



工程創造力與破框思維之系統性初探： 以一門工學院創意思維課程為例

曾正宜 洪瑞璇

摘 要

研究目的

本研究系統性的分析一門工學院「創意思維」課程中學生在做專案時，所面臨的環境、行為者以及歷程等三層面的框架，並在歷程層面裡進一步分析四種破框思維（建構思維、辯證思維、對比思維、探索思維）對於學生製做專題的影響，以此分析架構系統性地呈現創意思維之多元對反共構的本質，以作為未來相關課程設計的參考。

研究設計／方法／取徑

以課程中 21 名修課學生為研究對象，針對創意思維手冊、期末報告、期末訪談以及問卷等資料，以理論驅動編碼之主題分析為方法進行質性研究，並以問卷之描述性統計為輔助說明。

研究發現或結論

外在環境框架的意義乃由個人心智計算結果所賦予。個人解決強結構性問題的經驗在初期可能會侷限他們對解決弱結構性問題的

曾正宜，國立清華大學學習科學與科技研究所教授

電子郵件：jytzeng@mx.nthu.edu.tw

洪瑞璇，文化大學師資培育中心助理教授

電子郵件：hrx3@ulive.pccu.edu.tw

投稿日期：2020 年 10 月 16 日；修正日期：2021 年 1 月 6 日；接受日期：2021 年 11 月 28 日

嘗試意願。運用四種破框思維隨時擾動既有認知基模，能產生創造力所需之建設性張力。學生肯定工程教育中推動創意思維的價值。

研究原創性／價值

以三層面框架與歷程中的四種破框思維，系統性探討創造力多元對反共構思維的本質，為創造力教學相關研究首見的研究角度與分析架構。

教育政策建議或實務意涵

創造力的發展應以問題解決情境下，系統性思考多元或相對想法為趨動，而非僅靠情境抽離式活動來讓學生體驗想法操弄而已。

關鍵詞：工程教育、破框思維、創造力、建構思維、辯證思維、對比思維、探索思維



FRAME-BREAKING THINKING AND ENGINEERING CREATIVITY—A SYSTEMATIC INVESTIGATION ON AN INNOVATIVE THINKING CLASS IN THE SCHOOL OF ENGINEERING

Jeng-Yi Tzeng

Jui-Hsuan Hung

ABSTRACT

Purpose

In an “innovative thinking” class offered in the school of engineering, we systematically analyzed how frames manifested themselves at the layers of press, person, and process while students were working on projects. We further explored the influence that adopting four types of frame-breaking thinking—constructionist, dialectical, analogical, and exploratory thinking—might have on the way students conducted their projects. We proposed a framework systematically presenting the Janusian nature of innovative thinking, which could serve as an exemplar for designing innovation development courses for engineering students.

Design/methodology/approach

We conducted a qualitative study featuring theme analyses with theory-driven coding on data (including creative thinking manuals, term reports, and end-of-semester team interviews) collected from 21 students who took the class. We also administered a questionnaire to collect students’ opinions on the course and presented the results of their descriptive statistics.

Jeng-Yi Tzeng, Professor, National Tsing-Hua University, Institute of Learning Sciences and Technologies.

E-mail: jytzeng@mx.nthu.edu.tw

Jui-Hsuan Hung, Assistant Professor, Chinese Culture University, Center for Teacher Education.

E-mail: hrx3@ulive.pccu.edu.tw

Manuscript received: October 16, 2020; Modified: January 6, 2021; Accepted: November 28, 2021

Findings/results

Students' mental calculations determine the meanings of the frames from the external press. Personal experiences on well-structured problems could negatively influence the efficacy of solving ill-structured problems, at least at the beginning of the process. Using four types of frame-breaking thinking to perturb extant cognitive schema may produce the innovative tensions that breed creativity. In addition, descriptive statistics provide evidence for students' approvals on the course's methods and outcomes.

Originality/value

Exploring the nature of Janusian thinking in innovation by systematically investigating the nature of the three-layered frames and the impacts of the four types of frame-breaking thinking presents an analytical framework and a research angle new to the literature.

Suggestions/implications

Innovation development should be driven by systematic operations on diverse or opposing ideas in problem-solving situations rather than activities that manipulate ideas in context-free scenarios.

Keywords: engineering education, box-breaking thinking, creativity, constructionist thinking, dialectical thinking, analogical thinking, exploratory thinking

壹、前言

工程是一種以創意解決問題的專業（Burghardt, 1995; Mitchell, 1998），但工程教育與創造力斷離的現象卻非常普遍。近年來雖越來越多工程教育企圖融入創造力的教學，但諸如過度專精化的課程偏重基礎科學訓練而輕忽創意或設計相關態度與技能、追求「精準無誤」而與創意、模糊與彈性等精神扞格、以及教師與行政人員對創造力教學不夠了解而難以在課程或制度上進行系統性改革等原因，使得許多學生在課程中仍然幾乎體驗不到創造力的運用（Cropley, 2015a; Kazerounian & Foley, 2007）。除了導致大學生缺乏創造力，也成為產學供需落差的主要因素之一（Cropley, 2015b）。

一般而言，創造力可視為是一種「破框思維」的展現（Dingli, 2009）。目前常見創造力教學的方法是讓學生運用一些橫向思考的認知策略（如 de Bono, 1992），來突破思維慣性以產出新奇的點子。然而這種透過概念操弄的思維練習並不足以發展工程所需之創意問題解決的能力。一如 Sawyer（2006）所言，創造力並不同某種特定的心智活動，而是源自於一組複合的基本心智能力，經一段時間的努力，逐漸發展出許多迷你洞見，並組織而成一種融會於日常認知活動的覺醒心智（conscious mind）。從工程的角度而言，這種覺醒與洞見，源自一系列自我突破或思維破框，發生在問題解決情境中，個人或群體（下稱行為者）、創造歷程、以及環境等三因素持續性交互作用，以產出具備品質、有用性、以及新奇性等特質之產品的歷程與結果（Cropley & Cropley, 2010; Plucker, Beghetto, & Dow, 2004）。其中，行為者、環境與歷程的個別影響（見 Richards, 1999; Runco, 2007）與互動成效構建了解決問題的「創造力潛能」（creative potential）（Runco, 2007），而潛能則影響產品創造力展現的方式與程度。因此，在課室教學中如何藉由環境營造與歷程規劃來激發學生的創造力心智，以提升整體創造力潛能，是創造力教學最基本卻亟待深究的問題。目前雖已有許多以認知操弄來訓練創造力的工具與研究，但創造力活動如何促成思維的破框，或破什麼框，及其引發了什麼樣的心智活動等問題至今在文獻中仍是面貌模糊。

為了培養學生的工程創造力，北部某大學工學院所開設了一門「創意

思維」課程。在此課程中，教師跨域協作，嘗試運用四種破框思維引導學生在執行專案時突破自我思維侷限，以開發出兼具創意與實用性的產品。本研究以此課程為個案，進行多重資料分析來實現以下三個目標，並從中發展出一套有助於開發工程創造力思維的系統性觀點，作為規劃工程創造力課程的參考。

一、描繪本課程的設計理念與內涵，並對其所依據之理論進行深入探討。

二、探討專案執行中，學生在環境、行為者與歷程等層面所面臨的框架，以及破框思維的運用，並從創造力多元對反共構思維（Janusian thinking, Rothenberg, 1971）的本質探討有助於激發創意思維的機制。

三、探討此教學模式對於學生思考與執行專案方式的影響。

貳、批判性創意與框架

創造力在歷史上常從兩個不同的角度來詮釋，一是理性主義（Rationalism）—相信創造力是從人的意識、智力與理性思維所產生。另一是浪漫主義（Romanticism）—相信創造力產生從非理性與無意識狀態中跳躍而來，過度理性深思甚至可能會干擾創造力的產生（Sawyer, 2006）。二者看似相對，卻都是創造力不可或缺的基本要素。質言之，創造力與批判思維二者猶如行走之雙腳，是高品質思維之一體的兩面。批判思維主掌評量與判斷，而創意思維則主掌創造與生產（Haught-Tromp, 2017）。然而，批判思維不是謹守邏輯推導，而不考慮其他多樣方法。必須有創意地操弄嚴格的規範才能窺探新的秩序、方法、可能性或發掘更豐富的潛在問題（Onarheim, 2012）。同樣地，創造力也不只是隨心發想與任意製造，其產品往往必須在某種限制下達到某些標準才不致淪為無意義的標新立異（Hatchuel & Chen, 2017）。這種強調理性與感性二元特質的批判性創意（Titchen & McCormack, 2010），對發展工程所強調的功能性創意（functional creativity）有重要的意義。有創意的產品或點子除了要有新奇性之外，還必須有好品質與合適性（Kaufman & Sternberg, 2007）。由此觀之，新奇且有效之創意（Cropley & Cropley, 2010）的批判性始於對創

