

# COMSOL仿真无限长导线周围 金属体电荷分布

报告人：罗强

导 师：仵杰 教授

西安石油大学

# 研究的主要内容

1. 引言
2. 无限长导线周围金属体二维模型与验证
3. 无限长导线周围金属体三维模型
4. 高压电线下汽车表面电荷分布特性
5. 结论

# 1. 引言

高压线表面电荷在周围产生强的电场，应用COMSOL软件三维数值计算研究并分析无限长导线周围金属体距导线不同距离的电荷分布特性，建立了汽车经过不同高度高压线下方的模型，揭示了其表面电荷分布特性。

## 2. 无限长导线周围金属体二维模型与验证

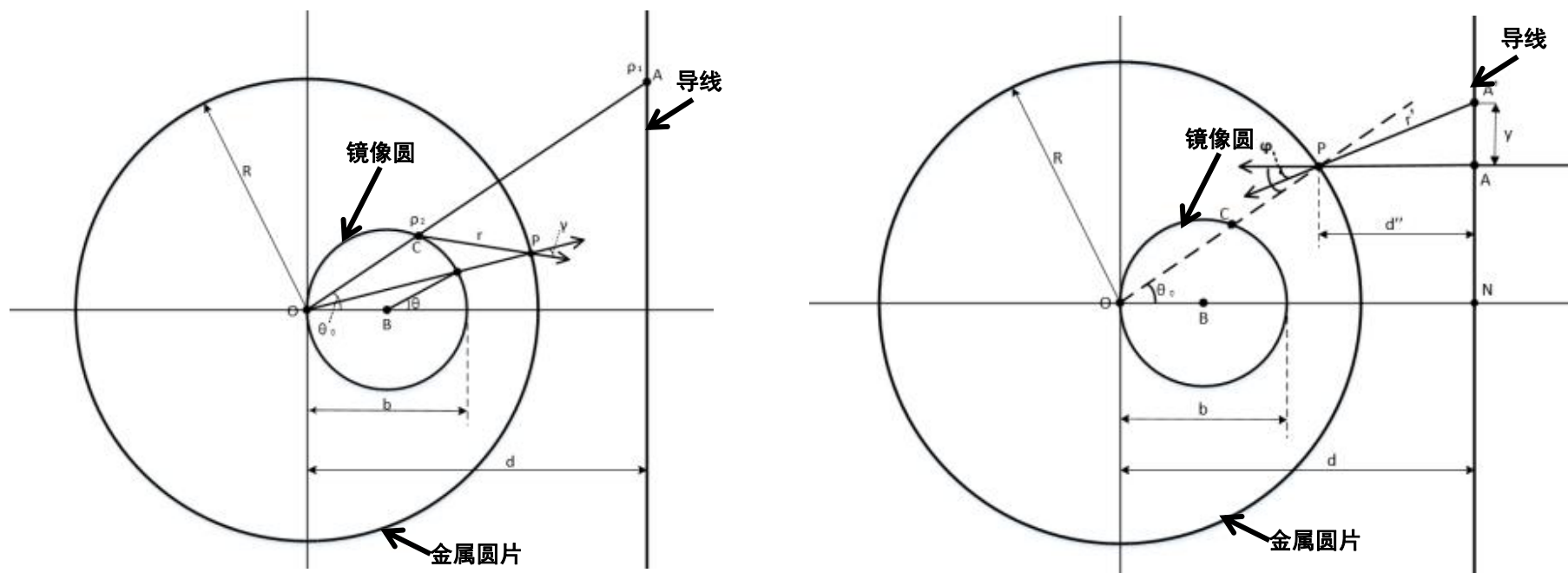


图1 二维镜像原理理论模型

推导出的空间电场计算公式

$$E = \frac{\rho_1 \cos \theta_0}{2\pi\epsilon} \int_0^{+\infty} \frac{d - R \cos \theta_0}{(d - R \cos \theta_0)^2 + y^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(d - R \cos \theta_0)^2 + y^2}} dy - \frac{R^2 \rho_1}{4\pi\epsilon d} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \frac{\cos \gamma \cos \theta_2 \cdot (R^2 / 2d)}{R^2 + ((R^2 / d) \cos \theta_0)^2 - 2R(R^2 / d) \cos \theta_0 \cos(\theta_0 - \theta_2)} d\theta$$

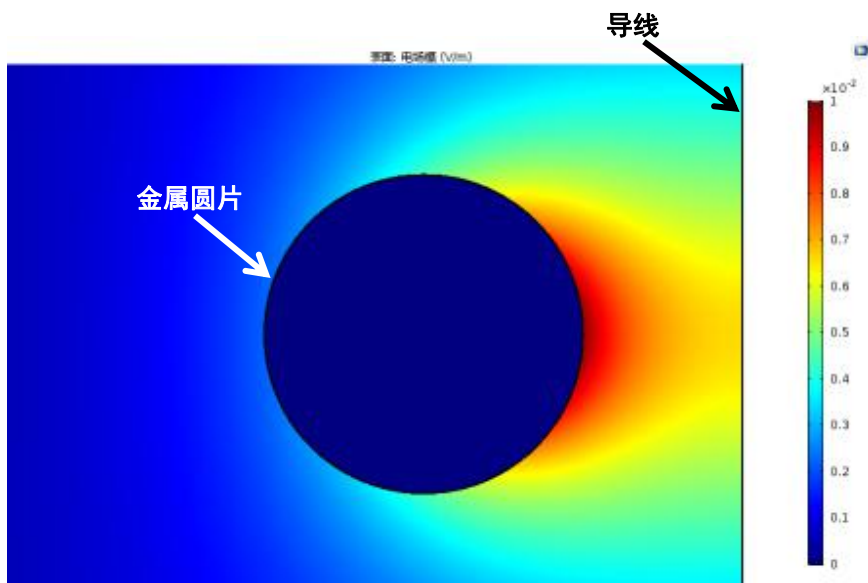


图2 二维金属薄圆片电场分布特性

金属圆盘表面空间电场强度近似正态分布，距离导线越近表面电场强度越大，电荷密度越大。二维金属圆片模型数值计算与二维镜像原理推导出的公式计算结果一致，验证了COMSOL数值计算结果的合理正确性。

