



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110459785 A  
(43)申请公布日 2019. 11. 15

(21)申请号 201910757439.1

(22)申请日 2019.08.16

(71)申请人 上海电气集团股份有限公司  
地址 200336 上海市长宁区兴义路8号30层

(72)发明人 吴炎花 林业发 陈建平 徐吉林

(74)专利代理机构 上海弼兴律师事务所 31283  
代理人 薛琦 张冉

(51) Int. Cl.  
H01M 8/04298(2016.01)  
G01R 31/367(2019.01)  
G01R 31/378(2019.01)  
G01R 31/389(2019.01)

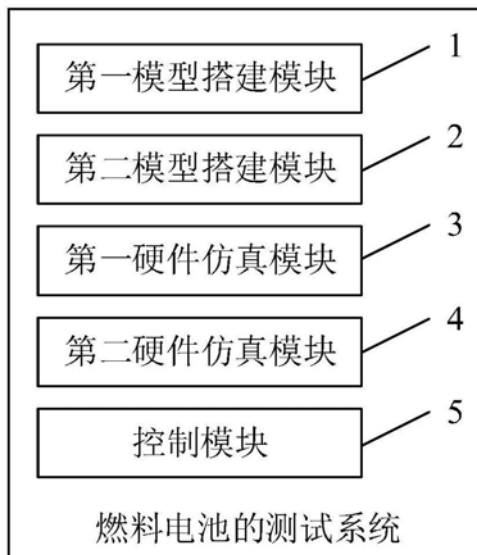
权利要求书3页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

燃料电池的测试系统及测试方法

(57)摘要

本发明公开了一种燃料电池的测试系统及测试方法。测试系统包括：第一模型搭建模块，用于搭建燃料电池模型；第二模型搭建模块，用于搭建初始控制策略模型；控制模块，用于连接第一、第二模型搭建模块实现模型在环仿真，优化后得第一控制策略模型；第一硬件仿真模块，用于运行燃料电池模型；第二硬件仿真模块，用于运行第一控制策略模型；控制模块还用于连接第一、第二硬件仿真模块实现硬件在环仿真，优化后得第二控制策略模型；第二硬件仿真模块还用于运行第二控制策略模型；控制模块还用于连接第二硬件仿真模块和燃料电池实现实物验证，优化后得目标控制策略模型。既能够实时仿真验证控制策略，又无需手动编写代码，实现控制策略的快速开发。



1. 一种燃料电池的测试系统,其特征在于,所述测试系统包括:
  - 第一模型搭建模块,用于搭建所述燃料电池的燃料电池模型;
  - 第二模型搭建模块,用于搭建所述燃料电池的初始控制策略模型;
  - 控制模块,用于连接所述第一模型搭建模块和所述第二模型搭建模块实现模型在环仿真,所述模型在环仿真用于验证所述初始控制策略模型,所述控制模块还用于根据所述模型在环仿真的结果对所述初始控制策略模型进行优化和标定后得到第一控制策略模型;
  - 第一硬件仿真模块,用于运行所述燃料电池模型;
  - 第二硬件仿真模块,用于运行所述第一控制策略模型;
  - 所述控制模块还用于连接所述第一硬件仿真模块和所述第二硬件仿真模块实现硬件在环仿真,所述硬件在环仿真用于验证所述第一控制策略模型,所述控制模块还用于根据所述硬件在环仿真的结果对所述第一控制策略模型进行优化和标定后得到第二控制策略模型;
  - 所述第二硬件仿真模块还用于运行所述第二控制策略模型;
  - 所述控制模块还用于连接所述第二硬件仿真模块和所述燃料电池实现实物验证,所述实物验证用于验证所述第二控制策略模型,所述控制模块还用于根据所述实物验证的结果对所述第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型。
2. 如权利要求1所述的燃料电池的测试系统,其特征在于,所述燃料电池模型包括电堆模型、电气系统模型、空气系统模型、氢气系统模型、热管理系统模型、零部件模型中的至少一种;
  - 其中,所述零部件模型包括温度传感器模型、压力传感器模型、电流传感器模型、电压传感器模型、电磁阀模型、继电器模型、空压机模型、水泵模型中的至少一种。
3. 如权利要求1所述的燃料电池的测试系统,其特征在于,所述初始控制策略模型包括:
  - 电气路控制策略模型,所述电气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的电堆运行功率;
  - 空气路控制策略模型,所述空气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的空气路的压力和/或流量;
  - 氢气路控制策略模型,所述氢气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的氢气路的压力和/或流量;
  - 热管理控制策略模型,所述热管理控制策略模型的参数包括所述燃料电池的运行温度。
4. 如权利要求1所述的燃料电池的测试系统,其特征在于,所述第一模型搭建模块还用于搭建车辆的动力学模型,所述车辆的能量源包括动力电池和所述燃料电池;
  - 所述第一硬件仿真模块还用于运行所述动力学模型;
  - 所述控制模块还用于依次连接所述第二硬件仿真模块、所述燃料电池以及所述第一硬件仿真模块实现能量分配验证,所述能量分配验证用于验证所述燃料电池在所述车辆中的能量分配,所述控制模块还用于根据所述能量分配验证的结果进一步优化和标定所述目标控制策略模型。
5. 如权利要求1所述的燃料电池的测试系统,其特征在于,所述第一模型搭建模块采用

Cruise M平台；

和/或,所述第二模型搭建模块采用Matlab Simulink平台；

和/或,所述第一硬件仿真模块采用NI PXI平台；

和/或,所述第二硬件仿真模块采用dSPACE MicroAutoBox平台。

6. 一种燃料电池的测试方法,其特征在于,所述测试方法利用如权利要求1所述的燃料电池的测试系统实现,所述测试方法包括:

