

B610E 不同焊接接头在石油沉积水中的耐蚀性研究

贾思洋^{1,2}, 李超^{1,2}, 韩东锐^{1,2}

- (1. 青岛钢研纳克检测防护技术有限公司, 山东 青岛 266071;
2. 钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所, 山东 青岛 266071)

摘要: 通过室内浸泡、应力腐蚀试验对 B610E 高强储罐钢所用不同焊接方式在石油沉积水中的耐蚀性进行研究。结果表明, B610E 气体保护焊材料的耐蚀性最好, 将 Q235+B610E 埋弧平焊对接后, 由于存在电偶对, 耐蚀效果最差。在石油沉积水中, B610E 埋横焊具有中等 SCC 抗力, B610E 气体保护焊、B610E 气电立焊以及 B610E+Q235 埋弧平焊对接具有高的 SCC 抗力。

关键词: 沉积水; 腐蚀; 焊接接头; B610E 储罐钢

中图分类号: TG172.5; TG172.9 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2012)06-0025-04

Study on Corrosion-resistant Performance of Different Welded Joints of B610E in the Deposited Water of Petroleum

JIA Si-yang^{1,2}, LI Chao^{1,2}, HAN Dong-rui^{1,2}

- (1. Qingdao NCS Testing & Corrosion Protection Technology Co., Ltd., Qingdao 266071, China;
2. Qingdao Marine Corrosion Institute of Central Research Institute of Iron and Steel, Qingdao 266071, China)

Abstract: The corrosion-resistant performance of different welded joints of B610E high-strength tank steel in the deposited water of petroleum was investigated by indoor soaking test, and stress corrosion test. Results showed that B610E gas shielded welding materials has the best corrosion-resistance; submerged arc welding of Q235+B610E pairing is the worst due to galvanic corrosion effect; in the deposited water of petroleum, B610E submerged horizontal welding with medium resistance to SCC; B610E gas shielded welding, B610E electro-gas welding and B610E+Q235 submerged flat welding has high SCC resistance.

Key words: deposited water; corrosion; welding joint; B610E tank steel

随着我国能源战略发展, 建造大型原油储罐显得非常必要。目前在油罐建设过程中所用的高强度钢板很大程度上还依赖进口, 主要是从日本引进 SPV490Q 高强度钢板用于 100 000~150 000 m³ 大型

原油储罐。由于进口钢板价格不断上升且供货期越来越长, 大大增加了油罐建设的成本, 加快储罐用国产化的步伐势在必行。宝钢集团公司成功试制了能适应大热输入焊接的 B610E 高强度调质钢板, 已

收稿日期: 2012-08-16

作者简介: 贾思洋(1981—), 男, 山东济南人, 硕士, 工程师, 主要从事腐蚀与防护研究。

经通过全国锅炉压力容器标准化技术委员会技术评审和现场焊接工艺试验评定。

焊接是储罐维修、制作过程中常用的连接工艺,但焊缝往往是储罐中比较薄弱的地方,不同的焊接方式对材料的耐蚀性影响较大。目前关于高强钢合金成分及其接头的研究主要集中在淡水条件下^[1-7],石油沉积水中不同焊接接头对金属耐蚀性的影响研究较少。文中利用石油沉积水,对B610E不同焊接方式的材料在石油沉积水中的耐蚀性能进行全面评价,为基础设计提供可靠的参考依据。

1 试验

1.1 试验目的

通过模拟腐蚀试验(室内浸泡、慢拉伸试验)对B610E高强钢所用不同焊接方式在石油沉积水中的

腐蚀行为进行研究,对B610E不同焊接接头的耐石油沉积水腐蚀性能有一个较为完整的评价。

1.2 试验材料

研究中所用试样均由宝钢提供,试样尺寸见表1。材料为B610E埋弧横焊焊接接头(简称“B埋横焊”)、B610E气电立焊焊接接头(简称“B气电立”)、B610E气体保护焊对接接头(简称“B气保焊”)、Q235+B610E埋弧焊平焊对接接头(简称“B+Q埋平焊”)。

试验所用B610E化学成分(质量分数,全文同),C为0.09%,Mn为1.46%,Si为0.19%,Mo为0.1%,V为0.045%,Ni为0.2%,S为0.002%,P为0.008%;力学性能, $R_m=660$ MPa, $R_{el}=600$ MPa, $A=23\%$ 。Q235化学成分,C为0.30%,P为0.019%,S为0.029%,Si为0.01%,Mn为0.42%,余量为Fe;力学性能, $R_m=900$ MPa, $R_{el}=540$ MPa, $A=22\%$ 。

