



國立臺灣師範大學
NATIONAL TAIWAN NORMAL UNIVERSITY

科學教育研究所 碩士班
甄試入學 備審資料
研究計劃書

申請人：國立中央大學地球科學系 廖偉成

中華民國 114 年 10 月

目錄

國立臺灣師範大學 科學教育研究所 甄試入學 研究計畫.....	2
第壹章、摘要	2
第貳章、研究背景與動機.....	2
第參章、研究目的與問題.....	4
第肆章、研究方法.....	4
第一節、實驗流程	4
第二節、研究對象	5
第三節、教學設計	6
第四節、研究工具	6
第伍章、預期結果、貢獻與限制.....	7
第一節、預期結果	7
第二節、可能貢獻	8
第三節、研究限制	8
第陸章、重要參考資料.....	8

主題：數位工具使用情境中學習動機與外在認 知負荷對高層次思維的影響

第壹章、摘要

在數位設備日益普及的情境下，教育部透過明確政策推動教師參與數位教學培訓，使科技融入教學成為必要趨勢。本研究以高中科學課程為例，探討數位教材設計如何影響學生的學習動機與外在認知負荷，並進一步分析兩者對高層次認知能力的互動效應。

本研究採用量化與質性並行的方法，透過前測與後測、課堂觀察及訪談收集資料。課程設計融入數位互動工具，透過操作教材複雜度與挑戰任務，調控學生學習動機及外在認知負荷，並觀察學生在自然探究與實作活動中展現的高層次認知策略與表現，透過在真實課堂中進行實作驗證，直接呈現學生使用數位工具進行探究與實作的真實情境，補足以往多以實驗室研究為主的文獻不足，提升研究結果對教育實務的參考價值與外部效度。

本研究旨在提供數位教材設計複雜度的參考基準，幫助教師在設計探究與實作課程時，依據學生動機特徵及數位資源的複雜程度調整教學策略，兼顧不同學習者的需求，並將有限的認知資源投入於批判思考、問題解決與科學探究等核心能力。正如 TPACK 架構所強調，教師需在學科知識（CK）、教學法（PK）與科技（TK）三者間找到最佳聯集，在科技與學科內容間取得平衡，促使教師反思是否過於「為科技而科技」，而忽略了學科本質及教學原理與原則。

第貳章、研究背景與動機

雖然數位工具被廣泛引入課堂，但科技如何真正支持學習，而不只是表面的花俏，仍是一個需要被重視的問題。以科技融入教育層次 SAMR 的模式來說，若只是使用電子屏幕連接電腦投影，播放 ppt 簡報，這樣層次就只停留在替代 (Substitution) 的階段，並沒有提供功能性的改變，仍維持單向教學；若是上升

到更高的轉化(Modification)層級，例如使用雲端白板，讓師生以新的方式協作並交流想法，便能達到多向互動教學，顛覆以往單向授課的模式。

一般會認為 SMAR 層級越高（例如:Modification、Redefinition），對學習的影響潛力越大，但實際情況卻並非單純「越高越好」，過於複雜或設計不佳的互動介面，反而可能引發額外的外在認知負荷（extraneous load），降低學習效果，這也與學生對學習內容的熟悉度有關，專家反轉效應(expertise reversal effect)的相關研究指出，對初學者有效的教學支援（如詳細指導或輔助提示），卻可能對進階學習者造成干擾，因此在學生學習的哪個階段適合實施數位教學，也是需要留意的部分，相關研究亦指出，學習動機與認知負荷之間存在顯著的交互作用。例如: Skulmowski 和 Rey（2022）發現，學生的學習動機越高，感知到的外在認知負荷越低；相反地，過度複雜的設計會削弱動機並降低學習成效。

在參與史懷哲營隊時，我分別在大坡國中及永安國中兩所學校教授相同的課程。首先在大坡國中時，課程設計主要是運用影片及小組討論的方式進行，另一方面，在永安國中則是採用 Ahaslide 軟體與學生進行互動，學生能直接利用平板參與整個課程，投入程度變更高了。透過對學生的口頭調查，後者的實施方式較受到學生喜愛，而且根據教師在課堂上的直觀感受，也查覺到學生的學習意願大幅提高了。

但實際上，互動式教學導致課程沒有依照預定的節奏進行，以致於後段的課程受到壓縮，只能草草帶過，這當然與教師本身對數位工具的熟悉程度有關係，但更大程度則是取決於學生能否快速適應數位工具的操作方式，以及現場的設備是否出現故障。根據觀課者的觀察，部分學生因為不會操作軟體，導致參與程度不高，且當學生完成指定任務後，便會開始玩平板中的其他軟體，除了教師需要花時間管理外，學生的注意力也容易被拉走。

在這個案例中，學習影響只反應在情意層面，我更希望能透過較全面且長期的觀察，及更嚴謹的變因控制，深入探討數位工具在教學中的真實效益，並關注其正向作用（如提升學習動機、增進參與度、促進合作學習）與負向作用（如增加認知負荷、干擾課程進度、造成分心或依賴）的交互關係。

