

# 海底原油管道失效形式及预防措施

严丽蓓

(中国石化管道储运分公司, 江苏 徐州 221008)

**摘 要:** 结合某海底原油管道工程实践, 分析了海底管道受到的荷载及可能引起的失效形式, 提出了海底管道失效的预防措施, 指出管道勘察设计、施工及运行过程中应特别关注的问题, 其经验可为其他海底管道工程管理提供借鉴。

**关键词:** 海底管道; 失效; 预防措施

**中图分类号:** TQ 055.8<sup>†</sup>1; TH 17

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-3281(2012)05-0067-03

近年来, 我国加大了海洋石油的勘探开发力度, 同时在沿海岛屿上建设了一些原油码头以满足进口原油的接卸需要, 这都促进了海底油气管道的快速发展。目前在渤海、东海和南海的海底管道长度超过 3 000 km, 但海底油气管道的建设管理水平还相对落后。海底油气管道工程具有高风险性, 一旦泄漏或破坏将引起严重的海洋污染事故, 造成巨大的损失。因此, 需要对海底管道失效原因进行分析, 并采取必要的预防措施保证管道安全运行, 这里以某海底管道为例, 指出在海底管道建设和运行中应特别关注的问题<sup>[1-12]</sup>。

## 1 某海底管道概况

某海底管道主要输送某岛码头的进口原油。该管线采用加强级熔结环氧粉末进行防腐, 外加镯式铝合金牺牲阳极进行保护, 并在防腐层外涂敷厚度 75 mm 的混凝土配重层。因管道常温输送进口轻质原油, 所以不需考虑管线保温问题。

海底管道施工一般分为近岸段和离岸段管线施工两部分。该海底管道两端近岸段浅滩坡度较小, 没有明显的冲刷现象, 岸上有管线预制场地, 因此采用岸拖的方式进行施工。离岸段管线的铺设通过铺管船来进行, 在某海域特定的急水流和低水位的情况下, 依靠船自身动力来保持位置和平衡是很困难的, 依靠锚和绞盘来停泊和移动铺管船更适应该海域的施工环境。管线在铺管船上依次进行组对、焊接、探伤、防腐补口、涂敷填充物等过程, 焊接好的管线沿着船尾的托管架, 在借助锚的拉力移动铺管船的同时,

将管线铺到海床上<sup>[2]</sup>。

## 2 海底管道的荷载及失效形式

### 2.1 海底管道的荷载分类

海底管道的荷载比陆上管道的荷载复杂得多, 主要分为功能荷载、环境荷载和偶然荷载。管道在安装、试压、维护维修时容易产生建造荷载, 其由功能荷载和环境荷载组成。

功能荷载是在管道的建设和运行期间, 由于管道存在和使用所引起的荷载, 由管道的质量、外物覆盖、外部静水压力、内部压力、介质温度变化、预应力等引起。环境荷载为周围环境作用于管道系统上的荷载, 如风载、水动力荷载、波浪和海流荷载等, 不属于功能荷载, 主要表现为引起管道的振动、受冲击和不稳定。偶然荷载即在异常和意外情况下施加于管道上的荷载, 如船舶冲击、锚的拖拉引起的荷载, 偶然荷载的发生频率定义为每年每公里小于万分之一。

### 2.2 海底管道的失效形式

海底管道所处的自然条件复杂, 管道易受潮流、波浪、海床变化等外界环境的影响, 引起失效的原因非常多, 其失效形式主要表现为以下几方面:

(1) 管线破裂。当管线进行压力试验和运行时, 管线受内压作用引起管线失效, 主要由管道的功能荷载引起。

收稿日期: 2012-02-16

作者简介: 严丽蓓 (1975—), 女, 浙江台州人, 工程师。主要从事原油管道储运管理工作。

(2) 管线屈曲。有局部屈曲和整体屈曲, 局部屈曲较常发生, 局部屈曲的失效模式是由管壁应力支配的, 通常由弯矩和外压联合作用引起管线压溃和失稳, 当外压大于扩展压力时, 起始屈曲将沿管道扩展。管线屈曲多发生在安装过程中, 或在管线悬跨处产生, 由功能荷载、环境荷载联合作用导致<sup>[3]</sup>。

(3) 管线疲劳破坏。在管道寿命年限内的应力波动可以导致疲劳效应直至破坏, 如部分自由悬跨管道受到波浪的直接作用, 或者因海流、波浪等介质引起管道的振动, 长期作用都可能导致管道的疲劳破坏, 主要由管道的环境荷载引起。

