

【附件三】成果報告（此為格式範例，詳情請見[格式說明](#)；請於系統端上傳 PDF 檔）

封面 Cover Page

教育部教學實踐研究計畫成果報告

Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PEE1110399

學門專案分類/Division：工程

計畫年度：111 年度一年期 110 年度多年期

執行期間/Funding Period：2022.08.01 – 2023.07.31

**藉由程式語言及視覺化學習熱傳學/Learning heat transfer through
programming and visualization**
熱傳學/Heat Transfer

計畫主持人(Principal Investigator)：陳永松

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立中正大學／機械工程學系

成果報告公開日期：立即公開 延後公開（統一於 2025 年 7 月 31 日公開）

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023 年 9 月 20 日

藉由程式語言及視覺化學習熱傳學/Learning heat transfer through programming and visualization

一. 本文 Content

1. 研究動機與目的 Research Motive and Purpose

(1) 研究計畫動機

本申請人自 106-1 學期開始教授「熱傳學」，以往是採用單向「講述教學法」，讓學生一邊聽課、一邊抄寫筆記；由於課程內容較偏重熱傳數學式的推導及求解，而且因為熱傳較為抽象，學生無法在短時間內了解這些熱傳數學式的物理意義，以致興趣缺缺。由表 1 可看出 106 至 109 學年度學生對課程滿意度也逐漸下降。課程滿意度在 109-2 學期大幅下降至 4.09。這幾年來的上課形式並沒有明顯的改變，甚至改為大班必修課後，上課進度較慢，教授的內容較以往少了約六個小時的內容。所有的考試，及期中期末考都改為開書考，反而導致學生的滿意程度大幅下降，如表 1。因此，本申請人深切自我檢討，找出原因，改變教學方式，來提昇教學品質。

表 1：106 至 109 學年度學生對各科目之教學滿意度，() 內為標準差。

	106-1	106-2	107-1	107-2	108-1	108-2	109-1	109-2
熱力學（一）	4.27 (0.74)		4.42 (0.74)		4.27 (0.75)		4.54 (0.59)	
熱力學（二）		4.39 (0.72)		4.35 (0.64)		4.24 (0.77)		4.37 (0.70)
熱傳學		4.64 (0.6)		4.58 (0.63)		4.56 (0.54)		4.09 (0.88)
計算流體力學簡介								4.77 (0.43)
氫能與燃料電池	4.73 (0.45)		4.62 (0)		4.09 (0.84)			

在 106 至 109 學年度的熱傳學教學經驗中，大多數學生幾乎沒有使用程式語言來求解專業科目的學習經驗。在公佈期末報告的題目時，學生只有將近一個月的時間要完成程式的撰寫以及書面報告。對許多同學來說，要完成一件像樣的報告幾乎不容易。因此，本申請人提出此教學實踐研究計畫，本研究計畫的創新性在於「讓學生撰寫程式讓熱傳現象的可視化」，並大幅縮短單向的講述授課的比例，讓學生在課堂中藉由撰寫程式語言，將熱傳數學式以圖形來呈現。並利用基於問題（Problem-Based Learning, PBL）的教學方式，設計生活上或工業上常遇到的熱傳問題，讓學生更能了解熱傳學在實質問題上的應用，以增加課程內容的多樣性，及提高學生的興趣及注意力，來增加學生的學習成效。

本申請人深切檢討後，歸納出以下幾個原因：

(A) 熱傳學首次改為必修課

熱傳學在 109-1 學期首次由選修改為必修，許多對熱流領域沒有興趣的學生被迫修

這門課。有部分學生因此產生怨言，部分同學認為他未來不會從事熱流領域的研究或相關工作，希望老師可以放寬評分標準。

(B)課程內容偏數學公式推導及求解方法

熱傳的數學是幾乎和空間與時間有關，因此幾乎是偏微分方程式。如果二年級之後工程數學的基礎不扎實，在求解偏微分方程時是很有挑戰性的。而熱傳學的課程內容大部分是教導以偏微分方程來描述各種熱傳現象。因此，學生覺得課程內容枯燥乏味，一點不留神就無法跟上。

(C)學生不易了解熱傳方程式所描述的物理意義

如大部分文獻報告所述，因為熱傳及溫度是無法肉眼看見，所以學生無法直接將方程式所代表的意義轉換成直觀的物理意義，無法體會熱傳現象及其結果的應用。

(D)學生的程式語言能力不足

大部分學生在三年級時才開始使用程式語言來解決專業科目上的問題，沒有足夠時間撰寫程式期末報告。期末報告要求以程式語言求解熱傳現象，對毫無程式基礎的學生來說是十分困難的。也因此，許多學生抄襲其他的人的程式，被抓出來後也頗有怨言。

(2) 研究目的

本教學實踐研究計畫主題「藉由程式語言及視覺化學習熱傳學」，是提出不同於文獻中採用商業軟體或教師已發展完成的軟體。而是讓學生自己動手撰寫程式語言將課程中的熱傳式子可視化。使學生可以體會熱傳數學式的物理意義。在本研究計畫，我們將調整以往由教師單調授課的方式，並簡化筆記內容，增加學生專心聽課的時間。將日常生活中與熱傳學相關的問題導入課程中建立一個基於問題式的教學方式。

