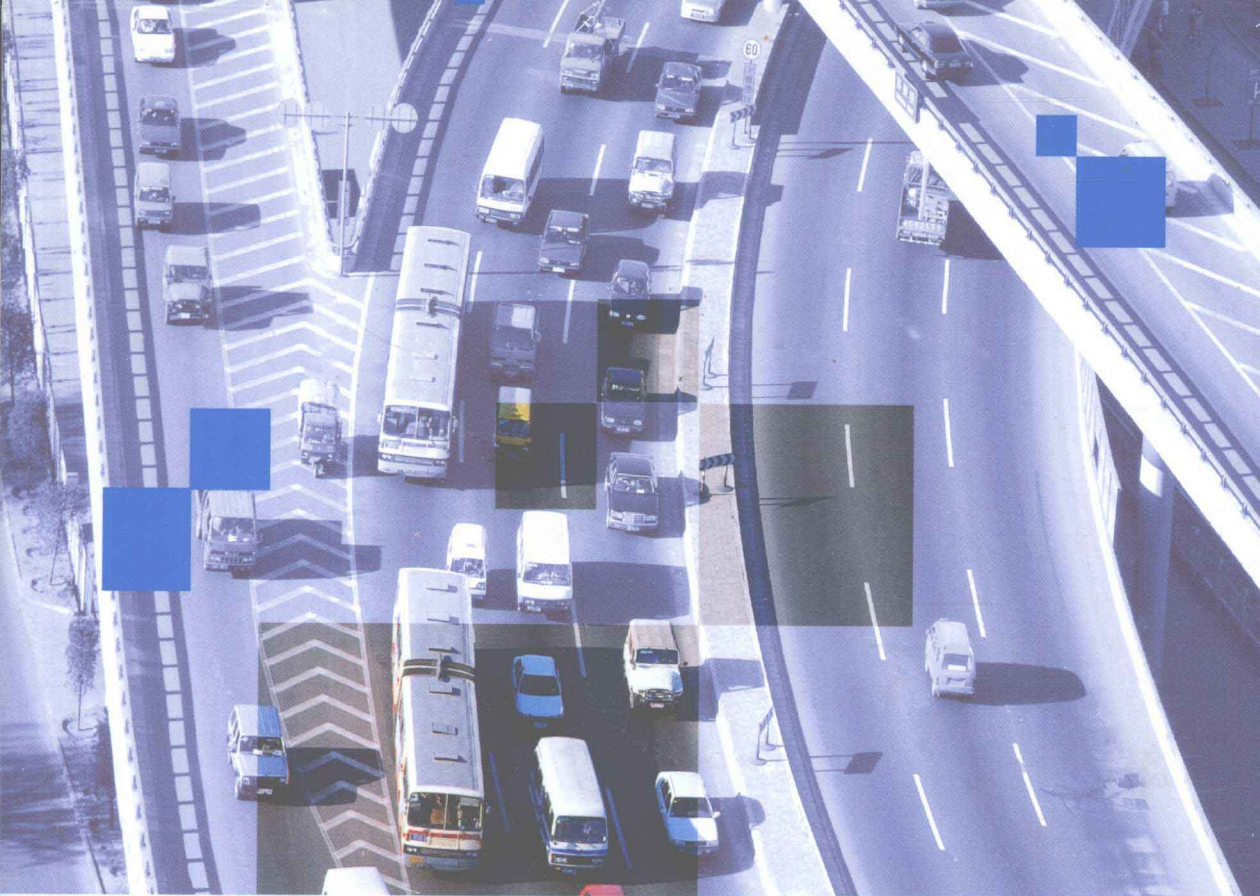




# 机动车尾气测量与预测

An Introduction to Vehicle  
Emissions Measurement

---

张凯山 著



科学出版社

# 机动车尾气测量与预测

张凯山 著

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书主要内容是介绍机动车尾气测量和排放预测模型的建模方法。全书重点放在如何利用实际测量的数据,特别是使用便携式尾气测量系统进行尾气排放测量,并建立尾气排放预测模型,为排放清单的计算提供相对可靠的依据。系统阐述了机动车尾气的测量方法、便携式仪器的测量原理和实际应用、机动车尾气排放的影响因素及其量化分析、机动车尾气排放的预测与建模方法、尾气排放控制与未来发展趋势。

本书适宜作为高等院校环境科学与工程(特别是大气污染控制)、交通环境工程以及相关专业的本专科教材,也可以作为相关专业研究人员、企事业单位工作人员以及环境管理人员的参考书。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

机动车尾气测量与预测 / 张凯山著. —北京:科学出版社, 2012.5

ISBN 978-7-03-033982-9

I. ①机… II. ①张… III. ①汽车排气-测量 ②汽车排气-预测 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 061220 号

---

责任编辑: 杨 岭 莫永国/封面设计: 陈思思

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年5月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2012年5月第一次印刷 印张: 9

