

燃料电池热管理匹配设计及其试验验证

伏春波

(上海高诗汽车科技有限公司 上海 201804)

摘要: 随着我国经济的快速发展,汽车行业和其他工业对能源消耗越来越多,污染越来越严重,石油的大量进口加重了我国对石油能源的依赖,寻求一种新能源成为我国乃至全世界的一个热点。燃料电池最大优点是效率高、几乎没有污染并且能源来源广泛,受到了世界各国的青睐。本文根据整车设计参数,匹配燃料电池系统功率。同时,根据燃料电池在各个工况点的工作状态,匹配散热能力、电子水泵转速和风扇转速等,并通过试验验证热管理系统是否满足实际工况要求。

关键词: 燃料电池; 电子水泵; 整车设计参数; 试验; 实际工况

0 引言

燃料电池是利用燃料(氢气)和氧化物的电化学反应,不经过燃烧可以将燃料的化学能直接转换为电能的高效发电装置。从理论上讲,其不受卡诺循环的限制,能量转化效率高,只要连续不断地给电池供应燃料和氧化物,燃料电池就能连续发电,燃料电池汽车的续航里程只受燃料装置大小的限制。

燃料电池的种类比较多,有适用于便携式的电源、中小型发电厂和车用动力系统等,质子交换膜燃料电池已成为国内外研究的热点。目前,燃料电池在日本、美国、加拿大和欧洲等快速发展,已进入应用阶段,将成为继核电、火电、水电的第四种发电方式,这种发展势头需引起足够的重视,它已成为能源行业和电力行业必须正视的课题。

1 燃料电池热管理的重要性

由于燃料电池的典型工作温度范围在 60 ~ 85℃,燃料电池工作时产生近 50% 的废热不及时排出,温度过高会使质子交换膜脱水,不满足膜的湿润条件,其电导率下降,电池性能变差;在温度较低时,电池极化增加,阻抗加大,反应效率低并且排气带出的水变少,会造成水淹现象;如果温度分布不均匀则会影响到水的蒸发和凝结,局部温度过高,会导致膜脱水、收缩乃至破裂。燃料电池堆和运行环境温度温差较小,热传递需随电流密度变化而迅速变化,热管理为一项极具挑战性的问题,所以,热管理对燃料电池的稳定运行、效率和使用寿命起着至关重要的作用。

热管理是燃料电池动力系统研究与开发的核心关键技术之一,提高能源利用效率,减少废热排放,并且合理利用热能。燃料电池热管理系统是复杂的流体和热传

导系统,根据匹配的零部件特点及其环境,研究热管理系统多个工况条件下的流体变化规律,为设计热管理系统提供理论依据。数字仿真与试验研究为热管理系统的两种基本研究方法。

2 燃料电池热管理系统设计

2.1 燃料电池热管理系统基本需求参数

燃料电池整车部分参数和指标如下:

整备质量 1500kg、额定载重 1050kg、总质量 2680kg、迎风面积 2.2m²、工作温度 -10 ~ 45℃、最高车速 90km/h、爬坡度 ≥ 20%。

燃料电池功率最大功率 15kW,环境温度 -20 ~ 45℃,其他参数见表 1。

表 1 燃料电池热负荷

散热元件	进口温度 /℃	出口温度 /℃	热负荷 /kW
燃料电池	≤ 70	≤ 80	15

燃料电池系统常用工况的散热功率要求和进出口水温见表 2。

表 2 燃料电池系统的几种常用工况的散热功率

工况	燃料电池输出功率 /kW	燃料电池散热功率 /kW	进堆水温 /℃	出堆水温 /℃
怠速	6	6	65	80
额定工况	13	13		
爬坡 /20%	15	15		
高速 (90km/h)	15	15		

2.2 燃料电池热管理系统原理图

根据整车和燃料电池特点,设计燃料电池系统散热原理图,如图 1 所示。为满足燃料电池系统在高温散热和低温加热的条件,设计有大小循环两种并联管路,大

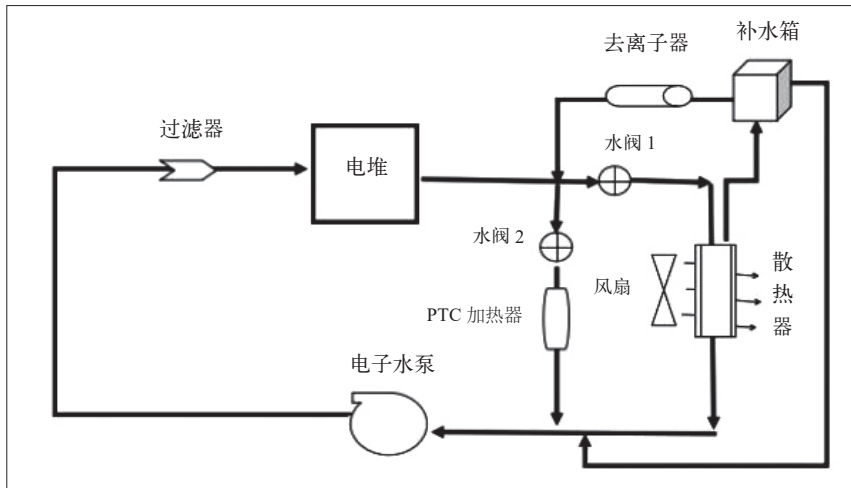


图 1 热管理系统原理图

小循环通过切换两个水阀的开关来实现。大循环对燃料电池进行散热，小循环用来低温启动加热或在低温运行阶段。

2.3 热管理系统主要零部件匹配设计

2.3.1 散热器匹配计算

散热器主要有进水室、出水室和散热器芯构成，冷却液在散热器芯内流动，空气在散热器芯外通过，热的冷却液由于向空气散热而变冷，冷空气吸收冷却液的热量而升温，把流经散热器的冷却液所携带的热量散发出去，因此散热器是一个热交换器。

(1) 散热器使用工况。

冷却液进口温度： $\leq 80^{\circ}\text{C}$ ；冷却液出口温度： $\leq 70^{\circ}\text{C}$ ；环境温度： $\leq 45^{\circ}\text{C}$ ；冷却液类型：50% 乙二醇水溶液；散热功率：15kW。

(2) 散热器结构参数计算。

①总散热功率：15kW；

②冷却液出口温度计算：

冷却液在燃料电池进出口允许的最大温升：

$$\Delta T_{EG}=10^{\circ}\text{C} \quad (1)$$

冷却循环所需流量：

$$V_{EG} = \frac{Q_h}{C_{p,EG} \cdot \Delta T_{EG} \cdot \rho_{EG}} = 24.7 \quad (\text{L/min}) \quad (2)$$

式中： $C_{p,EG}$ —冷却液比热容 $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})]$ ，50% 乙二醇水溶液 75°C 下取 $3.47\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ；

ρ_{EG} —冷却液密度， kg/L ，50% 乙二醇水溶液 75°C 下取 1.05kg/L ；

ΔT_{EG} —冷却液在燃料电池进出口允许的最大温升 10K 。

(3) 散热器结构参数计算。

散热器散热需求 15kW。

冷却液流经散热器温差 $\Delta T_{EG}=10^{\circ}\text{C}$ ($T_1=80^{\circ}\text{C}$ ， $T_2=70^{\circ}\text{C}$)；

冷却空气流经散热器温差 $\Delta T_a=16.5^{\circ}\text{C}$ ($t_1=45^{\circ}\text{C}$ ， $t_2=61.5^{\circ}\text{C}$)

$$\Delta T_1=T_1-t_2=18.5^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_2=T_2-t_1=25^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_1/\Delta T_2=0.74$$

当 $\Delta T_1/\Delta T_2 > 1.7$ 时，用公式：

$$\Delta T_m = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln (\Delta T_1 / \Delta T_2)$$

如果 $\Delta T_1/\Delta T_2 \leq 1.7$ 时， $\Delta T_m =$

$$(\Delta T_1 + \Delta T_2) / 2$$

ϕ —错流对数温差修正系数，经计算， $P=0.47$ ， $R=0.61$ 查表得 $\phi=0.96$ 。

$$\Delta T_m = \phi (\Delta T_1 + \Delta T_2) / 2 = 0.96 \times 43.5/2 = 20.88 (^{\circ}\text{C})$$

所需散热面积：

$$F_w = \frac{Q_{\max}}{K_a \Delta T_m} = 6.53 (\text{m}^2) \quad (3)$$

式中： K_a —散热器总传热系数，低温散热，取较低值，取 $110 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

散热器所需冷却空气流量：

$$V_a = \frac{3600 Q_{\max}}{C_{p,a} \Delta T_a \cdot \rho_a} = 2772 (\text{m}^3/\text{h}) \quad (4)$$

式中： $C_{p,a}$ —空气比热容 $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})]$ ；

ρ_a —空气密度 (kg/m^3) 。

散热器芯体尺寸：428mm $\times$ 290mm $\times$ 42mm。

散热面积：6.24+0.97=7.21 (m^2)

散热器迎风面积：

$$S_f = \frac{V_a}{3600 u_a} = 0.428 \times 0.29 = 0.124 (\text{m}^2) \quad (5)$$

式中，散热器空气流速 $u_a=6.2\text{m/s}$ 。

2.3.2 风扇选型

选用无刷直流电机，无刷电机以电子换向电路取代换向器及电刷，结构上与有刷直流电动机有很大的不同。无刷电机以其运行寿命长、噪声低、对无线电波的干扰小、速度控制容易等优点，正日益显示出强大的生命力。

风扇个数 $N=1$ ，根据风扇曲线，选用叶轮直径为 315mm，功耗 500W，静压 240Pa 时，风量 2900 m^3/h 左右，风扇的风速满足最大冷却功率条件下的流量。

2.3.3 加热器 PTC 选型和计算

(1) PTC 加热条件：加热条件：最低温度按照 -25°C ，冷却液加热到 6°C 时，电堆启动，在 -25°C 加热到 6°C 时间为 10min，电堆同时吸收热量。

(2) 小循环冷却液容积：电堆冷却液容积为 1.1L，PTC 容积为 1.5L，管路和水泵容积为 1L，总容积为 3.6L，取 -15°C 的比热容为 $3.145\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ，密度为 1.085kg/L 。

加热量：

$$Q = cm \Delta t = 3.145 \times 3.6 \times 1.085 \times 31 = 380 (\text{kJ}) = 0.1 (\text{kWh})$$

则加热功率 $p=0.1/(1/6)=0.6\text{ (kW)}=600\text{ (W)}$

(3) 电堆参数: 石墨板比热容为 $710\text{J/(kg}\cdot^{\circ}\text{C)}$, 质量约 11kg 。

加热量:

$$Q=cm\Delta t=0.71\times 11\times 31=0.04\text{ (kWh)}$$

则加热器功率

$$p=0.04/(1/6)=0.24\text{ (kW)}=240\text{ (W)}$$

(4) PTC 功率: $Q=600\text{W}+240\text{W}=840\text{W}$

考虑到加热 PTC 的型号标准, 选用功率为 1kW 。

3 燃料电池热管理系统测试

3.1 不同转速条件下的散热功率

当燃料电池系统工作在最大功率点时, 测试其散热器出水口温度数据。水泵转速 3800r/min 如图 2(a)所示, 水泵转速 4200r/min 如图 2(b)所示。风扇转速分别为 1200r/min 、 1400r/min 、 1600r/min 和 1800r/min 。

当水泵转速一定时, 风扇转速越高, 系统温度降低越快;

当风散转速一定时, 水泵转速提高, 系统温度降低越快。

在一定条件下, 水泵转速和风扇转速相比, 提升风转速降低系统温度时间短。

表 3 不用转速条件下小循环加热时间

序号	压力 /kPa	流量 / (L/min)	水泵功率 /W	温差 / $^{\circ}\text{C}$	时间 /min
1	67	24	24	32	10
2	70	26	26.4		
3	74	28	31.2		

当燃料电池工作在最大功率点时, 散热器出水口温度均在 60°C 左右, 满足工况温度。

3.2 小循环测试

水泵在不同转速条件下, 小循环加热时间见表 3。

小循环的加热时间与水泵转速关系不大, 可以选用小功率条件下的水泵转速进行小循环加热。

在 10min 内加热温度可以达到 32°C , 满足低温启动时间。

4 结语

- (1) 为满足燃料电池系统在低温启动和大功率条件下的散热, 设计大小循环方案, 实现低温启动的加热和高温条件下的散热, 通过测试, 两种功能可以满足设计要求。
- (2) 在大小循环转换中, 系统满足大小循环切换, 并且在小循环加热功率满足低温的设计要求。
- (3) 选择低转速低功耗条件下的工况对燃料电池系统加热, 小循环的加热时间基本没有影响。
- (4) 散热器和风扇的散热功率理论设计数据满足实际测试的最大散热功率要求, 其他怠速和加速等工况也可以满足。
- (5) 通过测试, 该大小循环的理论设计原理和主要

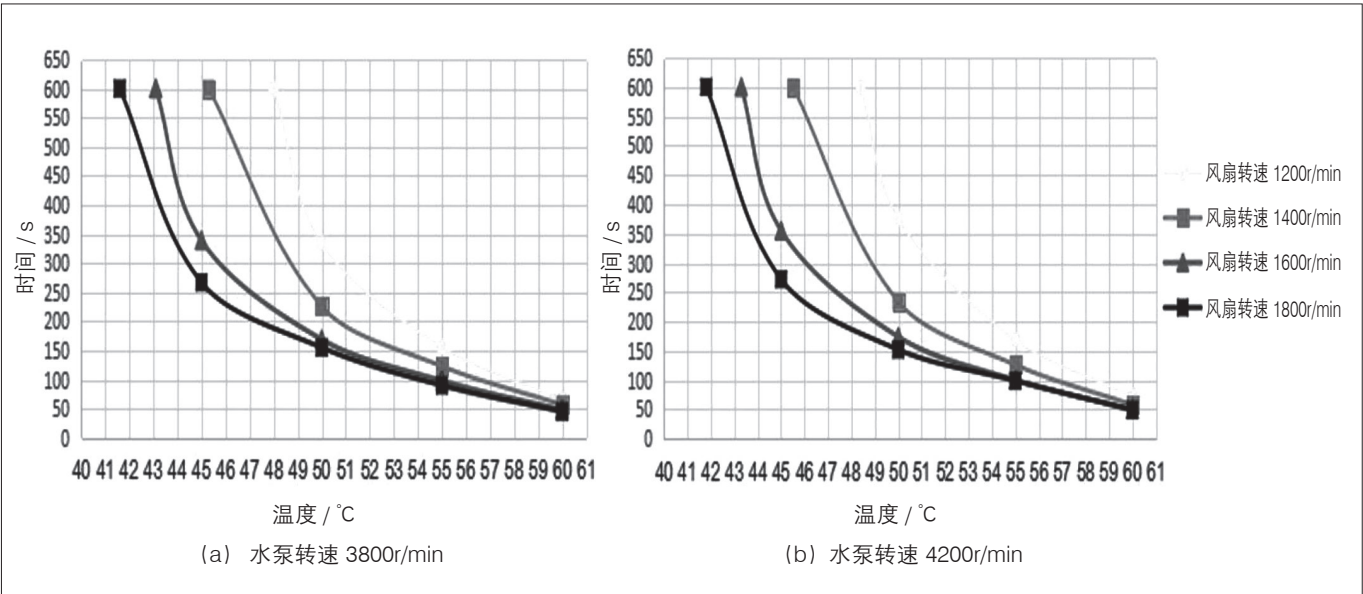


图 2 出水温度

N140G43H2Z42.

N150Z3.

N158G1Z-1.923F652.

.....

N6700G1X1.032Y-87.224

N6710G0Z78.

N6720M28

4 结语

本文对模具设计工艺进行了探讨分析,分析法兰盘金属件冲压模具设计工艺及应用,联合采用计算机辅助设计方式,进行各项参数数值的一体化设计,联合运用AutoCAD、Pro/Engineer、Mastercam等设计软件,针对设计环节构建模具三维模型,并据此导出二维图,将各项模具设计中的各个零部件进行优化组合设计,最终利用计算机软件急性辅助加工设计,由此在最终的设计环节,保证模具设计整体结构的精准性与精简性,增强模具设计的应用效果。

参考文献:

[1] 朱萌,许绝舞,刘峰,等.某航空燃油导管法兰盘紧固参数优化研究[J].航空维修与工程,2022(02):78-83.

[2] 陈艳丹,文华,孙新坡,等.钢结构法兰螺栓连接节点抗震性能试验研究[J].施工技术(中英文),2021,50(23):126-131.

[3] 杨溢.法兰盘双螺栓紧固失效分析及优化设计[J].汽车维修,2021(04):17-19.

[4] 张亚涛.采用法兰连接装配式桩柱式桥墩抗震性能研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.

[5] 魏永康.应用于装配式圆柱式桥墩的法兰连接构造研究[D].重庆:重庆交通大学,2021.

[6] 宁双.低温环境金属橡胶密封系统热固耦合分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020.

作者简介:霍志伟(1983.08-),男,汉族,辽宁彰武人,本科,讲师,研究方向:智能制造应用、数控技术。

(上接第 11 页)

零部件匹配数据满足系统要求。

参考文献:

[1] 曹秉刚,张传伟,白志峰,等.电动汽车技术进展和发展趋势[J].西安交通大学学报,2004,38(1):1-5.

[2] 李忠华,杜传进.质子交换膜燃料电池热管理研究[J].华东电力,2007(35):19-22.

[3] Barbor F, Fuchs M, Husar A. Design and Operational Characteristics of Automotive PEM Fuel Cell Stacks[J]. SAE transactions,2000,109(4):19-25.

[4] Ap N S. A Simple Engine Cooling System Simulation Model[C].International Congress & Exposition,1999.

[5] None. Fuel cell engine with simple thermal management of hydride storage[J].2001,4(35):15.

[6] None. Thermal management of fuel cell assembly using thermal management loops[J]. Fuel Cells Bulletin,2001,4(34):14.

[7] Lishan Peng, Zidong Wei. Catalyst Engineering for Electrochemical Energy Conversion from Water to Water: Water Electrolysis and the Hydrogen Fuel Cell[J]. Engineering,2020,6(6):653-679.

作者简介:伏春波(1982.09-),男,汉族,上海人,硕士,工程师,研究方向:汽车车身智能开闭件、新能源热管理及被动安全系统等。