

Motor XP 功能介绍



懿朵科技

隋春腾 132 4802 0936

目录

一、何谓 Motor XP

二、Motor XP 概述

三、Motor XP 特点

四、MotorXP-AFM 解决方案

目录

一、何谓 Motor XP

二、Motor XP 概述

三、Motor XP 特点

四、MotorXP-AFM 解决方案

一、何谓 Motor XP ?

Question:

请帮我设计一款: 外径130mm, 厚度20mm, 内转子电机, 48V, 2000W左右, 最高效率在6000RPM的电机。

ANS:

- ❑ CAE工程师的回答: OK, 但请您先给我几何, 我会铺设网格与定义边界条件, 并邀请CAD工程师一同参与分析; 数天后确认这款电机是否能达到您的需求。
- ❑ MotorXP(电机设计)工程师: OK, 我会按照您的尺寸需求, 1小时内设计出这款电机的几何(包括达到要求的效率), 所以, 过去只有电机模拟的CAE工具, 且以泛用型的电磁软件及CFD软件从几何导入开始执行, 不但没有电机设计的概念, 更需多人分工不同角色才能慢慢地执行; 即使加上专家, 也需要动辄数天到数周以上的时间才能模拟一个设计方案的电机效率结果。

* 所以MotorXP是一套电机设计工具, 而非CAE分析软件。

目录

一、何谓 Motor XP

二、Motor XP 概述

三、Motor XP 特点

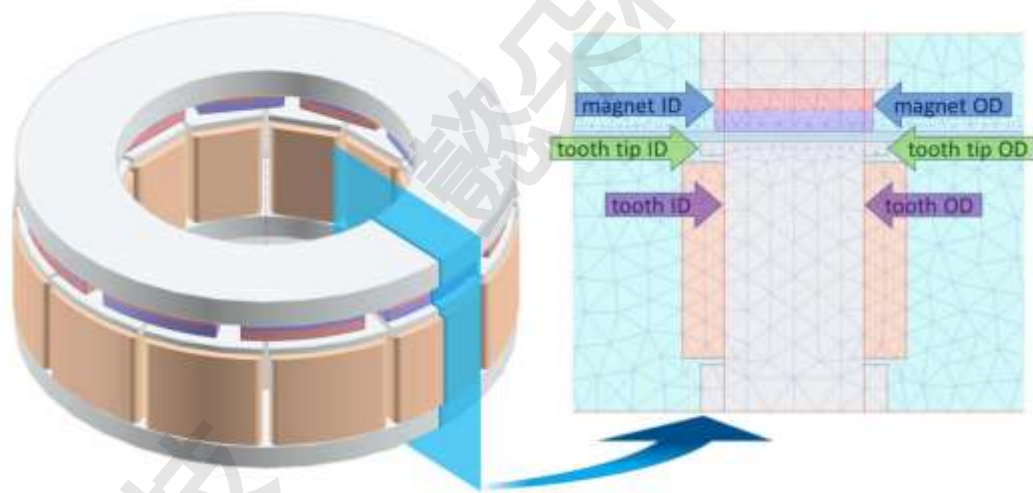
四、MotorXP-AFM 解决方案

二、Motor XP概述

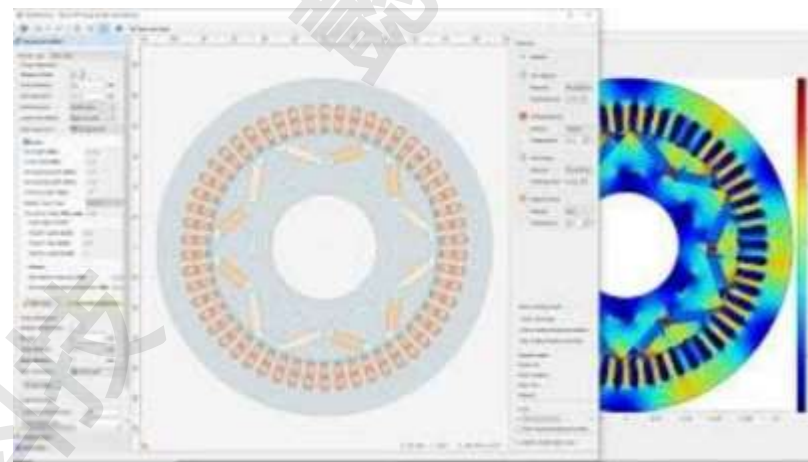
2.1 关于Motor XP:

MotorXP是一个用于设计和分析永磁 **轴/径向**磁通电机的软件，包括无刷直流电机和永磁同步电机。MotorXP于有限元分析(FEA)模拟与磁路分析方法相结合，建立了一套完整的永磁体磁 **轴/径向**磁通电机设计与分析工具。

MotorXP可以作为基于MALTAB的应用程序使用，也可以作为独立的程序运行而无需使用MATLAB。



轴向电机



径向电机

二、Motor XP概述

MotorXP-AFM:

MotorXP-AFM是市场上**唯一**专注于**轴向通磁电机 (AFM)** 的电磁设计和分析软件。这款软件具有独特的拟三维有限元建模方法, 使AFM设计提升至全新水平, 计算速度比全三维有限元分析 (FEA) 快10倍, 同时保持高度精确。

MotorXP-PM:

MotorXP-PM专为设计和分析永磁 (PM) 电机和发电机而设。它支持不同类型的电机, 包括无刷直流 (BLDC) 电机和发电机, 以及带有表面式或内置式永磁铁的永磁同步电机 (PMSM) 和发电机。

共同优势:

两款模块共同的优势包括:

- ❑ 支持多种分析类型, 结合了FEA和分析方法, 实现快速计算;
- ❑ 提供100多个输出参数, 内建和自定义几何模板, 可调整的材料库, 以及参数分析和优化API, 建立了灵活而强大的电机设计工作流程;
- ❑ MotorXP提供MATLAB应用程序和独立的软件版本, 满足不同需求。

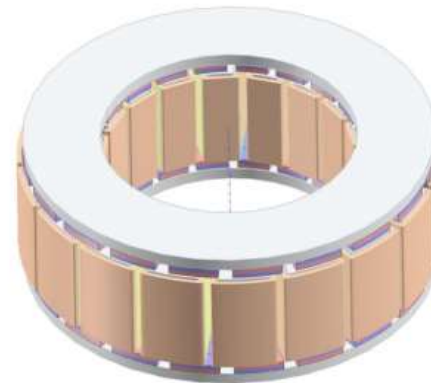
二、Motor XP概述

2.2 MotorXP和Maxwell 3D：有限元分析分析结果对比

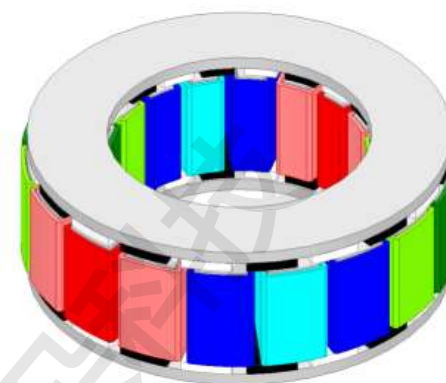
afm_srs54_5,1600RPM (零电流)			
	Maxwel l	MotorXP	差异 比
反电动势 (V)	158.5	158.6	0.06
总铁损(W)	733.3	742.5	1.25

afm_srs54_5,1600RPM,125Arms			
	Maxwel l	MotorXP	差异 比
转矩(Nm)	208.8	209.6	0.39
感应电压峰值 Rs=0(V)	158.0	158.4	0.25
总铁损(W)	750.6	758.8	1.09

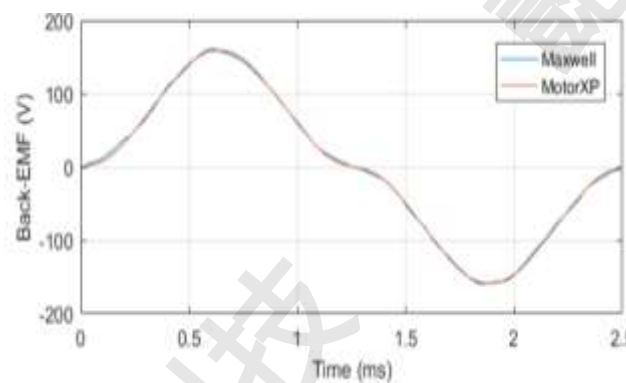
afm_srs54_5,1600RPM,250Arms(额定工况)			
	Maxwe ll	MotorXP	差异比
转矩(Nm)	395.2	403.2	2.02
感应电压峰值 Rs=0(V)	160.5	159.4	0.69
总铁损(W)	785.9	795.1	1.17



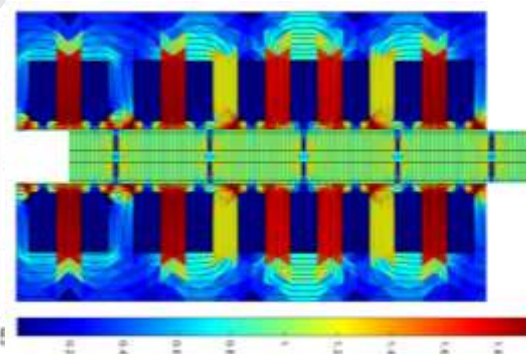
永磁轴向电机



Ansys Maxwell 3D



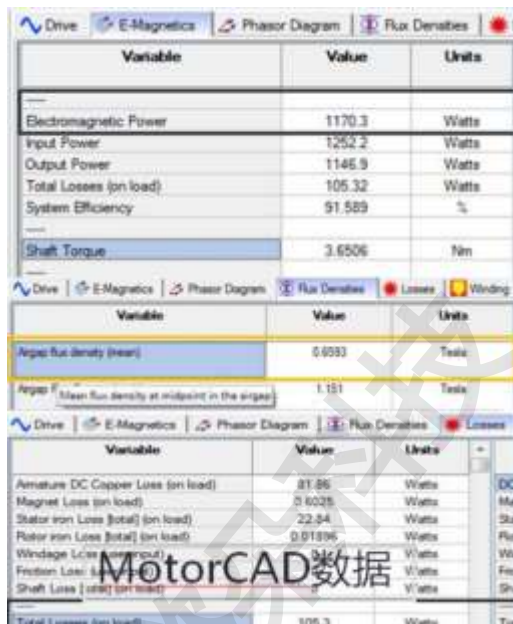
反电动势波形比较
(MotorXP-AFM)



额定条件下的磁通密度分布

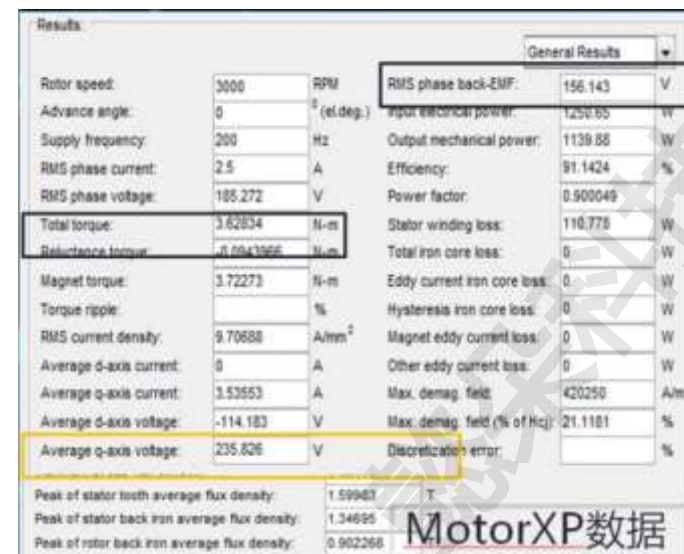
二、Motor XP概述

2.3 MotorXP和MotorCAD：有限元分析分析结果对比



The screenshot shows the MotorCAD software interface with the 'Results' tab selected. It displays a table of simulation results for a motor. The table includes variables such as Electromagnetic Power, Input Power, Output Power, Total Losses, System Efficiency, Shaft Torque, Airgap flux density, and various losses (Armature DC Copper Loss, Magnet Loss, Stator iron Loss, Rotor iron Loss, Winding Loss, Friction Loss, Shaft Loss). The values are listed in the 'Value' column, and the units are in the 'Units' column.

Variable	Value	Units
Electromagnetic Power	1170.3	Watts
Input Power	1252.2	Watts
Output Power	1146.9	Watts
Total Losses (on load)	105.32	Watts
System Efficiency	91.589	%
Shaft Torque	3.6506	Nm
Airgap flux density (near)	0.6593	Tesla
Armature DC Copper Loss (on load)	81.86	Watts
Magnet Loss (on load)	0.6025	Watts
Stator iron Loss (total) (on load)	22.94	Watts
Rotor iron Loss (total) (on load)	0.91396	Watts
Winding Loss (on load)	0.0000	Watts
Friction Loss (on load)	0.0000	Watts
Shaft Loss (on load)	0.0000	Watts
Total Losses (on load)	105.3	Watts



The screenshot shows the MotorXP software interface with the 'Results' tab selected. It displays a table of simulation results for a motor. The table includes variables such as Rotor speed, Advance angle, Supply frequency, RMS phase current, RMS phase voltage, Total torque, Reluctance torque, Magnet torque, Torque ripple, RMS current density, Average d-axis current, Average q-axis current, Average d-axis voltage, Average q-axis voltage, Peak of stator tooth average flux density, Peak of stator back iron average flux density, Peak of rotor back iron average flux density, RMS phase back-EMF, Input electrical power, Output mechanical power, Efficiency, Power factor, Stator winding loss, Total iron core loss, Eddy current iron core loss, Hysteresis iron core loss, Magnet eddy current loss, Other eddy current loss, Max. demag. field, Max. demag. field (% of Hc), and Discretization error. The values are listed in the 'Value' column, and the units are in the 'Units' column.

Variable	Value	Units
Rotor speed	3000	RPM
Advance angle	0	(el.deg.)
Supply frequency	200	Hz
RMS phase current	2.5	A
RMS phase voltage	185.272	V
Total torque	3.62834	N-m
Reluctance torque	0.0043966	N-m
Magnet torque	3.72273	N-m
Torque ripple		%
RMS current density	9.70688	A/mm ²
Average d-axis current	0	A
Average q-axis current	3.53553	A
Average d-axis voltage	-114.183	V
Average q-axis voltage	235.826	V
Peak of stator tooth average flux density	1.59943	T
Peak of stator back iron average flux density	1.34695	T
Peak of rotor back iron average flux density	0.902268	T
RMS phase back-EMF	156.143	V
Input electrical power	1250.65	W
Output mechanical power	1139.88	W
Efficiency	91.1424	%
Power factor	0.900049	
Stator winding loss	110.776	W
Total iron core loss	0	W
Eddy current iron core loss	0	W
Hysteresis iron core loss	0	W
Magnet eddy current loss	0	W
Other eddy current loss	0	W
Max. demag. field	420250	A/m
Max. demag. field (% of Hc)	21.1181	%
Discretization error		%

方案	MotorCAD	MotorXP	误差(%)
转速	3000	3000	
rms电流(A)	2.5	2.5	
转矩(N.m)	3.65	3.63	0.61
输出功率(W)	1146.90	1139.88	0.61
效率(%)	91.59	91.14	0.49
损耗(W)	105.30	110.78	5.20
BackEMFPhaseVoltage(rms)(V)	164.00	156.14	4.79
Airgapfluxdensity(T)	0.6593	0.6577	0.24
计算时间(s)	50	20	

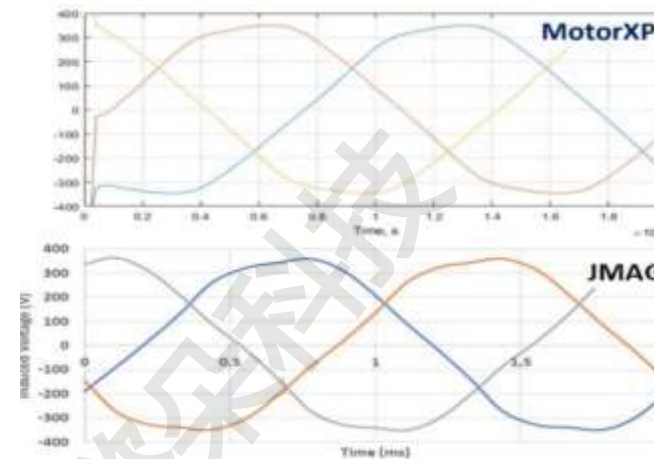
二、Motor XP概述

2.4 MotorXP和JMAG 3D：有限元分析分析结果对比

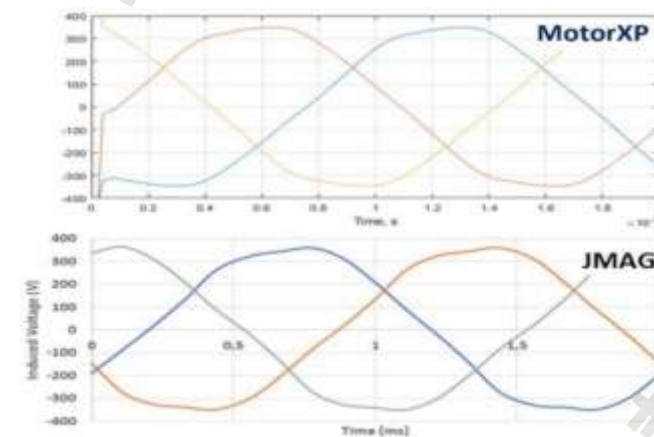


afm_sr12,6000RPM,7.79Apk(额定条件)			
	JMA G*	MotorX P	差异比
转矩(Nm)	3.20	3.19	0.31
感应电压峰值(V)	312.8 7	307.50	1.72
总铁损(W)	60.18	63.42	5.38

afm_sr12,6000RPM,20.26Apk(超载条件)			
	JMA G*	Motor XP	差异比
转矩(Nm)	7.94	7.86	1.01
感应电压峰值(V)	358.4 0	349.0	2.62
总铁损(W)	73.99	78.86	6.58



