

文章编号:1671-8879(2005)01-0077-05

公路隧道汽车污染物基准排放量

王生昌, 李百川

(长安大学 汽车学院, 710064)

摘 要:为准确确定汽车排放对公路隧道的污染状况,分析了汽车污染物排放特性,建立了基于 CVS 采样和“碳平衡法”的汽油车 CO 排放量计算模型、基于发动机燃烧理论分析的柴油机烟雾排放量计算模型。通过 PUMA-III 模拟汽车运行工况的台架试验和实际道路试验,研究了汽油车 CO 和柴油机烟雾排放的速度特性;进行了 CW150 发动机台架模拟隧道污染环境试验,分析了发动机进气受到污染后对发动机污染物排放量的影响。结果表明,汽油机进气 CO 浓度每增加 0.01%,废气排放中 CO 排放量增加 11%;柴油机进气中 CO 含量达到 0.02% 时,烟雾排放量平均增加 15%~20%。

关键词:汽车工程;公路隧道;汽车污染物;基准排放量;计算模型;试验

中图分类号:U459.2;U473.9

文献标识码:A

Criterion emission amount of automotive pollution in highway tunnel

WANG Sheng-chang, LI Bai-chuan

(School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: In order to determine the pollution in highway tunnel by automotive emission, automotive emission characteristics was analyzed, an experiment-mathematics model of CO emission of gasoline vehicle was developed based on CVS and “carbon balance” way, and an experiment-mathematics model of smog emission amount of diesel engine was built based on combustion theory. By both PUMA-III simulation automobile travel condition's tests and actual road tests, the velocity characteristics of gasoline CO emission and diesel smog was studied, the effects of polluted inlet air on engine emission amount were researched by simulating tunnel pollution circumference on indoor engine tests with CW150 test bed. The results show that when the concentration of inlet CO of gasoline engine is increased 0.01%, its emission volume of CO is increased 11%; when the concentration of inlet CO of diesel engine reaches 0.02%, its emission amount of CO is increased 15%~20% on average.

Key words: vehicle engineering; highway tunnel; automotive emission; criterion emission amount; mathematical model; experiment

0 引 言

随着中国公路隧道的大量建设,汽车运行时间

和运营成本大幅度的下降,促进了公路运输的跨越式发展。如何定量评价机动车排放对公路隧道的污染,进而进行相应的通风方案设计,实现公路隧道的

收稿日期:2004-01-12

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2001 318 0007101)

作者简介:王生昌(1961-),男,河北邢台人,长安大学副教授,硕士。

安全运营,对促进公路运输的可持续发展具有十分重要的意义。

要准确地确定汽车排放对公路隧道的污染状况,汽车排气污染物基准排放量的确定尤为重要。因为,汽车污染物排放量和排放因子是计算公路隧道机动车污染物排放源强,确定隧道通风方案中需风量的关键参数。到目前为止,中国尚未对此项指标进行系统的研究。

通过系统地分析汽车排气污染物排放特性,借鉴国内外经验,研究并建立适合中国机动车排气污染物基准排放量的试验方法,将其作为公路隧道通风方案设计的依据,同时可作为汽车排放对城市空气污染和公路建设项目环境影响评价时建立空气污染预测模型的基础参数。

从在用车中选取具有代表性的车型通过实验室模拟道路运行试验和实车公路运行试验,以及实验室模拟隧道环境的发动机台架试验。在分析研究中国机动车单车 CO 和烟雾排放特性的基础上,提出基于公路隧道汽车排气污染物基准排放量的试验研究方法、模型以及环境系数修正等。

1 国内外研究概况及课题研究

1.1 汽车污染物排放特性

20 世纪 70 年代以来,美国、欧洲、日本等分别颁布了一系列规范的汽车排气标准工况测试规程。如美国的 FTP75 规范 LA-4CH、欧洲的 ECE15 + EUDC、日本的 10 工况 + 15 工况法等,在底盘测功机上模拟汽车运行工况,对汽车排放物进行分析测定。在此基础上建立了汽车污染物排放因子的计算模型,其中最有代表性的是美国环保局(EPA)的 MOBILE 系列模型以及 EMFAC、COPERT 和 CORINAIR 模型^[1]。

