

电弧源离子在内壁沉积中的磁牵引运动

王天成, 商宏飞, 邵天敏

摩擦学国家重点实验室, 清华大学, 北京, 100084

简介: 以内表面为主要工作面的管状工件, 常因表面磨损、腐蚀等发生早期失效, 其表面强化问题在工业应用中具有迫切的需求。真空阴极电弧沉积是制备表面抗磨损抗腐蚀改性层的重要技术, 但对管状工件而言, 该技术沉积的膜厚度随管件深度出现明显下降。磁场具有使粒子发生拉莫尔回旋、梯度漂移和曲率漂移运动, 从而调控粒子轨迹的作用。本文以沉积率和深度为指标, 对磁场的作用在不同的内壁沉积算例中进行了讨论。

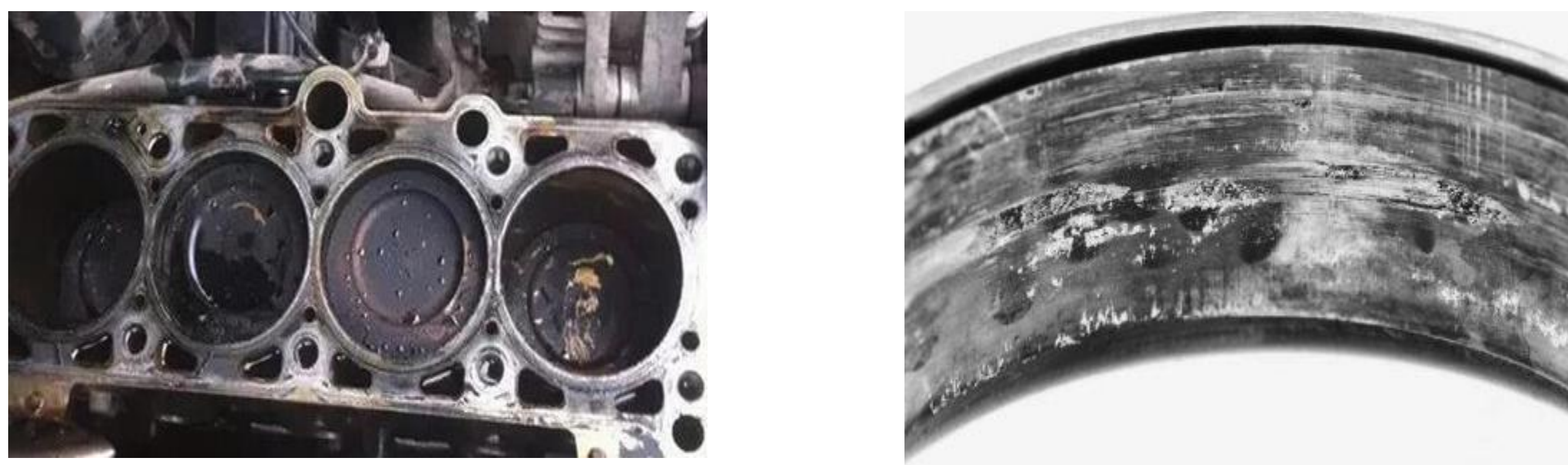


图 1. 活塞缸套和轴承内圈的失效

计算方法思路图:

