

2012年大功率柴油机国际技术交流研讨会专题报道

创船机民族品牌,为顾客提供领先动力

——淄博柴油机总公司双燃料发动机发展与创新

陈山,穆振仟

(淄博柴油机总公司,山东淄博255000)

摘要: 概括介绍了国内外双燃料发动机的发展现状,从双燃料发动机的总体设计思路、工作原理、主要系统设计以及应用情况等方面,着重介绍了淄柴双燃料发动机产品的研发概况及发展创新。

关键词: 双燃料发动机;天然气;研发;参数

中图分类号: TK432 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)01-0001-03

Creating National Brand of Marine Diesels, Providing Customers with Leading Power

Chen Shan, Mu Zhenqian

(Zibo Diesel Engine Parent Company, Shandong Zibo 255000)

Abstract: The development status of dual-fuel engines both home and abroad is generally introduced. Form the aspects of general design ideas of dual-fuel engines, operation principles, main system design, as well as application condition, the introduction especially focuses on the development Zichai dual-fuel engines and their innovations.

Keywords: dual-fuel engine; natural gas; development; parameters

0 前言

日趋苛刻的排放法规和能源危机成为了内燃机行业关注的焦点,世界各国都在不断开发新能源,寻找新的代用燃料,其中天然气作为气体燃料,具有良好的低排放特性、低燃料消耗和资源丰富以及配置合理等突出优点,是石油的理想替代能源。天然气(包括液化石油气)是仅次于煤和石油的第三大能源,天然气工业在近20年中发展迅速,天然气在世界一次能源结构中所占的份额从二十世纪五十年代的9.7%已经上升到目前的23.8%。根据世界石油、天然气勘探和开采量预测,二十一世纪将是以天然气为主体的能源时代。

我国是一个人均占有资源相对贫乏的国家,节能减排责任重大。在我国物流业是仅次于制造业的石油消费第二大行业,全行业石油制品消耗占全国的34%左右,二氧化碳排放量占18.9%,并且这一比例仍逐年上升。而船舶,长期以来一直是我国

物流行业的消耗和排放“大户”。因此,以技术创新为先导,大力提升船舶动力装置的节能减排能力,走绿色船舶动力发展之路,已成为贯彻落实科学发展观、建设节能型社会的必然选择。

1 双燃料发动机发展现状

以天然气为主燃料,以少量柴油作为引燃燃料工作的发动机,称作双燃料发动机。目前天然气/柴油双燃料发动机的供气方式主要有缸外供气和缸内直喷供气两种。其中缸外供气又分为进气管混合器供气和进气喷射两种形式。

(1) 电控混合器式双燃料发动机比较典型的是二十世纪九十年代的荷兰 Deltec 公司和美国 Caterpillar 公司的 Caterpillar 3208CNG/柴油双燃料发动机。

(2) 进气喷射式双燃料发动机是将天然气引至进气总管或进气口处,燃气控制系统利用天然气喷射阀来实现控制。该方式又分为单点和多点两种控制方式;电控单点喷射方式发动机比较典型的是

Cummins 的 C 系列电控进气道单点喷气增压中冷天然气发动机。电控多点喷射方式发动机比较典型的是奔驰公司的 OM352 双燃料发动机、美国 GM 公司的 MED16645E3B 双燃料机车发动机、德国 MAN-B&W 公司的 MAN28/32 双燃料发动机。

(3) 天然气缸内高压直喷(HPDI-High Pressure Direct Injection System)和缸内扩散燃烧理论是由加拿大 British Columbia 大学 Philip Hill 教授首先提出的,加拿大 Wesport 公司在此基础上于 1997 年 4 月推出世界上第一辆采用 HPDI 燃烧系统的天然气公交汽车,目前比较成熟的机型有底特律柴油机公司的 6V92TA 发动机等。

2 溜柴双燃料发动机发展现状

溜柴在原船用柴油机的基础上,以中国船级社《气体燃料动力船检验指南》、《钢质海洋渔船建造规范》等为主要研发依据;以安全性、动力性、经济性为研发原则开发了 Z170、210 系列船用双燃料发动机。

2.1 Z170 系列双燃料发动机

(1) 主要技术参数(表 1)

