

海洋工程管道对接方法及技术研究

吴超

中海油深圳海洋工程技术有限公司 广东 深圳 518054

摘要：海洋工程管道对接是海洋工程建设中的关键环节，涉及力学、材料学等多学科知识。本文综述了海洋工程管道的特点与分类，以及管道对接的基本原理。详细介绍了焊接对接法、法兰连接法和热熔对接法等常见对接方法，并分析了各自的优势和适用场景。同时，探讨了水下焊接技术、管道对中与定位技术、焊接质量检测技术等关键技术。这些技术为海洋工程管道对接提供了可靠保障，对提升工程质量和效率具有重要意义。

关键词：海洋工程；管道对接方法；技术

引言

海洋工程管道作为海洋资源开发的重要设施，其对接技术的优劣直接关系到工程的安全与稳定。海洋环境复杂多变，对管道对接提出了更高的要求。本文旨在综述海洋工程管道对接的方法及技术，分析不同对接方法的原理、特点及应用范围，并探讨关键技术的发展现状。通过本文的研究，旨在为海洋工程管道对接提供理论支持和技术参考，推动海洋工程技术的进一步发展。

1 海洋工程管道对接的基本理论

1.1 海洋工程管道的特点与分类

海洋工程管道因其所处的特殊海洋环境，在材质、尺寸、用途等方面呈现出独特的特点。（1）在材质上，需具备优异的耐腐蚀性、高强度和良好的韧性。常用的材料包括碳钢、合金钢、不锈钢以及各类复合材料。例如，输送油气的管道，多采用碳钢并搭配防腐涂层，以抵御海水的侵蚀。尺寸方面，海洋工程管道差异较大，小口径管道可能仅几十毫米，用于特定的仪器设备连接；大口径管道则可达数米，承担着大量油气或其他介质的输送任务。（2）从用途来看，海洋工程管道可分为输油管道、输气管道、输水管道以及用于排放废弃物的管道等。按照输送介质分类，除上述常见介质外，还有输送化学药剂、矿浆等特殊介质的管道。依据铺设深度，可分为浅海管道（一般铺设深度小于50米）、中海管道（50-300米）和深海管道（大于300米）。不同深度的管道在设计、施工和维护上都面临不同的挑战。

1.2 管道对接的基本原理

海洋工程管道对接涉及力学、材料学等多学科的理论知识。（1）在力学方面，对接过程中管道会承受各种力的作用，如轴向力、径向力和剪切力等。应力分布是关键因素，对接处的应力集中可能导致管道破裂或变形。因而，在设计和施工时，需通过合理的对接工艺和

结构设计，使应力均匀分布，避免应力集中。（2）材料学原理也至关重要。对接时，要考虑两种管道材料的相容性，确保在不同环境条件下，对接处的材料性能稳定。例如，焊接对接时，焊接材料的选择要与管道母材匹配，以保证焊缝的强度和韧性。变形协调也是管道对接的重要理论基础。在对接过程中，由于温度变化、外力作用等因素，管道会发生一定的变形。必须采取措施使对接管道的变形相互协调，防止因变形差异过大而影响对接质量^[1]。

2 常见海洋工程管道对接方法

2.1 焊接对接法

（1）手工电弧焊是利用焊条与焊件之间产生的电弧热，将焊条和焊件局部熔化，从而使分离的焊件连接成一个整体的焊接方法。操作时，焊工手持焊钳，使焊条与焊件间产生电弧，熔化的焊条金属填充到焊缝中形成熔池，冷却后成为焊缝。在海洋工程管道对接中，手工电弧焊灵活性高，能在各种位置、不同空间条件下进行焊接，适用于一些复杂形状和难以到达部位的管道对接。然而，该方法对焊工技能要求极高，焊工的操作手法、角度和速度等都会影响焊接质量。而且其焊接效率相对较低，难以满足大规模、高效率的工程需求。（2）气体保护焊是利用外加气体作为电弧介质并保护电弧和焊接区的电弧焊方法，常见的有TIG焊（钨极惰性气体保护焊）和MIG焊（熔化极惰性气体保护焊）。TIG焊以高熔点的钨棒作为电极，焊接过程中钨棒不熔化，利用氩气等惰性气体保护电弧和熔池，焊接质量高，焊缝成型美观，适合焊接各种金属材料，尤其是对焊接质量要求高的薄件和有色金属管道。MIG焊则是采用连续送进的焊丝作为电极，以惰性气体或活性气体作为保护气体，焊接速度快，熔敷效率高。在海洋环境下，气体保护焊能有效防止焊缝金属被氧化和氮化，但面临着气体保护

效果受海洋气流影响的问题,可能导致保护不稳定,影响焊接质量。(3)埋弧焊是电弧在焊剂层下燃烧进行焊接的方法。焊接时,焊丝自动送进,电弧在颗粒状焊剂层下燃烧,形成熔池和焊缝。其特点是焊接速度快、生产效率高,焊缝质量稳定,表面光滑美观,且焊接过程中无弧光辐射,劳动条件较好。适用于大口径、长距离的海洋工程管道对接,能够快速高效地完成焊接任务。但埋弧焊设备相对复杂,需要专门的焊接设备和辅助装置,对焊接场地和操作条件要求较高^[2]。

2.2 法兰连接法

(1)法兰连接主要由法兰盘、螺栓和垫片构成。法兰盘通常焊接或螺纹连接在管道端部,成对使用。螺栓穿过法兰盘上的螺栓孔,将两个法兰盘紧密相连。垫片置于两法兰盘密封面之间。其原理是,通过拧紧螺栓,使法兰盘产生足够的压紧力,压缩垫片,填充法兰面间的微小间隙,阻止管道内介质泄漏,从而实现可靠的连接与密封。(2)平焊法兰适用于压力较低、管径较小的管道,如一般的海水淡化辅助管道。它结构简单、成本低,安装方便,但承载压力有限,密封性相对较弱。对焊法兰常用于高压、高温、大口径的管道,如海洋油气输送主管道。其与管道采用对焊连接,焊缝强度高,能承受较大压力和温度变化,密封性能好,但加工精度要求高,成本也较高。松套法兰多用于有腐蚀性介质或需频繁拆卸的管道,如化工原料输送管道。它能减少管道与法兰的直接接触,降低腐蚀风险,安装和拆卸便捷,但承压能力相对较低。(3)安装时,螺栓拧紧力矩必须严格按照设计要求,使用扭矩扳手确保每个螺栓受力均匀,避免因力矩不均导致密封失效。垫片安装要平整,不能有褶皱、偏移,否则会影响密封效果。同时,法兰面必须清洁无油污、铁锈等杂质,以保证垫片与法兰紧密贴合。此外,安装过程中要保证法兰的平行度和同心度,防止错口,确保连接的密封性和可靠性,保障海洋工程管道安全稳定运行。

2.3 热熔对接法

(1)热熔对接是基于热塑性塑料的特性,通过专门的加热工具对管道接口处进行加热,使接口材料达到熔化状态,随后施加一定压力,促使两个熔化的接口紧密接触并融合为一体,冷却后形成牢固的连接。实现热熔对接需用到热熔对接焊机,该设备主要由加热板、夹具、液压系统等部分组成。加热板用于提供均匀稳定的热量,夹具则固定管道,保证对接过程中管道的位置准确,液压系统负责控制对接压力。(2)加热温度是关键参数,不同材质的管道有其特定的加热温度范围。如聚

乙烯管道,适宜的加热温度一般在210°C-230°C,温度过低,材料熔化不充分,难以融合;温度过高,材料易分解、碳化,影响对接质量。加热时间需根据管道壁厚和直径调整,壁厚越大、直径越大,所需加热时间越长。对接压力要适中,压力过小,接口融合不紧密;压力过大,会导致接口处材料挤出过多,影响管道内径和连接强度。冷却时间同样重要,充分冷却能使接口处材料结晶、固化,形成稳定的连接结构,一般冷却时间需根据管道规格遵循相应标准。(3)在某海洋养殖区的输水管道工程中,采用热熔对接法连接聚乙烯管道。该工程要求对接可靠、施工效率高。实践证明,热熔对接法在此项目中表现出色。通过严格控制工艺参数,对接处的密封性和强度均达到设计要求,可靠性高。相较于其他对接方法,热熔对接施工速度快,减少了海上作业时间,提高了施工效率,降低了工程成本,为海洋工程中类似管道对接提供了成功范例。

3 海洋工程管道对接的关键技术

3.1 水下焊接技术

(1)湿法水下焊接是直接在水下进行焊接操作,无需对焊接区域进行特殊的干燥处理。其原理是利用特制的水下焊条,在水下产生电弧,使焊条和焊件金属熔化形成焊缝。操作时,焊工直接手持焊枪在水中作业;该方法的特点是设备简单,只需常规的焊接设备加上防水措施即可,成本相对较低,能够快速投入使用。在海洋工程中,对于一些应急抢修或小型项目,湿法水下焊接具有明显优势。然而,由于水的冷却作用和对电弧的干扰,焊接质量不稳定,焊缝容易出现气孔、夹渣等缺陷,力学性能也相对较差。(2)干法水下焊接是在一个完全干燥的环境中进行焊接。首先要在水下搭建密封的焊接舱室,将焊接区域与水隔离,通过向舱室内输送干燥的气体,如氦气、氩气等,提供一个干燥的焊接环境。在这种环境下,焊接过程与陆上焊接相似,能够有效避免水对焊接质量的影响,因此焊接质量高,焊缝的性能可靠,能满足海洋工程中对管道焊接质量的高要求。但该方法设备复杂,需要专门的水下焊接舱室、气体供应系统等,施工难度大,成本高昂,且对施工人员的技术要求也很高。(3)局部干法水下焊接是在焊接部位局部制造一个相对干燥的空间进行焊接。它通过特殊的装置,如气体罩、排水罩等,将焊接区域的水排开,形成一个较小的干燥空间,从而保证焊接电弧的稳定性。这种方法结合了湿法和干法水下焊接的部分优点,既不像湿法焊接那样受水的严重干扰,又无需像干法焊接那样搭建大型的密封舱室,在保证一定焊接质量的同

