

低温环境中乙醇汽油和普通汽油的 冷凝水与污染物排放

苏会波¹ 林海龙¹ 武国庆¹ 靖苏铜² 石则强²

(1. 中粮营养健康研究院, 国家能源生物液体燃料研发中心, 北京 102209;

2. 交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要 对低温环境中乙醇汽油和普通汽油的冷凝水、CO、HC、NO_x 和 CO₂ 排放特性进行了研究, 并对 5 种排放物的形成机理和排放趋势进行了分析。ECE 工况 (−20、−10 和 0 °C) 和怠速工况 (−30、−20、−10 和 0 °C) 下, 乙醇汽油和普通汽油的冷凝水排放量主要受含氢量、车辆构造和外界环境的共同影响。ECE 工况中冷凝水的总体排放趋势是随着温度降低而增加, 乙醇汽油的总排水量持平或略低于普通汽油。−10 °C 时乙醇汽油的高含氧量能促进燃烧速度和燃烧效率, 减少 CO 和 HC 排放, 增加 NO_x 排放; 0 °C 时低温环境和乙醇的高汽化潜热会影响可燃混合气形成和燃烧速度, 降低缸壁温度, 增加 CO 和 HC 排放。

关键词 低温环境 乙醇汽油 冷凝水 污染物排放

中图分类号 X511 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2016)05-2519-08 DOI 10.12030/j.cjee.201412140

Condensate water and pollutants emission from ethanol gasoline and regular gasoline in low-temperature environment

Su Huibo¹ Lin Hailong¹ Wu Guoqing¹ Jing Sutong² Shi Zeqiang²

(1. COFCO Nutrition and Health Institute, National Energy R&D Center for Liquid Biofuels, Beijing 102209, China;

2. Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract The emissions characteristics and trends of condensate water, carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), nitrogen oxides (NO_x), and carbon dioxide (CO₂) from ethanol gasoline and regular gasoline in a low-temperature environment were studied, and the formation mechanisms were analyzed. Under ECE conditions (−2, −10 and 0 °C) and idling conditions (−30, −20, −10 and 0 °C), the condensate water discharge of ethanol gasoline and regular gasoline were mainly affected by the hydrogen content, vehicle structure, and external environment. Generally, condensate water in ECE conditions increased as temperatures decreased, while the total water amount from ethanol gasoline was equivalent to or less than that from regular gasoline. At −10 °C, the high oxygen content in ethanol gasoline could promote the velocity and combustion of combustion, which could then decrease CO and HC emissions, as well as increase NO_x emissions. At 0 °C, the high latent heat of vaporization and low environment temperature could affect the formation and combustion velocity of the inflammable mixture, which could increase CO and HC emissions.

Key words low-temperature environment; ethanol gasoline; condensate water; pollutants emission

国家统计局数据显示,截至 2013 年底,全国机动车保有量为 2.5 亿辆,其中汽车保有量为 1.37 亿辆,并且数量逐年增加。2013 年,全国汽油表观消费量为 8 721 万 t,其中乙醇汽油约占 21%。汽油主要由 C 元素和 H 元素组成,并含有少量 O 元素,完全燃烧时会生成水和 CO₂,不完全燃烧会生成 CO、碳氢化合物(HC)、以及与空气中 N₂ 反应生成氮氧化合物(NO_x)等化合物,给群众的生活环境带来污染。中国现行国家标准 GB 18352.3-2005《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》

将 CO、HC 和 NO_x 作为使用点燃式发动机的汽车尾气排放的主要限定污染物。北京大学环境模拟与污染控制国家重点联合实验室的胡敏教授对 2013 年北京雾霾成因的研究表明,来自机动车排放的初次颗粒物并不显著,机动车排放尾气中的挥发性有机

基金项目 国家高技术研究发展计划(863)项目(2012AA022304)

收稿日期 2014-12-16; **修订日期** 2015-01-08

作者简介 苏会波(1983—),男,博士,高级工程师,研究方向:能源与环境工程、生物质资源能源化利用。

E-mail: suhuibo@cofco.com

物和 NO_x 是雾霾中二次颗粒物形成的主要原因。这一成果发表在美国《国家科学院院报 (PNAS)》上^[1]。中国科学院地球环境研究所的曹军骥研究员发表在《Nature》上的研究成果表明,2013 年中国主要城市(北京、上海、广州和西安)的雾霾污染成分中挥发性有机物和 NO_x 占 37% ~ 61%,雾霾来源中机动车排放的初次颗粒物仅占 6% ~ 9%,而挥发性有机物和 NO_x 形成的二次气溶胶颗粒占 30% ~ 77%^[2]。

目前,车用乙醇汽油(E10)已在全国范围内广泛使用。乙醇分子中含氧量高达 35%,以 10% 比例加入普通汽油配置成乙醇汽油(E10)可以显著提高汽油含氧量。高含氧量可以提高汽油的燃烧速度和燃烧效率,显著减少汽油不完全燃烧排放的 CO 和 HC^[3-5]。北京理工大学汽车动力性及排放测试国家专业实验室的研究表明,车辆使用乙醇汽油后,排放尾气中的 CO、HC 和 NO_x 分别下降了 13.23% 21.42% 和 4.62%^[6]。美国橡树岭国家实验室(ORNL)、澳大利亚海洋与大气研究所的研究也发现,使用乙醇汽油(E10)区域的 CO 减排可达 14% 以上,HC 排放量比普通汽油减少近 20%^[7-8]。然而,上述研究均是在常温下(20 ~ 30 ℃)进行,对乙醇汽油在低温环境下污染物排放特性的研究很少。

