

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第6期

Vol.38 No.6

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

PM _{2.5} 浓度空间分异模拟模型对比:以京津冀地区为例	吴健生,王茜,李嘉诚,涂媛杰(2191)
北京地区近35年大气污染扩散条件变化	郭淳薇,孙兆彬,李梓铭,张小玲,杨慧玲(2202)
北京市典型区域夏季降水及其对大气污染物的影响	韩力慧,张海亮,向欣,张鹏,程水源,魏巍(2211)
北京山谷风环流特征分析及其对PM _{2.5} 浓度的影响	董群,赵普生,王迎春,苗世光,高健(2218)
北京市建筑施工扬尘排放特征	薛亦峰,周震,黄玉虎,王堃,聂滕,聂磊,秦建平(2231)
生物质成型燃料锅炉挥发性有机物排放特征	吴昌达,张春林,白莉,沈雨冉,王伯光,刘军,杨立辉(2238)
广州番禺大气成分站复合污染过程VOCs对O ₃ 与SOA的生成潜势	邹宇,邓雪娇,李菲,殷长泰(2246)
南京北郊大气臭氧周末效应特征分析	王俊秀,安俊琳,邵平,邹嘉南,林旭,张玉欣(2256)
亚热带稻区大气氨/铵态氮污染特征及干湿沉降	王杰飞,朱潇,沈健林,曾冠军,王娟,吴金水,李勇(2264)
宣威肺癌高发区燃煤排放颗粒物中铁的价态及其氧化性	王强翔,谭正莹,赵慧,李继华,田林玮,王青曜,米持真一,吕森林(2273)
垃圾焚烧厂区二噁英污染及厂区工人呼吸暴露评估	杜国勇,汪倩,张姝琳,张素坤,邓春萍,张洪铭,朱盟翔,蒋昕,朱成旺,任燕玲(2280)
重庆市新型干法水泥厂汞排放特征	张成,张雅惠,王永敏,王定勇,罗程钟,徐凤,何秀清(2287)
轻型汽油车简易瞬态工况法与定容全流稀释采样法(CVS)的排放相关性	王鸿宇,黄成,胡馨遥,李莉,陈勇航,徐健(2294)
不同排放标准公交车燃用生物柴油颗粒物排放特性	楼狄明,赵成志,徐宁,谭丕强,胡志远(2301)
西江水氢氧同位素组成的空间变化及环境意义	许琦,李建鸿,孙平安,何师意,于爽(2308)
基于SWAT与DNDC模型对比研究亚热带流域氮淋溶与输出过程	韩宁,陈维梁,高扬,郝卓,于贵瑞(2317)
三峡库区澎溪河与磨刀溪电导率等水质特征与水华的关系比较	姜伟,周川,纪道斌,刘德富,任豫霜,Douglas Haffner,谢德体,张磊(2326)
滇池草海间隙水与上覆水氮磷时空变化特征	王一茹,王圣瑞,焦立新,张云,高秋生,杨枫(2336)
香溪河沉积物、间隙水的磷分布特征及释放通量估算	罗玉红,聂小倩,李晓玲,戴泽龙,胥焘,黄应平(2345)
大冶湖表层水和沉积物中重金属污染特征与风险评价	张家泉,田倩,许大毛,占长林,刘婷,姚瑞珍,刘先利,肖文胜(2355)
海水淡化低温多效蒸馏工艺(LT-MED)沿程溴代消毒副产物的生成	齐菲,孙迎雪,杨哲,胡春芳,常学明,胡洪营(2364)
两种水体铜配合容量测试方法的适用性比较及应用	王晨烨,姜括,谢文龙,汪磊(2373)
高地下水位地区透水铺装控制径流污染的现场实验	金建荣,李田,时珍宝(2379)
稳定型纳米零价铁去除地下水中2,4-二氯苯酚	张永祥,常杉,李飞,徐毅,高维春(2385)
超声、紫外增强H ₂ O ₂ /KI降解磺胺甲基嘧啶	魏红,孙博成,杨小雨,李克斌(2393)
不同铅负载量改性膨润土对水中磷酸盐吸附作用的对比	姜博汇,林建伟,詹艳慧,邢云青,黄宏,储鸣,王星星(2400)
铁炭内电解垂直流人工湿地对污水厂尾水深度脱氮效果	郑晓英,朱星,周翔,徐亚东,王菊,韦诚,高雅洁,周橄(2412)
组合生物滤池对养殖废水的净化效率及影响因素分析	张世羊,张胜花,张翔凌,王广军(2419)
温度对聚磷菌活性及基质竞争的影响	张玲,彭党聪,常蝶(2429)
海洋厌氧氨氧化菌的富集培养及其脱氮特性	冯莉,于德爽,李津,单晓静,杨振琳(2435)
不同生物过滤系统铵态氮转化速率及生物膜特性分析	周洪玉,韩梅琳,仇天雷,高敏,孙兴滨,王旭明(2444)
磷酸盐对厌氧氨氧化活性污泥脱氮效能的影响	周正,刘凯,王凡,林兴,李祥,黄勇,顾澄伟(2453)
碳源胁迫下脱氮除磷颗粒污泥性能变化及其机制	秦诗友,陈威,马兆瑞,刘小英,陈晓国,余文韬,夏媛媛,黄健(2461)
外源Ca ²⁺ 对SBR启动期活性污泥胞外多聚物的动态影响	任丽飞,杨新萍,张雯雯(2470)
膨胀污泥中丝状菌的分离鉴定与特性分析	张崇森,牛全睿,徐雨梅,王陇梅,王岱,武少华(2477)
反硝化悬浮填料适用性及其微生物群落结构解析	谭阳,李激,徐巧,付磊,尤世界,王硕(2486)
硫代硫酸钠对排硫硫杆菌固碳能力的影响及其作用机制	李欢,王磊,王亚楠(2496)
关帝山森林土壤真菌群落结构与遗传多样性特征	乔沙沙,周永娜,柴宝峰,贾彤,李鑫(2502)
基于受体模型与地统计的城市居民区土壤重金属污染源解析	陈秀端,卢新卫(2513)
基于蒙特卡罗模拟的土壤环境健康风险评价:以PAHs为例	佟瑞鹏,杨校毅(2522)
Eh、pH和铁对水稻土钾释放的影响机制	钟松雄,尹光彩,陈志良,林亲铁,黄润林,刘德玲,彭焕龙,黄玲,王欣,蒋晓璐(2530)
典型土壤不同提取态Cd与水稻吸收累积的关系	陈齐,邓潇,陈珊,侯红波,彭佩钦,廖柏寒(2538)
复合改良剂对Cd污染稻田早晚稻产地修复效果	陈立伟,杨文骏,辜娇峰,周航,高子翔,廖柏寒(2546)
两种钝化剂对土壤Pb、Cd、As复合污染的菜地修复效果	田桃,雷鸣,周航,杨文骏,廖柏寒,胡立琼,曾敏(2553)
大豆和小麦根系对非的吸持作用及其生物有效性	王红菊,李倩倩,沈羽,顾若尘,盛好,占新华(2561)
源自腐殖土的溶解性有机质组分对棕壤和黑土吸附苯并三唑的影响	杨宁伟,毕二平(2568)
地形、树种和土壤属性对喀斯特山区土壤胞外酶活性的影响	罗攀,陈浩,肖孔操,杨利琼,文丽,李德军(2577)
长期定位有机物料还田对关中平原冬小麦-玉米轮作土壤N ₂ O排放的影响	郝耀旭,刘继璇,袁梦轩,周应田,杨学云,顾江新(2586)
基于大气被动式采样的人体头发中类二噁英多氯联苯暴露的途径	袁浩东,白瑶,李秋旭,王英,金军(2594)
广西刁江野生鱼类重金属积累特征及其健康风险评价	王俊能,马鹏程,张丽娟,陈棉彪,黄楚珊,柳晓琳,胡国成,许振成(2600)
活性炭在中高温条件下对玉米秸秆厌氧发酵的影响	甘荣,葛明民,刘勇迪,贾红华,闫志英,雍晓雨,吴夏荒,周俊(2607)
工艺过程源和溶剂使用源挥发性有机物排放成分谱研究进展	王红丽,杨肇勋,景盛翱(2617)
《环境科学》征稿简则(2452) 《环境科学》征订启事(2560) 信息(2201, 2230, 2384)	

