

测试系统和尿素品质对柴油车 PN 排放的影响

潘晓¹, 孙运中², 田浩宇¹, 江宏昊¹, 贾建成³, 于振东¹, 谭峰¹, 梁傲然³,
蔡树峰^{4*}, 车金涛⁴, 杨梓华⁴

1. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061; 2. 潍柴重机股份有限公司, 山东 潍坊 261108;

3. 中国重型汽车集团有限公司, 山东 济南 250100; 4. 中汽研汽车检验中心(广州)有限公司, 广东 广州 511340

摘要:为明确测试系统和尿素溶液品质对粒子数量(particle number, PN)排放二次污染的影响机制,以某国六重型柴油车为试验对象,使用便携式排放测试系统(portable emissions measurement system, PEMS)、全流稀释采样(constant volume sampling, CVS)系统和5种尿素溶液,在底盘测功机平台上试验研究测试系统及尿素溶液品质对PN排放的影响,并对比分析粒径不小于23 nm的粒子数量(记为PN₂₃)排放和粒径不小于10 nm的粒子数量(记为PN₁₀)排放的测量结果。结果表明:由于颗粒计数原理及采样策略的差异,不同排放测试系统测量的PN₂₃排放差异显著;不同尿素溶液品质显著影响PN₂₃排放;PEMS中,所有污染组(添加氯化钙、甲醛、磷酸盐和缩二脲)的尿素溶液均导致PN₂₃排放显著升高,其中添加甲醛的尿素溶液的PN₂₃排放峰值远高于CVS系统;Ca²⁺对电泳颗粒计数法(electrophoretic particle counting, EPC)存在干扰效应,导致添加氯化钙的尿素溶液的PN₂₃排放显著升高;CVS系统中,仅添加氯化钙和甲醛的尿素溶液的PN₂₃排放显著增加,这可能与固态颗粒物生成及团聚效应有关;不同试验组中PN₁₀排放增幅均高于PN₂₃,表明尿素喷射主要增加粒径为10~23 nm的细颗粒物数量,其中缩二脲对该粒径范围颗粒物生成的促进作用最显著。

关键词:重型柴油车;排放测试系统;尿素溶液品质;PN;EPC

中图分类号:U464

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2025)05-0012-07

引用格式:潘晓,孙运中,田浩宇,等.测试系统和尿素品质对柴油车PN排放的影响[J].内燃机与动力装置,2025,42(5):12-18.

PAN Xiao, SUN Yunzhong, TIAN Haoyu, et al. The impact of test systems and urea quality on PN emissions of diesel vehicles[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2025, 42(5): 12-18.

0 引言

柴油发动机是重要的移动污染源,其排放的颗粒物(particulate matter, PM)严重危害大气环境质量^[1]。2018年,我国颁布了《重型柴油车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)》标准,对NO_x和粒子数量(particle number, PN)设定了更严格的限值要求^[2]。为满足日益严格的排放标准要求,内燃机领域相继开发并应用了多种尾气净化技术。目前,以氧化型催化转化器(diesel oxidation catalyst, DOC)、柴油颗粒物捕集器(diesel particulate filter, DPF)、选择性催化还原系统(selective catalytic reduction, SCR)、氨逃逸催化器(ammonia slip catalyst, ASC)为核心的集成式后处理方案已成为主流技术路线^[3-4]。SCR系统中,尿素水溶液作为还原剂,在催化剂作用下将NO_x转化为无害的氮气,有效减少NO_x排放。但已有研究表明尿素溶液的喷射可能引发PN排放的二次增加^[5-9]。

