

焊接机器人在船舶建造中的应用

胡浩 高飞 邹家生 严铿

(江苏科技大学材料科学与工程学院, 江苏 镇江 212003)

摘要 为了响应《中国制造 2025》的提出, 以及加快船舶企业的升级和对船舶工件焊接效率的提高, 应加快推广焊接机器人在船舶行业的应用, 在目前全球性船舶行业不景气的大背景下, 船舶行业应深入开展机器人船舶焊接生产应用研究, 迅速提升船舶焊接装备技术, 推动我国船舶行业的大发展, 为迎来船舶市场的下一个春天做好准备。

关键词: 焊接; 机器人; 船舶

引言

随着新一轮科技革命与产业变革孕育兴起, 智能制造正在成为全球制造业变革的重要方向和竞相争夺的制高点, 主要制造业国家纷纷出台推动智能制造的相关战略及政策, 例如美国的 CPS 计划, 德国的工业 4.0 等, 抢占了新一轮产业发展的高地。《中国制造 2025》的提出, 以“智能工厂、智慧制造”为主导的船舶工业革命已经悄然来临, 船舶工业在我国制造业中占有重要的地位, 2015 年国务院发布的《中国制造 2025》战略, 明确提出“突破高技术船舶和海洋工程设计建造技术”, 为我国高技术船舶发展指明了方向, 船舶企业的转型升级是当下大环境的形势所趋。随着船舶工业的逐渐发展, 对船舶工件焊接效率和精度的要求越来越高, 传统的手工焊已经不能被满足, 推动船舶焊接自动化和智能化是提高船舶生产效率的重要环节。发达国家都把机器人技术或智能化技术摆在科技发展战略中最优先的地位, 尤其是日韩美欧洲等国家一直致力于研究机器人焊接在船舶上的应用。

1 日本焊接机器人在船舶行业的应用

早在 20 世纪 70 年代, 日本就开始探索工业机器人的研发, 1969 年日本川崎重工业公司从美国引进相关技术, 研制了日本第一台工业机器人(Unimate), 随后十年间在日本船厂相继出现了板材装配机器人(PABOT)和船体焊接、涂装机器人(CLIMACS)。20 世纪 80 年代, 日本造船业将计算机综合制造系统(CMIS)试用是在用于小合拢部件上加强材的平角焊, 以后逐步扩大至平行舢体部分分段中纵、横构件间各种角焊缝的焊接, 船台(船坞)上船体外板对接焊缝的焊接以及管子车间中管子与管子和管子与法兰的焊接等。1988 年日本又开发出了数控门架式多关节机器人(用于小合拢部件的焊接)后又研制出能自行寻找焊缝起点的原点移动式可携机器人(用于焊接井格形结构的角焊缝)

和若干种可携式对接焊用机器人。20 世纪 90 年代后期,日本的 NKK 公司津船厂开发和应用了造船小合拢的多台焊接机器人系统^[1], 1995 年 9 月正式在生产线上实用化在小合拢生产中。小合拢流水线由配材、装配、焊接、成型, 整条流水线焊接工位上无人。流水线是利用 NKK 研发的专用 CAD/CAM 系统, 控制流水线上 10 台 6 关节弧焊机器人, 每台焊接机器人都能在 X、Y、Z, 3 个方向悬吊式导轨上移动,这样就变成 9 轴焊接机器人结构。NKK 津船厂的小合拢采用各种轻便型自动水平角焊机及门架式多关节机器人焊接低构架肋板框架、平板部件; 构架的肋板与纵桁之间以及与纵骨之间的角焊缝, 构架与底板的水平角焊缝则采用门架式机器人或多台小型机器人进行“井”字形构件内水平和立向自动角焊。这款 CAD/CAM 被称为 New NASD, 该系统利用构件的几何形状信息焊缝形状不同的焊脚和坡口形状等的焊接信息,在自动焊接程序系统中由焊接开始点终止点带有抗干扰的位置变更点位置数据等组成,都贮存在焊接机器人的数据库中在数据变换系统中取出动作模型数据库和焊接条件数据库作为必要的信息,从而达到焊接机器人的动作程序变换^[2]。

近些年日本更注重智能船舶的研发, 2016 年 6 月本国土交通省在交通政策审议会上提出“i-Shipping”构想, 所谓“i-Shipping”, 是将创新 (innovation)、信息 (Information)、物联网 (IoT) 等尖端技术有机结合的智能造船、造智能船的理论。将 ICT (Information Communication Technology) 的运用贯穿至从开发建造到航运的各个阶段中, 以提高造船和航运的竞争力^[3], 三菱重工率先研发了自动离线引导系统, 利用自行研发的船舶 3 维绘图软件 3D-CAD MATES (如图 1) (Mitsubishi Advanced Total Engineering system of Ships) 的三维模型生成焊接机器人的作业数据, 并成功应用于造船现场作业, 设备于 2012 年 11 月完工, 后续主要用于 VLCC、LPG、LNG 船型的实际作业, 一年间实际焊接 120 个分段、焊接长度 40000m、以及实现槽型部件周围的焊接作业自动化^[4], 图 2 为焊接机器人应用。日本联合造船在部件焊接和分段焊接环节建成了自动化生产线, 应用了大量机器人, 其中部件自动化生产线由 4 个装备 2 台焊接机器人的横梁组成, 焊接机器人之间能够实现干涉检验, 生成最优的焊接数据; 分段自动化生产线由 16 台焊接机器人组成, 实现了焊接间隙自适应控制和弯曲接头自动焊接, 显著提高了焊接效率^[5]。神户制钢所研发了针对船舶大组立的机器人焊接系统 (如图 3), 此焊接机器人可进入狭小空间, 对分段进行焊接。机器人的主体搭载在便于运输的运载装置上, 再悬挂在起重机上在分段之间移动, 焊接时, 将机器人降至分段底部, 停稳后用自动定位装置定位^[6]。2016 今治造船运用 AI 4 台焊接机器人连同协作系统的开发项目, 以及 2017 年的大型立体曲面分段 6 台焊接机器人协作系统项目都获得了日本国土交通省的造船革新技术研发补助。



图 1 造船 3D-CAD 数学概述



图 2 三菱焊接机器人应用现状



图 3 神户制钢所钢吊顶悬挂式倒车焊接机器人系统

2 韩国焊接机器人在船舶行业的应用

韩国通过引进国外先进技术和自主研发进行造船装备的自动化改造，成立了一些专门的造船工业机器人研发机构，典型的有大宇造船厂与韩国高等技术研究院合作成立了机器人研究所，集中开发焊接、涂装等造船用机器人，1995 年采用机器人型平面分段生产线，自 1997~2002 年的 5 年间，合计生产了 22 台焊接机器人，用于分段组装。三星重工 2001~2002 年 10 月投资了 14.3 亿韩元用于机器人的开发，并成功地开发了坞内分段结合部打磨用的机器人。为了促进船用机器人产业的发展，并且在釜山专门成立了海洋机器人技术中心，推进机器人设备及部件实现商业化，为造船业提供技术支持。早在 2003 年，就将机器人产业确定为下一代的发展引擎。2008 年，韩国国会通过了一系列有关机器人发展的法案，促进了机器人产业的全面发展。三星重工提出了“自动化船厂”的概念，根据三星重工的测算，其造船自动化率已经达到了 68%，三星重工的蜘蛛型 LNG 船货舱自动焊接机

机器人，每天可完成 80 米的焊接作业，焊接效率提高了 400%，并且可以大幅减少焊接差错，整个焊接长度的累积误差不超过 10mm^[7]。2013 年 4 月，韩国 SPP 造船公司开始应用智能焊接系统(SWIS)。该管理焊接生产的实时网络可以使工艺施工的误差降低达到 55%，并且有助于 SPP 造船公司将产能提高 10%，可以节约 150 亿韩元(1340 万美元)的生产成本。在韩国大宇造船建造破冰液化天然气运输船过程中，该公司一直使用一个 16 公斤重的机械臂(如图 4)焊接钢部件。这种机械臂可以在船体上工作，可在一个密闭空间里完成钢结构焊接。2018 年 3 月 4 日，现代重工正式宣布成功开发双曲面弯板加工机器人系统(如图 5)，现代重工蔚山船厂近期完成了为期一年的机器人系统测试，这一系统以物联网（IoT）和自动化技术为基础，可自动生成加热轨迹，配备高频电流感应加热系统和六轴多关节机器人，能够自动形成一艘船舶的 3D 曲面，成功解决弯板加工流程标准化的难题，现代重工未来还计划增加人工智能和更加复杂的技术^[8]。