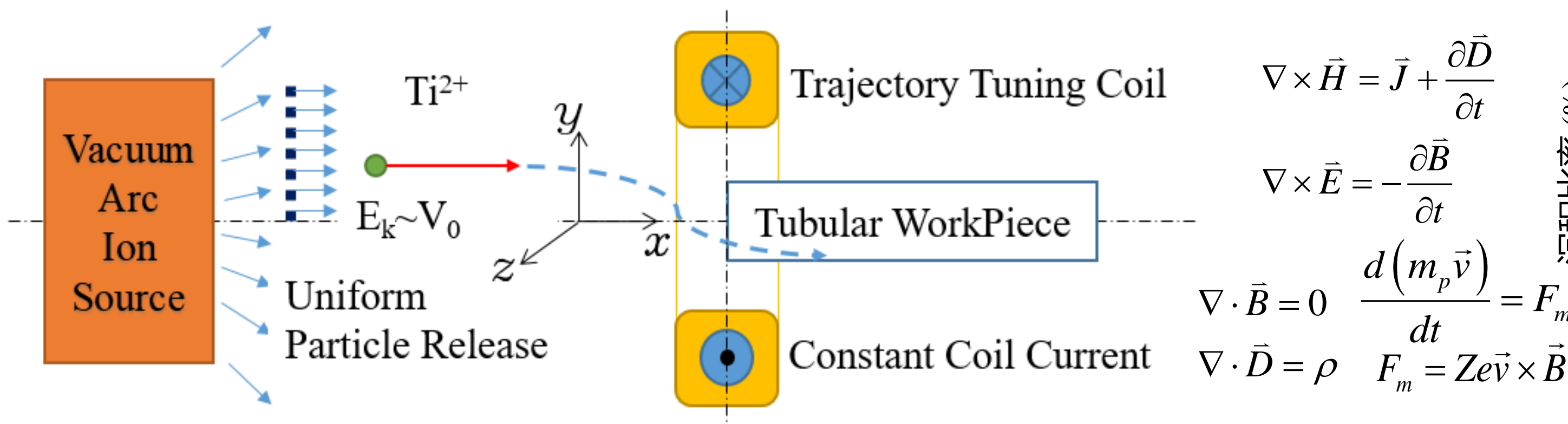


图 2. 求解使用的方程和模型

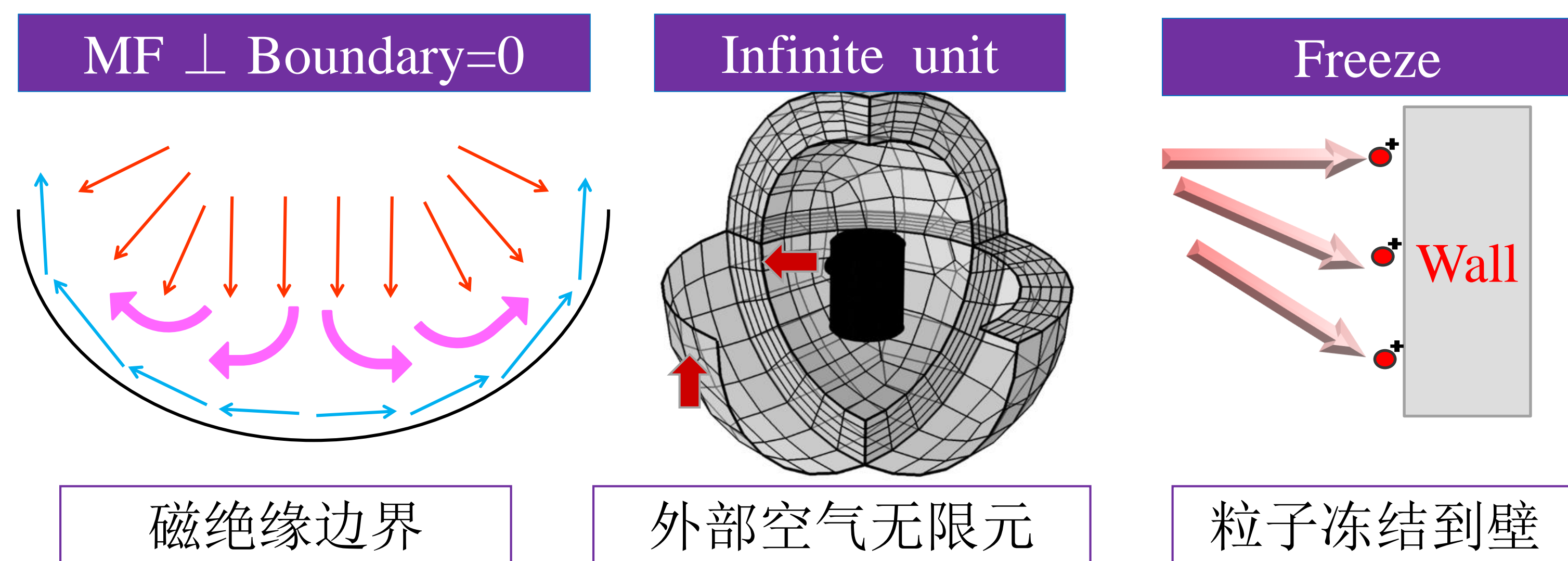
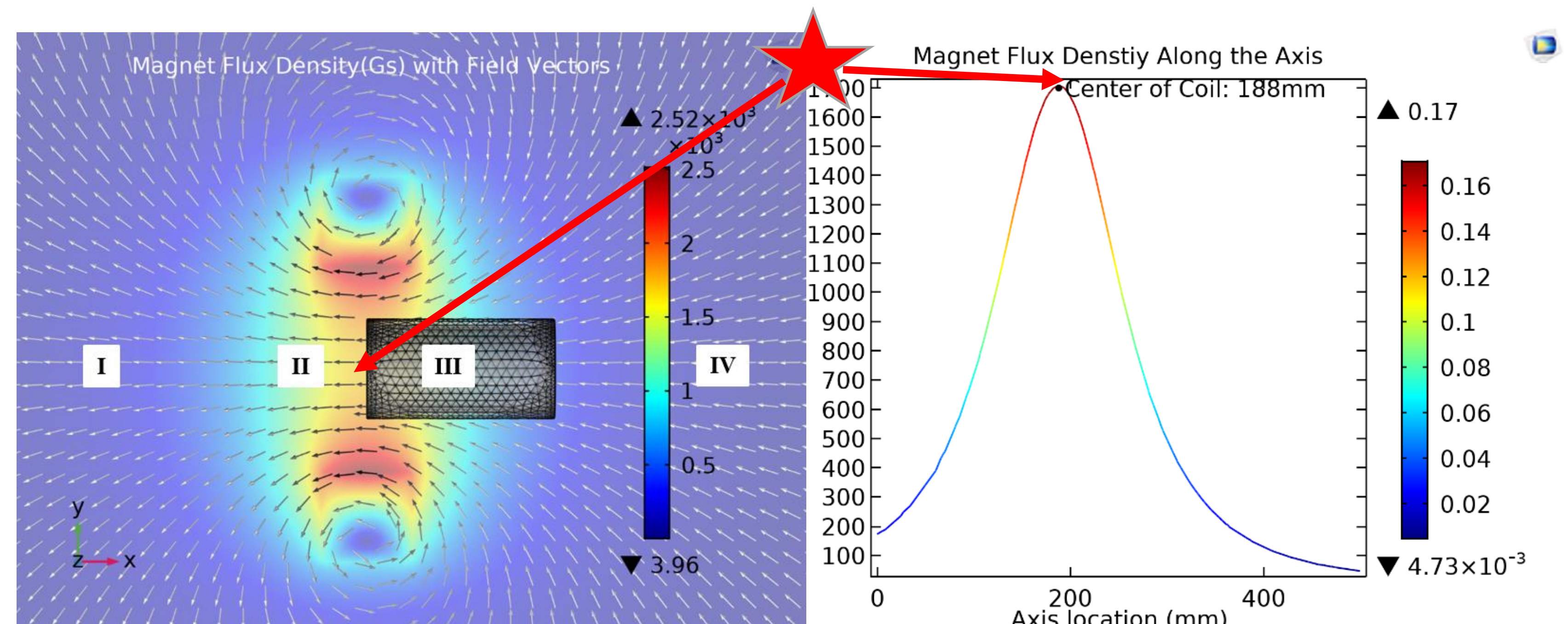


图 3. 求解使用的边界条件

预设参数列表		粒子参数列表		其他参数列表	
电荷态	+3.2 × 10 ⁻¹⁹ C	初始动能	100eV	工件内径	25~100mm
粒子质量	7.95 × 10 ⁻²⁶ kg	初速轴向角	0 ~ 5°	工件管长	100~200mm
弧源直径	100mm	初速径向角	0 ~ 315°	靶端基距	300~500mm
线圈截面	60mm*60mm	粒子数量	100	线圈电流	0~10A(2200Gs)
线圈内径	135mm				
线圈匝数	3600				
导线面积	1mm ²				

