

海洋平台用 690MPa 高强钢焊条性能研究

张秀林 姚上卫 张天明 (中海石油(中国)有限公司海南分公司, 海南 海口 570000)

摘要: 陵水 17-2 开发油气田开发工程项目是世界首个万吨储卸油半潜式海洋平台, 国内首个 1500m 水深的半潜式生产平台, 位于南海深水海域工作设计为中国南海恶劣环境 150 年最低疲劳寿命, 其船体不断承受海浪冲击、海水腐蚀等环境影响, 长期的冲击以及腐蚀会使船体结构的抗力强度减弱, 影响船体结构的安全。因此很有必要针对平台关键部位、应力变化较大区域以及高应力区进行应力监测。参考中国船级社标准, 分析了九种海洋平台用 690MPa 高强钢焊条的熔敷金属拉伸、低温冲击性能和化学成分, 测试了焊条药皮含水量和熔敷金属扩散氢。根据研究结果, 对焊条的性能进行了评价, 并对海洋平台用 690MPa 高强钢焊条选用和开发提出建议。

关键词: 海洋半潜式平台; 690MPa; 焊条; 性能

海洋半潜式平台特别是桩腿结构用钢屈服强度超过 690 MPa, 强度高, 碳当量高, 厚度大。为保证焊接接头强韧性, 避免焊接冷裂纹等问题, 要求焊接材料具有优良的工艺性能及良好的抗裂性能^[1, 2]。焊条以进口为主, 也有部分国产, 但水准不一。工厂一般仅进行常规力学性能试验, 难以进行熔敷金属扩散氢等全面测试。本文参考中国船级社 (CCS) 要求, 测试了国内常见该类焊条相关性能, 并提出针对性建议。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验焊条为直接从市场上采购, 样本为符合 CCS 标准要求的九种焊条, 编号为 A~I, 焊条直径 4.0mm, 除 I 为国产外, 其余为进口。

1.2 试验方法

焊条使用前按要求进行烘焙, 熔敷金属试板按照要求在平焊位置进行, 焊接设备为 ZX7-400 逆变焊机, 每层 2 道, 共焊接 14 道 7 层。每种焊条在板厚中间制取两件 $\phi 10\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的拉伸试样和六件 $10\text{mm} \times 10\text{mm} \times 55\text{mm}$ 标准 V 型缺口冲击试样, 在室温下按照国标要求进行纵向拉伸试验, 在 -40℃ 和 -60℃ 按国标要求进行夏比 V 型缺口冲击试验, 测试熔敷金属的强度及冲击韧性。熔敷金属化学成分、焊条药皮含水量的取样和测试均按国标进行。熔敷金属中扩散氢按 GB/T3965-2012 中的集氢法进行, 为保证测试结果的可比性, 扩散氢的测试环境均为 20℃ × 60% 相对湿度, 在 Y7545 型温湿度可调环境试验箱内进行测试。对试验结果参照 CCS 规范进行评价。焊接工艺参数如下:

表 1 熔敷金属焊接工艺参数

焊接电流 /A	焊接电压 /V	道间温度 /℃	焊速 / (cm/min)	电流极性
170±10	28±2	120±10	15±2	直流反接

2 试验结果

2.1 熔敷金属力学性能

九种焊条的熔敷金属拉伸、冲击性能如下: 强度和塑性方面, 除 H 外, 其他焊条屈服强度、抗拉强度和延伸率均满足 CCS 要求。熔敷金属延伸率均大于 17% 的要求, 断面收缩率最低值为 59%, 塑性较好。低温冲击韧性方面, 有六种焊条满足焊接材料 4Y69 级 -40℃ 冲击功不小于 69J 的要求, 但 E、F 两种焊条 -40℃ 冲击功余量不大, 使得 -60℃ 下不能达到 5Y 级焊接材料要求。满足全部要求的只

有 A、B、C。A 的拉伸、冲击性能优异, -60℃ 冲击功均值达到 105J, 综合性能良好。总之, 焊条的强度大部分满足要求, 但低温韧性特别是 -60℃ 冲击功仍有待提高。