意發展之限制條件（即框架）的詮釋與突破。一如 Onarheim（2012）指出，了解限制與創造力之間複雜的關係對工程設計教育至關重要。然而，文獻一般皆較專注於創意的自由面而非限制面，不但對於限制如何影響創意的研究有限，對於創新與限制之間的關係也仍模糊不清（Hatchuel & Chen, 2017; Onarheim, 2012）。

根據 Onarheim（2012）的定義，設計限制是「管制設計者應當、需要、能夠或不可以做，以及產品應當、需要、能夠與不可以成為的外顯或內隱因素（頁324）」。由於工程設計常是在過度限制的情況下進行，與限制共舞便成為工程設計裡重要的素養（Stacey & Eckert, 2010）。Google 甚至將「創意愛限制（creativity loves constraints）」列為九條創新原則之一（Walker, 2011）。Haught-Tromp（2017）強調，限制能塑造與聚焦問題，並為挑戰提供更明確的目標。她的綠蛋與火腿假說（the green eggs and ham hypotheses）¹，以及關於儉約式創新（Radjou, et al., 2012）等相關研究皆指出，資源與條件上的限制會迫使人們放棄一般解決問題的模式，以新思維與重構知識來謀求能滿足限制條件的新解法。然而，限制也會阻礙創造力（Stokes, 2008）。Salter 與 Gann（2003）發現客戶偏好、公司規定、多案並行等限制條件所造成的時間壓力會阻礙創新設計的發展，而經由社會控制（如監督、評量的預期、契約式獎勵等）所設下的外部限制對於創造力也有負面影響（Haught-Tromp, 2017）。

綜上，要了解創造力破框思維的內涵需先了解所欲突破之框架的性質。上述由環境、行為者與歷程所形成的創造力潛能（Runco, 2007）便是創造力框架的主要來源。研究顯示，這些框架往往建構在過往知識之上（Konishi, et al., 2015），而這些知識則通常因具有包括外顯、正統性、惰性、以及已知等特質，使其意義、演化、運用與連結等價值受到限制。

一、外顯

所有學習皆同時涉及外顯與內隱知識（Cleeremans, et al., 2019），但學校中絕對偏重外顯知識的學習經驗（Reber, 1993）讓人們慣於從事單純

1 指 Dr. Seuss 的作者 Theodore Geisel 接受出版商的挑戰，以重複使用相同的 50 個（或更少的）字寫出暢銷的兒童讀物「綠蛋與火腿」。

思考外顯知識的認知活動，鮮少意識到每一外顯知識的學習皆源自某些認知所未及之內隱的覺知與判斷（Polanyi, 1969），而忽略以內隱知識啟發學習的機會。

二、正統性

人們所相信的真實（truth）未必是真知（Hawking & Mlodinow, 2011）。然而學校通常只教具主流地位，且有一套語言與辯證系統、研究與評價法則來維護其正統性的「正確知識」。這套維護正統性的真理遊戲（games of truth, Keller & Keller, 2011）不但簡化甚至改變概念本質，也使我们難以覺察這些知識與得知歷程如何遮蔽了其他方法、視角或知識面貌（de Sousa Santos, 2009）。

三、惰性

人們常無法將習得知識運用於教學場景之外，具有相同因果或結構關係的問題或情境中（Gentner, et al., 2009）。這種惰性知識（Whitehead, 1929）的現象，不管是因學習者缺乏後設認知能力、知識本身的結構缺陷、或知識的情境限定（Renkl, Mandl, & Gruber, 1996），不僅限縮學習的價值，也讓創造力所需的洞見失去重要的發想基礎（Jamrozik & Gentner, 2020）。

四、已知

Piaget（1964）指出學習以同化為本，以發展內部一致性基模為目標。此理念在教學上則反映在以結構性與脈絡化教學發展學生系統性認知之上。然而未來世界的多變複雜未必與此知識系統相容。若只重同化且固守既有認知系統，而無法突破「優化已知」思維與發展主動向未知提問及探求有可能顛覆已知的能力，則恐如許多殞落的企業一般，在力守競爭優勢的迷思中身陷過時與被淘汰的危機（Christensen, et al., 2008）。

Rothenberg（1971）指出創造力源自能同時整合性地構思與運用兩個或以上相對或相反的概念或影像。他以 Janusian thinking 來指稱創造力這種多元對反共構的思維本質。以此觀之，與上述四種既有知識之限制性特質（即認知框架）相對的便是內隱、對立、轉化與未知。這些兩兩相對觀點之間的結構性對反與共構，能產生創造力所需的建設性張力與創新張力

(Nag et al., 2003; Runco, 1994)，進而為破框思維提供所需的破壞性動能。

參、破框思維

一般課室教學與討論皆以外顯知識為主體，要突破外顯知識的框架，便需以強調做中學的建構思維（*constructionist thinking*, Papert, 1991）來促進顯性與隱性知識間的交映與調合。然而，對知識有多元面向的認識不表示就更接近真知，辯證思維（*dialectical thinking*, Basseches, 1984）對所知知識不斷以對立觀點予以證偽，是突破「正統」以追求更真之知的有力方法。但真確的知識仍需將時空境脈的特殊性納入考量才會成為「對」的知識。解決問題的關鍵在於能以最好的方法運用最適合的知識。透過對比思維（*analogical thinking*, Gentner, et al., 2009）比較相關案例，可突破既有知識的惰性，將過往的經驗轉化成解決目前或未來問題的洞見。最後，即使找出思考問題的最佳方法也不代表所思考的問題便是最關鍵的問題。透過探索思維（*exploratory thinking*, Malekpour et al., 2016）以不同方式持續向未知提問，尋找能顛覆已知的新思維，才能從更多元的視角與更深厚的見識中觸及更重要的問題。以下進一步分述這四種思維的內涵。

一、建構思維

Papert (1991) 的實做建構論強調「創造中學學習 *learning by making*」。他認為意義是由學習者透過適當且豐富地投入某一造物之創造歷程所創造出來的。這種行動歷程特別有助於學習者發展非口語表達的內隱或程序性知識 (Anderson, 1983)。他指出學習就像拼貼藝術 (*bricolage*)，透過將手中素材以不斷組構與再組構，協議與再協議的方式讓學習成果在創作的歷程中慢慢展開。拼貼藝術家將錯誤與校正視為製做歷程的一部分，而非一種失誤。目標對他們而言，不是作為事前規畫與控制的手段，而是在與環境及工具合作與冒險的歷程中，自然浮現的意義 (Turkle & Papert, 1991)。這些實做、試誤與體驗所產生的內隱知識，能在意外中為問題探索提供新啟示，並與外顯知識彼此檢驗相互鋪墊，逐漸提升思維的創意與高度。

在教學上，實做建構論強調透過讓學習者設計、製造及使用工具，

學習了解自己的知識狀態、思考問題與學習的特質，並在跨界學習中讓不同領域的學習得以相互支援，而達到統整性學習的效果（Harel & Papert, 1991; Kynigos, 2015）。目前這種強調修補與拼貼藝術式的實做學習對於高等教育而言仍常被視為過於悅趣導向而不夠專業，以致於以建構思維啟發創意的方法在高等教育中仍未受到應有的重視（Griffin, 2019; Sacristán, et al., 2018）。

二、辯證思維

Popper（1994）認為，所有知識都只是一種假說，「正確」只是暫時的狀態。我們藉由對知識不斷進行證成與證偽的循環，才能逐漸逼近真知。辯證思維便是不斷以反向論證突破「正統」所設下的規範，藉以顛覆以正確知識為最終答案的假象，而此歷程與提升創造力有密切相關（Yang & Wan, 2010）。辯證思維者不以靜態不變的屬性定義事物，而是將事物放在其演變的脈絡之中，從歷程、動態、及其與其他現象或所屬整體之間的關係來予以定義（Basseches, 1984）。於是他們隨時準備好要跳脫原有想法，投向相反或相對之新思維，並且認為觀點間存在衝突不是麻煩，而是值得追求與開發的機會（Benack, et al., 1989; Yan & Arlin, 1999）。所以辯證思維能解構習以為常的套裝概念，從對立觀點中掌握事物持續變化的本質，並能因應情境變化或問題限制而調整觀點，以便在整合的方向上找到突破對立的可能性（Benack, et al., 1989; Paletz & Peng, 2009）。

在實務上，善用辯證思維可協助團隊充分實現其所持有之多元資源的潛力，重點是在團隊決策製定的歷程中納入結構性衝突。透過運用辯證性探究（Jehn & Mannix, 2001）、魔鬼代言人、開放爭論與質問，或緩議對立想法（Harrison & Bramson, 1984）等策略，製造建設性的對立，增加不同想法與資訊之間的激盪與交流，以敦促決策者在兩種或多種不同想法之間找出融合的契機，進而提升決策表現（Guignard & Lubart, 2006; Jarupathirun & Zahedi, 2007）。

三、對比思維

知識學習的考驗在於當僅有少數甚至沒有線索時，仍能成功擷取並適當運用解決問題所需之過往知識或經驗。這種跨越情境的知識轉化是人類

認知的核心，而其中扮演關鍵角色的便是對比思維（Gentner, et al., 2009; Voskoglou & Salem, 2014）。它是在與新系統之間透過對比找出相似性結構，藉以將有用訊息在系統間遷移與轉化，並對此轉化之適用性進行評估的歷程（Vosniadou, 1995）。Gick 與 Holyoak（1980）的研究指出，透過結構性的對比，人們可以從不同內容但具相同結構的相關案例中，得到打破問題思考框架的洞見。換言之，它能有效打開單一知識的有限視野，擾動既有知識之認知惰性，以及拓展解決問題思維的角度（Vosniadou, 1995），因此具有提升創造力的效果（Cubukcu & Cetintahra, 2010）。

就實務而言，以過往案例為對比是產品設計與研發常用的策略。因「所有設計都是再設計」（Goel & Craw, 2006），從批判性地檢視相關前例之重要特質或成功要素，對映到目前待解問題或設計目標，再從中找出組合或變化設計元素以展現新設計表現之洞見，是設計慣用的實務，許多優秀的作品也是循此模式產生的（Watson & Perera, 1997）。此外，對比思維對於處理具有高度不確定，漏失資料，模糊目標，以及不易理解的變項等特質的弱結構性問題也很有用，例如工程領域常用它來預測與設計（Klein, 1987），投資者也用它來預測公司的未來（Gregan-Paxton & Cote, 2000）。換言之，對比思維不僅能從過去的案例對比現在的問題，也能從對比現有資料去預測不確定的未來。

四、探索思維

人們透過知識認識世界，但對世界的認識也因此被已知知識所框限（Riley & Shapiro, 1990）。探索思維設法將想法跳脫至問題或任務之原始限制之外（Lubart & Besançon, 2017），從不同方向開發有別於既定參照框架的另有或顛覆性觀點，藉此揭露某些以一般規畫方法無法看見的盲點（Malekpour, et al., 2016），目的在於拓展思考範圍以找出最佳判斷與決策（Lerner & Tetlock, 2003）。換言之，批判性地檢視自己認知的邊界，開放性地想像境外世界中的種種可能性，然後設法跨出邊界尋找這些可能性的意義，並在過程中累積對新觀點的想像與理解，藉此逐漸翻轉自己的認知，便是探索思維發展批判與創新的方式。

運用探索思維的一般教學通常會讓學習者在上課之前便先自行研讀教學內容，讓他們有機會與不同概念觀點或解題方法進行角力，體驗特

定主題的概念疆界，以及他們自己理解的侷限（DeCaro & Rittle-Johnson, 2012）。Njoo（1994）認為探索的實質內涵可包括（1）問題解決—在問題空間中，持續開發不同解答策略，藉以擾動個人的知識狀態，以促成想法的轉變；（2）發現學習—學習者憶測、分析或批判性檢視自我知識疆界，以刺探或發現待學的知識；以及（3）歸納學習—透過分類與釐清關係界定特定系統背後的運作法則，與對未知的最佳臆測等三面向。diSessa 等人（1995）則指出要讓教學發揮探索思維的效果，需要遵守尊重學習者的主體性、不限定特定學習路徑、肯定學習之多元成就表現、以及讓學習在妥善設計的環境裡自然發生等原則。

概凡知識的構成至少皆包括不同表徵、形構歷程、時空背景、與聯結網絡等面向。這些面向提供知識在既有狀態及其相對狀態之間不斷變化的發展方向與空間。破框思維便是跨越既有框限狀態，將相對端點拉在一起，在矛盾與衝突中共構出解決問題的新路徑，及下一波有待突破的新框架。這種建構與解構框架的循環構成了批判性創意的發展機制，也充份展現創造力多元對反共構思維的本質（Janusian thinking, Rothenberg, 1971），即在知識的多維面向裡，從各相反與相對觀點的對立中共構出突破知識現況的破口。這種多元對反之共構性可展現在思維歷程中，也可呈現於最終產品上。

這門「創意思維」課程引導學生在專案製做、發想、或陷入僵局的情況中，運用四種破框思維尋找解決問題的方法與專案突破的契機，進而影響產品開發的成果。本研究除了描繪這些方法的運用之外，也呈現這些方法對於學生在製做專案時思維開展的影響。從創造力多元對反共構思維的觀點，提供一套從框架與多面向破框來探討思維突破機制及其與思維變化之關聯性的分析架構，作為創造力教學系統性規劃的參考模式。

肆、研究方法

為了解學生執行專案時所面臨的限制框架，及以本課程的設計如何影響他們運用破框思維來解決問題，本研究蒐集與分析創意思維手冊（說明予後），期末成果報告等資料，並對修課學生進行小組焦點訪談，進而以

「理論驅動編碼」(Boyatzis, 1998)進行主題分析，以及填寫問卷，並以描述性統計呈現學生對於課程的整體感受。

一、課程介紹

「創意思維」課程是由工學院四個不同系所之五名資深教授協同授課。課程希望幫助學生「建立學習、創意和思辨的橋樑，以及培養跨領域團隊合作的能力(課程大綱)。」為達此目標，課程以小組合作製做專案為形式，訓練學生在解決問題的過程中運用破框思維來激發創造力。

(一) 課程內容

課程任務是開發一件創意產品，作為後續商品量化生產的雛型。課程提供基本材料費用，以及基本製做設備等相關資源。修課學生21名分為5組，由5位教師分別指導。表1為18週課程內容與創造力思維導入，其中有10週都是學生分組實做。評分項目包括口頭報告、書面報告、同儕互評、與創意思維手冊填寫等，由5位授課教師共同評比。本文中5組的指導教師與各組組員皆以化名稱代(表2)。

表1 課程進度與創造力思維導入

週次	主題	創造力思維導入與活動	參與人員
1	課程介紹、創意思維介紹	概述工程中創意/破框思維之運用，發創意思維手冊	程老師
2	工程領域一：專業與設計	辯證思維介紹	章老師
3	停課		
4	工程領域二：專業與設計	探索思維介紹	柳老師
5	工程領域三：專業與設計	建構思維介紹	汪老師
6	工程領域四：專業與設計	對比思維介紹	黎老師
7-9	分組實做、教師指導	討論、製做與四種思維運用	所有老師
10	期中報告	口頭報告	所有老師
11-17	分組實做、教師指導	討論、製做與四種思維運用	所有老師
18	期末成果報告	口頭報告、繳交書面報告與創意思維手冊、訪談、填問卷	所有老師、訪談者

表 2 各組組員、專案產品及指導教師

組別	組員	專案產品	指導教師
A	張因、張雲、張笠、張時、張研	黏貼式固定光源	章老師
B	劉沂、劉風、劉文、劉安	3D 客製化口罩	柳老師
C	陳洋、陳恩、陳志、陳實	防手抖手套	程老師
D	李喬、李景、李瑜、李思	自動翻譯機	黎老師
E	王尹、王熙、王晴、王詩	變形環保食器	汪老師

(二) 教學活動

本課程中教師運用四種破框思維引導學生思考專案製做的方法概述如下：

1. 建構思維：在動手做專案的過程中，學習「先思後行」與「先行後思」交替並用，彼此激盪的方法。一方面學習從規劃與分析中尋找實做方向，另一方面學習藉動手試做逐一檢驗規劃分析之可行性與限制，並從所產生的試誤樣品中覺察實做超脫想像之外所揭露的新可能性。在此循環對話中尋找突破性點子（即另闢蹊徑的嘗試性想法）及反應性點子（即解決問題的補救性想法），作為驅動自我修正與突破僵局的動力。
2. 辯證思維：引導學生將提案想法盡可能向最好與最壞之可能性推展，並指定魔鬼代言人蓄意構建對立觀點。從單一想法中產生正反分身論證，讓小組組員據以辯論，或相互挑戰，但以尋求對立之統整為目標，不斷激發專案進化的動力與改變的理由，藉以突破群體因彼此規約而形成之同質性思維的套路（group mind, Cooley, et al, 2017），以及跨越自證預言（Merton, 1968）的陷阱。
3. 對比思維：在構思專案產品時，先引導學生討論有興趣或有意義的主題，閱讀相關產品案例，並比較其特點、利基及關鍵成功或失敗因素，以此刺激發想。有初步產品開發的方向後，再透過與相關產品的對比，分析產品或問題情境之間的異同，並尋找可轉化為對產品開發有用的訊息或線索，或以具體概念為譬喻，提供思考細節的參考。藉此為專案產品發想與製做提供參照起始點，

以及可突破創新的思考重點與方向。

4. 探索思維：引導學生積極開發各種回答問題的角度，不斷將已接受的知識掛上問號來反思已知的意義與前提，並以提問、想像或批判等方式覺察與觸碰待釐清的不知。在此過程中嘗試歸納出秩序或法則，並大膽向不知提出猜測。積極記錄在專案中所面臨的各種問題、組員的提問、以及曾經浮現的發想，並對其處理或未處理的方式進行管理與定期追蹤。

為了落實上述四種思維的訓練，教師團隊設計了一本「創意思維手冊」（表3），除了介紹各概念與方法，也提供學習單協助各思維的訓練。製做手冊的目的有三。第一、作為教師引導各組執行專案的依據；第二、引導與提醒學生練習運用各種思維協助製做專案，並留下記錄；第三、要求學生即時記錄專案製做的歷程，而非製做後的回顧。此外，學生於期末也要完成一份成果報告，說明產品開發動機、設計與理念、研發歷程、調查與分析、產品前景、以及遭遇與待解難題等面向，並進行反思（表3）。

表3 創意思維手冊及期末成果報告撰寫重點

	手冊概念說明	手冊填寫項目	期末報告重點
專案綜述	專案介紹、PBL 理念、四種破框思維概述	選擇此產品的原因、目前已知與尚待探索問題。	開發此產品的原因、產品的創新性、功能性說明
建構思維	想法與實做之間相互引導與調適	實做進度與遭遇困難、突破性點子、反應性點子	設計圖、實做中遭遇的問題及解決
辯證思維	從單一想法製造對立分身以相互辯證	辯證歷程記錄，包括初始點子、修正/反對意見、衝突解決結果、後續修正/反對意見	問題解決歷程中嘗試過的想 法、及其修正與演變的歷程
對比思維	掌握案例關鍵資訊，與現況對比	向對比案例提出批判性與創意性提問、與產品的對比、或與某概念的譬喻	產品需求、相關產品比較、市場需求、前景分析
探索思維	深掘已知、多重解題法、發現問題，歸納整理	以「問題管理週誌」記錄多種解題法、未知、發想與提問之內容及處理方式，及其後續追蹤。	待解問題、預期問題、產品前景與可能性

（三）教學評量

本課程評量項目包括期末書面報告、創意思維手冊填寫、口頭報告、同儕評量以及指導教授評分。期末書面報告以及創意思維手冊填寫的評量

方式為由教師綜合考量產品價值（創新性與實用性）、製做困難度、遭遇問題與解決方式、記錄的詳實度與自我反思等項目後，進行專家評量（Baer & McKool, 2009）。口頭報告重點在於歷程與結果的表達與回應授課教師群的提問表現。同儕評量檢驗組員的貢獻度。最後由指導教師依小組成員和教師討論的參與品質與積極度來微調最後分數。

二、研究對象

修課學生包括 19 位工學院生，以及 2 位非工學院生，其中有 14 位男性與 7 位女性，除了一位大一之外其他都是大三大四的學生。為構建跨域共學環境，各組皆由兩個系以上的學生組成。他們了解本課程是新創課程，具有實驗性質，皆於期初簽署參與計畫的同意書。

三、資料蒐集

本研究蒐集的資料包括各小組的焦點訪談、問卷、創意思維手冊、以及各組的期末成果報告。第 18 週上課後由本文二位作者對五組修課學生進行半結構式焦點團體訪談。訪談時間每組約 40 分鐘。訪談大綱包括：產品發想與討論的歷程、教師引導的方式、對這種自由創做 / 實做專案式教學的看法、遭遇的困難與突破、修課收獲與建議。訪談並未針對四種思維提問，避免引導學生給出刻意配合的回答。訪談者皆是教育專業背景，對創造力教育有所涉獵，但皆未參與學期成績的評分，故不影響學生在訪談中的表達。

訪談結束後，學生移到另一間教室填寫問卷，以避免霍桑效應。問卷包括 6 題對於產品、教師引導、及課程感受的題目（6 點李特克量表，從非常同意—非常不同意），以及一題「對本課程的建議」之開放性問題。

四、資料分析

如前所述，創意產品是環境、行為者、以及歷程共構的結果（Plucker, et al., 2004），而它們也構成產品創意的潛在發展空間（Runco, 2007），故本研究依此作為框架研究的三層架構。本研究採「理論驅動編碼」（Boyatzis, 1998），希望從多元資料中整理出開發創意產品過程中，這三者所寓含的框架，及其如何限制或因而激發專案製做的創造力。首先，先將資料進行編號。訪談資料以訪談之題組（包括主要問題、相關追問及組

員回答)為編號單位，並註明題組中發言者的代名。手冊及成果報告則以頁碼來編號。後文中的各引文皆以此編號來標註。其次，在這些資料中找出與限制、促進或任何會影響專案製做歷程與成果有關的描述，針對其產生影響的原因或性質編予代碼(表4)。

表 4 資料類別、編號與代碼舉例

資料類別	編號	說明	代碼
訪談	訪談 A6	A 組訪談題組 6，小組意見	成績
	訪談 A6 張因	A 組訪談題組 6，張因發言	
創意思維手冊	手冊 D21	D 組手冊第 21 頁	嘗試
期末成果報告	報告 B10	B 組期末成果報告第 10 頁	理想 - 實際

再者，將代碼依影響的來源按環境、行為者、及歷程三大範疇分類，是為框架的三個層面。最後，針對歷程層面中的資料，進一步以四種破框思維(建構思維、辯證思維、對比思維及探索思維)為主軸，就其所反映的框架與展現的破框性質進行判斷與分類。最後再於各思維中依代碼歸納思維運用的情況。此外，將不符合此四主軸者歸類為「其他」，以盡量呈現資料的完整面貌，避免理論驅動編碼時，編碼未能充份反映資料內容的問題(Boyatzis, 1998)。

以上分析皆由二位訪談者分別進行，並在理論主軸下彼此檢視編碼與歸納的合理性與一致性，若有差異便討論到達成共識才得以定案。此外，三種資料來源以及各組學生發言資料也會進行交叉檢驗，以確保分析結果忠實反映學生真實想法與情況。最後，問卷資料則進行描述性統計分析，以呈現學生對於課程的整體感受。

伍、研究發現

以下依情境、行為者與歷程等三個層面說明學生在專案製做時所遭遇的框架，並在歷程層面中進一步以四種破框思維解析專案製做時解決問題及應變時思維的演變。

一、情境框架

情境框架指課程中來自時間、資源與評分方式等的外部限制。時間限制猶如高牆，在它面前只能配合變通而無法商量，但變通本身便是創意的展現。如 B 組的 3D 口罩便是因無法在時間之內做出可阻擋 PM2.5 且透氣度高的口罩而想到的變通方案（手冊 B23），組員們反而更喜歡這個點子（訪談 B9）。

實體資源（經費、實驗設備）與專業資源（可協助解決專業問題的人）的限制程度則依情況不盡相同。有些較難以克服，如缺乏高端設備或關鍵技術，有些則可以設法突破，如調動個人資源：

像這次要焊接東西，需要找一個電子實驗室，然後我們就到處借都借不到，最後我們自己買焊槍在家裡焊。（訪談 A7 張因）

相對的，專案依一組抽象的原則（如實用性，創意性）來評分，但因學生皆習慣在明確的規範中求高分，在模糊定義的評分與主題面前，便常倍感挫折：

因為實際上這門課還是要評分嘛，就是我們不知道評分老師想要什麼樣的創意。（訪談 A9 張雲）

自由到我們都沒有方向……我們不知道到底要怎樣的東西是符合他們的心意……就可能懷疑說，我們是要做一個很好的題目…還要做一個可以實現的題目。（訪談 A6 張因）

然而只有 C 組主動將評分標準問清楚²，也沒有任何組發展出「只要是好作品，老師應該就會喜歡」之自我評量標準。張因進一步指出這是因為「台灣的學生和教育體制就是這樣，就是你必須給我一個方向，我才能照你的方向去走。」（訪談 A9 張因）

