

海上风力发电导管架制作施工技术解析

朱萍萍

(上海振华重工(集团)股份有限公司长兴分公司 上海 201913)

摘要: 本文结合中交一航局华能江苏大丰海上风电项目风电工程导管架制作的实例,对导管架制作工艺及操作要点过程进行了分析和探讨。通过采用合理的制造装备,现场卷圆、回圆、组装、焊接和预拼装等工序都制定了一些合理的控制措施,有效地控制了导管架制作尺寸偏差、焊接变形,确保现场顺利拼装。

关键词: 海上风力发电; 导管架; 焊接; 检测

0 引言

华能江苏大丰海上风电项目风电场的规划总装机容量为400MW,本期工程装机容量300MW,预留二期100MW,风场中心离岸直线距离约为70km。本工程为I标段,包括20台5.0MW风机单桩基础、13台4.2MW风机单桩基础施工,其中3#和56#机位为试桩机位,采用四根钢管桩基础,钢管桩直径2200mm。3#和56#机位采用导管架连接桩基、导管架与桩基之间采用灌浆连接,与塔筒之间通过法兰连接的结构。导管架主尺寸为高14.5m,平面直径为24.5m,主筒体变直径为3500~5500mm、板厚80mm、长14000mm,桩套筒直径为2500mm、板厚65mm、长6500mm^[1]。每个导管架分为主筒体6节、撑杆32节、桩套筒12节,重量为445t。导管架制作前实测现场桩位数据,结合原设计图纸施工。

1 筒体制作

1.1 筒体卷制

轧圆前应将钢板表面清扫干净,钢板的两端面用砂轮机打磨,清理杂物,然后将板料放正,防止出现错边。

(1) 为确保加工后每一块板加工尺寸在允许范围内,卷圆前根据设图纸认真核对并熟悉每一块板材的加工参数。

(2) 轧圆过程中一次弯曲量不宜过大,尤其对强度较高的钢板更需控制。进料时进料的角度应保证直缝边与卷板机辊轴平行,轧圆进行至一半时,注意观察是否有氧化皮剥落,必须及时清除后再卷制,避免产生钢板表面压痕^[2]。

(3) 纵缝处端面应保持平齐,必要时配合木楔进行施工。据坡口根部距离在1~2mm,避免出现棱角,力求与样板吻合,筒节端部错开要求尽量不超过1mm。

(4) 检验合格后进行定位焊,将拟焊面及坡口两侧

各50~100mm范围内的氧化皮等杂物清除干净,调整管节纵缝错边量,然后开始进行定位焊。定位焊长度一般在50mm左右,厚度不小于3mm,间距宜为300~600mm,注意圆周上焊点均匀分布并保证纵缝不开裂。

(5) 撑杆卷圆:利用卷板机将板边预弯,按照锥度要求将上辊调整成一定倾斜角度,滚制半圆锥筒时,从中心部分向两边滚圆,滚制封闭的圆锥筒时,先滚制小的圆,后滚制大的圆,滚时注意画线与轴辊线尽量平行,最后矫正加工。

1.2 回圆

(1) 筒体纵缝焊接(在焊接部分陈述)完成后安排回圆工序。

(2) 回圆前先切割引弧板和收弧板,切割时不得损伤母材。切割后清理、打磨与其他位置坡口齐平。如果发现因切割不当引起的凹槽,须由有经验的焊工进行补焊,然后再打磨齐平。回圆时用的垫板不能太小,长度不得小于200mm。

(3) 筒体椭圆度要求为 $D_{\max}-D_{\min} \leq 0.5\%D$ 。

(4) 回圆时根据筒节直径、长度大小,放在卷板机上,进行反复滚轧,并用检查样板检查,圆度检查样板弦长应大于筒体内径的1/3,样板与筒体之间的间隙不超过2mm为合格。筒体椭圆度要求为 $D_{\max}-D_{\min} \leq 0.5\%D$,且不大于5mm^[1]。