1995 年清华大学对美国 and 欧洲轿车不同时期,采用不同的排放控制技术时的排放因子,以及北京市在用车实际运行条件下的排放因子基准排放量进行了计算^[2]。结果表明,中国汽车在 1995 年时的 CO、HC 排放水平仅相当于美、欧汽车未进行排放控制之前的水平;NO_x 排放量相对较低说明了中国在用车在发动机富燃料条件下工作,燃料不能充分燃烧,气缸燃烧温度较低,发动机热效率不高。

1.2 汽车污染物排放因子试验

(1)台架试验法。利用底盘测功机或发动机台架模拟汽车在道路上的运行工况,对汽车或发动机排放进行分析测定。①轻型车有美国的 FTP-75/

LA-4CH,欧洲的 ECE15 + EUDC 和日本的 10. 15 工况法。②重型车有美国从 1987 年起实施 EPA 发动机瞬态工况循环试验法;欧洲从 2000 年起,在发动机 13 工况法基础上增加了 1 个动态烟度试验(ELR);日本采用的是 13 工况法。

(2)利用公路隧道确定汽车污染物排放因子排放强度^[3~5]。具有代表性的有 1992 年 Steven N R 和 Ute P 等人研究的 Tuscarora、Vancouver's Cassiar 公路隧道,1993 年 Johannes, Staehelin 等人研究的瑞士 Gubist 公路隧道机动车 CO、HC、NO_x 的基准排放量等。

中国于 20 世纪 80 年代后期参照 ECE15 试验规程制定了轻型汽车排气污染物测试方法和重型汽车排放试验方法,现行国标的测试方法等效采用了欧洲 1 号和欧洲 2 号法规的测试规程。

1996 年原西安公路交通大学环境工程研究所^[6]选择了有代表性的龙泉山隧道、七道梁隧道和西安北路隧道等,通过测定车辆在隧道内运行时造成空气污染的浓度来确定汽车排放因子。研究表明,中国汽车污染物排放因子的排放量在 20 世纪 90 年代中期几乎是美国和瑞士的 8~10 倍。

2001 年,天津大学和天津内燃机研究所^[7]研究了机动车实际道路排放因子的分布特征及速度、加速度等参数对排放因子的影响,得到了实验车实际道路排放因子。

1.3 汽车污染物基准排放量

由于汽车污染物基准排放量是公路隧道通风方案设计、相关工程和重大决策技术分析与交通环境影响评价的基本依据,所以国际隧道技术委员会(PIARC)以及各国都进行了较为深入的研究。研究表明,随着汽车技术进步和排放法规的约束,汽车排放的污染物呈减少的趋势。日本 20 世纪 80 年代初研究提出的 q_{∞} 基准排放量与 20 世纪 60 年代相比下降了 78%。PIARC 隧道技术委员 1987 年提出的 q_{∞} 推荐值比 1975 年下降了约 44%。

关于柴油车烟雾基准排放量,各国则研究的相对较少。在 PIARC 隧道技术委员大会上多次推荐的基准排放量均为 $16 \text{ m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{t})^{-1}$ 。

1.4 课题研究

建立数学模型,采用随机抽样法,抽取中国在用车中有代表性的车型。在底盘测功机上模拟汽车道路行驶工况和汽车实际道路运行时污染物的排放测试,确定汽车单车污染物排放因子 CO 和烟雾的排放量;利用发动机台架模拟隧道环境和实际隧道运

行情况,试验研究汽车发动机进气质量变化对汽车污染物排放的影响;对上述排放因子进行修正,最终确定汽油车 CO 和柴油车烟雾的基准排放量试验研究方法。

2 汽车单车污染物基准排放量试验

2.1 CO 基准排放量的试验

由于汽油车 CO 排放量远高于柴油车,因此确定 CO 基准排放量时,是以汽油车为研究对象的。采用了 PUMA-III 台架模拟试验和道路试验法,并通过 CW150 发动机模拟隧道环境实验对数据进行修正。

