



迴轉式及螺旋式流道之研究

Study on the Circumrotated and Spiral Flow Channels

蔡錦山

Chin-Shan, Tsai

南榮技術學院 工程科技研究所副教授

Graduate School of Engineering Science and Technology, Nan Jeon Institute of Technology, Associate Professor

摘要

本研究主要是利用自製之迴轉式、螺旋式、指叉迴轉式及指叉螺旋式流道進行實驗，以探討不同型式流道結構對質子交換膜燃料電池性能的影響。雙極板流道之材料為低電阻、厚度為1mm之JIS C2800黃銅板，各流道及肋部寬度皆為2mm；質子交換膜之材質及作用面積分別為Nafion NRE211及其3.5cm×3.5cm；利用扭力值設定為42.5kgf-cm之扭力扳手組裝燃料電池。

由實驗結果顯示，在高電流密度時，當增加氫氣及氧氣流量時，各式雙極板流道之燃料電池效能隨之提昇；在本研究之實驗條件下，當以內進外出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，燃料電池之性能以指叉迴轉式及螺旋式流道較佳、指叉螺旋式流道次之、迴轉式流道則最差。當以外進內出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，燃料電池之性能以迴轉式及螺旋式道較佳、指叉迴轉式及指叉螺旋式流道則較差。當以外進外出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，指叉迴轉式流道燃料電池之性能優於指叉螺旋式流道。在本研究中，以螺旋式流道、進氣方式為內進外出時之燃料電池性能最佳。

關鍵字：雙極板、迴轉式、螺旋式、指叉迴轉式、指叉螺旋式

Abstract

Four bipolar plates, namely circumrotated, spiral, interdigitated-circumrotated, and interdigitated-spiral flow channels, are used to analyze the performance of the proton exchange membrane fuel cells (PEMFC). The bipolar plates are made of low resistance brass plate, JIS C2800, with 1mm thickness in the study. Both the flow channels and ribs width are 1mm for all designs of bipolar plates. The membrane material is Nafion NRE211 with active area 3.5cm×3.5cm. The calibrated torques wrench is used to assemble the PEMFC, and the suggested torque is 42.5kgf-cm.

The experimental results show that the PEMFCs have better performance while hydrogen and oxygen flow rates increase under high current densities. While the fuel supply conditions are inner inlet and outer outlet, the interdigitated-circumrotated and the spiral flow channels have the better performance, the interdigitated-spiral design gets the second place, and the circumrotated flow field is the worst of all. While the fuel supply conditions are outer inlet and inner outlet, the performance of the circumrotated and the spiral flow channels are better than the interdigitated-circumrotated and the interdigitated-spiral flow channels. While the fuel supply conditions are outer inlet and outer outlet, the performance of the interdigitated-circumrotated flow channels are better than the interdigitated-spiral flow channels. While the fuel supply conditions are inner inlet and outer outlet, the PEMFC with spiral flow channels has the best performance in the study.

Keywords: bipolar plate, circumrotated, spiral, interdigitated-circumrotated, interdigitated-spiral



一、前言

近年來世界各國針對環保及能源不足之情況，做了很大的努力，所以開發出許多較為環保之發電方式，諸如風力發電、水力發電、太陽能、生質能及燃料電池等。燃料電池的種類主要可分為鹼性燃料電池(alkaline fuel cell, AFC)、固態氧化物燃料電池(solid oxide fuel cell, SOFC)、直接甲醇燃料電池(direct methanol fuel cell, DMFC)、磷酸燃料電池(phosphoric acid fuel cell, PAFC)、熔融碳酸鹽燃料電池(molten-carbonate fuel cell, MCFC)及質子交換膜燃料電池(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)，其中以質子交換膜燃料電池最受矚目，因其具有低操作溫度、低汙染、低噪音、高功率、不易損壞等優點，是其他發電方式所無法比擬的[1-4]。

有關流道幾何形狀對PEMFC性能之影響的研究相當多，所探討之雙極板流道主要包括直通式平行流道(straight channel)、蛇形流道(serpentine channel)及指叉型流道(interdigitated channel)[5-8]。

Susai et al. [9]研究以石墨與熱固性樹脂為基材的合成雙極板，設計液態水由雙極板頂端沿流道流下，直接濕潤交換膜，使流道同時有燃料氣體與液態水在其中流動，實驗證明交換膜可隨時都處於潤濕度極好的狀態下。在Susai et al.之研究中其電池組使用52個單電池，而每單電池之作用面積為 100cm^2 、Pt的單位面積負載含量為 $0.3\text{mg}/\text{cm}^2$ ，當作用溫度為 80°C 、總電流值50A，電池組之總輸出功率1700W，單位面積功率為 $0.1923\text{W}/\text{cm}^2$ ；最大瞬時功率為2000W(65A)、最大單位面積功率為 $0.385\text{W}/\text{cm}^2$ 及開回路電壓為50V。

