



Q690D低合金高强钢复杂箱体 焊接工艺研究

王际博 郭玲玲 张艳亲 高大伟 刘大恩 王水莲

【摘要】通过开展焊接工艺评定试验,对比Q690D焊条电弧焊和CO₂气体保护焊焊接工艺的试验数据,从而优化改进焊接参数,确定Q690D复杂箱体的焊接工艺,在低合金高强钢的焊接方面积累了加工经验。

关键词: Q690D低合金高强钢; 复杂箱体; 气体保护焊; 焊接工艺评定试验

1. 概述

我公司新近生产试制加工的防爆控制柜产品属于我国某大型舰艇电控设备系统的重要组成部分,通过内部安装多组安装板,将相关电控元器件集合归置于柜体内,应用于易燃易爆的危险场所。该防爆控制柜具有高强的密封能力把空气中的危害气体和易燃气体完全和控制元件隔离开,从而降低了爆炸的可能性;另外,在周围环境发生爆炸时不会对柜内元器件有任何伤害,同时柜内故障也不会对外围产生燃烧和爆炸。由于产品运用的特殊性,所以考虑采用Q690D进行焊接加工,为验证我公司的焊接工艺是否满足国家相关焊接评定标准要求,公司开展了Q690D焊接工艺评定。

2. Q690D焊接性分析

防爆控制柜产品主要使用的材料是Q690D,通过计算可知Q690D碳当量最大值为0.8%,当碳当量>0.6%时材料的焊接工艺

性就变差,焊后容易产生马氏体使焊缝脆性增加,导致焊后产生冷裂纹。结合实际产品中多数焊缝为厚板焊接,因此在焊前对工件进行预热,能有效防止冷裂纹的产生。

为了确保原材料的可靠,我公司按照质量管理体系做好了材料的入厂验收工作(见表1),Q690D采购钢板相关化学成分和力学性能如表2、表3所示。

3. 焊接材料及方法的选择

焊接是保证防爆控制柜产品强度和密封性的关键因素,由于使用环境极为特殊,因此对焊接质量要求极为苛刻。为此经综合分析,结合我公司设备现状,选用80%Ar+20%CO₂气体保护焊焊接和焊条电弧焊,并对比验证这两种焊接方法的工艺效果。

焊接工艺评定试板选用河北钢铁集团舞阳钢铁有限责任公司生产的Q690D调态态高强钢,板材厚度8mm。根据焊材等强匹配原则,80%Ar+20%CO₂气体保

护焊焊接选用宜昌猴王焊丝有限公司生产的GHS-80焊丝(见图1),焊丝直径1.2mm;焊条电弧焊选用J857Cr焊条。



4. 焊接参数的确定

(1) 焊前处理 采用激光火焰切割下料两块150mm×350mm的Q690D母材,然后采用刨床按坡口要求刨出V形坡口(见图2),角度60°,钝边2mm,并去除油污,用砂轮机打磨清理坡口两侧10~25cm区域,然后点焊。焊前将母材和焊材在180~220℃温度下预热1.5~2h。

(2) 焊接参数 根据我公司

表1 Q690D钢板入厂检测、取样和试验方法

序号	检验项目	取样数量/个	取样方法	试验方法
1	化学成分 (熔炼分析)	1/炉	GB/T20066	TB/T233、GBT4336、GB/T20125
2	拉伸试验	1/批	GB/T2975	GB/T228
3	弯曲试验	1/批	GB/T2975	GB/T232
4	冲击试验	3/批	GB/T2975	GB/T229
5	无损检验	逐张	按无损检验标准	协商

表2 Q690D化学成分(质量分数) (%)

化学成分	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Als
GB/T 1591	≤0.18	≤0.60	≤2.0	≤0.030	≤0.025	≤0.80	≤1.00	≤0.30	≥0.015
理化检测	0.14	0.28	1.44	0.019	0.006	0.010	0.16	0.16	0.028

表3 Q690D力学性能

材质	板厚	R_m /MPa	A(%)	180° 弯曲	(-20℃) KV2/J	数据来源
Q690D	≤40	770~940	≥14	宏观未发现裂纹	≥47	GB/T 1591
Q690D原材料	8	873/870	15/14.9	宏观未发现裂纹	27/26/24	理化检测

相关产品的焊接加工经验和焊接设备的特点,选取的焊接参数如表4所示。

(3) 无损检测及焊后热处理 试板焊接后按照相关国家标准进行UT+MT检测, I级合格; 试件焊接后为了防止冷裂纹, 在焊后立即进行300~350℃, 保温2~3h, 进行消氢处理。同时结合防爆控制柜产品作为一定的承压和抗应力腐蚀容器, 为了保证其焊接结构的尺寸稳定性, 焊后需要进行消除应力处理, 选择时效温度500~550℃, 保温2~3h, 随炉冷却到150℃左右出炉。

5. 焊接工艺评定试验

焊接试板经过后续处理后根据GB/T 2651、GB/T 2650、GB/T 2653进行焊接试样的制取。试样制取后送往公司理化计量中心采用万能材料试验机、冲击试验机等试验设备对试样进行力学检测试验(见表5)。

3、图4)。

合格标准: 接头母材为同钢号时, 每个试样的抗拉强度不应小于该母材标准中相应规格规定的下限值; 对接接头母材为两种钢号组合时, 每个试样的抗拉强度不应小于两种母材标准中相应规格规定下限值的较低者, 厚板分片取样时, 可取平均值; 试样如果断在焊缝或熔合线以外的母材上, 其抗拉强度值不应小于该母材标准中相应规格规定的最低值的95%, 可认为试验符合要求。

由试验数据可知, 焊条电弧焊焊接接头拉伸试验不合格, 气体保护焊焊接接头拉伸试验合格(见表6)。

(2) 弯曲试验 弯曲试验的试样制取和试验过程符合现行国家标准GB/T2653《焊接接头

(1) 拉伸试验 拉伸试验的试样制取和试验过程符合现行国家标准GB/T2651《焊接接头拉伸试验方法》的有关规定(见图

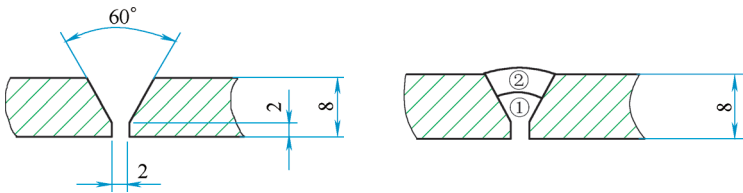


图2 焊接坡口和焊道分布

表4 Q690焊接参数

焊接方法	层间温度/℃	焊道	焊材	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm.min ⁻¹	气体流量/L.min ⁻¹
焊条电弧焊	150~160	打底焊	J857Cr	120~130	18~20	20~25	—
		盖面焊	焊条	145~165	22~25	15~25	—
气体保护焊	150~160	打底焊	GHS-80	165~175	19~22	25~35	18~20
		盖面焊	焊丝	245~255	18~20	24~32	19~20

表5 试验项目和取样数量

试件母材的厚度/mm	拉伸试验/个	弯曲试验/个			冲击试验/个	
	拉伸	面弯	背弯	侧弯	焊缝区	热影响区
$T < 1.5$	2	2	2	—	—	—
$1.5 \leq T < 10$	2	2	2	—	3	3
$10 \leq T < 20$	2	2	2	3	3	3
$T \geq 20$	2	—	—	4	3	3



图3 拉伸试验



(a) 气体保护焊断裂位置



(a) 焊条电弧焊断裂位置

图4 拉伸试验结果

表6 拉伸试验结果

试样编号	焊接方法	抗拉强度/MPa	断裂位置
L1	焊条电弧焊	682	焊缝
L2		699	焊缝
L3	气体保护焊	853	母材
L4		842	母材

弯曲试验方法》的有关规定，弯轴直径为 4δ （ δ 为弯曲试样厚度），弯曲角度为 180° ；面弯、背弯时试样厚度应为试件全厚度（ $\delta < 14\text{mm}$ ）。

合格标准：试样弯至 180° 后，各试样拉伸面上的焊缝和热影响区内任何方向裂纹及其他缺欠单个长度 $\leq 3\text{mm}$ 。

由试验数据可知，焊条电弧焊焊接接头弯曲试验背弯不合格，气体保护焊焊接接头弯曲试验合格（见图5、表7）。

（3）冲击试验 冲击试验试样制取和试验过程符合现行国家标准GB/T2650《焊接接头冲击试验方法》的有关规定。

合格标准：焊缝中心及热影响区粗晶区各三个试样的冲击吸收能量平均值应分别达到母材标

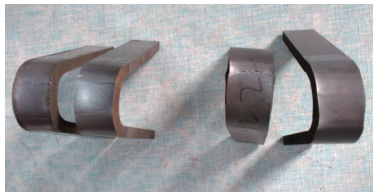


图5 气体保护焊弯曲试验后效果

表7 弯曲试验结果

试样编号	弯曲类型	试样尺寸/mm	焊接方法	弯曲角度(°)	裂纹数量	试样结果
W1	面弯	220×20×8	焊条电弧焊	180	宏观未见有裂纹	合格
W2					宏观未见有裂纹	合格
W3	背弯				宏观发现长度>3mm裂纹	合格
W4					宏观发现长度>3mm裂纹	合格
W5	面弯		气体保护焊		宏观未见有裂纹	合格
W6					宏观未见有裂纹	合格
W7	背弯				宏观未见有裂纹	合格
W8					宏观未见有裂纹	合格

