



指南编号/Guideline No.M-22(201510)

# M-22

## 双燃料发动机

生效日期/Issued date:2015 年 10 月 20 日

©中国船级社 China Classification Society

## 前言

CCS 产品检验指南规定了拟申请 CCS 认可/检验的船舶入级产品、授权法定产品的适用技术要求及检验试验要求。

本指南并不限制用户采用其它试验方法和要求,但相关试验方法及要求应不低于本指南的要求。

本指南由 CCS 编写和更新,通过网址 <http://www.ccs.org.cn> 发布,使用相关方对于本社指南如有意见可反馈至 [mp@ccs.org.cn](mailto:mp@ccs.org.cn)。

历史发布版本及发布时间: M-22(201510) 2015 年 10 月 20 日

本版本主要修改内容: 新编

## 目 录

|                  |    |
|------------------|----|
| 1 适用范围.....      | 4  |
| 2 规范性引用文件.....   | 4  |
| 3 术语和定义.....     | 4  |
| 4 图纸资料.....      | 5  |
| 5 失效模式及影响分析..... | 7  |
| 6 原材料及零部件.....   | 9  |
| 7 制造工艺控制.....    | 9  |
| 8 技术要求.....      | 9  |
| 9 型式试验.....      | 13 |
| 10 单件/单批检验.....  | 15 |

## 双燃料发动机

### 1 适用范围

1.1 本指南适用于船舶及移动平台用作推进、驱动发电机及其他与入级有关的船用双燃料发动机的认可及产品检验。

1.2 船长小于 20 米的小船所用的双燃料发动机，除满足相应国内法规要求外，也可参考本指南要求检验和试验。

1.3 单一气体燃料发动机可参考本指南进行检验。

1.4 本指南中所指用作燃料的气体仅指天然气，其他气体燃料的使用应考虑相应的风险。

### 2 规范性引用文件

2.1 CCS《钢质海船入级规范》（以下简称《规范》）第 3 篇第 9 章

2.2 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 16 章

2.3 CCS《天然气燃料动力船舶规范》

2.4 CCS《双燃料发动机系统设计及安装指南》

### 3 术语和定义

3.1 CCS《钢质海船入级规范》、《天然气燃料动力船舶规范》、《双燃料发动机系统设计及安装指南》的定义适用本指南。

3.2 本指南有关定义如下：

- (1) 气体发动机(Gas Engine)：包括双燃料发动机和单一气体燃料发动机。本指南所述作为燃料的气体仅指天然气（甲烷）。根据燃气喷射型式可分为：

燃气直接喷射入气缸；

燃气喷入空气进气总管或扫气箱、或单缸进气；

燃气在增压器前预混合。

- (2) 低压气体发动机(Low pressure gas engine): 通常是指采用低压气体供气, 燃气和空气预混合后进入气缸, 通常采用奥拓循环工作的发动机。
- (3) 高压气体发动机(High pressure gas engine): 通常是指采用高压气体直接喷射入气缸, 通常采用迪塞尔循环工作的发动机。
- (4) 甲烷值(Methane number): 系指示气体燃料抗爆性的指标, 当被测气体燃料的抗爆性能与按照一定比例混合的甲烷和氢气混合气标准燃料的抗爆性能相同时, 该标准燃料中甲烷的体积百分比的数值是该气体燃料的甲烷值。

#### 4 图纸资料

4.1 除了 CCS 《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.1.10 规定外, 包含以下信息的图纸和技术资料应提交本社批准 (仅当适用时):

- (1) 发动机控制系统原理图, 可包括电子喷射控制、引燃油或点火控制、燃烧监控、运行状况监控、排气旁通控制、报警和安全保护装置等;
- (2) 防爆安全阀布置图 (包括曲轴箱、空气进气总管、排气总管防爆布置和计算书);
- (3) 曲轴箱通风及可燃气体探测器、油雾浓度器探测布置图;
- (4) 发动机排气系统布置图;
- (5) 气体燃料系统的原理及布置图 (包括双层管路, 机带部分);
- (6) 高压燃气管系零部件图;
- (7) 燃气进气阀 (低压)、燃气喷射阀 (高压)、控制阀块及其驱动、密封系统图;