我国国土幅员辽阔,跨越纬度范围大,从热带的北纬 4°到寒温带的北纬 53°。以一月零度等温线秦岭-淮河为分界线,冬季时很多机动车都在 0 ℃ 以下的低温环境中运行。汽油在汽车发动机燃烧后生成

的水以气态形式排出,从气缸排出时温度可达 400 ~ 800 ℃,然后经过排气管和消音器温度较低区域时凝结成水滴排出^[9]。这种现象在低温时尤其明显,严重时会造成路面结冰,影响机动车的启动和制动性能,存在严重的交通安全隐患^[10-11]。此外,在低温环境中,汽油的燃烧速度和燃烧效率会发生变化,尾气中的 CO、HC 和 NO_x 排放特征也会随之变化。因此,有必要对低温环境中乙醇汽油和普通汽油的冷凝水、CO、HC、 NO_x 和 CO_2 的排放特性进行研究,掌握其排放规律,为分析和解决冬季道路结冰问题、治理大气污染和推广清洁能源提供有效的科学研究依据,具有重要的社会价值和现实意义。

1 实验方法

为了研究低温环境中乙醇汽油和普通汽油的冷凝水和污染物排放特性,并综合考虑实验车辆、实验用油、温度条件和工况条件对排放特性的影响,本研究设定了如下实验方法。

1.1 实验车辆

为了测评不同车型对冷凝水和污染物排放特性的影响,本研究车辆选取在全国乘用车市场占有率较高的一汽大众牌 FV7160CiFG 型轿车(捷达)、北京现代牌 BH7160A 型轿车(伊兰特)和东风雪铁龙牌 DC7163DT 型轿车(爱丽舍)作为实验车辆。各车辆的基本信息如表 1 所示。

表 1 实验车辆的基本信息
Table 1 Basic information of experimental vehicles

车辆名称	捷达	伊兰特	爱丽舍
型号	一汽大众牌 FV7160CiFG 型轿车	北京现代牌 BH7160A 型轿车	东风雪铁龙牌 DC7163DT 型轿车
VIN 号	LFV2A11G283127925	LBEPCCAK55X187500	LDC703124A1369514
出厂日期	2008 年 8 月	2005 年 6 月	2010 年 9 月
初始里程(km)	80 078	118 224	5 089
整备质量(kg)	1 085	1 305	1 110
发动机功率(kW)	70	82	78
发动机排量(L)	1.595	1.599	1.587

1.2 实验汽油

实验汽油为 93 号国Ⅲ乙醇汽油(E10)和 93 号国Ⅲ普通汽油,均取自中国石油化工股份有限公司石家庄炼化分公司。实验汽油的理化性能委托国家石油产品质量监督检验中心根据 GB 17930-2011 和 GB 18351-2010 进行检测,主要成分的含量(质量分数)如表 2 所示。

表 2 实验汽油的主要成分含量

Tbale 2 Components of experimental gasoline (%)					
实验汽油	C	H	O	MTBE	乙醇
普通汽油	84.35	13.59	2.06	11.42	—
乙醇汽油	83.10	13.26	3.65	<0.1	9.73

1.3 实验方案

冷凝水排放测试实验分别在不同温度的 ECE

工况和怠速工况下进行,污染物排放测试实验仅在ECE工况下进行。

1.3.1 ECE工况

根据《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》(GB 18352.3-2005),在ECE工况下进行冷凝水排放、污染物排放和燃油消耗量测试。ECE工况是由怠速、加速、等速、减速等共计15种不同车速和负荷组成一个实验循环,共进行4个循环15工况,测试时间780 s,总行驶里程4.052 km^[12]。

ECE工况的冷凝水排放测试分别在0、-10和-20℃进行,待环境舱温度稳定1 h后开始运行车辆。车辆先怠速运行2 min,然后再以50 km/h的速度运行10 min进行暖车,待发动机机油和冷却液温度稳定后,再运行ECE工况,测试冷凝水的排放量。

同时,分别测定0℃和-10℃时乙醇汽油和普通汽油的污染物排放量,以及0℃的燃油消耗量。实验过程与上述过程相同。

1.3.2 怠速工况

怠速工况是指车辆变速箱处于空挡位置、油门完全松开时发动机无负载运转的状态。怠速工况下冷凝水排放测试分别在0、-10、-20和-30℃进行,待环境舱温度稳定1 h后开始运行车辆。车辆先怠速运行10 min暖车,待发动机机油和冷却液温度稳定后,开始采集冷凝水进行测试,采集时间为20 min。

1.4 仪器设备

实验中用到的相关仪器设备由交通部汽车运输行业能源利用监测中心提供。采用轻型汽车排放实验环境仓系统(型号CAT-960-DS-P4WD,无锡锦华公司)提供实验中的低温环境;采用底盘测功机(型号4500(4WD MIN),美国宝克公司)对车辆行驶阻力进行模拟;采用汽车排放取样分析系统(型号MEXA-7400SLE,日本堀场公司)测定ECE工况下车辆尾气中的CO、HC、NO_x和CO₂含量;采用燃油流量计(型号LOWTRONIC S60,天津爱特网络系统有限公司)测定ECE工况下车辆的燃油消耗量。

