

ICSC 2017

CAE for virtual product
CAE for innovation
CAE for process transformation

IDAJ CAE Solution Conference

锂离子动力电池包热管理解决方案

IDAJ技术部
涂海涛

主要内容

- 概述
- 电池标准模型的建立和标定
- 一维系统热管理
- 三维电池包热管理

主要内容

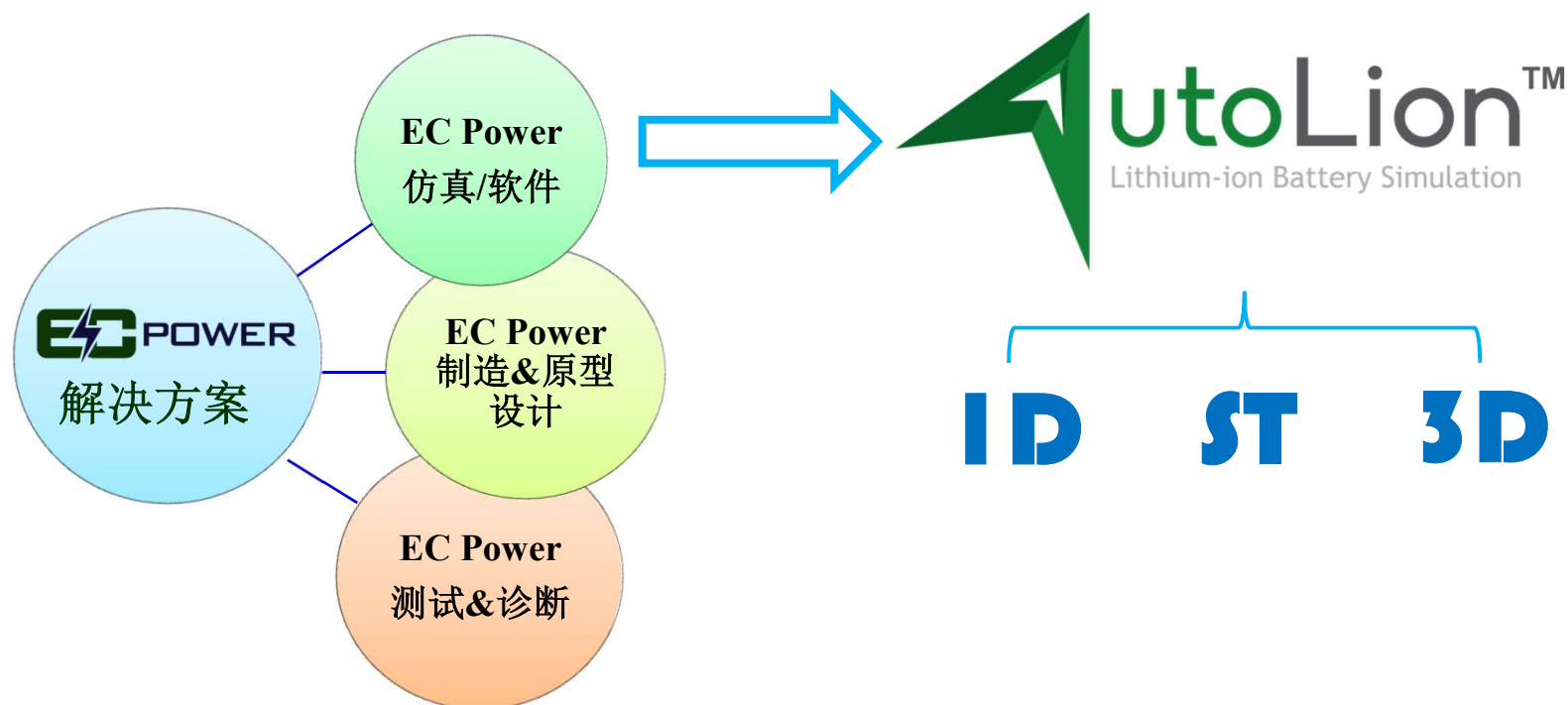
- 概述
- 电池标准模型的建立和标定
- 一维系统热管理
- 三维电池包热管理

EC Power公司和AutoLion软件包

EC Power公司

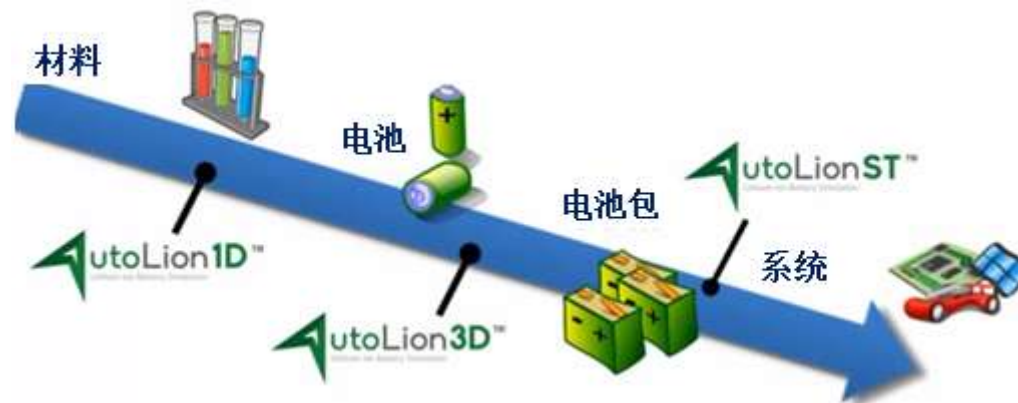
- 专门针对锂离子电池应用提供技术解决方案

- 应用领域包括车辆电气化，可再生能源存储，便携式电子设备以及电网管理等



AutoLion是怎样的一款软件包？

针对完整供应链的软件包：可进行从材料到系统的模拟



特点：

- 计算速度快（单充放电计算只需十几秒）
- 定期更新的材料数据库：基于超10万次纽扣试验
- 电化学-热耦合模型，准确预测电池在大温度范围内(-40到60°C)的电池性能
- 非常先进的电池老化模型，可同时考虑SEI增长、活性材料损失、析锂造成的电池衰减
- 电池安全性模拟：内部和外部短路、穿刺等

AutoLion软件包各模块功能介绍



快速高效，非常适合电池设计和优化计算。可作为三维电池热管理和一维系统模拟的标准模型标定工具。

功能优势:

- 可进行多种不同电池化学组分的快速评价&极端工况下的电池设计
- 可对影响电池输出性能和安全性的内部机理进行研究
- 可进行大工况范围内锂电池老化的可靠预测



嵌入到**GT**和**Simulink**中的电池系统设计和优化工具

功能优势:

- 可对电池系统构架选择、设计和操作进行仿真
- 具有成本和时间的效率性：在电池动力系统开发中首先进行系统设计和工况考量
- 可进行具有寿命和安全意识的操作策略开发。是考虑电池老化的首款系统软件。



进行锂电池热管理和安全性模拟的理想工具

功能优势:

- 可进行大工况范围内锂电池热管理的精确模拟&冷却系统的评价
- 可进行电池/电池堆的安全性模拟（内部短路、外部短路、穿刺等）

锂离子动力电池的热管理

■ 电池温度及温度场分布的影响

- 电池性能
- 电池寿命
- 电池安全性

■ 电池热管理分析的目的

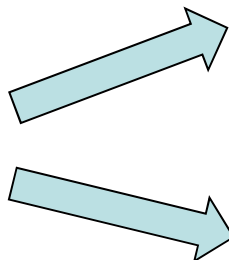
- 评估电池温度场的分布和变化
- 对电池/电池冷却系统的架构进行优化设计
- 对电池的经济性和安全性进行平衡

为什么使用AutoLion进行电池热管理？

- 电池热管理需要精确给定电池在真实工况下的实时放热功率（采用估算恒定热源的方法只适合初期粗略评价）
- AutoLion电化学-热耦合模型可精确预测大工况范围内电池的放热以及放热对电池性能的影响，尤其适合大功率大电池的模拟

使用AutoLion进行电池热管理的思路

一维电池标准模型的建立和标定



一维系统热管理：使用AutoLion ST + GT进行系统建模和仿真

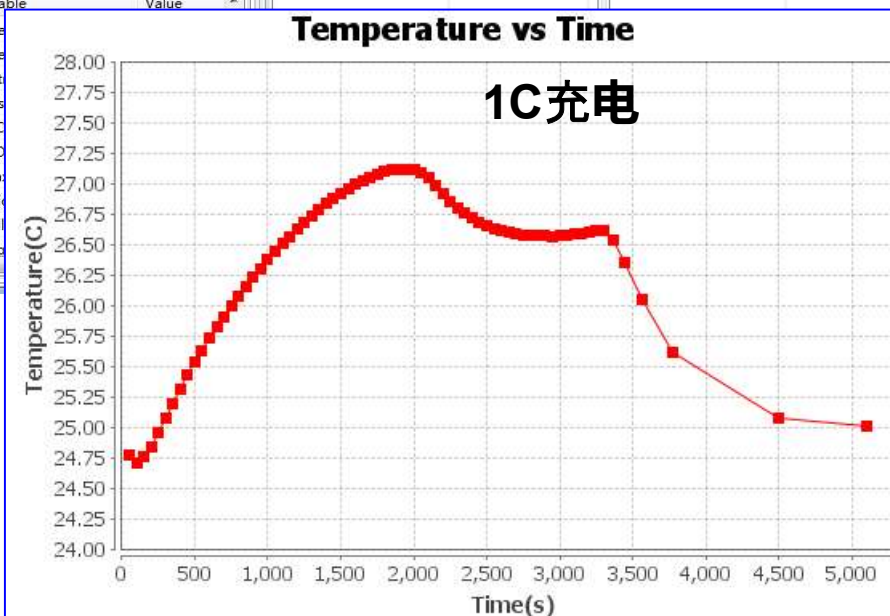
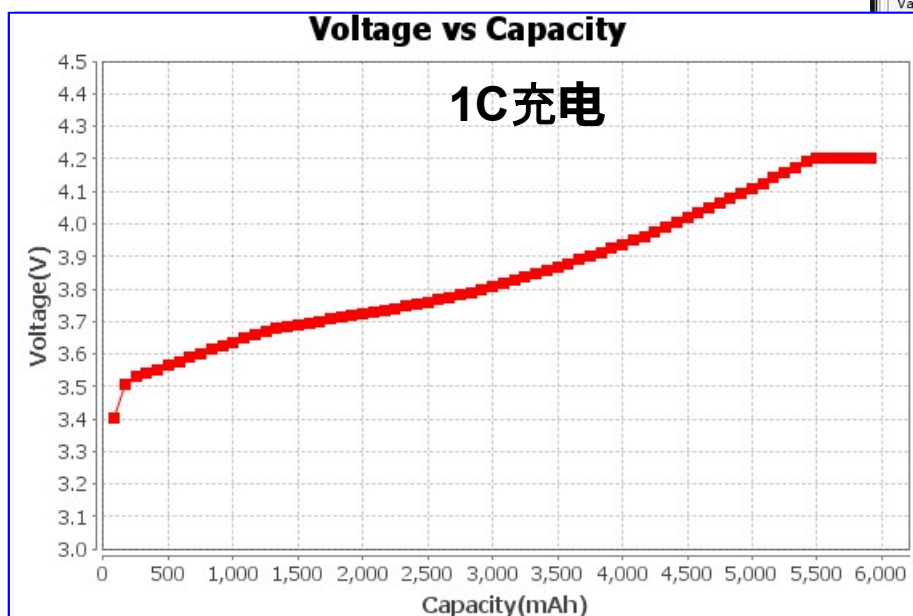
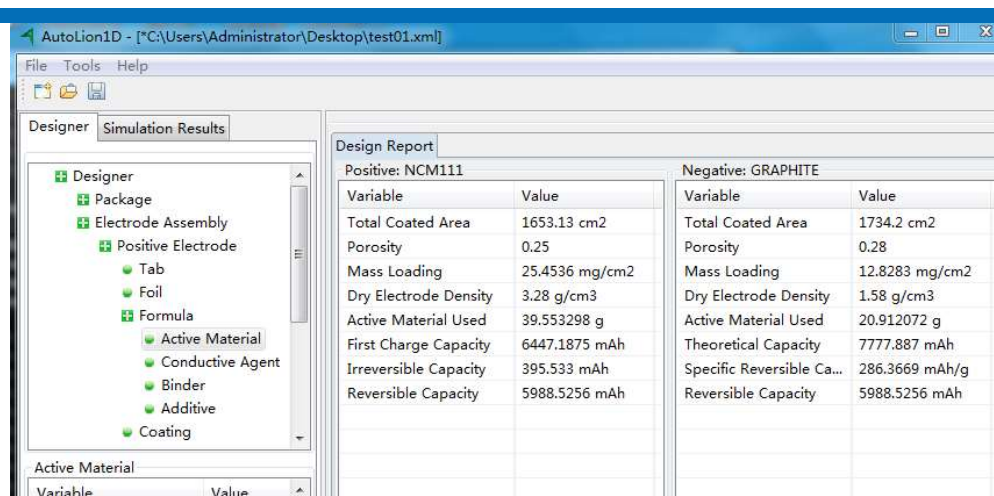
三维电池/电池包热管理：使用AutoLion 3D + Fluent进行电池/电池包建模和仿真

主要内容

- 概述
- 电池标准模型的建立和标定
- 一维系统热管理
- 三维电池包热管理

单电池标准模型的建立

- 使用工具：AutoLion 1D
- 输入要求：
 - 电池几何尺寸
 - 电极（正极、负极和箔片）尺寸和材料
 - 其它



单电池标准模型的标定

为什么需要模型标定？

- 用户提供的参数不足/某些参数测量成本较高
- 在已知参数有限的情况下，仍然实现模拟目标

模型标定的一般流程：

- 1. 室温小电流充放电
 - 工况：1/3C-rate~1/10C-rate
 - 目标：标定电池容量和电压的变化
- 2. 室温大电流充放电
 - 工况：nC-rate
 - 目标：标定电池电压和温度的变化
- 3. 不同温度下的充放电
 - 工况：1C-rate（低温时的充电可不作）
 - 目标：标定不同温度下的电池容量和电压变化

主要内容

- 概述
- 电池标准模型的建立和标定
- 一维系统热管理
- 三维电池包热管理

一维系统热管理

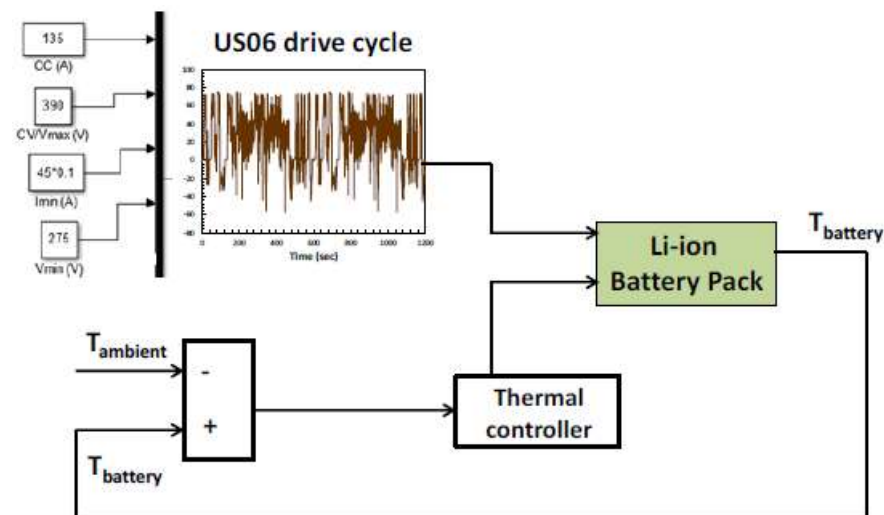
使用工具

- AutoLion ST + GT/Simulink
- 2018年AutoLion ST可完全嵌入到GT中
- 可以模拟热管理对电池包寿命的影响，是目前唯一能模拟电池老化的系统软件

一维系统热管理案例-热管理策略对电池包寿命的影响

模拟信息

- 锂电池：NCM/graphite
- 电池包配置：96S，3P
- 操作工况：US06驾驶工况
- 运行环境
 - 城市环境1：Portland, ME（年平均温度35℃）
 - 城市环境2：Phoenix, AZ（年平均温度10℃）
- 热管理策略
 - 最高允许电池温度比环境温度升高5℃
 - 使用空气冷却



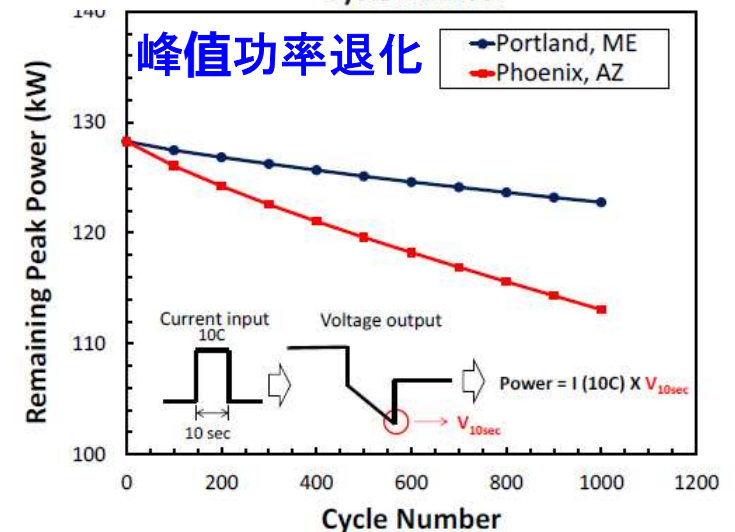
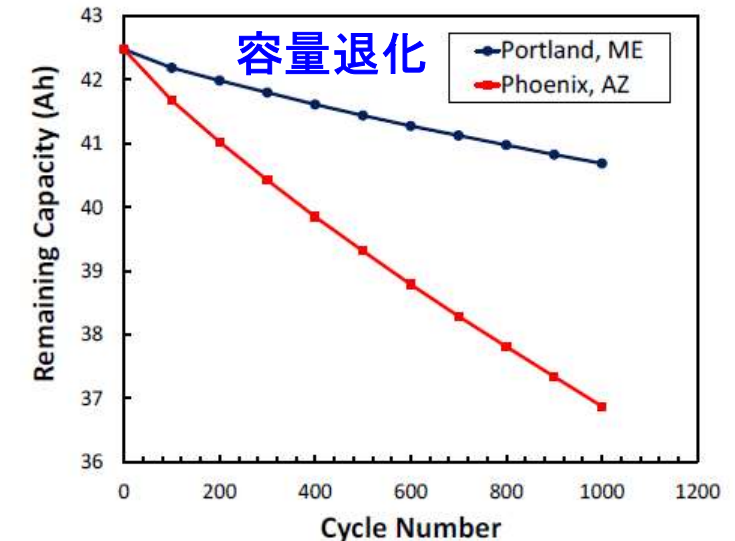
一维系统热管理案例-热管理策略对电池包寿命的影响

结果展示和分析

■ 1000次循环后的电池容量和峰值功率退化

- Phoenix (35℃) : ~ 15%的容量衰减, ~ 12%的峰值功率衰减
- Portland (10℃) : ~ 5%的容量衰减, ~ 3%的峰值功率衰减

■ 单电池和电池包设计 (电化学和热) 可进行即时修改并进行重新模拟



主要内容

- 概述
- 电池标准模型的建立和标定
- 一维系统热管理
- 三维电池包热管理

三维电池热管理分析的方法

稳态分析

- 给定固定的电池发热功率
- 发热功率可粗略估算

瞬态分析

■ 简单瞬态分析

- 给定瞬时电池发热功率
- 发热功率事先计算：AutoLion 1D
- 所有电池均相同且均匀分布

■ 实时双向耦合分析

- AutoLion 3D + Fluent
- 电池发热功率实时计算
- 可以考虑电池之间的不平衡和不均匀分布

稳态热管理分析

目的

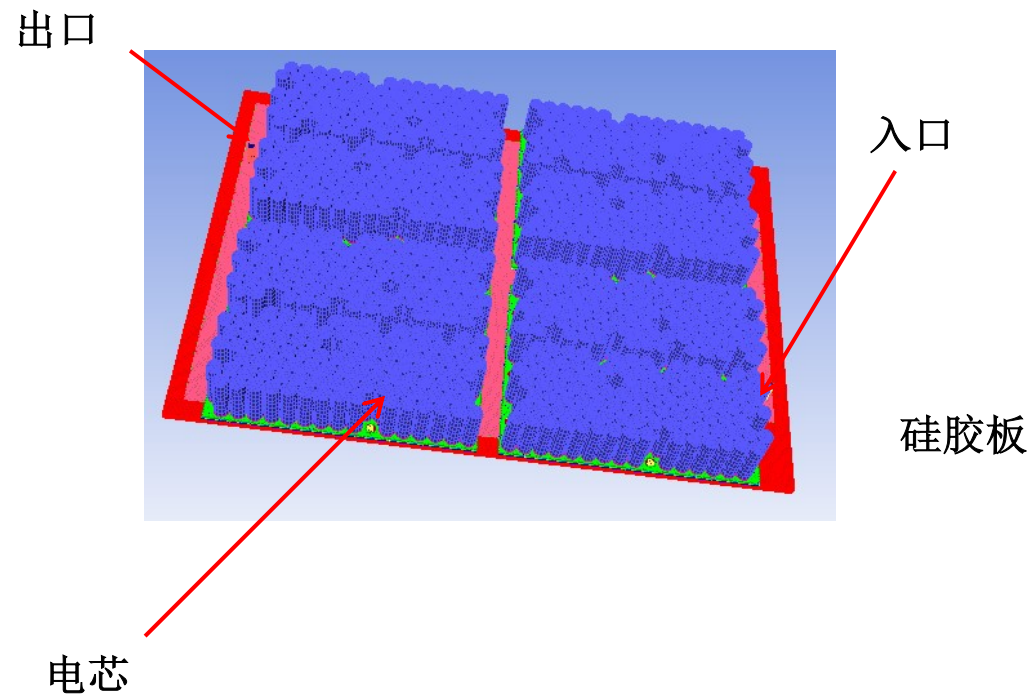
- 初步评价电池系统温升及散热
- 初步评价冷却系统性能（如压损等）

特点

- 对计算输入要求低（电池的固定放热功率）
- 不适合真实工况模拟，只用来初步评估设计

稳态热管理的分析案例

几何模型



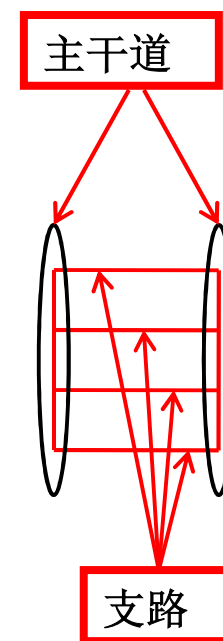
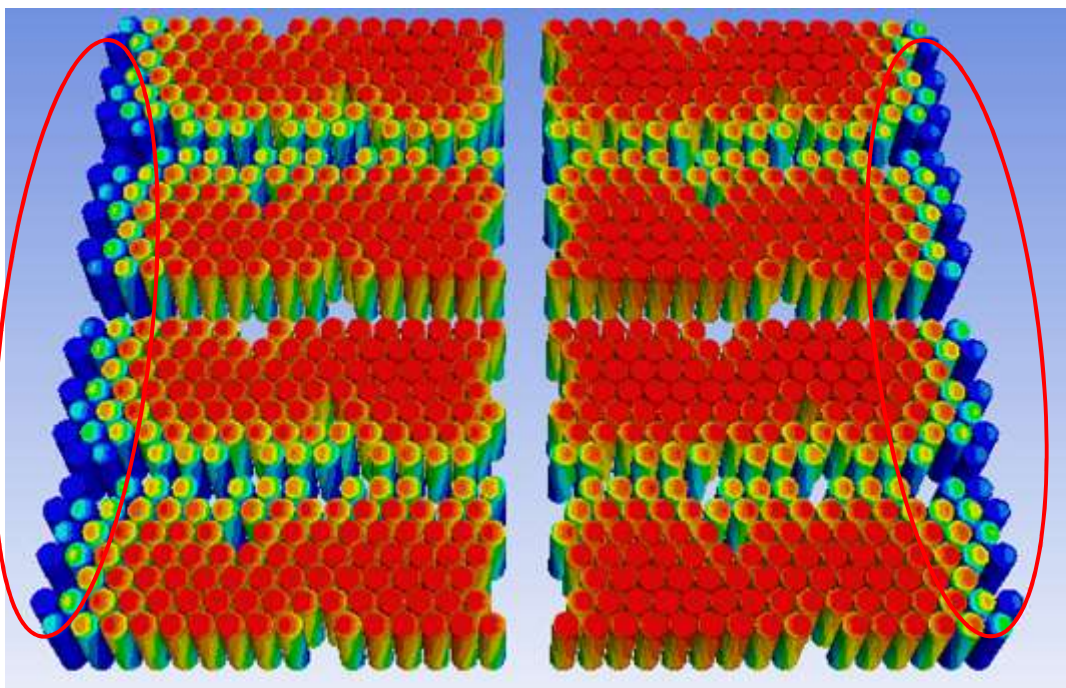
稳态热管理的分析案例

边界条件

- 入口：进口质量流量和固定温度
- 出口：固定压力（大气压）
- 电池热源：共4个模组，总体设置热源项（平均分布）
- 壁面：对流边界条件，给定环境温度和对流换热系数

稳态热管理的分析案例

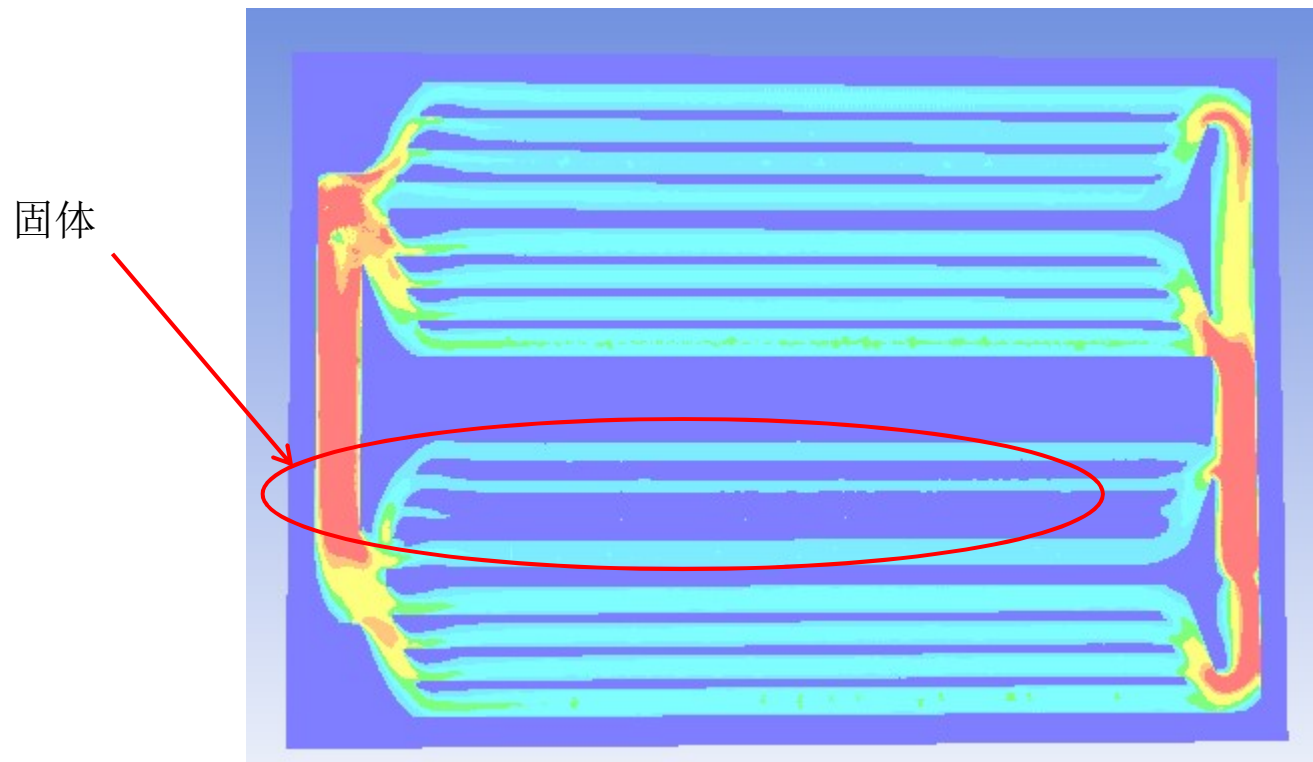
计算结果展示-电池温度



- 电池总体温差约为2 °C，表明温度分布比较均匀；
- 两侧呈现相对低温，主要和流道特性有关。

稳态热管理的分析案例

计算结果展示-水侧流速



Z=-0.075m剖面温度分布

流道压差约1.4kPa

瞬态热管理分析

目的

- 相对稳态计算，可更精确地评价电池放热、温升及温度分布
- 更精确地评价冷却系统性能

特点

- 对计算输入要求高（电池的瞬态放热功率）
- 适合真实工况模拟

瞬态热源项的计算

简单瞬态分析

AutoLion 1D  热源  Fluent

- 将真实工况输入换算到每个单电池
- 基于标定后的标准模型，使用AutoLion 1D计算，得到随时间变化的单电池放热功率曲线

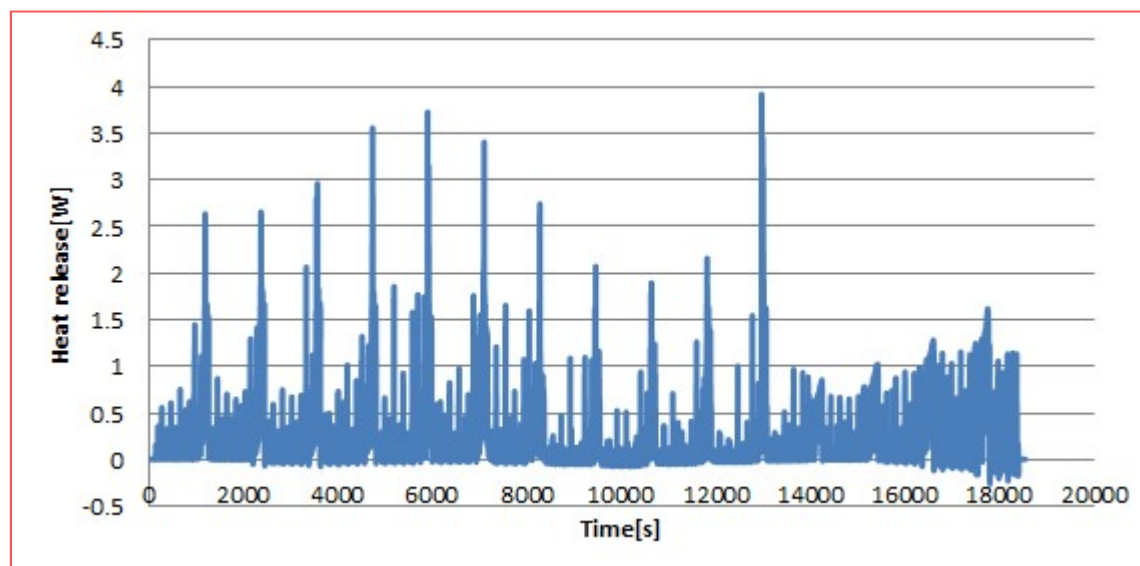
实时双向耦合分析

AutoLion 3D  热源  温度场  Fluent

- 将标定后的标准模型读入AutoLion 3D
- 使用AutoLion 3D跟Fluent进行实时双向耦合计算，每个时间步交换数据
 - 优点：由于温度场会影响电池性能，故双向耦合计算的结果更精确
 - 缺点：计算量比简单瞬态计算大

AutoLion 1D单独计算热源项

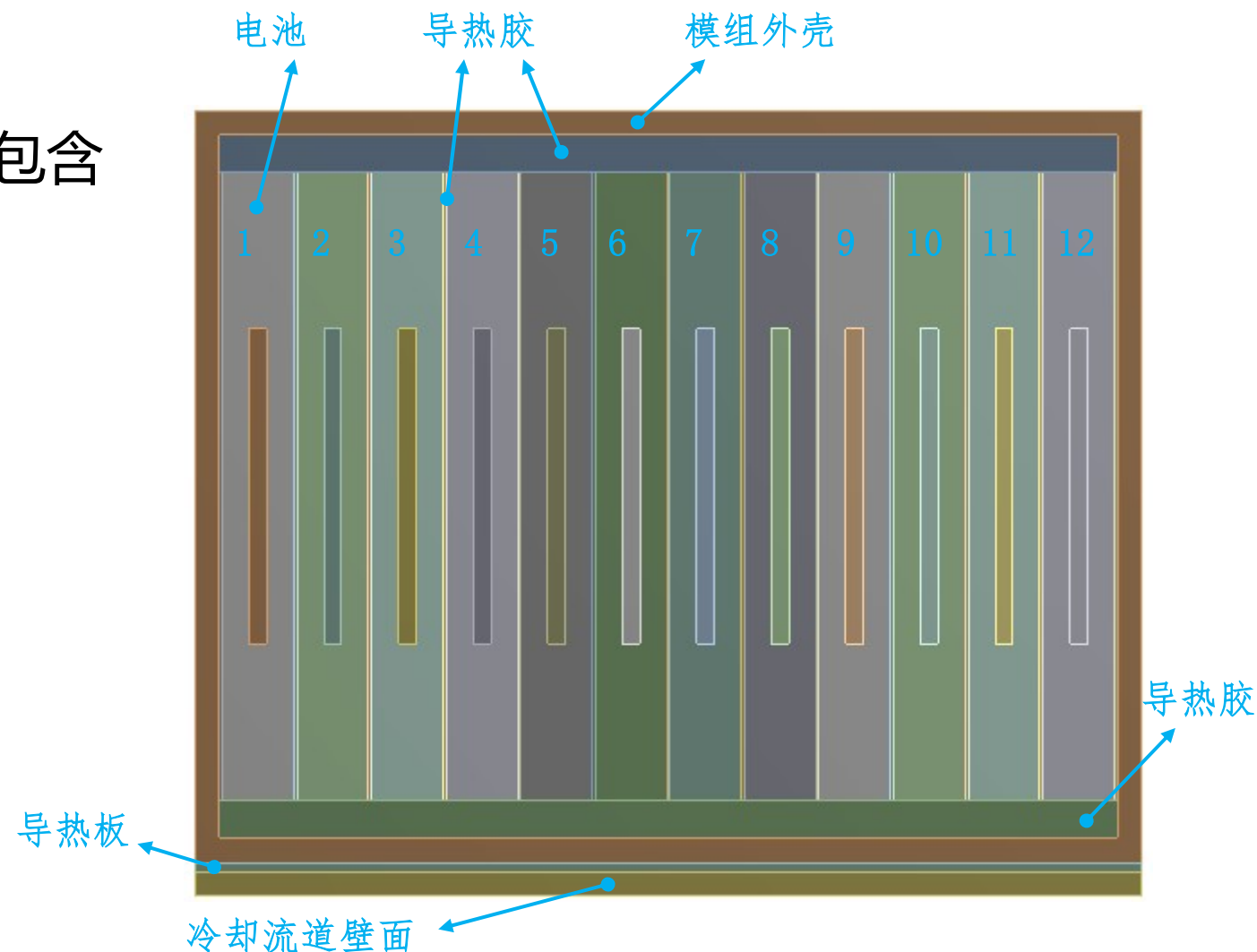
- AutoLion 1D可快速计算电池在真实工况下的放热功率。下图为某NCM/graphite电池在某真实工况下的放热曲线（计算时间约1.4h）：



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例1

模组结构

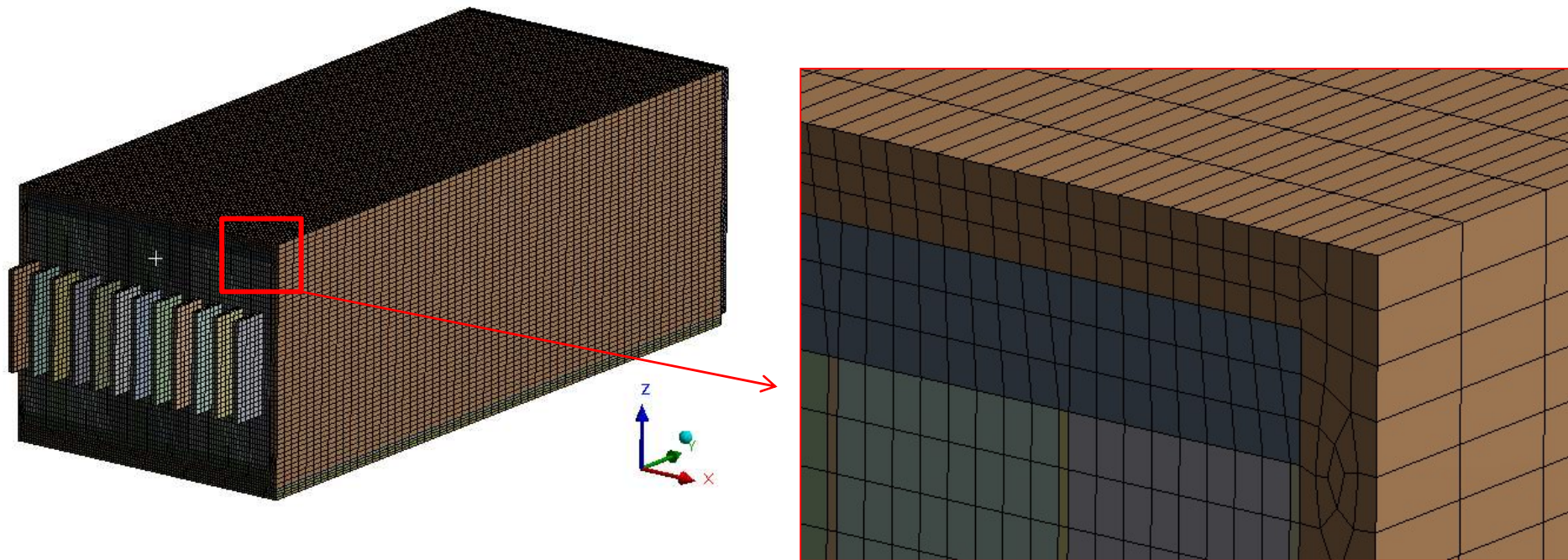
- 计算域不包含冷却系统



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例1

网格信息

- 总网格数：514,003
- 网格类型：除壳体局部外，其余全为六面体网格



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例1

工况及边界条件

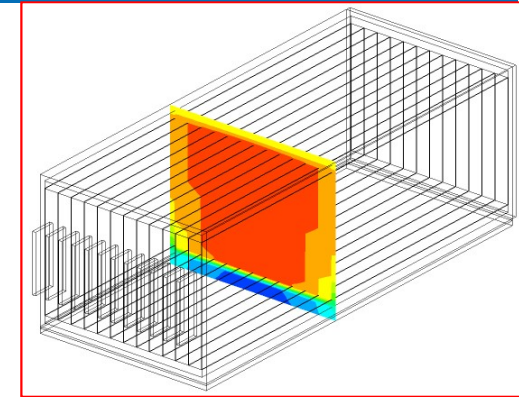
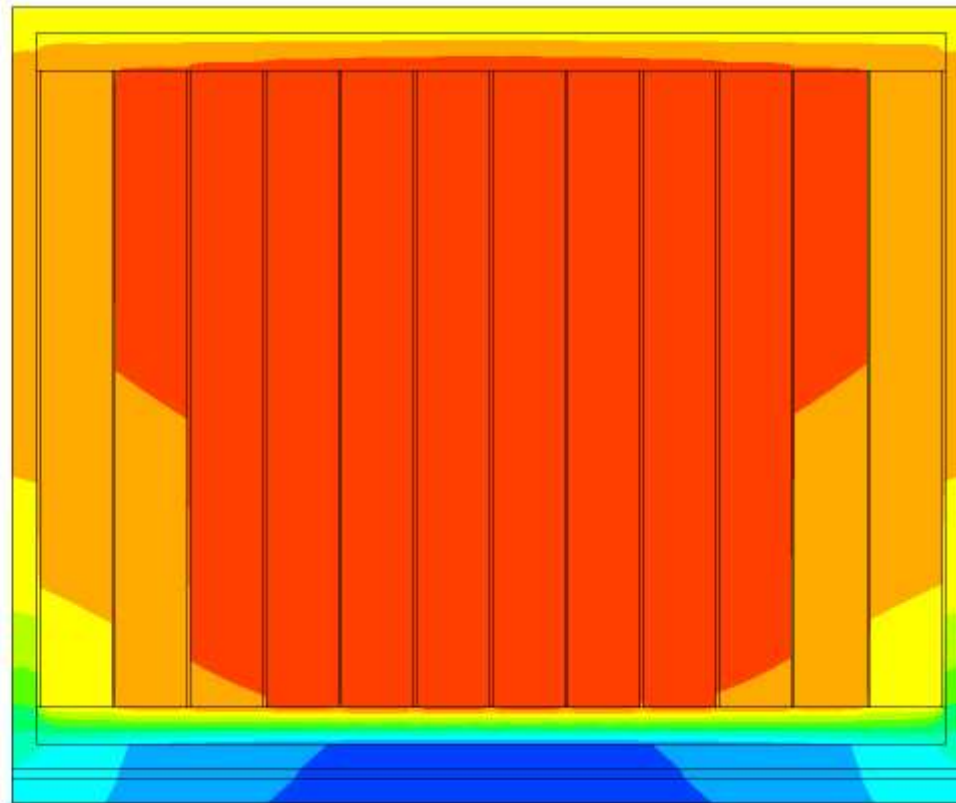
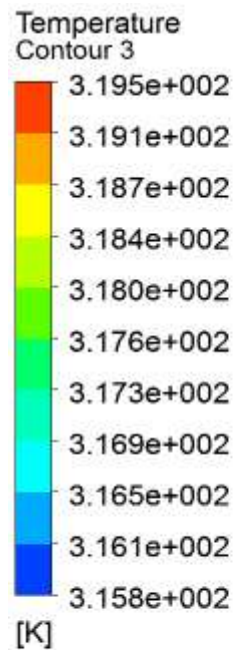
- 1C放电
- 边界条件：电池外部给定环境温度和换热系数

计算信息

- CPU信息
 - Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2450L 0 @ 1.80GHz
 - 单核计算
- 时间信息
 - 物理时间3600s
 - 计算用时约1.5h

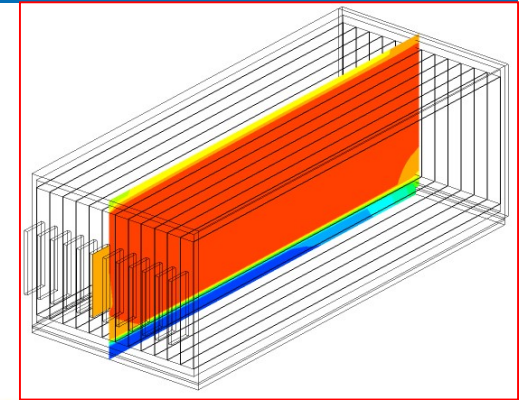
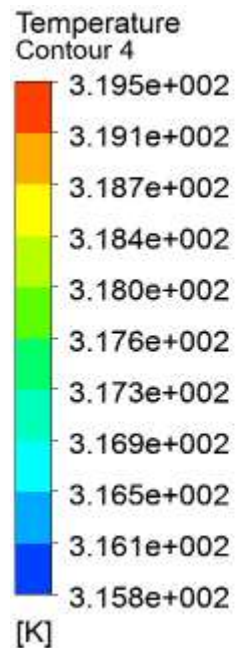
AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例1

结果展示-某横截面温度分布 (3600s)



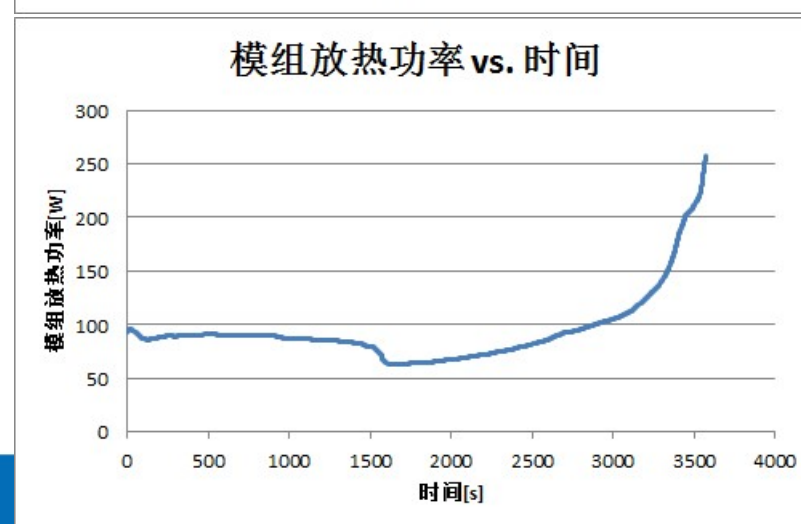
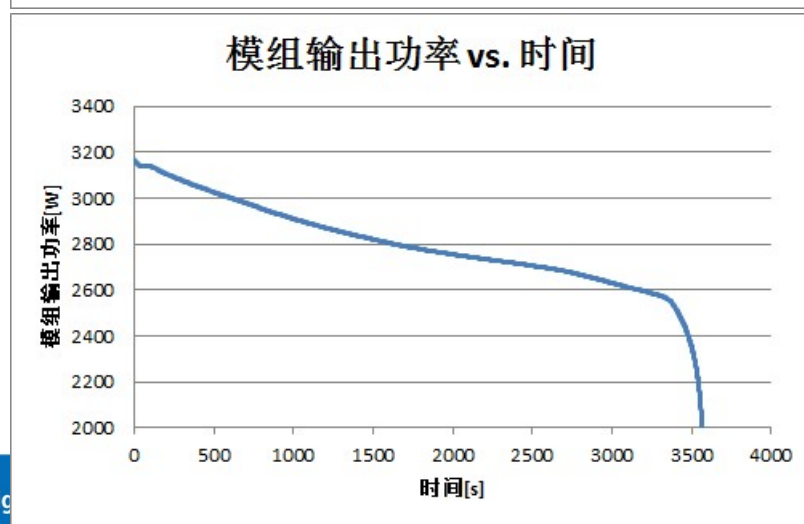
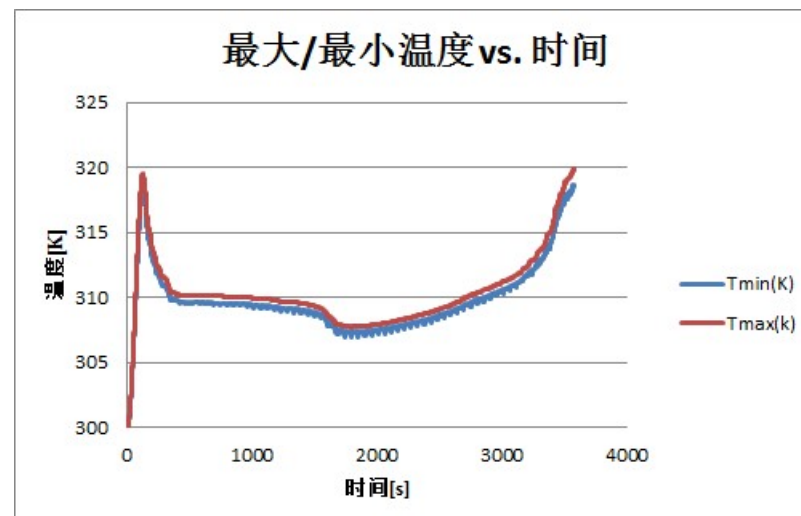
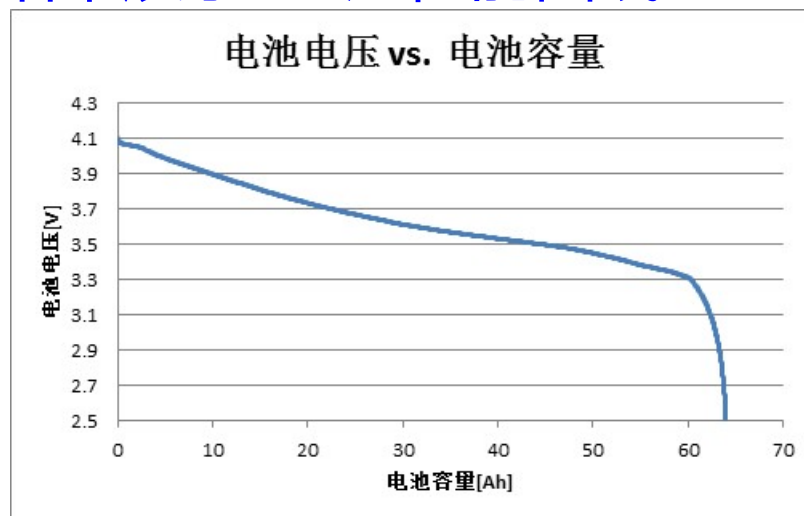
AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例1

结果展示-某纵截面温度分布 (3600s)



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例1

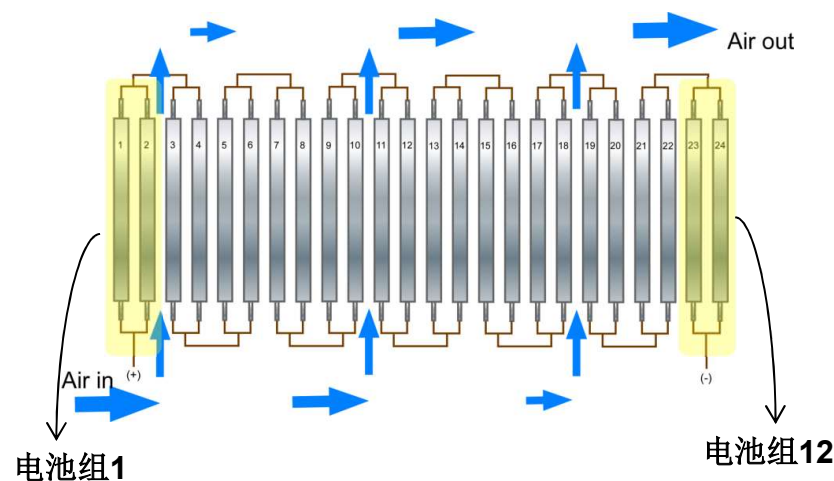
结果展示-电池性能曲线



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例2

电池信息

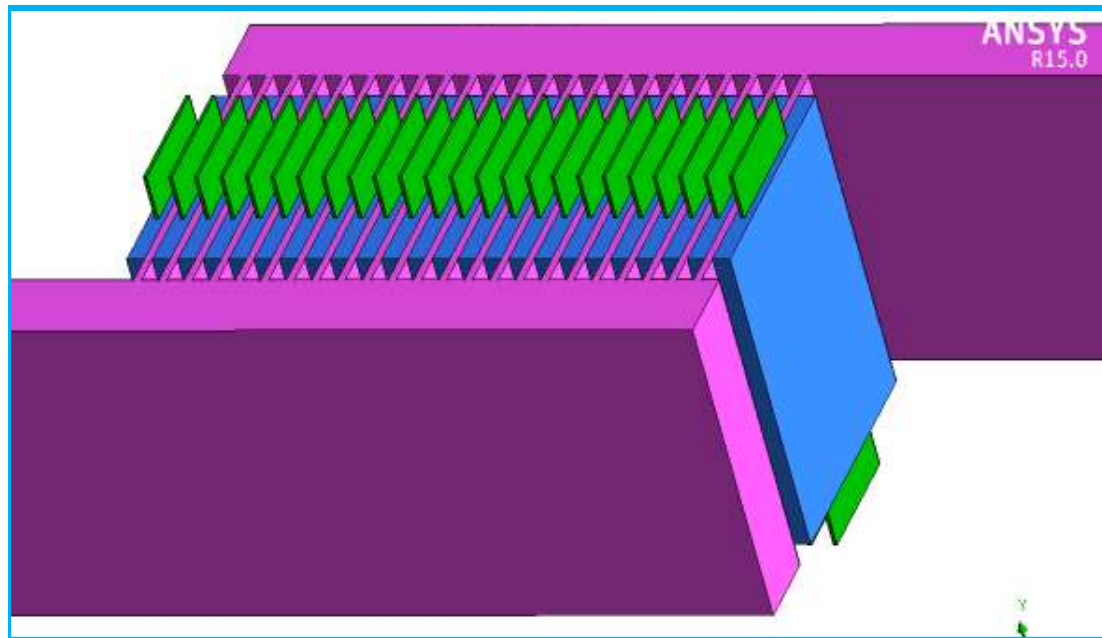
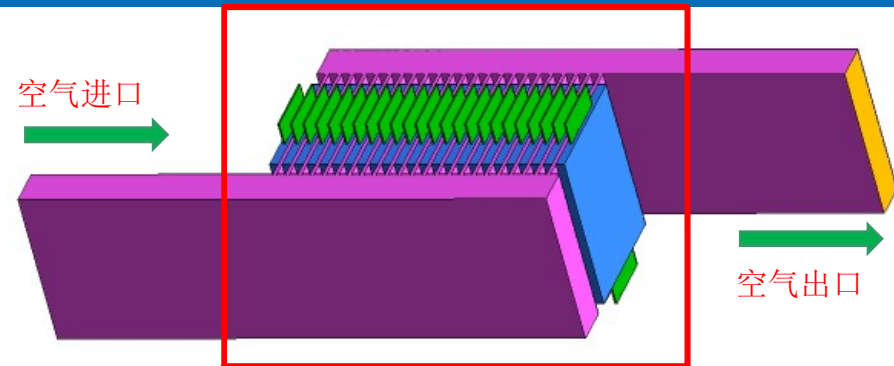
- 12S-2P 电池包 (NMC/石墨 , 35 Ah)
- 从零下开始进行空气加热 , 由此引起的电池间的不平衡



