

出國報告(出國類別：進修)

# 英國倫敦帝國理工學院博士 進修報告

服務機關：國防大學理工學院

姓名職稱：少校訓練官 羅翊榕

派赴國家：英國

出國期間：109 年 12 月 4 日至 113 年 9 月 27 日

報告日期：113 年 10 月 29 日

## 摘要

本報告係依據「行政院及各所屬各機關出國報告綜合理要點」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與教學人員運用參考。

職於民國 109 年 12 月 4 日奉派英國倫敦帝國理工學院(Imperial College London)攻讀航太工程博士班，進修目的在於培養國防大學理工學院未來師資，並於 113 年 9 月 25 日修業期滿後，返國報到。

於英國倫敦帝國理工學院進修期間，除精進個人專業學能外，與班內來自四面八方國家的同儕及教授們相互交流，體驗歐洲大陸與英國之風俗民情、教學理念及研究專業，從而得以吸收所見所聞，並可進一步應用於院內各項院務工作上。

本文首先就英國博士進修畢業研究主題進行介紹；接著再就進修學校簡介、文化體驗及建議與省思，以供日後我國大專院校相關行政與教學人員運用參考。

# 目錄

摘要 .....	ii
目錄 .....	1
壹、 目的.....	2
貳、 進修過程.....	2
一、 進修制度及期程.....	2
二、 畢業論文研究主題.....	2
參、 心得.....	4
一、 簡介.....	4
二、 文化體驗 .....	5
肆、 建議與省思.....	6
一、 自由探索 .....	6
二、 學術與行政完全分離.....	6

## 壹、 目的

職於 109 年 12 月 4 日奉派英國倫敦帝國理工學院(Imperial College London)進修航太工程博士班，進修之目的在於取得博士學位，以成為國防大學理工學院師資，並於 113 年 9 月 25 日修業期滿返院報到。

本報告係依據「行政院及所屬各機關出國報告綜合處理要點」相關規定撰擬，旨在提報個人進修經驗與所見所聞，並提供日後國內大專院校相關行政與教學人員運用參考。

## 貳、 進修過程

### 一、 進修制度及期程

職於英國帝國理工學院航太工程學系進修博士學位，其學位進修制度為 4 年制，其中一年分為 3 學期，博士班進修開始 9 個月內要完成初期評量(Early Stage Assessment)，通過評量需達成必修科目 2 學分並通過口試測驗。博士班進修開始 24 個月內要完成末期評量(Late Stage Review)，通過評量需通過反抄襲課程及口試測驗，通過末期評量可獲選為博士候選人。

博士候選人於預定口試前 4 個月需提出口試申請，確定論文題目及申請口試委員，畢業條件限制於通過初期及末期評量者於修業年限內繳交博士論文並通過口試，完成畢業論文審查上傳後始能畢業。

### 二、 畢業論文研究主題

纖維增強複合材料 (Fibre-Reinforced Composites, FRCs) 因其高強度和高剛重比，在許多對重量要求嚴格的行業中扮演著重要角色，以提升效率和/或結構性能。然而，傳統的製造方式通常需要複雜的工藝和手工操作，這不僅增加了成本，還限制了其更廣泛的應用。隨著增材製造 (Additive Manufacturing, AM) 的快速發展，FRC 的製造與設計方式也隨之改變。透過 AM 工藝列印的纖維可以遵循預定的軌跡，從而實現結構內部纖維取向的靈活控制。研究人員開發了連續纖維角度優化方法，用於參數化纖維取向，以充分發揮材料的各向異性特性，從而達到可變剛度層板的最佳結構性能。

可變剛度層板的一個限制在於它們自然受限於 2D 層疊結構，無法充分利用 3D 纖維列印帶來的潛在優勢。然而，隨著先進機械臂 3D 列印技術的應用，幾何設計靈活性得到了拓展，使得纖維可以在建構平面之外進行列印。因此，研究興趣逐漸轉向結合纖維取向優化和拓撲優化（Topology Optimisation, TO）的方法，以充分發揮材料的各向異性特性並進一步減輕重量。

優化方法的一個常見挑戰在於，通常需要後處理來解讀最佳纖維取向以生成適合製造的纖維路徑。從生成的纖維路徑中常見的一些挑戰包括：路徑上的急轉彎及路徑間的空隙。纖維路徑的急轉彎會導致列印纖維的高曲率，可能導致纖維扭曲或反折。纖維路徑之間的空隙則會產生孔隙，降低單位體積的纖維含量。這些問題可能會降低 FRCs 的機械性能，並增加複合材料破壞的風險。此外，纖維路徑通常通過 3D 流線來表達，而這種最常見的表達方法在轉換至列印軟體時難以兼顧單位體積內纖維含量的變化。

