

人大国发院系列报告

专题研究报告

2014年12月 总期第35期

(能源与资源战略系列报告 ERS201406)

在雾霾中前行

----- 交通污染排放对雾霾的贡献及治理措施探索

秦萍（中国人民大学国家发展与战略研究院、经济学院）

胡鹏程（中国人民大学经济学院）

谢伦裕（中国人民大学国家发展与战略研究院、经济学院）

徐建华（北京大学环境科学与工程学院）



国家发展与战略研究院

National Academy of Development and Strategy, RUC

人大国发院简介

国家发展与战略研究院（简称国发院）是由中国人民大学主办的独立的校级核心智库。国发院以中国人民大学在人文社会科学领域的优势学科为依托，以项目为纽带，以新型研究平台、成果转化平台和公共交流平台为载体，组建跨学科研究团队对中国面临的各类重大社会经济政治问题进行深度研究，以达到“服务政府决策、引领社会思潮、营造跨学科研究氛围”的目标。

国发院通过学术委员会和院务会分别对重大学术和行政事务进行决策。目前由陈雨露教授担任院长，刘元春教授担任执行院长。

地址：北京市海淀区中关村大街59号 中国人民大学国学馆（紧邻新图书馆）

电话：010-62515049

网站：<http://NADS.ruc.edu.cn>

Email: nads_ruc@126.com, nads@ruc.edu.cn

目录

摘要.....	4
前言.....	6
1 雾霾的定义和特征.....	7
1.1 雾霾的形成机理.....	7
1.2 雾霾在我国的分布特征.....	8
1.3 雾霾对健康的影响.....	10
2 机动车增长与雾霾的关系.....	11
2.1 雾霾的主要来源.....	11
2.2 机动车对雾霾的影响.....	12
2.3 我国机动车对雾霾高贡献率的原因.....	13
3 交通污染排放的改善办法.....	22
3.1 根本治理途径：革新技术，降低单车排放污染水平.....	22
3.2 直接政策干预：完善税制，使用行政手段调整企业和消费者行为.....	24
3.3 长期控制手段：改善交通系统，培养绿色出行意识.....	26
4 结语.....	29
参考文献.....	30

摘要

随着我国经济的高速发展，高能耗高污染产业快速增长，加上机动车保有量的快速增加，我国的大气污染情况日益严重。近年来，大规模雾霾现象频发，严重威胁到了人们的正常生活。世界卫生组织(2010)研究表明,2010年中国由PM2.5造成死亡的人数高达120万,并呈递增趋势发展。就我国雾霾来源来看,交通排放贡献占比达20%以上,而就城市而言,汽车尾气及交通扬尘对雾霾的贡献率可达近50%。因此,交通管理措施的改善将会对我国城市雾霾的治理起到重要作用。本报告通过系统梳理城市交通对雾霾的影响,全面探究我国机动车对雾霾高贡献率的原因,并在此基础上提出有针对性的交通以及机动车管理措施。

本报告分为三个部分:首先,分析雾霾产生的原因和在我国的分布情况,并介绍其对人体健康的危害机理和方式;第二部分从雾霾组分构成切入,探讨雾霾与交通的关系,总结我国交通排放对雾霾贡献较高的四个原因:(1)污染控制起步晚,全国平均机动车单车污染物排放因子高于发达国家,(2)车用油品质低于国际水平,与我国机动车排放标准不匹配,制约我国不断提高的机动车排放标准的减排效果,(3)机动车保有量和小汽车出行比例快速增加,机动车行驶总里程呈爆炸式增长,(4)机动车分布不合理,交通规划发展落后,造成道路拥堵,加剧尾气污染;第三部分结合我国实际情况、国外经验以及本文研究成果,对我国交通污染治理提出政策建议。第一,革新技术,降低单车排放污染水平;第二,完善税制,市场和行政手段相结

合调整企业和消费者行为；第三，合理规划城市布局 and 保证交通与城市土地利用的协调发展，完善交通体系以及培养绿色出行意识。

关键词： 雾霾 单车污染 车用油品质 机动车保有量 拥堵 绿色出行

*通讯作者：秦萍，中国人民大学国家发展与战略研究院研究员、经济学院副教授；E-mail:

pingqin2009@gmail.com

前言

长期以来，我国经济增长严重依赖不可再生化石能源的投入，呈现出“三高一低（高投入、高能耗、高排放、低产出）”的特点，给我国生态环境带来了巨大压力。随着经济的发展，城市迅速扩张，机动车保有量快速增加，城市生态环境更是严重恶化。近些年，重度雾霾现象频繁发生并长时间持续，大气污染问题迅速成为公众、媒体和政府的关注焦点。

雾霾作为经济发展的负外部性产物，多发生于经济活动水平高的地区，而我国城市雾霾来源中，汽车尾气及交通扬尘对雾霾的贡献率可达近 50%。因此，分析我国城市交通对雾霾的影响，探究机动车对雾霾高贡献率的原因，并提出和实行有针对性的交通以及机动车管理措施，对我国治理城市雾霾具有重要意义。

1 雾霾的定义和特征

自然界和人类活动不断向大气排放各种物质，而当大气中的某种物质超过正常水平，就会对人类、生态、材料或其它环境要素产生不良效应，从而构成大气污染（唐孝炎，1990）。人们常常谈论的雾霾污染，是雾与霾两种自然现象的混合物，与人类活动有着直接关系。

1.1 雾霾的形成机理

空气中的气溶胶粒子（如灰尘、硫酸、硝酸、有机碳氢化合物等）可使大气混浊，导致能见度恶化。当水平能见度小于 10 公里、大于 1 公里时，在宏观上表现为霾；而随着某些吸水性强的干气溶胶粒子的吸水长大，空气中产生更多更小的云雾滴，能见度进一步降低。当水平能见度低于 1 公里时则被定义为雾。雾与霾均导致能见度恶化，其区别在于霾发生时相对湿度不同。一般相对湿度小于 80% 时的大气混浊导致的能见度恶化是霾造成的；相对湿度大于 90% 时的能见度恶化是雾造成的；而相对湿度介于 80-90% 之间时能见度恶化是霾和雾的混合物共同造成的，但其主要成分是霾（中国气象局，2012）。另外，霾与雾的差异还在于，霾与晴空区之间没有明显边界，且呈黄色或橙灰色；而雾与晴空之间有明显边界，且看起来呈乳白色或青白色。中国不少地区将“霾”并入“雾”一起作为灾害性天气现象进行预警预报，统称为“雾霾天气”。本报告在后面的章节也不再做详细区分，将之统称为雾霾。

雾霾作为一种自然现象，其形成受到以下三方面因素的影响（张军英和王兴峰，2013）。（1）垂直方向的逆温现象：在正常气候条件下，污染物从气温高的低空向气温低的高空扩散，而在逆温现象下，低空气温反而更低，导致大气污染物停留；（2）水平方向的静风现象：低风速，空气对流弱，不利于大气污染物向污染源外围扩散稀释；（3）悬浮颗粒物：大量灰尘、硫酸、有机碳氢化合物等细小粒子悬浮空中，直接导致能见度降低。随着我国经济的发展，城市迅速扩张，城区机动车辆和工业排放随之增多，导致城市悬浮物大量增加；而城区内高楼会增大地面摩擦系数，导致风速减弱，静风现象增多。这使得大气污染物容易在城区内集聚，促使雾霾天的发生。

