

· 专论与综述 ·

城市机动车尾气排放及道路扩散模式综述

刘侃侃¹, 俞延滨^{1,*}, 罗才武², 孙德智¹

(1. 北京林业大学环境科学与工程学院, 北京 100083; 2. 北京工业大学环境与能源工程学院, 北京 100124)

摘要:综述了国内外机动车排放因子模型, 基于开阔型、交叉路口型和城市峡谷型 3 类城市典型交通道路, 探讨了各种机动车尾气扩散模式的优缺点和适用性。提出今后的研究重点是利用城市生态系统中的植物群落对汽车排放污染物扩散的阻碍和吸附, 探索绿化植物对机动车尾气污染扩散的阻散特征; 加强 CFD 软件在城市道路空气质量研究领域的应用; 在 GIS 平台下, 结合扩散模式开发环境综合管理系统。

关键词:排放因子; 扩散模式; 城市典型道路; 机动车排气

中图分类号: X169 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-2009(2009)06-0008-07

Summary of Vehicle Emission and Diffusion Models in Typical Urban Streets

LIU Kan-kan¹, YUN Yan-bin^{1,*}, LUO Cai-wu², SUN De-zhi¹

(1. School of Environmental Science & Engineering, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. School of Environment & Energy Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: The emission factor models of vehicles at home and abroad were reviewed based on three typical types of open, intersection and urban gorge traffic. The advantages and disadvantages were discussed on different vehicle exhaust diffusion models. The research emphasis in the future would be on the barriers and adsorption of vehicle exhaust pollutants by plant communities of urban ecological system and explore the dispersion characteristics of vehicle exhaust pollution diffusion by green plants. It made the best of CFD software in research field of urban road air quality. In GIS platform, it was developed for integrated management system combined with the diffusion model.

Key words: Emission factor; Diffusion model; Typical urban streets; Vehicle emission

机动车尾气污染是影响城市大气环境质量的重要因素^[1], 已成为许多城市面临的最严重的交通道路空气质量问题之一, 也是近年来的研究热点。城市交通道路空气质量管理与尾气污染防治是城市环境保护的一项紧迫任务, 应用各种机动车尾气排放模型及扩散模式预测污染物浓度, 是以数学方法描述源与空气质量之间定量关系的主要手段之一, 也是制定机动车排放污染控制对策的基础, 在机动车污染物排放研究中占有重要地位。

许多学者研制和开发了不少针对城市交通道路机动车排放和尾气扩散的模式^[2], 研究方法基本上是在把握城市道路参数、交通参数和气象参数等的基础上, 考察各类机动车排放因子, 运用湍流扩散理论及大气化学理论等确定污染物浓度。其

发展经历了从简单到复杂, 从计算地面最大浓度到计算地面浓度时空分布, 从点源到面源及复合源, 从简单的物理传输到可以模拟多种复杂的化学反应, 从箱模式到多箱模式、复合源高斯模式及数值模式, 从小尺度到大尺度, 并与 GIS 和 RS 手段相结合等曲折过程。早期一些模式的共同缺点是只能模拟极度简化的交通道路, 而实际城市交通道路从建筑物、绿化带等布局到交通流场等情况远比这

收稿日期: 2009-04-26; 修订日期: 2009-09-22

基金项目: 环保公益性行业科研专项基金资助项目 (200709011)

作者简介: 刘侃侃 (1984—), 男, 甘肃静宁人, 在读硕士, 主要从事城市交通道路空气质量研究。

*通讯作者: 俞延滨 (1954—), 男, 副教授, 从事膜技术与水处理技术的研究开发。

些模式所考虑的情况复杂。另外,我国主要以引进国外模型为主,而国外的模式在大量的实验基础上研究开发,引入时模式的本土化是一大难点。国内针对城市交通道路环境空气质量的监测工作基础还比较薄弱,开发的许多模式主要限制于计算市区内已成型的交通道路空间内部及上空的交通污染物浓度分布、扩散与消散过程,难以与高速的城市化和交通网络化进程相匹配。

文章结合城市交通道路机动车尾气扩散模拟研究及模式应用现状,全面分析了近年来机动车排放因子模型,以及适用于开渠型、交叉路口型和城市峡谷型 3 类城市典型交通道路的扩散模式,探讨了各个模型模式的优缺点和适用性。评述时对我国应用较多的模型模式进行了概述,对一些较陌生的模型,结合我国高速化和网络化的城市交通进程进行了引入性介绍,旨在为研究我国城市交通道路空气质量提供理论思路和依据。