轻型汽油车简易瞬态工况法与定容全流稀释采样法 (CVS) 的排放相关性

王鸿宇¹, 黄成^{2,3,*}, 胡磬遥^{2,3}, 李莉^{2,3}, 陈勇航¹, 徐健¹

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233; 3. 国家环境保护城市大气复合污染成因与防治重点实验室, 上海 200233)

摘要: 选取 25 辆国 2 ~ 国 5 标准在用轻型汽油车分别采用简易瞬态工况法 (VMAS) 与定容全流稀释采样法 (CVS) 开展了排放实测, 分析了两种方法实测的排放因子相关性。结果表明, 轻型汽油车排放水平总体随排放标准提升而呈下降趋势, 国 2 和国 3 标准车辆中存在一定的高排放现象, 国 4 及以上标准车型排放相对较低。VMAS 和 CVS 方法的排放相关性随标准提升而显著下降, 对国 4 及以上标准车辆的 CO 和 HC + NO_x 排放的相对偏差分别达到 197% 和 177%。对较高排放车辆, 两种方法检测结果的相关系数达到 0.75 ~ 0.85; 对较低排放车辆, 相关系数仅为 0.46 左右, 若将在用车排放标准进一步收严, 采用 VMAS 检测的误判率将显著上升。随着我国机动车排放水平的不断下降, 总体来看, VMAS 检测对高排放标准车辆的适用性相对较差, 有必要在用车排放检测方法方面开展更为深入的研究。

关键词: 机动车排放; 轻型汽油车; 排放因子; 简易瞬态工况; 定容全流稀释采样

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)06-2294-07 DOI: 10.13227/j.hjkk.201611139

Correlations of Light-duty Gasoline Vehicle Emissions Based on VMAS and CVS Measurement Systems

WANG Hong-yu¹, HUANG Cheng^{2,3,*}, HU Qing-yao^{2,3}, LI Li^{2,3}, CHEN Yong-hang¹, XU Jian¹

(1. School of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 3. State Environment Protection Key Laboratory of Formation and Prevention of the Urban Air Complex, Shanghai 200233, China)

Abstract: Gaseous emissions from 25 State 2-5 light-duty gasoline vehicles were tested by Vehicle Mass Analysis System (VMAS) and CVS (Constant Volume Sampling) system, respectively. The correlations of emission factors of tested vehicles measured by these 2 methods were analyzed. The results showed that emission factors of light-duty gasoline vehicle had a decreasing trend with the promotion of emission standard. There were some high-emitting vehicles in the fleet of tested State 2 and State 3 vehicles, but fewer in State 4 or State 5 vehicle fleet. The correlations of the emission factors measured by the 2 methods deteriorated with the promotion of emission standard. The relative bias of CO and HC + NO_x emission factors measured by the 2 methods reached 197% and 177%, respectively. The correlation coefficient of emission factors of higher-emitting vehicles was 0.75-0.85, while that of lower-emitting vehicles was only 0.46. If tighter emission standard of in-use light-duty gasoline vehicle was adopted, the false positive rate of measurement results by VMAS would rise significantly. In summary, VMAS method is hard to be applied in the emission measurements of light-duty gasoline vehicles with stricter emissions standard. It is necessary to conduct more studies on sophisticated in-use vehicle measurement system.

Key words: vehicle emission; light-duty gasoline vehicle; emission factor; VMAS; CVS

机动车尾气已成为我国各大城市大气污染的重要来源, 对城市大气污染都具有重要影响^[1~6]。截止 2015 年底, 全国汽车保有量达到 1.62 亿辆, 其中大部分为汽油车, 占 86.2%。汽油车是 NO_x 和 VOCs 等二次污染前体物的主要贡献者^[7,8], 分别占全国机动车 NO_x 和 VOCs 排放总量的 26.8% 和 70.6%^[9]。在用车劣化是造成高排放的主要原因, 因此, 各地分别建立了在用车排放检测与维护 (I/M) 制度以遏制机动车高排放^[10~13]。简易瞬态工况法 (VMAS) 是主要的在用轻型汽油车排放检测方法之一^[14], 由欧洲新车排放认证方法简化而成, 在上

海、广州、杭州等多个城市得到了广泛应用。近年来, 已有较多研究对 VMAS 检测方法的检出率、准确度和实施效果进行了探讨, 为该方法在各城市应用提供了重要支撑^[15~18]。定容全流稀释采样法 (CVS) 是开展新车排放认证的标准方法, 测量精度相对更高。

收稿日期: 2016-11-18; 修订日期: 2016-12-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2014BAC22B03); 上海市科委项目 (15DZ1205500)

作者简介: 王鸿宇 (1994 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为机动车尾气排放与控制, E-mail: wanghongyu2100@163.com

* 通信作者, E-mail: huangc@saes.sh.cn

VMAS 与 CVS 方法检测结果的一致性准确评估在用车排放的前提。丁焰等^[19]曾选取 50 辆大部分为国 2 标准的在用轻型汽油车开展了简易工况法与新车排放认证方法的相关性试验,结果表明 VMAS 方法与新车排放认证方法的检测结果一致性较好。但是,随着我国新车排放标准的不断提升,机动车排放控制水平得到有效提升。已有研究表明,车龄越小、排放标准越高时,在用车排放水平越接近新车排放认证时的水平,对检测设备精度的要求越高^[20,21]。目前,国 3 和国 4 排放标准车型已成为我国在用车主流,分别占汽车总量的 52.5% 和 22.7%^[9]。在排放标准逐步提升的背景下,VMAS 检测方法对较高排放标准在用车的检测能力有待进一步评估。因此,本研究选取了 25 辆国 2~国 5 排放标准在用轻型汽油车,分别采用 VMAS 与 CVS 方法开展了排放测试,对比分析了两种方法的检测结果相关性,以期为我国更好地实施在用轻型汽油车排放检测提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 试验车辆

