

基于LabVIEW的固体氧化物燃料电池温度管理

刘雪姣, 孙磊, 蒋冬梅, 张军, 夏菽兰

盐城工学院机械优集学院, 江苏 盐城

收稿日期: 2022年10月14日; 录用日期: 2022年11月30日; 发布日期: 2022年12月9日

摘要

快速启动是固体氧化物燃料电池的一个悬而未决的问题。为了快速启动, 需要敏感的温度控制, 固体氧化物电池温度控制体系是改善电池开发系统中温度控制的关键组成。针对快速预热启动固体氧化物燃料电池的问题, 系统利用电加热的方式进行预热, 上位机进行温度的监控和控制对固体氧化物燃料电池栈堆的温度管理。本系统主要采用LabVIEW软件和NI硬件对固体氧化物燃料电池的主要温度参数进行实时的监测, 采用PID算法达成控制输出。本文对平板型的固体氧化物燃料电池加热设计及优化进行了归纳。

关键词

固体氧化物燃料电池, 加热设计, labVIEW, PID控制

Temperature Management of Solid Oxide Fuel Cells Based on LabVIEW

Xuejiao Liu, Lei Sun, Dongmei Jiang, Jun Zhang, Shulan Xia

College of Mechanical Excellence, Yancheng Institute of Technology, Yancheng Jiangsu

Received: Oct. 14th, 2022; accepted: Nov. 30th, 2022; published: Dec. 9th, 2022

Abstract

Quick start is a pending problem for solid oxide fuel cells. For a fast start, sensitive temperature control is needed, and the solid oxide cell temperature control system is a key component of improving the temperature control in the battery development system. In view of the problem of rapid preheating and starting of the solid oxide fuel cell, the system uses electric heating for preheating, and the upper computer monitors the temperature and controls the temperature management of the solid oxide fuel cell stack. The system mainly uses LabVIEW software and NI hard-

ware to monitor the main temperature parameters of solid oxide fuel cells in real time, and uses the PID algorithm to achieve the control output. The heating design and optimization of flat SOFC are summarized.

Keywords

Solid Oxide Fuel Cell, Heating Design, LabVIEW, PID Control

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科学技术与产业的迅速发展, 能耗与环境污染问题也必将更加突出。为实现科学技术与产业的协调发展, 环保型能源的开发利用刻不容缓, 全球各地也都在有针对性地制定相应措施, 促使高等院校和有关研发单位加大研究力量, 以加速推动环保再生能源的开发[1] [2]。固体氧化物燃料电池(Solid Oxide Fuel Cell, 简称 SOFC)是一种在中高温下直接将储存在燃料和氧化剂中的化学能高效、环境友好地转化成电能的全固态化学发电装置[3], 具有对燃料适应性广、寿命长、结构简单、能源转换效率高的优势[4], 能广泛应用在分布式发电系统、大型移动设备电源和固定电站等场景中[5]。此外, 固体氧化物燃料电池工作温度较高(一般为 400°C~1000°C)。近年来研究发现, 加热参数对电池预热过程中的温度分布和升温时间有着重要的影响, 工作温度过高会造成 SOFC 密封困难、构件不匹配、工作寿命短、运行成本高等诸多问题[6] [7] [8] [9]。通过寻找最理想的温度管理方式, 使其迅速启动, 成为当下能源转换技术的研发热点[10] [11]。

本文基于 Labview 测试软件, 结合 DAQ 板卡, 搭建基于 labview 的硬件在环测试系统, 实现了固体氧化物燃料电池温度管理, 降低 SOFC 工作温度, 开发高性能的电池材料[12] [13] [14]。该系统主要利用上位机编写测试程序, 通过对正常加热情况下的加热过程检测, 对其参数进行标定, 并优化控制加热策略, 缩短电池预热过程的预热时间。

