

# 无线电能传输线圈温升计算

宋佳祥<sup>1,2</sup>, 安慧林<sup>1,2</sup>, 李艳红<sup>1</sup>, 张超<sup>1</sup>, 李孝凯<sup>1,2</sup>, 赵欣哲<sup>1,2</sup>, 刘国强<sup>1,2</sup>

1.中国科学院电工研究所, 北京

2.电子电气与通信工程学院, 中国科学院大学, 北京

**简介:**无线电能传输技术在电力、能源和汽车等领域得到了越来越广泛的关注与应用。目前随着电力和电子产品功能的完善与升级, 对电能功率的需求日益增强, 无线电能传输技术为匹配这些需求, 正朝着大功率和远距离的趋势发展。但是功率的加大, 线圈损耗功率往往也随之增大, 线圈损耗造成的线圈温升, 线圈的温升会带来系统绝缘老化和系统性能降低等一系列问题, 因此无线电能传输技术线圈温升的计算与预测对于无线电能传输系统设计有着非常重要的意义。

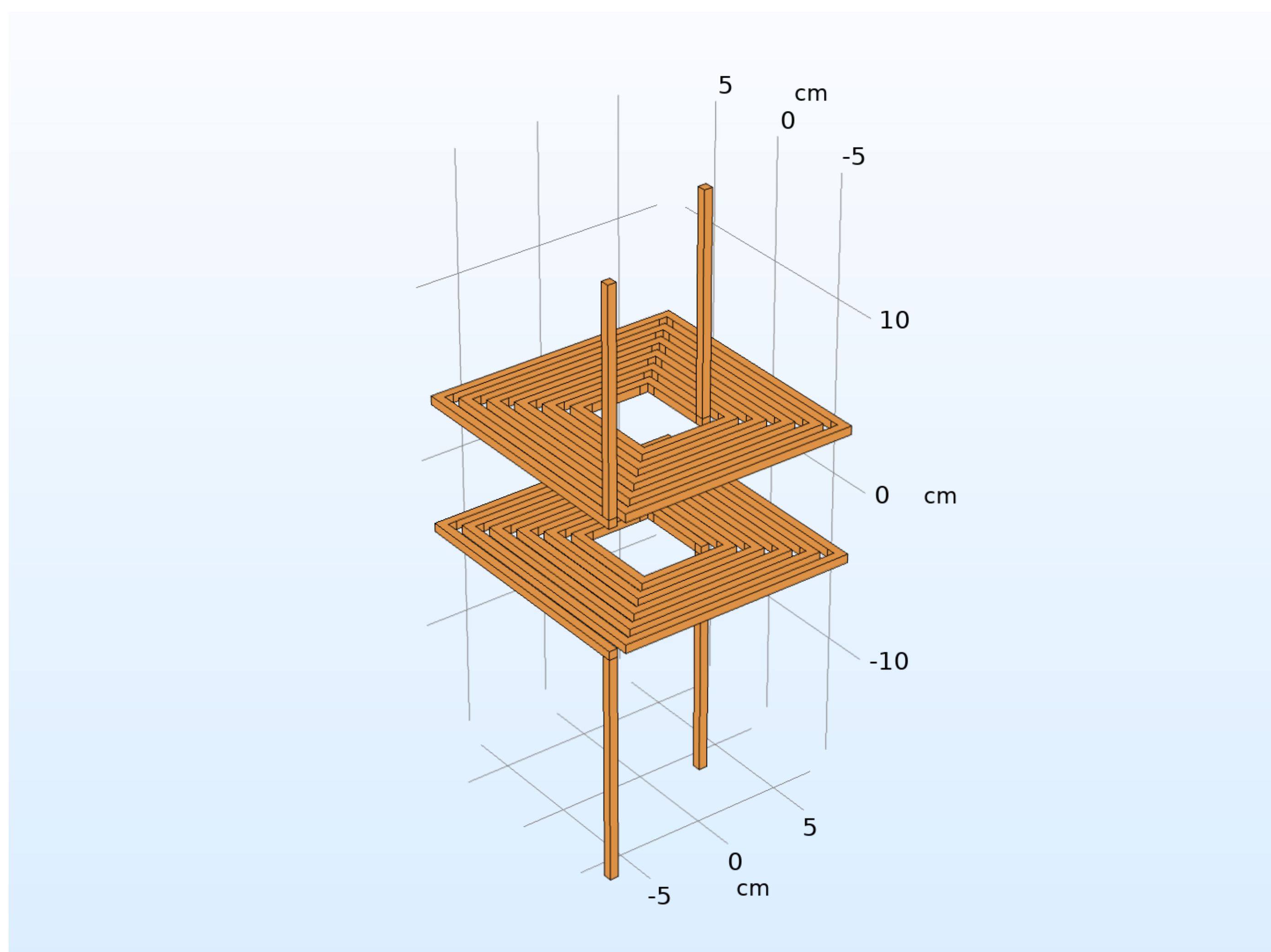


图 1. 无线电能传输线圈几何示意图

**计算方法:**本文以COMSOL Multiphysics 仿真计算平台为基础, 使用AC/DC模块、固体和流体传热和层流模块搭建无线电能传输有限元计算模型, AC/DC模块用于计算模型电磁损耗, 通过多物理场接口电磁热接口, 将电磁损耗耦合到固体流体传热模块计算线圈温升, 通过层流模块模拟不同散热条件和不同电流情况下无线电能传输线圈温度变化情况。

(1) 电磁场:

$$\begin{cases} \nabla \times \vec{H} = \vec{J} \\ \vec{B} = \nabla \times \vec{A} \\ \vec{J} = \sigma \vec{E} + \vec{J}_e \end{cases}$$

(2) 固体和流体传热场:

$$\begin{cases} \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q \\ \mathbf{q} = -k \nabla T \end{cases}$$

(3) 层流场:

$$\begin{cases} \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p\mathbf{I} + \mathbf{K}] + \mathbf{F} \\ \rho \nabla \cdot (\mathbf{u}) = 0 \\ \mathbf{K} = \mu (\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T) \end{cases}$$

线圈几何模型示意图如图1所示, 模型进风口和出风口边界如图2所示。

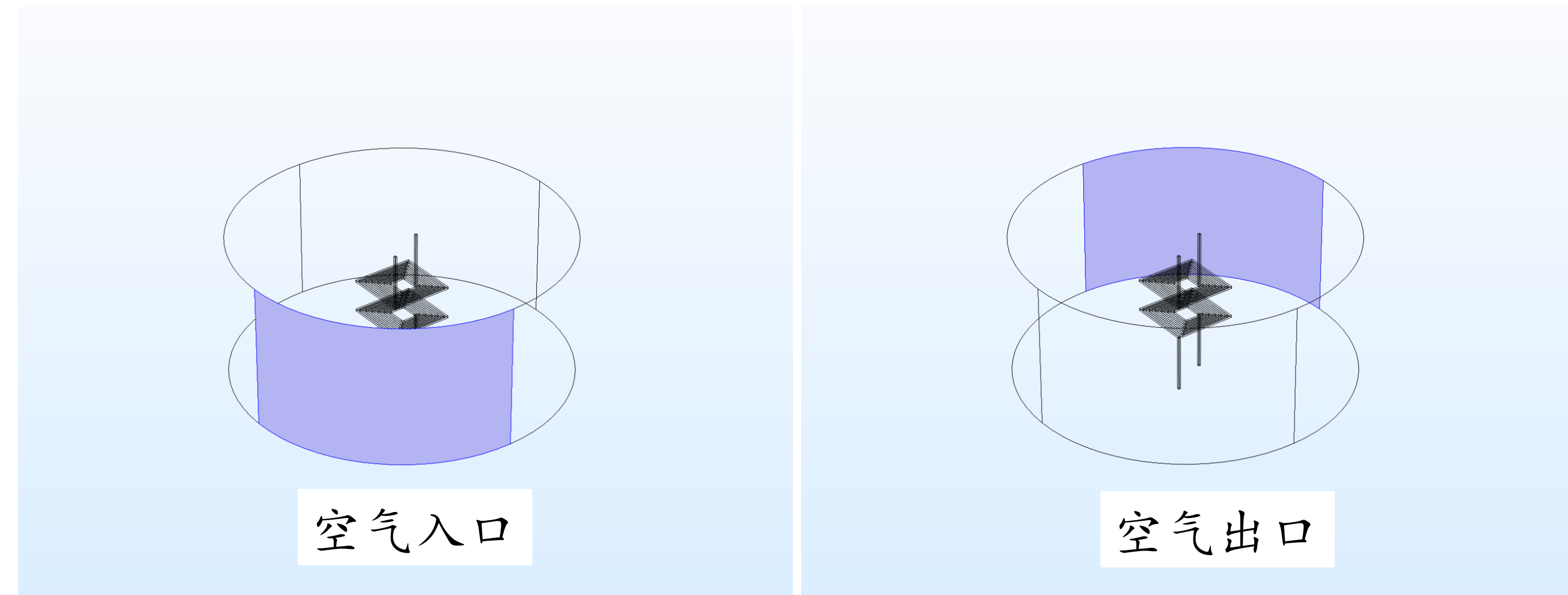


图 2. 模型进风口和出风口边界示意图

**结果:**本文基于COMSOL Multiphysics 仿真计算平台, 模拟计算不同电流和不同散热条件下无线电能传输线圈温度变化情况, 部分模型求解结果图如下图所示。

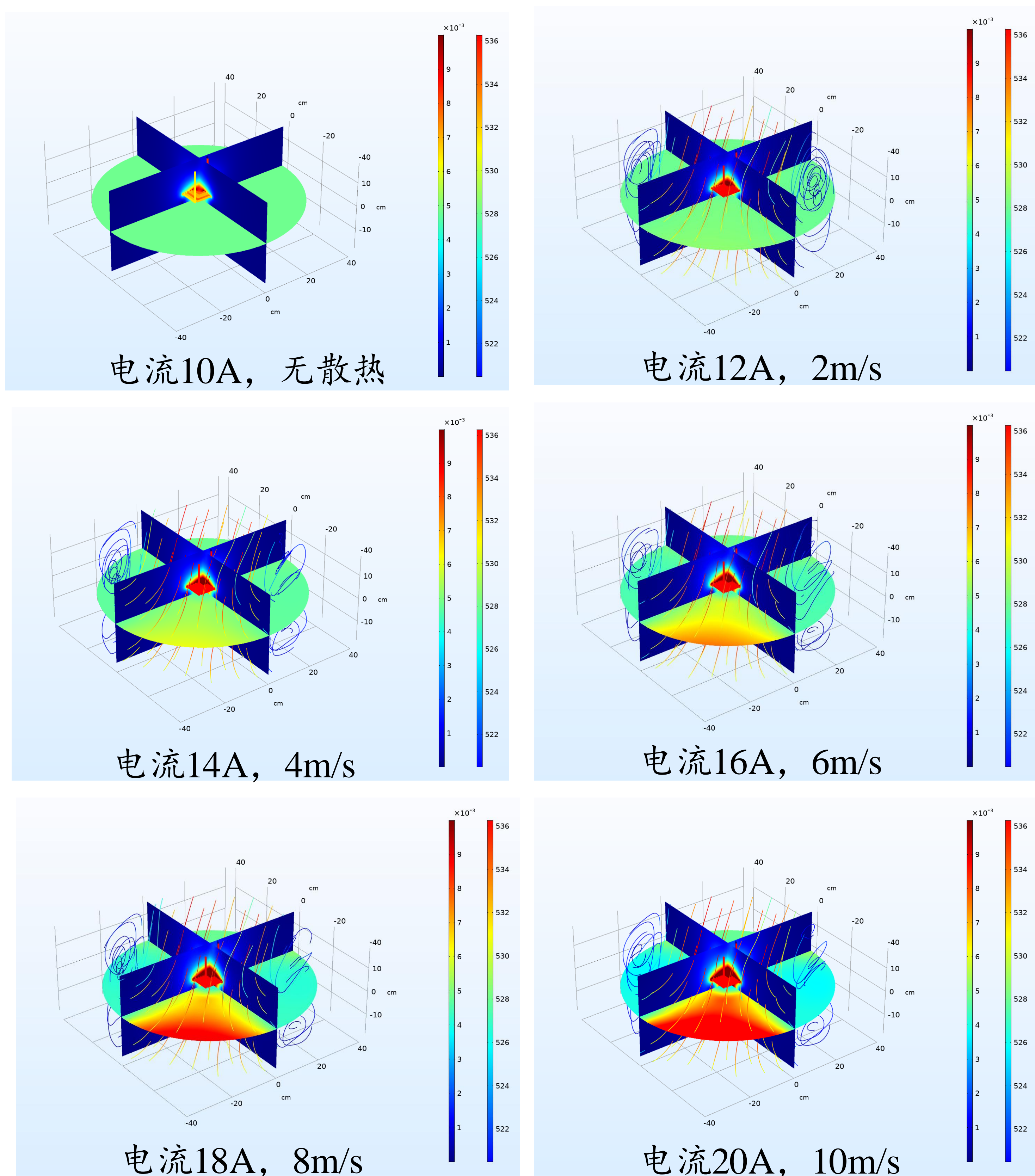