第一模型搭建模块搭建所述燃料电池的燃料电池模型;

第二模型搭建模块搭建所述燃料电池的初始控制策略模型;

控制模块连接所述第一模型搭建模块和所述第二模型搭建模块实现模型在环仿真,所述模型在环仿真用于验证所述初始控制策略模型;

所述控制模块根据所述模型在环仿真的结果对所述初始控制策略模型进行优化和标定后得到第一控制策略模型;

第一硬件仿真模块运行所述燃料电池模型;

第二硬件仿真模块运行所述第一控制策略模型;

所述控制模块连接所述第一硬件仿真模块和所述第二硬件仿真模块实现硬件在环仿真,所述硬件在环仿真用于验证所述第一控制策略模型;

所述控制模块根据所述硬件在环仿真的结果对所述第一控制策略模型进行优化和标定后得到第二控制策略模型;

所述第二硬件仿真模块运行所述第二控制策略模型;

所述控制模块连接所述第二硬件仿真模块和所述燃料电池实现实物验证,所述实物验证用于验证所述第二控制策略模型;

所述控制模块根据所述实物验证的结果对所述第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型。

7. 如权利要求6所述的燃料电池的测试方法,其特征在于,所述燃料电池模型包括电堆模型、电气系统模型、空气系统模型、氢气系统模型、热管理系统模型、零部件模型中的至少一种;

其中,所述零部件模型包括温度传感器模型、压力传感器模型、电流传感器模型、电压传感器模型、电磁阀模型、继电器模型、空压机模型、水泵模型中的至少一种。

8. 如权利要求6所述的燃料电池的测试方法,其特征在于,所述初始控制策略模型包括:

电气路控制策略模型,所述电气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的电堆运行功率;

空气路控制策略模型,所述空气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的空气路的压力和/或流量;

氢气路控制策略模型,所述氢气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的氢气路的压力和/或流量;

热管理控制策略模型,所述热管理控制策略模型的参数包括所述燃料电池的运行温度。

9. 如权利要求6所述的燃料电池的测试方法,其特征在于,在所述控制模块根据所述实

物验证的结果对所述第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型的步骤之后,所述测试方法还包括:

所述第一模型搭建模块搭建车辆的动力学模型,所述车辆的能量源包括动力电池和所述燃料电池;

所述第一硬件仿真模块运行所述动力学模型;

所述控制模块依次连接所述第二硬件仿真模块、所述燃料电池以及所述第一硬件仿真模块实现能量分配验证,所述能量分配验证用于验证所述燃料电池在所述车辆中的能量分配;

所述控制模块根据所述能量分配验证的结果进一步优化和标定所述目标控制策略模型。

10. 如权利要求6所述的燃料电池的测试方法,其特征在于,所述第一模型搭建模块采用Cruise M平台;

和/或,所述第二模型搭建模块采用Matlab Simulink平台;

和/或,所述第一硬件仿真模块采用NI-PXI平台;

和/或,所述第二硬件仿真模块采用dSPACE MicroAutoBox平台。

## 燃料电池的测试系统及测试方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及燃料电池技术领域,尤其涉及一种燃料电池的测试系统及测试方法。

### 背景技术

[0002] 燃料电池系统是一种集合空气系统、氢气系统、热管理系统以及电气系统的复杂系统。燃料电池系统的开发包括燃料电池系统的控制器的开发,在燃料电池系统的控制器上可以验证燃料电池系统的控制策略。但是,燃料电池系统的控制器开发时间长并且开发成本高,这大大提高了燃料电池系统的开发难度。目前的燃料电池系统测试台基于工控机配合CompactRIO控制燃料电池系统,其中控制软件是基于labview定制的,尚难以快速开发控制策略。

### 发明内容

[0003] 本发明要解决的技术问题是为了克服现有技术中燃料电池的测试台难以快速开发控制策略的缺陷,提供一种燃料电池的测试系统及测试方法。

[0004] 本发明是通过下述技术方案来解决上述技术问题:

[0005] 一种燃料电池的测试系统,其特点在于,所述测试系统包括:

[0006] 第一模型搭建模块,用于搭建所述燃料电池的燃料电池模型;

[0007] 第二模型搭建模块,用于搭建所述燃料电池的初始控制策略模型;

[0008] 控制模块,用于连接所述第一模型搭建模块和所述第二模型搭建模块实现模型在环仿真,所述模型在环仿真用于验证所述初始控制策略模型,所述控制模块还用于根据所述模型在环仿真的结果对所述初始控制策略模型进行优化和标定后得到第一控制策略模型;

[0009] 第一硬件仿真模块,用于运行所述燃料电池模型;

[0010] 第二硬件仿真模块,用于运行所述第一控制策略模型;

[0011] 所述控制模块还用于连接所述第一硬件仿真模块和所述第二硬件仿真模块实现硬件在环仿真,所述硬件在环仿真用于验证所述第一控制策略模型,所述控制模块还用于根据所述硬件在环仿真的结果对所述第一控制策略模型进行优化和标定后得到第二控制策略模型;

[0012] 所述第二硬件仿真模块还用于运行所述第二控制策略模型;

[0013] 所述控制模块还用于连接所述第二硬件仿真模块和所述燃料电池实现实物验证,所述实物验证用于验证所述第二控制策略模型,所述控制模块还用于根据所述实物验证的结果对所述第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型。

[0014] 较佳地,所述燃料电池模型包括电堆模型、电气系统模型、空气系统模型、氢气系统模型、热管理系统模型、零部件模型中的至少一种;

