0 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

核定編號/Project Number：MOE-114-TPREE-0012-017Y1

學門專案分類/Division：工程

計畫年度：☑114 年度一年期　□113 年度多年期

執行期間/Funding Period：2025.08.01 – 2026.07.31

認知負荷理論下的 EMI 教學優化設計之提升工程專業課程學習效能-以熱傳學為例/ Enhancing Learning Outcomes in Engineering Courses through EMI Optimization Based on Cognitive Load Theory: A Case Study on Heat Transfer

計畫主持人(Principal Investigator)：吳俊毅

協同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立臺灣海洋大學機械與機電工程學系

成果報告公開日期：☑立即公開 □延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：2026 年 9 月 18 日

次頁 AI 使用聲明 AI Disclosure Statement

AI 使用聲明

一、規範指引

因應人工智慧技術快速發展，若成果報告撰寫有使用任何人工智慧或類似技術輔助，應遵循以下指引：

1. 透明與揭露：計畫主持人應在成果報告中清楚說明 AI 工具的使用目的、方式與範圍。
2. 負責與誠信：計畫主持人應對 AI 工具產生的內容負責，確保正確性、真實性與完整性，避免不當行為（如造假、變造、抄襲），並且對工具來源進行適當引用。
3. 使用 AI 工具撰寫成果報告如涉有違反學術倫理行為，將依「專科以上學校學術倫理案件處理原則」及「教育部補助大專校院教學實踐研究計畫作業要點」第 13 點處理。

備註：以上指稱之 AI，泛指生成式人工智慧工具，包括大型語言模型或多模態模型工具，例如但不限於 ChatGPT、Gemini、Google Notebook LM、Novel AI、Microsoft Copilot 等。

……

二、倫理聲明

☑ 本成果報告撰寫若使用 AI 工具，均合乎學術誠信原則；所有報告內容經本人核對無誤，本人對報告內容負最終且完全之學術與法律責任。本報告於圖表製作過程中，使用 Google Notebook LM（Gemini）及 ChatGPT 生成式 AI 工具輔助繪製部分教學示意圖，其內容經本人核對確認符合報告實際內容。

本文與附件 Content & Appendix

認知負荷理論下的 EMI 教學優化設計之提升工程專業課程學習效能-以熱傳學為例 (Enhancing Learning Outcomes in Engineering Courses through EMI Optimization Based on Cognitive Load Theory: A Case Study on Heat Transfer)

一、本文 (Content)

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

(1) 教學實踐研究計畫動機

配合政府雙語計畫,且隨著高等教育國際化的快速發展,英語授課(English-Medium Instruction, EMI)已成為各大學機械工程系推進國際化教學的重要工具。然而,在過去的授課經驗中,我觀察到 EMI 教學在提升學生語言能力和專業學科學習效果方面,對學生帶來了雙重挑戰。機械工程課程如**熱傳學**,其內容涵蓋複雜的數學推導與物理現象的應用,對學生的邏輯思維能力與語言能力要求高,進一步加劇了學生在 EMI 教學中的學習壓力。

A. 現況觀察與問題點:

在過去的課堂中,我注意到學生常出現以下現象:

a. **語言障礙影響專業知識學習:**EMI 教學的英文環境對於學生來說是一個巨大挑戰。學生不僅需要理解複雜的工程概念,還需要克服語言障礙,這使得部分學生無法完全掌握課堂內容。以熱傳學為例,許多學生因無法準確理解公式中的專業術語,導致學習效率低下,影響專業知識學習。

b. **學習負荷過重**:熱傳學課程涉及的概念多、內容抽象,學生需要同時處理理論、數學推導與實際應用問題。而目前的 EMI 教學設計多著重於內容的傳遞,缺乏對學生認知負荷的有效管理,導致學習負荷過重,容易使學生感到「跟不上」。

c. **學習參與度不足**:部分學生在 EMI 課堂中表現被動,缺乏積極提問和參與討論的意願,這可能與語言信心不足和過重的認知負荷有關。

✧ 認知負荷理論(Cognitive Load Theory, CLT)在應對工程 EMI 教學挑戰中的適切性

英語授課(EMI)模式下,學生需要克服語言與專業知識的雙重挑戰,而熱傳學課程中的數學推導、概念抽象性及應用多樣性進一步加劇了這些挑戰。認知負荷理論(CLT)提供了一個能有效降低學習負擔的框架,透過減少外在負荷、管理內在負荷、提升增生認知負荷來幫助學生高效學習(Paas et al., 2003)。本研究基於 CLT 的教學設計,旨在應對 EMI 課堂的核心困境,特別是語言負擔與數學推導複雜性,為學生提供更適切的學習支持。

B. 本研究計畫動機:

本計畫的動機來自於以下三方面的思考:

a. **提升教學效能的需求:**EMI 教學的目標是促進學生專業知識和語言能力的同步提升。然而,目前的教學方法未能完全有效達成此目標。因此,有必要探索更有效的 EMI 教學模式。本計畫聚焦於 EMI 教學模式的優化,結合認知負荷理論(CLT),不僅提升學生學習成效,還為推動臺灣 2030 雙語政策,尤其是在工程教育領域普及 EMI 提供支持。同時,全球化工程教育要求培養學生具備跨文化交流能力和國際化視野,本計畫將為國內高等教育體系探索 EMI 教學模式提供重要參考,並促進臺灣工程教育在國際舞台的競爭力提升。

b. **教學實踐計畫的延續與改進:**在 112 年的教學實踐研究計畫中,探索了問題導向學習(PBL)與翻轉教室結合的教學模式,並透過學生反饋進行了多次調整與改進。例如:在熱傳學課程中,結合理論教學與實務應用,學生的學習參與度與主動性

顯著提升。這些經驗表明，適切的教學設計與學生回饋機制對於改善學習成效具有積極作用。基於此基礎，本計畫將進一步結合認知負荷理論（CLT），探索如何在 EMI 環境下透過系統性降低學生的語言與認知負擔，更進一步優化熱傳學課程教學設計。

c. **認知負荷理論（CLT）的啟發：**CLT 提供的理論框架有效支持當前 EMI 教學中所面臨挑戰的解決方案，可透過教學學習過程中減少外在負荷、管理內在負荷及提升增生認知負荷，幫助學生高效學習。本計畫因此將 CLT 應用於 EMI 教學中，探索其優化教學設計後對學生學習成效的實際影響，進而藉此可規劃設計更完善適性的 EMI 教學課程。

C. 實證研究的需求：

EMI 教學作為國際化教育的重要方向，需要更多基於實證的教學改進模型與數據支持。本計畫希望透過結合 CLT 的 EMI 教學設計，探索其在熱傳學課程教學中的應用效果，並於未來提供可供分享其他工程領域教學教師做為參考的實踐範例。

本研究的創新性與潛在影響力：

本研究應用認知負荷理論（CLT）的核心原則，旨為解決 EMI 教學中的語言與學科雙重挑戰提供了一種全新的教學模式。與以往偏重知識傳遞的 EMI 方法相比，本計畫**創新**的地方在於：

a. **系統性地降低學生的認知負荷：**透過多模態教學的應用，減少外在負荷（如語言障礙）並優化內在負荷（如數學推導的學習過程）。

b. **提供更深度的學習支持：**範例學習法（Worked Examples）與分段教學（Chunking）相結合，不僅提升學生對熱傳學理論的理解，更能幫助其將知識應用於工程實務。

c. **跨領域應用潛力：**該模式不僅適用於熱傳學課程，亦可推廣至其他數學專業密集型的工程學科，為 EMI 教學提供可參考的範例。

本研究的潛在影響力：

深化工程專業學習成效：範例學習法（Worked Examples）與分段教學（Chunking）相結合，不僅提升學生對熱傳學理論的理解與掌握能力，激發其學習興趣，更能幫助其將知識應用於工程實務，亦增強國際工程競爭力。

a. **優化工程 EMI 教學設計：**本研究發展出系統化的 EMI 工程教學模組，結合多模態教學、範例學習法與分段教學等策略，建構出完整的教學框架。此模組具有高度轉移性，可作為其他工程學科實施 EMI 教學的重要參考依據，有助於提升整體工程教育品質。

b. **推進高等教育國際化進程**：研究成果直接呼應臺灣 2030 雙語政策目標，為高等教育 EMI 課程提供實證支持與具體實施模式。透過建立有效的 EMI 教學實踐案例，不僅提升教學效能，更為臺灣高等教育國際化奠定重要基礎。

本計畫的創新設計不僅能提升學生學習成效，還能為高等教育國際化進程中的 EMI 挑戰提供切實可行的解決方案，具有廣泛的影響力。

✧ **<u>熱傳學課程的特殊性</u>**

熱傳學是機械工程專業的重要核心課程，其學習內容涵蓋熱傳導（Heat Conduction）、對流（Convection）與輻射（Radiation）等基本理論，以及如何將這些理論應用於工程實際問題中。然而，在 EMI 教學環境下，該課程有以下特殊挑戰：

抽象概念的雙重理解難度：

熱傳學專業術語不僅在中文教學中就較難理解，在 EMI 環境下更增添了語言理解的額外負擔。

根據過去這幾年的教學經驗，超過一半學生無法準確理解這些抽象概念的英文描述和定義。

數學推導的認知負荷加重：

學生不僅需要理解專業課程的數學推導，還需要掌握專業英文詞彙。

在實際教學中，學生經常在推導過程中因語言理解問題而中斷思維，導致整體理解效率降低。

實例應用的表達困境：

學生在解決實際工程問題時，常因缺乏足夠的英語表達能力而無法完整說明其解題思路。

根據課堂觀察，約有 70%的學生在用英語回答問題時，會出現概念正確但表達不完整的情況。

專業術語的理解落差：

學生常在"heat transfer coefficient"（熱傳係數）、"thermal conductivity"（熱導率）等相似術語間產生混淆。

這種混淆不僅影響理論學習，更會導致在工程應用計算中出現嚴重錯誤。

這些挑戰的存在，不僅影響了學生對熱傳學基本原理的掌握，更可能降低其未來在國際工程領域的競爭力。傳統 EMI 教學在傳授這類課程時，常因缺乏對學生語言負擔與認知負荷的管理，導致學習效果未達預期。因此，設計一個能有效降低認知負荷的 EMI 教學模式變得尤為重要。

本研究的重要性與影響力：

本計畫針對以上問題，提出基於 CLT 的 EMI 教學改進方案，目標在於有效提升學生的學習效果，同時亦為 EMI 教學提供實證支持。本研究的重要性如下：

a. **解決 EMI 教學核心問題**：系統應對熱傳學課程中的語言障礙、專業數學推導負荷及應用表達困難，為 EMI 教學的難題提供有效解決方案。
b. **填補學術空白**：探討 CLT 與 EMI 結合的教學策略，為專業數學密集型工程課程提供全新的研究視角和數據支持。
c. **促進高等教育公平**：在工程教育下，使更多學生能公平平等地學習，以減少因語言背景因素而影響學生學習。