1.2 雾霾在我国的分布特征

作为经济发展的负外部性产物，雾霾多发地也是我国经济活动水平高人口密度高的区域。目前，我国雾霾天气比较严重的地区包括京津冀、长三角和珠三角，其中大城市包括上海、南京、杭州、苏州、天津、北京、广州和深圳等（参见图 1）。总体而言，南方重点区域及城市空气质量优于北方，京津冀地区的空气质量改善亟需进行。

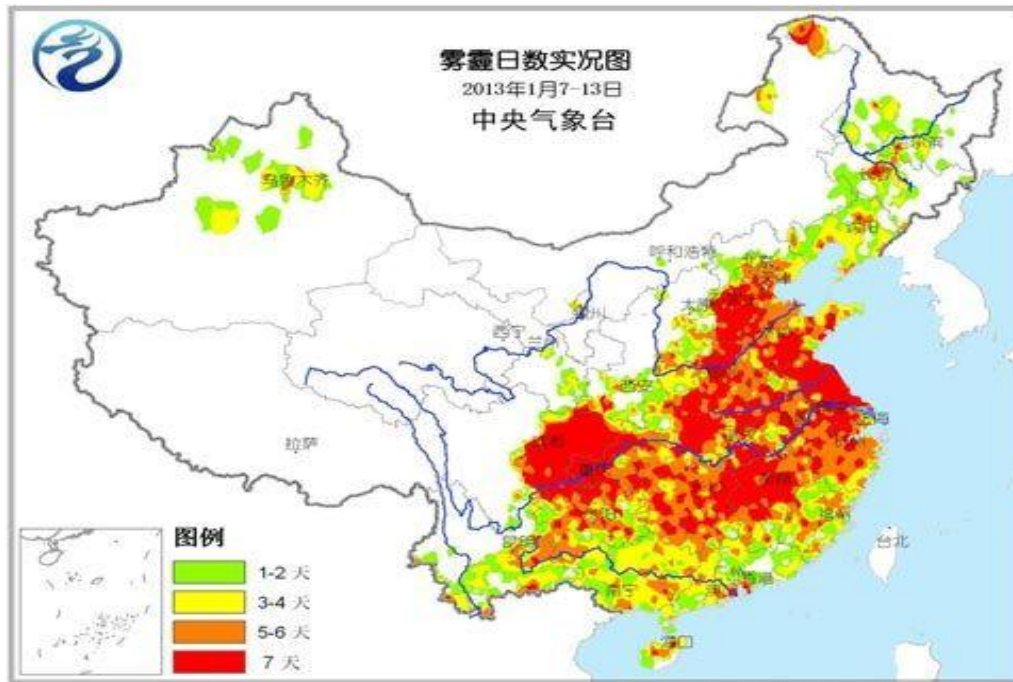


图 1：2013 年 1 月全国地区和城市雾霾情况对比（来源：

<http://www.weather.com.cn/news/1775499.shtml>)

根据环境保护部（2014）发布的京津冀、长三角、珠三角区域及直辖市、省会城市和计划单列市等 74 个城市 2013 年度空气质量状况，74 个城市 $PM_{2.5}$ ¹ 年均浓度为 72 微克/立方米，仅拉萨、海口和舟山 3 个城市达标，达标城市比例为 4.1%； PM_{10} 年均浓度为 118 微克/立方米，11 个城市达标，达标城市比例为 14.9%。

三大区域中，京津冀区域城市年大气污染最为严重，空气质量平均达标天数比例为 37.5%，比 74 个城市平均达标天数比例低 23 个百分点，区域内 $PM_{2.5}$ 年平均浓度为 106 微克/立方米；长三角区域情况

¹ $PM_{2.5}$ 是指空气动力学直径小于 2.5 微米的粒子，又称细粒子或细颗粒物，PM 是英文 Particulate Matter（颗粒物）的首字母缩写。流行病学家和毒理学家的大量研究表明，大气污染物中，细粒子更能突破呼吸系统的屏障（如鼻腔），进入肺部，更细小的粒子甚至能进入血液，对人体健康产生危害。

优于京津冀地区，空气质量平均达标天数比例为 64.2%，高于 74 个城市平均达标天数比例 3.7 个百分点，区域内 $PM_{2.5}$ 年均浓度为 67 微克/立方米；珠三角区域最优，空气质量平均达标天数比例为 76.3%，高于 74 个城市平均达标天数比例 15.8 个百分点，区域内 $PM_{2.5}$ 年均浓度为 47 微克/立方米。和世界卫生组织建议的 10 微克/立方米还有着很大的差距。

三大区域最重要城市中，北京、上海和广州的主要污染物均为 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 和二氧化氮。北京达标天数比例为 48%，重度及以上污染天数比例为 16%， $PM_{2.5}$ 年均浓度为 89.5 微克/立方米。上海市达标天数比例为 67.4%，重度及以上污染天数比例为 6.3%， $PM_{2.5}$ 年均浓度为 62 微克/立方米。广州市情况稍好，达标天数比例为 71%，全年无重度及以上污染， $PM_{2.5}$ 年均浓度为 53 微克/立方米。

1.3 雾霾对健康的影响

雾霾的主要成分二氧化硫、氮氧化物和可吸入颗粒物等均对人体健康有负面影响，其中以 $PM_{2.5}$ 的危害为甚。由于 $PM_{2.5}$ 粒径小，相对于 PM_{10} 或直径更大的颗粒物有更大的比表面积，即同等质量密度下小颗粒的总表面积更大，这就为一些化学物质、细菌和病毒提供了更多的载体。 $PM_{2.5}$ 不能被鼻孔、喉咙所阻挡，能通过呼吸系统被直接吸入，沉积到肺泡，甚至可通过肺直接吸收而到达体内其他器官。所以，如果长期吸入含有大量 $PM_{2.5}$ 的污染空气，会导致人体呼吸系统和其他器官系统以及组织结构受到损害。 $PM_{2.5}$ 对人体的伤害可归纳

为以下四个方面：(1) 肺部损害；(2) 心血管系统损害；(3) 免疫系统损害；(4) 致癌等其他影响(潘小川等, 2012)。世界卫生组织(2010)研究表明, 2010年中国由 $PM_{2.5}$ 造成死亡的人数(归因死亡)高达120万, 其中脑血管疾病死亡60.5万, 缺血性心脏病死亡28.3万, 慢性阻塞性肺疾病死亡19.6万, 呼吸系统癌症死亡13.9万, 下呼吸道感染死亡1.05万(Yang等, 2013)。

