

摩托车排放后处理技术现状

明彩兵^{1,2}, 叶代启², 付名利², 徐楠³

(1. 仲恺农业技术学院环境科学与工程系, 广东 广州 510225; 2. 华南理工大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510640; 3. 佛山市维丰内燃机配件有限公司, 广东 佛山 528241)

摘要: 简述了为减少摩托车污染物排放而采用的二次空气、多级补气 and 电控补气、燃油电喷技术等摩托车排放后处理技术, 进一步阐述了这些技术与催化剂结合在降低摩托车排放污染物上的应用, 分析了各种技术的原理和应用现状, 同时对其优势和缺点进行了比较, 阐述了目前排放后处理技术中存在的问题, 对今后的发展提出了建议。

关键词: 摩托车; 排放控制; 二次空气; 电控补气; 电喷技术; 后处理

中图分类号: TK42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-2222(2007)05-0014-04

随着城市经济与交通的发展, 机动车保有量迅猛持续地增加, 导致大气污染日益严重, 移动源污染控制任务艰巨; 由于我国是摩托车生产与消费的第一大国, 摩托车的污染问题越来越受到了广泛的关注。本研究通过对摩托车后处理技术现状的分析比较, 努力找出一种适合中国国情的摩托车后处理技术, 减少摩托车排放造成的污染。

1 我国摩托车的现状

2003年, 我国摩托车年产量为1 450万辆, 居世界第一, 保有量为5 929万辆; 2005年, 摩托车年产量达到1 700万辆。据预测, 2008年, 我国摩托车保有量将达到10 690万辆, 同时其尾气排放量的增加也十分迅速, 每年排放总量超过 $10^7 \text{ t}^{[1]}$; 2005年7月, 我国编制的《摩托车排气污染物排放限值及测量方法(工况法, 中国第Ⅰ阶段)、轻便摩托车排气污染物排放限值及测量方法(工况法, 中国第Ⅰ阶段)征求意见稿编制说明》, 预测了摩托车排放的严峻形势(见图1)^[2-3]。我国的摩托车除年产量较大以外, 2行程与4行程两种发动机并存; 化油器式与电控汽油喷射式两种燃料供给方式并存。2行程摩托车由于其排放污染严重等原因, 产量在逐年减少, 2003年, 其年产量不到总产量的10%, 即占总量90%多的为4行程摩托车, 其中, 排量为125 mL的占50%以上。当前, 2行程摩托车的排放只有一部分达到欧Ⅱ排放标准, 100%未能达到欧Ⅲ排放标准; 而对

于4行程摩托车, 通过加强对发动机的维护, 不采取任何措施, HC和 NO_x 的排放大部分可以满足欧Ⅱ但至少80%的4行程摩托车应采取治理措施, 主要解决CO的排放超标^[4]。

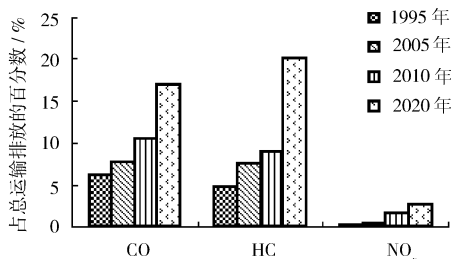


图1 摩托车排放占总运输排放中所占的比例

摩托车主要排放污染物有CO、HC及 NO_x , 在 NO_x 中99%为NO, 其次是 NO_2 以及铅尘、烟尘和石棉尘等颗粒物。此外, 尚有少许 SO_2 、RCHO(醛类)和三四苯并芘等有害气体^[5]。从理论上讲, 汽油经过充分燃烧后, 应该只产生 CO_2 和 H_2O , 但受到技术条件和机械装置性能等限制, 摩托车无法做到使汽油充分燃烧, 在冷启动、怠速、过渡工况以及高速行驶时产生的排气很容易超标。

摩托车排放与汽车排放相比有下列特点:

a) 在无排放控制的情况下, 典型2行程或4行程摩托车的CO排放和无控制的汽油机轿车相近; 4行程摩托车的HC排放与汽油机轿车相似, 但2行程摩托车的HC排放比典型的轿车高得多, 通常是后者的2倍至3倍; 2行程发动机的PM排放物接