本研究的特色：

本研究計畫的特色在於其創新性與實踐性結合。

a. **創新性**：結合 CLT 理論與 EMI 教學，針對熱傳學課程設計多模態教學、分段教學與範例學習法，為 EMI 教學於工程領域科目教學之創新提供實證依據。
b. **實踐性**：研究結果將直接應用於課堂教學中，並形成可分享的教學資源與模式。

本研究計畫的提出源於對 EMI 教學現場挑戰的深入觀察與反思，目標是透過結合 CLT 理論，設計更有效的 EMI 教學模式，以改善學生的學習成效，並為 EMI 教學的進一步發展提供實證支持。

(1) 教學實踐研究計畫研究主題與目的

A. 研究主題：

熱傳學課程作為機械工程學科的重要基礎課程，涵蓋熱傳導、對流與輻射等核心概念，並強調理論與實際應用的結合。然而，在 EMI 環境中，語言障礙與抽象概念學習的雙重負擔對學生帶來了額外挑戰。本研究以認知負荷理論（CLT）為基礎，設計並實施優化的 EMI 教學模式，聚焦於降低學生的認知負荷，提升學習成效，並探索其對學生學習體驗的影響。具體而言，本研究的主題是**設計並實施基於 CLT 的 EMI 教學模式，探索其對學生學習成果與學習體驗的影響**。透過本研究，期望為熱傳學 EMI 教學設計提供具體實證支持，並進一步推動工程教育的國際化。

B. 研究目的：

本計畫的研究目的聚焦於解決 EMI 教學中的核心挑戰，並以提升學生的學習成效為目標，

具體目的包括以下三點：

a. **減少語言障礙帶來的外在負荷：**在 EMI 環境中，學生需要同時理解專業知識和非母語的表達形式，這顯著增加了外在負荷。透過設計多模態教學（如關鍵詞雙語支持、圖表示意等），幫助學生聚焦於專業內容，降低語言帶來的學習壓力。
b. **降低內在負荷，促進基礎概念的掌握：**熱傳學中的數學推導對學生的數學與物理基礎要求較高，內在負荷大。本研究透過實施分段教學（Chunking），將複雜推導分解為可消化的步驟，幫助學生逐步掌握核心概念。
c. **增強增生認知負荷，促進深度學習與應用能力：**EMI 教學中，學生的學習往往停留於知識的表層理解，難以轉化為應用能力。本研究透過設計範例學習法（Worked Examples），提供清晰的推導與應用案例，並設計類似的問題讓學生練習，強化其知識內化與應用能力。

C. **期望貢獻：**

a. **改善 EMI 教學設計：**為熱傳學等工程專業課程提供可參考系統化的 EMI 教學模組架構與方法，具體支援台灣 2030 雙語政策在工程教育領域的推動。並透過多模態教學策略，降低學生在專業課程中的語言負擔，提升學習成效，以更完備完善提升學生的學習體驗，以降低學生學習時碰到之學習阻礙。
b. **促進工程教育國際化：**配合台灣高等教育雙語化進程，培育具備國際移動力的工程人才。幫助語言背景不利的學生在 EMI 環境中平等地學習專業內容。積極力求工程教育於 EMI 教學下結構性的創新改變，以培育工程領域專業之學生具備更完備基本核心能力，包含：系統性思考、工程問題解決、跨文化溝通等關鍵職能。
c. **提供實證研究基礎：**透過 CLT 在 EMI 教學學習環境中執行應用後的實際數據，為台灣工程教育雙語化提供本土化實踐經驗，方才能立基為未來工程教育的教學改進提供確切且實際的策略做法。

本研究透過解決 EMI 教學中的關鍵挑戰，期望不僅提升熱傳學的教學品質，還能推動工程教育向更國際化的方向發展。

2. 研究問題 (Research Question)

本研究為探討全英語授課（EMI）熱傳學教學環境下，實施基於認知負荷理論（CLT）之多模態優化教學與傳統媒體教學對學生學習表現的影響。具體而言，本研究主要聚焦於評估兩種不同教學模式介入後，學生在認知負荷、課程模式滿意度以及學習成效三個面向是否存在顯著差異，因而驗證基於 CLT 之多模態優化教學在工程專業 EMI 課堂中的教學效益與適應性，以下為研究問題：

研究問題 1：EMI 熱傳學教學環境下，相較於傳統媒體教學，實施基於認知負荷理論（CLT）之多模態優化教學，兩種教學模式後學生的認知負荷是否有差異？

研究問題 2：EMI 熱傳學教學環境下，相較於傳統媒體教學，實施基於認知負荷理論（CLT）之多模態優化教學，兩種教學模式後學生的課程模式滿意度是否有差異？

研究問題 3：EMI 熱傳學教學環境下，相較於傳統媒體教學，實施基於認知負荷理論（CLT）之多模態優化教學，兩種教學模式後學生的學習成效是否有差異？

3. 文獻探討 (Literature Review)

在工程教育中，英語授課（English Medium Instruction, EMI）已在全球範圍內獲得重視，為畢業生提供更好的就業前景及國際交流技能(Altay & Yuksel, 2021; Tamtam et al., 2010)。然而，在英語授課（EMI）的環境下，特別是數學密集型工程課程中，學生往往面臨更大的挑戰。語言障礙與專業知識的雙重負荷使學生的認知資源分配更加緊張。研究顯示，語言能力較低的

學生在 EMI 課堂中容易感到焦慮，進而影響學習滿意度與學術表現(Al Zumor, 2019; Shadiev & Huang, 2022)。

認知負荷理論（Cognitive Load Theory, CLT）由 Sweller 提出(Paas et al., 2003)，將認知負荷分為三種類型：內在負荷、外在負荷和增生認知負荷(van Merriënboer & Sweller, 2010)。內在負荷與學習任務的複雜性相關，例如：數學推導或專業概念的抽象性；外在負荷來自非必要資訊或不良教學設計；而增生認知負荷則與促進學習和知識內化的努力有關(Orrú & Longo, 2018)。CLT 強調在教學設計中有效管理這三種類型的負荷，以提升學習效果(Young et al., 2014)。

認知負荷理論（CLT）被應用於工程教育領域(Keebler et al., 2010)。CLT 也被應用於高等教育中的英語授課（English Medium Instruction, EMI），以平衡整體教學內容與語言教學方面的挑戰(Moncada-Comas & Block, 2021)。CLT 不斷發展，融入多學科觀點，以提供對影響學生學習因素的更全面理解(Hanham et al., 2023)。

範例學習是一種教學工具，提供學習者專家的問題解決方案以供學習研究，並已被證明能夠在包括工程學和軟體工程在內的許多工程領域增進學習效果(Tonhão et al., 2021)。範例解題對於初學者特別有效，因為它能減輕認知負荷並提升問題解決能力(Atkinson et al., 2000; Ward & Sweller, 1990)。然而，隨著學習者的專業知識增加，問題解決活動則變得更加有益(Kalyuga et al., 2001)。有效地範例解題整合多種學習表現方式，強調概念結構，並於練習習題同時呈現(Atkinson et al., 2000)。在工程教育中，範例解題已成功應用於熱力學(Olakanmi & Doyoyo, 2014)和永續設計(Stasinopoulos et al., 2009)。為了最大化其效用，範例解習題應以減少整合多重資訊來源的需求為結構，並鼓勵學習者進行主動的自我解釋及實踐所學知能(Atkinson et al., 2000; Ward & Sweller, 1990)。在 STEM 教育中，CLT 的應用亦展現出顯著效果，特別是透過範例學習法（Worked Examples）來減少外在負荷並提升學習成效(Sozio et al., 2024)。範例學習法在結構良好和非結構化的學科中都被證明更有效，尤其是在教學複雜任務中具有優勢，例如：幾何定理的教授和模式識別(Rodiawati & Retnowati, 2019; Rohman & Retnowati, 2018)。

學者強調在有效的 EMI 教學中，多模態教學與多語言實踐的重要性(Sabaté-Dalmau & Moncada-Comas, 2023)。多模態教學，如：整合多模態教學和多軌模組化教學，已顯示出提升學生學習成果的潛力(Manoj, 2022)。推廣多模態表徵(Custodio-Espinar & López-Hernández, 2023)的策略亦已被探討可提高 EMI 的效能。針對 EMI 教學中的挑戰，已有多種支持策略被提出。例如：有研究指出，多模態教學（如圖示與雙語教材）可以幫助學生直觀理解複雜概念並減少外在負荷(Custodio-Espinar & López-Hernández, 2023)。

分段教學（Chunking）是一種教學策略，涉及將資訊分解為較小且易於管理的單位，以提升學習與記憶的保留率(Baker, 2010; Gilchrist, 2015)。此方法根植於認知心理學，且已被證明可以提高學生處理與回憶資訊的能力(Gobet, 2005)。研究表示，透過將資訊分成兩到三段，比作為單一單位呈現更有助於記憶(Suppawittaya & Yasri, 2021)。從認知心理學觀點而言，分段教學為透過重新組織或分組形成較具意義的資訊單位，以壓縮資訊並增加短期記憶可處理的資訊量(Gilchrist, 2015)。教育者被鼓勵在設計教學材料時考慮分塊策略，以增強學生的學習與記憶保留。

然而，儘管 EMI 和 CLT 在各自領域已有應用，針對其在專業數學密集型工程課程中的結合研究仍屬稀缺。現有研究文獻多聚焦於 EMI 教學策略的宏觀層面，缺乏對特定課程（如：熱傳學）的深入探討，特別是在如何針對專業數學推導及概念抽象性所造成的認知負荷進行系統性優化。此外，過去的實證研究中，對 EMI 課堂中的學生語言負擔與專業負擔的交互作用及其對學習成效的具體影響亦關注不足。

自然對流問題之五階認知結構理論基礎

自然對流問題不同於強制對流：強制對流具有外加之已知流速，流場與溫度場可分別處理；自然對流之流動則完全由浮力（溫度差所致之密度差）驅動，流動與熱傳自物理上即為耦合關係。此一物理結構決定了解題歷程必須依序處理五個環節：幾何與熱面方向如何決定浮力驅動邊界層之發展型態、溫度場如何耦合流體性質、性質資訊如何作為連接溫度場與流場之橋樑、浮力與黏滯/熱擴散阻力之競爭關係（Ra 數）如何決定流動狀態與適用關聯式，以及無因次解如何還原為可驗證之工程量。本研究據此提出「自然對流五階認知結構模型」，主張教學設計若能反映領域知識本身之內在物理結構，而非僅止於程序性步驟之記憶，將更有效促進基模建構與知識遷移（van Merriënboer & Sweller, 2010）。下表說明此五階模型與自然對流物理本質之對應關係：

步驟	物理本質	理論意涵
Step 1 幾何與方向判斷	決定浮力驅動邊界層之發展型態；不同幾何或方位下，邊界層解本身即不同	幾何判斷是進入正確物理模型的入口，而非單純的解題分類
Step 2 計算薄膜溫度 T_f	反映體積膨脹係數（β）與流體性質皆隨溫度變化，體現流動與熱傳之耦合特性	對應「熱驅動流動」之本質
Step 3 查表取流體性質	因缺乏外加已知流速，動量資訊須由熱邊界條件與流體性質反推	性質資料是連接溫度場與流場的橋樑
Step 4 計算 Ra，選公式	$Ra=Gr\cdot Pr$ 數表徵浮力驅動相對於黏滯與熱擴散作用的強弱，並須配合幾何、方位及關聯式適用條件選擇計算方式。	自然對流問題之核心物理判準，為五步驟中認知負荷最集中之樞紐步驟
Step 5 求 h 與 Q	將無因次 Nu 換算回具體工程量，完成理論關聯式到實際散熱量之閉環	對應解答驗證與物理意義檢核，確認前四步操作對應真實可測量之結果

