

两轮摩托车应对欧 排放标准的技术方案

欧阳涛 (中国汽车技术研究中心 天津 300162)

摘要: 分析了几种应对摩托车欧 排放标准的技术方案, 从技术先进性、成本、可行性和发展趋势方面得出了采用闭环电控燃油喷射系统 + 三效催化转化器是满足欧 标准的最佳方案。

0 前言

欧盟自 2006 年 1 月 1 日起开始对摩托车新车型要求达到欧 排放标准, 2007 年 1 月 1 日起对市场销售的摩托车进行欧 标准一致性考核, 也就是说原来符合欧 排放标准的摩托车最多只能卖到 2006 年底, 2007 年开始在欧洲销售的摩托车均必须达到欧 标准, 我国摩托车产品出口欧洲将面临严峻的考验。

同时我国国内正在起草制定的第 3 阶段摩托车排放标准 (相当于欧 排放标准), 预计将在 2008 年 1 月 1 日开始实施。所以单从时间上看, 欧 标准距离我们已近在咫尺, 成为一道不可回避的技术难关。但是机遇与挑战并存, 如何正确认识眼前形势, 是继续随波逐流得过且过, 还是毕其功于一役, 形成和掌握核心竞争力, 走技术提升和产业升级之路, 这是一个关键的抉择。

1 目前我国摩托车排放控制现状

近年来在我国生产和销售的摩托车产品以 50mL、100 mL、110 mL、125 mL 等中小排量为主, 这些产品一般采用四冲程、单缸、风冷发动机, 化油器供油, 功率输出较低或达到中等水平。由于成本低、使用便利、维修方便, 性价比较高, 很适合国内城市和乡村使用。这类产品出口到国外市场, 也很受欢迎。以市场较为畅销的 125 mL 排量摩托车为例, 国内自主品牌产品的价格为 4 500 元左右, 国内合资品牌的价格约 7 000 元左右, 而国外知名品牌的同类产品则卖到 10 000 元以上。从中可以反映出国内摩托车市场对价格的敏感性, 以及对整车企业成本的控制压力。

目前我国摩托车排放标准的水平, 相当于欧盟

2003 年开始实施的摩托车欧 排放标准, 我国摩托车产品绝大多数为化油器供油方式, 发动机空、燃混合气一般较浓, 排放以 CO 和 HC 为主, NO_x 相对较低, 绝大部分摩托车原始排放中的 NO_x 可以直接达到欧 限值要求, 因此在应对欧 排放标准的技术方案中, 一般都采取精调化油器 + 缸头补气; 或精调化油器 + 2 次补气 + 氧化型催化转化器方案, 这样不需太多考虑 NO_x 的净化, 即可达到欧 标准。

2 欧 排放标准的要求

欧 排放标准相对于欧 标准要求大大提高了, 针对 HC、CO、 NO_x 的排放限值更加严格 (详见表 1): 排量 < 150 mL 车型, HC 比欧 减少 33%; 排量 150 mL 车型, HC 比欧 减少 70%; CO 比欧 减少 64%; NO_x 比欧 减少 50%。其实不仅仅是简单的限值方面的提高, 如果考虑到欧 测试循环的改变, 实际对限值的加严, 远远超过标准中所反映的限值数字变化。

欧 排放标准中对于排量 < 150 mL (不包括 50 mL, 下同) 的车型, HC 的限值比较宽松, 这是为了使未安装电喷系统的车辆也能达到欧 排放标准所做的让步, 以便从源头控制 NO_x 的产生, 然后采用排气催化转化方式来减少 HC 和 CO 的排放。

对于应对欧 标准中的 NO_x 排放, 一般达欧 标准车型的 NO_x 排放值都会超出欧 限值, 对于排量 150 mL 车型, 由于测试循环包含高速工况 EUDC, 这也会导致较高的 NO_x 排放。

另外, 欧 标准的工况测试循环也比欧 标准有较大改变, 发动机冷起动即开始采样, 将原先欧 测试循环的前 2 个预热循环也作为采样测试循环, 由于催化器在发动机刚起动时很难达到起燃温