Skulmowski 和 Rey（2022）的研究多採用實驗室設計，透過受試者完成指定學習任務後的自陳量表、學習成效測驗，及控制學習材料複雜度的實驗操弄，來檢驗動機與外在認知負荷之間的關係，該實驗雖然能提供嚴謹的控制條件，卻無法完整反映真實課堂中的教學情境。我希望將研究將直接在高中課堂中實施，觀察數位工具對學生學習動機與高階認知能力的實際影響。透過在真實教

	科學實作單元		自然探究與實作（發現問題、提出假設）		
高動機／ 高外在負荷	課堂觀察	分層抽 樣訪談	量表 前測	數位互動工具設計挑 戰任務，介面複雜	量表 後測、 訪談
高動機／ 低外在負荷				數位互動工具設計挑 戰任務，介面單純	
低動機／ 高外在負荷				數位互動工具無挑戰 任務，介面複雜	
低動機／ 低外在負荷				數位互動工具無挑戰 任務，介面單純	

表二、授課與問卷訪談施測實行關係

前測完成後，在探究與實作課程中，將學生依操作設計分為 2x2 因子組合：高動機 × 高外在負荷、高動機 × 低外在負荷、低動機 × 高外在負荷、低動機 × 低外在負荷，全程使用數位工具進行教材呈現與互動，透過挑戰任務及回饋機制的有無，操縱學生的學習動機，且利用軟體介面的複雜程度與影片資訊零散程度，控制外在負荷高低，相關變項整理如表三。

在每一班內，先行以前測及評估學生的先備能力，採隨機區塊分配或分層隨機方式將學生分配至四種處理組，以確保組間基線平衡，每一班級皆按照相同教案、教學時長與評量規準執行，以便跨班合併分析。教師授課前將進行備課訓練與教案標準化，並記錄任何偏差（如技術故障、教材更動）。

變項類型	名稱	操作定義 / 測量方式
自變項	學習動機	透過數位工具設計情境操控：高動機組（目標導向/挑戰任務 + 即時回饋），低動機組（無激勵/一般呈現）
自變項	外在認知負荷	教材設計控制：高負荷（介面複雜、多段影片）、低負荷（介面單純）
依變項	高層次認知能力	批判思考、問題解決、科學探究能力
控制變項	教學環境	同一課堂、同一教師、相同授課時間與課程內容
控制變項	學生基礎能力	前測分數作為協變數或用於分組平衡

表三、各組變項關係

第二節、研究對象

本研究旨在檢驗學習動機與教材設計所造成之外在認知負荷，對高中學生高層次認知能力的影響。考量研究重點為高階認知能力之精細觀察與測量，本研究之研究對象擬採**高學習成就學校**之高中學生，以提高受試者在探究任務中能實際展現與操作高階認知的機會，並降低因先備能力過低導致任務失效之風險。

研究採班級內分組之方式執行：每一參與班級在同一堂課或相鄰授課時段內，依實驗設計將學生分為四種處理組，以保持教學內容、教師與時間之同一性，減少外在干擾變項。

且為提升研究結果之重複性與外部效度，研究擬在多個不同班級重複實施，並跨班級累積樣本以進行群內與群間分析。

第三節、教學設計

本研究的教學設計，先以一個科學實作單元為起點，作為診斷學生現有解決問題能力的依據，再進一步於自然探究與實作課程中，將數位互動工具融入「發現問題」與「提出假設」的課程，透過前測與後測了解其造成之影響。

首先，由於本人主修地科，因此選擇地科相關的科學實作活動，以認識地震波的課程做成作為引導，讓學生透過簡單操作了解 P 波與 S 波的差異，使用不同介質與力道製造 P 波及 S 波，並在過程中觀察學生在操作時遇到困難後，如何解決問題，並透過後續訪談，了解學生在活動過程中的思考與策略。

接著，將研究聚焦在探究與實作課程中的「發現問題」與「提出假設」部分。傳統上，該階段教師多透過學習單來引導學生，但本研究嘗試設計數位互動工具，讓師生透過平板進行互動，並方便學生進行組內共學，過程中，每組學生都需使用平板，教師會預先在 notion 提供教學影片供學生觀看，學生需在觀看影片後，至 notion 上傳紀錄資料與討論；同時，研究者會針對部分組別設計特定任務或獎勵條件，例如：要求小組針對同一現象提出不同假設，若能達成任務就給予即時的獎勵回饋。

此外，我也會透過提供特定組別較多資訊（如延伸影片、背景數據），控制數位資源的負荷程度，透過這樣的設計，能夠比較不同程度數位支持方式下，學生在小組共學過程中展現出的自然探究與解決問題能力。

第四節、研究工具

本研究採用前後測的模式，使用批判思考能、科學探究能力量表，量化學生批判思考、科學探究等高層次思維能力，並用訪談的方式了解學生解決問題能力，以下分別為這些量表進行詳細說明。

1. 批判思考能力量表

本研究選擇 Watson 與 Glaser 於 1964 年編製的 Watson-Glaser 批判思考測驗 (Watson-Glaser Critical Thinking Appraisal, WGCTA)，是國際上最常使用的批判思考能力測驗之一。該量表透過情境題與論證材料，評估受試者在日常生活與學習中運用邏輯思維的能力。

