

基于 MotAI-OPT 软件驱动电机电磁、热、系统效率、应力优化

(北京天源博通科技有限公司)

1 引言

MotAI-OPT 是北京天源博通科技有限公司科研团队基于第三代遗传算法开发的多目标多物理场优化软件，专门用于耦合 Motor-CAD 软件，实现对电机以效率、扭矩、反电动势、齿槽转矩、指定时间阶次的转矩脉动、指定时间和空间阶次的径向力密度和切向力密度、磁钢重量、绕组温度、磁钢温度、特定路况图谱下的效率、机械应力等多目标多工况优化；对电机设计具有指导性意义；

MotAI-OPT 具有简单易用，计算速度快等特点；本文以某型 48S8P 车用电机为例；

优化变量：槽深 (Slot Depth)，槽宽 (Slot Width)，磁钢厚度 (L1 Magnet Thickness)，磁钢长度 (L1 Magnet Bar Width)，隔磁桥厚度 (L1 Bridge Thickness)，磁钢夹角 (L1 Pole V Angle)，V 型磁钢下部隔磁桥间隔 (L1 Magnet Post) 为变量；

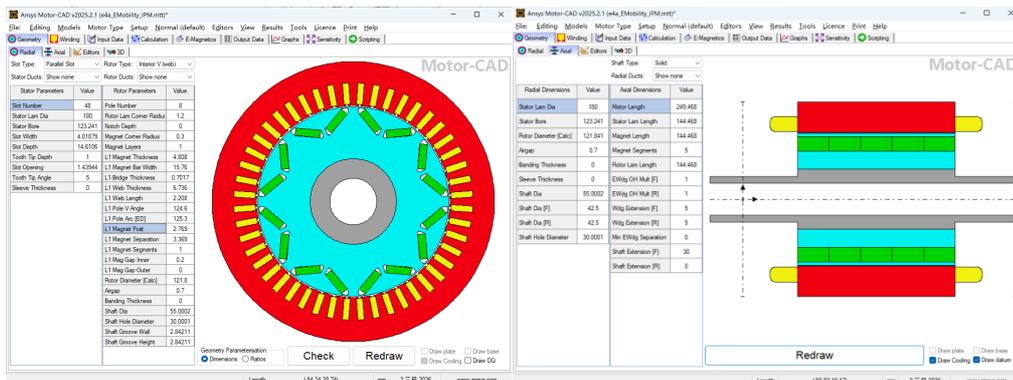
优化约束：磁钢温度 (Temp Magnet Max)，绕组温度 (Temp Winding Max)，应力 (MaxStress_RotorLam) 为；

优化目标：转矩 (Shaft Torque)；

WLTP 路况效率 (DutyCycleAverageEfficiency_EnergyUse)、24 阶电磁力力密度 (Fr_Density_Space0_Time24)、48 阶电磁力力密度 (Fr_Density_Space0_Time48)

