

Discussion on Hydrogen Blending Combustion of Natural Gas Engine

Guanlin Wei

Guangdong Huizhou Pinghai Power Plant Co., Ltd., Huizhou, Guangdong, 516363, China

Abstract

With the rapid development of the automobile industry, the demand for vehicle fuel has increased sharply year by year, and the pollution of vehicle exhaust to the environment has become increasingly serious. Developing alternative fuels is an important way to reduce the demand for oil and alleviate environmental pollution. As a new alternative fuel, hydrogen mixed with natural gas has attracted more and more attention.

Keywords

engine; clean energy; hydrogen

天然气发动机掺氢燃烧的探讨

魏观林

广东惠州平海发电厂有限公司, 中国·广东 惠州 516363

摘要

随着汽车行业的高速发展, 车用燃油的需求逐年激增, 汽车尾气对环境的污染也日益严重, 发展替代燃料是减小石油需求、缓解环境污染问题的重要途径。天然气掺混氢气作为一种新型替代燃料越来越受到人们的重视。

关键词

发动机; 清洁能源; 氢气

1 引言

汽车产业的高速发展不但加速了能源消耗, 也为生态环境带来了不良影响。因此, 天然气这种绿色能源的开发与利用, 愈来愈受到人们关注, 天然气燃烧时热量利用率高, 是一种高热值能源^[1]。除此之外, 天然气碳含量低, 汽车使用天然气能源能够有效降低碳排放量。天然气发动机与柴油发动机对比, 使用天然气发动机烟尘颗粒的排放量几乎为零, 与此同时氮氧化物、碳氧化物以及碳氢化合物的排放量也明显降低。而氢气作为能源, 点燃后废气排放仅有氮氧化物, 并且氢非常容易再造, 是最理想的清洁能源。

2 实验台架系统构成

试验发动机采用以潍坊发动机厂生产的 WT615 型发动机为实验机型, 对进气道展开了更新改造, 取消燃油喷射系统软件, 装上点火系统软件。燃料提供系统软件按分压电路规律性在高压缸内预混, 采用进气口喷射方法。

为了解决发动机更新改造环节中, 因为应用燃料造成

充气效率降低和稀薄燃烧情况下, 所导致的驱动力性能降低的问题, 在进气道中增强了涡轮增压, 在涡轮增压的基础上, 安装了增加空气中的降温系统, 提升了充气效率, 减少了点燃前期汽缸里的平均气温。除此之外, 将电子节气门安装在进气管之上, 发动机通过负载控制方式从原来的发动机“变质调整”改成“可变性调整”, 以便于更精确的调节空燃比, 采用电机控制多点次序喷射系统, 精确掌握不同汽缸内供气量和喷射起始点^[2]。高能点火自动控制系统是为保证 HCNG 发动机具备充足的点火动能和可信赖的点火性能而为其量身定做的点火控制系统。

电控系统 ECU 由实验室自行开发和标定, 能够对点火提前角和喷射脉宽进行在线修改和标定^[3]。此次实验所产生的燃料为北京市昌平中化道达尔加气站的天然气, 甲烷气体容积大约为 87.97%, 发热量大约为 42 MJ/m³。

3 实验结果及分析

3.1 动力性分析

实验选用 CB-466 多路汽车发动机检测仪精确测量缸内压力。图 1 可以清晰展现出纯天然气和掺氢天然气(氢气容积 20%)的实验结果, 实验均保证汽车转速为 1400 r/min、

【作者简介】魏观林(1987-), 男, 中国广东惠东人, 本科, 助理工程师, 从事热能动力工程研究。

节气门开度为 20%，由此对比最大的压力和曲轴转角。从图 1 能够明确得知，汽车发动机点燃天然气掺氢燃料时，最大爆发压力远高于仅采用纯天然气燃料，天然气掺氢燃料与天然气对比，最大压力提升近 20%，最大压力点相对应的曲轴转角提前了 3° CA。试验结果显示，氢气容积发热量比较低，天然气燃料添加氢气降低了充气效率，但在添加一定量氢气后依然能显著加速缸内燃烧的传播速率和燃烧速度，减少点燃期压力，促进压力曲线图在最高处前行，改进发动机功率性能。

