

指导性文件
GUIDANCE NOTES
GD03-2019



中国船级社

船舶替代设计和布置应用指南
2019

中国船级社

目 录

前 言	iii
第 1 章 总 则.....	1
1.1 一般规定.....	1
1.2 适用范围.....	1
1.3 术语和定义.....	2
第 2 章 替代设计流程.....	4
2.1 替代设计的基本流程.....	4
2.2 替代设计的准备.....	4
2.3 定性的初步分析.....	6
2.4 定量分析.....	7
2.5 试验和工程分析.....	8
2.6 建造和营运.....	8
2.7 其他要求.....	9
第 3 章 设计团队.....	10
3.1 团队的组成.....	10
3.2 团队的职责.....	10
第 4 章 替代设计的准备.....	12
4.1 分析范围.....	12
4.2 分析替代设计的新颖性.....	12
4.3 评估准则的制定.....	13
第 5 章 定性的初步分析.....	14
5.1 事故场景的制定.....	14
5.2 替代设计方案的制定.....	15
第 6 章 定量分析.....	16
6.1 一般要求.....	16
6.2 事故场景的量化.....	16
6.3 性能衡准的制定.....	16

6.4 替代设计方案的评估.....	17
第7章 文件/报告的编制.....	18
7.1 一般要求.....	18
7.2 概念设计文件.....	19
7.3 初步设计及分析报告.....	19
7.4 最终设计及分析报告.....	20
7.5 其他文件.....	20
附录1 消防安全替代设计.....	22
1.1 评估准则.....	22
1.2 火灾场景的设计.....	25
1.3 设定火灾.....	29
1.4 火灾计算机模拟.....	33
1.5 人员撤离分析模拟.....	33
1.6 应用示例.....	35
附录2 救生设备替代设计.....	40
2.1 评估准则.....	40
2.2 分析范围.....	40
2.3 事故场景.....	40
2.4 定量分析.....	42
2.5 试验和工程分析.....	43
2.6 应用案例.....	43
附件1 替代设计和布置申请书.....	50

前 言

国际海事组织在多个公约条款中引入替代设计和布置,例如: SOLAS II-1 章第 55 条、SOLAS II-2 章第 17 条、SOLAS III 章第 38 条和 SOLAS XIV 章 I-B 部分第 4 条。随着造船技术的发展和设计理念的创新,替代设计和布置在各类客船、核能发电平台、海洋工程支持船等船舶设计中得到越来越广泛的应用。

替代设计和布置是一种基于目标的船舶设计方法,通过风险分析,设计者可提出符合目标和功能要求并能有效控制风险的新颖设计,从而在与规定性要求具有同等安全水平下得到最优化的设计方案和最合理(费效比)的安全保护。

为便于替代设计和布置的实施,CCS 以国际海事组织《消防安全替代设计和布置指南》(MSC/Circ.1002)、《SOLAS II-1 和 III 章替代设计和布置指南》(MSC.1/Circ.1212)和《对各种 IMO 文件规定的替代和等效的批准导则》(MSC.1/Circ.1455)等指南为基础,结合有关安全设计和布置工程分析方法,制定了《船舶替代设计和布置应用指南》,供船舶/系统设计、制造、使用与检验单位有关技术人员参考使用。

第 1 章 总 则

1.1 一般规定

1.1.1 为有效实施国际海事组织公约、主管机关法规及中国船级社（CCS）规范所允许的替代设计和布置（以下简称替代设计）要求，确保替代设计与规定性要求具有同等安全水平，特制定《船舶替代设计和布置应用指南》（以下简称本指南）。

1.1.2 替代设计是指不直接满足国际公约、法规和规范的规定性要求，而是以替代方法满足相应规定性要求的意图（目标和功能要求）的措施。其涉及的措施范围较广，既包括新颖或特殊的设计，也包括应用于替代布置或构造中的传统的船舶结构和系统。

1.1.3 对于新建船舶，替代设计的申请应在船舶设计的早期阶段（通常是概念设计阶段）向 CCS 提交，并将替代设计文件及分析报告作为图纸资料的一部分提交 CCS 审查。

1.1.4 鉴于替代设计的独特性，替代设计原则上实行一船一办，即一个申请只能针对一艘船舶提出。对于续造船，可采用经批准的首制船的替代设计，但应满足以下原则：

- (1) 续造船具有相同的设计和建造；
- (2) 续造船根据同一个建造合同由同一船东委托同一船厂建造；
- (3) 续造船挂相同船旗、入相同的船级社；
- (4) 首制船的建造开始日期（安放龙骨）与续造船的交付日期的间隔不超过一定时间，

除非设计团队能证明：

- ① 没有任何使原始替代设计失效的设计修改；
- ② 在此期间，生效的规定性要求的适用修订不影响原始替代设计；
- ③ 在此期间，没有任何影响原始替代设计的设计条件、分析和决策的事件/事故的反馈。

1.1.5 替代设计的实施还应符合主管机关的有关规定。

1.2 适用范围

1.2.1 本指南概括了替代设计的通用设计流程和工程分析方法，适用于船舶安全工程设计，并为偏离规定性要求的替代设计提供技术证明和指导。

1.2.2 替代设计的应用一般限制在国际公约、法规及规范明确允许采用替代设计的条款范围内。

1.2.3 本指南不适用于个别材料、部件或便携式设备的型式认可。

1.3 术语和定义

就本指南而言，有关定义和术语如下：

1.3.1 设定事故：系指用于设定场景中的事故发展和严重性的工程技术说明。

1.3.2 设定事故场景：系指用于定义船舶处所或系统内外的事故发展和严重性的一系列条件，并描述与所考虑的事故有关的特定因素。

1.3.3 设定火灾：系指用于设定火灾场景中的火灾发展和蔓延的工程技术说明，通常可以通过热释放速率随时间的变化曲线来描述设定火灾。

1.3.4 设定火灾场景：系指用于定义火灾的发展和蔓延以及描述火灾影响因素的一系列条件，这些影响因素包括通风条件、着火源、可燃材料的布置和数量以及火灾荷载等，并考虑探火、防火、控火、灭火和减轻火灾后果等措施的作用。

1.3.5 送审方：系指提交替代设计供 CCS 审查或批准的有关方，可以是船东、设计方或船厂。

1.3.6 主管机关：系指船旗国政府。

1.3.7 规定性要求：系指国际公约、法规和规范给出的具体技术条款要求。

1.3.8 目标：系指船舶的设计和建造应使其在预期的寿命期间内，在规定的营运和环境条件下操作和维护得当，在完整和规定的破损条件下保持安全和环境友好。

1.3.9 功能要求：系指以通用术语的形式来解释船舶或系统应提供什么样的功能以满足相应国际公约、法规和规范要求的目标。

1.3.10 风险评估准则：系指公认定义可接受风险的客观准则。

1.3.11 性能衡准：系指用于判断设计方案适当性的可测量的量化标准。

1.3.12 基于规则的设计：系指安全措施的设计满足国际公约、法规和规范的规定性要求的设计。

1.3.13 基于风险的设计：系指设计过程以风险评估为支撑或设计基础来源于风险评估的设计。即这是一个结构化和系统化的方法学，目的是通过风险分析和成本效益评估确保最合理（费效比）的安全性能。

1.3.14 初步设计：系指在定性的初步分析阶段制定的设计。初步设计一般考虑船舶的总布置、主要系统、设备等的顶层设计。

1.3.15 最终设计：系指对初步设计的详细阐述。最终设计符合初步分析的结果，如已识

别出的风险控制方案、主管机关的要求等。

1.3.16 风险控制措施：系指控制单一风险因素的方法。典型的风险控制通过降低后果或频率或者两者的组合来达到。

1.3.17 风险控制方案：系指风险控制措施的适当组合。

1.3.18 安全裕度：系指为补偿用于评估替代设计的方法和假设中的不确定性因素而作的调节。

第 2 章 替代设计流程

2.1 替代设计的基本流程

2.1.1 替代设计流程一般可分为以下几个阶段，具体见图 2.1 所示：

- (1) 替代设计的准备（概念设计阶段）；
- (2) 定性的初步分析（初步设计阶段）；
- (3) 定量分析（最终设计阶段）；
- (4) 试验和工程分析。

2.2 替代设计的准备

2.2.1 在船舶设计的早期阶段，由于船舶特定的功能和营运需求，或引入新颖技术或设计，送审方提出替代设计的需求，并随之展开替代设计的前期准备，包括：

- (1) 确定替代设计的分析范围；
- (2) 分析替代设计与规定性要求之间的关系；
- (3) 分析替代设计的新颖程度；
- (4) 适用的评估准则（如有时）；
- (5) 组建替代设计团队方案；
- (6) 替代设计工作计划，包括风险评估计划。

2.2.2 在完成前期准备后，送审方向 CCS 提交替代设计申请（见附件 1），随附相关技术说明资料。

2.2.3 CCS 审查该替代设计申请的必要性和可行性，以及申请资料的完整性，并召开评审会。评审专家一般由海事管理、船舶管理、船舶设计、船舶建造，以及相关专业技术专家组成。

2.2.4 送审方应按评审会的意见，完善相应的技术文件，报 CCS。

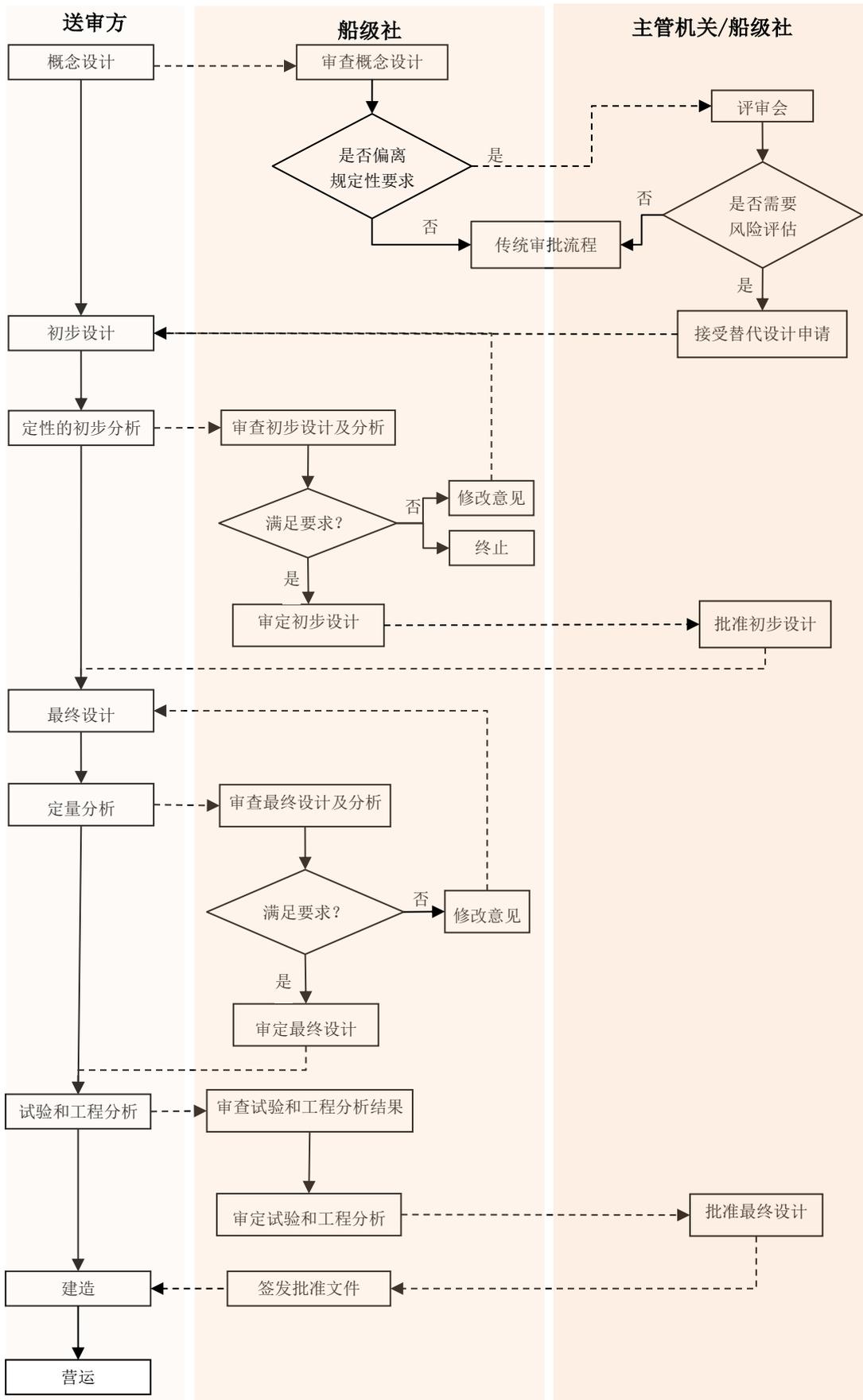


图 2.1 替代设计流程

2.3 定性的初步分析

2.3.1 在替代设计申请被接受后，送审方才可组织开展后续替代设计工作，包括初步设计、最终设计及试验和工程分析。在此过程中，根据替代设计的风险评估计划，送审方应和 CCS 密切配合，做好替代设计的制定和分析。

2.3.2 在定性的初步分析中，设计团队需进一步分析确定受替代设计影响的相关布置和系统，以及主要的操作场景。在此基础上开展危险识别，即对各种危险及其事故场景进行识别，并按其相对于所考虑问题的风险水平进行排序，以便对主要危险和事故场景进行更详细的定量分析。对于风险等级高的事故场景，可初步提出相应的风险控制措施，并据此制定一个或多个替代设计方案。

2.3.3 设计团队组织开展危险识别前，应报 CCS。CCS 根据需要见证危险识别过程并保持与设计团队之间的独立性。

2.3.4 在完成定性的初步分析后，送审方向 CCS 提交初步设计及其分析结果，包括：

- (1) 总布置图；
- (2) 相关系统图纸；
- (3) 危险识别报告，可包括初步提出的风险控制措施；
- (4) 设定事故场景；
- (5) 风险模型和评估方法；
- (6) 所采用的评估准则；
- (7) 试验和工程分析计划；
- (8) 识别营运和检验方面特别关注的问题。

2.3.5 CCS 在审查初步设计时，应审查：

- (1) 初步设计方案的可行性；
- (2) 与设计相关的危险识别的完整性；
- (3) 初步风险控制措施的制定；
- (4) 设定事故场景的适宜性；
- (5) 评估准则的适宜性。

如发现初步设计存在重大问题，无法满足替代设计的评估准则，则可终止批准程序或要求修改设计后重新提交。

2.4 定量分析

2.4.1 在初步设计批准之后，设计团队需要对替代设计进行更新和深化，并着重开展定量分析。

2.4.2 对识别出的事故场景进行详细调查，识别影响风险水平的因素，并为每一个事故进行量化，要求对可能影响危险的类型和程度的所有因素加以说明。

2.4.3 制定用于评价替代设计方案的性能衡准，它是体现规定性要求意图的定量表达。制定的性能衡准应经 CCS 认可。

2.4.4 对替代设计方案进行定量分析，对不满足性能衡准的，通过前期拟定的风险控制措施进行设计更新，并对更新后的设计再次进行定量分析，直至满足性能衡准的要求，即将与风险相关的措施或活动控制在可接受的风险范围内。

2.4.5 在定量分析基础上，设计团队完成最终设计及其分析，并提交 CCS 审查，包括：

- (1) 识别与替代设计有关的危险（更新初步设计分析）；
- (2) 识别设计中业已考虑的安全措施；
- (3) 识别危险的频率和后果，以及导致的风险；
- (4) 制定风险分析模型；
- (5) 阐明参考数据来源、假定、不确定性和敏感性；
- (6) 对比风险水平与评估准则；
- (7) 制定风险控制措施；
- (8) 成本效益评估（如有时）；
- (9) 识别需要进一步测试和工程分析的问题；
- (10) 识别营运和检验方面要求特别关注的问题。

2.4.6 CCS 在审查定量分析结果时，应确认：

- (1) 提交文件的符合性，要求清晰、完整和充分；
- (2) 危险识别方法采用适当公认的风险评估方法；
- (3) 考虑影响风险水平的主要风险因素；
- (4) 当采用专家判断时，专家意见的一致性；
- (5) 各种假定、排除和限制条件具有可信证明；
- (6) 采用的风险控制方案的有效性和可行性；
- (7) 历史/统计数据尽可能得到更新且其与应用有关；

- (8) 采用的计算机模拟工具和程序的适用性，并得到验证；
- (9) 风险评估的结果可以重现；
- (10) 能够证实计划的试验和工程分析将得到可接受的结果。

2.5 试验和工程分析

2.5.1 CCS 在审定最终设计的同时，基于定量风险分析结果，与送审方共同制定替代设计的实施要求，诸如试验和工程分析、制造和营运等。

2.5.2 设计团队根据试验和工程分析要求开展有关工作，并将试验和分析结果提交 CCS 审查。CCS 将对试验和分析方法及结果进行审查，并制定涉及营运检验、检测、监控和试验的相关要求。

2.5.3 CCS 在完成对试验和分析结果的审查后，将最终设计及其分析报告和试验报告，报主管机关进行最终批准。

2.5.4 经主管机关批准，CCS 签发“替代设计批准文件”并附于船舶证书。批准文件可包含批准条件，要求船舶在开始营运之前应执行适当措施。

2.6 建造和营运

2.6.1 在船舶建造和系统/设备安装阶段，替代设计分析所提出的设计要求和风险控制措施应得到落实。CCS 将开展建造检验并随时了解工程进展情况。

2.6.2 船舶营运时，船舶管理公司及船上人员应监测并确认替代设计所提出的操作要求和条件得到有效实施，包括船舶营运、操作和装载的限制，以及附加的安全程序或措施等，以确保替代设计维持批准时确定的安全水平。

2.6.3 对于采用替代设计的船舶¹，船上应保存有以下文件以备查验：

- (1) 船舶的“替代设计批准文件”及相关证书；
- (2) 替代设计的资料，包括：
 - ① 分析或设计的范围，包括重要的设计假定和设计特性；
 - ② 替代设计的说明，包括图纸和说明书；
 - ③ 所涉及的公约条款的清单；

¹ 对于符合 GBS 要求的散货船和油船，替代设计文件还需满足 IACS UR Z23 中对于 SCF 文件的相关要求。

- ④ 工程分析结果和批准依据的综述，包括性能衡准和设定事故场景；
- ⑤ 试验、检测和维护要求。

2.6.4 CCS 除查验证书和船上文件以外，还应按船上保存的经批准的替代设计文件进行检查并确认替代设计文件中规定的条件得到保持且船舶处于良好状态。如检验过程中发现设计批准时所作的设计条件发生了变化，表明船舶处于不适航状态，船舶证书将失效，船舶运营方应根据新的营运条件进行分析并应经 CCS 审查和批准。

2.7 其他要求

2.7.1 对更换船旗的船舶，CCS 将对原主管机关批准的替代设计文件进行审查，并经实船检验确认后，报新主管机关批准后签发“替代设计批准文件”。

2.7.2 对更换船公司的船舶，新公司应将批准的替代设计文件的相关要求纳入公司的船舶安全管理体系，并开展必要的船员培训。

2.7.3 当船舶修理或改建时，改建方案应经 CCS 进行审查，以确定原替代设计的批准条件是否受到影响，或是否会导致新的替代设计，如发生此类情况，应重新开展替代设计。

第 3 章 设计团队

3.1 团队的组成

3.1.1 在替代设计申请之初，船东、设计方、船厂应派适任人员组成设计团队，同时该团队还应包含船舶检验、船舶营运、安全工程、设备制造、人为因素、造船和轮机工程等领域或类似操作方面的技术专家以满足替代设计及风险评估的需要。

3.1.2 团队成员的技术水平应与所要申请的替代设计的复杂程度相适应。由于替代设计会对特定的安全领域产生一定影响，因此应至少有一名具备相关安全领域知识和经验，连续从事该行业 5 年以上的高级职称人员作为设计团队成员。

3.1.3 为替代设计有序、高效地开展，设计团队还应指派一名主要负责联系的协调员。

3.1.4 设计团队成员清单及其所代表的领域、所属机构、实验室或企业，以及专业技术背景资料和证明应随同替代设计申请一并提交 CCS 审查。

3.2 团队的职责

3.2.1 设计团队中各方人员的主要职责如下：

- (1) 船东提供船舶功能、营运和操作方面的需求信息；
- (2) 设计方负责替代设计在船舶设计中的实施；
- (3) 船厂/分包方提供可能影响设备采购、生产计划等方面的信息；
- (4) 技术专家协助设计团队开展危险识别并在风险评估中提供专业技术支持。

3.2.2 在替代设计全过程中，设计团队应：

3.2.2.1 与主管机关和 CCS 保持联系，以获取关于接受替代设计的工程技术分析的建议。

3.2.2.2 在设计准备阶段进行概念设计，包括替代设计范围的清晰定义和影响设计的规定性要求，对规定性要求的安全目标和功能要求的清晰理解。

3.2.2.3 在设计过程的开始阶段首先制定安全裕度，并在后续分析中按需要进行审核和调整。

3.2.2.4 应进行初步分析，制定事故场景和一个或多个替代设计方案。应将该过程以报告的形式编入文件，该报告应在定量分析开始之前提交 CCS，且提交的报告应已得到所有相关利益方的审核和同意。

3.2.2.5 对替代设计方案进行定量分析和评估。它包括了对事故场景的说明、制定性能

衡准并以此对替代设计方案进行评估。从这一步起应选定最终的替代设计并把全部的定量分析编入报告中。

3.2.2.6 编制文件、说明书和生命周期内的维修保养计划，包括操作和维修手册，该手册应包括设计条件的概要性说明。该维修保养计划在船舶的整个营运过程中都应保存在船上，以确保其符合经批准的设计要求。

3.2.2.7 按照替代设计的操作限制和要求，编写对船员培训的要求。

第 4 章 替代设计的准备

4.1 分析范围

4.1.1 应对所要求分析的船舶、船舶系统/部件、处所以及设备进行全面梳理，包括反映替代设计以及基于规则设计的船舶或系统。

4.1.2 在此基础上，应制定替代设计的总体描述，包括各种环境条件、设计目标和营运方案（包括营运限制），以及与其它系统/操作的界面等；替代设计的功能描述，包括设计原理、设计功能、设计范围、操作模式、维护操作要求等。

4.1.3 应清楚描述拟开展的替代设计与规定性要求及其意图之间的关系。

4.2 分析替代设计的新颖性

4.2.1 除分析替代设计是否偏离任何国际公约、法规和规范的规定性要求，还要进一步分析是否达到需要进行风险分析的程度。

4.2.2 可以通过应用表 4.1 来帮助确定替代设计的新颖性，以决定是否需要对其进行风险分析。在该表中，新技术分类通过技术状态及其应用领域综合评判确定。应用领域分为已知领域和新领域两种，对应分值分别为 0 和 1，技术状态分为已验证、有限使用经验、全新或未验证三类，对应分值分别为 1, 2 和 3。通过对应用领域和技术状态的组合分析，得到新技术的综合得分，分值 1 的技术是已验证的技术，从中可以采用已验证的分类、测试、计算和分析方法。分值 2 至 4 的技术被定义为新技术，可采用本指南所述的替代设计。

新技术分类

表 4.1

			技术状态		
			已验证	有限使用经验	全新或未验证
			1	2	3
应用领域	已知的	0	1	2	3
	新的	1	2	3	4

4.2.3 分类的目的是确定替代设计的新颖性，并对替代设计与已验证设计的差异形成总体认识，用于确定后续设计中所开展风险分析的详细程度。

4.3 评估准则的制定

4.3.1 替代设计的安全水平应以评估准则的形式进行量化。设计团队应首先制定替代设计的安全目标，并将这种安全目标转化为评估准则。安全目标和评估准则一旦被制定后，就会成为设计的焦点和评价替代设计方案的基准。

4.3.2 送审方和 CCS 依据规定性要求的目标和功能要求，并结合项目实际，共同研究制定评估准则，并在替代设计申请审批时予以批准。

4.3.3 制定评估准则的基本原则应是“安全等效”，即替代设计预期的安全水平应等效或优于设计所偏离的规定性要求。

4.3.4 制定替代设计的安全目标，需要分析替代设计所偏离的规定性要求背后所隐含的意图，可以采用定性或定量说明。

4.3.5 根据替代设计的应用领域不同，常用的评估准则包括以下几类：

- (1) 生命安全准则：该准则关注乘客和船员的生存性并且可以反映进水、火灾等影响；
- (2) 船体结构及相关系统的破坏准则：该准则关注事故可能对船体结构、机械系统、电子系统、消防系统等的影响；
- (3) 环境的破坏准则：该准则关注事故对大气和海洋环境的影响。

4.3.6 评估准则也可以通过性能衡准的方式制定。在这种情况下，应考虑规定性要求以及相关的强制性要求的意图。

4.3.7 对于没有被适用的规定性要求或其他相关工业标准所覆盖的替代设计，评估准则可以通过风险评估的方式制定，并经主管机关同意。

4.3.8 国际海事组织《经修订的用于 IMO 规则制定过程的综合安全评估导则》包含风险评估准则的内容，其中风险矩阵法、F-N 曲线等方法，如条件适用，可用于替代设计的评估准则。

第 5 章 定性的初步分析

5.1 事故场景的制定

5.1.1 事故或操作场景是分析和评估替代设计的基础，也是替代设计的主要内容。因此需要根据偏离规定性要求的程度，建立合适的事故或操作场景。

5.1.2 制定事故场景时，应概述选择这些事故场景的理由。对于消防安全和救生设备，应侧重于提供等效或更高安全水平的替代设计的事故场景。机械或电气设备侧重于能够提供等效安全水平，提高操作人员的效率或减少操作人员流程的操作场景。

5.1.3 制定事故场景时，应考虑受替代设计影响的所有系统和布置。例如，大型救生艇的设置，可能连带影响降落装置、人员的撤离和登乘等。同样地，经常用于训练的装置可能有损耗，对其在紧急情况下的可用性产生影响。

5.1.4 事故场景的制定可分为以下 3 个部分：

5.1.4.1 危险的识别

应采用历史和统计数据、专家意见和经验，按照危险识别程序对危险进行识别。危险识别技术可参见 CCS《船舶综合安全评估应用指南》。在进行危险识别时，至少应对下列条件和特点进行识别和考虑：