1 排放因子模型

机动车排放因子的确定是机动车污染控制研究的基础和依据,也是扩散模式的最主要部分。欧美等国家在机动车排放因子的研究上做出了很大的贡献,常用的排放因子模型有 MOB LE^[3-4]、COPERT^[5-6]、ME^[7-8]、CMEM^[9-11]和 MVEI^[12]等。我国目前对机动车污染物排放方面的研究较少,还没有建立一套完整的涉及车型、车龄的排放因子计算模型,主要是引入国外模型并加以修正。

1.1 MOB LE 模型

MOB LE 是美国环保局 (EPA) 开发并推荐使用的宏观排放模型,是基于车龄、平均车速等因素计算车队排放水平的宏观模型,考虑了计算平均排放因子,现已发展到 MOB LE 6.2 版本^[4]。MOB LE 6 设置了 41 个输入参数,以 89 种命令实现参数输入。有些重要的输入参数对排放因子影响较大,在机动车尾气排放控制方面有重要的研究价值,如机动车车型、行驶平均速度、燃油雷氏蒸气压值、环境温度、车里程分布、车龄分布等,其基本原理和计算方法在相关文献中有很多描述。由于影响机动车污染物排放的因素较多,MOB LE 考虑了多种影响因素的修正方法,如环境因素中的温度、湿度和纬度;车用燃料中的硫含量、含氧添加剂及替代燃料;空调负荷影响先从温度、湿度和太阳辐射强度等方面分析计算空调的使用系数,再以道路

类型、平均速度和未开空调时的排放因子拟合空调负荷修正因子。傅立新等^[13]剖析了影响汽车污染排放的各种因素,对 MOB LE 模型的结构和理论基础加以分析,结合我国机动车的实际情况,对模型进行了全面修正,应用于北京,取得了很好的结果。李修刚等^[14]、毕晔等^[15]分别应用 MOB LE 6.2 对南京、北京和上海等城市各车型机动车的 CO、HC、NO_x 等排放因子进行了计算,初步建立了部分城市的排放清单。

目前,MOB LE 模型在我国机动车排放因子计算中有很广泛的应用,在支持城市机动车污染控制宏观决策方面具有很强的指导意义,但随着城市机动车污染控制工作的不断深入和细化,对高分辨率决策支持工具的需求也将越来越紧迫,宏观的 MOB LE 模型已无法满足这种决策需求。另外,由于我国的排放控制水平较低,基础数据较少,在使用 MOB LE 系列模型时有相当一部分参数建立在猜测基础上,因而需要完善我国机动车的相关基础数据。

1.2 COPERT 模型

COPERT 模型源于欧洲委员会 (EC) 开展的机动车排放因子研究,经多年完善,于 2007 年进一步开发得到目前的可由计算机程序实现的 COPERT 模型。该模型采用大量可靠的实验数据,可兼容不同国家的标准和参数变量,为欧洲国家广泛应用。与 MOB LE 模型相比,COPERT 模型更适用于有不同尾气排放标准和很少交通数据资料的国家,还能计算机动车年排放量,可用于开发高时空分辨率的机动车排放数据库^[16]。

由于 COPERT 模型来自与我国发动机技术相近的欧洲,并能兼容我国目前和未来一段时间内的机动车排放控制标准,需要的参数较少,便于推广使用,可计算不同地区不同道路多种行驶工况下的各种机动车排放因子^[17],因而在我国有很广泛的应用。谢邵东等^[17]根据机动车的实际构成、行驶工况和燃油特征,应用 COPERT 模型计算得到 2002 年中国机动车排放 CO、NO_x、NMVOC 和 PM 的排放因子,通过与 MOB LE 模式和台架测试得到的排放因子比较,发现应用 COPERT 模型的计算结果更接近中国机动车实际排放情况。

1.3 ME 模型

加州大学河畔分校工程学院环境研究与技术中心 (CE - CERT)、全球可持续体系研究组织

(GSSR)和国际可持续研究中心 (ISSRC)在美国环保局资助下,共同开发了 ME 模型 (International Vehicle Emission Model),引入了比功率 (VSP)分布状况,以反映车辆运行工况对污染物排放量的影响,提高了模型预测的可靠性,也便于发展中国家进行本土化处理。王海鲲等^[18]、姚志良等^[19]调查了机动车运行特征和技术水平参数,对 ME 模型进行了本土化处理,利用修正后的模型分别计算了上海市、北京市的机动车污染物排放现状,建立了机动车污染排放清单。