本研究計畫的目的是要研究這些改變及新加入的教學元素是否能提昇學生的學習成效。新增加的上課形式包含：

- A. 在課堂中教導學生所需使用的程式語言。
- B. 由學生撰寫語言程式，將熱傳現象可視化。
- C. 課後問卷，加深同學了解對該堂課的重點。
- D. 利用基於問題的教學方式，加入生活上或工業上遇到的問題。

期間，每二週仍有固定小考，再與前幾年的小考成績進行比較，以追蹤學習成效。二次期中考及期末考後，再與學生訪談，了解學生對這種改變教學方式的學習效果及意見。學習成效可由下列幾點來觀察：

- A. 學生撰寫程式語言能力的提昇。
- B. 課後問卷的答對率。
- C. 小考及期中（末）考成績。
- D. 學生在教學滿意度及意見的反饋。

2. 研究問題 Research Question

本研究計畫的研究問題包含：

- (A)簡潔版的筆記內容，是否能增加學生聽課的時間及注意力。

- (B)提供的練習題及利用程式語言求解的題目是否生活化。
- (C)新加入的課後問卷及程式語言練習是否更讓學生容易理解。
- (D)將熱傳結果可視化是否有助於學習。
- (E)撰寫程式語言的能力是否提昇。

3. 文獻探討 Literature Review

熱傳學除了在機械工程及化學工程中教授外，也在地球科學和物理學中被廣泛教授。許多文獻研究報告也指出，教授與「熱」、「能量」、「溫度」相關的科目是具挑戰性的(Sözbilir 2010; Castier 2011)。從先前的研究可以了解，大部分學生對這些相關科目的挑戰或潛在問題是因為他們的基礎知識不正確或對一些概念的誤解，以致於難以理解主題。Xie 在課堂上發覺許多學生對熱和溫度有錯誤的理解 (Xie 2012)，這些錯誤理解主要源自於日常生活中習以為常的直覺。例如，仍有許多學生無法理解「熱傳量」和「溫度」、「能量」和「功率」，以致於在處理相關題目時，難以理解。de Berg 探討了教師在教授與溫度有關的物理概念所需關注的重點 (de Berg, 2008)。Almahdi 的研究指出，一般學生在日常生活的經驗裏，認為「熱(Heat)」和「溫度(Temperature)」指的是同一種物理量，只是名稱不相同。(Almahdi, 2011)。此外，在 Haglund 等人的研究中顯示，一般學生不容易接受及理解熱傳導的概念。(Haglund、Jeppsson 和 Schönborn, 2016 年)

熱傳學一般是安排在機械工程領學系大學部的三年級課程。學生在修完熱力學及流體力學之後，有了熱力學及流體力學的基礎知識之後，再學習熱傳學是比較有效益的。圖 1 顯示熱傳學涵蓋了大部分的熱力學、少部分流體力學、以及一部分的工程數學。熱傳學需要許多求解工程數學的能力，如果學生解工程數學的觀念不足，對邊界條件的定義不夠了解，則無法理解求解出來的熱傳學解答，而導致學習效率低落，甚至對這門課沒有信心。



圖 1：熱傳學中與其他科目重疊的範圍。

為了提升學生的效率，已經有許多學校研究及開發了各種教學方法讓學生更有興趣學習熱傳學，包含利用軟體將熱傳現象可視化、基於問題或案例來教學及改變課堂中的教學模式等方式。

(1)熱傳現象可視化

在科學教育研究中，越來越多的研究著重於使用不同呈現方式來加強學生的學習，以探討學生的學習成效 (Tang et al., 2014)，而且逐漸普及和可負擔的可視化技術讓肉眼無法直接觀察的現象得以呈現，以便學生直接觀察，讓學生更容易理解。

雖然「熱」無法用一般的肉眼察覺，但是透過紅外線攝影機 可以將熱視覺化。Haglund 等人 (Haglund, 2014 年, 2015 年) 的研究顯示，視覺化的「熱」對學生學習熱傳有正面的影響。Åhman 的研究顯示，當教導熱傳導和熱傳遞等肉眼不可見的現象時，利用紅外線攝影機可以刺激學生的學習，讓學生因為紅外線攝影機的呈像而開始有興趣 (Åhman, 2020)。如圖 2 所示，在紅外線攝影機下可以明顯看到銅條和紙條上的溫度分布情形，在沒有紅外線攝影機的輔助下，學生只能自行運用想像力來理解不同材質對熱傳導速率的

影響。

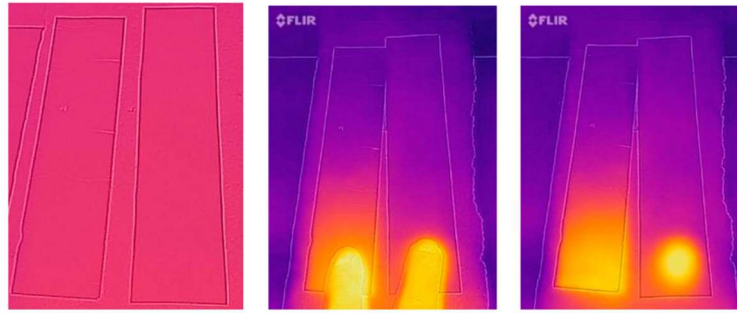


圖 2：比較銅條和紙條的溫度變化情形。左圖：將手指放在上去之前；中圖：將手指放上去時。右圖：移開手指時。(Åhman, 2020)