2 机动车增长与雾霾的关系

2.1 雾霾的主要来源

目前我国雾霾高发地多为城市。城市人口密度大, 工业发展程度高, 再加上城市区域空气气团性质较为稳定, 风速较低, 不易产生空气对流, 这使得在同等污染条件下, 城市更容易出现雾霾。针对城市中的雾霾现象, 中科院大气物理研究所研究员张仁健课题组对北京地区 $PM_{2.5}$ 化学组成及源解析季节变化进行研究, 发现北京 $PM_{2.5}$ 有六个重要来源, 分别是土壤尘(15%)、燃煤(18%)、生物质燃烧(12%)、汽车尾气(4%)、垃圾焚烧(25%)、以及工业污染和二次无机气溶胶(26%)。随后中科院研究所专家对二次无机气溶胶(主要为硫酸盐、硝酸盐和铵盐)的产生原因进行了进一步分析, 认为其中由汽车尾气产生的无机气溶胶占较大部分, 若综合城市交通对扬尘的影响, 城市交通整体对于雾霾的贡献率在24%左右。中科院大气物理研究所王跃思课题组对2013年1月北京雾霾的动态数据进行分析, 发现在强霾时段, 汽车尾气对雾霾的贡献可达47%, 而在同期污染较低时, 贡献

率在 30%左右²。因此，综合来看，机动车尾气排放是城市雾霾的一个重要来源。

2.2 机动车对雾霾的影响

根据国家环境保护部（2013）发布的数据，2012 年全国机动车排放污染物达 4612.1 万吨，包括氮氧化物（NO_x）640.0 万吨，颗粒物（PM）62.2 万吨，碳氢化合物（HC）438.2 万吨，一氧化碳（CO）3471.7 万吨。这其中的前三种排放物均是导致雾霾发生的主要污染物。

机动车对雾霾的贡献主要包括：（1）机动车尾气直接排放可吸入颗粒物，（2）汽车尾气排放其他污染性气体在大气发生化学反应生成臭氧和 PM_{2.5}，（3）机动车对道路尘土反复碾压并在行驶中带动地面扬尘的产生。由于在我国大部分空气污染严重地区，PM_{2.5} 均为首要污染物，因此我们通常把 PM_{2.5} 作为衡量雾霾污染程度的主要指标。PM_{2.5} 有两种形成途径，一种是直接以固态形式排出的一次粒子，另一种是由气态形式污染物（二氧化硫，氮氧化物，氨等）通过大气化学反应而生成二次粒子。目前城市内机动车的燃料以汽油、柴油为主。汽油和柴油主要由碳和氢组成，完全燃烧时生成二氧化碳、水蒸气和过量的氧等物质。但由于燃料常常不能完全燃烧且燃料中含有其他杂质和添加剂，汽车尾气通常带有成分复杂的有害物质，包括一氧化碳、

² 《汽车尾气的二次源影响更大》，北京晚报，2014.1.3.
http://bjwb.bjd.com.cn/html/2014-01/03/content_139754.htm

碳氢化合物、二氧化硫、氮氧化物、铅化合物和固体悬浮颗粒，这些均对雾霾的形成有直接或间接的贡献。机动车尾气单车排放又受到排放标准，油品质量，以及其他因素如车龄、车辆技术水平（包括燃料类型、变速系统、空调系统和催化系统）、发动机排量和累计行驶里程等车辆特征的影响。除自身特征外，单车排放因子还受到行驶状况、道路类型和交通状况等外部情况的影响。所以，我们可以从燃油品质，排放标准，城市机动车保有量和使用情况以及交通状况等来具体分析交通对雾霾的贡献。

2.3 我国机动车对雾霾高贡献率的原因

基于上述交通对雾霾的影响因素分析，再结合我国交通系统和交通情况的特征，我国机动车对雾霾高贡献率的原因可归纳为以下几个方面：

(1) 我国机动车污染控制较低且起步较晚，导致全国平均机动车单车污染物排放因子高于发达国家。

近年来，我国相继颁布并实施了新车排放标准，从生产上对汽车排放标准加以管制。目前全国汽车³排放标准进入第四阶段（国4标准⁴），北京、上海等一线城市已开始实施或准备实施第五阶段标准（国5标准）。如图3所示，北京市内国4排放标准的车辆自2010年起占比40%以上，并逐年增加，直到2013年京5标准汽车进入市场。国0

³ 柴油车由于技术因素，在更新上有一定滞后。

⁴ 在对主要污染物的要求上，尽管存在一些测量方法的差异，我国的汽车排放标准等同于同阶段的欧盟标准，如“国三标准”等同于“欧三标准”。

(国1前)、国1标准的小微型载客汽车占比平均每年以0.6个百分点下降，到2013年国0标准的车辆占比降至4.54%，国1标准占比降至4.07%，国2、国3标准的小微型载客汽车占比平均每年以2%的速度下降。此外，北京市于2013年3月1日开始正式实施京5标准⁵，至2013年9月底京5标准汽车占比达12%。

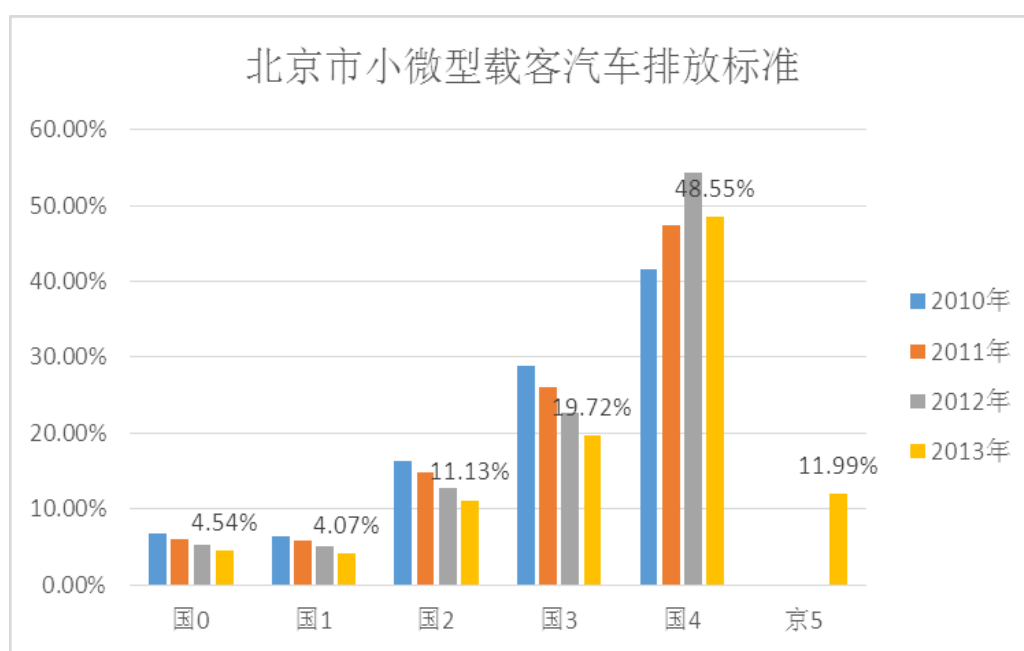


图3：北京市小微型载客汽车排放标准（资料来源：北京市交管局2013年9月）

尽管我国汽车排放标准平均每三年就会有一个提升，而欧盟平均每五年才会提高一次排放标准（参见图4），但是由于我国对汽车排放管理起步较晚，至今排放标准仍只相当于欧盟2005年的排放标准，并且技术落后车辆仍占较大比重。截止2012年，我国机动车保有量为2.24亿辆，按排放标准分类，国0标准汽车占7.8%，国1标准汽车占14.9%，国2标准汽车占15.7%，国3标准汽车占51.5%，国4及

