

出國報告（出國類別：進修）

赴英國南安普敦大學進修研究型化學
理學碩士心得報告

(University of Southampton,
Master of Science in Chemistry by
Research)

服務機關：國防部軍備局生產製造中心第二〇三廠

姓名職稱：李明倫上尉

派赴國家：英國

出國日期：100年7月31日至102年2月5日

報告日期：102年3月25日

摘要

本次進修係奉國防部 100 年 07 月 22 日國力培育字第 1000002444 號令核定赴英國南安普敦大學 (University of Southampton) 進修研究型化學理學碩士。職於 100 年 7 月 31 日啟程赴英，於核定之修業期限內依學校規定取得畢業所需之 63 學分並通過論文評鑑，以優良成之績獲頒碩士學位，畢業證書及成績單業經駐英台北代表處於 102 年 1 月 25 日完成核閱。職於 102 年 2 月 5 日返抵國門，並於隔日 (2 月 6 日) 向軍備局生產製造中心第二 0 三廠辦理報到手續，本心得報告係以職在英國進修期間針對進修課程、論文研究主題及學習心得作一報告，報告格式分為摘要、目的、過程、心得、建議事項及附件等六項。

目次

項次	項目	頁數
1	摘要	1
2	壹、目的	3
3	貳、過程	4
4	參、心得	38
5	肆、建議事項	40
6	伍、附件	41

「赴英國南安普敦大學進修研究型化學理學碩士」

心得報告

壹、目的

本次進修係奉國防部 100 年 07 月 22 日國力培育字第 1000002444 號令核定赴英國南安普敦大學 (University of Southampton) 進修研究型化學理學碩士。根據系上修業規定，碩士畢業標準為取得 60 學分以上並通過論文評鑑；職的指導老師為 Robert Raja 副教授，主要研究方向為含鈦基金屬之無機催化劑，在學期間計選修單晶繞射等 9 門課程，共取得 63 學分。

貳、過程

一、進修學校簡介

南安普敦大學位於英國南部港口城市

南安普敦市 (Southampton city)，創

校歷史可以追溯自 1862 年成立的哈特利學院，

1902~1952 年期間為倫敦大學的一個學院，自 1952 年

後正式獲得英國政府同意建校，南安普敦大學排名是

世界百大之一，總共有 6 個校區，分別為高地校區

(Highfield Campus)、大道校區 (Avenue Campus)、

國家海洋學中心 (National Oceanography Centre)、南安普敦醫院

(Southampton General Hospital)、溫徹斯特藝術學院 (Winchester

School of Art) 及馬來西亞分校 (Malaysia Campus)，其中以理、工科

實力最為雄厚，南安普敦大學是英國少數學校其工程學院所有專業科目都

UNIVERSITY OF
Southampton



獲最高評級 5 星等的大學；除了理工科以外，南安普敦大學人文學院的排名亦相當優秀，在 2012-2013 年英國衛報的大學學院評比，位居全英國第三，僅次於牛津與劍橋大學。

二、進修狀況

(一) 課程進修

職選修之課程分為：單晶繞射 (Single Crystal Diffraction)、永續能源 (Sustainable Energy)、合成化學線上檢索 (On-Line Search for Synth Chem)、高等無機化學 (Advanced Inorganic Chemistry) 及安全課程 (Safety Course) 共 5 門課程，課堂上主要採用與台灣相同之教學式上課方式，學生須依授課教師所提供之相關書籍清冊自行研讀，若有疑惑或不解之處，則於課間授課時一併提出，授課教師僅針對重點部分進行講課說明，授課教師將於學期中、末針對其授課內容擬定模擬試題，提供學生相互交流討論之機會，達到學習之目的；學生須選定與教學內容相關之主題進行簡報與報告撰寫，以培養學生搜尋文獻及簡報之能力。另於學期末學校將舉行期末考試，學科總成績將綜合上述所述進行計算，畢業總成績則以學科及論文成績併同計算，達畢業標準者頒予畢業證書，並依成績高低區分為成績傑出 (Pass with distinction)、成績優秀 (Pass with Merit) 及成績一般 (Pass)；職的畢業成績屬於成績優秀區間。

(二) 實驗室安全訓練課程

依系上規定學生必須強制參加定期及不定期舉辦之各種實驗室安全訓練課程，以確保實驗安全；職於修業期間已接受過高壓鋼瓶更換作業、化學藥劑 (強酸、鹼) 外洩或接觸緊急處理、實驗室火災緊急處置、二氧化碳警報器設置等。

(三) 儀器教育訓練課程

為確保學生均能安全且適當的執行儀器操作，系上學生於使用任何儀器設

備時均須通過設備保管人之教育訓練並頒予操作許可，始可實際上機實作，另特殊儀器需額外通過相關講習或測驗，例如：操作 X 光繞射分析儀須具備有 X 光射線源操作許可。職於進修期間已具備下列儀器操作許可：X 光繞射分析儀 (X-ray Diffractometer)、熱重分析儀 (Thermogravimetry analyzer)、比表面積分析 (BET Surface Area Measurements)、掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy)、X 光能譜散射儀 (Energy Dispersive Spectrometer)、氣相層析儀 (Gas Chromatography)。

(四) 研討會參與

系上每週均會舉辦 1~2 次研討會，提供教職員及學生與其他學校教師、學生或研究機構相互交流研討機會，以開闊視野了解新知。職於修業期間均定期參與研討會，並藉由此機會與他校學生進行交流，以提升化學專業知識及語文能力。

(五) 海報製作及簡報

為提升個人簡報能力，職參與系上所舉辦之成果展，並將實驗相關資訊及結果製作海報。

三、論文實驗過程及研究成果

職的碩士論文題目為在溫和環境下使用含鈦基金屬催化劑氧化環己醇 (Titanium-Based Catalysts for the Oxidation of Cyclohexanol under Mild Conditions)，主要方向可區分為六個部分，第一部分為標準反應選定，第二部分為了解催化劑特性與功用，俾利選擇合適之催化劑，第三部分為實驗設計，第四部分為分析技術及程序，第五部分為反應結果討論，第六部份為結論，相關內容摘述如后：

(一) 標準反應選定

尼龍 6 (Nylon-6) 及尼龍 6,6 (Nylon-6,6) 是石化工業上非常重要的商業產品，而環己酮則是關鍵的化學中間體被使用於生產製造尼龍 6 和尼龍

6,6 所必須的兩種前驅物，即己二酸 (Adipic acid) 和 ϵ -己內酰胺 (ϵ -caprolactam)，如圖 1~3 所示，因此很多製造環己酮的方法被廣泛的研究，其主要目標在於研究出得率較高之製造方法。現今每年生產出的環己酮超過 100 萬噸，其中半數用於製造己二酸，剩餘的則是轉化成肟 (oxime)，並經過重新排列獲得 ϵ -己內酰胺。

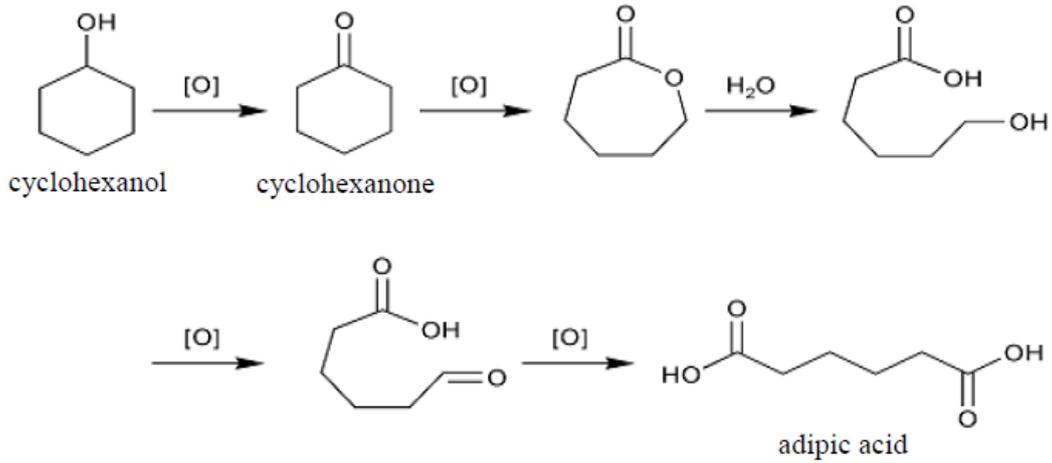


圖 1 環己醇生成己二酸

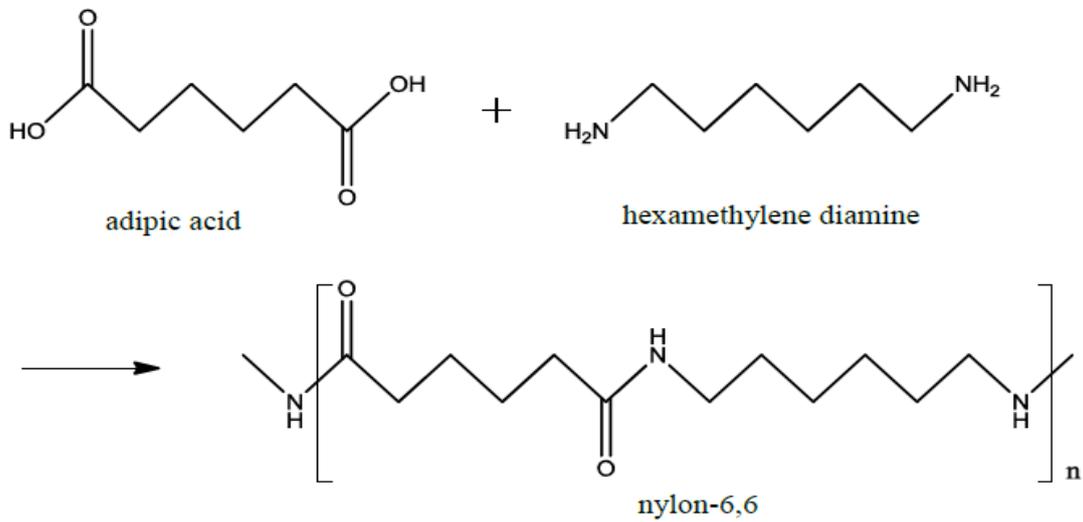


圖 2 己二酸及六亞甲基二胺生成尼龍 6,6

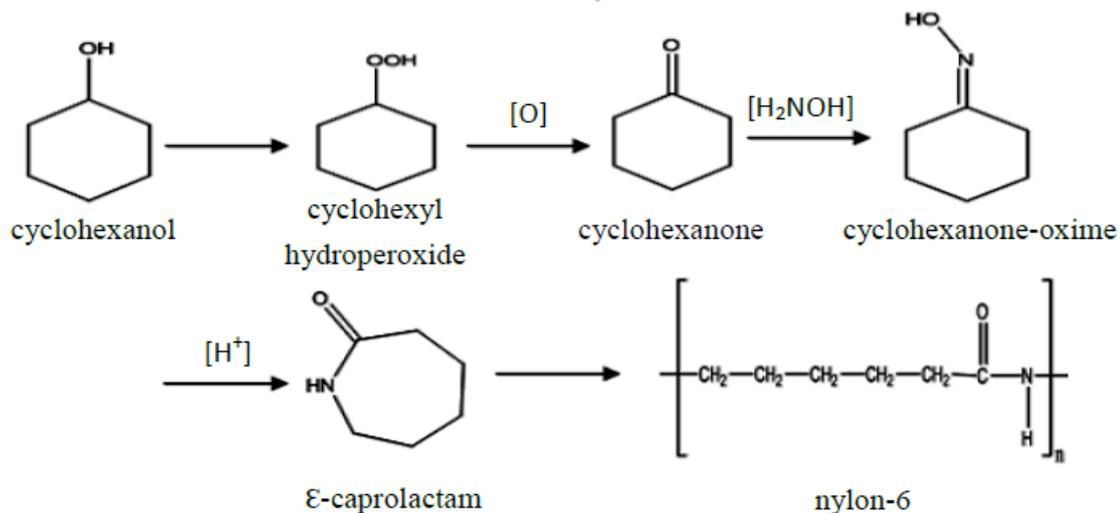
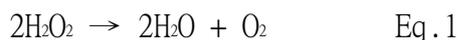


圖 3 環己醇生成尼龍 6

傳統上工廠生產環己酮是採用氧化環己烷 (Cyclohexane) 方式以獲得環己醇及環己酮或氧化環己醇，根據第一種方法，製造出環己酮及環己醇的比率是相當低的，這是因為環己烷屬於相當惰性，因此只可以被觀察到非常低的轉換率；然而因醇類或酮類的活性較環己烷高出許多，故若直接使用醇類或酮類為起始反應物，則可生產出較多己二酸及 ε-己內酰胺，故本實驗選擇以第二種方法環己醇氧化生成環己酮作為標準反應。

(二) 催化劑特性及功用

催化劑又稱觸媒，其定義是能改變化學反應速率，而本身的質量、組成和化學性質在參加化學反應前後保持不變的物質。例如二氧化錳可以作為過氧化氫 (雙氧水) 分解的催化劑 (Eq.1)。催化劑分為正催化劑與負催化劑，正催化劑可使正逆反應均加速(降低活化能)，負催化劑可使正逆反應均減速(提高活化能)，故負催化劑又為抑制劑。



催化劑會誘導化學反應發生改變，而使化學反應變快或者在較低的溫度環境下進行化學反應。催化劑加速反應過程一般具有兩個途徑，一個是增加反應物的活性中心，另一種是改變反應途徑。如圖 4 所示，催化劑可使化

學反應物在不改變的情形下，經由只需較少活化能 (activation energy) 的路徑來進行化學反應。而通常在這種能量下，分子不是無法完成化學反應，不然就是需要較長時間來完成化學反應。但在有催化劑的環境下，分子只需較少的能量即可完成化學反應。因此催化劑對石化工業產生巨大的影響，因為它們具有下列功能：