2.1.1 CO 排放量实车台架试验

从在用车中选择了 SANTANA2000、HFJ6350、BJ10413 种技术状况良好的轻型汽车。试验方法和试验设备满足 GB18352.1-2001。试验车在转鼓底盘测功机上模拟实际道路运行工况,挂直接挡在 40、70、100 km·h⁻¹ 车速下汽车运行 3 min,分析结果见表 1。

试验结果表明,随着车速增高,CO 的排放量呈减少的趋势。

2.1.2 CO 排放量实际道路试验

试验路段选择草滩路(坡度不超过 0.3%),按汽车等速油耗试验规范确定试验段长度为 500 m,加速段长度不小于 1 000 m;试验车是从在用车中随机抽取技术状况一般的普通桑塔纳轿车,按照标准载质量配载。试验车挂常用挡位,分别以 20、30、40、50、60、70、80 km·h⁻¹ 的速度等速通过试验段,五气分析仪连续检测汽车尾气中 CO 及各成分的体积浓度和过量空气系数,同时油耗仪检测其油耗量 m_f ,为了消除风速及道路的影响,往返各进行一次。

(1)建立 CO 排放量的计算模型,基于“碳平衡法”原理建立的数学模型^[6]为

$$m_{CO} = m_f(1 + \alpha) \frac{M_{rCO}}{M_{rexh}} \varphi_{CO}$$

(1)

式中: m_{CO} 为 CO 的质量排放率; m_f 为燃油的质量流量; α 为废气分析仪测出的过量空气系数; M_{rCO} 为 CO 的分子量; φ_{CO} 为废气分析仪测出的 CO 体积百分比浓度; M_{rexh} 为排出废气的平均分子量。

由式(1)可知,只要测出汽车通过 500 m 试验段时,发动机排气各成分的平均浓度、平均过量空气系数以及通过试验段的实际车速和油耗量,就可以求出单位里程的 CO 排放量。

$$q_v = 3\,600 m_f (1 + \alpha) \frac{M_{rCO}}{M_{rexh}} \varphi_{CO} / V$$

(2)

式中: q_v 为单位里程的 CO 排放量; V 为通过试验段时汽车实际运行车速。

(2)试验结果(不同车速下对应的 CO 排放量见图 1。)可以看出 CO 的排放量在直接挡车速为 30 km·h⁻¹ 时,排放量最大,随着车速的提高,CO 排放量逐渐减少,超过 70 km·h⁻¹ 后,排放量又有所回升。

2.1.3 发动机台架模拟隧道环境试验

发动机台架模拟隧道环境试验是在交通新能源试验室的 CW150 发动机台架上进行的,用解放 CA6102 发动机尾气排放中 CO 排放浓度的负荷特性确定回流率为 5% 左右。

专门设计的废气回流装置采用节流阀调节废气的回流量,并渗入进气中,同时监控进气中 CO 的浓度。测定不同废气回流量(即 CO 进气浓度下)时 CO 排放浓度。试验结果如图 2。

由分析可知,进气中 CO 浓度每增加 0.01%,尾气排放中 CO 浓度上升 11%。由此可以看出,在确定隧道 CO 单车基准排放量时,必须考虑进气环境空气质量的影响^[7]。

2.2 烟雾基准排放量的试验

由于柴油车烟雾排放量远远大于汽油车(一般超过 30~80 倍),所以研究烟雾基准排放量时,选择柴油车为研究对象。

表 1 3 种车型不同速度下 CO 排放质量

车 型	速度/(km·h ⁻¹)					
	40		70		100	
	质量排放量/ (g·km ⁻¹)	体积排放量/ (m ³ ·(veh·km) ⁻¹)	质量排放量/ (g·km ⁻¹)	体积排放量/ (m ³ ·(veh·km) ⁻¹)	质量排放量/ (g·km ⁻¹)	体积排放量/ (m ³ ·(veh·km) ⁻¹)
SANTANA2000	2.073	0.001 660	0.642	0.000 514	0.137	0.000 110
HFJ6320	1.670	0.001 340	1.230	0.000 984	1.11	0.000 890
BJ1040	1.670	0.001 340	1.030	0.000 824	0.89	0.000 712
平均	1.804	0.001 440	0.967	0.000 774	0.712	0.000 570

