

文章编号:1671-251X(2013)06-0090-04 DOI:

胡万清,胡庆燊,林雪,等. 基于温度场的电缆接头温度监测系统研究[J]. 工矿自动化,2013,39(6):90-93.

基于温度场的电缆接头温度监测系统研究

胡万清¹, 胡庆燊¹, 林雪³, 林善明^{1,2}

(1. 河海大学 计算机与信息学院, 江苏 常州 213022; 2. 江苏省输配电装备技术重点实验室, 江苏 常州 213022; 3. 河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 210098)

摘要:针对电缆接头线芯的温度无法直接测量的问题,应用有限元法建立了电缆接头稳态温度场分布模型;利用 ANSYS 软件对其温度场分布进行了仿真分析,得到了电缆接头线芯温度和表面温度的关系;根据仿真结果,提出了一种基于温度场的电缆接头温度监测系统的设计方案,给出了系统中供电电源和数据处理的设计,为工程中监测电缆接头温度、电缆运行状况提供了理论依据。

关键词:电力电缆; 电缆接头; 线芯温度; 稳态温度场; 有限元法; ANSYS

中图分类号:TD611 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Research of temperature monitoring system for cable joint based on temperature field

HU Wan-qing¹, HU Qing-yi¹, LIN Xue³, LIN Shan-ming^{1,2}

(1. College of Computer and Information Engineering, Hohai University, Changzhou 213022, China;
2. Jiangsu Key Laboratory of Power Transmission and Distribution Equipment Technology, Changzhou 213022, China;
3. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In view of problem that core temperature of cable joint cannot be measured directly, the paper applied finite element method to establish a model of steady temperature field distribution of cable joint, used ANSYS software to simulate and analyze the temperature field distribution, obtained the relationship between the core temperature and surface temperature of the cable joint. It proposed a design scheme of temperature monitoring system for cable joint based on temperature field according to simulation result, gave design of power supply and data processing of the system, so as to provide a theoretical basis for monitoring of joint temperature and running status of cable in engineering.

Key words: power cable; cable joint; core temperature; steady temperature field; finite element method; ANSYS

0 引言

电缆接头是电力电缆最薄弱的环节,运行时间越长越容易发生过热烧穿事故。接头温度是衡量电缆接头运行中绝缘状态是否良好的重要指标,其温度变化在正常运行情况下是由于电流通过内部导体引起的。当电缆在正常负荷运行时,接头内部的温

度大约为 90 ℃;当电缆满负荷运行时,接头温度会达 250 ℃左右;当温度再升高时,接头处的氧化膜加厚,接触电阻随之加大,在一定通电时间的作用下,接头的绝缘介质分解碳化为非绝缘物,导致故障发生。因此,准确了解电缆接头线芯的温度,对监测电缆接头是否正常运行具有重要意义^[1-2]。

电缆接头带有高电压且密封,工程中无法直接

收稿日期:2013-02-04。

基金项目:江苏省输配电装备技术重点实验室开放基金项目(2010JSSPD03)。

作者简介:胡万清(1987—),男,湖北随州人,硕士研究生,主要研究方向为信息获取与处理,E-mail:hwqdragom@126.com。

测量其线芯的温度,主要通过测量电缆接头表面温度来间接获得线芯温度。电缆接头内部导体温度与表面温度的基本关系:电流使内部导体温度发生变化,而表面温度是由导体线芯温度和介质损耗经过能量传递到达表面,在与外界环境对流换热之后形成^[3]。

本文通过建立电缆接头温度场分布模型,采用有限元法对电缆接头线芯温度与表面温度的关系进行模拟分析。根据仿真结果,针对高压监测实际应用中的两大难点,即供电电源和数据处理问题,设计了一种电缆接头温度监测系统,从而指导实际的工程应用。

1 电缆接头温度场数学模型

有限元法把变分原理和剖分插值相结合用来求解数理方程,是当今数值计算领域应用最广泛、最成熟的一种数值计算方法^[4]。由于有限元网格具有很强的灵活性,可以方便地模拟不同形状的边界面和交界面,采用有限元法建立电缆接头温度场分布模型,能较准确地反映局部温度和温升情况。

稳态温度场的研究基于以下假设^[5-6]:

(1) 电缆线芯等效为相同截面面积的单芯圆导线,电缆接头各介质的热物性为常数。

(2) 电缆负荷电流与环境温度不变,温度分布不随时间变化,不考虑电缆分布电容对温度分布的影响。

(3) 内热源发热均匀,以热流形式由里向外导出,通过电缆表面传至外界环境。

(4) 各层护套之间紧密接触,忽略线芯与各护套之间的接触电阻。

稳态热分析的能量平衡方程^[7]采用矩阵形式表示为

$$\mathbf{K}\mathbf{T} = \mathbf{Q} \quad (1)$$

式中: $\mathbf{K}$ 为传导矩阵,包含导热系数、对流系数、辐射率及形状系数; $\mathbf{T}$ 为节点温度向量; $\mathbf{Q}$ 为节点热流率向量,包含热生成。ANSYS 软件利用模型的几何参数、热性能参数及所施加的边界条件,生成 $\mathbf{K}$ 、 $\mathbf{T}$ 及 $\mathbf{Q}$ 。