图 3. 不同散热条件下和电流情况下线圈发热和磁场分布结果示意图

**结论:**模型考虑了线圈电阻值随线圈温度变化的物理现象, 使计算结果更接近于实际情况。通过仿真计算, 得到了在不同线圈输入电流的情况下线圈温度的变化情况, 同时通过计算得到不同散热条件和不同电流情况下无线电能传输线圈温度变化情况, 无线电能传输线圈温度变化情况。仿真计算对于无线电能传输线圈和绝缘设计具有一定的指导意义。

**参考文献:**

1. Kurs A, Karalis A, Moffatt R, et al. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances[J]. Science, 317: 83-86.(2007)
2. 李艳红, 刘国强, 宋显锦, 等. 宽频磁耦合谐振式无线电能传输系统特性分析[J]. 电工技术学报, 30(19): 7-11.(2015)
3. Nguyen M Q, Hughes Z, Woods P, et al. Field distribution models of spiral coil for misalignment analysis in wireless power transfer systems[J]. Microwave Theory & Techniques IEEE Transactions on, 62(4): 920-930.(2014)
4. 安慧林, 刘国强, 李艳红, 张超, 宋佳祥. 三维抗偏转磁耦合谐振式无线电能传输谐振器特性研究[J]. 电工技术学报, 34(13):2679-2685.(2019)