收稿日期:2025-08-05

第一作者简介:潘晓(1991—),男,山东潍坊人,工程师,主要研究方向为发动机及后处理系统排放控制,E-mail:panx@weichai.com。

***通信作者简介:**蔡树峰(2000—),男,广东汕头人,工学硕士,助理工程师,主要研究方向为内燃机及后处理系统排放控制,E-mail:caishufeng@catarc.ac.cn。

Lee 等^[5]通过台架试验对比分析了单独 SCR 系统在尿素喷射与非喷射条件下的 PN 排放特性,结果表明:随着尿素喷射量和喷射压力的增加,PN 排放呈现显著上升趋势;进一步采用透射电子显微镜 (transmission electron microscopy, TEM) 对颗粒物形貌进行表征,发现尿素喷射后颗粒物中出现了晶体结构的新生成物,经分析证实其主要成分为未完全分解的尿素及其热解副产物。Lee 等^[6]通过台架试验证实,在 SCR 系统中尿素喷射导致 PN 排放增加约 160%,并通过显微镜观察发现颗粒物表面出现大量球体。Mendoza-villafuerte 等^[7]针对欧 VI 标准重型柴油车开展了实际道路排放测试,研究结果表明,尿素喷射后 PN 排放呈显著上升趋势。

申博玺^[10]通过实车道路试验,对比分析了尿素喷射开启与关闭状态下的 PN 排放特征,发现盐类生成机理和颗粒破碎机理是导致 PN 增加的主要原因,其中硝酸盐、硫酸盐生成及微爆破破碎机制对 PN 的贡献率达到 64.3%。陶汉国等^[11]在发动机台架试验中,针对国六重型柴油机进行了多工况测试,发现尿素喷射显著增加后处理装置出口处的粒径不小于 23 nm 的粒子数量(记为 PN₂₃)和粒径不小于 10 nm 的粒子数量(记为 PN₁₀)排放,且这一现象在 SCR 温度升高和尿素喷射量增大的条件下更为明显。

尽管现有研究普遍证实了尿素喷射与 PN 排放的正相关性,但关于测试系统和尿素溶液品质对 PN 排放的影响机制仍缺乏系统性研究。因此,本文中选取满足国六排放标准的重型柴油车作为试验对象,采用底盘测功机法,结合便携式排放测试系统(portable emission measurement system, PEMS)和全流稀释采样(constant volume sampling, CVS)系统,重点考察不同测试系统及尿素溶液品质对 PN 排放特性的影响,并对 CVS 系统测量的 PN₂₃ 排放、PN₁₀ 排放结果进行对比分析,为相关标准和测试方法的改进提供参考。

1 试验设备及方法

1.1 试验样车

试验用车为某满足国六排放标准的 N2 类重型柴油车,该车辆配备 DOC-DPF-SCR-ASC 的集成式多级后处理装置,试验样车及发动机的基本参数如表 1 所示。

表 1 试验车辆及其发动机基本信息

车辆总质量/kg	发动机排量/mL	发动机额定功率/kW	发动机额定转速/(r·min ⁻¹)	发动机最大净功率/kW
4 495	2 493	125	2 900	121

1.2 试验设备

本文中采用 AVL M. O. V. E 型 PEMS 和 HORIBA 公司的 CVS 系统 2 种测试系统测量车辆 PN 排放。M. O. V. E 型 PEMS 配备气体污染物测量模块、PN 测量模块、排气流量计、车载诊断通信模块、环境监控模块和车辆定位系统,该系统采用直接采样法,实时采集车辆尾气样本进行污染物浓度分析。CVS 系统采用全流稀释采样技术,将尾气与压缩空气按特定比例混合稀释后,导入分析系统进行精确测量。CVS 系统配置了 PN₁₀ 计数器,可检测粒径更小的颗粒物。

PEMS 与 CVS 系统的 PN 测量原理不同,PEMS 基于电泳颗粒计数法(electrical particle counter, EPC),通过测量带电颗粒在电场中运动产生的电流脉冲实现颗粒物计数和浓度测量;CVS 系统采用凝聚颗粒计数法(condensation particle counter, CPC),利用过饱和蒸汽使颗粒物凝结成较大液滴,然后通过光散射技术进行检测和计数。这 2 种方法在颗粒物测量领域均具有广泛的应用基础和可靠的技术验证。

