

「看中學」和「做中學」提升工藝機具操作學習成效之研究

王則眾 *

實踐大學 工業產品設計學系 專任教授

黃鼎億

實踐大學 工業產品設計學系 專任副教授

摘要

本研究針對實踐大學工業產品設計學系「模擬構成」課程中學生工藝機具操作學習成效不佳的問題，提出結合「看中學」與「做中學」的創新教學策略。研究採用主視角教學影片搭配實體操作的混合教學模式，透過「視覺化示範—階梯式實踐—迭代反思」三階段教學設計，系統性提升學生工藝機具操作能力。

研究以近四學期 117 名學生為研究對象，運用量化與質化混合方法進行成效評估。量化分析採用單因子變異數分析檢驗學期間成績差異，並透過灰色理論與熵權重法處理多元評分者資料；質化分析則透過課程滿意度問卷與學習回饋調查，深入了解學生學習狀態。統計結果顯示，雖四學期整體成績差異未達顯著水準 ($p = 0.06 > 0.05$)，但 112 下學期總平均成績 ($M = 67.55, SD = 24.64$) 較 111 上學期 ($M = 53.36, SD = 26.68$) 呈現改善趨勢；另，學生課程滿意度達 4.5 分 (五點量表)，其中「教學影片輔助理解操作流程」($M = 4.6, SD = 0.42$) 與「實體操作強化技能掌握」($M = 4.4, SD = 0.51$) 獲得高度認可。

本研究引入灰色理論與熵權重法於教育評價中，有效平衡教師與業師群評分差異，提升作品評價客觀性。然而，學生在「獨立設計與製作複雜工藝作品」($M = 3.8, SD = 0.83$) 及「靈活運用技能解決實際問題」($M = 3.7, SD = 0.79$) 等高階能力指標上仍有改善空間。研究建立之機具操作標準程序影片庫為同類課程提供可參考資源，對工藝教育教學具參考價值。

關鍵字：工藝機具操作混合教學模式、學習成效、灰色理論、教學創新

* 通訊作者。

E-mail 地址：zawang@icloud.com

Improving Craft Machinery Operation Learning through Observational and Active Learning

CHE CHUNG, WANG*

Department of Industrial Design Shih Chien University, Professor

TING YI, HUANG

Department of Industrial Design Shih Chien University, Associate Professor

Abstract

This study aims to address the challenge of inadequate learning outcomes in craft machinery operation among students in the "Simulating Construction" course at Shih Chien University's Department of Industrial Product Design. A novel integrated teaching strategy was developed, combining the approaches of "learning by observing" and "learning by doing". The strategy employed a three-phase pedagogical framework, utilizing first-person perspective instructional videos and practical exercises. The following sequence of steps is recommended: firstly, a visual demonstration; secondly, progressive practice; and thirdly, iterative reflection.

The research employed a one-group pretest–posttest action research design, involving 117 students across four consecutive semesters. Mixed methods were utilized to evaluate the effectiveness of the instructional intervention. On the quantitative side, one-way analysis of variance was conducted to examine grade differences across semesters, complemented by grey theory and entropy weighting methods to process multi-rater evaluation data. Qualitative analysis incorporated course satisfaction questionnaires and learning feedback surveys to gain deeper insights into student learning experiences. The statistical results indicated that, although the overall difference in grades across the four semesters did not reach conventional levels of statistical significance ($p = 0.06$), a positive improvement trend was observed. In particular, the second semester of 2023 demonstrated a substantially higher average total score ($M = 67.55, SD = 24.64$) compared with the first semester of 2022 ($M = 53.36, SD = 26.68$). The mean score for student course satisfaction was 4.5 out of 5, with "instructional videos enhancing understanding of operational procedures" ($M = 4.6, SD = 0.42$) and "hands-on practice reinforcing skill mastery" ($M = 4.4, SD = 0.51$) both receiving high recognition from students.

This study introduced grey theory and entropy weighting methods innovatively into educational evaluation, effectively balancing the differences in subjective scoring between faculty and industry mentors and thereby enhancing the objectivity of work assessments. However, there is room for improvement in higher-order competency indicators, such as 'independent design and production of complex craft works' (mean = 3.8, standard deviation = 0.83) and 'flexible application of operational skills to solve practical problems' (mean = 3.7, standard deviation = 0.79). The established video library of standard operating procedures for machinery provides valuable resources for similar courses and has significant implications for pedagogical reform in craft education.

Keywords: craft machinery operation, blended teaching model, learning effectiveness, grey theory, innovation

* Corresponding author.

E-mail address: zawang@icloud.com

第一章 前言

1-1 研究背景

在全球設計創新驅動發展的浪潮下，產品設計教育承擔著培養兼具創新思維與實作能力專業人才的關鍵使命，工藝機具操作能力更是將創意轉化為實體作品的核心環節，直接影響學生的專業素養與職涯競爭力。然而，現階段產品設計相關科系在工藝機具操作教學上，普遍面臨學習成效不佳、學習落差擴大及安全風險意識不足等問題。

以實踐大學工業產品設計學系「模擬構成」課程之車床單元為例，近五年課程數據顯示，學生學習成績波動顯著且呈現惡化趨勢（單因子變異數分析顯著性為 $0.001 < 0.05$ ）：111 上學期平均分僅 53.36 分，較 109 上學期（61.80 分）下降 13.7%，且補考人數與次數呈持續上升趨勢，部分學生重考 5 次仍未通過機台操作測試，詳見表 1 及表 2。

表 1
近 5 學期之敘述統計（數據來源：本課程自行整理）

學期	授課人數	平均值	標準差	標準誤	平均值的 95% 信賴區間		最小值	最大值
					下界	上界		
109上學期	29	61.80	10.79	2.00	57.69	65.90	46.67	86.67
109下學期	28	69.58	10.53	1.99	65.49	73.66	53.25	86.67
110上學期	28	70.44	14.19	2.68	64.94	75.94	37.80	90.00
110下學期	32	61.77	12.93	2.29	57.10	66.43	31.25	90.00
111上學期	28	53.36	26.68	5.04	43.02	63.71	0.00	80.00
總計	145	63.33	16.98	1.41	60.55	66.12	0.00	90.00

表 2
近 5 學期之單因子變異數分析（數據來源：本課程自行整理）

學期成績	平方和	自由度	均方	F檢定	顯著性
群組之間	5435.211	4	1358.803	5.271	0.001
組內	36091.44	140	257.796		
總計	41526.65	144			

從教學現場觀察可見，機台數量與授課時長的限制，使得學生實際操作時間明顯不足，平均每人每次操作時間不足 10 分鐘，難以透過反覆練習累積足夠經驗。教師與助教的人力亦有限，無法在高密度操作情境下即時回應所有學生的個別問題，導致部分學生在尚未建立正確操作程序之前，就已對機具產生恐懼與退卻心態，增加潛在安全風險。

