

水下生产系统脐带缆电缆故障定位装置样机研制

介绍一种脐带缆电缆故障定位装置样机的构成、工作原理、功能配置及实验室仿真。该样机由行波信号耦合器、前端控制单元和上位机三部分构成，采用了现代行波故障测距原理分析方法，可以采集线路的暂态电流信号。通过试验表明，该样机具有较高的准确性、可靠性，误差范围为5 m以内。试验结果可用于指导脐带缆电缆故障定位装置的研制及软硬件参数设置。

郭江艳 郭 宏 李 博/中海油研究总院
李 峰/山东科汇电力自动化股份有限公司

0 引言

油气田开发中，水下生产系统成为一种主要的开发模式，脐带缆为水下生产系统开发模式中重要的设备，可为水下生产系统提供电力和液压分配。但是脐带缆在安装和运行过程中，会因周围渔网及锚链等刚蹭导致脐带缆电缆绝缘层破坏，造成水下控制系统失灵，影响油气生产。因此，开展水下生产系统脐带缆电缆故障测距具有非常重要的意义。

20世纪90年代初，我国提出利用故障暂态电流的输电线路行波故障测距技术，从而推动了现代行波故障测距的发展并迅速商业化^[1]。目前电力电缆故障测距普遍采用的是行波法^[2]，但国内提出的故障测距系统多为双端行波故障测距系统^[3-6]。与传统测距系统不同的是，脐带缆远端位于水下，不易解开，双端测距不适宜，需采用单端测距方法来进行检测。

关键词/Keywords

水下生产系统 ·
脐带缆 ·
故障测距 ·
行波 ·

本文介绍一种脐带缆电缆故障测距装置样机，该样机能够对脐带缆电缆进行在线定位监测，具有较高的准确性和可靠性。

1 样机系统构成

脐带缆电缆故障测距系统样机包括行波信号耦合器、前端控制单元和上位机三部分，如图1所示。

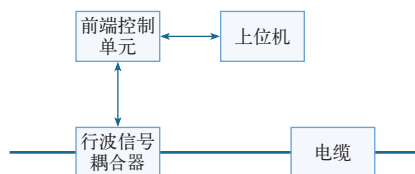


图1 脐带缆电缆故障测距系统样机构成

(1) 行波信号耦合器

图2为行波信号耦合器原理图，线路阻波器用于阻挡行波信号向电缆线路反向传播。耦合电容一方面用于隔离线路工作电压，保护后续的前端控制单元不被损坏，同时也用于在线路和前端控制单元之间耦合行波信号，实现行波故障定位功能，结合滤波器用于滤除线路工作频率。

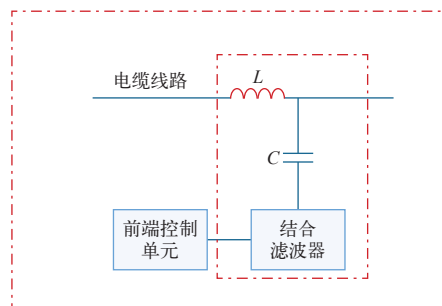


图2 行波信号耦合器原理图

国家科技重大专项“水下生产技术”（2016ZX05028-003）。

(2) 前端控制单元

前端控制单元实现电缆线路故障监测、行波信号的发送或者接收、数据采集和数据通信功能。前端控制单元以32位嵌入式处理器为核心，设计构成CPU控制模块，完成上述功能。CPU模块具有高达200 Mbit/s的运算速度，扩展了大容量的存储器用于接收故障行波信号，同时模块还具有丰富的接口，有利于根据现场要求进行适当的扩展。当前端控制单元工作在被动测试工作状态下时，借助CPU模块强大的运算能力，还可以设计更为复杂的故障定位策略，通过将被动接收信号和周期性的主动发送信号结合起来，有助于发现和定位复杂的瞬时性和间歇性故障。

(3) 上位机

上位机运行系统监控软件，用于设置前端控制单元的工作状态和测试参数，同时接收和分析处理故障定位信号，给出故障距离和故障波形。系统监控软件的流程图如图3所示。

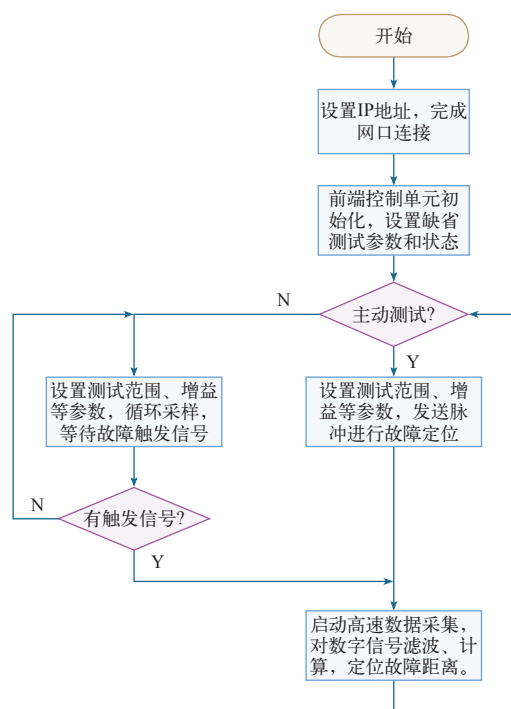


图3 系统监控软件流程图

上位机和前端控制单元之间通过网口交换数据。根据现场需要，上位机可以接入多个前端控制单元，实现对多条电缆的在线监测。

2 系统工作原理

行波信号耦合器串联在被测脐带缆电缆线路中，用于实现行波信号在行波信号耦合器与脐带缆电缆之间双向传输；行波信号耦合器与前端控制单元电连接，用于实现脐带缆电缆线路故障监测、行波信号的发送或者接收、数据采集和数据通信功能；前端控制单元与上位机电连接，将前端控制单元采集的信息传输至上位机。前端控制单元的CPU模块接收上位机的控制命令，并向行波接收和发送模块发送信号，行波接收和发送模块产生行波信号，并传输至行波信号耦合器。行波信号耦合器将脐带缆故障点反射回的行波信号经行波接收和发送模块传输至高速数据采集单元，用于进行数据缓存和数据采集，高速数据采集单元经CPU模块将行波信号传输至上位机。上位机根据接收的信息进行分析，计算出脐带缆电缆的故障位置；上位机也可以在在线监测状态下被动触发，通过记录故障行波信号定位故障距离。

3 系统功能测试

3.1 测试环境及条件

测试实验室设立2条10 kV三芯统包电缆和1条380 V四芯统包电缆。一号电缆为10 kV电缆，长度为238 m。二号电缆为10 kV电缆，长度为158 m。三号电缆为380 V电缆，长度为127 m。一号电缆的C相和二号电缆的A相、B相设置高阻故障，三号电缆B相设置低阻故障，供电缆故障测试试验使用。

测试实验室配有10 kW变频串联谐振试验装置、0.1 Hz超低频耐压试验装置和10 kV工频高压试验装置等高压电源装置。

3.2 测试程序及结果分析

(1) 采用信号注入法

变频串联谐振试验装置自动调谐，本试验中谐振频率为120 Hz。操作脐带缆电缆故障测距分析系统软件，使采用信号注入法的在线监测与定位装置向被测电缆发射脉冲信号，并采集此脉冲信

号波形1。操作变频串联谐振试验装置逐步升高电压至4 000 V时,试验间隙击穿放电。采用信号注入法的在线监测与定位装置得到触发信号,同时向被测电缆发射脉冲信号,并采集此脉冲信号波形2。电缆故障测试波形如图4所示。

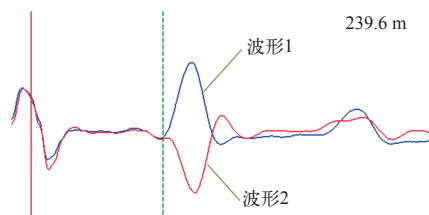


图4 电缆故障测试波形

由图4可知,电缆故障在距测试端239.6 m处,电缆全长为238 m,用于连接电缆芯线和试验间隙的连线在2 m左右,故测试得到的电缆故障距离在误差允许范围内。

(2) 被动接收信号

变频串联谐振试验装置自动调谐,本试验中谐振频率为99.9 Hz;操作脐带缆电缆故障测距分析系统软件,使采用被动接收信号的在线监测与定位装置处于等待触发采样状态;操作变频串联谐振试验装置逐步升高电压至4 000 V时,试验间隙击穿放电。采用被动接收信号的在线监测与定位装置得到触发信号,采集波形数据。电缆故障测试波形如图5所示。

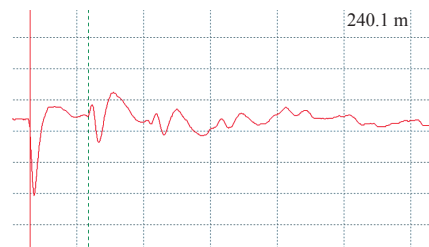


图5 电缆故障测试波形

由图5可知,电缆故障在距测试端240.1 m处,电缆全长为238 m,用于连接电缆芯线和试验间隙的连线在2 m左右,故测试得到的电缆故障距离在误差允许范围内。

(3) 使用超低频耐压试验装置并采用信号注入法
操作0.1 Hz超低频耐压试验装置,设置限流

30 mA,限压30 kV。操作步骤同测试程序(1)。

电缆故障测试波形如图6所示。由图6可知,电缆故障在距测试端240.4 m处,电缆全长为238 m,用于连接电缆芯线和试验间隙的连线在2 m左右,故测试得到的电缆故障距离在误差允许范围内。

