

运行中的风机塔筒焊缝维修方法分析

龙铃

(中国葛洲坝集团机电建设有限公司 四川 成都 610091)

摘要:我国在推行碳达峰碳中和的进程中,风电、光伏等新能源迎来了高速发展的黄金时期。而新能源设备的稳定安全运行对整个电力系统起着重要的作用,因此如何对运行过程中设备出现的缺陷故障快速消除处理就显得尤为关键。基于此,本文主要针对运行中风力发电机组塔筒焊缝维修方法进行了分析,以期为相关人员提供参考。

关键词:风机塔筒;焊缝;维修方法;质量;检测

0 引言

近几年,风电、光伏等一批新能源大基地的建立,为风电、光伏新能源行业发展提供了大平台,但如何保证新能源设备的安全运行,这给所有新能源业务发展企业出了一个课题。新能源设备遇到故障后能够快速分析,查找原因,排除故障,从而确保设备的稳定运行,这是一项重要的工作。本文基于实际案例,分析了运行中风力发电机组塔筒焊缝维修方法。

1 背景情况介绍

某风电场 F201# 机位第 3 段塔筒的下法兰处存在焊接缺陷(图 1),具体位置见无损测试报告检测波形见图 2。母材设计厚度 14mm,缺陷共有 2 处,长度分别 44mm 与 46mm,深度为 10mm 左右,两者间距 140mm,基本位于焊缝的正中心。



图 1 缺陷位置

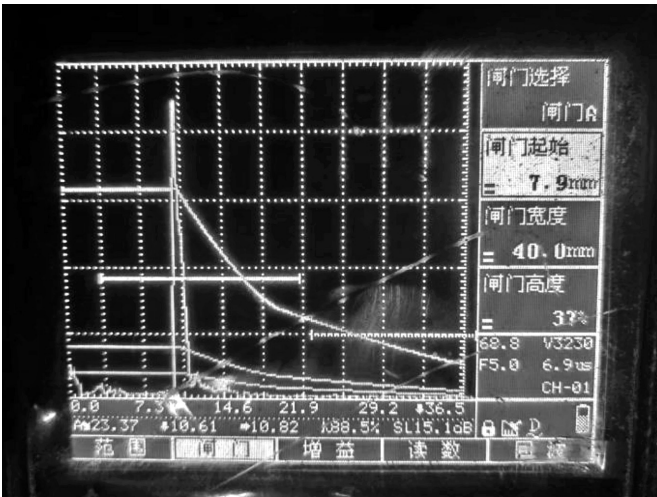


图 2 检测波形

发现该情况后,风场委托塔筒制造厂家、检测单位、焊接专家组成专家组,针对该情况及检修方案进行分析研究,并委托塔筒制造厂家对该焊缝进行维修。

2 现场查勘情况及原因分析

通过对比两次的无损探伤测试报告及现场勘察测量后,分析得出以下结论:

(1) 长度为 44mm 的缺陷位于焊缝中心,最大波幅处所对应的深度为 10.11mm,在风机运行 2 年的时间内长度没有延伸,且波幅也未发生较大变化(2dB 之内),未表现出延伸的趋势,其性质不属于裂纹或未熔合的危害性线性缺陷,大概率为未焊透或大气孔等体积性缺陷。

(2) 长度为 46mm 的缺陷位于焊缝中心,最大波幅处所对应的深度为 10.61mm,为风机运行 2 年时新发现的超标缺陷。分析原因可能是该部位存

在缺欠，在交变荷载的情况下，导致缺欠变化，沿着特定方向延伸，存在继续延伸趋势（长度横向延伸和深度纵向延伸），属于危害性缺陷，应尽快进行修复。

3 具体维修方案

由于缺陷均靠近塔筒的外表面，从内部返修无法保证焊接部位的圆滑过渡，必须从塔外对焊缝进行处理，属于高空作业的范围。受现场环境影响，需安排合适时段进行缺陷返修处理，同时应保证环境温度 $>5^{\circ}\text{C}$ 。返修工器具及材料包括逆变焊机、5kg焊条 J507RH（直径4mm或3.2mm）、角向砂轮机、抛光片、砂轮片、油漆、防腐用细晶粒砂轮片、电缆、空气开关、短路器、电器柜、灯具、拆除缺陷处螺栓所需液压扳手、钻机及钻头、保温桶、外壁施工专用电动吊篮。

具体维修步骤如下：

（1）在处理焊缝前，采用砂轮片及抛光片去除油漆面，并用抛光片将法兰及筒体待焊接部位打磨出金属光泽。还需确保检验部位的环境温度在 5°C 以上，从而使表面探伤能够顺利进行。MT检查的内容包括焊接热影响区是否有垂直于焊缝的横向裂纹、已开裂的焊缝两端是否存在可见的延伸纵向裂纹。对已检测出的浅表面缺陷，使用砂轮机进行打磨去除。

（2）若存在浅表面裂纹，则需在延伸段50mm处，钻直径为10mm的止裂孔。

（3）外壁施工专用吊篮需检查其出厂合格证、校验有效期等，施工人员需有登高证，佩戴安全绳、安全帽，施工前需开具动火作业票等。

（4）根据磁粉探伤的结果，确定需处理的具体缺陷部位。使用超声波探伤，从塔筒外侧对缺陷部位进行二次探伤，进一步精准定位焊接缺陷。

（5）参加焊缝处理的焊工应是持有相应焊接作业合格证书的优秀焊工，所有参加焊接人员必须熟悉本焊接件的特点和工艺要求，严格执行焊接工艺，满足焊接规范要求，对自己所补焊的部位负责。

（6）无损检测人员须经专业机构培训，符合GB/T 9445-2008要求，由具备Ⅱ级或Ⅱ级以上人员担任检测工作。同时施工现场按风电场安全操作规程配置安全监护人员以及现场协调、配合人员。

（7）使用砂轮机将焊缝缺陷打磨干净，并打磨

出适合焊接的坡口深度和宽度。使用砂轮机时，应按照使用要求佩戴护目镜等其他安全防护措施。

（8）本项目实施方案的难度在于46mm长度的缺陷是否具有延伸性的浅表面裂纹。开了止裂孔后，由于内侧高强螺栓的存在导致无法正常施焊，需将焊接部位高强螺栓予以拆除，拆除需要使用高强螺栓专用的液压扳手机型（图3），高强螺栓拆除完毕后位置情况见图4，然后在内侧对需要处理焊缝进行彻底打磨清根。焊接应连续进行，焊条必须确保烘干且存放于保温桶内。若环境昼夜温差较大，应采取保温棉对维修的焊缝进行防护，防止由于温差过大导致焊缝裂开的情况。



图3 液压扳手专用工具

4 焊接注意事项

在焊接过程中需要注意的事项有：

（1）在焊接过程中，应监控缺陷部位焊缝两端，裂纹是否继续延伸。

（2）在焊接完成后，对焊缝进行无损检测，范围包括焊缝及其热影响区，需要将检测区域的油漆打磨。检测方式为UT+MT，需检测法兰厚度方向是否产生横向裂纹，焊缝是否产生纵向裂纹。还需要采用合适的探头，单独对焊缝内部进行横向裂纹扫查（探头主声束与焊缝焊接方向呈 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 夹角）。



图 4 螺栓拆除后

无损检测标准为 NB/T 47013.3-2015、NB/T 47013.4-2015、NB/T 47013.5-2015，合格标准均为 I 级合格。

5 防腐油漆

首先采用普通砂轮片将待防腐部位杂质清理干净，使用防腐专用细晶粒砂轮片对防腐部位进行二次处理，打磨破损涂层边缘至斜坡状，打磨区域不小于锈蚀区域各处宽度一半的距离范围，以便后续修补涂层与旧涂层平滑过渡，特别针对原油漆喷涂面与待防腐面的结合部位，使其缓慢过渡。需与风场人员沟通，确定原油漆的品牌及涂装方案，使用相同品牌的油漆，对返修处进行防腐，油漆涂装采取依次按照底、中、面漆三遍作业方式，确保防腐质量^[1]。

6 安全防护措施

该项目的焊缝维修涉及高空作业，针对高空使用吊篮的情况，施工作业前要向操作人员进行安全交底，每次升降后要经施工、技术、安全等人员检查验收合格方可使用。按 JGJ 59-99《建筑施工安全检查标准》规定，非工作一侧的篮边设置 2 道防护栏杆，

