

# 基于全站仪的船舶肋板焊接变形测量研究

杜忠民<sup>1</sup> 彭博军<sup>2</sup> 肖凡<sup>2</sup>

(1 海装武汉局 湖北 武汉 430000; 2 武昌船舶重工集团有限公司 湖北 武汉 430000)

**摘要:** 焊接是船舶建造中的重要工艺,但焊接所产生的变形会直接影响到船舶的使用安全性与使用寿命,因此,如何检测焊接变形在船舶建造中具有重要意义。目前传统的测量方法如通过样板、样条等接触式测量方法,虽然成本较低,但其效率与精度已经难以满足现代造船工业的要求。随着测绘及精密仪器科学的发展,越来越多先进的测量设备开始应用于船舶建造中。全站仪具有精度高、用时短以及测距长等诸多优点,因此以船舶分段肋板为本次实验对象,采用全站仪测量其焊接变形,具体操作为使用全站仪分别对肋板上测量点焊接前后以及消应力处理后进行精度测量,并将测量数据记录下来进行对比,同时通过二次拟合得到拟合曲线,分析焊接变形。在本次测量中,使用全站仪测量一次肋板上的测量点共耗时30min,而在相同人手的情况下,通过传统的样板检测线型则至少需1h,测量效率提升了50%以上。测量结果表明,在残余应力的影响下,焊接前船舶肋板的焊接变形值较大,最大变形为15.1mm,而经过消应力处理后,其变形值显著减小,最大变形只有3.4mm,达到了制造精度要求,证明了全站仪用于测量船舶肋板焊接变形的可行性。

**关键词:** 船体建造; 全站仪; 焊接变形; 精度测量

## 0 引言

电弧焊广泛应用于船舶建造中,提高了船舶建造效率、降低了生产成本。但是,电弧焊在焊接过程中会形成一个不均匀的温度场,从而引起不均匀的应力和变形<sup>[1]</sup>。其具体原因是焊接时焊缝区高于1000℃的高温引起金属强烈的热膨胀,而远离焊缝的金属接近室温,热膨胀很小,从而压缩高温金属产生的热膨胀,焊接结束后,高温区金属被压缩的部分无法恢复到原有尺寸,产生收缩,形成焊接变形。在船体建造过程中,焊接变形是造成船体线型偏差的重要原因,在船舶破损事故中,焊接变形是造成船体断裂的主要原因之一,因此在船体建造过程中能够快速、准确地检测焊接变形具有重要的意义。

在传统的船舶建造工艺中,主要通过样板、样条等接触式测量方法来检测结构的变形,这些方法成本较低,但其效率不高。此外,样板的质地较软并且使用样板检测板材横向线型时需保证与壳板面垂直才能比较精准地检测,对现场工人的要求较高。随着造船技术和精度要求的不断提高,船体建造过程中的测量目标已经从简单的平面、规则几何体发展为更为复杂的二维、三维几何体<sup>[2]</sup>,传统的接触式测量方法已经不能满足现代造船工业对效率与精度的要求

随着测绘以及精密仪器科学的发展,与过去相比,出现了许多高精度的测量设备以及高效率的测量方法,目前国外及国内部分先进的造船企业已逐步采用激光经

纬仪、全站仪、摄影测量仪等先进的高精度测量设备来检测船体的变形<sup>[3]</sup>。徐东等<sup>[4]</sup>通过使用高像素相机拍摄焊接试样焊接前后的图像,来计算焊接变形值,提出了一种基于工业摄影装置测量焊接变形的新技术;朱志洁等<sup>[5]</sup>使用激光全站仪,通过转移测站位置来获取点位信息,从而实现测量船体外板点位的目的;朱帅臣等<sup>[6]</sup>将线激光视觉传感器与数控机床相结合,提出了一种大型船舶平直板材柔性测量方法;谢荣等<sup>[7]</sup>采用高精度的船用全站仪对于海洋钢结构物进行测量,实现了其实物模型的三维整体描述以及其整体和局部的建造偏差分析,保障了后续工作的顺利进行;韦韩<sup>[8]</sup>通过视觉技术来对船体结构的变形缺陷进行在线检测,同时通过实验与传统变形检测方法进行对比,表明该方法更为高效与准确;赵芳等<sup>[9]</sup>利用无线光通信(FSO)技术来设计时统单元,使得舰船三维变形角的测量、接收单元的光学成像激励以及测量结果的授时可以在系统中同时实现,提出了一种基于无线光通信测量舰船三维变形的新技术。

