

高压电缆终端应力锥应力变化的现场测试分析

韩 轩¹, 马永其^{1,2}, 吴凤琳², 徐 操³

(1. 上海市应用数学和力学研究所, 上海 200072; 2. 上海大学力学系, 上海 200444;

3. 上海市三原电缆附件有限公司, 上海 201206)

摘要: 为了研究运行状态高压电缆终端界面压力的变化规律, 笔者对预制橡胶应力锥应力变化进行研究。根据所研究高压电缆终端的结构特点, 提出了现场橡胶应力锥应力变化电测的实验方案。利用静态应变测试仪测量了初装时的应变, 通过计算得到初装时应力锥受到的压力。利用动态应变测试仪测量了运行中的应变变化情况, 通过计算得到运行状态下橡胶应力锥应力的变化规律, 从而反映出界面压力的变化规律。研究表明, 该实验方案是可行的, 数据采集是可靠的; 在运行状态下, 橡胶应力锥应力的变化和电压有关, 电压越高应力锥应力变化越大。

关键词: 现场测试; 实验分析; 应力锥; 电缆终端; 应力变化

中图分类号: TM247; TM726.1

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)03-0049-03

Field Measurement and Analysis of Stress Variation in Stress Cone of High Voltage Cable Terminal

HAN Xuan¹, MA Yong-qi^{1,2}, WU Feng-lin², XU Cao³

(1. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai 200072, China; 2. Department of Mechanics, Shanghai University, Shanghai 200444, China; 3. Shanghai Sanyuan Cable Accessories Co. Ltd., Shanghai 201206, China)

Abstract: Investigating stress variation of prefabricated rubber stress cone is necessary for understanding interface pressure variation of high voltage cable terminal in operation. Therefore, a field measurement method is presented in this paper according to the structural features of the HV cable terminal in order to obtain the variation rule of cable terminal interface pressure. The initial strain is measured utilizing a static strain gauge to calculate the initial pressure on the stress cone. The strain variation is also measured adopting a dynamic strain gauge to calculate the stress variation rule in the rubber stress cone in operation for reflecting the interface pressure variation. The test results verify the feasibility and reliability of the measurement method, and indicate a positive voltage dependence of stress variation in the rubber stress cone of a high voltage cable terminal.

Key words: field measurement; experimental analysis; stress cone; cable terminal; stress variation

0 引言

以往电力系统故障发生概率的统计表明, 电缆附件发生故障的比例占到电缆运行故障的一半以上^[1]。电缆附件包括电缆终端和接头^[2]。由于电缆终端本身结构、制作和连接及运行条件的复杂性, 极易发生故障, 是电力系统安全运行的薄弱环节^[3]。高压电缆终端一旦发生故障, 将会造成大面积的停电事故, 造成很大的直接和间接经济损失。为了避免电缆终端故障的发生, 通过在电缆屏蔽末端套上橡塑预制件等方法, 可使电缆绝缘和屏蔽层的直径得到扩大, 形成应力锥, 改善电缆终端的电场集中现象, 从

而增加电力输配系统的安全性。

橡胶应力锥和电缆绝缘之间应保持一定的界面压力^[4-7]。界面压力和电缆终端的电气性能关系密切, 随着界面压力的增加, 界面所承受的电应力会变大, 但是当界面压力达到了一定程度以后, 界面所能承受的电应力将不再有变化。如果界面压力太大, 电缆绝缘在界面压力的作用下有可能发生变形, 影响电缆绝缘的电气性能。文[8]采用在电缆附件中预埋压力传感器的方法, 对界面压力和界面所能承受最大电应力之间的关系进行实验研究。文[9]采用光弹性实验的方法测得初装电缆附件应力锥和环氧套管接触界面压力的分布状况。文[10]采用有限元方法计算了应力锥的位移和应力分布。文[11]利用在自

收稿日期: 2008-09-05; 修回日期: 2009-01-23

作者简介: 韩 轩(1982), 男, 硕士研究生, 主要从事高压电缆终端橡胶应力锥的性能研究。

制电缆接头模型的铝管内部粘贴应变片的方法,研究了初装接头的界面压力的分布。

电缆终端的破坏通常发生在运行状态下,对运行状态下电缆终端界面压力变化情况目前国内外的研究较少,因此进行运行状态下电缆终端的界面压力变化情况的研究是十分必要的。笔者根据橡胶预制应力锥电缆终端的结构特点,提出现场电测实验方案,对运行状态下电缆终端橡胶应力锥受力变化情况进行测试,藉此反映界面压力的变化规律。