在既缺乏對教師評量標準的掌握，又缺乏自己主動發展評量專案品質

2 於是只有 C 組以分析各種防抖方法與提出新設計提案，而非製造出完成品為首要專案目標。

標準之動機或能力的情況下，許多組只能在模糊的理想產品意象中發展專案，雖感到無助卻未積極設法改變。這反映出學生仍未突破答題模式的框架，只能無條件接受題目的設定後自行設法解題，而未真正「擁有」專案，或以理念主導專案發展的方向或自訂品評的標準。這也說明外部框架對於專案的限制，不在於其客觀的存在，而取決於個人對其詮釋的方式。將之視為無法克服的高牆，或可以跨越的障礙，自然會引發不同相應的嘗試行為，及創造力的展現。

二、行為者框架

製做專案時，首先感受到的往往是個人專業能力的不足。因缺乏相關經驗與足夠的專業訓練，專案任務看似艱鉅而高遠，學生的想像與行動常受限於自己較為低落的自我效能感（Bandura, 1997）。一如劉風說到：

一直在猶豫，不知道我到底可以做什麼，或什麼樣的程度是我做得出來的……發現很多技術層面的東西，就我想精進的東西，都太專業，遙不可及的感覺…就很猶豫。（訪談 B7 劉風）

這種低自我效能感可能與學生在過去一般課程中習慣解決結構性問題，而發展出對於嘗試的三種習慣有關：

1. 嘗試無用：「會答就不用嘗試，若不會，嘗試也沒用……有時就會直接跳過覺得困難的部分。」（訪談 C15 陳恩）
2. 無嘗試動機：「平常老師說你可以試，但因為『嘗試』又沒有什麼負擔跟風險，就覺得試或不試也沒什麼大不了。」（訪談 B8 劉風）
3. 單向嘗試：「常常我們在學一個東西，只會按照它的方式這麼理解，考慮問題都只會往單一方向思考。」（訪談 C14 陳洋）

這些習慣在面對弱結構性問題時，特別是在初期，會讓學生卻步，而採取較為保守的嘗試策略。「覺得時間與資源有限時，就通常就比較不會隨便亂試」（訪談 C15 陳志）。但隨著專案的進展，他們意識到若不嘗試便無法有效往前推展。「你就是必須嘗試，不然只會原地踏步…我覺得這是我學到的，就算失敗也沒有關係」（訪談 B8 劉風）。「就算看起來愚蠢的動作也有嘗試的可能性，許多發明都是在意外下產生的」（手冊

D21)。「重要的是要有嘗試失敗的勇氣，不害怕嘗試勇於執行，才能做出符合甚至超越目標的產品」(手冊 A14)。

從嘗試中，學生們逐漸找到解決問題的方法，甚至改變了面對挑戰的態度：

就是從我們自己專業上的東西，去找是否有一點是有關連的，然後可能從這個部份可以去解決某一部份的問題。遇到的問題，雖然可能無法都解決，但有解決到的部分就會有一點成就感。(訪談 B8 劉安)

做專案後……面對問題就會比較勇於去嘗試，就是直接去做。不一定知道有沒有用，但就會想到什麼就會嘗試一下。(訪談 C15 陳志)

面對困難時，就比較不會跳過它，就想說還是再想一下，努力一下這樣子。(訪談 C15 陳恩)

艱鉅挑戰容易讓人只看見困難而看不見自己克服困難的能力。過往經驗有時會令人自我懷疑導致裹足不前。要突破這種自我設限首先需要將注意力從經驗與挑戰間的落差移開，從小處與近處的嘗試中尋求突破。嘗試不必需經理性計算，非理性、直覺、甚至「看起來愚蠢」的嘗試往往能產生意外的結果。以非常規性的試探作為突破經驗模式、自我設限與嘗試習慣等心理框架的方法往往有助於創造新的可能性。

三、歷程框架

歷程框架展現在製做專案時，學生將原本素樸的想法轉變成產品的思維歷程。這種轉變可由下述四種思維來推動。

1. 建構思維：內隱或程序性知識常蘊涵於行動中 (Anderson, 1983)。在專案中，學生體會最深刻的感受之一，就是想法與實做之間龐大的落差。例如

想像的空間是無窮無盡且自由的，但要實際做出成品卻是困難重重，與想像間差了十萬八千里遠。(手冊 A14)

在最初概念發想時，總覺得想法只要合理就必能實現，不料等到進入實際製作階段，才知道理念與實際是有一段落差的，在每個階段都會遇到各式的難題。（報告 B10）

要突破想法的侷限，消解想法與實做間的落差，只有透過二者間持續的對話與彼此調適（Papert, 1991），才能將二者合而為一。一如陳實所言：

我們想出很多理論，然後對每一個理論都沒有真正很了解。就可能是太過於理想化，所以都沒有辦法真正看到它實際上的問題點在哪裡，需要做之後才會更了解。（訪談 C15 陳實）

一方面以想法引導實踐，如 E 組認為折疊式餐盒攜帶方便且清洗上較無死角，只要折疊得法，餐盒也可變身為水杯，可一具多用，便以開發出可折疊、環保、多功的食具為專案目標。另一方面，從實做中修正發想。E 組從一開始的長方形版本，逐漸刪減無用重疊的部分，後來增加卡榫、吸管等設計，最後的版本已與原先設計有很大的變化（報告 E4）。王熙提到，當遇到瓶頸時，「就一直折，一直折，然後一直互相反駁……就一直嘗試」（訪談 E17 王熙）。D 組的李景也指出：「與其在那邊紙上一直算，還不如趕快去試一試」（訪談 D13 李景）。李喬也同意：「其實可以不用先計算理論還是什麼，就 trial and error」（訪談 D13 李喬）。

想法與實做本為知識的不同表徵。二者間的隔閡，是專案推動所需克服的挑戰。不管是以認知啟動行動，或以行動啟發認知，皆是為了在相互趨動之中彼此融通於更理想的解決方案中。

2. 辯證思維：各組在專案執行的過程中，都會有不同想法間的競爭。如 A 組要做「城市版（酷炫）」或「鄉村版（太陽能充電）」的版本（手冊 A12），E 組的食物袋要「用鉤子卡住」還是「用靜電力吸附」（手冊 E35）等。辯證可在攻防各想法間的優劣時，揭露潛隱的盲點，彼此推翻與再造。

我們最有進展的時候都是在互相辯論中提想法的時候，進展最快，因為有時候你一個人在那邊看資料，空想的話，會有很多盲點，或者是你沒有想到的地方。（訪談 B13 劉沂）

思維會隨辯論過程的進行，不停的鞏固與翻新循環，以找出最大的利益。
(手冊 C35)

除了不同想法間的選擇需要辯證之外，對於單一想法也可透過辯證來檢驗其可行性。換言之，順向思考所忽略的問題或可能聯結的機會，往往可在逆向思考中發掘。刻意以對立觀點攪動思緒與思考方向常可撞擊出新見解。

老師有鼓勵我們用一種辯證的方法，就是說，有人有想法，然後老師就會叫其中幾個人說，那你們來試著推倒它這樣子。(訪談 C4 陳恩)

除了以魔鬼代言人刻意製造對立觀點之外，從相對立場重新定義問題的逆向思考常能觸動不同發想的角度。

平常我們想的都是做了可以幹嘛，但他們[老師]要我們反過來想，就是先想我們是為了什麼而做。(訪談 E9 王詩)

此外，辯證不僅能激發想法，更重要的是確認專案的價值。許多組皆對於他們的產品是否有開發的必要進行冗長的辯證。D 組從辯證中找出殘疾人士會需要這種產品協助他們翻書的價值，而 A 組則看到產品的未來性：

原本我也認為我們的產品不具有必要性……可是經過這場辯論後，我的想法改變為只要有人們的需求出現，產品的存在就有其價值……有許多創新產品出現之前，人們不會發現其實生活可以過得更加便利。(手冊 A26)

不論是不同選項間的比較、正／反或順／逆向思考的折衝，思維往往在相反或對立場的互搏中能被拉出最大的張力，讓人注意到被忽略的細節或斷裂的論理，進而激發出更多新的想法(鄧曉芒，1998)。極化相對立場能充份揭露各想法的優缺點，進而勾勒出更清晰的統合方向與逼出更大共構的能量，藉以催化更好解決之道的產生。

3. 對比思維：各組在決定開發某產品之前，都會先去找相關產品的案例資料，從中確定想法是否具有創新性。例如 E 組參考「折折杯」的案例時注意到：

為了能做到易折疊、重複摺疊下還能防漏，就必須做到夠薄、無接縫、一體成形。因此設計者選擇射出成型的方式製造。（手冊 E27）

A 組則將 light stick 與舞台燈對比後決定「設計一個控制源來控制多片 Light Stick，做成可以隨身帶著走的燈控」（報告 A8）。C 組則對比了 7 種防抖動機制與產品（包括外骨骼、卡榫、阻尼器等）後決定發展以「感測貼片」來防抖的手套（報告 C3）。