本研究進一步將上述五階模型操作化（Operationalize）為課堂實際使用之「五步解題框架」（詳見下節「課程設計與規劃」），使學生於解題操作中同步習得自然對流問題之物理結構，而非僅記憶解題步驟。

本研究計畫的核心在於針對熱傳學課程設計，基於 CLT 提出多模態教學、範例學習法與分段教學結合的 EMI 模式，旨在減輕語言與學科雙重負擔，提升學生的學習成效並激發學習興趣。此研究不僅填補了 EMI 與 CLT 在專業數學密集型工程課程中的教學研究空白，亦為未來工程教育提供具體的實證數據與課程設計參考。

4. 教學設計與規劃 (Teaching Planning)

本課程設計旨在結合傳統 EMI 教學與認知負荷理論（CLT）的教學策略，透過分層階段性的推行實施，提升學生對熱傳學核心內容的掌握能力，並有效降低認知負荷。在此分為三部分，依次說明課程的教學目標與方法、課程設計與規劃，以及學生成績考核與學習成效評量工具。

A. **教學目標與方法：**

熱傳學作為機械工程系的核心課程，本課程針對大三學生，涵蓋基本熱傳機制，具有專業數學推導複雜及概念抽象的特點。

a. **教學目標：**

深入理解熱傳學基本原理：學生需掌握熱傳學的物理現象及其數學描述，並能理解背後的科學邏輯。

熟練數學推導與應用：學生需能進行方程的數學推導，並能運用其解決實際工程問題。

提升學術英語能力：透過全英文授課，提升學生的專業英語詞彙及技術表達能力。

b. 教學方法：

本課程分為兩個階段，結合傳統 EMI 教學與基於 CLT 的優化設計進行教學：

階段 1：傳統 EMI 教學模式

以全英文授課，重點是直接傳遞教材內容，與傳統中文教學內容相仿。教師重點介紹教材內容，並設置簡單課堂討論環節。鼓勵學生課後自學專業詞彙，透過反饋機制檢查學習進展。

階段 2：基於 CLT 的優化設計

於課程中選定第九章「自然對流（Natural Convection）」作為基於認知負荷理論（CLT）之正式教學介入單元，CLT 教學內容包括分段教學（Chunking）、Worked Examples、五步解題框架（其理論依據詳見前節「自然對流問題之五階認知結構理論基礎」）、雙語關鍵詞支援，以及 Zuvio 課堂即時檢核與討論。使用多模態教學（圖示、雙語詞彙表）幫助學生直觀理解。透過分段教學（Chunking），將複雜推導分解為易於吸收的步驟。採用範例學習法（Worked Examples），透過詳細解題演示引導學生學習。減少學生的外在負荷，提升對核心內容的理解。

B. **課程設計與規劃：**

本課程設計遵循分階段實施的原則，先以傳統 EMI 模式建立基礎，後透過基於 CLT 的策略優化學習體驗。

本研究按照以下程序分階段執行，如圖 1：

階段 1：傳統 EMI 教學模式

I. **教學活動**

-全英文授課，講解熱傳學的基本概念及應用。

-使用教材和板書，重點講述公式推導和應用背景。

階段 2：基於 CLT 的 優化 EMI 教學模式

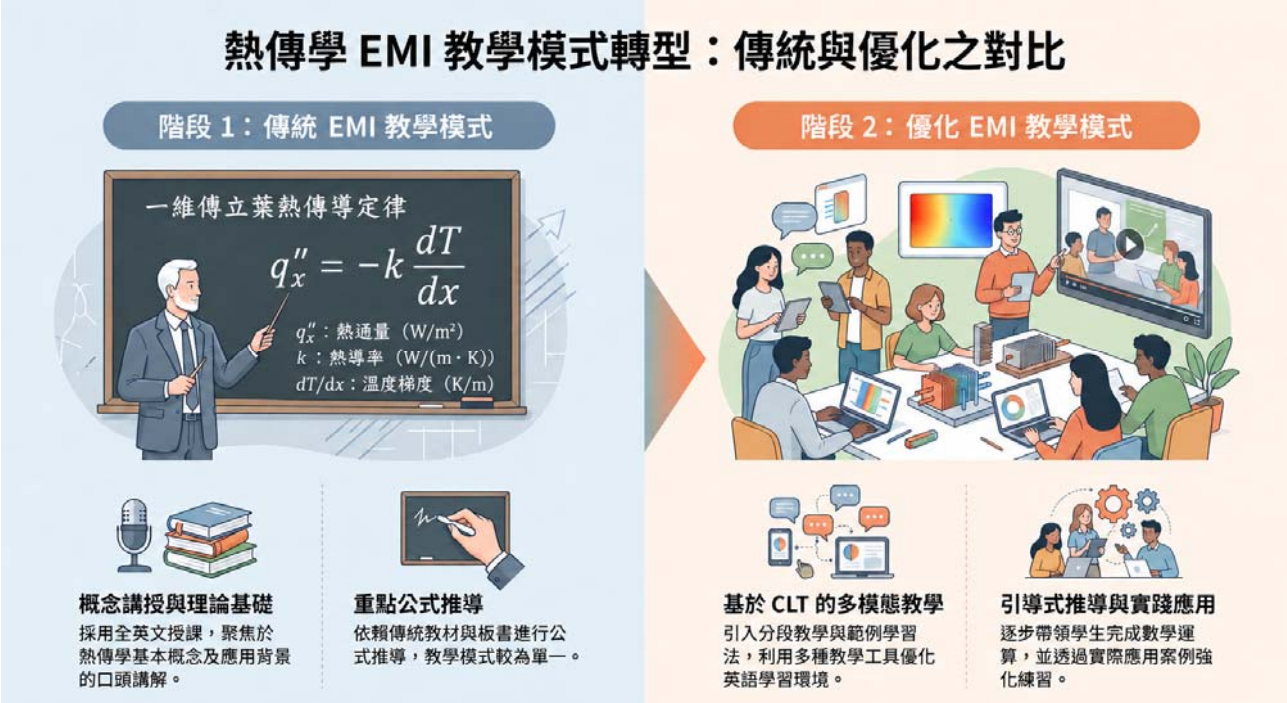
I. **教學活動**

-全英文授課，使用多模態教學、分段教學和範例學習法，優化教學過程。

-逐步引導學生完成數學推導，並進行實際應用案例練習。

為使各項教學策略與認知負荷構面相互對應，本研究以分段教學重新組織複雜概念與數學推導的呈現順序，並透過完整解題範例降低初學者自行搜尋解題路徑所造成的外在負荷；同時搭配圖示、雙語關鍵詞及 Zuvio 課堂即時檢核，協助學生建立自然對流問題的解題基模。

