

封闭式绝缘管母线典型缺陷研究

刘君¹ 胡琳¹ 刘翔宇¹ 干建伟¹ 沈文洋²

(1. 国网成都供电公司, 四川 成都 610041; 2. 湖北兴和电力新材料股份有限公司, 湖北 黄冈 438001)

摘要: 为提高封闭式绝缘管母线运行可靠性, 更有效地对其开展技术监督, 开展封闭式绝缘管母线典型缺陷研究。根据聚四氟乙烯绕包成型封闭式绝缘管母线实际物理结构, 建立 JMAG 电磁场仿真模型, 设立层间逐层短路、受潮、气隙等不同典型缺陷, 分析其电势、电场分布, 并通过电容量及介损试验, 研究其物理表征。

关键词: 管母线; 缺陷; 仿真; 试验

Abstract: In order to improve the operation reliability of enclosed insulated pipe bus and carry out more effective technical supervision, the study on typical defects of enclosed insulated pipe bus is carried out. According to the actual physical structure of enclosed insulated pipe bus wound by PTFE, the JMAG electromagnetic field simulation model is established. In the model, the different typical defects such as short circuit, moisture and air gap are built layer by layer, and their electric potential and electric field distribution are analyzed. The physical characterization is also studied through the tests of capacitance and dielectric loss.

Key words: pipe bus; defect; simulation; test

中图分类号: TM642+.6 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)02-0059-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.02.014

0 引言

封闭式绝缘管母线由于其载流量大、集肤效应低、允许应力大、整体绝缘便于设计和安装, 在变电站增容改造及新型紧凑型变电站中逐步使用^[1-2]。封闭式绝缘管母线作为主变压器和用户母线的重要联结导体, 直接影响着系统运行的稳定性及供电可靠性。封闭式绝缘管母线的全绝缘性能在一定程度上能避免变压器低压侧由于小动物、污秽、凝露等引起的近区短路, 但由于当前封闭式绝缘管母线在我国的应用还处于初始阶段, 质量监管未成体系, 运行经验不足, 因封闭式绝缘管母线受潮、放电、击穿等缺陷造成的停电事故时有发生^[3-4]。因此, 封闭式绝缘管母线绝缘结构的理论研究还需深入, 对其监督方法还需要大量的积累和验证^[5]。针对一种聚四氟乙烯绕包成型封闭式管母线为标本, 建立 JMAG 电磁场仿真模型, 设立层间逐层短路、受潮、气隙等不同典型缺陷, 分析其电势、电场分布, 并通过电容量及介损试验, 研究其物理表征, 力图找到能有效反映封闭式绝缘管母线典型缺陷的技术监督方法。

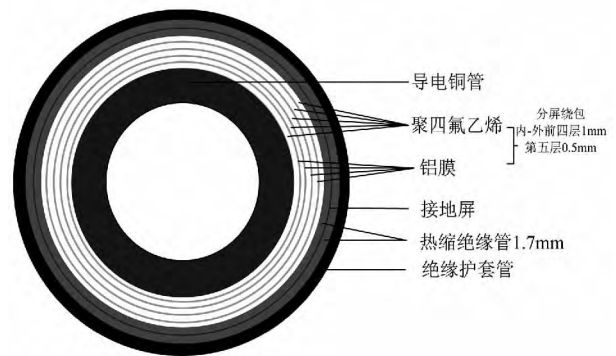


图1 聚四氟乙烯绕包成型封闭式绝缘管母线物理结构

1 物理模型

聚四氟乙烯绕包成型封闭式绝缘管母线物理结构如图1所示, 导电铜管为与高压设备直接连接部分, 为高电位, 通过聚四氟乙烯与铝膜组成串联电容的分屏降压, 直至接地屏蔽层。为了便于说明, 电缆从内到外分别称为导电铜层、聚四氟乙烯1层、铝膜1层、聚四氟乙烯2层、铝膜2层、聚四氟乙烯3层、铝膜3层、聚四氟乙烯4层、铝膜4层、聚四氟乙烯5层、热缩管1层、接地屏蔽层、热缩管层、绝缘护

