

出國報告（出國類別：進修）

美國東北大學 碩士進修報告

服務機關：國防大學理工學院

姓名職稱：李庭榛上尉

派赴國家：美國

出國期間：108年8月26日至110年8月25日

報告日期：110年10月26日

摘要

職於 108 年 8 月 23 日奉派赴美國東北大學（Northeastern University）化學工程學系（Master of Science, Chemical Engineering）進修碩士。此次進修旨在培養國防大學理工學院化學及材料工程學系未來儲備師資，職於 110 年 8 月 25 日修業期滿，8 月 27 日返國，並依中央流行疫情指揮中心 110 年 6 月 27 日修定之「強化居家檢疫措施」規定，於防疫旅館實施十四日隔離及七日居家自主管理後返院報到。於美國波士頓進修期間，除進修相關專業課程及體驗美國學術環境外，亦觀察與瞭解新型冠狀病毒（COVID-19）疫情對學校授課之影響與校方對教學研討之應變處變，期望藉此經驗得以將國外所學應用於未來院內之教學研究整備。

本報告係依據「行政院及所屬各機關出國報告宗和處理要點」相關規定撰擬，旨在提報個人進修經驗與所見所聞，除有利大眾查閱外，更可提供日後國內大專院校相關行政及教學人員運用參考。案內所述均屬於公開性質、未涉及機敏資料，內容主要記述於美國進修期間之研究及學習心得。本報告內容概分為：目的、過程、心得及建議、參考資料等項次，包含針對進修學校、系所介紹、修課及評分制度、個人論文研究，以及兩年進修期間所見所聞之心得與建議。

目次

壹、目的.....	1
貳、過程.....	1
一、東北大學介紹.....	1
二、化學工程學系介紹.....	2
三、碩士學程及評分制度.....	3
四、論文及口試制度.....	5
五、研究成果.....	5
參、心得及建議.....	7
肆、參考資料.....	9

壹、目的

本次進修奉國防部 108 年 7 月 29 日國人培育字第 1080012046 號令核定，赴美國東北大學(Northeastern University) 化學工程研究所進修碩士，進修期限 2 年。職於 108 年 8 月 23 日啟程前往美國，並於 110 年 8 月 27 日修業期滿返國報到。此次進修目的在於提升個人化學工程學識素養及取得碩士學位，以作為國防大學理工學院化學及材料工程學系師資培育儲備人員。

本報告係依據「行政院及所屬各機關出國報告宗和處理要點」相關規定撰擬，旨在提報個人進修經驗與所見所聞，除有利大眾查閱外，更可提供日後國內大專院校相關行政及教學人員運用參考。

貳、過程

一、東北大學介紹 [1]

東北大學（Northeastern University）創建於 1898 年，為北美新英格蘭地區著名之私立研究型大學。其主要校區位於美國東北部麻薩諸塞州（Massachusetts）的波士頓，另有分校位於美國舊金山、西雅圖、華盛頓、北卡羅萊納、矽谷、加拿大多倫多及英國倫敦。



圖片 1 - 美國東北大學波斯頓校區

全校由九個學院所組成，分別為商學院、理學院、工程學院、保健科學學院、社會科學與人文學院、電腦科學學院、職培學院及藝術媒體設計學院，其中工程學院研究所於 2022 年 US News 全美工程學院排行第 31 名。其教學理念結合學術知識與實務經驗，整合系所專業課程並與業界合作，提供學生豐富之實習機會與產學交流，該校曾多次由《普林斯頓評論》（The Princeton Review）評選為的「最佳實習、職業服務」大學中第 1 名。



圖片 2 - 校區秋日楓景



圖片 3 - 校區冬日雪景

二、化學工程學系介紹 [2] [3]

東北大學工程學院（Northeastern University College of Engineering）創建於 1909 年，由五個科系組成，分別為生物工程學系（Bioengineering）、化學工程學系（Chemical Engineering）、土木環境工程學系（Civil and Environmental Engineering）、電機資訊工程學系（Electrical and Computer Engineering）及機械工業工程學系（Mechanical and Industrial Engineering），其教育宗旨為培養學生自我成就達成及終身學習之人生態度與培育工程學術專業人才，以持續技術之革新及專題研究之創新，解決全球環境議題及提升世界社會福祉。

