



中国船级社

双燃料发动机系统设计与安装指南

中国船级社上海规范研究所

2007年10月

双燃料发动机系统设计与安装指南

目录

第 1 章 通则	3
1.1 适用范围	3
1.2 定义	3
1.3 图纸资料	3
1.4 船上试验	4
第 2 章 双燃料发动机舱室/机舱	5
2.1 气体燃料供应管采用单层壁结构的双燃料发动机舱室	5
2.2 气体燃料供应管安装在通风管内或采用双层壁结构的机舱	6
第 3 章 气体燃料管系	7
3.1 一般要求	7
3.2 双燃料发动机舱室内采用单层壁的气体燃料管系	8
3.3 双燃料发动机机舱内采用双层壁或安装在通风管内的气体燃料管系	8
3.4 气体阀组	9
第 4 章 双燃料发动机	10
4.1 一般要求	10
4.2 结构布置	10
4.3 起动空气和进气系统保护	10
4.4 曲轴箱保护	10
4.5 活塞下部空间保护	11
4.6 透气	11
4.7 排气系统	11
第 5 章 控制、监测与安全系统	12
5.1 一般要求	12
5.2 双燃料发动机监测与安全系统	12
5.3 气体燃料供应管系监测与安全系统	13

第 1 章 通则

1.1 适用范围

1.1.1 本指南适用于采用天然气（LNG 货物蒸气）和燃油作为燃料的双燃料发动机及其气体燃料供应管系。

1.1.2 双燃料发动机及其气体燃料供应管系除满足本指南要求以外，还应符合 CCS《钢质海船入级规范》（以下简称 CCS《规范》）、CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》（以下简称 CCS《液化规范》）的有关规定。

1.2 定义

1.2.1 本指南有关定义如下：

(1) 双燃料发动机 (Dual fuel engine)：系指既可采用天然气作为燃料（需喷入引燃油点燃），也可单独采用燃油作为燃料的发动机。

(2) 双燃料发动机舱室 (Dual fuel engine compartment)：系指位于机舱内，用于安装双燃料发动机的独立机器处所。

(3) 高压气体管路 (High pressure piping)：系指最大工作压力大于 1MPa 的气体燃料管路。

(4) 低压气体管路 (Low pressure piping)：系指最大工作压力不大于 1MPa 的气体燃料管路。

(5) 联锁气体阀 (Interlocked gas valves, 即 Double block and bleed valve)：系指安装在每台双燃料发动机气体燃料供应管路上的 1 套自动阀(3 只)，其中 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。

(6) 气体燃料总阀 (Master gas fuel valve)：系指位于货物区域，安装在发动机气体燃料供应管路上可遥控的自动控制阀。

(7) 天然气 (Natural gas)：系指常温常压下（20℃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。

(8) 引燃油 (Pilot fuel oil)：是指用来点燃气缸内的甲烷/空气混和物的燃油。

1.3 图纸资料

1.3.1 双燃料发动机一般应按 CCS《规范》第 3 篇第 9 章的有关要求提交图纸资料，同时还应提交下列图纸资料批准：

- (1) 气体喷射阀及其驱动、密封系统;
 - (2) 曲轴箱保护布置和详细说明;
 - (3) 空气进气总管和排气总管爆炸保护布置和计算书;
 - (4) 与气体燃料燃烧有关的发动机控制系统原理图, 包括监测、报警和安全保护装置;
 - (5) 失效模式及影响分析 (FMEA)
 - (6) 船上试验程序;
 - (7) CCS 认为必要的其他图纸和资料
- 1.3.2 双燃料发动机舱室/机舱和气体燃料管系应提交下列图纸资料批准:
- (1) 双燃料发动机舱室/机舱布置图 (包括气体探测系统布置)
 - (2) 双燃料发动机舱室/机舱电气设备与照明布置图;
 - (3) 双燃料发动机舱室/机舱通风系统, 对于本指南 2.1 规定的双燃料发动机舱室, 还应包括通风量计算书;
 - (4) 固定式气体探测和报警系统, 以及相关的关断系统;
 - (5) 气体燃料管系及防泄漏装置, 包括管路和有关部件材料、尺寸、类型、设计压力和设计温度等;
 - (6) 气体燃料供应系统的自动控制和遥控系统;
 - (7) 双燃料发动机舱室/机舱内电气设备详细说明 (备查);
 - (8) CCS 认为必要的其他图纸和资料。

