

埕岛油田海底电缆故障原因与分布规律

为摸清海底电缆故障发生规律,及时恢复供电以保障海上安全和原油生产的需要,根据10年间电缆故障统计资料阐述了埕岛油田海底电缆所处复杂环境诸要素对电缆故障的影响。分析发现海底电缆故障多发生在冬季,并且造成电缆故障原因是多方面的,其中海工作业、平台船舶停靠、锚桩钩挂和盗窃捕捞等外力机械对电缆造成伤害属于多发事故原因,由于海洋地质条件的改变与海底潮汐运动等造成的海缆悬空、磨损和拉伸等隐蔽隐患危害较大。保障海底电缆安全运行需要综合规划,合理布局海底各类管道,优选电缆路径,划分电缆保护区域,加强电缆保护的宣传,加强电缆运行维护和监测监控,以减少海底电缆故障,保障电网安全运行。

郑春生/胜利油田电力管理总公司

0 引言

胜利埕岛油田是我国第一个大型浅海油田,已开发建成了年产原油200万t规模。油田位于渤海湾南部的浅海和极浅海海域,勘探开发区域分埕岛油区和新北油区两部分。油田南界距岸约3 km,与陆上的桩西油田相邻;北端距岸约20 km;西北面与中海油公司的埕北油田相望;东南面距桩西海港码头约10 km。水深3~15 m,春冬季多风浪,最大风速33 m/s,冬季有30~40 cm厚的海冰,气候潮湿,环境温度-25~+45℃,相对湿度95%,有盐雾、油雾、霉菌和凝露,油区自然环境和气候条件恶劣。

与陆上电缆相比较,海底电缆所处的环境更为复杂^[1,2],极易因海床不规则运动、海上施工不当造成海缆绝缘层损坏甚至断裂,进而导致海缆接地或相间短路等事故的发生。埕岛油田海上平台主要采用链式供电方式,当海底电缆线

路发生故障时,常导致整条线路断电;由于出线海缆较长,所带平台数量众多(最多达9个),难以确定故障海缆所处平台区段,故障查找困难,停电时间长,对海上原油生产造成较大影响^[3]。

1 埕岛油田电网现状与供电方式

1.1 埕岛油田海上发电及主要变电站状况

随着胜利海上油田的勘探开发及配套设施建设,埕岛油田现已形成了一个发电和配电紧密结合,发、供和配电比较完整的电力系统,为海上油田的开发建设提供了可靠的动力保障。

目前陆上有110 kV变电站1座(海洋变电站)、35 kV变电站4座(海五变电站、海一变电站、海三变电站和东三变电站)。海上中心一号平台建成发电站1座,中心二号平台、中心三号平台、CB30A平台、CB243A平台和CB20C平台建成35 kV变电站各1座,海上总发配电能力达到86 500 kV·A。埕岛油田海上供电的主要变电站位置分布如图1所示。

1.2 海底电缆状况

海底电力电缆最初采用国外海底电缆。如从110 kV海洋变电站至埕岛中心一号平台的35 kV海底电缆,2根12 km长度,海底电缆型号:三相XLPE绝缘海底电缆,截面积为 $3 \times 185 \text{ mm}^2$,工作电压:额定26/35 kV,最高为45 kV;海底电缆允许拉力:敷设中165.62 kN(16 900 kgf),维修时41.65 kN(4 250 kgf);海底电缆直径:约129 mm;海底电缆重量:空气中约26.5 kg/m,水