- (8) 引燃油系统的原理及布置图，高压管路及其防护图，高压零部件图；
- (9) 预混式发动机(系指燃气和空气在增压器前混合的发动机)的混合器图；
- (10) CCS 认为必要的其他图纸和资料。

4.2 以下图纸及技术文件提交本社备查：

- (1) 项目指南或设计说明；包括发动机一般性说明，特别是控制系统工作模式原理等介绍。
- (2) 安全性设计说明(Safety Concept)；是用来描述气体燃料发动机安全性的文件，它描述使用气体燃料的风险、失效模式及安全措施。一般可包括但不限于以下系统的方案介绍、安全措施、安全保护及报警点清单等信息：

引燃油系统；

排气系统；

曲轴箱通风系统；

空气进气系统；

冷却水系统；

润滑系统；

发动机控制系统；

机舱内供气系统，含阀组（发动机相关联的部分）；

机舱内发生燃气泄漏或火灾时的措施。

- (3) 双燃料发动机风险分析（如 FMEA）报告；
- (4) 操作手册；

- (5) 已完成的发动机及控制系统(含关键零部件)试验报告(适用时);
- (6) 发动机的扭振当量值;
- (7) 发动机能在倾斜状态下工作的说明。

注:送审文件名称可不相同,但应包含所需的足够信息。

## 5 失效模式及影响分析

### 5.1 风险分析的范围

风险分析应至少包括:

- (1) 发动机在燃气模式下任何系统或部件的单一故障;
- (2) 来自发动机的一次燃气泄漏;
- (3) 发动机在燃气模式运行时,应急停车或停电情况下的安全性。

风险分析还应考虑到发动机外部系统(如燃料围护系统或燃料供应系统)的故障可能要求发动机的控制与监测系统在报警或失效状态下采取措施。

### 5.2 风险分析的方法

风险分析可采用 FMEA 或者其他的等效风险分析技术。

FMEA 应采用正式的结构化的方法,可按照接受的国家标准或国际标准进行,例如 IEC60812。

分析应基于单一故障概念,即同时仅需考虑单一的失效模式。可检测的和不可检测的故障均应予以考虑。对于连带故障,即由某一部件故障直接引起的另一部件的单一故障,也应予以考虑。

### 5.3 风险分析的程序

- (1) 识别所关注系统或设备的可能的失效模式,包括导致功能失效或导致燃气泄漏;

- (2) 评价失效后果；
- (3) 必要时，确定故障探测方法；
- (4) 必要时，确定改进措施：
  - ① 设计时，采用冗余设计或设置安全设备、监控报警设备，允许系统在限制条件下运行；
  - ② 运行时，启动冗余或启动替代的工作模式（燃油模式）。

风险分析结果应文件化，必要时须通过实验验证。

#### 5.4 需要分析的系统和设备

- (1) 燃气相关系统和部件的失效；

尤其是燃气管路及其环围(如适用)及发动机本体上的燃气供应阀；
- (2) 点火系统失效，包括引燃油及火花塞；
- (3) 空燃比控制系统失效，包括增压空气旁通，燃气压力控制阀等；
- (4) 采用增压器前预混合技术时，须分析可能会导致产生着火源（热点）的部件的故障；
- (5) 气体燃烧故障或非正常燃烧（熄火或爆燃）；
- (6) 发动机监测、报警和安全系统的失效；

注：当和电控系统集成时，应确保电控系统的故障不会导致发动机正常运行最基本的伺服功能丧失，也不会导致的主机无法运行及性能降低至不可接受范围。

- (7) 燃气异常出现在进气空气总管或排气总管及或发动机的外部系统（如排气管）的风险；
- (8) 双燃料发动机工作模式切换时的风险。

5.5 如失效模式与影响分析被用作规范免除依据，应进行详细分析，必要时补充相应的计算或说明或/并进行故障模拟试验。

## 6 原材料及零部件

6.1 “柴油机及其重要零部件”的关于主要零部件的规定适用于本指南。

6.2 双燃料发动机新增重要零部件：

包括：机带燃气管路及附件（含阀门、软管、波纹管、接头等）、燃气控制阀组/块、燃气喷射阀（高压发动机）、燃气进气阀（低压发动机）、液压油及密封油高压管路、可燃气体探测器、阻火器、防爆阀、发动机电子控制系统、引燃油系统。

其中，可燃气体探测器、阻火器、防爆阀、发动机电子控制系统（含控制器、数据采集和监控单元、燃烧压力传感器、燃气压力传感器等、安保系统用重要传感器）应持认可证书及制造厂质量证明。其他重要零部件应持本社产品证书，或在柴油机厂进行检验和试验。

天然气燃料动力船使用的发动机电子控制系统还应按相应规范要求持有本社产品证书。

备注：上述有持证要求的零部件，其审图和检验要求未包含在本指南中。

## 7 制造工艺控制

7.1 重要零部件、机带燃气管路的焊接工艺应在施工前经评定合格。

7.2 双壁管制造工艺应进行评定，以保证内外管间的环形空间具有足够的通流面积和换气次数。

## 8 技术要求

### 一般规定

8.1 天然气燃料动力船用双燃料发动机的设计、制造、安装和试验要求应满足本社《天然气燃料动力船舶规范》及《钢质海船入级规范》第3篇第9章的适用规定。

8.2 气体运输船及移动平台用双燃料发动机的设计、制造、安装和试验要求应满足本社《双燃料发动机系统设计及安装指南》及《钢质海船入级规范》第3篇第9章的适用规定。

8.3 高压双燃料发动机还应满足《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录1的要求。

8.4 双燃料发动机的电子喷射控制系统还应满足本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章附录2的适用规定。

8.5 双燃料发动机的控制、监测报警及安全系统，还应符合本社《钢质海船入级规范》第3篇第9章、第7篇的有关规定进行认可。

8.6 认识到气体发动机的技术仍在快速发展完善过程中，本指南的技术要求是对我社规范的补充。在相关要求被纳入规范后，以规范文本为准。

#### 8.7 船用环境条件

发动机应根据其用途，满足拟用于的船舶或平台规范要求。如无特殊说明，应满足《钢质海船入级规范》关于船用条件的要求。

8.8 作为基本原则，双燃料发动机的安全性和可靠性应达到类似的常规柴油机相同的水平。

8.9 双燃料发动机应能使用甲烷值和低热值处于一定范围内的天然气，发动机制造厂应指明其适用的天然气甲烷值和低热值波动范围。

8.10 所有含有或可能含有可燃气体的部件均应：

- (1) 能证明没有爆炸危险；或
- (2) 由于该部件具有足够的强度或者装有安全释放阀，爆炸造成的后果可以接受。安全阀释放物应远离人员、设备或系统的安全位置，且爆炸不会影响发动机的正常运行（除非有其他安全措施而允许关闭该发动机）。

8.11 燃气管系或零部件的燃气泄漏时，应能保持足够的推进和操纵能力及保证关键的安全系统的运行。

8.12 如果燃气有可能泄漏到发动机辅助系统的其他介质(如润滑油、冷却水),则应设有适当的气体排出装置,该装置须直接安装在辅助系统的出口后面以防止气体扩散,排出的气体应释放到露天安全位置。

### 8.13 替代设计

本社可接受经过充分的风险评估后具有等效安全性能的设计方案。必要时,应进行故障模拟试验验证风险分析结果。

### 8.14 发动机氮氧化物排放

8.14.1 双燃料发动机氮氧化物测试应按照本社《船用发动机氮氧化物排放试验及检验指南》进行。

8.14.2 若发动机仅拟在气体模式中正常使用,即主要使用燃气和少量的引燃油,仅需在此模式下进行测试,测试时发动机应工作于说明书中允许运行的最大燃油/燃气比。

8.14.3 若发动机也拟在燃油模式正常使用时,则需进行相应模式的排放测试。

8.14.4 对于掺燃技术的发动机(在使用燃油同时,掺烧适量燃气的发动机,不设专门的引燃油系统),排放测试时可根据测试数据选择排放最恶劣的工作模式进行测试。

## 系统设计要求

### 8.15 启动和燃料转换

8.15.1 双燃料发动机应既能使用燃油也能使用气体燃料和少量引燃油工作。发动机应能快速从燃气工作模式转换到燃油工作模式。在燃料转换时,发动机应能连续不间断地输出功率。

