

排气催化转化装置对发动机排气颗粒物演化的影响

陈正国¹, 杨小东², 刘庆阳¹, 刘浩业^{1*}

1. 天津大学先进内燃动力全国重点实验室, 天津 300350;

2. 无锡威孚力达催化净化器有限责任公司, 江苏 无锡 214177

摘要:对一台汽油发动机催化转化装置上下游的非挥发性颗粒物和半挥发性颗粒物进行采样和分析, 研究排气催化转化装置对发动机排气颗粒物演化的影响。结果表明:催化转化装置对排气颗粒物的影响包括直接过滤和去除成核前驱物两方面;催化转化装置可以直接过滤高温排气中的非挥发性颗粒, 过滤效率为 20%~35%, 过滤过程包括颗粒物的捕集和氧化;催化转化装置还可以去除排气中半挥发性的多环芳烃成分, 抑制该成分在排气温度降低后转化为半挥发性颗粒物。

关键词:颗粒物;催化转化装置;汽油发动机

中图分类号:TK411.5

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2025)01-0001-08

引用格式:陈正国, 杨小东, 刘庆阳, 等. 排气催化转化装置对发动机排气颗粒物演化的影响[J]. 内燃机与动力装置, 2025, 42(1):1-8.

CHEN Zhengguo, YANG Xiaodong, LIU Qingyang, et al. The influence of exhaust catalytic converter on the evolution of engine exhaust particulate matter[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025, 42(1):1-8.

0 引言

发动机是大气颗粒物的主要来源之一^[1]。由于不同的燃烧模式和燃料特性,汽油发动机排气颗粒物的质量浓度小于柴油发动机^[2],且颗粒物平均粒径通常小于柴油机,但在没有颗粒捕集器的情况下,汽油发动机排气中的粒子数量(particle number, PN)密度与柴油发动机相当^[3]。欧洲车辆排放标准从第五阶段开始同时对汽油发动机排气颗粒物的质量浓度和数量浓度提出限值要求^[4],且即将实行的欧Ⅶ和国七车辆排放标准进一步提高了限值要求,将测量的颗粒物直径下限由 23 nm 扩展到不超过 10 nm,并降低 PN 密度限值^[5],给汽油发动机的 PN 控制带来了新的挑战^[6]。

汽油颗粒捕集器(gasoline particulate filter, GPF)通过惯性、拦截和扩散等机理^[7]捕获非挥发性颗粒物。研究证明, GPF 对降低颗粒物排放十分有效^[8-10],平均过滤效率高于 70%^[11]。虽然 20 世纪 80 年代以来排气催化转化装置三效催化器(three-way catalyst, TWC)已成为汽油机标准后处理装置,但 TWC 对排气颗粒物的影响的相关研究较少。尽管最初 TWC 是为了处理气体排放(HC、CO、NO_x)设计的,但 TWC 具有非常密集的流道,并且这些流道的壁面具有多孔结构并含有催化成分,这都可能造成 TWC 对非挥发性和挥发性颗粒物产生影响。考虑到新的排放标准和未来排放监管趋势,研究 TWC 对缸内直喷(gasoline direct injection, GDI)发动机排气颗粒物的潜在影响越来越有价值。

收稿日期:2024-12-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52406152)

第一作者简介:陈正国(1982—),男,江苏如东人,博士研究生,主要研究方向为内燃机污染防治, E-mail: zhengguo.chen@weifu.com.cn。

*通信作者简介:刘浩业(1989—),男,山东烟台人,工学博士,教授,主要研究方向为内燃机燃烧及排放控制, E-mail: liuhaoye@tju.edu.cn。

由图1可知:1)测试系统S1在2个取样位置(bTWC、aTWC位置)安装2个采样温度为170℃、长度为100mm的短取样管;bTWC、aTWC处的排气温度分别约为600~700℃、400~600℃,因此可以认为在整个预处理过程中,没有形成半挥发性核态(nucleus mode, NM)颗粒物的条件(半挥发性成分到半挥发性颗粒物的转变过程通常发生在温度低于373 K^[17-18]),所以测量的颗粒可视为缸内碳烟形成的非挥发性颗粒物。通过比较bTWC和aTWC位置采样的颗粒特性,可以揭示TWC对非挥发性颗粒的影响^[19-20]。2)测试系统S2、S3用于研究半挥发性气体到半挥发性颗粒物的转化过程以及TWC对该过程的影响,其中测试系统S2使用长度为600mm的长采样管,并且管道温度可以在50~170℃调整,为半挥发性颗粒的形成提供了条件^[21];测试系统S3使用一个专门设计的可变长度的采样管,改变采样管的长度,可在相同的采样流速下改变停留时间。上述系统更多详细信息见文献[22]。

1.2 试验过程

试验使用的汽油中硫的质量分数为 5×10^{-6} 。首先,使用测试系统S1在bTWC和aTWC位置测量非挥发性颗粒,评估TWC对非挥发性颗粒的影响;其次,使用测试系统S2在bTWC和aTWC位置测量排放中的颗粒物,采样管长度为600mm,管道温度分别为50、110、170℃;最后,使用测试系统S3在bTWC位置测量排放中的颗粒物,取样管长度分别为200、400、600mm,采样温度为50℃。在试验过程中,TWC的HC转化效率始终高于99%。核态颗粒物和凝聚态颗粒物的粒径边界设置为30 nm^[18]。

2 结果与讨论

2.1 TWC对非挥发性颗粒物的影响及分析

发动机转速为1700 r/min、不同制动平均有效压力(brake mean effective pressure, BMEP)下,TWC对非挥发性颗粒的过滤效率如图2所示。由图2可知:TWC对核态颗粒(粒径为4~30 nm)的过滤效率约为40%,对凝聚态颗粒(粒径为30~230 nm)的过滤效率为12%~22%,对于整个颗粒的过滤效率约为25%。该结果很好地证明了先前的推测,即TWC可以捕获非挥发性颗粒,尽管其效率低于GPF(GPF的过滤效率大于70%)。

GPF对较小和较大粒径颗粒物的过滤效率较高,研究TWC是否也有类似的特性。发动机转速为1700 r/min, BMEP分别为0.3、0.5、0.7 MPa时TWC颗粒物过滤特性如图3所示。由图3可知:发动机转速为1700 r/min时,TWC对粒径较小的颗粒物过滤效率最高,对粒径约为90 nm的颗粒物过滤效率最低(低于20%);对粒径大于90 nm的颗粒物,过滤效率随着粒径增大而增大。因此,TWC对更小和更大的颗粒物的过滤效率更高。原因为:在TWC中,由于重力或惯性沉降、热泳和布朗扩散,颗粒沉积到通道表面,重力或惯性沉降是大颗粒的主要沉降机理,热泳和布朗扩散是小颗粒的主要沉淀机理^[23]。上述机制对中等颗粒物的过滤效果降低,因此过滤效率最低。

在发动机转速为1400~2000 r/min时,TWC中多个测试点的过滤效率与排气体积流量的关系如图

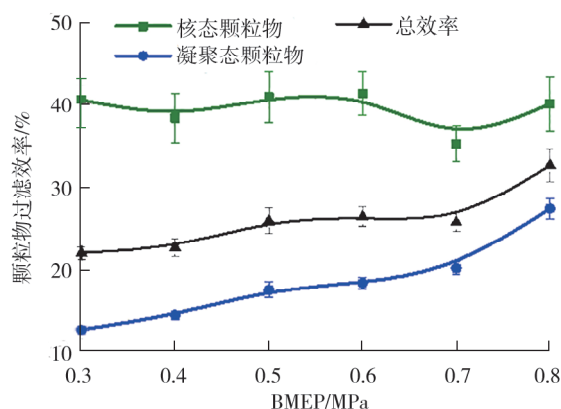


图2 不同BMEP下TWC对颗粒物的过滤效率

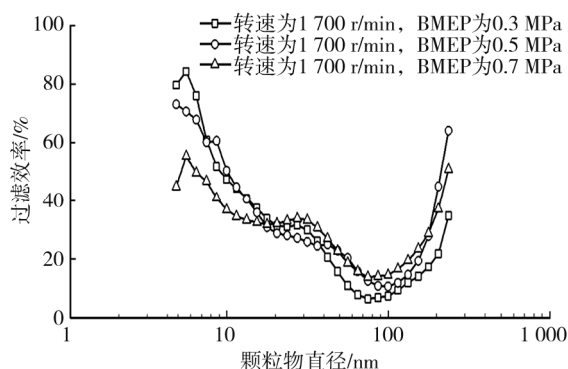


图3 不同粒径下TWC的颗粒物过滤特性

4 所示。由图 4 可知:过滤效率和排气体积流量之间没有明确的关系,这与 GPF 的特性有较大不同^[7]。催化氧化是 TWC 的主要功能,其过滤效率与排气温度高度相关^[24-25]。如果过滤过程是颗粒的物理过滤和氧化的共同结果,过滤效率应与 TWC 中的流量和温度有关。

