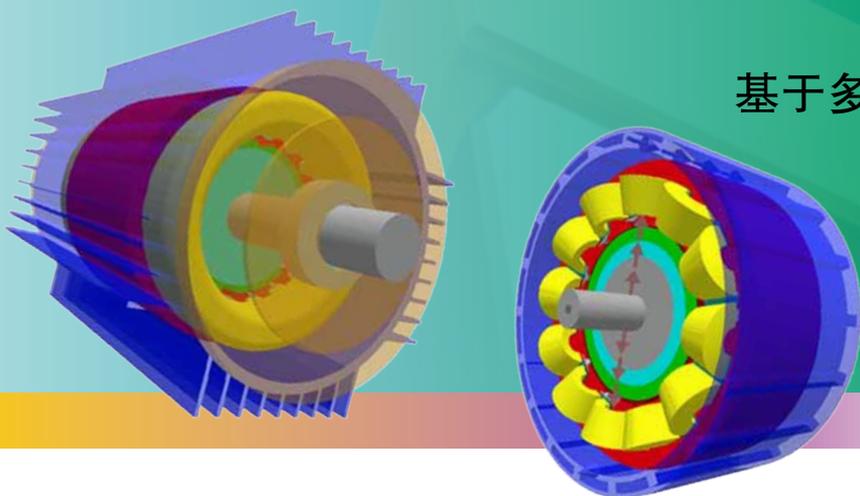


Motor-CAD

基于多物理场的快速电机设计专家



发展背景及概述

电机设计需要考虑电磁性能、温升性能以及机械设计方面等多物理场性能；但又涉及到产品设计研发周期、生产周期缩短，时间成本降低等刚性需求。同时市场也要求电机具有效率高、转速范围宽、体积小、重量轻、功率密度大、成本低等优点，因此在电机设计研发中，寻求一款匹配的、快速的基于多物理场耦合计算考虑的电机设计研发软件是整个工作首要解决的问题。

Motor-CAD 是全球唯一的电机电磁、热及磁热互耦设计软件，用于电机的电磁特性和热特性优化设计。开发至今，已被全球主要的电机生产商、科研机构及高校广泛使用，能够满足市场用户的需求。作为国际上应用及影响范围最广的电机电磁热设计软件，Motor-CAD 集成了磁路法、热路法、热网络法、有限元分析法、智能优化算法，20 年积累的丰富电磁热计算经验数据，有效提升了不同种类、不同冷却型式电机电磁与热计算的效率，并且计算的结果达到了一定的精度。

Motor-CAD 开发者 MDL (Motor Design Limited) 公司是全球领先的电机设计软件开发商，1998 年成立至今，一直致力于先进电机设计软件的开发。

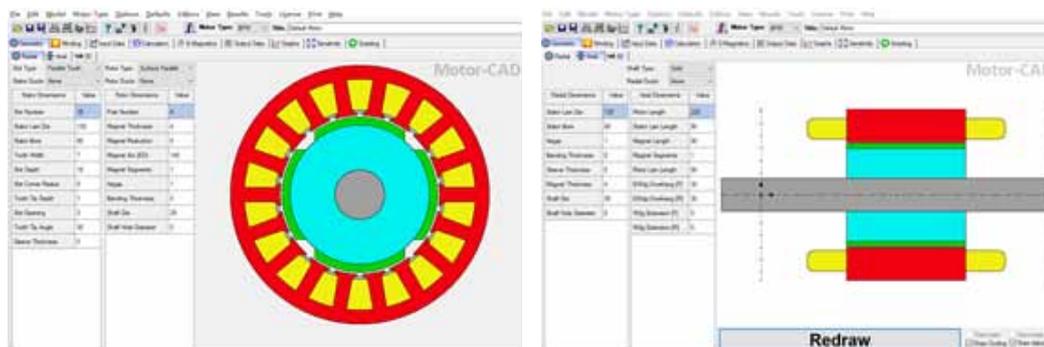


图 1 Motor-CAD 工作界面

软件模块及主要功能介绍

Motor-CAD 集成化软件包，可在选型、设计阶段高效地对电机进行电磁和热、机械性能测试。软件包括：电磁 (E-Magnetic)、热 (Thermal)、机械 (Mechanical)、优化 (OPT) 和虚拟实验室 (Lab) 五大模块，可快速精确评估电磁、热和机械特性。

