

一种氢燃料电池系统在客车平台的应用控制方案

尚小辉

(厦门金龙旅行车有限公司, 福建省新能源汽车企业重点实验室, 福建 厦门 361022)

摘要:针对氢燃料电池系统在客车平台应用中遇到的动态响应滞后、能量回收不足等问题, 本文提出一种基于燃料电池与动力电池并联架构的集成控制方案。利用整车控制器实现氢燃料电池系统的上/下高压控制、功率动态分配及多级故障处理, 并开发了配套的上位机调试工具。实车测试表明, 该系统可有效提升响应速度、优化能量利用率。同时, 系统采用了包含氢阀急断开关和碰撞传感器的冗余设计, 以确保运行安全。

关键词:氢燃料电池系统; 整车控制; 动力电池; 故障处理

中图分类号: U469.7

文献标志码: A

DOI: 10.15917/j.cnki.1006-3331.2026.01.006

An Application Control Scheme for a Hydrogen Fuel Cell System on a Bus Platform

SHANG Xiaohui

(Xiamen Golden Dragon Bus Co., Ltd., Fujian Provincial Key Laboratory of New Energy Vehicle Enterprises, Xiamen 361022, China)

Abstract: To address the issues of dynamic response lag and insufficient energy recovery encountered in the application of hydrogen fuel cell systems on bus platforms, this paper proposes an integrated control scheme based on a parallel architecture of fuel cells and power batteries. The authors utilize the vehicle control unit (VCU) to achieve high/low voltage control of the hydrogen fuel cell systems, perform dynamic power distribution, handle multi-level faults, and develop a matching upper computer debugging tool. The vehicle test results show that the system effectively improves response speed and optimizes energy utilization efficiency. Meanwhile, the system incorporates a redundant design, including an emergency hydrogen valve shut-off switch and collision sensors to ensure safety.

Key words: hydrogen fuel cell system; vehicle control; power battery; fault handling

氢燃料电池具有零碳排放、能量转换效率高、能量密度大、噪声低等优势, 被视为新能源汽车的理想动力源^[1-4]。然而, 当前技术仍存在局限性: 启动和关机过程速度较慢; 缺乏储能能力, 难以回收驱动电机再生制动产生的回馈电能; 发电功率动态响应滞后, 导致输出功率难以实时匹配车辆的动力需求。

本文基于实际应用案例, 提出一种氢燃料电池系统在某电动客车平台的搭载控制方案。该方案不仅能保证氢燃料电池系统在客车平台安全、高效、可靠地运行, 同时能解决其在客车平台应用过程中遇到的局限性问题。

1 控制方案设计思路

本方案整车的动力系统采用氢燃料电池与动力

电池并联的结构, 如图1所示。氢燃料电池作为主要电能来源, 负责持续供电; 动力电池作为辅助电能来源, 在氢燃料电池无法满足车辆用电需求时补充供电。这种结构具有以下优点: ①动力电池能够弥补氢燃料电池启动慢和功率动态响应滞后的不足。②动力电池可回收并存储车辆在电制动过程中产生的制动回馈能量, 从而提升续驶里程。③氢燃料电池和动力电池联合供电, 确保车辆在各种复杂工况下都能保持稳定的动力输出。④动力电池的控制策略与纯电车型基本一致, 降低了系统开发难度。

本方案使用的氢燃料电池系统由以下三部分组成: 氢燃料电池发动机系统、车载氢系统和氢气泄漏报警器。其中, 氢燃料电池发动机系统不仅用于发电, 还集成了车载DC/DC变换器以提升输出电压, 满

收稿日期: 2025-05-03。

第一作者: 尚小辉(1980—), 男, 高级工程师, 主要从事新能源客车电控系统开发工作。E-mail: xh_shang@139.com。

足车辆高压平台的需求。车载氢系统用于存储和供应氢气、检测储氢状态、处理氢系统异常情况。氢气泄漏报警器用于检测氢气是否发生泄漏,一旦检测到泄漏,会根据空气中氢气的浓度,及时向车辆控制端发出预警。这三部分都具有 CAN 通信功能,通过接入整车 CAN 网络实现车辆对该氢燃料电池系统的控制和信息交互。