表 1 两轮摩托车欧 与欧 标准比较

排量	< 150 mL (不包括 50 mL)		150 mL	
	欧	欧	欧	欧
HC, g/km	1.2	0.8	1.0	0.3
CO, g/km	5.5	2.0	5.5	2.0
NO _x , g/km	0.3	0.15	0.3	0.15
耐久性里程, km	—	12000	—	18000 (最高车速小于 130km/h); 30000 (最高车速大于 130km/h)
测试循环	对 ECE R40 中的试验规程略作修改, 删去了初始 40 s 的无取样怠速运转期	采用修订的 ECE R40 循环, 但是采样时间从摩托车启动时开始, 并将原来的前两个预循环也作为排放测量循环, 共测量 6 个循环的排放。即冷启动 + 6 个 UDC 循环。	对 ECE R40 中的试验规程略作修改, 删去了初始 40 s 的无取样怠速运转期	采用修订的 ECE R40 循环, 采样时间也是从启动时间开始, 测试循环增加一个最高车速为 120 km/h 的 EUDC 高速循环, 即 6 个 UDC 循环 + 1 个 EUDC 循环。其中, 对于最高车速低于 110 km/h 的摩托车, EUDC 循环的最高车速可以控制在 90 km/h。

度, 这时的转化效率较低, 而欧 标准中 CO 和 HC 的限值又很低, 这对 CO 和 HC 的排放控制提出了更高的技术要求, 而且对 CO 和 HC 排放的一致性和耐久性也提出了更高要求。

所以在应对欧 标准时, 不但要考虑对 CO 和 HC 进行高效净化, 而且同时还要充分考虑 NO_x 的净化效果, 这两方面的净化要求对发动机空燃比的控制精度提出了相当高的要求, 如果能在全工况范围内将空燃比控制在理论空燃比 14.7 附近, 这将为三效催化转化器的高效工作提供条件, 通过精确匹配发动机空燃比控制点与三效催化转化器高效工作的空燃比窗口, 可以大幅降低 CO、HC 和 NO_x 的排放, 使整车能够达到欧 标准。

考虑到大批量生产的每一辆摩托车排放都必须低于欧 限值(一致性), 并符合相应耐久性里程的考核, 所以在做开发研究试验时, 建议样车匹配目标设定在所有排放指标均低于标准限值 20% 以上, 这样才有把握保证批量生产时均能达到限值要求(即排放控制目标应控制在标准限值的 80% 以内)。

3 有效控制摩托车排放的技术

摩托车排放控制技术是多方面的, 对于装用传统燃油发动机的摩托车而言, 排放控制主要包括机内净化与机外净化两方面的措施。

3.1 发动机结构优化设计

通过发动机的结构改进, 完善发动机的工作过程, 达到降低污染物排放的目的。主要的技术措施包括: 改善燃烧系统(优化空、燃压缩比和燃烧室

设计), 改变气缸数和缸径行程, 采用水冷技术, 小排量发动机四冲程化, 多气门技术及可变技术应用等, 并严格控制加工精度保证产品一致性。此类技术措施对于改善发动机的综合性能如提高动力性、降低车辆的油耗具有一定的效果, 对于降低摩托车的排放也具有一定的效果, 但是潜力有限。

3.2 化油器的改进

通过对发动机燃料供给系统的合理匹配, 改善混合气的形成条件, 实现混合气空、燃比的精细化控制。主要技术措施包括: 化油器结构改进和优化匹配、化油器混合气的电控调节等。化油器结构改进和优化匹配主要是优化化油器的量孔、油针结构和尺寸, 并严格控制加工精度保证产品一致性。但化油器是一个机械产品, 一般较好的化油器其空燃比控制精度在 $\pm 7.5\%$ 左右, 很难保证空燃比的波动范围在很窄的理论空燃比附近, 如果要采用各种机械和电子手段提高其控制精度, 则成本会大幅增加, 不一定很经济, 性价比可能还不如电喷系统。

3.3 点火系统的改进

现在 绝大多数摩托车采用磁电机式点火方式, 这种点火方式结构简单, 即使没有蓄电池, 发动机也能正常点火和运转, 这是较突出的优点。但不足之处是: a) 点火时间(即点火提前角)可随转速变化而变化, 但不能随负荷变化而变化, 点火提前角不是最佳; b) 低速时点火能量不足, 而低速时(特别是怠速时)缸内混合气成分不利于点燃和燃烧, 导致低速时可能有断火现象, 使发动机排放变差。