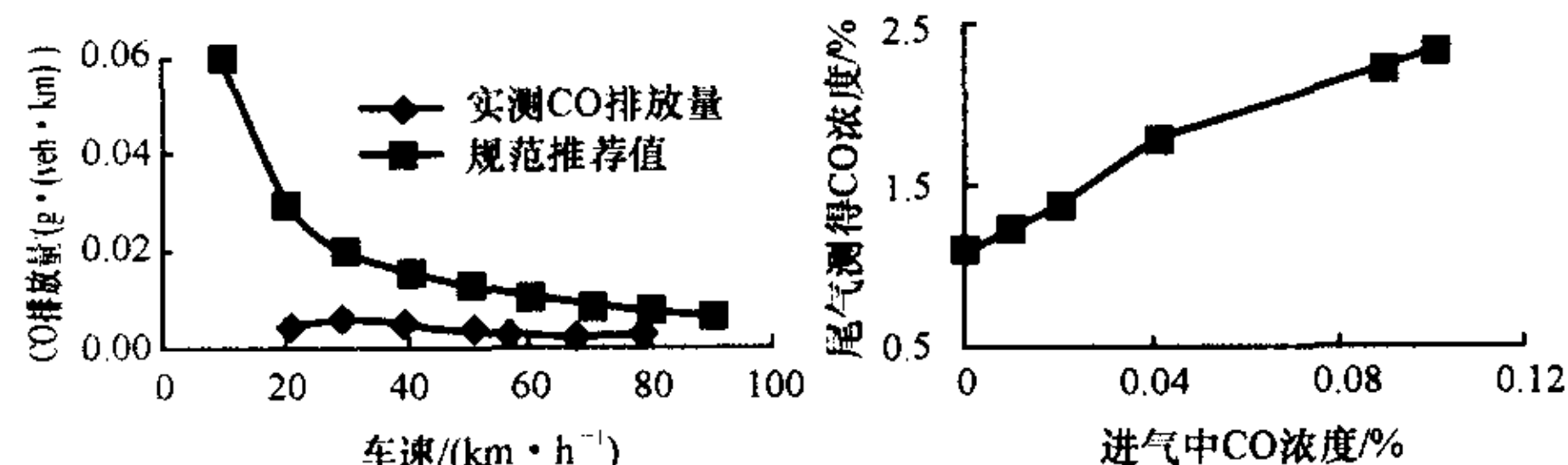


图1 道路试验 CO 排放量
与车速的关系

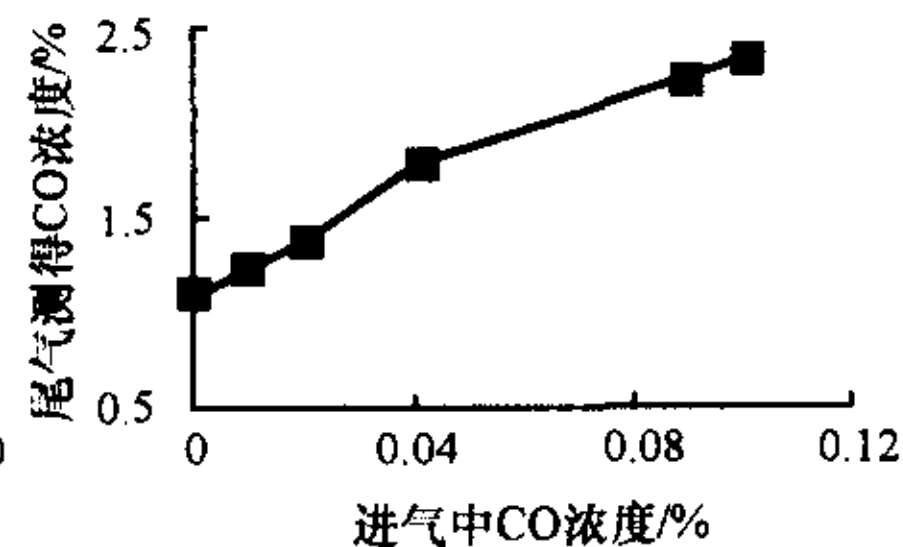


图2 进气中 CO 浓度对发动
机 CO 排放浓度的影响

2.2.1 柴油车烟雾排放试验计算模型

柴油车烟雾排放量与柴油车排出废气中颗粒物的浓度、体积及废气流量等有关^[8]。因此,烟雾排放量的试验计算模型是基于对发动机燃烧过程的分析而建立的。根据燃烧化学反应平衡原理^[6],1 kg 燃料燃烧后气态产物的总量为

$$M = \frac{g_c}{12} + \frac{g_H}{2} + \varphi \frac{g_c}{24} + \alpha L_0 - 0.21L_0 \quad (3)$$

由此推得的计算模型为

$$q_v = \frac{1}{1.29} m_f \bar{\alpha} L_0 \left(1 + \frac{0.134}{4\bar{\alpha}L_0}\right) \bar{k} \quad (4)$$

