

我国山岭公路汽车 CO、HCs 和 NO_x 排放系数*

邓顺熙, 董小林 (西安公路交通大学环境工程研究所, 西安 710064 E-mail: Dengsx@ihw.com.cn)

摘要: 在1560m长的甘肃七道梁山岭公路隧道内设监测点, 对进入隧道内汽车排出的污染物浓度、交通量、车种以及气象条件进行采样分析、计数、分类和观测。根据在隧道内实测数据, 用建立的隧道空气质量方程计算出我国高海拔山岭公路汽车单车 CO、HCs 和 NO_x 排放系数分别为 41.861 ± 26.101 、 5.367 ± 3.158 和 $3.883 \pm 1.943 \text{g}/(\text{km} \cdot \text{veh})$ 。与国外成果相比, 我国山岭公路汽车 CO 和 HC_s 排放系数明显高于国外发达国家汽车的排放水平, 而 NO_x 排放量低于一些发达国家。

关键词: 公路隧道, 汽车污染物, 排放系数。

中图分类号: X831 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2000)01-0109-04

Study on Emission Factors of CO, HC_s and NO_x from Mountainous Roadway in China

Deng Shunxi, Dong Xiaoling (Environ. Eng. Division, Xi'an Highway University, Xi'an 710064, China E-mail: Dengsx@ihw.com.cn)

Abstract: The measurements of the concentrations of the pollutants from the vehicles inside the 1560m-long Qidaoliang road tunnel in Gansu Province, the observations of meteorological conditions in the tunnel and the counting and classification of vehicles passing through the tunnel were conducted. The emission factors of CO, Hydrocarbons (HC_s) and NO_x from vehicles on mountain roadway in China were 41.861 ± 26.101 , 5.367 ± 3.158 and $3.883 \pm 1.943 \text{g}/(\text{km} \cdot \text{veh})$, respectively, which were derived from the model of tunnel air quality based on the measured data. In comparison with the emission factors published by developed countries, the CO, and HC_s emission factors of vehicles driving on mountainous road in China are much higher than those of the advanced countries. However, the level of NO_x emission is lower than that of others.

Keywords: road tunnel, emission factor, vehicular pollutant.

公路汽车污染物排放系数在公路隧道通风设计中是计算隧道所需新风量和确定隧道机械通风方案的主要依据^[1,2]。多年以来, 由于缺乏我国高海拔山岭公路汽车污染物排放系数的实测资料, 在公路工程环保设计和隧道的通风设计中常引用国外汽车污染物排放系数的测试结果。但由于我国在用汽车的污染物排放水平与西方发达国家汽车相比有较大的差别^[3], 因此迫切需要测定和确定我国高海拔山岭公路上行驶车流污染物排放系数。为此笔者在建成通车的甘川公路七道梁隧道内通过连续5d 实测过往隧道汽车排气形成的 CO、HC_s 和 NO_x 浓度分布以及气象条件、交通量和车型组成。在实测数据的基础上用隧道空气质量模式求得我国高

海拔山岭公路汽车平均单车污染物排放系数。

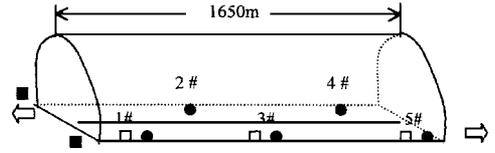
1 样品采集与分析

七道梁公路隧道长1560m, 为一双向行车的南北向越岭隧道, 位于兰州市南甘肃通往四川、青海两省的交通干线上, 距兰州市25km。七道梁隧道横截面积 61.3m^2 , 平均海拔高度 2288.5m, 隧道内路面平均纵坡为 2.8% (由南向北)。隧道采用顶挂射流风机纵向机械通风。七道梁隧道洞外周围为自然植被良好的山岭,

* 交通部资助科研项目(94-1265-54)
作者简介: 邓顺熙(1960~), 男, 博士, 副教授, 主要从事汽车污染物排放因子和道路空气污染扩散模式的研究
收稿日期: 1999-04-22

除隧道管理处和公路收费站外,附近无工业和生活居住区.在隧道内及隧道口周围除汽车排放污染物外,无其它人为空气污染物排放源.

