

GUOJIA DAOLU JIAOTONGYUAN
HEITAN PAIFANG QINGDAN JIANLI FANGFAXUE



国家道路交通源 黑碳排放清单建立方法学

王燕军 丁 焰 吉 喆 / 著

中国环境出版社

014030236

X511.06
07

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

国家道路交通源黑碳排放清单 建立方法学

王燕军 丁焰 吉喆 著



中国环境出版社·北京



北航

C1717152

X511.06

07

图书在版编目 (CIP) 数据

国家道路交通源黑碳排放清单建立方法学/王燕军, 丁焰, 吉喆著. —北京: 中国环境出版社, 2013.12
(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)
ISBN 978-7-5111-1642-0

I. ①国… II. ①王…②丁…③吉… III. 公路运输—二氧化碳—排气污染物—污染控制—中国
IV. ①X511.06

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 270638 号

出版人 王新程
责任编辑 丁莞歆
文字编辑 张秋辰
责任校对 唐丽虹
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (科技标准图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2013 年 12 月第 1 版
印 次 2013 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 7.5
字 数 176 千字
定 价 28.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编 委 会

顾 问：吴晓青

组 长：赵英民

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

总 序

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施；科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作；初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境

科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，对市场机制不能有效给予配置资源的社会公益研究活动进行重点支持，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理技术体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

目 录

第 1 章 黑碳气溶胶研究的意义	1
1.1 黑碳	1
1.2 黑碳气溶胶对人类及自然环境造成的影响	2
1.3 全球的黑碳排放源与道路交通源的黑碳排放	6
第 2 章 机动车黑碳排放清单的建立方法	9
2.1 影响机动车排放因子的主要因素	9
2.2 机动车排放因子的研究方法	13
2.3 机动车活动状况调查	18
2.4 颗粒排放因子研究	34
2.5 在用车黑碳排放取样研究	59
2.6 黑碳成分分析	72
2.7 中国大陆各省黑碳排放清单	76
第 3 章 中国大陆机动车黑碳排放增长情况预测分析	78
3.1 保有量预测方法	78
3.2 2015 年及 2020 年中国大陆机动车保有量预测	80
3.3 中国大陆机动车排放系数的预测	88
3.4 2015 年及 2020 年中国大陆机动车颗粒物排放量预测结果	88
3.5 政策建议	89
第 4 章 我国道路交通扬尘及其中黑碳含量测算方法	92
4.1 交通道路扬尘研究的意义	92
4.2 我国道路交通源扬尘排放量测算方法简介	93
4.3 我国道路交通源扬尘及黑碳排放量估算	97
4.4 我国道路扬尘治理建议	103
参考文献	105
后 记	112

第 1 章 黑碳气溶胶研究的意义

1.1 黑碳

黑碳是化石燃料、生物燃料和生物质不完全燃烧的产物。黑碳特别小。柴油车排放黑碳的直径为 100 nm 左右，做个比较，头发的直径为 70 000 nm 左右。黑碳的形状多种多样（图 1-1），而它对于人体健康的危害早已是众所周知，近年来，随着国内外学者对黑碳研究的深入，人们开始越来越多地关注其对气候变化的影响。

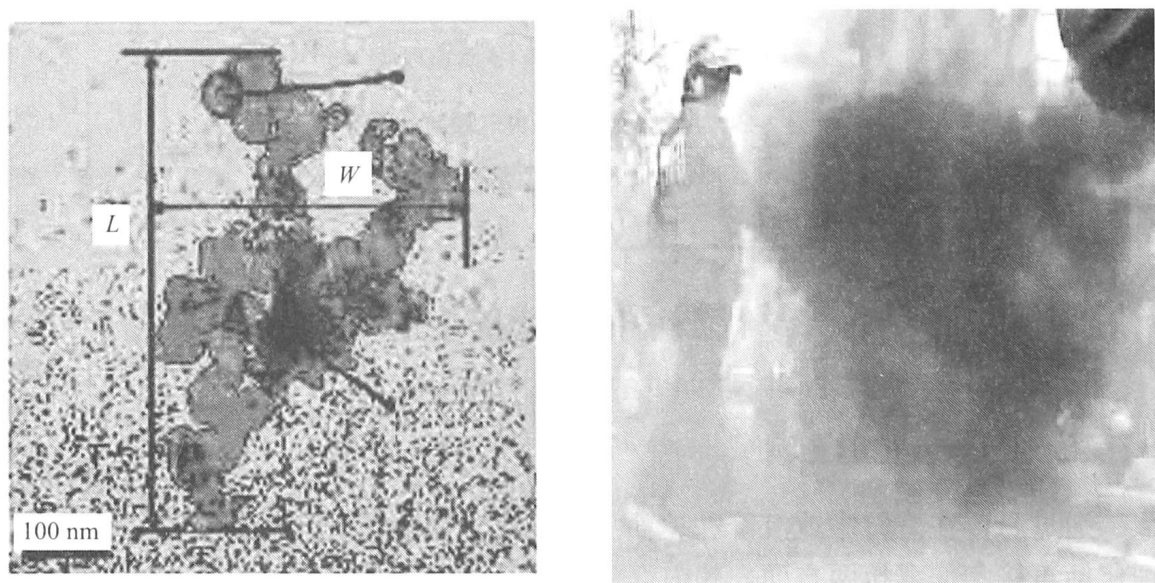


图 1-1 黑碳的结构

黑碳的来源可分为自然源和人为源两种。自然源排放如火山爆发、森林大火等具有区域性和偶然性；而人为源排放却是长期和持续的，人为源主要来自生产及生活中的矿物及生物燃料燃烧，居民生活使用的燃煤，工业及交通使用的煤、石油、天然气燃料等。

