

Study on Design and Analysis of a Plasma Hydrogen Reformer

郭季鑫、王啟聖；胡永楠

E-mail: 9805477@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

This thesis focuses on using plasma to reform fuels into synthetic gases; and then analyzes and investigates the performance of the plasma reformer. This study designs pulsed plasma arc reformer and reforms the fuels (methane CH₄, liquefied petroleum gas LPG) and water. Through plasma ionization, these fuels and water are being converted into hydrogen-rich synthetic gases. This study includes design of plasma arc, design of fuel feeding system, experimental methods, measurement, data acquisition, gas analyses, etc. The plasma arc system includes body housing, pressure relief valve, electrode, AC motor, frequency adjuster, high voltage coil. The fuel feeding system includes supersonic oscillator, flowmeter, flow controller, etc.. The measurement analysis system includes gas chromatography (GC), voltmeter, AC ammeter and so on. The investigated parameters include the fuel selection (methane, LPG), fuel feeding rate (35~300 mL/min), power input (15~115 W), electrode number, the electric discharge method (electrode shapes), distance between electrodes (12~24 mm), electric arc frequency (15~240 Hz), etc. The experimental results indicate that reducing fuel feeding rate, increasing numbers of electrode pair, needle-to-flat plane discharge, electric arc frequency (60Hz) and electric arc length (16 mm), moderate humidification, etc. may increase hydrogen concentration and hydrogen yield. In all, the methane has the best hydrogen concentration of 60 % and hydrogen yield of 48 %; and LPG has the best hydrogen concentration of 54 % and hydrogen yield of 27 %.

Keywords : plasma, electric arc, pulse type

Table of Contents

封面內頁 簽名頁 授權書	iii	中文摘要	
. iv 英文摘要		v 誌謝	
. vi 目錄		vii 圖目錄	
. ix 表目錄		x	
第一章 緒論	1	1.1 前言	
. 1.1.2 研究動機與方法	2	1.3 文獻回顧	
. 3 第二章 理論基礎	9	2.1 電漿原理概說	
. 9.2.2 電漿基本反應	9	2.3 電漿區分	
. 11.2.4 不平衡電漿的種類	17	2.5 低電壓電漿電壓-電流關係	
. 23 第三章 實驗設備與方法	26	3.1 實驗流程	
. 26.3.2 實驗系統設計	27	3.3 偵測器	
. 31.3.4 實驗步驟	33	3.5 反應物與產物的分析與計算	
. 35 第四章 實驗結果	37	4.1 電極距離影響	
. 37.4.2 流量不同影響	43	4.3 頻率不同影響	
. 48.4.4 電極數目影響	53	4.5 放電方式不同影響	
. 58.4.6 加濕度影響	63	4.7 LPG與CH ₄ 實驗比較影響	
. 67 第五章 結論及未來研究方向與建議	73	5.1 結論	
. 73.5.2 未來研究方向與建議	74	參考文獻	
. 75 附錄	80	圖目錄 圖 2- 1典型的熱電漿與非平衡電漿的溫度及電子密度分佈	12
. 12 圖 2- 2電漿中電子與氣體分子溫度隨壓力變化	13	圖 2- 3氫氣的平衡組成隨溫度的變化	15
. 15 圖 2- 4電漿產生之電壓對對流關係圖	25	圖 3- 1實驗流程圖	26
. 26 圖 3- 2系統設計配置	27	圖 3- 3電弧放電	29
. 29 圖 3- 4各偵測器分析解析度	32	圖 3- 5 TCD的惠斯頓電橋裝置示意圖	33
. 33 圖 4- 1不同電極距離之氫氣濃度影響	38	圖 4- 2不同電極距離之氫氣產率影響	39
. 39 圖 4- 3不同電極距離之甲烷濃度影響	40	圖 4- 4不同電極距離之甲烷轉化率影響	41
. 41 圖 4- 5不同電極距離之能量轉化率影響	42		

