

直流 GIL 绝缘设计及局部放电检测研究进展

赵 科, 王静君, 刘 通, 何 攀

(国网江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

摘要: 气体绝缘金属封闭输电线路(gas insulated line, GIL)在我国输电系统中占有越来越重的比例,推广使用直流 GIL 对于完善现有直流输电方式具有很强的经济效益。与交流 GIL 相比,直流 GIL 研究的技术难点和差异主要在于绝缘方面。研究直流 GIL 绝缘问题能够指导其运行维护并对其进行寿命预测。文中从直流 GIL 整体绝缘设计和 GIL 内部局部放电检测两个方面,梳理和介绍了国内外对交直流 GIL 各方面的研究情况,为针对直流 GIL 绝缘问题的后续研究提供了参考和借鉴。

关键词: 气体绝缘封闭输电线路; 直流; 绝缘设计; 局部放电

中图分类号: TM854

文献标志码: A

文章编号: 2096-3203(2017)05-0098-05

0 引言

气体绝缘金属封闭输电线路(gas insulated line, GIL)作为一种新型的输电方式,具有输送容量大、传输损耗小、安全性能高、对环境破坏小等优点,在特殊地理环境及大容量远距离输电领域得到了广泛应用^[1,2]。

现有 GIL 的应用仍主要限制于交流输电领域,考虑到 GIL 的诸多技术优点和直流输电的快速发展,推广直流 GIL 在输电领域的应用将能够带来很高的经济和社会效益。

与交流 GIL 相比,直流 GIL 的装备制造、运输安装和运行维护等基本一致,其差异主要体现在绝缘问题方面^[3]。一方面,直流电压下的气体内电场分布取决于绝缘材料的电导率,受温度、湿度、带电运行时间等诸多因素的影响,具有一定的不确定性。另一方面,直流 GIL 中支撑绝缘子表面电荷的积聚严重,会畸变绝缘子表面的沿面电场分布,使得一些情况下的闪络电压急剧下降;特别是在极性反转的条件下,更易引起闪络,造成 GIL 运行故障。因此,直流 GIL 的绝缘相关问题已经成为制约其推广使用的最急需解决的问题。

目前国内外针对直流 GIL 的研究集中于其绝缘问题,较多的是对直流 GIL 的绝缘性能设计和充入气体 SF₆的成分比例等研究^[4-6]。这些研究通常借鉴了交流 GIL 和气体绝缘金属封闭开关设备(gas insulated switchgear, GIS)相关方面的研究方法和思路,取得了一定的研究成果。文中从直流 GIL 整体绝缘设计和 GIL 内部的局部放电 2 个大方面,梳理和介绍了现有的研究成果。

收稿日期:2017-04-28;修回日期:2017-06-05

1 直流 GIL 的绝缘设计研究

1.1 直流绝缘件设计

直流 GIL 绝缘设计的目的是将沿面闪络电压提高到气体间隙击穿电压的水平,使绝缘的击穿在气体介质中发生,而不是沿绝缘子表面发生。

典型的 GIL 单元化结构示意图^[7]如图 1 所示。导电杆为中空结构,和外围圆筒共同构成同轴的传输系统,导电杆和圆筒均使用铝材。绝缘气体使用 20% SF₆和 80% N₂的混合气体,在保证绝缘强度的基础上,降低了成本并削弱了可能带来的温室效应。对称分布的支撑绝缘子由树脂材料浇筑而成,起到电气绝缘和机械支撑的作用。绝缘件通常由环氧树脂和填料制成,目前最为常用的是氧化硅和氧化铝,2 种填料均可以在环氧树脂模具成型时提供给绝缘件必要的机械强度。

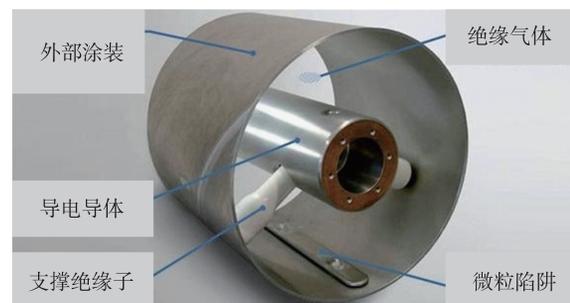


图 1 GIL 单元化结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of GIL structure