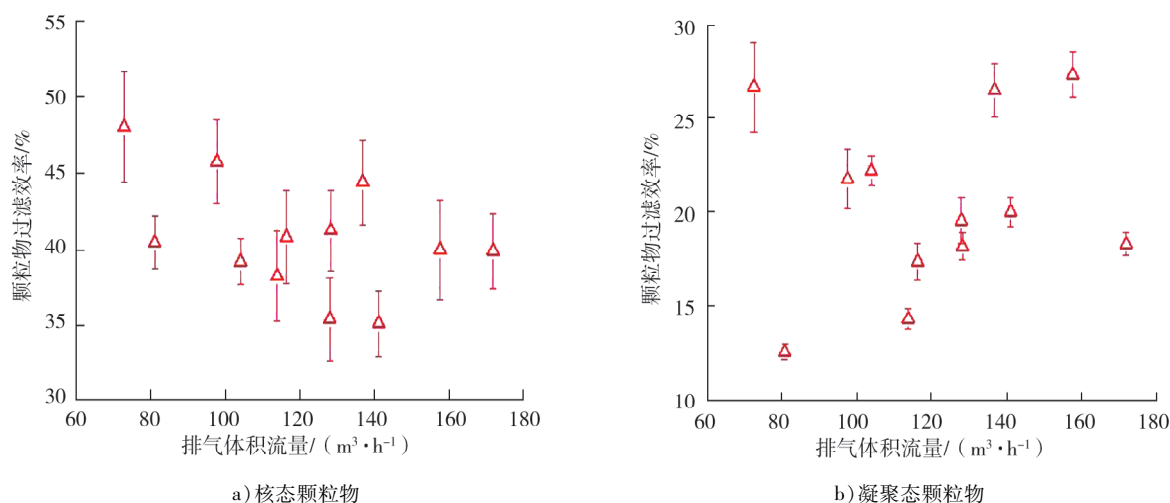


图 4 不同排气体积流量下的 TWC 的颗粒物过滤效率

TWC 过滤效率与 TWC 中排气体积流量和排气温度的关系如图 5 所示,此处排气温度指 TWC 上游和下游采样点的平均温度。由图 5 可知:无论是核态颗粒物和凝聚态颗粒物,TWC 过滤效率都随着排气体积流量的降低和排气温度的升高而增加;与核态颗粒物相比,排气温度对凝聚态颗粒物过滤效率的影响更显著。可以推测,TWC 对颗粒物的过滤过程不仅仅包括物理的颗粒通过扩散在壁面的沉积过程,还包括随后沉积在壁上的颗粒物的氧化过程,氧化作用的强度对消除凝聚态颗粒物更关键。

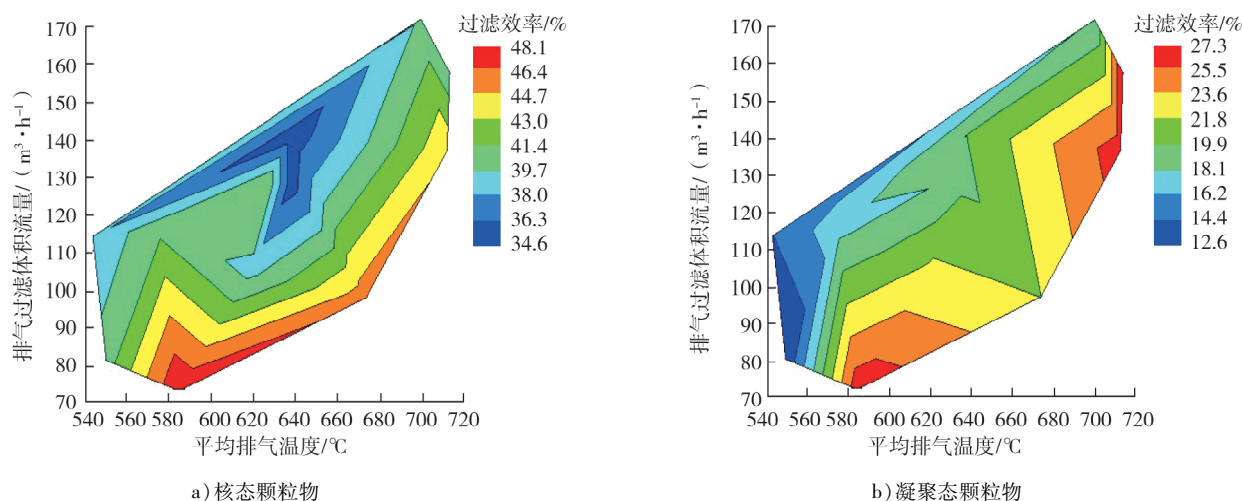


图 5 TWC 过滤效率与排气体积流量和温度的关系

2.2 TWC 对半挥发性颗粒物的影响及分析

第 2.1 节的研究表明,缸内碳烟形成的非挥发性颗粒可以通过壁面沉积和氧化过程被 TWC 捕获和去除。文献中的大量试验研究表明,通过滤纸采集获得的颗粒物通常由非挥发性和半挥发性成分组成^[26],且在较低的排气温度下,半挥发性有机物通过气相向颗粒相的转化会在低温条件下生成大量核态颗粒物^[27-28]。