如果点火提前角能做到精确和实时控制（如计算机控制 MAP 图点火），将对排放控制起到较好效果。

3.4 采用电控燃油喷射系统

采用电控燃油喷射系统可以较精确的控制空燃比，从而使发动机的排放特性、燃油经济性和动力性达到最佳。同时，由于空燃比的精确控制，为催化转化器高效工作创造了条件。在技术上，四冲程摩托车电喷系统已比较成熟，一般采用进气管喷射方式，系统可以采用闭环控制方式，也可以采用开环控制方式，但开环电喷系统没有氧传感器进行反馈，所以不能根据行驶过程中发动机及空燃比的变化进行自我调节，无法保证发动机空燃比在全工况的精确控制，且易受发动机制造散差的影响，整车排放的一致性和耐久性均难以保证，故不推荐采用。

二冲程摩托车发动机采用缸内喷射能从根本上解决排放高的缺点，但必须解决好缸内混合气的组织及燃烧控制方面的难题才能在摩托车上批量使用。目前二冲程摩托车的产量逐年减少，占新生产摩托车的比例不足 10%，故在我国第 3 阶段排放标准（相当于欧 标准）实施后，二冲程摩托车有可能全线退出市场。

电喷系统根据发动机的 MAP 图供油和点火，既可保证动力性，还能满足严格的排放要求，兼有卓越的冷车起动机性能。同时减速断油功能，在电喷系统中很容易实现，所以电喷系统比一般化油器系统可节油 10% 左右。所以电喷化是摩托车技术发展的趋势。

目前提供摩托车电喷系统集成开发的企业比较多，如国外品牌有：德国博士（BOSCH）、美国德尔福（DELPHI）、意大利玛瑞利（Magneti Marelli）、美国伟世通（Visteon）、德国西门子（SIEMENS）、日本京滨（KEIHIN）、日本三国（MIKUNI）、美国华博罗（Walbro）、台湾省品牌有：信通集团（SENTEC）；国内自主品牌有：飞亚电子（FAI）、天内所（MicroEMS）、力帆电喷软件公司等。这些系统的基本控制思路是相同的，但从油压产生的原理方面分成两类，一类是演化自汽车电喷系统，靠燃油箱内的燃油泵产生燃油压力，并由喷油器控制喷油量；

另一类是靠电枢的往复运动产生燃油压力，并喷油，省去了燃油泵和高压油管，所以成本上占有优势。

我国浙江飞亚电子公司开发的 FAI 电喷系统和日本三国公司开发的小型电喷系统便是采用这种直线泵的喷油方式。各厂商的电喷系统虽然在名称、元器件和构造上有些差异，但基本的控制思路是相同的，大家主要将精力放在如何节省成本，用尽量少的传感器，实现同样的功能，而不降低电喷系统的整体性能。

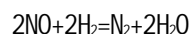
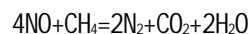
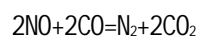
电喷系统在我国推广的障碍主要有两个方面：一方面是成本问题，降低成本是电喷技术在摩托车上推广的重要前提；另一方面是提高用户使用水平，同时确保售后服务质量。

3.5 排气催化转化技术

排气催化转化技术在国内外已经较为成熟，在汽车上已广泛使用，在部分国家和地区的摩托车上也有广泛使用，可明显降低排气污染物排放，达到良好的净化效果。因为它是机外净化方式，相当于将排气中的未燃混合气和有害气体在排气管中继续通过氧化和还原反应变为无害气体。所以催化转化器并不能达到节省燃油的效果，相反由于在排气管中加入了金属蜂窝状的载体和催化剂，使得排气受阻，背压上升，发动机功率还会受到一定损失。

3.5.1 催化转化技术的基本原理

催化转化器是一种能使 CO、HC 和 NO_x 三种有害成份同时得到净化的处理装置。催化作用除了氧化作用以外，还有还原作用。在使用催化剂的情况下，除了利用排气中的 CO、HC 和 H₂ 作为还原剂，使 NO 还原成 N₂ 外，还包括在高温下发生的还原分解反应，即有：



