

绝缘层破损 3D 修复技术研究

封 琰, 卢耕儒

国网青海省电力公司海南供电公司 青海海南藏族自治州

【摘要】 电力电缆在电力的传输和分配中发挥着不可或缺的作用。电力电缆的可靠性大大有助于整个配电网的可靠性。由于紧张的经济需求和监管压力, 电力电缆故障导致的意外停电对公用事业公司产生了严重影响。这就产生了对高可靠性的需求, 以及以最低维护成本延长电缆寿命的需求, 而这只能通过实施有效的维护策略来实现。

【关键词】 绝缘层; 破损; 3D 修复

【收稿日期】 2022 年 11 月 18 日 **【出刊日期】** 2022 年 12 月 23 日 **【DOI】** 10.12208/j.jeea.20220062

Research on 3D repair technology of damaged insulation layer

Yan Feng, Gengru Lu

State Grid Qinghai Electric Power Company Hainan Power Supply Company Hainan, Qinghai

【Abstract】 Power cables play an indispensable role in the transmission and distribution of power. The reliability of power cables greatly contributes to the reliability of the entire distribution network. Due to tight economic demand and regulatory pressures, unexpected outages caused by power cable failures have had a severe impact on utilities. This creates a need for high reliability and a need to extend cable life with minimal maintenance costs, which can only be achieved by implementing effective maintenance strategies.

【Keywords】 insulating layer; Broken; 3 D repair

引言

近年来, 针对工程资产的维护和更换提出并采用了多种方法; 其中, 动态规划应用最为广泛。动态规划方法可以为需要无限期运行的资产提供最优的成本效益和以可靠性为中心的维护策略。Moghadam 和 Usher (2011 年) 提出了两个基于动态规划的模型, 以确定故障率不断增加的可修复组件的最佳维护计划。这两个模型的目标是获得维护决策, 以使受可靠性约束的总成本最小化, 并在总体成本的预算约束下使可靠性最大化。Korpajarvi 和 Kortelainen (2009) 展示了动态规划在配电系统维护中的应用。还有学者开发了一种基于优先级的动态规划模型来安排开销分布式网络的维护。他们采用风险管理方法来考虑模型中电气元件的实际状况和预期的财务风险, 提出了动态规划在电力电缆维护中的应用, 该模型代表了生命周期成本方法, 它可以提供适当的时间以经济有效的方式利用诊断测试信息。但是, 该模型没有考虑电缆的随机故障行为,

也没有优化不同维护决策的成本。

当然, 针对配电系统提出了大量以可靠性为中心的维护优化方法, 在最大化整个系统的可靠性指标的同时最小化预防性维护成本的多目标遗传算法, 该方法仅优化成本和可靠性指标, 不考虑电缆绝缘老化, 可识别需要特别注意的组件, 其目标是通过最大限度地提高可靠性来最大限度地降低纠正和预防性维护成本。建模技术基于使用 FMEA 模型对故障模式进行的功能性和功能性故障分析, 这些方法不考虑所有维护决策——预防性维护、纠正性维护和更换, 也没有考虑组件的预期寿命和维护的影响。

1 概率动态规划算法

概率动态规划算法, 以获得规划期各阶段 (或年度) 电力电缆的最优成本效益维护策略。在此模型中, 规划范围的长度等于电缆的预期寿命。电缆的预期寿命是从先前开发的基于随机电热退化累积模型的老化模型中获得的, 该模型中的维护策略包括预防性维护、纠正性维护、更换和不作为一组决

策, 该算法首先通过限定每个维护决策的效果来找到电缆的未来状态, 然后, 它使用反向归纳法求解由未来状态转移概率组成的动态规划递归方程, 通过将电力电缆的随机故障行为视为随机或随机过程, 将其包含在模型中, 这项工作规定了在决策过程中应用故障数据、维护数据和诊断测试数据的过程。所提出的方法也可用于其他电气组件的维护。

2 电缆状态估计

规划范围的长度可以是有限的或无限的。当难以确定终止时间时, 通常会假设无限计划范围。同时, 有限规划期限选择不当会影响模型的有效性。电力电缆在完全过时之前可以运行一定年限, 电缆有两种失效标准。第一个标准侧重于电缆绝缘性能的下降, 第二个标准侧重于防火能力的丧失。电缆具有有限的使用寿命。因此, 确定电缆寿命结束的基本原理非常重要。电缆的寿命通常通过对历史故障数据进行建模来获得, 这些数据由于随机故障和老化故障的存在而具有高波动。波动的数据源不应用于制定长期维护策略, 其中包括主动更换作为高投资维护决策之一。纠正或预防故障的成本远低于完成更换的成本。在发生故障后, 纠正性维护通过切割和拼接新的电缆部分将电缆恢复到其运行状态, 预防性维护通过检测潜在故障来提高可靠性。

