

铁芯电抗器的多物理场温升仿真分析

黄文聪¹, 阎诺¹, 吴锋¹, 张文聪¹, 刘凌云¹

1. 电气与电子工程学院, 湖北工业大学, 湖北省, 武汉市

简介: 整个电力系统中存在大量的无功功率, 因此需要设计及安装各种型式、等级的电抗器以消耗这部分无功功率。由于铁芯电抗器具有损耗小、噪音低、维护简单、电抗值线性度好、设计寿命长等优点, 得到了越来越广泛的应用。但由于电抗器通风散热不良, 导致运行中不同程度的局部过热, 造成匝间短路、烧损, 甚至引起火灾, 严重影响电抗器的安全运行。该问题涉及电-磁-热-流体多物理场耦合, 电抗器正常运行时电阻损耗和涡流损耗构成主要热源。本文采用COMSOL Multiphysics®多物理场仿真软件, 通过AC/DC模块、传热模块、流体模块对铁芯电抗器的电路、磁场、损耗和温升空间分布进行研究。首先施加激励分别得到铁芯、线圈的磁场及损耗密度分布, 然后将铁芯及线圈的损耗值添加为插值, 作为流场-温度场耦合计算的热源, 从而计算出电抗器整体的温度分布。本研究能够准确掌握铁芯电抗器内部温度场分布, 从而得到热点分布, 为电抗器的结构优化设计及现场及运维人员提供了理论依据。

计算方法:

$$\begin{cases} n \times A = 0 \\ \nabla \times H = J \\ J_e = \frac{NI_{cir}}{A} e_{coil} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \rho C_p u \cdot \nabla T + \nabla \cdot q = Q + Q_{ted} \\ q = -k \nabla T \\ q_0 = h(T_{ext} - T) \end{cases}$$

结果:

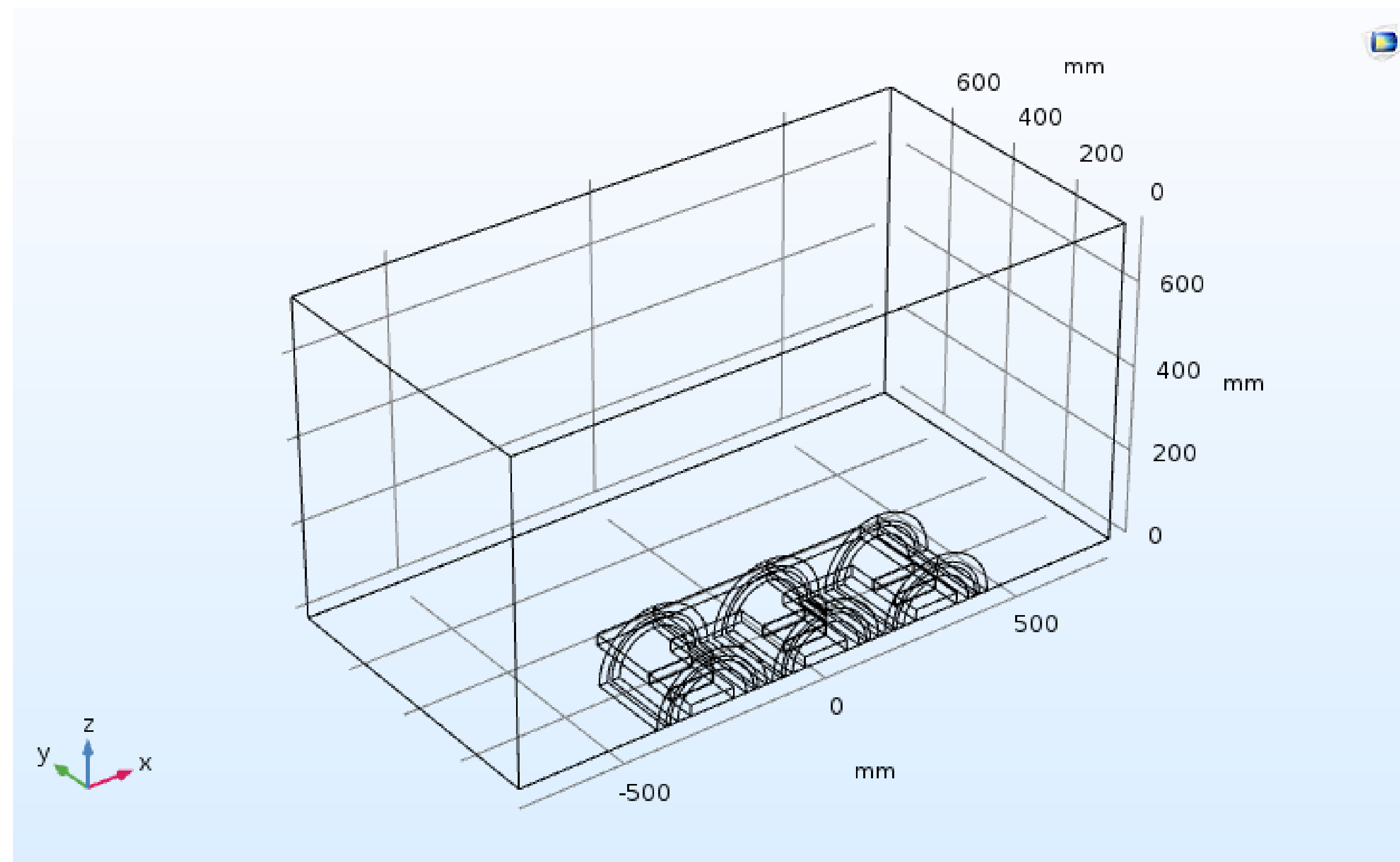


图 1. 铁芯电抗器三维模型

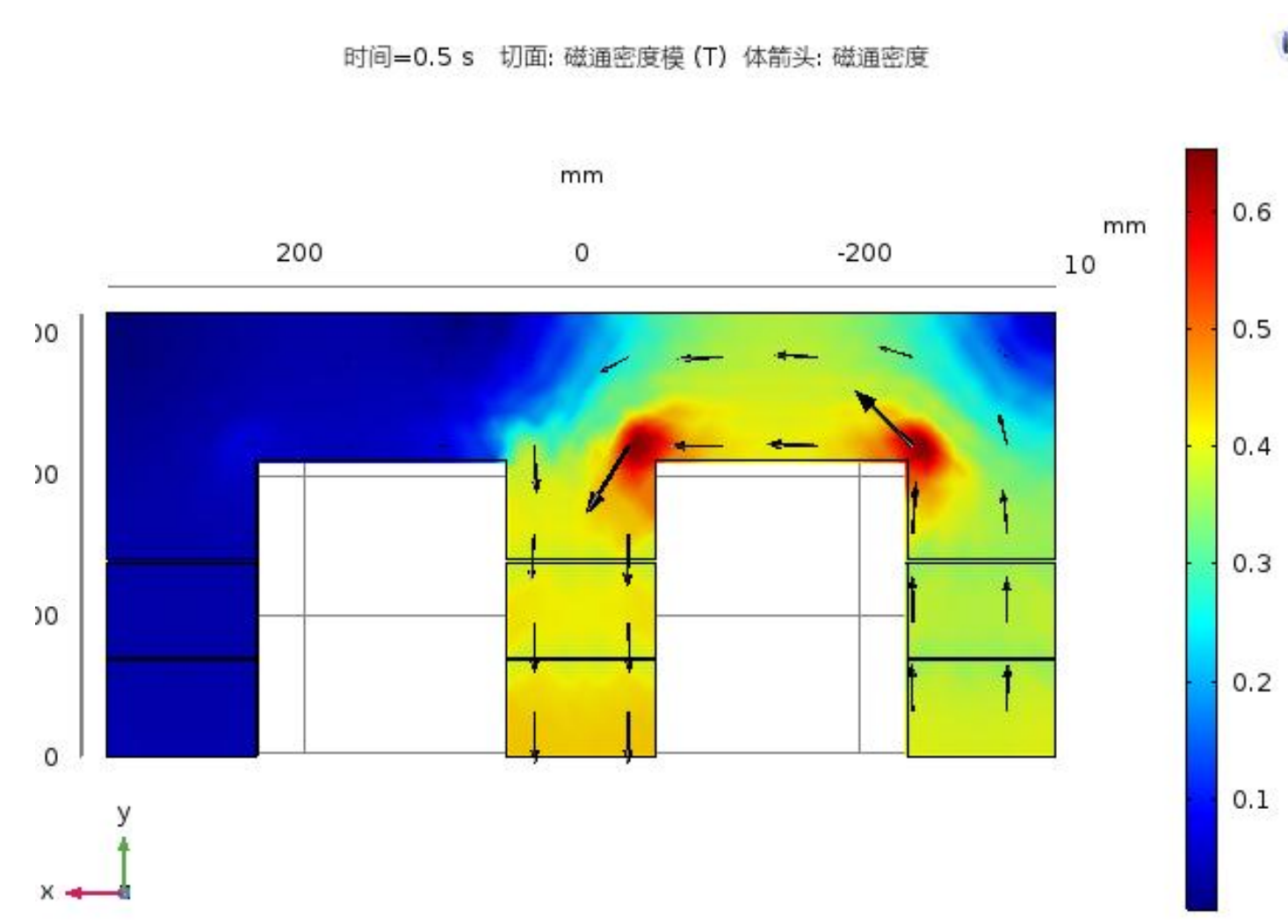


图 2. 铁芯磁通密度

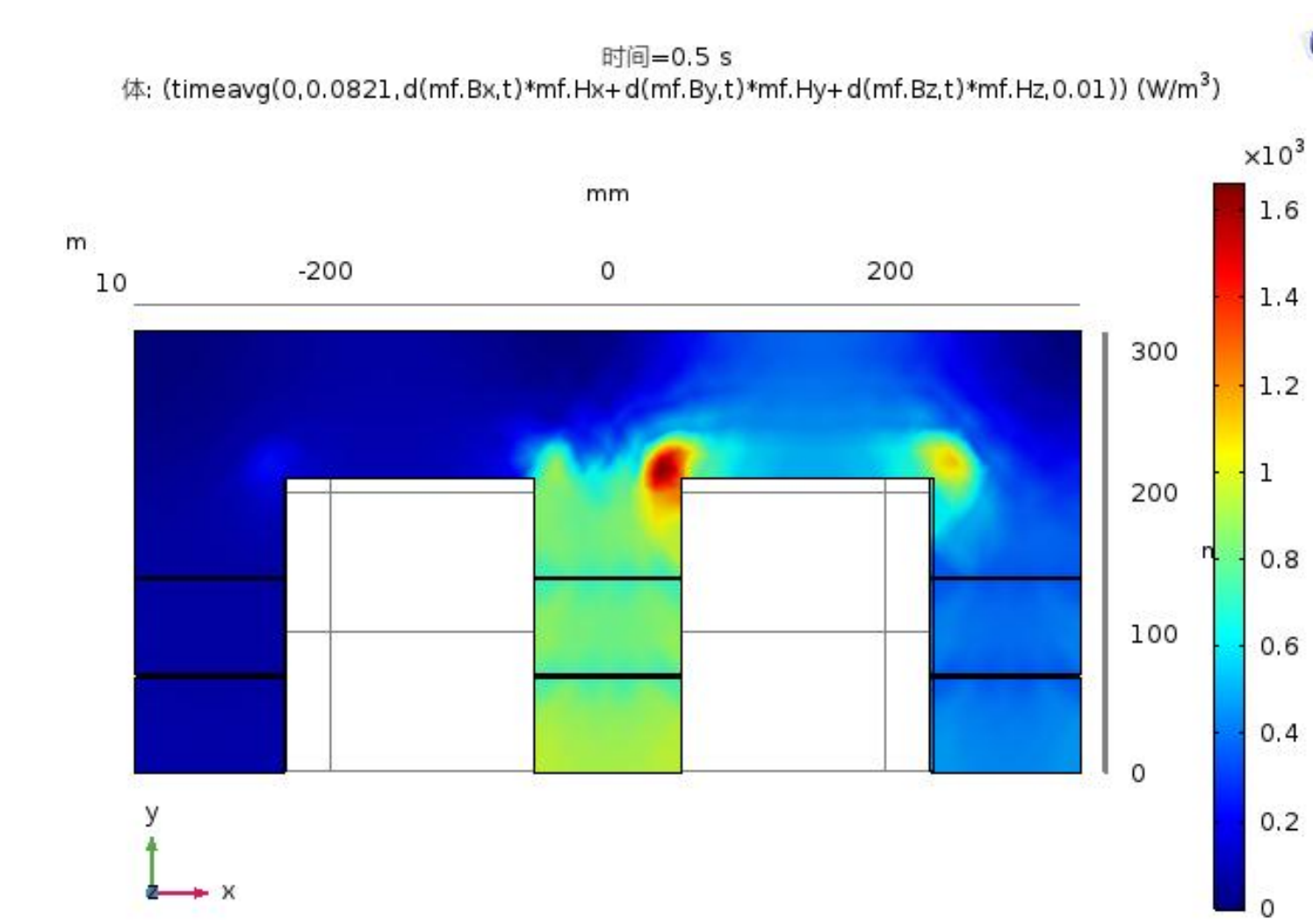


图 3. 铁芯0.5s损耗

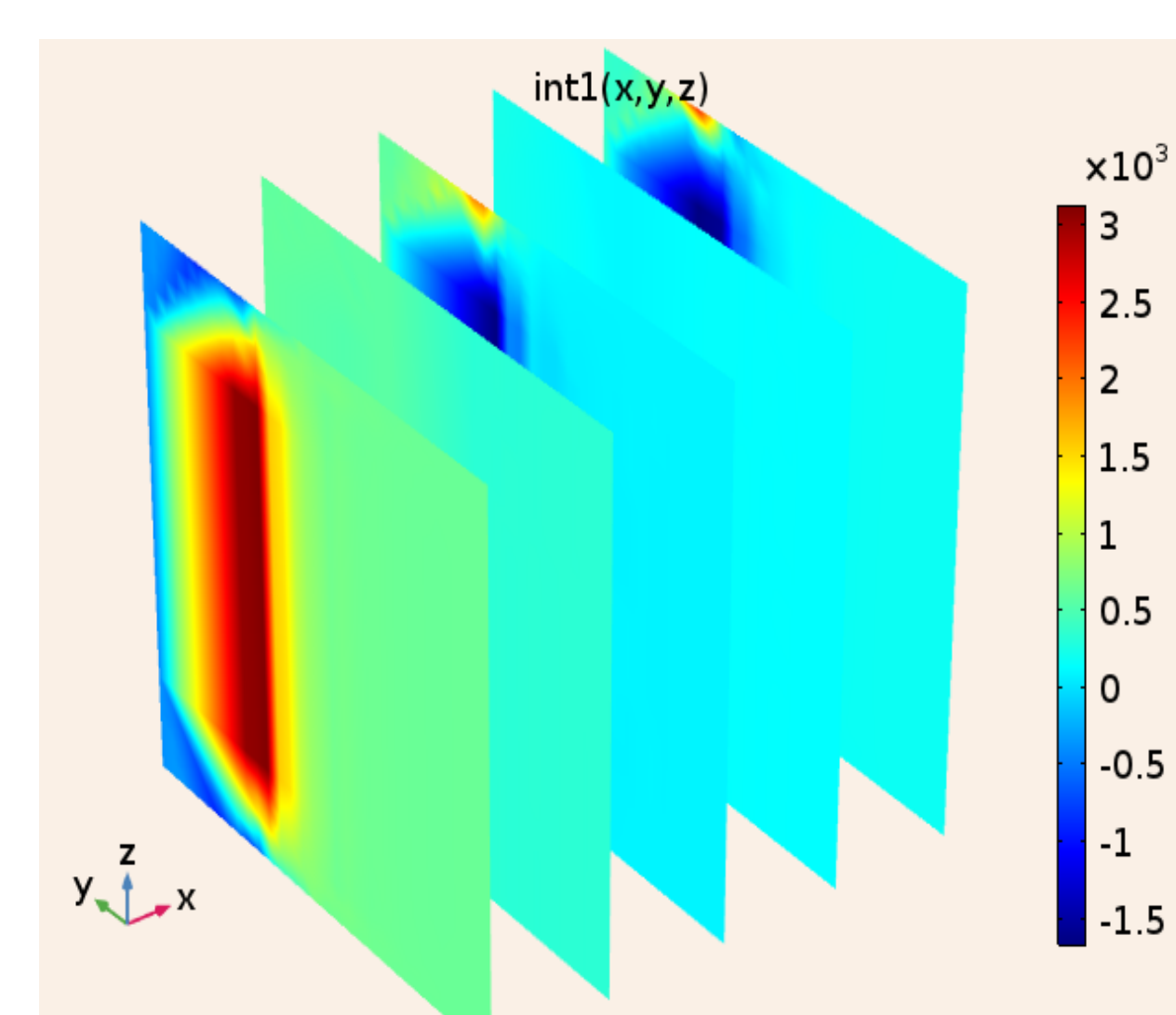


图 4. 损耗插值

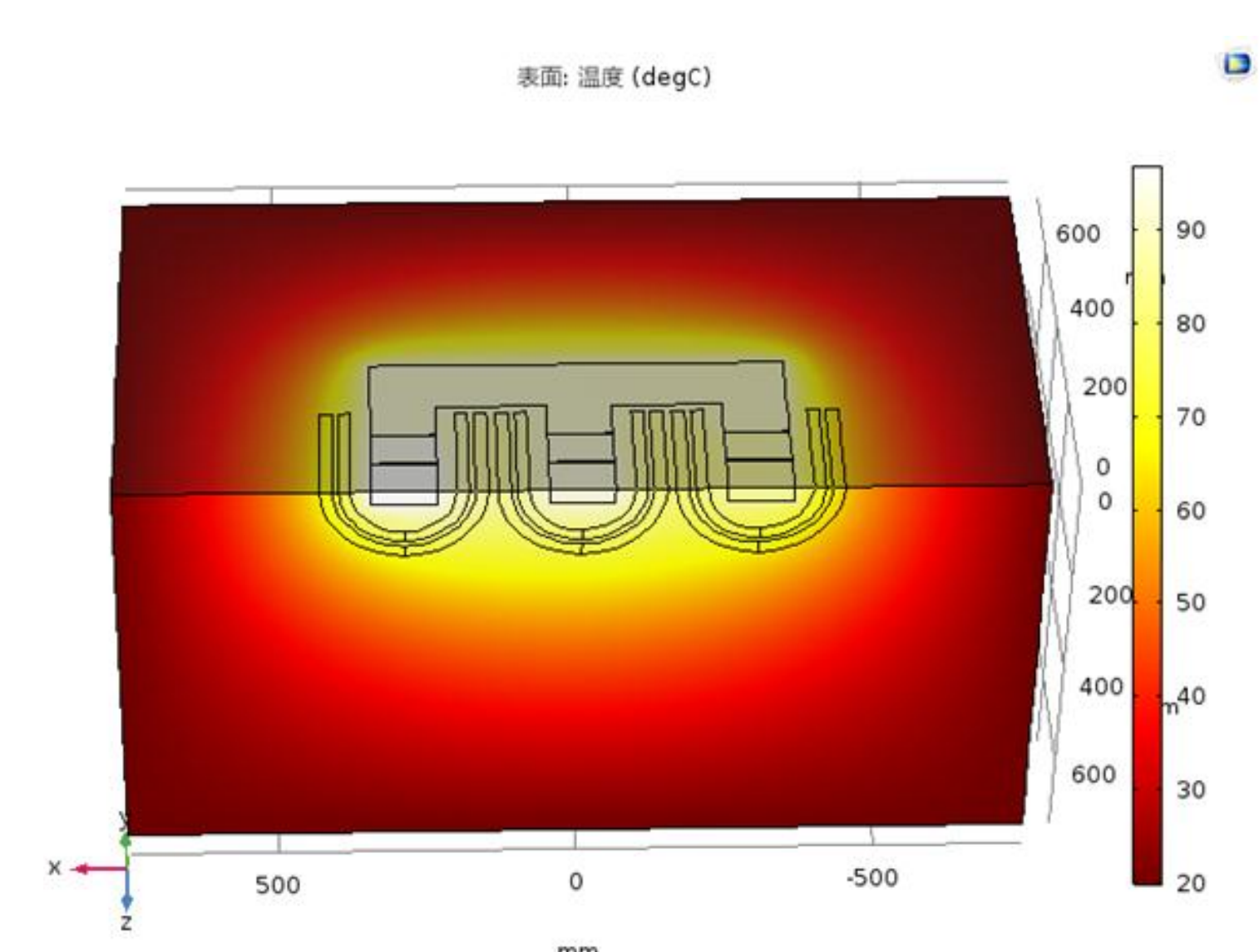


图 5. 铁芯电抗器温度分布

结论: 本文针对电抗器设计中的温升问题, 采用三维有限元方法, 对电抗器进行了多物理场耦合仿真。有别于以往的等效热源简化分析方法, 使用插值计算方法更加准确掌握铁芯电抗器内部温度场分布, 从而得到热点分布, 在设计初期为电抗器的结构优化设计及现场运维人员提供了理论依据, 并达到国标GB/T 1094.6-2011关于电抗器温升实验的要求。

参考文献:

1. 姜志鹏, 周辉, 宋俊燕, 余轶, 文习山. 干式空心电抗器温度场计算与试验分析[J]. 电工技术学, 2017, 32(03): 218-224.
2. 陈嵘, 杨松伟, 程泳, 闫强强, 李自品, 戴哲仁. 干式空心并联电抗器电磁-流体-温度场耦合计算与分析[J]. 高电压技术, 2017, 43(09): 3021-3028.
3. X. Li, J. Zha, S. Wang, S. Zhong, C. Zhang and Z. Dang. Effect of high-thermal conductivity epoxy resin on heat dissipation performance of saturated reactor, in IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 24, no. 6, pp. 3898-3905, Dec. 2017.