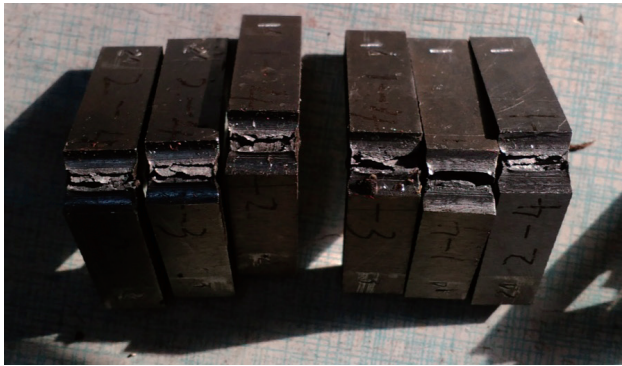


图6 试样夏比冲击试验后

表8 冲击试验结果

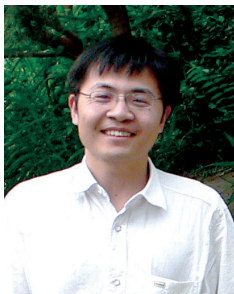
试样编号	试样尺寸/mm	焊接方法	缺口位置	缺口类型	试验温度/ $^\circ\text{C}$	冲击值/J
C1、C2、C3	$5 \times 10 \times 55$	焊条电弧焊	焊缝区	V	-20	10/14/12
C4、C5、C6			热影响区	V	-20	29/29/29
C7、C8、C9		气体保护焊	焊缝区	V	-20	32/36/29
C10、C11、C12			热影响区	V	-20	34/38/39

准规定或设计要求的最低值，并允许一个试样低于以上规定值，但不得低于规定值的70%。

经过试验结果分析可知，焊条电弧焊焊接接头冲击试验焊缝区不合格，气体保护焊焊接接头冲击试验焊缝区和热影响区均合格（见图6、表8）。

6. 结语

通过开展Q690D焊接工艺评定试验，进行焊条电弧焊和80%Ar+20%CO₂气体保护焊焊接的焊接接头试验对比，通过制定合理的焊接参数，包括采取控制



HD-Pulse超低飞溅焊接技术在工程机械领域的应用研究

李德明 吴月 孟国强 王彩凤

【摘要】通过重点介绍一种高速焊接技术在工程机械领域的应用研究，并进行多方面的工艺试验、数据收集分析及工艺评定，体现了HD-Pulse富氩超低飞溅焊接技术的优越性，在工程机械焊接领域具有较好的应用推广价值。

关键词：工程机械；焊接技术；HD-Pulse；超低飞溅

1. 概述

近年来，CO₂气体保护焊以熔深大，焊接效率高，综合使用成本低等特点被工程机械企业广泛采取，尤其是大型结构件多为中厚板，该种焊接方法受环境影响较小，对工件组对精度质量要求不太敏感，很少影响焊接质量。然而，随着人们对焊接要求的不断提高，CO₂气体保护焊由于其自身为大熔滴过渡的特点（见图1），大熔滴落入熔池会导致液态金属的频繁飞溅出，影响其焊缝成形质量。由此而产生的

熔敷率低（约80%），焊接飞溅大（13%~15%），造成焊丝等辅料的利用率较低、修磨工作量大等问题制约着其进一步发展，也一直困扰着构件焊接技术的提升。

基于此，焊接领域相关研究人员从没有间断对先进焊接技术、焊接设备和气体保护介质的研究和试验，也取得了突破性的进展，如二元/三元混合气保护焊的出现，从一定程度上解决了这一难题。目前使用最广的为富氩混合气体，效果明显优于CO₂

气体保护焊，是焊接低碳钢的一种比较理想的保护气体。

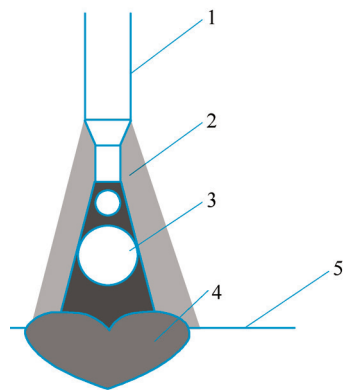


图1 CO₂焊接原理

1.焊丝 2.电弧 3.熔滴 4.熔池 5.工件

预热温度、层间温度、焊后热处理、热输入等措施，从而能够获得具有优良综合力学性能的焊接接头，制定了切实可行的Q690D复杂箱体的焊接工艺，达到了焊接工艺评定合格的要求，圆满完成了防爆控制柜产品的加工。通过对比两种焊接工艺，优化改进

焊接参数，不仅积累了低合金高强钢的焊接经验，而且为我公司以后高端的高强结构箱体、棚构机等产品的加工提供了技术支撑。

参考文献：

[1] 王庆伟，秦昱新.风电结构

件用Q345E钢的焊接工艺研究.金属加工(热加工)，2016(6)：5-4.

作者简介：王际博等，豫西工业集团河南江河机械有限责任公司。

MW 20161122