



焦向东：北京石油化工学院副院长、教授

海洋工程水下焊接 自动化技术应用现状及展望

北京石油化工学院能源工程先进连接技术北京市工程研究中心 (102600) 焦向东 朱加雷

【摘要】 随着海洋油气资源勘探开发的深入，与之对应的海洋工程水下焊接质量要求不断增加，焊接水深逐渐加大，自动化水下焊接技术已逐渐成为海洋工程水下焊接的主要趋势和必然选择。本文概括介绍了湿法水下焊接、局部干法水下焊接、高压干法水下焊接和常压干法水下焊接等方面的自动化技术应用现状，简单综述了水下焊接机器人技术的发展，并对水下摩擦叠焊和水下激光焊接技术进行了叙述，提出了针对海洋工程自动水下焊接技术发展趋势的看法。

1. 概述

海洋蕴藏着丰富的油气资源，随着我国原油对外依存度的逐年攀高，加快海洋石油开发的需求愈发迫切，大力发展海洋石油勘探开发技术，并不断向海洋的深度和广度进军，对我国经济发展和能源安全具有非常重要的战略意义。随着海洋油气资源大开发时代的到来，大量的海洋工程建设和维护工作需要先进的水下焊接技术作为支撑。水下焊接技术已成为采油平台、输油管道和海底仓库等大型海洋结构物组装、维护及维修的关键所在。

水下焊接种类繁多，从工作环境中可以分为湿法焊接和干法焊接，其中干法水下焊接包括局部干法水下焊接、高压干法水下焊接和常压干法水下焊接，此外还有一些先进水下焊接方法，如激光焊、电阻焊、摩擦焊和爆炸焊等。随着焊接水深的增加以及焊接质量要求的提高，水下焊接自动化已经成为水下焊接的主要趋势和必然要求。

2. 水下焊接自动化技术应用现状

(1) 湿法水下焊接 这种方法不采取特殊的排水措施，焊接直接在水中进行，此种焊接方法的水下焊接基本问题表现最为突出。但由于湿法焊接具有设备简单、成本低廉、操作灵活及适应性强等优点，目前被广泛用于海洋工程的建造安装及维修，特别是近年来随着专用焊条等焊材的不断改进，湿法水下焊接得到了迅猛发展，焊接质量达到了美国焊接学会AWS D3.6M-1999的要求。英国已把湿法水下焊接技术用于北海钻井平台的建造和检修，美国采用水下焊条进行潜艇的修理，我国也在大桥的施工中采用了湿法水下焊接技术，但由于这种方法难以获得高质量的焊接接头，所以一般只用于水深几米至几十米的海岸工程非重要结构物的维修。

湿法水下焊接最常用的方法为焊条电弧焊和药芯焊丝电弧焊，其中自动化焊接技术的研究主要集中在药芯焊丝电弧焊。在湿法水下焊接焊缝跟踪

基金项目：国家自然科学基金：电源特性对高压环境焊接电弧行为的影响规律与控制策略(51175046)

国家自然科学基金：激光增强水下MIG焊接熔滴过渡控制的机理与特性研究(51205026)

北京市自然科学基金：核电厂在役维修局部干法自动水下焊接关键技术研究(3102012)

传感器研究方面,由于水下环境特点大大缩小了可用传感器的选择范围,目前应用的主要是CCD视觉传感器,此外,还有超声波传感器和旋转电弧传感器。

(2) 局部干法水下焊接 局部干法水下焊接的焊接局部区域排除了水的干扰,改善了焊接接头质量且不需要大型焊接舱,是当前水下焊接的重要研究方向。英国曾将此方法用于北海大陆架挪威海域,修复被冬季风暴破坏的Ekofisk钻井平台两根位于水深7m、直径3500mm的管子。美国在水深12m处用此法修复了采油平台管径406mm的立管。

国内的哈尔滨焊接研究所在20世纪70年代后期开发了水下局部排水气体CO₂保护焊技术,简称LD-CO₂焊接法。近年来,国内部分单位在水下局部干法焊接技术的研究中取得了突破性进展。南昌大学建立了局部干法水下焊接机器人系统,带有焊枪和局部排气罩位置自动调节系统、跟踪系统和观察系统,能够基本实现水下焊缝的跟踪。采用了矩形局部排气罩和水下送丝机盒,进行了水下焊接工艺、水下焊接设备等对焊缝质量的影响的对比研究。

我们也开发了一套局部干法自动水下焊接试验系统,(见图1)。由水下焊接试验舱、焊接电源、液压驱动自动焊接平台、排水罩、试验环境系统及水下焊接摄像系统六个部分组成,能够实现水下局部干式MIG(MAG)