⁵ 京5标准不同于国5标准，是北京市出台的一个汽车排放标准。目前京5还在实施的第一阶段，在主要指标上与国标相同，不过对于汽车系统的一些要求较国标较为宽松。

以上标准汽车占 10.1%。由于标准越低的汽车单车污染物排放因子越高，占保有量仅 7.8%的国 0 标准汽车污染物排放量占到了所有机动车排放总量的 35%以上，而占保有量 61.6%的国 3 及以上标准汽车的排放量不到总量的 30%（国家环境保护部，2013）。按这样估算，如果所有机动车均能达到国三及以上标准，那么标准汽车污染物排放量可以下降 50%左右。

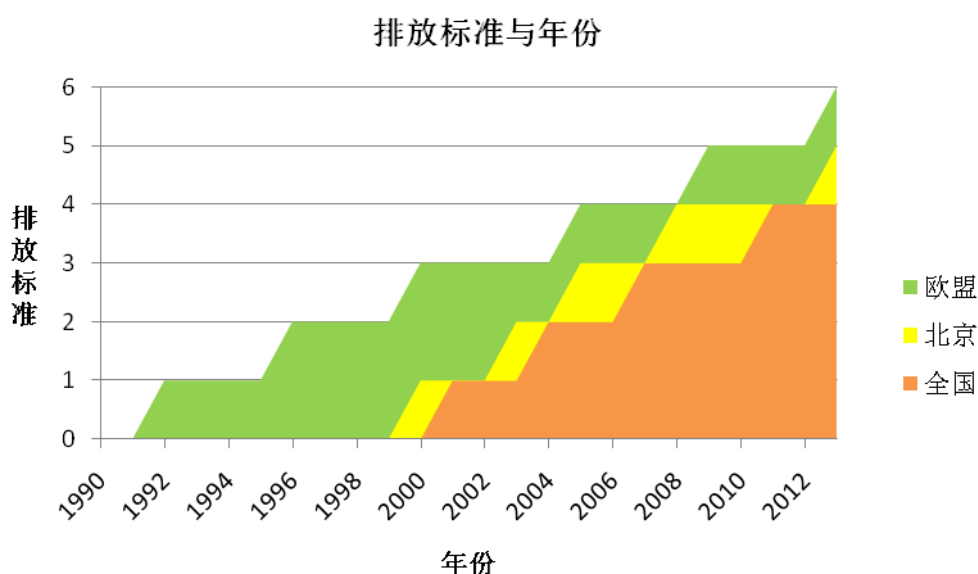


图 4: 欧盟、北京及全国其他城市汽车排放标准实施时间

(2) 车用油品质低于国际水平，且与我国机动车排放标准不匹配，极大制约了我国不断提高的机动车排放标准的减排效果。

油品标准包括硫含量、锰含量、烯烃含量等方面的限制，其中硫含量是车用燃油中最关键的环保指标⁶。燃油的硫含量高，可使三效催化剂失去催化效果，从而导致一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO_x)和挥

⁶ 关于车用燃料的“清洁度”，世界公认的分类标准是依据燃料的硫含量划分为四类：硫含量>500ppm 为非清洁燃料，50ppm<硫含量≤500ppm 为清洁燃料，10ppm<硫含量≤50ppm 为超清洁燃料，硫含量≤10ppm 为无硫燃料。

发性有机化合物(VOC)排放量的增加(刘家琰, 2008)。目前,我国大部分城市乘用车油品实行国3标准⁷,汽油含硫量标准为150ppm(ppm,指1mg/kg),柴油含硫量标准为350ppm,是欧盟、日本现行标准10ppm的十五倍(参见图5)。

油品品质低下会对汽车排放标准升级的减排效果形成极大的制约。实施新的机动车排放标准,前提是油品同步提升,一来可以保障新车正常使用,二来可以提高在用车净化系统效能,使全部在用车实现同步减排。2011年我国全面实行汽车排放国4标准(不包括柴油车),但一直到2013年底,我国大部分城市乘用车油品仍实行国3标准。如果将低标准汽油用于高排放标准汽车,通常会影汽车发动机的正常工作,增加消费者的维修负担,此外还会影响汽车尾气净化装置的效率,使得新车实际减排效果不佳。

汽油质量标准																									
国家地区	年份标准	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
美国	排放标准	Tier0			Tier1						Tier2														
	硫含量	338			500						300	80		10											
欧盟	排放标准	EURO1			EURO2			EURO3			EURO4			EURO5			EURO6								
	硫含量	1000			500			150			50			10											
全国	排放标准							国一			国二			国三											
	硫含量				1000			800			500			150											
北京	排放标准							国一			国二			国三			国四			国五					
	硫含量							500			150			50			10								

柴油质量标准																									
国家地区	年份标准	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	2000	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
美国	排放标准	Tier0			Tier1						Tier2														
	硫含量	2000			500						30			15											
欧盟	排放标准	EURO1			EURO2			EURO3			EURO4			EURO5			EURO6								
	硫含量	3000			2000			500			350			50			10								
全国	排放标准							国一			国二			国三											
	硫含量				10000			2000			500			350											
北京	排放标准							国一			国二			国三			国四			国五					
	硫含量							500			350			50			10								

图5: 我国汽油、柴油质量标准与美国、欧盟的对比⁸

⁷部分重点城市除外。北京目前采用的是京5标准,部分省会城市采用国4标准。

⁸ Tier和EURO分别表示美国和欧盟的油品标准。

(3) 机动车保有量和小汽车出行比例在过去几十年里快速增加，导致机动车行驶总里程呈爆炸式增长。

我国机动车保有量在 1978 到 2010 年的 32 年间从 136 万辆增长到近 8000 万辆（不包括摩托车、低速货车和低速电动车等），年平均增长率为 14%，尤其是近几年增速更高，2000 到 2010 年年平均增长率达 17%（清华大学中国车用能源研究中心，2012）。机动车快速增长的主要原因是私家小汽车数量的迅速增长。从 2002 到 2011 年的 10 年间，全国私家小汽车数量年均增长率超过 25%。如图 6 所示，2002 年全国私家车保有量为 578 万辆，而 10 年后保有量已超过 6000 万辆，相当于 2002 年的 10 倍多。千人私家车保有量平均每三年翻一番，从 2002 年的每千人拥有不到 5 辆小汽车，发展到每千人拥有 45.8 辆小汽车仅用了不到 10 年的时间。

