



Your True Partner for
CAE × CFD
ICSC2016

IDAJ CAE
Solution
Conference



ANSYS在新能源汽车结构分析的应用

2016.11.23

IDAJ-China 技术部
ANSYS China 技术部



IDAJ-CHINA



IDAJ艾迪捷



- 所有公司名, 产品名, 服务名是 各个公司的商标或登记商标以及服务商标。
- 本资料包括保密信息。没有得到敝公司的同意, 请不要使用, 发布, 复制本资料或本电子档。

提 纲

■新能源汽车研发过程的关键技术

■ANSYS技术在新能源汽车结构分析方面的应用

- 电池包的仿真分析
- 电机的仿真分析
- 电力电子器件的仿真分析
- 底盘、车身等系统及部件的仿真分析

■ANSYS新能源汽车的CAE解决方案

HEV/EV的关键技术

电池



逆变器



电机



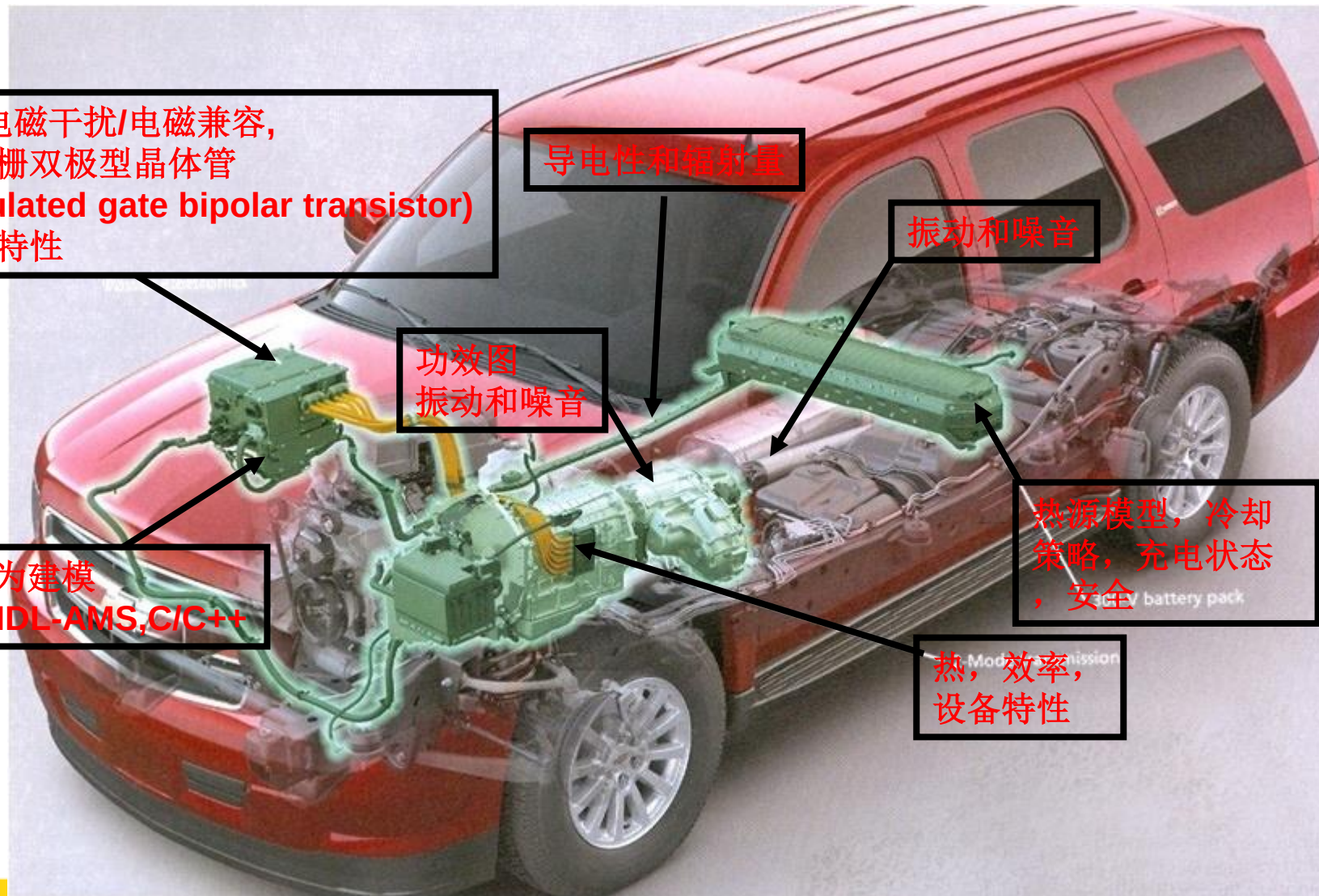
控制器



驱动轴



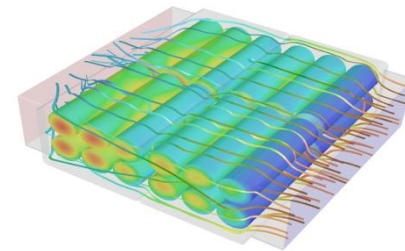
HEV/EV的关键技术



电池-问题归纳

■ 电池：

- 电化学和组件设计
- 电池热管理：温度均匀性、冷/热 启动/停止
- 电池机械损坏：碰撞、压损、穿孔
- 电池电子损坏：过量充电或者放电、高强度电流充电或放电，外部短路
- 流动噪音、结构振动
- 结构耐久性



电机-问题归纳

■电机：

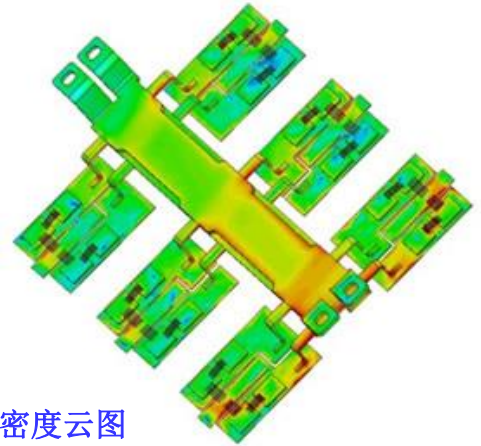
- 优化磁学设计：
- 热管理：精确的损失映射
- 振动：减少发动机噪声
- 系统集成：同时优化电动机和控制
- 结构上的耐久性



电力电子器件-问题归纳

■电力与电子器件(逆变器和控制器等)

- 冷却：为电热损失的热量排放设计途径
- 热应力、热变形问题(电-热-结构耦合)
- 控制逻辑：在所有的行车工况下，用于优化电子传动部件和系统



IGBT上的电流密度云图

■整机与系统的EMI/EMC:

- 原型机制造之前的EMI/EMC分析、减少EMI/EMC的测试需求
- 电机、插板级别的EMI/EMC

提 纲

■新能源汽车研发过程的关键技术

■ANSYS技术在新能源汽车结构分析方面的应用

- 电池包的仿真分析
- 电机的仿真分析
- 电力电子器件的仿真分析
- 底盘、车身等系统及部件的仿真分析

■ANSYS新能源汽车的CAE解决方案

电池包结构分析要求(SAE J2380 、 SAE J2464标准)

No.	Structural Integrity Standard Test Process
1	Effect of body weight on Support [SAE J2380]
2	Pre-stressed natural frequency analysis [SAE J2380]
3	Pre-stressed Random Vibration analysis in Vertical, longitudinal and lateral direction [SAE J2380]
4	Random Vibration fatigue analysis
5	Drop Test from 2 meter at an angle [SAE J2464]
6	Thermal Stress analysis [SAE J2464]
7	Impact/Crush analysis [SAE J2464]
8	Shock Spectrum analysis in Vertical, longitudinal and lateral direction [SAE J2464]
9	Nail Penetration analysis [SAE J2464]

Worbench仿真平台-实现电池包SAE标准的各种分析工况

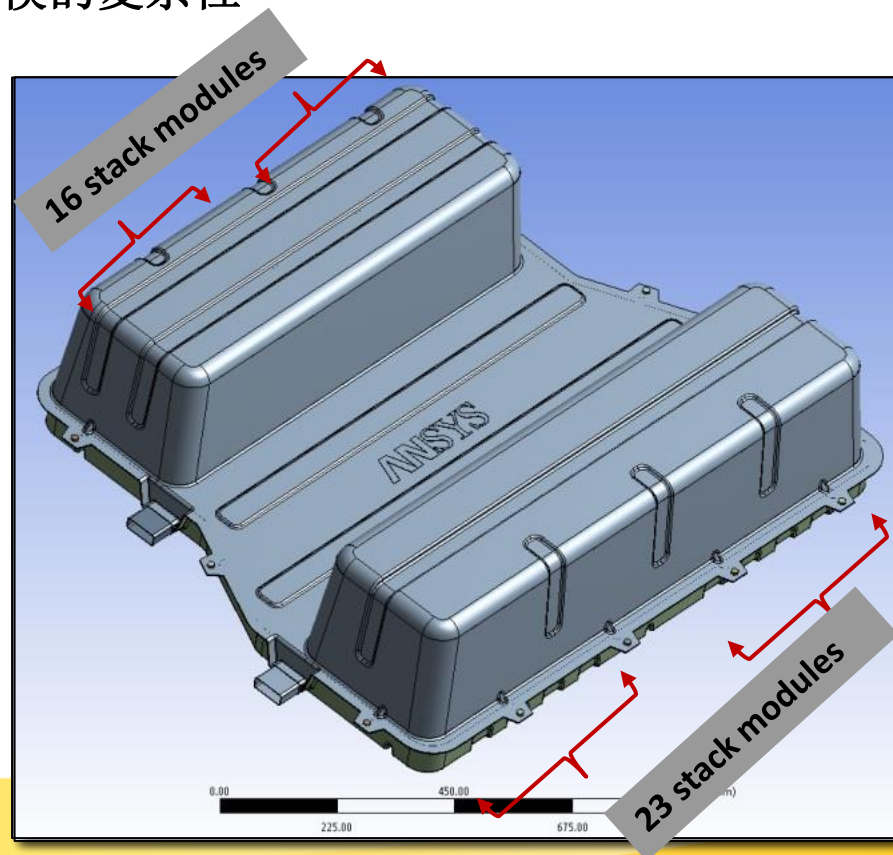
The screenshot displays the ANSYS Workbench environment. The main Project Schematic shows a sequence of analyses: Static Structural, Harmonic Response, Random Vibration, and Explicit Dynamics. A table in the bottom right corner, titled 'Properties of Outline Row 9: Structural Steel', lists material properties for Structural Steel.