2 基于 MotAI-OPT 软件优化

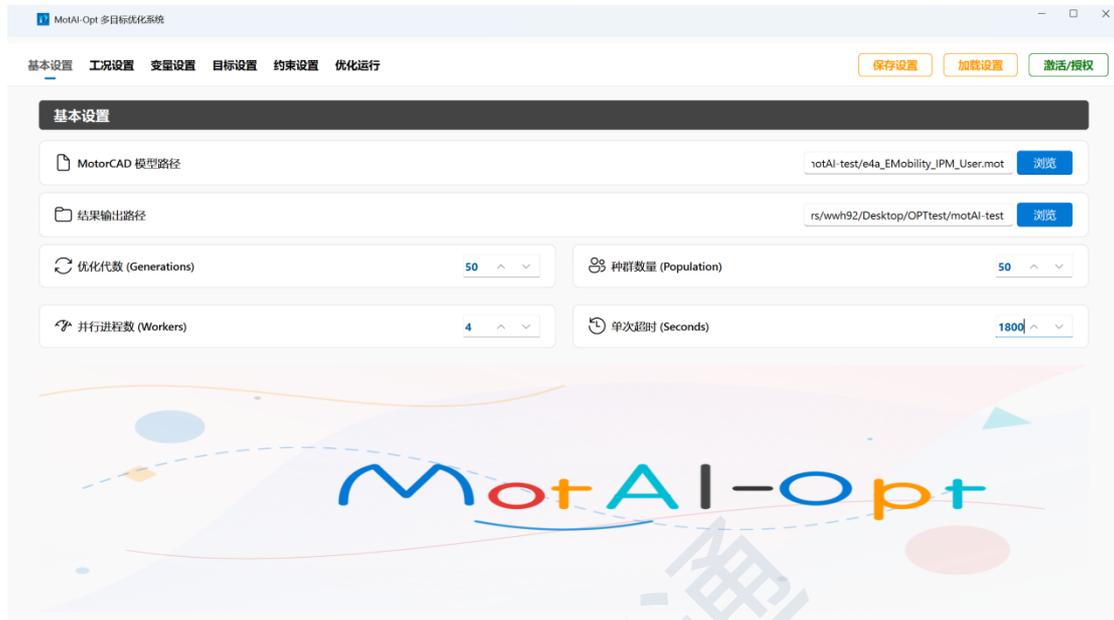
本文以 Ansys Motor-CAD E4A 电机为例，模型图如下：



优化电机模型详细参数

1、基本设置

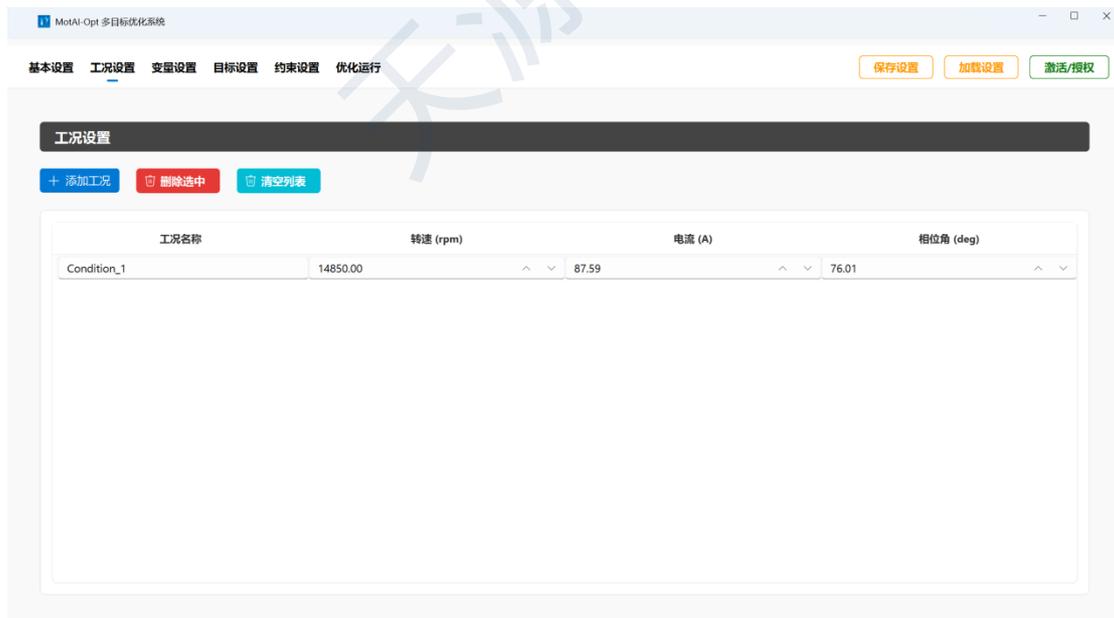
①设置模型路径选择目标工程文件；②、设置结果保存路径，③、设置优化代数、优化种群数、并行进程个数，④、设置超时时间，避免因变量尺寸设置导致的模型干涉无法计算而卡死的问题；设置如下；



