

双目测量技术在船舶工业中的应用

施志强¹, 游晓龙¹, 严铿², 邹家生²

(1. 江苏阳明船舶装备制造技术有限公司, 江苏 镇江 212009; 2. 江苏科技大学, 江苏 镇江 212003)

摘要: 本文以船舶工业中的关键环节—合拢管测量作为切入点, 介绍了国内三种合拢管的测量方式, 比较了三拉绳式合拢管测量方式与摄影拍照测量技术的优缺点, 引出了国内最先进的合拢管测量技术—双目测量技术, 详细介绍了该技术的基本原理及其在各个领域的应用前景。此外, 结合双目测量技术及船舶工业合拢管制造现状, 江苏阳明船舶装备制造技术有限公司自主研发了一套双目测量设备, 并联合江苏科技大学对其进行了稳定性研究和其在船舶工业中的应用研究, 研究结果表明该测量设备在复杂的环境中依然能够保持较高的测量精度, 可以解决各种类型舰船和海洋平台的合拢管测量问题。

关键词: 双目测量技术; 合拢管; 船舶工业

0 前言

目前, 加快高技术船舶和海洋工程装备的发展进程, 是促进我国船舶工业结构转型升级、加快我国建设世界造船强国的步伐的必然要求, 对维护国家海洋权益、加快海洋开发、保障战略运输安全、促进国民经济持续增长、增加劳动就业具有重要意义。我国要建设海洋强国, 必须建立自主可控的装备和制造体系, 必须提高船舶及海洋工程高端制造装备的自主研发能力。管系建造是船舶和海洋工程建造的关键环节。船舶在现场分段合拢和安装设备时, 管件无法完美合拢, 主要有三点原因: 第一, 管件的加工制造和装配精度不够; 第二, 船体分段建造变形会产生一定的累积误差; 第三, 按照管件设计图纸无法预制管件, 必须现场制作合拢管。为了解决以上问题, 国内合拢管的测量主要由以下三种方式: ①三拉绳式合拢管测量系统; ②摄影拍照测量; ③双目测量。

三拉绳式合拢管测量系统由江苏阳明船舶装备制造技术有限公司开发研制, 是国内唯一在船厂大规模使用的测量方式。其原理是使用三个拉绳传感器测量法兰盘的位置和姿态, 在传感器相对位置已知的情况下, 通过三个拉绳传感器测量空间一个点到三个传感器的距离, 然后计算点相对法兰盘的坐标。这种测量方式的优点主要是: ①三拉绳式合拢管测量系统技术成熟, 稳定性高, 可以直接应用于生产中; ②该方式测量操作简单; ③适用性较高, 可适应光照强、振动大、空间小等复杂的环境。但是此方式唯一的缺点是测量设备需要安装在法兰盘上, 设备所需规格尺寸很大, 现场施工搬运难度较大。

摄影拍照测量技术也是国内的一种新型测量方法, 但在实际船舶合拢管测量中并没有应用。其原理是使用一个相机, 在不同的位置和不同的角度对同一个物体进行拍摄, 从而计算物体的空间位置。测量通常要求在物体上贴标志点, 并在拍摄场景中放置标尺作为尺寸参考^[1]。该技术的优点主要是: ①设备简单轻巧; ②在精密操作下能保证较高的精度。缺点: ①需要贴标志点。②需要放置标尺, 特别是两个被测法兰分离时, 摄影测量需要更多的标尺或标志点才能将两个法兰盘的坐标关联, 且现场测量因空间限制或干涉因素不一定有空间放置标尺或标志。③摄影测量要求对物件从不同的位置、不同的角度拍摄, 如果位置、角度选择不好, 会严重影响测量精度, 不同人员测量会得到不同的结果, 因此该测量方式对操作人员的操作要求高, 测量效率低。④稳定性不高。摄影测量一般使用通用单反相机进行拍摄, 而通用单反不是为测量设计, 大量的实验证明, 单反相机镜头的镜片在不同角度下相对相机主体会发生较明显的位移。⑤不支持实时计算。摄影测量使用单反相机拍摄之后需要将相片导入到电脑计算, 摄影拍摄的图片大且多, 导入到电脑需要较长时间。