圖 4- 6不同流量之氫氣濃度影響	43	圖 4- 7不同流量之氫氣產率影響	44
圖 4- 8不同流量之甲烷濃度影響	45	圖 4- 9不同流量之甲烷轉化率影響	46
圖 4- 10不同流量之能源效率影響	48	圖 4- 11不同頻率之氫氣濃度影響	49
圖 4- 12不同頻率之氫氣產率影響	50	圖 4- 13不同頻率之甲烷濃度影響	51
圖 4- 14不同頻率之甲烷轉化率影響	52	圖 4- 15不同頻率之能源效率影響	53
圖 4- 16電極數目不同之氫氣濃度影響	54	圖 4- 17電極數目不同之氫氣產率影響	55
圖 4- 18電極數目不同之甲烷濃度影響	56	圖 4- 19電極數目不同之甲烷轉化率影響	57
圖 4- 20電極數目不同之能源效率影響	58	圖 4- 21放電方式不同之氫氣濃度影響	59
圖 4- 22電極數目不同之氫氣產率影響	60	圖 4- 23電極數目不同之甲烷濃度影響	61
圖 4- 24電極數目不同之甲烷轉化率影響	62	圖 4- 25電極數目不同之能源效率影響	63
圖 4- 26氣體中含水量不同之氫氣濃度影響	64	圖 4- 27氣體中含水量不同之氫氣產率影響	65
圖 4- 28氣體中含水量不同之甲烷濃度影響	66	圖 4- 29氣體中含水量不同之甲烷轉化率影響	67
圖 4- 30氣體中含水量不同之能源效率影響	69	圖 4- 31不同燃料之氫氣濃度比較	70
圖 4- 32不同燃料之氫氣產率比較	71	圖 4- 33不同燃料之未反應燃料比較	72
圖 4- 34不同流量之甲烷轉化率影響	71	圖 4- 35不同流量之能源效率影響	72
附圖1實驗設備實體圖	82	附圖 2實驗分析數據圖	83
表 2- 1典型熱電漿與低溫電漿之基本特性	17	附表 1國外非熱電將重組效能	80
附表 2國外含有催化劑重組系統效能	81	附表 3頻率與總損耗電能關係	81
附表 4氣體之熱值關係表	81	附表 5氧化鋁陶瓷的物理性質	82

REFERENCES

- [1]O.Mutaf-Yardimci , A.V.Saveliev , A.A. Fridman , L.A. Kennedy, “ Employing plasma as catalyst in hydrogen production, ” Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 23, No. 12, pp. 1109-1111, 1998.
- [2]Shuiliang Yao , Akira Nakayama , Eiji Suzuki , “ Acetylene and hydrogen from pulsed plasma conversion of methane ” ,Catalysis Today, Vol. 71, pp. 219-223, 2001.
- [3]L. Fulcheri , Y. Schwob , “ From methane to hydrogen, carbon black and water ” Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 20, No.3, pp. 197-202, 1995.
- [4]L. Bromberg , D.R. Cohn , A. Rabinovich , N. Alexeev , “ Plasma catalytic reforming of methane ” International Journal of Hydrogen Energy vol. 24, pp. 1131-1137, 1999.
- [5]L.Bromberg , D.R.Cohn , A.Rabinovich , “ Plasma reformer-fuel cell system for decentralized power applications, ” Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 22, No. 1, pp. 83-94, 1995.
- [6]Lingjun Song , Xinghu Li , Tianlei Zheng “ Onboard hydrogen production from partial oxidation of dimethyl ether by spark discharge plasma reforming ” International Journal of Hydrogen Energy vol. 33, pp. 5060-5065, 2008.
- [7]M.G.Sobacchi , A.V.Saveliev , A.A.Fridman , L.A.Kennedy , S.Ahmed , T.Krause , “ Experimental assessment of a combined plasma/catalytic system for hydrogen production via partial oxidation of hydrocarbon fuels ” Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 27, pp. 635-642, 2002.
- [8]G.Petitpasa , J.-D.Rolliera , A.Darmonb , J.Gonzalez-Aguilara , R.Metkemeijera , L.Fulcheria , “ Acomparative study of non-thermal plasma assisted reforming technologies ” International Journal of Hydrogen Energy vol. 32, pp.2848-2867, 2007.
- [9]Bromberg L, Cohn DR, Rabinovich A, Alexeev N, Samokhin N, Hadidi K, et al, “ Onboard plasmatron hydrogen production for improved vehicles ” PSFC JA-06-03, 2006.
- [10]Broberg L, Hadidi K, Cohn DR, “ Experimental investigation of plasma assisted reforming of propane ” PSFC/ JA-05-15, 2005.
- [11]Roth, J. R., “ Industrial Plasma Engineering, ” V.1: Principles, IOP Publishing Ltd, Bristol and Philadelphia ,1995.
- [12]Maher I. Boulos “ Thermal Plasma Processing ” IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE. VOL. 19, NO.6, DECEMBER 1991.
- [13]D. S. Rickerby A. Matthews “ Advanced Surface Coatings: a Habdbook of Surface Engineering ” ,Blackie & Son Ltd., London, p. 196. 1991.
- [14]Anderson, Edward E. “ Thermodynamics ” PWS Publishing Company 1994.
- [15]郭福升、孫亦文、洪昭南 “ 大面積常壓電漿技術之研究 ” 成功大學，民國92年。
- [16]Jocelyn Luche, Olivier Aubry, Ahmed Khacef, Jean-Marie Cormier “ Syngas production from methane oxidation using a non-thermal plasma: Experiments and kinetic modeling ” ,Chemical Engineering Journal 149 35-41, 2009.
- [17]張家豪，魏鴻文 “ 電漿源原理與應用之介紹 ” 物理雙月? , 28卷2期 2006。
- [18]Eliasson, B. and Kogelschatz, U. “ Modeling and Applications of Silent Discharge Plasma ” ,IEEE. Trans. Plasma Sci. 19,309,1991.
- [19]傅昭銘 “ 圖解電漿入門 ” 世茂出版有限公司，2007 [20]黃鎮江 “ 綠色能源 ” 全華圖書公司，2008。
- [21]曲新生、陳發林 “ 氫能技術 ” 五南文化事業，2006。

- [22]魏大欽、黃曉鳳 “微波電漿技術應用於甲烷重組之研究” 中原大學化學工程學系碩士論文，民國90年。
- [23]魏大欽、施伯勳 “表面波微波電漿重組甲烷及二氧化碳之研究與反應機制分析” 中原大學化學工程學系碩士，民國94。
- [24]尹慶中、楊宗勳 “電漿重組產氫之電極設計與參數影響研究” 交通大學工學院碩士，民國95年。
- [25]洪榮芳、施宏杰 “火花放電之電漿反應對於甲烷產出氫氣之特性研究” 崑山科技大學機械系碩士，民國93。
- [26]洪榮芳、廖政勳 “燃料電漿轉換器電極材料及形狀對於產氫特性的影響” 崑山科技大學機械系碩士，民國95。
- [27]洪榮芳、蔡賢德 “節能式火花放電之常壓電漿燃料轉換器於低碳燃料之產氫特性研究” 崑山科技大學機械系碩士，民國95。 -77-
- [28]蔡政賢、張琬渝 “常壓微波電漿結合鎳觸媒轉化甲烷產氫之研究”，高雄應用科技大學化學工程系碩士，民國96。
- [29]施明憲 “柴油電漿重組產氫反應器設計”，全國與燃料電池學術研討會，民國95。
- [30]郭政靈、許瑞榮、蘇漢宗、李羅權 “高空大氣放電現象的多樣性與複雜性” 物理雙月?，28卷2期 2006。
- [31]巨研科技股份有限公司 “GC6890介紹” 2002。
- [32]洪昭南 “電漿反應器” 化工技術，2卷3期，124-135，1995。
- [33]Brian Chapman, Glow Discharge Processes, John Wiley & Sons, Inc, United State of America, 1980, Chapter 5.
- [34]K. Pochner, W.Neff, R. Lebert, Atmospheric pressure gas for surfacetreatment, p394-398, 1995.
- [35]陳彥政、洪昭南 “電弧放電之研究及應用” 成功大學，民國93 [36]B.Chapman Glow discharge processes, John Wiley&Sons, Inc, 1980.
- [37]B. Eliasson, U. Kogelschatz “Non Equilibrium Volume Plasma Chemical Processing” IEEE transaction on plasma science, n 6, 19, 1063-1077, 1991.
- [38]J. S. Chang, P. A. Lawless, T. Yamamoto “Corona Discharge Process” IEEE transactions on plasma science, vol. 19, no. 6, 1152, 1991.
- [39]U. Kogelschatz, B.Eliasson, W. Egli “From ozone generators to flat television screens: history and future potential of dielectric-barrier discharges” Pure Appl. Chem., vol. 71, no. 10, 1819-1828, 1999.
- [40]M. A. Lieberman, and A. J. Lichtenberg, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing. New York, Wiley, 1994.
- [41]S.W.Chau, K.L.Hsua, D.L.Linc, J.S.Chenc, C.C. TzengM “odeling and experimental validation of a 1.2 MW DC transferred well-type plasma torch” Computer Physics Communications, 177 114 – 117, 2007.
- [42]Ji-Jun Zoua, Yue-ping Zhangb, Chang-Jun Liua “Hydrogen production from partial oxidation of dimethyl ether using corona discharge plasma” International Journal of Hydrogen Energy 32 958 – 964, 2007.
- [43]Yazhong Chen, Hengyong Xu, Yuzhong Wang, Guoxing Xiong “Hydrogen production from the steam reforming of liquid hydrocarbons in membrane reactor” Catalysis Today 118, 136 – 143, 2006.
- [44]Surya Shandy, Daniel Westerheim, Alan Cisar, Zoran Minevski, Brian Hennings, and Harry Jabs “Plasma reforming pf heavy fuls” lynntech, Inc 7607 eastmark, college station, tx77840 [45]Yu Chao, Ching-Tsuen Huang, How-Ming Lee, Moo-Been Chang, “Hydrogen production via partial oxidation of methane with plasma-assisted catalysis” INTE RNATI ONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENE RGY 33, 664 – 671, 2008.