

高中工程設計實作教學活動之設計與發展

—以乒乓球發射器為例

Design and Development of Senior High School Engineering

Design Practical Teaching Activities

— Taking Table Tennis Launcher Lesson as an Example

姚經政、林呈彥

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

Jing-Jheng Yao、Cheng-Yen Lin

Department of Technology Application and Human Resource Development,

National Taiwan Normal University

摘要

隨著十二年國教即將上路，科技領域課綱將工程設計視為高中階段的主軸，其立意良好，但由於大多數的中學教師對工程教育的教學方法和教材不甚熟悉，可能會導致課綱實施的困難。因此，本文依照 Atman(2007)的工程設計流程為基礎，以乒乓球發射器為例，提供中等教師一個適切的工程教育教學活動，幫助教師進一步設計工程教育教案。此外，也針對乒乓球發射器提出省思與建議如下：(一)應適當的控制變因數量，不可過多導致學生學習意願降低。(二)工程設計流程能夠整合知識與技能，為高中工程教育所重視的教學方法。(三)和傳統生活科技課程不同，工程教育強調透過適當的教學策略加入工程相關知識，進而提升學生的工程興趣，在生活上不僅具實用價值，並且注重學生的思考能力，為生活科技未來的主軸。(四)本活動強調機構的設計，建議教師應於實作前先與學生進行討論並且實施建模，此外，也應鼓勵學生進行評估與分析，而非單純的嘗試錯誤。

關鍵字：工程教育、STEM、工程設計流程、乒乓球發射器

壹、前言

臺灣即將上路的十二年國教科技領域課綱將工程設計視為高中階段的主軸，希望學生面對問題時，運用所學過的數學、科學知識搭配工程設計流程，如模擬、評估、最佳化等步驟進行動手實作，提供學生知識與技能並重的課程。工程教育的立意良好，但問題也在推動前夕伴隨而來，目前最緊迫的問題是工程教育首次在臺灣推動，大部分的中學老師對其並不熟悉，若希望工程教育能在未來順利推動，需要開發適當的教學範例，提供生活科技教師參考，如此才能將有效落實新課綱的教育理念。本文主要以工程教育理念為基礎，結合Atman等人（2007）提出的工程設計思考流程，以乒乓球發射器做為主題，設計一工程教育實作活動，提供生活科技教師參考，藉此培育高中生的工程態度以及工程設計思考的能力。

貳、文獻探討

一、十二年國教科技領域之工程教育內涵

在 2015 年《十二年國教科技領域課程綱要草案》中，提到高中生活科技課程的主軸著重在工程教育，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科、STEM 知識整合的學習。林坤誼（2014）提到 STEM 的科際整合教育議題在近年來受到許多的關切與重視，顯示工程教育的重要性不容忽視，各國皆盼望透過這樣的教育有效活用學生的知識與技能，並藉此發展學生在科技與工程領域的設計、創新、批判思考等高層次思考能力。

提倡工程教育的原因主要有兩點，由於臺灣各大專院校皆有以工程為元素之科系，但高中生選填志願時卻從來不知道何為工程，為改善這樣的情況，我們必須在高中階段就將工程的教育帶入，協助學生了解工程的意涵。另一點則是以往科技教育的形式以「嘗試錯誤」最為普遍，但欲整合知識，在活動的設計上就應該有其脈絡與邏輯性，因此導入工程的教育並藉機培養學生跨科整合的能力，希望老師提供活動中的重要變項，學生透過模擬、預測來得知自己將會得到怎麼樣的成果，改善過往的科技教育。

在上述理念之下，臺灣的科技教育學習內容分為四個主題：科技的本質、設計與製作、科技的應用、科技與社會，工程的部分為高中必修課程，其學習內容整理如下表 1 所示（十二年國民基本教育科技領域課程綱要委員會，2015）。

表 1 十二年國教科技教育學習內容簡述表

一、科技的本質	
工程的概述	介紹科技、科學與工程關係，使學生能理解重要且兼具實用性的重要工程概念知識。
工程的內涵	介紹現代社會中重要的工程內涵，包含機械、機電、電子、土木、環境以及建築等領域。
工程、科技、科學與數學的統整與應用	藉由 STEM 科際整合進行教學，綜合工程、科技、科學與數學 4 大領域的學習與應用
二、設計與製作	
工程設計與實作	學生能夠了解並應用工程設計流程，包含界定問題與條件、解決方案與策略、預測分析、最佳化。
電腦輔助設計與製造	培養學生透過電腦進行繪圖、設計並進行製造的能力。
三、科技的應用	
結構設計與材料工程	以設計能力為培養主軸，包含空間與結構工程、產品設計與製造工程。
機電整合與系統控制工程	學習機電以及自動化控制，包含機械與機電控制工程、能源與運輸工程。
四、科技與社會	
工程科技議題的探究	經由對於科技與工程的學習後，由教師引導帶領學生討論目前社會上的工程科技議題，並進行探究。

具體而言，臺灣高中階段的工程教育內容包含科技的本質、設計與製作、科技的應用、科技與社會四個主題，希望生活科技課程能夠讓學生知道何謂工程，並透過活動整合學生的能力，讓學生在知識、技能的運用上都得以學習，進而培養學生的科技與工程素養。

二、工程設計之意涵與流程

(一) 工程設計的意涵

NCETE (The National Center for Engineering and Technology Education) 在工程設計領域提出三個核心能力，這三個工程能力為限制 (Constraints)，最佳化 (Optimization) 和預測分析 (Predictive Analysis)，簡稱 COPA(Merrill, Custer, Daugherty, Westrick, & Zeng, 2008)，本文整理如表 2。

表 2 工程設計三大核心能力

能力	內涵
限制 (Constraints)	限制往往在設計開始前進行，其意涵為在教學中要求學生盡可能的考慮各種現實的客觀限制，包含成本、可行性、時間、材料和環境影響等因素。
最佳化 (Optimization)	最佳化意指「最好」的設計，而欲達到該目標，所需考量的因素不單只是設計上的考量，而更牽涉更多層面，包括生產力、強度、效率、利用率及使用年限等在內，都必須於構思設計的過程反覆考量。
預測分析 (Predictive Analysis)	預測分析常於構思結束後進行，並對於各種可能嘗試進行模擬，嘗試尋找最佳的方案。Eekels(1995)認為在工程設計時，若無進行預測分析的步驟，那麼在行動時只能以嘗試錯誤的方式進行，更有可能陷入永無止境的徘徊尋找一個解決方案的窘境。

綜上所述，工程設計強調想先於做，重視「先思考，後執行」，而不是一昧的嘗試錯誤。

(二) 工程設計流程

Atman(2007)提出了工程設計流程，為個體在面對複雜問題時可以採用的建議步驟，並且對應於限制、預測分析、最佳化等三個核心概念。此外，他認為問題解決是工程設計的重要目的，因此工程設計的流程就成為工程發展的重點。其程序包含：確認需求、定義問題、蒐集資訊、產生想法、建構模型、可行性分析、評估、決定、溝通協調、實踐等步驟。

1. 確認需求：

首先需要了解所遇到的需求是什麼？將所有可能得需求一一條列下來後再進行討論並進行增減。

2. 定義問題：

接著從提出的需求中，定義出所面臨的問題與限制。

3. 蒐集資訊：

尋找並蒐集相關的資訊，運用小組討論、資料蒐集、腦力激盪等方式幫助學生建構自身對學習主題之理解。

4. 產生想法：

發展出可能的構想與解決方法。學生解釋並重新思考設計問題，藉此確認每一需求所包含的意義，並繪製設計圖及與組員討論、發表。學生亦須針對製作流程進行解說，以確認學生對於加工程序的規劃能力。

5. 建構模型：

描述該如何實現這些構想與方法。可用簡單的材料進行建模，用容易改造的材料模擬構想中的發射器，材料的耐久程度其次，只要能夠取得同機構結構上的效果即可算是成功的建模。

6. 可行性分析：

分析所有建模的可行性，如果替換成實際加工的材料是否會有困難，選擇的替代材料是否有符合限制。

7. 評估：

比較所有建模中可行的方法，尋找合適的設計，學生在做評估的時候要考慮到機構的穩定度、結構的強度、發射器的力道、加工的方式等，促使學生對所學內容作深度探討，將簡單學科概念轉換為複雜問題的解決能力。

8. 決定：

選出效果最好的方法或是成功率最高的方法。

9. 溝通協調：

與其他人進行討論，小組中的成員可能會有人認為其他的設計比較好，為了達成共識，組員間必須跟其他人傳達自己的評估與決定結果，並說服或是妥協其他組員。

10. 實踐：

確實依照計畫實現構想，並將之進行紀錄。並針對測試結果進行分析其優缺點以其進行改善。

本文將以工程設計流程做為本教學活動的架構，引導教師與學生在進行工程導向之課程時可以更有系統的進行教學課程活動，並且讓學生能夠有清楚的指引進行課程。

參、教學設計

本教學活動為工程取向課程，教學內容涵蓋科學、科技與數學之學科內容。透過活動整合學生知識與實作技能，進而製作出一台能夠發射不同球路的乒乓球發射器。教學流程使用 Atman 等人(2007)提出的工程設計流程，盼學生能夠了解工程的意義與重要性，更希望此活動能作為一範例提供給生科教師參考，詳細如表 3。

表 3 工程設計流程與課程之對應

工程設計流程	課程內容
1. 確認需求	本次乒乓球發射器是為了模擬實際的回擊練習，所以需要能夠射出會旋轉的球。而且球的類型要能夠變換，這樣才能夠達成實際發球的練習。本活動透過專題式的學習，建立「乒乓球回擊練習」的情境，對製作目標進行說明。
2. 定義問題	請學生考量限制，例如本次活動的經費扣除工具以及板材，材料費必須壓在 500 元以內，而且不能使用現有的電器產品進行拆解。
3. 蒐集資訊	請學生進行資料蒐集的工作，並於課堂提出來一同討論。老師可以提供獲得資料的管道或是方法。同時指點學生用現有材料如何製作符合限制條件的發射器。
4. 產生想法	挑選幾種可行的方案繪製成設計圖，並同時提出重點和特徵進行文字描述。
5. 建構模型	使用厚紙板或是西卡紙進行建模。
6. 可行性分析	透過建模進行可行性分析，重點必須考量若將其替換成真實的材料是否在製作上、成本上會遭受到阻礙或困難。
7. 評估	比較所有建模模型中可行的方案，考量的因素包含結構穩定、強度、材料的使用、是否能達到需求等。
8. 決定	選出最佳方案。
9. 溝通協調	確認小組中的成員是否對於該方案有疑義，若有其他意見可在此階段提出並進行討論，組員間必須跟其他人表達自己的想法，最終能讓小組的作品更加完善。
10. 實踐(製作)	實際將設計付諸執行，並測試發射器是否有如目標需求一般的功能。如果有，則須詳細分析裝置成功之因素，並紀錄於學習歷程檔案。如果無，需進一步提出改善構想，並針對構想的方案進行改進，以達成目標。

肆、高中工程教學活動範例—以乒乓球發射器為例

一、活動情境

班上最近迷上了桌球，每位同學都積極尋找練習對象增進自己的實力，不過難免找不到夥伴陪同一起練習，即使有夥伴又不可能要求對方能夠完全照著自己的需求陪同練習發球，這時候就萌生了購買發球機的想法。但是一台發球機動輒數萬元，身為一名學生根本無法負擔的起，但如果能夠請教學校的生活科技老師，請老師指導我們用簡單的材料與零件製作，說不定能滿足我們的需求。因此本次活動所要解決的工程問題，便是設計與製作一台乒乓球發射器。

二、活動簡述

(一) 教學對象：

此活動以工程設計流程作為主軸，建議教學對象以高中學生為主。

(二) 教學時數：

10 節課 500 分鐘。

(三) 評量標準：

學生必須透過工程設計流程製作一台電動乒乓球發射器，除了發射直球之外，還必須有發旋球的功能，此外必須能連續發射 10 顆球以上。

(四) 使用材料與工具：

本活動使用的材料詳列如表 4，工具詳列如表 5，材料圖片呈現如圖 1。

表 4 乒乓球發射器活動材料表

項次	項目名稱	數量	範例規格	價格	用途
1	水管(直)	2	外徑 48mm 內徑 44mm 長度 15cm	50 元/1 根	進球及發射裝置主材料
2	水管轉接頭(45 度)	1	外徑 55mm 內徑 48mm	30 元/1 個	連接進球裝置及發射裝置

3	橡皮車輪	1	綠色小口徑輪 +真空胎避震 胎 15239	15 元/1 個	旋轉球體
4	四驅車馬達	1	15487 TORQUE- TUNED	99 元/1 顆	發射裝置動力
5	減速齒輪組	1	144:1	100 元 /1 組	進球裝置動力，含馬達
6	木心板	2	200*200*18 (mm)	20 元/1 片	底板材料
7	密集板	1	200*200*6 (mm)	20 元/1 片	支撐架材料
8	電池盒	1	4 入	22 元/1 份	發射裝置電源供應
9	電池盒	1	2 入	18 元/1 份	進球裝置電源供應

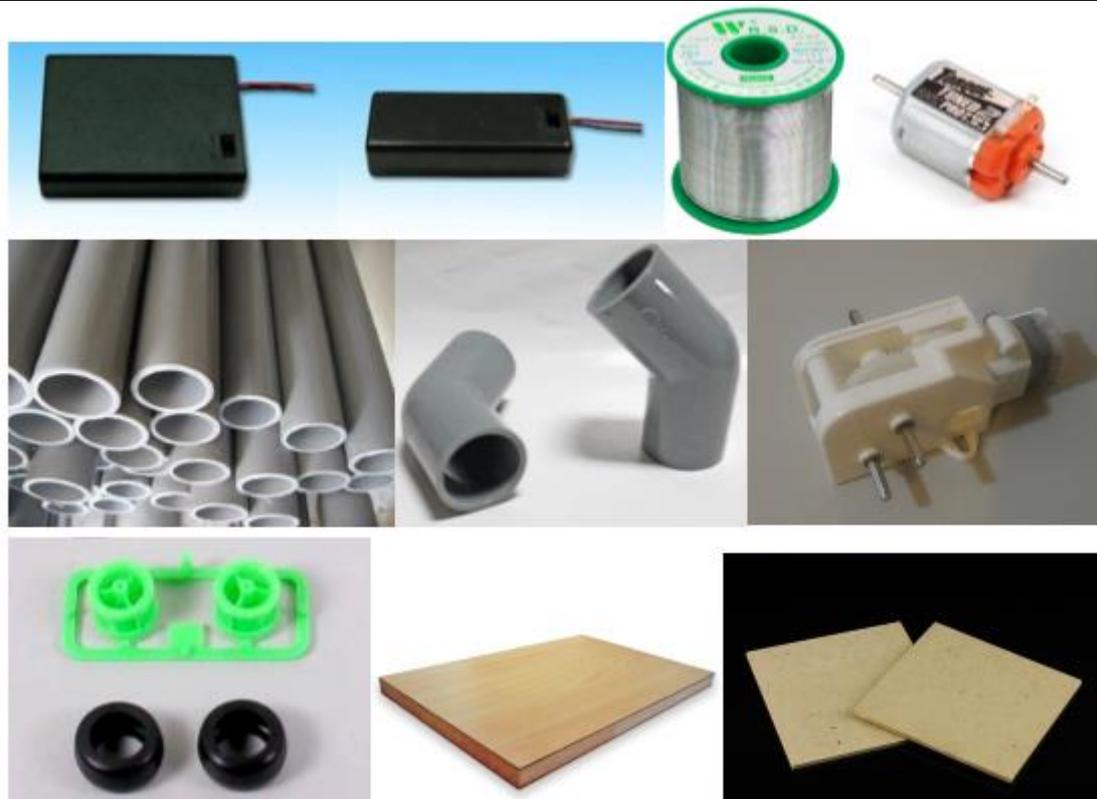


圖 1 製作材料

表 5 乒乓球發射器活動工具清單

項次	項目名稱	數量	規格
1	線鋸機	1 台	MSJ401
2	鑽床	1 台	EDP20013B
3	銼刀	1 把	扁銼
4	鐵尺	1 把	30 公分
5	熱熔膠槍	1 把	小/15W
6	烙鐵	1 把	木柄式 40W 烙鐵
7	電工膠帶	1 網	3M 絕緣膠帶

三、課程目標

本教學活動為工程取向之科際整合課程，故課程包含科學、科技、工程與數學之學科內容、基本操作能力與核心素養。而課程目標以十二年國教科技領域課程綱要，高中科技領域核心素養具體內涵為主。

- (一) 具備系統思考與分析探索的能力，並能運用科技工具與策略有效處理並解決人生各種問題。
- (二) 具備統整科技資源進行規劃、執行、評鑑及反省的能力，並能以科技創新的態度與作為，因應新的情境與問題。
- (三) 具備利用科技以妥善組織工作團隊與溝通協調，以進行合作共創的能力。

四、製作流程

乒乓球發射器主要分為兩個部分，發射裝置與導球裝置。發球裝置的製作流程搭配圖片整理如下表 6；導球裝置的製作流程搭配圖片整理如下表 7。

表 6 發射裝置製作步驟

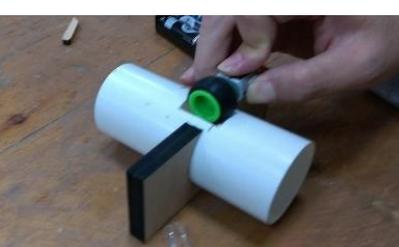
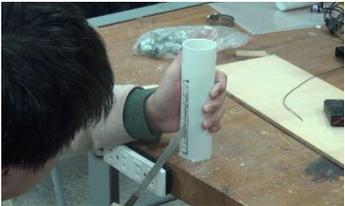
步驟 1	步驟 2	步驟 3
裁切水管約 15cm。	用鑽床挖孔，孔徑大小約與輪胎直徑相同。	用銼刀修飾挖孔邊緣直至光滑。
		
步驟 4	步驟 5	步驟 6
用線鋸機切割密集板，製作馬達依靠的固定點。	用烙鐵及鉛錫將馬達與電池盒連接。	測試馬達旋轉時，橡皮輪能夠順利運轉。
		
步驟 7	步驟 8	步驟 9
使用熱熔膠固定電池盒、水管及馬達，再纏上電工膠布。	內側出口貼上砂紙或泡棉膠，增加摩擦力。	完成，試射！
		

表 7 導球裝置製作步驟

<p>步驟 1</p>	<p>步驟 2</p>	<p>步驟 3</p>
<p>裁切水管約 15cm</p>	<p>用鑽床挖孔，孔徑大小約與導輪直徑相同</p>	<p>用銼刀修飾挖孔邊緣直至光滑</p>
		
<p>步驟 4</p>	<p>步驟 5</p>	<p>步驟 6</p>
<p>使用線鋸機切削一月形導輪。</p>	<p>組裝減速齒輪組。</p>	<p>將減速齒輪組的鐵桿穿過導輪中心。</p>
		
<p>步驟 7</p>	<p>步驟 8</p>	<p>步驟 9</p>
<p>用線鋸機切割密集板，製作齒輪組依靠的固定點。</p>	<p>用烙鐵及錫將馬達與電池盒連接。</p>	<p>確認旋轉是否順利</p>
		
<p>步驟 10</p>	<p>步驟 11</p>	<p>步驟 12</p>
<p>使用熱熔膠固定電池盒、水管，並鎖上減速齒輪組。</p>	<p>用水管彎管連接發射裝置跟進球裝置</p>	<p>製作腳架，完成。</p>
		

五、製作注意事項

製作的注意事項分為三大部分，包含：發射裝置、導球裝置以及主體架構，針對每個部件說明注意事項如下：

(一) 發射裝置

由於要發射旋球，發射器的重點就在於如何將球順利的發射出去，以及如何改變球的旋轉方向。筆者的範例使用的是四驅車馬達將球擠出，需要特別注意的是輪胎與球一定要接觸並擠壓，如此才有發射的力量，為此輪胎與馬達的位置都要固定好。球的旋轉方向部分，由於筆者使用水管彎頭連接發射與導球裝置，因此發射裝置的PVC直硬管是可以轉動的，如此便解決旋轉方向的問題。

(二) 導球裝置

為了讓球以固定的時間差發射出來，導球裝置的主要目的就是將球分開導入發射裝置，因此我們使用密集板設計出一次只能導入一顆球的月形裝置（見圖1）。唯獨需要注意的是開口寬度需要比乒乓球大，而後藉由減速馬達的帶動，機器平均3秒鐘才會發一顆球，目的為切合練習之發球頻率。

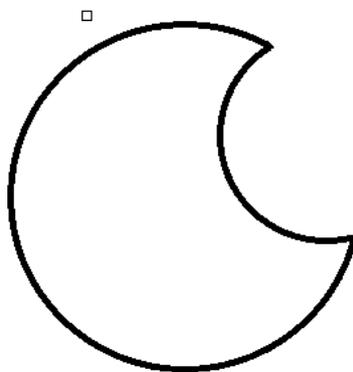


圖 2. 導球裝置的設計

(三) 主體架構

主體架構分為固定架、腳架與底板，固定架的意思是使用板材固定馬達、輪胎、導球板、電池盒的相對位置；腳架的目的是為了撐起整個發射裝置，使其能夠站立；底板的目的是將整個發射裝置固定在上面，並在底板另一側攻螺紋，使整個裝置能固定在相機腳架上，方便調整高度。

六、教學設計

本活動共分為 10 節課實施，流程的進行以工程設計流程為主，按照確認需求、定義問題、蒐集資訊、產生想法、建構模型、可行性分析、評估、決定、溝通協調、實踐等步驟進行。本教學活動將以節次進行內容的說明，搭配工程設計流程理論詳述如表 8。

表 8 教學內容工程設計流程之對應

節次	教學內容	工程設計流程	備註
1	老師： 解說本次乒乓球發射器之專題製作內容與目標。並對製作的過程提出評分規則與材料工具的限制。 透過情境教學引導學生進入活動的發射器主題，以市售之發射器為比較對象，讓學生設計。	確認需求 定義問題	學習歷程檔案為學生進行討論、設計、製作與檢討之依據。學習歷程檔案內容則採用工程設計程序的 10 個步驟編製而成。 請每位學生至少提出 5 個以上，可能碰到的問題。
2	引導學生蒐集可用的資訊，提供可以獲得資料的管道或是方法。同時指點學生用現有材料如何製作符合限制條件的發射器。	蒐集資訊 產生想法	老師於此階段再對問題進行解釋，例如：球要能夠是旋球，而且能自行調整方向。 請每位學生至少準備 5 份以上的相關資料。
3-4	讓學生用紙筒及厚紙板進行簡單的模型製作，製作完畢後可以進行測試。老師依據學生設計過程填寫檢核表。	建構模型	以步驟為工程設計與問題解決不同的主要差異，應讓學生自行設計不同建模方式以測試構想。
5	分析測試作品的功能是否有符合可以旋球的發射器。 建模作品的加工及材料替換，是否符合本次專題製作的條件限制。	可行性分析	讓學生分析建模，預測建模的能力與不同類型建模應該出現的差異。

6	比較建模中可行的方法，分析每個模型的優缺點。 選出效果最好的方法或是成功率最高的方法。 與其他組員進行討論，並提出改進的方法與建議。	評估 決定 溝通協調	數據化的紀錄建模的結果。依據建模的測試結果進行有系統的分析，教師可以給予回饋，引導學生進行設計上的修改。
7-9	學生依據組員共同檢討之結果，使用老師所提供的材料，再次進行裝置的設計與製作。本次實際製作必須包含腳架的設計。	實踐	
10	各組組員上台進行成果發表與報告，展示裝置運行的成果與改善的方案，最後繳交學習歷程檔案。	實踐	老師可視時間長短給予各組回饋。

伍、教學省思與建議

一、活動的設計

筆者認為生活科技課程必須學生解決問題的環境，透過工程教育的應用，更是有機會訓練學生知識與技能的整合能力。要注意的是活動給予的問題不宜有太多變因，否則學生會難以進行討論與探究，感到艱澀難學；教師也不容易就每個環節、每個不同的理論替學生做解釋。本活動讓學生主要探討如何發射球，以及如何讓球發射出去後具有旋轉的效果，只要教師將變因控制在 1-2 個，可以在教學中請學生持續深化思考，如此學生更能抓到學習的方向與重點。

二、教學模式的使用

工程設計流程強調以工程的流程進行教學活動，學生必須透過界定問題、模擬、製作、評估等步驟，達到最佳化的目的。這樣的教學能夠建立學生對於工程的概念，整合學生的知識與技能，是推動高中工程設計教育所應重視的教學方法。

三、與傳統生活科技課程的差異

傳統的生活科技課程強調作品的實作以及材料加工方法，希望培養學生帶得走的能力，教案的設計上也都以讓學生製作出一個具有實用性的產品為主。但中學工程教育的教學活動之目的，是藉由適當的教學策略與活動來增進學生的工程相關知識，進而提升學生對工程的興趣，以面對未來之所需。美國總統 Obama (2009) 認為：「要鼓勵年輕人成為事物的決策者，而不只是消費的決策者」，意即為了面對未來，提升國家的競爭力，應當要培養年輕世代工程設計的能力，即是發明、製作、評估、改進相關的能力，而不是只能使用。若適當的在生活科技課程中加入工程教育，便有機會培養學生工程設計能力，以及訓練學生整合知識與技能的能力，在生活上不僅有實用的價值，還注重學生的思考，是生活科技課程未來前進的方向。

四、教學建議

此活動的重點在於機構結構的設計以及學生實作的方法，因此製作之前一定要請學生確認相關的設計都規劃好之後再進行。為避免學生的成品成效不佳，需要請學生與教師共同討論機構的可行性，如網路上有相似範例更好。另外需要準備簡單的材料供學生進行測試，例如使用衛生紙捲筒代替水管，確認其效果能夠達到教師及學生的目的，再行製作。

確認設計沒有問題、模擬的情況也相當正常後，學生即可使用板材依照模擬製作時的經驗製作出一個成品，有別於以往科技教育利用嘗試錯誤慢慢試出成品，學生可能做出來但依然無法掌握影響成品的關鍵要素。

參考文獻

一、中文部分

十二年國民基本教育科技領域課程綱要委員會 (2015)。十二年國民基本教育科技領域課程綱要草案。取自 <http://web.cmgsh.tp.edu.tw/mediafile/20290013/knowledge/176/19/248/2015-11-30-11-56-29-nf1.pdf>

林坤誼 (2014)。STEM 科際整合教育培養整合理論與實務的科技人才。科技與人力教育季刊, 1 (1), 1。

二、外文部分

Atman, C.J., Adams, R. S., Cardella, M. E., Turns, J., Mosborg, S., & Saleem, J. J. (2007).

Engineering design processes: A comparison of students and expert practitioners. *Journal of Engineering Education*, 96(4), 359-379

Obama, B. (2009). *Remarks made by the President at the National Academy of Sciences annual meeting*. Retrieved from http://www.whitehouse.gov/the_press_office/Remarks-by-the-President-at-the-National-Academy-of-Sciences-Annual-Meeting/

Eekels, J. (1995). Values, objectivity and subjectivity in science and engineering. *Journal of Engineering Design*, 6(3), 173-189.

Merrill, C., Custer, R., Daugherty, J., Westrick, M., & Zeng, Y. (2008). Delivering core engineering concepts to secondary level students. *Journal of Technology Education*, 20(1), 48-64.

附件一：乒乓球發射裝置學習歷程檔案

● 確認需求

我們需要一台乒乓球發射器來做為練習工具，要能夠模擬對手發球的各種變化。所以，該發球裝置要能夠射出不同旋轉方向的旋球，而且要一顆一顆有間隔的發射。

評量重點：學生能夠清楚的知道任務的需求。

● 定義問題

一個發射出去的球如何讓它旋轉？如何讓球有次序的進入裝置內而不會像是步槍一樣掃射？

評量重點：學生能否有系統的整理問題。

● 蒐集資訊

讓學生蒐集已知的資訊，尋找相關的設計構想。

評量重點：學生尋找的方案是否符合問題

● 產生想法

將設計構想畫下來，並且以圖文的形式呈現。

評量重點：學生是否能明確表達構想。

● 建構模型

依據想法，用樂高建模。

評量重點：模擬發射器運作的方法與構想是否正確。

● 可行性分析

分析使用樂高建模後構造上的可行性，是否符合問題的限制。如何用老師提供的材料完成成品。

評量重點：用樂高建模後要如何改用別的材料來替代。

● 評估

提出多種建模的設計後進行分析。

評量重點：能否指出各種建模範例的優缺點。

● 決定

從範例中選出現在最適合的方法，並解釋。

評量重點：選擇最適合方法的過程理由是否合乎設計原則。

● 溝通協調

與其他人進行討論，並提出改進的方法與建議。

評量重點：與其他人進行討論時，討論的內容是否足夠具體。

● 實踐

報告任務執行結果的成敗。若任務失敗，請你提出具體的改善構想。若任務成功，也請你詳細分析裝置成功的因素，以及所運用的科學原理，以供未來執行任務之參考。

評量重點：失敗組別必須提出具體可行之改善構想，成功組別則須詳細分析裝置成功的原因。

附件三：加減分檢核表

規準		品質		
評量內容		可改進(-1)	普通(0)	優良(+1)
實作 表現	學生能選用正確的材料、工具於製作過程中	危險操作工具 材料選用不當	能安全加工 不了解材料特性	能使用合適的材料進行安全加工
	學生能把握時間及正確程序的加工作品	想到什麼做什麼	程序及時間把握尚可，步調急促	有預留測試及改良的時間
團隊 合作	與夥伴交流情況	產生爭執，而且雙方都沒有妥協	無交集	互相關心進度 互相幫助
	工作分配	未做好工作分配	工作分配不均或工作分配不清	清楚知道自己的工作有哪些
學習單 (附錄 X)	發射器的設計圖與基礎的材料選用	空白或是缺少發射器需要的功能構造	完整的完成基礎的設計，不過材料並未確定	完整有結構的設計出發射器，並規劃材料應用
	材料表規劃	空白，或是未能如表填寫	雖然有紀錄材料表，不過並未寫出使用方法。	內容完整，使用方式條理分明
	工作分配表	空白或是未做好工作分配	工作分配不清，閃爍其詞	清楚知道各自的工作範圍
學習單 (附錄 X)	設計流程紀錄	空白或是連基礎的兩個零件(發射器、進球裝置)都有缺漏紀錄	有完成紀錄兩個重要零件的製作順序	包含馬達擺放以及各零件的位置固定等等都有詳細紀錄
	挑戰活動紀錄	未記錄	部分紀錄(含老師簽章)	完整紀錄(含老師簽章)
	反思與回饋	未能說出自己發射器的優缺點	至少能各寫出自已發射器的一項優缺點	除了能寫出優缺點之外，也能寫上下次改進的方法