七道梁隧道内空气污染物浓度采样点及气象要素观测点位置见示意图1.其中1#、2#、3#、4#和5#测点分别距兰州方向隧道口的距离为60、390、750、1080和1500m.在每个测点监测CO、HCs和NO_x浓度.在1#、3#和5#点同时观测风速、温度、湿度和气压等气象条件.在隧道北口统计交通量以及车型分类.隧道内空气污染物浓度的采样分析和观测方法为:采用1000m³铝膜气袋抽取空气,用48型CO分析仪分析CO浓度,该仪器分析原理为非色散红外分析法(NDIR);使用100m³玻璃针筒抽取HCs气样,用美国产3400型气相色谱仪分析HCs浓度;使用装有盐酸萘乙二胺吸收液的吸收瓶用大气采样器采集NO_x样品,用分光光度仪分析NO_x浓度.用三杯风速仪观测隧道内的风速,用雷达测速仪测定汽车行车速度.



● CO、HC、NO_x采样点 □ 风速记录点 ■ 交通量统计点

图1 隧道内汽车排放污染物浓度监测点布设示意图

2 监测结果

2.1 隧道内空气污染物浓度监测结果

观测在1995-09-07~1995-09-11,历时5d.采样期间关闭所有射流风机,每天采样8~16次,所采气体样品在当天送实验室分析.观测期间七道梁隧道内CO、HCs和NO_x浓度监测分析值的统计结果见表1.可见,隧道内CO、HCs和NO_x浓度范围分别在0.32~213.3mg/m³、0.020~22.100mg/m³和0.010~8.320mg/m³之间,5个测点的CO、HCs和NO_x平均浓度分别为24.47mg/m³、3.37mg/m³和2.87mg/m³.

2.2 测试期间交通量及车型组成

表1 七道梁隧道内各测点污染物浓度统计分析结果/mg·m⁻³

污染物	点位	样品数	浓度范围	平均值	标准差	变异系数
CO	1#	80	0.32~52.0	11.62	12.18	1.05
	2#	17	4.17~27.58	14.44	7.165	0.50
	3#	38	5.59~51.61	22.02	10.83	0.49
	4#	22	14.07~50.34	31.92	9.60	0.30
	5#	80	0.77~213.3	42.37	42.99	1.01
HCs	1#	80	0.020~8.500	2.302	2.086	0.91
	2#	19	0.210~5.530	1.914	1.445	0.75
	3#	38	0.981~8.750	3.422	1.833	0.54
	4#	22	0.980~7.010	3.894	1.621	0.42
	5#	79	0.130~22.100	5.336	4.483	0.84
NO _x	1#	48	0.191~2.471	0.871	0.598	0.69
	2#					
	3#	36	0.932~6.540	1.983	1.091	0.55
	4#	16	1.400~5.830	2.499	1.143	0.46
	5#	48	0.010~8.320	6.136	2.103	0.93

在观测期间通过隧道的车辆8756辆,其中轻型车(质量<3.5t)、中型车(3.5t≤质量≤8.0t)、重型车(质量>8t)和摩托车的所占比例分别为45.8%、49.5%、3.1%和1.6%.柴油车占总计车辆数的20.1%.汽车行车速度在30~

55km/h之间,平均车速40.2km/h.

2.3 隧道内气象条件

七道梁隧道内气象条件观测与污染物浓度观测同步进行,测得的观测期间气象条件见表2.在观测期间,平均风速1.47m/s.

