

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD08-2018



中国船级社

液化气体运输船气体燃料发动机系统设计 与安装指南

2018

生效日期：2018年5月1日

北京

目录

第 1 章 通则.....	3
1.1 应用和范围.....	3
1.2 附加标志.....	3
1.3 定义与缩写.....	3
1.4 图纸资料.....	5
第 2 章 气体燃料发动机舱室设计与布置.....	7
2.1 一般要求.....	7
2.2 气体安全机器处所要求.....	7
2.3 ESD 保护机器处所要求.....	8
第 3 章 气体燃料供应.....	11
3.1 一般要求.....	11
3.2 燃料供应冗余要求.....	11
3.3 气体燃料供应系统安全保护.....	12
3.4 气体安全机器处所内的气体燃料管系.....	13
3.5 ESD 保护机器处所内的气体燃料管系.....	14
3.6 气体阀件单元室.....	15
第 4 章 气体燃料发动机.....	16
4.1 一般要求.....	16
4.2 系统设计.....	16
4.3 DF 发动机附加要求.....	19
4.4 GF 发动机附加要求.....	19
4.5 增压器前预混式气体燃料发动机附加要求.....	20
4.6 型式试验、工厂接受试验和船上试验.....	20
第 5 章 控制、监测与安全系统.....	24
5.1 一般要求.....	24
5.2 气体燃料发动机控制、监测与安全系统.....	24
5.3 气体燃料发动机舱室相关的监测与安全保护.....	26

第 1 章 通则

1.1 应用和范围

1.1.1 本指南适用于采用天然气为燃料的液化气体运输船舶。拟使用其他气体或低闪点液体燃料时，应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 16 章 16.9 的要求。

1.1.2 本指南仅为规范的补充，气体燃料发动机动力系统除满足本指南要求以外，还应符合 CCS《钢质海船入级规范》、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的有关规定。

1.1.3 指南主要规定了气体燃料发动机设计、气体燃料发动机安装布置、气体燃料供应、气体燃料使用相关的控制监测及试验等方面的要求。

1.1.4 本指南中，气体燃料发动机可以是双燃料发动机，或者是单一气体燃料发动机。气缸内的气体/空气混合物可以通过一定量的引燃油燃烧点火，或者是通过点火装置（如火花塞）点火。

1.2 附加标志

1.2.1 使用天然气为燃料的液化气体运输船舶，经申请可授予如下相应附加标志：

DFD 装有符合本指南要求的双燃料发动机动力装置；

GF 装有符合本指南要求的单一气体燃料发动机动力装置。

1.3 定义与缩写

1.3.1 定义

(1) 合格防爆型 (Certified safe type)：系指由本社接受的相关机构，按公认的标准（如 IEC 60092-502 或其他等效标准）核准在易燃环境中可安全运行的电气设备。

(2) 双燃料发动机 (Dual fuel engine) (以下简称 (DF 发动机))：系指既可采用天然气作为燃料（引燃油用于点火），也可单独采用燃油作为燃料的发动机。燃油包括船用馏分油和船用渣油。

(3) 气体燃料发动机 (Gas fuel Engine)：系指单一气体燃料发动机或双燃料发动机。

(4) 单一气体燃料发动机 (Gas fuel only engine) (以下简称 GF 发动机)：系指只能以气体燃料运行而不能转换到燃油燃料运行的发动机。

(5) 气体燃料发动机舱室 (Gas fuel engine room): 系指设有气体燃料发动机的机器处所或围蔽处所。

(6) 气体喷射阀 (Gas fuel injection (admission) valve): 系指发动机上, 可根据气缸实际的气体燃料需要控制气缸燃气供应的阀或喷嘴。

(7) 气体阀件单元 (Gas valve unit (GVU)): 系指用来控制每台用气设备气体燃料供应的一组阀和附件, 包括手动截止阀、控制截止阀和透气阀、压力传感器和变送器、温度传感器和变送器、压力控制阀、滤器等, 还包括一个惰性气体扫气接口。

(8) 气体阀件单元室 (GVU room): 系指设有气体阀件单元的气密舱室或罩壳。

(9) 双截止透气阀 (Double block and bleed valve): 系指安装在每台发动机气体燃料供应管路上的 1 套自动阀 (3 只), 其中 2 只截止阀串接在通向发动机的燃气燃料管路上, 第 3 只安装在处于 2 只串接截止阀之间的气体燃料透气管上, 该透气管应通向露天的安全位置。

(10) 低压气体 (Low pressure gas): 系指压力小于等于 1.0MPa 的气体。

(11) 低热值 (Lower heating value (LHV)): 系指一定量的燃料完全燃烧后所产生的热量 (除去水的蒸发潜热)。

(12) 主燃气燃料阀 (Master gas fuel valve): 系指位于货物区域, 安装在发动机燃气燃料供应管路上可遥控的自动控制阀。

(13) 甲烷值 (Methane Number): 系指点燃式发动机抗爆性能的一个指标, 通过试验燃料在爆震试验台上按相同爆震强度进行测试获得。

注: 纯甲烷气体作为抗爆参考燃料, 甲烷值设为 100, 纯氢气作为爆震敏感参考燃料, 甲烷值设为 0。

(14) 天然气 (Natural gas): 系指常温常压下 (20°C 和 1 个标准大气压) 呈气态, 主要成份为甲烷, 还有一些乙烷和少量重烃 (主要是丙烷、丁烷) 的气体。

(15) 引燃油 (Pilot fuel): 系指喷入气缸用于点燃主燃气/空气混合物的燃油 (DF 发动机)。

(16) 增压器前预混式发动机 (Pre-mixed engine): 系指燃气在增压器前以空气混合物形式供应的发动机。

(17) 安全理念 (Safety concept): 是指描述燃气燃料使用安全理论的一份文件, 该文件详细说明了各种可预见且合理的非正常条件下、以及可能的失效场景下, 如何控制该燃料相关的风险以及控制措施。

注: 可能的爆炸所造成的潜在伤害应进行详细评估, 并在发动机安全理念文件中予以反

映。

(18) 单项故障 (Single Failure): 系指在指定条件下一个产品或部件执行某一功能的能力终止。

(19) 不可接受的动力损失 (unacceptable loss of power): 系指按 SOLAS II-1 章 26.3 条规定, 当某一重要辅助设备不能工作时, 船舶无法维持或恢复推进设备的正常运行。