從學習理論角度來看，Kolb 的體驗學習理論指出，技能學習需經歷「具體經驗、反思觀察、抽象概念化與主動實驗」的循環，僅有單向講述或短暫示範，難以支撐完整的經驗轉化歷程（Kolb, 1984）。Bandura 的社會學習／社會認知理論則強調，學習並非只來自直接操作回饋，而是高度仰賴對榜樣行為的觀察、模仿與內化（即所謂「看中學」）（Bandura, 1977）。Sweller 所提出的認知負荷理論進一步指出，當學習者同時面對複雜步驟、專業術語與高風險情境時，若教學設計未妥善控制內在與外在認知負荷，極易造成「看不懂、學不會、不敢做」的惡性循環（Sweller, 2020）。另，在產品設計與技職教育情境中，相關研究亦指出，初學者若缺乏足夠結構化引導與安全示範，常在機具操作課程中出現信心不足、錯誤率偏高與動機快速下滑的情況，而教學現場「理論與實務脫節」與「個別化指導不足」更是被反覆提及的關鍵問題。綜合上述，如何在有限的教學時數與設備條件下，有效結合理論與實作，並同時兼顧操作安全與學習效率，已成為產品設計工藝機具操作教學中亟待回應的重要課題。

此外，設計教育中對工藝作品與操作表現的評量，長期仰賴教師經驗判斷，容易受到主觀偏誤與標準不一的影響。灰色理論等客觀化分析方法，提供了一種在樣本數有限且資訊不完備情境下，更系統化整合多項評分指標、降低個別評分差異的工具，特別適合用於本研究所處的教學現場。本研究遂以實踐大學工業產品設計學系「模擬構成」車床單元為例，結合「看中學／做中學」與認知負荷理論之整合性架構，並引入灰色理論作為評量工具，嘗試回應工藝機具操作學習成效不佳與評分主觀性的雙重問題。

1-2 研究目的

本研究以實踐大學工業產品設計學系「模擬構成」課程之車床操作單元為實證場域，聚焦於工藝機具操作教學中學習成效不佳、人為錯誤頻仍與評量主觀性等問題，在 Bandura 「看中學」、Kolb 「做中學」以及 Sweller 認知負荷理論的整合架構下，設計並實施一套結合課前主視角影片預習與課堂實作反思的創新教學模式，並引入灰色理論以提升評量的客觀性。本研究擬達成以下三項具體目的：

- (1) 教學模式創新之目的：
 構建「課前視覺化示範—課堂階梯式實踐—事後迭代反思」之整合教學模式，並探討此模式對學生機具操作規範性、加工精度與問題解決能力之影響。研究中特別運用頭戴式主視角影像重現教師操作流程，搭配分層工作項目設計，以降低初學者的認知負荷，強化從觀察到實作的技能遷移。
- (2) 人為錯誤預防與安全強化之目的：
 參考 Swain 與 Guttman (1983) 的人為錯誤訊息處理模型，並結合「四 E 對策」（Education / Engineering / Enforcement / Example），分析「課前主視角影片+課堂實作」之虛實整合教學，對於降低規範性錯誤（如刀具安裝順序錯誤）與功能性錯誤（如附件選用不當）的可能機制。藉此回應學生面對高風險機具時的畏懼感與高失誤率問題，提升其操作安全意識與風險辨識能力。

(3) 操作錯誤記錄與評量機制優化之目的：

建置以頭戴攝影裝置為核心的操作歷程紀錄系統，搭配師生協同回看與反思流程，發展一套可將操作錯誤「看得見、說得清、改得動」的數位化教學迭代機制。進一步結合灰色理論，嘗試在多評分者與多指標情境下，建立較為客觀的一致性評量架構，以做為後續教學調整與課程品質管理的依據。

第二章 文獻回顧

科技工程教育當以設計 (Design) 與實際動手做 (Hands on) 的歷程，透過專題製作而傳輸科技與科學知識。科技教育與其他領域知能差異之處，為「講究技能教學與方法論 (Methodology)」；科技工程教育最應涵括的課程內涵，除了智能 (Intellectual Capacities) 外，最應該凸顯顯實作性技能 (Performance Skill)、「設計」與「解決問題 (Problem Solving) 的方法」。設計、實際動手做、解決問題，大概即可以歸類為引導學生學習科技工程教育內涵的策略。期待透過專題式的教材單元，引導學生歷經實作性技能、設計與解決問題等科技策略的學習，學生即可以將這些科技策略，轉移運用到未曾學習過的材料、機具與技術等，亦即「學習遷移 (Transfer of Learning)」學習者既有或先前所習得的知識技能，對學習新知識技能產生影響 (Schunk, 2020)。

2-1 「看中學」與「做中學」的理論基礎

「看中學」與「做中學」的教學理念源於認知心理學和建構主義學習理論的深厚基礎。Bandura (1977) 的社會認知理論 (Social Cognitive Theory) 強調觀察學習的重要性，認為個體可以通過觀察他人的行為及其結果來學習新的技能和知識。這一理論為「看中學」提供了堅實的理論支撐，特別是在技能型學習中，學習者可以通過觀察專家示範來建立初步的認知模型。然而，此理論在解釋複雜工藝操作技能習得時，可能未能充分考量學習者內在認知結構與實踐情境的交互作用，特別是當觀察對象的行為複雜度高於學習者現有認知水平時，單純的觀察學習可能導致認知荷過重負 (Kalyuga, 2011)。與此同時，Kolb (1984) 的體驗學習理論 (Experiential Learning Theory) 為「做中學」提供了理論框架。該理論提出學習是一個循環過程，包含具體體驗、反思觀察、抽象概念化和主動實驗四個階段。這一理論強調實踐經驗在學習過程中的核心作用，認為真正的學習必須通過實際行動和反思來完成 (Kolb & Kolb, 2017)。儘管 Kolb 的理論強調了實踐的重要性，但其在對大規模教學情境時，如何有效提供個性化實踐機會與即時反饋，仍是教學實務中的一大挑戰 (Fenwick, 2003)。

Sweller (2020) 的認知負荷理論 (Cognitive Load Theory) 進一步解釋了「看中學」的認知機制。該理論指出，學習者的工作記憶容量有限，有效的教學設計應該考慮如何減少外在認知負荷，增加與學習目標相關的認知負荷。主視角教學影片通過減少不必要的視覺干擾，直接呈現操作過程，能有效降低學習者的認知負荷，提升學習效率。然而，該理論主要

關注認知資源的分配，對於學習者情感因素（如操作畏懼、挫敗感）對學習成效的影響，以及如何透過教學設計來緩解這些負面情緒，則較少深入探討 (Pekrun, 2006)；另，張春興 (2013) 在《教育心理學》中強調，技能學習需要經歷認知階段、聯結階段和自動化階段三個發展過程。其中認知階段主要依賴觀察和理解，而聯結階段和自動化階段則需要大量的實際練習。這一觀點與本研究的「看中學」結合「做中學」的教學理念高度吻合。陳嘉陽 (2019) 在探討台灣技能教育發展時指出，傳統的示範教學往往受限於時空因素，學習者難以重複觀察關鍵操作細節。數位化教學影片的引入可以有效解決這一問題，讓學習者能夠反覆觀看，深化理解。然而，儘管數位化教學影片解決了時空限制，但如何確保學生在觀看後能將所學知識有效轉化為實際操作技能，並在實踐中獲得即時、精準的指導，仍是數位化教學面臨的挑戰 (Means et al., 2009)。

綜合上述，「看中學」（Bandura，強調觀察與模仿）、「做中學」（Kolb，注重體驗與反思）以及認知負荷理論 (Sweller，聚焦於資訊處理效能) 彼此具有互補關係；本研究將三大理論整合於課前預習 (降低初始認知負荷)、課堂觀摩 (增強正確操作程序)，並配合現場實作與反思，建構出一個多元支持且階段性引導的教學模式，以同時兼顧技能掌握與認知負荷之調控。