表1 试验所用试样尺寸

Table 1 Test sample size

试验方法	试验形状	尺寸	备注
室内浸泡	板状试样	50 mm × 30 mm × (2~4) mm	主试验面磨光,粗糙度为3.2 μm。丙酮去除油污,干燥,测量试样尺寸,精确至0.01 mm;称量试样质量,精确至1 mg。
慢拉伸	板状	如图1所示	

1.3 试验介质

试验所用石油沉积水取自青岛石化储罐罐底,沉积水的水质参数见表2。

1.4 试验方法

室内浸泡试验方法参照GB/T 7901—1999《金属材料实验室均匀腐蚀全浸试验方法》。在室温、静止

表2 沉积水水质参数

Table 2 Quality parameters of deposition water

pH值	电导率/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	氯离子/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	硫酸根/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	硬度/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	溶解氧/($\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)	盐度/%
7.04	19.22	7.875	0.0012	130	5.05	1.139

条件下,试样悬挂于烧杯中,加水将试样浸没。试验时间6个月,每30 d为一个周期,每7 d更换一次溶液。拍照观察试样的腐蚀产物,清除腐蚀产物,称取质量,计算腐蚀速率。进行室内浸泡的试样,同时用于自腐蚀电位测量,以饱和甘汞电极作为参比电极。

慢应变速率拉伸试验选择板状试样,参照GB/T 15970.7—2000和GB/T 228—2002进行设计(如图1所示)。焊缝居于试样中间位置,选择空气作为空白

对照试验介质。试验开始前对试样加500 N预载荷,初始应变速率为 10^{-6} s^{-1} ,由计算机控制试验进程,并记录试验数据。试验结束后,先用蒸馏水冲洗试样,再用脱脂棉蘸丙酮擦洗,并吹干。观测腐蚀形貌,并拍照。测量试样断裂后长度 L 、拉伸断口的最大宽度 a_n 和最小厚度 b_n 。

试样腐蚀产物的清除参考GB/T 16545—1996《金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除》。

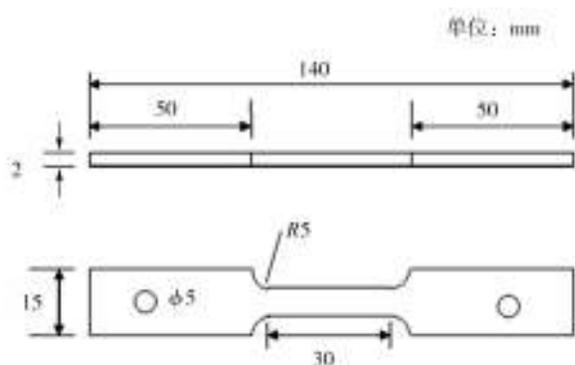


图1 应力腐蚀试样

Fig. 1 Stress corrosion test specimens

2 结果与讨论

2.1 室内浸泡试验

图2为4种焊接材料在室内沉积水中浸泡6个月内的腐蚀速率变化情况,由图得知,不同的焊接方式,腐蚀速率相差不大。浸泡1个月时,4种焊接材料的平均腐蚀速率由高到低顺序为B+Q埋平焊>B气电立>B埋横焊>B气保焊。此时B+Q对接的焊接方式腐蚀最快,这是由于两种材料的耦合效应加速了腐蚀。随着浸泡时间延长,各种焊接材料的腐蚀速率均呈逐渐降低趋势,说明试样表面腐蚀产物不断增厚以及油污在试样表面聚集,阻碍了金属的腐蚀。到第6个月时,几种焊接材料的腐蚀速率已经非常接近。

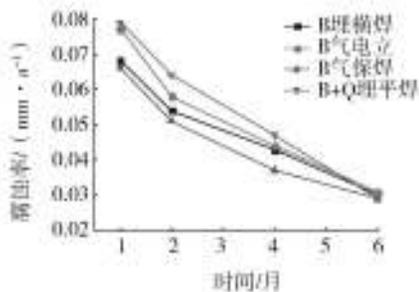


图2 不同焊接材料在沉积水中室内浸泡时的腐蚀速率

Fig. 2 Corrosion rate of different welding materials soaked in the deposited water

此外,在浸泡过程中对4种焊接材料的腐蚀电位进行了测试。电位震荡严重,无明显规律可循,这

可能是沉积水中油污成分对氧的扩散影响所致。

2.2 应力腐蚀试验

2.2.1 应力腐蚀敏感性

计算不同焊接材料在石油沉积水介质中的延伸率 δ 和断面收缩率 ψ (见表3),并通过应力腐蚀敏感性指数 $F(\delta)$ 和 $F(\psi)$ 比较不同焊接材料在试验介质中的应力腐蚀敏感性。

表3 4种焊接材料的塑性指标和应力腐蚀敏感性指数

Table 3 Plasticity index and stress corrosion sensitivity index of 4 kinds of welding materials

焊接材料	延伸率 δ /%	断面收缩率 ψ /%	$F(\delta)$ /%	$F(\psi)$ /%
B埋横焊	7.7396	49.183	2.5	22.98
B气电立	12.2297	55.3473	6.55	18.9
B气保焊	13.719	56.6522	5.43	3.37
B+Q埋平焊	15.841	55.9356	1.05	7.62

如图3所示,在石油沉积水介质中,B埋横焊、B气电立焊以及B+Q埋平焊的应力腐蚀敏感性指数 $F(\delta)$ 小于 $F(\psi)$,只有B气保焊材料的 $F(\delta)$ 大于 $F(\psi)$ 。说明在石油沉积水介质中,B气保焊材料的延伸率损失大于断面收缩率损失。

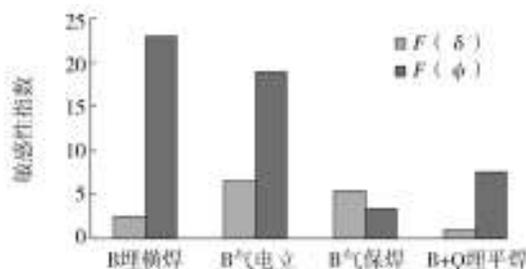


图3 焊接材料在石油沉积水介质中应力腐蚀敏感性指数

Fig. 3 Stress corrosion sensitivity index of welding materials in the petroleum deposited water medium

从表3应力腐蚀敏感性指数 $F(\psi)$ 看,B埋横焊应力腐蚀敏感性最大,其应力腐蚀敏感性指数 $F(\psi)$ 为22.98,其余3种焊接材料的 $F(\psi)$ 均小于20。综合 $F(\delta)$ 和 $F(\psi)$ 两项指标,B埋横焊在石油沉积水介质中应力腐蚀敏感性最大,具有中等SCC抗力,其余焊接材料在石油沉积水介质中的耐应力腐蚀性能优于B埋横焊,具有较高的SCC抗力。

2.2.2 腐蚀形貌

图4为B610E不同焊接材料在石油沉积水介质中断裂后的宏观形貌。从断裂后的宏观形貌上看,几种焊接材料的试样在石油沉积水中均有腐蚀现象,但几种焊接材料的腐蚀程度宏观上无明显差别。

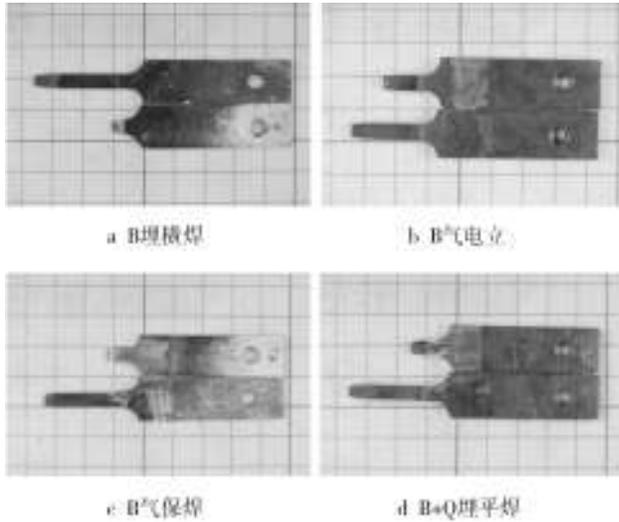


图4 不同焊接材料断裂后的宏观形貌

Fig. 4 The macro morphology of different welding materials fracture

图5为4种焊接材料在石油沉积水中拉伸断裂的SEM形貌,有关SEM形貌对比见表4。对石油沉积水介质中4种焊接材料拉伸断口的SEM形貌特征进行对比可以看出,在石油沉积水介质中,4种材料断口SEM形貌特征基本相同,都没有明显的颈缩现象;B埋横焊和B+Q埋平焊的断面不存在二次裂纹;B埋横焊的断口主要为韧性断裂,但存在疑似孕育期裂纹状形貌,B+Q埋平焊断口完全为韧性断裂;B气电立和B气保焊材料断口都存在二次裂纹,断口

