

自升式风电安装平台齿条修补工艺

杜仕忠　杜高峰　吴正峰　田小林

【摘要】近年来海上风电市场高速发展，其需要的装备自升式风电安装平台的数量急剧增加；而随着平台服役年限的增长，出现的问题也日益增多，其桩腿齿条磨损问题尤为突出。本文重点介绍了某在役自升式风电安装平台桩腿齿条的磨损修补工艺，以达到交流的目的。

关键词：自升式风电安装平台；齿条；修补工艺

某自升式风电安装平台桩腿齿条材质为A514Gr.Q，厚度140mm。在经历多年服役后，桩腿齿条和抬升减速箱小齿轮啮合处出现磨损，给平台的日常生产造成严重影响。本文介绍了齿条磨损情况、修补范围和修补工艺。利用最简单有效的修补工艺修复磨损齿条，恢复安装船的性能，为后续风电安装作业提供安全、可靠的船机保障。

1. 齿条磨损状况

该自升式风电安装平台于2011年建造完成并投入施工，经过六年的服役，发现桩腿齿条存在变形、齿面磨损及齿顶磨损等问题。

风电安装平台的桩腿规格为ϕ3 200mm，全长67 000mm，壁厚45mm/50mm，单根重量约325t。每根桩腿单侧194个齿，共计1 552个齿，齿间距304.8mm，齿顶高187mm，齿宽140mm，齿条材质为ASTM A514Gr.Q，其化学成分和力学性能如表1和表2所示，齿形如图1所示。经检测，齿面磨损最大15mm，最少3mm，需要修补的齿面共66处，主要集中于桩腿齿条抬升动作频繁的部位，桩靴以上40~60m处。

2. 修补工艺

磨损齿条修补工艺步骤如图2所示。齿面和齿顶磨损采用堆焊修补的方式将齿形修补完整，然后打磨至图样要求的形状。

齿条修补的具体工艺步骤为：磨损齿条尺寸测量→待修补表面清理→焊前无损检测→焊前准备→焊前预热→修补焊接→焊后热处理→齿条打磨整型及最终无损探伤→焊后无损检测→验收。

（1）磨损齿形测量　按照

表1　A51Gr.Q齿条化学成分（质量分数）　（%）

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu	Al	Nb	Mo	V
0.140	1.020	0.011	0.002	0.250	1.440	1.060	0.060	0.036	0.027	0.500	0.055

表2　A51Gr.Q齿条的力学性能

屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率(%)	冲击吸收能量(-40℃)/J	硬度HBW
750	826	24	138/120/152	256~293

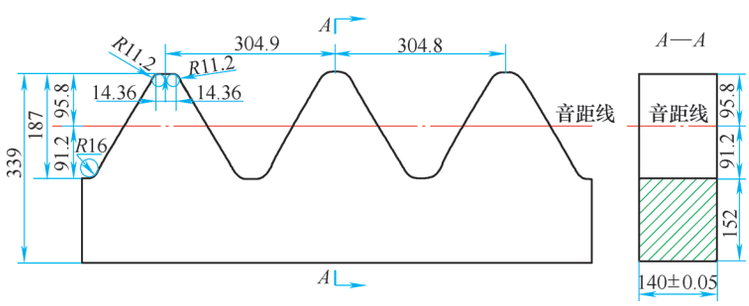


图1　A51Gr.Q齿条齿形

图样，利用齿条靠模板、钢尺、塞尺等工具对受损齿条进行检测，准确测量磨损缺陷的尺寸、位置信息，并一一做好标记，为后续打磨清理，堆焊修补做好准备。

（2）待修补表面清理　采用打磨方式去除磨损齿条表面的油污、氧化皮、铁锈及海洋附着物等杂质，将待修补表面及周边至少50mm范围内打磨至露出金属光泽。

（3）焊前无损检测　对齿条待焊部位进行VT100%+MT100%检测，确认表面缺陷及可能的裂纹去除干净，若磨损齿条存在裂纹，采用打磨方式去除，打磨前在裂纹两端20mm处钻ϕ5mm的止裂孔，防止裂纹可能产生延伸。

（4）焊前准备　执行焊接作业的人员必须焊接经验丰富，且通过CCS或ABS焊工考试的持证焊工。采用D328焊条，焊前焊条需经过350~400℃烘焙1h，之后120℃保温，随用随取。每次领用量不得超过2.5kg，焊条领取后放置于通电加热的保温桶，保证桶内温度120℃左右，保温时间最长4h。

同时准备好电加热片、硅酸铝纤维毯等加温、保温物资。在待修补齿条施工区域搭设平台和脚手架，保证施工作业的便利和安全。搭设的平台四周应围设厚实的防风帆布，避免现场作业时大风影响焊接，导致修补的齿条冷却过快。

（5）焊前预热　对待修补焊接的齿条进行预热，预热温度150~230℃，道间温度也为150~230℃。为保证预热温度均匀，使用陶瓷电加热片预热。预热单个齿距及周围150mm范围。预热温度、道间温度、后热温度的控制均需要专人负责监控，详细记录加热过程。

