

QHSE 体系下海上油气设施焊接质量标准化管理实践

吴宪

天津北海油人力资源咨询服务有限公司, 天津 300450

DOI:10.61369/ERA.2026070043

摘 要： 海上油气设施长期处于高温、高压、高盐雾的恶劣海洋环境中，其焊接质量直接关系到设施的结构完整性与本质安全。本文基于 QHSE（质量、健康、安全、环境）一体化管理体系框架，系统分析了海上油气设施焊接质量管理的特殊要求与现实挑战，从工艺评定标准化、过程控制精细化、人员资质规范化、检测检验体系化四个维度阐述了标准化管理的核心要素，并结合“深海一号”等工程实践，总结了以“零缺陷”为目标、以体系赋能为抓手的焊接质量管控经验。研究表明，在 QHSE 体系框架下推进焊接质量标准化管理，是实现海上油气设施全生命周期安全运行的关键路径。

关 键 词： QHSE 体系；海上油气设施；焊接质量；标准化管理；海洋工程

Standardized Management Practices for Welding Quality of Offshore Oil and Gas Facilities under the QHSE System

Wu Xian

Tianjin Beihai Oil Human Resources Consulting Service Co., Ltd., Tianjin 300450

Abstract： Offshore oil and gas facilities operate in harsh marine environments characterized by high temperatures, high pressures, and high salt spray for extended periods, where welding quality directly impacts the structural integrity and inherent safety of these facilities. Based on the framework of the QHSE (Quality, Health, Safety, and Environment) integrated management system, this paper systematically analyzes the specific requirements and practical challenges of welding quality management for offshore oil and gas facilities. It elaborates on the core elements of standardized management from four dimensions: standardization of process evaluation, refinement of process control, normalization of personnel qualifications, and systematization of inspection and testing. Drawing on engineering practices such as the "Deep Sea No.1" project, the paper summarizes welding quality control experiences aimed at achieving "zero defects" and leveraging system empowerment. Research indicates that promoting standardized management of welding quality within the QHSE system framework is a critical pathway to ensuring the safe operation of offshore oil and gas facilities throughout their entire lifecycle.

Keywords： QHSE system; offshore oil and gas facilities; welding quality; standardized management; marine engineering

引言

随着我国海洋油气开发持续向深水、超深水迈进，海上油气设施的结构复杂度与安全要求不断提升。焊接作为海上平台、海底管道、浮式生产储卸装置等设施建造的核心工序，其质量直接决定了设施能否在设计寿命内安全运行。以“深海一号”为例，该项目提出了“30年不回坞”和“150年设计疲劳寿命”的严苛要求，船体工程焊缝总长度达60千米，焊接变形控制稍有差池便可能造成严重后果。QHSE 管理体系将质量、健康、安全、环境整合为有机整体，强调从源头预防、过程控制到持续改进的全周期管理理念。在海上油气设施焊接领域，QHSE 体系不仅关注焊缝的物理性能指标，更将焊接作业纳入人员安全、环境保护、职业健康的综合框架中进行系统管控。

一、海上油气设施焊接质量管理的特殊性与挑战

（一）服役环境的极端性

在海上油气设施的背景下，QHSE 代表质量（Quality）、健康（Health）、安全（Safety）和环境（Environment）四个关

键方面。^[1] 海上油气设施长期承受风、浪、流等交变载荷，同时面临海水腐蚀、海洋生物附着等复杂环境因素。海底管道还需承受巨大的外部静水压力和海床不稳定带来的附加应力。这些极端条件要求焊缝必须具备优异的抗疲劳性能、耐腐蚀性能和低温韧性。一旦焊缝存在超标缺陷，在交变应力作用下可能迅速扩展为

裂纹，最终导致结构失效。随着海洋石油工业的发展，越来越多的海上油气生产设施被建设，但是一般海上油气生产设施的寿命在20~50年，随着海上油气生产设施服役期的结束，其弃置也被提上了日程。^[2]

