

# 中速柴油机双燃料改造技术应用研究

张龙军

交通运输部北海救助局

DOI:10.12238/pe.v1i2.6462

**[摘要]** 本研究旨在探讨中速柴油机的双燃料改造技术应用,以提高其性能、降低排放并增强适应性。详细介绍了目标机型的技术参数,包括缸数、转速、功率以及关键的技术特点。随后,概述了双燃料改造方案,突出了供气系统和燃气阀的关键作用。对供气系统的组成和作用进行了解释,同时强调了燃气阀的研发和性能验证。控制系统硬件设计部分介绍了分布式控制架构、技术要求、冗余设计以及燃气阀驱动电路的设计。接下来,控制系统软件开发部分描述了内部单元的功能分配,主芯片选择,替代率控制逻辑和人机交互单元的设计。最后,提供了替代率测试和各缸一致性测试的实验结果,以验证双燃料系统的性能。

**[关键词]** 中速柴油机; 双燃料改造技术; 应用研究

**中图分类号:** TK42 **文献标识码:** A

## Research on the Application of Dual Fuel Transformation Technology for Medium Speed Diesel Engines

Longjun Zhang

Beihai Rescue Bureau Ministry of Transport

**[Abstract]** This study aims to explore the application of dual fuel transformation technology in medium speed diesel engines, in order to improve their performance, reduce emissions, and enhance adaptability. Detailed introduction of the technical parameters of the target model, including cylinder number, speed, power, and key technical features was carried out. Subsequently, an overview of the dual fuel transformation plan was provided, highlighting the key roles of the gas supply system and gas valves. The composition and function of the gas supply system were explained, while emphasizing the development and performance verification of gas valves. The hardware design section of the control system introduces the distributed control architecture, technical requirements, redundancy design, and the design of the gas valve drive circuit. Next, the software development section of the control system describes the functional allocation of internal units, selection of main chips, replacement rate control logic, and design of human-machine interaction units. Finally, experimental results of substitution rate testing and cylinder consistency testing were provided to verify the performance of the dual fuel system.

**[Key words]** medium speed diesel engine; dual fuel transformation technology; application research

### 引言

中速柴油机一直是船用和发电领域的核心动力装置,但在能效和环保性方面的需求不断提高。为了应对这些挑战,双燃料系统应运而生。本研究以某型号船用中速柴油机为对象,旨在改造它以使用天然气作为辅助燃料,以提高效率、降低排放,并增强适应性。在改造过程中,供气系统和燃气阀被认为是关键组件,它们的研发和性能验证将直接影响双燃料系统的成功应用。

### 1 双燃料改造方案

#### 1.1 目标机型参数的介绍

本研究的目标是某型号船用中速柴油机,其主要技术参数

如下:

缸数: 6

额定转速: 500r/min

额定功率: 1, 103kW

冲程: 四冲程

柴油机功能: 推进或发电

燃气进气方式: 歧管进气

引燃方式: 机械式油泵

这些参数为提供了改造的基础,以实现双燃料供应并提高其性能。

### 1.2 双燃料改造方案的概述

双燃料改造方案的主要目标是将这台柴油机升级为能够使用天然气作为辅助燃料的双燃料系统。这将提高其效率,减少排放,并提高其适应性。改造方案包括供气系统和燃气阀的研发。

### 1.3 供气系统的组成和作用

供气系统的组成和作用是中速柴油机双燃料改造中的关键环节。这一系统由多个精密组件构成,各自发挥着重要的功能,以确保天然气顺利成为柴油机的辅助燃料。

供气站是供气系统的核心之一,它包括储罐和控制安保系统。储罐用于存储大量的天然气,以确保连续供应。同时,控制安保系统监测和管理天然气供应,以确保安全性和可靠性。这一组件的作用是储存和供应天然气,使其随时可用于发动机的运行。

供气管路起到了将天然气从储罐引导至发动机的关键作用。这些管路包括汽化器、管路和阀等部分,它们确保了天然气的流动和分配。汽化器将天然气转化为适合燃烧的状态,管路则负责将其输送至发动机的各部分。阀的开合控制着天然气的流量,以确保其按需供应。