- 使反應發生
- 使反應過程效率提高
- 使反應過程及產物符合環保規範
- 小部分提高產物選擇性即可大幅度提高利潤

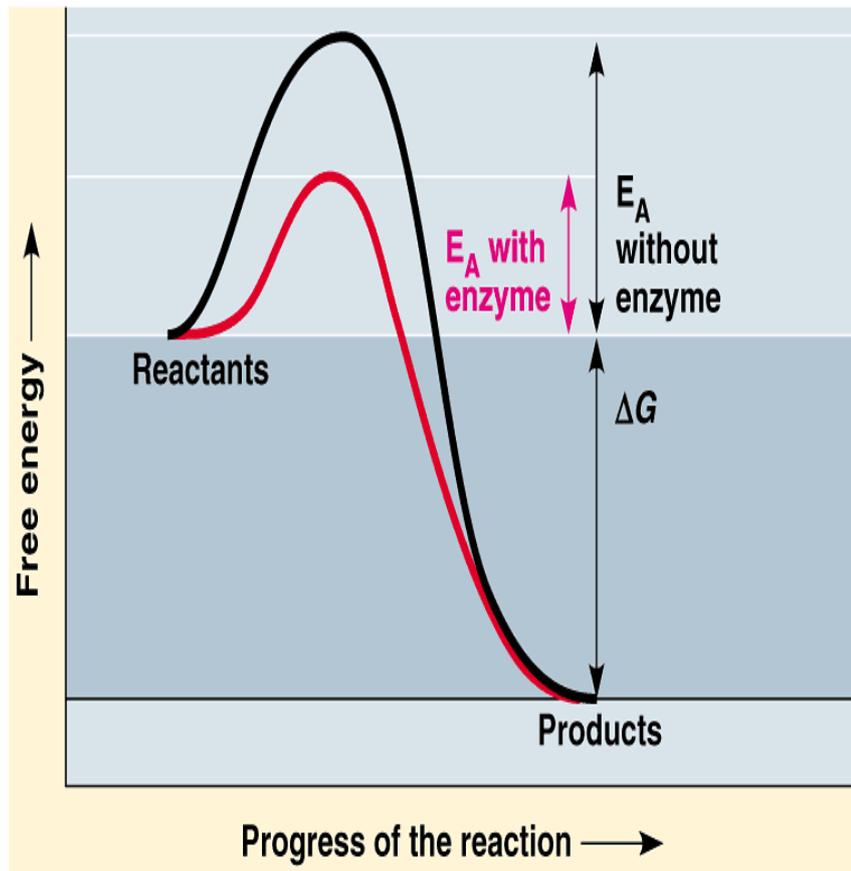


圖 4 催化劑與活化能之關係圖

催化劑分均相催化劑與非均相催化劑。非均相催化劑呈現在不同相 (Phase) 的反應中 (如：固態催化劑在液態混合反應和固態催化劑在氣態混合反應

等)，而均相催化劑則是呈現在同一相的反應（例如：液態催化劑在液態混合反應），工業上常用非均相催化劑多於均相催化劑，主要係因利用其不同狀態的特性導致較容易分離出產物與催化劑，進而節省生產道次、時間並回收利用催化劑。一個簡易的非均相催化反應包含了反應物(或受質)吸附在催化劑的表面，反應物內的鍵因十分的脆弱而導致新的鍵產生，但又因產物與催化劑間的鍵並不牢固，而使產物出現。舉例來說，製造 ϵ -己內酰胺需透過多道次的生產程序，從氧化環己酮及氨肟化反應（ammoniation）得到環己酮肟（cyclohexanone oxime），之後透過貝克曼重新排列（Beckmann rearrangement）產生 ϵ -己內酰胺（圖 5），此製造方法將產生非常大量且低價值的副產物硫酸銨（ammonium sulfate）。

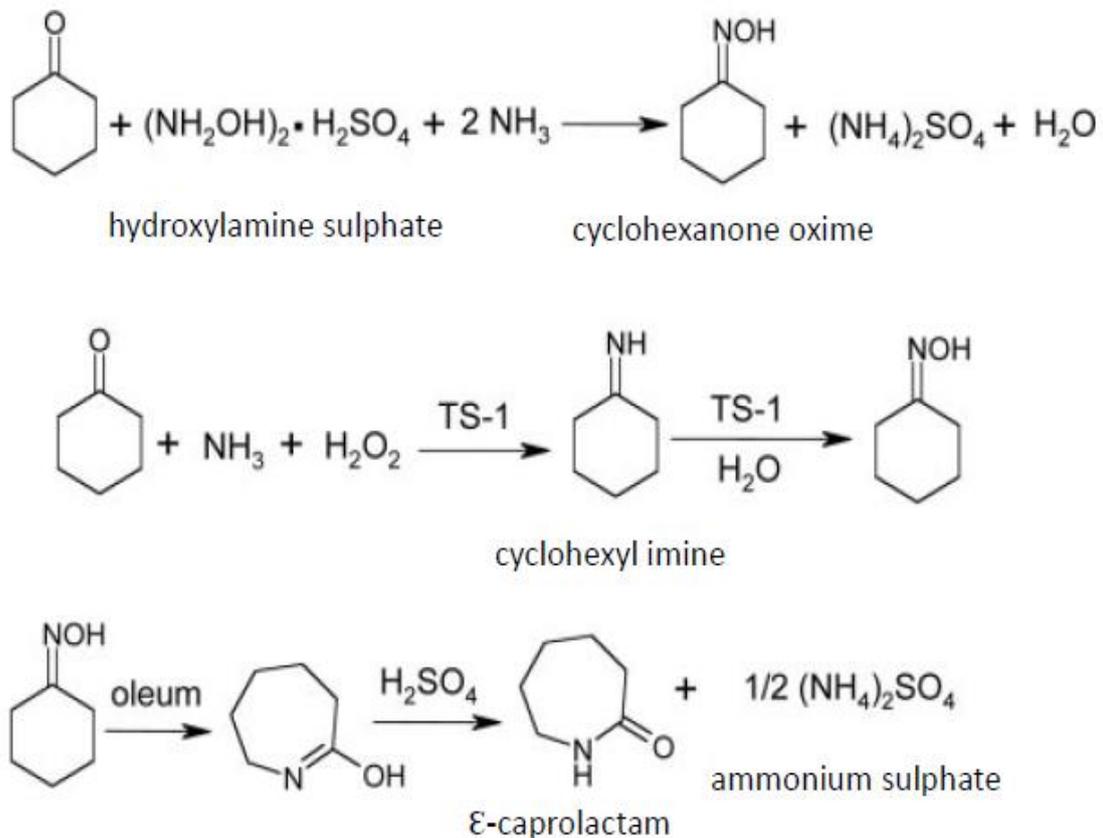


圖 5 多道次製備 ϵ -己內酰胺流程圖

相較於圖 5 多道次製備 ϵ -己內酰胺流程，圖 6 單一道次製備 ϵ -己內酰胺流程更加具有經濟效益及環境優勢，其主要差異為此方法採用空氣作為供

氣來源，整個反應過程式不需添加有機溶劑且亦不會產生副產物硫酸銨。

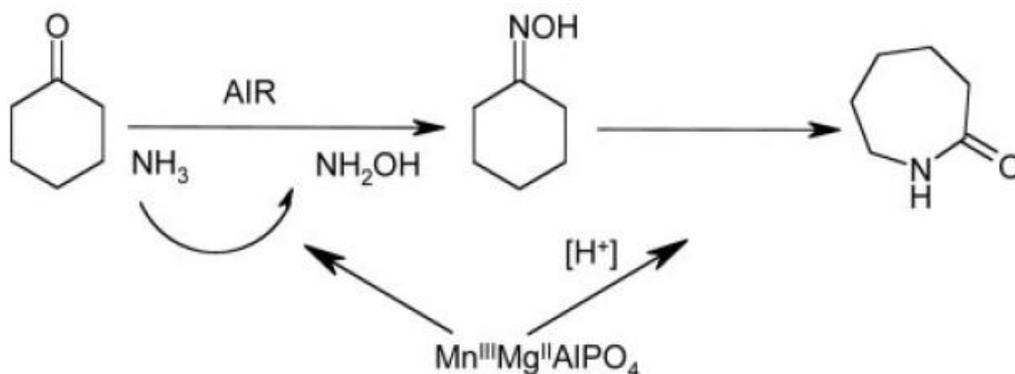


圖 6 單一道次製備 ϵ -己內酰胺流程圖

沸石 (zeolite) 是一種微孔矽鋁酸鹽結晶，1756 年由瑞典礦物學家 Axel Fredrik Cronstedt 發現，沸石一詞來自兩個希臘字沸石 (zeo) 和岩石 (lite)，沸石內的微小孔隙提供非常大的表面積，具有吸收、儲存水分的能力，且不會干擾結構，沸石具有幾個獨特的性能，如陽離子交換，能夠吸收的分子，並提供相當大的表面積讓化學反應發生，故沸石又稱為分子篩且被化學家廣泛的研究，並建立了催化劑的研究基礎，其中又以摻入雜原子於到催化劑架構上，使其具備有特殊化學功用最為熱門，實驗證明使用雜原子取代催化劑原有架構上原子使其產生獨特功用之催化劑已被成功合成出來，隨即，各種具有不同種類、特性的催化劑相繼被合成出來，例如：Titanium silicalite-1 和 Aluminophosphate (TS-1 和 AlPO) 系列催化劑，很快的成為化學家熱門的研究主題，並被廣泛的應用到實際石化產業。

根據催化劑結構孔隙的大小可區分為 3 類，分為微孔、中孔極大孔催化劑 (microporous、mesoporous、macroporous)，孔徑小於 2nm 屬於微孔材料，2nm 到 50nm 之間為中孔，大孔材料為超過 50nm 的孔隙。表 1 列出了各種催化劑名稱、結構種類、孔徑大小和三個字母的代碼，催化劑結構內孔隙大小賦予獨特的能力及功用摘述如后：

- 允許橫截面直徑小於催化劑孔徑之各種反應物、氧化劑、中間產物及產物進入及釋出。
- 嫁接有機金屬基團於在催化劑孔隙內表面上，尤以本身具有中、大孔徑之催化劑。
- 利用其孔隙限制原理設計出催化劑使其具備有較高之產物選擇性。

圖 1 各式催化劑結構型式、孔徑大小彙整表

Names	Structure type	Pore size	Pore diameter[Å]
AlPO-18	AEI	microporous	3.8
AlPO-34	CHA	microporous	3.8
TS-1,ZSM-5	MFI	microporous	5.3×5.6
TS-2,ZSM-11	MEL	microporous	5.1×5.5
ZSM-23	MTT	microporous	4.5×5.2
AlPO-11	AEL	microporous	3.9×6.3
AlPO-5	AFI	microporous	7.3
AlPO-36	ATS	microporous	6.5×7.5
AlPO-37	FAU	microporous	7.4
AlPO-31	ATO	microporous	5.4
MCM-41	Undefined	mesoporous	>30

舉例來說，相較於 FeAlPO-5，FeAlPO-31 具有較高的己二酸得率，這是因為後者具有較小的孔徑直徑 5.4 Å，而 FeAlPO-5 孔徑直徑為 7.3 Å，因此環己烷的分子大多都被限制在 FeAlPO-31 孔徑內，由於這個限制，氧化反應中的環狀中間產物較難被釋出，直至持續氧化成目標產物己二酸，因此具有較小直徑之己二酸產量可大幅提高，故孔隙尺寸大小可以被設計來提高產物得率或限制反應物發生反應（圖 7~9）。

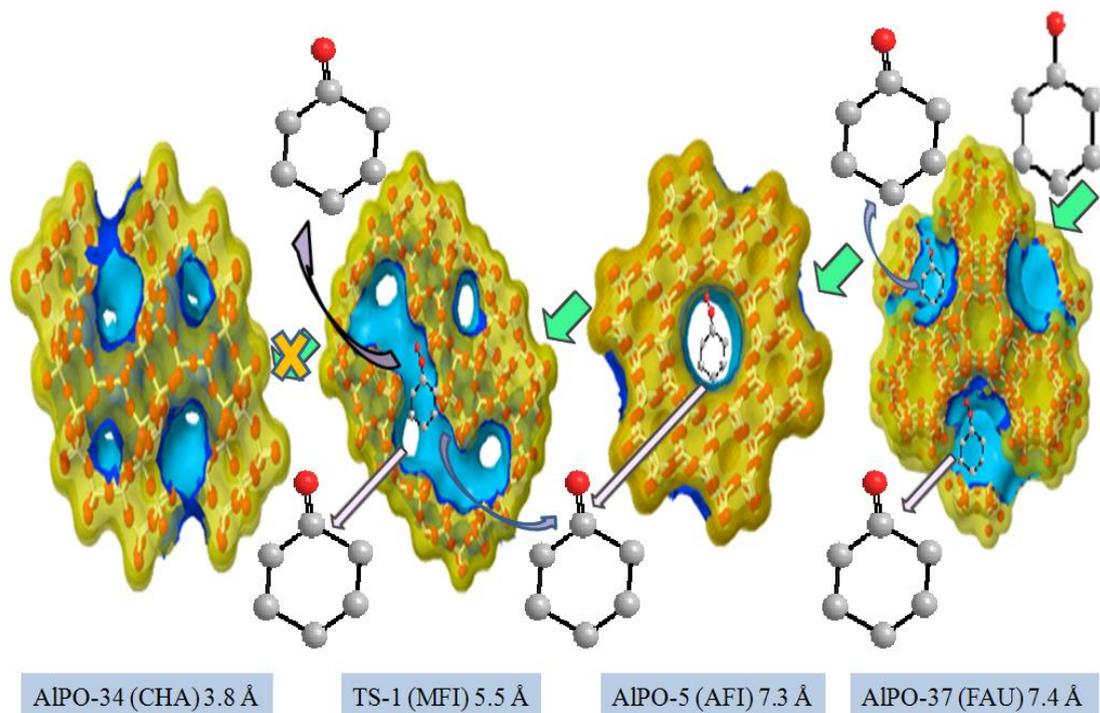


圖 7 不同催化劑之結構及孔隙示意圖



圖 8 反應物選擇性示意圖

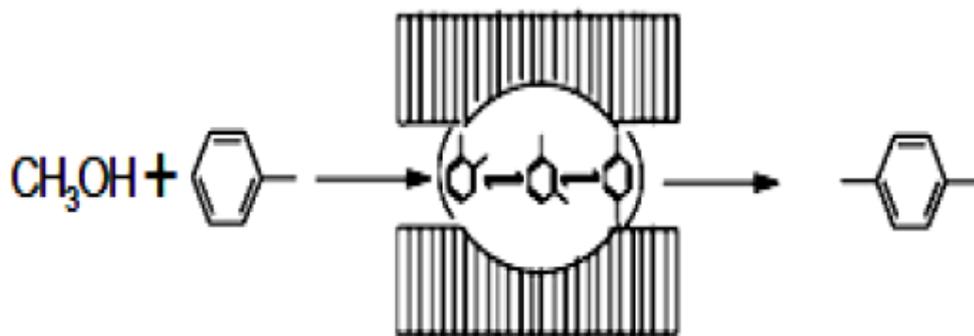


圖 9 產物選擇性示意圖

化學吸附在整個反應系統中扮演著重要的作用，主要為激活反應物分子，導致減少的活化能，Langmuir-Hinshelwood 和 Eley-Rideal 為兩種發生

在催化劑表面上的反應機制（圖 10~11），摘述如后：

- Langmuir-Hinshelwood：分子 A 和 B 同時被吸附在相近位置的催化劑活性表面上，反應後變成產物 C。
- Eley-Rideal：分子 A 被吸附在催化劑活性表面上，分子 B 和分子 A 接觸並發生反應，最後生產產物 C。