字数: 220千字

定价: 39.00元

# 前 言

随着经济的增长，城市的扩大，私家汽车已逐渐成为人们代步的重要交通工具。但是，我们要认识到机动车在给我们带来极大方便的同时，其排放的尾气也会造成城市空气的污染。因此，了解机动车尾气的排放及有效地控制尾气的排放，已日益得到国际和国内各级环保部门和组织的重视。

我国在机动车尾气方面开展的研究起步较晚，特别是有关机动车尾气排放测量和尾气预测模型等方面的研究经验比较缺乏。因此，本书的写作目的就是介绍国际上这些方面的一些经验和先进技术。本书的取材主要来自作者近 10 年在国内外从事机动车尾气排放测量、预测模型建立等方面的研究经验和成果。作者希望这些经验和成果可以对同行有所帮助，在各方的共同努力下，有效地控制机动车尾气的排放，改善我们的空气质量。特别希望在如下的几方面能提供实践性较强的指导：①如何利用便携式尾气测量系统进行现实驾驶工况下的机动车尾气排放测量；②如何根据研究和工作目的设计实验并对实验数据进行分析；③为未来提高便携式尾气测量系统的精准度提供研究方向。

本书全面介绍了机动车尾气排放的测量和预测方法，重点介绍便携式尾气测量系统的组成、原理和实际的应用，以及如何利用实际测量的数据建立数学模型以进行尾气排放的预测等。本书主要的内容分为机动车尾气排放简介、机动车尾气的测量方法、便携式仪器的测量原理和实际应用、机动车尾气排放的影响因素及其量化分析、机动车尾气排放的预测与建模方法、尾气排放控制与未来发展趋势、影响便携式尾气测量仪器测量精准度的仪器响应时间问题以及附录。

尽管本书提到的许多测量和分析方法也可以适用于不同类型的机动车，如轻型柴油车、公共巴士、天然气汽车、混合动力汽车等，但本书所指的机动车在没有特别说明的情况下，一般都是指轻型的汽油车。所以，机动车和汽车两种术语在不同的章节里有可能互用，这点务请读者注意。

本书涉及的内容有很强的实践性。每一个观点或方法的提出都有相应的例子进行说明。同时也列出相当数量的参考文献供读者进一步深入了解。本书可以作为从事机动车尾气排放研究和环境交通管理的相关人士开展相关研究学习的参考用书，也可以作为高校教师开设机动车尾气污染控制课程和学生在学习机动车尾气污染治理的教学参考书。

在撰写本书过程中得到亲人、朋友和同事的关心、支持和帮助，在个人的成长过程中也得到许多人无私的帮助和关心。笔者无以为报，惟有将此书献给他们！此外，还要特别感谢四川大学引进人才启动资金与教育部新世纪人才支持计划对本书出版给予的经济支持。最后，本书的很多研究都是在美国国家自然科学基金的支持下在美国北卡罗来纳州立大学进行的。笔者这里一并致谢。

# 目 录

## 前言

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 第 1 章 机动车尾气排放简介                | ( 1 )  |
| 第 2 章 机动车尾气的测量方法               | ( 6 )  |
| 2.1 污染物的测量方法                   | ( 9 )  |
| 2.1.1 CO、CO <sub>2</sub> 的分析方法 | ( 9 )  |
| 2.1.2 HC 的测量分析方法               | ( 9 )  |
| 2.1.3 NO <sub>x</sub> 的测量分析原理  | ( 10 ) |
| 2.1.4 颗粒物的测量方法                 | ( 10 ) |
| 2.2 机动车尾气的测量方法                 | ( 12 ) |
| 2.2.1 功率测试机方法                  | ( 14 ) |
| 2.2.2 遥感设备测量                   | ( 14 ) |
| 2.2.3 隧道测量                     | ( 15 ) |
| 2.2.4 车载测量系统                   | ( 16 ) |
| 2.3 车载尾气测量系统的发展趋势              | ( 17 ) |
| 参考文献                           | ( 17 ) |
| 第 3 章 便携式尾气测量系统的测量原理和实际应用      | ( 21 ) |
| 3.1 仪器测量中尾气排放量的计算              | ( 21 ) |
| 3.1.1 燃料的一般分子式                 | ( 21 ) |
| 3.1.2 燃耗率和污染物的质量排放率            | ( 22 ) |
| 3.2 现实工况下尾气测量的实验设计             | ( 25 ) |
| 3.2.1 可控制因素                    | ( 25 ) |
| 3.2.2 不可控制因素                   | ( 27 ) |
| 3.3 实验测量仪器的安装                  | ( 29 ) |
| 3.4 实验数据的质量控制和数据的后处理分析         | ( 31 ) |
| 3.4.1 引擎扫描仪和气体分析仪的同步错误         | ( 32 ) |
| 3.4.2 引擎扫描仪的错误                 | ( 32 ) |
| 3.4.3 气体分析仪的错误                 | ( 35 ) |
| 参考文献                           | ( 39 ) |