1.4 船上试验

1.4.1 双燃料发动机一般应按照 CCS《规范》第 3 篇第 9 章的有关规定进行船上试验, 试验时, 与气体燃料使用有关的操作、控制、报警、安全保护等应进行验证。

第 2 章 双燃料发动机舱室/机舱

2.1 气体燃料供应管采用单层壁结构的双燃料发动机舱室

2.1.1 本节适用于气体燃料供应管采用单层壁结构的双燃料发动机舱室。

2.1.2 双燃料发动机舱室内的气体燃料供应采用单层壁管时,应满足下列要求:

(1) 舱室内的气体燃料管内最大工作压力应不大于 1MPa;

(2) 双燃料发动机应布置在 2 个或 2 个以上独立的双燃料发动机舱室内,当任一双燃料发动机舱室因发生本指南第 5 章表 5.3.1 规定的故障而导致紧急停用时,其余双燃料发动机舱室内的动力仍应足以维持船舶至少以下列航速航行: 7 节或设计航速的一半,二者取较小值;

(3) 双燃料发动机舱室一般只安装双燃料发动机和最少的必要设备,焚烧炉、惰性气体发生器或其它燃油锅炉不应安装在双燃料发动机舱室内;

(4) 为了便于对双燃料发动机舱室进行通风和气体探测,在不影响维修保养的前提下,双燃料发动机舱室容积应尽量小,形状尽可能避免存在通风换气死角。

2.1.3 通风系统应满足下列要求:

(1) 每个双燃料发动机舱室应至少安装 2 个机械通风机,总通风量至少可以使双燃料发动机舱室换气 30 次/h(按舱室总容积计算),如发动机的吸气口位于双燃料发动机舱室内,上述总通风量还应考虑该舱室内发动机所需的燃烧空气量。

当其中任何 1 个通风机停止工作时,其余通风机的排量之和仍应不小于所需的总通风量;

(2) 通风管道的布置应能迅速排除双燃料发动机舱室内的泄漏气体;

(3) 每个双燃料发动机舱室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;

(4) 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;

(5) 通风机应符合 CCS《液化规范》12.1.9 的规定,其电动机应安装在通风管道之外;

(6) 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。

2.1.4 气体探测系统应满足下列要求:

(1) 每个双燃料发动机舱室应至少设有 2 套独立的固定式气体探测系统,用来连续监测泄漏气体;

(2) 每套气体探测系统均应满足下列要求:

① 气体探测系统应为自检型;

② 当某一探测系统通过自检发现自身故障, 该探测系统的输出应能自动断开并发出报警, 以避免探测器故障导致错误的紧急停车;

③ 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;

④ 气体探测设备的设计应考虑测试方便。

(3) 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;

(4) 探测器的安装位置是影响气体探测系统有效性的关键因素, 安装时应考虑气流对探测器敏感度的影响;

(5) 气体探测系统及相关的应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。

2.1.5 因发生气体泄漏而导致双燃料发动机紧急停车后, 双燃料发动机舱室内仍需工作的电气设备应为防爆型。

2.1.6 双燃料发动机舱室进出口应按如下要求布置:

(1) 每个双燃料发动机舱室一般应至少设有 2 个相互独立且尽量远离的进出口;

