

GT-SUITE 在动力电池热管理仿真中的应用

Application of GT suite in thermal management simulation of power
battery

孙士杰 乔延涛 刘鹏 卢军 耿宇明

中国第一汽车集团有限公司新能源开发院

摘 要: 一维仿真具有仿真周期短, 对计算资源要求低等优点, 本文采用 GT-SUITE 搭建某型动力电池仿真模型。计算在快充加热工况下, PTC 功率对电芯升温速率的影响, 和低温环境下, 电芯温度的下降特性。结果表明: 加热功率为 7kW 时, 电芯温度由 -25°C 升高到 5°C , 需用时 1733s, 温度升高到 15°C , 需用时 2488s。为评价电池的保温性能, 模拟不同环境温度下电芯的降温特性, 结果表明, 在 -25°C 环境中放置 14 小时, 电芯温度由 40°C 下降到 -21°C 。在 -20°C 环境中, 置于室外 14 小时, 温度下降到 -15°C ; 在 -10°C 环境中, 置于室外 14 小时, 电芯温度下降到 -8°C 。

关键词: GT-SUITE 动力电池 热管理 一维仿真

Abstract: One dimensional simulation has the advantages of short simulation cycle and low requirements for computing resources. In this paper, gt-suite is used to build a power battery simulation model. The influence of PTC power on the heating rate of the core and the temperature drop characteristics of the core in the low temperature environment are calculated. The results show that when the heating power is 7KW, the temperature of the core increases from -25°C to 5°C , which takes 1733s, 15°C and 2488s. In order to evaluate the thermal insulation performance of the battery and simulate the cooling characteristics of the cell at different ambient temperatures, the results show that the cell temperature drops from 40°C to -21°C after being placed at -25°C for 14 hours. In the environment of -20°C , the temperature drops to -15°C after being outdoors for 14 hours; in the environment of -10°C , the temperature of the electric core drops to -8°C after being outdoors for 14 hours.

Key words: GT-SUITE, power battery, thermal management, 1D simulation

1. 前言

随着化石能源的枯竭和环境问题的日益凸显, 以电动汽车为代表新能源汽车成为国内外研究的热点。锂电池为目前应用最为广泛的动力电池, 锂离子电池的性能、寿命、安全等受温度影响明显, 其最适宜工作为 10°C - 30°C 。当温度过高时, 电池寿命迅速衰减, 同时电池温度的快速积累存在着很大的安全隐患, 严重的情况有可能造成电池的热失控。在低温环境下, 电池充放电困难, 而且可用容量严重下降, 内阻成倍增加, 电动汽车的续航里程明显下降, 且在低温环境下对电动车进行充电易造成电芯析锂。因此在高温时对电池进行适当的散热和低温时对电池进行适当的加热能够有效的改善电池的工作环境和工作性能。

一维软件具有占用计算资源少, 仿真周期短等优点, 本文利用 GT-SUITE 软件搭建动力电池热管理模型, 计算快充加热工况下 PTC 加热功率对电芯升温速率的影响, 及低温环境下电芯温度的下降特性。

2. 动力电池仿真模型搭建

动力电池热管理系统从冷却介质划分主要分为：风冷、液冷、直冷等。其中风冷具有结构简单、经济性好，易于实现等优点，但随着电动汽车能量密度的提高，风冷很难满足动力电池对散热的需求。直冷技术散热能力较强，但存在流量分配不均及加热困难等问题。液冷技术具有散热能力强，结构简单等优点，因此成为目前的主流技术。

2.1 动力电池热管理系统模型搭建

本文主要目的是通过仿真计算考察电池包在寒冷环境中的保温性能和充电工况的加热性能。由于该工况时间长，受到仿真时间和资源的限制，很难用三维 CFD 手段完成，因此作者利用 GT-SUITE 软件搭建动力电池热管理一维模型，如图 1，