1.3.2 缩写

- (1) DF (Dual Fuel): 系指双燃料;
- (2) ESD (Emergency Shut Down): 系指紧急切断;
- (3) GF (Gas Fuel only): 系指单气体燃料;
- (4) GVU (Gas Valve Unit) :系指气体阀件单元;
- (5) LEL (Lower Explosive Limit): 系指爆炸下限;
- (6) LNG (Liquefied Natural Gas): 系指液化天然气;
- (7) LHV (Lower Heating Value): 系指低热值。

1.4 图纸资料

1.4.1 除 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.1.12.1 规定的图纸资料以外, 气体燃料发动机认可还应提交下列图纸资料批准:

序号	图纸资料
(1)	发动机上气体燃料系统原理图或等效文件
(2)	气体管系 (包括双层壁布置 (如适用))
(3)	气体燃料喷射系统部件 ^②
(4)	防爆安全阀布置及相关计算书 (包括曲轴箱 ^① 、扫气箱、空气进气总管、排气总管) (如适用)
(5)	合格防爆设备清单和相关证明文件
(6)	气体燃料燃烧有关的发动机控制与安全系统原理图或等效文件
(7)	发动机上燃油系统 (主燃油和引燃油) 原理图或其他等效文件 (仅 DF 发动机适用)
(8)	引燃油系统高压油管防护组件 (仅 DF 发动机适用)
(9)	引燃油喷射系统高压部件 ^② (仅 DF 发动机适用)
(10)	点火系统 (仅 GF 发动机适用)

- ① 按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.1.12 要求；
- ② 包括压力、管路尺寸、材料等技术规格。

1.4.2 除 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.1.12.2 规定的图纸资料以外，气体燃料发动机认可还应提交下列图纸资料备查：

序号	图纸资料
(1)	安全理念（备查）
(2)	风险分析报告（备查）
(3)	气体燃料规格（备查）
(4)	CCS 认为必要的其他图纸资料

1.4.3 拟安装气体燃料发动机动力系统的船舶，除按本社相关规范的要求提交图纸资料外，还应提交下列图纸资料批准：

序号	图纸资料
(1)	气体燃料发动机舱室布置图
(2)	气体燃料发动机舱室电气设备与照明布置图
(3)	气体燃料发动机舱室通风系统，对于 ESD 保护气体燃料发动机舱室，还应包括通风量计算书
(4)	固定式气体探测和报警系统
(5)	气体燃料管系，包括双层管或通风管（如适用）、管路及相关部件材料、尺寸、类型、设计压力和设计温度等
(6)	气体燃料使用相关的控制与安全保护系统
(7)	排气系统图，包括防爆设施布置
(8)	气体燃料使用相关的报警与显示点清单
(9)	气体燃料发动机舱室内合格防爆设备清单
(10)	气体燃料管路电气接地布置
(11)	船上试验大纲
(12)	CCS 认为必要的其他图纸和资料

第 2 章 气体燃料发动机舱室设计与布置

2.1 一般要求

2.1.1 为减小气体爆炸的可能性，气体燃料发动机舱室可应用如下两种设计方案：

(1) 气体安全机器处所：机器处所的布置使得处所在各种情况下（正常及异常情况）均视为气体安全，即：本质气体安全。

在气体安全机器处所内，单项故障不会导致气体燃料泄漏到机器处所内。

(2) ESD 保护机器处所：机器处所的布置使得处所在正常情况下可视为安全，但在某些特定的异常情况下有变危险的可能。当发生气体危险相关的异常状况时，非安全的设备（点火源）和机器应自动执行紧急切断（ESD），而在用或处于活动状态的设备或机器应为合格防爆型。

在 ESD 保护机器处所内，单项故障可能导致气体泄漏到处所内。处所的通风设计应能适应技术故障可能导致的最大气体泄漏量。

对于可能导致大量气体体积聚危险的故障（如气体燃料管路破裂或垫片吹飞等），应设有爆炸压力泄放装置和 ESD 装置予以保护。

2.1.2 采用气体安全机器处所设计方案时，气体燃料发动机舱室的设计和布置应满足本章 2.2 的规定。

2.1.3 基于同等气体使用安全原则，本章 2.3 规定了 ESD 保护机器处所的通风、气体探测、电气设备、紧急切断、进出口布置等方面的安全要求。采用 ESD 保护机器处所设计方案时，气体燃料发动机舱室的设计和布置应满足本章 2.3 的规定，并按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》等效条款的规定，征得主管机关同意。