2-2 人為錯誤

人為錯誤指作業進行中，在作業標準 (SOP)、品質標準 (SIP) 或標準文件 (制度) 要求之下，由於人員疏失造成設備財產損失或品質問題、作業延誤，也可能是由於人員教育訓練不足、技術不足、管理監督不週延、工作環境不適當等原因，導致品質、系統的異常或意外事故 (廖仁傑, 2003)。本研究中，學生在工藝機具操作過程中可能出現的失誤，即屬於此類人為錯誤範疇。然而，廖仁傑 (2003) 的定義雖然全面，但對於設計教育情境下，學生因認知發展階段、手眼協調能力差異或對機具原理解理解不足所導致的「學習性錯誤」與「操作性錯誤」之間的區分，仍有待進一步細化 (Dekker, 2014)。

Reason (1990) 在其著作《人為錯誤》中提出了錯誤分類的理論框架，將人為錯誤分為基於技能的滑失 (Skill-based Slips)、基於規則的錯誤 (Rule-based Mistakes) 和基於知識的錯誤 (Knowledge-based Mistakes) 三類。這一分類為理解學生在工藝機具操作中的錯誤類型提供了重要的理論基礎。在工藝教學中，初學者常見的錯誤多屬於基於技能的滑失和基於規則的錯誤，但儘管 Reason 的分類廣泛應用於工業安全領域，但其在教育情境下，如何將這些錯誤類型與具體的教學預防措施相連結，仍需進一步的實證研究 (Hollnagel, 2004)。另，Siewert & Hochman, (2015) 中強調有效的錯誤預防需要從系統設計、訓練方法和回饋機制等多個層面進行整合考慮。這一觀點為本研究的教學設計提供了重要指導，特別是在錯誤記錄與修正機制的構建方面。然而，Siewert 等人的研究主要聚焦於成人專業操作者，對於初學者在學習過程中因認知負荷、心理壓力等因素導致的錯誤，其預防策略的適用性仍需在教育情境下進行驗證 (Parasuraman & Wickens, 2008)。

Swain and Guttman (1983) 對造成人為錯誤之行為可能歸因於：(1) 在提供訊息時發生錯誤；(2) 在接收訊息時發生錯誤；(3) 在處理訊息時發生錯誤；(4) 在對訊息進行回應時發生錯誤；(5) 以上各種狀況之組合情形。由以上敘述可見人為疏失預防對教育訓練及設備（施）是非常重要的問題（夏太長，2007）。為有效預防學生在工藝機具操作中發生人為錯誤，本研究借鑒了 Swain & Guttman (1983) 及吳家潤 (1985) 提出的「對策的四個 E」：Education (教育), Engineering (工學上對策), Enforcement (強調), Example (範例)。這些策略，如「做給他看」（範例）、「講給他聽」（教育訓練）、「讓他試做」（鍛鍊身心及提高知識意識及感受性），以及「如不予賞識讚美，人不會動」（強調），均被整合至本研究的教學設計中，旨在從多方面降低學生操作失誤率。然而，儘管「四個 E」策略在工業安全領域被證明有效，但其在教育情境下，如何針對不同學習階段和錯誤類型進行精準應用，並評估其對學習成效的具體影響，仍是值得深入探討的研究方向 (Kletz, 1991)。

本研究將人為錯誤理論與工藝機具操作學習情境相結合，旨在探討如何透過創新的教學模式，有效預防和修正學生在操作過程中可能出現的錯誤。特別是針對初學者常見的技能性消失和規則性錯誤，本研究將引入視覺化示範與迭代反思機制，以期降低認知負荷，提升操作的正確性。

2-3 錄影分析相關文獻

Collins, A., & Halverson, R. (2009) 的研究中，每位拍攝者分享錄影資料，並可將自己的資料依特定主題分類於不同類屬之下，因此觀察者可比較同一類屬之下，不同攝影者之間的觀點。研究者分析比對不同錄影分析的結果，並與實際拍攝者進行訪談，發現透過彼此觀點的對照而互相交流。而且藉由分享彼此的不同觀點，教師與學生都能在教與學的策略上更有彈性，且更有創意地扮演自己的角色。然而，研究主要聚焦於教師專業發展中的反思性實踐，對於如何將錄影分析應用於學生技能學習過程中的錯誤診斷與即時回饋，仍有待進一步探討 (Sherin & van Es, 2009)。

近年來，錄影分析在教育研究領域的應用日漸普遍，且錄影分析已為教育研究中重要的技術之一。錄影分析的第一項問題是：為何要使用錄影紀錄做為研究工具？錄影紀錄所涵蓋的複雜內容和可重複觀看性為其重要特性，也使它不同於其他的紀錄工具，若妥善的使用，不僅可提供多方法、多領域的分析，避免自陳資料所產生的偏誤，更可協助教育研究者對所關心的現象有更深層的瞭解 (吳心楷 et al., 2010)。儘管吳心楷等人強調了錄影紀錄的優勢，但其在實際應用中，如何有效處理海量錄影數據、確保分析的客觀性與可靠性，以及如何將分析結果轉化為具體的教學措施，仍是錄影分析面臨的挑戰 (Derry et al., 2010)。

Zhang, Y. (2022) 的分析研究檢視了影片回饋對技能學習的影響，發現影片回饋能夠顯著提升學習者的技能表現，特別是在運動技能和職業技能領域。研究顯示，影片回饋的效果與影片品質、回饋時機和學習者特徵等因素密切相關。另，Gaudin 和 Chaliès (2015) 的研究進一步探討了影片在教師專業發展中的應用，發現基於影片的反思活動能夠促進教師的專業成長。這一發現對於本研究具有重要啟示，即影片分析不僅有助於學生學習，也能夠促進教師教學能力的提升。顏國樑和林佳蓉 (2018) 的研究則發現，在台灣的教學情境下，影

片分析需要考慮師生互動的文化特徵；此外，學生在面對攝影設備時可能會出現不自然的行為，這需要研究者在設計和實施階段予以充分考慮。近年來，隨著人工智慧與機器學習技術的發展，錄影分析已從傳統的人工編碼逐步轉向自動化行為識別與數據分析，這為大規模、精準地分析學生操作行為提供了新的可能性。

綜合上述相關文獻，不難發現若持續「做給他看」及「講給他聽」，資訊傳遞內容又須始終如一且正確無誤，運用錄影分析（享）法是一種有效的教學輔助手段。本研究即利用錄影分析技術，製作主視角教學影片，並記錄學生操作過程，以提供學生重複觀看與教師精準指導的依據，從而提升教學效率與學習成效。

2-4 灰色理論在教育評價中的創新應用

灰色理論由鄧聚龍 (1989) 提出，作為一種處理不確定性系統的數學方法，其核心在於通過有限樣本數據的生成與分析，揭示系統內部的潛在規律。近年來，國際學者開始關注灰色理論在教育評價中的潛在價值；此外，儘管灰色理論在工程、經濟等領域應用廣泛，但在教育評價領域的應用仍相對較少，尤其是在技能型學習成效的量化評估方面，其潛力尚未被充分挖掘 (Deng, 1989)。Liu 和 Lin (2006) 首次將灰色關聯分析應用於學生學習成效評價，發現該方法能夠有效處理多維度、多層次的評價問題。Kuo 等人 (2008) 的研究進一步發展了基於灰色理論的教育評價模型，將灰色關聯分析與模糊理論相結合，構建了一個更加穩健的評價框架。該研究在台灣的大學教育評鑑中得到應用，顯示出良好的實用性和有效性；然而儘管 Kuo 等人的研究主要聚焦於宏觀的教育評鑑，對於微觀層面，如學生個體操作技能的精準評價，其模型仍需進一步細化以適應複雜的實踐情境 (Liu & Lin, 2006)。Zhao 等人 (2010) 的研究專門探討了灰色理論在多評分者情境下的應用優勢。研究指出傳統的評分一致性檢驗方法往往無法有效處理評分者間的系統性差異，而灰色關聯分析能夠在保持個別評分者特徵的同時，生成更加客觀的綜合評價結果。該理論在教育評價中的創新應用體現於客觀化評價體系構建與多維度動態反饋兩方面，尤其適用於工藝機具操作這類依賴實踐技能、評價指標複雜的教學場景。另，灰色理論在教育領域的應用已獲得跨學科驗證。蘇永裕 (2004) 在產品設計評價中證實，該方法可顯著提升評分客觀性。本研究嘗試將灰色理論系統應用於工藝機具操作評價，通過「錄影記錄 - 數據生成 - 關聯分析」閉環，彌補了傳統評價在「實時性」與「科學性」上的不足，為設計教育評價提供另一評分參考模式。此外，灰色理論雖在處理不確定性數據方面具有優勢，但其在教育評價中的應用仍需注意評價指標的選擇與權重設定以確保評價結果的有效性與解釋力 (Li, C., & Sun, Z., 2024)。

灰色理論在教育評價領域的應用，為解決傳統評價方法的諸多困境提供了創新途徑。以下通過具體案例闡釋其在教育層面的實際成效。台灣科技大學附屬科技學院在技職教育實習環節運用灰色理論，解決實習評價主觀性強、難以量化實踐能力的問題 (陳柏宇, 2021)。以機械工程專業為例，針對三年級學生為期半年的企業實習，從操作技能、問題解決、團隊合作、職業素養四個層面設計 12 項評價指標。該案例中，評價數據整合、熵權法確定權重、灰色評價模型運用等步驟，為本研究在處理教師與業師群評分差異、提升作品評價客觀性方面提供了重要借鑒。本研究將灰色理論與熵權法引入工藝機具操作學習成效評價，旨在解決多評分者主觀性差異問題，並提供一套客觀、精準的評價工具，這將為設計教育領域的技能評價提供新的視角與方法。

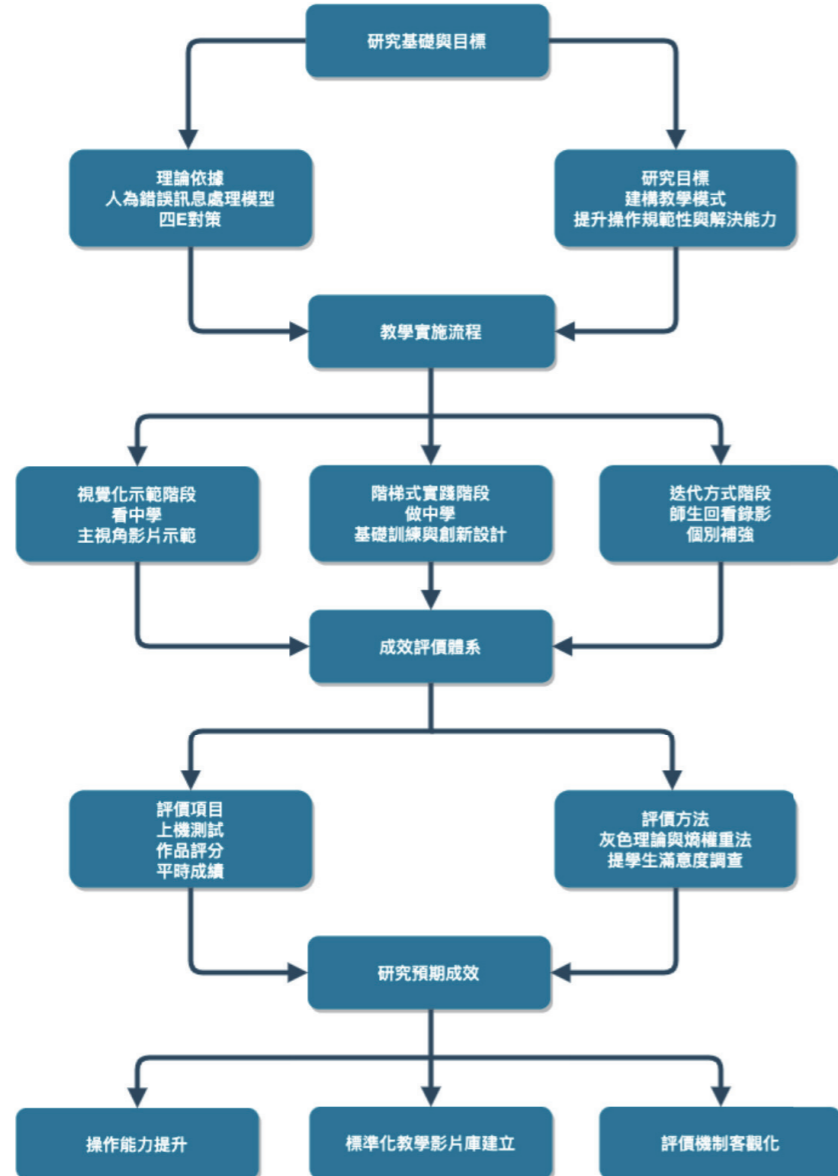
第三章 研究設計與方法

3-1 教學目標體系構建

本研究以實踐大學「模擬構成」課程為實證場域，基於「看中學」與「做中學」整合教學理念，構建「視覺化示範—階梯式實踐—迭代反思」的教學模式。研究架構如圖 1 所示，圍繞三維目標展開：

- (1) 知識傳輸：透過第一視角教學影片，拆解車床、銑床等加工機具的操作原理與標準流程；
- (2) 技能養成：設計「基礎訓練→階梯式工作項目→創新設計」三階段實踐任務，強化操作規範性與加工精度；
- (3) 素養發展：藉由頭戴式攝影記錄與評價，培養學生錯誤修正意識與問題解決能力。

圖 1 研究架構圖



3-2 教學方法

本課程概分兩階段，每週兩小時。第一階段課程以訓練學生「熟悉」各種加工母機及加工作業流程為主，使學生先瞭解材質、加工方式間之關係及其限制，訓練學生可獨立操作加工母機及達成加工精度需求的能力；第二階段以「解構再重組」為主，跳脫第一階段的標準加工藍圖，另自行設計設計作品藍圖，結合造形美學、材質及製程方法，與指導老師討論過加工流程後，製作獨一無二作品，呈現學習成果。另，教學實踐研究主要對象為實踐大學工業產品設計學系大學部一年級學生，約 70 人，為有助學習成效，課程分別由上、下學期實施（各個學期約 35 人），學生性別有生理男性及生理女性。另，目前執行之場域，會在校內實驗工廠等區域執行（圖 2）。