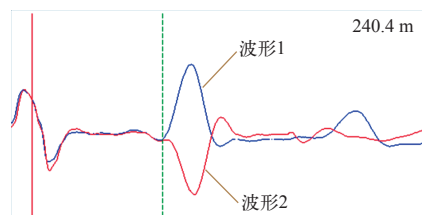


图6 电缆故障测试波形

(4) 使用超低频耐压试验装置并采用被动接收信号

操作0.1 Hz超低频耐压试验装置,设置限流30 mA,限压30 kV。操作步骤同测试程序(2),电缆故障测试波形如图7所示。

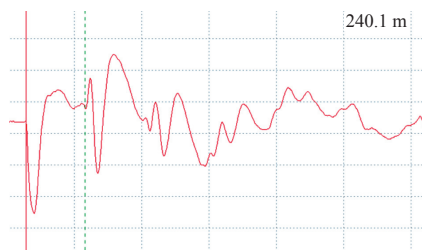


图7 电缆故障测试波形

由图7可知,电缆故障在距测试端240.1 m处,电缆全长为238 m,用于连接电缆芯线和试验间隙的连线在2 m左右,故测试得到的电缆故障距离在误差允许范围内。

4 结束语

根据试验室模拟试验结果,采用信号注入法的测试方案因为测试波形比较容易识别、定位故障点,在模拟试验或者离线测试时是可行的,但在实际现场使用时需要改变一次输电系统的结构,在已经建立好的平台系统中无法安装使用。但是新建平台时,可以考虑该方案设计。而采用被动测试方法,能够较好地满足测试要求,在实际中是可行的。

(下转第62页)

目前我公司在抗晃电方面主要采用分批再起
动技术、抗晃电接触器电源延时模块和具有欠电
压再起功能的低压综合保护。在实际应用过程
中发现,每种方案都存在的问题,其中我公司
有80台电动机采用分批自起动技术,实际应
用效果良好,但成本较高,不适合大面积推广;
抗晃电接触器准确度不够,有时不能准确判断
晃电停机还是人为停机,会出现人工停机停不
下来的状况;电源延时模块虽然可靠性相对较
差,但是成本较低,只要在加装过程中控制好
电源延时模块的质量,该方案还是有一定的可
取之处的;综合保护增加欠电压重起动功能并
不明显增加成本,经济性较好,加上微机保护
在整定方面的灵活性有助于再起方案的制定
和调整。因此,在低压系统采用带欠电压重
起动功能的微机保护是一种性价比较高的抗
晃电技术手段,目前在我公司的新上装置主要
采用此种方法,且实际应用过程中也取得了良
好的效果。因此,主要推荐采用具有欠电压
再起功能的低压综合保护的抗晃电方案。

4 结束语

本文在简单介绍了晃电对石化企业生产的
影响,同时提出了几种不同的方法解决抗晃电
问题。不同的场所对于抗晃电技术的要求也不
尽相同,因此要根据实际情况灵活选择。只要
恰当地选择相应的技术措施,大多数晃电事故
还是能够避免的。同时,随着科技的发展,相
信以后会有更多、更先进的抗晃电技术应运
而生。

参考文献

- [1] 冯大志.大庆炼化公司配电系统稳定性研究与优化[D].大庆:东北石油大学,2015.
- [2] 陈琳,严金云.石化企业晃电影响及抗晃电措施[J].电气技术,2012(10):72-74.
- [3] 靳斐.石化企业抗晃电应用及改进措施[J].电气应用,2014(2):88-92.
- [4] 江月新,叶向阳.化工企业晃电问题分析与预防[J].科技信息,2013(25):389-390.

(收稿日期:2017-02-10) **EA**

(上接第58页)

针对电缆的试验室试验结果分析可知,该样
机可进行在线故障监测,结果分析可用于指导
脐带缆电缆测距装置研制及上位机软件和硬件
的参数设置。

从海洋油气资源分布情况来看,由浅水走向
深水是海洋石油资源开发的必然趋势。全球范
围目前探明的海上油气资源44%以上分布在水
深超过300 m以上的海域,且深水油气田产量
明显高于浅水油气田。目前,中国海油系统
内拥有主脐带缆10余条,海底电缆100余条,
该原理样机若进行后续的工程研发,不但可以
应用于脐带缆系统,还能应用于海底电缆系统
监测中,具有较为广阔的市场前景。

参考文献

- [1] 陈平,牛燕雄,徐丙垠,等.现代行波故障测距系

统的研制[J].电力系统自动化,2003,27(12):
81-85.

- [2] 戴丽君.高速铁路10 kV电力电缆行波故障测距
系统的研制[J].铁道标准设计,2014(8):148-
151.
- [3] 熊元新,刘兵.基于行波的电力电缆故障测距方
法[J].高电压技术,2002,28(1):8-10.
- [4] 徐丙垠,李京,陈平,等.现代行波测距技术及其
应用[J].电力系统自动化,2001,25(23):62-65.
- [5] 陈平,徐丙垠,李京,等.现代行波测距装置及其
运行经验[J].电力系统自动化,2003,27(6):66-69.
- [6] 朱博.长距离电力电缆绝缘在线监测及故障定
位技术研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2015.

(收稿日期:2017-02-10) **EA**