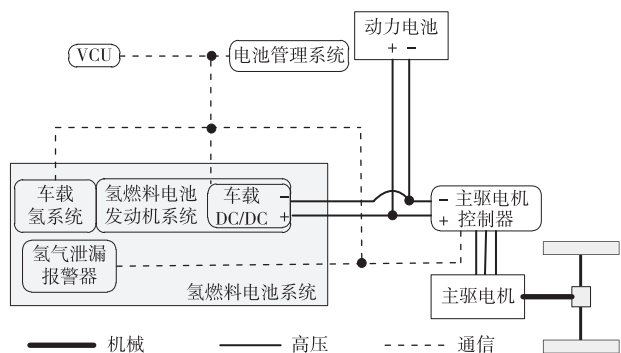


图1 电气架构示意图

本方案将氢燃料电池系统的控制软件嵌入现有电动客车整车控制器 (Vehicle Control Unit, VCU), 从而利用其硬件平台实现对氢燃料电池系统的控制^[5]。本方案在仪表台增设了氢燃料电池系统启停开关, 用

于手动控制系统; 增设了氢阀急断开关, 以应对极端情况下的氢气泄漏, 保证人车安全; 并加装了碰撞传感器, 用于在车辆发生碰撞时立即关闭系统。上述信号均以硬线方式接入 VCU, 由其进行原始信号处理与状态判断。

2 控制实现方案

本方案对氢燃料电池系统的控制分为以下四部分: 上高压控制、下高压控制、工作控制、故障处理^[6-7]。

2.1 上高压控制流程

本方案中, 氢燃料电池系统上高压前, 须先完成整车高压上电, 并使车辆进入 Ready 状态。同时确认氢阀急断信号、碰撞信号及氢燃料电池系统自身均无故障, 确保相关部件均处于正常工作状态。

上高压时, 首先接通氢燃料电池预充继电器。当氢燃料电池 DC/DC 输出电压与动力电池输出电压的差值小于 20 V 时, 再接通氢燃料电池主继电器, 并断开预充继电器。同时, 系统为预充阶段设置了最大允许时间, 若预充超时, 则停止上高压并通过仪表报警。具体控制流程如图 2 所示。