(2) 双燃料发动机舱室进出口应安装自闭门, 当门保持开的状态超过 1 分钟时应发出报警。

2.2 气体燃料供应管安装在通风管内或采用双层壁结构的机舱

2.2.1 本节适用于气体燃料供应管安装在通风管内或采用双层壁结构的机舱。

2.2.2 机舱的通风、布置及气体探测等应满足 CCS《液化规范》16.2 的有关要求。

2.2.3 通风系统的进气应来自一个安全的位置, 并远离排气口, 以尽可能减少吸入可燃气体或火星的危险。

第 3 章 气体燃料管系

3.1 一般要求

3.1.1 气体燃料供应管系一般应满足 CCS《液化规范》5.2 至 5.5 的有关要求。

3.1.2 通向双燃料发动机舱室/机舱的气体燃料管系不应通过起居处所、服务处所或控制站，如能满足本章 3.3.1 或 3.3.2 的要求，可以通过或延伸至除起居处所、服务处所、控制站以外的其他处所。

3.1.3 位于货物区域以外开敞甲板上的气体燃料管路的连接，均应采取全焊透对接焊接头，并进行 100%射线检查。

3.1.4 应设有对气体燃料管系进行惰化和除气的设施。

3.1.5 气体燃料管系应与其它管系分开，并用合适的颜色进行标识，管路布置应能防止外部损伤。

3.1.6 每台双燃料发动机应配备以 3 只为一套的联锁气体阀，并满足以下要求：

(1) 应将 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) 应将这些阀布置成：当发生本指南表 5.2.1、5.3.1 规定的有关故障时，能自动关闭 2 只串接的气体燃料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成同一个阀体，当发生本指南表 5.2.1、5.3.1 规定的有关故障时，应能自动切断气体燃料供应，并自动进行透气；

(4) 上述 3 只截止阀应能人工复位；

(5) 串接的 2 只气体燃料阀应为故障关闭型，而透气阀应为故障开启型。

3.1.7 在货物区域的气体燃料管路上，应安装至少 1 只气体燃料总阀，并满足以下要求：

(1) 应能从双燃料发动机舱室/机舱内、外以及驾驶室控制站关闭气体燃料总阀；

(2) 当发生本指南表 5.2.1、5.3.1 规定的有关故障时，气体燃料总阀应能自动关闭以切断气体燃料供应；

3.1.8 每个双燃料发动机的气体燃料供应管路上应安装 1 只人工操作关闭阀，以保证进行发动机维护时的安全切断气体燃料。

3.1.9 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双燃料发动机舱室/机舱内的显著位置。

3.2 双燃料发动机舱室内采用单层壁的气体燃料管系

3.2.1 双燃料发动机舱室内气体燃料管路内的最大工作压力应不大于 1MPa。

3.2.2 气体燃料管路的设计压力应不小于 1MPa。

3.2.3 管路接头应尽量少，并应采取全焊透对接焊。

3.2.4 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。

3.3 双燃料发动机机舱内采用双层壁或安装在通风管内的气体燃料管系

3.3.1 气体燃料供应采用双层壁管时，应符合 CCS《液化规范》16.3.1（1）的规定，如内管运输的是高压气体，还应满足 CCS《规范》第 3 篇第 9 章附录 1 中 1.9 的有关要求。

3.3.2 气体燃料供应管安装在通风管或管道内时，应符合 CCS《液化规范》16.3.1（2）的规定，如气体燃料管内运输的是高压气体，还应满足 CCS《规范》第 3 篇第 9 章附录 1 中 1.9 的有关要求。

3.3.3 对于 3.3.2 规定的通风管或管道，如气体燃料管内为高压气体，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：气体燃料管子破裂时，气体在通风道内流动产生的静压；

（2）管子破裂时当地瞬时最高压力 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，通风管的环向应力不应超过 $R_m / 1.5$ （ R_m ，材料的抗拉强度）。根据上式计算的最高压力可以用试验得到的最高压力代替，但应提交试验报告。

3.3.4 对于 3.3.2 规定的通风管或管道，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管路的设计压力，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。

