

文章编号:1007-6735(2012)05-0456-05

基于城市地下道路污染物排放特性的交通特征调研

李 琼^{1,2}, 陈 超¹, 李俊梅¹, 潘 嵩¹, 李 雁³,
任明亮³, 邓奕雯¹, 严 乐¹

(1.北京工业大学 建筑工程学院,北京 100124; 2.华北科技学院 建筑工程学院,北京 101601;
3.北京市市政工程设计研究总院 第五设计所,北京 100082)

摘要:城市地下道路的建设可有效缓解日益拥挤的城市交通状况,然而交通特征使得机动车污染物排放不能简单照搬已有公路设计规范.有效把握城市地下道路内机动车主要污染物的排放特性,对城市地下道路通风系统的设计标准以及设计方法的确定具有非常重要的指导意义.以北京、上海作为一类代表城市,武汉、南京、广州作为二类代表城市,通过对机动车保有量、车型比例、交通流量、车速等参数的调查研究,分析得出不同城市交通特征对地下道路污染物排放因子的影响.结果能够为进一步确定排放因子以及污染物排放量计算方法提供依据,为隧道通风设计奠定基础.

关键词:城市地下道路; 机动车污染物; 排放特性; 交通特征; 调查研究

中图分类号:U 453.5 **文献标志码:**A

Traffic Characteristics Based on Vehicle Emission Factors in Urban Underground Road

LI Qiong^{1,2}, CHEN Chao¹, LI Jun-mei¹, PAN Song¹, LI Yan³, REN Ming-liang³, DENG Yi-wen¹, YAN Le¹

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;
2. Architectural Engineering College, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China;
3. Fifth Design, Beijing General Municipal Engineering Design & Research Institute, Beijing 100082, China)

Abstract: The construction of urban underground road can effectively alleviate the increasingly crowded urban traffic conditions. But due to urban traffic characteristics, the treatment of vehicle emissions cannot simply copy the existing highway design code. Grasping the emission characteristics of the major pollutants of motor vehicles in the urban underground road has a very important guiding significance to urban tunnel ventilation system design criteria and design method. Taking the first-tier cities like Beijing and Shanghai and the second-tier cities like Wuhan, Nanjing and Guangzhou as objects, through inspecting the motor vehicle population, vehicle type, traffic flow, speed and other parameters, the influences of different urban traffic characteristics on the vehicle emission factors were analysed. The results can provide the basis for the further determination of pollutant emission factors and lay down the foundation for the tunnel ventilation design.

Key words: urban underground road; vehicular pollutants; emission factors; traffic characteristics; investigation

收稿日期: 2012-04-27
基金项目: “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAJ01B03); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(3B004020201201)
作者简介: 李 琼(1978-),女,博士研究生.研究方向:城市地下道路污染物排放. E-mail: hdlqiong@163.com
陈 超(联系人),女,教授.研究方向:地下道路的通风排烟技术. E-mail: chenchao@bjut.edu.cn

交通流量大的城市地下道路在运营过程中,隧道内的污染物浓度有效控制问题直接影响它的安全与高效运行,隧道内污染物主要来自机动车的排放物.当前,我国机动车保有量高速增长,据不完全统计,2010年汽车产销量双双突破1 800万辆,我国已成为世界汽车产销量第一大国.机动车污染物排放带来了严重的大气污染问题.然而,纵观国内外研究成果,城市地下道路污染物排放与控制问题的相关研究并不多见.我国还没有一个相应完善的指导标准与设计规范,目前只能参照以山岭隧道为主要对象来编制的《公路隧道通风照明设计规范 JTJ026.1—1999》^[1].但是,城市地下道路有许多不同于山岭隧道的特点,如交通流量大、车型比例复杂、车行速度低及道路状况复杂等.机动车污染物排放量不能简单照搬已有的公路设计规范,有必要对其进行研究.因此,作者针对城市地下道路交通特征和污染物排放进行了大量调查,重点分析交通特征对污染物排放因子的影响.

1 研究背景与现状分析

1.1 城市地下道路建设与发展状况

随着城市化进程的不断推进,为完善城市道路路网、缓解城区道路的交通拥堵,国内各城市地下道路建设正在迅速发展.我国修建地下道路最多的城市为上海,到目前已建成及在建的多达16条.此外,北京、南京、杭州、武汉、宁波、南宁等城市均有已建成或在建的地下道路.地下道路工程绝大部分位于市中心区域,路线以穿越江河打通阻隔的形式为主,或穿越大量既有地下建筑物和构筑物.在城市中心区建设大规模的地下道路系统目前只是在工程规划层面进行了相关研究,关于城市地下道路环境控制方面的基础理论、工程设计、系统运行管理方面的研究都非常缺乏.

