

# 海洋石油平台玻璃钢管道的性能及施工工艺

魏树国 张海军 宋增利（海洋石油工程（青岛）有限公司，山东 青岛 266520）

**摘要：**随着海洋石油开采的深入，海洋石油平台的基础设施建设和运行管理变得愈加复杂和重要。在海洋环境中，由于特殊的自然条件，如高盐度、强腐蚀性和恶劣的气候变化，传统的金属管道材料面临着较高的腐蚀风险和使用寿命的限制。因此，寻找具有更高耐腐蚀性、耐久性和可靠性的替代材料成为海洋石油平台管道系统发展的关键方向。玻璃钢管道作为一种新型复合材料，因其优异的力学性能、耐腐蚀性以及较轻的重量，在海洋石油平台的管道系统中得到了广泛的应用。

本论文旨在探讨海洋石油平台中玻璃钢管道的性能特点和施工工艺等方面的问题，并提出相应的长期使用维护策略。通过对玻璃钢管道在实际应用中的研究和分析，本文旨在为海洋石油平台的管道系统设计和运行管理提供理论依据和技术支持。

**关键词：**海洋石油平台；玻璃钢管道；性能；施工工艺

## 1 海洋石油平台玻璃钢管道的材料特性

首先，玻璃钢管道的主要组成材料是玻璃纤维和树脂。玻璃纤维作为增强材料，能够提供极高的强度和刚性，而树脂则作为基体材料，为管道提供粘结性和韧性。常见的树脂材料包括不饱和聚酯树脂、环氧树脂和醇酸树脂等。树脂的选择直接影响到玻璃钢管道的性能，尤其是其耐腐蚀性和热稳定性。通常情况下，不饱和聚酯树脂由于其较低的成本和良好的机械性能，广泛应用于海洋石油平台的玻璃钢管道中。

玻璃钢管道的力学性能是其在海洋环境中应用的关键因素之一。玻璃纤维的加入显著提高了管道的抗拉强度、抗压强度和抗弯曲强度。在实际应用中，玻璃钢管道可以承受较大的内外压力和弯曲变形，同时保持较好的稳定性和安全性。例如，玻璃钢管道的抗拉强度可以达到 3000~4000MPa，抗弯曲强度可达到 500~700MPa，且其密度较低，通常在 1.8~2.1 g/cm<sup>3</sup> 之间。这些力学性能使得玻璃钢管道在承受压力和外部冲击时具有较强的抵抗能力，从而延长了其使用寿命。

除了力学性能，玻璃钢管道的耐腐蚀性是其在海洋环境中广泛应用的另一大优势。海洋环境中的腐蚀因素复杂多变，包括盐水、酸碱、微生物等多种侵蚀源。传统的钢铁管道在这种环境下容易发生腐蚀，导致管道破损和泄漏（图 1 所示），而玻璃钢管道则具有优异的抗腐蚀性能。玻璃钢管道的耐腐蚀性主要来源于其树脂基体的化学稳定性和玻璃纤维的抗化学侵蚀性。尤其是在海洋石油平台的工作环境中，玻璃钢管道可以有效抵抗海水、酸碱溶液及一些化学介质的

侵蚀，大大提高了其在恶劣环境下的使用寿命。



图 1 玻璃钢管道泄露现场照片

玻璃钢管道的热稳定性也是其在高温环境中使用的关键特性。海洋石油平台的作业环境复杂，温度和压力的变化较大，因此管道材料的热稳定性尤为重要。玻璃钢管道通常具有较好的热膨胀性能，其热膨胀系数较低，使得其在温度变化时能够维持稳定的尺寸，减少因温差变化导致的管道变形。常见的玻璃钢管道在高温下的工作范围一般为 -40℃ 至 +80℃，某些特殊的改性玻璃钢管道，甚至能够在更高温度下正常工作。

此外，玻璃钢管道的电绝缘性能也是其一大特点。与金属管道不同，玻璃钢管道具有优异的电绝缘性能，能够有效防止电流通过管道，从而避免因电流泄漏而引发的潜在安全风险。特别是在海洋石油平台的电气化操作中，玻璃钢管道的电绝缘特性使其成为一种理想的材料选择。

从长期使用的角度来看，玻璃钢管道的疲劳性能和耐老化性能也是其重要的材料特性。玻璃钢管道在反复的载荷作用下，能够保持较高的抗疲劳性能，不容易发生裂纹或断裂，适合长时间稳定运行。随着使

用时间的增加,玻璃钢管道的性能可能会有所变化,主要表现在树脂的老化和玻璃纤维的劣化上。现代工艺通过对树脂和纤维的改性,显著提高了其耐老化性能,使得玻璃钢管道能够在较长的时间内保持较好的性能。