Xie 採用將熱能、溫度分佈和熱傳遞的交互關係，利用電腦軟體將其視覺化。透過程式模擬可以為教授和學習這些熱傳概念提供一種直接、可視的方法 (Xie, 2012)。Xie 使用商業軟體 Energy2D 作為教授熱傳學的模擬工具，如圖 3 所示。學生可以自行操作軟體中的邊界條件設定，以觀察不同邊界條件下熱傳量的變化以及溫度分布的變化情形。

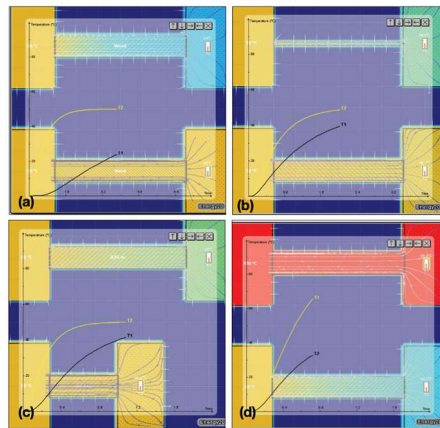


圖 3：利用商業軟體 Energy2D 教導牛頓的冷卻定律。圖中顯示不同邊界條件下的溫度分布及熱傳的情形。(Xie, 2012)

Ribando 在教授大學部熱傳學課程的模式已由講授式改變成“動手”式，讓學生在電腦教室中，利用自行開發的程式來展示熱傳學涵蓋的重要主題。他總共開發了九個模組來演示課程中的重要熱傳理論 (Ribando, 2004)。因為電腦發達，幾乎我們在熱傳學課程的所有內容都可以可視化及以動態方式呈現。甚至，一個簡單的解析解，很容易使它成為一個物理問題，而不再只是一個數學練習。學生可以明顯「看到」絕熱邊界、溫度分佈、熱通量等變化。Ribando 對學習成效的評估方式是採問卷調查，由學生提供教學分數及文字意見回饋。大部分學生對此教學方式持正向意見，這些程式模組有助於理解課程內容。

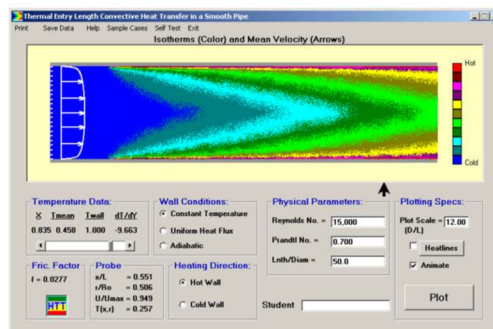


圖 4：Ribando 等人開發了九個模組來演示課程中的重要熱傳理論 (Ribando, 2004)

Wibowo 等人開發虛擬顯微鏡模擬(Virtual Microscopic Simulation, VMS)程式來協助學生對微觀材料的熱傳現象的理解 (Wibowo, 2017)。再透過前、後測試，同時使用量化及質化的分析方式了解學生的學習成效。研究結果顯示，VMS 可以讓學生取得更好的成績，及學習成果。

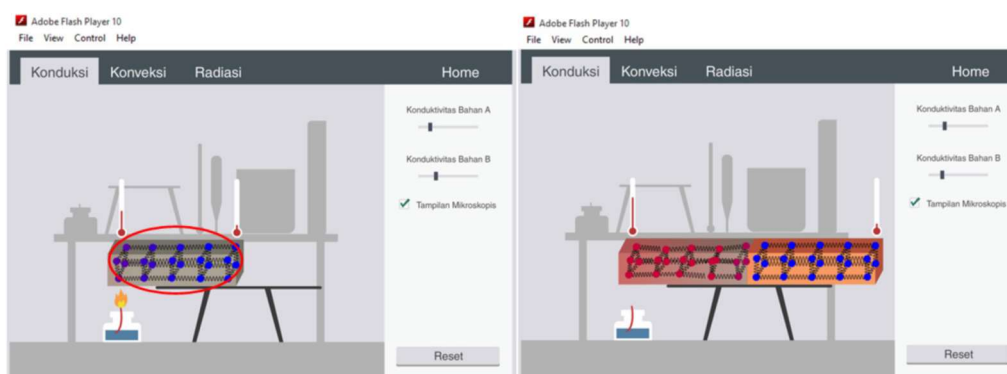


圖 5：Wibowo 等人開發虛擬顯微鏡模擬來教導熱傳學。(Wibowo, 2017)

熱邊界層 (Thermal boundary layer) 是熱傳學課程後期的一個抽象的單元。由於難以直接觀察，Beheshti Pour 設計了三種方法實現了熱邊界層、流體力學和傳熱課程的可視化，讓學生得以觀察到熱邊界層 (Beheshti Pour, 2018)。修課的有 48 名學生，利用前測和後測結果的分析，五分之三的測驗題有顯著改善。學生反饋是正向的，學生認為這些實驗有趣、有用、資訊豐富且清楚解釋熱傳現象。這些視覺化的呈現有助於學習，並可以積極地讓學生參與到學習中。