隋升、顧軍和李光強[10]之研究顯示，限制PEMFC性能的主要因素是陰極氧催化還原過程與反應物傳遞過程的動力學條件，亦即PEMFC陰極側的反應較陽極側的反應慢，因此PEMFC的性能是由陰極側反應速率快慢決定。

Kumar[11]以氫氣消耗率作為質子交換膜燃料電池效能判斷依據，模擬蛇形流道之寬度、深度及肋寬度對燃料電池性能的影響。結果顯示當流道面積固定在 $40\times 40\text{mm}^2$ 時，流道寬度及深度、肋寬度分別為1.5mm、1.5mm、0.5mm時的效果最好。

由於傳統質子交換膜燃料電池所使用之雙極板流道主要為直通式平行流道、蛇形流道及指叉型流道，當長時間使用時燃料電池之雙極板氣體通道極易積水、無法排除、影響燃料電池性能。而黃銅板具有高純度、導電性能特佳、容易加工及變形度低





等特點，非常適用於電蝕加工電極及銅工件。因此在本研究中將以黃銅板製作迴轉式、螺旋式、指叉迴轉式及指叉螺旋式流道，利用流體在迴轉式、螺旋式流道中流動時所產生之推力、減少流道轉角處之積水現象，以加強燃料電池對液態水之排除能力，並進行實驗以探討流道結構對質子交換膜燃料電池性能的影響。

二、質子交換膜燃料電池模組之製作與測試

一般質子交換膜燃料電池之結構，主要可分為膜電極組(MEA)、雙極板及固定板[12]。在本研究中以黃銅板作為雙極板流道材料，設計、加工製作各式流道，以扭力鉸手組裝質子交換膜燃料電池模組、利用電解器製作氫氣及氧氣進行實驗，並以安培計、伏特計量測燃料電池輸出之電流及電壓值、繪製燃料電池之極化曲線(polarization curve)及功率密度(power density)—電流密度(current density)曲線圖，以探討流道結構對質子交換膜燃料電池性能之影響。

(一) 雙極板流道之製作

在本文中以厚度為1mm之JIS C2800黃銅板作為雙極板流道材料，其中各流道結構之流道及肋部的寬度皆為2mm，如圖1所示。

在本研究中依所設計之流道結構、尺寸，將黃銅板固定在線切割機上進行加工，由於線切割機之電極與工件為非接觸式，加工時工件所承受的加工應力極小，較不受工件材料強度、硬度及韌度之影響，因此本文以線切割機製作各式流道，圖2為已完成加工之雙極板流道。

(二) 質子交換膜燃料電池模組的組裝

燃料電池所使用之質子交換膜為七層膜電極組，其材質為Nafion NRE211、作用面積為3.5cm×3.5cm。組裝燃料電池時，所使用之扭力鉸手其扭力值設定為42.5kgf-cm[13]，完成組裝之質子交換膜燃料電池模組如圖3所示。

(三) 質子交換膜燃料電池性能的測試



本研究以自行設計、製作、組裝之質子交換膜燃料電池模組進行性能測試，實驗時先以電解器將水電解成氫氣及氧氣，以作為燃料電池之反應燃料；利用安培計、伏特計測得燃料電池之電流及電壓值，並除以膜電極組之作用面積則可求得燃料電池之電流密度及功率密度，而燃料電池之性能測試機台及實驗配置如圖4所示。

由於利用電解器電解水以產生氫氣及氧氣時，其輸入電壓不可超過 2V，因此測試燃料電池性能時，應控制電源供應器之電壓值。實驗時電源供應器之輸出電壓分別設定為 1.6、1.7 及 1.8V，可使電解器電解水所產生之氫氣流量分別為 5.53、7.95 及 8.76cc/min。此外，亦可將電解所得之氫氣及氧氣儲存在儲氣筒中備用。

測試質子交換膜燃料電池性能時，將氫氣及氧氣在自製之燃料電池模組中混合，可產生電能及水。實驗之反應氣體燃料採連續供氣，供氣時燃料可採流道內圈流入外圈流出（內進外出）、外圈流入內圈流出（外進內出）及外圈流入外圈流出（外進外出）等三種方式。本研究之實驗步驟為：

