

融合工程美學與智慧科技：澳門初中「橋樑設計與智慧監測」 STEAM 課程之

深度教學研究

Fusion of Engineering Aesthetics and Smart Technology: An In-depth Teaching Study of the "Bridge Design and Smart Monitoring" STEAM Course for Junior Secondary Education in Macau

黎亮 1, 簡錦豪 2

1 澳門萊農子弟學校

2 澳門萊農子弟學校

*sai@office365.choinong.edu.mo

kankamhou@gmail.com

【摘要】 為響應全球跨學科教育趨勢與澳門智慧城市願景，本研究剖析針對初中二年級設計的「橋樑設計與智慧監測」課程。該課程創新構建「實體—虛擬—實體—智慧化」（PVPS）教學迴路，有機融合 3D 打印、結構模擬軟體、葡式瓷磚畫美學與 AI 識別技術。研究依據澳門《基本學力要求》，深入探討鷹架式教學如何引導學生從單一技能習得邁向複雜問題解決。結果顯示，課程不僅有效提升了學生的工程素養與運算思維，更藉由 C-STEAM 模式強化了對澳門中西合璧文化的認同。文末提出關於課程迭代、評量優化及跨校推廣之具體建議，作為澳門 STEAM 教育在地化實踐的實證參考。

【關鍵字】 融合；工程美學；智慧科技；澳門初中；深度教學研究

Abstract: Responding to the global shift towards Transdisciplinary Integration and Macau's "Smart City" vision, this study analyzes the "Bridge Design and Smart Monitoring" curriculum for Junior Secondary 2 students. The course innovatively employs a "Physical-Virtual-Physical-Smart" (PVPS) teaching loop, integrating 3D printing, Bridge Designer 2016, mathematical scaling, Portuguese Azulejos, and AI technology. Grounded in Macau's "Requirements of Basic Academic Attainments" (BAA), the study examines how instructional scaffolding guides students from basic skill acquisition to complex problem-solving. Findings indicate that the curriculum effectively enhances engineering literacy and computational thinking, while the "C-STEAM" model reinforces identification with Macau's unique cultural GCCCE2026 heritage. The report concludes with recommendations for curriculum iteration and promotion, offering an empirical framework for localized STEAM education in Macau. Keywords: Integrating, Engineering Aesthetics, Smart Technology, Macau Junior Secondary Schools, Deep Teaching Research heritage. The report concludes with recommendations for curriculum iteration and promotion, offering an empirical framework for localized STEAM education in Macau.

Keywords: Integrating, Engineering Aesthetics, Smart Technology, Macau Junior Secondary Schools, Deep Teaching Research

1. 緒論：教育變革下的課程定位

1.1. 研究背景：從 STEM 到 C-STEAM 的演進

在工業 4.0 與人工智能迅速發展的時代背景下，傳統的分科教學已難以滿足未來人才對複雜問題解決能力的需求。STEM 教育應運而生，強調學科間的整合應用。然而，早期的 STEM 實踐往往忽視了人文藝術與在地文化的連結，導致工程教育流於技術訓練。

澳門作為粵港澳大灣區的重要節點，擁有獨特的「中葡文化交融」歷史背景。教育及青年發展局在《非高等教育中長期規劃（2021-2030）》中明確指出，需加強創意與科技教育，同時培養學生的家國情懷與國際視野。本「橋樑設計與智慧監測」課程正是在此背景下開發，試圖在工程邏輯中注入美學靈魂，在現代科技中傳承歷史記憶。

1.2. 研究目的與意義

本研究旨在透過對該課程教案的深度文本分析與教學反思，達成以下目的：

解析教學邏輯：解構課程如何利用不同技術工具（3D 筆、模擬軟體、IoT 感測器）搭建學習階梯。

驗證基力對應：檢視課程內容是否精確覆蓋澳門初中資訊科技、自然科學及視覺藝術的《基本學力要求》。

評估實施成效：基於教學反思，分析學生的學習難點與迷思概念。

推廣應用價值：探討該課程模式在培養學生「工程思維」與「文化自信」方面的雙重價值。

1.3. 研究範圍與限制

本研究主要依據課程設計及相關文獻進行分析。研究範圍涵蓋教學目標設定、教材分析、學情分析、教學過程設計及教學反思。

2. 文獻探討與理論框架

2.1. 建構主義與實作學習 (Constructionism & Hands-on Learning)