(4) 管线断裂。管道必须具有合理地防止脆裂产生的抗力, 并具有足够的抗断裂扩展的能力, 这就要求管道的材料、焊接工艺和试验都必须满足规范的要求, 管线断裂由多方面因素引起。

以上失效形式存在着相互作用, 如铺管时脆性裂纹的生成、运行期疲劳裂纹的生长和由于应变时导致的韧性降低将累积增加管道断裂的风险。

### 3 海底管道失效的预防措施

由于海底管道一旦泄油将造成海洋污染事故, 而且维修相当困难, 因此海底管道在设计、施工及运行时应全面考虑各相关因素, 应该采取比陆地管道更加严格的质量控制措施, 预防引起管道失效的各种隐患。

#### 3.1 海底管道勘察设计时应注意的问题

(1) 海底管道的路由选择非常关键, 将直接影响管材选择和管道施工工艺, 路由选择的原则是尽量避开深水区、岩石区、起伏较大的海床、冲刷或沉积程度大的不稳定海床、海底障碍物及管线登陆困难区域。通过对某海底管道路由的详细勘察, 并按上述原则对可行的路由进行比选优化, 使管线经过的大部分区域水深在 25 m 以下, 这样虽然一定程度上增加了管线长度, 但海床相对较为平坦, 其表层为淤泥质粉质粘土, 比较适合于采用铺管法施工, 便于提高施工和运行的安全性。

(2) 进行海底管道的荷载设计计算时, 需充分考虑功能荷载、环境荷载和偶然荷载组合条件下的最不利情况, 如特征功能荷载为设计寿命内最可能发生的荷载最大值, 管道安装时特征环境荷载取给定海况下的最大值, 运行状态特征环境荷载组合的影响取

100 年重现期的值, 因此同等设计压力下, 海底管道的壁厚一般比陆地管道大许多。

(3) 由于海底管道受到浮力、波浪和水流等引起的水动力作用, 在施工和运行期的各种工况下, 必须在水平面和垂直面内能满足稳定性的要求, 不发生移动、上浮和下沉, 因此一般选择在管道外涂敷混凝土配重层, 其厚度根据重力、水动力和土壤摩擦力等条件设计。配重层也同时起保护管道的作用, 由于该管线处于航道区域, 因此配重层设计需考虑船舶抛锚等偶然荷载的影响。

#### 3.2 海底管道施工及运行中应注意的问题

(1) 由于管道长期处于海水环境中, 因此应加强防腐质量控制, 在防腐管进行配重层生产过程中, 应确保不破坏防腐层。该管道采用加强级熔结环氧粉末防腐, 国内配重层的生产一般采用喷涂工艺, 生产的配重管外观较好, 但是对环氧粉末层的韧性要求较高, 存在很大的风险性, 易导致防腐层损伤。为了更好地保护防腐层, 通过借鉴管道 3PE 防腐生产的经验, 将混凝土喷涂式改成压绕式工艺。在进行现场防腐补口时, 玛蹄脂材料灌注必须按规定程序进行。

(2) 配重层必须具有足够的推脱力和抗冲击力, 如果在环氧粉末涂层外直接涂敷混凝土, 由于环氧粉末层的表面粗糙度不够, 与混凝土层的剪切力不能满足海上铺管施工的要求。经过一系列现场试验, 研制出环氧粉末 + 胶粘剂 + 聚乙烯防滑颗粒的新工艺, 成功解决了剪切力不足的问题。混凝土涂层内部设加强钢筋网以提高整体强度, 钢筋网要准确就位, 不允许与钢管和阳极有任何接触。采用新工艺生产的配重管性能非常好, 在推脱力、抗冲击等试验和铺管施工实践中得到验证。

(3) 管线施工中必须严格按照焊接工艺规程作业, 控制管线的焊接质量, 并进行 100% 的 UT 和 100% 的 RT 检测。铺管时应安装足够数量的测试设备, 进行应力、应变和形状控制参数的监测, 并及时调整张紧器、托管架和支撑结构, 保证各环节中管道的形状、应力参数变化都控制在允许范围内, 避免引起海底管道屈曲。铺设期间应使用屈曲探测器进行连续屈曲检查, 屈曲探测器在管道与海床接触点后应保持一定距离, 发现屈曲现象时立即修理, 还应重点处理好海底管道与其他障碍物的交叉问题。

