

## 中国船舶工业行业协会团体标准

T/CANSI 136—2024

### LPG 双燃料柴油机燃料消耗试验方法

Test methods of fuel consumption for LPG dual fuel engines



2024-03-04 发布

2024-04-01 实施

中国船舶工业行业协会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试验条件 .....	2
4.1 人员 .....	2
4.2 试验环境 .....	2
5 试验设备 .....	2
6 样品 .....	2
7 试验步骤 .....	3
7.1 基本要求 .....	3
7.2 引燃油的调整 .....	4
7.3 燃料消耗的测量 .....	4
8 试验报告 .....	7
附录 A（资料性）试验报告及记录表 .....	9



## 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。

本文件由中国船舶工业行业协会标准化分会提出。

本文件由中国船舶工业行业协会归口。

本文件起草单位：上海中船三井造船柴油机有限公司、中船动力（集团）有限公司、中国船舶集团有限公司综合技术经济研究院、江南造船（集团）有限责任公司、大连中远海运川崎船舶工程有限公司。

本文件主要起草人：周伟中、陈世林、刘闯、朱琪、陈怡然、魏守刚、李巧平、张譞晖、吴济民。



# LPG 双燃料柴油机燃料消耗试验方法

## 1 范围

本文件规定了液化石油气（LPG）双燃料柴油机燃料消耗试验方法的试验条件、试验设备、样品、试验步骤和试验报告等内容。

本文件适用于LPG双燃料柴油机在台架试验和海上试航过程中的燃料消耗试验。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

GB 17411 船用燃料油

GB/T 21404 内燃机 发动机功率的确定和测量方法 一般要求

CB/T 4147 船用柴油机燃油消耗率测定方法

## 3 术语和定义

CB/T 4147和GB/T 21404界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**LPG 双燃料柴油机** **LPG dual fuel engine**

采用LPG和柴油作为燃料，在燃油模式下，使用柴油作为燃料；在燃气模式，使用LPG作为燃料，同时还需要少量的柴油作为引燃油进行点火的双燃料柴油机。

### 3.2

**引燃油** **pilot oil**

双燃料柴油机在燃气模式下，在气缸内进行点火引燃而需要的少量柴油。

### 3.3

**水力测功器** **hydraulic dynamometer**

双燃料柴油机在试车台位上动车时，用来吸收柴油机发出的功率达到额定负荷，利用水的动能压力来测试机械设备功率、扭矩的设备。

### 3.4

**热值** **heat rate**

单位指示功所消耗的燃料完全燃烧时所放出的总热量。

注：通常以单位千瓦时指示功率的热值消耗千焦(即kJ/kW·h)来表示。

### 3.5

**燃气消耗率 specific gas consumption; SGC**

单位指示功的燃气消耗量。

注：通常以单位千瓦时指示功率的燃气消耗量克数(即g/kW·h)来表示。

### 3.6

**引燃油消耗率 specific pilot oil consumption; SPOC**

单位指示功的引燃油耗油量。

注：通常以单位千瓦时指示功率的耗油量克数(即g/kW·h)来表示。

## 4 试验条件

### 4.1 人员

试验人员应熟悉本文件的要求，且应遵守工艺要求和现场安全操作规程。

### 4.2 试验环境

LPG 双燃料柴油机燃料消耗测量过程应满足国际标准环境状态（ISO 工况）的要求：

- a) 大气压力为 100 kPa；
- b) 环境温度为 298 k (25 °C)；
- c) 相对湿度为 30%。

在燃料消耗试验过程中，如果环境状况与上述标准基准环境状况不同，则应将试验数据进行修正到 ISO 工况，修正方法见第8章。

## 5 试验设备

试验工具和设备应符合下列要求：

- a) 质量流量计的精度应达到测量值的 0.5%；
- b) 水力测功器应满足低速柴油机台架试车的负荷稳定；
- c) 称重装置的测量精度应满足试验要求，达到 0.1 g；
- d) 计时装置，采用秒表进行计时，精确到 0.1 s 或 0.01 s；
- e) 环境温度、湿度和大气压力测量装置的测量精度应分别达到 0.01 °C、0.01%和 0.01 kPa；
- f) 试车台满足低速柴油机从低负荷到满负荷的运行条件。