1.4 CMEM 模型

CE-CERT、密歇根大学及劳伦斯·贝克利国家实验室 (Lawrence Berkeley National Laboratory)在美国国家合作公路研究项目 (NCHP)资助下,经过 4 年时间合作开发了综合模式排放模型 (Comprehensive Mode Emission Model, CMEM)。该模型是微观模型,能够计算出大量不同类型轻型机动车在不同行驶条件 (如加速、减速、怠速和匀速)下每秒尾气管排放值和油耗量。

CMEM 在我国也曾有应用。何春玉等^[20]分析和研究了北京市机动车污染物的排放特征,收集统计了典型轻型机动车参数,运行 CMEM 模型 Access 2.02 版本计算机动车排放因子,得到的不同交通行驶状况下北京市轻型机动车的 CO_2 、CO、HC 和 NO_x 单车排放因子及各车型综合排放因子与实测排放因子及排放特征有较好的一致性。

CMEM 模型在美国已经过大量的验证工作,与独立的排放测试结果相比较,估算效果很好,对于受到微观形式工况影响的机动车排放因子计算具有独到优势。与 MOBILE 模型相比,当机动车以低速和中速行驶时,两者估算结果一致;高速行驶时,CMEM 估算的 HC 偏高, NO_x 偏低;当速度极低时,CMEM 对各种排放物的估算值均低于 MOBILE 模型。

1.5 MVEI 模型

加利福尼亚州空气资源局汽车排放试验室 (CARB)^[21]采用 MVEI 模式 (Motor Vehicle Emissions Inventory)评价外来车辆。MVEI 由 CALMEAC (California IM Emission Factors Model)、EMFAC、WEIGHT (Activity Weighting Model)和 BURDEN 4 个子模式组成,每个子模式有不同的分工:

CALMEAC 用于在用车监督检查、IM 规程、路边抽检得到的排放数据的基本排放因子计算,依据

不同的年型组、排放控制技术、排放限值,将汽车分为 20 个不同的技术组类,获得基本排放因子;

EMFAC 反映车辆实际工作的排放情况,在计算的排放因子基础上,采用温度、车速、燃油、工况和高排放量 5 个修正系数加以修正,这些参数因车类、技术装置、年型、污染物、排放过程、日历年的不同而变化,此外还考虑了不同起动状态对排放影响的复杂性; WEIGHT 主要生成累计行驶里程、年型不同引起的行车系数和技术分类不同引起的行车系数 3 类数据,行车系数包括车的保有量、行驶里程和起动次数 3 种因素; BURDEN 即分担率,采用 EMFAC 和 WEIGHT 的排放因子,应用各个郡的独特条件,产生每个郡、空气质量盆地和全州的排放清单,以及每个评价年、日历年、夏天或冬天的排放清单,也可以统计燃油消耗量及 SO_2 和铅的排放量,输出为表格方式表示的排放数据。该模式接近加州的实际情况,数据分类科学,根据机动车污染情况的实际变化,每 3 年进行一次模式更新。尽管 CARB 认为该模型在加州应用结果良好,但在我国还未见应用。

2 扩散模式

城市典型交通道路一般分为开阔型、交叉型、城市峡谷型 3 类,每种类型的道路结构各异,因而适用模式也有所区别。

2.1 开阔型道路扩散模式

开阔型道路为城市道路的主干,车流量大,车流速度较快,两侧开阔少阻,污染物易受气象参数影响而快速扩散,尾气污染物浓度与车流量往往有很高的相关性。适用于此类道路的机动车尾气扩散模式较多,主要为基于高斯理论的扩散模式,许多最初开发应用于高速公路机动车尾气扩散的模式也可以移植于城市开阔型道路机动车尾气模拟,模式主要有 CALROADS^[22]、GM^[22]、HWAY^[23]、TEXN-2^[24]、GFLSM^[25]、ISMAP^[26]、TRAQSM^[27]等,在我国以 CALROADS 模式应用最多。

2.1.1 CALROADS 模式

CALROADS 模式是由美国加利福尼亚交通部开发的道路大气扩散模型,包括 CALNE4^[22]、CAL3QHC 和 CAL3QHCR 等 3 个模块。CALNE4 是 CALNE 模式系列的最新版本,基于高斯扩散方程,应用混合层的概念来描述道路上方污染物的扩散,其基本思路是将道路划分为一系列线源单元