GIL 内部绝缘子有盆式绝缘子和支撑绝缘子 2 种。

(1) GIL 盆式绝缘子一般采用内置式,作用为气室隔离,既可利用壳体连接法兰进行封装,也可在壳体内部设计专用法兰对其进行安装,见图 2。

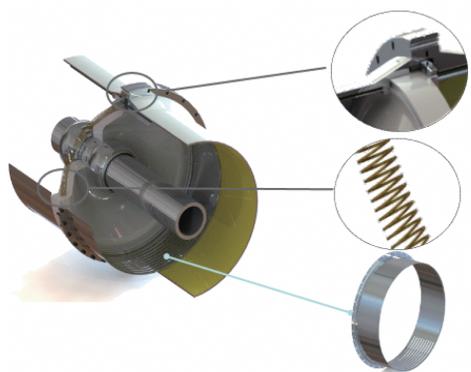


图 2 内置盆式绝缘子设计

Fig.2 Design of built-in insulating plate insulator

(2) 支撑绝缘子主要采用三柱式、单柱式,主要作用为支撑导体,如图 3 和图 4 所示。三柱绝缘子,用于长距离导体的支撑,滑动式三柱式绝缘子顶部支脚与外壳内壁采用弹性触头等电位连接,底部的两个支脚采用滚珠设计,这种设计可以补偿导体由于热膨胀沿外壳内壁的滑动;单柱式绝缘子用于短距离导体的支撑,滑动式单柱式绝缘子通过设置滑动触头来实现导体的热膨胀补偿。



图 3 单柱式支撑绝缘子设计

Fig.3 Design of single-pole support insulator

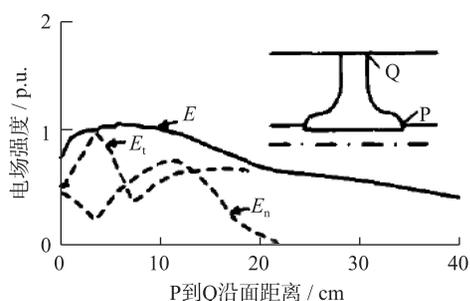


图 4 三柱式支撑绝缘子设计

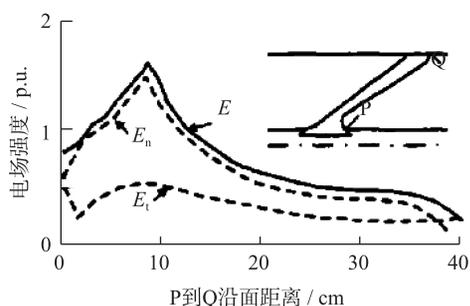
Fig.4 Design of three-pole support insulator

在直流电压作用下,绝缘件的形状及表面形态对 GIL 内部电场的分布有很大影响。

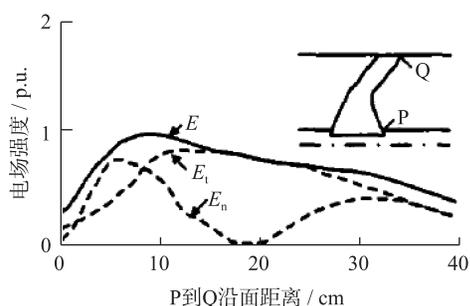
经过研究^[1,2],综合绝缘子的直流电压、操作冲击电压和雷电冲击电压的耐受水平,比较了多种形式绝缘子的表面场强,如图 5 所示。由图 5 可以看出半圆锥形盆式绝缘子对绝缘件表面的电荷积聚抑制效果最好,因此在优化直流绝缘子外形结构时,多选用半圆锥形盆式绝缘子。各种绝缘件的应用及主要功能如表 1 所示。