以及在更高的温度下，需较长时间处理的还原反应： $2\text{NO} = \text{N}_2 + \text{O}_2$

在上述反应中，氧化还原反应是同时发生的，对同一催化剂的氧化与还原作用而言，其催化转化特性与通过的排气中氧含量有关，因此催化净化效

率，也就与发动机混合气的空燃比有关（见图1）。三元催化转化器要求空燃比被精确地控制在理论空燃比附近的较窄的范围内，以实现同时对三种有害成分的高效率净化。三元催化转化器如果与电控燃油喷射系统结合在一起使用，用氧传感器检测排气中的氧浓度，并向计算机输出一个随氧浓度变化的电信号，构成一个控制空燃比的反馈闭路，使所有工况下的空燃比控制在理论空燃比的小范围内，将取得最佳的净化效果。

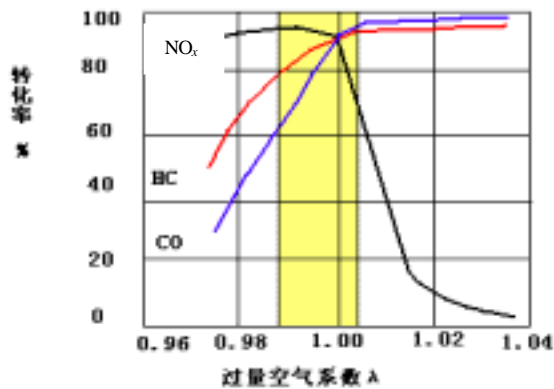


图1 HC、CO、NO_x的转化率与过量空气系数的关系

3.5.2 催化转化器与发动机匹配注意事项

为了使摩托车排气中的CO、HC及NO_x等污染物在催化剂的作用下，高效地转化为对人体无害的CO₂、H₂O及N₂，以达到较好的排气净化效果，必须解决好催化转化器与发动机的匹配问题：

(1)采用调整化油器的方法可以使样车的排放达到较低水平，但产品一致性难以保证。

(2)配合适量的机后二次空气补给，对排气中的CO和HC有足够的氧化能力，使之转化为CO₂和H₂O，也还要有一定的还原能力，使NO_x还原成N₂。例如用单向阀向排气管补充二次空气，该方法基本不需要调整，但是有以下问题：单向阀噪声大，难以满足噪声标准；对于跨骑式摩托车，影响造型和美观。所以，采用单向阀时，一定要进行结构优化，并采用合理的降噪措施。

(3)应具备良好的排气动力效应。加装催化转化器后，功率损失不应超过5%、油耗增加不应超过5%，且不增加原机噪音。

(4)应有较高的耐热冲击性。因使用的环境温

度急剧变化，在载体上将产生热应力，当超过了某个界限时会发生龟裂。

(5)应有良好的耐振性，以及较低的热膨胀，最好采用金属载体。

4 满足欧 标准的排放控制技术方案

日本本田公司在2005年就推出了一款满足欧 标准面向欧洲市场的125 mL排量电喷踏板车。该车采用水冷、单缸、SOHC改良发动机，配备带有氧传感器的闭环电喷系统、高目数的金属载体催化器和二次空气补给装置。

欧洲摩托车制造商目前也已完成了满足欧 排放标准摩托车的研发和技术准备，如比亚乔(Piaggio)、艾普瑞利亚(Aprilia)、德比(Derbi)、标致(Peugeot)、KTM等。他们所采用的技术方案是：125 mL、150 mL、200 mL等排量化油器摩托车，采用欧 催化剂+2次空气装置；大于250 mL排量摩托车采用闭环电控燃油喷射装置+欧 催化剂。

英国里卡多(Ricardo)公司的研究报告显示，有以下4种技术方案均能达到欧 排放标准，这4种技术方案基本上涵盖了目前传统燃油摩托车达欧 排放标准的主要技术措施。

改进型化油器+2次空气装置(SAI)+3效催化转化器(TWC)

采用浓度大的空燃比，以控制NO_x的产生，使用SAI保证废气中有足够的氧气来促进催化剂对HC和CO的氧化作用。

开环电喷系统+2次空气装置(SAI)+3效催化转化器(TWC)

电喷装置对空燃比的控制效果比化油器要好。方案a)和b)在从源头上控制NO_x的排放方面效果基本相同。如果有必要也可以采用MAP图点火和点火延迟以便催化剂快速起燃。

闭环电喷系统+3效催化转化器(TWC)

采用闭环电喷系统在各种工况下精确控制缸内的空燃比，用三效催化剂同时高效地净化NO_x、HC和CO，有效控制排放。

闭环电喷系统+2次空气装置(SAI)+3效催化转化器(TWC)