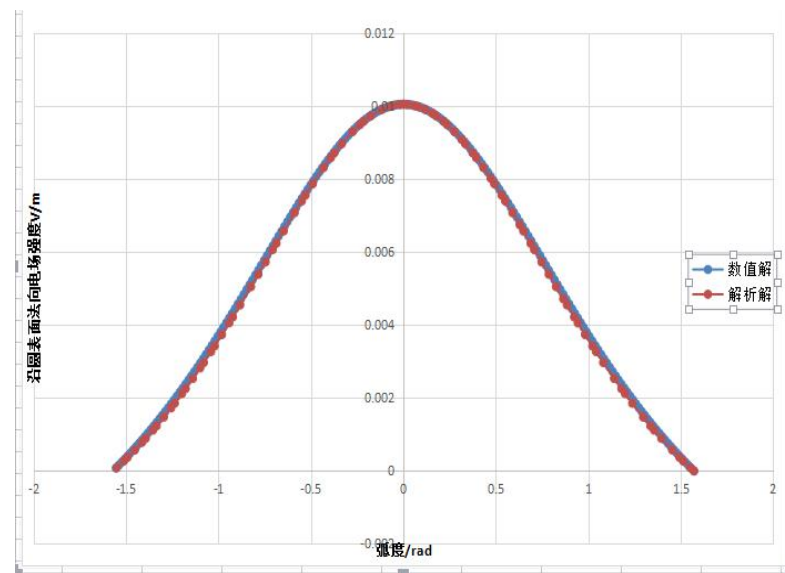


图3 二维模型表面电场分布与解析解对比

## 二维金属圆片与导线距离变化对表面电荷分布的影响

随着金属圆片距离导线增加，近导线侧边缘电荷分布逐渐减少，较远处，金属圆片表面电荷分布趋于均匀分布。

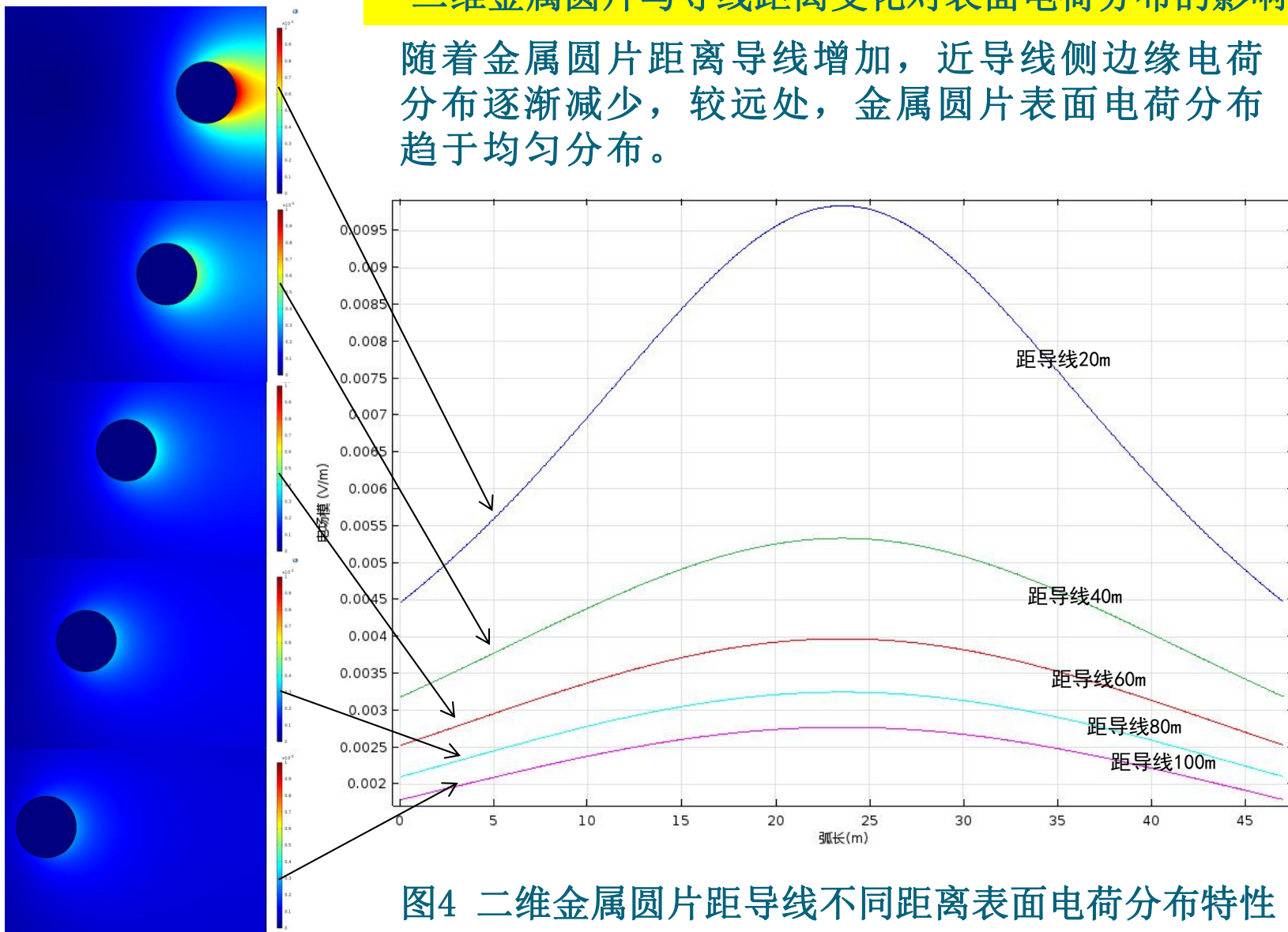


图4 二维金属圆片距导线不同距离表面电荷分布特性

# 3. 无限长导线周围三维金属体模型

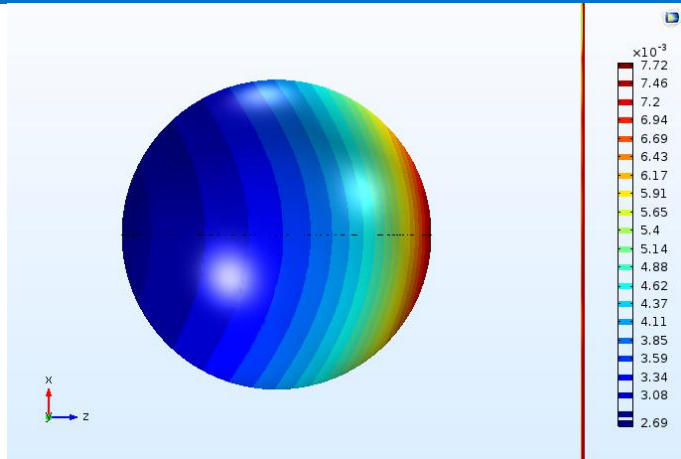


图5 三维金属球体电荷分布侧视图

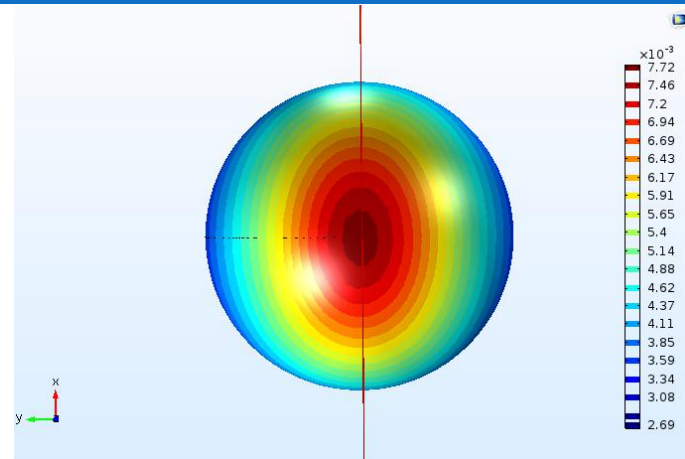


图6 三维金属球体电荷分布正视图

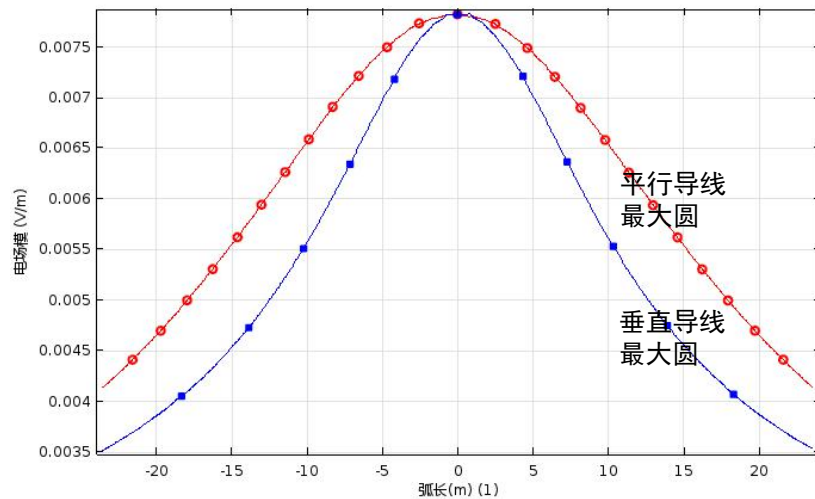


图7 三维金属球体平行导线最大圆与垂直导线最大圆电荷分布特性

三维模型金属球体外表面距离导线位置相同处电场强度大小相同，距离导线近处电荷分布密集。正视图电荷分布等值线为椭圆形，随着距离导线越远，椭圆的长半轴与短半轴基本相等。

### 三维金属球体与导线距离变化对表面电荷分布的影响

建立距离导线不同位置处的金属球体模型，可以看出，金属球体平行导线最大圆处随距离导线增加，表面电场强度减少，对比二维金属圆片与三维金属球体平行导线最大圆表面电场分布，其分布特性相似。

