

团 体 标 准

T/CSICE 050-2025

船舶甲醇燃料发动机非常规排气 污染物测量方法

Measurement methods for unconventional exhaust pollutants of marine
methanol-fueled engines

2025-12-26 发布

2025-12-26 实施

中国内燃机学会 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 试验环境条件	2
5 测量仪器与设备	2
5.1 气体分析系统	2
5.2 试验台测量仪器	3
6 测量项目	3
7 测量原理	4
8 测量程序	4
8.1 测量前准备	4
8.2 测量步骤	4
9 测量数据处理	5
9.1 排气质量流量	5
9.2 干-湿基校正	5
9.3 排气污染物质量流量计算	6
9.4 比排放量的计算	6
10 测量报告	6
附录 A (资料性) 船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物测量数据记录表	7
参考文献	8

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。

本文件起草单位：中国船舶集团有限公司第七一一研究所、中国船级社、武汉理工大学。

本文件主要起草人：张慧、张函桥、李圣军、顾献安、闫萍、常伟杰、雷伟、张世恒、赵飞、程忠明。

本文件于2025年首次发布。

船舶甲醇燃料发动机非常规排气污染物测量方法

警告：本标准的应用可能涉及到某些有危险性的材料、操作和设备，但未对与此有关的所有安全问题都提出建议。因此，用户在使用本标准之前有责任制定相应的安全和防护措施，并确定相关规章限制的适用性。

1 范围

本标准规定了船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物测量的试验环境条件、测量仪器与设备、测量项目、测量原理、测量程序、测量数据处理及测量报告。

本标准适用于燃用甲醇的船用发动机排气中甲醇（ CH_3OH ）和甲醛（ HCHO ）的比排放测量，包括船舶甲醇柴油双燃料机型以及甲醇单一燃料发动机。

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标准必不可少的条款。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/T 683 化学试剂 甲醇

GB/T 2624.3 用安装在圆形截面管道中的差压装置测量满管流体流量 第3部分：喷嘴和文丘里喷嘴

GB/T 8190.1 往复式内燃机 排放测量 第1部分：气体和颗粒排放物的试验台测量系统

GB/T 8190.4 往复式内燃机 排放测量 第4部分：不同用途发动机的稳态和瞬态试验循环

GB 15097 船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法（中国第一、二阶段）

HJ 1137-2020 甲醇燃料汽车非常规污染物排放测量方法

JJF 1319 傅立叶变换红外光谱仪校准规范

MEPC.177(58) Amendments to the technical code on control of emission of nitrogen oxides from marine diesel engines

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

甲醇燃料发动机 methanol fuel engine

可使用甲醇燃料的发动机，包括甲醇单一燃料发动机和甲醇柴油双燃料发动机。

3.2

非常规排气污染物 *unconventionality emission pollutants*

甲醇燃料发动机排气中除一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物和颗粒物以外的污染物，本标准中非常规排气污染物指排气中的甲醇和甲醛。

3.3

标准气 *standard gas*

用于气体分析仪满量程和零点检查及标定的气体。

3.4

比排放 *specific emissions*

单位时间单位功率所排放的污染物质量。

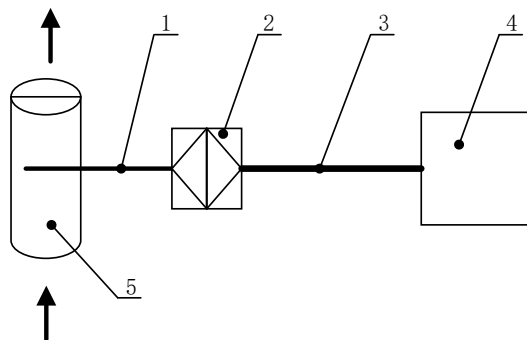
4 试验环境条件

船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物测量的试验环境条件，应满足GB/T 8190.1 的要求。

5 测量仪器与设备

5.1 气体分析系统

5.1.1 用于检测船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物的气体分析系统应由取样探头、滤器、取样管以及甲醇、甲醛分析仪组成，见图1。



标引号说明：

- 1——取样探头；
- 2——加热过滤器；
- 3——加热取样管；
- 4——甲醇、甲醛分析仪；
- 5——排气管。

图1 气体分析系统布置图

5.1.2 甲醇、甲醛分析仪应使用傅里叶红外光谱 (FTIR) 原理。分析仪应满足下列技术要求：

- a) 应包含红外光源、干涉仪、测量室、检测器、信号处理电子组件等元件；
- b) 分析仪样品通路应由不锈钢或聚四氟乙烯 (PTFE) 材料制造，并应加热通路至 110 °C ~ 202 °C；

- c) 分析仪应具备消除环境或仪器干扰的背景光谱扣除功能；
- d) 分析仪的测量误差应不超过名义标定点读数的 $\pm 2\%$ 或 $\pm 3 \times 10^{-6}$ ，取其中较大值；
- e) 分析仪在使用前三个月内、或作出影响设备性能的系统修理或更改时，应进行线性化标定。标定曲线应由至少六个尽可能均匀分布的标定点（不包含零点）组成，最高标称浓度应等于或高于满量程的80%（甲醛分析仪满量程超过 50×10^{-6} 时，标定曲线的最高标称浓度可按能获取的最高浓度执行），标定曲线与每个标定点的偏差应满足测量误差要求。应对分析仪进行校准，校准周期不超过12个月，校准方法及要求应符合JJF 1319规定。
- 5.1.3 取样探头应为不锈钢材料制成的直管段，且一端封闭，在探头的轴向上至少等间距取3个不同径向平面，每个径向平面的管壁上有3个孔，呈 120° 角分布，取样探头长度应满足至少伸入排气管80%直径处。
- 5.1.4 取样管内的采样导管应使用聚四氟乙烯管或不锈钢管，取样管温度应保持在 $190 \pm 10^\circ\text{C}$ ，取样管长度不宜超过10米。
- 5.1.5 滤器应为加热式微粒过滤器，加热温度应保持在 $190 \pm 10^\circ\text{C}$ 。
- 5.1.6 甲醇、甲醛分析仪用标准气体应满足下述要求。
- a) 甲醇分析仪的零气应采用高纯氮气（纯度 $\geq 99.999\%$ ），量距气宜使用甲醇和纯氮气混合，混合后的实际浓度应在标称值的 $\pm 2\%$ 以内，量距气的标称值为测量量程满量程的80%以上。
- b) 甲醛分析仪的零气应采用高纯氮气（纯度 $\geq 99.999\%$ ），量距气宜使用甲醛和纯氮气混合，混合后的实际浓度应在标称值的 $\pm 2\%$ 以内，量距气的标称值为测量量程满量程的80%以上。对于测量量程超过 50×10^{-6} 时，量距气的标称值应以能够获取的甲醇标准气最高浓度执行。
- c) 甲醇、甲醛分析仪用标准气的有效期应满足标准气生产厂家的要求。

5.2 试验台测量仪器

试验台所有相关测量仪器的校准应可溯源到国家基准，其精度应符合表1要求。

表1 测量仪器精度要求

序号	测量仪器	精度
1	发动机转速转换器	读数的 $\pm 2\%$ 或发动机最大值的 $\pm 0.5\%$ ，取大值
2	发动机扭矩转换器	读数的 $\pm 2\%$ 或发动机最大值的 $\pm 1\%$ ，取大值
3	电功（有功功率表）	读数的 $\pm 2\%$ 或发动机最大值的 $\pm 0.5\%$ ，取大值
4	通用大气压力表	$\pm 250\text{Pa}$
5	通用大气湿度表	$\pm 3\%$ 绝对值
6	通用压力转化器（非其他仪器的一部分）	读数的 $\pm 2\%$ 或发动机最大值的 $\pm 1\%$ ，取大值
7	通用温度传感器（温度K）	读数的 $\pm 0.4\%$ 或最大值的 $\pm 0.2\%$ ，取大值
8	燃料流量表（燃料计算器）	读数的 $\pm 2\%$ 或发动机最大值的 $\pm 1.5\%$ ，取大值
9	进气空气、排气和样品流量表	读数的 $\pm 2\%$ 或发动机最大值的 $\pm 1.5\%$ ，取大值

6 测量项目

试验项目应包括排气中下列成分的比排放测量：

- a) 甲醇（ CH_3OH ）；
- b) 甲醛（ HCHO ）。

7 测量原理

船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物比排放的测量原理如图 2 所示，通过直接测量法或空气和燃料测量法或碳平衡法获得排气质量流量数据，通过气体分析系统和颗粒物分析系统获得甲醇和甲醛的体积浓度，计算得到甲醇和甲醛的质量流量，结合测得的发动机功率，求出甲醇和甲醛的比排放量。