1.2 城市地下道路污染物排放现状

地下道路内空气污染物主要来自隧道内机动车的排放,地下道路中运行车辆所排放的气体中,含有大量的一氧化碳(CO)、氮氧化合物(NO_x)和颗粒物(PM)等对人体有害的成分.当地下道路内车辆不断来往时,如果不及时通风,所排尾气就会污染整个隧道.其中,机动车排放颗粒物烟雾会影响行车的可见度.当隧道内污染物浓度超过一定标准时,不但会影响隧道内的空气品质,还会影响行车的安全性.据清华大学测算,2010年底北京空气中的一氧化碳

85.9%来自于机动车尾气,空气中的氮氧化合物则有56.9%来自机动车尾气,机动车排放污染物已经成为城市大气污染的主要来源.

国外隧道污染物排放研究从20世纪中后期开始.美国、加拿大、日本、前苏联以及法国等国家相继对隧道空气污染等方面开展了大量研究,研究方向主要集中在有害物质的浓度和范围、隧道内空气污染的影响因素、有害气体对人体健康的影响以及改善隧道内空气质量的措施等^[2-3].我国对隧道环境中有害气体污染方面的研究始于20世纪60年代,研究对象主要是公路隧道和越江隧道,其内污染物主要包括CO、 NO_x 和PM.CO排放方面的研究较为成熟,目前长安大学和同济大学等研究主要集中在污染物对能见度的影响、细颗粒物及超细颗粒物排放特性等.

1.3 城市地下道路交通特征与污染物排放特性的关系

城市地下道路污染物排放特性不但涉及事物的数量大,且类型众多,关系复杂,特别是交通特征与一般的公路隧道有很大区别,主要表现为:

a. 机动车车型以汽油车为主,不同城市汽油车和柴油车车型比例不同;另外,不同城市机动车排放标准执行年份不同,且不同排放标准车型对城市大气环境的污染程度不同.

b. 交通流量大、行车速度多低于设计值,上下班高峰时段,更是容易发生堵塞情况.

c. 为解决交通断头路,常需在地下、出入口设置匝道或连接立交桥.

d. 同时,由于城市地下道路穿越城区,可能有多个低点,所以岔道、弯道、坡道多,出入口复杂,行车线型复杂.

综上所述,城市地下道路交通特征主要体现在交通组成、交通状况和道路状况3个方面.交通组成取决于机动车保有量和车型结构比例;交通状况表现为交通流量和行车速度的大小;道路状况重点关注隧道坡度和长度.

在此基础上,可以根据不同城市交通特征,对城市地下道路污染物综合排放因子进行计算.机动车综合排放因子是指交通流中单位机动车在单位里程内污染物的平均排放量,它能综合地评价交通流中单位机动车的排放状况,更加直观地分析交通特征对污染物排放特性的影响.

不同城市地下道路内实际交通组成、交通状况、排放因子和城市隧道模型等因素决定了城市地下道

路内机动车污染物排放系统的复杂性. 各种因素之间的关系如图1所示. 由图1可知交通组成、交通状况、排放因子和隧道模型综合在一起影响污染物排放量. 如果要确定城市隧道内机动车污染物排放特性和污染物排放量, 必须先对不同城市隧道的实际交通状况进行调查, 进而从污染物排放特性方面推荐城市隧道适合通行的机动车种类.

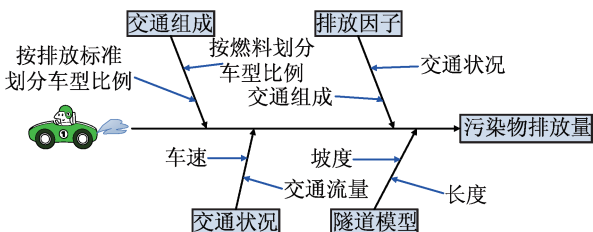


图1 城市地下道路交通特征与污染物排放特性关系图

Fig.1 Relationship diagram of the urban underground road traffic and emission characteristics

2 城市地下道路与公路隧道机动车污染物排放特性比较

城市地下道路与公路隧道在车型结构比例、机动车实际运行状况等方面存在很大差异, 这使得城市地下道路内机动车实际排放特性及污染物的扩散规律等方面与公路隧道存在显著差别. 这些交通特征使得城市地下道路的空气环境控制无法简单地沿用或照搬已有的公路隧道的相关设计规范或标准.

