

STEM 取向準工程課程設計：以二氧化碳賽車單元為例

Design of STEM-based Pre-engineering Curriculum:

An exemplar of Carbon Dioxide Dragster Race

簡佑宏、張玉山、簡爾君

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

摘要

為因應工業化成長與現代社會的需要，STEM 教育(科學 Science, 科技 Technology, 工程 Engineering, 及數學 Mathematics)在廿一世紀的教學中越來越重要，而且透過 STEM 的學習成就也直接影響學生日後選讀 STEM 科系的意願。十二年國教高中生活科技之理念著重在「工程設計」，強調藉由工程設計的專題製作活動，提供學生跨學科知識整合的學習。故本文目的在於探討 STEM 的發展及教學設計，並利用二氧化碳賽車單元為例，提出一個 STEM 取向之準工程課程的實例，提供給老師們參考。

關鍵詞：STEM、準工程設計、二氧化碳賽車

壹、前言

在全球激烈競爭的時代，科技創新是國家競爭力的主要來源，先進國家多以提升科技實力作為驅動國家經濟成長的主要動能。換言之驅動國家競爭力與經濟力必須重視工程與科技教育(Basalyga, 2003)。因此加強工程與科技教育為各國一致的發展方向。而 STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics)正是整合科學、科技、工程與數學的學科，目的在於培養國家未來的人才，並藉由此科際整合課程，增加學生對於這些學科的興趣，並與現代科學科技接軌(張玉山、楊雅茹，2014)。

且近年來教育部正進行十二年國民基本教育的推廣，高中生活科技之理念著重在「工程設計」，希望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，同時增加將來選讀相關科系的人才。然而面臨升學時，大學科系越趨多元，一般高中生並不像高職生直接學習專業科目(李隆盛，1998)，學生經常性的對選擇系所不太了解，故如何在高中時期利用準工程教學課程強化學生對工程的瞭解甚為重要。

因此，本文先探討 STEM 取向之準工程設計課程之教學模式，再以二氧化碳賽車為例，提出教學設計的實例，供老師們參考。

貳、STEM 取向的準工程課程

一、STEM 取向課程之定義與學科素養

STEM 課程著重培養學生 21 世紀的 STEM 素養。其主要內容如下(Toulmin & Groome, 2007)：

科學素養(Scientific literacy):指運用科學知識理解自然界並參與影響自然界的有關決策，主要包括三大領域：生命與健康科學、地球與環境科學、以及科學技術。

科技素養(Technological literacy):指在現代社會中使用、管理、理解與評價技術的能力。學生應當知道如何使用科技，瞭解科技發展的歷程，並具備分析科技對自身、國家乃至全世界所可能造成之影響的能力。

工程素養(Engineering literacy)：工程設計是把科學與數學原理系統地、創造性地用於實踐的結果，其中包含：設計、生產、運作效能、機械、流程和系統等內涵，工程素養即是瞭解科技是如何透過工程設計的歷程而產生。

數學素養(Mathematical literacy)：面對不同情境之數學問題時，能有效的進行分析、推斷、並透過假設、闡述，解決、表達和解釋等數學解題之技巧，正確的傳達自身之想法。

二、準工程課程的發展

工程教育對於現代化國家具有舉足輕重的地位，但是許多國家(含我國)直到學生進入大學以後才有機會接觸到相關科目(林坤誼、顏郁欣，2000)。美國等國家亦注意到工程教育的重要性，NAE(National Academy of Engineering)與 NRC(National Research Council) 也將工程教育融入科學、科技與數學(MST)的課程研發(陳志嘉、謝淑惠，2008)。因此，以 MST 教育結合工程之 STEM 教育，成為美國快速發展的教育計劃，並逐漸受到重視(李博宏，2006)。圖 1 為 STEM 課程整合發展圖。

