

出國報告（出國類別：進修）

美國明尼蘇達大學雙城校區
碩士進修報告

服務機關：國防大學理工學院

姓名職稱：沈秉諺上尉

派赴國家：美國

出國期間：107年8月5日至109年8月5日

報告日期：109年8月17日

摘要

個人於 107 年 8 月 5 日奉派赴美國明尼蘇達大學雙城校區 (University of Minnesota, Twin Cities) 進修航太工程及機械研究所 (Department of Aerospace Engineering and Mechanics) 碩士。進修目的在於培養國防大學理工學院機械及航太工程學系未來儲備師資，並於 109 年 8 月 5 日修業期滿返國報到。於美國進修期間充分吸收新知、拓展視野，並參考國外學術環境、教學理念及研究專業，未來可望進一步應用於院內之教學研究工作。

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、系所與制度之介紹、個人論文研究與校外學術活動之簡述、新型冠狀病毒 (COVID-19) 疫情對進修之影響，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、學校介紹.....	1
二、系所介紹.....	2
三、修課及評分制度.....	3
四、論文及口試制度.....	4
五、論文介紹.....	4
六、校外學術研討會.....	5
七、疫情之影響.....	6
參、心得及建議.....	7
肆、參考資料.....	9

壹、目的

本次進修奉國防部 107 年 7 月 18 日國人培育字第 1070011364 號令核定，赴美國明尼蘇達大學雙城校區 (University of Minnesota, Twin Cities) 航太工程及機械研究所進修碩士，進修期限 2 年。職於 107 年 8 月 5 日啟程前往美國，並於 109 年 8 月 5 日修業期滿返國報到。此次進修目的在於提升個人學識素養及取得碩士學位，作為國防大學理工學院機械及航太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、學校介紹

明尼蘇達大學 (University of Minnesota) 於 1851 年成立於明尼蘇達州雙城 (Twin Cities) 首都 - 明尼亞波利斯 (Minneapolis) 與聖保羅 (St. Paul)，其後陸續加入克魯克斯頓 (Crookston)、杜魯斯 (Duluth)、莫里斯 (Morris)、羅徹斯特 (Rochester) 等校區，成為明尼蘇達大學系統。擁有 67000 名學生與 26000 名教職員及員工，提供近 300 個專業學程，是明尼蘇達州最重要的高等教育學府 [1]。明尼蘇達州是美國中西部最大的州，因湖泊眾多而有萬湖之州的稱號。每年冬季約從 10 月降下第一場雪開始，直至隔年 4 月中旬最後一場雪才算結束。長達半年的冬季因為積雪、融雪、熱漲冷縮，以及冬季路面除雪、刮地、撒鹽、撒砂等交通安全措施，使得道路損耗速度甚快。工務單位必須趕在每年融雪後到下次積雪前完成道路整修，讓明州人戲稱當地只有兩個季節，分別為冬季和道路施工。2019 年 1 月底極地氣旋為明州帶來零下 48.8 C 低溫，是自 1996 年以來最低溫紀錄，同日雙城地區也來到約零下 33.3 C [2]。



明尼蘇達大學系統 [1]

明尼蘇達大學雙城校區 (University of Minnesota, Twin Cities)，又簡稱明大、U of M 或 UMN，是明尼蘇達大學系統的主校區，在美國公立大學排名第 27，並擁有美國排名第 31 的工程學院研究所 [3]，是一所著名公立研究型大學。各專業領域綜合性極高，擁有 18 個學院，同時也是美國僅有五所，在單一校區同時擁有工程、醫學、獸醫、法學及農學院的大學之一，學術成果輝煌，教職員及校友共獲得超過 800 個美國及世界獎項。明大是一所兼具多樣性與國際化的大學，擁有近 4000 名教職員，2018 年秋季大學部學生共 31455 人，研究生 16038 人，其中有 7212 名國際學生、21% 有色人種，來自 130 個不同國家 [4]。依據 2018 年國際學生事務組 (ISSS) 的統計資料，台灣留學生在明大就讀的外國留學生人數裡排名第六，僅次於中國、印度、韓國、馬來西亞及越南 [5]。學校擁有 23 個體育校隊及超過 900 個學生組