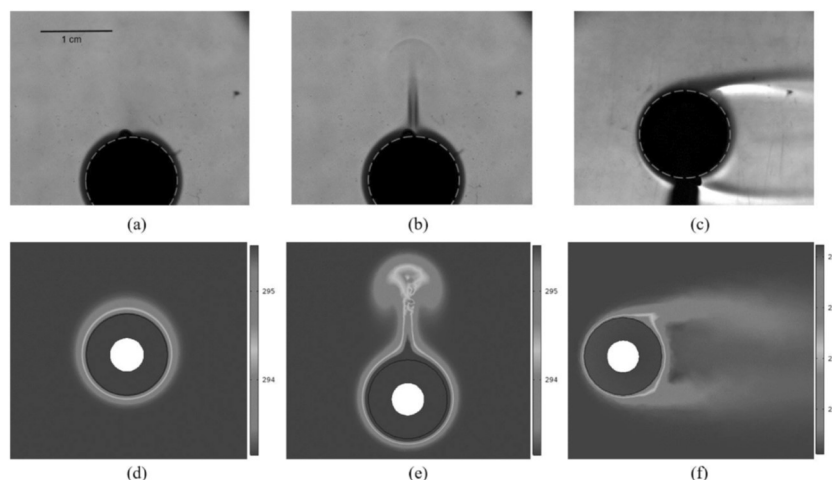


圖 6：Beheshti Pour 設計實現了熱邊界層的可視化實驗，讓學生得以觀察到熱邊界層 (Beheshti Pour, 2018)

(2)期於問題或案例教學方法

Chiou 提出了一種多維圖表方法來分析學生對複雜物理概念的理解程度 (Chiou, 2009)。研究中，對 30 名大學部物理系學生進行訪談，以探究他們對熱傳導的理解。儘管學生能夠得出熱傳學正確的答案並應用相關的術語來解釋現象，但他們對這些正確答案和術語的理解可能會有相當大的差異。因此，科學教師和教育工作者必須探討學生對特定領域的實際理解程度，以發現隱藏的個體差異。此外，Doige 指出教科書中和一般生活中的應用常無法想配合，也使學生無法理解課程中的問題與實際生活上問題的關聯性 (Doige 2012)。

Perrenet 探討了利用「基於問題的學習」(Problem-based learning, PBL) 的特點和目標 (PBL)。使用 PBL 教學理工科系中同樣重要。然而，重點是放在知識的應用和整合

上，而不是獲取上。PBL 可以在理工科技的教學上可以縮小理論與實踐的差距。雖然 PBL 優於傳統講授式教學方法。這需要在課程設中進行一致性完整的。

Ambiyar 更提出了「基於工作的學習」(Working-based learning, WBL) 基於工作的學習的模式。WBL 是以工作場所為媒介來傳遞知識的一種教學方法。WBL 是從教室中的學習模式轉變為在工作場所的學習，通常指的是實驗室。該模式透過實驗室中的真實設備來進行教學，學生可以體驗理論與實務。WBL 要能成功的因素很多，Ambiyar 在 Bung Hatta University 機械工程學系中比較了不同 WBL 的學習模型。由於熱傳學的上課方式是理論教學，學生的創造性較差、被動交流、也缺乏學生間的合作。從幾年的教學經驗徹底的評估，認為這種學習過程的結果並沒有太大效益，因此有必要改進教學方法和新的學習系統。

(3) 改變課堂中的教學模式

學生在上課中只透過聽講的過程而不做其他事情，比如做筆記，那麼對課程內容的掌握只有約 5%。如果有複習，則對課程內容掌握有 10%。如果在多媒體工具的幫助下，則對課程掌握有 30% (The Higher Education Academy, 2008)。如果學生能夠直觀地看到微觀的物理材料，將更容易理解它，並且會避免錯誤觀念的構建。

Kobus 提出了「線上學習」及「課堂互動」的翻轉教室模型是教導大學生熱傳學內容的最佳方法 (Kobus, 2013)。線上學習在大學高等教育中變得非常流行，並且有兩種不同的方式：「同步」及「非同步」，各自都有優點和缺點。Kobus 提出「非同步教學」是較好的模式。它與其他技術相結合，利用優點並克服缺點。「非同步教學」的優點很多，但主要包括課程內容的分類、多媒體教學素材集成等，可依課程內容單元來分類，不受課堂時間的限制。「非同步教學」讓學生在上課前先看完課程內容，教授得以騰出整個課堂的授課時間，用於加強教學及其他利用。但這教學模式要成功，需學生們主動學習，在上課前就需預習「非同步教學」的課程教材。

Mulryan-Kyne 研究了大班級上課的挑戰與機會 (Mulryan-Kyne, 2010)。隨著高等教育校院的招生人數大幅增加，將會導致學院和大學的班級規模的增加。高等教育的大班級給教職員和學生帶來的主要問題包含致教學和學習的效率降低。在大班級規模教學下，講授仍然是主要的教學方式。然而，使用其他側重於使小組教學更加活躍和以學生為中心的教學方法有助於解決在大小組教學中遇到的一些問題。高等教育的教師需要改變以往傳統的講授方式，轉向更積極的教學形式。在大規模班級上課，調整教學方法是具有挑戰性和困難的。設計、實施和測試新的主動教學方法的所花費的時間會給同時努力在研究上的教師帶來額外的壓力。

主動學習並不一定意味著教師不再講授 (Machemer and Crawford, 2007)，而是讓學生有機會參與他們學習需要進行反思、分析、綜合和交流。重點是調整講授方式，創造以學生為中心的學習環境，以讓學生能更直接地參與教學過程。