Property	Value	Unit
Density	7850	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Elasticity		
Alternating Stress Mean Stress	Tabular	
Strain-Life Parameters		
Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa
Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa
Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa
Specific Heat	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹

统一界面、统一平台、统一数据
几何共享、材料共享、网格共享
数据无缝传递

高效前处理-使用部件管理器进行电池包网格划分

- 在**Workbench**下导入**UG**的模型
- 电池包内部包含超过**2000**的零件
- 电池包内的很多零部件是一样
- **ANSYS**可以利用该一致性来降低建模的复杂性



高效前处理-使用部件管理器进行电池包网格划分

Mesh all subassemblies individually

Reduced battery assembly

16 stack module

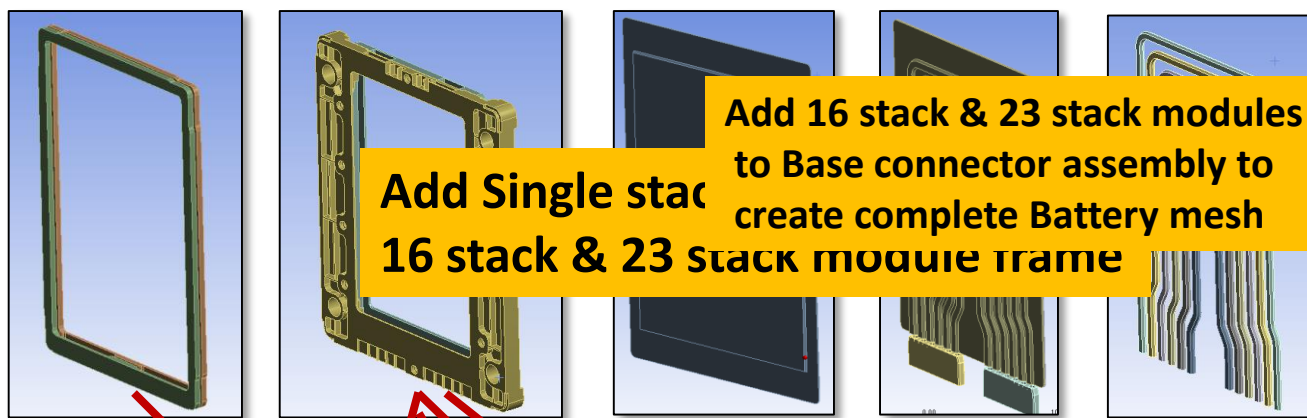
Single stack

23 stack module

Base Connectors

- module_16_stack_frame_1.wbpj
- module_23_stack_frame_1.wbpj
- rest_of_battery_parts_1.wbpj
- single_stack_1.wbpj

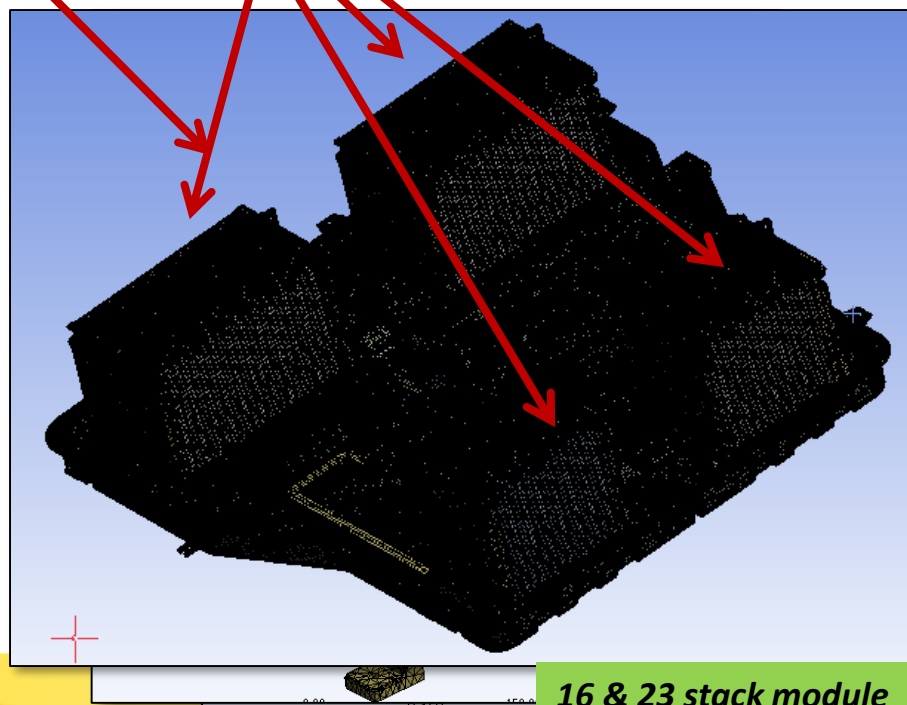
高效前处理-使用部件管理器进行电池包网格划分



16 & 23 stack

It's simple
Isn't it? 😊

Base
connector
assembly



1、自重作用下的变形分析-SAE J2380

■ 目标:

- 分析支撑底座在电池自身重量作用下的变形情况;

■ 载荷:

- 重力

■ 约束:

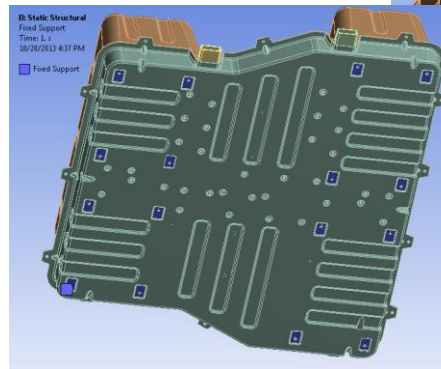
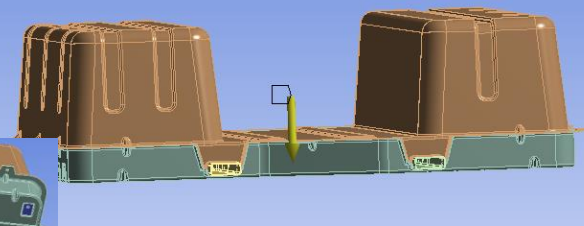
- 固定电池底座的安装位置

■ 结果:

- 电池顶部有较大的位移;
- 应力在许可范围内, 最大应力出现在最大应变位置相对的支撑位置。

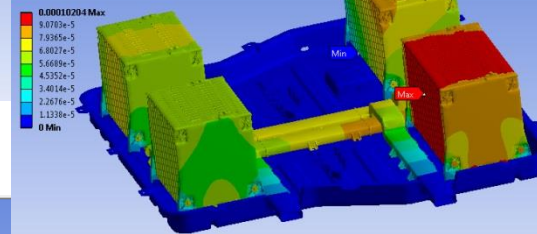
Gravity load

B: Static Structural
Standard Earth Gravity
Time: 1 s
10/20/2013 4:35 PM
Standard Earth Gravity: 9.8066 m/s²
Components: 0, 0, -9.8066 m/s²



Fixed support

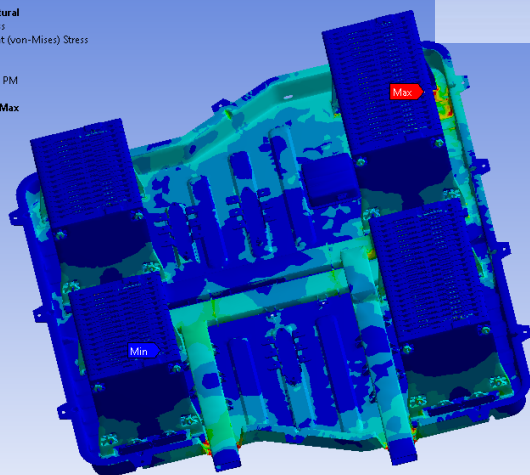
B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
10/20/2013 4:39 PM



Total Deformation

B: Static Structural
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: Pa
Time: 1
10/20/2013 4:46 PM

1.9985e7 Max
2e6
1.703e6
1.4061e6
1.1091e6
0.1214e5
5.1518e5
2.1821e5
1e5
8.656 Min



Equivalent Von Mises Stress

2、预紧力作用下的振动模态分析-SAE J2380

■ 目标:

- 分析电池部件在预紧力下的振动模态;

■ 分析设置:

- 由于随机振动载荷高达190 Hz，分析中需要考虑1.5倍范围，因此分析频率高达250Hz;

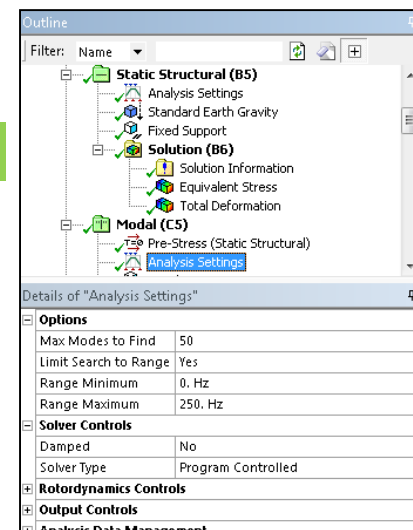
■ 约束:

- 由于分析预紧力下的工况，因此约束是由静力学分析获得

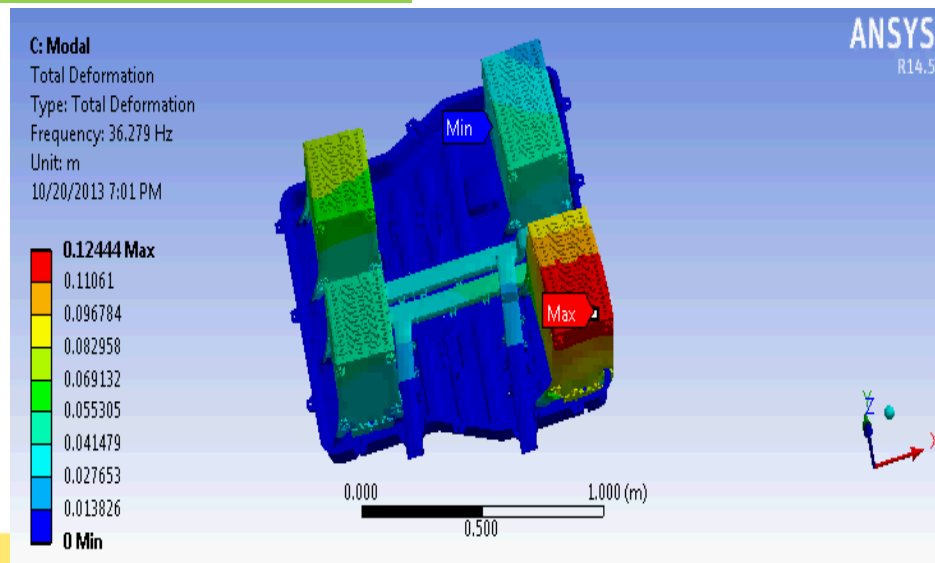
■ 结果:

- 提取了32阶模态
- 80%的质量分布在三个方向，随机振动模拟的精度足够

Analysis setting



Mode shape 1st mode = 36Hz



3、随机振动分析-SAE J2380

■ 目标:

- 在预紧力作用下，对纵向、侧向和垂直三个方向进行随机振动分析

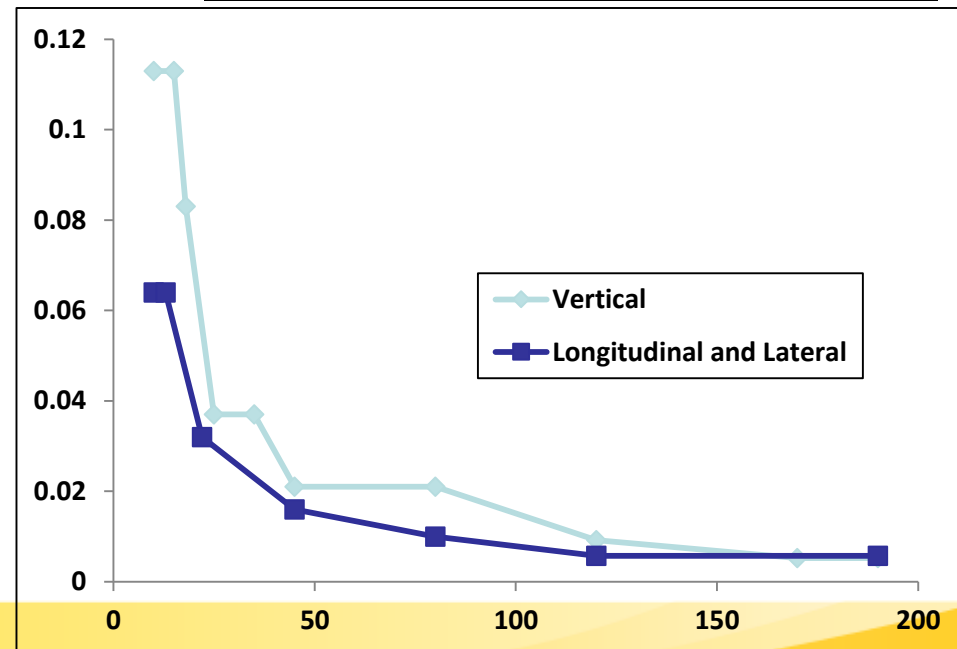
■ 载荷:

- 载荷按照SAE J2380中的标准
- 纵向和侧向施加相同的振动载荷

■ 约束:

- 约束是由静力学分析获得

Vertical		Longitudinal and Lateral	
Frequency (Hz)	1.9 grms Amplitude (G^2/Hz)	Frequency (Hz)	1.9 grms Amplitude (G^2/Hz)
10	0.113	10	0.064
15	0.113	13	0.064
18	0.083	22	0.032
25	0.037	45	0.016
35	0.037	80	0.01
45	0.021	120	0.0057
80	0.021	190	0.0057
120	0.0092		
170	0.0052		
190	0.0052		



随机振动分析-SAE J2380

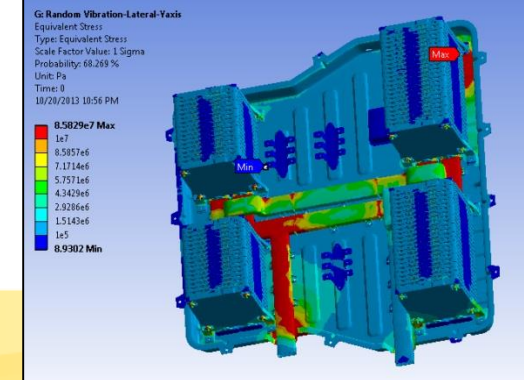
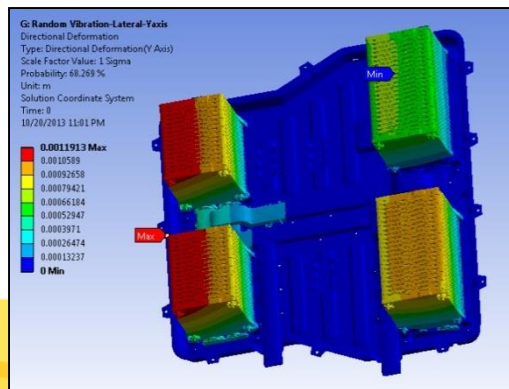
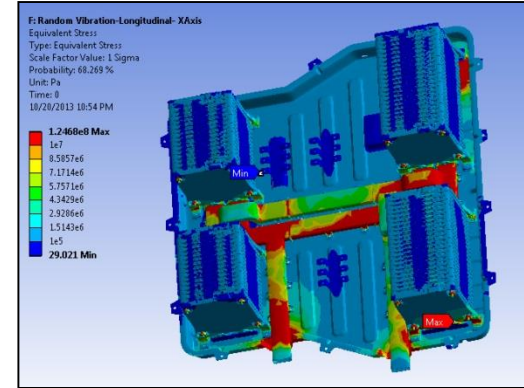
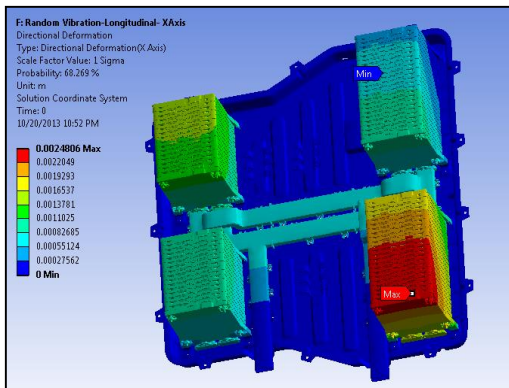
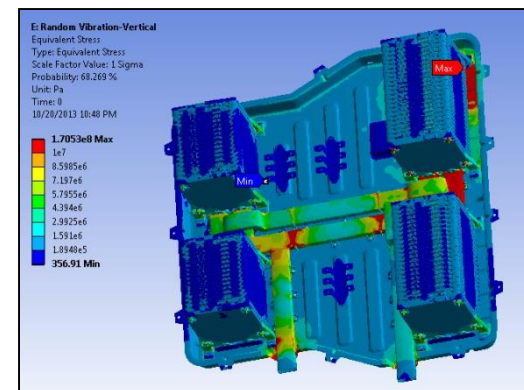
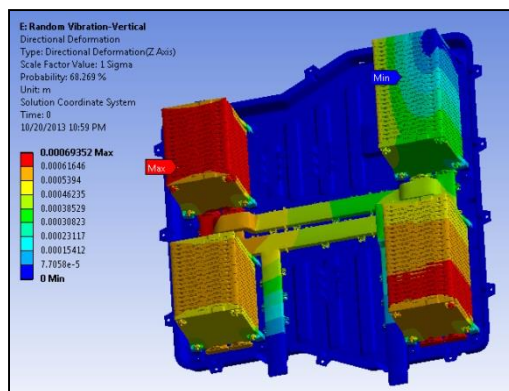
Directional deformation

1 sigma equivalent stress

结果:

- 无量纲应力在三个方向都是安全的，最大值发生在垂直方向
- 变形同样很小，最大值发生在纵向
- 尽管纵向和侧向激励一致，但结果差别明显

Direction	Deformation (m)	Equivalent Stress (Pa)
Vertical	6.93e-4	1.78e8
Longitudinal	2.4e-3	1.24e8
Lateral	1.19e-3	8.58e7



4、热应力分析-SAE J2464

■ 目标:

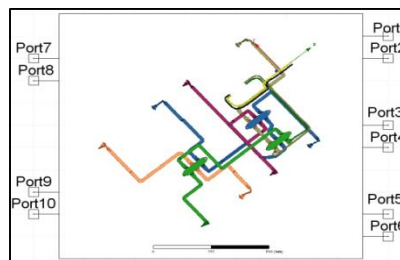
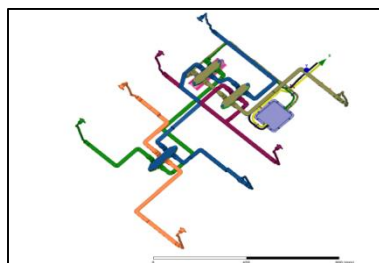
- 对电池模块进行热应力分析

■ 载荷

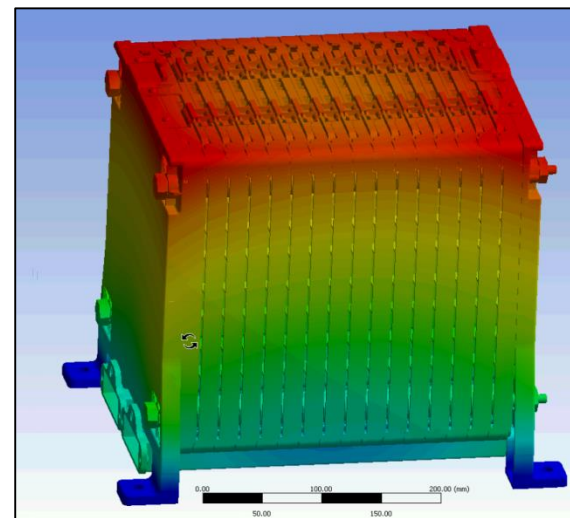
- 热载荷由MAXWELL进行电磁场分析获得
- 电池模块固定在底面上

■ 结果:

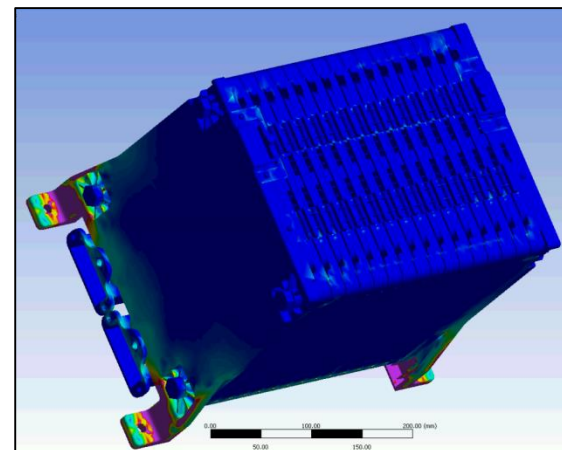
- 分析热应力和变形是否导致部件的失效



Electromagnetic FEA Analysis for Busbar
RLC Network Extraction



Structural FEA: Total Deformation



Structural FEA: Equivalent Stress

➤ 按照SAE J2464标准进行电池组跌落分析

► 显式动力学模块

- 避免使用金字塔网格，保证网格可以用于所有类型的分析
- 可能破坏的接触位置定义为超过**150MPa**后自动分离

- 电池从2米高以45度角跌落
- 为节省分析时间，定义接触前的跌落速度作为初始载荷

► 套件的上下位置分离



提 纲

■新能源汽车研发过程的关键技术

■ANSYS技术在新能源汽车结构分析方面的应用

- 电池包的仿真分析
- 电机的仿真分析
- 电力电子器件的仿真分析
- 底盘、车身等系统及部件的仿真分析

■ANSYS新能源汽车的CAE解决方案

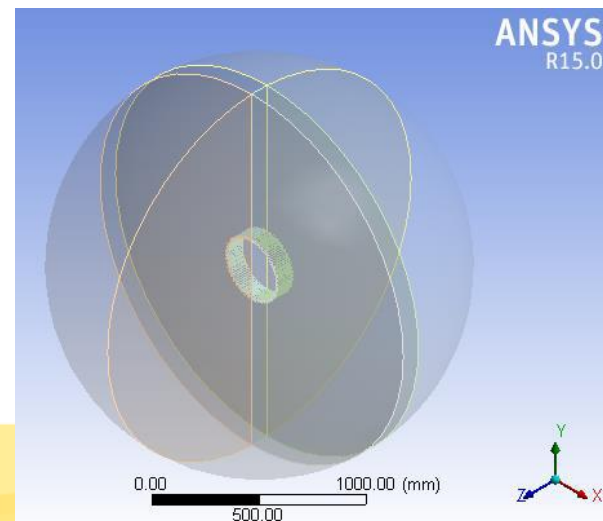
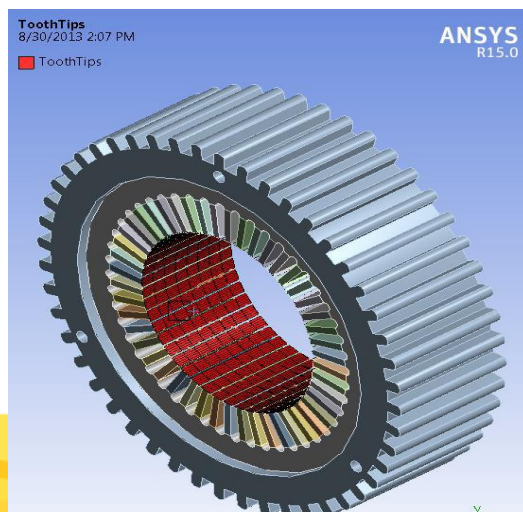
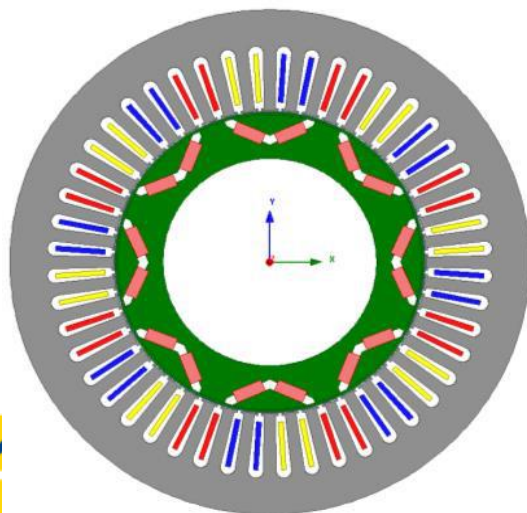
电机电磁、振动和噪声耦合分析

■ 目标:

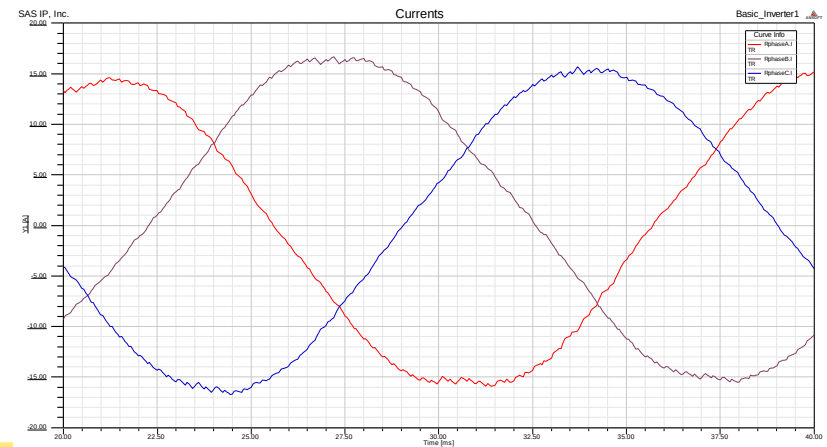
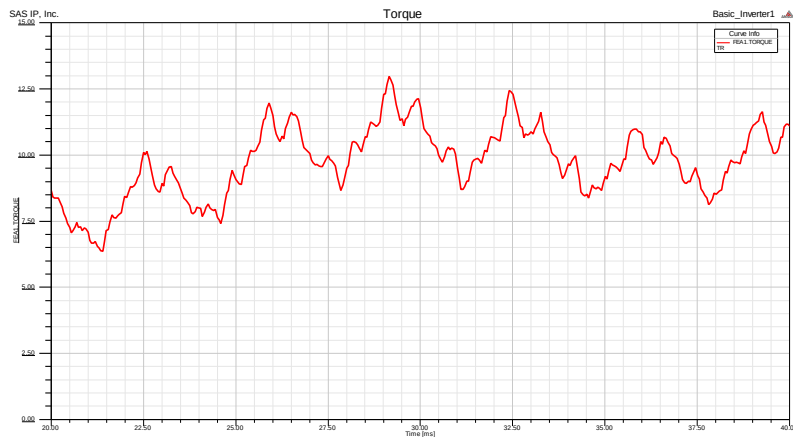
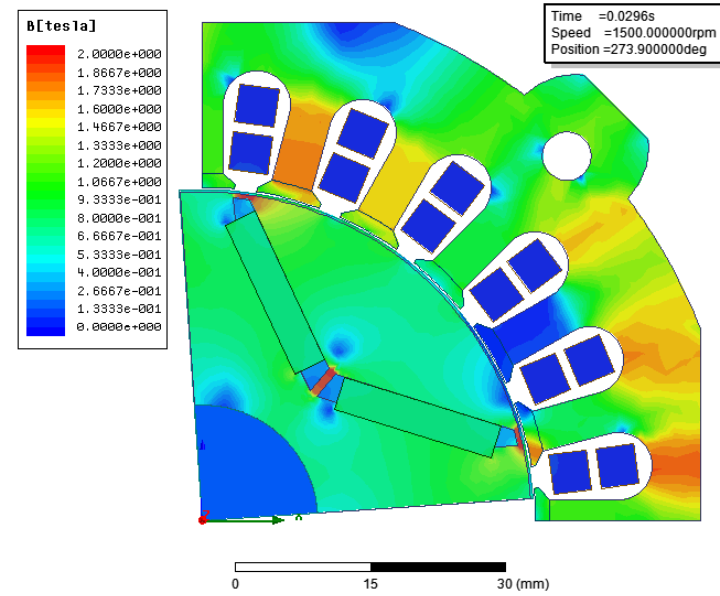
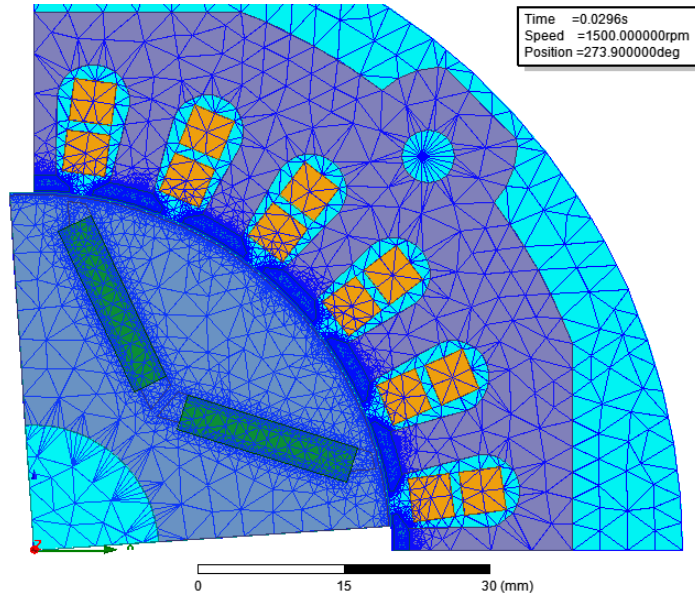
- 以永磁同步电机模型为例，利用ANSYS Workbench强大的多物理耦合功能，完成电机的电磁场、结构振动和噪声的耦合分析。

■ 解决方案:

- 在Maxwell中计算定子内表面径向和切向电磁力，作为激励源耦合到Mechanical中，
- 然后在ANSYS Mechanical中进行该电机三维定子的谐响应扫频分析；
- 谐响应分析结果作为激励耦合到Mechanical ACT中，进行声学分析。



Maxwell – Simplorer电磁场分析



电磁力计算

■ 用气隙磁通密度计算力

➤ Maxwell Stress Tensor [9]

$$F_{tan} = \frac{L}{\mu_0} \oint B_t B_n dl \quad F_{rad} = \frac{L}{2\mu_0} \oint (B_n^2 - B_t^2) dl$$

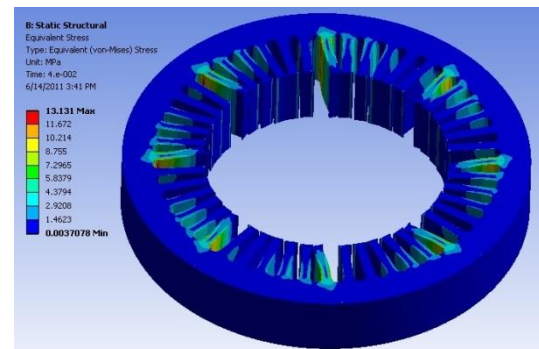
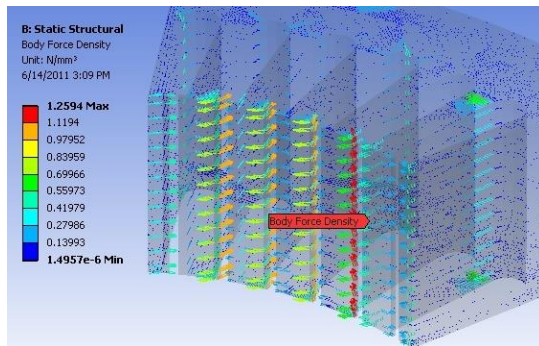
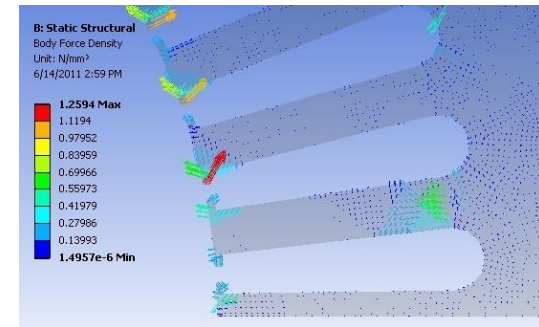
- Force calculation at a point on the stator.
- Force on a line in the airgap
- Force on a line co-linear with the stator tooth

This is common method in literature.

➤ Edge Force Density

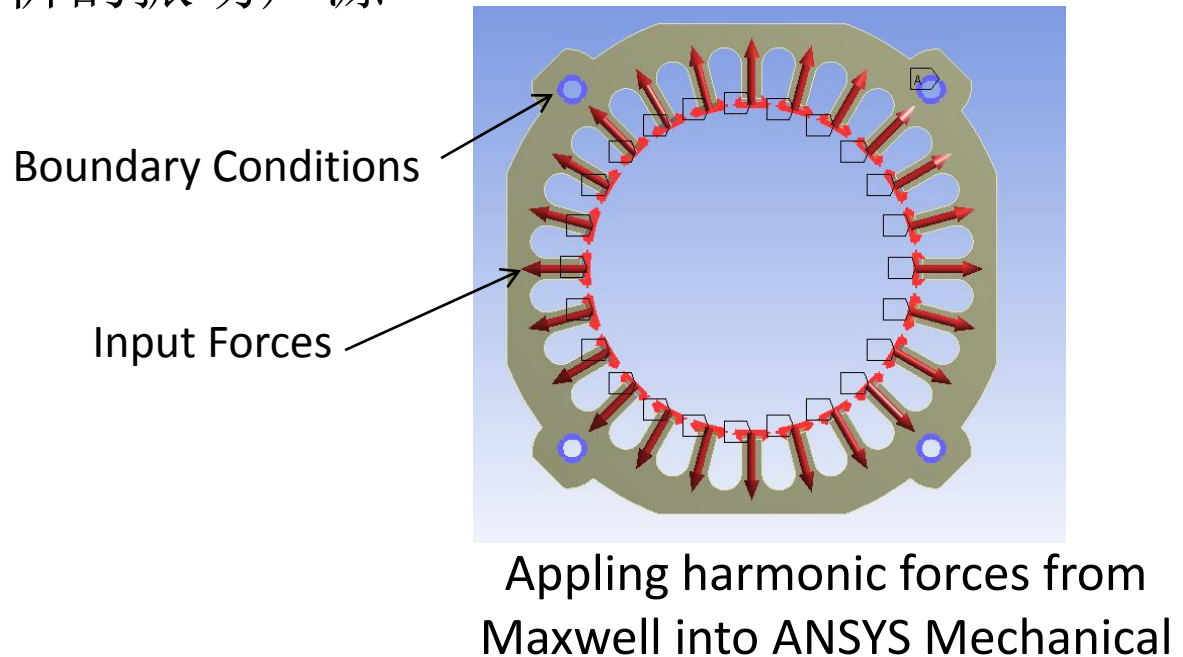
- Default field quantity available in Maxwell
- Can be used for creating lumped force calculations on tooth tips

■ Maxwell电磁力自动映射到 Mechanical. (2D-2D, 2D-3D, 3D-3D)



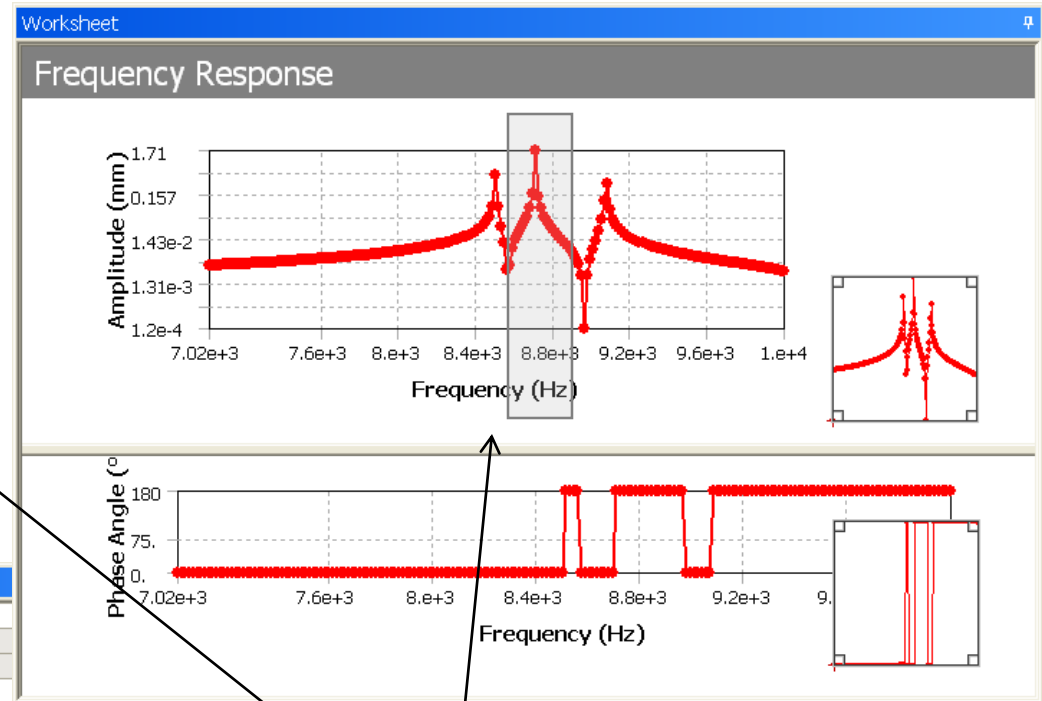
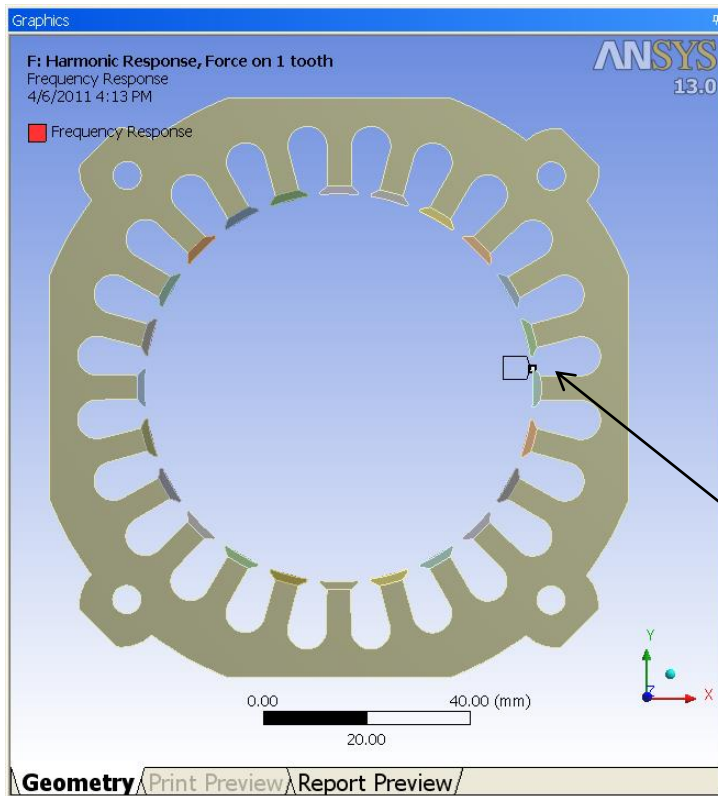
谐响应分析

- 以确保给定的设计可承受在不同频率的正弦负荷
- 以检测共振响应，如果需要（例如，使用机械阻尼器，改变PWM频率等）避免它
- 后续进行声学分析的振动声源



谐响应分析 – Bode plot

- 绘制某一节点位置的频率响应曲线（振幅和相位）



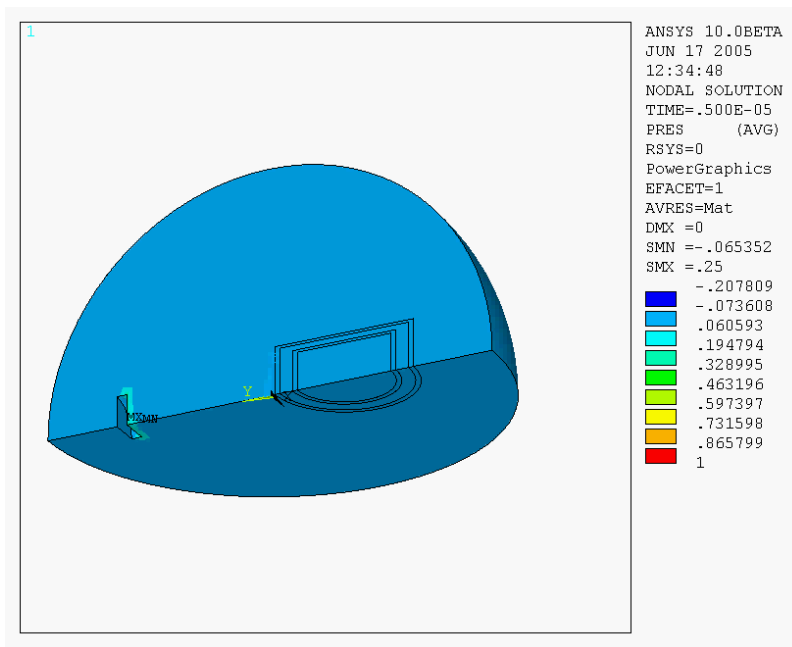
Frequency Range	Use Parent
Minimum Frequency	7000. Hz
Maximum Frequency	10000 Hz
Display	Bode
Results	
☐ Maximum Amplitude	1.7149 mm
☐ Frequency	8710. Hz
☐ Phase Angle	180. °
☐ Real	-1.7149 mm
☐ Imaginary	0. mm

Helps determine that
Max Amplitude (1.7mm)
occurs at 8710 Hz on the
selected vertex

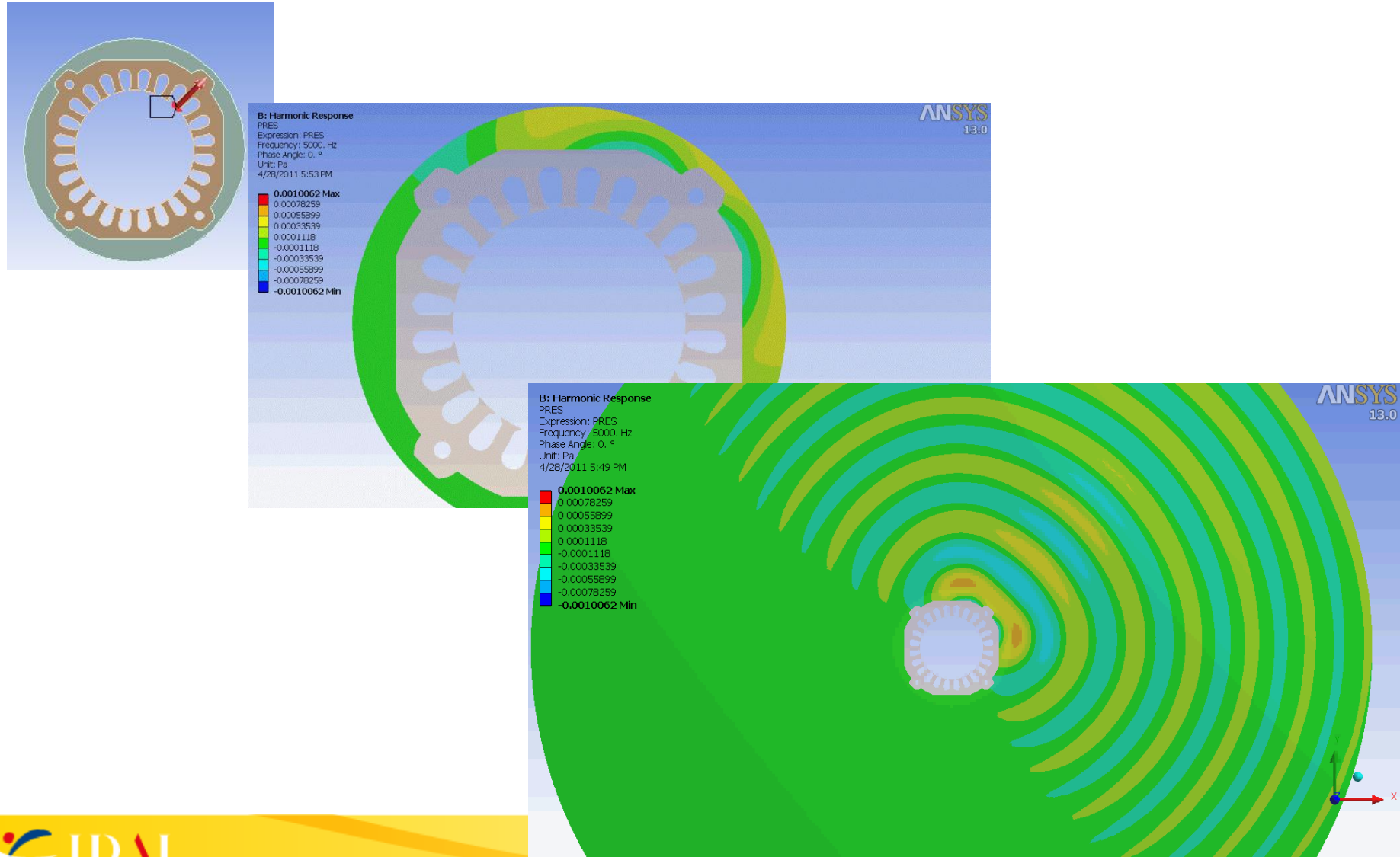
结构振动产生噪声 (ANSYS Mechanical)

■ 计算由结构振动引起的噪声分析

- 在 ANSYS Mechanical模块中进行结构动力学分析，计算结构的振动。载荷激励可以是来自Maxwell计算获得；
- 将上一步的结构振动计算的结果作为声场分析的声源，进行声波的声场分析。



声学分析- 声压结果



提 纲

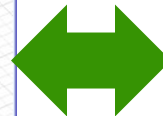
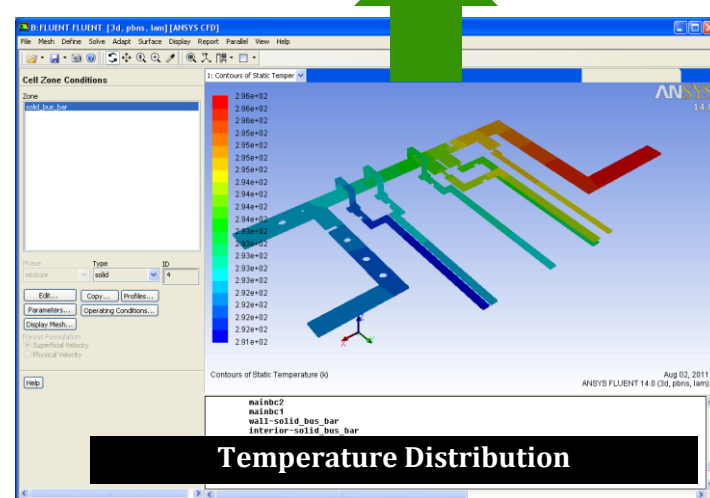
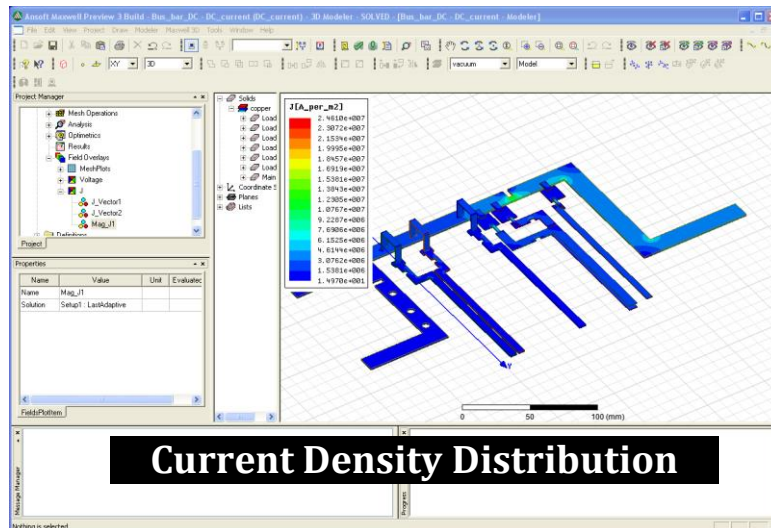
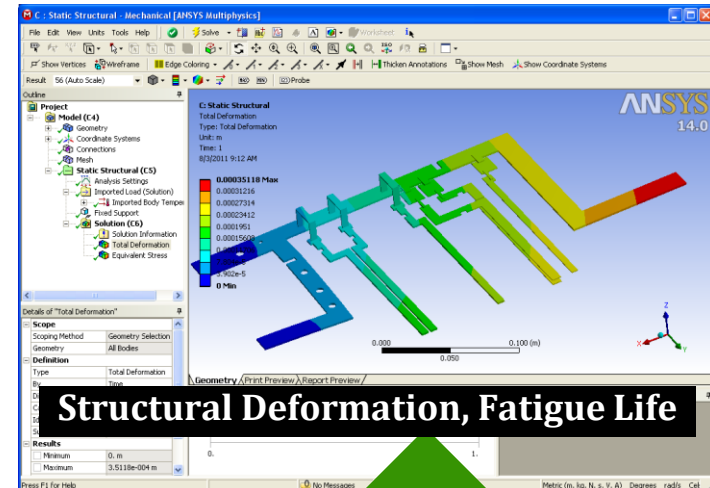
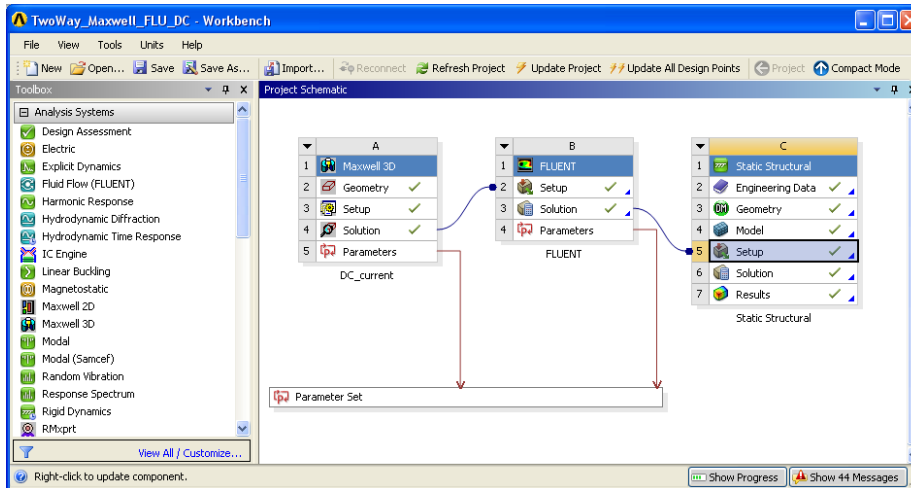
■新能源汽车研发过程的关键技术

■ANSYS技术在新能源汽车结构分析方面的应用

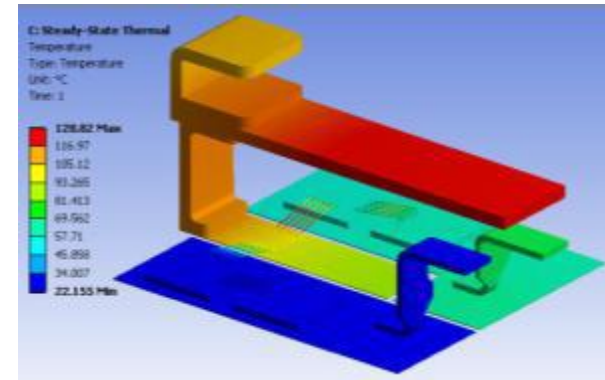
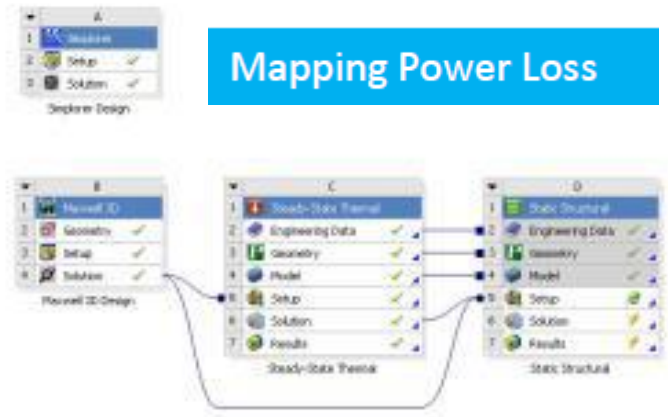
- 电池包的仿真分析
- 电机的仿真分析
- 电力电子器件的仿真分析
- 底盘、车身等系统及部件的仿真分析

■ANSYS新能源汽车的CAE解决方案

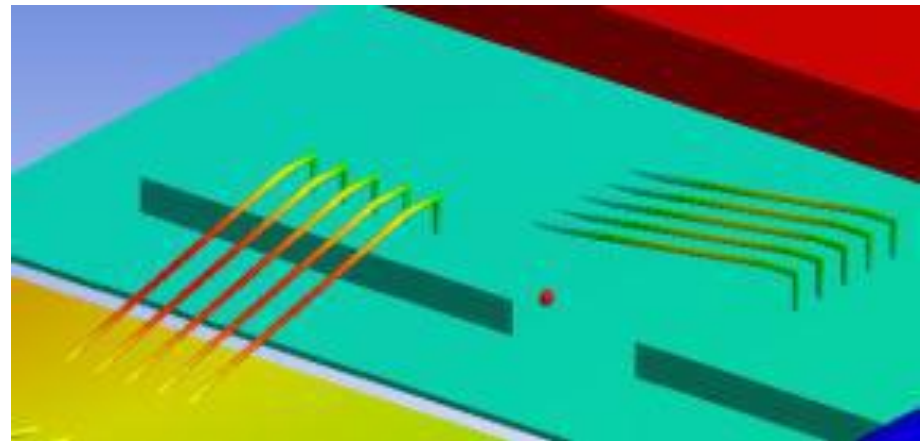
1、Busbars 的电-热-结构多物理场耦合分析



2、IGBT逆变器设计-机械应力分析(电磁-热-结构)