收稿日期: 2006-09-22; 修回日期: 2007-10-11

基金项目: 广东省科技厅资助项目(20923); 广东省社会发展攻关计划项目(2302950B)

作者简介: 明彩兵(1972—), 男, 湖北省天门市人, 博士, 主要研究方向为大气污染控制; E-mail: Mingcb2002@163.com。

近于柴油机货车的水平;

b) 由于摩托车发动机最高工作温度及排气温度较低, 其 NO_x 的排放量低于普通轿车;

c) 摩托车与轻型汽车相比价格便宜, 不同车型的价格相差悬殊; 这样在摩托车上采用降低排放的措施所需的费用占其成本的比例较大, 所以, 降低摩托车排放就面临着比汽车更为严峻的挑战。

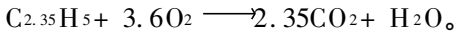
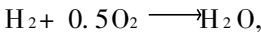
2 现有的净化技术

国内绝大部分摩托车生产商也正在进行满足欧排放标准的整车研发工作, 并取得了初步成功。目前, 采取的技术方案大致有二次空气加热反应器、二次空气加催化剂和燃油电喷技术加三元催化剂(TWC)等3种。

2.1 二次空气加热反应器

为了保持摩托车发动机的动力性及稳定性, 发

动机工作时的空燃比(α) 通常处于偏小的状态下; 为了去除排气中的 CO 和 HC , 须在排气中补充适量的 O_2 , 即所谓的二次空气。热反应器除了与喷出排气口的二次空气(在浓混合工况时) 混合外, 还具有消除排气在成分和温度上不均匀性, 使排气保持高温, 并延长 CO 与 HC 在高温中滞留时间的作用。发动机排气在热反应器中发生的化学反应为



热反应器有直流式、侧流式和回流式3种(见图2), 其结构含有热反应室、气体回流层和保温层3个部分, 它的有效性取决于运转温度、过量空气系数和反应气体的良好混合及反应器容积; 运行温度取决于反应器入口处的温度、热损失以及反应器内燃烧的 HC , CO 和 H_2 的数量。

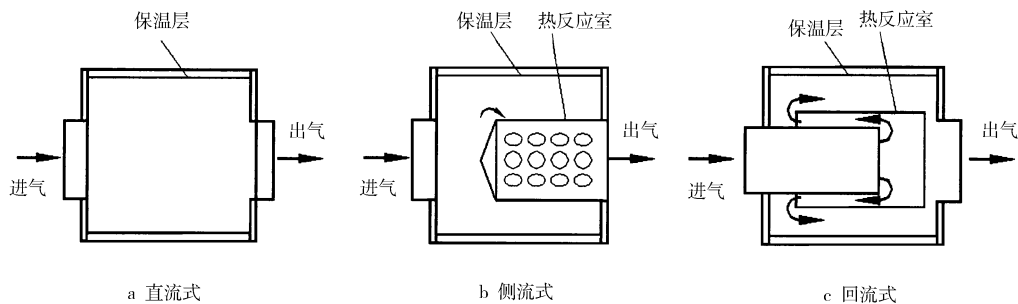


图2 热反应器结构示意图

在设计热反应净化器时, 应考虑排气阻力对动力的影响以及反应器表面的增加导致的散热增大, 尽量有效利用热反应净化器的内部空间, 综合考虑排气滞留时间和排气阻力两方面的影响, 在功率降低允许的范围, 设计一定的曲折通道, 满足排气氧化反应所要求的滞留时间^[6-7]。

热反应器主要净化 CO 和 HC 两种污染物。一般来讲, 对于排放较好的发动机, 通过二次空气加热反应器技术就能很好地去除 CO 和 HC , 可以达到欧和欧的排放标准, 但对于排放较差的发动机, 仅仅依靠二次空气净化效果是不理想的, 还需要增加催化处理系统。

