「电场分析」

# ±500 kV同塔双回直流输电线路极导线不同排布方式下电场的分析

文/河北工业大学电气工程学院　谢阳
天津一建建筑工程有限公司　吕泽宇

*为分析地面处电场的大小，采用ANSOFT软件对±500 kV同塔双回线路不同排布方式下的电场进行建模与仿真，得到了该线路地面处的电场大小，发现极导线按正正负负排列时地面处的电场最小，选出了对居民环境影响最小的极导线排布方式，为优化输电走廊的电磁环境提供了有力的依据。*

为了缓减我国输电走廊资源紧张的局面，实现用最少的走廊资源输送最多的电能，我国现在大多数的输电线路开始实行同塔双回线路布置方案，同塔双回的输电线路在资源优化配置方面起到了很大的作用，并同时将单位走廊资源的利用率达到最大。运行输电线路附近存在着较高的电场，这些电场可大可小，比较小的电场其对人体及环境的危害可以忽略不计，而产生的较高电场会超过安全限制，对人体或是周围的环境产生不良的影响。对于日常必须在高压输电线路附近进行作业的工人来说，最大的难题就是如何采取最有效的绝缘防护措施，既可以不影响工人们的工作，又可以保证他们自身的安全。但现实的电场问题往往会比较复杂，所以研究这些输电线路下的电场分布规律对国家电网事业具有极其重要的意义。有限元最适用于解决比较烦琐的计算问题，故用有限元方法计算直流输电走廊的电场值很有必要。

在输送容量相同的前提下，输电线路一般趋向于使用同塔双回线路来完成电能的输送，这样一来不仅会节约土地的使用量，还可以节省输电线路的长度。另外如果所用的输电线路其各方面如果不符合电磁环境的限值，可以通过提高输电线路的对地高度，减小其对电磁环境的影响，或者也可以通过改变极导线的布置方式改变输电线路下电场的大小，以便让地表电场强度可以达到国家规范的最小值要求。

## ±500 kV同塔双回直流输电线路不同极导线排布方式下的电场计算与分析

### 1. 输电导线表面电场的研究情况

导线外面电场强度的极大值与电线电晕放电的厉害深度有很大关系，故准确计算导线表层处电场的极大值就显得分外重要了。现在求解导线表面场强最常用的解法是有限元法，稍微生疏一点的办法就属比较复杂烦琐的模拟电荷法和逐步镜像法，再者就是蒙特卡洛法了，单看输电线路，较早的时候多用单根导线来输电，单根电线表层处的场强求解相对简单一些，可以直接用麦克斯韦电位系数法求其计算结果，这种办法的核心原理即把线路上的所有电荷都假设成全部位于导线中间处的电荷。但是由于单根导线输电的造价高，且走廊的利用率低，电晕放电现象较为严重，为了减小导线的对地导纳，现在一般都采用分裂导线来输送电能。

H.steinbigler于1969年公开了当时在求解静电场大小方面的重要方式中的一种即模拟电荷法。模拟电荷法与一些求解导线外面电场值大小的办法有相似的但更多的是不同之处，毕竟自己的优势还是占主要的。基于静电场唯一性的定理，把导线表面的电荷全都假想成位于导体里面的线电

荷，再根据静电场的一些基本理论和公式计算其电场强度，模拟电荷法所根据基本准则就是静电场的唯一性定则，在此基础上通过叠加准则和电场计算公式，则线路任意处的电场大小都可以计算出来。但最为关键性的步骤就是把各个对应边的界限找对，并确立模拟电荷。

总体来说，模拟电荷法的步骤为首先先确定好要求的场域，对场域进行定性的分析讨论，把最为关键的场域内电荷的类型及位置数量进行精确的统计，不要产生过大的误差，不同的电极有不同的表面形状，根据与电极最相似的大概形状，为每一个模拟的电荷数量找到对应的点来与之对应。建立和模拟电荷相匹配的线性代数算式，其次是将所列线性算式求解得到模拟电荷的电量大小。然后还得进行校验，选定其他的一些足够数量的电位校验点，检验其计算精度，一般不会一次就达到所要求的精度的，都得经过几次修正才能符合要求。具体做法得再次修改模拟电荷的种类、所在地、个数，重新进行求解一直到小于规范允许误差值。最后用电场的公共求解算式可以求得区域内任意的场强值或是电位值。这种方法比镜像法的计算结果质量更高，在现在更多先进技术的辅助下，模拟电荷法的计算精度将更加精确，误差更小。不仅可以很好地解决二维电场的各种问题，就连三维电场的各种问题都可以解决。

