海洋工程船舶与平台消防泵选型计算及优化策略研究

刘凤盈[1]　李慧芳[2]
1. 广东南油服务有限公司天津分公司　天津　300457
2. 瀚辰能源有限公司　天津　300457

摘　要：海洋工程作业环境复杂，消防泵是海上平台、船舶消防安全的关键设备，选型合理性直接影响应急灭火效能。本文顺应海洋工程发展趋势，研究消防泵选型逻辑、影响因素与优化计算方法，区分海上平台与船舶的规范边界，完善水力计算、汽蚀校核、材质量化选型及船级社认证等要点，分析传统选型不足，结合新材料、数字运维、双模动力提出优化方案，为海洋工程消防泵选型运维与降本增效提供参考。

关键词：海洋工程；消防泵；选型计算；汽蚀余量

引言

随着海洋油气、海上风电等工程快速发展，海上设施规模不断扩大，消防安全压力持续提升。消防泵作为海上消防供水核心设备，需耐受高盐雾强腐蚀环境。船舶与固定平台的规范及计算方法存在较大区别，不能套用统一选型公式。传统选型依靠经验，易混淆计算边界，忽略汽蚀、船级社认证等条件，难以满足智能运维、低碳长效运行的需要。因此优化消防泵选型计算体系，提高设备适配能力具有重要研究意义。

1 海洋工程消防泵选型基础概述

海洋工程消防泵为海上各类设施消防系统提供供水动力。当前消防设备不再仅满足基础供水，需兼顾长效服役、智能监测、低能耗与环境适应性，选型属于综合系统性工作。SOLAS 公约、CCS 船级社、API、NORSOK 等标准，对消防泵配置数量、排量、压力等参数作出明确要求。

SOLAS 给出海船消防泵总需求排量计算公式[1]：

$$Q_{req} = \left(0.15\sqrt{L\,(B+D)} + 2.4\right)^2 \quad (1)$$

式中：

L：垂线间长（m），

B：船宽（m），

D：型深（m）；

货船消防总排量上限取 180m^3/h，单台消防泵排量不应小于 25m^3/h[2]。

部分旧版 GL 船级社资料中存在另一套形式的经验公式，该公式不属于 SOLAS、CCS 的法定计算公式，不可直接作为法定计算依据。

$$H_{pump} = k \cdot (H_{geo} + H_{res} + H_f + H_{minor}) \quad (2)$$

式中：

H_{pump}：泵所需总扬程，m；

K：安全系数，船舶按船级社要求选取，海上平台一般取 1.10~1.25；

H_{geo}：泵出口至最不利消防设施几何高差，m；

H_{res}：最不利消火栓/消防炮所需残余压力，换算为水柱高度，m；

H_f：管路沿程水头损失，m；

H_{minor}：管件、阀门、海水滤器局部水头损失，m。

传统消防泵选型模式较为滞后，仅匹配基础运行参数，忽视海洋腐蚀、工况波动、智能联动等因素，造成设备能耗高、适配性差、故障多，难以适配数字化运维需求。不少早期海上设施消防泵仅满足基础供水标准，无法适应无人值守、长效运维的发展趋势[3]。伴随海上设施智能化升级，消防泵需具备数据采集等能力，对选型提出要求。

2 海洋工程消防泵选型核心影响因素

2.1 海洋特殊工况环境因素

海洋工况环境是消防泵选型的重要外部条件，与陆地泵选型存在明显差异。海上高盐雾、高湿度以及海水氯离子会侵蚀消防泵壳体、叶轮、传动机构等关键部件，降低设备寿命与运行可靠性。各海域环境条件各不相同，近岸泥沙多，远海盐度高，部分海域还存在温度剧变、强海风等极端条件，对设备抗腐蚀、抗老化、抗形变性能提出差异化要求。传统选型未结合海域工况选用通用泵体，易发生部件锈蚀、磨损、密封失效等故障。新型选型结合海域环境匹配材质结构，选用耐蚀材

料，优化密封，提升消防泵海洋环境适应性。

2.2 海上设施运行工况因素

海洋工程设施的运行模式、布局及消防需求各不相同，影响消防泵选型。海上固定平台设备密集、消防分区多，要求消防泵具备大流量、持续供水能力；船舶与浮动设施空间有限，对设备轻量化、安装条件要求严苛；海上风电设施点位分散，需要消防泵具备独立运行与应急启动性能。海洋设施多连续作业，消防泵需长期值守，启停、待机稳定性十分关键[4]。如今选型兼顾全工况，选用流量可调、启停稳定、待机能耗低的泵体，满足各类海上设施的差异化需求。

2.3 设备运维与智能化适配因素

海洋工程向着数字化、智能化运维发展，消防泵选型需兼顾运维效率与智能适配性。传统消防泵缺少状态监测功能，依赖人工巡检，故障发现存在滞后。新型消防泵配置传感与数据传输模块，能够实时采集运行参数，支持远程运维与故障预警。选型应关注设备数字化兼容能力，接入智能运维平台，实现状态监控与异常报警。

2.4 水力计算与汽蚀余量 NPSH 校核

海洋工程消防泵大多直接抽取海水，受潮汐液位、船舶吃水、风浪横倾纵倾、滤器堵塞影响，汽蚀是海上消防泵失效的重要诱因，选型阶段必须完成全工况汽蚀校核[5,6,7]。

海水消防泵可用有效汽蚀余量 $NPSH_a$的计算公式为：

$NPSH_a = \frac{P_{atm}}{\rho g} \pm H_z - \Delta h_f - \frac{P_v}{\rho g}$（3）

式中：

$NPSH_a$：系统可用汽蚀余量，m；

P_{atm}：海面大气压，Pa；

H_z：泵叶轮中心线与海水液面几何高度，灌注进水取正值，吸上进水取负值，m；

Δh_f：吸水管沿程损失 + 局部损失，含海水滤器阻力，m；

P_v：海水饱和蒸汽压，Pa，随海水温度升高而增大；

ρ：海水密度，取 1025kg/m^3；

g：重力加速度，9.81m/s^2。

汽蚀校核强制条件：

$NPSH_a \geq NPSH_r + \Delta h_{margin}$（4）

$NPSH_r$：泵必需汽蚀余量（厂家样本参数），m；

Δh_{margin}：海上项目安全裕量，建议取 0.5~1.0 m。

船舶需校核最轻吃水、极限横倾纵倾工况；平台校核最低潮位工况，避免风浪、潮汐造成吸水口露出水面，发生气缚。

泵轴功率计算公式：$P_{shaft} = \frac{\rho g Q H}{1000\eta}$（5）

式中：

P_{shaft}：泵轴功率，kW；

Q：泵流量，m^3/s；

H：泵扬程，m；

η：泵效率。

2.5 海洋工程设施分为船舶、海上油气固定平台、海上风电平台，规范体系差异显著，不可混用计算方法，且消防泵属于安全关键设备，必须取得对应船级社型式认可（见表 1）。

表 1 不同海洋工程设施消防泵适用规范体系

设施类型	主要适用规范/公约	说明
海船（散货船、油船）	SOLASII2，FSSCode，CCS 钢质海船入级规范	采用 SOLAS 排量公式，划分主/应急消防泵，需船级社型式认可
海上油气固定平台	GB/T32146 APIRP14G NORSOKM001	不套用船舶公式，依据消防设备同时作用水力计算流量，泵参考 API610
海上风电平台	海上风电场消防技术标准、DNV 规范	多无人值守，侧重应急自启动、远程监控、冗余配置

3 现代海洋工程消防泵选型计算优化策略

3.1 基于场景适配的参数精准匹配优化

传统消防泵选型采用固定通用模板，参数匹配较为粗放，未考虑海上作业场景差异，易出现参数冗余或不足。参数冗余会提高能耗与采购运维成本，加剧设备部件老化；参数不足则会造成应急供水能力欠缺，火灾发生时难以满足灭火需求，带来消防安全风险。现阶段选型优化以场景化精准参数匹配为核心，摒弃统一选型标准，结合海洋工程的消防覆盖范围、供水距离、高度、分区数量等条件，细化流量、压力、响应速度等核心指标。针对海上平台，优化大流量持续供水参数，保障多分区供水稳定；针对船舶狭小空间，选用压力稳定、结构紧凑、流量可调的配置；针对远海无人值守设施，优化应急启动参数，实现无人干预下快速达标运行[8]。结合海上工况波动，预留参数适配区间，适配设备运行。

3.2 耐腐蚀与长效服役选型优化

海洋环境的持续腐蚀是造成消防泵性能衰减、设备失效的主要原因，也是现代选型计算需要重点优化的核心内容。海上环境区别于陆地常规环境，氯离子、盐

雾、海水冲刷、干湿交替等因素会持续对消防泵内部构件和外部结构造成持续性侵蚀，这种渐进式损耗不会短期内显现，却会持续降低设备运行性能。传统选型仅基础满足基础防腐蚀需求，选用常规不锈钢材质，长期运行后仍会出现问题，设备服役周期短，更换频次高，大幅增加海上工程运维成本和设备停机风险。

