

[电缆]

基于有限元的土壤热导率对电缆温升影响研究

文/中国能源建设集团安徽省电力设计院有限公司 张前雄 刘 磊 蒋克勇

电缆在运行过程中存在着发热的问题，因此在电缆设计过程中需要考虑其温升情况。对于直埋式电缆，埋深以及土壤热导率这两个因素会影响到电缆的温升。对一个单芯电缆进行了二维有限元建模，并对不同埋深及不同土壤热导率下的电缆温度分布进行了仿真与分析。通过对比不同情况下的电缆最高温度，得到了土壤热导率及埋深对电缆温升的影响特性。

电缆是电力配送环节中常见的电力设备，其在运行过程中存在着发热问题。在比较严重的情况下，甚至存在着绝缘短路引起爆炸的情况。因此在进行电缆线路设计时，需要充分考虑电缆的温升问题。对于常见的直埋式电缆而言，电缆的埋深和土壤热导率是影响电缆温升的重要因素。

目前国内外进行电缆温升分析的方法主要有热路模型法，有限元法和有限体积法。其中热路模型法采用集总参数的方法，进行有限个节点的温度计算。而后两种方法可以充分考虑计算区域内所有点的温度分布情况，可以精确考虑模型的结构和细节。

针对直埋式的单芯电缆，建立了其有限元二维模型。通过不同埋深及土壤热导率下的稳态温度场计算，得到了电缆温度分布情况。对比分析计算结果，得出了埋深及土壤热导率对电缆温度的影响特性。

计算模型

研究对象为单芯电缆，其敷设方式为直埋式。为了研究埋深及土壤热导率对电缆温升的影响，建立的计算模型中需要同时包含电缆及其周围一定区域内的土壤环境。

对于电缆而言，从内到外包含许多层。为了简化计算模型，可以忽略其中的一些对温度场分析影响不大的层，最终模型中只建立导体层、绝缘层、屏蔽层和护套层。电缆的实际敷设环境为半无穷大区域，但在进行温度场有限元仿真时，可将其在一定范围内进行边界截断处理，这里建立的土壤模型为 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ 的长方形区域，如图1所示。

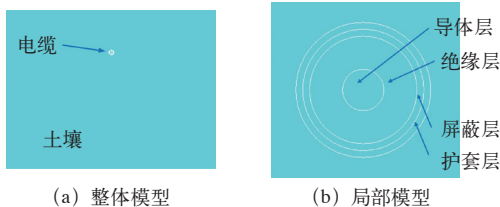


图1 电缆温度计算模型

由于稳态温度场仿真对网格的要求不高，为了方便剖分，可采取三角形的网格结构，剖分好的网格结构如图2所示。

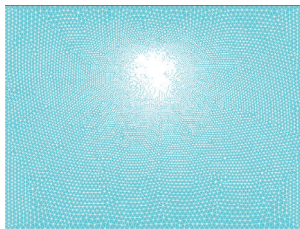


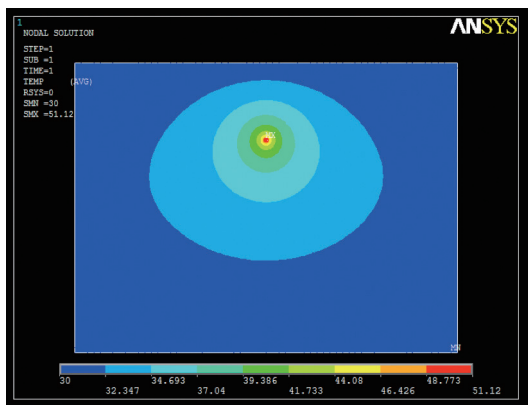
图2 模型剖分网格图

埋深对电缆温度的影响

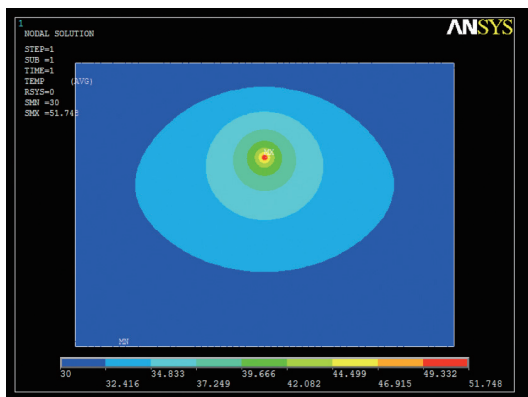
通过有限元分析软件ANSYS，可以进行上述模型的温度场分析。虽然负荷电流时刻都在变化，对应的电缆温度也处于一个不断变化的过程中。但是在工程实际应用过程中，更加关注电缆温度稳定时的状态。因此，采用稳态温度场的分析方法，负荷电流恒定为800 A。该模型中的发热源为电缆中的导体层，通过计算可以得到发热源的热功率。

为了获得温度场的解，还需要在隔断的边界上加载边界条件。模型中共有4个边界，其中土壤表面边界加载固定温度30℃。考虑到一定深度下的土壤温度相对恒定，这里在下截断边界加载上施加固定温度30℃。由于左右截断边界相对电缆已经较远，可以认为这两个边界上的热通量基本为0。

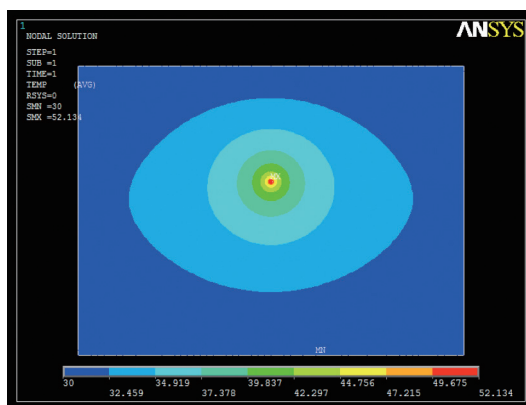
为了研究埋深对电缆温度的影响，建立了4个不同埋深的模型，其埋深分别为0.8 m、1.0 m、1.2 m和1.4 m。在该组算例中，土壤热导率设为0.6。对这4个模型进行稳态温度场仿真，可以得到其温度结果图如图3所示。



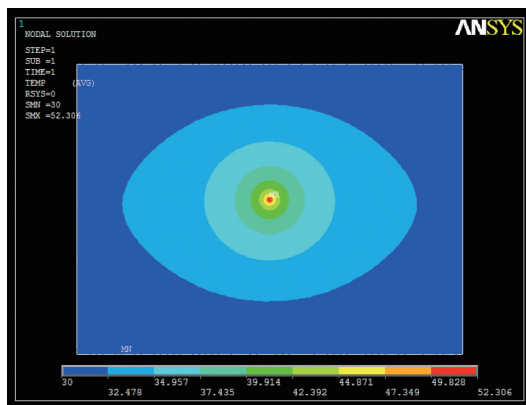
(a) 0.8 m



(b) 1.0 m



(c) 1.2 m



(d) 1.4 m

图3 不同埋深温度结果图

从图3中可以看到，在4种不同埋深情况下温度分布的趋势还是基本一致的。电缆导体层的温度最高，边界上的温度最低，中间各层温度逐渐过渡。4种模型情况下的电缆温度最高值分别为51.12℃、51.7℃、52.1℃和52.3℃，由此可以得到不同埋深下的电缆最高温度曲线如下所示。由图4可知，随着埋深的增加，电缆最高温度也随之增加，但是增幅逐渐减小，体现出一种非线性的特征。

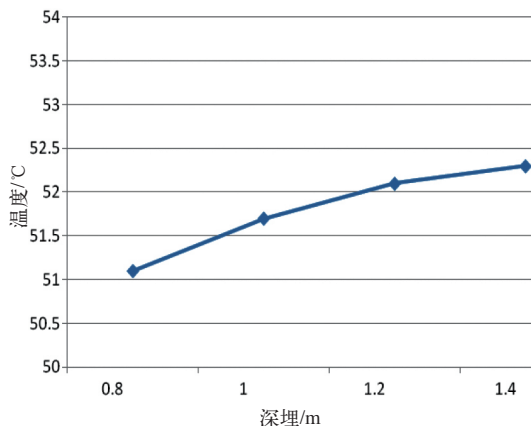


图4 不同埋深电缆最高温度曲线

土壤导热率对电缆温度的影响

上节中设土壤热导率为0.6，4组不同埋深情况下的稳态温度场进行了仿真与分析。为了研究土壤热导率对电缆温度的影响，本节采用与上节相同的模型，分别将土壤热导率设为1.2和1.8，并对这两种情况下的4组埋深进行了稳态温度场计算。由于篇幅所限，不同情况下的温度结果云图就不再罗列。将两种土壤热导率、4组埋深时的电缆最高温度提取出来，可以得到3种不同土壤热导率情况下的温度对比曲线，如图5所示。

从图5可以看出，在3种不同的土壤热导率下，电缆最高温度随埋深的变化表现出相似的规律。同时可以发现，随着土壤热导率的升高，电缆最高温度出现了明显的下降。但是温度的降低呈现的是一种非线性的特征，降幅逐渐缩小。若以埋深为变量来进行电缆最高温度的分析，可以得到图6所示结果。

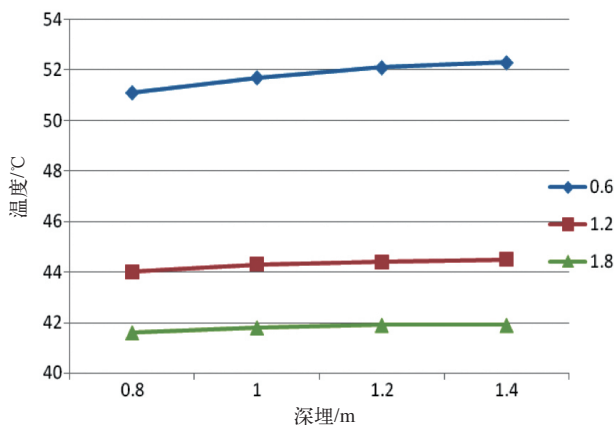


图5 不同土壤热导率下的电缆最高温度曲线

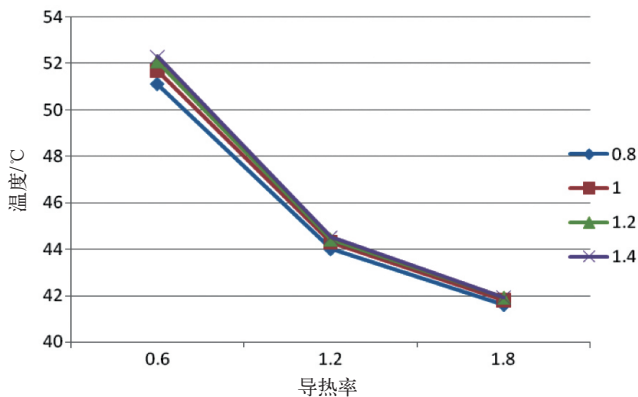


图6 不同埋深下的电缆最高温度曲线

从图6可以看出，在4种不同的埋深情况下，电缆最高温度随土壤热导率的变化呈现相似的规律。且在同一土壤热导率下，电缆的埋深对电缆最高温度影响非常微小。因此在进行埋深设计时，可以根据需要，适当的增加或者减小埋深。但是随着土壤热导率的变化，其载流量的确定要受到较大的影响。

结束语

建立单芯电缆模型，通过稳态温度场仿真分析了埋深及土壤热导率对电缆最高温度的影响，最终得出如下结论。

1) 在3种不同的土壤热导率下，电缆最高温度随埋深的变化表现出相识的规律。随着埋深的增加，电缆最高温度也随之增加，但是增幅逐渐减小，体现出一种非线性的特征。随着土壤热导率的升高，电缆最高温度出现了明显的下降。

2) 在4种不同的埋深情况下，电缆最高温度随土壤热导率的变化呈现相似的规律。且在同一土壤热导率下，电缆的埋深对电缆最高温度影响非常微小。EA

(收稿日期: 2016.09.25)

(编辑: 刘群点)