2.2 二次空气加催化剂

二次空气是将新鲜空气直接引入高温的排气中, 促进排气系统内 CO 和 HC 氧化生成 CO_2 和 H_2O , 提高热反应净化效果。二次空气对促进催化转化器净化 CO 和 HC 主要有两个作用: 一是提供过量的 O_2 与 CO , HC 反应; 二是 O_2 浓度的增加促进了催化剂对 CO 和 HC 的催化活性, 这种效果在

怠速和缺 O_2 的工况下较为明显。二次空气的供给量可以根据排气中的 HC 和 CO 的含量来计算, 其计算公式为^[8]

$$V_s = \frac{V_e}{0.42} \left(\frac{D_{\text{CO}}}{100} + \frac{21D_{\text{HC}}}{10^6} \right)。$$

式中, V_s 为二次空气喷入量, m^3/h ; V_e 为发动机排气量, m^3/h ; D_{CO} 为排气中 CO 的体积排放分数, %; D_{HC} 为 HC 的体积排放分数, 10^{-6} 。

此外, 根据二次空气供给的方式不同(如被动式供气 and 主动式供气, 前者借助于排气管中压力波动时管内外的压差将空气吸入管中; 后者利用空气泵将大于 200 kPa 的压缩空气直接喷入排气管)、补气的位置不同(如机前和机后) 以及使用催化剂的不同(如氧化型和还原型催化剂) 可以组合成多种方案, 其中研究较多的有: 稀燃电控补气加氧化型催化剂(OC), 化油器精调加还原型催化剂(RC) 加二次补气加 OC。

2.2.1 稀燃电控补气加 OC

该方案采用的机前补气可以对 α 进行调整, 使

混合气中的 O_2 含量增大,最大程度优化燃烧,减少污染物排放,再结合 OC 进一步催化燃烧去除 HC 和 CO。不足之处是 O_2 含量的增加会影响 NO_x 催化还原^[9]。

电控补气系统是一种用单片机对化油器所提供的混合气进行 α 控制的系统,它以稀混合气极限燃烧理论为依据,通过发动机燃烧的改善实现节能和净化排放之目的。整个系统由控制器、油门位置传感器和电磁空气阀 3 部分组成。该技术是在化油器底座下加装进气管,并与旁通电磁阀相连,电磁阀进气端与空气滤清器连接。一般从点火线圈获取发动机转速信号,反馈到电控单元(ECU),ECU 按设定的程序,根据发动机的转速情况,向电磁阀发出脉冲电信号指令,通过电磁阀开启/闭合的频率控制二次空气的补入量;当发动机转速较低时,节气门开度不大,发动机的进气有压差,电磁阀开启后会吸气补充到进气歧管,与混合气一起进入发动机,达到调节 α 的目的,而在发动机高速工况下,由于节气门开度很大或全开,此时,进气压差很小或没有,电控补气效果不明显。

由于电控补气系统的 α 控制主要依靠化油器的流体动力学特性,而又不能对化油器的怠速系统、慢速系统、加速系统及全开系统等每一个系统都进行控制,控制范围非常有限,其基本结构也决定了其控制精度不高,如果想提高精度,就必须采用很多传感器和执行器,所以,一般的开环控制(无氧传感器)不能够适应发动机的变工况,为了精确控制混合气的 α ,必须与发动机进行良好的匹配,以确定 ECU 的控制程序与参数。若控制匹配合适,会很好地改善发动机的排放,并有节油效果。若匹配调整不当,会造成发动机功率下降,怠速不稳,起动困难等现象。

2.2.2 化油器精调加 RC 加二次补气加 OC

采用机后二次补气技术,所用零部件包含单向进气阀和二次空气控制阀。

单向进气阀 RV 是通过发动机排气的脉冲压差进行补气,当负压时,RV 从外界吸入空气到排气管内,为催化剂的高效工作补充 O_2 。通过调整 RV 的金属簧片厚度、簧片止口和开口区的面积等参数,可以控制补气量。此外,补气量要适当,当发动机的 α 正常,RV 补气量过大反而对 CO 和 HC 的催化氧化起负面影响,因为过量的外界空气会降低催化剂的温度,影响转化效率。由于 RV 是机后补气,不会对发动机的性能产生影响,其成本也远低于电控补气,但 RV 在使用中存在进气噪声问题,若安装在跨

