

# 海底管道施工方法研究

许鹏 杨智谦

浙江中水工程技术有限公司 浙江 杭州 310020

**摘要：**海底管道施工是海洋工程领域的核心技术，涉及复杂的地形和环境因素。本文探讨了海底管道施工的主要方法，包括铺管船铺设法、海底拖曳法、漂浮法、牵引法以及卷筒船铺设法等。每种方法均有其独特的优势和适用条件，关键在于根据海底地形、水深及环境条件合理选择。同时，施工过程中的关键技术如管道焊接、连接及立管安装等也至关重要，需确保质量与安全。

**关键词：**海底管道；施工方法；关键技术

## 引言

在海洋资源的开发利用中，海底管道扮演着至关重要的角色，它不仅是海上油气资源运输的主要通道，也是保障海洋经济持续发展的重要基础设施。然而，海底管道的施工环境复杂多变，涉及深海、浅海、复杂地形等多种情况，对施工技术提出了极高的要求。本文旨在全面探讨和研究海底管道施工的主要方法和技术特点，以期对相关领域提供理论支持和实践指导，推动海底管道施工技术不断迈向新的高度。

## 1 海底管道设计与施工概述

### 1.1 海底管道的设计原理

海底管道作为连接海洋油气田与陆地处理设施的重要纽带，其设计原理至关重要。设计过程中，需全面考虑输送介质的特性，如介质的密度、粘度、腐蚀性以及可燃性等，以选择合适的管道材料和防腐措施，确保管道在长期使用中不受损害。同时，运行环境也是设计的重要考量。海底管道的铺设需应对复杂多变的海底地形、水流、海床稳定性和生物活动等自然环境因素，以及渔业、航运等人为活动的影响。因此，设计需确保管道在这些环境下的结构安全性和稳定性。安全可靠是海底管道设计的核心原则。设计需充分考虑管道在极端条件下的承载能力，以及应对潜在风险的措施，如防腐蚀、防泄漏和防爆设计等，以确保管道在紧急情况下仍能安全运行。

### 1.2 海底管道施工流程

海底管道的施工流程包括前期准备工作、敷设与安装以及封堵与试验三个阶段。前期准备工作涉及地质勘探、路由规划、施工许可申请等；敷设与安装阶段则包括管道焊接、防腐处理、铺设作业和海底固定等；最后，封堵与试验阶段对管道进行打压测试、泄漏检测，确保管道的质量和安全性。

## 2 海底管道施工方法

### 2.1 铺管船铺设法

(1) 船上设备介绍。铺管船是海底管道铺设的核心设备，其上配置了多种专业设施以确保铺设过程的顺利进行。锚泊系统负责在复杂海况下稳定船体，确保施工精度；焊接站则负责管道接头的焊接作业，通常采用自动化焊接技术以保证焊接质量；探伤站用于对焊缝进行非破坏性检测，如X射线或超声波检测，确保焊缝无缺陷；张紧器负责调节和控制管道的张力，防止因过度拉伸或压缩导致管道损坏；托管架则起到支撑管道入水并引导其沿预定路线铺设的作用。(2) 施工步骤。施工流程大致可分为三个阶段：首先，通过GPS和其他导航系统确定铺管船的精确位置，即定位阶段；随后，在焊接站进行管段的连续焊接，形成连续的管道；最后，随着铺管船的前行，管道通过托管架缓缓滑入海中，完成铺设<sup>[1]</sup>。(3) 优缺点及应用案例分析。铺管船铺设法的优点在于能够高效、连续地进行长距离管道铺设，适用于深海及复杂海底地形。同时，由于焊接和检测均在船上完成，能够确保管道的整体质量和长期运行可靠性。然而，该方法成本较高，且需要专业的操作团队和先进的设备支持。以“卡斯特罗”号铺管船为例，该船曾在深海区域成功铺设了长距离、大口径的天然气输送管道，展现了铺管船铺设法在深海复杂环境下的强大能力。

### 2.2 海底拖曳法

(1) 管线陆上预制及浮筒使用。海底拖曳法首先需要在陆地上进行管线的预制和焊接，形成一定长度的管段。随后，利用浮筒将管段浮起，以便拖曳至铺设位置。(2) 绞车或拖船拖曳至铺设位置。通过绞车或大型拖船，将浮起的管段拖曳至预定的海底铺设位置。这一过程需要精确的计算和导航，以确保管段能够准确到达目标位置，并且在拖曳过程中不会受到过度的张力或损

伤。(3) 优缺点及应用范围。海底拖曳法的优点在于其相对简单的操作流程和较低的成本,特别是在浅海区域或狭窄水道中,这种方法尤为适用。然而,它也存在一些局限性。首先,拖曳过程中可能会对海底生态造成一定的影响,尤其是在敏感生态区域。其次,拖曳法通常只适用于较短的管线和较小的管径,因为长距离和大管径的管道在拖曳过程中可能会面临更大的挑战,如更高的阻力、更复杂的导航需求以及更高的损坏风险等。尽管存在一些局限性,但海底拖曳法在许多浅海油气田的开发中仍然被广泛使用。它尤其适用于那些需要快速安装、成本预算有限且对海底环境影响要求不高的项目。

