



IDAJ中国
新能源小组

Copyright (C) IDAJ Co., LTD. All Rights Reserved.

2018 IDAJ为中国新能源汽车加速
整车 / 新能源汽车关键性仿真技术

无人驾驶 | 新能源整车EMC | 动力性及能量管理 | 动力锂电池 | 结构可靠性

武汉 | 重庆 | 上海 | 广州 | 北京 | 长春巡回研讨会



IDAJ公司

ANSYS新能源汽车行业解决方案 ——电池包结构分析

目录

1. 背景介绍
2. 解决方案
3. 案例介绍
4. 总结

背景介绍

新能源汽车相关

■ 背景

- 石油资源的逐渐枯竭
- 人们对环境问题的日益关注

■ 新能源汽车，尤其是混合动力汽车和纯电动汽车，已成为世界各大汽车公司争相研究的热点；

■ 电池、电机等相关系统是电动汽车技术的核心；

电池包结构设计需求

- 电池包是各种电动车辆的主要能量载体和动力来源，也是电动车辆整车成本的主要组成部分，其寿命直接影响电动车辆的使用。
- 作为电动汽车能量供给的关键设备，电池包的结构设计应尽可能高效和轻便，并在保证存放空间合理布局的基础上，满足多变运行环境和行驶工况下的机械承受、工作安全性、可靠性及使用寿命要求。

解决方案

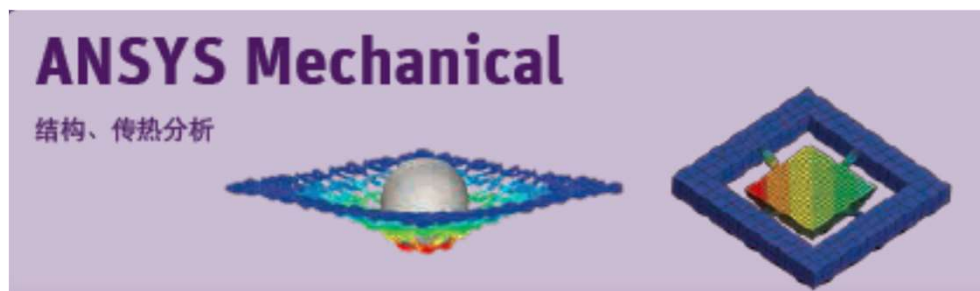
电池包常见结构分析类型

- 自重分析
- 模态分析
- 随机振动分析
- 冲击分析
- 跌落分析
- 热应力分析
- 耐久性分析

常用标准: GB/T (中国) , SAE , UN 38.3, JIS, FMVSS, ECS (国外)

ANSYS MBU对应解决方案

- 自重分析
- 模态分析
- 随机振动分析
- 热应力分析



ANSYS Mechanical是什么？

- ANSYS公司旗舰产品，历史悠久。
- ANSYS Mechanical是基于有限元技术的结构力学仿真软件，是CAE领域最为著名的商业软件之一。
- 引领世界CAE仿真发展趋势。
- 全面满足各行各业对结构力学仿真的需求。广泛应用于航空航天、船舶、兵器、能源电力、核能、石油化工、汽车、通用机械、电子电器、铁道机车、土木建筑、钢铁冶金等各行各业的研发和设计过程中。

ANSYS MBU解决方案

- 冲击分析
- 跌落分析



ANSYS Explicit显式动力学模块

■ ANSYS Autodyn

- 起源于LLNL国家实验室，Century Dynamic公司开发
- 1985年商业化
- 交互式计算方式，相同的GUI进行前后处理和求解
- 最精炼的用户输入，所有参数直观的向导输入
- 最少的求解设置，大多数选择默认保存

■ ANSYS Explicit STR

- 来源于AUTODYN的Lagrange和Euler求解器，集成于Workbench分析平台中。
- ANSYS LS-DYNA
- 基于LLNL国家实验室，LSTC公司开发
- 1985年商业化
- 批处理计算，不同的GUI前后处理
- 用户控制大多数输入参数，关联的输入参数
- 有时复杂的选择设置
- 计算速度快
- 集成于Workbench中

■ ANSYS Autodyn

- 常用于国防
- 高速载荷，严重变形
- 结构、流体和气体
- Lagrange、Euler、SPH
- Euler/Lagrange的流固耦合方法（FSI）
- 不删除单元的材料失效分析
- 完全集成于Workbench中
- 自然破片分析

■ ANSYS Explicit STR

- 最常用于制造和产品开发，通常用于结构
- 低速载荷，较小的变形
- Lagrange、Euler求解器
- ANSYS LS-DYNA
- 低速载荷、较小变形，常用于碰撞、跌落等结构分析
- 常用Lagrange求解器和ALE的流固耦合方法（FSI）
- 删除单元的材料失效分析

ANSYS MBU解决方案

■ 耐久性分析

ANSYS Fatigue Module

通用疲劳分析

ANSYS nCode DesignLife

高级疲劳分析

ANSYS疲劳寿命分析

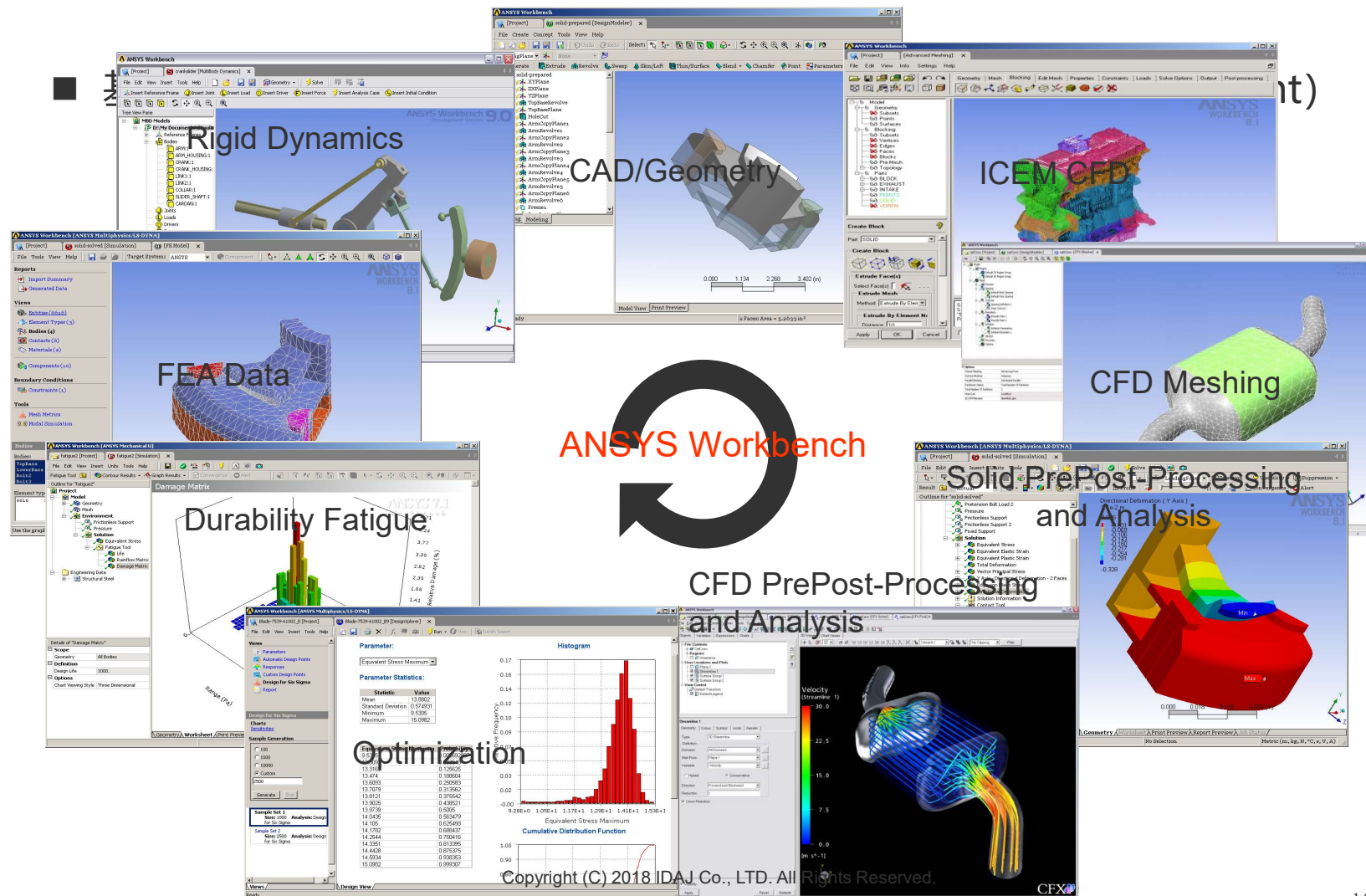
■ ANSYS Fatigue Module

- 内嵌于Ansys Mechanical中的疲劳分析模块
- 可以在应力分析的基础上进一步进行产品的疲劳寿命分析
- 可进行应力疲劳分析和应变疲劳分析，具有完善的应力修正方法和丰富的结果后处理工具。

■ ANSYS nCode DesignLife

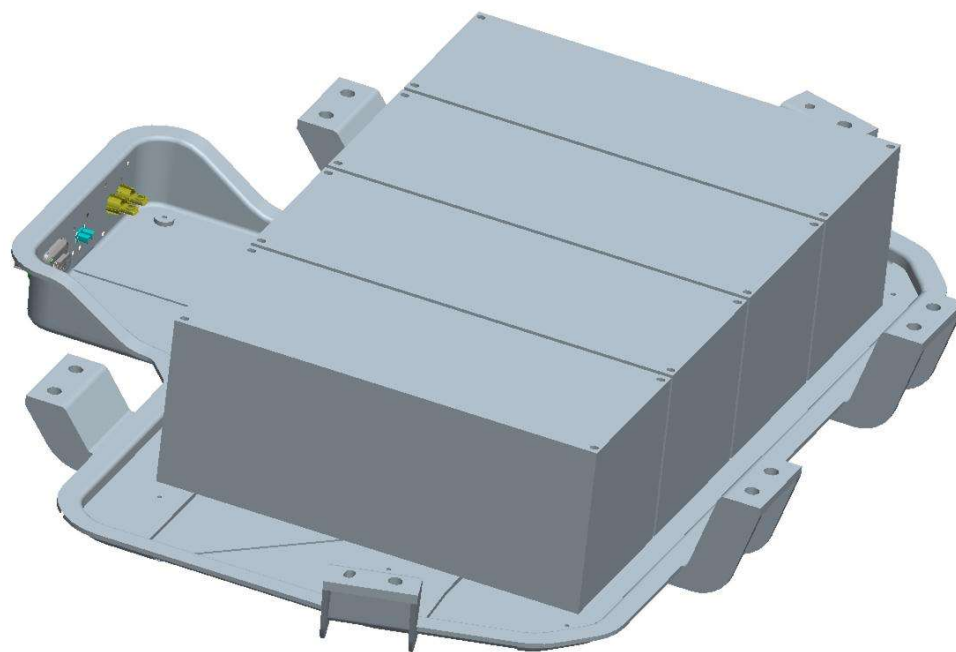
- 是疲劳领域最优秀的软件之一，有悠久的历史；
- 同ANSYS Mechanical强强联合，实现了在Workbench 平台上的高级疲劳分析功能；
- 具备先进的疲劳求解器、丰富的材料疲劳数据库、高级的信号处理工具、强大的疲劳后处理功能；
- 被广泛应用于汽车、通用机械、船舶、能源电力、铁道机车、航空航天等各行各业的研发和设计过程中。

Workbench -整合ANSYS各个分析模块



应用案例介绍

项目说明

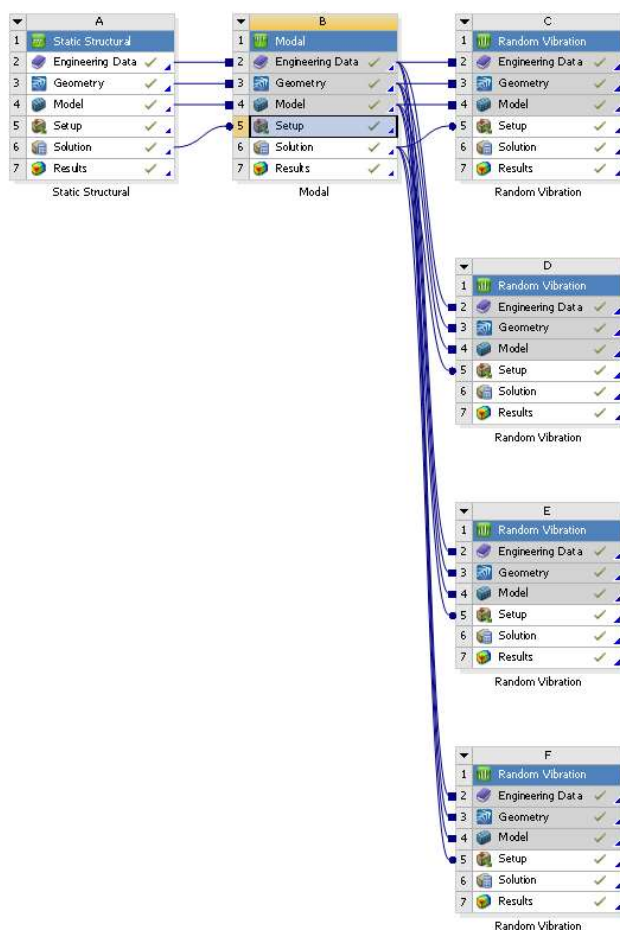


- 参照GBT 31467.3国家标准要求，采用ANSYS软件对电池包进行仿真；
- 主要仿真其中的7.1章节的振动实验；

仿真方案

- 振动实验的仿真属于ANSYS的随机振动仿真类型；
- 随机振动仿真需要先有模态数据，所以需要先进行模态仿真；
- 对应工况的模态仿真属于安装状态下的模态分析，需要先进行施加重力载荷的静应力分析，以得到自重状态下的预应力分布；

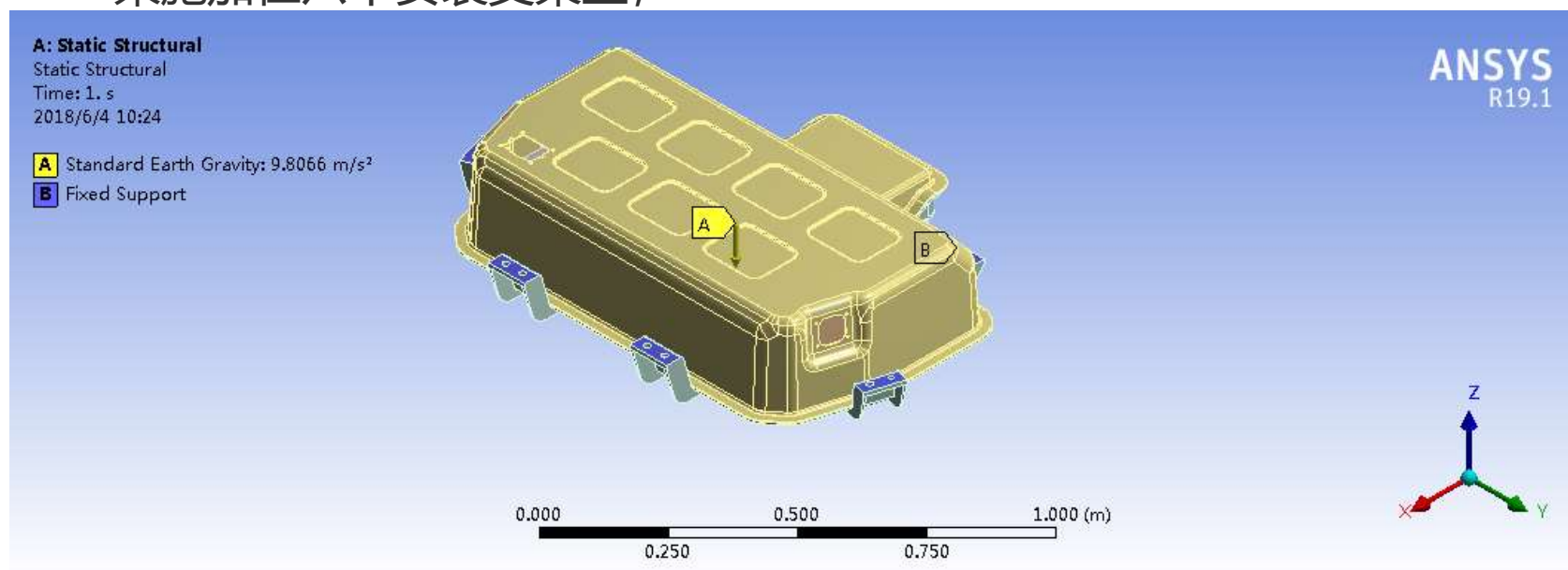
ANSYS WorkBench中仿真流程



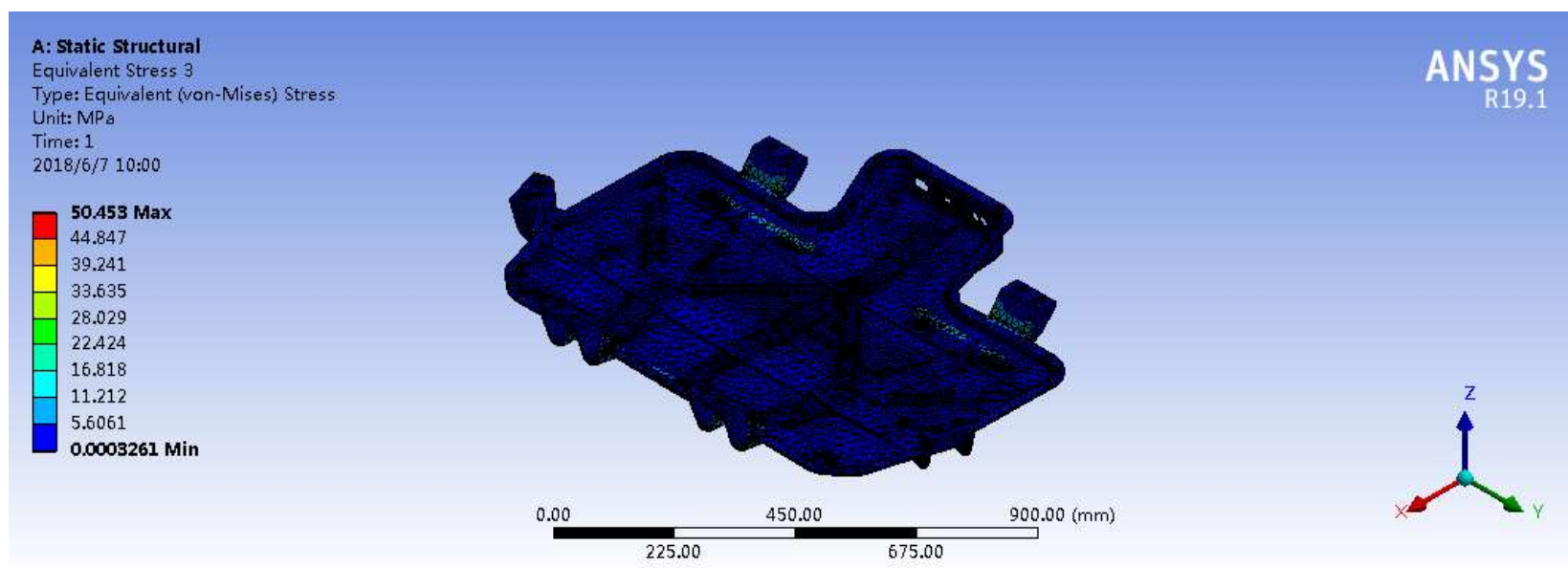
- 按照上面的分析，在ANSYS WorkBench中建立如右图的仿真流程；
- 从左到右分别为静力分析、模态分析以及随机振动分析；
- 右侧共进行四个不同工况的随机振动分析，分别对应z轴、y轴（其它位置安装）、y轴（车辆成员仓下部安装）、x轴共四种情况；

自重分析

- 导入几何如下图（注：部分连接件因为在原始几何中为表面非实体，且对整体影响很小，予以忽略）；
- 图中沿负Z向施加重力载荷，重力加速度 $g=9.8066 \text{ m/s}^2$ ，固定约束施加在六个安装支架上；



计算结果——应力分布



模态分析

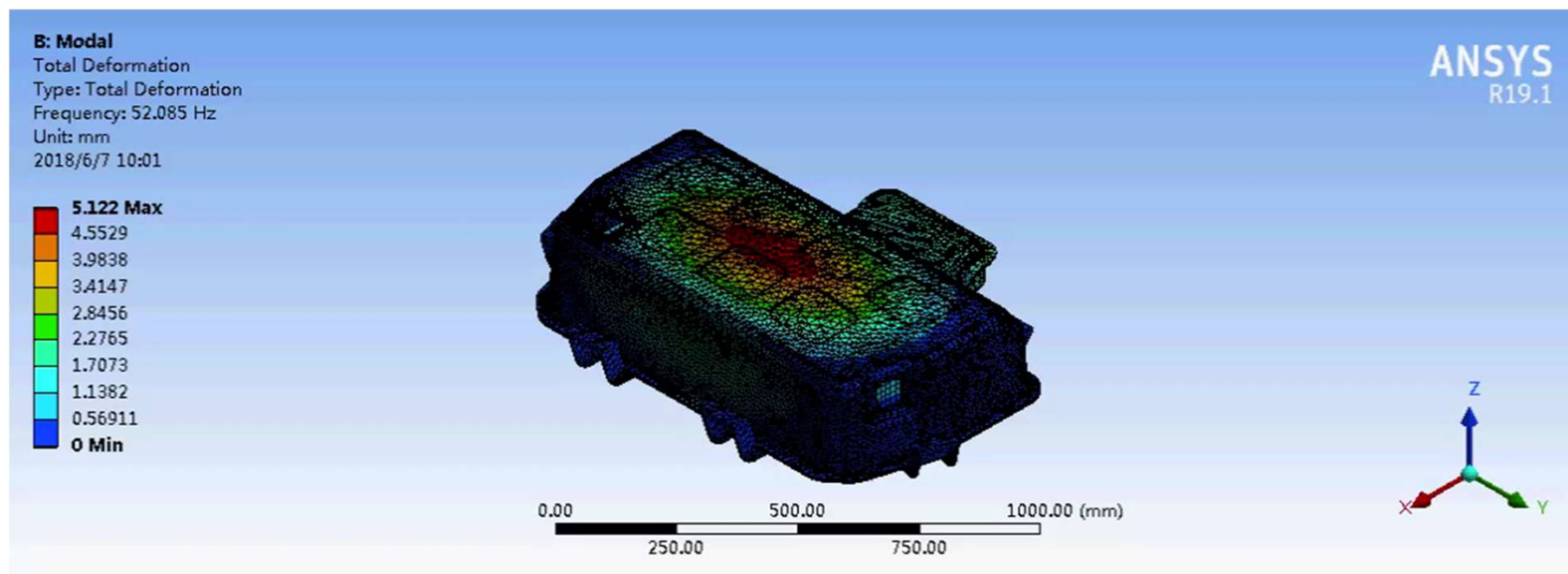
- 仿真设定: 为自重分析的后续步骤, 所以材料、约束等均与前面的自重分析相同;
- 由于后面的随机振动分析中, 给定的最大频率为200Hz, 因此按照1.5倍范围设定最大频率为300Hz;
- 最终提取了前18阶模态频率, 从质量贡献比例看, 三个方向质量贡献度均达到0.99以上, 所以这个频率范围足够满足要求;

模态分析结果

模态阶次	模态频率 [Hz]
1	52.085
2	66.322
3	69.67
4	74.959
5	80.301
6	91.145
7	100.62
8	102.03
9	119.45
10	154.6
11	176.6
12	198.12
13	220.51
14	222.71
15	233.17
16	244.8
17	283.44
18	296.04

模态分析结果

- 一般占主导地位的是—阶振动模态，这里给出了一阶振动模态的动画；



随机振动分析

■ 仿真目标:

- 在前面自重分析产生的预应力作用下，对纵向、侧向和垂直三个方向进行随机振动分析，以评估电池包在复杂路况载荷下的有效性；

■ 仿真类型:

- 随机振动分析，也称功率谱密度分析（PSD）

■ 仿真输入条件:

- 是前面自重分析和模态分析的后续步骤，除载荷外，其它材料、约束等设定与前面相同；

随机振动分析（续）

■ 载荷:

- 随机振动分析中的载荷是将随机的时域输入激励转换为频域的输入频谱，施加在底座的固定约束处；
- Z轴载荷按照GB/T标准给定，如下；

表 2 z 轴 PSD 值

频率 Hz	功率谱密度(PSD) g^2/Hz	功率谱密度(PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.05	4.81
10	0.06	5.77
20	0.06	5.77
200	0.000 8	0.08
RMS	1.44 g	14.13 m/s^2

随机振动分析（续）

■ 载荷:

- Y轴载荷分成员仓底部安装和其它位置安装两种情况，分别如下；

表 3 y 轴 PSD 值

频率 Hz	功率谱密度(PSD) g^2/Hz	功率谱密度(PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.04	3.85
20	0.04	3.85
200	0.000 8	0.08
RMS	1.23 g	12.07 m/s ²

表 4 y 轴 PSD 值(蓄电池包或系统的安装在车辆成员仓下部)

频率 Hz	功率谱密度(PSD) g^2/Hz	功率谱密度(PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.01	0.96
10	0.015	1.44
20	0.015	1.44
50	0.01	0.96
200	0.000 4	0.04
RMS	0.95 g	9.32 m/s ²

随机振动分析（续）

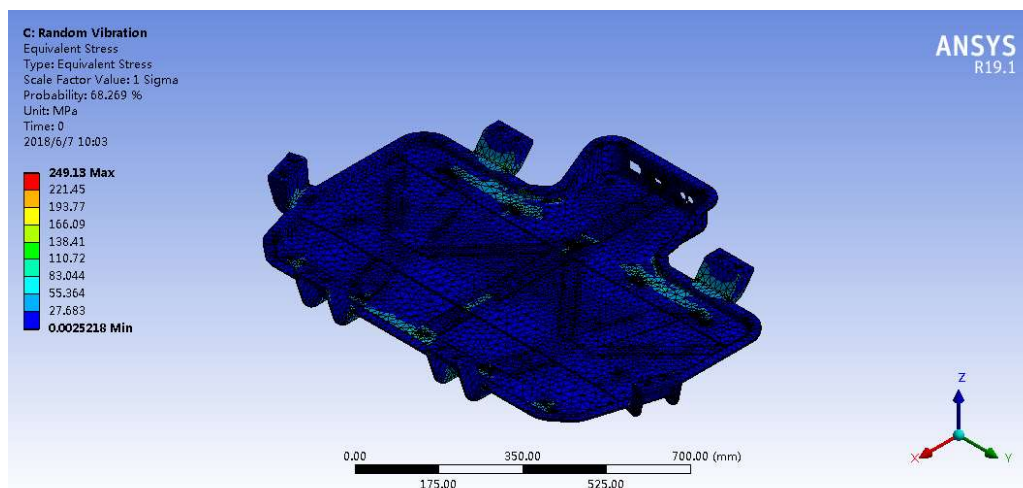
■ 载荷:

● X轴载荷如下:

表 5 x 轴 PSD 值

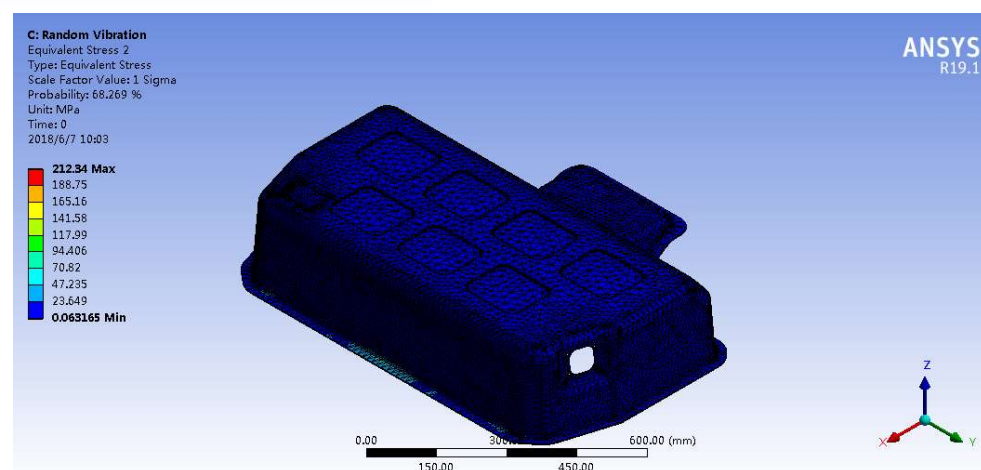
频率 Hz	功率谱密度(PSD) g^2/Hz	功率谱密度(PSD) $(m/s^2)^2/Hz$
5	0.012 5	1.20
10	0.03	2.89
20	0.03	2.89
200	0.000 25	0.02
RMS	0.96 g	9.42 m/s^2

Z轴随机振动1 σ 应力分布

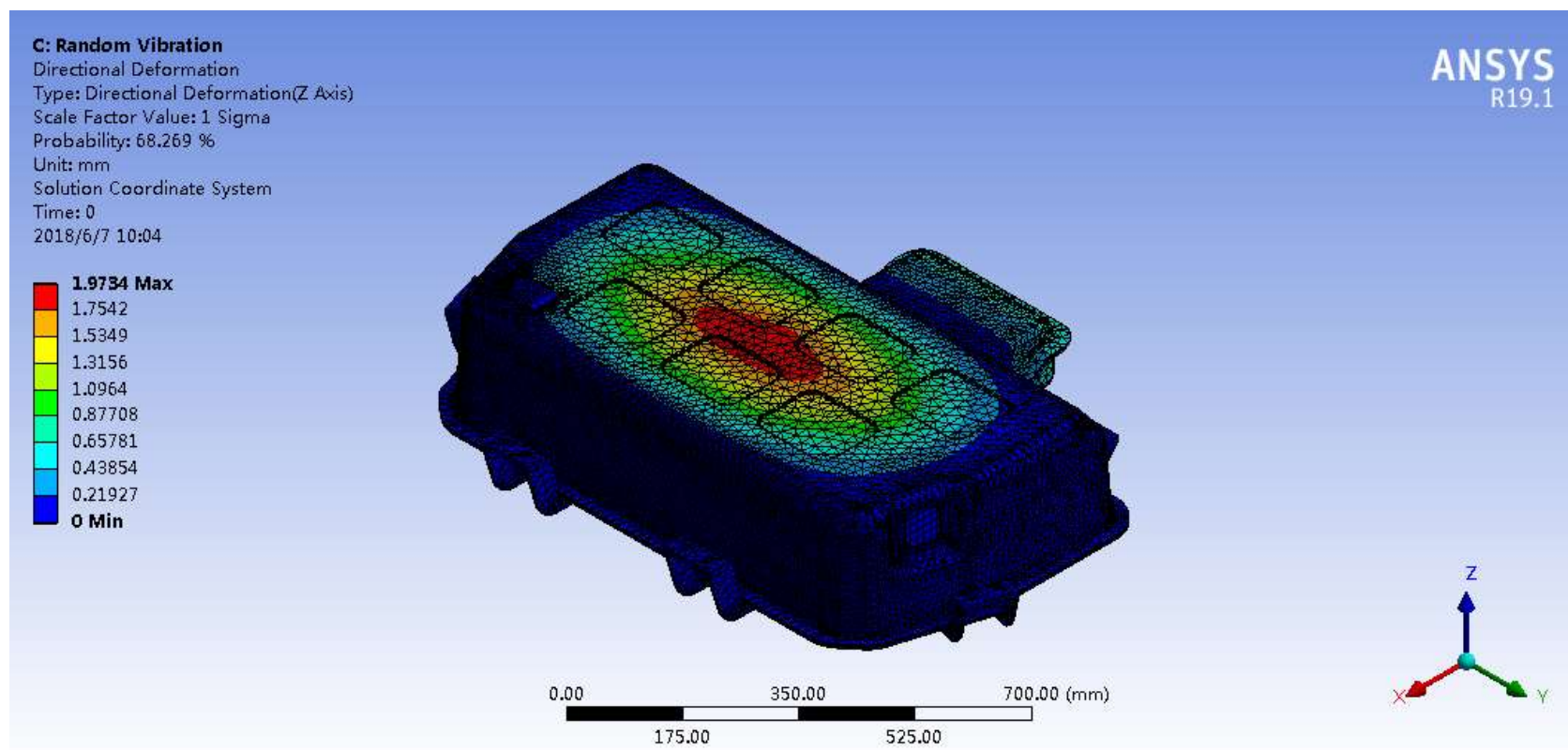


■ 下箱体

■ 上箱体



Z轴随机振动位移分布



随机振动结果分析

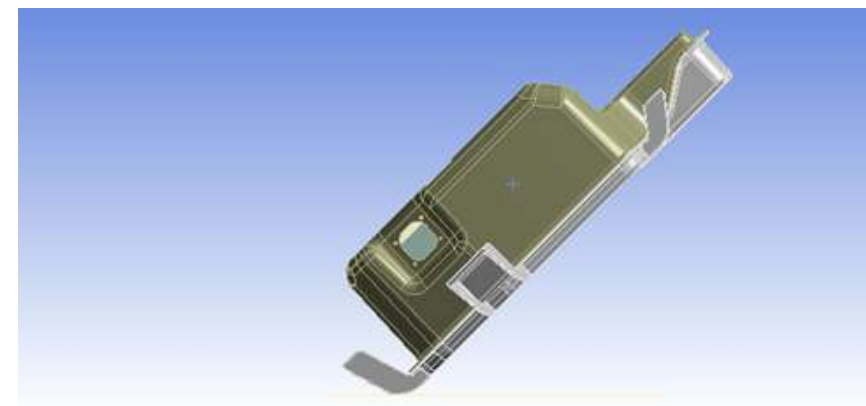
方向	最大位移 (mm)	最大等效应力 (MPa)	上箱体最大等效应力 (MPa)
Z轴	1.9734	249.13	212.34
Y轴 (其它位置)	0.17289	83.255	30.568
Y轴 (成员仓下)	0.15583	74.66	26.313
X轴	0.21629	128.69	71.893

随机振动结果分析

- 随机振动分析中，1 σ 应力意味着68%情况下会出现的结果；不推荐使用2 σ 应力（95%）和3 σ 应力（99.99%）；
- 1 σ 应力和位移的最大值均出现在Z轴方向，最大位移位于顶盖中间，最大应力位于支架根部，上箱体的最大应力位于与下箱体连接的部位；
- Y轴和X轴的振动应力最大值同样出现在支架根部，而位移最大值则分别出现在电池模组顶部和上箱体中部；
- 最大1 σ 应力约249MPa，已经高于铝的屈服强度，同时上箱体的最大1 σ 应力约212MPa，更明显高于PP材料的拉伸强度和弯曲强度，所以在Z轴振动的情况下有可能出现破坏，危险部位则主要是支架根部及上箱体与下箱体连接部位。其它几种振动情况处于安全范围内。

跌落分析

- 跌落碰撞的过程时间短（毫秒量级），结构变形剧烈，因此需要采用显式动力学进行分析，我们采用ANSYS Explicit-STR进行分析；
- 电池包从2米高处跌落，为节省分析时间，直接算出发生接触前的跌落速度作为初始速度条件，从接触开始进行计算；
- 电池包一般重侧容易先跌落并发生破坏，因此我们取如图45°角度进行计算；