式中: q_v 为柴油车单车烟雾排放量; g_c 、 g_H 分别为 1 kg 燃料中 C、H 的含量; φ 为 C 元素中燃烧转化成 CO 的百分比; $\bar{\alpha}$ 为平均过量空气系数; L_0 为理论空燃比,对柴油车一般取 14.7; m_f 为单位里程的燃油消耗量; \bar{k} 为柴油车排出废气的平均消光系数。

2.2.2 柴油车烟雾排放量的道路试验

试验路段选择西安市草滩路(坡度不超过 0.3%),按汽车等速油耗试验规范确定试验段长度为 500 m,加速段长度不小于 1 000 m;试验车是从在用车中随机抽取了 5 veh 技术状况一般的轻型和中型客、货柴油车,按照标准载质量配载。试验车辆挂常用挡位,分别以 20、30、40、50、60、70、80、90 km·h⁻¹ 的速度等速通过 500 m 试验路段,烟度计连续检测汽车排出尾气的消光系数 k 值,五气分析仪连续测定过量空气系数 α 值,确定在 500 m 试验段的平均消光系数和平均过量空气系数。同时油耗仪检测其油耗量。为了消除风速及道路的影响,往返各进行一次,取其平均值。试验结果

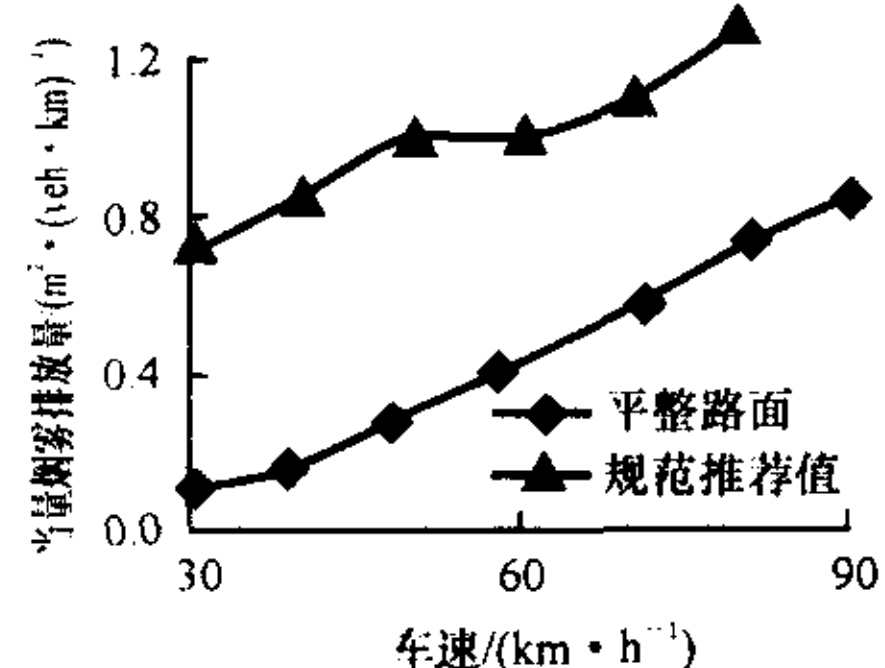


图3 JX6541D-H 客车烟雾
排放量与运行车速的关系

如图 3、图 4 所示。

可以看出,在实车道路运行试验环境下,柴油车的烟雾排放量随着车速的提高而增加,车速在 40 km·h⁻¹ 以下时变化不明显,超过 40 km·h⁻¹ 后增长相当显著。

