

2018-12-28

Durability Performance of the High-Power Fuel Cell System

Ke-yong WANG

Wei-yu SHI

Ren-fang WANG

Jia LIU

Zhong-jun HOU

Sunrise Power Co., Ltd./National engineering research center of FC&H2 technology, Dalian, China, 116085;
hzj@fuelcell.com.cn

Recommended Citation

Ke-yong WANG, Wei-yu SHI, Ren-fang WANG, Jia LIU, Zhong-jun HOU. Durability Performance of the High-Power Fuel Cell System[J]. *Journal of Electrochemistry*, 2018 , 24(6): 772-776.

DOI: 10.13208/j.electrochem.180846

Available at: <https://jelectrochem.xmu.edu.cn/journal/vol24/iss6/19>

This Article is brought to you for free and open access by Journal of Electrochemistry. It has been accepted for inclusion in Journal of Electrochemistry by an authorized editor of Journal of Electrochemistry.

DOI: 10.13208/j.electrochem.180846

Artical ID:1006-3471(2018)06-0772-05

Cite this: *J. Electrochem.* 2018, 24(6): 772-776

Http://electrochem.xmu.edu.cn

车用燃料电池系统耐久性研究

王克勇, 石伟玉, 王仁芳, 刘佳, 侯中军*

(新源动力股份有限公司/燃料电池及氢源技术国家工程研究中心, 辽宁 大连 116085)

摘要: 燃料电池的耐久性是燃料电池汽车的关键技术问题, 车用燃料电池寿命需要达到 5000 小时以上才能满足汽车应用要求. 作者基于车用燃料电池失效模式的研究, 通过优化系统设计和改进系统控制策略等, 开发出长寿命的 HySYS-30 车用燃料电池系统, 并采用车用动态工况, 对所开发的燃料电池系统进行了 6000 小时以上的耐久性测试, 6000 小时的性能衰减率仅为 8.1%.

关键词: 燃料电池汽车; 燃料电池系统; 寿命; 耐久性测试

中图分类号: O646; TM911.48

文献标识码: A

与传统内燃机和其它化学电源相比, 质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 发电系统 (包括高压氢气瓶, 如 35 MPa 或 70 MPa) 在尾气排放、功率密度、能量密度方面有着明显的优势. 在全世界努力减少二氧化碳排放的目标下, 燃料电池汽车被视为理想的解决方案, 特别是在需要长续航里程和重型载货方面 (如燃料电池远程公交和物流车等) 其优势更为明显.

在燃料电池汽车研发阶段, 燃料电池的耐久性是最需要解决的关键问题之一. 对于燃料电池乘用车和商用车, 其寿命至少要分别达到 5000 小时和 10000 小时以上, 才能满足用户的使用要求^[1-2]. 我国在最近二十年来一直积极支持燃料电池车用技术的开发和示范, 新源动力股份有限公司先后承担了我国科技部支持下的十五、十一五重大/重点专项——节能与新能源项目中燃料电池发动机系统的研发和示范项目, 所开发的车用燃料电池发动机系统在 2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会进行了示范应用^[3-4]. 在十二五期间, 新源动力股份有限公司与上汽联合开发了应用在上汽荣威 750 车型的燃料电池系统^[5], 经过车用燃料电池失效模式的研究和系统持续技术改进, 使车用燃料电池系统的寿命从几百小时达到了 3000 小时以上^[6].

尽管燃料电池系统耐久性在车载工况条件下取得了明显的进步, 但仍无法满足燃料电池乘用车

和商用车基本的寿命要求. 本研究基于车用燃料电池失效模式的研究, 通过优化系统设计和改进系统控制等方式, 开发出长寿命的 HySYS-30 车用燃料电池系统产品, 并采用车用动态工况对系统进行了耐久性测试.

1 长寿命燃料电池系统 HySYS-30 系统设计

图 1 是 HySYS-30 燃料电池系统的架构图, 该系统燃料电池电堆的支持系统由空气供应子系统、氢气供应子系统、冷却子系统和控制系统四部分组成.