表2 隧道内气象条件统计分析

风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$					温度	气压	相对湿度	
1#	2#	3#	4#	5#	平均值	/ $^{\circ}\text{C}$	/hPa	/%
1.3~ 3.5		1.0~ 3.8		0.9~ 2.7	1.47	1.0~ 13.5	775.4~ 784.7	71.0~ 88.0

3 公路汽车污染物排放系数的计算

3.1 公路隧道空气质量模式

公路隧道内汽车排气形成的污染物浓度分布,可以用一维稳态物质输运方程来分析^[4].若取隧道内气流的方向为 x 轴向,隧道进风端口处为 x 轴的起点.假定隧道内汽车污染物排放率是常数,不考虑汽车排放污染物化学反应过程,则隧道内 j 种污染物浓度 $c_j(x)$ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) 满足一维稳态质量守恒方程:

$$u(x) \frac{\partial c_j(x)}{\partial x} = q_j + \alpha_i c_{mj} - \alpha_0 c_j(x) - k_j c_j(x) \quad (1)$$

式中, $u(x)$ 为隧道内平均风速 (m/s), q_j 为隧道内单位体积汽车 j 种污染物排放速率或源强 [$\text{mg}/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$], α_i 和 α_0 分别是隧道通风系统进入隧道和排出隧道的通风系数 (s^{-1}), c_{mj} 为 m 通风系统引入空气中含有 j 种污染物浓度 (mg/m^3), k_j 是 j 污染物在隧道内沉降率.

在七道梁隧道观测期间关停所有通风机,故 $\alpha_i = \alpha_0 = 0$. 对于 CO 、 HCs 和 NO_x , 沉降率可以忽略不计^[5], 即 $k_j = 0$.

隧道内平均风速 $u(x)$ 满足连续方程:

$$\frac{du}{dx} = \alpha_i - \alpha_0 \quad (2)$$

积分(2)求得:

$$u(x) = u_0 + (\alpha_i - \alpha_0)x \quad (3)$$

式中, u_0 是隧道口 $x = 0$ (气流进口端) 的风速 (m/s).

因 $\alpha_i = \alpha_0 = 0$

所以 $u(x) = u_0$ (4)

3.2 公路汽车污染物排放系数 E_j

若设 E_{ij} 是某一观测间隔 i 类型车排放 j 种污染物平均单车排放系数 [$\text{g}/(\text{km}\cdot\text{veh})$], V_i 是 i 型汽车交通量 (veh/h), 则隧道内汽车污染

物排放速率或线源源强实际上是该时段内过往隧道各种车辆污染物排放率的总和, 即:

$$Q_j = Sq_j = \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^n V_i E_{ij} \quad (5)$$

式中, Q_j 为隧道内单位长度公路上汽车排放 j 种污染物排放率 [$\text{g}/(\text{s}\cdot\text{km})$]; S 为隧道的横截面积 (m^2); n 为汽车的分类种数, $i = 1, 2, 3, 4$ 分别为轻型车、中型车、重型车和摩托车.

把(5)式、(4)式代入(1)得隧道内采样时间内平均单车污染物排放系数为:

$$E_j = 3600Su_0 \frac{\partial c_j}{\partial x} / \sum_{i=1}^n V_i \approx 3600Su_0 \frac{\Delta c_j}{\Delta x} / \sum_{i=1}^n V_i \quad (6)$$

式(6)中, $\frac{\Delta c}{\Delta x} \approx \frac{c(x_2) - c(x_1)}{x_2 - x_1}$ 为隧道内任意2点 x_1 和 x_2 之间浓度的差商.

3.3 平均单车污染物排放系数的计算结果

根据在隧道内各测点测得的污染物浓度 $c_j(x)$ 、隧道内风速和通过隧道的交通量, 用(6)式可计算得各次采样时段平均单车 CO 、 HCs 和 NO_x 排放系数. 表3是测试期间单车污染物排放系数的统计结果. 由表3可见, 我国高海拔山岭公路汽车平均单车排放 CO 、 HCs 和 NO_x 的系数的均值分别为 41.861 、 5.367 和 $3.883 \text{g}/(\text{km}\cdot\text{veh})$; 方差分别为 26.101 、 3.158 和 $1.943 \text{g}/(\text{km}\cdot\text{veh})$.