1.3 试验方法

1)将样车固定于底盘测功机上,进行设备预热和标定工作;2)为确保试验数据的可靠性和可重复性,严格控制大气压力、环境温度、相对湿度等环境参数,同时保持行驶阻力、工况条件和驾驶员操作的一致性;3)采用串联方式将 AVL PEMS 和 CVS 系统的采样管路连接至车辆排气系统,并配制具有不同杂质

的尿素溶液备用;4)每次试验前,清空尿素储存罐并注入指定的尿素溶液,随后执行强制再生程序,消除主动再生对试验结果的潜在影响;5)在预处理阶段,样车在底盘测功机上以速度为 80 km/h 持续运行 30 min,进行预热;随后,将车速调整为 40 km/h 继续运行 30 min,确保每次试验中 DPF 的碳载量基本一致;6)正式试验中,采用文献[12]规定的中国货车行驶工况(China heavy-duty commercial vehicle test cycle for truck, CHTC-LT),该工况由 3 个速度区间构成,总时间为 1 652 s,其中市区、城郊和高速公路工况的时间占比分别为 18.7%、52.9%、28.4%,如图 1^[12]所示;为确保数据的可靠性,对样车进行 3 次重复测试,以 3 次测试结果的平均值作为最终试验结果;7)每次试验结束后,对测量设备进行零点漂移校准,确认无误后方可关闭设备。

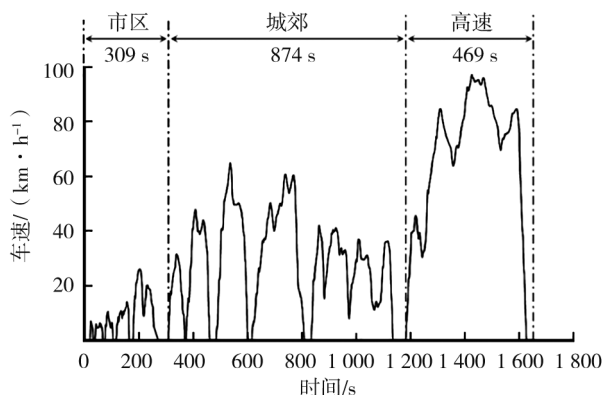


图1 CHTC-LT 行驶工况

2 结果与分析

2.1 测试系统对 PN 排放的影响

采用 PEMS 与 CVS 系统进行同步瞬态排放测试,研究尿素溶液对柴油车 PN_{23} 排放特性的影响,2 种测试系统对 PN_{23} 瞬态排放的对比结果如图 2 所示。由图 2 可知:尽管 2 种系统测量的 PN_{23} 瞬态排放趋势相似,但 PEMS 测得的总颗粒数明显高于 CVS 系统,而在高速工况下差异尤其显著。这种系统性差异主要源于测量原理的本质区别:PEMS 采用的 EPC 计数原理,具有快速响应和对颗粒电荷的高度敏感性,使其能在瞬态条件下捕捉到更多的颗粒物;CVS 系统采用的 CPC 计数原理由于凝结过程的限制,无法在同样的瞬态条件下捕捉到所有颗粒物。