1 测试原理与方案

笔者研究的高压电缆终端结构技术特点是橡胶应力锥和环氧套管共同作为绝缘增强元件及电应力控制元件起作用,同时采用弹簧结构对橡胶应力锥施压,将其顶在环氧套管内侧,从而增加橡胶应力锥对电缆绝缘表面的压力,并维持长期可靠的工作压力,达到增加终端沿电缆绝缘表面的击穿强度的目的。根据这一特点,提出了现场橡胶应力锥应力变化电测的实验方案,通过粘贴应变片的方法测量应变。应力锥受到压力和测量应变之间的关系为

$$F = \frac{Ge\pi d^3}{2(2D-d)} \quad (1)$$

式(1)中, F 为应力锥受到的压力, e 为测量应变, d 为弹簧丝直径, D 为弹簧直径和弹簧丝直径之差, G 为弹簧材料的剪切弹性模量。

当测得应变以后,根据式(1),可以求得应力锥受到的压力。应力锥应力的变化情况可通过应力锥受到压力的变化情况反映出来。采用现场静、动态应变测试的数据,计算出高压电缆终端运行过程中应力锥受到压力的变化情况,反映出橡胶应力锥和电缆绝缘之间界面压力的变化规律。

2 实验仪器和设备

该实验所需的仪器和设备有:WDW-100A 电子万能试验机、YJ28A-P10R 静态数字电阻应变仪、测位移百分表、千分尺、DH5935 动态应变测试系统、便携式微机、应变片、导线、划线高度尺、烙铁、丙酮、万用表、220 kV 橡胶预制应力锥式高压电缆终端。

3 数据采集

3.1 电缆终端初装时的数据采集

初始安装时利用 YJ28A-P10R 静态数字电阻应变仪进行数据采集。YJ28A-P10R 静态数字电阻应变仪见图 1,安装好的测试装置见图 2。弹簧压紧装置安装好时,记下应变数值,为 617×10^{-6} 。

3.2 电缆终端运行时的数据采集

实验中采用的电缆为铜芯聚乙烯绝缘及护套电缆,电缆承载的电流为交流电,两次实验电压不同,



图 1 静态数字电阻应变仪



图 2 初始安装时的测试装置

分别为 110 kV 和 220 kV。该实验利用 DHDAS 数据采集系统采集动态应变信号,动态应变测试系统见图 3,采集结果见图 4。图 4 中横坐标为采集的时间,纵坐标为采集的应变数值,可以看出,采集到的信号为震荡信号。



图 3 动态应变测试系统

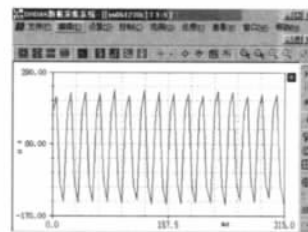


图 4 DHDAS 数据采集系统

4 数据处理及分析

根据式(1),计算得到初装完成时应力锥受到每个弹簧的压力为 214.7 N。该电缆终端共采用 8 只弹簧均匀分布压紧应力锥,应力锥受到的总压力为 1 717.6 N。

为了描述电缆终端运行时应变的变化幅度和变化趋势,从采集的数据中每 30 s 分别取出一个最大应变值、最小应变值,得到应变的变化曲线,见图 5、6。运行时采集的数据没有计入初装应变,故在数据处理时应该考虑初装应变。将考虑初装数据的应变代入式(1),计算得到应力锥受到压力的变化曲线,见图 7、8。

从图 5 可知,当施加的电压为 110 kV 时,应变最大值经历一个先变小后变大的过程,并最终达到稳定。在通电时间为 3 000 s 左右时,应变最大值中出现一个最小值,然后应变最大值逐渐变大,到 9 000 s 以后趋于稳定;当施加电压为 220 kV 时,应变最大值

