国工程院院士丁一汇，作了“全球变暖和空气污染及其对中国社会经济的影响”的主旨发言。清华大学环境科学与工程系教授贺克斌致闭幕词并作总结。

第二届黑碳气溶胶国际研讨会于2011年11月7日在北京文津酒店举行，此次会议的主题是关于黑碳的控制措施和中国的治理政策。共有60多名国内外专家参与此次研讨会，其中丁一汇院士，欧盟委员会的Frank Raes，环科院柴发合副院长等9名黑碳相关领域的专家分别针对黑碳研究的最新进展，黑碳污染源清单，固定和移动源控制措施和政策，以及面源控制措施和政策做了主题报告。

在2012年11月15日举办的第三届黑碳气溶胶国际研讨会上，近70位国内外黑碳领域的专家学者就黑碳气溶胶控制策略展开了研讨。本次研讨会的议题由黑碳气溶胶的环境及健康影响、排放特征以及控制策略三部分组成。中国气象局丁一汇院士、国际应用系统分析研究所Zbigniew Klimont先生、气候工作基金会Catherine Whitespoon女士分别以“黑碳对气候与环境影响的科学新认识”、“全球黑碳气溶胶排放情景”和“黑碳控制的国际经验”为题做会议主旨发言。来自国际清洁交通委员会、清华大学、北京大学、中科院大气物理所、中科院生态中心、中国环境科学研究院、环保部机动车排污监控中心、环保部环境规划院、中国清洁炉灶联盟、上海环境科学研究院的专家学者分别就黑碳气溶胶对区域气候变化、大气化学过程、人体健康的影响，中国黑碳气溶胶排放特征，机动车、民用炉灶、工业燃煤锅炉等污染源的黑碳排放控制，气候友好的多污染物协同控制策略等多项议题进行了报告。

中国清洁空气联盟

中国清洁空气联盟由十家中国清洁空气领域的核心科研院所共同发起，拟为中国的省市提供一个有效的平台，一方面以推广国内外先进的理念、经验、技术、工具；另一方面，加强省、城市以及科研机构之间的交流协作。联盟的目标是支持中国的省和城市改善空气质量，减少空气污染对公共健康的危害。联盟的参与方包括科研院所、相关省市、以及关注清洁空气的公益机构和相关企业等。联盟由指导委员会指导工作，并下设秘书处开展日常的管理和协调工作。

十家发起机构包括：清华大学、环保部环境规划院、环保部环境工程评估中心、复旦大学、南京大学、北京师范大学、中国环境科学研究院、北京大学、环保部机动车排污监控中心、中国人民大学

发起支持机构：能源基金会



本报告的电子版可以通过联系cleanairchina@iccs.org.cn 获取

CAAC



中国清洁空气联盟秘书处

北京市建国门外大街16号东方瑞景1号楼1705室

电 话: +86-10-65696606

电子邮箱: cleanairchina@iccs.org.cn