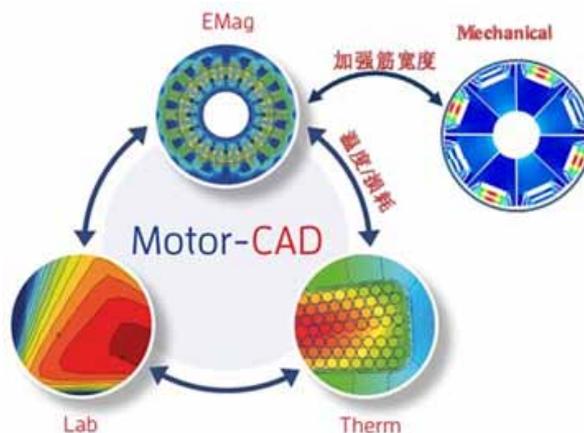
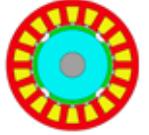


图 2 Motor-CAD 模块组成



Motor-CAD EMag

该模块为计算电机的电磁性能方面数据，涵盖所有典型类型的径向磁通旋转电机：

- 无刷永磁电机（内外转子）
- 感应电机
- 同步磁阻电机
- 开关磁阻电机
- 同步绕线励磁电机
- 永磁直流电机
- 单相感应电机

支持输入电机各个参数和几何结构的数据，解析计算与数值分析模拟技术相结合，采用有限元计算方法，可以计算电机的电气和电磁性能，得到相应的数据和场量云图。

- 电机磁密、磁力线、电流密度、涡电流密度云图计算
- 多频率铜损、铁损、磁滞损耗、涡流损耗计算
- 齿槽转矩、端电压、反电势、转速功率、转矩转速及 FFT 分解
- 工作点效率、转矩波动、平均转矩、转矩波动比、最大转速、功率因数、功率因数角、负载角计算
- 温度退磁、电枢退磁分析、堵转转矩、堵转电流计算
- 转子转动惯量、转轴转动惯量、总转动惯量、转矩密度计算
- 相电压、相电流、DQ 轴电压电流矢量图、自感、互感、DQ 电感计算