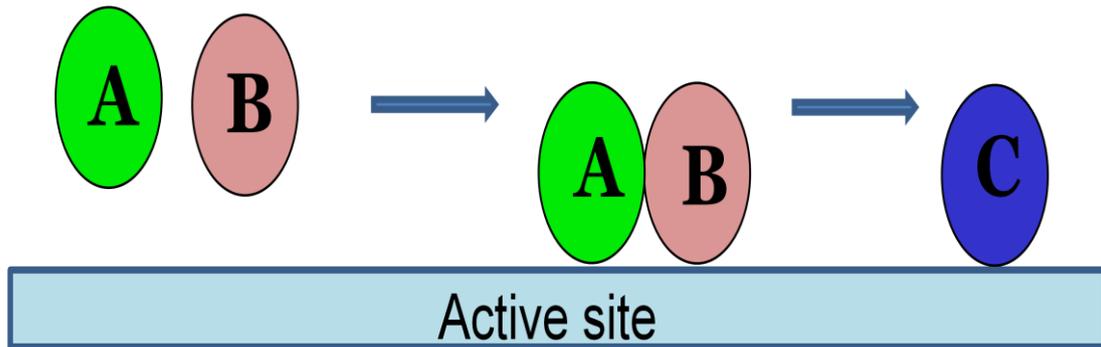


圖 10 Langmuir-Hinshelwood 理論示意圖

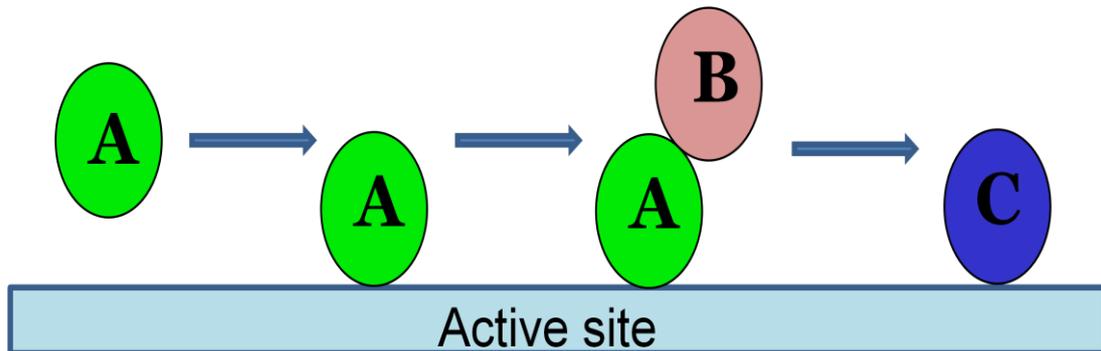


圖 11 Eley-Rideal 理論示意圖

使用壽命是一個非常重要的指標，用於確定催化劑的能力。非均相催化劑的回收利用，可以有效的延長使用期限，並降低了成本。但是，也有一些因素，可以減少或消除催化劑的反應活性，如從反應生成一些有機副產物可以被阻塞在催化劑的孔隙，因此，催化的副產物必須要除去，然後催化劑可以被回收並重用。由熱重分析（TGA）的結果可知，一些催化劑（例如：TS-1，AlPO 和 SAPO）具有優異的熱穩定性，因此副產物可加熱移除，而催化劑通過重新煅燒處理後即可以重複使用，惟前提為其結構不崩潰。自從發現沸石功能後，使用不同的合成路線，參數，結構指向劑和不同的

取代金屬，以產生催化劑使其對於不同種化學反應具有合適的性能。表 2 說明具有不同特性及組成的分子篩，合成新式分子篩之所以吸引化學家的地方為可以採用不同氧化態的過渡金屬置入催化劑的框架，意味著可以使用這些多孔化合物進行氧化還原反應或酸反應。此外，催化劑活性中心對催化劑的性能具有非常直接的關係，例如催化劑的氧化還原活性中心（redox active site）具有促進氧化反應的功效，布忍斯特酸活性中心（Brønsted acid active site）則具有改善酸催化的能力，如酒精脫水（alcohol dehydration），這些發現已被化學家廣泛地的研究以便於設計和形成新型催化劑。

表 2 分子篩的化學組成及特性

Molecular sieves	Chemical composition	Properties
Zeolite	$\text{Si}^{\text{IV}}\text{-O-Al}^{\text{III}}$	親水性負電架構，具有離子交換能力
Silicalites	$\text{Si}^{\text{IV}}\text{-O-Si}^{\text{IV}}$	趨水性電中性架構，不具離子交換能力
AlPO	$\text{Al}^{\text{III}}\text{-O-P}^{\text{V}}$	親水性電中性架構，不具離子交換能力
SAPO	$\text{Si}^{\text{IV}}\text{-O}(\text{H}^+ \text{ or } \text{M}^+)\text{-P}^{\text{V}}\text{-O-Al}^{\text{III}}$	親水性負電架構，具有離子交換能力

參考相關催化劑文獻，職選擇比較不同結構之含鈦基金屬無機催化劑，包含鈦矽 -1（titanium Silicalite-1）、鈦鋁磷酸鹽 -5（Titanium aluminophosphate-5）及鈷鈦鋁磷酸鹽 -5（Cobalt Titanium Aluminophosphate-5），其結構及各項特性說明如后：

(1) 鈦矽 -1 (TS-1)：

TS-1是由化學家Tarmasso於1983年首次合成成功，它包含了少量的孤立中 Ti^{4+} 原子（1~2%）取代矽質框架內的四面體 Si^{4+} 原子，而產生氧化還原活性中心（圖12），這些活性中心使的TS-1非常合適與含水過氧化物或氧分子於低溫氧化反應，如圖13所示。在過去的幾十年，TS-1是最多化

學家所研究的非均相催化劑之一，TS-1採用水熱法合成的趨水性催化劑，其結構孔徑為直徑5.5 Å，圖14為說明合成TS-1的組成。

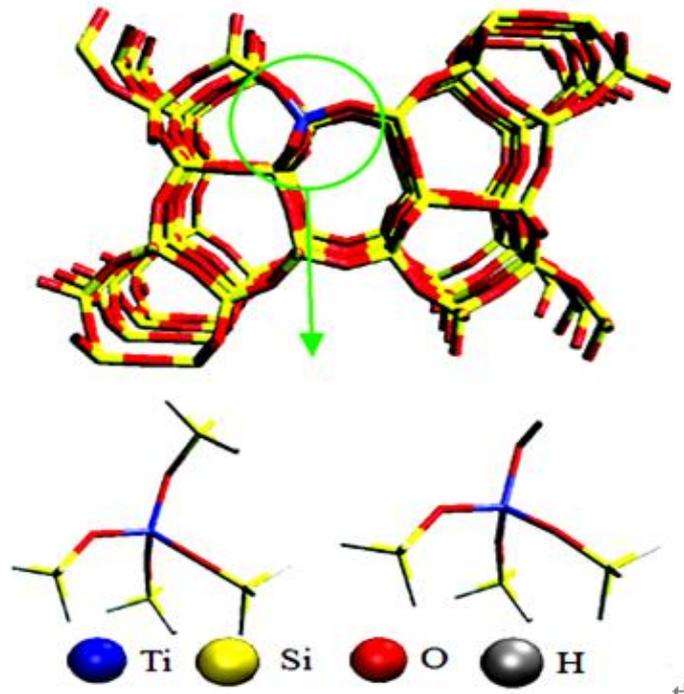


圖12 Ti⁴⁺取代Si⁴⁺產生氧化還原活性中心示意圖

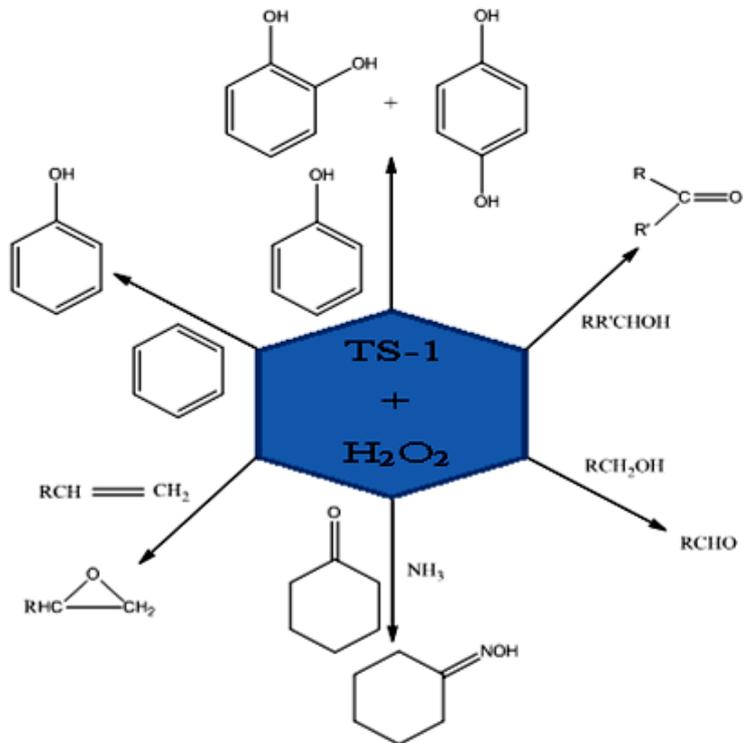


圖13 TS-1與含水過氧化氫氧化反應示意圖

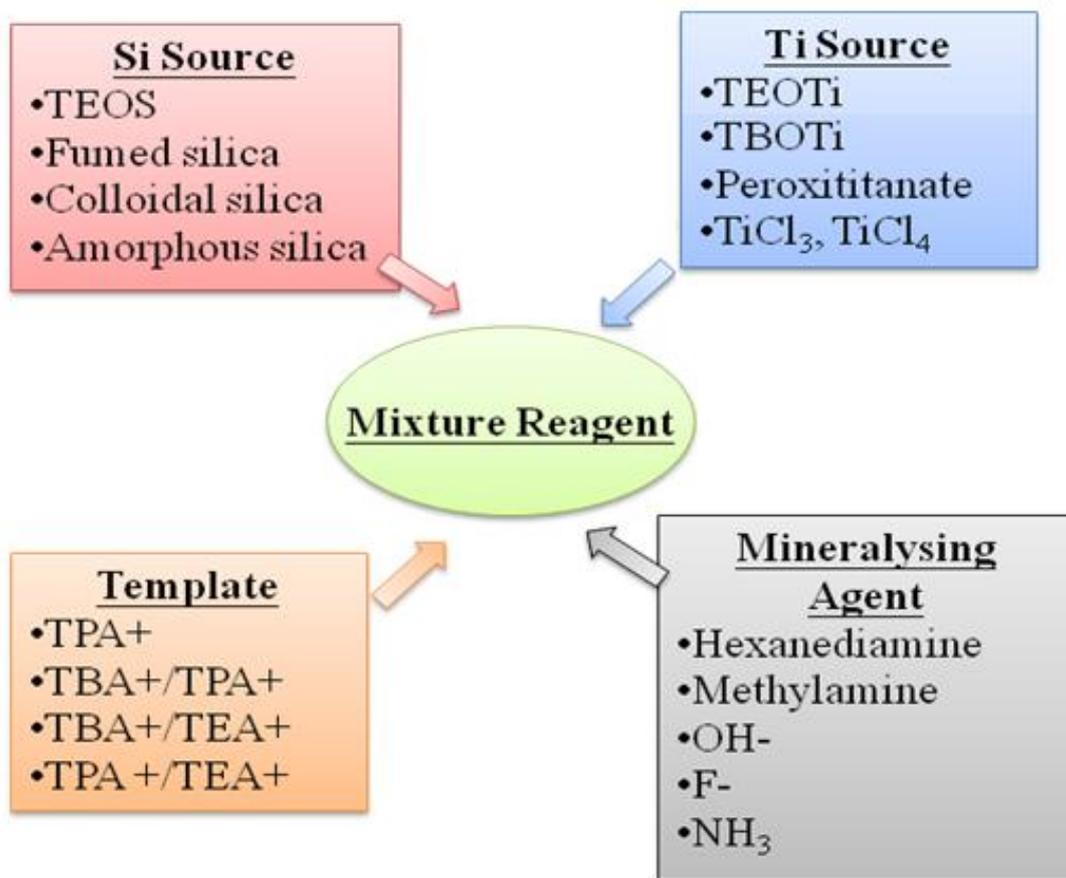


圖14 TS-1合成方法概要

(2) 鈦鋁磷酸鹽-5 (TiAlPO-5)：

磷酸鹽 (AlPO) 是由可移動的 AlO_4 和 PO_4 所組成的電中性結構，因此它不像 TS-1 具有離子交換的能力，它被化學家廣泛的使用因為它具有較大的孔徑尺寸 (7.3 Å) 可以允許較大的反應物進入催化劑內部的金屬活性中心發生化學反應，並可釋出較大體積的產物而不會產生阻塞情形。

過渡金屬可以藉由取代 (substitution) 摻入微孔催化劑 AlPO-5，不同價數的過渡金屬可選擇取代鋁或磷而產生氧化還原或布忍斯特酸活性中心，這些化合物又稱為金屬磷酸鋁鹽 (metalloaluminophosphates, MeAlPO)。

TiAlPO-5 經由水熱法合成，具有較高的親水性，其孔徑為 7.3Å，合成過程大多與合成 AlPO-5 相同，唯一的差異為合成過程中需添加鈦金屬來源

以取代部分磷或鋁，由於電荷差異會導致需要在框架外補償一個電子(陽離子或質子)，進而產生布忍斯特酸活性中心(圖 15)。

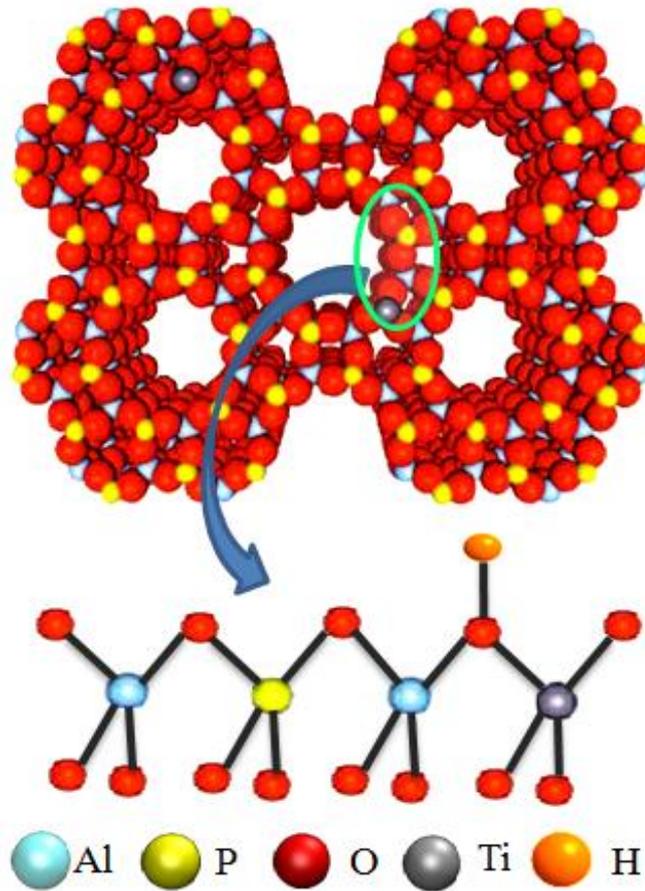


圖 15 Ti^{4+} 取代 P^{5+} 產生布忍斯特酸活性中心(Brønsted acid sites)

