

微波多模腔金属边界移动对加热的影响研究

于雨田

四川大学，电子信息学院，一环路南一段24号，成都市，四川省，610065

引言：微波作为一种新型和高效的加热方法，即时性、选择性、高效性和安全性是其优点，但其加热不均匀的缺点也是无法避免的。针对这一问题，本文通过 COMSOL Multiphysics® 软件，仿真研究通过移动微波加热炉金属壁，调节炉内的电场分布，从而提高微波加热的均匀性和效率。

结果：

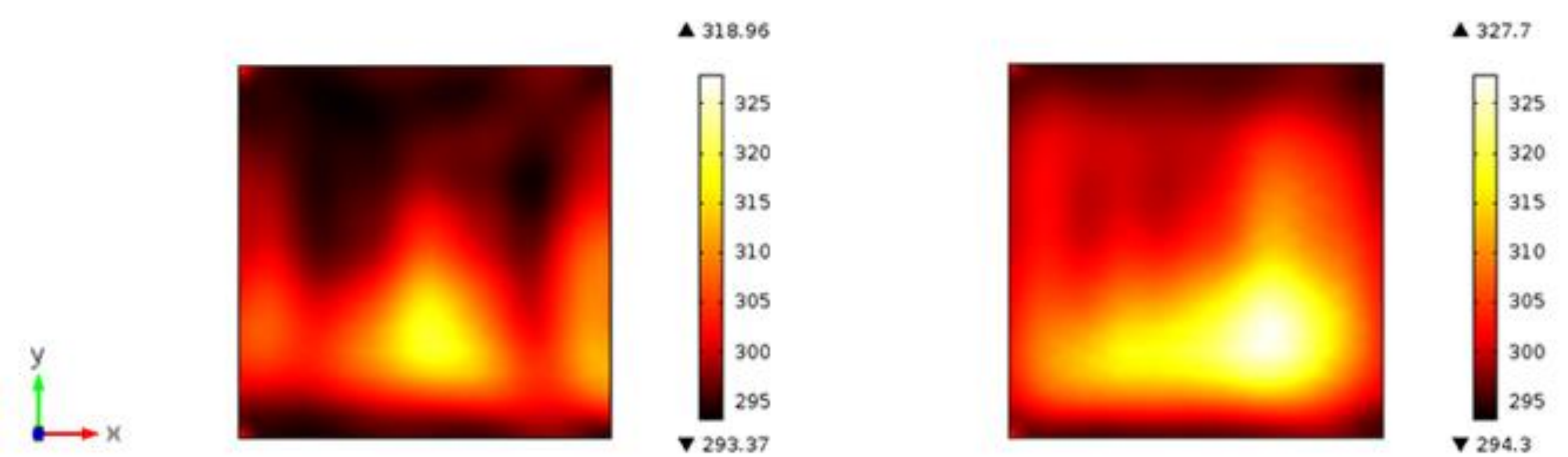


图 4. 移动 2s 后土豆的温度分布

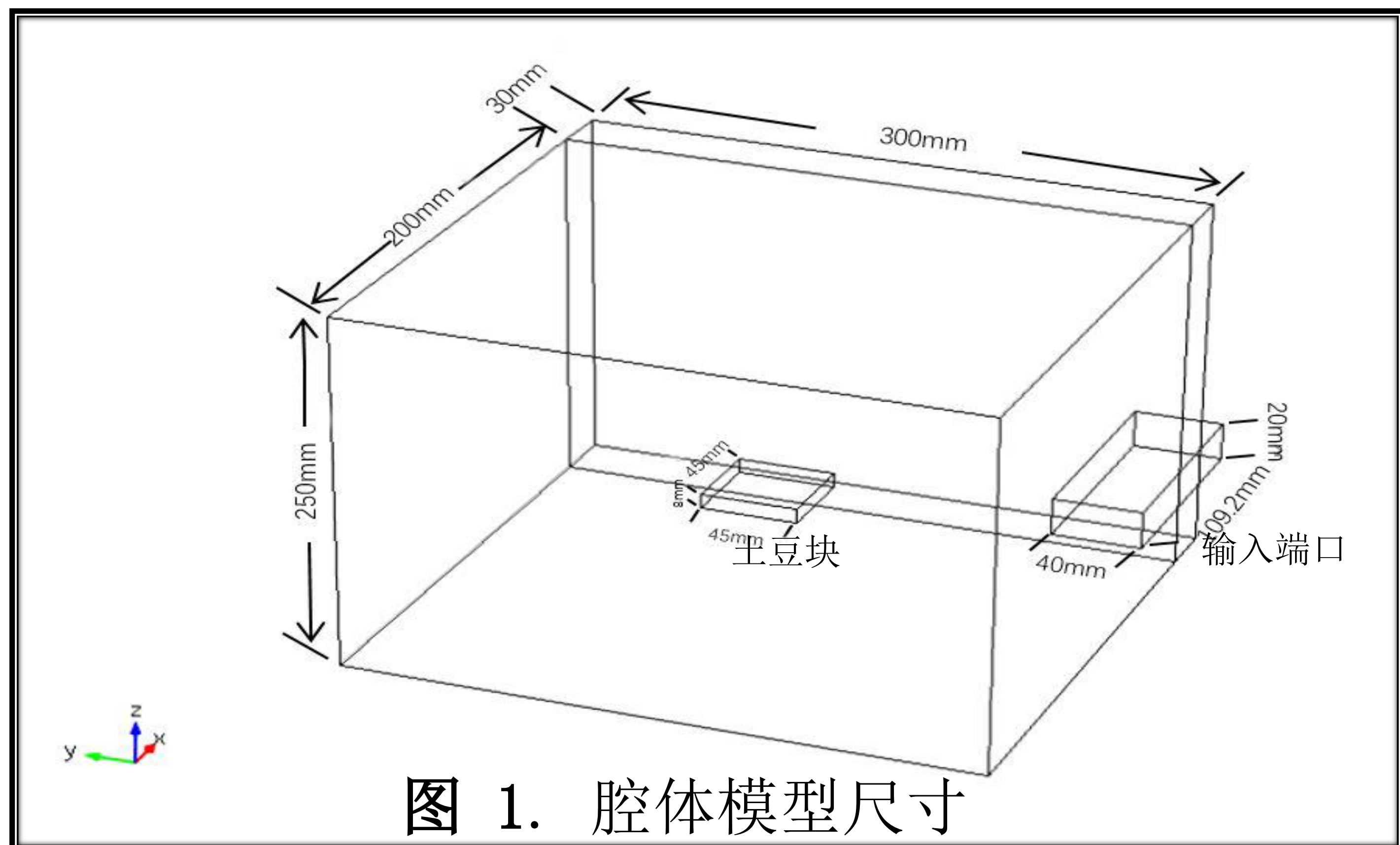


图 1. 腔体模型尺寸

计算方法及移动网格设计：Maxwell 方程是电磁场环境下建模的常用理论基础，本文通过麦克斯韦方程计算腔体内的电场强度的分布：

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J}$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

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

设为单位体积的功率损耗为 P_d ，根据 Maxwell 方程组和傅里叶定理推导的公式：

$$\rho_m C_p \frac{\partial T(\vec{r}, t)}{\partial t} = K_t \nabla^2 T(\vec{r}, t) + P_d(\vec{r}, t)$$

用修正 COV' 值来体现微波加热的均匀性：

$$COV' = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}}{\Delta \bar{T}}$$