(5) 与法兰连接的筒体回圆要测量数据,筒体分等分测量。在卷板机上连续运转时的误差:椭圆度 $\leq 10\text{mm}$ 。

(6) 与法兰连接的筒体回圆合格后及时进行组对,以免筒体椭圆度变形。其余筒节的回圆顺序要以组对顺序而定,做到即回即用,因特殊原因长时间摆放,组对前必须重新回圆。

1.3 组对装配

(1) 组对前明确筒节组对顺序,检查组对的筒节板厚、筒节长度是否符合图纸要求,检查其椭圆度及两

端周长等参数,确认满足设计要求后再进行组对。将拟焊面及坡口两侧各50~100mm范围内的毛刺、铁锈等清除干净。

(2)管节拼装定位在专门台架上进行,台架应平整、稳定,管节对口保持在同一轴线上进行。组对时,尽量将筒体之间圆心相对,避免局部的对接错边量超差,同时调整纵缝错开 60° 以上。使用楔子等辅助工具调整管节之间的错边量,满足设计要求后,定位焊将管节与管节之间固定。

(3)每完成一次组对后,测量一次桩体纵轴线的弯曲矢高,避免误差累积。

(4)管节对口拼接时,相邻管节的管径差应不大于3mm。相邻管节对口的板边高差不超过 $t/10$ (t 为板厚),且不大于3mm。

(5)撑杆制作时留余量20~50mm,拼装时根据各桩位实测数据进行修割和大坡口。先组对中间的两节圆,撑杆两个端部圆是曲面,和筒体试拼,按现场实际测量的桩位尺寸调整本节尺寸,确保撑杆总体尺寸符合要求,确认尺寸准确无误后和中间的两节圆组对。

(6)筒体组对过程中要多次测量长度尺寸,组对完毕后对各相贯线、筒体尺寸进行自检并报检。

1.4 法兰与筒体组对

(1)严格按照施工图以及焊接工艺文件开设X型坡口,对于坡口大于3mm的切割缺陷要及时修补,对于小于3mm的切割缺陷,应打磨光滑,切割表面形成的氧化皮应在装配前打磨干净。

(2)法兰吊运不得使用钢丝绳,必须使用法兰专用吊具,并且要垫橡胶板,防止损伤法兰。组对前测量法兰、筒体的外围长,通过围长计算出错边量。将法兰、筒体平均分4等分,定好4个等分点,组对时对准4个等分点,将错边量误差降到最低。法兰与筒体之间的间隙调整到最佳位置时开始定位焊接,间隙超标将直接导致焊后法兰平面度等参数超标。组对过程中密切关注法兰与筒体之间的间隙,原则上要求做到无间隙组对,如果确实达不到无间隙组对,组对间隙也不允许超过0.5mm。发现有超过0.5mm的间隙,必须打磨接触的位置,使之达到要求,不得补焊。定位焊焊长50mm间隔300mm,定位焊接的焊缝不得有裂纹、夹渣、气孔等缺陷,定位焊接焊缝必须要有足够的强度。

2 筒体总装组对

(1)筒体组对前测量外围长,通过围长计算出错边量。然后将筒体平均分4等分,定好4个等分点,组对时对准4个等分点,这样将错边量误差降到最低。并注意按图纸要求门框 0° 位置、纵缝、螺栓孔(孔中还是两孔中)等位置要求。筒体对接错边量不超过 $t/10$,

且不大于3mm^[3]。

(2)组对过程中密切关注组对间隙,两端引弧板处要垂直,要求零间隙组对,但不超过1mm。发现有超过1mm的间隙,必须打磨接触的位置,不得补焊^[4]。

(3)组对间隙调整到最佳位置时开始定位焊接,定位焊接的焊缝不得有裂纹、夹渣、气孔等缺陷,定位焊接焊缝必须要有足够的强度,焊接要求满焊。

(4)筒体组对过程中要多次测量长度尺寸,如有超差,及时反馈、及时调整相关下料尺寸。组对完毕后对各相贯线、筒体高度尺寸进行自检并报检。组对后的筒体总长度保证在 $(+0.8 \sim 1.0\text{mm}) \times (\text{筒节数量})$,实际操作中主筒体总长度偏差保证在 $\pm 6\text{mm}$ 之内,这样才能保证焊后偏差范围为 $\pm 10\text{mm}$ 。