时,降低了成本和施工难度,在海洋工程管道对接中具有较好的应用前景^[3]。

3.2 管道对中与定位技术

(1)在海洋工程管道对接领域,传统对中定位方法主要依赖光学仪器与测量工具。例如,使用经纬仪测量管道的角度偏差,水准仪确定管道的高程,通过卡尺、卷尺等测量工具获取管道的尺寸数据,以此实现对中定位。然而,这些方法存在明显局限。在精度方面,海洋环境复杂多变,海水的波动、光线的折射与散射等因素,都会干扰测量结果,导致精度难以满足日益提高的工程要求。在效率层面,传统方法操作流程繁琐,需人工在不同位置反复测量与调整,耗费大量时间和人力,尤其在大规模、复杂的海洋工程中,效率低下的问题更为突出。(2)激光测量技术基于激光的高方向性、高单色性和高能量密度等特性,应用于管道对中定位。其原理是通过发射激光束,利用激光传感器接收反射光,精确计算管道的位置、角度和偏差。该技术具有显著优势,测量精度极高,可达亚毫米级,能有效提高管道对接的准确性。同时,它属于非接触式测量,避免了对管道表面的损伤,且不受海洋生物附着等因素干扰。此外,激光测量系统能够快速获取大量数据,并通过数据分析和处理实现自动化对中定位,大幅提升了工作效率。(3)水下机器人在海洋工程管道对接中发挥着重要作用。它搭载多种传感器系统,如声呐传感器,通过发射和接收声波对周围环境成像,识别管道的位置和形状;视觉传感器则提供直观图像信息,辅助精确识别。导航系统是水下机器人的关键,通过惯性导航、卫星定位等技术实现精确自主导航。水下机器人能够在复杂海洋环境中自主航行至目标管道位置,利用机械臂等装置对管道进行调整和对接操作,显著提高了管道定位的准确性和对接的自动化程度,为深海等复杂环境下的管道对接提供了可靠解决方案。

3.3 焊接质量检测技术

(1)在海洋工程管道焊接中,无损检测意义重大。海洋环境复杂,管道焊接质量关乎工程安全与稳定,无损检测可在不损害管道的前提下评估质量。1)超声检测

利用超声波反射、折射原理。超声波传入管道,遇缺陷产生反射波,依此判断缺陷;适用于内部缺陷检测,对面积型缺陷敏感,操作简便、速度快,但缺陷定性难。2)射线检测通过X或 γ 射线穿透焊缝成像。不同缺陷吸收射线程度不同,在底片呈现影像;能清晰显示缺陷形状、尺寸,对体积型缺陷检测效果好,不过成本高、有辐射、检测时间长。3)磁粉检测基于漏磁原理,用于铁磁性材料表面和近表面缺陷检测。缺陷处漏磁场吸附磁粉形成磁痕,操作简单、灵敏度高,局限于表面和近表面。4)渗透检测靠液体毛细作用,检测表面开口缺陷。渗透液渗入缺陷,显像剂吸附后显示缺陷形状,不受材料限制,但只针对表面缺陷。(2)焊接中实时监测技术防患于未然。温度监测用红外热成像仪监控焊接区温度,避免温度异常致缺陷。应力监测通过应变片测应力变化,预防应力集中引发裂纹。焊缝成型监测借助视觉传感器观察焊缝形状、宽度,实时调整参数保证成型良好;这些技术能及时发现并纠正缺陷,提升焊接质量^[4]。

结语

海洋工程管道对接技术及方法是海洋工程建设中不可或缺的一部分,其发展水平直接影响到工程的整体质量和效率。本文通过对海洋工程管道对接的基本理论、常见方法以及关键技术的深入探讨,揭示了各种对接方法的内在机理和适用条件。随着科技的进步和海洋工程的不断发展,未来应继续加强对接技术的研究与创新,提升对接技术的自动化、智能化水平,为海洋工程的建设和发展提供更有力的支撑。

参考文献

- [1]孟山雅.海洋工程管道对接方法及技术[J].中国石油和化工标准与质量,2021,41(13):197-198.
- [2]高晓东,李经纬,于昊成,等.海洋工程管道对接方法及技术[J].工程管理与技术探讨,2023,5(21)57-58.
- [3]张天江.海底管道自动超声检测带状图的测长精度及修正[J].无损检测,2020,42(03):60-62.
- [4]孙维天.海洋工程管道对接方法及技术分析[J].石油石化物资采购,2023(17):107-109.