2.1 公路隧道污染物排放特性

公路隧道污染物排放量与机动车车型、排放标准、污染物基准排放量以及设计交通流量有关. 《公路隧道通风照明设计规范 JTJ026. 1-1999》^[1] 给出的 CO 排放量和烟雾排放量计算公式主要依据公路隧道特点和影响因素, 其中 CO 排放量计算公式如下

$$Q_{CO} = \frac{1}{3.6 \times 10^6} q_{CO} f_a f_d f_h f_{iv} L \sum_{m=1}^n (N_m f_m) \quad (1)$$

式中, Q_{CO} 为机动车基准排放量, 单位为 $m^3/(\text{辆} \cdot \text{km})$; N_m 为机动车设计交通量, 单位为辆/h; f_a 为车况系数; f_d 为车密度系数; f_h 为海拔高度系数; f_{iv} 为车辆纵坡-车速系数; f_m 为车型系数; L 为隧道长度; n 为车型类别数.

我国公路隧道通风标准限定了 CO 浓度和烟雾消光系数, 公路隧道多为城市远郊或山岭隧道, 机动车排放的污染物直接被大气稀释, 对大气环境的影响不显著. 所以, 公路隧道污染物排放限值标准较为

宽松.

2.2 城市地下道路与公路隧道污染物排放特性的区别

不同燃料类型和不同排放标准车型, 机动车排放因子差别较大, 这使得不同城市的交通组成对机动车污染物排放量影响很大. 城市地下道路与公路隧道污染物排放特性的区别主要集中在以下几个方面:

a. 公路隧道通风设计中仅仅用车型系数 f_m 来反映交通组成的区别, 不能全面表达城市隧道交通系统的复杂性. 城市隧道通常比一般公路隧道交通量大, 行车堵塞概率也大, 并且存在每日的交通高峰和低谷期, 直接影响隧道通风设计和运营管理.

b. 城市地下道路一般为一级道路, 且位于经济发达地区, 车况系数 f_a 和海拔高度系数 f_h 均取值为 1, 所以可以忽略车况系数 f_a 和海拔高度系数 f_h 对污染物排放的影响. 依据城市地下道路特点主要考虑隧道坡度和长度对污染物排放的影响.

c. 公路隧道与城市地下道路污染物限制浓度不同. 公路隧道通风设计中污染物基准排放量取常数逐年递减不合理. 相对于外界大气环境, 城市地下道路污染物通过通风稀释, 机动车污染物直接排放到城区环境. 在文献[1]中, 我国 CO 的基准排放量取值 $0.01 m^3/(\text{辆} \cdot \text{km})$ 偏高, 城市地下道路污染物浓度控制将更加严格.

因此, 不同城市实际道路交通特征直接影响污染物排放特性. 对于城市地下道路, 需结合城市交通特征进行污染物排放量计算.

3 不同城市实际交通特征调研

通过文献资料查阅、现场调查、部门走访等方式, 统计出不同城市交通组成, 并收集了不同城市道路实际交通状况等大量数据. 以北京、上海作为一类代表城市, 武汉、南京、广州作为二类代表城市, 对其实际道路和隧道交通特征进行分析.

3.1 不同城市交通组成

3.1.1 车型比例、车型分类

不同城市机动车每年保有量不同, 车型比例也有较大区别, 车型比例可以根据各个城市交通发展年报统计调查得到. 2010 年不同城市机动车车型比例调查结果如表 1 所示. 这些数据将进一步帮助区分不同车型污染物的不同排放量.

从防火安全方面考虑, 国内外现有隧道内允许

表 1 不同城市机动车车型比例(2010 年)

Tab.1 The proportion of motor vehicle models in different cities(2010)

城市	小客车	中大客车	小货车	中大货车	摩托车	其它
北京	87.2	3.2	2.6	1.5	5.5	0
上海	36.0	11.2	7.7	7.7	41.7	0.4
武汉	62.4	62.4	14.1	14.1	23.5	0
广州	49.3	6.4	13.2	23.2	7.7	0
珠三角	73.7	6.9	14.0	3.9	0	1.5

通行的机动车种类中热释放率超过 30 MW 的重型货车一般不允许通行^[4],从污染物控制方面来看目前还没有这方面的规定.下面将对现有城市地下道路允许通行的车辆种类作进一步调查研究.