此外，也可從與不同概念的譬喻中對比出明確的細節與特質。例如 A 組將燈的黏貼片比喻為壁虎的腳藉以強調吸附力強又容易脫落（手冊 A13）。C 組以相機腳架的轉盤譬喻手段中增加旋轉阻力的設計，以強調在增加阻力的同時提高穩定性（手冊 C10）。

除了對比現有產品外，各組也嘗試與未來想像產品對比，以跳脫現況更深入思考產品的價值。例如

10 或 20 年後，照明設備可能將不再拘泥於形狀外觀，擴大結合建築與更高的科技，為一整體的設計。（手冊 A18）

3D 列印產業，未來將能夠讓口罩一體成形，減去繁瑣的過程。（手冊 B3）

未來摺疊概念將可廣泛運至其他產品上……可折疊食物容器也將節省許多食物廠商的倉儲與運送成本。（手冊 E27）

這些想像進一步激發出更多挑戰現況的問題。以 A 組為例，他們面向未來的挑戰問題是：「燈具需有固定外型嗎？可否屬於整體空間配置的一部分？燈具可否兼顧空間動線的流暢性？」（手冊 A17）。這些問題便引發了以下對專案的發想：

若燈具不具固定外型，便可把可撓性列入考慮，例如軟式燈殼，讓燈具具備機體流暢性結構的設計。（手冊 A17）

以既有事物為對比，可將對比物破框的經驗與智慧，作為專案構思的基礎與突破僵局的借力點，據以設定待開發與突破的新框架。以想像事物為對比，便是以想像的美好願景映照出現狀的短缺，可指出改變現狀的方

向，實踐批判性創意（Titchen & McCormack, 2010）。前者以過往經驗推動，後者以理想未來牽引，皆能引發現狀的突破。

4. 探索思維：有問題才能探索，有探索才能突破。然而，專業的問題需要有一定的專業力與敏覺力才能發現。當專業不足或未覺察到問題時，便需設法刺探翻攪已知知識，從不尋常的角度重新檢視知識之間被遮蔽的漏縫，藉此窺探新的知識景象。本研究中各小組所使用的策略包括：

（1）強迫想像：對某一概念強行聚焦，深入突破既有認知。

因為我們剛開始完全沒有方向，然後……老師提到口罩，我們就去想口罩還有什麼問題可以解決。（訪談 B4 劉安）

（2）奇思異想：以不合常規與理法的直覺，在慣性思維之外煽點奇想的火苗。

老師們很鼓勵我們直覺與胡思亂想。（訪談 C4 陳思）

……或故意丟一些不一定有關的想法，就想到什麼就說什麼，然後我們就可以一起討論說這不可行。（訪談 C4 陳洋）

有些想法是摸不太著邊的，但這不代表這些想法不好，我們反而時常能沿著這些想法的軌跡去延伸至另一個之前沒注意到的問題。（手冊 E38）

（3）自我批判：即在已知中探勘不知，以維持自我突破的動能。例如 A 組所提「產品如何擴大應用或增加功能以符合大眾需求」（手冊 A7），以及 C 組所提「如何在不影響效能的狀況下，將裝置最小化」（報告 C14）等問題，都是對現況提出即使目前還做不到但未來可以再突破的可能性。

驅動思考的不是答案而是問題（Elder & Paul, 2003）。將已知知識變成不知問題是啟動探索的關鍵，也是種將熟悉變陌生之激發創意重要的方法（Gordon, 1961）。在平衡穩定的知識狀態中擾動出不知的破口，便能製造出突破現況的契機。

5. 其他：除此之外，資料中尚呈現幾種足以影響專案製做方式的思維。首先是B組劉沂提到（過度）分工阻礙組員想法的交流。

我覺得……有一點太注重分工。資料你可以幾個人找，可是要提想法的時候，大家一起想會比較好。（訪談 B13 劉沂）

此外，劉安也提到雖然課程中鼓勵各組向各位教師尋求專業協助，但就這樣指派給我們一個教授時，我們就會變成有一點像侷限在（教授的）那個系的想法……然後就會變成我們跟其它系一樣沒有交流。（訪談 B14 劉安）

再者，D組在除錯時常面臨捉襟見肘的窘境，「常常想了一個方法解決問題，卻又出現下一個問題」，深陷除錯泥淖導致難以掌握專案的發展（手冊 D11）。而A組則認為不知應（如何）主動求知影響了專案能發展的程度：

身邊有許多唾手可及的資源可以利用卻毫不曉得，或者有許多基本常識是應該知曉卻疏於發現，常常處於被動學習的狀態，這樣是無法真的學習到東西的。不停地接納別人的灌輸自己卻不主動求知，這樣也無法出一個好專案。（手冊 A14）

這些因個人覺知力與動能不足而無法主動求知，因窮於應付眼前難題而難以掌握專案發展的全相，因未以理想模式合作而限制想法的交流，以及因無法跳脫教師 - 小組配對模式而限制專案視野開展等現象所涉及的框架，說明了在專案執行當下，運作中的認知與行為模式會產生一股內聚力，讓此模式越跑越順，卻因此形成隱微而難以跳脫的框架，往往需靠高度自覺與事後反省才能注意到其影響專案發展的效果。

四、問卷

整體而言，學生對於本課程持有正面評價。他們高度相信自己所製做的產品有創意（ $M=5.19$, $SD=1.03$ ），且值得繼續研發與量產（ $M=5.10$, $SD=1.09$ ）。他們同意與指導老師的互動對於看清問題與開拓思考方向很有幫助（ $M=4.24$, $SD=1.34$ ），而創意思維手冊也對於提升思維深度或廣度提供了一些有用的技巧（ $M=4.33$, $SD=1.16$ ）。最後，他們認為這次專

題很有挑戰性 ($M=4.52, SD=1.12$)，這種經驗讓他們更了解什麼是運用創意思維來解決工程問題 ($M=4.62, SD=1.12$)。在開放性問題中學生對課程的正向回饋主要包括喜歡課程注重新意思維訓練，以及跨系合作可彼此學習。建議則是關於希望前六週的課程可以更精簡，以留更多時間給實做、希望有更多資源的挹注、以及希望教師能提供更多產品製做方向的指引以及更明確的評量指標以協助各組提高製做效率等。

陸、討論

本文描述創意思維課程的規劃，並從環境、行為者與歷程等面向，探討專案執行中學生所面臨創造力思維的框架。此三面向看似不同，實則互為表裡。雖然包括時間、評分制度、製做環境等環境因素是專案製做時的客觀條件，不會因小組的努力而有所變化，但它們所形成框架的意義卻是由人們的心智模式 (Johnson-Laird, 1983) 所賦予的。這套心智模式是人們對外在世界所建構的認知表徵，是在製做專案時所運用的一套對於環境因素與專案規模及意義如何相互衝擊與平衡的心智計算，而其計算的結果才是決定環境因素將如何框限專案製做之方式與程度的關鍵。

事實上，學生在決定製做專案時便已針對可接受之壓力規模、結果、以及以現況 (包括個人能力、資源等) 達成目標之可行性等進行評估與計算。這些心智計算將決定要將外在框架視為限制，或是可以克服的條件。例如，是否該依課程大綱規劃在第七週才開始製做專案，或從第一週了解本課程進行方式之後便開始發想產品？是否能透過個人資源的挹注來改變現有資源限制的預設 (如 A 組)？或是否能與授課教師協商評分標準 (如 C 組)？

此外，因限制框架過大或過小都無助於創造力的激發，心智模式也用於計算框架的最理想規模。一如 Haught-Tromp (2017) 指出學習者會自我架設框架以激發創意，即學生會設法將框架調整到能產生最佳結果的大小。從專案製做方式 (如接受限制或改變安排)、製做態度 (如主動求知或被動交差)、產品選擇方式 (如可行性或創意性)、產品價值取向 (如解決真實問題、在既有產品中開發新價值，或反映個人關懷議題)、小組

運作模式（如分工或協作）等等都展現出各組在既有的課程設定與製做環境中，進一步選擇與調整出他們可以接受之框架性質與大小的方式，以便以此框架為努力的使力點，在與之抗衡的過程中逼出最好的結果。換言之，即使外在環境因素對各組的影響都一樣，但不同的心智計算會讓各組以不同軸心將專案轉向不同開展的路徑，並讓產品展現出不同的特質。於是，創造力破框思維的訓練便應始於建立對於外在框架之詮釋的自主性與企圖心，釐清框架真正框限與可超越或迴旋之處，尋求讓它成為創造力思維使力點的機會，而非不假思索地自限於框架所呈現之封閉性之內。

這種自我突破的企圖心與自主性是提升專案成果的關鍵推力，源自於不斷實驗的嘗試。然而，學生在解決強結構性問題時習慣追求單一正確答案的嘗試經驗並不適合遷移到解決弱結構問題的專案製做中。在看似艱鉅而模糊的專案面前，對與錯是相對概念。只要從近處與小處開始不斷嘗試便往往能有所收穫，終而能從不知所措與自我懷疑逐漸成長，直到「期末做出一個實品很感動」（訪談 D16 李思）的結果。

除此之外，本課程模式對於學生思考與執行專案方式的影響主要反映在歷程思維中，即在上述環境與個人因素所共構之認知框架下，針對某一特定製做問題的運思。因思維常受「外顯、正統性、惰性、已知」之現實狀態所框限，需與「內隱、對立、轉化、未知」等相對思維相互激盪，才能從中迸發破框的可能性與洞見。例如在建構思維中讓外顯知識向內隱知識尋求互補與調合；在辯證思維中以相反或相對觀點解構既有轄制思想的規範；在對比思維中從不同問題案例或情境尋求可轉化至現況或未來的洞見；以及在探索思維中以奇思異想與提問跳脫，向未知探索具顛覆性的新視野。這些在多元與對反中所營造的建設性與創新張力（Nag, et al., 2003; Runco, 1994）往往可在具內斂統整傾向之既有認知基模中（Piaget, 1964），擾動出新思維。

從本研究的訪談資料可看出，學生確實從這個專案製做過程中學到一些突破現況或僵局的思維方法。問卷結果也指出，學生對其所發展出的產品有信心，對教師的引導成效表示肯定，也藉此專案經驗更了解如何運用創意思維來解決工程問題，但希望能有更多實做時間、更多資源、以及更明確的教師指導與評量指標。值得思考的是，學生希望教師提供明確的指導與評量指標，卻未曾想過發展自己品味產品好壞的能力，多少反映出分

數至上之單一價值對於學生培養學習之能動性的限制。若習慣在框架中追求高分而未曾意識到發展破框視野與意圖的重要性，一旦框架被放大或移除時便會感到茫然而不知所措。學習如何在符合外在標準之餘也能發展自己的品味，實為創造獨特價值重要的自我修練。

柒、結語

創造力是想法與限制框架激盪的結果，二者看似相互衝突，實則彼此發展與相互成全。框架猶如拳擊的沙包，讓想法有施力的方向，並在著力撞擊後提供強化肌肉的回饋。就工程設計而言，從理念發想到實務執行、從權衡擇優到折衝突困、從經驗教訓到升級轉化、從固盤精練到前瞻遠眺等歷程無一不需不斷與限制共舞，並在一連串突破中逐次自我向上攀升，重塑下一個更強大的待褪外殼。為此，本課程突破許多一般課程中常見的框架，以深化創意思維教學的效果。例如：師生皆跨域，打破知識領域框架；自訂專題目標，打破教學中心框架；運用破框思維，打破活動式創意課程框架；重視思維歷程，打破結果取向的評量框架；以及強調模糊彈性等創意價值，打破專精化與科學技術訓練取向之工程教育價值框架。

誠然，本研究中的四種破框思維本可各別融入一般課程中，未必需要一起透過專案製做才能運用。然而，系統性地整合這四種破框思維及其對應之四種框架（與對立觀點）恰可以充份地體現創造力之多元對反共構思維（Rothenberg, 1971）的本質，以突顯創造力本應透過多面向而系統性地發展能同時持有與思考兩個或以上相反或相對概念的能力，而非依賴營造奇想體驗之個別零散的活動。然而，一個學期的時間似乎不足以充份地推動四種思維習慣的訓練。多位學生在訪談中表示，就課程效果而言，本課程宜以兩學期來規劃較為合適。再者，本研究主要分析學生的反應，若加上教師觀點應能對這四種破框思維有更全面的探討。此外，手冊雖要求學生每週即時填寫以反映實況，但因沒有查核機制，故多數組都是到期末才一併寫完。又若能有製做過程中更為即時的資料（如定期訪談），也應可以對這四種破框思維的運作提供更豐富而深入的理解。這些都是未來研究可進一步精緻化與深究之處。

參考文獻

- 鄧曉芒 (1998)。思辨的張力—黑格爾辯證法新探。湖南教育出版社。
- [Deng X. M. (1998). *The Chinese contemporary academic works of speculative - tension: A new exploration of Hegel's Dialectics*. Hunan Education Press.]
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Harvard University Press.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman and Company.
- Baer, J. & McKool, S. S. (2009). Assessing creativity using the consensual assessment technique. In C. S. Schreiner (Ed.), *Handbook of research on assessment technologies, methods, and applications in higher education* (pp. 65-77). IGI Global.
- Basseches, M. A. (1984). Dialectical thinking as a metasytematic form of cognitive organization. In M. L. Commons, F. A. Richards, & C. Armon (Eds.), *Beyond formal operations* (pp. 216-238). Praeger.
- Benack, S., Basseches, M., & Swan, T. (1989). Dialectical thinking and adult creativity. In J. A. Glover, R. R. Ronning, & C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity* (pp. 199-208). Plenum Press.
- Boyatzis, R. E. (1998). *Transforming qualitative information*. Sage Publications.
- Burghardt, M. D. (1995). *Introduction to the engineering profession* (2nd ed.). Addison Wesley.
- Christensen, C. M., Horn, M. B., & Johnson, C. W. (2008). *Disrupting class: How disruptive innovation will change the way the world learns*. McGraw Hill.
- Cleeremans, A., Allakhverdov, V., & Kuvaldina, M. (2019). Introduction. In A. Cleeremans, V. Allakhverdov, & M. Kuvaldina (Eds.), *Implicit learning-50 years on* (pp. 1-15). Routledge.
- Cooley, E., Payne, B. K., Cipolli, W., Cameron, C. D., Berger, A., & Gray, K. (2017). The paradox of group mind: "People in a group" have more mind than "a group of people". *Journal of Experimental Psychology: General*, 146(5), 691-699.
- Cropley, D. H. (2015a). Teaching engineers to think creatively: Barriers and challenges in STEM disciplines. In R. Wegerif, L. Li, & J. C. Kaufman (Eds.), *Handbook of research on teaching thinking* (pp. 402-410). Routledge.
- Cropley, D. H. (2015b). Promoting creativity and innovation in engineering education. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 9(2), 161-171.
- Cropley, D. & Cropley, A. (2010). Functional creativity: "Products" and the generation of effective novelty. In J. C. Kaufman & R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (pp. 301-317). Cambridge University Press.
- Cubukcu, E. & Cetintahra, G. E. (2010). Does analogical reasoning with visual clues affect novice and experienced design students' creativity? *Creativity Research Journal*, 22(3), 337-344. <https://doi.org/10.1080/10400419.2010.504656>
- de Bono, E. (1992). *Serious creativity: Using the power of lateral thinking to create new ideas*. HarperCollins.

- de Sousa Santos, B. (2009). A non-occidental west? Learned ignorance and ecology of knowledge. *Theory, Culture & Society*, 26(7-8), 103-125.
- DeCaro, M. S. & Rittle-Johnson, B. (2012). Exploring mathematics problems prepares children to learn from instruction. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(4), 552-568.
- Dingli, S. (2009). Thinking outside the box: Edward de Bono's lateral thinking. In T. Rickards, M. A. Runco, & S. Moger (Eds.), *The Routledge companion to creativity* (pp. 338-350). Routledge.
- diSessa, A. A., Hoyles, CV., Noss, R., & Edwards, L. (1995). Computers and exploratory learning: Setting the scene. In A. A. diSessa, C. Hoyles, R. Noss, & L. D. Edwards (Eds.), *Computers and exploratory learning* (pp. 1-14). Springer.
- Elder, L. & Paul, R. (2003). Critical thinking: Teaching students how to study and learn (Part IV). *Journal of Developmental Education* 27(2), 36-37.
- Gentner, D., Loewenstein, J., Thompson, L., & Forbus, K. D. (2009). Reviving inert knowledge: Analogical abstraction supports relational retrieval of past events. *Cognitive Science*, 33, 1343-1382.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Goel, A. K. & Craw, S. (2006). Design, innovation and case-based reasoning. *The Knowledge Engineering Review*, 20(3), 271-276.
- Gordon, W. J. J. (1961). *Synectics: The development of creative capacity*. Collier Books.
- Gregan-Paxton, J. & Cote, J. (2000). How do investors make predictions? Insights from analogical reasoning research. *Journal of Behavioral Decision Making*, 13, 307-327.
- Griffin J. M. (2019). Constructionism and de-constructionism: Opposite yet complementary pedagogies. *Constructivist Foundations*, 14(3), 234-243.
- Guignard, J. & Lubart, T. (2006). Is it reasonable to be creative? In J. C. Kaufman & J. Baer (Eds.), *Creativity and reason in cognitive development* (pp. 269-281). Cambridge.
- Harel, I. & Papert, S. (1991). Software design as a learning environment. In I. Harel & S. Papert (Eds.), *Constructionism* (pp. 41-84). The MIT Media Laboratory.
- Harrison, F. & Bramson, R. M. (1984). *The art of thinking*. Berkley Books.
- Hatchuel, A. & Chen, M. K. (2017). Creativity under strong constraints: The hidden influence of design models traduction. *European Review*. Cambridge University Press (CUP). <https://doi.org/10.1017/S1062798716000557>
- Haught-Tromp, C. (2017). The green eggs and ham hypothesis: How constraints facilitate creativity. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 11(1), 10-17.
- Hawking, S. & Mlodinow, L. (2011). *The grand design*. Bantam Books.
- Jamrozik, A. & Gentner, D. (2020). Relational labeling unlocks inert knowledge. *Cognition*, 196, 1-10.
- Jarupathirun, S. & Zahedi, F. M. (2007). Dialectic decision support systems: System design and empirical evaluation. *Decision Support Systems*, 43, 1553-1570.