2 结果与讨论

本研究检测了低温环境下(≤0℃)机动车使用乙醇汽油和普通汽油作为燃料时的冷凝水排放特性。同时,参考《轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ阶段)》(GB 18352.3-2005)规定,检测了CO、HC和NO_x等大气污染物和温室气体CO₂在低温环境下的排放特征。

2.1 冷凝水排放理论分析

乙醇汽油和普通汽油的主要构成元素是C、H和O,作为燃料完全燃烧时生成水和CO₂,并以气态形式排出,当气态水温度低于水蒸气凝结温度就会冷凝成水。气态水从气缸排出时的温度可高达400~800℃,在经过温度较低的排气管和消音器时会逐步降温,然后附着在排气管中温度较低的部位凝聚成水滴,并通过排气管排出。本研究中检测的排水量即指这部分冷凝水的量。气态水的冷凝效果受排气管的长度与管径、气体流速、排气温度、管壁导热系数、外界环境温度和风速等因素的影响^[9]。

根据欧盟和中国排放标准,汽油分子式可简化为CH_{1.85},乙醇分子式为C₂H₆O。根据氢原子的守恒计算可知,1.0 kg汽油完全燃烧可生成1.202 kg水,1.0 kg乙醇完全燃烧可生成1.174 kg水^[10]。我国目前推广应用的E10乙醇汽油中乙醇体积含量为10%,93号汽油密度常用平均密度为0.725 kg/L,无水乙醇密度为0.789 kg/L,则1.0 kg乙醇汽油完全燃烧生成 $1.202 \times 0.9 + 1.174 \times 0.1 \times (0.789/0.725) = 1.210$ kg水。

实际使用的汽油中,为了提高燃烧和抗爆性能,一般会加入其他有机化合物(如甲基叔丁基醚,简称MTBE),汽油各成分含量会随之改变。本研究使用的乙醇汽油和普通汽油,经检测含氧量分别为13.26%和13.59%。也即,1 kg乙醇汽油完全燃烧生成水量为 $1.0 \times 13.26\% / 2 \times 18 = 1.193$ kg,1 kg普通汽油完全燃烧生成水量为 $1.0 \times 13.59\% / 2 \times 18 = 1.223$ kg。即理论上,乙醇汽油生成的水质量要比普通汽油低约2.45%。

2.2 冷凝水排放特性

低温环境下乙醇汽油和普通汽油的冷凝水排放特性分别在ECE工况和怠速工况下进行测试。ECE工况的温度分别为0、-10和-20℃,冷凝水收集时间为780 s,总行驶里程4.052 km,排放数据如图1所示。怠速工况的温度分别为0、-10、-20和-30℃,冷凝水收集时间为20 min,排放数据如图2所示。

从图1(a)可以看出,低温环境中捷达车乙醇汽油的排水量均低于普通汽油。当温度从0℃降到-10℃时,乙醇汽油和普通汽油的排水量从10.5 g和16.1 g分别降到9.7 g和12.1 g。当温度降到-20℃时,两者却分别迅速上升到177.3 g和186.4 g。而伊兰特和爱丽舍均没发现这种现象,这是因