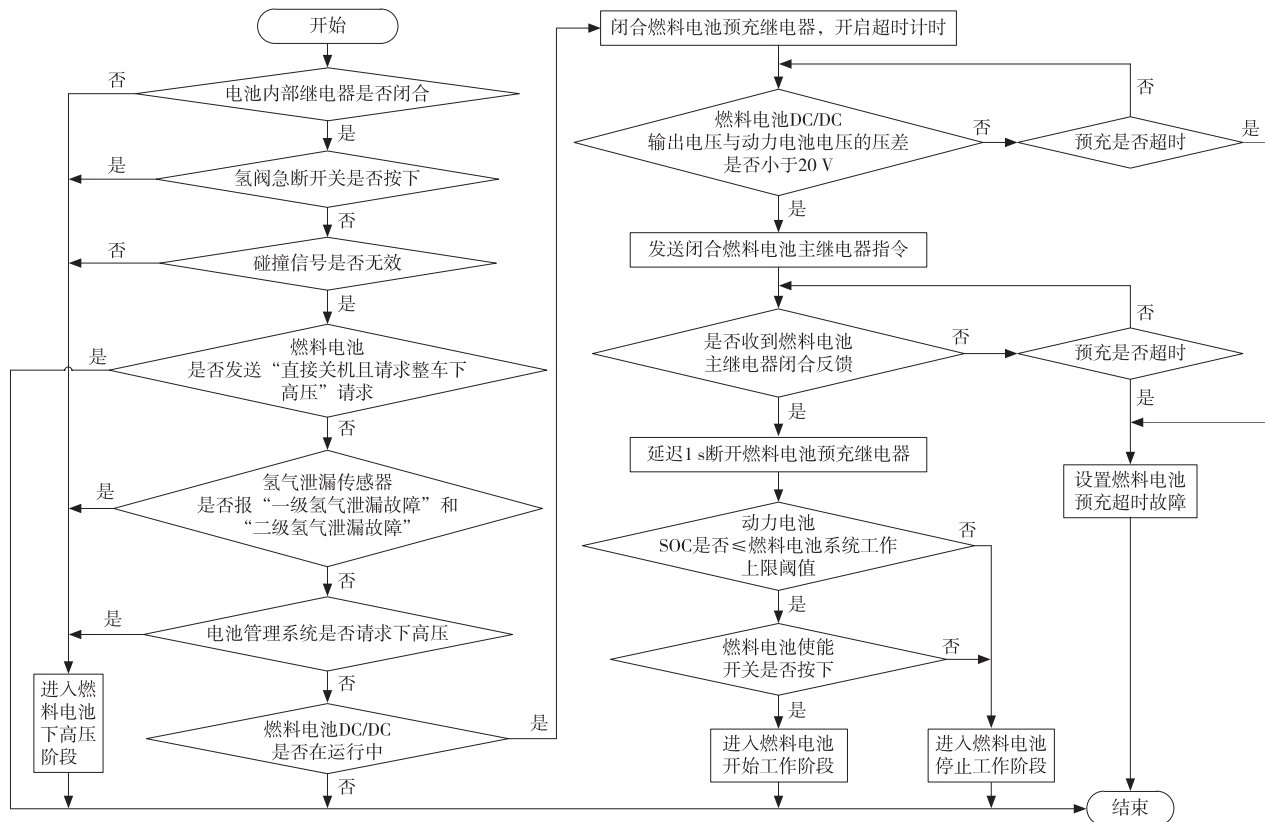


图2 上高压控制流程

2.2 下高压控制流程

当钥匙退至 OFF 挡或车辆出现严重故障时,进入整车下高压流程。整车下高压控制分为纯电部分下高压和氢燃料电池系统下高压,两者并行执行,待二者均完成后才可断开动力电池高压继电器。整车

下高压流程如图 3 所示。

本方案中氢燃料电池系统下高压分四种情形:正常状态、待机状态、故障状态及特殊触发状态(高压急停开关按下、氢燃料电池请求下高压、氢泄漏一级故障)。氢燃料电池系统下高压控制流程如图 4 所示。

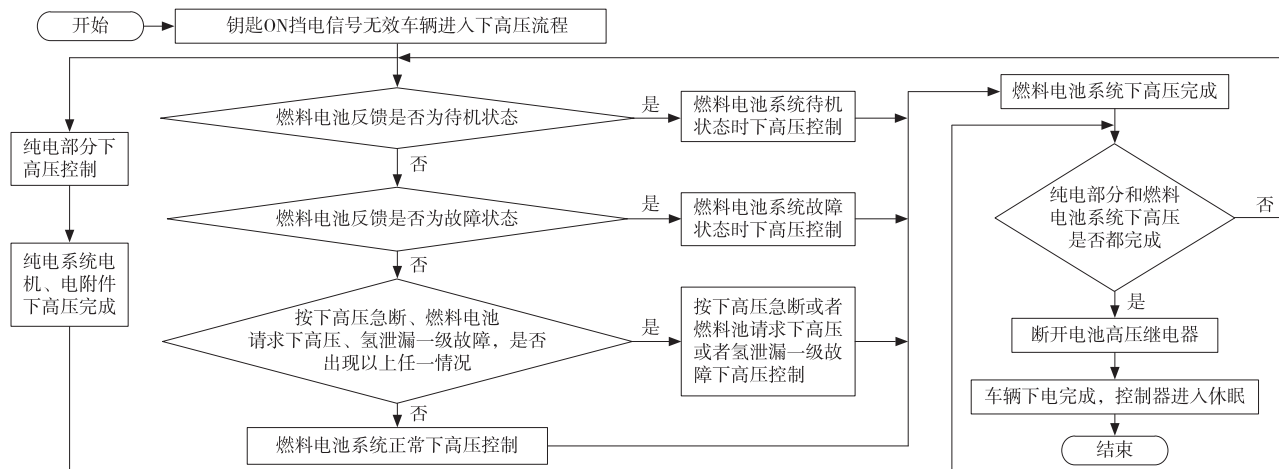


图3 整车下高压控制流程

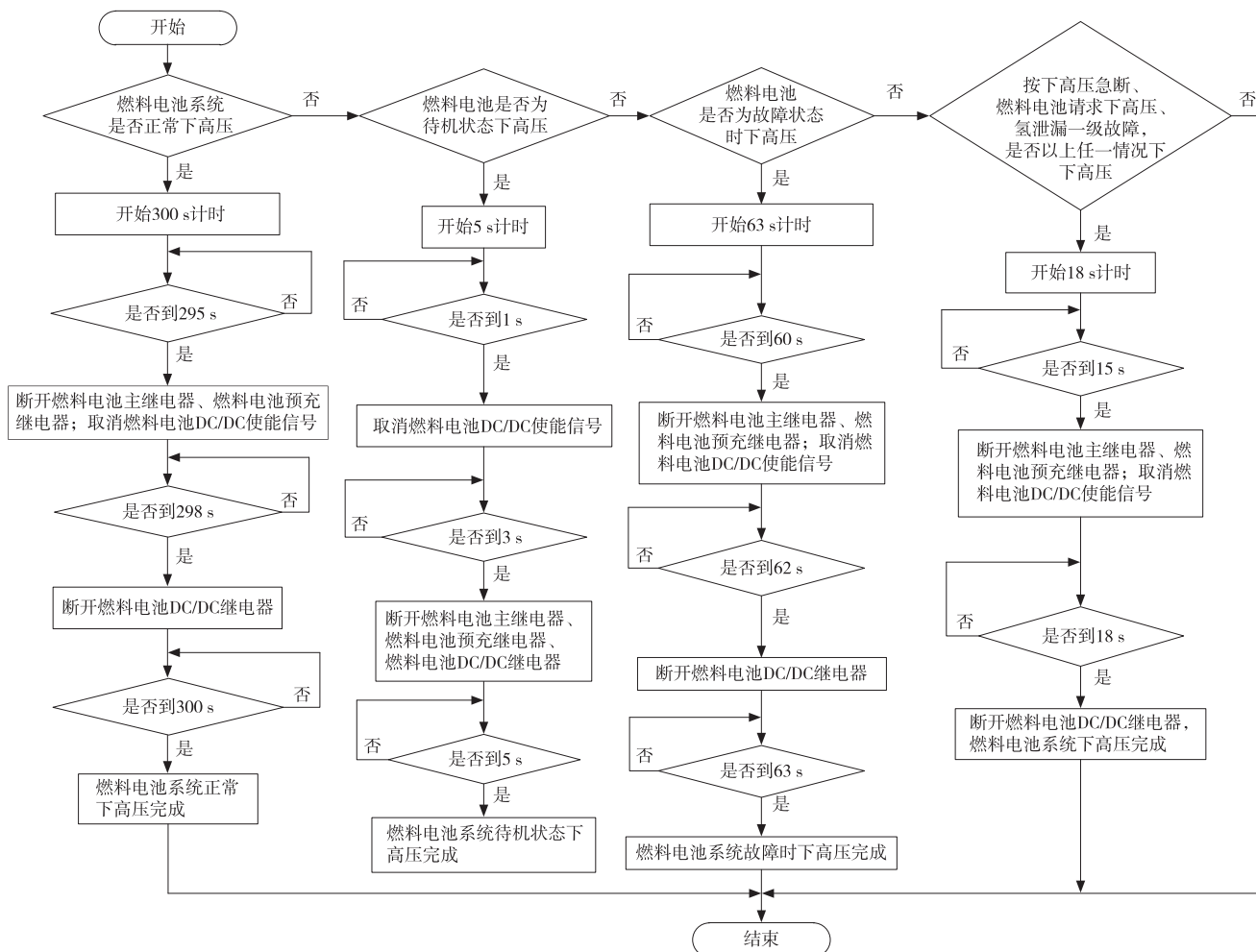


图4 氢燃料电池系统下高压控制流程

从图4可知,不同状态下,氢燃料电池系统完成下高压过程所需的时间不同。氢燃料电池系统正常情况下的下高压需持续300 s,以完成系统排氢、燃料电池冷却、系统维护及自检等操作。当氢燃料电池系统处于待机状态时,下高压所需时间最少,只需5 s。两者差异源于各状态下部件的工作状态及安全可靠退出等待时间不同。同时需要注意,不同氢燃料电池系统厂家对这些时间参数的要求也不相同,电控软件开发人员需在项目前期与厂家逐一确认。

2.3 工作控制流程

氢燃料电池系统启动前,需先判断是否存在严重故障、相关功能开关是否处于允许工作状态,以及碰撞信号是否有效。发电过程中,以动力电池SOC作为判断燃料电池输出功率大小的依据。本方案所选氢燃料电池系统具有空载、半载、满载三种输出状态。最终指令功率取动力电池允许充电功率、燃料电池允许发电功率及目标发电功率三者中的最小值,并发送给氢燃料电池系统执行。具体控制流程如图5所示。

2.4 故障处理策略

本文对氢燃料电池系统的相关故障状态进行了归类,并划分至对应的整车故障等级^[8-9],详见表1。整车故障分为三个等级,优先级由高到低依次为一级故障、二级故障、三级故障。当任一等级故障发生时,燃料电池系统将按照图6所示策略响应。

2.5 实车采集数据分析

实车采集数据通过报文分析软件生成如图7所示的曲线。从曲线可以看出,氢燃料电池系统能够正确响应整车控制器发送的开关指令,进入工作状态。其输出功率很好地跟随了目标发电功率。随着时间的变化,动力电池的SOC开始缓慢上升。整个工作过程符合预期。

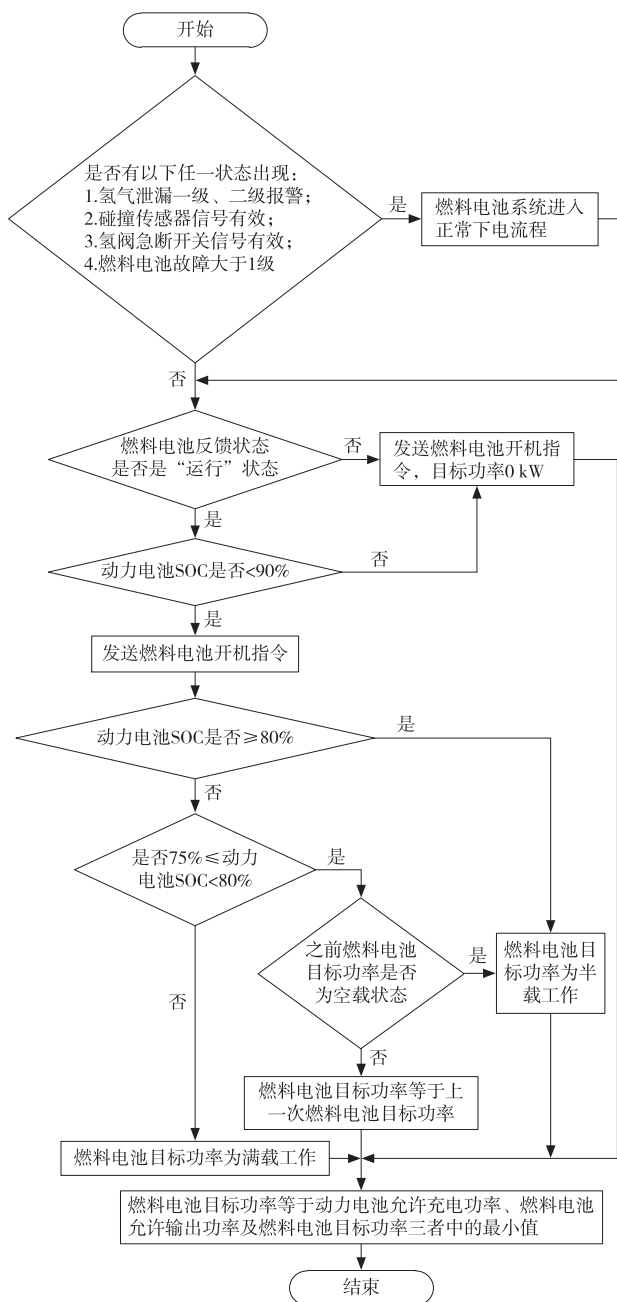


图5 工作控制流程

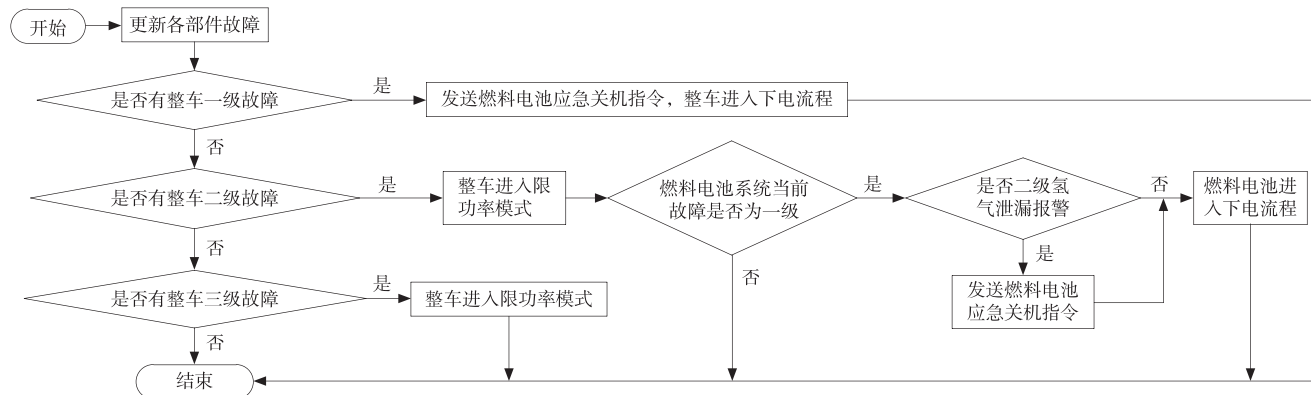


图6 故障处理流程

表 1 氢燃料电池系统故障与整车故障对应表

整车故障等级	部件故障
一级	一级氢气泄漏报警
	燃料电池直接关机且请求整车下高压
二级	二级氢气泄漏报警
	燃料电池预充超时
三级	氢阀急断开关按下
	碰撞信号有效
	氢气泄漏传感器报设备故障

