

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2025.05.19

海洋工程不同焊接工艺评定标准差异分析

充文涛

中海油能源发展股份有限公司 清洁能源分公司,天津 300456

摘要: 针对海洋工程领域焊接工艺评定标准存在的差异性,选取NB/T47014《承压设备焊接工艺评定》与DNV-OS-F101《海底管道系统规范》两大标准,基于GTAW/SMAW焊接方法及对接接头形式,系统开展焊接工艺重要要素评定规则与试验要求的对比分析。通过解构母材分类原则、焊材评定规则、厚度覆盖范围、坡口形式要求、焊接位置限制等核心要素,分析两个标准在评定范围、试验项目及检验数量方面的显著差异。研究表明:DNV-OS-F101在母材供应商认证、焊材直径控制、无损检测项目等方面具有更严格的技术要求,其力学性能检测项目较NB/T47014更为全面;而NB/T47014在坡口形式变更、焊接位置调整等方面展现出更广的工艺覆盖性。研究证实两个标准在材料强度梯度匹配、热输入控制区间等关键参数上存在技术兼容空间。工程实践表明,基于兼容性分析制定焊接工艺评定方案,可有效减少重复试验次数,降低企业认证成本。

关键词: 海洋工程; 焊接工艺评定; 重要要素; 差异分析

中图分类号: TG44 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2025)05-0135-05

Analysis of the Differences in Evaluation Standards for Different Welding Processes in Ocean Engineering

YAN Wentao

CNOOC Energy Technology & Services Limited, Clean Energy Branch, Tianjin 300456, China

Abstract: At present, the main welding process qualification standards and specifications commonly employed in the welding and manufacturing of marine structural engineering and subsea pressure pipelines within the company are primarily NB/T47014 and DNV-OS-F101. Taking the frequently utilized welding methods (GTAW/SMAW) and butt welds in engineering as examples, this paper conducts a comparative analysis of the crucial variables of the main welding procedures and the tests and inspections for qualification in the two standards. The results indicate that there are considerable differences between the two qualification standards, but similarities also exist. In actual production, when welding process technicians undertake the planning of welding process qualification in the early stage, based on the actual requirements of the project and by comprehensively considering the compatibility between the two standards, they can rationally arrange the welding qualification tests, reduce the frequency and quantity of the tests to avoid unnecessary repetitions and cost waste, and effectively achieve the goal of cost reduction and efficiency enhancement.

Keywords: ocean engineering; welding process qualification; important variables; difference analysis

引用格式: 充文涛. 海洋工程不同焊接工艺评定标准差异分析[J]. 电焊机, 2025, 55(5): 135-139.

Citation: YAN Wentao. Analysis of the Differences in Evaluation Standards for Different Welding Processes in Ocean Engineering[J]. Electric Welding Machine, 2025, 55(5): 135-139.

0 引言

随着海洋资源开发和利用的不断深入,海洋结

构工程的规模和复杂度不断上升。焊接作为海洋结构制造和安装的关键连接技术,其质量直接关系到结构的安全性和可靠性。焊接工艺评定是确保

收稿日期: 2024-08-16 修回日期: 2025-02-25

作者简介: 充文涛(1987—),男,硕士,工程师,主要从事金属材料焊接工艺及项目管理相关工作。E-mail: wentao9836@126.com。

焊接质量的重要手段^[1-2],通过焊接工艺评定,可以预先验证所拟定的焊接工艺是否满足产品设计和标准要求。同时在实际生产前进行焊接评定,有助于发现潜在的问题和风险,采取相应的措施进行预防和控制,降低焊接质量问题和安全事故。

然而,焊接工艺评定的实施涉及多轮试验和检测,周期长且成本较高。公司目前主要产品——海洋结构工程和海底压力管道常用的焊接工艺评定标准、规范主要有NB/T47014《承压设备焊接工艺评定》以及DNV-OS-F101《海底管道系统规范》。这两个标准在评定试验的要求和评定认可范围上存在差异,各有特点。学者们针对不同焊接工艺评定标准差异化进行了相关研究^[3-6],旨在探索通过同一个焊接工艺评定试件进行工艺评定试验,以覆盖不同标准的要求,达到减少焊接工艺评定试验的频次与数量,缩短生产工期,节省成本的目的。本文主要以公司产品常用的焊接方法(SMAW/GTAW)和对接焊缝为例,针对NB/T47014和DNV-OS-F101两个标准评定规则的差异化进行讨论分析。旨在为焊接技术人员在制定焊接工艺评定时提供参考,避免盲目开展评定,尽可能用最少的焊接评定试验评定出满足2个标准、焊接评定覆盖范围更广的焊接工艺,实现降本增效。