郑春生/高级工程师

关键词/Keywords

埕岛油田·
海洋电缆·
故障分析·

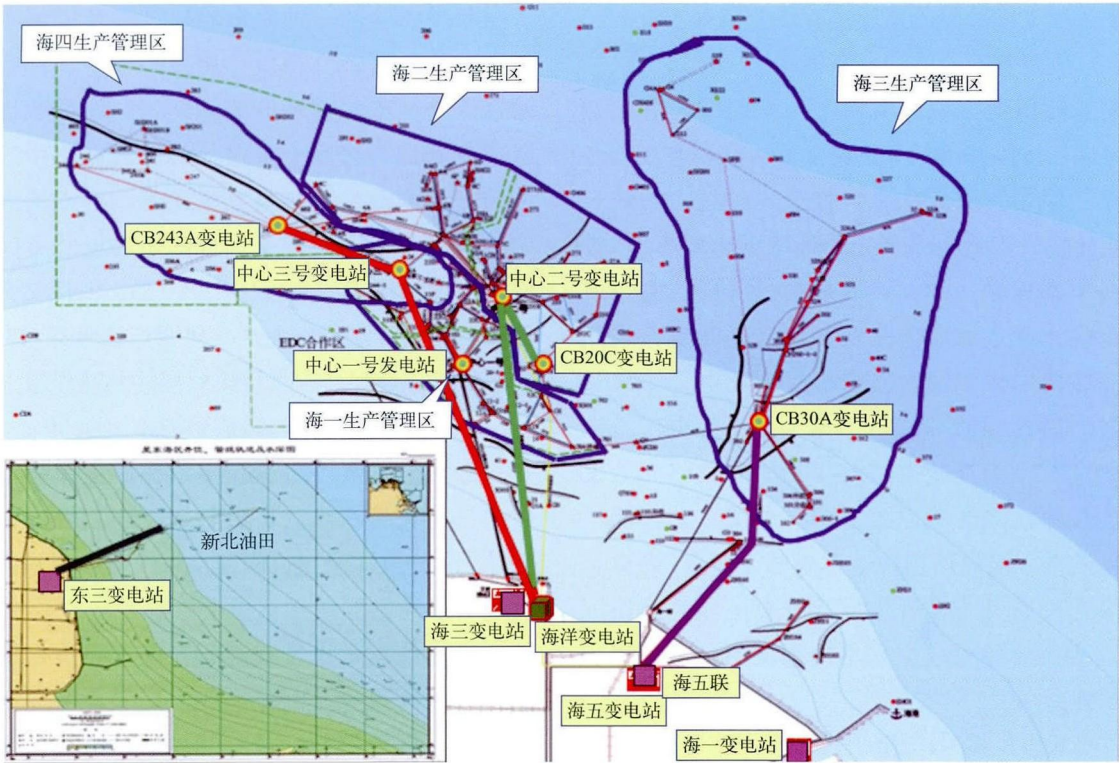


图1 埕岛油田主要变电站位置示意图

中约14.2 kg/m；海缆允许弯曲半径：盘绕时3.1 m，敷设时1.9 m，安装后1.3 m；退扭高度：最小6.5 m，允许最大扭角：30°/m。

后来逐步采用国产电缆。目前，油田已建成海底电缆232.9 km，初步形成以海洋变电站、海三变电站、海五变电站和东三变电站为35 kV供电电源，10 kV、6 kV线路深入负荷中心的供电网络。埕岛油田海底电缆主要有35、10、6、3和1 kV等电压等级；按截面积主要有25、35、50、70、95、120、150和185 mm²，单芯或三芯电缆。

2 海底电缆故障统计分析

统计了2003年11月～2013年5月10年间海底电缆37次故障情况，从电缆故障类型、故障点位置分布、故障时间及故障原因等方面进行分析。

2.1 海底电缆故障类型

按照故障出现的部位，通常可分为线芯断线故障、主绝缘故障和护层故障。按其故障性质可分为低阻故障和高阻故障^[4]。根据统计，海底电缆故障类型中，单相接地故障与相间短路故障次数

占故障总次数的90%以上，电缆各类故障次数与占比如下表所示。

表 埕岛油田2003～2013年海底电缆故障类型统计

序号	故障类型	次数	所占比例(%)	备注
1	单相接地故障	19	51.4	低阻故障
2	相间短路故障	15	40.5	
3	断路故障	1	2.7	高阻故障
4	高阻泄漏故障	0	0	
5	闪络性故障	0	0	
6	其他	2	5.4	
合计		37	100	

2.2 电缆故障外部原因及典型事故

埕岛油田地处黄河入海口的复杂海域环境，受海底不断勘探开发、海上密集的构筑物建设、平台移动和船舶航行等多种因素的影响，造成海底电缆因地层地貌改变、外部机械损伤、绝缘介质老化、过电压击穿、设计和制作工艺不良以及护层腐蚀等原因，使海底电缆断裂或损坏等突发事件时有发生，文献[3]对海底电缆事故原因做了阐述。本文根据10年间引起海缆故障的各类因素

