



海上风力发电塔项目塔架 焊接工艺研究

朱达新

【摘要】 根据风塔的塔体结构材料规格分布考虑选配焊接材料,采用模拟试验的方法进行力学试验,分析材料的焊接性,验证焊缝区的力学性能及焊接参数,对试验结果中涉及海洋风塔的力学指标、低温冲击韧性、接头性能、热影响区的韧性等进行分析,并对预热、效率等相关问题进行探讨,由此产生的数据供相关技术人员参考。

关键词: 焊接材料; 氩弧焊; 冲击试验; 抗拉强度

风力发电塔架(以下简称风塔)主要坐落三种形式的风场,即陆上、海滨、离岸三种位置。陆上风塔通常设置在山区或丘陵地带,那里相对于陆地有较大风力,一般坐落在3km以上的内陆;海滨风塔通常坐落于离岸线3km的内陆和不超过10km的水域里;离岸风塔离开陆地超过10km,比陆上和海滨的风场强度更大,所以要求风塔结构、强度也更大。

海上风塔指的是海滨水域和离岸风塔,但通常指的是离岸风塔,在技术要求和施工难度上是最高的,为了进一步提高风塔制造水平,提升市场竞争能力,我们进行了海上风塔专项焊接工艺研究。

1. 焊接性分析

(1) 工程概况 本工程是海上风塔的基础段,大部分处于海面以下,全长约46m。在中部和底部有支腿相连,只涉及主管

段工程,因此研究对象是主管的焊接工艺。从顶部至底部,整个塔体结构材料规格分布如表1所示。

(2) 材料特点 由表1看出,本工程外形尺寸大,板厚最大处为110mm,筒体材料采用海洋工程用钢S355 G8+M,要求符合EN 10225:2001《固定式海上设施焊接结构钢-技术交付条件》标准。S355 G8+M的力学性能要求与Q345E及船EH36类似,

材;侧弯试验检验全部合格;焊接接头焊缝区、热影响区硬度与母材区接近,满足工艺要求;焊接热输入较为合理,冲击值满足试验要求。

4. 结语

(1) 采用双丝埋弧焊进行厚度为26mm, Q345板材焊接时,优化后的建议工艺参数为前丝电流900A,后丝电流350A,

前丝电压34V,后丝电压40V,焊接速度60cm/min。

(2) 用正交表设计的试验方案,既可以减少试验次数,又能够比较全面地反映各因素的不同水平对试验指标的影响。对于因素复杂的试验问题,它是一种行之有效的方法,可以进一步在不同板厚、材质的焊接参数选择中使用。

参考文献:

- [1] 韩彬,等.双(多)丝埋弧焊方法及应用[J].焊管,2003,26(4):7-8.
- [2] 马永福,鲍光辉.中厚板双丝埋弧焊焊接工艺探讨[J].热加工工艺,2006,35(19):22-23

作者简介:曹文辉等,中石油第二建设公司。MW 20170822



表1 塔体结构材料规格分布

部位	节段长度/mm	规格尺寸/mm × mm	材料标准	备注
上	7 350	φ6 000 × 65	S355 G8+M	—
	12 000	φ6 000 × 70	S355 G8+M	—
中	3 000	φ6 000 × 80	S355G8+M*	—
	2 000	φ6 000 × 110	S355G8+M*	支腿位置
	2 000	φ6 000 × 90	S355G8+M*	—
	3 000	φ6 000 × 60	S355G8+M*	—
	2 888	φ6 000 × 40	S355G8+M*	—
下	8 731	φ6 000 / 4 500 × 40	S355 K2	热轧钢
	4 923	φ4 500 × 60	S355G8+M*	支腿位置

要求满足-40℃的冲击韧性，不同之处是钢材不分轧制的纵横方向性，并且要求的冲击吸收能量更高，而S355 G8+M*是本工程的特殊要求，必须满足-60℃冲击试验要求。

S355 G8+M中的M代表的是TMCP (Thermo Mechanical Control Process热机械控制工艺)，就是在热轧过程中，在控制加热温度、轧制温度和压下量的控制轧制 (ControlRolling) 的基础上，再实施空冷或控制冷却及加速冷却 (AcceleratedCooling) 技术的总称。TMCP工艺是在不添加过多合金元素，也不需要复杂的后续热处理的条件下生产出的高强度高韧性的钢材。

(3) 材料的焊接性 S355 G8+M是通过TMCP工艺来获得材料的高强度和高韧性，因此具有合金元素少，碳当量低，相比于其他方式生产的同等级钢材，具有更好的焊接性。但是，国内对TMPC钢的焊接性研究很少，对于焊接材料的匹配研究几近空白。

现有的匹配理论都是建立在按传统工艺生产的钢板，采用与之相对应的标准焊接材料焊接，可以得到“等强”的接头。但

焊缝是靠合金元素来保证力学性能的，低合金化的TMCP钢与标准的焊接材料焊接后，因母材的稀释作用，焊缝可能达不到“等强”，亦即焊缝强度可能低于钢材强度。因此，为规避研究风险，选择焊材合金化和强度等级较之S355 G8更高一级的材料，

焊接材料的选配如表2所示。

2. 焊接试验

本次试验的目的主要是验证焊缝区的力学性能，因此使用厚度为30mm的Q345E (控轧) 进行模拟试验。

(1) 试板准备 试板准备如附图所示。两块试板均采用单面坡口，正面焊完后，反面碳刨清根。

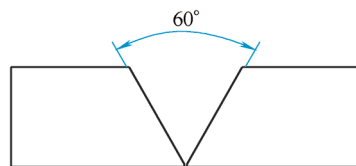
(2) 焊接参数 两块试板均为平焊位置，气体保护焊采用φ1.2mm焊丝，埋弧焊采用多层多道焊，焊接时要求层温控制在250℃以下。焊接参数如表3所示。