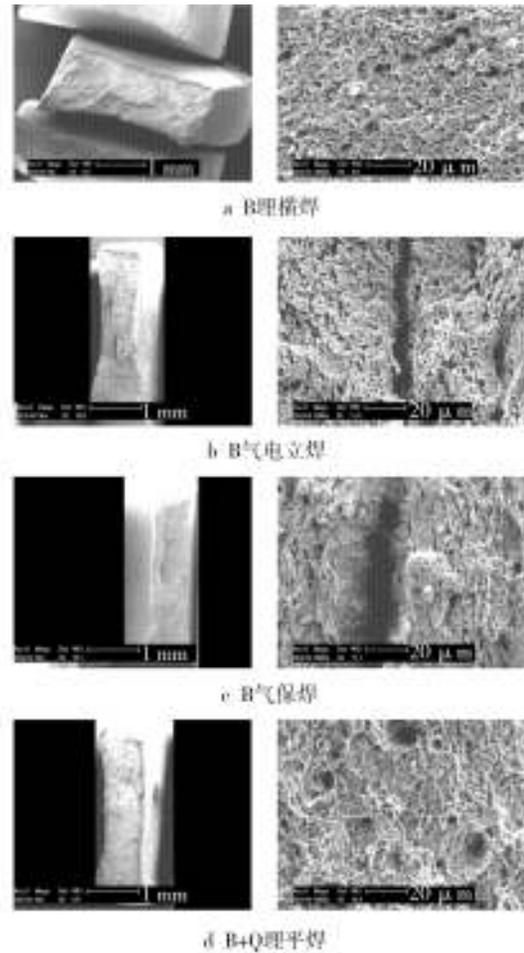


图5 不同焊接材料拉伸断口的SEM形貌

Fig. 5 SEM micrographs of different welding tensile fracture

均为脆性断裂和韧性断裂共存的混合型断口;除了B埋横焊和B+Q埋平焊外,其他材料断口侧面都存在裂纹。从断口SEM形貌方面看,在石油沉积水介质中,B埋横焊应力腐蚀敏感性略小,B+Q埋平焊不具有应力腐蚀敏感性,B气电立、B气保焊材料的应

表4 不同焊接材料拉伸断口的SEM形貌特征

Table 4 SEM morphology of different welding materials tensile fracture

介质	颈缩现象	二次裂纹	断面形貌	侧面裂纹
B埋横焊	不明显	无	混合型断口,韧窝状形貌为主,有近似直线排列且较为紧密的孔洞形貌,推测孔洞形貌为处于孕育期的裂纹	无
B气电立焊	不明显	有,数量多,裂纹较宽较深	混合型断口,裂纹附近为解理特征的脆性断裂形貌,远处为韧窝状形貌	有
B气保焊	不明显	有,数量少,裂纹宽且深	混合型断口,裂纹附近为解理特征的脆性断裂形貌,远处为韧窝状形貌	有
B+Q埋平焊	不明显	无	韧性断口,韧窝状形貌	无

(下转第87页)

密封材料、调整密封结构尺寸和内部放置适量干燥剂得到解决。

参考文献:

- [1] 孙海龙, 王晓慧. 舰载电子设备三防密封设计技术综述[J]. 装备环境工程, 2008, 5(5): 49—52.
- [2] 穆山, 李军念, 王玲, 等. 海洋大气环境金属防护涂层技术与工艺研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(1): 81—84.
- [3] 张先勇, 舒德学, 陈建琼. 海南万宁试验站大气环境及腐蚀特征研究[J]. 装备环境工程, 2005, 2(4): 77—79.
- [4] 郭洪涛, 郭瑞光, 郭小梅, 等. 氟对不锈钢钝化效果的影响[J]. 表面技术, 2012, 41(3): 77—79, 83.
- [5] 黄桂桥. 不锈钢在海洋环境中的腐蚀[J]. 腐蚀与防护,

1999, 20(9): 392—394, 407.

