

如何实现 210 双燃料发动机自动控制

陈小猛¹, 黄 猛¹, 辛强之¹, 张振勇², 闫 丽¹

(1. 淄博柴油机总公司, 山东 淄博 255077; 2. 北京新东正阳电子有限公司, 北京 101105)

摘 要: 主要介绍了 210 型双燃料发动机的总体设计方案, 重点描述了该型双燃料发动机的天然气控制系统, 以及如何在试验过程中实现自动控制。试验结果表明: 210 型双燃料发动机实现了自动控制, 双燃料模式下最高燃油替代率为 80%, 从而获得了较好的经济性能, 其它性能指标也均达到设计要求。

关键词: 双燃料发动机; 自动控制; 天然气; 试验

中图分类号: TK432 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2014)02-0001-04

How to Realize Automatic Control of the 210 Dual Fuel Engine

Chen Xiaomeng¹, Huang Meng¹, Xin Qiangzhi¹, Zhang Zhenyong², Yan Li¹

(1. Zibo Diesel Engine Parent Company, Shandong Zibo 255077;
2. Beijing Xindongzhengyang Electronics Co., Ltd., Beijing 101105)

Abstract: The overall design of the 210 dual fuel engine is introduced, with the focus on its natural gas control system, as well as how to realize automatic control during the test. The test results show that the 210 dual fuel engines can realize automatic control, and the replacement rate of fuel under dual fuel mode is 80%, thus features good economic performance, and other performance indexes have also reached the design targets.

Keywords: dual fuel engine; automatic control; natural gas; test

0 引 言

当今社会能源矛盾愈演愈烈, 人们在寻求各种替代燃料, 其中天然气以其储量丰富、污染小、热值高等特性逐渐受到重视。在动力机械行业中, 点燃式气体机得到了一定的应用, 但相对于柴油机而言价格较高, 气源适应能力较差, 因此, 开发性能更优的代用燃料发动机已成为一个重要的研究方向。以天然气为主要燃料, 以少量柴油作为引燃燃料的发动机称为双燃料发动机。双燃料发动机几乎没有功率损失, 能够在纯柴油模式与双燃料模式间转换, 燃油替代率最高可达到 80% 以上, 经济性十分可观; 而且天然气燃烧排放物, 尤其是 NO_x 明显降低。

淄柴近几年开发了 210 双燃料发动机, 其以柴油机为原型, 主要增加了天然气供给及控制系统, 实现了以少量柴油作为引燃燃油, 主要燃料为天然

气的目标, 双燃料机动力性、经济性、排放都达到了设计要求; 同时实现了柴油与双燃料燃烧模式之间的自由转换。在整个双燃料发动机系统中, 天然气控制系统显得尤为重要, 可以说控制系统在一定程度上代表着双燃料发动机的技术水平。

1 210 双燃料发动机基本结构

本文试验用的发动机原型为 210 型柴油机, 在不改变原机基本结构的基础上进行改装, 增加天然气进气系统; 天然气喷射阀由液压系统提供驱动原动力, 实现双阶段双燃料模式燃烧。发动机保留了柴油机原有各个系统, 柴油喷射量由液压调速器根据发动机工况自动控制喷油泵齿条的位置来调节; 天然气进气量的调节是由开发的电子控制单元 (ECU) 实时采集发动机当前工况的参数, 自动调节各缸天然气喷射阀的喷射量及电子节气门的开度

收稿日期: 2013-04-02; 修回日期: 2013-07-18

作者简介: 陈小猛(1985-), 男, 助理工程师, 主要研究方向为柴油机、双燃料发动机设计和性能优化, E-mail: zcjszx@126.com。

来完成。图 1 为 210 双燃料发动机；表 1 为 210 双燃料发动机基本参数。



图 1 210 双燃料发动机

表 1 210 双燃料发动机基本参数

气缸数	6	额定转速/(r·min ⁻¹)	830
气缸直径/mm	210	平均有效压力/MPa	1.76
活塞行程/mm	290	最高燃烧压力/MPa	≤13.0
总排量/L	60.27	排气温度/℃	≤450
额定功率/kW	735	增压压力/MPa	0.26±0.02

2 210 双燃料发动机控制系统简介

210 双燃料发动机采用技术领先的电液联控多点气体喷射技术，通过电子控制单元实现发动机各工况下的最佳空燃比，使发动机始终运行在最佳状态下。电控单元根据负荷变化，确定气体燃料替代量，实现天然气与柴油喷射的最佳比例，在不影响功率输出的条件下节省柴油。

双燃料发动机控制系统主要包括 ECU、柴油机各系统传感器、天然气供给与控制系统、天然气喷射系统、液压驱动系统等，是一个集燃料喷射控制、实时数据采集、发动机监控保护、故障诊断、通信于一体的发动机电子管理系统。它的核心是通过 ECU 采集发动机的各种实时状态参数，与存储的 MAP 曲线进行比较并修正，确定该工况下最佳的天然气喷射脉宽、喷射时间等参数，各执行机构接收到 ECU 输出的信号后采取相应的措施，使发动机始终运行在最佳状态下。图 2 为 210 双燃料发动机电液系统图。

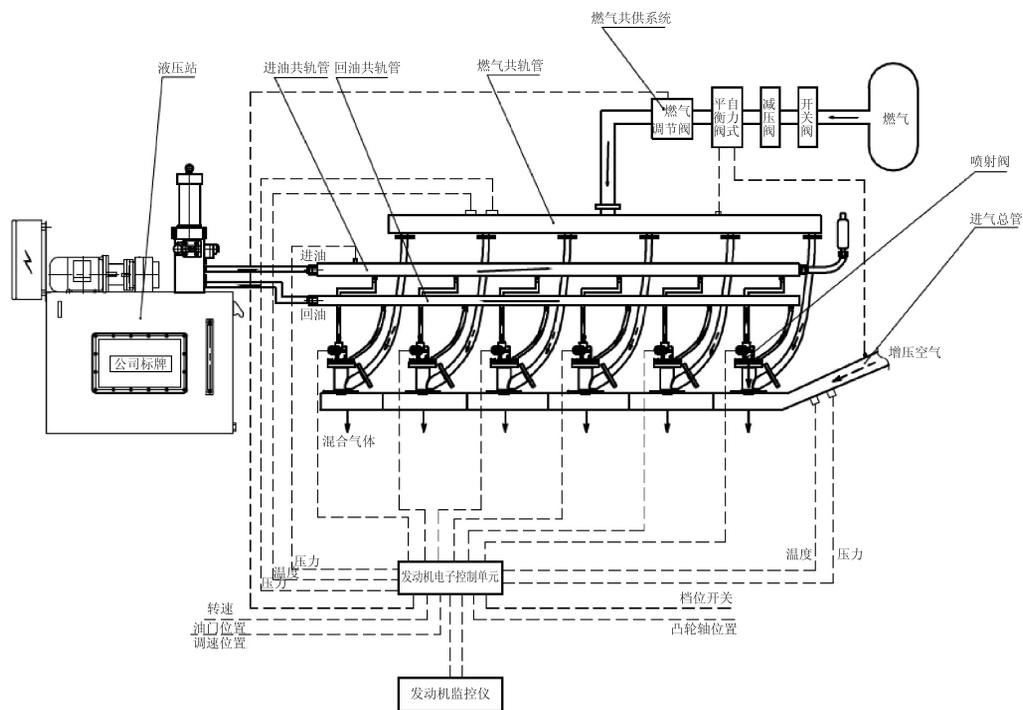


图 2 210 双燃料发动机电液系统图

3 自动控制关键技术

3.1 天然气/柴油双燃料燃烧控制技术

(1) 天然气喷射空燃比的闭环控制技术

采用氧传感器实现空燃比闭环控制。用氧传感器测得的氧含量来反馈天然气成分和燃烧情况，标定出各工况下的最佳空燃比 λ 值，标定完的各数据存储在

电控单元 ECU 里。双燃料发动机运行时，首先采集以上所述参数，ECU 把存储的标定数据和当前的参数综合起来，计算出需要的天然气流量，通过控制天然气节气门开度控制天然气流量。标定及运行过程中，ECU 实时监控发动机的各项参数，尤其是转速、各种压力、温度参数，以便更精确地控制空燃比。