1 焊接重要变素

1.1 母材的评定规则

NB/T47014标准中为了减少焊接工艺评定的数目,根据金属材料的化学成分、力学性能和焊接性将母材进行分类、分组,形成不同的类别和组别。标准中规定母材类别号和组别合的改变都需要重新进行焊接工艺评定。但同一类别号中(Fe-1~Fe-5A),高组别号母材相焊的焊接工艺可以覆盖该高组别号母材与低组别号母材的焊接。此外,标准中特殊规定了Fe-1-2组别号母材评定合格的焊接工艺也适用于Fe-1-1组别号母材。

DNV-OS-F101标准则主要按照材料强度等级提出母材评定规则。焊接母材发生低强度等级转变成高强度等级的改变,则该评定失效,反之则有效。与NB/T47014相比,DNV-OS-F101对母材的

供货状态、钢材供货商、化学组分、制造方法等均有一定的限制要求。标准中规定,母材的供货状态发生改变(如TMCP、Q/T或正火)、母材的制造方法发生改变(如轧制、无缝、锻造、铸造)、母材的原产地即制造厂发生改变(仅限于SMYS $\geq$ 450 MPa的钢材的管道间环焊缝),均需重新进行焊接工艺评定。

综上所述,DNV-OS-F101标准对母材的评定规则相较于NB/T47014标准更为严苛,评定可覆盖范围小。因此焊接工程师在制定不同的工程项目焊接工艺评定试验时,焊接母材建议首先选用DNV-OS-F101设计要求的项目,这样一来,该评定的焊接试件母材替代范围是有可能覆盖其他有NB/T47014标准要求的项目产品。反之,如果先按照NB/T47014标准进行评定,则评定替代的可能性很小。

1.2 焊材的评定规则

NB/T47014标准将焊材划分成不同类别,同类别号的焊材焊接工艺评定可以相互替代,不同类别号的焊材则不能相互替代。对于焊接母材为Fe-1、Fe-3类别的特殊情况,强度级别高的焊材可以覆盖到低级别焊材。此外,焊材的直径和截面积被视为次要变素,即该因素发生改变时不需要重新进行焊接工艺评定,只需根据因素的改变重新编制焊接工艺规程即可。

相比之下,DNV-OS-F101标准中焊材的直径和截面积以及焊材的牌号(实心焊丝不考虑牌号)都为重要变素,任一情况发生改变,焊接工艺评定均需要重新开展。

因此,与焊接母材的选用原则一样,在制定不同的工程项目焊接工艺评定试验时,建议焊接工程师首先考虑满足DNV-OS-F101设计要求的项目。否则,有可能会造成评定试验的频次增加,造成成本和资源的浪费。

1.3 材料厚度与直径的评定规则

NB/T47014与DNV-OS-F101标准在材料厚度与直径的评定认可范围有着较大的区别。NB/T47014标准中,厚度认可包括焊件母材厚度和焊件焊缝金属厚度,如表1所示。对于管材的直径,该标准没有具体的限制。

DNV-OS-F101标准只对焊件的母材厚度进行了要求,没有明确焊件焊缝金属厚度的评定范围。

此外,该标准根据管道是否含有 H₂S 介质对材料厚度的评定范围有所差异,并对管道公径内径给出了明确的替代范围,如表 2 所示。

表 1 NB/T47014 材料厚度评定规则

Table 1 Material thickness evaluation rules of NB/T47014				
试件母材厚度 T/mm	适用于焊件 厚度最小值	适用于焊件 厚度最大值/	适用于焊件 焊缝厚度最	适用于焊件 焊缝厚度最
	/mm	mm	小值/mm	小值/mm
<1.5	T	$2T$		$2t$
$1.5\leq T\leq 10$	1.5	$2T$		$2t$
$10<T<20$	5	$2T$		$2t$
$20\leq T<38$	5	$2T$	不限	$2t(t<20)$ $2T(t\geq 20)$
$38\leq T\leq 150$	5	200		$2t(t<20)$ $200(t\geq 20)$
>150	5	$1.33T$		$2t(t<20)$ $1.33T(t\geq 20)$

注:材料管道公径内径无限制。

表 2 DNV-OS-F101 材料厚度与直径评定规则

Table 2 Material thickness and diameter evaluation rules of DNV-OS-F101					
试件母材厚度 T/mm	适用于焊 件厚度最	适用于焊 件厚度最	适用于焊件 管道内径最	适用于焊件 管道内径最	
	小值/mm	大值/mm	小值/mm	大值/mm	
不含 H_2S	≤ 25	$0.75T$	$1.5T$	$0.5ID$	不限
介质	>25	$0.75T$	$1.25T$	$0.5ID$	不限
含 H_2S 介质	全部	$0.75T$	$1.25T$	$0.5ID$	不限

注:ID 为试件母材管道公径内径。

通过对比两个标准的评定规则(见表 1、表 2),可以发现 DNV-OS-F101 标准对材料厚度与直径的评定替代范围实际上被包含在 NB/T47014 标准的评定替代范围内。这意味着在制定评定试验时,评定试件材料厚度的选取应优先考虑满足 DNV-OS-F101 设计要求项目的替代范围,同时兼顾满足其他 NB/T47014 设计要求产品,就有可能降低公司车间内评定试验的频次与数量。

1.4 接头坡口形式评定规则

关于接头坡口形状因素, DNV-OS-F101 标准中要求对于超出评定试件的任何坡口尺寸变化,以及衬垫的增加、删除及衬垫材料的改变均需要进行重新评定。而 NB/T47014 标准则与 DNV-OS-F101 存在显著的差异。该标准中,无论是改变坡口的形式、增加或取消衬垫、改变衬垫的公称成分均为次要因素,无需重新开展评定试验。

1.5 焊接位置评定规则

DNV-OS-F101 标准规定,当管轴与水平方向的夹角焊接位置超过 $\pm 15^\circ$ 时,或者焊接方向由立向上变成立向下,或反之,都需要重新进行评定。这意味着,对于 DNV-OS-F101 标准,焊接位置的变化范围相对较小,任何超出这个范围的变化都需要重新进行焊接工艺评定。

相比之下, NB/T47014 标准将改变焊接位置视为次要因素,只有当从评定合格的焊接位置改变为向上立焊,并且技术要求中有冲击韧性要求时,才需要重新进行焊接工艺评定。可以理解成,如按 NB/T47014 标准执行焊接工艺评定,评定试验焊接位置为向上立焊,则适用于其他所有位置。

从减少焊接评定试验数量的角度分析,优先满足 DNV-OS-F101 要求评定试验的焊接位置,则基本上可以满足 NB/T47014 标准要求的评定范围。反之,则大概率不满足,这会导致评定试验的数量增加。

1.6 其他因素评定规则

(1)焊接方法。 DNV-OS-F101 与 NB/T47014 标准对焊接方法这一变素的评定规则是相同的,即焊接方法发生任何改变,都需要重新进行评定。

(2)预热、层间温度。 DNV-OS-F101 标准规定,预热温度比评定合格值有任何下降,都需要重新进行评定。对于最大和最小层间温度,如温度出现如下相关变化,则需要重新进行评定:碳锰钢和低合金钢,最大层间温度超过评定合格值 25°C 以上;对于 CRA 管,最大层间温度相比评定合格值有任何升高;任何材料最小层间温度低于预热温度。相比而言, NB/T47014 标准中规定预热温度比已评定合格值降低 55°C 以上时,才需要重新进行评定。而层间最高温度超过评定记录值 55°C 以上时,作为补加因素,在技术要求中有冲击韧性要求时需要重新进行焊接工艺评定。

(3)电特性。焊接电特性包含电流种类和极性、熔滴过渡方式、钨极的种类或直径等。 DNV-OS-F101 和 NB/T47014 关于电特性的评定规则差异性见表 3。由表 3 可知,针对所列三种焊接电特性, DNV-OS-F101 标准均需要重新进行评定,评定可替代范围要小于 NB/T47014。

