

[电线电缆]

硅橡胶绝缘中压电缆在FPSO单点集电环堆栈中的应用

文/海洋石油工程股份有限公司 田志强 杜银昌

FPSO单点集电环堆栈内孔布置有各种气液管线、电力、控制和通信电缆，空间十分紧凑。当水下油田生产井液温度较高时，集电环内孔最高温度可达100℃以上，对布置在其中的电缆的耐高温性能提出了较高的要求。结合南海某深水油田项目，介绍耐高温硅橡胶绝缘中压电缆在FPSO单点集电环堆栈中的应用。

随着我国海洋石油开发逐步向深水海域发展，FPSO加水下生产系统的开采方式正在越来越多的深水项目中应用。FPSO是浮式生产、存储和卸载单元的简称，因其优秀的海况适用能力和可以避免建设价格昂贵的海底长输管线，在全球各个海域都有应用。单点系泊的FPSO通过均布式或分组式锚链将转塔系泊于海底，FPSO船体在风、波和流环境荷载的作用下可以绕转塔360°旋转，实现最小的环境荷载，被称为风向标效应。FPSO单点系统不仅是FPSO船体的系泊点，还是传输水下井口油气、电力、控制和通信的桥梁。由于单点转塔内的水下管缆是对地固定的，而FPSO船体是随着风、浪和流围绕单点旋转的，负责在固定与旋转部分之间传输油气、电力、控制和通信的关键装置为集电环堆栈。当水下油田生产井液温度较高时，集电环堆栈内孔最高温度可达100℃以上，对布置在其中的电缆的耐高温性能提出了较高的要求。本文结合南海某深水油田项目，介绍硅橡胶绝缘耐高温中压电缆在集电环堆栈中的应用。

项目概况

本项目位于南海，水深约400 m，包括3个水下油田共26口井，新建一艘15万t级内转塔型单点系泊FPSO，连接3个水下油田生产设施，采用变频

器驱动中压电潜泵开采，油田分布如图1所示。

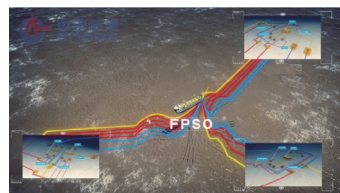


图1 油田分布图

集电环堆栈简介

集电环堆栈是由一系列液集电环、中压电集电环、公用系统集电环、低压电集电环及光纤集电环组成，其内孔布置有各种气液管线、电力、控制和通信电缆，空间十分紧凑。本项目集电环堆栈系统布置及对应集电环单元如下表所示。

表 集电环单元

集电环单元	项目	规格
10	光纤集电环	—
09	清管/注气集电环/in	1×6+1×4
08	公用集电环	18通道
07	低压电集电环	—
06	消防集电环/in	1×8
05	3号油田生产集电环/in	1×10
04	中压电集电环/kV	6.6
03	中压电集电环/kV	6.6
02	2号油田生产集电环/in	2×10
01	1号油田生产集电环/in	2×10

与常规深水油田项目FPSO搭配井口平台开采方式不同的是，本项目直接由位于FPSO上部组块

中的变频器通过单点为水下电潜泵供电，且由于水下井口多达26口，中压电潜泵电缆多达84根，集电环堆栈内孔布局十分紧凑，导致中压电潜泵电缆与高温生产管线距离非常近。同时由于集电环内孔操作空间限制，为保证集电环集成时电缆顺利敷设和接线，本项目选用弯曲半径较小的单芯电缆，集电环堆栈内孔布置图如图2所示。其中单芯中压电潜泵电缆布置于集电环堆栈内孔四周，由于电潜泵是变频驱动，中压单芯电缆须采用品字形敷设，以尽可能降低电磁干扰。

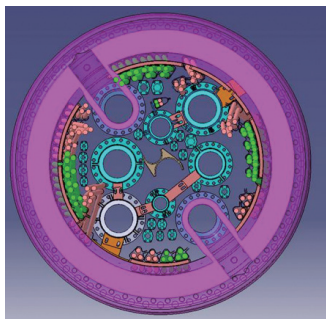


图2 集电环内孔布置图

集电环堆栈内孔中共布置有5根生产管线，其中1号油田生产井液最高温度达112℃，同时考虑最高环境温度、电缆运行温度以及集电环堆栈烟囱效应，经热分析计算，集电环堆栈内孔最高温度可达100℃以上。为满足FPSO及单点25年的设计寿命，常规交联聚乙烯或乙丙橡胶绝缘船用电缆已不能满足使用要求，需选用耐高温的电缆。

硅橡胶绝缘中压电缆

硅橡胶是由Si-O（硅-氧）键连成的链状结构聚合物，主要是以硅元素代替碳元素形成的高分子材料，一般可按硫化方式可分为高温硫化（HTV）和室温硫化（RTV）两大类；按结构根据聚硅氧烷橡胶引入有机侧基的不同主要分为二甲基硅橡胶（MQ）、甲基乙烯基硅橡胶（MVQ）、甲基苯基乙烯基硅橡胶（MPVQ）和三氟丙基甲基乙烯基硅橡胶（FMVQ）等，常用于电缆绝缘材料的为甲基乙烯基硅橡胶。

主要优点为：

- 1) 耐热性。可在150℃下长期使用而无性能变化，在180℃下连续使用。
- 2) 耐低温性。在-60℃时仍具有良好弹性。
- 3) 耐候性。优异的耐臭氧老化、耐氧化和耐光老化性能，在长时间受紫外线照射下，物理性能变化甚微。

4) 绝缘性能。具有极高的电阻率，在受潮、频率变化或温度升高时的变化较小，同时对电晕放电和电弧放电具有极好的抵抗性。

5) 憎水性。硅橡胶良好的憎水性能使洒落在其表面的水分形成水珠，污层难以湿润，不易形成连续的导电层，从而改善其表面的绝缘。

主要缺点为：常温下其抗拉伸强度、抗撕裂强度和耐磨性比常用EPR低很多，且价格较贵。

本项目采用的单芯硅橡胶绝缘中压电缆结构如图3所示，从内至外依次为镀锡铜丝5类导体、包带、半导体屏蔽、硅橡胶绝缘、半导体屏蔽、镀锡铜丝编织屏蔽、包带和合成纤维编织保护层。



图3 硅橡胶绝缘中压电缆结构

该电缆连续运行环境温度为-55℃~180℃，5类导体配合硅橡胶绝缘使其具有高柔软性，弯曲半径较小，能保证在集电环集成时顺利敷设；镀锡铜丝编织屏蔽层使其适用于变频供电；合成纤维编织保护层能在保证较高柔软性的同时提供良好的机械防护功能，防止在电缆敷设过程中损坏硅橡胶绝缘层。

结束语

在本项目中，由于集电环内孔温度较高，电缆数量较多，空间狭窄，且中压电潜泵为变频供电，同时考虑到单点集电环堆栈的重要性和复杂性，一旦发生电缆绝缘故障，将导致集电环堆栈须在海上拆装维修，致使所有油田长时间停产，因此最终选用硅橡胶绝缘中压电缆，其优异的耐热性、柔软性和绝缘性能，能保证其在高温的集电环堆栈内长期连续运行，避免因电缆绝缘故障而导致油田停产。EA

（收稿日期：2019.02.18）

（编辑：朱金凤）