圖 1：熱傳學 EMI 教學模式轉型之示意圖

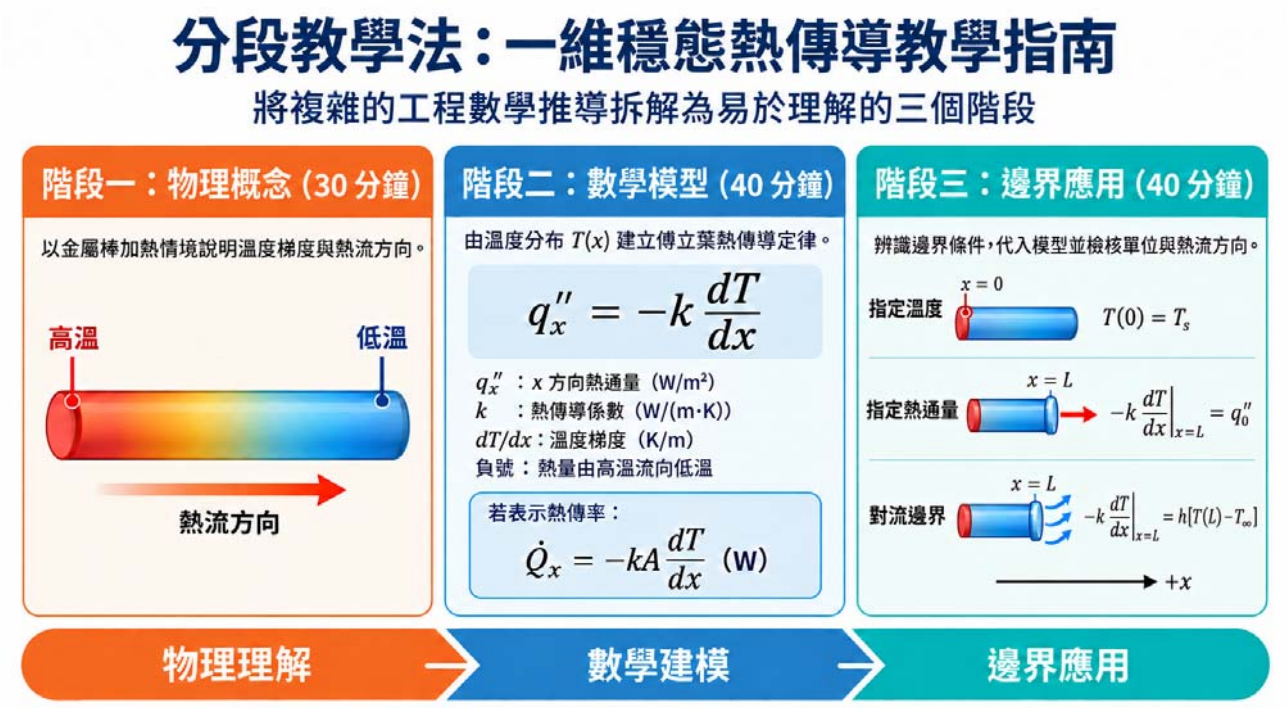


內在負荷降低作法：

分段教學（Chunking）：將數學推導和複雜概念分解為小步驟，幫助學生逐步理解。

以一維穩態熱傳導為例，將教學內容分為以下具體步驟，如圖 2：

圖 2：分段教學法架構



I. 物理概念理解（30 分鐘）：
-透過實物展示（如金屬棒加熱實驗）說明溫度梯度概念
-引入"temperature gradient"和"heat flow direction"等關鍵術語

II. 數學模型建立（40 分鐘）：
-從溫度分佈 T(x) 推導一維傅立葉熱傳導定律，說明熱通量等於熱導率乘以溫度梯度之負值，並進一步說明總熱傳率為熱通量乘以傳熱面積
-每個數學符號配合中英雙語解釋

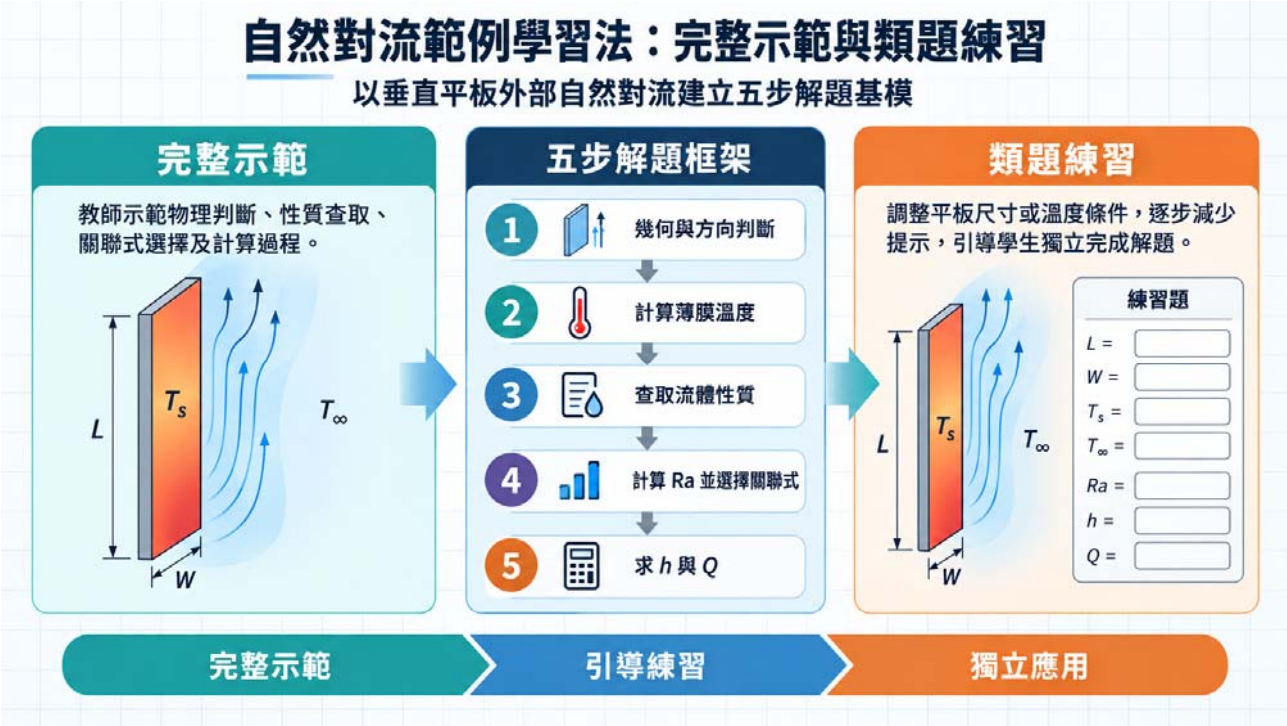
III. 邊界條件應用（40 分鐘）：
-分析特定溫度和熱流邊界條件
-提供標準化的英語表達方式

範例學習法（Worked Examples）：提供完整解題範例，讓學生觀摩問題分析、物理判斷與計算過程，再透過參數略有調整的類似題目進行練習，以強化解題基模之建立與應用。本研究以自然對流問題為示範情境，教師依五步解題框架進行完整示範，再逐步減少提示，引導學生完成類似問題，如圖 3 所示。具體實施方式如下：

I. 完整示範解題過程（40 分鐘）：
Problem: A vertical plate of height L=0.5 m and width W=0.4 m is maintained at a uniform surface temperature of Ts=80°C. The plate is exposed to quiescent air at T∞=25°C and 1 atm. Determine the average natural-convection heat-transfer coefficient and the total heat-transfer rate from the plate. Evaluate the air properties at the film temperature.
教師逐步展示解題思路和計算過程，強調關鍵英語表達
教師依下列五步解題框架進行完整示範：
1. 幾何與方向判斷：確認問題為靜止空氣中垂直平板單側表面的外部自然對流，並以平板高度作為特徵長度。
2. 計算薄膜溫度：取平板表面溫度與周圍環境溫度的算術平均值，作為薄膜溫度。
3. 查取流體性質：依據薄膜溫度，查取空氣的熱導率、運動黏滯係數、熱擴散率、普朗特數及體積熱膨脹係數。
4. 計算 Rayleigh 數並選擇關聯式：以平板高度為特徵長度計算雷利數，再依其數值範圍及垂直平板的幾何條件，選擇適用的平均努塞爾數經驗關聯式。
5. 計算熱傳係數與總熱傳率：由平均努塞爾數換算平均對流熱傳係數，再將平均對流熱傳係數乘以平板單側表面積及表面與環境之溫差，求得總熱傳率。

II. 相似題目練習（30 分鐘）：
-調整平板高度、表面溫度或環境溫度，提供參數略有變化的類似題目。
-保留五步解題架構，但逐步減少教師提供的計算提示。
-要求學生說明特徵長度、流體性質評估溫度及經驗關聯式的選擇依據。
-提供自然對流問題之標準化英語解題句型與答題模板。

圖 3：範例學習法架構之教學流程示意圖



外在負荷降低作法：

多模態教學：取一例將教學內容分為以下具體步驟，如圖 4：

使用圖示和中英對照關鍵詞表（如「Thermal Conductivity（熱導率）」），幫助學生更直觀地理解抽象概念。

I. 視覺化教材製作：

-設計統一的圖示符號系統（如紅色表示高溫區、藍色表示低溫區）

II. 專業術語支援系統：

-建立分層次的專業術語表：

Level 1（基礎術語）： - Heat transfer 熱傳遞 - Temperature 溫度 - Thermal conductivity 熱導率

Level 2（進階術語）： - Thermal resistance 熱阻 - Heat flux 熱通量 - Fourier's law 傅立葉定律

Level 3（高階術語）： - Thermal diffusivity 熱擴散率 - Biot number 畢奧數 - Nusselt number 努賽爾數

III. 互動式學習資源：

-開發線上練習系統，包含：

-即時回饋的概念測驗

-工程應用案例解析

圖 4：熱傳學多模態教學之實施架構示意圖



明確的課堂目標：

明確每節課的學習目標，避免學生因課程結構的不清晰而分散注意力，讓其能專注於核心內容。

增生認知負荷提升作法：

案例研究設計：

-選擇實際工程問題（如散熱器設計）
-提供完整的英語專業詞彙支援
-設計循序漸進的解決方案

規範化的課堂結構：明確每節課的學習目標，避免學生因課程結構的不清晰而分散注意力，讓其能專注於核心內容。

課程規劃：細部熱傳相關主題課程規畫表，如表 1。

表 1 課程規劃表

週次	課程主題	備註
Week 1	Introduction of heat transfer	
Week 2	Basics of Heat Transfer	
Week 3	Heat Conduction Equation	
Week 4	Heat Conduction Equation	
Week 5	Steady Heat Conduction	
Week 6	Transient Heat Conduction	
Week 7	Numerical Methods in Heat Conduction	
Week 8	Review and Exam	
Week 9	Fundamentals of Convection	
Week 10	External Forced Convection	
Week 11	Internal Forced Convection	
Week 12	Natural Convection	
Week 13	Natural Convection	
Week 14	Natural Convection, Boiling and Condensation	
Week 15	Heat Exchangers	
Week 16	Review and Exam	

C. **學生成績考核與學習成效評量工具**：

本教學設計以熱傳學為例，結合傳統 EMI 模式與基於 CLT 的策略，旨在減少學生的認知負荷，提升學習成效。同時透過多元評量工具，全面收集數據，為教學模式的改進提供科學依據。為全面評估教學效果，設計以下多元評量工具：

a. **學習成效測驗**

形式：

前測，課程開始前，測試學生的基礎知識課程。

後測，測試學生的學習成果。第一階段（傳統 EMI 教學）和第二階段（基於 CLT 的 EMI 教學）分別進行前、後測，內容包括基礎概念、數學推導及應用題。

目的：

前測，收集基線數據，分析學生初始知識水準。

階段性後測，比較不同教學模式對學生學習成效的提升效果。透過前後測比較，分析基於 CLT 的優化設計對學生學習效果的提升作用。

b. **認知負荷問卷**

工具：使用標準化認知負荷評估問卷(Klepsch et al., 2017)，評估學生對外在負荷、內在負荷與增生認知負荷的感知。

目的：了解學生在不同教學模式下的學習體驗。評估多模態教學、分段教學等教學策略對降低認知負荷的效果。

c. **學生學習反饋**

作法：每階段教學完畢後，請學生完成與該階段教學的幾題開放式問題。

目的：從學生的角度評估教學設計的有效性，為未來改進提供參考。

d. **教師反思與專家觀點**

作法：教師定期撰寫教學反思，記錄教學策略的實施效果和改進建議。開放教學觀摩課堂並請與會教師提供專業建議。

目的：從教師和專家角度評估教學設計的有效性，提升研究的學術價值。

5. 研究設計與執行方法 (Research Methodology)

本研究旨在探討基於認知負荷理論（CLT）的優化 EMI 教學設計，是否能有效提升熱傳學課程的學習成效並降低學生的認知負荷。在此從研究問題意識、研究目標、研究對象與場域、研究方法與工具，以及研究實施程序五個方面詳細說明研究設計與執行規劃。

A. **研究問題意識**

在 EMI 教學環境下，學生需要同時面對語言障礙和學科知識的雙重挑戰，尤其是在專業數學密集型課程如熱傳學中，這些挑戰更加顯著。學生往往因為語言負擔加重了認知負荷，導致對基礎概念和應用推導的掌握程度不足。現有文獻顯示，認知負荷理論提供了有效的教學設計框架，但針對其與 EMI 教學結合的研究仍相對有限。

本研究聚焦以下問題：

a. 基於 CLT 的 EMI 教學設計是否能降低學生的認知負荷？
b. 該教學模式是否能顯著提升學生在熱傳學課程中的學習成效？
c. 該教學模式是否能顯著提升學生在熱傳學課程中的學習體驗？

B. **研究目標**

本研究的主要目標包括：

a. **降低認知負荷**：驗證多模態教學、分段教學和範例學習法對外在負荷的減少效果，以及對內在負荷和增生認知負荷的優化作用，分析其對學生學習過程的影響。
b. **提升學習成效**：比較不同教學模式下學生在熱傳學基本概念、數學推導和工程應用

能力上的表現，量化基於 CLT 的 EMI 教學設計對學習成效的提升效果。

c. **改善學習體驗**：透過質性數據（如學生反饋）分析學生對基於 CLT 的 EMI 教學模式的感受，特別是對教學策略（如多模態教學與分段教學）的適應性與滿意度，為未來課程優化提供具體依據。

