

# 海底电缆的故障检测及修复工艺

王 昆<sup>1</sup>, 李敏雪<sup>1</sup>, 生 宏<sup>1</sup>, 王 靖<sup>1</sup>, 缴春景<sup>2</sup>

(1. 海洋石油工程股份有限公司, 天津 300452; 2. 中海油田服务股份有限公司, 天津 300452)

**【摘要】** 针对浅海领域(水深 50 m 以内)的交联聚乙烯(XLPE)海底电缆的检测维修技术进行探讨, 结合工程实际案例, 详细介绍了海底电缆的故障检测方法以及修复工艺, 并提出了一些合理的建议和预防措施。

**【关键词】** 海底电缆; 故障检测; 修复

**【中图分类号】** TM247 **【文献标识码】** B **【文章编号】** 1006-1908(2012)04-0039-04

## The Fault Detection and Repair Technology for Submarine Cable

WANG Kun<sup>1</sup>, LI Ming-xue<sup>1</sup>, SHENG Hong<sup>1</sup>, WANG Jing<sup>1</sup>, JIAO Chun-jing<sup>2</sup>

(1. Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin 300452, China;

2. China Offshore Oil Service Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** According to the structure characteristics of shallow sea (depth  $\leq 50$  m) XLPE submarine cable, the fault detection and maintenance technologies for it is discussed. And in combination with the project example, the fault detection methods and the repair technology for submarine cable are introduced in detail; also some reasonable proposals and protective measures are put forward.

**Key words:** submarine cable; fault detection; repair

### 0 引言

随着海洋石油工业的发展, 多样化的海上石油平台日益增加, 而作为海上各平台间的动力传输设施的海底电缆, 其安全性和重要性越来越广泛地受到关注。由于海底电缆线路具有隐蔽性和重要性, 一旦海底电缆发生故障, 不但会严重影响海上石油平台的正常生产, 造成很大的原油产量损失, 而且还会影响平台工作人员正常工作和生活, 因此如何准确、及时地检测并修复海底电缆变得尤为重要。

### 1 海底电缆的故障原因和类型

引起海底电缆故障的原因是多方面的, 如海底电缆本身材料或制造、敷设过程中存在缺陷, 使其在运行中易受电、热、化学、环境等影响而发生不同程度的老化, 导致电缆性能的劣化。但根据目前国

内外海底电缆的运行经验, 其故障原因大多是外力(如抛锚、拉拽、摩擦、挤压)损伤电缆或海洋生物局部腐蚀电缆等<sup>[1]</sup>。

按照故障出现的部位, 海底电缆故障可分为线芯断线故障、主绝缘故障和护层故障; 按故障性质(阻抗性质), 海底电缆故障可分为低阻性故障和高阻性故障。低阻性故障也称短路故障, 是指故障点处的绝缘电阻下降至该电缆的特性阻抗, 甚至直流电阻为零的故障。高阻性故障是指故障点处的直流电阻大于该电缆的特性阻抗的故障, 其可再分为断路故障、高阻泄露故障和闪络性故障<sup>[2]</sup>。

### 2 海底电缆的故障检测方法

一般电力电缆故障点的查找要经过初测、预定位和精确定位三个步骤<sup>[3]</sup>。同样, 当海底电缆出现故障, 在采取停电、断电、放电、验电等基本安全保障措施后, 一般先初测, 即通过用万用表、兆欧表测直流绝缘电阻(相与相间、相与地间), 再根据直流绝缘电阻的测量情况, 结合海底电缆的实际情况初步判断故障的类型; 然后预定位, 即根据故障类型, 采用相应的测量方法, 测出故障点的大概位置; 最