3.3.5 气体燃料管路的双层壁管或通风管或管道应终止在本章 3.3.6 所要求的通风罩或通风箱处。

3.3.6 应对法兰、阀等所在的区域，以及双燃料发动机上的气体燃料管路设置通风罩或通风箱。如本章 3.3.2 所述的通风系统不能对该通风罩或通风箱进行抽风，则应设有抽风系统，并应按照本章 3.3.9 的要求设置连续气体探测装置，以指示气体燃料泄漏并切断机器处所气体燃料供应。当抽风系统不能产生和维持所要求的空气流量时，则本章 3.1.7 所要求的气体燃料总阀应能自动关闭。

通风罩或通风箱的安装或固定，应考虑通风气流能吹扫气体燃料利用装置，并从通风罩或通风箱的顶部排出。

3.3.7 对于采用高压气体喷射的双燃料发动机，气体管路和本章 3.3.1、3.3.2 规定的双层壁或通风管道与气体燃料喷射阀的连接，应完全封闭在双层壁或通风管道之内，此时本章 3.3.6 要求的通风罩或通风箱可取消。

3.3.8 本章要求的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。

3.3.9 本章 3.3.2 和 3.3.6 要求的气体探测系统应符合 CCS《液化规范》13 章的有关要求。

3.4 气体阀组

3.4.1 气体阀组如布置在专门的舱室内，该舱室的安全原则和布置应与单层壁气体燃料供应管系的双燃料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 2.1.3~2.1.6 的规定。

第 4 章 双燃料发动机

4.1 一般要求

4.1.1 双燃料发动机除满足本章要求外，还应符合 CCS《规范》第 3 篇第 9 章的有关规定。

4.1.2 发动机应为压燃式双燃料型，燃油或天然气均可作为燃料。

4.1.3 使用天然气燃料时，少量喷入的燃油用来点燃气体燃料。

4.1.4 燃油或气体燃料之间应可迅速切换，燃料切换时，发动机应能稳定运行且不会导致推进动力或电力供应的中断。

4.1.5 发动机起动、正常停车前以及低负荷运行时，只能采用燃油运行。

4.1.6 双燃料发动机运行状态不稳定和/或机动运行期间，一般只能采用燃油运行。

4.2 结构布置

4.2.1 气体燃料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 如发动机空气进口位于双燃料发动机舱室/机舱内，应尽可能远离气体燃料供应管系以减小泄漏的气体燃料进入空气吸口的危险。

4.2.3 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 起动空气和进气系统保护

4.3.1 每个气缸起动空气支管应安装火焰熄灭器。

4.3.2 进气总管或扫气总管上应安装安全阀或其它防爆设施，保护装置的布置应尽量减小火焰扩散的危险。如提交的资料表明该系统的强度足以承受最恶劣情况下的爆炸，则上述防爆装置可不要求。

4.4 曲轴箱保护

4.4.1 对于采用高压气体喷射的双燃料发动机，其曲轴箱每一曲柄和分隔空间（如驱动凸轮轴的齿轮箱或链条箱或其他类似装置），均应安装安全阀，确定安全阀的结构和工作压力时应考虑泄漏气体爆炸因素。

4.4.2 如双燃料发动机为筒形活塞式发动机，其曲轴箱应通过下列措施加以保护：

(1) 每个双燃料发动机的曲轴箱应设有单独的透气管，保证泄漏的气体通

过透气管排至开放的安全位置，透气口应安装火焰熄灭器；

(2) 打开曲轴箱之前，应能对曲轴箱进行惰化和除气；

(3) 曲轴箱应安装防爆型的油雾探测器和气体探测设备或等效设备，气体探测器可位于曲轴箱透气管内，其布置应防止油雾污染气体探测器。

4.4.3 如双燃料发动机为十字头式发动机，其曲轴箱应通过油雾探测器或轴承温度探测器加以保护。

4.4.4 按 CCS《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，应采取可靠的预防措施以确保曲轴箱内没有气体燃料。