3 电力电缆故障原因

电力电缆故障的发生是由于两种原因的随机、老化或累积效应。随机故障可能由于电缆电路的一小部分退化而发生, 例如工艺不良、制造缺陷或突然的机械故障, 而电缆绝缘层由于主要的电热应力而发生老化故障在每日负载周期中。最常见的绝缘故障模式是绝缘电击穿、电接口击穿和绝缘热击穿。就退化或故障而言, 绝缘是电力电缆最薄弱的环节, 绝缘完全退化导致不可恢复的故障; 在发生此类故障事件后, 任何一种维护措施都是无效的。因此, 可以假设电缆的寿命等于电缆绝缘层退化的时间。在世界范围内, 配电网络具有高度集中的聚合物绝缘电缆。交联聚乙烯 (XLPE)、乙丙橡胶 (EPR) 和它们的高级版本, 如阻燃交联聚乙烯 (TR-XLPE) 用于绝缘电缆的导体。电力电缆维护的有限规划范围由先前开发的随机电热模型确定, 以根据聚合物绝缘的降解来估计电缆的剩余寿命, 该模型通过考虑季节性负荷周期、导体温度和季节性土壤或大气

温度来提供累积退化水平, 对于具有相似安装年份、设计和运行条件的一组电缆, 退化可以用随着使用年限增加的百分比来量化。

4 电缆线路电气故障的形成原因及修复方法

电力电缆在和机械设备的供电连续性保证系统中起着非常重要的作用。许多电缆的使用寿命长达数十年, 因此具有更高的故障率。因此, 必须先更换使用中的缆线, 最重要的是要更换技术最差的缆线。对电缆状态进行正确的评估以及对易发生故障的区段进行分类是非常重要的。电力中断会造成生产损失, 并对城市、省甚至全国的基本设施和主要经济结构造成电力不足的风险。上述考虑因素使正确评估电缆线路技术状况的问题变得至关重要。此类评估应建立在诊断研究的基础上, 以检测并定位可能在很长时间内导致故障的缺陷。

电力电缆中出现的损坏可以通过多种不同的方法进行定位。测量结果通常不够明确, 也不如物理尺寸测量结果准确, 要获得最佳效果, 请根据不同的测量方法使用多个测量方法。低压、中压电力电缆在运行过程中, 经常发生外部绝缘损坏、接地短路和界面短路。市面上的仪器通常以三种故障检测方法为基础。其中最基本的是测量低压反射计(TDR)的脉冲反射率, 该仪器随后产生脉冲, 然后对电缆故障部位出现的反射进行分析, 通过了解电缆中脉冲的传播速度以及它们的发送和返回时间, 可以自动确定到故障位置的距离, 此类解决方案的优点包括方便快捷的故障定位。

安全电压的测量仍然是不可或缺的。电缆故障检测中使用的另一种方法是从弧反射低压脉冲(ARM)。在无法使用反射计的情况下, 此方法最常用。该方法是基于大能量脉冲的发射, 引起损伤部位的电弧放电。此后, 反射计发出低压脉冲, 从燃烧的弧线反射出来。如果弧的电阻超过 200ω , 则弧的反射方法无效。因此, 电流脉冲法(Surge IC)也被包括在内。若产生大能量脉冲, 电压可达 16kV , 此时它会在损坏的位置引发电弧, 并观察电流波形的不稳定状态(熄灭振荡), 一般电路中有一个开关, 该开关用作分流管, 对通过它获得的信号进行了分析和记录。

4.1 电缆故障检测

电缆故障检测仪器最常用于电力行业。主要是对低压电缆的诊断。此外, 有些型号使用特殊的分

离过滤器, 可用于火线的研究。这种类型的仪器通常用于侦测铝导线的间隙、相位之间的短路以及变压器的连接状态。还不止一次的应用包括检测电力线路的非法连接。电线故障定位仪器在工业电视系统诊断中很受欢迎。主要是对导线在切口、弯曲、短路等方面的连续性进行可靠的评估。当然, 电缆故障定位器在电信中是非常宝贵的。