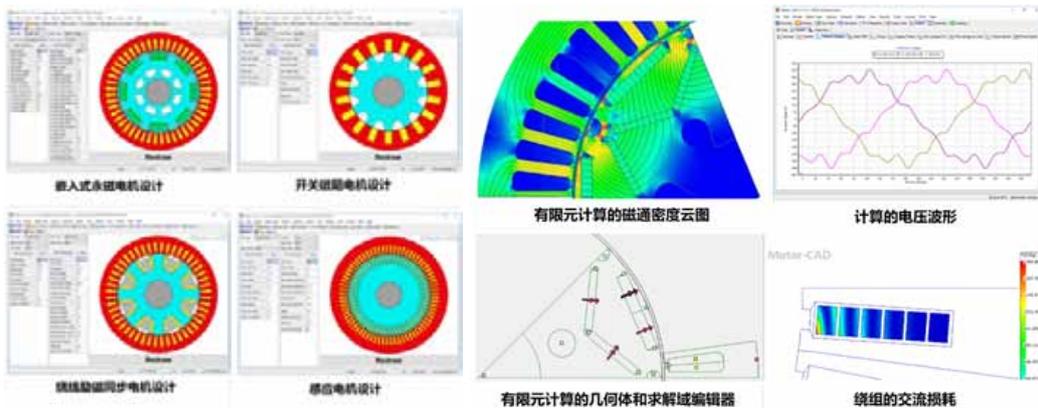


图 3 不同种类电机的输入界面

图 4 电磁计算结果

Motor-CAD 可以设置为电磁和热双向耦合计算，直到达到收敛。

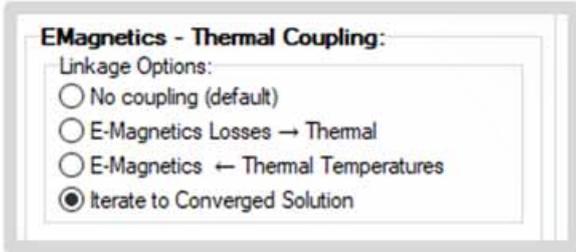


图 5 电磁热耦合计算设置

Motor-CAD Therm

该 Motor-CAD Therm 采用热阻网络法，根据电机结构模型数据和材料性能，自动计算出电机模型中的所有热阻和热容。用户不需要熟悉复杂的传热现象，自动选择并解决给定表面和所选冷却类型的最合适公式。它具有高效、准确和强大的数学算法，用于强制和自然对流、液体冷却、辐射和传导。

该软件用于优化各种电机类型和冷却方法。自动生成热网路和风路，能够在数秒内精确模拟热行为，能够获知主要的热传递路径和时机，从而显著提高输出。允许多次迭代和充分探索设计空间，以及电磁分析；确保最佳设计决策。计算稳态和瞬态运行条件下电机各部件的温度。

- 空载、额定、短路、循环工况温升计算
- 各部分耗散热量分布计算
- 各部件热容、热阻、对流换热系数计算
- 结构、材料特性、冷却方式参数化、优化温升计算

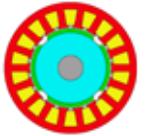
支持电机的冷却方式：

- 强迫通风、自通风
- 机座水冷、油冷、转轴水道
- 湿转子、喷嘴喷油、定子、转子槽水冷、潜水冷却等多种冷却方式

电机的热模拟可能具有挑战性，因为制造方面对热行为的影响显著。因此热模块考虑到了影响温升的制造方面不确定性例子：

- 定子与机壳接触界面良好
- 绕组如何浸渍或封装

用户可以根据软件中附带的相关经验，选择适当的数值计及到热计算中，提高热计算的精确度。



对非传热专家非常有用的等效界面间隙设置

适用于传热专家的界面热阻和导热系数

定子叠片与外壳接触面热阻的设置向导案例

Component	Gap	Details	Resistance @T=100.0C	Conductance @T=100.0C
Links	mm		∞2.C/W	W/∞2.C
Stator Lam - Housing	0.03	Lamination-Metal - Average surface Contact (0.03)	0.0009453	1057
Housing - O-Ring [F]	∞	Lamination-Metal - Perfect surface Contact (0)	0	1E09
Housing - O-Ring [R]	0	Lamination-Metal - Good surface Contact (0.01)	0	1E09
		Lamination-Metal - Average surface Contact (0.03)		
		Lamination-Metal - Poor surface Contact (0.05)		

