

输电线路毛刺缺陷下的电场分布特性

王平, 李抗, 耿江海, 钦雨晨, 宋景萱, 阮浩鸥
河北省输变电设备安全防御重点实验室, 华北电力大学, 河北, 保定

简介:输电线路在生产、安装和运行过程中由于人为或自然环境等因素可能会形成表面缺陷, 形成局部电晕放电源, 电晕放电会产生无线电干扰和可听噪声, 同时会伴随着能量损耗, 影响输电线路运行的经济性能。

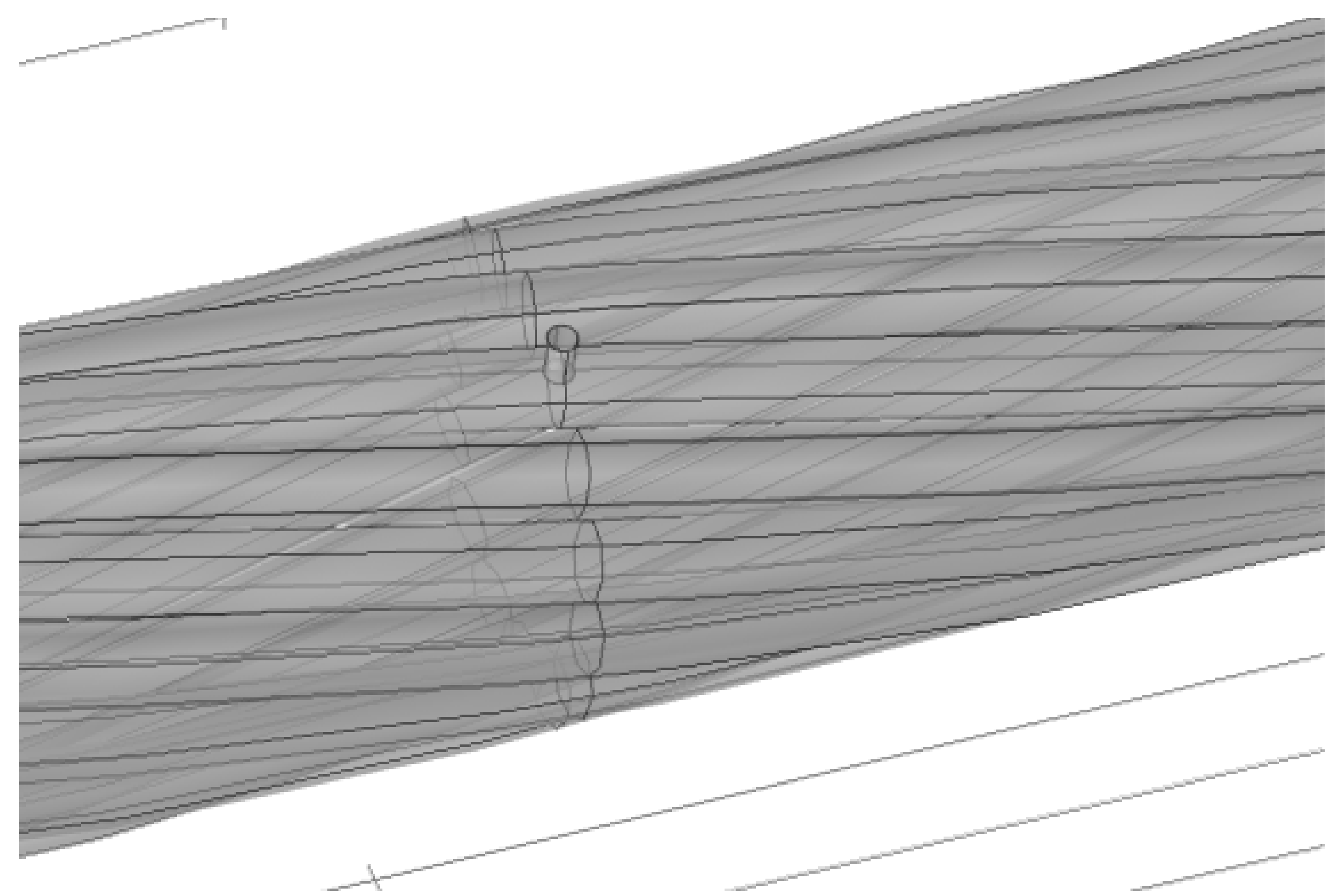


图1. 钢芯铝绞线表面存在毛刺缺陷是三维模型

计算方法: 为了计算导线表面的电场分布, 需要建立导线所满足的电场控制方程。在导线高压端施加63.5kV的交流相电压, 即110kV导线的最大幅值电压。对于导线内部及其周围空气中电场分布情况的分析, 在忽略空间电荷影响的情况下, 可以采用相应的静电场模块[es]求解。因此导线表面及周围介质中的电场求解满足:

$$\nabla \times \mathbf{E} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \varepsilon \mathbf{E} = \rho \quad (2)$$