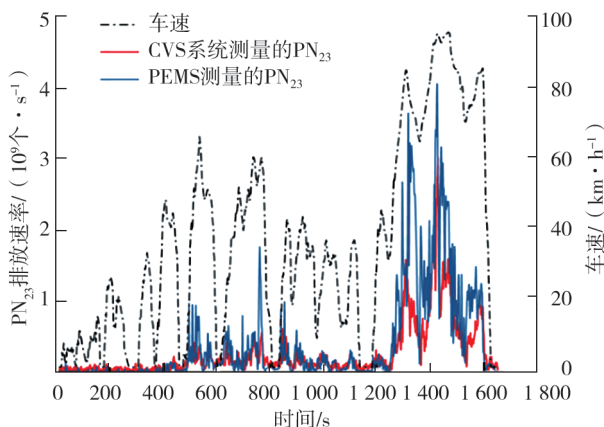


图2 不同测试系统的 PN_{23} 瞬态排放曲线

基于线性回归的最小二乘法对不同系统测量所得 PN_{23} 瞬态排放进行一致性分析。根据文献[13]建立的评价体系,通过相关系数 R^2 、拟合直线斜率 A 、截距 B 与最大截距 $B_{\max}$ 的比 $B/B_{\max}$ 3 个关键参数评估数据相关性。若 R^2 趋近于 1、 A 趋近于 1 且 $B/B_{\max}$ 趋近于 0,表明测试数据之间具有高度一致性和低离散度。不同测试系统测量的瞬态 PN_{23} 排放相关性对比分析结果如图 3 所示。由图 3 可知:2 种系统测得的 PN_{23} 存在差异,拟合曲线为 $y = 1.477\ 3x + 6.846\ 7 \times 10^7$, $A = 1.477\ 3$, $B/B_{\max} = 0.022\ 5$, $R^2 = 0.668\ 8$ 。原因在于 PEMS 为直接采样系统,测量结果易受采样位置影响;CVS 系统为稀释采样系统,引入的稀释空气改善了混合效果,降低了瞬态工况下的排放波动,这在一定程度上影响了 CVS 系统测试结果与 PEMS 测试结果的相

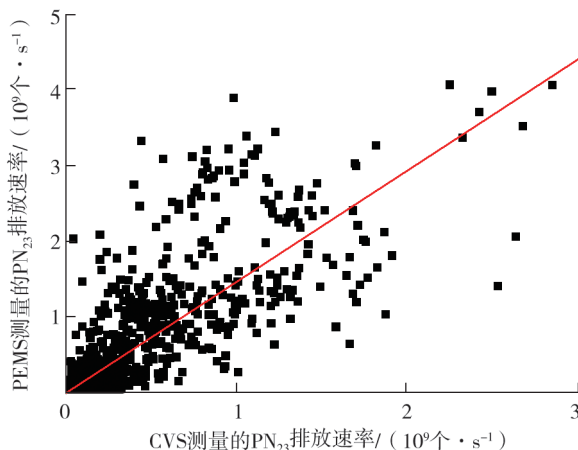


图3 不同测试系统之间的 PN_{23} 数据相关性

关性。

2.2 尿素溶液品质对 PN 排放的影响

基于某市售尿素溶液,设计 5 组尿素溶液样品:无添加对照组、氯化钙污染组、甲醛污染组、磷酸盐污染组、缩二脲污染组。各组样品杂质含量依据文献[14]的要求进行检测,结果如表 2 所示。

表 2 标准要求和不同试验组杂质质量分数检测结果

尿素溶液	缩二脲 质量分数/%	质量分数/ 10^{-6}					
		醛类	不溶物	磷酸盐	铬	铜	镍
文献[14]要求	≤ 0.3	5	≤ 20	0.5	0.2	0.2	0.2
无添加对照组	0.24	0.5	2.1	<0.05	<0.10	<0.10	<0.10
氯化钙污染组	0.21	1.1	2.9	<0.05	<0.10	<0.10	<0.10
甲醛污染组	0.18	110.0	1.7	<0.05	<0.10	<0.10	<0.10
磷酸盐污染组	0.25	0.7	1.6	3.41	<0.10	<0.10	<0.10
缩二脲污染组	1.62	1.1	2.0	<0.05	<0.10	<0.10	<0.10

尿素溶液	质量分数/ 10^{-6}						
	锌	镁	铁	铝	钙	钾	钠
文献[14]要求	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
无添加对照组	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.20	<0.20	<0.20
氯化钙污染组	<0.10	0.18	<0.10	0.10	1.94	<0.20	<0.20
甲醛污染组	<0.10	0.55	<0.10	0.12	1.54	1.60	3.89
磷酸盐污染组	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.20	0.87	<0.20
缩二脲污染组	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.20	<0.20	<0.20

由表 2 可知:对照组所有指标均符合标准限值,污染组特征污染物显著超标;钙的质量分数为 1.94×10^{-6} ,超标 2.9 倍;醛类的质量分数为 110×10^{-6} ,超标 21 倍,磷酸盐的质量分数为 3.41×10^{-6} ,超标 5.8 倍;缩二脲质量分数达 1.62%,超标 4.4 倍。缩二脲在高温下易缩聚生成三聚氰酸,或与醛类杂质(如甲醛)发生聚合反应,形成高分子化合物,易导致 SCR 系统堵塞;过量磷酸盐和 Ca^{2+} 等金属离子均可能导致催化剂失活,从而降低 SCR 系统效能。上述因素均可能导致 PN 排放显著增加。

采用 PEMS 和 CVS 系统 2 种测试系统进行对比分析,评估不同品质的尿素溶液对 PN_{23} 排放特性的影响机制。PEMS 与 CVS 系统测得不同试验组的 PN_{23} 瞬态排放曲线如图 4 所示。

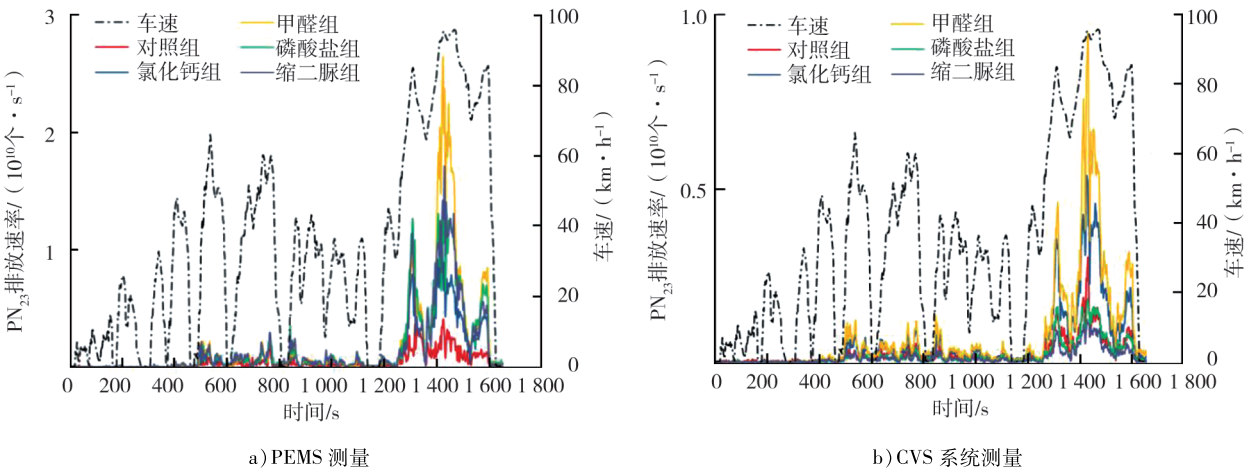


图 4 不同测量系统测试的各试验组瞬态 PN_{23} 排放结果

由图 4 可知:1)不同试验组中 PN_{23} 排放趋势基本一致,但排放量级存在显著差异;AVL PEMS 中,各污染组的 PN_{23} 瞬态排放均明显高于对照组。2)AVL PEMS 对甲醛的响应更敏感,其排放峰值远高于 CVS 系统,这与 AVL PEMS 系统采样位置更靠近排气口以及 EPC 计数原理对过量甲醛反应产物带电性的敏感性有关;在氯化钙组中,AVL PEMS 测量的 PN_{23} 排放显著增大,在 CVS 系统的测量结果中相对较小,验证了 Ca^{2+} 离子对 EPC 计数的干扰效应;CVS 系统中,磷酸盐和缩二脲组的 PN_{23} 排放未呈现显著上升趋势,这是因为磷酸盐和缩二脲在高温作用下生成的气溶胶颗粒物粒径较小且数量较少,加之 CVS 系统采样距离较长,这些颗粒物在稀释过程中更易于扩散或损失,从而降低了 PN_{23} 的测量结果。3)氯化钙组和甲醛组的 PN_{23} 排放量显著增加,主要原因为氯化钙和甲醛可能通过直接生成固态颗粒物或促进颗粒物的团聚,显著增加大粒径颗粒物的生成,进而导致 PN_{23} 测量结果的升高。4)对照组在两种测试系统中 PN_{23} 排放水平均较低,验证了尿素溶液纯度对降低 PN 排放的重要性。

不同测试系统对各试验组 PN_{23} 比排放的测量结果对比如表 3 所示,其中,PEMS 测得的比排放通过对排放浓度进行时间积分获得总排放量,再与循环功相除计算得出。

表 3 不同测试系统中各试验组 PN_{23} 比排放

测试系统	PN_{23} 比排放/ $[10^{10} \text{ 个} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1}]$				
	对照组	氯化钙污染组	甲醛污染组	磷酸盐污染组	缩二脲污染组
PEMS	12.070	26.970	45.710	37.890	36.260
CVS 系统	6.867	14.520	19.370	5.830	4.202

由表 3 可知:在 AVL PEMS 中,所有污染组的 PN_{23} 排放均显著升高,相比如对照组,氯化钙污染组、甲醛污染组、磷酸盐污染组、缩二脲污染组的 PN_{23} 比排放分别增长了 123.4%、278.7%、213.9%、200.4%;在 CVS 系统中,仅有氯化钙污染组和甲醛污染组的 PN_{23} 比排放比对照组显著增加,磷酸盐污染组和缩二脲污染组无显著变化。这进一步表明,因测试设备原理、采样条件和杂质类型不同,不同污染物对 PN_{23} 排放的影响机制存在差异。这些结果强调了在评估尿素溶液品质对颗粒物排放的影响时,需要充分考虑测试设备特性以及杂质类型等关键因素。

2.3 颗粒计数器对 PN 排放的影响

近年来,随着对环境保护和空气质量的日益关注,监管机构相继引入了新的或修订的颗粒物排放限值,并即将实施最大粒径约为 10 nm 颗粒物的测量方法。为深入探究这一政策趋势对实际排放的影响,采用 CVS 系统,结合基于 CPC 原理的 PN_{23} 和 PN_{10} 两种颗粒计数器,对比分析不同尿素溶液品质对 PN_{23} 和 PN_{10} 排放的影响。

CVS 系统测得不同试验组的 PN_{10} 瞬态排放曲线如图 5 所示。由图 5 可知:不同试验组的 PN_{10} 瞬态排放曲线与对应的 PN_{23} 瞬态排放曲线的变化趋势相似;然而,在高速工况下,不同试验组的 PN_{10} 瞬态排放结果均显著高于对应的 PN_{23} 瞬态排放结果,表明尿素喷射过程中,主要增加的是粒径为 10~23 nm 的细颗粒物。

不同试验组的 PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比如表 4 所示。由表 4 可知:所有试验组的 PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比均显著大于 1,其中,磷酸盐组的 PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比为 3.29,高于对照组,这可能源于磷酸盐在尿素溶液反应过程中所起的催化作用改变了反应路径,促进了小粒径

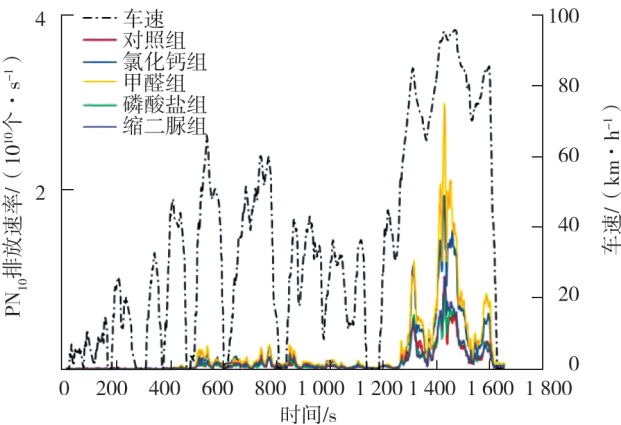


图 5 CVS 测得不同试验组的瞬态 PN_{10} 排放

颗粒物形成;缩二脲组的 PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比最大,比无添加组增大 61.44%,这充分证实了缩二脲对粒径为 10~23 nm 的细颗粒物生成的强烈促进作用,其机制与缩二脲在高温或特定反应条件下的分解或聚合反应有关,进而导致生成大量小粒径颗粒物。然而,甲醛组和氯化钙组的 PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比均低于对照组,表明这 2 种杂质在一定程度上促进了颗粒物的团聚,抑制了细颗粒物的生成。因此,不同杂质对颗粒物粒径分布的影响机制复杂多样,未来的研究需要进一步探究不同杂质对细颗粒物生成和生长的具体机制,并开发更为有效的尿素溶液纯化技术,以降低柴油车颗粒物排放,满足日益严格的排放标准和法规要求。

表 4 不同试验组的 PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比

试验组	PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比
对照组	3.06
氯化钙污染组	2.89
甲醛污染组	2.63
磷酸盐污染组	3.29
缩二脲污染组	4.94

3 结论

采用底盘测功机法,结合 PEMS 和 CVS 系统,探讨了不同测试系统及尿素溶液品质对颗粒物排放特性的影响,并对 PN_{23} 和 PN_{10} 两种粒径范围的测量结果进行对比分析,得出以下结论。

- 1)不同排放测试系统对 PN_{23} 的测量结果呈现显著差异,在相同条件下使用同一种尿素溶液时,由于颗粒计数原理及采样策略的差异,PEMS 测得的总颗粒数浓度显著高于 CVS 系统。
- 2)在 PEMS 中,各污染组的 PN_{23} 排放均明显高于对照组,其中,AVL PEMS 对甲醛组的响应更敏感,其测得的 PN_{23} 峰值远高于 CVS 系统; Ca^{2+} 离子对电泳颗粒计数法存在干扰效应,导致氯化钙组在 PEMS 中 PN_{23} 排放显著升高;在 CVS 系统中,仅氯化钙组和甲醛组中 PN_{23} 排放显著增加,可能与固态颗粒物生成及团聚效应有关。
- 3)基于 CVS 系统,通过对比 PN_{23} 和 PN_{10} 两种颗粒计数器的测量结果发现,不同试验组的 PN_{10} 排放增幅明显高于 PN_{23} ,表明尿素喷射主要增加粒径为 10~23 nm 的细颗粒物。在所有试验组中,仅磷酸盐组与缩二脲组的 PN_{10} 比排放与 PN_{23} 比排放的比显著高于对照组,其中缩二脲对该粒径范围颗粒物生成的促进作用尤为显著,这进一步验证了尿素溶液中不同杂质对颗粒物粒径分布的影响机制复杂多样。

参考文献:

[1] 生态环境部. 中国移动源环境管理年报(2024)[R/OL]. (2025-03-26)[2025-3-30]. <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjl/202503/W020250326518388591055.pdf>.

[2] 生态环境部. 重型柴油车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段):GB 17691—2018[S]. 北京:中国环境科学出版社,2018.

[3] JOHNSON T V. Review of diesel emissions and control[J]. International Journal of Engine Research, 2009, 10(5): 275–285.

[4] VRESSNER A, GABRIELSSON P, GEKAS I, et al. Meeting the Euro VI NO_x emission Legislation using a Euro IV base engine and a SCR/ASC/DOC/DPF configuration in the World Harmonized Transient Cycle[C]//Proceedings of SAE 2010 World Congress & Exhibition. Detroit,USA;SAE International, 2010.

[5] LEE C, OH K, KIM D, et al. A characteristics of particle number distribution for the urea solution injection to urea SCR system of commercial diesel engine for an emission regulation[C]//Proceedings of Asia Pacific Automotive Engineering Conference. Detroit,USA;SAE International, 2007.

[6] LEE S, CHO Y, SONG M, et al. Experimental study on the characteristics of nano-particle emissions from a heavy-duty diesel engine using a urea-SCR system[J]. International Journal of Automotive Technology,2012,13(3):355–363.

[7] MENDOZA-VILLAFUERTE P, SUAREZ-BERTO A R, GIECHASKIEL B, et al. NO_x , NH_3 , N_2O and PN real driving

- emissions from a Euro VI heavy-duty vehicle: impact of regulatory on-road test conditions on emissions[J]. *Science of The Total Environment*, 2017, 609: 546–555.
- [8] ROBINSON M A, BACKHAUS J, FOLEY R, et al. The effect of diesel exhaust fluid dosing on tailpipe particle number emissions[C]//Proceedings of SAE 2016 World Congress and Exhibition. Detroit, USA: SAE International, 2016.
- [9] AMANATIDIS S, NTZIACHRISTOS L, GIECHASKIEL B, et al. Impact of selective catalytic reduction on exhaust particle formation over excess ammonia events[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(19): 11527–11534.
- [10] 申博玺. SCR喷射尿素对PN排放影响与SCR最优NO₂占比实验与模拟研究[D]. 天津: 天津大学, 2021.
- [11] 陶汉国, 李莎菲, 冯曦, 等. 车用尿素对国六柴油机颗粒物排放数量的影响[J]. *中国汽车*, 2024, 34(10): 39–43.
- [12] 工业和信息化部. 中国汽车行驶工况 第2部分: 重型商用车辆: GB/T 38146.2—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [13] 任烁今, 仝畅, 李刚, 等. 重型车远程监控与实际道路试验对比研究及统计分析[J]. *汽车安全与节能学报*, 2023, 14(2): 239–248.
- [14] 环境保护部. 柴油发动机氮氧化物还原剂 尿素水溶液(AUS 32): GB 29518—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

The impact of test systems and urea quality on PN emissions of diesel vehicles

PAN Xiao¹, SUN Yunzhong², TIAN Haoyu¹, JIANG Honghao¹, JIA Jiancheng³,
YU Zhendong¹, TAN Feng¹, LIANG Aoran³, CAI Shufeng^{4*}, CHE Jintao⁴, YANG Zihua⁴

1. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China;

2. Weichai Heavy Machinery Co., Ltd., Weifang 261108, China;

3. China National Heavy Duty Truck Group Co., Ltd., Jinan 250100, China;

4. CATARC Automotive Test Center (Guangzhou) Co., Ltd., Guangzhou 511340, China

Abstract: To elucidate the impact mechanisms of testing systems and urea solution quality on secondary particle number (PN) emissions, a China VI heavy-duty diesel vehicle is tested using two measurement systems, a portable emissions measurement system (PEMS) and a constant volume sampling (CVS) system, along with five types of urea solutions. The experiments are conducted on a chassis dynamometer to investigate the influence of the testing systems and urea solution quality on PN emissions, with comparative analysis performs between the number of particles with a particle size not less than 23 nm (referred to as PN₂₃) and the number of particles with a particle size not less than 10 nm (referred to as PN₁₀) measurements. The results demonstrate that due to differences in particle counting principles and sampling strategies, the PN₂₃ emission measured by different testing systems varies significantly; urea solution quality notably affects PN₂₃ emission. For the PEMS, all contaminated urea solutions (containing calcium chloride, formaldehyde, phosphate, and biuret) lead to a marked increase in PN₂₃ emission, with the peak PN₂₃ emission level from the formaldehyde-added solution being substantially higher than that measured by the CVS system; Ca²⁺ interferes with the electrophoretic particle counting (EPC) method, resulting in significantly elevated PN₂₃ emission from the calcium chloride-added urea solution. Under the CVS system, only urea solutions with added calcium chloride and formaldehyde cause a significant rise in PN₂₃ emission, which may be attributed to the formation and agglomeration of solid particles. Across all test groups, the increase in PN₁₀ emission is more pronounced than that of PN₂₃, which indicates that urea injection primarily augments the number of fine particles in the 10~23 nm size range, with biuret exhibiting the most significant promoting effect on particle generation within this diameter range.

Keywords: heavy-duty diesel vehicle; emission test system; urea solution quality; PN; EPC (责任编辑: 刘丽君)