

碳纤维复合材料管道在海洋平台的应用及优化建议

马艳荣 赵 颖 (中石化胜利海上石油工程技术检验有限公司, 山东 东营 257000)

张大鹏 曲志轩 (中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司, 山东 东营 257000)

摘 要: 海洋平台造价及使用成本高昂, 安全风险极高, 随着我国建造和材料技术的不断发展, 碳纤维复合材料因其具有非常好的材质性能, 已经开始在海洋平台中应用, 但由于其材质的特殊性, 因此对设计和应用都提出了较高要求。本文对碳纤维复合材料管道在海洋平台消防系统中的应用风险进行了分析和探讨, 提出了风险规避及优化建议, 便于同行参考和借鉴。

关键词: 碳纤维; 海上平台; 消防系统

0 引言

海上油气平台风险很高, 面临的内部风险如设备密集、温度压力风险、井下风险、救援时间难以掌控, 很容易发生火灾爆炸事故, 外部风险如台风、风暴潮、船舶撞击、恐怖袭击威胁等各种风险, 对火灾爆炸的控制造成很多不确定因素。碳纤维复合材料作为一种材料被应用于消防系统有其优点和不足, 本文结合海洋平台的应用实践进行研究分析, 为玻璃钢消防系统的进一步优化提供帮助^[1]。

1 碳纤维复合材料管道

传统的玻璃钢管道是将浸渍树脂玻璃纤维采用连续缠绕成型工艺缠绕布满于芯模表面上, 形成纤维增强层, 然后经固化、脱模, 最终获得玻璃钢管道, 该玻璃钢管道是一种绝缘、不导电的管道。由于海洋平台消防系统经过危险区, 需要采取防止静电措施。选用碳纤维作为导体, 并将多根玻璃纤维束与单根碳纤维束作为增强纤维。将多根玻璃纤维束与单根碳纤维束浸渍树脂采用连续缠绕成型工艺缠绕布满于管道芯模表面上, 形成纤维增强层, 然后经固化、脱模, 最终获得海洋平台碳纤维管道制品^[2]。

2 应用范围

国内海上固定平台主要包括采油平台、采气平台、油气集中处理的大型 FPSO, 已经开始采用了碳纤维复合材料作为消防系统及海水系统的管线材料。碳纤维复合材料以其重量轻、耐腐蚀、流动性能好、机械强度适中、安装方便等优点, 在消防系统领域应用前景良好。常用的地方包括海上系统管网、消防水系统管网、雨淋阀橇、消防炮等。一般湿式消防要求至少满足 IMO A753 (8) L3 等级, 干式消防要求满足 OTI 95634 喷射火焰测试。

3 安装

碳纤维复合材料管道的安装过程应严格遵循行业标准与规范, 结合其特殊材料性能和使用环境特点, 合理选择安装方法。由于碳纤维复合材料相较于传统金属材料具有不同的力学和物理特性, 在安装过程中应特别注意以下几方面:

3.1 施工准备

在安装碳纤维复合材料管道之前, 需对施工场地进行详细的勘察与准备。根据实际环境条件 (如温度、湿度、风力等) 和管道的应用区域, 制定具体的施工方案, 确保施工区域的清洁和干燥。此外, 施工人员需具备相关资质, 了解碳纤维复合材料的特性和相关安装工艺, 确保施工过程中的安全性和规范性。

3.2 管道定位与支撑

在施工现场, 管道的准确定位是确保整个系统稳定运行的基础。由于碳纤维复合材料管道较为轻质, 支撑系统的设计需考虑管道在不同工作条件下的载荷分布, 避免因管道位移或振动引起的应力集中。建议采用柔性支撑系统, 以减少管道因温度变化或外力作用下产生的应力。此外, 支撑间距应符合碳纤维管道的弯曲刚度和使用环境的要求。

3.3 连接安装

碳纤维复合材料管道的连接方式应根据具体的服役条件选择合适的技术。常见的连接方式包括螺纹连接、锥面粘接、承插锁紧连接等。对于口径较小的管道 (DN200 及以下), 螺纹连接因其施工方便且连接强度较高 (可达 22MPa) 成为常用方法。而对于口径较大的管道, 则更适合采用锥面粘接等技术, 以保证管道系统的整体密封性和承压能力。安装过程中需严格控制粘接剂的用量和固化时间, 避免因粘接不良导