道路交通源产生的黑碳排放一次源主要来自于柴油机尾气排放中的颗粒排放。柴油机排气颗粒主要有三种形态：第一种是球粒形，主要是柴油机排放的初级粒子；第二种是由初级粒子形成的小的聚合体，一般为簇状、葡萄状、链状等；第三种是较大的凝聚体，一般为球状或片状，直径大的凝聚体可能是通过小聚合体间的相互碰撞并结合形成的，如图 1-2 所示。

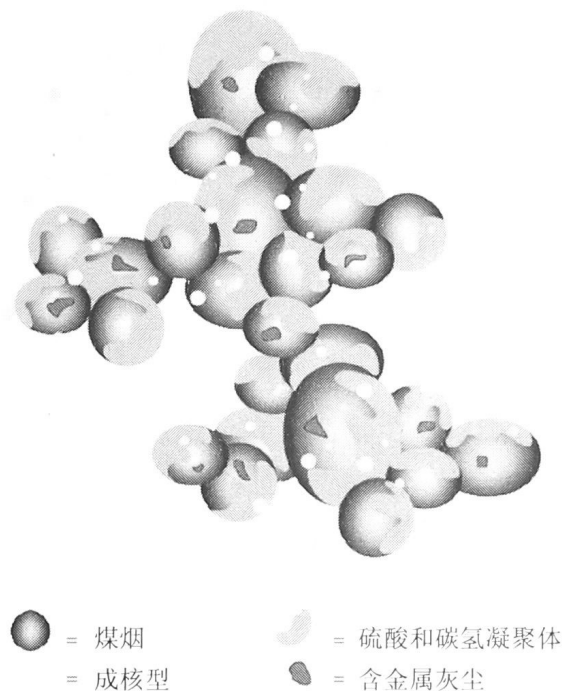


图 1-2 典型积聚态柴油车颗粒示意图

资料来源：Maricq M, Aerosol Science, 2007

1.2 黑碳气溶胶对人类及自然环境造成的影响

1.2.1 黑碳对气候变化的影响

黑碳通过悬浮在空气中或沉降在地面上吸收太阳光而影响气候。黑碳对气候变化的影响机理包括直接和非直接两方面，其中得到最广泛研究的是黑碳的辐射强迫。辐射强迫是一种度量污染物影响太阳入射辐射与红外散射平衡的方法，计算目前与 1750 年（全球工业化时代之前）相比的一个变化量（单位： W/m^2 ）。正的辐射强迫数据表示污染物增加了地球气候系统的能量，有导致气候变暖的能力。负的辐射强迫数据表示污染物可以减少地球气候系统的能量，有导致气候变冷的能力。辐射强迫被世界上许多组织（如政府间气候变化专门委员会，IPCC）用来衡量黑碳对气候变化的影响。黑碳的辐射强迫包括三种方式：直接强迫（太阳和地球辐射直接吸收）、冰雪反射率强迫（导致雪和冰表面变暗）和间接强迫（与云强迫相关的影响，包括云的形成、云的寿命，反射率和组成的变化等）。

1. 直接强迫

IPCC（2007 年）估计来自所有源的黑碳气溶胶的全球平均辐射强迫大致为 $+0.34 (\pm 0.25) \text{ W/m}^2$ 。由于煤、石油和天然气等化石燃料燃烧产生的黑碳气溶胶的直接辐射强迫大致为 $+0.2 (\pm 0.15) \text{ W/m}^2$ 。黑碳在颗粒中的混合形式对估量黑碳的辐射强迫有着比较大的影响，有学者研究表明，黑碳包裹在颗粒内部的形式将会使黑碳产生更高的辐射强迫。UNEP（联合国环境规划署）估计的黑碳直接辐射强迫值大致在 $0.3 \sim 0.6 \text{ W/m}^2$ 。除此之外，黑碳的粒径大小、沉降方式等也会对黑碳辐射强迫大小的估计产生影响，例如有专家根据

全球气溶胶监测网（AERONET）的观测数据和卫星数据，估计全球黑碳的直接辐射强迫在 $+0.4\sim+1.2\text{ W/m}^2$ ，全球平均值为 $+0.9\text{ W/m}^2$ 。Bond 等人（2011）的研究发现最大的黑碳辐射强迫发生在亚洲的东部、南部及非洲的部分地区，如图 1-3 所示。挪威国际气候和环境研究中心的气候科学家冈纳迈尔（Gunnar Myhre）等人也指出仅考虑来自于化石燃料和生物燃料的黑碳排放，最大的辐射强迫也来自于南亚和东亚（Atmospheric Chemistry and Physics, 2009）。

