

基于 AMESIM 的氢燃料电池系统仿真与分析

井绪宝 刘丛浩 蔡思远

辽宁工业大学, 辽宁 锦州 121001

[摘要] 为了研究氢燃料电池系统在工作时各子系统中变量的变化规律, 文中通过使用 AMESim 平台来建立燃料电池系统的一维仿真模型。针对氢燃料电池系统的构成和工作原理, 采用 AMESim 平台进行相应工况下的一维仿真, 从而得到并分析氢燃料电池系统的动态特性。仿真后分析结果后得出, 氢燃料电池模型仿真得到的功率可以满足功率的需求, 且温度处于合适的范围内。根据分析得出, 通过一维建模仿真的氢燃料电池系统的一些结果与理论分析的结论相同, 从而说明了对于氢燃料电池系统开发来说, 建模仿真是一种可行的方法。

[关键词] 氢燃料电池系统; AEMSim; 仿真分析

DOI: 10.33142/sca.v5i1.5567

中图分类号: TM9

文献标识码: A

Simulation and Analysis of Hydrogen Fuel Cell System Based on AMESim

JING Xubao, LIU Conghao, CAI Siyuan

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

Abstract: In order to study the variation law of variables in each subsystem of hydrogen fuel cell system, a one-dimensional simulation model of fuel cell system is established by using AMESim platform. According to the composition and working principle of hydrogen fuel cell system, AMESim platform is used for one-dimensional simulation under corresponding working conditions, so as to obtain and analyze the dynamic characteristics of hydrogen fuel cell system. After analyzing the simulation results, it is concluded that the power obtained by hydrogen fuel cell model simulation can meet the power demand, and the temperature is in an appropriate range. According to the analysis, some results of the hydrogen fuel cell system through one-dimensional modeling and simulation are the same as those of the theoretical analysis, which shows that modeling and simulation is a feasible method for the development of hydrogen fuel cell system.

Keywords: hydrogen fuel cell system; AEMSim; simulation analysis

目前, 新能源汽车已经逐渐普及, 相比传统燃油车, 新能源汽车的优势在于清洁无污染, 环境友好, 低产生噪音低, 响应性好等方面。作为燃料电池汽车动力系统的氢燃料电池, 具有功率大, 零污染等优点。近年来, 我国对于燃料电池方面的研究在不断加深, 取得了较大的成果, 燃料电池相关专利数量也排在全球前列, 但是仍旧存在着一些目前还无法完全解决的难题, 例如氢燃料电池的冷启动问题以及氢燃料电池的水热管理相关的问题。燃料电池的成本较高, 且耗费大量的人力财力, 因此利用仿真软件进行仿真实验是更为高效直观的方式。仿真分析也分为很多种, 本文使用的 AMESIM 仿真属于其中的混合仿真类型。AMESim 有着很强大的功能, 其中存在的模块可以提高建模的速度, 并且建模的质量和准确度也得到了保障。本论文研究的氢燃料电池类型为 PEMFC, 是一种应用较多的燃料电池, 在对质子交换膜电池的原理进行研究后, 使用 AMESim 对其进行面模型的建立, 然后根据仿真结果对 PEMFC 系统的一些动态特性进行分析。

1 PEMFC 系统原理

1.1 PEMFC 系统

PEMFC 系统是一个由多个子系统所构成的复杂系统,

该系统在数个 subsystem 的共同作用下, 实现电池系统的正常工作。图 1 为简单 PEMFC 系统结构示意图。

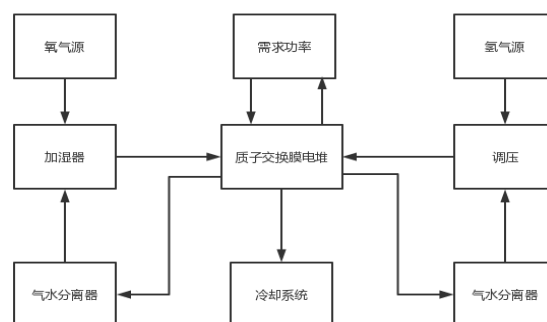


图 1 简单 PEMFC 系统结构示意图

1.2 燃料电池电堆模型

AMESim 模型库中提供了本文所需的燃料电池模型, 并且在子模型选项中有 4 种子模型可以选择, 分别为 FCPEMFC1D00 模型, FCPEMFC2D00 模型, FCSOFC1D00 模型, 以及 FCSOFC2D00 模型。由于文章所研究的 PEMFC 系统所涉及的是系统层面所以不对电池的内部结构及机理进行过多的研究, 所以在本次建模中, 燃料电池电堆的子模型选择第一种, 即 FCPEMFC1D00 子模型。该电堆模型涉及的

