

# 基于变换光学的可伸缩式微波炉研究

巫玉萍<sup>1</sup>, 朱铨丞<sup>2</sup>

1. 电子信息学院, 四川大学, 四川, 成都

2. 电子信息学院, 四川大学, 四川, 成都

## 简介:

家用微波炉为多模腔，腔体中微波为驻波，通过可伸缩式设计改变腔体尺寸可改变热点的位置，使加热更均匀得到更好的加热效果。本作品的仿真旨在解决腔体变化过程中移动边界的仿真困难。通过“光学时变各向异性介质理论”使得在网格不变化的情况下可计算运动目标的加热分析。

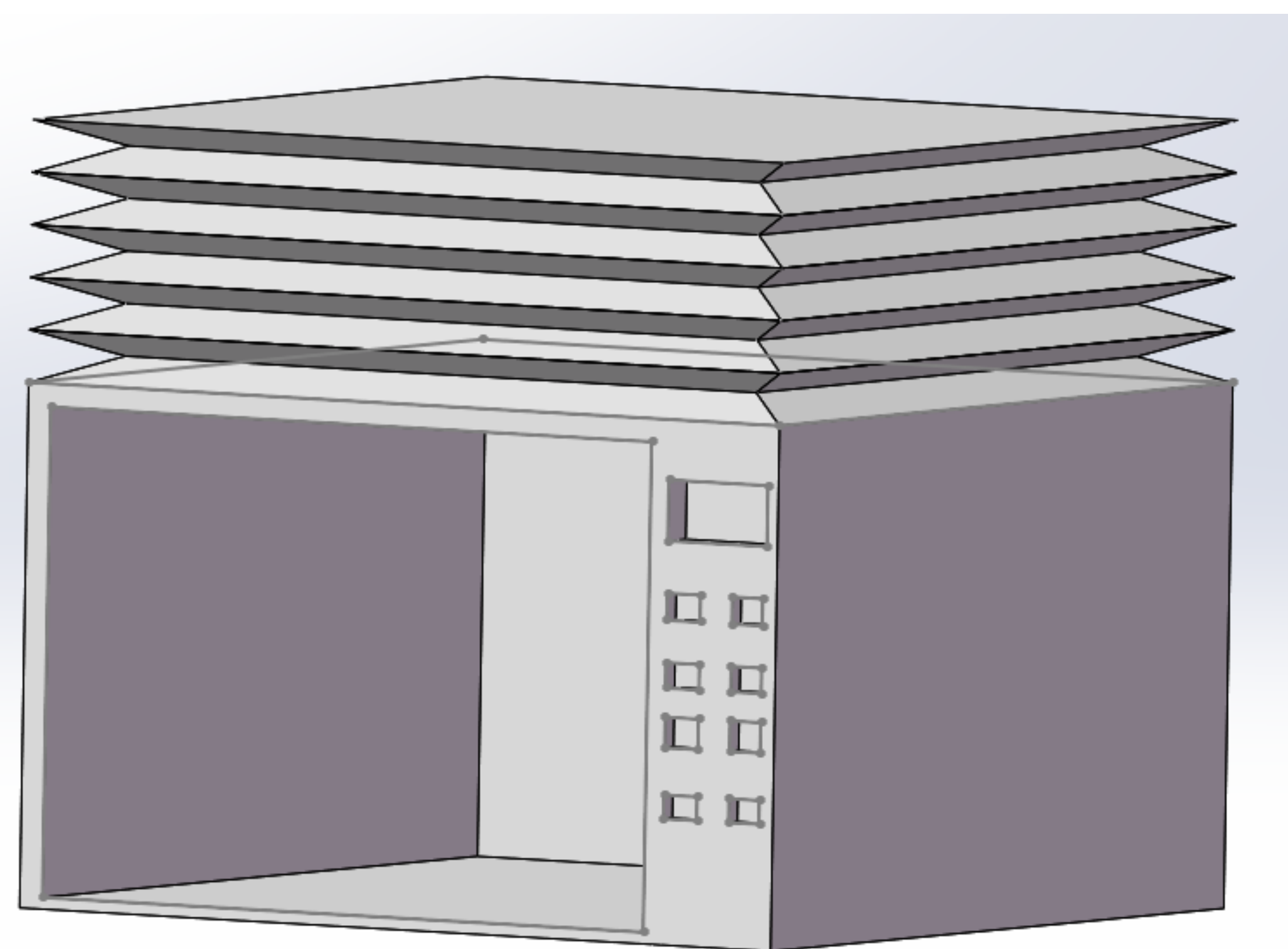


图 1. 可折叠式微波炉 (草图)

## 计算方法:

### 坐标变换

$$\vec{r} \rightarrow \vec{r}' = T(\vec{r})$$

$$\bar{\epsilon} = \epsilon \bar{\Lambda}$$

$$\bar{\mu} = \mu \bar{\Lambda}$$

$$\bar{\Lambda} = (\det \bar{J}) \cdot (\bar{J}^T \cdot \bar{J})^{-1}$$

### 雅可比张量

$$\bar{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x'}{\partial x} & \frac{\partial x'}{\partial y} & \frac{\partial x'}{\partial z} \\ \frac{\partial y'}{\partial x} & \frac{\partial y'}{\partial y} & \frac{\partial y'}{\partial z} \\ \frac{\partial z'}{\partial x} & \frac{\partial z'}{\partial y} & \frac{\partial z'}{\partial z} \end{bmatrix}$$

$$E(r) = E'(r') / |\bar{J}|^T$$

$$H(r) = H'(r') / |\bar{J}|^T$$

### 传热方程

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k \nabla T) = Q(t)$$

### 微波热

$$Q(t) = \frac{1}{2} \omega \epsilon_0 \epsilon'' (E \cdot E^*)$$

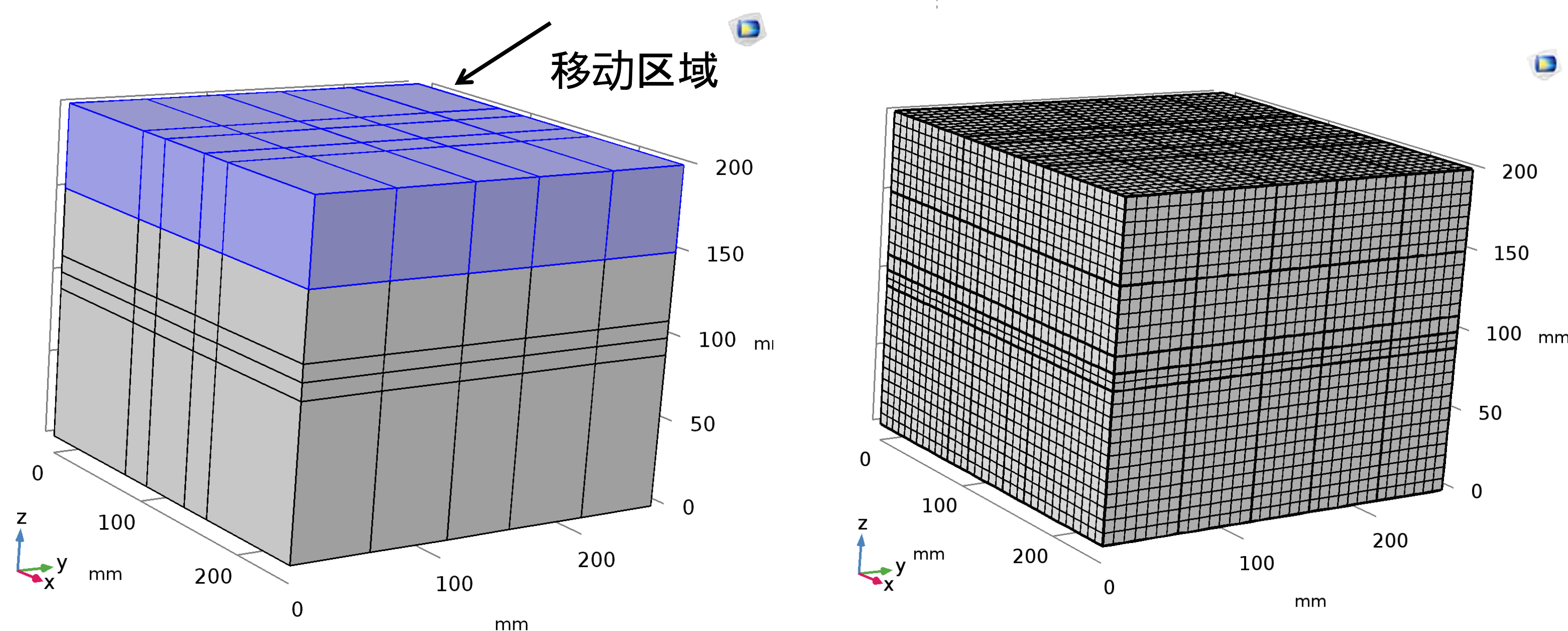


图 2. 几何建模

图 3. 网格划分

说明: 本次仿真计算中采用扫掠网格, 几何建模由多个矩形构成腔体, 便于网格划分。

## 结果:

Electric field norm (V/m)

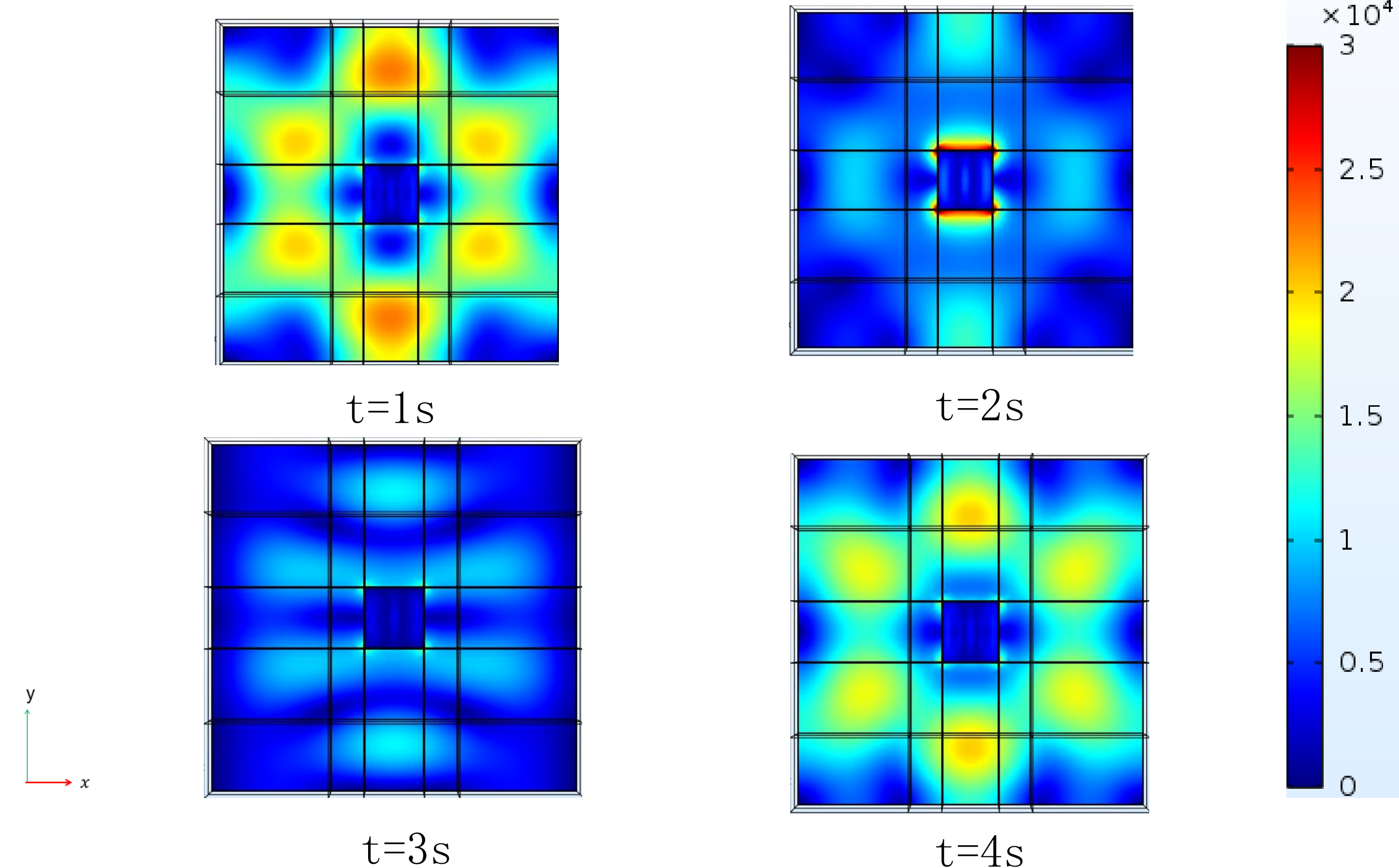


图 4. 同一截面不同时刻电场分布图

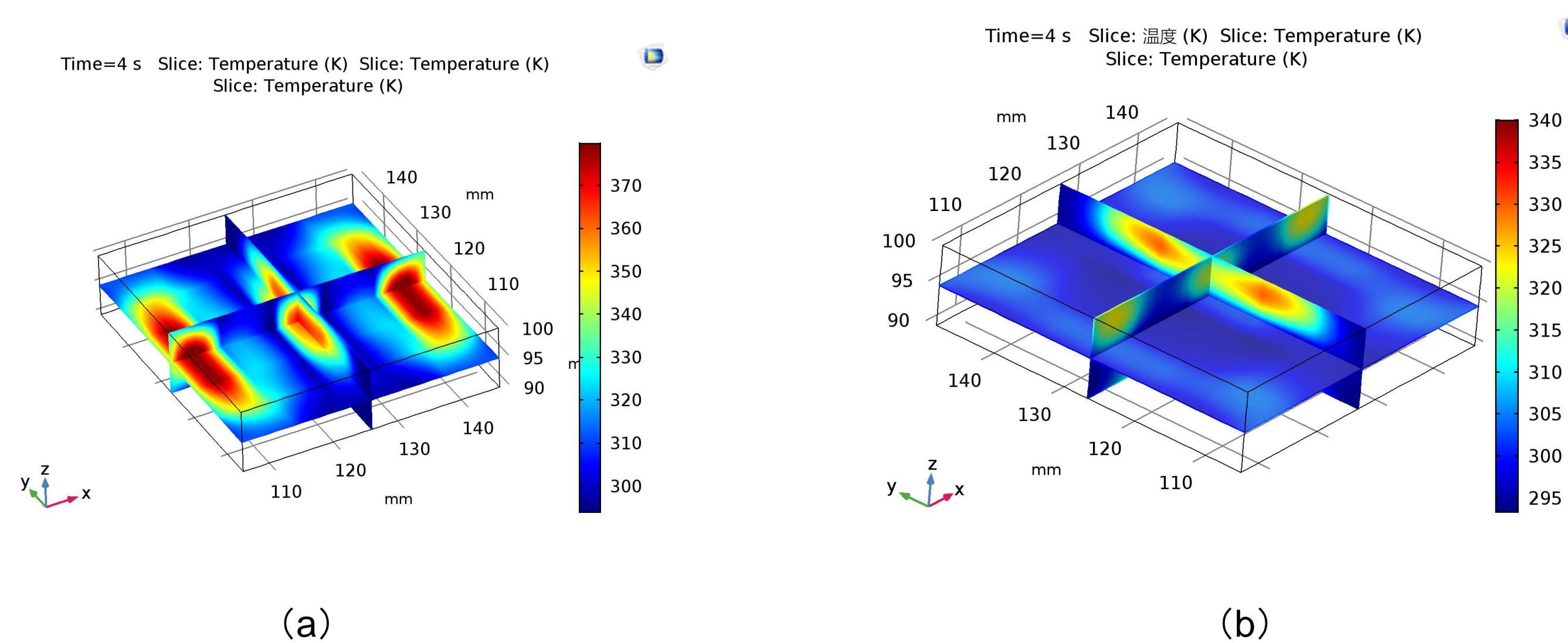


图 5. (a) 移动加热 (b) 静态加热

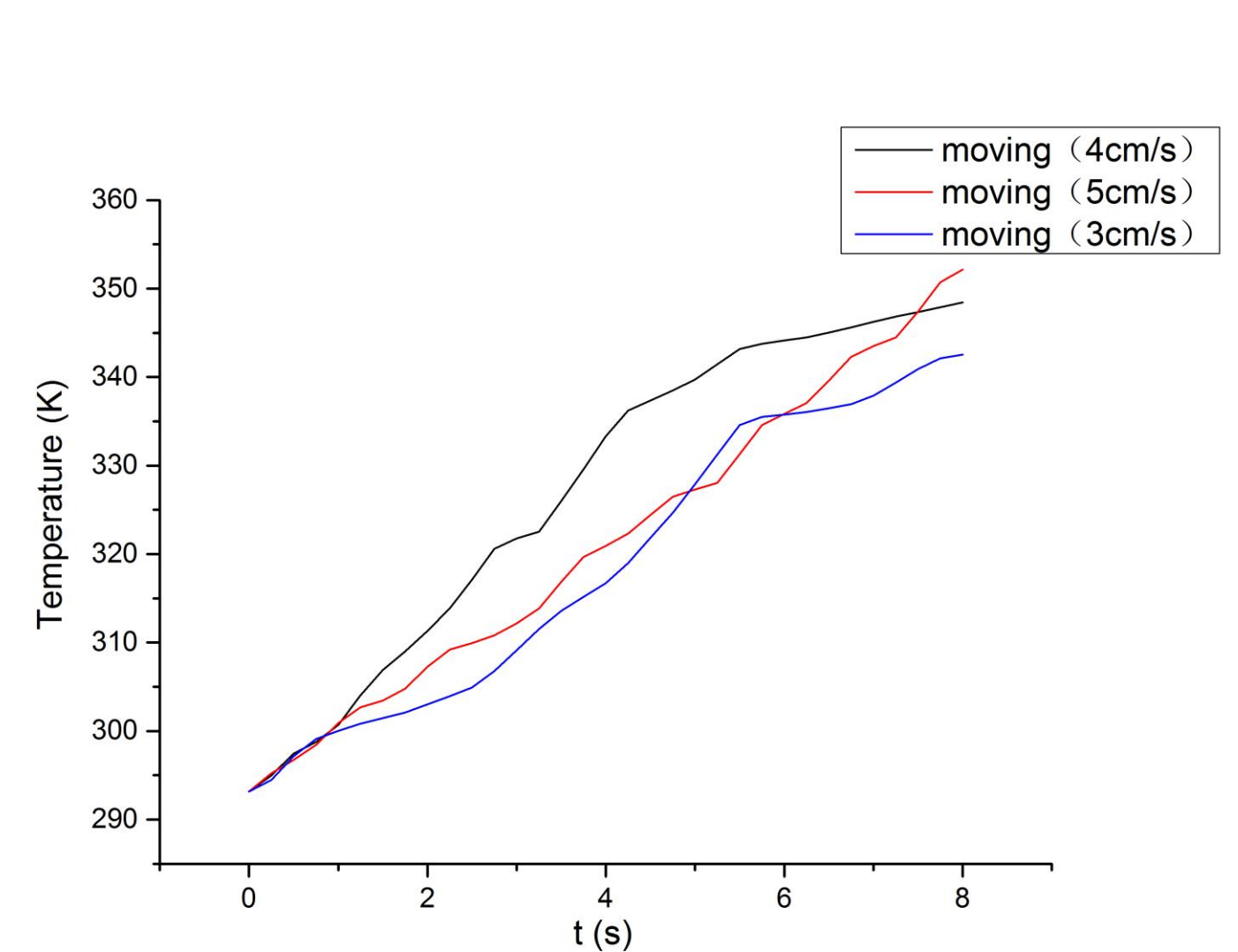


图 6. 不同移动速度温升对比图

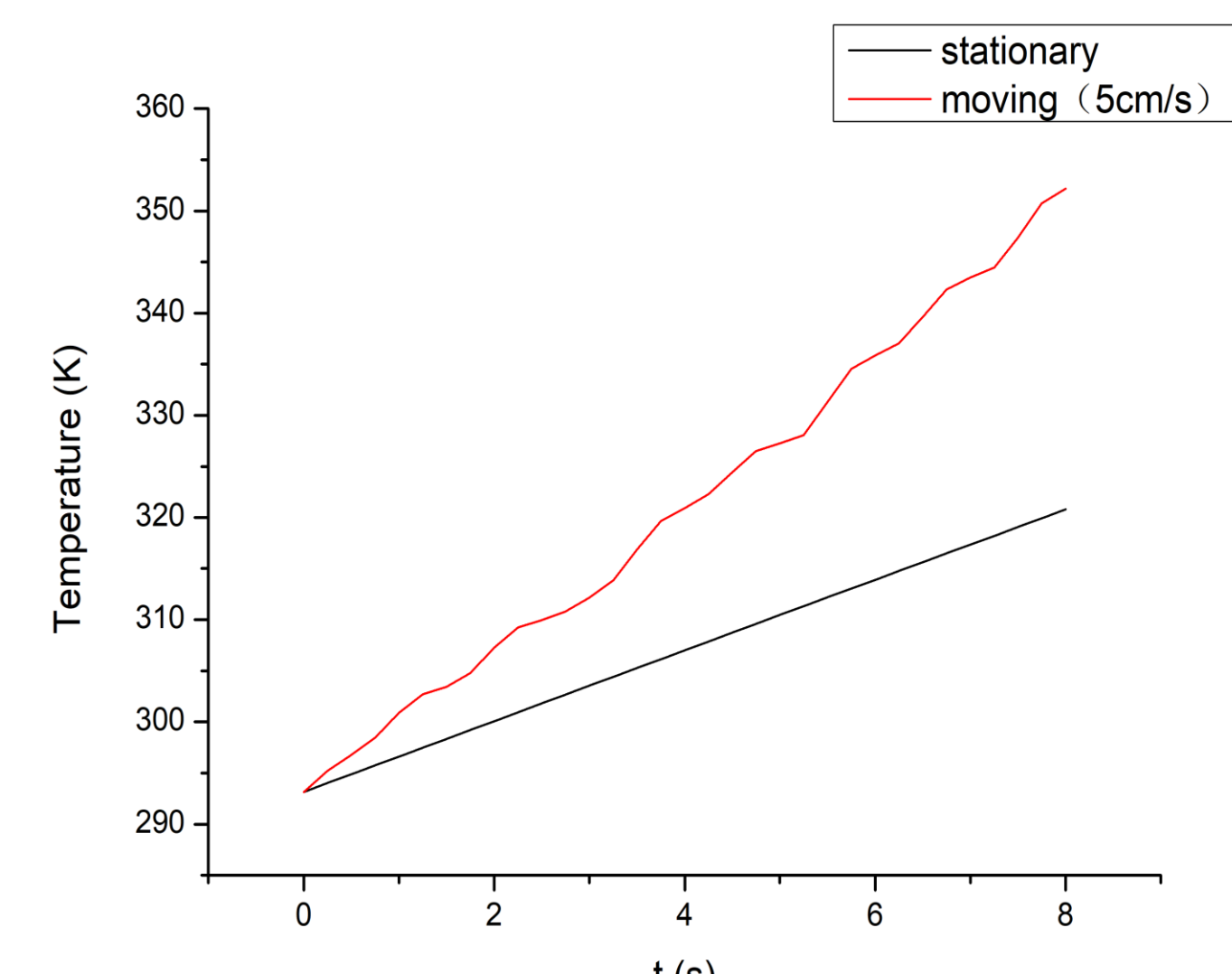


图 7. 动、静态温升对比图

## 结论:

从上述展示中可以看出, 并且通过伸缩式加热方式可以改变腔体内的电场分布, 继而使土豆的温升和均匀性都能够得到很大程度的提升。

利用变化光学理论和COMSOL Multiphysics可以解决在仿真过程中的移动边界的问题。使得网格在不移动的情况下, 实现仿真中的动态加热问题。

## 参考文献:

- Liao Y, Lan J, Zhang C, et al. A Phase-Shifting Method for Improving the Heating Uniformity of Microwave Processing Materials. [J]. Materials, 2016, 9(5):309.
- Zhu H C, Liao Y H, Xiao W, et al. Transformation Optics for Computing Heating Process in Microwave Applicators With Moving Elements [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2017, PP(99):1-9.
- 张兆镛, 钟若青, 微波加热技术基础[M], 北京: 电子工业出版社 (1988)
- 谢处方, 饶克谨, 电磁场与电磁波, 北京: 高等教育出版社, (2006)