全站仪简称全站电子速测仪,是一种高技术测量仪器<sup>[10]</sup>,兼具自动测距、测角、计算及数据自动记录和传输功能,其测量范围大、测量数据准确,具有较高的智能程度,在天文测量、形变监测、精密工程测量及地形图测绘等领域都有广泛的应用前景。船舶行业具有其独特性,对测量设备的使用方法也不尽相同,通过不断地实践摸索,国内外船厂已形成一系列行之有效的全站仪测量方案,但是,目前利用全站仪测量船体结构焊接变形的研究报道较少,本文以船体肋板为例探究通过全站

仪检测其焊接变形的测量方案。

### 1 测量方案

全站仪主要由输入部分、信息处理部分以及输出部分三部分组成。输入部分主要由输入接口、操作面板、电子测角系统、电子测距系统、水平电子度盘、竖直电子度盘组成，信息处理部分主要由储存器和处理器组成，输出部分主要由输出接口和显示器组成<sup>[11]</sup>，如图1所示。

全站仪的电子测距系统通过测量光脉冲反射的时间差和电磁波返回时的相位差来测量距离，即脉冲法或相位法。电子测角系统则是使用一套角码转换系统替代传统的光学读数系统，主要有采用光栅度盘的增量法和采用编码度盘的绝对法。相比于传统的光学视距经纬仪，全站仪电磁波测距测程更远、用时更短、精度更高。同时，其操作简单方便，在实际外业操作中，仅进行精度控制测量只需要一台全站仪即可，其设站位置可根据现场环境来自由选择，限制较小。同时，还可以将全站仪与便携式数据处理设备进行组合，组成精度控制测量系统。这套系统可以获取所选取的测点在特定坐标系下的三维坐标，从而通过坐标值来计算实际的尺寸参数，达到即时进行精度检核的目的。目前，该技术已成为国内各行各业广泛使用的测量技术。

在船体建造过程中，全站仪广泛应用于水尺水准标定、搭载定位测量、余量切割划线、三维圆度检测等方面。例如，通过检测任意两点间的平距、斜距、高差等相对关系检测分段的尺寸；通过检测、计算点与基准线、基准面的横、纵向偏距和高差等相对关系检测分段的半宽、端面的平整度<sup>[12]</sup>；通过检测任意两平面间的夹角检测垂直舱壁与甲板间的垂直度、分段定位的水平度。

在使用全站仪进行现场数据采集前，需在船体设计模型上选取测量点并提取测量点对应的位置信息。现场数据采集时，先在测点通过管水准气泡居中情况和对中器调节仪器至仪器精确整平、对中，使仪器的竖轴位于垂直方向、仪器中心与测站中心位于同一铅垂线上<sup>[13]</sup>。整平及对中后，根据测量点对应的位置信息，选取适当的基准点，获取测量点的实际值。然后通过输出接口将测量结果直接输出到计算机中与船舶选取的理论值进行对比，获得三维误差并根据此误差进行现场修整。

现应用全站仪对某船舶产品的底部分段进行测量和精度分析，该底部分段为环形分段，由外板、内部肋板、骨架等加强结构组成。该分段变形测量的难点在于，其结构复杂，难以保证分段变形前后所测量点的一致性，为保证分段测量精度，本方案在分段设计模型的每档肋板的外轮廓线、结构交错线及他们的中点上取11个测量点，具体操作为按模型的理论值在实际分段上从外板沿着半径方向量取11个理论点并刻划样冲作为测量点，每个测量点之间相距的距离相同，同时设置定位基准点，在本方案中以四角水平点即点6为定位基准点，其测量点的设置如图2所示。

