

# The Influence of Long and Short Side-Chain Ionomers in the Catalyst Layer on the Performance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells under Different Operating Conditions

Yunkai Sun Nan Li Ying Shi Zhipeng Yan

School of Vehicles and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei, 066000, China

## Abstract

This study compared the test performance of different equivalent weight polymer MEA under a series of operating temperatures and relative humidities. The results showed that compared with the traditional long side chain polymer, the short side chain polymer significantly improved the battery performance. SSC MEA typically exhibited a higher maximum power density than LSC MEA at the same temperature. SSC polymer exhibited better performance under low humidity conditions. These results indicate that SSC polymers have significant potential in optimizing the performance of PEMFC.

## Keywords

Proton Exchange Membrane Fuel Cell; Polymer; Equivalent Weight; Catalytic Layer; Operating Conditions

## 催化层长短侧链离聚物在不同操作条件下对质子交换膜燃料电池性能的影响

孙云凯 李楠 石莹 闫志鹏

燕山大学车辆与能源学院, 中国·河北 秦皇岛 066000

## 摘要

本研究比较了不同等效重量离聚物MEA在一系列运行温度、相对湿度下的测试性能。结果表明,与传统长侧链离聚物相比,短侧链离聚物显著提高了电池性能。SSC MEA通常在相同温度下显示出比LSC MEA更高的最大功率密度。SSC离聚物在低湿度条件下表现出更好的性能。这些结果表明,SSC离聚物在优化PEMFC性能方面具有重要潜力。

## 关键词

质子交换膜燃料电池; 离聚物; 等效重量; 催化层; 运行条件

## 1 引言

PEMFC的性能提升主要取决于膜电极的设计与优化。MEA的催化层是其的关键部件,离聚物在催化层中的主要功能是将质子从阳极传导至阴极,维持燃料电池的电化学反应。近年来,不同EW的离聚物在不同运行条件下的显著差异已被深入研究,特别是在质子传导性、化学稳定性和水管理方面[1]。

温度、相对湿度等工况参数直接影响PEMFC的性能表现。研究者指出,离聚物的用量会影响离子与反应物的传输效率及催化剂利用率,从而影响电池的输出性能[2]。尽管已有大量研究探讨了SSC和LSC离聚物的性能[3],但多数文献仅聚焦于单一材料或有限条件下的表现,而非系统比

较其在催化层中广泛实际操作参数下的协同效应。本研究通过循环伏安法、电化学阻抗谱和极化分析,评估了不同EW的SSC与LSC MEA,揭示了离聚物结构如何在广泛操作条件下影响质子传导、水管理及传质过程。

## 2 实验

### 2.1 材料

质子膜选用Gore膜,催化剂选用TANAKA TKK,气体扩散层选用TGP-H-060。三种离聚物为:Nafion的EW为1000g/mol、D72的EW为720g/mol、D83的EW为830g/mol。长侧链离聚物记为LSC,短侧链离聚物分别记为SSC-7和SSC-8。

### 2.2 油墨制备

油墨的制备是按比例混合50%催化剂、异丙醇和离聚物,I/C比值为0.7。将其按比例称量混合后,置于超声波冰浴中处理,防止催化剂团聚并形成均匀分散的催化剂墨水。

【作者简介】孙云凯(2000-),男,中国河北邢台人,硕士,从事燃料电池研究。

### 2.3 MEA 制备

将质子膜浸入去离子水中以去除残留杂质，之后将膜置于 80℃ 的加热台上。通过喷枪均匀地在膜两侧喷涂催化剂油墨，制备 CCM。CCM 的有效面积为 25cm<sup>2</sup>，总铂负载量为 0.45mg/cm<sup>2</sup>，其中阴阳极的铂负载量分别为 0.4/0.05mg/cm<sup>2</sup>。组装 MEA 时 CCM 被夹在 GDL 之间形成夹层结构，用硅胶垫片作为密封材料，用 1.5Nm 的扭矩对 MEA 进行均匀压紧以防止气体泄漏。