1. 將電源供應器、電解模組及負載模組加以組合後，再加入新鮮並除去離子之蒸餾水至電解模組之補充筒中，注意水位不可過高。
2. 利用電源供應器之電壓，將蒸餾水電解成氫氣及氧氣，儲存在儲氣筒中。調整電解器之電壓可改變氫氣及氧氣之流量。
3. 將氫氣及氧氣在自製之燃料電池模組中混合，以輸出電能及產生水。
4. 利用調整可變電阻值，可改變燃料電池模組輸出之電壓及電流。
5. 實驗完畢，須將電解模組及燃料電池模組中之蒸餾水倒出，並將各模組分解歸定位。
6. 繪製各式流道電池模組之燃料電池極化曲線圖。
7. 繪製各式流道電池模組之燃料電池功率密度曲線圖。

三、結果與討論

如果質子交換膜之薄膜含水量過低，會降低其導離子能力，使燃料電池性能降低；但若薄膜含水量過高，亦會造成液態水堵塞雙極板流道、無法順利供應燃料，燃



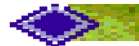


料電池性能亦會降低，因此當入口燃料濕度於陽極為100%、陰極為25%時，為最佳進氣條件，對雙極板流道積水問題及燃料電池效能將有顯著改善與提升[14]。由於傳統之直通式平行流道、蛇形流道及指叉型流道極易在直角轉角處產生積水、水溢流(flooding)現象，而本研究所使用之迴轉式、螺旋式、指叉迴轉式及指叉螺旋式流道，藉由供應氣體燃料流經轉角、改變流動方向時所產生之動量，可降低液態水對壁面的黏滯效應、減少雙極板流道堵塞。經由實驗觀察，本研究之各式流道，可使流道同時有燃料氣體與液態水在其中流動、具有良好的排水效果，且可直接濕潤交換膜，使其隨時都處於潤濕度極好的狀態下。

為探討燃料流量與質子交換膜燃料電池性能之關係，調整電源供應器之輸出電壓值，以控制電解器產生之氫氣、氧氣流量。由實驗結果發現，在低電流密度時，不同之供氣方式及流道結構之燃料電池性能差異不大；但在高電流密度時，則因濃度過電位(concentration overpotential)之影響，使得各燃料電池輸出之電流密度及功率密度將隨燃料流量之增加而提昇，如圖5所示。如燃料供應量不足時，將使燃料電池之性能快速下降，如圖5中氫氣流量為5cc/min時，即屬供應量不足之情形。

為探討不同之供氣方式是否會影響燃料電池之性能，在本研究中以內進外出、外進內出及外進外進等三種進氣方式供給氫氣、氧氣。由圖6(a)之結果顯示，迴轉式流道燃料電池之供氣方式為外進內出時，其性能優於內進外出；但當電流密度高於 $75\text{mA}/\text{cm}^2$ 時，則因濃度過電位之影響，使得供氣方式為外進內出之燃料電池性能快速降低。在圖6(b)中，當電流密度低於 $60\text{mA}/\text{cm}^2$ 時，螺旋式流道之供氣方式為外進內出時，所得之燃料電池性能優於內進外出；但當電流密度高於 $60\text{mA}/\text{cm}^2$ 時，則供氣方式對質子交換膜燃料電池性能之影響並不明顯。指叉迴轉式流道燃料電池之性能以外進內出最佳、內進外出次之、外進外進最差，如圖6(c)所示。圖6(d)之實驗結果則顯示指叉螺旋式流道以外進外進之效果最佳、外進內出次之、內進外出則最差。當燃料之供氣方式為外進內出時，隨著氣體燃料由外圈往內圈流動時，氣體流速會增加，使得雙極板流道內氣體燃料對液態水的推力也愈大，增加燃料反應速率，進而提昇燃料電池性能，此結果與蘇艾等人之研究相符[15]。由本文之實驗結果發現，不同之流道結構、進氣方式皆會影響燃料之分佈情形、反應效率及燃料電池效能。





在本研究之實驗條件下，當以內進外出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，燃料電池之性能以指叉迴轉式及螺旋式流道較佳、指叉螺旋式流道次之、迴轉式流道則最差，如圖 7 所示。當以外進內出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，燃料電池之性能以迴轉式及螺旋式道較佳、指叉迴轉式及指叉螺旋式流道則較差，如圖 8 所示。當以外進外出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，指叉迴轉式流道燃料電池之性能優於指叉螺旋式流道，如圖 9 所示。綜合本研究之條件及實驗結果可知，當流道為螺旋式、進氣方式為內進外出時，可得到最佳之燃料電池性能。