表 1 Z170 系列双燃料发动机主要技术参数

型式	直列、四冲程、直喷、增压中冷
气缸数	6、8
气缸直径/mm	170
活塞行程/mm	200
持续转速/($r \cdot \min^{-1}$)	1 000 ~ 1 500
持续功率/kW	220 ~ 600
平均有效压力/MPa	0.918 ~ 1.454
燃油消耗率/($g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$)	200(纯柴油)
发动机热耗率/($MJ \cdot (kW \cdot h)^{-1}$)	≤ 10 (双燃料)
燃油替代率	70%
机油消耗率/($g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$)	≤ 1.0

(2) 燃气供给方式

采用预混电控进气系统。

(3) 燃气控制系统组成

① 燃气控制器:通过采集到的各种信号对燃气执行器发出指令。

② 燃气执行器:接收控制器的指令并执行,控制蝶阀开度。

③ 燃气蝶阀:通过摇臂连接在执行器上,实现对天然气流量的控制。

④ 混合器:在增压器前将空气与天然气混合均匀。

⑤ 速度传感器:进行基本的转速信号采集。

⑥ 燃气压力传感器:对天然气压力进行监测。

⑦ 增压压力传感器:激活燃气随增压压力变化功能开关,某一时刻燃气进气量会受该时刻增压压力的限制,提升发动机稳定性。

⑧ 油门位置传感器:监测每一时刻油门位置的变化,为燃气的限制提供依据。

⑨ 排温传感器:当排温高于设定值后,将会产生报警,双燃料模式关闭,排温正常后,发动机将会自动重新恢复双燃料模式运行。

(4) 燃气控制系统工作原理

发动机在启动和怠速时按纯柴油模式运行,当发动机的转速和负载达到双燃料控制器中 MAP 图设定工况时,控制器自动打开燃气阀,发动机进入双燃料工作模式。

燃气控制部分完全独立于发动机的柴油系统,双燃料控制器通过发动机调速器的油门位置信号实现对发动机燃气的控制:当燃气开始做功时,一部分功率被燃气替代,调速器会自动减小油门,发动机仅需少量柴油就可维持相同的转速和负载;相反,当燃气做功减少时,调速器会自动增大油门增加柴油的量,以保证发动机维持相同的转速和负载。

发动机根据“全程最低燃油位置曲线”即目标设定曲线,设定每个工况的燃气最大进气量,配合多种修正与限制功能对其进行动态限制,减少因燃气过多而引起的爆震及排温过高现象,从而提高发动机的稳定性。

2.2 210 系列双燃料发动机

(1) 主要技术参数(表 2)

表 2 210 系列双燃料发动机主要技术参数

型式	直列、四冲程、直喷、增压中冷
气缸数	6
气缸直径/mm	210
活塞行程/mm	290
持续转速/($r \cdot \min^{-1}$)	600 ~ 830
持续功率/kW	400 ~ 735
平均有效压力/MPa	1.33 ~ 1.76
燃油消耗率/($g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$)	202(纯柴油)
发动机热耗率/($MJ \cdot (kW \cdot h)^{-1}$)	≤ 11 (双燃料)
燃油替代率	70% ~ 80%
机油消耗率/($g \cdot (kW \cdot h)^{-1}$)	≤ 1.0

(2) 燃气供给方式

采用电液联控多点喷射系统。

(3) 燃气喷射工作原理(图 1)

电液联动燃气喷射机构通过装置上的电磁阀来

控制液压回路，继而控制燃气喷射阀的开启。电控单元的驱动信号使电磁阀开启，液压系统开始工作，燃气喷射阀随之开启，燃气由燃气总管经进气歧管进入气缸。当电磁阀关闭切断液压油提供的压力，燃气喷射阀复位，关闭燃气通道。液压喷射阀工作腔内的液压油流到回油共轨管，最后流回油箱。

