

# 海洋工程装备建造设备发展浅探

彭涛<sup>1,2,3</sup>, 林忠钦<sup>2,3</sup>, 杨建民<sup>1,2,3</sup>, 柳存根<sup>1,2,3</sup>

(1. 上海交通大学海洋工程国家重点实验室, 上海 200240; 2. 高新船舶与深海开发装备协同创新中心, 上海 200240;  
3. 中国海洋装备工程科技发展战略研究院, 上海 200240)

**摘要:** 海洋工程装备向大型化、深水化发展, 性能要求不断提高。海洋装备的建造面临着制造难度提升、环境更为复杂、关键设备精度要求高等难题, 对创新加工装备、加工模式等提出了更高要求。制造设备需要在精细化、柔性化、加工与测量相结合等方面提升加工能力, 同时在加工设备成套组织、加工控制软件等领域取得突破, 从而为海洋工程装备产业的发展提供建造能力的支持, 实现制造过程的精细化、智能化和绿色化发展。

**关键词:** 海洋工程装备; 加工装备; 制造技术

**中图分类号:** P75      **文献标识码:** A

## An Exploration of Development of Construction Device for Ocean Engineering Equipment

Peng Tao<sup>1,2,3</sup>, Lin Zhongqin<sup>2,3</sup>, Yang Jianmin<sup>1,2,3</sup>, Liu Cungen<sup>1,2,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Ocean Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Collaborative Innovation Center for Advanced Ship and Deep-Sea Exploration, Shanghai 200240, China; 3. China Strategy Institute of Ocean Engineering, Shanghai 200240, China)

**Abstract:** With the developing of large scale and deep-water, performance of ocean engineering equipment has been improved rapidly. The offshore manufacturing industry faces with the complex manufacturing process, exacting working conditions, and high accuracy requirements. Manufacturing devices should to be refined, flexible, parallel in processing and measurement, need more breakthroughs in complete sets of equipment, control system and etc. And provide the support for the development of the construction capacity of ocean engineering equipment industry, achieve the fine, intelligent and green development in manufacturing process.

**Key words:** ocean engineering equipment; construction device; manufacturing technology

### 一、前言

钻井平台、生产平台等海洋油气生产装备, 海上风机等可再生能源利用装备和海上矿藏、生物等开发利用装备, 及各类工程船舶等不同类型的海洋

工程装备, 是人类开发、利用和保护海洋的各种海上活动的主要工具。随着人类开发海洋的范围、深度和开发能力的不断拓展, 对各类开发装备提出了新的更高的要求。超深水钻井平台、浮式液化天然气开发装置、海上浮式风力发电装置等各类新概念

收稿日期: 2016-06-20; 修回日期: 2016-07-05

作者简介: 彭涛, 上海交通大学, 高级工程师, 研究方向为海洋工程; E-mail: pengtao@sjtu.edu.cn

基金项目: 中国工程院重大咨询项目“‘十三五’战略性新兴产业培育与发展规划研究”(2014-ZD-7); 中国工程院咨询研究项目“高端装备制造及对高端机床的需求——海洋工程装备”(2015-XY-37)

本刊网址: www.enginsci.cn

和高性能开发装备不断涌现，为人类开发海洋提供了必不可少的工具。

目前，海洋工程装备制造已成为各国战略性新兴产业的重要组成部分和高端装备制造业的重要方向。进入 21 世纪以来，世界各海洋强国和濒海国家对海洋油气、矿藏、海洋可再生能源的开发能力和装备水平不断增长，同时与自然和谐相处的人类共识也使得海洋工程装备向着更为绿色的方向发展。目前欧美等海洋开发强国主要开展高端海洋装备及配套设备的研发、设计、生产和供货。韩国和新加坡等国则以浮式生产储油装置、液化天然气生产储运装置、钻井船、半潜式平台、自升式平台等抢占世界海洋工程装备主要建造市场。

经过“十二五”发展，我国海洋工程装备产业取得了显著进步，具备了深水海洋工程装备的设计和建造能力，在世界市场规模比重不断增大，海洋装备产品逐步向多样、中高端发展。而海洋开发深水化、大型化的要求，对我国的海洋工程装备建造产业提出了更高要求。紧密围绕海洋资源开发，大力发展海洋工程装备制造业，对于我国开发利用海洋、提高海洋产业综合竞争力、带动相关产业发展、建设海洋强国具有重要意义。

## 二、海洋工程装备建造要求

海洋装备制造业的制造模式、技术要求等与现代造船产业密切相关。随着海洋开发深度的增加和开发海域的复杂恶劣，以及对于开发安全、效率、环保日益重视，对船舶与海洋工程装备制造产业提出了愈来愈高的要求<sup>[1,2]</sup>。

在海洋工程装备性能要求不断提高、同时产业竞争日趋激烈的背景下，制造业加工的高精度、高质量、高效率、低成本等显得越来越重要。海洋装备的建造面临着制造要求高、加工环境复杂、关键设备设施精度要求高等难题。同时随着产业不断发展，对提高环境质量、降低劳动强度等提出了新的要求。

