

DG-1 型潜油电泵动力电缆故障测试仪简介

刘振臣

(大港石油管理局)



大港油田测井公司电缆修理厂,为解决潜油电泵动力电缆漏电故障检测的技术难题,与中国人民解放军海军司令部通信应用研究室合作,通过两年的项目攻关,研制成了依据电桥法原理的粗测仪器和红外、电位差、声振动原理等多种精测定点仪器。从而使传统的一次测成的电桥法仪器变成了先粗测、后精测定点的二步到位的仪器。新仪器既发挥了电桥法仪器性能稳定、易于操作、测量精度高的优点,又弥补了传统的电桥法不能适应高阻漏电故障的缺点,使其检测故障点的漏电阻高达 $500\text{M}\Omega$ 。经修理现场对故障点测试,取得了比较好的效果,加快了电缆的修理速度。用这套仪器的精测定位部分在性能较差的整条电缆上进行检测,用检测数据绘制的曲线图应用于电缆的质量评价,对潜

油电泵电缆报废前的技术鉴定能提供重要参考数据。

主题词 DG-1 型 电动潜油泵 铠装电缆 漏泄电流 故障检查 检测器

作者刘振臣,1937年生。1959年毕业于北京石油地质学校矿场地球物理专业,现在测井公司电缆修理厂负责技术工作,高级工程师。

一、概况

潜油电泵动力电缆在井内使用后,因多种原因使电缆产生各类故障,其中绝缘层损坏造成的漏电故障率最高。如何隔着金属外铠皮检测到里边线芯的漏电位置,是一项复杂的技术工作。据现场实测数据,故障点的漏电阻值变化较大,从欧姆数量级至数百兆欧不等。根据原石油工业部部颁标准 SY5167.2-87 规定,电缆线芯对外铠装金属层的绝缘电阻小于 $500\text{M}\Omega/\text{km}$,即认为有漏电故障,需进行修理。众所周知,漏电阻值低,检测容易;漏电阻值越高,检测故障点的难度就越大。据海军司令部通信应用研究室的专家介绍,要准确检测 $500\text{M}\Omega$ 级的潜油电泵电缆高阻漏电故障,在国内外都是难题,市场上还没有现成的测量仪器出售。

对潜油电泵动力电缆的线芯绝缘值要求,大港油田各采油厂因井下环境情况的差异也有所区别;在井下条件较恶劣的采油三厂,使用的电缆长度一般在 $1\ 800\text{m}/\text{盘}$ 。他们希望整盘电缆的每条线芯对外铠装金属层的绝缘阻值都大于 $1\ 000\text{M}\Omega$,这给故障检测带来更多的困难;而在井下环境条件较好的采油二厂,他们使用的电缆长度一般在 $1\ 000\text{m}/\text{盘}$,仍可按部颁标准执行。

潜油电泵动力电缆线芯故障漏电阻值分布范围,目前尚未查到可供参考的技术资料,全靠修理工作中积累数据。根据我厂1988~1989年修理工作的原始记录表,统计132盘电缆,500M Ω 以下的漏电故障234点,其线芯故障漏电阻值分布范围见表1。

表1 线芯故障漏电阻值分布范围

| 漏电阻值范围(M Ω) | 故障点数 | 占总点数比例(%) |
|---------------------|------|-----------|
| 100以内 | 143 | 61.11 |
| 100~200 | 24 | 10.26 |
| 200~300 | 25 | 10.68 |
| 300~400 | 15 | 6.41 |
| 400~500 | 27 | 11.54 |
| 合计 | 234 | 100 |

从表1可以看出,100M Ω 以内的故障占61.11%,这对检测工作比较有利。根据几年的修理工作证实,100M Ω 以内故障占的比例确实较大,61.11%的比例基本上合乎实际;100~500M Ω 之间的故障可分割成每100M Ω 一段,从表1看各段没有规律,随机性较大。这与待修的电缆结构、制造厂家的技术状况、电缆使用时在井下所处的环境条件有关。值得注意的是,表1在400~500M Ω 段故障点数仍然占总数的11.54%,可见研制仪器时的技术指标以500M Ω 为上限是十分必要的。

二、仪器的工作原理

本套仪器由故障测试仪、红外线定位仪、电位差定位仪、声振动定位仪组成,下面对各部分原理作简要介绍。

1. 电缆故障测试仪 本仪器是一部高灵敏度、高精度、高压直读电桥。由精密电阻器、 3.1×10^{-9} A/mm高灵敏度指零仪、热电势补偿调节器以及其它元件组成,全部装于一个对地和外表面绝缘的金属机壳内。在人员进行操作时为了保证精度与安全,全部外露的开关、旋钮均用绝缘性能优良的有机玻璃绝缘。