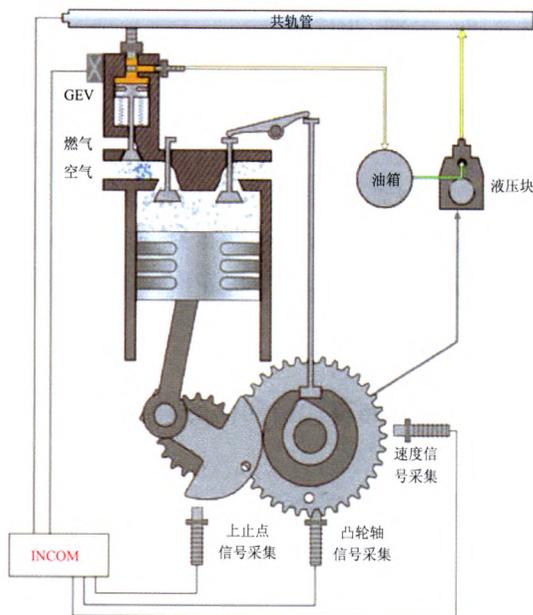


图1 燃气喷射的工作原理

(4) 燃气控制系统组成

- ① 燃气控制器：通过采集到的各种信号对燃气执行器发出指令。
 - ② 燃气执行器：接收控制器的指令并执行指令，控制蝶阀开度。
 - ③ 燃气蝶阀：实现对天然气流量的控制。
 - ④ 燃气喷射阀：在各缸进气歧管进行燃气喷射。
 - ⑤ 速度传感器：进行基本的转速信号采集。
 - ⑥ 燃气压力传感器：对天然气的压力进行监测。
 - ⑦ 增压压力传感器：激活燃气随增压压力变化功能开关，某一时刻燃气的进气量将会受到该时刻增压压力的限制，提升发动机的稳定性。
 - ⑧ 排温传感器：当排温高于设定值后，将会产生报警，双燃料模式关闭，排温正常后，发动机将会自动重新恢复双燃料模式运行。
 - ⑨ 液压控制系统：通过高压液压油的通断实现燃气喷射阀的开启、关闭。
 - ⑩ 凸轮轴位置传感器：采集凸轮轴位置信号，确定发动机发火顺序。
- (5) 燃气控制策略
- ① 采用燃气喷射空燃比闭环控制技术。发动

机的空燃比燃烧控制，需要监控发动机的转速、进气压力、进气温度、燃气压力、燃气温度、功率等参数；然后标定出各工况下燃气流量，最后将各数据表存储在电控单元 ECU 里。发动机运行时，通过综合存储的标定数据和当前的运行参数，控制燃气节气门开度控制燃气流量，使燃气流量在一定的水平上，使其不受燃气压力和温度变化的影响。

② 燃烧均匀控制技术。利用于排温和最高燃烧压力计算出的示功图，通过电液执行机构，各缸按照平均功率进行微调，消除做功不均现象，具体流程见图 2。

③ 负荷控制技术。根据负荷功率变送器的功率，根据功率 MAP 控制进气节气门的开度，调节燃气门的开度控制燃气的流量，实现发动机的负荷控制。

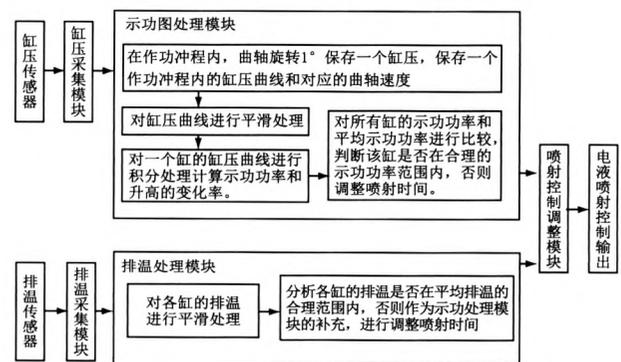


图2 示功图计算和喷射控制

2.3 研发状况

Z170、210 系列双燃料发动机在性能试验基础上，分别进行了 100h 台架耐久试验，并已完成船检、渔检型式认可和排放检测认可试验。发动机综合燃油替代率分别达到 70% ~ 80%，动力性达到柴油机指标。

3 结论

淄博柴油机总公司隶属于国家国资委所属中国农业发展集团有限公司，是我国大功率中高速船用柴油机专业化制造企业。双燃料系列发动机是公司为了适应市场需要及企业战略发展需要，设计开发的环保新型发动机。开发设计过程中充分吸取了国内外同类产品的先进设计理念，以高可靠性、经济性为设计原则，使其各项性能指标达到了国内领先水平。该系列发动机的成功研发进一步扩展了公司产品的应用范围，满足了更多用户的需求；同时对大幅降低船舶燃料成本、降低有害排放，具有重大意义。

(下转第 8 页)