[0015] 其中,所述零部件模型包括温度传感器模型、压力传感器模型、电流传感器模型、电压传感器模型、电磁阀模型、继电器模型、空压机模型、水泵模型中的至少一种。

- [0016] 较佳地,所述初始控制策略模型包括:
- [0017] 电气路控制策略模型,所述电气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的电堆运行功率;
- [0018] 空气路控制策略模型,所述空气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的空气路的压力和/或流量;
- [0019] 氢气路控制策略模型,所述氢气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的氢气路的压力和/或流量;
- [0020] 热管理控制策略模型,所述热管理控制策略模型的参数包括所述燃料电池的运行温度。
- [0021] 较佳地,所述第一模型搭建模块还用于搭建车辆的动力学模型,所述车辆的能源包括动力电池和所述燃料电池;
- [0022] 所述第一硬件仿真模块还用于运行所述动力学模型;
- [0023] 所述控制模块还用于依次连接所述第二硬件仿真模块、所述燃料电池以及所述第一硬件仿真模块实现能量分配验证,所述能量分配验证用于验证所述燃料电池在所述车辆中的能量分配,所述控制模块还用于根据所述能量分配验证的结果进一步优化和标定所述目标控制策略模型。
- [0024] 较佳地,所述第一模型搭建模块采用Cruise M(车辆系统级仿真平台软件)平台;
- [0025] 和/或,所述第二模型搭建模块采用Matlab Simulink(可视化仿真工具)平台;
- [0026] 和/或,所述第一硬件仿真模块采用NI PXI(NI公司发布的基于PC(Personnel Computer,个人电脑)的测量和自动化平台)平台;
- [0027] 和/或,所述第二硬件仿真模块采用dSPACE((实时仿真系统,由德国dSPACE公司开发的一套基于MATLAB Simulink的控制系统开发及半实物仿真的软硬件工作平台))MicroAutoBox(车载专用机箱,dSPACE提供的一种工具)平台。
- [0028] 一种燃料电池的测试方法,其特点在于,所述测试方法利用上述燃料电池的测试系统实现,所述测试方法包括:
- [0029] 第一模型搭建模块搭建所述燃料电池的燃料电池模型;
- [0030] 第二模型搭建模块搭建所述燃料电池的初始控制策略模型;
- [0031] 控制模块连接所述第一模型搭建模块和所述第二模型搭建模块实现模型在环仿真,所述模型在环仿真用于验证所述初始控制策略模型;
- [0032] 所述控制模块根据所述模型在环仿真的结果对所述初始控制策略模型进行优化和标定后得到第一控制策略模型;
- [0033] 第一硬件仿真模块运行所述燃料电池模型;
- [0034] 第二硬件仿真模块运行所述第一控制策略模型;
- [0035] 所述控制模块连接所述第一硬件仿真模块和所述第二硬件仿真模块实现硬件在环仿真,所述硬件在环仿真用于验证所述第一控制策略模型;
- [0036] 所述控制模块根据所述硬件在环仿真的结果对所述第一控制策略模型进行优化和标定后得到第二控制策略模型;
- [0037] 所述第二硬件仿真模块运行所述第二控制策略模型;
- [0038] 所述控制模块连接所述第二硬件仿真模块和所述燃料电池实现实物验证,所述实

物验证用于验证所述第二控制策略模型；

[0039] 所述控制模块根据所述实物验证的结果对所述第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型。

[0040] 较佳地,所述燃料电池模型包括电堆模型、电气系统模型、空气系统模型、氢气系统模型、热管理系统模型、零部件模型中的至少一种；

[0041] 其中,所述零部件模型包括温度传感器模型、压力传感器模型、电流传感器模型、电压传感器模型、电磁阀模型、继电器模型、空压机模型、水泵模型中的至少一种。

[0042] 较佳地,所述初始控制策略模型包括：

[0043] 电气路控制策略模型,所述电气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的电堆运行功率；

[0044] 空气路控制策略模型,所述空气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的空气路的压力和/或流量；

[0045] 氢气路控制策略模型,所述氢气路控制策略模型的参数包括所述燃料电池的氢气路的压力和/或流量；

[0046] 热管理控制策略模型,所述热管理控制策略模型的参数包括所述燃料电池的运行温度。

[0047] 较佳地,在所述控制模块根据所述实物验证的结果对所述第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型的步骤之后,所述测试方法还包括：

[0048] 所述第一模型搭建模块搭建车辆的动力学模型,所述车辆的能量源包括动力电池和所述燃料电池；

[0049] 所述第一硬件仿真模块运行所述动力学模型；

[0050] 所述控制模块依次连接所述第二硬件仿真模块、所述燃料电池以及所述第一硬件仿真模块实现能量分配验证,所述能量分配验证用于验证所述燃料电池在所述车辆中的能量分配；

[0051] 所述控制模块根据所述能量分配验证的结果进一步优化和标定所述目标控制策略模型。

[0052] 较佳地,所述第一模型搭建模块采用Cruise M平台；

[0053] 和/或,所述第二模型搭建模块采用Matlab Simulink平台；

[0054] 和/或,所述第一硬件仿真模块采用NI PXI平台；

[0055] 和/或,所述第二硬件仿真模块采用dSPACE MicroAutoBox平台。

[0056] 本发明的积极进步效果在于:本申请能够分别实现对燃料电池的控制策略模型,也即控制策略的模型在环验证、硬件在环验证以及实物验证,并且上述验证既能够实现对控制策略的实时仿真验证,又无需手动编写或修改代码,实现快速开发燃料电池的控制策略。

## 附图说明

[0057] 图1为根据本发明实施例1的燃料电池的测试系统的模块示意图。

[0058] 图2为本发明实施例1中的燃料电池的模块示意图。

[0059] 图3为根据本发明实施例1的燃料电池的测试系统中模型在环仿真的连接示意图。

- [0060] 图4为根据本发明实施例1的燃料电池的测试系统中硬件在环仿真的连接示意图。
- [0061] 图5为根据本发明实施例1的燃料电池的测试系统中实物验证的连接示意图。
- [0062] 图6为根据本发明实施例2的燃料电池的测试系统中能量分配验证的连接示意图。
- [0063] 图7为根据本发明实施例3的燃料电池的测试方法的流程图。
- [0064] 图8为根据本发明实施例4的燃料电池的测试方法的部分流程图。

## 具体实施方式

[0065] 下面通过实施例的方式进一步说明本发明,但并不因此将本发明限制在所述的实施例范围之中。

### [0066] 实施例1

[0067] 本发明提供一种燃料电池的测试系统,图1示出了本实施例的模块示意图。参照图1,本实施例的测试系统包括:第一模型搭建模块1、第二模型搭建模块2、第一硬件仿真模块3、第二硬件仿真模块4以及控制模块5。

[0068] 具体地,在本实施例中,图2示出了燃料电池的模块示意图,参照图2,燃料电池可以包括电堆、电气系统、空气系统、氢气系统、热管理系统等子系统,以及温度传感器、压力传感器、电流传感器、电压传感器、电磁阀、继电器、空压机、水泵、散热风扇等零部件。

[0069] 第一模型搭建模块1用于根据燃料电池的具体结构设计来搭建该燃料电池的燃料电池模型,其中,第一模型搭建模块1可以采用Cruise M平台。具体地,在本实施例中,可以在Cruise M平台中搭建燃料电池模型,其中,燃料电池模型可以包括电堆模型、电气系统模型、空气系统模型、氢气系统模型、热管理系统模型等子系统模型,以及温度传感器模型、压力传感器模型、电流传感器模型、电压传感器模型、电磁阀模型、继电器模型、空压机模型、水泵模型等零部件模型。

[0070] 第二模型搭建模块2用于根据燃料电池的具体结构设计来搭建该燃料电池的初始控制策略模型,其中,第二模型搭建模块2可以采用Matlab Simulink平台。具体地,在本实施例中,可以在Matlab Simulink平台中搭建初始控制策略模型,以开发燃料电池的初始控制策略。其中,初始控制策略模型可以包括电气路控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的电堆运行功率;空气路控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的空气路的压力和/或流量;氢气路控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的氢气路的压力和/或流量;热管理控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的运行温度。

[0071] 控制模块5用于连接第一模型搭建模块1和第二模型搭建模块2实现模型在环仿真,以验证初始控制策略模型,图3示出了模型在环仿真的连接示意图。控制模块5还用于根据模型在环仿真的结果对初始控制策略模型进行优化和标定后得到第一控制策略模型,包括优化和标定后的电气路控制策略模型、空气路控制策略模型、氢气路控制策略模型、热管理控制策略模型。

[0072] 例如,氢气路控制策略模型对应PID(比例(proportion)、积分(integral)、微分(differential))控制,可以在改变不同外部条件的情况下,通过模型在环仿真标定到最优解。例如,为使得参数压力的波动最小,可以在改变前端管路压力的条件下,优化P(proportion,比例)、I(integral,积分)、D(differential,微分)三个常量;在改变电磁阀响应时间的条件下,优化P、I、D三个常量;再在改变氢气消耗量的条件下,优化P、I、D三个



常量;最终根据压力波动的均方差和幅值,计算最优的P、I、D三个常量。

[0073] 在完成模型在环仿真后,第一硬件仿真模块3用于运行第一模型搭建模块1搭建的燃料电池模型,其中,第一硬件仿真模块3可以采用NI PXI平台。具体地,Cruise M平台可以将搭建的燃料电池模型打包成可执行代码后下载到NI PXI平台中,以在NI PXI平台中运行燃料电池模型来模拟真实的燃料电池。

[0074] 第二硬件仿真模块4用于运行经模型在环仿真后得到的第一控制策略模型,其中,第二硬件仿真模块4可以采用dSPACE MicroAutoBox平台。具体地,在本实施例中,可以通过dSPACE将第一控制策略模型编译下载到MicroAutoBox中,并将dSPACE的I/O (Input/Output,输入/输出)资源配置到第一控制策略模型,实现在dSPACE MicroAutoBox平台中运行第一控制策略模型。

[0075] 控制模块5还用于连接第一硬件仿真模块3和第二硬件仿真模块4实现硬件在环仿真,以验证第一控制策略模型,图4示出了硬件在环仿真的连接示意图。控制模块5还用于根据硬件在环仿真的结果对第一控制策略模型进行优化和标定后得到第二控制策略模型,包括优化和标定后的电气路控制策略模型、空气路控制策略模型、氢气路控制策略模型、热管理控制策略模型。此外,基于硬件在环仿真还可以验证燃料电池模型的硬件输出特性,其中,硬件输出特性包括燃料电池模型中的子系统模型及零部件模型的硬件输出特性,例如,氢气路系统模型中的氢气喷射阀的开启时间和频率,传感器的电气特性,继电器的电气特性及开启特性等。

[0076] 例如,对于氢气喷射阀,dSPACE平台具有传感器接口,其运行第一控制策略模型,并根据采集的氢气路的压力来控制氢气喷射阀的开闭,具体地,当氢气路的压力超过目标值时,关闭氢气喷射阀,当氢气路的压力低于目标值时,打开氢气喷射阀,以此来验证氢气路系统的硬件输出特性。

[0077] 在完成硬件在环仿真后,第二硬件仿真模块4还运行第二控制策略模型,具体地,可以通过dSPACE将第二控制策略模型编译下载到MicroAutoBox中,并将dSPACE的I/O接口资源配置到第二控制策略模型。控制模块5还用于连接第二硬件仿真模块和燃料电池实现实物验证,以验证运行在dSPACE中的第二控制策略模型对燃料电池的直接控制,图5示出了实物验证的连接示意图。具体地,将燃料电池的温度传感器、压力传感器、电流传感器、电压传感器连接到MicroAutoBox的AI (Analog Input,模拟输入)接口,电磁阀、继电器连接到MicroAutoBox的DO (Digital Output,数字输出)接口,空压机、水泵等配置到CAN (Controller Area Network,控制器局域网)通讯接口。控制模块5还用于根据实物验证的结果,也即燃料电池的零部件特性(包括响应特性和电气特性),对第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型,包括优化和标定后的电气路控制策略模型、空气路控制策略模型、氢气路控制策略模型、热管理控制策略模型。

[0078] 在本实施例中,控制模块5能够获取各控制策略模型的任意参数,还可以自动生成基于改变一个目标参数的情况下的不同测试用例,并通过对比测试来对比不同目标参数下的测试结果,以找到该目标参数的最优解,进而将最优解标定到对应的控制策略模型进行测试以验证该最优解。

[0079] 至此,在燃料电池的测试系统中实现了对控制策略模型,也即控制策略的模型在环验证、硬件在环验证以及实物验证,并且上述验证既能够实现控制策略的实时仿真验

证,又无需手动编写或修改代码,实现快速开发燃料电池的控制策略。

#### [0080] 实施例2

[0081] 本实施例在实施例1的基础上提供一种燃料电池的测试系统,较之实施例1,本实施例的测试系统还可以实现对车辆能量分配的仿真验证,其中,车辆的能量源包括动力电池以及实施例1中的燃料电池。

[0082] 在实施例1完成实物验证的基础上,第一模型搭建模块1还可以用于搭建车辆的动力学模型,第一硬件仿真模块3可以用于运行该动力学模型。控制模块5还可以用于依次连接第二硬件仿真模块4、燃料电池以及第一硬件仿真模块3实现燃料电池与车辆动力学模型的交互,以实现能量分配的仿真验证,进而验证燃料电池的输出功率在车辆能量中的分配,图6示出了能量分配验证的连接示意图。控制模块5还可以用于根据能量分配验证的结果进一步优化和标定目标控制策略模型,来得到最终的控制策略,以提高燃料电池的耐久性。具体地,在Cruise M平台中搭建车辆的动力学模型并将该动力学模型打包成可执行代码后下载到NI PXI平台中,以实现目标控制策略模型的优化和标定。

[0083] 本实施例中的控制策略模型还可以包括能量分配控制策略模型,在实施例1的基础上,本实施例的测试系统可以根据燃料电池的输出功率在车辆中的运行分配情况,来进一步优化燃料电池的控制策略,以实现以动力电池与燃料电池为能量源的车辆中合理的能量分配。

#### [0084] 实施例3

[0085] 本发明提供一种燃料电池的测试方法,其中,测试方法利用实施例1中的燃料电池的测试系统实现,燃料电池亦如图2所示,可以包括电堆、电气系统、空气系统、氢气系统、热管理系统等子系统,以及温度传感器、压力传感器、电流传感器、电压传感器、电磁阀、继电器、空压机、水泵、散热风扇等零部件。图7示出了本实施例的流程图,参照图7,本实施例的测试方法包括:

[0086] S1、第一模型搭建模块搭建燃料电池的燃料电池模型。

[0087] 第一模型搭建模块根据燃料电池的具体结构设计来搭建该燃料电池的燃料电池模型,其中,第一模型搭建模块可以采用Cruise M平台。具体地,在本实施例中,可以在Cruise M平台中搭建燃料电池模型,其中,燃料电池模型可以包括电堆模型、电气系统模型、空气系统模型、氢气系统模型、热管理系统模型等子系统模型,以及温度传感器模型、压力传感器模型、电流传感器模型、电压传感器模型、电磁阀模型、继电器模型、空压机模型、水泵模型等零部件模型。

[0088] S2、第二模型搭建模块搭建燃料电池的初始控制策略模型。

[0089] 第二模型搭建模块根据燃料电池的具体结构设计来搭建该燃料电池的初始控制策略模型,其中,第二模型搭建模块可以采用Matlab Simulink平台。具体地,在本实施例中,可以在Matlab Simulink平台中搭建初始控制策略模型,以开发燃料电池的初始控制策略。其中,初始控制策略模型可以包括电气路控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的电堆运行功率;空气路控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的空气路的压力和/或流量;氢气路控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的氢气路的压力和/或流量;热管理控制策略模型,其参数可以包括燃料电池的运行温度。

[0090] S3、控制模块连接第一模型搭建模块和第二模型搭建模块实现模型在环仿真。

[0091] S4、控制模块根据模型在环仿真的结果对初始控制策略模型进行优化和标定后得到第一控制策略模型。

[0092] 控制模块连接第一模型搭建模块和第二模型搭建模块实现模型在环仿真,以验证初始控制策略模型,模型在环仿真的连接示意图亦如图3所示。第一控制策略模型可以包括优化和标定后的电气路控制策略模型、空气路控制策略模型、氢气路控制策略模型、热管理控制策略模型。

[0093] 例如,氢气路控制策略模型对应PID控制,可以在改变不同外部条件的情况下,通过模型在环仿真标定到最优解。例如,为使得参数压力的波动最小,可以在改变前端管路压力的条件下,优化P、I、D三个常量;在改变电磁阀响应时间的条件下,优化P、I、D三个常量;再在改变氢气消耗量的条件下,优化P、I、D三个常量;最终根据压力波动的均方差和幅值,计算最优的P、I、D三个常量。

[0094] S5、第一硬件仿真模块运行燃料电池模型。

[0095] 第一硬件仿真模块运行第一模型搭建模块搭建的燃料电池模型,其中,第一硬件仿真模块可以采用NI PXI平台。具体地,Cruise M平台可以将搭建的燃料电池模型打包成可执行代码后下载到NI PXI平台中,以在NI PXI平台中运行燃料电池模型来模拟真实的燃料电池。

[0096] S6、第二硬件仿真模块运行第一控制策略模型。

[0097] 第二硬件仿真模块运行经模型在环仿真后得到的第一控制策略模型,其中,第二硬件仿真模块可以采用dSPACE MicroAutoBox平台。具体地,在本实施例中,可以通过dSPACE将第一控制策略模型编译下载到MicroAutoBox中,并将dSPACE的I/O (Input/Output,输入/输出)资源配置到第一控制策略模型,实现在dSPACE MicroAutoBox平台中运行第一控制策略模型。

[0098] S7、控制模块连接第一硬件仿真模块和第二硬件仿真模块实现硬件在环仿真。

[0099] S8、控制模块根据硬件在环仿真的结果对第一控制策略模型进行优化和标定后得到第二控制策略模型。

[0100] 控制模块连接第一硬件仿真模块和第二硬件仿真模块实现硬件在环仿真,以验证第一控制策略模型,硬件在环仿真的连接示意图亦如图4所示。第二控制策略模型可以包括优化和标定后的电气路控制策略模型、空气路控制策略模型、氢气路控制策略模型、热管理控制策略模型。此外,基于硬件在环仿真还可以验证燃料电池模型的硬件输出特性,其中,硬件输出特性包括燃料电池模型中的子系统模型及零部件模型的硬件输出特性,例如,氢气路系统模型中的氢气喷射阀的开启时间和频率,传感器的电气特性,继电器的电气特性及开启特性等。

[0101] 例如,对于氢气喷射阀,dSPACE平台具有传感器接口,其运行第一控制策略模型,并根据采集的氢气路的压力来控制氢气喷射阀的开闭,具体地,当氢气路的压力超过目标值时,关闭氢气喷射阀,当氢气路的压力低于目标值时,打开氢气喷射阀,以此来验证氢气路系统的硬件输出特性。

[0102] S9、第二硬件仿真模块运行第二控制策略模型。

[0103] 具体地,第二硬件仿真模块可以通过dSPACE将第二控制策略模型编译下载到MicroAutoBox中,并将dSPACE的I/O接口资源配置到第二控制策略模型。

[0104] S10、控制模块连接第二硬件仿真模块和燃料电池实现实物验证。

[0105] S11、控制模块根据实物验证的结果对第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型。

[0106] 控制模块连接第二硬件仿真模块和燃料电池实现实物验证,以验证运行在dSPACE中的第二控制策略模型对燃料电池的直接控制,实物验证的连接示意图亦如图5所示。具体地,将燃料电池的温度传感器、压力传感器、电流传感器、电压传感器连接到MicroAutoBox的AI (Analog Input, 模拟输入) 接口,电磁阀、继电器连接到MicroAutoBox的DO (Digital Output, 数字输出) 接口,空压机、水泵等配置到CAN (Controller Area Network, 控制器局域网) 通讯接口。控制模块还可以根据实物验证的结果,也即燃料电池的零部件特性(包括响应特性和电气特性),对第二控制策略模型进行优化和标定后得到目标控制策略模型,包括优化和标定后的电气路控制策略模型、空气路控制策略模型、氢气路控制策略模型、热管理控制策略模型。

[0107] 在本实施例中,控制模块能够获取各控制策略模型的任意参数,还可以自动生成基于改变一个目标参数的情况下的不同测试用例,并通过对比测试来对比不同目标参数下的测试结果,以找到该目标参数的最优解,进而将最优解标定到对应的控制策略模型进行测试以验证该最优解。

[0108] 至此,在燃料电池的测试系统中实现了对控制策略模型,也即控制策略的模型在环验证、硬件在环验证以及实物验证,并且上述验证既能够实现控制策略的实时仿真验证,又无需手动编写或修改代码,实现快速开发燃料电池的控制策略。

[0109] 实施例4

[0110] 本实施例在实施例3的基础上提供一种燃料电池的测试方法,较之实施例3,本实施例的测试方法还可以实现对车辆能量分配的仿真验证,其中,车辆的能量源包括动力电池以及实施例3中的燃料电池。图8示出了本实施例的部分流程图,参照图8,在步骤S11之后,本实施例的测试方法还包括:

[0111] S12、第一模型搭建模块搭建车辆的动力学模型。

[0112] S13、第一硬件仿真模块运行动力学模型。

[0113] S14、控制模块依次连接第二硬件仿真模块、燃料电池以及第一硬件仿真模块实现能量分配验证。

[0114] S15、控制模块根据能量分配验证的结果进一步优化和标定目标控制策略模型。

[0115] 控制模块依次连接第二硬件仿真模块、燃料电池以及第一硬件仿真模块实现燃料电池与车辆动力学模型的交互,以实现能量分配的仿真验证,进而验证燃料电池的输出功率在车辆能量中的分配,能量分配验证的连接示意图亦如图。控制模块还可以用于根据能量分配验证的结果进一步优化和标定目标控制策略模型,来得到最终的控制策略,以提高燃料电池的耐久性。具体地,在Cruise M平台中搭建车辆的动力学模型并将该动力学模型打包成可执行代码后下载到NI PXI平台中,以实现目标控制策略模型的优化和标定。

[0116] 本实施例中的控制策略模型还可以包括能量分配控制策略模型,在实施例3的基础上,本实施例的测试方法可以根据燃料电池的输出功率在车辆中的运行分配情况,来进一步优化燃料电池的控制策略,以实现以动力电池与燃料电池为能量源的车辆中合理的能量分配。