随着科技的不断发展，有限元的方法发展至今，也可以谈得上是比较完善的计算方法了。众所周知，有限元的方法是根据变分定理和剖分插值理论构成主要理论计算基级的，在计算时首先对计算领域进行网格切割，现在一般都将区域剖分成三角区域然后再进行单元的插值以用来减少避免求解偏微分方程的步骤，经过剖分及单元插值后，把整个关联区域变成分散区域，得到许多非恒定量的含多个未知数的函数的最大值，这些最大值在不一样的地方上会有着不一样的系数及基函数，针对不同的基函数在求解的过程中只要这些基函数构成的待求函数在不同的区域上连续即可，因为只有连续后才可以解连续的方程组得到它们的近似解。有限元的方法整体上来说是通过牺牲求解次数来获得精确度的，相比于模拟电荷法来说，有限元法更加的精确，因为有限元法是可以进行多次迭代一步步接近准确值，而不是凭借着以往的经验值来确定模拟电荷的位置和数量的，并确定边界值的。故有限元法能准确地求解每一处的场强值大小。

2. ±500 kV同塔双回线路的仿真参数

为了使走廊的利用率达到最大化，极导线的布置方案一般采用双层的布置方式，为此着重介绍同塔双回输电走廊的四条极导线以双层分布方式排列时，因为对称情况，只需考虑3种极导线排布方式，即正正负负、负正负正及正负负正。对±500 kV的同塔双回输电导线选用四分裂，保护区宽度100 m、高度40 m的双回走廊，第一层极导线到地面的距离为53 m，第二层极导线到地面的距离为20 m，第一层导线之间的横向距离为18.8 m，第二层导线之间的横向距离为22.8 m，两层导线之间的横向距离为2 m。需要对±500 kV的输电走廊建立一个正方形的模型，使四个子导线分布在四个顶点因为不同的导线材料所求得的电场值不同，所以一律指定这些导线材料为铝，电位零点为计算区域的最底处。最后熟练运用ASOFT软件得出结果，并提取想要处的电场值。

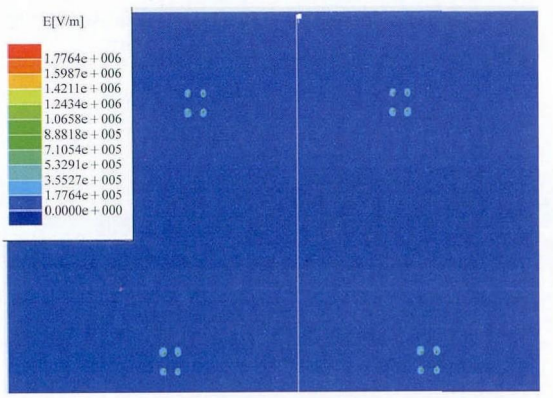
3. ±500 kV同塔双回线路的计算结果与分析

用ANSOFT软件计算电场时，把将要求解的场域切割成有限多个三角区域，切割后的三角区域包含有限多个节点，将所计算的场域分割成有限个三角区域，三角区域上有许多节点，节点设在三角区域的顶点处，不同节点对应有唯一不同的待解位函数值。由于导线相对剖分的单元较小，故导线处剖分的相对密些，离导线远的地方剖分的相对大些，以减少误差，定义该计算区域边界最底处为零电位处。三种排布方式下导线的整体电场分布如图1所示。

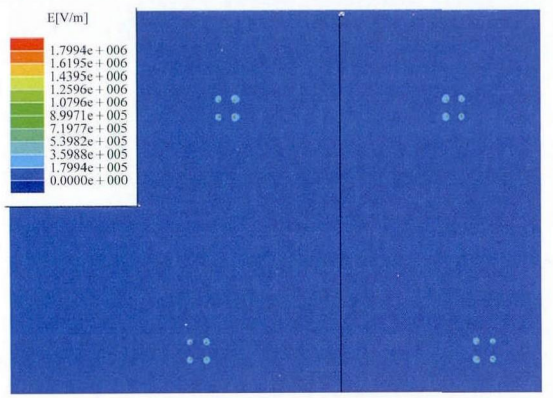
从图1a可以看出距离导线越近，电场值越大，正正负负排列的导线电场的最大值可达到716.651 V/m，在导线表面处取得。边界条件为±500 kV的导线电场值大小是一样的。图1b和c电场的分布规律是相同的，只是导线按负正负正排列的电场最大值为725.929 V/m，而按正负负正排列的导线电场的最大值为1 150.982 V/m。比较三种排布方式下的电场大小，发现正正负负排布方式下电场值最小，正负负正排列方式下电场值最大。各排布方式下线路地面的电场值大小如图2所示。

