

# 可变轴透镜场与电子光学特性计算

对可变轴透镜系统的电磁场、电子束轨迹进行仿真计算，用以分析系统的电子光学特性，与对系统结构与参数进行优化。

赵瑞博，郭晨瑜，宋学锋，俞大鹏

南方科技大学，深圳，广东，中国。

## 摘要

可变轴透镜 (Variable Axis Lens, VAL) 是搭建高分辨率大扫描场电子光学系统的重要思路，其通过在电磁透镜内部引入偏转场实现透镜光轴的移动，使偏离对称轴入射电子束依然能够沿移动后的可变轴透镜光轴传播、聚焦，从而大幅降低聚焦电子束的离轴像差。

通过对可变轴透镜三维场分布与电子束轨迹的计算，并进一步计算和分析了电子束离轴距离以及有无离轴场存在情况下的像面粒

子分布对比。以在 x 方向偏离 1cm 处的九宫格电子簇发射为例，仿真计算结果表明，有偏转场存在的 VAL 可以达到大幅减小系统的离轴像差的效果。该工作给出了一个通用的 VAL 基础模型和普适的结构参数，验证了 VAL 可以实现离轴的理论预测模型，计算结果和经验为创新型的 VAL 设计和基于此结构的带电粒子束系统开发和级联奠定了基础。

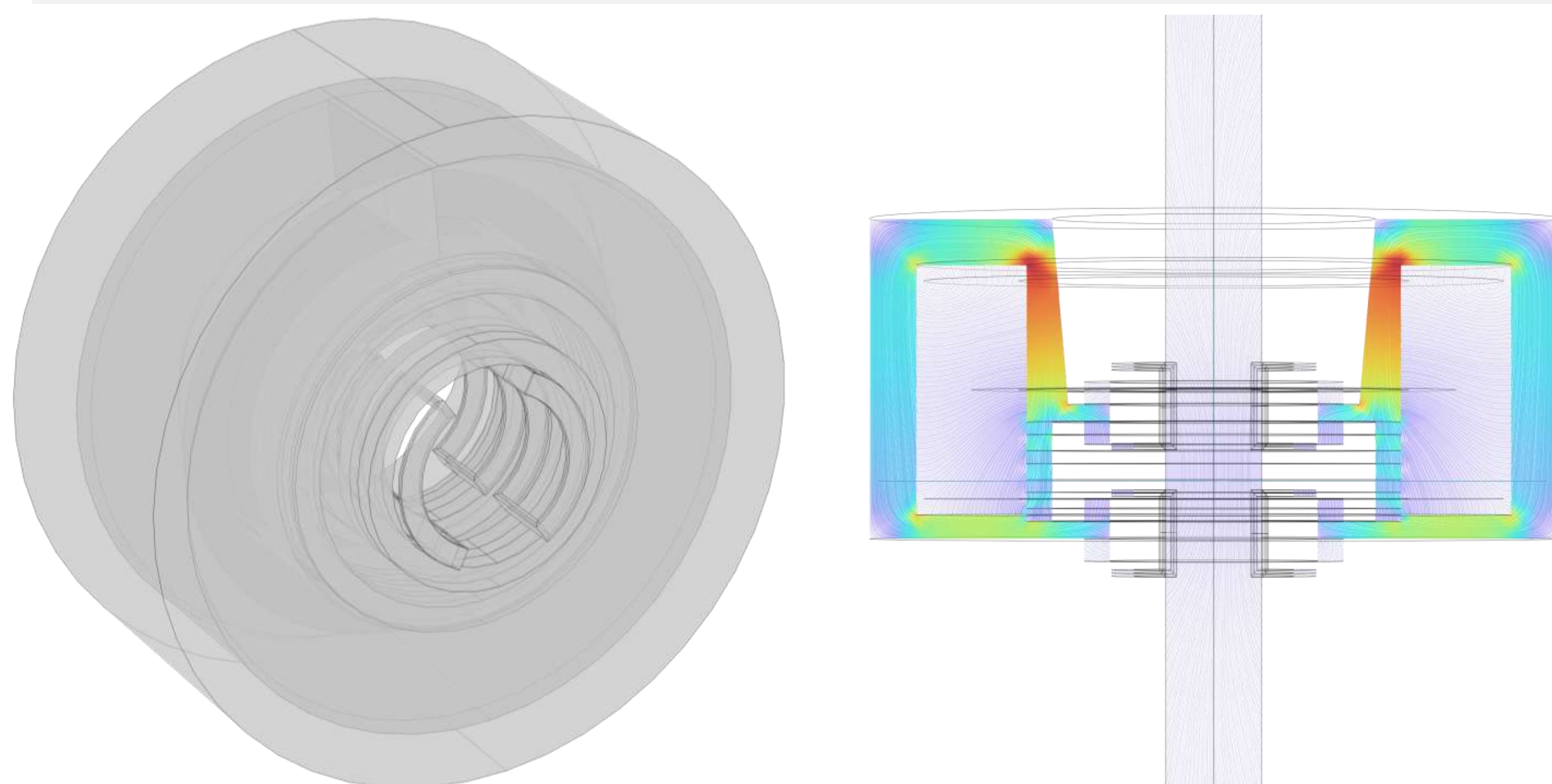


图1. 左：VAL 的几何结构。右：VAL 的三维场分布计算结果的 x-z 平面截面图

## 方法

对可变轴透镜进行三维建模。由于移轴偏转场的存在，系统无法视为旋转对称结构。为减少三维场分布计算工作量，在模型构建时尽量抹去了圆角、细微缝隙等细节结构，并对整个计算范围进行切割，根据需求对各区域进行网格划分，在保证计算精度的前提下优化模型的计算时长和内存占用。

模型中多匝线圈提供了磁场激励，以此计算出磁场分布，并可分析得到对应参数下的移轴距离。磁场确定后，加入电子的带电粒子追踪计算，对粒子束轨迹进行分析，可进一步得到系统的焦面位置等电子光学参数，并可对像面处电子分布分析获取系统放大率、几何像差等关键信息。

## 结果

对引入移轴场后的移轴聚焦场进行分析，可以得到在设定参数下的移轴距离，进一步通过参数化扫描，得到在 1A 聚焦电流下，当移轴线圈设定为 0.417A 时可使聚焦场光轴移动 1cm。

离轴 1cm 入射电子束聚焦轨迹如图2中左图所示，可以看到电子束如预期般沿离轴 1cm 直线聚焦。对比相同入射参数下存在移轴场与纯聚焦场下像面处电子分布可以看到，纯聚焦场电子束具有明显彗差，电子束斑形变明显；VAL 像面电子基本维持圆形光斑，且此光斑可通过消像散器有效缩小，VAL 对于普通圆透镜对于大偏转场偏转的优势得到验证。

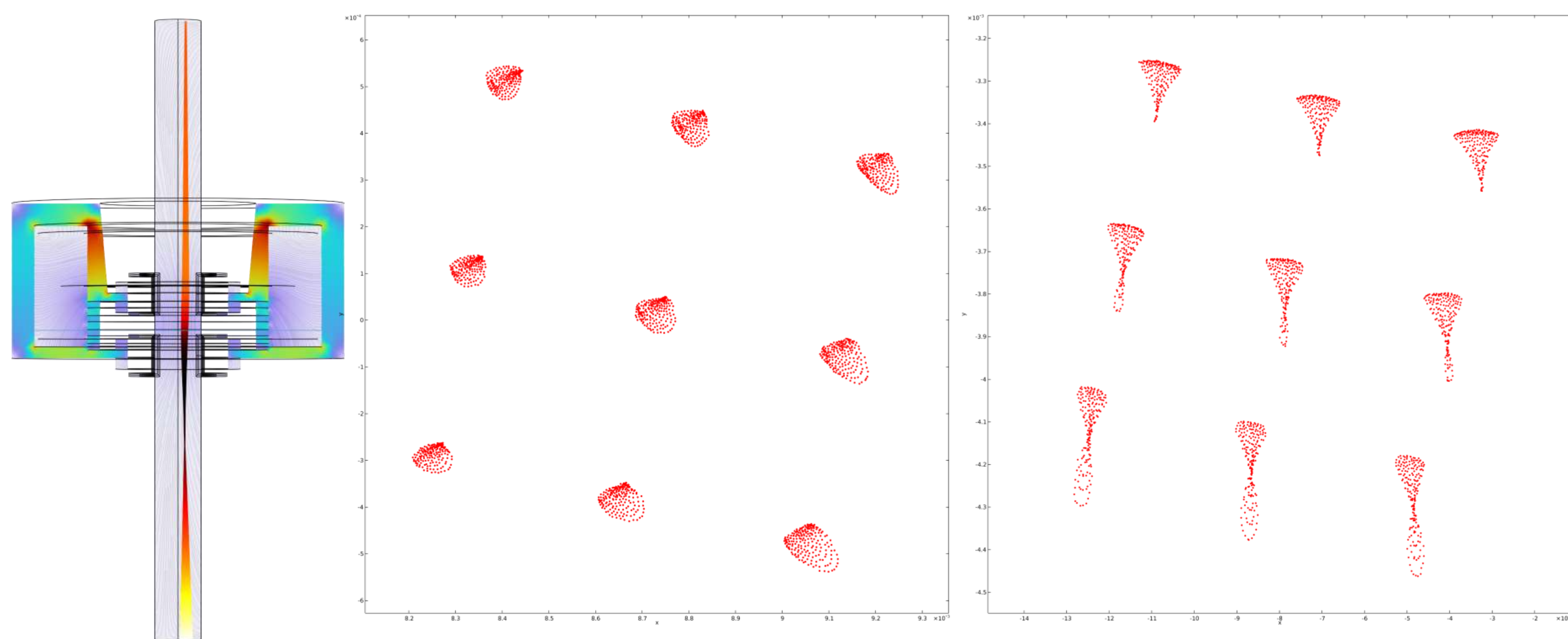


图2. 左：透镜场分布与离轴聚焦电子束轨迹。中：VAL 在 x 方向偏移 1cm 的像面电子分布。右：不存在移轴场偏转的情况下的像面电子分布。

## 参考文献

1. Schmid P, Rose H .Outline of a variable-axis lens with arbitrary shift of the axis in one direction[J].Journal of Vacuum Science & Technology B Microelectronics & Nanometer Structures Processing Measurement & Phenomena, 2001, 19(19):2555-2565.
2. Qingmao Zhang, Qirui Wang, Delong Chen, Junbiao Liu, Yanjun Zhang, Quantong Li, Zhuming Liu. Comparative study on variable axis lens systems based on tapered deflectors[J].Journal of Vacuum Science & Technology B Microelectronics & Nanometer Structures Processing Measurement & Phenomena, 2024, 42(4):042801.
3. 夏善红, 朱协卿. 扫描电子束曝光机复合物镜的研究与设计[J]. 电子与信息学报, 1991, 13(2): 183-192.



南方科技大学  
SOUTHERN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY