

“H”级防火分隔与结构防火在海洋工程中的应用研究

李慧芳

瀚辰能源有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22262

[摘要] “H”级防火分隔是海洋工程被动防火体系的核心技术手段,旨在碳氢火灾条件下保持构件完整性与隔热性能,耐火等级涵盖H60与H120,背火面平均温升限值140℃、最高180℃。其构造采用多层复合体系,依托耐火骨架、隔热填充层及防护面层协同作用,具备优良的抗热冲击与高温承载力,性能显著优于普通A级。该技术广泛适用于密闭舱室、设备作业区及管线穿越等高风险区域,并与主体结构防火形成一体化协同,同时须满足海洋高湿盐雾环境下的长效防护要求,确保全生命周期内结构安全与防护可靠。

[关键词] “H”级防火分隔、海洋工程、结构防火

中图分类号: TE54 文献标识码: A

Research on the Application of “H”-Class Fire Divisions and Structural Fire Protection in Offshore Engineering

Huifang Li

Hanchen Energy Co., Ltd.

[Abstract] “H”-class fire division is a core technical measure in the passive fire protection system of offshore engineering, designed to maintain structural integrity and thermal insulation performance under hydrocarbon fire conditions. Its fire-resistance ratings include H60 and H120, with a maximum allowable average temperature rise of 140℃ and a maximum temperature rise of 180℃ on the unexposed surface. Its construction adopts a multilayer composite system, in which a fire-resistant framework, thermal insulation filling layer, and protective surface layer work together to provide excellent resistance to thermal shock and high-temperature load-bearing capacity, with performance significantly superior to that of conventional A-class fire protection. This technology is widely applicable to high-risk areas such as enclosed compartments, equipment operating areas, and pipeline penetrations. It also forms an integrated system with structural fire protection while meeting the requirements for long-term protection in the high-humidity and salt-spray environment of offshore engineering, thereby ensuring structural safety and reliable protection throughout the entire service life.

[Key words] “H”-class fire division; offshore engineering; structural fire protection

引言

海洋工程设施面临严峻的火灾威胁,防火分隔直接决定结构完整性能否维持以及人员逃生通道是否安全。“H”级分隔主要应用于海上油气平台等海洋工程,针对碳氢类火灾工况设计,耐火极限长,背火面温升受到严格限制,用于高风险区域防护优势明显。海洋平台与浮式结构物采用该技术时,环境腐蚀、结构受力状态均须纳入设计条件,材料选择、构造形式与主体结构的协同不能割裂。海洋工程“H”级防火分隔与船舶SOLAS规范体系下的A级防火分隔采用不同的火灾升温试验曲线,二者不可直接等效替换。

1 “H”级防火分隔技术核心特性

1.1 “H”级防火分隔的技术定义与性能指标。在海洋工程被

动防火体系中,“H”级防火分隔需要在碳氢火灾升温曲线长时间火焰作用下,同时维持构件完整性与隔热性能,耐火极限时长、背火面温升限值、抗冲击荷载能力为三大核心考核指标。耐火极限以分钟为单位,H-60、H-120分别代表碳氢火灾条件下60 min、120 min耐火时限。试验过程中对非受火侧背火面温升做出强制约束:背火面平均温升不大于140℃,单点最高温升不大于180℃,以此保障非受火侧空间人员与设备的安全条件。除完整性与隔热性能外,构件气密性同样作为考核指标,用于阻断高温烟气与热量的穿透扩散。构件性能以标准碳氢火灾试验作为验证手段,试验结果反映防护体系在极端热环境下的实际防护能力。

1.2 “H”级防火分隔的构造形式与材料体系。多层复合构造将耐火骨架、隔热填充层与表面防护面层整合为一体。骨架

选用钢质或无机高强度材, 承担结构荷载并控制变形幅度。隔热填充层采用低导热无机纤维或轻质板材, 热量向背火面迁移的进程被延缓。表面防护面层具有高温稳定与抗裂性能, 火焰对内部结构的直接侵蚀受到抑制, 如图1所示。



