

## 基于 AMESIM 的燃料电池冷却系统仿真

井绪宝<sup>1</sup> 刘丛浩<sup>2</sup> 蔡思远<sup>3</sup>

辽宁工业大学, 辽宁 锦州 121001

**[摘要]** 燃料电池因具有噪音小、无污染、可靠性好, 高续航等优势而被大众所重视。但由于燃料电池的物理化学特性, 其对于工作温度是有所要求的, 不适合的工作温度会降低燃料电池的效率, 甚至对内部结构产生破坏, 造成严重后果。故对于燃料电池来说冷却系统有着非常重要的作用, 文中使用 AMESIM 建立燃料电池系统模型, 分析动态工况下冷却子系统的特性。

**[关键词]** AMESIM; 系统仿真; 燃料电池热管理系统

DOI: 10.33142/sca.v4i5.4888

中图分类号: TM911.4

文献标识码: A

## Simulation of Fuel Cell Cooling System Based on AMESIM

JING Xubao<sup>1</sup>, LIU Conghao<sup>2</sup>, CAI Siyuan<sup>3</sup>

Liaoning University of Technology, Jinzhou, Liaoning, 121001, China

**Abstract:** Fuel cell has been valued by the public because of its advantages such as low noise, no pollution, good reliability and high endurance. However, due to the physical and chemical characteristics of fuel cell, it has requirements for working temperature. Inappropriate working temperature will reduce the efficiency of fuel cell, and even damage the internal structure, resulting in serious consequences. Therefore, the cooling system plays a very important role in fuel cell. In this paper, AMESIM is used to establish the fuel cell system model and analyze the characteristics of the cooling subsystem under dynamic conditions.

**Keywords:** AMESIM; system simulation; fuel cell thermal management system

燃料电池作为一种新型的汽车动力源被广泛运用于新能源汽车中, 它具有清洁环保, 无污染, 功率密度高, 能量转换率高等优点。燃料电池根据电解质种类的不同可以分为很多类别, 例如质子交换膜燃料电池 (PEMFC), 碱性燃料电池 (AFC), 磷酸燃料电池 (PAFC), 熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC), 固体氧化物燃料电池 (SOFC), 本文主要研究对象为其中的质子交换膜燃料电池。针对 PEMFC 研究表明电池系统在运行过程中会产生大量的热, 如果无法对这些热量进行合理的分配和利用, 就会导致电堆的温度迅速上升, 导致内部交换膜脱水损坏。所以针对冷却系统的研究对于 PEMFC 的正常高效运行有着重要的意义。本文根据 PEMFC 系统的结构, 利用 AMESIM 平台搭建出系统级质子交换膜燃料电池模型, 同时根据现有的燃料电池冷却系统进行建模, 利用模型对 PEMFC 冷却系统的冷却效果进行了仿真分析。

### 1 PEMFC 系统模型的建立

质子交换膜燃料电池系统是一个非常精密复杂的系统, 其中包含了多个子系统, 例如氢气供给子系统, 空气供给子系统, 燃料电池电堆子系统, 冷却子系统等。图 1 为简单 PEMFC 系统结构示意图。

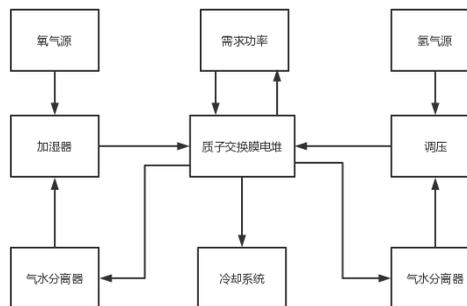


图 1 简单 PEMFC 系统结构示意图

燃料电池系统的正常运行要依托于各个子系统的共同作用。AMESim 平台中提供了丰富的模型库以及元件, 可以更方便的帮助用户进行燃料系统模型的建立, 而不用被各种元器件之间复杂的结构以及现象困扰, 可以更便捷的进行集

成化设计，并且针对质子交换膜燃料电池系统提供了专业的库，此外我们可以利用其余的例如混合气体库，机械库，信号库等来进行一维仿真模型的建立。图 2 为 AMESIM 中建立的燃料电池系统一维仿真模型。

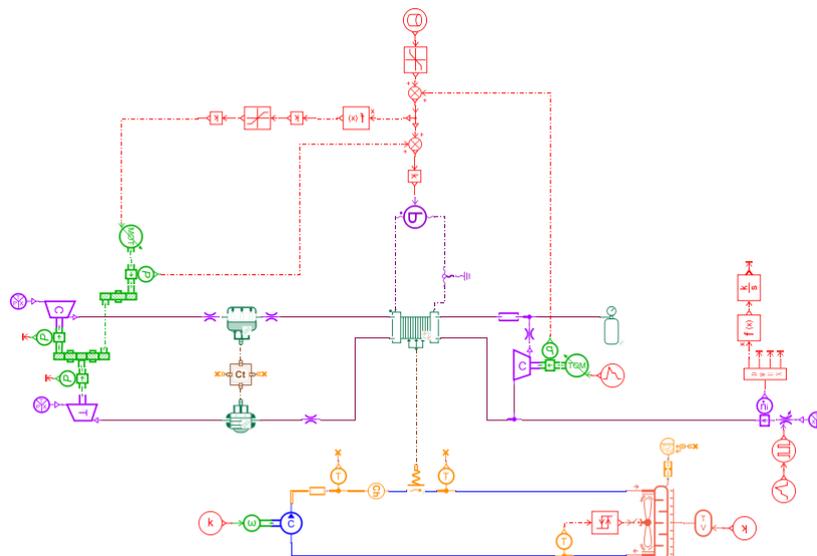


图 2 燃料电池系统一维仿真模型

## 2 冷却系统

### 2.1 冷却系统原理

冷却系统模型中最为重要的就是散热器模型，所以接下来本文会针对散热器部件来分析其计算原理。图 3 为散热器外部变量图。

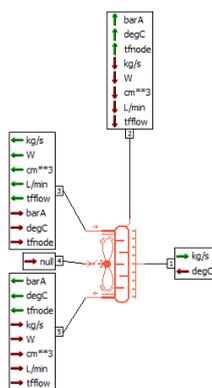


图 3 散热器外部变量图

通过散热器的空气与冷却液体之间所交换的热量就是液体体积流量和空气速度的函数。也可以在端口 4 使用输入信号，通过风扇的运行使空气速度提高。

$$V_{fan} = f(x) \quad (1)$$

该模型中散热器的通风面积为风扇在散热器上的投影面积。所以计算空气通过通风面的速度如下：

$$V_{vs} = V_{airrad} + V_{fan} \quad (2)$$

式中： $V_{airrad}$  散热器入口空气流速 (m/s)；

$V_{fan}$  风机运行时的额外速度 (m/s);

通风面  $A_{vs}$  的面积为:

$$A_{vs} = \pi/4 \times (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \quad (3)$$

式中:

$D_{ext}$  为风机外径 (m)

$D_{int}$  为风机内径 (m)

因此,  $H_{V_{exp}}$  在通风表面上交换的热量为:

$$H_{V_{exp}} = f(V_{vs}, q_{lh}) \times \frac{A_{NVS}}{R_h \times R_l} \quad (4)$$

式中:  $R_h$  为散热器宽度 (m);

$R_l$  为散热器长度 (m)。

散热器不通风表面积为:

$$A_{NVS} = R_h \times R_l - A_{vs} \quad (5)$$

同时,  $H_{NV_{exp}}$  在不通风的表面交换的热量为:

$$H_{NV_{exp}} = f(V_{air_{rad}}, q_{lh}) \times \frac{A_{NVS}}{R_h \times R_l} \quad (6)$$

所以试验交换的总热量为:

$$H_{exp} = H_{V_{exp}} + H_{NV_{exp}} \quad (7)$$

因此, 实际交换的热量  $H_{real}$  计算如下:

$$H_{real} = f(H_{exp}) \times \frac{(T_{C_{real}} - T_{air_{real}})}{\Delta T_{exp}} \times S_{eff} \quad (8)$$

式中:  $T_{C_{real}}$  为 3 号端口散热器进口输入处冷却剂实际温度 (degC);

$T_{air_{real}}$  为 1 号端口散热器进口输入处的空气实际温度 (degC);

$S_{eff}$  为散热器表面效率。

## 2.2 冷却系统建模

燃料电池冷却系统的作用就是对于燃料电池的温度进行调节, 使燃料电池始终处于一个相对合适的温度下运行, 对燃料电池形成较好的保护作用, 同时也能让燃料电池的效率得到一定的保证。而针对质子交换燃料电池来说, 其产生热量的原因大概分为三种, 电堆内部的电化学反应, 电池的内阻, 还有水的液化。热量的很大一部分源头在电堆阴极的催化层处, 所以说燃料电池的发热部位就已经决定了电堆内部热量的不均匀分布。而针对这种分布, 本文使用的冷却系统采用液冷的方式, 冷却系统中包括: 泵, 管道, 温度传感器, 风扇, 散热器等元件。冷却系统部分模型如图 4 所示。

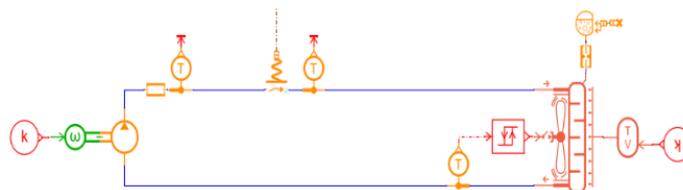


图 4 冷却系统一维仿真模型

其中冷却系统模型中涉及到的部分参数如表 1 所示

表 1 冷却系统模型参数

参数名称	参数值
散热器等效面积/mm <sup>2</sup>	168
散热器容积/L	0.8
散热器长度/mm	500
散热器高度/mm	400
风扇开启温度/℃	75
风扇管壁温度/℃	65

### 3 仿真结果

此次仿真的环境温度为 20℃，冷却液温度为 20℃。图 5 为电堆进出口冷却液温度随时间的变化曲线。从下图中的曲线可知，电堆内部的电化学反应开始进行，产生热量，冷却液的温度开始逐渐上升。电堆内部温度随反应的进行不断升高使反应进行的更加充分，并且放出更多的热量。当反应经过一段时间逐渐稳定后，由于水的液化产生的热量让温度进行缓慢的升高，而在温度达到 75℃时，触发了风扇的工作条件，风扇开始对冷却液进行散热处理，冷却液的温度逐渐降低达到稳定状态，处于相对合适的温度区间，并且电堆进出口冷却液的温差一直保持在 10℃内，说明该冷却系统可以较好的完成热管理工作。

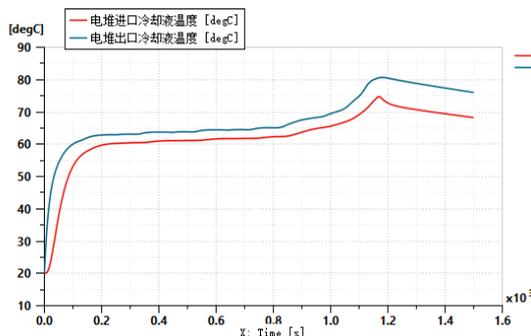


图 5 电堆进出口冷却液温度-时间曲线

### 4 结束语

文章使用 AMESim 软件对质子交换膜燃料电池系统进行建模仿真，并且分析冷却系统在燃料电池动态工况下的性能，对电堆进出口冷却液的温度变化进行分析，验证了冷却系统可以较好的完成对于质子交换膜燃料电池的热管理工作，可以让电池运行在相对合适的温度区间中。需要改进的点：文章中所建立的 PEMFC 系统模型相比实际中的系统相对简单。缺少一些复杂的部分，同时在进行冷却系统建模时也没有考虑冷却液温度变化的滞后等问题。仍需以后的深入研究解决。

#### [参考文献]

- [1]王凯强. 质子交换膜燃料电池系统建模与仿真分析[J]. 时代汽车, 2021(6): 141-143.
  - [2]张磊, 王仁广, 徐元利, 等. 基于 AMESim 的燃料电池系统仿真与分析[J]. 汽车工程师, 2020(3): 32-36.
  - [3]顾兆, 袁野. 质子交换膜燃料电池仿真建模与分析[J]. 电源技术, 2021, 45(4): 459-462.
  - [4]Wang Y, Li J, Tao Q. Thermal Management System Modeling and Simulation of a Full-Powered Fuel Cell Vehicle[J]. Journal of Energy Resources Technology, 2019, 142(6): 1-40.
  - [5]Biberici M A, Celik M B. Dynamic Modeling and Simulation of a PEM Fuel Cell (PEMFC) during an Automotive Vehicle's Driving Cycle[J]. Engineering, Technology and Applied Science Research, 2020, 10(3): 5796-5802.
- 作者简介：井绪宝（1997-），学校：辽宁工业大学；职务：研究生。