高度分别为 0.6m、1.2m，必须设置踢脚板，踢脚板高度 180mm^[2]。

吊篮下方地面为行人禁入区域，需要做好隔离措施并设有明显的警告标志。吊篮的安装、升降、拆除、维修必须由持证操作人员进行。

在进行焊缝施工时，应注意保护皮肤和眼睛，避免锈蚀颗粒及灰尘、粉尘、纤维飞扬的刺激，如发生此类事情应立即用净水冲洗并请医生治疗。所有进入施工现场的人员不得携火种进入，并严禁现场出现火种的一切隐患现象^[3]。

7 其他

锻造法兰的材质为 Q345E-Z25，为保证焊接接头的机械性能，建议采用 J507RH 焊条 $\phi 4\text{mm}$ ，其能满足 -40℃ 冲击功的要求^[4]。横焊焊接电流为 130 ~ 150A，焊接速度根据实际情况由焊工自己掌握，焊接线能量建议不超过 28kJ/cm。

所有拆除下的高强螺栓应报废，需使用同型号、有可靠性能的高强螺栓（如无库存，需采购），在焊缝处理合格后，通过专用液压泵及扳手，进行螺栓的拧紧工作，其力矩值应符合主机厂家的相关要求。因此，螺栓及液压系统需提前准备，便于高强螺栓的拆除与拧紧^[5]。

关于电气部分：需准备专用电器柜，主电缆 $3 \times 252 + 1 \times 162$ ，电缆长度需根据现场情况确定。电器柜配置 100A 开关用于逆变焊机及焊条专用烘箱，32A 短路器分别接焊机和焊条烘箱，16A 短路器若干用于照明、打磨、电动吊篮等，箱内配置漏电保护装置、接线端子，支电缆、照明电缆型号及长度应满足各电气的最低使用条件及场地需求^[6]。

8 维修使用工器具

在本文中风力发电机组塔筒焊缝维修过程中，具体使用的工器具的型号和用途见表 1。

9 结语

综上所述，本次对运行中风电机组塔筒焊缝的维修工期共计 5 天，维修完成后经专家组的复合检测，检测数据均满足塔筒焊缝的设计要求，风机设备的各项运行情况稳定。此次塔筒焊缝顺利维修在最短工期内恢复，并确保了风力发电机组的安全运行。

表 1 工器具一览表

序号	名称	型号	备注
1	焊机	瑞凌 ZX7 500GT	轻便，性价比高
2	焊条烘箱		最少 5kg 焊条的容量
3	手枪钻		用于钻止裂孔
4	角磨机	φ 100	用于坡口及焊缝外观打磨
5	砂轮片	φ 100，10 片	用于坡口及焊缝外观打磨
6	抛光片	φ 100，5 片	用于焊缝及其周围油漆面处理
7	细晶粒抛光片	φ 100，5 片	用于油漆面处理
8	刨锤		用于打底层清除焊渣
9	合金钻头	φ 10，2 根	用于止裂孔
10	电气部分	见第 7 项	应组装好，带至现场安装
11	焊条	J507RH 5kg	良好的焊接性能，可满足要求
12	油漆	见第 5 项	满足技术规范要求
13	保温筒	4 个	用于焊条的存放
14	电动吊篮	1 个	用于外壁焊接
15	检测设备	超声波仪器、探头	超声波仪器

参考文献：

[1] 国家机械工业局，国家石油和化学工业局．钢制压力容器焊接工艺评定：JB 4708-2000[S]．北京：中国标准出版社，2000.

[2] 国家机械工业局．钢结构焊缝外形尺寸：JB/T 7949-1999[S]．

[3] 栾凤娇．风机塔筒与基础连接形式的优化设计[J]．建材与装饰，2020(13):123+126.

[4] 林定果，何卫东，梁军战，等．塔筒 T 型接头焊接裂纹成因及控制[J]．机械研究与应用，2022, 35(05):211-212+215.

[5] 刘鹤．风电塔筒法兰焊接变形控制的工艺分析[J]．技术与市场，2021, 28(07):141-142.

[6] 汪晗宇．风电塔筒异常振动优化方案研究[J]．电力设备管理，2021(06):100-101+107.

作者简介：龙铃（1988.12-），男，汉族，湖北宜昌人，本科，工程师，研究方向：塔筒生产工艺改进、产品质量提升。