

# 新型海上油气外输漂浮软管

## ——基于光纤技术安全监测的夜光警示型外输漂浮软管

常百津（中海油能源发展股份有限公司采油服务分公司，天津 300457）

**摘要：**随着科技的不断发展，光纤技术在各个领域的应用逐渐扩展。外输漂浮软管是海上油气生产重要设施，当它进行海上油气输送等作业时，因两船间距离较远导致对于软管的识别极其困难，尤其在夜间，存在渔船误撞软管造成管道泄漏等风险，且暂无可靠的实时监测方案和技术。本文着眼于利用光纤技术进行安全监测，以改进夜间或低光条件下的外输漂浮软管的安全性。本文首先介绍了外输漂浮软管的特点和在目前生活中的应用，以及光纤技术在安全监测领域的优势，包括高灵敏度、实时监测等特点。然后，针对夜间或低光条件下外输漂浮软管的使用场景，提出了基于光纤技术的夜光警示型外输漂浮软管的设计理念。该设计通过在软管表面嵌入光纤传感器，实现对软管状态、温度、压力等多个参数的实时监测。在实验研究方面，本文通过模拟实际作业条件，对夜光警示型外输漂浮软管的安全监测性能进行了验证。实验结果表明，基于光纤技术的监测系统能够高效、准确地捕捉软管的状态变化，并及时发出警示信号，从而有效预防潜在的安全隐患。最后，通过比较分析光纤技术与传统监测手段的优劣，总结出基于光纤技术的夜光警示型外输漂浮软管具有更高的可靠性和适应性。这项研究为外输漂浮软管的安全监测提供了一种创新的解决方案，也为光纤技术在工业安全领域的应用提供了有益的经验。

**关键词：**外输漂浮软管；光纤分布式监测；应用可行性；夜光警示带；安全性

近年来，海洋油气生产产业发展迅速，相关设施的建设也进入了迅速发展的阶段。作为 FPSO 上常见的外输设施，外输漂浮软管起到十分关键的作用。由于海上外输作业有着时间长且工作量十分巨大的特点，并且软管识别在夜间以及其他复杂情况下又极其困难。海上油气生产区域，经常有作业渔船经过，所以存在渔船误撞软管的风险，在受到风、浪、流等环境载荷作用时无法进行实时监测，因此对于外输漂浮软管的保护和状态监测一直是海上外输工作的重难点。随着该领域技术的不断发展，对在线自动监测技术的需求也越来越明确，因此，探索新型传感技术在外输漂浮软管安全监测中的应用有着十分重要的研究意义。

### 1 外输漂浮软管概述及特点

漂浮软管是一种专门用于海洋浮式生产的设备，被广泛应用于海洋石油开采、海洋养殖、海底水下工程、深海矿产等领域。外输漂浮软管是执行 FPSO 原油外输任务的主要组件，通常包括首管、主管、尾管和弦管。一般由多层复合材料构成，包括内层输送介质的管道、中间层增强层和外层保护层。增强层通常采用高强度的合成纤维，如聚酯纤维或芳纶纤维。外输漂浮软管相比刚性管道更具柔性，适应海底地形的

变化，能够更好地适应海洋环境。其采用高强度轻质材料，使得整个管道系统相对轻巧，方便搬运、安装和维护。软管通常采用耐腐蚀的材料，能够在海洋环境中长期使用而不受腐蚀影响。通过设计漂浮装置，使得软管能够浮在水面上，降低对海底的影响，提高使用的灵活性。由于其柔性设计和漂浮性，适应性较强，可用于不同水深和海洋环境下的输送。

外输漂浮软管是一种具有广泛应用前景的管道输送系统，具有多方面的优势和潜在的发展前景。首先，外输漂浮软管相对于传统的刚性管道具有更强的适应性。由于其柔软的结构，可以更好地适应地形变化和复杂的地质条件。这使得它在海底、河流、湖泊等环境中的应用更为灵活，能够避免地形不规则区域的工程难题。其次，外输漂浮软管具有更轻便的设计，易于携带和安装。相比于传统的刚性管道，漂浮软管的材料选择和设计使其更轻巧，降低了运输和安装的成本，同时也减少了对基础设施的要求，使得其在一些地理条件较为复杂或资源有限的地区具备优势。此外，外输漂浮软管的设计可以更好地适应管道周围环境的变化，如海底地形的升降、水流的变化等。这种灵活性有助于降低管道的维护成本，同时提高了系统的可靠性和安全性。

作为海上油气田外输的重要部分，外输漂浮软管已成为必不可少的设备。需要注意的是，具体的外输漂浮软管设计和特点可能因制造商和项目要求而有所不同。根据漂浮软管的使用方式，可分为长期漂浮式、半漂浮式、水下漂浮式和滚筒式。由于出场打压试验显著降低了由生产加工引起的管道失效风险，漂浮软管的失效风险主要来自外输作业中软管与船体的接触，以及滚筒长期作业和夜间出海时的渔船碰撞。