为了克服以上两种合拢管测量方式的缺点, 双目测量技术应运而生。双目测量技术使用两个工业相机同时拍摄一个目标, 计算目标在两个相机中的成像视差, 最终得到目标的空间坐标。其优点

为：①操作简单，使用双目测量技术，将主动发光标志安装到法兰盘的孔上，只需将双目对准发光标志，即可计算得到两个法兰盘的相对位置；②效率高，只需要在一个位置对发光标志测量，测量可在一秒内完成；③便携性好，阳明双目测量设备将计算单元等所有测量器件集成到约 400mm 长的测量主机内，无需外接电脑，可电池驱动；④可实现实时计算，阳明双目测量设备将计算单元集成到测量主机内，实时计算坐标和法兰盘相对的位置、孔周径偏差、平面度偏差等数据，现场获取测量质量数据；⑤校准简单，设备在运输过程中剧烈振动后，现场可在几秒内通过简易步骤快速校准；⑥适应各种测量场景，大长度管、各种角度的法兰盘、有干涉的管等都可测量。其缺点为光学系统复杂，需要复杂的数学模型来保证其精度。

从上述三种情况来看，三拉绳式合拢管测量是目前应用最广的合拢管测量方式，摄影拍照测量缺点较多很难得到应用，而双目测量技术是最先进的合拢管测量方法，目前江苏阳明船舶装备制造技术有限公司（下文简称“阳明”）联合江苏科技大学致力于双目测量技术的稳定性研究和其在船舶工业中的应用研究，并且已有产品应用于实际生产，随着应用领域的推广，双目测量技术将在船舶工业中有大规模应用前景。

1 双目测量原理

双目视觉测量基础理论在最近 30 年逐步发展完善，2000 年 Z. Zhang^[2]提出了平板标定双目相机的算法，将相机标定难度大幅降低，实用性大大增加。最近 10 年由于计算机计算能力的提升、相机分辨率的提高、USB 3.0 传输的普及，高分辨率相机的实时捕捉、双目实时计算成为可能。Creaform、metronor、GOM 等公司推出了高精度双目测量设备，在 3 米范围内实现了 0.1mm 以上的体积精度，精度达到了与关节臂相当的水平。双目视觉测量既可实现传统的探针式接触测量，也可实现无接触的、甚至无标记点的无接触测量，在机器人定位引导、布料三维检测、手术导航等领域应用广泛。

如图 1 所示为双目视差原理，双目视觉测量技术使用两个工业相机对同一个目标点 X 进行拍摄，X 在两个相机中成像位置分别为 X 和 X'，计算 X 在两个相机的视差

$$D = X - X'$$

然后通过视差计算得到目标点的深度^[3]，公式如下：

$$Z = \frac{B \times f}{D}$$

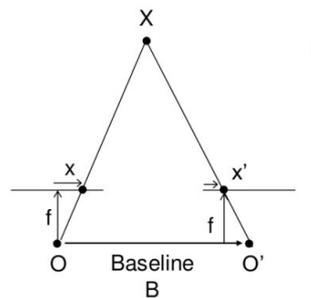


图 1 双目视差原理

实际相机的成像过程复杂，镜头具有畸变，镜头的光学组件之间有倾角和偏心、镜头与相机感光芯片有倾角等^[4]，镜头有色差、彗差、像散、场曲等光学误差。在遇到运输冲撞、车间振动、温变等复杂环境时，镜头内部光学组件之间、镜头与感光芯片之间、两个相机之间的位置均会发生改变，精度会发生明显改变^[5]。

高精度双目测量设备在使用传统的镜头畸变校正算法的基础之上，还需要建立数学模型来校正上述的各种光学误差。针对冲撞、温变误差，传统解决方法是在现场进行较复杂的标定，标定过程要求操作人员在测量空间内多个位置、角度使用对长标尺（约 1 m）进行拍摄，一般耗时十分钟以上。阳明科技双目测量设备通过微变数学模型，使用短标尺（约 0.5 m）可在十几秒内快速完成校准，使得相机在运输冲撞、温变后精度保持一致。

2 双目测量技术在船舶工业中的应用

2.1 合拢管测量

管系建造是船舶和海洋工程建造的关键环节。船舶分段合拢和设备安装时，由于管件的加工制造和装配精度不够，以及船体分段建造变形产生的累积误差使得管件无法合拢，且按照管件设计图纸无法预制，必须现场制作合拢管。