发动机转速为 1 500 r/min, BMEP 为 0.6 MPa, 采样管温度分别为 50、110、170 °C 时,在 bTWC 和 aTWC 位置测得的粒子数密度如图 6 所示。

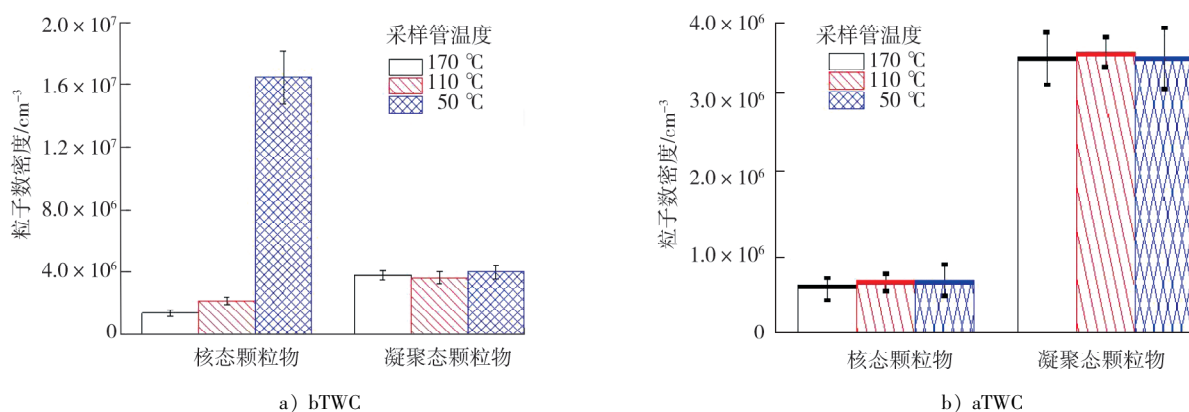


图6 转速为 1 500 r/min、BMEP 为 0.6 MPa 时不同采样温度下的粒子数密度

由图 6 可知:1) bTWC 位置,随着采样管温度降低,核态颗粒物数量密度增大,凝聚态颗粒物数量密度保持不变;当采样管温度设为 110 °C 时,核态颗粒物数量密度略有增大,但仍低于凝聚态颗粒物;当采样管温度为 50 °C 时,核态颗粒物数量密度迅速增加,且远大于凝聚态颗粒物。这表明在低排气温度条件下,采样管中新生成了半挥发性颗粒且颗粒物粒径在核态颗粒物的粒径范围内。2) 在 aTWC 位置,当降低采样温度时,核态颗粒物数量密度和凝聚态颗粒物数量密度保持不变。可以推测,bTWC 和 aTWC 位置颗粒物数量密度随采样温度的变化差异是由于 TWC 对半挥发性成分的过滤作用。所以,除直接过滤颗粒物外,TWC 对颗粒物的影响还包括对半挥发性成分的过滤作用。

采样流量不变,增加采样管长度,排气停留时间增加。发动机转速为 1 500 r/min, BMEP 为 0.6 MPa, 采样温度为 50 °C, 采样管长度分别为 200、400、600 mm 时,bTWC 位置测得的颗粒物数量密度如图 7 所示。由图 7 可知:随着采样管长度增加,核态颗粒物数量密度增加,凝聚态颗粒物数量密度保持不变。降低采样温度增加了半挥发性颗粒的形成潜力,因此在排气停留在采样管的过程中,半挥发性颗粒物在排气中不断形成。

在 aTWC 位置测得的核态颗粒物数量密度较低,且 TWC 去除了部分挥发性物质,因此在 aTWC 位置测量的颗粒物可以视为缸内燃烧产生的非挥发性颗粒物。在 bTWC 位置测量的核态颗粒物包含由非挥发性颗粒物和新形成的半挥发性颗粒物。采样过程中产生的核态颗粒物数量密度可以通过测量的核态颗粒物进行量化,不同采样管长度时新增半挥发性核态颗粒物变化如图 8 所示。由于 TWC 对非挥发性颗粒的过滤作用,非挥发性颗粒物密度已使用第 2.1.1 节中获得的平均过滤效率的 40% 进行了补偿。由图 8 可知,新形成的半挥发性颗粒的核态颗粒物密度比非挥发性颗粒高一个数量级。