### 2.4 MEA 的性能分析

燃料电池性能测试使用 YK-M20-100W 系统进行，用单蛇形流场配置。在测试前，向阳阴极通入加湿后的氢气和氮气。通过 CV 测定三种 MEA 的 ECSA。在温度、相对湿度以及化学计量比下测试 MEA 的极化曲线。通过对比不同 MEA 性能，分析侧链长度、保水能力及操作条件对 PEMFC 性能的影响。

## 3 结果与讨论

### 3.1 电化学活性表面积

CV 被用于评估阴极上铂催化剂的利用率和活性。ECSA 用于表征电极上参与反应的催化剂活性位点数量。图 1 为三种 MEA 在 80℃、50% 湿度下的 CV 曲线。

ECSA 计算方法如下：

$$ECSA = \frac{Q_{ads}}{Q_{ref} \cdot m_{Pt}}$$

根据计算公式，SSC-7、SSC-8 和 LSC MEA 的 ECSA 分别为 60、58 和 56.5m<sup>2</sup>/g，说明 SSC 的氢脱附峰高于 LSC。

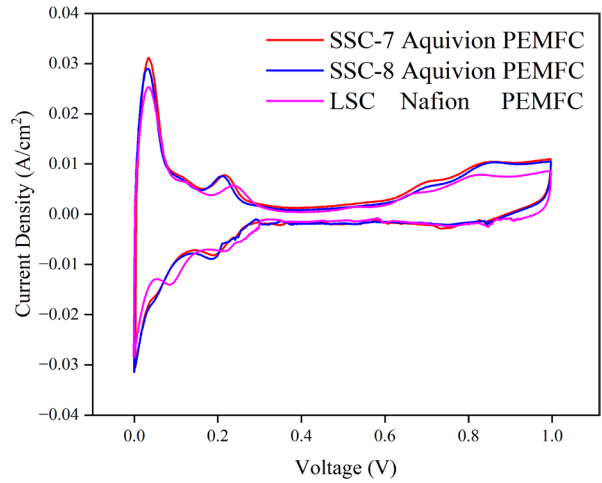


图 1 MEA 的 CV 测试

### 3.2 温度对电池性能的影响

本实验在阳极系数 2、阴极系数 3、相对湿度 100% 下进行。图 2 为 MEA 在不同温度下的性能曲线。

如图 2 所示，SSC-7 表现出更优的稳态输出性能，SSC-7 的性能优势与其较低的 EW 有关。SSC-7 在 70–85℃ 内表现出持续增强的输出性能。SSC-7 在 85℃ 时达到约 1.2W/cm<sup>2</sup> 的峰值功率密度。SSC-7 在 90℃ 时性能下降，局部失水可能是性能衰减的主要原因。SSC-8 在 70–80℃ 内表现出性能提升，升温过程改善了其反应动力学。SSC-8 在 85℃ 后明显衰减，膜和催化剂层失水可能削弱其质子传导能力。LSC 在 75℃ 时表现出最佳性能，其功率密度约为 0.63W/cm<sup>2</sup>。75℃ 为 LSC 提供了较合适的催化活性和膜水合状态。

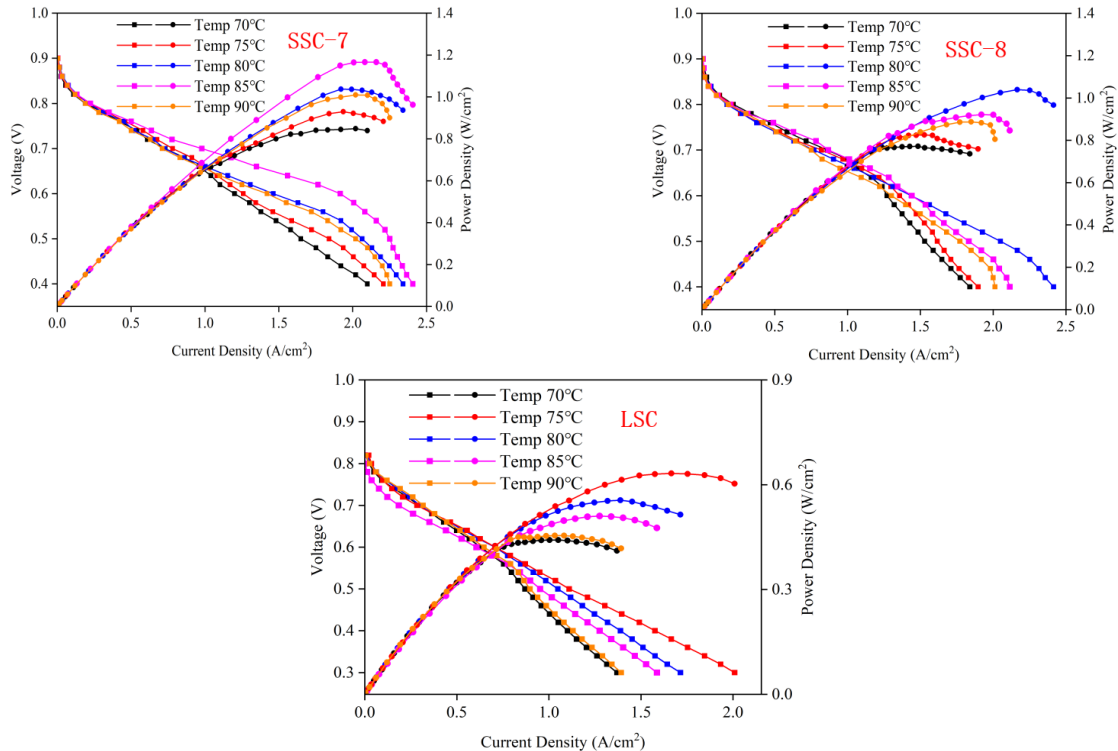


图 2 三种 MEA 在不同温度下的性能曲线

### 3.3 相对湿度对电池性能的影响

本实验在温度 80°C、阳极系数 2、阴极系数 3 下进行。

图 3 为三种 MEA 在不同湿度下的性能曲线。

由图 3 可知, SSC MEA 性能随湿度从 100% 降至 60% 而提升。在 40% 湿度时性能下降, 这是因膜干燥影响反应效率。LSC MEA 在高湿度下性能稳定, 当湿度降至 60% 甚至更低时, 性能曲线呈现下降趋势。主要原因是 LSC 具有

良好的保水性, 有助于在高湿度条件下维持质子传导 [4]。

与 LSC 相比, SSC-7 在高湿度环境能提升质子传导性、降低欧姆阻抗, 并保持催化剂层充分水合。SSC-8 在湿度为 60% 时, 功率密度达到峰值 0.994W/cm<sup>2</sup>。LSC MEA 在湿度从 100% 降至 80% 时, 电池性能显著提升。在 60% 和 40% 湿度下, 性能出现下降, 主要源于水合不足和质子传导率降低。