图1 H级防火分隔复合构造剖面示意图

各构造层依靠机械连接或粘结组合, 协同受力体系由此形成。材料体系注重高温物理化学惰性, 有害气体释放与结构坍塌风险被压至较低水平。

1.3 “H”级防火分隔与其他等级防火分隔的性能差异。普通防火等级在多数工况下只考核完整性, 隔热性能与重复使用稳定性并未列入强制要求, “H”级恰好补上了这两块。耐火时长方面, “H”级往往能达到普通等级的两至三倍, 背火面允许穿过的热量被压到很低的水平, 留给人员撤离与物资转移的时间更为充裕。构造与材料品质的要求随之抬高, 设计阶段除了火焰直接作用, 热冲击与机械振动同样需要纳入分析^[1]。高温持续期间, 结构残余承载力仍能维持较高数值, 局部塌落与贯穿裂缝不易形成, 整体防护可靠性获得实质提升。“H”级在耐火时长、隔热及抗热冲击等方面均优于普通A级, 表1将两者的核心性能差异进行了系统对比。

表1 A级与H级防火分隔性能对比表

	SOLASA 级防火分隔	海洋工程 H 级防火分隔
适用对象	船舶、海上浮式装置	海上油气平台、FPSO 工艺高风险区
试验火灾曲线	标准时间-温度曲线	碳氢(烃类)火灾曲线
典型等级	A-60、A-30	H-60、H-120
背火面温升限值	平均≤140℃, 最高≤180℃	平均≤140℃, 最高≤180℃
核心考核指标	完整性、隔热性、气密性	完整性、隔热性、气密性、抗热冲击
主要风险场景	舱室普通起火	油气喷射火、烃类池火

相应地, “H”级分隔对构造和材料品质提出更高要求, 设计除考虑火焰直接灼烧之外, 还需要评估热冲击、设备振动带来的影响。在持续高温作用下, 构件能够维持较高残余承载能力, 降低局部塌落、贯穿裂缝出现概率, 提升整体防护可靠性。

2 海洋工程结构防火体系构成

2.1 海洋工程主体结构防火防护类型。海洋工程主体结构防火防护的选型, 取决于结构部位和功能需要。涂覆类做法将防火涂料或砂浆直接施作于外表, 热量向内传递的速度由涂层本身隔热能力控制。异形构件多走包裹路线, 用防火板或毡状材料围合外围, 形成封闭保护面。夹芯类做法把隔热芯材埋入结构内部,

靠多个界面切断传热路径。三类做法在施工工艺、维护周期及厚度要求上各有侧重, 表2汇总了各自实现方式、适用构件及主要优缺点, 便于选型参考。

表2 海工主体结构三类防火防护方案对比

防护类型	实现方式	适用构件	主要优缺点
涂覆类	防火涂料/砂浆喷涂	异形钢构件、承压管道、立柱	施工便捷; 自重小; 对表面处理要求高
	浆喷涂		
包裹类	防火板、耐火毡围合	舱壁、甲板非承压围护、构件	隔热性能好; 自重偏大; 节点处理难度高
夹芯类	芯材嵌入结构内部	预制舱壁、模块化墙板	工厂预制质量可控; 现场改动灵活性差

三类防护方案施工工艺、维护周期、构造厚度各不相同, 选型需要结合构件外形、火灾暴露面、后期检修条件综合确定。

2.2 承压结构与非承压结构防火适配性分析。承压结构长期处于内部介质压力与外部环境荷载的共同作用之下, 火灾引发热应力叠加后, 变形与泄漏风险明显加剧。此类结构防火设计须优先保证高温密封性与抗压稳定性, 选材要求粘结强度高且热膨胀系数与基层匹配。非承压结构承担分隔与围护功能, 受力路径相对单一, 防火重心集中于背火面温升限制与火焰贯穿阻断, 低密度、高隔热性能的轻质材料可满足需求^[2]。适配核心在于依据受力等级调整防火层厚度与固定方式, 承压结构还需专门应对热冲击造成的层间剥离, 非承压结构则将施工便捷性与覆盖完整性置于更突出位置。

2.3 结构防火的承载与防火协同性能要求。防火系统的耐火极限不是唯一要求, 高温下力学性能保持与防护层稳定必须同时成立。防火材料与基材受热变形需协调, 膨胀差带来的附加应力若失控, 结构可能在耐火时间耗尽前丧失功能。承载构件高温强度折减系数应与防火层隔热效率相互匹配, 火灾过程中残余承载力全程不得低于设计限值。防火层附加重量不宜对原结构造成明显负担, 连接节点处预留伸缩余量, 热胀冷缩引发的开裂与脱落受到抑制。防火功能同结构安全性由此收束为一个整体。

2.4 结构防火长效防护与环境适配特性。结构防火系统长期暴露于高湿、盐雾与温度交替的海洋环境中, 耐候性与抗老化能力成为材料选用的刚性约束。服役期内防火层厚度、粘结力与隔热效能需保持稳定, 潮湿侵蚀或化学腐蚀引发的性能衰减应被压在防护功能允许的范围内。配方设计须贴合海洋气候特征, 骨料级配调整或抗渗组分掺入可降低水分渗透率。表面还需具备抵抗风雨及海浪飞溅的物理冲刷能力。定期检测与局部修补措施一并纳入设计阶段, 生命周期内防火性能达标才具备制度保障。

3 “H”级防火分隔在海洋工程中的适配应用场景

3.1 海洋工程密闭舱室空间防火分隔应用。生活区舱室、控制站、机器处所与梯道环围均属密闭性突出的区域, 火灾发生后烟气与热量难以自然散逸, 人员逃生路径受到严重约束。“H”级防火分隔在舱壁与甲板位置承担耐火隔离职能, H60级或H120级防火舱壁将各功能舱室切分为独立防火分区, 某一舱室起火时

火势不具备向邻舱蔓延的条件。“H”级防火门作为舱室通道的关键阻隔构件,标准耐火试验中需保持两小时完整性,背火面平均温升不得超过140摄氏度,最高温升不得超过180摄氏度。2025年海洋石油工程股份有限公司启动H60级轻质环保纤维年度供货协议招标,材料容重限值为每立方米100千克,可用于海洋平台平板结构与甲板结构的防火建造。密闭舱室领域“H”级防火材料的规模化应用已步入实质推进阶段。

3.2设备功能区域与作业区域防火分隔应用。海洋工程火灾风险高度集中于发电机舱、配电间、油气处理模块等设备功能区以及钻井区、井口操作区等作业部位。“H”级防火分隔在这些区域之间形成刚性物理隔离屏障,高风险设备区与常规作业区被明确切开,设备故障引发的火势向相邻作业面蔓延的通道由此截断。2025年2月,中海油常州涂料化工研究院取得轻量化海上平台防火墙结构专利,该结构从金属基材、防腐涂层、防火层、防裂网层至厚浆型涂料层、耐候面漆层逐层叠加,保持“H”级防火性能的同时结构重量得到有效控制。

3.3管线、通道穿越区域防火分隔应用。海洋工程中的电缆、管线与通风管道穿过舱壁和甲板时留下的开口,属于火灾蔓延路径上最脆弱的节点。“H”级防火分隔依靠穿隔密封系统使舱壁耐火完整性得以复原,火焰与高温烟气沿管线通道向邻舱扩散的势头被截断。这类密封系统不仅要达到H60或H120防火等级,气密、抗振与耐腐蚀性能同样缺一不可^[3]。2025年,泰士特科技的模块化穿隔密封系统已进入中船集团LNG运输船燃料舱、振华重工海上风电安装平台高压电缆穿隔以及中广核深海半潜式平台防爆密封等工程,该系统耐火等级为A-60,防护等级达IP68。