圖 2 實驗工廠等場域及機器配備



車床區

銑床區

木工區

真空成型機區

第一階段課程以「熟悉」各種加工母機及加工作業流程為主，「過往（對照組）」授課實施以講義與實際機具操作方式進行；相對的，「目前（實驗組）」計畫授課方式，如下說明：每週實作課程，在課程進行前 10 分鐘讓學生藉由手機進入 TronClass 系統內觀看實作影片，教師再針對影片之重點進行教學說明，隨之同學進行實驗操作；此外，並於學期中安排適當上機測驗及作業進度等，以瞭解學生學習成效；另，受測未能通過之同學，在補測期間為記錄學生詳細的操作流程與可能發生的錯誤，本研究採用了一款市售的頭戴式 4K 高解析度運動攝影機。該設備能以第一人稱視角進行錄影，其高畫質與防手震功能有助於後續的教學反思與錯誤分析，一邊執行機台操作動作，同時需要口述動作，將有助於後續從影音檔觀測出操作動作不正確之處，有助於改善機台操作學習上的困擾。此外，訂定各機具的操作評量表，以「車床機具操作評量表」為例（研究者自編），藉以評量受試學生在實驗教學各階段中的機具操作學習表現，評量項目依工作分析步驟區分，共有十項評分項目，如下：

1. 正確裝置刀具；
2. 正確開啟主軸方向（正轉或反轉）；
3. 正確運用游標卡尺及量測材料尺寸；
4. 正確運用刀具接觸材料，建立加工基準面；
5. 消除縱、橫向進刀螺桿間隙；
6. 加工進刀量的計算（加工尺寸轉化為機具加工刻度）；
7. 執行粗加工；
8. 執行精加工；
9. 修毛邊；
10. 再次以游標卡尺及量測材料尺寸；
11. 完成

第二階段以「解構再重組」為主，跳脫第一階段的標準加工藍圖（圖 3），另自行設計設計作品，結合造形美學、材質（金屬、木材與水泥等）及製程方式（結合金工、木工及真空成型等）並與授課老師討論過加工流程後，製作獨一無二作品，呈現學習成果如圖 4。

圖 3
燭台制式藍圖

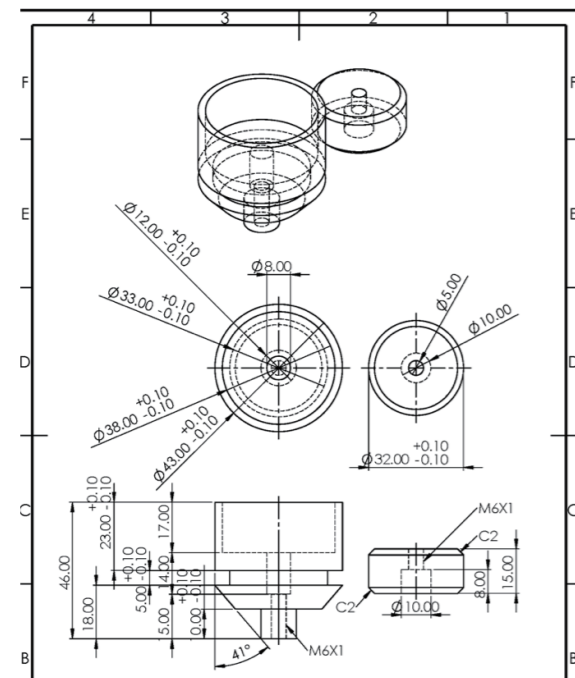


圖 4
期末作品（燭台）總評



3-3 成績考核方式

成績考核方式概分為三類項度評分：上機測試（40%）；作品一（25%）、作品二（25%）及平時成績（10%）。上機測試實施方法主要為提供指定工作藍圖，依據工作實施條件，參閱（表 3），在特定時間內完成。考核方式分別為：加工操作方法的正確性、加工精度與操作時間等。作品一（陀螺）評分考核方式有三（如圖 5）：陀螺本體可旋轉時間（愈久愈好）、靜態美學及動態美學；另，作品二（燭台）評分考核方式有二：作品加工精度及造形美學（如

圖 6)。另，在成績考核作品評分中，因為評分委員由來至教師群及業師群，評分者的喜好度及內心評分的量尺亦有所不同。評分區間有習慣用 A ~ F 區隔、Likert（5 或 7 級距）、0 ~ 10 以及 0 ~ 100 分數；另，有些評分者比較保守，分數間距較小；相對的，亦有些評分者分數間距的差異性較為顯著。故本研究運用灰色理論及熵權重 (Entropy Weighting) (蘇永裕, 2004; Liu & Han, 2005)，作為分數資料處理之量尺，其分析過程如下：

表 3
上機測試題型範例（車床：磨級桿）

Diameter: 40±0.10 mm	Rough Cutting Condition: 320 rpm
Length: 10±0.10 mm	Finish Cutting Condition: 1800 rpm

圖 5
作品一（陀螺）



圖 6
作品二（燭台）



步驟 1：灰關聯生成

序列群組間作灰關聯分析，所有序列間之因子須具無因次性（No dimension）、同等級性（Scaling）及同級性（Polarization），如序列間不具可比性，則須藉由灰關聯生成法將原始序列因子空間轉換為測度空間，形成比較序列。灰關聯生成有數種方法，本研究採線性數據法有下列三種型式：

(1) 望大型式：上限效果測度，希望目標愈大愈好。

$$HB: x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)}{\max x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)} \quad (1)$$

(2) 望小型式：下限效果測度，希望目標愈小愈好。

$$LB: x_i^*(k) = \frac{\max x_i^{(0)}(k) - x_i^{(0)}(k)}{\max x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)} \quad (2)$$

(3) 望目型式：佳中效果測度希望為某一特定目標值且目標值介於最大值與最小值之間，設目標值為 X_0 。

$$NB: x_i^*(k) = \frac{|x_i^{(0)}(k) - x_0(k)|}{\max |x_i^{(0)}(k) - x_0(k)|} \quad (3)$$

式中

$x_0(k)$: 參考序列; $x_i(k)$: 特定之比較序列; $x_i^*(k)$: 灰關聯生成後之數值 (用於後續關聯度計算)

步驟 2：賦予權重之灰關聯分析

每一品質特性的權重影響整個製程最佳化參數設定，本研究採較客觀之熵權重，求多重品質特性之權重分配：

(1) 求出序列中各屬性 (Attribute) 因子的總和。

$$D_k = \sum_{i=1}^m x_i(k) \quad (4)$$

(2) 求出正規化係數 (Normalization)

$$K = \frac{1}{0.6487 m} \quad ; m: \text{評分委員的人數} \quad (5)$$

(3) 求出屬性的熵

$$e_k = K \sum_{i=1}^m W_e(z_i); W_e(z_i) = z_i e^{(1-z_i)} + (1-z_i) e^{z_i} - 1; \text{ and } z_i = \frac{x_i(k)}{D_k} \quad (6)$$

