

# MARS-12S10P 单定子单转子电机 轴向磁拉力仿真报告

单边轴向磁通结构（SSSR）定转子之间存在固有的不平衡轴向吸力。本报告给出该力的大小、纹波与空间分布，供轴承选型与结构设计使用。

模型 MARS-12S10P\_SSSR\_D76-C150\_V5.0-0819.mot    12槽 / 10极 · 气隙 1 mm · 磁体 13 mm  
5000 rpm · 相电流 21 A(RMS) · 相位角 0°    仿真日期 2026-08-25

空载净轴向力（开路）

342.9<sub>N</sub>

转子被吸向定子

负载净轴向力（21 A RMS）

343.2<sub>N</sub>

电流影响仅 +0.1%

力纹波（峰峰值）

3.9<sub>N</sub>

约为均值的 1.1%

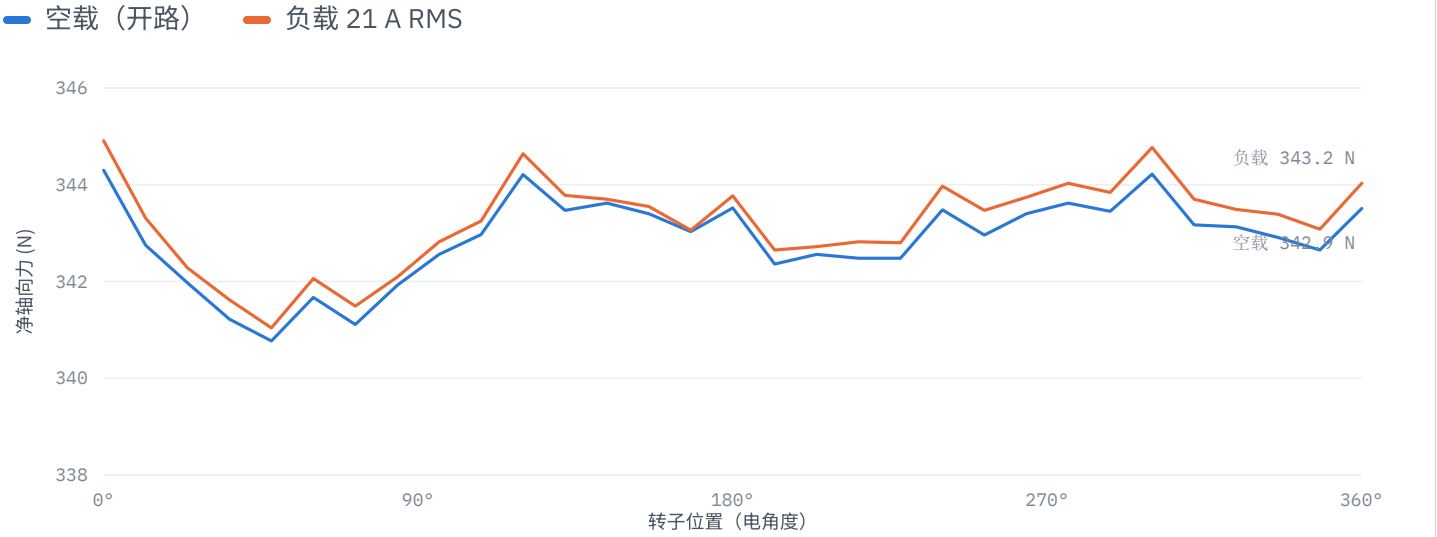
等效气隙磁压

133 kPa

对应  $B_{\text{eff}} \approx 0.58 \text{ T}$ ，物理自治

## 净轴向力随转子位置的变化

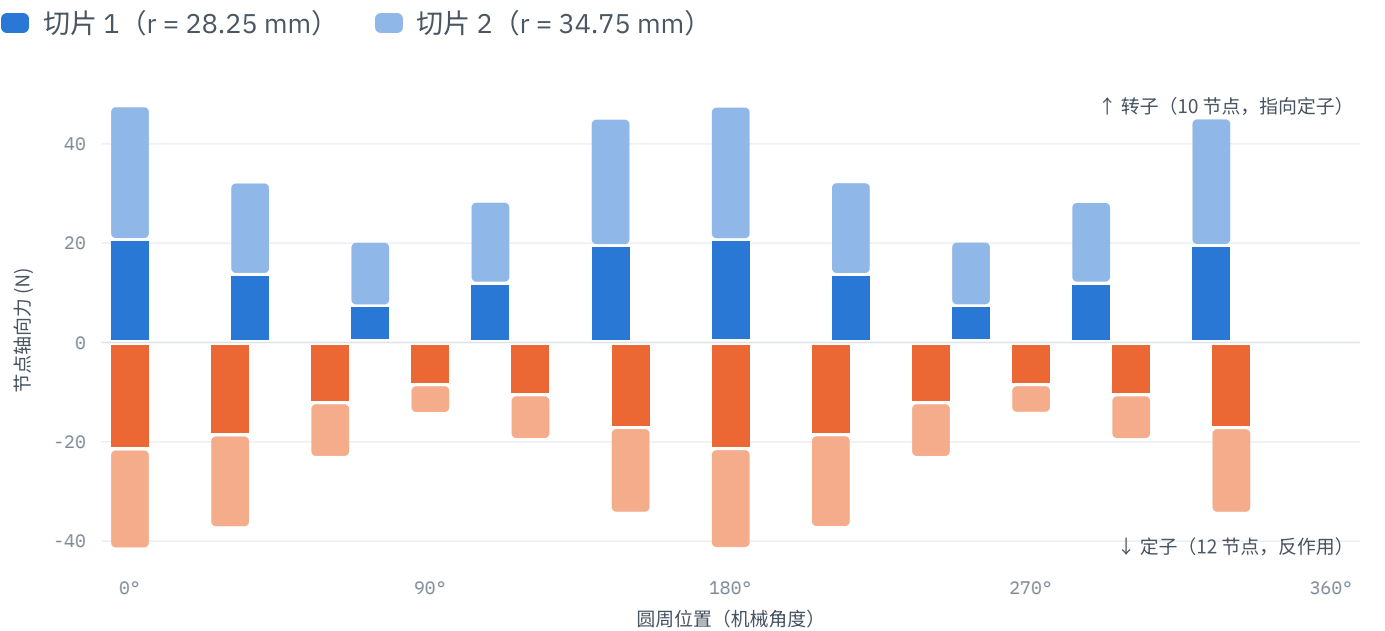
一个电周期（31 个时间步）内转子所受净轴向力。空载与负载曲线几乎重合——该力由磁钢对定子铁芯的吸力主导，电枢电流主要产生切向力。



注：纵轴为 338–346 N 局部放大以显示纹波；力的绝对量级见上方汇总卡。轴承按 ~345 N 静态轴向预载考虑即可，纹波幅值很小（12/10 齿槽配合）。

节点轴向力分布 (t = 0)

力在圆周方向的分布均匀（各极/各齿量级一致、无单边偏载），两径向切片中外侧切片（r = 34.75 mm）承担更大份额——面积更大、线速度更高，符合预期。定子侧为反作用力，方向相反。



结果校核 (三项全部通过)

| 校核项      | 数值                                                                    | 判据与结论                                      |
|----------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 作用力-反作用力 | 转子 +343.2 N ↔ 定子 -337.4 N                                             | 偏差 1.7% (定/转子节点离散数不同：12 vs 10)，通过          |
| 转矩交叉核对   | $\Sigma (F_t \cdot r) = 0.505 \text{ N}\cdot\text{m}$ ↔ 转矩图 0.522 N·m | 偏差 3%，切向力与转矩输出互洽，通过                        |