空气供应子系统采用中压空压机, 经中冷器和膜增湿器给燃料电池电堆提供合适压力和温湿度的空气流量, 开关阀 1 实现在高载时燃料电池入口空气湿度的调节, 开关阀 2 和开关阀 3 实现在停机后燃料电池堆空气侧处于密闭状态, 已避免燃料电池在启动过程中的氢空界面发生, 空气湿度计用于监测燃料电池堆空气入口的湿度.

氢气供应子系统采用氢气调压阀实现电堆氢气压力的控制, 氢气循环泵实现电堆氢气的循环, 分水器和排气阀实现将电堆内部排出的液态水排到系统外部.

冷却子系统采用节温器实现电堆温度的快速升高, 散热风扇实现对电堆温度的散热, 冷却泵实现燃料电池系统冷却回路按所需要的冷却流量进

行流动。

控制系统除了实现燃料电池系统的压力、流量、温度和湿度控制外,同时控制 HySYS-30 燃料电池电堆的高电位和实现对燃料电池电堆内阻的监测。

HySYS-30 系统与过去开发的系统^[6]相比,主要做了三个方面的优化:1)HySYS-30 燃料电池系统所使用的燃料电池堆改用了长寿命的膜电极,提升了膜电极的机械特性,使其在长期动态工况条件下能够保持稳定的机械性能,以提升燃料电池的使用寿命;2)HySYS-30 燃料电池系统空气膜增湿并联了一个开关阀,通过优化控制实现高载时降低空气入口湿度,避免电堆内部液态水过多,以提升燃料电池的使用寿命;3)HySYS-30 燃料电池系统实现合理控制燃料电池堆内部的水含量,通过优化空气增湿控制、合理控制燃料电池电堆温度、氢气回流和排水,实现对燃料电池堆内阻的监测和合理控制,以提升燃料电池的使用寿命。

2 长寿命燃料电池系统 HySYS-30 系统控制优化

2.1 燃料电池电堆入口空气湿度控制

如图 1 所示,HySYS-30 燃料电池系统采用了空气膜增湿器,在开关阀 1 处于关闭状态下,随着加载电流的增加,燃料电池电堆的空气入口湿度开始缓慢增加,当加载电堆增加到 150 A 以上时,

随着时间运行的增加,燃料电池电堆的一致性开始下降,主要原因是加载电流和空气入口湿度增加后,电堆内部的空气湿度过大,导致电堆空气侧流场液态水过多,引起空气在电堆内部各节电池之间气体分配不均。为解决此问题,最直接的办法是降低高电流时的空气入口湿度,即通过控制打开开关阀 1,使得空压机经中冷器的干空气与电堆回流经过膜增湿器的湿气混合,来降低燃料电池电堆的空气入口湿度。为保证进入的燃料电池堆的干空气和湿空气能够充分混合,在燃料电池电堆的入口专门设计了气体缓冲腔,来确保气体能够混合均匀,从图 2 数据可以看出,混合的气体湿度降低到 70%,在此入口湿度下,尽管电流增加,电堆的一致性仍然得到了改善,符合一致性要求。

2.2 电堆内阻监测与控制

HySYS-30 燃料电池系统通过高电密条件下条件优化开关阀 1 控制可以改善燃料电池电堆阴极的水含量,但如果燃料电池电堆阳极水管理不当,也会影响燃料电池电堆的一致性,影响燃料电池电堆的使用寿命。本系统专门设计了燃料电池电堆内阻在线监测装置,通过增加燃料电池电堆输出的扰动和快速监测燃料电池电堆输出电压变换的方法,实现燃料电池电堆内阻的在线测量,本系统通过电堆温度控制、氢气回流和氢气分水控制,实现了燃料电池电堆阳极水管理,将高电流密

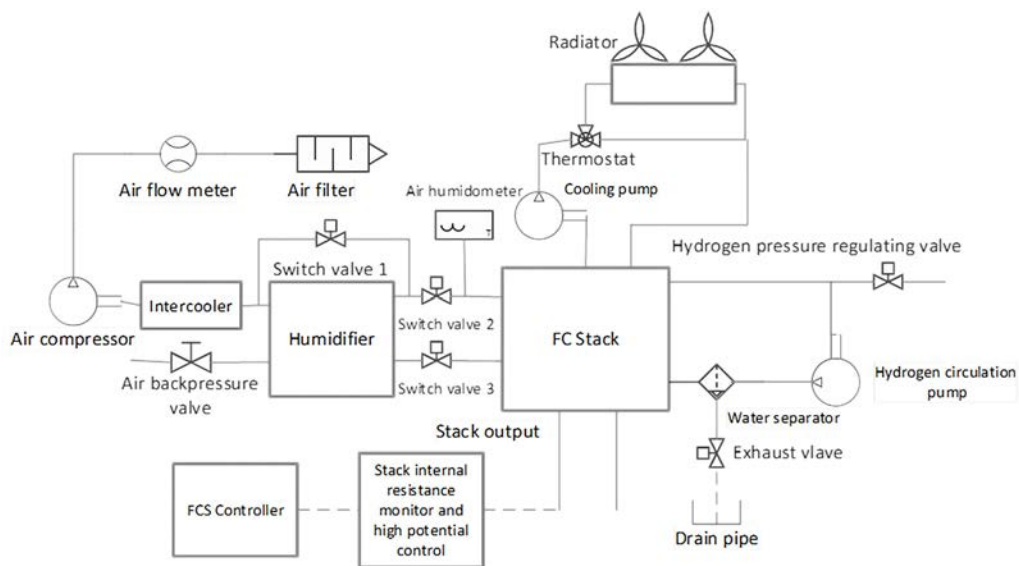


图 1 HySYS-30 燃料电池系统架构图

Fig. 1 Schematic diagram showing HySYS-30 system

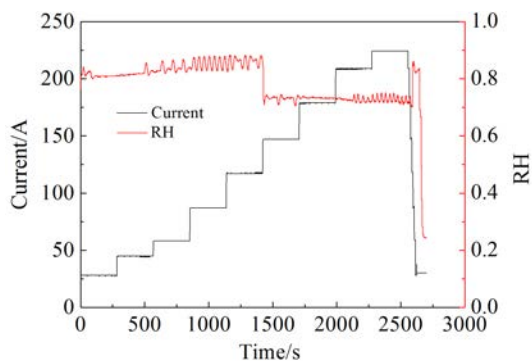


图 2 HySYS-30 电堆空气入口在不同电流下湿度变化
Fig. 2 Variations of current and relative humidity (RH) of air inlet in HySYS-30 stack with running time

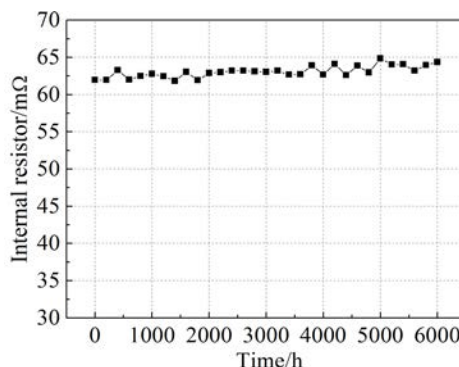


图 3 HySYS-30 系统耐久性测试高电密内阻变化
Fig. 3 The internal resistor as a function of running time for HySYS-30 system at $750 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$

度下燃料电池内阻稳定在合适的 $60 \sim 65 \text{ m}\Omega$ 范围,如图 3 所示,在 6000 h 耐久性测试过程中高电流密度下燃料电池内阻没有发生明显变化,燃料电池一致性好,未出现单低故障。

3 HySYS-30 燃料电池系统耐久性测试数据分析

3.1 燃料电池系统耐久性测试

目前,传统燃油车使用最多的排放/续航里程工况有欧盟的 NEDC 工况、美国的 CAFE 工况以及日本的 JC08 工况.但对于燃料电池耐久性评估,则尚缺乏有效、统一的工况可采用.本论文中燃料电池系统耐久性测试,采用的是车用客户提供的动态工况,具体工况如下图 4 所示.此工况是基于车辆实际运行功率谱得到,包括启动、怠速、加速、减速等过程,输出电流在 $0 \sim 230 \text{ A}$ 之间变

化.测试过程中,每 7 小时完成一个工况,停机降温 1 小时后,重复 7 小时动态工况,每天运行 3 个工况.

3.2 电堆串漏测试数据分析

电堆作为燃料电池系统最核心的零部件之一,其密封特性一定程度决定了系统的可靠性和耐久性.在动态工况运行中,反复加减速过程中膜电极内部干湿状态变化,可能导致质子交换膜的机械性破损,而不完全电化学反应产生的自由基在污染离子催化作用下也可能导致质子交换膜化学性降解,从而导致氢气和氧气串漏.因此,在 6000 h 耐久性测试过程中,每 200 小时测试一次电堆氢氧在 50 kpa 条件下的串漏情况,从图 5 可以看到,串漏值在 $90 \sim 170 \text{ mL}$ 范围内波动,数据没有发生明显变化,说明膜电极在 6000 h 的动态工况测试过程中,系统参数设置合理、控制稳定,

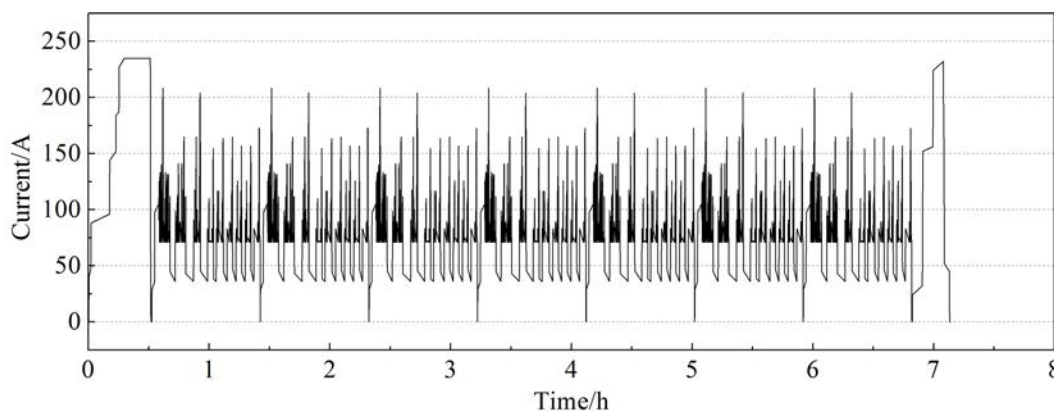


图 4 HySYS-30 系统耐久性测试动态工况
Fig. 4 Current-time response showing the durability dynamic cycle of HySYS-30 system

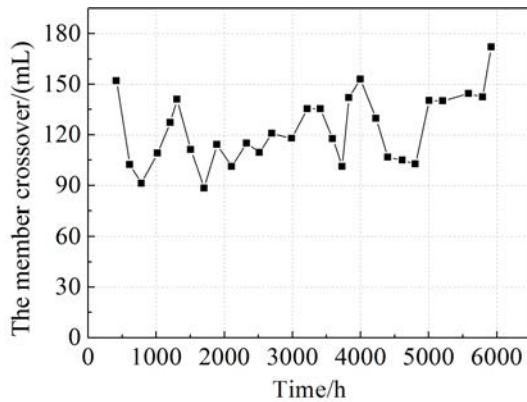


图5 HySYS-30 系统耐久性测试氢氧串漏量变化
Fig. 5 The amount of membrane crossover as a function of running time for HySYS-30 system

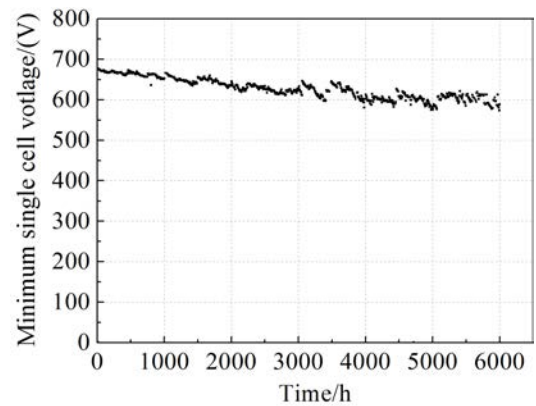


图7 HySYS-30 系统耐久性测试最小电池电压性能变化
Fig. 7 The minimum single cell voltage performance versus running time for HySYS-30 system