致的渗漏或结构失效。

3.4 环境控制

在安装过程中，环境因素如温度、湿度对碳纤维复合材料的性能影响较大。施工温度应保持在规定范围内，避免高温或低温下的安装操作。此外，在高温湿度环境中，粘接过程需采取额外的防护措施，以确保粘接剂的固化质量和连接强度。

3.5 安装精度控制

由于碳纤维复合材料管道的柔韧性较高，安装过程中对接头和弯管位置的安装精度要求较高。管道应严格按照设计图纸进行安装，避免由于偏差导致的应力集中或系统不稳定。对每个接头部位进行定点检查，确保其密封性和耐压性符合标准。

3.6 安全措施

在施工过程中，需特别注意静电防护。碳纤维材料具有导电性，因此在经过危险区时，应采用防静电措施，如接地装置或静电消除装置，防止因静电积聚引发火灾或爆炸风险。此外，施工人员应配备防护设备，避免碳纤维粉尘对人体造成损害。

3.7 完工验收

安装完成后，需进行全面的验收检测。主要检测内容包括管道的连接强度、密封性、耐压性和支撑系统的稳固性。可采用无损检测方法对粘接部位和关键连接点进行检查，确保系统在设计工作条件下的安全可靠。

4 连接方式

相对金属结构而言，碳纤维复合材料由于其材料、工艺等方面的限制，无法采用传统的连接方式，为保证各部件制件载荷的有效传递，必须采用合理的连接方式来解决。因此，连接设计是保证在复合材料结构性能的关键环节之一。

目前，类似的玻璃钢管道应用技术已经非常成熟，产品的设计、制造、检验和施工验收都有相关标准，例如：API15HR、API15LR、ISO14692 等。管道的连接方式有螺纹连接、锥面粘接、承插锁紧连接、层合连接、法兰连接等。连接形式的选择主要考虑以下几方面的因素：服役条件、可靠性、便于安装、便于维修。

表 1 连接方法对比表

分类	螺纹连接	承插锁紧连接	锥面粘接	层合连接	法兰连接
适用规格	≤ DN200	DN150- DN2400	适用任意 口径	适用任意 口径	适用任意 口径
连接强度	22MPa	5MPa	16MPa	2.5MPa	22MPa
施工工艺	接头现场 施工不便	接头现场无 法制作	接头现场制 作较方便	接头现场制 作较方便	厂内加工

胶接连接工艺是复合材料结构件最常用的一种连接方法。这种方法是用胶粘剂将零件连接成不可拆卸的整体，是一种较实用有效的连接工艺技术，有时还能为研制生产解决关键性工艺技术。

锥面粘接常见的问题包括表面处理不当、接口未清管、管线锥面损伤因胶粘剂存在老化和受环境因素（温、湿度）的影响，在高温、湿度作用下，其粘接强度下降等。



图 1 锥面粘接



图 2 连接处撕裂渗漏

5 管子的维修

对于 DN80 以下，且压力等级不超过 16MPa 的管线，推荐采用金属件维修法或维修短节方式。对于 DN100 以上和压力等级超过 16MPa 的管线，推荐采用金属件维修方式。

5.1 金属件维修方式

在破坏处开挖操作坑，使用磨光机将破坏部位切除，并在管线端面进行磨锥。清理管线外锥面及金属维修件的内锥面，在管线外锥面粘接现场螺纹，按照要求时间固化。然后将金属维修件（转换接头）安装在螺纹上，将管线的另一端以同样的步骤操作（可两端同时操作），然后在金属维修件中间对接部位焊接，完成抢修。在维修完成后，应根据当地施工要求对金属管线进行外防腐，可使用树脂配合玻璃纤维布进行外防。

5.2 维修短节方式

主要是通过破坏处开挖操作坑，使用磨光机将

破坏部位切除。使用磨锥机,在两个露出的端口上,分别磨锥。套上现场螺纹试磨锥尺寸,测量损坏部位切除尺寸,在管线外锥面和现场螺纹的内锥面,分别涂抹粘接剂。在维修短节的内螺纹处涂抹密封脂,将维修短节拧在固化完成的现场螺纹上。先上紧另外一端现场螺纹,然后在刚才安装上的现场螺纹的内锥面上,涂抹粘结剂,将两端管线抬起,将管口插进现场螺纹内锥口,管线下压塞入维修短节内。当挤出的粘接剂凝固且温度下降至常温后,即可投产使用。