表3 我国山岭公路汽车污染物排放系数统计结果/ $\text{g}\cdot(\text{km}\cdot\text{veh})^{-1}$

统计量	CO	HCs	NO _x
范 围	10.492~ 177.460	1.298~ 17.283	1.021~ 10.217
平均值	41.861	5.367	3.883
标准差	26.101	3.158	1.943
统计样本组	79	80	51

3.4 与国内外实测结果比较

表4给出了本文实测的高海拔公路汽车污染物排放系数与国外发达国家公路隧道测得的结果^[6]和西安城市道路隧道及成都至重庆高速公路龙泉山隧道实测结果^[7,8]的比较. 可见, 我国山岭公路汽车 CO、HCs 排放系数明显高于发达国家汽车排放水平. 而对于 NO_x, 除轻型

车外, 我国汽车排放系数低于国外的汽车; 从七道梁隧道(海拔高度2288.5m)与西安北路隧道(海拔高度400m)和龙泉山隧道(610m)汽车污染物排放系数比较看, 汽车在高海拔公路上行驶时和在低海拔公路行驶相比 CO 和 HC_s 排放系数增大, 而 NO_x 排放系数减少.

表4 七道梁隧道汽车污染物排放系数与其他隧道实测结果比较

隧 道	代表性车型	单车污染物排放系数/(g·(km·veh) ⁻¹)			道路种类
		CO	HCs	NO _x	
Vancouver	轻型车	5.09	0.43	0.71	城市道路
Cassier	重型车	16.15	1.05	10.75	
Fort Mcherny	重型车	6.11	0.96	8.94	高速公路
Tuscarora	重型车	3.75	0.42	11.86	高速公路
西安北路隧道	混合交通	33.279±12.158	3.577±1.816	4.605±1.981	城市道路
龙泉山隧道	混合交通	28.731±9.225	3.139±1.320	4.651±1.928	高速公路
七道梁隧道	混合交通	41.861±26.101	5.367±3.158	3.883±1.943	高海拔山岭隧道

4 小结

(1) 通过对七道梁隧道内风场、过往隧道汽车的交通量、车型以及对隧道内汽车排放污染物浓度的同步监测得出了我国高海拔山岭公路汽车平均单车 CO、HCs 和 NO_x 排放系数分别为 41.861、5.367 和 3.883g/(km·veh). 我国山岭公路汽车 CO、HCs 排放系数明显高于发达国家汽车的排放水平. 而除轻型车外 NO_x 排放系数小于国外发达国家汽车的排放值.

(2) 路面海拔高度对汽车污染物排放系数有一定的影响, 总体上讲, 当路面海拔高度增高时, 汽车排放 CO、HCs 的系数增加, 而 NO_x 排放系数减小.

参考文献

1 中华人民共和国行业标准. 公路隧道设计规范. 北京: 人

民交通出版社, 1990. 37~ 40

- John O Bickel. Tunnel Engineering Handbook. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc. 1982. 483~ 490
- 邓顺熙, 史宝忠. 我国轻型汽车污染物排放因子的实验研究. 中国环境科学, 1999, 19(2): 176~ 179
- Chang T Y, Rudy J. Roadway Tunnel Air Quality Models. Environ. Sci. Technol., 1990, 24(5): 672~ 676
- Chang T Y, Modzelewski S W, Nosbeck J M et al. Tunnel Air Quality and Vehicle Emissions. Atmospheric Environment, 1981, 15(5): 1011~ 1016
- Cadle Steven H et al. Real-world vehicle emission: a summary of the fourth annual CRC-APPAC. J Air Waste Manage. Assoc., 1994, 44: 1180~ 1187
- Deng Shunxi et al. Emission Factors of vehicular Pollutants in the Xi'an Tunnel, Beijing: presented at ASAAQ'98, 1998, 3~ 5
- 邓顺熙等. 高速公路汽车污染物排放因子的测试与研究. 中国公路学报, 1999, 12(Sup.): 94~ 100