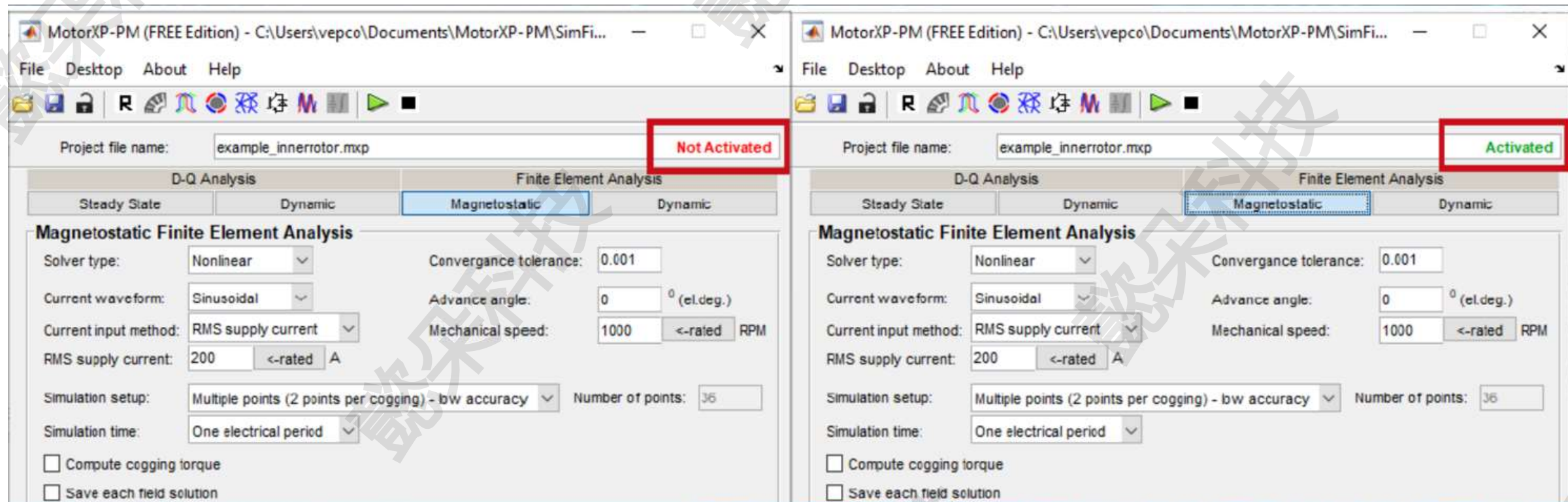
电压波形比较(额定工况)



电压波形比较(超载工况)

二、Motor XP概述

2.5 软件特点-档案激活



* **MotorXP**具有强大的**license**管理功能，可方便的激活*.mxp档案，在任意有安装软件的计算机上进行运算或后处理检视。

目录

一、何谓 Motor XP

二、Motor XP 概述

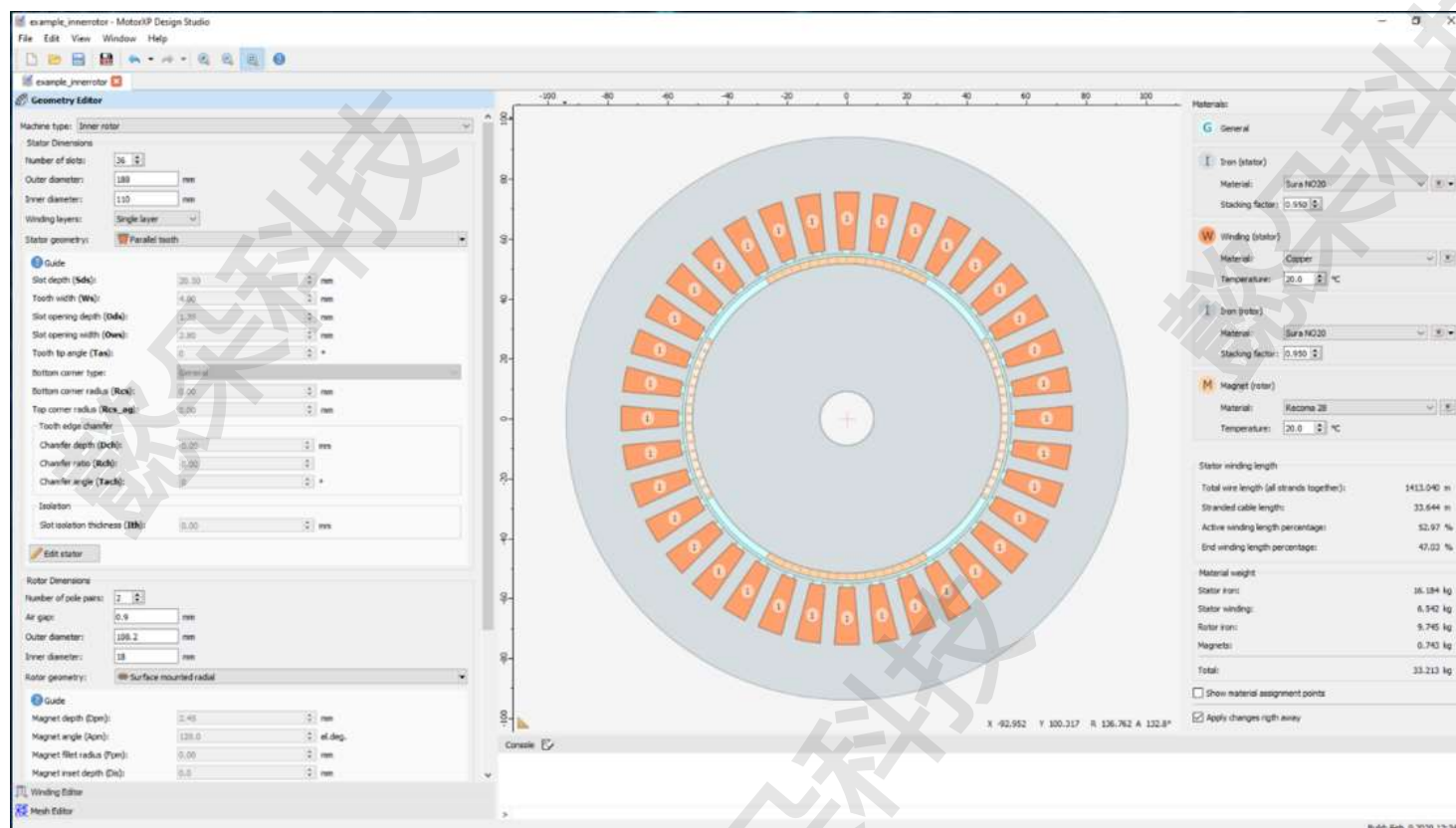
三、Motor XP 特点

四、MotorXP-AFM 解决方案

三、Motor XP特点

3.1 简单易用:

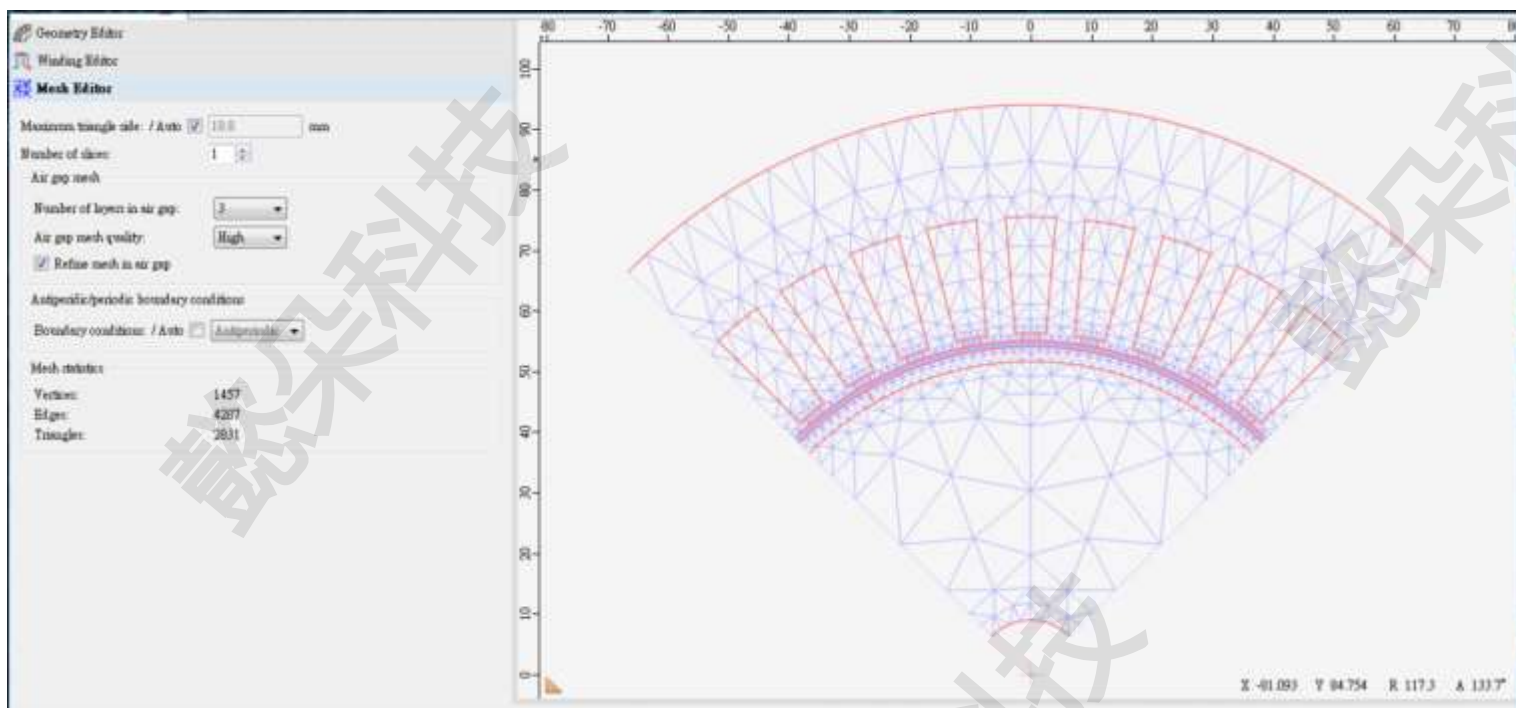
- 使用Motor XP只需填写电机的结构和材料参数（几何、材料、绕组），采取填写选项卡的方式进行建模和设置。



三、Motor XP特点

3.3 网格设定:

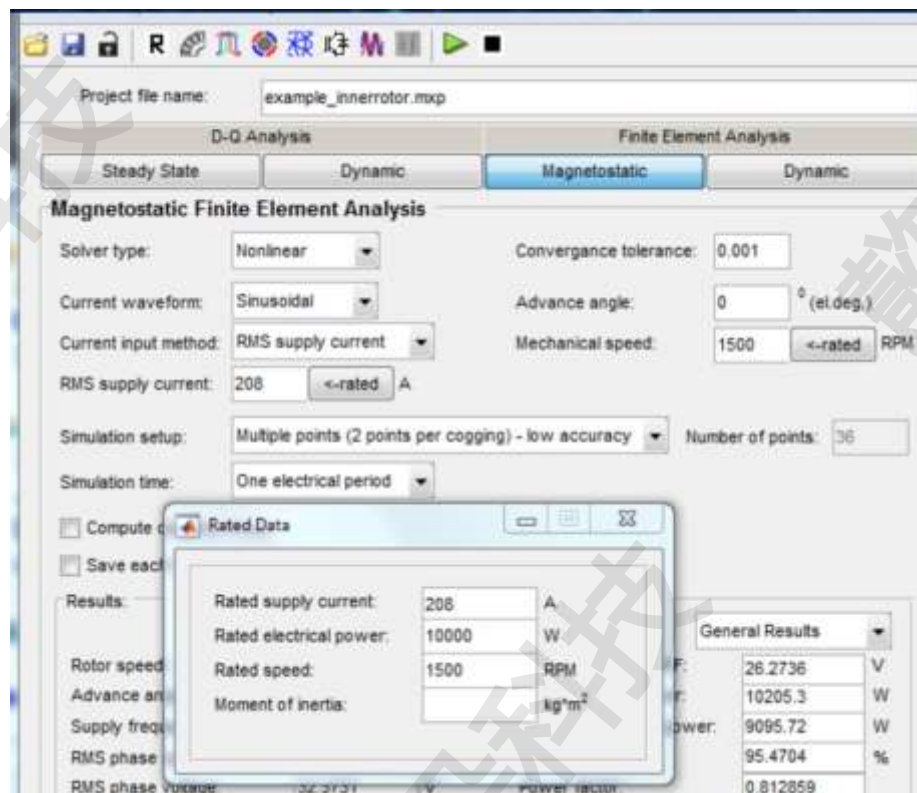
- 除常见网格大小与边界条件等设定也针对定转子间的气隙做局部网格加密设定，提高计算结果的准确度。



三、Motor XP特点

3.4 多元分析:

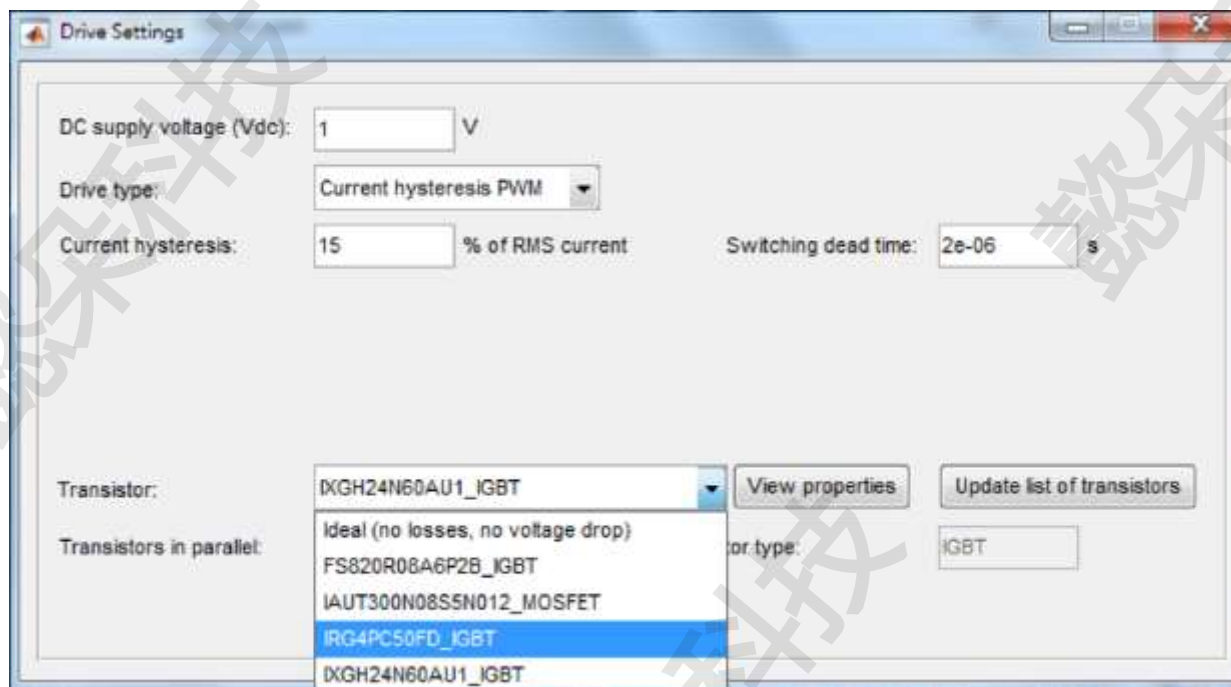
- MotorXP提供基于有限元分析计算的结果，并结合了几种具有不同精度和计算速度的分析方法。
- 可以根据电机设计过程的阶段和速度/精度的考量选择适当的分析方法(静磁分析/DQ分析/动态DQ分析/动态有限元分析)。



三、Motor XP特点

3.5 不同的驱动器类型:

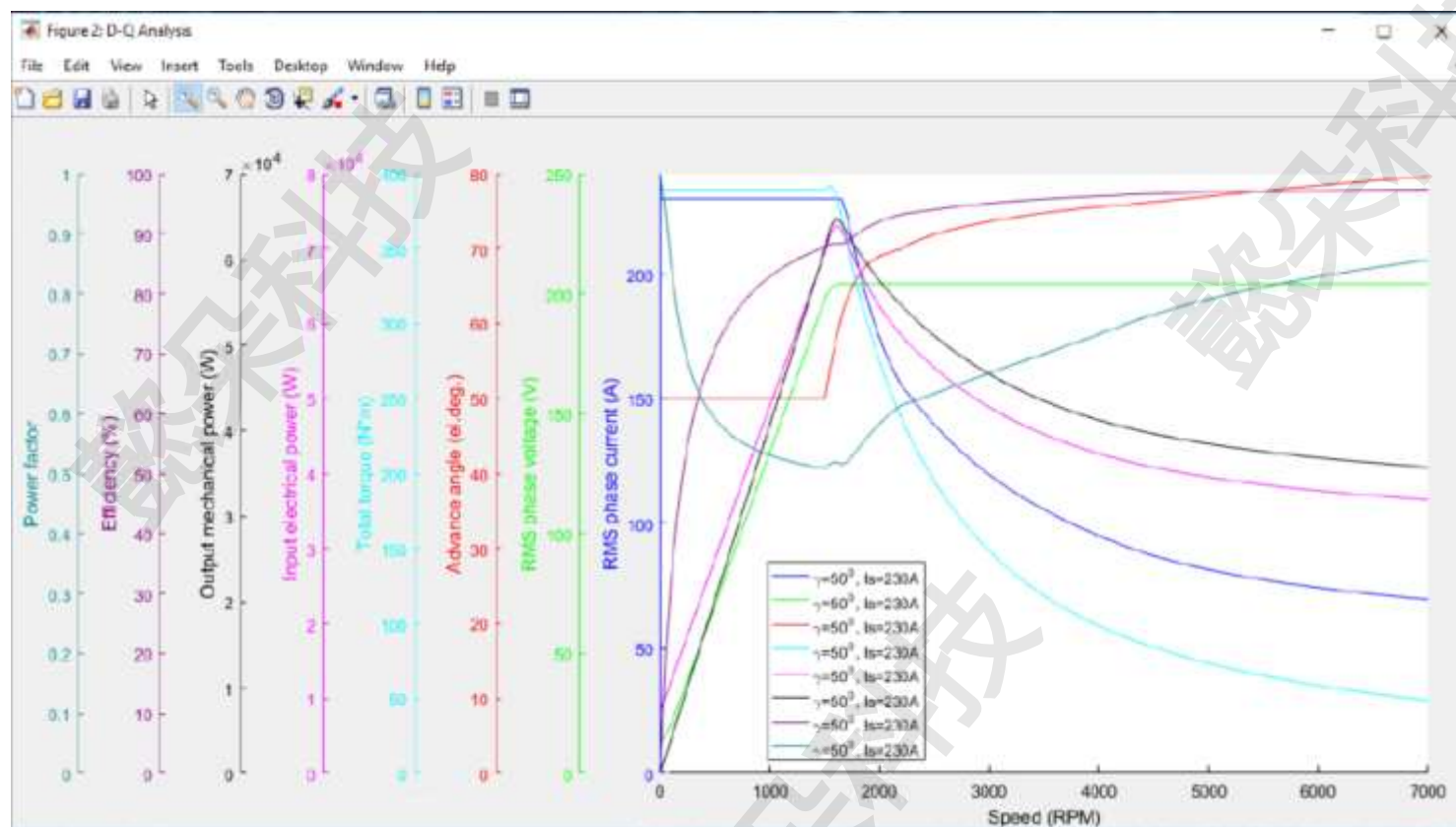
- ❑ 支持不同电机设计(BLDC&PMSM)选择所需驱动方式(正弦波或六步方波)。
- ❑ 支持IGBT和MOSFET晶体管的逆变器损耗计算，可以使用数据表参数添加定制晶体管，以及由设定电压来计算电机特性功能。



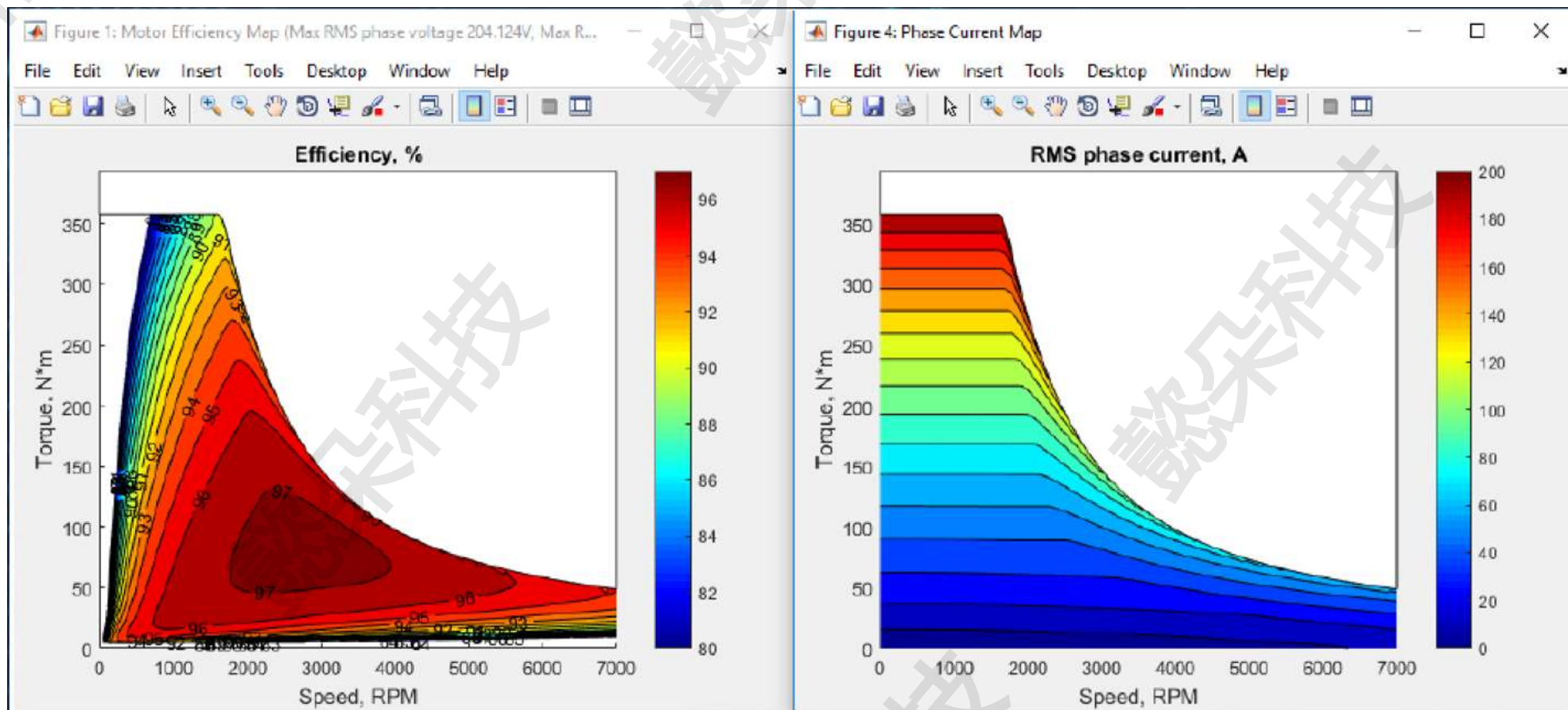
三、Motor XP特点

3.6 后处理-电磁:

- Motor XP具有强大的后处理功能，可方便的显示电流、电压曲线、转矩波形、Back-EMF曲线、磁密云图、损耗云图。



三、Motor XP特点



* Motor XP具有强大的后处理功能，可方便的显示效率Map图等电机特性图表。

目录

一、何谓 Motor XP

二、Motor XP 概述

三、Motor XP 特点

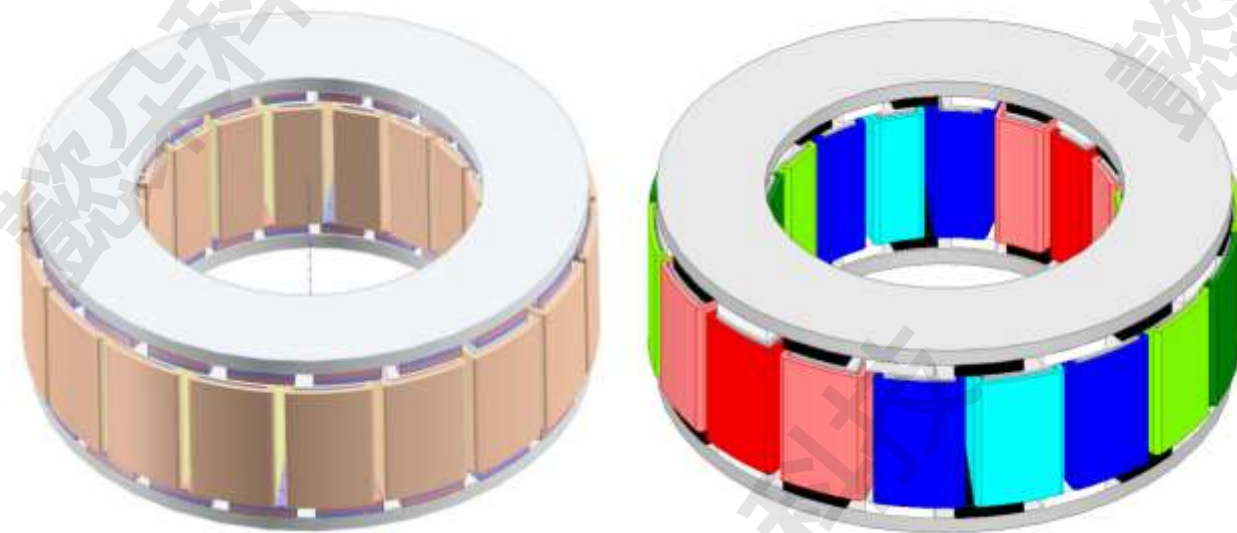
四、MotorXP-AFM 解决方案

四、MotorXP-AFM解决方案

4.1 MotorXP-AFM 简介

MotorXP-AFM 是目前市场上唯一完全致力于永磁轴向磁通电机(AFM)的电磁设计和分析的软件，包括无刷直流电机和永磁体同步电动机和发电机。由于其独特的准三维有限元建模方法，相比传统的三维软件计算速度提升了10倍，完整的三维有限元分析，保证了其准确性。