**Thermal-Structural
Plus
Electromagnetic-Structural**



提 纲

■新能源汽车研发过程的关键技术

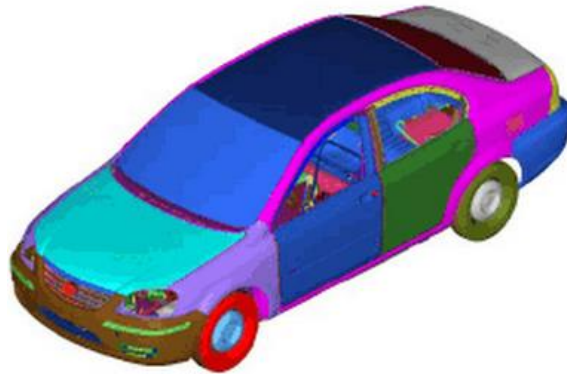
■ANSYS技术在新能源汽车结构分析方面的应用

- 电池包的仿真分析
- 电机的仿真分析
- 电力电子器件的仿真分析
- 底盘、车身等系统及部件的仿真分析

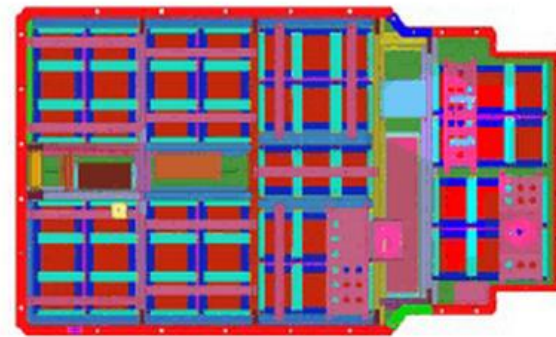
■ANSYS新能源汽车的CAE解决方案

电动汽车的碰撞安全与评估

■ 基于Euro-NCAP侧面柱碰工况



整车有限元模型



电池模组有限元模型

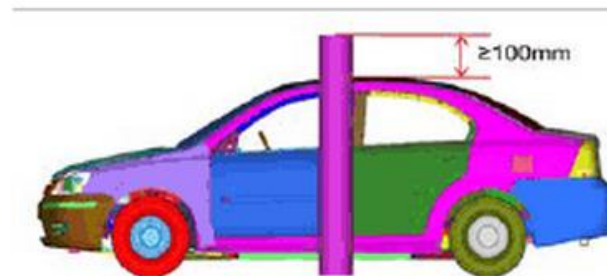
整车及电池模组有限元模型

侧面撞柱碰撞

Side Pole Impact



V=29
km/h

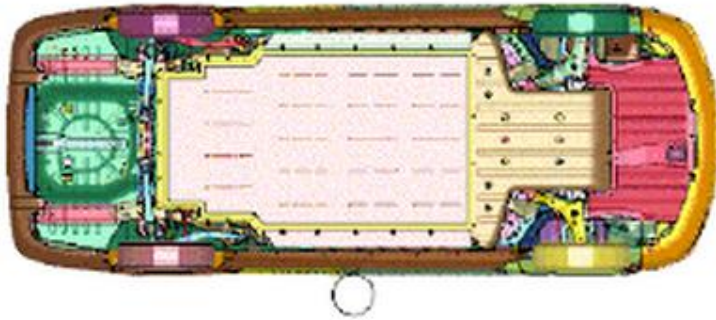


Euro-NCAP 侧面柱碰工况

LS-Dyna碰撞分析

电动汽车的碰撞安全与评估

■ 有限元仿真结果评估

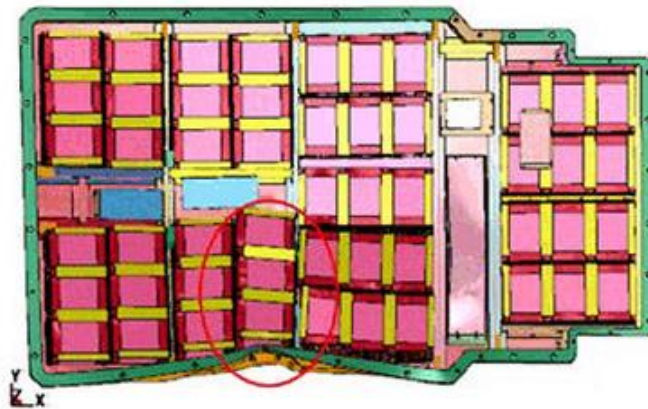


碰撞最初时刻



碰撞最大变形时刻

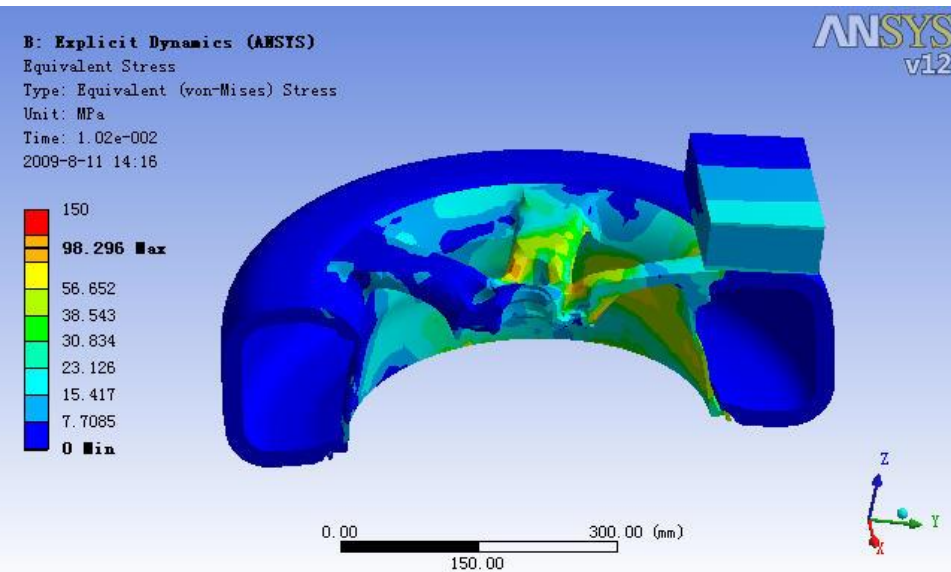
侧面柱碰变形结果



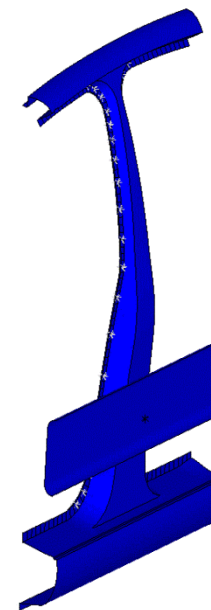
内部电池模组变形结果（最大变形时刻）

LS-Dyna碰撞分析

其他应用

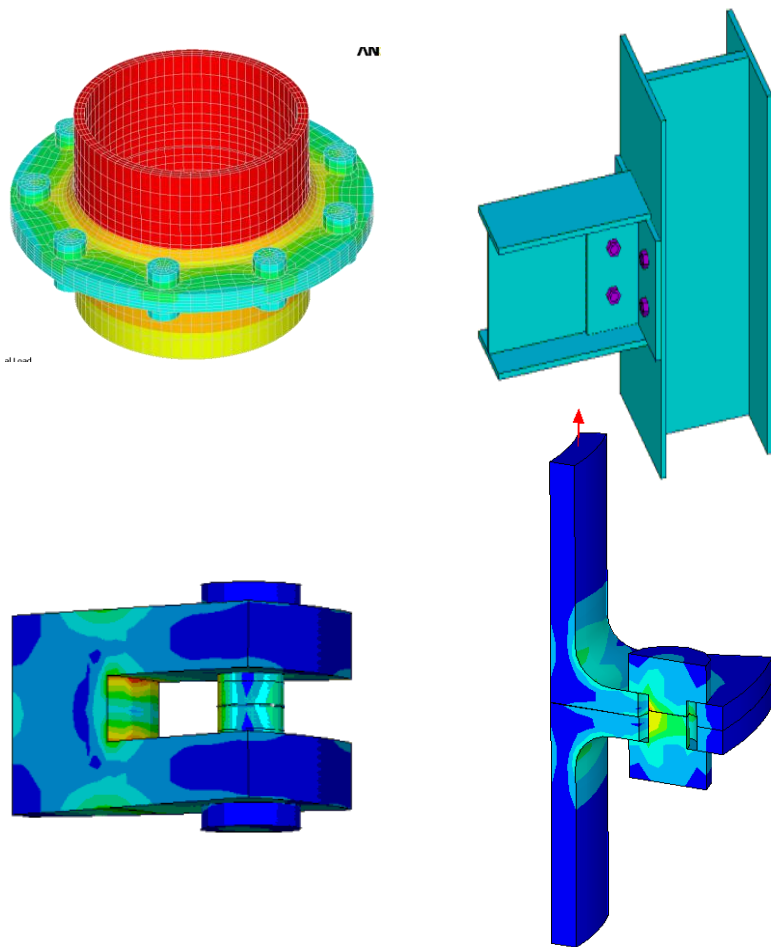


轮毂的冲击仿真

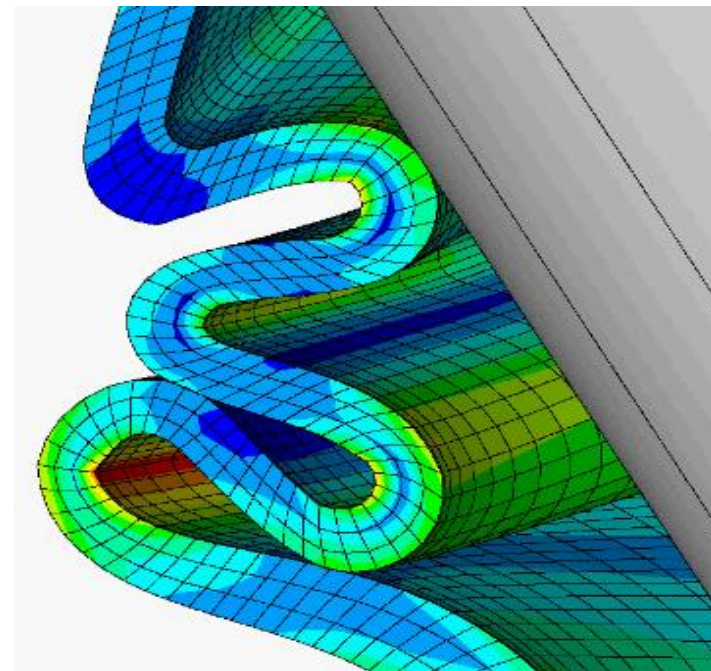


B柱的优化设计

其他应用



螺栓螺母等紧固件



复杂非线性问题——橡胶变形

提 纲

■新能源汽车研发过程的关键技术

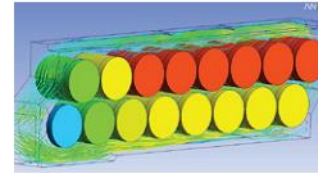
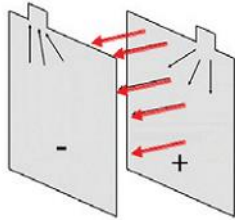
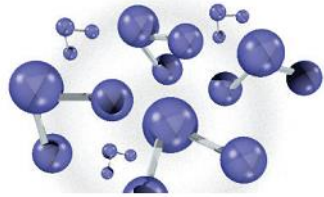
■ANSYS技术在新能源汽车结构分析方面的应用