套层。

利用 JMAG 电磁场仿真软件,建立封闭式绝缘管母线 JMAG 仿真模型,如图 2 所示。对封闭式绝缘管母线的电势、电场进行分析。

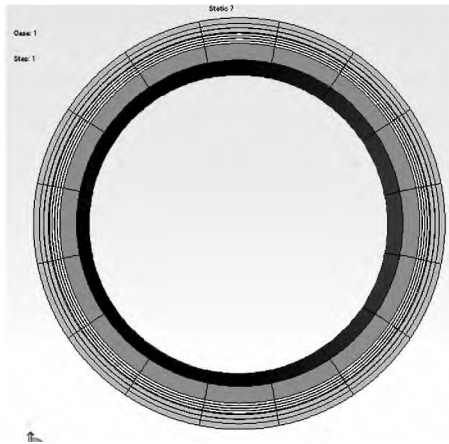


图 2 封闭式绝缘管母线 JMAG 仿真模型

2 仿真试验

2.1 绝缘逐层击穿

由于封闭式绝缘管母线在安装过程中,极易对最外层绝缘造成机械损伤;同时,长时间运行后,特别是户外运行,极易造成最外层绝缘的老化;因此,模拟封闭式绝缘管母线从最外层绝缘逐层向内击穿

的物理过程,进行仿真及试验。

设计封闭式绝缘管母线绝缘击穿后碳层的电阻率为 $2 \times 10^7 \Omega \cdot m$,击穿碳层设置直径为 3 mm 的圆柱形。

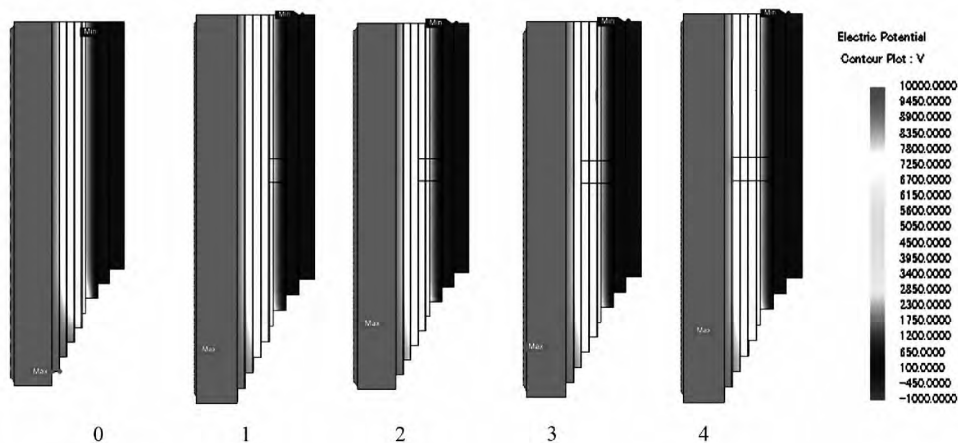
分别仿真了如表 1 所示的 5 种情况, JMAG 仿真结果如图 3 所示。

图 3(a) 为封闭式绝缘管母线从最外层至内层逐层击穿的电势分布;由于聚四氟乙烯与屏蔽铝膜击穿后形成碳层,仿真中设定了碳层的电阻率,因此,电势分布与正常状态基本一致。图 3(b) 为逐层击穿后的电场分布,从图中可以看出,此种结构的封闭式绝缘管母线,在其正常运行时,接地屏内部的固定成型用的热缩管。由于其厚度与叠包的聚四氟乙烯层厚度不一致,承受了较高的电场强度,约为聚四氟乙烯的 1.5 倍;在端部应力锥处,该层端部承受了最大电场,而热缩管的绝缘性能远不及聚四氟乙烯层,因此,该种封闭式绝缘管母线存在绝缘结构不足。当最外层热缩管与第 5 层聚四氟乙烯层击穿后,在击穿处电场强度急剧增大,极易引起由外至内的连锁击穿。