(2) 均匀燃烧控制技术

利用排气温度和最高燃烧压力进行分析，通过电液执行机构，对各缸天然气进气量按平均功率进

行微调，消除做功不均现象。图3为210双燃料发动机天然气喷射控制原理图。

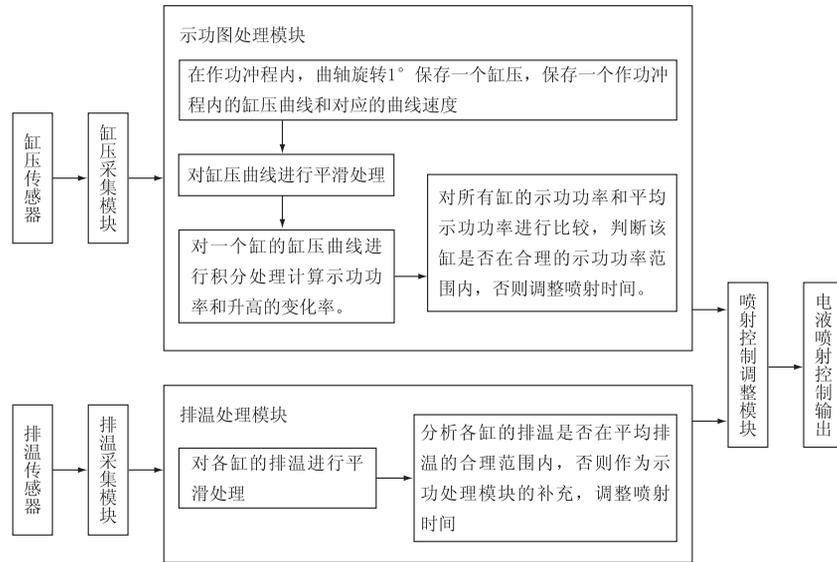


图3 210双燃料发动机天然气喷射控制原理图

3.2 天然气/柴油双燃料发动机稳定控制及安保技术

(1) 采用多点顺序喷射控制和空燃比调节技术，通过排温或缸压检测各缸做功情况，独立调节各缸的天然气进气量，使各缸能够实现均匀燃烧。

(2) 采用“准缸内”的天然气混合方式。把燃料喷射装置安装在进气歧管上，使天然气在进气门前喷射并与空气混合，天然气基本上是直接进入气缸，同时设计喷射时间以避免气门重叠角，能够有效地防止发动机的回火、放炮问题，极大地提高发动机的安全性。

3.3 天然气/柴油准内混电液联控技术

天然气/柴油准内混电液联控技术是一个集燃料喷射控制、实时数据采集、发动机监控保护、故障诊断、通信于一体的发动机电子管理系统，主要由硬件系统、执行机构和软件系统组成。硬件系统主要实现微处理器、电源正常工作，信号采集处理、通讯、显示及报警输出等功能。

执行机构通过装置上的电磁阀来控制天然气喷射阀的开启。ECU判断发动机的运行情况，通过向电磁阀发出信号进行天然气喷射状况的控制。电磁阀的主要作用是控制液压油的进入和退出，进入时刻、持续时间、退出时刻、响应速度、稳定性等是液电联控技术的关键。

软件系统的主要目的是根据当前机器运行状态计算当前天然气的喷射量，标定过程会形成控制MAP图，保证发动机在最佳状态运行，同时对负荷突卸、故障报警等特殊情况进行最合理反应。

3.4 天然气燃料喷射系统制造技术

喷射系统关键部件为天然气喷射阀，其采用电液联动天然气气门的喷射方式，天然气气门口径比较大，通过控制天然气进气时间调整天然气的喷射量，以适应各种复杂的气源。用电磁阀控制高压液压系统，通过液压驱动天然气气门的开启。电磁阀具有高速的动态响应能力，从而满足大功率气体发动机对燃料喷射的动态响应和燃料流量的需求。

3.5 天然气/柴油双燃料发动机喷油器冷却技术

该冷却系统以气缸盖为设计基础，通过设计在缸盖内部的密封冷却结构：进口通道、冷却通道和出口通道，实现冷却介质的输送，从而降低喷油器油嘴的热负荷，提高喷油器的使用寿命，同时提高发动机的可靠性。

3.6 天然气进气、喷射技术

天然气进气总管为分配管，共有两根支管连接在一起，每个支管供应三个缸的天然气，并按照发火顺序合理避开两缸相连造成的进气抢气现象，保证发动机运行平稳。

双燃料发动机在进气歧管上布置了进气口，并设计了独特的气体引流装置，保证天然气与空气混合均匀，并快速进入燃烧室。

上述为210系列双燃料发动机能够实现自动控制的关键技术，只有解决了以上关键技术，才能制造出性能可靠的产品。

4 自动控制的实现

双燃料发动机在纯柴油模式下启动，待发动机运

行稳定后,开始加负荷,到 50% 负荷时,开始转换为双燃料模式。控制天然气供给系统中天然气节气门的开度及天然气喷射系统中喷射阀的开闭时间及升程,以供给双燃料发动机足够的天然气,同时保证发动机运行稳定可靠,以达到额定负荷下 80% 替代率。

试验过程中,在中大负荷时开始加少量天然气,转换到双燃料模式,再慢慢增加负荷至满负荷,同时逐步增加节气门开度,并控制喷射阀喷射脉宽、喷射时间等,直到达到 80% 的燃油替代率。替代率根据油耗仪显示的燃油消耗量换算得出。达到了 80% 替代率之后,还要通过不断调试喷射阀及柴油机供油提前角、燃油喷射量,以获得一个稳定可靠的运行状态,其间各缸排温和最高燃烧压力是主要的技术指标,通过不断摸索、调试,得出满负荷状态下的最优参数,ECU 记录当时数据,这样就完成了数据采集,然后检测控制系统能否控制双燃料发动机,实现双燃料模式下的稳定运转。