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon} \quad (3)$$

计算导线表面及周围介质中的电场分布时, 空气域的相对介电常数为1, 导线的相对介电常数为1000。

导线空间电场计算是一个开域计算问题, 但是开域是无法直接进行精确计算的, 本文利用有限元建模技术将无限大的空气域问题转化为有限域的问题, 从而解决了对开域直接进行计算的棘手问题。计算时, 采用第1类边界条件为:

$$\varphi|_{\Gamma_0} = 0 \quad (4)$$

$$\varphi|_{\Gamma_k} = U_0 \quad (5)$$

上述公式中: Γ_0 为空气域边界和导线低压端; Γ_k 为导线高压端

结果:图2可知导线外层绞线表面电场强度较大, 在1500kV/左右, 而内部的电场强度为零。这与实际情况相符合, 因为电场强度的大小与曲率半径有关, 曲率半径越小电场强度越大; 当存在毛刺缺陷时, 由于毛刺会存在尖端, 所以最大场强出现在毛刺处, 达到3010kV/m, 是正常的两倍多。图3可知当导线存在毛刺缺陷时, 场强曲线整呈对称结构, 而缺陷区域的电场强度大大升高, 最大场强为670kV/m。

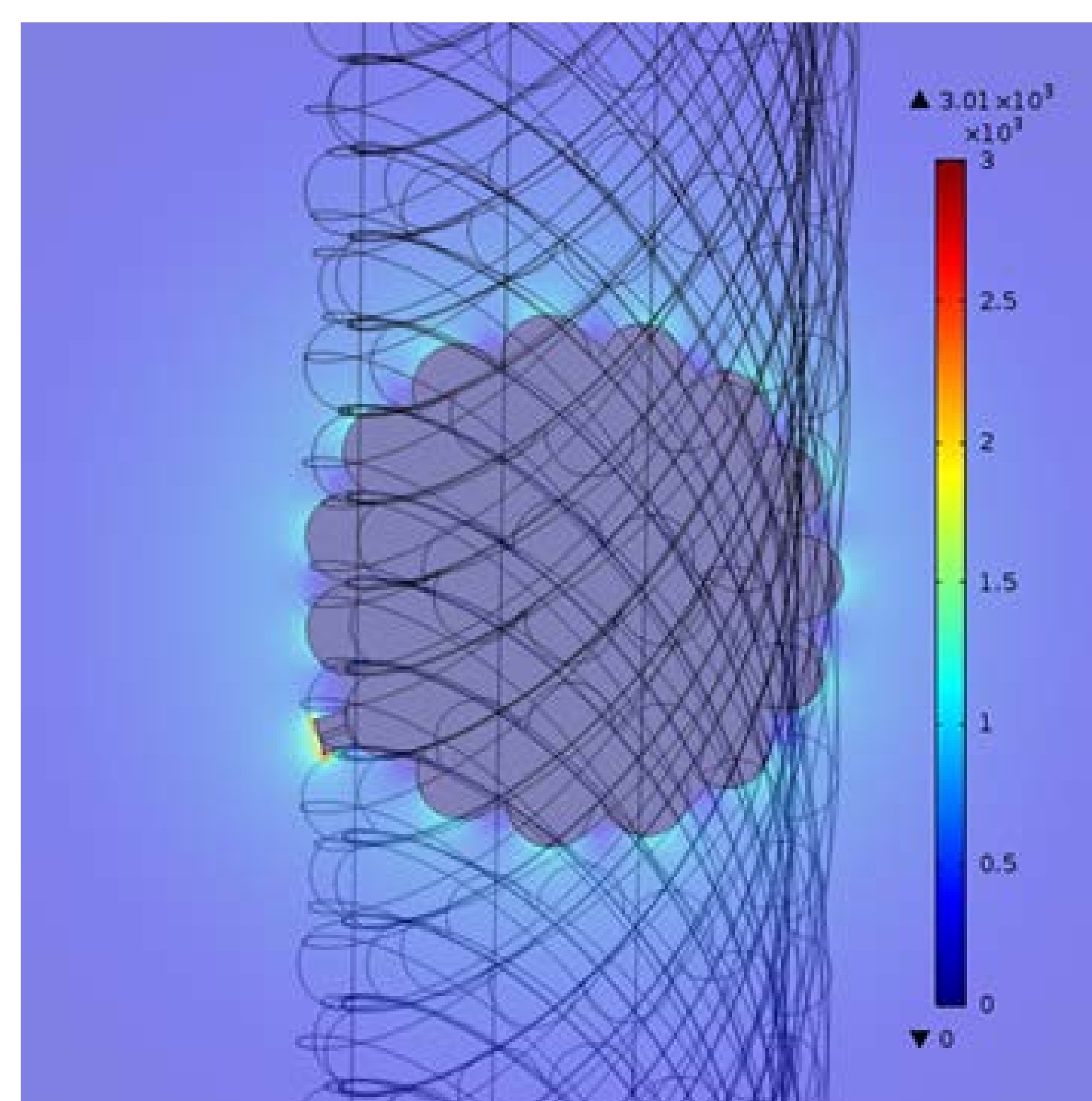


图2. 表面有毛刺时距离底部500mm处截面电场分布图

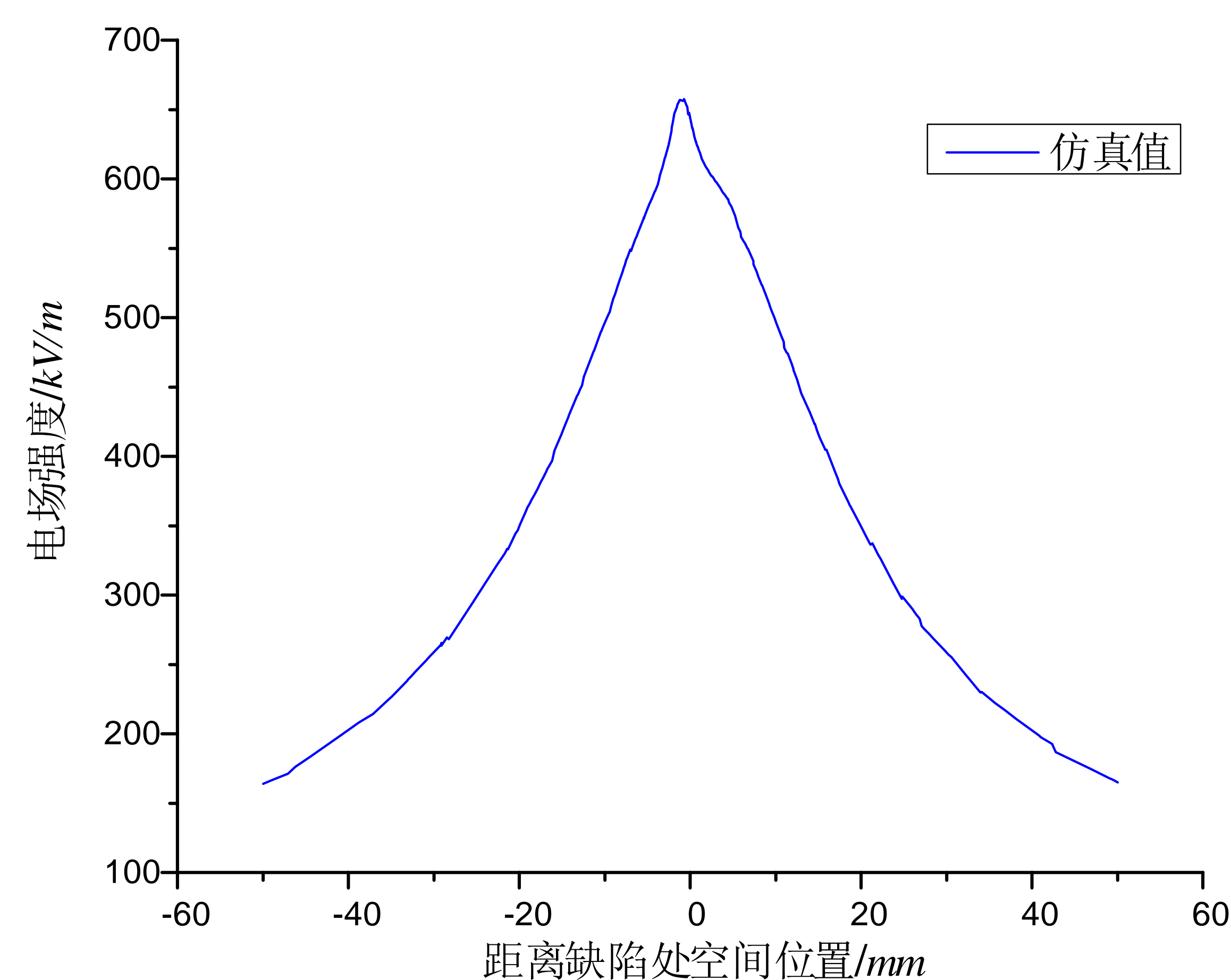


图3. 导线垂直方向距离导线1cm处电场分布曲线

结论: 通过仿真可知, 当导线表面存在毛刺缺陷时, 该处场强会明显增大, 所以需要采用相应的措施减小该处的场强, 防止电晕现象的发生。下一步可以进行其他缺陷的仿真, 例如导线单股拱起和断裂等常见缺陷, 对比分析各种缺陷的严重程度。

参考文献:

- 张施令, 钢芯铝绞线表面电场分布及其电晕起始场强分析, 高电压技术, 54, 107-112 (2018)
- 李进, 变压器扁平导线表面缺陷的检测, 自动化与仪器仪表, 6, 54-55 (1999)