本仪器对故障电缆的测试分为“Y法”和“J法”两种。

“Y法”是“远端补偿法”的简称。在被测电缆的三根芯线中如有一条芯线绝缘良好时,即采用“Y法”测量。

“J法”是“近端补偿法”的简称。当被测电缆三根芯线绝缘都破坏时,用“J法”测量。

“Y法”和“J法”的外部接线方法不同,且每种方法都包括平衡调节、线芯全程电阻测量、故障点测试三种不同的外部接线方式。

2. 电位差电缆故障定位仪 本定位仪是用检测电缆故障点漏泄电流在返回电源路径上的电位差的方法,来进行电缆故障位置和精确测定。

在电缆故障芯线和电缆外铠装之间加上一定的直流电压,该回路电流由芯线经故障点、电缆铠装返回电源时,在电缆的铠装上产生一定的电压降,在铠装的两点间形成电位差,其数值的大小取决于漏泄电流的大小、电缆铠装单位长度电阻值和测量时电极的跨距,其方向取决于

电源和卡具的接法。在超过故障点的电缆铠装上,上述电位差会显著减少,以致消失。因此,仔细检测电缆故障点附近铠装上各点电位差数值与方向,就能判定故障所在方向和位置。通过故障点电流的大小主要取决于加在电缆上的工作电压与电缆的故障电阻。所加电压因受电缆耐压限制并从安全考虑,不宜过高,故与本仪器配套的高压直流电源工作范围为 $0\sim 10\text{kV}$ 。实际上电缆的故障电阻差异很大,按技术条件要求为 $0\sim 500\text{M}\Omega$,当故障电阻 $500\text{M}\Omega$ 、工作电压为 10kV 时,工作电流仅为 $20\mu\text{A}$,而每米长度电缆铠装电阻也很小(据测定旧电缆约在 $0.168\sim 0.025\Omega/\text{m}$ 之间)因此电缆铠装电压差值约在 $3.35\sim 5\mu\text{V}/\text{m}$ 之间。故本仪器应具有极高的灵敏度,以便进行上述电位差的检测工作。

3. 红外电缆故障定位仪 在绝缘不良的电缆故障芯线与电缆的铅护套或铠装之间,加上一定的直流高压后,会在故障点产生一定的漏泄电流。在该电流流过的路径上,由于电缆芯线、铅护套、铠装的电阻均远远小于故障点电阻,高压电流的能量绝大部分都将耗在故障电阻上并由电能转化为热,从而使故障点及其附近一段电缆温度升高。本仪器能分辨电缆故障点与正常电缆红外幅射的差异,故能进行电缆故障位置精确测定。

为了便于检测,减少环境温度变化对检测的影响,本仪器在故障定位中不采用直接测试电缆各点温度变化的方法,而是应用两个结构相同的测温探头,依靠其抛物面将其面对的两小段电缆幅射的红外线分别收集起来,照射到各自焦点上所装的温度敏感元件上,使温度敏感元件发生变化。故当两个探头所面对的电缆红外幅射有差异时,测温电桥的指零仪和发光管显示装置能同时显示出来。

4. 火花放电电缆故障定位仪 本套定位仪的基本工作原理是:将与本仪器配合使用的高压直流电源输出端和地端,分别接于被测电缆有故障芯线一端和该电缆的铠装(或铅护套)上,该电缆的另一端应良好绝缘。逐步提高工作电压,使电缆故障点发生火花放电现象,此时在故障点两侧电缆上,将随着与故障点间距增加而振动逐渐减弱。本定位仪利用对振动十分敏感的探头接收电缆上的振动信号后,将其送回定位仪,经放大处理后,一方面送入仪表的检测部分,由表头指针指示出来;另一方面送入监听部分,由操作人员根据音量和特征进行鉴别和判断。为便于强信号的检测和初步探明故障位置后的精测,仪表指示部分和监听部分均装有灵敏度调节装置,可对接收信号进行衰减调节。

三、仪器的组成及工作方式

仪器由粗测仪器、精测定点仪器、微机等组成,详见表 2。

仪器工作方式是:

- (1)把预检测的成盘电缆浸泡在水池中 2 小时以上,用粗测仪进行测量,记录下测量数据。
- (2)把粗测数据输入微机进行计算,打印机打出计算结果。
- (3)根据计算结果,把电缆用收放机倒到粗测的故障点位置,然后进行精测定点。
- (4)使用哪种方法精测定点,视电缆故障的具体情况决定。

