

一堂 STEAM 教育課的設計、實踐與反思： 仿生與敬天

向天屏 唐小為 王志勝 朱永海

[摘要] 本研究經由質性研究的過程，探究如何設計適合澳門小學生學習的 STEAM 教育課程。研究者先藉由文獻探討，釐清 STEAM 課程設計理念，再根據學生的特質與教學時間的限制，設計一堂 STEAM 教育課的內容與教學的方法。本文通過教學實踐與反思，對 STEAM 教育的發展提出以下建議：（1）鼓勵教師跨界合作，發展問題導向的 STEAM 教育課程；（2）預留足夠的課時與規劃縱向銜接的 STEAM 教育課程；（3）修訂澳門小學常識與藝術基本學力要求；（4）從中華傳統文化出發，探究美學在 STEAM 教育中主導與現身的各種形式；（5）通過學科內的教學革新，培養超學科學習所需的能力。

[關鍵詞] STEAM STEM 仿生術 教學設計 項目式學習 教學革新

一、研究動機與待答問題

為了增加就業機會、促進產業升級、帶動經濟發展，邁入 21 世紀後，世界多國都在推動 STEM 教育，冀望能從娃娃抓起，培育科技人才，並且發展學生的解決問題能力、溝通能力、批判思考能力與創造性思考力。^①

STEAM 教育理念則是由一位工程與技術教師 Georgette Yakman 在 2006 年提出的。比起將視覺藝術與設計元素加入 STEM 教育，Yakman 更關注“是誰”以及“為何”推動 STEM 教育。^②曾任職美國國家航空暨太空總署（NASA）的學者 Guy A. Boy 在推展 STEM 教育數年後提出一連串的問題：難道人人都想成為科學家嗎？如何使非數理專長的人才一起為科技創新作出貢獻？發展科技與促進經濟發展的最終目的到底是甚麼？如何才能避免成為技術的奴隸？當我們把太空人送上月球的同時，我們也希望太空人能平安地返回地球，創造力難道不是根植於我們對生命與生活的熱愛嗎？^③ Boy 強調技術的有限性與倫理的必要性，認為我們應該平衡短期經濟效益與長期社會福祉的需求。STEAM 教育以服務

作者簡介：向天屏（通訊作者），澳門大學教育學院助理教授；唐小為，澳門大學教育學院助理教授；王志勝，澳門大學教育學院助理教授；朱永海，首都師範大學人工智慧教育研究院教授。

^①溫佩娣、張莉編著：《綜合應用技能教育課程指引（修訂）》，澳門：澳門特別行政區政府教育及青年發展局，2024 年；Haesen, Stefan, and Erwin Van de Put. *STEAM Education in Europe: A Comparative Analysis Report*. EuroSTEAM, 2018.

^②Lathan, Joseph. “Why STEAM Is So Important to 21st Century Education.” *University of San Diego Online*, onlinedegrees.sandiego.edu/steam-education-in-schools/. Accessed 15 January 2024.

^③Boy, Guy A. “From STEM to STEAM: Toward A Human-Centered Education.” *European Conference on Cognitive Ergonomics*, 26–28 August 2013, Toulouse.

於未來公民的全人發展為宗旨，宣導整合人文藝術以引導學生認識社會生活情境，經歷審美學習，創造性地解決問題，^①有助於啟發批判思考能力與創造力，落實以人為本的教育與人性化的設計理念。^②

2023 年聯合國教科文組織通過了在上海設立教科文組織國際 STEM 教育研究所（UNESCO IISTEM）的決議，標誌了 STEM 教育理念將影響中國的教育實踐與教育研究方向。^③2024 年，澳門特區政府教育及青年發展局制定了《綜合應用技能教育課程指引（修訂）》，^④支持校本綜合課程的發展，落實 STEM 教育。香港特區政府教育局則進一步在《小學教育課程指引（2024）》中要求香港小學加強跨學科的學習與閱讀，強化 STEAM 教育。^⑤本文旨在探究如果 STEAM 教育能給 STEM 教育注入更多的養分，我們該如何設計適合澳門小學生學習的 STEAM 教育課？

研究者先藉由文獻探討，釐清 STEAM 課程設計理念，然後以一堂 STEAM 課為例，並針對課程設計與教學實踐進行反思，向澳門小學的 STEAM 教育提供建議。

二、文獻探討：STEAM 教育的意義與挑戰

STEAM 教育是整合科學（Science）、技術（Technology）、工程（Engineering）、數學（Mathematics）與人文藝術（Liberal Arts）的學科知能來設計統整課程。它旨在提供真實的問題情境，引導學生經由體驗式學習（experiential learning），通過科學探究的過程（發現問題、提出假設、搜集資料或做實驗以驗證假設、分享研究發現與反思）來解決問題（確認問題、根據科學原理與限制提出有創意的解決方案、執行方案、反思與修改設計），並在解決問題的過程中發展學生的創造力、批判思考能力、與他人合作的意願與能力，培養其堅持不懈的毅力與敢於冒險的精神，以育成未來社會需要的領導者、創新者、教育家、企業家與學習者。^⑥

^① Liao, Christine. "From Interdisciplinary to Transdisciplinary: An Arts-Integrated Approach to STEAM Education." *Art Education*, vol. 69, no. 6, 2016, pp. 44–49; Liu, Chia-Yu, et al. "Examining the Quality of Art in STEAM Learning Activities." *Psychology of Aesthetics Creativity and the Arts*, vol. 17, no. 3, 2023, pp. 382–93.

^② 趙曼汝：〈IDEO.org 創辦人 Jocelyn Wyatt：設計可以改善人們生活〉，《天下雜誌》，2016 年 10 月 27 日，www.cw.com.tw/article/5079046，2024 年 7 月 18 日讀取。

^③ 〈聯合國教科文組織通過在華設立國際 STEM 教育研究所的決議〉，教育部學生服務與素質發展中心網站，2023 年 11 月 10 日，chesicc.chsi.com.cn/zxgw/szyw/202311/20231110/2293166074.html;jsessionid=4FBEBCE1E48D38564467DE80531BDCADB，2024 年 7 月 18 日讀取。

^④ 溫佩娣、張莉編著：《綜合應用技能教育課程指引（修訂）》，澳門：澳門特別行政區政府教育及青年發展局，2024 年。

^⑤ 香港特別行政區政府教育局：《學校課程持續更新：〈小學教育課程指引〉（2024）——立德樹人重啟迪 創造空間育全人》，2024 年，applications.edb.gov.hk/circular/upload/EDBC/EDBC24017C.pdf，2024 年 7 月 18 日讀取。

^⑥ 魏曉東、于冰、于海波：〈美國 STEAM 教育的框架、特點及啟示〉，《華東師範大學學報（教育科學版）》（上海），第 4 期，2017 年，頁 40–46、134–35；Belbase, Shashidhar, et al. "At the Dawn of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education: Prospects, Priorities, Processes, and Problems." *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 53, no. 11, 2022, pp. 2919–55; "What is STEAM Education? The Definitive Guide for K-12 Schools." *Institute for Arts Integration and STEAM*, artsintegration.com/what-is-steam-education-in-k-12-schools/. Accessed 15 January 2024.

根據這一教育理念，若要發展 STEAM 相關課程，學校與教師需要勇於面對以下的挑戰：

（一）從跨學科走向超學科（transdisciplinary）的教學設計

STEAM 教育不只是一種教學策略，更是一種教育改革取向。它不是由一位教師獨立設計的主題統整課程，而是鼓勵學校各科教師平等合作，共構跨越學科界限的課程，^①以創設有意義的、符合學生能力的、有挑戰性的真實的問題情境與教材。未來社會生活所需要的能力並非分門別類存在於特定學科中。例如科學家除了探究自然現象的原理，也需要通過口頭和書面語言與人溝通，還需要有繪圖、製作動畫與建構模型的能力。因此，與傳統的分科課程相比，根據真實情境中理解和解決問題的需求來組織學習的課程更有價值。具備不同專科知能的教師共同合作，能確保學科知識的正確性與教學的延展性。當然，這也要求教師發展教研能力、創造力與合作能力，^②以帶領學生開展項目式學習。^③

（二）以 Arts 指引設計的理念和原則

STEAM 教育中的 Arts 是廣義的藝術，除了視覺藝術還包含人文素養、哲學信念、美學等人文社會科學知能。^④與藝術的融合標示價值觀與審美原則的再現，即是關注人對美的感受。^⑤

在 STEAM 課程設計中，Arts 不只是凝聚各學科的黏合劑，更是課程學習的核心。^⑥真實世界中的問題解決不僅訴諸科學理性，也同時訴諸價值觀、審美等人文領域的觀念與態度。好的問題解決方案往往追求理性和感性的合一體驗。在工程設計過程中，工程師以追求美（追求人性化、人道主義）為出發點，運用科學原理並將審美付諸實踐，那麼問題解決的成果既是因為考慮到實用性，也因為注重了對美的感受與體驗。^⑦例如，青藏鐵路的修築以

^① Belbase, Shashidhar, et al. "At the Dawn of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education: Prospects, Priorities, Processes, and Problems." *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 53, no. 11, 2022, pp. 2919–55; "Becoming a STEAM School." *Institute for Arts Integration and STEAM*, artsintegration.com/2014/08/19/becoming-a-steam-school/. Accessed 15 January 2024; Hirsch, Amanda. "Transdisciplinary and Interdisciplinary Approaches." *NIU Center for Innovative Teaching and Learning*, 17 November 2020, citl.news.niu.edu/2020/11/17/transdisciplinary-interdisciplinary/. Accessed 18 July 2024.

