

2013 年中国机动车黑碳污染状况

绿皮书

环境保护部机动车排污监控中心

2014 年 11 月 15 日

目录

第 1 章 黑碳简介	3
1.1 什么是黑碳.....	3
1.2 黑碳对气候、环境及人体健康的影响.....	4
1.2.1 黑碳对气候变换的影响.....	4
1.2.2 黑碳对人体健康的影响.....	5
1.2.3 黑碳对人居环境和农作物、生态系统的影响.....	6
1.3 黑碳排放源研究.....	7
第 2 章 机动车黑碳排放特征研究	10
2.1 载客汽车和载货汽车黑碳排放研究.....	11
2.2 三轮车和低速货车黑碳排放研究.....	13
2.3 机动车黑碳测量方法.....	14
2.4 机动车黑碳排放特征.....	16
第 3 章 2013 年机动车黑碳排放状况	18
3.1 2010-2013 年我国柴油类机动车保有量变化趋势.....	19
3.2 2013 年柴油类机动车构成分析.....	21
3.3 2010-2013 年柴油类机动车黑碳排放趋势分析.....	22
3.4 2013 年分车型黑碳排放分析.....	23
3.5 分区域机动车黑碳排放状况.....	24
第 4 章 机动车黑碳污染控制方法综述	29
4.1 提高新车的排放限值要求.....	29
4.2 加强在用车的监管，淘汰更新或改造老旧车辆.....	30
4.3 提高车用燃油品质.....	31
专栏 1：大气污染防治行动计划	32
专栏 2：我国将加速淘汰黄标车和老旧汽车	32

第 1 章 黑碳简介

1.1 什么是黑碳

黑碳（BC）是一种在地球表面循环中随处可见的物质，是由化石燃料和生物质不完全燃烧产生的异质的、高浓缩的、富含碳的微小颗粒，主要包括烟炱、木炭、焦炭和石墨碳等。黑碳特别小，柴油车排放的黑碳的直径 100 纳米左右，做个比较，你的头发的直径为 70,000 纳米左右。黑碳的形状多种多样，如图 1-1 所示。

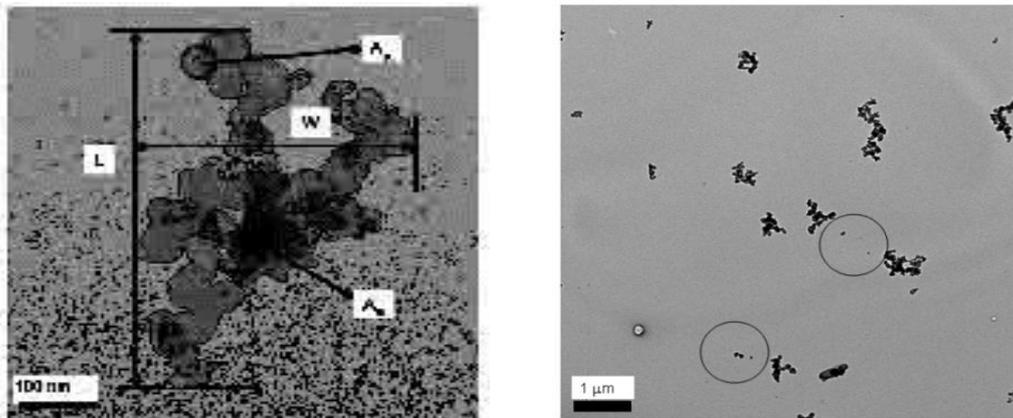


图 1-1 黑碳的结构

全球黑碳的来源包括人为源和自然源。人为源主要包括居民生活取暖及烹食用的火炉、交通运输、工业生产过程、农业废弃物的露天焚烧、化石燃料燃烧、垃圾填埋场以及发电厂和工业锅炉的大规模燃烧等；自然源主要包括除农业废弃物以外的所有生物质露天燃烧，如森林大火、火山爆发等。自然源排放具有区域性和偶然性，而人为源排放却是长期和持续的。

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，如图 1-2 所示。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物，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，直径这些大的凝聚体可能是通过小聚合物间的相互碰撞并结合形成的。典型的柴油机颗粒如图 1-3 所示。



图 1-2 柴油机的黑碳排放

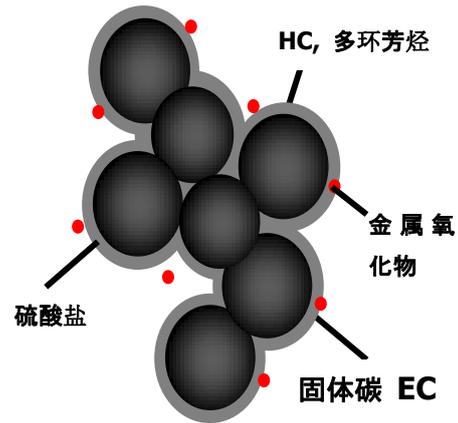


图 1-3 柴油机颗粒示意图

1.2 黑碳对气候、环境及人体健康的影响

1.2.1 黑碳对气候变化的影响

黑碳通常“游走”于距离地面 2-5 公里的高空，对光、热和其他污染物有很强的吸附能力，不断“加热”着大气，研究表明，黑碳对气候变化有着重要的影响，黑碳的排放从不同方面影响着气候。它吸附光能的能力和它在关键大气过程中的作用，都将对整个气候造成影响，包括温度升高，冰雪融化和降雨模式改变等。据最新估测显示，大气中的黑碳直接辐射强迫是 $0.64 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其中 $0.40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 来自化石燃料和生物燃料， $0.20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 来自生物质燃烧， $0.04 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 来自冰雪反射率变化。根据 Bond 等人的研究显示（2013），自工业时代以来（1750-2005 年），大气中黑碳的直接辐射强迫大致为 $+0.71 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ，误差范围为 $(+0.08, +1.27) \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。除去工业化前的削减作用，黑碳的总直接辐射强迫约为 $+0.88 (+0.17, +1.48) \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ，超过甲烷成为继二氧化碳之后的第二大温室效应物质。国际清洁交通委员会的报告表明，黑碳的温室气体潜能（GWP）是 CO_2 温室气体的 1600 倍，比之前预想的要高出很多。与其它温室气体不同的是，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轻气候变化的一种重要手段。如 Jacobson 的模式研究表明，减少来自石化燃料和生物柴油的黑碳、有机碳等的排放，能够在 3-5 年内减少 20-45% 的全球变暖影响。虽然就全球而言针对 CO_2 的减排仍然是主流，但黑碳等短寿命周期的温室效应物质有望在短期内降低北极变暖的速率，可以作为减排 CO_2 的有力支撑。UNEP2010-2011 年间的研究表明，在全球范围内持

续减排黑碳等短寿命周期的温室效应物质可以在本世纪中叶将全球增温降低0.5℃，北极减少得更多。其他可操作的减排温室气体的行动达不到如此的效果。因此，对黑碳的减排引起国际上的普遍关注。



图 1-4 黑碳对地球的制暖作用

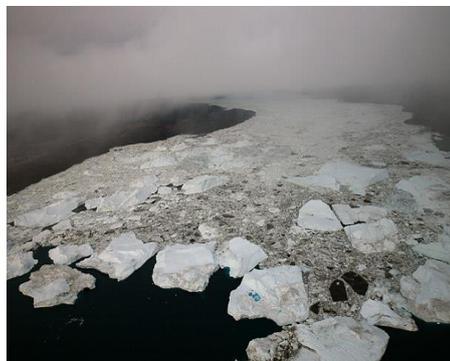


图 1-5 冰雪上的黑碳

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 $\leq 2.5 \mu\text{m}$ 的细颗粒物(fine particulate matter, $\text{PM}_{2.5}$)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，对人体产生的危害更大。因此，目前国内外对颗粒物健康影响的研究重点以 $\text{PM}_{2.5}$ 为主。最近，大气 $\text{PM}_{2.5}$ 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。黑碳对人体健康将会产生深远的影响。黑碳形成的细颗粒或超细颗粒，相比同等大小的固体球体，为自由基形成提供了更大的表面积，因此它吸收有毒污染物或引起炎症的可能性很大。除此之外，这些颗粒在肺部的沉降速率也会随着其颗粒大小的缩小而增加，且颗粒大小一般会缩小至100nm以下。碳气溶胶颗粒的可溶性很低，导致这些高浓度的超细颗粒长期存在于肺部中，造成或恶化肺部疾病。与此同时，超细颗粒物容易离开其沉积部位，从而渗透到肺内层，侵入血液中，构成多种有害威胁，例如血浆粘度升高，凝血蛋白的纤维蛋白原增多，血栓发生率增高以及在其他器官中的堆积，如肝脏。这些颗粒物甚至可以通过神经轴突传输至大脑，或影响自主神经系统，使心脏受到心率失常的致命威胁。在城市

大气污染时期，上述特点皆使黑碳成为导致心血管和肺部疾病的重要原因。近几年，黑碳对健康的影响一直受到健康专家的积极关注。就短期的暴露而言（特别是每天的暴露），已观察到黑碳可带来的诸多影响，包括在呼吸系统中炎症反应的增加，支气管高反应引起的小儿肺功能变化，以及心血管患者数量的增加。而对长期的暴露而言，尽管只在进行少部分的世代研究，但已有证据表明，其风险与心肺死亡和所有原因的死亡有关。除此外，黑碳还被研究认为危害神经系统、影响免疫系统，导致癌症和出生缺陷。柴油机尾气中的黑碳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”。



图1-6 机动车尾气对老人和孩子的影响

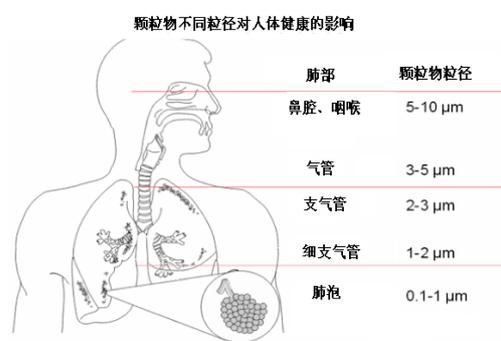


图1-7 不同粒径颗粒对人体的影响

1.2.3 黑碳对人居环境和农作物、生态系统的影响

黑碳对居住环境的影响主要表面在悬浮在大气中的黑碳不但本身通过光的散射和吸收作用，引起大气能见度的降低，还容易吸附其他气态、液态污染物，产生灰霾、光化学烟雾等现象。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。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、他们的整体幸福感。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一个地区的知名度。

研究还发现，黑碳灰对农作物产量及整个生态系统产生影响。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可能会通过直接沉积在植物，动物，或水体上影响生态系统。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。

因此，从研究报道来看，控制黑碳排放可以带来多重效益。一方面，减排黑碳可以在短期内有效实现减缓全球变暖的目标。另一方面，控制黑碳会缓解环境污染问题，特别是对土壤、水域和空气的污染。此外，控制黑碳还将带来改善健康的协同效益。最后，在恰当的产业政策和部门政策的配合下，控制黑碳还将带来就业效益。

1.3 黑碳排放源研究

鉴于黑碳对气候变化、人居环境和人体健康有着极其重要的影响，对其排放来源的研究是国际上的重要内容之一。根据 Bond 等人（Global Biogeochemical Cycles, 21, 2007）的估算，2000 年的全球黑碳排放量大约为 840 万吨，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。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的地区：（1）：亚洲（如中国，印度地）；（2）非洲；（3）拉丁美洲。亚洲占全球年排放量的 40%，非洲和拉丁美洲分别约占 23% 和 12%，如图 1-8 所示。

