CCS
CHINA CLASSIFICATION SOCIETY
中国船级社

替代燃料船舶国际规则要求的数字仿真分析





目 录 CONTENTS

一．IGF 规则要求的数字仿真扩散分析 ---------- 2
二．甲醇燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析 ---------- 2
三．氨燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析 ---------- 3
四．氢燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析 ---------- 4
五．LPG 燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析 ---------- 6
六．服务案例 ----------6

• 如何使用本手册

本手册中，首先列举了在IMO规则下的各替代燃料船舶（包括LNG、甲醇、氨、氢、LPG）规则/临时导则中要求的数字仿真分析条款，包括但不限于气体扩散分析、火灾爆炸仿真分析、计算流体力学（CFD）分析等。条款下面列出了该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。

一．IGF规则要求的数字仿真分析

1. 气体探测器布置

15.8.4 探测设备应位于气体可能积聚处和通风出口内。应采用气体扩散分析或物理烟雾测试找到最佳布置。

分析 关于围蔽处所内的可燃气体探测器的位置，应使用仿真或者实验的手段，明确能尽早探测到可燃气体泄漏的位置。

2. 燃料舱透气管危险区域划分

12.5.2.4 对于2028年1月1日或以后建造的船舶，在燃料舱透气管出口向上或附近，以该出口为中心的6 m半径、无限高度的垂直圆柱内；以及自该出口向下，以6 m为半径的半球面内的开敞甲板区域，或开敞甲板上的半围蔽处所。若由于船舶的尺寸和布置而无法满足上述距离，可使用爆炸下限的50%为衡准进行扩散分析，从而接受一个缩小的区域。该区域范围不应小于12.5.2.3的规定，且周围应包括符合12.5.3.1规定范围的2类危险区域。

分析 MSC.567(109)决议于2024年12月6日通过，该决议修改了IGF规则第12.5条，增加了12.5.2.4条，预计2028年1月1日生效。当船舶因尺寸和布置限制而无法满足燃料舱透气管的距离要求时，可通过气体扩散分析来验证缩小后的区域是否安全。

二．甲醇燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析

1. 甲醇探测器布置

15.7.2 每个空间中探测器的数量和位置应考虑到空间的大小、布局和通风。应使用气体扩散分析或物理烟雾测试来找到最佳布置。

分析 关于围蔽处所内的甲醇气体探测器的位置，应使用仿真或者实验的手段，明确能尽早探测到甲醇泄漏的位置。

三．氨燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析

1. 毒性区域范围

12bis.4.3 除本小节关于毒性区域的要求外，应进行扩散分析来确定毒性区域的范围。气体扩散分析结果应能表明以下位置的氨蒸气浓度不超过220ppm：

1. 起居处所的空气进口、出口和其他开口；
2. 服务处所和机器处所；
3. 控制站；
4. 船上其他非毒性处所或空间；
5. 主管机关明确的其他区域。

分析 对于氨燃料动力船，IMO氨燃料临时导则强制要求通过气体扩散分析来确定/验证毒性区域划分的安全性，即使已经按照确定法划分了毒性区域。

12bis4.4 通过气体扩散分析确定的毒性区域应扩大到12bis4.1界定的最小范围（确定法划分），否则应增加额外的缓解措施。

分析 气体扩散分析结果通常不能用于降低确定法划分毒性区域的要求，如需降低，还应采取额外的缓解措施，降低被移除区域内出现有毒蒸气或人员受到毒性损伤的可能。

2. 气体扩散分析场景

12bis.4.5 气体扩散分析的边界条件应经主管机关批准。分析应涵盖燃料围护系统压力释放阀的排放、燃料舱周围次屏壁空间的排放以及环围泄漏源的双层屏壁空间的排放。

分析 明确了气体扩散分析需要考虑的具体情况，其他未要求的排放场景，如双壁管空间、氨供应系统吹扫排放、供应系统安全阀起跳排放以及其他可预见场景下的氨排放等均要求通过氨释放缓解系统（ARMS）系统进行处理。