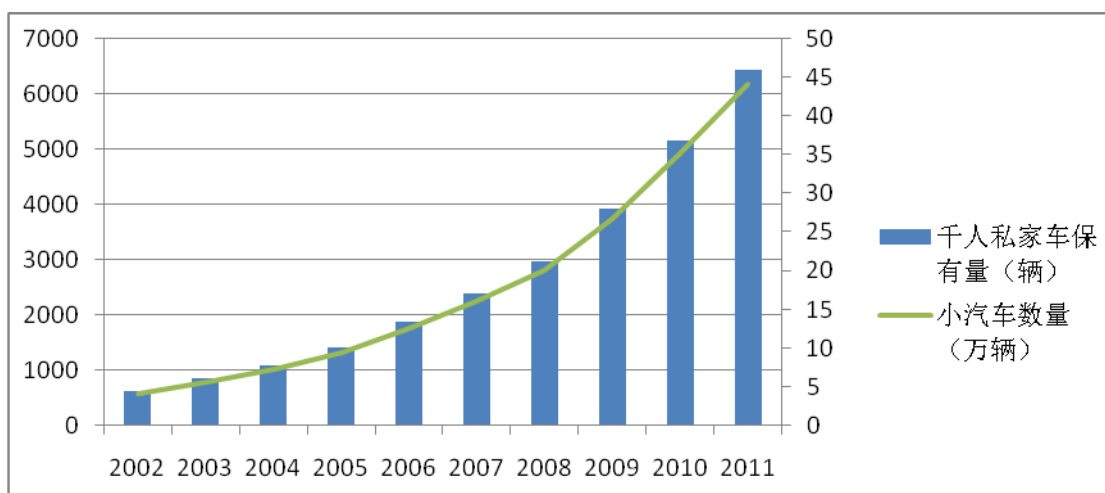


图 6: 2002-2011 年全国私人汽车增长情况（资料来源：《中国汽车流通协会、国家统计局，2002-2011）

小汽车保有量的增加对机动车行驶总里程的增加有着直接贡献，

因此千人小汽车保有量高的地区往往是雾霾灾害严重的地区。如图 7 所示，千人小汽车保有量最高的是北京、天津和浙江，分别为 184 辆/1000 人，103 辆/1000 人和 86 辆/1000 人；最低的是甘肃和江西，分别是 19 辆/1000 人和 21 辆/1000 人。上海经济发达，但千人小汽车保有量仅为 50 辆/1000 人，主要原因是 1994 年起实行的汽车牌照拍卖政策。

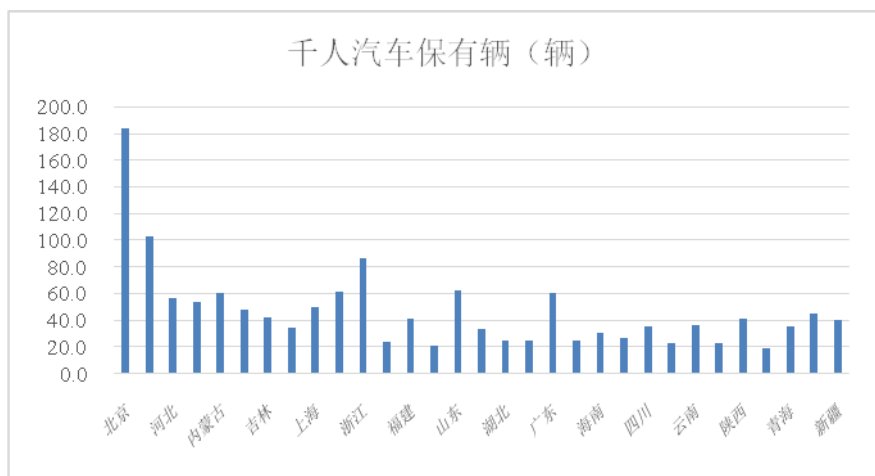


图 7: 我国各大城市千人汽车保有量比较 (资料来源:《中国汽车市场年鉴》)

需要指出的是，北京机动车保有量的增长虽然速度惊人，但是其是经济发展和城市化的必然产物，亚洲其他发达城市也曾有过相似的经历。如图 9 所示，东京和首尔也经历过机动车保有量迅速增加的时期，并在机动车数量达到一定程度时出现了增速放缓的情况。北京在 1998 到 2008 年同样经历了机动车数量飞增的时期，而 2008 年后随着一系列政策（如摇号上牌、限行等）的出台，增长速度有所减缓。因此，我们可以预计北京的机动车保有量会在近几年逐渐趋于平稳。

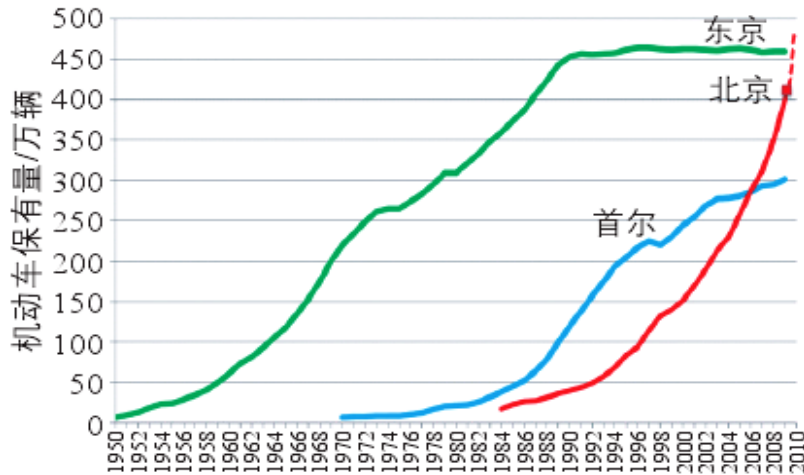


图 9: 亚洲发达城市机动车保有量变化 (来源: 北京市交通研究中心, 2011)

随着机动车数量的增加, 居民出行方式也在发生改变, 小汽车出行比例逐年增加。如图 10 所示, 北京市居民小汽车出行在 2000 年时占总出行的 23%, 而在 2010 年时占 34%, 平均每年占比增加 1%。自行车出行的比例大幅度下降。公交出行所占比例为 28%, 而伦敦、香港和纽约的公共交通出行分别占全方式出行的 49%、50%和 60%(LSE cities, 2011)。城市居民的出行方式受到城市形态、公共交通服务水平、地方经济发展状况和气候等诸多因素的影响。因此, 要想提高城市居民公交出行比例减少小汽车出行比例, 需要从多方面着手。

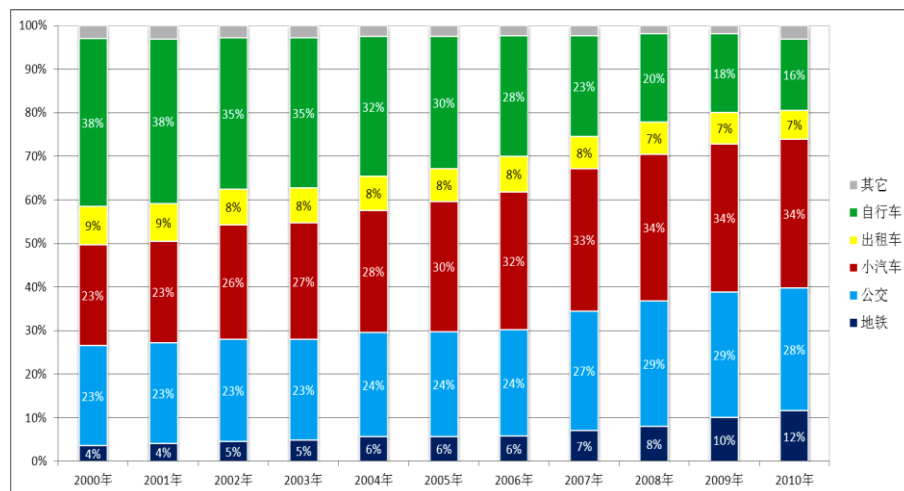


图 10: 北京市出行方式的年际变化 (资料来源: 北京市交通研究中心, 2011)