（二）技术要求的严苛性

海上油气设施远离陆地，由于其地理位置、气候环境的特殊性，海上作业人员的工作环境、劳动强度和饮食结构与其他人员不同。^[3]海上油气设施焊接涉及多种材料、多种工艺的交叉应用。从厚板结构的全熔透对接焊到管节点的空间定位焊，从水下湿法焊接到干式高压焊接，每种工艺都有其独特的技术难点。更重要的是，海洋工程焊接需同时满足多个标准体系的交叉要求——国内项目需符合NB/T47014标准，国际项目则常需遵循DNV-OS-F101等规范，不同标准在工艺评定变素、检验验收准则上存在显著差异，对焊接工艺技术人员综合能力提出了较高要求。随着海洋油气资源开发规模的扩大，各类风险因素交织叠加，传统的安全管理数据分析方式难以适应发展需求。^[4]

（三）作业环境的高风险性

海上焊接作业空间受限、高空作业多、交叉作业频繁，同时面临火灾、爆炸、有毒气体等重大风险源。“深海一号”项目中受限空间多达151个，施工高峰人数超过4000人，安全管理难度极大。此外，海洋环境中的高湿度、盐雾和风浪条件，也对焊工操作和焊接设备稳定性构成持续挑战。

（四）质量责任的不可逆性

海上设施一旦投入运营，焊缝返修或结构更换的成本极其高昂，且部分水下结构根本无法进行实质性修复。因此，焊接质量必须在建造阶段就达到“一次成优”的标准，任何质量缺陷都可能转化为运营阶段的安全隐患和经济损失。这种不可逆性要求焊接质量管理必须从“事后检验”转向“事前预防”和“过程控制”。

二、QHSE 体系与焊接质量标准化管理的理论框架

（一）QHSE 体系的核心逻辑

QHSE 管理体系的核心在于将质量管理与健康、安全、环境管理进行一体化整合，突破传统管理中各要素“各自为政”的局限。在焊接作业场景下，这一逻辑体现为：焊接工艺的优化不仅是为了提升焊缝质量，也是为了减少焊接烟尘对作业人员健康的危害；焊接参数的精确控制不仅保证了力学性能，也降低了因返修造成的额外资源消耗和环境负担。海上油气设施建造企业通常将QHSE方针确立为“持续改进，确保为顾客提供安全、优质、环保的产品和完善的服务”，并强调“为全体员工和相关方提供安全、卫生的良好工作环境”。这种将质量目标与安全、环境目标融为一体的管理思路，为焊接质量标准化管理提供了顶层设计依据。

（二）焊接质量标准化管理的内涵

海上油气设施风险可接受准则用于装备定性和定量风险评估时的风险等级判定。以风险分析为基础，结合国内外风险可接受

原则，初步推荐海上设施风险可接受准则。^[5]焊接质量标准化管理的内涵，是指在QHSE体系框架下，针对焊接作业的全流程建立统一的技术标准、操作规范和管理制度，并通过系统化的执行、监督和改进机制，确保每一道焊缝始终处于受控状态。其内涵可概括为四个维度：工艺标准化的源头控制，焊接工艺评定（PQR）是标准化管理的核心环节。按照CCS《材料与焊接规范》的要求，焊接工艺规程（WPS）必须依据经认可的工艺评定编制，并明确适用标准及焊接的全部基本参数和附加参数。未经认可的工艺不得用于施工。这一制度确保了每种焊接工艺组合在投入生产前已经过严格验证。过程标准化的行为约束。从坡口制备、焊前预热、道间温度控制到焊后热处理，每个操作环节都应有明确的技术参数和操作规范。“三检制”（自检、互检、专检）的实施，则将过程控制的责任落实到每个班组和每个操作者，形成了全员参与的质量防线。人员标准化的能力保障。焊工资质管理是标准化体系的关键一环。从事海上设施结构、设备及承压管件焊接的焊工，必须持有CCS或船级社承认的《焊工合格证书》，且只能从事与证书相适应的焊接工作。这一制度从源头上确保了操作者的技能水平与工程要求相匹配。检测标准化的验证机制。无损检测（NDT）是焊接质量验证的核心手段。标准化要求检测方法、检测比例、验收标准必须符合规范要求，检测记录完整可追溯。超声波相控阵（PAUT）等先进检测技术的应用，在提高检测效率的同时也对检测人员的标准化操作提出了更高要求。