(4) 求出熵的總值

$$E = \sum_{k=1}^n e_k \quad (7)$$

(5) 求出相對權重

$$\lambda_k = \frac{1}{m - E} |1 - e_k| \quad (8)$$

(6) 利用正規化法求出各個屬性的權重

$$\omega_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (9)$$

步驟 3：灰關聯度

灰關聯度的定義為在灰關聯空間中，兩個序列間的關聯度，公式如下所示，計算灰關聯度：

$$\Gamma_k = \frac{\Delta_{min} + \Delta_{max}}{\Delta'_j + \Delta_{max}} \quad (10)$$

式中

$\Delta_{min} = \min_j \in \min_k \|x_0(k) - x_j(k)\|$: 最小絕對差

$\Delta_{max} = \max_j \in \max_k \|x_0(k) - x_j(k)\|$: 最大絕對差

$\Delta'_j = \frac{1}{n} \sum \Delta_{0i}$: 平均絕對差

Γ_k : 值越接近 1，表示該成績數據越接近理想解

$x_0(k)$ 表示理想序列

$x_j(k)$ 表示比較序列

因為灰關聯度值 Γ_k 直接由 Δ'_j 中之 Δ_{0i} 的平均值求出，而 Δ_{max} 、 Δ_{min} 為常數，所以 Γ_k 及 Δ'_j 兩者係呈線性函數關係，故所求出的灰關聯度為計量值，不僅可得知各關聯度的排序大小，且各關聯度值為絕對值的關係；灰關聯度分析結果如表 4 所示。

表 4
灰關聯度分析

No.	Gray Relationship Generating			Gray Relational Analysis			Absolute value of the difference between sequences (Δ_{0i})	Gray Relational Grade	
	OB1	OB2	...OB4	Weighting via Gray coefficient				Γ_j	Rank
				W1	W2	...W4			
1									
2									
3									
--									
--									
N									

3-4 學習成效評量工具

學習成效成效評估方法來自於學生各步驟階段與課程整體的回饋，以及平時練習作業及期末設計作品整合成果的成熟度直接驗證。課程中第一階段以問題導向教學現場的互動，教師從學生所遇到的問題以及尋求解決方法的路徑，可以直接在課堂上或課後藉由對話，初步質性瞭解學習進程。第二是透過學期末的網路問卷調查，受測學生針對問卷中以李克特 (Likert) 量表設計的選擇題，以及若干個質化的問答題來回答，修課學生對於課程目標、內容與流程等，於修課前後進行差異性的比較與實質的改進建議；最後，統計各項學習內容與成果的相關程度，進行量化與質化分析與結論歸納。

第四章 研究結果與討論

4-1 從敘事到設計：教學過程與成果

學生創作作品 (圖 7) 的評分，因為評分委員由來至教師及業師，評分者的喜好度及內心評分的量尺亦有所不同。評分區間有習慣用 A ~ F 區隔、Likert (5 或 7 級距)、0 ~ 10 以及 0 ~ 100 分數；另，有些評分者比較保守，分數間距較小；相對的，亦有有些評分者分數間距的差異性較為顯著；因此，為求得評分的公平性，本研究選用灰色理論及熵權重，作為資料處理之依據，經由方程式 (1)~(10) 分析，因版面緣故，評分的部分結果，詳如表 5 所示。另，近 4 學期之敘述統計數據，如表 6 所示；及以之顯著水準，檢定近 4 學期之學習成績，是否有差異；分析結果顯示 4 學期間之單因子變異數分析如表 7 所示，其顯著性為 $0.06 >$ ，顯示 4 個學期之學習成績並無顯著差異，雖是如此，但 112 學期成績平均值仍高 111 學期成績，顯示本研究所採取的教學方法與工具仍是發揮應有的作用與價值。

圖 7
期末作品總評

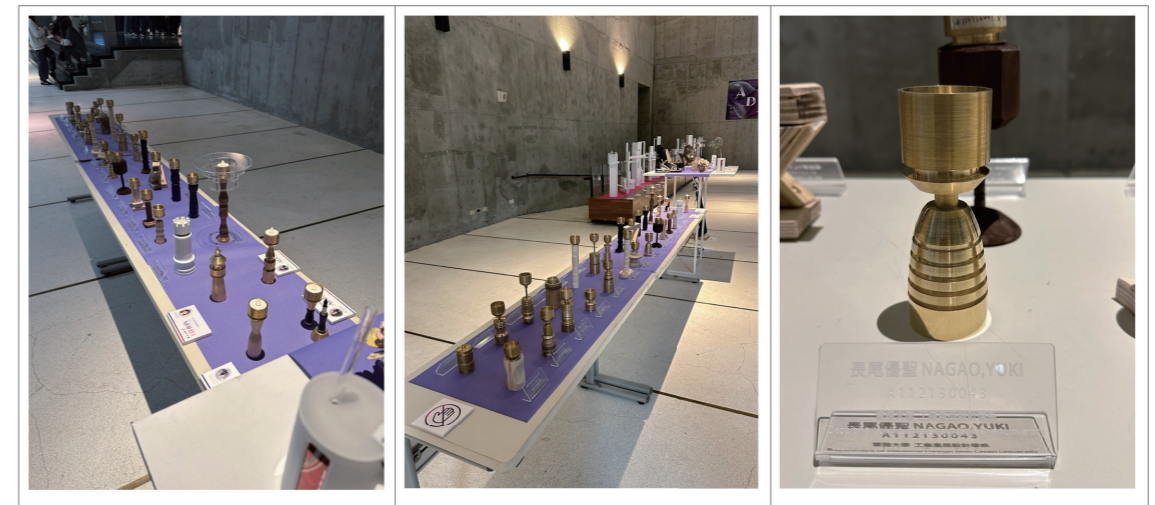


表 5
運用灰關聯度分析為創作作品評分過程

學號	Gray Relationship Generating			Gray Relational Analysis			Absolute value of the difference between sequences (Δ_{0i})			Gray Relational Grade $\Gamma_j * 100$ (得分)
	委員A	委員B	委員C	Weighting via Gray coefficient						
				委員A	委員B	委員C				
				0.330	0.338	0.332				
1	6	70	E+	0.264	0.254	0.221	0.066	0.085	0.111	79.5
2	7.5	80	D	0.330	0.338	0.277	0.000	0.000	0.055	94.8
3	6	70	C-	0.264	0.254	0.332	0.066	0.085	0.000	87.1
4	5.5	60	E+	0.242	0.169	0.221	0.088	0.169	0.111	73.4
5	7	70	C-	0.308	0.254	0.332	0.022	0.085	0.000	90.5
6	7	70	D	0.308	0.254	0.277	0.022	0.085	0.055	86.2
7	5.5	60	E+	0.242	0.169	0.221	0.088	0.169	0.111	73.4
8	5.5	60	E+	0.242	0.169	0.221	0.088	0.169	0.111	73.4
9	6	60	D	0.264	0.169	0.277	0.066	0.169	0.055	77.7
10	5.5	60	E+	0.242	0.169	0.221	0.088	0.169	0.111	73.4
11	5.5	60	E+	0.242	0.169	0.221	0.088	0.169	0.111	73.4
12	5.5	70	D	0.242	0.254	0.277	0.088	0.085	0.055	81.7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
21	5.5	60	E+	0.264	0.254	0.221	0.066	0.085	0.111	73.4
22	6	70	E+	0.286	0.254	0.221	0.044	0.085	0.111	79.5
23	6.5	70	E+	0.220	0.169	0.221	0.110	0.169	0.111	80.9
24	5	60	E+	0.242	0.254	0.221	0.088	0.085	0.111	72.2
25	5.5	70	E+	0.220	0.169	0.221	0.110	0.169	0.111	78.2