表3 焊接电特性差异化分析

Table 3 Differential analysis of welding electrical characteristics

标准	电流种类和极性	熔滴过渡方式	钨极种类或直径
NB/T47014	SMAW:重要因素,改变后需重新评定。 GTAW:补加因素,仅在冲击韧性要求时,变更后需重新评定。	除GMAW焊接方法以外,为次要因素,不需进行重新评定。	次要因素,不需要进行重新评定。
DNV-OS-F101	任何改变,均需重新进行评定。	任何改变,均需重新进行评定。	次要因素,均需进行重新评定。

2 焊接评定试验与检验

2.1 外观检查与无损检测

两个标准均要求对评定试件进行外观检验和无损检验,异同之处是无损检测。DNV-OS-F101标准明确要求需进行100%超声检验、100%射线检验和100%磁粉或渗透检验。而NB/T47014标准中并未明确具体的无损检测项目,工程应用中应遵循

设计要求进行评定试件的无损检测项目,在实际工程应用中,多采用100%磁粉或渗透检验、100%射线检验,超声检验则根据设计文件具体要求执行。从这些要求可以看出,DNV-OS-F101标准无损检测项目更为全面,可以全覆盖NB/T47014标准。

2.2 力学性能检测

DNV-OS-F101和NB/T47014两个标准分别对接焊缝焊接工艺评定试件的力学性能检测项目和取样数量提出了要求,如表4所示。

表4 力学性能检测项目、取样数量

Table 4 Mechanical performance testing items and sampling quantity

标准	试件厚度 T	接头拉伸	横向全焊缝拉伸 ^a	全焊缝拉伸 ^{c,d}	面弯	背弯	侧弯	冲击	宏观与硬度	断裂韧性	其他
NB/T47014	$T \leq 20$	2	—	—	2	2	a	b	—	—	—
	$T \geq 20$	2	—	—	—	—	4	b	—	—	—
DNV-OS-F101	$T \leq 25$	2	2	2	e	e	—	f	2	h	i
	$T > 25$	2	2	2	—	—	4	g	2	h	i

表4中,a表示采用同种焊接方法时,当10 mm $<T<20$ mm时,可用4个侧弯试验代替2个面弯和2个背弯试样;采用不同焊接方法完成的试件,用4个侧弯试验代替2个面弯和2个背弯试样不受试件厚度限制;b表示设计要求进行冲击试验时,焊接接头的焊缝区、热影响区都应取3个冲击试样,但由于试件厚度尺寸过小原因无法制备5 mm冲击试样时,可免做冲击试验;c表示当要求使用ECA时,建议进行横向全焊缝拉伸试验或全焊缝拉伸试验;d表示对于直径 ≤ 200 mm或以进行横向全焊缝拉伸试验的试件,可不进行全焊缝拉伸试验;e表示当直径 ≤ 300 mm时,面弯、背弯各取2个试样,当直径 > 300 mm时,面弯、背弯各取4个试样;f表示需做4组冲击试样,每组试样包括3个试件,缺口应取在焊缝金属、熔合线(母材、热影响区各50%)、距熔合线2 mm、5 mm处;g表示对于试件厚度超过25 mm时,应从焊缝金属根部、熔合线根部另抽取2组冲击试样,共计6组冲击试样,每组3个试件;h表示只有管道环缝对接焊进行ECA时,才需进行断裂韧性测试试

验,另外如不执行PWHT,对试件厚度 ≥ 50 mm的碳锰钢和低合金钢进行断裂韧性测试;i表示根据具体要求还需进行腐蚀试验、化学成分分析、显微组织检查等项目检测。

从表4可知,DNV-OS-F101标准在力学性能检测项目和取样数量上的要求比NB/T47014标准更为严格和全面。DNV-OS-F101焊接工艺评定试验力学性能检测项目除与NB/T47014共有的接头拉伸、弯曲试验、冲击试验(如有要求进行冲击试验)外,还对横向全焊缝拉伸试验、全焊缝拉伸试验、宏观与硬度试验、腐蚀试验、化成成分分析试验、显微组织试验、断裂韧性试验都作了具体要求。而且,同样是冲击试验,DNV-OS-F101标准中要求需做4组或6组冲击试样(厚度 ≥ 25 mm),每组3个试件,NB/T47014标准则仅需做2组冲击试样,每组3个试件。

3 结论

通过对海洋结构工程中常见的两种焊接工艺评

定标准进行对比分析,可知 DNV-OS-F101(2013)与 NB/T47014(2023)标准在焊接工艺评定的覆盖范围、试验项目及数量等方面虽然存在较大差异,但异中存同,NB/T47014标准要求相比较来说更为宽松、范围更广,按 DNV-OS-F101 标准制定评定试验,在一定程度上是可以满足 NB/T47014 标准要求的。