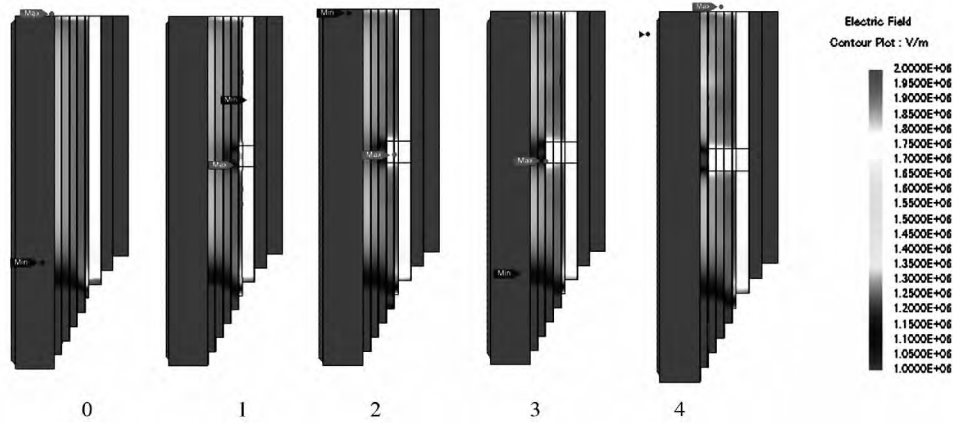
建立实际物理模型,将封闭式绝缘管母线从外至内逐层短接,如图 4 所示,测试其电容量及介损如图 5 所示。

表 1 封闭式绝缘管母线逐层击穿仿真情况

0	1	2	3	4
正常	热缩绝缘管 + 聚四氟乙烯 5 击穿	热缩绝缘管 + 聚四氟乙烯 5 + 聚四氟乙烯 4 击穿	热缩绝缘管 + 聚四氟乙烯 5 + 聚四氟乙烯 4 + 聚四氟乙烯 3 击穿	热缩绝缘管 + 聚四氟乙烯 5 + 聚四氟乙烯 4 + 聚四氟乙烯 3 + 聚四氟乙烯 2 击穿



(a) 电势分布(为了对比将电势范围设在 $-1\ 000 \sim 10\ 000\ V$ 之间)



(b) 电场分布(为了对比将电场强度范围设置在了 $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6$ T/m 之间)

图 3 绝缘逐层击穿仿真结果

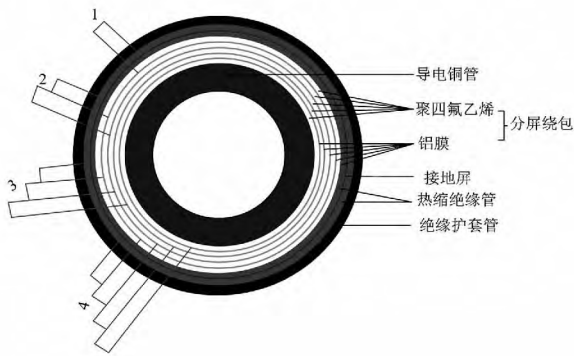


图 4 试验 4 种击穿情况

短接最外层的热缩管及第 5 层聚四氟乙烯,介损出现比较明显的下降。随着短接层数增多,电容量逐渐增大,介损逐渐减少,符合客观规律。因此,可以通过停电测试封闭式绝缘管母线的电容量与介

损,来监督是否存在层间绝缘击穿缺陷。

2.2 绝缘受潮

封闭式绝缘管母线的连接处为其薄弱点,如在安装过程中未进行良好的密封处理;或运行中密封老化,极易造成从外层至内层的绝缘受潮;因此,模拟封闭式绝缘管母线从最外层绝缘逐层向内受潮的物理过程,进行仿真。