化學工程學系的教職為 40 人，碩博士生合計約 180 人，而碩士研究領域主要區分為複雜計算系統應用（Complex & Computational System）、能源與永續發展（Energy & Sustainability）、生物分子及生物醫學（Biomolecular & Biomedical Systems）、材料及奈米科技（Materials & Nanotechnology）等 4 類。如完成認證課程選修，東北大學化學工程學系亦提供相關研究證書認證，計有程序安全（Process Safety Engineering）、奈米醫學（Nanomedicine）、工程領導（Engineering Leadership）及工程商業（Engineering Business）等 4 項認證。

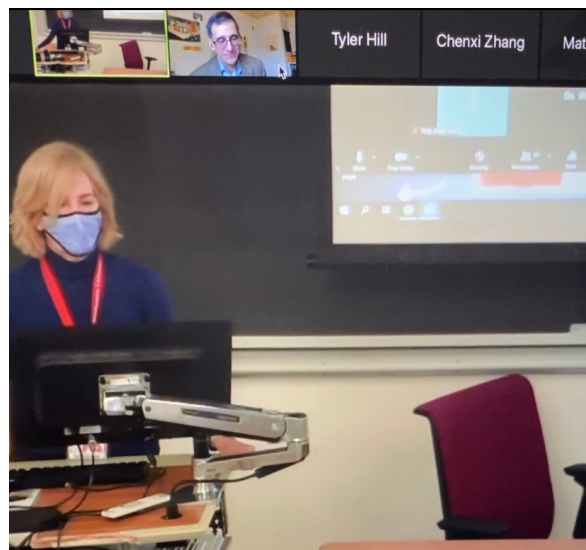
三、碩士學程及評分制度

化學工程碩士（Chemical Engineering, M.S.）學位取得要求為完成系必修 4 科 16 學分、系選修 2 科 8 學分以及論文 8 學分，合計 32 個學分，另每學期須加選 0 學分之研討會課程。系必修學科計有：輸送現象（Transport Phenomena）、化工動力學（Chemical Engineering Kinetic）、化工數學（Chemical Engineering Mathematics）、化工熱力學（Chemical Engineering Thermodynamic），其中傳統化工熱力學科目得以由統計熱力學（Introduction to Statistical Thermodynamics）替代；系選修學科計有：化工電腦模擬（Computational Modeling in Chemical Engineering）、高分子科學（Polymer Science）、永續能源（Sustainable Energy）、材料性質量測科技（Materials Characterization Techniques）、工程製程安全（Process Safety Engineering）、分子生物工程（Molecular Bioengineering）、奈米醫學科技研究（Nanomedicine Research Techniques）、藥物輸送工業分析（Drug Delivery: Engineering Analysis）…等 28 科，學生可依個人興趣及研究領域選擇相關課程選修。