三、标准化管理的关键环节与实践路径

（一）焊接工艺评定的标准化执行

海上油田设施弃置原则、弃置方式选择、弃置流程、系统清洗、井口弃置、预调查和后调查及结构检测、海底管道弃置、平台拆除等内容，并对弃置平台使用浮吊的拆除设计、拆除过程设计、桩腿水下切割方式选择等进行较为深入的论。^[6]焊接工艺评定的本质是验证拟用工艺能否生产出符合要求的焊接接头。在海洋工程领域，由于标准体系多元，工艺评定的标准化需特别注意两个方面：一是评定标准的适用性选择。对于国内项目，通常以NB/T47014为主要依据；对于国际项目或遵循船级社规范的项目，则需按DNV-OS-F101或AWS D1.1等标准执行。不同标准对重要变素（如预热温度、层间温度、热处理制度等）的界定和变更容忍度存在差异，工艺技术人员需在项目初期即明确适用标准体系，避免因标准混用导致的评定失效或重复试验。二是评定试验的规范性实施。按规范要求，焊接工艺认可试验应在验船师在场时进行，试验结果须记入PQR并随WPS一同提交认可。若生产制造单位6年内未使用工艺进行生产，再次使用前需重新认可。这种时效性管理确保了工艺参数始终处于有效状态。

（二）关键工序的精细化过程控制

1. 焊前准备阶段：包括材料可追溯性管理、坡口清理与检查、焊材烘干保温等。按规范要求，主承载体和承压部件的材料应具有合格证书，并建立产品炉号/批号的可追溯体系。焊材的存放和使用须按说明书要求执行，必要时应保温干燥。

2. 焊接作业阶段：预热温度和道间温度需严格遵循已认可的WPS执行。对于碳当量大于0.45%的钢种，还需提出专项预热方案并经认可。在“深海一号”项目中，项目团队从人、机、料、法、环“五要素”入手，开展了14项关键环节专项质量管控，全方位提升焊接质量。

3. 焊后处理阶段：需根据设计要求实施焊后热处理，热处理文件应包括温度、时间、冷却介质等完整参数。对于需热处理后的焊接接头，缺陷修补后须再次进行热处理。

（三）检验检测的体系化运作

无损检测是焊接质量验证的最后一道关口，也是标准化管理的重要组成部分。根据CCS规范要求，结构件和工件施焊完成后，应对所有焊缝进行外观检查，焊缝表面应成型均匀、平顺地向母材过渡，不得有裂纹、未熔合、夹渣等缺陷。在检测方法选择上，常规射线检测（RT）和超声波检测（UT）各有适用场景。“深海一号”项目在系统内首次将PAUT检测技术用于结构焊缝检验，取代传统的射线检验，节约RT工时3000余个，节约工期50余天，同时保证了检测质量。这一实践表明，新技术的标准化应用不仅不会降低质量门槛，反而能在保证可靠性的前提下提升效率。需要特别关注的是不合格焊缝的处理。按规范要求，经检测不合格的焊缝，应在缺陷完全清除后进行焊补，且特殊构件同一部位一般只允许修补2次。修补后应重新进行无损检测，并将修补前后报告备查。

（四）质量责任的全员化落实

标准化管理的成效最终取决于执行者的质量意识和责任落实。海油工程自2019年起设立“零缺陷日”，将“零缺陷”理念深植于企业文化之中，通过理论宣贯、知识竞赛、经验分享等方式，营造“人人都是质量人”的浓厚氛围。在具体项目层面，“海洋石油201”船在卡塔尔项目中组建了由12名专业工程师构成的QC团队，对焊接、无损检测、涂层防腐等关键工序实行24小时旁站监督。上海LNG海管项目中，CPP607、608机组严格遵循“三检制”，在关键工序由专职质检员严格检查验收，最终实现了99.35%的焊接合格率。这些实践表明，标准化管理的生命力在于将制度要求转化为每个岗位的自觉行动。