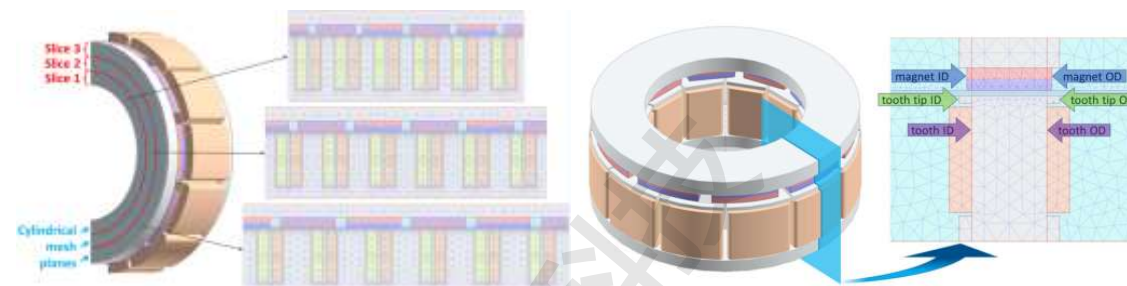
MotorXP-AFM 包括几种由有限元分析和磁路分析方法组成的分析模型，超过100个输出参数，内置和定制的几何模板，可定制的材料库，参数分析和优化API，以建立一个灵活的设计工作流程。



四、MotorXP-AFM解决方案

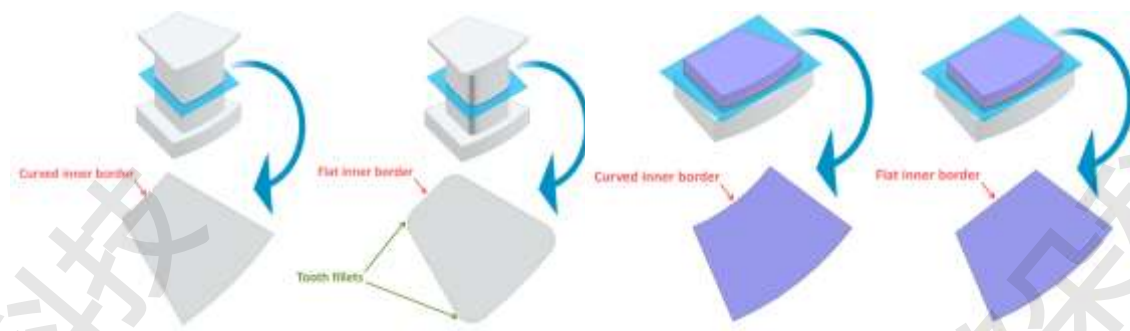
4.2 MotorXP-AFM 原理简介

- ❑ 三维有限元分析是轴向磁通电机（AFM）模拟中应用最广泛的技术。但是计算时间较长，特别是在初始设计阶段。
- ❑ 当AFM由一个或几个具有等效拓扑的线性电机来表示时，可以将AFM的三维几何形状用不同半径的圆柱面切片(二维线性模型建模方法- 2D- lmma)，然后利用二维有限元法同时求解各片的磁场问题。
- ❑ 通过计算每个切片的电磁转矩，并将所有切片值相加得到实际转矩。2D-LMMA的主要缺点是由于3D模型对AFM性能的影响，精度有限。
- ❑ 为了将3D效果包含到2D-LMMA中，MotorXP-AFM通过计算AFM径向横截面的磁场，并使用几何校正系数来考虑机器不同部件的确切形状。



轴向磁通电机二维
线性模型建模方法
(2D- lmma)

轴向磁通电机
径向截面网

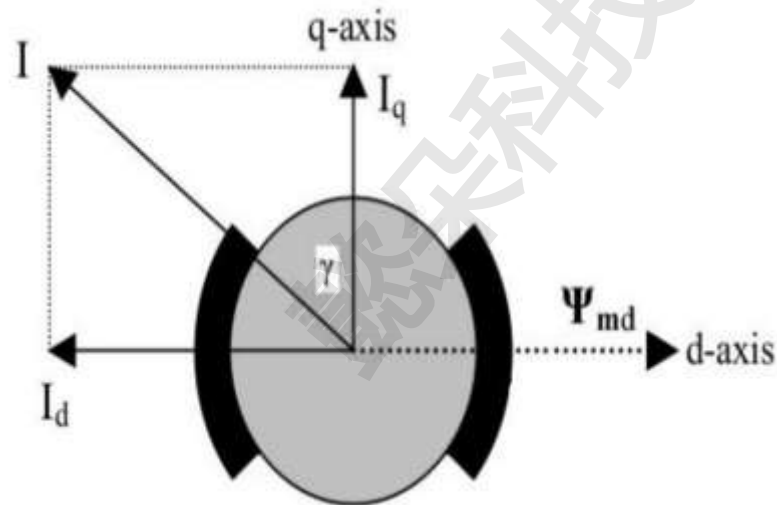


使用定子和转子几何校正系数

四、MotorXP-AFM解决方案

4.3 MotorXP-AFM dq轴模型

- dq轴参考系是将正弦量表示为常数的方便方法，dq轴参照系固定在转子上，与转子以相同的速度转动。
- 以双极表面安装的永磁体转子为例，d轴始终处于永磁体磁场的方向。q轴转动90度，即始终位于电机的两个磁极之间。



$$\begin{aligned}I_q &= I \cos \gamma \\I_d &= -I \sin \gamma \\I &= \sqrt{I_d^2 + I_q^2} \\\gamma &= \arctan\left(\frac{I_d}{I_q}\right)\end{aligned}$$

电流向量

$$\begin{aligned}\Psi_d &= \Psi_{md} + L_d I_d + L_{dq} I_q \\\Psi_q &= \Psi_{mqd} + L_q I_q + L_{dq} I_d\end{aligned}$$

磁链矢量

$$\begin{aligned}V_d &= R_s I_d - \omega \Psi_q - \omega L_{scw} I_q \\V_q &= R_s I_q + \omega \Psi_d + \omega L_{scw} I_d \\V &= \sqrt{V_d^2 + V_q^2}\end{aligned}$$

转矩矢量

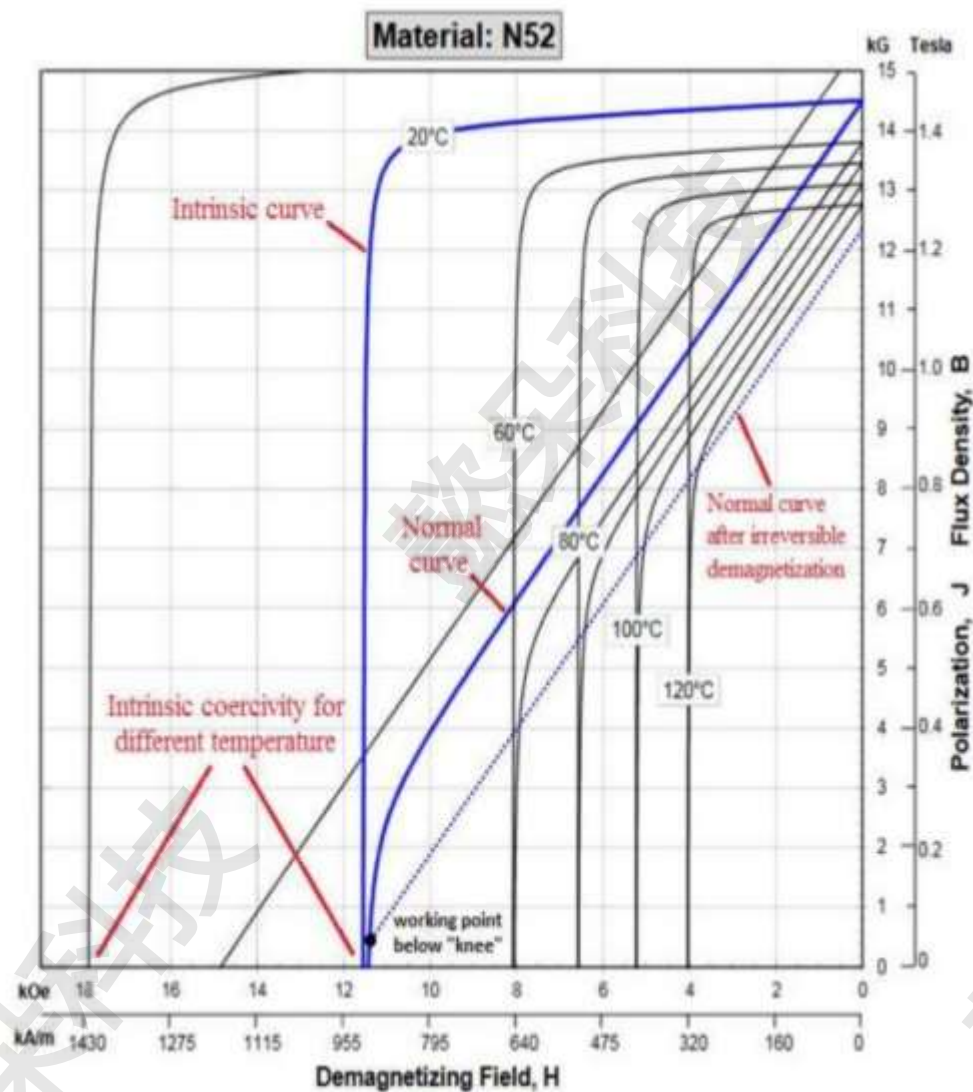
$$T = \frac{3}{2} p (\Psi_d I_q - \Psi_q I_d)$$