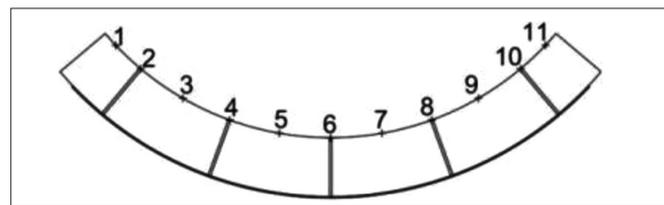


图2 每档肋板测量点的设置

分段肋板精度测量分三次测量，第一次是在分段装配工作结束，尚未下胎架时测量，第二次是在分段脱胎下胎架报验完成、拆除加强工装后测量，第三次是在分段采取消除应力措施之后测量。其消除应力措施采用振动时效处理工艺，其主要原理主要是通过控制激振器的转速和偏心使焊接工件发生共振，在焊接工件中需要时效的部位产生一定幅度、一定周期的交变运动，并吸收能量，从而造成焊接工件内部发生微观粘弹塑性力学变化，使得工件的局部峰值应力减小并均化工件的残余应力场，达到消除应力的目的。

分段肋板三次精度测量的具体操作如下：

首先，在分段装配完成后、焊接进行前开展第一次测量。在测站固定三脚架，调节三脚架至尽可能水平，将全站仪放置在三脚架上，精确整平和对中，在所选测量点上的样冲点贴上移动标靶并进行现场

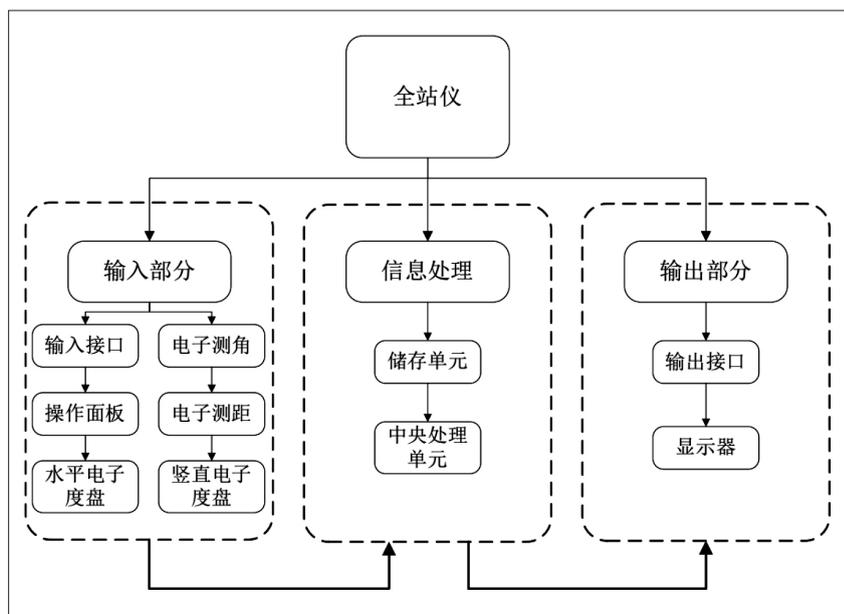


图1 全站仪的基本构成框图

测量,然后将全站仪中的测量数据读取并输入计算机中,提取其中Y、Z值,并将测量值与所选测量点的模型理论值进行对比,以此来评估全站仪测量的准确性。

其次,在分段焊接完成、下胎架并拆除加强工装后开展第二次测量。根据样冲点,对所选测量点进行再次测量,将测量数据分别与焊接前测量数据进行对比,分析焊接变形情况。

最后,在应力消除后开展第三次测量。消应力处理后,根据样冲点,对所选测量点进行第三次测量,并将测量数据分别与第一次和第二次测量值进行对比,分析采取消应力措施之后的焊接变形控制效果。

## 2 测量结果与分析

以某一档肋板为例,在本次现场检测中,刻画样冲点并通过全站仪测量一次肋板上的测量点共耗时30min,而通过传统的样板检测线型在相同人手的情况下至少需1h,测量效率提升了50%以上。此外,样冲点在之后的检测中能够重复使用,能进一步减少检测用时,显著提高测量的效率和速度。通过使用全站仪对该档肋板进行3次精度测量,得到了所选11个测量点焊接前后及消除应力后的Y、Z值,首先,对第一次精度测量值即焊接前全站仪的测量数据进行分析,将其与所选11个测量点的模型理论值进行对比,结果表明,焊接前的测量值与模型理论值之间的差值绝大部分小于2mm,基本在1mm以下,这表明全站仪测量能够非常精准地反映分段的线型精度。其次,将这些三次精度测量的数据记录下来并通过二次拟合得到拟合曲线,以便于更为直观