| 解析量级核对   | $B^2 A / 2 \mu_0 = 485 \text{ N}$ ↔ FEA 343 N                         | 同量级（解析式取全环面积与气隙 B² 均值，系统性偏大，比值 0.71 合理），通过 |

## 方法说明（关键结论，供复用）

Motor-CAD 2026R1 对轴向磁通电机（AFM）的轴向力**没有输出变量、没有 2D 结果图、帮助文档未收录**。数据入口是 3D 集中节点力图：

```
get_magnetic_3d_graph_point("Fr_{Rotor|Stator}_{OL|OC}_Lumped", 切片号, 节点号, 时间步)
```

- AFM 的 2.5D 展开模型沿用径向电机命名：**Fr（法向力）即轴向力**，Ft 为切向力；单位 N/节点/切片。
- 求解前须打开 `ElectromagneticForcesCalc_Load` 与 `_OC`；一次求解同时得到空载（OC）与负载（OL）。
- 节点：转子 10 个（36° 步距）、定子 12 个（30° 步距），首尾（0°/360°）为同一节点须去重；对节点与两切片求和得净力。
- 本模型电流为 RMS 口径（`CurrentDefinition=1`）：改电流要设 `RMSCurrent`，改 `PeakCurrent` 无效。

## 同事复现指南

整个项目由 git 管理，脚本一条命令跑完（约 2 分钟），原始 .mot 不会被修改。

1. **环境**：Windows + Motor-CAD 2026R1（安装器会设好 `MOTORCAD_ACTIVEX` 环境变量）；Python  $\geq 3.10$ ，执行 `pip install ansys-motorcad-core`。
2. **获取项目**：复制整个 `motionpushpull` 目录（含 .git）。
3. **运行**：`python -X utf8 axial_force_final.py` ——Motor-CAD 前台弹出，求解约 88 s，结束后保持打开供检查（加 `--quit` 自动关闭）。
4. **读结果**：控制台 [结论] 两行；波形与校核在 `output_motorcad/axialforce_final_*.json` 与 `axial_force_*.csv`。
5. **判定**：作用-反作用偏差  $<5\%$ 、转矩交叉  $<10\%$ 、解析同量级，三项都过才采信。

换其它 AFM 模型：改脚本顶部 `MOT_SRC`；若切片数/半径不同，按 .mot 中

`AFM_SectionCentreRadius_Array` 更新 `SEC_RADII_MM`。探测脚本 `axial_probe*.py` 是找数据口的历史过程，复现时无需运行。详见仓库 `REPRODUCE.md`。

