

基于 GT-SUITE 与 Simulink 的车辆驱动冷却系统联合仿真分析

Analysis of vehicle propulsion cooling system based on GT-SUITE and Simulink

康振华¹, 李静¹

(1. 国能新能源汽车股份有限公司, 天津市, 邮编 300450)

摘 要: 整车热管理仿真分析在车辆冷却系统设计开发具有重要意义, 准确的分析结果, 不仅可以指导零部件合理选型, 优化系统设计, 同时可反向验证设计可行性。本文将 GT-SUITE 与 Simulink 联合使用, 搭建整车驱动冷却系统及动力系统模型, 对某纯电动车热平衡性能进行了分析。发现该系统在所考察工况及水泵最大转速下, 回路最高水温为 58.6℃, 远低于系统设计的温度限值 65℃。通过过程优化, 寻找到合适的水泵转速, 在满足系统设计要求的同时, 最大限度的减少能耗, 同时也为热管理系统控制策略的制定提供参考信息。

关键词: 纯电动汽车、冷却系统、GT-SUITE、Simulink、性能分析、参数优化

Abstract: The simulation analysis of vehicle thermal management has a great significance in the design and development of vehicle cooling system. Accurate analysis results can not only be used to guide the reasonable selection of parts and optimize the system design, but also verify the feasibility of the design reversely. In this paper, GT-SUITE was used together with Simulink to model the entire vehicle driving system and cooling system, and the vehicle thermal balance performance was analyzed. It's found that the maximum temperature of system was 58.6℃ for all of the considered load cases and max pump speed, far lower than the limited temperature of the system design which was 65℃. Through process optimization, the appropriate electrical pump speed were found. While it met the design requirement at this point, the energy consumption was reduced maximumly, which also provided reference information for the definition of thermal management system's control strategy.

Key words: Vehicle、Cooling System、Performance Analysis、Parameter Optimization

1. 引言

随着能源危机及环境污染的日益严峻, 为减少石油能源消耗, 降低污染物排放, 新能源汽车设计开发备受关注, 大批新兴的新能源汽车开始出现在市场, 多以纯电动汽车为主。纯电动汽车依靠电池系统供电, 电机运转驱动传动系统提供动力, 行驶过程无尾气排放, 更加绿色环保, 但续航里程成为人们的关注点之一。充分利用电能, 降低整车能耗, 提高动力经济性, 可有效延长续航里程。纯电动汽车的电机、电控及电池系统在运行过程中, 都会产生热量, 热量集聚, 零件内部温度过高, 其工作效率降低, 不仅会缩短零部件寿命, 同时使动力经济性下降, 因此, 整车热管理系统优化是节能降耗的有效途径之一。

软件仿真是整车热管理系统设计优化的有效工具, 准确的分析结果, 不仅可以指导零部件合理选型, 优化系统设计, 同时可反向验证设计可行性, 由此可省去大量台架试验, 缩短验证周期, 提高整车设计开发效率。

2. 驱动冷却系统性能仿真

本文采用 GT-SUITE 及 Simulink 两种软件工具，进行联合仿真，对某纯电动整车驱动冷却系统进行了热平衡性能分析及参数优化，确定系统设计可行性，同时为整车控制测量提供优化的参数值，以此降低热管理系统能耗，提高整车动力经济性。

2.1 驱动冷却系统简介

本文所分析的纯电动车驱动冷却系统，主要由电机、电机控制器、DCDC、散热器、电子风扇、电子水泵及副水箱组成，循环回路如图 1 所示。不同于传统燃油车发动机带动的机械水泵，纯电动车使用电子水泵作为回路循环的动力源，将经过散热器冷却后的防冻液送入发热零部件，对其进行冷却。该系统设计目标为，任何工况下，电机出水口温度不高于 65°C 。

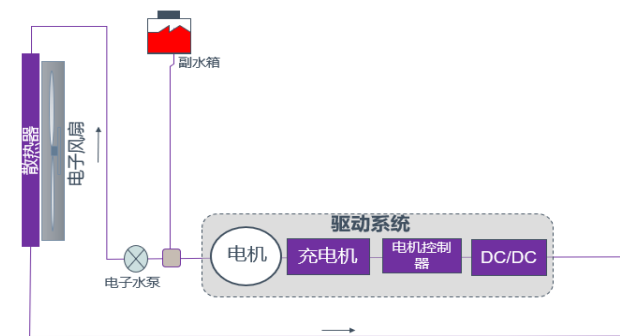


图 1. 驱动冷却系统回路示意图

2.2 模型建立

在 GT-SUITE 中搭建上述驱动冷却系统回路模型，并建立 Simulink 程序接口，如此，可实现 Simulink 整车动力系统模型与 GT 一维驱动冷却系统模型的耦合。通过在 GT 模型中设置边界条件，将车速、工况等信息输入给 Simulink，Simulink 据此计算各零部件在不同工况下的发热量，并将发热量信息反馈给 GT 模型中的相关零部件，GT 根据发热量信息进行仿真计算得到冷却系统的流量、压降及温度等性能参数。仿真模型如图 2 所示。

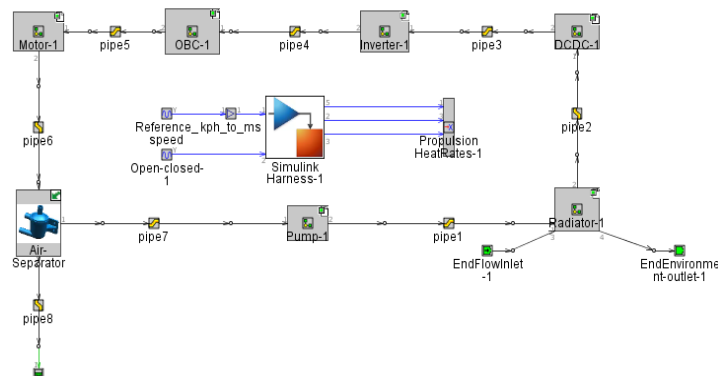


图 2. GT 及 Simulink 联合仿真模型

2.3 仿真边界条件

本文主要分析了车辆行驶最高车速，爬坡及 NEDC 三种工况下的冷却系统热平衡性能，相关边界条件见表 1。NEDC 工况为瞬态工况，其车速随时间的曲线如图 3 所示，进风量如图 4 所示。

表 1. 仿真工况边界

工况	最高车速	爬坡	NEDC
环境温度 (°C)	40	40	40
车速 (kph)	150	80@6%	瞬态值
进气风量 (kg/s)	1.22	0.86	瞬态值
水泵转速 (rpm)	5610 (最大转速)	5610 (最大转速)	5610 (最大转速)

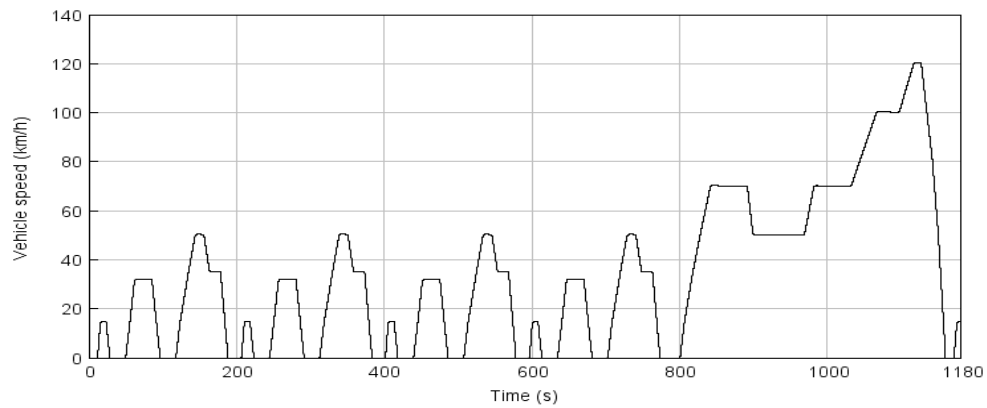


图 3. 车速曲线 (NEDC 工况)

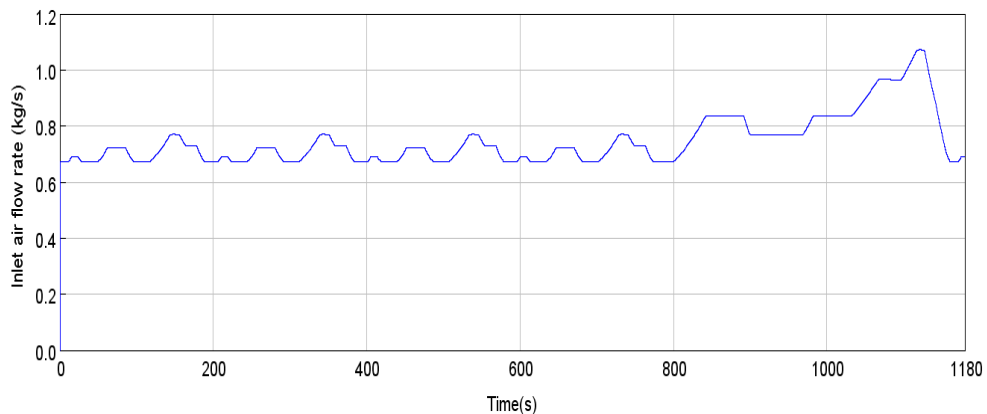


图 4. 进风量曲线 (NEDC 工况)

3. 仿真结果及参数优化

通过联合仿真, Simulink 计算得到各零部件发热量信息, 见表 2。NEDC 工况的电机及电机控制器散热量如图 5、图 6 所示。

表 2. 零部件发热量

工况	最高车速	爬坡	NEDC
电机发热量 (kW)	2.8	1.4	瞬态值
电机控制器发热量 (kW)	1.3	1.25	瞬态值
DCDC 发热量 (kW)	0.38	0.38	0.38

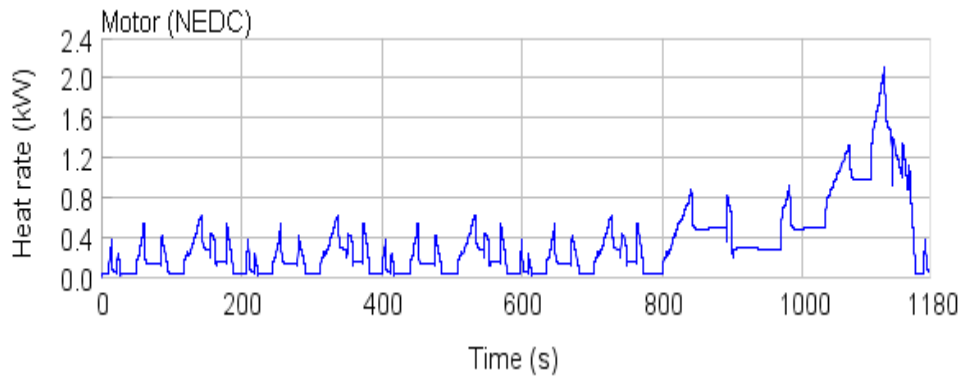


图 5. 电机发热量曲线（NEDC 工况）

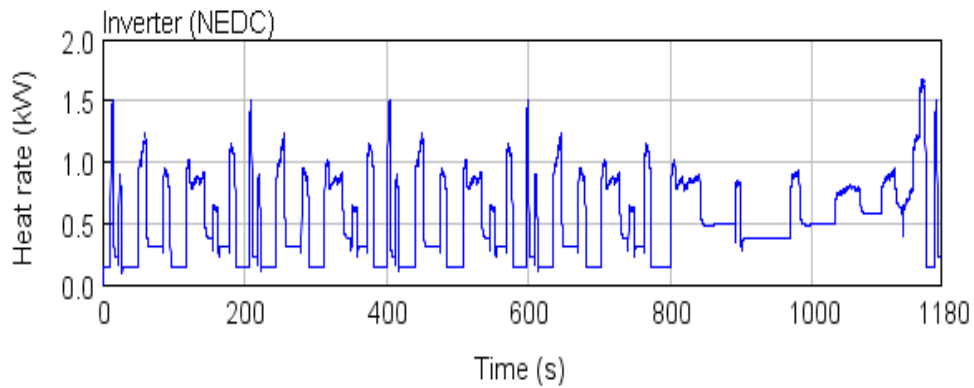


图 6. 电机控制器发热量曲线（NEDC 工况）

GT-SUITE 利用 Simulink 所得到的各零部件发热量信息，进一步分析回路中温度、流量及压降分布，结果如表 3 所示。可以看到，DCDC 由于散热量不大，内部防冻液温升较小，电机控制器及电机散热量相对较大，整个回路中，电机出口水温最高。NEDC 瞬态工况，电机出口温度变化曲线如图 7 所示，在整个 NEDC 循环中，系统最高温度为 36.6℃。

表 3. 热平衡性能参数结果

工况	最高车速	爬坡
电机出口水温（℃）	56.4	58.6
DCDC 入口水温（℃）	51.8	55.5
电机控制器入口水温（℃）	52.2	55.9
电机入口水温（℃）	53.6	57.1

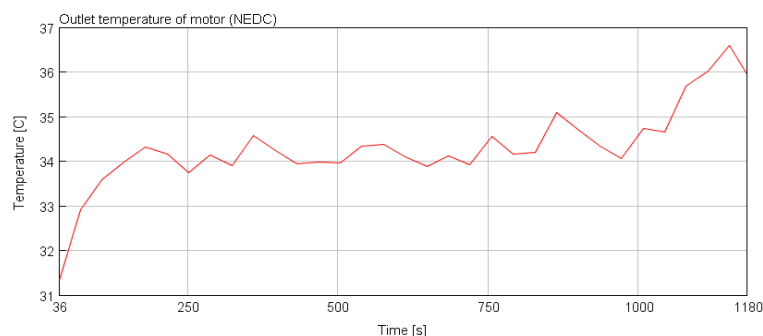


图 7. 电机出口水温（NEDC 工况）

由以上仿真结果可知，水泵转速最大时，该冷却系统设计方案满足设计要求（电机出口温度低于 65°C ），且余量较大。因此，利用 GT-SUITE 中的 Optimization 功能，设定电机出口防冻液最高温度为 62°C ，确定该情况下对应的水泵最小转速，如表 4 所示。考虑到实际行车工况，我们仅对最高车速和爬坡工况进行了优化。

表 4. 电子水泵转速优化值

电子水泵转速（rpm）	最高车速	爬坡
初始设定值（水泵最高转速）	5610	5610
优化后转速值	2365	2379

根据水泵性能曲线可知，在水泵最大转速时，对应系统流量下，消耗的水泵功率约为 70W，而优化后的水泵转速，对应系统流量下，消耗水泵功率约为 6W，同比节能 91.4%。优化后的转速信息，输入给热管理控制系统标定工程师，有利于其快速确定标定工况点，可大大节省标定时间，更高效的确定控制策略。

4. 结论

本文基于 GT-SUITE 与 Simulink 联合仿真，针对某纯电动车驱动冷却系统，在最高车速、爬坡及 NEDC 工况下的热平衡性能进行了分析，结果表明，在所分析工况下，系统均能满足电机出口水温低于 65°C 的设计要求，爬坡工况温度最高，约为 58.6°C ，可以看到设计余量较大。通过 GT-SUITE 参数优化，发现当设定电机出水温度不高于 62°C 时，水泵转速设为 2365rpm（最高车速工况），2379rpm（爬坡工况）即可。电子水泵转速越低，能耗越小，同时，优化后的参数，可为热管理系统标定做参考，有助于合理确定系统控制策略。充分利用软件间的联合仿真及 GT-SUITE 的 Optimization 功能，对系统设计及优化有很重要的意义。

5. 参考文献

- [1] 姚仲鹏, 王新国. 车辆冷却传热[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2001
- [2] 姚仲鹏, 王瑞君. 传热学[M]. 北京理工大学出版社, 2003
- [3] 窦昊, 梁长裘. 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 中国区用户年会, 2013
- [4] 白鹭, 赵铮, 刘亚齐. 基于 GT-suite 的整车冷却系统分析及优化, 2014 年 IDAJ 中国区用户年会, 2014
- [5] 张宝亮, 范秦寅. 整车热管理的一维与三维耦合仿真[J]. 汽车工程, 2011 (6): 493-501.