表 2 熔敷金属力学性能

编号	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	抗拉强度 R_m /MPa	延伸率 A /%	断面收缩率 Z /%	冲击吸收功 kV_2 /J	
					-40℃	-60℃
A	793,800	878,883	19.5,20.5	67,68	128,134,123(128)	108,110,98(105)
B	766,777	833,845	17.5,19.5	61,69	90,105,112(102)	90,87,60(79)
C	739,730	799,785	21.5,23.0	69,69	112,120,95(100)	91,66,68(75)
D	810,804	870,878	19.0,19.0	65,64	54,77,74(68)	53,47,55(52)
E	768,754	849,839	18.0,18.5	69,64	82,65,75(74)	48,53,62(54)
F	785,795	823,837	17.5,18.0	59,61	82,93,80(85)	69,60,72(67)
G	738,707	796,786	21.0,20.5	66,67	65,86,63(71)	40,50,47(46)
H	678,696	768,766	21.5,22.0	67,69	56,73,65(65)	57,51,58(55)
I	783,794	844,873	21.0,19.0	68,66	43,67,49(53)	33,43,38(38)
CCS	≥ 690	770~940	≥ 17	未规定	4Y69 ≥ 69**	5Y69 ≥ 69**

* () 内冲击功为三个试样平均值;

** 冲击试验的单个值应不低于规定平均值的 70%, 即不低于 48J。

2.2 熔敷金属化学成分

表 3 熔敷金属化学成分 (质量分数, %)

编号	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	S	P
A	0.039	0.55	1.87	0.029	2.59	0.73	0.0028	0.0086
B	0.038	0.57	1.61	0.024	2.72	0.73	0.0044	0.0084
C	0.050	0.42	1.65	0.016	2.19	0.47	0.0078	0.0099
D	0.044	0.43	1.77	0.330	2.50	0.39	0.0077	0.012
E	0.051	0.24	1.82	0.431	2.64	0.39	0.0062	0.0082
F	0.040	0.19	1.45	0.012	3.22	0.60	0.0073	0.014
G	0.043	0.43	1.85	0.187	1.86	0.28	0.014	0.014
H	0.038	0.49	1.54	0.418	1.80	0.29	0.010	0.012
I	0.055	0.37	1.81	0.388	1.75	0.51	0.0093	0.013

熔敷金属主要采用 C、Si、Mn、Cr、Ni、Mo 多元合金强化, D、E、G、H、I 采用 Si-Mn-Cr-Ni-Mo 合金系, A、B、C、F 则主要为 Si-Mn-Ni-Mo 合金系。低温韧性较高焊条均含有较高的 Ni, 提高 Cr 含量易导致韧性下降, 且 Cr 焊接时释放致癌物质, 降低乃至取消 Cr 可改善作业环境。硅含量介于 0.40% 左右。试验焊条熔敷金属的 C 含量较低, 有利于提高低温韧性和降低碳当量, 改善抗裂性。降低焊缝金属 S、P 有利于提高材料低温韧性。焊缝中 Ni 加入量在 2~3% 是适宜的, Mo 对焊缝有提高强度和细化组织提高韧性的作用。

(下转第 176 页)

相应建筑构件的燃烧性能和耐火极限应满足《规范》表 5.1.2 条的规定。所有室内装修材料的选用应满足《建筑内部装修设计防火规范》(GB50222-95, 2001 年修订版)的要求。

4.3 气消防措施

本项目消防供电的负荷等级为二级, 采用的主要消防措施有: 各装置区根据需要设应急照明及安全照明; 所有电线电缆均采用铜导体, 高低压动力及控制电缆选择交联聚乙烯绝缘电缆, 照明配线选择交联聚乙烯电力电缆和聚氯乙烯绝缘电线。在爆炸危险区域电缆选用阻燃型交联聚乙烯绝缘电力电缆; 采用空气开关做线路保护, 当线路短路、过载时自动切断电源, 以避免事故发生; 易燃易爆场所, 照明线路为导线穿钢管明敷设, 灯具及电气设备选用相应等级防爆型或增安型。其余非易燃易爆场所灯具选用节能型灯具; 按照 GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》, 对应生产装置是第二类防雷建筑物, 其他构筑物是第三类。针对第二类, 每一根引下线对应的冲击接地电阻不超过 10Ω; 针对爆炸与火灾危险环境之中可能出现的静电危害物体, 需要使用静电接地策略; 针对无爆炸以及火灾危险环境之中的物体, 例如因为带有静电会对生产操作造成

阻碍, 或者对产品质量产生影响, 或者导致人体遭受静电电击, 需要进行静电接地处理; 在生产与储运环节的物料或者器件, 彼此密切接触之后快速分离, 可能产生电荷、积聚电荷, 或者在出现静电危害时要加强静电接地处理; 设备与管道的对应静电接地系统能够和电气设备的对应防雷接地、保护接地等共同使用接地装置, 接地电阻不超过 4Ω; 针对全厂变电工作的接地以及各个建筑物、生产装置的保护接地、防静电接地、防雷接地等系统连接, 构建全厂接地网^[3]。

5 结语

总而言之, 本文在基础数据计算的基础上, 针对 20 万 t/a 化工钻井废弃油基泥浆回收利用项目消防策略进行探讨, 希望能够对今后的工程实施奠定良好的基础条件。

参考文献:

- [1] 刘席方. 化工行业安全管理中消防监督存在的问题及对策 [J]. 化工设计通讯, 2020(12):128-129.
- [2] 吕敬才. 新时期化工企业消防安全管理现状及应对措施 [J]. 今日消防, 2020(11):62-63.
- [3] 张绍朋. 化工工程消防设计中的安全问题探究 [J]. 消防界(电子版), 2020(12):35.

(上接第 174 页)

2.3 焊条药皮含水量和熔敷金属扩散氢

焊条按要求烘焙以后, 焊条药皮含水量最大值仅为 0.115%, 满足国标要求。熔敷金属扩散氢除焊条 H 超要求外, 其余均满足要求。药皮含水量和熔敷金属扩散氢不存在严格对应关系, 熔敷金属扩散氢更能真实反映焊条实际扩散氢水平。

表 4 焊条药皮含水量和熔敷金属扩散氢

编号	A	B	C	D	E	F	G	H	I
药皮含水量 /%	0.072	0.089	0.058	0.067	0.115	0.084	0.095	0.101	0.071
熔敷金属扩散氢 /mL/100g	3.16	2.70	3.75	3.56	2.27	4.51	3.66	5.95	2.28

3 结论

本文研究总结如下:

(上接第 173 页) ⑦下放至 30m 后, 切换定位系统至 LBL, 确定位置; ⑧调整位置后下放至海底; ⑨拆除 A/R 缆。

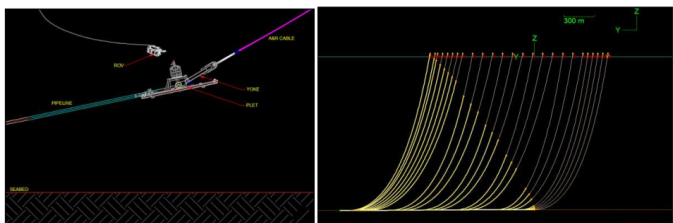


图 4 PLET J-mode 方式下放步骤示意图

3 结论

随着我国海洋油气田开发走向南海深水步伐的逐步加大, 深水管道终端 (PLET) 和海底管道配合使用将会越发广泛, 随之研究深水铺管船非在线自带的 PHS 舷侧安装系

①八种焊条强度和塑性满足标准要求, 六种焊条冲击功达到 4Y69 级焊接材料要求, 三种满足 5Y69 级要求; ②熔敷金属化学成分呈现出多种合金系思想; ③八种焊条熔敷金属扩散氢满足 H5 要求, 熔敷金属扩散氢更能真实反映实际。因此, 市场上采购的 690MPa 海洋平台用钢焊条可能存在性能参数不满足标准要求的问题, 在采购、使用时, 应注意选择厂家, 加强全面检验。在开发时, 重点关注低温韧性。

参考文献:

- [1] 唐连元. 海洋工程中焊接材料应用分析 [J]. 金属加工 / 热加工 (焊接与切割), 2012(8):9-10.
- [2] 李风波. 海洋工程焊接技术浅析 [J]. 金属加工 / 热加工 (焊接与切割), 2013(2):27-28.

统 J-mode 方式进行 PLET 安装的将至关重要。本文通过介绍 PHS 系统 J-mode 方式下对深水管进行回收、PLET 安装、J-mode 方式整体下放的施工方法, 及相关注意事项, 为深水油气田开发过程中大尺寸深水管道终端非在线安装作业提供了重要的参考价值, 满足我国南海深水油气田开发的需要具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 高原, 桂津, 杜永军, 梁超, 宋艳磊, 牛强. 300 米水深 PLET 安装技术研究 [J]. 中国造船, 2012, 53(Z12):65-73.

作者简介:

甘惠良 (1986-), 男, 本科, 工程师, 现从事海上油气田海底管道施工设计与管理工作。