本課程深受 Seymour Papert 建構主義理論的影響，主張學習發生在學生主動建構可視化成品的過程中。從 3D 打印筆製作立體向日葵到搭建實體橋樑模型，學生並非被動接收知識，而是透過「製造」來具象化抽象的物理概念（如張力與壓力）。研究顯示，這種「從做中學」的模式能顯著提升學生對工程概念的理解。

2.2. 模擬式學習 (Simulation-Based Learning) 在工程教育的應用

在進入實體建造前，課程引入 Bridge Designer 2016 軟體進行虛擬設計。文獻指出，工程模擬軟體能提供低成本、低風險的試錯環境，允許學生進行多次迭代，這在傳統實體實驗中因材料成本高昂而難以實現。軟體中的即時反饋（如紅色代表受拉斷裂、藍色代表受壓崩潰）是培養學生數據驅動決策能力的關鍵。

2.3. C-STEAM：文化傳承與科技創新的融合

在進入實體 C-STEAM (Culture-based STEAM) 強調將當地文化遺產融入科技教育。澳門的葡式瓷磚畫 (Azulejos) 不僅是裝飾，更是幾何學與歷史敘事的載體。將葡式瓷磚畫的圖案設計納入橋樑裝飾，使學生在運用數學幾何知識（等分、切線）的同時，重新審視城市景觀中的文化符號，實現了 STEAM 教育各要素（科學、技術、工程、藝術、數學）彼此之間的影響關係。

2.4. 結構健康監測 (SHM) 與物聯網教育

現代土木工程已從單純的建造轉向全生命週期的維護管理。結構健康監測利用感測器實時監控結構狀態。將這一前沿工程概念引入初中課堂，利用掌控板（ESP32）進行編程教學，將由傳感器得到振動數據採集與分析，是極具前瞻性的教學嘗試，有效縮短了基礎教育與工程實務的距離。

3.課程架構與教學設計分析

本課程共分為三大模組，邏輯嚴密，層層遞進，形成了一個完整的工程專案生命週期。

3.1. 課程總體架構表

階段	模組名稱	模組名稱	模組名稱	模組名稱	模組名稱
第一階段	基礎與原型 (Lessons 1.1-1.2)	3D 筆操作、向日葵製作、簡易橋墩搭建	3D 筆操作、向日葵製作、簡易橋墩搭建	物理、工藝	A-11, B-6
第二階段	虛擬工程設計 (Lesson 1.3)	電腦模擬造橋、成本優化、受力分析	物理、資訊、數學	物理、資訊、數學	A-17, B-6, C-4
第三階段	實體轉化與美學 (Lessons 2.1-2.3)	比例縮放計算、工程製圖、葡式窗花設計	計算機、繪圖工具	數學、視覺藝術	B-2, D-6
第四階段	智慧監測與 AI (Lessons 3.1-3.2)	振動數據採集、AI 車流識別、閾值編程	掌控板 (ESP32)、HuskyLens	資訊、科學、AI	A-10, B-7, D-7
第五階段 (Lesson 3.3)	評估與反思	成果展示、同儕互評、數據分享	掌控板 (ESP32)、HuskyLens	資訊、科學、AI	C-5, D-5

分享

3.2. 3D 打印筆的基礎操作與安全規範（實體感知期）

本模組旨在引導學生建立工程結構的空間感知與材料直覺，作為後續虛擬設計與智慧監測學習的基礎。課程設計以「實作先於理論」為原則，透過立體構形活動，使學生在操作中初步理解構件組合、材料特性與受力概念。

教學活動聚焦於三個層面：其一，學生透過立體製作活動，體驗平面設計轉化為三維結構的過程，逐步建立「構件化」的工程思維；其二，藉由跨距限制與材料使用約束的任務設計，引導學生觀察結構在重力作用下的變形現象，促發對張力與壓力差異的認知需求；其三，透過失敗經驗與同儕比較，培養學生對結構穩定性與形式選擇之間關係的初步判斷能力（圖 1）及（圖 2）。

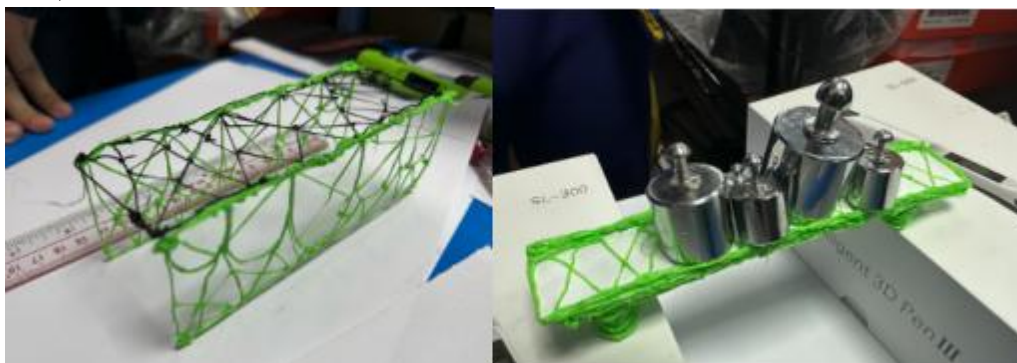


圖 1

圖 2

教學反思顯示，學生在早期實作中容易忽略材料厚度與連接方式對整體穩定性的影響顯示其對材料物理特性的直觀理解仍有不足。然而，正是此類可觀察的結構失效經驗，有效激發學生對後續工程模擬與理論分析的學習動機，為進入虛擬工程設計階段奠定認知基礎。

3.3. 研究範圍與限制：Bridge Designer 2016 的工程模擬

教學目標解析：此階段進入嚴謹的工程模擬。學生需在軟體中完成42 米人行橋的設計，並滿足成本（小於\$180,000）與安全（通過卡車載重測試）雙重約束。

運算思維（A-17, B-6）：學生必須理解「建檔八步曲」的邏輯順序，這實際上是工程專案管理的雛形。

批判性思維：軟體測試後的「紅藍色帶」是核心教學點。紅色代表拉力，藍色代表壓力。教案反思中提到 1/3 學生誤判藍色為拉斷，這揭示了學生對「材料受壓潰縮」概念的陌生，需透過物理模型（如擠壓海綿）輔助教學。（圖 3）

迭代優化：學生不僅要讓橋不垮，還要「更便宜」。這引入了工程經濟學概念，迫使學生在材料強度（如高強度鋼 vs 碳鋼）與成本之間進行權衡（Trade-off）。



圖 3

3.4. 數學轉化與文化植入（實體建構期）

3.4.1. 比例縮放的數學應用

教學目標解析：這是一堂典型的 STEM 數學課。將真實的西灣大橋（長2200m）縮小至模型尺寸。（圖 4）

核心技能：計算縮放比例 $r = \text{模型長度} / \text{實際長度}$ 。教案設定 $r = 1:200 = 0.005$ 。

易錯點分析：教案反思指出學生常混淆單位（m 與 mm）。這反映了學生在處理數量級時的薄弱環節。教學中強調「先換算單位，再計算比例」是關鍵的鷹架策略。

3.4.2. 工程製圖與規範

教學目標解析：學生需繪製四視圖（主、側、俯、剖面）。這不僅是美術繪畫，而是工程語言的表達。

嚴謹性：要求在 38.6 cm x 14.3 cm 的限定框內落圖，訓練學生對邊界條件的遵守。

3.4.3. 葡式窗花的文化設計

教學目標解析：本節課是 C-STEAM 的核心。

文化知識：識別葡式窗花的三要素：拱頂、百葉、彩磚對稱色塊。這不僅是審美，更是幾何學在建築上的應用（對稱、陣列）。

幾何技能：在拱形曲面上進行「六等分」並繪製「垂直切線」。這是高難度的幾何作圖應用，要求學生理解圓的切線性質。

美學價值：透過此設計，學生將一座通用的工程結構轉化為具有「澳門靈魂」的地標建築。（圖5）



圖 4



圖 5

3.5. 第四模組：智慧監測與人工智能（智慧升級期）

3.5.1. 橋樑振動安全檢測

教學目標解析：利用掌控板（ESP32）進行結構健康監測（SHM）。

物理概念：引入 P 波與 S 波概念，解釋振動傳播。介紹加速度公式 $\Delta a = \sqrt{ax^2 + ay^2 + az^2}$ 。這是高中物理向量合成的初中先修應用。（圖 6）

數據科學：學生需在橋樑不同位置（中跨、1/4 跨、橋墩）採樣，尋找最大振幅點。這是科學探究方法論的實踐。

編程邏輯（B-7）：編寫程式讀取加速度計數值，並設定閾值觸發警報（LED/蜂鳴器）。這實現了從「感知」到「反饋」的閉環控制。

3.5.2. HuskyLens 二哈板車流識別

教學目標解析：引入 AI 視覺識別技術，模擬智慧交通管理。

AI 原理：講解人臉或物體識別的四步驟：偵測、對齊、編碼、匹配。

技術實作：訓練 HuskyLens 識別特定車輛（圖 6），並與掌控板聯動。

社會影響（D-7）：討論 AI 監控在保障橋樑安全（如超載偵測）與隱私權之間的平衡。

4.課程與澳門基本學力要求（BAA）之對應分析

4.1. 資訊科技 (Information Technology) BAA 對應表

代碼	具體要求內容	課程對應活動	達成度分析
A-11	結合程式設計工具，理解演算法、流程圖等概念。	編寫振動監測與警報觸發的程式邏輯（If-Then-Else）。	高度達成：學生需繪製流程圖並轉化為積木程式。
B-6	結合程式設計工具，理解演算法、流程圖等概念。 設計實現簡單數字系統，體驗 IoT、大數據與 AI 關係。 運用 IT 資源開展跨學科自主、合作學習。	使用 Bridge Designer 進行橋樑結構建模與壓力測試。 結合掌控板感測器（IoT）與 HuskyLens（AI）構建監測系統。 小組合作利用網絡搜索橋樑資料，結合物理數學知識解決問題。	高度達成：軟體模擬提供了專業的數位設計體驗。 高度達成：完整覆蓋了數據獲取、處理與反饋控制。
B-7			中度達成：需加強資料搜索與篩選的指導。

C-4			
D-5	批判性地審視和運用資訊科技。	分析模擬軟體的測試報告; 討論 AI 識別的準確性與限制 AI 倫理的深度討論。	中度達成: 可增加關於 AI 倫理的深度討論。
A-17	認識 IT 支援下的多元學習方式。	體驗從實體手作到電腦模擬再到 AI 輔助的混合學習模式。	高度達成: 課程結構本身即體現了多元學習模式。

4.2. 自然科學與視覺藝術 BAA 對應表

學科	代碼	要求內容	要求內容
自然科學	B-3-7	識別重力、摩擦力、彈力等常見力。	透過 3D 筆橋樑的載重測試, 直觀感受重力與結構反力。
自然科學	A-2-3	學習通過觀察、實驗獲取證據。	振動監測實驗中, 對比不同位置的數據以確定最佳傳感器安裝點。
視覺藝術	IA-3	認識澳門的歷史文物與藝術文化。	學習葡式瓷磚畫 (Azulejos) 的歷史背景與圖案特徵。
視覺藝術	IB-5	應用視覺元素與設計原理進行創作。	在橋樑拱面上應用對稱、重複等設計原理繪製窗花。

5. 教學成效與深度反思

5.1. 「紅藍」迷思與工程直覺的建立

在 Bridge Designer 教學中, 學生將藍色 (受壓) 誤認為拉斷。這不僅是顏色記憶錯誤, 更反映了學生缺乏對材料力學屬性的直觀認知。

深度洞察: 學生容易理解「拉斷」(像拉斷橡皮筋), 但難以想像堅硬的鋼鐵會因為「受壓」而毀壞 (Buckling/屈曲)。

改進建議: 引入物理教具, 例如用力擠壓一根長尺使其彎曲, 演示「受壓導致形變與崩潰」的過程, 幫助學生建立正確的物理直覺。

5.2. 數學轉化的斷層

在比例縮放環節, 將 2200 公尺誤認為 2200 毫米的錯誤顯示學生在數學抽象符號與物理實體之間存在認知斷層。

深度洞察: 學生習慣於課本上的無單位運算, 一旦進入工程情境, 對數量級缺乏敏感度。

改進建議: 採用「參照物教學法」, 例如「2200 米等於多少個操場?」, 先建立量感, 再進行運算。

5.3. 科技與文化的有機結合

Azulejos 的設計環節是課程的亮點。它打破了 STEM 課程「重理輕文」的刻板印象。

成效分析: 學生不僅學習了幾何作圖, 更在繪製過程中理解了澳門建築「中西共融」的特點。這種情感連結能顯著提升學生的學習投入度。

未來展望: 可進一步引入 AR 技術, 讓學生透過手機掃描自己設計的橋樑, 看到虛擬的 Azulejos 貼圖效果。

5.4. AI 教學的黑盒困境

雖然 HuskyLens 簡化了 AI 操作, 但在教學反思中提到學生對「演算法細節」理解困難。

深度洞察: 過度封裝的 AI 工具雖然易用, 但可能導致學生只知其然不知其所以然。

改進建議：增加「不插電運算思維」（Unplugged Computing）活動，用卡片遊戲模擬神經網絡的權重調整過程，幫助學生理解 AI 是如何「學習」特徵的。

6. 結論

「橋樑設計與智慧監測」課程成功地將傳統工藝（3D 筆）、專業模擬（Bridge Designer）、數學應用（比例尺）、文化美學與前沿科技整合於一體。它不僅符合澳門 BAA 的多項要求，更體現了 OECD 2030 教育學習框架中強調的「創造新價值」與「協調矛盾」的能力。

該課程證明了，在初中階段進行高強度的跨學科專題研習是可行的。透過精心的鷹架設計（如將複雜的橋樑拆解為構件、將 AI 簡化為模組），學生能夠在不同學科知識間自由切換，展現出驚人的創造力與解決問題的能力。

參考文獻

- 王蘊盈、魏冰（2023）.基於 OECD 教育 2030 理念檢視澳門初中自然科學課程.澳門大學。 https://cms.um.edu.mo/wp-content/uploads/2024/01/2023_108_%E5%9F%BA%E6%96%BC-OECD-%E6%95%99%E8%82%B2-2030-%E7%90%86%E5%BF%B5%E6%AA%A2%E8%A6%96%E6%BE%B3%E9%96%80%E5%88%9D%E4%B8%AD%E8%87%AA%E7%84%B6%E7%A7%91%E5%AD%B8%E8%AA%B2%E7%A8%8B.pdf
- 教育及青年發展局（2017b）.初中教育階段藝術基本學力要求（附件十三）.澳門特別行政區政府。 [https://www.dsedj.gov.mo/crdc/edu/BAA_junior/despsasc-56-2017-anexo_xiii\(I\)_eng.pdf](https://www.dsedj.gov.mo/crdc/edu/BAA_junior/despsasc-56-2017-anexo_xiii(I)_eng.pdf)
- 教育及青年發展局（2021）.澳門特別行政區非高等教育中長期規劃（2021-2030）.澳門特別行政區政府。