若通过方案 c) 不能充分降低 NO_x 排放, 则在燃烧系统设定偏浓的混合气, 以抑制 NO_x 产生, 再辅以 SAI 以使废气中的过量空气系数接近 1, 以使催化转化器高效地净化 NO_x、HC 和 CO。

需要注意的是, 这里所提到的排放控制系统性能的发挥, 很大程度上依赖于原始发动机的基本状

态, 并不是所有的发动机和车型采用如此方法都能达到欧 排放限值, 如果原机制造精度不高、散差较大、初始排放较差, 则采用其中的某些方案依然不能达标。

上述几种排放控制技术方案的 应用及成本对比见表 2。

表 2 几种摩托车欧 排放控制方案应用及成本对比

序号	排放控制方案	技术特征	改造成本估计 (元)	应用状况
	改进型化油器 + 2 次空气装置 (SAI) + 3 元催化转化器 (TWC)	混合气浓度较难精确控制, 对化油器的供油精度要求高, 如果化油器和发动机散差大, 整机排放一致性将很难保证, 并会牺牲一定的动力性。	300 ~ 400	较适用于排量 < 150 mL 价格相对便宜的车型, 但对化油器的精度和原机初始排放水平以及一致性要求较高。
	开环电喷系统 + 2 次空气装置 (SAI) + 3 元催化转化器 (TWC)	混合气形成及空燃比较为精确控制, 但不能在全工况精确匹配空燃比, 散差不易控制, 一致性保证较困难。	650 ~ 850	此方案虽节省了氧传感器成本, 但控制性能损失较大, 对原机初始排放水平以及一致性要求较高。不鼓励采用。
	闭环电喷系统 + 3 元催化转化器 (TWC)	混合气形成及空燃比能精确控制, 在全工况范围能精确匹配空燃比, 排放一致性好。	700 ~ 900	适用于所有机型, 在国内外均已应用, 由于采用闭环控制方式, 对由发动机制造散差造成的排放不一致, 能自动适应并调节, 是排放控制技术发展的趋势。目前国内还开发出拥有自主知识产权的 FAI 直线泵电喷技术, 成本更具优势。
	闭环电喷系统 + 2 次空气装置 (SAI) + 3 元催化转化器 (TWC)	混合气形成及空燃比能精确控制, 在全工况范围能精确匹配空燃比, 排放一致性好。能有效控制 NO _x 的排放, 能达到极严格的排放水平。	750 ~ 950	可以应对更高的排放要求,

5 结论

(1) 综前所述, 从技术先进性、控制效果、可行性和发展趋势等方面考虑, 采用闭环电控燃油喷射系统 + 3 效催化转化器是应对欧 标准的最佳方案, 该方案真正做到从根本上控制和解决排放问题。在大批量应用后其成本也会大大降低。

另外, 应用电喷系统也是摩托车电子化趋势的重要一步, 结合发动机管理系统 (EMS), 还可以改善点火性能、提升冷车起动车性能、节省燃油、增强防盗性和实现远程诊断和维护, 是对摩托车的排放、动力性、燃油经济性、及其它性能的一个质的提升和飞跃, 其在汽车上的发展历程充分说明了这一点。

(2) 催化转化技术在摩托车排放控制技术中占有相当重要的地位, 尤其是对于欧 排放标准, 无论是化油器供油, 还是电喷系统供油, 催化转化器的应用都是不可缺少的。但是采用催化转化技术使

化油器摩托车达欧 标准是一个较难的课题, 由于化油器的供油精度, 以及原机的制造散差等问题, 所以对催化转化提出了更高要求, 包括安装的数量, 位置, 二次空气的导入位置, 贵金属的含量等, 只有原机制造精度和生产一致性控制水平较好的车型, 才推荐此方案, 否则很难满足欧 标准。

(3) 在催化转化器安装使用时, 需统一考虑排气管的设计, 兼顾排放和噪声两项要求, 力争提供同时满足排放和噪声要求的排气管总成。

(4) 摩托车正从一个简单的机械产品向电子化程度较高的高性能产品过渡, 这既是一个挑战, 又是一次机遇, 对于这种发展趋势一定要有正确的认识和把握, 谁的步伐迈的更早, 迈的更扎实, 谁就在未来的竞争中赢得主动, 这也是技术创新和产业升级的必由之路。

参考文献 (略)

(收稿日期: 2006-07-11)