- (1) 灾前的情况：船舶、平台、部件、可获得的潜在动能、环境条件；
- (2) 潜在初始事件、原因；
- (3) 详细技术资料和潜在风险特性；
- (4) 可能会对初始风险有影响的次级风险；
- (5) 区域的潜在延伸：舱室、结构、区域之外（如处于开放状态）；
- (6) 目标位置：注意与性能参数相关的目标项或区域；
- (7) 对应于风险的临界因素：通风、环境、操作、时间等；
- (8) 相关统计数据：以往的事故史、失效概率、频率和严重性等。

5.1.4.2 危险的选择

危险的后果一般可分为三个级别：局部性的，严重的或灾难性的。局部性的事故包括限制在一个特定区域内的具有局部影响区域的事故；严重的事故包括限制在船舶界限内的具有中等影响区域的事故；灾难性的事故包括超出船舶界限而对周围船舶或海域产生影响的具有很大大影响区域的事故。对于邮轮来说，仅需要考虑局部和严重的事故。当考虑的问题涉及石

油产品或其他危化品的载运或海上开采,则需要考虑事故影响区域超出船舶之外的灾难性事故。

应审核所有识别出的危险,以列表形式加以说明。根据替代设计的复杂性,选择合适数量和类型的危险以进行后续的定量分析。选择危险时,无需全面定量事故的发生频率,应选择最有可能发生和造成事故后果最大的危险(可通过频率指数 FI 和严重性指数 SI 进行排序,见 CCS《船舶综合安全评估应用指南》),同时应避免选择可能性不大或不合情理的危险。

5.1.4.3 事故场景的说明

根据所选择的危险,将在定量分析中使用的事事故场景清楚地编入文件中。该说明应包括事故场景(如:初始事件和后续事件、位置等)的定性说明、船舶说明、事故起源的舱室或系统、安全系统、居住的人员数量、构成和行走速度以及可利用的脱险通道等。事故场景应适当考虑受影响区域内的危险未来可能发生的变化(增加或降低)。

5.2 替代设计方案的制定

5.2.1 在分析时,应给出一个或多个替代设计方案,将其与性能衡准进行比较。替代设计方案还应考虑相关人为因素、操作和管理的重要性。良好有效的操作和管理程序可以有效提高整体的安全水平。

5.2.2 一般可在概念设计阶段,由设计团队提出替代设计方案,有助于后续替代设计过程更加有效、快速开展。

5.2.3 在制定替代设计方案时,还应适当考虑每种设计可能引入的风险控制措施,有助于降低危险发生的可能性或更好的控制后果。

第 6 章 定量分析

6.1 一般要求

6.1.1 根据工程技术的要求，替代设计应开展必要的定量分析，以评估替代设计的安全水平。与定性的初步分析不同，定量分析通常需要更详细的输入数据，例如：部件和系统的故障率、事故发生概率、结构强度的概率计算、火灾热量和烟气分布、人员撤离等。这些输入数据的来源，以及分析过程中使用的其他数据项，应记录在分析报告中。

6.1.2 定量分析一般包括事故场景的量化、性能衡准的制定以及评估替代设计方案性能。

6.2 事故场景的量化

6.2.1 应对选定的事故场景进行量化，即对可能影响危险的类型和程度的所有因素加以说明。事故场景应考虑未来可能发生的变化对系统和区域的影响，包括特定事故参数的时间变化曲线、船舶损坏程度、乘客有害暴露等。对所用模型的限制和假设应有正确理解和完整记录，以便确定和使用适当的安全裕度。替代设计报告应清晰描述分析所使用的事故模型及其适用性。

6.2.2 应对每一个识别的危险制定相应的事故场景。通常情况下，如果提供了足够的资料以评估替代设计的安全水平，则只要制定 1 至 2 个事故场景即可。

6.2.3 每一个事故场景应确定后续发生的相关事件或事故参数变化。事件可包括人员反应、安全系统或措施的启动、难以维持的情况等。事故场景是由各种相互关系、模型以及来自文件或实际试验中得到的数据决定。

6.2.4 各种事故场景的后果应以相关工程术语进行量化。这可以通过使用现有的确定事故特性的相互关系和计算程序来完成。在某种情况下，有必要进行实际的试验来适当地预测事故特点。无论是否应用计算程序，都应进行敏感性分析以确定不确定因素的影响和输入参数的限制。

6.3 性能衡准的制定

6.3.1 性能衡准是对相关规定性要求的定量表达。替代设计方案所要求的性能是以性能衡准的形式通过数字来表达的。性能衡准可以包括某些限制条件或其他必需的确保替代设计

成功的衡准。

6.3.2 如果因为新颖性或特殊性而不能直接地从规定性要求中制定替代设计的性能衡准，则在确保等效安全水平的条件下，可以从一个共同使用接受的基于规定性要求的设计的性能评估中来编制该性能衡准。

6.3.3 在评估替代设计方案之前，设计团队应制定性能衡准和安全裕度。根据寻求批准的替代设计的规定性要求，这些性能衡准可以涉及人命安全衡准、对船舶结构和有关系统损坏的衡准和对环境破坏的衡准中的一个或多个。

6.3.4 设计团队还应避免一项特殊的性能衡准可能对其他区域产生不利影响，而这些区域并不作为替代设计的某一部分。如特殊防护的失效不仅可以影响相邻处所的乘客和船员的人命安全，而且它还导致某些系统的失效，进而影响整个船舶的安全。

6.3.5 一旦建立了所有的性能衡准，设计团队就可进行替代设计方案的评估。

6.4 替代设计方案的评估

6.4.1 在初步分析中产生的所有数据和资料以及事故场景的定量在评估过程中应作为输入参数。

6.4.2 每一个所选择的替代设计方案应基于选择的事故场景进行分析，以验证其符合性能衡准及安全裕度的要求。

6.4.3 任何在详细分析中要求的工程技术精确级别应取决于所要求分析的级别以验证所建议的替代设计与规定性要求的等效性相符。显然地，受某一具体的替代设计影响的船舶布置、部件、系统、操作越多，分析的范围也就越大。

6.4.4 最终的替代设计应从符合所选择的性能衡准和安全裕度的替代设计方案中选择。

6.4.5 如有多个替代设计方案均满足 6.4.4 条的要求，可通过成本效益分析（见 CCS《船舶综合安全评估应用指南》）进行分析和比较，以选择最佳的方案作为替代设计的最终设计。

第7章 文件/报告的编制

7.1 一般要求

7.1.1 替代设计的制定和审查要求过程清晰透明、记录完整详细、结果正确可重复，并能确保第三方获取。

7.1.2 选定某一设计方案后，开始准备正式的论述该设计的报告或文件。该文件应包含分析过程的清楚记录，包括假设、所用的工具和方法、结果，以及可能使该设计得到最后批准的各种重要的因素。

7.1.3 该过程的文件应由设计团队对目标取得一致开始。最终报告和文件的形式将随着项目的性质和范围不同而变化，一般应包括以下方面：

- (1) 分析和设计过程的参加者。列举过程参加人员的名单，并概要说明其作用。
- (2) 分析或设计的理由。可能的理由主要有：建造新船舶、船舶修复、改变船舶用途、安排新的工序、对已有能力的评估等。
- (3) 设计方法的说明。描述所采用的方法，及采用这种方法的理由、所做的假定、使用的工程工具。
- (4) 背景资料。设施的功能限制、危害分析和结构的描述、工艺、特殊的危险或风险、结构材料及其用途、船舶布置、已有的安全系统、人员的特征等。
- (5) 送审方的目的和目标的说明。通过替代设计或分析所取得一致的安全目标和损失目标。
- (6) 性能衡准。清楚制定工程设计目标及性能衡准，包括每一个应用的安全裕度或所考虑方式的可靠性，并提供这种衡准的数据来源或资料。
- (7) 事故场景。描述事故场景的识别所用的方法，选择可反映事故场景的基础资料，应包括所有的假设和限制。
- (8) 设定事故。描述所用的表征损失场景的设定事故，选择与反映该设定事故的主要部分，包括假设和局限性。
- (9) 所用的工程工具和方法。在分析或设计中所用的工程工具与方法，包括适当的参考文献（作者、出版者、日期、软件版本等）、假设、局限性、输入数据的工程判断，数据或步骤的验证模型或经验关系式的敏感性分析、应用范围、工具及方法的假设与局限也应说明。

(10) 替代设计方案。描述所选的替代设计方案, 选择它们的基础, 包括假设和局限性, 以及试验与维护要求。

(11) 计算机模型的输出结果应以可验证的方式提供给 CCS 审查。如有需要, 还应准备有关设备及其安装的说明书。

(12) 其他资料。软件文件、敏感性研究的结果、模型的数据源和试验结果等。

7.2 概念设计文件

7.2.1 概念设计文件一般应包括:

- (1) 涉及到的规定性要求的清单及其内容说明;
- (2) 替代设计的总体描述, 包括各种环境条件、设计目标和运营方案(包括运营限制), 以及与其他系统/操作的界面等;
- (3) 替代设计的功能描述, 包括设计原理、设计功能、设计范围、操作模式、维护操作要求等;
- (4) 替代设计与其他系统/操作之间的界面;
- (5) 总布置图;
- (6) 相关系统图纸(如有时);
- (7) 拟采用的评估准则(如有时);
- (8) 替代设计工作计划, 包括风险评估计划;
- (9) 拟组建的替代设计团队方案。

7.3 初步设计及分析报告

7.3.1 初步设计的分析报告一般应包括:

- (1) 总布置图;
- (2) 相关系统图纸;
- (3) 危险识别报告: 包括船舶处所的现状评估, 以及危险源的识别和选择, 与危险及其所导致的风险相关联的频率和后果等;
- (4) 事故场景的说明;
- (5) 采用的评估准则;
- (6) 可要求进一步试验和工程分析的事项;

- (7) 风险模型和评估方法，包括开展研讨会的细节；
- (8) 数据参考、专家判断、假定、不确定性和敏感性；
- (9) 降低风险的措施；
- (10) 成本效益评估（如有时）；
- (11) 试验和工程分析计划；
- (12) 识别营运和检验方面特别关注的问题。

7.4 最终设计及分析报告

7.4.1 除初步设计批准的文件外，最终设计的定量分析文件应包括：

- (1) 事故场景，包括关键假设、初始条件、工程判断、计算程序、试验数据、敏感性分析等；
- (2) 性能衡准；
- (3) 替代设计方案的评估；
- (4) 最终设计方案的描述；
- (5) 试验、检测和维护要求；
- (6) CCS 根据实际需要，要求提交的其他相关文件。

7.5 其他文件

7.5.1 试验和工程分析报告，包括以下信息：

- (1) 所应用的相关规则 and 标准，及应用中存在的偏差；
- (2) 用以评估设计的评估准则的选择；
- (3) 设计计算；
- (4) 分析报告，包括目的、范围、假定、结果、结论和建议；
- (5) 试验报告，包括所建立的模型和试验的描述，以及试验目的、范围、结果、分析、结论和建议；
- (6) 随着设计细化产生的更加详细的设计图纸。

7.5.2 替代设计的制定还应提出在营运、维护方面需要特别注意的事项，包括：

- (1) 建造或安装手册、维护程序和营运计划等；
- (2) 产品说明书、包括限制、免责声明和公差（如适用时）；

(3) 材料数据和/或生产证书（如适用时），以及必要的设计规格（包括定义设计基本原理的基础分析、试验和计算），和文件及图纸（包括最终的总布置图和相关系统的详细图纸）。

7.5.3 说明书中，应详细描述设备与材料的购置和安装，以确保满足安全目标。如需要特殊的设备、特殊的安装材料或方法，应给出特别的说明。设备、材料或系统所涉及的试验和性能测试也应明确。

7.5.4 检验、维护和定期试验的需要应以用户指南的形式提出，与上述事项相关的人员和其他特定人员的培训也需确定。

附录 1 消防安全替代设计

1.1 评估准则

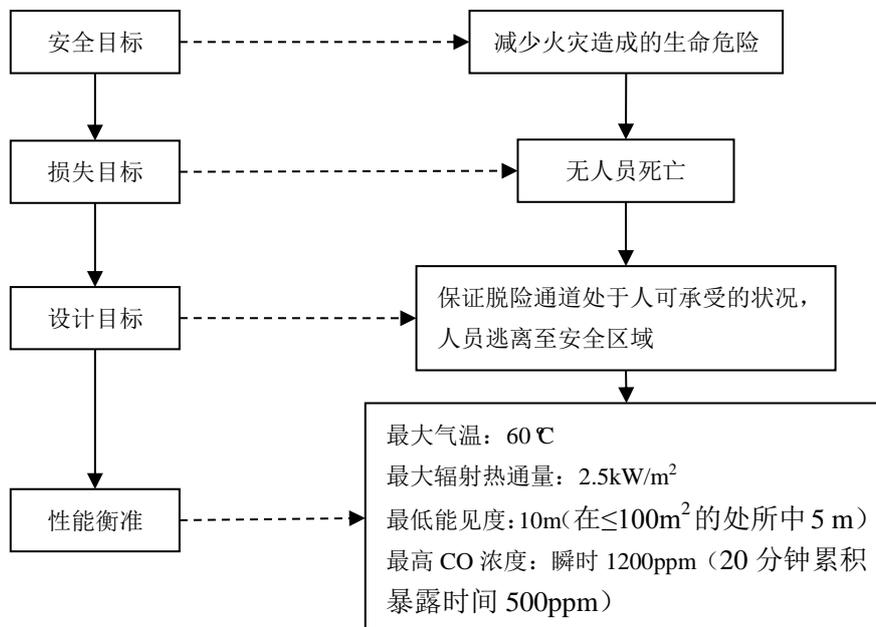
1.1.1 根据 SOLAS 公约 II-2 章/17 条的规定，消防安全设计和布置可允许偏离 SOLAS 公约 II-2 章 B、C、D、E 或 G 部分的规定性要求，但相关的替代设计需满足该章的消防安全目标和功能要求。