Purdue University 的 Yadav 等人將機械工程學系 73 名學生分成二組，分別採用「傳統講授教學」和「案例教學」(Case method) 方法進行熱傳系統及流體系統教學研究，並進行比較 (Yadav, 2010)。兩組均採用前測、後測和問卷調查，以評估他們對概念的理解和案例教學法的意見。研究結果顯示，大多數參與學生認為案例教學的方式很有吸引力，並為課堂增添了很多現實感。傳統的講授和案例教學對學生在概念理解上沒有顯著差異。然而，案例教學並未減低學生對概念的理解，同時使學生更能體會課程內容。

4. 教學設計與規劃 Teaching Planning

本研究計畫的研究對象為 111-2 學期修習「熱傳學」的學生。自 110-2 學期開始，本系熱傳學將由二班併班授課改成二個班級授課，每一班的學生人數約 50 人，其中大部分

為三年級的學生。在 2022 年 9 月開始上課時先公開說明本課程的改變，以及將要實施的研究方法，讓學生在選課前能充分了解在本課程中的研究目的、主題與進行的過程。並要求學生需自備筆記型電腦，儘早自修程式語言。在徵求學生同意並簽署同意書，才讓其選本班課程，共同參與研究，希望參與的學生能盡量配合本課程中的活動，包含小考、問卷填答。

A. 研究方法與工具

大部分對文獻提到利用比較前測及後測結果來評估學生的學習成效。本研究採用課後問卷及與歷年考試成績進行比較的方法作為研究方法。此外，部分文獻的研究採用問卷調查來評估教學成效，並無量化的指標。本研究計畫也將結合問卷方法作為評估教學成效的工具。

B. 資料處理與分析

(A)出席率：

每次上課結束都會要求學生填答課後問卷，將藉由這課後問卷計算出席率，學期末將呈現每一堂課的學生出席率。

(B)課堂程式語言作業：

藉由每二週一次的課堂中撰寫程式語言作業的成績，來了解學生的學習成效。

(C)小考成績：

將全班的小考成績平均，再與歷年的小考成績比較，呈現各次小考成績的變化。

(D)期中（末）考成績：

將全班的期中（末）成績平均，再與歷年的期中（末）成績比較，以呈現學習成效。

(E)個別訪談意見：

本研究計畫將在每次期中考後，邀請學生訪談，並提出改善建議，將學生對文字意見進行分析整理，做為隔年教學方式的改善參考。

(F)教學滿意度分數：

本校教學中心在學期末都會進行教學意見調查。學生可針對各個題目進行 1 到 5 分的評分。將以教學滿意度分數評估學生對這課程改變的滿意度。

5. 研究設計與執行方法 Research Methodology

由已發表的文獻報告可以知道，學生對於學習熱傳學困難之處在於不易理解熱傳現象及溫度變化。依照本學期在「熱力學一」執行教學實踐研究計劃的經驗，已觀察到課後問卷有助於加深學生吸收當堂課的內容。再由教授「計算流體力學簡介」的教學經驗了解，學生密集親自動手寫程式有助於他們了解數學式物理意義，提昇學習成效。因此本研究計劃將整合這兩門課的教學方法，再加上基於問題式的教學方法來吸引學生的學習興趣，提昇學生的學習成效。

本研究計劃的研究架構是採用 **PBL** 方式。除了每一堂課加入多元化的教學素材外，課後及馬上進行課後問卷。此問卷並不納入計算學期成績，而是讓學生們了解這一堂課的重點總結，學生可以翻書或是與同學討論把這一堂課該學的徹底理解清楚。教師根據學生的測驗結果可以了解學生尚未理解之處，並在下一堂課的時候進行補充說明。

每二週時，要求學生們攜帶筆記型電腦到課堂上，練習將先前教過的熱傳方程式利用電腦程式原來求解並將結果圖形化呈現，並在下課前將結果交回以計算成績。

每二週也舉行一次小考，成績將與歷年（2017 到 2020 年）的小考成績進行比較。第六及第十二週分別進行期中考試，期中考試的成績也與歷年的期中考成績進行比較，以了解學生在這種教學方式下的學習成效。此外，每次期中考後也與學生進行訪談，藉由學生