**【收稿日期】** 2012-02-16

**【作者简介】** 王 昆(1983—), 男, 宁夏中宁县人, 海洋石油工程股份有限公司工程师, 硕士。

**【作者地址】** 天津市塘沽区闸北路 3 号 536 信箱, 海洋石油工程股份有限公司, 300452

后精确定点,即依据已测出的故障点大概位置,沿着电缆的敷设路径仔细调查故障点,直到找出精确

的故障点位置。海底电缆的故障检测流程如图1所示。

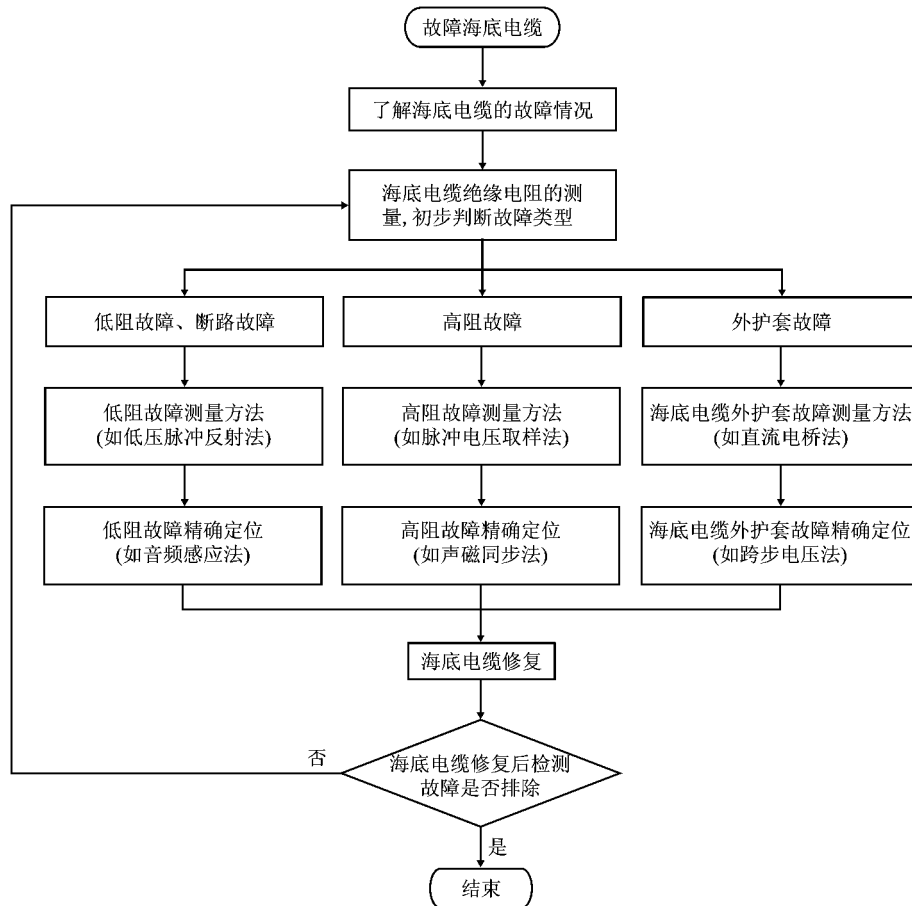


图1 海底电缆的故障检测流程

在确定海底电缆的故障切除点后,通常通过经验数值和手工比较的方法计算所需备用海底电缆长度。在浅海领域(水深 50 m 以内),通过海底电缆修复工艺中最常用的入水角度  $\alpha$  (经验值一般接近  $60^\circ$ ) 和近似模拟,可计算出所需备用海底电缆长度。海底电缆修复所需备用电缆长度的计算如图 2 所示,所需备用海底电缆的最小长度  $L_{min}$  和切除电缆的最小长度  $W_{min}$  (包括故障破损段、进水段) 的计算式如下:

$$L_{min} = \frac{H}{\sin \alpha} + B + D + 2\delta \tag{1}$$

$$W_{min} = \left( \frac{2H}{\sin \alpha} + 3B + D \right) - 2 \left( \frac{H}{\sin \alpha} + B + \delta \right) = B + D - 2\delta$$

式中  $\alpha$  为故障修复作业时海底电缆的入水角度,  $H$  为从海底至维修船舶甲板之间的垂直距离;  $B$  为海底电缆维修平台长度的  $1/2$ ,  $D$  为海底电缆故障检测出的破损段,  $\delta$  为进行海底电缆修复所需的冗余