Al^{3+} 和 P^{5+} 中心可以被 Ti^{3+} 和 Ti^{4+} 離子取代，並產生布忍斯特酸和氧化還原活性中心，甚至兩者同時進行，鈦離子摻入AlPO-5結構內有幾種可能性如圖 16

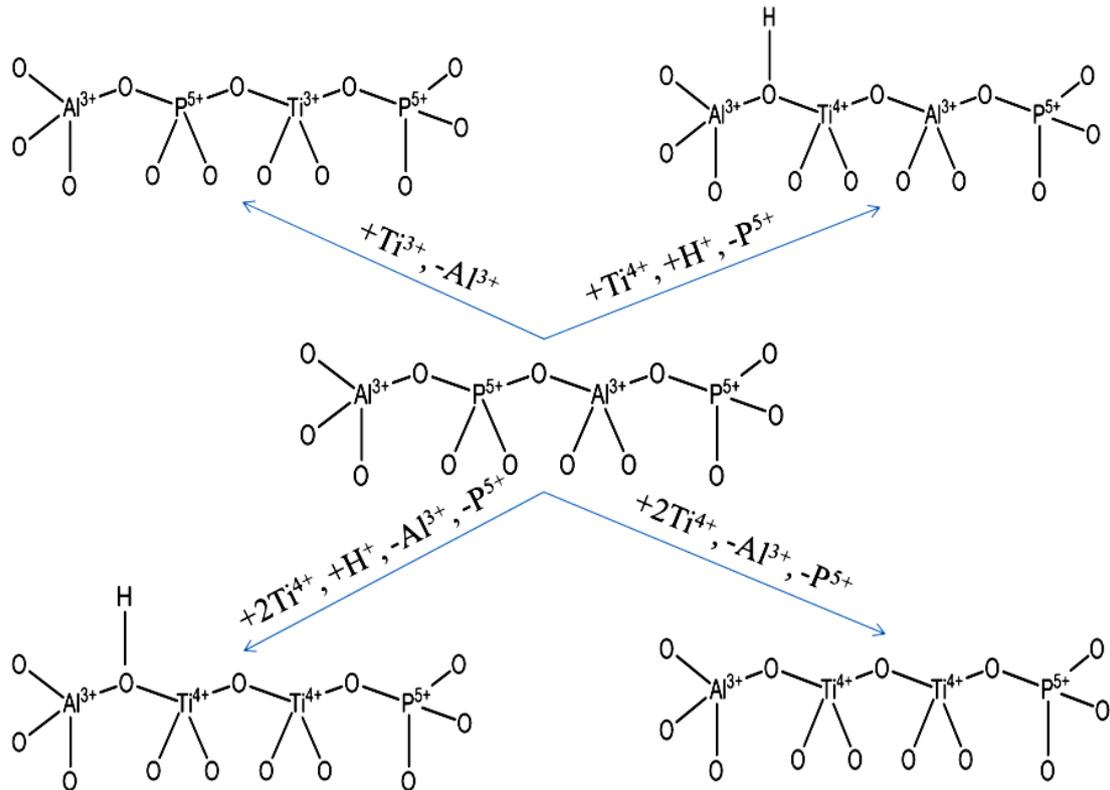


圖16 鈦金屬摻入AlPO-5結構之機制示意圖

(3) 鈷鈦鋁磷酸鹽-5 (CoTiAlPO-5) :

鈦基單金屬催化劑已被證明是特別有效的，在許多重要的氧化反應，這些催化劑具有高活性及選擇性歸因於鈦金屬活性中心結構協調的幾何形狀，取代金屬的選擇允許催化具有更高的靈活性，因此設計一種氧化還原及布忍斯特活性中心具雙金屬活性中心，可使催化劑具有雙功能性及優點，CoTiAlPO-5製造係經由水熱法並由Co³⁺和Ti⁴⁺離子取代Al³⁺和P⁵⁺中心合成(圖17)。

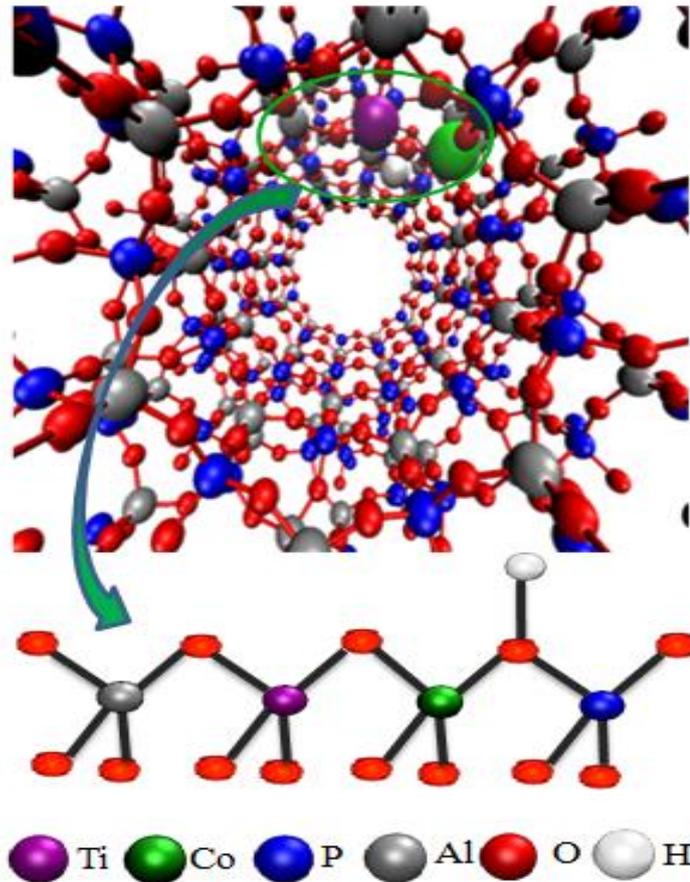


圖 17 Ti^{4+} 和 Co^{3+} 取代 P^{5+} 和 Al^{3+} 中心產生氧化還原及布忍斯特活性中心
 雙金屬取代 AlPO_5 催化劑提供一個機會了解其雙金屬間的協同作用
 (synergistic interactions)。根據文獻記載，相較於同反應系統內單獨
 添加兩種相對應的單金屬取代催化劑，雙金屬取代催化劑可大幅提升催化
 反應的活性及選擇性，此外亦可將需要多反應道次的過程簡化為單一道次，
 進而提高生產效率。

(三) 實驗設計

在實驗設計部分主要可區分為兩個階段，第一階段為研究常壓下不同的反應環境（例如：反應溫度、時間、氧化劑種類及反應物、氧化劑、催化劑含量多寡）對鈦基金屬催化劑氧化環己醇之影響，依實驗結果了解其關聯性，並訂定理想反應參數，以取得最佳之反應結果。

第二階段採用第一階段得知之理想反應參數為基礎，比較各種不同結構之含鈦基金屬催化劑反應結果，以了解其結構、特性對反應結果之影響，俾

作為未來實驗之重要參考依據。

另因標準反應為氧化反應，故須於反應系統內加入氧化劑，經檢討相關氧化劑，因過氧化氫 (H_2O_2) 具有較高之含氧量 (詳附表 3)，且所產生之產物為水，可節省廢液處理費用，因此選定以過氧化氫 (H_2O_2) 為氧化劑；惟過氧化氫溶液 (30 wt% in water) 內含有大量的水，因催化劑特性可區分為親水性及趨水性，對於第二階段比較不同結構、特性之催化劑具有相當的影響，故參考文獻採用自行合成之新型無水固體氧化劑乙酰過氧硼酸 (Acetyl Peroxy Borate, APB, 詳圖 18)，根據研究乙酰過氧硼酸非常適用於氧化有機物，它是由過氧乙酸 (peroxy acetic acid, PAA) 和硼酸鹽 (borate salts) 所合成，與傳統的氧化劑相比它具有完全不同的特性，常被用來取代過氧化氫或烷基過氧化氫作為氧化劑，因為它具有易於處理、運輸、及存儲安全之特性，雖然目前僅被使用於實驗室內，但毫無疑問的在工業上它具備未來發展的潛力，故於本實驗內採用乙酰過氧硼酸與過氧化氫兩種氧化劑，以了解含水及無水對於反應系統之關係。

表 3 常使用於氧化反應之氧化劑

Oxidants	Active Oxygen (%)	Sub-product
H_2O_2	47.0	H_2O
Tert-BuOOH	17.8	Tert-BuOH
O_3	33.3	O_2
CH_3COOOH	26.6	CH_3COOH
N_2O	36.3	N_2
HNO_3	25.4	NO_x
NaClO	21.6	NaCl
NaClO_2	19.9	NaCl

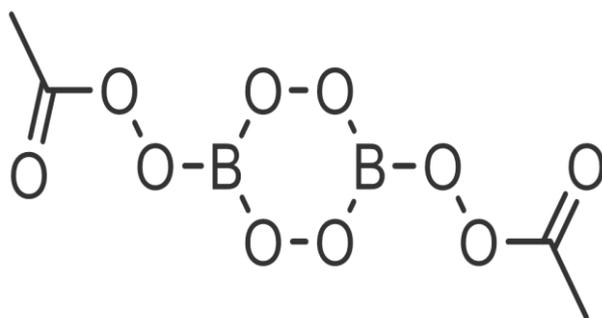


圖 18 乙酰過氧硼酸 (APB) 結構示意圖

(四) 分析技術及程序

為更進一步了解催化劑之結構與特性，參考相關文獻選定數種相關分析技術進行分析，其中包含X光繞射分析儀 (X-ray Diffractometer)、熱重分析儀 (Thermogravimetry analyzer)、比表面積分析 (BET Surface Area Measurements)、掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy)、X-光能譜散射儀 (Energy Dispersive Spectrometer) 及氣相層析儀 (Gas Chromatography)，摘述如后：

1、X 光繞射分析儀 (X-ray Diffractometer)：

X 射線之特性與繞射現象是由 W.H. Bragg 和 W.L. Bragg 於 1912 年所建立，是常用的非破壞性分析技術，通常用於鑒定未知物質的晶體結構、化學組成以及物理性質，待測樣品為多晶態或粉末固態晶體，因此常被使用於分析催化劑之結構，此方法主要係透過偵測器搜集 X 射線光束撞擊到催化劑結構晶面 (lattice planes) 產生之建設性干涉 (詳圖 19) 來確認催化劑結構，藉由文獻查詢或與國際分子篩協會 (International Zeolites Association) 數據庫比對，可以確認催化劑相純度 (phase purity) 及結晶度 (crystallinity)，其中產生建設性干涉之必要條件為入射角與反射角角度相對於晶格平面必須相同，且入射和反射 X 射線之間的光程差 (GEH) 應為波長 (λ) 的整數倍 (n)，因此從 Bragg 定律 $2d \sin \theta = n \lambda$ 可以得知 $GE=EH=d \sin \theta$ 。此外，X 光散射技術可在許多不同的條件下進行分析，舉例來說，使用逐漸升溫之分析模式，可以得知不同溫度下對

待測物質結構之影響，若所得測得之圖譜於特定溫度時突然有劇烈變化則有可代表其結構指向劑（structure directing agents, SDA）被燒燬，導致催化劑結構塌陷。

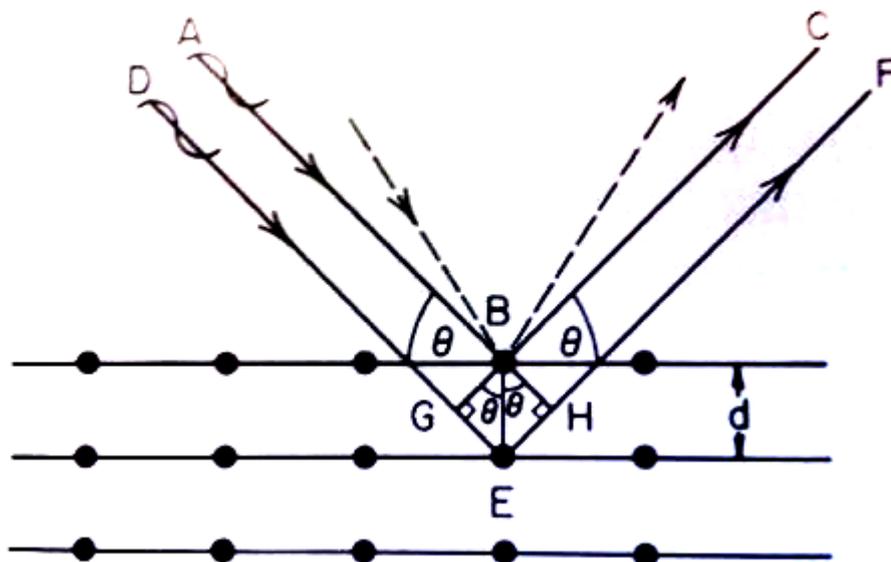


圖 19 X 射線繞射機制示意圖

分析流程為先將催化劑樣品至於鋁製之樣品載具上，並確保其表面平坦，將樣品載具固定於繞射儀後設定分析範圍及速度（一般來說速度越慢越準確），經過一定循環分析後即可獲得催化劑結構圖。

2、熱重分析儀（Thermogravimetry analyzer）：

此分析方法主要係將催化劑置於一個穩定的加熱密閉系統內，透過催化劑的重量變化與溫度之關係來了解其熱穩定性。因不同物質會在不同溫度被燒燬，故當溫度以緩慢且穩定的速率上升到一定溫度時，催化劑重量會逐漸減輕，此時透過比對合成催化劑所添加物質之沸點即可得知其所占有之比例，例如催化劑加熱到 100°C 左右，其重量會減少即因水從催化劑之孔隙內蒸發所致。