所有外部变量如下图 2 所示。

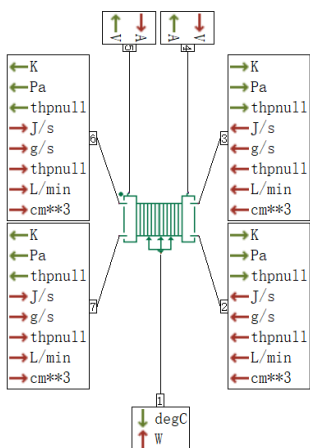


图 2 电堆外部变量

上图中，各个单位代表电堆工作时所涉及的变量，对于直接关联的变量，箭头的方向标明正方向，以下为各个端口的作用。

表 1 各端口作用

端口 1	热交换口
端口 2	阳极出口
端口 3	阳极入口
端口 4	电流出口
端口 5	电压入口
端口 6	阴极出口
端口 7	阴极入口

1.3 AMESim 模型

如上文所述，因为不对电池的内部结构及机理进行过多的研究，所以本文通过对于燃料电池系统进行一维系统及建模即可对于其性能进行分析。在 AMESim 中所搭建的燃料电池简单系统示意图，如上图一所示。大概的工作原理为，空气和氢气分别经由子系统中的增湿器增加其湿度，达到一定湿度要求后，经由连接电堆的流道进入电堆内部的催化层处进行反应，最终产生出负载所需的电流。使用 AMESIM 对燃料电池系统进行系统级仿真模型的建立，建立完成后，如下图 3 所示。

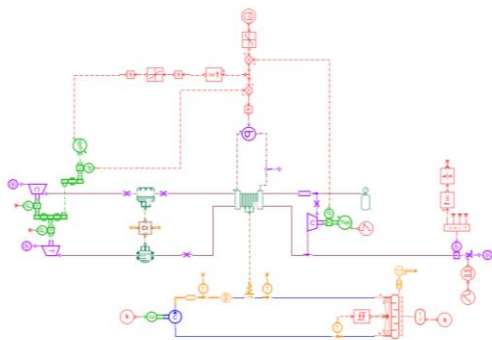


图 3 燃料电池系统 AMESim 仿真模型

1.3.1 电堆

AMESIM 提供了一维模型和二维燃料电池模型，本文仅从系统层面对 PEMFC 进行研究，因此选择一维模型。通过将相关组件按照规定进行连接，最终建立了燃料电池系统的模型。其中电堆参数，如表 2 所示。

表 2 燃料电池电堆仿真参数

参数名称	参数值
电堆初始压力/Pa	6000
电堆质量/kg	50
电堆单体个数/个	330
单片电池面积/cm ²	800
阳极容量/L	5
阴极容量/L	5
阳极换热面积/mm ²	100000
阴极换热面积/mm ²	100000
阳极换热系数/(W/(m ² ·°C))	1000
阴极换热系数/(W/(m ² ·°C))	1000
冷却流道换热系数/(W/(m ² ·°C))	5000

除上表中所示参数外，对于电堆来说，还有一个参数尤为重要，那就是—极化曲线。如果电池产生极化现象，那么将会导致电池的实际效率降低，以及电池发热等现象。极化现象指由于电池内部电流流经电极，导致电势值偏离平衡值的现象。本文所涉及的燃料电池电位曲线如图 4 所示。

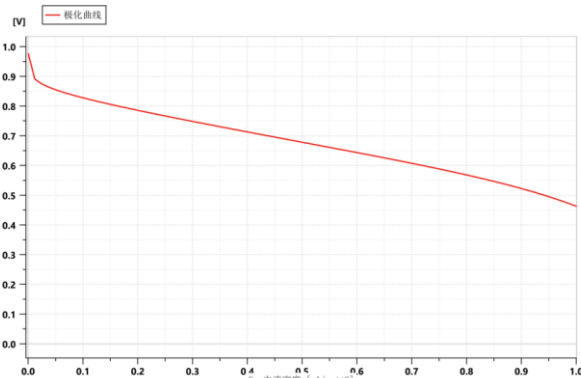


图 4 燃料电池极化曲线

1.3.2 空气与氢气子系统

在本文所搭建的燃料电池系统仿真模型中，对于其中的空气供给子系统来说，其中空气的定义为由 80%的N₂与 20%的O₂混合形成的混合气体，其中忽略了空气中其他微量的组分。将此种混合气体加湿后通过流道进入电堆阴极参与反应。而对于燃料电池系统中的氢气供给子系统中来说，其中的氢气定义为具备一定初始压力的储存在储氢罐中的单一气体，同样的，氢在进入燃料电池阳极进行化学反应前，也要通过增湿器进行加湿处理。气体系统主要由

空压机、加湿器、膨胀器等部件组成。其中空压机的作用是将空气增压，这样可以提升燃料电池的反应速率；加湿器在氢气供给子系统以及空气供给子系统中都有出现，加湿器的作用就是控制进入燃料电池中进行反应的原料气体的湿度，将湿度控制在一定的范围之中，防止质子交换膜因为不当的湿度而损坏。空压机的压缩比与转速的关系见图 5。

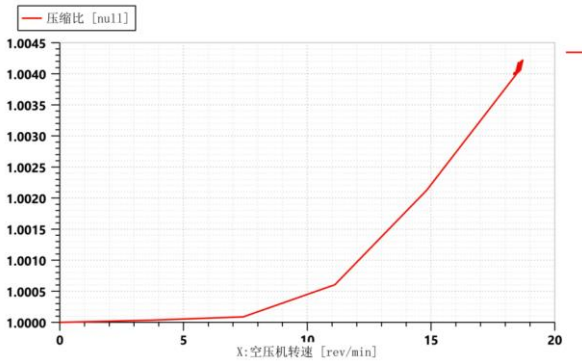


图 5 空压机转速-压缩比曲线

氢系统的作用是向燃料电池电堆提供燃料。由于氢需要初始压力，并且要保持压力在合适的范围内。AMESim 仿真软件中提供了氢气瓶的模型，该模型可以直接通过压力调节器来设置合适的压力，只需要设置相应参数即可。本文中运用的氢气瓶模型具体参数设置如下表 3 所示。

表 3 氢气子系统仿真参数

参数名称	参数值
容积/L	80
温度/°C	20
压力/bar	700
调节压力/bar	1.5

2 AMESim 仿真结果

2.1 输出特性

根据所建立的氢燃料电池系统模型进行仿真，得出了电堆的输出电流和电压以及需求功率，如下图 6 和图 7 和图 8 所示。

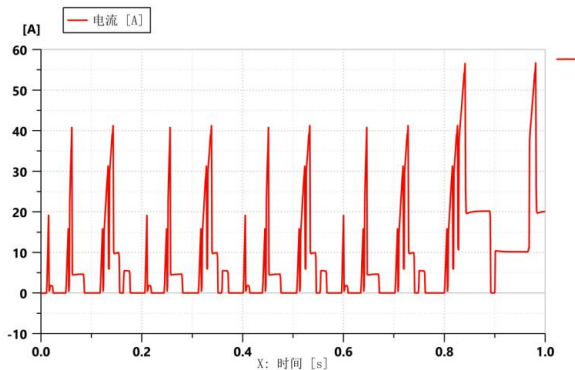


图 6 输出电流

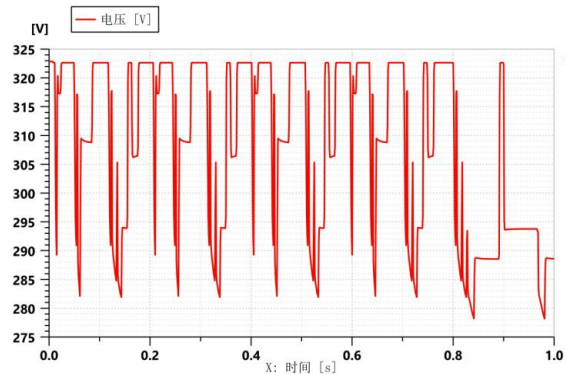


图 7 输出电压

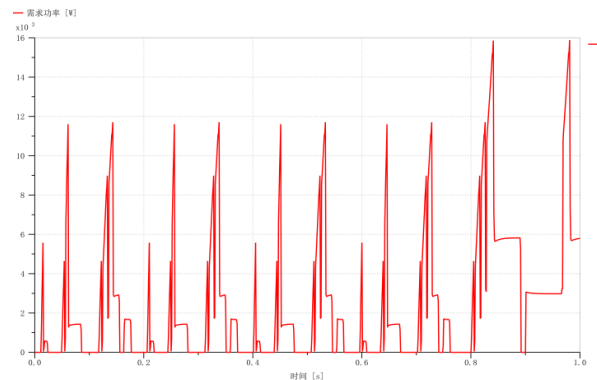


图 8 需求功率

2.2 空气与氢气子系统

图十为电堆阴极 H_2 、 O_2 、 H_2O 三种成分的摩尔质量随时间的变化曲线。从图 9 中可以看出， H_2 和 O_2 两种成分的摩尔质量的变化趋势是近似的，而 O_2 和 H_2O 摩尔质量的变化趋势是相反的，根据燃料电池的反应原理可知，电堆内部反应是消耗一定数量 H_2 和 O_2 的同时产生 H_2O 。