(简称线元), 分别计算各线元排放的污染物对接受点浓度的贡献, 然后再求和计算整条道路流动源在接受点产生的污染物浓度。

CALRoads模式在欧美国家各大城市已有广泛应用, 也是在我国应用最成熟的扩散模式之一。李莉等^[28]应用 CALRoads模式对上海市典型交通道路的 CO 作预测, 发现该模式在模拟周围较空旷主干道 CO 质量浓度时具有较好的结果, 与实测结果的相关性在 0.01 的显著性水平上达到了 0.83。兰涛^[29]对该模式的 CALNE4 子模式进行了修正, 对西安市主干道机动车 CO 污染扩散进行模拟, 模拟浓度与实测浓度的比值在 [0.5, 1.5] 区间的比例接近 93.75%。

CALRoads模式仅限于预测地形条件相对简单、气象条件相对稳定的高速公路和城市开阔型道路及停车场等场所所在微尺度区域内受点的污染物质量浓度, 而且输入参数较繁杂, 和 GIS 结合以进行空间数据管理、分析和可视化的难度较大。

2.1.2 TRAQSM 模式

TRAQSM 模式 (TRaffic Air Quality Simulation Model) 是一个新模式, 由中佛罗里达大学 (University of Central Florida) 开发。TRAQSM 模式将每辆车视为一个独立的移动点源, 其排放因子由 1993 年—1994 年数据的模态乘数回归方程计算^[30]。该模型考虑到风向对机动车尾气的影 响, 基于高斯理论, 应用 VB 和 C++ 编程和计算, 基本公式见文献 [27]。机动车尾气受风向影响示意图 1(a)(b)。

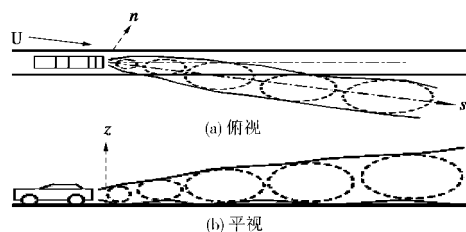


图 1 机动车尾气受风向影响示意

2.2 交叉路口扩散模式

典型交叉路口的空气质量是反映城市环境空气质量的窗口之一, 对整个城市的环境空气质量及城市国民经济和生态环境的可持续发展所产生的影响不容忽视。交叉路口一般包括十字交叉路口、T 型路口、环行路口及高架立交桥等。交叉口在城

市道路中分布众多, 虽然各支路两旁布满高低错落的建筑物, 地形结构复杂, 但每个交叉口在机动车运行和排放上有许多共同点, 即交叉口车流汇集, 同时有正常行驶和怠速或减速、加速的混合车流, 且由于转弯和直行间的协调, 导致车辆在交叉口处加、减速频繁, 怠速时间长, 尾气排放量增加, 污染物浓度极易超标。

从 20 世纪 70 年代开始, 美国研究人员开发了不少适用于道路交叉口的机动车排气污染模拟程序, 主要有 UCD2001^[31]、MM^[32]、TEXN2^[25]、CAL3QHC、HROAD、FLNT (Florida NTersection)^[33]、AAMA^[34], 以及一些适用于开阔道路的模式, 如 CALNE4 和 HWAY 等。这些模型基本类似, 主要考虑到交叉路口几何特征、各车型比例及车流量、排放因子、气象参数等。美国环保局^[35]曾对 8 个交叉口尾气扩散模型作比较评价, 结果表明大多数模型在模拟最高值时预测值偏小, 其中 CALNE4、CAL3QHC 和 TEXN2 的表现好于其他模型, 而且 CAL3QHC 和 TEXN2 在进行独立交叉口分析时比 CALNE4 更精确。Haitham 等应用 FLNT、CAL3QHC 和 TEXN2 等模式对梅尔罗斯和伊利诺斯等交叉路口作模拟, 发现 AAMA 和 FLNT 的模拟效果较好^[36]。CAL3QHC、CALNE4、HWAY 和 MM 等模式在我国均有应用, 其他模式则未见应用。

国内对于交叉口污染物扩散的研究相对较多, 但由于起步较晚, 主要还是引入国外的模式来模拟计算机动车尾气污染物浓度。李修刚^[37]和金陶胜等^[38]分别开发了适合我国的交叉口机动车尾气扩散模式, 但没有得到推广。