转矩方程

四、MotorXP-AFM解决方案

4.4 MotorXP-AFM 永磁体退磁分析

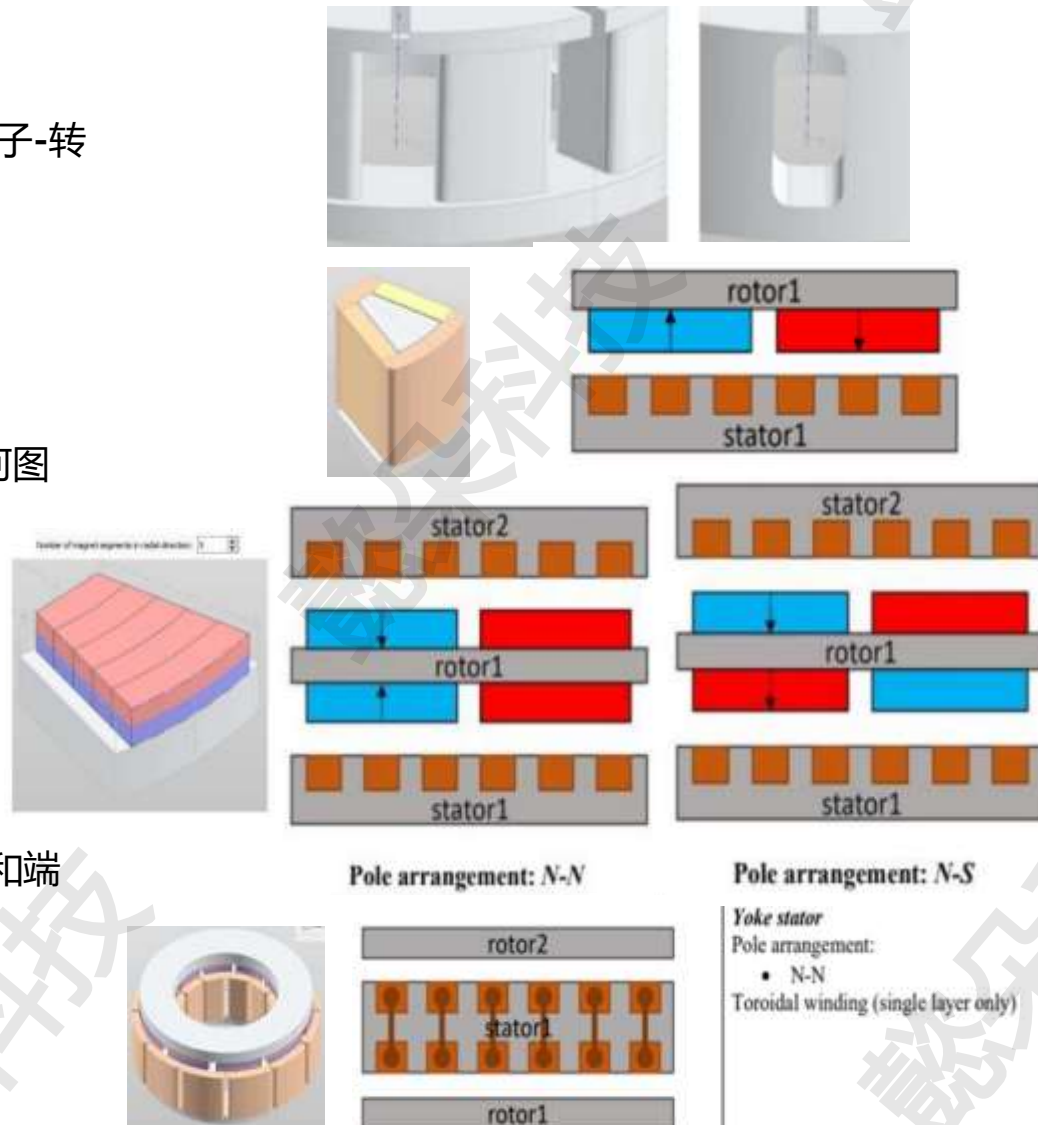
- 在MotorXP-AFM中，可以根据永磁体在类比过程中所经历的最大退磁场强来估计退磁的风险。最大退磁场强可用A/m或本征矫顽力百分比 H_{cj} 来测量。



四、MotorXP-AFM解决方案

4.5 MotorXP-AFM 功能及特点

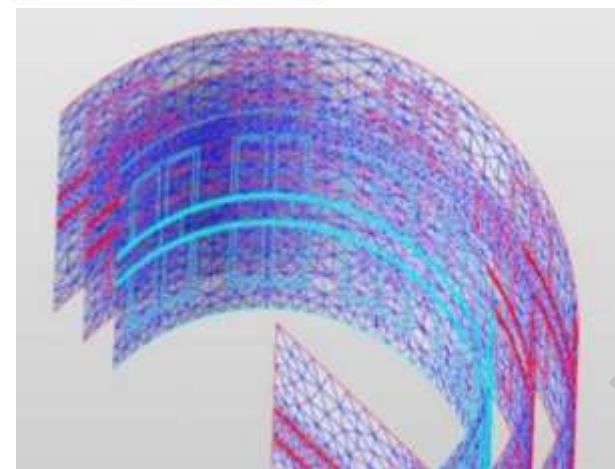
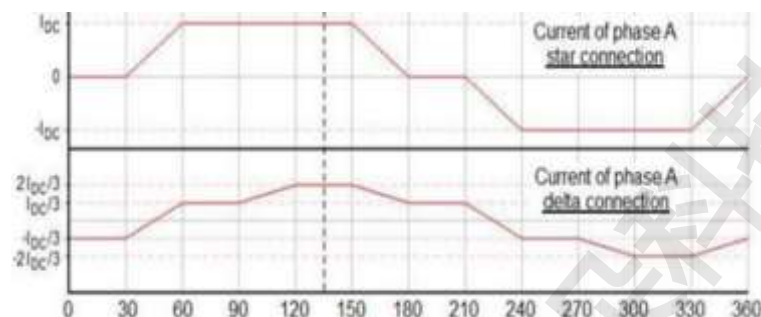
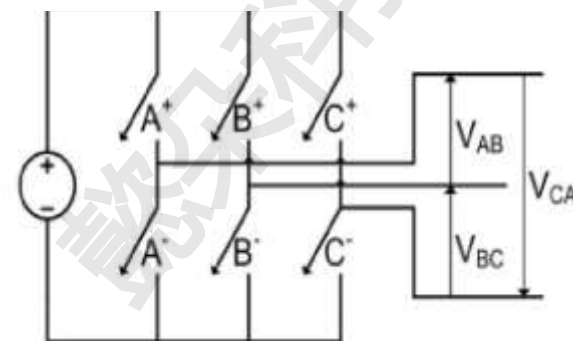
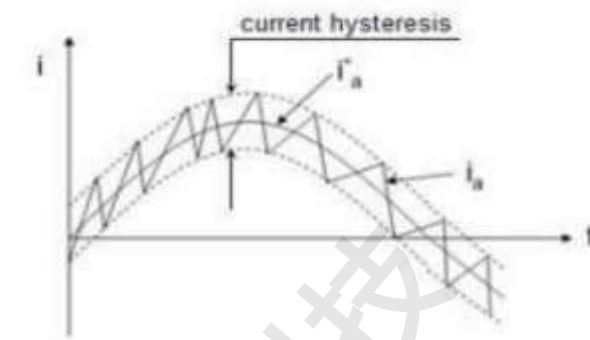
- ❑ 拓扑结构: 定子-转子, 定子-转子-定子(带轭或无轭转子)和转子-定子-转子(带轭或无轭定子)。
- ❑ 三维定子和转子几何模板。
- ❑ 定子几何形状: 平行槽, 平行圆槽。
- ❑ 转子几何形状: 梯形磁铁, 矩形磁铁, hallbach阵列。
- ❑ 自订几何模板。
- ❑ 为任意复杂度的自订定子和转子几何图形创建完全参数化的三维几何图形模板。
- ❑ 3D几何汇出到STEP文件。
- ❑ 集中、分布和环形绕组类型。
- ❑ 所有可能的极/槽组合的手动或自动绕组布局。
- ❑ 不同的线尺寸方法。
- ❑ AWG, SWG, 线径和槽或线圈填充系数。
- ❑ 不同绕组参数的计算。
- ❑ 基波绕组因子和谐波绕组因子, 槽数和极数的LCM和GCD, 相电阻和端匝电感。
- ❑ 材料库和自订材料。
- ❑ 定制晶体管和二极管。
- ❑ 这些可以使用资料表参数添加到逆变器损耗计算中。