提供的反饋意見，修改或是調整教學內容，在下一次的課程中採用讓學生更容易接受或理解的方式。

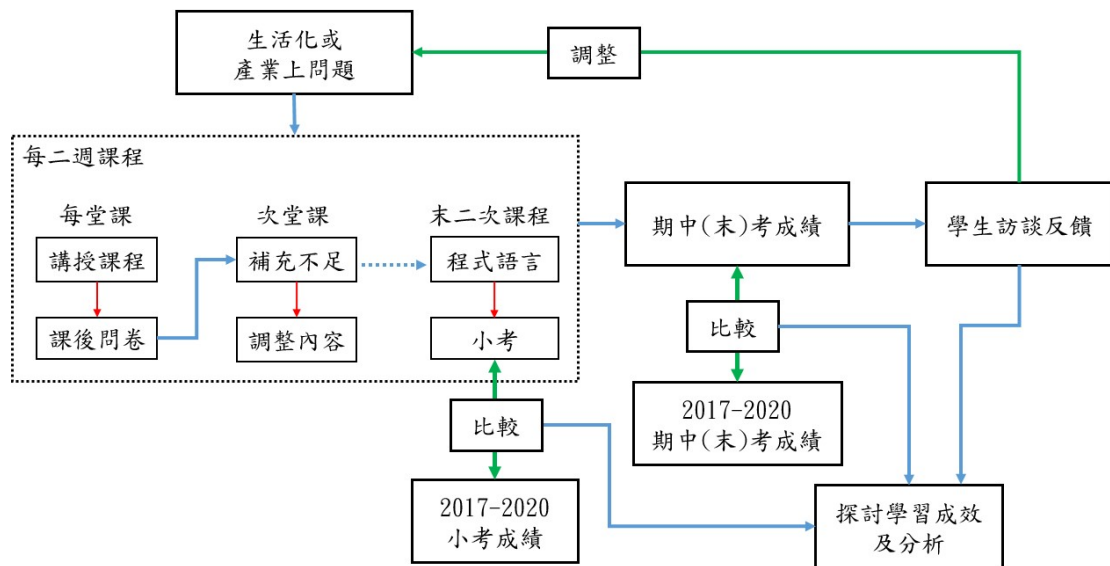


圖 7：本研究計畫之研究架構

6. 教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

(1) 教學過程與成果

為了讓學生可以先練習程式語言的撰寫方式，本課程中特地安排一堂課要求學生帶筆電到課堂中當場練習寫程式，如圖 8 所示。由於熱傳方程式的求解方法已經在前幾堂課介紹過了，所以這一堂課是要讓學生練習將這些方程式轉換成程式語言，並且求出解答。最後，再將結果利用圖形化的方式呈現出來。學生雖然無法在一堂課內將程式求解出來，但是可以帶回家繼續做，並在期限內繳交成果。這一堂課的目的是先讓同學熟悉程式語言，並且告訴他們不應該有的抄襲行為。也藉由修正他們報告中的錯誤，讓他們能在最後的期末專題報告中有更好的表現。



圖 8：學生帶筆電到課堂中，練習撰寫程式。

在計畫書中，學期的最後兩堂課，安排學生上台進行口頭報告，如圖 9 所示，分享各組在進行期末專題的過程、求解的方式、以及遇到的問題，並將自己的成果展現出來。藉由與同學之間的問題互動來增加或是改進自己的程式，以及圖形化的呈現方式。同學也需先理解圖形結果，才能清楚地說明解答的熱傳現象。

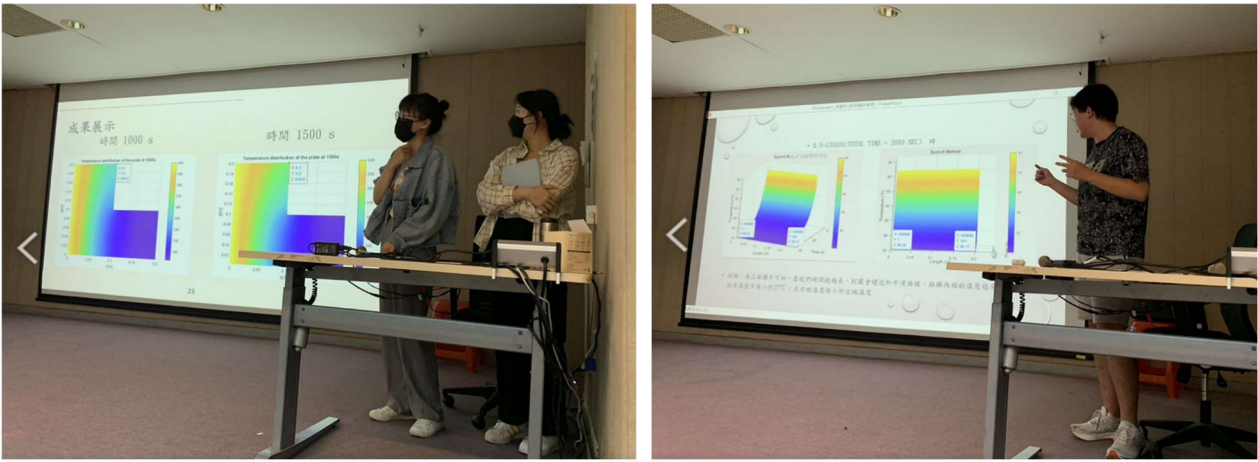


圖 9：同學們上台報告介紹自己的專題成果。

圖 10(a)為 2018 年到 2023 年的歷年小考成績變化，由圖中可以看出 2021 年小考成績幾乎為歷年最低，2022 年試施行本計畫之教學方式後，小考成績有明顯提昇，在 2023 年正式施行本計畫時，可看到在第 4~6 次的小考成績均較 2021 年的班級提昇；圖 10(b)為 2018 年到 2023 年的歷年期中、期末及學期成績的變化，可明顯看出 2021 年班級的期中及期末考，甚至學期成績為近幾年來最差。而在實行本計畫後，2022 及 2023 年班級的成绩均較 2021 年的班級成績明顯提昇。