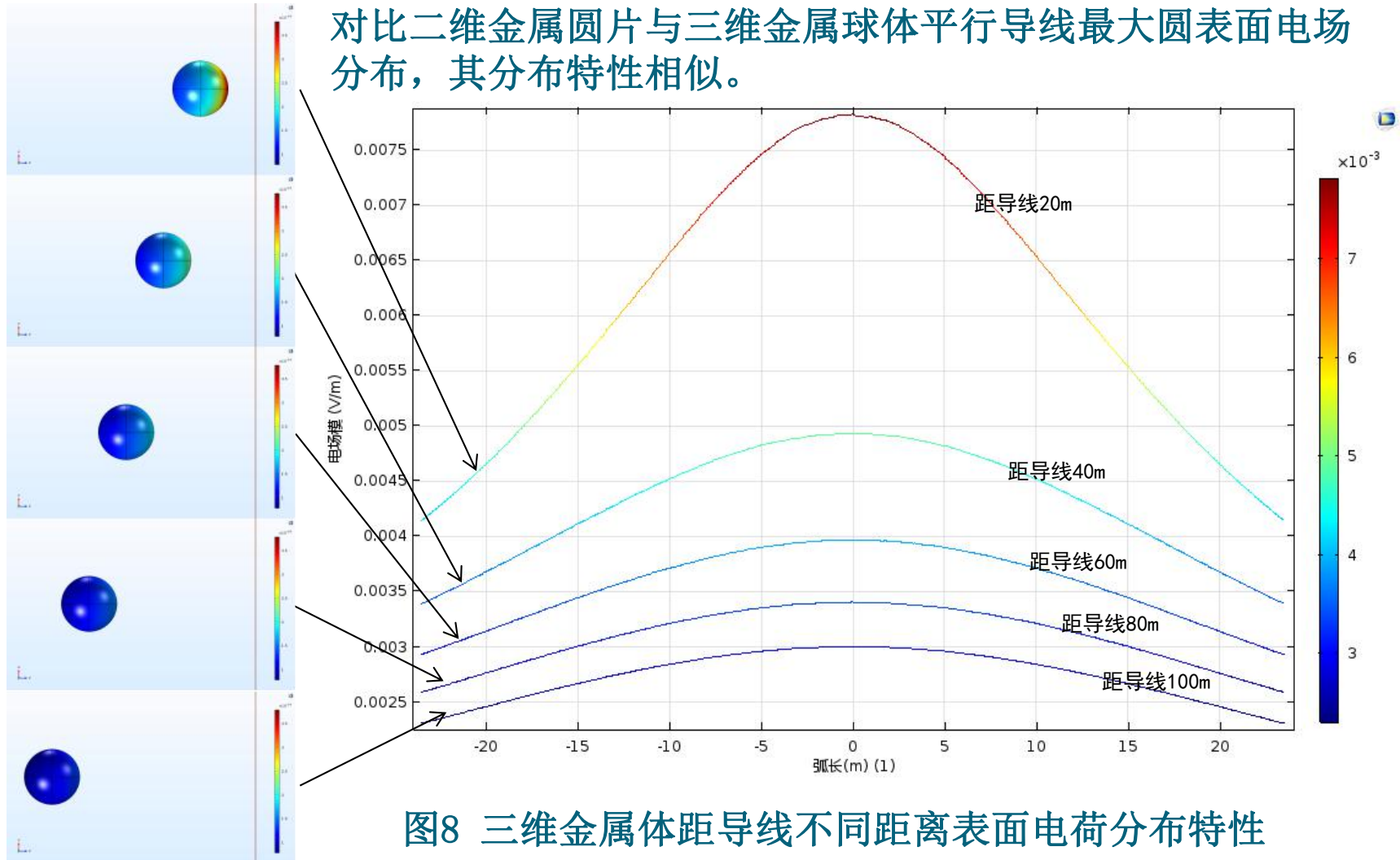


图8 三维金属体距导线不同距离表面电荷分布特性



## 三维金属正四面体与导线距离变化对表面电荷分布的影响

建立距离导线不同位置处的金属正四面体模型，可以看出，金属正四面体尖端处电场强度最大，电荷大量分布在距导线最近面尖端，距离导线越远，电场强度越小。

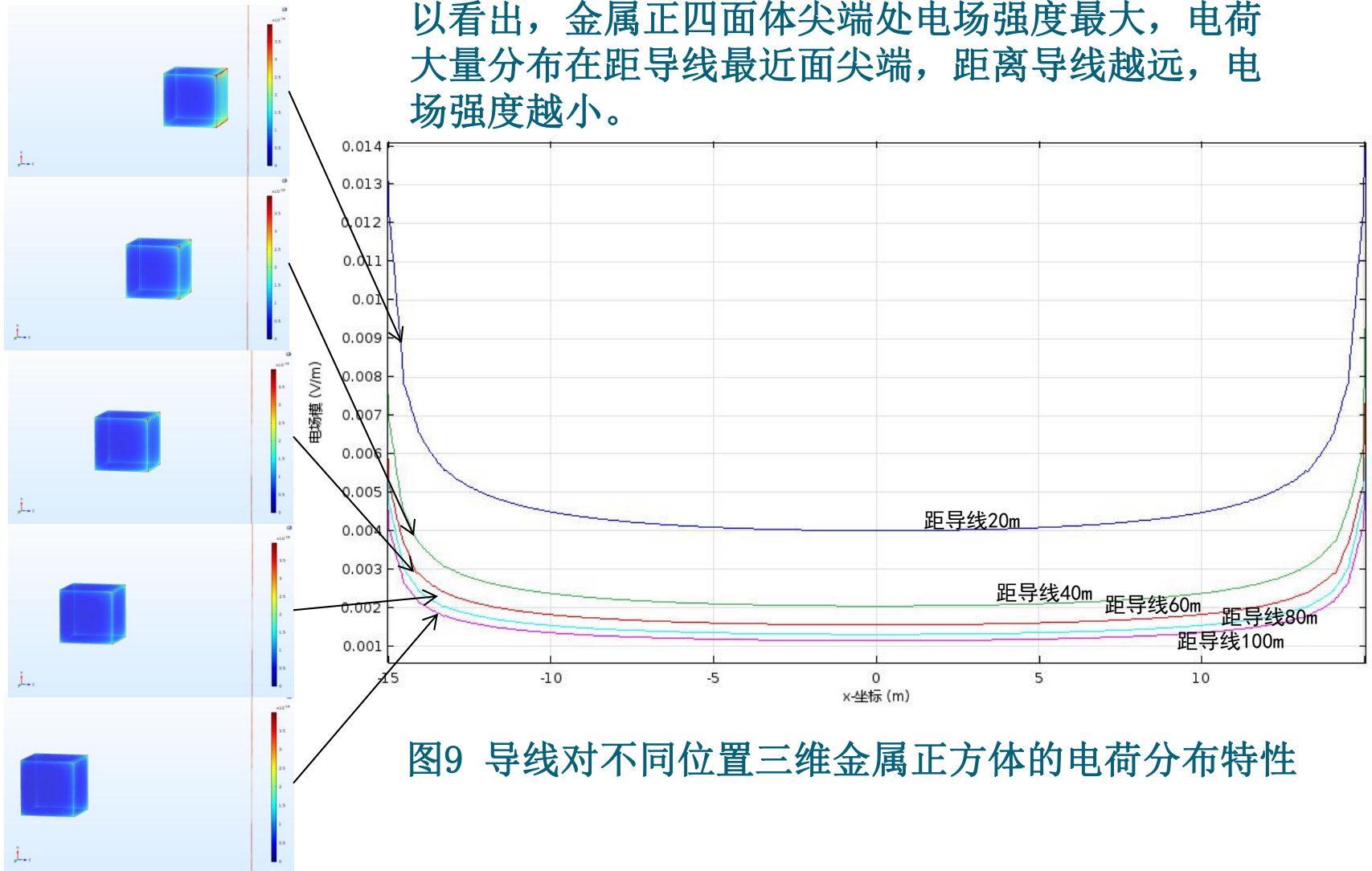


图9 导线对不同位置三维金属正方体的电荷分布特性

## 4. 高压电线下汽车表面电荷分布特性

汽车穿过垂直布置的高压线时表面的电荷分布特性

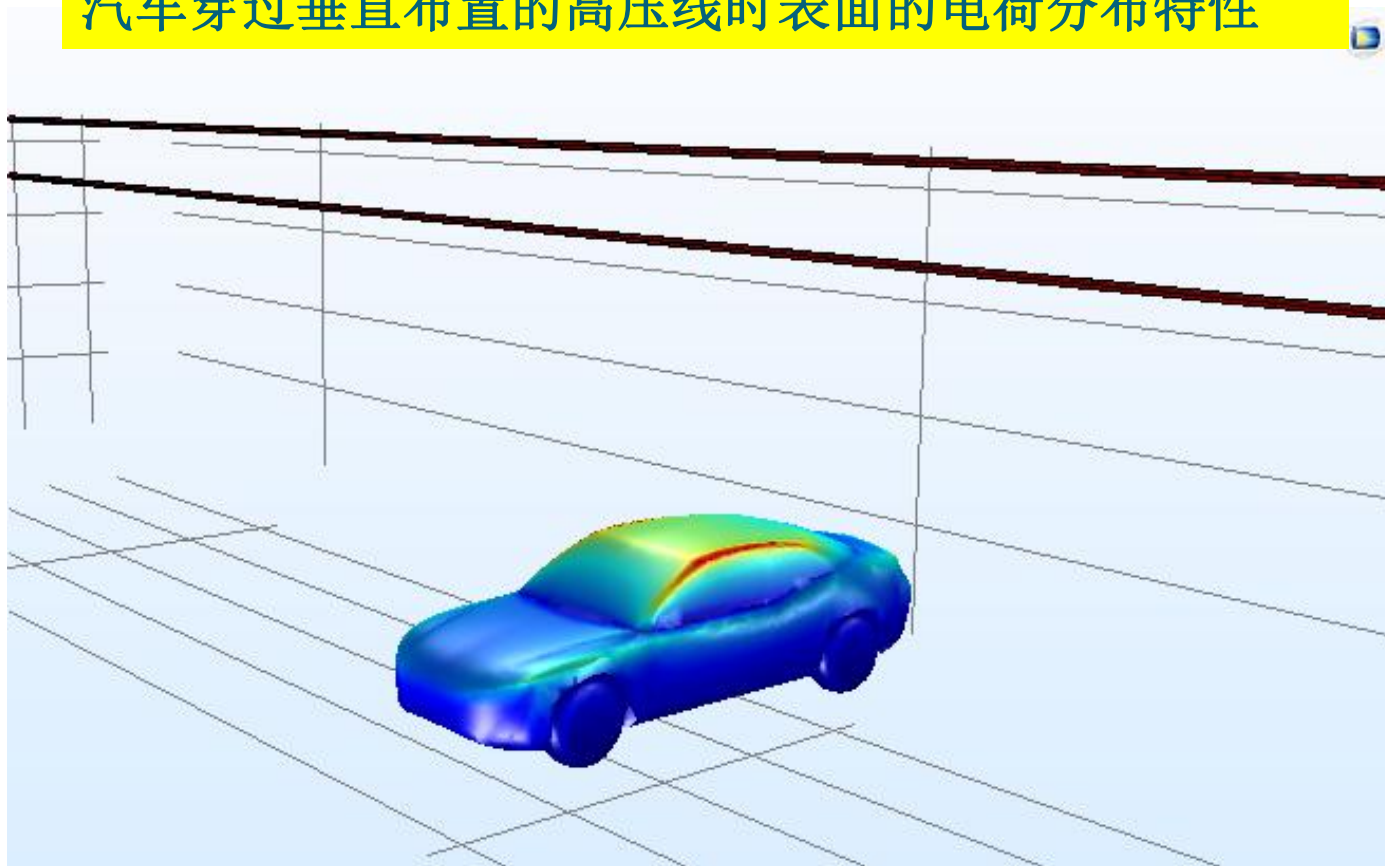


图10 汽车通过电力线下方表面电荷分布特性