和造成海底电缆故障的原因进一步分析如下。

(1) 地质变动造成的电缆损伤

埕岛油田海域位于黄河三角洲前缘,海底易发生坍塌、沉陷和冲蚀等灾害地质现象,在波浪海流力量的作用下对海床稳定性造成破坏。与陆上电缆相比较,海底电缆所处的环境更为复杂^[5],极易因海床不规则运动,对海缆形成的强拉力造成海缆损伤,造成海缆绝缘层损坏甚至断裂,进而导致海缆接地或相间短路等事故的发生。如2003年11月6日12:30,35 kV海电一线、海电二线分别距离110 kV海洋变电站5 720 m、5 528 m处发生接地故障。当时难以修复两条电缆事故。为尽快恢复供电,沿原路由附近重新敷设35 kV海电三线,沿途勘察调查发现电缆故障点区域为地质沉降区,两条故障电缆出现不同程度的路由位移和拖曳拉伸。

(2) 外力机械对电缆的伤害

外力机械对电缆伤害的原因是多方面的。主要表现在一是海工作业损伤电缆,如海堤工程防护抛石砸伤电缆,海洋管线沉放敷设、打桩等施工;二是移动式作业平台或是船舶停靠海上设施,在井口区域的海底电缆会因为平台或船舶随海洋流向而位移,靠近、拖行和就位过程中,插桩固定平台或起桩等环节容易伤到电缆;三是船舶抛锚起锚过程中,锚钩对电缆刺伤或挂住电缆的锚钩在起吊时对电缆的拖拽;四是海底石油盗窃、渔网捕捞抛锚和铁链等缠绕损伤电缆。如2005年12月18日CB4C-CB4B海底电缆距CB4C平台1 224 m出现接地故障,修复电缆时发现电缆上附着一个铁锚,经调查电缆故障点附近胜利221船舶在作业一号曾抛锚上料。2006年11月30日,CB244-CB11G海缆被作业三号桩靴挂断。

(3) 海底潮汐引发的电缆磨损与拉伸

海底海浪的不断冲击,会引起电缆与海底管线交叉处随海浪摩擦造成电缆护层及绝缘层逐渐磨损,直至损坏或是海缆随波晃动被稳定性更高的管线拖曳拉伸;也会因沿桩腿固定并由防护管做保护的电缆,被海浪折断脱落的护管与电缆的磨损^[6]。

(4) 海洋有机质对电缆的化学腐蚀

海洋环境是一种复杂的腐蚀环境,海水本身是一种强的腐蚀介质。在诸多因素中,海底土的腐蚀性是其中关键性的因素之一,海缆敷设或放置在海底,与海底土直接接触,海底土中的腐蚀性因子会与海缆外护层发生化学反应而造成海缆腐蚀破坏,对海底土腐蚀性的研究已经证明了海底土中腐蚀因子的腐蚀作用^[7]。加上海洋钻井液及海洋微生物、附着生物及其代谢产物等都对电缆外层绝缘腐蚀过程产生直接或间接的加速作用。

(5) 海缆敷设施工时遗留的事故隐患

海底电缆敷设方法较多。海底电缆施工敷设技术日臻完善成熟,但各种施工工艺都存在一些问题^[8]。如敷缆船定位问题、海缆盘退扭问题和海缆入水角问题等都会引发隐蔽性隐患。文献[9]给出了海缆在敷设过程中,在同一相上出现的两次接地故障现象,故障点为海缆表面有异常弯曲过痕迹,海缆钢铠钢丝有明显的过度弯曲。解剖发现,故障相导线被拉断。分析认为:由于海缆扭角太大,退扭高度偏低,施工时,施工公司未对其引起足够的重视,加之施工海域情况复杂,使海缆入水过程中较易打结,受到纵向拉力,将海缆中打结后最短的一相导线拉断。