2.2.1 CAL3QHC 模式

CAL3QHC 模式是美国环保局开发并推荐使用的交叉口尾气扩散模型, 属于 CALRoads 模式的一个模块。模型利用 HCM 方法计算不饱和条件下车辆的平均怠速时间, 过饱和条件下的额外怠速则由确定性排队理论程序计算。模型将排放分为行驶排放和怠速排放, 其中行驶排放基于机动车的平均速度 (包括加速和减速), 使用排放模型计算得到; 怠速排放通过排放模型中的怠速排放因子计算。模型预测 CO 浓度时使用 MOBLE, 预测颗粒物浓度时使用 PART5, 扩散分析使用 CALNE。

龚慧明^[39]、周洪昌^[40]利用 CAL3QHC 模式分别模拟了北京市和上海市交叉路口的机动车尾气

污染物,发现该模型可以较好地模拟开阔型十字路口处机动车 CO 的排放,而对于混合交通且周围有高大建筑物的交叉路口的模拟与实测结果有出入。

2.2.2 FLNT 模式

由中佛罗里达大学开发的 FLNT 模式是用来模拟预测饱和或过饱和交通状况下城市交叉路口环境空气中 CO 浓度的面源模型,该模型采用确定队列法估计饱和状态下的车队长度,而在过饱和情况下,则用一种循环计算方法估算。Al-Deek 等^[33]对梅尔罗斯和伊利诺斯等城市的交叉路口进行模拟,通过与 CAL3QHC、AAMA、TEXN2 等模式的模拟结果及实际结果相比较,发现 FLNT 模式的模拟结果更接近实际值。

2.3 城市峡谷型道路扩散模式

由于城市峡谷型道路结构独特,经常造成局地污染,因而其环境空气问题越来越受到关注。研究者开发了大量的城市峡谷扩散模式,在空气污染、交通管理、城市规划及汽车数量、污染预测和人口控制之间的相互影响中有重要的应用价值。

国外学者从 20 世纪 60 年代开始研究街道峡谷内大气流场及空气污染状况,先后建立了一系列模式,模拟计算街道峡谷内流场的分布及污染物的浓度分布。这类微小尺度的近场污染问题通常不考虑光化学反应,假定各种污染物的扩散运动遵守相同的物理规律。对城市峡谷型道路污染扩散这种小尺度扩散问题而言,环境因素尤其是地理条件有很大的影响,街道两旁的高层建筑影响了街道峡谷内的流场,街道两侧建筑物密集程度、高度及高度分布均匀度,以及街道的长、宽度等尺寸与污染物传输和扩散所处的大气流场有很大关系。

峡谷型道路扩散模式主要有美国的 STREET^[41]、Nicholson 开发的箱模式^[42]、德国的 CPBM^[43]、荷兰的 CAR^[44]、丹麦的 OSM^[45]、日本的 JEA^[46]等。傅立新等^[47-48]对 OSM 模式进行了修正,并应用于北京、澳门等地的模拟,结果与实际值非常符合。近年来,CFD 软件也在城市空气质量研究中所应用。

2.3.1 STREET(SRD)/CPBM/OSM 模式

美国斯坦福研究所的 Johnson 等^[41]对机动车尾气初始扩散和由机动车引起的湍流进行了假设和简化,用一个简单的箱式模型,得到峡谷模式 STREET(SRD)。假设受体点的污染物浓度由两部分组成——城市背景浓度和峡谷机动车尾气排放

浓度,计算街道两侧污染物浓度时需考虑街道受体点的高度及受体点与污染源的垂直距离。峡谷背风面的污染物浓度与受体点和线源的距离成反比,峡谷迎风面的污染物浓度只与受体点和线源的垂直高度有关。由于 STREET 模式没有考虑风向与街道夹角较小或平行的情况,模式中的参数在规则街道峡谷中得到,因而在应用到其他街道时需要进一步修正,且该模式在接近静风条件下模拟精度不高。

CPBM 模式 (Canyon Plume - Box Model) 采用高斯烟羽模式与箱模式相结合的方法,考虑了太阳辐射产生的热力效应及汽车行驶引起的湍流作用,从烟羽直接扩散和垂直再循环两部分对污染物浓度进行估算。CPBM 模式的模拟能力比 STREET 有所提高,但其数学表达较复杂,难以看出污染物浓度与气象条件及街道形状之间的关系。