3.1.2 按照燃料类型划分机动车组成

一、二类代表城市重点关注汽车保有量,按照燃料类型,汽车可以分为汽油车、柴油车和燃气车,城市地下道路主要以汽油车和柴油车为主。汽油车包括小型载客汽车、轿车和摩托车,柴油车包括中大型载客汽车和载货汽车。根据不同城市机动车车型比例以及汽油车和柴油车的分类,不同城市按照燃料类型划分的汽车的比例结构如表 2 所示。除北京、广州以外,不同城市汽油车、柴油车总比例变化不大,与全国平均水平相当。

表 2 不同城市按照燃料类型划分的机动车比例

Tab.2 The proportion of fuel type vehicle in different cities %

城市	汽油车	柴油车	燃气车	数据来源
北京	92.3	7.0	0.7	北京交通发展年报 2011
上海	79.5	20.3	0.2	上海市第四次全市性综合交通调查 (2010)
武汉	81.6	18.4	0	武汉市交通发展年报 2011
南京	79.6	20.4	0	南京日报 2011-12-23
广州	68.3	29.0	2.7	2010 年广州市城市交通运行报告
珠三角	81.3	18.3	0.4	机动车排污中心培训资料 2009
全国平均	80.9	17.4	1.7	中国机动车污染防治年报 2011

3.1.3 按照排放标准划分机动车组成

我国机动车排放标准与欧洲机动车排放标准欧 1~5 基本一致,只是每种标准起始年代不同.从 2000 年以来我国开始实施国 I 标准,通过 10 年的时间,实现了从国 I 标准到国 IV 标准的升级.不同城市执行各级排放标准的起始年代不同(如表 3 所示),不同排放标准的车型比例对污染物排放量的影响较大.2009 年广州市国 I 前、国 I、国 II 和国 III 排放控制水平的轻型汽油车(不包括摩托车)比例分别为 6.2%,29.9%,12.5% 和 51.3%^[5].其它不同城市按照排放标准划分的车型比例数据目前正在调研中,需要根据不同城市机动车登记年份分布和老旧机动车淘汰状况统计.近年来,随着排放标准的严格执行,污染物排放量大幅度消减.

表 3 机动车排放标准实施年份

Tab.3 Motor vehicle emission standards for the implementation of year

地区	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
欧洲	欧 1		欧 2			欧 3					欧 4				欧 5					
中国						国 I					国 II			国 III			国 IV			
北京						国 I		国 II			国 III					国 IV		国 V		
上海						国 I					国 II		国 III			国 IV				
珠三角						国 I					国 II		国 III				国 IV			

3.2 不同城市实际隧道交通状况

与郊外隧道交通流量不同,一般城市隧道的交通流量 N (辆/h) 较大,城市隧道从运营开始,很快就能达到其设计交通流量. 不同城市由于机动车保有量和道路状况的不同,交通流量区别较大. 北京市路面交通流量 53 514 辆/h, 平均速度 26.5 km/h^[6]. 其它城市隧道实际交通流量和平均速度如表 4 所示. 在车速 60 km/h 时,理论推荐通行能力为 2 050 辆/h^[7]. 城市地下道路实际交通流量一般在隧道开始运营就能达到隧道设计通行能力. 城市地下车道内实际行车速度通常较慢,建议取 20 km/h 时进行

污染物排放特性分析^[8].

表4 不同城市隧道实际交通状况统计

Tab.4 City tunnel traffic conditions statistics

隧道名称	实测交通流量 N		平均速度 $v/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$
	平均值/ $(\text{辆} \cdot \text{h}^{-1})$	高峰值/ $(\text{辆} \cdot \text{h}^{-1})$	
新岭隧道 (通向上海、杭州)	2 500~3 000 (阻塞工况)	2 500~3 000 (阻塞工况)	10.0
南京市富贵山隧道 ^[9]	1 030	1 255	60.1
广州市珠江隧道 ^[10]	1 041	1 928	46.0
世界道路 PIARC2004 ^[11]	2 000 (平均高峰值)	2 000 (平均高峰值)	60.0

3.3 交通特征对污染物排放因子的影响

基于世界道路协会(PIARC)2004年报告^[11]中排放因子数据,在水平道路(坡度为0)条件下,以CO为例,分析不同车速 v 对汽油车和柴油车污染物排放因子 EF_{CO} 的影响.

由图2可知,欧1~4标准与前欧洲标准相比,CO排放因子大幅度减小.但是,欧1~4标准中CO排放

因子减幅变缓.欧1~4排放标准中,汽油车CO排放因子范围在4~63 g/h,平均为34.2 g/h.柴油车CO排放因子范围在8.5~117.8 g/h,平均为37.0 g/h.汽油车在车速20~60 km/h范围内CO排放因子相对较小,柴油车随车速增加,CO排放因子有增大趋势.城市地下道路污染物排放浓度控制标准应该根据不同城市的具体交通特征和排放因子而定.

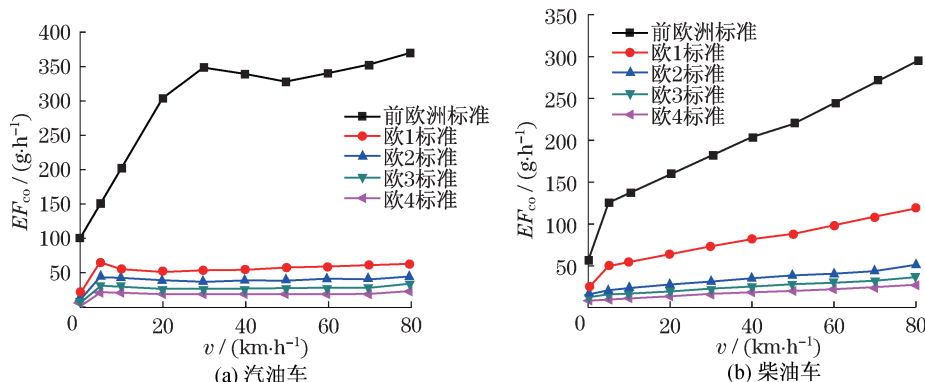


图2 车速对CO排放因子的影响

Fig.2 The impact of speed on the CO emission factor

交通特征和污染物排放特性的调查研究是开展城市地下道路空气环境控制的第一步,它将为进一步确定污染物排放量提供可靠的基础数据,为选择通风方案提供依据,为城市隧道通风设计和安全运营奠定基础.

4 结论

a. 城市地下道路交通不同于一般公路隧道的主要特征是:汽油车比例大、交通流量大、车行速度低、道路状况复杂、受隧道坡度和长度影响大.

b. 以北京、上海作为一类代表城市,武汉、南京、广州作为二类代表城市,通过调查研究,得到大部分城市汽油车比例占70%以上;大部分代表城市实施排放标准年份超前于全国水平;城市隧道实际交通流量从运营开始,很快就能达到其设计交通流量;平均车速实际低于设计车速60 km/h.

c. 欧1~4标准与前欧洲标准相比,CO排放因子大幅度减小,但是,欧1~4标准中CO排放因子减幅变缓.一般汽油车在车速20~60 km/h范围内CO排放因子相对较小,柴油车随车速增加,CO排放因子有增大趋势.城市地下道路污染物排放因子控制标准应该根据不同城市的具体交通特征而定.

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部.JTJ 026.1-1999 公路隧道通

风照明设计规范[S].北京:人民交通出版社,1999.

- [2] Sambolek M. Model testing of road tunnel ventilation in normal traffic conditions [J]. Engineering Structures, 2004, 26(12): 1705-1711.
- [3] Oettl D. A simple model for the dispersion of pollutants from a road tunnel portal [J]. Atmos Environ, 2002, 36(18): 2943-2953.
- [4] 中华人民共和国交通部. JTG D70-2004 公路隧道设计规范[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [5] 李晓玲,吴烨,姚欣灿,等.广州市实施I/M简易瞬态工况检测方法的环境效果分析[J].环境科学学报, 2012, 32(1): 101-108.
- [6] 2011北京市交通发展年报[R].北京:北京交通发展研究中心,2011.
- [7] 李素艳.地下道路通行能力及交通设计研究[D].上海:同济大学,2007.
- [8] 朱春,张旭, Morawska L. 地下机动车道空气质量标准和设计通风量计算方法[J].暖通空调, 2009, 39(9): 132-136.
- [9] 胡伟,钟秦.隧道实验测定南京市机动车PM10排放因子[J].环境工程学报, 2009, 3(10): 1852-1855.
- [10] 王伯光,吕万明,周炎,等.城市隧道汽车尾气中多环芳烃排放特征的研究[J].中国环境科学, 2007, 27(4): 482-487.
- [11] PIARC-World Road Association, PIARC Technical Committee on Road Tunnels Operation (C5). Road tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation[R]. Paris: PIARC, 2004.