优化路径、代数设置

2、工况设置

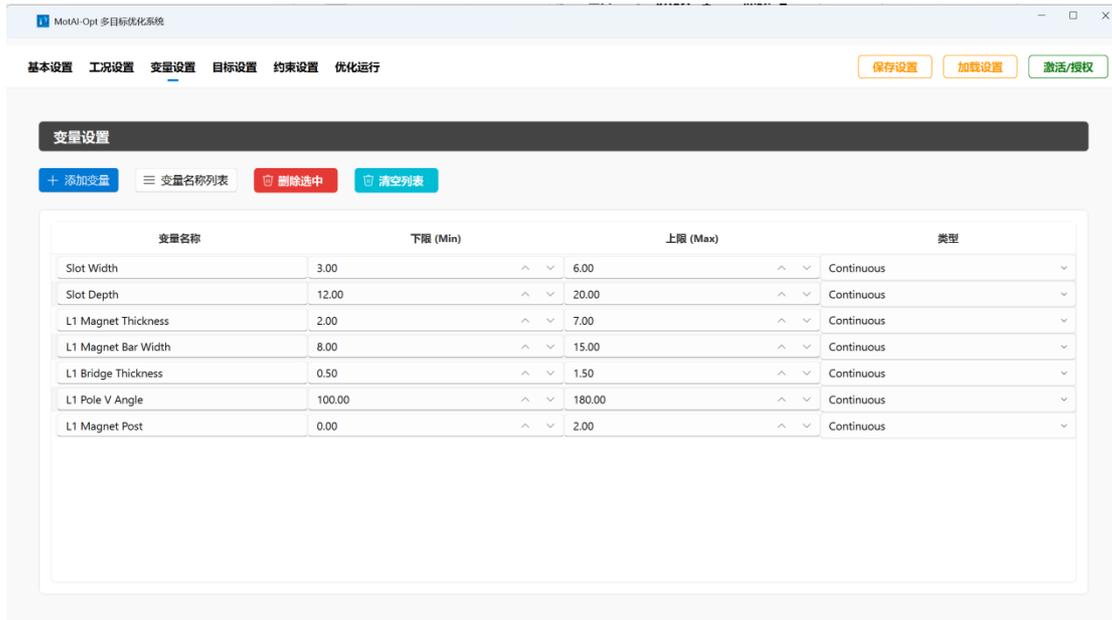
可以设置单工况、亦可以设置多工况；这里设置转速、转矩、电流角等参数；设置如下



工况设置

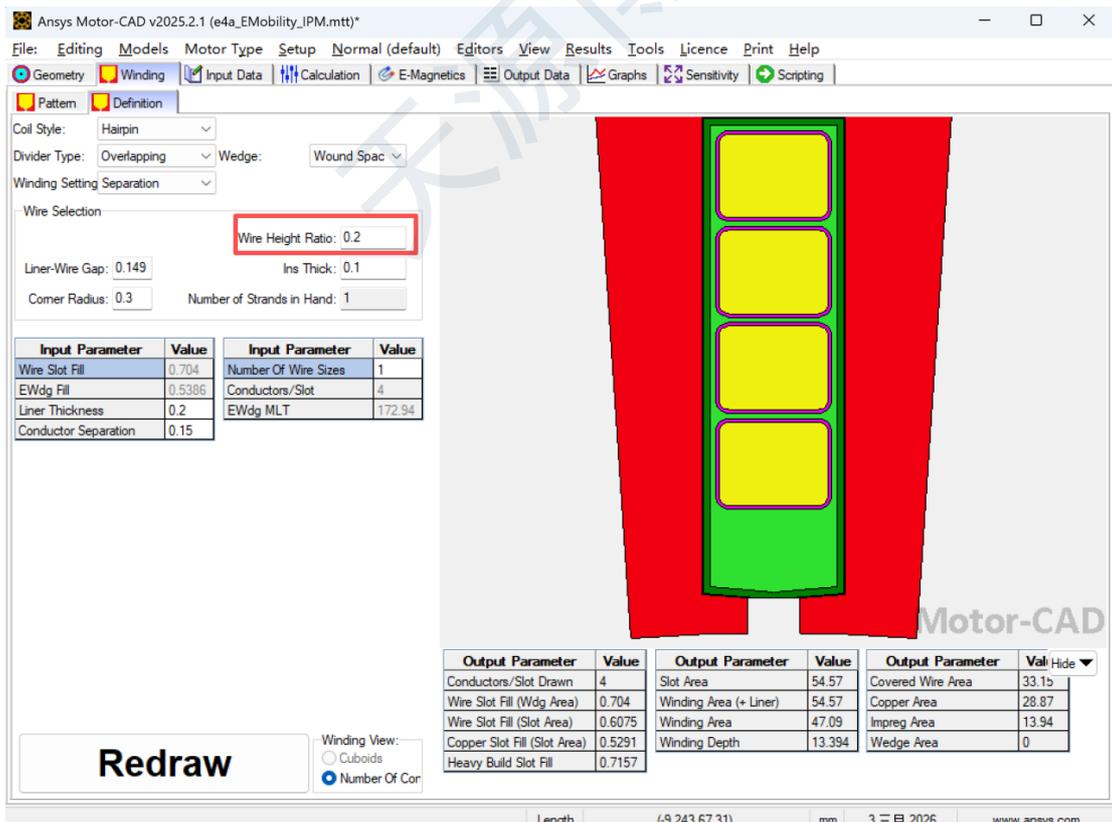
3、变量设置

界面中存在变量名称列表，包含 Motor-CAD 几何模型中所包含的所有变量，直接选择就可以；也支持使用者直接在 Motor-CAD 软件界面，直接复制变量名进来；



变量设置

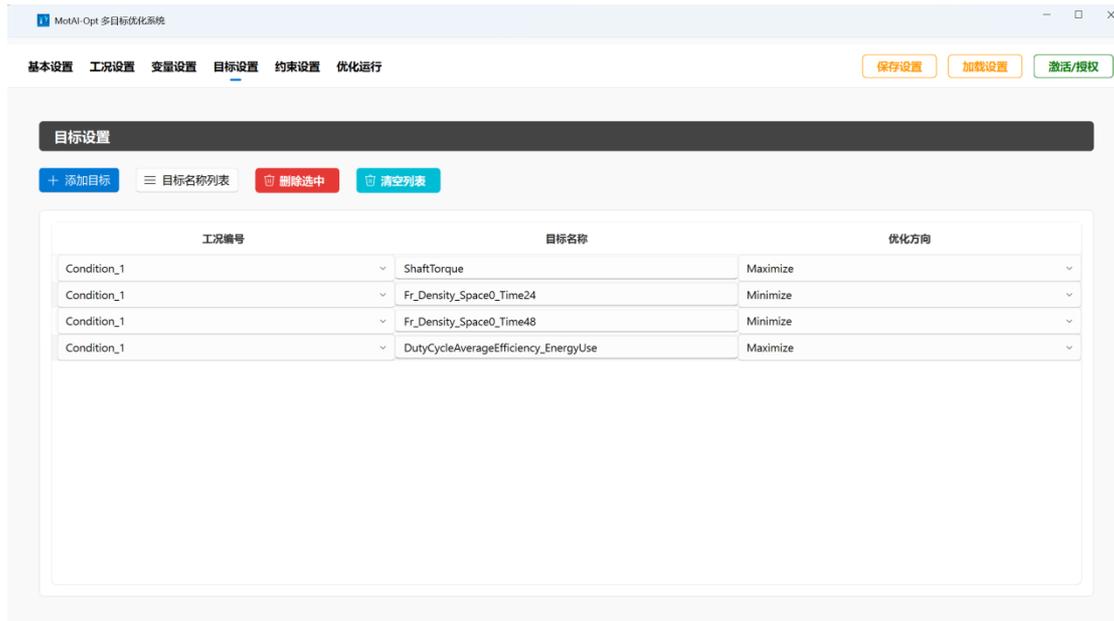
注：这里设置了槽型变量，槽型发生变化，绕组的槽满率会随之改变，为了保证优化后的模型合理，需在绕组处进行设置，如果是散线，则保证槽满率，如果是扁线，则设定线径比即可；如下图所示：