織，「Ski-U-Mah」是校隊比賽時的加油口號。



2019 年 9 月明大校園



2020 年 1 月校園雪景

二、系所介紹

明尼蘇達大學航太工程及機械系 (Department of Aerospace Engineering and

Mechanics) 設立於 1929 年，是美國前 10 所最早成立航太工程系所的大學。2016 年 US News 美國排名第 16 的航太工程研究所 [6]。有 2 名太空人及無數 NASA 工程師畢業於本系，第一代飛行紀錄器 (黑盒子) 更是 1960 年明大機械系教授所發明 [7]。教職員共有 18 位教授與 5 位兼任教師，區分為流體力學、固體力學、航太系統等三大領域。學術研究十分活躍，2018 年獲得超過 890 萬美元研究經費贊助 [6]。系上學生共有大學部 350 人及研究生 90 人 [8]。

作為一所研究型大學，系上非常重視基礎課程教育與實際應用，提供 43 個大學部課程及 48 個研究所課程，並擁有 UAV Laboratory (無人機實驗室)、Small Satellite Laboratory (小型衛星實驗室)、Aerospace, Robotics, Dynamics, and Control Laboratory (ARDC Lab 航太與機器人動態控制實驗室) 等 14 個研究型實驗室及 5 個教學型實驗室 [6]。除了系上設施外，學生也可使用科學與工程學院 (College of Science and Engineering) 提供給全學院師生使用的 7 個實驗室及工廠。



2019 年 11 月系館大門

三、修課及評分制度

明尼蘇達大學成績使用 4.0 GPA 制，每門課評分標準由教授決定，並在第一堂課說明。通常區分為 A、B、C 三個等第，期末成績 90 分以上為 A (GPA 4.0)、80 到 90 分為 B (GPA 3.0)、70 到 80 分為 C (GPA 2.0)，D 或 F 則為不及格。大部分課程可選擇 A-F 制、S/N 制、或 Audit 旁聽，學生須在課程第二周之前選定修課方式。A-F 為一般評分標準，學分與成績納入 GPA 計算；S/N 僅認定及格與不及格，可取得學分但成績不納入 GPA；選擇旁聽的課程將無法取得學分與成績。學期結束取得課程等第後，將換算成分數納入 GPA 計算。

航太工程與機械碩士學位需取得 30 學分、GPA 高於 2.8，並參加兩學期專題講座。系上強調三大主領域：流體力學、固體力學、航太系統，碩士生須完成其中一項領域連續兩門指定核心課程，並至少取得系上課程 14 學分、以及相關領域外系 6 學分。其餘畢業條件有三種方案供選擇：修課 20 學分並撰寫碩士論文 (Plan A)、修課 27 學分並完成畢業專題 (Plan B)、純修課 30 學分 (Plan C)，並要求不得超過 8 個 S/N 學分 (Plan A 限制為 6 學分)。預期學生 2 年取得碩士學位，最多不超過 3 年。

四、論文及口試制度

撰寫碩士論文 (Plan A) 或碩士專題 (Plan B) 學生，須於第一學年選定指導教授，與指導教授共同擬定研究方向並投入研究。學生須在最後一學期選定 3 名口試委員，包含指導教授、一位系上教授，以及一位相關領域外系教授。論文須於口試前至少 14 日交付口試委員。口試當日以碩士研究內容簡報約 45 分鐘，並開放校內教師與學生參加。簡報後開放聽眾提問，接著由受試學生與三位口試委員實施閉門詰問，針對論文研究及衍生問題做問答討論。最終由三位口試委員投票決定學生是否通過。

五、論文介紹

碩士論文題目為「考量吊繩延展性之二維塔式起重機動態模擬與被動理論控制 Dynamic Modeling and Passivity-Based Control of a 2 DOF Tower Crane with a Flexible Hoist Cable」。天車因其高負載能力、操作靈活性和運作效率，在現代工業化製程、重機具維保，以及基礎設施建設中無處不在。因系上 ARDC 實驗室擁有一具縮小版塔式起重機，且論文研究以其進行實驗，故使用塔式起重機為題，但相關理論應用並不侷限於此類型之天車。

本論文旨在為具有非共置 (Noncolocated)、欠驅動 (Underactuated) 和不確定動態特性 (Uncertain Dynamics) 的自動化塔式起重機找到一種解決方案，以實現快速移動不確定質量之目標物，使其跟隨指定軌跡，同時減少振盪擺動。論文提出一種使用 Rayleigh-Ritz 離散化方法，模擬天車吊繩長度隨絞盤慣性和吊繩軸向延展性拉伸之變化，而建立之二維塔式起重機的動力學模型。使用此方法模擬具延展性之天車吊繩，比起有限元素分析法 (Finite Element Method)，可大幅減於數值模擬時之運算荷載；比起集總質量法 (Lumped-Mass Method)，可提供更加精確之動力學模型。

論文中提出的兩種控制方法，分別為 μ -Tip 控制和自適應滑模控制 (Adaptive Sliding-Mode Control)。此二方法均採用被動理論為基礎之控制 (Passivity-Based Control)，可以為封閉迴路輸入及輸出穩定性提供穩健保證。論文除包含理論推導與數值模擬驗證外，亦使用實驗室設備進行現實可行性驗證。論文提出的控制方法不僅限於塔式起重機及天車之應用，亦可擴展到纜繩驅動機器人和柔性機械手臂等。



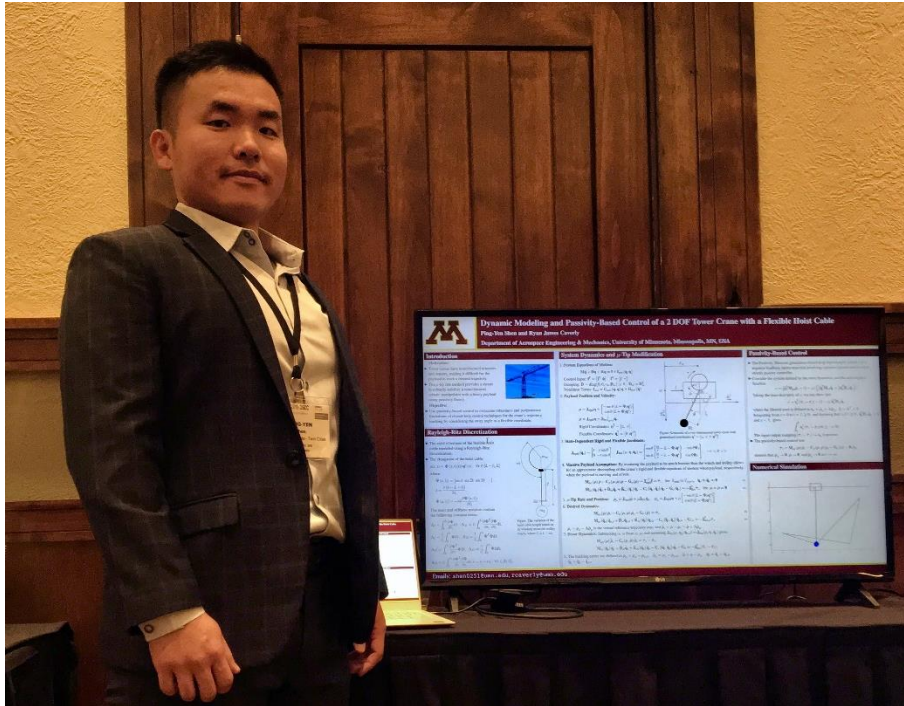
2020 年 7 月於 ARDC 實驗室進行實驗

六、校外學術研討會

學術界尤其重視文章發表與產出，在指導教授 Ryan Caverly 的鼓勵之下，進修兩年期間共參加兩次學術研討會：

2019 年 10 月於猶他州帕克市 (Park City, Utah) 參加 ASME DSCC 美國機械工程學會動態系統與控制研討會 (American Society of Mechanical Engineers Dynamic Systems and Control Conference)，展出當時最新研究成果海報。