燃气总管扮演着将天然气分发到发动机各缸的角色。这个关键组件确保了各缸都能够获得适量的天然气,以满足不同工况下的需求。燃气总管的设计和管理对于系统的均衡运行至关重要。

燃气阀被安装在各缸的进气歧管附近,其功能是按照特定的时间和数量向气缸提供燃气。这些阀的精准控制确保了天然气与柴油的混合比例在理想范围内,以实现高效的双燃料运行<sup>[1]</sup>。

总的来说,供气系统的主要作用是提供天然气作为柴油机的辅助燃料,并确保其能够按照需求供应,从而实现双燃料运行。这一系统的精心设计和高效运行对于改造后的柴油机性能提升和排放减少至关重要,为环保和高效能源利用做出了重要贡献。

### 1.4 燃气阀的研发和性能验证

燃气阀是双燃料系统的核心部件之一。为了确保其性能和可靠性,进行了燃气喷射阀的研发。选用了GAV200燃气喷射阀,该阀适用于多点喷射气体机和双燃料机。它采用压力补偿的方法,具有稳定的压力控制、快速的响应时间和电控闭环控制。这些特性保证了燃气阀能够对发动机工况做出灵活响应。还进行了流量特性的计算和平台试验验证,以确保燃气喷射阀满足主机需求。

这些改造方案和组件将有助于提高柴油机的性能和适应性,使其更环保和高效。

## 2 控制系统硬件设计

### 2.1 控制系统的分布式控制架构

控制系统的分布式控制架构在中速柴油机的改造中扮演着关键的角色。这一架构旨在确保系统的各项功能得以合理分配,同时强调了可靠性和冗余设计,从而提高了系统的整体性能。这种控制架构主要侧重于以下几个关键方面,它们是确保改造后的柴油机能够高效、安全地运行的基础。

分布式控制架构注重发动机运行控制功能。通过在系统中合理分配控制任务,确保发动机在不同工况下能够稳定运行,无论是推进模式还是电站模式。这种合理的任务分配有助于提高发动机的效率,减少能源浪费,从而降低运营成本。

安全检测与保护功能也是不可或缺的一部分。分布式控制架构允许多个安全检测系统并行运行,实时监测发动机的状态。一旦检测到潜在的问题或危险,系统将能够迅速做出反应,采取相应的措施以确保安全。这种双重保护有助于预防事故和减轻潜在损害。

系统可靠性是分布式控制架构的核心目标之一。通过将不同的控制单元分散在系统中,即使某一部分出现故障,其他部分仍然能够正常运行。这种冗余设计提高了系统的可靠性,减少了系统停机时间,增加了整体运行时间。

控制与安保的独立性也是分布式控制架构的亮点之一。控制单元和安保单元可以相对独立地运行,互不干扰。这意味着即使在控制单元出现问题时,安保单元仍能够独立执行其功能,确保发动机的安全运行。

分布式控制架构通过冗余设计显著降低了故障和事故的风险。不仅控制单元和安保单元可以相对独立地运行,还有备用电源和备用通信通道,以应对各种突发情况。这些措施共同保证了在各种工况下的安全操作,无论是在船舶上还是发电站中<sup>[2]</sup>。

总之,分布式控制架构为中速柴油机的双燃料改造提供了坚实的技术基础,通过合理分配功能、确保安全、提高可靠性和降低风险,为系统的高效运行和持久稳定性提供了强大支持。

### 2.2 控制系统的技术要求和设计参数

为满足实际应用环境的需求,控制系统的技术参数要求如下:

环境温度范围:  $0\sim 75^{\circ}\text{C}$ ,  $95\pm 3^{\circ}\text{C}$  (温度高于 $+45^{\circ}\text{C}$ 时)

相对湿度:  $70\pm 3\%$  (温度高于 $+45^{\circ}\text{C}$ 时)

额定电压: 24VDC

供电形式: 220VAC和24VDC (冗余供电,自动切换)