(a) 盘形盆式绝缘子表面场强分布



(b) 圆锥形盆式绝缘子表面场强分布



(c) 半圆锥形盆式绝缘子表面场强分布

图 5 不同盆式绝缘子表面场强分布

Fig.5 Surface field strength distribution of different basin insulators

表 1 各种绝缘件的应用及功能

Table 1 Application and function of various insulators

绝缘子型式	应用场景	主要功能
盘形盆式绝缘子	交流 GIL	绝缘支撑 气室隔离
圆锥形盆式绝缘子	交流 GIL	
半圆锥形盆式绝缘子	直流 GIL	
三柱式绝缘子	交/直流 GIL	绝缘支撑
单柱式绝缘子		

1.2 GIL 微粒陷阱设计

在 GIL 中,金属导电微粒附着在电极表面是普

遍存在的现象。金属导电微粒在垂直的静电力和电场力作用下,对 GIL 的绝缘危害很大。

常用的 GIL 微粒陷阱为栅格状或孔筛状,与壳体间会形成低场强区并在底部设粘性物质,当金属微粒在电场力作用下进行运动,到达微粒陷阱位置后便会掉入陷阱而被捕获;微粒陷阱与盆式和柱式绝缘子配合安装,并置于绝缘子壳体侧,可以有效捕获 GIL 内部金属微粒,图 6 为微粒陷阱和三柱式绝缘子组合安装图。

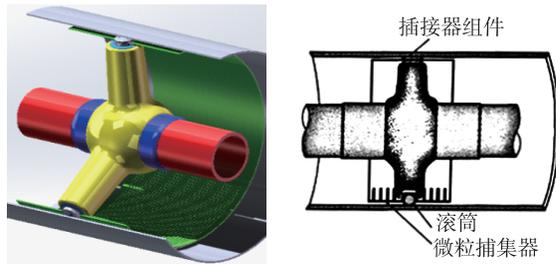


图 6 微粒陷阱结构示意图

Fig.6 Sketch of particle trap structure

1.3 绝缘性能影响因素

直流 GIL 的绝缘性能受 2 个因素影响:充入 SF₆ 或 SF₆ 和 N₂ 混合气体间隙的绝缘强度,以及支柱绝缘子闪络特性。

针对 SF₆ 气体间隙的绝缘强度已有很多研究。研究表明,最优的电场结构设计为外壳与内导体同轴圆柱同心布置^[8]。同轴圆柱电极与圆柱平板电极的外形结构和电场分布相似,在绝缘子外形结构优化和金属导电微粒抑制的相关试验中,可用带绝缘子的圆柱平板电极替代带绝缘子的同轴圆柱电极。直流电压下的临界击穿场强具有极性效应,并随着气压的增大而变得更加明显;直流 GIL 的绝缘水平取决于负极性直流电压。对于理想的同轴圆柱电极,直流临界击穿场强估算为:

$$E_{cr} = 88.5 \times 10p(1 + 0.092/\sqrt{10rp}) \quad (1)$$

式(1)中: p 为 SF₆ 气体的压力,MPa; r 为同轴结构内导体的外半径,cm。

对于 SF₆ 和 N₂ 混合气体,可以通过试验对式(1)进行系数校正,获取满足工程使用需求的计算公式。

对支柱绝缘子的闪络特性研究表明,GIL 支柱绝缘的闪络特性主要受表面聚集电荷和自由导电金属微粒影响。

直流 GIL 绝缘子表面存在电场的法向分量,当施加一定长时间的直流电压后,绝缘子表面电荷会发生聚集并导致表面电场畸变,绝缘子表面可能发生沿面放电^[9]。在电压极性发生改变时,电荷聚集

对绝缘子表面放电的影响更加明显。已有的研究发现:所加直流电压的大小、极性和作用时间能影响绝缘子表面电荷的分布。在负极性电压作用下,绝缘子表面分布着负电荷,在正极性电压作用下,绝缘子表面除分布正电荷以外,还有负电荷;两种情况下负电荷要多于正电荷,负电荷更易积聚于绝缘子表面。根据 SF₆ 中电荷积聚的规律可以推断,与所加电压极性相反的电荷将增大绝缘子表面与电极之间的场强,因此在直流电压持续作用下,电荷积聚到一定程度将直接导致绝缘子闪络。

自由导电金属微粒对 GIL 绝缘也有显著影响^[10,11]。在 GIL 中,由于机械摩擦和组装加工遗漏等原因,导致金属导电微粒附着在电极表面的现象是普遍存在的。金属微粒附着在电极表面或绝缘表面时有以下 3 种带电机理:通过导体或覆膜介质传导带电、微粒与覆膜电极间的微放电和微粒尖端电晕放电。由于绝缘子表面电荷聚集导致电场畸变,在绝缘子附近场强集中,自由导电微粒将附着在绝缘子表面。附着在绝缘子表面的金属微粒直接成为了绝缘子的闪络途径,缩短了沿面放电的路径,极大地降低了绝缘子的闪络电压。

综合影响直流 GIL 的绝缘性能的 2 个因素,通常沿面闪络电压要远低于气体间隙的击穿电压。因此,直流 GIL 的绝缘设计目标是提高绝缘子沿面闪络电压,使绝缘击穿发生在气体介质中,而不是发生在绝缘子表面。目前,针对 GIL 采用的措施主要是:优化绝缘子外形并进行表面覆膜处理,减少表面电荷的聚集;设计微粒陷阱和驱赶电极对自由导电金属微粒进行捕捉,消除自由导电金属颗粒带来的不良影响。

2 直流 GIL 的局部放电检测研究

电气设备在运行过程中长期受工作电压电流的作用,将导致绝缘材料发生局部击穿,造成局部破坏。随着时间延长,被击穿的绝缘结构可能逐步扩大,并最终导致设备绝缘失效。直流 GIL 在运行过程中同样存在绝缘失效问题,其中,由于表面电荷积聚和其他缺陷引起的局部放电是引发电老化的一个重要因素。通过对直流 GIL 局部放电的检测,能够保障其运行的安全性并预测其使用寿命^[12,13]。

造成 GIL 局部放电的主要原因是设备中存在缺陷,包括接触不良、金属微粒、绝缘子缺陷等,以及直流电压作用下表面电荷的积聚。由于 GIL 与 GIS 设备中的管道母线非常相似,研究 GIL 的局部放电

检测问题可以借鉴国内外对 GIS 局部放电的已有研究情况。

对 GIS 局部放电检测的技术主要有光学法、声测法、化学法等非电气测试法和电气测试法^[14-17]。非电气测试法的应用都有较大的局限性,如:光学检测法适用于已知点的局部放电检测,不适用于未知放电地点的情况;化学检测法耗费的时间较长,检测结果有一定的滞后性;声学检测法由于声波传播方式复杂,衰减程度大,也不适用于常规检测。电气测试法包括耦合电容法、地线电流法、外被电极法等,这几种方法对传感器的要求均较高,且易受外界干扰。目前常用的特高频法(ultra high frequency, UHF),其原理是测量局部放电时电荷中和产生的上升沿较陡的脉冲电流向四周辐射的电磁波,如图 7 所示。常用的电磁波传感器(天线)有内设传感器、盆式绝缘子内电极、GIL 外壳外敷电极和内设天线等。特高频法的测量频率范围足够宽,可以有效实现对噪声的抑制,在 GIS 设备局部放电的检测方面具有很高的准确性,从原理上,可以推广到 GIL 的局部放电检测,这一观点得到了文献^[18,19]的支持。

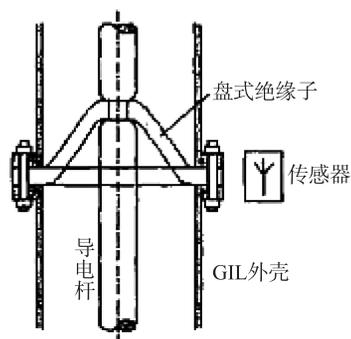


图 7 GIL 局部放电体外 UHF 传感原理图

Fig.7 UHF sensing outside of GIL partial discharge

在实际应用中,需要检测出局放信号的幅值和对局放信号进行定位,对设备局部放电严重程度判断,以实现了对设备局部放电情况的在线监测。针对 GIS 局部放电的研究中,使用特高频法和超声定位相结合,确定局部放电位置,已经在实验室范围内实现了较为准确的放电定位^[20]。此外,利用在实验室搭建的 GIS 设备局部放电缺陷发展试验平台^[21],可以研究 GIS 设备绝缘子局部放电严重程度及其判断依据。通过对视在放电量、特高频、超声波和紫外光等信号的综合处理,判断设备局部放电的严重程度。类似的诊断方法也可以推广至 GIL 的设备状态检测,预测其运行状态。