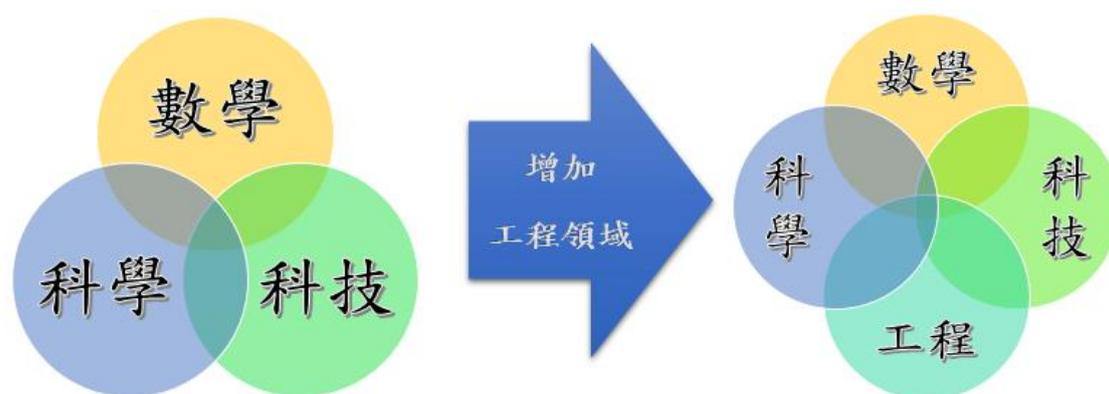


圖 1 整合性 STEM 課程的變化圖示

在高中以下的教育中，STEM 之本質為跨科際整合課程，具體的教學是以科技情境與工程設計為主體，融入數學與科學的概念以進行科技教育教學模組織發展，進而形成 STEM 取向之科技與工程教育課程(羅希哲、陳柏豪、石儒居、蔡華齡、蔡慧音，2009)。

然而準工程課程主要是做為銜接大學工程教育的準備課程，屬於探索性的(exploratory)、預備性的(preparatory)性質，目的在於培養基礎的工程素養，而非專業性或職業性的課程(林坤

誼，2001)。具體而言，需要降低專業科目的技術比重，且更著重於預測分析、邏輯推演能力的培養。

參、準工程課程的設計

Hynes 等人(2011)認為，工程設計程序在高中的 STEM 教學活動中，可以分成九個步驟：

(1)定義問題(identify and define problem)、(2)找尋資料(research the need or problem)、(3)發展解決方案(develop possible solutions)、(4)選擇最佳方案(select the best possible solution)、(5)製作原型(construct a prototype)、(6)測試與評估(test and evaluate the solution)、(7)溝通方案(communicate the solution)、(8)再設計(redesign)、(9)完成(completion)。

從單一的工程設計活動來看，Hynes 等人(2011)提出的工程設計程序和環狀問題解決模式相當接近，是常見的工程設計之實施程序，適合用在專業的工程設計教學上。然而如前文所說，準工程課程是屬於探索性的(exploratory)、預備性的(preparatory)性質。需要降低專業科目的技術比重。故 Pitsco Education (2016)提出了簡易的工程設計步驟：

1. 定義問題：確定問題或想法。
2. 確定細節：
 - A. 研究：尋找問題補充知識的階段。
 - B. 構想草圖：提出可能實行的構想。
 - C. 繪製設計圖：將構想具體清楚的呈現。
 - D. 原型建模：製作簡易的構想模型。
 - E. 測試：測試和驗證結果。
 - F. 重新設計：如果結果不如預期，找出問題並修改。
3. 設計完成：設計完成或生產。

此簡化步驟的內容可與 Hynes 等人(2011)提出的九步驟互相對應如表 1，圖 2 則為 Pitsco Education (2016)提出的簡易的工程設計循環。

表 1 不同工程設計程序對照表

流程	Hynes 等人(2011)	Pitsco Education (2016)
1	定義問題	定義問題
2	找尋資料	研究
3	發展解決方案	構想草圖
4	選擇最佳方案	繪製設計圖
5	製作原型	原型建模
6	測試與評估	測試
7	溝通方案	
8	再設計	重新設計(如果需要, 回流程 2.研究)
9	完成	設計完成