2.1.4 对于增压器前预混式气体燃料发动机，应布置在 ESD 保护机器处所内。

2.2 气体安全机器处所要求

2.2.1 燃料系统单项故障不应导致气体泄漏到机器处所内。

2.2.2 机器处所边界以内的所有气体燃料管路，应按本指南 3.4.1 的规定进行围闭保护。

2.2.3 除本指南 3.4.1 规定的双层管或通风管/管道设计方案以外，机器处所内的气体燃料管路如采用其他设计方案并具有同等安全水平，经特殊考虑后也可接受。

2.2.4 机器处所的通风系统、气体探测系统、电气设备、透气管和放气管

等应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 16 章 16.3 的要求。

2.2.5 通风系统的空气进口应设置在安全区域，距离任一危险区域的边界应至少 1.5m。

2.3 ESD 保护机器处所要求

2.3.1 ESD 保护设计应仅限于经认可的周期无人值班机器处所。

2.3.2 处所内的气体燃料管路内最大工作压力应不大于 1MPa。

2.3.3 应采取适当的措施防止爆炸，避免对 ESD 保护机器处所外的区域造成破坏，保证动力供应的冗余。应采用但不限于下列措施：

- (1) 气体探测；
- (2) 切断阀；
- (3) 冗余；
- (4) 有效通风。

2.3.4 当满足以下条件时，机器处所内的供气管路可不设气密围护：

(1) 用于发出推进动力和电力的发动机设置在两个或两个以上机器处所内，机器处所之间无共同界面，除非有文件证明单一事故不会影响两个机器处所；

(2) 机器处所内仅设置气体燃料发动机以及维持其功能所必需的设备、组件和系统。焚烧炉、惰性气体发生器或其它燃油锅炉一般不安装在处所内；

(3) 机器处所设置固定式气体探测系统，用于自动切断机器处所的气体燃料供应，并断开处所内所有非合格防爆型电气设备或装置。

2.3.5 不同机器处所内的发动机分配应保证：切断任一机器处所的燃料供应不会导致不可接受的动力损失。

2.3.6 单舱壁分隔的 ESD 保护机器处所，应有足够的强度承受任一处所内发生的气体爆炸，而不会影响相邻处所的完整性及该处所内的设备。

2.3.7 为了便于通风和气体探测，在不影响维修保养的前提下，ESD 保护机器处所的容积应尽量小，形状尽可能简单以减少气体积聚或形成通风换气死角的可能性。

2.3.8 机器处所通风应满足下列要求：

(1) 通风能力应保证处所换气至少 30 次/h（按舱室总容积计算）。该通风系统应确保处所内的空气循环良好，特别是确保能探测到处所内形成的空气死角。

可接受如下替代布置：正常工作时，保证处所换气至少 15 次/h，当机器处所内探测到气体时，换气次数将自动增加到 30 次/h。

如发动机的吸气口位于机器处所内，上述总通风量还应考虑发动机工作需要

的空气量；

(2) 通风布置应具有足够的冗余，确保能达到本社接受标准（如 IEC 60079-10-1）所定义的高水平通风可获得性；

(3) 通风系统的风机数量和功率应能保证：当由主配电板或应急配电板的一路独立线路供电的一台风机或由主配电板或应急配电板的共用线路供电的一组风机停止运转时，通风能力的降低不会超过总通风能力的 50%；

(4) 通风管道的布置应能迅速排除机器处所内的泄漏气体；

(5) 每个 ESD 保护机器处所的通风系统应相互独立，并应独立于其它任何处所的通风系统；

(6) 通风系统的进气和排气应分别来自和排向一个安全的位置；

(7) 通风机应符合 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 12 章 12.1.7 的规定；

(8) 正常情况下，当管路内存在气体燃料，以及维修工作前进行扫气操作时，通风系统应一直保持运转。

2.3.9 机器处所气体探测应满足下列要求：

(1) 每个 ESD 保护机器处所应至少设有 2 套独立的固定式气体探测系统，用来连续无延迟地监测泄漏气体。当任一探测系统失效时，其余气体探测系统仍应满足探测要求；

(2) 每个处所内的气体探测器数量应根据该处所的大小、布置和通风情况予以考虑；

(3) 探测器应位于气体可能积聚处或通风出口处。可采用气体扩散分析或烟雾试验的方法来确定最佳安装位置；

(4) 气体探测装置应按公认的标准（如 IEC 60079-29-1）进行设计、安装和试验；

(5) 正常情况下，当管路内存在气体燃料，以及维修工作前进行扫气操作时，气体探测系统应保持工作；

(6) 机器处所内可燃气体浓度达到 20%LEL 时，应触发声光报警。两个探测器（见表 5.3.1 注 2）探测的可燃气体浓度达到 40%LEL 时，应触发安全系统；

(7) 气体探测系统及相关的紧急停车系统应能通过测试和维护来保持其工作期间性能稳定，并应根据维护及说明手册中的规定定期进行校正。维护和试验程序应以文件形式保留在船上供船员使用。

2.3.10 ESD 保护机器处所在正常运行情况下视为非危险区域，但当探测到气体泄漏而导致 ESD 保护机器处所停用后，处所内仍需继续工作的电气设备应为适用于 1 类危险区域的合格设备。

2.3.11 ESD 保护机器处所的进出口应按如下要求布置：

(1) 每个机器处所一般应至少设有 2 个相互独立且尽量远离的进口；

(2) 机器处所进口应安装自闭门，当门保持开的状态超过 1 分钟时，应在连续有人值班位置发出声光报警；

(3) 如从船上其他围蔽处所进入 ESD 保护机器处所，则其进口应设置符合 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 章 3.6 要求的空气闸。

第 3 章 气体燃料供应

3.1 一般要求

3.1.1 气体燃料供应管系的设计、制造、安装、布置、试验等应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 5 章、第 16 章 16.4 的有关要求。

3.1.2 穿过设有机械通风处所的全焊接气体燃料透气管，可不必按《液化规范》16.4.3 的规定进行气密围闭保护。

3.1.3 气体燃料供应管系上的所有自动和远程操作阀，应在阀的远程操作位置设有阀开/关位置指示设施。此类阀件应为故障安全型。

3.1.4 应设有对气体燃料供应管系进行惰化和除气的设施。

3.1.5 气体燃料管系应按本社接受的标准（如 GB/T 3033、EN ISO 14726 等）进行颜色标识。

3.1.6 气体燃料管路距离舷侧应不少于 800mm。

3.1.7 气体燃料管路应设有必要的保护设施以避免受到可能的外部机械损伤。

3.1.8 高压气体燃料管路的安装和布置应尽可能地减小管路破裂时对人员造成伤害的风险。

3.1.9 如气体燃料含有可能冷凝的重质成份，则气体燃料供应管系应设有安全除去冷凝液体的设施。

3.1.10 如因气体泄漏导致气体燃料供应切断，在查出泄漏部位并修复之前，不得供应气体燃料，并应将该操作须知张贴在气体燃料发动机舱室内的显著位置。

3.2 燃料供应冗余要求

3.2.1 气体燃料动力船舶的燃料供应系统应设计成：当发生气体泄漏触发安全系统动作后，不会导致不可接受的动力损失。

3.2.2 对于单一气体燃料动力系统，气体燃料应能分别从两个或两个以上的货舱或燃料舱（如设有）获取。整个燃料供应管系（从货舱或燃料舱（如设有）至用气设备）应冗余布置，并进行完全隔离，保证其中任一系统发生泄漏触发必要的安全保护动作后，不会导致不可接受的动力损失。