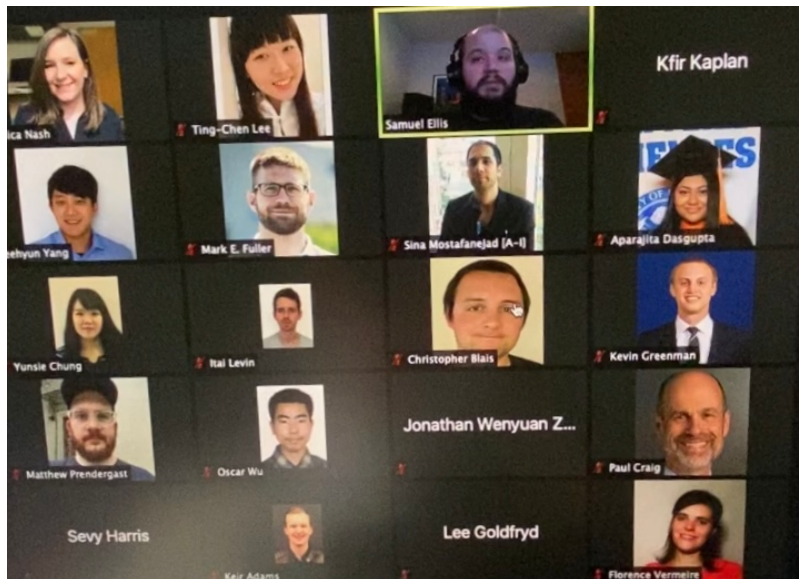
本系碩士生成績評分制度採 GPA 4.0 制，區分十三個等第(A+：4.0 以上；A：4.0；A-：3.7 - 4.0；B+：3.3 - 3.7；B：3.0 - 3.3；B-：2.7 - 3.0；C+：2.3 - 2.7；C：2.0 - 2.3；C-：1.7 - 2.0；D+：1.3 - 1.7；D：1.0 - 1.3；D：1.0 - 1.3；F：0.0)，碩士學生每門必修科成績須達 GPA 3.0 以上及每學期總平均維持 GPA 3.0 以上。每門課程依各教授律定一至二次期中考、乙次期末考及乙次期末報告，各科目成績配比概略為兩次期中考各佔 20%、期末考 25%、隨堂小考 10%、作業 10%及期末報告 15%，成績計算方式各教授亦有略微調整。上述系必修科目如皆達 GPA 3.25 之標準，可向校方申請轉換碩士學生身份為博士學位課程。



圖片 4 - 於東北大學上課實況



圖片 5 - 疫情趨緩後實施現地與線上混合式教學



圖片 6 - CoMoChEng Lab 每週與 MIT 研究團隊之 RMG 聯合會議

四、論文及口試制度

選擇撰寫碩士論文之學生，每學期須加選研討會課程（每週依邀請之外校教授人數上課 2 至 3 次），各指導教授於學期初報告實驗室目前研究方向及成果，學生須於第一學年選定指導教授後，擬定概略研究主題並投入研究。學生須於最後一學期開始之前兩週選定 3 名口試委員，委員組成須包含指導教授、兩位系上教授及一位相關領域外系（或外校）教授。論文撰寫須於口試 14 日前完成，並呈報予各口試委員、化工系系助理及系主任。口試過程開方校內外教授與學生參加，程序概略為簡報報告研究成果 40 分鐘、公開聽眾提問 20 分鐘、不公開之委員問答 30 至 40 分鐘，完成後由四位口試委員審核與討論，投票決定學生是否通過口試。