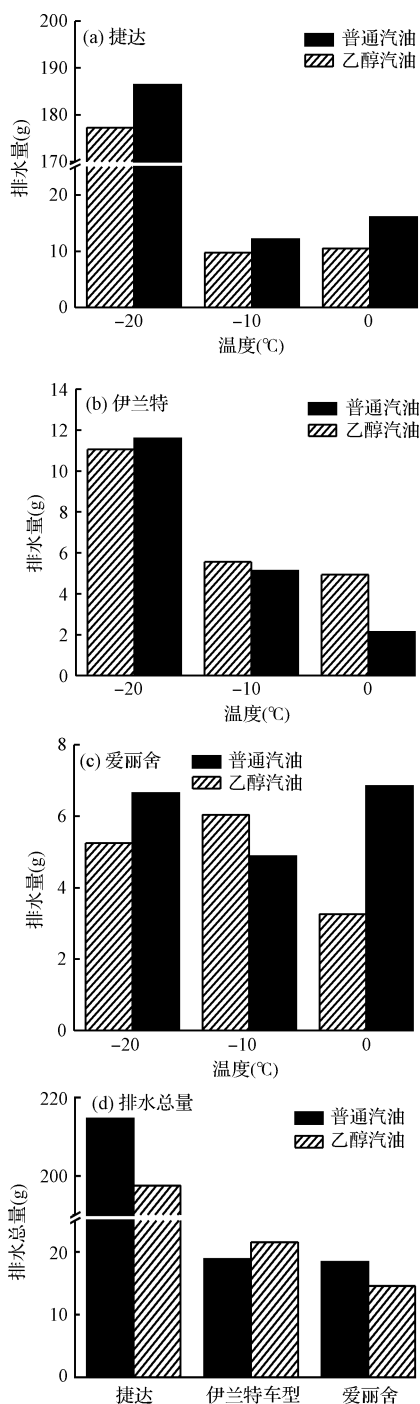


图1 低温 ECE 工况下冷凝水排放特性

Fig. 1 Condensate discharge in ECE condition at low temperature

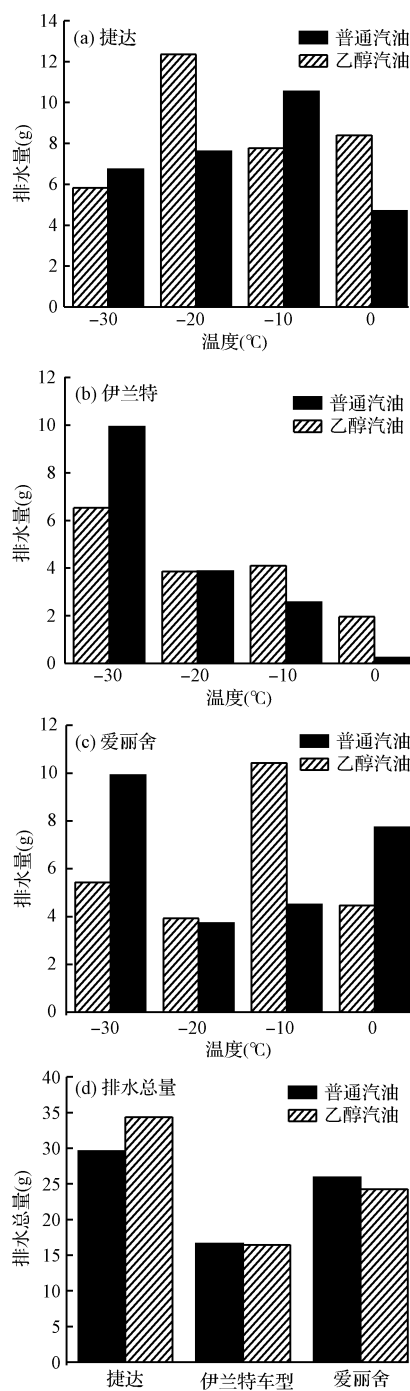


图2 低温时怠速工况下冷凝水排放特性

Fig. 2 Condensate discharge in idling condition at low temperature

为冷凝水的形成受车辆本身构造中排气管的长度与管径、排气温度、管壁导热系数、外界环境温度和风速等诸多因素的影响,在环境温度降低、车辆本身燃料消耗、以及车辆本身构造的共同作用下,导致排水量急剧上升。从图 1(b)可以看出,伊兰特的乙醇汽油和普通汽油排水量随着温度降低逐步升高。当温

度由 0 °C 降到 -20 °C 时,乙醇汽油和普通汽油排水量由 4.9 g 和 2.1 g 分别上升到 11.1 g 和 11.6 g。且随着温度降低,乙醇汽油和普通汽油排水量的比例逐渐降低至 1.0 以下。温度越低,乙醇汽油的相对排水量越少,应用优势越明显。从图 1(c)可以看出,爱丽舍车乙醇汽油的排水量在 0 °C 和 -20 °C 时

的排水量分别为 3.3 g 和 5.3 g, 低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的排水量 6.0 g。而普通汽油在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的排水量分别为 6.9 和 6.7 g, 均高于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 5.6 g。对于爱丽舍车型而言, 乙醇汽油在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的排水量低于普通汽油, 更加具有应用优势。图 1(d) 是 3 种车型在 0 、 -10 和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的排水总量, 从图中可以看出, 乙醇汽油的排水量除在伊兰特车型中略高于普通汽油外, 在捷达车型和爱丽舍车型中均低于普通汽油, 更具有推广应用优势。

图 2 是怠速工况下的冷凝水排放情况。从图 2 可以看出, 因为怠速工况下发动机是空转运行, 所以动力消耗小于正常运行时的动力, 相应的各个车辆的排水量也低于 ECE 工况下的排水量。此外, 乙醇汽油和普通汽油的排水量在各车型中互有高低, 乙醇汽油的优势不如 ECE 工况中显著。从图 2(b) 中可以看出, 怠速工况下伊兰特的排水特征与 ECE 工况类似, 也是随着温度降低而增加。并且温度越低, 乙醇汽油排水量和普通汽油排水量的比例就越小, 推广应用的劣势就越明显。这是因为乙醇的汽化潜热 (904 kJ/kg) 大于普通汽油 (310 kJ/kg), 在理论空燃比下的蒸发温度高于普通汽油, 并且燃气混合比仅为 9, 低于普通汽油正常燃烧所需的理论空燃比 15, 影响混合气的形成和燃烧速度。从而导致乙醇汽油在越低的温度下燃烧越不完全, 产物中的水蒸气含量随之下降, 排水量也低于同样低温环境下的普通汽油^[13]。

2.3 CO 排放特性

CO 是烃类燃料燃烧过程的中间产物, 在低温反应阶段就开始生成。汽油中的 C 元素完全燃烧时生成 CO_2 , 不完全燃烧时生成 CO。CO 的生成量与燃烧温度和空燃比相关。当空燃比低于汽油的理论空燃比 14.7 时, 燃烧过程供氧不足, 就会生成 CO; 当空燃比高于 14.7 时, 如果燃烧温度低于 1400 K , 也会有大量 CO 生成。常温下, 汽油作为燃料时, 只有不到 1% 会不完全燃烧生成 CO。低温环境下空气的进气温度降低, 会影响油空混合气的燃烧温度, 从而影响 CO 生成。本研究中 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 CO 排放如图 3 所示。