四、实践成效与发展展望

（一）典型工程实践成效

近年来，我国海上油气设施焊接质量管理水平持续提升，一

系列重点工程的实践验证了QHSE体系下标准化管理的有效性。

“深海一号”项目通过建立扁平化QHSE管理组织架构，将所有QHSE人员统一纳入总包项目部管理，实现了QHSE专业的一统到底。项目自主编制了首个浮体产品ITP及检验程序，搭建了质量控制工作流程框架，各项质量指标均超过规格书要求，船体总装搭载精度达到世界领先水平。“海洋石油201”船在卡塔尔项目中实施“双零誓言”（零安全事故、零质量事故），通过“8+8”安全双线保障模式和全天候QC旁站监督，应用全自动GMAW焊接工艺，实现了焊缝一次合格率超过98.3%。有限海南分公司则系统提炼“深海一号”建设经验，总结出防爆电气等七大质量管理抓手，编制了《工程建造及在生产设施专项质量管理细则》，为海上设施本质安全提供了制度保障。

（二）存在问题与改进方向

解决工业控制生产网络高安全隔离与实现生产数据的单向上传的平衡问题，且需要满足网络安全等级保护的要求。^[7]尽管取得了显著成效，当前焊接质量标准化仍面临一些挑战。一是不同标准体系的协调问题依然存在，国际项目与国内项目在工艺评定、检验验收等方面标准差异较大，增加了管理复杂度；二是数字化、智能化手段的应用尚不充分，焊接过程数据的实时采集与分析能力有待加强；三是一线焊工的技能培养和质量意识提升仍是长期工程，人员流动性对质量稳定性构成一定影响。未来，焊接质量标准化可向以下方向深化：一是推动国际标准与国内标准的对标互认，减少因标准差异造成的重复评定；二是加快智能焊接装备和数字化质量管控平台的推广应用，实现焊接参数的实时监控与质量数据的自动采集分析；三是将“零缺陷”理念进一步融入项目全生命周期管理，从设计源头减少焊接质量风险。

五、结束语

海上油气设施焊接质量标准化，本质上是将QHSE体系的系统思维转化为焊接作业现场的可操作规范、可执行标准和可验证结果。实践表明，以工艺评定标准化为基础、以过程控制精细化为核心、以检验检测体系化为保障、以全员责任落实为支撑的标准化路径，能够有效应对海洋环境带来的质量挑战。在建设质量强国和海洋强国的战略背景下，持续深化QHSE体系与焊接质量管理的融合，既是提升我国海洋工程竞争力的内在要求，也是保障国家能源安全的应有之义。

参考文献

- [1] 田园. 海上油气设施QHSE风险管理和应急管理研究[J]. 现代职业安全, 2024, (3)50-52.
- [2] 李雪飞, 张锡斌, 任登龙, 等. 浅议海上油气生产设施弃置需要关注的问题[J]. 海洋开发与管理, 2015, 32(4)8-11. DOI: 10.20016/j.cnki.hykyfgy.2015.04.002.
- [3] 余俊雄, 杨轶, 赵军红, 等. 基于精益思想的海上油气设施资源节约化管理[J]. 资源节约与环保, 2021, (5)144-145+148. DOI: 10.16317/j.cnki.12-1377/x.2021.05.071.
- [4] 梁杰, 徐长林, 林川. 海上油气设施安全管理数据库的构建与应用[J]. 山东化工, 2025, 54(11)174-176+179. DOI: 10.19319/j.cnki.issn.1008-021x.2025.11.026.
- [5] 周然, 万波, 安维峥. 海上油气设施风险评估准则研究[J]. 工业安全与环保, 2020, 46(12)61-64+97.
- [6] 罗晓健. 海上油田油气设施弃置方案研究[J]. 石油工程建设, 2018, 44(6)46-50.
- [7] 萧阳, 杨波, 王鑫章. 海上油气设施数据安全入网一体化平台研究[J]. 工业信息安全, 2022, (7)22-27.