导致所有电压和的电缆故障的原因

导致电缆线损坏的主要因素可能包括:

①电气因素, 如过电压、电气和静电放电、过载或绝缘性能的不正确测量;

②电缆的错误工艺造成的损坏, 主要是电缆、导体或绝缘结构的缺陷;

③使用中的电缆的外部环境因素的影响, 其中包括不同的环境和气候温度、灰尘、水分和任何化学制剂的影响。

④长期使用造成的损坏, 可能包括绝缘层的退化和老化, 以及在使用中影响电缆的化学变化过程;

⑤大气因素, 即雨水、使用电缆的地面的一般湿度、风、闪电或太阳风暴的磁效应。

其他因素, 如动物和啮齿动物的有害影响, 电缆的不正确操作, 不正确的安装或机械损坏。

大多数电缆损坏是由多种因素同时或相继作用造成的。对于在土壤中工作的电缆, 最严重的破坏因素之一是沿电缆路线的土壤移动, 这使有关电缆的一段受到拉伸, 另一段受到挤压。这种类型的移动在活跃的采矿区、人工制造的地堤、山区和高地以及地震活跃地区最为常见。强烈的接地应力会导致电缆中的电介质偏移, 从而导致绝缘层断裂和电缆耦合器及其他电缆连接处破裂。介质转移对纸油绝缘的电缆特别危险。

电缆的其他损坏类型包括机械、电解和腐蚀损坏。这些类型的损坏导致纸油绝缘电缆的金属护套被破坏, 湿气渗透, 导致电缆内部的许多损坏, 以及所有类型的电缆的外部绝缘护套的损坏。在使用由聚偏二乙烯或聚乙烯制成的热塑性绝缘的电缆中, 湿气的渗透更会导致密封护套的损坏和水生树的形成。电缆绝缘层的点蚀是由于不完全放电对电介质的侵蚀造成的。这种损害的特点是高过渡阻力。电压测试被用来在早期阶段检测这种类型的损害, 使用基于光、声或电现象的方法来检测不完整的放电, 在电缆诊断

中, 电学方法利用了局部电干扰, 其形式是在小体积的绝缘层中出现临时短路。这种现象导致被测物的电容发生瞬间变化, 可以用适当敏感的测量仪器测量。单个放电脉冲的持续时间是纳秒级的, 具有宽带信号的特征, 其上限频率可达 1GHz。

测试电缆时, 要确定其波阻抗和传播系数。阻抗值取决于电缆的类型, 对于同轴电缆、安装电缆或电源电缆来说是不同的。不同制造商生产的具有相同绝缘材料的两根电缆, 其相同系数的数值可能不同。选定的电介质类型的传播系数值的例子:

①0.50-0.56n 油饱和纸;

②0.64n 泡沫填充聚乙烯;

③0.67n 聚乙烯;

④0.71n 特富龙;

⑤0.94-0.98n 空气。

正确地确定传播系数对确定到损坏地点的距离很重要, 传播系数取决于以下因素: 使用的绝缘类型; 电缆的几何形状; 电缆的使用寿命。一旦电缆参数被确定, 测量系统的参数就会被确定。首先, 选择一个适当的测量范围, 考虑到发射的脉冲在电缆中被衰减, 当它远离仪器时, 其振幅会减少, 衰减的程度取决于电缆的类型、电缆的使用寿命、沿途的连接质量。记录系统在故障检测过程中发挥着重要作用, 它们既可以作为独立的系统使用, 也可以作为配备了保护自动化的系统使用, 最好的故障录波器是能够记录相电流和电压的瞬时值, 以及与安装在线路或系统设备两端的设备运行有关的保护自动化信号。由于存储在设备存储器中的电压和电流值, 故障类型及其时间过程被确定, 利用安装在线路上的设备的时间延迟, 记录故障发生前的电流和电压值, 通过这种方式, 可以确定损害的意外时刻并预测其发展。电压和电流的值是计算到故障地点的距离所需的基础。

发生在电缆线路中的损坏类型和电缆护套的绝缘损坏在电缆线路的运行中具有重要意义, 并与工作导体和屏蔽层之间的绝缘损坏位置同等对待。最常见的电缆损坏包括。外部因素造成的机械损坏, 绝缘材料的老化过程, 不正确的安装, 超过允许的应力, 弯曲半径太小, 头和耦合器的安装错误, 绝缘材料的制造缺陷, 经常超过允许的温度, 浪涌的影响。除了机械故障, 上述因素会导致绝缘的逐渐退化, 确定退化