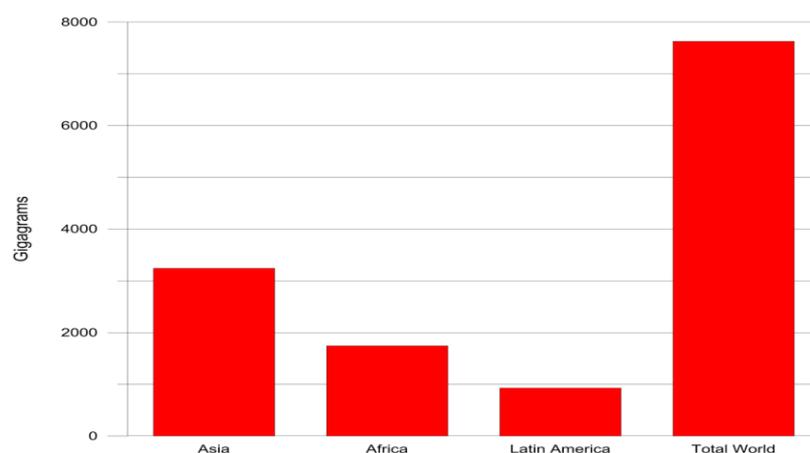


图1-8 部分地区与全球的黑碳排放

(Lamarque等, Atmospheric Chemistry and Physics, 10, 2010)

Lamarque等人将全球的黑碳排放分为六大排放源(如图1-9所示), 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%左右; 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%左右。在

发展中国家,燃烧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、印度和非洲此部分的黑碳排放约占了全球民用黑碳排放量的近三分之二。

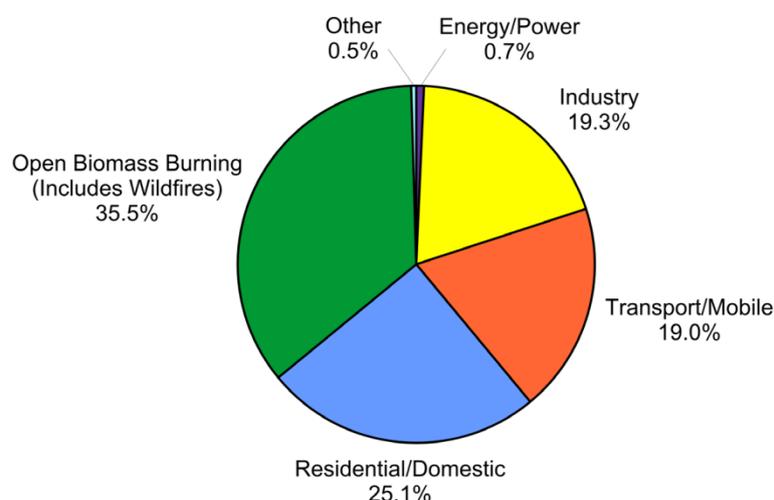


图1-9 全球主要的黑碳排放源

(Lamarque等, Atmospheric Chemistry and Physics,10, 2010)

目前,国际上,随着科学技术的进度,传统技术的电力、钢铁、水泥、有色金属、造纸、制革、印染等行业的落后的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(64万吨)中,来自于交通/移动源的黑碳排放量约占到总量的52.3%,如图1-11所示。

U.S. BC Emissions in 2005 (0.64 Million Tons)

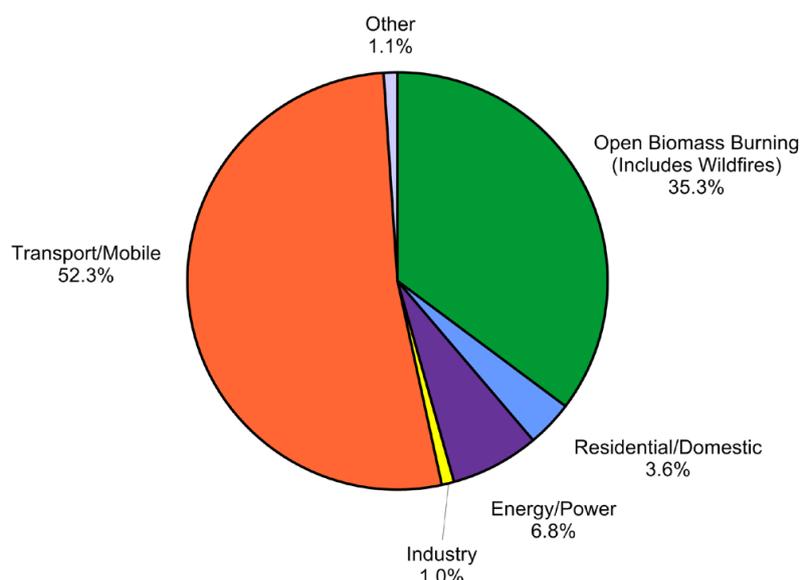


图1-11 美国2005年的黑碳排放分布

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，迫切需要进一步对中国黑碳排放清单进行研究，了解其对城市空气质量和全球气候变化的影响。

近些年来，中国的经济和工业、建设的快速增长，人们生活水平的提高，各种动力装置的保有量也快速增加。柴油机的黑碳排放问题十分突出。从2009年以来，中国连续几年成为世界汽车产销量第一大国。2012年中国机动车的保有量达到2.24亿辆。大量的机动车必然带来巨大的石油需求，同时也向大气排放了更多的污染物和黑碳，机动车的尾气排放已成为中国空气污染的重要来源之一。据测算，未来五年中国还将新增机动车1亿辆以上，新增车用汽柴油消耗1亿至1.5亿吨，由此带来的黑碳排放将十分巨大。

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，改善城市空气质量做出贡献；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，为我们制定切实有效的黑碳控制政策打下基础。鉴于其高效的投资回报，我国应尽快开展与柴油机/车黑碳排放控制的基础研究、制度研究和污染物控制工作，为柴油机/车的清洁化出台相关的管理政策和激励措施，为我国改善城市空气质量奠定基础，同时为我国相关主管部门积极应对气候变化、掌握我国黑碳等短寿命周期温室效应物质排放情况、制定相关的政策和争取国际谈判主动提供支持。

第 2 章 机动车黑碳排放特征研究

不同类型的机动车，在自重、发动机类型、采用的净化技术等方面都存在巨大差异，导致排放出的黑碳排放差别很大。为了建立我国机动车黑碳排放清单，首选要进行机动车黑碳排放特征的研究，获得机动车黑碳排放因子。本研究进行机动车黑碳排放因子研究所采取的技术路线如图 2-1 所示。

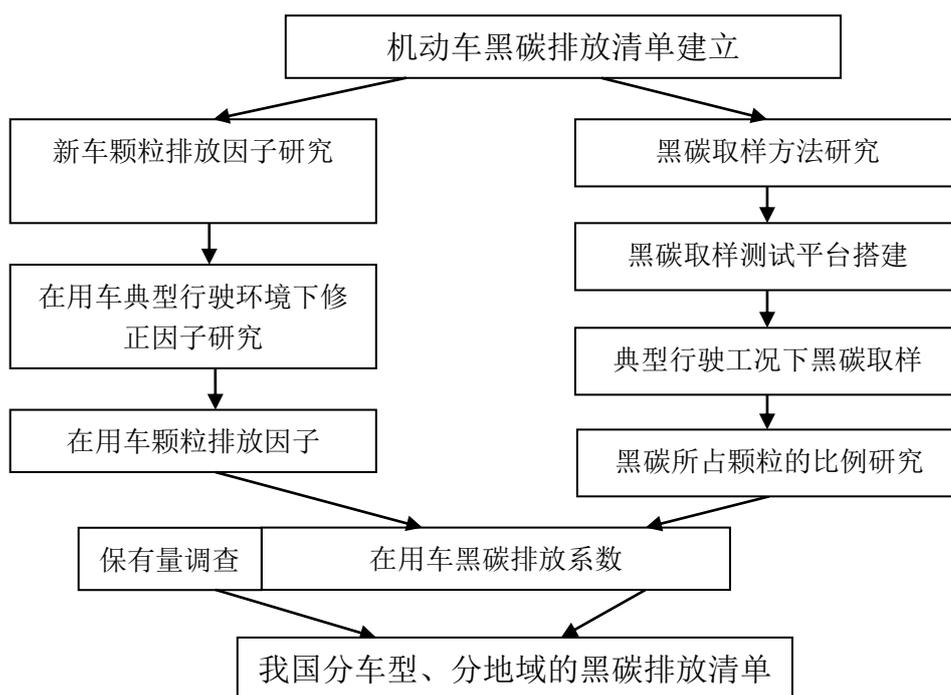


图 2-1 道路交通源黑碳排放清单开发路线图

研究发现，由于汽油车产生的颗粒极少，暂不考虑。本报告所涉及的柴油车包括轻型柴油车和中、重型柴油车以及低速货车（包括三轮汽车）。各类车型描述如表 2-1。

2-1 车型分类

分类	规格术语	说明
载客汽车	小型	长小于 6m，乘坐人数小于等于 9 人。
	中型	车长小于 6m，乘坐人数大于 9 人且小于 20 人。
	大型	车长大于等于 6 或者乘坐人数大于等于 20 人。乘坐人数可变的，以上限确定。乘坐人数包括驾驶员(下同)。

载货汽车	轻微型	车长小于 6m，总质量小于 4500kg。
	中型	车长大 等于 6m，总质量大于等于 3500kg 且小于 12000kg。
	重型	车长大于等于 6m，总质量大于等于 12000kg。
低速货车	三轮汽车	以柴油机为动力，最高设计车速小于等于 50km/h，最大设计总质量不大于 2000kg，长小于等于 4.6m，宽小于等于 1.6m，高小于等于 2m，具有三个车轮的货车。
	低速货车	以柴油机为动力，最高设计车速小于 70km/h，最大设计总质量小于等于 4500kg，长小于等于 6m，宽小于等于 2m，高小于等于 2.5m，具有四个车轮的货车。

2.1 载客汽车和载货汽车黑碳排放研究

我国机动车黑碳排放的测试方案主要用在整车转鼓试验台架与车载排放检测设备 PEMS (Portable Emission Measure System) 相结合的方法，通过运行实际道路工况，利用 PEMS 和全流稀释颗粒采集的方法进行颗粒的取样，并对颗粒物成分进行分析，从而得到黑碳所占颗粒的比重。测试所用的系统图如 2-2 所示，颗粒物采样系统如图 2-3 所示。

为了测试具有代表性，本研究调查参考 2005 年至 2010 年汽车统计年鉴，其中销售占比例较大的厂家，作为测试用车的重点企业和车型，如图 2-4 所示。进行黑碳采用的一些车辆如图 2-5、2-6 所示。所有试验用油采用符合国三标准含硫量为不大于 350ppm 的车用柴油，油品供应由机动车排污监控中心协调配送。