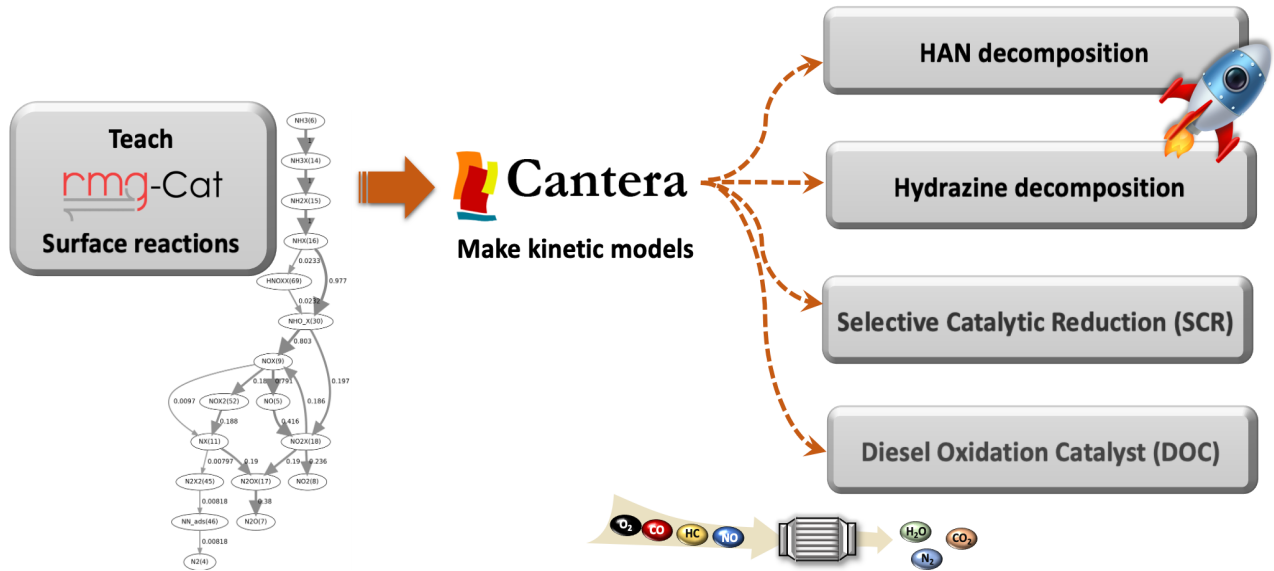
五、研究成果

職於碩一第二學期申請加入 CoMoChEng（Computational Modeling in Chemical Engineering）實驗室，指導教授為 Richard H. West 教授。該實驗室主要研究內容為 RMG（Reaction Mechanism Generator）軟體應用與發展於複雜之微觀化學工程反應系統，比如火箭推進劑及各項燃料燃燒、異相催化劑反應、生質能源處理與溶液化學反應之高性能計算電腦模擬。

RMG 系統為麻省理工學院（Massachusetts Institute of Technology, MIT）化學工程學系 William H. Green 教授與東北大學化學工程學系 Richard H. West 教授共同研發，軟體目前以 Python 程式語言為主、C 語言為輔創設，其運用量子化學計算（quantum chemistry calculations）之全始計算法（*ab initio*）、機器學習（machine learning）模擬複雜化學反應機構，其模擬之化學反應式、反應常數與反應速率可間接運用於 Cantera、RMS（Reaction Mechanism Simulator）、COMSOL、Ansys、Jupyter Notebook、Django、AutoTST（Automated Transition State Theory Calculator）呈現巨觀之化學反應研究。目前計有麻省理工學院 Green Research Group、東北大學 CoMoChEng Lab Group 與布朗大學（Brown University）之 RMG—Cat Group 等三校研究團隊共同研發及維護，各研究團隊間每週實施二至三次聯合團隊會議。

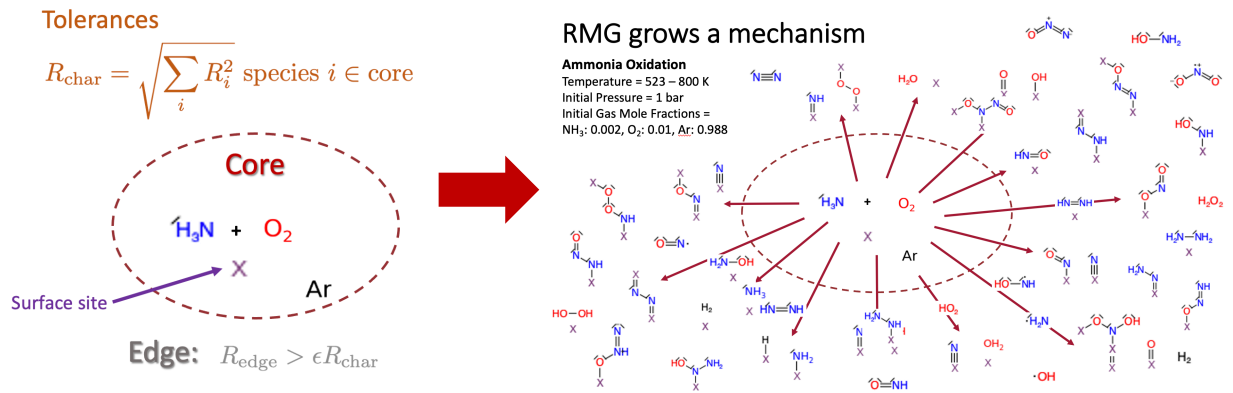
近年來溫室效應對環境的影響日增，能源效益提升與替代能源的發展為現今社會重要議題之一，藉由精密電腦模擬複雜化學反應系統可優化催化劑之設計、減少實驗花費、有效提升初步實驗數據收整及降低人為誤差和實驗風險，職此次論文研究主題為 RMG 系統模擬氮氣於不同晶面金屬之異相燃燒反應，結合量子化學計算及現有發表論文之實驗數據，使系統學習並優化含氮化合物之異相催化反應。此