## 6 样品

用于 LPG 双燃料柴油机燃料消耗测量的燃油和 LPG 应符合下列要求：

- a) 燃油的油品满足 GB 17411 的要求；
- b) LPG 应满足进机的温度、压力、清洁度和成分要求。其中 LPG 的温度范围为 25 ℃~45 ℃，压力范围为 53 bar±2 bar，清洁度应满足 10 μm 的清洁度要求。LPG 的成分主要是乙烷和丙烷。

## 7 试验步骤

### 7.1 基本要求

7.1.1 燃料消耗测量应在台架试验过程中完成，并以台架试验的燃料消耗数据为准。海上试航过程中的燃料消耗试验方法与台架试验基本相同，但是由于柴油机工况受海况影响，难以达到设定工况，故测得的燃料消耗数据仅作为参考。

7.1.2 测试时 LPG 双燃料柴油机应先标定燃气模式，再标定燃油模式。

7.1.3 测试时应完成 LPG 双燃料柴油机油气切换调试，燃气切换流程见图 1。LPG 双燃料柴油机应能够在 15%~100% 负荷之间稳定地进行油气切换。

7.1.4 LPG 双燃料柴油机在燃气模式下的运行区间应能够覆盖 10%~100% 负荷。

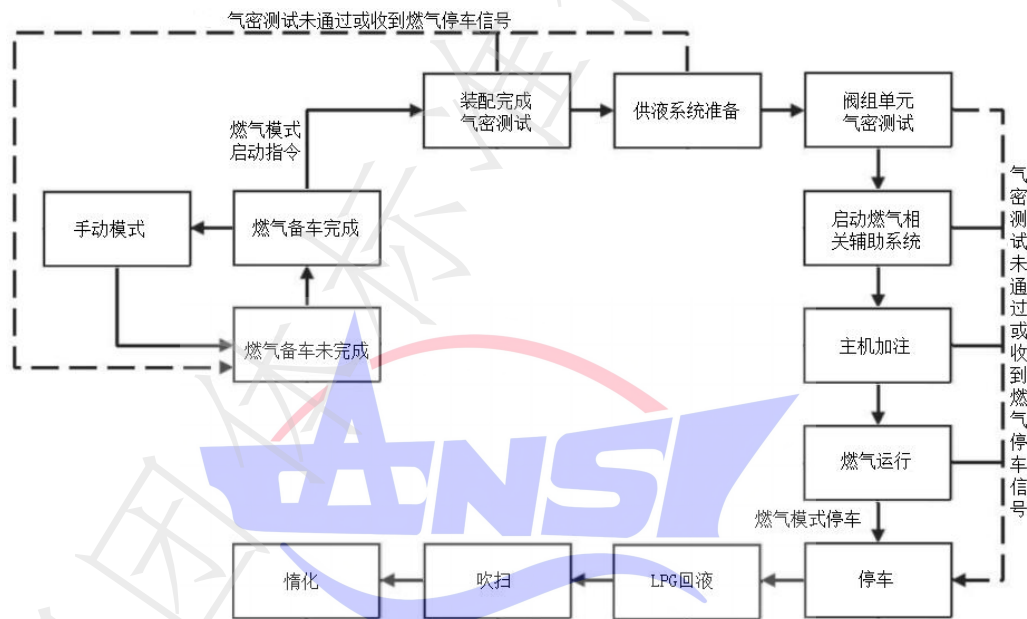


图 1 燃气切换流程框图

7.1.5 测量时应记录温度、湿度、大气压力等环境参数。

7.1.6 测量应在双燃料柴油机运转工况达到稳定状态后进行，并详细记录功率和转速参数。

7.1.7 测量过程中双燃料柴油机的运行工况应保持不变，以获得准确的测量数据。

7.1.8 在燃油模式下，伞型泄放量的测量与燃油进回油的测量应同时进行。

7.1.9 在燃气模式下，引燃油泄放量的测量采用收集和称重的方法。由于引燃油的泄放量小，为保证测量的精度，需尽量延长单次测量的时间，一般为半小时完成一次测量。

7.1.10 燃气模式下的燃料消耗由燃气消耗和引燃油消耗两部分组成。

7.1.11 燃料消耗的测量应包含 LPG 双燃料柴油机的各个运行模式，如 TierII、TierIII 以及燃油、燃气等，每个模式下都至少涵盖 25%、50%、75%、100%、常用负荷点（CSR）等五个负荷点。

7.1.12 每档负荷下燃料消耗的测量次数，由制造厂和用户双方商议确定，一般情况下每档负荷测一次即可。

## 7.2 引燃油的调整

7.2.1 对引燃油进行如下调整：

- a) 引燃油与燃气喷射时间间隔的调整；
- b) 对燃油泵柱塞行程参数的调整；
- c) 对油气切换设定参数的调整；
- d) 控制切换速率；
- e) 控制稳定低压液压油压力。

7.2.2 通过对引燃油的调整，而达到最小引燃油消耗率，相关公差范围见表 1。

表1 公差范围

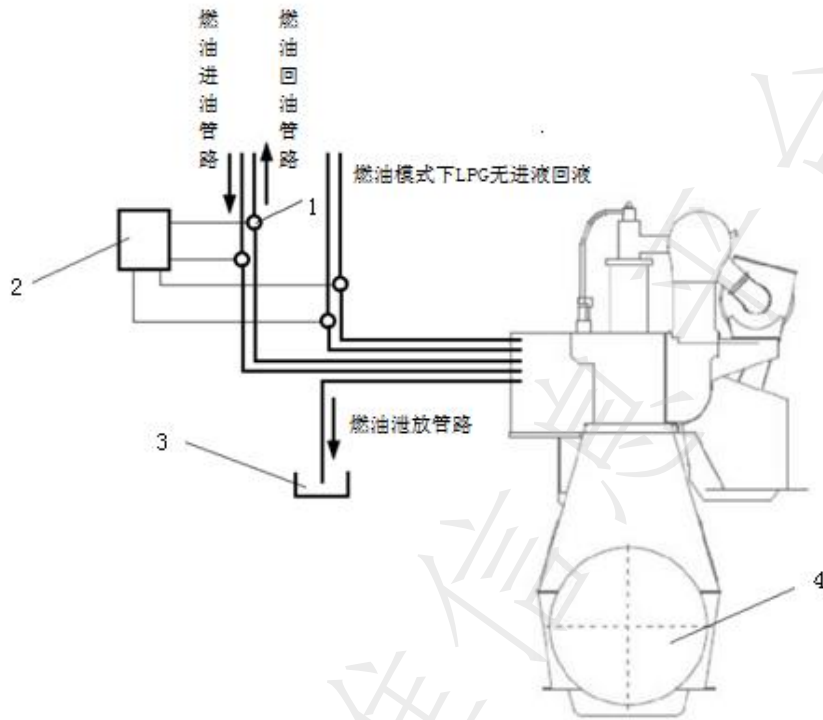
LPG 双燃料柴油机负荷 ( $L$ )	引燃油消耗率公差 (%)	燃油消耗率或者热值消耗率公差 (%)
$85\% \leq L \leq 100\%$	$\leq 25\%$	$\leq 5\%$
$65\% \leq L < 85\%$	$\leq 50\%$	$\leq 6\%$
$50\% \leq L < 65\%$	$\leq 75\%$	$\leq 7\%$

## 7.3 燃料消耗的测量

### 7.3.1 燃油模式的测量

#### 7.3.1.1 测量方法

采用质量流量测定法，示意图见图2，对燃油进油管流量和回油管的流量进行测量，同时测量燃油泄放管路的燃油泄放质量。



标引序号说明：

- 1——质量流量计；
- 2——油耗仪(可选)；
- 3——燃油伞型泄放收集桶；
- 4——柴油机。

图2 燃油模式质量流量测定法示意图

### 7.3.1.2 计算方法

#### 7.3.1.2.1 燃油消耗量 $G_0$ 按式(1)计算。

$$G_0 = 60(V_{in} - V_{out}) - \frac{m}{t/3600} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $G_0$  ——燃油消耗量数值，单位为千克每小时(kg/h)；
- $V_{in}$  ——燃油进油管流量，单位为千克每分钟(kg/min)；
- $V_{out}$  ——燃油回油管流量，单位为千克每分钟(kg/min)；
- $t$  ——燃油伞型泄放测量时间，单位秒(s)；
- $m$  —— $t$ 时间内燃油伞型泄放重量，单位为千克(kg)。

#### 7.3.1.2.2 燃油消耗率 $G_3$ 按式(2)计算。

$$G_3 = \frac{10^3 G_0}{N} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$G_3$  ——按实际燃油低热值标定的燃油消耗率，单位为克每千瓦小时 (g/kW·h)；

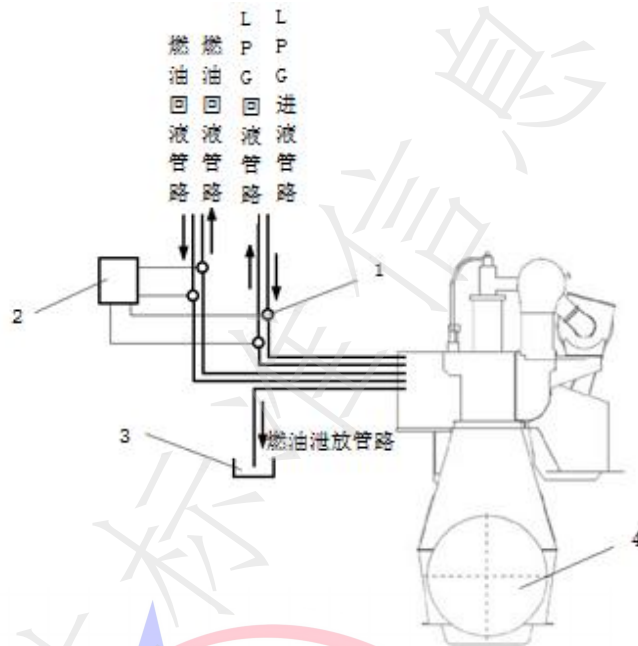
$G_0$  ——燃油消耗量，单位为千克每小时 (kg/h)；

$N$  ——柴油机有效功率，单位千瓦 (kW)。

### 7.3.2 燃气模式的测量

#### 7.3.2.1 测量方法

采用质量流量测定法，示意图见图3，引燃油消耗的测量方法同上述7.3.1燃油模式的测量方法，LPG消耗的测量通过对LPG进液管和回液管的质量流量的测量来完成。



标引序号说明：

1——质量流量计；

2——油耗仪(可选)；

3——燃油伞型泄放收集桶；

4——柴油机。

图3 燃气模式质量流量测定法示意图

#### 7.3.2.2 计算方法

7.3.2.2.1 LPG的消耗量 $G_1$ 按式(3)计算。

$$G_1 = 60(V_{in-LPG} - V_{out-LPG}) \dots \dots \dots (3)$$

式中：

$G_1$  ——LPG消耗量，单位为千克每小时 (kg/h)；

$V_{in-LPG}$  ——LPG进液管流量，单位为千克每分钟 (kg/min)；

$V_{out-LPG}$  ——LPG回液管流量，单位为千克每分钟 (kg/min)。

7.3.2.2.2 引燃油的消耗量 $G_2$ 与燃油消耗量的计算方法相同，按式(4)计算。

$$G_2 = 60(V_{in} - V_{out}) - \frac{m}{t/3600} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $G_2$  ——引燃油消耗量，单位为千克每小时(kg/h)；
- $V_{in}$  ——燃油进油管流量，单位为千克每分钟(kg/min)；
- $V_{out}$  ——燃油回油管流量，单位为千克每分钟(kg/min)；
- $t$  ——燃油伞型泄放测量时间，单位秒(s)；
- $m$  —— $t$ 时间内燃油伞型泄放重量，单位为千克(kg)。

7.3.2.2.3 LPG消耗率 $G_4$ 按式(5)计算。

$$G_4 = \frac{10^3 G_1}{N} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $G_4$  ——按实际LPG低热值标定的LPG消耗率，单位为克每千瓦小时(g/kW·h)；
- $G_1$  ——LPG消耗量，单位为千克每小时(kg/h)；
- $N$  ——柴油机有效功率的，单位千瓦(kW)。

7.3.2.2.4 引燃油消耗率 $G_5$ 按公式(6)计算。

$$G_5 = \frac{10^3 G_2}{N} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

- $G_5$  ——按实际燃油低热值标定的引燃油消耗率，单位为克每千瓦小时(g/kW·h)；
- $G_2$  ——引燃油消耗量，单位为千克每小时(kg/h)；
- $N$  ——柴油机有效功率，单位千瓦(kW)。

## 8 试验报告

8.1.1 试验报告应包括以下基本内容：

- a) 试验日期；
- b) 试验地点；
- c) 试验人员。
- d) 制造厂名称；
- e) 柴油机型号；
- f) 柴油机编号；
- g) 试验设备；
- h) 环境温度；
- i) 环境湿度；
- j) 环境大气压力。

8.1.2 试验数据记录按附录 A 进行：

- a) 燃料的消耗试验数据按表 A.1 进行记录，燃料的消耗试验数据应修正到 ISO 工况，同时应对气缸爆压  $P_{max}$  进行修正，燃气模式下的燃料消耗应转换为热值。