分别仿真了如表 2 所示的 6 种情况, JMAG 仿真结果如图 6 所示。

由图 6(a) 可以看出,某层绝缘层受潮后,对其电势分布不造成影响,与正常情况时分布基本一致。但受潮后的电场存在变化,当某层受潮后,其电场强度明显增加,这就造成受潮的绝缘层承受更大的电场,发热更严重,极易造成其绝缘破坏。

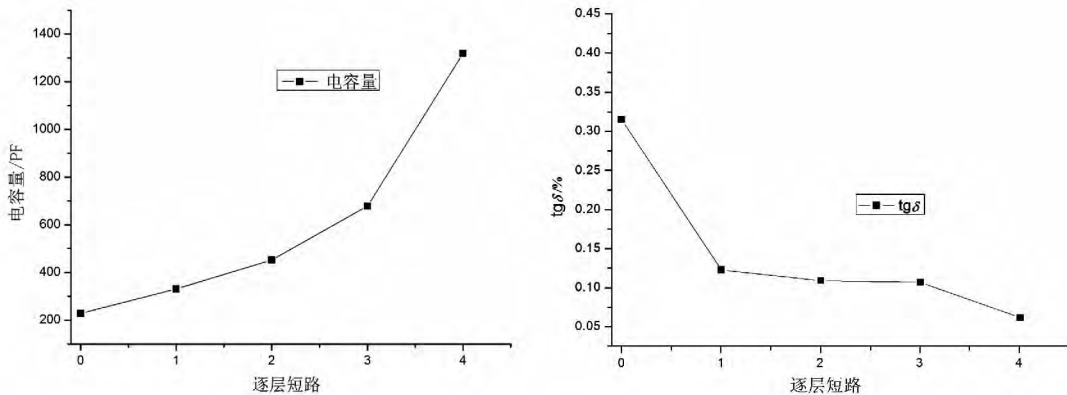
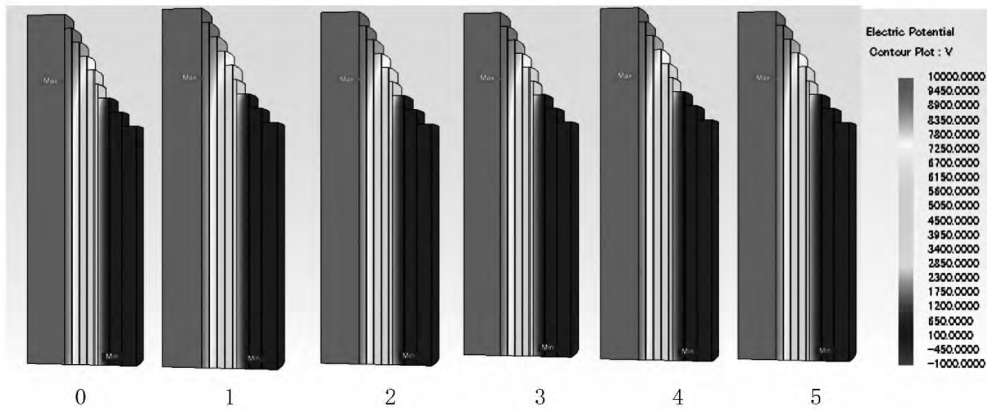