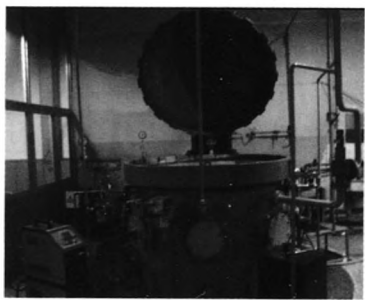


图1 局部干法自动水下焊接试验装置

全自动焊接。利

用该套装置进行了模拟5m和15m水深条件下304不锈钢和321不锈钢的局部干法自动焊接试验,焊接方式有平板堆焊、坡口堆焊以及对接焊,焊缝成形良好。

针对较大空间的水下焊接位置,我们开发了气室式局部干法水下焊接试验系统,如图2所示。搭建了水下焊接数据采集平台,可以对排水焊接过程中气室内部的湿度、压力以及焊接电流、电弧电压等参数进行实时采集显示。

(3) 常压干法水下焊接 常压干法焊接既不受水深的影响,也不受水的作用,焊接过程和焊接质

量与陆上焊接时相同,因此其焊接质量也最有保证。但常压焊接系统在海

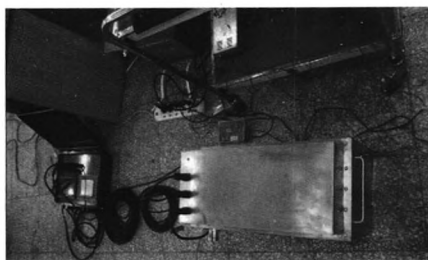


图2 气室式局部干法水下焊接试验系统

洋工程中的应用很少,其主要原因是焊接舱在结构物或者管道上的密封性和焊接舱内的压力很难保证。巴西石油公司曾与 Lockheed 石油公司联合开发的该类作业系统在亚马逊盆地进行了应用。由于常压干法焊接设备造价比高压干法水下焊接还要昂贵,焊接辅助人员也更多,所以一般只用于深水焊接重要结构。

常压干法水下焊接的一种特殊情况是在浅海水域使用围堰的方式。波浪、潮汐以及较大的水深变化,使得浅水区域工作环境很不稳定,可以通过采用配备梯子的桶形结构将焊接舱连接到水面,形成常压工作环境来解决问题,从而实现常压焊接。

2011年5月,中国石油天然气管道局维抢修分公司在大亚湾利用围堰方式,完成了浅海海底管道维抢修封堵改线施工,采用的围堰方式如图3所示。



图3 管道抢险中心开口干式舱系统

(4) 高压干法水下焊接 由于湿法水下焊接和局部干法水下焊接的实际应用水深一般不超过40m,为了适应海洋工程向深海发展需要,许多国家加大了对高压干法水下焊接技术的研究与应用。挪威STATOIL公司的PRS系统于1994年进行了334m水深的管道焊接,获得成功。

在国内,哈尔滨焊接研究所从20世纪80年代开始研究高压干法水下焊接,先后研制了HSC-1和HSC-2两套高压干法水下焊接模拟试验装置。HSC-1的容积为1m³,最大工作压力为1.6MPa,可进行熔化极气体保护焊,HSC-2的容积为

0.055m³,最大工作压力为3MPa,介质为氢气、氦气或混合气体,可进行TIG焊和MMA焊接试验。

我们在“十五”期间建成了设计压力为1.5MPa,即相当于150m水深的高压焊接试验装置,如图4所示。研制了钨极氩弧自动焊机,并对模拟60m水深条件下管道全位置TIG自动焊接工艺进行了系统、广泛的研究,并于2006年11月在渤海成功地进行了海底焊接试验,这一研究成果也标志着我国高压干法水下焊接技术达到世界先进水平。

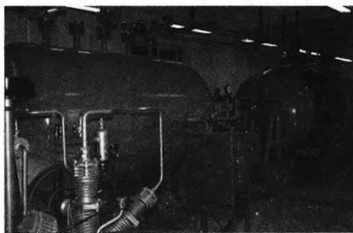


图4 高压干法水下焊接试验装置

(5) 摩擦叠焊 摩擦叠焊可以适应很大的焊接厚度,且焊接质量基本不受水深的影响,此种方法对于壁厚较大的海洋平台和海底管道的修复具有非常突出的技术优势。21世纪以来,摩擦叠焊成为水下修复研究的重点。1997年6月~2000年5月,由德国GKSS研究中心、英国国家高压焊研究中心(NHC)、英国Circle Technical Services公司、英国Stolt Offshore Ltd.、瑞典NEOS Robotics等7家单位组成的项目组,研制开发了一套基于电动机器人和摩擦叠焊摩擦头的无人操作钢结构水下裂纹修复系统。1998年12月~2001年8月,由Stolt Offshore Ltd.、NHC、GKSS联合开发了欧盟THERMIE Stitchpipe深水油气管道修复用的摩擦叠焊系统样机。