- b) LPG 双燃料柴油机在燃油模式下的燃料消耗仅为燃油消耗，按附录 A 的表 A.2 进行记录。
- c) LPG 双燃料柴油机在燃气模式下的燃料消耗，包含燃气消耗和引燃油消耗，按附录 A 的表 A.3 进行记录。热值作为 LPG 双燃料柴油机燃料消耗率高低的评价数据，引燃油消耗率和燃气消耗率作为参考数据。



附录 A  
(资料性)  
试验数据记录表

燃料消耗试验测量记录表、燃油消耗率、引燃油消耗率、燃气消耗率和热值记录表格式见表A. 1、表A. 2、表A. 3。

表A. 1 燃料消耗试验测量记录表

燃料消耗试验测量记录表									
测量时间									
转速		rpm							
负荷		%							
燃油消耗量	$G_0$	kg							
LPG 消耗量	$G_1$	kg							
引燃油消耗量	$G_2$	kg							
t 时间内燃油伞型泄放量	m	kg							
时间	t	s							
输出功率	N	KW							
燃油消耗率	$G_3$								
LPG 消耗率	$G_4$	g/kW·h							
引燃油消耗率	$G_5$	g/kW·h							
燃油消耗率目标值									
燃气消耗率目标值									
引燃油公差									
燃气消耗率公差									
热值公差									
燃油密度		g/cm <sup>3</sup>							
修正到 ISO 工况									
大气压力	$P_0$	mbar							
进气温度	$T_0$	°C							
实际扫气温度	$T_{sc}$	°C							
参考扫气温度	$T_{scre}$	°C							
ISO 下爆压	$P_{max\_ISO}$	bara							
参考爆压	$P_{max\_ref}$	bara							
燃油低热值	$H_u$	kJ/kg							
燃气低热值	$H_{lcv}$	kJ/kg							

表A.1 燃料消耗试验记录表（续）

燃料消耗试验测量记录表					
ISO 工况下燃油消耗率	$G_3'$	g/kW·h			
ISO 工况下 LPG 消耗率	$G_4'$	g/kW·h			
ISO 工况下引燃油消耗率	$G_5'$	g/kW·h			
Pmax 修正下燃油消耗率	$G_3''$	g/kW·h			
Pmax 修正下 LPG 消耗率	$G_4''$	g/kW·h			
Pmax 修正下引燃油消耗率	$G_5''$	g/kW·h			
热值	HR	kJ/kW·h			
$G_3' = [1 + (25 - T_o) \times 0.000707 - (1000 - P_o) \times 0.000053 + (T_{scre} - T_{sc}) \times 0.000413] \times (H_u / 42700) \times G_3$ $G_4' = [1 + (25 - T_o) \times 0.000707 - (1000 - P_o) \times 0.000053 + (T_{scre} - T_{sc}) \times 0.000413] \times (H_{lcv} / 46000) \times G_4$ $G_5' = [1 + (25 - T_o) \times 0.000707 - (1000 - P_o) \times 0.000053 + (T_{scre} - T_{sc}) \times 0.000413] \times (H_u / 42700) \times G_5$ $G_3'' = G_3' \times [1 + ((P_{max\_ref} - P_{max\_ISO}) / P_{max\_ISO}) \times 100 \times (-0.00231)]$ $G_4'' = G_4' \times [1 + ((P_{max\_ref} - P_{max\_ISO}) / P_{max\_ISO}) \times 100 \times (-0.00231)]$ $G_5'' = G_5' \times [1 + ((P_{max\_ref} - P_{max\_ISO}) / P_{max\_ISO}) \times 100 \times (-0.00231)]$ $HR = G_4'' / 1000 \times 42700 + G_5'' / 1000 \times 46000$					

表A.2 燃油消耗率

排放模式	负荷	燃油消耗率 g/kW·h
TierII	25%	
	50%	
	75%	
	CSR	
	100%	
TierIII	25%	
	50%	
	75%	
	CSR	
	100%	

表A.3 引燃油消耗率、燃气消耗率和热值

排放模式	负荷	SPOC g/kW·h	SGC g/kW·h	热值 kJ/kW·h
TierII	25%			
	50%			
	75%			
	CSR			
	100%			

表A.3 引燃油消耗率、燃气消耗率和热值（续）

排放模式	负荷	SPOC g/kW·h	SGC g/kW·h	热值 kJ/kW·h
TierIII	25%			
	50%			
	75%			
	CSR			
	100%			