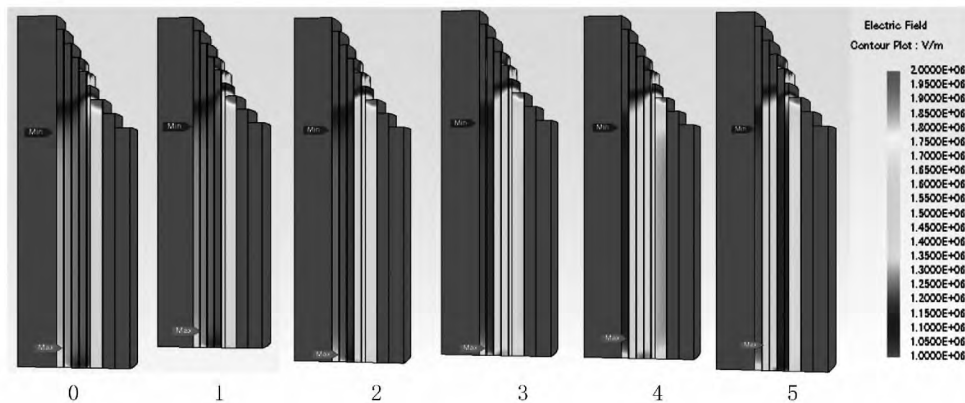
图 5 从外至内逐层短路时电容量及介损测试

表 2 封闭式绝缘管母线逐层受潮仿真情况

	0	1	2	3	4	5
正常		聚四氟乙烯 5 受潮	聚四氟乙烯 5 + 聚四氟乙烯 4 受潮	聚四氟乙烯 5 + 聚四氟乙烯 4 + 聚四氟乙烯 3 受潮	聚四氟乙烯 5 + 聚四氟乙烯 4 + 聚四氟乙烯 3 + 聚四氟乙烯 2 受潮	聚四氟乙烯 3 + 聚四氟乙烯 2 受潮



(a) 电势分布(为了对比将电势范围设在 $-1\ 000 \sim 10\ 000\ \text{V}$ 之间)



(b) 电场分布(为了对比将电场强度范围设置在了 $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6\ \text{T/m}$ 之间)

图 6 绝缘逐层受潮仿真结果

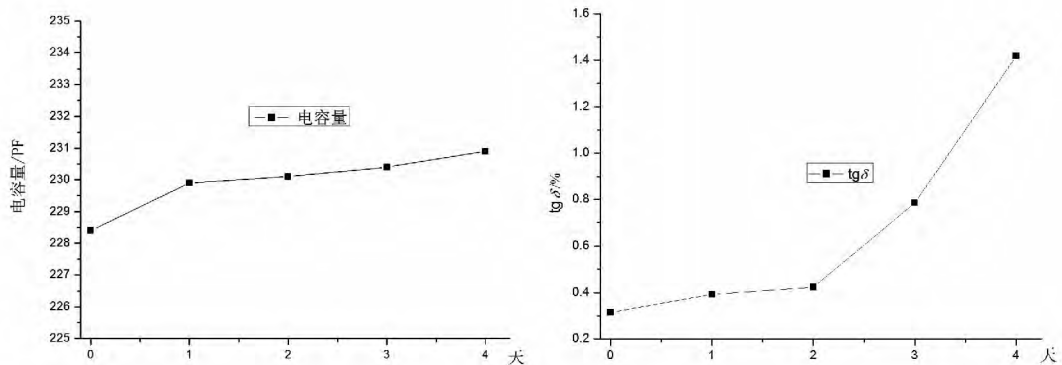


图 7 封闭式绝缘管母线不同受潮时间下的电容量及介损变化情况

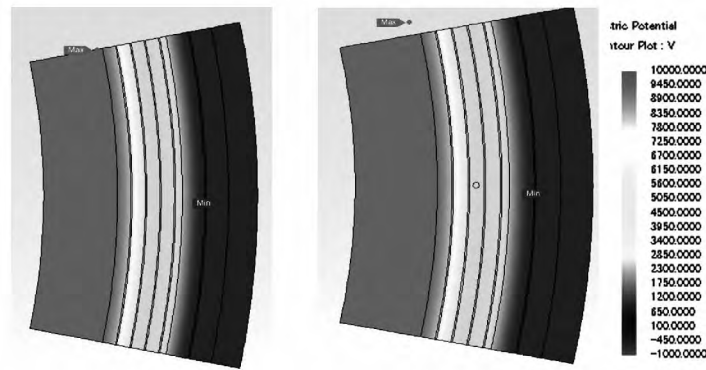
由于每层叠包后的聚四氟乙烯层,无法实现模拟逐层受潮的物理过程,因此,对整体受潮时间进行模拟试验,如图 7 所示。利用超声波起雾器使封闭式绝缘管母线样品受潮,对不同受潮时间的电容量及介损进行测试,可以发现,与击穿不同,随着受潮时间变化,电容量和介损都呈增长趋势,特别是受潮两天后,电容量缓慢增长,介损急剧增长。因此,可通过电容量及介损的变化来判断封闭式绝缘管母线