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例2

几何模型

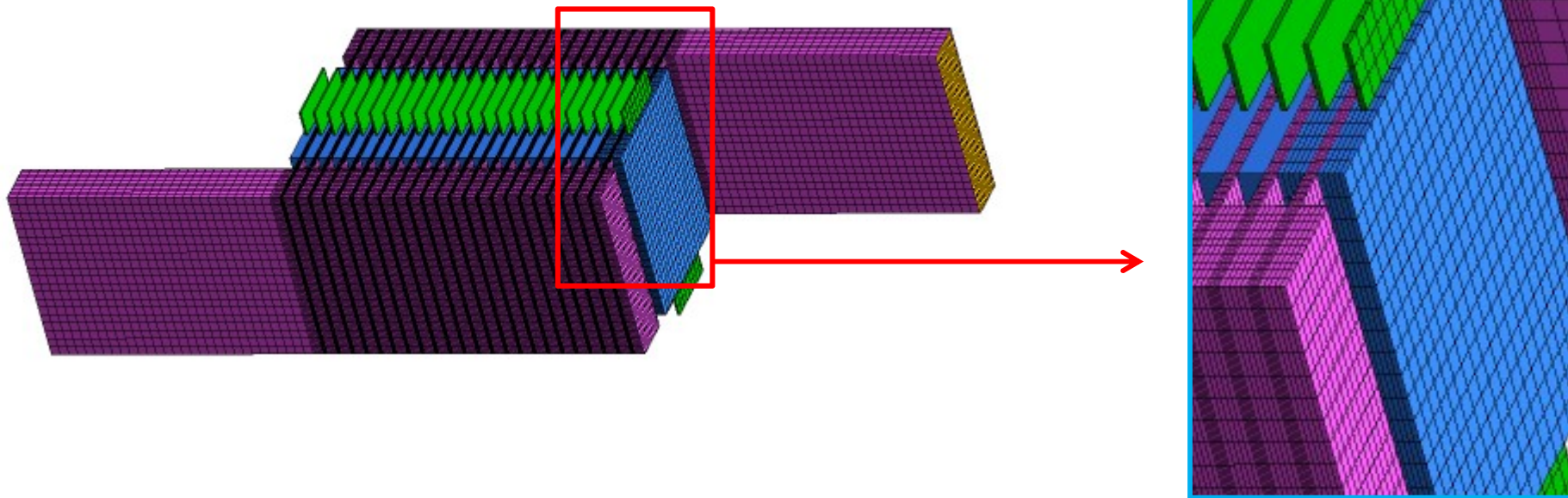
- 计算域包含冷却系统



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例2

网格模型

- 六面体网格
- 总网格数为：22万



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例2

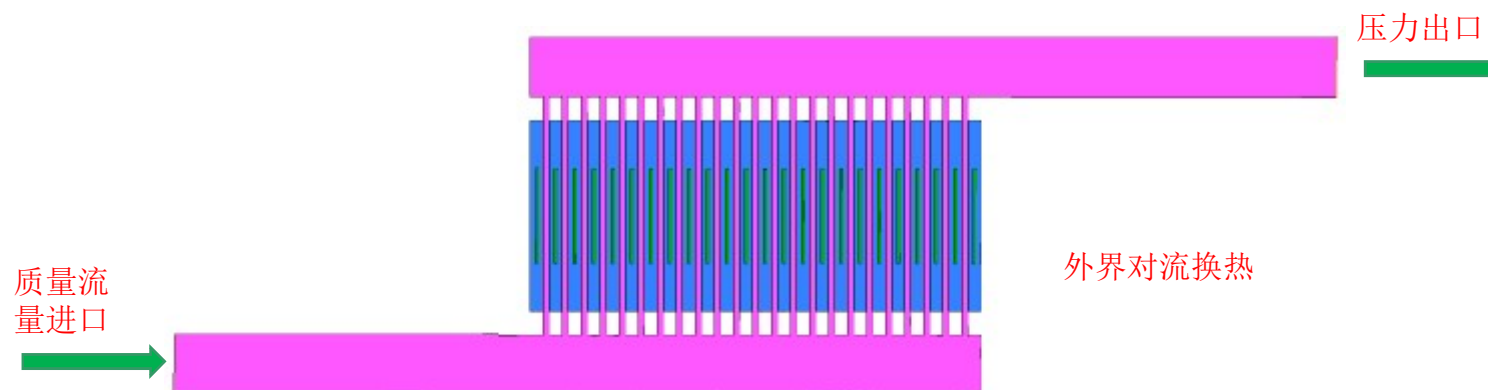
边界条件

■ 进口条件：

- 进口流量：0.036kg/s
- 进口温度：-10℃

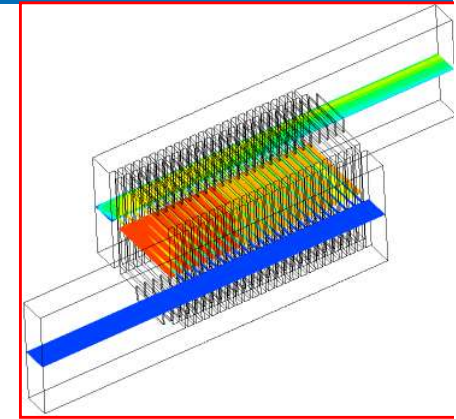
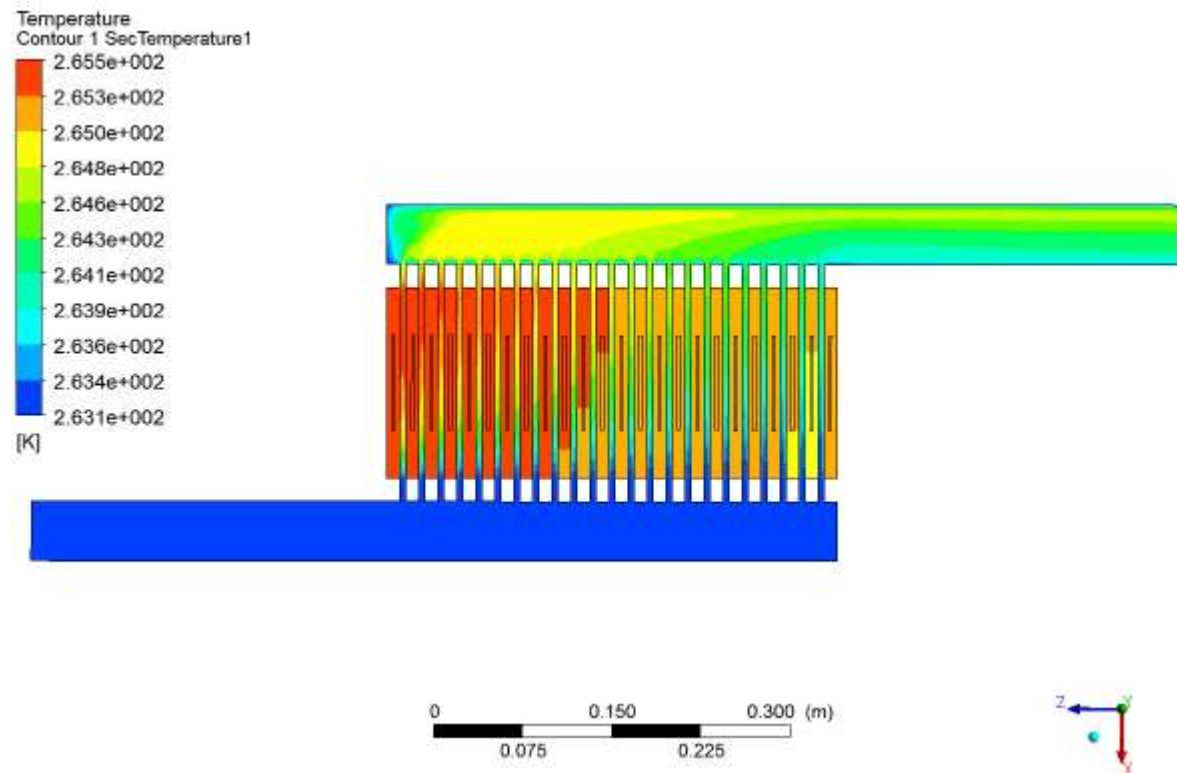
■ 外界换热条件：

- 环境温度：-10℃
- 换热系数：20W/m²K



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例2

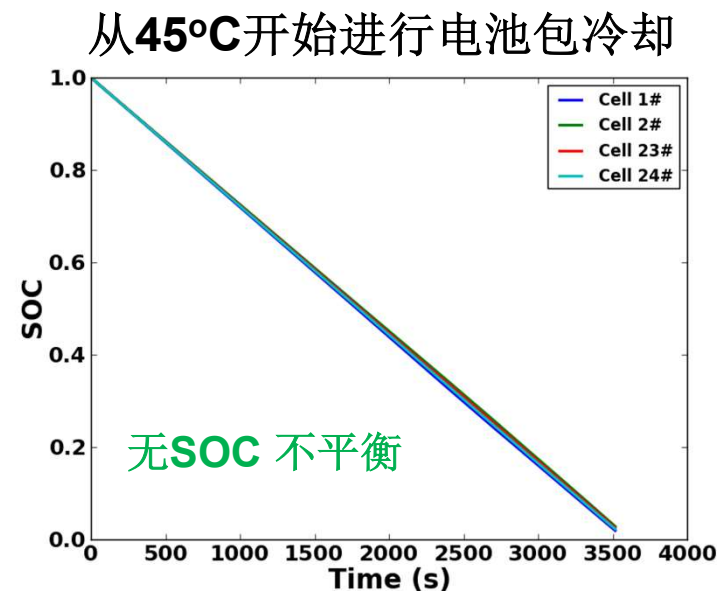
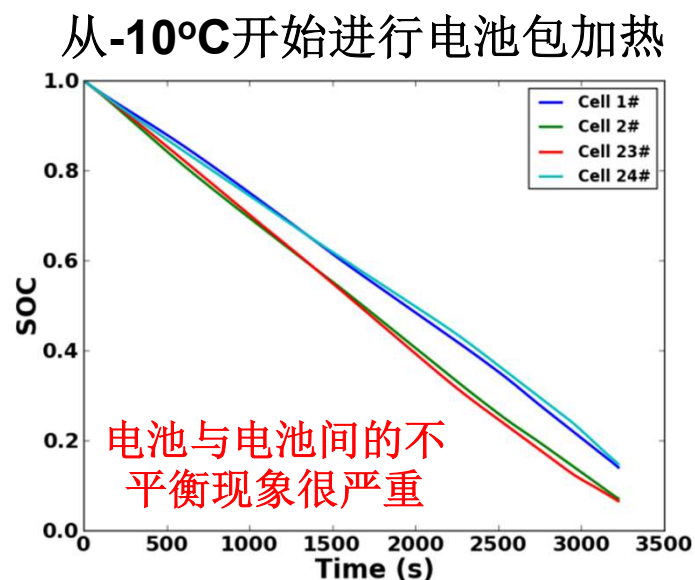
结果展示-某横截面温度分布 (460s)



AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算案例2

结果展示-电池间的不平衡分析

- 由热驱动的SOC不平衡对电池性能、寿命和安全性都有影响，只能通过AutoLion 3D+Fluent来模拟



总结

一维系统热管理 (AutoLion ST+GT/Simulink)

- 真实工况，系统动态响应
- 热管理策略开发（考虑电池老化）
- 成本和时间高效：先期进行系统设计和工况考量

三维电池包热管理 (AutoLion 3D+Fluent)

- 推荐AutoLion 3D+Fluent实时耦合计算
- 可提供实时的精确电池发热功率
- 可考虑电池间的不平衡



Thank You!



关注微信公众号，推送年会报告早知道