在图 3(a) 捷达车中, 普通汽油和乙醇汽油在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 CO 排放量分别为 1.93 g/km 和 1.82 g/km , 高于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 1.67 g/km 和 1.64 g/km , 且乙醇汽油的 CO 排放量低于普通汽油。这是因为乙醇燃烧时生成的 OH 中的 O 原子比 O_2 分子更容易参加氧

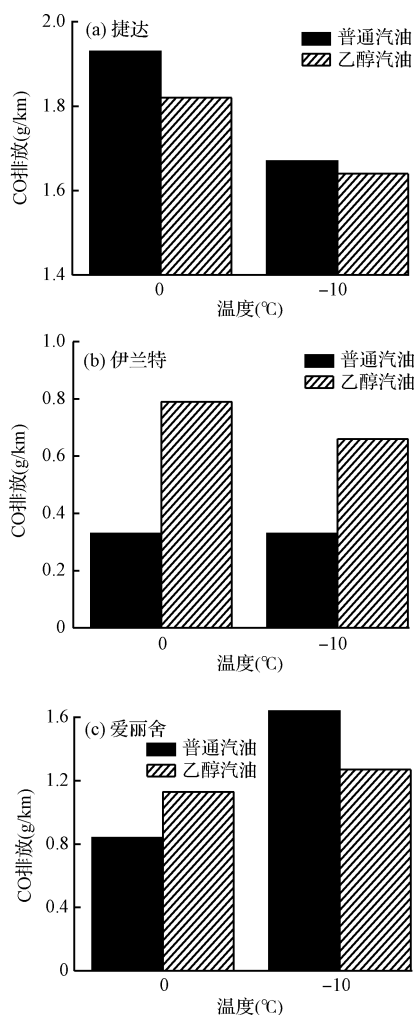


图 3 低温 ECE 工况下 CO 排放特性

Fig. 3 CO emission in ECE condition at low temperatures

化还原反应, 使得着火温度较低且火焰不易熄灭, 燃烧速度和火焰传播速度也高于汽油, 更能促进汽油的充分燃烧^[6, 14-15]。国家石油产品质量监督检验中心的检测结果显示, 本研究使用的普通汽油含氧量为 2.06%, 乙醇汽油含氧量为 3.65%。在车辆高负荷运转时过量空气系数小于 1 的情况下, 乙醇可以发挥自身的含氧优势充分燃烧, 减少 CO 排放^[12]。在图 3(b) 伊兰特车中, 普通汽油和乙醇汽油在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 CO 排放量分别为 0.33 g/km 和 0.79 g/km , 在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 CO 排放量分别为 0.33 g/km 和 0.66 g/km 。这是因为伊兰特出厂时间较早 (2005 年), 且行驶里程近 12 万 km, 汽油燃烧过程更容易受低温影响, 在乙醇的低燃气混合比的影响下, 乙醇汽油混合气的形成速度、燃烧速度和燃烧充分程度均低于普通汽油, 导致 CO 排放量高于普通汽油。在图 3(c) 爱丽舍车中, 普通汽油和乙醇汽油在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 CO

排放量分别为 0.84 g/km 和 1.13 g/km, 低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 CO 排放量分别为 1.64 g/km 和 1.27 g/km。这表明在本款爱丽舍车中, CO 总排放量在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 比 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 更具优势, 乙醇汽油在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 CO 排放比普通汽油更具优势。

2.4 HC 排放特性

HC 也是汽油不完全燃烧的产物, 主要成分是不完全燃烧的烷烃、烯烃、芳香烃以及燃烧不彻底生成的醛酮类中间产物。HC 的生成机理比较复杂, 除了不完燃烧外, 还包括壁面淬熄、狭隙效应和壁面油膜吸附等因素^[12,16]。从图 4 可以看出, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时乙醇汽油的 HC 排放量持平或略低于普通汽油。这是因为汽油中加入乙醇后, 含氧量增加, 燃烧更加充分, 燃烧速度更快, 不但可以降低汽油因不完全燃烧引起的 HC 排放, 而且可以使内燃机内部的淬熄层变薄, 减少淬熄导致的 HC 排放^[14,17]。 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时乙醇汽油的 HC 排放量均高于普通汽油, 捷达、伊兰特和爱丽舍的乙醇汽油在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的 HC 排放量分别为 0.29、0.08 和 0.05 g/km, 均高于普通汽油的 HC 排放量 0.26、0.03 和 0.01 g/km。这是因为低温环境下乙醇燃料较高的汽化潜热和比热容会降低缸壁温度, 增加壁面冷激效应, 同时引起的内燃机中混合气形成和燃烧速度变慢, 导致乙醇汽油燃烧不完全从而生成大量 HC。

