

架空输电线路地线热容量计算及断线原因分析

针对220 kV芦张线地线断线故障，开展了地线短路热容量计算、推导了考虑接触电阻情况下的线夹处地线温度计算公式，分析了钢材料机械特性等方面的计算与分析工作。计算结果显示，实际故障的热容量超过地线热容量限值。考虑接触电阻情况，29#悬垂线夹处导线实际温度达到或超过铝股熔点，在高温下钢芯机械性能下降至失去承载能力，导致地线断线。

赵留学/国网北京市电力公司检修分公司



赵留学/工程师

关键词/Keywords

架空输电线路·
热容量计算·
断线原因·

1 地线短路热容量计算

1.1 计算模型

根据GB 50545—2010《110 kV~750 kV 架空输电线路设计规范》，地线验算短路热稳定时，钢芯铝绞线应不超过200℃，初始温度为40℃。短路电流为16.36 kA，地线分流系数取0.95，则每根地线流过的短路电流为7.771 kA，故障持续时间1.04 s。对于地线短路热稳定校核^[10]，计算模型为

$$I = \sqrt{\frac{C}{0.2\alpha_0 R_0 T} \ln \frac{\alpha_0(t_2 - 20) + 1}{\alpha_0(t_1 - 20) + 1}} \quad (1)$$

式中， I 为地线验算短路热稳定允许电流，A； α_0 为载流部20℃时的电阻温度系数，铝股取 4.03×10^{-3} ； R_0 为载流部20℃时的电阻，铝股取 0.476×10^{-5} ； T 为计算短路热稳定的时间； t_1 为地线初始温度； t_2 为地线短路热稳定允许温度； C 为载流部分的热容量，其计算

公式为

$$C = C_0 D A \quad (2)$$

式中， C_0 为导体的比热容，对于铝股取0.21； D 为导体的密度，对于铝股取2.7； A 为导体的截面，对于铝股取 58.905×10^{-2} 。

1.2 计算结果

根据模型对芦张线地线进行了短路热容量校核，由计算结果可以得出以下结论。

1) 地线铝股允许短路热容量计算结果约为35~36 kA²·s，而故障中铝股实际流过的热容量为52.87 kA²·s，超过铝部的允许短路热容量。

2) 地线中铝部和钢部流过的电流按电阻反比分流，流过铝股的故障电流为7.13 kA，铝股温度达到最高允许温度200℃的时间约为0.70 s。故障电流持续1.04 s后，铝股的温度达到300℃左右。

3) 考虑趋肤效应，故障电流全部流经铝部，则铝股温度达到最高允许温度200℃的时间约为0.59 s。故障电流持续1.04 s后，铝股的温度达到370~390℃左右。

2 基于有限元法的地线温度场计算

2.1 假设条件

由于故障发生时间为瞬时，不考虑地线外表面与外界的换热情况，故将地线外表面做绝热边界处理；地线中铝部和钢部携带的电流按电阻率比例分配；绞线各单线间接触良好。

2.2 芦张线故障发生时间的计算结果

假定故障发生前地线周围环境温度为25℃，即地线初始温度为25℃。由有限元软件ANSYS进行瞬态温度场分析得到结果如图1所示。

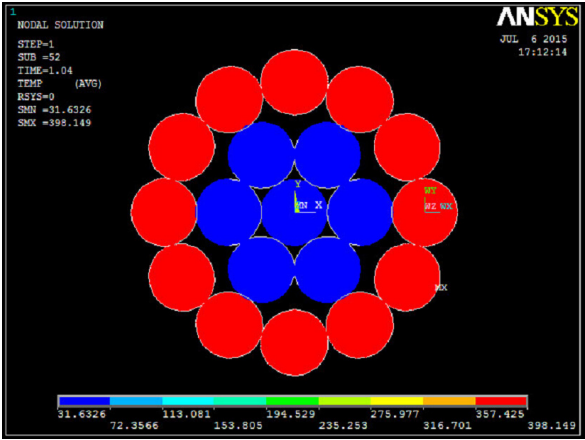


图1 故障时温度场计算结果

可以看到，在1.04 s时，钢股最高温度为31.63℃，铝股最高温度达到398.15℃，这远远超过了规程规定的200℃。

由于温度场分布对称，这里取地线圆心到外表面路径，分析其沿路径的温度变化情况，结果如图2所示。

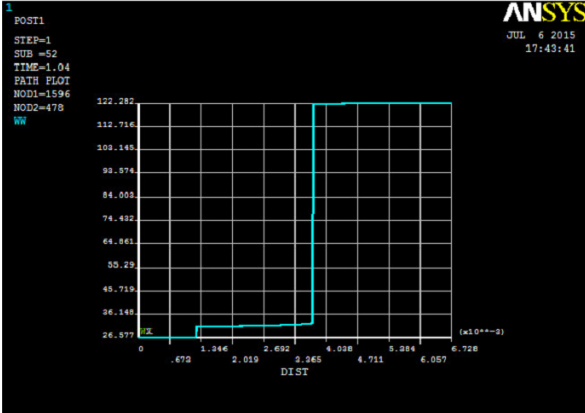


图2 故障时温度的径向分布

由图2可知，在1.04 s时，钢芯靠近圆心处温度很低，而越靠近铝股的钢线温度越高，这是由于铝股温度高并向钢股传热的原因。取钢芯处节点温度和铝股处节点温度值，它们在故障时间内的变化如图3所示。

2.3 规定温度下的允许故障电流分析

对芦张线地线使用的LGJ-60/35钢芯铝绞

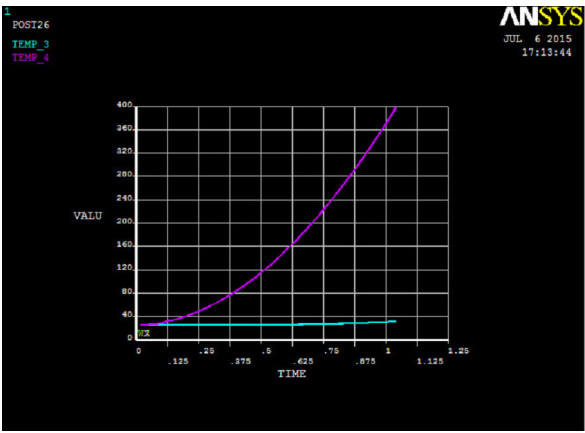


图3 故障保护时间内地线温度变化曲线

线，短路保护时间仍然取1.04 s，使用有限元软件计算其允许故障电流，设定故障电流为5 kA时地线温度分布如图4所示。

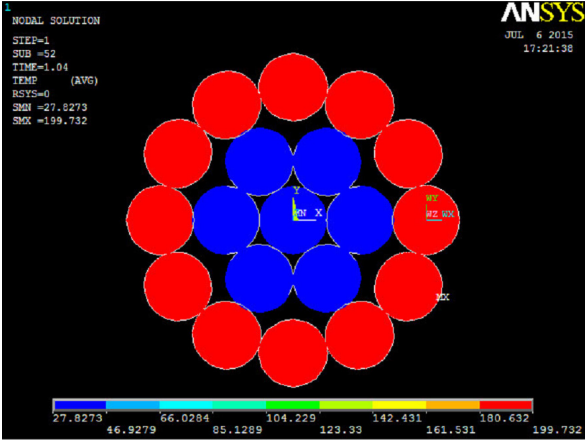


图4 故障电流为5 kA时地线温度场分布

通过ANSYS软件对地线故障时刻温度场进行仿真计算，计算表明短路电流持续约0.68 s时，地线温度达到200℃。故障电流持续1.04 s时，地线温度为398℃，远远超过规程规定的200℃。

3 地线断裂原因分析

3.1 钢的机械特性分析

前述计算表明，考虑地线与悬垂线夹处存在接触电阻，短路电流由29#线夹流至地线，接触点温度超过铝熔点。根据GB 50545—2010《110 kV~750 kV架空输电线路设计规范》第5.0.10条的要求，“地线应满足电气和机械使用条件要求”；验算短路热稳定时，“钢芯铝包钢绞线和铝包钢绞线可采用300℃，镀锌钢

绞线可采用400℃”。可见，钢材料在400℃以上时将不能保证其机械性能。

钢材的力学性能对温度变化很敏感。当温度升高时，钢材的屈服强度、抗拉强度和弹性模量的总趋势是降低的，但在200℃以下时变化不大。当温度在250℃左右时，钢材的抗拉强度反而有较大提高，而塑性和冲击韧性下降，此现象称为“蓝脆现象”。当温度超过300℃时，钢材的屈服强度、抗拉强度和弹性模量开始显著下降，而塑性伸长率显著增大，钢材产生徐变。当温度超过400℃时，强度和弹性模量都急剧降低^[11]。达600℃时，屈服强度、抗拉强度和弹性模量均接近于零，其承载力几乎完全丧失。

3.2 芦张线29#塔线夹处地线断口特征分析

芦张线29#塔一、二回路地线在悬垂线夹处的断口分别如图5、图6所示。可以看出，断裂的钢股主要宏观上呈杯锥状、面缩率高，说



图5 一回地线断口



图6 二回地线断口

明断裂时钢的塑性极高，推断钢股断裂时线夹内温度远超400℃。计算表明，考虑接触电阻情况下，线夹处温度将超过铝股熔点，在温度不断升高情况下，钢股塑性提升而机械性能下降，直至拉断。

4 结束语

综上所述，芦张一、二回路29#地线断线原因为：流经地线的故障短路电流及持续时间超过地线短路热容量限值，在线夹处温度超过铝股熔点，地线机械性下降导致断线。

参考文献

[1] GB 50545—2010，110kV~750kV 架空输电线路设计规范[S].
[2] DL/T 621—1997，交流电气装置的接地[S].
[3] DL/T 5222—2005，导体和电气选择设计技术规定[S].
[4] DL/T 5092—1999，110~500kV 架空送电线路设计技术规程[S].
[5] 张晓东，张栋.高压架空输电线路地线热稳定的计算[J].高电压技术，2005，31(5)：64-67.
[6] 吕启深.不同接触电阻在负荷电流增大情况下发热的预测方法[J].黑龙江电力，2014，36(3)：249-253.
[7] GB 2314—2008，电力金具通用技术条件[S].
[8] DL/T 756—2009，悬垂线夹[S].
[9] DL/T 757—2009，耐张线夹[S].
[10] 张新林.关于OPGW光缆应用在线路设计中的讨论[C].江苏省电机工程青年科技论坛，2002.
[11] 张昌栋.既有大型公共建筑物安全性风险因素分析[D].2011.

作者简介

赵留学（1987-），男，本科，从事架空输电线路运维管理工作。

（收稿日期：2015-12-10） EA

（编辑：杨得润）