1.1.2 消防安全替代设计中，评估准则通常以性能衡准的方式制定。在这种情况下，应考虑规定性要求以及相关的强制性要求的意图，即考虑 SOLAS 公约 II-2 章所制定的消防安全目标和功能要求。

1.1.3 根据消防安全替代设计所涉的规定性要求，性能衡准可能涉及以下 1 个或多个方面：人命安全衡准（如毒性效应、烟气效应、热量效应等）、结构失效衡准或环境破坏衡准。通常适用消防安全替代设计的性能衡准如下所述。

1.1.4 人命安全性能衡准

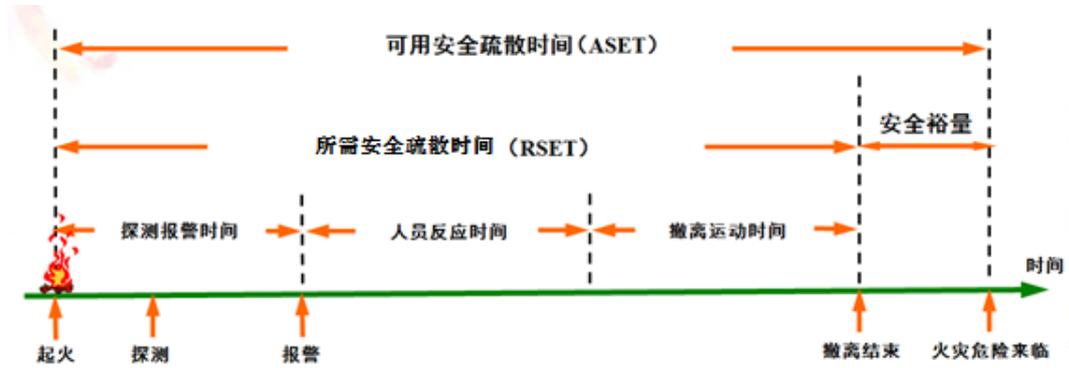
1.1.4.1 替代设计如以“减少火灾造成的生命危险”为消防安全目标，则其设计目标就是维持脱险通道的合适状态，保证所有人员能够有足够的时间撤离到安全区域，使他们不受到瞬间或者积累的危险状态的威胁，包括热、烟、毒和能见度降低等的影响。



附图 1.1 人命安全性能衡准示例

1.1.4.2 一般地，通过所需安全疏散时间 $RSET$ (Required Safety Egress Time) 和可用安全

疏散时间 *ASET* (Available Safety Egress Time) 来分析评估所有人员的安全脱险或确定处所内受影响人员的数量, 见下图所示。



附图 1.2 人员撤离安全判定示意图

1.1.4.3 如果在所有设定火灾场景下 *ASET* 大于 *RSET*, 则表明人员撤离是安全的, 无需进一步分析。可提供相应的风险控制措施 (例如烟气管理系统和设备) 帮助达到这个结果, 并使主管机关满意。

1.1.4.4 如果撤离过程中任一项衡准超过本附录 1.1.4.8 条所建议的数值, 即表明 *ASET* 小于 *RSET*, 至少应按照标准 ISO 13571:2012 进行有效剂量分数计算以证明达到 *RSET* 前不会超过最大极限衡准 0.3。

1.1.4.5 *RSET* 的确定: *RSET* 系指从受到火或烟影响的处所安全撤离的所需时间。应通过《经修订的新客船和现有客船撤离分析指南》(MSC.1/Circ.1533 通函) 中的方法, 计算确定完全撤离处所的最大 *RSET*。计算时, 使用适用于受影响区域的白天或晚上实例的响应时间分布, 并按照《国际消防安全系统规则》第 13 章假定处所占有率。如采用高级撤离分析, 应注意使用 MSC.1/Circ.1533 通函给出的安全因子 1.25。

1.1.4.6 *ASET* 的确定: *ASET* 系指从受到火或烟影响的处所安全疏散的可用时间, 也就是从着火至处所区域达到人命安全性能衡准阈值 (本附录 1.1.4.8 条所述) 的时间:

- (1) 对于公共处所, 系指甲板以上 0 至 2 米 (0-2 m);
- (2) 对于其他区域, 系指甲板以上 0 至 1.8 米 (0-1.8 m);
- (3) 在多个开敞甲板处所(例如中庭), 应同时考虑船上人员通常可进入的每个甲板层。

在设定火灾场景条件下计算确定人员承受火灾影响的 *ASET* 时, 应使用接受的适当的火灾模拟软件。

1.1.4.7 火灾燃烧产生的危害主要包括毒性气体、烟气以及大量的热量。因此在计算 *ASET* 时, 涉及到的人命安全衡准包括毒性气体的耐受极限、热烟气的遮光性水平和高温、

人员接受的热辐射强度等。替代设计通常用其中某项参数值来判定 *ASET*，即其中哪个参数在火灾中最先达到危险状态，就采用那个参数到达性能衡准值的时间作为 *ASET*，即

$$ASET = \min (t_{\text{气温}}, t_{\text{辐射}}, t_{\text{能见度}}, t_{\text{一氧化碳}})$$

式中： $t_{\text{气温}}$ 表示人员所处环境温度升高到性能衡准值的时间，s；

$t_{\text{辐射}}$ 表示火场中人员所接收到的热辐射强度升高到性能衡准值的时间，s；

$t_{\text{能见度}}$ 表示火场能见度下降到性能衡准值的时间，s；

$t_{\text{一氧化碳}}$ 表示火场环境中一氧化碳气体浓度升高到性能衡准值的时间，s。

1.1.4.8 评估和确定 *ASET* 时，应使用的人命安全性能衡准包括：

最大气温	60°C；
最大辐射热通量	2.5kW/m ² ；
最低能见度	10 m； 在≤100m ² 的处所中 5 m；
最高一氧化碳浓度	1200ppm（瞬时暴露）； 500ppm（20 分钟累积暴露时间）。

1.1.5 结构失效衡准

1.1.5.1 替代设计如涉及舱室分隔结构的替代和等效，则设计团队需要编制防止火灾穿过该耐火结构的性能衡准。为此，衡准可如下所示制定：

（1）SOLAS 公约 II-2 章/2 条包括消防安全目标为“将火灾和爆炸抑制、控制和扑灭在火源舱室内”；

（2）体现本安全目标的功能性要求是“用耐热与结构性限界面，将船舶划分为若干主竖区和水平区”、“用耐热与结构性限界面，将起居处所与船舶其他处所隔开”；

（3）根据 SOLAS 公约 II-2 章/9 条制定舱室分隔结构的规定性要求。对于不同分隔要求，根据下面的性能衡准进行判定：

①“**A**”级防火分隔，在下列时间内，其背火面的平均温度较初始温度升高不超过 140°C，且任何一点的温度较初始温度升高不超过 180°C：

- “**A-60**”级 60 分钟
- “**A-30**”级 30 分钟
- “**A-15**”级 15 分钟
- “**A-0**”级 0 分钟

②“**B**”级防火分隔，在下列时间内，其背火面的平均温度较初始温度升高不超过 140°C，

且任何一点的温度较初始温度升高不超过 225℃：

“B-15”级 15 分钟

“B-0”级 0 分钟

1.1.6 环境破坏的限制

1.1.6.1 环境性能衡准应限制灭火过程中污水的排放，还应限制燃烧和灭火介质的释放，从而进一步保护船舶及周边环境。

1.2 火灾场景的设计

1.2.1 火灾场景的设计包括设定火灾场景的识别和设定火灾两部分。通过对设定火灾场景进行详细分析，评估所选择的防火、探火和灭火系统是否满足所设定的性能衡准。因此，火灾场景的设计对于船舶达到消防安全目标十分关键。

1.2.2 在实际船舶环境中，火灾、船舶和人构成了一个非常复杂的系统，从而可能产生无数的火灾场景。替代设计不可能也没必要评估所有的火灾场景。因此，通过设定火灾场景的识别，选取具有代表性的、火灾风险较大的火灾场景。所选择的火灾场景至少应包含以下信息：火灾的类型、火源所处的位置和各种消防设施的性能。

1.2.3 设定火灾场景的识别应根据最不利的原则制定，必须考虑到合理性、严重性和频发性的所有潜在危险，并且需要考虑高频率低风险、低频率高风险以及特殊情况的火灾。

1.2.4 火灾场景的危险性排序，可参见 CCS《船舶综合安全评估应用指南》附录 1。

1.2.5 当从可能的火灾场景中筛选出设定火灾场景时，还需要设计火灾，即对火灾场景中火灾特征的定量描述，包括火灾参数随时间的变化，如热释放速率、火场温度、和毒性组份的生成量等，以及其他重要的模型输入数据，如火灾荷载密度等。

1.2.6 火灾场景的设计应：

1.2.6.1 评估概况：了解评估对象的基本状况，例如船舶处所使用功能、可燃物的类型和分布、现有的消防措施等。

- (1) 火灾前的情况：船舶、平台、部件、燃料装载、环境条件；
- (2) 着火源：温度、能量和潜在燃料接触的时间和区域；
- (3) 原始可燃物：状态（固态、液态、气体、蒸汽、喷雾）、表面面积和质量之比、热量释放率；
- (4) 二次可燃物：接近原始燃料、总量、分布；

- (5) 潜在延伸：舱室、结构、区域之外（如处于开放状态）；
- (6) 目标位置：注意和性能参数相关的目标项或区域；
- (7) 临界因素：开口、通风、环境、操作、时间等；
- (8) 有关的统计数据：以往的火灾史、失效概率/频率和严重程度等。

1.2.6.2 防火目标分析：通过对替代设计防火目标的分析，明确需要考虑的火灾造成的危害。常见的防火目标包括：保证人员生命安全、财产保护以及保证设备连续运行，相应需要考虑的火灾危害包括：火灾对人员生命安全造成的威胁、火灾引起的财产损失以及火灾对设备的损坏。因此，诸如人流集结区域的火灾、堵塞疏散出口的火灾、可能导致结构失效的火灾、易引发高危物质燃烧的火灾以及快速发展的火灾等场景需要着重考虑。

1.2.6.3 确定火灾场景事件树的初始事件：这包括确定火灾的类型和火源位置。不同的火灾类型，其火灾过程以及引发的后果差别很大，确定火灾的类型可以指导火灾场景事件树的构建和火灾危害的评价，也是后续定量分析的需要。

1.2.6.4 确定火灾场景事件树的路径因素：路径因素是初始事件后发生的事件，代表条件状态和时效作用。对于船舶来说，通常选取各类消防系统所处的状态作为火灾场景事件树的路径因素，如附表 1.1 所示。

1.2.6.5 构建火灾场景事件树：在确定了火灾初始事件以及路径因素之后，按照消防系统的响应事件顺序，可以建立火灾场景事件树，附图 1.3 为火灾场景事件树示例，其中 FPS1~FPS4 代表路径因素，例如 FPS1~FPS4 可分别表示探测报警系统成功与否、排烟系统正常工作与否、自动喷水灭火系统灭火成功与否、自动喷水灭火系统是否控制火灾规模。