### 2.3 漂浮法

(1) 长管串陆上焊接与浮筒拖动。漂浮法施工的第一步是在陆地上将管子焊接成长管串,并安装浮筒以便在水中浮动。这一过程通常包括管子的切割、对口、焊接以及焊缝的检验和防腐处理等。(2) 驳船接长后撤浮筒,下沉预定位置。完成陆上焊接和浮筒安装后,长管串会被拖至海上,并通过驳船进行进一步的接长作业。当管道达到预定的长度后,浮筒会被逐一撤除,管道则依靠自身的重量和海底地形的支持缓慢下沉至预定位置。(3) 优缺点及适用条件。漂浮法的优点在于其能够在相对较短的时间内完成管道的铺设,尤其适用于工期紧迫且对成本有一定要求的项目。此外,由于大部分焊接和组装工作都在陆地上完成,因此这种方法对海洋环境的影响也相对较小<sup>[2]</sup>。然而,漂浮法也面临着一些挑战,如管道在漂浮和下沉过程中的稳定性和安全性问题,以及深海或复杂海底地形下的适用性问题等。漂浮法通常适用于浅水区域或海面相对平静的海域,以及那些需要快速施工且对海底环境影响要求不高的项目。例如,在建设近海石油和天然气田时,如果需要快速连接海上平台和陆地处理设施,漂浮法可能是一个合适的选择。

### 2.4 牵引法铺设

(1) 在海岸上组装管段并用拖船牵引下海。牵引法铺设的第一步是在海岸线上进行管道的组装和焊接作业。这一过程包括管子的切割、对口、焊接以及防腐处理等工序。完成组装后,管道会被固定在特制的牵引架上,并由强大的拖船牵引下海。(2) 海中对接形成整条管道。在海上,通过专业的对接技术和设备,将各个管段连接起来,形成一整条连续的海底管道。这个过程需要高精度的导航和定位,以确保每个管段都能准确地对接在一起,形成一条完整、无缺陷的管道。(3) 应用情况与限制。牵引法铺设因其相对简单的操作流程和较低的成本,在中等水深和较短距离的海底管道建设中得到

了广泛应用。它尤其适用于那些需要快速连接海上平台和陆地设施,或者需要穿越狭窄水道或海峡的项目。然而,牵引法也面临着一些挑战和限制。首先,由于管道在牵引过程中需要承受较大的拉力和摩擦力,因此需要对管道的材料和焊接质量进行严格控制,以确保其能够承受这些力而不发生损坏。其次,牵引法通常只适用于中等水深和较短距离的海底管道建设,对于深海或长距离的项目来说,可能需要考虑其他更合适的铺设方法。

### 2.5 卷筒船铺设法

(1) 管子卷绕在船上大直径卷筒上,退绕铺设。卷筒船铺设法的核心设备是船上安装的大直径卷筒。在施工开始前,管子会被卷绕在卷筒上,形成一个紧凑的卷状结构。随着船只的移动和卷筒的旋转,管子会逐渐退绕并铺设在海底。这个过程需要精确的导航和定位,以确保管道能够沿着预定的路线铺设<sup>[3]</sup>。(2) 优点与适用管径。卷筒船铺设法的优点在于其能够高效地利用船上空间,减少海上作业的时间和成本。同时,由于管子在卷绕过程中受到了一定的预应力,因此铺设后的管道具有较好的稳定性和抗腐蚀性能。然而,这种方法也有其局限性。首先,卷筒的直径和重量限制了管道的最大直径和长度。其次,由于管子在卷绕和退绕过程中需要经历多次弯曲和拉伸,因此可能会对管道的材料和焊接质量造成一定的影响。卷筒船铺设法通常适用于小管径的管道铺设,特别是那些需要穿越狭窄水道或海峡的项目。在这些情况下,卷筒船铺设法能够充分发挥其高效、紧凑和稳定的优势,为项目的顺利实施提供有力保障。

### 2.6 定向钻牵引法

定向钻牵引法是一种先进的海底管道施工方法,特别适用于穿越河流、海峡或其他障碍物时的管道铺设。这种方法结合了定向钻技术的精确性与海底管道铺设的高效性。(1) 在定向钻牵引法中,管道首先被预先组装成若干个管段,然后在陆地上进行焊接和检测,确保其质量符合要求。随后,这些管段被放置在定向钻机的牵引路径上。定向钻机通过精确控制钻头,在地下形成一个连续且稳定的通道,这个通道将作为管道铺设的引导路径。(2) 随着钻头的推进,管段被逐一牵引入海底预定的铺设位置。在牵引过程中,需要不断调整管道的方向和深度,以确保管道与海底地形地貌的契合,同时减少管道因摩擦和挤压而产生的损伤。(3) 定向钻牵引法的优点在于其对环境的干扰较小,特别是在河流和海峡等敏感区域。此外,这种方法还能有效避免管道铺设过程中的挖掘和填埋作业,降低了施工成本和对海洋环境的破坏。然而,该方法的技术难度较高,对设备的要求