8.15.2 发动机燃料模式的转换应仅在一定的功率范围内实现,且实现此转换的可靠性应通过试验进行证明。转换过程应能自动进行,在任何情况下均应能通过手动方式中断上述转换过程。

8.15.3 发动机功率减小至低于燃气模式最低功率时,应能自动转换为燃油模式。

8.15.4 启动、正常停车时应仅使用燃油。当气体燃料供应关闭时，发动机应能仅使用燃油持续工作。

8.15.5 正常停车及紧急停车时，气体燃料供应的切断不应迟于燃油供应的切断。引燃油的切断应不可能先于气体燃料供应的关闭。

#### 8.16 引燃油喷射

喷入各气缸的引燃油量应足以保证燃气混合气的强制点火。应确保在停止引燃油喷射时，燃气不会喷入气缸。引燃油喷射应通过油压和燃烧参数进行监测。

### 安全措施

8.17 曲轴箱保护应满足《双燃料发动机系统设计及安装指南》22.4.4 及 22.4.5。

8.18 曲轴箱透气应满足《双燃料发动机系统设计及安装指南》22.4.6。

8.19 起动空气和进气系统保护应满足《双燃料发动机系统设计及安装指南》22.4.3。

8.20 排气系统应满足《双燃料发动机系统设计及安装指南》22.4.7。

8.21 控制、监测与安全系统应满足《双燃料发动机系统设计及安装指南》22.5.2。

#### 8.22 气体燃料管系

柴油机带气体燃料管系应根据机器处所的布置型式而采用常规的“双壁管”或者“单壁管”型式。管系设计制造和检验应满足《天然气燃料动力船舶规范》第三章第四章或《双燃料发动机系统设计及安装指南》第二章及第三章要求。气体燃料管系一般还需满足以下要求：

- (1) 气体燃料管系及零部件的原材料、强度应满足相应国际规则和本社相应规范要求；
- (2) 气体燃料管路所用的阀件、膨胀接头、原材料等应符合《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 16 章相关要求。紧急切断阀应采用熔点不低于 925℃ 金属制造，并进行耐火试验；

- (3) 管路的联接应尽量采用焊接，尽可能少使用法兰联接。管路联接型式除应满足《天然气燃料动力船舶规范》3.2.6 要求外，高压燃气管系还应考虑本社《钢质海船入级规范》第三篇第二章的要求。本社也可根据公认标准接受特殊型式的法兰联接。法兰联接的垫片应有效保护；
- (4) 管路的制造和检验除相应规范要求外，还应考虑本社《材料与焊接规范》第三篇第九章要求；
- (5) 燃气管系的安装应有足够的挠性，以适应发动机的摇摆或振动，防止管路和发动机的连接处发生疲劳损坏；
- (6) 当在管路或管接头、软管接头与船体结构之间采用绝缘隔离时，应设有电气接地措施；
- (7) 所有燃气管系应采用统一的颜色标识。

### 8.23 燃气在增压器前预混合发动机

8.23.1 在风险评估合格的情况下，对于增压器前的承受负压的管路，可采用单层壁管。

8.23.2 进气总管、增压器、空冷器等应视作燃气供应系统的部件而进行保护。

## 9 型式试验

### 9.1 典型样机的选取

9.1.1 低速机的型式试验的样机应按下列原则选取：

- (1) 所选机型应该具有代表性；
- (2) 按本社批准的图纸和技术文件的要求制造；
- (3) 制造厂已进行过内部试验并确信性能可靠。

9.1.2 中高速机型式试验的样机应按下列原则选取：

- (1) 所选机型应该能体现工厂的生产水平；
- (2) 强化指标较高。

9.1.3 发动机型号的定义按照《钢质海船入级规范》第三篇第九章第 9.10.4.3 条及考虑以下特征：

- (1) 燃气供应压力：高压、低压；
- (2) 燃气进气方式：直接喷射、进气总管进气、进气支管进气、增压器前预混合等；
- (3) 燃气进气控制方式：凸轮轴控制、电子控制；
- (4) 点火系统：引燃油或火花点火、电子控制或机械控制；
- (5) 燃料类型。

## 9.2 型式试验项目

天然气燃料动力船用发动机的型式试验应按照《天然气燃料动力船舶规范》附录二进行试验。

其他发动机的型式试验应满足《钢质海船入级规范》第三篇第九章的规定，且满足以下双燃料发动机的附加要求：

- (1) 双燃料发动机所使用的天然气成分报告应提交本社备查，且满足制造厂规定的甲烷值和低位热值范围。
- (2) 试验记录中应记录气体燃料相关的参数。
- (3) 双燃料发动机应在所有模式下进行负荷点和功能试验。
- (4) 双燃料发动机应在不同负荷下进行燃气模式和燃油模式转换试验。
- (5) 对双壁管燃气管系进行通风有效性试验。
- (6) 对驱动发电机用发动机承受突加和突卸负荷能力进行试验，双燃料发动机在试验中自动转换到燃油模式可以接受。分级加载能力可

由制造厂和客户根据船舶需求确定。

- (7) 整合试验应包括必要的和燃气系统有关的功能和故障模拟试验。
- (8) 对于掺燃式发动机，本节所述的燃气模式是指燃料中气体燃料比例最大的工况。
- (9) 批量生产的中高速发动机，可在内部试验中，根据设计和评估情况进行 100h 耐久试验。

### 9.3 安全保护及试验条件

9.3.1 试验前应确保所有安全系统和设备正常工作。特别是要确保燃气供应系统的强度和密性可靠，系统正常运行，安全系统可靠。

9.3.2 如制造厂试验台位作为认可试验场所，应能完成大纲规定的试验项目。CCS 将对其试验能力、检测手段以及试验人员情况等方面进行核查并确认满足要求。

9.3.3 试验用测量仪表应具有有效的计量检定证书。

## 10 单件/单批检验

认可后的单件/单批检验应包括本社相应规范中规定的工厂接受试验。对于需解体后在船上重新安装的发动机，还应按照制造商的技术要求，申请本社现场验船师进行有关检验。

双燃料发动机应根据应用情况在燃气和燃油两种模式下进行下列试验。

双燃料发动机应在不同负荷下进行燃气模式和燃油模式转换试验。

试验中应达到型式认可试验同样的安全防护和试验条件。

### 10.1 非批量生产发动机的检验

10.1.1 检验应按相应规范和批准的检验计划进行，本社检验单位可根据制造厂质量水平适当确定检验项目。

10.1.2 外购重要零部件应按本社规范和指南要求持证。

10.1.3 验船师应参加在发动机制造厂自制的重要零部件的检验，例如材料检验、焊接检验、无损探伤、加工检验。

10.1.4 验船师根据检验计划参加装配检验或审核记录。

10.1.5 验船师应见证每台发动机的台架试验和拆检。

## 10.2 批量生产的发动机检验

10.2.1 批量生产的发动机应满足本社《钢质海船入级规范》第三篇第九章对批量生产的定义。只有已经制造厂检验/试验合格并已达到可交付状态的发动机，方可申请 CCS 单件/单批检验。

10.2.2 检验应按照相应规范和批准的检验计划进行，抽样比例在检验计划中规定，但至少要有 1 台，验船师抽样参加发动机台架试验复试。

10.2.3 每次申请单件/单批检验时，应同时提交该批产品的主要零部件原材料质量证明文件和相关检验和试验记录，由 CCS 验船师审核。