

综述与机型

TBD234 天然气/柴油双燃料发动机改装技术研究

马 宁, 龚礼东, 周 军

(七一一研究所, 上海 200090)

摘 要: 分析 TBD234V6 型柴油机改装为天然气/柴油双燃料发动机的技术原理, 对关键部件及控制策略进行了设计和研究。台架试验表明, 改装后的双燃料发动机与原机相比, 动力性保持不变, 排放有部分改善; 在负荷突加突卸的情况下, 具有较好的响应特性; 燃油替代率较高; 系统具有良好的操作性、安全性和可靠性; 经济效益和社会效益较好。

关键词: 天然气/柴油双燃料发动机; 改装; 试验; 性能

中图分类号: TK433 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)04-0008-03

Research on Modification Techniques of TBD234 Natural Gas/Diesel Dual Fuel Engines

Ma Ning, Gong Lidong, Zhou Jun

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090)

Abstract: The techniques of modifying TBD234V6 diesel engine into natural gas/diesel oil dual fuel engine are introduced, the key components and controlling strategy were developed and researched. The test bed research show that the dynamic performance of modified dual fuel engine remains unchanged compared with the prototype; the emission is partially improved; in the conditions of sudden load and unload, it shows good response; the fuel replacement ratio is high; the operative performance is good; the safety and reliability are satisfactory; it achieves good economic and social benefits.

Keywords: natural gas/diesel dual fuel engine; modification; test; performance

0 引 言

近年来, 在内河、近海航运燃料消费领域, 传统的柴油等能源产品价格居高不下, 导致航运企业运输成本不断攀高; 也不符合国家发展低碳绿色经济、节能减排, 实现可持续发展的能源发展战略。随着国家能源结构的调整及西气东输工程的不断推进, 天然气发动机市场增长迅速。但单一燃料天然气发动机的价格很高, 通常是相应普通型柴油机的 1.5 倍以上, 初期投资较大; 同时原有的柴油机不得不做报废处理, 造成浪费; 而当天然气供应不稳定或燃气品质不好时, 天然气发动机不得不停机, 造成停电或停机事故。而柴油/天然气双燃料发动

机因其具有使用燃料灵活、碳烟排放少、改动成本低、易于实施等特点而具有良好的推广前景。

1 天然气/柴油双燃料发动机的改装目标

天然气/柴油双燃料发动机的改装需达到以下目标: 与原机相比动力性基本保持不变, 排放上应有明显的改善; 对于工况变化较大的应用场合, 在负荷突加突卸的情况下, 应具有较好的响应特性; 改造后的发动机具有较高的燃油替代率; 双燃料系统具有良好的操作性、安全性和可靠性。

1.1 改装发动机的选型

本项目选择河柴的 TBD234V6 型船用柴油发电机组为研究对象, 机组主要参数如下: 发电机组额

收稿日期: 2013-01-06; 修回日期: 2013-03-04

作者简介: 马宁(1985-), 男, 助理工程师, 主要研究方向为双燃料发动机研制技术, E-mail: ma-ning1985@163.com。

定转速 1 450(r·min⁻¹)；额定功率 150 kW；柴油机额定转速 1 500(r·min⁻¹)；额定功率 186 kW。

1.2 双燃料发动机改装系统技术原理

目前双燃料发动机技术，按照天然气供气方式可分为气缸内直接喷射和气缸外预混供气两种方式。气缸外预混供气又分为各气缸进气歧管多点喷射和进气总管单点供气两种。其中进气总管单点供气形式简单、发动机改动小、改造成本低，因此，这种供气方式比较适合我国目前的旧机改装市场。本项目针对增压器前预混单点供气方式进行改装技术研究。改装后系统供气技术原理如图 1 所示。

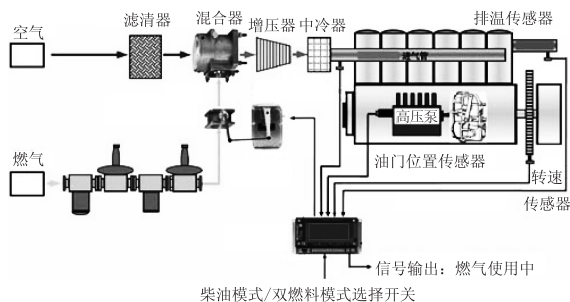


图 1 增压器前预混单点供气技术原理图

由图 1 可见，发动机本体没做任何改动，仅在发动机空气滤清器和涡轮增压器之间加装混合器。空气和天然气在增压器前通过混合器预混合后，利用涡轮增压器的负压将混合气体通过进气管带入燃烧室，借助柴油压燃引燃天然气，通过燃烧天然气来替代一部分燃油做功，从而达到天然气替代部分燃油做功的目的。

1.3 天然气的供给系统

天然气的供给系统(图 2)包括压缩天然气储存钢瓶组、减压撬、截止阀、天然气过滤器、等压减压阀、开关电磁阀、功率阀、混合器等。其中，减压撬由三级减压阀、加热器、安全阀、流量计等构成。

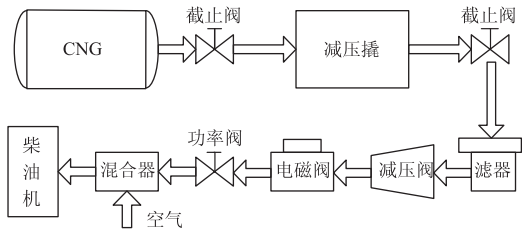


图 2 天然气供给系统框图

(1) 压缩天然气储存钢瓶组。本项目采用储量为 200 Nm³ 的 CNG 钢瓶组，为双燃料发动机提供压缩天然气。

(2) 减压撬。预混合式双燃料发动机所需的天然

燃气为低压天然气，要使气瓶中的高压压缩天然气转换为适合发动机所用的低压天然气，必须经过多级减压过程减压。本项目配置的减压撬采用了三级减压模式，减压后的天然气压力约 20 kPa，处理能力为 120 Nm³/h。

(3) 加热器。储存于高压容器中的天然气，在减压过程中，其体积膨胀需要吸收大量的热，这一效应会导致整个天然气供气系统内高凝点气体凝结成冰状，引起系统堵塞，无法正常供气。本项目采用电加热，通过热交换器对管路中的天然气进行加热，使天然气出口温度达到常温。

(4) 过滤器。该部件的功用是滤除天然气管路中的杂质，防止系统堵塞。

(5) 等压减压阀。将经减压撬减压后的天然气进一步减压，以满足双燃料发动机的进气压力要求。本项目中经等压减压阀减压后的天然气压力为 7 kPa。

(6) 开关电磁阀。双燃料发动机的工作模式由开关电磁阀控制，当开关电磁阀打开时，为双燃料工作模式，而当开关电磁阀关闭时，为纯柴油工作模式。本项目所选用的开关电磁阀为双阀控制，其中一只阀为快开快闭，另一只阀为慢开快闭，一方面保证在紧急情况下迅速切断气源，另一方面又不至于天然气进气过猛，导致柴油机瞬间运行不平稳。

(7) 功率阀。调节天然气的进气量，确保双燃料发动机在全工况或常用工况下有较好的燃油替代率。

(8) 混合器。混合器是进气总管单点供气双燃料发动机特有的部件，它将经过减压的天然气和进入发动机的空气均匀混合后，供给发动机，在气缸内被压燃的柴油点燃，继而燃烧做功。混合器采用文丘里喷管形式，喷管中间形成较高的进气流速，形成对天然气的抽吸作用。这种混合器一般多用于天然气的负压供气或微压供气。

1.4 天然气控制系统

双燃料发动机在启动和怠速时按纯柴油工作方式进行，在正常工作时按双燃料工作方式运行。

发动机运行到设定工况后，开启双燃料系统，系统自动检测各传感器参数，如果参数正常，开关电磁阀打开，天然气和空气在混合器中混合后进入发动机，被柴油压燃引燃做功，柴油供给量减少，从而达到天然气替代部分燃油做功的目的。一般的燃油替代率在 50% ~ 70% 之间。系统运行过程中，一旦监控系统测试到的运行参数超过设定值，控制系统立即切断气源，进行报警，系统自动切换到柴油模式，不会影响机组的正常运行。

控制系统采用开环控制方式，实时监测柴油机

的进、排气温度、压力以及油、水温等运行参数，通过设定的程序来控制天然气进入柴油机气缸，进行双燃料工况运行。该系统由电源模块、采集模块、显示模块、运行模块、ECU 单元、通讯模块以及安保模块组成，见图 3。