OSM 模式 (Operational Street Pollution Model) 是 Hertel 和 Berkowicz 在 CPBM 的基础上发展得到,是一个半经验模式,认为街道峡谷内的污染物浓度由 3 部分组成: 汽车尾气污染物直接扩散所产生的浓度; 由于气流涡旋造成污染物循环所引起的浓度; 城市背景浓度。直接扩散浓度的计算采用高斯烟羽模式思路,循环浓度采用区域形状为梯形的箱模式思路。该模式对参数取值要求较高,且这些参数必须依不同城市而定。

2.3.2 CFD 软件的应用

计算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 是建立在经典流体力学与数值计算方法基础上的新型软件^[49]。FLUENT 是 CFD 软件包之一,是用于模拟和分析复杂几何区域内流体流动的专用软件^[50],通过计算机数值计算和图像显示的方法定量描述流场在时空上的数值解。由于 FLUENT 对实际道路模拟的准确性、适应性和可开发性,以及便于和 GIS 结合应用的优势,近年来在机动车尾气扩散研究领域的应用地位日渐上升。

金颖等运用商业 CFD 软件 FLUENT 模拟计算小尺寸下的简单烟气扩散规律,将结果用正态分布假设下的高斯烟羽模型验证,证明了 FLUENT 模拟烟气扩散问题的可行性。Murena 等^[51]应用 FLUENT 对不同高宽比的城市峡谷道路进行模拟,并与 OSM 模式的模拟结果相比较,发现 OSM 仅对高宽比为 1 的峡谷模拟结果较好,而 FLUENT 可模拟各种类型的道路,适应力极强。王占宇^[52]应用 CFD 商业软件 FLUENT 首次建立了植物绿化环境

中的汽车排放污染物大气污染计算模型,获得绿化植物对汽车排放污染物分布特征的影响。CFD 软件功能强大,能模拟各种类型道路在复杂气象条件下,复杂的建筑物、绿化带等布局及机动车行驶引起的湍流等对机动车尾气扩散的影响,以及污染物的二次反应等,在城市道路空气质量研究领域有很好的应用前景。

3 结语

针对错综复杂的城市道路,机动车尾气扩散模式不尽相同,基于高斯基础的扩散模式对比较稳定的气象条件下,一些简单的城市开阔型道路和交叉路口机动车尾气污染物扩散模拟较为准确,但对于复杂的开阔型道路、交叉路口及峡谷型道路,同时受复杂气象条件影响时,其扩散模式主要采用数值模拟方法。

综合不同扩散模式的应用,目前在城市机动车尾气污染物扩散研究中,主要将难点和热点集中于: 机动车行驶引起的机械湍流模拟; 道路两侧存在高层建筑物时对气体扩散的影响及城市街道峡谷内气流和湍流的数值模拟; 城市街道峡谷内垂直方向污染物浓度分布模拟; 机动车排放污染物的二次污染物模拟等。基于这些难点和热点,主要围绕气象参数(如风速、风向、温度、大气稳定度、逆温层等)及交通道路参数等影响污染物扩散模式的主要因素开展研究。

今后应加强以下几方面研究: 随着城市绿化率率的增加,大多数城市道路都有相当一部分绿化带^[53],而对绿化带的研究主要侧重于城市景观效应、污染大气的植物修复分子机理揭示等,绿化带对污染物扩散的一个主要且直观的阻散作用却少有涉及。因此,针对城市交通环境中机动车这一近地表排放的流动污染源,利用城市生态系统中的植物群落对汽车排放污染物扩散的阻碍和吸附,探索绿化植物对机动车尾气污染扩散的阻散特征也是一大难点。功能强大的 CFD 软件,在城市道路空气质量研究领域极有发展和应用前景。由于计算机技术的不断强大和完善,扩散模式与 GIS 相结合^[54]是环境综合管理的必然趋势,国外已经在这方面探索了十多年,取得了一定的进展,我国目前仍处于起步阶段,两者的结合方式还停留在紧密结合的基础上。因此,在 GIS 平台下,结合扩散模式开发环境综合管理系统将是今后的研究重点

之一。

[参考文献]