2.2.3 发动机台架模拟隧道进气环境试验

(1)发动机运行工况点的确定。由汽车纵向动力学方程可以得到,一定载质量的汽车在平路上以给定的车速行驶时对应的发动机负荷和转速,在发动机台架上模拟时,由测功机来设定负荷。计算得到汽车以Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ变速挡位,在一定滚动阻力系数的路面上以不同车速运行所对应发动机转速为 1 400、1 550、1 700、1 950、2 250 r·min⁻¹。

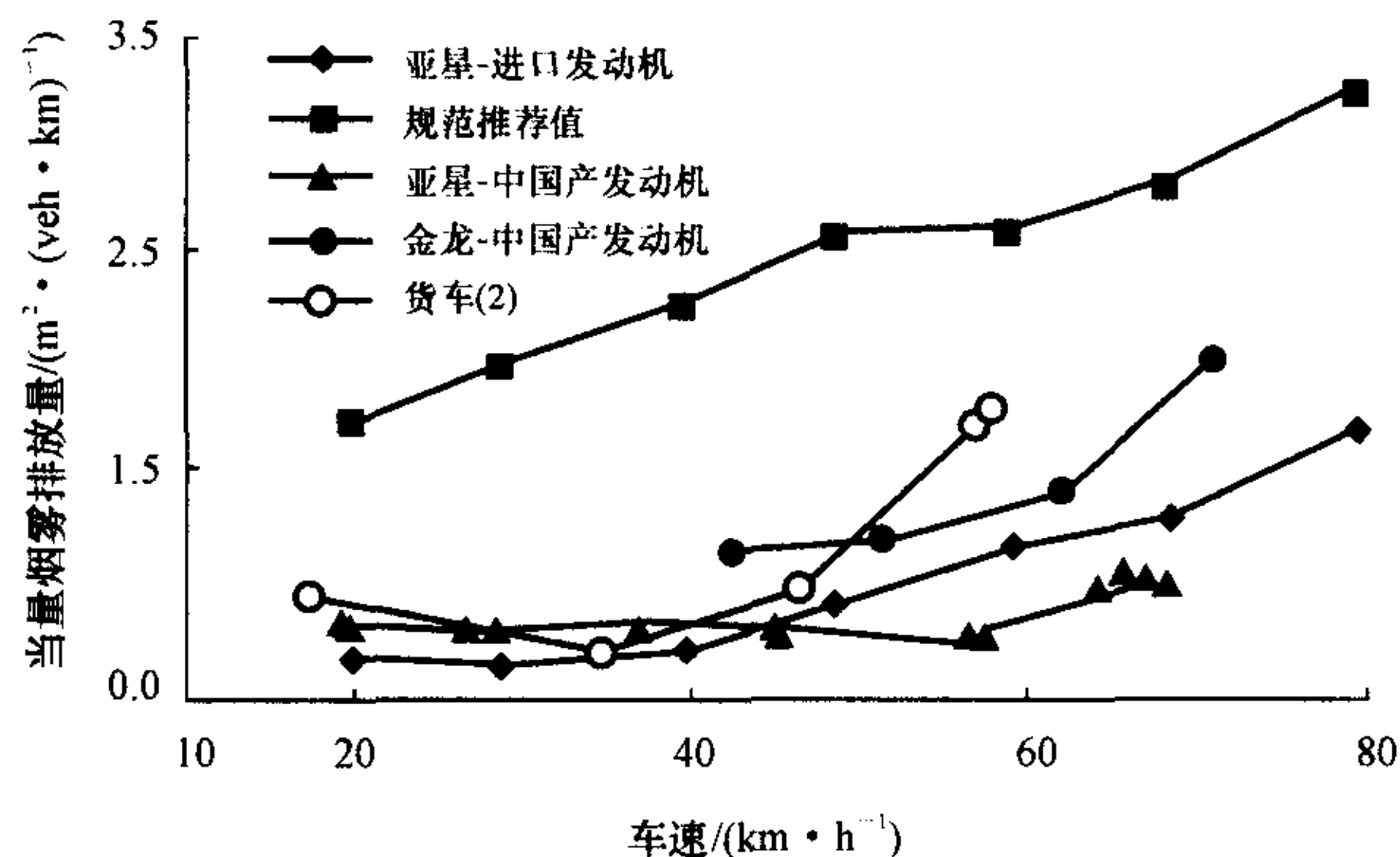


图4 4 部中型柴油车烟雾排放量与运行车速的关系

(2)发动机台架模拟隧道环境试验。试验是在天津珀金斯动力公司的发动机台架上进行的,选用扬州亚星大客车配装的 Perkins 160T(118 kW) 发动机。试验结果如图 5 所示。

由试验结果可以看出,发动机进气质量在相当于 CO 浓度为 0.02% 的隧道环境进气时,与自然环境进气相比,在低速、低负荷时,影响不太明显,高负荷时影响显著;高速时,各种负荷状态下都有较显著的影响。隧道内污染环境进气与自然环境进气相比,柴油机烟雾排放量平均增长约 15%~20%。

3 结 语

(1)通过对美国环保局计算汽车排放因子的 Mobile 模型的分析发现,该方法难以直接使用,因为在用车的使用年限及相应的行驶里程数据很难准确确定。从国内外研究结果来看,对柴油机烟雾基准排放量的研究几乎是空白。

(2)从汽油车 CO 排放量整车台架试验和道路试验比较来看,台架试验条件可控,是进行 CO 及其他排放因子排放量试验研究的理想方法。

(3)模拟隧道环境的汽油机台架试验结果可以看出,汽油机进气 CO 浓度每增加 0.01%,废气排放中 CO 排放量上升 11%,因此研究确定基于公路隧道汽车 CO 基准排放量时,必须考虑进气环境的影响。