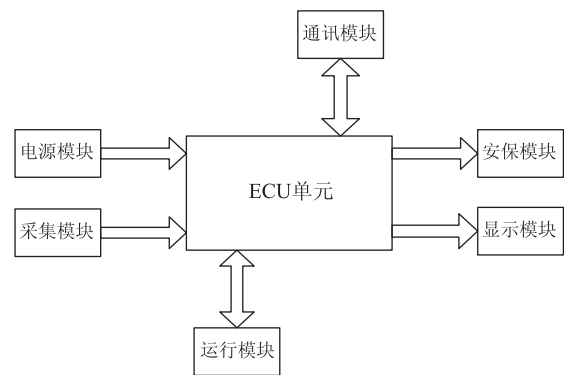


图 3 控制系统框图

其中，电源模块由整流单元和隔离单元组成，将 220 V 交流电源整流后，经隔离、滤波电路处理后，为系统提供稳定的 24 V 电源。

采集模块是将柴油机主要传感器的电信号经多级滤波电路和电压跟随电路处理后，送给 ECU 单元，作为整个控制系统的判断依据。

显示模块包括电源指示、输入输出指示和故障指示三部分。其中故障指示可以用来指示系统最多 32 种故障代码。

运行模块主要包括对双燃料系统起动和停止的控制。

ECU 单元为整个控制系统核心，根据采集模块采集的信号判定当前柴油机工况，执行设定的程序，实现双燃料系统的运行。

通讯模块对运行、报警等参数实施在线标定与监测。

安保模块提供包括柴油机运行参数越界、系统掉电、柴油机紧急停机联锁、天然气泄漏以及风机与柴油机联锁等情况下的安全保护，确保整个系统安全运行。

2 发动机台架试验结果分析

对改装后的双燃料发动机纯柴油工况与双燃料工况时的燃油替代率、排温及排放指标、负荷特性等性能进行了大量的对比试验。

2.1 燃油替代率测试

经台架试验验证，双燃料发动机的燃油替代率基本维持在 50% ~ 70% 之间，尤其在中高工况下，燃油替代率更是达到 65% ~ 70%，见图 4。总体来

讲，双燃料工况下发动机运行平稳、柔和，燃油替代率达到设计要求。

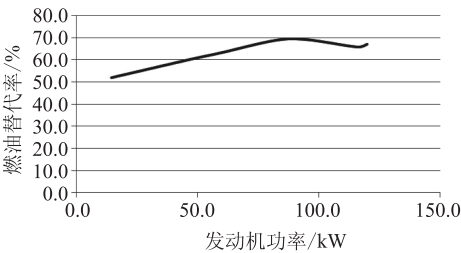


图 4 TBD234V6 国产模块配机试验燃油替代率

2.2 排温及排放测试

从图 5 可以看出，目前采用的改造技术可以较为有效地控制发动机的热负荷，所有双燃料工况下，柴油机的涡轮后排温与单柴油工况相比，均在偏差范围内。

关于双燃料发动机的排放，双燃料模式下，在中低工况时，NO_x 排放下降明显，但在高工况时，NO_x 排放有所小幅上升。在柴油模式及双燃料模式下，CO₂ 排放基本持平。总体而言，双燃料运行模式对排放指标有部分改善。

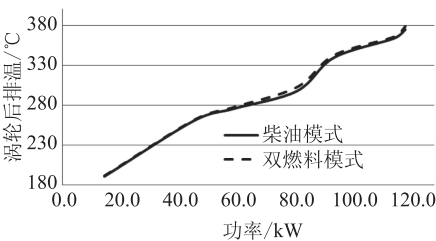


图 5 TBD234V6 国产模块配机试验涡轮后排温对比

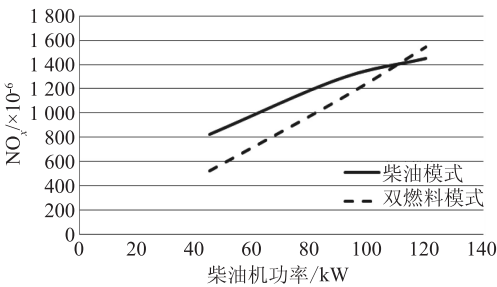


图 6 TBD234V6 国产模块配机试验 NO_x 排放对比

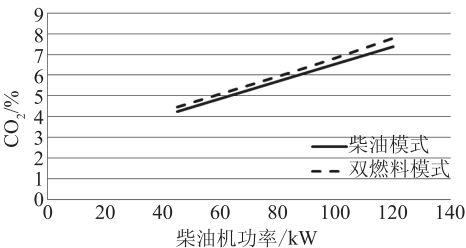


图 7 TBD234V6 国产模块配机试验 CO₂ 排放对比

(下转第 25 页)

