

集成电池热管理的空调系统性能仿真分析

**Simulation and analysis on performance of automotive air conditioning
system with integrated battery thermal management**

邢小伟 郭凯 张小矛 陈明 徐政

(上海汽车集团股份有限公司技术中心)

Xing Xiaowei Guo Kai Zhang Xiaomao Chen Ming Xu Zheng

(SAIC Motor Technical Center)

摘 要: 某电动车空调系统集成了电池热管理系统, 基于此款电动车, 本文建立了集成电池热管理的空调系统模型, 评估了系统在台架工况下制冷量、蒸发器出风温度、系统压力及COP等性能指标, 通过优化系统参数, 提升了系统制冷性能, 使其性能达到设计要求值; 分析了系统在整车最大制冷工况下, 评估了空调制冷效果及电池温升情况, 通过优化系统控制参数, 使得系统在电池热管理系统运行后, 空调系统性能达到设计要求值。

关键词: 汽车空调 制冷量 电池温升

Abstract: The battery thermal management system is integrated with the electric vehicle air conditioning system. Based on the electric vehicle, the author established 1D model of the air conditioning system integrated battery thermal management. The refrigerating capacity, the evaporator outlet temperature, system pressure and COP was assessed. Through the improvement of system parameters, the refrigerating capacity get improvement. The cooling effect of the air conditioner and the temperature rise of the battery were evaluated under the maximum refrigerating condition of the vehicle. By optimizing the control parameters of the system, the performance of the air conditioner system meet the design requirements when the operation of the battery thermal management system.

Key words: Automotive air conditioning; Cooling capacity; Battery

空调系统是汽车重要的附件系统之一, 对汽车舒适性、经济性及动力性等方面都有重要影响^[1-2]。实现良好的空调制冷性能, 对于提升汽车舒适性及经济性至关重要。对于电动车, 电池热管理系统既能使电池工作在合理的温度范围内, 保证电动车的安全性, 又能提升电池工作寿命、且使电池工作在高效率区间, 从而提升续航里程。实现良好的电池热管理系统, 目前主流方法为将其集成到空调系统中, 完成在高温环境下对电池的强制冷却。

某电动车空调系统集成了电池热管理系统, 基于此款电动车, 本文建立了集成电池热管理的空调系统模型, 分析了系统在台架及整车工况下的性能表现, 通过优化关键参数, 提升了系统整体性能。

1 集成电池热管理的空调系统模型建立

根据空调系统的结构布置, 建立了集成电池冷却的空调系统一维仿真模型, 模型中包含空调系统部件, 压缩机、冷凝器、膨胀阀、蒸发器和连接管路, 电池热管理回路部件, 水泵、水冷板、电池冷却器、电池。具体布置原理如图 1 所示。

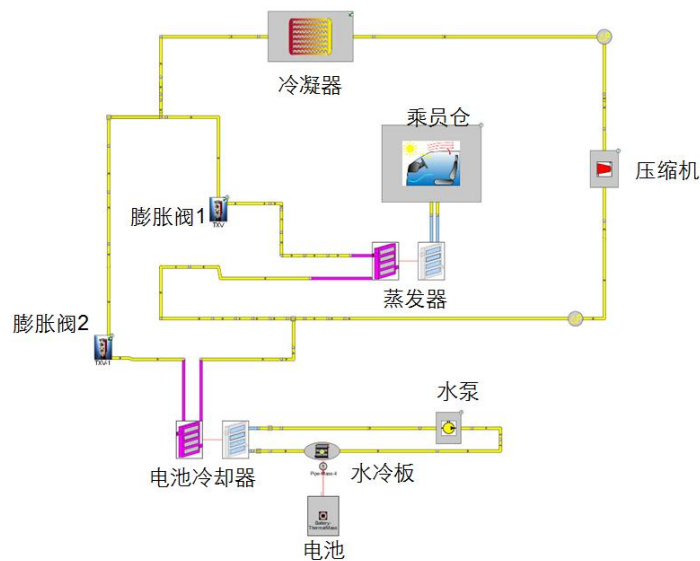


图1 集成电池热管理的一维空调模型

1.1. 空调系统建模

压缩机是将来自蒸发器的低温、低压的气态制冷剂吸入后进行压缩，使之成为高温、高压的制冷剂，并送入冷凝器。根据提供的单体试验数据，压缩机建模中将压缩机转速、压比、效率等参数以 map 形式输入，模拟压缩机性能。

膨胀阀根据蒸发器出口压力和温度调整热力膨胀阀开度。模型中输入膨胀阀的四象限特性曲线，包括感温包压力-温度曲线、针阀开度-压力曲线和制冷剂流量-针阀开度曲线。仿真过程中，膨胀阀感知蒸发器出口压力和温度，控制针阀开度和制冷剂流量，从而模拟膨胀阀的工作过程。

冷凝器是将压缩机排出的高温高压的气态制冷剂与外界空气进行热交换，从而凝结为高温高压的液态制冷剂。建模时基于几何形状和性能试验数据进行模拟。几何形状参数包括芯体长度、厚度、高度、内部管路布置、翅片形状。根据冷凝器单体性能试验环境，包括环境温度、风速、制冷剂流量、压力等，对模型的制冷量和压降进行校核，调节模型中的换热因子与压降因子，使冷凝器单体的模拟结果与试验结果一致，然后将校核后的冷凝器加入系统模型中进行空调性能模拟。

蒸发器是将液体膨胀阀出来的低温低压液态制冷剂在蒸发器内进行热交换，从而转变成低温低压的气态制冷剂。其建模过程与冷凝器相似，不再赘述。

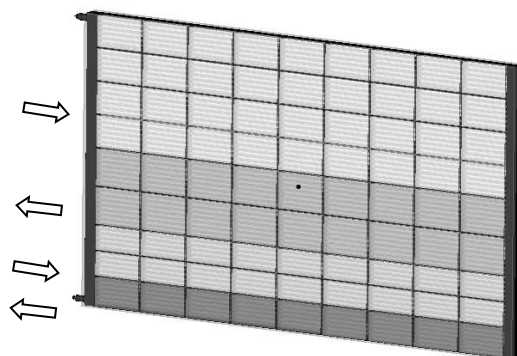


图2 冷凝器离散模型

1.2 电池热管理系统建模

对于电池建模，需要收集其物性参数，如质量、材料导热率、密度，收集在评估工况下的散热量。

电池固体一般放置于水冷板上，通过流经水冷板的冷却液带走部分热量，因此需要通过 CFD 计算水冷板水套的流动阻力及换热系数。

输入水泵的性能 map 图，即转速-流量-扬程相关性能，即可完成水泵建模。

电池冷却器一路走制冷剂，一路走冷却液，通过制冷剂冷却电池热管理系统中的冷却液，从而使得冷却液带走电池的热量，保持电池温度在合理范围内。当电池上升到一定温度后，电池热管理系统开始运行，电池冷却器开始换热，电池温度冷却到一定温度后，电池热管理系统停止运行。空调及电池热管理系统通过电池冷却器完成耦合换热。

2 台架工况分析

2.1 电池热管理系统开启后对空调系统性能影响

台架工况下，模型中通过控制电池热管理系统水泵流量，以达到所需换热量，电池换热量由电池供应商提供，分析电池热管理系统开启后对空调系统性能的影响。

图 3 中 chiller 表示电池冷却器，chiller on 表示电池热管理系统开始运行，chiller off 表示电池热管理系统停止运行。从图 3 中可以看出，chiller on 后，由于 chiller 对蒸发器的分流作用，空调系统制冷量下降，下降幅度为 20%~30%，蒸发器出风温度升高 3.5℃~4.2℃，超出设计要求值；系统压力略有增大，但变化幅度很小且满足设计要求值，系统 COP 略有增大。