由图2a可以看出，正正负负排布方式下地面的电场值关于走廊宽度呈对称分布，电场值先是随着宽度的增加而增加，到达走廊中间时达到最

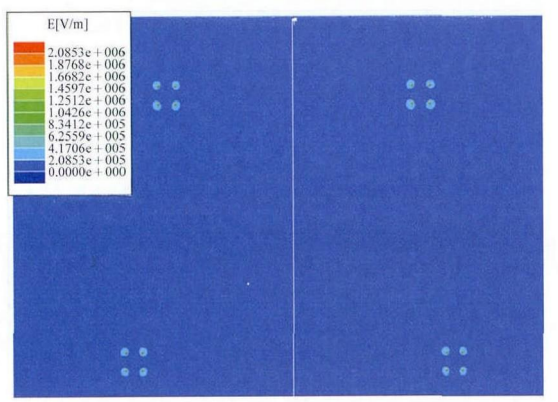
www.eage.com.cn




(a) 正正负负排布方式下电场的分布图




(b) 负正负正排布方式下电场的分布图



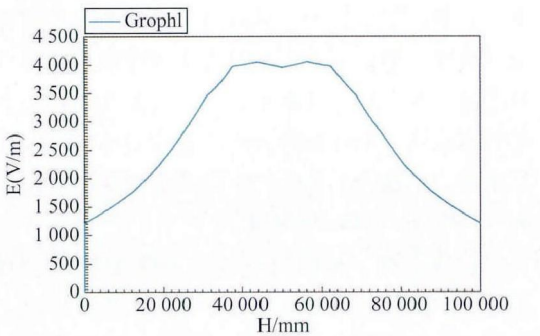

(c) 正负负正排布方式下电场的分布图

**图1 三种排布方式下导线的整体电场分布图**

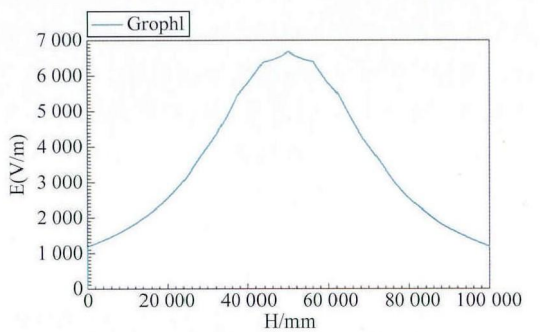
大值4 000 V/m，而之后电场值则随走廊宽度的增加而减小到500 V/m。而图2b、c地面电场的分布规律与图2a一样，只不过电场的最大值不一样，图2b地面电场的最大值为6 700 V/m而图2c电场的最大值为4 300 V/m，综合比较正正负负排列方式下地面的电场值最小，对居民环境的影响最小。

## 结束语

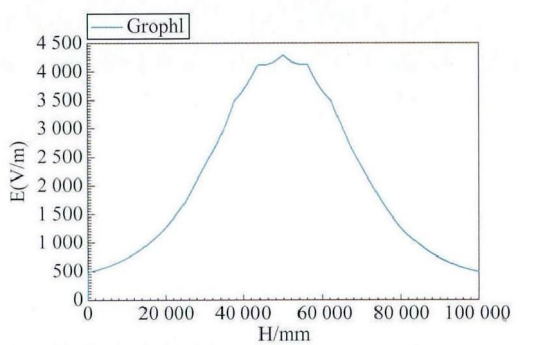
通过计算±500 kV同塔双回直流输电走廊下的电场发现，不同排布方式下导线产生的电场值




(a) 正正负负排布方式下地面电场的分布图




(b) 负正负正排布方式下地面电场的分布图




(c) 正负负正排布方式下地面电场的分布图

**图2 各排布方式下地面电场值的分布**

不同，在距离导线越近的地方电场值越大，距离导线越远电场值就越小，在导线表面处电场取得最大值，最大值可达到841.27 V/m，而对于导线下地面处的电场值其则关于输电走廊呈对称性分布，先是随着宽度的增加而增加，到达走廊中间时达到最大值，而之后电场值则随走廊宽度的增加而减小。将三种排布方式下的地面的电场值大小进行比较，发现当导线按照正正负负排布时地面的电场值最小，而正负负正排布时地面的电场值最大，故在优化输电走廊时应选择使地面电场强度最小的排布方式即正正负负，以减小对周围居民的生活环境造成的影响。**EA**

（编辑：杨得润）

（收稿日期：2016.07.22）