

车载大功率无线充电线圈耦合机构的有限元建模及仿真

熊萌¹, 魏学哲¹, 罗志超¹, 唐轩¹, 杜润本¹

1. 新能源工程中心, 同济大学, 上海市嘉定区

简介:随着社会对于能源问题的关注, 全世界都在大力研究和推广新能源电动车。电动汽车的续航使用离不开动力电池充电。目前传统的充电方式采用的是金属导线点对点的有线充电方式, 然而这种方式存在诸多缺陷: 插电易产生火花, 存在安全隐患, 基础设施易磨损老化, 不易维护等问题。因而, 安全、方便、非接触式的无线充电技术成为了研究热点 [1][2]。

本文详细介绍了应用COMSOL进行车载大功率无线充电线圈耦合机构的有限元建模实现过程, 利用对系统引入磁芯, 从仿真上说明了实际车载无线充电应用过程中磁芯对整个传输系统的提升作用。从三维几何模型的建立, 所涉及到的材料调用与定义, 物理场AC/DC电磁模块的引入, 以及背后涉及到的理论公式, 线圈耦合机构与空气域的网格划分科学设置, 到最后的线圈几何分析, 频域研究设定, 结果的后处理等进行了详细的说明展示。

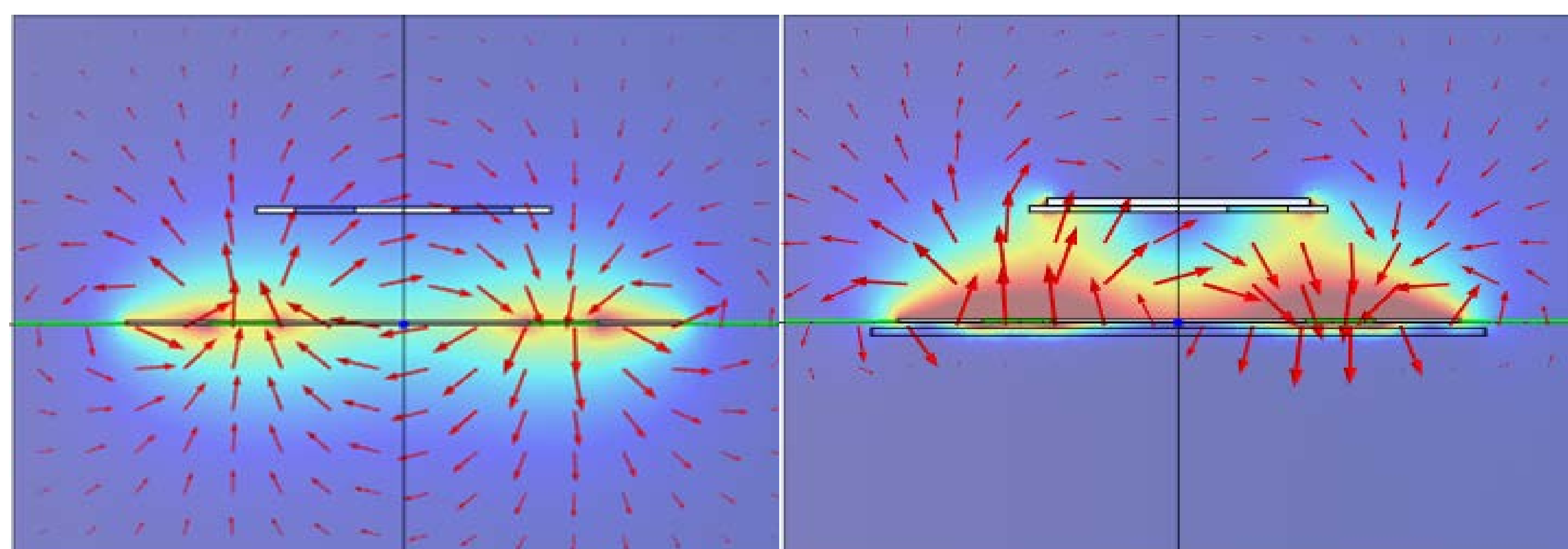


图 1. 线圈耦合机构三维磁场分布 (不含磁芯与含磁芯)

计算方法:

基于经典的麦克斯韦电磁方程组, 微分形式如下:

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} & \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 & \nabla \times \mathbf{D} &= \rho \end{aligned}$$

线圈间互感M求解公式与线圈间耦合系数k求解公式如下:

$$\mathbf{M} = \frac{U_2}{j2\pi f I_1} \quad \mathbf{k} = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}}$$