四、結論

本文以厚度為1mm之JIS C2800黃銅板作為雙極板流道材料，利用自製之迴轉式、螺旋式、指叉迴轉式及指叉螺旋式流道，探討不同型式流道結構對質子交換膜燃料電池性能的影響。由實驗結果顯示，在高電流密度時，當增加氫氣及氧氣流量時，各式雙極板流道之燃料電池效能隨之提昇；在本研究之實驗條件下，當以內進外出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，燃料電池之性能以指叉迴轉式及螺旋式流道較佳、指叉螺旋式流道次之、迴轉式流道則最差。當以外進內出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，燃料電池之性能以迴轉式及螺旋式道較佳、指叉迴轉式及指叉螺旋式流道則較差。當以外進外出之供氣方式及供給相同之燃料流量時，指叉迴轉式流道燃料電池之性能優於指叉螺旋式流道。在本研究中，以螺旋式流道、進氣方式為內進外出時之燃料電池性能最佳。

參考文獻

- [1] K. Kordesch and G. Simader, Fuel cells and their applications, VCH, New York, pp. 51-179, 1996.
- [2] 鄭煜騰、鄭耀宗，“質子交換膜型燃料電池的製造技術”，能源季刊，第二十七卷，第二期，pp. 118，1997。
- [3] 吳千舜、諸柏仁，“燃料電池質子交換膜的最近發展”，CHEMISTRY(THE CHINESE



- CHEM. SOC., Taipei) , Vol. 62 , No. 1 , pp.123~138 , 2004 。
- [4] 黃鎮江，”綠色能源”，全華科技圖書股份有限公司，2005 。
- [5] 洪榮崇、陳亭卉，“流道結構對質子交換膜燃料電池性能之研究”，中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會論文集，論文編號：A14-035，2009 。
- [6] 邱青煌、蘇建誌、張庭璋、余佳陽，“質子交換膜燃料電池於不同流道形式之特性分析”，中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會論文集，論文編號：A14-019，2009 。
- [7] M.S. Wilson, T.E. Springer, J. Davey and S. Gottesfeld, “Alternative flow-field and backing concepts for polymer electrolyte membrane fuel cells”, Electrochemical Soc. Proc. Ed., S. Gottesfield, G. Halpert, and A. Landgrebe, Vol. 95-23, pp. 115-126, 1995.
- [8] S. Um and C.Y. Wang, “Three dimensional analysis of transport and reaction in proton exchange membrane fuel cells”, in Proc. of the ASME Heat Transfer Division, 2000.
- [9] T. Susai, A. Kawakami, A. Hamada, Y. Miyake, and Y. Azegami, “Development of a 1kW polymer electrolyte fuel cell power source”, Journal of Power Sources, Vol. 92, pp. 131-138, 2001.
- [10] 隋升、顧軍、李光強，”PEMFC 氧電極研究動向”，化學通報，pp. 9，1999 。
- [11] A. Kumar and R. G. Reddy, “Effect of channel dimensions and shape in the flow-filed distributor on the performance of polymer electrolyte membrane fuel cells”, Journal of Power Sources, Vol. 113, pp. 11-18, 2003.
- [12] “質子交換膜燃料電池的結構”，取自：<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!gfF5gRmaQE5oQtPhRc1MyCLDsQ--/article?mid=1454> 。
- [13] “MEA 測試組裝建議”，群翌能源股份有限公司。
- [14] 王金燦、鄭沛倫，“燃料相對濕度對薄膜含水量及質子交換膜燃料電池性能效應”，中正嶺學報，Vol. 38 (1)，pp. 17-26，2009 。
- [15] 蘇艾、翁芳柏、徐俊英、陳彥明，”燃料電池之雙極板流道結構”，中華民國專利，I232003，2004 。

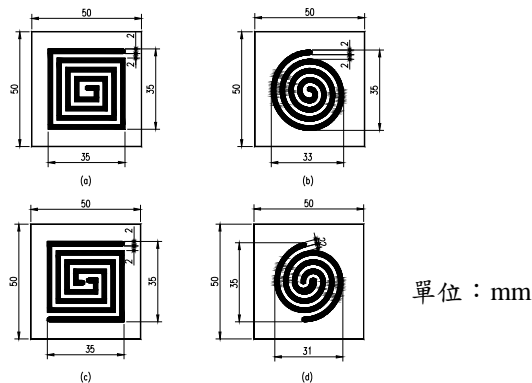


圖 1 雙極板流道設計圖(a)迴轉式(b)螺旋式(c)指叉迴轉式(d)指叉螺旋式



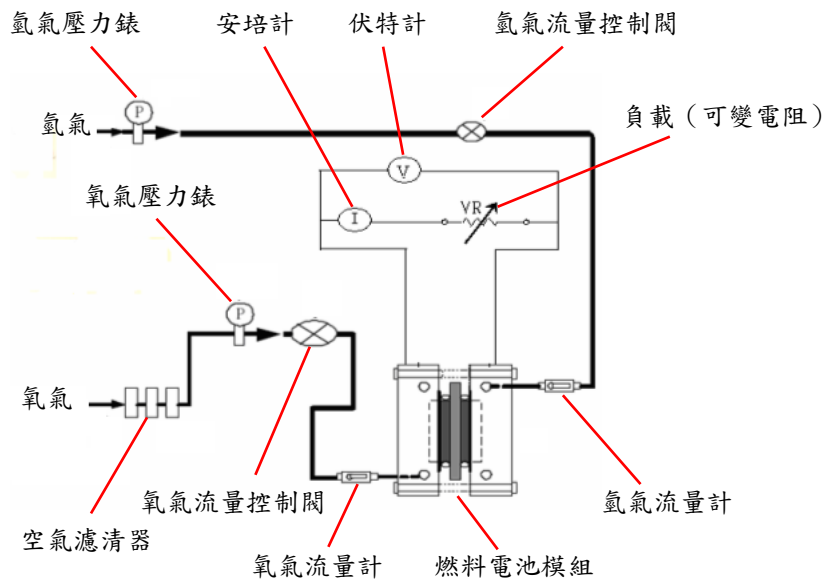
(a)迴轉式 (b)螺旋式 (c)指叉迴轉式 (d)指叉螺旋式

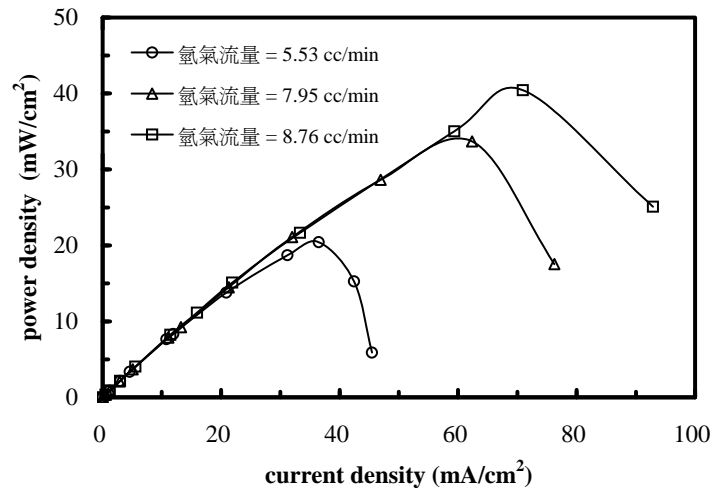
圖2 完成加工之雙極板流道



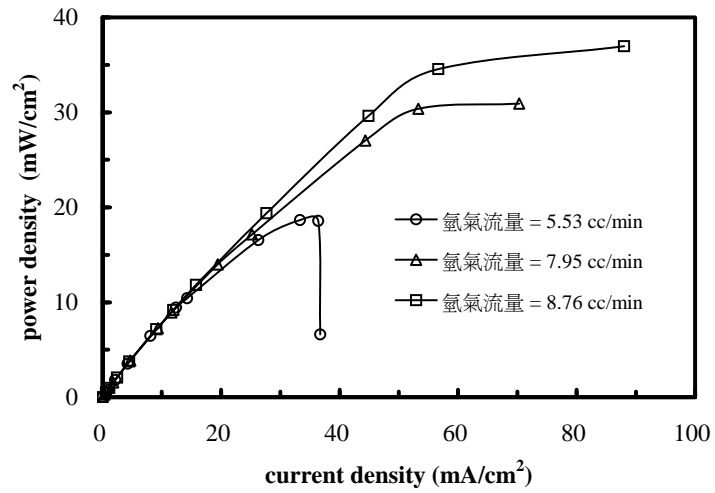
(a)迴轉式 (b)螺旋式 (c)指叉迴轉式 (d)指叉螺旋式

