

# 海底石油管道溢油的生态风险 及防范对策\*

曾江宁<sup>1,2</sup> 徐晓群<sup>1</sup> 寿鹿<sup>1</sup> 廖一波<sup>1</sup> 陈全震<sup>1</sup> 郑平<sup>2</sup>

**摘要** 与油轮事故相比,由海底输油管道泄漏造成的溢油风险并未被人重视。作者通过石油泄漏风险、生态危害、风险防范等几个方面论述了海底石油管道溢油的生态风险,以期为海洋石油开采、海底石油管线输运等海洋工程提供环境影响评价参考。在海底石油管道设计、运营等分析基础上,将海底石油管道泄漏风险来源归结为腐蚀、外力损伤、工程质量、海底水文泥沙地形地貌等方面。认为海底输油管道泄漏造成的生态风险包括:海洋生态结构失衡、景观生态价值下降、沿岸人类的健康风险等几方面。并就海底石油管道泄漏的风险提出了防范对策。

**关键词** 溢油;海底管道;生态风险;防范对策

海洋石油污染对环境、渔业生产、旅游和自然生态均会带来巨大破坏性影响,作为世界性的环境问题,已逐渐引起科学家和各国政府的关注。油轮事故、海上油井管道泄漏、船舶航行时的排污与泄漏是石油污染海洋的主要方式。其中,油轮事故溢油最为严重,也最为受人关注。但随着海上油气田开采,由于井喷、管道泄漏导致的溢油事故将明显增多,由此引发的环境和生态风险也不容忽视。至2004年,海洋石油总公司铺设的海底管道总长度已超过2 000 km,随着运营时间的延续,海底管道损坏事故逐年增多,仅2002年海洋石油总公司就发生4起海底管道损坏事故。本文将从泄漏风险、生态危害、风险防范

等几个方面对海洋石油管道溢油进行论述,以期为海洋石油开采等海洋工程提供环境影响评价的依据,并期望开发海洋油气资源与海洋生态系统保护工作二者协调发展。

## 一、海洋石油管道泄漏风险来源

随着海洋石油的开发,铺设的海底管道也不断增加。在海底管道的运行全过程中,渗漏、穿孔及破裂都会导致管道泄漏。综合已经报道的管道泄漏事故以及海底输油管道的设计、施工和材料等方面文献,可以将泄漏风险来源归结为以下几点。

### 1. 海底管道受腐蚀影响造成的管道泄漏

腐蚀是海底输油管道发生泄漏的最大风险,

\* 基金项目:我国近海海洋综合调查与评价(国家908专项)(908-02-04-02);科技部社会公益研究专项(201MDIB3J087);国家海洋局青年科学基金(2005106)。

据统计因腐蚀导致海底输油管道失效占总失效比例的 35%。腐蚀影响又分为内腐蚀和外腐蚀。内腐蚀主要由管道输送介质(石油、天然气)中所含 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>S 等酸性物质造成。海洋油气开发中广泛采用的两相混输技术,除 CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub>S 腐蚀外,在混输管道内,气液常呈段塞流或分层流流型,以段塞流流动时,段塞的流速很高。与壁面的最大剪切应力常为单相满管流动剪切应力的几倍。使腐蚀保护膜受到冲刷破坏,加剧腐蚀。

2. 外力损伤造成的海底输油管道泄漏

船舶起抛锚作业,拖网捕鱼碰撞,海底冲刷以及落物冲击等外力损伤是造成海底输油管道损坏并造成石油泄漏的第二大风险,由外力损伤造成海底输油管道失效占总失效比例的 30%。直接通向大陆的海底石油管道所在区域多为近岸或河口海域,通常是鱼类等水生生物相对聚集的渔场,或是船舶来往航行密集的港口航道区,因自然区位的关系,也加大了船舶起抛锚作业和拖网对海底输油管道造成破坏的风险。

3. 工程质量造成的海底输油管道泄漏风险

设计、施工和管材质量均直接影响到海底输油管道的泄漏风险。海底管道设计包括路由选择、管道结构等方面的风险;施工则包括储运、焊接、铺设、回填等过程所造成构筑物结构性风险;管材质量的优劣则决定了其抗冲击性、抗腐蚀性 and 使用寿命。合理地处理建造成本和管道石油泄漏风险之间的关系是工程所要解决的首要问题。

4. 海底水文泥沙、地形地貌所带来的输油管道泄漏风险

一方面,海底输油管道受海流挟带泥沙的冲刷作用,存在悬空隐患,而海底输油管道的悬空管段受到海洋流体及内部输送流体的作用而产生共振,更增加了其开裂风险。另一方面,海底地形地貌的复杂性(如存在凹坑、坍塌洼地、泥流

