

基于进风优化的混合动力双电机油冷热管理系统研究

潘文军, 张志强, 丁磊

(东风柳州汽车有限公司, 广西 柳州 545005)

摘要:针对某款采用双电机油冷器冷却的串并联式混合动力汽车,设计一套动力热管理系统。综合三维和一维仿真方法建立热管理仿真模型进行进风量和油温仿真分析,并根据仿真结果进行优化设计。

关键词:串并联混合动力;双电机油冷;热管理系统;进风量

中图分类号:U461.2

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2024)05-0011-04

Research on Thermal Management System for Hybrid Dual-motor Oil Cooling Based on Air Intake Optimization

PAN Wenjun, ZHANG Zhiqiang, DING Lei

(Dongfeng Liuzhou Motor Co., Ltd., Liuzhou 545005, China)

Abstract: Aiming at a series-parallel hybrid electric vehicle utilizing a dual-motor oil cooler, this paper designs a thermal management system, establishes thermal management simulation models by compositing three-dimensional and one-dimensional simulation methods to simulate and analyze the intake airflow and oil temperature, and does the optimization design based on the simulation results.

Key words: series-parallel hybrid; dual-motor oil cooling; thermal management system; air intake volume

混合动力汽车的热管理系统在能源利用效率和性能优化方面具有关键作用^[1-3]。目前国内外针对混合动力汽车热管理系统的研究主要集中在如何提高其热效率和能量利用率。通过开发整车控制器和制定热管理策略,可实现对动力电池和整车热管理的优化^[4-5]。其中主动进气格栅(AGS)技术的开发应用^[6],进风量的优化研究^[7],对于提高混合动力汽车热管理系统的效率和性能具有重要意义^[8-9]。

本文针对某串联并联式混合动力汽车,开发一套热管理系统,并结合三维进风流量模拟,对双电机油冷器进行仿真分析;最后对混合动力汽车热管理系统中的进风量进行优化研究,以提高系统的热管理效果。

1 混合动力汽车及热管理系统

该串联并联式混合动力汽车的构型及关键零部件如图1所示,包括发动机、双电机(同时含驱动电机和发电机)系统、动力电池、电机控制器以及直流电源转换器DC/DC等。表1为整车、发动机、发电机和驱动电机的性能和基本参数。

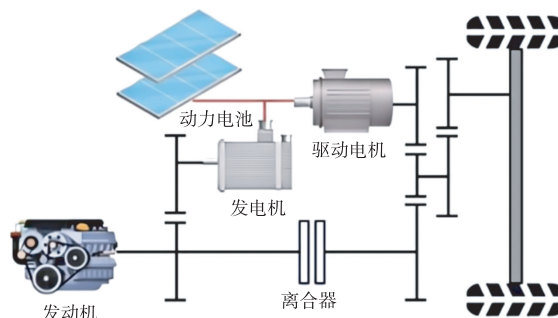


图1 混合动力汽车构型

收稿日期:2024-03-24。

基金项目:柳州市科技计划项目(2022ABA0101)。

第一作者:潘文军(1985—),男,硕士;高级工程师;主要从事新能源汽车研发工作。E-mail:panwj@dlzm.com。

表 1 整车和系统零部件基本参数

整车	长、宽、高/m	4.5、1.8、1.7
	质量/kg	1 700
发动机	排量/L	1.5
	最大功率/kW	125
发电机	峰值功率/kW	70
	最高转速/(r·min ⁻¹)	14 000
驱动电机	峰值功率/kW	130
	最高转速/(r·min ⁻¹)	16 000

双电机系统采用油冷方案,油温最高目标为 90℃。电机油冷器、中冷换热器、低温换热器和高温换热器共同构成了本文所提的综合型热管理系统^[10-12],其原理如图 2 所示。

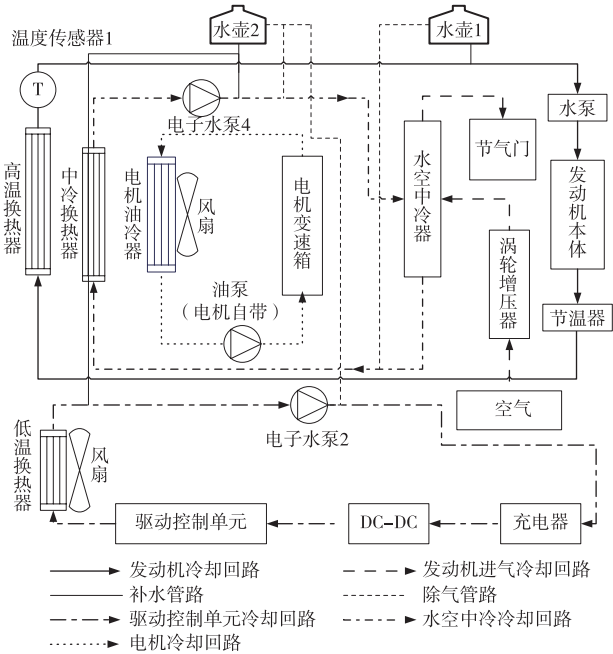


图 2 整车综合热管理系统原理图

通过冷却液循环和风扇等辅助设备,实现热量的有效传递和散发,保证混动汽车的关键部件在不同工况下的工作温度都处于适宜的温度范围内。其中电机油冷器负责冷却双电机(驱动电机和发电机)系统,确保电机在工作过程中能够有效散热,防止电机过热;中冷换热器负责冷却发动机的增压器和进气,以降低进气温度,提高发动机的燃烧效率和动力输出;低温换热器负责冷却电机控制器和直流电源转换器 DC/DC,保障这些电子部件在正常工作温度范围

内运行;高温换热器负责冷却发动机本体,确保发动机在持续高负荷运行时能够维持稳定的工作温度。上述部件自身的冷却靠车头格栅处进入的空气,风量不足时由风扇进行补充。

综合热管理系统中各散热单元的相对位置布置如图 3 所示。从进风端到风扇端,依次为中冷换热器、低温换热器、高温换热器和电机油冷器。这种布置旨在有效地管理混合动力汽车各部件的工作温度,确保各部件工作过程中的温度都保持在适宜的范围

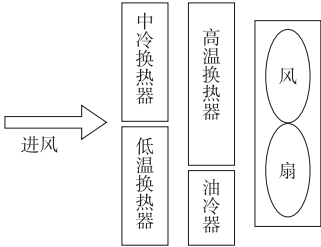


图 3 散热单元相对位置布局

2 热管理仿真及优化

热管理仿真采用三维和一维联合进行。三维仿真用于详细设计和优化阶段,通过流场仿真,可得到更为详细的物理参数(如进风量),为一维仿真提供仿真输入。一维仿真基于各部件的物理参数,可快速评估不同设计方案的冷却性能(如散热能力)、经济性能(如不同温度下的能耗)、环境适应性(如不同温度下热管理稳定性),辅助工程师决策设计方案。

本文采用三维仿真获取混动汽车热管理中的关键参数——进风量,并将其作为一维仿真的输入,开展 WLTC 工况和爬坡工况下双电机冷却油冷器性能的分析研究。WLTC 工况较接近实际常用道路情况,用此工况进行热管理仿真,可在一定程度上了解其在实际道路运行的冷却性能。爬坡工况比 WLTC 工况更严苛,用此工况进行热管理仿真,可使得所设计的进风量安全余量大,确保极限工况下整车也不会发生热失控。

2.1 三维仿真

采用流体仿真软件 STAR CCM+,基于连续介质的多物理场建模,进行机舱前端流场的几何前处理、网格划分、仿真参数设置、计算分析和后处理,开展车

辆机舱前端流场的仿真分析^[13]。

首先通过 CATIA 软件建立车辆机舱前端的三维结构模型, 然后采用 STAR CCM+ 软件建立机舱前端的进风流场仿真模型(图 4)。WLTC 工况和爬坡工况的主要参数见表 2。由仿真结果可知, WLTC 工况下油冷器的进风量为 $0.174\ 3\ \text{m}^3/\text{s}$, 爬坡工况下油冷器的进风量为 $0.193\ 7\ \text{m}^3/\text{s}$ 。所得进风量用于后续的一维仿真。其中爬坡工况的进风量流场仿真云图如图 5 所示。



图 4 三维机舱前端流场仿真模型

表 2 WLTC 工况和爬坡工况的主要参数

工况	车速/($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	坡度/%	工作模式	环境温度/ $^{\circ}\text{C}$
WLTC	46.5(平均)	0	纯电+混动	25
爬坡	60(匀速)	7.2	爬坡(串联)	45

注: 表中的“串联”是指由发动机带动发电机发电, 提供能量给驱动电机驱动车辆行驶。

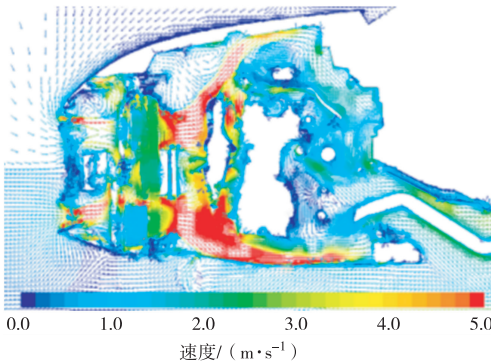


图 5 机舱前端进风流场分析图(爬坡工况)

2.2 一维仿真

采用热管理仿真软件 GT SUITE, 基于图 1 和图 2 的混合动力构型及热管理架构, 建立整车热管理一维仿真模型, 如图 6 所示。仿真模型包括发动机系统、电池系统、双电机(即驱动电机和发电机)系统、排气系统以及热管理系统等多个关键组成部分。

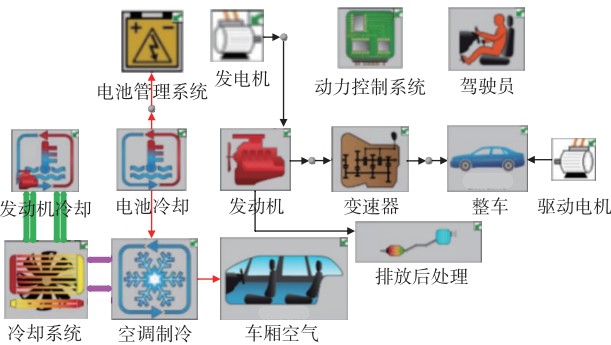


图 6 一维热管理仿真模型

基于建立的 GT SUITE 仿真模型^[14], 输入各部件的物理参数, 如油冷器进风量、油泵流量, 用于开展不同工况的热管理性能仿真评估。其中, 油泵选取的是其他类似车型已用零部件, 其流量为 $7.5\ \text{L}/\text{min}$ 。

将 WLTC 工况对应的油冷器进风量 $0.174\ 3\ \text{m}^3/\text{s}$ 输入后, 仿真分析 WLTC 工况下双电机的油温随时间变化的关系(图 7)。从图 7 中可以看到, 油温随着时间推移逐渐上升, $1\ 800\ \text{s}$ 油温达到 $42.12\ ^{\circ}\text{C}$, 相比起始工作温度($22.5\ ^{\circ}\text{C}$)有所上升, 但相比于油冷器允许的最高温度($90\ ^{\circ}\text{C}$)仍有较大的安全裕度。

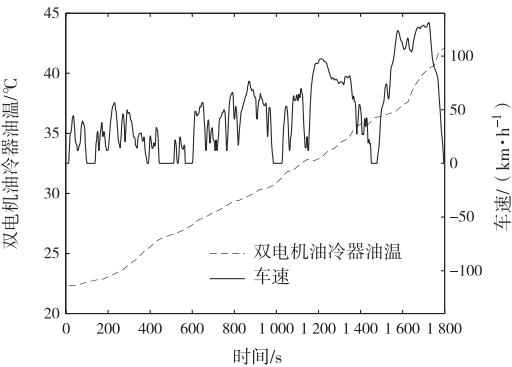


图 7 WLTC 工况双电机油温变化曲线

将爬坡工况对应的油冷器进风量 $0.193\ 7\ \text{m}^3/\text{s}$ 输入后, 仿真分析爬坡工况下双电机油冷器的最终温度。仿真结果为 $93.8\ ^{\circ}\text{C}$, 超过目标温度 $3.8\ ^{\circ}\text{C}$, 未能达到设计目标, 需对其开展优化分析。

可以发现, 由于 WLTC 工况测试环境温度在 $25\ ^{\circ}\text{C}$ 左右, 且没有坡度, 导致其工况恶劣性不如爬坡工况, 不足以验证恶劣工况下热管理系统的热管理性能, 故最终采用爬坡工况进行热管理性能评估。

2.3 优化及效果

基于爬坡工况下双电机油冷器过温现象, 本文提

出的优化措施如下:将电子风扇功率由400 W升级为600 W。同样采用2.1节的三维仿真,得知其进风量变为 $0.212\text{ m}^3/\text{s}$,较原方案提升9.5%;经过2.2节一维仿真得知,增加进风量后,爬坡工况下的油冷器油温为 $89.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($<90\text{ }^{\circ}\text{C}$),较原方案降低了4.37%,刚好满足设计目标。

3 结束语

本文针对一款串并联双电机油冷混动汽车,根据其构型特点和各零部件的散热需求研发了一套热管理系统。采用三维和一维仿真方法对其热管理性能进行验证与优化。本研究为混合动力双电机油冷热管理开发提供了仿真优化方法,未来可对复杂工况下该系统热管理性能开展深入研究,充分挖掘该热管理系统的优化潜力。

参考文献:

- [1] 唐小林,郎陈佳,郑林洋,等. 智能网联混合动力汽车能量管理研究综述[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2023,37(9):1-12.
- [2] 阮先轸,孙玲玲,姚孟良,等. 电动汽车热管理系统集成技术研究进展[J]. 新能源进展,2024,12(3):303-312.
- [3] 翟若岱,田彩姣,彭显正,等. 电动汽车热管理研究现状与展望[J]. 汽车实用技术,2024,49(7):14-19.
- [4] 陈志鹏,孙兴,杨俊伟. 插电混合动力汽车整车控制器热管理控制分析[J]. 汽车电器,2020(12):32-36.
- [5] 卢山,卢桂萍,李馨. 基于V模式开发插电式混合动力汽车整车热管理控制策略研究[J]. 计算机测量与控制,2018,26(4):88-91.
- [6] 江亮,汤五洋,凡兵,等. 主动进气格栅在混动车型应用的关键技术研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版),2024,21(2):56-67.
- [7] 党岩,秦鹏,闫石. 主动进气格栅角度对整车前舱进气性能影响的数值分析研究[J]. 汽车工程学报,2021,11(6):442-446.
- [8] 戢健,张超,饶颢,等. 增程新能源车外显式主动进气格栅系统设计开发[J]. 汽车科技,2023(2):14-21.
- [9] 杨勤超,张凤利,张荣荣,等. 纯电动汽车主动进气格栅策略开发及能耗贡献量研究[J]. 汽车工程学报,2023,13(2):244-252.
- [10] 焦敏,赵治国,陈祥. 混合动力汽车用电池热管理系统的设计与研究[J]. 应用能源技术,2018(10):1-4.
- [11] 明敏,程树,黄炯. 混合动力车型动力电池一种先进的热管理设计理念[J]. 时代汽车,2021(1):16-17.
- [12] 王超,张佩,杜常清. 车用PEMFC发动机热管理系统设计与仿真分析[J]. 武汉理工大学学报,2023,45(6):130-138.
- [13] 魏志成. 基于Star-ccm+的SUV气动特性研究以及减阻优化[D]. 重庆:重庆交通大学,2019.
- [14] 李俊杰,谢骋,孟亚鹏,等. 整车油耗试验WLTC工况驾驶研究[C]//中国汽车工程学会. 2021中国汽车工程学会年会论文集(4). 北京:机械工业出版社,2021:845-850.