最大工作电流: 220V/3A, 24V/20A

防护等级: IP44

震动要求: 适应一般振动条件

抗盐雾性能

这些技术参数旨在确保控制系统在各种环境条件下能够可靠运行。

### 2.3 冗余设计和关键部件的冗余

为了提高系统的可靠性,采用了冗余设计,包括:

表1 推进模式下替代率

工况	1	2	3	4	5
实测转速 ( $r \cdot \text{min}^{-1}$ )	25	50	75	90	100
纯油油耗率 ( $g \cdot \text{kW} \cdot \text{h}^{-1}$ )	315	397	455	483	500
双燃油耗率 ( $g \cdot \text{kW} \cdot \text{h}^{-1}$ )	217.50	198.77	197.40	193.40	195.20
替代率 (%)	89.55	70.66	45.94	45.40	50.48

表2 电站模式下替代率

工况	1	2	3	4	5
实测进气压力 (MPa)	25	50	75	90	100
纯油油耗率 ( $g \cdot \text{kW} \cdot \text{h}^{-1}$ )	0.015	0.050	0.080	0.100	0.120
双燃油耗率 ( $g \cdot \text{kW} \cdot \text{h}^{-1}$ )	224.80	202.22	202.47	197.64	195.20
替代率 (%)	102.9	70.99	54.41	55.44	50.48

冗余电源管理单元: 实施供电电源冗余, 使用220VAC和24VDC的冗余供电, 并具有自动切换功能。

冗余CAN总线: 采用冗余CAN总线以提高通信可靠性。

冗余转速信号: 使用两路相位信号作为转速信号的冗余设计, 以确保精准的发动机控制。

冗余传感器: 包括滑油压力传感器和冷却水温度传感器等, 以提高系统对关键参数的监测和保护。

这些冗余设计将帮助系统在出现故障时继续可靠运行, 并减少严重事故的风险<sup>[3]</sup>。

#### 2.4 燃气阀驱动电路设计

燃气阀驱动电路的设计至关重要, 以确保燃气阀能够快速响应和准确控制。采用了基于IR21xx的高端自举悬浮电路, 双电源驱动以及高低端开关控制等方式。具体要求如下:

峰值电流为10A, 保持电流为2A, 以确保足够的电流供应。

电磁阀闭合响应时间不大于4ms, 以快速响应控制指令。

采用100V高压源产生10A的峰值电流, 然后切换到24V的电压源以产生2A的保持电流。

这些控制电路将确保燃气阀能够准确、迅速地响应, 以满足发动机的需求。

### 3 控制系统软件开发

#### 3.1 控制系统内部单元的功能分配

控制系统的内部单元按照功能分配如下:

冗余电源管理单元: 负责供电电源的冗余切换、失电诊断, 油气模式切换控制等功能。

控制单元: 主要负责发动机运行控制、替代率控制、故障诊断以及运行参数的监测与报警显示。

安保单元: 负责安全检测与保护功能, 包括人机交互单元的操作安保以及发动机安全动作的触发。

这种内部单元的功能分配确保了系统的合理性和稳定性, 同时提供了系统的冗余和安全性。

#### 3.2 控制单元和安保单元的主芯片选择

控制单元和安保单元选择英飞凌 (Infineon) TC1797作为主芯片。英飞凌TC1797具有强大的性能和稳定性, 适用于控制系统的要求。它支持C语言编程, 便于软件的开发和维护。

#### 3.3 替代率控制逻辑的详细说明

替代率控制逻辑是双燃料系统的核心部分。在双燃料模式下, 替代率控制是通过工况和替代率的二维MAP表查询获得。具体逻辑如下:

发动机控制模式分为推进模式和电站模式。在推进模式下, 发动机根据柴油机转速确定运行工况。在电站模式下, 运行工况是根据增压后的空气压力来确定的。

一旦目标替代率确定, 控制系统可以计算目标齿条位置。

接下来, 通过调节燃气喷射量, 系统确保齿条稳定在目标位置, 以实现预定的替代率。

这种替代率控制逻辑确保了发动机能够在不同工况下以预定的替代率运行, 从而实现双燃料系统的效益<sup>[4]</sup>。

#### 3.4 人机交互单元的设计和性能

人机交互单元在中速柴油机双燃料改造中担任着至关重要的角色。该单元采用了昆仑通态的MCGS屏幕, 并使用组态语言进行编程, 以实现一系列功能, 提高了整个系统的操作性和性能。

