CCS
CHINA CLASSIFICATION SOCIETY
中国船级社



您需要知道的

IGF规则风险评估要求

IGF

安全、环保，为客户和社会创造价值

目 录 CONTENTS

介绍 01

如何使用本手册 01

1．一般要求 01

2．集液盘容量 02

3．空气闸设计 02

4．LNG燃料围护系统风险评估原则 02

5．薄膜燃料舱的意外设计条件 03

6．围蔽或半围蔽加注站 03

7．加注布置 03

8．燃料舱接头处所的通风替代装置 04

9．加注站的机械通风 04

10．固定式气体探测器的安装位置 05

11．新颖形状的燃料围护系统的承载能力极限状态 05

12．新颖形状的燃料围护系统的意外极限状态 05

13．常用的风险评估方法及评价准则 06

14．案例 12

• 介绍

2015年6月，国际海事组织（IMO）海上安全委员会（MSC）第95届会议通过了《使用气体或其它低闪点燃料船舶国际安全规则》（简称IGF规则）以及使IGF规则具有强制性的SOLAS公约修正案。2017年1月1日起，IGF规则在全球开始生效实施，该规则基于低闪点燃料的性质，对使用低闪点燃料的机械、设备及系统的布置、安装、控制及监测等作出强制性规定，旨在尽量减少船舶、船员和环境的风险。

为确保所涉及的风险都进行了必要评估，以消除或减轻对船上人员、环境或船舶的任何不利影响，IGF规则规定对于本规则A-1节适用的天然气燃料动力船舶，在有明确要求的情况下必须进行风险评估。

为了帮助用户全面和深入地了解IGF规则的风险评估要求，中国船级社特意编制了本手册，其中包括IGF规则所有的风险评估条款，以及中国船级社风险评估专家的解读。

• 如何使用本手册

本手册中，首先列举了IGF规则要求进行风险评估的适用对象，相应条款内容采用宋体字体，并以下划线表示。接下来是对条款内容的说明，阐述我们对相关风险评估要求的理解，“说明”部分采用黑色加粗字体表示以示区别。最后是对条款内容的具体分析，提出实现方法，“分析”部分用橙色高亮显示。

• 1.一般要求

用户输入网址后，点击“快速注册”，即可输入邮箱、姓名、密码、单位、邮箱验证码等信息创建账号，创建完成后由邮箱和密码可直接登录系统。若忘记了密码，可通过邮箱进行验证，重新设置密码。

4.2 风险评估

4.2.1 应进行风险评估，以确保由于使用低闪点燃料而带来的对船上人员、环境、结构强度或船舶完整性的风险都得到处理。应考虑到与物理上的布置，操作和维护相关的危害，以及任何可合理预见到的故障。

4.2.2 对于本规则A-1部分适用船舶，4.2.1所要求的风险评估仅需在本规则5.10.5、5.12.3、6.4.1.1、6.4.15.4.7.2、8.3.1.1、8.4.2、13.4.1、13.7和15.8.1.10以及附录4.4和6.8等有明确要求的情况下进行。

4.2.3 应采用可接受和公认的风险分析技术进行风险分析，并至少考虑功能丧失、部件损坏、火灾、爆炸和电击。风险分析应确保尽可能消除风险。不能消除的应视需要予以减轻。各种风险的详细情况以及减轻风险的方法，应形成文件并使主管机关满意。

说明：4.2.1说明了风险评估的目的和考虑因素，4.2.2说明了IGF规则风险评估的适用条款，4.2.3说明了风险评估的准则及提交的风险评估文件要求。

分析	在IGF规则的一般要求中，详细说明了风险评估“为什么做”、“哪里需做”以及“如何去做”的问题，为后续条款中的风险评估要求提供了指导。

• 2. 集液盘容量

5.10.5每一集液盘应具有足够的容量，以确保其能处理根据风险评估所得的最大泄漏量。

说明：通过风险评估确定最大泄漏场景及泄漏量，据此设计集液盘的容量。

分析	根据集液盘上方泄漏源的特征，筛选不同破损口径的泄漏场景，从中确定最大泄漏场景并计算最大泄漏量，同时考虑集液盘是否装设有合适的溢流排放装置，最终确定集液盘的最大容量。建议考虑对LNG蒸发气扩散范围的控制，以优化集液盘的尺寸。某LNG燃料船加注站内设置的集液盘容量评估参见案例13.1。

