

风电机组叶根内六角螺栓预紧力超声回波信号研究

文 | 席传让, 刘楚达, 魏光明, 周礼

超声波测螺栓预紧力技术是近几年发展起来的一种螺栓应力无损检测技术, 在风电机组螺栓检测领域得到越来越广泛的应用。该技术基于声弹性原理, 即超声波的传播速度与材料应力呈线性关系, 通过测量螺栓受力前后超声波回波的渡越时间差, 计算得出螺栓受力部分超声波传播速度的变化值, 进而得到螺栓预紧力的变化值。

这项技术应用的关键在于得到足够强的超声回波信号, 而信号强度在很大程度上取决于超声探头晶片部分与螺栓端面的耦合情况。螺栓端面越平整, 粗糙度越低, 则耦合越好, 回波信号越强。一般情况下, 风电机组常用的高强螺栓端面是平的, 或者带有凹陷钢印字体 (图 1), 利用常规探头和耦合剂就可实现测量。但在叶根、变桨轴承、叶轮-主轴等部位, 内六角螺栓应用越来越广泛 (如图 2, 叶根连接螺栓)。该类螺栓在用常规探头测量时, 信号将会非常弱, 甚至没有。为实现对该类螺栓的有效测量, 需要对探头进行特殊开发, 使之能更好地匹配内六角螺栓端面, 得到稳定可靠的回波信号。

本文以某机型叶根内六角螺栓为例, 测试了多种规格超声探头的信号, 对比分析了它们的回波信号强度和信噪比, 并在此基础上提出了一种新式探头及其紧固装置, 再制作并测试了该探头的性能, 发现在接触良好及采用配套紧固装置的情况下, 该特殊探头能得到清晰可靠的回波信号, 满足测试需求, 进而解决了在风电机组上大量应用的内六角螺栓超声预紧力检测难的问题。

内六角螺栓常规探头信号分析

通过测试不同规格常规探头的信号, 分析内六角螺栓与非内六角螺栓回波信号关键参数的差异, 探究影响内六角螺栓信号强度的原因。同时, 找出针对内六角螺栓常规探头性能最好的型号尺寸, 为新式探头性能测试提供对比样品。

一、测试设备

本文要检测的对象为某机型叶根连接内六角螺栓 (图



图1 非内六角端面螺栓



图2 内六角端面螺栓

3), 型号为 M36×550-10.9, 端面外径 D=28mm, 内六角外接圆直径 d=16mm, 接触的表面平整, 有凹字。作为对比, 另一根螺栓规格型号一致 (图 4), 端面为非内六角, 平整, 有凹字。

参与测试的探头型号为多浦乐 2.5P 纵波直探头, 晶片频率为 2.5MHz, 探头大小涵盖市面上能用的绝大部分规格 (如图 5 所示, 探头直径从左至右分别为: 6mm、8mm、10mm、14mm、20mm、25mm、30mm)。

测试探头信号的设备为长沙鹰能产第三代超声轴力测量仪, 型号为 BTM-C202 (图 6)。仪器自带超声激励、采集及示波器模块, 示波器为数字型, 采样频率最高可达 1GHz, 考虑到晶片频率为 2.5MHz, 选用合适的采样频率

为 200MHz。

二、测试方法

由于本研究主要考察的是超声回波信号的强弱, 与螺栓受力大小无关, 因此, 测试时螺栓处于非加载的自由状态。

具体步骤为: 将耦合剂 (水基 CG-88 型) 涂抹在螺栓端面, 用以去除接触面间的空气, 再将探头贴合在端面, 使探头晶片与表面接触良好。为了更好地对比不同探头的回波强度, 试验中将示波器增益固定为 1.4, 再分别考察两种螺栓不同探头的回波幅值及信噪比。

其中, 幅值是指回波波形最高峰能达到的回波电压值, 反映回波信号的强度 (图 8, 红线位置)。对于信噪比, 如果回波波形为振荡型, 波峰波谷明显, 波形平滑, 能明显