图 6 计及影响温升计算的制造方面因素

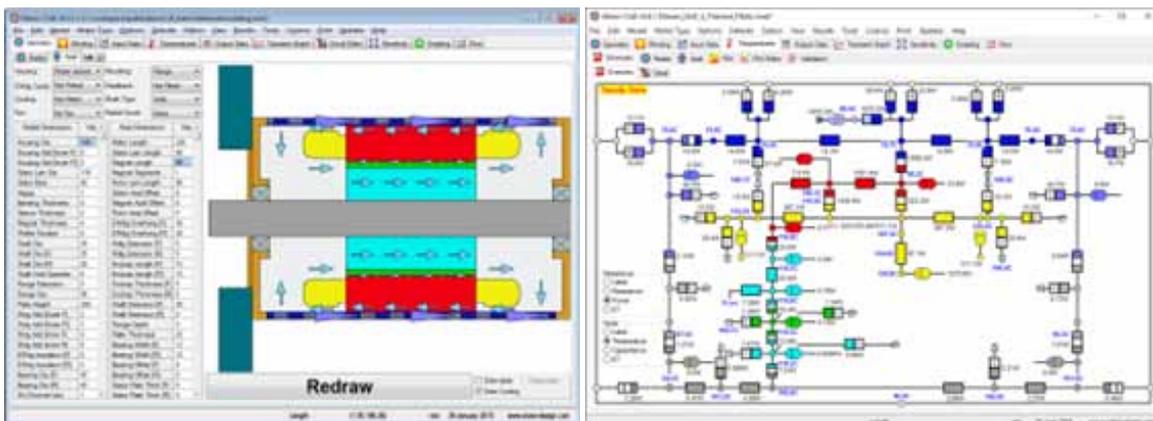


图 7 风路和热阻网络

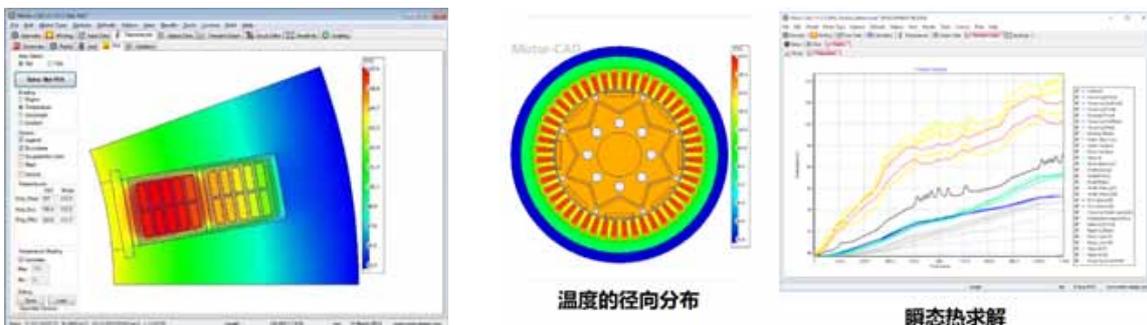


图 8 温度分布云图和瞬态求解曲线

Motor-CAD Lab

Motor-CAD Lab 使工程师可以快速地创建效率 map 图，绘制扭矩 / 速度特性，研究连续和峰值热约束运行包络，并分析驱动周期循环性能。该方法速度快，使用方便，并经实验验证。Motor-CAD Lab 具有直观的用户界面，数据以简单的格式生成，可以轻松导出到 Matlab、Microsoft Excel 和其他应用程序。可以生成各种各样的图形，并支持多种出版输出格式。

- 效率和损耗 map 图
- 峰值转矩 / 转速曲线
- 连续转矩 / 转速曲线
- 开路和短路试验
- DQ 电感曲线计算
- 多工况铜损、铁损、永磁体涡流损耗计算