考虑到实际车载应用中位错问题对传输效率的影响, 所以我们采用了一大一小的发射接收线圈形式, 以及DD线圈的结构形状, 如下图2所示。

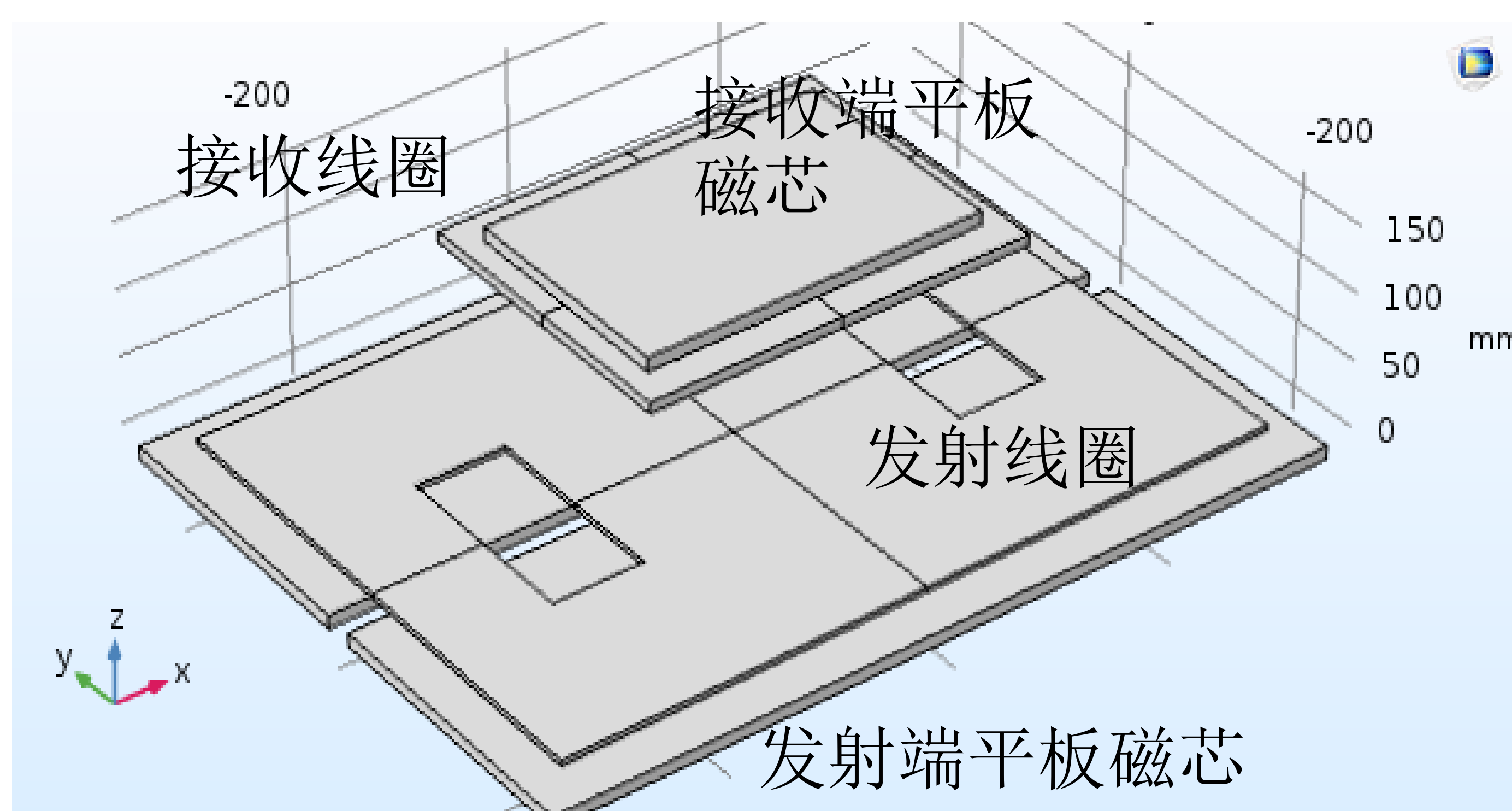


图 2. 一大一小DD线圈几何模型图 (含磁芯)

结果: 仿真基于85Khz频域, 相关仿真结果与主要几何模型参数如下所示;

freq(1)=85 kHz 体: 磁通密度模 (mT)