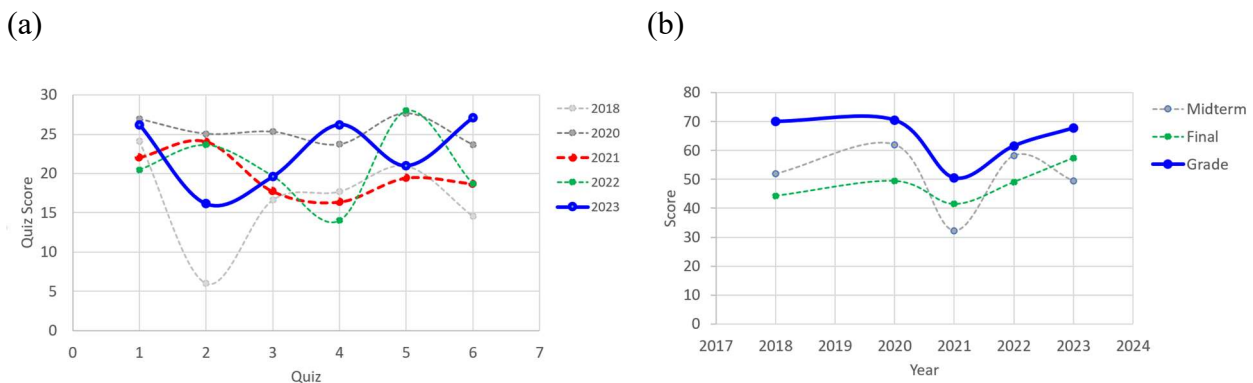


圖 10：(a)歷年小考成績；(b)歷年期中、期末及學期成績。

(2) 教師教學反思

A. 了解學生需求

經由課堂中調查，發現大部分學生沒有接觸過程式語言，所以要他們在短時間內熟悉電腦程式語言，並求解複雜的熱傳方程式似乎有點強人所難，因此在課堂中先給予他們練習的機會，讓他們提早做準備，有助於他們及早了解問題以及需要加強的地方；以免在學期末時，因為急救章，而直接複製其他人的程式。反而達不到學習的效果。

熱傳現象是相當抽象的，在現實生活中不易觀察得到，所以只利用方程式來說明不容易讓學生理解。在本課程中利用視覺化的方式將熱傳的現象呈現出來，使學生理解熱傳現象，也有助於他們的學習。

B. 掌握學生學習狀況

雖然許多學生在修習這門課之前沒有接觸過程式語言，但是他們對寫程式仍有相當

的興趣以及熱情，可以感受到他們求解出來，並以圖形化呈現出來是的心情應該是相當的興奮。只要給予足夠的時間以及適當的練習機會，他們都可以有相當良好的表現。我們只需適時地糾正他們以及提醒他們不恰當的抄襲行為使他們改進，就可以讓整個專題報告更加完善。

藉由學期末的口頭報告，可以了解學生進行專題的方式，也可以由他們呈現出來的結果發現錯誤的地方，再經由與同學之間的互動討論後，再修正報告內容，也能讓期末專題更加完善。

(3) 學生學習回饋

由回收的教學意見調查顯示大部分學生對課程中實施的各種教學方式均給較高的評價，滿分為 5 分。而在期末專題方面大部分的學生都認同利用程式化以及圖形化的方式要注意理解熱傳現象。

在文字方面，可以看出學生為了要撰寫程式，也花了不少的時間自我學習，以及尋求幫助，在找到解答之後也可以更有成就感，如圖 11。由於程式撰寫過程中容易發生一些錯誤，所以學生也會反覆仔細的找出程式錯誤的地方。整體來說學生給予課程的評價是正面以及蠻高的。

	問題	平均	標準差
1	抄筆記（講解理論、推導公式）	4.57	0.72
2	以例題講解	4.73	0.64
3	小考	4.65	0.58
4	課堂中講解及練習 Matlab	4.24	0.85
5	已先公布的習題及解答	4.54	0.64
6	期末專題	4.54	0.68
7	上台報告	4.26	0.77

	問題	平均
1	推導方程式過程更能理解熱傳現象	33/37 = 89.2%
2	撰寫程式過程有助於頭腦思考	29/37 = 78.4%
3	圖形化的呈現方式有助於理解熱傳現象	28/37 = 75.6%

這一次的期末報告，雖然花了不少的時間計算、找資料、尋求各方幫忙、學習程式公式和發現修正錯誤的地方，但是讓我對有限差分法有很深刻的印象和深入的了解，了解整個方法的運作，如何將算出來的結果換成程式語言，如何分析解釋畫出來的圖形，如何透過各個矩陣的數值去發現不合理的地方，如何有效地尋求幫助，其中課堂中的 Inclass project 真的幫助我很多，因為有先寫過了，在做這個期末報告也比較得心應手。

這次的期末報告幸好有之前隨堂作業的基礎，這次在打程式上沒有遇到太多困難，反而是在推導公式時花了最多的時間，雖然過程不會太複雜，但每一個係數都要反覆確認，一旦打錯，程式跑出來的結果圖就會大相逕庭；另外，在 debug 時也要格外的小心，有時候跑出來的結果看似很合理，但其實是有輸入錯誤的。也誠如老師所說，我們很少有機會能這樣以撰寫程式的方式計算，所以可以多去試試看，改變不同性質、調整不同的參數等等，除了能馬上看到結果之外，能親自操作也更能加深我們課堂所學的知識。

圖 11：學生的回饋

7. 建議與省思 Recommendations and Reflections

- (1) 熱傳學是機械系大學部的進階課程，許多學生對熱流領域沒有興趣，但是也必須要修。因此如何激發學生的學習興趣是這一門課的重點。許多學生對求解方程式並不是很有興趣，但是對寫程式、動手做卻可以十分的投入。因此，這一門課將傳統單方向授課方式轉換成由學生親自動手撰寫程式的方式來增加學生的學習興趣。從結果來看，整體表現提昇，許多學生也的確更有興趣。
- (2) 雖然熱傳學的基礎理論已經發展數十年，而且不會有太大的變化；但是學生的學習態度以及興趣會隨著時空、環境等外在因素而有所不同。因此必須試著調整以往的授課形式，以讓新世代學生能適應，才能有效地將專業知識傳遞下去。