- [6] 苏艳, 李凌杰, 舒畅, 等. 高强铝合金海洋大气环境剥层腐蚀研究[J]. 装备环境工程, 2010, 7(6): 180—182, 198.
- [7] 韩德盛, 李获. 海洋大气湿度对LY12铝合金初期腐蚀的影响[J]. 中国腐蚀与防护学报, 2007, 27(3): 134—136.
- [8] 郭宁彪. 温度、湿度应力在电气、电子产品失效中的作用[J]. 印制电路信息, 2005(4): 14—19, 41.
- [9] 杨万均, 魏小琴, 肖敏. 基于传感技术的密封包装容器透湿度测试方法研究[J]. 包装工程, 2011, 32(11): 45—47.
- [10] 陈晓丽, 周顺期. 密封包装容器内湿度变化规律研究[J]. 包装工程, 2004, 25(6): 21—23.
- [11] 张卫国, 王玉坤, 王斌, 等. 舰载光电设备的防护技术及设计[J]. 红外技术, 2008, 30(4): 214—216.

(上接第28页)

力腐蚀敏感性较大。

综合应力腐蚀敏感性指数和拉伸断口的SEM形貌等因素考虑, 4种焊接材料在石油沉积水介质中的应力腐蚀敏感性指数 $F(\delta)$ 和 $F(\psi)$ 都小于50, 均不具有应力腐蚀高敏感性^[8-9]。B埋横焊的应力腐蚀敏感性最大, 具有中等SCC抗力, 在应用中应对其应力腐蚀问题进行适当关注; 其余3种焊接材料的应力腐蚀敏感性较小, 具有高的SCC抗力, 在应用中通常可不考虑应力腐蚀问题。

3 结论

通过室内浸泡及应力腐蚀试验对4种焊接材料的耐蚀性进行对比, 得出以下结论:

1) 在石油沉积水中, 浸泡初期各焊接材料的腐蚀速率较大, 随着浸泡时间的延长4种焊接材料的腐蚀速率均减小, 在浸泡6个月时几种材料的腐蚀速率非常接近;

2) 在石油沉积水中, 采用气体保护焊的耐蚀性最好, 采用气电立焊的耐蚀性略差, 将Q235+B610E埋弧平焊对接后由于存在电偶对, 耐蚀效果最差, 工程施工中应尽量避免异种金属焊接;

3) 在石油沉积水中, B埋横焊、B气保焊、B气电立焊以及B+Q埋平焊材料均不具有应力腐蚀高敏感

性, 其中B埋横焊具有中等SCC抗力, 而B气保焊、B气电立焊以及B+Q埋平焊具有高的SCC抗力。

参考文献:

- [1] 章小浒, 王正东, 涂善东. 原油储罐用钢的开发与应用最新进展[J]. 压力容器, 2006(3): 38—43.
- [2] 于斐. 压力容器的应力腐蚀及控制[J]. 管道技术与设备, 2005(2): 34—36.
- [3] 李云飞, 李雪飞, 陈慧. 探讨国产12MnNiVR钢板代替进口SPV490Q钢板的可行性[J]. 石油化工建设, 2006, 28(4): 23—24.
- [4] 张汉谦, 江来珠. 石油储罐工程用高强度钢研究和应用进展[C]//第十一次全国焊接会议论文集. 2005: 329—332.(余不详)
- [5] 米广生, 陈得志, 瞿帆. 国产高强钢板(B610E)在15m³油罐中的焊接[J]. 石油化工建设, 2007, 29(5): 25—32.
- [6] 洪敏, 张国栋, 张富巨, 等. 高强钢焊缝金属腐蚀行为研究[C]//湖北省第十届热处理年会. 2006: 70—73.(余不详)
- [7] 吴云龙, 宋虎堂, 陈小玲, 等. SPV490Q低合金高强度钢板在125 dam³原油储罐上的应用[J]. 炼油技术与工程, 2004, 34(3): 50—53.
- [8] 里维 R 温斯顿. 尤利格腐蚀手册[M]. 杨武, 译. 北京: 化学工业出版社, 2005: 835.
- [9] 王国凡. 含钛18-8钢管循环水应力腐蚀裂纹分析[J]. 表面技术, 2002, 31(6): 55—57.