圖3 完成組裝之質子交換膜燃料電池模組

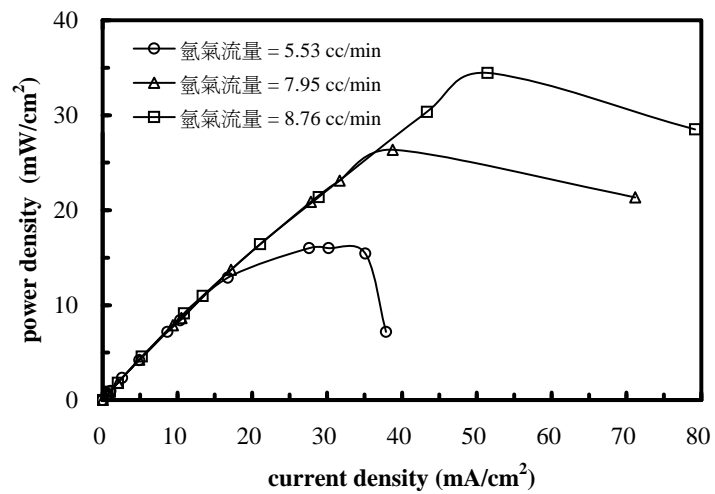




(a) 迴轉式

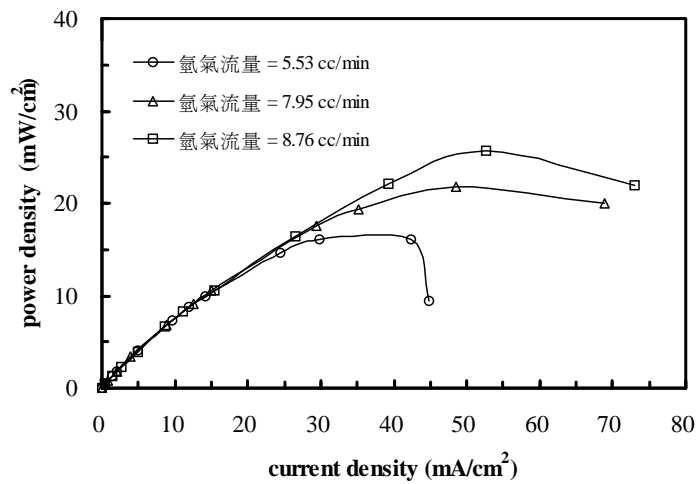


(b) 螺旋式



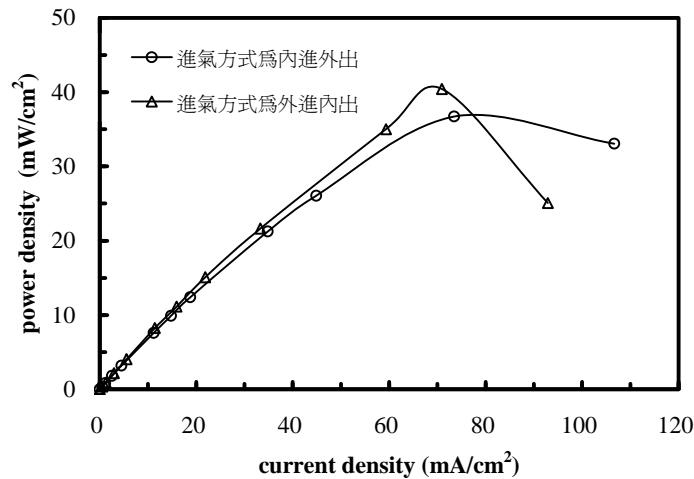
(c) 指叉迴轉式



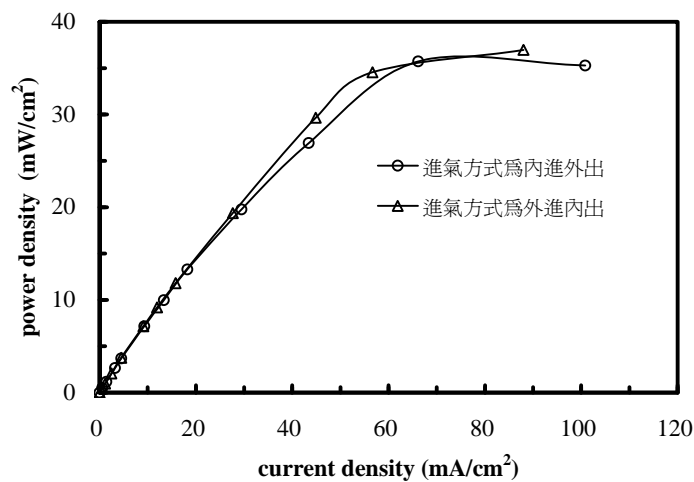


(d)指叉螺旋式

圖5 供氣方式為外進內出氫氣流量對各式流道燃料電池性能之影響

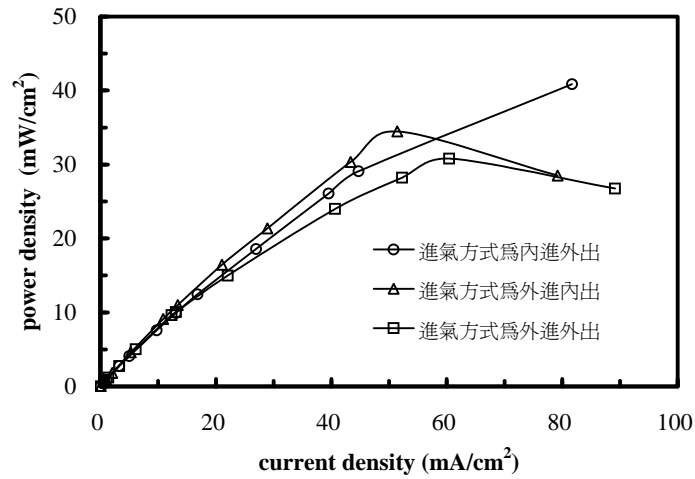