2.5 NO_x 排放特性

NO_x 主要包括 NO 和 NO₂, 是汽油和空气中的含 N 化合物在内燃机中高温高压条件下的氧化产物。NO_x 排放主要受燃烧温度、氧浓度和燃烧高温持续时间的影响^[16]。燃烧温度和氧浓度越高, 燃烧高温持续时间越长, NO_x 生成量越多。和普通汽油相比, 乙醇汽油的高含氧量会增加 NO_x 的排放。但因为乙醇的汽化潜热 (904 kJ/kg) 是汽油的汽化潜热 (310 kJ/kg) 的 2.9 倍, 高汽化潜热可以降低燃烧

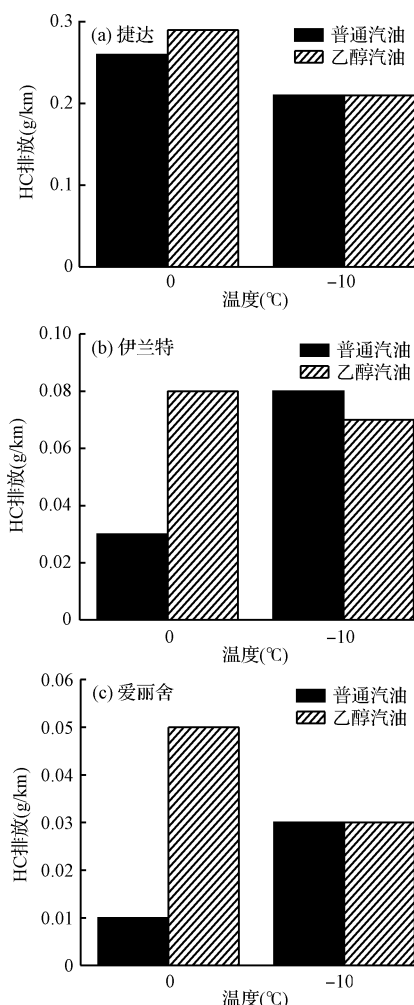


图 4 低温 ECE 工况下 HC 排放特性

Fig. 4 HC emission in ECE condition at low temperatures

温度, 同时会减少 NO_x 的排放。在高含氧量和低燃烧温度 2 种因素的作用下, 乙醇汽油的 NO_x 排放升高或者降低的情况均有可能出现^[15,18-20]。如图 5 所示, 伊兰特的乙醇汽油在 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 NO_x 排放低于普通汽油, 其他情况下乙醇汽油的 NO_x 排放均高于普通汽油。此外, 温度从 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降低到 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 乙醇汽油和普通汽油的 NO_x 排放均略微上升。

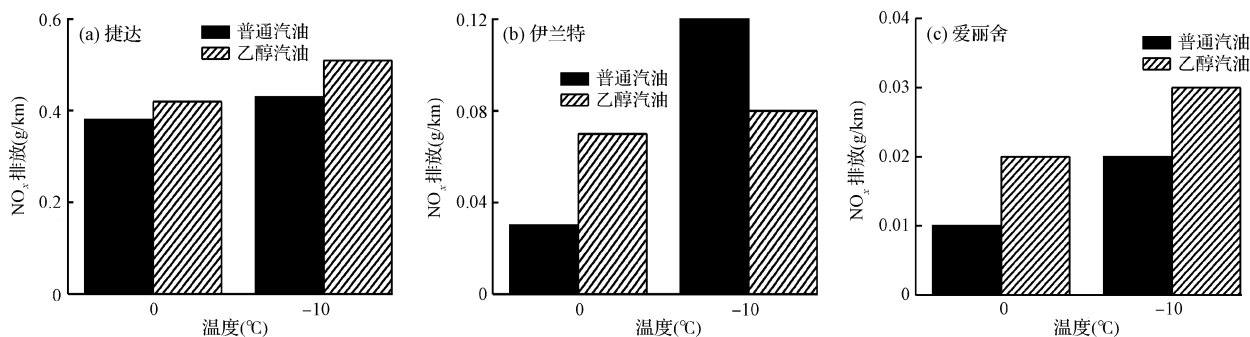


图 5 低温 ECE 工况下 NO_x 排放特性

Fig. 5 NO_x emission in ECE condition at low temperatures

2.6 CO₂ 排放特性

乙醇汽油的 CO₂ 排放和汽油消耗如图 6 所示。从图 6 中可以看出,0 ℃时捷达车中乙醇汽油的 CO₂ 排放略高于普通汽油,而伊兰特和爱丽舍中乙醇汽油的 CO₂ 排放却低于普通汽油。CO₂ 是汽油燃烧的主要产物,汽油成分中 99% 以上会完全燃烧,汽油消耗量决定了 CO₂ 排放量。从理论上分析,乙醇汽油的燃烧热值(42.5 MJ/kg)低于普通汽油的燃烧热值(44 MJ/kg),单位里程消耗量会更高。但是,乙醇汽油的高含氧量和低黏度有利于燃料的快速汽化和雾化,从而提高可燃混合气形成速度,并提高燃烧效率,降低消耗量^[12,18]。在这 2 个