3. 氨气探测器布置

15.8.4 探测装置应位于气体可能积聚处和通风出口处。应采用气体扩散分析来确定最佳安装位置。

分析 要求气体探测器的位置应通过气体扩散分析进行确定，这与其他替代燃料船舶通常要求的“可采用气体扩散分析的方法来确定最佳安装位置”是不同的。

4. 氨爆炸后果

4.3.1在任何有潜在释放源和潜在点火源的空间发生爆炸时，不应：

1. 对事故发生地以外的任何空间内的设备/系统造成损害或破坏其正常运行；
2. 损坏船舶，使主甲板以下发生浸水或任何逐渐发生的浸水现象；
3. 损坏工作区域或住所，以致在正常操作条件下处于该区域的内人员受伤；
4. 对正常操作条件下通常出现在工作或住宿场所的船舶人员造成损伤；
5. 干扰配电所必需的控制站和配电室的正常运行；
6. 损坏救生设备或相关的下水装置；
7. 破坏爆炸受损空间外消防设备的正常功能；
8. 影响船舶的其他区域，以致可能产生涉及货物、氨和燃油等的连锁反应；或
9. 通往脱险通道和救生设备的通道受限。

分析 关于控制氨爆炸后果影响的要求较为原则，未明确要求进行模拟仿真，考虑到实际仿真难度较大，相关条款可能会通过定性的评估方式进行落实。

四．氢燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析

1. 氢爆炸后果分析

4.3 爆炸后果的限制

在任何含有潜在释放源和潜在点火源的空间内发生的爆炸不应：

1. 对位于事故发生地以外的任何空间的设备/系统造成损坏或干扰其正常运行；
2. 损坏船舶，导致主甲板以下发生浸水或任何渐进式浸水；
3. 损坏工作区域或起居处所，导致在正常操作条件下处于这些区域的人员受伤；
4. 扰乱配电所需的控制站和配电室的正常运行；
5. 损坏救生设备或相关发射装置；
6. 扰乱位于爆炸受损空间外的消防设备的正常运作；
7. 影响船舶的其他区域，可能引发涉及货物、氢气和燃油等的连锁反应；或
8. 阻止人员使用救生设备或阻碍逃生路线。

分析 关于控制氢爆炸后果影响的要求较为原则，考虑到对每船均进行仿真难度较大，相关条款可能会通过定性的评估方式进行落实。

2. 透气桅高度和距离的计算流体力学（CFD）分析

6.7.2 压缩气体和液化气体燃料罐透气口的透气桅高度和距离要求应被视为最小值，并通过CFD分析进行验证。

分析 应通过计算流体力学软件验证透气桅高度和距敏感处所进气口的距离，应保证透气系统的透气不应进入敏感处所的进气口。

3. 透气桅系统出口潜在火灾后果分析

6.7.6 压力释放系统/透气桅出口的布置应能安全地扩散任何释放物，以防止其着火。如果不能排除气体被点燃的可能性，则应根据主管机关的特殊考虑和满意度来评估其后果（即热辐射和火焰冲击）。

分析 若透气系统出口附近存在点火源，则应根据主管机关的要求评估透气桅出口发生火焰冲击和火灾热辐射的后果。

4. 双壁气态燃料管路的通风次数

9.5.1 含有气态氢的管道及其部件应配备：

1. 在次屏蔽内充惰气，如双壁管系统；或
2. 在次屏蔽内进行通风，应根据CFD、数值或实验分析的结果，证明有足够的通风能力。

分析 若采用双壁管内通风的方式保护氢气管道，则通风次数应根据CFD、数值模拟或实验分析来确定。

5. 单壁气态燃料管路的通风次数

9.5.2 单壁管道可布置在露天甲板，前提是管道至少由自动且故障安全的截止阀以及溢流阀或限流阀保护。在这些保护措施到位的情况下，最大泄漏情况应进行CFD分析，必要时还应进行爆炸分析。