为使比对试验尽可能涵盖不同排放水平的车辆,本研究按照排放标准、行驶里程、出厂年限、发动机排量等多种因素选取了 25 辆在用轻型汽油车进行试验。表 1 所示为测试车辆的具体信息。车辆使用的油品均为市售国 5 车用汽油。

1.2 试验方法

车辆在每次试验前均进行充分预热,预热后首先采用 VMAS 方法开展检测,随后在热车状态下采用 CVS 方法开展排放检测。为消除偶然因素对结果造成的影响,VMAS 排放试验重复进行 3 次,CVS 方法试验重复 2 次,结果均取平均值。CVS 方法选用的工况为欧盟 ECE + EUDC 循环,该循环由 4 个城市道路驾驶循环(ECE)和 1 个城郊高速驾驶循环(EUDC)组成,时长为 1 180 s,里程数约 11 km,最大车速为 120 km·h⁻¹。VMAS 方法采用的工况为 ECE + EUDC 中的其中 1 个 ECE 循环,该循环时长共计 195 s,里程数约 1 km,最大车速为 50 km·h⁻¹。比对时,提取 CVS 方法中的第一个 ECE 循环(ECE-1)测试结果与 VMAS 检测结果进行比较。图 1 所示为 ECE + EUDC 循环及参与比对的工况段示意。

1.3 检测设备

本研究分别采用 VMAS 和 CVS 两套测量系统对同一车辆进行测试分析。其中,CVS检测在轻型

表 1 试验车辆信息

Table 1 Information of tested vehicles

序号	排放标准	出厂年限 /a	发动机排量 /L	行驶里程 × 10 ⁴ /km	最大总质量 /kg
1	国 2	11	2.0	130.1	1 863
2	国 2	14	1.8	25.5	1 490
3	国 2	9	2.5	22.9	2 398
4	国 2	10	1.6	21.6	1 425
5	国 2	12	1.4	17.6	1 475
6	国 2	11	1.6	16.5	1 385
7	国 2	12	1.6	14.0	1 390
8	国 2	8	1.8	10.9	1 795
9	国 2	10	1.6	10.3	1 435
10	国 3	5	1.5	22.8	1 575
11	国 3	7	2.0	18.3	1 875
12	国 3	7	1.6	9.8	1 754
13	国 3	5	1.5	5.4	1 545
14	国 4	5	2.0	19.4	1 882
15	国 4	3	1.4	14.0	1 550
16	国 4	3	1.6	12.7	1 750
17	国 4	5	1.8	8.3	1 840
18	国 4	2	1.5	8.1	1 585
19	国 4	7	1.4	6.5	1 550
20	国 4	2	1.6	6.2	1 770
21	国 4	3	1.6	3.2	1 718
22	国 4	2	2.0	2.7	1 882
23	国 4	2	1.4	1.7	2 060
24	国 5	1	1.5	5.8	1 510
25	国 5	1	2.0	4.6	2 020

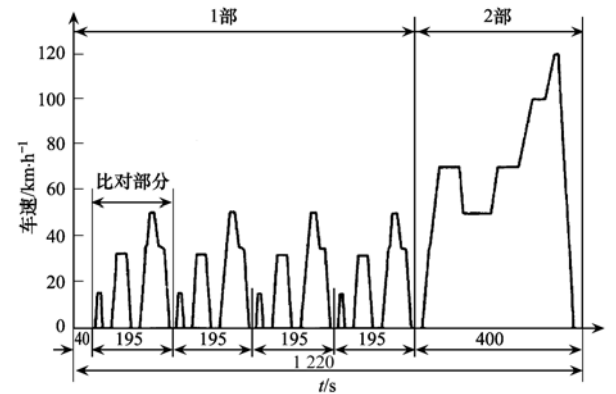


图 1 ECE + EUDC 工况循环

Fig. 1 Economic commission for Europe and Extra Urban Driving Cycle

车整车排放实验室中进行,试验全程密闭、控温,采用的底盘测功机为日本 HORIBA 公司的 VULCAN EMSCD48 产品,稀释采样系统采用 HORIBA 公司的 CVS-7000 系列,气体分析仪为日本 HORIBA 公司的 MEXA-7000 系列,其中,CO 采用非分散红外(NDIR)方法测量、HC 采用氢火焰离子(FID)方法测量、NO_x 采用化学发光(CLD)方法测量。VMAS 方法在年检站开放空间中进行,采用的底盘测功机

为深圳汇银公司生产的 QWJ3000-JST 型测功机系统,检测单元为美国 SENSOR 公司的流量和排放测试产品,其中,CO 和 HC 采用 NDIR 方法测量、NO_x 采用电化学方法测量. CVS 方法常用于新车型式认证试验,测量精度高,是相对可靠的汽车排放测试方法;VMAS 检测方法常用于在用轻型汽油车定期检验,测量精度相对低于 CVS 方法^[16,19,22~24].

2 结果与分析

2.1 实测轻型汽油车瞬态排放特征

图 2 所示为测试车辆逐秒排放量在整段工况中的平均占比. 从中可见,在用轻型汽油车的 CO、HC 和 NO_x 排放主要集中在第一段 ECE 循环(即 ECE-1)和 EUDC 循环,ECE-1 循环中,车辆发动机和三元催化器还处于升温阶段,均未达到最佳工作温度,各类污染物排放普遍较高. EUDC 循环中,车速上升导致发动机负荷升高,油耗增加且空燃比下降,使各类污染物显著上升. VMAS 方法采用的工况为车辆启动后的第一个 ECE 循环,排放特征与图中的 ECE-1 循环类似,该工况段在车辆整体循环中的占比相对较高.

2.2 实测轻型汽油车排放因子

表 2 所示为采用 CVS 方法测试获得的 ECE-1 与 ECE + EUDC 工况下各类污染物的排放因子比较. 可见,在用轻型汽油车各类污染物排放因子存在较大差异,ECE + EUDC 工况下,CO 排放因子平均为 3.28 g·km⁻¹,最大和最小 95 百分位数分别为 13.53 g·km⁻¹和 0.046 g·km⁻¹;HC 排放因子平均为 0.34 g·km⁻¹,最大和最小 95 百分位数分别为 1.43 g·km⁻¹和 0.010 g·km⁻¹;NO_x 排放因子平均为 0.49 g·km⁻¹,最大和最小 95 百分位数分别为 2.11 g·km⁻¹和 0.010 g·km⁻¹. 可以看到,高排放车的排放水平可达到低排放车的 150~300 倍左右,应当成为在用车排放监管的重点. 同时,高排放车主要集中在国 2 和国 3 等老旧程度相对较高的车型中,国 4 及以上车辆排放水平总体较低,未出现显著的高排放现象. ECE-1 工况下各类污染物的排放因子与 ECE + EUDC 工况下获得的结果一致性较好,总体上高于 ECE + EUDC 工况下的排放因子,其中,CO 排放因子是 ECE + EUDC 工况下所测排放因子的 1.71 倍(0.5~10.0 倍);HC 排放因子为 1.92 倍(1.3~9.8 倍);NO_x 排放因子为 1.15 倍(0.2~7.5