優化系統除提升氨氣燃燒反應參數之精準度，亦可應用於火箭推進劑 Hydroxylammonium nitrate (HAN) 與 Hydrazine 化合物之分解、內燃機氧化反應之催化 (Diesel Oxidation Catalyst, DOC) 及其他觸媒反應之模擬應用。

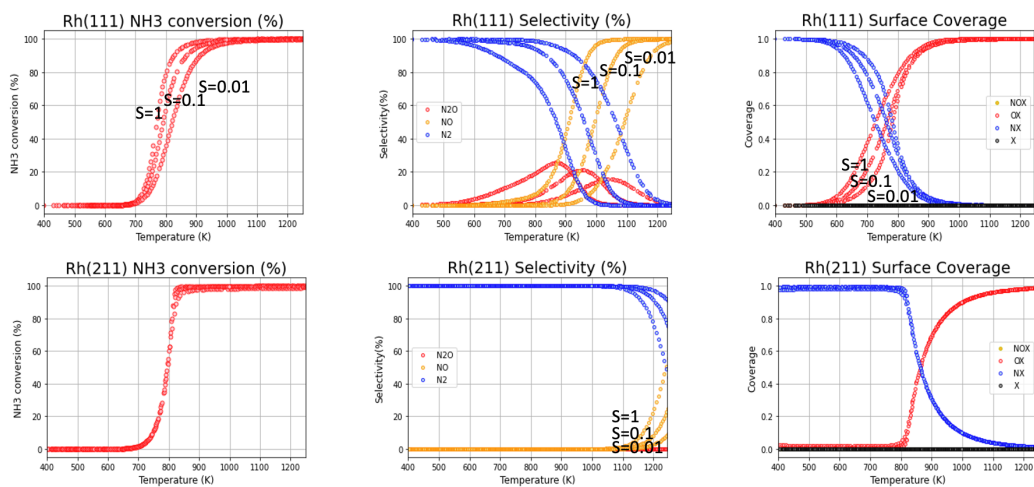


圖片 7 - RMG-Cat(Catalysts) 系統之表面催化反應模擬應用

藉由統計熱力學系統計算各金屬催化劑之各晶面金屬密度與其對於不同元素 (碳、氫、氧、氮) 之結合能 (Binding Energy)，與各基礎反應步驟之化學反應常數比較，由 RMG 系統推斷該化學反應過程於不同反應環境 (壓力、溫度、濃度等) 之優化反應參數。此外，RMG 系統亦結合理論與實際實驗研究之數據，藉由反覆訓練軟體對於不同化學反應系統之模擬，可減少參數之誤差值及提升軟體之計算能力、降低反應計算輸出時間。其資料庫儲存系統亦可依數據獲得之信任度排列計算之優先順序及百分比列，進而增加模擬結果之準確度。



圖片 8 - RMG 系統計算個化學反應步驟之容許差度，並推估該系統可能發生之化學反應途徑與速率



圖片 9 - 以 Cantera 軟體模擬應用金屬銠 (Rhodium) 於晶面 111 及 211 之異相氨氣燃燒反應優化之反應度、選擇度及表面金屬複合物覆蓋率

參、心得及建議

職於美國波士頓進修碩士兩年期間，恰逢國際疫情爆發，課程亦由 2019 年之現地教學轉換為 2020 年之遠端教學與 2021 年之遠端、現地混合式教學。因鄰近紐約且國際學生數量眾多，波士頓確診人數於疫情爆發初期迅速攀升，並接連下達相關封城管制規範、停止運行大眾交通工具及眾多店鋪暫停營業，各項生活用品需仰