本論文的主要目的是解決纖維路徑表達的挑戰。通過在優化方法中生成纖維路徑，無需額外的後處理步驟來表達纖維路徑。這一目標的達成也讓本論文的第二個目標——解決製造問題——更容易實現，因為在優化方法中生成的纖維路徑可以通過約束來避免潛在問題。儘管製造性和結構性能之間總是存在取捨，但透過加入製造約束，仍然可以生成可製造的最佳設計。

儘管此方法驅動的可製造性最佳設計已能實現，但潛在的屈曲失效仍被識別為一個主要設計挑戰。當結構構件受到壓縮時，可能會發生結構屈曲。結構屈曲的主要原因在於構件因幾何缺陷、邊界條件、構件的長細比或材料特性無法承受外加載荷。在這些因素中，構件的長細比（定義為長度除以寬度或橫截面面積）是決定抗屈曲性的重要因素；例如，細長構件在壓縮下更易於側向彎曲。由於拓撲優化設計通常以最小重量為目標，因此經常出現細長構件。相比於等向性材料，各向異性纖維增強複合材料可沿纖維方向承載以更少的材料傳遞載荷，這可能導致更細長的受壓構件出現，進而增加屈曲風險。

考慮抗屈曲性的 FRC 優化主要集中在層板面板。研究表明，通過參數化纖維取向可以增加抗屈曲性，因為壓縮應力可以通過改變纖維取向重新分佈。與纖維取向優化不同，考慮屈曲的拓撲優化則通過改變結構拓撲和構件厚度來增強抗屈曲性。通過在拓撲和纖維取向優化過程中加入抗屈曲性考量，可以通過調整拓撲和纖維取向來最優化壓縮應力的分佈。

為實現穩定且可製造的設計，本論文的最終目標是在確保可製造性的同時提升 FRC 結構的抗屈曲性。雖然在拓撲優化中考慮抗屈曲性並使用相同材料量可能因拓撲的重新分佈而導致結構剛度的進一步折衷，但同時達到抗屈曲性和可製造性目標，讓設計更接近實用性。

畢業論文提出了一種針對 3D 列印纖維增強複合材料結構的新設計方法，該方法結合了拓撲結構和纖維方向的優化。開發了固態等向材料懲罰法（Solid Isotropic Material with Penalisation, SIMP）和連續纖維角度優化（Continuous Fibre Angle Optimisation, CAFO）方法，用於確定符合多項需求（包括抗屈曲）的最佳纖維增強複合材料設計。採用了連續性方程來限制纖維的取向，並確保在合理的纖維體積分數內的纖維連續性。這使得纖維取向可以與可控的纖維體積分數變化相對應。

為了確保連續纖維能夠列印，本研究透過引入受兩個標量場控制的約束來重新構建纖維路徑，從而確保優化結果的可製造性，並提供足夠的信息來生成打印機的工具路徑。考慮到現實中的纖維體積分數與可製造性，數值實例顯示該方法在性能損失極小的情況下成功保證了可製造性。

該設計方法考慮了抗屈曲性，其創新之處在於透過拓撲結構佈局和纖維取向的變化來提高抗屈曲性。使用線性屈曲分析以獲得屈曲特性，並採用了應力場侵蝕和正規化方法，以減少優化過程中偽屈曲模式的發生。同時在追求最大抗屈曲性的過程中也考慮了可製造性。數值實例展示了抗屈曲性能的顯著提升，並在剛度幾乎不受影響的情況下確保了最優設計的可製造性。

## 參、心得

### 一、簡介

帝國理工學院（Imperial College London）是一所享譽全球的研究型大學，成立於 1907 年，位於英國倫敦，是全球頂尖的學術和研究機構之一。學院以其科學、工程、醫學和商學領域的卓越成就聞名，長期位居世界排名前列。帝國理工

學院注重學術創新和科學研究，匯聚了大量世界頂尖的學者和專業人才，致力於解決全球性挑戰，推動技術和知識的發展。其研究成果在人工智慧、材料科學、生物醫學、環境科學等領域居於領先地位，對全球科技進步具有重大影響。

學院設有四大學院：工程學院、醫學院、自然科學院以及商學院，並且強調跨學科的研究與教學。這種多學科的合作方式為學生和研究人員提供了寬廣的學術發展空間，許多課程和研究項目都著重於將理論應用於實踐，從而促進產業創新。帝國理工學院的學生來自世界各地，國際化程度極高，擁有優秀的校友網絡和產業連結，使其畢業生在全球職場中具有強大的競爭力。