的程度和发生的地点, 就可以避免或限制不必要的停电时间。诊断性测试可以评估电缆绝缘的状况, 以及监测老化过程, 并进行以下工作。

①估计电缆的寿命。

②确认或拒绝该电缆继续适用于服务; 确认或拒绝该电缆继续适用于服务以验证电缆已被制造和安装。

③检查电缆是否已经生产和安装正确。

低压以及中压电缆线是配电网中相当容易发生故障的系统。故障统计显示, 电缆线的损坏很频繁, 在 12 个月内, 每 100 公里的电缆有 16 到 20 个故障不等。损坏发生在电缆沿线, 占检测到的所有损坏的 70%。其余的损坏是由电缆附件及其错误的安装造成的。约有 5% 的损坏是由电缆接头造成的。电缆线路正常运行的个别参数是无法检查的。任何参数的变化都会在电缆中产生不连续, 导致损坏。相当频繁的电缆线路故障有: 单相短路, 两相短路, 三相短路, 三相对地短路, 两相对地短路, 一相或多相中断, 有横向电阻的中断, 有纵向过渡电阻的中断, 腐蚀保护层损坏, 瞬时短路等。

4.2 修复检测方法

一旦确定了电缆中损坏的位置和损坏的类型, 就必须立即着手修复故障, 恢复电缆线路的传输能力。为此目的采用了以下方法: 专用胶带, 热收缩接头和管道, 用树脂或沥青化合物铸造的现成套件。健康和安规只允许由合格的工人根据授权人的口头或书面指示进行这种工作, 在电缆线路上的任何维修工作都是在线路断电、保护不通电和建立工作接地之后进行的。确保电缆电力线可靠性的方法是用新的部分替换损坏的部分, 这有时是不可能的。其目的应该是在最大限度地提高电缆线的可靠性的同时最大限度地降低成本。最好是等待故障发生, 如果故障发生, 迅速修理或更换受损部分, 反复出现的故障为线路的运行带来了额外的成本, 导体连接的特点是低电阻和机械强度, 所有其他层的电缆应在交界处进行修理, 以确保有足够的电气强度。

电缆维修过程中使用了一系列被称为电缆接头的机械设备, 旨在进行和保护电缆连接, 将电缆分支和终端化, 并将电缆连接到设备上。连接电力电缆是一项劳动密集型的操作, 电缆导体之间的连接是为了确保安全和可靠的接触, 连接不良是系统的

一个薄弱点, 会导致故障、过度加热和电击。

电缆接头用于连接两根或更多的电缆, 以确保连接的机械和电气强度而不降低电缆本身的强度。接头的设计确保了电缆的导体和金属护套的电气连接, 确保了连接处的适当绝缘, 并确保其免受损坏和湿气侵入。

可以区分三种类型的关节。

①贯通型, 用于连接两个电缆末端;

②分支型, 用于创建分支;

③过渡型, 用于连接两个不同类型的电缆。电缆头用于将电缆连接到设备上, 并用于端接电缆。它们确保终端的电气和机械强度, 并保护电缆端部的绝缘免受环境因素的影响。由于操作条件的不同, 云台分为高架和室内。电缆终端用于将电缆的工作导体的末端与电气设备的终端进行金属连接。

5 小结

目前, 随着国民经济的快速发展和电网需求的不断增加, 高压输电线路大多铺设在地下或空中, 不同类型的高压输电电缆在国家电网各部门的应用越来越多。一旦高压电缆发生故障, 极有可能造成电路中断, 对市民和企业造成很大影响, 严重的还会造成重大安全事故。因此, 及时对高压电缆进行故障检测是非常重要的。

参考文献

- [1] 文华周, 铁斐黄. 绝缘性能检测在 CSSD 中的使用方法研究[J]. 实用医学研究, 2020, 2(1): 81-82.
- [2] 于向阳, 姚凌虹, 赵时, 等. 基于红外特征的飞机导线绝缘层隐性故障在线诊断方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 10.
- [3] 车士友. 重庆气矿管道绝缘层检测缺陷分析[J]. 石油与天然气化工, 2004 (6): 469-470.
- [4] 刘海波. 110kV 电力电缆外护层绝缘电阻值降低的原因分析[J]. 油气田地面工程, 2016, 12.

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS