

海洋油气管道铺设全自动焊接技术研究现状

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

朱加雷 焦向东 罗雨 姬宜朋 周灿丰

文章来源：《现代焊接》杂志2013年第6期

作者简介：朱加雷（1981-），男，2005年在中国石油大学（北京）获得机械设计及理论硕士学位，2006年-2010年在北京化工大学化工过程机械专业获得博士学位，讲师，副主任，现主要从事机械工程学院机电工程系的相关教学和科研工作，并负责能源工程先进连接技术北京高等学校工程研究中心“水下焊接工艺与设备”研究方向的科研工作，先后主持和参与国家自然科学基金、国家863、国防科工委、北京市自然科学基金和北京市教委等多项各级科研课题，目前正主持国家自然科学基金青年基金和企业横向课题各一项。

摘要：随着海洋油气资源大开发时代的到来，对海洋油气管道焊接施工工程质量和施工速度的要求越来越高。由于具有突出优势，全位置自动焊接技术已经在国内外海洋管道铺设焊接中得到了广泛应用。本文概括介绍了常用的管道全位置自动焊接方法，详细叙述了海洋油气管道熔化极全位置自动焊接系统，并针对海洋管道的焊接跟踪技术和非电弧焊接技术的发展提出了一些看法。

关键词：海洋工程；油气管道；自动焊接

海洋管道的施工具有施工投资大、施工质量要求高、施工环境多变和施工组织复杂等特点。而管道铺设又是海洋管道施工中的重要环节，为了最大限度地缩短海上施工周期，减少工程开发成本以及最大限度的降低风险，要求海底管道以最快的铺设速度和最高的工程质量进行，因此海洋管道施工中均采用了当今最为先进的焊接技术。

1 海洋管道焊接方法

海洋管道焊接施工经历了手工焊、半自动手工焊和自动焊三个阶段，目前全位置自动焊接技术已经得到全面发展和应用。全位置自动焊的方法有埋弧自动焊、电阻闪光焊、钨极氩弧焊和熔化极全位置自动焊。埋弧自动焊起源于20世纪50年代，因其焊接过程稳定、熔敷率高、焊接效率高、劳动条件好等优点而备受重视。但是，埋弧焊均为1G位置焊接，管道施工是需要采用管道旋转的方法，因此该工艺在制管过程中得到了广泛的应用。海洋管道铺设施工在铺管船上进行，受空间的限制至今尚无在铺管施工中应用埋弧焊的先例。

电阻闪光焊由乌克兰巴顿焊接研究所研发，利用管口两端通过的高电压、大电流的交流电，使管口部的金属快速熔化，然后再用高压顶锻，使管口处的金属熔为一体。这种焊接方法效率高，节省劳动力，适合于平原地段的自动化施工生产。但是这种焊接技术使用的设备庞大，成本极高，所以到20世纪90年代后已经没有相关设备的应用报道。

钨极氩弧焊具有焊接过程稳定，保护作用好，焊缝金属纯净，焊道成形好等一系列优点，但是

焊接效率较低，对施工环境要求较高，因此在海洋管道施工焊接中很少采用。

熔化极全位置焊接技术出现于20世纪60年代末期，早期的熔化极全位置自动焊接设备只是焊接小车带动焊枪行走，焊接参数（焊接电流、电压、焊接速度等）均是手动控制。随着计算机技术和自动控制技术的日益完善，能够自动跟踪以及自动控制焊接参数的管道焊接设备（管道全位置自动焊机）得以迅速发展。具有单面焊双面成形根焊能力的双炬管道全位置自动焊机，不仅能解决根焊问题，还可以提高其他焊层的焊接效率，具有突出的优势，是一种较好的技术方案，已经在国内外海洋管道铺设焊接中得到了广泛的应用。

2 海洋管道全自动焊接系统

美国 CRC 公司生产海洋管道施工过程中管道对口器、焊接卡具、自动焊机等相关产品，该公司于 1964 年率先将全位置熔化极气体保护焊接技术应用于管道施工^[1]。