(a)迴轉式

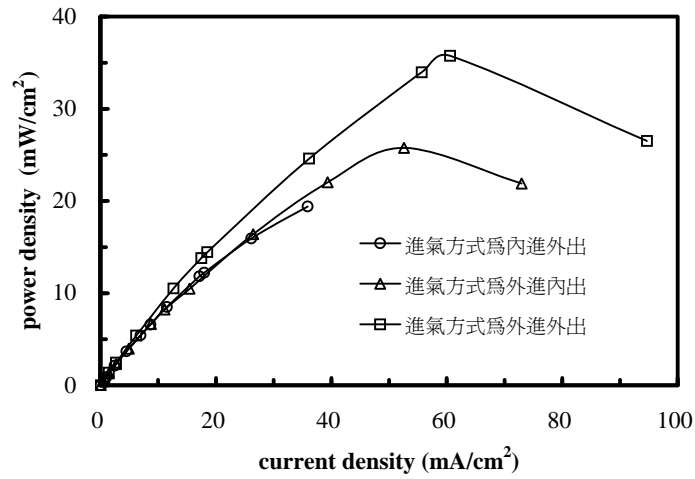


(b)螺旋式



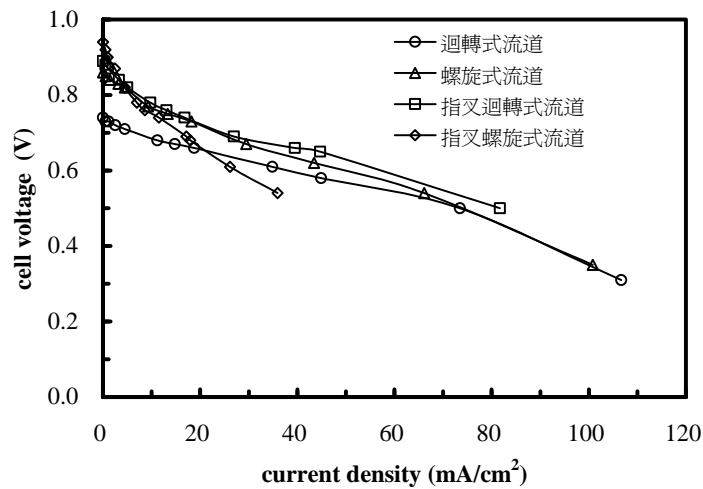


(c)指叉迴轉式



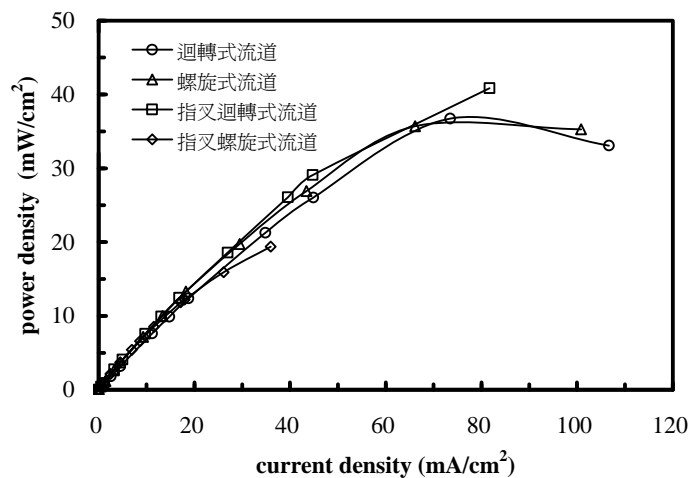
(d)指叉螺旋式

圖6 氫氣流量為8.76cc/min時供氣方式對各式流道燃料電池性能之影響



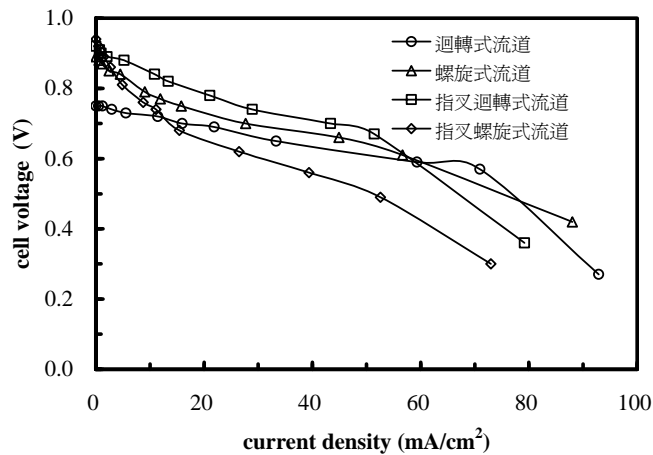
(a)極化曲線