(5)筒体法兰 0° 位置正确,保证后续焊接内件安装位置正确。筒体焊接成型后的母线偏差要求 $\leq 3\text{mm}$ 、对角线偏差要求 $\leq 3\text{mm}$ 。在法兰与筒体焊接过程中时刻关注、测量、了解法兰的内外倾、平面度情况,从而来调整内外焊缝的焊接顺序,严格控制法兰内倾度要求,绝不允许有法兰外翻的现象发生。

3 导管架总拼装

(1)每根撑杆与主筒体焊接前在两面开设工艺人孔,开孔切下的钢板保存好,等组装完成后再原位焊接。

(2)在场地上用经纬仪测出主筒体中心线,以中心线为基础定位出M1、M3腿(桩套筒)中心线,布置胎位架,注意胎位架的位置和角度,板1和板2圆弧部分与各构件接触点的高度要复测、复核。

(3)将主筒体吊装到胎位架上,调整直线度,板1、板2与主筒充分贴合。为主筒体法兰为定位尺寸基准,调整主筒体直线度、法兰端面垂直度,均控制在2mm内。

(4)主筒体定位后将1支腿、M3支腿吊装到胎架上、调整水平,根据现场实测桩距,以法兰平面与主筒体中心线为基准调整 M_a 、 M_c 之间的距离、套筒直线度、套筒与主筒体之间的距离、套筒高度,套筒高度以现场实测数据为准、并标记好。复核实际数据、准确无误后核定拼装尺寸、划出修割余量线,切割余量,将主筒体、横撑、斜撑和套筒进行定位焊接,再次核定拼装尺寸后按照 CO_2 气体保护焊焊接要求进行焊接。焊接时在脚手架上操作,禁止站立在撑杆上作业。

(5)根据现场实测数据调整M2与撑杆夹角,根据重新放样的尺寸进行余量切割。单支腿重量约66t,采用100t行车进行吊装,缓慢吊装到拼装位置、缓慢下降。支腿定位尺寸根据现场实测数据确定,注意支腿偏转角度、套筒中心到主筒体中心的尺寸。复核尺寸无误后开始定位焊接,焊缝长度在50~200mm。复核M1到M2、M2到M3、M1到M3的尺寸,误差控制在2mm内,

各套筒垂直度误差控制在2mm内,各套筒到法兰间的尺寸误差控制在5mm内。将主筒体翻转180°,按照以上方法拼装M4支腿。再次核定拼装尺寸后按照CO₂气体保护焊焊接要求进行焊接,最后焊接封人孔。

4 焊接

焊接是导管架制作的关键环节,卷圆后、组对前焊接内、外纵缝,为直线焊缝,采用自动埋弧焊工艺;组对后分段焊接焊接内、外环缝,为曲线焊缝,采用自动埋弧焊工艺。导管架总装组焊接采用CO₂气体保护焊工艺。

4.1 埋弧自动焊接(适用于纵缝和环缝焊接)

(1) 严禁在母材钢板上引弧和熄弧,必须设置引、熄弧板,防止应力集中引起焊缝缺陷。引、熄弧板的长度为150mm,厚度与焊接母材等厚,沿着焊接母材焊缝方向在引熄弧板上碳刨出等同坡口。引、熄弧板与焊接母材之间进行CO₂气体保护焊焊接完成。

(2) 焊接前检查定位焊缝,定位焊缝不得有裂纹,否则应清除重焊,如存在气孔夹渣时应去除。

(3) 在管节内纵缝处,在定位焊的基础上,做一道打底焊,以便定位焊与打底焊在清根环节被一并清除。打底焊的长度等于纵缝长度,厚度不应过薄,避免焊接外纵缝焊缝时被烧穿。