（6）修补焊接　修补焊接采用焊条电弧焊，焊条牌号为D328（ϕ3.2mm/ϕ4.0mm），焊接时采用直流反接，焊接参数如表3所示，堆焊修补方向和盖面焊道顺序如图3所示。

焊接过程需注意以下几点：①焊接过程中道间温度不得低于预热温度。②焊接方向为斜向上。③齿条母材待修补面边缘打磨时缓慢过渡，以免堆焊焊缝与齿条结合处应力集中。④单道焊缝的宽度最大10mm，每层焊缝焊接完成后，将焊层清理干净，方可进行下一层的焊接。⑤单个齿条面的堆焊修补作业要连续进行，中途不得中断。⑥修补焊接的盖面层焊接顺序：从坡口两侧向中间焊接。⑦堆焊修补的焊层要高于正常齿条面3~5mm，以便齿条的打磨和整型。

（7）后热处理　堆焊修补齿条焊接完成后立即进行后热处理，后热保温温度（280±20）℃，保温时间2h，加热速度：≤50℃/h，冷却速度：≤50℃/h，后热完成后，继续使用硅酸铝纤维毯紧密包裹焊缝直至冷却至室温。

（8）焊后无损检测　修补焊接完成72h后，对齿条修补面进行MT100%检测，检测修补焊层是否存在裂纹。

（9）齿条打磨整型　齿条修补面无损探伤，对齿条堆焊层进行打磨整型，齿面修补层采用磨光机和细砂纸结合的办法进行整型，分步多次精细打磨，每次打磨量不宜过多，每次打磨完成均采用齿条靠模板测量，以保证齿条整型作业的准确性，整型后齿

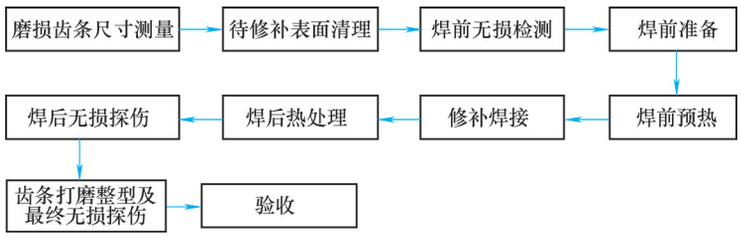


图2　堆焊修补工艺步骤

表3　堆焊修补焊接参数

焊接位置	焊接方法	焊道	焊材牌号与规格/mm	极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/mm·min^{-1}
全位置	焊条电弧焊	填充	D328 ϕ3.2	DCEP	100~130	21~25	60~120
			D328 ϕ4.0	DCEP	140~180	25~26	80~140
		盖面	D328 ϕ3.2	DCEP	90~120	21~25	50~110
			D328 ϕ4.0	DCEP	130~170	25~26	70~130

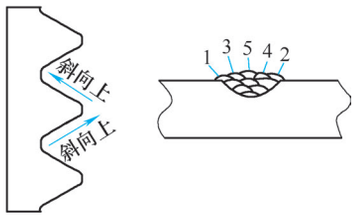


图3　齿条堆焊修补方向和盖面焊道顺序

注：1~5为焊接顺序。



内衬不锈钢复合管焊接技术的研究及应用

卢忠华　晏宏学

【摘要】主要介绍了将基层20钢+复层0Gr19Ni9不锈钢复合管应用于管路焊接制作，同时介绍了复合管的自身特点，探讨复合管之间焊接的工艺措施以及生产实际中的焊接技术。

关键词：基层；复层；复合管；焊接工艺

1. 概述

本公司主要生产大型船用柴油机，柴油机总装完成后需要进行试车，以检验整体的性能。每个试车台位需要配套试车管路，管子内壁腐蚀是自始至终存在的严重问题。在不影响管子承压的情况下，综合经济性、实用性、功能性考虑，选择了内衬不锈钢复合管。由于复合管的特殊性，属于双层金属焊接，焊接工作比单层钢板复杂得多，所以制定合理有效的焊接工艺是关键。

2. 复合管性能分析

内衬不锈钢复合管由基层和复层组成，基层为20钢的碳钢管，复层为0Gr19Ni9的不锈钢管。通过在不锈钢复管内壁施加



图4　磨损齿条修补前



图5　磨损齿条修补后

条误差控制在0~0.5mm。整型完成后再次对修补面进行MT100%检测和相控阵检测，确保焊接质量和使用安全。

3. 修补结果

齿条修补焊接完成后，平台进行了升降试验和风电安装作业，目前桩腿的运行情况良好，齿条堆焊修补前后如图4、图5所示。为监控齿条的后续使用情况，对每一个修补的齿条建立修补的记录文档，定期检查齿条的使用状况，为日后可能出现的其他磨损齿条的修补提供参考。同时，在自升式安装平台使用过程中需要加强设备的管理，严格控制平台在可变载荷载设计范围内，加强齿条日常磨损的检查和检测。

4. 结语

本文主要介绍了齿轮齿条升降式风电安装平台齿条修补工艺，利用齿条堆焊修补技术，可以在最短的时间内解决磨损齿条的修复和齿条损坏的现场应急修复，提高平台的使用寿命和作业安全，可为后续风电设备的安装提供保障。

作者简介：杜仕忠等，南通振华重型装备制造有限公司。

MW 20170223