4、目标设置

界面中存在优化目标名称列表，直接选择添加就可以；也支持使用者手动更改目标；设

置如下：

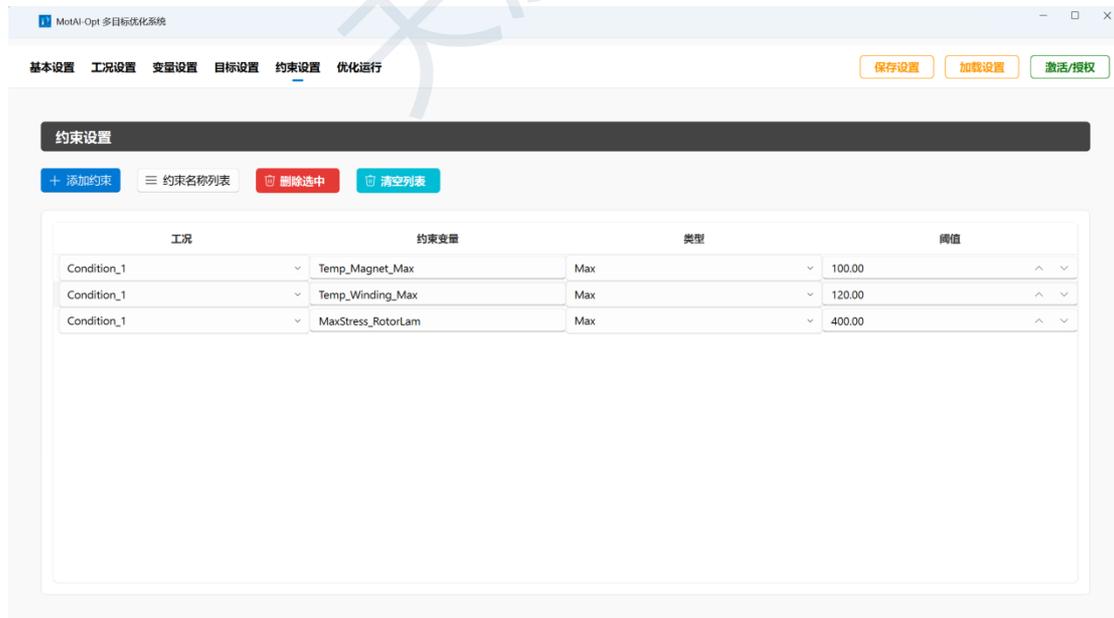


目标设定

注：在目标名称列表中，只有 Fr_Density_Space0_Time24，如想设置其他时间阶次和空间阶次的目标，直接更改数字即可；

5、约束设置

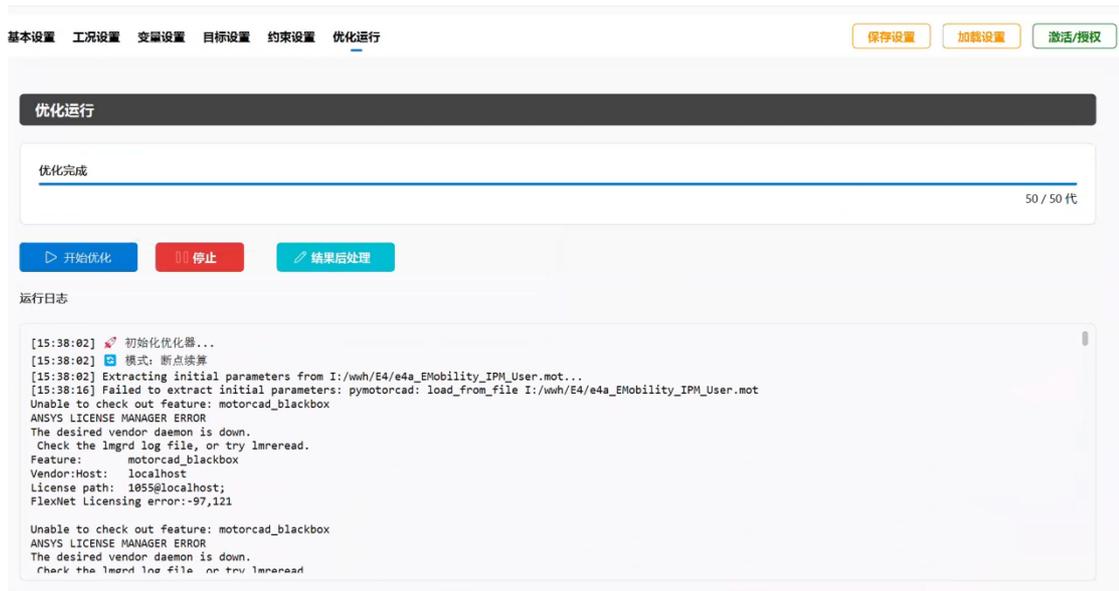
可以根据要求设置目标的约束，如，转矩不能低于多少，效率不能低于多少等；如要进行无约束优化，直接跳过；本案例这里设置绕组温度、磁钢温度、应力等约束；