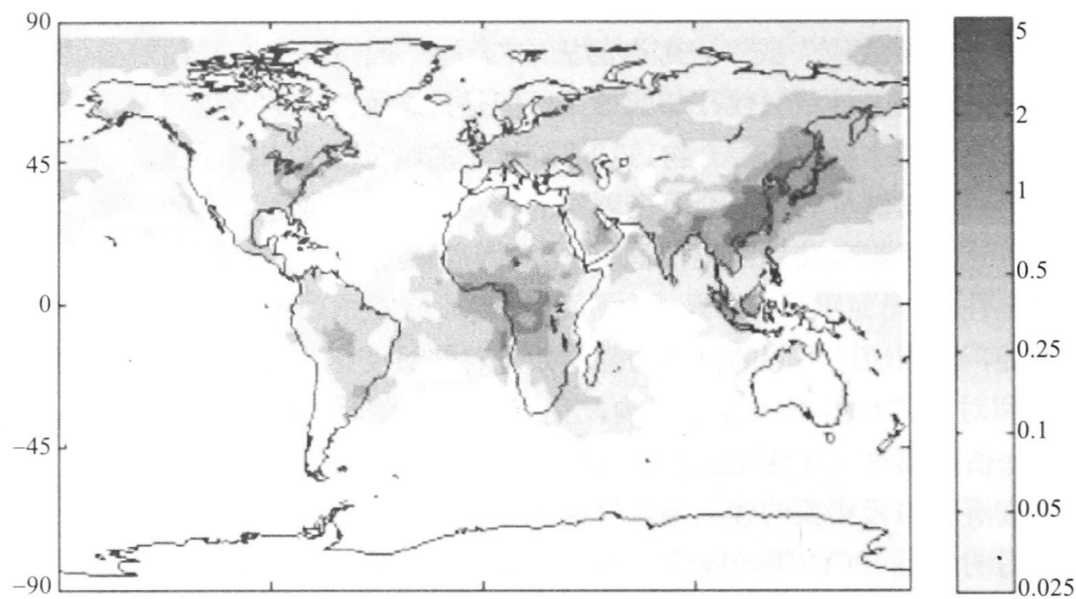


图 1-3 黑碳直接强迫排放源的地理分布

资料来源：Bond et al., Atmospheric Chemistry and Physics, 2011

2. 冰雪的反射率强迫

沉积在冰雪上的黑碳会产生正的辐射强迫。这主要是因为黑碳会使冰雪的表面变暗，从而减少冰雪表面对光的反射率，同时，黑碳吸收太阳光后产生的热量也会加热冰雪。有研究表明，春季是黑碳对冰雪反射率影响最大的季节，这主要是因为冰雪在春季覆盖的范围最大，同时日照时间也较长。IPCC 估计全球平均沉积在冰雪上的黑碳的冰雪反射率强迫值大致为 0.1 W/m^2 ($0\sim0.2\text{ W/m}^2$)，UNEP 则估计该值大致在 $0.01\sim0.10\text{ W/m}^2$ 。但是，由于黑碳对冰雪的反射率强迫影响只发生在地球表面有冰雪覆盖的地方，因此，黑碳全球平均的冰雪反射率强迫的大小并不能清晰地表明黑碳的冰雪反射率强迫在效果、空间上的差异。气候科学家詹姆斯·汉森（James Hansen）等专家指出，与温室气体 CO_2 相比，黑碳所吸收的能量能直接作用于融化冰雪，而不像 CO_2 主要是在大气中传播热量；同时，表面融化的冰雪上的黑碳还会继续积聚，进一步吸收太阳的辐射，减少冰雪的反射率，直至被冲走或被掩埋。因此同样的冰雪反射率强迫，黑碳对冰雪融化的效果比 CO_2 大数倍（“Climate Dynamics”，2007，29）。从空间分布来说，有研究表明，欧洲的北部、东部、俄罗斯和中国等地，黑碳的冰雪反射率强迫的影响也比全球平均值要高很多，对于北极和喜马拉雅山来说，此种效果更为显著。Flanner 等人发表的文献报道中（“Journal of Geophysical Research”，112）计算的青藏高原上黑碳的冰雪反射率辐射强迫值大约为 1.5 W/m^2 ，在春季的瞬时冰雪反射率强迫值可高达 20 W/m^2 ，他认为主要是由于青藏高原

大范围的冰雪覆盖和来自于中国和印度部分地方高的黑碳排放浓度。

3. 间接强迫

当水蒸气凝结到颗粒上时便会形成云滴，许多类型的粒子可以影响云的形成和微观物理特性，排放到大气中的气溶胶粒子的数量增加便会导致更多、更小的云滴形成。这些额外的云的液滴使得云更明亮，更容易反射光，这通常会防止阳光照射到云下的地球表面，导致地球表面冷却。增加了云的反射率，被称为“第一间接效应”或“云的反射率效应”。此外，较小的云滴更不容易积聚成雨滴，因此颗粒气溶胶会增加云的寿命，减少降水。这种被称为“第二间接效应”或“云寿命的影响”。在一般情况下，颗粒对云的反射率的影响和对云寿命的影响会导致气候冷却的效果。但是，这种强迫的效果还与云滴的组成是液滴、冰粒子、液滴和冰颗粒的混合物、气溶胶粒子的组分有关。由于黑碳和其他有强烈吸光效应的气溶胶对对流层的加热会改变流层的相对湿度和稳定性，从而影响云的形成和云的寿命，所以这种“半直接”效果使得 IPCC 认为颗粒溶胶通过云对气候变化的影响具有很大的不确定性。

综上所述，黑碳通过不同的机理和强迫效应对气候变化产生影响，其中既有直接的强迫效应影响和对冰雪反射率的强迫影响，又有具有很大大不确定性及与云相关的负强迫的影响，使得在评估黑碳对气候变化的影响时存在着一定的不确定性。进一步量化研究黑碳和其他颗粒气溶胶与云相关的强迫及对气候变化的影响将是今后研究的方向之一。目前国际上普遍采用的仍是 IPCC 第四版评估报告中对温室气体强迫效果的评估结果，黑碳是仅次于 CO₂ 和甲烷（CH₄）的导致气候变暖的第三大直接辐射强迫。

黑碳气溶胶除了上述的气候变化影响外还会对地球表面亮度或降雨形式产生影响，可以进一步参阅相关的文献了解国内外学者所做的相关研究。需要指出的是，这种影响是颗粒气溶胶所独有的，不像其他温室气体对降雨的影响主要是通过气温变化产生的。

1.2.2 黑碳对人体健康的影响

大气颗粒物（Particulate matter, PM）是重要的空气污染物之一，也是影响我国大多数城市空气质量的首要污染物，大气颗粒物污染对健康的影响已成为公众以及各国政府关注的焦点。大气颗粒物中空气动力学直径≤2.5 μm 的细颗粒物（Fine particulate matter, PM_{2.5}）比表面积大，易携带大量有毒有害物质，经呼吸道进入人体肺部深处及血液循环，对人体产生的危害比普通大气颗粒物更大。因此，目前国内外对颗粒物健康影响的研究重点以 PM_{2.5} 为主。最近，大气 PM_{2.5} 污染加上不良气象条件，使雾霾频繁出现，在影响人们出行和日常生活的同时，对人体健康也产生极为不利的影响。

1. PM_{2.5} 与人群心肺疾病发病率和死亡率的关系

国际环境流行病学领域近几十年的研究已经证实，长期或短期暴露于大气可吸入颗粒物（Inhalable particulate matter, PM₁₀ 和 PM_{2.5}），尤其是 PM_{2.5}，可导致心肺系统的患病率、死亡率及人群总死亡率升高。

美国就空气污染与死亡率和发病率的关系问题对本国 20 个城市近 5 000 万人进行调查，资料分析显示：人群死亡率与死亡前日颗粒物浓度相关。另有研究表明，PM_{2.5} 日平均浓度升高 10 μg/m³，冠心病的入院率升高 1.89%，心肌梗死入院率升高 2.25%，先天性心脏病发生率升高 1.85%，呼吸系统疾病危险度升高 2.07%。PM_{2.5} 污染与人群总死亡率、

呼吸系统疾病及心血管系统疾病死亡率均呈正相关,这种相关在 65 岁以上的老年人群和女性人群中更为明显。

2. $PM_{2.5}$ 对呼吸系统的影响

进入呼吸道的大气颗粒物可以刺激和腐蚀肺泡壁,使呼吸道防御功能受到破坏,肺功能受损,呼吸系统症状如咳嗽、咳痰、喘息等发病率增加,慢性支气管炎、肺气肿、支气管哮喘等的发病率增加。对于儿童呼吸系统症状和疾病与大气污染的关系进行研究后发现,污染严重地区儿童的各种呼吸系统疾病和症状的发生率均显著高于大气质量较好的对照区。居室附近有交通干道,儿童的各种呼吸系统疾病和症状的发生率高于居室附近没有交通干道的情况。儿童期暴露于浓度较高的颗粒物环境中,出现慢性阻塞性肺疾病症状的时间将会提前;成人期的暴露可促进慢性阻塞性肺疾病的发生和进展,导致其发病和死亡率增加。居住在高污染地区的儿童与居住在相对清洁地区的儿童相比,呼吸道黏膜和鼻黏膜的超微结构均发生改变,呼吸道多种细胞受损及中性粒细胞增加,同时在细胞间隙发现了颗粒物的增多。健康成人暴露于浓缩大气颗粒物后,可观察到肺部炎症反应,表现为肺泡灌洗液中性粒细胞上升、血液纤维蛋白原升高等。颗粒物对儿童和成人哮喘的发生和症状均有不良影响。

3. $PM_{2.5}$ 对心血管系统的影响

$PM_{2.5}$ 污染引起心血管疾病发病率和死亡率增高的心血管问题主要涉及心率变异性改变、心肌缺血、心肌梗死、心律失常、动脉粥样硬化等,这些健康危害在易感人群中更为明显,如老年人和心血管疾病患者等。正常情况下,人体心脏节律会随身体状况和昼夜交替而改变,这种心率的规则性变化称心率变异性(Heart rate variability, HRV),HRV 降低可增加人体心血管疾病发病的风险。采暖期室外 $PM_{2.5}$ 暴露可引起健康老龄人群的 HRV 降低,进一步探究发现碳质组分与该效应有关,且该效应机制独立于心肺组织损伤,可能与颗粒物直接刺激肺部的自主神经系统有关。 $PM_{2.5}$ 对血液循环状态如凝血功能的影响与上述不良心血管效应的发生密切相关。这些效应可进一步引起血管舒缩功能异常、外周血压升高,增加心血管事件的发生风险。此外,进入循环系统的颗粒物可对心肌细胞产生直接毒性作用,如颗粒物引起的活性氧对心肌系统可造成氧化损伤,颗粒物可干扰心肌细胞的钙离子通道等,导致心肌细胞电信号传导及节律性的异常。

