

明新科技大學校內專題研究計畫成果報告

竹碳添加氫氧化鉀還原一氧化氮空氣污染物之研究
The Study of NO Air Pollutant Reduction by KOH Contained
in Bamboo Carbon

計畫類別：任務型計畫整合型計畫個人計畫

計畫編號：MUST-化材-6

執行期間：104 年 1 月 1 日至 104 年 9 月 30 日

計畫主持人：陳利強

計畫參與人員：張銘元

處理方式：公開於校網頁

執行單位：化學工程與材料科技系

中華民國 104 年 9 月 30 日

明新科技大學校內專題成果報告

公開授權書

(提供本校辦理紙本與電子全文授權管理用)

本授權書為明新科技大學校內專題研究計畫成果報告授權人：陳利強在明新科技大學 工學院 化學工程與材料科技系所 104年度校內專題研究計畫。

研究計畫編號：MUST-化材-6

研究計畫名稱：竹碳添加氫氧化鉀還原一氧化氮空氣污染物之研究

計畫類型：個人型

執行期限：104年1月1日至104年9月30日

茲同意將授權人擁有研究之上列成果報告：紙本授權全文公開陳列於本校圖書館，為學術研究之目的以各種方法重製，或為上述目的再授權他人以各種方法重製，不限地域與時間，惟每人以一份為限；成果報告之電子檔（含摘要），本校圖書館保留以供文獻典藏使用，但可依使用權限授權於網路公開，提供讀者非營利性質之免費線上檢索、閱覽、下載或列印。

成果報告之電子檔案使用權限授權，請勾選下列一項：

- 校內外立即公開全文(含摘要)
- 校內外立即公開摘要，校內立即公開全文，一年後校外公開全文
- 校外僅於公開摘要，校內立即公開全文，校外永不公開全文

授權人：陳利強

E-Mail：clc@must.edu.tw

中華民國 104 年 9 月 30 日

摘要

本研究使用廢竹筴為原料，於高溫爐中通入氮氣並升溫至 400°C 進行碳化過程，再於 750°C 溫度下，通入二氧化碳進行活化製備竹材活性碳(BAC)。製備好的竹碳經研磨後浸漬於 6N 鹽酸水溶液中進行酸處理，再分別添加不同濃度(3%、6%、10%、20%)比例氫氧化鉀並在不同溫度(30°C、60°C、105°C)下進行乾燥。處理完的竹碳，使用傅立葉轉換紅外線光譜儀(FT-IR)進行官能基測試。以電子顯微鏡(SEM)與比表面積測定儀(BET)量測其表面特性。利用能量色散 X-射線光譜(EDS)來分析表面元素組成。然後使用該系列觸媒分別在無氧及 3%氧環境下於 30-180°C 溫度範圍進行一氧化氮(NO)轉化反應實驗，以探討添加氫氧化鉀後的酸處理竹碳在低溫環境下對 NO 轉化特性影響。再以熱重分析儀(TGA)進行熱重分析，探討觸媒在反應溫度下之熱重損失。

在表面官能基的測試實驗發現，添加 KOH 後的竹碳觸媒其表面酸性官能基團皆有減弱，而 BET 的量測結果也顯示添加 KOH 會降低竹碳表面積，因此可以推斷添加氫氧化鉀所產生的 NO 氧化反應會與竹碳本身的 NO 還原反應有相互競爭的可能。研究顯示在 3%氧環境及反應溫度 60°C 以上時，BAC(30°C，6%KOH)觸媒其 NO 轉化率優於未添加 KOH 之觸媒，其 NO 轉化率在 60°C 時可達 80%，但是在無氧環境下所有添加 KOH 之竹碳觸媒，其 NO 轉化率並無優於未添加 KOH 之試樣。在觸媒的使用壽命上，在 3%O₂ 及反應溫度 180°C 經連續 36 小時的實驗顯示，添加了氫氧化鉀後的觸媒(BAC(30°C，6%KOH)) 的 NO 轉化率與未添加 KOH 之觸媒相近。

關鍵詞：竹碳、酸處理、氫氧化鉀、低溫 NO 轉化反應

Abstract

A bamboo activated carbon is made from the waste bamboo chopsticks in this study. The bamboo chopsticks are carbonized in 400°C at the beginning, then followed by activated in 750°C at the atmosphere of CO₂ to prepare the bamboo activated carbon (BAC). Followed, the BAC is acid treated by 6N hydrogen chloride. After that, the BACs will be impregnated separately in KOH solutions of 0, 3, 6, 10 and 20wt% for one hour. Finally, after filtration, the BACs doping with KOH are dried in conditions of 30, 60 and 105°C separately. The prepared BAC catalysts will be used for the NO conversion reaction. The function groups on the surfaces of the BAC catalysts are also measured by FT-IR. The surface properties of the BAC catalysts are also analyzed by SEM and BET. The elemental analysis of the BAC catalysts is analyzed by EDS. After all, the NO conversion characteristics of the BAC catalysts are tested in the conditions with 3%O₂ and without O₂ at the temperature range 30-180°C to investigate the effects of doping KOH. The BAC catalysts are also tested through the thermo gravimetric analysis (TGA) to study the interrelations between the reaction temperature and thermal gravity.

The FT-IR tests show that the intensity of function groups is decreased in the surface of BAC catalysts which are doping with KOH. The BET tests of the BAC catalysts adding KOH indicate that the specific surface areas are also decreased significantly. Both of the above two effects revealing that there exist the competitions between the NO oxidation reaction by KOH and the NO reduction reaction by activated carbon. The NO conversion experiments in the atmosphere of 3% O₂ and the temperature above 90°C show that the NO conversion of BAC(30°C, 6%KOH) is higher than the BAC without KOH. The NO conversion of BAC(30°C, 6%KOH) reaches 80% in the atmosphere of 3%O₂ and 60°C. But, under the atmosphere without oxidation, all the experiments of the BAC catalysts with KOH indicate that the NO conversions are lower than that without KOH. Finally, the 36hrs life duration tests in 3%O₂ and 180°C show that the NO conversions of the BAC catalyst with KOH is very close to that without KOH.

Keywords : Bamboo carbon, acid treatment, KOH, low temperature NO conversion reaction.

目錄

摘要.....	III
Abstract.....	IV
圖目錄.....	VII
表目錄.....	IX
一、前言.....	1
1.1 緒論.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.2.1 活性碳簡介.....	2
1.2.2 活性碳之製造.....	2
1.2.3 活性碳之結構與組成.....	3
1.2.4 活性碳之官能基.....	4
1.2.5 活性碳觸媒除 NO 之反應.....	6
二、研究目的.....	8
三、研究方法.....	9
3.1 實驗設備.....	9
3.1.1 藥品.....	9
3.1.2 氣體.....	9
3.1.3 實驗設備.....	9
3.2 實驗方法.....	13
3.2.1 竹碳製作.....	13
3.2.1.1 碳化過程.....	13
3.2.1.2 活化過程.....	13
3.2.1.3 燒失率計算.....	14
3.2.1.4 竹碳酸處理.....	14
3.2.1.5 酸處理之竹碳添加氫氧化鉀.....	14
3.2.2 熱重分析儀(TGA).....	15
3.2.3 傅立葉轉換紅外線光譜儀(FT-IR).....	16
3.2.4 掃描式電子顯微鏡(SEM)&能量色散 X-射線光譜(EDS).....	16
3.2.5 比表面積分析儀(BET).....	17
3.2.6 觸媒性能測試.....	18
3.2.6.1 反應測試裝置.....	18
3.2.6.2 NO 性能測試.....	18
四、結果與討論.....	20
4.1 添加氫氧化鉀對酸處理竹碳物理性質之影響.....	20
4.1.1 竹碳燒失率與處理之增損.....	20
4.1.2 表面官能基.....	21

4.1.3 改質竹碳之比表面積量測.....	23
4.1.4 改質竹碳之 SEM 檢測分析	23
4.1.5 改質竹碳之 EDS 及 XRD 檢測分析.....	27
4.2 無氧環境下添加氫氧化鉀對酸處理竹碳 NO 轉化率之影響.....	27
4.3 有氧環境下添加氫氧化鉀對酸處理竹碳 NO 轉化率之影響.....	30
4.4 添加氫氧化鉀對酸處理竹碳之熱重分析(TGA)影響.....	32
4.5 添加氫氧化鉀對酸處理竹碳之觸媒活性壽命之影響.....	34
五、 結論.....	37
六、 參考文獻.....	38

圖目錄

圖 1.1 活性碳內部構造圖[Rodriguez-Reinoso, 1998].....	4
圖 1.2 活性碳表面可能的含氧酸性官能基[Boehm,1994]	5
圖 1.3 活性碳表面可能的含氧鹼性官能基[Boehm,1994]	5
圖 3.1 高溫加熱爐.....	10
圖 3.2 氣體質量流量控制器.....	11
圖 3.3 小型焚化爐.....	11
圖 3.4 氣體質量流量計.....	12
圖 3.5 氮氧化物分析儀(左)、pH 計(中)、熱偶溫度顯示計(右).....	12
圖 3.6 竹碳製作之流程圖.....	13
圖 3.7 竹碳酸處理之流程圖.....	14
圖 3.8 酸處理竹碳添加氫氧化鉀之流程圖.....	15
圖 3.9 TGA-50 熱重分析儀.....	15
圖 3.10 傅立葉轉換紅外線光譜儀(FT-IR).....	16
圖 3.11 JSM-6700 型掃描式電子顯微鏡.....	17
圖 3.12 SA3100 比表面積及孔隙分析儀.....	17
圖 3.13 觸媒性能反應測試裝置圖.....	19
圖 4.1 酸處理竹碳與添加 KOH 後之酸處理竹碳之 FT-IR 量測.....	22
圖 4.2 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的表面放大 1,000 倍之 SEM 影像.....	24
圖 4.3 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的表面放大 10,000 倍之 SEM 影像.....	25
圖 4.4 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的表面放大 70,000 倍之 SEM 影像.....	26
圖 4.5 6N HCl(BAC)之元素分析 EDS 圖.....	27
圖 4.6 30°C 乾燥之 6% KOH(BAC)之元素分析 EDS 圖.....	27
圖 4.7 乾燥 30°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在無氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm).....	28
圖 4.8 乾燥 60°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在無氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm).....	29
圖 4.9 乾燥 105°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在無氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm).....	29
圖 4.10 乾燥 30°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在 3% 有氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm).....	31
圖 4.11 乾燥 60°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在 3% 有氧環境下之 NO 轉化率與	

反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm).....	31
圖 4.12 乾燥 105°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在 3% 有氧環境下之 NO 轉化率與 反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm).....	32
圖 4.13 6N HCl(BAC)與 30°C 6% KOH(BAC)在氮氣環境下的熱重分析	33
圖 4.14 6N HCl(BAC)與 30°C 6% KOH(BAC)在空氣環境下的熱重分析	33
圖 4.15 6N HCl(BAC)在不同溫度環境下進行 6 小時之壽命測試.....	35
圖 4.16 30°C 6% KOH(BAC)在不同溫度環境下進行 6 小時之壽命測試.....	35
圖 4.17 6N HCl(BAC)與 30°C 6% KOH(BAC)在溫度 180°C 下進行 36 小時之壽命測 試	36

表目錄

表 4.1 竹碳觸媒處理過程之重量增損率(wt%).....	20
表 4.2 判讀 FT-IR 官能基團的方法.....	21
表 4.3 竹碳及酸處理後之竹碳表面量測特性.....	23
表 4.4 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的 EDS 分析數值(單位:wt%).....	27
表 4.5 添加 KOH 的竹碳觸媒之最適製作與操作條件說明.....	36

一、前言

1.1 緒論

在科技發展迅速的現代社會，人們的生活日漸便利，生活水準也隨之提高。伴隨而來的是工廠、大樓、汽機車數量越來越多，排放大量的煙道氣及廢氣使得環境遭受汙染。因此如何降低空氣汙染的發生以及減少對環境的破壞是目前世界各國關注的議題。

工廠排放的煙道氣和汽機車排放的廢氣中包含了氮氧化物(NO_x)及硫氧化物(SO_x)，這些化合物是造成酸雨(acid rain)和光化學煙霧(photochemical smog)的主要來源[劉，1998]。氮氧化物是形成臭氧的前驅物質之一，大氣中氮氧化物以NO、NO₂、NO₃及N₂O型態存在，一般廢氣中所謂的氮氧化物(NO_x)是指NO及NO₂，NO在大氣中會氧化成NO₂，而NO₂受陽光照射後，又會分解回NO及氧原子，氧原子與氧分子結合可進一步形成(O₃)[黃，2001]。由於氮氧化物的廢氣排放中NO約為90%以上，所以一氧化氮(NO)的去除成為改善氮氧化物空氣汙染的重要課題。

隨著飲食習慣的改變，外食族的比例也隨之提高，各家餐廳大都會提供免洗筷，而免洗筷是一種即用即丟的物品，若能回收製備成活性碳，並加以利用，便能化腐朽為神奇，創造附加價值。竹材製備的活性碳具有多孔性，能夠分解和吸附水與空氣中的雜質。並且擁有除臭、除溼、淨化水質的功能。

活性碳為多孔性的結構，大多為碳原子，也有少量化學性鍵結的異相原子，主要為氧及氫[Auer et al., 1998]。此外，在活性碳中可能含有一些惰性物質(其種類和含量取決於原料物質)，通常以灰分含量表示之[Bansal et al., 1988]。典型的活性碳化學結構是由芳香族的薄片及細長片所組成，通常成彎曲狀，類似木屑刮下的薄片與紙張弄皺後的混合物，而於片與片之間存在著分子維度不同的缺口，即為所謂的微孔洞，通常被認為是狹長的形狀[Stoekli, 1990]，例如椰殼活性碳即屬於此種片狀結構。活性碳內部高度複雜的結構是取決於原料物質的種類與活化處理的方法，其中活化程度可調整原焦炭中芳香族片狀減少的數目，並遺留下一些單一且非平面的層狀結構，因此可調整決定活性碳最終的孔隙度，其所具有的孔隙度通常可分為數個範圍：微孔： $<2\text{nm}$ ；中孔： $2-50\text{nm}$ ；巨孔： $>50\text{nm}$ [Rodriguez-Reinoso, 1998]。活性碳大部分的表面積皆為微孔所貢獻(大於50%)，且大部分的吸附亦均發生在微孔中。雖然中孔與巨孔在活性碳的孔洞結構中所佔的比例較少，但因被吸附物質必須透過中孔與巨孔才能擴散至微孔中，故中孔與巨孔在吸附程序中亦扮演相當重要的角色。在活性碳的微結構基礎面中可能會含有不同的缺陷、斷層、及裂痕，而這些都有可能作為氧的化學吸附位置。當分子氧被引至不含氣體的碳表面時，其可能是物理性(可逆吸附)或化學性吸附於表面，而該吸附型態的發生主要是受溫度所支配。一般而言，低溫的吸附是完全可逆的，隨著溫度的增加，化學吸附氧會跟著增加，且分子氧會解離成原子氧而與碳原子產生

化學反應形成氧表面化合物。此外，碳-氧表面基位的形成不僅是來自於與氧的反應，亦可經由與氧化性氣體(臭氧、氮氧化物、二氧化碳...等)或氧化性溶液(硝酸、過氧化氫...等)產生。碳的氧表面複合物之性質及數量主要是受其比表面積、顆粒粒徑、灰分含量、溫度、及碳化程度所影響[曾，2002]。

由於活性碳廉價及優越的結構特性，近年來以活性碳製作觸媒並用在NO還原反應領域受到廣泛的研究 [Illan-Gomez et al., 1996; Zhu et al., 2000]。特別是以活性碳為擔體時，經過酸處理，可以增加其表面的酸性含氧官能基，提升整體的催化活性。