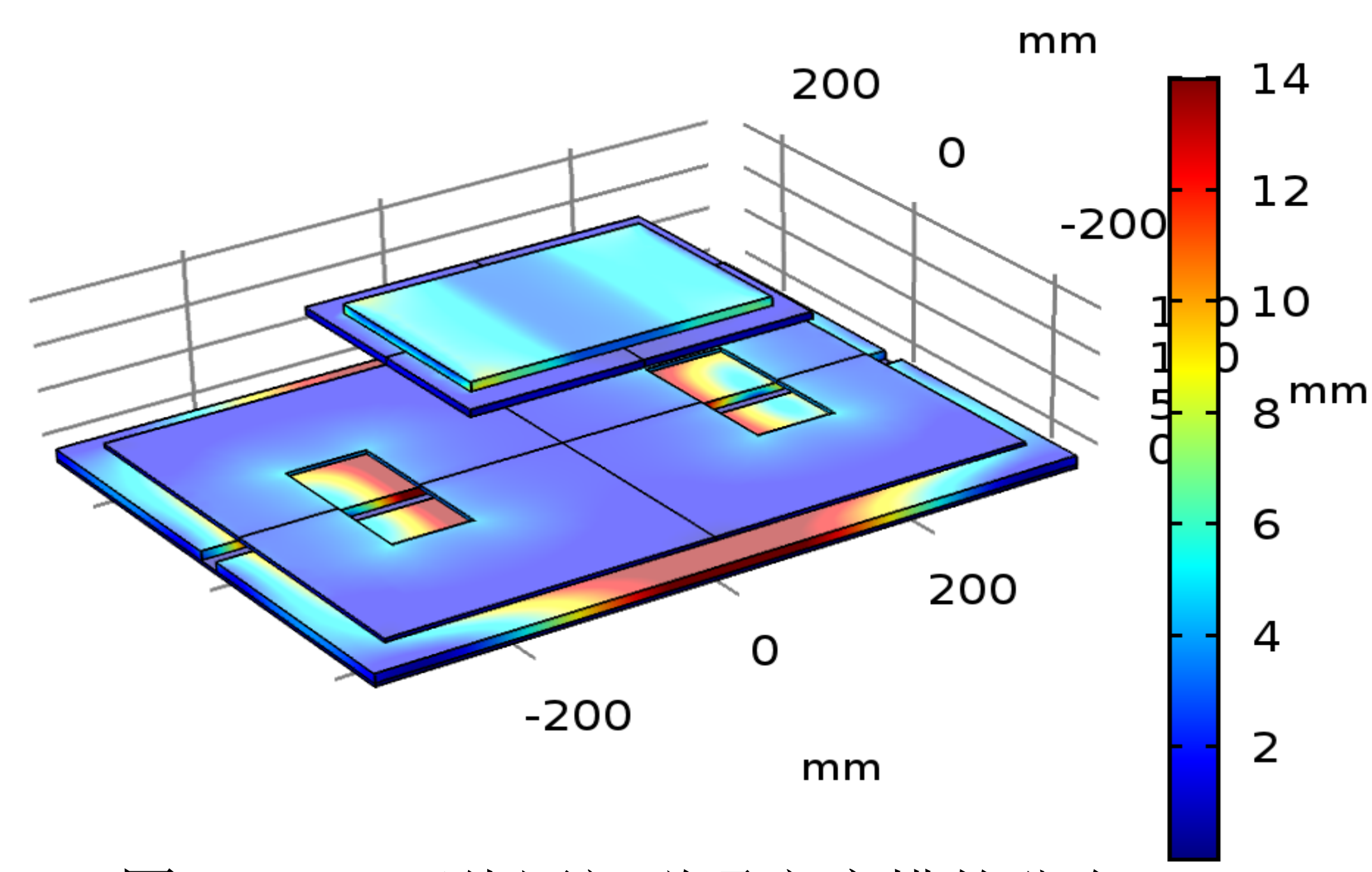


图 3. 85Khz下线圈间磁通密度模的分布

名称	表达式	值	描述
lp1	640 [mm]	0.64m	发射线圈总长
lp2	460 [mm]	0.46m	发射线圈总宽
F_length	700 [mm]	0.7m	磁芯板长
F_width	250 [mm]	0.25m	磁芯板宽
ls1	340 [mm]	0.34m	接收线圈总长
ls2	260 [mm]	0.26m	接收线圈总宽
d_wire	4 [mm]	0.004m	线圈直径
z_gap	140 [mm]	0.14m	线圈间垂直距离
long_mis	0 [mm]	0m	线圈间长边方向位错
lat_mis	0 [mm]	0m	线圈间短边方向位错
Np	8	8	发射线圈匝数
Ns	7	7	接收线圈匝数

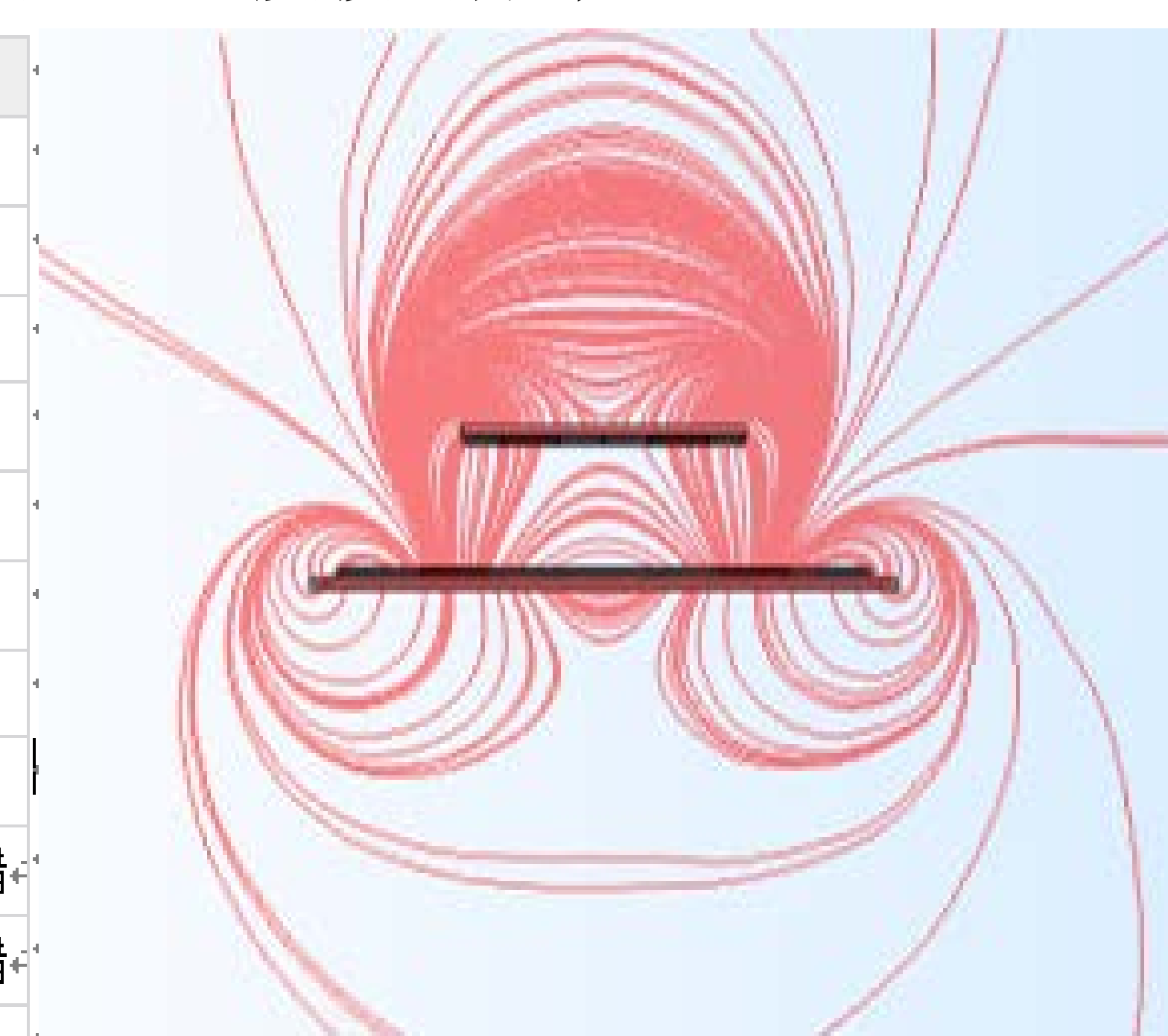


图 4. 二维截面下线圈耦合机构的磁场分布情况

表 1. 线圈耦合机构模型的主要几何参数

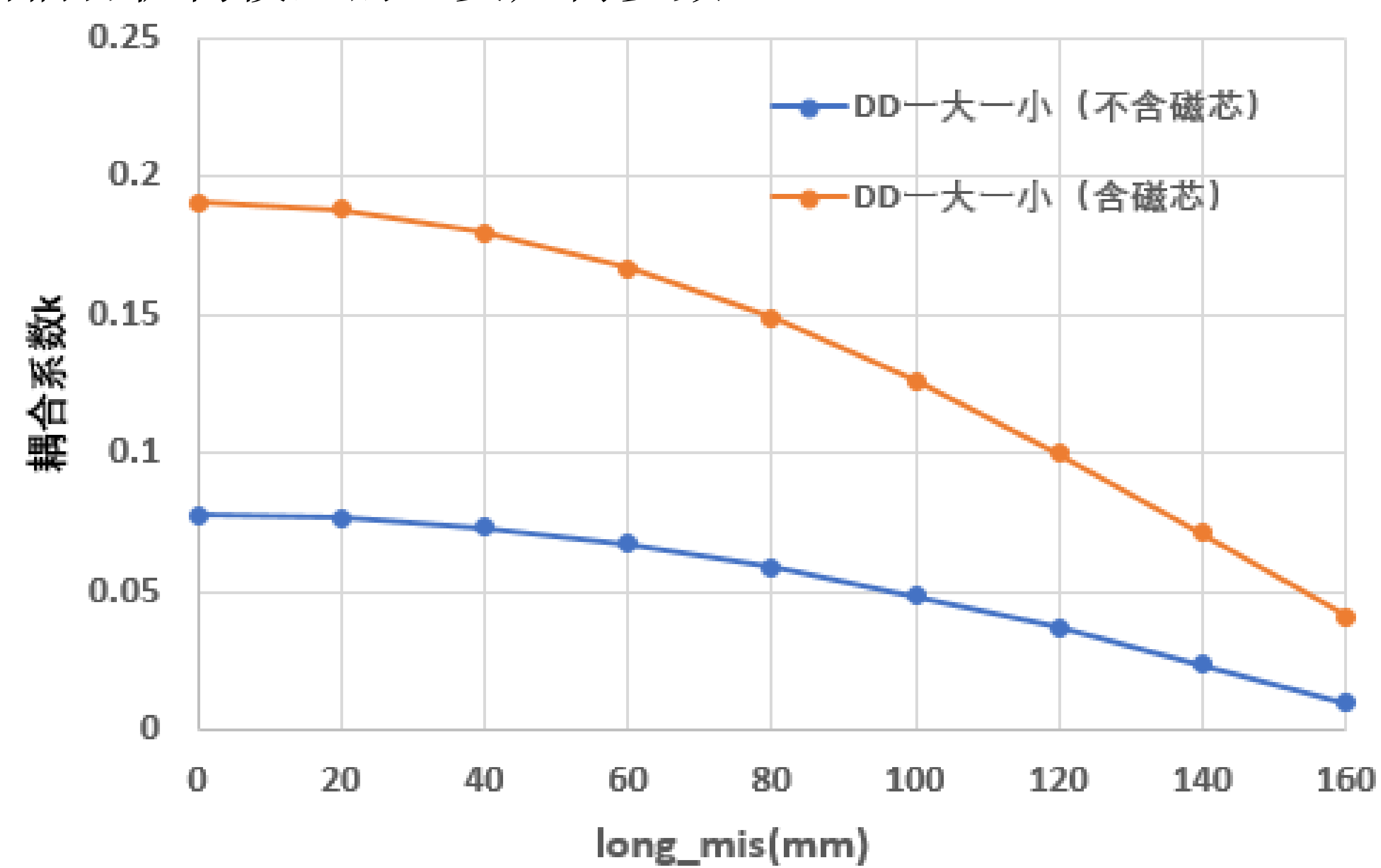


图 5. 线圈耦合系数与长边位错之间关系

结论: 本文针对车载大功率应用下的无线充电线圈耦合机构的COMSOL模型建模与仿真, 对每一部分有限元建模过程进行了详细的介绍, 涉及到线圈的几何模型构建, 线圈的物理场设置, 磁芯材料的非线性处理与调用, 研究的步骤介绍以及最后的后处理展示。最后, 我们进行了磁芯对于无线充电传输效果提升的研究, 通过定性与定量的仿真结果对比, 证明了磁芯在无线充电领域有着不可或缺的作用。但是本文的研究只是基于简单的平板磁芯, 仍然存在不足, 后期可以通过优化磁芯的结构与参数, 提出新型的磁芯形状, 对传输效果做进一步的改善。

参考文献:

1. 王丽芳, 朱庆伟, 李均峰, 等. 电动汽车无线充电用磁耦合机构研究进展 [J]. 集成技术, 2015, 4 (1): 1.
2. 曹玲玲, 陈乾宏, 任小永, 等. 电动汽车高效率无线充电技术的研究进展 [J]. 电工技术学报, 2012, 27 (8): 1.
3. C. Hu, Y. Sun, Z. Wang, C. Tang and Q. Xiong, Design of magnetic coupler for EVs' wireless charging, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 43(3) (2013), 195 - 205, doi 10.3233/JAE-131693.