因此，在海洋工程装备建造上需要开发创新装备、新加工模式和新的组织形式，并不断提升加工精度、效率以加快海洋工程装备制造业转型升级，提升生产效率、技术水平和产品质量，降低能源等资源的消耗，实现制造过程的智能化和绿色化发展。

## 三、海洋工程装备建造对加工装备的需求

海洋工程装备制造涉及面极广，既有板材的精确切割、焊接、装配，也有复杂曲面的加工；既包括车间内各种复杂管系的生产和组装，也包括装备外场的现场高精度加工等，其制造能力的提升需要多方面共同提高。本文试从海洋工程装备建造的几个方面探析未来装备建造技术的发展。

### （一）高精度板材加工

海洋平台外板加工精度对分段精度起决定性作用，直接影响平台合拢。虽然海洋平台外形相比较船体而言较为规整，板材较船体外板曲线复杂程度稍低，但平台外板弯折角度多，且多采用高强度钢板，同时加工中常采用冷弯工艺，因而需要钢板切割、弯板、自动焊接等机床的支持。海洋平台多为单件产品，分段大小不一，板厚差异巨大。板材基本单件切割，要求加工机床的适应性广，易于调整，可对不同的形状、板厚、材质的钢板进行加工，同时也要求针对具体分段具备很高的加工精度，以确保平台整体的装配精度。因此，高水平、高效率的平台板材加工设备需要具备高精度、智能化的控制方式，以适应不断改变的加工要求。如应用于平台泥浆舱等处的槽型舱壁的加工由于大小不一，自动加工困难，目前主要依赖人工处理、喷涂、切割、焊接等，未来需要研制相关的设备开展类似的大批量复杂形状的板材加工<sup>[3]</sup>。而广泛应用于液化天然气（LNG）储罐设备中的钢材厚度极薄，焊接工艺条件和现场环境要求极高，从提高焊接效率的角度需要研制激光焊接等相关设备。

### （二）复杂曲面加工

船舶推进系统和海洋平台动力定位系统中大型螺旋桨制造工艺复杂。其中端面及轴孔加工、桨叶面加工是螺旋桨生产的关键步骤，在加工过程中主要使用数控机床<sup>[4]</sup>。

目前大型螺旋桨的尺度不断增加，对于加工装备提出更高需求，如对于大桨毂直径和深度的加工，现有的数控双柱立式车床难以保证加工精度，企业自行研发设备效率较低，需要研制高端高精度立式车床装备。多轴联动数控铣床是螺旋桨叶面的主要加工装备，需要进一步增大跨径以生产更大尺寸的

螺旋桨。螺旋桨导边加工和叶面的打磨抛光是一项繁重的工作,目前仍主要由人工卡板手工打磨加工或半机械化初磨、人工精磨的方法完成,效率较低且对工人健康具有危害,为此需要研制高效高精度数控加工装备以有效解决该问题。

### (三) 高精度平面加工设备

海洋平台上安装有钻井装备、大型吊机、燃烧臂、廊桥等不少质量重、体积大、作业要求高的大型配套设备。为确保设备的稳定操作和安全性能,平台上提供的设备安装基础多为大面积平面等,其加工面积大,平整度要求高,施工难度相当高。

如大型吊机底部安装平台对大型基座平整度要求极高,往往需要直径10 m左右的高精度圆形底座。钻井月池的月池导轨长50~60 m,精度要求达到0.5 mm,需要沿导轨往复切削加工。当前主要加工方式是采用分离式加工的模式,在车间加工完成后,再吊装至平台上焊接安装,直接导致周期长、加工成本高。未来需要研制一款可以在平台狭小区域内对大型和超大型平面进行高精度加工的机床设备。

### (四) 实时测量反馈加工设备

船舶的尾轴孔、舵轴孔等均为深孔结构,且运行时承载载荷大,需要加工时保证同心度和平整度。较大的加工误差将给尾轴安装和船舶营运安全、效率效益造成极大影响<sup>[5]</sup>。这种深孔结构往往直径达到700~1 200 mm,深度超过2 000 mm,且多为在室外现场加工,受温度等外界环境影响明显。现有加工方式主要使用现场镗床加工,由于受到本身结构挠度、加工时的环境温度等的共同影响,确保加工精度难度很大。加工过程中需要在加工中反复测量工件加工状况,加工刀头磨损情况等,并据此不断调整加工方式、进刀量等,导致加工周期长、精度难以保证。为此,需要研制一款适应室外加工环境变化、且将精度测量与刀具加工同步进行的深孔镗床设备,以确保加工精度。

### (五) 管道系统加工设备

海洋平台内部存在大量复杂的管系,需要进行大批量高精度的管道系统加工,且单件较多,交汇复杂。我国造船企业的管道加工虽然满足了船舶与

海洋平台建造的需求,但生产效率较低、人工投入和成本高等现象依然存在,且管材利用率低,能源和资源消耗较严重。目前的管道加工还是粗糙制作,不符合精益加工发展方向。国内外实践已证明,要提高管件加工的产量和进度,必须实现管件生产的现代化和柔性化。

在目前普通的管道自动焊接机器人的基础上,需要研制集原料处理、交贯线处理、焊接坡口处理、法兰盘安装和整体焊接在内的管道自动化、柔性制造系统,以满足大批量、复杂单件、高精度的管道加工要求。

### (六) 表面处理与喷涂设备

为提高平台结构耐久性,抵抗海水腐蚀和生物附着,平台表面需要进行油漆处理,而在油漆船体表面时必须对平台外表面进行清洁处理。而长期在海水浸泡下的工作平台,船体表面附着难以清除的贝类、锈斑等,为了延长平台的使用寿命,保证安全运行,在进坞检修时也必须进行壁面抛光加工和再次油漆。

平台表面积十分巨大,手工表面清理和焊缝处理等加工不仅费时、费力、效率低下,且难以保证形状精度,加工质量也不稳定。同时手工抛光和油漆时,废渣涂料较多,工作环境较为恶劣。因此需要研制开发大型曲面高效自动化表面清洁机器人与高效喷涂机器人。这些机器人需要能稳固地附着在不同形状位置的钢板表面进行工作,可完成大型复杂曲面的表面清理,同时能有效地收集和處理废渣废料以控制污染,高效率高质量地完成大面积船体的自动喷涂任务。

### (七) 海洋平台自载加工设备

海洋平台在远海作业期间,不可避免地需要进行一些紧急设备工件的加工、修复和修整等工作。这些工作对保障海洋平台长期正常的运行具有重要意义。因此多功能数控机床等海洋平台自载加工设备成为增强海洋工程装备作业能力的重要设备。由于维修常常是在海洋平台遭受恶劣海况冲击的情况下进行的,因此这些设备在具备紧急情况下所需的零部件和工件的快速加工、修复和修整等综合加工能力的同时,还具备在复杂海况条件下平台剧烈运动情况下的作业能力。因此,需要针对这一特殊环

境条件,进行多功能、动态加工能力强的数控加工中心等设备的研制。

#### 四、结语

海洋工程装备的建造需要得到各种先进加工设备的支撑。在各类数控机床等工艺系统的研发过程中,总体上需要注意以下共性需求,克服现有设备的不足。

(1) 目前国内加工设备行业提供单台加工设备较多。但是立足海洋工程装备制造企业的具体产品需求,提供一揽子成套解决方案较少。相关企业需要针对海洋平台建造与运行的具体需求,构建一体化加工设备系统。

(2) 加工设备的控制软件方面主要依赖国外系统。随着智能制造技术的推进和船舶与海洋工程数字化建造技术的发展,开发我国自主的控制系统非常重要。

(3) 实现高精度智能制造需要对生产过程数据进行实时采集、反馈,以控制刀具加工路径,提高加工精度。目前即使采用国外软件,数据接口的开放仍难以满足智能制造发展的需求。在开发我国自主设备时需要制定统一的设备接口标准等。

#### 致谢

本项研究的调研分析得到我国多家船舶与海洋工程装备制造企业、科研院所等部门的大力支持,在此表达深深谢意。

#### 参考文献

- [1] 李兰美,梁华军. 国外船舶舾装现状与发展趋势[J]. 造船技术, 2007(3): 4-8.  
Li L M, Liang H J. Situation and development trend of foreign ship outfitting [J]. Marine Technology, 2007(3): 4-8.
- [2] 李沁溢,张宜群,宋友良. 海工建造总装厂的作业主流程分析[J]. 中国海洋平台, 2016, 31(2): 1-13.  
Li Q Y, Zhang Y Q, Song Y L. Analyses on general construction factory for offshore engineering units [J]. China Offshore Platform, 2016, 31(2): 1-13.
- [3] 王守桂,陈小平,卮英宇. 角接型式槽型舱壁建造工艺探讨[J]. 中国水运, 2011(2): 96-97.  
Wang S G, Chen X P, Nie Y Y. Discussion on the construction technology of angle joint type corrugated bulkhead [J]. China Water Transport, 2011(2): 96-97.
- [4] 徐玲,张胜文,朱成顺,等. 船用螺旋桨加工工艺及数控编程技术研究[J]. 船舶工程, 2012, 34(6): 46-49.  
Xu L, Zhang S W, Zhu C S, et al. Research on processing technology and nc programming technology of marine propeller [J]. Ship Engineering, 2012, 34(6): 46-49.
- [5] 周伟. 尾机型船舶推进轴系安装工艺[J]. 船海工程, 2004(6): 15-17.  
Zhou W. Installation of shafting for stern-engined ship [J]. Ship & Ocean Engineering, 2004(6): 15-17.