1.2 文獻回顧

1.2.1 活性碳簡介

活性碳的主要成分為碳(C)，同時也含有來自原料或是添加物的少量或微量之無機物質，活性碳(Activated Carbon)為多孔性碳體的合稱。製造方法為將含碳物質碳化(carbonization)，再經過活化(activation)而得。

凡存於自然環境中之含碳成分較多的動、植、礦物之物質，經過適當處理後均能成活性碳。近年來作為活性碳原料的來源更為多樣化。目前使用之原料主要有：

- 1.動植物方面：例如木材、稻殼、椰子殼、動物骨骼等。
- 2.人工合成原料方面：人造纖維、聚丙烯樹酯、橡膠等。
- 3.礦石及燃料方面：焦炭、瀝青、泥煤、石油蒸餾殘渣等。

目前商業化的活性碳原料以木材、椰子殼和煤為主，在選擇原料時，優先考量的準則包含灰份含量、價格、儲存之壽命以及取得之難易[蔡等人，1993]。

1.2.2 活性碳之製造

活性碳是孔隙構造及比表面積較大的碳素材料，因而廣泛應用於工業上供作吸附材及觸媒載體使用，其來源在自然環境中存在之動植物及礦物，只要具高含碳量都可為製造活性碳的原料。目前商業活性碳以煤、木材和椰子殼最多，其中又因煤在自然界的蘊藏量豐富，且價格低廉，因此有多數的活性碳是由煤所製造而成，由於煤本身吸附及表面活性不佳，因此需以碳化(carbonization)及活化(activation)等過程來增加其吸附能力。碳化與活化的過程分述如下：

1.碳化

碳化，簡單的定義為：有機化合物藉由熱，轉換變成碳[Lewis, 1982]。又稱為熱裂解(pyrolysis)。它是指在惰性氣體中，用高溫將高分子物質中的非碳原子(氫、氧、氮、硫等)，以揮發物(gas)和焦油(tar, liquid)形式釋出。非碳原子釋出後，此物質就形成由芳香族頁片和條鏈(aromatic sheets and strips)所構成的焦炭結構。此結構樣式可以比喻為木屑削片和皺摺紙混合在一起，焦炭的孔隙就是由介於層間的切縫(gap)所造成的。因此物質經過碳化的焦炭產物已具備輕微的孔隙

度。

整個碳化過程中，依照溫度能清楚地分為三個階段 [Rodríguez-Reinoso and Molina-Sabio, 1992]：

(1) 300-470K 水份的損失。

(2) 470-770K 初步的熱裂解，釋出大部分的氣體和焦油，並且形成基本的焦碳結構。

(3) 770-1120K 焦碳的結構鞏固，熱重損失已經非常微量。

隨著碳化溫度的提高或是時間的延長，重量會有明顯的損失。特別是在第(2)階段，伴隨而來的是整體密度(bulk density)的降低。但是整體密度降低至一定程度(1120K)之後，又會有些許的增加，這可能是由於焦結現象(caking)破壞孔隙度，或者是因為焦油沈澱或分解而填充孔隙所造成。綜上所述，可知碳化是一種芳香族形成加上聚合作用(polymerization)的程序[Lewis, 1982]，[黃，2002]。

2. 活化

經碳化處理後的焦碳，由於孔隙度不足，需要再經過活化程序才能增加表面積和孔體積，藉此提高吸附能力。活化的方式可分物理活化和化學活化。本實驗擬採用物理活化方式製得所需之竹碳觸媒。物理活化就是指在溫度約850-1200K，將碳化過後的焦碳，與水蒸氣、二氧化碳等氣體或其混合物發生部分氣化反應[Rodríguez-Reinoso and Molina-Sabio, 1992]。當物理活化發生時，焦油的沈澱物首先會被排除，當沈澱物經由氣化去除後就會有孔體積和孔表面積的發生。接下來的反應就藉由打開的孔隙，活化劑擴散到粒子內部，因此孔隙度就隨著活化程度逐漸增加，孔的寬度也會逐漸加大，但是這並非完全的增加關係。當活化達到某程度，便會有最大值出現，這是因為孔隙發展過程在高的活化程度時，孔洞間的互相貫穿而導致孔隙度下降。活化程度和孔隙度及孔大小分佈的關係也和所採用的活化劑有明顯的關係。

1.2.3 活性碳之結構與組成

活性碳是多孔性的結構，大多為碳原子，亦有少量化學性鍵結的異相原子，主要為氧及氫[Auer et al., 1998]。而在活性碳中可能含有惰性物質(其種類和含量取決於製造原料)，通常以灰含量表示[Bansal et al., 1988]。活性碳之結構可分成兩種：一為石墨化活性碳，另一種為非石墨化活性碳，是由亂層結構(random structure)所構成之結晶，其排列較不規則，主要是由具有脂肪族鏈狀構造之碳與芳香族周圍之碳或其結晶，以類似酚類樹脂之方式作不規則的交聯結構所構成[劉，1998]。

無論何種結構形式之活性碳，皆具有發達的孔隙構造，活性碳孔隙依其孔徑之大小，可分為下列三個等級：

1. 微孔 (micro-pore)：孔徑小於2 nm。

2. 中孔 (meso-pore)：孔徑介於2~50 nm。

3. 巨孔 (macro-pore)：孔徑大於 50 nm。

活性碳大部分的表面積皆為微孔所貢獻(大於50%)，且大部分的吸附亦均

發生在微孔中。雖然中孔與巨孔在活性碳的孔洞結構中所佔的比例較少，但微孔大多分佈在中孔與巨孔之中，因此吸附物質必須透過中孔與巨孔才能擴散至微孔中，如圖1.1所示，所以中孔與巨孔在吸附程序中亦扮演了相當重要的角色。

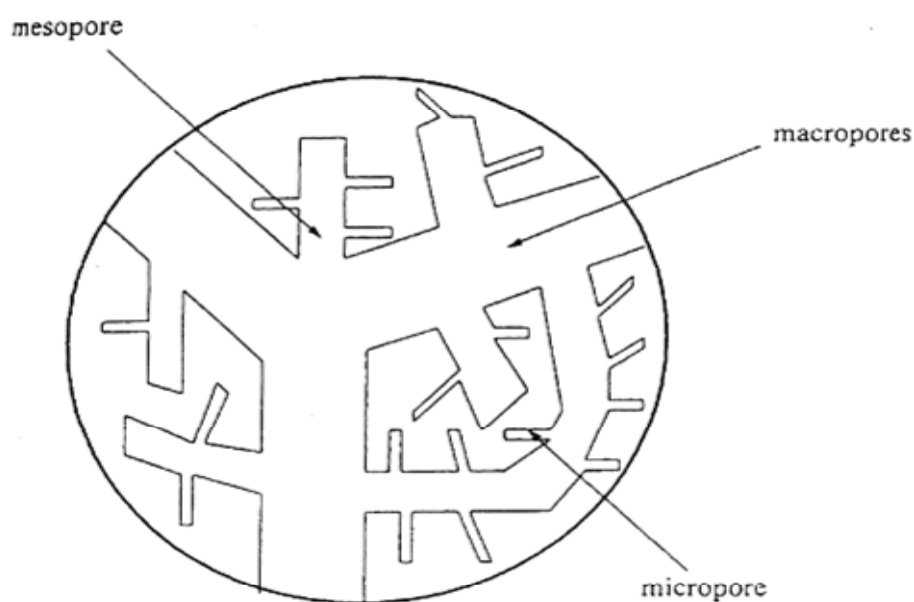


圖 1.1 活性碳內部構造圖[Rodriguez-Reinoso, 1998]

1.2.4 活性碳之官能基

活性碳由類似石墨或亂層構造的極微小結晶所組成，並含很多結晶末端的稜鏡面，其表面有大量以活性氫或含氧基為主的表面官能基，這些表面官能基多半對表面吸附之特性有所影響。[Hall, 1992]發現製造活性碳的活化過程中會產生官能基，或藉由氧的化學吸附而生成。[Park, 2001]認為在碳化或活化溫度於800°C以下時，表面含氧官能基不穩定，會形成鹼性官能基，而活性碳之酸性表面性質主要為酸性官能基所導致[Boehm, 1994]。酸性官能基又以carbonyl、carboxyl、phenolic、hydroxyl、lactone及quinone等官能基為主，相較於酸性官能基，鹼性官能基較無明確規定，通常結構中有類似chromene及pyrone者即屬於鹼性官能基[Tomon et al., 1996]。在某特定溫度下，表面含氧官能基會釋放出CO₂或CO其中一種氣體，也可能會同步釋放出CO₂和CO。表面含氧官能基的生成可改變活性碳的表面化學性質，使活性碳更具親水性、降低等電點之pH值和增加表面負電荷密度[Pasel et al., 1998]。

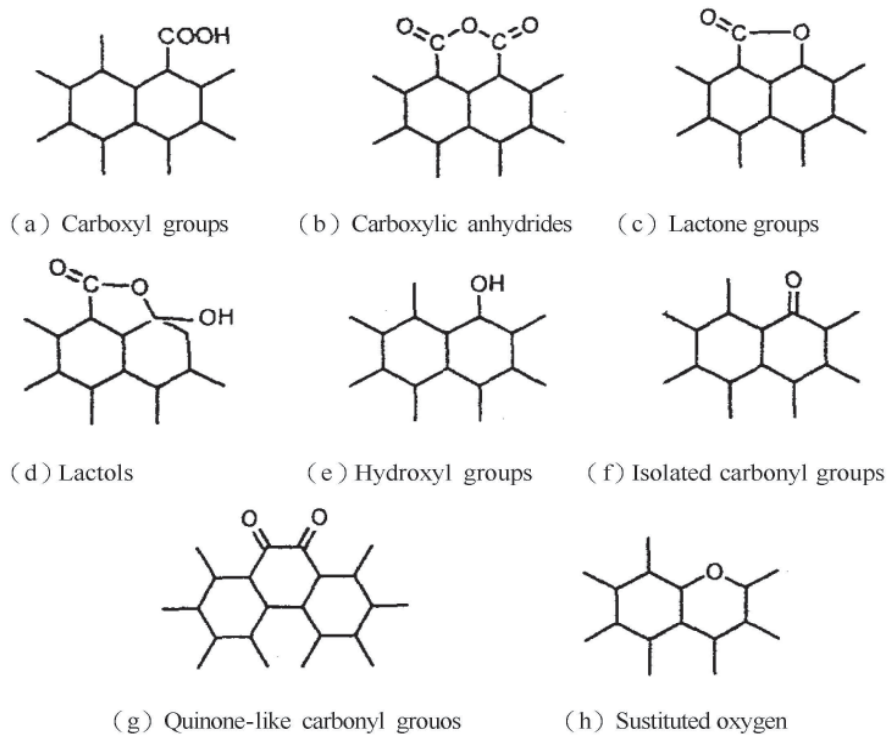


圖 1.2 活性碳表面可能的含氧酸性官能基[Boehm, 1994]

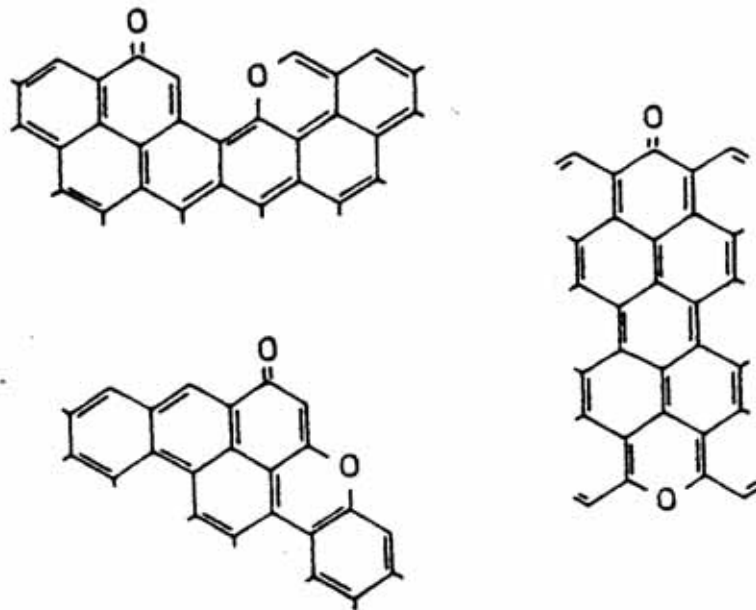
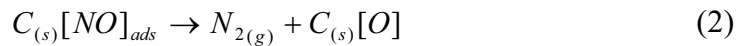
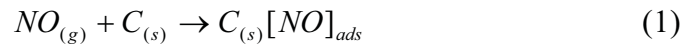


圖 1.3 活性碳表面可能的含氧鹼性官能基[Boehm, 1994]

1.2.5 活性碳觸媒除 NO 之反應

使用活性碳觸媒的 NO 還原反應又可分為添加 NH₃ 作為還原劑與無添加 NH₃ 兩種，其中添加了 NH₃ 作為還原劑的活性碳觸媒除 NO 反應，其主要反應方程式與傳統的 SCR 法相同，無添加 NH₃ 的活性碳觸媒除 NO 技術由於活性碳可同時扮演觸媒及還原劑的角色，其反應與 SCR 反應有顯著的不同。

無添加 NH₃ 作為還原劑的活性碳除 NO 技術，可避免氨儲存的安全性以及氨逸散於廢氣中造成二次污染等問題，因此受到學者專家們的重視，在此類反應中，活性碳也扮演還原劑的角色使 NO 被還原，而其本身則被氧化而釋出 CO₂ 及 CO 等氣體。根據[Khristova et al., 1998]及[Mehandjiev et al., 1996]的研究，在無 NH₃ 環境下除 NO 的反應可表示為：

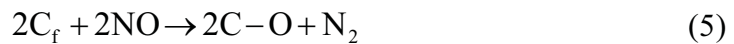


而在微氧的情況下，O₂ 會與活性碳反應而釋出一氧化碳(CO)，而 CO 具有還原劑的效果可促進 NO 的還原：



上述的反應點出了 NO 被還原而形成主要產物為 N₂ 及 CO₂ 的主要反應。探討 NO 的還原反應並參考 Illan-Gomez 等人[1996]的研究可知，在無氧及無氮的環境下 NO 的還原反應機構是經過 NO 吸附/還原反應、氧傳遞、以及產物脫附反應三個步驟而完成的：

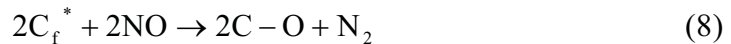
NO 吸附/還原反應：



氧傳遞：



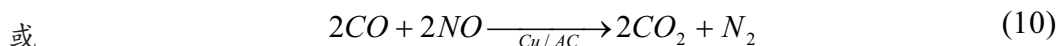
產物脫附反應：



上述諸式中，C_f 代表自由碳活性基，(5)式可解釋活性碳觸媒在低溫時的 NO 還原反應，將 C_f 氧化為 C-O。當溫度逐漸升高時，結合於 C-O 中的氧可在活性碳觸媒表面進行移動而形成表面破氧中間物 C(O)(Carbon-oxygen surface intermediate)，可由(6)式表示。在產物脫附過程中，C(O)可進行分解反應(7)式而形成 CO₂ 及新碳活性基 C_f^{*}(Nascent carbon active site)，新碳活性基再與 NO 反應((8)式)將其還原為 N₂ 且又形成 C-O，如此可持續的將 NO 還原

為 N₂ 並釋放出 CO₂。值得注意的是上述 C-O 等表面氧化物並不侷限於自反應中產生，亦可由活性碳製造過程或是觸媒預氧化過程而得到。

在 Aarna and Suuberg[1997]的 NO-carbon 反應回顧的論文中指出，在 NO 還原反應中加入 CO 對反應速率有促進之效果，其可能發生的反應有下列：



其中(9)式反應會消耗觸媒表面的碳氧官能基(C-O)，但表面碳氧官能基的減少會使活性碳觸媒反應速率逐漸降低。

Zhang[2012]等人使用氫氧化鉀進行改質無煙煤活性碳，並對其使用 SEM、EDS、NO 吸脫附實驗進行測試，分別考證氫氧化鉀溶液濃度、乾燥溫度、反應空氣流速與反應溫度對觸媒處理 NO 性能的影響。結果顯示了活性碳觸媒主要由微孔進行吸附反應，觸媒還原 NO 之效率會隨著空氣流速越高而減低，並隨著反應溫度的增加呈現先升高後降低的趨勢，另外經過 30°C 乾燥的 20%KOH 試樣在 30°C、15000h⁻¹ 的反應環境下，其 NO 轉化率約可達 73%。

添加 KOH 的活性碳觸媒反應機制如下所示：

活性碳觸媒處理 NO_x 的反應程序為：

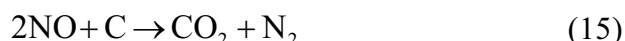


再經由添加之 KOH 進行吸附反應



適量的 KOH 與充足的 O₂ 對於活性碳觸媒吸附處理 NO，可加速反應(11)及(13)的進行，因而提高 NO 去除率，該去除率提高的部分主要是靠氧化反應將 NO 氧化為 NO³⁻，此反應之反應機制不同於活性碳係將 NO 還原為 N₂(見反應(12))。

再經由公式(5)至公式(7)的整合，建議可將公式(12)的反應機制改寫成下式：



二、研究目的

本研究之目標在研發操作溫度低、廉價、及效率高的活性碳觸媒還原一氧化氮空氣污染物技術，期使能具有應用於固定污染源及移動污染源改善其氮氧化物排放之潛力。

經由本實驗室研究之相關碩士論文中，楊[2013]以竹筴為原料製作竹碳，以二氧化碳物理活化法改變不同竹碳活化溫度而製作活性碳，再應用於還原一氧化氮(NO)空氣污染物，竹碳觸媒具有比傳統 NO 還原觸媒(例如:TiO₂/V₂O₅)更為廉價、環保的優點。該研究顯示以活化溫度 850°C 製作之竹碳雖具有最高 NO 還原性能，但在此溫度下活化製作竹碳之燒失率太高使得竹碳產率下降，劉[2014]則以 750°C 作為竹碳之活化溫度，並探討酸處理對竹碳還原一氧化氮性能之影響，該研究指出竹碳使用 6N 鹽酸水溶液(HCl_{aq})進行酸處理改質後，對其比表面積的增加有最大的效果。故本研究採用鹽酸作為酸處理之試劑。於製備酸處理竹碳後再進一步添加不同濃度的氫氧化鉀(KOH)，並以添加 KOH 之酸處理竹碳作為一氧化氮還原反應之觸媒進行研究，期能提升以洗筴為材料製作竹碳觸媒，應用於低溫(30 至 180°C)NO 還原反應之性能。

三、研究方法

本研究為在 400°C 之環境下將切割成約 5 公分長度的竹篾段碳化，再利用二氧化碳在活化溫度 750°C 下活化製成竹碳活性碳，然後使用 6N 濃度之鹽酸水溶液進行酸處理提高其比表面積，最後再經過不同重量比(3%、6%、10%、20%)之氫氧化鉀水溶液處理後，並在不同溫度(30°C、60°C、105°C)下乾燥。探討其對 NO 去除反應之效果，分別在無氧及 3% 氧的反應條件下去除一氧化氮空氣污染物。在實驗過程中，除了用到製備觸媒及測試觸媒用的氣體外，另還採用觸媒反應測試裝置、氫氧化物分析儀、熱重分析儀以及比表面積測定儀等設備來進行觸媒性能的測試與量測。以下就本實驗所使用之氣體、儀器設備、竹碳觸媒之製備方法、觸媒性能測試方法及儀器分析等分述如下：

3.1 實驗設備

3.1.1 藥品

本研究所使用的藥品除竹碳為自製之外其餘皆為試藥級藥品，分別敘述如下：

1. 自製竹碳(Bamboo Activated carbon)，粒徑:0.15~0.42mm
2. 鹽酸(Hydrochloric acid)，濃度 12N(EP 級)，島久藥品
3. 氫氧化鉀(Potassium hydroxide)，試藥級，島久藥品

3.1.2 氣體

本研究所使用的氣體分為觸媒製備用之氣體及反應測試用之氣體，分別敘述如下：

製作竹碳之氣體：

1. 二氧化碳：濃度 99.97%，健發氣體公司。
2. 氮氣：濃度 99.97%，健發氣體公司。

觸媒製備用之氣體：

3. 二氧化碳：濃度 99.97%，健發氣體公司。

反應測試用之氣體：

1. 氧氣：濃度 8%(balance in He)，健發氣體公司。
2. 高純度氮氣：濃度 99.995%，健發氣體公司。
3. 一氧化氮：濃度 2000ppm(balance in He)，健發氣體公司。

3.1.3 實驗設備

本研究之竹碳製作、觸媒反應測試及量測設備可分為竹碳製作、測試設備及氣體分析儀器，分述如下：

竹碳製作設備：

1. 石英舟：1 個
2. 小型焚化爐

實驗之測試設備所包含之元件為：

1. 高溫加熱爐：電子加熱式管狀爐，長 28cm，內徑 3cm。
2. 中空石英反應管：長 45cm，內徑 4mm，用以設置觸媒床。
3. 氣體質量流量控制器：KD4000 / 4CH 型，用以控制氣體流量。
4. 氣體質量流量計：3 支。
5. 熱偶溫度顯示計：熱偶為 K type，長 40cm，外徑 2mm，用以量測反應管內之實際反應溫度。
6. 可調式抽氣泵：日本 TECHNO TAKAISUKI 公司製造之 HIBLOW AIR PUMP，搭配一支精密氣體浮子流量計。
7. 精密氣體浮子流量計：1 支，流量 0~300 ml/min，美國 Aalborg 公司製造之 112-02-A 型。
8. 管線：1/8 in 外徑之不鏽鋼管，用以載送反應氣體。
9. pH 計：台灣 SUNTEX TS-2

氣體分析儀器：

1. 氮氧化物分析儀：NO_x 量測範圍：0-1999ppm，解析度：1ppm，美國 Bacharach 公司製造之 NONOXOR II 型。



圖 3.1 高溫加熱爐



圖 3.2 氣體質量流量控制器



圖 3.3 小型焚化爐

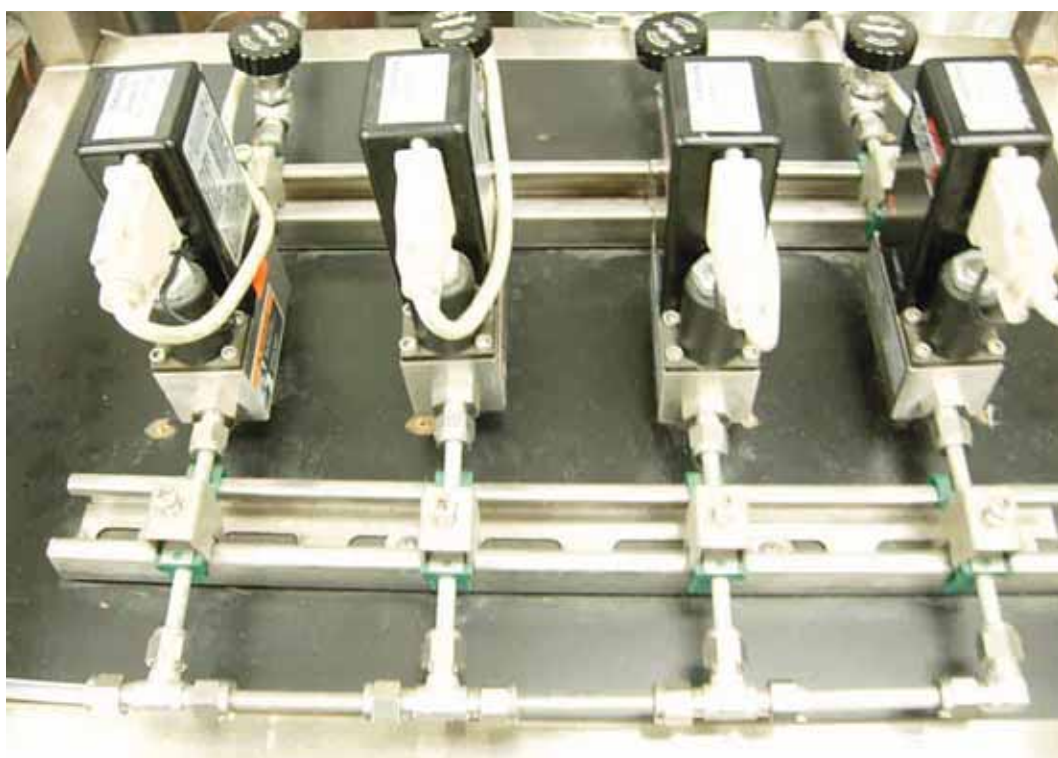


圖 3.4 氣體質量流量計



圖 3.5 氮氧化物分析儀(左)、pH 計(中)、熱偶溫度顯示計(右)

3.2 實驗方法

本研究之實驗方法包括了竹碳製作、竹碳酸處理、酸處理竹碳添加氫氧化鉀以及觸媒性能測試。

3.2.1 竹碳製作

本研究所使用之竹碳製作過程分碳化過程及活化過程兩大部分。製作出竹碳，並研磨篩分出 0.15~0.42mm 粒徑之竹碳(見圖 3.6)。

3.2.1.1 碳化過程

將竹筴切割成多段長度約 5cm，以攝氏 105°C 之烘箱烘乾 1 小時，然後將竹筴段送至高溫爐後以 500ml/min 流量通入氮氣 10 分鐘以去除爐內空氣。並在 10 分鐘後將氮氣流量調整至 200ml/min 並以每分鐘升溫 5°C 之速度上升至碳化溫度(400°C)，到達碳化溫度後需要維持 30 分鐘進行碳化過程。

3.2.1.2 活化過程

碳化過程後先將氮氣關閉，並以 200ml/min 流量通入二氧化碳，並以每分鐘升溫 4°C 之速度上升至活化溫度(750°C)，到達後維持 30 分鐘進行活化過程。

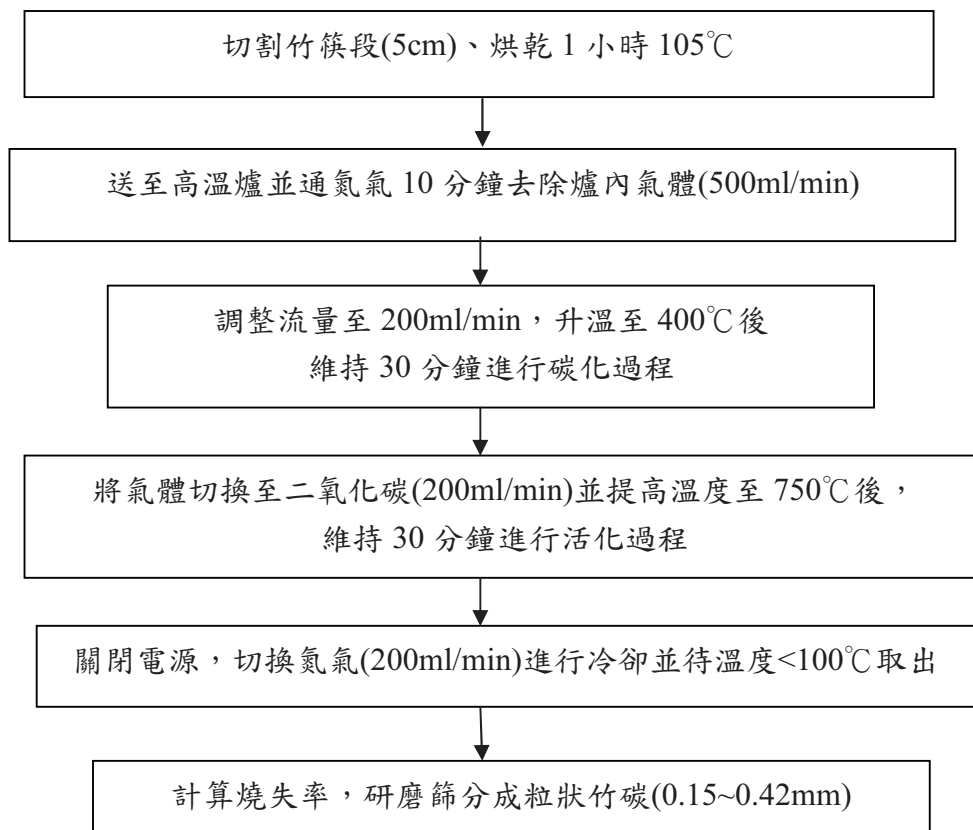


圖 3.6 竹碳製作之流程圖

3.2.1.3 燒失率計算

$$\text{燒失率(Burn off rate)} = [(W_i - W_f) / W_i] \times 100\%$$

W_i : initial bamboo weight 初始物料之烘乾重

W_f : final carbon weight 燒製成品之烘乾重

3.2.1.4 竹碳酸處理

經過研磨篩分之粒狀竹碳(0.15~0.42mm)需以 105°C 之烘箱烘乾 1 小時，烘乾後將其以質量比 1:5 比例浸入 6N 濃度之鹽酸水溶液中並以磁石攪拌 24 小時，再進行攪拌水洗(洗至濾液大於 pH 5)，接著將水洗後粒狀竹碳以 105°C 烘乾，烘乾後計算其酸處理損失量(見圖 3.7)。經酸處理後之竹碳以 BAC(6N HCl)稱之。

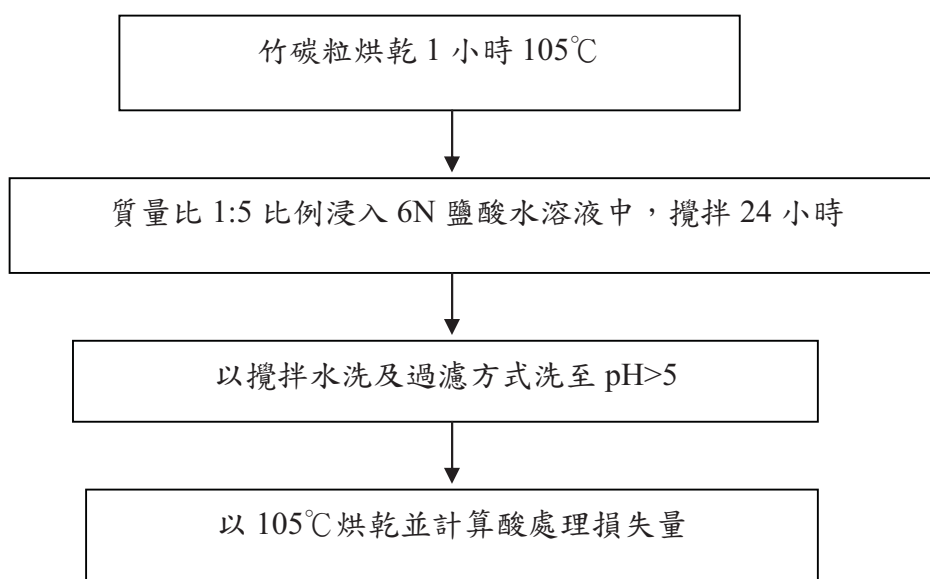


圖 3.7 竹碳酸處理之流程圖

3.2.1.5 酸處理之竹碳添加氫氧化鉀

經過酸處理後的竹碳活性碳先以 105°C 之烘箱烘乾 1 小時，烘乾後浸入不同重量比(3%、6%、10%、20%)的氫氧化鉀水溶液中並以磁石攪拌 1 小時，過濾後分別在不同溫度(30°C、60°C、105°C)下烘乾，烘乾後計算其重量增加量(見圖 3.8)。經 3%KOH 水溶液處理並在 30°C 之下烘乾之竹碳以 BAC(30°C 3% KOH)，於類推。

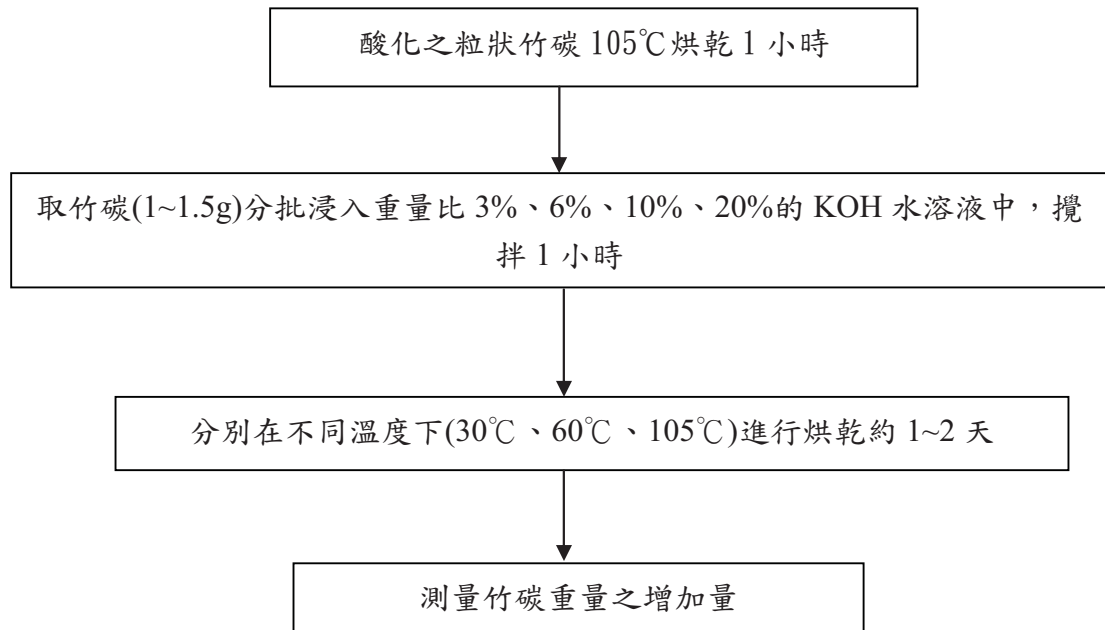


圖 3.8 酸處理竹碳添加氫氧化鉀之流程圖

3.2.2 熱重分析儀(TGA)

為了探討酸處理竹碳及酸處理後添加氫氧化鉀之竹碳的熱重損失，以熱重分析儀(Thermogravimetric Analyzer)對 BAC (6N HCl)與 BAC (30°C 6% KOH) 兩種竹碳進行測試檢驗，各取少量之竹碳觸媒試樣於白金秤盤中，從室溫以 5 °C/min 的升溫速度加熱到 240°C，分別在通空氣與通氮氣兩種反應環境中進行熱重損失實驗，以驗證竹碳觸媒在 NO 還原反應實驗下是否會產生裂解。

熱重分析的原理為在程控溫度下，量測材料隨不同的溫度或時間的重量變化情形，藉由高精度的分析天秤紀錄，再從得到的熱重損失圖譜中判讀樣品所發生的反應。本研究所使用的儀器是日本 SHIMADZU 公司所製造的 TGA-50 型熱重分析儀，如圖 3.9 示。



圖 3.9 TGA-50 熱重分析儀

3.2.3 傅立葉轉換紅外線光譜儀(FT-IR)

為了量測酸處理竹碳及酸處理後添加氫氧化鉀之竹碳的表面官能基，以傅立葉轉換紅外線光光譜儀(FT-IR)對 BAC(6N HCl)、BAC(30°C 3% KOH)、BAC(30°C 6% KOH)、BAC(30°C 20% KOH)、BAC(60°C 6% KOH)、BAC(105°C 6% KOH)，共六種竹碳觸媒進行測試，分別取微量觸媒研磨後與 KBr 混合並壓成錠片(觸媒重量:KBr 重量=1:50)，再置於傅立葉轉換紅外線光光譜儀中進行分析，將實驗所取得之圖譜結果繪製成圖，再做進一步的比較與討論。本研究所使用的儀器是美國 JASCO 公司所製造的 FT/IR-4200 型傅立葉轉換紅外線光光譜儀，如圖 3.10 所示。



圖 3.10 傅立葉轉換紅外線光譜儀(FT-IR)

3.2.4 掃描式電子顯微鏡(SEM)&能量色散 X-射線光譜(EDS)

為探討觸媒的表面結構，本研究以掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscopy)對酸處理竹碳及酸處理後添加氫氧化鉀之竹碳進行掃描，觀察其表面結構並擷取其圖，本研究所使用的儀器是日本 JEOL 公司所製造的 JSM-6700 型掃描式電子顯微鏡，如圖 3.11 所示。其加速電壓為 10kv，解析度為 1nm，放大倍率為 20~650000 倍，傾斜角度為 0~180°，由於竹碳本身即具有導電性，因此在進行操作前，並不需要再鍍上導電薄膜，即可進行觀測。

另外為了探討觸媒表面的元素分佈，使用了能量色散 X-射線光譜(Energy Dispersive Spectrometer)進行分析，其儀器附加於掃描式電子顯微鏡，主要原理為電子束入射於固態材料表面時會引發彈性及非彈性碰撞，除作為掃描式電子顯微鏡的成像之外，另有特性 X 光、歐傑電子等訊號的產生，而各種訊號皆可作為該固態材料分析之用。



圖 3.11 JSM-6700 型掃描式電子顯微鏡

3.2.5 比表面積分析儀(BET)

BET 孔隙分析儀(SA 3100)為樣品在 77K 的溫度下，使用 N_2 進行等溫吸脫附，便可得知其孔隙特性。測量前將樣品放入 $130^\circ C$ 烘箱中乾燥至隔日，再將樣品置入 U 型樣品管並安裝於儀器上，再利用加熱包將樣品管加熱至 $210^\circ C$ 並抽真空使管中壓力低於 10^{-4} torr，藉此除去竹碳中殘餘水分及揮發物質，再將樣品管置於液態氮桶中，使其維持在 77K 低溫下，通入 N_2 後進行測量。測量完成後可得到活性碳之 BET 比表面積(S_p)，本研究所使用的儀器是美國 Beckman Coulter 公司所製造的 SA 3100 比表面積及孔隙分析儀。(圖 3.12)



圖 3.12 SA3100 比表面積及孔隙分析儀

3.2.6 觸媒性能測試

本研究採用固定床式觸媒反應測試裝置來進行觸媒除 NO 性能測試，其反應測試裝置及測試步驟分述如下：

3.2.6.1 反應測試裝置

將針對酸處理竹碳及酸處理後添加氫氧化鉀之竹碳在無氧及 3% 氧條件下進行 NO 還原反應性能測試，採用固定床式觸媒反應測試裝置量測觸媒性能，反應使用的氣體 2000ppm NO in He、8% O₂ in He 及 He 皆由高壓氣體鋼瓶所提供，並各自搭配一支質流量計(mass flow controller)來控制其流量。經由調整各質流量計流量之方式，可導入定量之氣體，在管路中混合後可得固定濃度之反應用混合氣體，再導入反應器內進行 NO 還原反應。反應器是由高溫加熱爐及內徑 4mm 中空石英反應管內添加竹碳觸媒所構成。反應管置入 0.1g 觸媒後，在觸媒床前後兩端各置入少許玻璃纖維棉，以防止觸媒床在實驗過程中遭反應氣體沖散。在觸媒床後方以一 Ktype 之熱偶計量測反應管內之實際溫度，再回饋給高溫加熱爐進行反應溫度之控制。反應用之條件如下：混合氣體流量固定為 81 ml/min、空床速度為 10.75cm/s、觸媒量為 0.1 克、停留時間為 0.2326s、空間速度為 15500 hr⁻¹。經過反應後之氣體再以美國 Bacharach 公司製造之 NONOXOR II 型 NO_x 分析儀分析產物氣體中之 NO 濃度(見圖 3.13)。

3.2.6.2 NO 性能測試

在進行反應測試前，先於反應器中設置一支無添加觸媒床之空反應管，待調整好各反應氣體之流量而得混合氣體後，先量測 NO 之初始濃度值，接著取一支裝有觸媒的反應管替代無添加觸媒的反應管，然後關閉 NO 流量計，進行升溫加熱，待溫度達到預定的反應溫度後，打開 NO 流量計於設定之流量，並與其他氣體混合後維持恆溫反應 2 分鐘，接著量測此時的 NO 氣體維持 5 分鐘，測量其氣體殘餘濃度並記錄之，紀錄結束後關閉 NO 流量計並升溫至下一階段的反應溫度。每次實驗自反應溫度達到 30°C 起開始進行量測，隨後每升溫 30°C 後再進行下一次之量測，直到反應溫度達 180°C 時停止實驗。

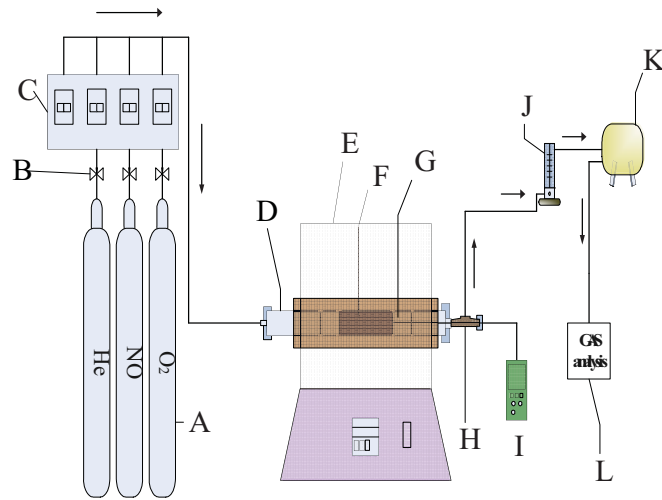
觸媒壽命測試實驗方法與性能測試的差異並不大，不同點是升溫至所需的反應溫度後便不再改變，同時 NO 氣體在實驗過程中必須穩定的通入反應管中，在到達量測時間前的 5 分鐘進行量測 NO 氣體的殘餘濃度，到達時間點後記錄其數值並關閉量測儀器繼續等待至下一個取樣之時間點。

在觸媒性能測試中，本研究將 NO 之初始濃度控制於 360ppm，並改變反應觸媒之種類[BAC(6N HCl)、BAC(30°C 3%KOH)、BAC(60°C 3%KOH)、BAC(105°C 3%KOH)等]、改變反應溫度(30-180°C)、改變含氧量(0%、3%)，來探討竹碳觸媒的 NO 去除性能。觸媒對 NO 的去除能力可用 NO 轉化率(NO conversion)來表示，如下式：

$$\text{NO}_{\text{conversion}} (\%) = \frac{\text{NO}_i - \text{NO}_f}{\text{NO}_i} \times 100\% \quad (23)$$

式中 NO_i ：反應器入口之 NO 濃度，ppm

NO_f ：反應器出口之 NO 濃度，ppm



- A: 氣體鋼瓶 G: 玻璃纖維棉
B: 氣體質量流量計 H: K-type 熱偶計之感溫棒
C: 氣體質量流量控制器 I: K-type 熱偶計
D: 中空石英反應管 J: 精密氣體浮子流量計
E: 高溫加熱爐 K: 可調式抽氣泵
F: 觸媒床 L: NO_x 分析儀

圖 3.13 觸媒性能反應測試裝置圖

四、結果與討論

4.1 添加氫氧化鉀對酸處理竹碳物理性質之影響

4.1.1 竹碳燒失率與處理之增損

表 4.1 為竹碳進行處理過程中產生的增損量數值。竹碳經過碳化及 750 °C 的活化過程後其平均燒失率有 74.87%，此與劉[2014]的結果相近。利用濃度 6N 的鹽酸水溶液進行酸處理的竹碳粒其平均酸化損失率約 5.98%，酸處理過程可以降低竹碳之雜質並擴增竹碳內部孔洞，對其比表面積具有增大之效果[劉，2014]。竹碳在經過不同濃度的氫氧化鉀水溶液中進行添加氫氧化鉀之過程後，其重量增加的比例也不盡相同，表 4.1 顯示竹碳添加 KOH 重量增加量隨鹼水溶液處理之濃度增加而增加，浸泡於 20%KOH 溶液中的竹碳，其重量增加率可達約 15%。

表 4.1 竹碳觸媒處理過程之重量增損率(wt%)

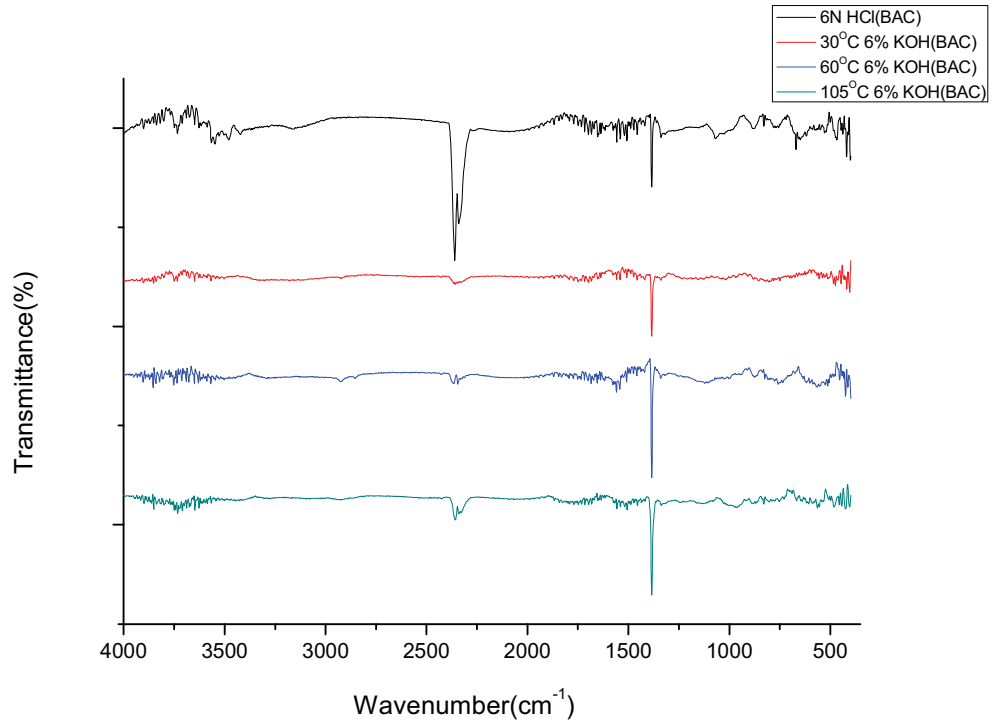
項目	總重量(wt%)
平均燒失率	74.87
平均酸化損失率	5.98
3%KOH 鹼化重量增加率	2.47
6%KOH 鹼化重量增加率	6.02
10%KOH 鹼化重量增加率	7.97
20%KOH 鹼化重量增加率	14.79

4.1.2 表面官能基

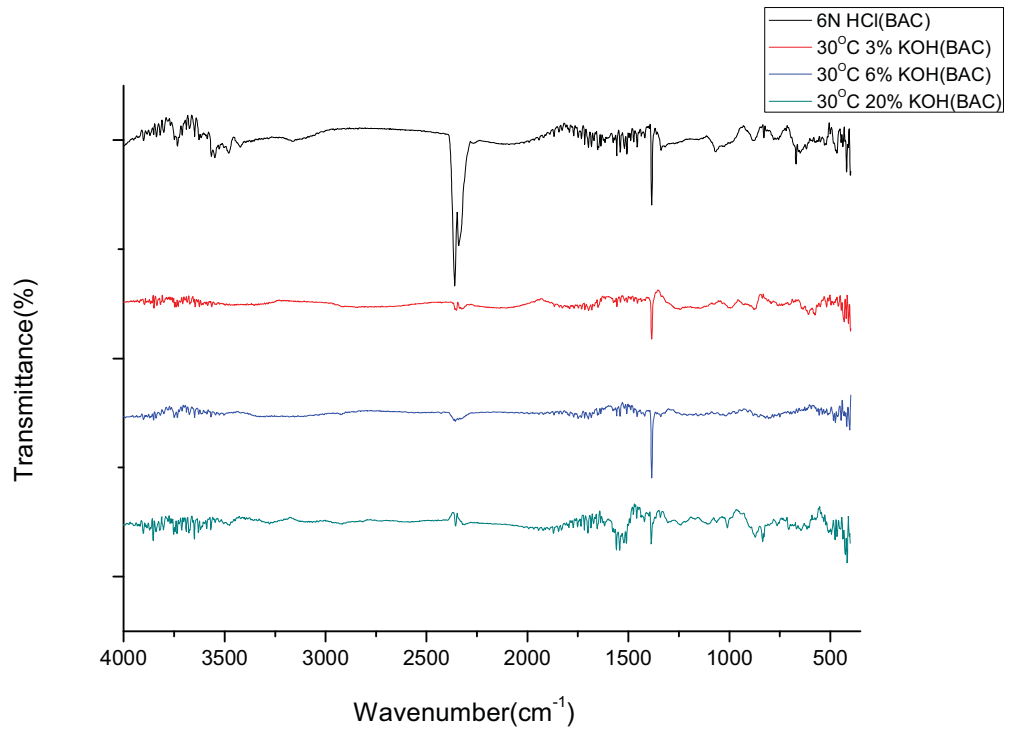
本研究使用傅立葉紅外光光譜儀(FT-IR)量測酸處理竹碳(6N HCl)與添加不同濃度氫氧化鉀(3%、6%、20%)的酸化竹碳之表面官能基，再個別比較不同濃度與不同乾燥溫度條件處理下的 FT-IR 圖譜，其 FT-IR 量測結果總圖如圖 4.1 所示，由 FT-IR 總圖 4-1 可得知，經過酸處理的竹碳與添加 KOH 的酸處理竹碳比較後可發現添加 KOH 竹碳的表面官能基雖然具有相似的表面官能基團但皆有減弱的趨勢，由該圖之吸收峰顯示酸化及添加鹼的竹碳在波長 1500cm^{-1} 附近有 C=C 官能基、 1700cm^{-1} 附近有 C=O 官能基及 3650cm^{-1} 附近有 OH 官能基。其 FT-IR 圖譜判讀官能基團之方法可參照表 4.2，從圖 4-1(a)判讀發現在不同溫度下乾燥的試樣組，其官能基團間的差異性並不大，可以斷定乾燥溫度對於官能基團的影響並不顯著，不過觀察改變添加濃度的試樣發現，添加 KOH(20%)其 FT-IR 圖譜與添加 KOH(3%、6%)的試樣相比下較顯雜亂許多。研判其原因可能為添加過多的氫氧化鉀改變了酸處理竹碳本身帶有的酸性表面官能基團。6N HCl(BAC)在 $2300\text{-}2400\text{cm}^{-1}$ 處之吸收波代表碳-碳三鍵和累積雙鍵的伸展振動，當添加 KOH 後由於竹碳表面一部分被覆蓋，因此圖 4 -1 顯示出該處吸收波有明顯減弱的現象。<http://ppt.cc/H3mtv>

表 4.2 判讀 FT-IR 官能基團的方法(<http://emuch.net/html/201204/4340521.htm>)

波長 (cm^{-1})	紅外線吸收峰	官能基結構
3200~3700	O-H 伸縮振動	羥氫氧基
2700~3000	C-H 伸縮振動	脂肪鏈結構
1650~1770	C=O 伸縮振動	羰基
1610~1680	C=C 伸縮振動	烯鍵
1450~1600	C=C 伸縮振動	芳香族結構
1420~1480	C-H 彎曲振動	脂肪族結構
1360~1430	O-H 和 C-H 彎曲振動	烴基、酸、酚、烯烴、醇
1200~1300	C-O 伸縮振動	不飽和醚
1140~1200	C-H 面外彎曲振動	芳香族結構
1050~1160	C-O 伸縮振動	三級羥基
1070~1120	C-O 伸縮振動	二級羥基
1000~1060	C-O 伸縮振動	一級羥基
625~1000	C-H 面外彎曲振動	烯烴和芳烴



(a) 酸處理竹碳(6N HCl)與不同乾燥溫度之添加 KOH(6%)竹碳之比較



(b) 酸處理竹碳(6N HCl)與 30°C 乾燥溫度下添加不同 KOH 濃度(3%、6%、20%)竹碳之比較

圖 4.1 酸處理竹碳與添加 KOH 後之酸處理竹碳之 FT-IR 量測

4.1.3 改質竹碳之比表面積量測

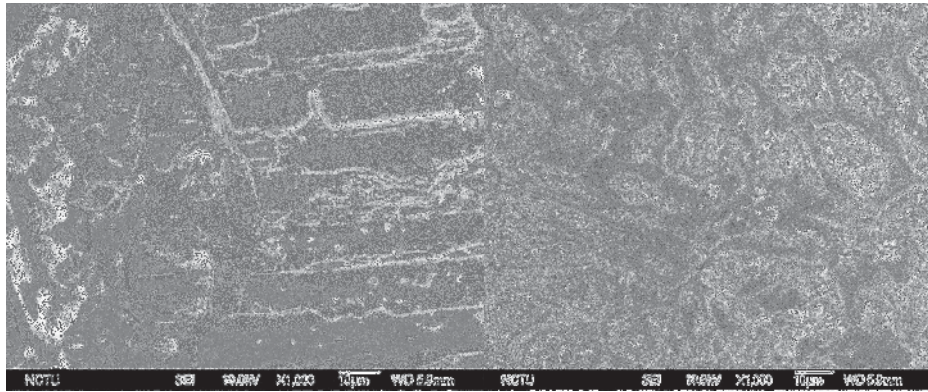
表 4.3 為使用比表面積測定儀(BET)，量測以鹽酸進行酸處理的竹碳(6N HCl)以及分別添加 KOH3%、6%、20%濃度比例並於 30°C 乾燥的酸化竹碳之比表面積，本表可看出無添加氫氧化鉀之空白試樣其比表面積(SP)為最大，該比表面積與劉[2014]的研究相比下，並無太大的差距。而添加 3%與 6%之試樣相比較，其 6%試樣之數據僅略低於 3%，但是其 KOH 添加量卻是 6%試樣較多，而由圖 4.1(b)亦顯示添加 KOH(3%)與添加 KOH(6%)的 FT-IR 圖譜亦非常相似。添加 20%試樣的比表面積(SP)最小的原因，乃因 KOH 添加量太多會造成表面與內部的觸媒孔洞被氫氧化鉀所堵塞所致。

表 4.3 竹碳及酸處理後之竹碳表面量測特性

	SP (m ² /g)	SP 降低率
6N HCl(BAC)	379.85	
30°C 3% KOH(BAC)	301.74	20.56%
30°C 6% KOH(BAC)	296.53	21.93%
30°C 20% KOH(BAC)	59.38	84.37%

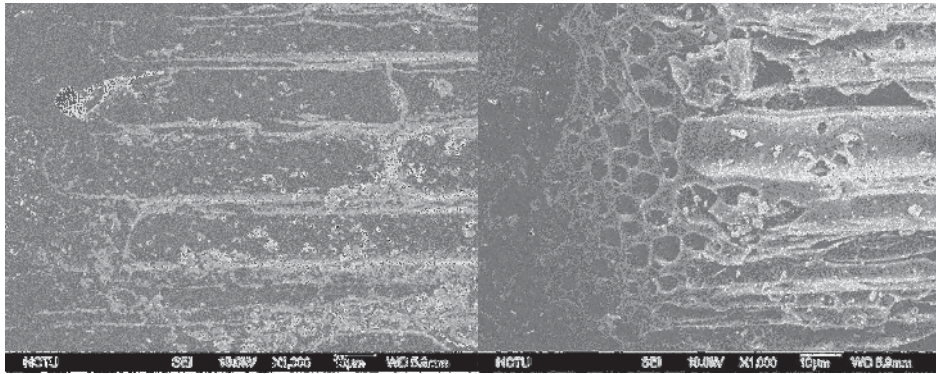
4.1.4 改質竹碳之 SEM 檢測分析

圖 4.2 為 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的表面放大 1,000 倍之影像，由該圖之(a)至(f)顯示，從圖中可見各圖皆有竹碳活性碳特有的蜂巢型管狀結構，其直徑大小約在數微米到數十微米(μm)。未添加的空白試樣與添加 KOH 的試樣相比下，空白試樣(a)表面較為乾淨可見到細小之孔洞，而其他試樣表面明顯可見氫氧化鉀沉積於竹碳表面之上的情形，且隨著 KOH 濃度提高也就越加明顯；而再觀察放大 10,000 倍的 SEM 影像，如圖 4.3((a)至(f))所示，可以觀察到竹碳表面的孔洞狀態與表面氫氧化鉀的沉積，由表 4.3 知其孔洞面積也隨著添加濃度的上升而減小，另外也可清楚的看到提高乾燥溫度後竹碳表面上沉積的氫氧化鉀較為明顯的(圖 4.3(c)至(e)。而圖 4.3(f)則顯示添加高濃度 KOH(20%)時，竹碳表面會出現很多次微米至 1 微米大小的非結晶型氫氧化鉀粒子。若再將之放大至 70,000 倍，如圖 4.4((a)至(f))所示，則可觀察竹碳表面之孔洞大小與孔洞內被堆積的情形，由圖 4.4(c)、(d)、(e)相比較下，同添加濃度但以不同溫度乾燥之試樣，對其孔洞大小並無較顯著的影響。而圖 4.4(f)顯示觀測到表面孔徑為次微米級，此很容易被上述圖 4.3(f)觀測到的粒子所阻塞，而造成 BET 量測之比表面積偏低之現象。



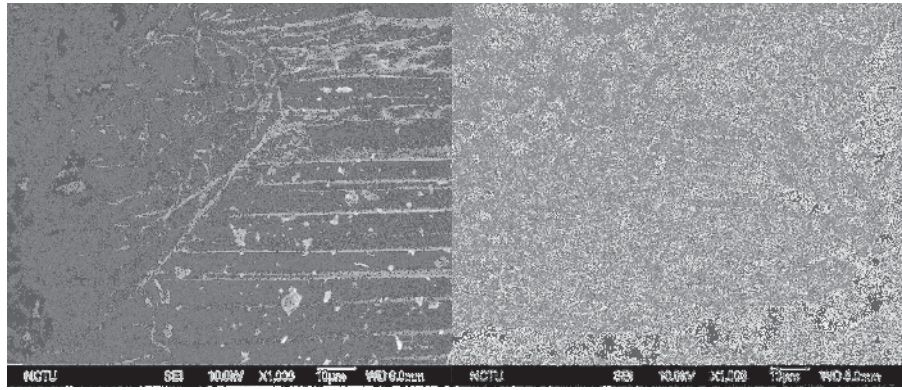
(a) 6N HCl(BAC)

(b) 30°C 3% KOH(BAC)



(c) 30°C 6% KOH(BAC)

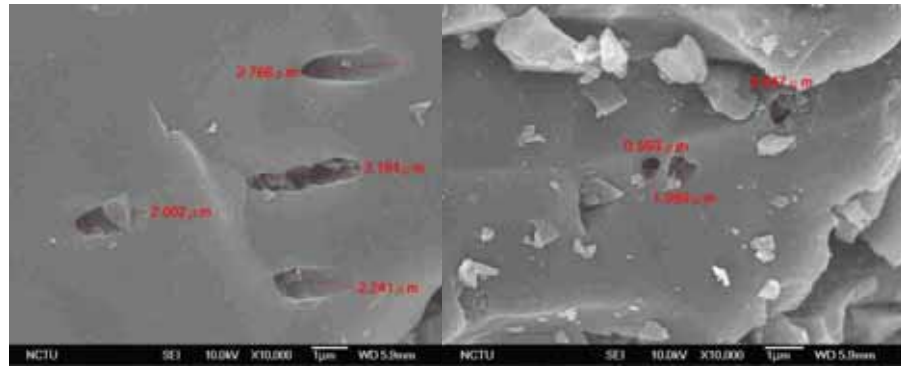
(d) 60°C 6% KOH(BAC)



(e) 105°C 6% KOH(BAC)

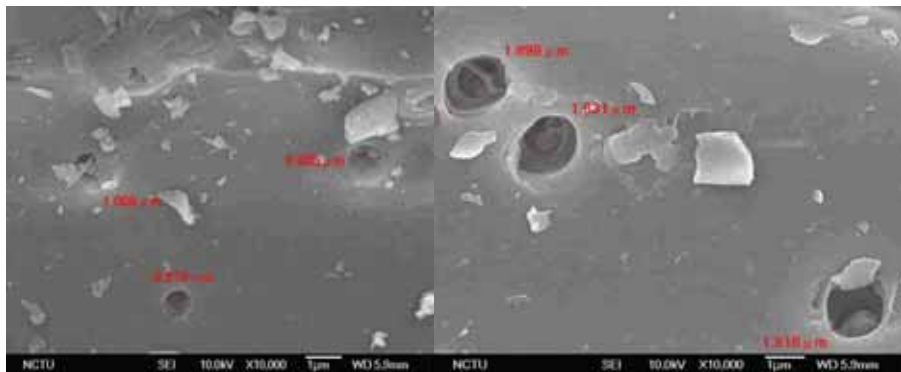
(f) 30°C 20% KOH(BAC)

圖 4.2 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的表面放大 1,000 倍之 SEM 影像



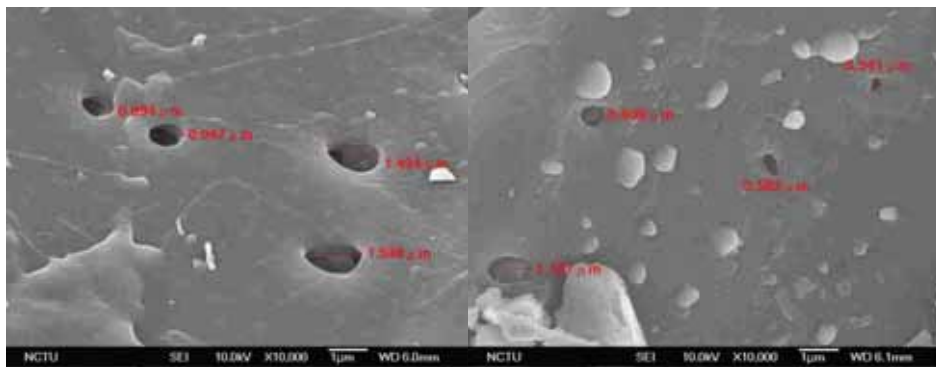
(a) 6N HCl(BAC)

(b) 30°C 3% KOH(BAC)



(c) 30°C 6% KOH(BAC)

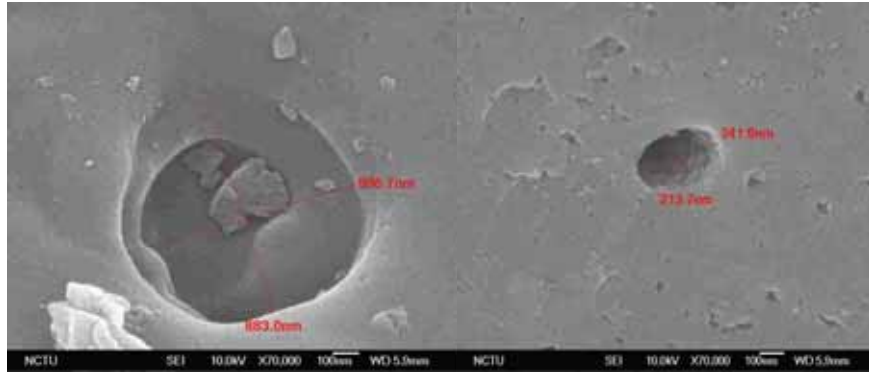
(d) 60°C 6% KOH(BAC)



(e) 105°C 6% KOH(BAC)

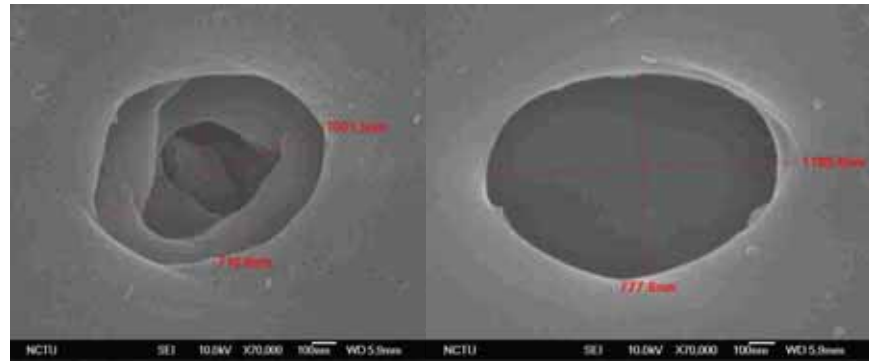
(f) 30°C 20% KOH(BAC)

圖 4.3 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的表面放大 10,000 倍之 SEM 影像



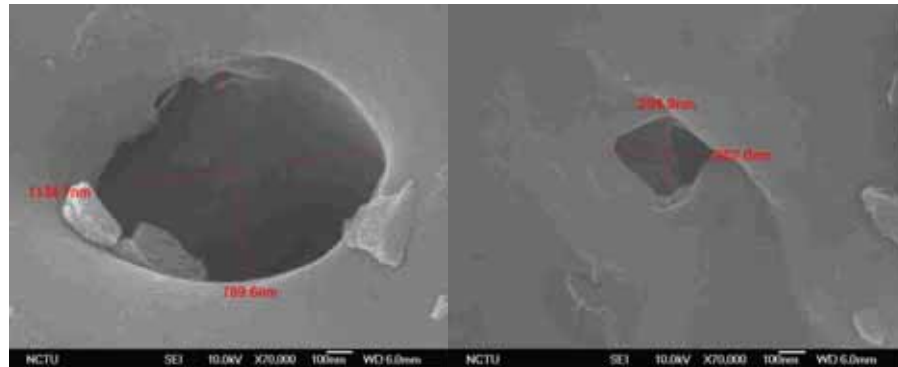
(a) 6N HCl(BAC)

(b) 30°C 3% KOH(BAC)



(c) 30°C 6% KOH(BAC)

(d) 60°C 6% KOH(BAC)



(e) 105°C 6% KOH(BAC)

(f) 30°C 20% KOH(BAC)

圖 4.4 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的表面放大 70,000 倍之 SEM 影像

4.1.5 改質竹碳之 EDS 及 XRD 檢測分析

圖 4.5 與 4.6 為酸處理竹碳與添加 6%KOH 之酸化竹碳的 X 光能量分散光譜儀(EDS)檢測分析圖，表 4.4 為其元素檢測數值，如表所示，活性碳主要由碳(C)與些許的氧(O)所組成，氯(Cl)則為酸處理時所使用的鹽酸(HCl)之殘留。而表 4.4 與圖 4.6 皆可證明添加過氫氧化鉀的酸化竹碳上確實擁有鉀(K)之存在。

使用 XRD 量測添加 6%KOH 之竹碳後發現並無法檢測出數據，證明了添加 KOH 之改質竹碳，其表面並無結晶現象，此與 SEM 圖的觀測結果相同。

表 4.4 6N HCl 酸處理竹碳與添加 KOH 之酸處理竹碳的 EDS 分析數值(單位:wt%)

	C	O	Cl	K
6N HCl(BAC)	90.19	8.54	1.27	0
30°C 6% KOH(BAC)	88.52	8.32	0.65	2.51

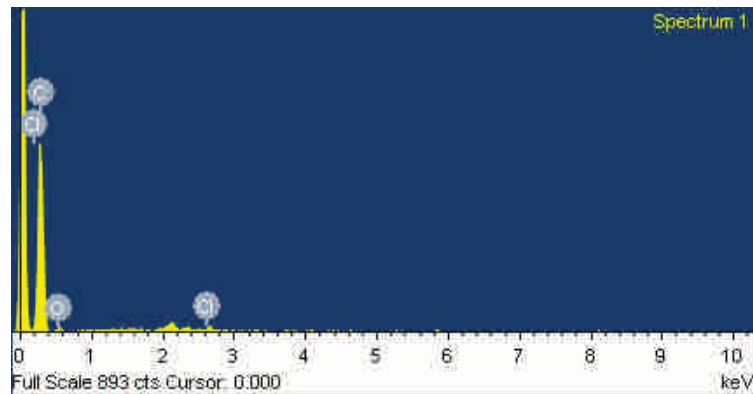


圖 4.5 6N HCl(BAC)之元素分析 EDS 圖

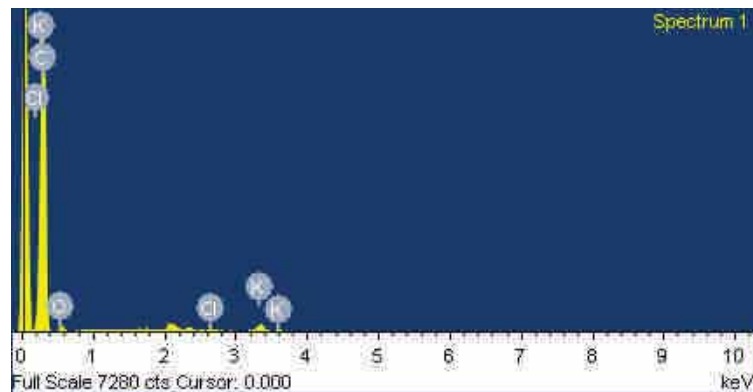


圖 4.6 30°C 乾燥之 6% KOH(BAC)之元素分析 EDS 圖

4.2 無氧環境下添加氫氧化鉀對酸處理竹碳 NO 轉化率之影響

圖 4.7 至圖 4.9 為改變不同添加濃度 KOH(3%、6%、10%、20%)以及不同乾

燥溫度(30°C、60°C、105°C)下製作之竹碳，在無氧環境下進行 NO 還原反應，以觀察溫度範圍(30-180°C)對添加鹼的酸處理竹碳之 NO 轉化率之影響。由圖 4.7 至圖 4.9 可知，在無氧環境下添加過氫氧化鉀的竹碳，其 NO 轉化率皆低於未添加的空白酸處理竹碳，其原因為氫氧化鉀在無氧環境中較難與氮氧化物反應成硝酸鉀，而上述反應途中需要適量濃度的氧氣來催化其反應發生，所以在此無氧環境下主要的 NO 還原反應為活性碳吸附與活性官能基轉化，但是因為竹碳本身擁有孔洞表面被添加的氫氧化鉀阻塞堆積與添加後所造成表面活性官能基被削弱，因此造成了其 NO 轉化率較無添加的空白試樣還要低下。但是比較不同乾燥溫度的試樣後發現，不同乾燥溫度對於添加同樣濃度的試樣仍然具有相當的影響力。

取空白與 30°C 下乾燥的各濃度的鹼化竹碳 NO 轉化率對反應溫度(30-180°C)作圖，如圖 4.7 所示，可發現 10%KOH 的試樣優於其他三者，最佳轉化率達 63%。將 60°C 乾燥各濃度試樣之 NO 轉化率對反應溫度(30-180°C)比較作圖，如圖 4.8 所示，在此乾燥溫度下則是由 3%KOH 較佳，其轉化率達 65%。最後在 105°C 所乾燥的試樣之 NO 轉化率對反應溫度(30-180°C)作圖，如圖 4.9 所示，在此比較高的乾燥溫度下所製成之試樣在反應溫度 180°C 時皆可達到 60% 的轉化率，其中又以 10%KOH 試樣的轉化率較高。

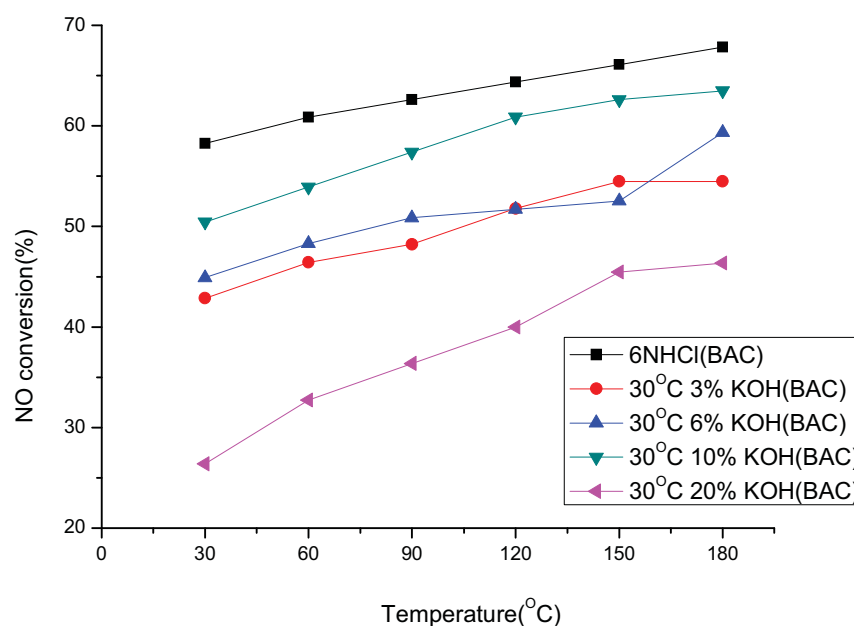


圖 4.7 乾燥 30°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在無氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度 = 360ppm)

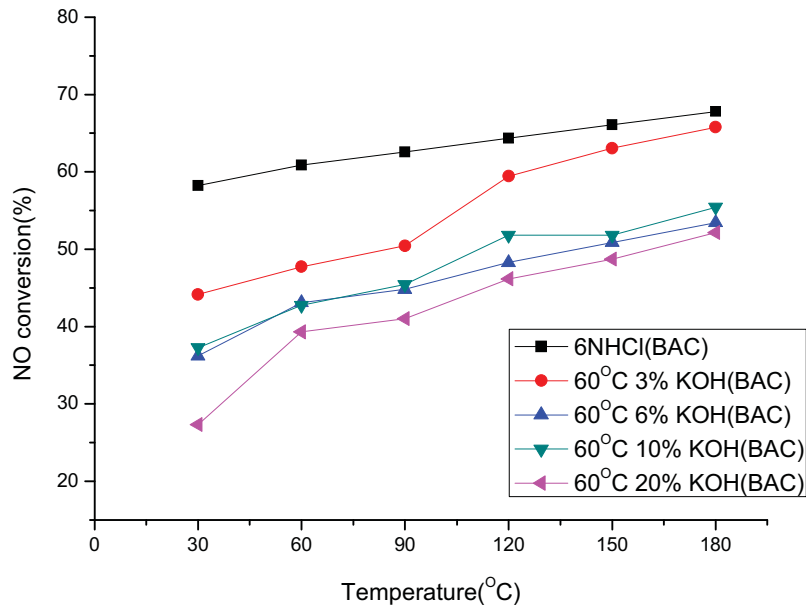


圖 4.8 乾燥 60°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在無氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm)

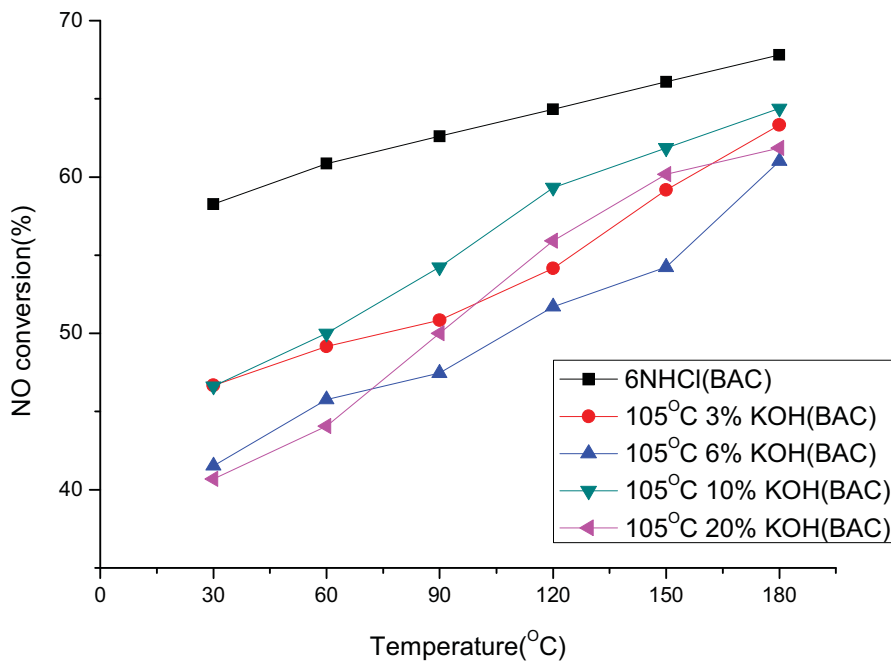


圖 4.9 乾燥 105°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在無氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度=360ppm)

4-3 有氧環境下添加氫氧化鉀對酸處理竹碳 NO 轉化率之影響

圖 4.10 至圖 4.12 為改變不同 KOH 添加濃度(3%、6%、10%、20%)以及不同乾燥溫度(30°C、60°C、105°C)製作之竹碳，在 3%有氧環境下進行 NO 還原反應，以觀察反應溫度(30-180°C)對添加鹼的酸處理竹碳之 NO 轉化率之影響。由圖 4.10 至圖 4.12 可知，在 3%有氧環境下添加過氫氧化鉀的竹碳，其 NO 轉化率會受到 KOH 的添加濃度的影響而有所不同，其中以在 30°C 乾燥並添加 6% KOH 的竹碳觸媒的 NO 轉化效果最佳。在 30~180°C 時，無添加 KOH 的竹碳觸媒其 NO 轉化率會先行下降再緩慢上升，而添加 6%及 10%濃度的氫氧化鉀後，在 60~180°C 之反應溫度區間的 NO 轉化率均優於無處理之空白試樣，顯示了氧的存在不僅能促使竹碳孔洞的表面官能基與 NO 進行還原反應將 NO 還原為 N₂，同時也使得 NO 先被氧化為 NO₂ 再與添加在竹碳中的氫氧化鉀產生反應而生成硝酸鉀，而達到去除 NO 之效果。