图3 叶根内六角螺栓端面尺寸



图4 叶根非内六角螺栓端面尺寸



图5 测试的探头种类



图6 超声轴力测量仪

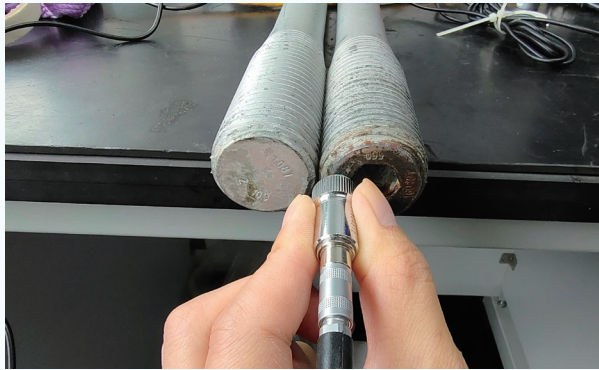


图7 测试过程

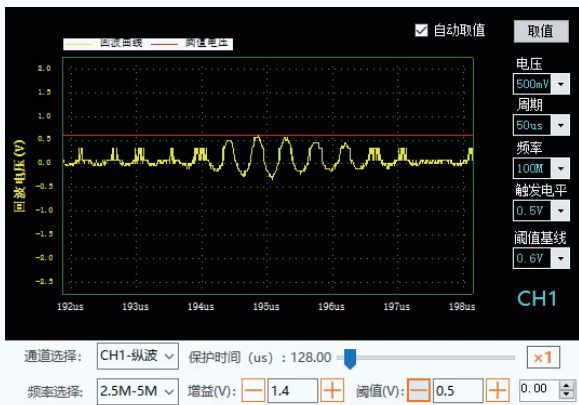


图8 20mm探头内六角螺栓端面波形

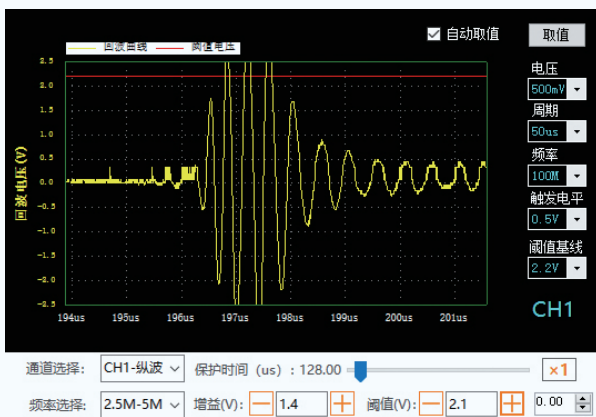


图9 20mm探头非内六角螺栓端面波形

表1 不同规格的常规探头测试结果

探头直径 /mm	内六角螺栓		非内六角螺栓	
	幅值 /V	信噪比	幅值 /V	信噪比
6	0.7	低	1.0	中等
8	1.0	中等	1.5	高
10	0.6	低	0.7	低
14	0.6	低	0.8	低
20	0.6	低	2.5	高
25	0.9	低	2.5	高
30	0.8	低	2.5	高

区别于噪音信号,这样的波形信噪比高,有利于声时取值(图9);反之,则信噪比低(图8)。

三、测试结果

测试时,分别记录下两种螺栓不同探头的回波波形参数,结果如表1所示。由表可知:

(1) 以非内六角螺栓为参照标准,在使用常规探头的情况下,内六角螺栓的回波信号强度和信噪比都较低,实现稳定可靠超声测量的难度比较大。

(2) 对内六角螺栓而言,信号最好的探头直径为8mm,信噪比较高,幅值1.0V,强度偏低,可以作为后面研究的对比样品。

专用环形探头及紧固装置

经过上述研究得出,对目前叶根内六角螺栓而言,用常规探头难以得到优秀的超声回波信号。究其原因,主要在于内六角大大减少了探头晶片的接触面积,同时晶片的能量中心又偏向于几何中心,导致常规探头能量损失较大,接收的回波信号偏弱,所以回波强度偏低。

针对常规探头的不足,设计专用探头如图10所示,其与普通探头最大的区别在于其超声晶片是环形的,通过设计合适的环形内外圈大小,使之很好地匹配内六角端面,降低能量损失。同时,通过调整晶片和适配器的参数,可以提高探头接收回波信号的灵敏度和可靠性。

此外,为了提高回波强度,保证测量的稳定性,给探头设计配套了专用的拧紧固定装置(图11),用以增加探头

的压紧力，减少接触间隙，同时也方便测量。

拧紧固定装置包含紧固盖和拧紧垫片，通过紧固盖的内螺纹将探头压紧在螺栓端面，拧紧垫片起到缓冲和调节

探头对中作用。该装置拆卸方便，不影响螺栓受力，实物如图 12 所示。

专用环形探头信号分析

分别测试手压（手拿，不用紧固装置）与采用紧固装置（图 13）下探头的信号，将结果与性能最佳的常规探头测试结果进行对比，检验新式专用环形探头及其紧固装置的性能，分析其是否能满足实际测量要求。

一、测试设备

为保证测试结果的准确可信，测试用设备、耦合剂以及螺栓状态与常规探头测试时保持一致，设备为 BTM-C202 型超声轴力测量仪，螺栓为自由状态，耦合剂为水基 CG-88 型。

二、测试方法

根据要检测的螺栓内六角端面尺寸，设计制作的专用环形探头规格为 2.5P16-25Z，晶片频率 2.5MHz，晶片内圈直径 16mm、外圈直径 25mm，安装状态如图 13 所示。

在同样的测试设备，探头，耦合剂及示波器增益（1.4）条件下，分别测量手压与采用紧固装置下的回波信号，检验专用环形探头性能以及紧固装置的效果。示波器采样频率为 200MHz，结果如图 14、15 所示。