表 1. 求解使用的参数, 仿真时间范围: 0~5 × 10⁻⁵ s

结果: 磁场仿真结果和粒子仿真结果



$$B_{0-Sim} = 227.5I \text{ (Gs)}$$

$$B_{0-Theory} = 227.56j \text{ (Gs)}$$

图 4. 磁场仿真结果及与解析解的对比

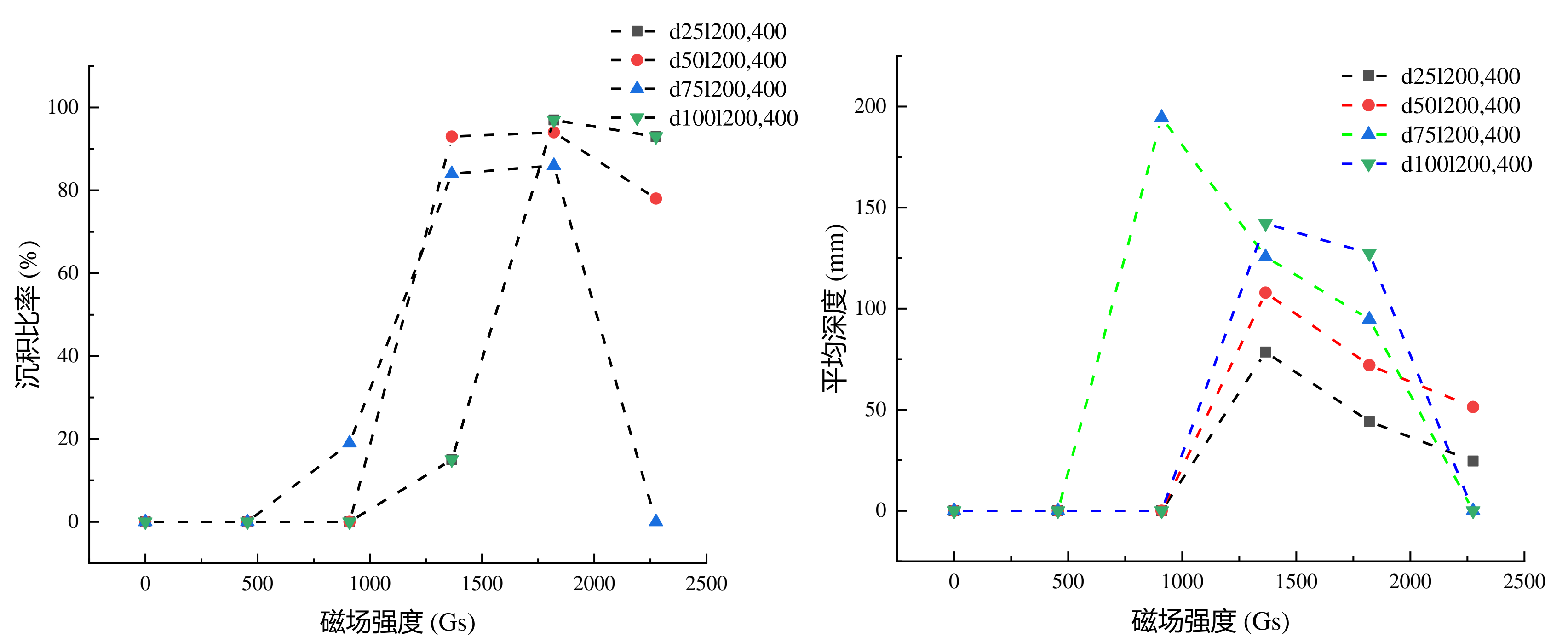


图 5. 磁场对直射离子的调控沉积

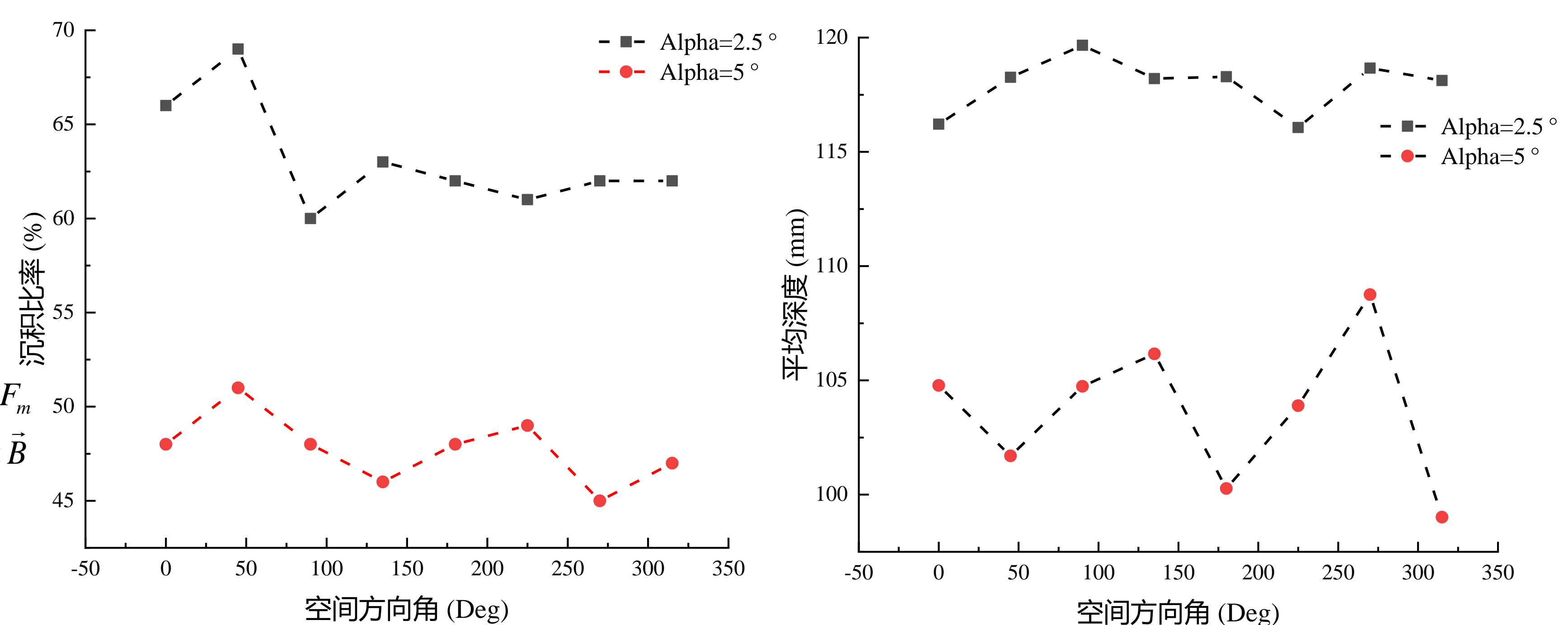


图 6. 磁场对斜射离子的调控沉积

结论:

- ✓ 在磁场作用下, 直射离子径偏转沉积到内壁
- ✓ 1200-2000Gs, 离子沉积率较大, 深度较均匀
- ✓ 磁场调控斜射离子以一定深度分布沉积到内壁
- ✓ 磁场的调控作用具有旋转对称性
- ✓ 相同磁场下, 轴向角发散离子的沉积增强减弱

参考文献:

1. Boxman R L, Zhitomirsky V N. Vacuum arc deposition devices[J]. Review of Scientific Instruments, 2006, 77(2):49-27.
2. Lang W, Xiao J, Gong J, et al. INFLUENCE OF AXISYMMETRIC MAGNETIC FIELD ON CATHODE SPOTS MOVEMENT IN ARC ION PLATING[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2010, 46(3):372-379.
3. Shi C L, Zhang M, Lin G Q. Vacuum Science and Technology, 2007, 27: 517
4. W. C. Lang et al. Process Development of Films Deposited on Inner Wall of Long Tube by arc ion Plating [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012(152-154): 1705-1710.
5. Wesemeyer H, Veltrop H. Method and Device for Coating Cavities of Objects: US, 5026466[P]. 1991-06-25.
6. Y. Zhao et al. TiN films deposition inside stainless-steel tubes using magnetic field-enhanced arc ion plating [J]. Vacuum 112 (2015) 46-54.