## 2 海洋石油平台管道施工的关键工艺

海洋石油平台管道的施工是确保平台正常运行和石油气体顺利输送的核心工程之一。在施工过程中,由于海洋环境的复杂性和特殊性,施工工艺需要特别重视安全性、耐久性和高效性。玻璃钢管道作为一种新型材料,因其重量轻、耐腐蚀等特点,逐渐成为海洋石油平台管道的首选材料。本文将重点探讨海洋石油平台玻璃钢管道施工的关键工艺,分析其施工过程中所需的技术要求和实际操作要点。

首先,海洋石油平台管道施工的一个关键环节是管道的预制与运输。玻璃钢管道的预制主要包括管道的成型、加固和检验等步骤。根据设计要求,玻璃钢管道通常采用模具成型工艺,利用树脂与玻璃纤维结合的方式,通过高温固化成型。在此过程中,需要特别注意管道壁厚、长度、以及接头的质量,确保管道在运输和安装过程中不发生损坏或变形。

运输过程中,管道需要确保其稳定性和完整性。由于海洋石油平台通常位于远海,管道运输的过程中往往会面临海浪、风力等环境因素的挑战。因此,在运输过程中,必须采取必要的防护措施,如在管道外部加装保护层,避免因冲击和摩擦而造成表面损伤。此外,管道的运输还需要考虑到海上吊装设备的能力和运输船只的配置,确保管道能够安全、顺利地到达施工现场。

其次,管道的安装是施工过程中最为关键的步骤之一。由于海洋石油平台的建设通常涉及到较为复杂的水下作业,因此管道的安装必须依赖专业的海上施工技术。管道安装的前期准备工作包括详细的设计图纸审查、施工方案的编制,以及现场设备和工具的调试和检查。在安装过程中,首先要确保管道的固定装置稳固可靠,并通过精确的定位和测量,确保管道的铺设方向和角度与设计要求一致。

对于海洋环境中的管道安装,焊接与连接工艺尤为重要。玻璃钢管道的连接方式通常包括法兰连接、热缩套管连接等。法兰连接常用于大口径管道的连接,其优点是连接强度高、密封性好。而热缩套管连接则是一种新型的快速连接方式,采用专用的热缩材料,

使得管道连接更加简便、快捷,且在连接处具有较强的抗腐蚀能力。在连接过程中,必须严格控制焊接温度、时间和压力,确保焊接接头没有出现裂缝、漏水等问题。

对于海上平台而言,安装作业常常需要借助大型吊装设备,确保管道能够安全地放置在预定位置。同时,管道安装时,需保证管道与支架的连接稳定,防止管道受力不均导致形变或损坏。

除了管道的预制、运输和安装外,管道的防腐工艺也是施工中的重要内容。玻璃钢管道本身具有良好的抗腐蚀性能,但在海洋环境中,由于存在高湿度、盐雾及其他腐蚀性介质,管道表面仍需进行额外的防腐处理。常见的防腐措施包括涂层防腐、阴极保护等。涂层防腐是通过在管道外表面涂覆一层防腐涂料,形成一道防护屏障,阻止腐蚀介质的侵入。而阴极保护则通过在管道表面附加电流,防止管道金属表面受到电化学腐蚀。

此外,管道的检测与调试也是施工过程中的重要一环。施工完成后,必须对管道系统进行全面检验,确保其符合设计标准,并具备正常的运行能力。常见的检测手段包括气密性试验、水压试验以及X射线探伤等。通过这些检测手段,可以有效发现管道中存在的泄漏、裂纹等缺陷,确保管道在投入使用后能够长期稳定运行。

最后,海洋石油平台管道施工的安全管理至关重要。由于海洋环境复杂,施工过程中涉及到大量的高空作业、水下作业和吊装作业,因此,安全隐患较多。在施工前,必须进行详细的安全评估,并制定严格的安全措施和应急预案。施工人员需要佩戴必要的安全装备,操作过程中要严格遵守操作规程,避免发生意外事故。平台上还应设置安全监控系统,实时监测施工环境的变化,以便及时调整施工方案和应对突发事件。

## 3 玻璃钢管道的长期使用性能与维护策略

玻璃钢管道(FRP管道)在海洋石油平台中的长期使用性能对整个工程的安全性、稳定性和经济性至关重要。由于海洋环境的复杂性,玻璃钢管道在长期服役过程中可能会受到多种因素的影响,包括化学腐蚀、机械应力、温度变化、紫外线辐射以及海洋生物附着等。因此,深入研究玻璃钢管道的长期使用性能,并制定合理的维护策略,对保障其正常运行和延长使用寿命具有重要意义。