分析流程為先將催化劑樣品至於樣品載具上，並固定於加熱室內，將空氣管線連接至加熱室，設定升溫速率及溫度範圍後即可開始加熱分析。

3、比表面積分析 (BET Surface Area Measurements)：

BET 理論是由史蒂芬·布魯諾爾 (Stephen Brunauer)、保羅·休·艾米特 (Paul Hugh Emmett) 和愛德華·泰勒 (Edward Teller) 在 1938 年提出的解釋氣體分子在固體表面吸附現象的理論，該理論是對固體表面進行分析研究的重要理論基礎。BET 理論在朗繆爾理論的單分子吸附模型的基礎上 (圖 20)，基於以下三個假設拓展到多層吸附 (圖 21) 的情況：(a) 氣體分子可以在固體上吸附無數多層 (b) 吸附的各層之間沒有相互作用 (c) 朗繆爾吸附理論對每一單分子層成立。由此得出 BET 吸附等溫式如下：

$$\frac{1}{V \left[\left(\frac{P_0}{P} \right) - 1 \right]} = \frac{C - 1}{V_m C} \left(\frac{P}{P_0} \right) + \frac{1}{V_m C} \quad (1)$$

其中， P, P_0, V, V_m 分別為平衡壓強、飽和蒸氣壓、平衡氣體吸附量、單層飽和吸附量， C 稱為 BET 常數，可由下面公式求得：

$$C = \exp \left(\frac{E_1 - E_L}{RT} \right) \quad (2)$$

其中 E_1 是第一層的吸附熱， E_L 為其餘各層的單層吸附熱，數值上等於氣體的液化焓。根據 (1) 式，在溫度恆定的情況下，以 $1/V[(P_0/P)-1]$ 對 $\phi = P/P_0$ 作圖應得一直線，即為 BET 圖 (詳圖 22)，然而只有在 $0.05 < P/P_0 < 0.35$ 的範圍內，BET 圖表現出較良好的線性。根據直線的斜率 A 和截距 I 可以求出單層吸附量和 BET 常數，公式如后：

$$V_m = \frac{1}{A + I} \quad (3)$$

$$C = 1 + \frac{A}{I} \quad (4)$$

比表面積分析常用於測定微小物質之表面積大小，例如活性炭是一種常見的強吸附劑，在液氮的溫度下活性炭對氮氣 (其吸附截面為 0.16 平方奈米) 的吸附實驗表明，活性炭的比表面積為 $3,000 \text{ m}^2/\text{g}$ ，顯示活性炭作為固體催化劑有著十分良好的催化性能。

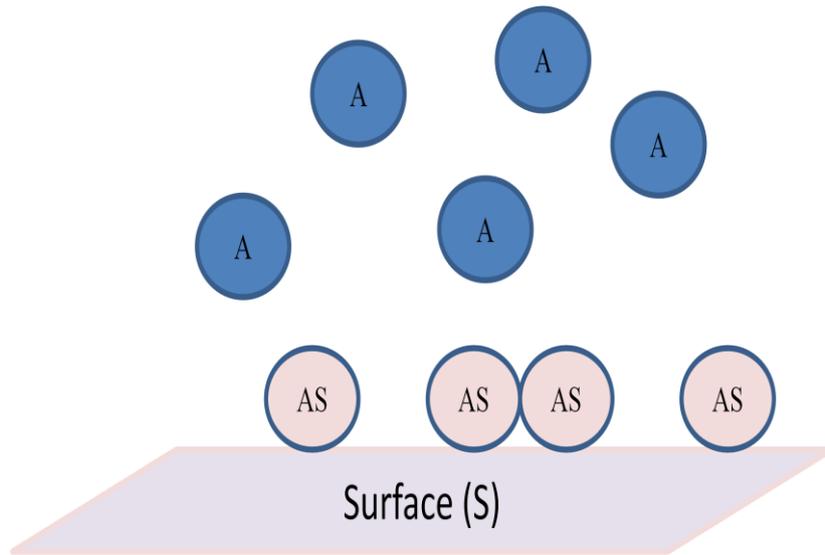


圖 20 單層吸附示意圖

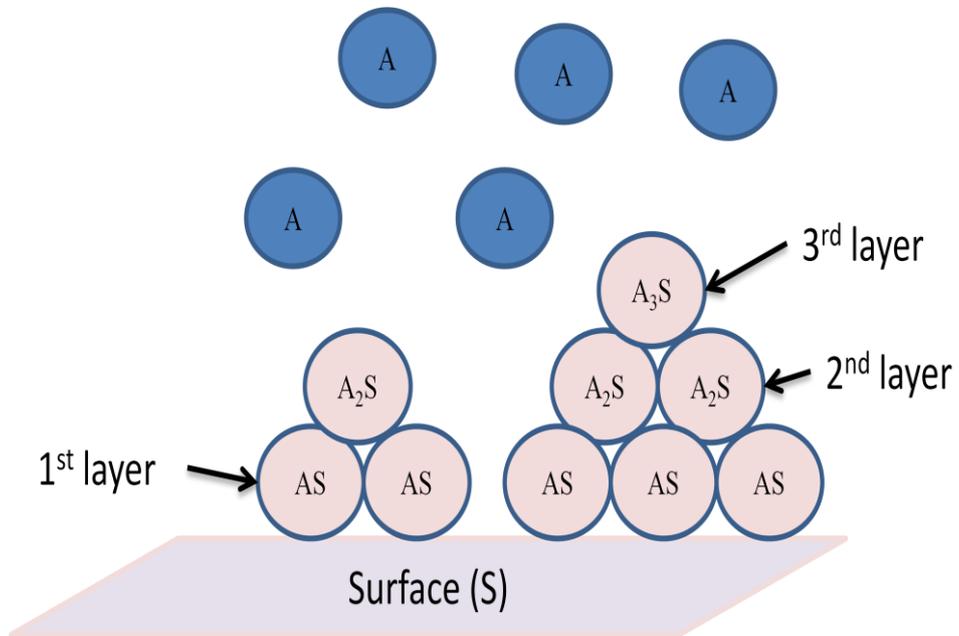


圖 21 多層吸附示意圖

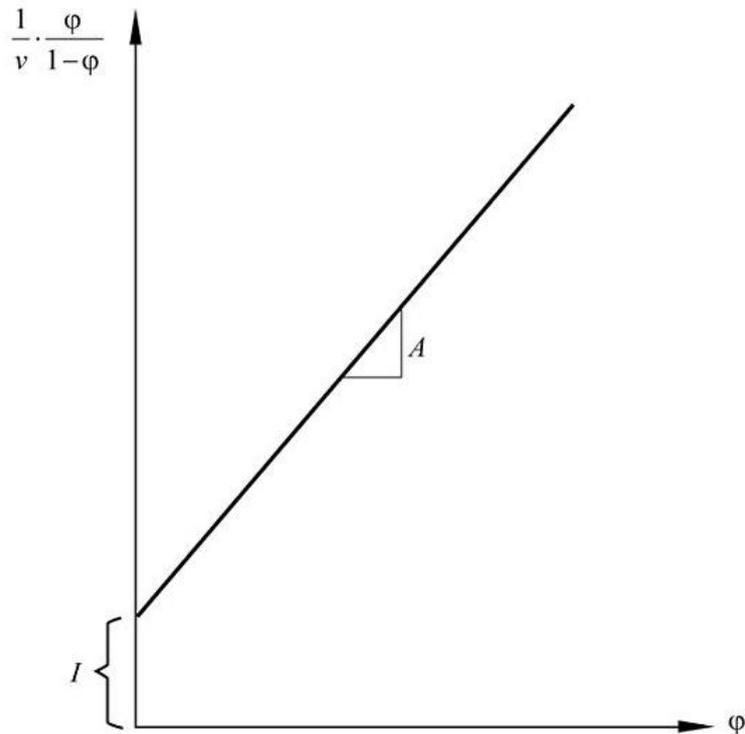


圖 22 BET 示意圖

分析流程為將催化劑置於分析試管內加熱至 200°C 並以氮氣於管內循環，以避免乾燥後催化劑再次吸收空氣中的水份，每加熱 30 分鐘後取出記錄重量變化直至恆重，將樣品冷卻後再次稱重並安裝於 BET 儀器上，取相同型號未含有樣品之分析試管一併安裝於儀器上，同時將內含樣品及不含樣品之分析試管浸泡於液態氮內進行平衡壓力，後續設定於不同之相對壓力點(P/P₀)比較氮氣吸收度，並利用上述公式計算樣品比表面積數值。

4、掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscopy)：

掃描電子顯微鏡 (SEM) 是一種利用電子束掃描樣品表面從而獲得樣品信息的電子顯微鏡，它能產生樣品表面的高解析度三維圖像，常被用於鑒定樣品的顆粒大小、型狀、型態及表面結構，這些數據對催化劑參與反應有直接的影響。其作用過程為電子槍發射一束高能量電子束通過電子透鏡系統後撞擊到測試催化劑，並從電子層中移除電子，過程中會產生次級電子、背散無線電子、歐革電子 (Secondary, backscattered and Auger

electrons) 以及 X 射線等一系列信號，負電電子會被帶有正電的偵測器吸引、搜集後即可成像 (圖 23)。

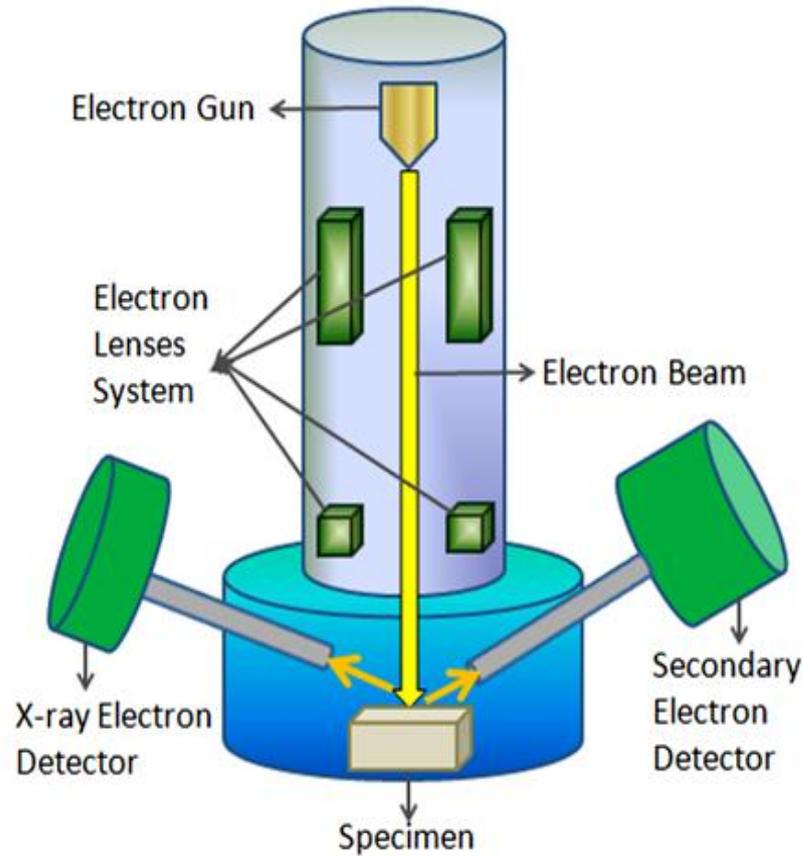


圖 23 掃描式電子顯微鏡示意圖

執行掃描式電子顯微鏡分析前必須了解樣品是否為導體，以催化劑來說非屬導體，故須將待測樣品進行鍍金或碳的前處理，之後固定與載具上並置於電子顯微鏡分析室內，調整強度及鏡頭焦距後即可執行成像作業。

5、X 光能譜散射儀 (Energy Dispersive Spectrometer)：

近年材料分析技術中，在掃描式電子顯微鏡或穿透式電子顯微鏡 (SEM、TEM) 上附加 X 射線能量散佈分析儀，已成為材料科學研究上非常重要的工具。當我們在電子顯微鏡觀察特定的顯微組織時，可以進一步利用 X 射線能量散佈分析儀，在短短數分鐘時間，完成選區的定性或定量化學成份分析。選區的大小與電子顯微鏡的種類有關，掃描式電子顯微鏡的選區範

圍可以小於 $1\ \mu\text{m}$ ，一般分析用的穿透式電子顯微鏡則可以小於 200\AA ，而最新開發的場發射穿透式電子顯微鏡則可以小於 10\AA 範圍。

X 射線能量散佈分析儀 (EDS) 已為國際上極普遍的電子顯微鏡附屬分析儀器，可做材料所含元素的定性、定量、面掃描及線掃描分析。EDS 化學成份分析在合金上的應用已有 20 多年，其主要用途在兩相的合金元素之分佈晶界的偏析，以及相的鑑定等方面的研究；因此其對於合金的固態相變化及物理、化學性質的深入了解具有特別的貢獻。能量散佈分析儀相較於波長散佈分析儀的優點有：(1) 快速並可同時偵測不同能量的 X-光能譜；(2) 儀器之設計較為簡單；(3) 操作簡易，不需作電子束的對準 (Alignment) 及聚焦 (Focusing)；及 (4) 使用之一次電子束電流較低可得較佳的空間解析度，且較不會損傷試片表面。然而 EDS 能量散佈分析儀仍具有以下幾項明顯的缺點：(1) 能量解析度差；(2) 定量分析能力較差；(3) 對輕元素的偵測能力較差；及 (4) 偵測極限及解析度較差。

6、氣相層析儀 (Gas Chromatography)

氣相層析法是一種在有機化學中對易於揮發而不發生分解的化合物進行分離與分析的色譜技術。典型用途包括測試某一特定化合物的純度與對混合物中的各組分進行分離 (同時還可以測定各組分的相對含量) 在某些情況下，還可能對化合物的表徵有所幫助，氣相層析儀 (圖 24) 主要組成包含流量控制器、注射器、管柱、偵測器及數據處理系統。氣相層析儀中的流動相 (或活動相) 是載氣，通常使用惰性氣體 (如氮氣) 或反應性差的氣體 (如氬氣)。固定相則由一薄層液體或聚合物附著在一層惰性的固體載體表面構成。固定相裝在由玻璃或金屬製成的一根空心管柱內 (稱為色譜柱)。用作進行氣相層析的儀器稱為氣相層析儀。

待分析的氣體樣品與覆蓋有各種各樣的固定相的柱壁相互作用，使得不同的物質在不同的時間被洗脫出來。從一種物質進樣開始到出現色譜峰最大

值的時間被稱為該物質的保留時間，通過將未知物質的保留時間與相同條件下標準物質的保留時間的比較可以表徵未知物。氣相層析法也與分餾類似。它們都主要利用混合物中各個組分的沸點（或蒸氣壓）的差異對混合物中的各個組分進行分離。但是，分餾通常用於常量的混合物的分離，而氣相層析儀所分離的物質則為微量。