• 3．空气闸设计

5.12.3空气闸应设计成当其所隔开的气体危险处所内发生最严重的事故时，不会有气体释放至安全处所。此类事故应按照4.2的要求通过风险分析进行评估。

说明：对气体危险处所内可能发生的最严重事故进行风险评估，以产生最严重的可燃气体泄漏场景作为空气闸的设计条件。

分析	首先对气体危险处所内的风险源进行识别，筛选出可能发生的最严重事故，然后对该类事故进行风险分析，评估可能对空气闸造成的不利后果影响。据此设计空气闸，以确保气体危险处所内发生最严重的可燃气体泄漏事故时，不会有气体通过空气闸释放至安全处所。

• 4. LNG燃料围护系统风险评估原则

6.4.1.1第4.2节所要求的风险评估应包括对船舶液化气体燃料围护系统的评估，并可能在船舶总体设计中附加安全措施。

说明：风险评估对象包括船上的LNG燃料围护系统，根据分析结果可帮助改进船舶设计。

分析	LNG燃料围护系统的风险评估，通常应用于IGF规则中尚未明确要求的情况（如新颖设计的燃料围护系统），或实际条件无法满足要求，用等效措施替代。某内河LNG燃料船透气管出口高度受桥梁高度限制，替代措施的风险评估参见案例13.2。

• 5. 薄膜燃料舱的意外设计条件

6.4.15.4.7.2应基于风险评估确定附加的相关意外情景。应特别考虑燃料舱内的系固设备。

说明：薄膜燃料舱的意外设计条件，应包括基于风险评估确定的其它相关意外情景。

分析

除IGF规则已规定的意外设计条件之外，薄膜燃料舱附加的意外情景，可针对其在使用过程中可能出现的各种意外情况，并结合自身采取的相关安全措施，通过风险评估最终予以确定。

• 6. 围蔽或半围蔽加注站

8.3.1.1加注站应布置在具有足够自然通风的露天甲板，围蔽或半围蔽加注站应通过风险评估进行特别考虑。

说明：LNG燃料船的加注站被视为潜在泄漏源。在围蔽或半围蔽加注站内，泄漏的可燃气体可能积聚进而产生危害，因此需要通过风险评估对其安全性进行特别考虑。

分析

围蔽或半围蔽加注站的风险评估，应至少特别考虑下列因素:

（1）与船上其他区域的隔离；

（2）船上危险区域布置；

（3）强制通风的要求；

（4）泄漏监测要求（如气体监测和低温监测）；

（5）与泄漏监测相关的安全动作（如气体监测和低温监测）；

（6）通过气闸从非危险区进入燃料站；

（7）对加注站通过直接视野监控或通过闭路电视（CCTV）进行监控。

某LNG燃料船的围蔽加注站的风险评估，参见案例13.3。

• 7. 加注布置

8.4.1 燃料加注总管应设计成能承受加注期间的外部载荷。加注站的接头应采用下列方式之一，以实现干式断开操作：

.1 干式快速接头，其符合的标准至少应等同于本组织接受的标准[1]；或

.2 手动或液压驱动的连接器。用于连接加注系统与受注船加注总管的接管法兰；或

.3 螺栓连接的法兰与法兰组件[2]。

参见ISO 21593：2019《船舶和海上技术 液化天然气加注干式快速接头技术要求》。

参见ISO 20519：2021《船舶和海上技术 液化天然气燃料动力船舶的加注要求》。

8.4.2 当准备使用上述8.4.1.2和8.4.1.3条规定的任何一种接头时，还应结合操作程序以确保实现干式断开。该布置应根据在设计阶段进行的加注布置风险评估2予以特别考虑，并考虑加注总管接头处的动载荷符合主管机关接受的公认标准、船舶安全操作和加注作业期间可能与船舶相关的其他风险。第18.2.3条要求的燃料操作手册应包括已开展的加注布置风险评估报告，并根据本条款要求予以特别考虑。

说明：本条款要求适用于2026年1月1日或以后建造的LNG燃料动力船舶。若加注站的接头型式采用手动或液压驱动的连接器，或者螺栓连接的法兰与法兰组件时，应在设计阶段对加注布置开展风险评估，并且风险评估报告应包含在燃料操作手册中。

分析

若加注站的接头采用手动或液压驱动的连接器，或者螺栓连接的法兰与法兰组件时，其加注布置风险评估应至少特别考虑下列因素:

（1）加注总管接头处的动载荷；

（2）船舶安全操作可能引发的相关风险；

（3）加注作业期间与船舶相关的其他风险；

（4）包括上述第6条围蔽或半围蔽加注站的风险评估特别考虑的相关因素。

• 8. 燃料舱接头处所的通风替代装置

13.4.1燃料舱接头处所应设置有效的抽吸式机械通风系统。通风能力应为每小时至少换气30次。如安装了其他合适的防爆装置，则可以降低换气次数。替代装置的等效性应通过风险评估予以证明。

说明：通过安装合适的防爆装置，可以降低通风换气次数。该替代装置应进行风险评估，以证明其与每小时至少换气30次的通风系统达到了同等安全性。

分析

安装合适的防爆装置，可以减轻爆炸后果；降低换气次数，则增加了可燃气体泄漏后的气体积聚风险。通过风险评估可以综合评定通风替代装置的风险，以证明其与原通风系统要求达到同等的安全水平。

• 9. 加注站的机械通风

13.7加注站未布置在开敞甲板时，其应进行适当通风，以确保在加注作业期间泄漏的任何气体能被移除至站外。如自然通风不足，则应按照8.3.1.1所要求的风险评估设置机械通风装置。

说明：自然通风不足的加注站，应按照8.3.1.1条款对围蔽或半围蔽加注站的要求进行风险评估，并根据评估结果，设置合适的机械通风装置。

分析

风险评估应至少包括8.3.1.1的特别考虑因素，并根据自然通风条件下的加注站内的气体泄漏后果评估，设置合适的机械通风装置，以确保在加注作业时能将泄漏的任何气体移除至站外。

• 10. 固定式气体探测器的安装位置

15.8.1在下述位置应安装固定式气体探测器：

.10经第4.2节所要求的风险分析后，可能存在可燃气体的起居处所和机器处所的通风进口。

说明：IGF规则4.2节所要求的风险分析，应包括评估起居处所和机器处所的通风进口是否存在可燃气体。若可能存在，应在通风进口处安装固定式气体探测器。

分析	起居处所和机器处所被视为潜在着火源，应根据IGF规则4.2节的风险分析评估船上潜在泄漏源释放的可燃气体扩散范围，以此作为起居处所和机器处所的通风进口是否安装固定式气体探测器的依据。

• 11. 新颖形状的燃料围护系统的承载能力极限状态

4.4如果燃料围护系统的结构失效极有可能造成人员受伤和大量燃料泄漏，则结果等级系数应取作γC=1.2。如果通过风险评估证明并经主管机关认可，该值可降低。风险评估应考虑的因素包括但不限于设有完整或部分次屏壁以保护船体结构免于遭受与拟使用燃料相关的泄漏和较小的危险。相反，主管机关可确定较高值，例如，对于使用更危险或更高压力燃料的船舶。结果等级系数不得小于1.0。

说明：在新颖形状的燃料围护系统设计中，对承载能力极限状态评估时，结果等级系数可通过风险评估证明并经主管机关认可后适当降低，其中风险评估应考虑到减轻船体结构遭受燃料泄漏风险所采取的安全措施。

分析	结果等级系数反映燃料泄漏造成的事故后果严重程度。当燃料围护系统设有次屏壁或其它能保护船体结构免于遭受燃料泄漏危险的安全措施时，通过风险评估证明可行且经主管机关认可后，该系数取值可适当降低。

• 12. 新颖形状的燃料围护系统的意外极限状态

6.8附加相关的意外事故应基于风险评估确定。

说明：在新颖形状的燃料围护系统设计中，对事故极限状态评估时，除考虑IGF规则已列明的意外设计条件外，还应根据风险评估考虑新颖形状的燃料围护系统在使用过程中可能出现的各种意外事故。

分析	附加相关的意外事故，可针对新颖形状的燃料围护系统的设计特点及其在使用过程中可能出现的各种意外场景，并结合自身采取的相关安全措施，通过风险评估最终予以确定。

• 13. 常用的风险评估方法及评价准则

◎ 13.1 定性风险评估方法

（1）HAZID

HAZID是一种应用于项目初步设计阶段的风险分析方法，以使得风险在项目早期得到避免或者降低。对于一艘LNG燃料船而言，初步设计阶段一般系指船舶燃料舱布置设计、LNG储供气系统流程图设计阶段等。

工作组一般采用“故障假设法（what-if）”、“头脑风暴”、“检查表（check list）”等方法来识别危险，通过假设船舶初步设计中的问题来分析其与预期正常运营的偏差。每个假设问题的潜在后果记录于HAZID表格中，并识别已有的安全措施，然后评价风险等级，并给出推荐的安全措施。