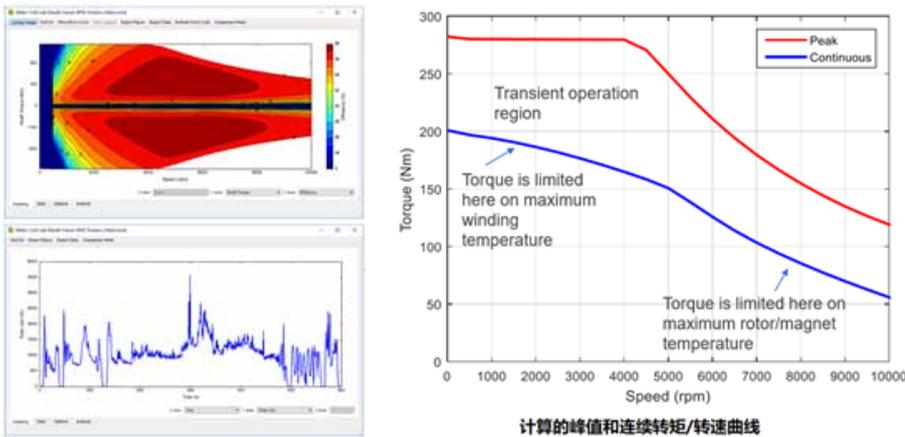


图 9 效率 map 图以及转矩 / 转速曲线

Motor-CAD Mechanical

提供一个快速的二维有限元模块，用于精确的转子应力分析预测，还提供电机设计的三维视图。

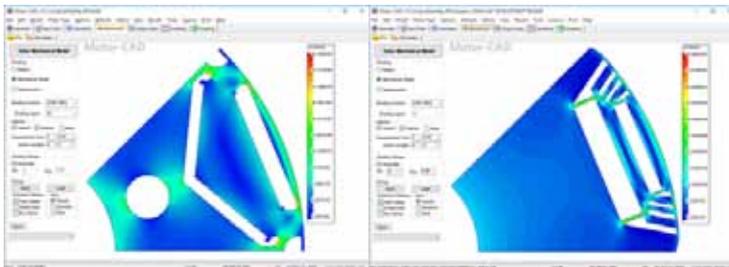


图 10 转子冲片应力分布云图

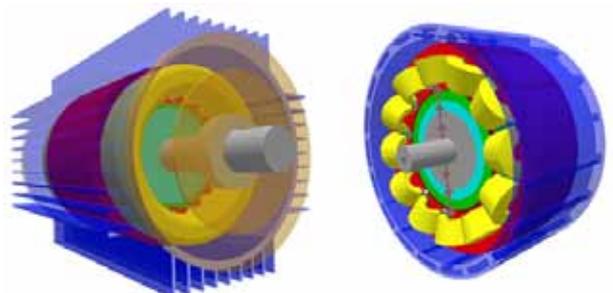
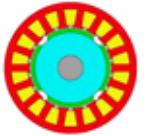


图 11 电机三维模型视图

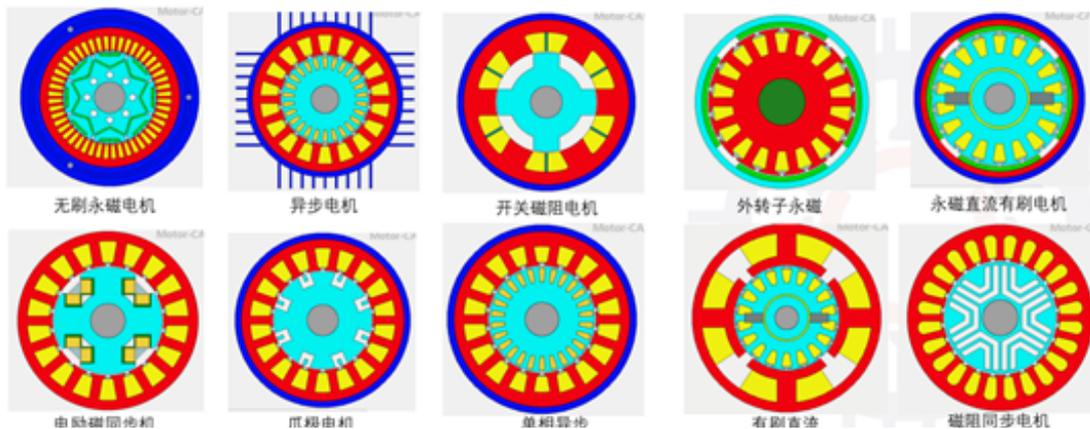


软件竞争优势

Motor-CAD 具有足够的核心竞争力，相比于现有市面上能够看见的商业化电机设计或分析软件，具有下面 10 大核心竞争优势，在电机设计和研发的行业中，具有革命性和划时代意义。