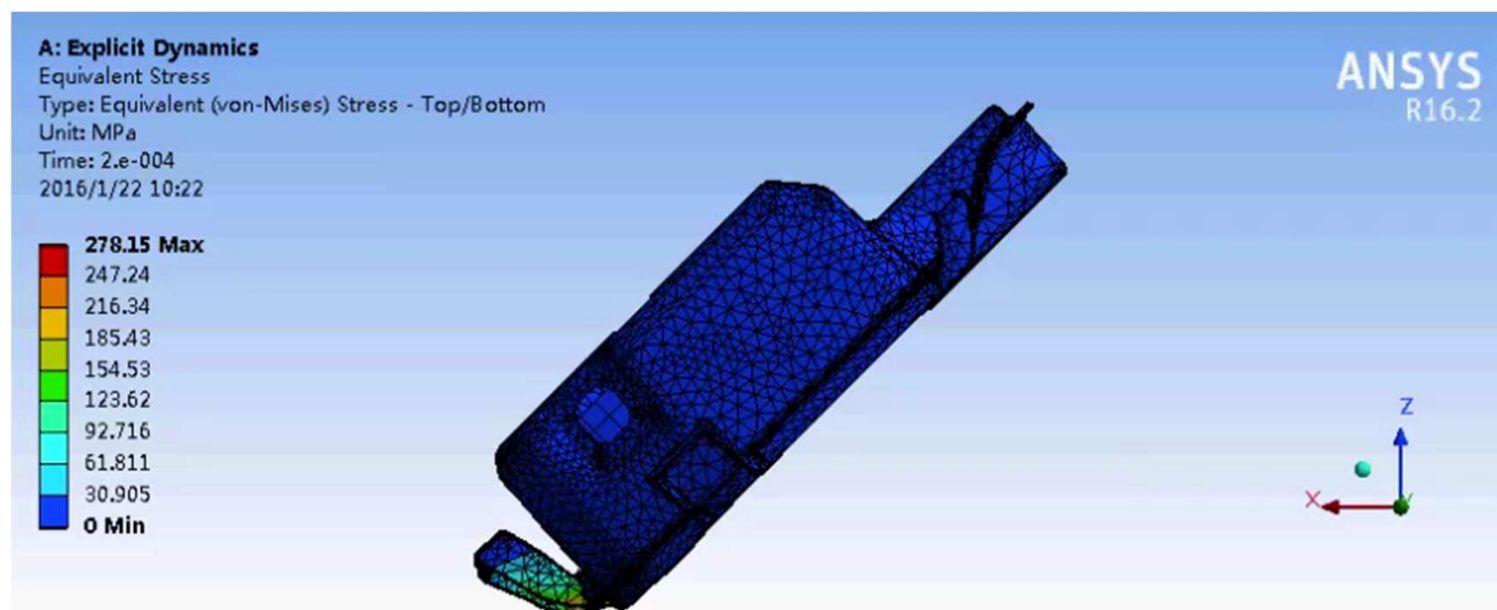


仿真设定及计算过程

- 电池包与地面接触采用Rough接触（法向可脱离，不可切向滑动），其余电池包内部接触采用bond接触（不可脱离），暂不考虑其破坏；
- 分析时间长度设为0.2 ms，显式动力学分析的时间步长由软件根据材料属性等决定（与载荷无关），本次分析中在1e-9 秒量级；
- 共计算40326个时间步，耗时约618分钟（4核笔记本电脑计算）；

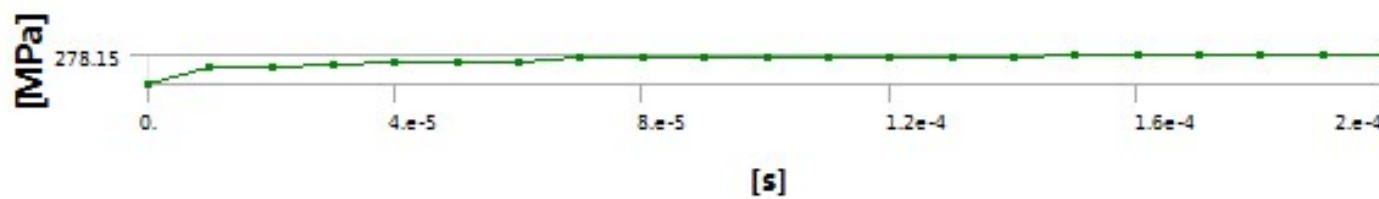
计算结果

- 整体应力变化过程（变形放大58倍）；



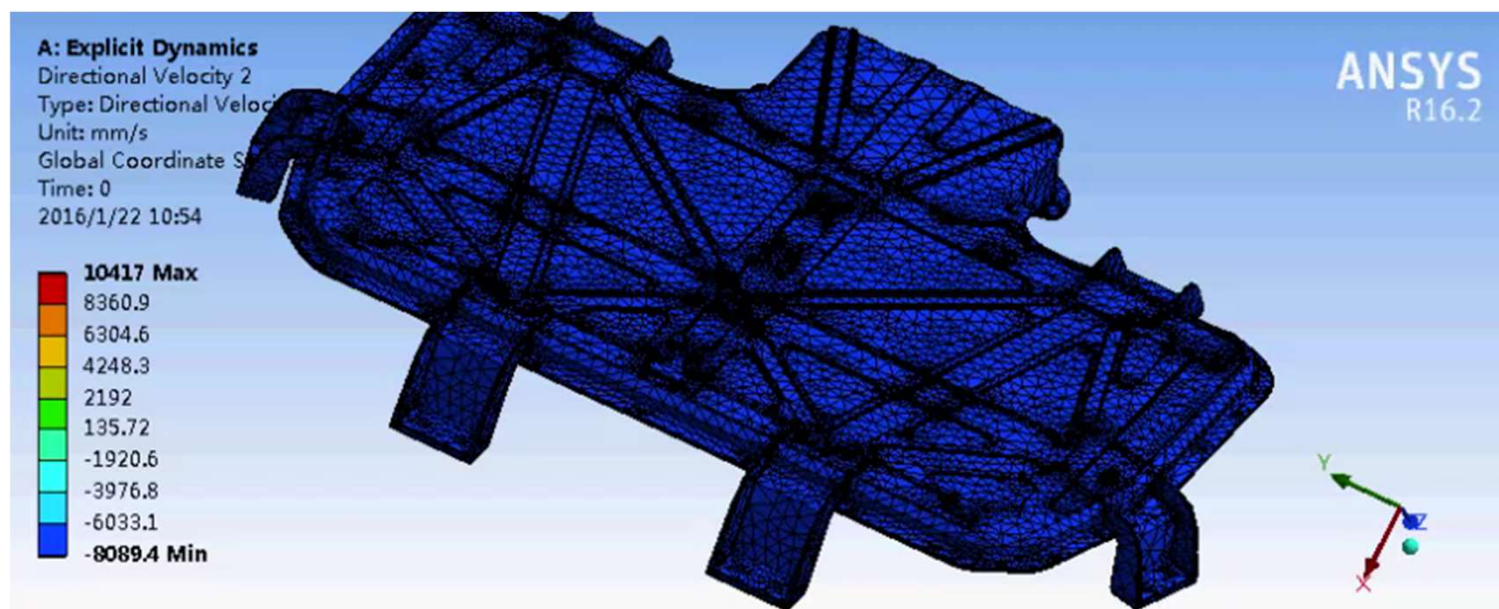
计算结果

- 最大应力随时间变化过程;