对于 C 型独立货舱或燃料舱（如设有），满足如下条件之一时，允许气体燃料仅从一个货舱或燃料舱（如设有）获取：

（1）货舱或燃料舱（如设有）上用于燃料供应相关的所有接头和阀件均处于开敞甲板以上；

（2）设有两个完全独立的燃料舱接头处所，燃料可分别通过两个接头处所

单独供应。

3.3 气体燃料供应系统安全保护

3.3.1 每个气体燃料发动机舱室的供气总管上应串联安装 1 个手动操作截止阀和 1 个自动操作主气体燃料阀，或设置 1 个自动和手动操作组合一体的阀。上述阀件应设在货物区域的气体燃料管路上，并尽可能靠近气体加热设施(如设有)。

3.3.2 主气体燃料阀应满足以下要求：

(1) 当发生本指南第 5 章表 5.2.1 和表 5.3.1 规定的相关故障触发安全系统动作时，主气体燃料阀应能自动切断相应发动机舱室的气体燃料供应。

(2) 切断一个发动机舱室的气体燃料供应不应影响其他处所内用气设备的气体燃料供应（如用气设备布置在两个或两个以上处所内），也不会造成推进动力或电力丧失。

(3) 应能从气体燃料发动机舱室内脱险路线上的安全位置、机舱集控室（如适用）、机器处所外和驾驶室对其进行操作。

3.3.3 每台气体燃料发动机应装设一套双截止透气阀，并满足如下要求：

(1) 3 只阀中的 2 只串接在通向发动机的气体燃料管路上，第 3 只安装在处于 2 只串接阀之间的气体燃料透气管上，该透气管应通向露天的安全位置；

(2) 当发生本指南第 5 章表 5.2.1 和表 5.3.1 规定的有关故障时，能自动关闭 2 只串接阀并自动打开透气阀；

(3) 2 只串接阀中的 1 只阀和透气阀的功能可以组合在同一个阀体中，当发生本指南第 5 章表 5.2.1 和表 5.3.1 所述的有关故障时，应能自动切断气体燃料供应，并自动进行透气；

(4) 上述 3 只阀应能人工复位；

(5) 串接的 2 只截止阀应为故障关闭型，透气阀应为故障开启型；

3.3.4 发动机正常停车后，也应按程序自动关闭 2 只串接阀并自动打开透气阀。

3.3.5 双截止透气阀错误操作时，如截止阀和透气阀同时打开、发动机停车时截止阀打开等，应发出报警。

3.3.6 当主气体燃料阀自动关闭时，如气体从发动机向气体供应管路上游回流，则双截止透气阀下游的整个供气支路应自动透气。

3.3.7 每台气体燃料发动机的供气管路上，应在双截止透气阀上游设 1 个手动操作的截止阀，以确保在发动机维修期间能进行安全有效的隔离。

3.3.8 单机或多机布置情况下，如每台气体燃料发动机均设有一个单独的主气体燃料阀，则主气体燃料阀和双截止透气阀的功能可以进行组合，即主气体燃

料阀可以作为双截止透气阀中的一个截止阀用于切断气体燃料供应。

3.3.9 每个 ESD 保护机器处所的供气总管、以及每台高压气体燃料发动机的供气管路，应设置快速探测机舱内供气管路破裂的设施。当探测到气体燃料管路破裂时，应能自动切断气体燃料。用于自动切断气体燃料功能的阀，可以是 1 个单独的阀，也可以是 1 个组合其他功能的阀，如主气体燃料阀；该阀的自动关闭动作应设有延时，以防因瞬时负荷变化导致的不必要关闭；该阀应安装在供气管路进入发动机舱室前的位置，或者安装在供气管路进入发动机舱室后尽可能靠近进入点的位置。

可接受用于探测气体燃料管路破裂的措施包括（但不限于）：

- (1) 在供气管路上靠近机舱进入点的位置，安装气体燃料超流量探测装置；
- 或
- (2) 在供气管路上靠近机舱进入点的位置，安装具有超流量探测功能的自动关闭阀；或
- (3) 在发动机的气体燃料进口处设低压探测器。

3.4 气体安全机器处所内的气体燃料管系

3.4.1 气体安全机器处所内的气体燃料管路应采用双层壁设计或者安装在通风管或管道内，并满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》16.4.3 的规定。

3.4.2 气体燃料管路和管道与气体喷射阀的连接应完全包含在管道内，其布置应便于气体喷射阀和气缸盖更换和/或检修。发动机本体上的气体管路也应采用双壁管，直至气体喷射至燃烧室。如在气缸吸气过程期间，低压气体直接喷入单个气缸的空气进口处，这种情况下单项故障不会导致气体燃料泄漏到机器处所内，则发动机空气进气管可免设双壁管。

3.4.3 气体燃料管路采取双层壁通风管或管道设计时，应采取必要的措施防止通风管或管道内发生水蒸气冷凝，如保持气体燃料温度高于通风进口空气温度或通风空气进行干燥处理等。

3.4.4 如气体燃料管路运输的是高压气体，还应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 1 中 1.9 的有关要求。

3.4.5 3.4.1 所要求的通风管或管道，其通风系统除了满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》16.4.3（2）的规定之外，还应满足如下要求：

- (1) 双壁管通风系统应独立于所有其他通风系统。
- (2) 双壁管的通风进口应始终位于远离着火源的非危险区域内。通风进口

处应设有合适的金属丝网保护，并应防止进水。通风出口应覆有防火网，并应设置在不会点燃易燃气体-空气混合物的位置。

(3) 如能确保双壁管或管道内的空气流速不低于 3m/s，则其通风系统的能力可低于每小时换气 30 次。对管道空气流速进行计算时，应综合考虑通风管内的燃料管路、以及其他所安装的部件。

3.4.6 对于 3.4.1 规定的通风管或管道，其设计压力应不低于内管的最大工作压力。作为替代，如气体燃料管内为高压气体，通风管或管道的设计压力应不小于内管破裂时环形空间内可能形成的最大累积压力或局部瞬时峰值压力，取大者。

3.4.7 对于高压气体燃料管，通风管或管道的设计压力应取下列值的较大者：

(1) 最大累积压力：气体燃料管路破裂时，气体在通风道内流动产生的静压；

(2) 管子破裂处当地瞬时峰值压力 P_c ，按下式计算：

$$P_c = P_0 \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

式中：

P_0 — 内管最大工作压力；

k — 定压比热和定容比热的比值，即： $k = C_p/C_v$ ，对于 CH_4 气体， k 取 1.31。

当承受上述压力时，直管的切向膜应力不应超过 $R_m/1.5$ (R_m ，材料的抗拉强度)。其他管件的压力等级应与直管的强度水平相当。

根据上式计算的峰值压力可以用试验得到的最高压力代替，但应提交相关试验报告。

3.4.8 通风管的强度应基于证明通风管完整性的计算进行验证，或者作为替代，也可通过代表性试验予以验证。

3.4.9 如气体燃料管路内为低压气体，通风管道的设计压力应不小于气体燃料管路的最大工作压力，并应通过压力试验验证其可以承受气体管子破裂时通风管道内可能达到的最大压力。