综合而言，外输漂浮软管以其灵活性、轻便性和适应性等优势，有望在未来成为管道输送领域的重要选择，并为海上油气提供更加可持续和高效的输送解决方案。随着全球对可再生能源的需求不断增加，外输漂浮软管作为输送介质的灵活性和适应性将成为重要的优势。

## 2 光纤传感技术

光纤传感技术是一种利用光纤作为传感元件的技术，它通过测量光信号的变化来检测和测量环境中的物理量，并以其高灵敏度、抗干扰能力和远程监测的优势，已在多个领域得到广泛应用，包括工业、医疗、环境监测等，例：①应变传感：光纤传感技术可用于测量结构的应变。通过在光纤中引入微弯曲或光栅等结构，当受到外力作用时，光信号的特性会发生变化，从而可以精确地测量应变；②温度测量：光纤温度传感器利用光纤的热致敏效应来测量温度变化。这种传感器具有高灵敏度和抗电磁干扰的优势；③压力传感：光纤传感技术还可应用于测量压力变化。通过在光纤中引入微小的膨胀体或采用光纤布拉格光栅的方式，可以实现对压力的高精度测量；④化学物质检测：光纤传感器还可以用于检测环境中的化学物质浓度变化。通过在光纤表面涂覆特定的化学物质，当目标物质与之反应时，光信号会发生变化；⑤医疗应用：在医疗领域，光纤传感技术被广泛应用于内窥镜、生物传感和医学成像等方面，可以提供高灵敏度和远程监测的优势；⑥油气领域：在油气勘探和生产中，光纤传感技术也用于监测井下的温度、压力和应变等参数，提高油气开采的效率和安全性。

根据光学传感器的不同，光纤传感技术分为点式监测和分布式监测两个方向。

其中，点式传感器采用光栅式传感器，通过光纤纤芯上的栅区测量温度、应力等物理量，主要用于监测关键位置和设备。在分布式监测中，利用光纤充当传感器，通过微弱的后向散射信号实现沿光纤的广泛监测，广泛运用于管廊、隧道、铁路等多个领域。

## 3 光纤传感技术在外输漂浮软管安全监测的应用展望

随着光纤传感技术飞速发展，光纤传感技术在海上油气外输漂浮软管安全监测方面具有广阔的应用展望。虽然石化行业光纤传感系统在建设初期投资成本较高，但由于光纤传感技术有极高的监测精度和灵敏度，使用的寿命也要比传统电子类传感器要长很多，因此后期维护成本大幅降低。随着光纤传感技术的完善、价格成本的降低，使用大规模、高密度精度、多参量的光纤传感系统将是未来石化行业的发展方向。

光纤传感技术可以实现对外输漂浮软管各种参数的实时监测，如温度、压力、应变等。基于这些数据，可以建立实时预警系统，及时发现管道运行中的异常情况，并采取相应的措施，从而保障管道运行安全。结合人工智能和大数据分析技术，光纤传感技术可以帮助建立智能化的监控与管理系统，实现对外输漂浮软管运行状态的智能分析和预测。这将大大提高管道运行的效率和安全性。此外光纤传感技术具有较强的适应性，可以应用于各种环境和工况下的外输漂浮软管监测。不论是海底管道、地下管道还是陆地管道，光纤传感技术都能提供可靠的监测解决方案。随着技术的发展和成熟，光纤传感技术的成本将逐渐下降，使得其在外输漂浮软管监测领域的应用更加普及。通过对管道运行状态的实时监测与及时维护，可以降低管道事故的发生频率，从而在长期来看，实现成本与效益的平衡。

未来，光纤传感技术还可以与其他监测技术相结合，形成更加全面、高效的管道监测体系。比如，与声学监测、图像识别等技术相结合，可以进一步提高对外输漂浮软管安全状态的监测能力。

对于光纤传感技术在外输漂浮软管安全监测中的应用，研究发现无论是气体介质还是液体介质，泄漏现象与泄漏流程之间存在着强烈的相关性。从流体力学计算角度开展仿真计算可以更直观的分析输送管道泄漏的流程特征。这些特征和物理参量为实时监测预警工作提供了重要依据。

管道在输送高压流体过程中如果出现微孔或破裂，管道内外巨大的压力差会导致流体介质会在漏孔内部产生高速流动现象。当流体介质高速通过狭小的孔隙时，会出现减速、扩张、碰撞、振动等现象，进而产生雷诺应力或剪切力形成湍流，流体快速膨胀并出现紊流现象。该现象使得泄漏时会伴随声音和振动等特征信号，并遵循 Lighthill 气动声学方程（该方程可以模拟无固体边界的湍流噪声和振动情况）。此外，