综上所述,现有针对 GIS 的局部放电研究方法

都可以推广至 GIL 的相关研究中来。需要注意的是,交流条件下广泛采用局部放电测量来判断介质绝缘情况,但直流条件下的应用还较少^[22]。这是由于直流情况下,电压极性大小不变,不存在周期性的放电现象,因此检测直流设备的局部放电现象更加困难。在具体的研究中,还需要考虑使用的检测方法是否能够甄别直流 GIL 中表面电荷反复积聚和中和过程造成的局部放电。

3 结语

GIL 具有输送容量大、布置灵活、对环境影响小、布置方式灵活等优势,在大容量直流输电线路加速建设的背景下,直流 GIL 具有很强的推广价值。

对于直流 GIL 的绝缘设计,类比于交流 GIL,应着重考虑绝缘子表面电荷积聚和自由导电金属微粒的影响,提高绝缘子沿面闪络电压。对于直流 GIL 的局部放电检测,类比 GIS 的局部放电检测手段,通过特高频法与其他测量手段的结合,实现 GIL 局部放电的测量、定位和严重程度判断。

参考文献:

- [1] 范建斌,李鹏,李金忠,等. 800 kV 特高压直流 GIL 关键技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(13):1-7.
FAN Jianbin, LI Peng, LI Jinzhong, et al. Study on key technology of ± 800 kV UHVDC GIL [J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(13):1-7.
- [2] 张博雅,王强,张贵新,等. SF₆ 中绝缘子表面电荷积聚及其对直流 GIL 闪络特性的影响[J]. 高电压技术, 2015, 41(5):1481-1487.
ZHANG Boya, WANG Qiang, ZHANG Guixin, et al. Surface charge accumulation on insulators in SF₆ and its effects on the flashover characteristics of HVDC GIL [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(5): 1481-1487.
- [3] 汤浩. 直流 GIL 绝缘特性及其绝缘优化的研究[D]. 成都:西南交通大学, 2008.
TANG Hao. Study on insulation characteristics of GIL and its insulation optimization[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [4] 齐波,张贵新,李成榕,等. 气体绝缘金属封闭输电线路的研究现状及应用前景[J]. 高电压技术, 2015, 41(5): 1466-1473.
QI Bo, ZHANG Guixin, LI Chengrong, et al. Research status and prospect of gas-insulated metal enclosed transmission line [J]. High Voltage Engineering, 2015, 41(5): 1466-1473.
- [5] GUO Mingma, HONG Yangzhou, CHENG Rongli, et al. Designing epoxy insulators in SF₆-filled DC-GIL with simulations of ionic conduction and surface charging [J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2015, 22(6): 3312-3320.
- [6] SRIVASTAVA K D, MORCOS M M. A review of some critical

- aspects of insulation design of GIS/GIL systems [C]. Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001 IEEE/PES IEEE, 2001(2): 787-792.
- [7] OKUBO H, HOSHINO T, TAKAHASHI T, et al. Insulation design and on-site testing method for a long distance gas insulated transmission line (GIL) [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 1998, 14(6):13-22.
- [8] 贾志杰, 张 斌, 范建斌, 等. 直流气体绝缘金属封闭输电线路中绝缘子的表面电荷积聚研究[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(4):112-117.
JIA Zhijie, ZHANG Bin, FAN Jianbin, et al. Study of charge accumulation along the insulator surface in the DC GIL [J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(4):112-117.
- [9] WANG Jian, LI Qingmin, LI Botao, et al. Motion analysis of the particle in DC GIL considering the random collisions and gaseous resistance [C]. 2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM): 480-483.
- [10] 李庆民, 王 健, 李伯涛, 等. GIS/GIL 中金属微粒污染问题研究进展[J]. 高电压技术, 2016, 42(3):849-860.
LI Qingmin, WANG Jian, LI Botao, et al. Review on metal particle contamination in GIS/GIL [J]. High Voltage Engineering, 2016, 42(3):849-860.
- [11] 赵 科, 腾 云, 贾勇勇, 等. 特高压 GIL 现场耐压试验技术[J]. 江苏电机工程, 2016, 35(4):32-35.
ZHAO Ke, TENG Yun, JIA Yongyong, et al. Withstand voltage test technology of HUV GIL [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2016, 35(4):32-35.
- [12] OKUBO H, YOSHIDA M, TAKAHASHI T, et al. Partial discharge measurement in a long distance SF6 gas insulated transmission line (GIL) [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1998, 13(3): 683-690.
- [13] GROSS D W, SOLLER M. Commissioning and on-line testing of GIS and GIL [C]. 2004 IEEE International Symposium on Electrical Insulation: 265-268.
- [14] 李继胜, 赵学风, 杨景刚, 等. GIS 典型缺陷局部放电测量与分析[J]. 高电压技术, 2009, 35(10):2440-2445.
LI Jisheng, ZHAO Xuefeng, YANG Jinggang, et al. Measurement and analysis of typical defects partial discharge [J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(10):2440-2445.
- [15] 金立军, 张明锐, 刘卫东. GIS 局部放电故障诊断试验研究[J]. 电工技术学报, 2005, 20(11):88-92.
JIN Lijun, ZHANG Mingrui, LIU Weidong. Examination and research on the partial discharge fault diagnostics in gas insulated switchgear [J]. Transactions Of China Electrotechnical Society, 2005, 20(11):88-92.
- [16] 杨景刚, 贾勇勇, 赵 科, 等. GIS 内典型绝缘缺陷的局部放电信号超声特性分析[J]. 江苏电机工程, 2015, 34(2):10-14.
YANG Jinggang, JIA Yongyong, ZHAO Ke, et al. Analysis of partial discharge ultrasonic wave characteristic of typical defects in GIS [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2015, 34(2):10-14.
- [17] 王 伟, 潘晓明, 张永生. 电磁超声技术在变电站 GIS 管道裂纹检测中的应用研究[J]. 江苏电机工程, 2011, 30(5):82-84.
WANG Wei, PAN Xiaoming, ZHANG Yongsheng. Applied research for crack detection method of GIS pipes based on electromagnetic ultrasonic guided waves [J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2011, 30(5):82-84.
- [18] 高长岭, 谢 强, 张世璐, 等. 特高频局放定位系统在 500 kV GI 中的应用[J]. 水电站机电技术, 2014(5):1-4.
GAO Changling, XIE Qiang, ZHANF Shilu, et al. Application of UHF partial discharge positioning system in 500 kV GI [J]. Mechanical and Electrical Technique of Hydropower Station, 2014(5):1-4.
- [19] 郑栋文, 马荣亮, 杨树峰. 溪洛渡水电站 GIL 柱形绝缘子局部放电原因分析[J]. 水电站机电技术, 2014(5):5-7.
ZHEN Dongwen, MA Rongliang, YANG Shufeng. Cause analysis of partial discharge of column insulator in Xiluodu hydropower station [J]. Mechanical and Electrical Technique of Hydropower Station, 2014(5):5-7.
- [20] 吴征彦. GIS 局部放电声电检测系统设计与定位技术研究[D]. 保定:华北电力大学, 2014.
WU Zhenyan. Research on design and positioning technology of GIS partial discharge detection system [D]. Baoding:North China Electric Power University, 2014.
- [21] 齐 波, 李成榕, 郝 震, 等. GIS 设备绝缘子高压电极故障局部放电严重程度的诊断与评估[J]. 高电压技术, 2011, 37(7):1719-1727.
QI Bo, LI Chengrong, HAO Zhen, et al. Severity diagnosis and assessment of the partial discharge provoked by high-voltage electrode defect on GIS insulator surface [J]. High Voltage Engineering, 2011, 37(7):1719-1727.
- [22] 李晓华, 吴广宁, 张血琴, 等. 典型缺陷的直流局部放电波形测量与特性分析[J]. 高电压技术, 2007, 33(8):31-34.
LI Xiaohua, WU Guangning, ZHANG Xueqin, et al. Measurement and characteristics analysis of DC partial discharge based on typical defects [J]. High Voltage Engineering, 2007, 33(8):31-34.

作者简介:



赵 科

赵 科 (1985—), 男, 江苏无锡人, 高级工程师, 研究方向为 GIS、GIL 现场交接试验、局部放电检测 (E-mail:15105168884@163.com);

王静君 (1982—), 男, 江苏无锡人, 高级工程师, 研究方向为 GIS、GIL 现场交接试验、局部放电检测 (E-mail:15105168881@163.com);

刘 通 (1990—), 男, 陕西西安人, 工程师, 研究方向为 GIS、GIL 现场交接试验、局部放电检测 (E-mail:294092404@qq.com);

何 攀 (1989—), 男, 湖北荆州人, 助理工程师, 研究方向为 GIS、GIL 现场交接试验、局部放电检测 (E-mail:15205158231@163.com)。

Reliability and Life Analysis of Energy-storing Spring for High Voltage Circuit Breaker

TIAN Tao¹, ZHANG Zhaojun¹, ZHU Chao¹, CHEN Hao¹, WANG Yangyingfu², ZHANG Jianzhong²

(1. State Grid Jiangsu Electric Power Maintenance Branch Company, Nanjing 211102, China;

2. Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The conception of stress-strength interference model for mechanical reliability analysis is introduced and the reliability model of cylindrical helical spring is given in this paper. Combining the strength degradation model, the phenomenon of spring reliability decreasing with the operation times is investigated, where the reliability of the spring is correlated with the operation times of the high voltage circuit breaker. According to the stress relaxation model and combination of stress relaxation factor which considering the reliability model with strength degradation, the stress-strength interference model considering stress relaxation and strength degradation is built. After that the life of breaker's energy-storing spring is predicted. Finally, the feasibility of this method is verified by the calculation example of a specific energy-storing spring.

Key words: reliability; strength degradation; stress relaxation; circuit-breaker

(编辑 陈娜)

(上接第 97 页)

The Impact of Distributed Energy on Harmonic Characteristics in Active Distribution Network

ZHU Qingrong, HUANG Wenjie, XU Xiuhua, ZHANG Tao

(School of Power Engineering Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: In this paper, the influence of distributed energy on the harmonic of active distribution network is studied. Firstly, the distributed energy in active distribution network is classified according to the type of harmonic source, which includes current type and voltage type harmonic source. Then harmonic current's generation, propagation and superposition rules are analysed by simulation method, as the harmonic source's power, the load at connected point and connected point change. The generation and propagation of harmonic voltage in ADN are studied, considering the power and connected point of the harmonic source' change. As the simulation results, the conclusions are drawn to guide the connected points' selection of the units in ADN.

Key words: active distribution network; current mode harmonic source; voltage mode harmonic source; harmonic transformation; harmonic superposition component

(编辑 刘晓燕)

(上接第 102 页)

A Review of Insulation Design and Partial Discharge Detection of DC Gas Insulated Line

ZHAO Ke, WANG Jingjun, LIU Tong, HE Pan

(State Grid Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Gas insulated line (GIL) occupies an increasing proportion in the transmission system. The promotion of DC GIL can improve the existing DC transmission mode, and has a very strong economic benefits. Compared with AC GIL, the major technical difficulties and differences of DC GIL are insulation issues. Studies on DC GIL insulation issues are helpful to its operation, maintenance, and life prediction. Domestic and foreign researches on DC GIL are widely introduced from two aspects; the overall insulation design and internal partial discharge detection. It can provide a better cognition and reference for further study on DC GIL insulation problems.

Key words: gas insulated line; direct current; insulation design; partial discharge

(编辑 钱悦)