

复合型电磁轨道的多物理场耦合分析

安雪云¹, 田振国²

1. 燕山大学, 建筑工程与力学学院, 河北省秦皇岛市河北大街西段438号

引言: 复合型轨道是对轨道的内表面添加保护层。由于电磁轨道在发射时存在复杂的热量交换, 轨道在吸收这些热量之后会发生脱落、气化甚至是电离等现象。复合型发射轨道采用分层的形式, 有效地降低了电流密度模, 可以减轻或避免轨道的烧蚀现象。在仿真过程中, 通过改变轨道结构参数、外加载电压参数等参数值, 观察轨道中电流、温度、应力和应变的变化情况。

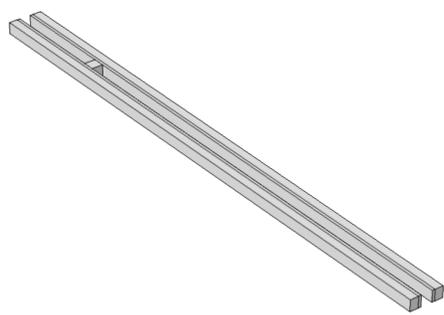


图 1. 复合型轨道的基本模型

计算方法: 由于轨道是由金属制成的, 在轨道通电后, 随着电枢的移动系统的整体电阻会随之增大, 由于焦耳热效应, 轨道的温度也会发生变化。轨道的主要破坏是在导轨与电枢接触的部分。假设在热传导的过程中忽略空气的对流传热, 只考虑固体传热, 导轨材料的电阻率不随温度变化。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \nabla \cdot T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{ted}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = Q_j$$

$$\mathbf{J} = (\sigma + \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial}{\partial t}) \mathbf{E} + \mathbf{J}_e$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

结果:



图 2. 复合轨道的整体受力

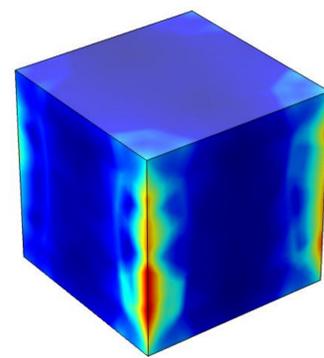


图 3. 电枢表面的von Mises 应力

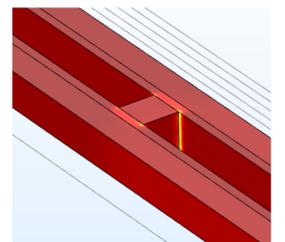
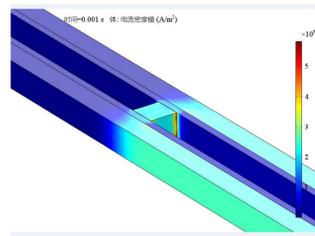


图 4. 复合导轨的电流模密度 图 5. 复合导轨的温度图

结论: 从上面的仿真图可以看出轨道与电枢接触时, 应力、电流、温度等的最大值均出现在电枢与轨道接触的四条边界线附近。轨道采用分层形式, 轨道中的电流分布也出现层次分布, 降低了轨道内表面的电流。所以选择合适轨道复合层(保护层)材料、厚度、层数等可以降低轨道内表面的电流, 增强轨道表面的强度和耐烧蚀性。

参考文献:

1. 杨玉东, 电磁发射装置电-磁-热场分布的分析与仿真, 火力与指挥控制, 第40卷, 145-151 (2015年)