

海底管道法兰水下对接方法

徐勤宇

海洋石油工程股份有限公司 天津 300451

摘要：海底管道在深海油气开发中扮演着至关重要的角色，其法兰水下对接技术是关键环节。传统对接方法如潜水员直接操作、ROV辅助及水面吊装对接存在局限性。近年来，新型对接方法如水下智能对接系统、激光引导与视觉识别技术、水下焊接与密封技术等得到了应用，实现对接自动化、智能化和远程监控，提高了效率和精度。为确保对接质量，需制定严格的质量标准和检测方法，并进行安全风险评估和环保措施。本文综述了海底管道法兰水下对接的重要性、技术原理、方法及质量控制与安全保障措施。

关键词：海底管道；法兰对接；定位技术

1 海底管道在深海油气开发中的重要性

海底管道在深海油气开发中扮演着至关重要的角色，它们不仅是连接海底油气田与陆地处理设施的生命线，更是确保深海油气资源高效、安全、可持续发展的关键基础设施。第一，海底管道承担着油气资源从深海开采到陆地输送的重任。随着海洋油气勘探的不断深入，深海油气资源已成为全球能源供应的重要组成部分。而海底管道作为深海油气田开发的必要配套设施，能够高效地将开采出的油气资源输送到陆地处理厂进行加工利用，满足了全球对能源的巨大需求。第二，海底管道在深海油气开发中具有极高的安全性和可靠性。相较于其他运输方式，海底管道具有更好的密封性和抗腐蚀性，能够有效防止油气泄漏和污染环境。同时，海底管道还能够抵御深海复杂的海流、海压和地质条件，确保油气资源的稳定输送。第三，海底管道的建设和运营对于深海油气开发的成本控制和经济效益也具有重要意义。通过优化海底管道的设计和布局，可以降低油气输送过程中的能耗和成本，提高整体经济效益^[1]。同时，海底管道的长期稳定运行还能够为深海油气田的持续开发提供有力保障，为投资者创造更大的价值。

2 海底管道法兰水下对接技术原理

海底管道法兰水下对接技术是深海油气资源开发中不可或缺的关键技术之一，其技术原理主要基于精密的机械设计与水下作业环境的适应性考虑。该技术涉及法兰连接结构的巧妙运用，法兰作为管道连接的重要部件，通过螺栓等紧固件将两个管道端面紧密压合在一起，形成可靠的密封连接。在水下环境中，由于水深、水流、水压以及能见度等复杂因素的影响，法兰对接过程需要极高的精确度和稳定性。首先，法兰的设计需考虑到水下作业的特殊性，包括材质的耐腐蚀性、结构的

强度与刚度以及密封面的形式等。通常，法兰采用高强度、耐腐蚀的合金钢材制成，以应对深海高压、高腐蚀性的环境。密封面则根据工作介质的性质和压力等级，选择如平面、凹凸面或榫槽面等不同形式，以确保在水下长期运行中的密封可靠性。水下对接过程中，需借助专业的水下作业设备和工具，如潜水员、ROV（遥控潜水器）或AUV（自主水下航行器），以及专用的水下对接装置。这些设备能够确保在复杂的水下环境中，法兰对接的精确定位与稳定操作。对接前，需对法兰面进行彻底的清洁与检查，确保无杂质、无损伤，以保证良好的密封效果。对接时，通过精确的水下定位与导向系统，将两个待连接的法兰逐渐靠近，直至其密封面紧密贴合。利用水下螺栓紧固装置，按照预定的扭矩和顺序，逐一拧紧螺栓，直至达到规定的预紧力。此过程中，需严格控制螺栓的拧紧顺序与力度，以避免因受力不均而导致的法兰变形或密封失效。另外，水下对接还需考虑环境的动态变化，如水流、水压的波动等，这些变化可能对法兰连接的稳定性产生影响。因此，在对接完成后，需进行必要的检测与验证，如水下超声检测、压力测试等，以确认法兰连接的密封性、强度及稳定性，确保海底管道在水下长期安全运行。

3 海底管道法兰水下对接方法

3.1 传统对接方法及其局限性

海底管道法兰水下对接作业是深海油气开发中极具挑战性的环节，传统对接方法主要包括潜水员直接操作、遥控潜水器（ROV）辅助及水面吊装对接等几种方式。这些方法在过去几十年中发挥了重要作用，但也面临着多方面的局限性。（1）潜水员直接操作：在浅水区域，潜水员可以直接下水进行法兰对接，通过手动或使用简易工具进行螺栓的安装和紧固。这种方法直观且灵