分析 对于布置在露天甲方上的氢气单壁管的泄漏，应通过计算流体力学软件进行氢气扩散分析，如必要还应进行爆炸分析。

6. 氢气探测器布置

15.6.3 气体探测设备应位于可能积聚气体的地方和通风出口。应使用气体扩散分析来找到复杂几何形状的最佳布置。

分析 关于复杂形状围蔽处所内的氢气探测器的位置，应使用仿真手段，明确能尽早探测到氢气泄漏的位置。

五．LPG燃料船舶临时导则要求的数字仿真分析

1. 燃料舱透气出口布置要求

6.3.6 除了 IGF 规则 6.7.2.7 之外，通风出口的位置应确保下述3：

1. 逸出的 LPG 气体不会通过透气口周围的开口进入非危险区域；

2. 逸出的 LPG 气体不会被开敞甲板上的任何结构限制住；和

3. 逸出的 LPG 气体不会在排气管的易燃大气和其他点火源附近形成可燃气体环境。

3 如果风险评估有要求，那么应根据气体扩散分析来验证

分析

LPG密度大于空气且可燃下限低，易在低洼处或受限空间内积聚，微量气体泄漏遇火源即可能发生爆炸，需通过优化燃料舱透气口位置确保气体不会形成积聚或进入非危险区域，同时避免与点火源接触。当传统的工程经验或方法不能确定是否满足要求时，应通过气体扩散分析来进行验证。

2. 舱室通风容量计算

13.3.3 除了IGF规则13.3.8之外，在确定所需的通风容量时，应对LPG气体燃料的密度和爆炸下限（LEL）进行特殊考量，这应该用数字计算，比如 CFD 分析进行辅助支持。

分析

针对LPG燃料船舶，通风容量需在常规基于舱室总容积计算的基础上，额外考虑LPG密度高、爆炸下限低的特性，通过CFD数值模拟和分析来确定通风容量。

六．服务案例

6.1 某LNG燃料船透气管出口高度数字仿真分析

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，如图6-1所示，最终提出了制定透气管出口高度标准的最小值，并针对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，如图6-2所示。

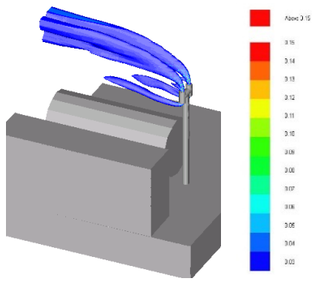


图6-1 某LNG燃料船透气桅透气场景可燃蒸气扩散范围

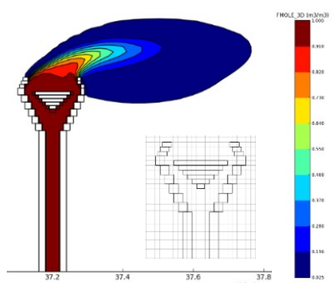


图6-2 推荐透气管出口型式

6.2 某氨动力港口作业船设计方案数字仿真分析

根据氨动力港口作业船设计方案，对液氨燃料加注过程以及燃料准备间发生泄漏场景进行分析，采用三维计算流体力学软件FLACS对氨加注过程的氨气泄漏扩散毒性范围进行定量风险评估，结果如图6-3及图6-4所示，根据评估结果对该船加注作业限制区域确定及敏感进气口氨气探测器布置位置提出改进建议。

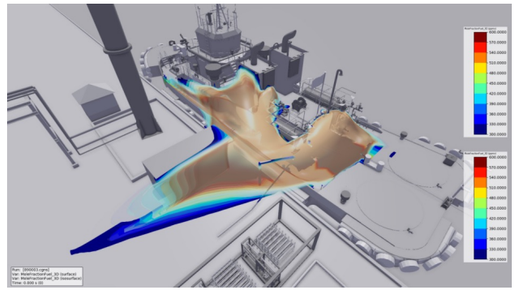


图6-3 某氨动力港口作业船燃料准备间泄漏扩散毒性范围

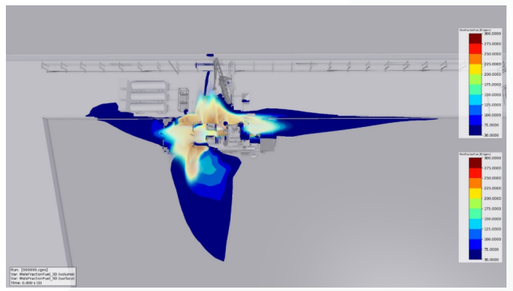


图6-4 加注作业氨气泄漏扩散毒性范围

6.3 某甲醇动力VLCC设计方案数字仿真分析

根据某甲醇动力VLCC设计方案，对甲醇加注过程中发生泄漏、甲醇燃料舱透气桅透气以及燃料准备间发生甲醇泄漏等场景进行定量风险评估，其中，燃料准备间发生甲醇液池火灾的后果图如图6-6所示。最终根据评估结果对该甲醇VLCC的燃料准备间通风优化及现有设计的安全性验证提供依据。

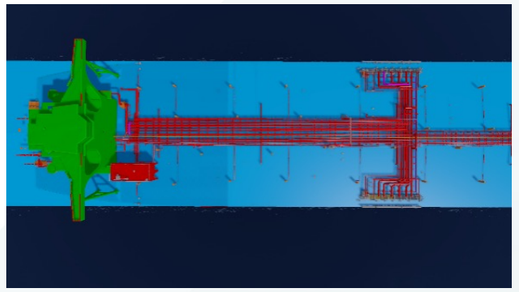


图6-5 某甲醇动力VLCC模型

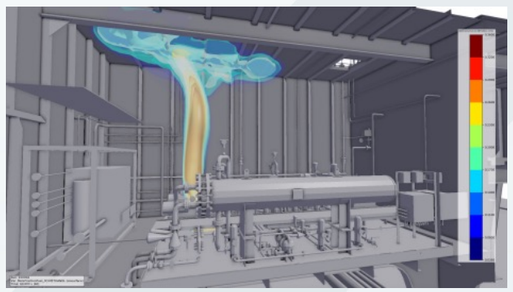


图6-6 燃料准备间内甲醇泄漏的扩散范围

6.4 某汽车滚装船载运氢燃料动力汽车数字仿真分析

根据某汽车滚装船载运氢燃料动力汽车方案，对载运过程中滚装处所内发生高压氢气瓶泄漏场景，考虑不同通风次数、航行方向对氢气扩散范围的影响以及发生氢气闪火进行分析，其中，滚装处所内发生氢气泄漏的扩散范围如图6-8所示。综合评估载运风险，最终对氢燃料汽车的滚装运输的氢气探测器布置位置及最佳通风次数提出优化建议。

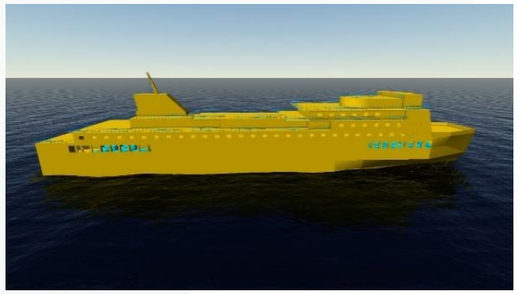


图6-7 某氢燃料动力汽车滚装船三维模型

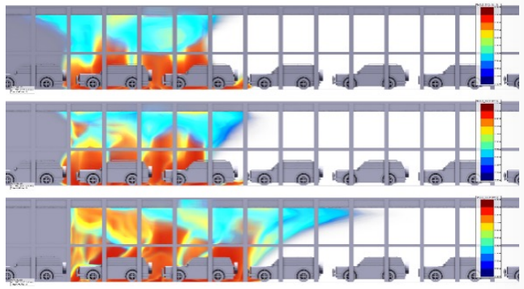


图6-8 滚装处所内发生氢气泄漏的扩散范围



版本号：2025年6月

本手册由环保再生纸印制



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