骑式摩托车的排气管上,对车辆外观有影响。

对于 4 行程摩托车需加装二次空气控制阀 AICV。当摩托车急减速时,会有大量未燃高温混合气进入排气系统,若 RV 仍正常吸气,未燃高温混合气与吸入的空气相遇,会发生爆燃,出现消声器“放炮”现象。通过把 RV 与 AICV 连接,摩托车急减速时 AICV 会阻断 RV 的进气通路,从而防止消声器“放炮”。2 行程摩托车因排气温度低,很少发生爆燃,一般不用加装 AICV^[10]。

该方案的作用过程是精调化油器,保证发动机处于最佳工作状态,此时排气应处于偏浓状态,应用二级催化法处理污染物。第 1 级处理是用 RC(一般为 Pt/Rh, Pd/Rh, 单 Rh 等催化剂)对摩托车在高速下产生的 NO_x 进行还原处理;后端使用空气泵对排气进行微量补气,将排放混合气调节至富 O_2 状态,第 2 级采用 OC(一般为 Pt, Pt/Pd 或 Pd 催化剂)处理 CO 和 HC。

国内对该净化方案的研发已有较大进展。日前,华南理工大学环境科学与工程学院和广东佛山市维丰内燃机配件有限公司联合开发的满足欧标准的摩托车排放净化装置(见图 3),经过国家摩托车质量监督检验中心(天津)测试,完成了 6 000 km 耐久性试验,并通过了广东省科技厅的科技成果鉴定。该技术以化油器精调、分级补气、多级净化的方式达到欧排放标准。

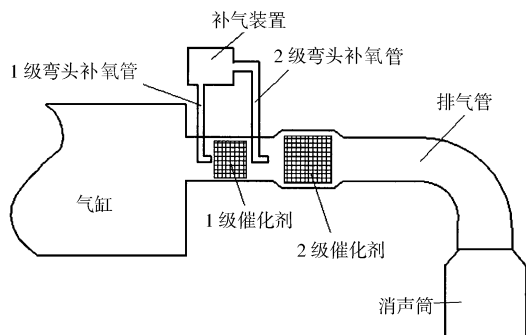


图 3 净化器设计示意图

2.3 燃油电喷加 TWC

随着国家第 3 期排放标准(相当于欧)的制定、颁布和执行,摩托车排放控制技术也必将随之发展完善。欧 排放法规与欧 相比有较大变化,其循环工况中不仅取消了预循环工况(起动 40 s 后就开始采样),增加了冷起动的排放限制^[11],而且还增加了 400 s 的 EUDC 循环(高速行驶工况),耐久性里程提高了。因此,对摩托车排放催化转化技术的要求也应提高(如起燃特性、转化效率、耐久性及性

价比等); 同时, 为保证在任何工况下催化剂都有较大的转化效率, α 的精确控制就变得更为关键。闭环电喷技术(电控燃油喷射加催化转化技术) 将成为摩托车满足国家第 3 期排放标准的首选技术。摩托车应用电喷技术后, 其排放特点与电喷汽车相似(见图 4), 发动机的 α 可控制在 14.7 附近, TWC 完全可以将排气中的污染物降到很低的水平。但由于国内大多发动机还在使用化油器, 而且电喷技术的成本较高, 国内消费者还无法承受, 目前, 该技术还无法在国内大范围使用。

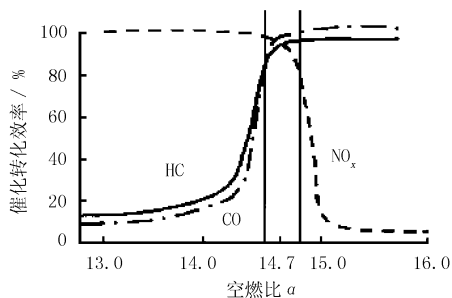


图 4 催化转化器的转化效率与 α 的关系

3 结束语

燃油电喷加三元催化剂法可以同时去除 HC, CO 和 NO_x , 几乎可以达到 0 排放, 该技术在国外已十分成熟, 但由于该装置成本高, 投入大, 而化油器式发动机在国内仍占主流地位, 因此, 在今后较长的一段时间内无法在国内大量推广使用, 为了减轻当前环保压力, 开发适合中国国情的摩托车净化技术势在必行。