活,但对潜水员的专业技能和身体素质要求极高,且随着水深增加,潜水员的作业时间和安全性都会受到严重限制。深海环境下,能见度低、水流强、压力巨大,使得潜水员直接操作变得极其困难甚至不可能。(2)遥控潜水器(ROV)辅助:ROV能够代替潜水员在深水环境中进行作业,通过远程控制执行法兰对接任务。ROV具有较高的灵活性和适应性,能在复杂环境中完成作业。然而,ROV操作精度受限于其机械臂的灵活性和控制系统的精度,尤其在对接过程中需要极高的定位精度和力控制时,ROV的辅助作用显得力不从心。ROV作业还受水流、能见度和通信延迟等因素的影响,这些因素都可能导致对接作业失败或质量不达标。(3)水面吊装对接:对于较大口径或特殊结构的海底管道,有时采用水面吊装对接方式。这种方法先将管道一端提升至水面,与另一端法兰进行预组装后,再整体沉放至海底。虽然在水面环境下作业条件较好,但整个吊装、对接和沉放过程复杂,需要大型的吊装设备和精确的导航控制系统,成本高昂且操作风险大^[2]。

3.2 新型对接方法及其创新点

3.2.1 水下智能对接系统

该系统集成了先进的水下定位导航技术、机器人控制技术、高精度测量技术和自动螺栓紧固系统,能够在深海环境下实现法兰的快速、准确对接。通过预先设定的程序,系统能够自动调整对接位置、姿态和螺栓预紧力,显著提高对接效率和精度。同时,系统还具备远程监控和故障诊断功能,能够实时反映对接过程中的各项参数,及时发现并处理潜在问题。

3.2.2 激光引导与视觉识别技术

激光引导技术利用激光束作为定位基准,通过测量激光束在法兰面上的反射位置来确定对接位置。视觉识别技术则利用高清摄像机和图像处理技术,对法兰面进行实时图像采集和分析,以精确识别对接位置和姿态。这两种技术的结合,使得对接过程更加直观、准确,极大地提高了对接作业的精度和效率。

3.2.3 水下焊接与密封技术

对于某些特殊结构的海底管道,如需要更高密封性的场合,可以采用水下焊接技术进行法兰连接。水下焊接技术能够在水下环境中实现高质量的焊接作业,但该技术对焊接设备、工艺和操作人员的要求极高。为了防止焊接过程中产生的热量对周围环境造成破坏,还需采取严格的冷却和保护措施。新型对接方法的创新点主要体现在自动化、智能化和远程监控技术的应用上,这些技术的应用不仅提高了对接作业的效率 and 精度,还

降低了作业风险和成本,为深海油气开发提供了更加安全、高效、可靠的法兰对接解决方案。

3.3 方法实施步骤与操作流程

以水下智能对接系统为例,其操作流程大致可分为以下几个步骤:(1)前期准备:包括对接设备的检查与调试、对接位置的选择与标记、作业环境的评估与准备等。在此阶段,需要确保所有设备处于良好工作状态,对接位置准确无误,作业环境满足对接要求。(2)定位与导航:利用水下定位导航系统,将对接设备引导至预定位置。通过测量和分析,确定对接设备的姿态和位置,确保其与法兰面的精确对齐。(3)姿态调整与预紧:根据测量结果,调整对接设备的姿态和位置,使其与法兰面紧密贴合。随后,启动自动螺栓紧固系统,对螺栓进行初步预紧,确保法兰连接的稳定性和密封性。(4)密封性检测与验证:在对接完成后,进行密封性检测,通常采用压力测试或水下超声检测等方法。通过检测,验证法兰连接的密封性和强度是否满足设计要求。(5)远程监控与数据分析:在整个对接过程中,利用远程监控系统实时监测对接状态,收集并分析各项数据。一旦发现异常或故障,立即采取措施进行处理,确保对接作业的安全和顺利进行。通过以上步骤和流程,水下智能对接系统能够实现海底管道法兰的快速、准确对接,为深海油气开发提供高效、可靠的技术支持^[3]。同时,随着技术的不断进步和应用的深入,新型对接方法将在未来发挥更加重要的作用。

4 海底管道法兰水下对接过程中的质量控制与安全保障

4.1 质量标准与检测方法

海底管道法兰水下对接作为深海油气开发中的关键环节,其质量控制直接关系到整个海底管道系统的安全、稳定和持久运行。为了确保对接过程的高质量,必须制定严格的质量标准和相应的检测方法。质量标准方面,首要考虑的是对接接头的密封性和强度。密封性要求法兰连接处必须达到无泄漏的标准,确保管道内的油气不会因泄漏而损失,同时防止外部海水渗入管道内部造成腐蚀。强度方面,则要求对接接头能够承受深海环境下的高压和低温,以及可能遭遇的海洋灾害,如海底滑坡、地震等。还应考虑对接接头的耐腐蚀性和耐久性,确保其在长期运行中不会出现明显的性能下降;检测方法方面,可采用多种技术手段来确保对接接头的质量。例如,可以使用超声波检测技术对法兰连接处的焊缝进行内部质量检测,以发现可能存在的缺陷。还可以使用磁粉检测或渗透检测技术对法兰表面进行质量检