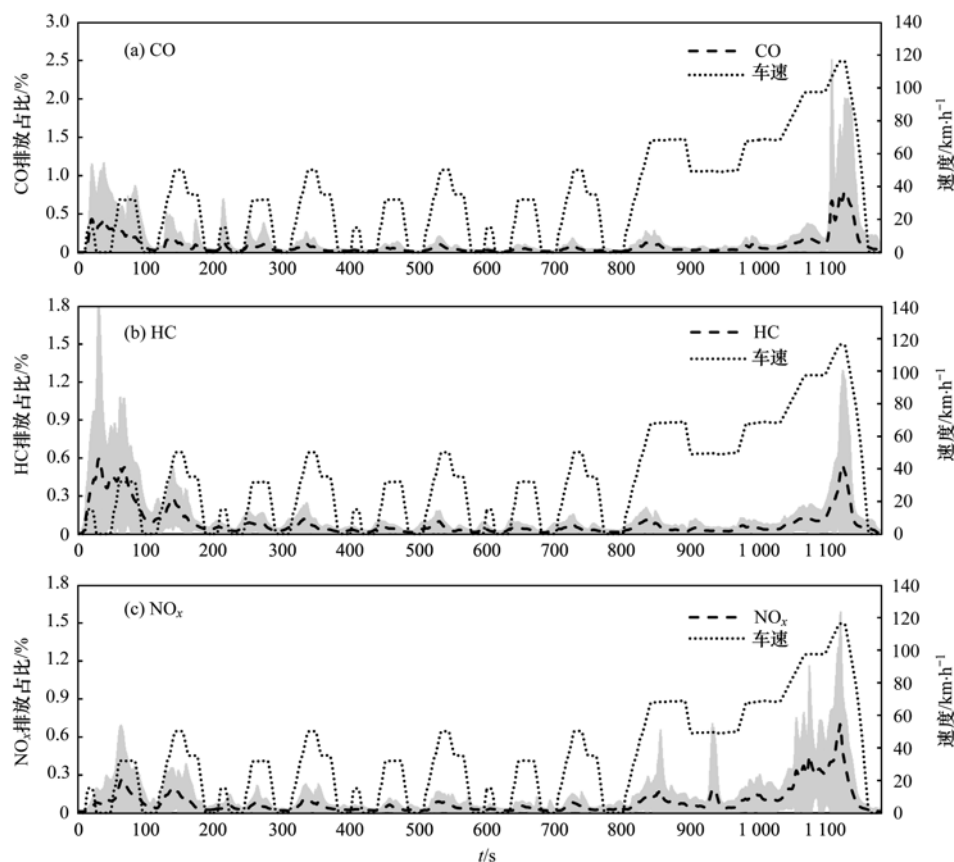


图 2 测试车辆瞬态排放在整个工况中的平均占比

Fig. 2 Average emission contributions of major pollutants in each second

表 2 ECE-1 工况与 ECE + EUDC 工况下各类污染物排放因子及其差异比较

Table 2 Emission factors of tested light-duty gasoline vehicles under ECE-1 and ECE + EUDC cycles by CVS										
序号	排放标准	ECE-1/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$			ECE + EUDC/ $\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$			ECE-1/(ECE + EUDC)		
		CO	HC	NO_x	CO	HC	NO_x	CO	HC	NO_x
1	国 2	3.53	0.52	1.12	1.75	0.24	0.62	2.01	2.21	1.79
2	国 2	4.52	0.78	1.03	2.71	0.45	0.85	1.67	1.72	1.20
3	国 2	0.07	0.02	0.32	0.02	0.01	0.37	4.11	4.00	0.85
4	国 2	28.97	2.02	0.99	20.86	1.50	1.34	1.39	1.35	0.74
5	国 2	0.54	0.28	0.16	0.25	0.08	0.06	2.20	3.50	2.60
6	国 2	7.30	1.59	1.94	5.91	1.13	2.26	1.24	1.41	0.86
7	国 2	9.57	1.57	1.52	6.94	1.14	1.52	1.38	1.38	1.00
8	国 2	5.96	0.42	0.17	1.98	0.11	0.17	3.02	3.96	1.00
9	国 2	9.68	1.90	1.13	5.89	1.09	1.30	1.64	1.74	0.86
10	国 3	29.68	2.34	0.73	14.29	0.79	0.53	2.08	2.98	1.38
11	国 3	9.80	1.98	3.02	10.51	1.53	2.47	0.93	1.29	1.22
12	国 3	2.12	0.19	0.14	1.22	0.04	0.05	1.73	5.13	2.92
13	国 3	4.24	0.52	0.41	0.45	0.05	0.05	9.47	9.50	7.47
14	国 4	1.43	0.13	0.11	0.42	0.01	0.03	3.39	8.88	3.35
15	国 4	4.20	0.13	0.01	0.70	0.03	0.07	5.99	5.28	0.20
16	国 4	3.28	0.20	0.33	1.23	0.03	0.09	2.66	7.04	3.70
17	国 4	3.69	0.34	0.01	0.36	0.04	0.01	10.12	7.89	0.95
18	国 4	2.98	0.30	0.39	0.94	0.04	0.14	3.19	6.71	2.68
19	国 4	4.17	0.33	0.03	1.77	0.12	0.09	2.35	2.76	0.40
20	国 4	0.31	0.02	0.01	0.07	0.00	0.00	4.30	9.82	1.83
21	国 4	0.31	0.07	0.07	0.04	0.01	0.02	7.57	6.74	3.78
22	国 4	0.40	0.05	0.03	0.73	0.01	0.09	0.54	8.50	0.40
23	国 4	2.11	0.43	0.29	1.03	0.07	0.06	2.04	5.80	4.51
24	国 5	0.48	0.11	0.06	0.08	0.01	0.02	5.69	7.81	3.76
25	国 5	1.20	0.15	0.01	1.97	0.03	0.01	0.61	5.43	1.34

倍),表征的是车辆排放水平较高的工况段。

2.3 不同排放标准车辆的 VMAS 和 CVS 实测排放因子相关性

图 3 所示为各阶段排放标准车辆分别采用 VMAS 和 CVS(ECE-1 工况段)方法实测的排放因子比较。可见,国 2 和国 3 标准轻型汽油车采用 VMAS 和 CVS 实测的排放因子吻合度较好,CO 的相对偏差分别为 -31% 和 23%;HC + NO_x 的相对偏差分别为 -3% 和 32%。但对于国 4 及以上排放标准车辆,CO 和 HC + NO_x 相对偏差将显著上升,分别达到 197% 和 177%。说明随着排放标准的提升,两种方

法检测结果的偏差将逐步变大,特别是对国 4 及以上标准车辆,VMAS 检测结果与 ECE-1 检测结果相对偏差较大,继续采用 VMAS 检测方法可能导致对其排放情况的误判。

2.4 不同排放水平车辆的 VMAS 和 CVS 实测排放因子相关性

为进一步论证不同排放水平下,两种检测方法测试结果的一致性,本研究根据上海市《在用点燃式发动机轻型汽车简易瞬态工况法排气污染物排放限值》(DB 31/357-2015)中的 II 类排放限值要求(CO 不超过 6.3 g·km⁻¹,HC + NO_x 不超过 2.0

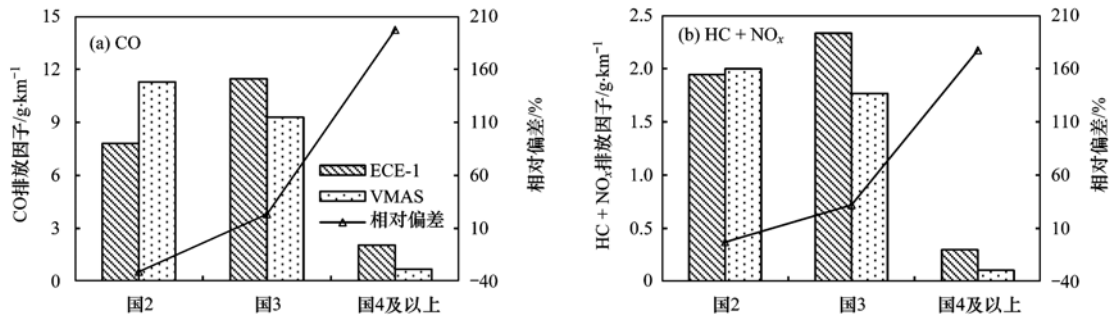


图 3 不同排放标准车辆的 VMAS 和 ECE-1 实测结果比较

Fig. 3 Differences of emission factor between VMAS and ECE-1 for vehicles with different emission standards

$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$),将测试车辆分为高排放车和低排放车两类,分别分析测试结果的相关性.经筛选,高排放车共8辆,包括6辆国2车和2辆国3车;低排放车为17辆,包括3辆国2车、2辆国3车、10辆国4车和2

辆国5车.图4所示为高排放车 VMAS 和 CVS(ECE-1 工况段)测试结果的相关关系. CO 和 $\text{HC} + \text{NO}_x$ 排放因子测试结果的相关系数 R^2 分别为在 0.85 和 0.75 左右,与丁焰等^[19]的研究结论基本一致.

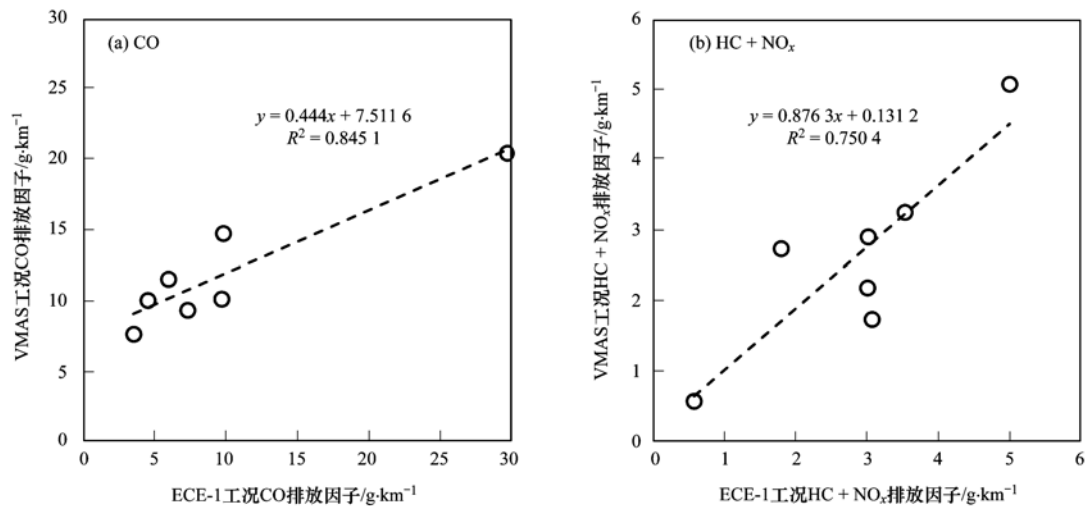


图4 高排放车 VMAS 和 ECE-1 排放测试结果的相关性

Fig. 4 Correlations of emission factors of high-emitting vehicles measured by VMAS and ECE-1

图5所示为低排放车 VMAS 和 CVS(ECE-1 工况段)测试结果的相关关系.可见,对于低排放车辆,两种方法测试结果的相关性将显著降低,CO 和 $\text{HC} + \text{NO}_x$ 的相关系数 R^2 均在 0.46 左右. VMAS 检测方法在我国发展于 2005 年前后,当时的主流车型为国1 和国2 标准,近年来,我国各城市轻型汽油车排放标准得到大幅提升,车辆排放水平下降显著^[25~27],若要进一步严化在用车排放限值,VMAS 检测方法的适用性将存在一定的疑问.

2.5 VMAS 检测方法对不同标准限值下的超标判定能力分析

为进一步分析排放限值严化后,VMAS 检测方法对车辆超标情况的判定能力,本研究分别设定了3个在用轻型汽油车排放限值级别,计算了不同限值下 VMAS 检测结果的误判(把超标车判为达标)和错判(把达标车判为超标)情况,如表3所示.限值1和限值2分别为原上海市在用轻型汽油车排放标准(DB 31/357-2006)和新标准(DB

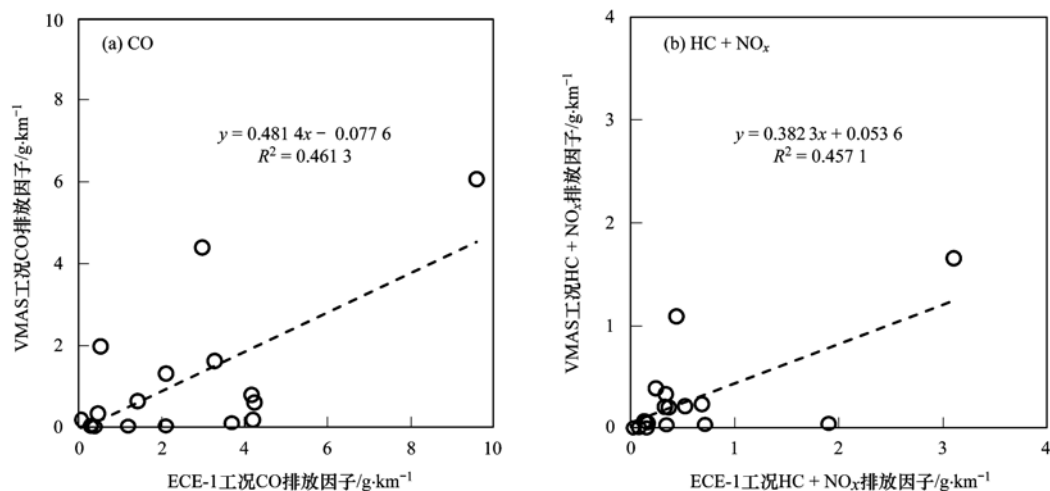


图5 低排放车 VMAS 和 ECE-1 排放测试结果的相关性

Fig. 5 Correlations of emission factors of low-emitting vehicles measured by VMAS and ECE-1

31/357-2015)中的Ⅱ类排放限值,限值3为针对更高排放标准车辆假定的新标准限值.式(1)为各排放标准限值下的超标误判或错判率计算方法.

$$\rho = \frac{n^-}{n^- + n^+} \tag{1}$$

式中,ρ为误判率,%;n⁻为误判或错判车辆数;n⁺为判断正确的车辆数.

由表3可见,随着排放标准的严化,VMAS检测

结果对超标的误判率逐渐上升,在现行的VMAS检测方法体系下,若要进一步严化在用车排放标准限值,可能将发生频繁的误判或错判现象.VMAS是目前我国在用车排放检测的主流方法之一,对遏制在用轻型汽油车高排放发挥了重要作用.但是,从上述分析来看,VMAS方法对目前大部分排放较低的车辆而言,适用性总体较差,有必要研究更为精确的在用轻型汽油车排放测试方法,为我国下一阶段的在用用车排放检测和监管提供有力支撑.

表3 不同在用车排放标准限值下VMAS检测超标的判定情况分析

Table 3 Misjudgment rates of in-use vehicle emission attainments under different emission standards

排放标准	CO 限值/g·km ⁻¹	HC + NO _x 限值/g·km ⁻¹	n ⁻ /辆	n ⁺ /辆	ρ/%
限值1	12.0	4.5	0	25	0
限值2	6.3	2.0	4	21	16
限值3	3.0	1.0	7	18	28

3 结论

(1)实测结果表明,轻型汽油车排放水平总体随排放标准提升而呈下降趋势,特别是在国2和国3标准车辆中存在一定的高排放现象,而在我国轻型汽油车中占比较高的国4及以上标准车型未发现显著的高排放现象.VMAS检测采用的工况为ECE+EUDC工况中的第一段城市循环工况(ECE-1),该工况下污染物排放因子总体上高于整个循环的平均排放因子.

(2)VMAS和CVS(ECE-1工况段)方法实测的排放因子相关性随排放标准提升而显著下降,两种方法对国2车排放检测结果的一致性较好,国3车检测结果的相对偏差有所上升,国4及以上标准车辆的CO和HC+NO_x相对偏差最高,分别达到197%和177%.从不同排放水平来看,对较高排放车辆,两种方法检测结果的一致性较好,相关系数达到0.75~0.85左右;对较低排放车辆,相关系数仅为0.46左右,说明VMAS对较低排放汽车的检测结果与CVS方法所得结果之间存在较大偏差.

(3)若进一步严化在用车排放标准,采用VMAS方法可能对在用车排放超标情况造成误判或错判,随着轻型汽油车排放标准的不断提升,车辆总体排放水平的不断下降,VMAS检测方法对较低排放车辆的适用性相对较差.

(4)本研究所选取的样本数量相对较少,有必要在后续研究中进一步补充,并着力研究更为精确的在用轻型汽油车排放测试方法,为我国下一阶段的在用用车排放检测和监管提供技术支撑.

参考文献:

[1] Zhang Y L, Huang R J, Haddad I E, *et al.* Fossil vs. non-fossil sources of fine carbonaceous aerosols in four Chinese cities during the extreme winter haze episode of 2013 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(3): 1299-1312.

[2] Huang C, Wang H L, Li L, *et al.* VOC species and emission inventory from vehicles and their SOA formation potentials estimation in Shanghai, China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2015, **15**(19): 11081-11096.

[3] Tan J H, Duan J C, Chai F H, *et al.* Source apportionment of size segregated fine/ultrafine particle by PMF in Beijing [J]. *Atmospheric Research*, 2014, **139**: 90-100.

[4] 黄晓锋, 云慧, 宫照恒, 等. 深圳大气PM_{2.5}来源解析与二次有机气溶胶估算[J]. *中国科学: 地球科学*, 2014, **44**(4): 723-734.

Huang X F, Yun H, Gong Z H, *et al.* Source apportionment and secondary organic aerosol estimation of PM_{2.5} in an urban atmosphere in China[J]. *Science China Earth Sciences*, 2014, **57**(6): 1352-1362.

[5] 任丽红, 周志恩, 赵雪艳, 等. 重庆主城区大气PM₁₀及PM_{2.5}来源解析[J]. *环境科学研究*, 2014, **27**(12): 1387-1394.

Ren L H, Zhou Z E, Zhao X Y, *et al.* Source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in urban areas of Chongqing [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, **27**(12): 1387-1394.

[6] 吴琳, 沈建东, 冯银厂, 等. 杭州市灰霾与非灰霾日不同粒径大气颗粒物来源解析[J]. *环境科学研究*, 2014, **27**(4): 373-381.

Wu L, Shen J D, Feng Y C, *et al.* Source apportionment of particulate matters in different size bins during haze and non-haze episodes in Hangzhou City [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2014, **27**(4): 373-381.

[7] Graham L A, Belisle S L, Rieger P. Nitrous oxide emissions from light duty vehicles [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(12): 2031-2044.

[8] Gentner D R, Worton D R, Isaacman G, *et al.* Chemical composition of gas-phase organic carbon emissions from motor

- vehicles and implications for ozone production [J]. *Environmental Science & Technology*, 2013, **47**(20): 11837-11848.
- [9] 环境保护部机动车排污监测中心. 2015 年中国机动车污染防治年报[R]. 北京: 环境保护部机动车排污监测中心, 2016.
- [10] Eisinger D S. Evaluating inspection and maintenance programs; a policy-making framework [J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2005, **55**(2): 147-162.
- [11] Zia A, Norton B G, Noonan D S, *et al.* A quasi-experimental evaluation of high-emitter non-compliance and its impact on vehicular tailpipe emissions in Atlanta, 1997- 2001 [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2006, **11**(1): 77-96.
- [12] 于增信, 徐志军, 孙莉, 等. 在用车排放劣化规律研究[J]. *车用发动机*, 2012, (2): 63-65.
Yu Z X, Xu Z J, Sun L, *et al.* Study on deterioration of in-use vehicle emission[J]. *Vehicle Engine*, 2012, (2): 63-65.
- [13] 陈泳钊, 刘永红, 黄晶, 等. 在用轻型汽油车排放随行驶里程劣化规律分析[J]. *环境污染与防治*, 2015, **37**(4): 21-25, 29.
Chen Y Z, Liu Y H, Huang J, *et al.* Analysis of emissions deterioration rule of in-use light-duty gasoline vehicles emission with mileage[J]. *Environmental Pollution and Control*, 2015, **37**(4): 21-25, 29.
- [14] GB 18285-2005 点燃式发动机汽车排气污染物排放限值及测量方法(双怠速法及简易工况法)[S].
- [15] 农加进, 双菊荣. 机动车双怠速法与简易瞬态工况法尾气检测对比分析[J]. *环境工程*, 2010, **28**(S1): 280-284.
Nong J J, Shuang J N. Comparative analysis of measuring vehicle emission with two-speed idle mode and simple transient driving mode[J]. *Environmental Engineering*, 2010, **28**(S1): 280-284.
- [16] 葛蕴珊, 张学敏, 高力平, 等. 简易瞬态工况法测量准确度影响因素研究[J]. *汽车工程*, 2006, **28**(4): 335-339.
Ge Y S, Zhang X M, Gao L P, *et al.* A study on factors affecting the accuracy of short transient driving cycle testing [J]. *Automotive Engineering*, 2006, **28**(4): 335-339.
- [17] 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.
Li X L, Wu Y, Yao X C, *et al.* Evaluation of the environmental benefits of the enhanced vehicle inspection/maintenance program based on the short transient loaded mode in Guangzhou[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **32**(1): 101-108.
- [18] 葛蕴珊, 杨志强, 张学敏, 等. 在用汽油车瞬态工况排放测试方法研究[J]. *汽车工厂*, 2007, **29**(3): 212-215.
Ge Y S, Yang Z Q, Zhang X M, *et al.* A study on emission test for in-use gasoline vehicle with transient driving cycle [J]. *Automotive Engineering*, 2007, **29**(3): 212-215.
- [19] 丁焰, 葛蕴珊, 张学敏. 汽车简易工况法与新车排放认证工况法的相关性研究[J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(9): 1027-1031.
Ding Y, Ge Y S, Zhang X M. Correlation of gasoline vehicle emissions between simple loaded mode and new vehicle emission certification mode [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2009, **22**(9): 1027-1031.
- [20] Lau J, Hung W T, Cheung C S. Observation of increases in emission from modern vehicles over time in Hong Kong using remote sensing[J]. *Environmental Pollution*, 2012, **163**: 14-23.
- [21] Rhys-Tyler G A, Bell M C. Toward reconciling instantaneous roadside measurements of light duty vehicle exhaust emissions with type approval driving cycles[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, **46**(19): 10532-10538.
- [22] 杜艾永, 李树珉, 夏均忠, 等. 汽油车尾气排放简易瞬态工况法检测的研究[J]. *轻型汽车技术*, 2015, (10): 23-26.
- [23] 李允平, 刘泽砚. 影响简易瞬态工况法(VMAS)测量精度因素分析[J]. *农业装备与车辆工程*, 2009, (1): 10-13.
Li Y P, Liu Z Y. Analysis on influence factors to measurement accuracy of VMAS [J]. *Agricultural Equipment & Vehicle Engineering*, 2009, (1): 10-13.
- [24] 余文永, 黄清风, 黄小伟, 等. 简易瞬态工况法中五气分析仪的日常标定/检查及其影响因素的分析[J]. *分析仪器*, 2015, (2): 74-79.
Yu W Y, Huang Q F, Huang X W, *et al.* Influencing factor analysis of daily calibration and examination of five-gas analysis meter in simple transient driving mode [J]. *Analytical Instrumentation*, 2015, (2): 74-79.
- [25] 王岐东, 姚志良, 霍红, 等. 中国城市轻型车的排放特性[J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(9): 1714-1719.
Wang Q D, Yao Z L, Huo H, *et al.* Instantaneous emission characteristics of vehicles in Chinese cities[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, **28**(9): 1713-1719.
- [26] 王海鲲, 傅立新, 周昱, 等. 应用车载测试系统研究轻型机动车在实际道路上的排放特征[J]. *环境科学*, 2008, **29**(10): 2970-2974.
Wang H K, Fu L X, Zhou Y, *et al.* Investigation of emission characteristics for light duty vehicles with a portable emission measurement system [J]. *Environmental Science*, 2008, **29**(10): 2970-2974.
- [27] Huo H, Yao Z L, Zhang Y Z, *et al.* On-board measurements of emissions from light-duty gasoline vehicles in three mega-cities of China[J]. *Atmospheric Environment*, 2012, **49**: 371-377.

CONTENTS

Comparison of Models on Spatial Variation of PM _{2.5} Concentration; A Case of Beijing-Tianjin-Hebei Region	WU Jian-sheng, WANG Xi, LI Jia-cheng, <i>et al.</i> (2191)
Change of Atmospheric Pollution Diffusion Conditions in Beijing in Recent 35 Years	GUO Chun-wei, SUN Zhao-bin, LI Zi-ming, <i>et al.</i> (2202)
Precipitation and Its Effects on Atmospheric Pollutants in a Representative Region of Beijing in Summer	HAN Li-hui, ZHANG Hai-liang, XIANG Xin, <i>et al.</i> (2211)
Impact of Mountain-Valley Wind Circulation on Typical Cases of Air Pollution in Beijing	DONG Qun, ZHAO Pu-sheng, WANG Ying-chun, <i>et al.</i> (2218)
Fugitive Dust Emission Characteristics from Building Construction Sites of Beijing	XUE Yi-feng, ZHOU Zhen, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i> (2231)
Characteristics of Volatile Organic Compounds Emitted from Biomass-pellets-fired Boilers	WU Chang-da, ZHANG Chun-lin, BAI Li, <i>et al.</i> (2238)
Effect of VOCs on O ₃ and SOA Formation Potential During the Combined Pollution Process in Guangzhou Panyu Atmospheric Composition Station	ZOU Yu, DENG Xue-jiao, LI Fei, <i>et al.</i> (2246)
Characteristic Study on the "Weekend Effect" of Atmospheric O ₃ in Northern Suburb of Nanjing	WANG Jun-xiu, AN Jun-lin, SHAO Ping, <i>et al.</i> (2256)
Atmospheric Ammonia/Ammonium-nitrogen Concentrations and Wet and Dry Deposition Rates in a Double Rice Region in Subtropical China	WANG Jie-fei, ZHU Xiao, SHEN Jian-lin, <i>et al.</i> (2264)
Species of Iron in Size-resolved Particle Emitted from Xuanwei Coal Combustion and Their Oxidative Potential	WANG Qiang-xiang, TAN Zheng-ying, ZHAO Hui, <i>et al.</i> (2273)
Dioxin Pollution and Occupational Inhalation Exposure of PCDD/Fs in Municipal Solid Waste Incinerator	DU Guo-yong, WANG Qian, ZHANG Shu-lin, <i>et al.</i> (2280)
Characteristics of Mercury Emissions from Modern Dry Processing Cement Plants in Chongqing	ZHANG Cheng, ZHANG Ya-hui, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (2287)
Correlations of Light-duty Gasoline Vehicle Emissions Based on VMAS and CVS Measurement Systems	WANG Hong-yu, HUANG Cheng, HU Qing-yao, <i>et al.</i> (2294)
Emission Characteristics of Particulate Matter from Diesel Buses Meeting Different China Emission Standards Fueled with Biodiesel	LOU Di-ming, ZHAO Cheng-zhi, XU Ning, <i>et al.</i> (2301)
Spatial Variation and Environmental Significance of δ ¹⁸ O and δD Isotope Composition in Xijiang River	XU Qi, LI Jian-hong, SUN Ping-an, <i>et al.</i> (2308)
Comparative Study of SWAT and DNDC Applied to N Leach and Export from Subtropical Watershed	HAN Ning, CHEN Wei-liang, GAO Yang, <i>et al.</i> (2317)
Comparison of Relationship Between Conduction and Algal Bloom in Pengxi River and Modao River in Three Gorges Reservoir	JIANG Wei, ZHOU Chuan, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2326)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in Sediment Pore Water and Overlying Water of Dianchi Caohai Lake	WANG Yi-ru, WANG Sheng-ru, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2336)
Distribution and Emission Flux Estimation of Phosphorus in the Sediment and Interstitial Water of Xiangxi River	LUO Yu-hong, NIE Xiao-qian, LI Xiao-ling, <i>et al.</i> (2345)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Water and Sediment from Daye Lake	ZHANG Jia-quan, TIAN Qian, XU Da-mao, <i>et al.</i> (2355)
Formation of Brominated Disinfection By-products in Low Temperature Multi-effect Distillation (LT-MED) Process for Seawater Desalination	QI Fei, SUN Ying-xue, YANG Zhe, <i>et al.</i> (2364)
Applicability Comparison and Application Study of Two Methods for Determination of the Copper Complexing Capacity of Waters	WANG Chen-ye, JIANG Kuo, XIE Wen-long, <i>et al.</i> (2373)
Performance of Applying Scale Permeable Pavements for Control of Runoff Pollution in an Area with High Groundwater Level	JIN Jian-rong, LI Tian, SHI Zhen-bao (2379)
Removal of 2,4-dichlorophenol in Underground Water by Stabilized Nano Zero-valent Iron	ZHANG Yong-xiang, CHANG Shan, LI Fei, <i>et al.</i> (2385)
Enhancement of Sulfamerazine Degradation Under H ₂ O ₂ /KI System by Ultrasound and UVA Irradiation	WEI Hong, SUN Bo-cheng, YANG Xiao-yu, <i>et al.</i> (2393)
Comparison of Phosphate Adsorption onto Zirconium-Modified Bentonites with Different Zirconium Loading Levels	JINAG Bo-hui, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2400)
Removal of Nitrogen in Municipal Secondary Effluent by a Vertical Flow Constructed Wetland Associated with Iron-carbon Internal Electrolysis	ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, ZHOU Xiang, <i>et al.</i> (2412)
Purification Efficiency and Influencing Factors of Combined Bio-filters for Aquaculture Wastewater	ZHANG Shi-yang, ZHANG Sheng-hua, ZHANG Xiang-ling, <i>et al.</i> (2419)
Effect of Temperature on PAO Activity and Substrate Competition	ZHANG Ling, PENG Dang-cong, CHANG Die (2429)
Enrichment and Nitrogen Removal Characteristics of Marine Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria	FENG Li, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (2435)
Ammonia Removal Rate and Microbial Community Structures in Different Biofilters for Treating Aquaculture Wastewater	ZHOU Hong-yu, HAN Mei-lin, QIU Tian-lei, <i>et al.</i> (2444)
Influence of Phosphate on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Sludge	ZHOU Zheng, LIU Kai, WANG Fan, <i>et al.</i> (2453)
Characteristics and Mechanism of Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Granular Sludge Under Carbon Source Stress	QIN Shi-you, CHEN Wei, MA Zhao-nui, <i>et al.</i> (2461)
Evolution of Extracellular Polymeric Substances of the Activated Sludge with Calcium Ion Addition During Set-up Period of Sequencing Batch Reactors	REN Li-fei, YANG Xin-ping, ZHANG Wen-wen (2470)
Isolation, Identification and Characterization of the Filamentous Microorganisms from Bulking Sludge	ZHANG Chong-miao, NIU Quan-rui, XU Li-mei, <i>et al.</i> (2477)
Applicability and Microbial Community Structure of Denitrification Suspended Carriers	TAN Yang, LI Ji, XU Qiao, <i>et al.</i> (2486)
Effect of Thiosulfate on the Carbon Fixation Capability of <i>Thiobacillus thioparus</i> and Its Mechanism	LI Huan, WANG Lei, WANG Ya-nan (2496)
Characteristics of Fungi Community Structure and Genetic Diversity of Forests in Guandi Mountains	QIAO Sha-sha, ZHOU Yong-na, CHAI Bao-feng, <i>et al.</i> (2502)
Source Apportionment of Soil Heavy Metals in City Residential Areas Based on the Receptor Model and Geostatistics	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei (2513)
Environmental Health Risk Assessment of Contaminated Soil Based on Monte Carlo Method; A Case of PAHs	TONG Rui-peng, YANG Xiao-yi (2522)
Influencing Mechanism of Eh, pH and Iron on the Release of Arsenic in Paddy Soil	ZHONG Song-xiong, YIN Guang-cai, CHEN Zhi-liang, <i>et al.</i> (2530)
Correlations Between Different Extractable Cadmium Levels in Typical Soils and Cadmium Accumulation in Rice	CHEN Qi, DENG Xiao, CHEN Shan, <i>et al.</i> (2538)
Remedying Effects of a Combined Amendment for Paddy Soil Polluted with Cd for Spring and Autumn Rice	CHEN Li-wei, YANG Wen-tao, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (2546)
Effects of Two Amendments on Remedying Garden Soil Complexly Contaminated with Pb, Cd and As	TIAN Tao, LEI Ming, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (2553)
Sorption of Phenanthrene to Soybean and Wheat Roots and the Bioavailability of Sorbed Phenanthrene	WANG Hong-ju, LI Qian-qian, SHEN Yu, <i>et al.</i> (2561)
Effects of Dissolved Organic Matter Fractions Extracted from Humus Soil on Sorption of Benzotriazole in Brown Soil and Black Soil	YANG Ning-wei, BI Er-ping (2568)
Effects of Topography, Tree Species and Soil Properties on Soil Enzyme Activity in Karst Regions	LUO Pan, CHEN Hao, XIAO Kong-caio, <i>et al.</i> (2577)
Effects of Long-term Organic Amendments on Soil N ₂ O Emissions from Winter Wheat-maize Cropping Systems in the Guanzhong Plain	HAO Yao-xu, LIU Ji-xuan, YUAN Meng-xuan, <i>et al.</i> (2586)
Exposure Route of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in Hair Based on Passive Sampling	YUAN Hao-dong, BAI Yao, LI Qiu-xu, <i>et al.</i> (2594)
Accumulation Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Wild Fish Species from Diaojiang River, Guangxi	WANG Jun-neng, MA Peng-cheng, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (2600)
Effect of Activated Carbon Addition on the Anaerobic Fermentation of Corn Straw in Mesophilic and Thermophilic Conditions	GAN Rong, GE Ming-min, LIU Yong-di, <i>et al.</i> (2607)
Volatile Organic Compounds (VOCs) Source Profiles of Industrial Processing and Solvent Use Emissions; A Review	WANG Hong-li, YANG Zhao-xun, JING Sheng-ao (2617)