专业化电机设计软件

专业化的电机设计软件，只专注于电机设计，具有丰富的电机类型



多物理场设计

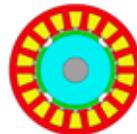
Motor-CAD 具备电磁、热、Lab、机械模块。可同时对电机电磁、热进行优化设计。

解析法有限元混合 + 快速有限元技术

Motor-CAD 整个程序框架完全是为电机设计量身定制，优化了有限元程序，采用高效的汇编语言撰写有限元核心算法，极大的提高了计算效率，是传统有限元软件计算效率的数倍到数十倍。磁路法、热路法、热网络法、有限元分析法、智能优化算法混合算法。自动剖分网格，设置边界和自动加密网格，周期阵列。

参数化 + 优化

Motor-CAD 支持参数化模型与参数化设置，参数化设计，选项卡式操作和自动构建 3D 模型，并支持参数相关性分析，采用 OPT 模块或者第三方优化软件进行灵敏度分析和优化分析。优化设计快速方便。



-  Motor-CAD 链接到ANSYS (Maxwell, Mechanical, Fluent)
-  Motor-CAD 与OptiSLang耦合计算, 提供最先进的优化工作流程
-  Motor-CAD 链接到RomaxDESIGNER (传输集成和NVH)
-  Motor-CAD 链接到GT-Suite, 用于联合仿真和模型导出
-  Motor-CAD 链接到Simulink, 进行电磁和热降阶建模

图 12 Motor-CAD 可以耦合的软件

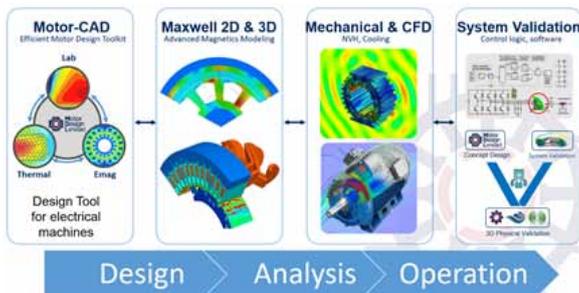


图 13 Motor-CAD & Ansys 组合设计流程

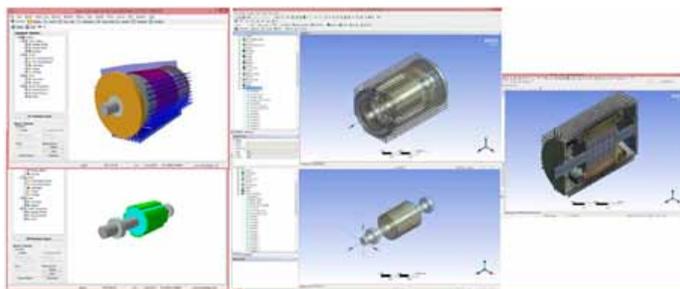


图 12 Motor-CAD 可以耦合的软件

应用领域成功案例

Motor-CAD 应用领域：新能源汽车与轨道车辆、船舶、航空航天与国防、家用电器、通用机械、可再生能源、工业应用等领域。

新能源汽车与轨道车辆、船舶

主要用于新能源汽车的动力驱动系统、动力转向、电机运动等方面。基本满足市场上所常见的电机类型。在轨道车辆方面为应用于机车牵引、制动等方面。比较典型的的就是特斯拉利用 Motor-CAD 对电机设计方案进行快速评估，进而通过场路耦合和参数化设计对电机的重点设计指标进行合理优化，Motor-CAD 相较于传统的 FEA 仿真，具有场路耦合时间短和精确度较高的优势，对于特斯拉方案提出、优化和确定非常有帮助。