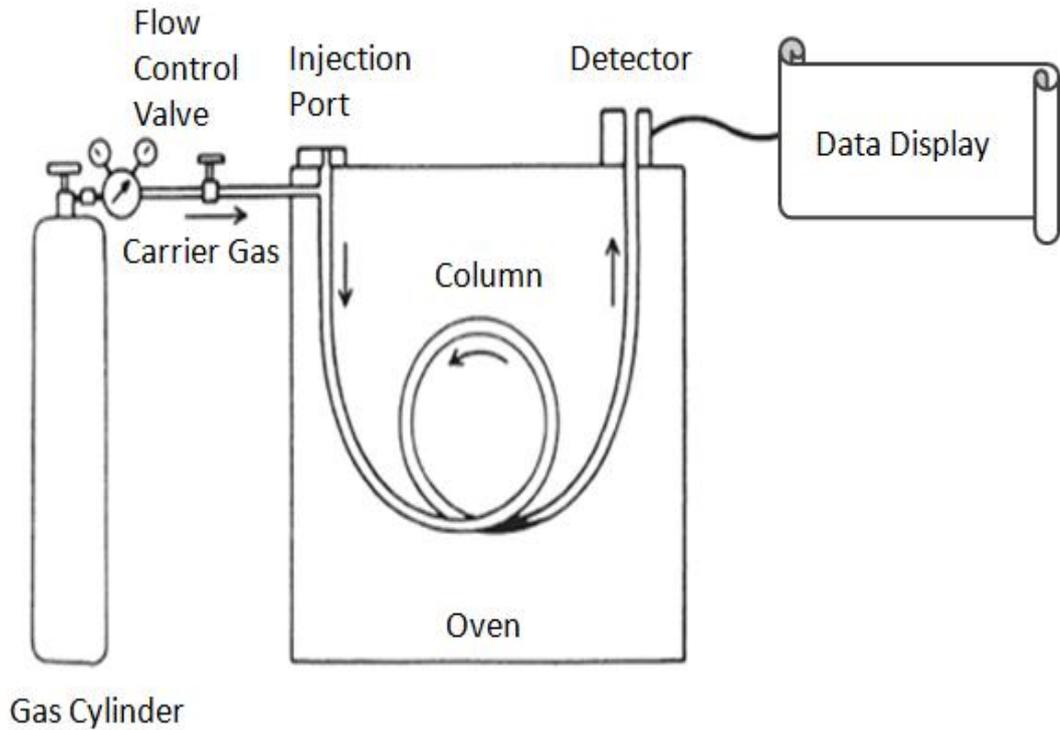


圖 24 氣相層析儀示意圖

（五）結果分析討論

1、儀器結果分析

X-射線繞射是被用來作為相純度測定的主要技術。圖 25 顯示了 TS-1 催化劑的 XRD 圖（B）與 TS-1 的專利發明圖譜（A）完全相符，證明本實驗所採用之 TS-1 是認可的。另 TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 催化劑圖譜（圖 26 B 和 C）和國劑沸石協會（IZA）資料庫所記載的 AlPO-5 圖譜（A）是完全相符的，顯示 Co 和 Ti 金屬取代並未破壞其結構造成像不純現象。

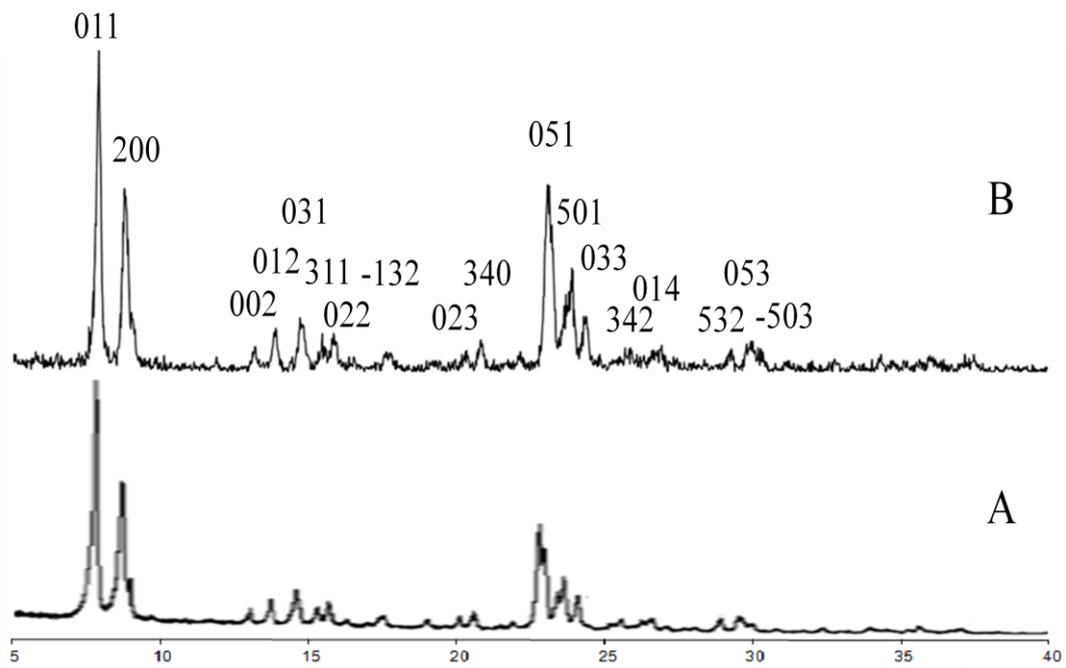


圖 25 TS-1 專利與樣品圖譜對照圖

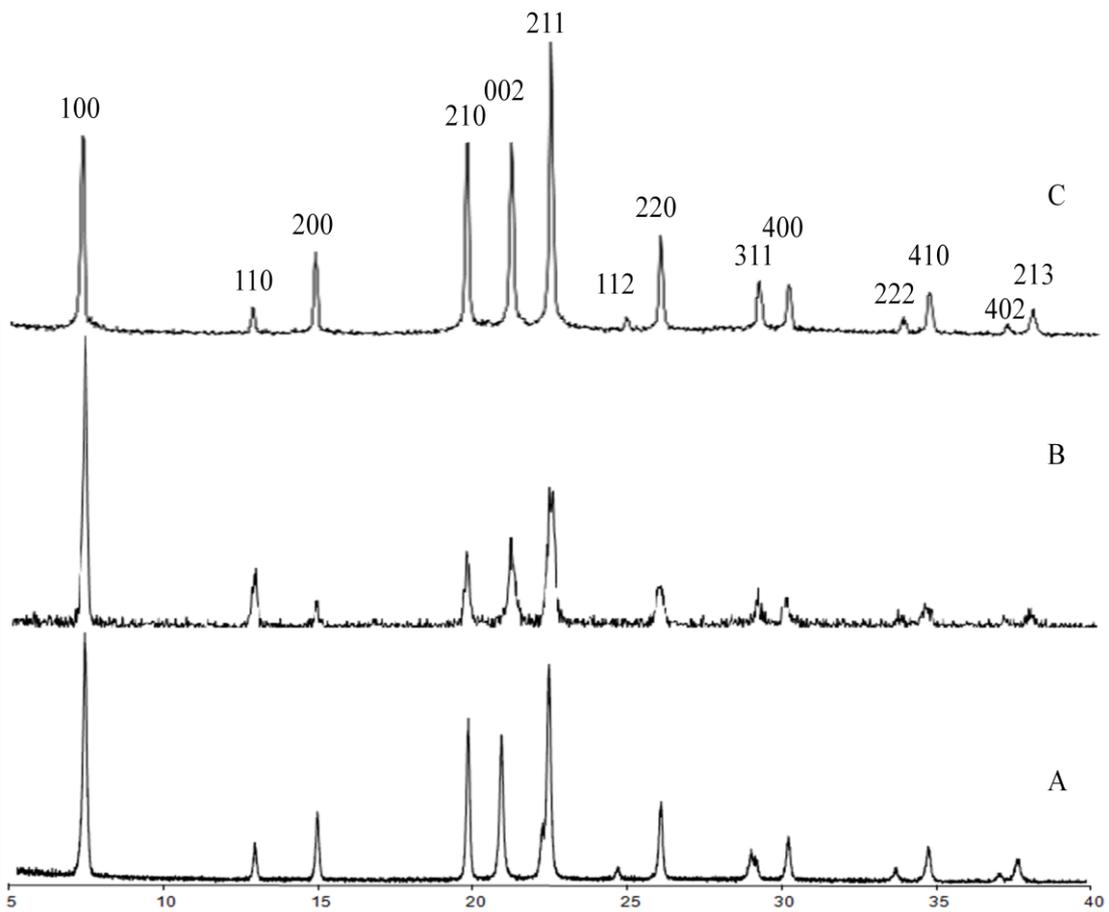


圖 26 AlPO-5 文獻與 TiAlPO-5、CoTiAlPO-5 樣品圖譜對照圖

熱重分析實驗溫度範圍設定在 25°C 到 825°C，結果顯示 TS-1 和 TiAlPO-5 催化劑均相當熱穩定且結構沒有塌陷狀況，且催化劑內其有機化合物已經被高溫燒毀，在溫度 125°C 以下重量有大幅度減少係因水份被蒸發所致，經量測 TS-1 和 TiAlPO-5 水份含量分為約 3.2%及 5.7%，顯示 TS-1 相對較趨水（圖 27）。

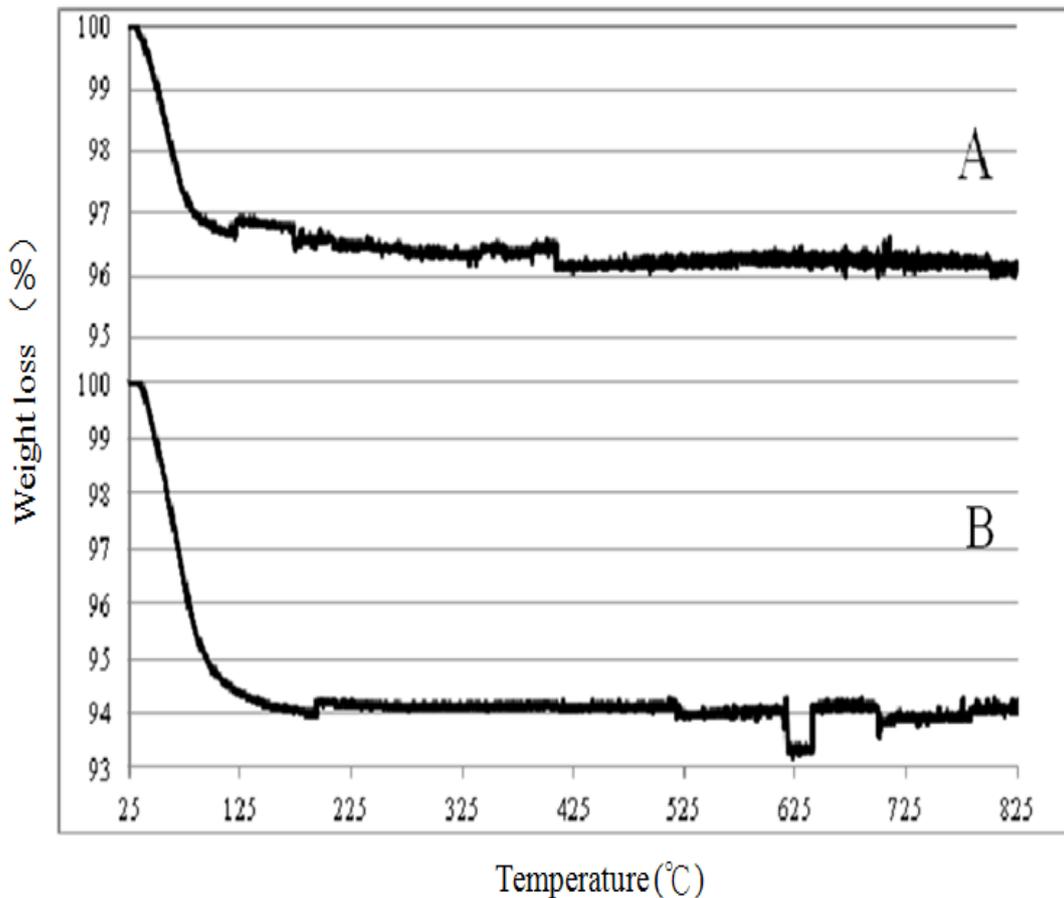


圖 27 TS-1(A)和 TiAlPO-5(B)催化劑熱重分析圖

催化劑的表面積，孔體積，單層覆蓋量，孔徑大小分佈皆可使用氮氣(-196°C) 吸附/解吸裝置和 Brunauer-Emmett-Teller (BET)的測試方法，BET 測試結果可對具有高孔隙數的催化劑提供了一個詳細的分析。在設計製造新型非均相催化劑時高表面積是非常重要的特性，根據 BET 實驗結果相對於 TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5，TS-1 具有較高的比表面積和單層體積，符合文獻記載，相關結果如表 4。

表 4 單金屬及雙金屬催化劑表面積測量結果

催化劑	表面積 (m^2g^{-1})	單層覆蓋量 (m^2g^{-1})	孔徑 (\AA)
TS-1	386	89	~5.5
TiAlPO-5	294	68	~7.3
CoTiAlPO-5	277	64	~7.3

掃描型電子顯微鏡結果表明，TS-1，TiAlPO-5，和 CoTiAlPO-5 具有一個高度的半球型均勻形態(圖 28~30)，TS-1 的粒徑大小約 $0.3 \mu\text{m}$ ，TiAlPO-5 及 CoTiAlPO-5 的顆粒大小約為 $5\sim 10 \mu\text{m}$ 的範圍內，所觀察到的顆粒尺寸及型態都與相關文獻高度相符。催化劑顆粒大小對反應結果具有強烈的影響，具有較小顆粒的催化劑具有較大的表面積，通常具有較高的反應活性，因此化學家亦針對如何設計出具有較小顆粒的催化劑，如不同的合成途徑或結構指示劑等進行研究。