(4)从柴油机道路试验计算模型及试验结果可以看出,柴油机烟雾排放量用道路试验可以得到比

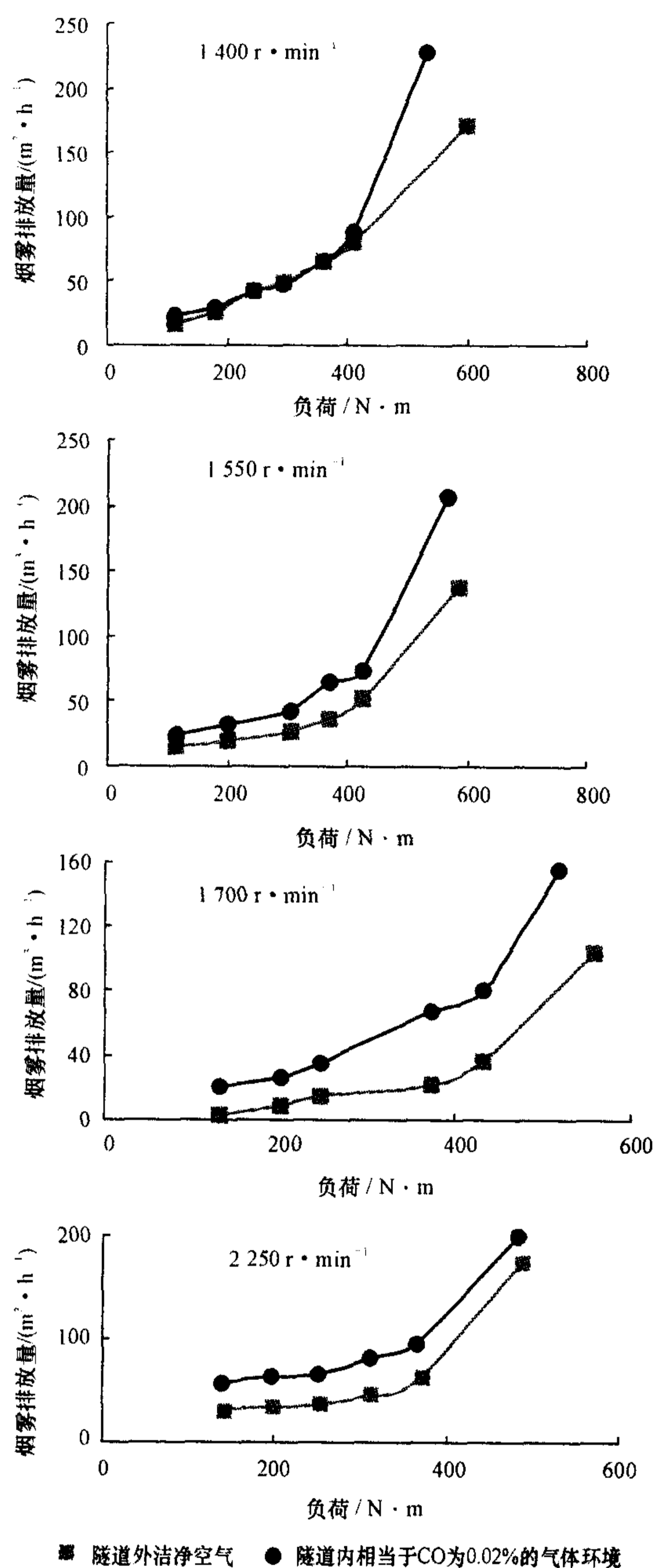


图5 隧道环境对发动机烟雾排放的影响

较理想的结果,建立的试验研究计算模型是解决烟雾排放量测试较理想的方法,但需要对取样方法进行改进,以提高测试精度。

(5)由模拟隧道环境进气与开放环境进气的柴油机台架对比试验可知,当柴油机进气中CO含量相当于0.02%时,与开放环境进气相比,烟雾排放量平均增加15%~20%。

参考文献:

References:

- [1] EPA. Compilation of air pollutant emission factor[R]. US Environmental Protection Agency, AP-42, 4th Edh, North Carolina, USA, 1985.
- [2] 王立新, 付立新, 梨维彬. 汽车排气污染治理及催化转化器[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
WANG Jian-xin, FU Li-xin, LI Wei-bin. Administration of emissions and the catalyst[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000.
- [3] Johannes S. Emission factors from road traffic from a tunnel study (Gubit tunnel, Switzerland) [J]. Atmos Environ, 1998, 32(6): 999-1009.
- [4] Steven N R, Ute P, Tom D. Gaseous emission from vehicles in a tunnel in vancouver [J]. J Air and Waste Manage Assoc, 1998, 84: 604-615.
- [5] Steven H, Robert A, Mark C, et al. Real-world vehicle emission [J]. J Air and Waste Manage Assoc, 1994, 44: 1180-1187.
- [6] 吴克刚, 马志义, 陈世海. 车用柴油机排汽污染物控制措施 [J]. 长安大学学报(自然科学版), 2002, 22(3): 81-84.
WU Ke-gang, MA Zhi-yi, CHEN Shi-hai. Reducing exhaust pollutants from diesel engines of vehicles [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2002, 22(3): 81-84.
- [7] 邓顺熙, 史宝忠. 我国轻型汽车污染物排放因子的测试研究 [J]. 中国环境科学, 1999, 19(2): 176-179.
DENG Shun-xi, SHI Bao-zhong. An experimental study on pollutant emission factors of light duty vehicles in China [J]. China Environmental Science, 1999, 19(2): 176-179.
- [8] 杜青, 杨延相, 郑伟, 等. 机动车实际道路排放特性及若干影响因素的研究 [J]. 内燃机学报, 2002, 20(4): 297-302.
DU Qing, YANG Yan-xiang, ZHENG wei, et al. The study of vehicle emission properties on real-road condition and the influence of some important factors [J]. Transactions of CSICE, 2002, 20(4): 297-302.