火灾场景事件树路径因素 附表 1.1

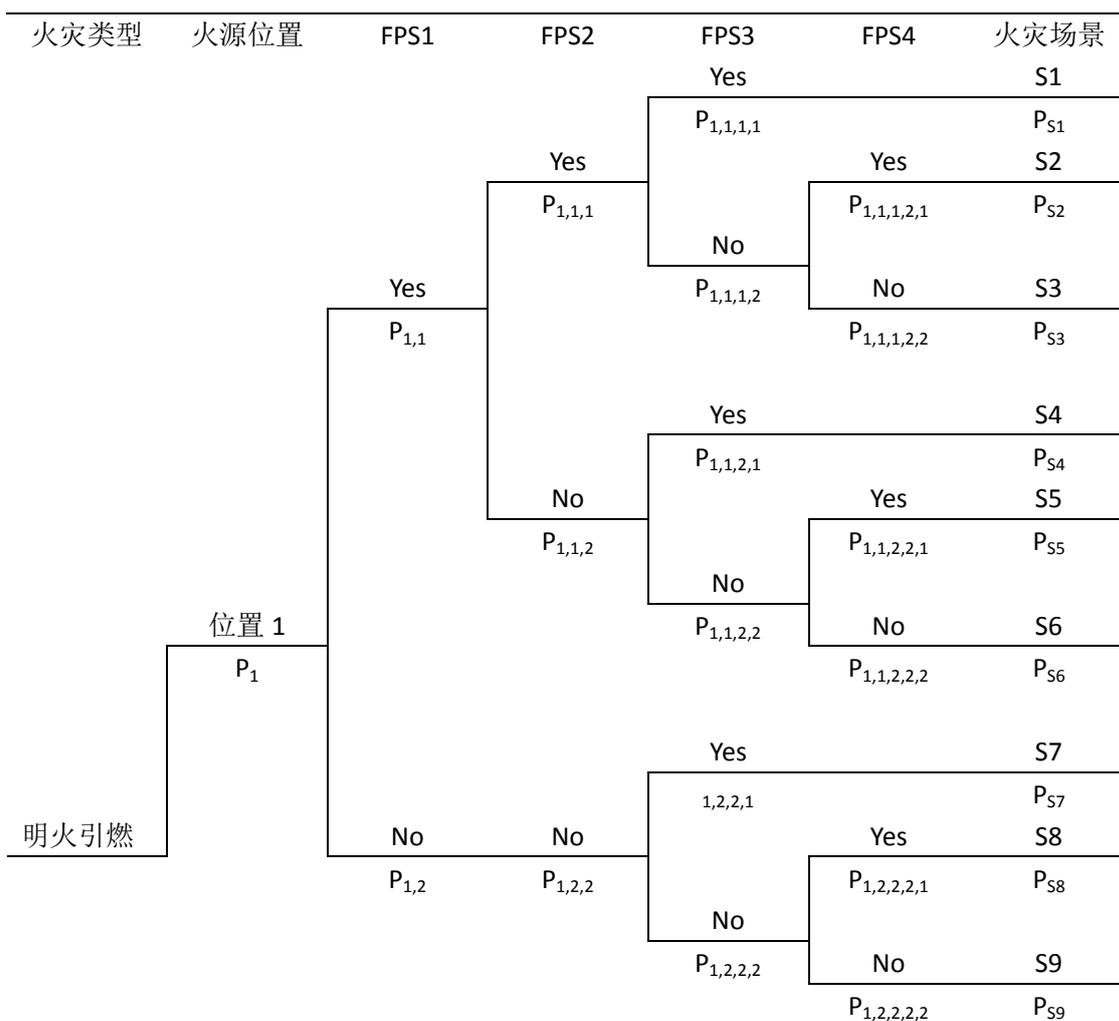
消防系统	所处状态
火灾探测系统	正常工作、非正常工作
火灾报警系统	正常工作、非正常工作
排烟系统	正常工作、非正常工作
自动灭火系统	灭火成功、失败
	控制火灾规模成功、失败
防火分隔	达到设计的分隔效果与否

1.2.6.6 火灾场景的发生概率由初始事件的发生概率与分支事件条件概率相乘得到，以附图 1.3 所示的火灾场景事件树为例，火灾场景 S1~S9 的发生概率如附表 1.2 所示。

火灾场景 S1~S9 的发生概率 附表 1.2

火灾场景编号	火灾场景发生概率
S1	$P_{S1}=P_1P_{11}P_{111}P_{1111}$
S2	$P_{S2}=P_1P_{11}P_{111}P_{1112}P_{11121}$
S3	$P_{S3}=P_1P_{11}P_{111}P_{1112}P_{11122}$
S4	$P_{S4}=P_1P_{11}P_{112}P_{1121}$
S5	$P_{S5}=P_1P_{11}P_{112}P_{1122}P_{11221}$
S6	$P_{S6}=P_1P_{11}P_{112}P_{1122}P_{11222}$
S7	$P_{S7}=P_1P_{12}P_{122}P_{1221}$
S8	$P_{S8}=P_1P_{12}P_{122}P_{1222}P_{12221}$
S9	$P_{S9}=P_1P_{12}P_{122}P_{1222}P_{12222}$

1.2.6.7 分支事件的条件概率（即为消防系统成功概率）是量化火灾场景发生概率的基础。获取消防系统成功概率有两种途径：采用事故树分析方法和利用历史统计数据。



附图 1.3 火灾场景事件树示例图

1.2.6.8 火灾场景后果分析

(1) 通过对火灾危险源以及其他风险参数进行分析，并按照一定的原则对其赋予适当的值，然后通过数学方法综合起来，得到描述火灾场景后果的数值，从而快速简单地估算火灾场景相对风险等级。这一过程就是火灾场景后果的半定量分析。引入火灾影响域的概念表征某一特定火灾场景下火灾危害可能波及到的范围。一般地，火灾影响域有三个层次的范围：

- ①火灾后果波及范围限制在某个局部区域；
- ②火灾蔓延至整个舱室、处所；
- ③火灾蔓延突破船体结构的防火分隔，向其他区域蔓延。

(2) 根据防火设计目标，火灾影响域中的火灾后果(C)一般包括：火灾对人员生命造成的伤害(C_p)和火灾引起的财产损失(C_w)。本指南引入火灾影响量(I)和危害系数(H)两个参数对火灾后果进行半定量，对于具有 m 个影响域的火灾场景，其火灾后果可以用下式表示：

$$\begin{cases} C_p = \sum_{i=1}^m I_{p_i} \times H_{p_i} \\ C_w = \sum_{i=1}^m I_{w_i} \times H_{w_i} \end{cases}$$

式中： I_{p_i} 表示第 i 个影响域内的人员总数，个； H_{p_i} 表示第 i 个影响域内人员受到的危害程度； I_{w_i} 表示第 i 个影响域内的财产总价值，元； H_{w_i} 表示第 i 个影响域内财产受到的危害程度。

(3) 火灾影响量是指火灾影响域中的人员总数或财产总价值。第 i 个火灾影响域内的人员总数 I_{p_i} 可由该影响域的人员密度和影响域面积来确定：

$$I_{p_i} = D_{p_i} \times S_i$$

式中： D_{p_i} 表示第 i 个影响域的人员密度，人/ m^2 ； S_i 表示影响域的面积， m^2 。

第 i 个火灾影响域内财产总价值 I_{w_i} 可由该影响域内的财产价值密度和影响域面积来确定：

$$I_{w_i} = D_{w_i} \times S_i$$

式中： D_{w_i} 表示第 i 个影响域的财产价值密度，元/ m^2 ，不同类型的舱室一般具有不同的价值密度； S_i 表示影响域的面积， m^2 。

(4) 危害系数 H 是指火灾对其影响域内的人员和财产的破坏或者威胁的程度，主要由火灾危险源特性、降低火灾危害的消防措施和防火目标的易损性决定，其取值范围是[0, 1]。

1.2.6.9 采集可靠数据是进行火灾场景设计的重要步骤，火灾场景设计所需的数据可包括：

(1) 火灾统计：火灾统计包括可能燃烧区域的统计和可能蔓延到的区域的统计。还要包括过去的火灾史、发生火灾的频率等等。

(2) 船舶数据：火灾的持续燃烧和潜在后果由许多因素决定，如：

①火灾荷载；

②结构强度；

③乘客人数及其所处环境；

④系统可靠性数据。消防系统有时会由于缺乏维护和保养、机械故障和异常的大型火灾等原因而失效。厂商应提供系统发生机械或电力故障的频率以及系统所承受的火灾强度等数据。厂商还应明确指明在火灾事件中产生火灾环境和人为失误的频率。如一个火灾自动探测和控制系统应提供以下可靠数据：

(i) 探测系统的相应数据；

(ii) 烟气控制系统的操作数据；

(iii) 灭火系统的数据；

(iv) 破坏隔离条件的数据。

1.2.6.10 如没有可靠的数据支持，可通过专家的判断做出假定以进一步分析。

1.3 设定火灾

1.3.1 设定火灾就是对设定火灾场景中火灾特征的定量描述，主要包括火灾参数随时间的变化以及其他重要的模型输入数据，其中最重要的是制定火源功率，它是进行火灾模拟的一个最基本输入参数，只有制定了火源功率的大小才能进行火灾发展与烟气流动的计算。

1.3.2 火灾荷载密度的制定。火灾荷载密度是指单位面积可燃材料完全燃烧释的热量。一个舱室或封闭空间内的火灾荷载会影响火灾的持续时间和火灾热释放速率的大小。因而火灾荷载密度是设定火灾中的重要参数。火灾荷载大致包括以下三类：

1.3.2.1 固定式火灾荷载 Q_1 ，是指舱室内装修用的，位置基本不变的可燃材料（如墙纸、吊顶、墙的软包、壁橱、地板等）和舱壁结构上使用的部分可燃材料（如木质门窗等）。

1.3.2.2 活动式火灾荷载 Q_2 ，是指为了舱室的正常使用而另外布置的，其位置和数量可变性较大的可燃物品。通常指放置的各种物品，燃料等。

1.3.2.3 临时性火灾荷载 Q_3 ，指临时带来的并且短暂停留的可燃物品。这种火灾荷载具有不确定性，在常规计算中一般可不考虑。

1.3.3 火灾热释放速率曲线的设定。原则上，火灾中可燃物燃烧时的热释放速率可根据质量燃烧速率获得：

$$\dot{Q} = \phi \times \dot{m} \times \Delta H$$

式中， \dot{m} 为可燃物的质量燃烧速率； ΔH 为该可燃物的热值； ϕ 为燃烧效率因子，反映不完全燃烧的程度。但在实际工程应用中，上式右侧的各项都是难以合理确定的。一般可通过试验来确定典型物品的火灾燃烧特性，并据此估计特定物品的热释放速率。测量可燃物的热释放速率可采用锥形量热计（ISO 5660）及家具量热仪（ISO 9705）。

火灾热释放速率曲线的设定通常由以下几种方式：

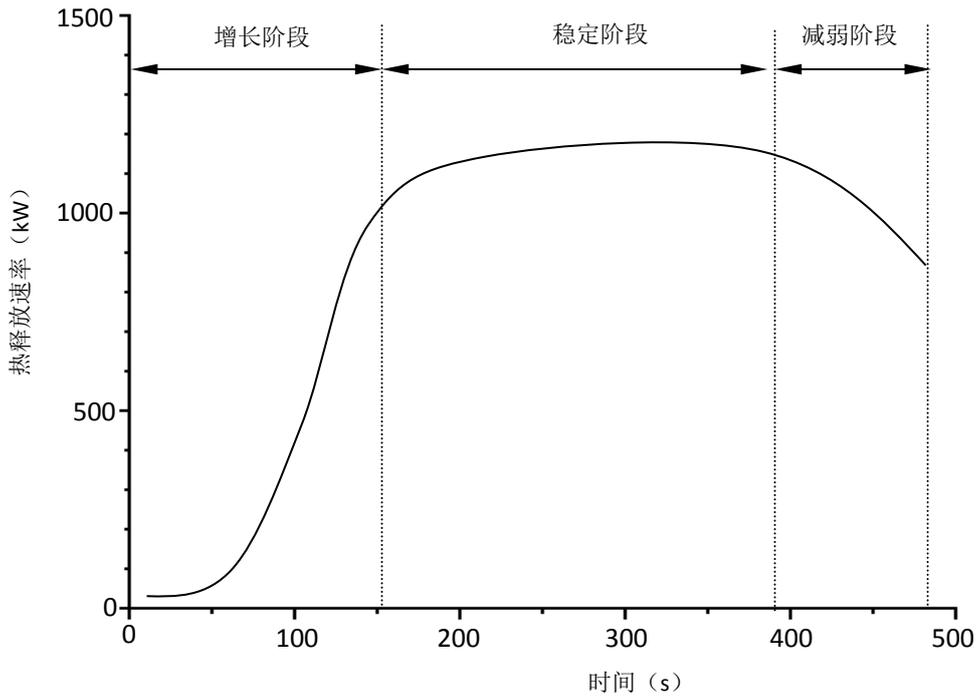
（1）定常火源，即设火源功率为常数，不随时间变化。例如，以一定速率喷出的可燃气体火灾，或容器面积不变的油池火的主要燃烧阶段均可认为其火源功率不变；对于有些可燃固体火灾的稳定燃烧阶段，也可认为其燃烧速率基本不变。定常火源是一种理想化的假设，可以大大简化计算过程。在防火安全设计计算时，一般按该处所内可能出现的最大火源功率（定值）火灾来确定设计参数。这是一种保守做法，也符合火灾危险分析的要求。

（2）时间平方火。实际火灾的火源功率是随时间变化的。火灾的发展一般分为 3 个基本阶段：不断增长、稳定燃烧和逐渐减弱，如附图 1.4 所示。在设定火灾时，主要关注的是火灾增长和稳定燃烧阶段。下面分两部分来讨论火灾热释放速率曲线的设定。

①火灾增长阶段。大量实验表明，许多物品从起火到稳定燃烧阶段，热释放速率大体按时间的指数规律增长的，即火灾的增长过程用 t^2 火来描述：

$$\dot{Q} = \alpha \cdot t^2$$

其中，火灾增长因子 α 表示火灾蔓延的快慢， kW/s^2 。一般根据美国消防协会 NFPA 标准的分类，分为极快、快速、中等和缓慢 4 种类型，如附表 1.3 所示。



附图 1.4 火灾发展曲线示意图

火灾增长因子参数值

附表 1.3

可燃材料	火灾增长分级	$\alpha/\text{kW/s}^2$
没有注明	慢速	0.0029
无棉制品 聚酯床垫	中速	0.0117
塑料泡沫 堆积的木板	快速	0.0469
快速燃烧的软垫座椅	极快	0.1876

②充分发展稳定燃烧阶段。稳定燃烧阶段的热释放速率主要由经验公式计算。对于燃油等液体可燃物，参考前人的相关研究，可以估测出稳定燃烧的热释放速率如下：

$$\dot{Q} = \dot{m}'' \times A_p \times \Delta H_c$$

式中， \dot{Q} 是热释放速率，MW； \dot{m}'' 为可燃物单位面积质量损失速率， kg/sm^2 ， A_p 为可燃物有效暴露表面积， m^2 ； ΔH_c 为燃烧热值，MJ/kg。

