

在常識科應用設計循環開展高小 STEM 教育

林從敏博士 (教育局 小學校本課程發展組)

利國鴻老師、宋健宏老師 (聖公會靈愛小學)

引言

為了回應全球 STEM 教育的趨勢及裝備學生應付科學科技急速發展所帶來的轉變和挑戰，學校均積極開展校本 STEM 教育，旨在提供機會讓學生綜合應用不同領域的學科知識進行解難，但當中可能遇到不少的疑惑，例如 STEM 教育與科學探究的分別是什麼？最摸不著頭腦的是工程教育如何在小學開展？本文藉與聖公會靈愛小學的協作經驗，利用設計循環的理念開展高小的 STEM 教育，分別是四年級的太陽能車、五年級的手提吸塵機及六年級的水火箭，闡釋如何透過這些專題發展學生創意及解難的共通能力。

STEM 教育與科學探究的分別

學者 Bybee (2011)就科學家和工程師所進行的探究過程作出比較，當中也涉及訂立不同的假設或測試不同的方案、訂定清晰的計劃、利用不同的儀器進行量度、記錄及有系統地分析數據，科學家與工程師的最大分別在於他們感興趣的問題，科學家會提問一些有關於現象的問題，例如：天空為什麼是藍色？在無重條件下，植物會怎樣生長？科學家會就問題提出合理的解釋，並嘗試找出支持的證據，從而得出結論。因此，科學探究過程可以幫助學生理解世界和建構相關的科學知識。而工程師會提問一些解決日常生活的問題，例如怎樣的背囊設計可以減省對脊椎的負荷？如何設計儀器來幫助患有帕金森症病人進行書寫？工程師往往是將所學的科學知識理論應用於產品設計，因此 STEM 教育的重點在於讓學生綜合和應用知識，就日常生活問題作出解難探究，而科學探究的過程可讓學生發展不同的科探技能，可說兩者之間是相輔相成。

STEM 教育中的「E」

在基礎教育的課程文件中，就「科學教育」、「科技教育」和「數學教育」三者，均有清晰的課程文件，但並沒有工程教育的相關課程，那工程教育如何在小學開展？學者們提出在小學階段，老師們可透過工程的設計過程，讓學生綜合應用科學和數學知識進行生活解難(DiFrancesca, Lee, & McIntyre, 2014)，這設計過程能讓學生真實體驗及學習工程教育，並讓學生體會不同學科知識與生活的連繫，從而提昇學生的學習動機。而美國的 National Research Council (NRC)對工程廣義定義為「任何有系統地參與設計並實踐，獲得解決人類生活問題的方案。」(NRC, 2012, p.11)。另外，學者提出 PIRPOSAL 教學模型來實踐綜合 STEM 教育，當中包括八個循環過程，分別是辨別問題(Problem identification)、製成品的理想標準(Ideation)、研究(Research)、可行方案(Potential solutions)、製成品優化(Optimization)、方案評鑑(Solution evaluation)、製成品改良(Alterations)和學習成果鞏固(Learned outcomes) (Wells, 2016)，這過程正與常識科課程指引提及的設計循環理念不謀而合(香港課程發展議會，2011)。而在設計製成品的過程中，學生可應用不同的科技知識，當中的知識範圍包括資訊和通訊科技、物料和結構、營運和製造、科技與生活等(香港課程發展議會，2002)。例如，學生可根據不同物料的特性而選擇合適物料進行設計，在測試製成品時，可運用資訊科技進行測試、量度，從而增加數據的信度。

設計循環的理念與實踐

協作學校過往會在試後活動舉辦科學日，重點在於提昇學生對科學的興趣及認知，科學日的主題與常識科的單元教學關連不大，其目標亦不太明確，學校亦較少讓學生進行設計循環的活動，老師們有感優化現行課程的迫切性，期望透過設計循環的活動，提供機會讓學生綜合應用學科知識，更發展解難、創意和協作等共通能力。於是我們設計了三個第二學習階段的專題科技活動，分別是四年級的太陽能車、五年級的自製手提吸塵機及六年級的水火箭，讓學生經歷最少一次的设计循環，從實踐中發現產品問題及作出改良。為了增加學生的動機及活動的挑戰性，活動均以小組比賽的形式進行。

舉隅一：四年級太陽能車

就四年級而言，在單元「環境與我」中，提及空氣污染問題，而太陽能正是其中的一種解決方案，對改善路邊空氣污染尤其有效。是次專題要求學生利用簡單的科學原理，設計新穎獨特的太陽能車。在製作過程中，學生要選擇環保的物料製作太陽能車身和車輪，並在第一輪測試後，分析數據，計算太陽能車行走 10 米的平均時間，繼而利用設計循環的概念改良設計，最後進行班際比賽。表一展示了設計循環的教學活動及目標。

表一：四年級科技活動的教學安排

設計循環的活動	活動內容	教學目標
相關學科知識的輸入	單元教學：小小考察隊	<ul style="list-style-type: none"> ● 繪製學校的平面圖並透過 Google Map 辨認學校的方位，稍後用作決定太陽能板的方向
相關學科知識的輸入	單元教學：空氣污染	<ul style="list-style-type: none"> ● 分析空氣污染的成因及其影響
辨別需要和問題	單元教學：太陽能	<ul style="list-style-type: none"> ● 說出太陽能車是解決路邊空氣污染的其中一方法 ● 從實驗結果歸納提昇太陽能板產出效能的因素（如太陽能板的受光面積及照射角度）
蒐集、選擇和組織有關資料	資料搜集	<ul style="list-style-type: none"> ● 搜集太陽能車相關的資料
發展解決問題的方案	設計太陽能車	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用簡單的科學原理，設計新穎獨特的太陽能車 ● 繪畫太陽能車設計圖
計畫、組織、實踐並管理解決問題的方案	製作太陽能車	<ul style="list-style-type: none"> ● 選擇環保的物料製作太陽能車（如車身、車輛和車軸）

與其他人交流解決問題的方案/評鑑解決問題方案的成效	<ul style="list-style-type: none"> ● 太陽能車測試及改良 ● 太陽能車比賽 	<ul style="list-style-type: none"> ● 用秒錶量度太陽能車行走 10 米距離的時間 ● 進行數次測試並計算太陽能車行走 10 米的平均時間 ● 觀察並發現太陽能車的問題 ● 討論改良太陽能車的方法 ● 匯報設計理念及改良的地方 ● 進行太陽能車比賽 ● 評鑑太陽能車解決空氣污染的可行性
---------------------------	---	---

舉隅二：五年級手提吸塵機

五年級的科任老師們，根據單元「電的故事」，在教授閉合電路後、設計生活情境，讓學生應用知識製作手提吸塵機，當中考慮到扇葉是由老師提供還是學生自行製作，老師們均認為讓學生製作不同的扇葉，能發揮學生的創意及培養他們對事物的觀察力，學生透過觀察不同電器如風扇、吸塵機、風筒、抽氣扇的圖片，歸納扇葉的角度和方向會影響吸塵機的效能。除此之外，學生搜集網上資料，共同訂立良好吸塵機的準則，如運作時的聲量愈少愈好。測試和比賽時，運用免費的流動應用程式量度操作時的聲量。從學生作品可見，他們的設計能考慮到外觀、吸力、靜音、便攜性等，這過程不但發揮學生的創造力，亦讓學生從不同角度檢視作品。表二展示了設計循環的教學活動及目標。

表二：五年級科技活動的教學安排

設計循環的活動	活動內容	教學目標
相關學科知識的輸入	單元教學：閉合電路	<ul style="list-style-type: none"> ● 說出閉合電路的組成元件 ● 從實驗歸納導電體和絕緣體物件的特性
相關學科知識的輸入	單元教學：乾電池正負極倒置對馬達	<ul style="list-style-type: none"> ● 從實驗歸納乾電池正負極倒置對馬達的影響

	的影響	
辨別需要和問題	單元教學：生活情景引入和觀察不同的電器	<ul style="list-style-type: none"> ● 討論理想吸塵機的標準 ● 歸納扇葉的角度和方向會影響吸塵機的效能
蒐集、選擇和組織有關資料	資料搜集	<ul style="list-style-type: none"> ● 搜集製作吸塵機相關的資料
發展解決問題的方案	設計手提吸塵機	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用簡單的科學原理，設計手提吸塵機 ● 繪畫手提吸塵機設計圖
計畫、組織、實踐並管理解決問題的方案	製作手提吸塵機	<ul style="list-style-type: none"> ● 選擇環保的物料製作手提吸塵機（如機身、扇葉、手柄等）
與其他人交流解決問題的方案 / 評鑑解決問題方案的成效	<ul style="list-style-type: none"> ● 手提吸塵機測試及改良 ● 手提吸塵機比賽 	<ul style="list-style-type: none"> ● 用秒錶量度 10 秒，測試手提吸塵機能清除的紙粒數目 ● 運用免費的流動應用程式量度操作時的聲量 ● 進行數次測試，並計算手提吸塵機清除紙粒的平均數目 ● 觀察並發現手提吸塵機的問題 ● 討論改良手提吸塵機的方法 ● 匯報設計理念及改良的地方 ● 進行手提吸塵機比賽 ● 歸納效能較佳的手提吸塵機的因素

舉隅三：六年級水火箭

有別於一般水火箭的活動是量度橫向的飛行距離，六年級的科任老師們將水火箭升空過程拍攝下來，應用電腦開源程式 **Tracker** 來分析水火箭的

升空軌跡，從而找出水火箭的飛行高度及計算不同時段的飛行速度，這亦能夠更貼近現實火箭升空的情況。老師更拍攝教學短片，教授學生如何操作電腦程式，讓小組能根據自己的進度來分析數據，從而照顧不同組別的差異。另外，是次活動亦運用電腦模擬實驗，模擬不同水份量和氣壓對水火箭的升空高度的影響，讓學生在設計水火箭時能考慮不同的因素。表三展示了設計循環的教學活動及目標。

表三：六年級科技活動的教學安排

設計循環的活動	活動內容	教學目標
相關學科知識的輸入	單元教學： 奇妙的宇宙	● 解釋作用力與反作用力的原理
辨別需要和問題	利用氣球模擬火箭升空	● 透過模擬火箭升空，解釋火箭推進的原理
蒐集、選擇和組織有關資料	資料搜集、模擬水火箭升空的實驗	<ul style="list-style-type: none"> ● 搜集製作水火箭相關的資料 ● 利用電腦模擬實驗，探究水的份量、氣壓對水火箭升空高度的影響
發展解決問題的方案	設計水火箭	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用簡單的科學原理，設計水火箭 ● 繪畫水火箭設計圖
計畫、組織、實踐並管理解決問題的方案	製作水火箭	● 選擇環保的物料製作水火箭（如機頭、機身、機翼等）

<p>與其他人交流解決問題的方案 / 評鑑解決問題方案的成效</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 水火箭測試及改良 ● 水火箭比賽 	<ul style="list-style-type: none"> ● 用攝錄機將水火箭升空過程拍攝下來 ● 運用開源軟件(Tracker)找出水火箭升空的最高高度及不同時段的速度 ● 觀察攝錄片段及分析數據，發現水火箭的問題 ● 討論改良水火箭的方法 ● 匯報設計理念及改良的地方 ● 進行水火箭比賽 ● 歸納較佳組別水火箭的設計 ● 討論真實火箭升空時遇見的困難
------------------------------------	---	--

應用設計循環開展 STEM 教育的反思

教師方面

協作學校在高小 STEM 教育得以順利開展，實有賴老師們的悉心經營，與老師們經歷了一年多的共同備課，他們對課程的開放性、勇於接受挑戰和嘗試新事物的態度，實在值得敬佩。在共備期間，我們會一起製作太陽能車、吸塵機和試射水火箭，討論如何運用開源軟件分析數據，如何透過這些科技活動，讓學生綜合應用知識，亦考慮學生在操作上的難點及可行性，從而提供適切的鷹架。另外，老師們在課堂的角色亦有所轉變，課堂上實現了教學範式轉移，由教師主導轉變為以學生為中心，老師製作短片讓學生自學如何使用開源軟件，從課堂觀察可見，小組內的組員當遇到操作上的問題，學生之間會互相幫助和提點，老師可更有效地利用時間，刺激學生思考數據背後的意義。

學生方面

從課堂的觀察、學生的作品及匯報可見，學生們無論在製作、測試、改良的過程中，均有積極、投入的表現、雖然在製作過程中遇到了不少的問題，但他們亦能作出相應的改善，如四年級的學生發現太陽能車行駛的方向與電線正負極倒轉有關、齒輪之間是否互相緊扣、在車輪上加上橡皮圈增加與地面接觸的摩擦力，他們的設計亦考慮到車身要流線形、選擇較輕的物料如塑膠盒、發泡膠等。另外，學生亦考慮安裝太陽能板時的方向，有的組別更運用鐵線固定太陽能板，使之能調校太陽能板的方向。

五年級的學生在測試吸塵機時，會考慮利用不同的物料製造扇葉如膠片、膠盒、硬卡紙和酒店匙卡等，學生亦能有條不紊地解釋吸塵機的運作，並參考其他電器扇葉的形狀，設計出不同的扇葉。在測試過程中，他們發現扇葉的角度對吸力具影響力，亦改善摩打與吸口的距離，從而改良吸塵機的效能。有組別發現部份紙屑會在機身的另一端掉出來，經過討論後，他們加了一個紗網防止這現象。另外，有組別發現摩打的轉動方向會影響吸塵器是吹出還是吸入空氣。除了吸塵機的效能外，學生亦能運用前置知識如棉花等的鬆軟物料包著吸塵機，以達致靜音的效果。有的組別更利用即食麵的發泡膠杯作為機身物料來減少操作時的音量。

六年級的學生在設計水火箭時，會考慮水的容量而決定水火箭機身的大小，亦會考慮機翼的物料是否防水，機頭的設計是否流線形，從而減少與空氣的摩擦，他們亦能運用公平測試的原則，以相同的水容量、發射角度及氣壓作為比賽條件。另外，學生在第一天試射後，均能發現水火箭的問題，從而作出改善，如發現飛行方向不穩定，於是他們改變了機翼的形狀、大小或物料。有組別更加入降落傘，以減少水火箭返回地面時的撞擊。

學生在設計循環的過程中，除解難能力得以提昇外，從他們的製成品來看，其創意亦有所發揮，每一件製成品，無論在外觀、物料的選擇及設計上，均有其獨特之處，學生們除了能體驗工程師在設計過程中不屈不撓的精神，更在真實操作的環境下，體會設計及改良產品的原則、局限，從而學會欣賞身邊的事物。

總結

綜合與協作學校的實踐經驗，在使用設計循環來開展 STEM 教育時可考慮以下事項，首先，設計產品與常識科課程的配合、設計前相關的輸入，這能讓學生靈活地運用不同的學科知識；另外，適時引入資訊科技輔助進行記錄、量度，讓學生更有效及準確地收集數據；最後，老師需提供機會讓學生經歷循環的過程，提供鷹架，從自己的產品和同學的產品中發現問題，以發展他們的後設認知及解難能力。

參考資料：

- 1 Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K-12 classrooms understanding a framework for K-12 Science Education. *Science Scope*, 35(4), 6-13.
- 2 DiFrancesca, D., Lee, C., & McIntyre, E. (2014). Where is the "E" in STEM for young children? Engineering design education in an elementary teacher preparation program. *Issues In Teacher Education*, 23(1), 49-64.
- 3 National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- 4 Wells, J. G. (2016). PIRPOSAL model of integrative STEM education: Conceptual and pedagogical framework for classroom implementation. *Technology & Engineering Teacher*, 75(6), 12-19.
- 5 香港課程發展議會(2002)。《科技教育：學習領域課程指引(小一至中三)》。香港：政府印務局。
- 6 香港課程發展議會(2011)。《小學常識科課程指引(小一至小六)》。香港：政府印務局。