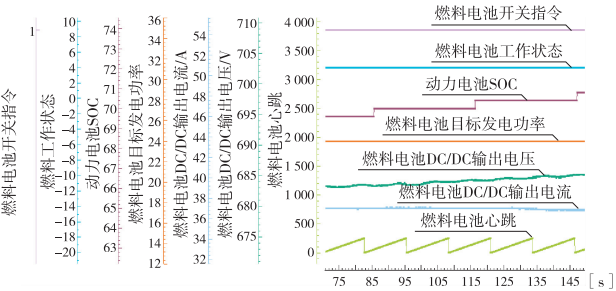


图 7 工作状态数据分析

3 氢燃料电池系统上位机调试界面

为配合搭载氢燃料电池系统的车辆下线调试,同步开发了配套的上位机调试软件^[10-13],如图 8 所示。

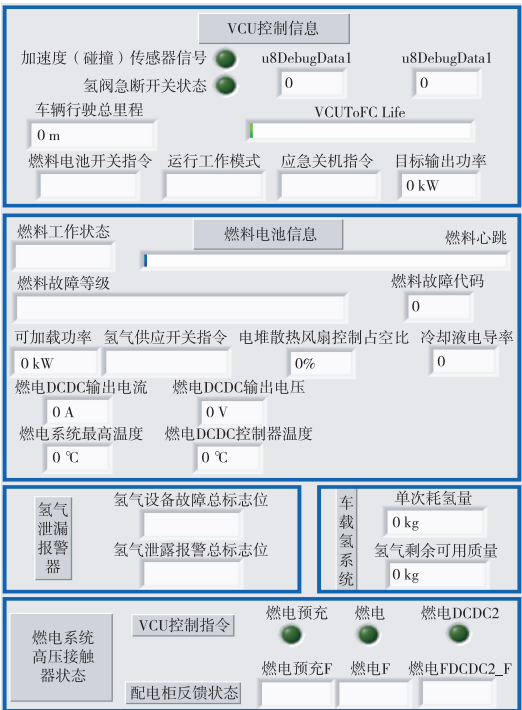


图 8 氢燃料电池系统调试上位机界面

该软件通过 CAN 卡连接车载自动诊断系统接口的 CAN 总线读取数据,能够实时监测氢燃料电池的控制信息、状态反馈、关键参数、部件工作状态及高压部件的配电信息,从而显著提升了现场调试与故障排查效率。

4 结束语

本文根据所选氢燃料电池系统的特点,成功完成了其在客车平台的搭载与应用,系统运行效果符合预期。对于不同厂家的氢燃料电池系统,仅需调整目标发电功率、上下高压时间及是否需要预充等少量参数即可适配,具有良好的通用性。

参考文献:

[1] 邱晨曦. 氢燃料电池汽车的发展与展望[J]. 汽车实用技术, 2019(23): 25-27.

[2] 魏晨, 龚龔, 樊锦艳. 东京奥运会背后的“氢能社会”战略布局及经验启示[J]. 中外能源, 2022, 27(11): 23-29.

[3] 张振丽. “双碳”背景下新能源汽车的机遇与挑战[J]. 专用汽车, 2023(3): 10-12.

[4] 李勃昕, 张华俊, 彭红, 等. 以“双碳”战略构建绿色氢能公路交通运输体系[J]. 中国发展, 2022, 22(5): 23-30.

[5] 王锐, 田争芳, 吴洪梅, 等. 氢燃料电池汽车整车控制策略开发研究[J]. 汽车知识, 2024, 24(3): 183-185.

[6] 严治国, 孙晓磊, 陈彦雷. 燃料电池客车高压电安全和氢安全设计[J]. 客车技术与研究, 2011, 33(5): 20-23.

[7] 王丙虎, 陈振国, 吴光平, 等. 燃料电池客车氢安全方案设计[J]. 客车技术与研究, 2023, 45(6): 1-5.

[8] 李楚灏, 刘佳. 燃料电池汽车氢泄漏检测探究[J]. 时代汽车, 2023(6): 96-98.

[9] 周广波, 王品泉. 燃料电池客车氢系统碰撞保护传感器应用研究[J]. 客车技术与研究, 2020, 42(2): 26-27.

[10] 徐希, 童晓辉. 纯电动客车 VCU 下线检测仪控制策略设计[J]. 客车技术与研究, 2020, 42(1): 38-40.

[11] 尚小辉. 基于 LabVIEW 的新能源客车监控软件开发[J]. 机电技术, 2021(5): 16-18.

[12] 何亮. 基于 LabVIEW 的电动汽车整车下线检测系统的研究与开发[D]. 太原: 中北大学, 2014.

[13] 王应文, 蒋黔, 张林, 等. 基于 LabVIEW 的氢燃料电池上位机系统设计开发[J]. 农业装备与车辆工程, 2024, 62(7): 118-121.