(6) 其他及不确定原因

海底电缆故障原因除了上述外,勘探开发区域管网总体规划布局考虑不全、电缆设计缺陷、路由勘察选择不当以及产品制造质量难以满足海洋环境等诸多原因都会给电缆安全运行带来隐患。

2.3 电缆内部击穿故障机理分析

引发电缆故障的上述外部原因,由于破坏程度的不同,在运行中会导致电缆老化绝缘降低,经过电、热的多重效应,导致绝缘破坏,致使内部击穿故障的发生,其过程如图2所示^[10]。

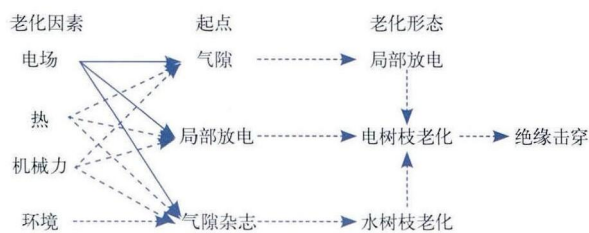


图2 电力电缆绝缘老化到击穿的过程

可以看出电树枝老化是绝缘击穿故障的直接原因, 无论任何故障原因最终都会转化为电树枝的形式^[1]。

(1) 局部放电

电介质发生不贯穿电极的局部放电现象, 虽然不能立即形成贯穿性通道, 但长期的局部放电, 使电介质(特别是有机电介质)的劣化损伤逐步扩大, 最终导致整个电介质击穿。局部放电引起电介质劣化损伤的机理是多方面的, 主要有如下三方面:

1) 电的作用。带电粒子对电介质表面的直接轰击作用, 是有机电介质的分子主链断裂。

2) 热的作用。带电粒子的轰击作用引起电介质局部的温度上升, 发生热熔解或热降解。

3) 化学作用。局部放电产生的受激分子或二次生成物的作用, 使电介质受到的侵蚀可能比电、热作用的危害更大。

在运行电压下, 局部放电能够存在于电树枝、孔隙、裂纹、杂质以及剥离的界面上。当绝缘中存在微孔或绝缘层与内、外半导体层间有空隙时, 将由于局部放电侵蚀绝缘而使绝缘性降低, 以致发生老化形态, 表现为绝缘击穿。

(2) 绝缘老化

运行及研究表明, 树枝状老化是电缆绝缘破坏的主要过程。对于树枝状老化, 按照形成原因, 可把树枝分为电树枝、电化树枝和水树枝。电树枝老化是由于绝缘层每个部分或绝缘与其他固体接触面间(例如与屏蔽交界面)存在气隙, 或绝缘层内有杂质, 或屏蔽层有缺陷(突出处、凹处和不连续)等原因引起电场的集中, 导致绝缘中薄弱环节局部放电, 逐步形成电树枝。电树枝老化的过程可分为引发期或称诱导期、之后的生长期及最后的击穿。电化树枝老化是由于孔隙中存在含硫或其他化学成分的溶液, 例如, 电缆敷设在土壤中含有的化学成分, 经过电缆的护套和绝缘层到达缆芯表面, 与导体材料起化学反应的生成物(亚硫酸铜、硫化物溶液等)。在绝缘层中由于电场的作用, 形成树枝比产生电树枝低得多的场强下即可产生。水树枝老化是制造过程

中残留在绝缘中的微水, 运行中因机械损伤水分逐渐侵入绝缘体等原因, 在交变电场作用下水分子往复冲击绝缘物, 使其疲劳损坏, 水便随之逐渐扩散到绝缘层深处, 形成的树枝状物。

在一个绝缘系统中, 老化因素可以使材料的特性产生不可逆转的改变, 并可能影响到绝缘性能。电缆故障的发生主要是由于电缆的过负荷运行、外力损伤、不规范的安装施工及电缆本体的质量问题等内外部因素引起的, 并通过局部放电、水树枝、电化树枝及电树枝等形式使电缆绝缘逐步老化, 最终发生击穿故障。