3.5 ESD 保护机器处所内的气体燃料管系

3.5.1 气体燃料管路的设计压力应不小于 1MPa。

3.5.2 管路接头应尽量少，所有接头均应采取全焊透对接焊，并进行 100% 射线或超声波检查。

3.5.3 如采用法兰连接，一般应采用颈焊型法兰（即 A 型法兰），焊接部位应进行 100%射线检查。

3.5.4 ESD 保护机器处所内的气体燃料管路，如存在上方物体落下造成破坏的风险，则应予以防护。

3.5.5 ESD 保护机器处所内的气体燃料管路应尽可能远离电气设备和装有可燃液体的燃料舱。

3.6 气体阀件单元室

3.6.1 气体阀件单元如布置在专门的舱室内，该舱室的安全原则和布置应与 ESD 保护发动机舱室要求相同，其通风系统、气体探测系统、电气设备及进出口布置应分别符合本指南 2.3.8~2.3.11 的规定。

3.6.2 位于气体安全机器处所内的气体阀件单元室，如正常工作时气体阀件单元室的门或箱盖处于锁住状态，仅在气体燃料供应系统切断并进行除气后才允许打开，则可不必按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 3 章 3.6 的要求设气闸。气体阀件单元室的门或箱盖上应设有永久的警示牌，并注明：此门或箱盖须切断气体燃料供应系统并除气后才能打开。气体阀件单元室视为气体燃料供应系统双层壁通风管或管道的组成部分，其设计、通风、气体探测、电气设备应满足《液化规范》第 16 章 16.3、16.4 以及本指南 3.4 的有关要求。

第 4 章 气体燃料发动机

4.1 一般要求

4.1.1 气体燃料发动机除满足本章要求外，还应符合 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章、《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 16 章 16.7 的规定。

4.1.2 除 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.1.2.1 (1) 规定的柴油机类型定义要素外，气体燃料发动机类型还包括如下要素：

- (1) 气体燃料喷射方式（气缸直喷、增压空气空间喷射或者预混）；
- (2) 燃气喷射阀操作（机械或电子控制）；
- (3) 点火系统（引燃油点火、火花塞点火、电热塞点火）/气体自燃；
- (4) 点火系统操作（机械或电子控制）。

4.1.3 气体燃料发动机的可靠性和安全性应等效于燃油发动机。

4.1.4 如气体燃料发动机对气体燃料特性（如气体成分、甲烷值等）有特殊要求，相关限值、参数范围等应予以声明。

4.1.5 含有或可能含有可燃气体的部件，其设计应基于如下安全原则：

- (1) 火灾和爆炸的风险降至最小，以证明其安全水平与燃油发动机相当；
- (2) 安装合适的认可型压力释放装置，或者部件的强度设计足以承受最恶劣情况下泄漏气体被点燃后产生的超压，使爆炸后果减轻到一个可以接受的剩余风险水平。

(3) 压力释放装置应安装阻火器，防止压力泄放时火焰通过并进入机器处所，其布置应保证泄放不会危及工作人员或者损坏其他发动机部件或系统。

4.1.6 本章的气体管路系指发动机上含有气体或气体/空气混合物的管路，包括透气管。

4.2 系统设计

4.2.1 发动机上的气体管路应满足如下要求：

(1) 发动机上的气体管路应按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 5 章、第 16 章规定的气体管路有关要求进行设计和制造；

(2) 含有气体燃料的管路和设备定义为 0 类危险区，气体燃料管和外管壁或通风管管壁之间的空间定义为 1 类危险区；

(3) 气体安全机器处所内的发动机，其气体管路应按本指南第 3 章 3.1、3.3、3.4 的相关要求进行设计和布置；

(4) 如发动机拟安装在本指南第 2 章规定的 ESD 保护机器处所内，发动机

上的气体管路允许采用单壁管布置，并应满足本指南第 3 章 3.1、3.3、3.5 的相关要求。

对于 ESD 保护机器处所设计，当发生气体泄漏导致该处所内的发动机停机时，船舶仍应保持足够的推进和操纵能力（包括重要的系统和安全系统），因此，发动机的安全理念文件中应对气体管路应用的双层壁布置或者单层壁布置进行说明。

注：所需保持的最小功率应根据船舶的操作特性进行评估确定。

(5) 气体管路的安装布置应具有必要的挠性，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。

4.2.2 发动机增压空气系统应满足如下要求：

(1) 发动机上的增压空气系统应按上述 4.1.5 的要求进行设计。

(2) 单机配置情况下，因爆炸导致压力释放阀打开后发动机应能持续运行，且发出的功率足以维持重要设备运行所需要的电力，保持足够的推进功率。

注：应根据发动机的配置情况（如单机或多机）以及压力泄放装置的泄放方式（比如压力泄放后可自关闭的安全阀或者压力泄放后无法关闭的爆破片），考虑降低功率。

(3) 如发动机空气进口位于气体燃料发动机舱室内，应尽可能远离气体燃料供应管系，以减小气体燃料泄漏后进入空气吸口的危险。

4.2.3 排气系统应满足如下要求：

(1) 发动机上的排气系统应按上述 4.1.5 的要求进行设计。

(2) 单发动机配置情况下，因爆炸导致压力释放阀打开后发动机应能持续运行，且发出的功率足以维持重要设备运行所需要的电力，保持足够的推进功率。不允许压力泄放装置（如爆破片）打开后排气持续泄放到机舱内或者其他封闭处所。

(3) 应设有措施以扫除排气系统内可能存在的可燃气体。

4.2.4 曲轴箱保护应满足如下要求：

(1) 对于筒形活塞式低压气体燃料发动机，曲轴箱应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.7.4 的要求安装曲轴箱安全阀。