二. 參考文獻 References

- Åhman, N., & Jeppsson, F. (2020). Teachers' and pupils' scientific dialogue in learning about invisible thermal phenomena. *International Journal of Science Education*, 42(18), 3116-3133. doi: 10.1080/09500693.2020.1852334
- Almahdi, A. A. (2011). Misconception of heat and temperature among physics students. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 12, 600–614. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.02.074>.
- Castier, M., & Amer, M. (2011). XSEOS: an evolving tool for teaching chemical engineering thermodynamics. *Education for Chemical Engineers* 6, 62–70.
- Chiou, G. L., & Anderson, O. R. (2009). A Multi - dimensional Cognitive Analysis of Undergraduate Physics Students' Understanding of Heat Conduction. *International Journal of Science Education*, 32(16), 2113-2142. doi: 10.1080/09500690903258246
- Chu, H.-E., Treagust, D. F., Yeo, S., & Zadnik, M. (2012). Evaluation of Students' Understanding of Thermal Concepts in Everyday Contexts. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1509-1534. doi: 10.1080/09500693.2012.657714
- de Berg, K. C. (2008). The concepts of heat and temperature: The problem of determining the content for the construction of an historical case study which is sensitive to nature of science issues and teaching–learning issues. *Science & Education*, 17(1), 75–114. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9040-z>.
- Haglund, J., Jeppsson, F., Melander, E., Pendrill, A.-M., Xie, C., & Schönborn, K. J. (2016). Infrared cameras in science education. *Infrared Physics and Technology*, 75(C), 150–152. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.12.009>.
- Haglund, J., Jeppsson, F., & Schönborn, K. J. (2016). Taking on the heat – A narrative account of how infrared cameras invite instant Inquiry. *Research in Science Education*, 46(5), 685–713. <https://doi.org/10.1007/s11165-015-9476-8>.
- Kobus, C. J. (2013, July). On Why the Flipped Classroom Model May Be the Optimum for Heat Transfer Education. In *Heat Transfer Summer Conference* (Vol. 55508, p. V004T16A001). American Society of Mechanical Engineers.
- Machemer, P.L., and P. Crawford. (2007). Student perceptions of active learning in a large crossdisciplinary classroom. *Active Learning in Higher Education* 8, 9-30.
- Mataka, L. M., Cobern, W. W., Grunert, M. L., Mutambuki, J., & Akom, G. (2014). The effect of using an explicit general problem solving teaching approach on elementary pre-service teachers' ability to solve heat transfer problems. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 2(3).
- Montero, E., & Gonzalez, M. J. (2008). Student engagement in a structured problem-based approach to learning: A first-year electronic engineering study module on heat transfer. *IEEE Transactions on Education*, 52(2), 214-221.

- Mulryan-Kyne, C. (2010). Teaching large classes at college and university level: challenges and opportunities. *Teaching in Higher Education*, 15(2), 175-185. doi: 10.1080/13562511003620001
- Perrenet, J. C., Bouhuijs, P. A. J., & Smits, J. G. M. M. (2010). The Suitability of Problem-based Learning for Engineering Education: Theory and practice. *Teaching in Higher Education*, 5(3), 345-358. doi: 10.1080/713699144
- Ribando, R. J., Richards, L. G., & O'Leary, G. W. (2004). A "Hands-On" Approach to Teaching Undergraduate Heat Transfer. In *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Vol. 47233, 413-422.
- Samuelsson, C. R., Haglund, J., & Elmgren, M. (2017). Looking for solutions: University chemistry and physics students interacting with infrared cameras [Paper presentation]. *12th Conference of the European science education research Association (ESERA)*, Dublin. August 21-25.
- Schnittka, C., & Bell, R. (2010). Engineering Design and Conceptual Change in Science: Addressing thermal energy and heat transfer in eighth grade. *International Journal of Science Education*, 33(13), 1861-1887. doi: 10.1080/09500693.2010.529177
- Sözbilir, M., Pınarbaşı, T., & Canpolat, N. (2010). Prospective chemistry teachers' conceptions of chemical thermodynamics and kinetics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education* 6, 111–122.
- Tang, K. S., Delgado, C., & Moje, E. B. (2014). An integrative framework for the analysis of multiple and multimodal representations for meaning-making in science education. *Science Education*, 98(2), 305–326. <https://doi.org/10.1002/sce.21099>.
- The Higher Education Academy, (2008). *Strategic Plan 2008-13*. New York: The Higher Education Academy.
- Wibowo, F. C., Suhandi, A., Samsudin, A., Darman, D. R., Suherli, Z., Hasani, A., ... & Coştu, B. (2017, December). Virtual Microscopic Simulation (VMS) to promote students' conceptual change: A case study of heat transfer. In *Asia-Pacific Forum on Science Learning & Teaching* (Vol. 18, No. 2).
- Xie, C. (2012). Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone. *The Physics Teacher*, 50(4), 237-240. doi: 10.1119/1.3694080
- Yadav, A., Shaver, G. M., & Meckl, P. (2010). Lessons learned: Implementing the case teaching method in a mechanical engineering course. *Journal of Engineering Education*, 99(1), 55-69.

三. 附件 Appendix

無