|                                 |         |
|---------------------------------|---------|
| <b>第 4 章 机动车尾气排放的影响因素及其量化分析</b> | ( 40 )  |
| 4.1 坡度对尾气排放的影响                  | ( 40 )  |
| 4.1.1 道路坡度的测量                   | ( 40 )  |
| 4.1.2 LIDAR 数据                  | ( 42 )  |
| 4.1.3 用 LIDAR 数据进行道路坡度预测的方法     | ( 43 )  |
| 4.1.4 二元线性回归求道路坡度               | ( 44 )  |
| 4.1.5 影响道路坡度预测的精准度              | ( 44 )  |
| 4.1.6 方法的验证                     | ( 46 )  |
| 4.1.7 道路坡度用于尾气预测模型              | ( 47 )  |
| 4.2 汽油燃料组分对尾气排放的影响              | ( 49 )  |
| 4.3 环境温度和湿度对尾气排放的影响             | ( 51 )  |
| 4.4 现实条件下各影响因素的量化分析             | ( 52 )  |
| 4.4.1 实验设计                      | ( 52 )  |
| 4.4.2 最小测量时间要求分析                | ( 57 )  |
| 4.4.3 结果分析与讨论                   | ( 58 )  |
| 参考文献                            | ( 72 )  |
| <b>第 5 章 小尺度尾气排放预测模型建模</b>      | ( 78 )  |
| 5.1 汽车尾气排放模型简介                  | ( 78 )  |
| 5.2 小尺度尾气排放预测模型建模               | ( 80 )  |
| 5.2.1 数据测量和测量数据库的建立             | ( 81 )  |
| 5.2.2 统计模型方法的选择                 | ( 81 )  |
| 5.2.3 线性回归一些适用标准                | ( 82 )  |
| 5.2.4 建立尾气排放模型的方法               | ( 83 )  |
| 5.2.5 模型变量的选择                   | ( 84 )  |
| 5.2.6 车内可观测数据模型 (IOVM)          | ( 89 )  |
| 5.2.7 车外可观测数据模型 (EOVM)          | ( 90 )  |
| 5.2.8 模型的评价和验证                  | ( 91 )  |
| 5.2.9 案例分析                      | ( 92 )  |
| 参考文献                            | ( 111 ) |
| <b>第 6 章 仪器响应时间分析</b>           | ( 114 ) |
| 6.1 量化 PEMS 的响应时间               | ( 114 ) |
| 6.2 测量仪器的数学模拟                   | ( 120 ) |
| 6.3 仪器响应时间对解释现实数据的意义            | ( 123 ) |
| 6.4 提高准确性的策略                    | ( 124 ) |
| 6.5 BCT 变换                      | ( 124 ) |

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| 参考文献.....                       | (126)        |
| <b>第7章 机动车尾气排放控制未来发展趋势.....</b> | <b>(128)</b> |
| 7.1 控制标准 .....                  | (128)        |
| 7.2 新能源汽车和低排放汽车 .....           | (129)        |
| 7.3 未来发展方向 .....                | (130)        |
| 参考文献.....                       | (131)        |
| <b>附 录.....</b>                 | <b>(133)</b> |



# 第 1 章 机动车尾气排放简介

机动车的出现和快速发展在给人类带来了巨大的经济繁荣和生活上的方便的同时,也带来了严重的环境问题。首先,机动车保有量前所未有的增加使得机动车成为能源的主要消耗者。以美国为例,2007 年,在美国登记注册的载客机动车达 2.5 亿辆(DOT, 2007)。与机动车相关的道路交通领域每年的能源消耗占美国国家全部能源消耗的 20%<sup>[1]</sup>。就中国而言,过去 10 年经济的高速发展,使得汽车保有量以平均每年 11% 以上的速度增长<sup>[2]</sup>,在大城市,更是以 20% 以上的速度增长<sup>[3]</sup>。例如,截至 2011 年 6 月底,全国机动车(含汽车和摩托车)的总保有量达 2.17 亿辆<sup>[4]</sup>。到目前为止,我国汽车的保有量已列全球第二,仅次于美国<sup>[5]</sup>。汽车工业的能源消耗也日益增加。以 2008 年为例,汽车工业的能源消耗已占国内石油消耗总量的 50% 以上<sup>[6]</sup>。其次,机动车在消耗能源的同时,由于燃油的完全燃烧、不完全燃烧、挥发、燃油的品质和组分等原因,也向大气排放了大量的尾气。这其中包括一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、碳氢化合物(HC)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、颗粒物(PM)、硫化物(SO<sub>x</sub>)等。以美国为例,机动车每年向大气排放的 NO<sub>x</sub>、CO、挥发性有机物(VOC)和 PM10 分别占整个国家全部气体排放的 40%、56%、28% 和 19%<sup>[7]</sup>。在中国,由于汽车尾气的排放而导致的空气污染也日趋严重。机动车尾气排放已成为各城镇特别是大中城市空气污染的主要来源。以北京为例,据估算,每年从机动车排放的 NO<sub>x</sub>、CO 和 VOC 分别占全部排放的 70%、76% 和 46%<sup>[8]</sup>。从尾气排出的可吸入颗粒物(PM2.5)也已成为北京、上海等大城市的空气中颗粒物的主要物质<sup>[9-11]</sup>。如今许多大城市的灰霾天气出现的频率的增加也和机动车于尾气的排放有着密切的关系<sup>[12]</sup>。

人类开始意识到机动车尾气排放的危害,特别是光化学烟雾的危害源于 1943 年洛杉矶的大气污染事件。当时加州的登记注册机动车大概有 270 万辆,年行驶的公里数超过 380 亿 km<sup>[13]</sup>。由于当时机动车的尾气排放没有控制,且大部分的机动车都集中在大洛杉矶地区。机动车尾气造成的大气污染相当严重。在那一年的夏天,大气的能见度只有三个街区长(约 200 m),许多人都出现了眼睛不适、呼吸道难受、恶心和呕吐等症状。最初对原因的判断是周边的化工厂废气排放所致。但在把周边的化工厂关掉之后,空气污染的情况却没有因此而改善<sup>[13]</sup>。受此次事件的触动,为了改善空气质量,洛杉矶市于 1947 年成立了空气污染管理

局,从事污染源的认定与污染控制等方面的研究与管理。而在那个阶段的欧洲,由于机动车尾气排放而导致的污染事件也频频发生。如1952年、1956年的伦敦光化学烟雾先后致使超过5 000人死亡。后来光化学烟雾被艾里·哈根史密特博士(Dr. Arie Haagen-Smit)证实是由于 $\text{NO}_x$ 和HC在紫外光的照射下形成的。从某种意义上来说,这也全面揭开了世界对机动车尾气排放研究和控制的序幕!

机动车尾气对人体健康及环境的危害已经为多项研究所证实。机动车排放尾气中的CO、 $\text{NO}_x$ 、HC对近地层空气中臭氧、颗粒物、酸雨等的形成有着重要的贡献,并且很大程度上减少了空气的可见度<sup>[14-16]</sup>。例如,CO会降低血液的携氧能力,加重心肺疾病,并可导致头痛、疲劳、眩晕等。 $\text{NO}_x$ 可导致黄棕色的光化学烟雾,引发呼吸道疾病,并且是近地层臭氧的前兆物。HC则可导致癌症,同时也是近地层臭氧的前兆物。近地层臭氧主要能导致白色的雾霭,并刺激呼吸道系统,减低心肺功能,加重慢性支气管疾病如哮喘等的症状<sup>[17]</sup>。

人类开始意识到机动车尾气排放的危害,并开始开展与机动车尾气排放相关的工作,制定尾气排放标准。相关研究工作中最主要的就是关于尾气排放清单的确定问题。因为这是制定尾气排放标准和空气质量政策的数据基础。然而,尾气排放清单的确定并非想象中那样简单,因为尾气排放在现实实际驾驶的过程中呈现出很大的变化性<sup>[18,19]</sup>。例如,如图1-1所示,机动车在不同的驾驶条件下,所产生的能耗是不同的。其中加速时能耗为大,匀速时次之,然后是减速,最后是怠速。如图1-2所示的HC排放情况与此情况类似。造成机动车尾气排放如此之大的变化性的原因有很多,包括不同的车辆技术、车速、驾驶行为、路况、交通状况及环境条件等。所以,即使是同样的车,在不同的时间和不同的驾驶条件下,所产生的排放也会有显著的差别<sup>[20]</sup>。

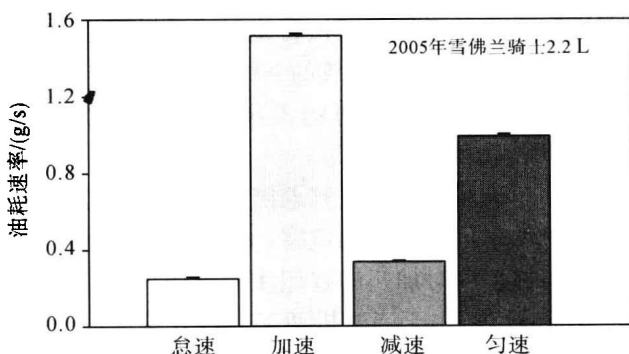
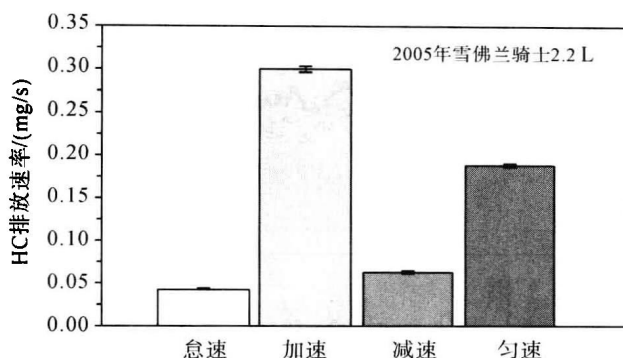
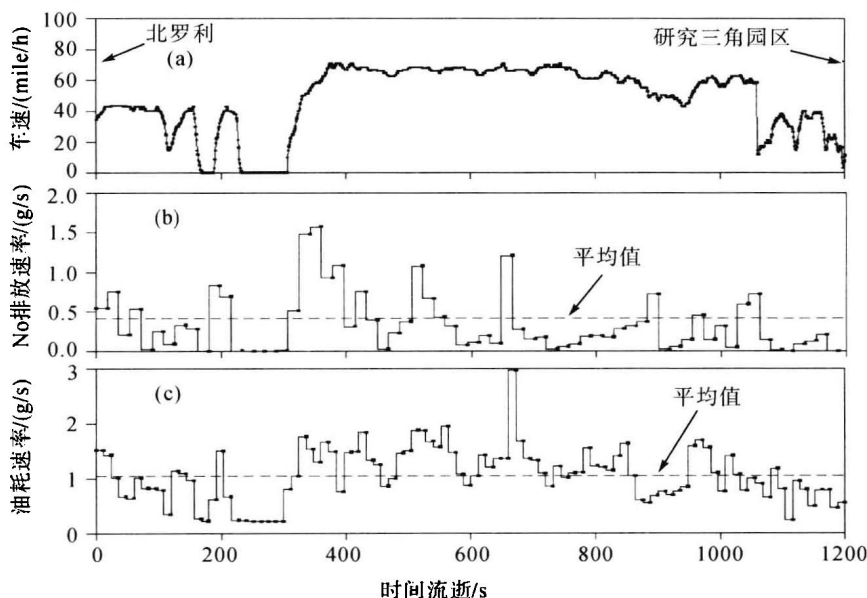


图 1-1 4 种驾驶工况下的机动车能耗<sup>[20]</sup>

图 1-2 4 种驾驶工况下的机动车碳氢化合物排放<sup>[20]</sup>

如图 1-3 所示，即使机动车在固定的行驶路线上行驶，在不同的时间，能耗和尾气排放也有明显的不同<sup>[21]</sup>。如图 1-4 所示，汽车行驶通过不同的地点，其排放的尾气也有所不同。不同的车，即使在相同的地点，排放也不尽相同<sup>[22]</sup>。这说明汽车尾气的排放具有时空变化的多样性。所以在计算汽车尾气排放清单时，这些因素都需要加以考虑。只有这样，方能获得比较准确的排放清单，以制定有效的控制空气质量的政策。

图 1-3 机动车能耗和尾气排放的时间变化性<sup>[21]</sup>

注：图 1-3 中的数据来源于是用 2005 年雪佛兰骑士 2.2 L 汽车上午在一固定线路上行使时测得的数据，其中 NO 排放速率为 18 s 的平均值而油耗为 12 s 的平均值  
1 mile 约等于 1.61 km

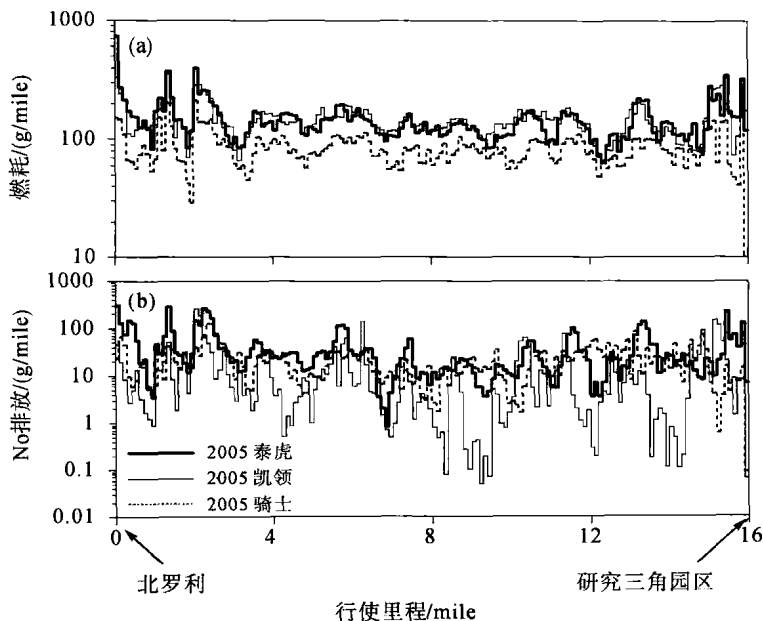


图 1-4 机动车能耗和尾气排放的空间变化性及车与车之间的差别<sup>[22]</sup>

影响汽车尾气排放的因素,如驾驶行为、汽车类型、道路状况(如坡度、交通、环境条件等)等因素已为许多研究学者所证实<sup>[23]</sup>。汽车尾气排放车间(不同车之间)、车内(同一辆车不同驾驶条件)巨大的变化性已经为许多实验测量方法确认和量化。这些测量方法包括实验室的测试、遥感(RS)、车载测量(In-use Measurement)<sup>[24-31]</sup>。正是由于汽车尾气排放巨大变化性的存在,使得高时间分辨率,特别是每秒钟或几秒钟内的尾气预测变得异常困难。这也是现在许多研究者主要的研究方向,即量化汽车尾气排放的变化性和计算准确的尾气排放清单。

在行驶过程中,机动车尾气排放的变化性对污染源的控制和制定相应的政策提出了巨大的挑战。这是因为在制定有效的环境质量政策之前,首先需要确定源项的排放量。准确的机动车尾气的预测对于有效的空气质量管理相当重要<sup>[14, 15]</sup>。按美国国家研究咨询委员会(NRC)的分类,机动车尾气排放清单的确定有多种尺度,包括大尺度、中尺度、小尺度。大尺度指的是区域或国家范围内的排放清单预测。通常采用的数据是车辆的数量和车辆行驶里程(VMT)。中尺度指的是单一或多条行车路线的排放清单预测。虽然在预测方法上和大尺度类似(采用车辆的数量和行驶里程),但中尺度时空上的分辨率相对较高(指的是较短的时间和距离内)。车辆的多少和行驶里程可以具体按道路的等级或者交通的拥堵情况再细分,并分别计算出相应的排放清单。小尺度的排放清单计算则相对于中尺度排放清单的计算又有高的时空分辨率,如排放速率可以是逐秒计算。当然,小尺度

的排放清单的计算可以是瞬时的,也可以是多种驾驶工况的,或者是连续的,并且常用瞬时的运行条件参数来计算。

以大、中尺度计算方法为基础的尾气预测模型包括 MOBILE6、EMFAC 2000、COPERT 等<sup>[15]</sup>。例如,MOBILE6 可用于计算区域或国家范围内的排放清单,也可用于计算按不同类型的道路及交通状况的尾气排放。

但是,大、中尺度的排放因子模型却无法用于小尺度的尾气排放。这是因为大、中尺度的因子模型采用的是整体集中的数据,如车辆总数和总里程等<sup>[14,15,32]</sup>。又比如说,在评价交通设计和管理措施的改善对交通状况和机动车驾驶特征是否有显著影响时,使用大、中尺度的尾气因子排放模型是不合适的<sup>[14,15]</sup>。而且,用平均速度的方法也不足以描述和评价由于机动车的速度变化而带来的尾气的变化性<sup>[15]</sup>。

与大、中尺度的模型相比,小尺度的模型情况恰恰相反。小尺度的计算方法可以用于大、中尺度的尾气排放计算。比如说,小尺度计算模型可以为小尺度的交通模拟模型、中尺度的尾气模型和大气扩散模型提供汽车尾气排放数据<sup>[15]</sup>。因此,小尺度的尾气模型就显得越发重要。因为它不但可以在汽车尾气排放评价的空间上更为细致(更短的距离),可以评价各种驾驶特征的尾气排放以及量化尾气排放的瞬时变化性,而且可以为空气质量模型的准确预测提高数据依据<sup>[14,15]</sup>。

正因为如此,获取有代表性的现实条件下的汽车尾气排放和活动数据以建立小尺度的尾气排放模型显得非常重要,而且也是非常必要的。且因为汽车尾气排放的巨大变化性,用于小尺度尾气排放模型建模的数据需要包含广泛的变化性。这不但对尾气排放而言是这样,对汽车的活动特征也是一样。