^② Lathan, Joseph. "Why STEAM Is So Important to 21st Century Education." *University of San Diego Online, onlinedegrees.sandiego.edu/steam-education-in-schools/*. Accessed 15 January 2024.

^③ 中華人民共和國教育部：《義務教育科學課程標準（2022 年版）》，北京：北京師範大學出版社，2022 年；來桂佩：〈項目式學習在我國各學科的應用研究綜述〉，《創新教育研究》（武漢），第 7 期，2023 年，頁 1963–71。

^④ 余開亮：〈儒家的生態智慧與美好家園建設〉，全國哲學社會科學工作辦公室網站，2019 年 7 月 15 日，www.nopss.gov.cn/BIG5/n1/2019/0715/c219470-31233729.html，2024 年 7 月 18 日讀取；魏曉東、于冰、于海波：〈美國 STEAM 教育的框架、特點及啟示〉，《華東師範大學學報（教育科學版）》（上海），第 4 期，2017 年，頁 40–46；Belbase, Shashidhar, et al. "At the Dawn of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education: Prospects, Priorities, Processes, and Problems." *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 53, no. 11, 2022, pp. 2919–55; Eisner, Elliot W., editor. *Learning and Teaching the Ways of Knowing*. National Society for the Study of Education, 1985.

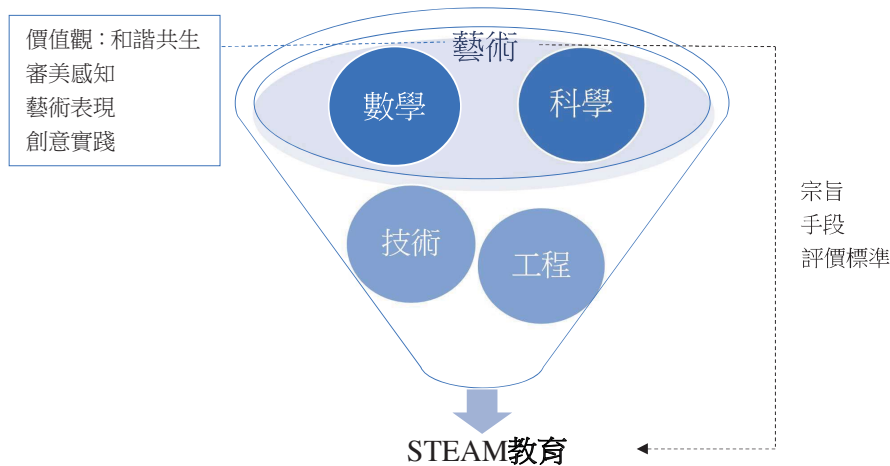
^⑤ 中華人民共和國教育部：《義務教育藝術課程標準（2022 年版）》，北京：北京師範大學出版社，2022 年。

^⑥ Belbase, Shashidhar, et al. "At the Dawn of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education: Prospects, Priorities, Processes, and Problems." *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 53, no. 11, 2022, pp. 2919–55.

^⑦ Boy, Guy A. "From STEM to STEAM: Toward A Human-Centered Education." *European Conference on Cognitive Ergonomics*, 26–28 August 2013, Toulouse.

兼顧人與動物的遷徙為初衷，因此在設計上由始至終關注生態保育與和諧共生。^①從科學的角度看，這避免了生態系統遭到破壞可能帶來的惡果。從藝術的角度看，與自然和諧相處的設計思路體現了自然主義生態倫理，具有藝術教育所強調的情緒張力。讓理性和審美的思考在設計中產生共鳴，正是 STEAM 教育應有的追求。教學者應設計能引發學生關心或好奇的問題情境，引導學生思考如何在追求人道主義、人與自然和諧共生的前提下，整合科學、技術、工程、數學、藝術的知能，通過“以人為本的設計”、“能滿足具有不同需求的使用者的設計”（inclusive design）求創新，以解決問題，改善人們的生活（圖 1）。^②

圖 1 STEAM 教育中各元素的關聯



圖像來源：作者自製。

因為 Arts 包含廣義的藝術而非只是狹義的美工技巧，這使得不同人文學科的教師都可以對 STEAM 教育的課程發展作出貢獻。^③教育者可從達文西（Leonardo da Vinci）創作的藝術品、寓言故事與科學發現（發明），甚至噪音、樂音背後的物理學原理，^④尋找出人文藝術與科學、技術、工程、數學之間的密切關聯。其實 STEAM 教育課程發展的過程，本身就是藝術的運用與展現。^⑤

^①劉益廷：《藏羚羊的回家之路：看青藏鐵路如何維護動物遷徙》，新北：木馬文化，2019 年。

^②趙曼汝：〈IDEO.org 創辦人 Jocelyn Wyatt：設計可以改善人們生活〉，《天下雜誌》，2016 年 10 月 27 日，www.cw.com.tw/article/5079046，2024 年 7 月 18 日讀取。

^③余開亮：〈儒家的生態智慧與美好家園建設〉，全國哲學社會科學工作辦公室網站，2019 年 7 月 15 日，www.nopss.gov.cn/BIG5/n1/2019/0715/c219470-31233729.html，2024 年 7 月 18 日讀取；張世英：〈中國古代的“天人合一”思想〉，北京語言大學新聞網，2007 年 6 月 5 日，news.blcu.edu.cn/info/1024/10186.htm，2024 年 7 月 18 日讀取；馮時：《文明以止：上古的天文、思想與制度》，北京：中國社會科學出版社，2018 年；“What is STEAM Education? The Definitive Guide for K-12 Schools.” Institute for Arts Integration and STEAM, artsintegration.com/what-is-steam-education-in-k-12-schools/. Accessed 15 January 2024.

^④（英）約翰·包威爾（John Powell）；全通翻譯社譯：《好音樂的科學：破解基礎樂理和美妙旋律的音階秘密》，台北：大寫出版，2016 年。

^⑤Belbase, Shashidhar, et al. “At the Dawn of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education: Prospects, Priorities, Processes, and Problems.” *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 53, no. 11, 2022, pp. 2919–55; Eisner, Elliot W., editor. *Learning and Teaching the Ways of Knowing*. National Society for the Study of Education, 1985.

（三）整合人文藝術與生物科學，增強女性對 STEAM 的自我效能

STEM 教育長期存在女性參與不足的問題。^①聯合國教科文組織發現，在 STEM 相關學系的大學畢業生裏，女性只佔 35 %。^②任職於麻省理工學院的 Clara Piloto 亦點出一個遺憾的事實：直至 2023 年，女性勞動力只佔 STEM 就業市場中的 28%。^③從國際學生能力評估計劃（PISA）測評來看，世界各國普遍存在女生閱讀成績優於科學和數學，而男生的情形恰恰相反，同時男生比女生對科學更有興趣，自我效能也更強，這種差異甚至在性別平等度更高的國家更為突出。^④後續研究進而發現，小學男生明顯地更偏愛閱讀科普故事、科幻小說和軟件／遊戲線上解說圖畫書，且對日後投入物理、數學、工程、化學與資訊科技等行業表現出較高的興趣，而小學女生則對生物學、動物學或醫療相關職業展現較高的興趣。^⑤這一差異可能源於性別的先賦基因或社會文化的內化，在選擇更為自由的社會中，女性會更自由地表達其親社會行為（prosocial behaviour）的基本偏好，更富於對人的關愛。^⑥從這個視角出發，STEAM 教育中的人文思維與藝術整合，讓 STEM 學習與女生的關注點更為契合，從而提升女性對 STEM 學科的興趣。另外，教師在構思 STEAM 課程時若能平衡地從生物科學角度進行思考（生命系統、生物與環境的關聯、生命的延續與進化，以及人類活動與環境知能等義務教育階段必學的科學素養），^⑦帶領學生投入項目式學習，在教學中強調合作、對話與觀察，並提供行業楷模，將能破除性別刻板印象，提高女學生參與 STEAM 教育的信心與學習成就。^⑧

（四）整合多種教學模式與學習策略，發展相應的評量方法

為了達成 STEAM 教育目標，教學設計必須整合問題導向學習（problem-based learning）、項目式學習（project-based learning）、合作學習、自我調整學習（self-regulated learning）等教學模式，以指導科學探究過程、解決問題、與人合作的程序性知識與後設認

^① 呂杰昕、馮愉佳：〈“全民參與”推動女生參與 STEM 教育——美國的政策與實踐〉，《外國中小學教育》（上海），第 12 期，2019 年，頁 34-41。

^② “Girls’ and Women’s Education in Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM).” UNESCO, www.unesco.org/en/gender-equality/education/stem. Accessed 15 January 2024.

^③ Piloto, Clara. “The Gender Gap in STEM: Still Gaping in 2023.” *MIT Professional Education*, 13 March 2023, professionalprograms.mit.edu/blog/leadership/the-gender-gap-in-stem/. Accessed 15 January 2024.

^④ Stoet, Gijsbert, and David C. Geary. “The Gender-Equality Paradox in Science, Technology, Engineering, and Mathematics Education.” *Psychological Science*, vol. 29, no. 4, 2018, pp. 581-93.

^⑤ 丁澤祺、胡江雪、向天屏：〈四到六年級小學生的課外閱讀興趣——一份澳門的調查研究〉，《童文匯》（澳門），第 2 期，2025 年，頁 158-74；Toma, Radu Bogdan. “Elementary School Students’ Interests and Attitudes Towards Biology and Physics.” *Journal of Biological Education*, vol. 58, no. 4, 2024, pp. 972-83; Wiebe, Eric, et al. “The Relationship of STEM Attitudes and Career Interest.” *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 14, no. 10, 2018, <https://doi.org/10.29333/ejmste/92286>.

^⑥ 袁加錦等：〈情緒加工的性別差異及神經機制〉，《心理科學進展》（北京），第 12 期，2010 年，頁 1899-908; Falk, Armin, and Johannes Hermle. “Relationship of Gender Differences in Preferences to Economic Development and Gender Equality.” *Science*, vol. 362, no. 6412, 2018, <https://doi.org/10.1126/science.aas9899>.

^⑦ 中華人民共和國教育部：《義務教育科學課程標準（2022 年版）》，北京：北京師範大學出版社，2022 年。

^⑧ 向天屏：〈女性主義教育學的理論基礎及其對教學上的啟示〉，《中等教育》（台北），第 1 期，2005 年，頁 68-85; Soto, Pamela, et al. “Towards a Gendered STEAM Education Approach: Building a Comprehensive Model to Strengthen Girls’ and Students with Non-Conforming Gender Identities’ STEAM Trajectories in Chilean Public Schools.” *London Review of Education*, vol. 22, no. 1, 2024, <https://doi.org/10.14324/LRE.22.1.06>.

知知識，並融入從失敗中學習（productive failure）、^①處理衝突技巧、學科學習策略與自我調整學習策略的指導。教師需要同步發展真實性評量、實作評量、檔案評量的評分標準，以培養解決問題的能力、自主學習能力、合作能力與毅力。^②在資訊科技必然成為教與學資源的前提下，教育者還必須先引導學生建構與運用數字素養（digital literacy）。^③

三、研究方法

為了瞭解澳門本土化的 STEAM 教育課程該如何設計，本研究以質性研究的過程搜集與分析資料。我們先根據文獻探討的發現、學生的特質與教學時間的限制，決定一堂 STEAM 教育課程的內容與教學的方法。教學設計是兩位導師在課前經歷不斷的文獻整理、反覆思量與多次修改後的成果。再通過教學實踐與反思，最終向讀者呈現我們的教學設計與對日後 STEAM 教育發展的建議。

（一）學生的背景與參與學習的時間

研究者在教學設計中將學生人數設定為 30 人，實際參與對象為 29 位小學五年級學生，他們是來自於澳門某所私立女校的志願參與者（家長同意）。學生來自不同的班別。該校從幾年前就開始推動讀寫教學革新與自主學習，學生有合作學習的經驗且有運用讀寫策略解決問題的經驗。該校學生能聽說粵語與普通話，且能認讀繁、簡體字。

上課的地點在澳門科學館，屬於某個周三下午學校正式課程外的免費課後活動，教學時間為 70 分鐘。

（二）教學者的背景

此課程的名稱為“仿生術——從鳥類的尾羽到飛機的尾翼”，其發展與教學設計是由本文第一與第二作者以主導師的身份合作完成的。第一作者的研究領域包含中文讀寫教學（包含高等教育寫作課程規劃、中小幼教學實踐、教師信念與知識論、學生能力評估以及教科書內容分析）、班級經營、數字素養以及性別與教育。她曾任八年公立學校包班

^①劉徽等：〈甚麼樣的失敗才是成功之母？——有效失敗視角下的 STEM 教學設計研究〉，《華東師範大學學報（教育科學版）》（上海），第 6 期，2020 年，頁 43–69；“How to Use Assessments in STEM Education for Better STEAM Project Outcomes.” *TinkRworks*, 18 May 2023, steam.tinkrworks.com/blog/how-to-successfully-assess-steam-projects. Accessed 15 January 2024.

^②魏曉東、于冰、于海波：〈美國 STEAM 教育的框架、特點及啟示〉，《華東師範大學學報（教育科學版）》（上海），第 4 期，2017 年，頁 40–46；Belbase, Shashidhar, et al. “At the Dawn of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education: Prospects, Priorities, Processes, and Problems.” *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 53, no. 11, 2022, pp. 2919–55; “How to Use Assessments in STEM Education for Better STEAM Project Outcomes.” *TinkRworks*, 18 May 2023, steam.tinkrworks.com/blog/how-to-successfully-assess-steam-projects. Accessed 15 January 2024.

^③Hsiang, Tien Ping, et al. “Students’ Perceptions of Their Digital Citizenship and Practices.” *Reading and Writing*, 2024, <https://doi.org/10.1007/s11145-024-10594-9>. Accessed 12 October 2024; Hsiang, Tien Ping, et al. “Teachers’ Perceptions of Their Students’ Digital Citizenship and Practices.” American Educational Research Association Annual Meeting, 23–27 April 2025, Denver.

制小學班主任（教授過一至六年級各學科）、三年小學實習老師輔導教師，及兩年小學語文科主任。第二作者的研究領域則是科學教育（包含生物科課程與教學、小學綜合活動設計與教學，以及班級教學實踐、教師專業發展、科學思維與知識論）。兩位都具有跨學科統整教學的實務經驗與合作研究的經驗。

除了兩位主導師外，教學當天還有六位助理導師（以下簡稱為助教），均自願負責在分組活動時間引導合作學習小組內的探究學習活動。助教都是來自澳門大學教育學院主修不同教育專業的本科生，他們都有合作設計、教授 STEAM 教育課程的經驗（針對 K3–P3 學生，一次或以上的教學經驗）。安排助教的目的是為了提高小學生表達、發問與獲得協助的機會，和增加師生互動的時間。主教與助教在教學前已掌握教學內容與教學方法，並摺疊過迴旋紙飛機與驗證過研究假設。

本研究還邀請一位正在修讀課程與教學專業的研究生擔任教學助理與觀察員，協助導師製作教具（包含合作學習分工卡與測量用的紙質尺）、測試紙飛機的摺法、挑選適用的 A4 紙張重量（經測試後發現，用 60g/m² 的紙摺出來的紙飛機整體飛行與迴旋效果最佳）與觀察、記錄教學實況。

（三）資料的搜集、研究倫理與限制

為了保障小學生的隱私權，本研究觀察與分析的重點是教師（包含主教、助教與教學助理）針對課程發展、教學設計與教學實踐的反思。助教與教學助理均可自由選擇是否提交匿名的教學反思。本研究搜集資料的方式已通過研究倫理審查。

為了不增加學校與小學生的負擔，本研究只針對一次的教學實踐進行分析。為了感謝小學師生的參與，研究團隊將對該校提供持續的 STEAM 教育支援。

（四）分析的文本、編碼的方式與研究信實度

本研究分析的文本包含導師反思、助教反思與觀察員紀錄與反思。我們根據扎根理論的資料分析步驟，先在初始階段運用開放性編碼（open coding）檢視分析文本中每個字句以定義出其所表徵的概念；接着，通過主軸編碼（axial coding）的過程，我們分析概念與概念間的關係，以將之分類；最後，在整合過程中，我們找出能連結所有關鍵概念的核心類別，以更周延地闡述研究發現。^①分析的結果交由導師、助教分別檢視，以提供反饋，作為三角校正的依據，進而確保研究結果的信實度。

^① Corbin, Juliet, and Anselm Strauss. *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. 3rd ed., Sage Publications, 2008; Cronin, Catherine. "Openness and Praxis: Exploring the Use of Open Educational Practices in Higher Education." *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, vol. 18, no. 5, 2019, <https://doi.org/10.19173/irrodl.v18i5.3096>. Accessed 15 January 2024.

四、STEAM 教育教學設計

（一）內容簡介

本研究所設計的 STEAM 教育課程主題是：仿生術——向鳥類學飛。天人合一（師法自然、人與自然和諧共生）的生態美學是此課程的核心。^①過往也有研究支持從生物學與人文關懷的視角出發建構 STEAM 課程。^②

主教導師先由民生、經濟的需求為切入點，帶出飛機對當代澳門青少年而言是生活中不可或缺的交通工具，航空業更對澳門經濟發展有巨大貢獻，繼而提出四個相互關聯的待答問題（鳥類飛行時尾與尾羽有哪些功用？人類如何向鳥兒學飛？紙飛機尾翼如何影響飛行？如何摺出能迴旋的紙飛機？），再引導學生通過探究的過程找出解答，做出成品（參見附錄 2）。

本課程整合科學、技術、數學、視覺藝術與語文的學科知能，通過項目式學習，落實問題導向學習、探究性學習、合作學習與自主學習的教育理念。五年級學生首先需要通過閱讀圖畫書（非連續文本）和觀察鳥類飛行時的姿態，歸納出鳥類不同飛行方式的特點及鳥尾在飛行中的功用。接着，學生通過與鳥類滑翔姿態的類比，理解紙飛機在對稱性、機頭、機翼等方面的結構特徵如何服務於其飛行功能。在此基礎上，主教導師引導學生通過調節紙飛機尾翼探究紙飛機迴旋的秘密，並思考人類在向大自然學習的同時應如何回饋大自然，繼而初步反思自己的職業取向。完整的教學設計（包含班級組織、合作學習方式、教具與評價方式）與工作紙，請參考附錄 1、2 和 3。

如前所述，課程發展的過程是兩位主教導師自我對話與相互對話的批判思考過程。在互信與相互欣賞的基礎上，反覆測試，共同調整出最終的學習目標與教學內容。考慮到學習者是小學五年級學生且只有 70 分鐘的學習時間，我們放棄引導學生探究完整的飛機飛行原理，^③將學習重點放在如何從鳥類的飛行特點學習紙飛機的設計，並將實驗變項鎖定在尾翼的設計上。

兩位主教導師於 2023 年設計此課程時，修訂版的澳門《小學常識科課程指引》、“常識科基本學力要求”與“小學教育階段藝術基本學力要求”皆尚未公佈。我們已在附錄 1 的基力指標（常識）中加註相對應的修訂版基本學力序號。^④至於新舊版的藝術基本學力

^①余開亮：〈儒家的生態智慧與美好家園建設〉，全國哲學社會科學工作辦公室網站，2019 年 7 月 15 日，www.nopss.gov.cn/BIG5/n1/2019/0715/c219470-31233729.html，2024 年 7 月 18 日讀取；張世英：〈中國古代的“天人合一”思想〉，北京語言大學新聞網，2007 年 6 月 5 日，news.blcu.edu.cn/info/1024/10186.htm，2024 年 7 月 18 日讀取；馮時：《文明以止：上古的天文、思想與制度》，北京：中國社會科學出版社，2018 年。

^②Falk, Armin, and Johannes Hermle. “Relationship of Gender Differences in Preferences to Economic Development and Gender Equality.” *Science*, vol. 362, no. 6412, 2018, <https://doi.org/10.1126/science.aas9899>; Toma, Radu Bogdan. “Elementary School Students’ Interests and Attitudes Towards Biology and Physics.” *Journal of Biological Education*, vol. 58, no. 4, 2024, pp. 972–83.

^③Mec_Mon：〈飛機是怎麼飛行的〉，YouTube，2018 年 4 月 6 日，www.youtube.com/watch?v=cWADSpDM-Io，2024 年 7 月 18 日讀取；“Equal Transit Theory Interactive.” *Glenn Research Center, National Aeronautics and Space Administration*, 16 August 2022, www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/foilw1/. Accessed 18 July 2024.

^④澳門特別行政區政府第 19/2016 號社會文化司司長批示（核准小學教育階段基本學力要求的具體內容）附件九“小學教育階段常識基本學力要求”；澳門特別行政區政府第 52/2024 號社會文化司司長批示（修改小學、初中及高中教育階段部分科目基本學力要求）附件二“小學教育階段常識基本學力要求”。

要求則沒有變更。^①

（二）教學設計流程

本研究根據以下程序發展教學設計：

步驟一、分析學生特質與需要（包含瞭解學生的先備知識與當前學習內容）。

步驟二、在考量和諧共生、永續發展的前提下，決定跨學科、超學科的問題情境。

步驟三、確認為解決問題所需的相關學科內素養與知能（包含科學知識、科學探究與解決問題的程序性知識、合作學習知能、聽說讀寫知能與自我調整學習的知能）。

步驟四、決定具體的學習目標，並找出相關基本學力要求。

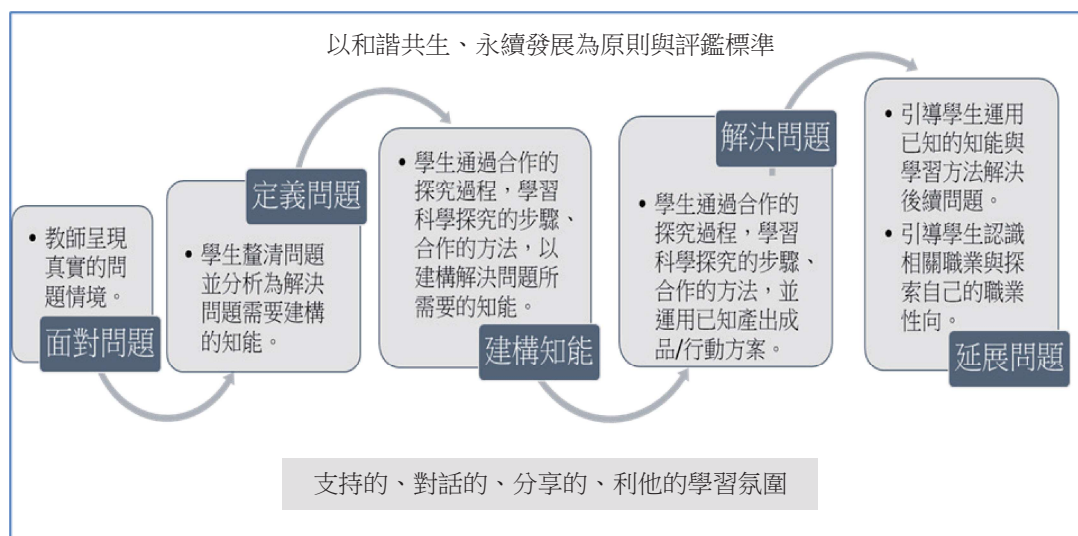
步驟五、根據學習目標決定班級組織的方式，發展教學活動、教具與評量方式。

步驟六、由參與教學設計者共同檢視與修改教學設計。

（三）教學設計模式

我們的教學設計遵循以下模式（圖 2），帶領學生開展項目式學習：

圖 2 STEAM 教學設計模式



圖像來源：作者自製。

^①澳門特別行政區政府第 19/2016 號社會文化司司長批示（核准小學教育階段基本學力要求的具體內容）附件十二“小學教育階段藝術基本學力要求”；澳門特別行政區政府第 52/2024 號社會文化司司長批示（修改小學、初中及高中教育階段部分科目基本學力要求）附件四“小學教育階段藝術基本學力要求”。

五、研究發現與討論

研究團隊通過文獻探討、課程發展、教學實踐與反思的循環反覆過程，獲得以下的發現：

（一）“團隊導師的能力與意願”影響“真實性問題情境的選擇”與“學習目標的深度與廣度”

通過課程發展的過程，我們深刻地體驗到推動 STEAM 教育需要具備不同學科專長的教師發揮自身優勢，取長補短，通力合作。

導師的能力，涉及導師學科知能、教學知能、合作知能與研究知能的厚實度。意願，則涉及教師好奇心、個人興趣、教育熱誠與對自我成長、社會服務的自我要求。以本課程為例，仿生是語文教科書中的學習內容，^①卻不是澳門小學常識科要求的學習內容。^②為此，兩位主導師根據自身的興趣與對澳門小學教材、高年級學生能力與興趣的理解，選擇了摺紙飛機與仿生的課題。若沒有具備生物學與中小學科學教育專長的導師，仿生的觀察與科學探究的步驟就難以做到完善（例如，第二作者通過精心設計的投影片引導學生觀察鳥類飛行的姿態，使學生在理解紙飛機機頭、機翼的結構特徵如何有助其飛行的前提下，摺出飛行效果較佳的紙飛機（圖 3、4），完整的教學投影片請參見澳門大學學者庫“仿生術——向鳥類學飛”，repository.um.edu.mo/handle/10692/127124?mode=full&submit_simple>Show+full+item+record）。此外，若沒有具備語文教學專長與學習策略教學專長的導師，就很難將聽說讀寫學習目標與班級組織整合起來，設計有效能的探究學習活動。本次課程發展的成功經驗，證明了非數理專長的教師同樣可以為 STEAM 教育的發展作出貢獻。^③而兩位導師願意為了推展 STEAM 教育去研讀非自己專業的文獻與課程綱要，花時間與對方反覆溝通、思考主導此次 STEAM 教育課程的美學宗旨與藝術技巧到底是甚麼，更是課程能發展成功的關鍵。

^①廣東教育出版社基礎教育課程發展研究院：《中國語文》（試行版）四年級上冊 B，澳門：澳門特別行政區政府教育暨青年局，廣州：廣東教育出版社，澳門：澳門啓元出版社，2020 年。

^②澳門特別行政區政府第 19/2016 號社會文化司司長批示（核准小學教育階段基本學力要求的具體內容）附件九“小學教育階段常識基本學力要求”；澳門特別行政區政府第 52/2024 號社會文化司司長批示（修改小學、初中及高中教育階段部分科目基本學力要求）附件二“小學教育階段常識基本學力要求”。

^③Boy, Guy A. “From STEM to STEAM: Toward A Human-Centered Education.” European Conference on Cognitive Ergonomics, 26–28 August 2013, Toulouse.

圖 3 從鳥兒飛行時的身體姿態思考紙飛機機頭的設計



圖 4 從鳥兒飛行時翅尖的羽毛形態思考紙飛機機尖小翼的設計



(二) 跨學科解決問題的知能需要長期系統性的建構

以本課程設計為例，因為學習時間設定為 70 分鐘，只夠時間給學生針對一個實驗變項（飛機尾翼升降舵的設計）測試兩個研究假設與展示成果。如果課時增加（例如每一節課，或是預留整天或整周），就可以引導學生系統地探究影響紙飛機飛行與迴旋效果的摺紙方法，最終讓學生展示自己的設計成品與摺疊技巧。若一學期或一學年有多次 STEAM 教育學習機會，真實的問題情境便可以延展為：如何在符合和諧共生、可持續發

展的生態美學前提下，防止鳥撞（避免鳥與飛機相撞的策略目前有物理驅鳥、生態防鳥與飛機防撞；目前有航空公司通過將飛機外觀畫成大鳥的方式成功驅鳥）。^①這個主題是導師在設計仿生術課程的過程中發現的，更能刺激師生整合科學、技術、數學、藝術、工程的知能來解決真實的問題。

再以本次教學過程中學生的表現為例，我們觀察到學生能夠自行閱讀非連續文本，通過提取關鍵字、標示記號、歸納後完成閱讀理解的任務，亦能以個人見解來回答問題，這顯示學生具備初步的科學思維能力。^②然而，我們發現：

（1）學生的合作知能與意願需要有系統地培養

不少學生習慣獨力學習，即便導師提供“小組合作的個人責任要求”與“引導合作的工作紙”；學生還是需要提醒後才會產生合作行為。

儘管課堂開始前已通過抽籤的形式決定她們的分工，但她們並沒有認真執行，小組討論亦是相同情況，需要助教老師從旁提醒並協助她們建立團體討論。（TA-A-17-20）

她們需要在繪本中尋找正確答案和小組的各個成員進行討論，但她們一找到答案便會急於說出來，並不會進行討論，以致她們一開始有些答案是不統一的。（TA-F-206-209）

活動前期可能需要助教老師的引導才會互相幫忙，但事後一些同學如果看見遇到困難的同學，她們都會主動去幫忙。（TA-D-55-57）

整體而言，組內需要在助教提醒後才開始小組合作。如在摺紙飛機過程中，能力好的同學在完成摺紙步驟並詢問完助教後，便想急着開展下一步，此時在助教的提醒下才會幫助組內同學完成摺紙步驟。（TA-B-120-123）

觀察員的反思亦呈現與助教一致的發現：

我在走動時發現學生基本都能夠用鉛筆在圖畫書上圈出關鍵句和圖片，但大部分學生都是埋頭各忙各的，很少有學生真正履行了自己在小組內的職責。這表明她們具有一定的閱讀理解能力，但分工合作的能力較為欠缺。（O-10-13）

（2）學生的探究知能與手作能力需要有系統地發展

學生雖然能完成導師交代的探究任務，但並非是自覺地／自主地完成科學探究的程序，這顯示學生尚未建立發現問題、提出假設、驗證假設與分享研究發現的科學探究知能與習慣。

^①〈防止鳥撞〉，中國民用航空局網站，2015年9月23日，www.caac.gov.cn/GYMH/MHBK/JCJS/201509/t20150923_1934.html，2024年7月18日讀取；〈揭秘世界性航空難題“鳥撞”：一隻海鷗或致機毀人亡〉，南都N視頻，2023年10月27日，m.mp.oeeee.com/a/BAAFRD000020231026865585.html，2024年7月18日讀取。

^②中華人民共和國教育部：《義務教育科學課程標準（2022年版）》，北京：北京師範大學出版社，2022年。

學生需要助教提醒每一個步驟。多數學生需要使用探究學習工作紙（附錄 2）指引探究過程或自評；部分學生在不知道下一步該做甚麼時，會直接問助教而不是通過閱讀工作紙自主指引探究過程；多數學生在實作環節因為觀察不夠仔細，操作不夠精確，導致實驗作品無法達成預期的效果；部分同學在實作環節遭遇困難時，甚至會直接請老師幫忙解決問題。

大多數學生較難跟上紙飛機教學視頻的進度，她們摺出來的紙飛機不夠規範，自然也很難在試飛時達到預期的效果。（O-19-21）

她們更願意去問她們小組的助教怎麼摺，甚至到最後直接讓助教幫她們摺。這表明絕大多數學生製作紙飛機的動手能力不是太強。（O-24-26）

（3）學生展示研究成果的能力需要不斷地積累

學生展示探究成果時，傾向面對導師而非同學；多數學生不能有條理地做口頭報告。這顯示學生準備報告（書寫或在心中準備說話的內容）、口頭報告與演示科研成果的能力都有很大的成長空間。

學生們返回教室展示（迴旋紙飛機的）研究成果，導師請了兩位試飛時表現不錯的學生上台匯報。學生匯報時顯得不夠自信，聲音不夠宏亮，研究成果要在導師的引導下才能一字一句說出來。（O-26-29）

學生的表現當然與課時有限和小組的初次組成有關，但是學生的表現也證明科學探究能力、技術與工程的實踐能力、合作能力與處理衝突的能力，都不是一蹴而就的。而且，本課程並未將面對挫折以及從失敗中學習的能力納入學習目標。由此可見，推展 STEAM 教育需要長期的規劃。

（三）積極運作，通過 STEAM 教育促進就業市場的性別平等

以本課程為例，研究團隊曾一度擔心女學生對飛機飛行原理、摺紙飛機沒有興趣。但是這種擔心也可能源於對女學生個體差異的忽視，繼而導致再製性別刻板印象和剝奪女學生學習科學的機會。^①於是，我們從積極面思考，從仿生角度帶領學生深度探究飛機飛行原理，再加上引導女學生探索自己職業取向的延展教學活動：如果我想從事飛行器研發或航空管理相關行業，我該選讀甚麼科系？如果我想當飛行機師，需要具備哪些能力？進而刺激學生思考我們向鳥類學飛後，該如何回饋鳥類。教學現場的觀察也證實，女學生對仿生與摺紙飛機的課題感興趣，不但認真參與，很多學生也能在有限的課時內完成探究過程。

^①向天屏：〈女性主義教育學的理論基礎及其對教學上的啟示〉，《中等教育》（台北），第 1 期，2005 年，頁 68-85。

我們的教學成果支持相關學者的論述。^①由於小學生的學習和生活經驗與其之後的 STEM 職業態度有密切的關聯，^②從小學開始，設計一系列可延展的 STEAM 課程，將有助更多學生投入相關職業。

（四）提供問題導向學習與合作學習的情境，給予多樣的學習資源支持知識的建構與探究的歷程，才能提升學習動機與效果

在教學設計中，我們提供能幫助學生成功的文本、投影片、視頻與檢核表支持學生觀察與探究。根據導師、助教的觀察，我們發現學生在有足夠支持的問題導向學習與合作學習情境中樂於找出答案、表達個人的想法與嘗試製作紙飛機，展現高度的學習動機。

繪本中許多文字她們（學生）都能清楚和明白，另外，她們能根據老師的問題在文章中找到正確的答案，並且懂得篩選正確答案的範圍。（TA-F-194-196）

小組內所有學生都能快速找到問題的答案，並用簡單記號在材料中標出答案。無論是閱讀速度快還是慢（的學生），她們都能在材料中指出答案。（TA-F-113-115）

在我的小組內我觀察到學生的探究精神較高，她們會因為老師投影片中提到的動物（鳥類）和動物的行為作延伸思考，並且十分好奇事物的經過和結果。（TA-F-198-200）

同時，助教也觀察到，有的學生善於從閱讀文本中找答案，有的學生則善於觀察視頻手作。這顯示若教師在課堂上提供不同的學習資源，就能滿足具備不同學習風格的學生需求。而合作學習，則給予學生在遭遇困難時相互支援的機會：

我也觀察到一些學生可能面臨困難，如在摺紙技巧上遇到挑戰，已經學會製作紙飛機的學生會積極主動地協助其他同學解決問題，這種學習態度很值得學習。（TA-E-171-174）

有部分學生（在過程中）可能因為未跟上摺紙步驟，導致飛機未能迴旋，但通過同學之間的互相幫助和我在旁的協助之後，亦成功摺出迴旋的紙飛機。（TA-C-91-94）

此外，為了滿足學生需求，助教們也提出改進教學設計的建議：第一、因為學生的閱讀速度有個別差異，建議由每組提供兩本繪本改為每人一本繪本；第二、因為有的學生善於閱讀文本，建議除視頻外，再提供紙飛機製作步驟的文字與圖示說明。

^① Soto, Pamela, et al. "Towards a Gendered STEAM Education Approach: Building a Comprehensive Model to Strengthen Girls' and Students with Non-Conforming Gender Identities' STEAM Trajectories in Chilean Public Schools." *London Review of Education*, vol. 22, no. 1, 2024, <https://doi.org/10.14324/LRE.22.1.06>; Toma, Radu Bogdan. "Elementary School Students' Interests and Attitudes Towards Biology and Physics." *Journal of Biological Education*, vol. 58, no. 4, 2024, pp. 972-83; Wiebe, Eric, et al. "The Relationship of STEM Attitudes and Career Interest." *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 14, no. 10, 2018, <https://doi.org/10.29333/ejmste/92286>.

^② Wiebe, Eric, et al. "The Relationship of STEM Attitudes and Career Interest." *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 14, no. 10, 2018, <https://doi.org/10.29333/ejmste/92286>.

我們的研究發現與張佳琳、許文瑞的研究結果一致。^①問題導向學習需要導師引導學生在具有挑戰性的、真實的問題情境中建構知識，與組員合作解決問題，找出解決問題的方案，並且從行動中反思與修正。

六、建議

（一）鼓勵教師跨界合作，發展問題導向的 STEAM 教育課程

本研究發現集合不同學科專長教師的優勢有助 STEAM 教育課程的深化，因此學校宜鼓勵教師跨越學科界線，合作發展問題導向的、項目式的 STEAM 教育課程。邀請跨學科 STEAM 教育專家支援、安排跨學科會議時間、給參與發展跨學科課程的教師減免課時或行政工作，將可提高教師的合作意願與課程品質。

（二）預留足夠的課時與規劃縱向銜接的 STEAM 教育課程

研究團隊發現學生的探究知能、合作知能、口頭與書面報告知能、目標設定與自我評量的知能與用以解決問題的跨學科與超學科的知能都需要系統性的建構。^②舉例而言，教師需要思考如果期待初中學生能獨立設計無人機（而非僅止於使用套裝商品），那麼學校是否該從小學階段開始落實對鳥類與飛行器進行觀察與探究的 STEAM 教育課程呢（包含研究結果的紀錄與分享）？另外，由於實驗難免遭遇失敗，怎樣才能培養不屈不撓的探究與創新型人才？^③為了使 STEAM 教育能成為學校本位課程的一環，並且真正實現螺旋性地建構 STEAM 知能，學校要考量年級間 STEAM 教育學習目標的縱向銜接問題。學校還必須於新學年開學前預留整學年 STEAM 教育的學習時間。這意味着其他學科教學時間將減少，教育者一方面必須採用更有效的學科教學方法，另一方面還需要積極地構思如何在 STEAM 教育課時內達成學科與超學科的學習目標。^④

未來，研究者也可以針對單元、學期甚至學年的 STEAM 教育課程發展進行探究，並搜集參與學生的學習心得與建議。

（三）修訂澳門小學常識與藝術基本學力要求

我們在發展此次課程的過程參閱了內地和澳門的相關課程標準。內地方面，2017 年版的《義務教育小學科學課程標準》，^⑤已經在“科學、技術、社會與環境目標”中要求五、

^①張佳琳、許文瑞：〈問題導向學習（PBL）中學生主體經驗、學習動機與學校經營配套措施〉，上海市教育科學研究院網站，2018 年，www.cnsaes.org.cn/homepage/Upfile/20181129/2018112940135537.pdf，2024 年 7 月 18 日讀取。

^②魏冰：〈澳門中小學科學教育〉，《中國科技教育》（北京），第 2 期，2024 年，頁 20-23。

^③劉徽等：〈甚麼樣的失敗才是成功之母？——有效失敗視角下的 STEM 教學設計研究〉，《華東師範大學學報（教育科學版）》（上海），第 6 期，2020 年，頁 43-69。

^④李雙壽主編：《STEM 與工程思維》，北京：教育科學出版社，2023 年，頁 227-54。

^⑤中華人民共和國教育部：《義務教育小學科學課程標準》，2017 年 1 月 19 日，www.moe.gov.cn/srcsite/A26/s8001/201702/W020170215542129302110.pdf，2024 年 7 月 18 日讀取。

六年級學生能察覺科學技術與日常生活的聯繫，“瞭解在科學研究與技術應用中必須考慮倫理和道德的價值取向”並且“認識到人類、動植物、環境的相互影響和相互依存關係；瞭解地球上的資源是有限的，人類活動會對環境產生正面和負面的影響，並自覺採取行動，保護環境”，與自然和諧共處。而 2022 年版的《義務教育科學課程標準》，則是直接將“科學態度與責任”列為科學課程的“核心素養”，具體體現為健康生活、熱愛自然、保護環境、推動生態文明建設和可持續發展、對與科學相關的問題做出正確的價值判斷，以及遵守公共利益、法律與倫理道德。^①2022 年版的藝術課程標準也強調教師要落實藝術在“以美育人”、促進“人與自然和諧共生”層面的積極功能。^②內地科學與藝術課程標準的革新正反映 STEAM 教育強調跨學科學習過程中，倫理與人性化美學思維的領頭作用。^③

相較於 2022 年版的《義務教育科學課程標準》，^④教育及青年發展局在 2016 年頒佈的“小學教育階段常識基本學力要求”對“問題導向學習”、“自主學習”、“合作學習”的教育取向以及“科學探究過程”、“科學態度與責任”、“技術、工程與設計”素養的發展着墨較少。^⑤而“小學教育階段藝術基本學力要求”亦偏重視覺藝術的工藝層面。^⑥2024 年修訂版的澳門《小學常識科課程指引》與“常識科基本學力要求”已強化“科學與生活的關聯”，重視“人與自然和諧共生”與“發展學生探究能力”，並鼓勵教師“讓學生通過綜合應用、合作學習的方式，經由解決問題來學習常識”。^⑦研究者建議在後續澳門小學常識與藝術基本學力要求的修訂中，考慮與當前 STEAM 教育思潮接軌，強調“科學態度與責任”、“技術、工程與設計”素養的發展，深化“生物學”的學習內容，並落實通過藝術“以美育人”、促進“人與自然和諧共生”與可持續發展。^⑧這對教師掌握當代科學、藝術教育理念與推動 STEAM 教育將更有助益。

（四）從中華傳統文化出發，探究美學在 STEAM 教育中主導與現身的各種形式

因為研究團隊有專長為中國文化與教育哲學的專家，在構思引導仿生術課程的美學觀點時發現，以自然為師，宣導生態文明建設和可持續發展的概念其實不用外求。西方推動 STEM 教育最初服務於社會勞動力的需求，在看到這一教育模式在推廣中的不足時才轉向

^① 中華人民共和國教育部：《義務教育科學課程標準（2022 年版）》，北京：北京師範大學出版社，2022 年。

^② 中華人民共和國教育部：《義務教育藝術課程標準（2022 年版）》，北京：北京師範大學出版社，2022 年。

^③ Belbase, Shashidhar, et al. “At the Dawn of Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) Education: Prospects, Priorities, Processes, and Problems.” *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, vol. 53, no. 11, 2022, pp. 2919–55.

^④ 中華人民共和國教育部：《義務教育科學課程標準（2022 年版）》，北京：北京師範大學出版社，2022 年。

^⑤ 澳門特別行政區政府第 19/2016 號社會文化司司長批示（核准小學教育階段基本學力要求的具體內容）附件九“小學教育階段常識基本學力要求”。

^⑥ 澳門特別行政區政府第 19/2016 號社會文化司司長批示（核准小學教育階段基本學力要求的具體內容）附件十二“小學教育階段藝術基本學力要求”。

^⑦ 澳門特別行政區政府教育及青年發展局：《小學常識科課程指引（修訂版）》，2024 年，www.dsedj.gov.mo/crdc/guide/data/primary/General_Studies_guide_2024c.pdf，2024 年 12 月 22 日讀取；澳門特別行政區政府第 52/2024 號社會文化司司長批示（修改小學、初中及高中教育階段部分科目基本學力要求）附件二“小學教育階段常識基本學力要求”。

^⑧ 香港特別行政區政府教育局：《學校課程持續更新：〈小學教育課程指引〉（2024）——立德樹人重啟迪 創造空間育全人》，2024 年，applications.edb.gov.hk/circular/upload/EDBC/EDBC24017C.pdf，2024 年 7 月 18 日讀取。

STEAM，關注科技發展中對人性、倫理與社會福祉的考驗。^①但對中國師生而言，人文的引領是植根於我們的文化基因的。天人合一、敬畏自然、順應自然、道法自然本是中國古代哲學的基礎。從這個文化視角切入，很容易理解人類在科技發展過程中僅考慮自身需求會帶來怎樣的問題：一方面，以鳥為師發明飛機；另一方面，卻又為了防止鳥撞而引起了破壞鳥類棲息地甚至殺鳥的行為。我們發展的 STEAM 教育課題圍繞“仿生與敬天”，就是為了引導學生思考以自然為師發展科技時，也務必以回饋自然為前提。

推展 STEAM 教育正是將中華傳統文化發揚光大的好機會！中華傳統文化是 STEAM 課程的內容寶庫。古代科技文明、醫藥飲食、建築設計，都可以作為 STEAM 教育引入的課題。與西方的海洋文明不同，中華文明的基礎是農耕文明，首重準確的農時。早期中國的天文學非常發達。古人根據天體運動規律確定農時，制定了二十四節氣。再比如說伏羲，仰觀天地，俯察地理，創造了八卦。炎帝神農嘗百草，開創中醫藥發展的先河。三皇五帝觀察自然，發現自然界的變化是有規律的。造物主創造的大自然規律，既有利於自然界萬物的生長，也有利於人的生長。於是古人就模仿自然規律，並把這套規律運用到人類社會上。中國傳統文化的精髓就是天人合一。^②在對本土 STEAM 教育的後續推動中，應進一步思考如何發揮本土價值在引領和內容拓展上的獨特功用。

（五）通過學科內的教學革新，培養超學科學習所需的能力

本研究發現，項目式學習中問題情境的營造、科學探究過程的引導、支持知識建構的教材與教學設計影響 STEAM 教育的成效。有鑑於目前澳門的基礎教育仍偏向應試教育，^③若要推展 STEAM 教育或 STEM 教育，語文、數學、常識與音樂／視覺藝術科教師皆可以嘗試設計項目式學習的問題情境與工作紙，從學科內的教學革新開始做起，給予學生有挑戰性的真實問題情境，引導學生通過合作學習、探究歷程與自主學習，解決問題，同時培養學生口頭分享研究發現與書寫研究報告的能力。

（本研究的完成得益於多方的支持與貢獻。首先，衷心感謝所有參與教學活動的小學師生。同時，特別鳴謝澳門科學館、澳娛綜合（SJM Resorts）、澳門大學教育學院與澳門兒童文學協會對本研究項目的支持。此外，亦感謝 FED STEAM Team 成員周芷惠、黃心茹、陳芷晴、鄭芷穎、梁寶莉、吳子勝，以及研究助理丁澤祺、羅菁菁的寶貴貢獻。）

^① Boy, Guy A. “From STEM to STEAM: Toward A Human-Centered Education.” European Conference on Cognitive Ergonomics, 26–28 August 2013, Toulouse.

^② 〈“二十四節氣”正式列入聯合國教科文組織人類非物質文化遺產代表作名錄〉，中華人民共和國文化和旅游部網站，2016 年 11 月 30 日，www.mct.gov.cn/gtb/index.jsp?url=https://www.mct.gov.cn/whzx/bnsj/dw-whlj/201612/t20161214_773196.html，2024 年 7 月 22 日讀取；馮時：《文明以止：上古的天文、思想與制度》，北京：中國社會科學出版社，2018 年。

^③ 魏冰：〈澳門中小學科學教育〉，《中國科技教育》（北京），第 2 期，2024 年，頁 20–23。

附錄 1 STEAM 教育課程與教學設計

課程名稱	仿生術 —— 從鳥類的尾羽到飛機的尾翼		
設計者	向天屏、唐小為		
教學語言	普通話		
地點	澳門科學館教室		
日期	2023 年 11 月的某個周三下午的課後時間	時間	70 分鐘
學生年級	小學五年級	學生性別	女
學生人數	30		
	澳門特區政府小學教育基本學力要求（參見第 19/2016 號社會文化司司長批示）		
基力指標 （常識）	B-2-2	能探討澳門經濟和產業的發展對居民生活產生的影響（修訂版：B-2-3）；	
	C-2-1	能比較常見動物構造的異同，並能區別爬蟲類、鳥類、魚類，哺乳類等動物（修訂版已刪除此基力）；	
	C-2-5	能舉例說明動物適應自然環境的形態特徵及生活方式（修訂版：C-2-6）；	
	C-2-21	能搜集及整理相關資料，與同學交流討論自然現象和環境議題（修訂版：C-2-8 能舉例說明生物多樣性，並能探討環境變化對生物的影響）；	
	D-2-7	能說明簡單機械的原理，並能列舉它們在生活中的應用（修訂版：D-2-10）。	
	以下是修訂版新增的基力，能體現本課程的學習目標（參見第 52/2024 號社會文化司司長批示）		
基力指標 （數學）	D-2-1	能根據對科學現象的觀察、記錄與比較，初步提出可探究的科學問題；	
	D-2-2	能參與計劃簡易可行的科學探究活動，並能進行科學實驗；	
	D-2-3	能表達並呈現科學探究的過程與結果，提出合理的科學論據；	
	D-2-11	能瞭解設計過程的基本步驟，並能設計或製作簡易的工程模型或產品；	
	D-2-14	能關心新科技的發展與應用，列舉科技發展對生活的影響。	
基力指標 （語文—綜合運用）	C-1-4	體驗和認識長度單位“毫米”、“厘米”、“分米”、“米”、“千米”及進行單位間簡單的互相轉化；	
	C-2-7	能對生活中的量進行實測和估測；	
	F-1-4	能結合生活情境，體會數學的美。	
基力指標 （視覺藝術）	F-2-3	能就關注的問題，有目的地搜集資料，與別人討論，尋找答案；	
	F-2-4	能利用圖書館和網絡查找資料，並懂得摘取、輯錄、整理和運用；	
	F-2-8	與同學合作開展專題研習，並能運用演講、表演、書面報告、作品集、壁報及多媒體等方式展示學習成果。	
	IB-2-5	有技巧地運用各種工具及材料創作平面和立體作品。	

（接下頁）

學習目標	① 能分析飛機這種交通工具與澳門旅遊產業、澳門民生的關係。 ② 能通過閱讀非連續文本，說出鳥類尾與尾羽的功用（保持身體平衡、調整飛行方向、幫助降落、求偶）。 ③ 能通過閱讀非連續文本，說出鳥類如何起飛和降落。 ④ 能通過觀察指出飛機與紙飛機的設計是模仿哪些鳥類飛行時的姿態（機身對稱、機翼上翹、機翼末端向上摺、機頭較重、尾翼方向）及其理由。 ⑤ 能驗證通過調整紙飛機尾翼的設計，改變紙飛機飛行的方向。 ⑥ 能驗證通過調整紙飛機尾翼的設計，改變紙飛機迴旋的大小。 ⑦ 能嘗試通過搜集資料，解答問題。 ⑧ 願意初步探索自己的職業性向。 ⑨ 願意為人類與自然生態的共存提供建議。 ⑩ 能運用科學探究策略，完成科學探究過程。 ⑪ 能與同學合作，展示研究成果。 ⑫ 能運用自我調整學習策略完成學習任務。 ⑬ 能展現對飛行原理的好奇心。
學習策略	1. 閱讀策略：瀏覽／提示訊號策略、摘要策略。 2. 合作學習，責任分工與相互依賴。 3. 科學探究策略：觀察現象、提出問題；做出預測；實驗或搜集資料以驗證假設；記錄與整理研究發現；分享研究發現。 4. 自我調整學習策略：目標設定、自我監控、自我指導、自我評量、自我獎勵與尋求協助。
教材 教具 教室	1. 分工表與號碼牌（1-5 號；每組一份；共 6 份）。 2. 圖畫書 1：《人類是怎樣飛上天的？——和鳥類學飛行》；第 4、5、10、11、12、13、16、17、18、19、20、21、22、23、24 與 25 頁影本；每組兩份）。 3. 教學影片 1： 【科學不一樣】紙飛機產生向心力，怎麼飛都迴旋返。YouTube， www.youtube.com/watch?v=frLAbwuTDAY。 4. 教學影片 2： Paper Airplane 極致迴旋！隨便一扔就能飛到手裡的紙飛機。YouTube， www.youtube.com/watch?v=II5IzdygmZ8。 5. 探究學習工作紙（附錄 2；每人一張）。 6. 小組合作學習檢核表（附錄 3；每組一份；共 6 份）。 7. A4 摺紙 100 張（60g/m²；每人兩張）。 8. 2 厘米長的紙條（在摺紙飛機時，用以度量翼尖小翼的長度；每人一張）。 9. 鉛筆 36 枝。 10. 安排能測試紙飛機飛行效果的室內空間（以控制自變項：風向與風力）。 11. 鈴鼓（集中注意力與集合時使用）。

（接下頁）

班級組織	提前將教室內的桌椅分成 6 組排好。每組放 6 張椅子（每組 5 個學生，一位助教）。
	因為是課外活動課，志願參與的學生來自不同班級。
	在學生入座前，臨時告知參與學生現在玩“大風吹”的遊戲，以激勵學生不挑組員並且盡速坐下。
	5 人一組合作學習；學生根據自己隨機從桌上拿取的號碼牌，責任分工：
	領取 1 號牌者是“資源與環境控制者”，負責領取、分派材料，整理環境；
	領取 2 號牌者是“進度與時間控制者”，負責確保小組在規定時間內完成任務；
	領取 3 號牌者是“紀錄者”，負責記錄小組成員提供的答案；
	領取 4 號牌者是“演示者”，負責展現小組研究成果；
	領取 5 號牌者是“協調者”，負責確保每位成員輪流發表意見，並帶領組員整合意見。

學習目標	學習活動	教具	時間 (分鐘)	評量標準
	引入 (大班教學)			
	一、導師自我介紹	投影片	1	
	二、導師提問		3	
①	1. 澳門的經濟發展主要依靠哪些產業？			學生能指出澳門民生與飛機的關係；
	2. 在澳門，博彩旅遊業、會展主要依靠哪種交通工具給澳門帶來遠地的遊客？此種交通工具，如何影響同學們的日常生活？			說出人類是向鳥兒學飛；
⑬	3. 人類向誰學習飛行？鳥類飛行與飛機飛行原理完全一樣嗎？			產生對飛行原理的好奇心。
	三、導師小結		2	
	飛機飛行原理是門大學問。			
⑫	今天我們要探究的兩個重點是：			學生能設定學習目標。
	1. 人類在實現飛行夢想時，我們向鳥兒學習了甚麼？			
	2. 尾翼如何影響飛行？			
⑫	四、導師說明今日合作學習的方式		1	
	1. 同學必須根據取到的號碼牌後指定的責任，與組員分工合作完成小組任務。	分工表		學生能掌握課上自己的責任。
	2. 小組討論時請根據檢核表上的提示完成合作任務。	號碼牌 檢核表		
	3. 鈴鼓將用於請同學暫停活動，專注聆聽導師說話。	鈴鼓		

(接下頁)

發展			
一、分組任務一：分組探究		8	
②	通過閱讀非連續文本，探究鳥類尾與尾羽的	投影片	
③	功用，以及鳥類如何起飛和降落。	分工表	
⑦	1. 小組成員依責任分工，先閱讀指定材料、討	圖畫書 1	學生能說出鳥
⑪	論、再整理出鳥類尾與尾羽的功用（頁 4、	每組兩份	類尾與尾羽的
⑫	18、20、21 及 23），以及鳥類如何起飛和		功用；
	降落（頁 20–21）的答案。		保持身體平
	(1) 導師建議同學：先瀏覽提示訊息，再用鉛	鉛筆每人	衡、調整飛行
	筆在關鍵字句下畫線，最後嘗試用自己的	1 枝	方向、幫助降
	話整理出答案或畫出比較表。		落、求偶。
	(2) 導師提醒同學：根據小組合作學習檢核表	檢核表	學生能說出鳥
	的要求完成小組任務。		起飛時盡量張
	2. 向分組助教報告答案（助教根據評價標準與	評價標準	開並快速拍打
	答案給予回饋）。		翅膀，同時借
			助跳躍來起飛；
			準備降落時，
			展開翅膀與尾
			羽來減速；降
			落時，收緊尾
			羽並前伸腿
			部。學生能分
			工合作，報告
			探究的結果。
③	評價標準： 1. 分工合作：☐ 好 ☐ 尚可 ☐ 需要改進 2. 圈出關鍵字詞：☐ 好 ☐ 尚可 ☐ 需要改進 3. 分點論述，條理清晰：☐ 好 ☐ 尚可 ☐ 需要改進		
二、探究為了達成飛行的夢想，人類向鳥兒學習		10	
了甚麼？（大班教學）		投影片	
導師提問並引導學生觀察圖片：		不同磅數	
④	1. 鳥兒的身體和我們一樣左右對稱。如果不對	的紙	
	稱會怎樣？		
	2. 白鷺飛行時身體姿態有甚麼特點？白鷺飛行		學生能說出飛
	時身體重量集中於前部以保持穩定。		機與紙飛機要：
	3. 摺紙飛機應該學習哪種飛行？滑翔還是撲		機身保持對稱；
	翼？具有何種特質的鳥更擅於滑翔？		把重量“鎖”
	4. 哪架紙飛機滯空時間長（用哪種厚度的紙摺		在前部；
	紙飛機，紙飛機在空中能停更久）？翼展大		
	增大升力，體重輕減小重力，是適合滑翔的		翼展大，體重
	特點！		輕；Y 型設計；

（接下頁）

	5. 鳥類滑翔時翅膀的姿態是？兩翅平展略上揚的姿態能增大升力。翅尖羽毛直立能減少渦流、保持穩定。		具備翼尖小翼。
⑬	6. 導師小結：我們通過模仿小鳥的體形、體態、翼展，甚至翅尖的羽毛，學會了飛機與紙飛機的設計該具備哪些特點？那麼如何模仿鳥尾的功能呢？		學生能說出人類如何向鳥類學習飛行。
	三、小組任務二：製作能迴旋的紙飛機		
④	1. 紙飛機為何能迴旋？飛機尾翼升降舵的設計與飛行方向的關係是甚麼？觀看影片 1（大班教學）	影片 1	2 學生能說出飛機尾翼升降舵的設計與飛機迴旋的關係。
④	2. 所以若想摺出能迴旋的紙飛機，紙飛機必須具備那些特點：		
	(1) 機身對稱，Y 型設計		
	(2) 向上翹的機翼，機翼末端上揚（提高升力）		學生能說出紙飛機的尾翼向上摺，能使飛機迴旋。
	(3) 機翼大但要維持機身平衡（提高升力）		
	(4) 機頭略重但要注意平衡（提高穩定度）	30	
	(5) 尾翼要摺出……		
⑤	3. 假設與實驗（分組探究）	影片 2	
⑥	觀看影片，學習一種迴旋紙飛機的摺法（分	助教手機	
⑦	組導師示範）。引導學生體驗探究過程：	A4 摺紙	學生能說出待
⑩	(1) 發現問題：如何設計會自動飛回的紙飛	2 厘米長	答問題；
⑪	機？	的紙條	說出假設；
⑫	(2) 做出預測：a. 將紙飛機尾部向上摺，紙飛機	工作紙	根據假設摺出
⑬	將能迴旋。	檢核表	紙飛機；
	b. 紙飛機尾部向上摺的角度不同，紙飛機迴旋大小就不同。		測試飛行效果；
	(3) 實驗與紀錄：		記錄研究發現；
	製作紙飛機。		驗證假設；
	測試紙飛機是否能迴旋。		報告研究成果。
	測試紙飛機尾部向上摺的角度與迴旋大小的關係。		
	記錄研究發現。		
	(4) 小組內整理研究成果。師生回饋。		

（接下頁）

綜合 (大班教學)		13
一、小組報告		投影片
⑪	1. 引導一組學生根據評價標準向大家報告探究結果。	評價標準
⑫	2. 導師根據探究過程與評價標準給予回饋。	學生能根據評價標準分享研究發現。
評價標準： 1. 分工合作：☐ 好 ☐ 尚可 ☐ 需要改進 2. 面向同學：☐ 好 ☐ 尚可 ☐ 需要改進 3. 聲音宏亮：☐ 好 ☐ 尚可 ☐ 需要改進 4. 分點論述，條理清晰：☐ 好 ☐ 尚可 ☐ 需要改進 5. 示範實驗結果：☐ Yes ☐ No		
	3. 根據紙飛機成品特徵與測試效果的關係提供回饋。	學生能說出如何修改紙飛機成品以提高測試效果。
二、延展性學習		投影片
⑦	1. 人與自然的和諧共生：	
⑧	通過鳥撞事故與防止鳥撞的過往措施，引導	學生願意為人
⑨	學生思考：人以鳥為師，又該如何回報鳥？	與鳥的共存思考防止鳥撞的方法。
⑬	與鳥共存？如何更友善地預防鳥撞？	學生願意通過反思與搜集資料，認識自己的職業性向，並開始做準備。
	2. 認識自我：	學生展現出對仿生議題或飛行原理的好奇心。
	引導學生思考，如果我想從事飛行器研發或航空管理相關行業，該選讀甚麼科系？	
	如果想我當飛行機師，需要具備哪些能力？	
	3. 仿生議題的後續探究：	
	鼓勵學生繼續探究人類還有哪些仿生科技是模仿動物的？	
	紙飛機大小與飛行距離的關係？	
	機頭重量與飛行速度的關係？	

附錄 2 探究學習工作紙

學校：_____ 年級：_____ 姓名：_____

一、科學探究過程：

1. 研究問題：如何設計會自動飛回的紙飛機？

2. 研究假設： (1) 將紙飛機尾部向上摺，紙飛機將能迴旋

(2) 紙飛機尾部向上摺的角度不同，紙飛機迴旋大小就不同

3. 實驗與紀錄： (1) 製作紙飛機 (將紙飛機尾部向上摺)

(2) 我的紙飛機能迴旋： ☐ 能 ☐ 不能

(3) 測試紙飛機尾部向上摺的角度與紙飛機迴旋大小的關係

(4) 我發現：

假設 (1) 將紙飛機尾部向上摺，紙飛機能 / 不能迴旋

假設 (2) 飛機尾部向上摺的角度越大，紙飛機迴旋的圈越大 / 小

4. 報告研究發現： (1) 分享個人的研究發現

(2) 整理小組報告

附錄 3 小組合作學習檢核表

日期：_____年_____月_____日

學習主題：〈_____〉

組員的姓名：_____、_____、_____
 _____、_____、_____

檢核項目	沒有做到	確實做到	補充說明 (沒有辦法確實做到的原因)
1. 我們認真地討論。	1	2	
2. 我們小聲地討論。	1	2	
3. 每個組員都有發表自己的意見。	1	2	
4. 每個組員都能完成自己的責任。	1	2	
5. 當我們意見不同，不知道該怎麼辦的時候，我們會再請教老師或是其他組的同學。	1	2	
6. 即使意見不同的時候，我們也能保持有禮貌的態度。	1	2	
7. 我們能嘗試驗證研究假設，並且記錄研究發現。	1	2	
8. 我們能有條理地報告研究發現。	1	2	
9. 我們互相提醒，要把握時間。	1	2	

 我們遇到的困難是：

 我們解決這些困難的方法是：