火灾的持续时间可用下式来计算：

$$t_f = \frac{\text{总火灾荷载}}{60Q_f}$$

对于木材等纤维素可燃物:

$$Q = \begin{cases} [2.5 \cdot \chi \cdot \exp(-11\chi) + 0.048] A_{fuel} & (\chi > 0.1) \\ 0.13 A_{fuel} & (0.081 < \chi \leq 0.1) \\ 1.6 \cdot \chi \cdot A_{fuel} & (\chi \leq 0.081) \end{cases}$$

式中, χ 是燃烧类型指数:

$$\chi = \frac{\sum A_{op} \sqrt{H_{op}}}{A_{fuel}}$$

$$A_{fuel} = 0.26 \times q^{\frac{1}{3}} \times A_r + \sum \varphi \times A_f$$

式中:

A_{op} ——各开口的面积, m^2 ;

H_{op} ——开口上端至下端的垂直距离, m ;

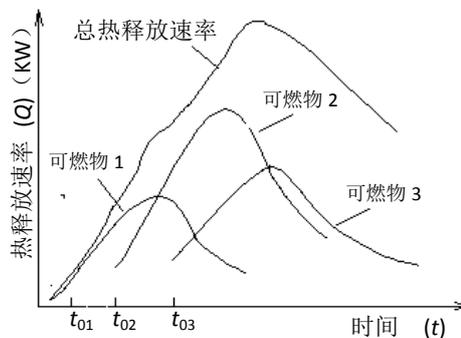
A_{fuel} ——可燃物表面积, m^2 ;

A_r ——房间地板面积, m^2 ;

q ——火灾荷载密度, MJ/m^2 ;

$\sum \varphi \times A_f$ ——为墙面和吊顶可燃装修材料的有效曝露面积, m^2 。

(3)自设火源。自设火源是根据船舶处所内具体物品燃烧变化的情况来制定火源功率。火灾往往是一件物品先着火,再引燃其周围的其它物品从而逐渐扩大的。处所内物品的搭配形式是复杂多样的,这也可以根据有关数据估计物品组合状况下的热释放速率。例如,如果知道船舶处所内物品的热释放速率,及起火源与其它物品被引燃的时间,就能够将它们的热释放速率曲线按点燃的时间叠加起来,从而得到总的热释放速率,见下图所示。



附图 1.5 可燃物依次着火总热释放速率的设定

1.4 火灾计算机模拟

1.4.1 在设定火灾场景的基础上，需要对火灾的发展和蔓延过程进行计算机模拟，以分析消防安全替代设计的安全性能。

1.4.2 对于以人命安全为目标的替代设计，通过火灾计算机模拟，分析火灾产生的热量、烟气等的危害性，并最终得到 ASET 的值。

1.4.3 用于火灾计算机模拟的模型或软件较多，目前最常用的有两类：区域模型和场模型。两种模型的适用性见下表所示：

计算模型的适用性

附表 1.4

模型	优点	缺点
区域模型	计算速度快、对计算机要求不高； 很好体现火灾变化趋势。	无法得到流场的某些细节，同时难以精确模拟气体卷吸、烟气回流等火灾特殊现象。
场模型	计算速度慢，对计算机要求高； 可以得到不同位置火灾参数随时间的变化。	场模拟由于算法本身的复杂性和计算机能力的限制，一些大尺度的火灾模拟计算耗时较长。

1.4.4 大部分火灾模型没有模拟可燃物的实际燃烧过程，火灾燃烧的状况十分复杂，以满足工程需要为取舍依据。模拟计算结果的正确性强烈依赖于输入数据的合理性，因此开展火灾计算机模拟时，需将设定火灾场景时所确定的基本参数作为输入参数和边界条件，包括火灾热释放速率，开口和通风条件等。这些设定条件应在分析报告中详细叙述，以供 CCS 审查。

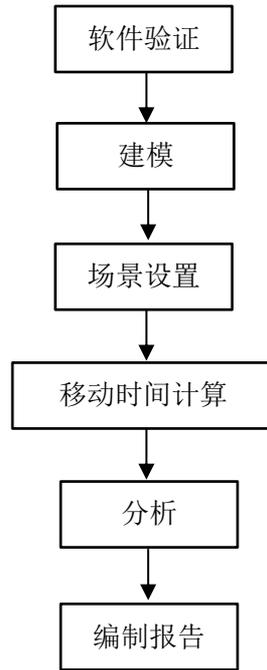
1.5 人员撤离分析模拟

1.5.1 消防安全替代设计中，开展人员撤离分析模拟，所依据的场景除 MSC.1/Circ.1533 通函要求的人员撤离场景外，还需结合设定火灾场景分析人员撤离情况，并基于最不利原则设定额外的人员撤离分析场景，例如，某通道或门因火灾封锁而无法使用，或某个主竖区因火灾影响整体不可用，或考虑火灾产生的热烟气、辐射等对撤离通道内人员安全通行的影响。

1.5.2 人员撤离分析的主要步骤如下，具体流程见附图 1.6。

- (1) 软件验证；
- (2) 建模；
- (3) 场景设置；
- (4) 移动时间计算；
- (5) 分析；

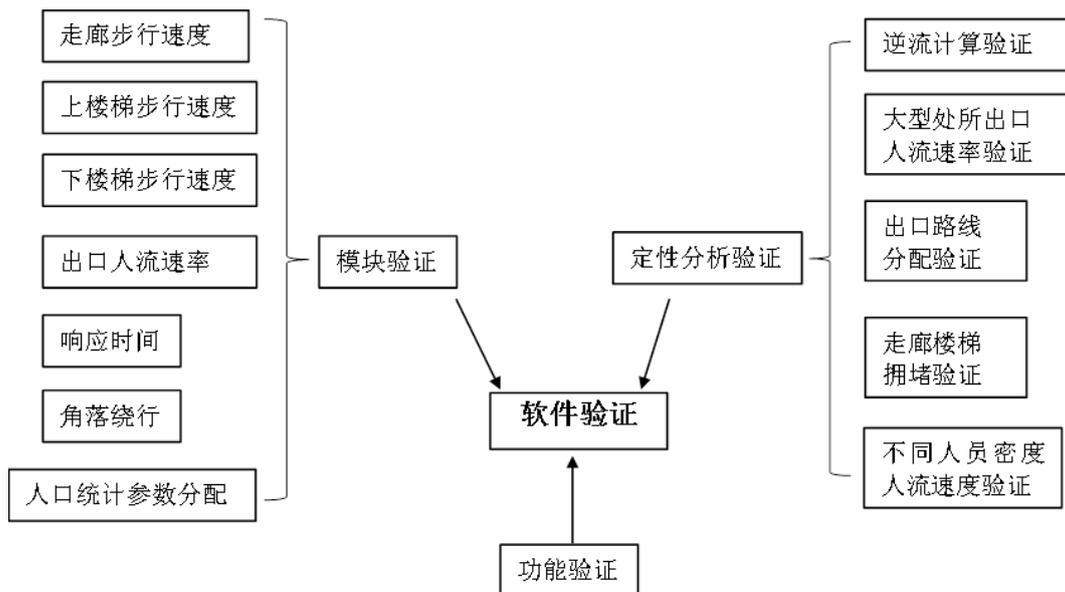
(6) 编制报告。



附图 1.6 人员撤离分析流程

1.5.3 用于人员撤离分析的软件应进行模块验证、功能验证和定性分析验证，流程见附图 1.7，验证要求和方法详见 MSC.1/Circ.1533 附件 3 附录 2。

1.5.4 人员撤离分析建模就是借助高级撤离分析软件，以数值模拟的方法对几何建模、人员构成、响应时间、移动速度（平台、梯道）和出口流动速率等参数予以确定。



附图 1.7 人员撤离分析软件验证流程

1.5.5 人员撤离分析报告至少应包括以下内容：

(1) 高级撤离分析目标客船的基本情况，包括基本布置图、人员分布、人员撤离路线的规定等；

(2) 模型中使用的动态变量，如船上人员的步行速度和方向；

(3) 参数和变量之间的函数关系；

(4) 瞬时计算结果更新的类型，例如在模拟时人移动的次序(平行，随机顺序，指令顺序或其他)；

(5) 表述梯道、门、集合站、登乘站和其他特殊几何要素及其在模拟(如有)时对变量的影响和量化此影响的各个参数；

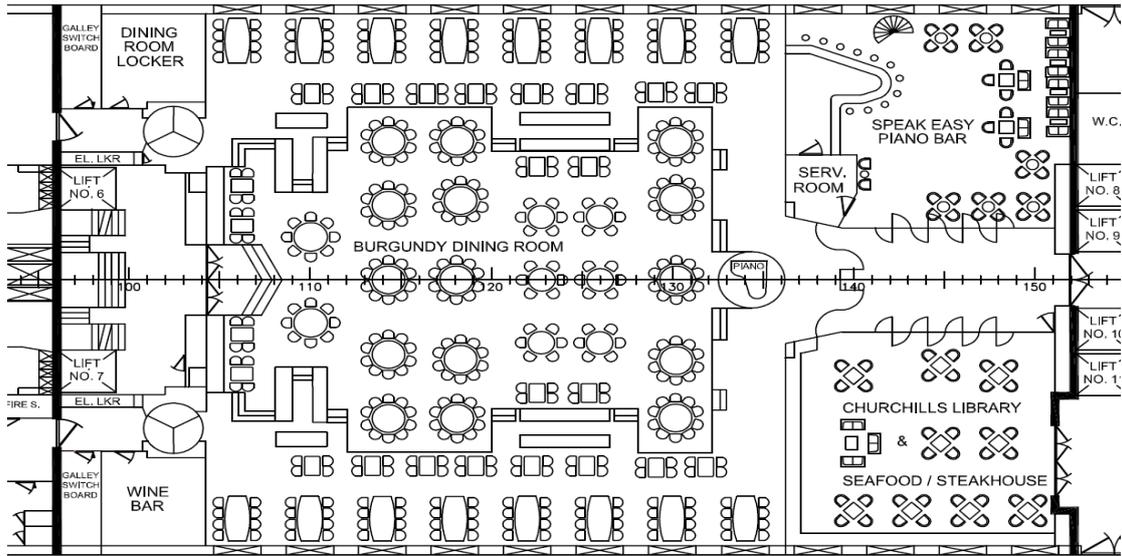
(6) 说明模型特性及其假定的详细的用户指南 / 手册和模型正确使用及结果解释指南应容易获取。

1.6 应用示例

1.6.1 概况

某型豪华邮轮，布置有跨越两层甲板大型宴会厅，同时单层甲板的展开面积大（长度为 60m，平面布局和设计参数见附图 1.8 和附表 1.5 所示），同一时间就餐时厅内人员密集（约 1700 人）。根据 SOLAS 公约 II-2 章对主竖区的定义，主竖区在任何一层甲板上的平均长度和宽度一般不超过 40m。且根据 SOLAS 公约 II-2 章第 9.2.2.1.2 条规定，主竖区在总面积不大于 1600m² 的情况下，其长度和宽度最大可延伸至 48m。很显然，此大型宴会厅 60m 的长度突破了 SOLAS 公约规定的主竖区最大长度 48m 的规定。

对此，根据 SOLAS 公约 II-2 章 17 条，允许偏离现有强制性消防安全规定性要求的设计，只要这种设计同基于 IMO 规定性要求的设计相比，具有等效的安全水平。这为豪华邮轮的设计能够突破消防安全的限制提供了可能和技术路线。



附图 1.8 宴会厅的平面布局图

宴会厅设计参数

附表 1.5

宴会厅设计		替代设计方案
长度/m		60
人数合计	上甲板	700
	下甲板	980
所有出口的宽度/m	上甲板	11
	下甲板	11.5
地面面积/m ²	上甲板	1800
	下甲板	1890

1.6.2 项目设计目标

针对该邮轮大型宴会厅存在的消防问题，根据 SOLAS 公约设定的消防安全目标，本项目的安全目标是保障人员安全，即在发生设定火灾时应确保所有人员能够安全撤离；其次是保证财产安全，降低火灾的直接和间接损失。人命安全的关键标准就是从船舶处所撤离的可用时间应大于安全撤离人员所需的时间。撤离可用时间指从起火到情况无法控制，人员无法有效自行完成撤离的时间间隔，即达到火灾危险状态时间。

本项目中考虑的火灾危害是指对人员的直接危害（如烟气危害等）。保证财产安全的目标可以通过火灾早期探测和高效扑救来达到。围绕上述设计目标，本替代项目开展如下评估内容：

- (1) 火灾场景的设计。即分析火灾危险源特性以及可能的火灾场景；

(2) 火灾危害性分析。即分析火灾烟气及其发展特性，对火灾到达危险状态的可能性以及相应的 *ASET* 进行评估；

(3) 人员安全撤离分析。即分析人员特性并结合设定的火灾探测时间与人员准备运动时间来获得 *RSET*，并对照 *RSET* 来评估人员能否安全疏散；

(4) 火灾探测和灭火系统评估。即评估已设计的火灾探测报警和灭火系统有效性及其对缩短 *RSET* 及降低火灾损失的作用。

1.6.3 替代设计和布置过程

1.6.3.1 火灾场景的设计

根据邮轮宴会厅内火灾荷载的分布情况，结合处所的结构特点、功能设计以及自动喷水灭火系统的安装状况，合理地设定火灾场景。尤其需要充分考虑火灾场景是否能证明设计是否满足具体消防安全目标。本评估的主要安全目标是保证人员安全，火灾场景的选取主要从人员疏散的角度进行。

宴会厅是人员密集场所，厅内有大量的桌椅和台布等可燃物，宴会采用的酒类也可能成为火灾时的燃料。该宴会厅内部还设有服务小室，提供食物加热服务，存在一定的电气火灾隐患。此外该小室位于一个撤离出口附近，一旦此处发生火灾，该出口将受火灾影响而无法使用，对人员安全撤离构成的威胁最大。因此选取了该宴会厅最快到达危险状态的火灾场景见下表所示：

火灾场景参数表

附表 1.6

场景号	火源位置	设定火灾	
		增长速率	火灾规模/MW
1	服务间	快速	2.5
2	.....	