三、测试结果

将测得的回波参数与之前信号最好的 8mm 直径探头数据进行对比，结果如表 2 所示。由表可知：

(1) 采用专用环形探头得到的回波信号比采用最好的

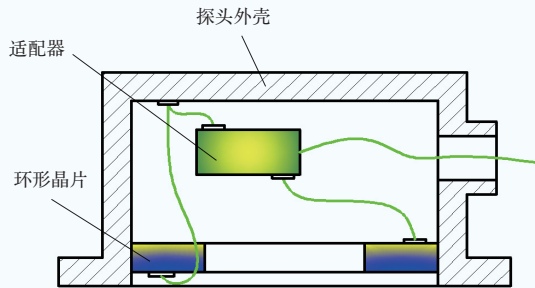


图10 环形探头结构

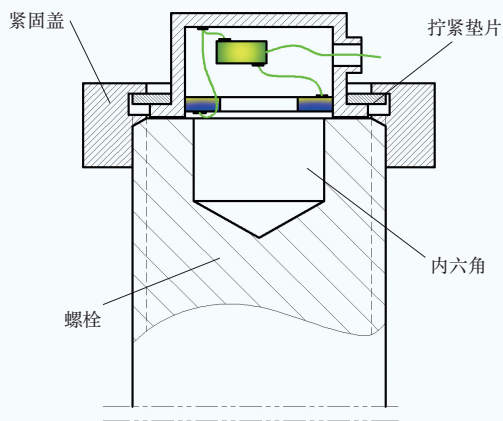


图11 探头紧固装置

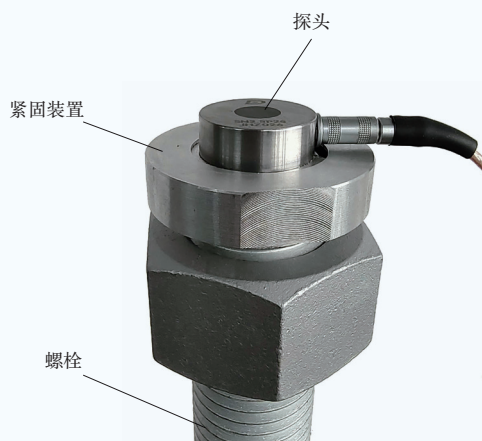


图12 紧固装置



图13 探头安装

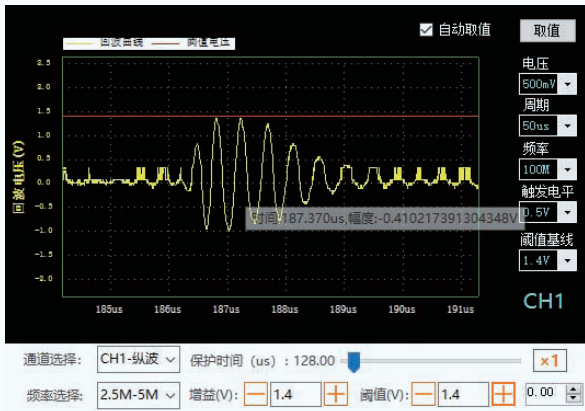


图14 探头手压下的回波

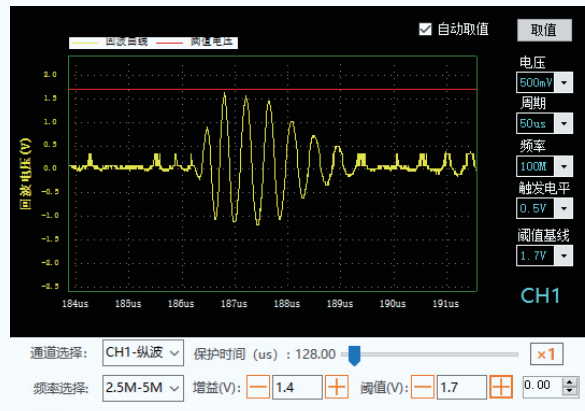


图15 紧固装置下的回波

表2 环形探头与常规探头测试结果对比

M36×550-10.9 内六角螺栓		
探头规格	幅值 /V	信噪比
8mm	1.0	中等
2.5P16-25Z (手压)	1.5	高
2.5P16-25Z (紧固装置)	1.7	高

常规探头信号强度要高出 1/3，信噪比更高，回波信号明显，更有利于测量。

(2) 对于专用环形探头，采用紧固装置拧紧要比普通手压效果好，强度高出 0.2V，同时操作更方便，稳定性也更高。

(3) 专用环形探头对叶根内六角螺栓回波信号幅值在 1.5V 及以上，信噪比高，与常规探头对非内六角螺栓的信号强度接近，能满足实际测量要求。

结语

本文针对风电机组叶根内六角螺栓采用超声预紧力测量时回波信号弱的难题展开了研究，对比分析了常规探头的信号幅值及信噪比，提出了新的探头解决方案。新探头采用环形晶片设计，并配以紧固装置，大大增强了回波信号，能更好地实现超声预紧力测量，解决工程上的难题。

(作者单位：长沙飏能信息科技有限公司)