我们2006年与中国搅拌摩擦焊中心合作,结合水下修复环境要求,成功开发出了中国首台水下摩擦叠焊设备,如图5所示。该套装置主要由摩擦主轴头、工装、液压系统及电控系统组成,主要用于钢板、钢管等材料的焊接;焊接钢板时标称焊接厚度10~25mm,可以实现500mm×300mm钢板对接,筒体零件的外直径尺寸≤φ200mm,能够实现零件的干、湿式环境焊接,湿式焊接通过在工作台面上加装



图5 深水结构摩擦叠焊试验装置

水槽来实现,可用于深水连接研究。该套试验装置的摩擦主轴头轴向力>2t,最大转速为4700r/min,最大扭矩50N·m,采用的螺柱直径为10~20mm,电控系统人机界面能够显示和控制焊接压力、旋转速度和插入速度等工艺参数。

(6) 水下激光焊 激光焊接能量便于长距离传输至待焊部位且易于控制,焊接系统可以简化和集中,因此激光水下焊接技术已成为核电厂远程处理的工具之一,在海洋工程水下焊接中也有着重要的应有前景。

在国外,日立公司2001年开发了水帘式激光焊炬,实现了稳定的水下干式空间,以4kW激光+填充焊丝的方式进行了0.3MPa压力条件下的U形坡口水下激光向下焊和水平横焊试验。2004年日本石川化成重工业公司进行了核电厂放射性容器内部的遥控操作水下激光焊接作业。东芝公司开发的水下激光焊接系统通过氩气排水形成激光焊接的局部干燥空间,成功焊接了平板试件,并对圆管内周进行了模拟焊接试验,获得了良好的全位置激光熔敷焊层。2009年,美国西屋电气公司和美国电力研究院合作,使用水下激光缝焊技术对水下模拟裂纹进行自动焊接修复。

在国内,一些研究人员采用填丝热导焊的方法对水下Nd:YAG激光焊接中局部干式空腔的保护条件对水下焊接质量的影响进行了研究,利用气体喷嘴可形成局部干燥空间,调整喷嘴结构和气体流量等参数,可以获得良好的水下焊缝质量。激光焊也有它的一些缺陷,如在对接设备过程中需要很高的精确性,这就限制了它在水下应用的范围。

3. 水下焊接机器人

目前的水下焊接通过采用自动化和智能化的技术,实现了焊接过程的自动监控,焊接质量好、效率高,但仍然需要潜水员的辅助,因而实际焊接水深不能超过650m,而且对潜水焊工的专业和技术要求很高。水下焊接技术要向海洋深处应用,必须发展智能化的无人水下焊接机器人。水下焊接机器人属特种机器人,是一个复杂的无人系统,由水下焊接技术和水下机器人结合产生,代表水下焊接自动化的发展方向。但由于水下环境的复杂性和不确定性,目前水下遥控焊接还停留在研究起步阶段,没有焊接机器人从事完全的水下焊接活动。

(下转第32页)

Figure 10-10 shows two screenshots of the 'Slope Stability Analysis' software interface. The top screenshot displays a trapezoidal cross-section with a circular failure surface. The bottom screenshot displays a different cross-section with a circular failure surface. Both screenshots include a 'Fill' table with columns for 'Fill' and 'Fill'.

84

(b) RT检测结果

6. 结语

(2) 通过开展焊接接头含缺陷与未含缺陷剖面检查,检测对比了AUT和RT两种无损检测技术对夹渣、气孔、未熔合、未焊透、烧穿和裂纹等缺陷检测准确性,对指导工程应用起到了良好作用。

(上接第26页)

南昌大学针对水下焊接机器人柔性履带的吸附与张紧问题进行了研究,并设计了适合水下焊接的焊缝传感系统,进行了水下焊接焊缝的基础性测试,为水下焊接机器人的发展奠定了一定的基础。

尽管近年来水下自动焊接技术得到了较大发展,但与实际的应用需求相比还有一定差距,海洋工程水下自动焊接技术未来应从以下几个方面展开重点研究。

(2)无人潜水技术与水下焊接技术的结合将大大加快水下自动焊接技术的研究进展,现有无人潜水技术与水下焊接材料、工艺和设备的有效结合,是海洋工程水下焊接自动化研究的又一主要方向。

(3)开展650m以上更深水域的水下电弧焊接设备和工艺的研究,进一步加强诸如激光焊、电阻焊、摩擦焊和爆炸焊等先进自动水下焊接研究工作,推动新型水下自动焊接技术的应用和发展。

(4)加强计算机数值模拟技术在水下自动焊接研究当中的应用,并促进其不断向深度、广度发展,以缩短技术研发周期、降低试验消耗,使先进技术更好的为海洋工程水下焊接修复作业服务。

32 2013年 第2期 焊接与切割
www.metalworking1950.com