舌及海底滑坡等不稳定地貌形态),极易造成海底管道的安全隐患,不仅可以导致管道的变形,同时沙砾的运动磨损管道,长期的磨蚀会磨穿输油(气)管壁,造成油气泄漏事件。

二、海底石油管道泄漏的生态风险

海底输油管道的泄漏可能造成的生态风险包括:海洋生态结构失衡、景观生态价值下降、沿岸人类的健康风险等方面。

1. 石油泄漏对海洋生态结构失衡

Gin 等(2001)年将多相石油溢出模型(multi-phase oil spill model, MOSM)与食物链模型(food chain model)耦合,建立了溢油-食物链相互作用模型(Oil Spill-Food Chain Interaction Model)来研究溢油对海洋生态系统的影响。如果考虑海底石油管道发生溢油事件,则溢油对海洋生态影响的结构模型可用图 1 表示。

海底石油管道发生石油泄漏事故,首先受影响的是海洋底栖生物。石油滴会黏附在海洋悬浮的微粒上沉落海底,这些有毒物质沿海底流动,污染了海底的底质,影响底栖生物,严重地造成底栖生态系统的彻底破坏,轻者造成无脊椎生物群落的变化,逐渐形成以石油耐受性物种为主的底栖生态结构。Mar(2006)在卡塔尔海域的研究表明,水中总石油烃相同情况下,底栖各类群对石油烃的生物积累速率依次为:双壳类、海草、

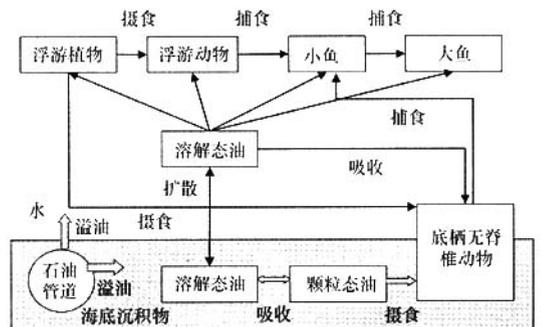


图 1 溢油 - 食物链相互作用模型框图

海绵、藻类、海星。端足类甲壳动物(Amphipods)对溢油污染比较敏感,以其作为优势种的软底质生物群在受溢油污染后的2年后生物量也比较难以恢复。同时,石油对底栖生态系统的影响还表现在:有机污染物可以在底栖食物链中传递,底栖动物的混合功能氧化酶和抗氧化酶系统对体内石油类有机污染物的累积产生积极的响应;石油类有机污染物对底栖动物的免疫系统造成不利影响,并对遗传物质造成破坏。

原油相对密度一般在0.75~0.95之间,较海水轻,海底管道泄漏的原油受浮力作用上浮,影响到水体中生活的浮游动物和游泳生物,当泄漏石油聚集并漂浮在海面上,影响到真光层中的浮游植物和浮游动物。海底管道溢油一旦构成大面积油膜,不仅影响了海气系统物质和能量的交换,而且由于海洋上存在石油薄膜,海面反射率加大,大大减少了进入海水中的太阳能,进而造成海洋中 $O_2$ 减少, $CO_2$ 的相对增多,以及进入海水中的太阳光减少,使海洋中大量藻类和微生物死亡,厌氧生物大量繁衍,海洋生态系统的食物链遭到破坏,从而导致整个海洋生态系统的失衡。

### 2. 景观美学价值下降

如果海底输油管道泄漏事故发生后未得到及时控制,大量海上泄漏石油随潮流作用被海水冲上潮间带,在岛礁或者沙滩上形成很厚的石油覆盖层,污染海岛海岸带,并造成沿海的植物、海鸟、海兽等死亡,也大大降低了空气质量和一些沿海景区的旅游价值;泄漏石油如果影响到海洋滨海垂钓区、生态养殖区,则受其污染引发的鱼虾类死亡、海带、紫菜等藻类腐烂,也会造成景观美学价值的下降。

### 3. 沿岸居民身体健康受到威胁

海洋石油污染使海面覆盖着黏稠的大面积的油膜,造成海气界面的阻隔,影响了海洋对大气中二氧化碳等温室气体的吸收,使温室气体相

对增多,进一步使全球变暖;大量海水不容易蒸发进入大气,使污染海区上空空气干燥,降水比其他海区明显减少;石油挥发也会造成大气环境质量的下降。海水中含有的石油及石油氧化物污染了海水,使沿海地区的海盐、海洋化工等生产受到影响,也污染了沿海地区的地下水。石油污染物的生物富集作用严重影响了海洋生物的健康,Mar等(2006)的研究表明,海洋生物体富集的石油污染物以芳香烃为主,人们食用这些被污染的海产品也会造成慢性中毒,甚至危及生命。因此,海洋石油污染从大气、饮水、食物等几方面都使受污海域沿岸居民的健康收到威胁。