点蚀当量 PREN 作为海水过流部件选材核心判据：

$$PREN = \%Cr + 3.3 \times (\%Mo + 0.5 \times \%W) + 16 \times \%N \quad (6)$$

不同材质适用海域参考下表 2：

表 2 消防泵材质 PREN 参数及适用海域场景

材质	PREN 参考值	适用场景
316L 不锈钢	≈24	仅用于盐雾环境，不适合长期接触海水
2205 双相钢	≈35	近海海水，消防泵过流部件
2507 超级双相钢	≥ 42	远海、高温高氯离子海水工况，海上平台主流选用

现阶段选型优化侧重设备长效服役，依据海域盐度、泥沙、温度等条件匹配材质与防腐方案。远海高盐环境采用超级双相不锈钢，抵御氯离子腐蚀；近岸泥沙较多区域优化叶轮与过流部件，提升抗堵耐磨性能。需校核潮汐最低水位吸水口淹没深度，防止气缚；近岸海域加大海水滤器压降裕量，应对海生物堵塞。通过材质、结构、工艺协同选型，降低故障，延长消防泵服役周期。

3.3 智能运维联动选型计算优化

在海洋工程数字化升级背景下，消防泵选型还需考虑与智能消防系统、运维平台的联动适配，这是区别于传统选型的重要要点。传统消防泵独立运行，和探测报警系统无数据交互，依靠人工启动，火灾响应滞后。优化后的选型优先选用搭载数字化监测、自动调控模块的消防泵，采集压力、流量、振动、轴承温度等运行参数；柴油机机组还需监测机油压力、水温、蓄电池电压等指标[9]。设备收到火灾联动信号需 5 秒内启动建压，运行数据接入运维平台，满足 AI 预测运维，实现故障预判，变被动抢修为主动维保。

3.4 低碳节能与双模动力选型优化

随着海洋工程脱碳升级，低碳节能已成为消防泵选型的重要评判标准。传统单动力消防泵运行模式固定、能耗较高，难以满足绿色发展需求。早期设备仅采用电力或柴油单一驱动，电动泵在海上断电工况下会失去工作能力，柴油泵则存在碳排放高、运行成本大的问题。当前推进柴电双模动力选型优化方案。该类消防泵可自动切换驱动模式，日常值守采用电动模式降低能耗，断电应急时切换柴油模式保障消防供水。选型需校核柴油机低温启动性能、蓄电池容量，配备过热、超速保护装置，结合供电条件、运行时长及应急需求合理配置动力配比[10]。选用叶轮优化、具备无级流量调节功能的节能泵体，实现功率动态调节，减少能源损耗。

3.5 冗余配置优化

海上消防泵需要开展冗余方案比选，常用配置方案：2×100%、2×50%、N+1 冗余。船舶严格遵循 SOLAS 要求设置主消防泵与应急消防泵；海上平台需要校验单台泵故障工况下，剩余泵组能否满足关键消防工况供水要求。需要明确规范对兼用泵的限制：舱底泵、压载泵是否允许兼作消防泵，必须满足公约及船级社的硬性约束，不可随意兼用。

结语

顺应海洋工程智能化、绿色化、长效化发展趋势，针对传统消防泵选型存在的不足，综合工况环境、设施运行、智能运维三类要素，从参数匹配、防腐适配、智能联动、低碳节能、冗余配置五个方面优化选型策略。该思路突破传统选型局限，完善汽蚀校核、材质量化、船级社认证等关键环节，构建适配海洋工程的系统化选型框架。后续还可完善极端工况选型标准，为海洋工程消防安全长效运行提供技术支撑。

参考文献

[1] 国际海事组织.SOLAS 公约.

[2]CCS. 钢质海船入级规范 [S].

[3] 陈沐. 消防泵性能检测与维护管理的优化策略研究 [J]. 中国设备工程,2026,(5):140-142.

[4] 陈坚, 胡亚辉, 甘光华, 等. 消防泵机组管道振动特性分析与减振设计 [J]. 天津理工大学学报,2026,42(2):110-115.

[5]GB/T321462015. 海上油气生产设施消防安全系统 [S].

[6]APIRP14G. 海上油气平台消防安全推荐实践 [S].

[7]NORSOKM001. 海上设施安全设计总体要求 [S].

[8] 李华文, 黄树兴, 梁保斌. 船舶应急消防泵间气锁设施争议解析及合规性建议 [J]. 世界海运,2026,49(6):53-56.

[9] 周方明. 消防监督工作中消防泵性能检测设备的应用现状与挑战 [J]. 中国设备工程,2025,(11):187-189.

[10] 钟伟, 张军, 张海洋, 等. 海洋石油平台消防泵和海水提升泵卡泵故障处理及优化策略研究 [J]. 石油和化工设备,2026,29(5):179-183.