为了探索新形成的半挥发性颗粒的主要成

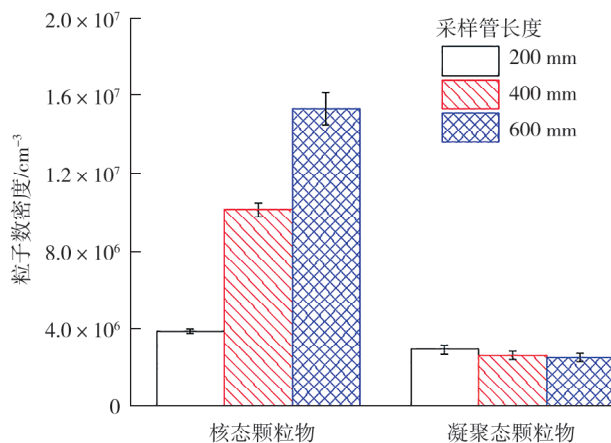


图7 转速为 1 500 r/min、BMEP 为 0.6 MPa、不同取样管长度时 bTWC 位置测得的粒子数密度

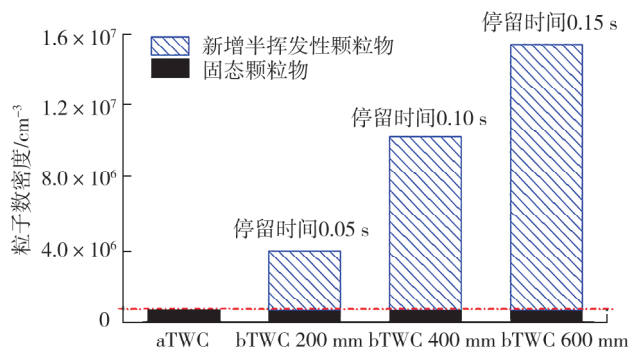


图8 不同采样管长度时新增半挥发性核态颗粒物变化

分和形成机制,通过成核公式进行初步分析。汽油机的排气组分中,半挥发性颗粒物的成核过程可能来自两个路径:一种是半挥发性多环芳烃(PAHs),如萘、芘等^[29]的均相成核,另一种是水-硫酸的二元成核^[30]。TWC 可以通过氧化反应消除半挥发性多环芳烃,同时 TWC 也可以储存 SO_3 ^[31], $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ 反应是形成硫酸(H_2SO_4)的关键反应。

水-硫酸二元成核的成核速率由 Easter 等^[30]给出的计算式估计,成核速率

$$J = AS_{\text{sa}}^B \quad (1)$$

式中: S_{sa} 为硫酸在排气中的饱和度, A 、 B 是相对湿度 R 的函数, $A = 10^{26.5(R-0.988)^{(1/7.8)}}$, $B = 12.3 - 4.26 \times (R - 0.1)/0.9$ 。

半挥发性颗粒物的核态颗粒物数量密度增量 Δ_n 随采样管中停留时间 t_R 的变化如图 9 所示,图中 ρ_p 为芘的质量浓度。由于燃料硫的质量分数为 5×10^{-6} ,决定水-硫酸二元成核速率的唯一变量是 SO_2 到 SO_3 的转化率。由图 9 可知:为了实现与试验测得的核态颗粒物生成速率相似, SO_2 到 SO_3 的转化率 η 大约为 0.4%~0.5%。