地反映焊接变形,如图3所示。

从图3中可以看出,与预计的焊接导致分段线型收缩不同,分段的线型由收缩变为扩张。测量发现分段线型的扩张十分明显,在接近端部的11号测量点,变形达到了15.1mm。这主要是由于分段固定在胎架上时,由于胎架的固定,分段变形很小,整体呈收缩状态,下胎架后,反面需要气刨清根、再次焊接,再次焊接使用的是埋弧焊,埋弧焊的热量集中、熔深大,因此造成的应力也大,焊接完拆除加强工装后,由于应力释放,整体外张,造成上述现象。

为了减少由于残余应力产生的变形,在焊接后将焊接工件通过振动去应力设备消除焊接产生的残余应力,之后进行第三次测量,发现分段的扩张变形显著减小,最大变形减少为3.4mm,说明肋板变形以及分段整体外张的现象可以通过振动时效工艺进行消除,从而使分段满足制造精度要求。这证明,通过全站仪测量焊接变形并进行精度分析的方法简捷、直观、清晰,可以为后续的线型修整和分段无余量上船台提供数据支撑,有助于焊接工艺的提升和改进。

## 3 结语

本文探讨了基于全站仪测量分段肋板焊接变形的测量方案,测量了分段肋板尺寸和变形情况,并分析了焊接变形的趋势及产生机理,取得了良好的成效。与传统测量方案相比,基于全站仪测量方案的测量精度具有显著提升。以往分段测量是采用在分段上表面定位固定样板的方法进行测量,由于样板在耐压体表面定位及固定

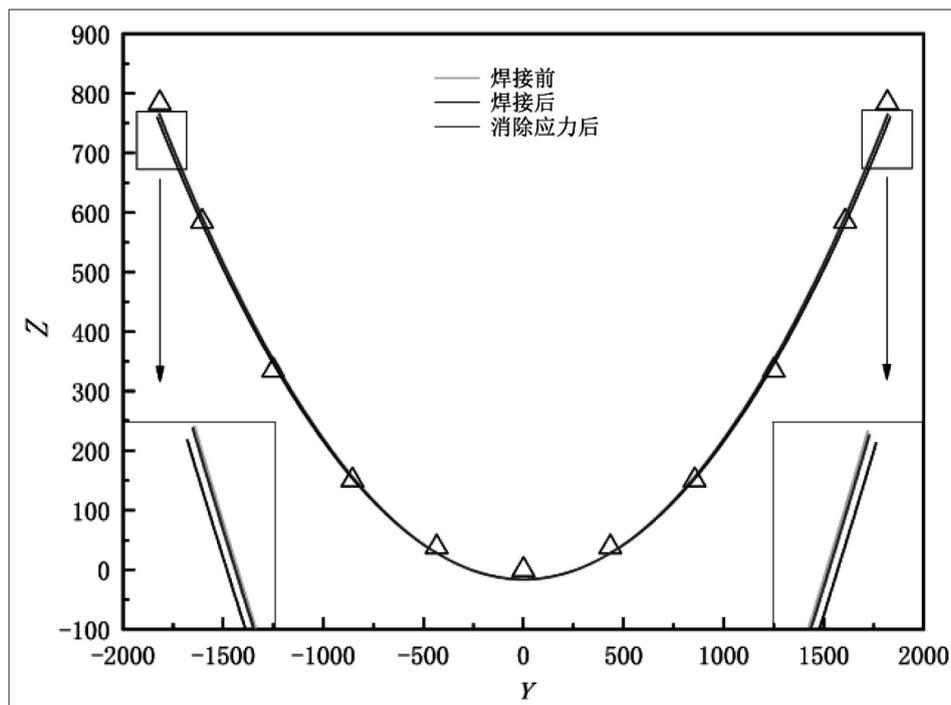


图3 肋板变形对比曲线

困难,人员操作样板及测量读数较不便,会导致产生一定的系统测量误差。而基于全站仪的三维精度测量方法则是通过采用粘贴标靶、全站仪现场测量及软件分析等方式准确、快速、直观地分析数据来保证分段整体精度,可以更直观、细致地体现出分段在合拢状态下的数据,测量过程的精细程度与数据的准确性、可靠性具有较大提高,除此之外,此方法还克服了传统测量方法在大曲度分段测量时安全性不高、时常有高空作业等安全性缺点。