(4) 机动车分布不合理，交通规划发展落后，造成道路拥堵，加剧尾气污染。

我国在城市化进程中形成了“高人口密度地区，人均机动车保有量越高”这样一种现象。这与发达国家大城市机动车保有量的分布态势正好相反（北京交通发展研究中心，2010）。纽约、东京等国际大城市的机动车保有量普遍遵循“中心城区低、外围高”的分布态势，即人口密度越高，人均机动车保有量越低，这是由于人口密度高的地区，人均交通资源率越紧张，因而人均机动车保有量也就越低⁹。而我国大城市机动车分布情况违背了世界大城市机动化发展规律。高人口密度地区人均机动车保有量越高，这是我国大城市拥堵的重要原因之一（郭继孚等，2011）。

另外，我国近几年机动车保有量迅速增加，配套的交通基础设施建设和交通规划管理水平却未能与机动车保有量的高速发展保持一致。以北京为例，截止2013年底，全市机动车保有量为543.7万辆，其中私人小客车数量达到了380万辆以上。而根据北京市统计年鉴公布的数据，在2012年，北京市城六区登记备案的停车场共6273个，停车位1,611,372个，远低于汽车保有量。停车位不足，造成路边停车现象严重，挤占本就不足的道路资源，使得交通拥堵进一步加剧，从而增加了道路汽车尾气排放，促使了雾霾天的发生。

表1 从城市人口和面积、公路和机动车保有量、公共交通系统三

⁹主要原因是北京这些大城市在机动车保有量快速增长时期，政府并未采用严格政策措施来控制小汽车的使用和增长，因此，城市中心这些人口高密度地区由于人口多反而导致更高的汽车保有量；相比较，东京或者曼哈顿这些地区都有非常严格的政策控制小汽车的增长，如日本的车辆泊位证等，这些都限制了小汽车在人口高密度地区的快速增长。

个方面，将北京和伦敦、纽约以及东京进行对比。如表所示，北京主要城区人口密度高于伦敦，低于纽约和东京，但公路密度远低于其他三个城市，平均每平方公里只有 1.73 公里，而其他城市均在 10 公里左右，东京甚至达到了 19.07 公里/平方公里；在公共交通方面，北京的公共交通单位密度较低，轨道交通密度低于伦敦和纽约，公共交通车站的密度远低于纽约和东京。如果考虑主要城区人口密度，北京公共交通车站建设和轨道建设依旧落后于其他三个城市。

		北京	伦敦	纽约	东京
城市人口和面积	人口 (千人)	20186	8302	8337	13277
	面积 (平方公里)	16411	1572	790	2189
	人口密度 (人/平方公里)	1230	5281	10533	6066
公路与机动车保有量情况	公路长度 (公里)	28446	14814	10105	11863
	公路密度 (公里/平方公里)	1.73	9.42	12.79	19.07
	私人小汽车数量 (千)	3708	2535	1777	1641
	千人私人汽车拥有量	18.4	30.5	21.3	18.1
公共交通情况	每百万人轨道交通长度 (公里)	38	52.5	44.8	33.6
	每平方公里车站数量	0.197	0.197	0.592	0.458
	每百万人公交车数量	1071	903	521	162

表 1: 国际大城市面积与人口、公路与机动车、以及公共交通情况对比

机动车分布态势和交通结构的不合理，以及交通基础设施的落后，造成我国目前很多大城市中心区主要道路长时间处于饱和状态。中国科学院可持续发展战略研究组（2012）对中国 50 个城市通勤情况进行调查，并根据上班路上所花时间进行排名。排名结果显示，北京上班路上所花时间平均为 52 分钟居首，广州以 48 分钟居次，上海以 47 分钟位列第三。该报告同时指出，10 年前，中国的二线城市交通拥堵很少见，但近 5 年来，交通拥堵已成为二线甚至三线城市的常

态；全国百万人以上城市，有 80% 的路段和 90% 的路口的通行能力已接近极限。车辆平均行驶速度低，怠速比例高，加重了城市的空气污染，对雾霾的形成起到了很大的推动作用。

综合来看，我国城市交通污染问题的根源是相关污染排放标准和城市规划不能与交通发展速度相适应。交通发展与经济增长有着密切的联系。与经济增长速度相适应的交通发展能对经济增长起到促进作用，而落后或者不合理的交通发展则会带来一系列负效应，降低社会福利。这是需要我们在今后发展过程中多加关注的问题。

3 交通污染排放的改善办法

城市大气污染问题并不只在中国存在，现今很多发达国家在城市化进程中都经历过严重的大气污染状况，如英国伦敦，美国洛杉矶等。对机动车排放的管控是这些大城市控制城市大气污染的主要手段之一，并且起到了明显的效果。结合我国机动车和交通系统的现有情况，我们着重强调降低单位汽车排放量、控制机动车数量和改善交通结构这三个方面。按照这个思路，我们从根本治理途径、直接政策干预和长期控制手段三方面提出交通污染排放的改善途径。

3.1 根本治理途径：革新技术，降低单车排放污染水平

污染治理需要从污染源头进行控制，降低单车排放污染水平是治理交通排放的核心。

(1) 加速改进传统汽车技术，降低单车污染排放水平。传统能

源汽车在未来很长时间内仍将是机动车构成中的主要部分，其高PM_{2.5}贡献来源于内燃机的高污染物排放，主要是由其燃气供应量不精确和燃油燃烧不充分造成。对于新型汽车，可以通过研发更先进的发动机，优化车辆设计，降低车辆污染物排放水平；对已生产成型的传统汽车，应加快提高汽车尾气处理技术，通过加装外置设备在排放端净化尾气。这些均可以通过进一步提高汽车排放标准促使汽车生产企业实现。

(2) 鼓励和扶持新能源汽车产业的发展。新能源汽车目前主要包括电动汽车、太阳能汽车、混合动力汽车、天然气汽车等使用新型能源的汽车。与传统汽车相比，新能源汽车普遍来说能耗较低，尾气排放量较少，甚至为零。近年来风电、光伏等新能源发电发展态势良好，但这些新能源因其间断性和不可控性在并入大电网的过程中存在一些挑战，而电动汽车对能源的需求时间灵活性高且需求调整成本低，因此对风电光伏等分布式发电具有很强的适应性。所以从长远角度看，新能源汽车的发展可以与新能源发展相结合，有很好的前景。