2. 系统总体方案

SOFC 它的电解质通常为氧离子导体, 因为氧离子在高温下才有较多的电荷流动, 所以, 它的工作温度就需要从室温到工作状态的一个加热启动的过程, 即通过外部热源加热电池或电池堆至工作温度状态。加热启动过程包含电池内各组件和加热介质的换热、各组件之间的传热及其自身的升温过程。

固体氧化物燃料电池系统的最终目标是在需要热量的地方直接加热, 在运行条件下精确控制温度提供合适的工作环境。为达到这个目标, 将固体氧化物燃料电池测试系统分为 5 个子系统: 燃料电池堆, 热管理子系统, 燃料传输处理子系统, 电子电力子系统, 监控系统。燃料经过一定的处理后通入反应堆进行反应, 用传感器和 labview 软件监测 SOFC 的运行状态, 应用 PID 算法实现控制输出, 用阀门、开关等来调节电堆内部温度的变化。

硬件系统布局方案如图 1 所示。

本系统在没有高温炉, 没有加热套和保温层的条件下, 通过在双极板中放置电加热器来开发快速启动的能力。堆栈温度通过继电器控制, 由堆栈几何中心的热电偶监测。堆栈在几分钟内被加热, 电堆温度达到启动条件后, 通入空气和氢气, 功率输出连接到一个外部负载。

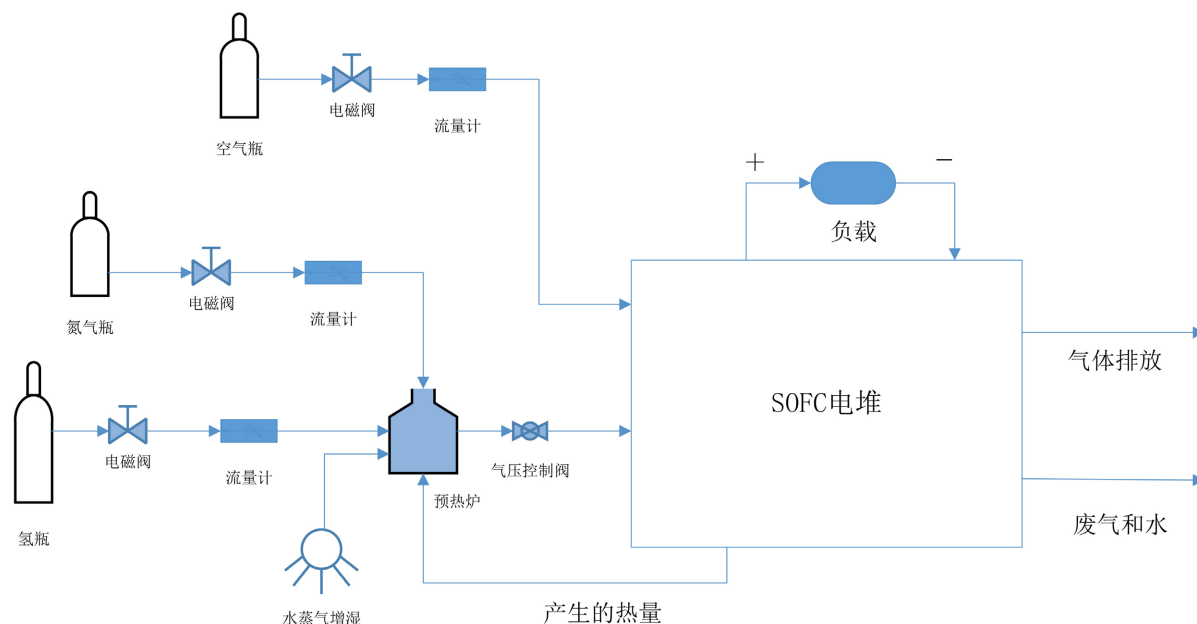


Figure 1. Hardware system layout diagram

图 1. 硬件系统布局图

3. 系统总体设计

放置在烟囱几何中心的热电偶的温度信号被用作温度控制器的输入。加热电流用继电器控制以通断模式提供。采用 labview 软件及热电偶、温度变送器、固态继电器，加热双极片等一系列的硬件搭建测控平台，温度管理流程方案如图 2 所示。

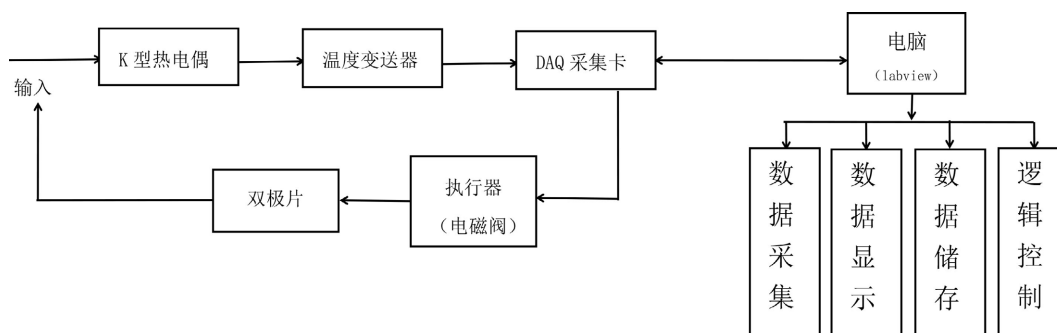


Figure 2. Flow chart of temperature management

图 2. 温度管理流程图

该系统首先通过调节前端的热电偶获取电堆的温度信号，然后温度变送器对信号进行处理传输给 DAQ 数据采集卡，从数据采集卡内再把模拟信号转换为数字信息并输入电脑内。上位机上利用已经编程好的 Labview 程序采集的数据进行管理和储存，并反馈给执行器，对加热双极片进行控制等。

3.1. 系统软件设计

本文采用 LabVIEW 软件，程序设计保证系统具有良好的可控性和安全性，实现信号的实时处理。软件程序包括与信号采集板卡建立良好的实时通讯，实时采集信号和输出控制信号；控制加热双极片的开

关、气体供给的开关、废气排气的开关及负载的开关；实时监测测试系统的电压和温度；通过采集信号获得变量值，计算燃料电池的效率；将测试结果存入文档；具有友好的操作界面，实时显示测试结果。

Labview 编写的后面板程序框图如图 3 所示，程序前面板如图 4 所示。

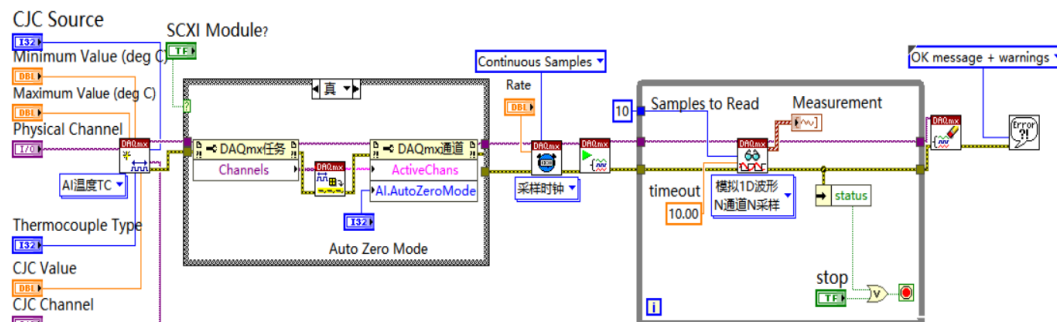


Figure 3. Block diagram of the backpanel program prepared in Labview

图 3. Labview 编写的后面板程序框图

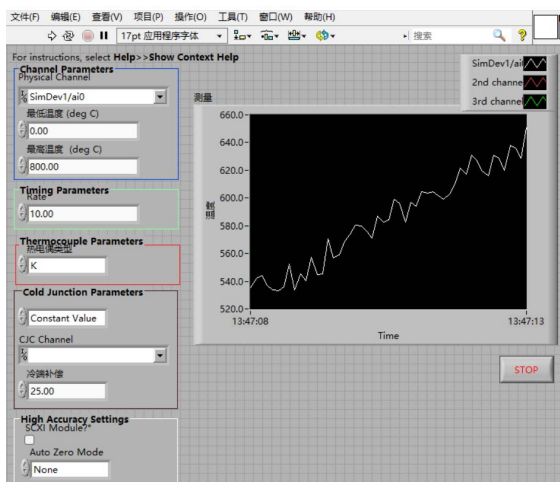


Figure 4. Procedure front panel

图 4. 程序前面板

通过建立热电偶测温通道，将通道数组转换为以逗号分隔的通道字符串，并将此属性设置为补偿输入偏移量错误。调用定时 VI 来指定硬件时序参数。使用装置的内部时钟，连续的模式获取和采样率。调用 Start VI 编写程序并启动采集。最后读取 N 个样本绘制它并反馈给电磁阀控制加热双极片的状态，直到按下停止按钮程序结束。

3.2. 系统硬件设计

系统需要获取温度、压力、流量等信号的组合并将这些信号进行前期处理后输入数据采集卡中。

系统硬件框架如图 5 所示：

系统通过一个电磁阀来控制温度的输入，当温度的反馈值偏大时根据输出信号的大小设置电磁阀的开关，以此来调节温度的大小，直到温度达到 SOFC 的启动温度范围时通入空气和氢气。

通入空气和氢气是通过流量控制阀来控制，当流量的反馈值偏大时根据输出信号的大小设置控制阀的开合比，以此来增加流量或者减小流量。

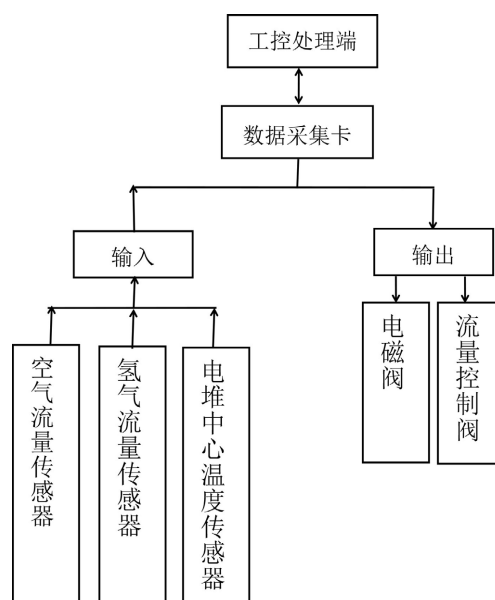


Figure 5. System hardware framework diagram
图 5. 系统硬件框架图

采用 PID 算法来控制温度连续变化的模拟量，通过调用 LabVIEW 软件中附加的 PID 工具包来实现 [8]。利用该工具包中的 PID 子 VI，可在人机交互界面中直观地进行控制环节的设计。PID 控制具有一定的鲁棒性，参数整定简便且控制精度高。

系统所要获取的温度信号，它所对应的传感器是 K 型热电偶，利用 LU-GUSR 智能型热电偶温度变送器对信号变送、传输。它的量程是 $0^{\circ}\text{C}\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ，有自动冷端补偿。温度变送器与数据采集卡相接，采集卡选用 NI 公司 USB-6002，支持 4 通道差分输入或 8 通道单段输入，逐次逼近型 ADC 模拟采集分辨率为 16 位，最大采样率为 50 kS/s。采集触发源可以是软件触发、硬件触发。P0.0~P0.7 支持静态数字输入或输出，P1.0、P1.2、P1.3 支持静态数字输入或输出。每个数字 I/O 可以通过编程，独立配置为输入或输出。它的各种参数均能满足系统需要。

堆栈是被夹在两个压缩板之间，电绝缘体将两块端板与堆叠框架分开。堆栈由电池和双极板组成。六块厚度为 2 毫米的这样的板配备了一个电加热元件。一个 2 mm 的孔从侧面延伸到热传感器板的中心。与所有的双极板一样，这个热传感器板的两侧也有流场，以便向电池均匀供应空气和燃料。一个直径为 1 mm 的热电偶被插入热传感器板的孔中，以测量电池堆的几何中心的温度。图中的电加热元件是串联的，用 220 VAC 加热电源加热。如果加热电源由 12 VDC 或 24 VDC 电池提供，它们也可以以并联配置的方式连接。如图 6 所示。

空气和燃料从正面供应，且通过连接到堆栈后端的卷曲的预热器。在这种配置下，通过烟囱的气流是对角的。在烟囱右后方下角供应的空气在左前上方的角落离开烟囱。由于所有的流线都是等长的，所以通过这种双对角线的流动安排可以获得最均匀的流量分布。

4. 实验验证

在进行固体氧化物燃料电池测试之前，对堆栈进行加热，采用通断电的方法，使反应温度快速达到合适值；当温度过高时，LabVIEW 接受温度传感器的温度信号，反馈给执行器，直至温度下降到预设值，使温度能够保持在一定的范围内波动变化。图 7 为预热阶段温度测量值。

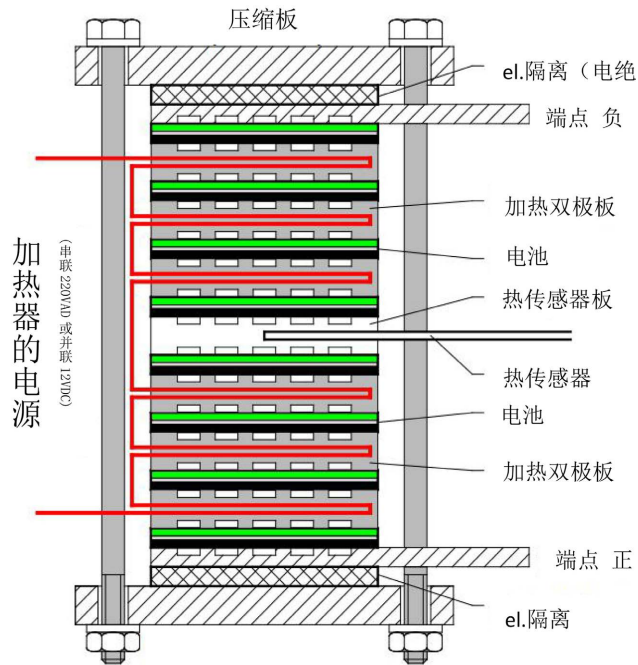


Figure 6. Schematic diagram of the SOFC heap
图 6. SOFC 堆的示意图

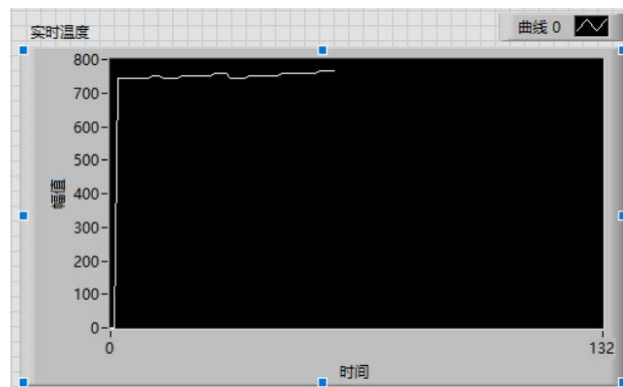


Figure 7. Temperature measurements
图 7. 温度测量值

为快速启动电堆，并使电堆温度稳定在启动温度。根据系统测试的数据，图 7 显示的是温度测量的波形图结果，可以看出运行程序系统一切运行良好，能够正常显示数据，设计的各项功能均能实现。加热时的温度与时间上的变化，即可以短时间内快速升高到启动温度，其波动控制在 750°C 到 800°C 以内，温度管理范围能够满足系统设计的需求。