表 6
近 4 學期之敘述統計 (數據來源: 本課程自行整理)

學期	授課人數	平均值	標準差	標準誤	平均值的 95% 信賴區間		最小值	最大值
					下界	上界		
111上學期	28	53.36	26.68	5.04	43.02	63.71	0.00	80.00
111下學期	26	66.82	10.84	2.13	62.44	71.20	40.00	81.51
112上學期	33	61.86	21.47	3.74	54.25	69.48	0.00	82.02
112下學期	30	67.55	24.64	4.50	58.35	76.75	0.00	85.81
總計	117	62.39	22.38	2.07	58.29	66.49	0.00	85.81

表 7
近 4 學期之單因子變異數分析 (數據來源: 本課程自行整理)

學期成績	平方和	自由度	均方	F檢定	顯著性
群組之間	3598.17	3.00	1199.39	2.49	0.06
組內	54509.07	113.00	482.38		
總計	58107.24	116.00			

4-2 教師教學反思

目前實施教學過程中發現「外在」的影響因素為一學期的課程從 18 週濃縮成 17 週，且多半會碰到 1 或 2 次的國定假日的影響；另，「內在」因素為當授課課程若碰到其他產品設計課程評圖時，學生可能缺席，或是體力不濟無法專注學習；但此一課程之授課內容，有其難度與連貫性，一旦中斷，學生要自我學習有其困難性，故會影響教學成效與品質。教師如何補救部份同學因缺課學習力的不足或是自身運動神經（反應力）不足，是未來教學上仍有努力的空間。

4-3 學生學習回饋

教學過程後期實施學習問卷填答，課程問卷平均分數為 4.5（註記：採用 Likert 五點式評量尺度進行量表分析，1 分代表最差，5 分代表最好）。學生學習回饋量化分析，詳如表 8 所示；由表內顯示題目「我認為我已達成該課程所設定的目標與能力」，其平均值較他題為低且標準差較高。細察原因，有兩位同學在此題填答為 1 分，代表教師教學上仍有努力及改善的空間；另亦顯示學生學習階段有其困難性，或是自身理解能力的不足。此外，學生學習質化回饋，詳如表 9，回饋反應大致良好，但課程進度的緊湊性，呈現授課內容與進度仍有調整的空間。

表 8
學生學習回饋量化分析

題目	平均值	標準差
我在本科目出席情形	4.23	0.65
我對本科目投入的時間	4.12	0.68
我認為我已達成該課程所設定的目標與能力	4.06	0.82
我對本科目的興趣	4.66	0.58
教學進度安排完善循序漸進	4.57	0.78
課前準備充分對授課內容了解深入	4.60	0.52
對教學科目學有專精深具教學能力	4.62	0.43
教學鼓勵學生表達意見並樂於回答學生的問題	4.67	0.48
因材施教鼓勵創意與自我突破	4.58	0.53
教學能啟發學生的學習興趣	4.45	0.78
對學習成效的評量方式適切，且公平合理	4.58	0.56
透過本課程讓我感到滿意且有收穫	4.48	0.35

表 9
學生學習回饋質化分析

題目	學生回饋
請舉出本科目對你學習最有幫助的特點	<ul style="list-style-type: none"> 手做 認識到工廠的各個工作臺，也學習了很多，很棒 金工車床的使用 讓我更了解工廠 對工廠的機器更加熟悉了解 學會使用許多工廠器具與機器，能夠運用在作品及作業上。 讓我能熟練掌握工廠各個機器的操作方式 學會如何加工金屬 這堂課是整個學期比起創基更讓我有壓力與更有成就感的課程，每周分配的進度都很剛好不多不少，評分也很公正，老師的教法也非常吸引人，每次上課都很焦慮，不過和老師提問都得到解答，如果遇到問題老師也會試著幫忙，作業不簡單但也真的不難，只要認真地跟上老師的節奏都不會有大問題，是這學期最有收穫的一堂課，這學期也辛苦老師和助教學姊了。 學會金屬加工 如何操作機器更熟悉並且安全 教了很多小撇步 車床 銑床 工廠機器的操作學習有助於日後在工廠工作 如何安全的使用各項機具 知道工廠機器的使用方式 避免意外 不知道但我蠻喜歡這堂課，最有幫助可能是學會車床怎麼用吧
請舉出本科目最應該改進的地方	<ul style="list-style-type: none"> 助教講話太小聲! 無 教授的聲音常常被機器蓋過去，可能可以帶個麥克風什麼的
其他意見或建議事項	<ul style="list-style-type: none"> 無

4-4 建議與省思

在此計畫執行後所建立的工具操作影片，詳見網址（附錄 1），雖然建置完成，但擔心內容是否太過沉悶，無法引起學生學習動機與意願；另，因為接觸到從事 YouTuber 網紅工作的碩一研究生，發現若以網紅視角拍攝教學工具操作影片，對學生學習，是否更有成效，故又執行另一問卷，網址（附錄 2）；主要想分析以「傳統教師」和「網紅」視角拍攝機台加工操作影片，提高課程的教學成效是否有差異性。此一問卷結果進行成對樣本 t 檢定分析如下，敘述統計分析結果如表 10 所示；成對樣本 t 檢定分析結果如表 11 所示，雖然以「傳統教師」優於「網紅」視角拍攝機台加工操作影片，且具有顯著性【 p （雙尾） $<.001$ 】，推測源於學生對安全規範、標準操作及正確性需求更甚於趣味性。未來可探索以適度活潑元素輔助，但仍須維持專業嚴謹，回應實作課程之風險特性。

表 10
敘述統計分析

研究議題	平均值	樣本數	標準差	標準誤平均值
以「傳統教師」視角拍攝機台加工操作影片，能提高課程的教學成效。	4.41	22	0.67	0.14
以「網紅」視角拍攝機台加工操作影片，更能提高課程的教學成效	3.45	22	1.06	0.23

表 11
成對樣本 t 檢定分析

研究議題	平均值	標準差	t	df	p（雙尾）
以「傳統教師」視角 v.s. 「網紅」視角拍攝機台加工操作影片，能提高課程的教學成效是否有差異性？	0.96	1.13	3.95	21	$<.001$

第五章 結論

本研究以實踐大學工業產品設計學系「模擬構成」課程為探討對象，針對學生工藝機具操作學習成效不足的問題，探索「看中學」與「做中學」相結合的教學策略，通過主視角教學影片與實體操作的協同介入，系統檢驗其對學習成效的影響。研究結果與發現如下：

一、教學策略的實踐成效

(1) 學習成績的積極變化

對近 4 學期學生成績的統計分析顯示，雖單因子變異數分析未達顯著性差異（ $p=0.06 > 0.05$ ），

但 112 學期總平均成績（112 上學期 $M=61.86$ ，112 下學期 $M=67.55$ ）較 111 學期（111 上學期 $M=53.36$ ，111 下學期 $M=66.82$ ）呈現逐步上升趨勢。這一結果驗證了「課前視頻預習暨課上實體操作」模式的有效性，主視角教學影片幫助學生提前熟悉機台操作流程，減少了課堂操作的盲目性，尤其在車床階級桿加工等標準化工序中，學生操作規範性顯著提升。