因素的共同作用下,乙醇汽油的油耗并不比普通汽油高。在本研究中,0 ℃时 3 辆车乙醇汽油的油耗分别为 9.28、10.31 和 9.01 L/(100 km),均持平或略低于普通汽油的油耗 9.59、10.31 和 9.35 L/(100 km)(图 6d)。这与伊兰特和爱丽舍的 CO₂ 排放趋势是一致的。捷达车乙醇汽油的 CO₂ 排放高于普通汽油,是因为普通汽油不完全燃烧导致更多 C 元素转化成了尾气中的 CO 和醛酮等含 C 化合物的缘故。从图 6 中还可以看出,-10 ℃乙醇汽油和普通汽油的 CO₂ 排放略高于 0 ℃,这是因为温度越低,汽油的可燃混合气的形成速度和燃烧速度会越慢,从而导致燃烧效率降低,油耗会随之增加。

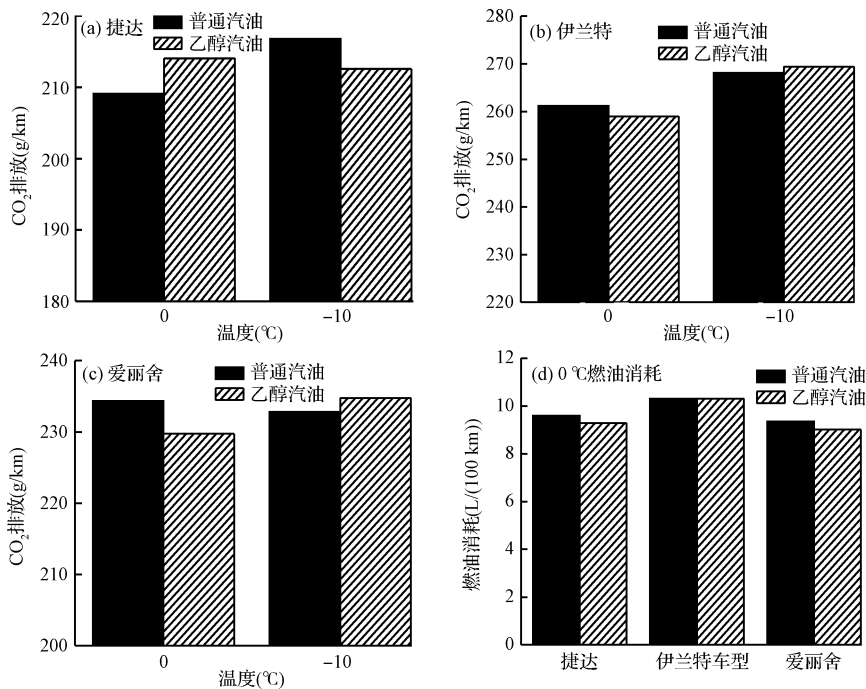


图 6 低温 ECE 工况下 CO₂ 排放特性和 0 ℃汽油消耗

Fig. 6 CO₂ emission and gasoline consumption in ECE condition at low temperature

3 结 论

在低温环境中,乙醇汽油和普通汽油的冷凝水排放量受主要取决于含氢量,并且受车辆构造(排气管长度和管径、管壁导热系数等因素)和外界环境(排气温度、环境温度与风速等因素)的影响。在 ECE 工况(-20、-10 和 0 ℃)中,排水量总体趋势是排水量随着温度降低而增加,乙醇汽油的总排水量持平或略低于普通汽油。

低温环境中的乙醇汽油的 CO₂ 排放主要取决于燃油消耗量,并且受不完全燃烧生成 CO 和 HC 中碳元素平衡的影响。CO 和 HC 排放受乙醇高含氧

量和高汽化潜热的影响,呈现如下特征:

(1) -10 ℃时,乙醇汽油的高含氧量能发挥自身含氧优势,促进可燃混合气的形成速度、燃烧速度和燃烧效率。乙醇汽油 CO 和 HC 排放量整体趋势低于普通汽油,NO_x 排放量增加。

(2) 0 ℃时,低温环境和乙醇的高汽化潜热会降低缸壁温度,增强壁面冷激效应,影响可燃混合气形成和燃烧速度,降低燃烧效率和温度。乙醇汽油 CO 和 HC 排放量整体趋势高于普通汽油。