5. 结论

综上所述，本文基于高精度、快速化、低成本的设计需求，通过使用加热的双极板调节电源对堆栈温度的敏感控制，可以在几分钟内达到 SOFC 堆的运行条件；并基于 LabVIEW 而设计的 SOFC 温度管理系统集成了各种设备的主要功能，可以在电脑上实现对各种数据的同步显示、存储、报警和管理等。传感器选用 K 型热电偶传感器，并采用冷端补偿的设计提高了测量精度。实验结果表明，该系统加热速度

快, 且比在高温炉里加热简单迅速, 又能够实时准确记录温度数据且保证数据可靠准确, 实现了集中监测和管理的目标, 能够满足系统的应用需求。

参考文献

- [1] 万兴文. 固体氧化物燃料电池预热过程温度梯度形成规律研究[D]: [硕士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2021. <https://doi.org/10.27623/d.cnki.gzkyu.2021.001663>
- [2] 王蔚国, 何长荣, 陈涛, 彭军, 翟惠娟, 覃朝晖, 马晓, 姜松林. 一种平板式固体氧化物燃料电池堆[P]. 中国, CN208444898U. 2019-01-29.
- [3] 沈元兴. 固体氧化物燃料电池的研究[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(7): 3-6. <https://doi.org/10.16638/j.cnki.1671-7988.2021.07.002>
- [4] Malfuzi, A., Mehr, A.S., Rosen, M.A., Alharthi, M. and Kurilova, A.A. (2020) Economic Viability of Bitcoin Mining Using a Renewable-Based SOFC Power System to Supply the Electrical Power Demand. *Energy*, **203**, Article ID: 117843. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117843>
- [5] 常贵可, 张金磊, 郑春花, 张翼滢, 何成. 国内固体氧化物燃料电池研究现状与展望[J]. 广州化工, 2019, 47(17): 14-16.
- [6] Zeng, Z.Z., Qian, Y.P., Zhang, Y.J., *et al.* (2020) A Review of Heat Transfer and Thermal Management Methods for Temperature Gradient Reduction in Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) Stacks. *Applied Energy*, **280**, Article ID: 115899. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115899>
- [7] 卢静, 彭晖, 杨杰, 王俊. 基于 LabVIEW 的固体氧化物燃料电池监控系统开发[J]. 机床与液压, 2013, 41(10): 121-123+162.
- [8] Ulf, B. (2015) Small Scale Power Generation for Road Trucks with Planar SOFC System. *ECS Transactions*, **68**, Article No. 127. <https://doi.org/10.1149/MA2015-03/1/127>
- [9] 袁建润. 基于 LabVIEW 的燃料电池硬件在环测试平台的研制[D]: [硕士学位论文]. 上海: 东华大学, 2014.
- [10] 宋少辉. 固体氧化物燃料电池建模与控制策略研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学(北京), 2021. <https://doi.org/10.27140/d.cnki.ghbbu.2021.001572>
- [11] 裴锐, 陈政宇. NI-6002 数据采集卡的调试与应用[J]. 仪器仪表用户, 2021, 28(12): 16-19.
- [12] Huang, S.L., Yang, C., Chen, H., Zhou, N.N. and Tucker, D. (2022) Coupling Impacts of SOFC Operating Temperature and Fuel Utilization on System Net Efficiency in Natural Gas Hybrid SOFC/GT System. *Case Studies in Thermal Engineering*, **31**, Article ID: 101868. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101868>
- [13] Bossel, U. (2017) Innovative Temperature Management of SOFC Stacks. *ECS Transactions*, **78**, Article No. 245. <https://doi.org/10.1149/MA2017-03/1/245>
- [14] Mei, S.X., Lu, X.R., Zhu, Y. and Wang, S.X. (2021) Thermodynamic Assessment of a System Configuration Strategy for a Cogeneration System Combining SOFC, Thermoelectric Generator, and Absorption Heat Pump. *Applied Energy*, **302**, Article ID: 117573. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117573>