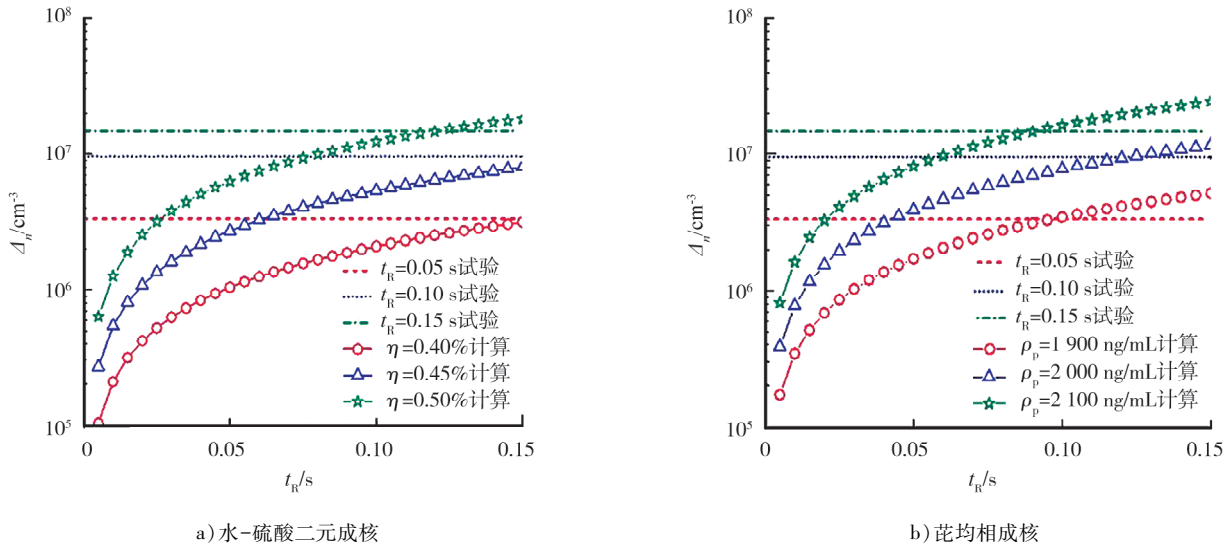


图 9 不同成核模式计算的核态颗粒物 Δ_n 与试验结果对比

Belo 等^[33]研究了高温条件下 SO_2 到 SO_3 的转化率,结果表明,在温度为 900 °C、 SO_2 的质量分数为 $1\,000 \times 10^{-6}$ 时,转化率为 0.4%~0.5%需要的停留时间为 1.5 s。在目前的工作中,采样前的停留时间为 0.2 s,且 SO_2 的质量分数仅为 0.3×10^{-6} , SO_3 的转化率很难达到 0.4%~0.5%。半挥发性多环芳烃的成核速率 J_1 通过经典的成核理论^[33]估计,计算式为:

$$J_1 = \frac{(\rho_g \xi_l)^2}{\rho_l \omega_l} \sqrt{\frac{2\sigma_l}{\pi \omega_l}} \exp\left(-\frac{\Delta_c^*}{k_B T}\right) \left(\frac{m_p^*}{\omega_l}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

式中: ρ_g 为气态相的单体数密度, m^{-3} ; ξ_l 为分子附着频率, s^{-1} ; ρ_l 为凝聚相的单体数密度, m^{-3} ; ω_l 为临界核的体积, m^3 ; σ_l 为表面张力, N/m ; Δ_c^* 为临界吉布斯自由能, J ; k_B 为玻尔兹曼常数, J/K ; T 为热力学温度, K ; m_p^* 为临界核的质量, kg 。

排气中多环芳烃的成分复杂且未知,因此在计算中,用芘作为所有半挥发性多环芳烃的替代成分来简化计算过程(因为根据文献中的试验结果,在 GDI 发动机排气中的所有多环芳烃中芘的质量浓度最高^[29])。图 9b)中,为了达到试验测得的相似的核态颗粒物生成速率,芘的质量浓度应为 1 900 ~ 2 100 ng/mL。该浓度处于可接受范围内,因为 GDI 排气中多环芳烃成分的研究表明,多环芳烃总浓度可能为 1 000 ~ 3 000 ng/mL^[29,34]。因此,通过以上简单的定性分析,推测排气中主要的成核过程更有可能是半挥发性多环芳烃的均相成核。

3 结论

通过控制颗粒物采样的预处理过程,对TWC上游和下游源自缸内燃烧的非挥发性颗粒和源自半挥发性成分的半挥发性颗粒进行采样测量和分析。结果表明,TWC对排气颗粒物的影响包括直接过滤高温排气中的非挥发性颗粒物和消除半挥发性多环芳烃前驱物。

1)TWC对核态颗粒物数量密度的过滤效率约为40%,对凝聚态颗粒物数量密度的过滤效率为12%~22%,对于整个颗粒物粒径范围的数量密度过滤效率约为25%。

2)TWC对颗粒物的过滤过程包括颗粒物扩散到TWC通道壁面的物理过程,以及随后沉积在壁面上颗粒物的氧化,氧化对于消除凝聚态颗粒更为关键。

3)随着采样温度降低,在TWC上游测得的核态颗粒物数量密度增加,在TWC下游测得的核态颗粒物数量密度保持不变,推测TWC去除了半挥发性组分,抑制了核态颗粒物的生成。

4)在TWC上游测量的新形成的半挥发性颗粒物的核态颗粒物密度随着停留时间的增加而增大,并且在停留时间为0.15 s时,可以比非挥发性颗粒物数量密度高一个数量级。

5)根据成核速率的定性分析,推测低温条件下主要的颗粒物成核过程是半挥发性多环芳烃的均相成核。

参考文献:

- [1] SHUAI S J, MA X, LI Y F, et al. Recent progress in automotive gasoline direct injection engine technology[J]. *Automotive Innovation*, 2018,1:95-113.
- [2] KONTSES A, TRIANTAFYLLOPOULOS G, NTZIACHRISTOS L, et al. Particle number (PN) emissions from gasoline, diesel, LPG, CNG and hybrid-electric light-duty vehicles under real-world driving conditions [J]. *Atmospheric Environment*, 2020,222:117126.
- [3] LIU H Y, WANG C M, YU Y S, et al. An experimental study on particle evolution in the exhaust gas of a direct injection SI engine[J]. *Applied Energy*, 2020,260:114220.
- [4] MAMAKOS A, DARDIOTIS C, MARTINI G, et al. Assessment of particle number limits for petrol vehicles[R]. Brussels, Belgium;European Commission, 2012.
- [5] DORNOFF J, RODRIGUEZ F. Euro 7: the new emission standard for light-and heavy-duty vehicles in the European Union [R/OL]. Berlin,Germany:International Council on Clean Transportation, 2024. (2024-03-13) [2024-10-02]. https://theicct.org/wp-content/uploads/2024/03/ID-116-Euro-7-standard_final_v2.pdf.
- [6] RODRÍGUEZ F, BERNARD Y, DORNOFF J, et al. Recommendations for post-Euro 6 standards for light-duty vehicles in the European Union[R]. Berlin,Germany: International Council on Clean Transportation,2019.
- [7] OHARA E, MIZUNO Y, MIYAIRI Y, et al. Filtration behavior of diesel particulate filters(1)[C]//Proceedings of SAE World Congress & Exhibition. Detroit,USA;SAE International, 2007.
- [8] JANG J, LEE J, CHOI Y, et al. Reduction of particle emissions from gasoline vehicles with direct fuel injection systems using a gasoline particulate filter[J]. *Science of the Total Environment*, 2018,644:1418-1428.
- [9] JOSHI A, JOHNSON T V. Gasoline particulate filters;a review[J]. *Emission Control Science and Technology*, 2018,4(1): 219-239.
- [10] LIU H Y, LI Z Y, ZHANG M Z, et al. Exhaust non-volatile particle filtration characteristics of three-way catalyst and influencing factors in a gasoline direct injection engine compared to gasoline particulate filter[J]. *Fuel*, 2021,290:120065.
- [11] CHEN C Y, LEE W J, WANG L C, et al. Impact of high soot-loaded and regenerated diesel particulate filters on the emissions of persistent organic pollutants from a diesel engine fueled with waste cooking oil-based biodiesel[J]. *Applied Energy*, 2017,191:35-43.
- [12] MARICQ M M, CHASE R E, XU N, et al. The effects of the catalytic converter and fuel sulfur level on motor vehicle particulate matter emissions:light duty diesel vehicles[J]. *Environmental Science & Technology*, 2002,36(2):276-282.
- [13] SAMUEL S, HASSANEEN A, MORREY D. Particulate matter emissions and the role of catalytic converter during cold start of GDI engine [C]//Proceedings of SAE 2010 Powertrains Fuels & Lubricants Meeting. Detroit, USA; SAE

- International, 2010.
- [14] BOGARRA M, HERREROS J M, HERGUETA C, et al. Influence of three-way catalyst on gaseous and particulate matter emissions during gasoline direct injection engine cold-start [J]. Johnson Matthey Technology Review, 2017, 61 (4): 329–341.
- [15] Tesscorn. DMS16v01 sizing and resolution-tesscorn aerofluid [M/OL]. (2024–10–15). www.tesscorn-aerofluid.com/wp-content/uploads/2020/11/dms02v01.pdf.
- [16] Cambustion Ltd. Cambustion HFR500 [M]. Cambridge, UK: Cambustion Ltd., 2017.
- [17] KULMALA M, LAAKSONEN A. Binary nucleation of water-sulfuric acid system: Comparison of classical theories with different H_2SO_4 saturation vapor pressures [J]. The Journal of chemical physics, 1990, 93: 696–701.
- [18] KITTELSON D B, ARNOLD M, WATTS W F. Review of diesel particulate matter sampling methods: final report [R]. Minnesota, USA: University of Minnesota, 1999.
- [19] MONTAJIR R M, KAWAI T, GOTO Y, et al. Thermal conditioning of exhaust gas: potential for stabilizing diesel nanoparticles [C]//Proceedings of SAE 2005 World Congress & Exhibition. Detroit, USA: SAE International, 2005.
- [20] KASPER M, MATTER U, BURTSCHER H, et al. NanoMet, a new instrument for on-line size- and substance-specific particle emission analysis//Proceedings of CEC/SAE Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition. Detroit, USA: SAE International, 2001.
- [21] BURTSCHER H. Physical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review [J]. Journal of Aerosol Science, 2005, 36 (7): 896–932.
- [22] LIU H Y, LI Z Y, XU H M, et al. Nucleation mode particle evolution in a gasoline direct injection engine with/without a three-way catalyst converter [J]. Applied Energy, 2020, 259: 114211.
- [23] SITARSKI M, SEINFELD J H. Brownian coagulation in the transition regime [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 1977, 61 (2): 261–271.
- [24] CHEN H Y, CHANG H L. Development of low temperature three-way catalysts for future fuel efficient vehicles [J]. Platinum Metals Review, 2015, 59 (1): 64–67.
- [25] KEAV S, MATAM SK, FERRI D, et al. Structured perovskite-based catalysts and their application as three-way catalytic converters: a review [J]. Catalysts, 2014, 4 (3): 226–255.
- [26] RAZA M, CHEN L, LEACH F, et al. A review of particulate number (PN) emissions from gasoline direct injection (GDI) engines and their control techniques [J]. Energies, 2018, 11 (6): 1417.
- [27] DOU Z C, YAO C D, WEI H Y, et al. Experimental study of the effect of engine parameters on ultrafine particle in diesel/methanol dual fuel engine [J]. Fuel, 2017, 192: 45–52.
- [28] KAWAI T, GOTO Y, ODAKA M. Influence of dilution process on engine exhaust nano-particles [C]//Proceedings of SAE 2004 World Congress & Exhibition. Detroit, USA: SAE International, 2004.
- [29] LUO Y Q, ZHU L, FANG J H, et al. Size distribution, chemical composition and oxidation reactivity of particulate matter from gasoline direct injection (GDI) engine fueled with ethanol-gasoline fuel [J]. Applied Thermal Engineering, 2015, 89: 647–655.
- [30] EASTER R C, PETERS L K. Binary homogeneous nucleation: temperature and relative humidity fluctuations, nonlinearity, and aspects of new particle production in the atmosphere [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 1994, 33 (7): 775–784.
- [31] HENK M G, WHITE J J, DENISON G W. Sulfur storage and release from automotive catalysts [C]//Proceedings of 1987 SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition. Detroit, USA: SAE International, 1987.
- [32] BELO L P, ELLIOTT L K, STANGER R J, et al. High-temperature conversion of SO_2 to SO_3 : homogeneous experiments and catalytic effect of fly ash from air and oxy-fuel firing [J]. Energy & Fuels, 2014, 28: 7243–7251.
- [33] JACOBSON M Z. Fundamentals of atmospheric modeling [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2005.
- [34] ROBERT F, SVLTLANA K. Semi-volatile organic compounds from a combined dual port injection/direct-injection technology light-duty gasoline vehicle [C]//Proceedings of 14th International Conference on Engines & Vehicles. Detroit, USA: SAE International, 2019.

