

混合动力汽车冷却系统优化设计

Optimized Design of the cooling system for hybrid electric vehicle

万普鹏, 杜志强, 蔡伟坚, 赵福全

浙江吉利汽车研究院有限公司

摘 要: 本文主要研究混合动力汽车动力部件的冷却系统优化设计。首先介绍散热器在前机舱的三种布置形式即 SBS、FF1、FF2。再根据整车结构和功能, 分析在各种实验工况下, 整车可能的工作模式, 最后分析各种工作模式下, 动力部件的冷却效果。分析过程利用 GT-suite 软件仿真分析, 最后得出 FF2 的排列形式是最优的。

关键词: 混合动力 冷却系统 GT-SUITE

Abstract: This article focuses on the optimum design of cooling systems for hybrid vehicles powertrain. Initially three types of radiator arrangements (SBS, FF1, FF2) in the front compartment are introduced. According to vehicle structure and functionality, vehicle possible operation mode is analyzed under various test conditions. Finally, the cooling effect of powertrain cooling system is analyzed under different operation mode. The whole analyse processes are based on the GT-suite simulation software. It is shown that type FF2 is the best cooling system arrangement style.

Key words: hybrid electric vehicle cooling system GT-SUITE

混合动力汽车是指在一辆汽车中同时采用两种动力装置及储能装置(通常为内燃机、电动机和电池), 通过先进的控制系统使动力装置和储能装置有机协调工作, 实现动力系统最佳的能量分配, 达到整车低能耗、低排放和高性能的目的。混合动力的冷却系统是混合动力非常重要的系统, 其关系到车辆的稳定性和储能装置的寿命。混合动力的被冷却部件包括电机及控制器, 发动机和储能部件。由于储能部件涉及到冷却和加热两种情况, 需要单独考虑, 所以本文只研究电机及控制器和发动机的冷却分析。国内外有很多种冷却系统设计的设计方案, 如双循环回路的冷却系统^[1-3]。但是乘用车用于布置冷却系统部件的空间有限, 空间布置是限制冷却系统设计方案的重要因素, 同时布置形式又会影响冷却效果。在冷却系统中, 散热器, 管路, 泵的布置对冷却效果都有影响, 但是散热器在前机舱的布置形式对冷却效果影响最大。本文主要研究在布置空间一定的情况下, 管路, 泵的位置已经确定, 利用 GT 软件仿真分析散热器的布置形式对电机及控制和发动机冷却效果的影响, 为布置形式的选择做基础分析。

整车介绍

混合动力车辆是从传统车改制而成。整车是前置前驱车型，见图 1，发动机，驱动电机和启动电机（ISG）通过动力耦合装置实现动力耦合，电池安装在底盘上。发动机是 3G10，电机的额定功率 50kW，峰值功率 85kW，ISG 的额定功率 30kW，峰值功率 50kW。从图中可以看出，由于动力总成安装在前机舱，并在传统车的基础上增加了驱动电机和 ISG，所以散热器在前机舱的空间有限。发动机的冷却回路和传统车的一样。电机及控制器的冷却回路如图 1，其是一个独立的冷却回路。散热器在前机舱的布置形式如图 2。在格栅和风扇之间有三个散热部件，空调的冷凝器，高温循环回路的散热器即发动机冷却回路的散热器，低温冷却回路的散热器即电机及控制器的散热器。高温循环和低温循环的区别在于发动机冷却液进口温度比电机的高。上述三个部件是三个独立的冷却回路的部件之一，并且在前机舱组成三种不同的布置形式，即 SBS、FF1、FF2。

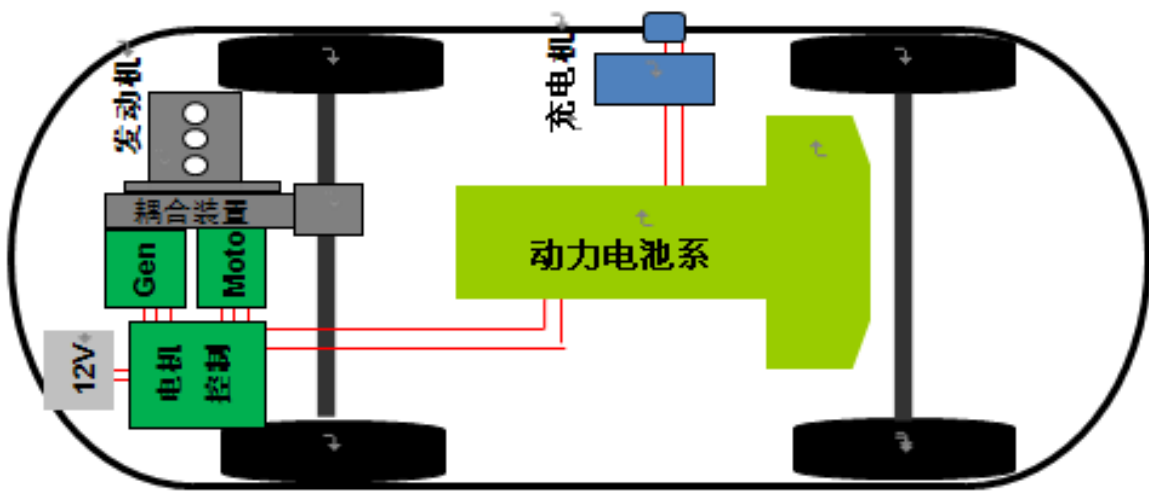


图 1 整车结构图

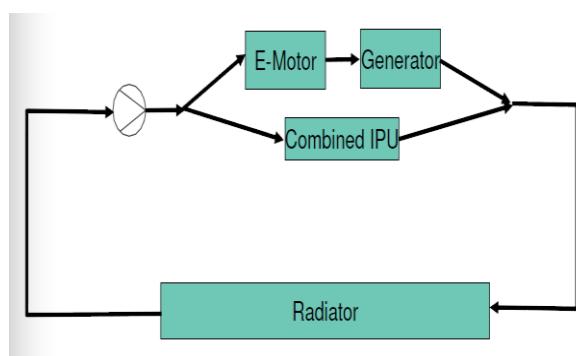


图 1 冷却回路图

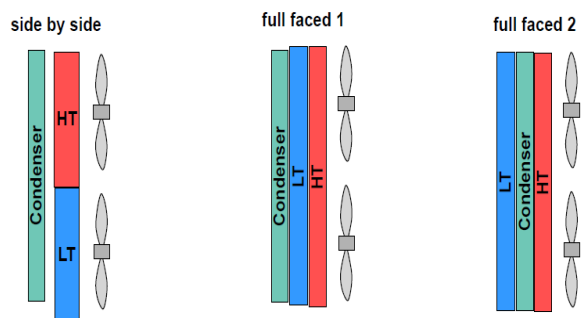


图 2 散热器布置图

工况分析

混合动力冷却系统的试验规范目前在国内外还没有一致的标准。本文的试验工况采用欧洲通用

的经验试验工况，共有 4 个工况见表 1。根据国内的实际情况和使用范围，在仿真计算时，外界温度全部设定为 45℃。

表 1：试验工况

序号	车速 (km/h)	爬坡度	外界温度 (℃)	行驶距离 (km)
1	150	0	45	50
2	30-80	16%	45	6
3	50-120	4%	45	13

由于混合动力能实现很多工作状态，在一定的验证工况下，先要分析各种可能出现工作模式。本文研究的对象是轻度混合动力车辆，根据工况和控制模式能实现不同的工作模式：A、发动机单独驱动，多余的功率驱动 ISG 发电；B、驱动电机单独驱动车辆，发动机带动 ISG 发电；C、发动机单独驱动车辆，ISG 和 驱动电机都不工作；D、发动机和驱动电机同时驱动车辆，ISG 不工作；E、发动机和 ISG 及驱动电机三者同时工作驱动车辆；F、制动能量回收。根据试验工况和整车的工作模式。分析得出各种工况下的工作模式见表 2。（ $V \cdot P$ =整车需求功率， $ICE \cdot P$ =发动机输出功率， $EM \cdot P$ =电机输出功率， $ISG \cdot P$ =ISG 输出功率， Dis =行驶距离，单位 km，功率单位都是 kW）

表 2，各种工况下的工作模式

试验工况	工作状态	$V \cdot P$	$ICE \cdot P$	$EM \cdot P$	$ISG \cdot P$	Dis
Max-speed (150km/h)	A	43.3	46.3	0	-3	Cont i
	B	43.3	30	43.3	-30	55
4%hill+50km/h	C	15.1	15.1	0	0	Cont i
	B	15.1	30	15.1	-30	Cont i
4%hill+70km/h	C	22.8	22.8	0	0	Cont i
	B	22.8	30	22.8	-30	Cont i
4%hill+90km/h	C	32.1	32.1	0	0	Cont i
	B	32.1	30	32.1	-30	100
4%hill+120km/h	B	50	30	50	-30	31
16%hill+30km/h	D	27	7.3	19.7	0	9
	B	27	30	27	-30	Cont i
16%hill+40km/h	D	36.2	11.7	24.5	0	9.7
	B	36.2	30	36.2	-30	26
16%hill+50km/h	D	45.7	15.1	30.6	0	9.6
	B	45.7	30	45.7	-30	16
16%hill+60km/h	D	55.5	18.2	37.3	0	9.5
16%hill+70km/h	D	65.6	21.8	43.8	0	9.4
16%hill+80km/h	D	76	25.7	50.3	0	9.3

冷却分析

冷却分析过程中利用 GT 软件仿真分析。本文主要仿真分析在上文描述的工况下,分析每一种工况在三种不同布置形式的冷却效果。冷却部件中泵和水管、风扇应用现成的产品,发动机冷却回路按照传统车冷却系统分析方法进行。对电机及控制器的冷却分析中,假设电机和控制器是两个独立的发热源。发热量的大小与电机功率和效率有关。仿真的边界条件是大气温度为 45℃,冷凝器对外散热的功率假设为 13kW。冷却效果满足要求的标准是电机和 ISG 及控制器的冷却液进口温度应小于等于 65℃,在 1 分钟的时间内,进口温度处在 65-75℃,该部件还能运行,但会发出警告。进口温度大于 75℃,该部件无法工作。发动机的冷却液进口温度应小于 105℃,在 30s 的时间内,温度处在 105-120℃,发动机还能工作,但会发出警告,进口温度大于 120℃,发动机不能工作。

表 3, 冷却效果分析表

排列方式	试验工况	工作状态	T • IPU	T • EM	T • ISG	T • ICE	OK?
SBS	Max-speed (150km/h)	B	70.9	71.9	67.9	91.9	?
	16%hill+30km/h	D	65.9	66.9	65.9	86.9	?
	16%hill+30km/h	B	76.9	77.9	75.9	119.9	×
	16%hill+40km/h	D	66.9	67.9	65.9	87.9	?
	16%hill+40km/h	B	75.9	76.9	74.9	116.9	×
	16%hill+50km/h	B	74.9	75.9	73.9	112.9	?
	16%hill+60km/h	D	65.9	65.9	63.9	90.9	?
	16%hill+70km/h	D	65.9	65.9	64.9	94.9	?
	16%hill+80km/h	D	65.9	66.9	64.9	97.9	?
FF1	Max-speed (150km/h)	B	76.9	78.9	74.9	90.9	×
	16%hill+30km/h	D	72.9	72.9	71.9	87.9	?
	16%hill+30km/h	B	83.9	84.9	82.9	110.9	×
	16%hill+40km/h	D	72.9	73.9	71.9	89.9	?
	16%hill+40km/h	B	82.9	83.9	81.9	108.9	×
	16%hill+50km/h	B	81.9	82.9	80.9	106.9	×
FF2	Max-speed (150km/h)	B	66.9	68.9	64.9	89.9	?
	16%hill+30km/h	B	63.9	64.9	62.9	108.9	?
	16%hill+50km/h	B	63.9	65.9	62.9	104.9	?

仿真分析的结果见表 3。表中只列出散热效果存在问题的工况,其余没列出来的工况全部是能满足散热要求的。在三种散热器布置方式中,SBS 和 FF1 形式是相对不可靠的。因为存在一些工况冷却效果差,零部件无法工作。在 FF2 布置形式中,冷却效果明显比另 2 种好。

结 论

本文主要研究混合动力汽车动力部件的冷却系统优化设计。整车在传统车的基础上改制而成，冷却系统散热器在前机舱的布置形式有三种即 SBS、FF1、FF2。验证冷却效果的实验工况为欧洲通用的经验试验工况，根据各种工况和整车控制策略分析整车可能的工作模式，最后分析各种工作模式下，动力部件的冷却效果。分析过程利用 GT-suite 软件仿真分析，仿真分析每一种工况下的冷却效果并与冷却要求对比，把不满足冷却要求的工况全部列出来单独分析。最后得出 FF2 布置形式是最好的。

参考文献

- [1] Ap N S, Guyonvarch G, Cloarec M , et al. Co o ling system and climate cont rol of fuel cell electric vehicle (FCEV) [DBÖ CD]. Mont real, EV S17, 2000.
- [2] Ap N S. V aleo engine coo ling. Influence of front end fan shroud on the coo ling system of fuel cell elect ric vehicle (FCEV) [DBÖ CD]. Berlin, EV S18, 2001.
- [3] Go rdon S. F inal repo rt elect ric drive M113 vehicle refurbishment p ro ject: Sacramento elect ric t rans2 po rtat ion conso rt ium RA 93223 p rogram [R]. ADA 322403, 1997.