WGCTA 共分為五個核心向度：推論、辨認假設、推演 (Deduction)、解釋與論點評估，每一部分均設計多項選擇題，綜合測量學生在分析、判斷與決策過程中的批判思考能力。我使用陳學志、陳彰儀、陳美芳、陳心怡、陳榮華等教授於 2011 年出版的中文精簡版，共 40 題。

2. 科學探究能力量表

本研究選擇林小慧與吳心楷於 2019 年設計並發表於《教育心理學報》的 MASIA (Multimedia-based Assessment of Scientific Inquiry Abilities, 多媒體科學探究能力測驗)，其設計的主要目的是針對高中學生的科學探究能力進行多媒體化的評量。

MASIA 的題目共有 31 題，依據科學探究能力的五個核心向度設計，包括：**提出問題、規劃與執行實驗、詮釋與結論、評鑑與反思以及假設與預測**，結合情境影片、互動題目，以更貼近實際科學探究情境。學生需在模擬情境中觀察、操作、分析並回答問題，以評量其科學探究的全程能力。

3. 問題解決能力訪談

訪談聚焦在「學生遇到的困難」與「解決方式」，如：在這個學習活動中，你覺得最困難的地方是什麼？你當時是怎麼嘗試解決這個困難的？

第五章、預期結果、貢獻與限制

第一節、預期結果

1. 高動機學生在高層次認知能力表現上，優於低動機學生。

2. 低外在負荷學生在高層次認知能力表現上，優於高外在負荷的學生。
3. 高外在負荷對高動機學生的影響，比對低動機學生的影響來得小。
4. 在低外在負荷情境下，高動機與低動機學生的高層次認知能力表現相當。

第二節、可能貢獻

根據本研究的預期結果，若假設成立，則能建立一個數位教材設計複雜度的參考基準。研究顯示，教材複雜度若能控制在合宜範圍內，外在認知負荷便能維持在較低水平，進而促進學生在高層次認知能力上的發揮。即使高學習動機學生可能會啟動補償性策略，如反覆觀看影片、與同儕討論等，受干擾程度可能比低學習動機學生小，高學習動機能提升的努力，不一定能突破認知資源的限制，因此干擾效果仍存在。若能部分緩解外在負荷帶來的影響，透過課程設計有效降低外在負荷，則低動機與高動機學生之間的學習成效差距亦可縮小。

本研究在真實高中課堂中進行實作驗證，直接觀察學生在課堂中使用數位工具進行探究與實作時的行為與策略，檢驗動機與外在認知負荷的交互作用，評估教材設計複雜度在實際教學情境下的有效性與限制，提升研究結果的外部效度與教育實務參考價值，並作為課程設計的參考依據，使學生能將有限的認知資源投入在批判思考、問題解決與科學探究等核心能力上，讓教師未來在設計探究與實作課程時，可依據學生的動機特徵與數位資源的複雜程度，調整教學策略，兼顧不同學習者的需求。

第三節、研究限制

本研究雖透過真實高中課堂進行實作驗證，具備高外部效度，但在實驗設計上仍存在一定限制。首先，本研究的學習動機與外在認知負荷皆採用二分法（高／低）進行操作，雖有能清楚操控變項與分組比較，但難以提供更精細的尺度，限制了兩者對學習效果的連續性影響之理解。其次，在真實課堂實施研究，將不可避免地受到現場多種干擾因素影響，例如學生的即時注意力、操作數位工具的熟悉度、設備故障或班級內互動差異等，這些因素可能導致實驗控制條件不如實驗室嚴格。再者，由於研究採班級內分組與跨班級累積樣本的方式進行，班級文化與的差異，也可能對結果產生一定影響。最後，本研究雖以高學習成就學生為對象，以確保受試者能完整展現高階認知能力，但樣本範圍有限，對一般高中生或不同學習背景學生的適用性仍需謹慎解讀。

第陸章、重要參考資料

BenQ 教育專欄，《SAMR 模型 X 智慧教學專題 1：當科技融入課堂，如何將電子白板應用於 SAMR 的 4 個階段》，BenQ Taiwan。

ETtoday 教育科技專欄，《數位學習工具如何提升學生學習動機與互動參與》，Hello ET。

Kevin' s Venture，《教學者的基礎涵養：工作記憶》，Medium 平台。。

國立教育研究院電子報，第 92 期，文章編號 2263。

Skulmowski, A., & Xu, K. M. (2022). Understanding cognitive load in digital and online learning: A new perspective on extraneous cognitive load. *Educational Psychology Review*, 34(1), 171-196.

Zimmerman, B. J. (2000). Attaining self-regulation: A social cognitive perspective. In M. Boekaerts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation*, 13-39

林小慧、吳心楷 (2019)。科學探究能力評量之標準設定與其效度檢核。《教育心理學報》，50 (3)，473-502。

Watson, G., & Glaser, E. M. (2002). *Watson-Glaser Critical Thinking Appraisal*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.