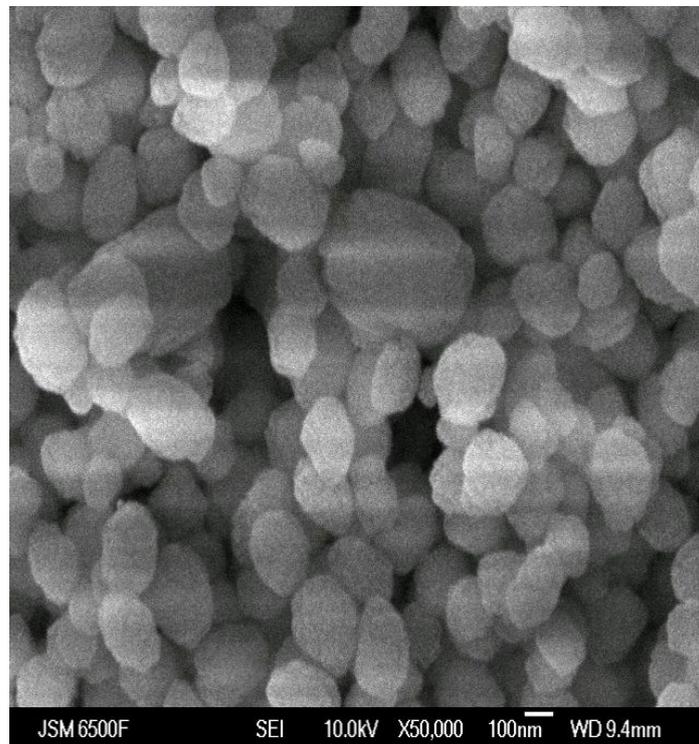


圖 28 TS-1 催化劑掃描式電子顯微鏡圖像

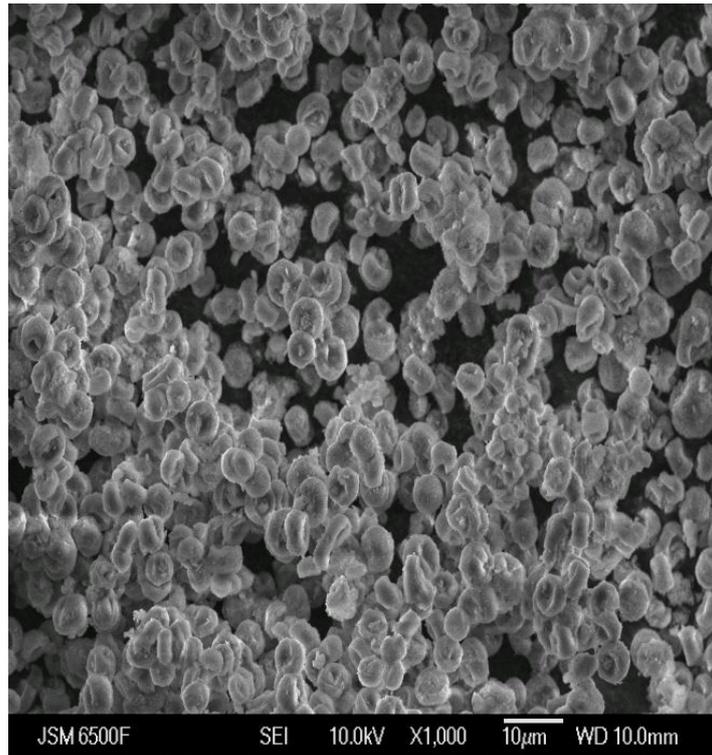


圖 29 TiAlPO-5 的掃描式電子顯微鏡圖像

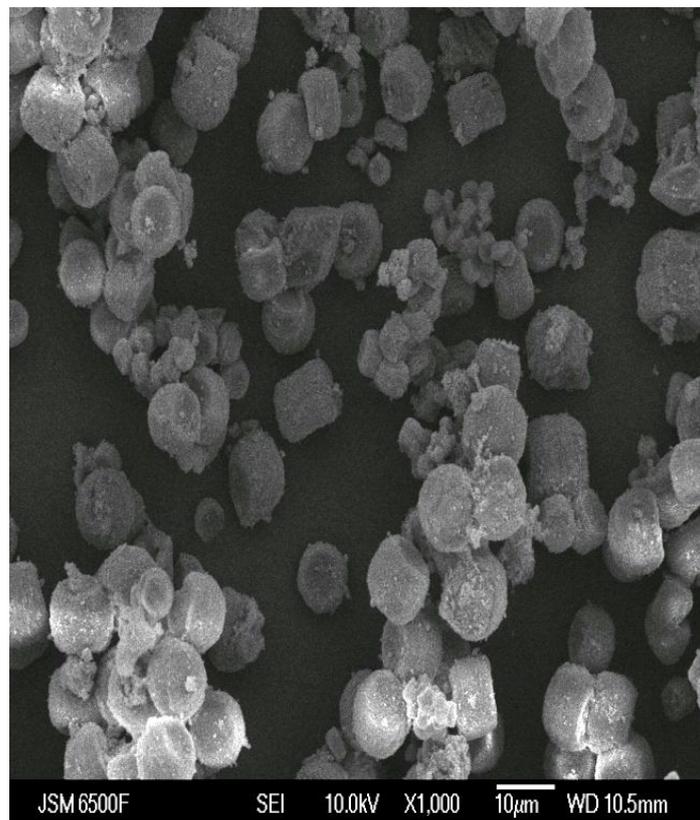


圖 30 CoTiAlPO-5 的掃描式電子顯微鏡圖像

X 光能譜散射儀分析通常和掃描式電子顯微鏡共同執行，此分析結果提供

催化劑的組成成份，這個數據可以被用於比較不同金屬取代之催化劑理論和實驗結果之差異，表 5 顯示出 TS-1、TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 的組成成份。

表 5 單金屬和雙金屬催化劑組成成份表

催化劑 \ 組成(wt%)	氧	矽	鋁	磷	鈦	鈷
TS-1	60.05	35.93	-	-	4.02	-
TiAlPO-5	53.50	-	19.45	25.36	1.69	-
CoTiAlPO-5	53.52	-	17.85	23.46	2.59	2.58

2、反應結果分析

有不同的因素可以直接影響催化劑的性能，如：反應溫度、反應物和催化劑的添加量、催化劑和氧化劑的種類，本實驗以環己醇氧化反應為標準反應，乙腈作為溶劑，過氧化氫作為氧化劑，反應時間為 5 小時，針對不同的反應參數進行試驗，了解不同反應環境與反應物轉化率的關係，以獲得理想的反應參數。根據實驗結果使用 TS-1 催化劑氧化環己醇的理想反應參數如后：

- 使用乙腈作為溶劑
- 反應溫度介於 90~100°C
- 反應物和氧化劑的莫爾比為 1 : 1
- 反應物和溶劑的重量比為 1 : 20
- 反應物和催化劑的重量比為 1 : 0.1

根據上述理想參數，選擇 TS-1，TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 催化劑來比較其相對性能，反應條件為：90°C，反應物及氧化劑摩爾比為 1:1，反應物及溶劑的重量比為 1:20，反應物及催化劑的重量比為 1:0.1，並使用乙腈作為溶劑，比較結果如后：

根據圖 31~33，當使用過氧化氫為氧化劑，反應時間為 9 小時，TS-1 表現出最高的轉化率為 27.5%，遠高於 TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 催化劑 10.5% 和 7.4%，在另一方面，鈦基催化劑的選擇性為 TS-1 (81.5%) > CoTiAlPO-5 (64%) > TiAlPO-5 (37.6%)。

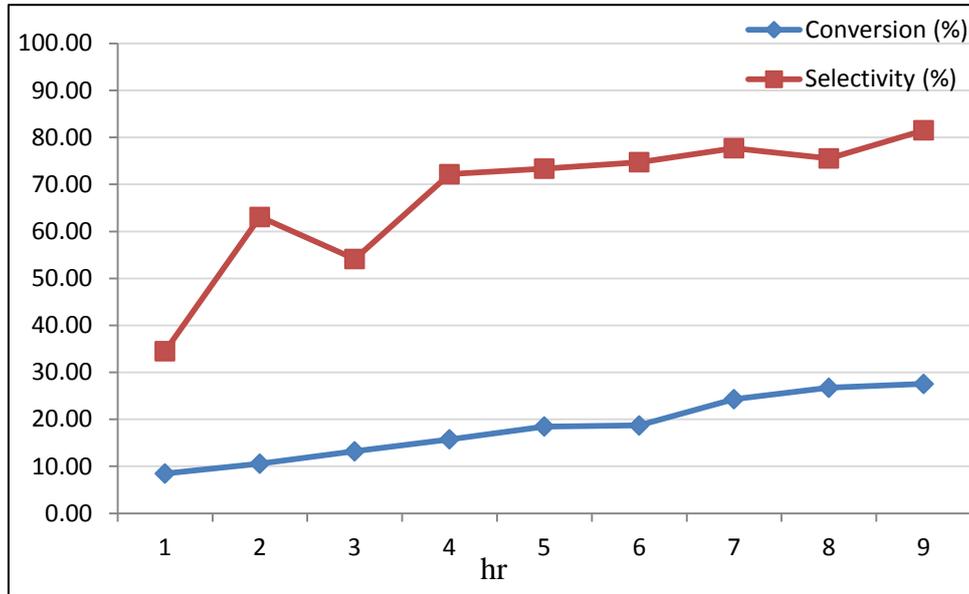


圖 31 使用 TS-1 和過氧化氫氧化環己醇之反應動力圖

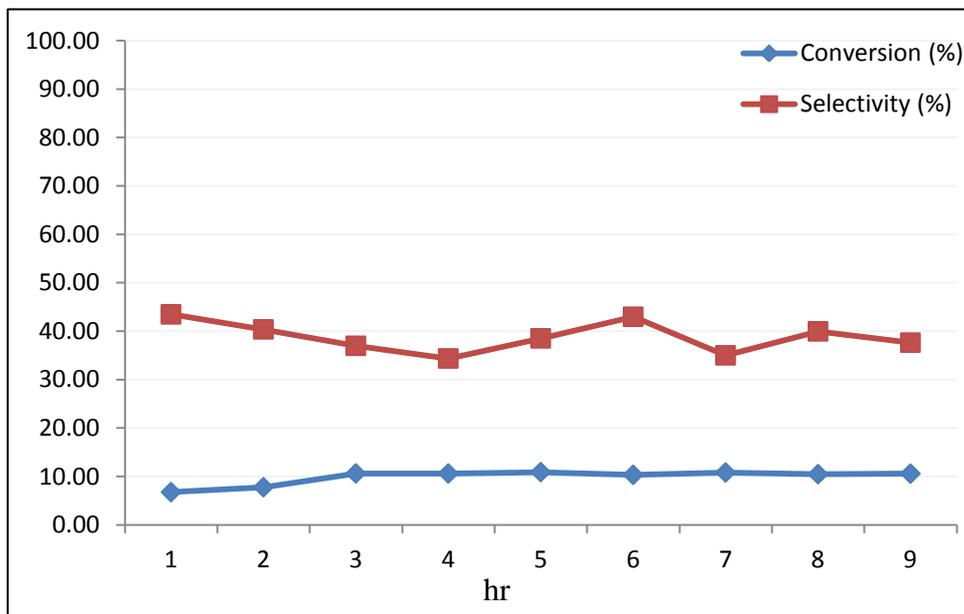


圖 32 使用 TiAlPO-5 和過氧化氫氧化環己醇之反應動力圖

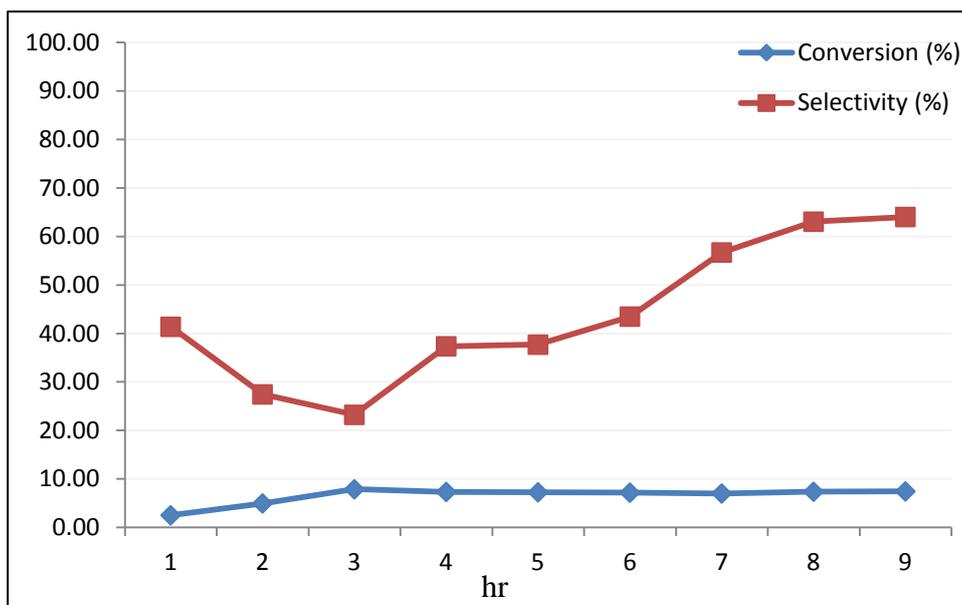


圖 33 使用 CoTiAlPO-5 和過氧化氫氧化環己醇之反應動力圖

TS-1 具有最高的轉換率係因為 TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 都具有親水之特性，也就是說相較於不溶於水的反應物環己醇，水更容易進入催化劑結構內的孔徑系統，因此具有趨水性的反應物環己醇存在於 TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 內的濃度會遠低於 TS-1，其原因為 TS-1 具有較高的趨水性，這個推論亦符合 TGA 熱重分析的分析結果。此外，TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 內的 Ti^{4+} 活性中心可能因水的競爭而結合水，導致妨礙關鍵鈦-過氧化物中間體的生成。在另一方面，使用過氧化氫為氧化劑所產生的副產物僅僅只有水，以環境保護和廢液處理費用的觀點來看是非常有優勢的，然而水也同時是導致催化劑金屬活性中心失去其功能的主要原因，因此在本實驗亦嘗試使用無水氧化劑（APB）進行比對分析，以了解水在反應系統內所扮演的關鍵角色及其影響。

另一種可能的解釋是，在催化劑的活性是取決於它的表面積大小。催化劑具有更高的比表面積，可允許更多的催化反應同時發生在其表面上，這個理論可由實驗結果與 BET 的分析結果得到驗證，TS-1 ($386 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) > TiAlPO-5 ($294 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$) > CoTiAlPO-5 ($277 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$)。

為確認水在反應系統內所導致的影響，採用乙酰過氧硼酸（APB）取代過

氧化氫為氧化劑，反應結果如圖 34~36，TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 的表現較使用過氧化氫有顯著提高，分為轉化率 30%和 74%和選擇性 100%和 80%，雖然 TS-1 的轉換率顯示略有下降從 27.5%至 20%，但選擇性具有相當大的提升從 81.5%至 100%。