3 电缆故障呈现的分布规律

3.1 故障原因频次分布

对37次海底电缆故障原因统计, 原因类别及频次分布如图3所示。

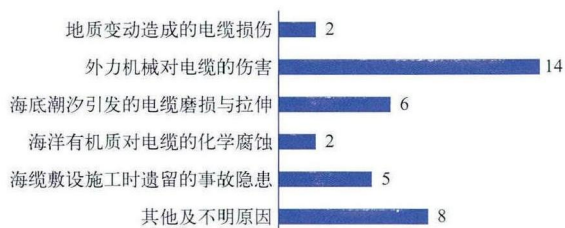


图3 埕岛油田电缆故障原因频次分布

3.2 故障时间频次分布

对37次海底电缆故障时间统计, 故障月度及频次分布如图4所示。



图4 埕岛油田电缆故障月度频次分布

由图4可以看出, 进入深秋冬季后, 电缆发生故障的次数居多, 月度故障次数最多为11月, 发生8次, 其次为: 5月份5次; 12月份、1月份均为4次; 秋冬季节10、11、12月以及第2年1月, 共

计发生20次,占事故次数的54%。进一步分析发现:发生事故最多的11月份8次事故中,海底地质沉陷引起2次,抛锚、桩靴和打桩等外力机械引起4次,不确定原因3次;12月份4次事故中,外力机械引起3次,不确定原因1次;1月份4次事故中,腐蚀、潮汐引起2次,不确定原因2次;另有2次不确定原因发生在5月份。

复杂的海域船运环境和油田特殊的海上生产组织方式,使得即使在冬季恶劣条件下,各类外力引起的电缆故障不断;推测在11、12和1月份发生故障6次不确定原因,认为应该与该海域气象规律特别是风向、波浪、潮流及潮汐有很大相关^[5]。文献[5]指出:风、浪、流和冰等因素都会对海上生产设施造成一定的影响,造成生产隐患,严重时直接破坏设施。受海流冲刷、淘空的影响,造成海管悬空、海缆拉直和偏移等隐患。在海缆方面,2003年海缆探摸资料,发现海缆拉直、悬空、喇叭口脱落和无喇叭口等较多问题。另外,部分海缆受海底表层土的滑移坍塌和液化的影响,同时,在涌浪、海流的冲刷作用下,会直接造成海缆损坏。

3.3 故障点位置分布

(1) 登陆地段

发生在电缆登陆固定式采油平台及登陆陆地区段。在统计的37次电缆事故中,发生电缆出水海面上下或是平台上设备电缆连接部位,或是电缆登陆陆地极浅水区和岸边区的事故有10次。

(2) 井口区域

电缆处于采油平台井口区域。移动式作业平台或船舶移靠固定式采油平台时,为防止撞击采油平台,一般在距离40~50 m范围内移动以对准井口,在插桩、拔桩过程中对附近电缆的伤害。在统计的37次电缆事故中,发生在井口区域的有11次。

(3) 电缆接头

海底电缆中间头,37次事故中此类事故发生3次。

4 结束语

分析中可以得出,海底电缆故障呈现一些明

显的特点,主要表现在:

1) 秋冬季节10、11、12月以及第2年1月,电缆故障高发多发,共计发生20次,占事故次数的54%。一方面与油田海上原油生产组织及海域船舶活动规律有关,更与冬季海洋水文环境运动密不可分。

2) 海工作业、平台船舶停靠、锚桩钩挂和盗窃捕捞等外力机械对电缆造成伤害属于多发事故原因,因而综合采取多方面有效地防止外力破坏措施是降低电缆故障的首要任务。

3) 海缆运行过程中由于海洋地质条件的改变与海底潮汐运动等造成的海缆悬空、磨损和拉伸等具有时间段的隐蔽隐患,发生故障时,对故障点的探测巡查和故障处理存有较大的困难。

4) 加强《海底电缆管道保护规定》的宣传贯彻和海缆区域巡查与警示,强化海上安全作业区的监管,定期对海缆进行检测、探摸,建立电缆动态数据库,及时消除存在的隐患。

5) 综合海上规划,合理选择电缆路径,电缆设计要考虑底层变化对电缆弯曲、拉伸等的影响;完善海上电网综合自动化系统,优化电网运行方式,快速恢复事故供电。

通过对10年间37次海底电缆故障原因的分析,找出电缆故障类型和六方面的故障原因,故障原因中外力机械对电缆的损害造成电缆事故居多,而地质灾害造成的事故在故障查寻和故障点处理上困难较大;时间上呈现冬季明显多发的特点,摸清故障点的位置分布规律有利于从易到难查找故障点。这对于采取综合有效措施减少电缆故障提供了很好的依据。

