

介质深层充电的电场与热场耦合计算

王松^{1,2}, 唐小金²

1. 军械工程学院, 静电与电磁防护研究所, 和平西路97号, 石家庄, 河北, 050003

2. 北京卫星环境工程研究所, 友谊路104号, 北京, 100094

引言: 太空环境下, 高能电子导致航天器介质深层充电。考虑与供电电缆相接触的某介质结构, 如下图所示, 在 高能电子入射导致内部带电过程中, 因为 电缆发热导致介质升温, 于是 需要实现 电场与温度场的耦合计算。

结果: 在综合考虑辐射诱导电导率、温度和电场强度对介质电导率的影响下, 得到 电场与温度场耦合仿真结果, 与单纯 电场仿真相比, 耦合仿真体现了模型 温度分布对带电结果的作用。

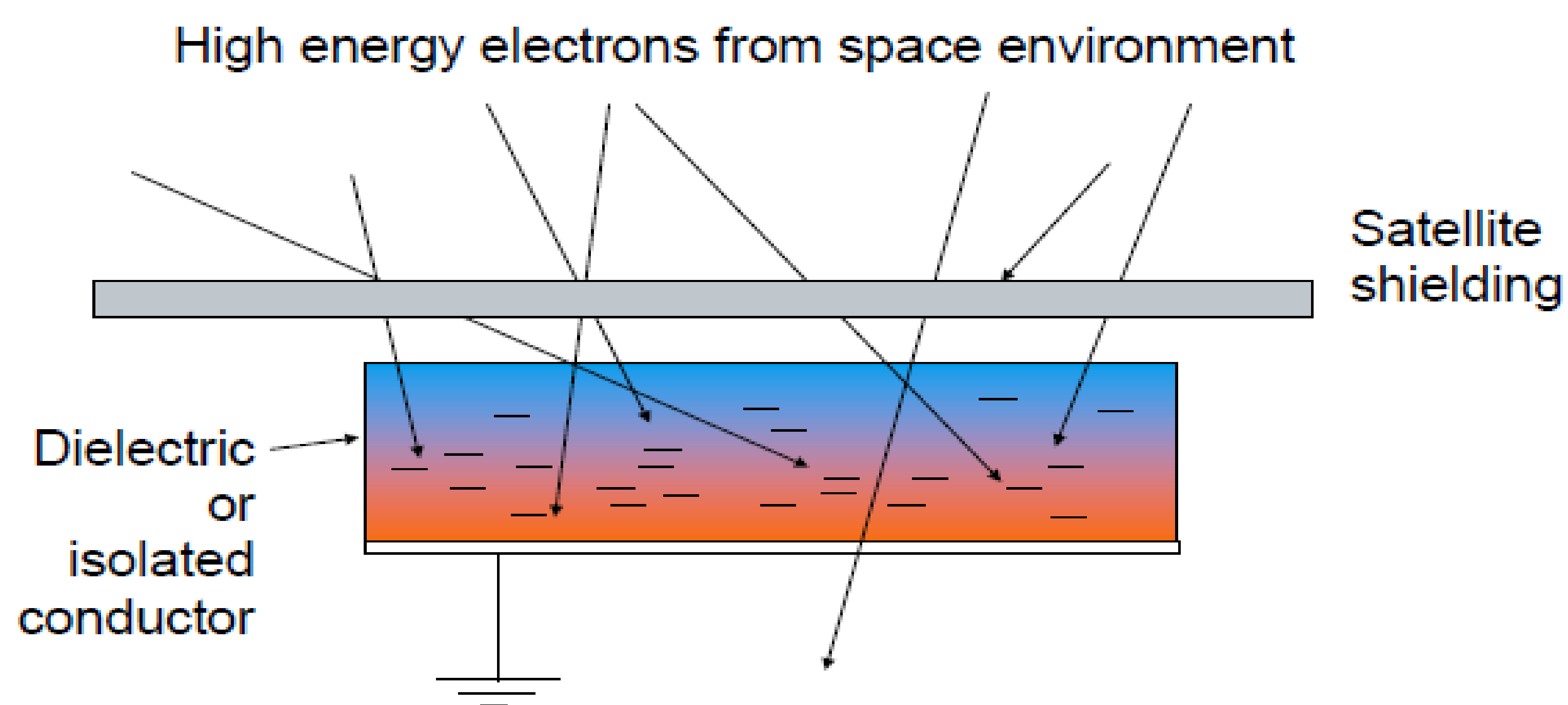


图 1. 介质深层充电

计算方法: 深层充电过程满足电流守恒方程, 介质升温采用固体传热方程进行刻画。使用 COMSOL Multiphysics® AC/DC 模块中的电流接口和固体传热接口, 温度影响介质电导率, 从而影响深层充电; 利用电磁热耦合仿真电缆发热导致介质温升。

$$\nabla(\mathbf{J} + \mathbf{J}_e) = 0,$$

$$\mathbf{J} = \epsilon \partial \mathbf{E} / \partial t + \sigma \mathbf{E}, \nabla \cdot \mathbf{J}_e = -Q_j,$$

$$\sigma = f(T),$$

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_e,$$

$$Q_e = \mathbf{J} \cdot \mathbf{E}$$

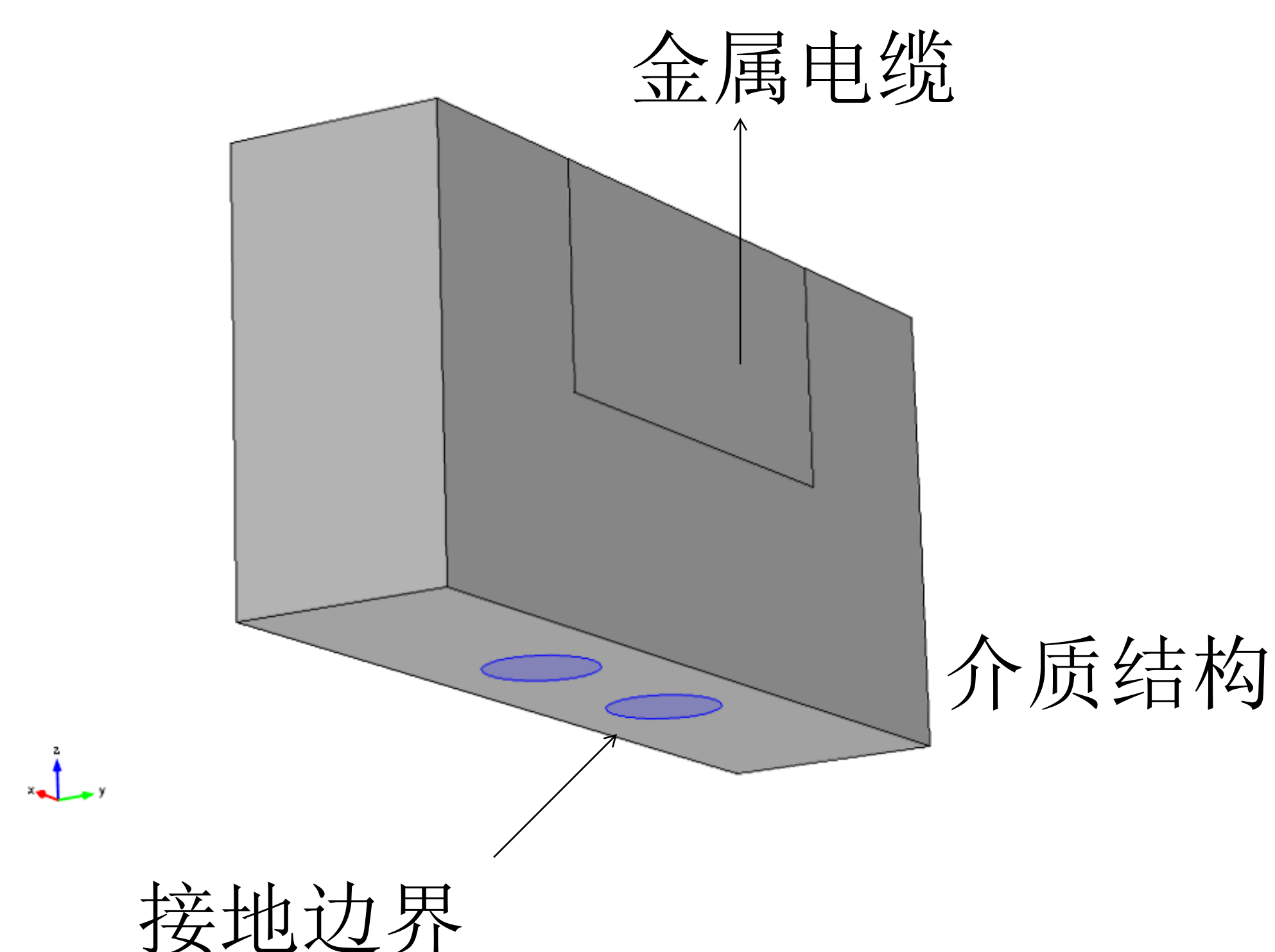


图 2. 包含电缆的介质结构

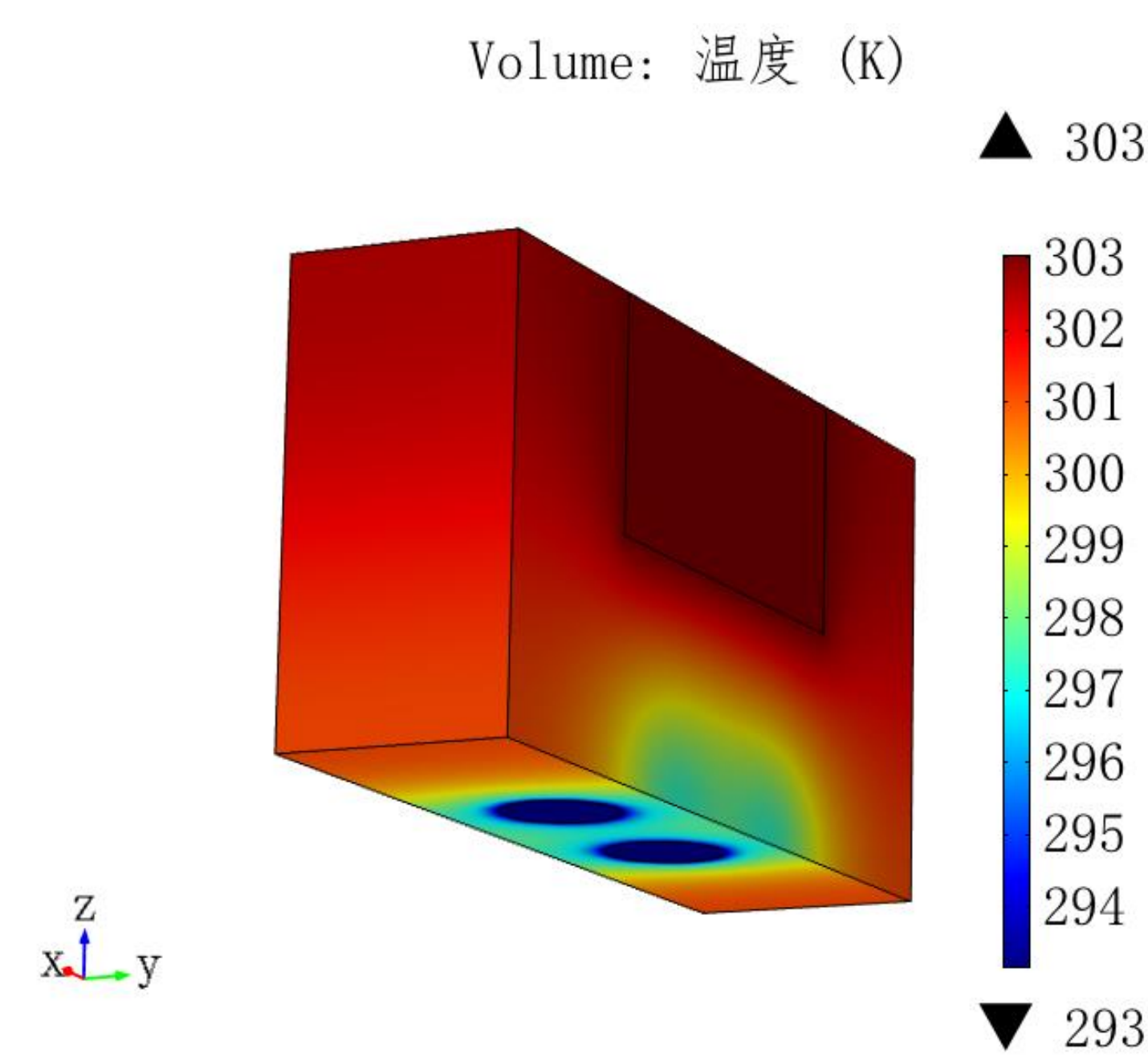