我国新能源汽车扶持政策近年来密集出台，市场上也出现了多个品牌不同类型的新能源汽车。但是，我国新能源汽车技术整体水平不高，核心技术上尚未建立自主知识产权。同时，新能源汽车的价格偏高，充电桩等基础设施建设发展不足。这些问题都制约着新能源汽车的发展和推广。因此，我国应当加强与发达国家相关国际组织在新能源汽车技术方面的合作交流，攻克高难度技术，实现关键技术、核心部件国产化；对新能源汽车企业进行必要的扶持，同时保持合理的市

市场竞争，发挥新能源汽车企业自身潜能，增强竞争力；加速完善新能源汽车基础配套设施、产业支撑体系建设，健全相关法律法规行业标准，建立起统一规范的新能源汽车生产、使用、管理和监测体系，以保证该行业健康快速的发展。

(3) 加速车用燃油品质的提升。我国燃油质量与世界水平的主要差距在于我国燃油的硫和烯烃含量高，芳烃含量较低。这主要和我国自身原油含硫量较高以及石油行业的垄断有关。在垄断情况下，企业技术革新的动力会下降；同时，高品质燃油成本较高，在缺乏市场竞争的情况下，企业没有动力增加生产成本以提高燃油品质。所以，解决燃油品质问题，首先要加速石油行业改革，逐步对市场开放，提高行业内竞争，促进技术进步；其次，加强对炼油企业的监管，提高燃油品质要求；另外，管理部门应结合不同地区发展情况，在全国逐步推广实施第4阶段乃至第5阶段排放标准，加速与国际标准接轨，并制定更加科学的法律行规，严格禁止未达标燃油进入市场。

3.2 直接政策干预：完善税制，市场和行政手段相结合调整企业和消费者行为

提高技术水平，降低单车排放是控制交通污染的核心，不过技术革新是一个缓慢、艰辛的过程，短期内难见成效。那么，调整企业和消费者行为，形成对汽车技术进步有利的大环境在目前就显得非常必要。调整税制是最常用的、可以有效调整生产者和消费者行为的工具，短期内可以实现一定的政策目标。同时，一些行政手段（如限购、限

行等措施)也能在一定程度上影响人们的行为。

(1) 按照汽车排放水平征收环境税,提高企业和消费者的环保责任。汽车排放产生大气污染,给整个社会带来负外部性,属于公共物品,不具有竞争性和排他性,如果完全依靠市场资源配置,会产生市场失灵。这时候就需要通过税收的方式,将污染的成本折算进价格后,再进行市场配置。我国于2008年初开始筹划环境税的征收工作,2010年7月环境税征收方案初稿出炉,预计很快会进入实施阶段。环境税的征收可以激励污染超标汽车制造厂家做出必要及有效的技术改进;可以促使汽车消费者做出行为调整,减少私人汽车的使用。

在环境税的实施过程中,需要有相应的环境监管和额外的措施以及制度给予配合。例如,在年度车辆检查中加入对车能耗的评价,对高能耗车征收额外的环境税;严格车辆报废制度;对于老旧车、“黄标车”征收排放税;配合征收消费税、燃油税等,控制燃油使用量,从总体上减少排放等。对于汽车企业,可以根据新出台的《乘用车燃烧消耗量评价方法及指标》中提出的“车型燃料消耗量+企业平均燃料消耗量目标值”评价体系,进行环境税的征收,对专门生产高档大排量车的企业征收更高比例的税。

(2) 在人口密度大的区域进行机动车限行或征收拥堵费,促使居民使用公共交通代替私家车出行;对大城市实行小汽车限购政策,控制机动车保有量的增长速度。限购、限行或征收拥堵费可以减少小汽车出行,从而在一定程度上缓解拥堵和污染问题,并为城市交通结构升级提供时间缓冲。需要注意的是,理性消费者会从最大化自身效

用出发，采取各种方式尽可能减少上述政策对其带来的影响。从长期来看，我们认为价格政策会更优于管制政策，我们的研究发现摇号政策导致车主更倾向于购买排量较大的高档车，从而将消耗更多的能源，降低了摇号导致车辆增速下降从而减少汽车污染排放的效果。

虽然直接政策干预对控制城市汽车尾气污染有重要意义，但税收和行政政策实行程度需要进行政策评估，政策干预过度或力度不够均不能达到预期效果。另外，税收和行政政策在设计的时候不仅要考虑效果、效率，还要考虑到公平。不同收入水平的群体对税负的承担能力不同，同样税率的环境税，低收入阶层受到的影响会大于高收入阶层所受到的影响；限购、限行政策对于低收入人群的出行方式会产生较大影响，而高收入人群则有更多的规避方式。因此，政府在制定政策时，需要综合考虑，比较不同政策的效果、效率和公平，充分研究，谨慎选择。

3.3 长期控制手段：改善交通系统，培养绿色出行意识

减少汽车尾气排放，改善空气质量，是一项持久战。虽然短期来讲有各种政策改变消费者和企业行为，减少排放，但这些政策的效果通常是不可持续的。要从根本上改变人们的行为，需要的是激励相容的政策和环境，即完善公共交通体系，培养绿色出行意识，使得公交出行成为居民最大化自身效用的最优选择。

(1) 完善城市公共交通系统，合理规划城市布局，保证交通与城市土地利用的协调发展。我国城市居民在出行时选择私家车而非公

公共交通，很大程度上是因为公共交通体系还不够完善，存在线网密度低、站点之间步行距离长、换乘不方便、准点率低等问题，导致公共交通对居民出行的吸引力较低。以北京市为例，公共汽车出行速度(门到门)仅为小汽车出行速度的 40%，完成一次公交出行需 66 分钟，其中 64%为车上时间，23%为步行时间，13%为等车和换乘时间。

改善这种情况，须使交通与城市土地利用协调发展，这是一个长期调整的过程，需要多方的共同配合。中国很多大城市在规划中都突出强调轨道交通引导城市形态发展的理念，但这种理念并没有很好地体现在建筑设计与建设中。轨道交通其实是对机动车替代率极高的一种交通方式。根据谢伦裕（2014）工作论文对北京地铁扩建的研究，2007 年和 2008 年地铁便利性的改善使得受益居民的小汽车出行里程在总出行中的比例下降了 6 个百分点，这意味着当 2015 年北京地铁线路计划全面完成时，北京市区小汽车日出行总距离将下降约 533 万公里，全年仅带来的外部性收益就将高达 3.8 至 20 亿美元。就目前情况看，轨道交通车站、住宅、商业设施等各种建筑物之间并未实现有机整合，步行距离过长、步行路线不合理、步行环境差等问题比比皆是，大大降低了轨道交通服务的吸引力，间接刺激了居民对小汽车的需求和使用¹⁰。借鉴东京、新加坡等城市的经验，城市的扩张应当主要沿着轨道交通线路发展，并注重对轨道交通车站周边及沿线土地进行综合开发，避免城市的无序蔓延。(2) 提倡绿色出行，增强环保意识