在实际应用中,焊接工程技术人员应根据公司项目具体的工程特点和需求,融会贯通,合理制定焊接工艺评定试验,使焊接工艺评定更为灵活,避免重复,减少焊接工艺评定试验的频次与数量,降低生产成本,有效达到降本增效的目的。

参考文献:

- [1] 陈哲,闵祥军,程晋宜,等. 基于 EEMUA 及 DNV 标准的 S460 钢焊接工艺开发[J]. 电焊机,2024,54(1): 120-125.
CHEN Z, MIN X J, CHENG J Y, et al. Welding Process Development of S460 Steel Based on EEMUA and DNV [J]. Electric Welding Machine, 2024, 54 (1): 120-125.
- [2] 陈晓伟,戴汉政,陈增江,等. 起重机械焊接工艺评定相关标准对比分析与应用[J]. 起重运输机械,2015(12):6-11.
CHEN X W, DAI H Z, CHEN Z J, et al. Comparative analysis and application of relevant standards for welding process evaluation of lifting machinery [J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2015(12):6-11.
- [3] 刘杨. 焊接工艺评定试验国内外标准对比解析[J]. 理化检验(物理分册),2018,54(6):421-426.
LIU Y. Comparative analysis of standards for welding procedure qualification test at home and abroad [J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part A: Physical Testing), 2018, 54(6):421-426.
- [4] 蒲炯,苑兴楠,魏艳红,等. 通用型承压设备焊接工艺评定系统设计[J]. 电焊机,2021,51(4):31-35.
PU J, YUAN X N, WEI Y H, et al. Design of welding procedure qualification system for general pressure equipment [J]. Electric welding machine, 2021, 51 (4): 31-35.
- [5] 马计平,肖静,傅彦青,等. GB50661 和 JTG/T F50 中关于焊接工艺评定标准的对比分析[J]. 焊接技术, 2017, 46(7):77-79.
MA J P, XIAO J, FU Y Q, et al. Comparative Analysis of Welding Procedure Qualification Standards in GB 50661 and JTG/T F50 [J]. Welding Technology, 2017, 46(7):77-79.
- [6] 王红,牛虎理,韩亚飞,等. 钢结构焊接工艺评定标准认可范围对比分析[J]. 石油工程建设,2023,49(3): 66-69.
WANG H, NIU H L, HAN Y F, et al. Comparison and analysis of the approval scope of welding procedure qualification standards for steel structures [J]. Petroleum Engineering Construction, 2023, 49(3): 66-69.
- [7] 王宇欣,马迎兵,高宇,等. 核能行业焊评标准 NB/T 20002.3 与 NB/T 20450.3 的比较分析和技术路线统一研究[J]. 电焊机,2020,50(11):109-114.
WANG Y X, MA Y B, GAO Y, et al. Comparative analysis and study on technical route unification of welding procedure qualification standard between NB/T 20002.3 and NB/T20450.3 in nuclear power industry [J]. Electric Welding Machine, 2020, 50(11): 109-114.
- [8] 王璐璐,刘伟,李娟. ASME IX 和 AWS D1.1 在焊接工艺评定上的主要差异[J]. 金属加工(热加工),2020(3):38-41.
WANG L L, LIU W, LI J. Main differences between ASME IX and AWS D1.1 in welding procedure qualification [J]. MW Metal Forming, 2020(3):38-41.
- [9] 甘正红,宋文杰,宋文盛,等. 焊管焊接工艺评定标准对比分析[J]. 焊管,2023,46(1):42-50+58.
GAN Z H, SONG W J, SONG W S, et al. Comparison and Analysis of Welding Procedure Qualification Standard for Welded Pipe [J]. Welded Pipe and Tube, 2023, 46(1):42-50+58.
- [10] 唐丽,李东,康文捷,等. 国内外换热管与管板焊接工艺评定标准浅析[J]. 电焊机,2022,52(8):113-118.
TANG L, LI D, KANG W J, et al. Analysis on Standards for Welding Procedure Qualification of Heat Transfer Tube and Tube Sheet at Domestic and Overseas [J]. Electric Welding Machine, 2022, 52 (8): 113-118.