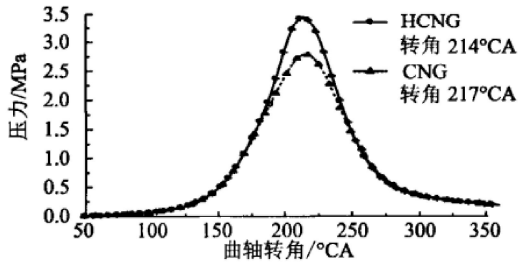


图 1 发动机示功对比图

如图 2 所示，天然气和氢气（氢气容积 20%）在 1400 r/min 的不一样负荷情况下的较大压力 p_{max} 和最大压力增加率 $(dp/d\phi)_{max}$ 的曲线。从下图可以清晰得知，天气热掺氢发动机满负荷范围内压力比天然气发动机高，小负荷中的较大压力上升幅度贴近天然气，但大负荷时差距较大，不一样负荷下氢气的体积比为 20%，而负荷与氢气的绝对数量成正比，当负荷降低时绝对数量也相应降低，此时改进水平不明显；反之负荷提高时，氢气的绝对数量随之提升，充分显示了掺氢燃料加快和提升缸内燃烧现象的功效，提升了发动机动力性能。

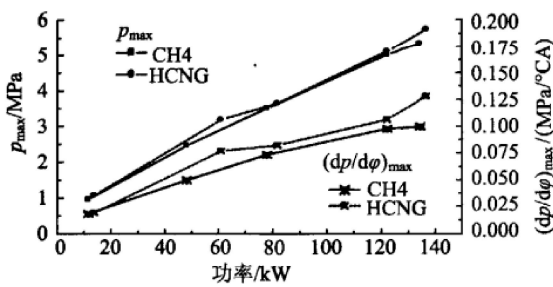


图 2 发动机最大压力升高率对比

3.2 排放性能对比分析

在汽车转速为 1400 r/min 的不同负载环境下，燃气发动机使用天然气掺氢燃料和天然气燃料的排放对比。

3.2.1 一氧化碳

图 3 表明了一氧化碳排放量的对比情况。由图 3 可知，掺氢天然气在燃烧后，在 50~110 kW 范围内，一氧化碳排放量明显下降，最高降幅可达 50%。但是 120~140 kW 范围内，掺氢天然气与天然气一氧化碳排放量相仿。导致排放量

不同的主要原因是，在小功率范围内，掺氢天然气缸体部分温度依然比较低，导致局部燃烧不完整生成一氧化碳；在长时间大功率氛围内下，掺氢天然气裂化后缸体燃烧温度逐步提高高，使得部分燃烧产生二氧化碳，二氧化碳发生分解反应生成一氧化碳；与此同时，缸体的压力提升将更多没有完全燃烧的物质送入空隙，使一氧化碳排放量略微提升。一般来说，掺氢天气的的燃烧传播速率更快，能够有效减少总燃烧周期，推动一氧化碳再次被氧化，但氢气自身不含碳量也是一氧化碳排放量下降的主要原因之一。

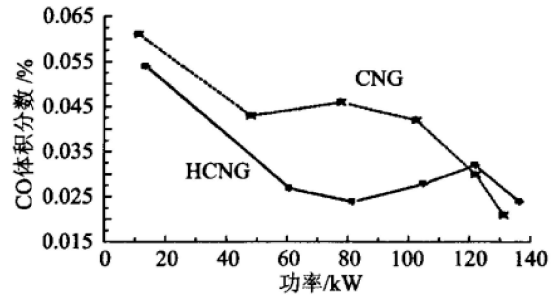


图 3 一氧化碳排放对比图

3.2.2 二氧化碳

图 4 展示了二氧化碳排放对比。根据掺氢天然气与天然气二氧化碳排放对比图可知，掺氢天然气燃烧后二氧化碳排放量明显降低，导致这一现象的根本原因是天然气中加入的氢气燃烧也不会额外造成二氧化碳的生产，因此，在实验 0~140 kW 范围之内二氧化碳的排放量都呈下降趋势。

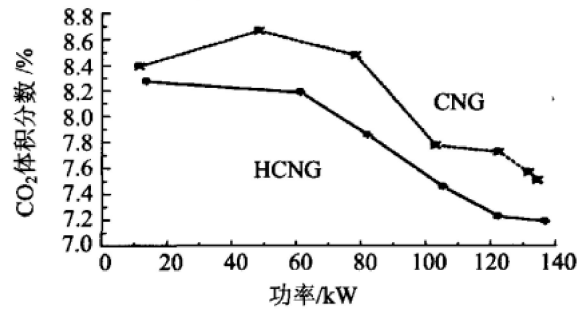


图 4 二氧化碳排放对比图

3.2.3 碳氢化合物

图 5 展现了碳氢化合物排放量的对比曲线。由图可知，碳氢化合物的排放量明显下降，最大降幅可达 32.4%，导致这一现象，发生的主要原因是掺氢天然气会加速预混火苗的快速传播，减少燃烧延续时间，碳氢化合物会有更多时间开展氧化还原反应；掺氢天然气经过裂化反应后缸体温度上升，推动了碳氢化合物发生氧化还原反应；掺氢天然气是火焰熄灭趋向降低，熄灭间距相对应降低，空隙内一部分碳氢化合物被空气氧化；即便氢气自身燃烧也不会造成碳氢化合物，那也是碳氢化合物排放量降低的原因之一。

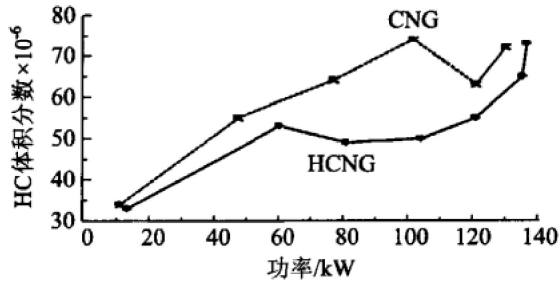


图5 碳氢化合物排放对比图

3.2.4 氮氧化合物

图6展现了氮氧化合物排放的对比曲线。掺氢天然气燃烧时，氮氧化合物排放量高于纯天然气燃烧，尤其是负载较大时，最高提升量为25%。主要是因为掺氢天然气燃烧反应速率使化合物的燃烧温度升高，达到氮氧化合物排放标准，增强了氮氧化合物排放量。

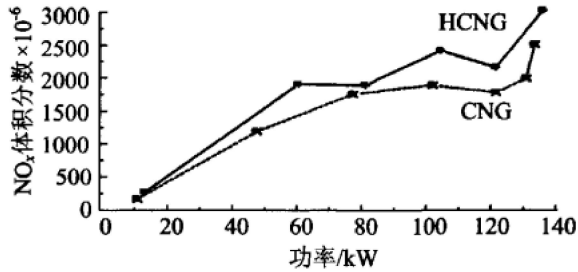


图6 氮氧化合物排放对比图

3.3 发动机排气温度比较

在掺氢天然气与天然气两种燃料排气管温度均值的对比之下，可以得知，天然气掺氢后，补燃温度降低，其根本原因是氢气使得燃烧速度更快，掺氢天然气的燃烧速度更快，补燃比例和排气管温度均降低。由此可知，添加一定量的氢气能够有效缓解天然气发动机的燃烧状况，减少汽车发动机自动排气阀和增压机里的耗热量。

4 过量空气系数的影响

本次关于掺氢天然气的探讨发现天然气掺氢发动机空气系数由1.36提升至1.73，这一现象会导致发动机加速性能和排放特性受到影响。实验中汽车发动机节气门开度不

变，根据调整喷涌脉宽来调节空气系数的改变。

通过测量天然气掺氢发动机在1400 r/min的部分负载下，发动机性能伴随着空气系数的提高而改变。通过实验验证得知，在1.366~1.732的燃烧范围之内，当过量空气系数超出1.44时，转矩和输出功率降低幅度较大，最高降低比为21%。当输出功率为48.16 kW、扭矩为329 N.m时，过量空气系数为1.73的纯燃气发动机测出的信息对比，功率和扭矩值基本一致，但汽车发动机能平稳输出功率，其较稀燃烧极限值显著提升。如果天然气过来空气系数超出1.5时，汽车发动机将不能稳定的工作，氮氧化合物排放量大为降低，最高降低与原排放量之比为1:9，二氧化碳排放量也缓慢降低。但是，在过滤空气系数为1.366~1.732的燃烧范围之内，一氧化碳和碳氢化合物也处于较稀燃烧情况，因此排放量会发生局部范围内转变。碳氢化合物整体呈逐步上升趋势，当空气系数为1.4时排放最少，当空气系数为1.55时排放量最大。因此，在经过天然气掺氢后会大幅度改进发动机的稀燃特性、扩张稀燃极限，与此同时达到大幅降低氮氧化合物的排放效果。

5 结语

- ①发动机燃烧掺氢能源时，缸内火焰传播速度加速，输出功率增大，缸内温度升高。
- ②发动机燃烧掺氢能源时，碳氢化合物、碳氧化合物的排出量会降低，但氮氧化合物排出量也增加，尤其是在发动机负荷量较大的情况下。
- ③发动机燃烧用掺氢后，燃烧重点往前移动，排气管温度下降。
- ④当HCNG发动机在过量空气系数提升超出一定值后，输出功率下降，氮氧化合物排放量大幅度下降，但碳氢化合物排放量略微提升。

参考文献

- [1] 冷先银,葛琪琪,何志霞,等.预燃室式天然气掺氢发动机燃烧及排放模拟[J].内燃机学报,2021,39(1):26-33.
- [2] 李岳林,沈嘉诚.掺氢天然气HCCI发动机燃烧特性数值模拟研究[J].汽车工程学报,2019,9(3):182-192.
- [3] 赵睿,许乐平,冯是全,等.燃料掺氢对船用天然气发动机燃烧和排放的影响[J].推进技术,2020,41(11):2549-2557.