(2) 对于活塞下部空间与曲轴箱直接相通的发动机，应对曲轴箱内发生气体积聚的潜在风险进行详细评估，并在发动机安全理念文件中予以反映。

(3) 除二冲程十字头式发动机外，每台发动机的曲轴箱和油底壳应设有独立于其他发动机的透气系统，保证泄漏的气体通过透气管排至开放的安全位置，透气口应安装防火网。曲轴箱应设有接口或其他方式，用于发动机维护时对曲轴箱进行惰化、通风和气体浓度测量。

(4) 按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇 9.7.12 要求设置的警告标牌还

应注明：曲轴箱打开之前，应采取必要的措施以确保曲轴箱内没有气体燃料。

4.2.5 其他辅助系统应满足如下要求：

(1) 如气体可能直接泄漏到发动机辅助系统的介质（润滑油、冷却水）中，则应在这些介质的出口后面采取适当措施对气体进行收集以避免扩散。从辅助系统介质中收集的气体应释放到一个露天的安全位置。

(2) 透气口应安装防火网。

4.2.6 气缸内点火应满足如下要求：

(1) 设有点火系统的发动机，在开始供气之前，应验证每个单元上的点火系统能准确动作。

(2) 气体燃料发动机应按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 16 章 16.7.3.5 的规定，对各个气缸内的气体燃料燃烧状态进行监测。如已通过扭振分析证明发动机能在一缸熄火条件下正常工作，当探测到单个气缸燃烧不良或失火时，能切断相应气缸的气体燃料供应，则可允许继续维持气体模式运行。

(3) 如由于发动机尺寸和设计等原因，无法实现单个气缸的燃烧状态监测，则可接受整体燃烧状态监测。

4.2.7 气体燃料发动机的控制、监测、报警和安全系统，应满足本指南第 5 章的相关要求。

4.2.8 燃气喷射阀应满足如下要求：

(1) 燃气喷射阀应能通过发动机控制系统或由发动机的气体燃料需要进行控制。

(2) 燃气喷射阀应按如下危险区域划分进行安全认证：

- ① 阀内含有气体，因此应按 0 类危险区进行认证；
- ② 按 4.2.1(3) 的规定，当燃气喷射阀设在双壁管或通风管之内时，阀外部分按 1 类危险区认证；
- ③ 按照 ESD 保护机器处所设计理念，燃气喷射阀没有设任何气密围护，如机器处所内探测到气体泄漏时燃气喷射阀予以断电，则阀外部分不需要按危险区的要求进行认证。

如燃气喷射阀未按拟工作的危险区域等级进行认证，则应按 IEC 60079-10-1 或 IEC 60092-502 标准进行分析，并以文件的形式证明该阀适合于所工作区域。

(3) 应采取必要的措施防止气体燃料从气体喷射阀阀杆周围的空间（或气体燃料阀）泄漏。

4.3 DF 发动机附加要求

4.3.1 考虑到气体燃料质量对发动机功率输出的影响，DF 发动机气体模式运行时发出的最大持续功率，允许低于已认可柴油机的 MCR（如燃油模式）。制造厂应声明 DF 发动机气体模式下的最大持续功率及相应条件，并在型式试验期间进行验证。

4.3.2 DF 发动机应能使用燃油或者气体为主燃料，并设有引燃油用于点火。喷入每个气缸的引燃油量应足以点燃气缸内的气体-空气混合物。气体模式应能迅速转换到燃油模式。当转换到任一燃料供应时，发动机都应能使用该燃料持续运行而不影响动力供应。

4.3.3 发动机燃料模式转换（从燃气模式转换为燃油模式或反之）应通过一套自动系统来实现，并保证功率波动最小。燃料模式转换的可靠性应通过试验证明。如在燃气模式下发动机工作不稳定，应自动切换至燃油模式。在任何情况下均应能通过手动方式切断气体燃料供应。

4.3.4 燃气模式转换应在规定的功率水平和条件下进行，在该功率水平和条件下进行燃气模式转换的安全性和可靠性已通过试验进行了证明。从燃气模式转换到燃油模式应能在任何条件和功率水平下进行。

4.3.5 发动机起动、低负荷运行以及正常停车之前，一般仅能使用燃油。如已通过风险分析和试验证明：气体模式起动、低负荷运行以及正常停车的安全和可靠性水平不低于燃油模式，则可以接受发动机使用气体起动、低负荷运行以及正常停车。以气体模式起动的 DF 发动机，如气体燃料供应阀打开后，在制造厂规定的时间内发动机监测系统未探测到点火，应自动切断气体燃料供应并终止起动程序。排气系统内的未燃气体混合物应确保进行了彻底吹扫。

4.3.6 正常停车及紧急停车时，气体燃料供应的切断应不迟于点火源的切断。系统设计应保证：在没有提前切断或同时切断每个气缸或整台发动机气体燃料供应的情况下，应无法切断点火源。

4.3.7 气体燃料供应切断时，发动机应能仅使用燃油持续运行。

4.3.8 引燃油喷射没有动作的情况下，应保证不向燃烧室供应气体燃料。

注：引燃油喷射应予以监测，比如通过燃油压力和燃烧参数监测。

4.4 GF 发动机附加要求

4.4.1 正常停车及紧急停车时，气体燃料供应的切断应不迟于点火源的切断。系统设计应保证：在没有提前切断或同时切断每个气缸或整台发动机气体燃料供应的情况下，应无法切断点火源。

4.4.2 点火失败时，发动机应停机，除非这种点火故障仅限于一个气缸，且

点火故障气缸的气体燃料供应能立即切断，发动机单缸熄火条件下的运行安全已经风险分析和试验证明，则可接受发动机继续运行。

4.4.3 起动过程中，发动机达到最低点火转速且开始点火后，才允许向气缸供应气体燃料。

4.4.4 发动机起动失败后，排气系统未燃气体混合物应进行彻底吹扫，在没有完成排气系统吹扫之前，应无法再次起动。

4.5 增压器前预混式气体燃料发动机附加要求

4.5.1 增压器前预混式发动机的进气总管、涡轮增压器、增压空气冷却器等应视为燃料供应系统的组成部分，风险分析时应考虑这些部件失效可能导致的气体泄漏。

4.5.2 预混气体燃料进入每个气缸盖之前应安装阻火器，除非通过风险分析证明该风险可控，可不必安装阻火器。风险评估时应考虑增压空气系统中的气体浓度、气体-空气混合物所经过的路径长度等发动机设计参数。