四、仪器的主要设计指标

1. 仪器测量的整卷电缆长度不大于 $2\ 500\text{m}$ 整卷电缆绝缘测量每根线芯对外铠皮、线芯相间的绝缘阻值小于 $500\text{M}\Omega$,即视为有故障,应当检测故障点(电缆的故障点是指集中一点的故障,不含同一根线芯上有两点或两点以上的故障,因绝缘材料性能普遍下降引起的故障)。

表2 潜油泵电缆故障测试定位设备清单

| 序号 | 分类 | 设备名称 | 数量 | 用途 | 备注 |
|----|--------|------------------------------|-----|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 故障测试设备 | 电缆故障测定仪 | 1台 | 电缆故障位置测试 | 测试中能自动消除引线接触电阻等误差 |
| 2 | | 测试用高压直流电源 0~7 000V | 1台 | 提供测试用高压直流 | 具有过流保护功能,附高压输出线一根 |
| 3 | | 稳压器 200W 交流 220V | 1台 | 为高压电源输入市电稳压器 | 能减小市电波动对测试影响 |
| 4 | | 墙挂式数字测温仪, SW-2A型,-40℃~99℃ | 1台 | 测量电缆温度,修正温度误差 | 测温探头须装于电缆浸水池中 |
| 5 | | 一号可充电电池 4A/h | 10节 | 故障测试仪指零仪,光标照明电源 | 可分两组,用一备一或两组并联作用 |
| 6 | | 充电器 | 1台 | 为可充电电池充电 | 可同时充两组电池 |
| 7 | | 小型放电棒 | 2付 | 接线操作时短路电缆芯线 | 一端固定接地,一端供芯线放电;测试定位各一 |
| 8 | 微机及软件 | 温、湿度计 | 1套 | 测量环境温、湿度 | 每次测试记录作参考 |
| 9 | | 微型计算机 | 1台 | 供测试结果计算、误差修正、资料存贮统计用 | 含监视器 |
| 10 | | 打印机 | 1台 | 测试结果统计资料打印输出 | |
| 11 | | 专用软件 | 1套 | 为潜油泵电缆测试计算资料统计专用 | |
| 12 | 故障定位设备 | 故障定位用高压直流电源 0~10kV | 1台 | 与电位差、红外、火花放电等定位仪器配套使用 | |
| 13 | | 电位差电缆故障定位仪 0.084μV~252μV | 1台 | 检测电缆外铠电位差的方向和数值的变化进行故障定位 | 附卡具4付,电源线一根 |
| 14 | | 红外电缆故障定位仪 | 1台 | 检测温度差异进行故障定位 | 附测温探头2个,测试专用推车一台 |
| 15 | | 火花放电电缆故障定位仪 | 1台 | 检测火花放电时故障点振动波幅变化进行故障定位 | 附振动探头2个(用一备一),双耳机一付 |
| 16 | | 仪器推车 | 3台 | 供定位用高压电源和各定位仪器使用 | 红外定位仪专用1台,其他设备通用2台 |
| 17 | | 使用说明书 | 2套 | 协助使用者正确操作使用本套设备 | 含设备总说明书1份,各设备说明书5份 |

2. 故障点粗测精度 在电缆长度正确的情况下,故障电阻不大于 500MΩ 时,被测电缆中的 80% 测试精度应在 ±10m 以内,其余的 20% 测试精度应在 ±15m 以内。