测,以发现表面的裂纹、气孔等缺陷。可以进行压力测试,通过在管道内注入一定压力的水或气体,观察对接接头是否出现泄漏,从而验证其密封性;除了上述检测方法外,还应注重对接过程的实时监控。通过在对接现场安装高清摄像头和传感器,实时监控对接接头的位置和状态,以及周围环境的变化。一旦发现异常情况,可以立即停止对接过程,并采取相应的措施进行纠正。

4.2 安全风险评估与防控措施

海底管道法兰水下对接过程涉及深海作业、水下焊接、螺栓紧固等多个环节,每个环节都存在一定的安全风险。因此,必须进行全面的가安全风险评估,并制定相应的防控措施。安全风险评估方面,首先要识别对接过程中可能存在的危险源,如水下爆炸、火灾、潜水员伤亡、设备故障等。然后,要对这些危险源进行定性和定量分析,评估其可能造成的危害程度和发生概率。在此基础上,可以制定针对性的防控措施,以降低安全风险。防控措施方面,可以从以下几个方面入手:一是加强人员培训,提高潜水员和地面操作人员的安全意识和操作技能;二是优化作业流程,减少不必要的操作步骤和潜在的危险环节;三是配备先进的安全设备,如救生衣、潜水服、水下呼吸器等,以应对紧急情况;四是建立应急响应机制,制定详细的应急预案,并进行定期的演练和评估,确保在紧急情况下能够迅速、有效地应对;通过在对接现场安装安全监控设备,如摄像头、传感器等,可以实时监控作业现场的安全状况。一旦发现异常情况,可以立即启动应急响应机制,确保人员和设备的安全。

4.3 环境影响评估与环保措施

海底管道法兰水下对接过程不仅关乎工程质量和安全,还涉及到对海洋生态环境的影响。必须进行全面的가环境影响评估,并采取相应的环保措施。가环境影响评估方面,首先要了解对接作业区域的海洋生态环境特点,包括海底地形、生物群落、水质等;要分析对接过程可能对海洋生态环境造成的影响,如沉积物悬浮、噪音污

染、生物栖息地破坏等^[4]。在此基础上,可以制定针对性的环保措施,以减轻对接过程对海洋生态环境的影响。가环保措施方面,可以从以下几个方面入手:一是优化作业方案,减少不必要的海底挖掘和沉积物悬浮;二是使用低噪音和低振动的施工设备,以降低噪音污染;三是采取适当的生物保护措施,如设置临时避难所、限制施工时间等,以减少对生物栖息地的破坏;四是加强施工过程中的环境监测,及时发现并处理环境问题。对接过程中产生的废弃物,如焊接废渣、废弃螺栓等,应进行妥善收集和处理,防止对海洋生态环境造成二次污染。同时,还应积极探索资源回收和再利用的途径,如回收废旧螺栓进行再利用,以减少对自然资源的消耗。

结束语

综上所述,海底管道法兰水下对接技术的发展和应用于深海油气开发具有重要意义。随着技术的不断进步和创新,新型对接方法在提高作业效率、降低成本、保障安全等方面展现出了巨大潜力。未来,随着深海油气勘探和开发的不断深入,海底管道法兰水下对接技术将继续得到完善和推广,为深海油气资源的可持续开发提供有力保障。同时,也要加强技术研发和人才培养,不断提高对接技术的可靠性和安全性。

参考文献

- [1]袁朝纲,于银海,吕伟俊,等.海底管道法兰水下对接方法[J].化工装备技术,2024,45(3):58-61.DOI:10.16759/j.cnki.issn.1007-7251.2024.06.012.
- [2]于银海.海底管道膨胀弯角度偏差原因分析和解决措施[J].油气田地面工程.2018,(10).DOI:10.3969/j.issn.1006-6896.2018.10.013.
- [3]刘丰,江锦,等.复杂海况下大管径柔性软管连续弧形铺设施工工艺[J].石油工程建设.2018,(1).DOI:10.3969/j.issn.1001-2206.2018.01.008.
- [4]陈紫苑,付现桥,卜明哲,等.海底管道常见缺陷维护技术研究[J].管道技术与设备,2021(6):52-55,60.DOI:10.3969/j.issn.1004-9614.2021.06.014.