（2）HAZOP

HAZOP是一种被工业界广泛采用的工艺危险分析方法，通常在设计阶段进行，目的是减少因工艺流程设计中的考虑不周而引起的事故。对于一艘LNG燃料船而言，当完成P&ID图纸时，即可采用HAZOP方法开展工艺安全分析。

针对工艺流程或操作步骤的每个分析节点，对具有潜在危险的偏差进行识别，然后分析可能原因、后果和已有安全保护等，并提出应采取的安全措施。

（3）FMEA

FMEA是一种以系统中的组成部件为分析对象的风险分析方法，目的是识别工艺系统中各个组成部件的故障模式及其原因，记录故障模式下可能导致的所有后果（包括对其他部件及整个系统的影响）。

该方法关注于工艺流程中的设备本身，假设组件的典型功能失效，列出失效模式，究其失效原因，评估对系统中其他组件带来的影响。

目前，中国船级社已经采用定性风险评估方法为业界提供了相关技术服务。例如，针对某艘LNG燃料船的供气系统，提供了概念设计阶段的HAZID分析和详细设计阶段的HAZOP分析服务。HAZID分析的记录表片段见表13-1，HAZOP分析表格及FMEA分析表格与表13-1类似。

图3–1 某氨动力港口作业船主要参数

节点：3 气体处理系统

行号	序号及类别	危险源引导词	起因	后果	既有安全措施	建议措施	响应责任人
…	…	…	…	…	…	…	…
36	1.3.1 PBU（增压器）	1.3.1.1 断裂	1.管程破裂	1.水和乙二醇进入内管，导致结冰	1.PBU为整管绕管式结构，接头在外部。 2.遵循设计标准GB151、GB150。	--	A
37			2.壳程破裂	1.水和乙二醇泄漏，换热不足	1.膨胀水箱设有低液位报警。 2.遵循设计标准GB151、GB150。	--	A
38		1.3.1.3 腐蚀或磨损	1.高速冲击液体对管壁磨损	--	1.考虑磨损余量。	--	A
…	…	…	…	…	…	…	…

◎ 13.2 半定量风险评估方法

保护层分析（LOPA），是在定性分析的基础上，进一步评估过程保护层的有效性并进行风险决策的半定量风险评估方法，是HAZID、HAZOP等分析的延展。该方法通过确定已发现事故场景的危险程度，定量计算危害发生的概率，分析已有保护层的保护能力及失效概率，推算出需要补充的保护层的等级，一定程度上可以弥补HAZID、HAZOP等定性分析的不足。

安全完整性等级（SIL）分析是通过判断系统的薄弱环节，确认增加安全仪表系统（SIS）的必要性以及判断SIS合适的可靠性等级。SIS是指执行安全仪表功能（SIF）安全相关的系统，如紧急关断系统、安全联锁等。SIF的作用是探测危险场景，自动采取合适的措施使系统维持在安全状态。

对于LNG燃料船而言，半定量风险评估方法可用于初始概念设计阶段的基本设计方案的审查，以及工艺设计阶段的方案优化。

◎ 13.3 定量风险评估方法

（1）定量风险评估（QRA）

定量风险评估（QRA）是在危险源辨识的基础上，根据可用数据库和合理的判断依据确定后果场景，然后定量计算选定场景的后果值，并与风险评价准则比较，最终为风险管理提供风险控制措施，分析流程见图13-1。

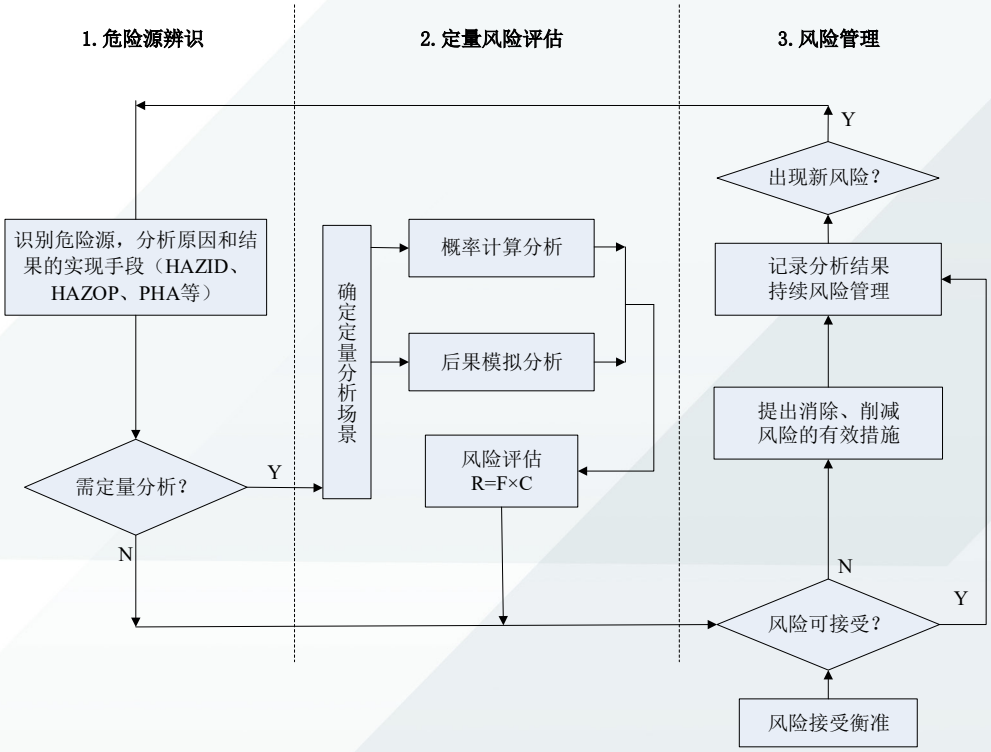


图3–1 某氨动力港口作业船主要参数

（2）概率计算分析

LNG燃料船的泄漏概率可使用以下数据来源：

a）适用于LNG燃料船的失效数据库；

b）LNG燃料船历史统计数据；

c）基于可靠性的失效概率模型；

d）其它公认的数据来源。

对LNG/NG泄漏后遇到立即点燃、延迟点燃和未点燃3种可能性建立事件树分析，确定事件发生的概率，见图13-2。

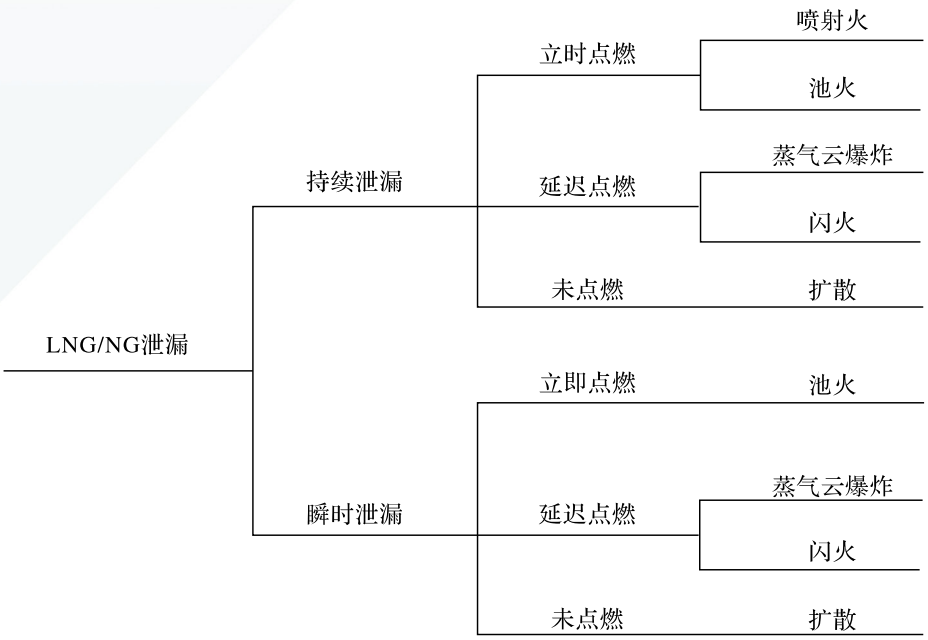


图13-2 LNG/NG泄漏后灾害事件树分析

（3）后果模拟分析

使用已获得国内外公认的或主管机关认可的天然气灾害后果分析数学模型，计算分析LNG/NG泄漏灾害的影响波及范围，通常至少应包括以下危害类型和危害程度计算：

a）热辐射的等值线；

b）可燃蒸气云扩散浓度的等值线；

c）爆炸冲击波的压力等值线。

目前，中国船级社已经开发了定量风险评估系列服务产品，并采用国际知名的油气灾害后果分析的三维CFD软件，先后完成了LNG燃料船透气管出口高度和新型透气管出口型式的风险评估、LNG燃料船集液盘容量和围蔽加注站的风险评估、LNG燃料船装卸货和燃料加注同步作业的风险评估、LNG燃料船采用槽车加注和趸船加注的风险评估、LNG燃料船通过三峡船闸的风险评估等。