- Jehn, K. A. & Mannix, E. A. (2001). The dynamic nature of conflict: A longitudinal study of intragroup conflict and group performance. *Academy of Management Journal*, 44(2), 238-251.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models*. Harvard University Press.
- Kaufman, J. C. & Sternberg, R. J. (2007). Resource review: Creativity. *Change*, 39, 55-58.
- Kazerounian, K. & Foley, S. (2007). Engineering education: A study of instructors and students perceptions. *Journal of Mechanical Design*, 129, 761-768.
- Keller, J. G. & Keller, D. B. (2011). Socrates, dialogue, and us: Ignorance as learning paradigm. In E. Malewski & N. Jaramillo (Eds.), *Epistemologies of ignorance in education* (pp. 87-104). Information Age.
- Klein, G. A. (1987). Application of analogical reasoning. *Metaphor and Symbolic Activity*, 2(3), 201-218.
- Konishi, M., McLaren, D. G., Engen, H., & Smallwood, J. (2015). Shaped by the Past: The default mode network supports cognition that is independent of immediate perceptual input. *PLOS ONE* 10(6): e0132209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132209>
- Kynigos, C. (2015). Constructionism: Theory of learning or theory of design? In Cho S. (Ed.), *Selected regular lectures from the 12th international congress on mathematical education* (pp. 417-438). Springer, Cham.
- Lerner, J. S. & Tetlock, P. E. (2003). Bridging individual, interpersonal, and institutional approaches to judgment and decision making: The impact of accountability on cognitive bias. In S. L. Schneider & J. Shanteau (Eds.), *Emerging perspectives on judgment and decision research* (pp. 432-457). Cambridge University Press.
- Lubart, T. & Besançon, M. (2017). On the measurement and dismeasurement of creativity. In R. A. Beghett & B. Sriraman (Eds.), *Creative contradictions in education: Cross disciplinary paradoxes and perspectives* (pp. 333-348). Springer International Publishing.
- Malekpour, S., de Haan, F. J., & Brown, R. R. (2016). A methodology to enable exploratory thinking in strategic planning. *Technological Forecasting & Social Change*, 105, 192-202.
- Merton, R. K. (1968). *Social theory and social structure*. The Free Press.
- Mitchell, C. A. (1998). Creativity is about being free. *European Journal of Engineering Education*, 23, 23-34.
- Nag, R., Corley, K. G., & Gioia, D. A. (2003). Innovation tensions: Chaos, structure, and managed chaos. In L. C. Shavinina (Ed.), *The international handbook on innovation* (pp. 607-617). Elsevier Ltd.
- Njoo, M. K. H. (1994). *Exploratory learning with a computer simulation: Learning processes and instructional support*. Technische Universiteit Eindhoven.
- Onarheim, B. (2012). Creativity from constraints in engineering design: Lessons learned at Coloplast. *Journal of Engineering Design*, 23(4), 323-336.

- Paletz, S. B. F. & Peng, K. (2009). Problem finding and contradiction: Examining the relationship between naive dialectical thinking, ethnicity, and creativity. *Creativity Research Journal*, 21(2-3), 139-151.
- Papert, S. (1991). Situating constructionism. In I. Harel & S. Papert (Eds.), *Constructionism* (pp. 1-12). The MIT Media Laboratory.
- Piaget, J. (1964). Development and learning. In R. E. Ripple & V. N. Rockcastle (Eds.), *Piaget rediscovered* (pp. 7-20). Cornell University Press.
- Plucker, J. A., Beghetto, R. A., & Dow, G. (2004). Why isn't creativity more important to educational psychologists? Potential, pitfalls, and future directions in creativity research. *Educational Psychologist*, 39, 83-96.
- Polanyi, M. (1969). Sense-giving and sense-reading. In M. Grene (Ed.), *Knowing and being: Essays by Michael Polanyi* (pp. 181-207). University of Chicago Press.
- Popper, K. R. (1994). *Objective knowledge-An evolutionary approach*. Clarendon Press.
- Radjou, N. Prabhu, J., & Ahuja, S. (2012). *Jugaad innovation: Think frugal, be flexible, generate breakthrough growth*. John Wiley & Sons.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge: An essay on the cognitive unconscious*. Oxford University Press.
- Renkl, A., Mandl, H., & Gruber, H. (1996). Inert knowledge: Analyses and remedies. *Educational Psychologist*, 31(2), 115-121.
- Richards, R. (1999). Four Ps of creativity. In M.A. Runco & S. Pritzker (Eds.), *Encyclopedia of creativity* (p. 733-742). Academic Press.
- Riley, J. D. & Shapiro, J. (1990). Overreliance on prior knowledge in reading comprehension. *The Clearing House*, 64(2), 119-123.
- Rothenberg, A. (1971). The process of Janusian thinking in creativity. *Archives of General Psychiatry*, 24 (3) 195-205.
- Runco, M. A. (1994). Conclusions concerning problem finding problem solving and creativity. In M. A. Runco (Ed.), *Problem finding, problem solving, and creativity* (pp. 271-290). Ablex Publishing Corporation.
- Runco, M. A. (2007). *Creativity: Theories and themes: Research, development, and practice*. Academic Press.
- Sacristán A. S., Baafi R. A. K, Sabin M., & Kamiskiene L. (2018). Constructionism in upper secondary and tertiary levels. In V. Dagienė & T. Jasutė (Eds.), *Proceedings of the constructionism 2018 conference* (pp.925-939).
- Salter, A. & Gann, D. (2003). Sources of ideas for innovation in engineering design. *Research Policy*, 32(8), 1309-1324.
- Sawyer, R. K. (2006). *Explaining creativity: The science of human innovation*. Oxford University Press.
- Stacey, M. & Eckert, C. (2010). Reshaping the box: Creative designing as constraint management. *International Journal of Product Development*, 11(3-4), 241-255.
- Stokes, P. D. (2008). Creativity from constraints: What can we learn from Motherwell? From Modrian? From Klee? *The Journal of Creative Behavior*, 42(4), 223-236.

- Titchen, A. & McCormack, B. (2010). Dancing with stones: Critical creativity as methodology for human flourishing. *Educational Action Research*, 18(4), 531-554.
- Turkle, S. & Papert, S. (1991). Epistemological pluralism and the revaluation of the concrete. In I. Harel & S. Papert (Eds.), *Constructionism* (pp. 161-191). The MIT Media Laboratory.
- Voskoglou, M. G. & Salem, A. M. (2014). Analogy-based and case-based reasoning: Two sides of the same coin. *International Journal of Applications of Fuzzy Sets and Artificial Intelligence*, 4, 5-51.
- Vosniadou, S. (1995). Analogical reasoning in cognitive development. *Metaphor and Symbolic Activity*, 10(4), 297-308.
- Walker, A. (2011). Creativity loves constraints: The paradox of Google's twenty percent time. *Ephemera: Theory & Politics in Organization*, 11(4), 369-386.
- Watson, I. & Perera, R. S. (1997). Case-based design: A review and analysis of building design applications. *Journal of Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 11(1), 59-87.
- Whitehead, A. N. (1929). *The aims of education*. Macmillan.
- Yan, B. & Arlin, P. (1999). Dialectical thinking: Implications for creative thinking. In M. A. Runco & S. R. Pritzker (Eds.), *Encyclopedia of creativity* (pp.547-552). Academic Press.
- Yang, C. C. & Wan, C. S. (2010). Dialectical thinking and creativity among young adults: A postformal operations perspective. *Psychological Reports*, 106(1), 79-92.