任何传热问题的边界条件可归结为3类^[8]:

第1类边界条件:物体边界上的温度函数已知,其表达式为

$$T|_{\Gamma} = T_0 \quad (2)$$

$$T|_{\Gamma} = f(x, y, z, t) \quad (3)$$

式中: Γ 为物体边界; T_0 为已知温度; $f(x, y, z, t)$ 为已知温度函数。

第2类边界条件:物体边界上的热流密度已知,其表达式为

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n}|_{\Gamma} = q \quad (4)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n}|_{\Gamma} = g(x, y, z, t) \quad (5)$$

式中: λ 为导热系数; n 为换热表面的外法线; q 为已知热流密度(常数); $g(x, y, z, t)$ 为热流密度函数。

第3类边界条件:与物体接触的流体介质的温度和换热系数已知,其表达式为

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n}|_{\Gamma} = \alpha(T - T_f)|_{\Gamma} \quad (6)$$

式中: α 为换热系数; T_f 为流体介质的温度。 T_f 和 α 可以是常数,也可以是随时间和位置变化的函数。

根据以上假设可知,电缆稳态温度场属于含有内热源的二维导热,其有限元方程为

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + k_v = 0 \quad (7)$$

式中: T 为点 (x, y) 处的温度; k_v 为体积生热率。

温度场边界条件主要考虑第3类边界条件,电缆表面同周围空气的自然对流。

2 电缆接头建模及温度场仿真

本文选取标称截面为70~120 mm²的10 kV交联电缆热缩附件JSY-10/1.2制作的电缆接头^[9]为研究对象,利用ANSYS软件进行仿真求解。电缆接头的几何模型如图1所示。

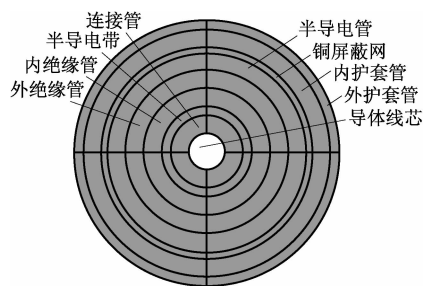


图1 电缆接头几何模型

对电缆接头的几何模型进行有限单元划分并施加边界条件进行求解,其中空气温度取20℃,对流系数取12.5 W/(m²·℃)。图2为正常运行状态下(根据GB/T 12706.2—2002,电缆正常运行时线芯导体温度为90℃),电缆接头温度场分布向量图。

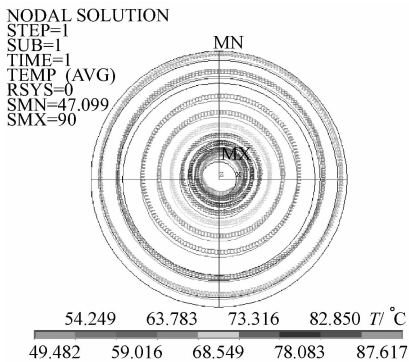


图 2 正常运行时电缆接头温度场分布向量(90 °C)

3 仿真结果分析

根据 GB/T 12706. 2—2002,当电缆接头故障运行时,线芯导体温度为 250 °C,此时温度场分布云图如图 3 所示。当电缆接头发生故障时,其温度由导体线芯到表面的变化曲线如图 4 所示。

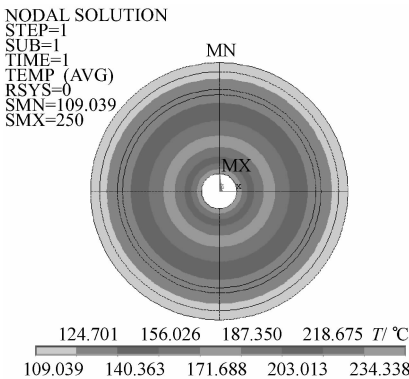


图 3 故障时电缆接头温度场分布云图(250 °C)

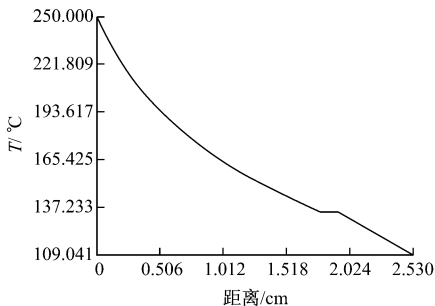


图 4 故障时电缆接头温度变化曲线(250 °C)

由图 4 可知,电缆接头内部温度曲线因各层导热系数不同而斜率不等,当电缆接头内部温度为 250 °C时,表面温度为 109. 039 °C,该模型中其内外温度相差约 141 °C。根据温度场分布云图及温度变化曲线,可以较好确定电缆接头线芯温度与表面温度的关系,为实际工程监测中确定温度传感器的安