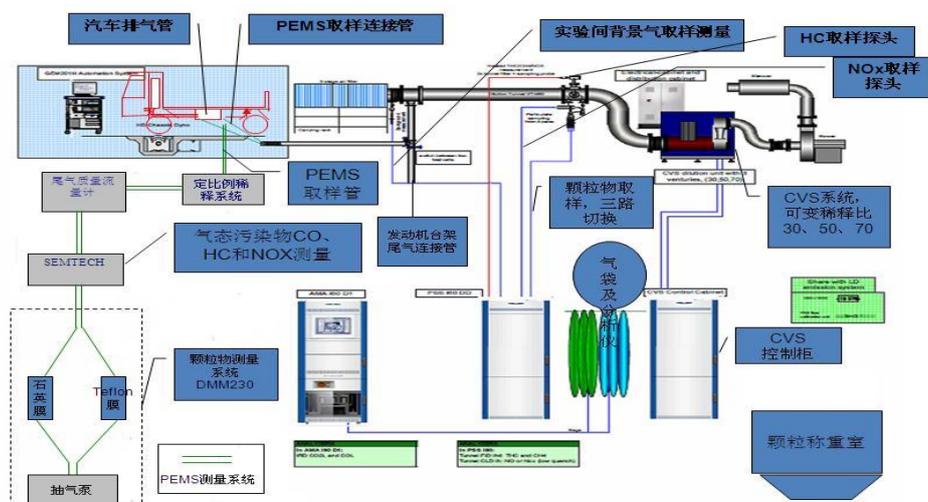


图 2-2 测试系统图

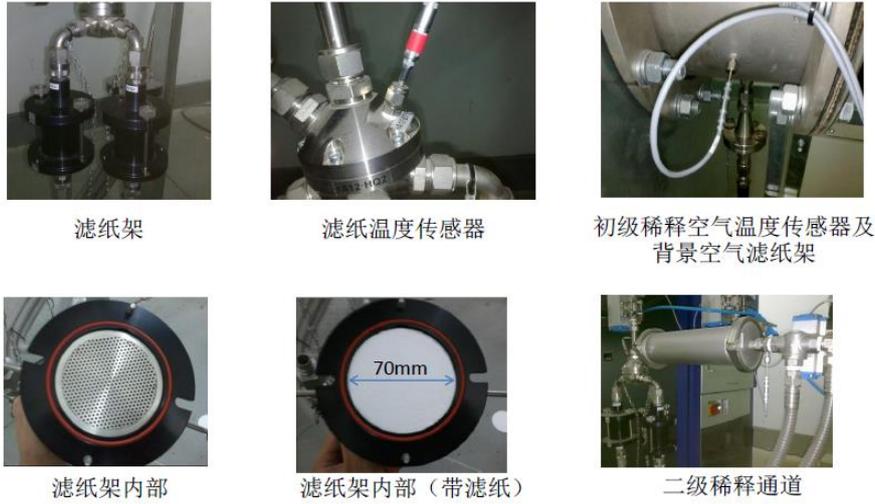


图 2-3 颗粒物采样系统

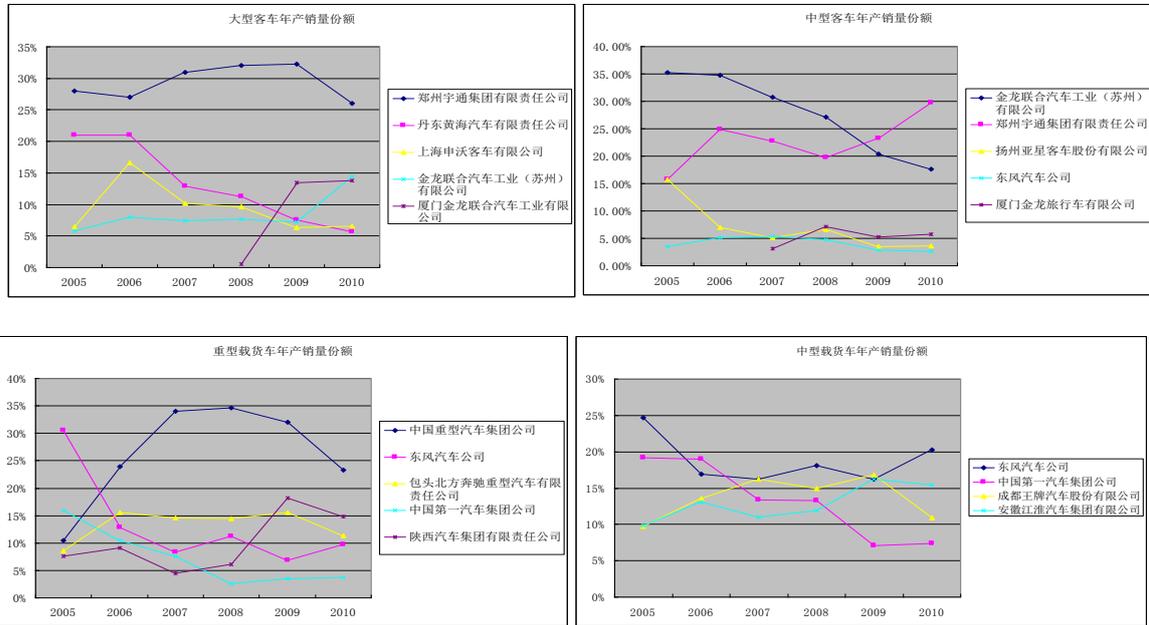


图 2-4 试验用车调研



图 2-5 轻型车黑碳采样实验照片



图 2-6 重型车黑碳采样实验照片

2.2 三轮车和低速货车黑碳排放研究

对三轮汽车和低速货车的黑碳排放研究采用了 Sensors 公司生产的 SEMTECH-DS 车载排放测试仪和 DEKATI 公司的电子低压冲击仪 (ELPI) 共同搭建的便携式排放测试系统。SEMTECH-DS 车载排放测试仪还配备有一个紧凑的汽车尾气流量计 (EFM), 如图 2-7 所示, 可以测量压燃式和点燃式发动机及车辆的原始排气流量。测量开始时, 采用与农用运输车排气管相等直径的不锈钢连接排气管与流量计。此外, SEMTECH-DS 配备了全球卫星定位系统 (GPS) 可以记录车辆行驶过程中逐秒的地理位置 (经度、纬度和海拔) 和行驶速度。颗粒物测试采用是 MAHA MPM-4 颗粒物测试仪和 $PM_{2.5}$ 膜采样系统。MAHA MPM-4 是一种颗粒物 (PM) 瞬时排放的测试仪。它具有携带方便, 安装简单等特点。MAHA MPM-4 可测量机动车以及其他燃烧过程中颗粒物的瞬时质量浓度。MPM-4 测试范围为 $0-750mg/m^3$, 测试原理为激光散光法。MPM-4 对温度, 湿度有较高的耐受性, 可直接采集测量各种工况条件下尾气管中的高温潮湿尾气。

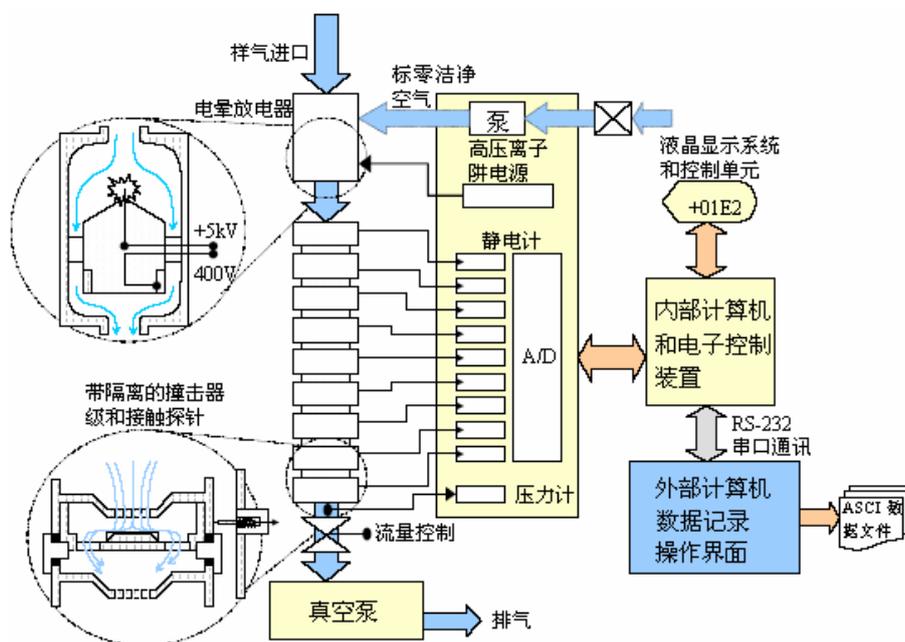


图 2-7 ELPI 测试系统

测试了 25 辆随机选择的农用运输车, 包括 15 辆三轮汽车和 10 辆低速载货汽车, 实验照片如图 2-8 所示。这些农用运输车通常用来在城镇和乡间运输煤、蔬菜、木板以及其他货物。在实验过程中, 它们会根据预先选好的路线行驶, 这些路线包含省道和乡间道路, 省道部分为国道 108 段, 双向车道, 车流量大,

路面平整，以轻型轿车和重型货车为主，部分交叉路口有红绿灯，乡间道路为丰泽村附近道路和部分晓祈线，双向单车道，部分路面有凹坑，车流量小，基本为农用机械，没有红绿灯。实验所选择的实车测试道路如图 2-9 和 2-10 所示。



图 2-8 测试车辆



图 2-9 省道测试路线

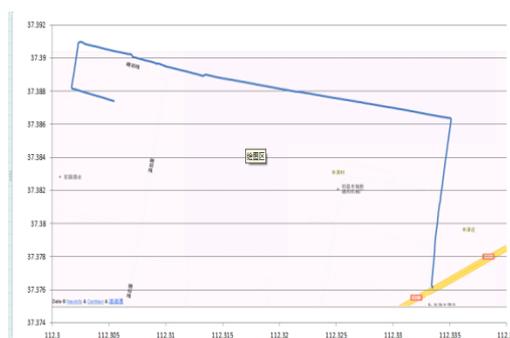


图 2-10 乡村路测试路线

2.3 机动车黑碳测量方法

在对黑碳量进行测量时，根据文献调研，采用了热-光碳分析法对黑碳进行分析测试。热-光碳分析法是基于热学法并辅以激光反射或透射（TOR/TOT）进行有机碳碳化校正的碳质组分分析的元素碳测试方法。热-光碳分析法测量的基本原理为：在无氧的纯 He 环境中，分别在 120℃（OC₁）、250℃（OC₂）、450℃（OC₃）、550℃（OC₄）的温度下，对 0.530cm² 的滤膜片进行加热，将滤纸上的有机碳转化为 CO₂；然后再将样品在含 2%氧气的氦气环境下，分别于 550℃（EC₁）、700℃（EC₂）和 800℃（EC₃）逐步加热，此时样品中的元素碳将释放出来。上述各个温度梯度下产生在 CO₂，经 MnO₂ 催化，在还原环境下转化为可通过火焰离子检测器（FID）测定的 CH₄。样品在加热过程中，部分有机碳可

能发生碳化而形成黑碳，使滤膜变黑，导致热谱图上的有机碳峰和元素碳峰不易区分。因此，在测量过程中，采用 633nm 的氦-氖激光监测滤纸的反光光强，利用光强的变化明确指示出元素碳氧化的起始点。有机碳碳化过程中形成的碳化物称之为聚合碳（OPC）。当一个样品完成测试时，同时给出有机碳和元素碳的 6 个组分（OC₁、OC₂、OC₃、OC₄、EC₁、EC₂、EC₃ 和 OPC），将有机碳定义为 OC₁+OC₂+OC₃+OC₄+OPC，将黑碳定义为 EC₁+EC₂+EC₃+OPC。

根据升温程序的不同，测量黑碳有 NIOSH 以及 IMPROVE 热光碳分析协议，两种协议测量的不同之处如图 2-11 和 2-12 所示。两种方法测量的典型仪器有 SUNSET 和 DRI 仪器，如图 2-13 和 2-14 所示。

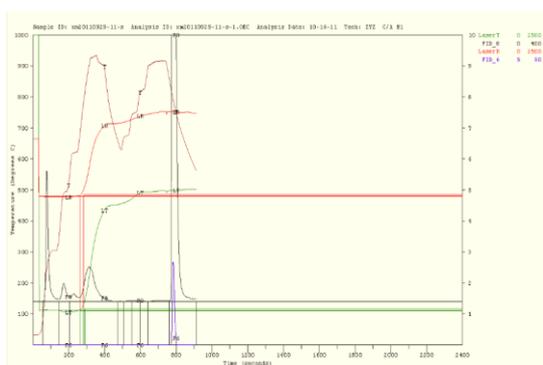


图 2-11 NOISH 协议碳成分分析原理图

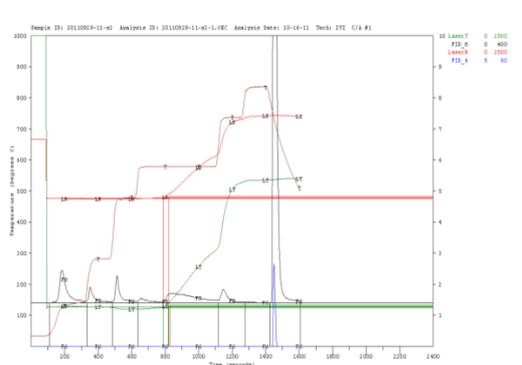


图 2-12 IMPROVE 协议碳成分分析原理图



图 2-13 DRI 分析仪



图 2-14 SUNSET 分析仪

在本研究初期，对于同一样品，利用 DRI 和 SUNSET 仪器进行分析设备的测试对比分析，得到的测试结果如图 2-15 和 2-16 所示。从实验测试结果来看，由于机动车黑碳的含量较大，二者测量结果基本一致，两种方法测得黑碳含量符合性较好。故在后来的分析测试中，主要采用了 SUNSET 仪器对机动车的黑碳膜采样进行了测试分析。

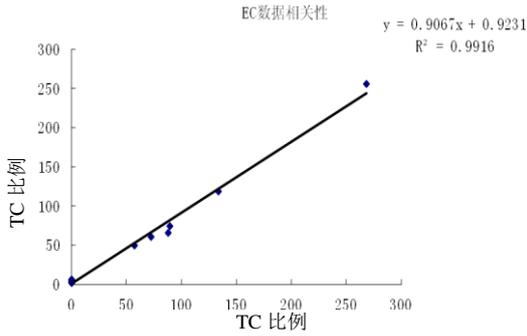


图 2-15 总碳 (TC) 测量相关性比对

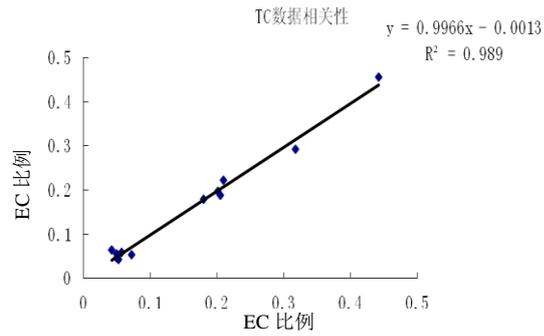


图 2-16 黑碳 (EC) 测量相关性比对

2.4 机动车黑碳排放特征

轻型柴油车的黑碳排放特征如图2-17所示，研究结果表明，不同的车之间 EC/PM 有一定的差异，EC 对总 PM 的贡献从 20-70% 不等。通过文献调研，国内其他一些研究结果中，EC 对为 17-63%，本实验结果与其他实验结果较为相近。研究表明，排放控制技术水平对轻型柴油车的黑碳排放有着重要影响。国三柴油货车的黑碳所占比例与国外文献相比偏低，这可能与国三轻型货车的实际控制水平有关，也可能与实验所用的油品质和行驶工况不同有关。

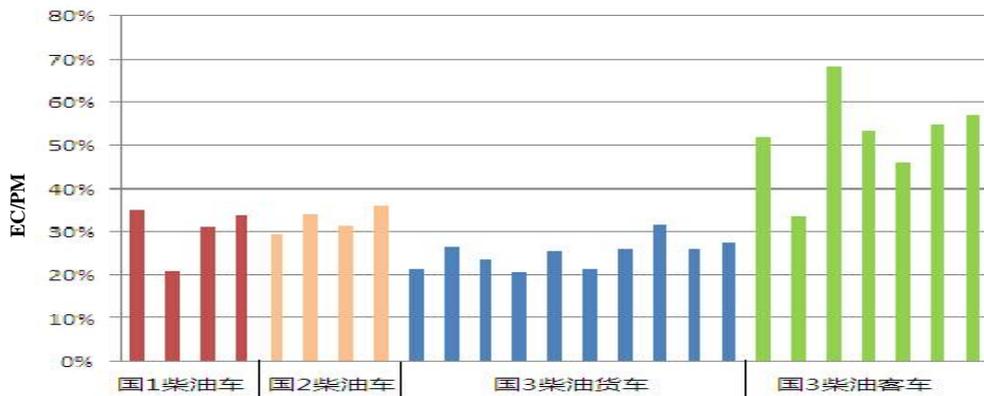


图 2-17 不同排放阶段轻型柴油车 EC/PM 比例

中、重型载客汽车、载货汽车中黑碳多占颗粒的比重如图 2-18、2-19、2-20 和 2-21 所示。研究表明，无论是中型车还是重型车，国三排放阶段车辆的黑碳所占颗粒的比例均要高于国二排放阶段。这主要是由于随着国三法规排放限值的加严，满足国三排放标准的柴油车普遍使用了提高喷射压力、电控喷油等先进的燃烧控制技术，燃烧得到了优化，因而黑碳的比例有所提高。研究还发现，大型客车和重型货车的黑碳比例要高于中型客车和中型货车，结果表明，大型客车和重型货车为了努力降低油耗，发动机燃烧控制的水平要更高一些。

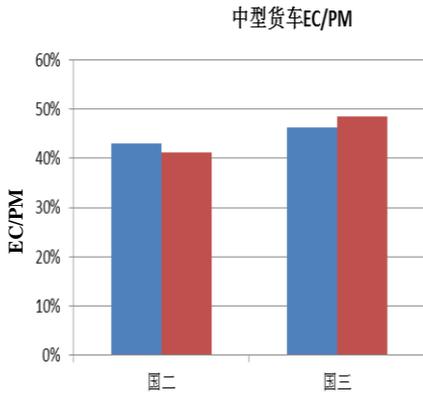


图 2-18 中型货车 EC/PM 比例

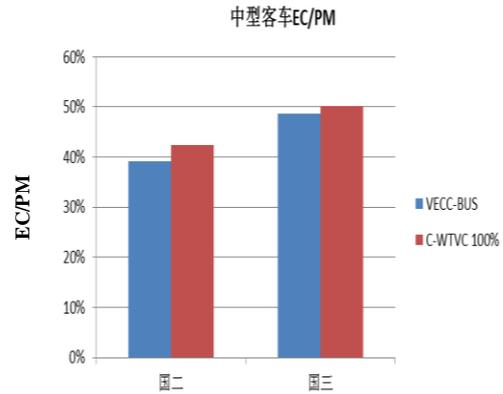


图 2-19 中型客车 EC/PM 比例

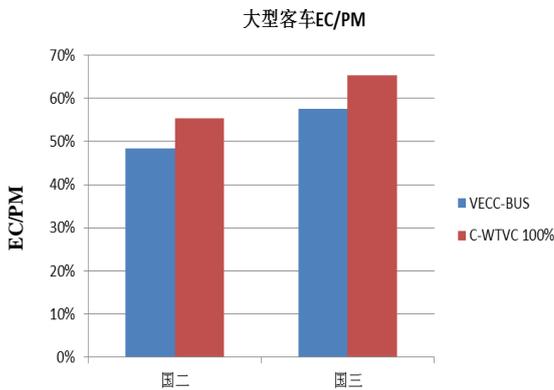


图 2-20 大型客车 EC/PM 比例

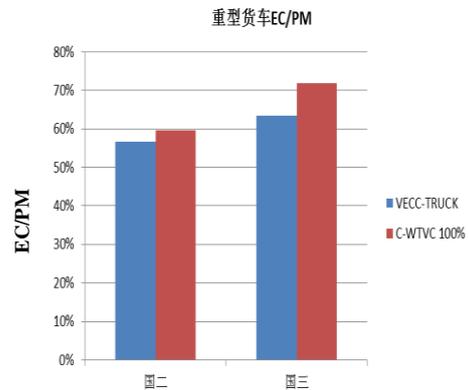


图 2-21 重型货车 EC/PM 比例

本次研究得到的三轮汽车和低速货车黑碳所占颗粒的比例(EC/PM)如图2-22所示,从测试和分析结果来看,目前我国市场上的三轮车和低速货车排放水平相对落后,排放控制水平较低。尽管认证时候排放阶段有了改进,但在实际市场使用中,水平普遍较低。所以本研究对于三轮车和低速载货车没有区分排放阶段,用统一的黑碳排放系数进行排放清单的测算。

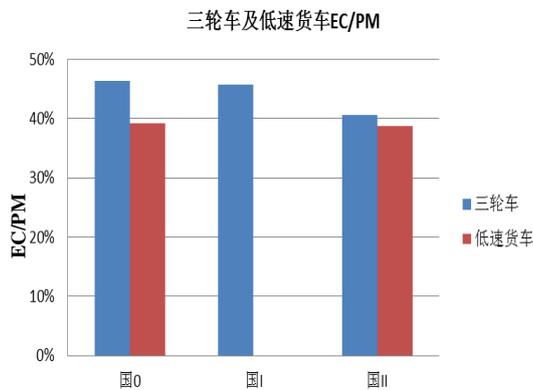


图 2-22 三轮车及低速货车 EC/PM 比例

本研究对于2辆汽油车进行了黑碳分析采样,测试表明,汽油车整体的颗粒水平较低,其中黑碳对整体颗粒的贡献几乎为零,只有在冷启动工况下,有10%

左右的贡献率。因此，在本次黑碳排放清单测算时，由于人力、物力等方面的限制，未考虑汽油车的影响。

第3章 2013年机动车黑碳排放状况

在进行了机动车黑碳排放因子研究的基础上，通过调查我国大陆 346 个地级以上城市（州、盟）不同类型机动车的保有量及活动水平（年均行驶里程），利用以下的公式 3-1，就可以测算出我国大陆不同地区、不同车型的黑碳排放清单。本次研究重要测算的是柴油类机动车的黑碳排放状况。

$$\text{机动车黑碳年排放量} = \text{机动车保有量} \times \text{黑碳排放因子} \times \text{年均行驶里程} \quad (3-1)$$

3.1 2010-2013 年我国柴油类机动车保有量变化趋势

从 2010 年到 2013 年，我国柴油类机动车（以下简称机动车）保有量由 2108.9 万辆增加到 2593.5 万辆，增长了约 23%，年均增长 7.2%。2010-2013 年全国柴油类机动车保有量变化趋势见图 3-1；其中传统的载客汽车和载货汽车从 2010-2013 年的变化趋势如图 3-2。与 2010 年相比，2013 年柴油类汽车保有量增长了约 43.3%，达到了 1984.9 万辆，要快于总体柴油类机动车的增长量。2013 年，我国的黄标柴油车由 2010 年的 886.0 万辆下降到 720.0 万辆，绿标车由 2010 年的 518.9 万辆上升到 1262.8 万辆。柴油类黄标车和绿标车的变化趋势如图 3-3 所示，可以看出，黄标车的数量逐渐下降，绿标车增长很快。

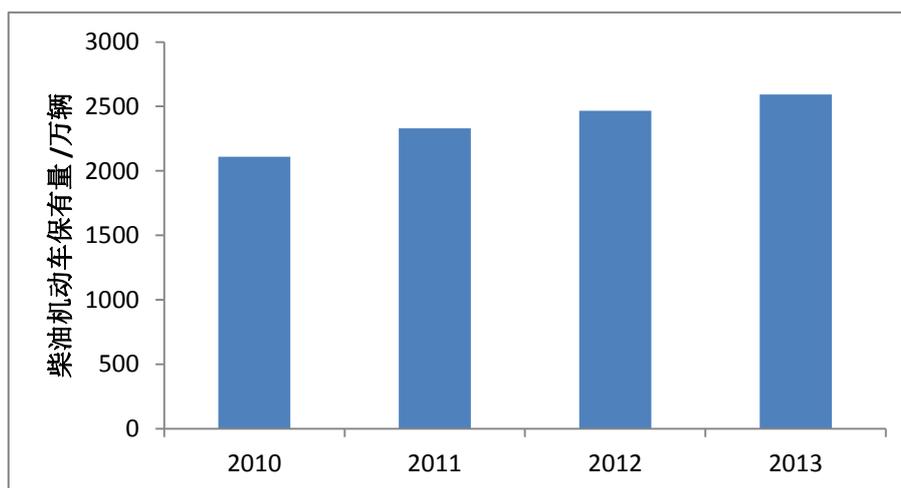


图 3-1 2010-2013 年全国机动车保有量变化趋势

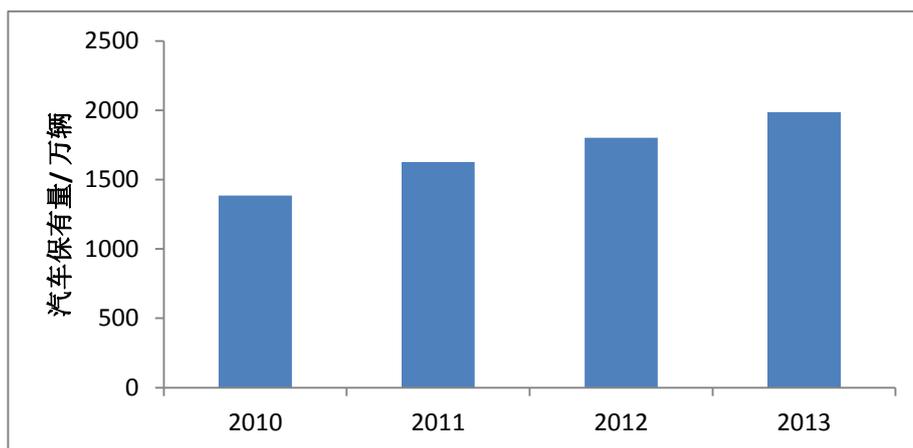


图 3-2 2010-2013 年全国汽车保有量变化趋势

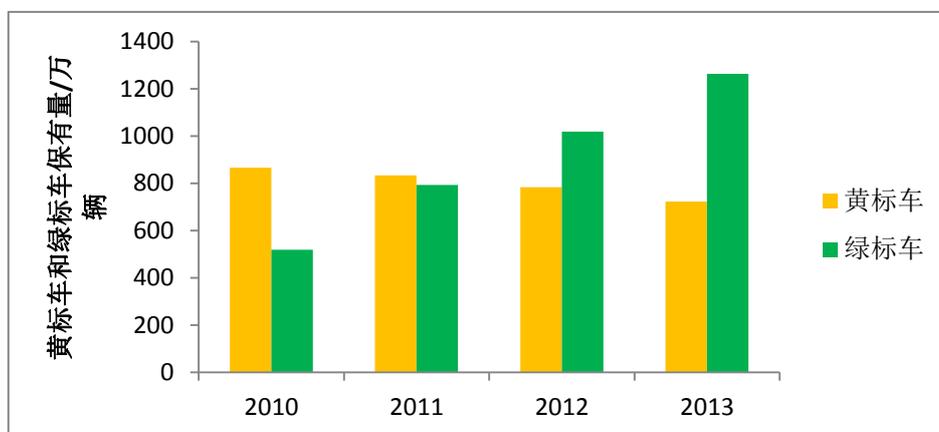


图 3-3 2010-2013 年黄标车和绿标车变化情况

从各种车型 2010-2013 年的增速来看，其中增长最快的小型客车，增长了 126.3%，较快的还有轻型货车，增长了 57.1%，重型货车，增长了 46.5%；而三轮汽车和低速货车呈现下降的趋势。2013 年各种车型与 2010 年相比的变化趋势如图 3-4 所示。

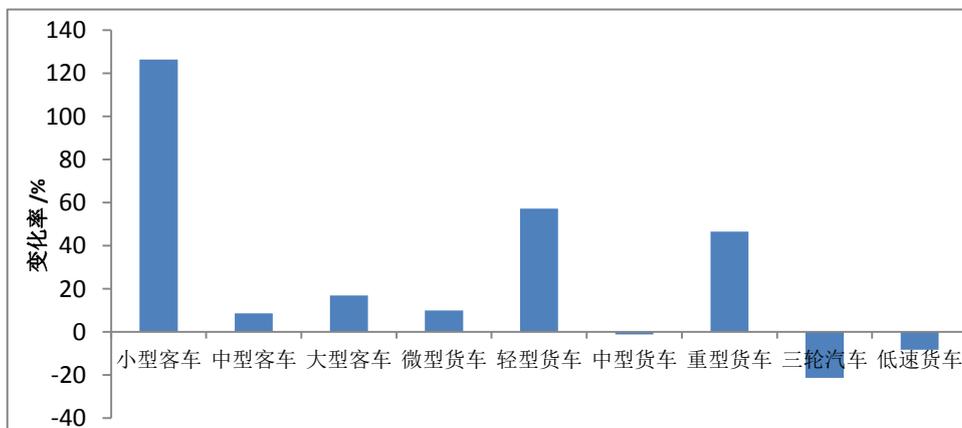


图 3-4 2013 年全国各类柴油机动车变化趋势（与 2010 年相比）

3.2 2013 年柴油类机动车构成分析

在 2013 年全国柴油类机动车保有量构成中，载客汽车约有 393.3 万辆，载货汽车为 1591.6 万辆，三轮汽车和低速汽车为 608.6 万辆。各种车型所占的比例如图 3-5 所示，其中轻型货车的比例最高，为 32.9%，其次是重型货车，为 18.8%，三轮汽车和低速货车也占有一定的比重，为 12.9%和 10.6%。

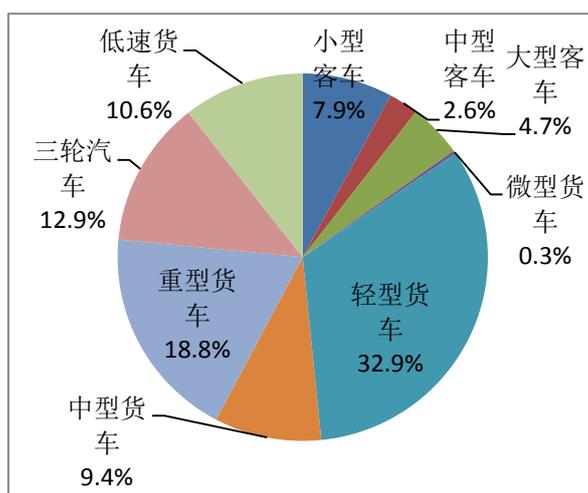


图 3-5 2013 年柴油类机动车构成

按排放标准划分，2013 年全国汽车保有量中，国 I 前标准的汽车 184.0 万辆，占 9.3%；国 I 标准的汽车 155.5 万辆，占 5.9%；国 II 标准的汽车 222.6 万辆，占保有量的 11.2%；国 III 标准的汽车 1191.9 万辆，占 60.0%；国 IV 及以上标准的汽车 71.0 万辆，占 3.6%，绿标车已成为我国柴油类机动车的主要组成部分。按排放标准划分的汽车保有量构成见图 3-6。

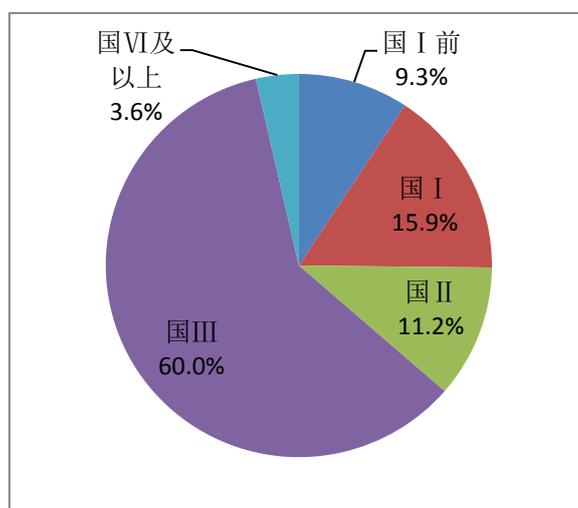


图 3-6 按排放标准划分的柴油汽车保有量构成

3.3 2010-2013 年柴油类机动车黑碳排放趋势分析

2013 年,全国柴油类机动车(以下简称机动车)黑碳排放量为 31.33 万吨,与 2012 年相比,减少了约 2.8%。2010-2013 年全国机动车黑碳排放变化趋势如图 3-7 所示,从图中可以看出,从 2010 年-2013 年间,我国机动车的黑碳出现先增后减的变化规律,经过 2011 年后呈现出下降的趋势。2010-2013 年我国柴油类汽车的黑碳排放变化趋势如图 3-8 所示,也有相同的变化趋势。出现这种趋势的原因一方面是因为我国柴油车仍旧呈现增长的态势,二是由于这两年我国加大了黄标车淘汰的力度,黄标车保有量逐渐减少,黑碳排在二者平衡之后逐渐开始下降,如图 3-9 所示。

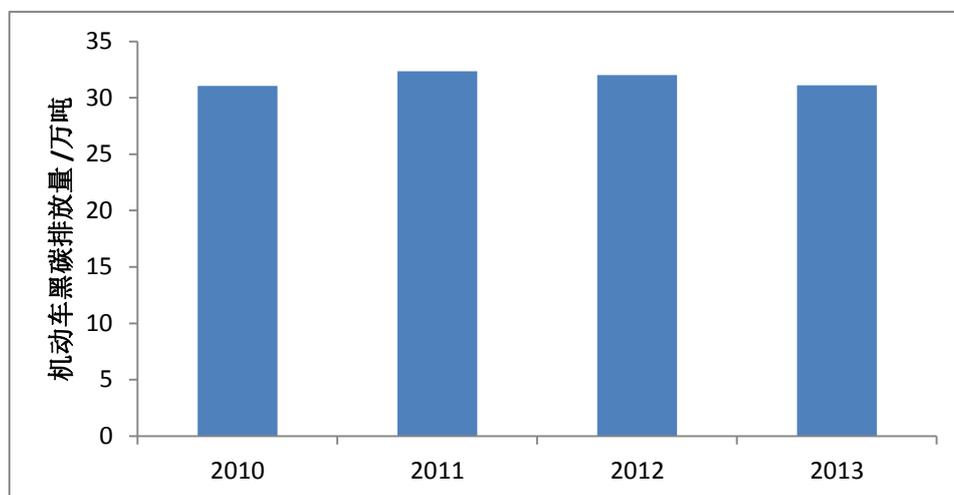


图 3-7 2010-2013 年我国柴油类机动车黑碳排放变化趋势

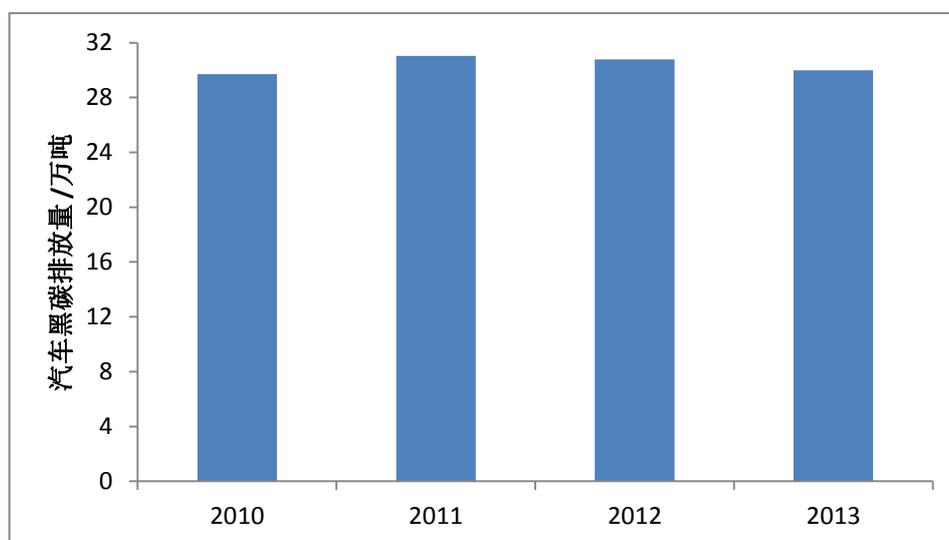


图 3-8 2010-2013 年我国柴油汽车黑碳排放量变化趋势

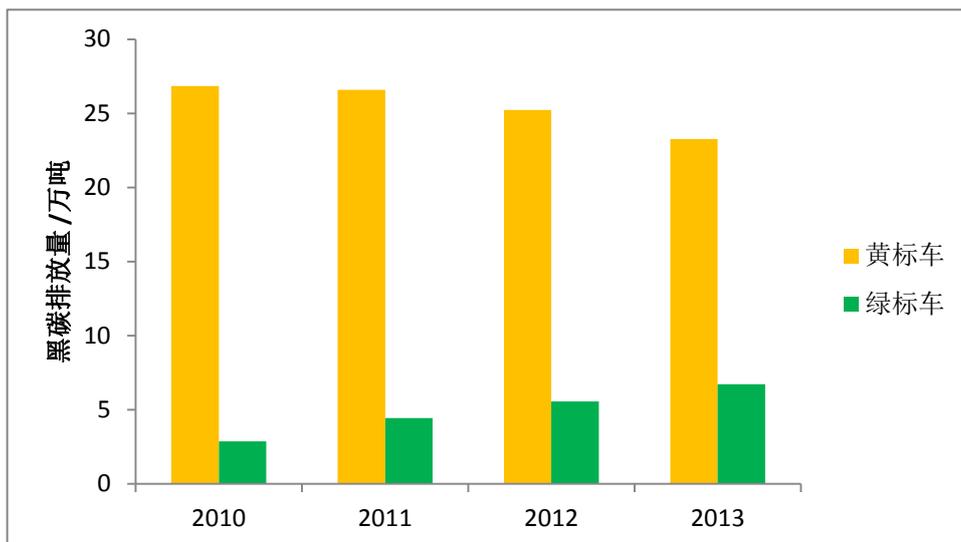


图 3-9 2010-2013 年黄标车和绿标车黑碳排放变化趋势

3.4 2013 年分车型黑碳排放分析

通过对 2013 年我国各类柴油车黑碳的研究分析，重型货车的黑碳排放占到了机动车黑碳排放量的一半以上，为 61%；其次为大型客车，为 26%；中型货车和低速货车（包括三轮汽车）的黑碳排放分别为 6%和 3%，其他都为 2%以下，如图 3-10。研究表明，重型货车和大型客车应该成为我国目前黑碳排放控制的重点领域。

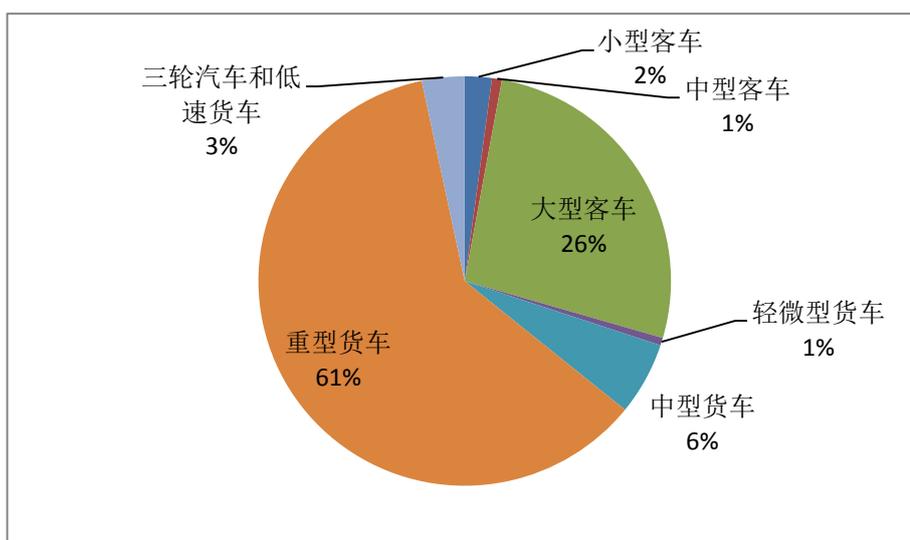


图 3-10 2013 年我国机动车黑碳构成状况

按照排放标准划分，我国各类柴油汽车的黑碳排放所占的比重也有比较鲜明的特点，其中国 I 前标准的柴油车排放的黑碳最多，占到了机动车总黑碳排

放量的 44.0%左右，其次是国 I 的柴油车，黑碳排放占到了 26.8%；国III柴油车的黑碳排放占到了第三位，为 22.1%；国 II 和国VI及以上排放标准的车的黑碳排放比例分别为 6.8%和 0.3%，如图 3-11 所示。分析表明，我国国 I 前标准和国 I 标准的柴油车虽然较少，仅占 25.2%，但黑碳总的排放量却超过了 70%。研究显示了我国加速淘汰黄标车的必要性。

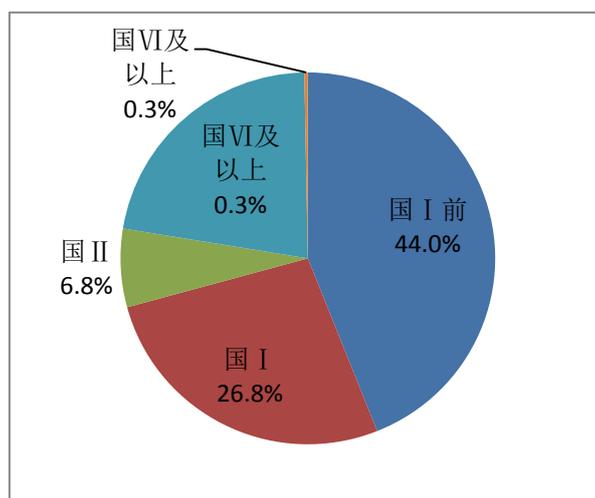


图 3-11 各排放阶段柴油汽车黑碳排放比例

3.5 分区域机动车黑碳排放状况

2013 年全国各省（直辖市、自治区）的柴油类机动车保有量调研表明，柴油车保有量较大的省份主要集中在中东部地区，其中保有量前五位的省份依次为山东、河南、河北、广东和辽宁，分别为 244.1、220.2、214.8、176.1 和 139.4 万辆，另江苏和安徽的柴油车保有量也超过了 100 万辆。2013 年全国分省份的柴油车保有量如图 3-12 所示。

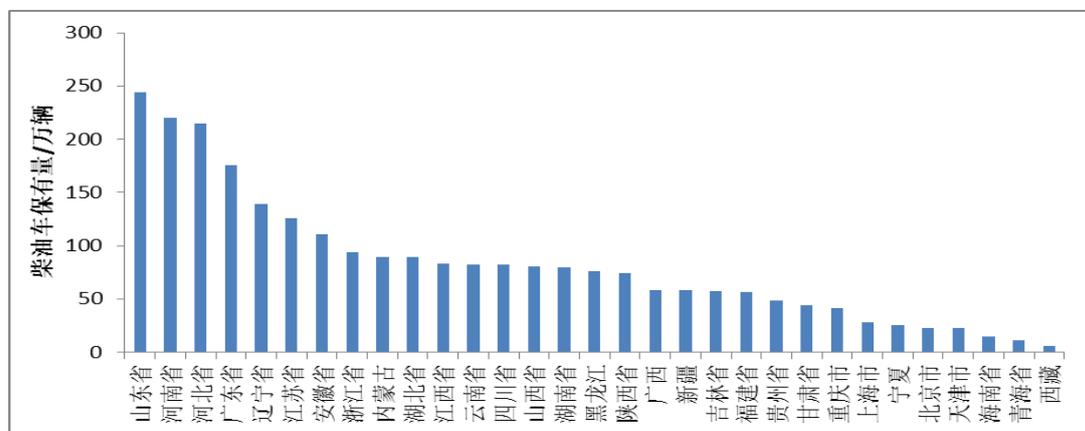


图 3-12 2013 年全国各省（直辖市、自治区）份汽车保有量

2013 年分省黄标柴油汽车保有量的分布状况如图 3-13 所示。黄标柴油车较多的省份有广东、山东、河南、江苏和河北，分别为 87.5 万辆、61.4 万辆、50.9 万辆、39.4 万辆和 35.1 万辆，这五个省的黄标柴油车所占数量占到全国黄标柴油车总保有量的 38%左右。

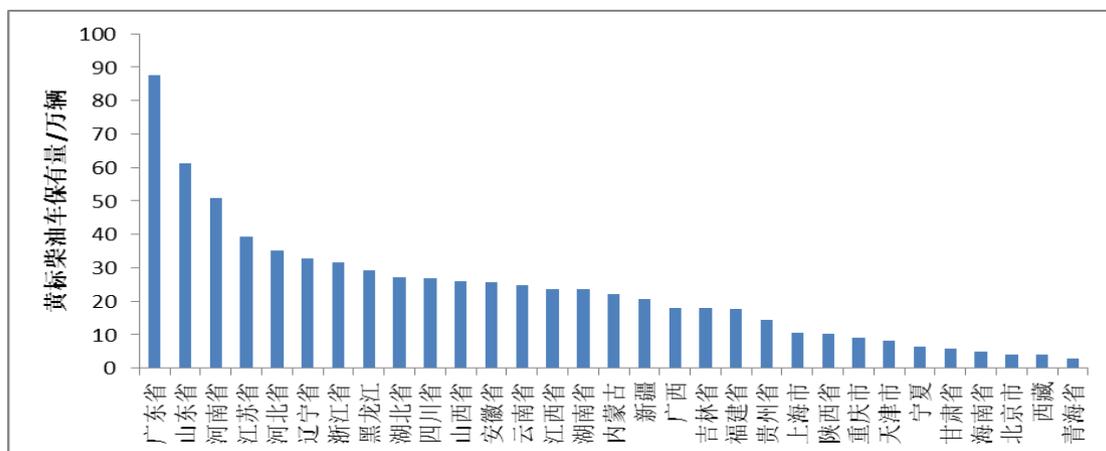


图 3-13 2013 分省黄标柴油车保有状况

2013 年各省（直辖市、自治区）柴油车黑碳排放量如图 3-14 所示。前五位的为河南、河北、山东、广东和内蒙，其黑碳排放量分占总柴油车黑碳排放量的 8.8%、8.5%、7.7%、7.2%和 5.1%。图 3-15 为各省（直辖市、自治区）黄标柴油车的黑碳排放量，前五位仍然为河南、河北、广东、山东和内蒙，显示了黄标柴油车黑碳排放与总的柴油车黑碳排放有着很强的相关性和黄标柴油车黑碳减排的重要性。

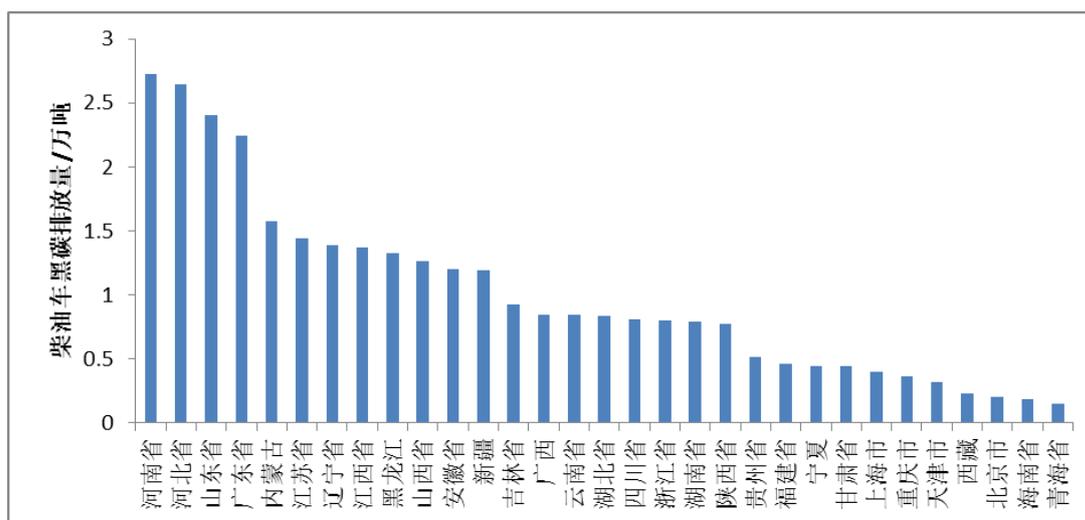


图 3-14 2013 年分省柴油车黑碳排放量

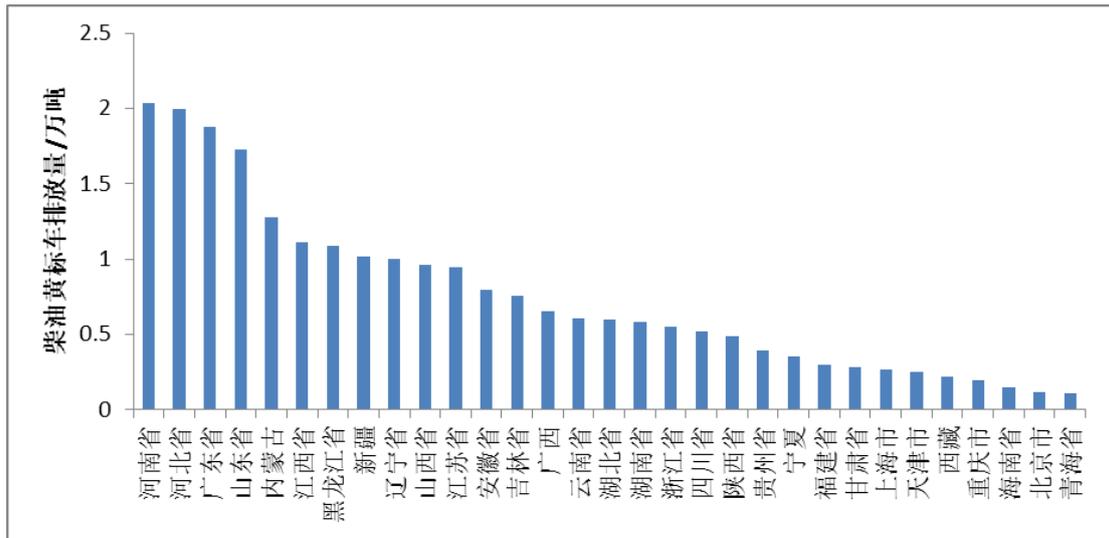


图 3-15 2013 年分省黄标柴油车黑碳排放量

2013 年,我国东部地区柴油类机动车保有量占 44.7%,黑碳排放量占 40.1%;中部地区柴油类机动车保有量占 31.1%,黑碳排放量占 33.6%;西部地区柴油类机动车保有量占 24.2%,黑碳排放量占 26.3%。我国东部、中部、西部地区¹柴油机动车保有量及黑碳排放量分担率见图 3-16。我国东部地区黑碳分担率要低于柴油类机动车分担率,说明东部地区柴油类机动车的构成中低排放车的比例要稍高一些。而中部和西部地区黑碳排放量分担率要高于保有量的分担率,说明中、西部柴油类机动车的构成中,高排放车的比例要稍高一些。

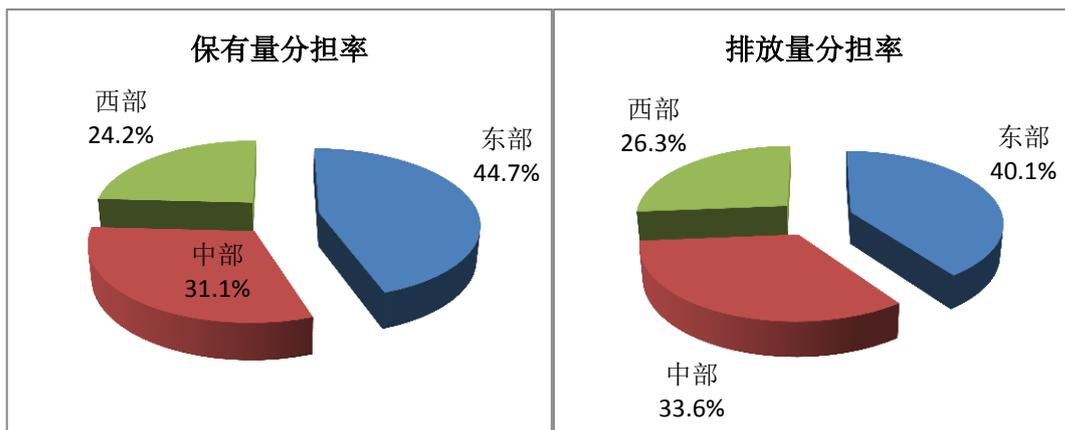


图 3-16 2013 年东、中、西部柴油机动车保有量及黑碳排放量分担率

¹ 东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖南、湖北;西部地区包括重庆、贵州、四川、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、内蒙古、广西。

2013 年,华北地区柴油机动车保有量占 25.4%,黑碳排放量占 28.0%;东

北地区柴油机动车保有量占 10.7%，黑碳排放量占 11.7%；华东地区柴油机动车保有量占 29.1%，黑碳排放量占 26.0%；华南地区柴油机动车保有量占 16.5%，黑碳排放量占 15.8%；西南地区柴油机动车保有量占 10.1%，黑碳排放量占 8.9%；西北地区柴油机动车保有量占 8.3%，黑碳排放量占 9.7%。华北、东北、华东、华南、西南、西北地区²柴油机动车保有量及黑碳排放量状况见图 3-17。对比分析可以看出，我国西北、华北和东北部高排放柴油车的比例要于华东、华南和西南地区。

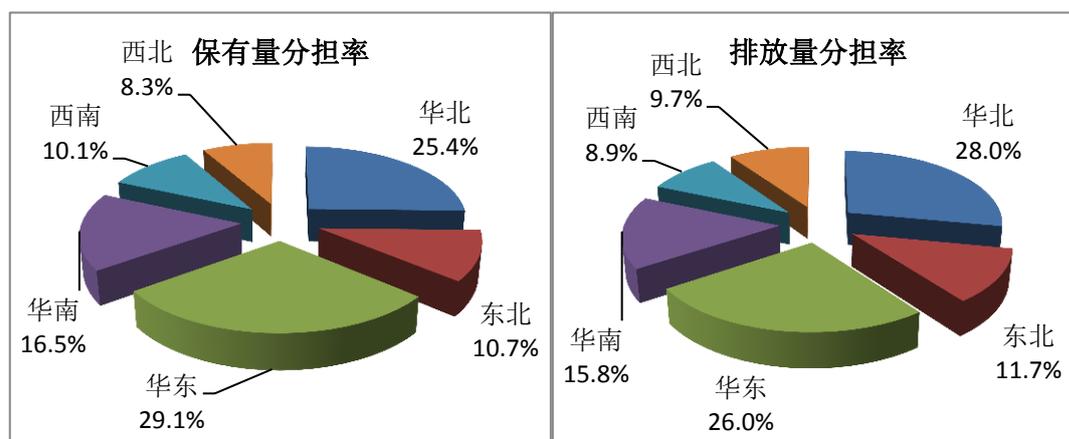


图 3-17 2013 年六大片区柴油机动车保有量和黑碳排放量分担率

²华北地区包括北京、天津、河北、山西、内蒙古、河南；东北地区包括辽宁、吉林、黑龙江；华东地区包括上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、山东；华南地区包括湖南、湖北、广东、广西、海南；西南地区包括重庆、四川、贵州、云南、西藏；西北地区包括陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

2013 年，我国京津冀地区³的柴油类机动车保有量占 9.7%，黑碳排放量占 9.8%；长三角地区⁴柴油机动车保有量占 6.5%，黑碳排放量占 6.6%；珠三角地区⁵柴油机动车保有量占 5.4%，黑碳排放量占 5.2%。京津冀、长三角、珠三角地区柴油机动车保有量和黑碳排放量的分担率见图 3-18。我国京津冀地区柴油机动车的保有量和黑碳排放量相对要高一些，所占比重都约为 10%。而长三角、珠三角地区柴油机动车保有量和黑碳排放量所占的比重要与京津冀地区要低。

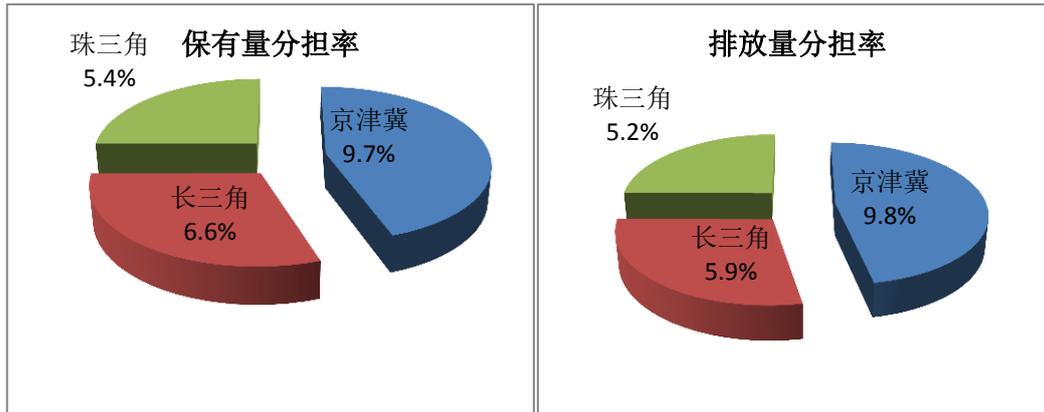


图 3-18 2013 年三大地区柴油机动车保有量和黑碳排放量分担率

3 京津冀地区包括以北京、天津两座直辖市以及河北省的保定、廊坊、唐山、邯郸市、邢台、秦皇岛、沧州市、承德市、张家口和石家庄；4 长三角地区包括上海市、苏州市、无锡市、常州市、镇江市、南京市、扬州市、泰州市、南通市、杭州市、宁波市、嘉兴市、湖州市、绍兴市、舟山市、台州市；5 珠三角地区包括广州市、深圳市、珠海市、佛山市、惠州市、肇庆市、江门市、中山市和东莞市。