(4) 海上铺管作业易受台风和季风的影响, 应及

时跟踪天气预测报告, 如果出现恶劣的天气和海况条件时, 为保证人员、设备和管线的安全, 必须进行弃管作业, 管线弃管和回收作业必须严格按程序执行。

(5) 制定并严格执行清管通球试压作业程序, 这是对海管施工质量的最后检验, 管线通球测量的要求是直径为 95% 管道内径的金属测量板顺利通过。另外, 由于海管维修困难, 如果清管方式不当造成卡球或通球失败, 可能引起很大的损失。

(6) 海底管线施工完成后应进行管线调查, 调查管线埋深、管沟回淤、是否存在冲刷悬空点等。如管线悬空超出可接受的标准, 可能造成屈曲或疲劳破坏。后调查还包含测绘管线走向图, 并提交有关部门在海图上标明, 禁止船舶在此路由上抛锚。

(7) 做好海底管线寿命期内的定期检测工作, 由于受潮流的影响, 海床易产生变化, 定期检测的目的在于确定管道的平面位移、埋深变化、是否存在裸露及悬空段, 为管道的完整性评价提供基础数据, 发现异常情况应及时采取处理措施。距离某岛所处海域较近的某油气田输送管道建设时间不长, 就曾发生过严重的泄漏事故, 其原因主要为强劲的潮流使海床局部冲刷, 加上台风引起的涌流上下振动, 管道受不均匀的垂直剪力影响而发生断裂, 造成海洋污染, 因此对于海底管道必须加强监测管理工作。

#### 4 结束语

海底油气管道的安全运行对于石油石化生产和海洋环境保护都有非常重要的意义, 通过对海底油气

管道失效形式的分析和预防措施的探讨, 提出了海底管道在勘察设计、施工及运行中应特别关注的问题。某海底管线竣工后经过中国船级社的第三方检验, 并一次投产成功。投产运行后, 每年委托检测单位对管线开展检测工作, 一直处于安全平稳运行状态。

#### 参考文献

- [1] 赵华. 海底原油管道泄漏不容忽视 [J]. 现代职业安全, 2008(7): 86-87.
- [2] 赵冬岩, 余建星, 李秀峰. 海底管道拖管法分析和研究 [J]. 海洋技术, 2008(3): 84-89.
- [3] 刘志刚, 孙国民. 海底管道侧向屈曲分析 [J]. 中国造船, 2008(A02): 516-522.
- [4] 曾彤, 余存焱. 石化装置加工高含硫含酸原油管道腐蚀与用材分析 [J]. 化工设备与管道, 2011, 48(2): 57-62.
- [5] 俞树荣, 杨慧来. 长输管道的模糊可靠度研究 [J]. 石油化工设备, 2009(1): 30-33.
- [6] 周俊明, 李晓明. 浅谈管道静力学分析模拟失真现象 [J]. 化工设备与管道, 2011, 48(5): 44-47.
- [7] 钱红武, 徐成裕, 何仁洋, 等. 埋地输油管道检测、维修与评估的探讨 [J]. 化工设备与管道, 2009, 46(65): 51-55.
- [8] 夏锋社, 谈勇, 陈聪. 在役油气输送管道体积型缺陷安全评定方法 [J]. 化工机械, 2011(3): 269-272.
- [9] 鞠虹, 王君, 唐晓, 等. 油气集输管道在海洋环境中的腐蚀与防护 [J]. 石油化工设备, 2010(5): 41-48.
- [10] 钟贤栋. 输油管道系统的模糊可靠度研究 [J]. 化工机械, 2002(2): 78-81.
- [11] 赵保兴, 郭志军. 在役原油长输管道安全评定及寿命评估 [J]. 石油化工设备, 2008(3): 94-97.
- [12] SY/T 10037—2010, 海底管道系统 [S].

## Failure Mode and Protection Measure of Offshore Oil Pipeline

YAN Li-bei

(SINOPEC Pipeline Storage & Transportation (Branch) Company, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** Combined with the practice of offshore oil pipeline engineering, the load on offshore pipeline and its failure mode were analyzed in this article. The measures for protecting the failure of offshore pipeline were proposed, and some problems needed to notice in design, construction and operation of the pipeline were indicated. The experiences can be referenced in the management of offshore pipeline engineering.

**Keywords:** offshore pipeline; failure; protective measure