1.6.3.2 定量分析

为定量说明风险，需要估计设计场景的发生率和后果。但考虑替代设计的特殊情况，所以将只使用后果来量化风险。通过使用 SMART Fire 来计算火灾的发展和蔓延过程，并自此基础上进行后果的量化。通过使用 Marinetime EXODUS 开展人员高级撤离分析，结合火灾计算机模拟计算的输出结果得到受伤/死亡数。死亡数取决于从各处所撤离的时间以及这些处所烟气危害达到危险状态的时间。根据设定的设计目标，所有人员需在危险状态来临之前

全部撤离完毕。如果所评估场景的风险水平无法接受，就要评估潜在的风险控制方案。

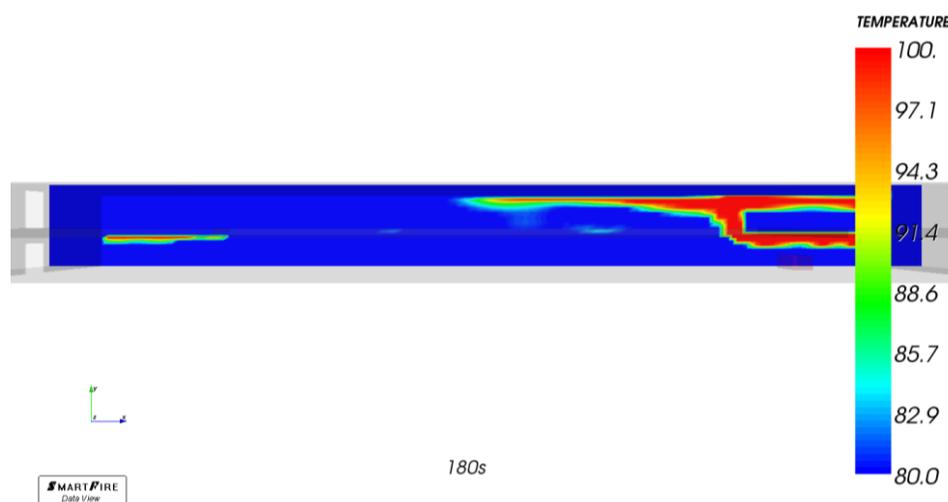
在设计场景下，火灾产生的烟雾在 240s 左右就扩散蔓延到上层甲板，同时火灾也封锁了餐厅右侧的一个撤离出口，使得附近乘客不得不使用其他远离的路线，这增加了拥堵并导致总撤离时间延长。定量计算结果见下表所示。

替代设计的结果分析

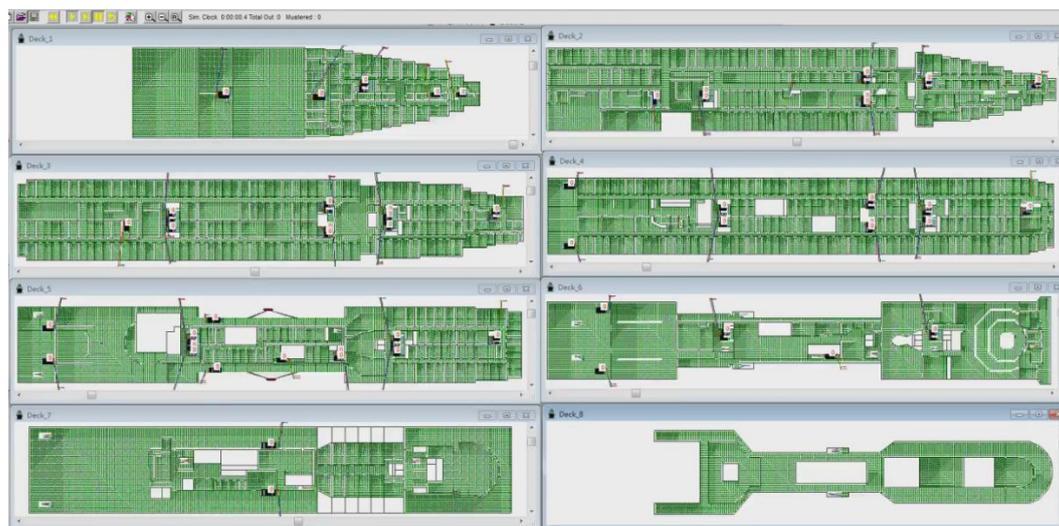
附表 1.7

空间	撤离时间/s	危险来临时间/s	受影响的乘客数
上甲板	480	360	30
下甲板	540	360	55

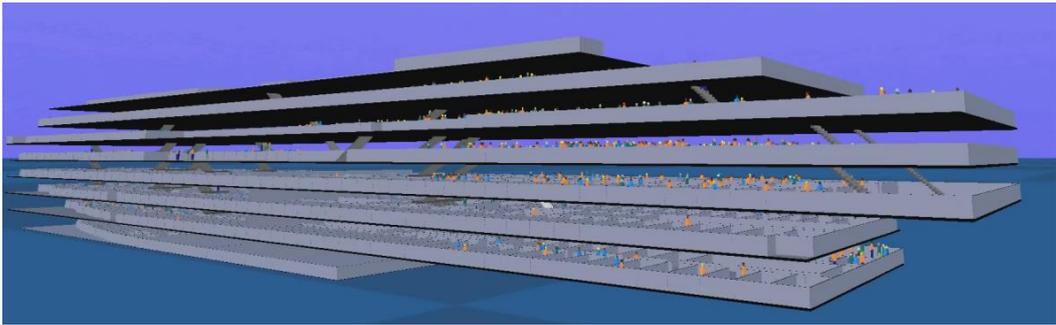
在所考虑的场景中，下层甲板服务小室起火如下图所示。烟雾通过下甲板与上甲板中间的开口向上扩散。



附图 1.9 火灾通过宴会厅下甲板和上甲板示意图



附图 1.10 人员二维建模结果



附图 1.11 人员三维建模结果

上表所示的定量计算结果表明，该替代设计方案无法保证人员全部安全撤离，这是一个无法接受的后果。因此需要考虑采取相应的风险控制措施，以提高宴会厅人员的“可撤离性”，其中最为合理有效地措施包括：

- (1) 上部排烟口的数量从 2 个增加到 4 个；
- (2) 补风口的数量从 2 个增加到 4 个；
- (3) 增加撤离出口的宽度。

通过应用上述风险控制措施后，该宴会厅的火灾风险已经可以接受，见下表所示。

改进后的替代设计结果分析

附表 1.8

空间	撤离时间/s	危险来临时间/s	受影响的乘客数
上甲板	400	520	0
下甲板	430	520	0

1.6.4 文件编制

(略)

附录 2 救生设备替代设计

2.1 评估准则

2.1.1 根据 SOLAS 公约 III 章/38 条的规定,救生设备与装置允许偏离 SOLAS 公约第 III 章 B 部分的规定,但相关的替代设计需满足为应急情况下船上人员提供安全撤离和维持生命的目标,并提供与 SOLAS 公约 III 章和《国际救生设备规则》(简称 LSA 规则)要求同等的水平。

2.1.2 根据上述安全目标,救生设备替代设计涉及的评估准则可包括:

- (1) 弃船时应尽量减少人员伤亡,并防止人命损失;
- (2) 限制和消除设备故障的影响,并确保有充分的安全防护和预防措施;
- (3) 防止人员撤离、集合和登乘过程中的延误,确保人员能安全、及时地撤离;
- (4) 救生艇/筏应确保人员在海上的生存。

2.2 分析范围

2.2.1 救生设备替代设计的分析对象应是整个救生系统。在确定替代设计分析范围时,应考虑救生系统的组成、布置及操作等信息,主要包括:

- (1) 救生设备的类型、数量、布置和性能;
- (2) 降落装置和相关辅助设备的性能;
- (3) 人员脱险通道、集合站和登乘站的布置;
- (4) 船舶营运特性和运行条件;
- (5) 在演习和事故状态下的救生设备操作和维护程序;
- (6) 分配给救生设备操作和撤离程序的人员。

2.2.2 应明确撤离和弃船程序:包括撤离、登乘、弃船(母船)和海上生存。

2.2.3 此外,还应考虑船上撤离人员的特性,包括人员体能和年龄分布等,应特别注意老年人或行动不便者。

2.3 事故场景

2.3.1 设计团队需要确定评估所需考虑的重大危险和相应的事故场景。

2.3.2 危险识别。通过分析救生系统的组成部件可能故障(液压系统故障、艇钩失效等),以及人员在危险情况下的反应,包括撞击、低温、晕船等,确定可能影响救生系统正常工作的危险。在此过程中,一般使用 FMEA 等公认的危险识别方法对救生艇及其降落装置进行

危险识别,并确保采用风险控制措施后,识别出的所有危险的风险等级均在低风险范围内(见CCS《故障模式和影响分析应用指南》)。

2.3.3 在识别所有可能的危险后,从概率和后果角度对所确定的危险进行分级和排序,以制定需要进行定量分析的危险及事故场景。

危险列举

附表 2.1

阶段	危险
准备	故障,救生艇被锁闭
	恶劣天气条件下的使用性/操作性(与航行区域有关)
	船舶恶劣状态下的使用性/操作性(纵倾、横倾、横摇)
	液压系统故障,启动失效
登乘	人员行动障碍
	集合站数量少,面积不够
降落	过早释放
	无法释放
	艇架装置的承载能力不够
	碰撞母船船体
	艇重心抬高,两端悬挂时降落不平稳
释放	无法释放
	伤害/砸击
脱钩	操作失效
海上	艇内居住条件恶劣
	晕船
	艇大人多,推进不足
	倾覆

2.3.4 在设计事故场景时,应考虑以下船舶和环境条件,包括:

- (1) 撤离路线;
- (2) 海况条件;
- (3) 海上生存时间;
- (4) 海水/空气温度;
- (5) 母船在波浪中航向角(包括瘫船状态);
- (6) 母船横倾和纵倾状态(反映受损船舶状态)。

2.3.5 通过危险识别和对场景条件的分析,设计出一定数量的评估场景,如下表所示:

场景列举

附表 2.2

编号	危险	场景描述
场景 1	登乘站面积不足	撤离过程出现拥堵、对冲现象
场景 2	液压系统故障, 启动失效	某救生艇不可用
.....		

2.4 定量分析

2.4.1 通过人员撤离分析, 确定救生设备替代设计中人员能否安全、及时地撤离和弃船, 以验证救生系统及其布置的安全性。

2.4.2 性能衡准的量化。根据本附录 2.1 条所制定的安全目标和评估准则, 除满足 SOLAS 公约与 LSA 规则的相关要求外, 客船的救生设备替代设计所涉及的性能衡准还考虑如下, 如适用:

(1) 船舶与救生系统需同时满足下述要求:

计算的总撤离时间: $1.25(R + T) + 2/3(E + L) \leq n$;

登乘及降落时间: $E + L \leq 30 \text{ min}$ 。

式中:

R——响应时间 (min), 系指人员对状况产生反应的时间。从发出紧急状况通知的第一时间 (例如警报) 开始, 以乘客接受状况并开始朝集合站方向移动而结束。

T——总移动时间 (min), 系指船上所有人员从被通知的地点移动至集合站的时间。

E + L——登乘及降落时间 (min), 系指船上所有人员弃船所需的时间。从所有人员集合并穿好救生衣后发出弃船信号时开始至救生艇/筏载足额定乘员及属具后降落到水面的时间。

n——最大允许的总撤离时间 (min)。对客滚船, $n = 60$; 对其他客船: 如船舶的主竖区不超过 3 个, $n = 60$, 如船舶的主竖区超过 3 个, $n = 80$ 。

上述R与T的分析与计算方法可根据MSC.1/Circ.1533通函的相关要求进行。E + L 应根据实船试验或基于模拟的登乘分析结果或制造商提供的数据进行单独计算, 如采用制造商提供的数据, 则相应的计算方法应有文件证明。

(2) 救生艇的布置需满足下述要求:

$E \leq 10 \text{ min}$

式中:

E——登乘时间 (min), 系指全部乘员从发出登艇指示起至登艇完毕的时间。

E 应根据实际登艇试验或基于模拟的登艇分析结果或制造商提供的数据进行计算。如采用制造商提供的数据, 则相应的计算方法应有文件证明。

(3) 如采用大型救生艇（容量大于150人），救生艇和降落装置还需满足下述要求：

① 救生艇及其降落装置经FMEA分析后，识别出的危险经采用风险控制措施后，风险水平应在低风险范围内。

② 救生艇应具有足够的强度，应校核：

i) 救生艇的艇体结构强度，可参照 CCS《沿海小船建造规范》或其他公认标准。

ii) 救生艇的艇体结构还应按照 LSA 规则第 IV 章 4.4.1.6 的要求计算超载起吊状态下的艇体结构强度。

③ 提供救生艇的完整稳性与破损稳性计算，可参照我国《沿海小型船舶检验技术规则》的相关要求或其他公认标准。

④ 提供适宜的艇内居住环境，如艇内长期 CO₂ 浓度在 24 小时内不应高于 5000ppm。可通过建立分析模型，计算艇内长期 CO₂ 浓度与通风量的转换关系，从而确定艇内的通风设备选型和布置方式。

