

天然气/柴油混合燃料发动机的特性研究

徐兆坤 蒋妙范 吴伟蔚 赵华

(上海工程技术大学汽车工程学院)

徐兆坤等.天然气/柴油混合燃料发动机的特性研究.天然气工业,2006,26(4):128-130.

摘要 单一气体燃料发动机是针对某一种气体燃料的理化特性而专门设计制造的发动机,它可以最大限度地发挥气体燃料的优势,多用于气源供应充分的固定场所(如油气田电站或气源供应稳定的城市公交车辆),但单一气体燃料发动机汽车也存在着续驶里程短、不易压燃等缺点,特别是低负荷工况性能不佳。而与液体燃料组合而形成的混合燃料汽车则消除了这些缺陷,使其具有更强的生命力。为此,根据天然气的燃烧性能,研究了天然气/柴油混合燃料发动机的特性。结果表明:柴油引燃具有多处繁星式点火且点火能量大的特点,因而天然气作为点燃式发动机燃料,爆震和失火倾向大大减小,使其在中高负荷时不但废气排放量降低,而且动力性能较好,而在低负荷时采用纯柴油或者其他措施运行。

主题词 天然气 柴油 混合燃料 发动机 特性 动力性能 排放指标

国内外开发混合燃料发动机的工作正不断向纵深方向发展,由最初简单的改装工作,发展到包括对燃烧特性的研究、工作过程的优化、电控技术的应用等。发达国家已有成熟的产品(如美国西南研究院的重型混合燃料发动机、康明斯公司也有类似产品),并正致力于气体燃料直接喷入气缸内的燃烧技术、稀混合燃烧技术、二次喷射控制燃烧过程的技术研究。根据原发动机的不同(汽油机或柴油机),所代用的气体燃料的不同(天然气或石油气)以及燃用方式的不同(两用或混燃),进行排列组合,混合燃料发动机有8种运行模式。据研究^[1],其中天然气/柴油混燃(或称渗烧)模式具有最佳的性能。因此笔者主要研究了该模式。

一、混合燃料发动机的特性

这种模式是,喷入气缸内的少量柴油(2%~20%)经压缩后先自燃,继而引燃天然气,因此不必加装点火系统。燃料替代率可达80%以上,也可切换到纯柴油工作。两种燃料发动机所许用的压缩比相差不大。混合燃料发动机混合气的形成分为以下两类。

(1)气体燃料经调压器减压后与空气在气缸外的混合器中混合,在进气行程中,经进气道进入气

缸,压缩行程中,在气缸内形成更均匀的混合气;而引燃柴油由喷射器在压缩行程末期喷入缸内。

(2)柴油及气体燃料分别由两个喷射器或者由一个喷射器,在压缩行程末期分先后或者同时喷入气缸内,在较短的时间内形成混合气。

天然气/柴油混合燃料发动机具有以下特点。

(1)具有“混血儿”特征:天然气的点火方式是点燃式,应该说属于点燃式等容加热循环发动机,只不过点燃的能源不是电火花,而是柴油的引燃,但其功率输出的控制方式却又不像点燃式发动机(一般用节流阀控制混合气量,即量调节)那样,而是通过改变天然气供给量来调节功率,即质调节。因此又类似于压燃式的柴油机。

(2)天然气/空气混合气开始燃烧是由多处火焰前峰扩散穿过混合气作用的结果。因此,这就像多火花塞火花点燃式或繁星点燃式发动机。

(3)由于柴油引燃燃料所提供的能量远大于电火花所提供的能量,这就允许其在稀混合气,即相当高的空燃比下运行,耗能率低。因此又具有压燃式的柴油机的优势。

由于柴油机液态燃料混合困难,在理论空燃比附近,会发生不完全燃烧而产生冒烟,因此在高负荷时,最大功率受冒烟极限所限,过量空气系数 α 必须

作者简介:徐兆坤,1953年生,副教授;上海交通大学硕士研究生毕业;主要研究方向为发动机燃烧和气体燃料。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 5014,13166159850。E-mail:nieh@scei.com.cn