Construction of a multi-channel 1-D simulation model based on the effect of ammonia uniformity on SCR system performance

TIAN Wenlong, LUO Feng, LANG Junyu, MA Yuejin, LI Guoxiang^{*}

School of Nuclear Science, Energy and Power Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China

Abstract: To enhance the accuracy of NO_x emission simulation for diesel engines under the world harmonized steady-state cycle (WHSC), the causes of the significant discrepancy between simulated and experimentally measured NO_x emissions in diesel engine exhaust are analyzed. On this basis, a multi-channel one-dimensional simulation model is proposed to investigate the influence of ammonia uniformity on NO_x emissions in the selective catalytic reduction (SCR) system. The results demonstrate that the traditional one-dimensional simulation method, which neglects the impact of ammonia uniformity on SCR performance, is the primary reason for the large deviation between simulated and experimentally measured NO_x emissions. The multi-channel model proposed in this study effectively predicts the effect of ammonia uniformity on SCR performance. When the ammonia uniformity index reaches 0.95, the error between the simulated NO_x emissions and experimental result is significantly reduced. Considering the influence of operating conditions on ammonia uniformity, a segmented ammonia uniformity model is introduced. This approach further reduces the prediction error of NO_x emissions, maintaining the error within 2%.

Keywords: urea-SCR system; modelling; multi-channel; ammonia uniformity

(责任编辑:刘丽君)

(上接第8页)

The influence of exhaust catalytic converter on the evolution of engine exhaust particulate matter

CHEN Zhengguo¹, YANG Xiaodong², LIU Qingyang¹, LIU Haoye^{1*}

1. State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin 300350, China;

2. Wuxi Weifu Lida Catalytic Purifier Co., Ltd., Wuxi 214177, China

Abstract: To investigate the impact of the exhaust catalytic converter on the evolution of exhaust particles, the non-volatile particles and semi-volatile particles in the upstream and downstream of the exhaust catalytic converter of a direct injection gasoline engine are measured and analyzed. The results show that the influence of exhaust catalytic converter on exhaust particles includes two aspects: direct filtration and removal of nucleation precursors. Exhaust catalytic converter can directly filter non-volatile particles in high-temperature exhaust with a filtration efficiency of 20%–35%, and the filtration process includes the capture and oxidation of particles. Exhaust catalytic converter can also remove semi-volatile polycyclic aromatic hydrocarbons from the exhaust, thereby inhibiting the conversion of these components into semi-volatile particulate matter during the exhaust temperature reduction process in the exhaust.

Keywords: particulate matter; exhaust catalytic converter; gasoline engine

(责任编辑:刘丽君)