参考文献

- [1] 仲德林,刘建立.埕岛油田海区海底地形变化及预防措施[J].海岸工程,2001(3):14-18.
- [2] 陈义兰,仲德林.埕岛油田复杂地形区地形变化趋势研究[J].海岸工程,2004(3):7-11.
- [3] 于卫涛.埕岛油田海底电缆事故分析及建议[J].中国科技博览,2014(46):103-103.

(下转第92页)

频率水平和释放孔径,进而确定危险区半径,属定量分析。

5 结束语

IP 15标准涵盖了油气田地面工程的主要设施和设备,能够很好指导油气田地面工程的危险区划分。应用IP15标准进行危险区划分时,需要对工艺流程的介质、操作工况、运行期的巡检计划和释放源尺寸参数等均有较为深入和系统的了解。与油气田地面工程中常用的IEC与API标准相比较,IP 15标准使危险区域的划分有了量化比较的标准,因而在项目执行中能够很好地避免各方因理解和经验的不同而出现的争议。

参考文献

- [1] Energy Institute. Part 15 of the IP model code of safe practice in the petroleum industry-area classification code for installations handling flammable fluids [S]. 2005.
- [2] American Petroleum Institute. Recommended practice for classification of locations for electrical installation at petroleum facilities classified as Class I, Zone 0, Zone 1, and Zone 2, API recommended practice 505 [S]. 2013.
- [3] International Electrotechnical Commission. IEC 60079 part 10-1: classification of areas—explosive gas atmospheres [S]. 2008.
- [4] 祝皎琳,潘大新,杜溪婷,等.可燃气体扩散模拟在海上油气生产设施危险区划分中的应用[J].中国造船,2008,49(增刊):62-66.
- [5] 王蓉,刘春雨,刘茜. IP15标准在LF7-2模块钻机危险区划分中的应用[J].中国海洋平台,2013(6):1-4,11.
- [6] 诸然.石化装置爆炸危险区域划分方法应用实例[J].化工自动化及仪表2012,39(8):1079-1082.
- [7] 国家发展和改革委员会. SY/T 6671—2006 石油设施电气设备安装区域一级、0区、1区和2区区域划分推荐作法[S].北京:石油工业出版社,2007.
- [8] 国家经济贸易委员会. SY/T 10041—2002 石油设施电气设备安装一级一类和二类区域划分的推荐作法[S].北京:石油工业出版社,2002.
- (收稿日期:2016-02-16) **EA**
-
- (上接第32页)
- [4] 王昆,李敏雪,生宏,等.海底电缆的故障检测及修复工艺方法[J].电气传动自动化,2012,34(5):58-62.
- [5] 沈汉红.埕岛油田海域气象规律研究与应用[J].海岸工程,2008,27(4):11-22.
- [6] 孙明,王伯森,贾海涛,等.海底电缆在埕岛油田的应用及发展趋势[J].海岸工程,2009,28(3):56-62.
- [7] 张效龙,徐家声.北海—临高海底光缆路由区海底土中几种腐蚀因子的调查[J].海洋环境科学,2007(2):175-178.
- [8] 周长江,路国章.埕岛油田动力电缆铺设环境和方案分析[J].黄渤海海洋,2000(1):21-28.
- [9] 唐中建,秦效智.海底交联聚乙烯电力电缆敷设故障的分析[J].电线电缆,2000(1):42-46.
- [10] 周兴扬,沈泓,胡天硕,等.基于悬链线公式的输电线路弧垂三维模拟及安全距离校验[J].电气工程学报,2015,10(12):44-49.
- [11] 贾延峰.电力系统运行中电缆故障诊断及仿真计算[D].沈阳:沈阳工业大学,2007.
- (收稿日期:2015-10-09) **EA**