在1.2以上运行,气缸容积利用率较低,因而柴油机的平均有效压力不高。而天然气发动机由于气体燃料易于混合, α 可以在1附近。

用浓天然气混合气时,其最大功率可以做到比原柴油机大(图1)。总的混合气当量比 φ 为实际的混合气燃空比 F/A 与理论上完全燃烧时的燃空比 F/A 的比值,即 $\varphi=1$ 时为理论混合气, $\varphi<1$ 为稀混合气, $\varphi>1$ 为浓混合气。该机缸径104.8 mm,行程130 mm,6缸,总排量6.7 L,压缩比14.5,转速1500 r/min。用柴油引燃,喷油提前角为25 °CA(原柴油机为21 °CA)。该机原为柴油机,由VOLVO厂制造,为TD70GG型^[2]。

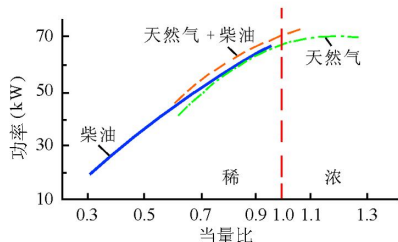


图1 不同燃料时的功率对比图

但由于天然气属于预混合燃烧,因此与其他火花点燃式发动机一样,在高扭矩高转速工况时容易发生爆震。“杂交”能剔除不良基因产出优良品种,混燃也能提高发动机性能。在高负荷时,将柴油喷射量由引燃量的2%~5%提高到20%,同时降低天然气供给量。在这种比例混烧下,20%柴油显然不会引起冒烟,而天然气燃料的优点在于:空燃比高,而且多处繁星式引燃天然气,故火焰传播距离大大缩短;引燃能量高,燃烧广泛而又迅速,因而减少了爆震的倾向。因此一般柴油机可以成功改装成天然气工作而不必降低压缩比,而点燃式发动机在同压缩比下燃用单一天然气燃料就会发生严重爆震(但对于高强化柴油机的改装,则必须采取降低功率等措施来避免爆震,这些措施与一般点燃式发动机相似)。

与柴油机相比,天然气/柴油混合燃料发动机主要有以下特点。

(1)在外特性上,由于上述原因,其扭矩高于柴油机,仅在高于最高扭矩转速时,为了避免爆震而有所限制。但由于燃烧系统的匹配水平不同,天然气发动机的实际性能,可能或高或低。在经济性方面,由于 α 处于1附近,因此热耗率(MJ/kW·h)略高于柴油机,低速大扭矩时两者接近,甚至低于柴油机。这是因为天然气火焰传播速度较低,低速时正好与

火焰传播速度相适应(高速时,扭矩下降,热耗率较高)。排放方面,因排温低(因火焰温度较低),NO_x排放量可能有所下降。由于预混合燃烧,局部混合不均形成的PM和烟灰较少,只有柴油机的1/10。不存在局部缺氧,CO生成量较低,但HC可能较高,尤其当气阀重叠角较大情况。

(2)中等负荷时,由于柴油多处引燃,且引燃火焰能量大,可燃用较稀混合气而不易发生失火。因此经济性好于单一天然气发动机,动力性能较好,排放量(特别是NO_x和PM)较小。

(3)与柴油机相比,低负荷时性能较差的原因是:低负荷时的柴油机虽然总空燃比较高,混合气很稀,但由于其混合不均匀,局部空燃比并不高,混合气并不稀。因此能正常燃烧。而天然气是均质混合气,低负荷时,混合气浓度已接近可燃下限,同时燃烧室温度较低,引燃柴油火焰不能传播到整个空间,使部分气体燃料不能参与燃烧,造成油耗增加,HC明显增加,尤其是高速低负荷时。天然气的火焰传播速度较低,约33.8 m/s,在低速低负荷时,燃烧减慢,排温比柴油机高,导致热效率低。其次,由于柴油机结构等原因,比如气阀重叠角大,燃烧室缝隙空积大,因而HC较高,甚至超过汽油机。

二、性能分析

天然气中的主要成分为甲烷,其自燃温度很高,化学活性较差,尽管气体燃料容易与空气混合,但是也必须具备一定的条件才能完全燃烧。当引燃柴油混合气完成着火前准备,形成若干火焰核心时,如果气体燃料混合气没有达到一定的浓度,从各着火点向外扩散的火焰前锋则不可能到达气缸的每一部位,使一些均匀分散的气体燃料没有发生燃烧,热效率就较低。当气体燃料浓度大于某个数值时,火焰前锋则以很高的放热率和压力升高率扩散到整个混合气,燃烧较完善、热效率也较高。