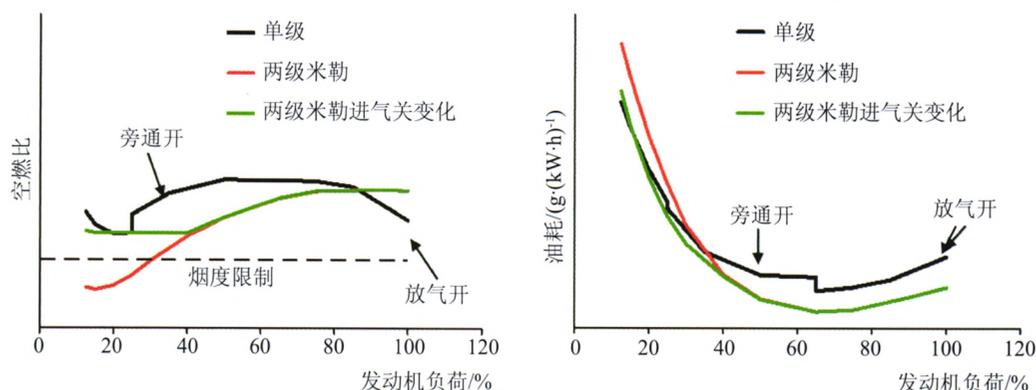


图 12 两级增压柴油机性能仿真结果

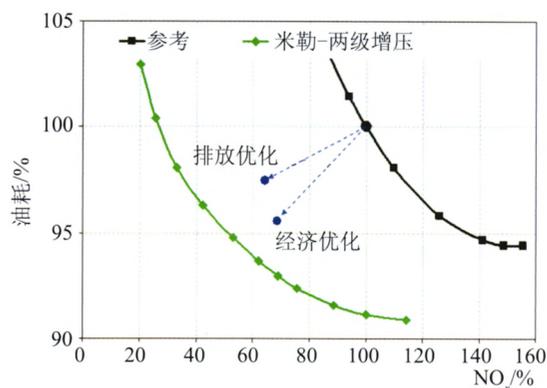


图 13 两级增压柴油机性能仿真和试验结果

3 总结

发动机未来发展的主要因素：功率密度、发动机效率和排放。ABB 公司 A100 型涡轮增压器是专为高压比高效率目的而设计，严格的质量认证程序和用户使用经验，证明 A100 系列增压器是一款高可靠性、高效率和易于服务的产品。

两级增压将是未来发动机开发的可靠平台，两级增压系统和其它发动机技术，如米勒定时、废气再循环、SCR 和高压共轨等技术，改善四冲程柴油机油耗与 NO_x 排放之间权衡曲线。两级增压在商业气体机上应用非常成功，平均有效压力及发动机效

率都得到提高；在柴油机方面也具有同样的潜力，给不同配置发动机带来强大的优势。ABB 公司下一步的工作：扩大两级增压在大功率发动机不同应用领域的应用，进一步优化两级增压技术。

参考文献

- [1] P. Neuenschwander, M. Thiele, M. Seiler. New turbochargers for more powerful engines running under stricter emissions regimes [C]. CIMAC 2010 Congress, NO, 128.
- [2] E. Codan, S. Bernasconi, H. Born. IMO III emission regulation; Impact on the turbocharging system [C]. CIMAC 2010 Congress, NO, 139.
- [3] E. Codan, C. Mathey, A. Rettig. 2-stage turbocharging-Flexibility for engine optimisation [C]. CIMAC 2010 Congress, NO, 293.
- [4] www.ge-J920gasengine.com.
- [5] Klaus Payrhuber, Christian Trapp. GE's new Jenbacher Gas Engines with 2-stage Turbocharging [C]. 7. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien IEWT 2011.
- [6] Tero Raikio, Bjoern Hallbaeck, Andreas Hjort. Design and first application of a 2-stage turbocharging system for a medium-speed diesel engine [C]. CIMAC 2010 Congress, No. 82.
- [7] http://www.wartsila.com.

(上接第 3 页)

参考文献

- [1] 船用柴油机设计手册编辑委员会. 船用柴油机设计手册 [M]. 北京:国防工业出版社,1982.
- [2] 高青,量宝山,李虎. 天然气/柴油双燃料发动机电控喷气技术研究 [J]. 天然气工业,1998,18(2):68-72.

- [3] 李国岫. 柴油机-天然气发动机电控气体燃料喷射技术的研究 [J]. 车用发动机,2000(2):8-11.
- [4] 周龙保. 内燃机学 [M]. 北京:机械工业出版社,2005.
- [5] 沈恒荣,刘急. 内燃机性能研究 [M]. 北京:机械工业出版社,1981.