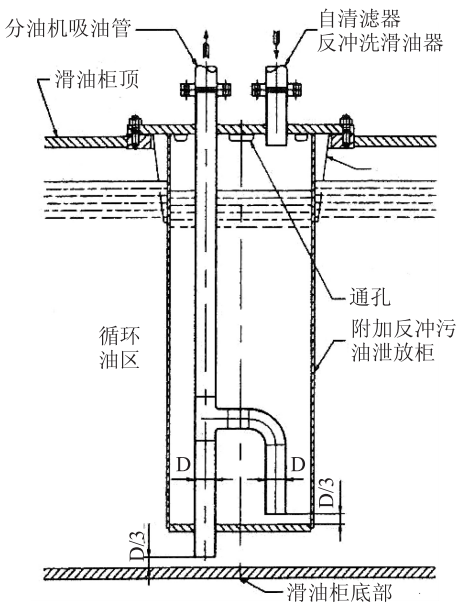


图 4 特殊设计反冲污油泄放柜结构图

这种特殊的吸油布置，为分油机与滑油柜及附加柜组成两个连接，也保证两柜油位一致，油位一致是因为穿入反冲油附加柜的支管与主管虽直径相同但长度不同，支管流阻大，分油机吸油以循环油区为主，再有两柜在顶底部有连通。当反冲污滑油冲入时，会给附加柜一个较高的液位，位差使分油机先从附加柜吸污油，直到与滑油柜循环油区液位一致，之后，分油机将从循环油区吸油。这种保证分油机处理功能的特殊布置，使反冲的污滑油杂质

不会扩散并完全由分油机吸油管捕捉而不会吸空，结构简单、运行高效成本低。系统净化功能的完善，可保证滑油获得好的清洁效果，确保柴油机运行安全。

5 结 论

近年来，经上述优化设计或改造过的机组，滑油自动反冲洗滤器工作负荷大为降低，每小时反冲数仅 2~3 次；烛式滤芯大量破损、再生器滤网大量更换的问题得到解决，滑油系统进入无故障运行；经抽样化验，滑油污染度指标大大降低，只要碱值不低于滑油标准，可长期使用不换油。

参考文献

[1] BollFilter protection systems[R]. 2001.
[2] MAK project M552C/M601C[R]. 1998.
[3] 关子杰. 内燃机润滑油原理[M]. 北京:机械工业出版社,1996.
[4] 杜荣铭. 船舶柴油机[M]. 大连:大连海事大学出版社, 1997.
[5] 陈特奎. 大功率柴油机发电厂技术手册[M]. 华南理工大学出版社,1998.
[6] 壳牌公司. 柴油机电厂技术研讨会及 shell CARE 发布会[R]. 1998.
[7] MAN B&W ME Engine Selection Guide 198 48 29-7.2 [R].

(上接第 10 页)

2.3 负荷特性测试

改造后的发动机运行平稳，功率和转速与原发动机保持一致。在负荷突加突卸的情况下，具有较好的响应特性。

3 结束语

本文对双燃料发动机改装关键部件及控制策略进行了设计和研究。台架试验结果表明：双燃料发动机改装效果良好，燃油替代率达到 50%~70%，改装后的发动机运行平稳，功率和转速与原发动机保持一致，有着较好的经济效益和社会效益。

该技术在实际应用中也存在一些问题，例如在低负荷(10%~25%)时气体燃料燃烧不完全，发动机容易产生游车现象，排气中 HC 和 CO 浓度较高。所以在实际运行时，建议在低负荷工况下，采用纯柴油模式工作，使双燃料发动机的动力性、经济性以及排放特性总体达到最佳状态。

参考文献

[1] 孙济美. 天然气和液化石油气汽车[M]. 北京:北京理工大学出版社,1999.
[2] 黄海波. 燃气汽车结构原理与维修[M]. 北京:机械工业出版社,2002.