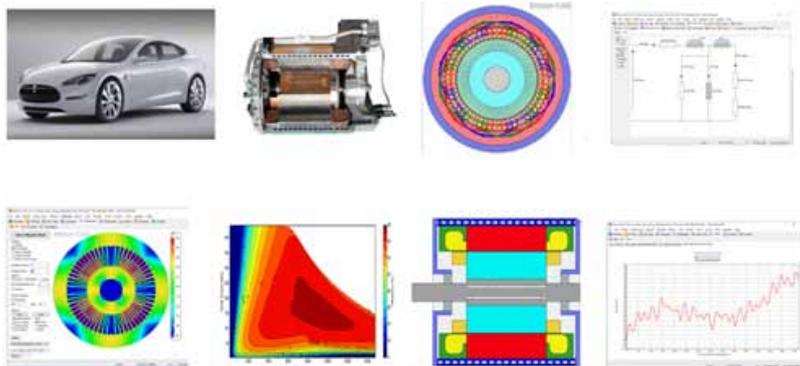


图 15 特斯拉电动汽车驱动电机

Motor-CAD 比较经典的新能源汽车案例还有丰田普锐斯 2010 款, Nissan Leaf, BMW i3 等车型的电机设计。汽车行业不仅仅是新能源汽车, 包括常规汽车的辅助用电机, 也充分利用 Motor-CAD 进行设计, 如 EquipMake 利用 Motor-CAD 设计高速涡轮永磁发电机。

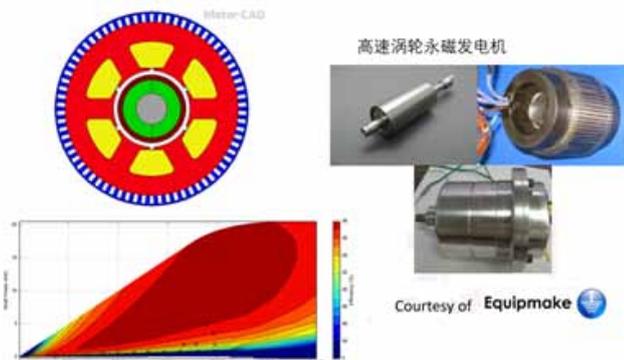


图 16 EquipMake 汽车辅助设备电机

航空航天与国防

为航空航天和国防行业提供其所需要的电机。从电动执行机构到电制动系统, Motor-CAD 应用广泛, 可以满足其设计的可靠性、尺寸和重量要求。下面是直升机尾部螺旋桨驱动电机。

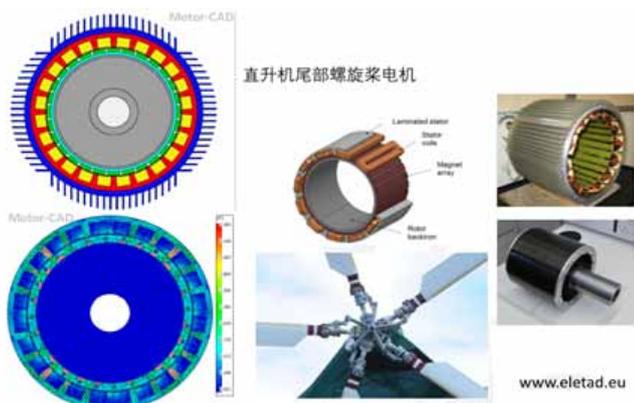


图 17 直升机尾部螺旋桨驱动电机

工业应用与通用机械

应用于各种工业动力应用领域, 如各种风机、潜水泵、密封压缩机和输送系统等方面。下面是工业电机做为通用传动设备采用 Motor-CAD 进行设计分析优化。

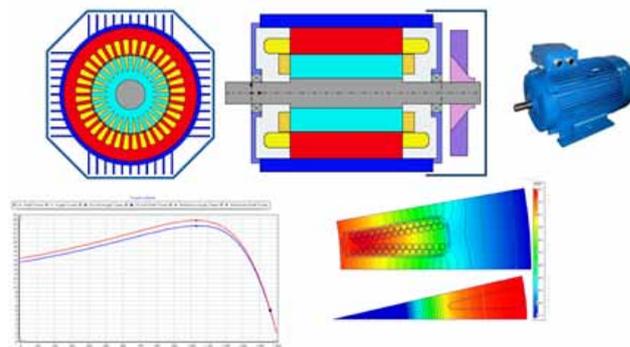


图 18 传送系统方面

可再生能源

应用于各种可再生能源应用, 如风力发电和潮汐发电领域, 其主要要求是该电机具有良好的可靠性、高效率和满足一定的尺寸要求。

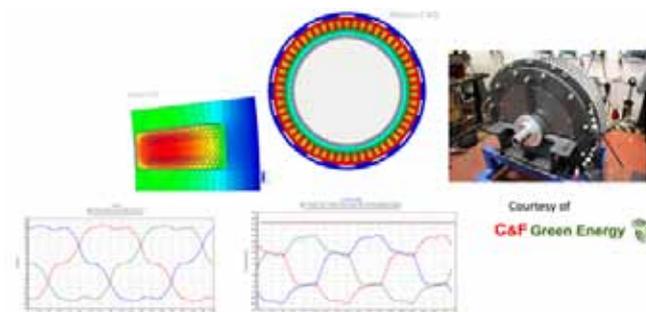
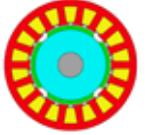


图 19 风力发电机



用户主要价值与主要用户群

用户主要价值包括：

- 包含电磁、热、机械多物理场的唯一电机设计工具
- 减少电机概念设计，初步设计和详细设计之间多余的往复迭代，加快电机产品研发周期
- 快速设计分析 + 精度足够高
- 全参数化优化核心电机性能指标
- 电机设计专家经验与沉淀的电机设计平台
- 拥有电机基本专业知识的普通工程师，电机初学者快速高效合理地设计电机

主要用户群：

- 新能源汽车，能源、航空航天，机车，船舶，电子电器，通用机械等行业电机产品开发和设计用户
- 大型电机研发和制造单位
- 中小型电机制造单位（电机设计研发门槛降低，代价变小）
- 电机其他设计、仿真分析软件使用用户

Motor-CAD典型国内外客户

国外知名用户：

- 汽 车：Bosch, BMW, Daimler, GM, Johnson Electric, JLR, Nissan, Renault ...
- 航空航天：Ametek, BAE, Eaton, Thales, Safran, Goodrich, UTC ...
- 工 业：ABB, Emerson, Regal Beloit, SEW, Siemens ...
- 拖 动：ABB, Bombardier, Caterpillar, CRRC, GE, Komatsu ...
- 能 源：Alstom, Gamesa, GE, Siemens, Vestas ...
- 大 学：HUST, JSU, Manchester, Nottingham, SUT, Sheffield, ZJU ...

国内知名用户：

中车株洲，上汽集团，中车永济，无锡中车浩夫尔，博泽电机中国，联孚新能源，航天林泉电机……
上海大学，东南大学，华中科大，湖南大学……
近百家电机客户。



关注官方订阅号

客服专线 400-6600-388

www.peraglobal.com



亿维讯
IWINT, INC.

安世航太
PERA CHINA

安世中德
PERA-CAD/FEM

金铭瑞通
JIN MING RUI TONG

安世工坊
PERA CAE

安世亚太科技股份有限公司

010-52167777

info@peraglobal.com

北京市朝阳区八里庄东里1号
莱锦TOWN园区CN08座

客服专线：400-6600-388

集团总部
010-52167777

北京子公司
010-52167777

上海子公司
021-61077288

成都子公司
028-86671505

西安分公司
029-88348317

南京子公司
025-84677666

武汉分公司
027-87115335

沈阳子公司
024-23181789

广州子公司
020-38682890

香港子公司
00852-31139711