4 海洋工程中“H”级防火与结构防火协同应用技术

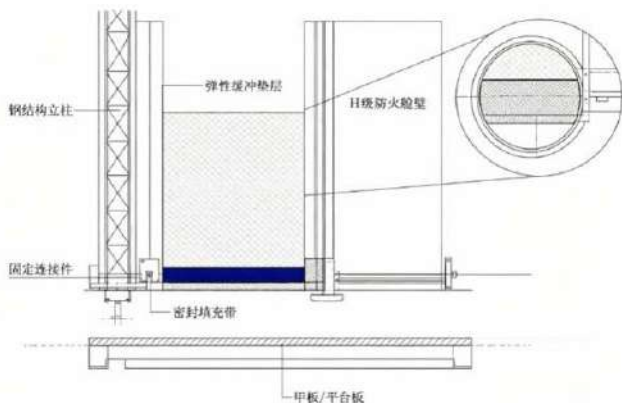


图2 H级防火舱壁与主体钢结构弹性衔接节点示意图

注:弹性缓冲垫层用于吸收结构变形与热位移,密封填充带用于阻断火焰与烟气窜流通道。

4.1防火分隔构件与主体结构的适配衔接技术。防火分隔构件与海洋工程主体结构的协同表现,取决于刚度、热膨胀系数与受力响应三方面差异能否得到妥善处理。衔接节点多做成弹性过渡形式,缓冲垫层或滑动连接件承担吸收结构变形与热位移的任务,刚性连接引起的应力集中因此被削弱。固定做法须兼顾安装强度与位移自由度,防火构件在高温环境中既要保持定位

准确,又不能产生过大约束力。衔接处另设密封填充带,火焰与烟气经缝隙窜入相邻区域的路径被直接封堵。密封材料的耐温等级与压缩回弹性能,需匹配主体结构在火灾及常规工况下的形变幅度。设计阶段就应明确各衔接部位容许位移量,再结合主体结构材料特性与受力状态选定连接构造形式,静载、动载及热作用下的协同工作才有实现基础。密封材料的耐温与回弹性能需与主体结构形变相匹配,图2给出了H级防火舱壁与主体钢结构之间采用弹性衔接节点的具体构造示意。

4.2一体化防火防护结构的组合设计方式。一体化防火防护结构把防火层、隔热层、承载层与防护面层收束为同一功能整体。各层排布次序与厚度比例须对照热流传递方向及结构受力特征做系统调配,防火效能与结构效率由此获得平衡。层间粘结强度与热变形协调性在设计阶段即需统筹,高温膨胀差异所引发的脱空或滑移不能放任。承载层维持整体形态并提供安装基面,防火层直接抗衡火焰侵蚀,隔热层削减透热量,防护面层应对海洋环境腐蚀与机械损伤。层与层之间依靠过渡粘结材料或机械锚固强化结合,振动与热循环条件下界面完整得以维持。施工可操作性与维护可达性同样要纳入整体设计,构造过度复杂反而会折损实际工程应用效果。

4.3多区域联动防火防护的体系配合机制。多区域联动防火防护旨在火灾状态下实现各防火分区防护构件的时序协同响应。以探测信号为触发条件,各分区防火门、防火阀及穿隔密封系统按设定顺序执行关闭与自锁操作,动作时序需合理规划以避免瞬时压力冲击。联动体系应配置局部执行机构失效时的备用方案,确保整体防护功能不因单点故障而完全丧失。各分区之间的工作状态反馈需保持实时畅通,为操作人员掌握构件工况及调整应急策略提供依据。

5 结束语

“H”级防火分隔技术在海洋工程领域具有不可替代的应用价值。其在碳氢火灾条件下优异的完整性与隔热性能,结合多层复合构造的抗损毁机理,为密闭舱室、设备作业区及管线穿越等高风险区域提供了可靠的防护屏障。通过与主体结构防火体系的协同设计与一体化整合,该系统不仅满足了火灾瞬时工况下的安全要求,更兼顾了海洋高湿盐雾环境下的长效服役性能。未来,随着材料科技与工程实践的持续进步,“H”级防火分隔技术将在保障海上油气开发及作业安全方面发挥更为重要的作用。

[参考文献]

- [1]石建新.海工平台防火设计研究[J].江苏船舶,2023,40(3):26-28.
- [2]陈伟军,张念涛,于本水,等.海洋平台大型油气处理撬块被动防火与涂装[J].涂层与防护,2024,45(10):29-34.
- [3]李艳华,许晓丽,覃柳莎,等.海上油气生产设施被动防火设计[J].海洋工程装备与技术,2023,10(4):59-63.

作者简介:

李慧芳(1984--),女,蒙古族,天津人,工程师,硕士研究生,研究方向:船舶设计与制造。