4.6 型式试验、工厂接受试验和船上试验

4.6.1 按 4.1.2 规定的气体燃料发动机类型定义，每一新型气体燃料发动机应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.10.1 和 9.10.2 的要求进行型式认可，并考虑以下附加要求：

(1) 型式试验应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 4 中 1.3 规定的程序进行。对于 DF 发动机气体模式下的负荷试验，试验负荷取气体模式最大输出功率的各个百分比。气体模式不要求进行 110%负荷试验。气体燃料甲烷值和 LHV 的影响不需要在型式试验 B 阶段进行验证，但制造厂应通过内部试验或计算进行评价，并在型式试验报告中予以说明。

(2) 发动机起动前，机上的气体管路气密性应进行验证。

(3) 除 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 4 中 1.4 规定的测量和记录参数以外，还应包括如下数据：

- ① 气体和燃油（如适用）燃料指数（或等效读数）；
- ② 气体总管进口处的气体压力和温度；
- ③ 扫气箱（二冲程）/曲轴箱（四冲程）气体浓度。

根据设计评估可要求附加的参数测量。

(4) 内部试验应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 4 中 2.1 的规定进行，对于 DF 发动机，还应考虑如下试验条件：

- ① 负荷试验应在发动机类型适用的气体模式和燃油模式（运行时有/无引燃油喷射）进行；
- ② 液/气比可变的 DF 发动机，应在最小和最大允许值之间选定不同液/气比进行负荷试验。
- ③ 在不同负荷条件下验证气体模式和燃油模式之间的转换。

(5) 见证试验应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 4 中 2.2 的规定进行，并考虑如下要求：

- ① 负荷试验时，对于 DF 发动机应考虑如下试验条件：
 - (a) 所有负荷试验应在发动机类型适用的气体模式和燃油模式下进行，包括超速试验。
 - (b) 液/气比可变的 DF 发动机，应在最小和最大允许值之间选定不同液/气比进行负荷试验。
- ② 功能试验还应进行如下项目：
 - (a) DF 发动机，在燃油模式和气体模式下验证规定的最低转速；
 - (b) DF 发动机，在不同负荷条件下验证气体模式和燃油模式之间的转换。
 - (c) 通风型双壁管的通风效用试验；
 - (d) 一缸气体喷射阀发生气体泄漏模拟。

拟用于发电的发动机，应进行如下试验：

- (a) 按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.7.10.1 的要求进行突加突卸载荷的能力验证；
- (b) 对于 GF 发动机和增压器前预混式发动机，应通过理论分析确定 LHV、甲烷值和环境条件对动态负荷特性试验结果的影响，并在试验报告中予以说明。应参考本指南 4.1.4 规定的气体燃料特性限值，确定满足动态负荷特性所需要的限值裕量。

注 1：对于 DF 发动机，动态特性试验时允许转换到燃油模式进行。

注 2：按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.7.10.1 的规定，允许以多于二次的加载方式进行加载。

- ③ GF 和 DF 发动机应通过整合试验验证整个机械、液压和电子系统的反应与各种工作模式的预计相一致。试验的范围应根据风险分析结果确定，并征得 CCS 同意，至少包括如下项目：
 - (a) 点火失效（火花点火或引燃油喷射系统），单缸点火单元和公共点火系统失效；

- (b) 单缸燃气喷射阀失效；
- (c) 燃烧故障（如：通过熄火、爆震、排气温度偏差等进行探测）；
- (d) 气体压力异常；
- (e) 气体温度异常。

注：该试验可以采用温度的模拟信号进行。

(6) C 阶段-部件检查。试验结束后，除 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 4 2.3 规定的部件检查要求外，还应包括：

- ① 气体喷射阀，包括预燃室（如适用）；
- ② 火花塞（GF 发动机）；
- ③ 引燃油喷射阀（DF 发动机）。

4.6.2 工厂接受试验应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 6 的规定进行，并考虑如下附加要求：

- (1) 起动前，应验证发动机上气体管路的气密性。
- (2) 测量和记录还应包括如下数据：

- ① 气体和燃油（如适用）燃料指数（或等效读数）；
- ② 气体总管进口处的气体压力和温度。

- (3) 负荷试验范围可根据柴油机的用途、营运经验或其他原因予以扩充。

对于 DF 发动机，负荷试验还应考虑如下试验条件：

- ① 所有负荷试验应在适用的气体模式和燃油模式下运行；
- ② 气体模式运行时，试验负荷取气体模式最大输出功率的各个百分比；
- ③ 气体模式不要求进行 110%负荷试验。

(4) 气体燃料发动机应通过整合试验验证整个机械、液压和电子系统的反应与各种工作模式的预计相一致。试验的范围应根据风险分析结果确定，并征得 CCS 同意，至少包括如下项目：

- ① 点火失效（火花点火或引燃油喷射系统），单缸点火单元和公共点火系统失效；
- ② 单缸燃气喷射阀失效；
- ③ 燃烧故障（如：通过熄火、爆震、排气温度偏差等进行探测）；
- ④ 气体压力异常；
- ⑤ 气体温度异常。

注：经 CCS 同意，上述试验允许采用模拟或其他替代方法进行。

4.6.3 船上试验应按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章附录 6 的规定进行。对于 DF 发动机，所有的负荷试验应在各种运行模式下进行（如气体模式、燃油模式等）。

第 5 章 控制、监测与安全系统

5.1 一般要求

5.1.1 气体燃料发动机及其气体燃料供应相关的控制、监测及安全系统除满足本章要求外，还应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章和第 7 篇、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 16 章的适用要求。