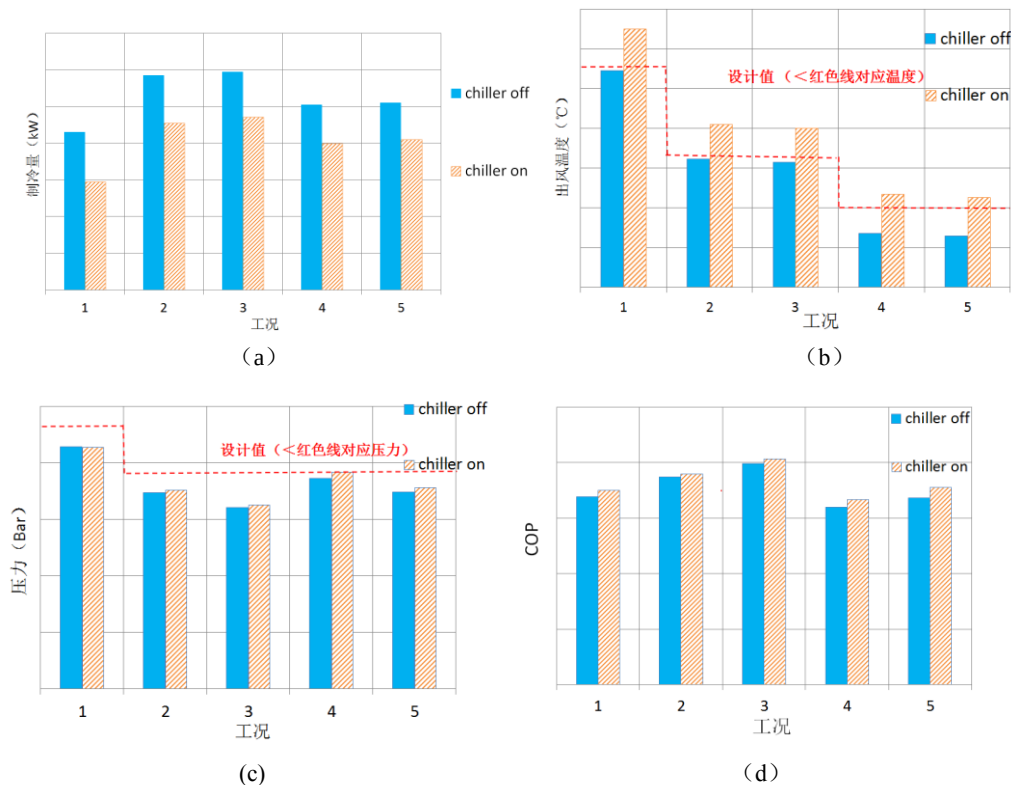


图 3 Chiller on 后对空调系统性能的影响

2.2 系统优化方案对比

chiller on 后，空调系统制冷量下降，导致蒸发器出风温度超过设计要求，因此，需要优化系统参数，提升空调系统制冷效果，以满足设计要求。

方案 A 为提升压缩机转速，方案 B 为通过提高风扇转速提升冷凝器前端进风量，方案 C 为提升压缩机转速的同时提升冷凝器前端进风量。

Chiller on 后，方案 A 通过提升压缩机转速来提升系统流量，从图 4 中可以看出，相比 chiller on 方案，系统制冷量提升 23%~40%，蒸发器出风温度降低 20%~40%，且达到设计要求值，但随着转速提升，系统压力有所升高，系统压力过高不利于系统密封及相关零部件耐久性能，图 4 (c)

显示，方案 A 系统压力超出设计要求值，相比 chiller on 方案，系统压力升高 14%~20%。

Chiller on 后，方案 B 通过提升冷凝器前端进风量来提升系统性能。从图 4 (a) (b) 中可以看出，系统制冷量及蒸发器出风温度产生较大幅度改善，未达到设计要求值，但从图 (c) (d) 中可以看出，系统压力有所降低，降低 6%~8%；COP 有所提升，提升 4%~8%。

Chiller on 后，方案 C 提升压缩机转速的同时提升冷凝器前端进风量。从图 4 (a) (b) 中可以看出，系统制冷量提高，系统制冷量提升 25%~50%，蒸发器出风温度降低 22%~43%，蒸发器出风温度满足设计要求。从图 4 (c) 中可以看出，系统压力满足要求值。从图 4 (d) 中可以看出，随着压缩机转速的提升，系统 COP 有所降低。

综合来看，方案 A 和 C 能提升系统制冷性能，蒸发器出风口温度可以满足设计要求，但方案 A 随着压缩机转速提升，导致系统压力升高，方案 C 可满足系统对压力的要求，同时，提升压缩机转速会带来压缩机耗功的上升，COP 会有所下降。

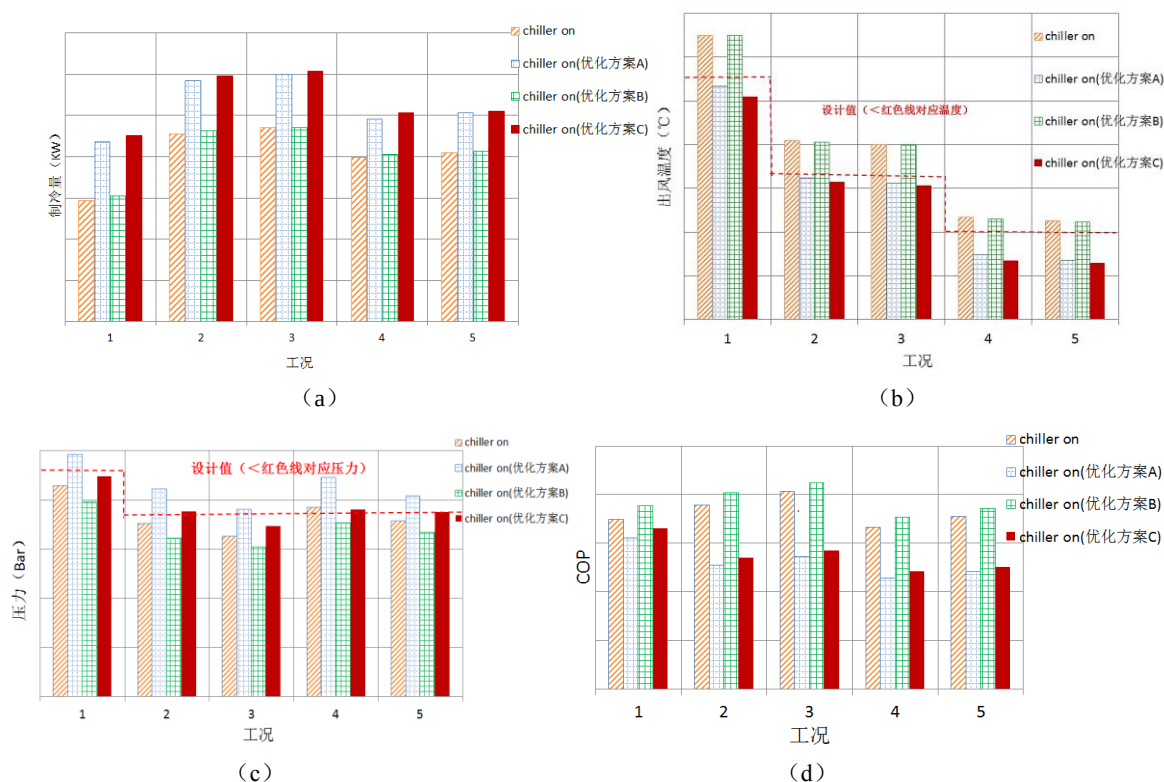


图 4 优化方案对空调系统性能 (chiller on) 的影响

3 整车工况分析

3.1 整车工况下空调性能及电池温度变化

对集成电池热管理的空调系统进行整车最大制冷工况分析，电池达到一定温度后，电池热管理系统自动开启进行电池降温，温度降低到一定范围后，电池热管理系统中的控制阀关闭，水泵停止工作，电池热管理系统停止运行。

图 5 为原方案，10min 时，电池达到一定温度后，chiller 开启，电池开始被空调系统进行冷却，电池升温速率开始降低（如图 7），随着 chiller 的开启，空调制冷能力下降，导致 10min 时的蒸发器出风温度、30min 时的乘员仓呼吸点温度超出设计要求值，为此，对原方案进行优化，即在 10min 电池开始冷却时，提升压缩机转速，如图 6 所示，通过方案优化，空调系统制冷能力满足要求。

图 7 为电池温度变化曲线。从图中可以看出，优化方案不仅提升了空调性能，且对电池的冷却没有产生不利影响。

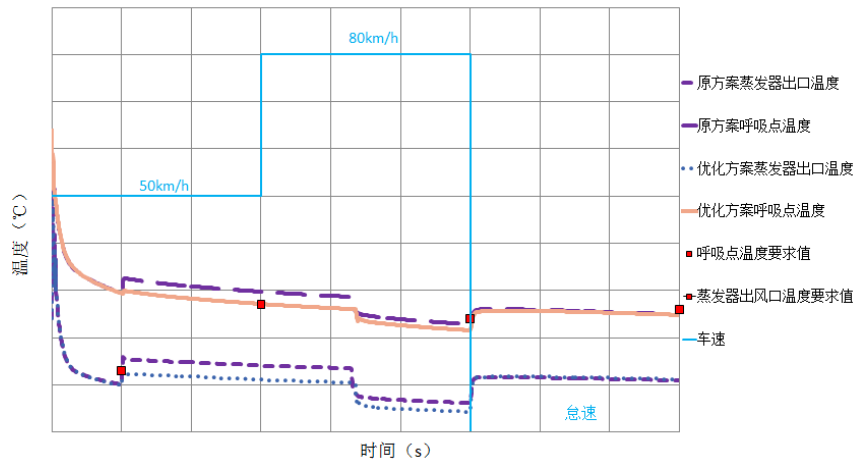


图5 整车乘员仓及空调出风口温度变化曲线

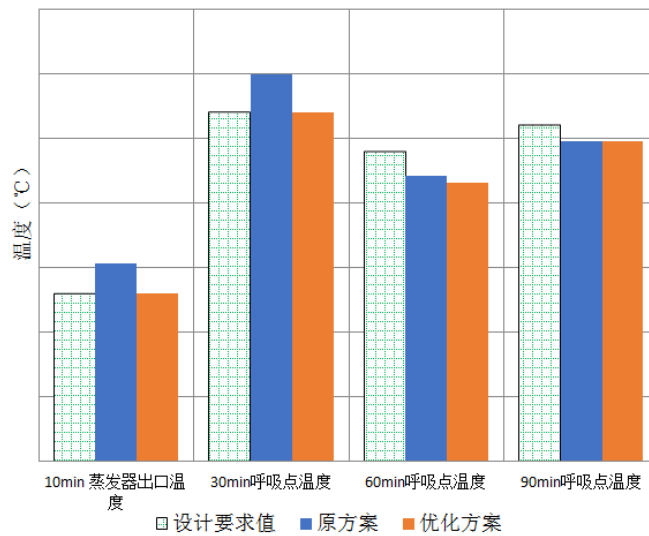


图6 原方案及优化方案温度变化对比

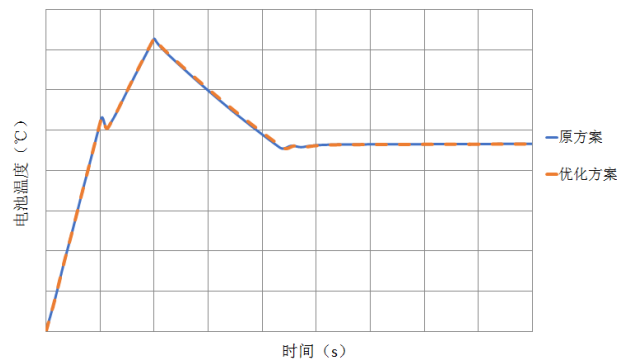


图7 原方案及优化方案电池温度变化曲线

4 结论

(1) 建立了集成电池热管理的空调系统模型，分析了在台架工况下系统的制冷性能、系统压力及 COP 等，分析了在整车工况下，系统的制冷性能及电池温升变化。

(2) 对于台架工况，当 chiller 开启后，即电池需要空调系统进行冷却时，蒸发器出风温度无法满足设计要求，通过提升压缩机转速的同时提升冷凝器前端进风量，既能满足蒸发器出风温

度的要求，又能避免系统压力过高。

（3）对于整车工况，10min 时，电池达到一定温度后，chiller 开启，空调制冷能力下降，导致 10min 时的蒸发器出风温度、30min 时的乘员仓呼吸点温度超出设计要求值，通过在 chiller 开启后，控制提升压缩机转速来满足空调系统的设计要求，且对电池的冷却不产生不利影响。

5.参考文献

- [1] Andreas Kemle, Ralf Manski, Harald Riegel, et al. Reduction of Fuel Consumption in Air Conditioning Systems[C]. SAE Paper 2008-28-0025.
- [2] William Hill, Stella Papasavva. Life Cycle Analysis Framework; A Comparison of HFC-134a, HFC-134a Enhanced, HFC-152a, R744, R744 Enhanced, and R290 Automotive Refrigerant Systems[C]. SAE Paper 2005-01-1511.
- [3] 郭凯，徐政等. 汽车空调系统性能仿真与参数分析[J]. 上海汽车，2015，3：28-33.