第 4 章 机动车黑碳污染控制方法综述

从我国整体情况来看，目前我国柴油车技术水平较差，排放控制水平普遍较低。在我国地方城市，除了部分城市公交、邮政使用的柴油车达到了国Ⅳ及以上排放标准外，其他车辆，特别是重型柴油货车，车型普遍偏老，使用年限较长，国Ⅱ及以下的黄标车辆占有中、重型柴油货车总量的地方城市也不少。这些柴油车排放了大量的黑烟，严重影响了城市空气质量。由于大部分地区的中重型柴油车缺乏有效的维护保养，排放劣化明显，车辆排放随使用年限迅速增加。同时，许多车主环保意识不高，驾驶行为不规范，常常导致柴油车颗粒排放严重。我国国Ⅰ前的老旧柴油车自身配件、发动机严重老化，在日常使用中经常会有冒黑烟的现象。另外，我国非道路柴油机普遍具有技术水平低、使用年限长、维护保养差、燃油消耗高、燃油质量差、排放污染大。非道路移动源正逐渐成为影响我国城市和区域空气质量的另一重要来源。我国柴油品质不高，高硫含量柴油容易导致车辆排放劣化，颗粒物排放和烟度超标。此外，车用柴油硫含量过高，使得许多先进的柴油机技术无法得到应用（如柴油车尾气净化装置），也造成环保部门缺乏柴油车环保治理的技术和方法。从分析来看，为了降低移动源的黑碳排放，应从三个方面来进行减排工作：一是从严限制新车的黑碳排放；二是加强在用车排放的监管，保证其排放达标，必要时可以采取可以通过淘汰、更新或在用车改造的方法进行黑碳减排；三是提高油品质量或使用清洁燃料来降低其黑碳排放。

4.1 提高新车的排放限值要求

为了降低移动源的黑碳排放，措施之一是针对新柴油机实施更为严格的颗粒排放标准限值，从源头控制柴油机/车的黑碳排放。目前我国的轻型柴油车实行的是国 3 标准，如果能尽早实施国 4 排放标准，颗粒排放物限值从 0.05g/km 下降到 0.025g/km，颗粒的减排比例将达到 50%；如果能进一步尽快实施国 5 排放标准，颗粒排放物限值更是下降到 0.0045g/km，新车的颗粒排放下降比例达到了 90% 以上。对于重型柴油机来说，我国目前实施的是国Ⅳ排放标准，如果能尽早实施国Ⅴ排放标准，柴油机的颗粒物从 0.16g/kW.h 下降到 0.03g/kW.h，

颗粒物的下降幅度达到 80% 以上。由于我国新车产销量巨大，实施更为严格新车颗粒排放控制要求，可带来巨大的黑碳减排效益。

对于新生产非道路柴油类移动机械来说，我国目前实施的仍是国 II 排放标准，而欧美等发达国家已开始实施欧 VI 水平的排放标准，我国与国外的差距仍然较大。尽快提高我国非道路移动机械的颗粒排放限制要求，对移动源黑碳减排工作非常重要。中国国务院颁布的《大气污染防治行动计划》（2013[37]号）提出，加快推进低速汽车升级换代。不断提高低速汽车（三轮汽车、低速货车）节能环保要求，减少污染排放，促进相关产业和产品技术升级换代。自 2017 年起，新生产的低速货车执行与轻型载货车同等的节能与排放标准。

4.2 加强在用车的监管，淘汰更新或改造老旧车辆

在用车在行驶过程过，如果不注重保养和维护，其排放水平将日益恶化，成为高排放车辆。因此，加强柴油车的检测 / 维修（I/M）管理制度，可以促进柴油机 / 车拥有者对柴油机进行定期的维护和保养，使柴油机 / 车的排放保持在正常的水平，有助于降低柴油机的黑碳排放。

对于老旧车辆和高排放车辆，通过一定的经济刺激、管理政策措施，加快淘汰或更新老旧车辆和高排放车辆，是机动车减排的重要措施之一。《大气污染防治行动计划》要求，到 2015 年，全国要淘汰 2005 年底前注册营运的黄标车，基本淘汰京津冀、长三角、珠三角等区域内的 500 万辆黄标车。到 2017 年，基本淘汰全国范围的黄标车。《中国机动车污染防治年报（2013）》中指出，2012 年我国黄标车的颗粒物排放为 48.5 万吨，如果按黑碳占颗粒的质量百分率为 65% 来算，则到了 2017 年，淘汰黄标车可减少黑碳排放 31.5 万吨。对老旧车辆进行排放治理也是降低黑碳的有效措施之一。对于在用柴油车来说，目前最有效的颗粒/黑碳捕获技术是在柴油车尾气管上安装壁流式过滤器。壁流式颗粒捕器是一种非常高效的颗粒物和黑碳捕集器，它们可以有效地捕集柴油机燃烧产生的黑碳，可降低 85% 以上的颗粒物和 90% 以上的黑碳排放。目前我国的各类机动车大多都没有加装颗粒捕集器，颗粒排放大致为 62.2 万吨，如果能够全部安装壁流式颗粒捕集器的话，则可降低 36.4 万吨的黑碳排放。

通过各种引导、或宣传，鼓励车主改变交通行为模式，也可以带来黑碳减排，

如鼓励驾车者平稳驾驶，减少频繁的加减速可以减少黑碳排放；鼓励车主采用更为高效和清洁的运输方式（公交、地铁、自行车等）、使用更具有燃油经济性的发动机、使用低滚阻轮胎、采用更低风阻的车辆设计等都可带来黑碳减排的效益。其他诸如提高养车成本，进行机动车总量控制等都有助于减少黑碳排放。

4.3 提高车用燃油品质

柴油机的颗粒排放与使用燃油的品质密切相关。柴油车的颗粒排放与燃油中的硫含量呈正相关的关系。低烯烃和芳香烃组分的清洁柴油也有助于柴油机的颗粒和黑碳排放得到降低。低硫柴油的使用还可以使柴油机的各种后处理技术应用（如被动再生型颗粒捕集器）成为可能。低硫柴油的应用是国际上移动源黑碳减排的趋势之一。目前我国车用柴油中的硫含量不超过350ppm，《大气污染防治行动计划》提出，在2014年底前，全国供应符合国家第四阶段标准的车用柴油（50ppm硫含量以下），在2015年底前，京津冀、长三角、珠三角等区域内重点城市全面供应符合国家第五阶段标准的车用汽、柴油（10ppm硫含量以下），在2017年底前，全国供应符合国家第五阶段标准的车用汽、柴油。届时全国机动车的黑碳将进一步减排20%以上。

其他移动源黑碳减排技术还有使用清洁燃料如天然气（CNG、LPG），如在美国随着大规模页岩气的开采，天然气的价格得到了很大的降低，从国际范围内看，天然气发动机的应用也越来越多。中国也正在大力鼓励各种清洁能源动力车辆的应用，以期进一步减少了移动源的黑碳排放。

专栏 1：大气污染防治行动计划

为切实改善环境空气质量，2013 年 9 月，国务院印发了大气污染防治行动计划，确定了我国大气污染防治行动的总体要求、奋斗目标及具体指标，要通过加强工业企业大气污染综合治理、深化面源污染治理、强化移动源污染防治等措施加大综合治理力度，减少多污染物排放。

强化移动源污染防治：加强城市交通管理。优化城市功能和布局规划，推广智能交通管理，缓解城市交通拥堵。实施公交优先战略，提高公共交通出行比例，加强步行、自行车交通系统建设。根据城市发展规划，合理控制机动车保有量，北京、上海、广州等特大城市要严格限制机动车保有量。通过鼓励绿色出行、增加使用成本等措施，降低机动车使用强度。

提升燃油品质。加快石油炼制企业升级改造，力争在 2013 年底前，全国供应符合国家第四阶段标准的车用汽油，在 2014 年底前，全国供应符合国家第四阶段标准的车用柴油，在 2015 年底前，京津冀、长三角、珠三角等区域内重点城市全面供应符合国家第五阶段标准的车用汽、柴油，在 2017 年底前，全国供应符合国家第五阶段标准的车用汽、柴油。加强油品质量监督检查，严厉打击非法生产、销售不合格油品行为。

加快淘汰黄标车和老旧车辆。采取划定禁行区域、经济补偿等方式，逐步淘汰黄标车和老旧车辆。到 2015 年，淘汰 2005 年底前注册营运的黄标车，基本淘汰京津冀、长三角、珠三角等区域内的 500 万辆黄标车。到 2017 年，基本淘汰全国范围的黄标车。

加强机动车环保管理。环保、工业和信息化、质检、工商等部门联合加强新生产车辆环保监管，严厉打击生产、销售环保不达标车辆的违法行为；加强在用机动车年度检验，对不达标车辆不得发放环保合格标志，不得上路行驶。加快柴油车车用尿素供应体系建设。研究缩短公交车、出租车强制报废年限。鼓励出租车每年更换高效尾气净化装置。开展工程机械等非道路移动机械和船舶的污染控制。

加快推进低速汽车升级换代。不断提高低速汽车（三轮汽车、低速货车）节能环保要求，减少污染排放，促进相关产业和产品技术升级换代。自 2017 年起，新生产的低速货车执行与轻型载货车同等的节能与排放标准。

大力推广新能源汽车。公交、环卫等行业和政府机关要率先使用新能源汽车，采取直接上牌、财政补贴等措施鼓励个人购买。北京、上海、广州等城市每年新增或更新的公交车中新能源和清洁燃料车的比例达到 60% 以上。

专栏 2：我国将加速淘汰黄标车和老旧汽车

黄标车指排放水平低于国一排放标准的汽油车和国三排放标准的柴油车；老旧车原则上指未达到现行国家第四阶段排放标准的车辆。

2013 年 9 月，国务院印发《大气污染防治行动计划》，明确了未来五年黄标车淘汰目标：“到 2015 年，淘汰 2005 年底前注册营运的黄标车，基本淘汰京津冀、长三角、珠三角等区域内的 500 万辆黄标车。到 2017 年，基本淘汰全国范围的黄标车。”

2014 年，李克强总理在第十二届全国人民代表大会第二次会议上审议通过的《政府工作报告》提出，到 2014 年底淘汰黄标车和老旧车 600 万辆。随后，国务院办公厅印发《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》，将 600 万辆黄标车及老旧车淘汰任务分解下达到各地区。

为确保完成《政府工作报告》确定的 2014 年黄标车及老旧车淘汰任务，环境保护部、发展改革委、公安部、财政部、交通运输部、商务部印发了《2014 年黄标车及老旧车淘汰工作实施方案》，进一步明确了黄标车及老旧车淘汰工作的指导思想、目标、主要任务及分工、保障措施等。