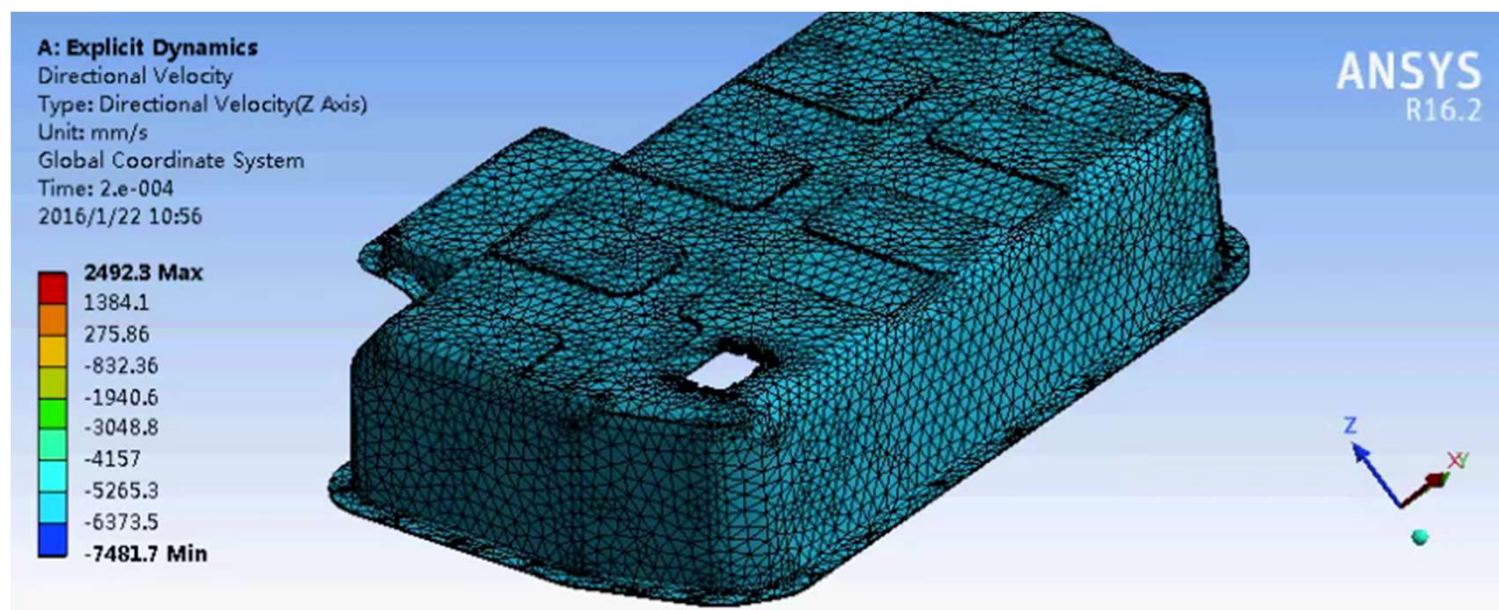
计算结果

- 下箱体速度变化过程（变形无放大）；



计算结果

- 上箱体速度变化过程（变形无放大）；



其它案例

热应力分析案例

■ 仿真目标:

- 对电池模块进行热应力分析，以分析热应力和变形是否导致部件的失效；
- 热应力分析一般仅对电池模块进行，而不对电池包进行，因为最大热应力总是出现在电池模块上；

■ 仿真类型:

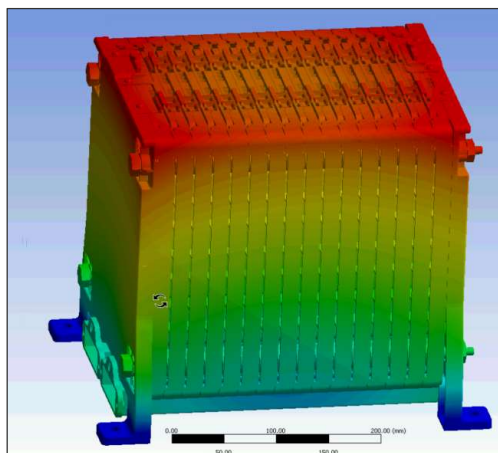
- 静力分析（带温度载荷）

■ 仿真输入条件:

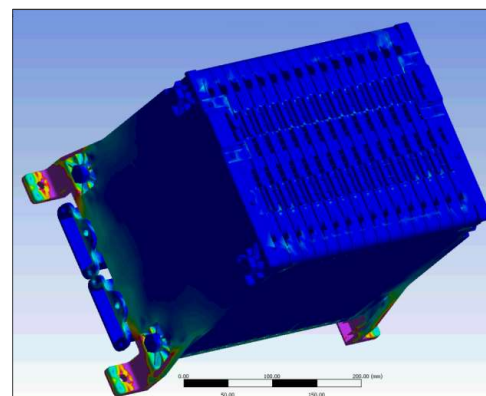
- 结构几何
- 材料属性（弹性模量、泊松比、热膨胀系数）
- 温度载荷（一般由ANSYS MAXWELL分析获得）
- 约束条件

热应力分析案例

■ 仿真结果:



位移分布



等效应力分布

总结

Ansysis电池包解决方案的优势

- ANSYS的MBU具备结构、热、显式动力学、疲劳等多种仿真能力，可以对电池包进行包括自重分析、模态分析、随机振动分析及冲击、跌落分析、耐久性分析等在内的多种类型分析，构成完整的结构仿真解决方案；
- Ansys的Workbench环境，可以实现多种分析类型之间共享几何、网格、材料设定等，并可以将上一个分析步的结果（如模态分析）传递给下一个分析步（如随机振动分析），从而大大减少相应的工作量；
- ANSYS具备强大的多物理场耦合仿真能力，可以同时考虑电池的电化学仿真、散热的流体仿真等，并与电池包的结构仿真构成耦合；

Ansys电池包解决方案的优势（续）

- 多种经典软件强强联合，对各种分析类型提供最专业的，久经考验的解决方案；
- 统一的集成环境降低了软件的学习成本，方便快速入门；
- ANSYS丰富的材料数据库、与CAD软件的双向参数互动等都是软件的独有优势。

IDAJ的技术优势

- IDAJ具有多年在汽车行业仿真的经验和强大的技术实力，可以针对客户需求，提供量身定制的仿真解决方案，并提供相应的技术支持；

感谢倾听
期待与您的进一步合作 😊



扫一扫关注官方微信
获得第一手巡展报告下载资讯

联系我们

- web: <https://www.idaj.cn/>
- e-mail: support@idaj.cn
- Tel: 021-50588290; 010-65881497