参 考 文 献

[1] Guo Song, Hu Min, Zamora M. L., et al. Elucidating se-

- vere urban haze formation in China. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, **2014**, 111(49): 17373-17378
- [2] Huang Rujin, Zhang Yanlin, Bozzetti C., et al. High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature*, **2014**, 514(7521): 218-222
- [3] 朱振明, 王长生, 闫学军. 普通车用汽油和 E10 乙醇汽油对汽车尾气排放的影响调查. 预防医学论坛, **2006**, 12(5): 561-562
- Zhu Zhenming, Wang Changsheng, Yan Xuejun. The detection analysis on auto-exhaust of the gasoline used by local vehicle and E10 ethanol. *Preventive Medicine Tribune*, **2006**, 12(5): 561-562 (in Chinese)
- [4] 刘圣华, 魏衍举, 吕胜春, 等. 乙醇汽油发动机排放特性研究. 西安交通大学学报, **2006**, 40(7): 745-747
- Liu Shenghua, Wei Yanju, Lü Shengchun, et al. Study on emission characteristics of gasohol engine. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, **2006**, 40(7): 745-747 (in Chinese)
- [5] 彭华, 吴新杰, 李明. 汽车使用乙醇汽油后排放污染物变化趋势. 城市环境与城市生态, **2004**, 17(3): 43-44
- Peng Hua, Wu Xinjie, Li Ming. Variational trend of contaminants after using the benzine with ethanol. *Urban Environment & Urban Ecology*, **2004**, 17(3): 43-44 (in Chinese)
- [6] 梁宾, 葛蕴珊, 谭建伟, 等. 汽油车燃用乙醇汽油的颗粒物与醛酮排放特性. 燃烧科学与技术, **2013**, 19(4): 341-346
- Liang Bin, Ge Yunshan, Tan Jianwei, et al. Particles, aldehydes and ketones emitted from a gasoline vehicle fueled with E10 ethanol gasoline. *Journal of Combustion Science and Technology*, **2013**, 19(4): 341-346 (in Chinese)
- [7] Beer T., Carras J., Worth D., et al. The health impacts of ethanol blend petrol. *Energies*, **2011**, 4(2): 352-367
- [8] Storey J. M., Barone T., Norman K., et al. Ethanol blend effects on direct injection spark-ignition gasoline vehicle particulate matter emissions. *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, **2010**, 3(2): 650-659
- [9] 强添纲. 低温条件下燃用乙醇汽油对汽车使用性能及城市交通的影响. 哈尔滨: 东北林业大学博士学位论文, **2012**
- Qiang Tiangang. Study of vehicle performance and influence on urban traffic with gasohol at low temperature. Harbin: Doctor Dissertation of Northeast Forestry University, **2012** (in Chinese)
- [10] 靖苏铜, 王伟, 石则强, 等. 低温条件下燃用汽油和乙醇汽油车辆排水特性的研究. 交通节能与环保, **2014**, 10(3): 25-28
- Jing Sutong, Wang Wei, Shi Zeqiang, et al. Research on the performance of water emission of vehicle using gasoline or ethanol gasoline in low-temperature environment. *Energy Conservation & Environmental Protection in Transportation*, **2014**, 10(3): 25-28 (in Chinese)
- [11] 臧杰. 乙醇汽油车冬季滴水问题研究. 内燃机, **2010** (3): 16-18
- Zang Jie. Research on dripping water of ethanol-gasoline vehicle in winter. *Internal Combustion Engines*, **2010** (3): 16-18 (in Chinese)
- [12] 苏会波, 林海龙, 李凡, 等. 乙醇汽油对减少机动车污染排放的机理研究与分析. 环境工程学报, **2015**, 9(2): 823-829
- Su Huiibo, Lin Hailong, Li Fan, et al. Mechanism study and analysis on emission reduction of pollutants with ethanol gasoline. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, **2015**, 9(2): 823-829 (in Chinese)
- [13] 刘全根. 乙醇汽油的应用. 炼油设计, **2002**, 32(2): 40-43
- Liu Quangen. Application of ethanol gasoline. *Petroleum Refinery Engineering*, **2002**, 32(2): 40-43 (in Chinese)
- [14] 郭美华, 杜宝杰, 李岳林. 乙醇汽油混合燃料的排放特性研究. 内燃机, **2010**(6): 45-48
- Guo Meihua, Du Baojie, Li Yuelin. Research on emission characteristics of ethanol-gasoline blends. *Internal Combustion Engines*, **2010**(6): 45-48 (in Chinese)
- [15] 王春杰, 王玮, 汤大纲, 等. 车用乙醇汽油和无铅汽油对电喷汽车排放性能的影响. 环境科学, **2004**, 25(4): 113-116
- Wang Chunjie, Wang Wei, Tang Dagang, et al. Effect of ethanol gasoline and unleaded gasoline on exhaust emissions of EFI vehicles with TWC. *Environmental Science*, **2004**, 25(4): 113-116 (in Chinese)
- [16] 肖干, 张煜盛, 郎静, 等. 进气温度对汽油直喷压燃发动机燃烧及排放性能影响的实验. 内燃机学报, **2014**, 32(2): 125-130
- Xiao Gan, Zhang Yusheng, Lang Jing, et al. Experiment of the effects of intake temperature on GCI engine combustion and emission characteristics. *Transactions of CSICE*, **2014**, 32(2): 125-130 (in Chinese)
- [17] 赵清华, 吴心平. 乙醇汽油对发动机的 CO/HC 排放影响研究. 汽车实用技术, **2012**(8): 35-37
- Zhao Qinghua, Wu Xinping. CO/HC emissions analysis of engine used ethanol gasoline. *Automobile Applied Technology*, **2012**(8): 35-37 (in Chinese)
- [18] 刘少华, 申立中, 叶年业, 等. E10 含水乙醇汽油对汽油机性能及排放的影响研究. 内燃机工程, **2012**, 33(5): 46-51
- Liu Shaohua, Shen Lizhong, Ye Nianye, et al. Research on effects of E10 hydroous ethanol gasoline blend on performance and emissions of gasoline engine. *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, **2012**, 33(5): 46-51 (in Chinese)
- [19] Al-Hasan M. Effect of ethanol-unleaded gasoline blends on engine performance and exhaust emission. *Energy Conversion and Management*, **2003**, 44(9): 1547-1561
- [20] Yükesl F., Yüksel B. The use of ethanol-gasoline blend as a fuel in an SI engine. *Renewable Energy*, **2004**, 29(7): 1181-1191