取空白與 30°C 下乾燥的各濃度的鹼化竹碳 NO 轉化率對反應溫度(30-180°C)作圖，如圖 4.10 所示，可發現 6%KOH 的試樣最優，於各溫度下均達 75%以上；其次為添加 10%之試樣。60°C 乾燥各濃度試樣 NO 轉化率對反應溫度(30-180°C)比較作圖，如圖 4.11 所示，在此乾燥溫度下仍以 6%KOH 較佳，其轉化率於各反應溫度下均為 70%以上。最後在 105°C 所乾燥的試樣之 NO 轉化率對反應溫度(30-180°C)作圖，如圖 4.12 所示，此乾燥溫度下所製成之試樣在反應溫度 120°C 以上時才出現優於無處理之試樣，其添加 20%KOH 之試樣在 180°C 時可達到 78% 的轉化率。由圖 4.10 至圖 4.12 比較實驗數據，可顯示出添加 20%KOH 之竹碳，在 105°C 乾燥下的轉化率優於其他較低溫度乾燥之試樣，其轉化率隨溫度增加而增加，在 180°C 時轉化率可達 78%。其原因可能為溫度升高可加速 NO 氣體分子氧化為 NO₂ 之速率，而加快與氫氧化鉀反應為硝酸鉀之速率，而在低溫反應區主要由竹炭本身孔洞表面的活性基進行 NO 轉化，但是因為大部分表面皆被堵塞故造成其 NO 轉化率較差。

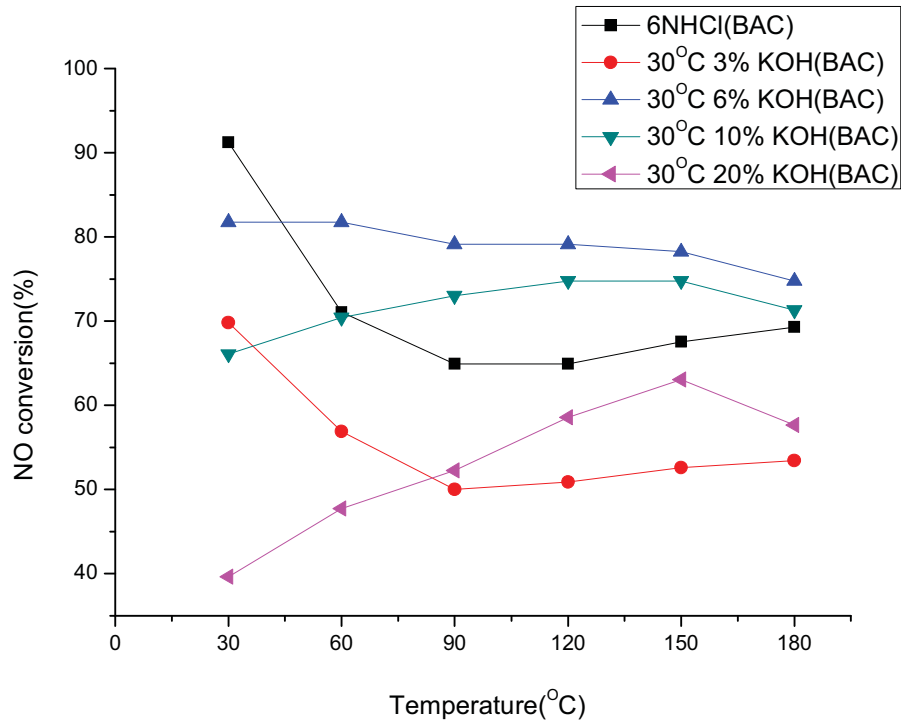


圖 4.10 乾燥 30°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在 3% 有氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度 = 360ppm)

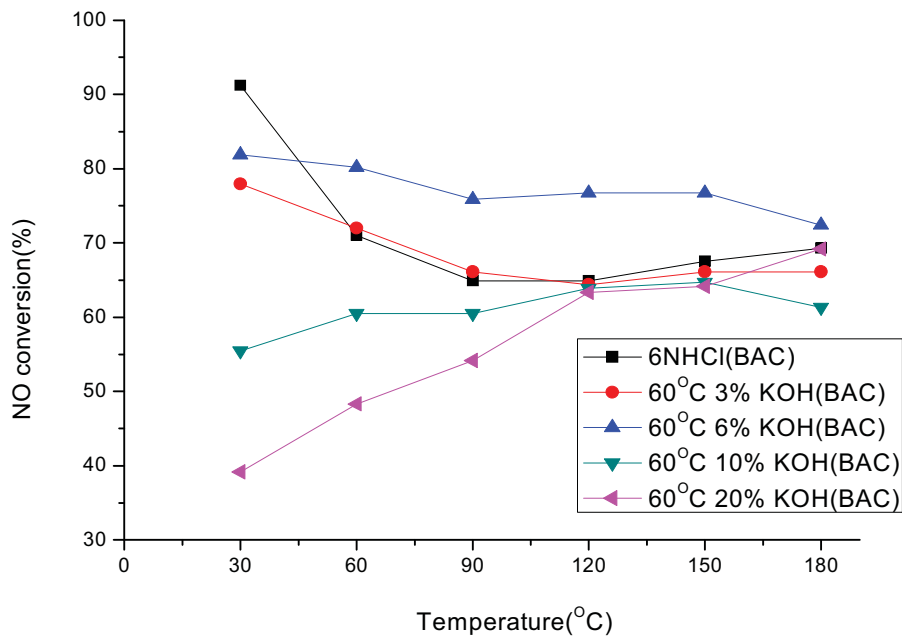


圖 4.11 乾燥 60°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在 3% 有氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度 = 360ppm)

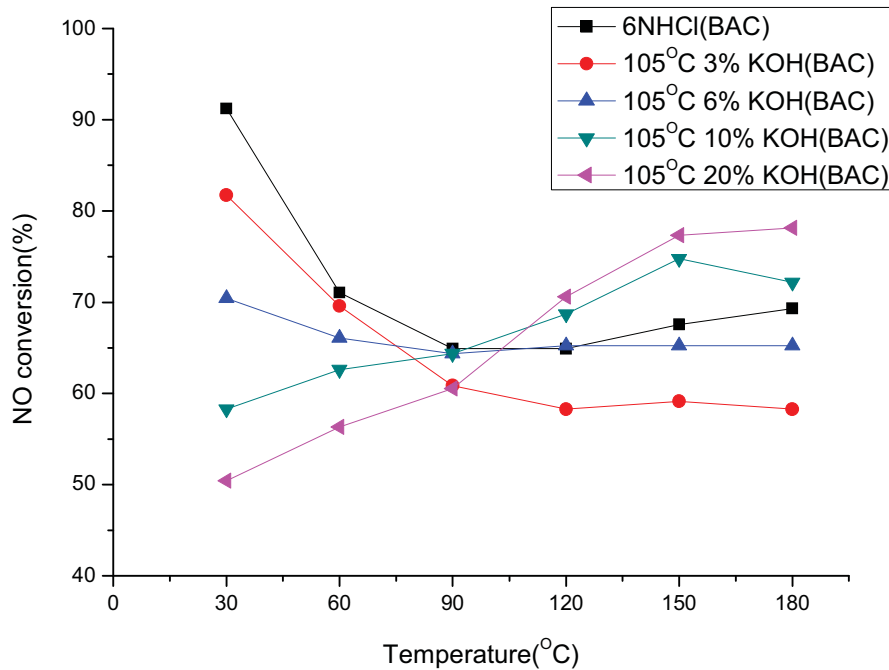


圖 4.12 乾燥 105°C 下添加氫氧化鉀的酸化竹碳在 3% 有氧環境下之 NO 轉化率與反應溫度之關係(起始 NO 濃度 = 360 ppm)

4-4 添加氫氧化鉀對酸處理竹碳之熱重分析(TGA)影響

圖 4.13 與圖 4.14 為 6N HCl(BAC) 與 30°C 6% KOH(BAC) 兩種竹碳觸媒的熱重分析檢測圖，分別在氮氣環境下以及空氣環境下進行檢測。此二圖均顯示了在此檢測溫度(30~240°C)下，觸媒皆不會有明顯的熱重損失。因此在 NO 還原反應實驗的溫度範圍(30~180°C)內，溫度改變並不會對觸媒產生熱裂解現象。所以在觸媒的壽命測試中是可以長時間維持 180°C 的實驗檢測。另外在劉[2014]的研究中指出，酸處理對於竹碳觸媒在高溫環境下(>450°C)可以減少其熱重損失。

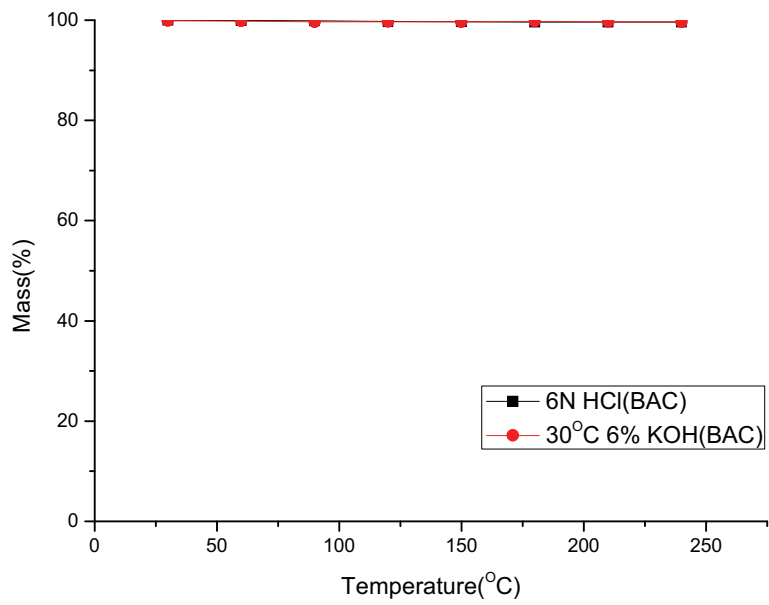


圖 4.13 6N HCl(BAC)與 30°C 6% KOH(BAC)在氮氣環境下的熱重分析

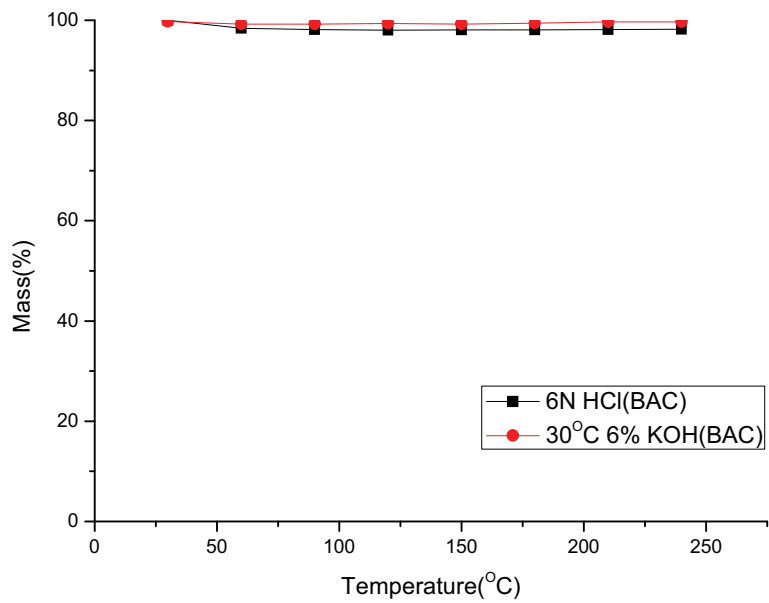


圖 4.14 6N HCl(BAC)與 30°C 6% KOH(BAC)在空氣環境下的熱重分析

4-5 添加氫氧化鉀對酸處理竹碳之觸媒活性壽命之影響

圖 4.15 與圖 4.16 為 6N HCl(BAC)與 30°C 6% KOH(BAC)之在不同溫度下 6 小時觸媒壽命測試，圖 4.17 則是取最佳反應溫度 180°C 之 36 小時壽命測試。在常溫下(30°C)下反應下的空白試樣與添加氫氧化鉀之試樣在前段皆有較佳的 NO 轉化率，但隨著時間的延長，其轉化效率便逐漸降低，其原因為在低溫下主要是由竹碳上的酸性官能基進行轉化，隨著官能基的消耗其轉化效率也就隨之降低。兩者比較後也可確認添加氫氧化鉀的試樣本身擁有的酸性官能基較空白試樣的還要弱。

在較高溫度下的 90°C 與 180°C 時期無添加 KOH 試樣主要轉化由觸媒孔洞進行氧傳遞進行 NO 還原反應，而添加氫氧化鉀之試樣則由氫氧化鉀進行反應，兩者之反應途徑並不相同。從 4.15 可看出自反應一小時後的 NO 轉化率的變化，維持在一個穩定轉化率的狀態。而由圖 4.16 可知，添加氫氧化鉀的試樣同在反應初期也沒有馬上達到穩定，自反應 1.5 小時其轉化率可達到穩定，另外相同添加試樣對於不同溫度下的 NO 轉化率也有所差異，從圖 4.16 可得知，反應溫度越高轉化效率也可提升。

圖 4.17 則是將時間延長至 36 小時，檢測其轉化率穩定之極限。結果發現未添加 KOH 之試樣的轉化效率在 12 小時後便逐漸下降，而添加氫氧化鉀的試樣則在 36 小時的測試時間內轉化率均無明顯之變化，可以證實添加氫氧化鉀後在長時間的反應下，其壽命較為穩定。

由壽命實驗顯示以竹碳添加氫氧化鉀製作去除 NO 之觸媒，其 NO 轉化率整體而言並未優於未添加 KOH 之竹碳，其主要原因為經過酸處理後的竹碳本身即具有良好的 NO 還原能力，然而因竹碳比表面積遠低於椰殼活性碳(比表面積可達 1000m²/g)，在添加 KOH 後又造成比表面積明顯下降(表 4.3)，而降低了竹碳原本表面活性基的 NO 還原能力，此部分 NO 轉化率的損失量可由 KOH 化學吸附 NO₂ 的反應來彌補，但就整體 NO 轉化率所呈現的結果仍顯示，添加氫氧化鉀於酸處理竹碳中並未能促進其去除 NO 之效果。

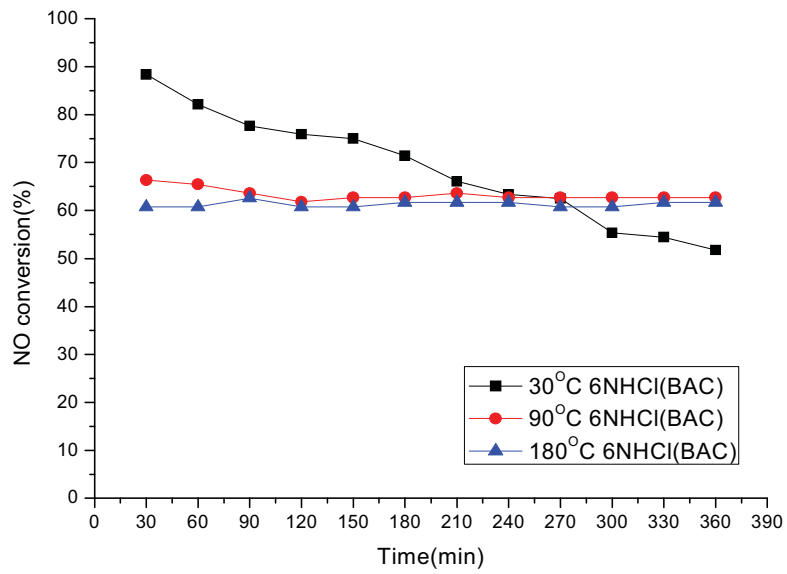


圖 4.15 6N HCl(BAC)在不同溫度環境下進行 6 小時之壽命測試

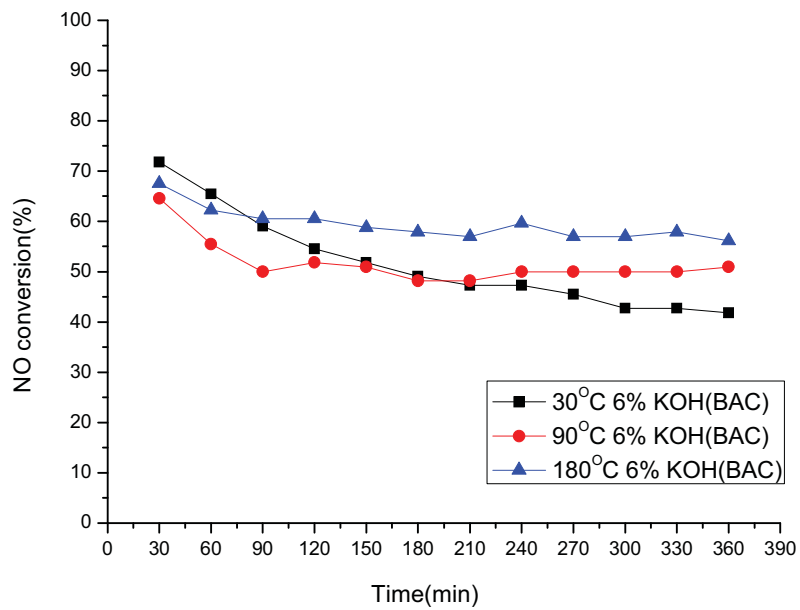


圖 4.16 30°C 6% KOH(BAC)在不同溫度環境下進行 6 小時之壽命測試

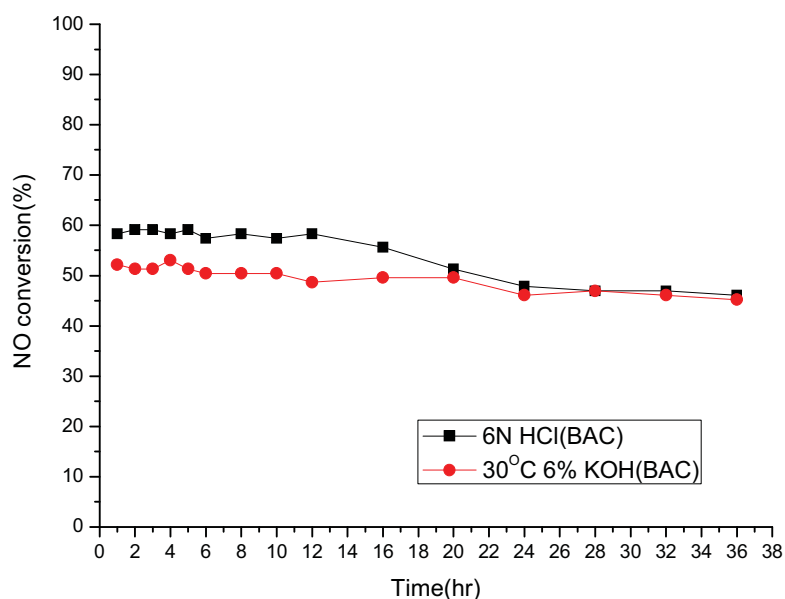


圖 4.17 6N HCl(BAC)與 30°C 6% KOH(BAC)在溫度 180°C 下進行 36 小時之壽命測試

由 4-2 及 4-3 節之竹碳添加 KOH 的 NO 轉化性能測試與 4-5 節添加 KOH 之竹碳觸媒壽命測試結果，可整理得表 4.5 以進一步說明本研究添加 KOH 的竹碳觸媒其最適製作與操作條件。

表 4.5 添加 KOH 的竹碳觸媒之最適製作與操作條件說明

製作條件	<ol style="list-style-type: none"> 1.KOH 的最適添加量，以添加 6%KOH 的竹碳觸媒，可獲得最佳的 NO 轉化效率。 2.添加 6%KOH 的竹碳觸媒之最適乾燥溫度，以 30°C 溫度下乾燥製作之觸媒其 NO 轉化效率最佳。
操作條件	<ol style="list-style-type: none"> 1.上述觸媒於 30-180°C 溫度範圍下進行觸媒壽命測試，以在 180°C 溫度下操作之觸媒可獲得最佳 NO 轉化性能。 2.添加 KOH 的竹碳觸媒在 3% 有氧環境下測試，其 NO 轉化效率明顯優於無氧環境下的 NO 轉化效率。

五、結論

本研究探討酸處理竹碳於添加 KOH 後的物性變化與 NO 轉化性能，獲得之結論如下：

1.物理性質量測：竹篾經由 750°C 活化後其燒失率達 74.87%，6N HCl 酸化處理後損失率為 5.98%，添加過 KOH 之竹碳其重量隨添加濃度增加而增加。利用傅立葉紅外光光譜儀(FT-IR)可看出經過鹼化的竹碳觸媒其官能基團其強度較為衰弱，使用比表面積測定儀(BET)量測竹碳後顯示添加氫氧化鉀後有降低比表面積的結果。以掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察竹碳顯示，添加 KOH 的試樣表面有氫氧化鉀的沉積，且隨著濃度的提升對其孔洞阻塞的程度也就越大，進而影響比表面積的量測結果。由能量色散 X-射線光譜(EDS)檢測結果顯示觸媒的元素組成為碳、氧、氯、鉀，證實觸媒上確實有鉀之存在。

2.添加氫氧化鉀後對竹碳 NO 轉化率的影響：經由觸媒反應裝置測試可知，添加 KOH 的酸處理竹碳其 NO 轉化率在低溫區間(30-180°C)的無氧環境下，皆低於無添加的酸處理竹碳觸媒。但是在 3% 有氧環境且在 60~180°C 反應溫度區間下，於 30°C 乾燥的 6%KOH 竹碳觸媒的 NO 轉化率優於未添加 KOH 的竹碳且皆能維持在 75% 以上。

3.氧的存在對添加氫氧化鉀後的 NO 轉化率影響：添加氫氧化鉀的竹碳在 3% 有氧反應環境與無氧反應環境相較，有氧環境下的 NO 轉化率皆優於無氧環境，證實氫氧化鉀需在有氧環境下才能將 NO_x 吸附轉化為硝酸鉀，其結果與文獻相符。

4.添加氫氧化鉀後對觸媒壽命之影響：由 6 小時壽命顯示，反應溫度越高其 NO 轉化率越穩定，而在 180°C 延長至 36 小時的壽命實驗中未添加氫氧化鉀的試樣在 12 小時後有逐漸下降的趨勢，但添加過 KOH 之試樣在 36 小時的測試時間內 NO 轉化率均無明顯之變化，而兩者在 24 小時後 NO 轉化率有重疊之現象。

5.添加氫氧化鉀作為提升酸處理竹碳 NO 轉化率之優劣：經過酸處理後的竹碳本身即具有不錯的 NO 還原能力，在添加 KOH 後因造成比表面積明顯下降，進而降低其表面活性基的 NO 還原能力，此部分 NO 轉化率的損失量雖可經由氫氧化鉀化學吸附 NO₂ 的氧化反應來彌補，但就整體 NO 轉化率所呈現的結果而言，在大部分的實驗中顯示添加氫氧化鉀於酸處理竹碳並未能進一步改善其去除 NO 之效果。

六、參考文獻

1. Aarna, I. and Suuberg, E.M. "A review of the kinetics of the nitric oxide-carbon reaction", *Fuel*, Vol. 76, p.475-491, 1997.
2. Auer, E., Freund, A., Pietsch, J. and Tacke, T. "Carbon as supports for industrial precious metal catalyst", *Applied Catalysis A : General*, 173, p.259, 1998.
3. Bansal, R.C., Donnet, J.B. and Stoeckli, H.F. "Active Carbon", Marcel Dekker, New York, 1988.
4. Boehm, H. P. "Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons", *Carbon*, 32, p.759, 1994.
5. Hall, C. R. and Holmes, R. J. "The preparation and properties of some activated carbons modified by treatment with phosgene or chlorine, *Carbon*", vol.30, p.173,1992.
6. Illan-Gomez, M.J., Linares-Solano, A., Radovic, L.R. and Salinas-Martinez, C. "NO reduction by activated carbons. 7.some mechanistic aspects of uncatalyzed and catalyzed reduction", *Energy and Fuels*, 10, p.158, 1996.
7. Khristova, M. and Mehandjiev, D. "Conversion of NO on Ni-impregnated active carbon catalyst in the presence of oxygen", *Carbon*, 36(9), p.1379, 1998.
8. Lewis, I. C. "Chemistry of Carbonization", *Carbon*, 20, p.519, 1982.
9. Mehandjiev, D., Kristova, M. and Bekyarova, E. "Conversion of NO on Co-impregnated active carbon catalysts", *Carbon*, 34(6), p.757-762, 1996.
10. Park, S. J. and Kim, K. D. "Influence of activation temperature on adsorption characteristics of activated carbon fiber composites", *Carbon*, 39, p.1741-1746, 2001.
11. Pasel, J., Kabner, P., Montanari, B., Gazzano, M., Vaccari, A., Makowski, W., Lojewski, T., Dziembaj, R. and Papp, H. "Transition metal oxides supported on active carbons as low temperature catalysts for the selective catalytic reduction (SCR) of NO with NH₃", *Applied Catalysis B : Environmental*, 18, p.199, 1998.
12. Rodriguez-Reinoso, F. "The Role of carbon materials in heterogeneous catalysis", *Carbon*, 36(3), p.159, 1998.
13. Rodríguez-Reinoso, F. and Molina-Sabio, M. "Activated carbons from lignocellulosic materials by chemical and/or physical activation: an overview", *Carbon*, Vol. 30, No. 7, p.1111-1118, 1992.
14. Stoeckli, H.F., "Microporous carbons and their characterization: The present

- state of the art”, Carbon, 28, p.1, 1990.
15. Tomon, H. and Okazaki, M. “Influence of Acidic Surface Oxides of Activated Carbon on Gas Adsorption Characteristic”, Carbon, 34(6), p.741, 1996.
 16. Zhu, Z., Liu, Z., Liu, S., Niu, H., Hu, T., Liu, T. and Xie, Y. “NO reduction with NH₃ over an activated carbon-supported copper oxide catalysts at low temperature”, Applied Catalysis B : Environmental, 26, p.25, 2000.
 17. Zhang Haojie, Yao Wei, Lin Yang, Zhou Jie, He Dannong, “Modified monolithic activated carbon for purifying nitrogen oxide”, Chinese Journal of Environmental Engineering, vol.6, No.10, 2012.
 18. 曾惠馨, “活性碳擔持銅觸媒對二氧化硫吸附特性之研究”, 博士論文, 國立中興大學環境工程系, 2002.
 19. 黃嫩瓊, “碳表面植入氮官能基以增進 NH₃ 還原 NO 之觸媒效應”, 碩士論文, 國立成功大學化學工程學系, 2002.
 20. 黃龍泰, “以稻殼或花生殼製作高表面積之活性碳與其應用”, 碩士論文, 國立台灣科技大學化學工程學系, 2001.
 21. 劉曾訊, “活性碳製造技術及應用”, 產業調查與技術, p.84-97, 1998.
 22. 蔡文田、張慶源, “活性碳及其空氣汙染防治上之應用”, 環境工程月刊, 第 3 卷, 第 2 期, 1993.
 23. 楊宗豪, “竹碳製備及應用於還原一氧化氮之研究”, 碩士論文, 明明新科技大學化學工程與材料科技系, 2013
 24. 劉梁福, “酸處理對竹碳還原一氧化氮特性之研究”, 碩士論文, 明新科技大學化學工程與材料科技系, 2014.

明新科技大學年度研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input checked="" type="checkbox"/> 工學院 <input type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input type="checkbox"/> 人文社會科學院 執行系別：化學工程與材料科技系 計畫主持人：陳利強 職稱：副教授 計畫名稱：竹碳添加氫氧化鉀還原一氧化氮空氣污染物之研究 計畫編號：MUST-化材-6 計畫執行時間：104年1月1日至104年9月30日	
計畫執行成效	教學方面 1. 對於改進教學成果方面之具體成效：增進教師之一氧化氮空氣污染物相關知識，以及建立竹碳製作與應用之技術能力，並實際應用於空氣污染防治、環境工程概論相關課程。 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效：訓練碩士學生一人製作竹碳與其應用於空氣污染防治研究之相關技術，包含竹碳製備方法、竹碳物性檢測、以及竹碳應用於去除一氧化氮空氣污染物。 3. 其他方面之具體成效：建立竹碳及其添加物製備之能力、竹碳物性檢測能力(表面官能基、熱重損失、SEM表面觀測)。
	學術研究方面 1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 計畫名稱： 2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input checked="" type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱：2015 全國化學工程研討會 發表期刊(研討會)日期：2015 年 11 月 3. 該計畫是否有要衍生學合作案、專利、技術移轉 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 請說明衍生項目：
成果自評	計畫預期目標： 1. 完成酸處理竹碳製備，以及完成各種不同 KOH 添加量、不同乾燥溫度之酸處理竹碳觸媒之製備。 2. 完成酸處理竹碳以及完成各種不同 KOH 添加量、不同乾燥溫度之酸處理竹碳觸媒之各樣物性檢測；完成上述觸媒去除一氧化氮之性能測試。 計畫執行結果：同預期目標。
	其它具體成效： 建立竹碳及其添加物製備之能力、竹碳物性檢測能力(表面官能基、熱重損失、SEM表面觀測)，建立竹碳添加 KOH 技術能力，建立添加 KOH 竹碳應用於去除一氧化氮空氣污染物之測試技術。

明新科技大學 104 年度校內專題研究計畫運用於教學成果記錄表

計畫類型	<input checked="" type="checkbox"/> 個人型 <input type="checkbox"/> 整合型 <input type="checkbox"/> 任務導向型		計畫編號	MUST-化材-6	
計畫名稱	竹碳添加氫氧化鉀還原一氧化氮空氣污染物之研究				
計畫主持人 資料	姓名	陳利強		職稱	副教授
	學院	工學院		系所	化材系
聘用助理	系科班級	學號	姓名	聘僱起訖時間	工作內容
	化材碩二 甲	B98220012	張銘元	104.年 2 月 -104 年 7 月	酸處理竹碳製備、添加 KOH、觸媒物性量測、一氧化氮去除實驗。
融入課程	開課班級	課程名稱		修課 人數	課程內容概述
	碩專化材 一甲	高等空氣污染防治		10	一氧化氮控制技術、活性炭製作技術。
指導專題或 碩士論文	指導班級	專題(論文)名稱		分組 人數	專題(論文)內容概述
	碩化材二 甲	竹碳添加氫氧化鉀還原一氧化氮空氣污染物之研究		1	探討添加 KOH 之竹碳之製作及去除一氧化氮空氣污染物之能力。
指導學生參與活動或競賽	活動或競賽名稱			參與 人數	活動或競賽成果概述
製作教材與教具	教材與教具名稱			教材與教具概述	
其他促進教學成果說明	訓練碩士班學生製作竹碳之能力以及檢測與分析竹碳去除一氧化氮空氣污染物之技術能力。建立一氧化氮去除之實驗機台。				

明新科技大學校內專題研究計畫成果報告

竹碳添加氫氧化鉀還原一氧化氮空氣汙染物之研究

陳利強一〇四年度