从我国的实际情况来看, 现阶段要满足新的排放法规, 最实用的方法就是二次空气加催化剂, 通过分级补气、多级净化的方法来实现对摩托车排放的控制, 目前, 该技术没有得到广泛使用, 主要的问题是, 装置结构复杂, 成本偏高, 排气净化装置在摩托

车的成本中所占比例较高; 催化的效果不够理想, 低温起动性差; 不同的发动机化油器参数、补气装置和催化系统都需要进行匹配^[12]; 补气装置的高速补气效果不好, 产生高分贝噪声; 催化系统会造成排气背压增加, 影响到摩托车的动力性和经济性, 增大 CO_2 的排放。因此, 在今后的研究中, 需要加大这些方面的技术研究, 提高补气效果、降噪以及延长催化剂的寿命, 通过产业化降低产品的成本, 使之得到推广使用。

参考文献:

- [1] 冯长根, 刘思宏, 陈建军, 等. 摩托车排气催化净化研究进展[J]. 工业催化, 2002, 12(12): 1-5
- [2] 王青, 隋修武, 凌雷. 关于摩托车和轻便摩托车排放污染物的三项国家标准简介[J]. 摩托车技术, 2002, (8): 16-19.
- [3] 段保民, 苏兴安, 柳庆华. 摩托车排气污染物排放第 3 阶段控制标准探讨[J]. 摩托车技术, 2005, (2): 19-23
- [4] 舒柏崇. 摩托车尾气净化技术现状及发展趋势[J]. 摩托车技术, 2004, (11): 14-16.
- [5] 敖志平, 董劲. 摩托车金属蜂窝催化剂的研制[J]. 摩托车技术, 2004, (11): 48-51
- [6] 陈暹, 蔡锐彬. 汽油机排气热反应净化的研究[J]. 车用发动机, 1999, 119(1): 25-28
- [7] 侯献军, 颜伏伍, 杜传进, 等. 采用二次空气补给降低摩托车排放的研究[J]. 摩托车技术, 2004, (11): 72-75
- [8] 严兆大. 内燃机测试技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1993: 171-198.
- [9] 闫伟, 崔卫华, 耿诚. 用电控补气改进车用汽油机排放[J]. 车用发动机, 2002, 138(2): 48-50
- [10] 秦建武. 摩托车尾气催化净化技术原理与应用[J]. 摩托车技术, 2004, (11): 91-97
- [11] 姚青, 田群, 陈宏德. 汽油车冷起动排气后处理技术[J]. 环境污染治理技术与设备, 2005, 6(4): 53-57
- [12] 杜传进, 董力平, 颜伏伍, 等. 车用排气催化转化器与发动机的匹配[J]. 车用发动机, 1999, (5): 10-13.

Status for Aftertreatment of Motorcycle Emission

MING Cai-bing^{1,2}, YE Dai-qin², FU Ming-li², XU Nan³

(1. Department of Environmental Science and Technology, Zhongkai University of Agriculture and Technology, Guangzhou 510255, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 3. Foshan Weifeng Internal Combustion Engine Fittings Corporation, Foshan 528241, China)

Abstract: In order to reduce the emission of pollutants from motorcycles, various aftertreatment technologies such as secondary air, multi-staged air supply, electro-controlled air supply and fuel electric jet technology were used. The application of reducing motorcycle exhaust emission by the combination of above mentioned technologies and catalysts was introduced for further. Then principles and application status of the solutions were analyzed, and advantages and shortcomings between them were also compared. Finally, the existing problems in current exhaust aftertreatment technology were discussed, and the feasible proposals were put forward.

Key words: motorcycle; emission control; secondary air; electro-controlled air supply; electric jet technology; aftertreatment

[编辑: 张玉花]