(4) 焊接前对焊口的道间进行预热处理,最低预热温度为110℃,最高预热温度为230℃。

(5) 完成焊接后,采用碳弧气刨的方式进行清根处理。清根需漏出完整光洁的焊缝金属,同时外侧的凹槽应形成不小于10°的U型坡口^[1]。气刨完成后,使用砂轮打磨刨槽表面,去除残留熔渣。为尽可能消除焊接残余应力,焊接后岩棉保温最少1h。做好施焊电流、电压、焊接速度、预热和后热等信息的记录^[2]。

(6) 每条焊缝应一次连续焊完,当因故中断焊接时,应采取防裂措施。在重新焊接前,应将表面清理干净,确认无裂纹及无可见常规缺陷时,按原工艺继续施焊^[2]。

(8) 焊缝检查要求:所有对接焊缝、法兰与筒体焊缝为全焊透焊缝,焊缝外形尺寸应符合图纸或工艺要求,焊缝与母材应圆滑过渡,焊接接头的焊缝余高应小于焊缝宽度的10%,且不大于3mm,大于3mm的刨掉重新焊接或打磨至要求范围,对要求磨平的焊缝,尤其要注意焊缝成型,打磨光滑不得有凹坑现象。

焊缝和热影响区表面不得有裂纹、夹渣、气孔、未融合及低于焊缝高度的弧坑、深度大于0.5mm的咬边。焊缝外观不得有凸凹、宽窄不一致的现象,焊缝波纹

整齐,与母材圆滑过渡,局部打磨不得损伤母材^[5]。

4.2 CO₂气体保护焊(适用于导管架总装组对后焊接,撑杆两端的曲面焊接)

(1) 检查CO₂半自动焊机(电源控制箱、送丝机构、焊枪),供气系统(预热器、干燥器、减压器、气体流量计和气阀)是否正常。当CO₂气瓶内压力小于或等于1MPa时,不得继续使用。

(2) 焊接时,定位焊必须考虑图纸要求,采用正反面间断点固来减少焊接变形。

(3) 焊接过程中随时观察焊缝的质量,出现缺陷及时停止焊接并调整。

(4) 焊接完成检查焊缝质量,成型美观,常见缺陷有咬边、气孔、裂纹、未熔合、宽窄、余高、焊脚高度和直线度等,不符合要求的立即返工、返修。

(5) 无损检查在焊接后48h后进行,采用超声波探伤100%无损检验,探伤等级为骑缝探伤,验收等级为1级;其中桩体焊缝还应按10%比例抽检进行磁粉探伤无损检验,具体位置有现场监理指定,重点检查T型接头部位,如果检测不合格进行返修,同一部位的返修不得超过两次。

5 结语

本文通过对导管架制作工艺及操作要点过程进行了分析、总结,制定了合理的控制措施和制造设备,有效地控制了导管架制作尺寸偏差、焊接变形。该项目的成功实施不但验证了该工艺方案完全切实可行,同时也积累了宝贵的实战经验,取得了一定的经济效益,为后续制作相似结构提供了借鉴作用。

参考文献:

- [1] 张学森,李丹.新型海上风电塔筒与导管架基础的筒式连接结构分析[J].价值工程,2022,41(16):36-38.
- [2] 周文杰.海上风机导管架基础循环受荷性状与分析方法[D].杭州:浙江大学,2022:6.
- [3] 焦忠虎,肖纪升.海上风力发电基础形式及关键技术分析[J].中国高新技术企业,2016(01):145-146.
- [4] 翁耿贤,邹福顺,林阳峰,等.海上风电导管架滚装装船运输技术研究[J].广东科技,2020,29(10):46-49.
- [5] 卢东海.基于ANSYS的导管架式海上风力发电机组支撑结构分析[D].北京:华北电力大学,2016:7.

作者简介:朱萍萍(1986.06-),女,汉族,江苏江阴人,本科,工程师,研究方向:机械制造。