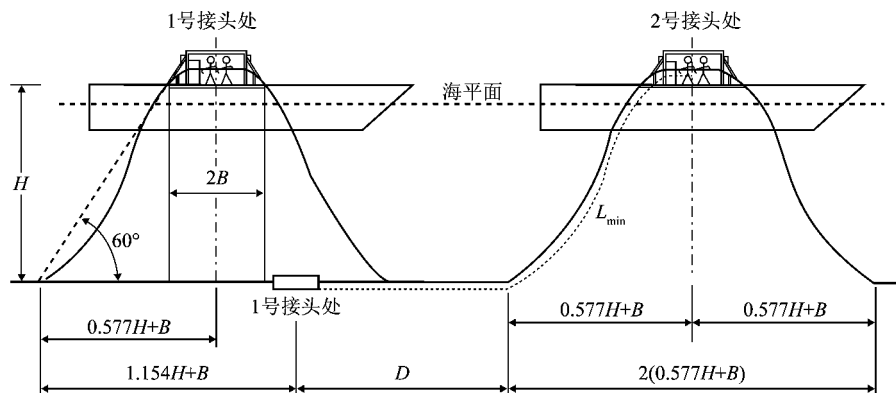


图2 海底电缆修复所需备用电缆长度的计算示意图

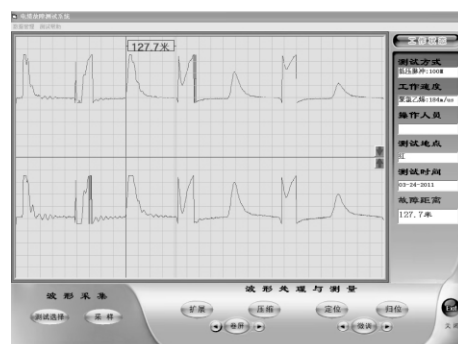
长度。如果切除海底电缆的长度  $W \leq W_{\min}$ , 则修复海底电缆故障时所需的备用海底电缆长度  $L$  应满足  $L \geq L_{\min}$ ; 反之  $W > W_{\min}$ , 则  $L$  应满足  $L \geq L_{\min} + W - W_{\min}$ 。

现以一个海底电缆故障点查找及修复实例对海底电缆的故障检测流程进行说明。2011年3月22日下午 JX1-1 油矿突然停电, 严重影响了各平台正常运行, 经排查判断是 CEPA 平台至 WHPB 平台的海底电缆出现了故障。2011年3月23日测试人员对故障海底电缆的直流绝缘电阻进行检测, 用万用表初测的结果如表 1 所示。由表 1 可见, 此海底电缆的三相全为低阻性故障, 故选择低压脉冲法分别对故障海底电缆的两端进行测试, 测试结果如图 3 所示。从万用表测得的直流绝缘电阻数据可以判断, 是海底电缆的三相接地出现了故障, 虽无法测量故障海底电缆的全长, 但可通过低压脉冲法对故障海底电缆两端的测试获得结果, 即故障海底电缆的全长 = 127.7 m + 4 202.3 m = 4 330 m。

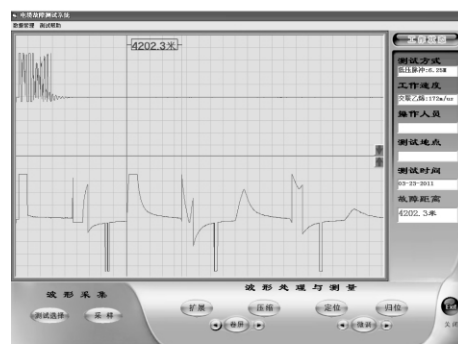
表 1 故障海底电缆的初测结果

各相/地间	直流绝缘电阻/M $\Omega$
绿相对地	0
绿相对红相	0
绿相对黄相	0
红相对地	0
黄相对地	0
黄相对红相	0

由于海底电缆的敷设路径为蛇形路线, 因此不能直接按直线长度进行精确定位, 需按照海底电缆的实际长度折算成坐标直线距离, 如图 4 所示, 图中 A 点为检测出的海底电缆故障点位置, B 点为折算成直线距离后的海底电缆故障点位置。根据海底电缆的故障检测结果, 故障点距离 CEPA 平台 127.7 m (即图 4 中的 A 点), 距离 WHPB 平台 4 202.3 m, 按每 1 000 m 损失 50 m 为计算标准, 可将海底电缆长度 127.7 m 折算成坐标直线距离 121.3 m ( $127.7 \text{ m} \times 950 / 1 000 = 121.3 \text{ m}$ , 即图 4 中的 B 点), 由此得出海底电缆故障点的位置在距 CEPA 平台直线距离 121.3 m 处。后经海底电缆故障抢修项目组检验, 该故障定位结果是比较准确的, 为海底电缆的故障修复工作起了重要的指导作用。对此次故障原因调查后发现, 这是因作业船施工时刮擦到海底电缆, 使其受损, 又经长时间海水浸泡最终导致海底电缆发生接地故障。



a) 从CEPA平台侧测量故障点距离(约为127.7 m)



b) 从WHPB平台侧测量故障点距离(约为4 202.3 m)

图 3 故障海底电缆低压脉冲法测得的波形

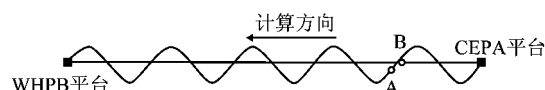


图 4 海底电缆故障点位置示意图

### 3 海底电缆的修复工艺

由于海底电缆故障的修复工作主要依靠浮吊等作业船舶的支持, 因此容易受到天气情况的影响, 施工时应避免在阴雨、大雾、大风、浪涌过高等极端天气下进行。不同种类海底电缆的修复工艺不同, 本文将针对浅海(水深 50 m 以内)的交联聚乙烯(XLPE)绝缘铅套粗钢丝铠装海底电缆故障的修复工艺进行介绍<sup>[4]</sup>。

该类海底电缆典型的修复步骤如下: a. 在海底电缆故障点定位后, 船舶在拟定的故障点就位。b. 潜水员在水下探查, 确定海底电缆的故障位置, 然后用高压水枪或其它吹泥设备, 沿海底电缆走向将拟定故障点处海底电缆冲出, 由水深、电缆可弯曲半径、故障点切除余量等因素决定需冲出的海底电缆长度。c. 计算需要的备用海底电缆长度。d. 潜水员在水下先切割电缆, 然后在去除破损段的海底电缆两头安装防水组件并做好标记(标记为 1 号和 2 号)。e. 采用就位在海底电缆断点 1 号标记处附近的浮吊, 将故障海底电缆吊出水面并固定在作业平台上, 在切除损坏点和进水部分后, 对海底电缆进行

导体直流电阻、绝缘电阻、铅护套直流电阻均匀性等测试和耐压试验,以排除其他故障情况<sup>[5]</sup>。f.采用海底电缆的专用接头将备用海底电缆与1号标记处的海底电缆端连接,再一起放回海底。g.将浮吊移至海底电缆断点2号标记处,将故障海底电缆吊出水面并固定在作业平台上,在切除损坏点和进水部分后,对海底电缆进行导体直流电阻、绝缘电阻、铅护套直流电阻均匀性等测试和耐压试验,以排除其他故障情况。h.采用海底电缆的专用接头将备用海底电缆与2号标记处的海底电缆端连接,再一起放回海底。i.对修复后的整根海底电缆进行导体直流电阻、绝缘电阻、铅护套直流电阻均匀性等测试和耐压试验,确认以上测试结果均满足最新API Spec17E标准<sup>[6]</sup>。

#### 4 海底电缆的故障预防措施

海底电缆是海上各类平台间必备的动力传输设施,其重要性不言而喻,但因其所处环境(海洋环境)的特殊性,使得维护和保养工作非常困难,一旦损坏,往往会造成严重的损失。安全、规范、合理地进行海底电缆的施工,以及加强在海底电缆使用过程中的维护工作,对预防海底电缆故障尤为重要,因此建议采取以下预防措施:

(1)规范海底电缆的施工工艺,严格按照规范标准执行海底电缆的施工全过程,最大限度地避免海底电缆在敷设、掩埋、修复等过程中造成永久性的损伤缺陷,从而保证海底电缆的正常运行年限。

(2)收集整理相关的海底电缆资料,跟踪海底电缆的使用状况,定期对海底电缆进行检测并记录相关的数据。密切关注海底电缆在操作使用过程中各种参数的变化情况,及时分析判断海底电缆的使用状况。

(3)规范管理船舶的停靠、抛锚等活动,船舶在油田海域抛锚时应先取得油田管理方的许可,由油田管理方提供允许的抛锚坐标,方可在允许的指定区域抛锚。

(4)经常对海底电缆护管、锚固件等进行例行检查,发现损坏立即修复,防止护管断裂使沿海海底电缆落入海中。

(5)加强巡视工作,平时在油田值班的工作船,应经常沿海底电缆的敷设路径巡视,以防过往船舶及渔业捕捞作业等危及海底电缆的运行安全。

(6)做好应急方案和应急计划,一旦海底电缆出现故障可及时修复,将损失降到最低。

#### 5 结束语

本文针对浅海油田海底电缆出现故障,探讨了海底电缆故障检测及修复工艺。文中提出的检测维修技术在SZ36-1、JZ21-1和JX1-1等油田的海底电缆维抢修工程中得到了多次应用。

#### 【参 考 文 献】

- [1] 徐丙垠. 电力电缆故障探测技术[M]. 北京:机械工业出版社,1999.
- [2] 杨忠,周鑫,牛海清. 电力电缆故障定位技术综述[J]. 电气应用,2008(21):86-90.
- [3] 张文国,刘效国,曹志阳. 海底电缆修复工艺及方法[J]. 电工技术,2010(6):56-57.
- [4] 韩伯锋. 电缆故障闪测原理与电缆故障测量[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1993.
- [5] 韩伯锋,张栋国. 电缆故障闪测原理与电缆故障测量[J]. 电工技术,1991(10):41-43.
- [6] API SPEC17F—2003 Specification for subsea production control systems[S]. API:[s. n.],2003.

欢迎广大读者为本刊撰写稿件

欢迎各生产厂家在本刊登载广告