也相对严格，同时施工周期可能较长。

### 3 施工过程中的关键技术

#### 3.1 管道焊接技术

(1) 焊接方法概述。在海底管道施工中，焊接技术起着至关重要的作用。常见的焊接方法包括手工电弧焊、自动焊、半自动焊以及电阻闪光焊。1) 手工电弧焊：这是最基本、最常用的焊接方法之一，操作简便，灵活性强，但需要焊工具备高超的技术水平。手工电弧焊在海底管道施工中通常用于修补或局部连接。2) 自动焊和半自动焊：这两种方法依靠焊接设备实现自动化或半自动化操作，焊接效率高，质量稳定。自动焊通常用于长距离、大口径管道的焊接，而半自动焊则结合了人工和自动化的优点，适用于各种复杂环境。3) 电阻闪光焊：这是一种利用电阻热使接触面迅速熔化并挤出形成焊缝的焊接方法。电阻闪光焊适用于小管径、薄壁管道的焊接，操作简便，焊接质量高。(2) 低氧焊接的应用与质量控制。低氧焊接是海底管道施工中常用的焊接技术之一，它通过在焊接过程中降低氧气含量，减少焊缝中的气孔和夹杂物，从而提高焊接质量。低氧焊接需要严格控制焊接区域的氧气含量，同时还需要注意焊接参数的调节，如焊接电流、电压、焊接速度等，以确保焊缝的强度和韧性满足要求。在质量控制方面，低氧焊接需要进行定期的焊缝质量检查和性能测试，以确保焊接质量的稳定性和可靠性。

#### 3.2 管道连接技术

(1) 连接方法选择。海底管道的连接方式多种多样，包括机械连接、船上焊接和水下焊接等。机械连接是通过法兰、卡箍等连接件实现管道的快速连接，操作简便，但连接强度相对较低，适用于临时连接或低压力管道。船上焊接是在铺管船上完成管道的焊接作业，焊接质量高，适用于长距离、大口径管道的铺设。水下焊接则是直接在水下对管道进行焊接，技术难度高，但能够减少海底作业时间和成本。(2) 连接方式与环境的匹配。在选择海底管道的连接方式时，需要充分考虑具体环境因素，如海底地形、水深、海流速度等。对于深海或复杂海底地形下的管道连接，水下焊接可能面临较大的技术挑战和风险。此时，可以考虑采用船上焊接或机

械连接等方法。同时，还需要注意连接方式的可靠性和安全性，以确保管道在恶劣环境下的正常运行。

#### 3.3 立管安装技术

(1) 安装方法概述。立管安装是海底管道施工中的关键环节之一。常见的安装方法包括传统吊装法、“J”型导管法、导轨法以及水下连接等。传统吊装法利用吊车或浮吊将立管吊装到位，操作简便，但受吊装设备和作业空间的限制。而“J”型导管法则通过导管将立管引导至海底预定位置，适用于深海或复杂海底地形下的立管安装。导轨法则是在海底铺设导轨，引导立管准确到达安装位置，操作简便，效率高。水下连接则是直接在水下对立管进行连接，适用于各种复杂环境。(2) 焊接方案制定与施工后校准检查。在制定立管焊接方案时，需综合考虑多种因素，包括海底管道的材质、管径、壁厚、工作环境以及焊接工艺的特性等。例如，对于高强度、耐腐蚀的合金钢管道，需采用能够匹配其材质的焊接材料和工艺，以确保焊缝的强度和韧性满足设计要求。同时，还需考虑焊接过程中可能产生的残余应力和变形，制定合理的焊接顺序和预热、层间温度控制措施，以减少焊接缺陷和保证焊接质量。

#### 结束语

海底管道施工方法是确保海洋油气资源高效、安全输送的关键。通过对铺管船铺设法、海底拖曳法、漂浮法、牵引法铺设、卷筒船铺设法以及定向钻牵引法等方法的深入探讨，我们不仅理解了各种施工方法的优势和局限，还认识到在实际应用中需根据具体环境条件和项目需求合理选择。未来，随着技术的进步和创新，海底管道施工方法将更加高效、环保，为海洋资源的开发利用提供坚实支撑。

#### 参考文献

- [1]冯爱民,张璐,董兆佳等.海底管道及膨胀弯海上安装效率分析研究[J].江苏科技信息,2022,(05):60-63.
- [2]陈荣旗,雷震名.中国海底管道工程技术发展与展望[J].油气储运,2022,(06):66-67.
- [3]宋青武,王圣强,马红旗等.海底油气管道施工方法与工期计划分析[J].石油和化工设备,2022,(02):13-17.