

油气/给排水管道全位置自动焊接技术

1 技术背景

随着陆地和海洋油气资源开发活动的不断深入，管道铺设焊接装备需求量急剧增加。管道全位置自动焊技术以其高效、优质的特点，在陆地油气长输管道建设及海洋工程建设中得到了大规模应用。相关技术也将在南水北调水利工程、城市供水管道、化工工艺管道建设领域获得逐步推广。随着油气管道厚度、管径的进一步增大以及高强材料的使用，对管道全位置自动焊接技术提出了更高要求。但目前国内管道全位置自动焊的智能化程度较低，大壁厚焊接工艺开发繁琐，焊缝跟踪精度差，工艺参数之间无关联导致无法获得稳定的焊接质量。基于海管铺设管道自动焊接技术研究基础，将人工智能技术引入管道自动焊接领域，开展管道全位置智能化焊接技术，将会提升管道自动焊的智能化程度，进而推动管道全位置焊接技术的大规模应用推广。

2 技术解决方案

针对油气管线及城市水管自动焊接对铺管焊接效率的需求，研制开发了结构紧凑、操作方便的铺设焊接机器人系统。该系统首次采用现场总线和网络技术，可以完美实现行走机构和摆动机构的模块化组合，大大减少焊工的劳动强度。行走机构通过锁紧机构安装在刚性导轨上，完成每台焊接小车从上到下各自完成管道半个圆周的焊接。焊接程序采用计算机控制，通过安装在焊接小车上的倾角传感器测量当前焊接位置，计算机输出与当前位置匹配的焊接小车运动参数和焊接电源电参数，实现良好的焊缝成形。针对大口径、大壁厚及坡口精度差等问题，开发了以多信息传感为核心的管道全位置自动焊接质量在线检测分析系统、基于电弧传感及视觉传感的三维焊缝跟踪系统、基于神经网络的焊道厚度自适应控制系统，能提高复杂工况下管道焊接的质量和效率。如图 1 所示，工程实际应用中，可根据具体需要采用不同的焊接方法和不同的焊枪配置，从而达到工程作业所要求的焊接生产效率。

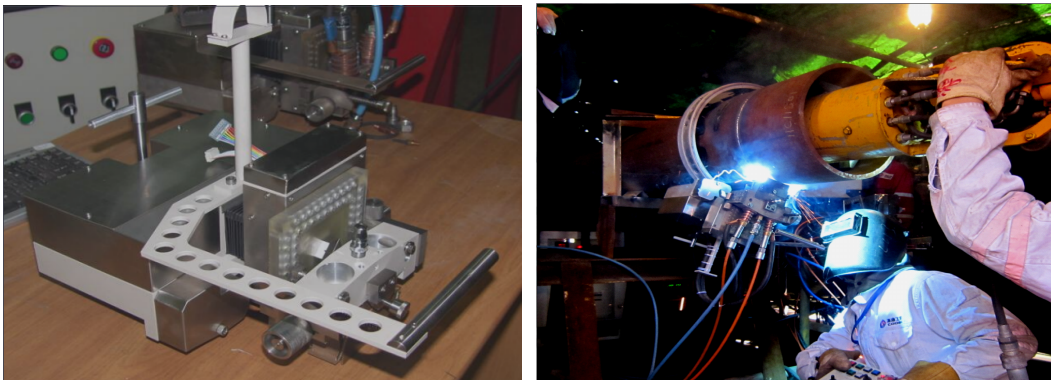


图 1 工程样机及施工现场

3 技术创新点

(1) 将人工智能和机器人技术相结合，开发了管道全位置智能化焊接机器人，提升了管道焊

接的智能化程度。如图 2 所示，管道全位置自动焊接系统利用激光跟踪及机器视觉进行焊缝跟踪和焊接质量闭环控制，提升了整个焊接过程的智能化程度。

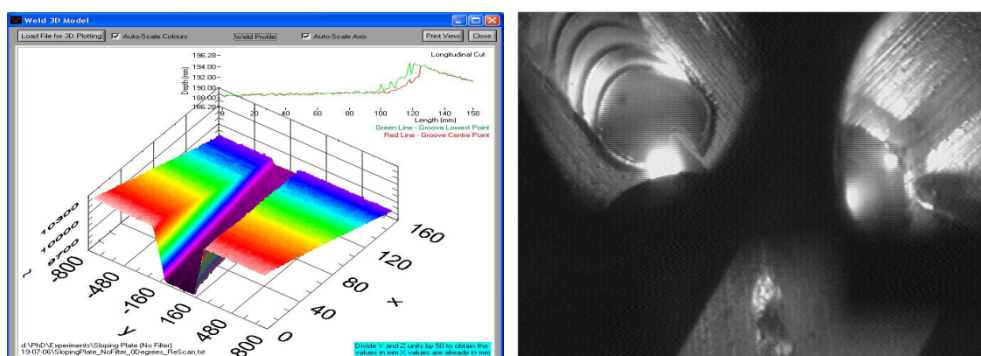


图 2 激光跟踪及机器视觉熔池监控

(2) 针对涉核涉水等场合的管道全位置焊接工况，开发了远程遥操作管道焊接虚拟现实（VR）监视技术研究系统。如图 3 所示，利用虚拟仿真系统中获得管道焊接机器人的准确姿态信息，基于虚拟现实的监视系统，具有接近真实环境的临场感，能够对现场实际管道自动焊接设备的运行状态进行实时、精确捕捉。