图2表示燃用几种不同气体燃料总比能耗与混合气浓度的关系。发动机转速为1000 r/min,进气温度为0 °C。由图2可知,当 $\varphi<0.35$ 时,几种气体燃料比能耗比柴油高,如果混合气较稀,而进气温度又较低,则火焰能扩散引燃的范围较小,未能燃烧的气体燃料较多,热效率较低;而 $\varphi>0.35$ 时则比能耗比柴油低,表示燃烧较完善。

主燃烧期间的放热率与缸内气流紊流度有着密切的关系。如果燃烧室形状及挤流面积等所形成的

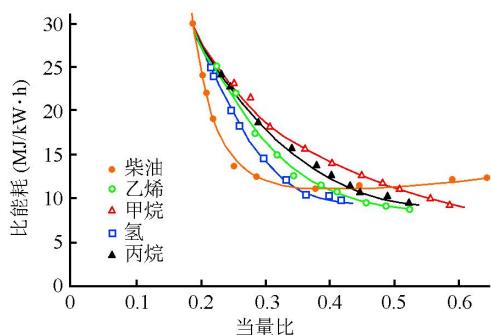


图2 燃用不同气体燃料的总比能耗图

气流紊流强度较高,并燃用稀混合气,那么柴油引燃火焰传播及燃烧速度则太慢,不仅主燃烧阶段太长,而且部分混合气根本无法点燃,导致热效率下降,未燃烃增多。对于这种情况,必须改变燃烧室形状,提高气流湍流程度,实现快速燃烧。

气体燃料中主要成分自燃温度较高,燃烧速度较慢,发动机的最大爆发压力及压力升高率较低,比柴油机运转要安静一些,NO_x排放量也可能会较低,这是混合燃料发动机优点之一。在温度较低的环境下工作时,混合燃料发动机在较高负荷及较高进气温度时的工作过程比柴油机更稳定。

三、改善混合燃料发动机低负荷性能

增加引燃柴油量甚至只使用柴油则可以改善低负荷性能。如果仍希望使用少量引燃柴油,则采用下列一些措施,可以在不同程度上改善混合燃料发动机低负荷时的性能。

(1)引燃柴油量及喷射时间不变,采用较小的喷嘴启喷压力,可以减少未燃的甲烷量。这是由于喷射压力较低使油束穿透距离短,柴油喷雾不会过分扩散,从而能够缩短滞燃期,产生较多的火焰核心,使更多的气体燃料燃烧。

(2)加大柴油喷油提前角,以便增加部分氧化产物的滞留时间及活化作用,扩展可燃稀混合气的下限范围。

(3)进气部分节流,使压缩行程终了时,缸内能形成较浓的混合气。

(4)采用混合气分层技术,使引燃柴油混合气附近形成较浓的气体燃料混合气。当然这在间接喷射燃烧室柴油机上较容易采用。

(5)采用排气再循环,这实际上是提高缸内充量的温度,促使更多易于反应的产物活化,加快化学反应速度。

(6)采取措施减少缸内充量的传热损失,提高其温度。例如提高冷却水温度,活塞及缸盖等采用隔热措施等。

四、结 论

天然气/柴油混合燃料发动机是最佳的运行模式,几乎具有了“混合动力”意义上的优势,即高负荷时,主燃天然气,发挥均质燃烧优势,提高气缸利用率,即不冒烟,又因多点引燃而不爆震,动力性排放性较好;中负荷时,采用稀薄燃烧,柴油高能量引燃,不易发生失火,排放性较好;而低负荷时,切换燃用纯柴油,发挥非均质燃烧优势,提高排放性能和经济性能,或者采取特殊技术,改善低负荷时的性能,因此天然气/柴油混合燃料发动机是目前认为的最佳的组合燃烧模式(而且天然气资源丰富),是最值得大力推广的气体混合燃料发动机。

参 考 文 献

- [1] 徐兆坤,等.气体双燃料发动机运行模式的研究[J].天然气工业,2005,25(3):157-159.
- [2] 何学良等.内燃机燃料[M].北京:石油工业出版社,2002.
- [3] 李西秦,徐兆坤,等.石油气喷射形式对发动机性能的影响[J].内燃机工程,2004(2):43-45.
- [4] 徐兆坤,等.石油气—汽油两用燃料汽车发动机的性能特征及其技术对策[J].小型内燃机与摩托车,2002(2):10-13.
- [5] 赵春红.国内第一辆LNG—汽油两用燃料汽车[J].天然气工业,2003,23(5):100-101.

(修改回稿日期 2006-02-20 编辑 居维清)