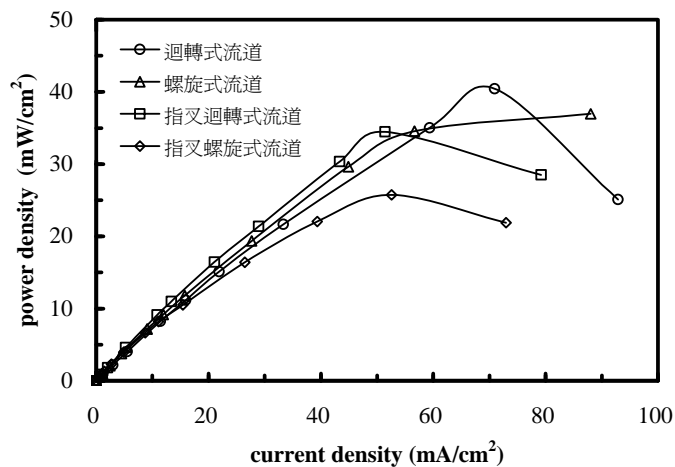


(b) 功率密度

圖7 供氣方式為內進外出對氫氣流量為8.76cc/min各式流道燃料電池性能之影響



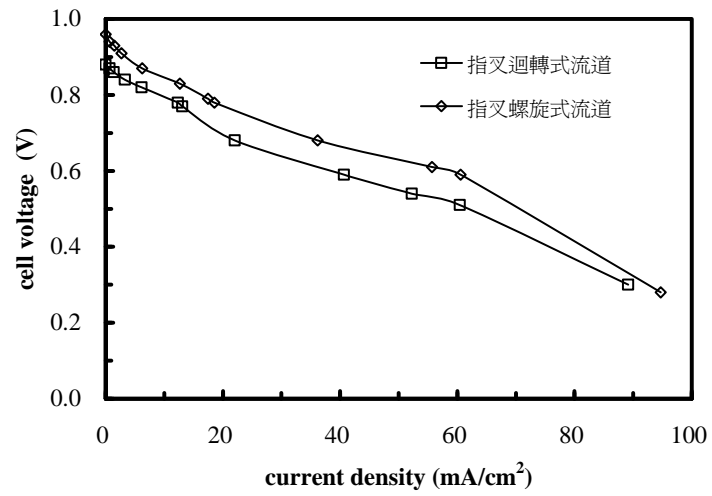
(a) 極化曲線



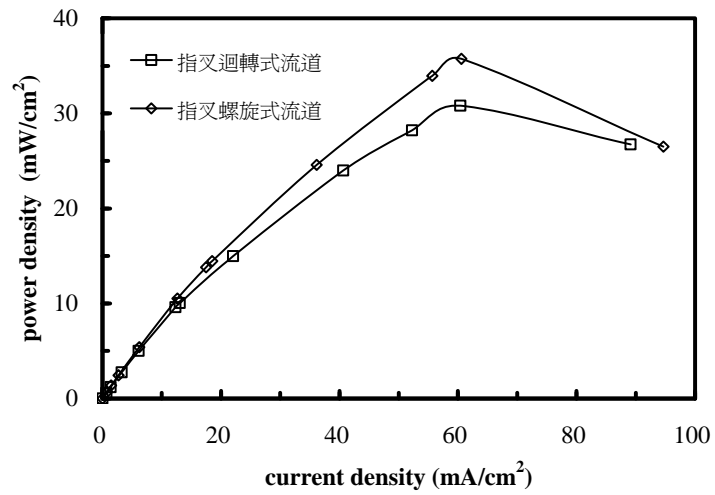
(b) 功率密度

圖8 供氣方式為外進內出對氫氣流量為8.76cc/min各式流道燃料電池性能之影響





(a)極化曲線



(b)功率密度

圖9 供氣方式為外進外出對氫氣流量為8.76cc/min各式流道燃料電池性能之影響

