



泛亚汽车技术中心有限公司
Pan Asia Technical Automotive Center Co., Ltd.

电动汽车整车级热管理模型开发及应用

陈博闻，泛亚汽车技术中心有限公司

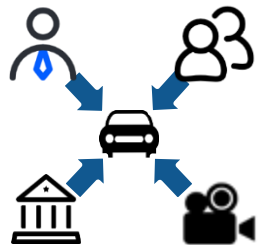


2024 MathWorks
中国汽车年会

目录

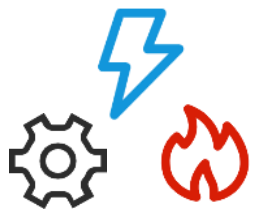
- 背景介绍
- 模型介绍
 - 建模目标
 - MathWorks工具链
 - 项目运用
 - 开发难点与核心
 - 下一步计划
- 总结

背景介绍



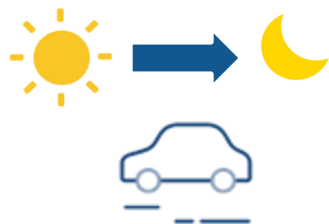
■ 高低温续航已成为影响产品竞争力的关键性能指标

- 电动车高低温衰减导致的里程焦虑是客户的核心痛点
- 第三方机构测评将高低温续航衰减率引入评价指标



■ 电动车热管理系统具有高耦合度的特点

- 电池、电机和座舱都需要工作在合适的温度区间
- 各个子系统之间有强交互作用
- 三电系统效率高，产热少，需要充分利用热能



■ 系统优化和改善依赖于实车试验

- 需要消耗大量人力物力和时间，方案评估不够灵活
- 难以有效平衡热舒适性和低温续航性能
- 跟不上现在汽车的产品迭代速度

模型介绍——建模目标



同一仿真环境:

在MATLAB中建模热管理模型，并与整车模型闭环



精度:

将高低温续航的仿真精度控制在 $\pm 2\%$ 以内



效率:

将完成一次全工况仿真的时间控制在5小时以内



敏感度分析:

完成系统敏感度分析，高效高性价比的方案优化系统

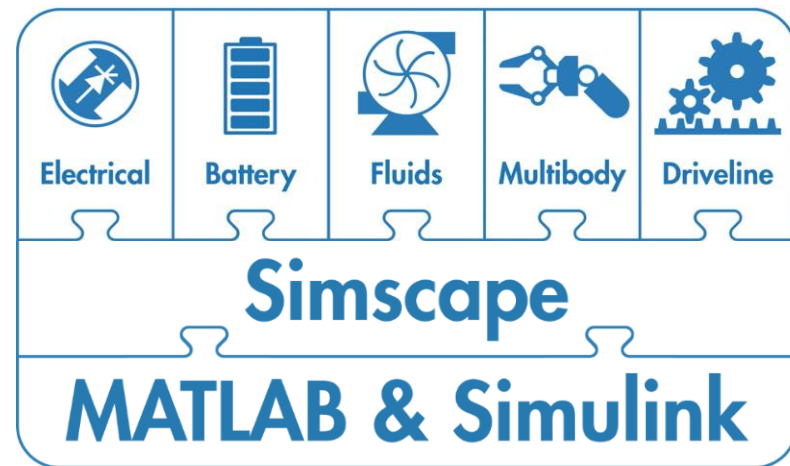


建立流程:

建立标准化建模流程，以快速应对系统架构的改型

模型介绍——MathWorks工具链

❖ Simscape可以与MATLAB/Simulink开发环境天然融合!



Mechanical



Electrical



Thermal



Thermal Liquid



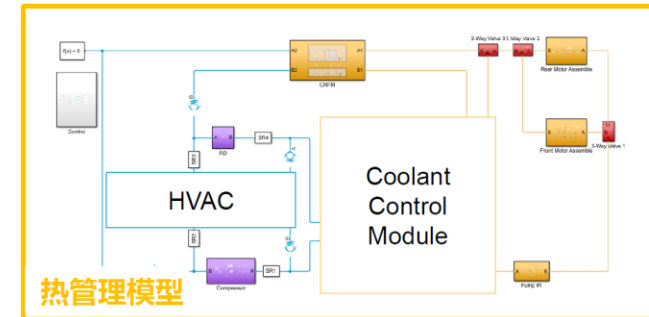
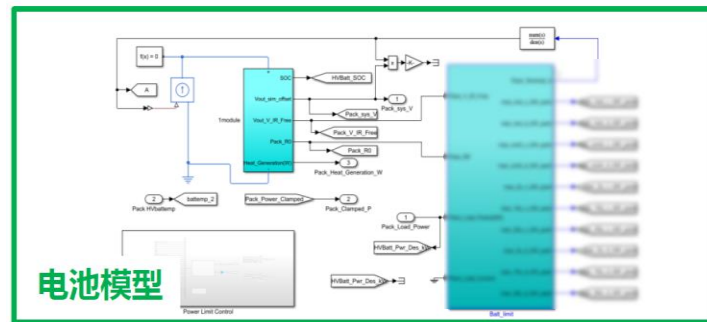
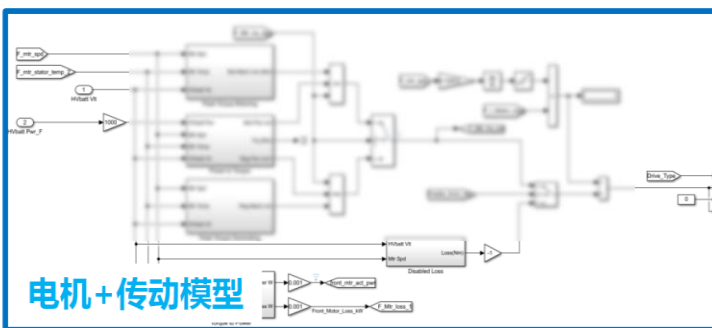
Gas



Two-Phase Fluid



Moist Air



模型介绍——项目运用



精度：高低温续航的仿真精度 $\pm 2\%$ 以内



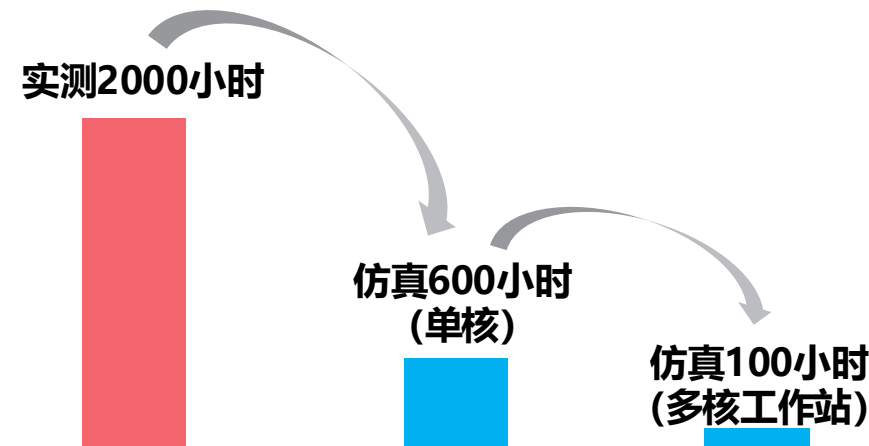
效率：完成一次全里程（约20次CLTC工况）仿真的时间约**3~4小时**
完成约 60000 km的高低温续航仿真，总计**节约了2000多小时**的试验时间（**3 X Real Time**）



优化：识别出多个敏感参数，仅通过标定优化，将多款车型的低温续航衰减率**降低5~7%**



流程：建立标准的正向开发流程，通过该流程可以在**3-4个月完成**全新的整车级热管理模型开发



模型基础
架构研究

零件级
模型搭建

系统级
模型搭建

整车模型
闭环测试型

开发难点与核心

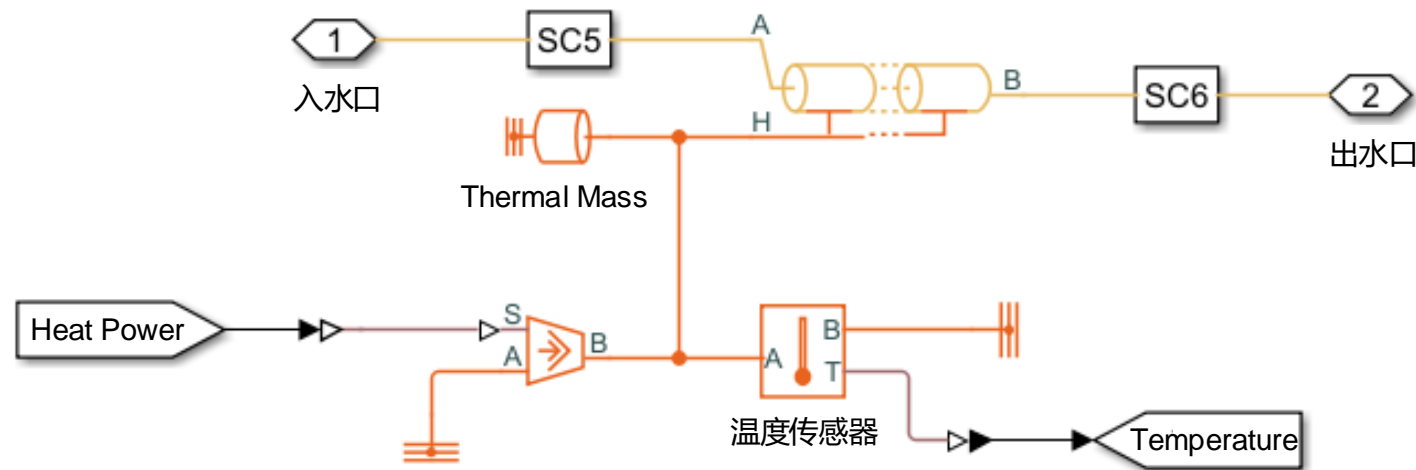
如何在精度满足项目开发要求的同时，保证仿真的快速与高效？

- 各个子系统对于整车的敏感度是有限的，且敏感度各不相同
- 简化、抽象或降阶低敏感度的子系统
- 需要充分考虑子系统可提供的参数和需要计算的变量，以综合评估简化的合理性
- 通过标定模型，保证简化后的模型可以满足精度的要求

开发难点与核心——电驱热模型（电机+逆变器+变速箱）

电机热模型：基于Simscape的物理模型

- 简化为质量块，需要计算**定子温度**和**变速箱油温**
- 将整车模型计算出的**电机、逆变器**和**变速箱**的发热功率输入得到Harness中
- 根据实测电机入口、出口水温、电机定子和变速箱油温等参数，可以**标定出进入水路、定子和变速箱的热量**
- 剩余热量通过散热模块耗散掉