约束设置

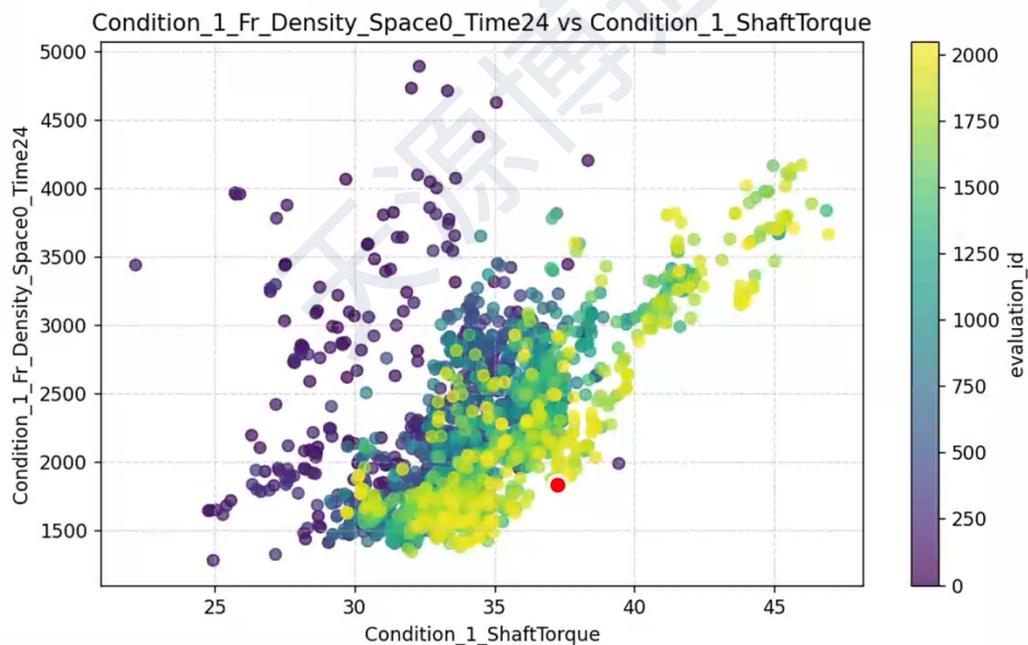
6、优化运行

设置完成后，直接点击优化，就可以开始优化计算；



开始优化

经过 53 个小时计算，完成 2409 个方案，完成优化；优化结果如下：



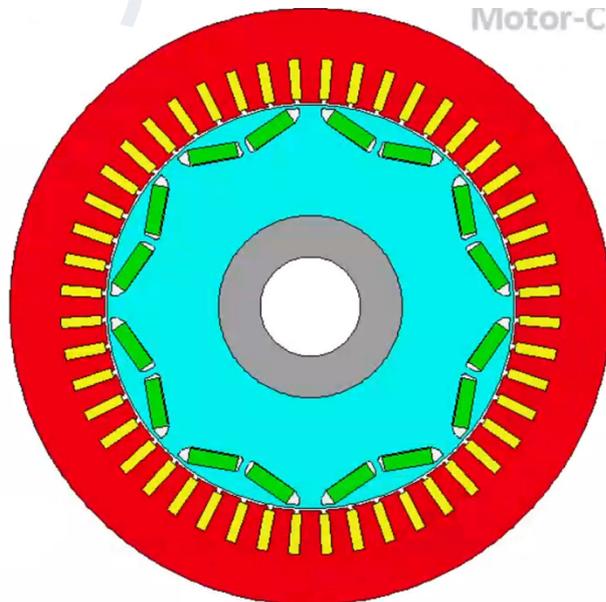
根据上图可知，选择的最终优化方案并非是电磁力力密度最低的方案，这里要考虑转矩的影响；故，选择转矩满足需求，且电磁力力密度最低的点为最优方案；

注：后续版本，将在后处理添加数据筛选功能；

优化结果

变量	优化前	优化后
槽深 (mm)	14.6106	13.25
槽宽 (mm)	4.01879	3.162
磁钢厚度 (mm)	4.808	4.633
磁钢长度 (mm)	15.76	14.61
隔磁桥厚度 (mm)	0.7017	1
磁钢夹角 (deg)	124.6	155.8
V型磁钢下部隔磁桥间隔 (mm)	2.769	1.93

目标	优化前	优化后	变化%	评价
转矩 (Nm)	37.498	37.25	-0.6%	满足
WLTP class3 路况图谱效率	96.4%	96.7%	+0.3%	满足
24阶电磁力力密度 (m^2/N)	2879	1826	-37%	有效降低
48阶电磁力力密度 (m^2/N)	1057	442	-58%	有效降低
磁钢最大温度 ($^{\circ}$)	-----	87		满足
绕组最大温度 ($^{\circ}$)	-----	115		满足
最大应力 (Mpa)	-----	257		满足



优化后模型

3 结论

本文应用 MotAI-OPT 驱动 Motor-CAD 进行优化，经过大量数据的计算，24 阶电磁力力密度降低约 37%，48 阶电磁力力密度降低约 58%。转矩、WLTP class3 路谱效率基本不变，磁钢温度、绕组温度、应力均满足要求；

天源博通