图 3. 模型中温度分布

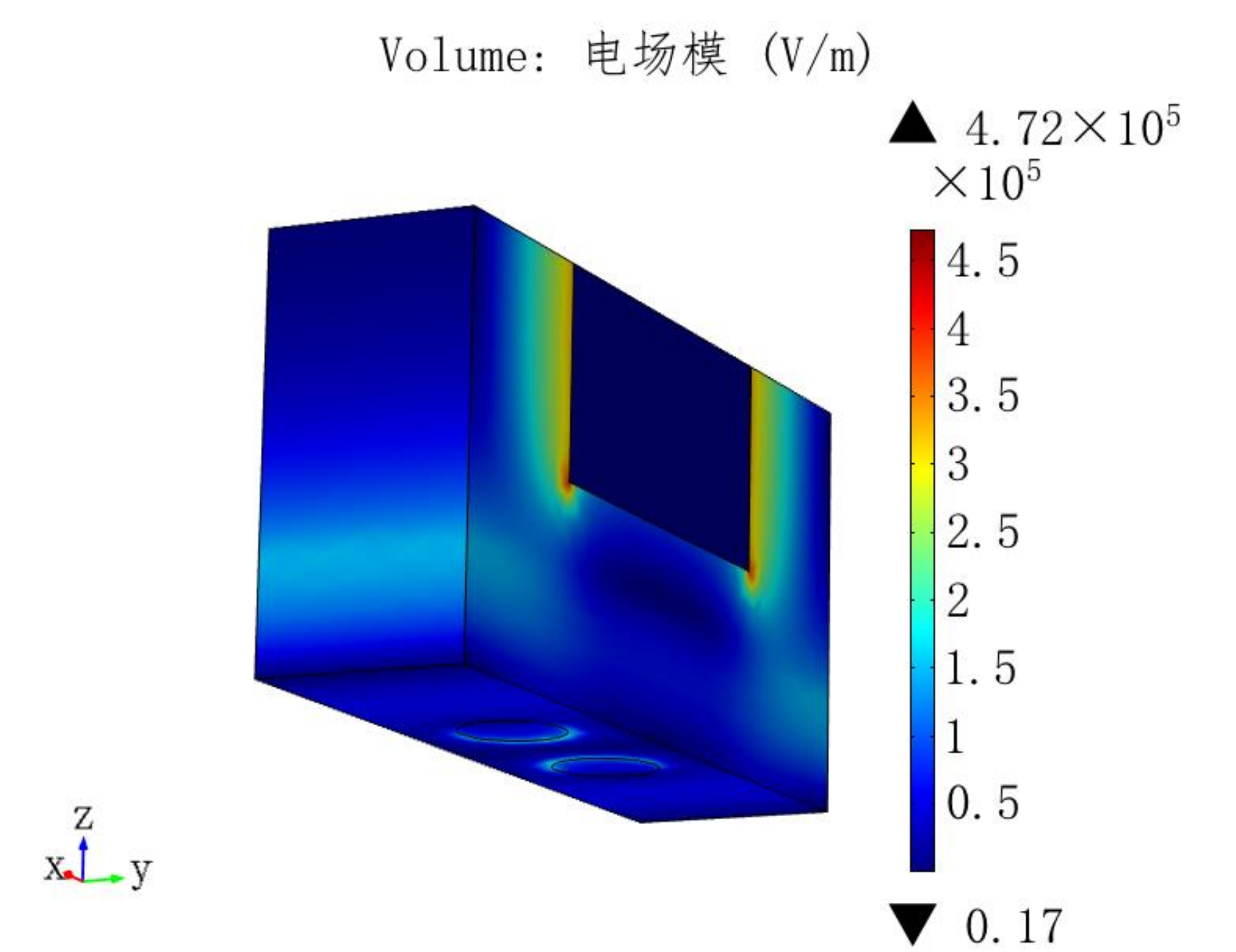


图 4. 电场分布

热导率乘以系数 c_k	最大电场 (V/m)	最大电位 (V)
0.5	5.4×10^5	310
1	5.7×10^5	323
2	5.9×10^5	329

表 1. 热导率对充电结果的影响

结论: 在介质深层充电领域, 率先实现了 电场与温度场的耦合仿真计算。特定工况下, 通过影响介质电导率, 介质材料热导率对温度分布影响很大, 从而对充电结果产生不可忽视的影响。

参考文献:

- [1] 张振龙, 全荣辉, 韩建伟. 卫星部件内部充放电试验与仿真[J]. 原子能科学技术, 2010, 44(增刊): 538-544.
- [2] 易忠, 王松, 唐小金. 不同温度下复杂介质结构内带电充电规律仿真分析[J]. 物理学报, 2015, 64(12): 125201.
- [3] Tang X J, Yi Z, Meng L F, et al. 3-D internal charging simulation on typical printed circuit board[J]. IEEE Transactions on plasma science, 2013, 41(12): 3448-3452.
- [4] Han J, Huang J G, Liu Z, et al. Correlation of double star anomalies with space environment[J]. Journal of Spacecraft and Rockets, Nov.-Dec. 2005, 42(6): 1061-1065.