- 电池包的仿真分析
- 电机的仿真分析
- 电力电子器件的仿真分析
- 底盘、车身等系统及部件的仿真分析

■ANSYS新能源汽车的CAE解决方案

新能源汽车显著的多域、多物理场特性

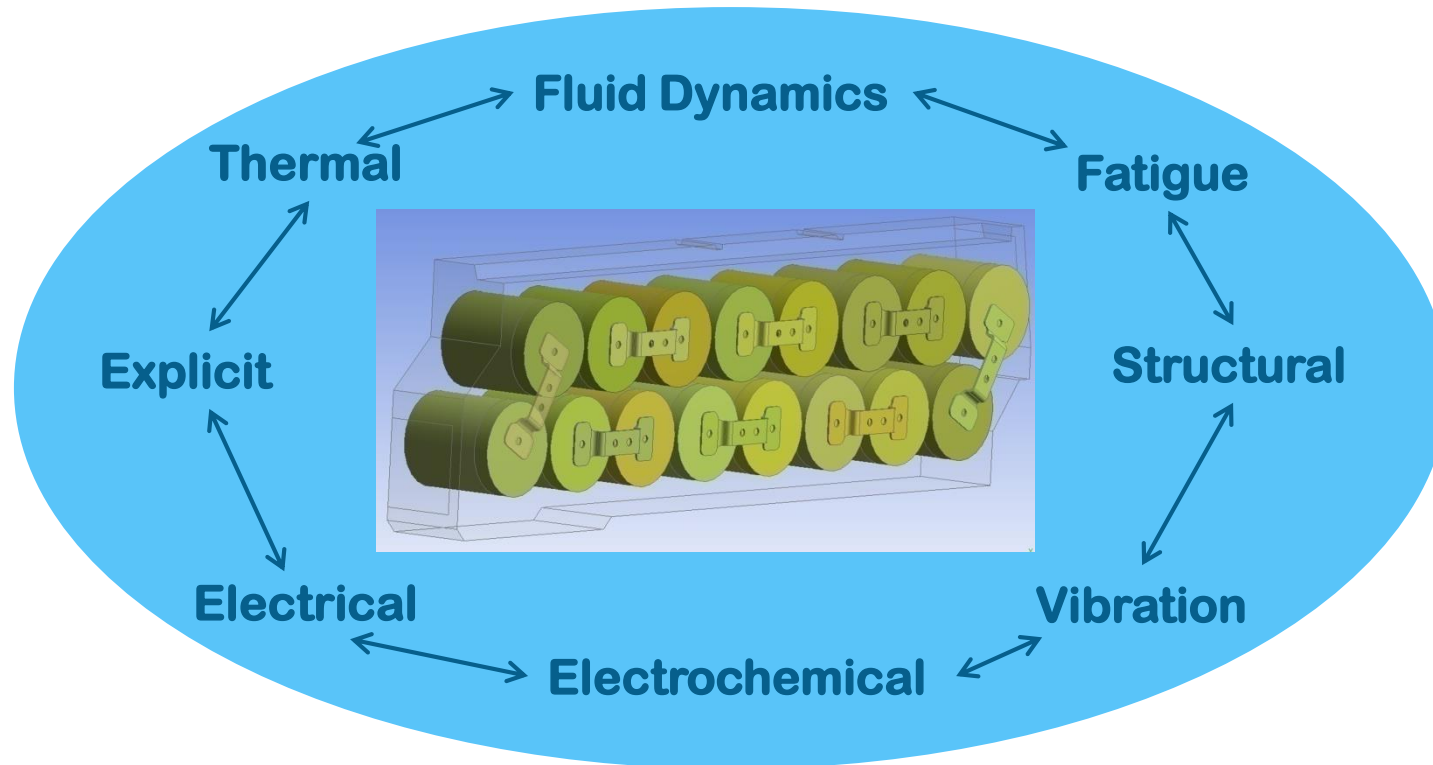
Small Scale



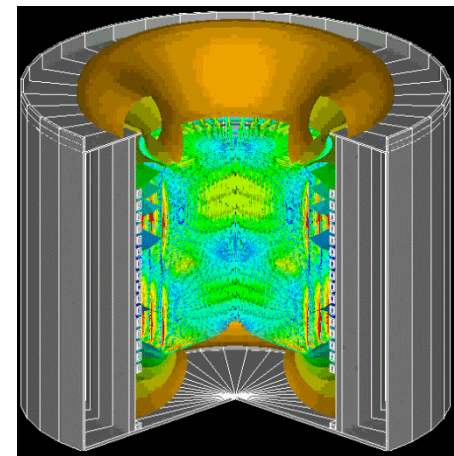
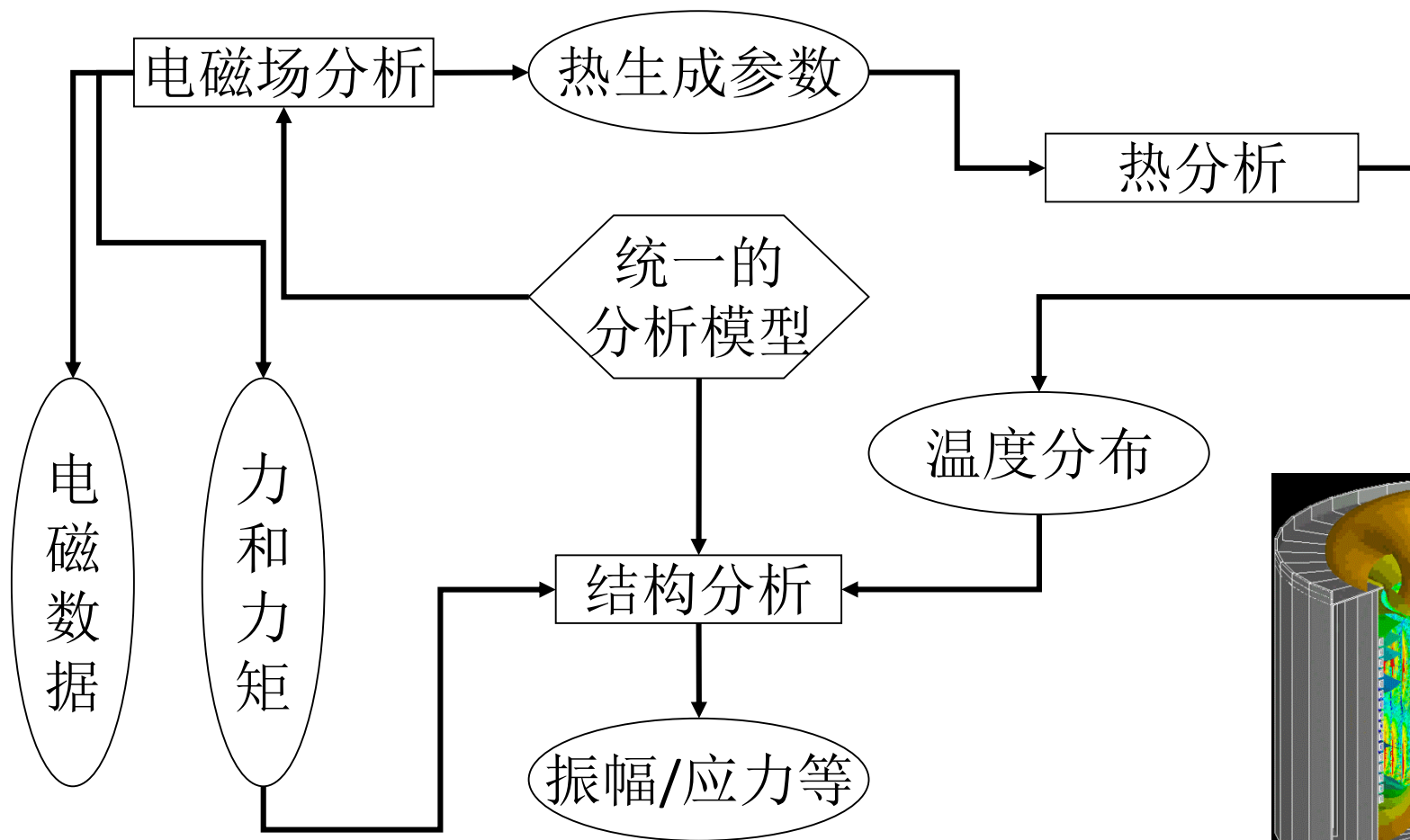
Large Scale

Molecular Level	Electrode Level	Cell Level	Pack Level	Powertrain and Vehicle Level
•Material innovation •Material selection	•Electrode layout •Manufacturing process development •Life	•Charging, discharging profiles •Heating •Safety under abuse •Swelling, deformation	•Thermal Mgmt •BMS Logic •Safety •Durability •NVH •EMI/EMC	•System Integration

新能源汽车显著的多域、多物理场特性



新能源汽车显著的多域、多物理场特性



电机多物理场
耦合分析流程图

ANSYS新能源汽车的CAE解决方案

Systems and Multiphysics



ANSYS Simplorer

ANSYS Workbench

ANSYS HPC

ANSYS Engineering Knowledge Manager

ANSYS DesignXplorer

Structural Mechanics



ANSYS Mechanical
ANSYS AUTODYN
ANSYS LS-DYNA
ANSYS nCodeDesignLife

Fluid Dynamics



ANSYS FLUENT
ANSYS CFX
ANSYS POLYFLOW
ANSYS Icepak

Electromagnetics



ANSYS HFSS
ANSYS Maxwell
ANSYS Q3D
ANSYS Designer

谢 谢

技术支持邮箱: support@idaj.cn



艾迪捷信息科技(上海)有限公司

www.idaj.cn

北京

地址: 北京市朝阳区光华路甲14号诺安基金大厦1601室,
100020

电话: 010-65881497/98

传真: 010-65881499

上海

地址: 上海市浦东新区张杨路620号中融恒瑞国际大厦东楼
2001室, 200122

电话: 021-50588290/91

传真: 021-50588292