是否是由于受潮影响。

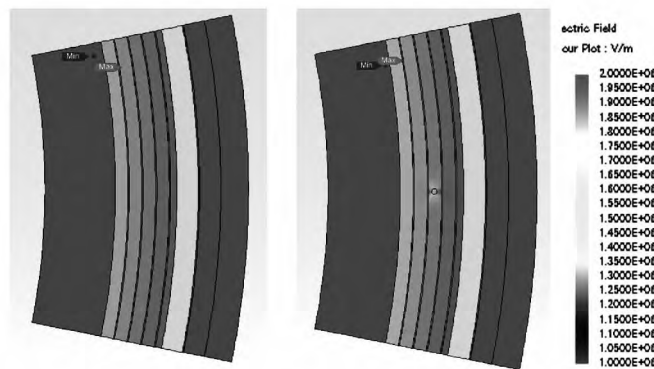
2.3 气泡仿真

由于在聚四氟乙烯绕包过程中,不可避免地存在气隙或气泡,因此,在聚四氟乙烯 3 层设置直径为 0.6 mm 的气泡,气泡中填充空气,进行仿真,如图 8 所示。

可以看出,气泡的存在在一定程度上造成该层聚四氟乙烯电场分布畸变,但是所受影响有限。



(a) 电势分布(为了对比将电势范围设在 -1 000 ~ 10 000 V 之间)



(b) 电场分布(为了对比将电场强度范围设置在了 $1 \times 10^6 \sim 2 \times 10^6$ T/m 之间)

图 8 绝缘层中存在气泡仿真结果

3 结 论

此种结构的封闭式绝缘管母线,在其正常运行时,接地屏内部的固定成型用的热缩管,承受了较高的电场强度,约为聚四氟乙烯的 1.5 倍;在端部应力锥处,该层端部承受了最大电场,而热缩管的绝缘性能远不及聚四氟乙烯层,因此,该种封闭式绝缘管母线存在绝缘结构不足。

绝缘击穿形成碳层、受潮、气泡 3 种典型缺陷对封闭式绝缘管母线的电势分布影响不大。

当绝缘逐层击穿后,在击穿处电场强度急剧增大,极易引起由外至内的连锁击穿,随着短接层数增多,电容量逐渐增大,介损逐渐减少,符合客观规律。当某层绝缘受潮后,其电场强度明显增加,这就造成受潮的绝缘层承受更大的电场,发热更严重,极易造成其绝缘破坏。对不同受潮时间的电容量及介损进行测试发现,随着受潮的严重程度增大,其电容量和介损都呈增长趋势。气泡的存在在一定程度上造成该层聚四氟乙烯电场分布畸变,但是所受影响有限。

由于受潮和击穿后电容量与介损规律不同,可以通过停电测试封闭式绝缘管母线的电容量与介损,来监督并区分是否存在层间绝缘击穿缺陷或绝缘受潮。

参考文献

- [1] 关芳,杨益民.管型屏蔽绝缘母线的应用[J].中国水能及电气化,2011(5):59-62.
- [2] 宋邦申.绝缘管型母线的性能优势及存在问题分析[J].电工电气,2015(1):60-61.
- [3] Q/GDW 1168-2013.输变电设备状态检修试验规程[S].
- [4] GB/T 3048-2007.电线电缆电性能试验方法第 11 部分 介质损耗角正切试验[S].
- [5] GB 50149-2010.电气装置安装工程 母线装置施工及验收规范[S].

作者简介:

刘君(1984),博士、高级工程师,主要从事高压电气设备绝缘状态评估及其方法研究。

(收稿日期:2015-12-07)