膜电极机械性能保持稳定。

3.3 燃料电池性能衰减测试分析

通过上述优化改进,HySYS-30 燃料电池系统通过实际 6000 h 测试,性能表现稳定,在额定电流下,电压衰减约为 8.1%,如图 6 所示。从图 6 可以看出,HySYS-30 燃料电池系统在实际测试过程中,整体性能表现稳定。在实际耐久测试过程中,作者也实时监测了最小单池电压的变化情况,如图 7 所示。从图 7 可以看出,HySYS-30 燃料电池系统在实际测试过程中,整体一致性较好,没有出现单池故障。

4 小结

燃料电池的耐久性制约燃料电池汽车应用的核心问题之一,在本论文中,基于早期对车用燃料电池失效模式的研究,通过优化系统设计和改

进系统控制策略等方式,显著提升了燃料电池系统寿命并开展了动态工况下 6000 小时的实际测试,测试结果表明,在耐久性测试过程中,电堆氢/氧串漏值稳定在 90~170 mL 范围内,在额定电流下 6000 小时的电压衰减率仅为 8.1%。

参考文献(References):

- [1] Strategic Advisory Committee on Technology Roadmap for Energy Saving and New Energy Vehicles, Chinese Society of Automotive Engineering. Technology roadmap for energy saving and new energy vehicles[M]. Beijing: China Machine Press(机械工业出版社), 2016: 171.
- [2] The department of energy hydrogen and fuel cells program plan. 2011-09[EB/L]. https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/program_plan2011.pdf: 31
- [3] Hou Z J(侯中军), Gan Q(甘全), Ma Y Q(马由奇), et al. Study on durability of the fuel cell power system for the bus application[J]. Journal of Mechanical Engineering(机械工程学报), 2010, 46(6): 39-43.
- [4] Hou Z J(侯中军), Jiang H C(江洪春), Wang R F(王仁芳), et al. Performance stability of fuel cell engine applied in the fuel cell car demonstration[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)(吉林大学学报(工程技术版)), 2011, S2: 131-136.
- [5] Chen P(陈沛), Gan P(干频), Huang C D(黄晨东). Fuel cell system development for plug-in FCV[J]. Shanghai Auto(上海汽车), 2011, 1: 3-8.
- [6] Hou Z J(侯中军), Wang, R F(王仁芳), Wang K Y(王克勇), et al. Failure mode investigation of fuel cell for vehicle application[J]. Frontiers in Energy(能源前沿), 2017, 11(3): 318.

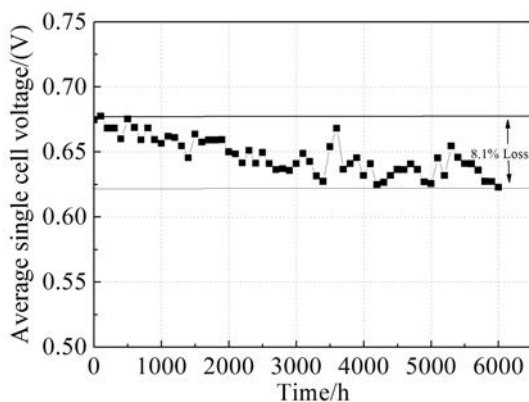


图6 HySYS-30 系统耐久性测试性能变化
Fig. 6 The lifetime performance of HySYS-30 system

Durability Performance of the High-Power Fuel Cell System

WANG Ke-yong, SHI Wei-yu, WANG Ren-fang, LIU Jia, HOU Zhong-jun*

(Sunrise Power Co., Ltd./National engineering research center of FC&H2 technology, Dalian, China, 116085)

Abstract: Fuel cell durability is the crucial challenge in fuel cell vehicle, and the lifetime of more than 5000 hours is believed to be necessary for vehicle application. Few works on durability test of the full fuel cell system have been reported. In this work, the long lifetime HySYS-30 fuel cell system was developed in Sunrise Power based on the improved MEA durability and system control strategy. The durability performance of the system was investigated under vehicle duty cycle for more than 6000 hours, and only 8.1% performance loss was observed, implying that the durability of HySYS-30 fuel cell system could be more than 5000 hours.

Key words: fuel cell vehicle; fuel cell system; life; durability test