四、MotorXP-AFM解决方案

4.6 MotorXP-AFM 求解特点

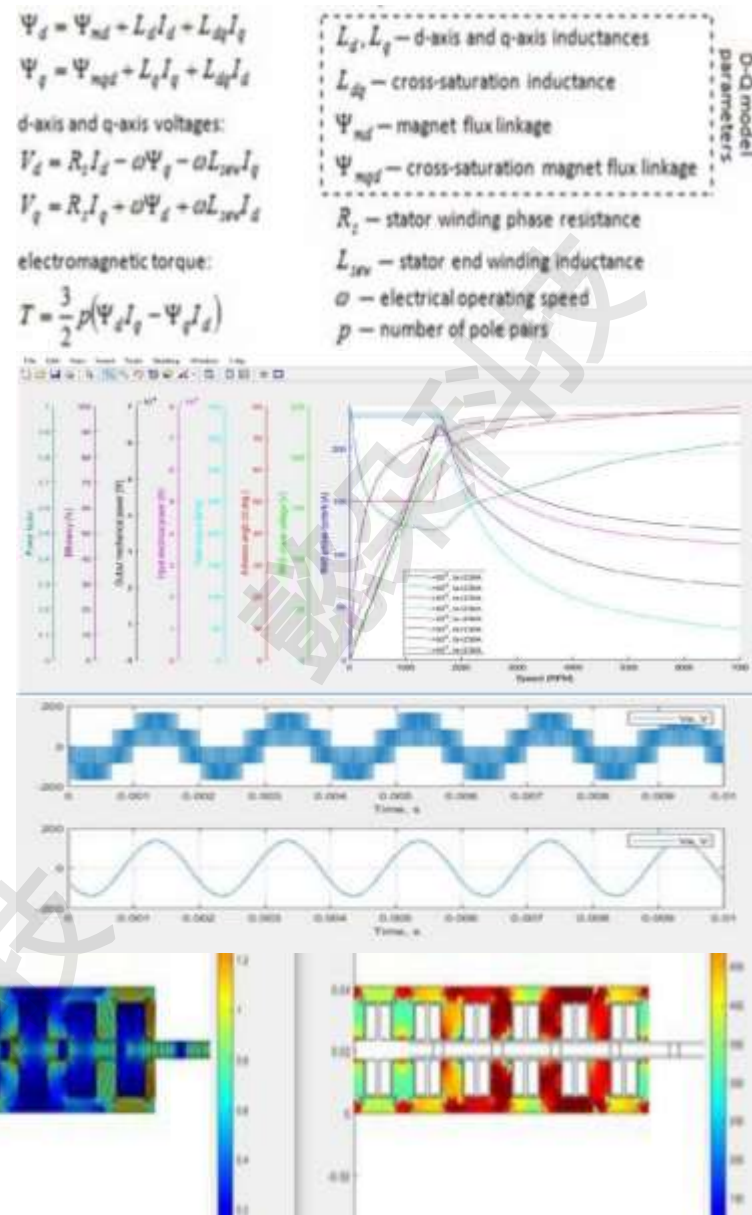
- 高精度和高计算速度准三维有限元建模方法。
- 在不降低精度的情况下，比全3D有限元分析快50倍。
- 有限元分析和磁路分析方法，包括超快速混合有限元 FEA-DQ方法。
- 支持正弦波，PWM和六步驱动器。
- 所有类型的损耗:绕组损耗、涡流和磁滞铁损耗(包括高次谐波和小磁滞回路)。
- 永磁体损耗等。
- 永磁体退磁分析。
- IGBT和MOSFET晶体管（包括碳化硅MOSFET）的逆变器损耗计算。



四、MotorXP-AFM解决方案

4.7 MotorXP-AFM 求解结果

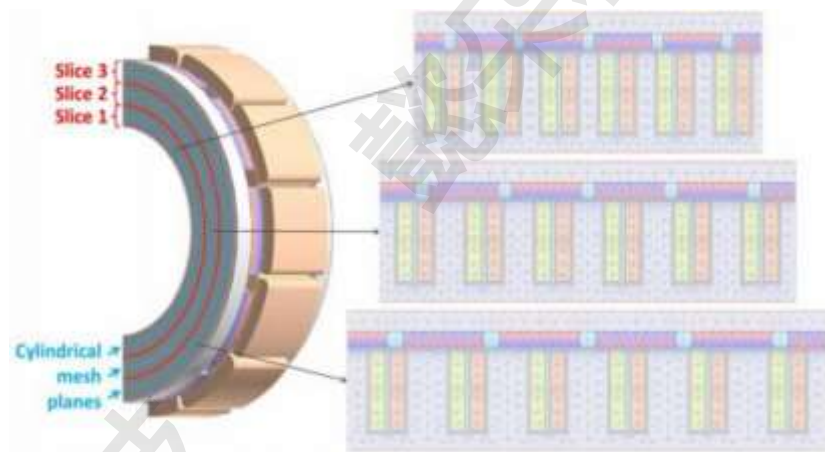
- 时序波形图和频谱。
- 电流、电压、反电动势、转矩、功率、损耗等。
- 气隙分布波形图和频谱。
- 气隙磁通密度、气隙磁通密度切向和法向分量、径向力等。
- 场图和磁通量。
- 磁通密度分布、电流密度分布、损耗分布等。
- 动画气隙分布和场随时间的变化、电机常量。
- 自动计算电机不同部位的磁通密度。
- 考虑到磁场减弱的稳态性能特性。
- 转矩与速度、转矩与电流角、电压与速度等。
- 稳态性能图。
- 效率图、损耗图等。
- 提取D-Q模型参数(如Ld, Lq, 磁通量连结)。
- 这些可以在协力厂商应用程序中使用。
- 从效率图资料中提取Id和Iq查找表。
- 图导出为CSV和MAT文件。



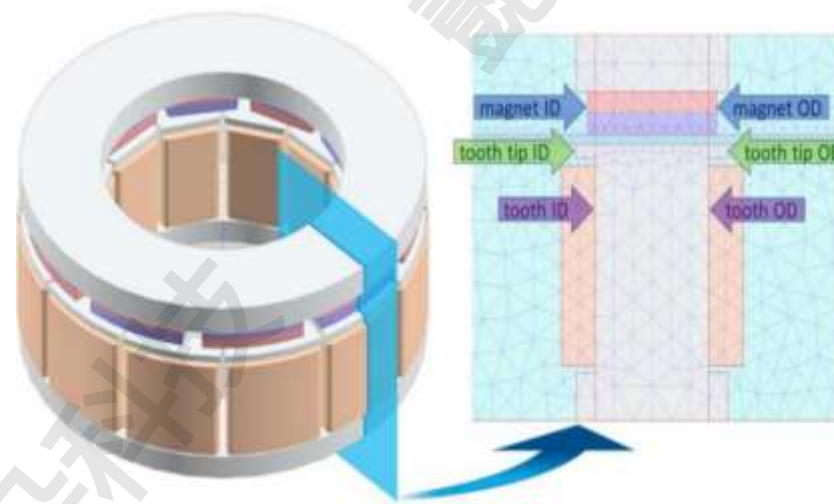
四、MotorXP-AFM解决方案

4.8 MotorXP-AFM 优势

- ❑ 与3D有限元分析相比，计算速度提高了约50倍。
- ❑ 在AFM的圆柱形和径向截面上同时求解磁场。
- ❑ 仅考虑径向截面上的泄漏磁通。
- ❑ 考虑AFM不同部件内径和外径的变化。
- ❑ 通过几何校正系数考虑特定的3D几何。



圆柱网片



径向截面网

谢谢！



懿朵科技

隋春腾 132 4802 0936