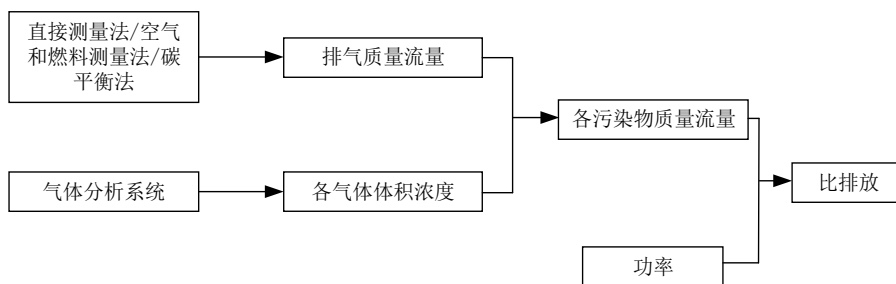


图 2 比排放计算流程示意

8 测量程序

8.1 测量前准备

测量前准备应包括下列内容：

- 完成取样点探头安装，取样点位置的选取应满足GB 15097-2016 附件BA的要求。使用多个取样探头测量时，需确保试验期间，执行探头的吹扫或反冲洗不应影响其他探头；
- 分析系统应安放在适当的位置，有足够空间且无明显温度波动、无振动；
- 完成试验台各设备和测试仪表的安装连接，按照仪器制造商的建议进行系统预热；
- 按照GB 15097-2016 附件BB完成泄漏试验、零点检查和量距点检查、流量检查等分析系统的检查；
- 按照甲醇、甲醛分析仪器要求，执行背景光谱扣除操作，消除环境或仪器干扰；
- 应对试验用的燃料进行燃料特性的分析确定，燃料特性至少包含密度、低热值、粘度和元素成分，甲醇燃料还应进行纯度检测，检测方法应符合GB/T 683要求。

8.2 测量步骤

测量步骤应按照以下流程实施：

- 起动发动机进行暖机运转，使水温、油温、油压等运转参数达到制造厂规定的范围；
- 依据发动机类型，试验工况参照GB15097-2016附录B；
- 测量应在发动机每一工况稳定后进行，每一测量工况的转速调整偏差应不大于额定转速的 $\pm 1\%$ 或 $\pm 3 \text{ r/min}$ （取大者）（低怠速除外，低怠速应在制造厂声明的偏差之内），负荷调整偏差（测量过程平均扭矩与该工况规定扭矩的偏差）应不大于额定转速下额定扭矩的 $\pm 2\%$ ；
- 每个测量点至少稳定运转5 min后，从排气中连续取样测量，气体分析系统的记录时间应不少于10 min，数据记录每分钟不少于3次；
- 在测量的同时，应记录其他甲醇燃料发动机的基本参数（转速、功率、扭矩、温度、压力、湿度、燃料消耗量等），具体记录表格可参考附录A；
- 完成最后一个测量点后，重新进行泄漏试验、零点检查和量距点检查、流量检查等分析系统的检查。

9 测量数据处理

9.1 排气质量流量

9.1.1 直接测量法

用流量喷嘴或等效的流量计系统直接测量排气流量，流量计精度及校准应满足5.3要求。

9.1.2 空气和燃料测量法

9.1.2.1 使用符合 5.2 精度要求的进气空气流量表和燃料流量表分别测量空气进气流量及燃料消耗量，再根据公式（1）计算出排气流量。

$$G_{EXHW} = G_{AIRW} + G_{FUEL} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

G_{EXHW} ——湿基排气质量流量，kg/h；

G_{AIRW} ——湿基进气质量流量，kg/h；

G_{FUEL} ——燃料质量流量，kg/h。

9.1.2.2 进气管径不超过 630 mm 的发动机，进气空气流量表推荐采用喷嘴或等效流量计系统，喷嘴流量计系统推荐依据 GB/T 2624.3 设计；进气管径超过 630 mm 的发动机，进气流量测量推荐使用插入式热式质量流量计。

9.1.3 碳平衡法

根据测得的燃料消耗量、燃料成分和排气浓度，利用碳平衡法计算得出排气质量流量，其计算方法应按照MEPC.177(58)要求开展。使用多种燃料时，混合燃料中氢、碳、硫、氮、氧含量应按照不同燃料消耗量和燃料元素占比进行加权计算。

9.2 干-湿基校正

当排气污染物不是在湿基状况下测量，应按公式（2）进行校正，将干基浓度转换为湿基浓度。

$$conc(wet) = K_{w,r} \times conc(dry) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$conc(wet)$ ——排气各组分湿基体积浓度， $\times 10^{-6}$ ；

