

ICS 27.020

CCS J 92

团 体 标 准

T/CSICE 045-2025

船用柴油-液化天然气双燃料发动机 燃料控制系统技术条件

Technical specification for diesel-LNG dual fuel control system
of marine engines

2025-12-26 发布

2025-12-26 实施

中国内燃机学会 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本标准起草单位：潍坊力创电子科技有限公司、中国船舶集团有限公司第七一一研究所、宁波中策动力机电集团有限公司、哈尔滨工程大学、博鼎精工智能科技（山东）有限公司、鸿陆智能科技（山东）有限公司。

本标准主要起草人：王立峰、王秀强、从田增、刘龙、刘晓亮、衣金水、苏明涛、刘岱。

本文件于2025年首次发布。

船用柴油-液化天然气双燃料发动机燃料控制系统技术条件

1 范围

本标准规定了四冲程、中高速、功率范围2000 kW以内的船用柴油-液化天然气双燃料发动机（以下简称：双燃料发动机）燃料控制系统（以下简称：控制系统），以及对柴油机进行双燃料改造的控制系统。

本标准适用于双燃料发动机控制系统及主要零部件的术语和定义、技术要求、试验方法、检验、包装、运输和贮存。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- CB/T 3253-2013 船用柴油机技术条件
- CB/T 3254.2-2013 船用柴油机台架试验 第二部分：试验方法
- GB/T 3594-2024 渔船用电子设备电源的技术要求
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 19204-2003 液化天然气的一般特性
- GB/T 19239-2003 液化石油气汽车专用装置的安装要求
- GB/T 36658-2018 船用柴油天然气双燃料发动机技术条件
- GD 019-2024 电气电子产品型式认可试验指南
- 《钢质海船入级规范》（2025） 中国船级社
- 《船舶应用天然气燃料规范》（2024） 中国船级社

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

柴油-液化天然气双燃料发动机 diesel-natural gas dual fuel engine

具有柴油和液化天然气（以下简称“燃气”）两套燃料供给系统，既可以燃用纯柴油，又可以同时燃用柴油和天然气混合燃料的压燃式内燃机。

3.2

控制系统 control system

为双燃料发动机信号处理、燃料输配与喷射以及安全监控报警的综合系统。

3.3

燃气喷嘴 gas fuel injector

根据电控单元发出的指令，实现燃气定时、定量喷射的部件。

3.4

综合替代率 average substitution rate

双燃料发动机柴油被替代比率的综合计算情况，取25%、50%、75%、90%四个负荷点替代率加权平均值。

3.5

执行机构 executive agency

执行机构使用液体、气体、电力或其他能源并通过电机、气缸或其他装置将其转化成驱动作用。

3.6

多点顺序喷射 multi-point sequential injection

又称多气门喷射（MPI）或顺序燃料喷射，与单点燃料喷射相对应，每个气缸设置单独燃料喷嘴，燃料喷嘴分别向各气缸进气门口处定时定量喷射燃料。

3.7

纯柴油模式 diesel mode

发动机仅以柴油为燃料的运行模式。

3.8

双燃料模式 dual fuel mode

发动机压缩柴油着火，同时燃用柴油和天然气两种燃料的运行模式。

4 技术要求

4.1 一般要求

4.1.1 控制系统满足发动机纯柴油模式及双燃料模式要求，在双燃料模式下运行时，发动机工况需要覆盖纯柴油模式下的所有工况，双燃料发动机柴油最大替代率不低于80%、综合替代率不低于60%的要求，在双燃料模式下发动机各负荷点的最小替代率要求，如表1所示；在微喷引燃模式下运行时，各工况下柴油燃料占比不大于5%。

表1 双燃料模式最小替代率要求表

序号	负荷/%	替代率/%
1	25	65
2	50	80
3	75	90
4	100	70

4.1.2 控制系统满足双燃料发动机使用要求，在纯柴油模式时，在全工况下不影响柴油机柴油控制系统工作；控制系统控制发动机从柴油模式切换到双燃料模式或者从双燃料模式切换到柴油模式时，切换

斜率具备可调节功能；同时控制系统任何负荷下都能将发动机从双燃料模式快速切换到纯柴油模式，在一定功率范围内能控制发动机从柴油模式切换到双燃料模式，并保证转速和输出功率的稳定。

4.1.3 船用双燃料发动机控制系统中所用零部件符合国家或行业标准相关要求。

4.1.4 控制系统电子设备的设计、制造、检验，包括软件设计，满足《船用柴油机技术条件》《钢制海船入级规范》《船舶应用天然气燃料规范》及《电气电子设备型式认可试验指南》的有关规定。

4.1.5 控制系统由（但不限于）以下装置组成：传感器、电子控制单元（ECU）、机旁监控仪、燃气喷射阀等执行机构以及对外接口（表3、表4）组成。

4.2 功能要求

双燃料发动机控制系统能控制喷气量、空燃比、喷油量等参数，控制系统可以控制柴油从小比例到大比例调节，各比例下都满足运行要求，控制系统能柔性调节双燃料发动机燃料供给参数，对外进行数据交换。

4.2.1 控制系统对双燃料发动机的检测功能及控制功能设计，满足但不限于表2。

表2 双燃料发动机控制系统检测及控制功能要求表

类别	信息	备注
检测功能	发动机转速	—
	发动机燃气喷射相位	—
	发动机机油压力和温度	—
	燃燃气轨压力和温度	—
	冷却液温度	—
	排气温度	—
	曲轴温度	如有必要
	齿轮箱机油压力	如有必要
	爆震	
	空燃比	如有必要
	增压空气压力和温度	如有必要
	增压器机油压力和温度	如有必要
控制功能	发动机的启动、停机、急停	—
	燃气总供给阀门	—
	燃气喷射量	—
	燃料模式转换	—
	空气进气量	如有必要
	互锁装置	—

4.2.2 控制系统的主电源和备用电源任意一路失效时，控制系统在监控仪安装地点声光报警。

4.2.3 控制系统对系统的传感器、电子控制单元（ECU）及执行机构的主要功能故障进行声光报警。

4.2.4 具有故障自诊断和保护功能，当出现故障时，系统立即进行故障诊断，启动相应的安全保护措施，保证发动机正常工作。

4.2.5 控制系统具有机旁监控功能，并具备供集控室或驾驶室远程控制系统使用的对外接口。

4.2.6 控制系统具有自动检测并纠正发动机爆震、燃烧失火等不良燃烧状况的能力。

4.2.7 控制系统对燃气喷射状况具有故障诊断功能，能实时反馈燃气喷射阀的状态，并具有相应的电路短路和断路报警功能。

- 4.2.8 发动机在双燃料模式下启动失败或停车后，控制系统具备扫除排气管内可燃气体的功能。
- 4.2.8 控制系统具备运行状态、历史报警和历史故障的检查端口。
- 4.2.9 控制系统能够将发动机状态及报警通过对外接口输出，状态及报警包含但不限于表3所列项目。

表3 控制系统输出信息表

类别	功能	备注
运行状态输出	发动机运行指示	—
	双燃料运行模式指示	—
	机旁操作模式指示	—
	遥控操作模式指示	—
停机状态输出	正常停机指示	—
	故障停机指示	—
	紧急停机指示	—
报警输出	控制系统综合报警/故障	具备查询具体故障功能
	发动机综合报警/故障	具备查询具体故障功能

- 4.2.10 控制系统对外接口能接收并处理外部设备发出的状态、故障及报警信息，包含但不限于表4所列项目。

表4 控制系统输入信息表

类别	功能
状态输入	LNG存储装置状态
	互锁装置状态
报警输入	LNG存储装置报警信息
	燃气泄漏报警信息
指令输入	正常停机指令
	故障停机指令
	紧急停机指令
	双燃料切换指令

- 4.2.11 控制系统能保持燃气切断状态或执行燃气切断动作，包括但不限于下列情形：
- 发动机未运转；
 - 发动机燃气管线断裂；
 - 燃气泄漏报警器报警；
 - 超出发动机额定转速；
 - 发动机处于柴油模式或由双燃料模式转换为柴油模式；
 - 发动机任意传感器信号故障或传感器信号超出报警值。
- 4.2.12 发动机在双燃料模式下运转时，各缸排气温度的不均匀度不大于8%。
- 4.2.13 控制系统失效时，双燃料发动机能自动恢复至纯柴油运行模式。

4.3 设计要求

- 4.3.1 控制系统控制燃气喷射方式为多点顺序喷射。

- 4.3.2 控制系统所采用的燃气喷嘴，燃料供给不均匀度在额定状态下 $\leq \pm 2.5\%$ ，喷嘴的响应速度在最小驱动脉宽下开关时间 $\leq 3\text{ ms}$ 。
- 4.3.3 电子控制单元如由多个控制模块组成且采用总线通讯，采用总线冗余措施以防止单一通讯线路故障导致控制功能丧失。
- 4.3.4 控制系统的零部件在功能特性和结构尺寸上具有可换性，在结构上能快速更换。宜采用模块化设计，并将控制系统中有可能泄露燃气和受盐雾侵蚀的零部件置于密封箱中。
- 4.3.5 控制系统中所选用的传感器满足系统运行数据采集要求的精度和灵敏度。
- 4.3.6 控制系统传感器安装位置能准确反映所需检测部位的参数，并易于检修与更换；如遇确实难以更换的位置，要求加装一个备用传感器。

5 试验

5.1 试验条件及要求

- 5.1.1 除另有规定，所有试验在 $0\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度 $0\%\sim 90\%$ 的室温条件下进行。
- 5.1.2 试验装置能满足试验所提出的全部要求。

- 5.2 控制系统的型式试验及出厂试验项目按表5和表6执行。

表5 控制系统型式试验要求表

试验项目	型式试验	出厂试验	试验方法	试验要求
外观检查	√	√	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.1节要求	试验结果满足中国船级社《电气电子产品型式认可试验指南》相对应章节的要求
性能试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.2节要求	
绝缘电阻测量	√	√	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.3节要求	
能源波动试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.4节要求	
能源故障试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.5节要求	
振动试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.7节要求	
高温试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.8节要求	
低温试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.9节要求	
交变湿热试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.10节要求	
盐雾试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.12节要求	

表5 控制系统型式试验要求表（续）

试验项目	型式试验	出厂试验	试验方法	试验要求
耐电压试验	√	√	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.14节要求	试验结果满足中国船级社《电气电子产品型式认可试验指南》相应章节的要求
外壳防护试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.15节要求	
滞燃试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》2.16节要求	
传导发射测量	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.2节要求	
外壳端口辐射发射测量	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.3节要求	
静电放电抗扰度	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.4节要求	
射频电磁场辐射抗扰度	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.5节要求	
电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.6节要求	
浪涌抗扰度试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.7节要求	
低频传导抗扰度试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.8节要求	
射频场感应的传导骚扰抗扰度试验	√	—	按照《电气电子产品型式认可试验指南》3.9节要求	
注：“√”表示需要进行的项目；“—”表示可不进行的项目。				

表6 控制系统功能试验要求

试验项目	型式试验	出厂试验	试验方法
双燃料发动机柴油最高替代率不低于80%、综合替代率不低于60%	√	—	按照GB/T3254.2-2013《船用柴油机试验》第二部分：试验方法进行试验。
控制系统对双燃料发动机的检测及控制功能	√	√	模拟试验或台架试验时，查看监控仪采集的数据，对表1的检测功能进行检查；通过对控制系统的相应操作，对表1列出的控制功能进行检查。 注：型式试验宜在台架或通过模拟试验进行，出厂试验通过模拟试验进行。
电源失效检测。	√	√	控制系统处于主备双电源供电状态，任意造成一路电源供电失效，检查系统功能的有效性，并查看监控仪是否进行声光报警。

表6 控制系统功能试验要求（续）

试验项目	型式试验	出厂试验	试验方法
控制系统对系统的传感器、电子控制单元（ECU）及执行机构的主要功能故障进行声光报警	√	√	控制系统处于正常工作状态，造成任意一路传感器故障，检查监控仪是否进行声光报警； 控制系统处于正常工作状态，造成电子控制单元任意故障，检查监控仪是否进行声光报警； 控制系统处于正常工作状态，造成执行机构的任意故障，检查监控仪是否进行声光报警。
故障自诊断和保护功能	√	√	控制系统处于正常工作状态，造成任意故障，检查控制系统对故障的响应能力，并检查控制系统是否采取了相应的安全保护措施。
控制系统自动检测并纠正发动机爆震、失火等不良燃烧状况	√	—	台架试验时，造成发动机爆震、失火等状况，检查控制系统是否检测到相应状况。
发动机双燃料模式运行时排气温度不均匀度	√	—	台架试验时，控制系统控制发动机处于双燃料模式，检查发动机各缸排气温度的不均匀度。 不均匀度按照如下式（1）计算。 $\delta = \left \frac{T_{\max(\text{或}T_{\min})} - T_m}{T_m} \right \times 100\% \dots\dots\dots (1)$ 式中： δ —— 排气温度不均匀度，%； T_{\max} （或 T_{\min} ） —— 排气温度的最大（或最小）值，取与 T_m 差值的绝对值最大者。 T_m —— 各缸排气温度的算术平均值。
燃气喷嘴短路和断路报警功能	√	√	控制系统处于正常工作状态，造成任意缸的燃气喷嘴故障，检查控制系统对喷嘴故障的报警功能。
控制系统具备运行状态、历史报警和历史故障的检查端口	√	√	控制系统处于正常工作状态，将检测设备连接到控制系统的检查端口，通过适宜的工况模拟，读取相关数据。
控制系统将发动机状态及报警信息通过对外接口输出	√	√	控制系统处于正常工作状态，将检测设备连接到控制系统的对外接口，通过适宜的工况模拟，对照表2所列出的内容，读取对外接口输出数据。
控制系统对外接口接收并处理外部设备发出的状态、故障及报警信息	√	√	控制系统处于正常工作状态，将检测设备连接到控制系统的对外接口，检测设备模拟适宜的数据通过对外接口传送给控制系统，对照表3检查控制系统接收的数据。
在设定条件下，控制系统保持燃气切断状态或执行燃气切断动作	√	√	模拟4.2.11所列出的情形，检查控制系统对燃气供给的控制功能。
控制系统失效时，双燃料发动机能自动恢复至纯柴油运行模式	√	√	控制系统处于正常工作状态，造成任意原因的控制失效，检查燃料转换状态。

表6 控制系统功能试验要求（续）

试验项目	型式 试验	出厂 试验	试验方法
当1个曲轴转角传感器发生故障时， 后备传感器的有效性	√	√	控制系统处于正常工作状态，造成1个曲轴转角传感器故障，检查系统对故障检测的有效性，并检查后备曲轴转角传感器是否正常工作。
遥控控制故障，验证机旁控制的有效性； 机旁控制故障，验证遥控控制的有效性	√	√	控制系统处于正常工作状态，造成遥控控制故障，检查机旁控制的有效性；造成机旁控制故障，检查遥控控制的有效性。
运行状态及故障记录功能	√	√	控制系统处于正常工作状态，造成多种类型的故障和报警，检查控制系统故障记录情况和当前的运行状况。
注：“√”表示需要进行的项目；“—”表示可不进行的项目。			

6 标志、包装、运输和贮存

包装、运输和贮存应符合GB/T 13384相关规定。