¹⁰ 我国土地开发主要是政府主导，像地铁这样大项目的开发必然涉及到多方利益博弈，对于政府来讲为了能出政绩和减少各种不必要的麻烦，可能会选择一些人口密度少，甚至荒一些的地区来发展地铁，所以很难保证做到地铁开发和居住区以及商场的有效结合。其实，全世界范围内也只有个别国家地铁开发和商场等结合做的比较好，主要原因是政府将地铁开发以及周边商场或者房地产开发给了同一承包商，所以，为了获取最大利益他们必然考虑综合规划和开发。

识。随着经济的发展，人们的生活质量不断提高，对良好环境的需求也随之增强。近年来，人们对于环保问题的关注程度越来越高，在这样的背景下，通过宣传等方式引导人们的环保行为显得尤为重要。

国际上很多大城市都很重视培养居民的环保意识。伦敦、悉尼等城市从小学就开展步行、自行车上学等绿色出行方式的宣传和教育，从小培养孩子的绿色出行意识。纽约曼哈顿在麦迪逊广场旁边的三车道城市快速路上规划出自行车专用车道，为骑车者提供了良好的出行环境。日本在机动车进入家庭时期，“购车应自备车位，不能侵占公共空间”、“私人小汽车通勤行为奢侈浪费，有损公共利益”等理念深入人心，“让我们停止私人小汽车通勤”的政府宣传口号得到企业和公众的普遍认可。

我国在进行环保宣传时，应当与保障绿色出行环境相结合。绿色出行概念近年受到中国各大城市的日益关注，如倡导“无车日”、机动车限行、建设公共自行车系统等，在一定程度上推动了绿色出行体系的建设。但与此同时，人行道和自行车道被随意停放的小汽车挤占，骑车者不得不在机动车流中穿行。日益恶化的绿色出行环境，使不少出行者对绿色出行方式望而生畏，导致交通结构恶化。所以为绿色出行营造良好的环境是推进绿色出行理念的前提和关键。良好的环境不仅仅包括政策上、设施上的环境，更包括意识上的环境。要将以车为本的思想向以人为本的思想转变，避免挤占或蚕食自行车和步行空间，改变盲目压缩自行车和步行空间的做法，同时要加强行人、自行车安全过街设施建设，严格管理占用自行车道和人行道停放机动车的

行为。

4 结语

雾霾治理是一个相对缓慢、艰辛的过程。国际雾霾治理有经验也有教训，而即使是成功的城市，也往往花费了数十年的努力才赶走了雾霾重见蓝天。目前我国雾霾污染情况比较严重，与雾霾相关的大气污染物，如 $PM_{2.5}$ 、氮氧化物、臭氧等，在重点区域严重超标。从来源上看，交通排放对雾霾的贡献率很高，在城市中表现尤为明显。所以，对交通排放进行控制是解决雾霾问题的关键手段之一。我国由于机动车污染控制起步较晚，虽然机动车排放标准不断提高，但低标准车仍占全国机动车保有量的较大比重，加上低标准机动车的排放因子达国标4标准机动车的十倍以上，因此从总体上拉高了我国平均单车排放水平。另外，我国车用油品质提升缓慢，且与机动车排放标准不匹配，极大制约了提高机动车排放标准的减排效果，且会对高排放标准的车辆造成损害。而在过去十年间机动车保有量迅猛增加，小汽车出行比例不断提高，导致机动车行驶总里程飞速增长，尾气排放量也随之激增。再加上交通规划的落后，道路拥堵严重，使得尾气污染进一步恶化。借鉴国际经验，再结合我国机动车和交通系统的特点，我们从降低单位汽车排放量、控制机动车数量和改善交通结构这三个方面提出尾气排放的治理办法。这些治理办法不管需要依靠经济手段还是行政手段，从短期和长期的角度，从效果、效率和公平的角度，都有各自的优势和局限。政策制定者需要综合考虑，有机整合治理办法，以在最短的时间内以最小的成本赢得这场雾霾治理之战。

参考文献

- 【1】郭继孚,刘莹,余柳. 对中国大城市交通拥堵问题的认识,《城市交通》,2011,9(2):7—14.
- 【2】国家环境保护部,《中国机动车污染防治年报》,2013.
- 【3】国家统计局,《中国统计年鉴》,2002-2011.
- 【4】国际环境保护部,2013年重点区域额和74个城市空气质量状况,2014.
http://www.mep.gov.cn/gkml/hbb/qt/201403/t20140325_269648.htm
- 【5】刘家琰,世界油品标准发展趋势及中国相关问题思考,国际石油经济,2008(5):16—20.
- 【6】潘小川,李国星,高婷.,《危险的呼吸——PM2.5的健康危害和经济损失评估》,北京,中国环境科学出版社,2012.
- 【7】清华大学中国车用能源研究中心,《中国车用能源展望》,2012.
- 【8】世界卫生组织,《疾病负担报告》,2010.
- 【9】唐孝炎,《大气环境化学》,高等教育出版,1990年第28页.
- 【10】魏嘉,吕阳,付柏淋.,我国雾霾成因及防控策略研究,《环境保护科学》,2014年第5期.
- 【11】王润清,雾霾天气气象学定义及预防措施,《现代农业科技》,2012(7).P44.
- 【12】谢伦裕,城市轨道交通建设是否能够有效减少小汽车出行? --基于北京地铁扩建的实证分析,《人大国法院专题研究报告》,2014年1月总第15期。
- 【13】中国科学院可持续发展战略研究组,《中国新型城市化报告》,2012.
- 【14】中国气象局,2012.
http://www.cma.gov.cn/2011xzt/20120816/2012081601_2/201208160101/201209/t20

120912_185010.html

【15】中国汽车流通协会.《中国汽车市场年鉴》，2002-2011.

【16】张军英,王兴峰. 雾霾的产生机理及防治对策措施研究,《环境科学与管理》, 2013(10).P157—165.

【17】 Yang,J.,Liu,Y.,Qin,P.,Liu, Antung A., A review of Beijing's vehicle registration lottery: Short-term effects on vehicle growth and fuel consumption. Energy Policy (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.055i>

【18】 LSE cities, Urban Age Cities Compared, 2011.
<http://lsecities.net/media/objects/articles/urban-age-cities-compared/en-gb/#rd?sukey=f64bfa68330f696ac25f6b359272720d96acc08fecf161ff611b58c462ebb7b6e6a663e263d88196297c920af4e611ff>

【19】 Pan,D., Key Transport Statistics of World Cities. JOURNEYS.
2013(9).P105—112.

【20】Pan, X. L., Yan, P., Tang, J., Ma, J.Z., Wang, Z. F., Gbaguidi, A., Sun, Y.L., 2009, Observational study of influence of aerosol hygroscopic growth on scattering coefficient over rural area near Beijing mega-city. Atmos. Chem. Phys. 9: 7519–7530.

【21】 Yang, G., Wang, Y., Zeng, Y., Rapid health transition in China, 1990—2010: findings from the Global Burden of Disease Study 2010. Lancet, 2013, 381: 1987—2015.

供稿：中国人民大学国家发展与战略研究院。所有权利保留。任何机构或个人使用此文稿时，应当获得作者同意。如果您想了解人大国发院其它研究报告，请访问 <http://nads.ruc.edu.cn/more.php?cid=402>。



人大国发院微信