

燃料电池汽车没有传统的燃油发动机，取而代之是由空气系统、氢气系统、反应电堆、动力电池、DC/DC、电机、排气系统及控制器等系统和部件组成的动力源。燃料电池汽车不同系统和部件对工作环境温度需求高低不一，通常会设计多条冷却回路来满足车辆散热需求，其中电堆冷却系统的设计最为复杂。

□ 安徽江淮汽车集团股份有限公司 赵狐龙

燃料电池汽车电堆冷却系统设计与仿真

设计目标

电堆冷却系统不但要在高温环境下将电堆多余的热量及时地散到外界空气中，而且要在低温环境下具备加热性能，满足车辆冷启动条件。反应电堆本身对水温要求也十分苛刻，水温限值仅有 70℃（传统发动机限值 115℃），电堆进出口温差 ≤ 8℃，具体目标见表 1。

冷却原理

如图 1 所示，鉴于对电堆的保护考虑，尽量减小电堆入口压力，将电堆布置在水泵前；水泵后散热器与加热器并联，通过三通阀控制加热/散热模式；去离子器流阻较大，所以与电堆并联在回路中；膨胀水壶设有两条排气管路，分别接在电堆和散热器上，补水管路接在水泵前。

表 1 设计目标

指标	参数	备注
电堆进水温度	≤ 70℃	环境温度 40℃，车速 100 km/h，电堆进出水温差 ≤ 8℃
电堆水温升温时间	≤ 3 min	从 -20℃ 升温到 0℃

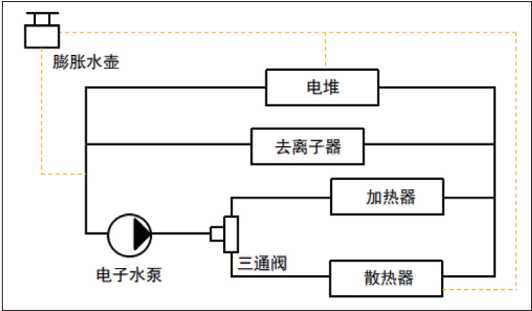


图 1 冷却原理图

系统边界计算

根据燃料电池堆发热量计算公式计算发热量：

$$Q_f = P_e \times (1.25/V_e - 1) \quad (1)$$

式中， P_e 为电堆额定功率； V_e 为单电池平均电压；燃料电池单体平均电压一般取值为 0.65 V，则 $Q_f = 36 \times (1.25/0.65 - 1) = 33 \text{ kW}$ 。

电堆所需水流量为：

$$G = Q_f / (C \times \Delta T) \quad (2)$$

式中， C 为冷却液比热容，取值 $3.5 \times 10^3 \text{ J/kg} \times \text{K}$ ； ΔT 为进出水温差（电堆进出水口温差要求不大于 8℃）；将 $Q_f = 33 \text{ kW}$ 代入公式（2），则 $G \geq 72 \text{ L/min}$ 。

零部件选型

1. 散热器选型

从设计目标可知，环境温度 40℃，散热器最大液气温差为 38℃，系统所需散热量为 33 kW，换算成 60℃ 液气温差下散热量约为 50 ~ 60 kW（散热器换热性能测试中，液气温差一般为 60℃）。结合系统水流量需求，初步完成散热器选型；风扇则选型一款同级别纯电动汽车风扇。

使用选型的散热器和风扇搭建整车模型，通过 CFD 仿真分析（图 2），得出车速 100 km/h 下，散热器的平均风速为 4.3 m/s。

根据电堆水流量 ≥ 72 L/min，并考虑去离子

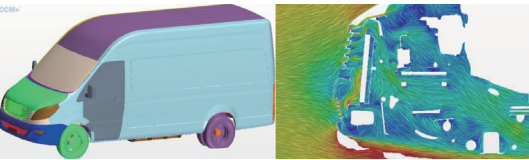


图 2 CFD 仿真模型与速度云图

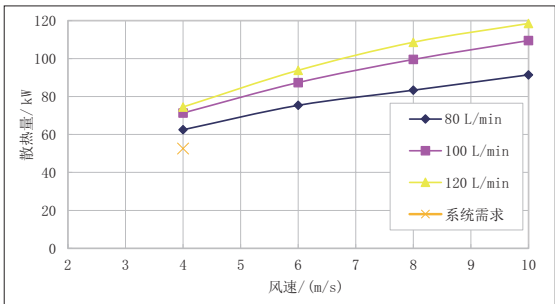


图3 散热器性能曲线

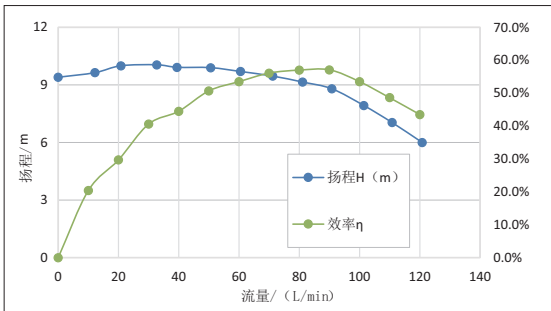


图4 电子水泵性能曲线

器流量，预估散热器流量为 82 L/min，从散热器换热性能曲线（图3）可以看出，在风速 4.3 m/s，水流量 82 L/min 时，可满足系统散热需求。

2. 水泵选型

根据水泵流量 82 L/min，结合系统内各零部件流阻数据统计，选择水泵型号，其性能和效率曲线如图 4 所示。

3. 加热器选型

根据设计目标要求，水加热器把小循环水从 -20℃ 加热到 0℃ 用时不超过 3 min，据此计

算加热器功率大小：

$$Q=C \times m \times \Delta T=P \times \Delta t \times \eta \quad (3)$$

式中， C 为冷却液比热； m 为冷却液质量； ΔT 为冷却液温升； P 为加热器功率； Δt 为加热时间； η 为加热器效率。其中，水加热器效率为 95%，小循环回路中冷却液容积约为 10 L，代入公式（3），则 $P=3.9$ kW。所以选用 4 kW 功率加热器。

4. 膨胀水壶选型

膨胀水壶在冷却系统主要起排气补水的作用，排气管路分别接在电堆和散热器高

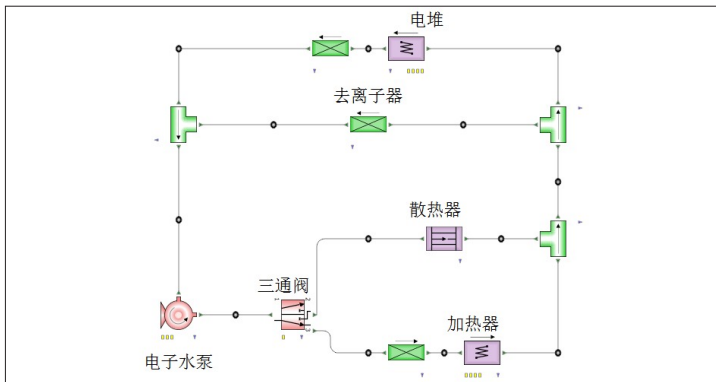


图5 电堆冷却系统一维仿真模型

表2 仿真结果

电堆进口水温		电堆进出口温差	
目标值	仿真值	目标值	仿真值
$\leq 70^{\circ}\text{C}$	66.8°C	$\leq 8^{\circ}\text{C}$	7.2°C

点，补水管路接在水泵前。膨胀水壶容积要求不小于系统总容积的 20%，系统总容积约为 12 L，则膨胀水壶最小容积为： $V=12 \times 18\%=2.16$ L。因此，选型 2.3 L 容积膨胀水壶。

系统仿真检验

根据电堆冷却系统原理搭建 Flowmaster 仿真模型（图 5）。环境温度 40℃，车速 100 km/h，代入零部件参数（流阻、风阻、性能等参数），仿真结果见表 2。电堆进口水温 $66.8^{\circ}\text{C} < 70^{\circ}\text{C}$ ，满足设计要求；电堆进出口温差 $7.2^{\circ}\text{C} < 8^{\circ}\text{C}$ ，也满足设计要求。AI

（上接第 16 页）

结束语

电池管理系统及动力电池的故障诊断与处理，对保障动力电池及保障整车安全可靠运行具有重要意义。

本文详细介绍了我司自主研发的电池管理系统中的故障诊断与处理功能，实现了对电池安全故障、电池严重故障、

表4 硬件故障及诊断处理

故障名称	故障码	故障诊断	故障处理
电压采集线故障	DTC-11	传感器采集电压值异常	提示客户保养电池
电流传感器采集失效	DTC-12	传感器采集电流值异常	提示客户保养电池
温度传感器采集失效	DTC-13	传感器采集温度值异常	提示客户保养电池
绝缘检测系统故障	DTC-14	绝缘系统自检故障	提示客户保养电池

电池一般故障及硬件故障的全面故障与处理，可精确诊断并上报对应故障码，同时整车识

别到故障码后也会做相应预警与处理，充分保证了车辆安全及可靠运行。AI