车间、车内的尾气排放的变化性有两种策略来捕捉。一种策略是重点量化车间的变化性,即测试数量巨大的汽车。当然,这种测量方法的费用是比较高的。另外一种策略是重点量化车内的变化性。因此,在测试车辆的数量上可以减少。但对于每一辆车的测量时间需要加长,以捕捉尽可能多的驾驶工况。但问题是,到底需要多长时间才够捕捉单一车辆的尾气排放变化性?所以,这里就需要一个非常有效的实验设计。根据以往的经验,实验设计的策略可以先对数量较少的汽车进行长时间的测量,根据测量数据分析得出最少的数据(也即测量时间)要求,然后减少对后续的测试车辆的测量时间。如此一来,就可以增加测试测量的数量,既捕捉到了车内的尾气排放的变化性,又可以兼顾捕捉车间的尾气排放变化性。

汽车尾气排放的测量方法有实验室测量和现实工况下的测量两种方法。实验室测量主要到实验室内按假定的驾驶工况进行测量,优点是可重复,但驾驶工况的代表性不强。在现实工况下的测量是在实际的道路上进行测量。其优点是测量的是实际运行的工况,特别是便携式测量系统,比较灵活,可随车,且可以在任何天气条件下进行,但测量的准确度是一个挑战。

结合本书的主要特点,后面章节将重点介绍机动车尾气测量和排放模型的建模方法。特别是如何利用便携式尾气测量系统进行现实驾驶工况下的尾气测量,并利用实测的数据,建立尾气排放预测模型,为排放清单的准确计算提供相对可靠的依据。

### 参 考 文 献

- [1]Department of Transportation. Bureau of Transportation, number of vehicles and vehicle classification. Retrieved. 2006-06-08.
- [2]Zhang Q, et al. Vehicle Emission Inventories Projection based on dynamic emission factors: A Case Study of Hangzhou, China. Atmospheric Environment, 2008, 4: 4989-5002.
- [3]State Environmental Protection Administration of China(SEPA). In: 2004 Annual Plenary Meeting of Joint Research Network on Vehicle Emission Control Technologies, 2004.
- [4]2011<http://www.mps.gov.cn/n16/n1252/n1837/n2557/2843627.html>,
- [5]汽车中国, 2011. 位居全球第二, 汽车保有量突破一亿辆. <http://carschina.com/guoneicheshi/20110917321641.html>.
- [6]广州汽车工业集团有限公司. 中国汽车技术研究中心研究报告. 2008.
- [7]EPA. 1970-2002 Average annual emissions, all criteria pollutants, Current Emissions Trends Summaries from the National Emission Inventory, U. S. Environmental Protection Agency, August 2005, <http://www.epa.gov/ttn/chief/trends/index.html>, accessed August 21, 2006.
- [8]Hao J, et al. Contribution of major energy sources to air pollution in Beijing and countermeasure analysis. China Science (D, Earth Sciences), 2005, 35 (additional 1): 115-122.
- [9]Zhang Y. Studies on PIXE of inhalable atmospheric particulate matter in winter of Shanghai. China Environmental Science(in Chinese), 2005, 25(supplement issue): 105.
- [10]Song Y, et al. Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Beijing using principal component analysis/absolute principal component scores and UNMIX. Science of the Total Environment, 2006, 372(1): 278-286.
- [11]Feng J, et al. Characteristics of organic matter in PM<sub>2.5</sub> in Shanghai. Chemosphere, 2006, 64(8): 1393-1400.
- [12]安莹. 南京灰霾天 50 年增百倍, 汽车尾气是祸首. 中国改革报, 2008, 9.
- [13]California Air Resources Board, 2011.
- [14]TRB(1995). Expanding metropolitan highways; implications for air quality and energy use. Transportation Research Board, National Research Council; Washington DC.
- [15]NRC(2000). Modeling Mobile Source Emissions. National Research Council, National Academy Press; Washington, DC.
- [16]EPA(2004). National Air Quality and Emissions Trend Report-Continued Progress Report through 2003, EPA 454-R-03-005, U. S. Environmental Protection Agency; Research Triangle Park, NC.
- [17]EPA(2003). Draft Report on the Environment. EPA 260-R-02-006, U. S. Environmental

Protection Agency; Washington, DC.

- [18] Zhang K. Micro-scale On-Road Vehicle-Specific Emissions Measurement and Modeling, PhD Dissertation, 2006. North Carolina State University, Raleigh, NC.
- [19] Frey H C, Zhang K, Roupail N M. Fuel Use and Emissions Comparisons for Alternative Routes, Vehicles, Road Grade and Time Of Day Using In-use Measurements; Environ. Sci. Technol, 2008, 42(7): 2483-2489.
- [20] Frey H C, Zhang K. In-Use Measurement of the Effects of Road Variables. Workshop on Measurement of Real-World Vehicle Fuel Consumption, Ontario, Canada, Feb 21-22, 2006.
- [21] H Christopher Frey, Kaishan Zhang. Implications of Measured In-Use Light Duty Gasoline Vehicle Emissions for Emission Inventory Development at High Spatial and Temporal Resolution. Proceedings of 16th Annual International Emission Inventory Conference, 'Emission Inventory: Integration, Analysis, and Communication,' Raleigh, North Carolina, 2007, May 15-17.
- [22] Fu L, et al. Assessment of Vehicular Pollution in China. Journal of the Air & Waste Management Association, 2001, 51(5): 658-668.
- [23] Frey HC, et al. Colyar(2002), Use of Onboard Tailpipe Emissions Measurements for Development of Mobile Source Emission Factors. In Proceedings of U. S. Environmental Protection Agency Emission Inventory Conference, Atlanta, GA, April.
- [24] Frey H C, D A Eichnberger. Quantification of Uncertainty in Remote Sensing - Based School Bus CO and Hydrocarbon Emission Factors. In Proceedings of the 90th Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, 1997. Pittsburgh, PA, June, Air & Waste Management Association; Pittsburgh, PA.
- [25] Kini M D, H C Frey. Probabilistic Evaluation of Mobile Source Air Pollution; Volume 1, Probabilistic Modeling of Exhaust Emissions from Light Duty Gasoline Vehicles. Prepared by North Carolina State University for Center for Transportation and the Environment, Raleigh, 1997, December.
- [26] Britt A H, D A Niemeier. Characterizing the Effects of Driver Variability on Real-World Vehicle Emissions. Journal of Transportation Research, Part D, 1998, 3(2): 117-128.
- [27] Roupail N M, et al. ITS Integration of Real-Time Emissions and Traffic Management System, IDEA Project No. ITS-44. Prepared by North Carolina State University for the IDEA Program, Transportation Research Board, Natitnal Research Council; Washington DC, 2000.
- [28] Frey H C, et al. Measurement of On-Road Tailpipe CO, NO, and Hydrocarbon Emissions Using a Portable Instrument. In Proceedings of the 95th Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, 2001, June, A&WMA; Pittsburgh, PA.
- [29] Frey HC, S Bammi. Quantification of Variability and Uncertainty for Selected Nonroad Mobile Source Emission Factors. In Proceedings, U. S. Environmental Protection Agency Emission Inventory Conference, Atlanta, GA, 2002, April.
- [30] Frey H C, S Bammi. Quantification of Variability and Uncertainty in Lawn and Garden

Equipment NO<sub>x</sub> and Total Hydrocarbon Emission Factors. Journal of the Air & Waste Management Association, 2002,52(4): 435-448.

- [31]Marr L C, Harley R A. Modeling the Effect of Weekday-Weekend Differences in Motor Vehicle Emissions on Photochemical Air Pollution in Central California. Journal of Environmental Scientific Technology, 2002,36(19): 4099-4106.
- [32]GAO. Air Pollution: Limitations of EPA's Motor Vehicle Emissions Model and Plans to Address Them; Report to the Chairman. Subcommittee on Oversight and Investigations, GAO/RCED-97-210. U. S. General Accounting Office; Washington, DC,1997.



## 第 2 章 机动车尾气的测量方法

本章介绍的主要内容有①污染物的测量方法；②机动车尾气排放的测量方法。

### 2.1 污染物的测量方法

机动车尾气排放主要污染物包括 CO、CO<sub>2</sub>、HC、NO<sub>x</sub>、颗粒物等。本节主要介绍的是测量这些污染物的物理化学分析方法，测量方法并不只限于实验室内或现实工况下的测量。

#### 2.1.1 CO、CO<sub>2</sub> 的分析方法

CO、CO<sub>2</sub> 的分析方法一般采用非分散性红外线吸收 (NDIR) 分析仪来测量。红外线的波长为 0.8~600 μm (工业上多用 2~15 μm 的电磁波)。大多数分子都可以吸收红外电磁射线。不同的物质有不同的吸收波长，而且不同的物质波长能量级不同。其吸收的能量与气体浓度有关。例如，CO 能吸收波长 4.5~5 μm 的红

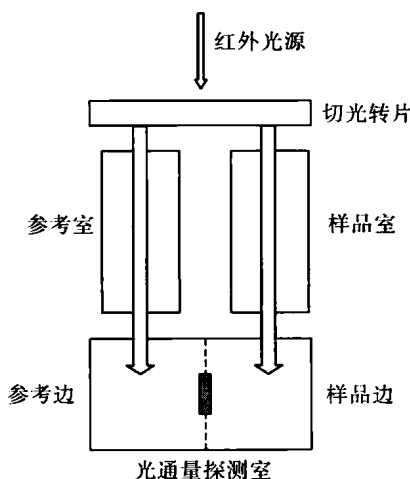


图 2-1 NDIR 仪器测量示意图