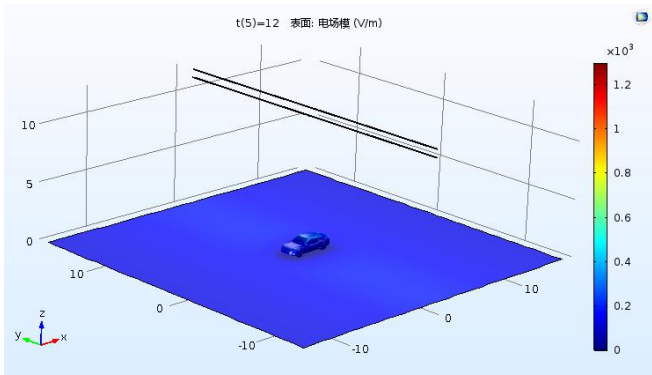


图11 高压线距地面12m 汽车表面电荷分布特性

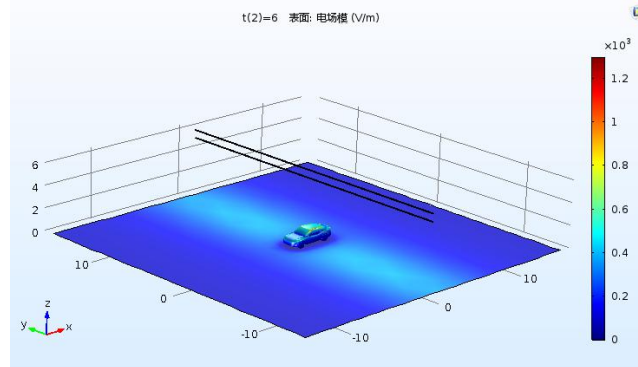


图14 高压线距地面6m 汽车表面电荷分布特性

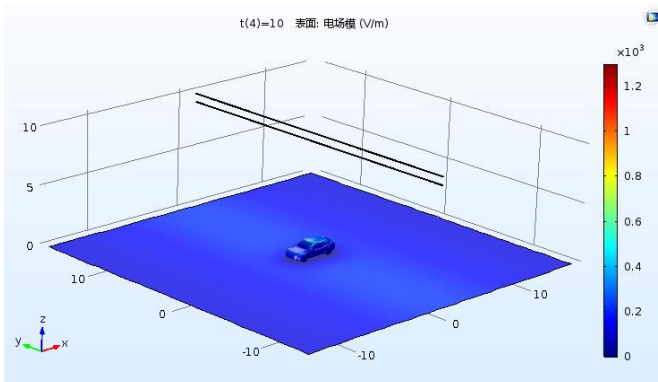


图12 高压线距地面10m 汽车表面电荷分布特性

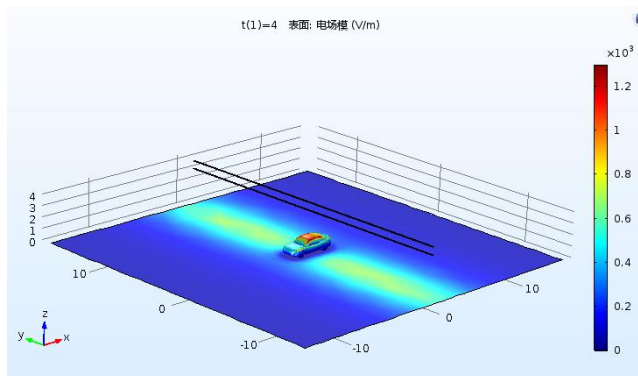


图15 高压线距地面4m 汽车表面电荷分布特性

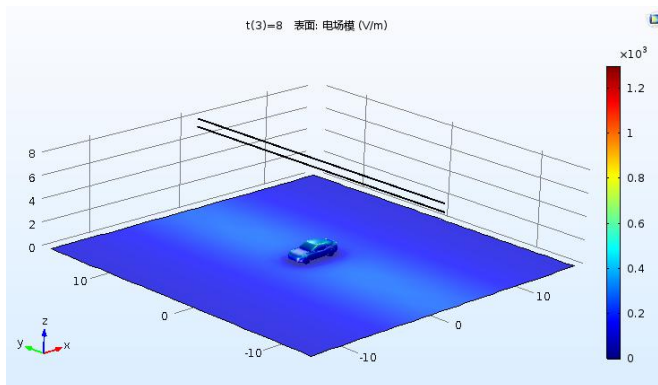


图13 高压线距地面8m 汽车表面电荷分布特性

建立汽车穿过不同高度高压线三维模型，随着高压线距离汽车越近，汽车表面和地面产生的电场强度越大，且增大趋势越明显。

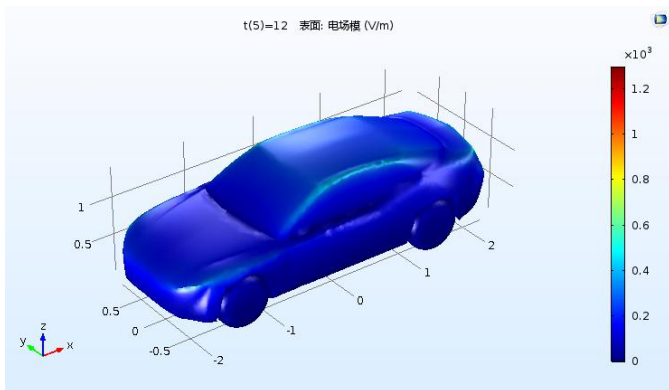


图16 高压线距地面12m 汽车表面电荷分布特性

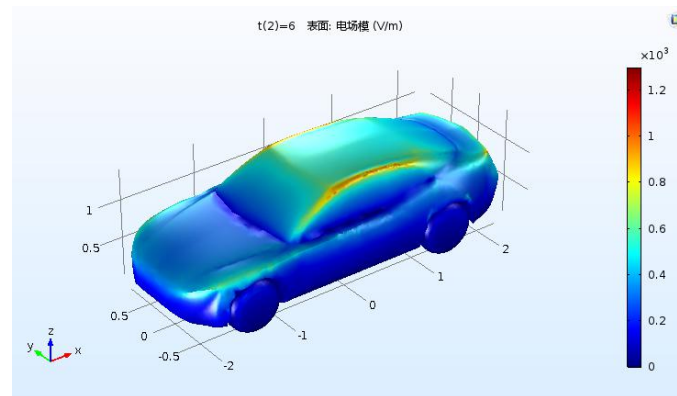


图19 高压线距地面6m 汽车表面电荷分布特性

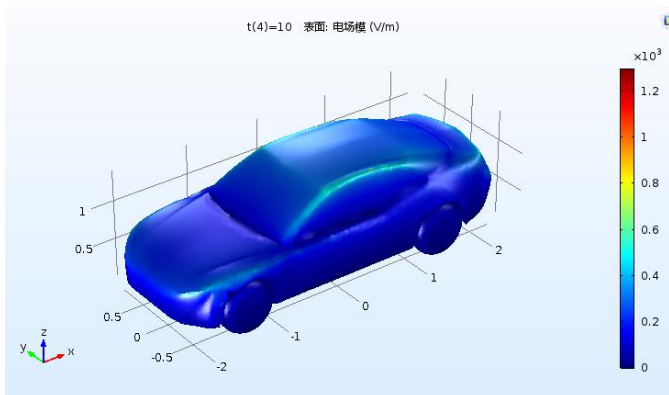


图17 高压线距地面10m 汽车表面电荷分布特性

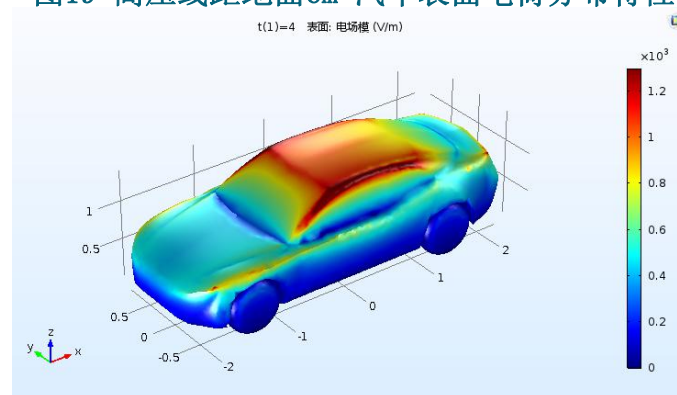


图20 高压线距地面4m 汽车表面电荷分布特性

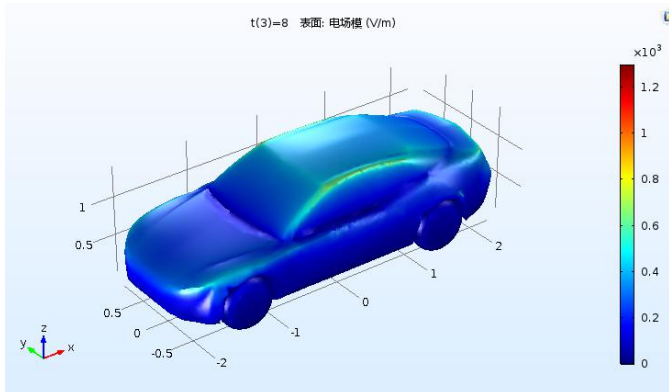


图18 高压线距地面8m 汽车表面电荷分布特性

随着高压线距离汽车越近，汽车表面产生的电场强度越大，表面电荷分布越密集，汽车上表面边缘堆积的电荷越多。

## 汽车穿过平行布置的高压线时表面的电荷分布特性

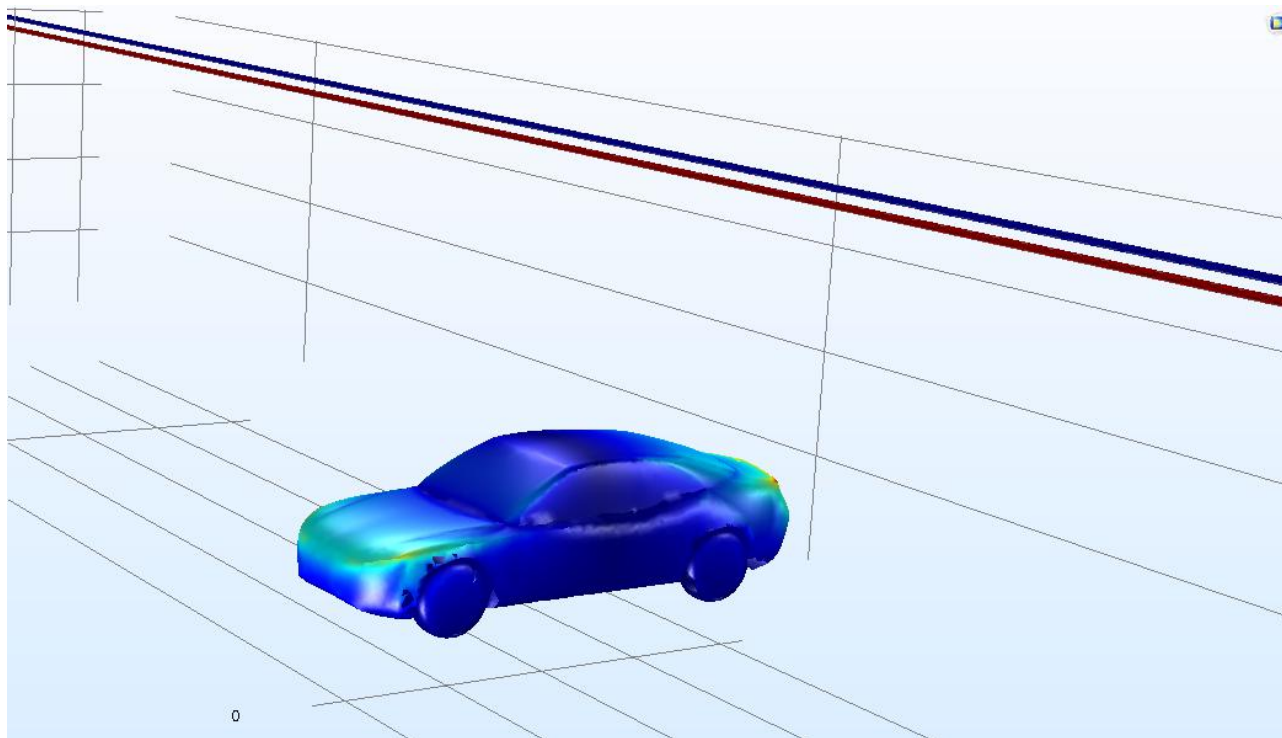


图9 汽车通过电力线下方表面电荷分布特性

- 建立汽车穿过高压线的模型，大地作为0电势，平行布置高压线时，三相电在任意时刻高压线的截面上正负电流之和为0，两导线间电场相互抵消
- 其表面尖端处有大量电荷积累，电荷堆积产生强电场，影响汽车表面电子设备工作。汽车外表面不是等势面，汽车表面积累电荷，如遇打雷，容易发生尖端放电，吸引雷电，实际生活中，应尽量避免靠近距地面过低的高压线。

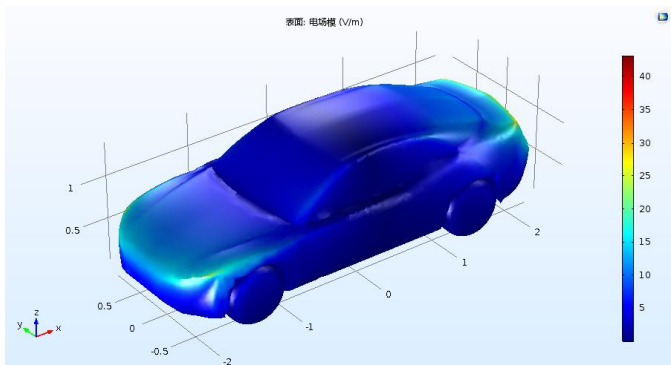


图21 高压线距地面12m 汽车表面电荷分布特性

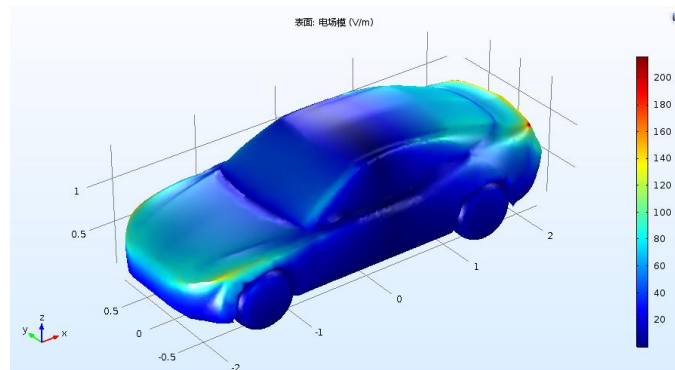


图24 高压线距地面6m 汽车表面电荷分布特性

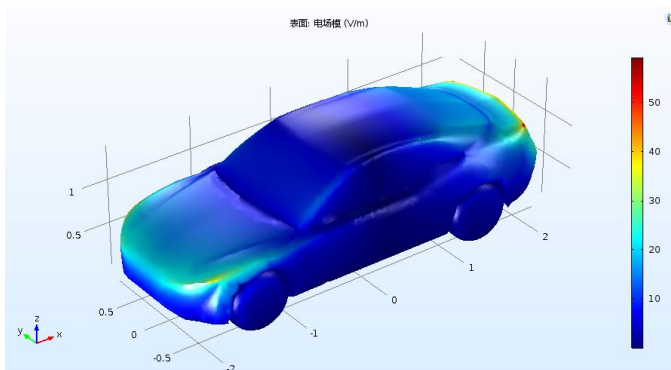


图22 高压线距地面10m 汽车表面电荷分布特性

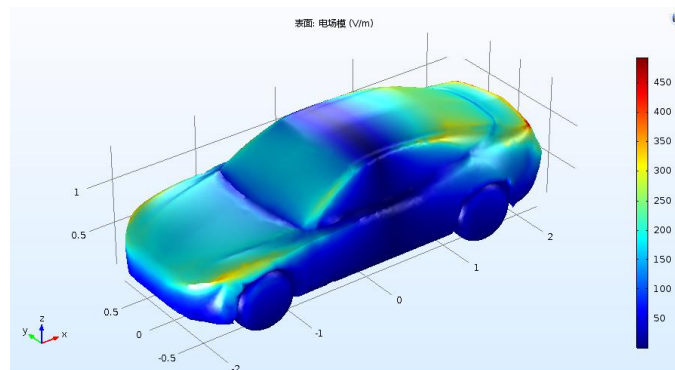


图25 高压线距地面4m 汽车表面电荷分布特性

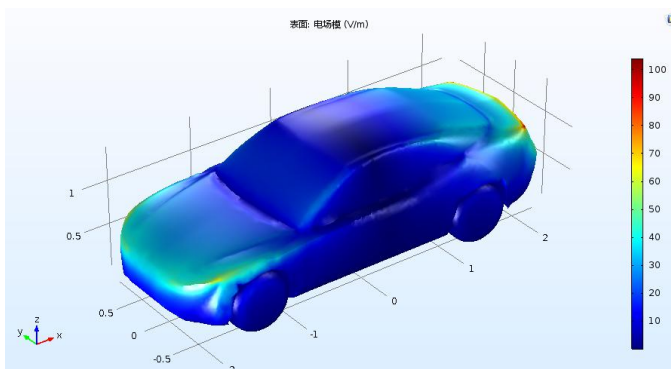


图23 高压线距地面8m 汽车表面电荷分布特性

建立民用10kv高压线下汽车穿过时的模型，高压线为三相电，改变不同高压线距地高度，随着高压线距离汽车越近，汽车表面产生的电场强度越大，表面电荷分布越密集，且集中在汽车前端表面与尾部边缘处。

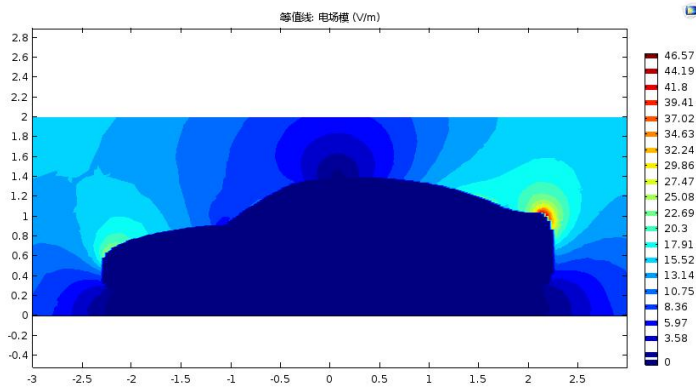


图26 高压线距地面12m 汽车周围电荷分布特性

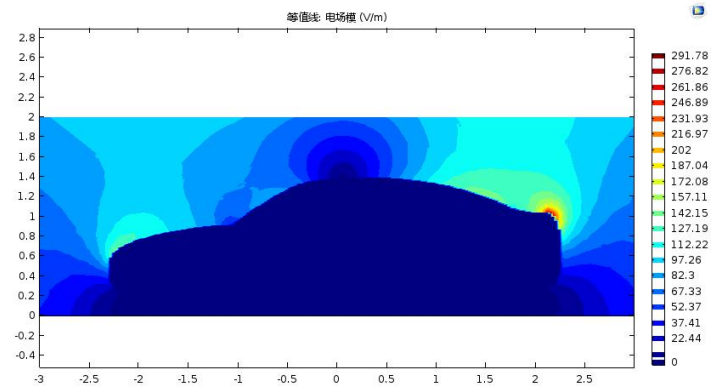


图29 高压线距地面6m 汽车周围电荷分布特性

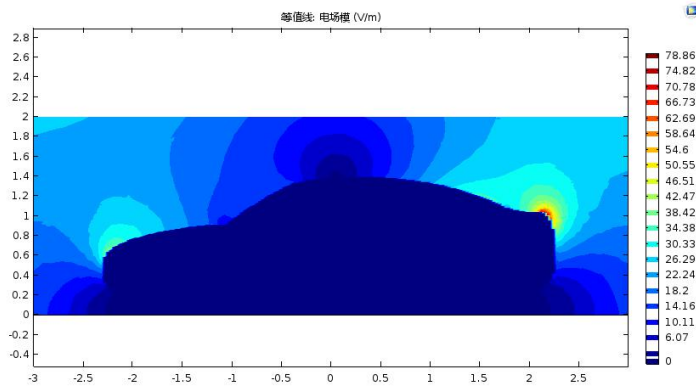


图27 高压线距地面10m 汽车周围电荷分布特性

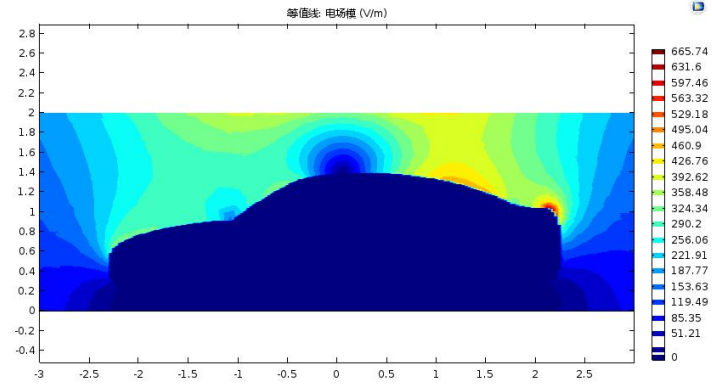


图30 高压线距地面4m 汽车周围电荷分布特性

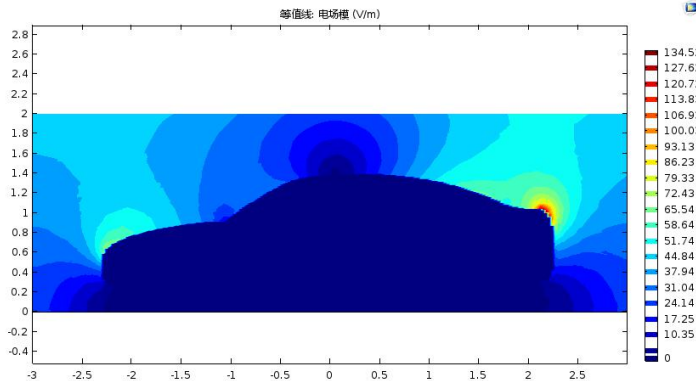


图28 高压线距地面8m 汽车周围电荷分布特性

平行布置高压线，其线间电场正负抵消，汽车上表面中心处电场强度最小，前端表面与尾部边缘处电荷分布密集，随着高压线距离汽车越近，汽车周围空间的电场强度越大。



## 4. 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，与二维解析解一致，验证仿真模型正确性。
- （2）三维金属球体平行导线最大圆表面与二维金属圆片表面电荷分布特性相似，随距导线距离增加，表面电场强度减少，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) 汽车经过高压线下方，其表面尖端处有大量电荷积累，电荷堆积产生电场，随着高压线距离地面高度降低，汽车表面电场强度增加，实际生活中，汽车应尽量避免距地面过低的高压线。

COMSOL  
CONFERENCE  
2016 SHANGHAI

谢谢!