美国 CRC 公司的 P 系列焊机适宜焊接壁厚 9mm 以下管线，P100 焊机智能化较低，每套焊机只能完成一道焊缝，因此热焊、填充焊、盖面焊需要不同的焊机完成。P200 焊机是 P100 的升级版，一个焊机可完成一道焊缝的完整工作。M 系列焊机适宜焊接任意壁厚的管道。

早期的全位置熔化极气体保护自动焊是单炬单丝焊接，美国 CRC 公司的 P260、法国 Serimax（即原来的 SERIMER DASA）公司的 Saturnax 等都有成熟的单丝单炬焊接设备。美国 CRC Evans 的 P260 管道全自动焊机如图 1 所示，该机型已经被用于 J-Lay 施工作业，目前该型焊机已经从单炬单丝发展到了单炬双丝^[2]。



图 1 单丝单炬管道铺设焊接机器人

随着海底管道铺设工程量的增加，能提高铺设效率的双炬管道铺设焊接机器人得到了发展。在海管铺设施工作业时，每个焊接工作站配备两套双炬焊接机器人，以管道为轴心分左右舷对称放置，以“0”点位置开始起弧，按照顺时针及逆时针方向完成下向焊接。每个焊接机器人可独立控制也可协同操作，双头双炬焊接机器人系统能提高焊接效率，并且后焊炬对前焊炬的焊道有回火作用，能改善前焊炬焊道的韧性并降低接头硬度。

生产双炬焊接机器人商业化产品的公司主要有美国 CRC、法国 Serimax、荷兰 Vermaat Technics 以及意大利 Saipem 等。美国 CRC 公司的产品在自动控制水平以及陆地管线铺设应用方面处于世界最前沿。CRC 公司的 P700 和 P625 双焊枪全位置自动焊机，专为海洋铺管设计，带有电弧跟踪，焊接参数可以通过蓝牙进行无线传输。法国 Serimax 公司生产的 Saturnax Bug 双焊炬管道全位置自动焊机如图 2 所示，采用了风冷式焊枪、外挂推丝式送丝机构和专用的脉冲焊接电源，计算

机焊接编程控制单元和焊车运动控制单元分置，可进行在线编程，能够完成根焊、窄间隙叠焊或宽间隙排焊，具有远程监控、参数设置及焊接过程参数存储功能，机器人本体采用双电机驱动方式带动齿轮与轨道啮合，完成环缝焊接所需要的周向运动，整机结构紧凑、重量轻便、海上作业历史悠久、施工经验丰富，在海洋石油工程领域处于绝对霸主地位。法国Serimax全位置焊接系统如图3所示^[3]。



图2 双炬铺管焊接机器人



图3 双车双丝管道全位置自动焊接系统

对于铺设直径 ≥ 24 寸的近海油气管线，法国 Serimax 公司开发了四头双炬全自动焊接系统，如图 4 所示，该系统驱动四个焊头同时工作，全部焊头以管道顶点为起点分布在左右两侧，焊接时左侧与右侧的两个焊炬进行向下焊作业。四头焊炬同时焊接在程序控制上需要解决协同问题，工艺上则同一层之间要考虑各个机头之间的时间错开、不同层之间要考虑引弧位置错开。同时打底焊采用了带铜衬垫的内对口器背面强制成形技术，使整套设备具备很好的柔性。

1993 年美国 J. Ray Mcdermott 公司将 JAWS 焊接系统升级为 6 焊炬系统，如图 5 所示，该系统采用先进的伺服控制以及计算机控制，每个 JAWS 焊接系统有 14 个伺服轴，主控单元可完成焊接电源、运动控制及过程控制的实时协同控制及管理。系统可配备单炬激光跟踪器完成焊缝跟踪功能^[4]。1996 年美国埃索石油公司将该套系统用在马来西亚海管铺设工程中，铺管线配备 5 个工作站，6 个均匀布局的焊炬装卡在一个固定轨道上并同时焊接。创下日焊 329 道焊接接头 ($762\text{mm} \times 20\text{mm}$) 的记录。



图 4 Serimax 公司四头双炬焊接系统



图 5 JAWS 公司 6 焊炬焊接系统

在国内，北京石油化工学院依托“十一五”国家863课题(深水海底管道铺设技术研究)，针对海底油气输送管道(管径6"~48")对接环形焊缝焊接工艺特点，开发了一套用于3000m深水铺管的具备窄间隙焊接能力的海底管道铺设焊接机器人及管道环缝窄坡口双炬全自动焊接工艺。