4.5 活塞下部空间保护

4.5.1 如双燃料发动机为十字头式发动机，其活塞下部空间应安装防爆型气体探测装置或等效设备。

4.6 透气

4.6.1 如采用干式油底壳，循环油柜的透气管出口应安装火焰熄灭器，并在安全的地方放至大气。

4.6.2 为了安全释放可能进入到双燃料发动机冷却水系统内的气体燃料，冷却水膨胀柜的透气管出口应安装火焰熄灭器，并在安全的地方放至大气。

4.7 排气系统

4.7.1 双燃料发动机的排气总管上应安装安全阀或其它合适的防爆设施，其布置应尽量减小火焰扩散的危险。如提交的资料表明该系统的强度足以承受最恶劣情况下的爆炸，则上述防爆装置可不要求。

4.7.2 双燃料发动机的排气管不应和其它发动机或系统的排气管相连接。

4.7.3 为了避免气体积聚，涡轮增压器后面的排气管应布置成向上倾斜。

4.7.4 应设有措施以扫除排气系统内可能存在的可燃气体。

第5章 控制、监测与安全系统

5.1 一般要求

5.1.1 双燃料发动机及其气体燃料供应的控制、监测及安全系统除满足本章要求外，还应符合 CCS《规范》第3篇第9章、第7篇的有关规定。

5.2 双燃料发动机监测与安全系统

5.2.1 双燃料发动机的控制、监测与安全系统应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 双燃料发动机监测与安全保护

监测项目	报警	自动触发 联锁气体阀	自动切换至 燃油运行模式	发动机停车
气体燃料喷射系统功能异常	×	×	×	
引燃油喷射系统功能异常	×	×	×	
单缸排气温度高	×	×	×	
单缸排气温度和平均温度偏差大	×	×	×	
单缸点火失败	×	×	×	
曲轴箱油雾浓度高或轴承温度高 ^①	×	×		×
发动机由于任何原因停车	×	×		

符号说明：× 适用。

注：① 如双燃料发动机为十字头式发动机，允许采取降低转速。

5.2.2 应在双燃料发动机机舱控制室设置表 5.2.1 规定的报警，另外，驾驶室应设有组合报警。

5.2.3 应对所有可能影响双燃料发动机燃烧过程的故障进行故障模式与影响分析（FMEA），并提交分析报告。

5.3 气体燃料供应管系监测与安全系统

5.3.1 有关气体燃料供应系统的报警和安全保护，应符合表 5.3.1 的规定。

表 5.3.1 气体燃料供应管路监测与安全保护

监测项目	报警	自动关闭气体燃料总阀和联锁气体阀	自动切换至燃油运行模式	双燃料发动机舱室停用
双燃料发动机舱室通风故障 ^①	×	×	×	
气体燃料供应管内气体压力异常	×	×	×	
联锁气体阀故障	×	× ^②	×	
气体燃料总阀故障	×	×	×	
本指南 3.3 规定的双层壁气体燃料供应管系，同心管之间的惰性气体增压失效	×	×	×	
本指南 3.3 规定的通风管或管道通风故障	×	×	×	
双燃料发动机舱室/机舱失火	×	×		
本指南 3.3 规定的通风管或管道内，泄漏气体浓度达 30% LEL ^③ 时	×			
本指南 3.3 规定的通风管或管道内，泄漏气体浓度达 60% LEL ^③ 时	×	×		
双燃料发动机舱室内 ^① 泄漏气体浓度达 30% LEL ^③ 时	×			
双燃料发动机舱室内 ^① 泄漏气体浓度达 60% LEL ^③ 时	×	×		× ^④

符号说明：× 适用。

注：① 本指南 2.1 规定的双燃料发动机舱室；

② 仅触发联锁气体阀；

③ LEL：爆炸极限下限值；

④ 双燃料发动机舱室内发现气体泄漏，在浓度达 60% LEL 之前，该双燃料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）。

5.3.2 应在双燃料发动机机舱控制室设置表 5.3.1 规定的报警，另外，驾驶室应设有组合报警。

5.3.3 按本指南 2.1 规定布置的双燃料发动机，如用于产生电力推进系统所需供电，应采取有效的措施防止电力供应系统因某一双燃料发动机舱室突然停用而产生过载。