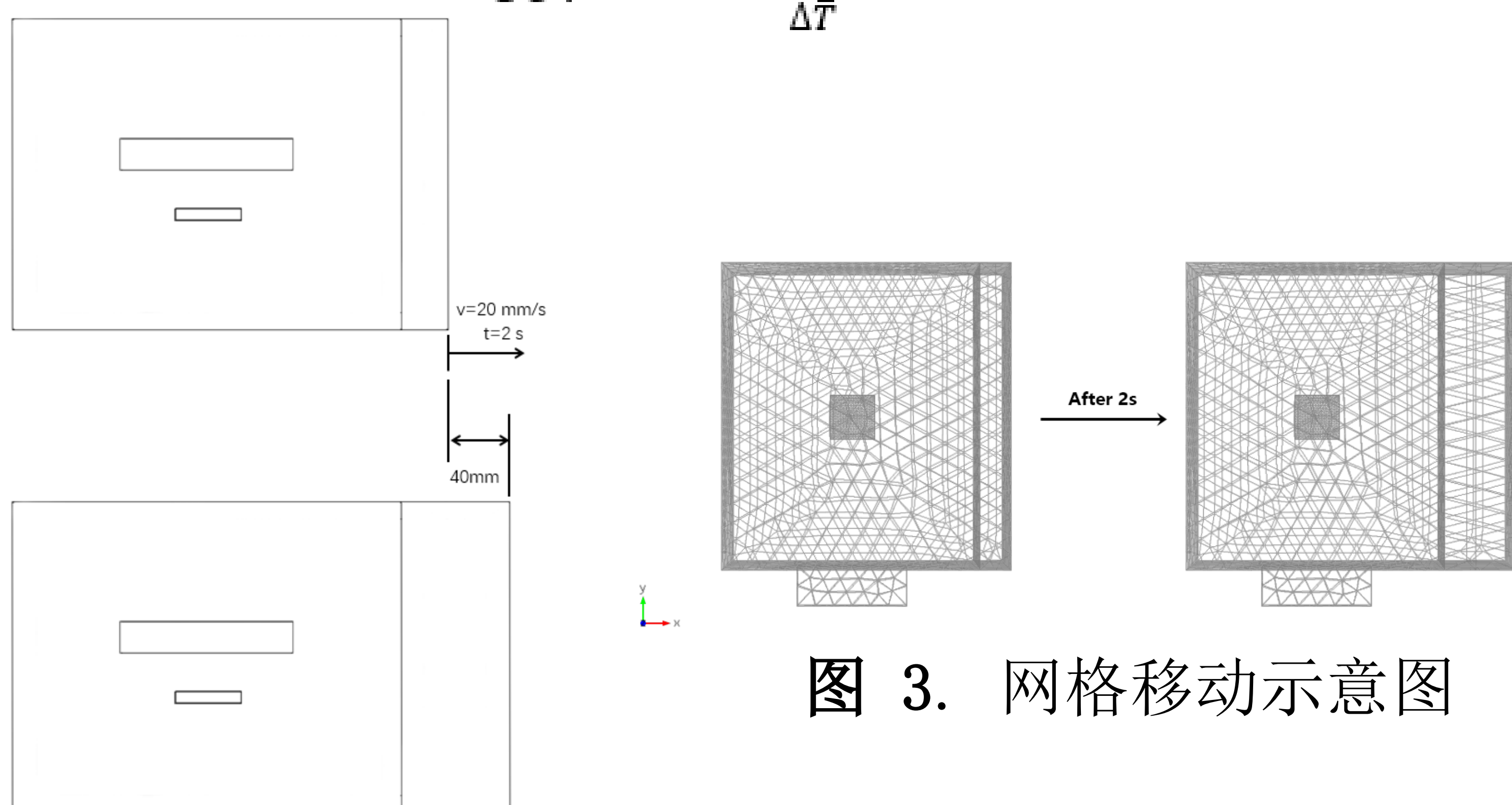


图 3. 网格移动示意图

图 2. 金属壁移动示意图

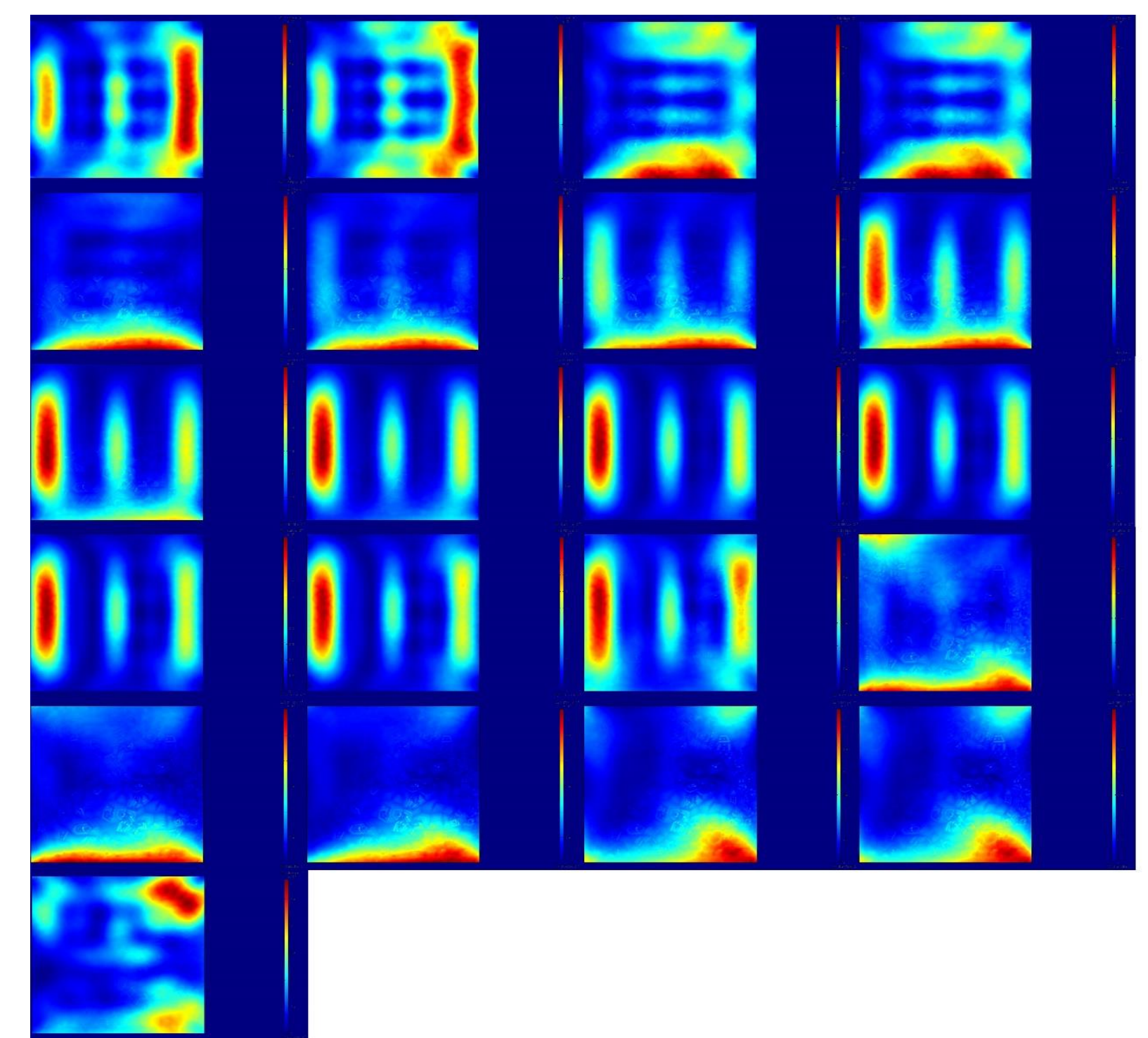


图 5. 土豆块区域电磁功率损耗密度变化

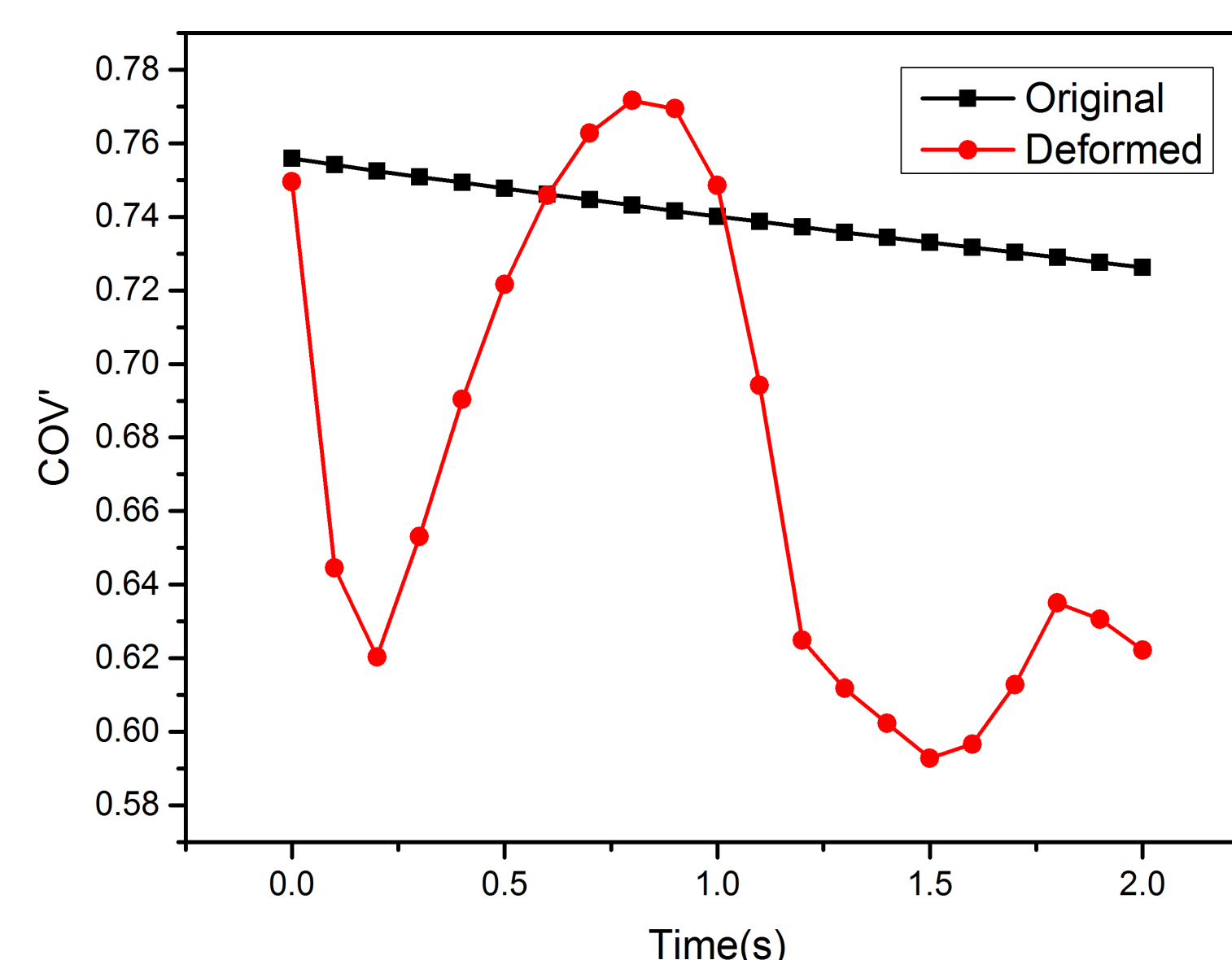


图 6. 土豆修正COV' 值

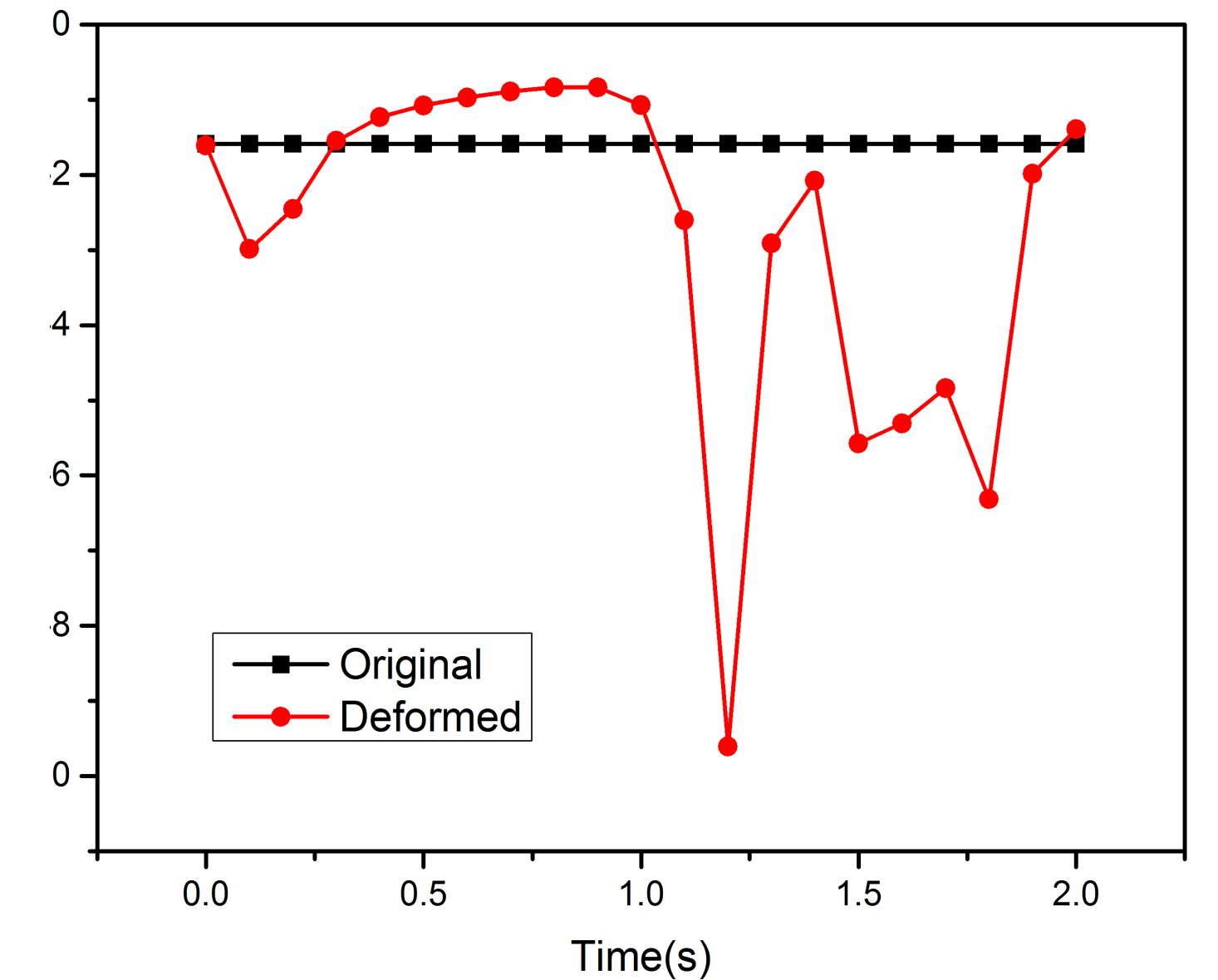


图 7. 端口S11参数曲线

结论：在本文设计的微波腔体模型中，金属壁移动 40mm 后，加热物体的加热均匀性提高了14.33%，加热效率提高了38.53%，说明移动微波腔体金属壁可以有效地提高模型的加热均匀性和加热效率。本文设计的移动微波腔体金属壁调节腔体内电场分布的方法，为微波加热领域提供了一种可行有效的解决加热均匀性和效率的方案。

参考文献：

- [1] 马志霞, 刘松森. 现代工业技术在粮油储藏管理中的应用——以微波技术为例[J]. 科学传播, 2010(18): 110-111.
- [2] 刘刚. 一种新型可变功率微波炉的研制[D]. 四川: 电子科技大学, 2008: 14-15.
- [3] 赵文卓. 物理知识在化学中的应用[J]. 科技创新导报, 2012(1): 250.
- [4] 王夏. 微波加热强化铁氧化物团煤基还原研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010: 29.
- [5] 宋燎原. 微波加热系统设计及谐振腔内电磁场分布研究[D]. 山东: 中国石油大学, 2004: 11.
- [6] Guo Q-g, Yang X-q, Yang L-j. Influences of Stir and Viscosity Coefficient on the Formation of Hotspots During Microwave Heating[J]. Asian Journal of Chemistry, 2010, 22(6): 4450.
- [7] 金建铭. 电磁场有限元方法[M]. 西安电子科技大学出版社, 1998.
- [8] Pozar D M. Microwave engineering [M]. John Wiley & Sons, 2009.
- [9] Birnboim A, Gershon D, Calame J, et al. Comparative study of microwave sintering of zinc oxide at 2.45, 30, and 83 GHz[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1998, 81(6): 1493-1501.
- [10] Li Wu, Huacheng Zhu, Kama Huang. Thermal analysis on the process of microwave-assisted biodiesel Production [J]. Bioresource Technology, 2013: 279-284.
- [11] Torres F, Jecko B. Complete FDTD analysis of microwave heating processes in frequency-dependent and temperature-dependent media [J]. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. 1997, 45(1): 108-117.
- [12] Funawatashi Y, Suzuki T. Numerical analysis of microwave heating of a dielectric[J]. Heat Transfer—Asian Research, 2003, 32(3): 227-36.
- [13] R. Scardovelli and S. Zalesk, "Direct Numerical Simulation of Free Surface and Interfacial Flow," Annu. Rev. Fluid Mech., vol. 31, pp. 567-60, 1999.
- [14] J. Gerbeau and T. Lelievre, "Generalized Navier Boundary Condition and Geometric Conservation Law for Surface Tension," Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering, vol. 198, pp. 644-656, 2009.
- [15] W. Ren and E. Weinan, "Boundary Conditions for the Moving Contact Line Problem," Physics of Fluids, vol. 19, p. 022101, 2007.
- [16] W. Ren and D. Hu, "Continuum Models for the Contact Line Problem," Physics of Fluids, vol. 22, p. 102103, 2010.
- [17] 吴娟, 顾赛赛. 变异系数的统计推断及其应用[J]. 铜仁学院学报, 2010, 12(1): 139.