$conc(dry)$ ——排气各组分干基体积浓度， $\times 10^{-6}$ ；

$K_{w,r}$ ——干-湿基校正系数，应按公式（3）计算：

$$K_{w,r} = \frac{1}{1+0.005\alpha(c_{CO_2d}+c_{COd})} \times K_{w2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

c_{CO_2d} ——排气中 CO_2 的干基浓度，%；

c_{COd} ——排气中 CO 的干基浓度，%；

K_{w2} ——进气空气中的水分，应按照 GB 15097-2016 附件 BC.1.3.2 规定公式计算；

α ——燃料中氢和碳的摩尔比率，应按公式（4）计算：

$$\alpha = 11.9164 \cdot \frac{w_{ALF}}{w_{BET}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

w_{ALF} ——燃料中氢的质量占比，%；

w_{BET} ——燃料中碳的质量占比，%。

9.3 排气污染物质量流量计算

每工况排气中甲醇和甲醛的质量流量应按公式（5）计算：

$$G_{\text{mass}} = u \cdot \text{conc} \cdot G_{\text{EXHW}} \dots \dots \dots (5)$$

式中：

- G_{mass} ——各污染物的排放质量流量，g/h；
 u ——排气各组分密度与排气密度的比率系数，其系数见表；
 conc ——排气各组分体积浓度， $\times 10^{-6}$ ；若测量浓度不是湿基，可根据 9.2 确定其浓度；
 G_{EXHW} ——排气质量流量，kg/h。

表 2 排气各组分密度与排气密度的比率系数

气体		HCHO	CH ₃ OH
$\rho_{\text{gas}} / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$		1.340	1.430
	$\rho_e^a / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	系数 u^b	
柴油	1.2943	0.001035	0.001104
甲醇	1.2610	0.001062	0.001134
^a ρ_e 是排气的名义密度。 ^b 在 $\lambda=2$ ，湿空气，273K，101.3kPa。			

9.4 比排放量的计算

每一组分的比排放量应按公式（6）计算：

$$G_x = \frac{\sum_{i=1}^n (G_{\text{mass},i} \times WF_i)}{\sum_{i=1}^n (P_{(n)i} \times WF_i)} \dots \dots \dots (6)$$

式中：

- G_x ——各气体组分比排放量，g/(kW·h)；
 $G_{\text{mass},i}$ ——不同工况下各气体的湿基质量流量，kg/h；
 WF_i ——各工况加权系数；
 $P_{(n)i}$ ——各工况净功率，kW。

10 测量报告

测量报告中应当包括以下内容：

- 发动机信息，包括制造厂、型式和名称、产品编号、额定功率、额定转速；
- 进气系统及排气系统型号、参数及安装位置（若有）；
- 发动机运行的环境状况，包括温度、压力、湿度；
- 发动机测量点的工况如负荷、功率等信息；
- 燃料的消耗量如燃油的消耗及甲醇的消耗量、燃料类型；
- 试验报告中应当提供测点布置图、取样管开孔图等信息；
- 试验报告中应当包含测试设备的名称型号、规格、序列号、制造厂等信息；
- 试验报告中应当包含各工况排气中甲醇、甲醛的原始测量结果及比排放结果；
- 测量报告中应当包含其他诸如测量地点、测量人员、日期等信息。

附录 A

(资料性)

船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物测量数据记录表

船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物排放测量数据记录表见表A.1。

表 A.1 船用甲醇燃料发动机非常规排气污染物排放测量数据

测量工况点	1	2	3	4	5	6	7	8
负荷/%								
开始时间								
测量的环境参数								
大气压力/kPa								
进气温度/℃								
进气湿度/%RH								
测量的发动机数据								
转速/(r·min ⁻¹)								
附加功率/kW								
设定功率/kW								
实测功率/kW								
平均有效压力/MPa								
燃油齿条								
燃油质量流量/(kg·h ⁻¹)								
甲醇质量流量/(kg·h ⁻¹)								
空气质量流量/(kg·h ⁻¹)								
排气质量流量/(kg·h ⁻¹)								
排气温度/℃								
排气背压/kPa								
增压空气温度/℃								
增压空气压力/kPa								
燃料温度/℃								
进气压力降/kPa								
测量排气数据								
CH ₃ OH (湿)/*10 ⁻⁶								
HCHO (湿)/*10 ⁻⁶								

参 考 文 献

- [1] HJ 1011 环境空气和废气 挥发性有机物组分便携式傅里叶红外监测仪技术要求及检测方法
 - [2] HJ 1240 固定污染源废气 气态污染物（SO₂、NO、NO₂、CO、CO₂）的测定 便携式傅立叶变换红外光谱法
 - [3] HJ 1330 固定污染源废气 氨和氯化氢的测定 便携式傅立叶变换红外光谱法
 - [4] SAE J2992-2020 FTIR Gas Analyzer Performance Evaluation/Qualification for Automotive Testing
-