賴網路購物送達。美國東北部之新英格蘭地區開始於 2020 年 3 月 14 至 30 日間管制各學校實施長達近半年之封閉期，各實驗室及科學研究機構亦實施全面關閉。

校區封閉期間，所有課程均採線上教學，雖轉換初期因部分教師對校方新建之資訊系統不熟悉，導致授課時間被壓縮，線上上課之學習效果較差，卻也增加了課程學習之彈性及交通往來校區時間的節約。此外，對於初到美國的留學生來說，線上課程的紀錄提供了外籍學生可再次觀看的機會，藉由多次觀看課堂，可補足抄筆記時間較第一語言為英文者慢之缺點，學生針對較不熟習之領域，亦可反覆觀看增強記憶。學校大多教師對電子郵件系統之回復速率極快，學生如對課堂之觀念或作業之題目有疑問不解，均可寫信提問或利用教授之 office hour 詢問，部分教授甚至提供一對一線上會議預約，以彌補無法現地授課之限制。

除了教學方式的改變，各實驗研究於疫情爆發初期也承受了嚴峻的衝擊，因室內空間及人數限制，許多實驗室之指導教授改變學生招聘方式，改採僅接受博士研究生之政策，所幸有指導教授之大力相助，才得以在抗疫期間順利完成相關學業及論文研究。在美國，研究團隊十分注重團隊合作與互助溝通，每週除了主團隊之會議，各專題小組與外校研究團隊亦訂定各項研討時間，並運用網路公開平台 Github 實施線上即時討論與問題回覆；指導教授與學生互動模式屬於亦師亦友型態，對於研究之想法、初步成果多以討論方式進行，而非單純進度報告模式，針對實驗之方向也盡量不侷限於單一答案，而是多方嘗試、探討後再逐漸確認精準之目標，給予學生更多的發展空間及更高程度之啟發。

此外，授課線上化亦提升課程參與彈性及增加學術研討機會，職有幸於疫情期間參與討論化工領域重要之 AIChE 年度會議（Annual AIChE National Meeting）、國際燃燒研討會（International Symposium on Combustion）、北美觸媒協會會議（North American Catalysis Society Meeting）等，均改為線上實施，學生對於研討會的參與不在受限於區域，而是得以獲得更豐富之資源，以利學術涵養的提升。

最後，感謝國防大學理工學院給予職此次出國進修之機會，名聞遐邇的波士頓其實人口數並不高，但卻匯集了來自世界各地的學者、研究人員，並在學術界擁有著舉足輕重之地位。除了遠近馳名的哈佛大學、哈佛醫學院、麻省理工學院外，另有波士頓大學等近 50 所大學集中於這座古色古香的都市。於美國攻讀碩士學位期間，除了發展堅忍意志、培養自主自發的學習態度外，亦深刻體會國外學術研究風氣與多元化包容之態度；在面積不大的實驗室中，聚集了跨越萬里的各國學者，彼此分享知識、觀點及研究經驗。因研究之系統屬三校聯合研究室，職亦有幸於求學過程中參與麻省理工學院之課程及實驗研討，瞭解各項專長領域之學者如何相互

學習協作與完成專案。除了圖書館豐富的藏書及充沛的線上論文閱讀權限，校區各項先進設備及網路軟體系統琳瑯滿目，更加使人感受到了何謂學無止境及科技的日新月異，此趟求學之旅充實難忘，期許自己未來能夠持續學習與進步，且得以將在美所學繼續傳承、運用。



圖片 10 - 與指導教授合影



圖片 11 - 疫情緩和後參與實驗室
之同樂活動

肆、參考資料

- [1] Northeastern University, Boston: <https://www.northeastern.edu/>
- [2] Northeastern University, College of Engineering: <https://coe.northeastern.edu/>
- [3] Northeastern University, Department of Chemical Engineering
<https://che.northeastern.edu/>