3. 故障点精测定位精度 对于丁腈胶护套电缆,故障电阻不大于 250MΩ 时的定位精度在

±15cm以内;故障电阻为250~500MΩ时的定位精度应在±30cm以内。对于铅护套电缆,故障电阻不大于250MΩ时的定位精度与丁腈胶护套电缆相同。

4. 能适应的电缆种类 橡胶绝缘层铅护套电缆、橡胶绝缘层橡胶护套电缆和塑料绝缘层橡胶护套电缆。

五、仪器检测精度及检测数据分析

本套仪器于1991年底在修理现场进行了试用。试测的数据证明,仪器完全符合或优于检测技术指标,其数据见表3。

表3 检测结果数据表

| 序号 | 电缆型号 | 长度(m) | 故障点粗测长度(m) | 故障点实际长度(m) | 误差(m) | 误差(%) | 综合方法定位误差 |
|-----|------|----------|------------|------------|-------|-------|----------|
| 1 | PDB | 1 562 | 306.20 | 307.67 | 1.47 | 0.48 | 0 |
| 2 | PDB | 1 562 | 586.60 | 592.30 | 5.7 | 0.96 | 0 |
| 3 | PDB | 1 562 | 515.80 | 523.80 | 8 | 1.53 | 0 |
| 4 | PDB | 1 433.63 | 908.33 | 914.00 | 5.67 | 0.62 | 0 |
| 5 | PDB | 1 270 | 975.43 | 976.30 | 0.87 | 0.089 | 0 |
| 6 | PDB | 1 270 | 1 049.43 | 1 052.60 | 3.17 | 0.30 | 0 |
| 7 | PDB | 1 657.8 | 162.50 | 164.93 | 2.43 | 1.47 | 0 |
| 8 | PDB | 1 657.8 | 1 348.77 | 1 351.50 | 2.73 | 0.20 | 0 |
| 9 | EQB | 1 685 | 951.18 | 950.45 | 0.73 | 0.076 | 0 |
| 10 | EQB | 1 474 | 5.88 | 6.05 | 0.17 | 2.8 | 0 |
| 11 | EQB | 1 474 | 788.55 | 799.00 | 10.45 | 1.3 | 0 |
| 12 | EQB | 1 474 | 77.69 | 77.20 | 0.49 | 0.63 | 0 |
| 13 | EQB | 1 761.4 | 1 288.42 | 1 289.40 | 0.98 | 0.076 | 0 |
| 14 | EQB | 1 761.4 | 4.70 | 4.63 | 0.07 | 1.51 | 0 |
| 15 | EQB | 1 751.69 | 362.49 | 364.20 | 1.71 | 0.47 | 0 |
| 16 | EQB | 1 751.69 | 1 230.70 | 1 231.60 | 0.9 | 0.073 | 0 |
| 平均值 | | | | | ±2.85 | 0.74 | 0 |

注:1. PDB为聚丙烯绝缘层,丁腈橡胶护套扁电缆;2. EQB为乙丙橡胶绝缘层,铅护套扁电缆;3. 综合方法定位主要指电位差法、红外法、火花放电法等。

从表3中列出的数据,下面做几点分析:

(1) 试验时按待修电缆的顺序检测,因此没有遇到橡胶绝缘层橡胶护套的电缆(EDB),这种电缆与表3中PDB电缆对检测仪器来说,其性能基本相同,对考核仪器技术指标没有影响。

(2) 仪器的实际粗测误差普遍优于仪器的技术指标。误差百分率16点总平均数为0.74%,这是目前检测工业地理电缆的仪器无法相比的。从表3中还可以看到,故障点粗测长度

越长,误差百分率越小。如表3中序号13点,误差为0.076%。

(3)精测定位方法由于采用多种手段,定位精度都在 $\pm 5\text{cm}$ 以内,考虑到修理时剥开的电缆铠皮长度一般为80cm,因此 $\pm 5\text{cm}$ 以内误差可视为没有误差。

六、对性能较差,故障点较多的电缆质量评价

在仪器的主要设计指标(1)中,已有注明:电缆的故障点是指集中一点的故障,不含同一根线芯上有两点或两点以上的故障。工作中常把集中一点的故障称为“单一故障”,把一相线芯上有多点故障称为“复合故障”。

复合故障检测难度要比单一故障大得多,目前还没有专门用于检测复合故障的仪器。

本套仪器的粗测部分用于复合故障的测试,一般来讲是测试误差远远超过检测技术指标。但我们曾用精测定位仪器对两条性能较差的电缆进行了整条测试,把测得的数据整理后绘制成曲线图,并用火花放电定位方法找到了一些复合故障点,见图1。

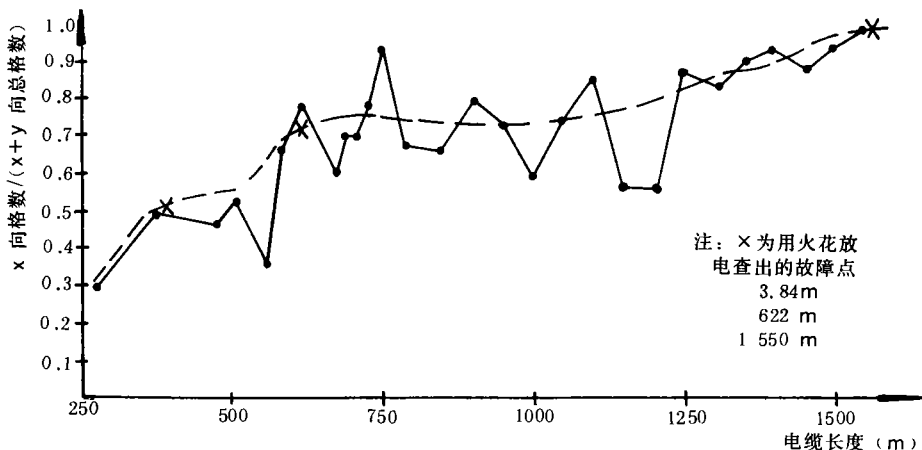


图1 复合故障电缆测试实例(一)

图1的曲线是通过电缆表面微电位差精测数据绘成的,各点的数据起伏较大,是电极的两种金属接触电位和各种电缆表面腐蚀情况不一致等原因引起的。图中的虚线是平均值线,它表征了电缆表面电位的变化规律。曲线的几处跃变形成了台阶,而台阶附近预示着存在故障点。从图1虚线分析,这条电缆线芯存在4点以上的复合故障。

图2的曲线绘制方法和图1相同。但这条电缆从1220m以后才开始漏电,从虚线的形状分析,在1220~1447.7m之间,存在4点以上的复合故障。考虑到在227.7m段内有4点以上故障,此段电缆已无修复价值,便从1220m处切断电缆,结果前1220m电缆三根线芯绝缘都在4000M Ω 以上。对切断的227.7m电缆进行解剖检验,发现的故障点比按曲线分析的故障点多。

这两条曲线表明,利用精测定位部分对整条电缆进行测量,对评价电缆的质量、预测复合故障点的位置有一定的效果,这一点对潜油电泵电缆报废前的技术鉴定能提供重要参考数据。

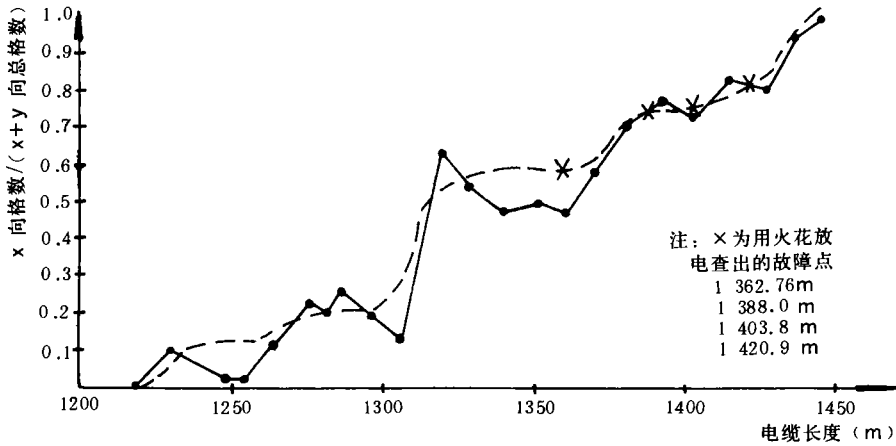


图 2 复合故障电缆测试实例(二)

七、小结

本套仪器的粗测部分和精测定位部分对单一故障的电缆检测效果比较好,能有效地加快电缆的修理速度。在电缆线芯为复合故障时,本套仪器基本上不适用,应当研制检测复合故障的仪器。我厂正在与某大学的科技研究所共同探索,并已取得了初步进展。

(本文收到日期:1992年3月28日)

[本文责任编辑 万冰蓉]

南海海域首次钻成一口中曲率半径水平井

位于南海北部湾海域的涠 11-4-A13 井,是南海西部石油公司自营开发涠 11-4 油田的一口水平井,也是我国在南海海域完全依靠自己的技术力量首次独立完成的第一口水平井。该井是一口中曲率半径水平井,由南海西部石油公司自行设计,自己施工。A13 井由自升式钻井平台南海 4 号承钻;水平井的井身轨迹监测使用了购自安乃聚尔公司(ANADRILL)的 SLIM-1 型可打捞的泥浆压力脉冲随钻测量(MWD)系统。该井于 1992 年 12 月 2 日开钻,在南油钻井工程部、技术服务公司、勘探部等单位的密切配合下,仅用 16.5 天时间就钻达目的层(1718m),井底水平位移达 1063m,井眼穿过油层长达 506m。

该井的特点是,井眼浅,地层较松软,加上井漏等钻井难度很大。A13 井于 260m 处开始造斜,造斜率为 27.6°/100m,钻至垂深 976m(测量井深为 1294m)处进入水平井段;水平段垂深控制在 ±2m 范围内,远远低于设计数据;最大井斜角 93.4°,方位角 57.8°(在 1718m 处),水平段总长为 424m;靶点位置偏移为 11.5m,方位角偏差 0.5°;完井作业中采用了预充填筛管的完井方法,在我国已钻的水平井中还属首次。

总之,A13 井的水平段长度、钻井速度等各项经济技术指标都创造了国内先进水平。

赖信坚