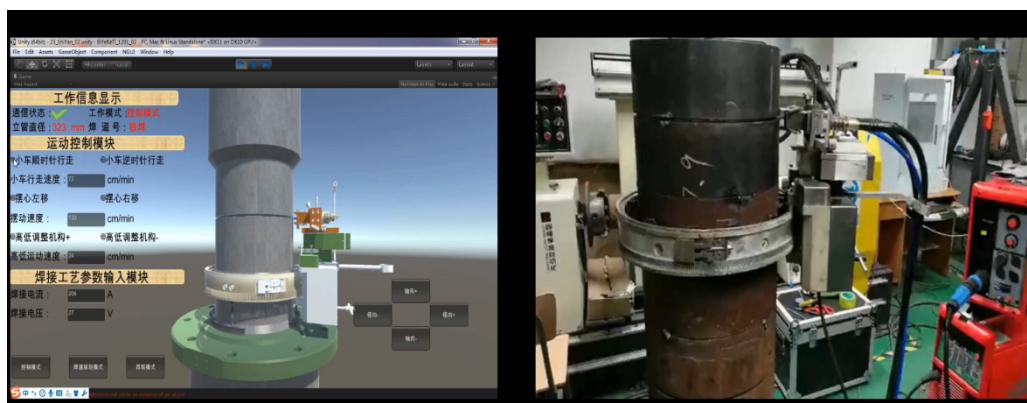


图 3 远程遥操作立管横焊虚拟现实监视技术

(3) 针对管道维修全位置焊接需求，提出了角焊缝多层多道焊接路径规划自适应焊接技术，确保了焊接过程参数的精确控制。

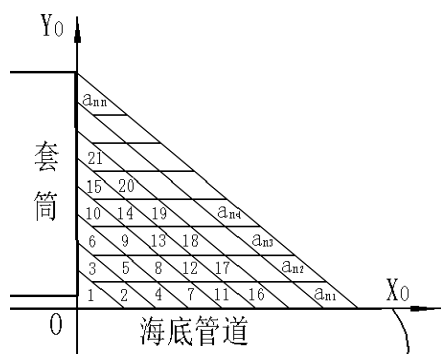


图 4 角焊缝多层多道焊道自动规划技术



图 5 滨海 BH108 海试

4 推广应用

(1) 2010年12月，BIPTWS-II型全位置双炬焊接机器人在BH108工程船上进行了12英寸管道焊接，管道材料为API 5L X65 管线钢，管道外径324mm、壁厚12.7mm、J型窄坡口，采用熔化极气体保护焊工艺，背面铜衬垫强制成形，焊接过程稳定，焊接效率高，焊缝超声检验符合美国石油学会API STD1104-2005标准。

(2) 2012年4月，BIPTWS-II型全位置双炬焊接机器人在我国海洋工程建设的旗舰“海洋石油201”（也是我国首条DP-3动力定位双层甲板自航3000m深水铺管起重船）上进行了12英寸管道焊接，管道材料为API 5L X65 管线钢，管道外径324mm、壁厚12.7mm、J型窄坡口，采用熔化极气体保护焊工艺，背面铜衬垫强制成形，焊接过程稳定，焊接效率高，焊缝超声检验符合美国石油学会API STD 1104-2005标准。



图6 海洋石油201铺管船海试



图7 北京城市副中心地下管廊给水管道的自动焊接

(3) 2017年8月，针对大口径城市水管自动焊接对铺管焊接效率的需求，与北京市自来水集团合作，开展钢制管道自动焊接设备的研制工作。根据城市水管特点，借鉴油气管线铺设焊接自动设备技术，在施工现场对管道外径为800mm、1000mm及1200mm、壁厚为12.7mm的Q345管线钢进行全位置自动焊接，焊接过程稳定，焊接效率高，焊缝超声检验符合相关标准。采用管道自动焊接机器人可加快北京城市给水管道的工程施工中建设进度、能大大缩短工期。

(4) 2019年11月，升级后的模块化管道全位置自动焊接设备在燕山石化正邦有限公司行了12英寸管道焊接，管道材料为Q345碳钢，管道外径324mm、壁厚12mm、V型窄坡口，采用气保护药芯焊丝工艺，焊接过程稳定，焊接效率高，焊缝超声检验符合美国石油学会(API) STD1104-2005标准。



图 8 燕山石化正邦现场焊接

图 9 天津管道集团焊接现场

(5) 2019 年 12 月，研发成功的大口径柔性导轨管道全位置自动焊接设备在天津管道集团有限公司进行了给水管道焊接，管道材料为 Q345 碳钢，管道外径 1000mm、壁厚 12mm、V 型窄坡口，采用气保护药芯焊丝工艺，焊接过程稳定，焊接效率高，焊缝超声检验符合相关行业标准。

5 对接联系

联系人：罗雨（机械工程学院副教授）

邮 箱：luoyu@bipt.edu.cn