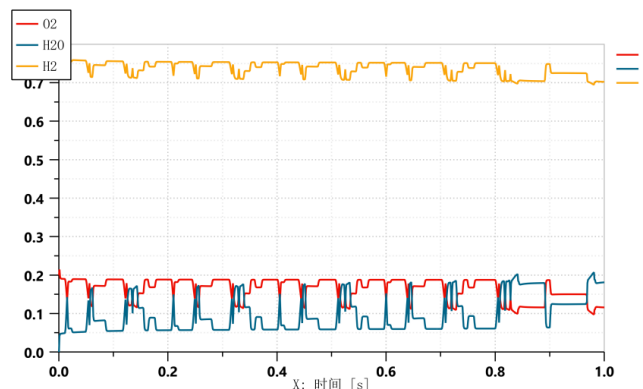


图 9 摩尔质量变化曲线

对于空气子系统来说，空压机和压缩机是其中很重要的元件，所以下面需要针对空压机和加湿器的性能进行分析。针对空压机来说，下面重点分析的是空压机工作区域还有空压机效率，下面的图 10 和图 11 显示了空气压缩机操作点压缩率在可操作区域的分布以及空气压缩机操作

点等熵效率在操作区域的分布。从图 10 和图 11 可以看出,空气压缩机的工作点都在工作区域内,随着空气压缩机转速的增加,空气压缩机压缩比整体呈线性增加。在空气压缩机效率方面,在低转速阶段,其它转速下,空气压缩机效率可达 60%左右,因此系统整体效率较高。

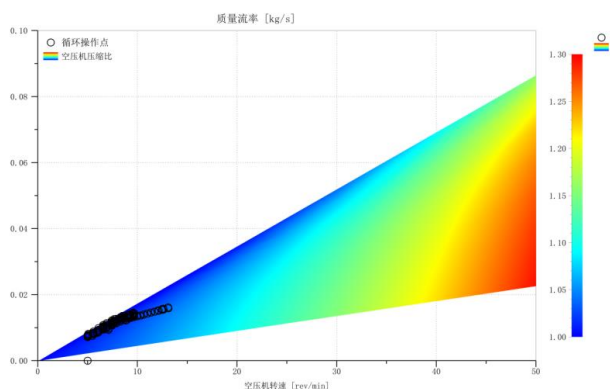


图 10 空压机压缩比分布

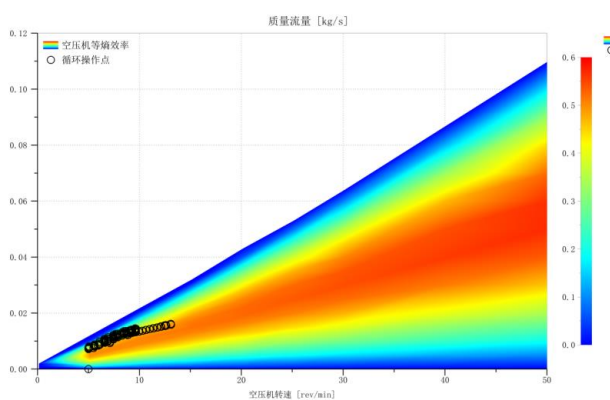


图 11 空压机等熵效率分布

而对加湿器而言,阴极相对湿度如图 12 所示。下图分析重点为图中的脉冲的峰值分布,从图 12 可以看出脉冲的峰值分布,其峰值大约分布在 75%~90%的区域,这种现象表明了加湿器的效果很好。

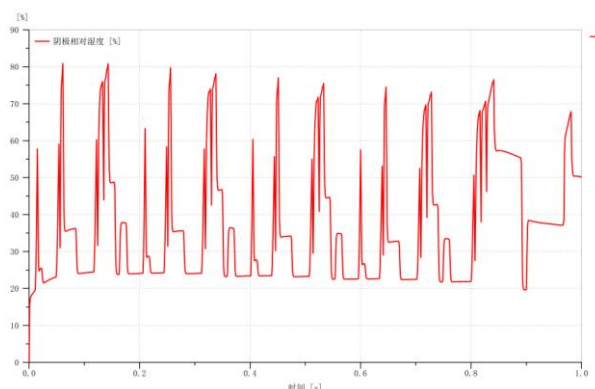


图 12 阴极相对湿度

3 结论

本文使用 AMESim 软件对 PEMFC 系统进行一维建模和仿真分析,分析了 PEMFC 系统的电堆子系统、氢气供给子系统、空气供给子系统的特性,分析了 PEMFC 在动态条件下的工作电压、电流、湿度、温度的变化关系。结果表明,在设定相应的仿真参数和控制条件下,燃料电池系统能很好地运行。但是仍然存在一些不足,如阴极湿度较低,可以通过后续研究进行改善。

[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,孟祥飞. 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]顾洮,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 ,et al.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。