4. $PM_{2.5}$ 对神经系统的影响

近年来,人群研究已经开始探讨大气颗粒物暴露与神经系统损害之间的关系,虽然研究不及心肺系统广泛和深入,但已有的结果也有一些阳性的发现,提示大气颗粒物对神经系统的影响也不可忽视。 $PM_{2.5}$ 和超细颗粒物可通过血脑屏障、嗅神经等途径进入中枢神经系统,与缺血性脑血管病、认知功能损害等中枢神经系统疾病和(或)损害有关。颗粒物对神经系统的损害作用可能通过以下两条途径:①颗粒物进入中枢神经系统引起直接损害;②颗粒物引起的系统炎症反应导致的间接损害。

5. $PM_{2.5}$ 对免疫系统的影响

免疫系统对颗粒物的反应具有两面性:一方面对颗粒物具有清除作用,另一方面也是机体受损的原因。 $PM_{2.5}$ 除了对肺巨噬细胞、脑小胶质细胞等定居在组织中的巨噬细胞产生影响外,对机体的免疫调节能力也有一定的影响。研究发现,颗粒物引起哮喘与过敏性疾病的机制与颗粒物的免疫佐剂效应有关,与此同时,颗粒物对免疫系统具有相对抑制的作用,可能降低机体对病原微生物的免疫反应,导致感染性疾病发病率的增加。

6. PM_{2.5}与癌症和出生缺陷的关系

PM_{2.5}可对染色体和DNA等不同水平的遗传物质产生毒性作用,包括染色体结构变化、DNA损伤和基因突变等。PM_{2.5}的遗传毒性至少与500种有机物有关,包括总多环芳烃、致癌性多环芳烃、芳香胺、芳香酮、过渡金属及其协同作用。PM_{2.5}对遗传物质的损伤与其产生活性氧的能力有关(羟自由基和超氧阴离子)。燃烧来源的颗粒物中多含有致突变物和致癌物(砷、多环芳烃、苯等),可损害遗传物质和干扰细胞正常分裂,同时破坏机体的免疫监视功能,引起癌症和畸形的发生。PM_{2.5}与机体作用产生的活性氧可对DNA造成氧化性损伤,导致DNA链断裂或其他氧化性损伤,柴油尾气颗粒物作为大气颗粒物的重要来源之一,携带有大量有害的重金属和有机化学物,2012年,国际癌症研究机构(IARC)决定将柴油机尾气列为“明确的人类致癌物”。

1.2.3 黑碳对环境和生态系统等的影响

1. 黑碳对居住环境的影响

悬浮在大气中的颗粒气溶胶通过光的散射和吸收作用,引起大气能见度的降低,产生灰霾等现象。研究表明,当空气相对湿度较低时,黑碳对光的吸收效果比有机碳强2.5倍左右。因此,黑碳气溶胶对局部地区的能见度降低和灰霾起非常重要的作用。除了黑碳对人体健康的影响,黑碳导致的能见度降低往往会影响到人们的各种日常活动、娱乐、出行以及人们生活的整体幸福感。黑碳引起的能见度降低和灰霾等现象还会影响城市的形象和知名度。

2. 黑碳对农作物及生态系统的影响

农作物的产量与其能接收到的太阳光关系很大,由于黑碳气溶胶会导致地球表面变暗,因此世界上某些地区可能会因此使得大米、冬小麦减产。有研究表明,包括黑碳在内的细颗粒物PM_{2.5}可能会通过直接沉积在植物、动物、水体上影响生态系统。PM_{2.5}沉积在叶片妨碍植物进行基本的新陈代谢功能,微量金属元素的增加导致土壤生物地球化学性质、植物生长、动物生长和繁殖生理过程的改变,导致有机负荷在整个生物链层次的生物体内积累和生物放大作用。PM_{2.5}沉积在石头、金属材料和油漆表面会加速物体自然风化过程的损伤,与酸性气体的化学反应导致PM_{2.5}相关损伤的影响,这会对需要进行保护的地标性建筑物造成重要影响。此外,PM_{2.5}在物体表面的积累(以下简称弄脏物体)还会影响材料的审美属性,使得需要更频繁的清洁或油漆表面,不但会影响物体的特性,还会产生更多其他的污染。

综上所述,科学界已普遍认识到黑碳对气候变化、人体健康和环境、生态系统等都有潜在的影响。不过,与其他温室气体不同的是,黑碳在空气中存在的时间相对较短,通常只会存在几天到几周的时间。因此,减少黑碳排放是在短期内快速减慢气候变化的一种重要手段。经过科学家的计算,减少来自石化燃料和生物柴油的黑碳排放能够减少40%的全球变暖影响。同时,空气质量也会因为黑碳排放的降低而得到改善,这也就更加凸显了认识和限制全球黑碳排放意义的重要性。

1.3 全球的黑碳排放源与道路交通源的黑碳排放

根据Bond等科学家(“Global Biogeochemical Cycles”, 2007, 21)的估算,2000年的全球黑碳排放量大约为840万t,其中亚洲、非洲的部分地区、拉丁美洲部分地区(中

美洲和南美洲）贡献了大部分的黑碳排放量。Lamarque 等人 2010 年发表的报道（“Atmospheric Chemistry and Physics”，10）表明，全球 75%的黑碳排放来自于三个主要地区：①亚洲（中国，印度，东南亚，南亚，泰国，中亚及西亚一些国家，日本，朝鲜等地）；②非洲（非洲西部，非洲东部，非洲北部，南非等）；③拉丁美洲（南美，墨西哥，美国中部，阿根廷，委内瑞拉，巴西地区）。亚洲占黑碳全球年排放量的 40%，非洲和拉丁美洲分别约占 23%和 12%，如图 1-4 所示。

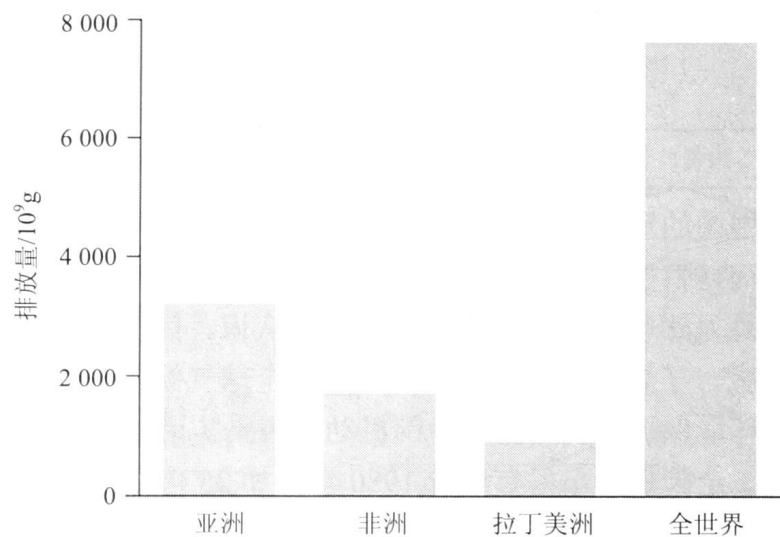


图 1-4 部分地区与全球的黑碳排放

资料来源：Lamarque 等. Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 2010

Lamarque 等科学家将全球的黑碳排放分为六大排放源（图 1-5），并指出，全球的黑碳排放仍以开放式生物质燃烧（包括野火）为主，约占全球黑碳排放的 35.5%；民用炉灶和供暖等产生的黑碳排放大约占全球黑碳排放的 25.1%。在发展中国家，民用产生的黑碳主要是由于烧煤、生物质或动物粪便等，其中中国、印度和非洲的黑碳排放占全球民用黑碳排放量的近 2/3。

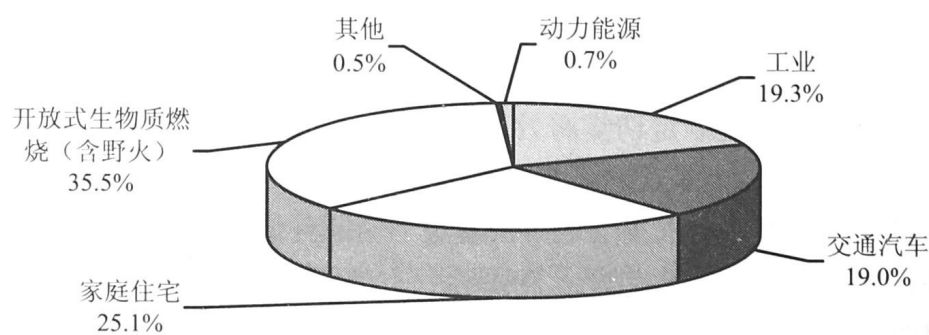


图 1-5 全球主要的黑碳排放源

资料来源：Lamarque 等. Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 2010

目前，国际上，随着科学技术的进步，传统技术的电力、钢铁、水泥、有色金属、造纸、制革、印染等行业的落后技术已经逐步淘汰或者更新，交通领域黑碳排放的贡献率越来越高。如 EPA(美国环保局)在 2012 年发布的黑碳国会报告（“Report to congress on black carbon”）指出，2005 年美国的黑碳排放总量为 640 kt，来自于交通和移动源的黑碳排放量

约占到总量的 52.3%，如图 1-6 所示。

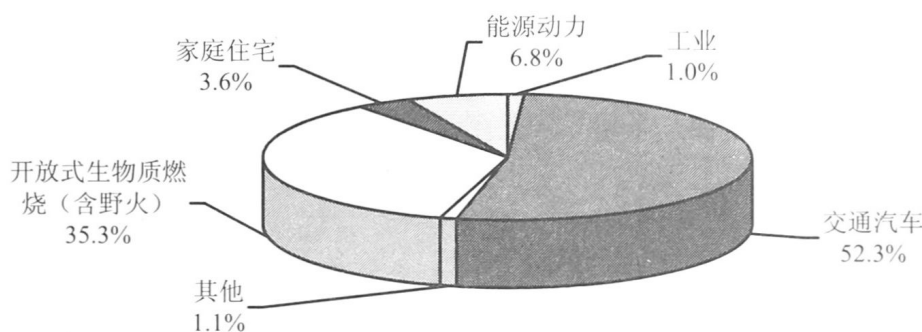


图 1-6 美国 2005 年的黑碳排放分布

有关估算表明，中国的黑碳排放量大约占全球排放的 30%，这主要是因为煤和生物燃料燃烧量的增加。然而，目前针对中国黑碳排放清单的专题研究却非常有限，政策制定者对于这一问题的重要性及影响和控制也尚没有足够的认识。目前，中国迫切需要进一步对黑碳排放清单进行研究，了解黑碳对城市空气质量和全球气候变化的影响。

2010 年 11 月，环境保护部发布的《中国机动车污染防治年报》显示，我国机动车保有量呈快速增长态势，全国机动车保有量较 1980 年增加 25 倍。2010 年，我国机动车保有量接近 1.9 亿辆，其中汽车 7 721.7 万辆，摩托车 10 000.5 万辆，各大中型城市机动车保有量都持续增加，特别是“十一五”以来增速明显加快。随着我国大中型城市机动车保有量的持续增长，城市大气污染已经从典型的煤烟型污染向机动车污染型转变，可吸入颗粒物已成为大部分城市的首要污染物。根据我国环境质量年报，2006 年监测的 559 个城市中，地级及以上城市（含地、州、盟首府所在地，下同）322 个，县级城市 237 个。空气质量达到一级标准的城市 24 个（占 4.3%），二级标准的城市 325 个（占 58.1%），三级标准的城市 159 个（占 28.5%），劣于三级标准的城市 51 个（占 9.1%），主要污染物为可吸入颗粒物，其中机动车排放的细颗粒物对城市空气质量影响的作用很大。黑碳的排放量在很大程度上决定了机动车颗粒排放的多少，因此，对机动车（主要为柴油车）黑碳排放的研究，不但可以了解机动车黑碳生成与颗粒排放的基本规律，从而为降低机动车黑碳和颗粒排放，为改善城市空气质量作出贡献；而且可以通过研究机动车黑碳排放量对全球气候变化的影响程度，从而为我们制定切实有效的黑碳控制政策打下基础。

另外，机动车在道路上行驶造成的扬尘也是道路交通源中黑碳排放的重要来源。除了机动车本身不断排放黑碳外，由于我国道路长度与车辆保有量比例的失调（路少车多），各种机动车在道路行驶时反复吹扬形成的扬尘也是黑碳的重要来源，且扬尘贡献的各种影响可能大于尾气排放的影响。因此，在中国特定的道路高积尘、车辆和道路快速增加的情况下，对机动车在道路上的扬尘排放以及其中的黑碳含量加以深入研究也是非常必要的。

综上所述，减少道路交通源中机动车的黑碳排放以及机动车行驶导致的扬尘，在短期内就会对我国大气空气质量和气候变化产生影响。鉴于其高效的投资回报，因此，对我国道路交通源机动车黑碳排放清单的研究，不但将直接服务我国各大中型城市环境行政主管部门，为他们改善城市空气质量提供技术支撑，而且可以为我国相关主管部门掌握我国相关温室气体排放情况、制定相关的政策、积极应对气候变化和争取国际谈判主动提供数据基础。

第2章 机动车黑碳排放清单的建立方法

为了估算机动车的黑碳排放清单，本书采用的机动车黑碳排放清单建立方法如图 2-1 所示。

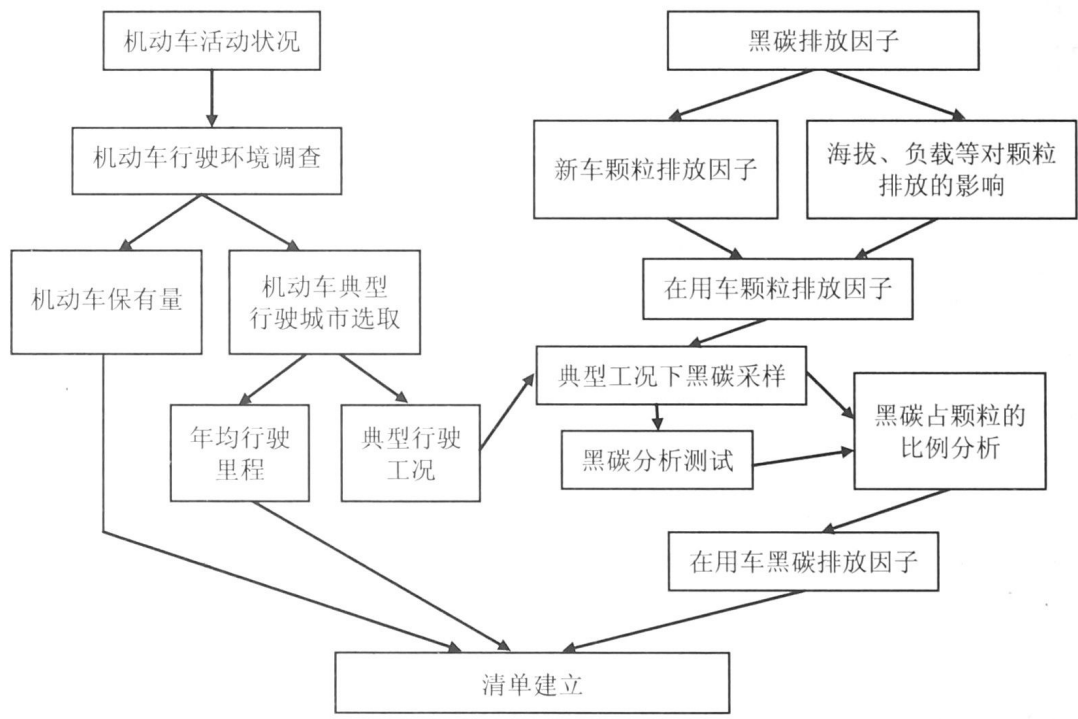


图 2-1 机动车黑碳排放清单的建立流程图

机动车黑碳排放清单的建立包括两部分的内容，一部分是在用机动车活动状况的调查。在调查机动车的活动状况时，首先要根据各地市机动车的保有量等指标调查我国在用机动车行驶的环境，在此基础上选取典型城市进行机动车行驶里程的调查、行驶工况的测试等工作。另一部分清单建立的工作是要研究测试机动车的黑碳排放因子，在进行在用车黑碳排放因子测量估算时，首先是要调查新车的颗粒排放因子，在研究海拔、负载等因素对于在用车颗粒排放影响和修正的基础上，得到在用车的颗粒排放因子。同时，利用机动车活动状况调查中得到的典型行驶工况，选取典型车辆进行黑碳的采样和分析测试，得到机动车所排放的黑碳占颗粒的比例，从而得到在用车的黑碳排放因子。利用各地市的机动车保有量、年均行驶里程等统计数据与测量得到的在用车黑碳排放因子，便可以建立起机动车的排放清单。以下章节将对此方法进行详细的叙述。

2.1 影响机动车排放因子的主要因素

机动车排放因子是指机动车行驶单位里程（或单位时间或消耗单位燃料）所排放的污

染物的量，常用的计量单位有 g/km 或 g/h 或 g/kg（燃料）。排放因子是计算城市或区域机动车排放总量的最基本参数，排放因子乘以机动车出行量（如车公里）即可得到排放总量。影响机动车排放因子的主要因素包括以下几方面。

2.1.1 机动车排放控制技术

影响机动车排放因子最直接的因素就是机动车和发动机的排放控制技术，随着机动车排放法规的不断严格和完善，机动车排放控制技术也随之不断发展。法规标准是控制污染的目标，只有制定切实可行的标准和法规，才能有效控制污染。20 世纪 60 年代以来，各工业发达国家的机动车尾气排放，已成为十分严重的空气污染问题，因而纷纷对机动车排放污染物提出了限制要求，制定出一系列机动车污染物排放标准和法规。经过近 40 年的努力，发达国家已形成一整套严格的机动车污染物排放标准和测试规程，同时建立了完善的监督实施管理机构，有效地控制了机动车污染物的排放总量，图 2-2 显示了欧洲和美国对于轻型柴油车和重型柴油机的标准演变。机动车的排放控制，不仅有效改善了环境空气质量，也促进了汽车工业向高新技术发展。美国、欧盟和日本代表着目前世界上三大类机动车排放标准法规体系，美国和欧盟的标准法规在世界范围应用很广，被多数国家采用，而日本则是自成体系。20 世纪 80 年代初，我国在吸取了欧盟国家的成功经验后，逐步制定了一系列的汽车排放标准，同时制定了一条适合我国国情的汽车排放标准的技术路线。对汽油车先实行“怠速法”，再实行“强制装置法”，即曲轴箱排放和燃油蒸发控制，最后实行“工况法”控制汽车排放总量；对柴油车先实行“自由加速法”及“全负荷法”控制烟度，再与汽油车同步实行“工况法”，最后考虑制定颗粒物排放标准。目前，我国已全面实施了国家第三阶段机动车排放控制标准。随着排放标准的不断加严，污染物限值也日益严格。为满足不同阶段的排放标准，机动车生产厂家也开发了不同的排放控制技术，应该说，排放法规的不断加严才是机动车排放控制技术不断发展的真正动力。

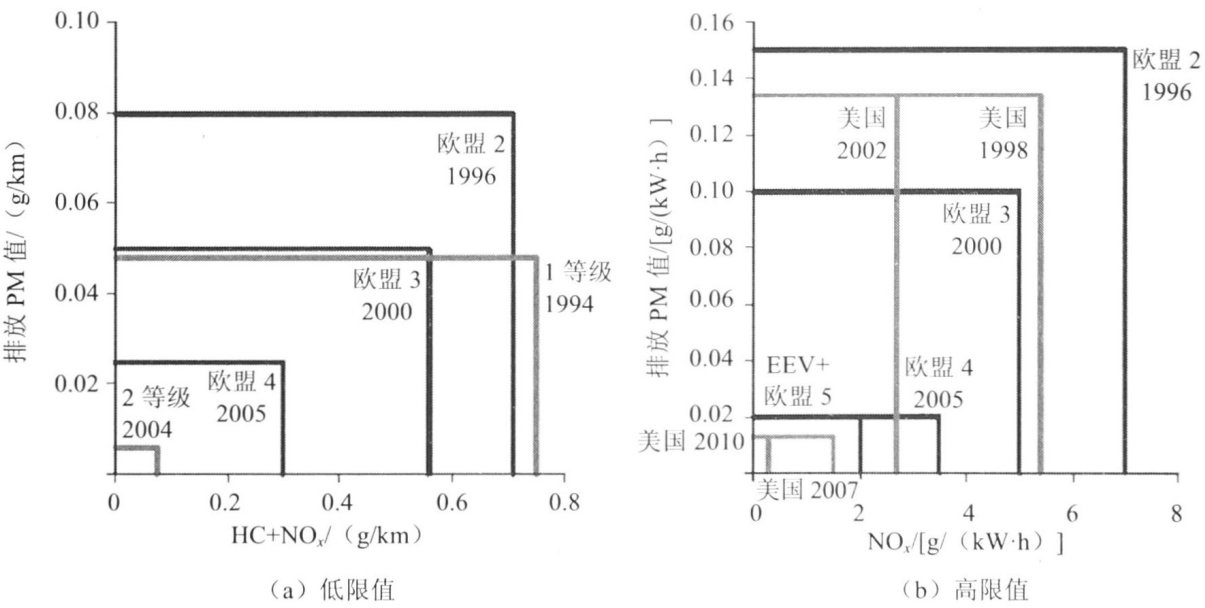


图 2-2 欧洲、美国机动车排放标准限值演变过程