◎ 13.4 评价准则

（1）定性风险评估

定性风险评估的评价准则主要有HSE风险矩阵和ISO 17776: 2000风险矩阵，见表13-2和表13-3。

表13-2 HSE风险矩阵

风险矩阵				可能性—半定量（次/年）					
				10^{-5}~10^{-6}	10^{-4}~10^{-5}	10^{-3}~10^{-4}	10^{-2}~10^{-3}	10^{-1}~10^{-2}	≥10^{-1}
严重性	后果			可能性—定性					
	人员伤害	财产损失	声誉影响	1	2	3	4	5	6
				世界范围内未发生过	世界范围内发生过/石油石化行业内未发生过	石油石化行业发生过/世界范围内发生过多次	系统内发生过/石油石化行业发生过多次	本企业发生过/系统内发生过多次	作业场所发生过/本企业发生过多次
A	急救处理；医疗处理，但不需住院；短时间身体不适	事故直接经济损失在10万元以下	企业内部关注；形象没有受损	A1	A2	A3	A4	A5	A6
B	工作受限；1~2人轻伤	事故直接经济损失10万元以上，50万元以下；局部停车	社区、邻居、合作伙伴影响	B1	B2	B3	B4	B5	B6
C	3人以上轻伤，1~2人重伤（包括急性工业中毒，下同）；职业相关疾病；部分失能	事故直接经济损失50万元及以上，200万元以下；1-2套装置停车	本地区内影响；政府介入，公众关注负面后果	C1	C2	C3	C4	C5	C6
D	1~2人死亡或丧失劳动能力；3~9人重伤	事故直接经济损失200万元以上，1000万元以下；3套及以上装置停车	国内影响；政府介入，媒体和公众关注负面后果	D1	D2	D3	D4	D5	D6
E	3人以上死亡；10人以上重伤	事故直接经济损失1000万元以上；失控火灾或爆炸	国际影响	E1	E2	E3	E4	E5	E6

表13-3 ISO 17776: 2000风险矩阵

后果严重性 ConsequenceSeverity	逐渐可能性 Increasing Probability			
	A	B	C	D
0	L	L	L	L
1	L	L	L	L
2	L	L	M	M
3	L	M	M	H
4	M	M	H	H
5	M	H	H	H

（2）半定量风险评估

半定量风险评估的评价准则主要有HSE风险矩阵，见表13-2。

（3）定量风险评估

LNG燃料船定量风险评估的个体风险可容许准则见表13-4。油船、化学品船使用LNG燃料的社会风险可容许准则见图13-3；散货船、集装箱船和滚装船使用LNG燃料的社会风险可容许准则见图13-4；客船使用LNG燃料的社会风险可容许准则见图13-5。

表13-4 LNG燃料船个体风险可容许准则

个体类型	风险值（死亡频率/船/年）	
	现有船	新造船
船员可接受的最大风险	1.0E-3	1.0E-4
船上乘客或岸上人员可接受的最大风险	1.0E-4	1.0E-5
广泛接受的风险	1.0E-6	1.0E-6