图 2 为船舶合拢管制造现状。传统合拢管的制作分为现场装焊法和取型法两种。现场装焊法是在安装现场对管子进行切割和焊接，如图 2（b）所示，此法只适合小管径管件的安装合拢，且制造周期长、工人劳动强度大，在现场施工还会导致涂装破坏，切割火焰和焊接电弧存在极大的安全隐患；现场取型法是在现场装配好连接法兰，使用角钢等辅助材料现场焊接制作成刚性“法兰模型”，运输到管加工车间，再由有经验的工人手工放样设计绘制出合拢管草图，制作出连接短管与法兰装配点焊，最后焊接为成品，如图 2（c）所示，但是该方法各制造环节分散、生产效率低，且装配精度低、依赖人工操作和经验。因此采用数字化、信息化技术取代传统技术解决合拢管制作难题是极其必要的。



(a) 待制作合拢管

(b) 传统现场装焊法

(c) 传统现场取型法

图 2 船舶工业合拢管制造现状

使用阳明双目测量设备可以快速方便的测量合拢管的法兰盘相对位置，如图 3 和图 4 所示。既可以使用带探针的标靶对法兰盘进行测量，测量过程与测量臂相似；也可以通过在法兰盘孔上安装快速标志灯，在一秒内完成测量。



图 3 阳明双目测量主机及标靶



图 4 阳明双目测量在实船中应用

2.2 曲面板

船体曲面外板尤其是艏艉段曲率变化较大的外板，其形状检测是船舶建造过程中的必要环节^[6]。目前船厂对曲面外板的主要检验工具是木质样板、活络样板和木质样箱。但它们具有如下固有缺陷：a. 工具本身制作工艺复杂，且费时、耗材；b. 工具的制作和使用耗时会影响生产进度；c. 工具的存储占用了大量的空间，并且易损变形。d. 木质样板、样箱不能循环使用，其全过程都会产生污染和浪费。木质样板、活络样板和木质样箱的上述缺点背离了现代造船模式的发展方向。

使用双目测量设备和带有探针的标靶测量曲面板，或使用激光线打在曲面板上，可以获取曲面板的曲面信息，信息进行实时计算与设计模型进行对比，给出参数供操作人员进行实时调整。

2.3 设备安装

图 5 为阳明双目测量应用于设备安装导航。双目测量设备可同时动态跟踪多个标靶。将跟踪标靶安装到零件上，可以对零件进行动态跟踪，进而指导装配过程。按照装配引导调整零件的位置和姿态，将零件安装到预定的位置。

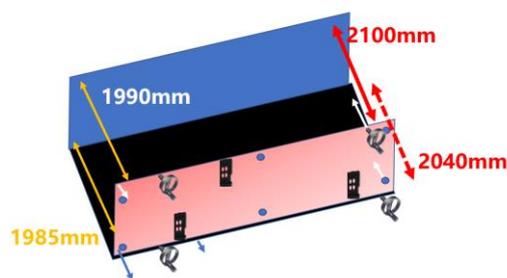


图 5 阳明双目测量应用于设备安装导航

3 双目测量技术在其他领域应用

3.1 三坐标测量

利用双目测量技术，配合带探针的测量标靶，可以完成传统的三坐标测量机、机械测量臂、划线机的测量工作。测量点、线、面、圆、球等基本几何要素，通过基本几何要素的组合测量复杂零件。图 6 为中央空调主要组件测量，图 7 为大型锅炉测量。



图 6 中央空调测量

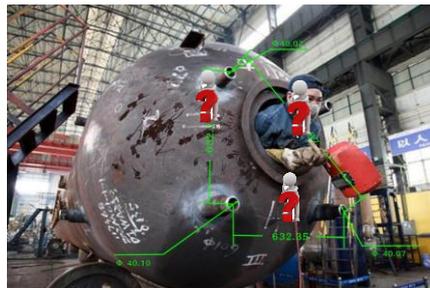


图 7 锅炉测量

阳明双目测量设备将计算单元和工业相机集成到约 400mm 长的主机内，无需外接电脑、无需外部控制器、无需同步装置，电池可驱动，实时测量，实时计算，实时出测量报表，测量结果实时连接到手机、平板、服务器或其他电脑，适合现场便携测量、大件物体测量、线上测量。