(3) 力学试验 试板经UT检测后确认无缺陷，进行取样和加工，按美国AWSD1.1规范要求

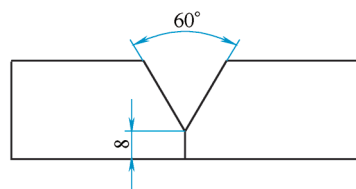
表2 焊接材料的选配

材料		屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	伸长率 (%)	夏比V型缺口冲击 吸收能量/J	
类型	牌号				-40℃	-60℃
埋弧焊	OE—SD3/P121TT 瑞士奥林康	490	580	26	155	110
C焊	K81TK2 韩国高丽	—	610	25	74	—
钢材	S355 G8+M	355	470~630	22	50	—
钢材	S355 G8+M*	355	470~630	22	—	40
钢材	Q345E	355	470~630	22	27	—

注：钢材是风塔标准的要求值，焊材是制造商提供的熔敷金属的例值。



气保护弧焊



埋弧焊

坡口形式

进行力学测试。

3. 试验结果分析

(1) 接头性能 由表4中试验数据可知,两块试板接头的力学试验满足S355G8+M*钢的焊接要求。其中埋弧焊的接头性能要优于气体保护焊的接头。

(2) 焊缝区的低温冲击韧性 低温冲击韧性是海洋风塔的最重要的力学指标,这个指标如不达标,风塔接头可能会在低温状态下发生脆断。因此,本次试验中,选用了海工产品常用的奥林康埋弧焊接材料OE—SD3 / OP121TT组合,该材料具有超低氢,极低S、P杂质含量,所以具有良好的低温韧性,试验结果证明了这一特点。不仅如此,该焊剂还具有极好的工艺性能,如脱渣性、耐气孔性、焊缝表面成形及色泽等,均比常见材料要好得多。

气体保护焊丝K81TK2的焊缝韧性稍有欠缺,只是满足了规范要求,富余量不足。但气体保护焊工艺不用于筒体的焊接,主要是用作内部加强材的连接以及筒体装配。

(3) 热影响的韧性 本次试验的Q345E虽然不是TMCP钢,但属于控轧(CR)钢,与TMCP刚性能相近,讨论Q345E钢的热影响区对以后的试验是有意义的。

为了考察接头各个区域的性能,焊接时要求焊工严格遵守我室预编的规范参数。从力学试验结果数据分析,在FL+5这个区的韧性值仍有较多下降。因此,为保证海上风塔的运行安全,在进行海上风塔焊接时,应采取比平时更严苛的工艺措施,控制焊接热输入。

4. 相关问题讨论

(1) 预热 海洋风塔板厚大,直径尺寸也比以往产品大很多,采用气体火焰预热效果不佳,这是将来生产中必须要解决的难题。内部T形箍焊接时必须预热,但在实际操作中非常不便,因此必须找到好的预热方式。

(2) 效率 单丝埋弧焊接效率低下,但一条焊缝要求一次性焊完,施工部门在安排生产时必须考虑到作业的连续性,如果分两次焊完,则须重新预热,能

源消耗会很大,故应尽量避免二次施焊。

(3) 内部T形箍的焊接 T形加强箍共有5道,焊脚尺寸大,焊接表面质量要求高,全部靠气体保护焊接是很难保证质量的,批量生产时必须寻求其他焊接方法。另一个问题是预热,T形箍接头焊接时必须预热,但在实际操作中非常不方便,因此必须找到好的预热方式。

5. 结语

埋弧焊材料OE—SD3 / OP121TT组合具有良好的工艺性与力学性,接头的性能满足海上风塔的焊接要求。采用K81TK2 CO₂气保护焊接的焊缝金属低温韧性值富余值不足,但仍满足标准要求。焊接热输入对接头的热影响区冲击韧性具有较大的影响,为防止事故发生,海上风塔焊接应采用严苛的热输入控制措施。就目前的技术研究海上风塔项目还有如预热、焊接效率等许多实际问题有待破解。

参考文献:

- [1] 毛小飞,等.风电塔架Q345E—Z35厚板不清根GMAW+SAW焊接工艺[J].焊管,2016,39(11):18-22.
- [2] 周意普,等.风电机组塔架焊接质量控制[J].风能,2015(8):74-76.
- [3] 曹建忠.风电机组塔架质量问题的处理及启示[J].风力发电,2016(2):45-48.

作者简介:朱达新,江苏省江阴中等专业学校。

MW 20170620

表3 焊接参数

焊接方法	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/cm·min ⁻¹
气体保护焊	200~230	27~30	15~33
埋弧焊	600~660	29~30	33~40

表4 对接焊缝的力学试验结果

试板	抗拉强度/MPa	弯曲试验	夏比V型缺口冲击试验			
			缺口位置	-60℃冲击吸收能量/J		
CO ₂ 焊试件 K81TK2 韩国高丽	541 562	无裂纹	焊缝	46	60	40
			FL+1	172	168	132
			FL+5	134	80	98
埋弧焊试件 OE—SD3/OP121TT 瑞士奥林康	565 565	无裂纹	焊缝	72	120	52
			FL+1	240	170	174
			FL+5	112	68	120