双燃料发动机加负荷到 50% 时,打开双燃料控制系统开关,转换到双燃料模式,控制系统检测当前的转速信号、油门位置信号等,确定当前的运行状态,再根据之前采集到的数据信号来判断是否达到了设定的燃油替代率,如果没有就通过控制天然气节气门和天然气喷射阀来改变天然气进气量,从而获得目标替代率,完成自动控制。图 4 为 210 双燃料发动机自动控制原理图。

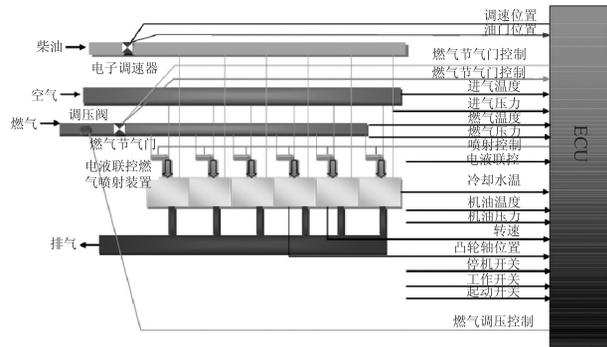


图 4 210 双燃料发动机自动控制原理图

如果出现负荷突加、突卸的情况,由于天然气模式相对反应慢,有可能造成后燃、回火放炮现象出现,为此设定:如果双燃料发动机的转速波动超过一定值,双燃料控制系统就会立即关闭所有喷射阀,靠柴油机自身的调速能力应对负荷波动过大的情况,待运行稳定后再逐步加入天然气,实现目标替代率。

5 试验结果

淄博柴油机总公司在 2012 年 11 月完成了 210

系列双燃料发动机的型式认可试验,整个过程都是控制器自动控制,各项性能指标均符合设计要求,燃油替代率达到了 70% ~ 80%。双燃料模式下排温较纯柴油模式略低,最高燃烧压力稍高,图 5 为 210 双燃料发动机推进特性曲线。同时还进行了 NO_x 排放测试试验、振动测试试验、噪声测试试验、烟度测试试验等,双燃料模式下排气中几乎不含微粒,NO_x 排放较纯柴油模式时稍低,噪声、振动等级与纯柴油模式相当,达到了设计目标。

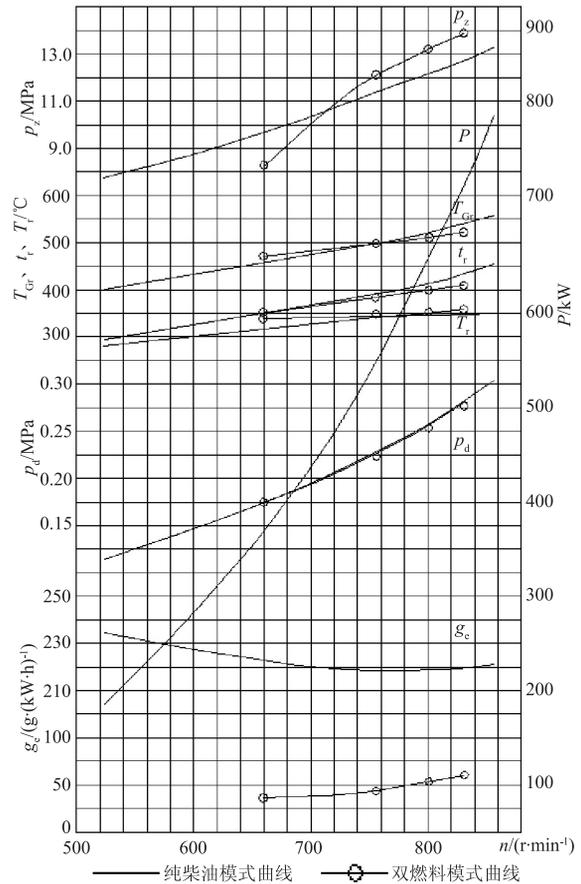


图 5 210 双燃料发动机推进特性曲线

6 结论

综上所述,采用上述一系列关键技术后,210 型双燃料发动机实现了自动控制,双燃料模式下最高燃油替代率达到 80%,从而获得了较好的经济性能,同时,其它性能指标均达到设计要求,标志着 210 双燃料发动机研发取得成功。

参考文献

[1] 周龙保. 内燃机学[M]. 北京:机械工业出版社,2005.
 [2] 孙建文. 天然气/柴油双燃料发动机的实验研究[J]. 内燃机与动力装置,2011(4).
 [3] 朱建元. 船舶柴油机[M]. 北京:人民交通出版社,2004.