图 4 大宇造船的机械臂

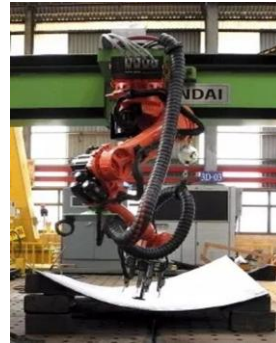


图 5 现代重工机器人

3 欧美国家焊接机器人在船舶行业的应用

除了日韩，欧美不少国家的船舶建造中都相继不同程度地采用了焊接机器人。奥地利 IGM 机器人系统公司将机器人焊接系统成功用于船舶制造业中，无论是豪华客轮、油轮、货柜船，还是巡洋舰的建造，IGM 焊接机器人都有较多应用（如图 6），一个系统内可以有 10 个机器人同时进行工作，德国的迈尔船厂引进了可 360 度旋转机械臂焊接机器人（如图 7），工人只需要在控制面板里面输入一些参数，然后启动程序，机器人就会开始自动测距定位、自动焊接、自动移动、平焊、横焊、立焊以及仰焊。丹麦欧登塞钢铁船舶制造有限公司（Odense Steel Shipyards）应用了 REIS RV6 机器人焊接一种典型的由钢板和垂直的加强筋组成的网格状工件，该公司自行设计的 B4 焊接机器人已用于大吨位、高质量集装箱船的制造中，该机器人每天能焊 3km 长的焊缝。芬兰 Kemppi 焊接设备公司和丹麦自动化公司已经开发出了一种船厂生产体分段机器人焊接系统，将 Inrotech 自动化公司的移动船厂机器人配上 Kemppi 焊接设备公司的柔性弧焊系统，从而解决了空间受限区域内结构的焊接问题（如图 8）。



图 6 奥地利 IGM 用于部件的装焊



(a) 360 度旋转机械臂焊接机器人



(b) 机器人焊接焊缝效果

图 7 德国迈尔船厂焊接机器人

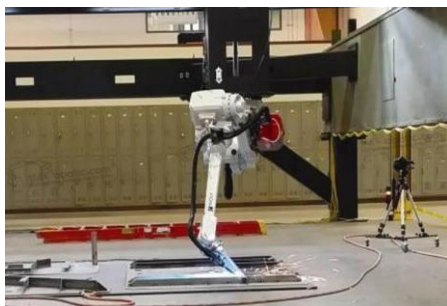


图 8 自动驱动全自主焊接

1960 年，美国联合控制公司买下美国机器人发明者乔治·德沃尔（George Devol）的专利，成立优尼梅生（Unimation）公司，生产出了第一批工业用途的机器人，称为优尼曼特（Unimate）。20 世纪 70 年代中期以前，美国是工业机器人最大的生产、出口和技术转让国，此后，由于政府减少了研究开发方面的资助，一些具有重大突破性的机器人技术则由美国公司以与国外公司合作，或引进相关技术而得到，20 世纪 80 年代起美国就将机器人列为船厂的适用技术。托德·太平洋公司的洛杉矶船厂在 1983 年将弧焊机器人用于小部件的生产。阿冯尔船厂在纵桁和横梁流水线上应用机器人进行作业，从 1986 年开始美国的 Adept 公司和 CA 公司发挥出自身专长，生产出带有视觉功能的装配机器人，利用下一代技术迎合了用户的新需求，占领了美国 60% 的机器人市场。美国如今更看重智能焊接的趋势，2015 年 SSI CAD/CAM 软件公司正在开发与其最近的 3D 焊接管理领域创新一致的计算机辅助机器人焊接(CAR-W)解决方案，该研究项目获得了美国海军国家造船研究计

划(NSRP)的支持。SSI 公司和 Wolf Robotics 在不久前展示了共同开发的自动驱动全自主焊接机器人(如图 7)焊接几个船舶驾驶台。SSI 公司开发的 Autodesk 基于其一些造船和海工解决方案,包括一款基于 Autocad 的 CAD/CAM 生产线软件 ShipConstructor 和一种共享产品数据模型信息的工具 EnterprisePlatform^[9]。

4 我国的焊接机器人在船舶上的应用

目前我国的工业机器人密度远低于发达国家,根据 IFR 报告,2017 年美国制造业的机器人密度达到每 10000 名员工 200 名机器人,日本为 308,韩国为 710,世界的平均水平为 85,而中国为 97 名^[10]。我国早在 20 世纪 70 年代开始研究焊接机器人,直到 20 世纪 70 年代末,上海电焊机厂和上海电动工具研究所,合作研制出直角坐标机械手,并且成功的应用于上海牌轿车底盘的焊接^[11],进入 20 世纪 80 年代后,我国高校对机器人技术的开发开展研究,1985 年哈尔滨工业大学研制出我国第一台焊接机器人“H-Y12”。到 1999 年国家 863 计划智能机器人主题专家验收通过了由一汽集团、哈尔滨工业大学和沈阳自动化研究所联合开发的 HT-100A 型点焊机器人,此后国内的焊接机器人开始走向实用化阶段^[12],从 20 世纪 90 年代起,我国先后研制出了点焊、弧焊、装配、切割、搬运等各种用途的工业机器人。2000 年国家 863 计划“机器人应用工程及其产业化开发”项目在长春通过了验收,标志着我国具有自主知识产权的工业机器人实现了技术和应用上的跨越,使我国工业机器人自主设计、制造和应用的整体技术水平跻身国际先进行列。

近年来,我国大型船舶企业纷纷开始尝试机器人焊接技术用于船舶结构焊接。为了满足管子车间的技术进步需求及生产需要,摆脱对进口设备的依赖,江苏科技大学、上海外高桥造船有限公司和昆山华恒焊接设备技术有限公司合作将工业机器人、数字化焊接电源、主从控制技术等高新技术集成应用到传统的管子焊接生产,用 2 台焊接机器人及 1 台开口钳式变位机为主导设备(如图 9),成功研发了国内第 1 条船用管-管、管-法兰主从机器人焊接生产线,于 2007 年投入生产应用,并通过江苏省国防工办鉴定,该生产线采用具有国际先进水平的机器人位置传感技术、电弧跟踪技术、两台机器人协同工作的主从控制技术、开启式变位机链轮传动装置专利技术及 MIG 自动焊接专家系统等高新技术研制而成。2014 年,唐山开元机器人系统有限公司开发研制了 ARCMAN 系列机器人和 MICROBO 系列机器人,并联合大连船舶重工集团有限公司对船舶结构模拟工件进行了试焊。2015 年 7 月,中国船舶重工集团研制的中国首套具有完全自主知识产权的船舶制造多功能舱室焊接机器人,已在大连船舶重工集团顺利通过试用期,正式焊接造船,该机器人的研制成功使中国成为世界上第四个拥有该种先进技术装备的国家^[13]。2015 年 12 月,南通中远川崎船舶工程有限公司内业(船

体)车间内的第4条机器人自动化生产线上岗,建成了工信部的船舶制造示范车间,自2011年以来,南通中远川崎逐步投产型钢自动生产线、条材机器人生产线、先行小组立机器人焊接线和小组立焊接线(如图10)等4条机器人自动化生产线,原来的型钢的生产线,从画线、写字、切割、分料都是人工操作,现在钢材的划线与切割都是机器人完成(如图11),使生产效率提高2-4倍,先行小组立机器人实现了工件自动背烧、自动工件出料,与之前传统制造时钢板需要在定盘上全面铺开,装配焊接、翻身、背烧、相比较不仅提高了效率,而且减少周期,小组立焊接与之前相比,采用三维模拟部材,利用KCONG软件进行自动化生产,4台焊接机器人即可单独焊接又可相互配合,大幅度提高生产效率增加了灵活性,南通中远川崎在国内率先开辟了具有中国特色的“智能船厂”建设之路^[14],不仅南通中远川崎,江苏新时代造船有限公司从建厂开始就引进了管子焊接机器人,上海江南船舶管业有限公司也引进了3条全自动管子焊接生产流水线,并配备了6台焊接机器人(如图12)^[15]。此外,中船澄西船舶(广州)有限公司等国内一些船厂也纷纷“试水”机器人制造。



图9 船舶大型直管-法兰机器人柔性焊接系统



图10 南通中远川崎小组立焊接机器人



图11 南通中远川崎自动化生产线



图12 江南管业车间管子-法兰自动焊接生产线

5 结语

目前智能船舶成为国际海事界的新热点,国际海事组织(IMO)、国际标准化组织(ISO)等国

际组织将智能船舶列为重要议题，国际主要船级社先后发布了有关智能船舶的规范或指导性文件，世界主要造船国家大力推进智能船舶研制与应用^[16]。根据发达国家的船舶焊接轨迹为手工焊、自动焊、机器人焊接、智能焊接，但是现阶段我国船舶的焊接技术水平大多数处于半自动化到机械自动化焊接阶段，达到智能化焊接阶段还有一定距离。当前，我们迎来了世界新一轮科技革命和产业变革同我国转变发展方式的历史交汇期，发展智能船舶既面临着千载难逢的历史机遇，又面临着众多不确定因素和巨大挑战。我们首先要夯实基础、补齐短板，面向行业智能制造发展的需求，完善船舶精益制造体系和智能制造标准体系，加强船厂互联网基础设施建设，在现今全球性船舶行业不景气的大背景下，深入开展机器人船舶焊接生产应用研究，迅速提升船舶焊接装备技术，为推动我国船舶行业的大发展，为迎来船舶市场的下一个春天做好准备。

6 参考文献

-
- [1] 高飞, 严铿, 邹家生. 焊接机器人在船舶工业中的应用 [j]. 江苏船舶, 2009, 26 (3) :41-44.
 - [2] 陈家本. 日本焊接机器人在船厂的开发与实用 [j]. 焊接与切割. 1996, 6 35-38.
 - [3] 川村竜児. 先進安全船舶技術研究開発支援制度について-海事産業の生産性革命 i-Shipping (Operation) [J]. 日本マリンエンジニアリング, 2017 (2):44-47.
 - [4] 井上彰. 自動オフラインティーチングシステムを用いた船体ブロック溶接ロボットの实用化[C]. 日本: 三菱重工技報, 2013
 - [5] 曲慧. 日本船舶工业发展现状调查与分析 [D]. 大连: 大连理工大学. 2018
 - [6] 定廣健次. 造船向け大組立ロボット溶接システム[R]. 日本, 神戸制鋼所: 2017.
 - [7] 江文成 樊志远. 日韩船舶智能制造的主要发展方向[J]. 中国船检 2019 ,2,: P17-24
 - [8] <https://robot.ofweek.com/2018-04/ART-8321202-8220-30221922.html>
 - [9] <http://www.cnshipnet.com/news/13/62085.html>
 - [10] <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/brexit-uk-falling-back-in-global-automation-race-robot-sales-down-3>
 - [11] <http://www.imrobotic.com/news/detail/4863.html>
 - [12] 赵伯樵, 曹凌源, 郑惠锦, 毛信顺. 船舶高效焊接工艺及装备[j]. 船舶高效焊接设备及工艺, 2010, 06 (3), 4-10.
 - [13] <https://new.qq.com/rain/a/20161007005901>
 - [14] <https://www.imarine.cn/forum.php?mod=viewthread&tid=569443&highlight=%BB%FA%C6%F7%C8%CB>
 - [15] <https://gongkong.ofweek.com/2015-06/ART-310058-8420-28971135.html>
 - [16] 智能船舶发展行动计划 (2019-2021 年)

仅供交流



江苏船舶微信公众号



江苏船舶网上投稿系统