## 三、风险防范对策

为了降低海底输油管道溢油风险的发生概率,建议如下。

### 1. 提高海底输油管道设计安装水平

工程设计、施工和材料选用是从源头降低海底输油管道溢油风险的措施。优化管道设计、制订正确的施工方案以及严格操作管理等综合措施有利于将管道的泄漏风险降到最低水平。

如为减小共振造成的石油泄漏风险,可采用水下支撑桩来减小管段的悬空长度,避免管道在水流作用下出现共振现象;在设计较短的输油管道时,不设膨胀弯。对于铺设较长输油管道的情况,首先要加强海底路由管线地形地貌勘测水平,必要时,需在易冲刷海床上进行局部处理再铺设海底管道。

### 2. 提高对溢油事件的应急反应能力

提高对溢油事件的应急反应能力,首先是预测,包括溢油点的确定、溢油量、溢油漂移路径等方面;其次需要加强石油应急设备的配置和调拨能力。

在溢油事件的应急反应中,溢油轨迹的预测是关键。海上溢油的漂移与扩展,主要取决于海

表面风场、流场以及波浪和湍流等环境动力因素的综合作用,径流在油膜输运扩散的过程中也具有相当重要的影响。

我国的溢油应急处理设备多配置在港务局、油码头等部门,发生海底管道溢油事故,如何从周边快速的调拨围油栏、吸油布等应急溢油处理设备是将海洋溢油生态影响控制在最小程度的关键步骤。

### 3. 运用在线检测技术防范海底管道泄漏

海底管道泄漏的在线检测方法可分为直接检漏法、间接检漏法和管内检测器检漏法三类。直接检漏法是对泄漏物直接进行检测的方法。间接检漏法是借助于计算机系统,通过检测因泄漏造成的流量、压力、温度等物理参数的变化来检测泄漏量及泄漏点。管内检测器检漏法是将一个泄漏检测器放到管道内,并随着输送介质在管道内行走,在行走过程中进行检测,可随时记录泄漏量及泄漏点。国内外许多科研工程人员仍在致力于开发新型高效的检测技术,如全自动超声波海底管道铺设质量检验系统。我国海洋石油管线的输运始于1985年的渤海海域埕北油田,已有20余年历史,许多海底管线由于长期使用存在泄漏隐患或发生泄漏,通过对海底管道可能存在的几何缺陷、腐蚀、裂纹、椭圆变形、弯曲变形、外力损伤等泄漏隐患点加强定期检测,并及时采取维修措施,避免因输油管道被损坏造成石油泄漏而污染海洋环境。

### 4. 明确海域使用功能

切实贯彻《海域法》,严格按照海域功能进行海洋保护、开发利用,确保在海底石油管线区禁止抛锚和捕捞作业,从而降低外力作用造成的海底石油管道的泄漏风险。

## 参考文献

- 邵怀海, 胡洪勤, 徐政峰. 滩海油田海底管道悬空治理[J]. 石油规划设计, 2003, 14(6): 27~28
- 李典庆, 唐文勇, 张圣坤. 海洋工程风险接受准则研究进展. 海洋工程, 2003, 21(2): 96~102
- 曹学文. 两相混输管道技术探讨[J]. 管道技术与设备, 1995(3): 13~15
- 刘春厚, 潘东民, 吴谊山. 海底管道维修方法综述[J]. 中国海上油气, 2004, 16(1): 59~62
- 李科浚. 未雨绸缪防油污 [J]. 中国船检, 2001(6): 7~9
- 李广文, 孙晓明, 尤卫宏. 多通道全自动超声波海底管道铺设质量检验系统的研制[J]. 中国海上油气, 2006, 18(3): 205~208
- 署恒木, 黄小光. 三维海底悬空管道的随机振动分析 [J]. 中国海洋平台, 2006, 21(1): 30~34
- 黄小光, 署恒木, 韩忠英. 海底悬空管道内部流体对振动特性的影响 [J]. 石油矿场机械, 2006, 35(1): 23~26
- 张爱君, 邹洁, 马兆党, 等. 石油污染对牡蛎超显微结构毒性效应的研究 [J]. 海洋环境科学, 2006, 25(z1): 6~10
- 田政, 陈长风, 杜文燕, 等. 海底管道完整性评估及修复技术 [J]. 石油工程建设, 2005, 31(3): 40~43
- 陈荣, 郑微云, 余令. 石油污染对僧帽牡蛎(*Ostrea cucullata*) 抗氧化酶的影响 [J]. 环境科学学报, 2002, 22(3): 385~388
- Gesteira J L G, Dauvin J C. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities [J]. Marine Pollution Bulletin, 2000, 40 (11): 1017~1027
- 覃光球, 严重玲. 滩涂底栖动物有机污染生态学研究报告进展 [J]. 生态学报, 2006, 26(3): 914~922

(作者单位 <sup>1</sup> 国家海洋局第二海洋研究所  
<sup>2</sup> 浙江大学环境与资源学院)