⑤ 降落和释放装置的强度衡准

应按照LSA规则第IV章4.4和第VI章6.1的相关要求，对降落和释放装置（包括艇体连接和支撑结构）进行强度计算。

2.4.3 替代设计方案的评估。与上述性能衡准相对应，需要对救生设备替代设计方案进行评估，包括通过人员撤离分析评估救生系统布置的安全性，通过相关计算、试验和工程分析，确定救生艇和降落装置的安全性。

2.5 试验和工程分析

2.5.1 救生设备替代设计所涉及的试验和工程分析，着重考察新型救生艇、降落装置及登乘设备等是否满足《评价、测试和接受新式原型救生装置和设备的实施规程》（IMO A.520（13））、LSA 规则以及《经修正的救生设备试验建议》（MSC.81（70））及其修正案的要求。

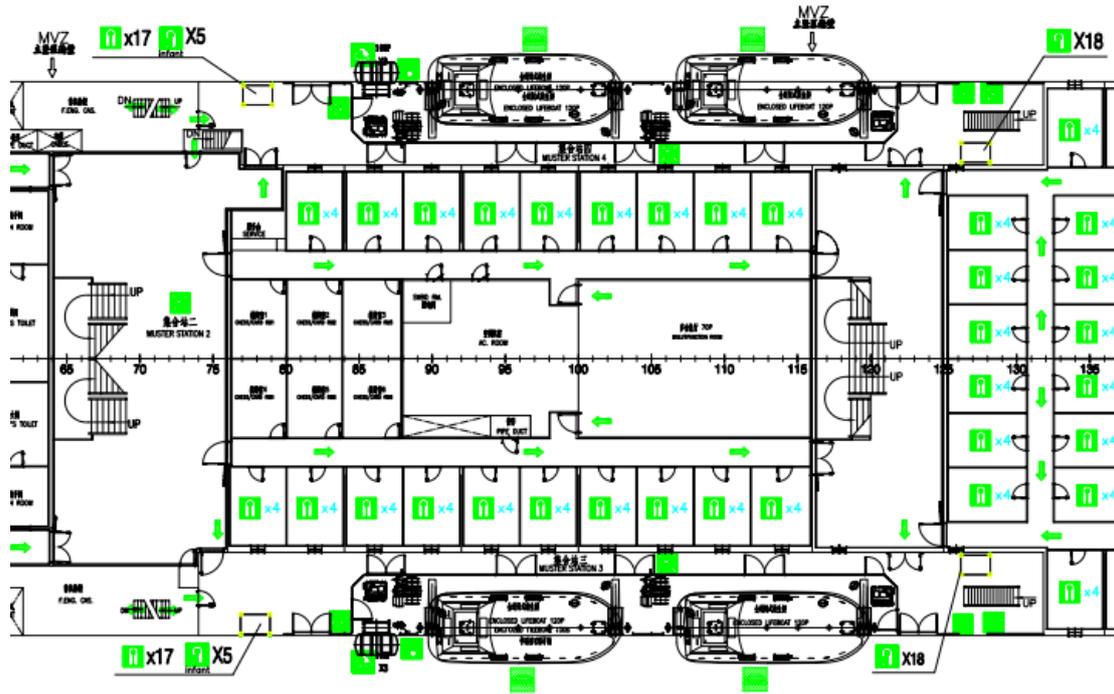
2.5.2 除本附录 2.5.1 条基本要求外，还需要按照本附录 2.4.2（2）、（3）条所述的性能衡准对救生艇和降落装置进行检验。

2.6 应用案例

2.6.1 救生设备的配备和布置情况

某国际航行客船，船员人数 1290 人，乘客 5010 人，全船定员 6300 人。该船左右舷各布置 10 个救生艇，共 20 艘全封闭式救生艇，每艘救生艇定员 315 人。救生艇的登乘甲板为 G 甲板或 H 甲板，每层甲板各设置左舷、右舷，船中 3 个集合站，集合站的面积满足公约

要求。



附图 2.1 某客船的救生艇布置局部图

2.6.2 需采用替代设计的公约规定

由于该船配备的救生艇其最大乘员数超过 150 人，超出了 LSA 规则第 IV 章 4.4.2.1 “容纳人数超过 150 人的救生艇概不予以认可”的规定。需采用救生设备替代设计的方法对其进行评估。

2.6.3 初步分析

首先应分别对救生艇及其降落装置系统进行 FMEA 分析，从而识别出救生艇乘员人数突破 LSA 规则上限所带来的风险。具体分析见附表 2.3 和附表 2.4，分析结果表明：

对于救生艇：无不可接受的风险，7 项风险位于 ALARP 区域（黄色），其中 40 项风险位于可接受区域（绿色）；

对于降落装置：无不可接受的风险，8 项风险位于 ALARP 区域（黄色），52 项风险位于可接受区域（绿色）；

对于上述 15 项 ALARP 区域的风险（7 项救生艇，8 项降落装置），其中 5 项目可通过人员训练和操作层面进行解决。另外 10 项需进行独立的量化分析。

救生艇系统 FMEA 分析表

附表 2.3

序号	设备	部件	功能	故障模式	故障原因	故障影响		故障危害			风险 控制措施	建议 采取的行动
						局部	系统	严重度	概率	风险		
1.1	主船体	底壳	为救生艇供浮力和保证一定的稳性	破损	材料/设计/操作		√	4	1	5	...	...
1.2			底壳一般带有肋骨或纵骨，有时也会采用横舱壁的形式进行加强，增加承载能力。	破损	材料/设计/操作	√		2	1	3	...	...
1.3			底壳一般采用耐火的增强纤维塑料制成，有一定的耐火能力	破损	材料		√	2	1	3	...	...
1.4		座位	座位采用增强纤维塑料制成，以船底壳作为支撑点，能够承受一定的重量	故障	材料/设计/操作	√		2	1	3	...	...
1.5			与艇底壳连成一体的座位结构能够作为艇体的强力结构，承受一定的载荷	故障	材料/设计/操作	√		2	1	3	...	...
1.6		顶棚	顶棚为密封的结构，与底壳连成一体，能够为艇内人员和设备提供遮蔽	破损	材料/设计/操作		√	4	1	5	...	...
1.7			顶棚与底壳相互连接，能够承受一定的艇体载荷	破损	材料/设计/操作		√	4	1	5	...	...
1.8			顶棚一般采用耐火的增强纤维塑料制成，有一定的耐火能力	破损	材料		√	2	1	3	...	...
1.9			顶棚与底壳相似，具有宽大的型线，船体翻转时能提供一定的浮力和稳性	破损	设计/操作		√	3	1	4	...	...
2.1	舱盖	艏舱盖	救生艇的外部开口，供人员进入和撤离使用	破损	设计/操作	√		...	...	...	...	...
2.2			舱盖打开可提供自然通风开口；另外部分舱盖内部设有夹层结构，可作为通风管道	破损	设计/操作	√		...	...	...	...	...
2.3			艇钩一般在艏舱盖附近，回收艇时，操作人员需从舱盖处进行操作，确认艇钩复位完毕	破损	设计/操作	√		...	...	...	...	...
2.4		顶舱盖	救生艇的外部开口，供人员进入和撤离使用	破损	设计/操作	√		...	...	...	...	...
2.5			舱盖打开可提供自然通风开口	破损	设计/操作	√		...	...	...	...	...
2.6			艇钩一般在顶舱盖附近，回收艇时，操作人员需从舱盖处进行操作，确认艇钩复位完毕	破损	设计/操作	√		...	...	...	...	...
2.7			尾舱	救生艇的外部开口，供人员进入和撤离使用	√	

2.8		盖	舱盖打开可提供自然通风开口；另外部分舱盖内部设有夹层结构，可作为通风管道	...	...	√		...	...		...	...
2.9			艇钩一般在艏艉舱盖附近，回收艇时，操作人员需从舱盖处进行操作，确认艇钩复位完毕	...	...	√		...	...		...	...
...

降落装置 FMEA 分析表

附表 2.4

序号	设备	部件	功能	故障模式	故障原因	故障影响		故障危害			风险控制措施	建议采取的行动
						局部	系统	严重度	概率	风险		
1.1	基座	眼板	为基座和吊臂提供对应的接口，与甲板进行连接，将基座受力传递至甲板下的加强结构	破损	材料/设计/操作		√	4	1	5	...	...
1.2		支撑结构	将吊臂的力和力矩传递至甲板支撑结构	破损	材料/设计/操作		√	4	1	5	...	...
1.3		连接螺栓	连接基座和吊臂	破损	材料/设计/操作		√	3	1	4	...	...
2	吊臂	吊臂结构件	救生艇架的主要支撑结构，控制钢丝绳的回收和释放的出绳位置	破损	材料/设计/操作		√	4	1	5	...	...
3	油缸支撑臂	支撑结构件	支撑吊臂的主要结构，一般和液压油缸组合使用，能够控制吊臂的回收和外倾	故障	材料/设计/操作		√	4	1	5	...	...
4.1	吊钩组件	滑车	将救生艇的载荷传递至钢丝绳的连接组件，为了降低单股绳的受力，一般配有滑车；定滑轮固定在吊臂结构上以改变钢丝绳的受力方向	破损	材料/设计/操作	√		2	1	3	...	...
4.2		眼板	连接钢丝绳和吊臂	故障	材料/设计/操作	√		2	1	3	...	...

4.3		链环	连接钢丝绳和其他吊钩组件	故障	材料/设计/操作	√		2	1	3	...	...
4.4		定滑轮	改变钢丝绳的方向	故障	材料/设计/操作	√		2	1	3	...	...
4.5		吊艇索	将救生艇载荷传递至吊臂	故障	材料/设计/操作	√		3	1	4	...	...
...

2.6.4 评估衡准的确定

2.6.4.1 根据上述 FMEA 分析的结果，下述风险需要制定相应的衡准并进行进一步的量化分析：

(1) 应考虑救生艇乘员人数增多所带来的撤离路线，集合站位置、面积，救生艇登乘速度的变化。根据现有的 SOLAS 公约要求，人员撤离性能衡准如下：

- 1) $E \leq 10\text{min.}$;
- 2) $E + L \leq 30\text{min.}$;
- 3) $1.25(R + T) + 2/3(E + L) \leq n$ 。

式中 E 为登乘时间，L 为降落时间，R 为人员响应时间，T 为总移动时间。

(2) 应考虑乘员人数增加对救生艇内环境适宜性的影响，救生艇内的长期 CO₂ 浓度应至少能够在 24 小时内控制在 5000ppm 以下。

(3) 应考虑乘员人数增加对救生艇本身尺度增加带来的结构强度影响。结构强度衡准除应参照现有 LSA 规则中第 IV 章 4.4 的相关衡准外，还应满足 CCS《沿海小船建造规范》的相关衡准。

(4) 应考虑乘员人数增加对救生艇本身尺度增加带来的艇体稳性影响。应按照 LSA 规则第 IV 章 4.4 的相关衡准，校核完整稳性、破损稳性、乘客集舷及储备浮力。对于中国旗船舶，还应满足中华人民共和国海事局《沿海小型船舶检验技术规则》的相关衡准。

(5) 应考虑救生艇重量增加对降落装置以及释放装置及其支持结构的强度影响。应按照 LSA 规则第 VI 章 6.1 的相关衡准进行强度校核。

2.6.5 量化分析

2.6.5.1 通过人员撤离分析评估救生艇及船舶救生设备布置对人员安全的影响。

人员撤离分析场景列举

附表 2.5

编号	场景说明	结果
1	正常状态下人员撤离分析	-
2	恶劣条件下，某救生艇不可用，使用撤离系统	-
3	...	

2.6.5.2 救生艇及其艇架性能衡准的量化分析

(1) 救生艇艇内环境适宜性衡准

性能衡准：艇内长期 CO₂ 浓度在 24h 内不应超过 5000ppm。

...

根据模型计算结果，救生艇的通风装置需提供 $[x]m^3/h$ 的通风量，救生艇实际配备机械通风，通风量满足要求。

(2) 救生艇艇体结构强度衡准

超载起吊工况强度计算：

...

结构规范计算：

...

(3) 救生艇稳性衡准

完整稳性计算：

...

破舱稳性计算：

...

乘客集舷计算：

...

储备浮力计算：

...

(4) 降落装置和释放装置强度衡准

降落装置强度计算：

...

释放装置及其基座和艇内支撑结构计算：

...

2.6.6 结论

该救生设备替代设计方案的安全性经评估，能够满足各项性能衡准指标，其安全水平能确保不低于 SOLAS 公约和 LSA 规则规定性要求的安全水平。

附件 1 替代设计和布置申请书

船舶概况	船名： 主要尺度： 船舶结构： 主要设备： 航区：
相关背景及必要性	
应用范围	
适用的规定性要求	
附件	

注：相关内容不够填写可另附页。

送审方：_____（签字/盖章）

_____年_____月_____日