3.2. 无接触测量

阳明双目测量设备支持无接触式测量。如果测量零件具有特征标记，可直接测量特征标记的空间位置。如果无特征标记，通过投影激光线产生特征标记，适合曲面测量、高差测量等。图 8 为货车挡风玻璃安装定位，通过特征孔识别车体位置和姿态。



图 8 货车挡风玻璃安装定位

相比传统多相机二维测量确定车体姿态的方法，双目视觉法只需要一个主机在一个位置即可高精度确定车体姿态。

3.3. 平面度测量

利用阳明双目视觉法可进行快速的直线度、平面度测量，测量尺寸范围为 0 - 12 m，最大误差为 0.5 mm。测量尺寸小于 2 m 时，最大误差为 0.05 mm。测量尺寸小于 0.5 m 时，最大误差为 0.01 mm，最高精度为 0.002 mm。使用测量灯源采集 3 - n 个基准点确定基准平面 S，再将灯源放置到平面的任意位置，即可实时测量该点到 S 的偏离度，或使用最小包容法、最小二乘法等平面度的标准计算方法计算平面度。测量过程无需水平调节、无需对准等，只需灯源放置于测面即可测量，如图 9 所示。平面度测量可用于货车架平面度测量、轨道平面度测量等，如图 10 所示。



图 9 平面度测量

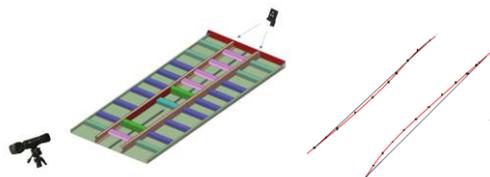


图 10 货车架平面度测量

4 结 论

①三拉绳式合拢管测量设备是目前国内应用最广、最稳定的合拢管测量方式，摄影拍照测量属于落后技术很难在复杂的船舶工业中应用，双目测量技术最先进，随着应用研究深入，阳明双目测

量在船舶合拢管测量领域与三拉绳式合拢管测量互为补充，解决了各种类型舰船和海洋平台的合拢管测量问题。

②江苏阳明船舶装备制造技术有限公司联合江苏科技大学致力于双目测量技术稳定性研究和在船舶工业中应用研究，阳明双目测量技术在复杂环境中依然能够保持较高的精度，已有产品应用于生产，随着应用拓展，双目测量技术将在船舶工业中的大规模应用。

③随着双目测量技术的稳定性的提高，不仅在船舶工业中应用潜力巨大，在其他领域也会有非常广阔的应用前景。

参考文献

[1] Jing Xishuang, Zhang Chengyang, Sun Zhanlei, et al. The technologies of close-range photogrammetry and application in manufacture[C]//3rd International Conference on Mechatronics, Robotics and Automation. Paris, Atlantis Press: 2015.

[2] Zhang Zhengyou. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.

[3] Brown M Z, Burschka D and Hager G D. Advances in computational stereo[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25(8): 993-1008.

[4] Beauchemin S S, Bajcsy R. Modelling and Removing Radial and Tangential Distortions in Spherical Lenses[C]// International Workshop on Theoretical Foundations of Computer Vision: Multi-image Analysis. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2001.

[5] Smith M J, Cope E. The effects of temperature variation on single-lens-reflex digital camera calibration parameters[C]//International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Part 5 Commission V Symposium. Newcastle, UK, 2010

[6] 赵彬. 船体曲面板成形加工接触式测量装置—数控样箱研制[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.

作者简介

施志强，男，中级工程师，就职于江苏阳明船舶装备制造技术有限公司，主要研究合拢管设计制造装备，电话：18796080563。

游晓龙，男，高级软件工程师，就职于江苏阳明船舶装备制造技术有限公司，主要研究图形识别、高精度双目视觉定位、三维图像重建，电话：15215116020。

严铿，男，教授，就职于江苏科技大学，主要研究新材料研究及其连接技术、船舶装备研究开发，电话：13305281357。

邹家生，男，教授，就职于江苏科技大学，主要研究新材料研究及其连接技术、船舶装备研究开发，电话：13305280882。



江苏船舶微信公众号，欢迎关注，欢迎投稿！