6 优化建议

6.1 设计阶段

在设计阶段,碳纤维复合材料管道的消防系统设计需充分考虑海洋平台的特殊环境条件,特别是振动、机械损伤、风载荷和火灾爆炸等多种风险因素。对于振动影响较大的区域,应采取特殊的减振措施,增加柔性支撑或使用减振组件,避免长时间振动导致的疲劳损伤。对于容易发生机械损伤的区域,应加强管道的防护设计,选择高强度复合材料并设置额外的物理屏障或缓冲设施。对于风力较大的区域,特别是暴风、台风等极端天气影响下的区域,需进行抗风载荷的计算,并加强管道与支撑系统的连接,以避免风振或风剪对管道系统的破坏。

同时,对于火灾爆炸风险较高的区域,消防管网的设计应采用高耐火等级的碳纤维复合材料,确保在高温条件下能够维持结构强度和稳定性,减少火灾扩散的可能性。必要时,可考虑替代设计,如采用多层复合结构或添加防火涂层,以进一步提升系统的安全性和耐久性^[3]。

6.2 运输和保存阶段

碳纤维复合材料管道在运输和保存阶段必须受到严格的保护,以防止外界环境对材料性能的损害。材料运输时应使用专业的包装和防护设备,避免因碰撞、挤压或震动导致的微观裂纹或损伤,特别是在长途运输或恶劣天气条件下。材料到达用户场地后,应立即进行验收,采用先进的检测工具和方法,如超声波、X射线等无损检测技术,确保材料表面及内部没有肉眼不可见的裂纹、分层或其他潜在缺陷。这些潜在损伤可能在后续使用中引发管道失效,因此应依据明确的标准进行评估和验收,以确保材料在后期施工和运行中的安全性和可靠性。

6.3 施工阶段

在施工阶段,碳纤维复合材料管道的安装人员必须具备丰富的经验和专业技能,所有参与施工的人员

应经过严格的培训,并取得相关资质证书。特别是在打磨和粘接过程中,需使用高精度的设备,并不断改进施工工艺,确保连接处的平整度和粘接强度。施工现场应严格控制环境条件,避免灰尘、湿气或高温等不利因素影响管道安装质量。此外,在管道的搬运、运输、吊装和制作过程中,应采取防护措施,防止因不当操作导致管道的碰撞、划伤或压损。对于关键连接部位的安装,需严格按照设计规范和工艺要求进行,确保管道系统在复杂海洋环境下的长期稳定运行^[4]。

6.4 操作和维护过程

在操作和维护阶段,碳纤维复合材料管道的消防系统应定期进行检查和维护,以确保其持续处于最佳工作状态。日常操作中应避免违规使用或超负荷运行,尤其是在极端环境条件下运行时,应特别注意系统的承载能力和操作安全。维护过程中,需重点检查薄弱环节,如接头、支撑点及高压管道部位,评估其使用时间和潜在风险,必要时进行局部加固或更换。同时,应制定完善的维护计划和应急预案,结合碳纤维复合材料的特点,定期进行管道的性能检测与评估,以确保其长期可靠性和安全性。在高温、高湿度或腐蚀性环境下运行的管道,尤其要加强耐久性评估,提前发现并修复可能的缺陷,避免因管道老化或损坏引发的系统失效。

总而言之,碳纤维复合材料管道应用海上平台消防系统,在减轻了平台重量,降低了成本的同时,还增加了质量控制的难度,应不断思考并创新,解决这些材料风险、薄弱环节风险,从而应用科学的设计、检验、防护、使用方法,达到既降低成本,又保障安全,最大程度的规避风险的目的。

参考文献:

- [1] 赵明建. 碳纤维复合材料在给排水管道修复补强中的应用[J]. 合成纤维, 2023, 52(06): 82-85.
- [2] 郑强. 浅谈纤维复合材料在水暖管道防渗、堵漏工程中的应用[J]. 居舍, 2023(10): 36-39.
- [3] 柳素霞. 碳纤维复合材料加固技术在给排水管道修复补强中的应用[J]. 合成材料老化与应用, 2023, 52(01): 138-140.
- [4] 罗武德. 碳纤维复合材料在城市排水管道技术中的应用研究——评《碳纤维复合材料加固修复化工管道技术规范》[J]. 材料保护, 2020, 53(07): 191.

作者简介:

马艳荣(1983-),女,汉族,湖北钟祥人,硕士,工程师,研究方向:海洋石油检验检测。