[0117] 虽然以上描述了本发明的具体实施方式,但是本领域的技术人员应当理解,这仅是举例说明,本发明的保护范围是由所附权利要求书限定的。本领域的技术人员在不背离本发明的原理和实质的前提下,可以对这些实施方式做出多种变更或修改,但这些变更和修改均落入本发明的保护范围。

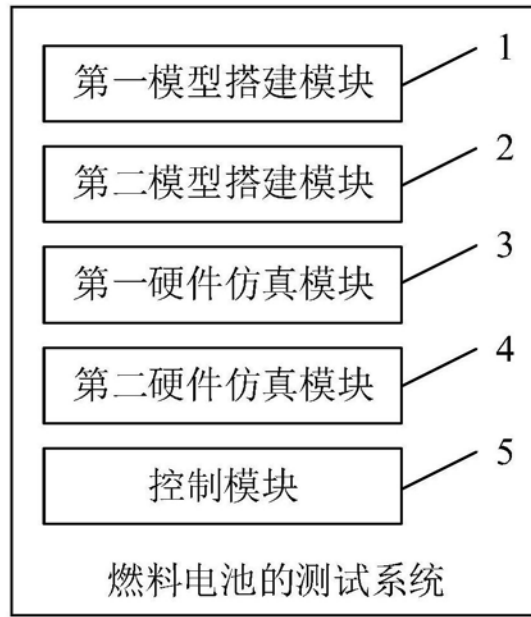


图1

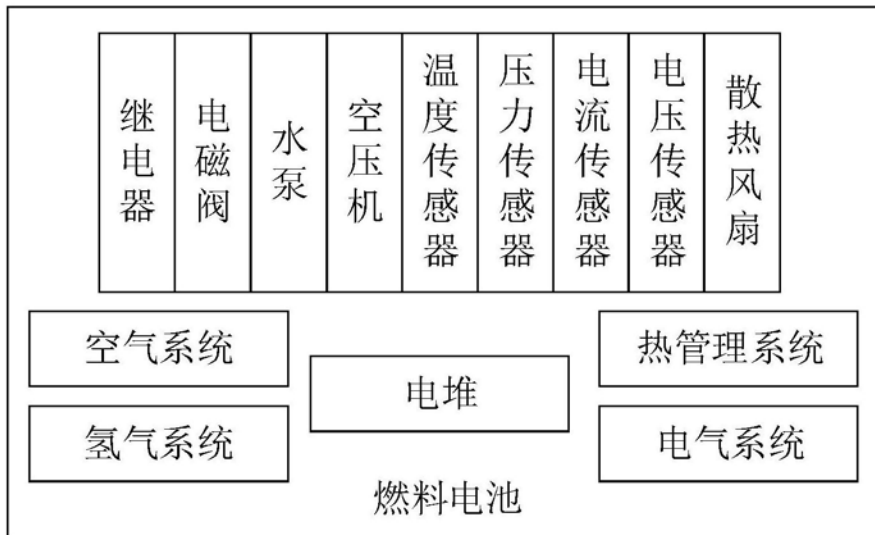


图2

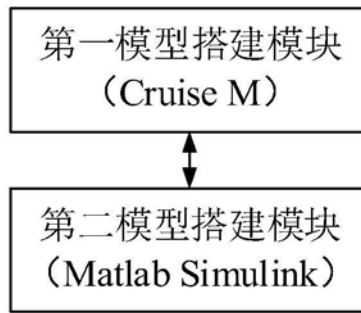


图3

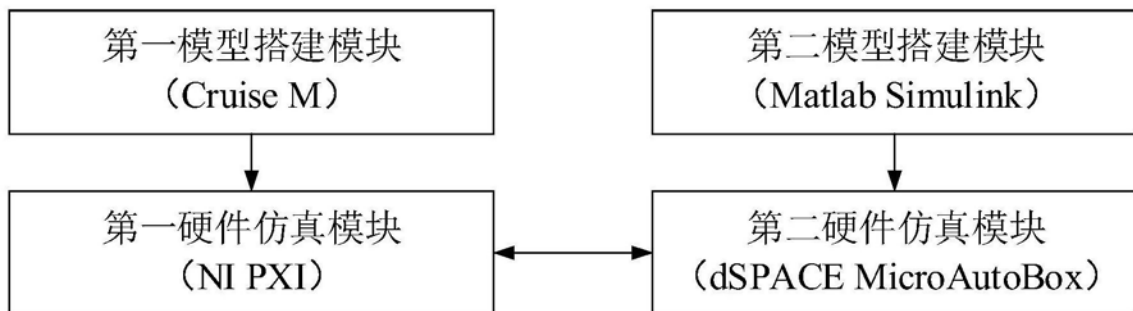


图4

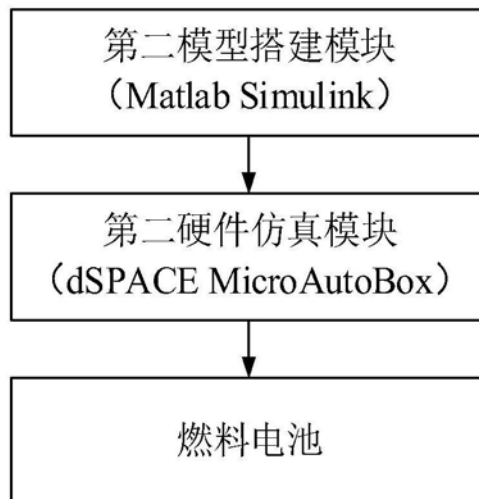


图5

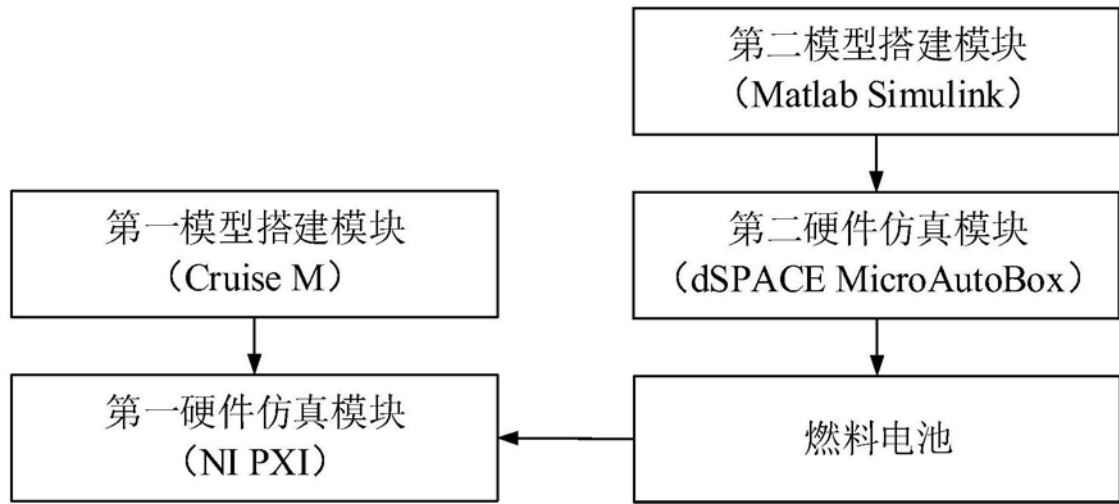


图6



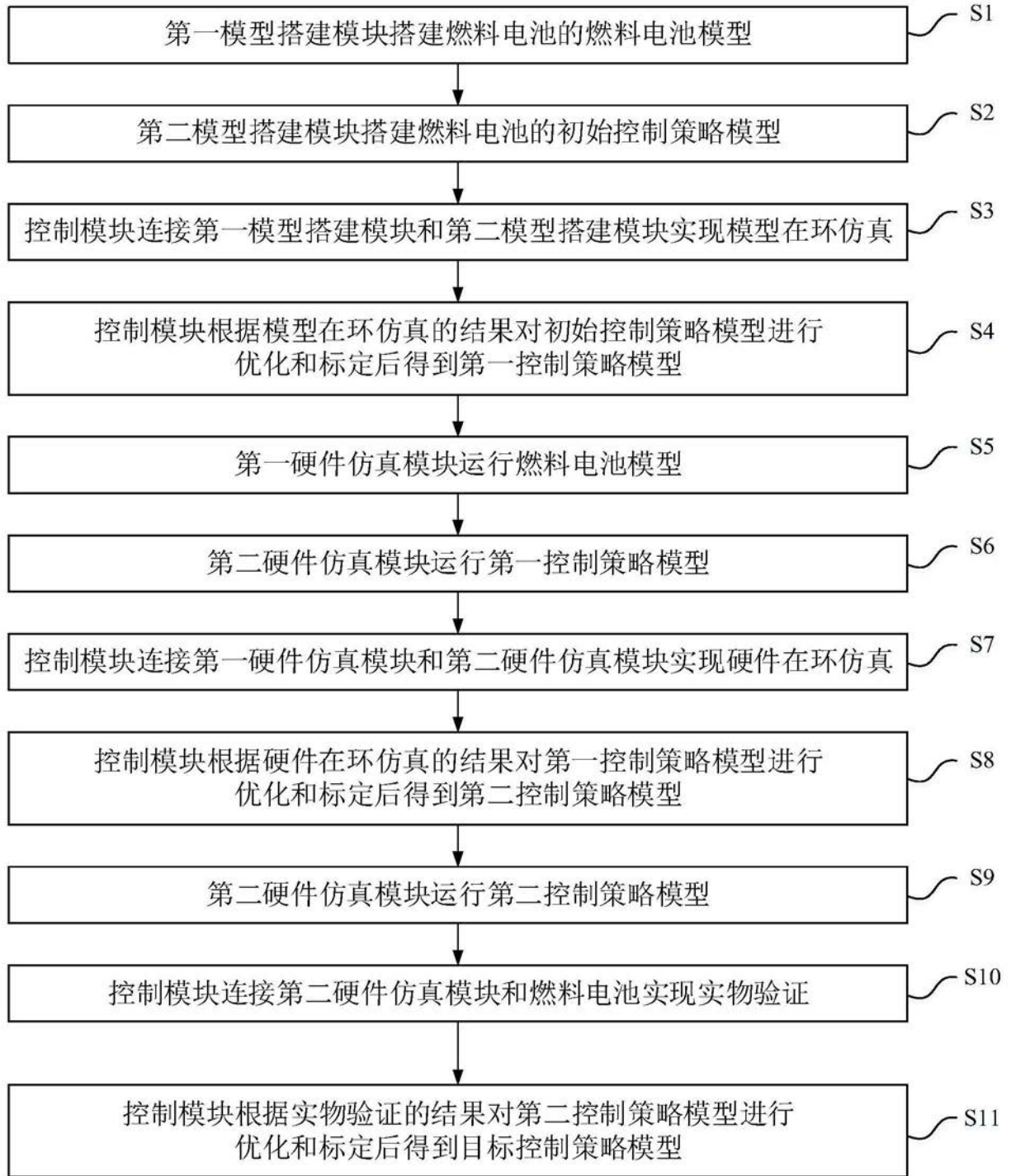


图7



图8