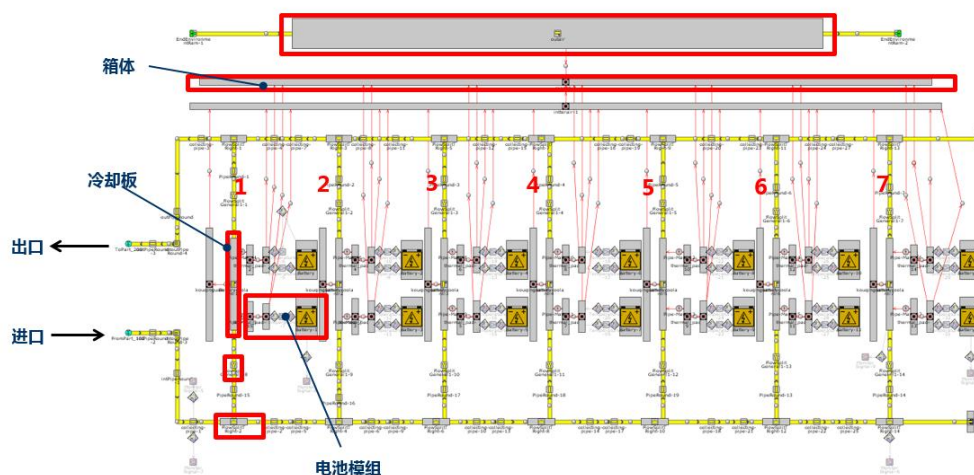


图 1

模型中主要包括：冷却管路、冷却板、电池模组、箱体，本文考察电池包的保温性能，因此考虑电池包外空气对电池包的冷却作用。

冷却管路：主要应用 PipeRound、FlowSplitTRight 等模块，输入的边界条件主要有进口流量、进口温度等。

冷却板：该动力电池冷却板为口琴管形式，采用 PipeRectangle 模块进行搭建。

模组：采用 ThermalFiniteElement 模块进行模拟，输入的边界条件主要有导热系数、比热容、质量等。

箱体：采用 ThermalMass 模块进行搭建，输入的边界条件主要有质量、换热面积及导热距离等。

包外空气：采用 PipeRectangle 模块进行搭建，输入的边界条件主要有进口流量与进口温度。其与箱体之间为对流换热连接。

2.2 模型校核

通过冷浸和热浸试验校核模型的准确度，冷浸试验校的工作条件为：电池包初始温度为 42°C ，置于 -30°C 的环境中，通过 BMS 采集电芯温度，模拟温度与试验温度基本一致，如图 2。

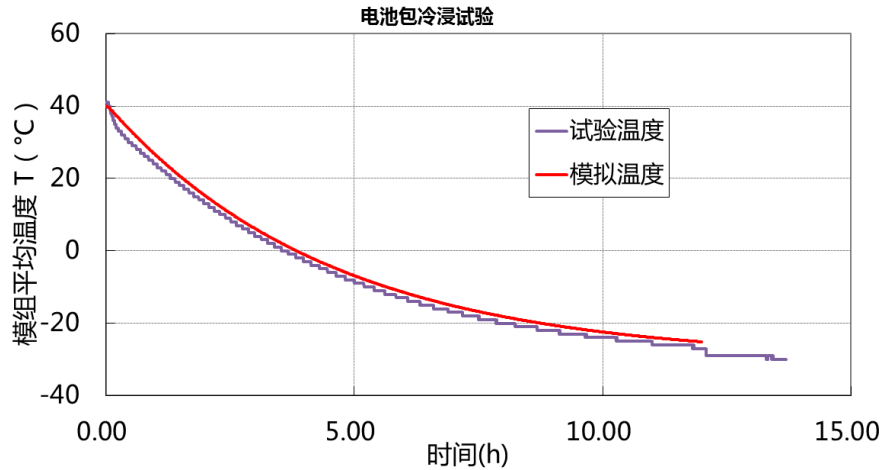


图 2 电池包冷浸标定结果

热浸试验的工作条件为：电池初始温度为 10°C ，置于 48°C 的环境中，从图 3 可以看出模拟温度变化与试验温度变化基本一致。

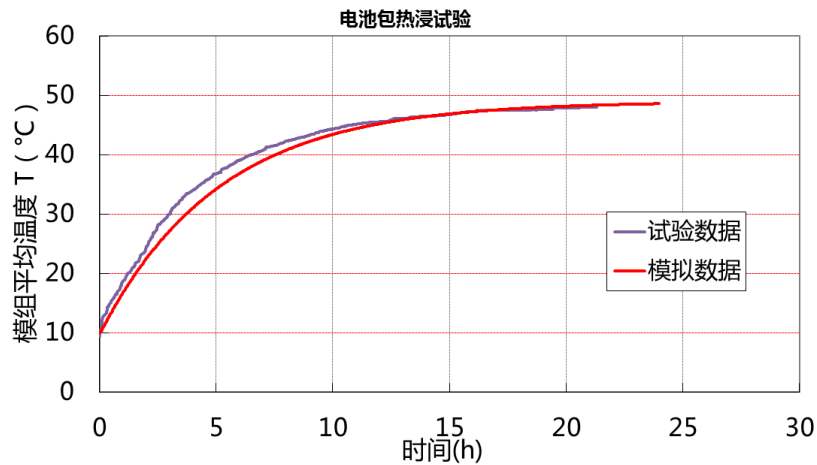


图 3 电池包热浸标定结果

3. 仿真分析

3.1 快充加热工况

动力电池在低温下进行大电流充电易造成析锂，严重危害动力电池安全，因此在低温环境下需要对动力电池进行加热，达到指定温度后才可对电池充电。本文利用上述搭建的模型模拟不同 PTC 功率对电池包的加热效果。PTC 在给动力电池加热过程中当水温达到指定温度后便会停止加热，本文利用动 GT 自带控制模块模拟这一边界条件，当动力电池进水温度大于 45°C 时，PTC 便停止加热。并在动力电池冷却系统的基础上增加水泵、膨胀水箱等。用于模拟整车快充加热工况的模型如图 4 所示。

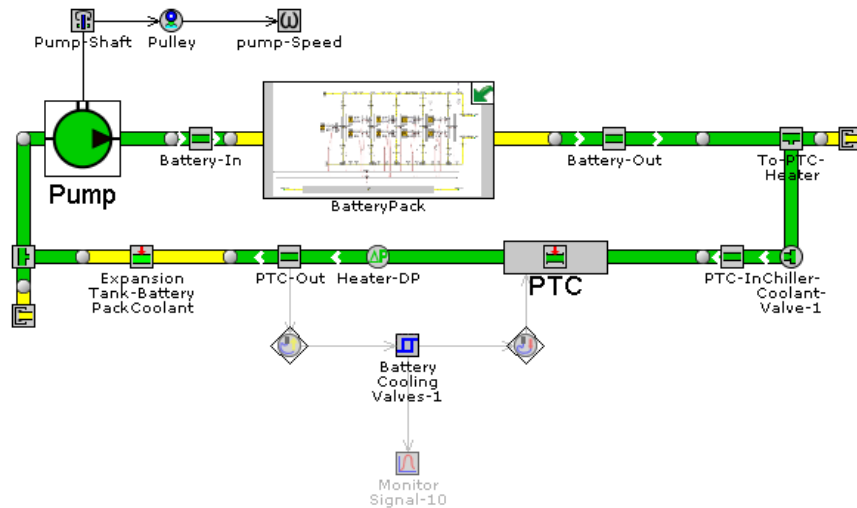


图4 快充加热模型

设置电芯的初始温度为 -25°C ，将PTC加热功率分别设置为 3kW 、 5kW 、 7kW 、 9kW ，模拟不同加热功率下电芯温度的变化，电芯的温升曲线如图5所示，加热功率为 3kW 或 5kW 时电芯温度呈线性增加。加热功率为 3kW 时，电芯的温升速率为 $0.51^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；加热功率为 5kW 时，电芯的温升速率为 $0.79^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。加热功率为 7kW 时，从 -25°C 到 5°C 的温升速率为 $1.04^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，从 5°C 到 15°C 的温升速率为 $0.83^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ；加热功率为 14kW 时，从 -25°C 到 5°C 的温升速率为 $1.26^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，从 5°C 到 15°C 的温升速率为 $0.89^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

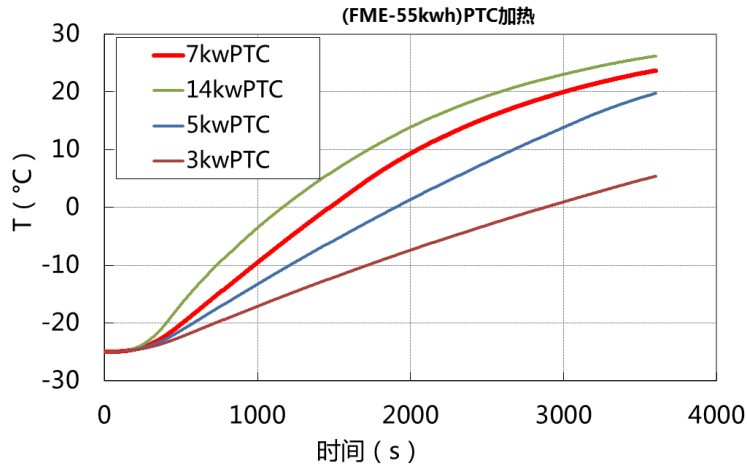


图5 加热功率对电芯温度的影响

不同加热功率下，温度达到 5°C 和 15°C 的时间如图6所示。加热功率为 3kW 时加热到 5°C 需要 3542s ，加热功率为 5kW 时，温度升高到 5°C 需要 2275s ，温度升高到 15°C 需要 3101s ，加热功率为 7kW 时，温度升高到 5°C 需要 1733s ，温度升高到 15°C 需要 2448s 。加热功率为 14kW 、时，温度升高到 5°C 需要 1425s ，温度升高到 15°C 需要 2093s 。综合考虑成本及升温效果选择 7kW 的PTC较为合理。

	加热到5°C 所用时间 (s)	加热到15°C 所用时间
14kw	1425	2093
7kw	1733	2448
5kw	2275	3101
3kw	3542	-

图 6 加热功率对加热时间的影响

3.2 冷浸工况

冷浸工况主要考察动力电池在低温环境下的保温性能，本文模拟电池初始温度 40° C，在不同温度下的温度下降特性。通过计算模型分别模拟环境温度为-25° C，-20° C，-10° C 电池电芯温度的下降特性，结果如图 7 所示。在-25° C 环境中，动力电池置于室外 8 小时，温度下降到-17° C，置于室外 14 小时，温度下降到-21° C；在-20° C 环境中，动力电池置于室外 8 小时，温度下降到-8° C，置于室外 14 小时，温度下降到-15° C；在-10° C 环境中，动力电池置于室外 8 小时，温度下降到-5° C，置于室外 14 小时，温度下降到-8° C。

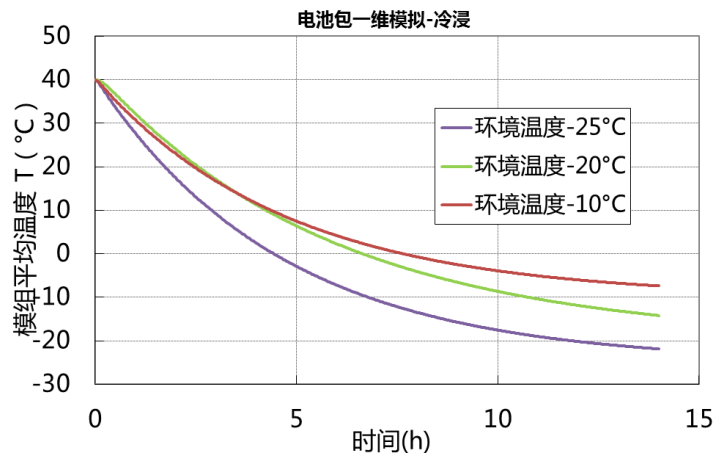


图 7 电池保温性能计算

4. 总结

本文利用 GT-SUITE 软件建立某型动力电池的热管理一维仿真模型对快充加热工况和冷浸工况进行模拟仿真。主要结论如下：

- 1、加热功率为 7kW 时，温度升高到 5° C，用时 1733s，温度升高到 15° C，用时 2488s。
- 2、在-25° C 环境中放置 14 小时，电芯温度由 40° C 下降到-21° C。在-20° C 环境中，置于室外 14 小时，温度下降到-15° C；在-10° C 环境中，置于室外 14 小时，电芯温度下降到-8° C。

5 参考文献

- [1] 窦昊、梁长裘、朱贞英、门永新，基于 GT-SUITE 的乘用车冷却系统匹配仿真分析与试验验证，2013 年 IDAJ 中国区年会，2013。
- [2] 王伟民，徐人鹤，王希诚，王小碧，周坤，李洪涛等，纯电动汽车整车热管理系统集成仿真技术研究及展望，2017 年 IDAJ 中国 CAE/CFD 技术大会论文集，2017。
- [3] 余志生. 汽车理论. 5 版. 北京：机械工业出版社，2009. 3