

UAES

科技驾驭未来出行
PASSION TO SHAPE MOBILITY

基于MATLAB/Simulink的汽车智能网联仿真测试平台 以预测性热管理为例

吕践, 联合汽车电子有限公司
jian.lv@uaes.com



2024 MathWorks
中国汽车年会

目录

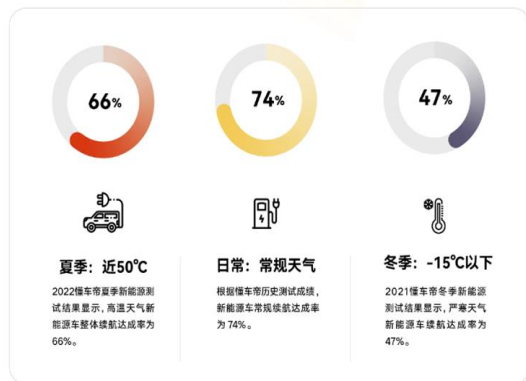
- **预测性热管理背景和原理介绍**
- **基于机器学习的预测性热管理策略开发**
- **基于MATLAB/Simulink的智能网联仿真测试平台搭建**
- **项目总结&展望**

整车能量管理优化的行业趋势

➤ 新能源汽车在全温度范围内要求更高的整体系统效率

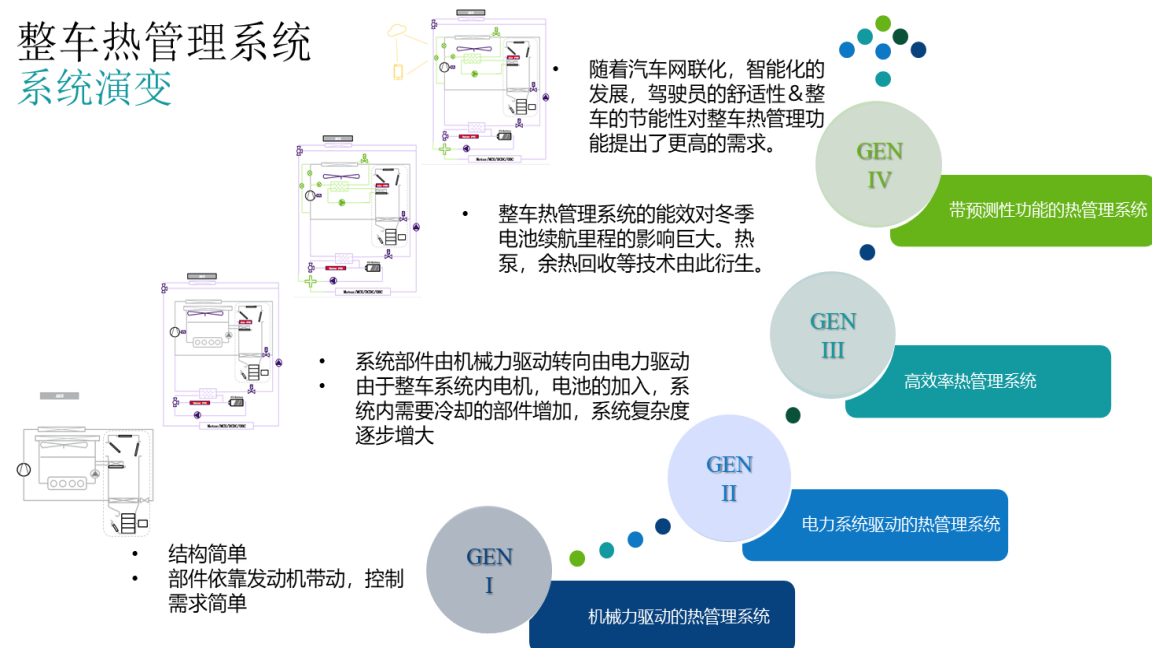
- ✓ 高低温场景下车辆能耗备受关注
- ✓ 整车性能和用户体验也是新能源车关注的重点

2022某媒体测试 夏季能耗达成率



➤ 热管理系统的演变、车辆智能化与网联化给整车能量管理的优化带来了更多可能

整车热管理系统系统演变



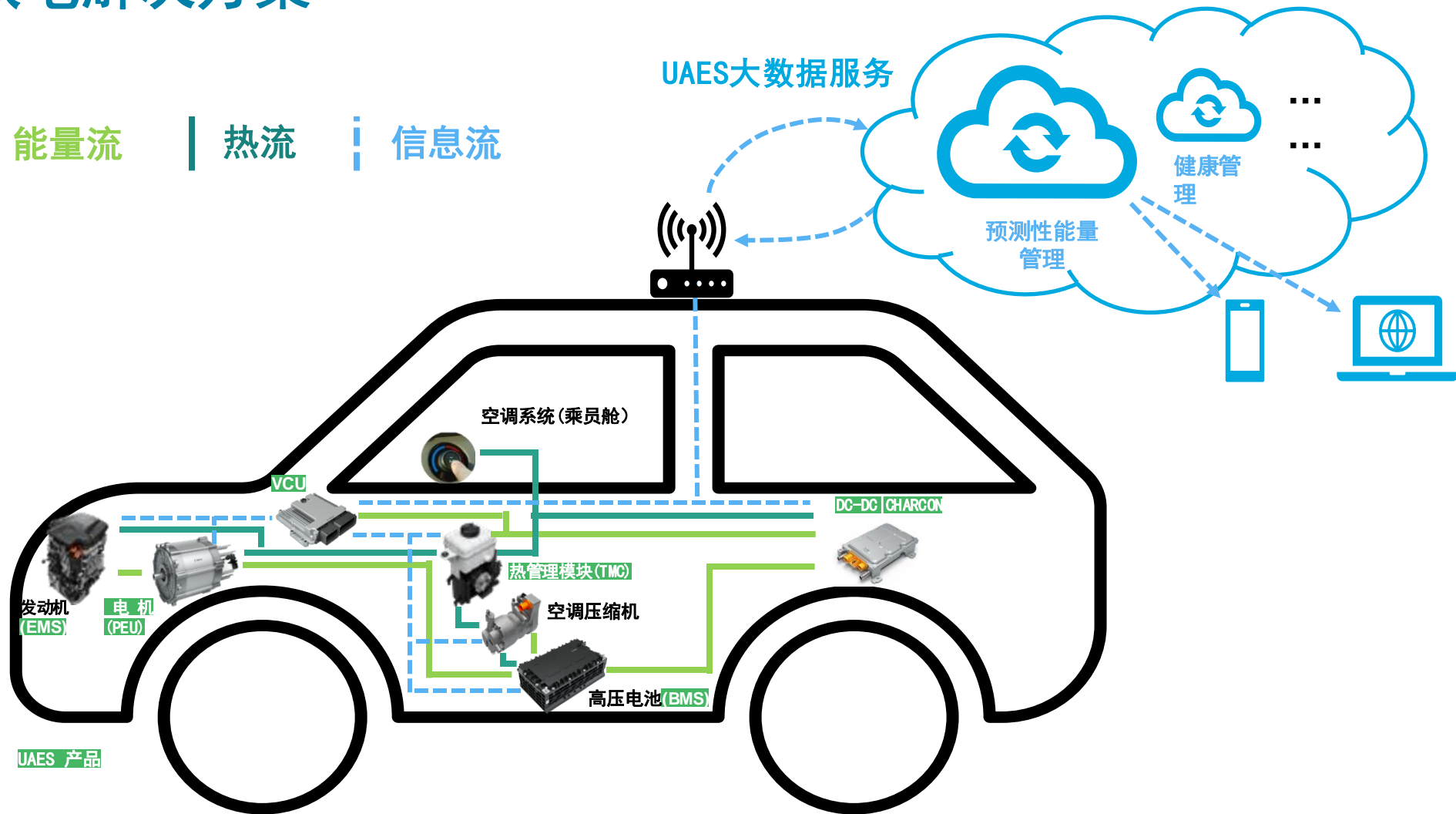
整车能量管理-联电解决方案

能量流 | 热流 | 信息流

效率

性能

体验



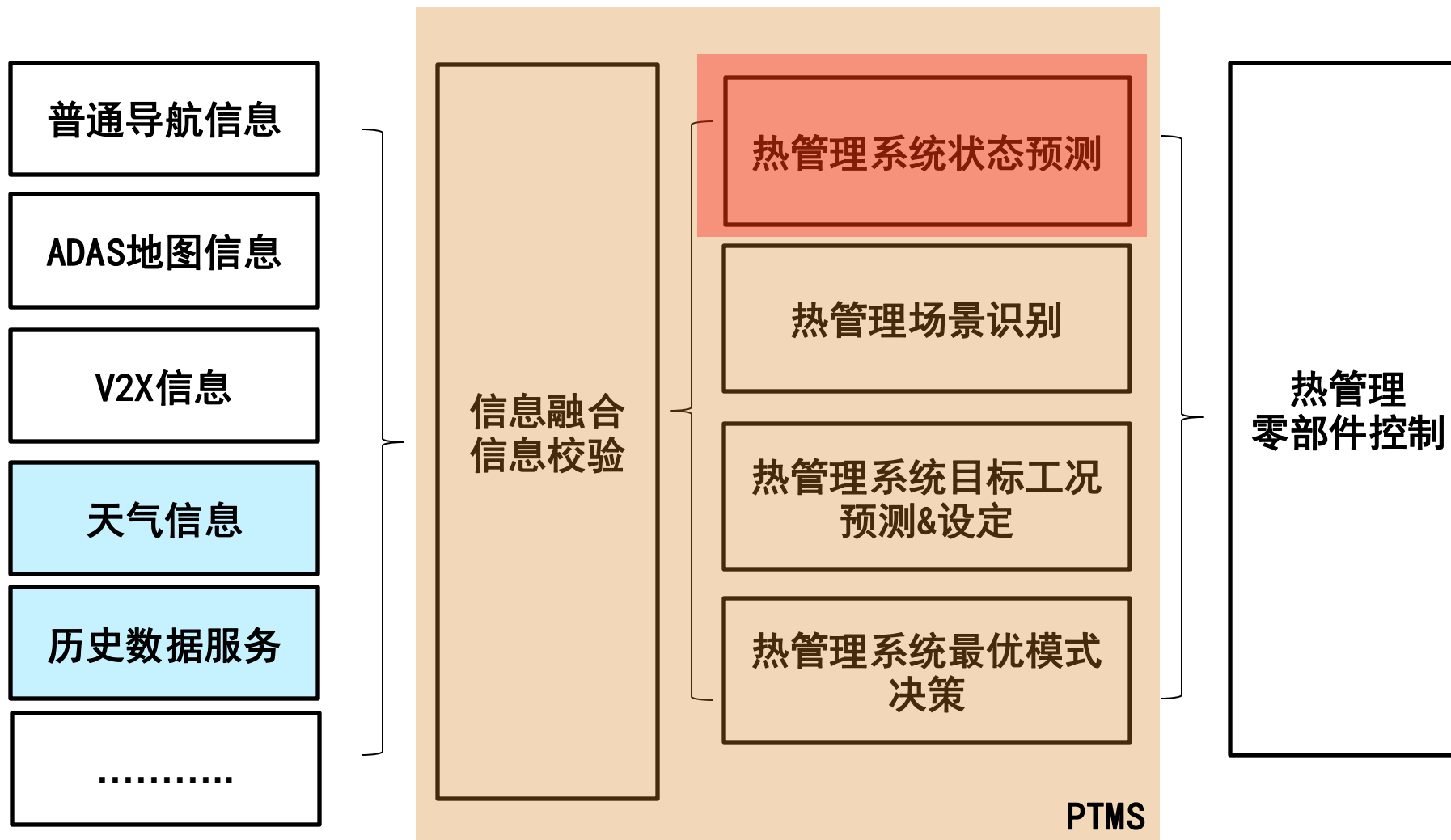
FTU: Flexible Thermal Unit | HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning | eAC: Electric Air Compressor

UAES 可以发挥多产品、跨领域的优势，进行全面的整车能量管理优化

目录

- 预测性热管理背景和原理介绍
- 基于机器学习的预测性热管理开发
- 基于MATLAB/Simulink的智能网联仿真测试平台搭建
- 项目总结&展望

预测性电池热管理-系统方案



云端信息

PTMS

基于神经网络的电池自然散热状态预测模型开发-云端数据筛选

1、驾驶循环筛选预设

1) 城市随机行车工况:

环境温度和电池初始温度: 例如-20°C, 25°C, 40°C

电池初始SOC: 10%~90%;

行驶距离: 例如10、90、300km

2) 高速随机行车工况:

环境温度和电池初始温度: 例如-20°C, 25°C, 40°C

电池初始SOC: 10%~90%;

行驶距离: 例如10、90、300km

2、云端测试数据筛选

经过对云端测试数据的探索, 最终获得高温工况下城市随机行车工况数据300个, 高速随机行车工况数据360个, 涉及的云端数据字段如下:


数据采集项	单位	数据采集项	单位	数据采集项	单位
环境温度	°C	电池最高温度	°C	导航路况分段距离	m
电池最低温度	%	电池进水口温度	°C	
电池SOC	%	车速	Km/h		
电池电压	V	行驶距离	km		
电池电流	A	行驶时间	s		
.....				

上传时间	总里程	实际车速	动力电池最高温度	动力电池最小温度	动力电池电流
report_time	dsttrvldmst	vehspdltgt	hvbatttmax	hvbatttmin	hvbattidc1
7/1/2024 18:15		84.59676	23.5	13	-2.3
7/1/2024 18:15	39436.975	84.59676	23.5	13	-12.6
7/1/2024 18:15		83.949264	23.5	13	-21.5
7/1/2024 18:15		83.864808	23.5	13	4.3
7/1/2024 18:15		83.780352	23.5	13	-30
7/1/2024 18:15	39436.975	83.358072	23.5	13	9.6
7/1/2024 18:15		83.512908	23.5	13	5.3
7/1/2024 18:15		83.991492	23.5	13	28.6
7/1/2024 18:15		85.314636	23.5	13	41.1
7/1/2024 18:15		87.41196	23.5	13	139.1
7/1/2024 18:15		91.057644	23.5	13	98.8
7/1/2024 18:15	39436.975	94.576644	23.5	13	95.1
7/1/2024 18:15		96.927336	23.5	13	81.7
7/1/2024 18:15		98.771292	23.5	13	80.1
7/1/2024 18:15		100.136664	23.5	13	33.9
7/1/2024 18:15	39436.975	101.107908	23.5	13	18.4
7/1/2024 18:15		100.375956	23.5	13	17.2
7/1/2024 18:15		100.910844	23.5	13	11.1
7/1/2024 18:15		102.051	23.5	13	45.7
7/1/2024 18:15		103.163004	23.5	13	52.4
7/1/2024 18:15		104.035716	23.5	13	21.2
7/1/2024 18:15	39436.975	104.683212	23.5	13	8.8
7/1/2024 18:15		105.14772	23.5	13	5.8
7/1/2024 18:15		105.372936	23.5	13	5.1
7/1/2024 18:15		105.49962	23.5	13	13.2
7/1/2024 18:15	39436.975	104.922504	23.5	13	-67

基于神经网络的电池自然散热状态预测模型开发-数据处理

为增加样本数据的多样性和数量，采用滑动窗口对数据进行重采样：

- ① 增加短途数据片段：将长途数据片段依次分割成行驶距离为1、2、3、4km的数据片段
- ② 增加不同电池初始温度和初始SOC的数据片段：将长途片段分割成行驶距离为5、15、30、60km的数据片段

城市畅通+拥堵工况样本数据量：300  14548

原始数据统计（城市工况）	
行驶距离(km)	数据个数
5	60
15	60
30	60
60	60
90	20
100	40
总计	300

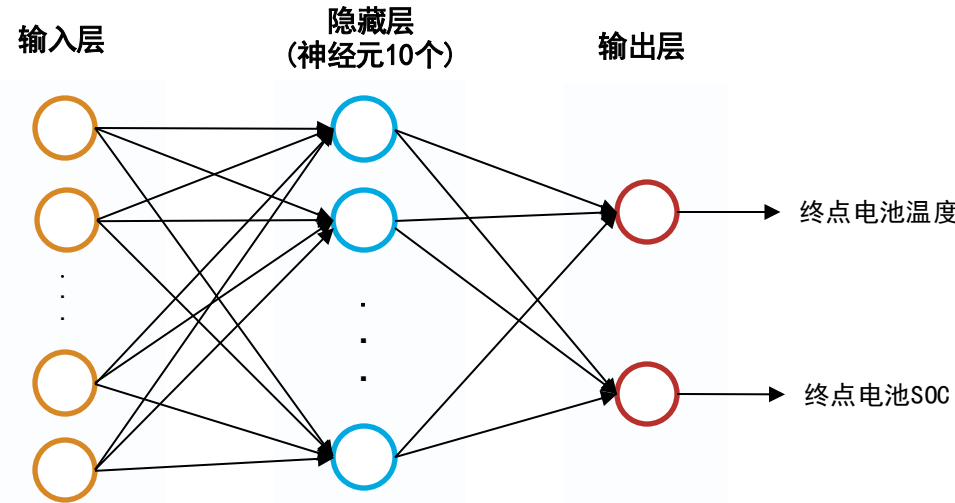
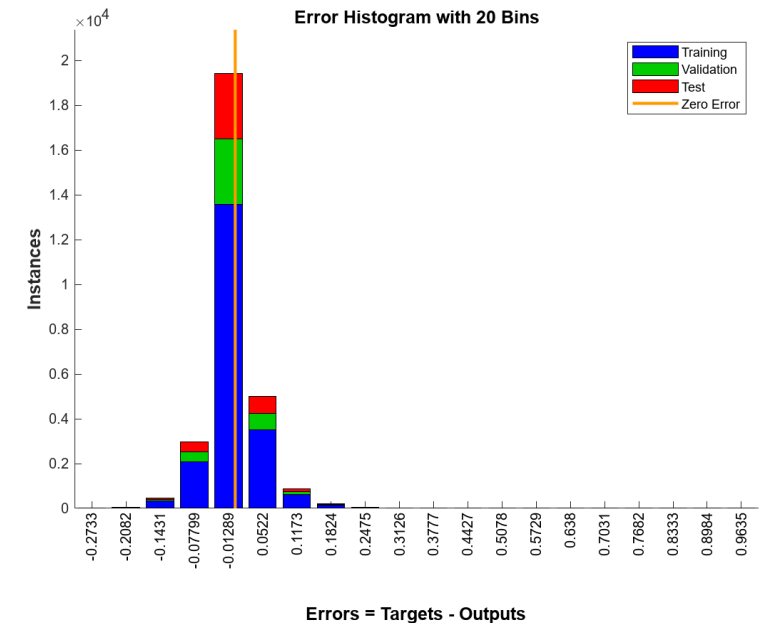


重采样后数据统计（城市工况）			
行驶距离(km)	数据个数	行驶距离(km)	数据个数
1	3588	15	2100
2	1800	30	2200
3	1200	60	120
4	900	90	20
5	2580	100	40
总计		14548	

基于神经网络的电池自然散热状态预测模型开发-模型训练

机器学习模型采用神经网络模型，根据环境温度、电池当前的SOC和温度、导航信号直接预测车辆到达终点时的SOC和电池温度（无热管理系统干涉综合考虑模型的复杂度和预测的精准度，选择三层BP神经网络构建城市工况的能耗与温度预测模型，神经网络参数如下：

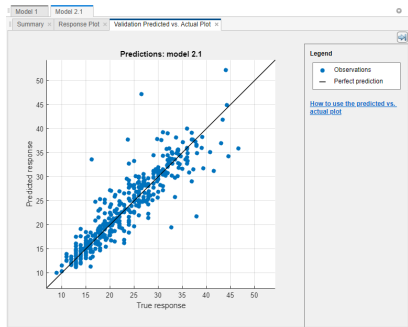
输入个数	输出个数	隐藏层层数	隐藏层神经元个数	隐藏层激活函数	输出层激活函数
8	2	1	10	Sigmoid	线性传递函数



BP神经网络模型结构

模型预测误差分布图

Regression Learner App



- 环境温度 →
- 电池初始SOC →
- 电池初始温度 →
- 行驶时间 →
- 行驶距离 →
- 导航平均车速 →
- →

- 终点电池温度
- 终点电池SOC

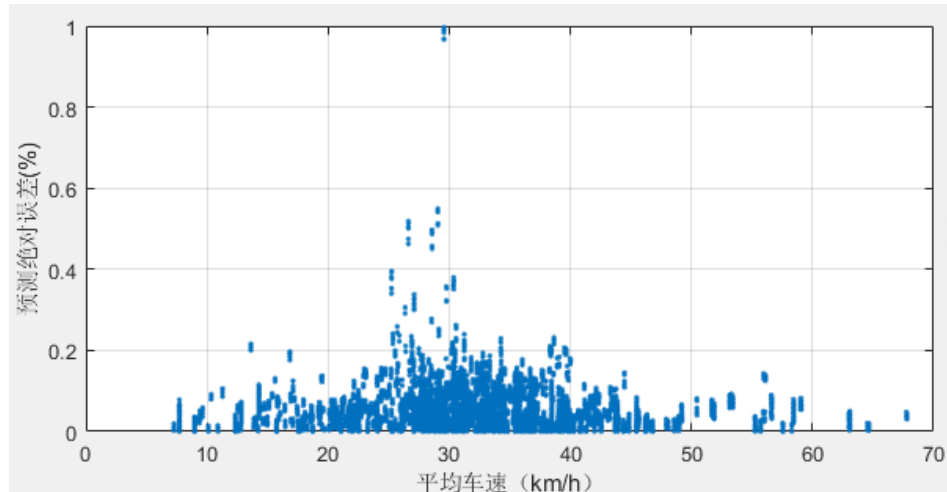
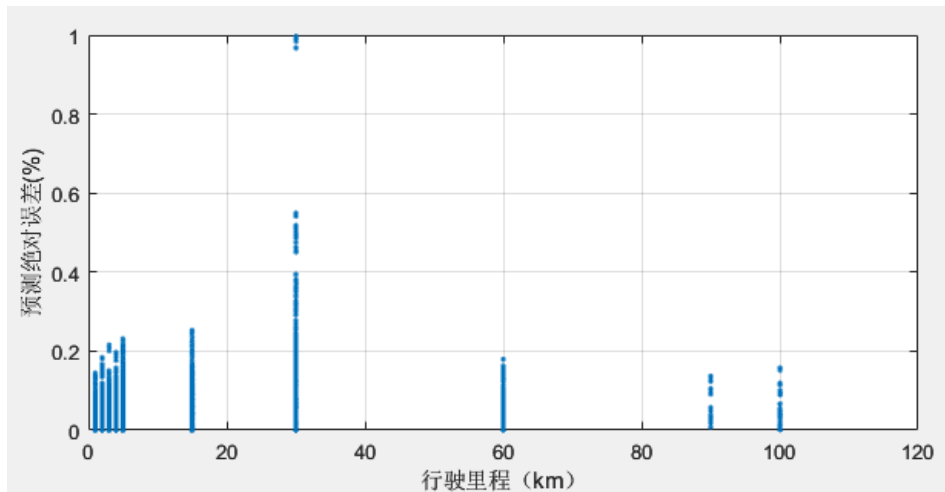
模型训练过程参数设置及预测效果：

	样本个数	占比	均方误差 (MSE)
训练集	10184	70%	0.0025
测试集	2184	15%	0.0024
验证集	2184	15%	0.0028

- ❑ 所建立的神经网络模型训练集、测试集和验证集的均方误差均小于 **0.003**
- ❑ 建立的神经网络模型的隐藏层仅1层，隐藏层神经元个数仅10个

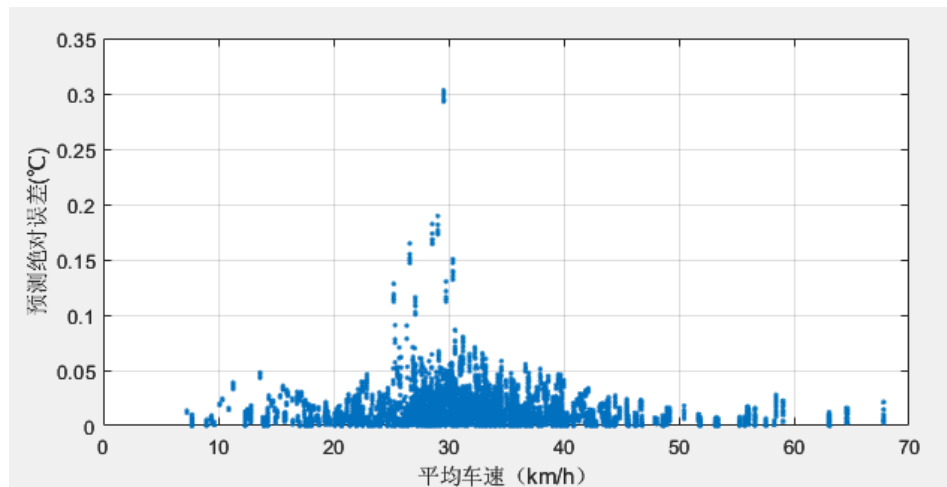
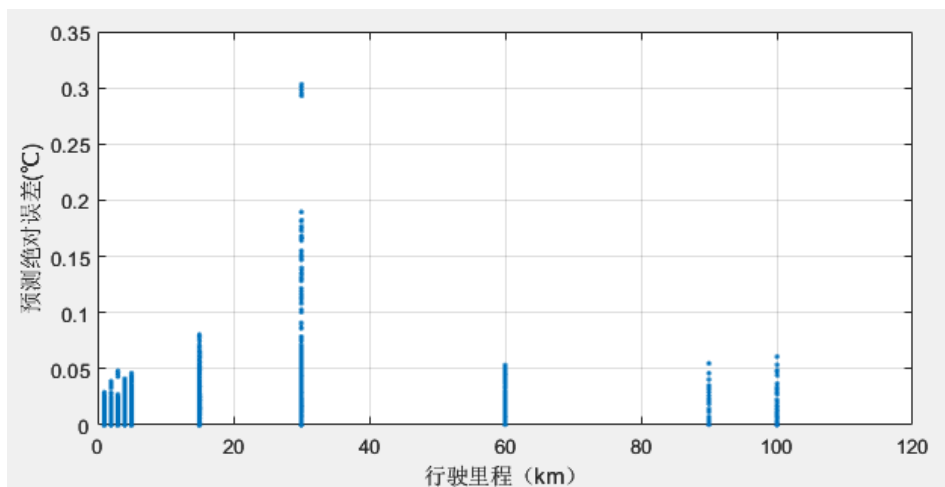
基于神经网络的电池自然散热状态预测模型开发-效果验证

□ 终点电池SOC预测误差分布



终点电池SOC预测最大误差为1%，里程为30km的数据预测误差较大，预测误差集中分布在车速 [25km/h, 30km/h] 区间内

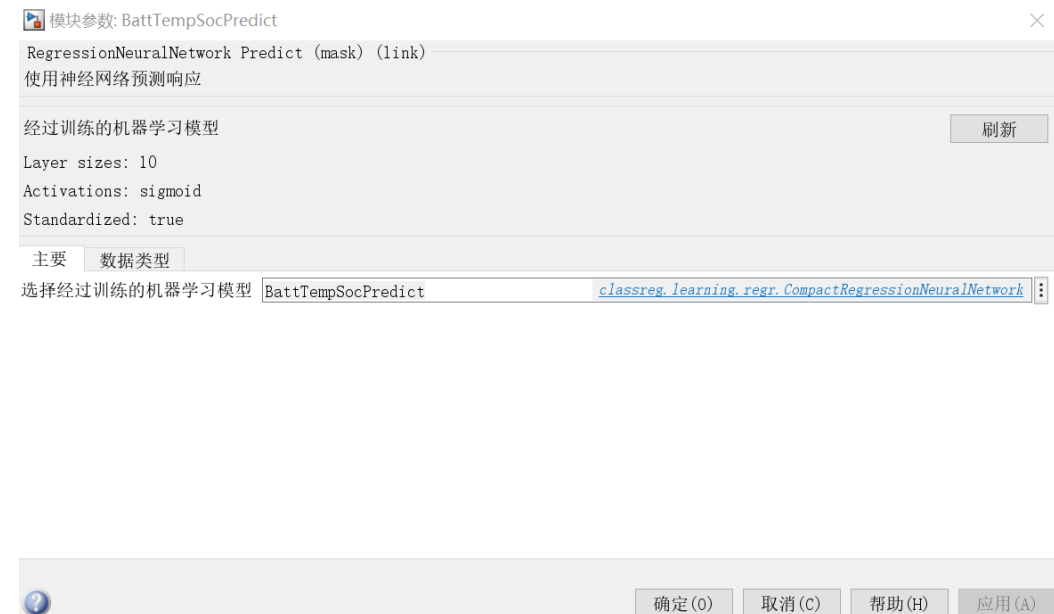
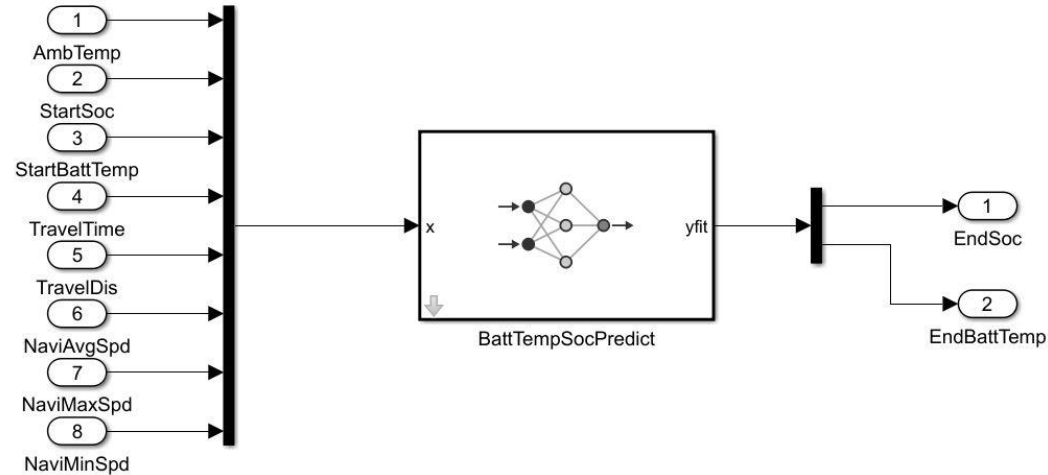
□ 终点电池温度预测误差分布



终点电池温度预测最大误差为0.3°C，里程为30km的数据预测误差较大，预测误差集中分布在车速 [25km/h, 30km/h] 区间内

基于神经网络的电池自然散热状态预测模型开发-代码生成

在Simulink中使用Statistics and Machine Learning Toolbox 提供的神经网络推理模块，可以跟随整体Simulink开发的PTMS策略一起生成代码，代码后续可以集成编译并部署到量产控制器或者HIL测试工控机中



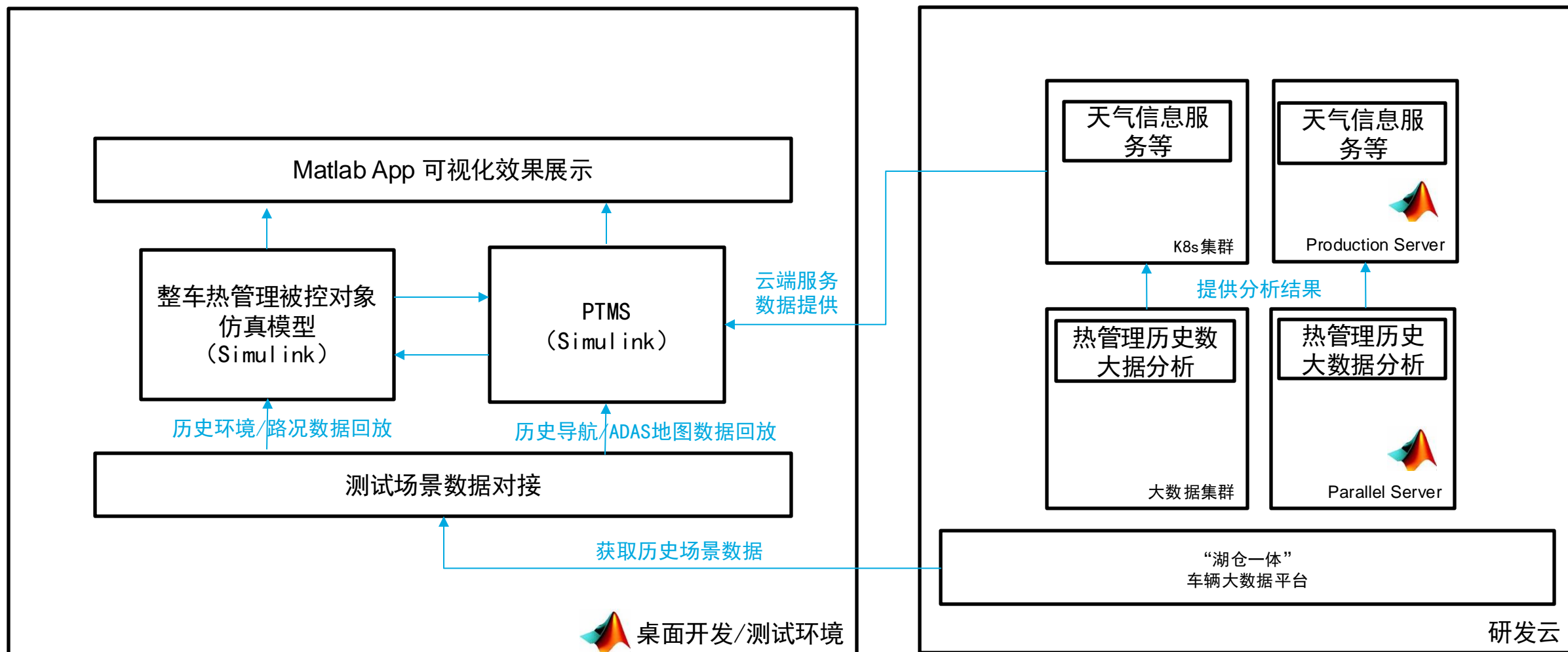
目录

- 预测性热管理背景和原理介绍
- 基于机器学习的预测性热管理开发
- 基于MATLAB/Simulink的智能网联仿真测试平台搭建
- 项目总结&展望

基于MATLAB/Simulink的仿真测试平台-背景



基于MATLAB/Simulink的仿真测试平台-平台方案



基于MATLAB/Simulink的仿真测试平台-被控对象仿真模型搭建

电池产热：电-热耦合模型

$$OCV = f(SOC)$$

$$Res = f(T_{batt}, SOC)$$

$$I = \frac{U_{oc} - \sqrt{U_{oc}^2 - 4RP_{bat}}}{2R}$$

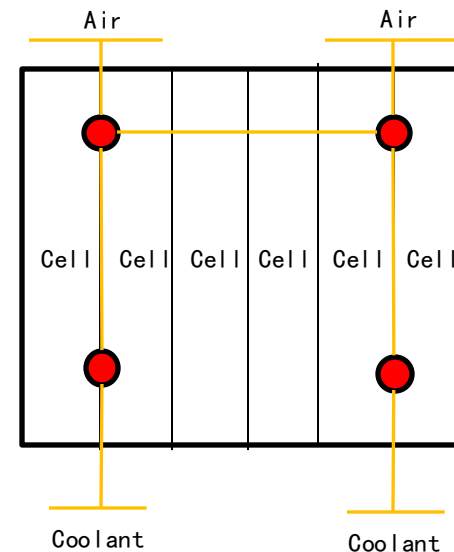
$$SOC = SOC_0 - \frac{\int_0^t Idt}{3600Q}$$

$$Q_{gen} = I^2R - IT_b \frac{dE}{dT_b}$$

$$c_b M_b \frac{dT_b}{dt} = Q_{gen} + \frac{(T_p - T_b)}{R_p} + Q_{air}$$

电池散热/加热：热质点模型

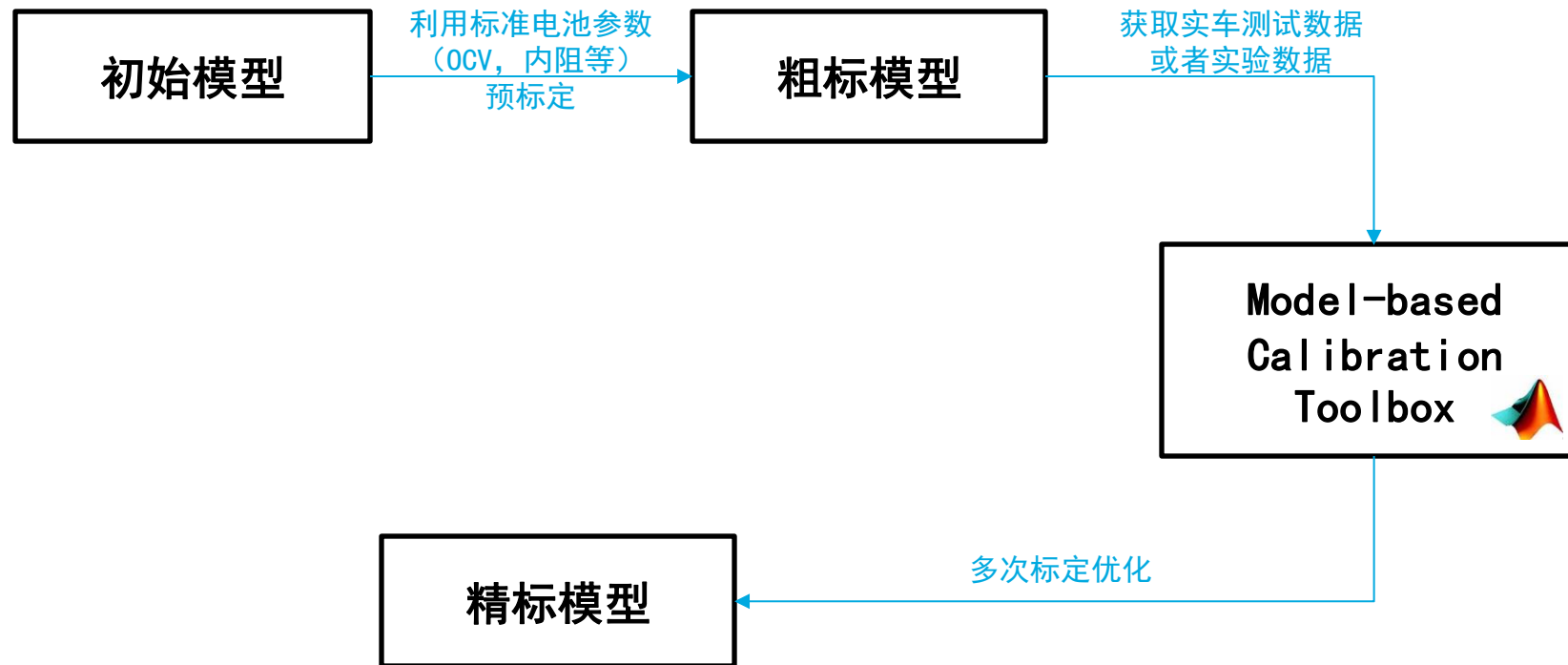
Battery Module



通过把电池模组抽象成热质点建模电池之间，电池与冷却液，以及电池与空气的换热关系；相关换热系数的确定通过参数辨识来完成；可以借助Simscape中的热源热阻模块完成建模

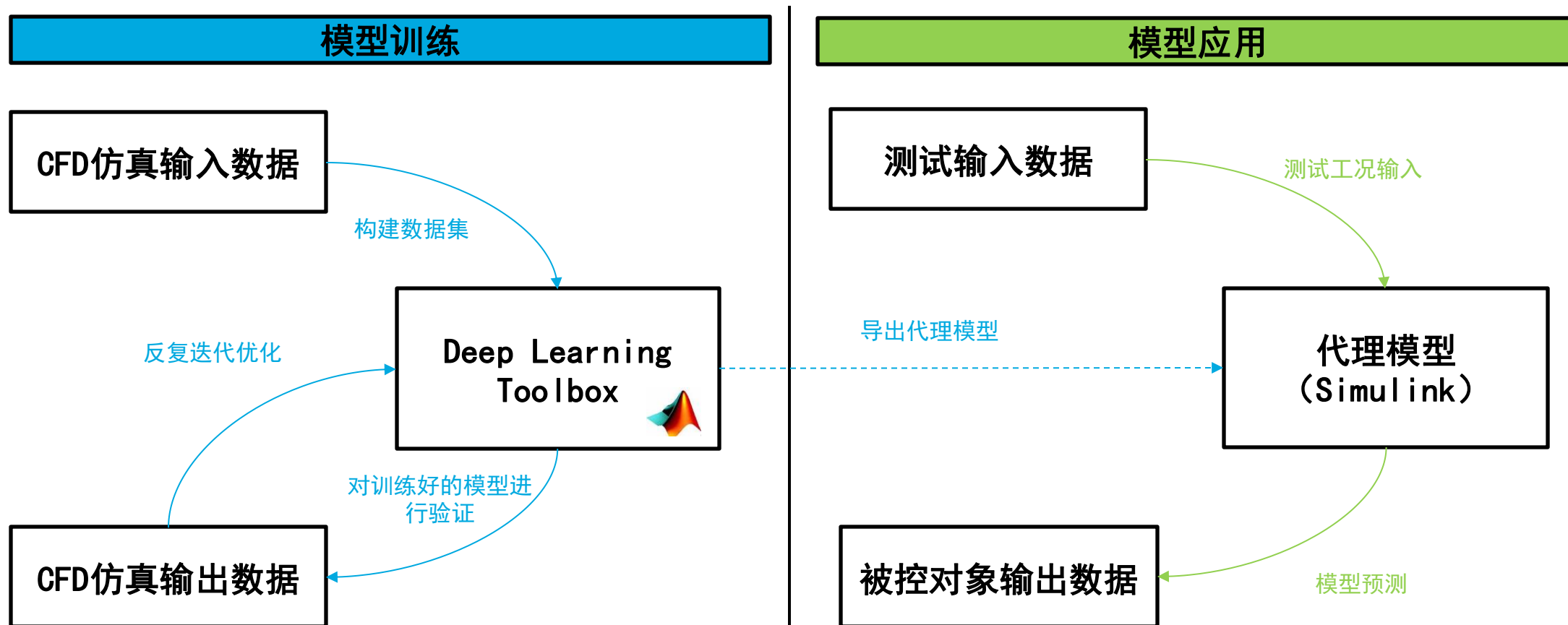


基于MATLAB/Simulink的仿真测试平台-被控对象仿真模型校准

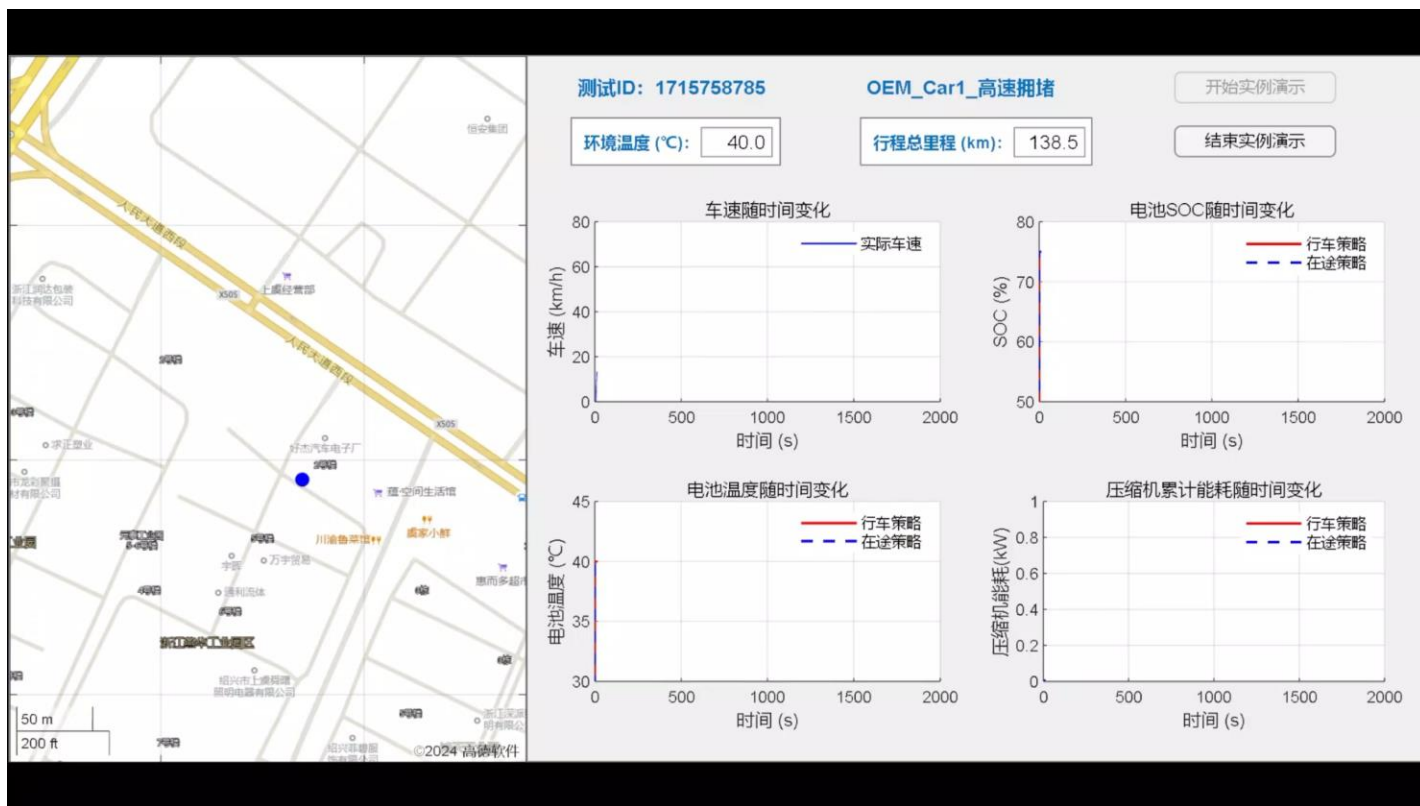


基于MATLAB/Simulink的仿真测试平台-构建代理模型

也可以利用从高精度1D/3D CFD模型生成代理模型的方式，得到用于验证测试的仿真模型



基于MATLAB/Simulink的仿真测试平台-APP可视化展示

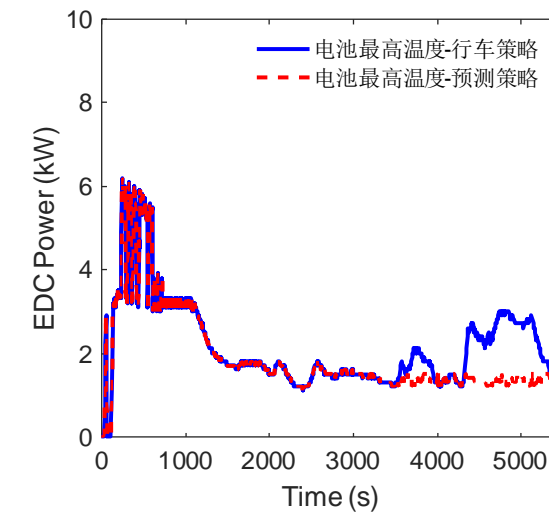
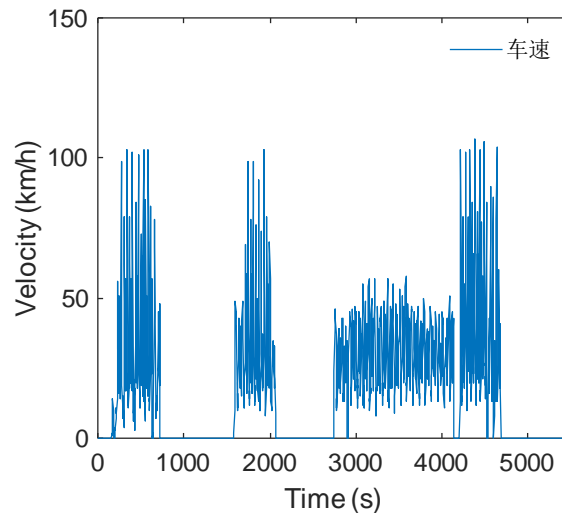
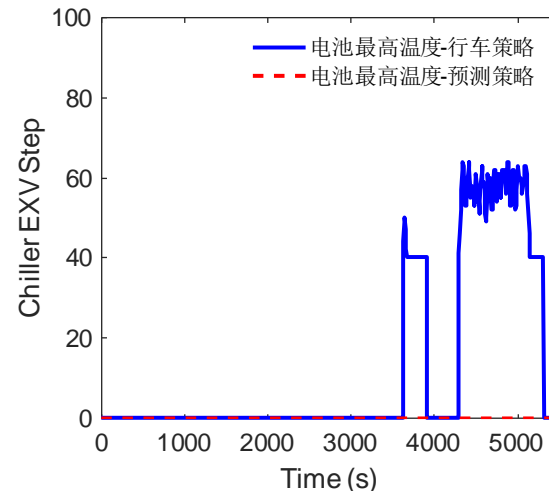
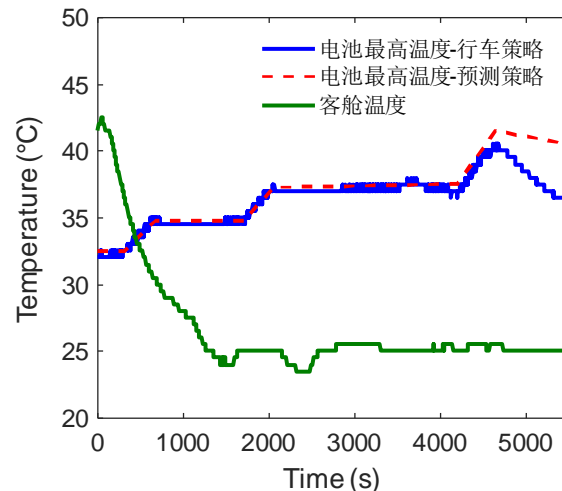
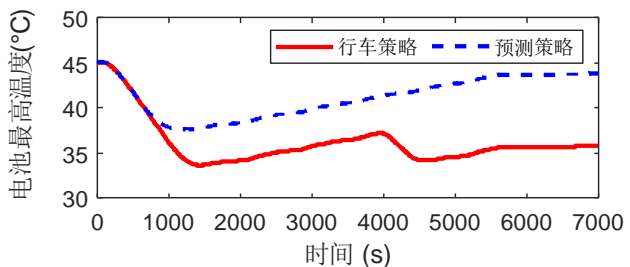
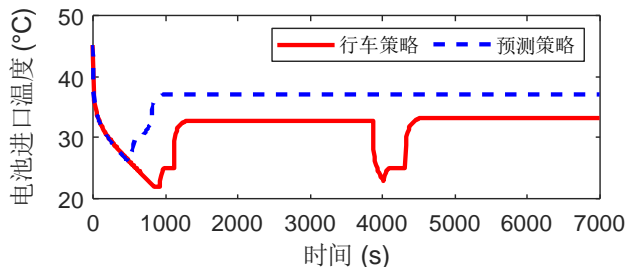
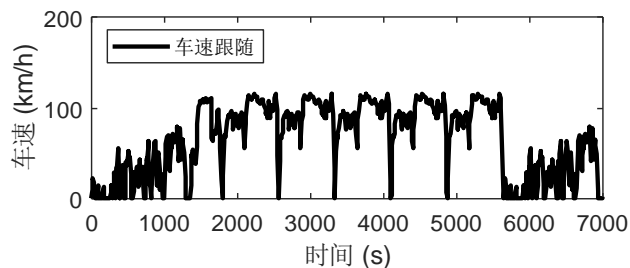


通过App Designer可以轻松构建演示App，直观的看到热管理系统关键参数变化，以及可以看到策略作用前后的对比效果

目录

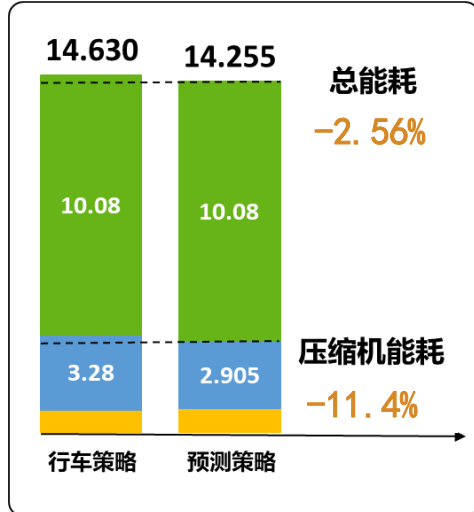
- 预测性热管理背景和原理介绍
- 基于机器学习的预测性热管理开发
- 基于MATLAB/Simulink的智能网联仿真测试平台搭建
- 项目总结&展望

整车能量管理 | 预测性电池热管理-行车过程优化仿真和实车测试结果



行驶里程: 26.5km
环境温度: 40° C
电池初始温度: 32° C
场景描述: 不预调客舱温度, 电池初始温度低, 前段热负荷小; 随行驶距离变长, 温度升高, 驱动功率高, 后段热负荷明显增大。

策略	折算电耗 kWh	热管理能耗 kWh
行车策略	37.53	1.925
预测策略	37.11 (-1.12%)	1.519 (-21.1%)



← 基于大平台仿真 | 基于实车测试数据 →

总结&展望

1. MATLAB /Simulink中的机器学习以及深度学习工具箱可提供完整的开发工具链，并支持代码生成，提高了在控制器端应用机器学习/深度学习的效率
2. 联合汽车电子有限公司利用MATLAB/Simulink的快速原型和仿真能力，构建了高效的系统仿真验证平台，提高了自身车辆网联应用的开发效率，降低了开发成本

2024 MathWorks 中国汽车年会

Thank you