这个交互单元负责提供对发动机运行参数的监测和报警显示。操作人员可以通过该屏幕随时了解系统的状态, 包括发动机的转速、温度、压力等重要参数。这些数据的实时监测使操作人员能够对系统的运行情况有清晰的了解, 从而更好地掌握控制。

人机交互单元允许操作人员与系统进行交互。这意味着操作人员可以使用屏幕上的控制界面进行必要的配置和控制操作。例如,他们可以调整发动机的运行模式,更改参数设置,或者执行紧急停机等操作。这种交互性使操作人员能够根据需要对系统进行实时干预,确保其安全、高效地运行。

该单元还具备记录和导出发动机的运行和故障数据的功能。这对于后续的数据分析和维护至关重要。操作人员可以通过系统轻松访问历史数据,以了解系统的性能趋势和故障情况。这有助于及时识别问题并采取措​​施,以确保系统的稳定性和可靠性。

总的来说,人机交互单元的设计和功​​能增强了中速柴油机双燃料改造系统的易用性和操作性。通过实时监控、灵活的控制和数据记录,该单元确保了操作人员对系统性能和状态的全面监控,有助于提高系统的运行效率和可维护性。

## 4 实验与测试

### 4.1 替代率测试的实验结果

进行了替代率测试,分别在推进模式和电站模式下进行了机型替代率试验。表为测试结果:

从实验结果可以看出,在不同工况下,替代率的变化较大。在低工况下,替代率较低,随着工况的提高,替代率逐渐增大,最高可达75%左右。这些数据为双燃料系统的性能提供了有力的实验依据。

### 4.2 各缸一致性测试的实验结果

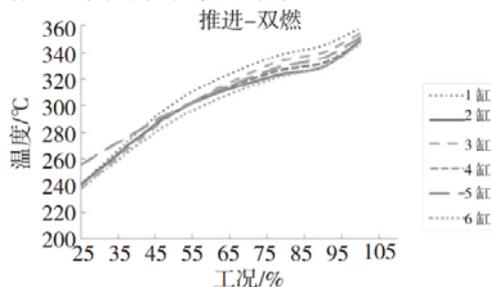


图1 各缸排温均匀性测试

为验证燃气阀的一致性,进行了各缸排温的测试,并分析了各缸排温的均匀性。以下是推进模式下各缸排温数据的示例,电站模式下的测试结果类似:

通过数据分析,各缸排温的最大温差均小于20°C,满足发动机均匀性的要求。这表明燃气阀的设计和控制系统的工​​作能够保持各缸的一致性,确保了系统的稳定性和性能。

这些实验结果验证了双燃料系统的可行性和性能,为实际应用提供了有力的支持。

## 5 结束语

本研究的成果为中速柴油机的双燃料改造技术应用提供了重要支持。通过供气系统的改进和燃气阀的性能验证,成功地将天然气引入柴油机运行,实现了较高的替代率,从而提高了能效和减少了环境影响。同时,采用分布式控制架构和冗余设计,提高了控制系统的可靠性,确保了系统的安全运行。这一研究为中速柴油机的双燃料改造提供了实用的技术指导,为相关领域的技术应用和环保发展做出了积极贡献。

### [参考文献]

[1]李鹏豪,商荣凯,张永林,等.船用中速柴油机双燃料改造技术应用研究[J].内燃机,2019(05):10-13+17.

[2]张凯.电控柴油/LPG双燃料发动机改造关键技术及其应用研究[D].武汉理工大学,2019.

[3]王新,郑志强,张进.190大功率柴油机的双燃料改造[J].内燃机,2019(02):17-19.

[4]苏贵斌.6320ZD柴油机双燃料改造的研究和试验[J].内燃机,2017(03):31-33.

### 作者简介:

张龙军(1988--),男,大专,研究方向:船舶柴油机。