实践证明,基于全站仪的船体建造精度测量相比于传统的测量方法拥有难以比拟的巨大优势,通过全站仪测量船体精度能够帮助造船企业建立更为高效的精度

测量技术体系,对分段建造实行过程精度控制,减少和避免了由于分段精度超差带来的大量返修工作,节约大量人力、物力、财力,降低了船舶生产建造过程中的相关成本,有效提升了船体精度测量的效率和质量,保证船舶的生产效率和制造水平,为船舶建造全过程的精度管理奠定基础。

#### 参考文献:

- [1] 刘黎明,梁国俐,刘玉君,等.基于人工神经网络的船舶高强钢焊接变形分析预测[J].焊接学报,2002(01):27-29+33.
- [2] 王娜娜,甄希金.船舶智能制造技术现状及发展趋势[J].船舶工程,2019,41(09):6-9.
- [3] 岳颖,李丛,张勇,等.全站仪测量系统在船舶建造中的应用[J].测绘科学技术学报,2020,37(03):258-263.
- [4] 徐东,张盈彬,柳存根,等.基于工业摄影装置的船体结构焊接变形测量技术研究[J].造船技术,2014(03):42-46.
- [5] 朱志洁,赵耀,王中,等.船体外板点位信息全站测量方法研究[J].计算机工程,2015,41(10):286-289+294.
- [6] 朱帅臣,刁俊通.大型船舶平直板零件尺寸柔性测

量方法[J].应用激光,2021,41(05):1070-1076.

[7] 谢荣,方露,杜训柏,等.基于全站仪的海洋钢结构物三维精度检测分析方法及应用[J].船舶工程,2014,36(03):112-114+127.

[8] 韦韩.利用视觉技术在线检测船体变形缺陷方法[J].舰船科学技术,2021,43(10):10-12.

[9] 赵芳,张骁,赵建军,等.基于无线光通信的舰船三维变形测量方法[J].中国激光,2018,45(04):216-224.

[10] 黄若波,张杰.基于全站仪和船舶3D设计系统的三维精度测量技术研究[J].造船技术,2011(04):14-16.

[11] 刘俊.船舶总组与搭载精度控制研究[J].广东造船,2011,30(03):63-66.

[12] 王智,邵成立,于宗伟.全站仪二次开发技术在工业测量中的应用研究[J].测绘通报,2012(S1):175-177+201.

[13] 彭茂清,程远龙,周海生.全站仪及精度管理软件在船体建造中的应用[J].广东造船,2017,36(02):71-74.

**作者简介:**杜忠民(1978.05-),男,汉族,湖北武汉人,本科,工程师,研究方向:船舶建造工艺;彭博军(1993.12-),男,汉族,湖北武汉人,研究生,助理工程师,研究方向:船舶建造工艺。

(上接第22页)

分析结果证实,在IE5效能等级下不同类型三相异步电动机在性能上的差异性,通过选择不同样本完成了本次调试,这也为三相异步电动机的质量评估及性能判断等工作提供了必要的借鉴与支持。同时本文对三种常见性能测试方法进行了研究,通过数据证实三种方法在IE5能效等级三相异步电动机性能评估中的作用,可以为相关人员正确评价三相异步电动机的性能参数提供支持,具有可行性。

#### 参考文献:

- [1] 黄和平,翁晓伟,李剑科,等.浅谈三相异步电动机能效标准及产品改进[J].计量与测试技术,2022,49(08):5-8.

[2] 郑伟卫.基于PLC控制的三相异步电动机变频调速系统设计[J].能源与环保,2022,44(07):260-264.

[3] 张俊,赵云峰,章力天,等.三相异步电动机在不同负载率时的效率探究分析[J].科技与创新,2022(03):124-126.

[4] 张雪雪,刘宝芳,牛建建,等.轨道交通辅助专用三相异步电动机主要检测项目分析[J].防爆电机,2022,57(01):51-54.

[5] 张飞,陈全文,孙昕.辊道用YGP160-49kW三相异步电动机改造分析[J].电机技术,2021(06):43-45.

**作者简介:**赵志明(1989.12-),男,汉族,河北邢台人,本科,工程师,研究方向:电机设计生产制造。