由于内部介质泄漏导致的外部温度场的变化也是显而易见的。

综合以上结论,只需验证光纤分布式监测技术对温度场、声场、振动等方面的可行性,即可判断光纤技术在外输漂浮软管安全监测方面具有极强的可行性。总体而言光纤传感技术在外输漂浮软管安全监测领域的应用展望十分广阔,将为管道安全运行提供更加可靠的技术支持,为相关行业的发展和进步注入新的活力。

#### 4 夜光警示带应用于外输漂浮软管实验研究

实验开始先筛选出来三种余晖亮度较高的发光材料,然后将发光材料通过特种工艺与高分子材料相结合制作出夜光警示型材料,将夜光警示型材料与橡胶结合,测试余晖亮度和其与橡胶的粘接力,通过比对余晖亮度和粘接力,最终筛选出夜光警示型材料。利用该材料制作夜光警示型外输漂浮软管,并按规范进行真空、水压、弯曲、导电、扭转等试验,结果表明该夜光警示型外输漂浮软管符合规范要求,制作工艺切实可行。

夜光警示带可以在夜间或低光条件下用于提高可见性和安全性。该实验的成功可以使夜光警示带能够在光线较暗的环境中发光,提高软管的可见性,有助于降低意外发生的风险。夜光警示带还可以作为安全标识,标识出管道或软管的位置,使工作者或其他人员能够更容易地注意到它们,减少碰撞或其他危险。除此之外,夜光警示带具有足够的耐候性,以应对户外环境中的各种天气条件,确保长时间的有效使用,且需要选择具有强大黏附性的夜光警示带,确保其能够牢固地附着在软管表面,而不易脱落。可以考虑使用不同颜色或图案的夜光警示带,以提高软管的易识别性,从而更容易区分不同种类的管道或警示区域。

在选择和应用夜光警示带时,要确保遵循相关的安全标准和规定,以确保其在实验研究中发挥最佳效果。此外,检查夜光警示带的性能和适用性,以确保其符合实验环境的要求。

#### 5 新型海上油气外输漂浮软管的优势

结合光纤技术安全监测和具备夜光警示带的海上油气外输漂浮软管可以带来一系列优势,具体包括:  
①具备主动防御和被动防御功能:在海上油气生产和运输过程中,既可以通过夜光警示带在视觉上增加安全性,便于经过的渔船对软管位置和状态进行感知,又可以在受到风、浪、流等环境载荷作用时通过光纤传感技术提供高灵敏度的多参数全方位实时状态监测,捕捉软管的具体状态变化,也对其疲劳破坏情况

实时监测,防止造成原油泄漏;②具有更长的寿命和稳定性:夜光警示带的材质通常耐磨、耐腐蚀,有助于提升软管的整体稳定性和耐久性。光纤技术相比传统的监测手段也具有更长的使用寿命,且不易受外界条件影响,保持高稳定性;③维护成本降低:一方面光纤技术的长寿命和稳定性减少了维护需求,另一方面夜光警示带的耐用性和可靠性减少了更换和修理的频率,从而降低了维护成本;④安全性提升:传统的安全监测手段可能对电磁干扰较为敏感,容易受到外部环境的影响,而光纤传感技术具有良好的抗电磁干扰性,在电磁干扰环境下更为可靠,使其适应不同的环境条件,进一步增强了全天候监测的可行性。

综合以上分析,基于光纤技术的夜光警示型外输漂浮软管在实际应用中表现出更高的可靠性和适应性,通过结合这两种技术,可以综合利用它们的优势,提高对外输漂浮软管的监测效能,同时增强在复杂环境下的安全性,为工业环境的安全监测提供了一种先进的解决方案。

#### 6 结论

总之,光纤对于漂浮输油软管安全监测从理论角度而言,可以对外输漂浮软管在海上作业的安全状态进行多参数实时监测,可以预防许多潜在问题、减少故障风险,夜光警示带也可以在夜间或低光条件下对软管的可见性提高,从而提升管道系统的整体安全性,避免一些不必要的危险情况的发生,可以很好的解决目前漂浮软管存在的一些问题。在进入应用阶段之前,还需解决一系列复杂的工程和研究问题,对于该项工程的成本及效益还需要大量的工作开展,但是基于目前漂浮软管因结构复杂且常年漂浮在海面上出现了种种破损、原油泄漏、维护维修途径狭窄等问题,从可行性及必要性而言,开展该项研究将具有极大的实际意义。

#### 参考文献:

- [1] 宋明春. 光纤传感技术可广泛应用于石化安全领域[J]. 中国石化, 2019(12):2.
- [2] 毕琨. 高压管道泄漏的 CFD 仿真分析与试验研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2017.
- [3] 赵东伟. 海上漂浮输油管组整体动力学性能研究[D]. 北京: 中国石油大学, 2018.
- [4] 程兆欣. FPSO 外输漂浮软管整体连接与安装工艺研究[J]. 石油和化工设备, 2019, 22(1):3.

#### 作者简介:

常百津(1983-),男,汉族,黑龙江人,大学本科,中级工程师,研究方向:石油工程。