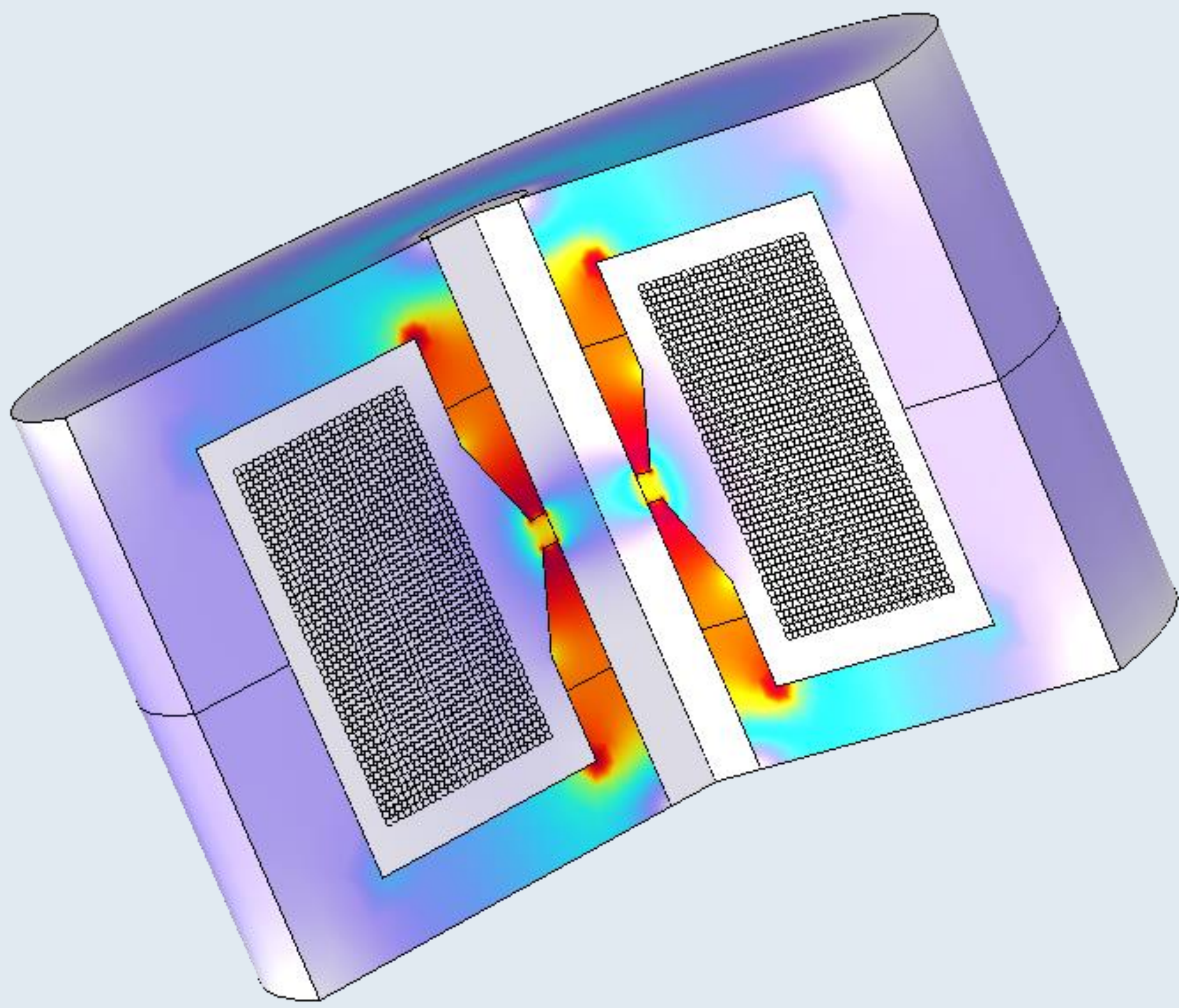


计算具有恒定功率特性的电子磁透镜特性

通过计算满足恒定功率的电子磁透镜特性（包括电流激励、场分布、总耗散功率），进行透镜组件的必要参数计算和结构优化。

郭晨瑜，宋学锋，俞大鹏

南方科技大学，深圳，广东，中国。



摘要

在传统的电子磁透镜设计中，大多是由单个线圈电流来控制铜线圈绕组来产生可变磁场，其中热功率的耗散通常由常规的水冷、风冷体系来实现，因此设计一种易于实现的电子磁透镜热管理系统至关重要，具有恒定热功率耗散机制的透镜结构则可以符合高功率应用环境的设计需求要求。

通过结合 COMSOL 的 AC/DC 模块和插值函数，实现了具有双抵线圈设计的恒功率磁透镜特性计算。

模型网格划分采用差异化自定义大小的三角形网格划分为主，来控制模型的计算精度和计算机内存占用以及总计算时长。研究了为保证恒定功率输出，双绞线圈绕组的驱动电流 I_A 和 I_B 的关系。在此基础上，计算了参属下的线圈电流数值。

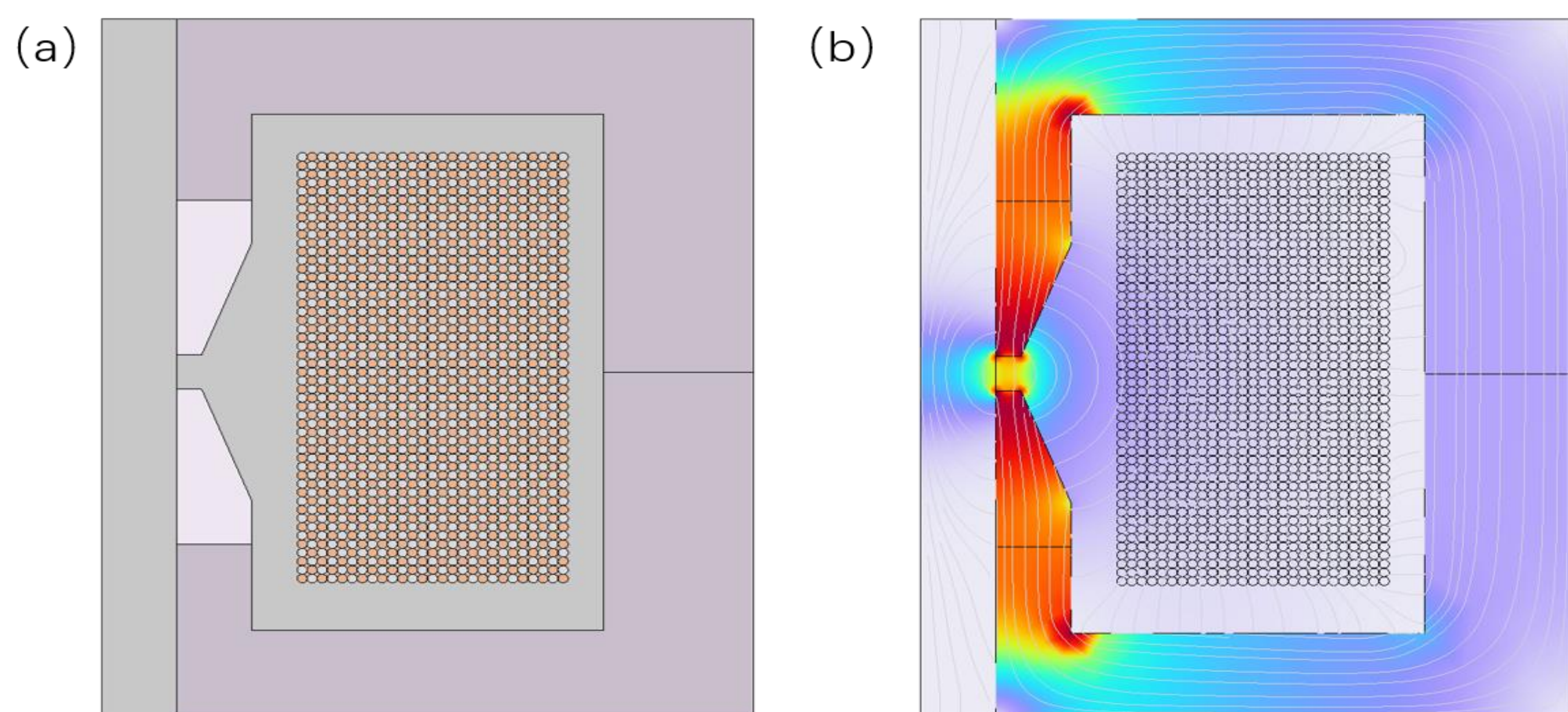


图1. 计算的电子磁透镜二维场结合结构和场分布简图。

方法

设计磁透镜的主要考量因素包括但不限于热功率的去除和耗散。对具有双向互抵线圈的电子磁透镜进行了二维旋转对称建模，同时结果的后处理中查阅设计结构的三维结果，

模型采用安培定律对线圈和透镜主体部分进行建模：

$$\sigma \frac{\partial A}{\partial t} + \nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times A \right) = 0$$

在 COMSOL 的 AC/DC 模块中，使用多匝线圈功能。建模中指定不同方向的闭合电流路径，使得激励源可以产生具有所需具有旋转对称性的轴向场。

采集不同 I_A 、 I_B 下，透镜结构的总耗散功率 P_T 。

结论

针对于功率恒定电子磁透镜模型的数值模拟工作，计算了不同激励电流下透镜的磁场分布，验证了需要满足恒定功率设计需要的电流条件。 I_A 和 I_B 满足如图2所示的关系时，可以保证所设计结构的输出功率维持恒定。

假定总功率为 P_T ，互抵线圈电阻分别为 R_A 、 R_B ，则总 $I_A^2 * R_A + I_B^2 * R_B$ 。总功耗和 I_A 、 I_B 的方向无关，绝对值相关。假定 $P_T=15W$ 、 $R_A=R_B=7\Omega$ 、 $I_A=1A$ 时、需要的 $I_B=0.267A$ 。

综上所述，可以通过恒功率设计的电子磁透镜，来代替传统繁琐的透镜温度控制机制（水冷组件）。计算结果和经验可以在不同的工程环境中进行实际测试和扩展研究。

线圈电流 I_A 与功率补偿电流 I_B 的关系

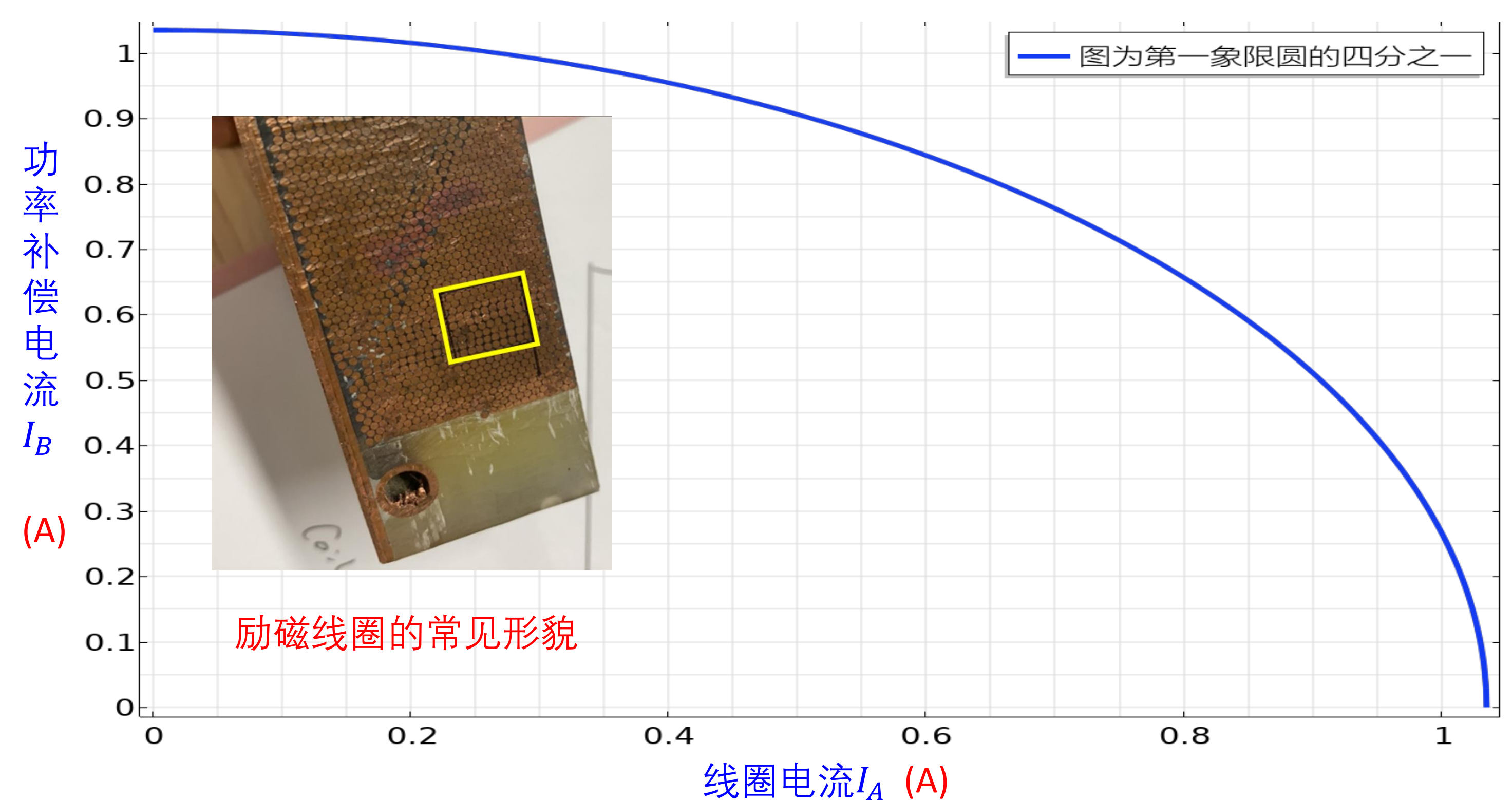
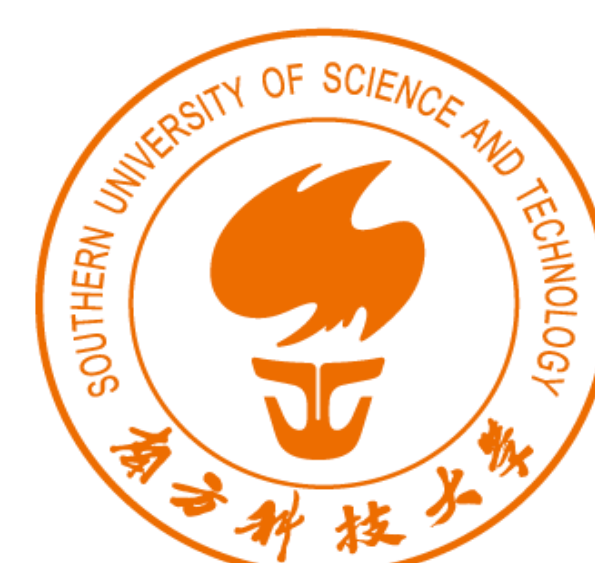


图2. 满足恒定功率输出的电流 I_A 和 I_B 的关系。

参考文献

1. Hawkes, P. W. Magnetic Electron Lenses. Springer, 1982.
2. Lencová B. Accurate Computation of Magnetic Lenses. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A, 1999, 427(1-2): 329-337.
3. Shiltsev V. Electron lenses: historical overview and outlook. J. Instrum., 2021, 16(03): P03039.



南方科技大学
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY