

CAE在电机结构仿真中的应用

电机研发中的新挑战与CAE技术

- 电机出现了100多年，在新时代出现了很多新的要求
- 各种定制化电机出现，传统设计需要更改
- 电机功率（容量）越来越大
- 能效等级要求越来越高
- 新技术，新工艺的出现
- 变频技术，使得转速更高，范围更宽
- 传统的计算公式精度较低，存在很大的局限性
- 计算机硬件和CAD/CAE软件的发展，使得复杂仿真成为可能
- 与测试技术相结合，使得CAE仿真越来越可信
- 研发周期越来越短，成本压力越来越大，需要减少样机测试，优化结构

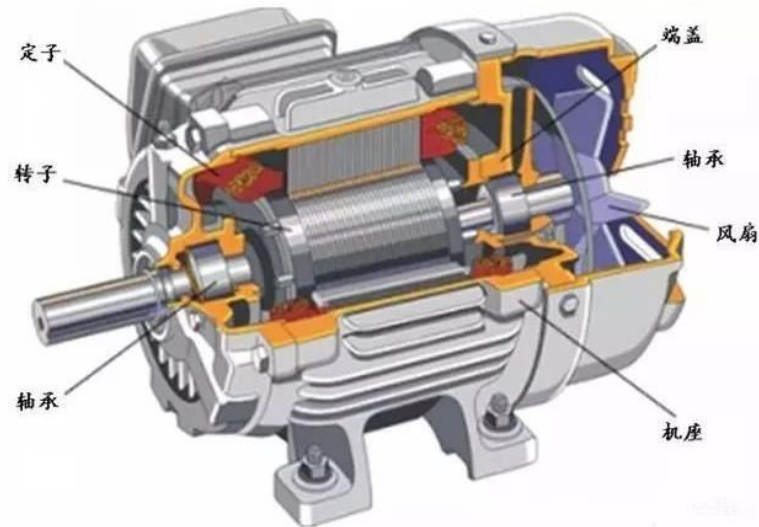
电机结构CAE仿真汇总，SOP及培训资料

内容	分析内容	描述
机座分析	压定子简易分析	对于单个机座，施加铁芯过盈量，初步估计算机座止口变形，应力分布，变形与开裂案例分析
	压定子非线性分析	取机座和定子铁芯，二者进行互相挤压的非线性分析，分析结果更精确
	机座热膨胀分析	计算机座的热膨胀量，计算定子铁芯热套所需的最低温度
	4P~6P定子铁芯分析	计算定子铁芯的刚度，冲片轭部尺寸评估，是否会产生电磁噪声，案例分析
	定子销分析	防止铁芯在机座内旋转，定子销的尺寸，减少不同中心高定子销的规格，开口销如何布置
轴分析	临界转速分析	挠性轴和刚性轴临界转速，如何考虑材质，铁芯，磁拉力，轴承的影响，如何测试，案例分析
	最大扭矩分析	施加最大扭矩，评估轴的强度，关键圆角尺寸设计
	额定扭矩，疲劳分析	施加额定扭矩，评估轴的疲劳强度，不同断轴位置的案例分析
	带联轴器分析	联轴器对轴强度的影响，断轴案例分析
	许用径向力计算	考虑皮带轮的径向载荷，根据轴的疲劳强度，计算许用径向力
	挠度	计算在转子自重和单边磁拉力作用下的挠度是否满足要求，筋板轴设计，案例分析
转动部件分析	扭转刚度计算	评估轴的扭转刚度
	风扇强度与振动分析	考虑超速情况下，风扇的强度；如何避免风扇共振，失效案例分析
	平衡盘强度与振动	考虑超速情况下，平衡盘的强度；如何评估配重的影响
	转子超速分析	对于高速电机，评估转子冲片的强度，或磁钢对冲片的影响
	端环强度	对于高速电机，评估铸铝端环或铜端环的强度，端环上能否布置叶片，是否需加护环
	转子铁芯热膨胀分析	考虑转子铁芯过盈量，评估转子铁芯的变形，以及能承受的扭矩
端盖分析	转子铁芯热膨胀分析	计算转子铁芯的热膨胀量，计算转子铁芯热套所需的最低温度
	刚度分析	计算端盖的轴向刚度，径向刚度
	振动分析	2P电机如何避免端盖产生共振，案例分析
	轴承室刚度分析	根据轴承载荷，评估轴承室的刚度
	轴承盖刚度分析	根据轴承载荷，评估轴承盖的刚度，对于立式电机，如何计算轴承盖强度，案例分析
	机床夹紧力分析	施加切削加工加工时，夹具的夹紧力对端盖变形的影响
整机分析	铝端盖分析	螺栓预紧力对铝端盖强度和变形的影响，案例分析
	刚度分析	水平刚度，垂直刚度，轴向刚度
	强度分析	在振动冲击载荷，或皮带轮载荷作用下的整机强度
	模态分析	计算整机固有频率，避免产生共振
	扭矩分析	扭矩对机座变形，强度的影响
	法兰，立式安装等	评估各种安装条件下的强度，如B5，V1，V5等
	吊环强度	满足NEMA标准对吊环的要求
疲劳强度分析	在振动冲击载荷，或皮带轮载荷作用下的整机疲劳强度	

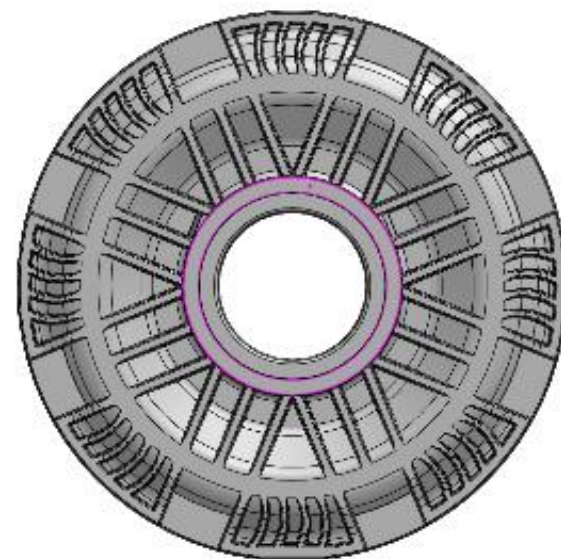
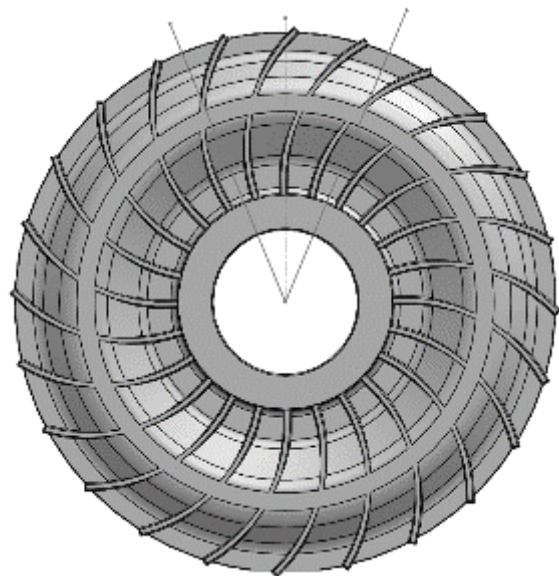
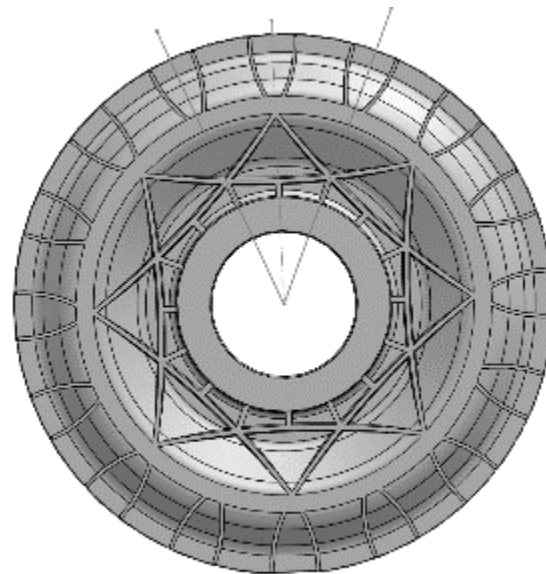
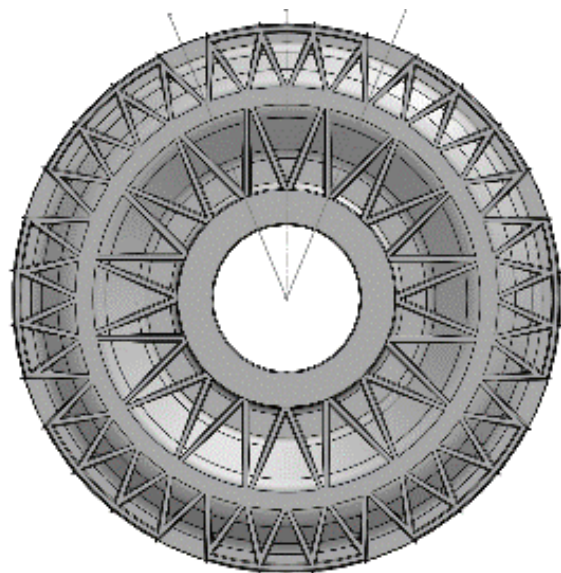
- 热应力
- 热-结构联合分析
- 电磁-结构噪声联合分析
- 电机系统分析，包含安装底座，风机，齿轮箱，压缩机等负载

CAE应用于各种电机类型

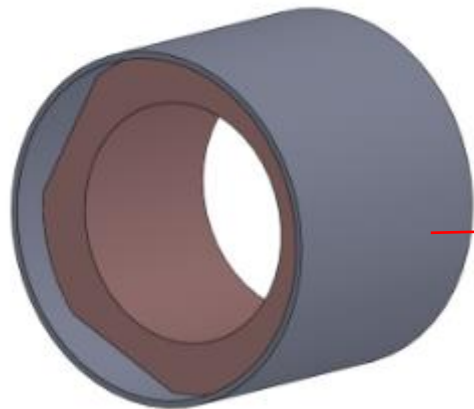
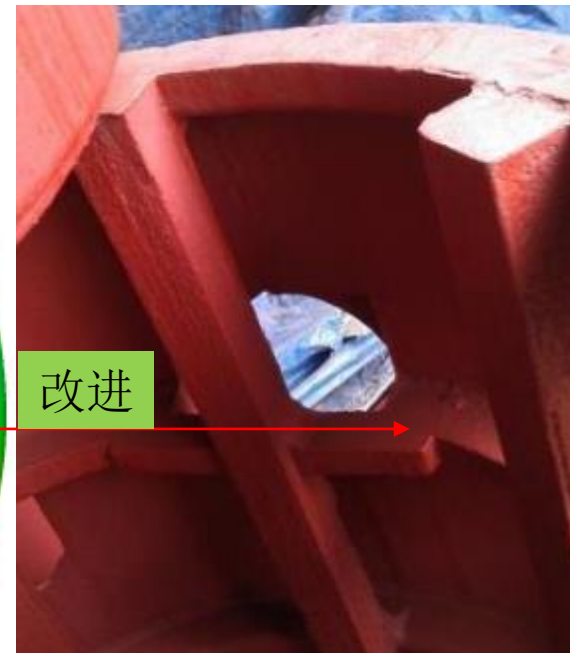
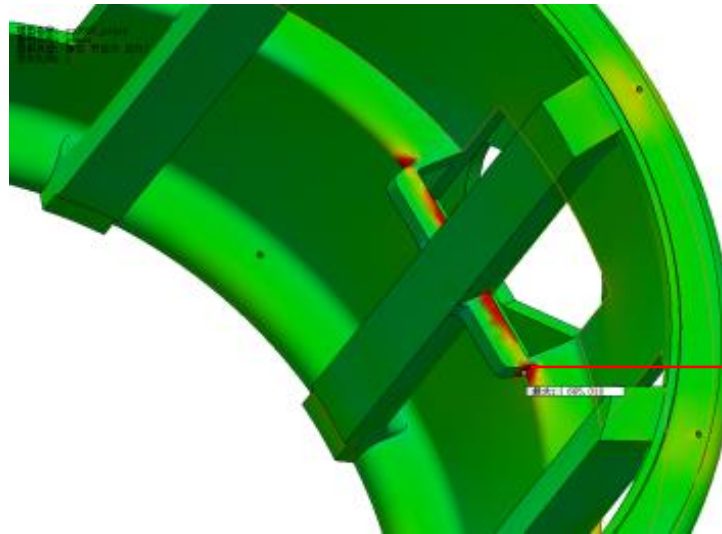
- ◆ 永磁同步电机，电动汽车电机
- ◆ 大型高速三相异步电机
- ◆ 高压高输出电机
- ◆ 低压大功率电机
- ◆ IE3系列高效电机
- ◆ 变频高速电机
- ◆ 大中型发电机
- ◆ 微型，小型电机
- ◆ 风机，风扇



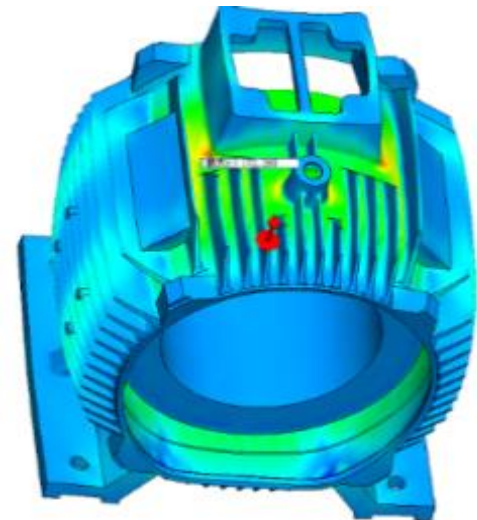
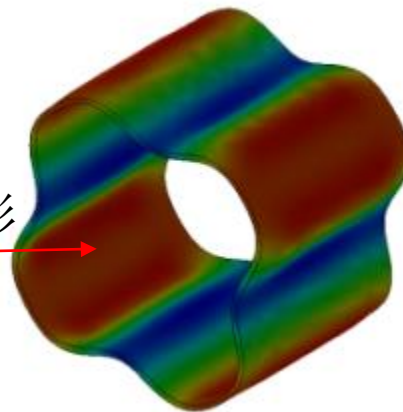
3D优化设计



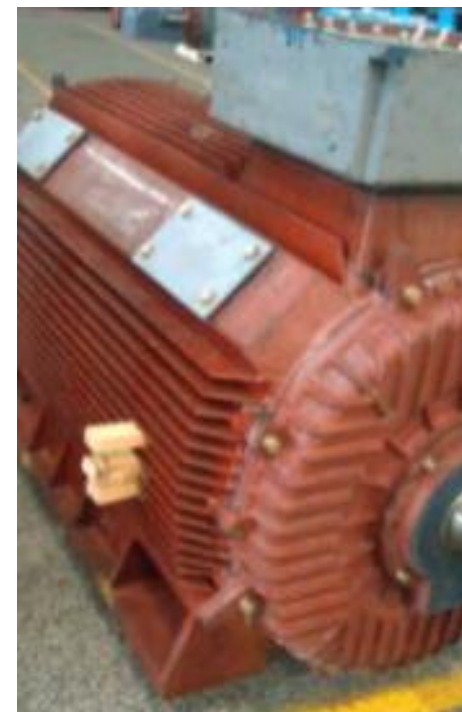
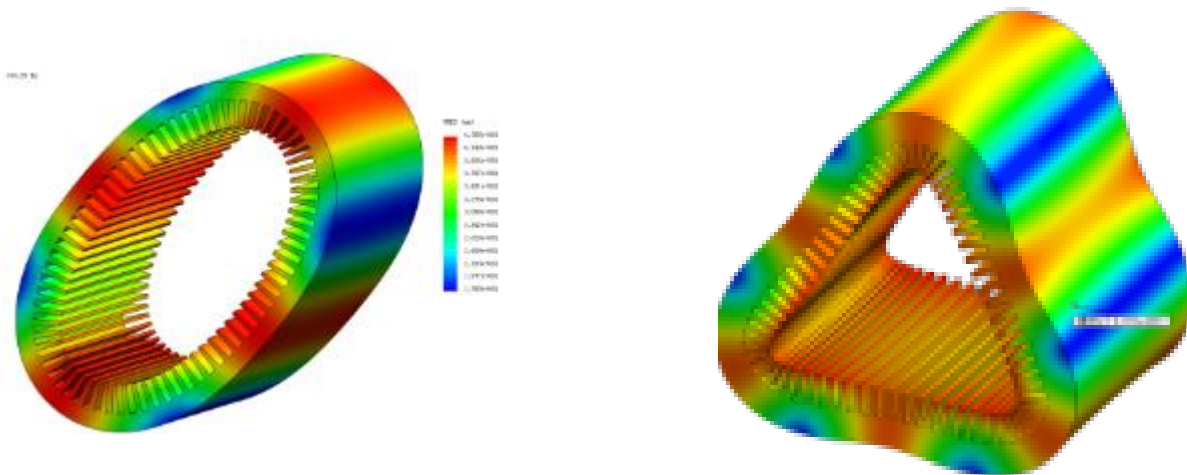
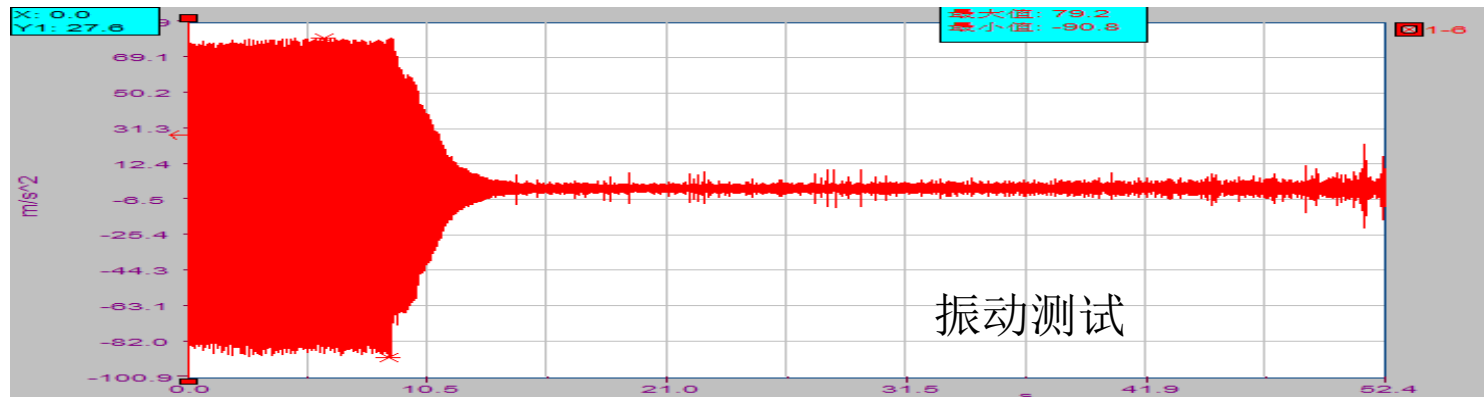
机座：压定子是否开裂，止口变形，吊环强度



机座变形



冲片刚度计算，避免产生电磁噪声

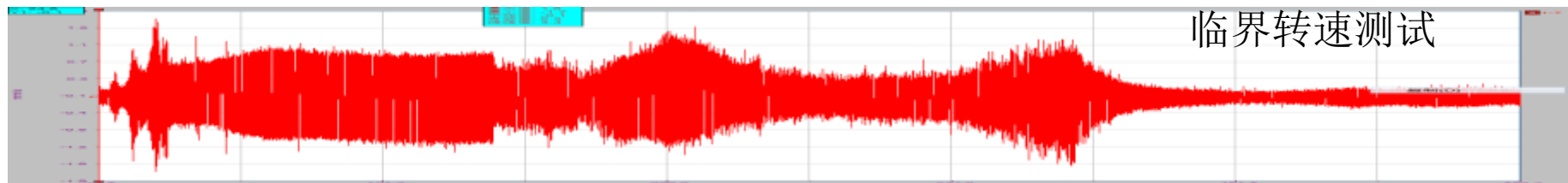
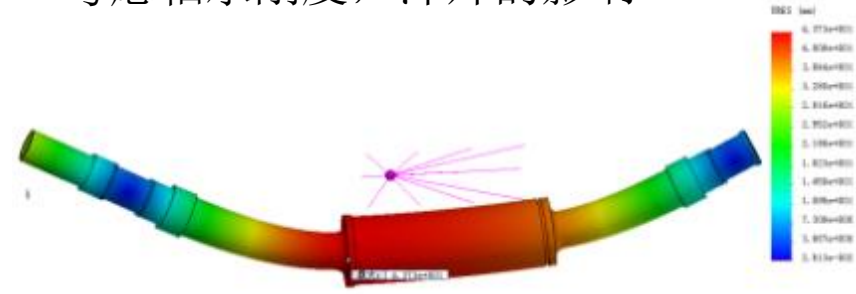


- 对于>355的>4P电机，由于定子冲片的轭部较薄，容易产生电磁噪声，解决的成本大
- 通过研究以前出现过电磁噪声的电机，总结出冲片刚度的评估标准，从而解决电磁噪声

挠性轴临界转速计算与测试

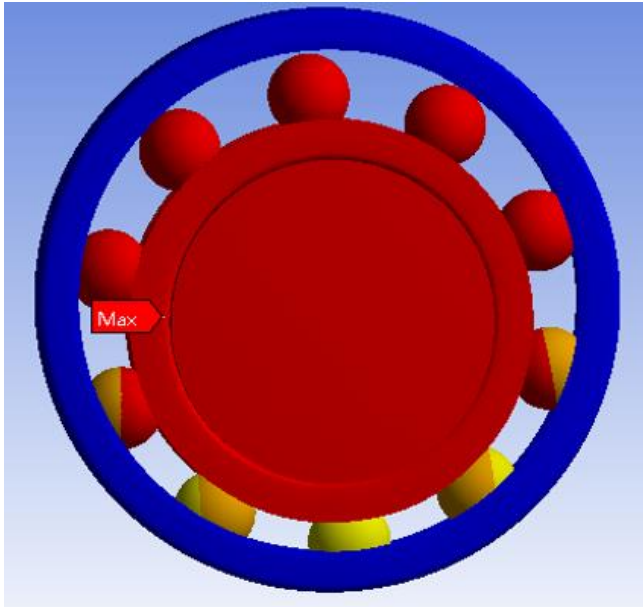


考虑轴承刚度，冲片的影响

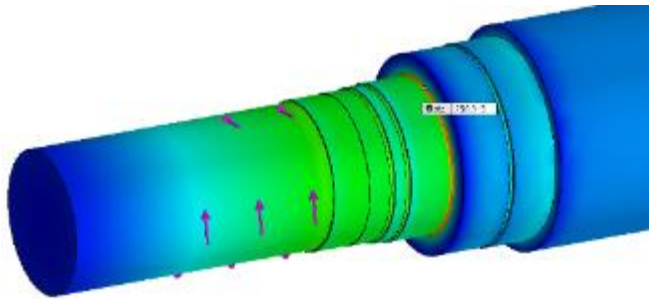
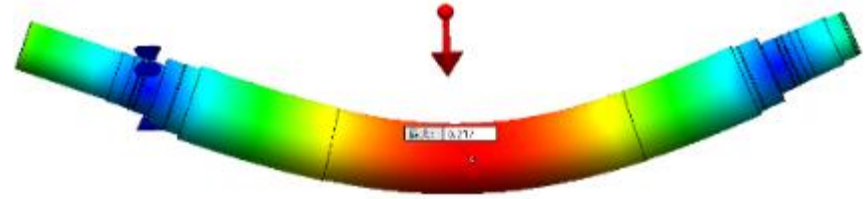
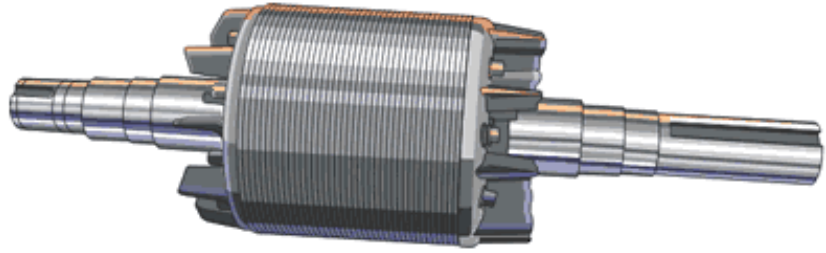


刚性轴临界转速CAE分析

- 总结以前的故障电机，对比CAE
- 轴承刚度的CAE计算
- 转子铁芯的影响
- 刚性轴临界转速的测试



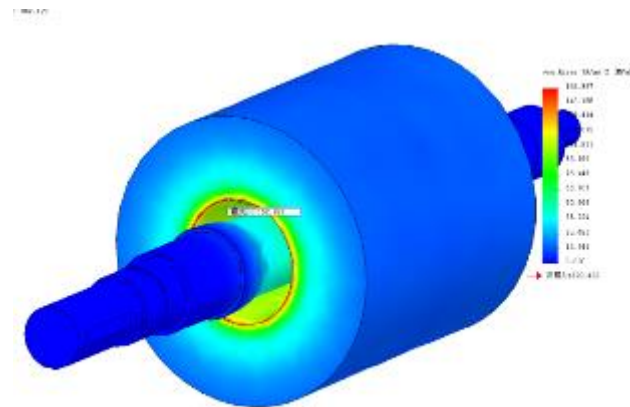
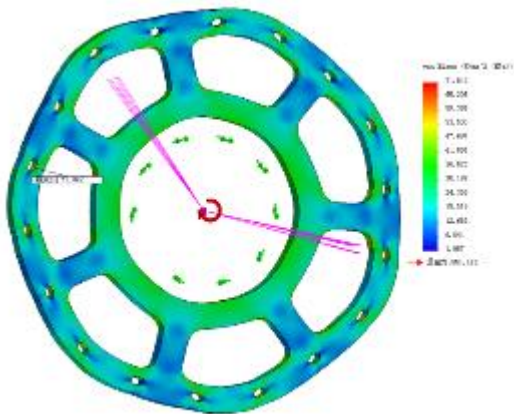
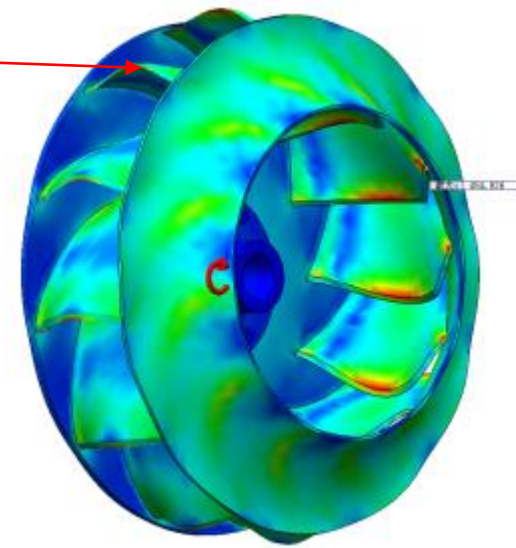
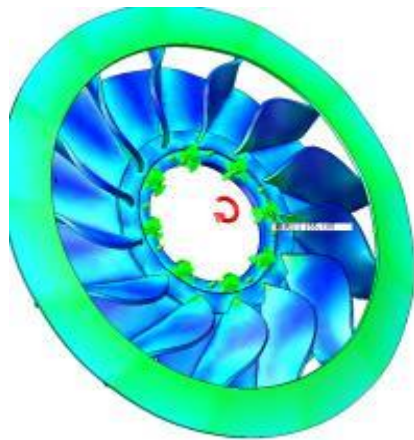
轴： 挠度， 强度， 扭转刚度， 轴疲劳， 断轴分析



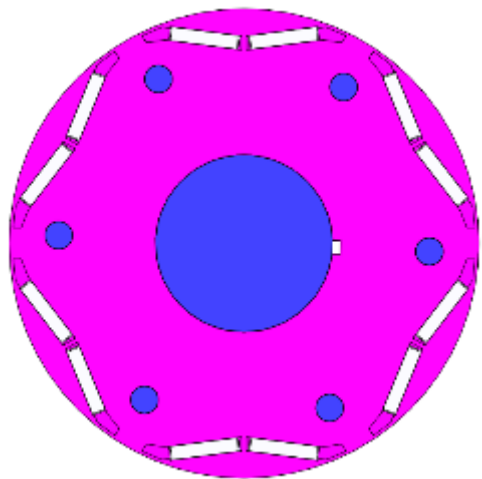
承受皮带轮径向力分析



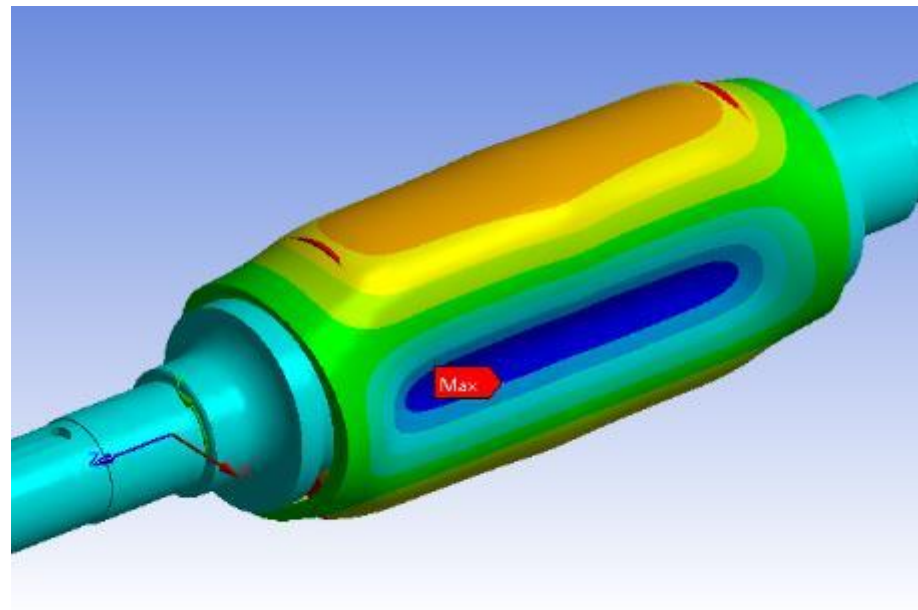
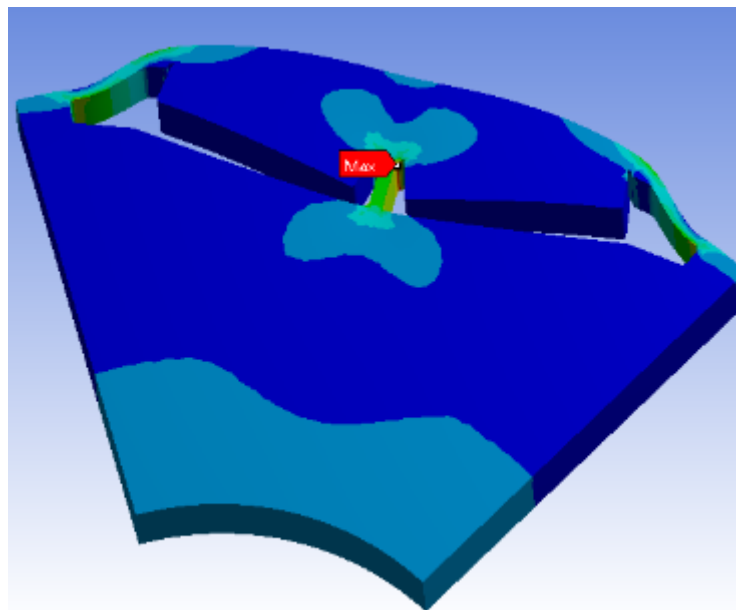
转动部件：风扇，平衡盘，转子强度与振动分析



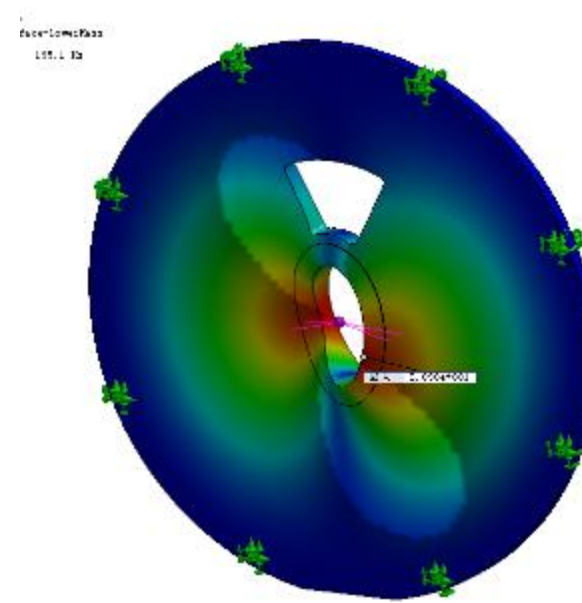
高速电机：临界转速，转子强度



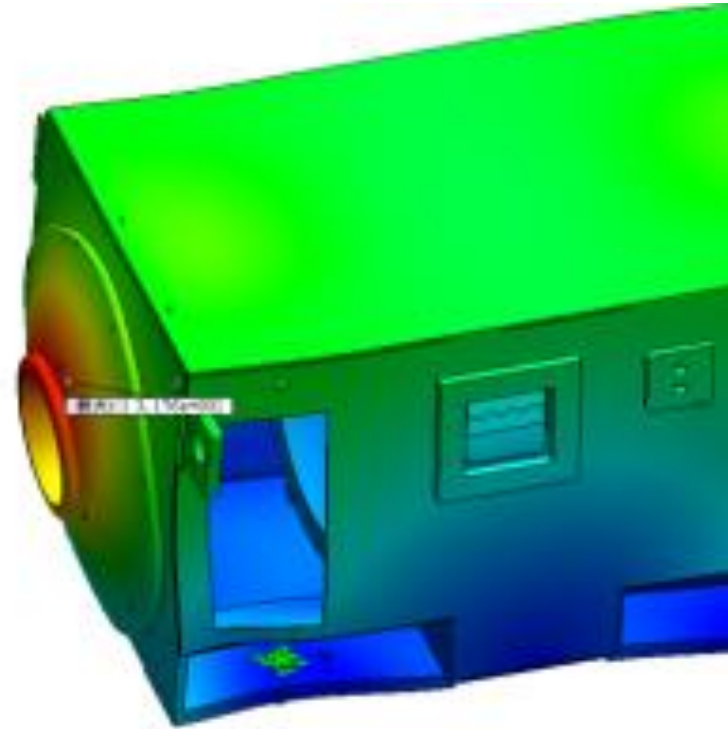
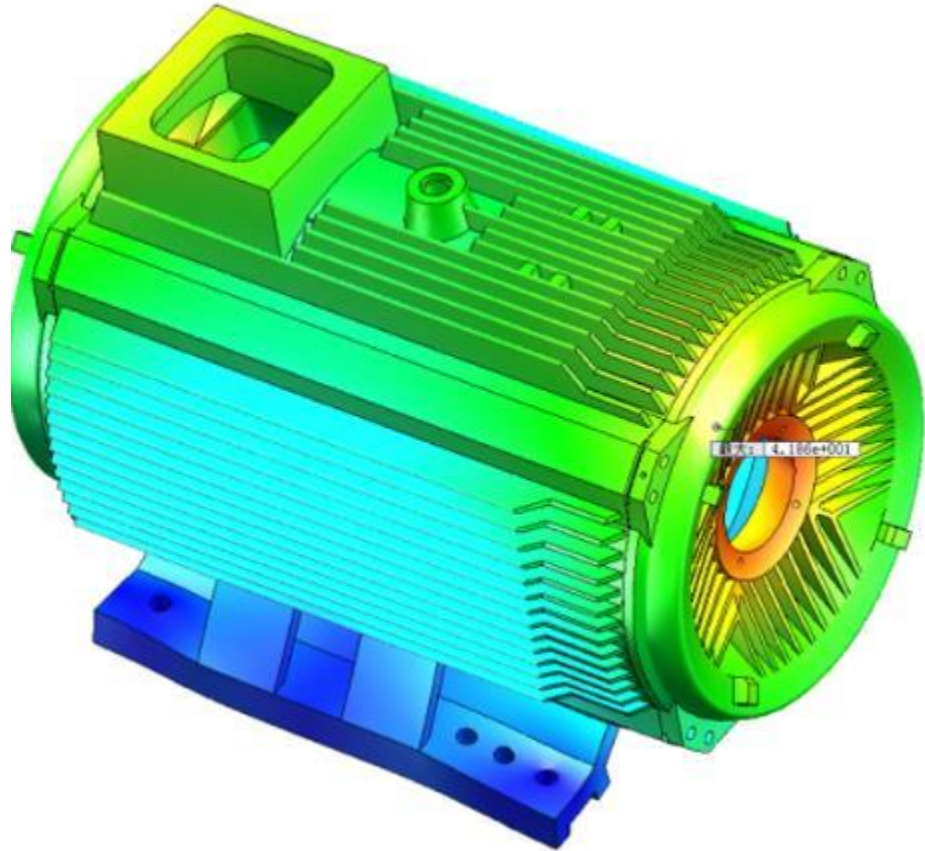
永磁同步电机
超速实验



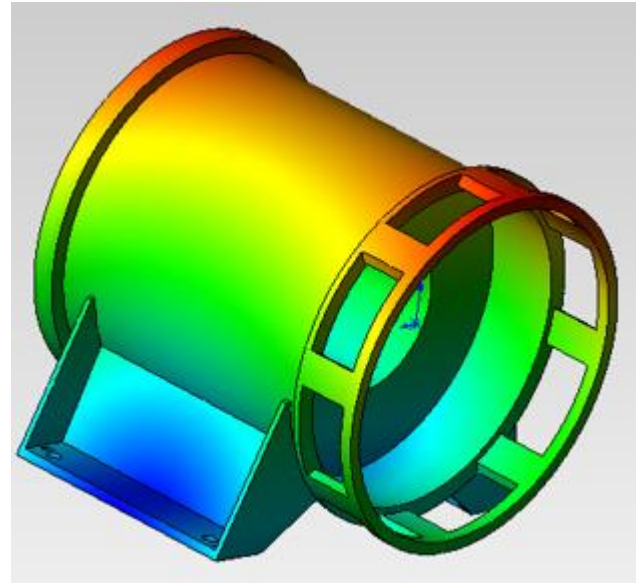
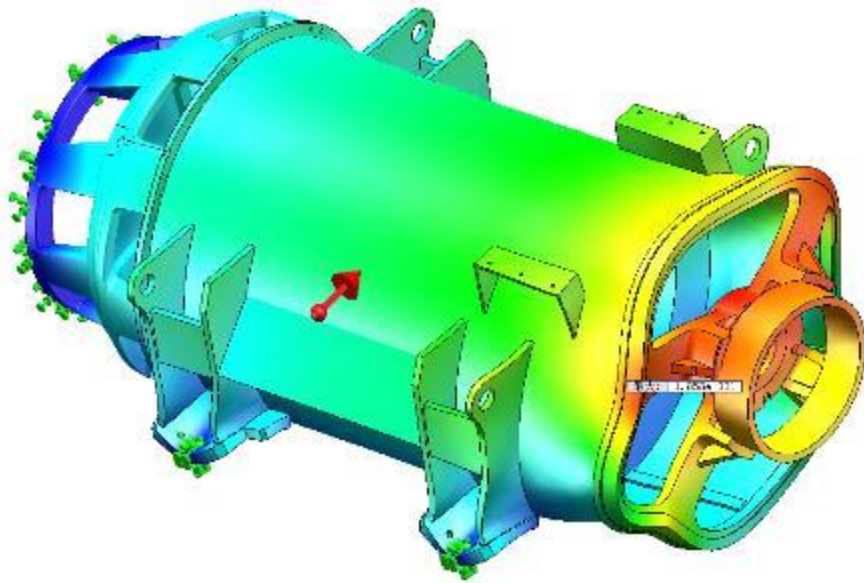
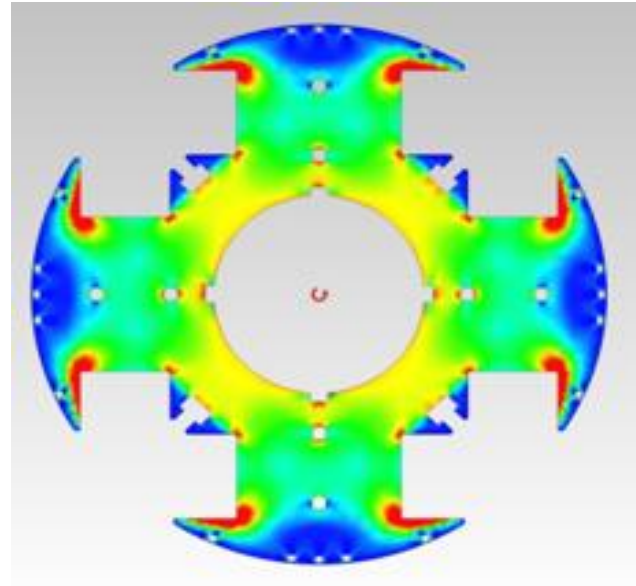
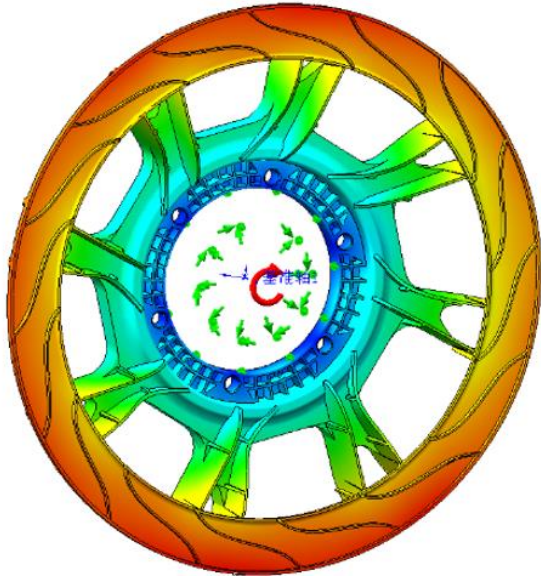
端盖：刚度，NVH振动分析，FEA与测试结果对比



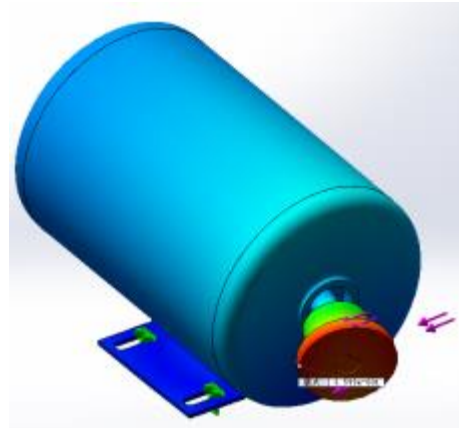
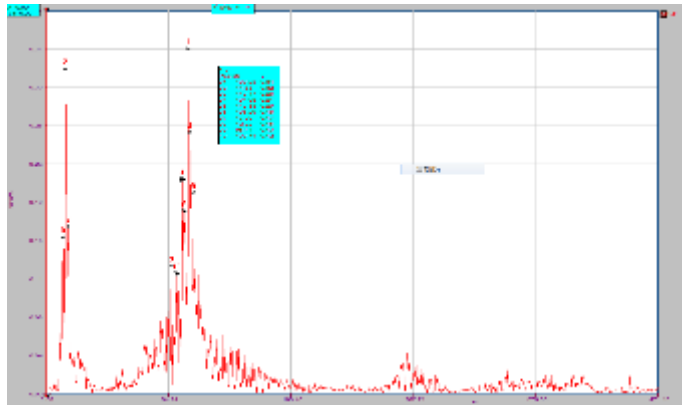
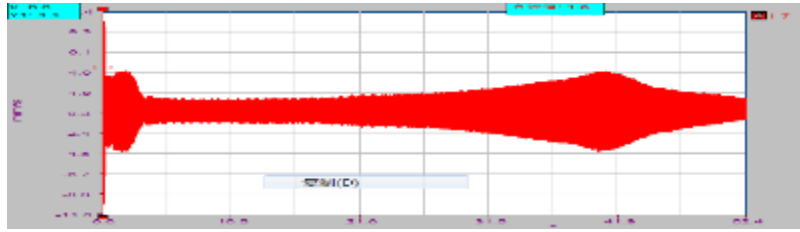
整机：刚度，强度，疲劳，NVH振动分析



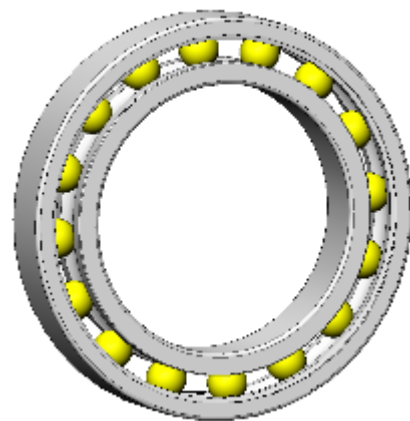
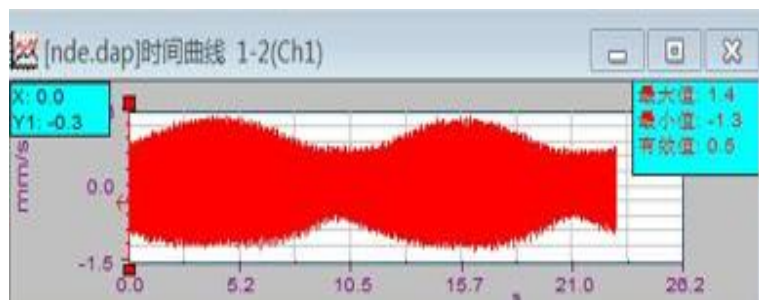
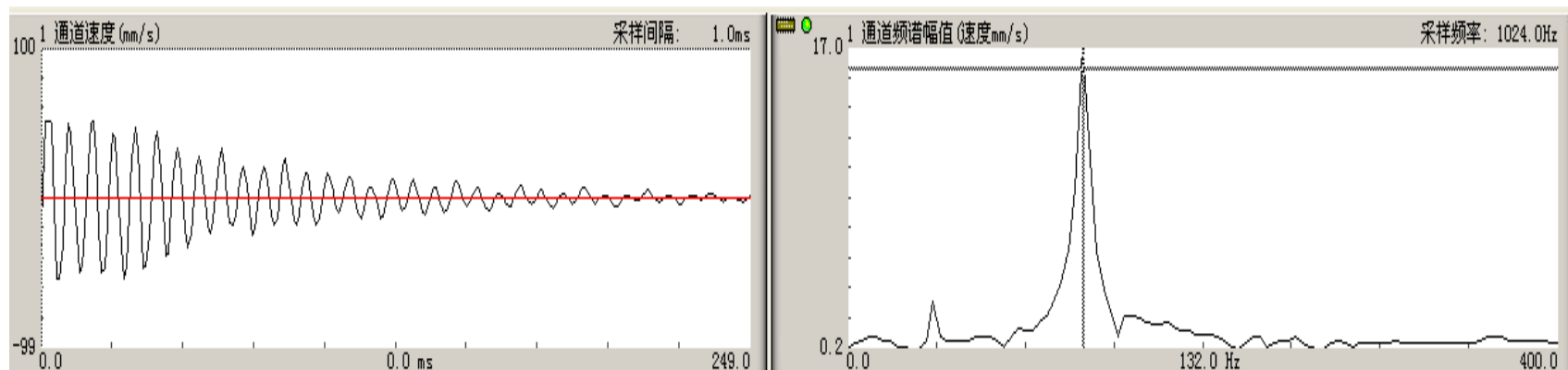
大中型发电机



电机系统测试与分析：压缩机系统，皮带轮系统等



测试与故障诊断：固有频率测试，振动频谱分析，轴承故障分析



轴承故障频率

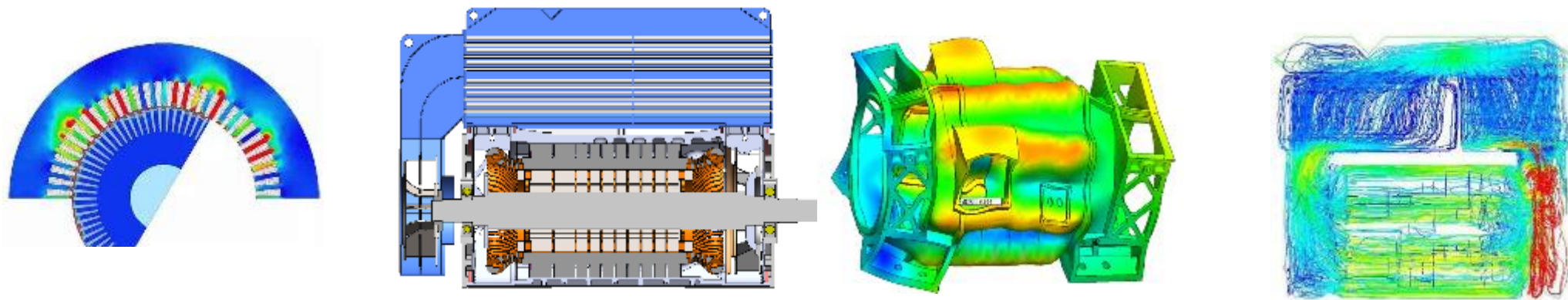


振动测试，故障诊断案例分析

- 机械振动基础
- 数据采集与数据处理
 - 振动测试规范
 - 固有频率测试
 - 振动测试与频谱分析
 - 临界转速测试
- 故障诊断
 - 旋转机械故障诊断
 - 噪音测试与故障诊断
- 机器状态评估与状态检测
- 旋转机械的动平衡
- 测试仪器的使用
- 典型振动案例及其频谱特征
 - 转子动平衡精度低
 - 机座刚性低
 - 端盖共振
 - 变频电机共振
 - 轴承跑内圈，跑外圈
 - 轴承刚度低
- 电磁噪声案例及其频谱特征
 - 气隙不均
 - 冲片刚性低
 - 机座刚性低
- 风机噪声测试与诊断案例
- 压缩机振动测试与诊断案例

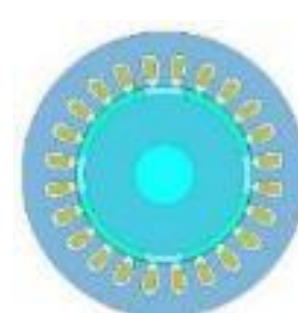
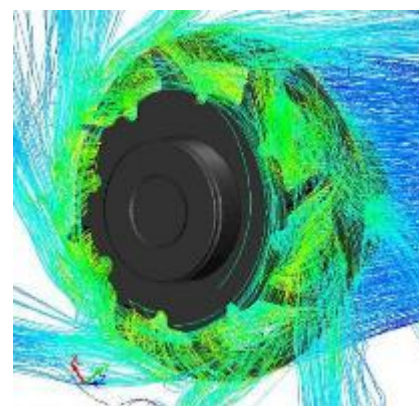
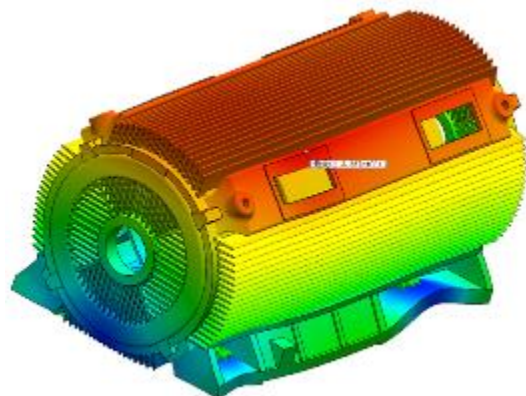
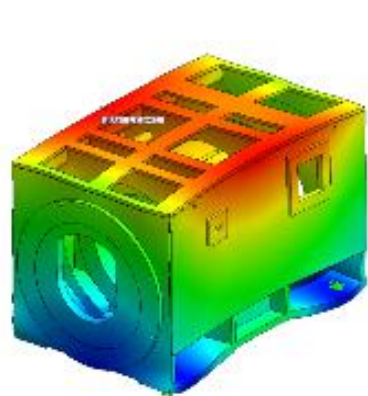
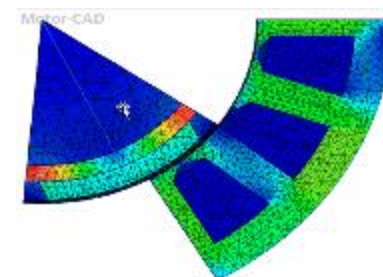
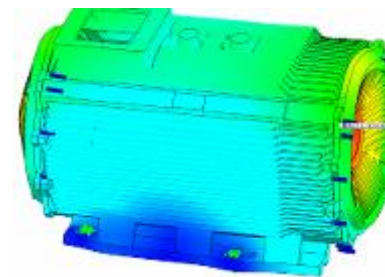
电机CAE仿真相关技术

- ◆ CAE/CFD/Maxwell/Motor CAD
- ◆ 产品3D设计，方案优化
- ◆ 应力测试，模态与振动测试，CAE与测试结果对比
- ◆ 旋转机械故障诊断，频谱分析
- ◆ 建立仿真流程和测试规范



电机的CAE/CFD分析相关软件

- 结构分析: Ansys, Solidworks Simulation, Marc
- 流体分析: Fluent, CFX, STAR-CCM+
- 电磁分析: Motor CAD, Maxwell (Ansoft)
- 噪声分析: NVH/Acoustic, 电磁噪声, 结构与气动噪声
- 散热分析: Flotherm
- 冲击分析: LS-Dyna
- 钣金成型: Dynaform
- 模流分析: Moldflow
- 网格: Hyperworks



摘要

- CAE/FEA Simulation在电机结构仿真中的应用，包括压定子，定子销；轴强度，疲劳，扭矩，挠度，许用径向力，临界转速，扭转刚度；风扇强度，平衡盘强度，端环强度；端盖强度，刚度，轴承室刚度，机床夹紧力；整机强度，刚度，模态，吊环强度，疲劳等。同时CAE在故障诊断中的应用，比如结构振动，共振，电磁噪声，机座开裂，断轴，轴承故障等。
- 基于作者的经验以及认知水平，仅供参考。如果与您产品的CAE分析方法有所不同，请以试验为准！