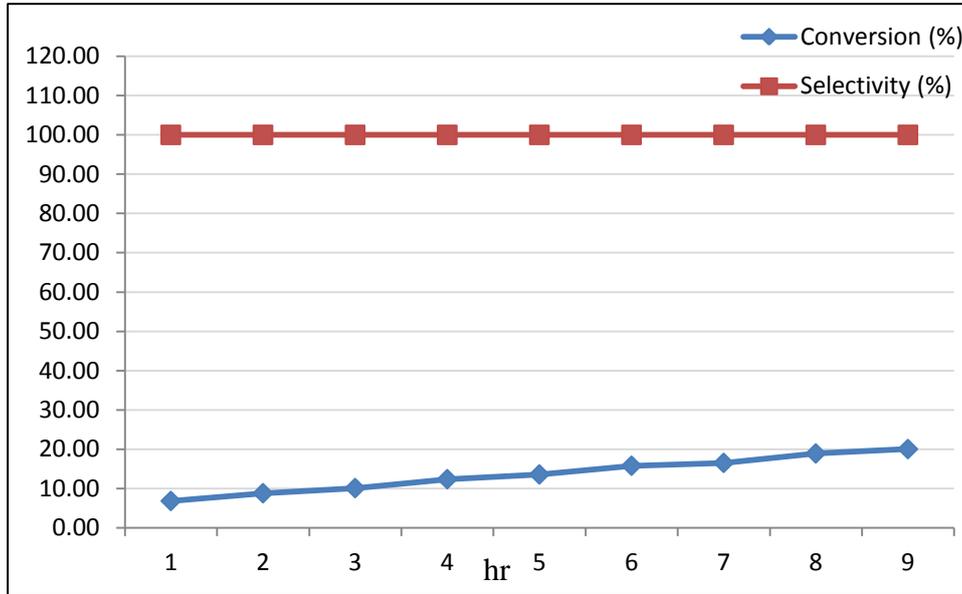


圖 34 使用 TS-1 和 APB 氧化環己醇之反應動力圖

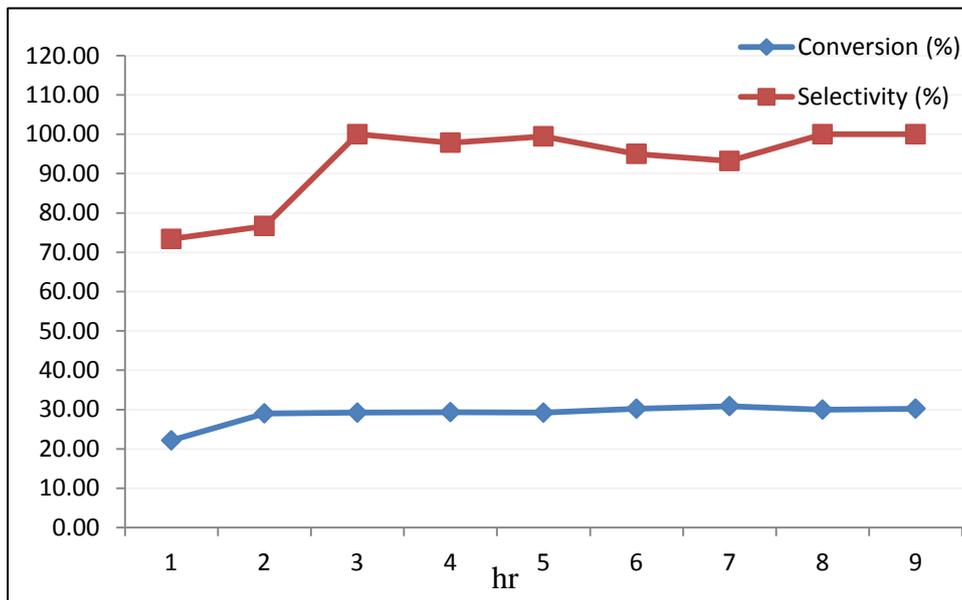


圖 35 使用 TiAlPO-5 和 APB 氧化環己醇之反應動力圖

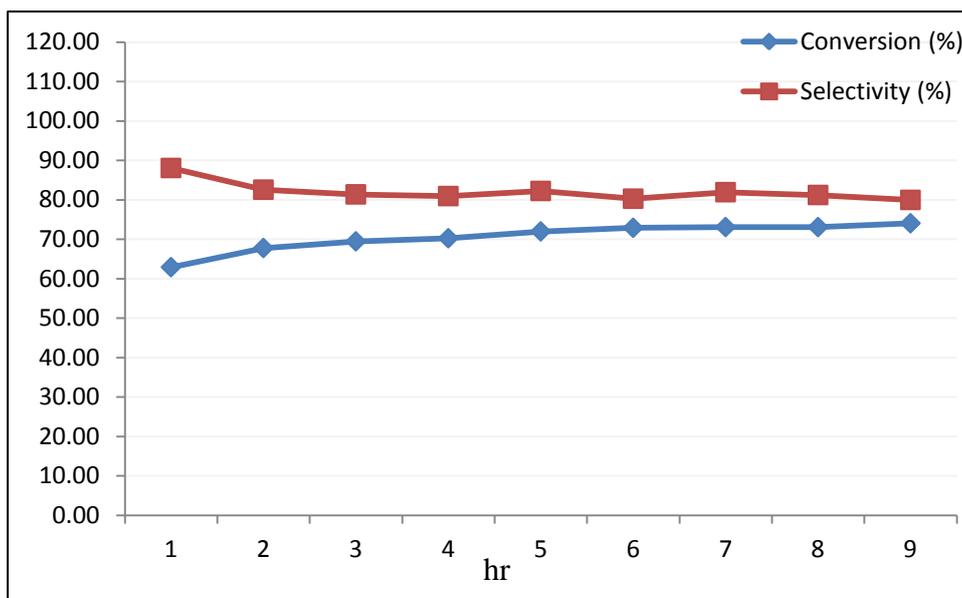


圖 36 使用 CoTiAlPO-5 和 APB 氧化環己醇之反應動力圖

由上述結果可知使用過氧化氫或 APB 為氧化劑對反應結果有著劇烈的影響，這可能是因為水扮演著額外的配體 (extra ligand) 配位在 TS-1、TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 的鈦金屬活性中心，將導致配位的改變從四面體變更為八面體，並減少和反應物相互反應的機會，這種情況直接導致催化劑的反應活性降低，因此，因此 APB 比含水過氧化氫更適合搭配 TiAlPO-5 及 CoTiAlPO-5 共同使用。

另一方面，雙金屬 CoTiAlPO-5 與 APB 共同使用時其轉化率和選擇性遠高於單金屬取代之 TS-1 和 TiAlPO-5，這是因為 CoTiAlPO-5 具有兩種化學 (Langmuir-Hinshelwood and Eley-Rideal) 吸附反應同時發生在其表面上，因此可得知即使催化劑表面積小於其他催化劑，但透過雙金屬活性中心之間的協同作用影響 (synergistic effect)，其反應結果可優於表面積較小之 TS-1 和 TiAlPO-5 催化劑。

(六) 結論

隨著世界人口的增加，有限的資源消耗速度越來越快，催化反應已被廣泛的研究由於其具有傑出的能力來大規模提高生產效率，它亦可用於減少副產物、污染物的產生和廢液處理道次、費用，因此化學家廣泛的研究催化

劑各項特性及結構，俾利用於設計更合適之催化劑。在這項研究計畫中已觀察到一些關鍵點，這些對於促進及提高催化反應具有相當的幫助，說明如后：

- 使用 TS-1 和含水氧化劑實施環己醇氧化反應之理想參數為：90°C，反應物及氧化劑摩爾比為 1:1，反應物及溶劑的重量比為 1:20，反應物及催化劑的重量比為 1:0.1，並使用乙腈作為溶劑
- 各種催化劑、溶劑、反應物和氧化劑的性能均可直接影響反應結果。例如：TS-1, TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 催化劑具有不同的趨水及親水特性，當使用不同特性的溶劑及氧化劑時可以直接導致不同的反應活性及產物選擇性。
- 過氧化氫內的水分子扮演著額外的配體配位在親水性的 TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 鈦金屬活性中心，導致配位的改變從四面體變更為八面體，並減少和反應物相互反應的機會，直接導致催化劑的反應活性降低。
- 當採用親水性的 TiAlPO-5 和 CoTiAlPO-5 作為催化劑，無水氧化劑 APB 在氧化反應時是理想的氧供體。
- 雙金屬取代之 CoTiAlPO-5 催化劑由於其協同效應導致具有傑出的催化性能。

參、心得

一、職於國外進修期間，除利用少數課餘時間了解異國文化及歷史外，多數時間均於實驗室內進行論文實驗操作，故對於實驗室管理、風險管控及實驗室安全部份有深刻的了解及體認，讓職了解到透過風險管控作為及制式化的實驗室管理，例如實驗室內最後一位離開時須依實驗室儀器設備檢核表確認所有設備均被正常關閉，另實驗若須過夜連續執行則實驗操作人需填具記錄表單，內含實驗藥劑種類、風險評估、緊急處置措施及緊急聯絡人等，可有效降低危安事件肇生，以達到實驗室安全之目標。職認為上述作

法非常具有參考價值，可為本廠借鏡，以週延管制作為並降低安全疑慮。

二、為確保實驗過程中操作人員作業安全，職於碩士進修期間均參加學校定期及不定期舉辦之實驗室安全演練，如火災演練，二氧化碳及毒氣外洩演練，化學藥劑外洩演練，以及人員接觸強酸、鹼溶液緊急處理訓練等，相關災害雖不一定會發生，但學校仍持恆訓練及演練並要求所有學生均須參與，以確保所有實驗操作人員均可熟稔相關逃生或緊急處置作為；另針對受傷人員及後續相關處置作為亦有相關規定，如後送醫院進行緊急治療、緊急關閉汙染區並針對相關人員排定緊急檢查作業，即使是未發病人員亦須實施相關檢查，以確保人員安全。舉例來說，職於進修期間曾遇到隔壁實驗室博士生於操作實驗中突然發生四肢無力且無法控制四肢而倒地之突發事件，事件發生時同實驗室人員立即依緊急程序通報校方將學生送醫急救，記錄整棟實驗大樓所有人員並疏散至戶外指定的地點，校方立即報警封鎖整棟實驗大樓並通報市政府派遣專業人員進行汙染源偵測，相關肇因未明朗前所有學生均不得進入實驗室，後續得知其肇因為砷及重金屬外洩，校方隨即依名冊安排所有師生進行檢測，以確保所有人員安全。

由上述突發事件即可得知日常安全演練之重要性，可有效避免因人員慌張或不熟稔相關作業程序而導致人員就醫延誤或增加其餘師生接觸汙染源之機率，充分顯示出對實驗室安全之謹慎及重視，因此就實驗室安全部分，職認為不管是在國外實驗室或在本廠品保環保室均列為實驗室首重之事，其次才是工作績效，例如：品環室均定時針對各實驗室可能發生之危安因子進行風險評估，並妥擬相關處置作為，利用日常教育訓練或各種集會時間進行宣導，並定期排定演練，讓所屬了解可能發生之危安事件及因應措施，以避免肇生危安事件，增加人員緊急應變之能力，另相關實驗操作人員亦須通過各實驗室主管簽證及測驗，確保其了解實驗過程中所接觸之各種藥劑及其是否對人體產生危害等風險資訊；另有關儀器操作部分，則須

由儀器之保管人員進行一對一教育訓練，並通過相關測驗後使得在實驗室主官或保管人陪同下實施操作，俟實驗室主官或保管人同意後始得獨自執行實驗操作，以確保人員安全及儀器之妥善率。

三、在實驗室人員安全防護裝備部分，依作業規定人員進入實驗室須穿著實驗服、配戴護目鏡、橡膠手套並禁止穿短褲、拖鞋及涼鞋等以避免身體接觸到化學液劑導致皮膚灼傷或腐蝕，不管在學校實驗室或在本廠品保環保室皆有相同之作業規定，惟一差異為本廠經理實驗室執行檢驗作業時多未使用化學藥劑，故未配帶護目鏡及實驗手套，但極少部分須使用化學藥劑實驗仍須依規定配戴防護裝備，並攜帶樣品至其他操作化學檢驗之實驗室如：精密實驗室或傳統實驗室。

四、經過英國南安普敦大學的化學碩士訓練課程，對職之專業知識、邏輯思維、語文能力、研究能力獲益匪淺，除此之外在對英國人文、歷史、文化等各方面均有所瞭解；另在課餘其間亦積極參與英國本地文化相關活動，戮力融入當地生活，如聖誕節及或復活節活動、教會活動、家長參訪日及各項參訪等，實為非常難得之經驗與歷練。

肆、建議事項

一、考量本廠現有機具設備及製程老舊，所需生產人力較高且工安風險相對提高，首先必須強化扮演關鍵角色之軍（士）官專業素養及語文能力，了解先進國家之製程與現代化設備，籌劃建立自動化生產系統，俾利與國際接軌，達到為用而訓之原則，故建議在經費允許前提下，持續計畫性派遣軍（士）官赴先進國家進修，拓展視野並學習新知，以達到國防自主研發之能力，降低因政治或經費因素導致無法獲得所需之武器系統。

二、除了上述計畫性派遣（士）官赴先進國家進修外，應鼓勵或派遣同仁利用公餘時間進修，不管是針對專業課程、語文課程或相關證照皆可有效提高同仁個人素養，此外派遣同仁參與相關研討會或訓練課程亦為學習新知之

機會，故建議在經費有限的情況下，可選派同仁參加公（民）舉辦之業務相關訓練課程或考取相關證照，例如：ISO 17025 測試與校正實驗室能力一般要求(General requirements for the competence of testing and calibration laboratories) 或紡織研究所定期舉辦之檢驗訓練。

三、因職所就讀之學校四季溫度約介於-10~26°C，溫度變化劇烈，學校為避免因溫度造成精密貴重儀器的損壞並確保實驗執行順遂及精確性，職充分了解學校對實驗室環境之控制有著非常嚴格的限制，例如叔丁醇(tert-Butanol)熔點為 25°C，因此室溫下有可能是固態。考量本廠品保環保室實驗室具有多項精密貴重儀器，且為維檢驗結果精確性或申請國家實驗室認證等均要求實驗室環境（溫、濕度）控制，建議在經費許可下建立實驗室中央空調或獨立空調系統，可有效避免貴重儀器設備因溫、濕度變化劇烈而導致設備容易故障，並降低環境對檢驗結果的影響，以確保檢驗之再現性；另外在貴重儀器部分亦可考量加裝不斷電系統，以避免因電壓不穩定、突然斷電或遭雷擊導致機器燒毀等情況發生。

四、為廣泛學習新知並查詢相關實驗參數及結果，職於進修期間幾乎天天均需不同期刊查詢相關文獻，可有效吸收他人實驗結果並避免類似錯誤發生，深刻了解透過具備文獻檢索能力是不可或缺的，但因現今各項專利資料、文獻及相關研究報告均有版權限制，故仍須購買期刊文獻資料庫權限始可查詢，建議在經費許可狀況下購買相關期刊權限，以利同仁吸收新知。

伍、附件

碩士論文及中（英）文畢業證書。