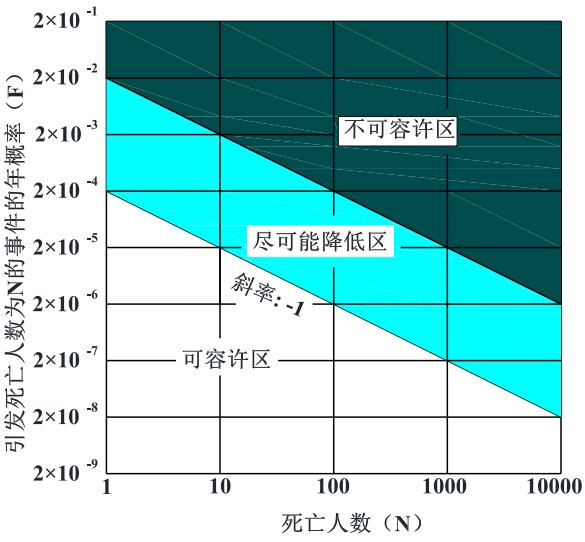


图13-3 使用LNG燃料的油船、化学品船的社会风险可容许准则

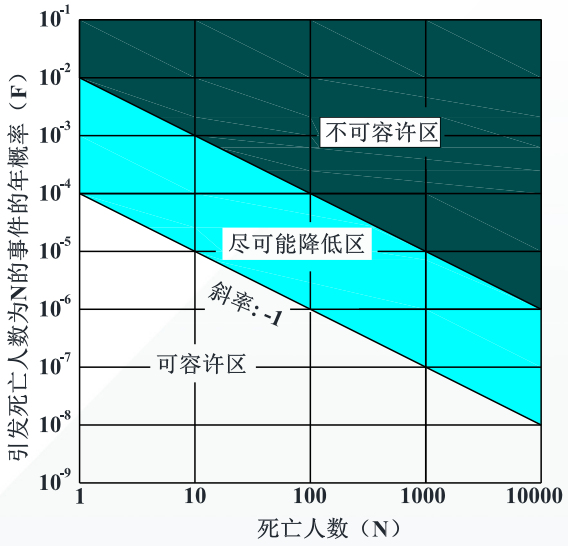


图13-4 使用LNG燃料的散货船、集装箱船、滚装船的社会风险可容许准则

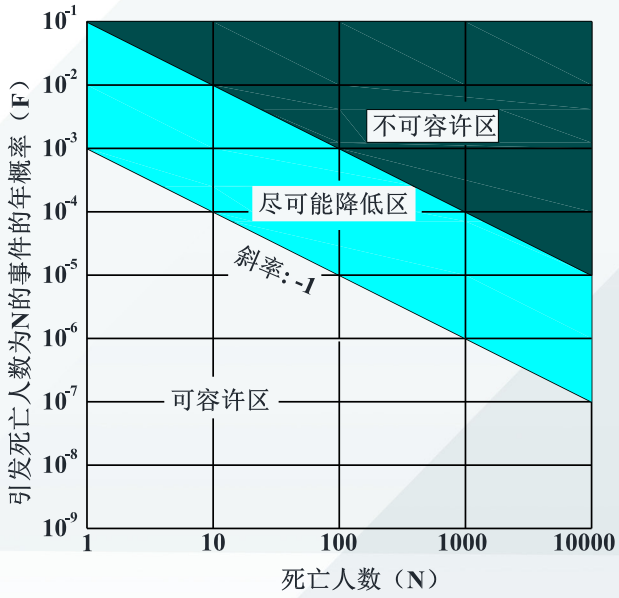


图13-5 使用LNG燃料的客船的社会风险可容许准则

• 14. 案例

◎ 14.1 某LNG燃料船加注站的集液盘容量评估

根据集液盘上方的管系接口特征，选取不同破损口径的泄漏场景进行分析，采用三维计算流体力学软件对集液盘中的LNG积聚过程及可燃蒸气扩散范围进行定量风险评估，根据评估结果对集液盘原设计容量提出改进建议。

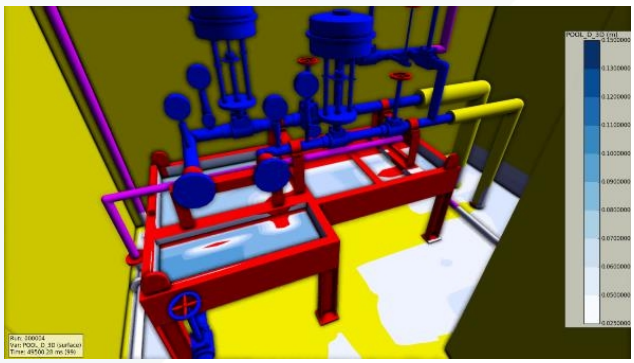


图14–1 集液盘中的LNG积聚过程

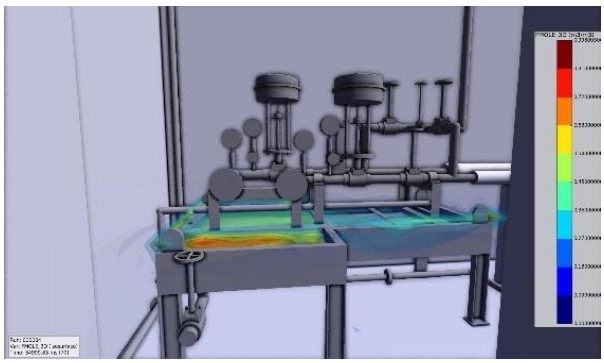


图14–2 集液盘的LNG蒸气扩散范围

◎ 14.2 某内河LNG燃料船透气管出口高度和型式评估

根据该LNG燃料船的布置特点和航行条件，结合透气管出口高度和型式，选定24种蒸发气释放场景，采用三维计算流体力学软件对可燃蒸气扩散波及范围进行模拟分析，最终提出了制定透气管出口高度标准的最小值，并针对内河LNG燃料船的航行特点，推荐了一种新型透气管出口布置型式。