- [1] 徐振涛. 南京市机动车尾气污染现状调查及其对人群健康的影响 [J]. 环境监测管理与技术, 1996, 8 (5): 20 - 22
- [2] RAO S T, KEENAN M T. Suggestions for improvements of the EPA - H W A Y model [J]. Air Poll Control Assoc, 1980, 30: 247 - 256.
- [3] EPA - 400 / 9 - 78 - 007, User's guide to mobile1: mobile source emissions model [S].
- [4] U S Environmental Protection Agency. User' guide to MOBLE 6. 1 and MOBLE 6. 2: mobile source emission factor model [M / OL]. [2006 - 12 - 10]. <http://www.epa.gov/otaq/models/mobile6>
- [5] NTZACHRISTOS L, SAMARAS Z COPERT, Computer program to calculate emission from road transport, Methodology and emission factors (Version 2. 1) [R]. Technical Report No 49. Copenhagen: European Environmental Agency, 2000.
- [6] REYNOLDS A W, BRODERICK M. Development of an emissions inventory model for mobile sources [J]. Transportation Research Part D, 2000 (5): 77 - 101.
- [7] EEA. A new program for fast emission calculations based on the COPERT model [EB / OL]. [2006 - 05 - 24]. http://reports.eea.europa.eu/Technical_report/No_50/en
- [8] University of California at Riverside. NE model users manual version 1. 1. 1 [R]. 2004.
- [9] DAVIS N, LENTS J, OSSESM, et al Development and application of an international vehicle emissions model [C]. Washington D C: Transportation Research Board 81st Annual Meeting
- [10] BARTH M, AN F, YONGLOVE T. Comprehensive modal emissions model (CMEM) version 2. 02 user's guide [DB / OL]. [2005 - 03 - 24]. <http://www.ucr.edu>
- [11] RAKHA H, AHN K. Comparison of MOBLE5a, MOBLE6, VTMCRO, and CMEM model for estimating hot-stabilized light-duty gasoline vehicle emissions [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2003, 30 (6): 1010 - 1021.
- [12] KUNSELMAN P, MCADAMS H, DORNKE C J, et al. Automobile exhaust emission modal analysis model [R]. Washington: EPA, 1974.
- [13] 傅立新, 贺克斌, 何东全, 等. MOBLE 汽车源排放因子计算模式研究 [J]. 环境科学学报, 1997, 17 (4): 474 - 479.
- [14] 李修刚, 杨晓光, 王伟, 等. 用于城市交通规划的机动车污染物排放因子 [J]. 交通运输工程学报, 2001, 1 (4): 87 - 91.
- [15] 毕晔, 葛蕴珊, 韩秀坤. 基于 MOBLE 6. 2 的北京市出租车排放污染物分析 [J]. 安全与环境学报, 2007, 7 (2): 61 - 64.
- [16] ZACHARADIS T, SAMARAS Z. An integrated modeling system for the estimation of motor vehicle emissions [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 1995, 49 (9): 1010 - 1026.
- [17] 谢邵东, 宋翔宇, 沈新华. 应用 COPERT 模型计算中国机