C. 研究對象與場域

a. 研究對象：

本研究以機械工程系大三課程中的 30 名學生為研究對象。這些學生具備基本的數學和物理基礎，但英語能力水平不一，能較好代表非母語學習群體在 EMI 課堂中的學習情況。

b. 研究場域：

授課場域為專業教室，配備多媒體教學設備（投影機、電腦），以支持多模態教學設計的實施。並利用線上教學平台 TronClass 提供學生影音教學補充內容。

D. 研究方法與工具

a. **研究方法：**

為了系統性驗證本計畫的教學策略在同一班級中依序實施兩種教學模式（傳統 EMI 和基於 CLT 的 EMI）。每種模式分別進行階段性測試和數據收集，透過比較前測、後測數據及學生反饋，評估教學模式的影響。基於 CLT 的 EMI 模式中將應用多模態教學、分段教學和範例學習法。

b. **研究假設：**

本計畫假設結合認知負荷理論（CLT）的 EMI 教學模式相較於傳統 EMI 模式，能夠：減少學生的認知負荷分數（外在負荷和內在負荷降低）；提升學生的課程內容理解測驗成績；增加學生對課堂活動的參與度與滿意度。

c. **數據收集工具：**

學習成效測驗

目的：透過測驗評估學生對課程核心內容的掌握情況。包括基礎概念及應用能力。

設計：測試範圍涵蓋熱傳學的基本概念，題型包括多選題、填空題及應用題。每階段結束進行後測，課程開始進行前測。

數據分析：比較兩階段測驗成績的均值、標準差，並結合前測數據，量化基於 CLT 的 EMI 模式的成效。

認知負荷問卷

- **工具**：採用認知負荷量表設計標準化問卷(Klepsch et al., 2017)，量化評估學生對外在負荷(ECL，評估教材設計產生的外在負荷)、內在負荷(ICL，評估學習任務的內在複雜度)與增生認知負荷(GCL，評估學習投入程度)的感知。該量表具良好信效度(可接受內部一致性信度；效度能有效區分實驗操弄下的高低認知負荷水準)。**選擇此問卷是因為其在多項研究中已證明其有效性與可靠性**，特別適用於學術研究中的認知負荷分析。
- **數據分析**：比較前測和兩階段後測的認知負荷分數，評估教學策略對負荷管理的影響。並藉由縱貫性資料收集,分析學生學習體驗的轉變

學生學習反饋

- **問卷：**結合開放性問題，收集學生對教學設計的主觀反饋。特別關注多模態教學、分段教學和範例學習法的應用效果。

d. **數據分析方法**

量化數據：使用 t 檢驗或 Wilcoxon 符號等級檢定 比較不同教學模式下測驗成績和認知負荷分數的差異，並分析背景變項(如語言能力)與教學效果的交互作用。

質性數據：使用主題分析法，整理學生的學習反饋，總結教學設計的有效性及改進建議。

E. 研究實施程序

本研究透過分階段實施傳統 EMI 與基於 CLT 的 EMI 教學模式，綜合採用學習成效測驗、問卷與質性數據分析，探討優化教學設計對熱傳學學習成效的影響。研究結果將為 EMI 教學中的挑戰提供具體解決方案，並推動 CLT 在工程教育中的實踐與應用，本研究按照以下程序分階段執行：

階段 1：傳統 EMI 教學模式

數據收集

-進行前測、後測，評估學生對核心內容的掌握情況。
-提交認知負荷問卷，了解傳統 EMI 模式下的學生感知。
-收集學生學習開放性反饋。

階段 2：基於 CLT 的 EMI 教學模式

數據收集

-進行前、後測，測試學生在基於 CLT 模式下的學習成效。
-提交認知負荷問卷，收集學生對優化教學的感知數據。
-收集學生學習開放性反饋。

期末結果分析與反饋

-整理兩階段的測驗成績與問卷數據，分析教學模式對學習效果的影響。
-匯總學生的學習日記與反饋，提取改善建議，為未來課程設計提供依據。

本計畫採用之研究方法、實施程序及資料蒐集分析與工具分述如下：

a. 研究方法

主要以量化研究方法為主，並採問卷調查法以學生問卷為主，使用標準化認知負荷評估問卷(Klepsch et al., 2017)，評估學生對外在負荷、內在負荷與增生認知負荷的感知。次以質性研究方法為輔，整理學生的學習反饋，總結教學設計的有效性及改進建議。

b. 實施程序

在第一天上課時，提供每位學生「教育部教學實踐研究計畫告知書」，告知學生參與教學實踐研究計畫之相關細節資訊、學生權益與個資保護，並徵求學生同意。課程開始後，依上述之「課程規劃」以及「教學方法」之規劃依進度實施授課。並於課堂活動過程中，進行教學記錄，紀錄以錄影或拍照等方式進行，此紀錄客觀了解學生上課之表現，著重於在教學現場學生個人之參與度、分組討論狀況、以及學生與老師間之交流互動之情況與現象。

在課堂活動及課後自主學習時間，教師透過 TronClass 及 Zuvio 等數位雲端資訊平台，即時掌握學生之學習進度與狀況，數位化記錄學生學習相關資訊，並依學生之表現，及時調整教學方式及強化特定課程內容。每一模塊結束後，也設計 Google 教學問卷，及時掌握學生意見，讓學生有管道與老師溝通，供教學方式與內容之調整參考。

c. 資料蒐集分析與工具

課程紀錄之影音資料檔案，著重於團體教學之記錄，為保護個資將不標註個人資訊，紀錄將不對外開放。老師授課相關部分資料，則俟貴部計畫之需求，將內容上傳平台，授權給特定群體參考。分析部分以 Google Forms 進行調查，採不記名調查無個人標記，以圖表方式分析，綜合統計數據以呈現學生於此門課程之學習成效，以供未來教學模組內容調整之參考。以上所述資料預計保存期限 5 年，視情況得延長。

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

(1) 教學過程與成果

本研究針對工學院大三核心必修課程「熱傳學」進行單組重複測量研究，研究對象為 30 位修課學生。學生依序接受第一階段之傳統多媒體 EMI 教學，以及第二階段於「自然對流」單元實施之 CLT 導向多模態 EMI 教學(包含五步解題與範例教學，如圖 5)。正式 CLT 教學介入限於自然對流單元;其他章節之一般數位媒體與課堂活動不列為正式 CLT 介入。以下從「學習成效」、「認知負荷」以及「課程模式滿意度」三大向度呈現實證研究成果：

A. 學習成效分析 (Learning Performance)

本研究以熱傳學專業測驗評量學生在兩階段教學模式下的學業表現(滿分 100 分)，並進行重複量數變異數分析（Repeated Measures ANOVA）與成對樣本 t 檢定：

a. 時間主效果（前後測進步顯著）：

重複量數變異數分析結果顯示，「時間」主效果達到顯著水準（$F(1, 29) = 6.625$, $p = 0.015 < 0.05$），表示將兩階段資料合併觀察時，學生後測成績整體高於前測。然而，教學模式主效果及模式 × 時間交互作用雖未達顯著，但此結果仍能說明教學介入的正面學習累積效應。

b. 教學模式之進步幅度比較：

在傳統多媒體模式下，學生平均進步分數為 5.333 分（SD = 16.97）；在 CLT 多模態優化模式下，學生平均進步分數提升至 6.933 分（SD = 14.61）。成對樣本 t 檢定結果為 $t(29) = -0.489$, $p = 0.629$（Wilcoxon $z = -0.205$, $p = 0.846$），教學模式主效果（$F(1, 29) = 0.730$, $p = 0.400$）與模式 x 時間之交互作用（$F(1, 29) = 0.239$, $p = 0.629$）未達顯著差異。如圖 6。

圖 5:基於認知負荷理論(CLT)之自然對流五步解題與 Worked Examples 教學鷹架

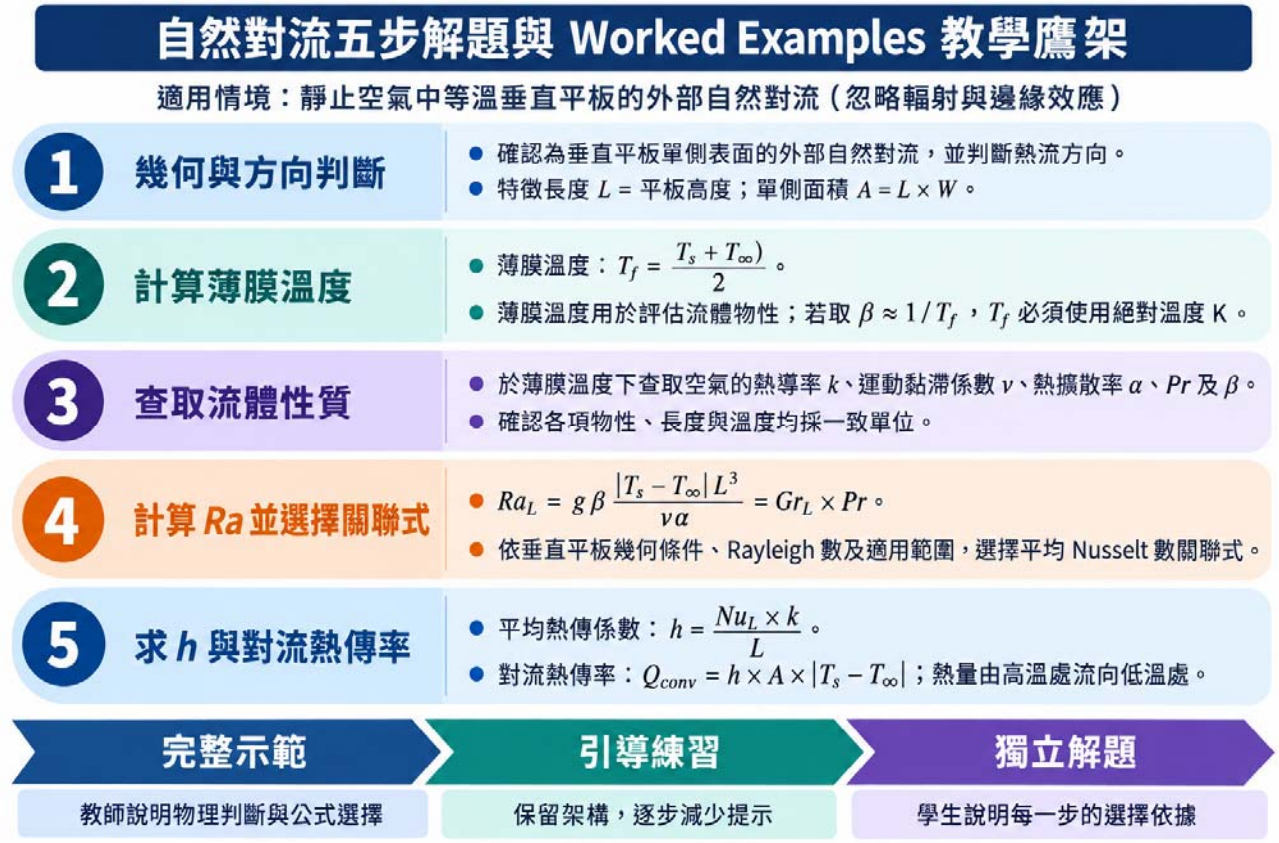
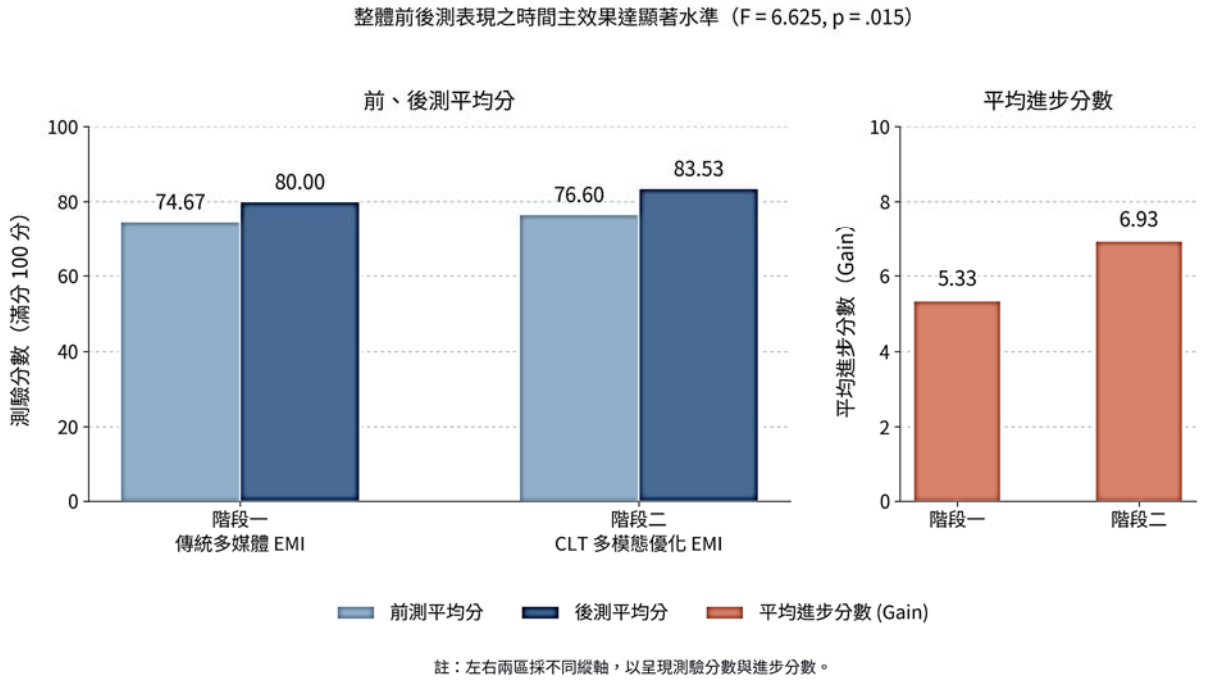


圖 6: 兩階段教學模式之前後測學力表現與進步分數比較



c. 學術與實務意涵：

結果顯示，傳統多媒體 EMI 階段與自然對流 CLT 導向教學階段的平均進步分數分別為 5.333 分與 6.933 分，雖兩者進步幅度差異未達統計顯著。較審慎的解讀是：學生在自然對流單元接受 CLT 導向教學後仍呈現學習進步，顯示此教學設計具課堂實施可行性。

B. 認知負荷量表檢驗（Cognitive Load Dimensions）

本研究參考 Klepsch et al. (2017) 之認知負荷量表，評估學生在兩模式後的認知負荷結構。如表 2：

表 2 認知負荷量表檢驗

認知負荷維度	傳統多媒體 (Mean ± SD)	CLT 多模態 (Mean ± SD)	檢定方法	統計量 (t / z)	p 值	效果量（d_z／r_{rb}）
內在認知負荷 (ICL)	3.100±0.865	3.217±0.665	Wilcoxon	z = -0.697	.492	-0.187
外在認知負荷 (ECL)	2.522±0.904	2.667±0.758	Paired t	t(29) = -1.257	.219	-0.230
增生認知負荷 (GCL)	3.400±0.491	3.356±0.517	Paired t	t(29) = 0.519	.608	0.095

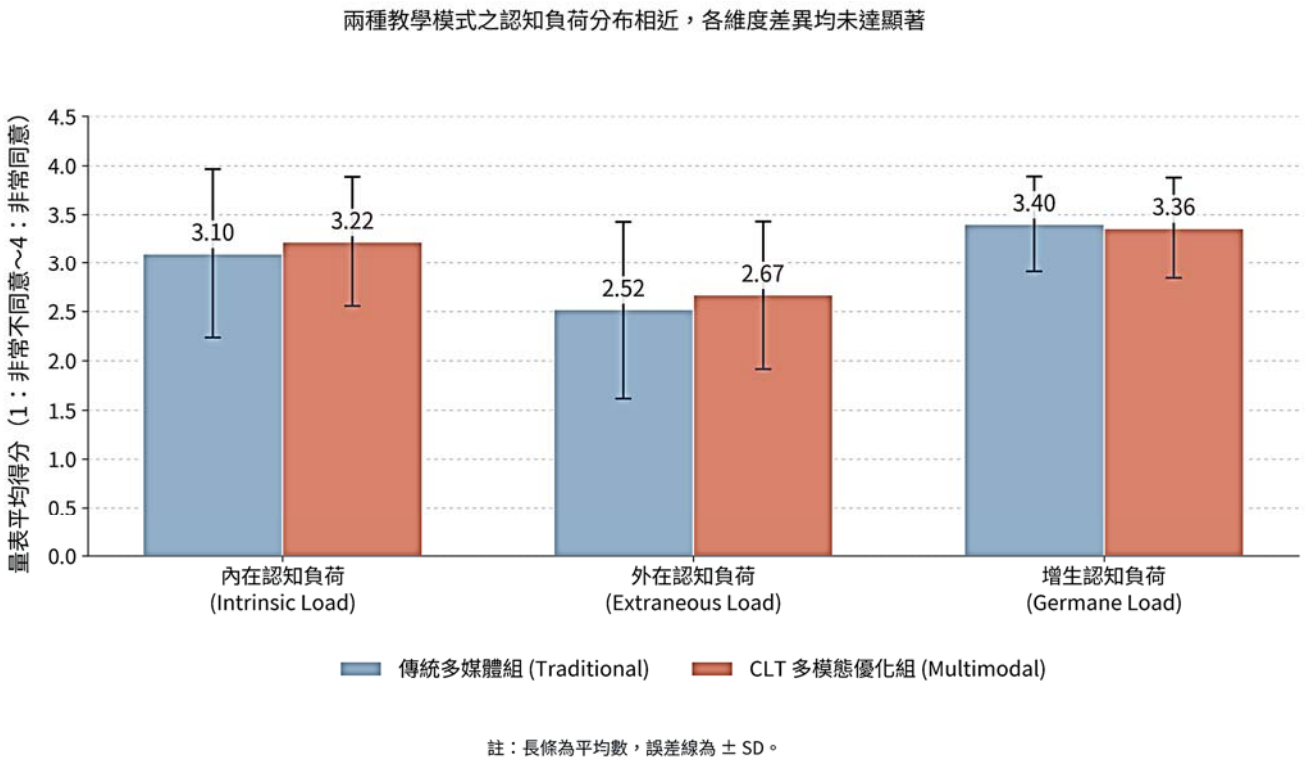
註：外在與增生認知負荷（Paired t-test）之效果量為 Cohen's d_z；內在認知負荷（Wilcoxon test）之效果量為等級雙序列相關 (Rank-biserial correlation, r_{rb})。

a. **內在認知負荷（ICL）：** 因差值偏離常態（p = .022），採 Wilcoxon 符號等級檢定，結果未達顯著差異（p = .492）。這符合理論預期，證實熱傳學高階推導的客觀學科本質難度並未因教學法改變而被稀釋。

b. **外在認知負荷（ECL）：** 兩階段平均值分別為 2.522 與 2.667，差異未達顯著(p =.219)。在本研究樣本與實施條件下，尚未觀察到 CLT 導向多模態教材造成明顯的額外科技操作負擔(Technology Tax)；但未達顯著亦不能視為兩階段完全相同。

c. **增生認知負荷（GCL）：** 兩模式下學生均展現高達 3.35 以上的高增生負荷（3.400 vs. 3.356, p = .608），顯示學生在 EMI 環境下皆能高度調動認知資源投入概念建構與架構理解。如圖 7。

圖 7:兩種教學模式之認知負荷三維度分析



C. 課程模式滿意度（Course Satisfaction）

本研究中，滿意度量表於兩階段均呈現極佳的內部一致性（傳統模式 Cronbach's α = 0.9213；多模態模式 Cronbach's α= 0.9438）如圖 8：

a. 整體課程滿意度在傳統模式（Mean= 3.304）與 CLT 多模態模式（Mean= 3.289）之間維持相近水準，成對樣本 t 檢定無顯著差異（t(29) = 0.229, p = .821；Wilcoxon z = 0.060, p = .968）。

b. 單項指標分析顯示，學生在「利用新思考模式學習（T14/M14, p = 1.000）」、「理解任務學習方式(T11/M11, p = 1.000）」與「觀察事物差異(T16/M16, p = .103）」等構面上，均對多模態教學給予高度肯定。

(2) 教師教學反思

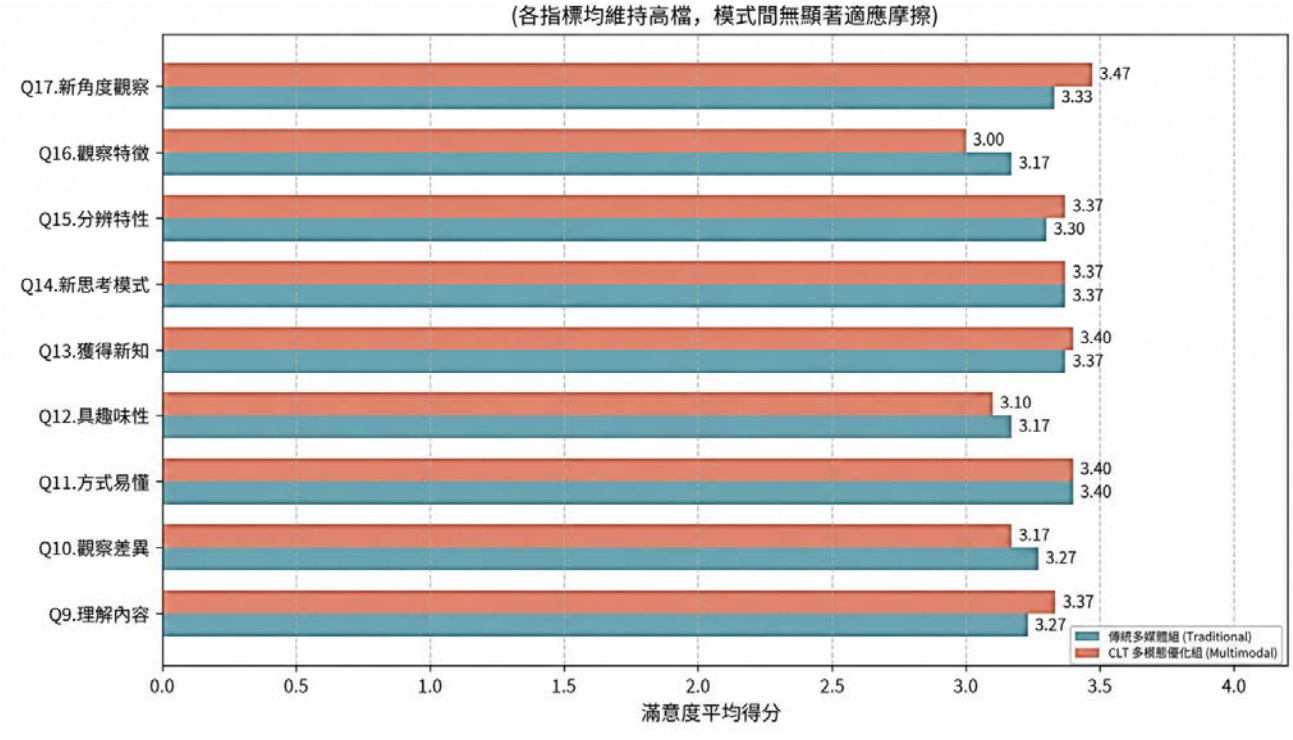
本研究透過課堂量化統計（RM-ANOVA、認知負荷三維度檢定、滿意度信效度分析）與階段二之學生質性回饋相互印證，歸納出以下四點具體的教學現場反思：

A. CLT 導向多模態教學未呈現明顯的額外操作負擔：量化結果顯示，介入後之外在認知負荷未出現統計上顯著變化（p = .219），滿意度亦維持相近水準（p = .968）。部分學生於質性回饋中肯定 Zuvio 即時檢測、Worked Examples 與五步解題框架的助益。綜合而言，在本研究樣本與實施條件下，尚未觀察到新增教學工具造成明顯負擔。

B. 高階工程課程中學生持續投入的現象：兩階段的增生認知負荷與學習滿意度數值相近，顯示學生在不同教學階段皆維持一定程度的學習投入。部分學生亦能具體說明強迫對流與自然對流在物理機制上的差異。此結果支持 CLT 導向教學於複雜章節中具有實施可行性，未來需進行更多研究以判定存在天花板效應，進而證明其具有優於傳統教學的效果。

C. 解構多重無因次數的認知過載——「五步解題框架」與「Worked Examples」的互補性：學生質性反饋明確指出：自然對流章節最困難之處在於「無因次參數（Gr、Pr、Ra、

圖 8:兩種教學模式在各滿意度指標之微觀對比(T9-T17 vs M9~M17)



Nu）繁多，且不同幾何形狀（垂直/水平平板、圓柱）對應的經驗公式及適用範圍極易混淆」。實施「Worked Examples 範例學習」與「五步解題框架」後，學生反饋「能清楚解題思路，而不是隨便代公式」、「降低了一次接收大量公式的負擔」。這呼應了 CLT 理論中「藉由解題示範建立完整基模（Schema）」對抑制外在負荷的具體成效。這亦呼應本研究提出之「自然對流五階認知結構模型」——Step 4（Ra 判準）作為浮力與阻力競爭關係之重要步驟，理論上預期為認知負荷最集中之處，與學生質性反饋吻合。

D. EMI 雙語教學的個別差異與「分層支持」改進方向：從學生的質性反饋中發現不同的學習需求：部分學生認為雙語教學「英文比較直觀」、「名詞更好連結，畢竟考題是英文」；但亦有部分學生反映「初次接觸新觀念時用非母語學習較吃力」、「希望公式推導與實例能更多一點」。這提醒教師在未來的 EMI 教學中，應進一步強化「分層雙語詞彙表（Level 1~3）」與「公式物理意義樹狀圖」，在維持全英語授課目標的同時，給予語言或數理基礎較弱的學生更精準的課堂鷹架。

本研究所稱形成性評量，係指教師於自然對流單元教學過程中，透過 Zuvio 即時題目、課堂提問及解題練習掌握學生理解狀況，並依作答結果補充無因次參數、經驗公式選擇與推導步驟。如圖 9。其目的在於提供即時學習回饋與調整教學，而非作為本研究主要成效指標。

圖 9: EMI 熱傳學多模態優化教學之數位工具與形成性評量架構



(3) 學生學習回饋

為深入了解學生對 CLT 教學法之真實學習體驗，本研究於階段二（第九章自然對流）結束後發放課後質性問卷，共取得 15 份有效回覆。問卷涵蓋教學策略偏好、學習難點、雙語教學體驗、與先前章節學習經驗之比較及未來改進建議。研究者反覆閱讀回答內容並進行初始編碼，再依內容相似性歸納為教學策略助益、核心學習難點、雙語學習體驗及改進建議等主題。以下引文均以匿名方式呈現，斜體字是學生所寫的質性回饋。透過主題分析法（Thematic Analysis）將學生之質性回饋統整如下：

A. 最具助益之教學策略（Q1a / Q1b）

問卷調查顯示，學生對於「範例學習（Worked Examples）」、「五步解題框架（Five-step Framework）」、「Gr 分段推導（Chunking）」及「Zuvio 課堂討論」皆給予高度正面評價，如圖 10：

a. 範例學習法（Worked Examples）——建立具體應用基模：

- *「因為自然對流的觀念涉及許多無因次數，如 Grashof Number（Gr）、Prandtl Number（Pr）與 Nusselt Number（Nu），剛開始學習時容易混亂。範例學習在理解過程上，比起單純的推導算式，更能理解自然對流在實例上的應用。」*
- *「有範例可以依樣畫葫蘆，較容易理解公式的作用。」*

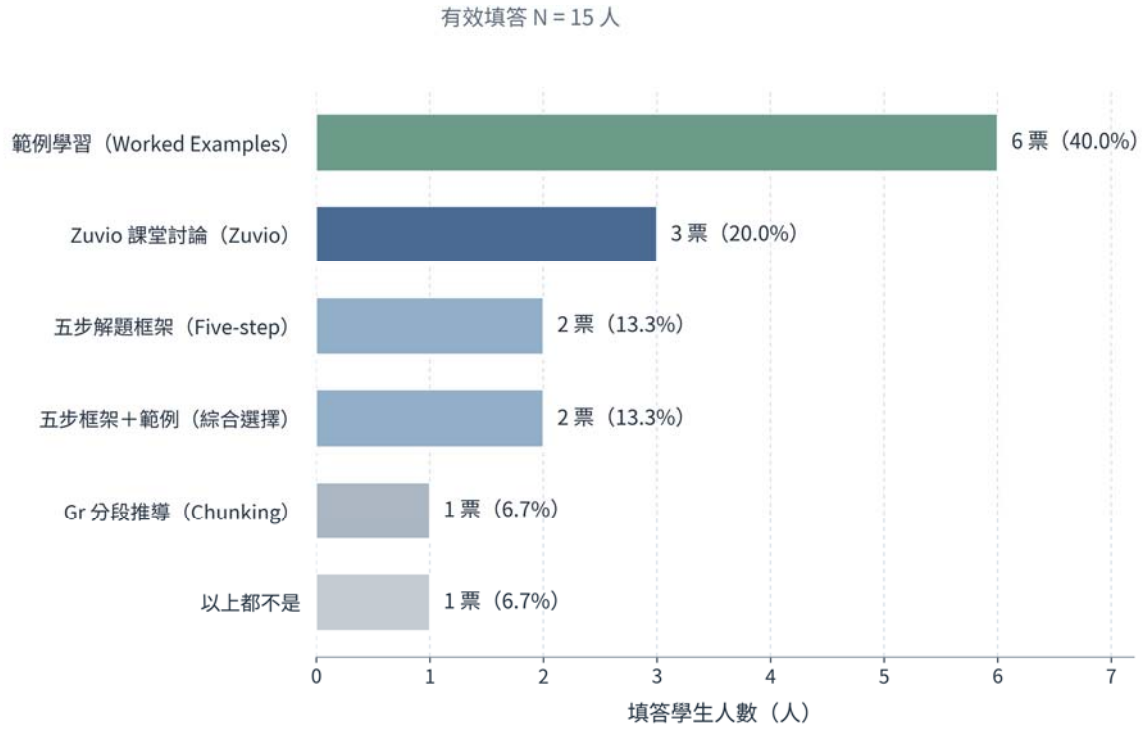
b. 五步解題框架——梳理結構化解題路徑：

- *「五步解題框架讓我更清楚解題的思路，而不是盲目、隨便代公式。」*
- *「可以幫助我在解題時清楚知道下一步要做什麼。」*

c. 分段推導（Chunking）與 Zuvio 即時檢測：

- *「老師非常有條理地梳理每一個觀念以及公式，分段推導讓學生很容易理解。」*
- *「Zuvio 課堂討論很好用，可以立即針對課程內容做檢測，快速探討哪個部分還需要加強，並回顧過去內容。」*

圖 10:學生自評最有助於理解自然對流之教學策略分布(Q1a)



B. 核心學習難點與認知瓶頸（Q2）

學生具體指出了熱傳學進階內容中的高內在認知負荷來源，為教學設計提供了精準的診斷依據：

a. 經驗公式選擇與範圍判定：

- *「實際解題時，仍然容易混淆不同幾何形狀（如垂直平板、水平平板或圓柱）所對應的經驗公式，以及各公式適用的 Gr 或 Ra 範圍。有時候即使算出了相關無因次數，也不確定應該選擇哪一個經驗關聯式。」*

b. 繁複代數與符號定義之消化：

- *「一開始的推導主要是太多的係數運用代數的方式呈現，需要先花時間理解每一個代數符號的物理意義，才能比較好吸收。」*

C. 雙語教學（Bilingual Approach）學習體驗（Q3a / Q3b）

學生對雙語教學之適應呈現多元視角，整體肯定其對專業英語能力與考試連結的助益，如圖 11：

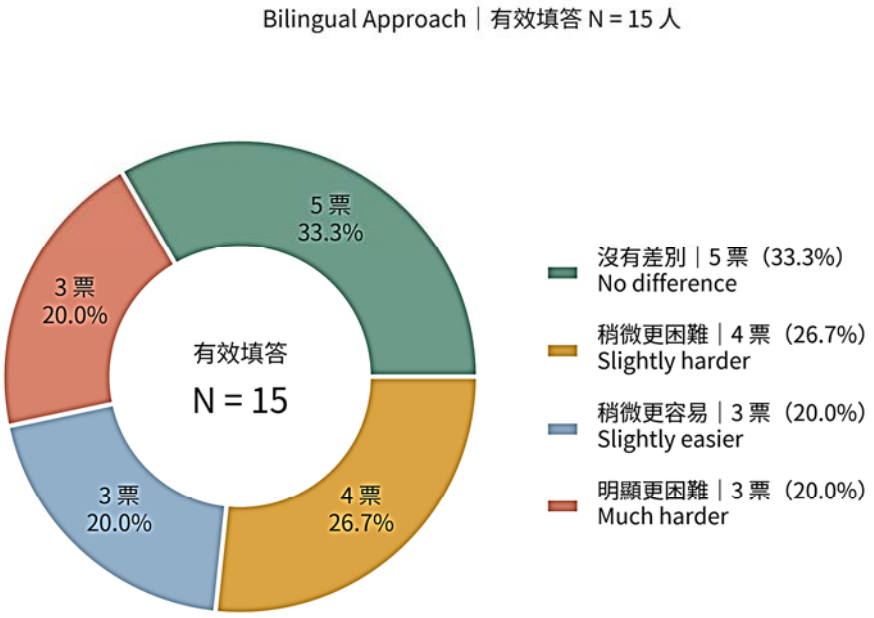
a. 正面助益：

- *「英文上課的時候可以加強英文聽力，並且能更清楚閱讀英文題目。」*
- *「英文比較直觀，有些專業名詞用英文可以更好地跟原文書與考題連結。」*

b. 學習挑戰：

- *「第九章是全新的物理概念，公式需重新推導，在第一次學習的情況下使用非母語可能會稍微吃力一點，部分英文單字較為困難。」*

圖 11:學生對雙語教學理解程度之自評分佈(Q3a)



D. CLT 教學法與傳統教學之成效比較（Q4）

a. 依 15 份有效質性回覆，有學生認為 CLT 導向教學策略有助於處理自然對流單元中資訊量較大且概念耦合程度較高的問題：有效降低資訊過載：

- *「降低了一次接收大量公式的負擔。透過五步解題框架與範例練習，我能更清楚理解 Gr、Pr、Ra 與 Nu 之間的關係與物理機制。」*

b. 掌握物理本質與深化互動：

- *「以前學強迫對流時，流速是外在給定的已知條件，可以將流體與熱傳分開思考；但自然對流的流速是因溫度差產生的浮力而起，兩者高度耦合。CLT 教學法比較著重在課堂互動與解題引導上，有助於深入理解不同算法。」*

E. 學生對未來教學之改進建議（Q5）

針對後續課程優化，學生提出的具體建言包括：

a. 擴充工程實例與練習題量： 建議提供更多不同幾何形狀與工況的真實工程案例，並加強「從實例反推公式架構」的示範。

b. 強化公式推導與物理意義的連結： 期望在代數推導過程中，能持續強化各步驟之物理意涵解說，以利深化高階應用 。

7. 建議與省思 (Recommendations and Reflections)

(1) 對課程教學與教材設計之建議

A. 針對經驗公式選擇建立「幾何與無因次數對照流程」

a. 現場實況： 學生在課後質性問卷中明確指出，即使理解了無因次數(Gr, Pr, Ra, Nu)，但在面對垂直平板、水平平板或圓柱等不同幾何形狀時，仍極易混淆各經驗公式的適用範圍。

b. 具體改進： 未來教材應在範例學習（Worked Examples）前，增加一張「幾何形狀->流動狀態判斷->適用經驗公式」的對照步驟圖，協助學生在解題第一步快速確認條件。

B. 維持「五步解題框架」並增加課堂練習題量

a. 現場實況： 學生肯定「五步解題框架」與「Worked Examples」能清楚梳理計算思路、避免盲目套公式，但也多位學生在問卷中建議「希望範例與練習可以再多一點」。

b. 具體改進： 未來可於課堂演練中，在教師示範完典型 Worked Example 後，多安排 1~2 題參數微調的課堂即時練習，讓學生當場動手演算，強化解題流程的熟練度。 此框架之維持並非僅止於操作偏好，而是因其對應自然對流問題本身「幾何→溫度耦合→性質檢索→Ra 判準→解答還原」之物理判斷順序（詳見前文自然對流五階認知結構理論基礎），任意調換步驟順序恐破壞基模建構之邏輯連貫性。

C. 延續 Zuvio 課堂即時檢測機制

a. 現場實況： 學生回饋指出「Zuvio 課堂討論可以立即檢測內容、回顧重點，確認自己哪個部分還需要加強」。

b. 具體改進： 此互動方式能有效破除 EMI 課堂中學生被動聽講的現象，未來應持續作為章節推導結束後的標準檢測環節。

(2) 對工程 EMI 教學實務之省思

A. 正視非母語學習新觀念時的語言負擔

a. 教學現場觀察： 質性問卷顯示，雖然英語能力較佳的學生認為「英文名詞更直觀、考題也是英文」，但亦有學生反映「初次接觸新章節與公式推導時，用非母語學習會感到吃力」。

b. 省思與調整： 在實施 EMI 教學時，面對全新且抽象的物理概念（如自然對流中溫差與浮力耦合），課堂講授應持續搭配關鍵詞中英對照與板書分段拆解，避免學生因單一英文術語不熟悉而中斷對物理機制的理解。

B. 認知負荷優化在複雜內容中的可能支持作用

a. 數據與實務印證： 統計數據顯示，後半學期難度提高後，學生的外在認知負荷（ECL）並未顯著上升（$p = .219$），且進步分數由第一階段的 5.333 分提升至 6.933 分。

b. 省思與調整： 上述結果初步顯示，分段推導、範例演示與雙語詞彙支援等 CLT 導向教學可在自然對流單元中順利實施，學生亦維持學習進步。然而，由於兩階段使用不同章節與測驗，且差異未達統計顯著，未來仍需進行更多研究進行探討。

(3) 未來研究與教學延續之規劃

A. 教學模組之延續應用： 本計畫所建立的「分段推導（Chunking）＋五步解題框架＋Worked Examples＋Zuvio 即時檢測」模式，具備清晰的教學架構，後續將持續應用於熱傳學各章節，並作為系上其他熱流相關專業必修課程實施全英語教學時的教學設計參考。

B. 教材數位化與題目優化： 依據本次前後測批改結果與問卷反饋，持續修訂講義中代數符號的標示說明，並補充各題型的詳細解答步驟，上傳至校內數位學習平台（TronClass）供學生課後複習。

研究限制

本研究採單組依序介入之重複測量設計，傳統多媒體 EMI 與 CLT 導向教學分別實施於不同

課程內容及時間階段，因此教學模式效果可能與章節難度、測驗內容、時間順序及學生累積學習經驗相互混淆。此外，正式 CLT 介入為自然對流單元，量化配對樣本為 30 人，質性有效回覆為 15 份，研究結果的推論範圍應限於本課程情境。未來可採平行組、交叉設計，或於難度相近的單元中重複實施，以提高內部效度與結果的可推廣性。

綜合而言，本研究未發現 CLT 導向自然對流教學相較於傳統多媒體 EMI 教學，在認知負荷、課程滿意度或學習進步幅度上具有統計上顯著優勢；然而，學生於自然對流單元中仍呈現學習進步，質性回饋亦顯示五步解題框架、Worked Examples 與 Zuvio 即時檢測對部分學生具有實際助益。因此，本研究成果較適合解讀為教學實施可行性與學生學習經驗的初步證據。

二、參考文獻 (References)

Al Zumor, A. Q. (2019). Challenges of using EMI in teaching and learning of university scientific disciplines: Student voice. *International Journal of Language Education.*

Altay, M., & Yuksel, D. (2021). Job prospects of different EMI engineering programmes' graduates. *Participatory Educational Research, 8*(2), 460-475.

Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A., & Wortham, D. W. (2000). Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research. *Review of Educational Research, 70*(2), 181 - 214.

Baker, R. M. (2010). Examples of scaffolding and chunking in online and blended learning environments. *Available at SSRN 1608133*.

Custodio-Espinar, M., & López-Hernández, A. (2023). Beyond Written-Linguistic Modes of Meanings: Multimodal Representations to Extend the Range of Literacy Learning in EMI Students. *Journal of Language Teaching and Research*.

Gilchrist, A. L. (2015). How should we measure chunks? a continuing issue in chunking research and a way forward. *Frontiers in psychology*, 6, 1456.

Gobet, F. (2005). Chunking models of expertise: Implications for education. *Applied Cognitive Psychology*, *19(2)*, 183-204.

Hanham, J., Castro-Alonso, J. C., & Chen, O. (2023). Integrating cognitive load theory with other theories, within and beyond educational psychology. *British Journal of Educational Psychology*, 93, 239-250.

Kalyuga, S., Chandler, P., Tuovinen, J., & Sweller, J. (2001). When problem solving is superior to studying worked examples. *Journal of Educational Psychology*, *93*, 579-588.

Keebler, J. R., Ososky, S., Jentsch, F., & Fincannon, T. (2010). Gaining ground: Merging cognitive load theory with human factors principles. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 54, No. 8, pp. 667-671). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications.

Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in psychology*, *8*, 1997.

Manoj, B. S. (2022). Structural Frameworks for Multi-modal Teaching Methods. In *2022 IEEE 19th India Council International Conference (INDICON)* (pp. 1-6). IEEE.

Moncada-Comas, B., & Block, D. (2021). CLIL-ised EMI in practice: issues arising. *The Language Learning Journal*, *49(6)*, 686 - 698.

Olakanmi, E. O., & Doyoyo, M. (2014). Using structured examples and prompting reflective questions to correct misconceptions about thermodynamic concepts. *European Journal of Engineering Education*, *39*, 157 - 187.

Orrú, G., & Longo, L. (2018). The evolution of cognitive load theory and the measurement of its intrinsic, extraneous and germane loads: a review. In *International symposium on human mental workload: Models and applications* (pp. 23-48). Cham: Springer International Publishing.

Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational psychologist*, *38*(1), 1-4.

Rodiawati, A., & Retnowati, E. (2019). How to design worked examples for learning patterns in mathematics. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1320, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.

Rohman, H., & Retnowati, E. (2018). How to teach geometry theorems using worked examples: A cognitive load theory perspective. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1097, No. 1, p. 012104). IOP Publishing.

Sabaté-Dalmau, M., & Moncada-Comas, B. (2023). Exploring the affordances of multimodal competence, multichannel awareness and plurilingual lecturing in EMI. *System*, *118*, 103161.

Shadiev, R., & Huang, Y.-M. (2022). Improving student academic emotions and learning satisfaction in lectures in a foreign language with speech-enabled language translation technology.

Australasian Journal of Educational Technology, *38*(3), 202-213.

Sozio, G., Agostinho, S., Tindall-Ford, S. K., & Paas, F. (2024). Enhancing teaching strategies through cognitive load theory: Process vs. product worked examples. *Education Sciences*, *14*(8), 813.

Stasinopoulos, P., Smith, M., Hargroves, K., & Desha, C. (2009). *Whole System Design: An Integrated Approach to Sustainable Engineering*, Earthscan.

Suppawittaya, P., & Yasri, P. (2021). The comparison of chunking methods to enhance the cognitive capacity of short-term memory to retain textual information among high school students. *International Journal of Research in STEM Education*, *3*(1), 27-35.

Tamtam, A., Gallagher, F., Sumsun, N., & Olabi, A. G. (2010). *EMI for engineering education in Arab world and twenty first century challenges*, 3rd International Symposium for Engineering Education, Cork, Ireland.

Tonhão, S. d. F., Colanzi, T. E., & Steinmacher, I. (2021). Using real worked examples to aid software engineering teaching. In *Proceedings of the XXXV Brazilian Symposium on Software Engineering* (pp. 133-142).

van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2010). Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies. *Medical education*, *44*(1), 85-93.

Ward, M. R., & Sweller, J. (1990). Structuring effective worked examples. *Cognition and instruction*, *7*(1), 1-39.

Young, J. Q., van Merrienboer, J. J. G., Durning, S. J., & ten Cate, O. (2014). Cognitive load theory: implications for medical education: AMEE Guide No. 86. *Medical teacher*, *36*(5), 371-384.