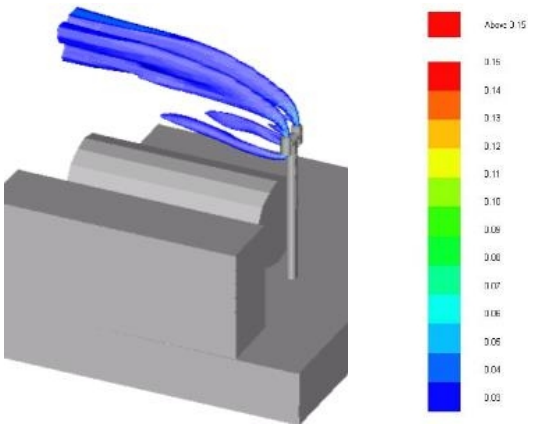


图14–3 某场景可燃蒸气扩散范围

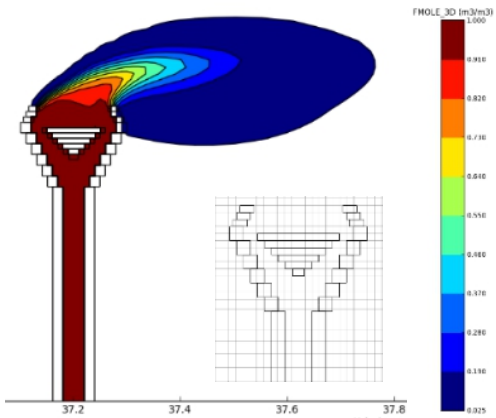


图14–4 推荐透气管出口型式

◎ 14.3某拖轮围蔽加注站的风险评估

针对该拖轮围蔽加注站的设计方案，通过HAZID分析识别出100项潜在危险源，并进行起因和后果分析，给出应对措施建议。对筛选的危险场景进行QRA分析，并采用三维计算流体力学软件对可燃蒸气云扩散后果进行模拟计算，提出相关风险控制措施。

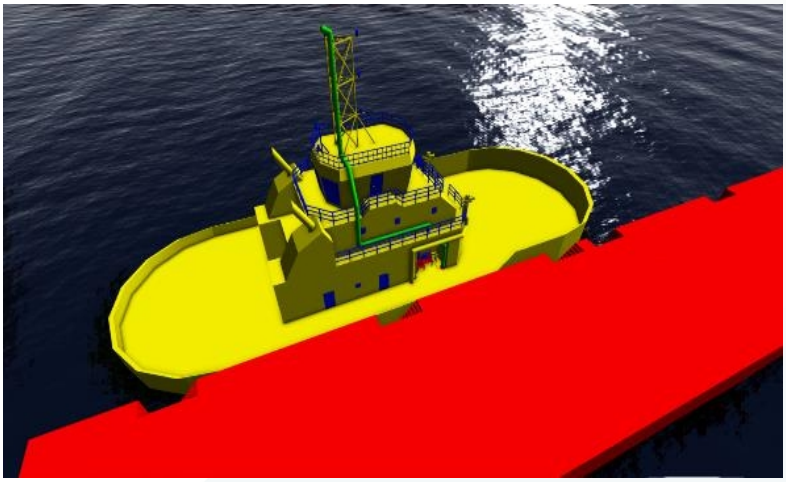


图14-5 某拖轮LNG加注站整体模型



图14-6 加注站内可燃蒸气云扩散

版本号：2025年4月

CCS
CHINA CLASSIFICATION SOCIETY
中 国 船 级 社

新能源与绿色技术水上应用安全实验室

MARINE SUSTAINABLE ENERGY AND GREEN TECHNOLOGY LABORATORY

地址：湖北武汉江汉区建设大道177号CBD楚世家崇章中心14、15楼

电话：+86 27 83666067

传真：+86 27 85865165

电子邮箱：ccsgt@ccs.org.cn