5.1.2 气体燃料发动机的控制、监测和安全系统应布置成：在单一故障情况下，推进和发电系统的剩余功率满足本指南 3.2.1 的规定。

5.1.3 应采取措施，防止气体燃料发动机因其他发动机突然停机而导致意外的过载停机。

5.1.4 当发生表 5.2.1、5.3.1 所述系统故障以及其它发展速度过快以致来不及人工干预的故障时，所设安全系统应能自动关闭气体燃料供应系统。

5.1.5 对于 ESD 保护机器处所，当发生气体泄漏时，安全系统应关闭气体燃料供应，并断开机器处所内的所有非合格防爆型电气设备；

5.1.6 为避免可能的共因故障，安全功能应集成在一个专门的安全系统中，该系统应独立于控制系统，包括独立的供电和信号输入/输出。

5.1.7 安全系统（包括现场仪表）的布置应避免误切断，例如：由于气体探测器故障或传感器线路断线，导致安全系统动作而误切断。

5.1.8 如为满足规范要求，需要设置两套或多套气体供应系统时，则每套系统均应设有各自独立的控制和安全系统。

5.1.9 应设有合适的仪表设施，以便能就地和远程读取重要参数，确保整个气体燃料系统的安全管理。

5.2 气体燃料发动机控制、监测与安全系统

5.2.1 应对所有可能影响气体燃料发动机安全运行的故障进行风险分析，并根据分析结果确定气体燃料使用安全相关的监测项目。表 5.2.1 所列的气体燃料发动机监测项目可供参考。气体燃料发动机控制站应设有相关的报警和指示，另外，驾驶室应设有组合报警。

注：对于 DF 发动机，表 5.2.1 仅适用于气体模式。

5.2.2 风险分析可参考 CCS《故障模式和影响分析应用指南》的规定进行。

5.2.3 应在驾驶室、集控室和机旁控制站设置指示器，以指示：

- (1) 发动机运行状态（单气体燃料发动机）；或
- (2) 发动机运行状态和运行模式（DF 发动机）。

表 5.2.1 气体燃料发动机监测和安全保护

监测项目	报警	双截止透气 阀自动动作	自动转换到 燃油模式 ¹⁾	停机
气体燃料供应压力异常	×	×	×	× ⁵⁾
气体燃料供应系统故障	×	×	×	× ⁵⁾
引燃油喷射或火花点火系统故障	×	× ²⁾	×	× ²⁾⁵⁾
单缸排气温度-高	×	× ²⁾	×	× ²⁾⁵⁾
单缸排气温度与平均温度偏差-大 ³⁾	×	× ²⁾	×	× ²⁾⁵⁾
气缸压力或点火失败，包括熄火、爆震 和燃烧不稳定	×	× ²⁾⁴⁾	× ⁴⁾	× ²⁾⁴⁾⁵⁾
曲轴箱油雾浓度或轴承温度 ⁶⁾ - 高	×	×		× ⁷⁾
曲轴箱压力-高 ⁸⁾	×	×	×	
发动机停车（任何原因）	× ⁹⁾	×		
双截止透气阀工作介质故障	×	×	×	

符号说明：× 适用。

注：

- 1) 仅适用 DF 发动机以气体模式运行时。
- 2) 对于 GF 发动机，当故障仅影响到一个气缸，该气缸可单独切断，并经风险分析证明发动机可以在这种情况下安全运行的情况下，双截止透气阀可不动作，发动机继续以气体燃料运行。
- 3) 仅熄火探测需要时适用。
- 4) 如故障可通过系统自动调整予以纠正，可仅触发报警，如故障持续超过设定时间，则触发安全系统动作。
- 5) 仅适用于 GF 发动机。
- 6) 如按 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章 9.7.6 的要求安装。
- 7) 如为低速柴油机，允许采取降低转速。
- 8) 仅适用于筒形活塞式发动机。如故障可通过系统自动调整予以纠正，可仅触发报警，如故障持续超过设定时间，则触发安全系统动作。
- 9) 发动机正常停车除外。

5.3 气体燃料发动机舱室相关的监测与安全保护

5.3.1 气体燃料发动机舱室相关的报警和安全保护,应符合表 5.3.1 的规定,气体燃料发动机控制站应设有相关的报警和指示,另外,驾驶室应设有组合报警。

表 5.3.1 气体燃料发动机舱室监测与安全保护

监测项目	报警	自动关闭主气体燃料阀和双截止透气阀	自动切换至燃油运行模式 ^①	ESD 保护发动机舱室停用
ESD 保护气体燃料发动机舱室通风失效	×	×	×	
ESD 保护气体燃料发动机舱室通风能力下降	×			
气体安全发动机舱室内双层壁气体燃料供应系统,同心管之间的惰性气体增压失效	×	× ^④	×	
气体安全发动机舱室内双层壁气体燃料供应系统,通风管或管道通风失效	×	× ^④	×	
气体燃料发动机舱室失火	×	×		
气体安全发动机舱室内双层壁气体燃料供应系统通风管或管道内,泄漏气体浓度达 30% LEL 时	×			
气体安全发动机舱室内双层壁气体燃料供应系统通风管或管道内,两个探测器 ^② 探测到泄漏气体浓度达 60% LEL 时	×	× ^④		
ESD 保护气体燃料发动机舱室内泄漏气体浓度达 20% LEL 时	×			
两个探测器 ^② 探测到 ESD 保护气体燃料发动机舱室内	×	×		× ^③

泄漏气体浓度达 40% LEL 时				
气体燃料发动机舱室内供气管路破裂	×	× ^⑤		× ^⑥
<p>符号说明：× 适用。</p> <p>注：</p> <p>① 仅适用于 DF 发动机；</p> <p>② 基于冗余考虑应安装两个相互靠近且独立的探测器，如探测器具备自检功能，则允许仅安装一个探测器；</p> <p>③ ESD 保护气体燃料发动机舱室内发现气体泄漏，在浓度达 60% LEL 之前，该发动机舱室内的所有发动机应停车，所有的电气设备应自动切断供电（合格防爆型电气设备除外）；</p> <p>④ 如气体燃料供至一台以上发动机，且不同的供气管路完全独立并安装在独立的管道内，同时每天供气管路上的主气体燃料阀位于管道外部和机器处所之外，则仅关闭探测到可燃气体或通风失效或惰性气体失压的供气管路上的主气体燃料阀。</p> <p>⑤ 见 3.3.9 要求。如设有专门用于管路破裂情况下关闭的截止阀，则该截止阀自动关闭；</p> <p>⑥ 适用于 ESD 保护气体燃料发动机舱室，该发动机舱室内的所有发动机应停车，所有的电气设备应自动切断供电（合格防爆型电气设备除外）</p>				