2020 年 7 月原定於科羅拉多州丹佛 (Denver, Colorado) 參加 ACC 美國自動控制學會 (American Control Conference) 發表研討會論文「彈性吊繩二維塔式起重機之非共置被動理論控制 Noncolocated Passivity-Based Control of a 2 DOF Tower Crane with a Flexible Hoist Cable [9]」，但因新型冠狀病毒 (COVID-19) 疫情改為線上舉行。個人簡報影片已上傳至 YouTube (<https://youtu.be/zqWhXvKLjcY>)可供參考 [10]。



2019 ASME DSCC 與海報合影

七、疫情之影響

2020 年因全球受新型冠狀病毒 (COVID-19) 疫情影響甚鉅，明尼蘇達州自 3 月 6 日發現第一起確診案例，至 3 月 13 日全州確診已超過 550 例，州長因此宣布進入緊急狀態 [11]。明尼蘇達大學自 3 月 9 日春假開始後陸續宣布停課、延長春假等，最後決定關閉校園，包含各系館、體育館、餐廳及行政單位，並將本學期剩餘課程改為線上教學。線上授課方式可採預錄影片或使用 Zoom 即時視訊，作業繳交方式與評分方法也隨之調整。

由於校園關閉，所有教學、研究及行政工作改為在家或遠端作業，對於可在家中執行的理論發展與數值模擬分析等研究，雖因改變工作環境及設備多少會造成影響，但並非完全無法進行。與指導教授及研究室的會議也可使用 Zoom 完成，但對於需要實際操作設備進行實驗的研究，學校勢必得發展因應對策。自 5 月份開始，學校陸續啟動 Sunrise Plan，打算逐漸重啟開放。首先針對具有急迫性或面臨截止日期要求的實驗室，開放提出重啟返回現地工作之申請。要求一切流程必須按個人實際意願及需求，不得強迫。實驗室負責人、指導教授及需要返回現場工作的人員要提出完整工作計畫，在申請獲得批准後，依循美國 CDC (Centers for Disease Control and Prevention 疾病管制與預防中心) 規定之防疫作為完成實驗室整備後始可返回校園工作。

因為個人論文研究有實驗需求，指導教授 Ryan Caverly 於 6 月 30 日提出返回 ARDC 實驗室之申請，以事前規劃工作內容、盡可能縮短在現地停留的時間、一次一人進入實驗室、所有可遠端完成之工作應於家中完成為原則，學校於 7 月 11 日同

意申請，最終順利在 7 月份取得所需實驗數據。



2020 年 7 月指導教授與學生保持社交距離並配戴口罩合影

參、心得及建議

在美國進修這兩年，深深感受到大學裡的自由風氣。教授雖提供指導，但仍把研究生當作同事，以平等、尊重的方式討論研究上遇到的問題與解決方案，不會有距離感。課堂上感受到學生們總是興奮且求知若渴，教授也非常重視與學生的互動，鼓勵學生提問和討論。課後更有充足 TA 資源，每門課程每周都有 2 到 4 次教授或助教的 office hour 幫助學習。課堂外，學校也提供非常豐富的資源：全校有高速 Wi-Fi 網路覆蓋，幾乎所有課堂或研究需要的軟體都有授權可供師生下載使用。在尋找參考文獻時，一般需要付費才能閱讀的文章與書籍，幾乎都可透過圖書館網頁找到授權版連結，找不到的資料也可請圖書館向他校合作圖書館調借或購買。圖書館也經常提供 workshop 教導正確的文獻引用方式，每個月還有 workshop 指導程式語言及輔導寫作。科學與工程學院提供多座實驗室、工廠及電腦教室，備妥材料供學生免費使用 3D 列印、木材與金屬切割，也有專業聘雇的職員協助 CNC 等精密加工。各種資源都是為了讓學生能更有創造力、更有效率的學習。另外，每門課程不是一學期課上完就結束。後續高階課程的教授會盡量融合其他課堂的知識與技能讓學生綜合應用，並大量使用程式語言及電腦軟體輔助，讓學生更能實際運用、融會貫通。