學院位於倫敦南肯辛頓區，毗鄰海德公園、自然歷史博物館和維多利亞與阿爾伯特博物館，擁有得天獨厚的地理位置，並為學生提供了豐富的文化資源和學習機會。帝國理工學院以鼓勵創新和創業精神著稱，設有許多專門的孵化器和創業支持平台，幫助學生和研究人員將創意轉化為現實的商業項目。

此外，帝國理工學院的研究資金豐富，並且與全球多家領先的科研機構和企業建立了廣泛的合作關係，包括國際企業、政府機構及非營利組織等，推動科研成果的應用轉化。這些合作關係不僅加強了學院的學術影響力，還為學生提供了寶貴的實踐機會，進一步提升了其學術和職業生涯的發展潛力。

## 二、 文化體驗

旅英進修期間，感觸最深的是皇室對英國整體文化的影響。英國皇室文化深深根植於英國歷史，對於凝聚全國民眾、維護英國團結發揮了獨特的作用。皇室在英國並不僅僅是一個象徵，更是英國文化、傳統和認同的重要一部分。皇室活動無論是喜慶還是悲傷，往往都吸引大量的民眾關注和參與，成為全民團結的時刻。例如，伊麗莎白二世女王的鑽禧紀念日和國葬儀式，成千上萬的民眾自發聚集，不分階層或地域，共同參與並表達情感。這些活動不僅讓英國民眾感受到歷史的延續和集體身份的認同，還彰顯了英國人對皇室的尊敬和對國家傳統的珍視。

皇室成員也在許多場合擔任和解者的角色。無論是訪問蘇格蘭、北愛爾蘭，還是各地社區，皇室成員都扮演著跨越分歧、促進和諧的角色，展現出其在國家

團結中的重要性。特別是威廉王子和凱特王妃，他們的親民形象拉近了皇室與民眾的距離，贏得了年輕一代的支持與認同。皇室的慈善活動和對社會問題的關注，無論是在兒童健康、環保，還是心理健康等方面，都是皇室實際影響力的體現。他們的持續投入讓英國民眾感受到皇室與自己日常生活的連結，增強了國家內部的凝聚力。

皇室還代表了英國在國際上的形象，是國際舞台上英國文化和價值觀的象徵。每當有重大外交活動或外國貴賓來訪，皇室都扮演了代表英國的角色，使英國在全球政經舞台上保持影響力。這不僅增強了英國民眾的國家自豪感，也有助於在國際視野中保持英國的團結與穩定。

總體來說，英國皇室文化不僅是傳統的延續，更是英國團結的基石。皇室透過象徵性與實際行動，不斷加強著英國民眾的身份認同與國家認同，讓人們在快速變遷的現代社會中找到共同的情感寄託。

## 肆、 建議與省思

### 一、 自由探索

英國的指導教授通常對研究持開放態度，鼓勵學生自由探索。教授重視學生的創新能力，願意支持他們在研究方向上提出自己的見解，甚至挑戰現有理論。這種開放的學術環境讓學生能夠獨立思考，不僅深入發展自己的研究興趣，還能接觸到跨學科的資源與專家建議。指導教授會在學生遇到困難時提供建議，但不會限制他們的創意發揮。這樣的指導方式不僅促進了學生的學術成長，也培養了他們解決問題的能力，讓學生在自由與支持的環境中獲得更深層次的學習體驗。惕勵自己未來能以此風氣為榜樣，引導學生探索學術殿堂。

### 二、 學術與行政完全分離

在英國的學術體系中，研究與行政職責通常徹底分離，這種制度設計使得學術人員能夠專注於科研和教學，不被繁瑣的行政事務分心。學校設有專業的行政團隊，負責包括財務管理、人力資源、課程安排、學生註冊和後勤支持等各種非

學術事務，從而減少研究人員在行政方面的負擔。這種分工讓學者們能夠將精力投入到科研探索中，培育創新思維，並專注於高質量的研究產出。

研究與行政分離的優勢在於，它創造了一個純粹的學術環境，有助於培養學術人員的專業能力與學術熱情。在這樣的環境中，研究人員可以在自由探索的同時保持學術深度，從而更有效地推動學術進步和知識傳播。此外，專業的行政團隊還會提供必要的資源支持，幫助學者獲取科研資金、舉辦學術活動，並處理研究過程中的後勤需求，使學者得以高效、無憂地完成學術工作。

這種制度設計也為學校整體帶來了管理的靈活性，能夠在迅速變化的學術需求和科研要求下迅速調整資源分配與管理方式，從而保證了研究成果的質量和持續性。通過將學術活動與行政事務有效分離，英國大學能夠更好地支持學者在其專業領域的發展，促進知識創新並保持學術界的全球競爭力。