

LPG 摩托车发动机研究动向*

李西秦¹ 刘冰¹ 赵波¹ 何文华²

(1. 上海工程技术大学 2. 浙江大学)

杨西秦等. LPG 摩托车发动机研究动向. 天然气工业, 2004; 24(8): 111~113

摘 要 随着我国国民摩托车保有量的不断增长, 摩托车尾气排放污染已成为城市机动车排气污染的一个不容忽视的部分。减小摩托车排气污染的理想清洁燃料首选 LPG。为解决摩托车 LPG 发动机动力性下降的问题, 分析了 LPG 的物化特性, 并进行了 LPG 进气道气态喷射、进气道液态喷射和缸内液态直接喷射的对比试验。结果表明, 液态 LPG 缸内直接喷射发动机的最大扭矩较燃用汽油时提高约 10%, 能有效解决 LPG 常规供应方式发动机动力性下降的问题, 具有良好的发展前景。

主题词 液化石油气 摩托车 代用燃料 缸内 液态 喷射方式 扭矩

我国的摩托车发展很迅速, 截至 2002 年底, 我国共有民用摩托车 5103 万辆(不含我国台湾省的摩托车数量), 摩托车普及率达到 39.7 辆/千人, 摩托车保有量居世界第一位(据《中国汽车工业年鉴》2003 年)。随着人民生活水平的提高, 我国摩托车的销售量还将继续增长, 预计到 2005 年, 我国摩托车保有量将超过 7000 万辆, 摩托车的排气污染问题将更加严重。面对日益严重的环境问题, 世界各国相继制订了严格的环保法规来限制机动车辆的尾气排放。因此, 合理利用资源, 寻找清洁的摩托车代用燃料是十分重要的。

与 CNG 相比, LPG 便于储存携带, 更适用于摩托车。2005 年底, 将在广州市全面实现使用 LPG 清洁能源。对于摩托车来说, 燃料携带问题更加突出, 因此 LPG 理所当然成为了摩托车首选的代用燃料。

然而我国目前摩托车 LPG 的燃料供给装置大多使用预混合系统, 即 LPG 燃料以气态方式通过混合器与空气混合, 形成均匀的混合气后进入气缸。由于气态 LPG 占有进气体积, 使得实际进入气缸的空气量减少, 致使发动机充气效率下降, 导致 LPG 发动机动力性下降, 影响了 LPG 车辆的性能, 在 LPG 车辆的推广应用造成了一些困难。因此有必

要针对 LPG 的特点研究提高摩托车 LPG 发动机动力性的方法。

一、LPG 的特性及 LPG 发动机发展历程

车用 LPG 主要由丙烷和丁烷组成, 其中丙烷所占质量百分比很大, 因此 LPG 的性质与丙烷非常相似。与汽油相比, LPG 分子结构简单, 在常温常压下呈气态, 容易与空气均匀混合, 能充分燃烧。此外, LPG 分子中的 H/C 原子比为 2.6, 是汽油的 1.24 倍。因此在同等条件下, 发动机燃用 LPG 比燃用汽油时的 HC、CO 排放量低, 与带有催化转化器的汽油车相比, 其 CO 排放量相当于汽油的 70%, NO_x 排放量为汽油车的 90%, HC 排放量可以降为汽油的 52%^[1], 是一种较为理想的代用燃料。

燃用 LPG 的车辆比燃用汽油的车辆在其他方面也具有以下优越的性能。

(1) LPG 是比汽油、柴油小得多的短链烷烃分子, 火焰传播稳定, 燃烧完全, 在发动机汽缸及其他部件上的积碳、结焦少, 可减轻发动机及其他部件的磨损和腐蚀, 延长发动机的使用寿命。

(2) LPG 的辛烷值高(在 100~110 之间), 抗爆震性能好, 可以选择比汽油机更高的压缩比, 从而提高发动机的动力性能。

* 本成果受到上海市高等院校科学技术发展基金(编号:02FK03)资助。

作者简介: 李西秦, 1960 年生, 硕士研究生毕业, 教授级高级工程师, 主要研究方向为电控 LPG 发动机。地址: (200336) 上海市长宁区仙霞路 350 号上海工程技术大学汽车学院。电话: (021) 62759779 转 5014, 13681728847。E-mail: lixiqin@yahoo.com.cn

(3) LPG 价格低, 燃用 LPG 经济性较好。

车用 LPG 发动机的发展大致可分为三代产品: 第一代在传统化油器基础上加装一套燃气供给系统, 使汽车能够燃用气体燃料, 这种技术对汽车发动机排放的改善效果有限, 难以达到 GB14761-1999 (即欧洲 1 号) 排放标准的要求。第二代技术在第一代的基础上, 在混合器前安装由电控单元控制的步进电机功率阀, 在排气管上安装氧传感器, 采用闭环电控技术, 可使汽车排放水平达到欧洲 1 号乃至欧洲 2 号法规。第三代技术为闭环电控燃气多点喷射技术, 电控单元根据发动机转速、负荷、节气门位置、进气温度等参数控制喷射器的喷射脉宽, 其控制精度可与汽油电控喷射器媲美, 排放可达到欧洲 2 号或欧洲 3 号法规的要求。

二、LPG 发动机喷射方式的研究动向

为了研究 LPG 喷射方式对发动机性能的影响, 提高 LPG 摩托车发动机的功率, 笔者进行了 LPG 进气道气态喷射、液态喷射、缸内直接喷射等方面的试验研究工作, 并取得了初步成效。

1. 进气道气态 LPG 喷射

进气道气态 LPG 喷射是根据发动机负荷、转速和进气温度等参数控制燃料供应量和点火正时, 将 LPG 以气态形式喷射到进气道。电控气态 LPG 进气道喷射方式较预混合方式前进了一步, 它能够较精确地控制混合气的空燃比, 使发动机在运行的全过程中均能获得较好的经济性、动力性。但它同样存在混合器的一些不足, 即 LPG 仍以气态方式喷射, 降低了充气效率。

2. 进气道液态 LPG 喷射

电控 LPG 液态喷射技术是一种将 LPG 以液态形式喷射到进气道或气缸内的燃料供给方式, 其目的是提高发动机的充气效率, 并利用分层稀薄燃烧来实现高功率、低油耗、低排放。

进气道液态 LPG 喷射能部分提高发动机的充气效率, 原因是 LPG 气化引起温降, 使进气空气密度增大。

此外进气道液态 LPG 喷射, 喷射量控制精度高, 空燃比波动小, 但不能根本消除气体燃料对充气效率的不良影响。

3. 缸内 LPG 液态直接喷射

液态 LPG 缸内直接喷射是一项全新技术^[2,3],

将 LPG 以液态方式直接喷射到缸内, 它充分吸取并兼备了柴油机的优点, 完全实现了燃料供给的质调节, 具有更佳的经济性、瞬态响应性和排放性能, 为进一步完善 LPG 发动机各项性能指标提供了有利条件^[4]。这种供给方式与进气道喷射相比有一些优点: ①对气体无节流影响; ②容易造成充量分层, 便于实现分层稀薄燃烧, 提高经济性; ③具有良好的瞬态响应; ④LPG 直接喷入气缸, 不占据进气道, 并且使缸内空气得到冷却, 进一步提高了充气效率。

4. 不同喷射方式试验结果对比

发动机动力性对比试验结果表明: 不改变发动机压缩比的情况下, 进气道气态 LPG 喷射比燃用汽油动力性有明显的下降, 最大功率下降 5.8%, 最大扭矩下降 4%, 在几种燃料供应方式中动力性位居最末。这主要是由于气态 LPG 喷射时挤占了过多的进气道空间, 使得发动机充气效率下降, 导致发动机动力性下降。

动力性位居其次的是进气道液态喷射, 与燃用汽油相比, 液态 LPG 喷射时扭矩提高了 4.16%, 功率提高了 4.7%。主要原因是: 当 LPG 以液态喷入进气道后, 一方面在进气道内吸热使一部分 LPG 迅速蒸发, 体积增大挤占空气体积; 另一方面 LPG 蒸发吸热降低了进气温度, 提高了进气密度和进气量。综合影响的结果是: LPG 蒸发挤占的空气量小于蒸发吸热进气密度提高而增大的进气量。与进气道气态 LPG 喷射相比较, LPG 部分蒸发所占的体积与采用预混合系统时气体燃料所占有的体积相比大为减少, 从而抵消由于 LPG 体积增大、进气量减少给发动机动力性所带来的负面影响。

缸内液态直喷方式时的动力性最佳, 其最大扭矩比燃用汽油提高 10.7%, 最大功率提高 8.4%。其主要原因就是 LPG 液态喷射时的充气效率达到或有可能超过汽油机的水平, 因为 LPG 的气化热是汽油的 426/297 倍, 因而进气道温度在 LPG 液态喷射时下降得更多, 使得空气密度比喷射汽油时增加更多; 另一方面利用了 LPG 抗爆性能高的特点, 将压缩比从 6 提高到 6.95。

排放对比试验结果表明: 发动机怠速时, 燃用 LPG 时发动机的排放比燃用汽油有明显的改善; 怠速时进气道 LPG 气态喷射时的 HC 和 CO 的排放量比液态喷射时低, 这主要是因为喷液时液态 LPG 在进气道气化吸热导致混合气温度偏低, 使得发动机

燃烧不良从而造成 HC 和 CO 排放量偏高;而喷气时燃烧温度高,导致 NO_x 排放量高,比液态喷射时高 13%左右。

LPG 液态缸内直喷初显了液态缸内直喷的潜力,为进一步完善发动机各项性能指标、从根本上解决 LPG 发动机动力下降问题提供了有利条件。

三、LPG 液态喷射的关键技术

在常温常压下 LPG 呈气态,通过加压液化后装入气瓶中。要实现 LPG 液态喷射,关键在于要确保 LPG 在整个燃料供应系统中始终保持液态而不被气化,从喷射器喷出来的是纯液态 LPG。但在 LPG 从气瓶输送到喷射器的过程中存在着压力损失,并且受到发动机高温的辐射,尤其是缸内喷射时,喷射器置于缸内直接承受缸内高温,LPG 极易被局部气化,出现气液两相状态,此时喷射量便无法控制,并且会带来不良后果:若发动机在运转前出现 LPG 气化,会因燃气过稀造成发动机起动困难;在运行中出现气化则会导致发动机熄火,造成运转不稳定甚至停机。在运行中 LPG 气化吸收大量的热使喷射器冷却,一般不会出现喷射器温度升高而气化的现象,但停机后很容易出现气化,导致下一次起动困难。

试验中笔者采取给 LPG 增压的办法来提高 LPG 的沸点温度,同时采用 LPG 循环流动的方法,即加大 LPG 的供应量,使多余的 LPG 通过喷射器内部流回储液罐中,以避免 LPG 气化。其次,缸内直喷还需优化进气道和燃烧室形状,使得空气在进气过程中按照一定的运动方式翻滚,在缸内形成理想的混合气分层,对喷射正时、点火正时也需严格控制。此外还需选择适当的喷射器并注意与 LPG 的匹配关系,由于喷射器位于发动机缸内,温度较高,原汽油机的喷射器难以胜任,还需改装或重新设计耐高温、高压的喷射器。

目前国外只有少数几家公司在研究液态 LPG 喷射系统,如意大利的 Tartarini Metafuel 系统、荷兰的 Vialle LPi 系统等,我国一些高校近几年也开始从事这方面的研究工作^[5]。液态 LPG 摩托车发动机缸内直接喷射技术复杂,面临许多亟待解决的问题,还需要做大量的研究工作^[6]。

四、结束语

LPG 的分子结构和理化特性决定了它具有比汽油 CO 和 HC 排放量低的潜力,只有采用良好的喷射方式和控制技术,这种优势才能发挥出来,整机的动力性才有可能得到恢复和提高^[8]。

电控可实现对发动机燃料的精确控制,使发动机在运行的全过程中均能获得较好的经济性、动力性和低排放,是未来摩托车发动机的发展方向。进气道 LPG 气态喷射时的充气效率低,导致发动机功率下降;进气道液态 LPG 喷射能够较好地解决充气效率下降的问题;缸内液态 LPG 直接喷射,使发动机有着更强的动力性能,初显了液态喷射的潜力。采用液态 LPG 喷射技术,可望从根本上解决 LPG 发动机动力性下降的问题,对于提高 LPG 发动机性能,更好地推广清洁燃料有着十分重要的意义。

参 考 文 献

- 1 李波. LPG 液态喷射发动机工作过程研究. 浙江大学硕士研究生学位论文,2002
- 2 Mundorff F, Carstensen H, Bierbaumer J. Direct injection internal combustion engines—The Automotive industry's contribution to reduced CO₂ emissions. SAE Paper 982217
- 3 Lake T H, Stokes J *et al.* Comparison of direct injection gasoline combustion systems. SAE paper 980154
- 4 Demirbas A. Fuel properties of hydrogen, liquefied petroleum gas (LPG), and compressed natural gas (CNG) for transportation. *Energy Sources*,2002;24(7):601--610
- 5 邵千钧. 电控 LPG 发动机及其缸内直接喷射技术的研究. 浙江大学博士研究生学位论文,2003
- 6 Yamin J A, Badram O O. Analytical study to minimize the heat losses for propane powered 4-stroke spark ignition engine. *Renewable Energy*,2002;27
- 7 Demirbas A. Fuel properties of hydrogen, liquefied petroleum gas (LPG), and compressed natural gas (CNG) for transportation. *Energy Sources*,2002;24(7)
- 8 张铁,谢存禧. LPG/柴油双燃料发动机中 LPG 供气系统的研制. *天然气工业*,2001;21(6):80~83

(收稿日期 2004-02-19 编辑 居维清)