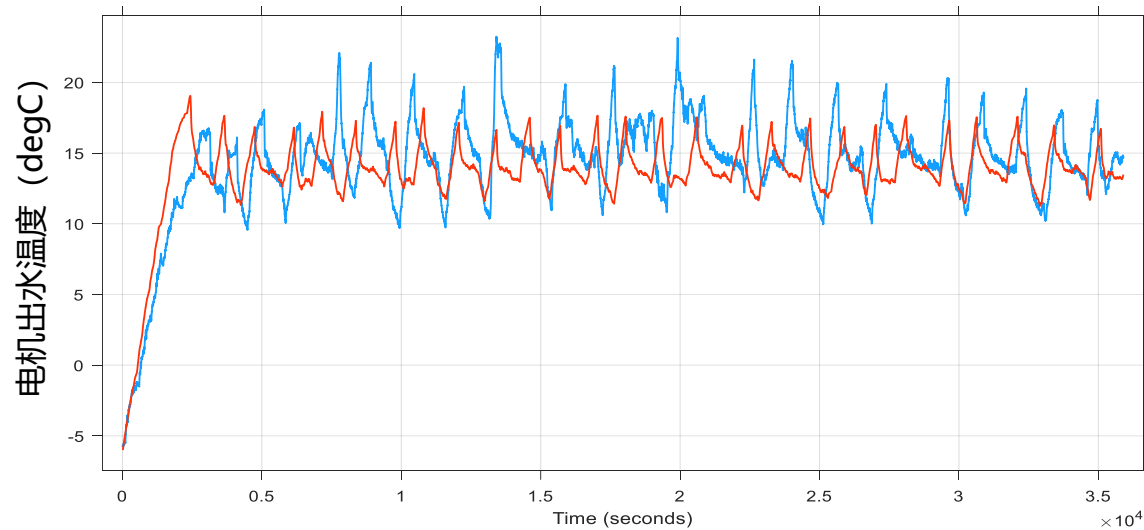
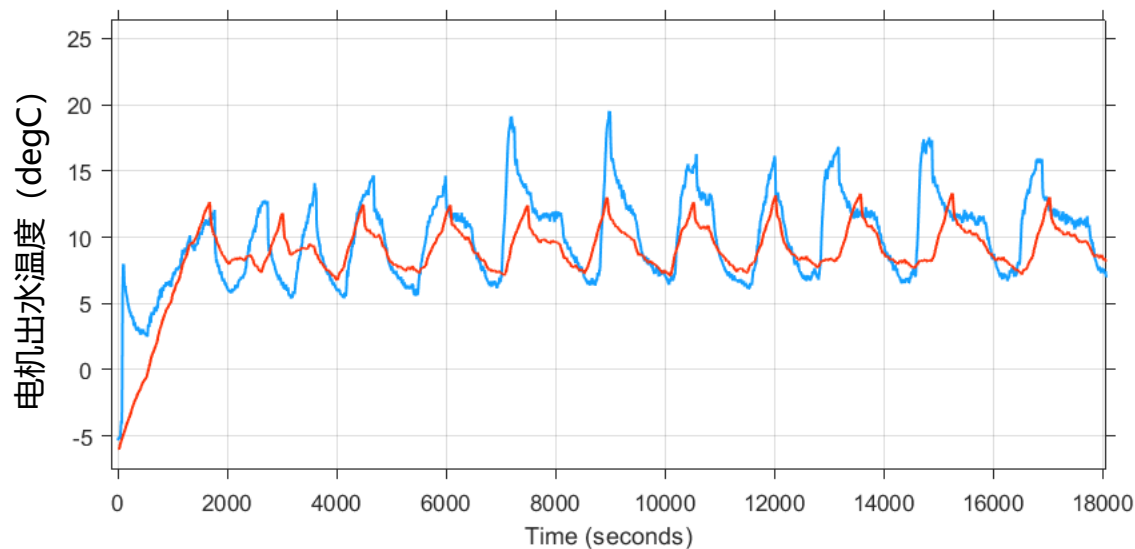
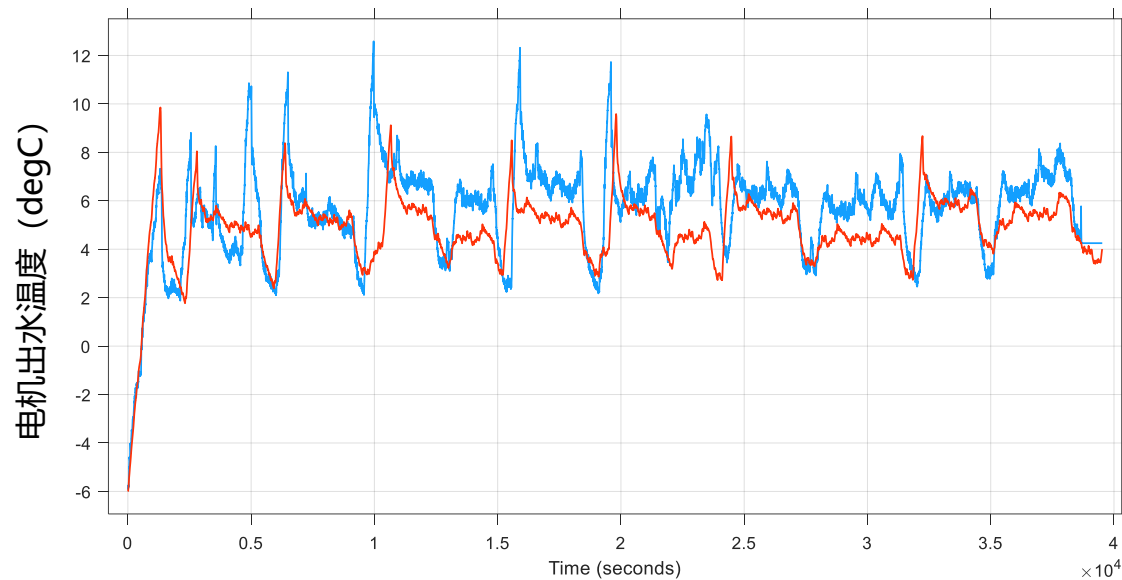
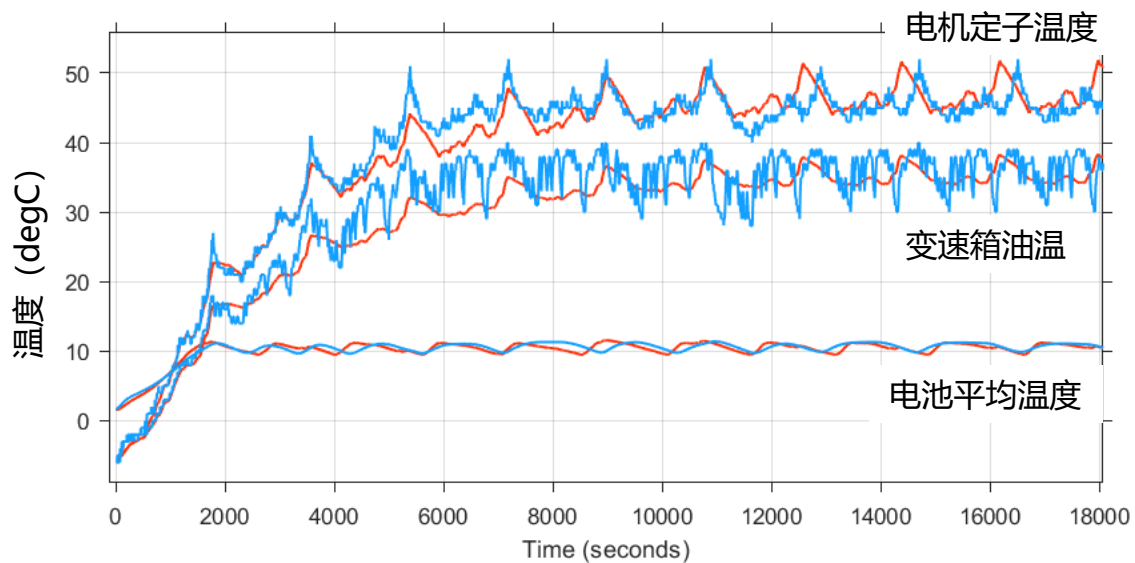


简化的Example

开发难点与核心——电机热模型

红线-仿真

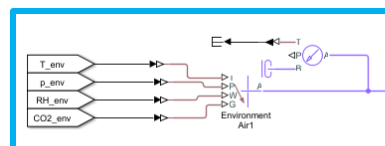
蓝线-实测



开发难点与核心——乘客舱

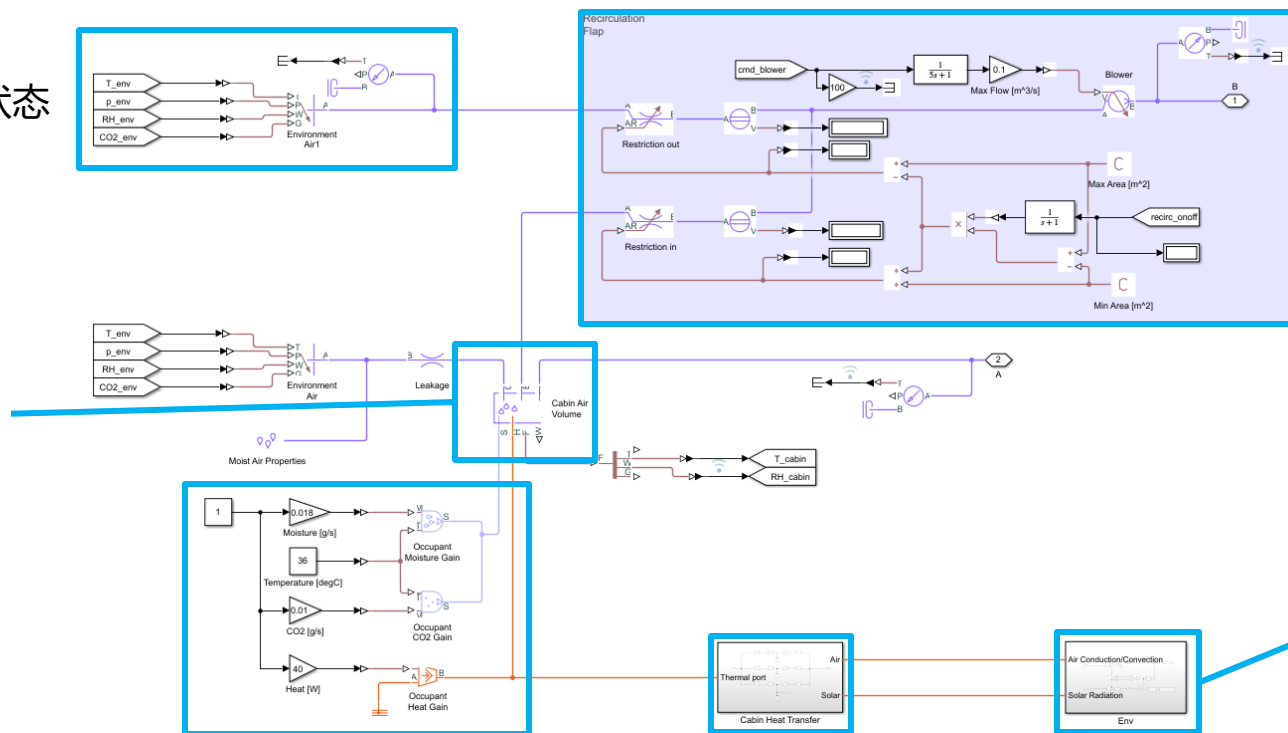
空气源

- 模拟外部空气状态



乘客舱

- 乘客舱为一维, 但有容积用于计算空气热容
- 可以输出温度和湿度



空调箱进气系统

- 可以在内循环、外循环和双层流之间切换

外部环境

- 环境温度为输入值
- 光照的热辐射吸收率的标定逻辑同乘客舱对外换热功率

驾驶员

- 模拟人体发热、二氧化碳和空气湿度的增益

乘客舱对外换热功率

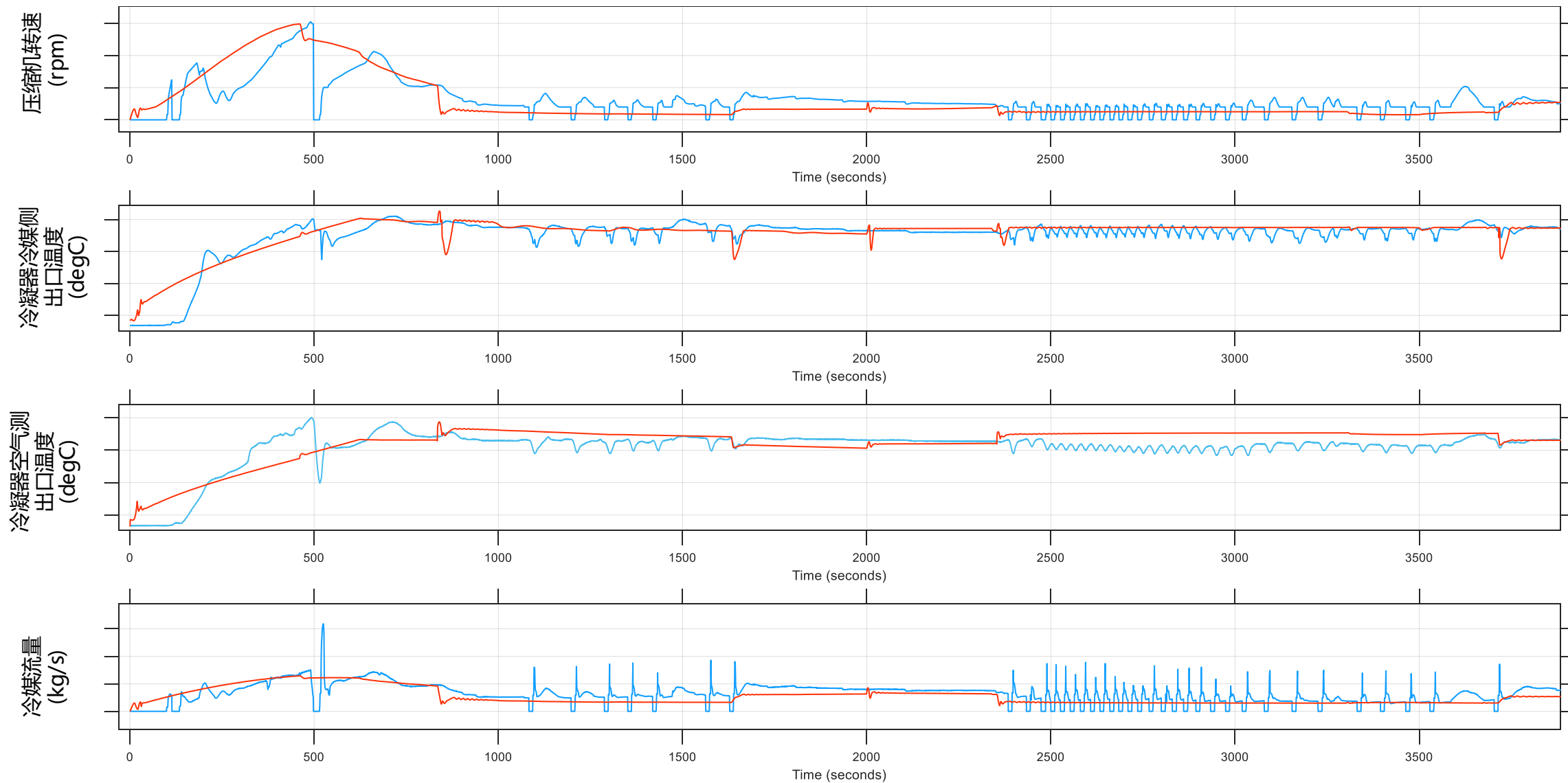
- 只关注整体换热功率
- 通过对标压缩机功率、转速、冷媒流量、出风温度、乘客舱温升来综合判断乘客舱对外换热功率的合理性

开发难点与核心——乘客舱

红线-仿真

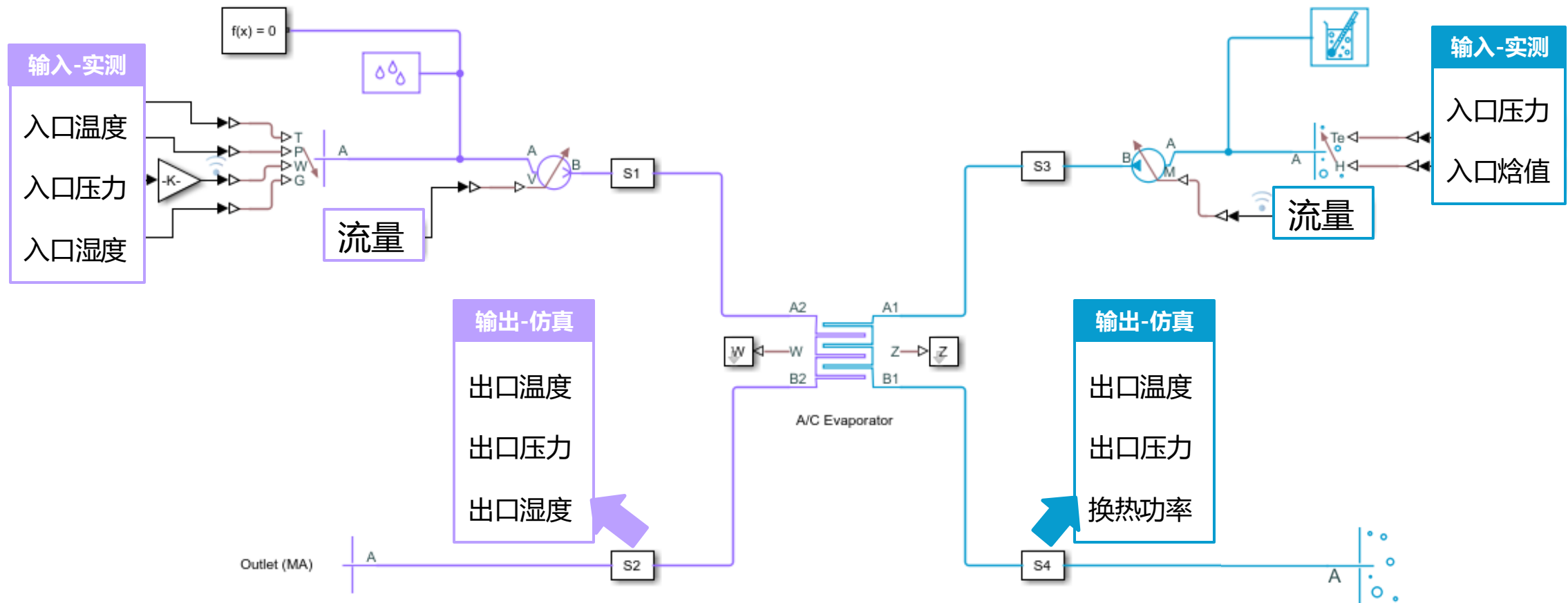
蓝线-实测

维持给定的乘客舱温度时，空调回路的参数对标

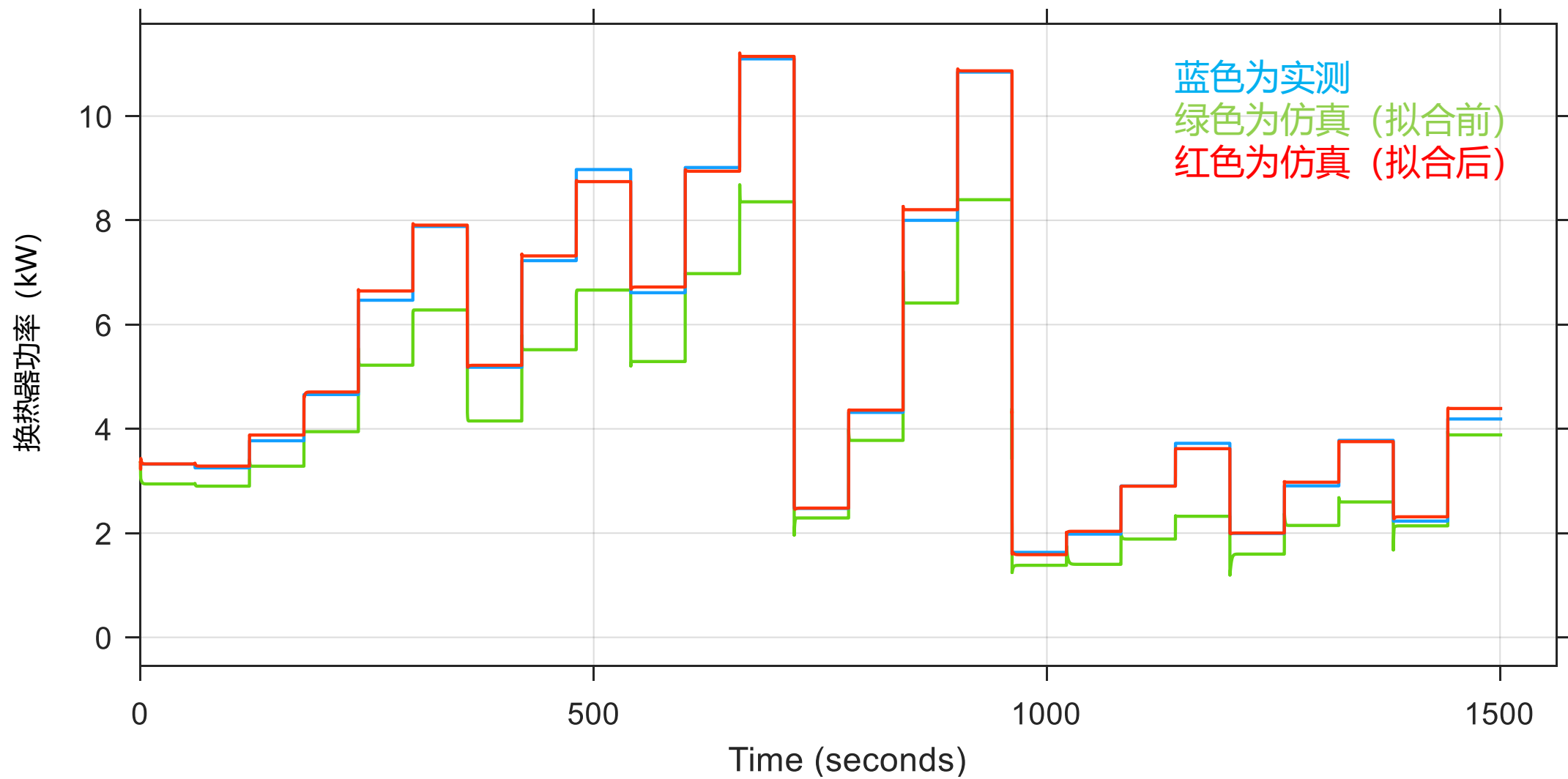


开发难点与核心——换热器

- 采用Geometry Based换热器，需要充分考虑零件和子系统可以提供的参数（不考虑HIL）
- 使用Parameter Estimator拟合换热系数，使得出口的仿真与实测值匹配

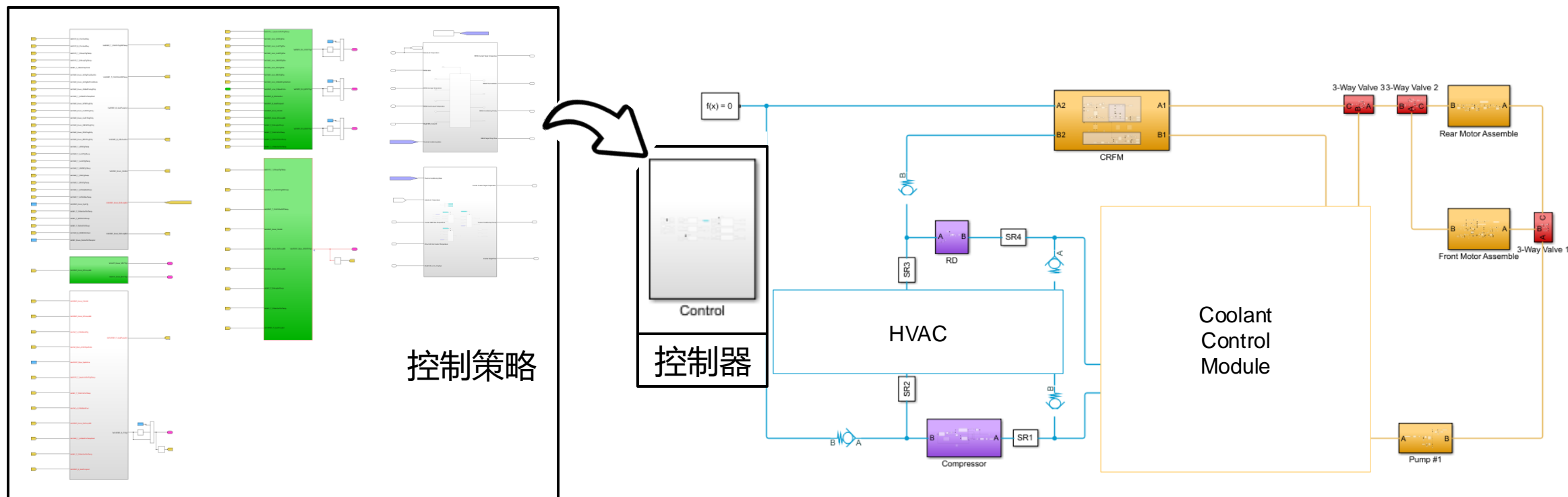


开发难点与核心——换热器



开发难点与核心——控制策略

- 相较于传统燃油车，电动车的热管理系统具有高度耦合的特点
- 各个子系统之间存在强交互作用，且与热管理系统的控制策略密切相关
- 前期模型接口与控制器接口耦合
- 后期集成真实的控制策略



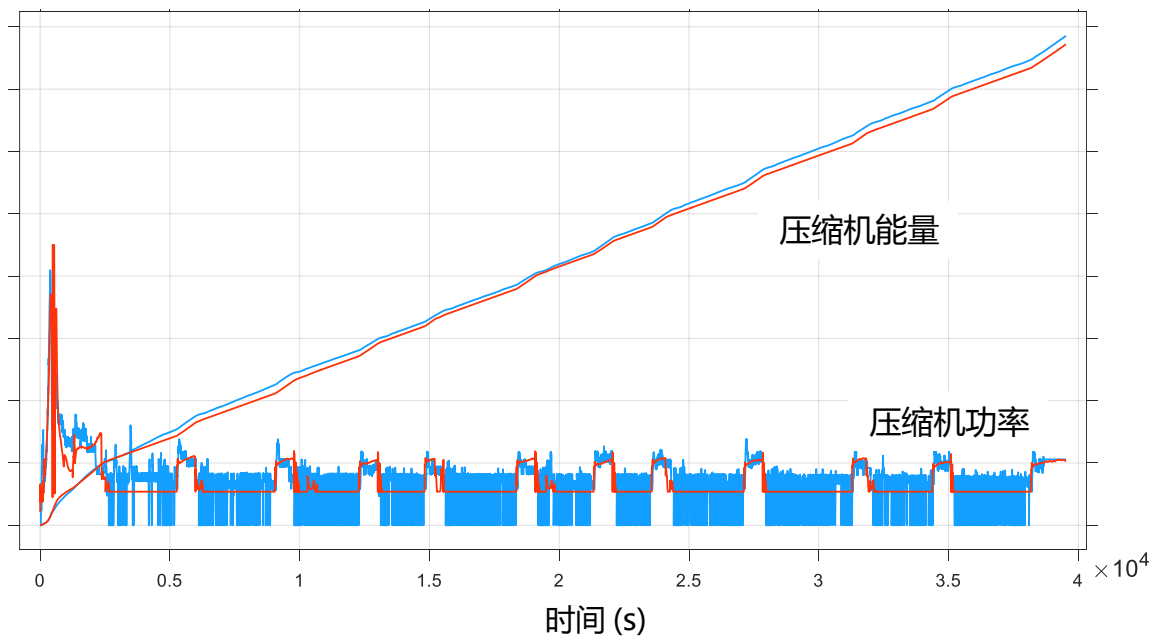
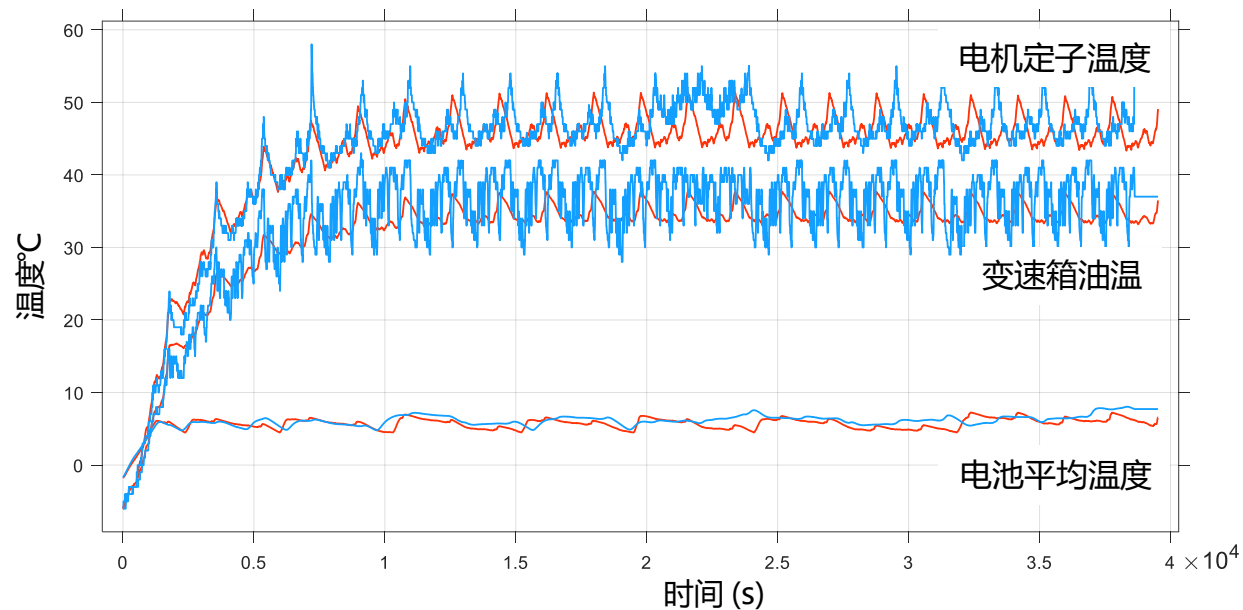
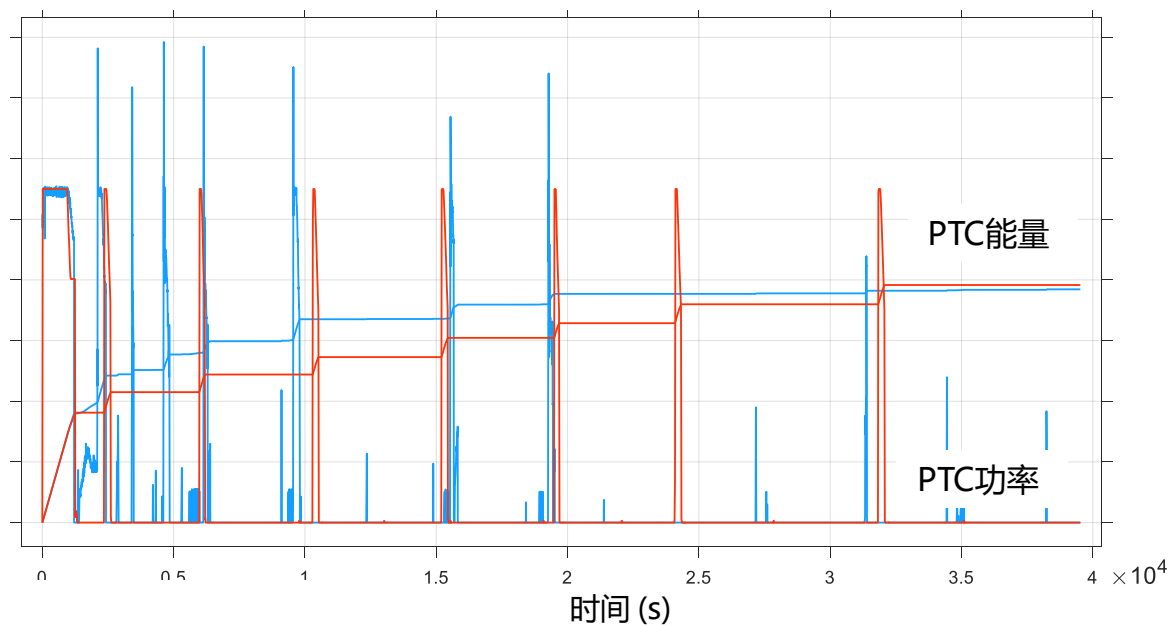
整车模型与热管理模型的闭环测试结果

CLTC 环境-7°C

5大核心信号：3个温度+2个高压能耗

红线-仿真

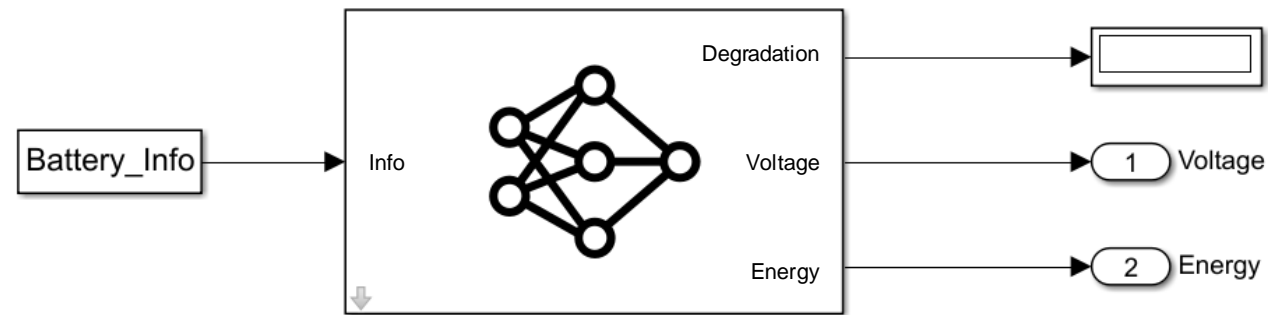
蓝线-实测



下一步计划

电池低温衰减受多种因素影响而呈非线性变化，导致较难预测低温下的可用电量衰减。

纯电里程 = 可用电量 / 整车电耗



总结

- 基于**Simscape物理模型**+ **自建数学模型**搭建了整车级热管理模型
- 电机电池热模型和乘客舱模型的**抽象与简化**
- 通过**标定**，**保证**简化后的模型可以满足**精度**的要求
- 运用模型进行**降本增效**
 - 可灵活支持拓展方案和全新架构研究
 - 可支持多因素耦合的批量研究
 - 可支持构型差异的研究，提供构型和策略建议
 - 大幅降低试验的人力、设备和时间成本
 - 有效加快产品的迭代速度

2024 MathWorks 中国汽车年会

Thank you