(2) 學生認可度與參與體驗的提升

課程滿意度問卷顯示整體得分達 4.5（Likert 5 點量表），其中「教學影片輔理解操作流程」（ $M=4.6$ ， $SD=0.42$ ）和「實體操作強化技能掌握」（ $M=4.4$ ， $SD=0.51$ ）獲得最高認可。質化反饋顯示，學生認為可重複觀看的視頻資源彌補了機台數量不足、輪流操作時間短的缺陷；而補考時使用頭戴式攝影機錄製操作過程，通過師生共同回看分析失誤，增強了學習的針對性。

(3) 評價體系的客觀化改進

引入灰色理論與熵權重處理評分數據，有效平衡了教師與業師群評分標準的差異（表 9）。通過將主觀評分轉換為灰關聯度指標，不僅提升了作品評價的公平性，也為設計類課程實踐能力的量化評價提供了可行方法。

二、現有挑戰與改進方向

(1) 高階應用能力的薄弱環節

問卷顯示，學生在「獨立設計與製作複雜工藝作品」（ $M=3.8$ ， $SD=0.83$ ）和「靈活運用技能解決實際問題」（ $M=3.7$ ， $SD=0.79$ ）等指標上得分較低，反映出課程在從「模仿操作」到「創新應用」的轉化階段存在不足。這與課程進度緊湊（18 週濃縮為 17 週）、學生個體運動協調能力差異（如文組背景學生適應困難）等因素密切相關。

(2) 教學資源與實施條件的優化

儘管「傳統教師視角」影片在教學成效上顯著優於「網紅視角」（ $p < 0.001$ ），但未來仍建議增強視頻趣味性（如加入誤操作案例警示）。此外，課程時間因國定假日或與其他課程評圖衝突被壓縮，導致部分學生難以跟上連貫性學習，需優化課程時段與補救機制（如額外補習時段等）。

致謝

本研究承教育部教學實踐研究計畫 (PHA1121985) 與實踐大學專題研究計畫 (P3-2-114-05-0102) 經費補助，特此感謝。

參考文獻

- Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Prentice Hall.
- Collins, A., & Halverson, R. (2009). *Rethinking education in the age of technology: The digital revolution and schooling in America*. Teachers College Press.
- Dekker, S. (2014). *The field guide to understanding human error*. CRC Press.
- Deng, J. (1989). Introduction to grey system theory. *Journal of Grey System*, 1(1), 1-24.
- Derry, S. J., Pea, R. D., Barron, B., Engle, R. A., Erickson, F., Goldman, R., ... & Sherin, B. L. (2010). Conducting video research in the learning sciences: Guidance on issues and methods. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 3-53.
- Fenwick, T. J. (2003). *Learning through experience: Troubling orthodoxies and intersecting questions*. Krieger Publishing Company.
- Gaudin, C., & Chaliès, S. (2015). Video viewing in teacher education and professional development: A literature review. *Educational Research Review*, 16, 41-67.
- Hollnagel, E. (2004). *Barriers and accident prevention*. Ashgate Publishing, Ltd.
- Kletz, T. A. (1991). *An engineer's view of human error*. The Institution of Chemical Engineers.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2005). Learning styles and learning spaces: Enhancing experiential learning in higher education. *Academy of Management Learning & Education*, 4(2), 193-212.
- Kuo, Y. F., Chen, P. C., & Lin, Y. H. (2008). A grey-based evaluation model for university education. *Expert Systems with Applications*, 34(1), 162-170.
- Li, C., & Sun, Z. (2024). Evaluation of the Quality of Sustainable Entrepreneurship Education in Universities Based on the Grey Correlation Algorithm. *Journal of Information & Knowledge Management*, 23(03), 2450026. <https://doi.org/10.1142/S0219649224500266>
- Liu, S., & Lin, Y. (2006). *Grey systems: Theory and applications*. Springer.
- Marsh, H. W., & Mitchell, M. (2014). The effect of video feedback on skill learning: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 36(2), 188-202.
- Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M., & Jones, K. (2009). Evaluation of

- evidence-based practices in online learning: A meta-analysis and review of online learning studies. U.S. Department of Education, Office of Planning, Evaluation, and Policy Development.
- Parasuraman, R., & Wickens, C. D. (2008). Humans and automation: Use, misuse, disuse, and abuse. *Human Factors*, 50(3), 526-528.
 - Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341.
 - Reason, J. (1990). *Human error*. Cambridge University Press.
 - Schunk, D. H. (2020). *Learning theories: An educational perspective (8th ed.)*. Pearson.
 - Siewert, B., & Hochman, M. G. (2015). Improving Safety through Human Factors Engineering. *Radiographics*, 35(6), 1694-1705. <https://doi.org/10.1148/RG.2015150107>
 - Sherin, M. G., & van Es, E. A. (2009). Tracing the contributions of video clubs to teachers' professional learning. *Instructional Science*, 37(3), 277-293.
 - Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/S11423-019-09701-3>
 - Swain, A. D., & Guttman, H. E. (1983). *Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications*. U.S. Nuclear Regulatory Commission. (NUREG/CR-1278; SAND-80-0200).
 - Zhang, Y. (2022). Feedback for promoting motor skill learning in physical education: A trial sequential meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 15361. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215361>
 - Zhao, C., Li, Y., Luo, L., Zhao, Y., Liu, Y., & Wang, H. (2010). Application of Gray Relational Analysis for Course Evaluation. *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 1, 758-761. <https://doi.org/10.1109/ICICTA.2010.546>.
 - 吳心楷、宋曜廷、簡馨瑩 (2010)。錄影分析在教育研究的應用。教育科學研究期刊，55(4)，1-37。 [https://doi.org/10.6209/JORIES.2010.55\(4\).01](https://doi.org/10.6209/JORIES.2010.55(4).01)
 - 吳家潤 (1985)。人為錯誤與其防止方法。工業安全衛生，(54)，80-82。
 - 夏太長 (2007)。建構飛航系統人為錯誤定性模型。人因工程學刊，9(2)，1-10。 [https://doi.org/10.6273/JES.2007.9\(2\).01](https://doi.org/10.6273/JES.2007.9(2).01)
 - 張春興 (2013)。教育心理學：三化取向的理論與實踐 (重訂二版)。東華書局。
 - 陳嘉陽 (2019)。教育概論 (上冊)。教甄策略研究中心。
 - 陳柏宇 (2021)。灰色理論在技職教育實習評價之應用研究 [碩士論文，台灣科技大學]。台北市。
 - 鄧聚龍 (1989)。灰色系統基本方法。華中理工大學出版社。

34. 廖仁傑 (2003)。有關「人為錯誤」之探討。品質月刊, 39(11), 35-39。https://doi.org/10.29999/QM.200311.0007
35. 蘇永裕 (2004)。應用熵權重法與灰色理論於產品設計之研究〔碩士論文, 國立成功大學〕。台南市。
36. 顏國樑、林佳蓉 (2018)。影片分析在師資培育的應用：考量臺灣師生互動文化特性。臺灣教育評論月刊, 7(5), 142-148。

附錄

1. <https://www.youtube.com/playlist?list=PLny1twrtRT4rwphkCM5kJKSJ0IwxrUiBGL>
2. <https://www.surveycake.com/s/2V0xo>