- 动车排放因子 [J]. 环境科学, 2006, 27(3): 415 - 419.
- [18] 王海鲲, 陈长虹, 黄成, 等. 应用 ME 模型计算上海市机动车污染物排放 [J]. 环境科学学报, 2006, 26(1): 1 - 9.
- [19] 姚志良, 贺克斌, 王岐东, 等. ME 机动车排放模型应用研究 [J]. 环境科学, 2006, 27(10): 1928 - 1933.
- [20] 何春玉, 王岐东. 运用 CMEM 模型计算北京市机动车排放因子 [J]. 环境科学研究, 2006, 19(1): 109 - 112.
- [21] <http://arbis.arb.gov/msei/msei.htm>.
- [22] PAUL B P E. CALNE4-A dispersion model for predicting air pollutant concentration near roadways [R]. 57328 - 604167. Sacramento, California: California Department of Transportation, 1984: 1 - 205.
- [23] CHOCK D P. A simple line-source model for dispersion near roadways [J]. Atmospheric Environment, 1979, 12: 823 - 829.
- [24] PETERSEN W B. User's guide for HWAY-2: A highway air pollution model [R]. US EPA: EPA - 600/8 - 80 - 018, 1980.
- [25] HLAVNKA M W, KORPICKS J J, BULLIN J A. TEXN-2: A versatile model for predicting carbon monoxide concentrations near intersect [J]. Air Poll Control Assoc., 1987, 37: 819 - 822.
- [26] LUHAR A K, PATL R S. A general finite line source model for vehicular pollution prediction [J]. Atmospheric Environment, 1989, 23(4): 555 - 562.
- [27] DABBERDTW F, SANDYS R C, BUDER P A. ISMAP - A traffic emission dispersion model for indirect sources [J]. 68th Annual Meeting Air Poll Control Assoc., 1975, 22: 44 - 75.
- [28] 李莉, 陈长虹, 黄成, 等. CALRoads 模式在上海市典型道路 CO 扩散预测中的应用 [J]. 环境监测管理与技术, 2006, 18(4): 7 - 11.
- [29] 兰涛. CALNE4 模型在西安市主干道机动车 CO 污染扩散计算中的应用研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006.
- [30] WAYSON, ROGER L, KM B Y. Development of a modal emissions model using data from the cooperative industry/government exhaust emission test program [C]. Salt Lake City: A paper presented to the Air & Waste Management Association, 93th Annual Meeting, 2000.
- [31] <http://www.ucihis.uci.edu/som/pathology/faculty/CV/WuCV.pdf>
- [32] BLOM H A P, BAR-SHALOM Y. The interacting multiple model algorithm for systems with Markovian switching coefficients [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1988, 33(8): 780 - 783.
- [33] AL-DEEK H M, WAYSON R L, COOPER C D, et al. Queuing algorithm for calculating idling emissions in FLNT—the florida intersection air quality model [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1997, 1587(15): 128 - 136.
- [34] WAYSON, ROGER L, MACDONALD J M. Version 4.0 of the AAMA community noise model [M]. University of Central Florida, 1997.
- [35] <http://cobweb.ecn.purdue.edu/~srg/book/files/PDF/10.%20Impacts%20on%20Air%20Quality.pdf>
- [36] WAYSON R L, KM B Y, COOPER C D, et al. Predicting air quality near roadways through the application of a gaussian puff model to moving sources [J/OL]. wayson@pegasus.cc.ucf.edu
- [37] 李修刚. 典型路段和交叉口交通特征与污染物扩散浓度实验研究报告 [R]. 南京: 东南大学交通学院, 1999.
- [38] 金陶胜, 金志. 城市十字路口汽车尾气污染扩散模型 [J]. 中山大学学报, 2003, 42(6): 130 - 131.
- [39] 龚慧明. 城市交通路口机动车排气污染研究 [D]. 北京: 北京大学, 2001.
- [40] 周洪昌. 平面交叉口汽车排放 (CO) 污染规律 [J]. 同济大学学报, 1996, 24(6): 642 - 646.
- [41] JOHNSON W B, LUDWIG F L, DABBERT W F, et al. An urban diffusion simulation model for carbon monoxide [J]. Air Pollution Control Association, 1973, 23: 490 - 498.
- [42] NICHOLSON S E. A pollution model for street-level air [J]. Atmospheric Environment, 1975, 9: 19 - 31.
- [43] YAMATNO R J, WIEGAND G. Development of CPBM models for urban street canyon [J]. Atmospheric Environment, 1986, 20(14): 2137 - 2156.
- [44] VANDEN H K D, BAARSH P, DUJIN N J. Effects of buildings and trees on air pollution by road traffic [R]. Proceedings of the Eighth World Clean Air Congress, 1989.
- [45] HERTEL O, BERKOWICZ R. Operational street pollution model (OSPM), NACT/CCMSIM, air pollution modeling and its application [R]. Canada, 1989.
- [46] 环境厅大气保全局. 室素酸化物总量规制 マニュアル [J]. 公害研究対策・ソーター, 1982, 33: 1 - 23.
- [47] 傅立新, 郝吉明, 何东全, 等. 城市街道汽车污染扩散规律模拟研究 [J]. Environmental Science, 1999(6): 22 - 25.
- [48] 吴烽, 郝吉明, 傅立新, 等. 澳门机动车排放清单 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2002, 42(12): 1601 - 1604.
- [49] 王福军. 计算流体力学分析——CFD 软件原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [50] 于勇. FLUENT 入门与进阶教程 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008.
- [51] MURENA F, FAVALE G, VARDOULAKIS S, et al. Modelling dispersion of traffic pollution in a deep street canyon: Application of CFD and operational models [J]. Atmospheric Environment, 2009, 43: 2303 - 2311.
- [52] 王占宇. 汽车排放污染物 CO 植物阻散特征的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- [53] 徐振涛, 张予燕. 机动车尾气对南京市道路环境空气质量的影响 [J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(1): 24 - 26.
- [54] 张斌才, 赵军. 大气污染扩散的高斯烟羽模型及其 GIS 集成研究 [J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(5): 17 - 19.