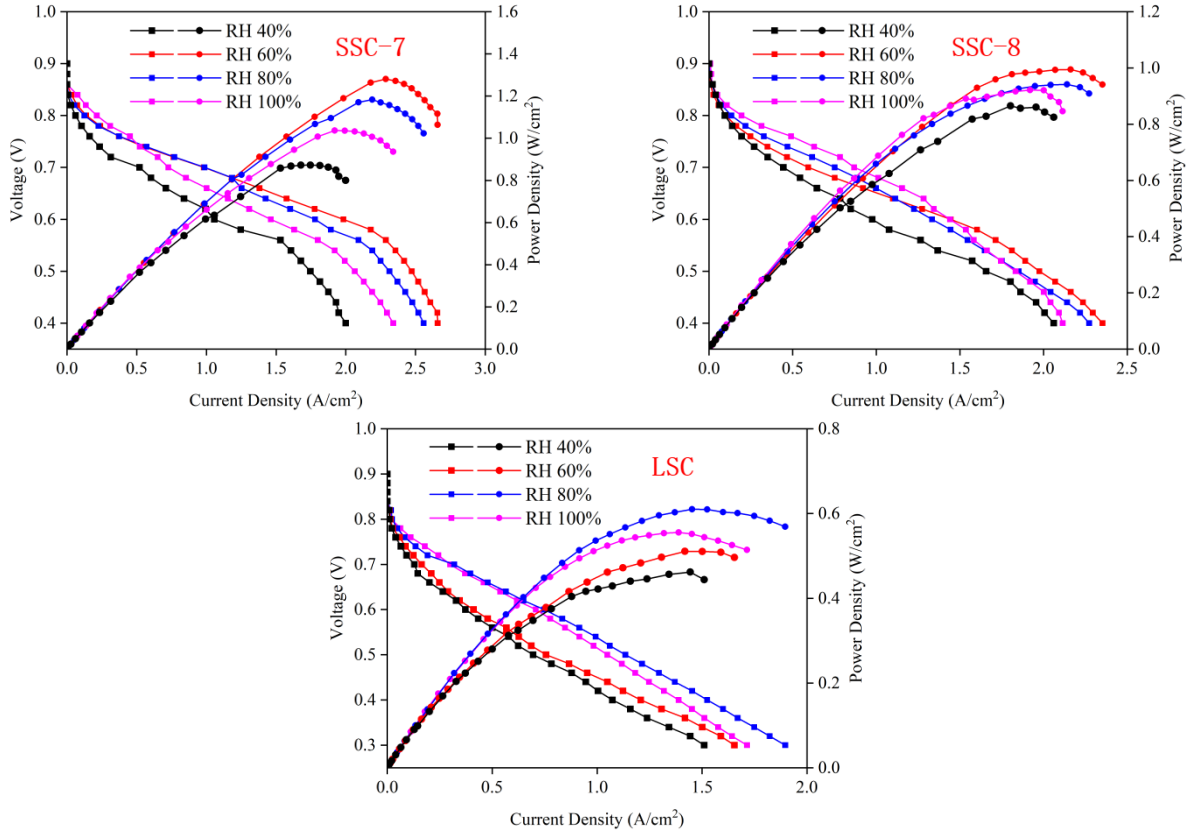


图 3 三种 MEA 在不同相对湿度下的性能曲线

### 4 结语

在一定温度、相对湿度和反应物流量条件下, 研究了离聚物对燃料电池性能的影响, 得出以下结论:

(1) CV 测试结果表明, SSC MEA 的 ECAS 显著高于 LSC。

(2) SSC-7 在 85°C 时达到峰值, SSC-8 在 80°C 表现优异, 但随温度升高水分蒸发导致质子传导率降低、欧姆阻抗增加, LSC 在 75°C 时性能最佳。总体而言, SSC-7 具有优异的质子传导率和传质性能, 在 80°C 下功率密度可达 1.2W/cm<sup>2</sup>。

(3) 不同相对湿度下的性能测试表明, SSC 在中低湿度下表现出优异性能。

尽管 SSC 离聚物在此研究中表现较优的性能, 但其在

催化层中的长期耐久性仍需进一步研究。未来工作将包括在加速应力条件下进行耐久性测试, 以评估长期稳定性。

### 参考文献

- [1] 王晶晶, 于力娜, 刘晓雪, 等. 质子交换膜燃料电池膜电极关键材料及技术研究进展[J/OL]. 汽车工艺与材料, 2026, 1-11.
- [2] 臧琳峰, 朱晓静, 郝亮. CCL 结构对 PEMFC 冷启动过程的影响[J]. 工程热物理学报, 2025, 46(11): 3766-3775.
- [3] 梁铄, 吴亮, 徐铜文. 离聚物在质子交换膜燃料电池膜电极中的应用进展[J]. 中国科学: 化学, 2018, 48(09): 1040-1057.
- [4] 贺文杰, 郭定域, 王建超, 等. 湿度循环下 PEMFC 催化层裂纹生成与扩展规律研究[J]. 公路交通科技, 2022, 39(01): 130-135+145.