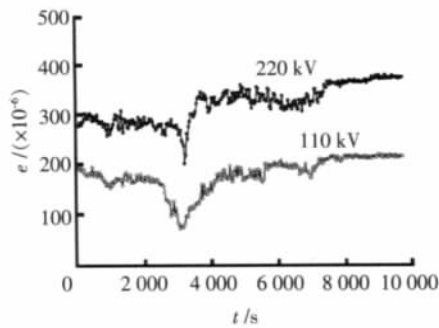


图5 最大应变值曲线

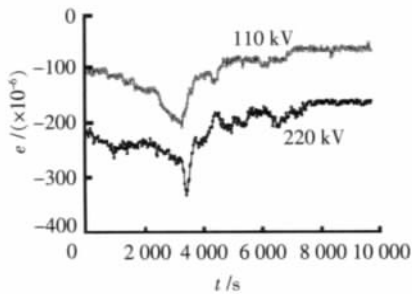


图6 最小应变值曲线

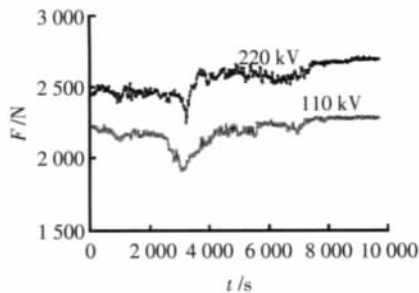


图7 应力锥受到最大压力曲线

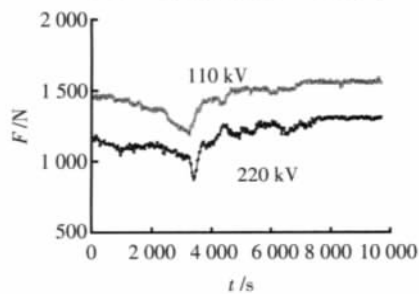


图8 应力锥受到最小压力曲线

的变化规律和施加电压为 110 kV 时类似, 值约为 110 kV 的两倍。从图 6 可知, 应变值小于 0, 表示较初装时, 弹簧变形减小, 应力锥受到的压力变大。当施加电压分别为 110 kV 和 220 kV 时, 应变最小值和应变最大值的变化规律相似, 在通电时间为 3 000 s 左右时, 应变最小值中出现一个最小值, 然后应变最大值逐渐变大, 到 9 000 s 以后趋于稳定。电压为 220 kV 时的应变最小值大约为 110 kV 时的 2 倍。

从图 7 可知, 应力锥受到的最大压力经历一个先变小后变大的过程, 并最终达到稳定。在通电时间为 3 000 s 左右时, 最大压力值中出现一个最小值, 然后最大压力值逐渐变大, 到 9 000 s 以后趋于稳定; 当施加电压为 220 kV 时, 最大压力值的变化

规律和施加电压为 110 kV 时类似, 值约为 110 kV 的 2 倍。从图 8 可知, 当施加电压分别为 110 kV 和 220 kV 时, 应力锥受到的最小压力的变化规律和受到最大压力时的过程类似。但是, 当施加电压为 220 kV 时, 应力锥受到的最小压力值约施加电压为 110 kV 时的 1/2。

5 结语

初始安装压力符合应力锥安装受到压力的设计标准, 说明实验是可行的, 数据采集是可靠的。实验测得初装时应力锥变形、受力和文[10、12]的数值模拟初装结果相一致。

应力锥应力的变化幅度和电压有关, 电压越大, 变化幅度越大。通电一段时间以后, 应力锥受到压力的变化幅度趋于稳定。在运行状态下, 橡胶应力锥的应力变化和电缆终端施加电压有关, 说明界面压力的变化也和电压有关。220 kV 时应力锥受到的最大压力比 110 kV 时应力锥受到的最大压力要大, 而最小压力的情况则与之相反, 这也说明电压为 220 kV 时, 电缆终端更容易发生事故。

参考文献:

- [1] 罗俊华, 马翠姣, 邱毓昌. XLPE 电力电缆局部放电在线检测[J]. 高电压技术, 1999, 25(4): 32-34.
- [2] 史传卿. 电缆终端和接头安装[J]. 供用电, 2001, 18(5): 53-56.
- [3] KOO J Y, LEE H S, OH E J, et al. A Design and Characterization of Condenser Cone Used for the Sealing End of 154 kV of Power Cable [J]. IEEE Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1994(10): 512-517.
- [4] VIRSBURG L G, WARE P H. A New Termination for Underground Distribution[J]. IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, 1967(86): 1 129-1 135.
- [5] TANAKA T, UCHIUMI M. Charge Trapping in Interfaces of Laminated PE-EVA Dielectrics [J]. IEEE Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 1997(10): 109-112.
- [6] SUZUKI H, KOBAYASHI S, ONO T, et al. Development of Cold-shrinkable Joint for 110 kV XLPE Cables [J]. Furukawa Review, 2000(19): 109-114.
- [7] BOGGS S, DENSLEY J. Fundamentals of Partial Discharge in the Context of Field Cable Testing [J]. IEEE Electrical Insulation Magazine, 2000, 16(5): 13-18.
- [8] YOSHIDA S, TAN M, YAGI S, et al. Development of Prefabricated Type Joint for 275 kV XLPE Cable[J]. IEEE Electrical Insulation, 1990(6): 291- 295.
- [9] 于莲芝, 应启夏, 徐 操, 等. 电缆附件接触应力的光弹性实验研究[J]. 上海理工大学学报, 2004, 26(3): 255-257, 261.
- [10] 马永其, 程昌钧, 徐 操. 220 kV 电缆终端应力锥在力场中的数值模拟分析[J]. 中国电力, 2005, 38(7): 23-27.
- [11] 张东升, 韩永胜, 刘红欣, 等. 高压电缆接头界面压力测试研究[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 173-176.
- [12] 马永其, 程昌钧, 徐 操. 结构形式及材料性能 220 kV 电缆终端应力锥的影响[J]. 中国电力, 2006, 39(4): 38-42.