机器人机械本体主要由行走机构、锁紧机构、焊枪横向摆动机构、焊枪高低调整机构和焊枪组件等组成，机器人控制系统以工业PC机作为主控制器，通过CAN总线实现与焊接小车各轴驱动电机、焊接电源等外围设备的接口，通过Ethernet 网络接口实现上层监督计算机的通信。焊接电源TPS4000采用一元化控制，通过设定送丝速度，焊接电流和焊接电压自动与之匹配。半个圆周从平焊位置到仰脸焊位置分成12个区域，即P0~P12，每15° 为1个区域，按照区域设置相应的焊接参数，整个焊接机器人系统如图6所示。该焊接系统进行了两次海上现场焊接试验，海上焊接试验现场照片及焊接接头照片如图7和图8所示，通过现场 UT 检验，焊接接头全部符合 API STD1104-2005 的要求，焊接样机两次海上试验通过了专家组验收。通过海上试验诸多环节的考验，焊接样机的技术性能满足海上应用需要。在此基础上，北京石油化工学院研究了满足深水J型铺管需要的作业流程及焊接工艺程序，并进行了深水J型铺管焊接小车、铺管配套作业流程和焊接工序的仿真研究。研究结果极大地提升我国海底管道铺设技术水平、形成了自主知识产权的海底管道铺设关键设备，具有重大的经济效益和深远的社会效益^[5]。



图 6 海底管道铺设焊接机器人系统

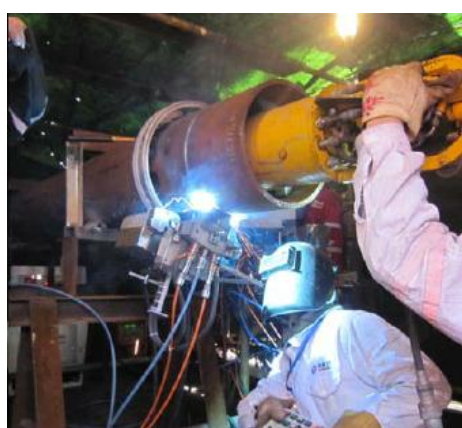


图7 海上焊接试验



图8 海上焊接接头

3 海洋管道自动焊接研究趋势

焊缝跟踪技术是实现自动化焊接的关键技术之一，尤其是对于在船上进行的海洋油气管道铺设焊接而言，海上焊接施工条件恶劣，焊缝跟踪技术对于提高焊接质量，增加焊接速度和提高焊缝合格率连续性等方面都具有重要意义。尽管目前国外的双炬管道焊接机器人已经将电弧传感技术集成到管道焊接中，但在提高跟踪精度、跟踪速度和不同的跟踪方法方面还有较多工作需要研究。

在过去的较长时间内，管道的非电弧焊接技术也得到不同程度的研究，如激光焊、电子束焊、闪光对接焊和摩擦焊等，一些技术已经显示了良好的应用前景，并有望显著提高油气管道的现场焊接生产率。如激光电弧复合焊接技术已经在陆上一些管道铺设中得到了应用，但是这些技术要在海洋工程焊接施工中实现真正的工业化应用，还需要在相关技术方面进行更加深入的研究。

参考文献

- [1] 赵海鸿, 尹长华, 祁励. CRC 管道全位置自动焊机的发展[J]. 电焊机, 2005, 35(8): 26~28.
- [2] Bruno de Sivry, Bernard Sudreau, et al. Electron beam welding of J curve pipelines [A]. In: Proc 12th Int Conf [C]. Houston:Texas, 1980.
- [3] Dick Wolbers, Rob Hovinga. Installation of deepwater pipelines with sled assemblies using the new J-Lay system of the DCV Balder [A]. In: Presentation at the 2003 Offshore Technology Conference[C]. In Houston, OTC 15336, Texas, USA, 2003.
- [4] Jeff Hoch. Automatic Welding System, Berkeley Process Control Inc. 2003.
- [5] 罗雨. 海底管道铺设焊接机器人系统研究[D]. 北京: 北京化工大学. 2012.