作為一所研究型大學，學術領域的交流與資訊更新有助於相關研究之發展與創新。系上有兩種專題講座，其一為每周邀請外校相關領域教授來系上實施專題演講、介紹其研究主題，讓系上教授與研究生瞭解其他學者正在進行的研究，拓展師生對航太工程領域學術研究的視野。另外一種講座是依研究領域區分流體力學、固體力學、

航太系統三組，每周由一位外系教授或本系研究生對同組教授及學生進行專題報告。此為一非正式報告，內容可為自身研究介紹，也可為研討會或口試簡報練習。目的為增進各系所相關領域之研究交流，也讓學生瞭解本系目前有甚麼進行中的研究專題，更是鼓勵提報學生練習分享自身研究。由於每位學者鑽研的領域不同，一開始幾乎完全無法吸收演講內容，但隨著聆聽的場次增加，接觸越來越多相關領域的知識後，漸漸開始能理解演講者的研究主題與方向，並開始有能力提問。

感謝國防大學理工學院提供這次進修的機會，除了學習到專業知識，更培養了主動學習、合作討論、獨立思考與意見表達的能力。ARDC 實驗室除了有 5 名研究生外，還有 10 名大學部學生。學校沒有要求大學生做研究，但他們因為自身對科學的興趣向教授提出自願加入研究團隊。雖然大學生課表很滿，但他們樂於學習課堂以外更專精的知識，並付出時間投入研究、撰寫論文，著實令人欽佩。雖然進修後半部受到疫情影響，少了很多生活體驗，但也因此見識到美國大學面對緊急狀況時的應變態度與效率。在明尼蘇達兩年的生活、文化與氣候體驗，不僅提升了自身的語言能力，也拓展出更宏觀的視野。



2020 年 1 月校園周邊雪景

肆、參考資料

- [1] "University of Minnesota System," [Online]. Available: <https://system.umn.edu/>.
- [2] "Cold Outbreak: January 27-31, 2019," Minnesota Department of Natural Resources , [Online]. Available: <https://www.dnr.state.mn.us/climate/journal/cold-outbreak-january-27-31-2019.html>.
- [3] "U.S. News & World Report," 2020. [Online]. Available: <https://www.usnews.com/best-graduate-schools/top-graduate-schools/university-of-minnesota-twin-cities-174066>.
- [4] "University of Minnesota - Twin Cities," [Online]. Available: <https://twin-cities.umn.edu/>.
- [5] "ISSS Annual Report," 2018. [Online]. Available: <https://iss.umn.edu/publications/annual-report/2018-annual-report.pdf>.
- [6] "Aerospace Engineering and Mechanics, University of Minnesota," [Online]. Available: <https://cse.umn.edu/aem>.
- [7] "College of Science and Engineering, University of Minnesota," [Online]. Available: <https://cse.umn.edu/>.
- [8] "Department of Aerospace Engineering and Mechanics, College of Science and Engineering," [Online]. Available: <https://cse.umn.edu/college/department-aerospace-engineering-and-mechanics>.
- [9] P.-Y. Shen and R. J. Caverly, "Noncolocated Passivity-Based Control of a 2 DOF Tower Crane with a Flexible Hoist Cable," in *American Control Conference (ACC)*, 2020.
- [10] P.-Y. Shen, "[ACC 2020] Noncolocated Passivity-Based Control of a 2 DOF Tower Crane with a Flexible Hoist Cable," [Online]. Available: <https://youtu.be/zqWhXvKLjcY>.
- [11] "COVID-19 pandemic in Minnesota," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemic_in_Minnesota.