首先,从材料特性来看,玻璃钢管道具有优异的耐腐蚀性和力学性能,但长期服役过程中仍然可能出现材料老化现象。玻璃纤维增强塑料的基体树脂在长期暴露于高盐度、高湿度和紫外线的海洋环境下,可能会发生降解,使管道的力学性能有所下降。此外,长期承受交变载荷可能导致玻璃纤维界面出现微裂纹,进而降低整体结构的稳定性。为了提高玻璃钢管道的长期使用性能,应优先选用耐老化性能较强的树脂体系,如乙烯基酯树脂或改性环氧树脂,并通过优化纤维铺层设计,提高材料的抗疲劳能力。

其次,海洋环境中的腐蚀因素对玻璃钢管道的长期性能影响较大。尽管玻璃钢材料具有优异的耐腐蚀性能,但在特定工况下,如高温高压环境或含有高浓度氯离子、硫化氢等腐蚀性介质的条件下,仍可能发生应力腐蚀开裂或渗透腐蚀。因此,在设计和施工阶段,应充分考虑管道的腐蚀环境,选择适合的防护措施。例如,可以在管道内表面增加耐腐蚀衬里,或在外表面涂覆抗紫外线和防渗透的涂层,以提高其耐久性。

在长期使用过程中,机械损伤是影响玻璃钢管道寿命的另一个重要因素。由于海洋石油平台的运行环境复杂,管道可能会受到波浪、潮汐、风载荷等自然力的影响,同时还可能遭受机械撞击或振动载荷。这些因素可能导致管道出现裂纹、分层、纤维断裂等问题,从而降低管道的承载能力。

为此,必须在管道设计阶段合理选用壁厚和铺层结构,以增强其抗冲击能力。同时,在安装和运行过程中,应严格避免管道受到超出设计范围的外力作用,例如避免在施工和吊装过程中产生过大的弯曲应力或点载荷。

玻璃钢管道的长期维护对于确保其安全运行同样至关重要。首先,应建立定期检查制度,对管道的外观、接头、支撑结构等进行定期巡检,特别关注可能出现渗漏、裂纹、磨损或附着海洋生物的部位。对于埋地或水下管道,可以采用超声波检测、红外热成像或光纤监测技术进行无损检测,以便及时发现潜在缺陷。其次,应定期清洗管道,防止海洋生物附着导致的堵塞问题,特别是在长期运行过程中,由于微生物腐蚀或生物附着可能会导致局部管道内径缩小,影响流体输送效率。

最后,从玻璃钢管道的全生命周期管理角度来看,提高长期使用性能不仅依赖于材料选择和维护策略,

还需要在整个生命周期内优化运行管理。建立完善的管道运行数据库,对管道的使用环境、运行参数、维护记录等进行系统化管理,可以为后续维护和更换决策提供可靠依据。同时,通过定期开展培训,提高现场操作人员的维护意识和技能,也能有效延长玻璃钢管道的使用寿命。

#### 4 结束语

本文通过对海洋石油平台玻璃钢管道的性能与施工工艺的研究,全面分析了玻璃钢管道在海洋环境中的应用优势与挑战。然而,尽管玻璃钢管道在性能上具有较大优势,玻璃钢管道作为海洋石油平台重要的输送管道,凭借其独特的性能优势,已成为替代传统金属管道的重要材料。在未来的研究和实践中,随着技术的进步,玻璃钢管道的性能和应用范围有望得到进一步提升,为海洋石油平台的安全、环保和高效运营提供更加可靠的保障。

#### 参考文献:

- [1] 杜国强,王立陈,于国杰,等.海洋石油平台玻璃钢管道可靠性浅析[J].石油和化工设备,2022,25(04):119-121+124.
- [2] 王乾,胡晓明,刘明军,等.海洋平台玻璃钢管道应力分析方法和实践[J].石油和化工设备,2018,21(02):10-13.
- [3] 单世超,李亚菲,王瑞英,等.海洋油气平台用玻璃钢管道技术要求[J].石油和化工设备,2017,20(04):97-99+101.
- [4] 唐瑞友,熊阁毅,卢盛光,等.海洋平台用玻璃钢管道耐火检验及认证讨论[J].辽宁化工,2013,42(04):360-362+368.
- [5] 王战勇,罗莹,张飞,等.玻璃钢管道的应力分析研究[J].石油工程建设,2011,37(02):5-8+83.

#### 作者简介:

魏树国(1983.12—),男,汉族,山东省临沂市沂水县人,中专,助理工程师,研究方向:海洋油气储运工程。

张海军(1985.06—),男,汉族,河北省唐山市乐亭县人,大专,助理工程师,研究方向:海洋油气储运工程。

宋增利(1986.12—),男,汉族,山东省临沂市蒙阴县人,大专,助理工程师,研究方向:海洋油气储运工程。