装位置提供理论参考。

4 电缆接头温度监测系统设计方案

电缆接头温度监测系统在实际工程应用中,需要解决 2 个难点:① 电源的设计。供电部门严格规定低压侧不允许给高压侧有任何形式上的馈电,以防止高低压馈电事故发生。电池供电的方法维护成本高、难度大,通过电磁线圈从一次电流取电来实现高压侧取电的方案经济可行。② 数据的实时传输与处理。结合当前发达的网络通信技术,将前端采集的数据通过移动终端等设备更好地实现实时监测,发现隐患并及时处理。

4.1 高压侧取电电源设计

工作在高压输电线路上的在线监测设备主要有电力线路温度在线检测装置、线路设备防盗装置、巡线机器人、带电作业机器人、高压线路污秽在线监测等,这些装置的核心都是 MCU 或 CPU,需要低压直流供电。电源的稳定性直接影响着系统工作的可靠性和精确性,通过高压母线取电主要需解决 2 个关键问题:① 尽量降低死区电流,保证在电力系统电流很小时能提供足以驱动处于高压侧在线监测设备的功率;② 当系统出现短路大电流时,能吸收多余的能量,给电子线路一个稳定的电源,其本身也不会因电压过高而损坏。

高压侧取电电源设计原理如图 5 所示。该电源主要包括取能线圈、控制分流线圈、整流滤波电路、稳压电路、控制电路、二极管保护电路、防雷保护电路及超级电容等。取能线圈通过电磁感应从高压母线上感应一定的交流电能;控制分流线圈在高压母线流经大电流的情况下,通过控制电路控制该线圈回路导通,利用磁势平衡的原理,降低铁芯中的磁通量,从而降低取能线圈感应电压;整流滤波电路完成 AC/DC 转换;稳压电路通过稳压芯片将 9~16 V 的直流输入稳压为 3.3 V 和 5 V;防雷保护电路用来

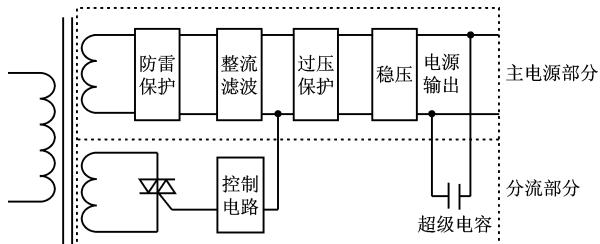


图 5 高压侧取电电源设计原理

避免因雷电冲击造成电源电路损坏;超级电容作为母线断路停电等特殊情况下的后备电源。

4.2 低压侧数据处理设计

低压侧数据处理原理如图 6 所示。把温度传感器直接安装在电缆接头的合适位置,利用直接接触方式来采集电缆接头的温度,然后通过无线方式(GSM/GPRS)将数据发送到地面接收装置上。地面接收装置可同时接收多个温度传感器的数据,并且整理保存后轮换显示。温度数据还可通过多种方式发送到后台监视计算机上,由后台软件进行数据处理和保存,可在模拟接线图上直接显示出温度值,也可用温度曲线的方式显示以便分析。当温度超过预先设定的上限值后就进行声音报警和屏幕提示,提醒值班人员进行紧急处理。

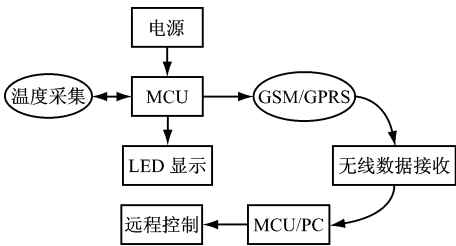


图 6 低压侧数据处理原理

5 结语

针对结构复杂的电缆接头,利用有限元法建立理想模型模拟其温度场分布情况,通过仿真计算确

定了电缆接头线芯温度与表面温度的关系。同时,结合实地环境提出的电缆接头温度监测系统设计方案,可以为工程中电缆故障监测提供理论指导。

参考文献:

[1] 付科. 浅谈交联电缆接头故障原因及对策[J]. 硅谷, 2010(8):41.

[2] 何国平. 电缆着火原因及防火措施[J]. 石油化工安全技术, 2001,17(1):9-10.

[3] 杜长军. 城区电力电缆接头故障在线监测与预警系统[D]. 吉林:东北电力大学, 2009.

[4] GU Jiangyong. Finite element methods on the boundary problem of constant differential equations[J]. Journal of Gansu Education College: Natural Science Edition, 2004,18(4):15-18.

[5] 罗灵琳. 单芯电缆暂态温度场及载流量实时计算方法的研究[D]. 重庆:重庆大学, 2008.

[6] 赵建华,袁宏永,范维澄,等. 基于表面温度场的电缆线芯温度在线诊断研究[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(11):52-54.

[7] 张朝晖. ANSYS 12.0 热分析工程应用实战手册[M]. 北京:中国铁道出版社, 2010.

[8] 谢良. 交联聚乙烯电力电缆接头温度在线监测技术应用研究[D]. 重庆:重庆大学, 2004.

[9] 徐元哲,王乐天,高洪学,等. 电力电缆接头温度场分布的理论研究[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(24): 4-7.