

COMSOL仿真无限长导线周围金属体电荷分布

仵杰¹, 罗强¹

1. 西安石油大学, 电子二路18号, 西安市, 陕西省, 邮政编码 (710065)

引言: 长输电力线上的电荷在周围产生强的电场, 应用 COMSOL Multiphysics® 软件三维数值计算研究电力线周围不同形状金属体的电荷分布特性对电子设备保护和雷电防护具有重要的实际意义。

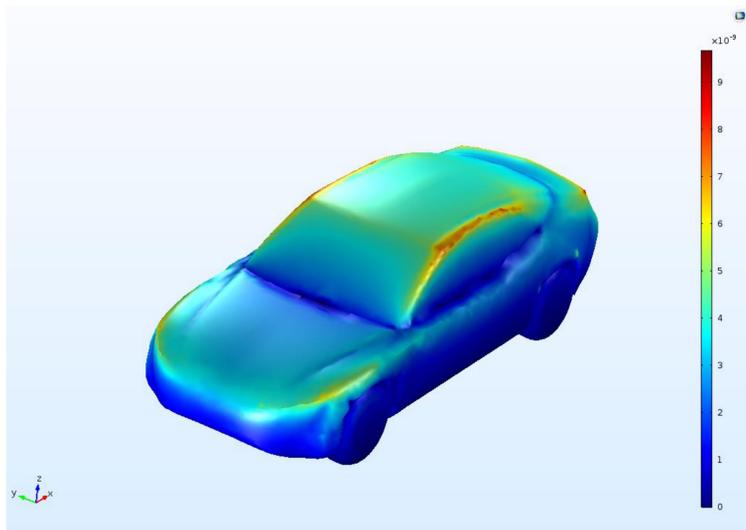


图 1. 汽车表面电荷分布

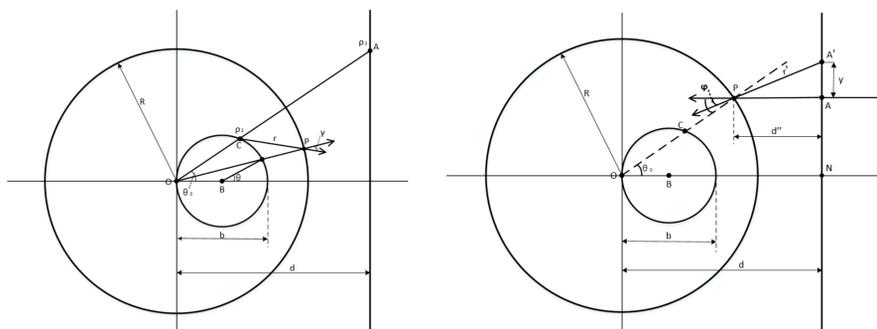
计算方法: 使用 COMSOL Multiphysics® 中 AC/DC 模块进行仿真分析, 实际情况是三维问题, 而三维几何体表面电场分布很难推出解析解。首先设计二维模型验证表面电荷分布特性, 然后建立三维模型研究复杂几何体电荷分布, 最后应用于汽车表面电荷分布研究。

$$\vec{E} = -\nabla\phi$$

$$\vec{D} = \epsilon\vec{E}$$

$$\nabla \times \vec{E} = 0$$

$$\nabla \cdot (\epsilon \nabla \phi) = -\rho_s \delta(\vec{r} - \vec{r}_i)$$



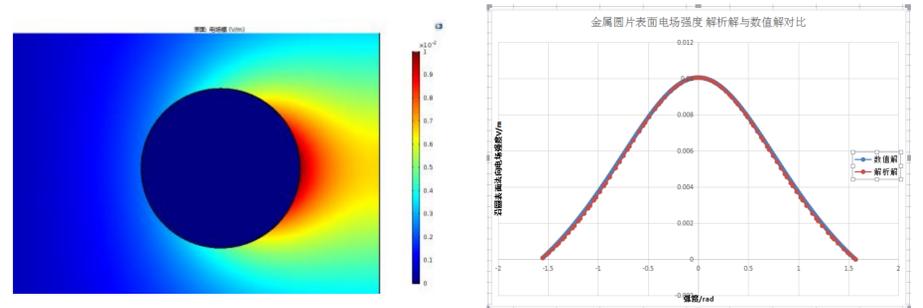
(a) 镜像微元对圆0作用的电场分析 (b) 导线对圆0作用产生的电场分析

$$E = \frac{\rho_s \cos\theta_0}{2\pi\epsilon} \int_0^\infty \frac{d - R \cos\theta_0}{(d - R \cos\theta_0)^2 + y^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(d - R \cos\theta_0)^2 + y^2}} dy - \frac{R^2 \rho_s}{4\pi\epsilon d} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\cos\gamma \cos\theta_0 \cdot (R^2 / 2d)}{R^2 + ((R^2 / d) \cos\theta_0)^2 - 2R(R^2 / d) \cos\theta_0 \cos(\theta_0 - \theta_2)} d\theta$$

图 2. 理论模型分析及其表面电荷推导公式

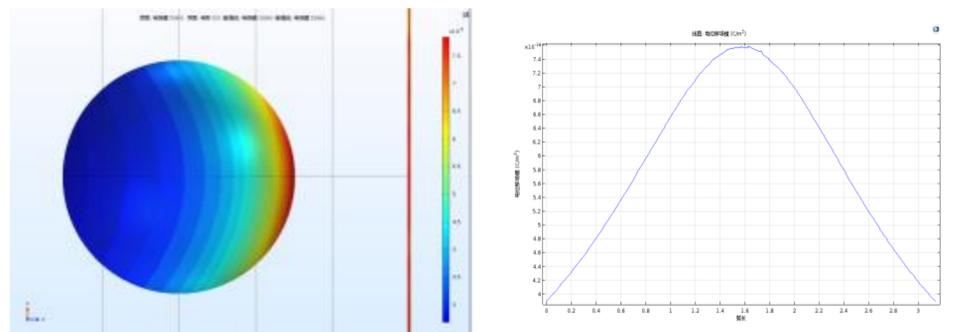
结果: 1 二维模型中无限长导线用细长线代替, 无限远处接地用另一个细长线代替, 金属圆盘用面域代替, 其表面电荷分布与理论模型解析解一致。

2 三维模型中无限长导线用细长体域代替, 无限远处接地用一定距离面域代替, 用球形代替物体, 其二维截面与二维模型表面电荷分布情况一致。



(a) 二维金属薄圆片电荷分布情况 (b) 二维模型表面电荷分布与解析解对比

图 3. 二维模型电荷分布及表面电荷数值与理论模型对比



(a) 三维金属球体电荷分布情况 (b) 三维金属球体表面电荷分布情况

图 4. 三维模型电荷分布与表面电荷分布

结论: 1 在二维金属圆盘靠近导线处电场强度大, 表面电荷堆积, 电荷密度大, 绘制出表面电场强度线图, 与二维解析解基本一致, 验证仿真模型正确性。

2 在三维模型中, 其二维截面表面电场强度趋势基本一致。绘制出三维面图, 表现了三维小球在无限长导线周围的电场分布, 揭示其电荷分布规律。

3 汽车经过电力线下方, 其表面靠近导线尖端处有大量电荷积累, 与实际相符, 在实际生活中, 对车载电子设备保护和雷电防护具有重要的实际意义。

参考文献:

• 晁立东 仵杰, 工程电磁场基础