考量到準工程課程的探索性質以及臺灣生活科技課程推廣的普遍性，比起強調專業的工程設計九步驟，Pitsco Education (2016)簡化過的設計循環圈要更容易實施，亦更能達到推廣的效果。因此，我們在發展教學活動的時候，首先必須(1)研究：給與學生活動主題的科學知識，並協助學生建立觀念；(2)構想草圖：引導學生從生活經驗提出想法；(3)繪製設計圖：讓學生將構想具體的以圖紙方式表達出來；(4)原型建模：製作簡易的構想模型；(5)測試：測試並比較自己與他人的設計差異與驗證結果；(6)重新設計：尋找可改良的設計，並且於修改後重新製作；(7)完成：製作完成最後的產品。



圖 2 設計循環步驟

資料來源：Pitsco Education (2016). The design process. Retrieved from https://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Engineering?art=8067

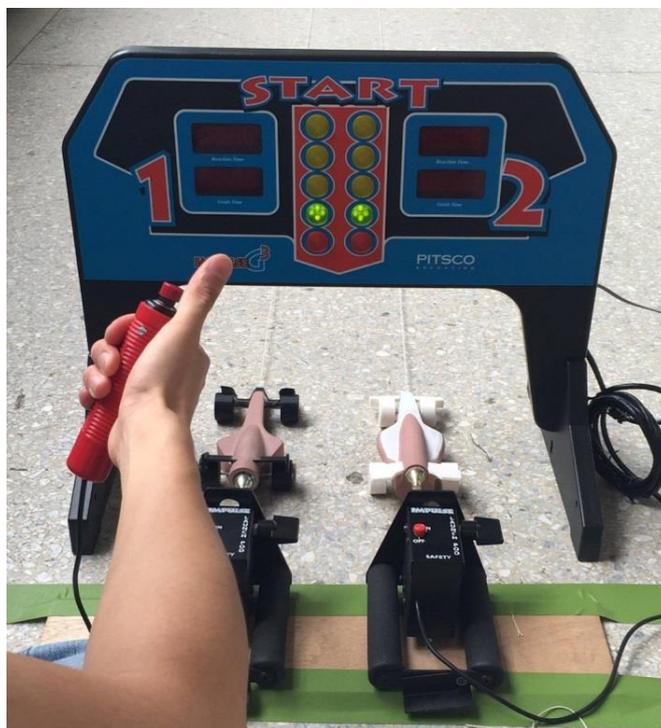


圖 3 二氧化碳賽車試射

肆、二氧化碳賽車(CO₂ car race)的活動設計

二氧化碳賽車(CO₂ car race)的動力來源是來自於車體後方的二氧化碳鋼瓶，噴發的氣體動力與火箭升空的原理相似，而高速的賽車會受到哪些因素影響，亦可從實際車輛設計的規則上找到原因。且本課程配合十二年國民教育科技領域課程內涵、國家扶植 3D 列印產業鏈國產化和 3D 人才永續培育的政策，以 3D 列印技術輔助二氧化碳車之模型製作。圖 3 為本研究發展課程時所實施之賽車試射活動。

一、活動目標

本教學活動為配合十二年國教的 STEM 取向準工程課程，故活動目標包含科學、科技、工程與數學之學科內容、基本操作能力與科技領域之核心素養。

- (一) 能善用 STEM 知識理論進行結構設計。
- (二) 能結合工程設計步驟與製圖技術完成車體模型。
- (三) 能從 STEM 的角度，分析、預測、解釋並改善結果。

表 2 核心能力對照表

生活科技學習重點		科技領域核心素養
學習表現	學習內容	
生 k-V-1	生 N-V-2	科-S-U-A3
能了解工程與設計的基本知識。如：工程設計流程、結構設計、工程材料。	工程的內涵。	具備統整科技資源進行規劃、執行、評鑑與反省的能力，並能以科技創新的態度與作為，因應新的情境與問題
生 s-V-1	生 P-V-1	
能運用工程繪圖軟體或相關科技以表達工程設計構	工程設計與實作。	
想。	生 A-V-1	
	機構與結構的設計與應用。	

二、教學設計

(一) 科學概念(S)

1. 牛頓第二、第三運動定律

當兩個物體彼此施加力於對方時，會產生一道力稱為「作用力」；而另一道力則稱為「反作用力」其大小相等、方向相反，且兩力必會同時出現。如圖 4，當二氧化碳鋼瓶的瓶口開啟，加壓的二氧化碳受壓力作用而噴出時產生作用力，而搭載了鋼瓶的二氧化碳賽車本體則承受著反方向的反作用力而前進。



圖 4 以 CO₂ 鋼瓶說明牛頓第三運動定律

資料來源：Pitsco Education (2016). Expanding gas: Boyle's law. Retrieved from

https://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Science

當車開始移動時，根據牛頓第二運動定律。物體的加速度(a)與淨外力(F)成正比，與物體的質量(m)成反比。可以得出： $a = F / m$ 。換句話說，車的重量越重的時候，車子的加速度就越小。所以必須減輕車子的重量。

2. 空氣阻力

空氣阻力亦稱為流體阻力，是物體在流體中相對運動所產生與運動方向相反的力。空氣阻力會與流體密度(ρ)、速度平方(v^2)、風阻係數(C_d)、正面面積(A)成正比。標準公式為： $F = 1/2 \rho v^2 C_d A$ 。由於流體(空氣)密度不可控制。為了減少空氣阻力，必須減少車體正面的截面積以及風阻係數。

3. 風阻係數

阻力係數(常表示為 C_d)和物體的形狀及其表面特性有關(McCormick & Barnes, 1979)，當物體在流體中運動時，因外觀或構造上的設計導致流體無法順利流出而滯留時，阻力係數就會上升。如圖 5，在二氧化碳車的外觀設計上，要避免過深的凹槽或是正對前進方向的平面。



圖 5 空氣流動示意圖

資料來源：Pitsco Education (2016). Fluid friction. Retrieved from

https://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Science

(二) 科技概念(T)

1. 三視繪圖與 3D 建模

二氧化碳賽車的製作中，無論使用何種加工方式，都會需要繪製車體的三視圖。教師可運用 CAD (Computer Aided Design) 相關軟體進行教學，例如免費軟體 123D Design (<http://www.123dapp.com/design> 官網可免費下載) 之介面既可幫助學生學習三視圖(圖 6)，同時在操作繪圖軟體的過程中，亦可以反覆修正並且將 3D 模型的資料數據化(體積、正投影面積等)，並在最後搭配 3D 印表機，將建構好的模型精準的完成。而在列印完成後，以手工具組裝金屬零件即可完成二氧化碳賽車。

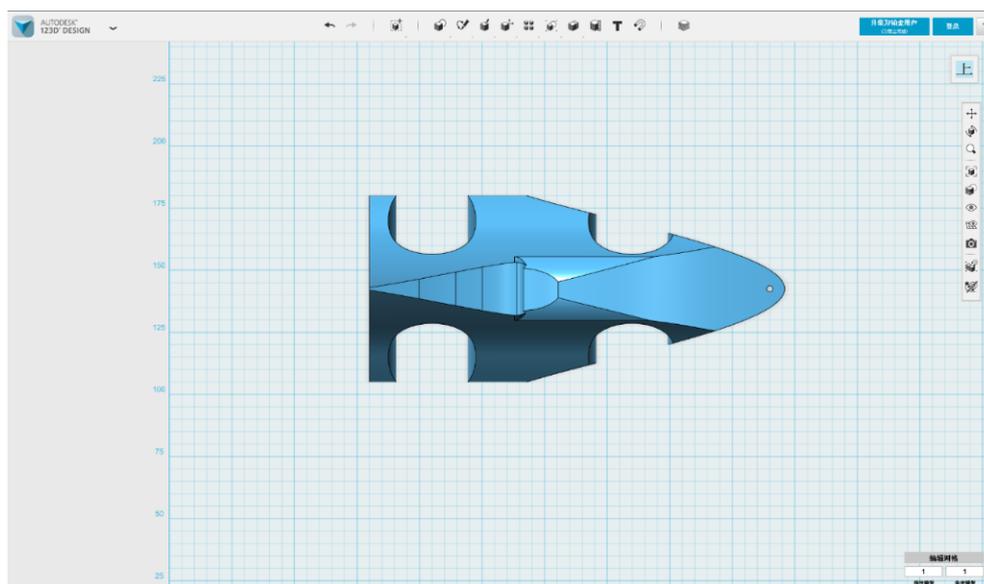


圖 6 123D Design 之 3D 繪圖軟體建模

2. 手工具使用

工欲善其事必先利其器，手工具的使用主要在於正確的步驟以及加工的工具選用使否適切，如果選用不適合的工具不止難以加工也會破壞材料。以下用二氧化碳車實作時使用的工具進行舉例：

(1) 修整車體表面—什錦銼、砂紙

當車體從 3D 列印機上取下後，應優先將支撐材去除，並且砂磨車體表面。如果先組裝好才砂磨車體表面，首先可能會磨損到其他零件，並且如果將手壓在車上來固定車體同時砂磨(如圖 7)，還會因為重量而導致車軸彎曲。此外，砂磨的工具應該從小挫刀→240#砂紙→400#砂紙...逐漸變細的順序來進行，才有辦法將表面的紋路去除。

(2) 修剪車軸—鋼剪、鋼線鉗

原始材料的車軸長度如果過長(如圖 8)會導致車輛行駛時左右搖晃，勢必得把車軸剪短至能夠倚靠車身。而修剪車軸的工具建議使用專門的工具-鋼剪、鋼絲鉗(如圖 9)，其他的切斷工具(如金工弓鋸)在修剪時很有可能會折彎車軸導致車軸彎曲。

(3) 固定車輪—鐵槌

當要固定車輪時，請務必在桌面平臺上進行。首先將車軸輕置於車輪孔位上，旋轉下壓直至前端稍微進入軸孔(如圖 10)，方可以依靠鐵槌輕敲車軸。如果一開始就使用鐵鎚敲擊，可能擊碎車輪或是造成車軸彎曲。



圖 7 錯誤的砂磨動作與步驟

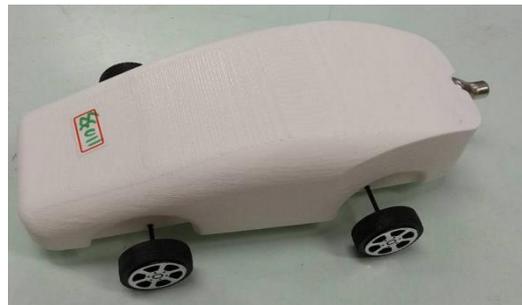


圖 8 修剪不確實的車軸

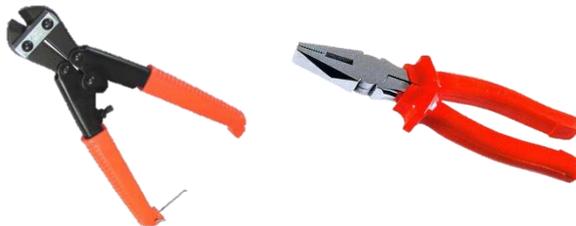


圖 9 鋼剪&鋼絲鉗

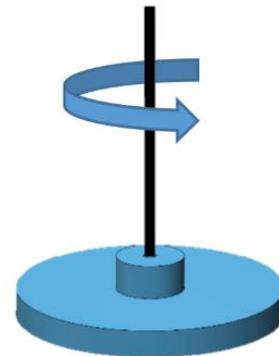


圖 10 旋轉插入

(三) 工程概念(E)

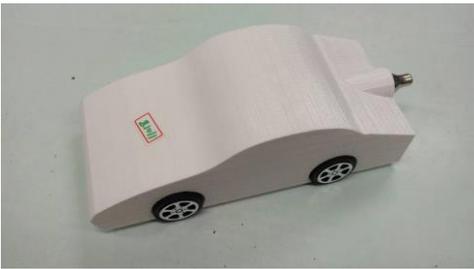
根據設計循環步驟，二氧化碳賽車的工程設計流程如下表 3。

為符合高中準工程課程之工程素養之培養，在測試前將學生的作品一字排開，並將紀錄下的數據資料公開檢視。讓學生以數據為基礎，從 STEM 的觀點出發，讓學生將車體之數據記錄於學習單上(可參考附錄 1 與表 4)，彼此交叉比對車體的數值，並將所學知識中，影響車體速度的變數當作參考，用來預測班級中比賽結果的排名，藉此培養學生之工程預測分析的能力。

表 3 二氧化碳賽車的教學流程

設計循環步驟	具體設計行為
研究	學習科學知識(牛頓運動定律、摩擦力、空氣阻力) 並提出目標(直線 20 公尺競速活動，不能損毀) →競速排名 & 以 2 秒內抵達終點為佳
構想草圖	蒐集資料提出構想，盡量參考生活中的例子
繪製設計圖	將設計圖繪製在方格紙或 CAD 軟體中
原型建模	製作初版原型
測試	第一次測試，並記錄數據
重新設計	藉由數據與他人比較並參考，學習優良的設計並改造
生產(循環→測試)	第二次成品製作，並測試

表 4 二氧化碳賽車 STEM 觀點預測分析範例

範例	對作品點評
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重量約 167 克。 2. 車體正面面積約 3242mm^2。 3. 造型：車頭有壓低，正面呈現弧線，可略降低風阻。 4. 組裝缺失：車軸過長。
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 重量約 302 克。 2. 車體正面面積約 5114mm^2。 3. 造型：車頭有壓低，正面呈現弧線，可略降低風阻。 4. 組裝缺失：無。

預測可能：重量上，B 的重量比 A 重快兩倍，代表加速度 B 會輸給 A。

面積上，B 的面積比 A 大，所受風阻會比 A 大，最高速度 B 會輸給 A。

A 由於車軸過長，會有相對不穩定的變數，如果車軸沒有彎曲則影響不大。

結果：

A：1.657 秒/20 公尺。

B：2.274 秒/20 公尺。

(四) 數學概念(M)

在設計二氧化碳賽車的過程中，會運用各種不同的數學概念，例如幾何繪圖、正投影面積計算、車體重量預測等。此外，在製作二氧化碳車直到完成的過程中，會讓學生記錄各項數據以及資料，包含了車體重量、車頭之正投影面積、測驗時間等。這些記錄下來的數據，可以提供學生做為車速預測分析的資料。

(五) 教學活動

1. 教學對象：此活動為準工程設計為主軸，建議教學對象為高中學生為主。
2. 教學時數：上課時間為八週，每週兩節課，共 800 分鐘。
3. 評量標準：學生須透過準工程設計流程完成一輛二氧化碳賽車，除了 2 秒內抵達終點外，還必須完成學習單的設計與製作步驟記錄及比賽預測分析表。
4. 使用工具與材料：本活動使用的材料詳細如表 5，工具詳細如表 6。

表 5 二氧化碳車材料表

項次	項目名稱	數量	規格	價格	用途
1	3D 列印線材	-	材質 PLA 線徑 1.75mm	600 元/800 克	3D 列印車身之主材料
2	鐵車軸	1	直徑 2mm 長度 200mm	5 元/1 根	車軸零件
3	塑膠車輪	4	直徑 30mm 厚度 20mm 孔徑 1.9mm	1 元/1 個	車體四輪 (可讓學生自備)
4	羊眼釘	2	環直徑 10mm 長度 22mm	150 元/500 個 (量影響價格)	勾住往終點的導引線。
5	二氧化碳鋼瓶	2	總重量 30g 直徑 18mm 口徑 9mm	12 元/1 個	二氧化碳車動力來源。

表 6 二氧化碳車加工工具清單

項次	項目名稱	規格或型號	功能
1	3D 印表機	MakerBot Replicator 5th	列印 3D 模型
2	砂紙	240#、400#	砂磨表面
3	鋼剪	FGC-200	剪斷車軸
4	鐵槌	1 吋尖尾槌	敲緊車軸
5	方格紙	A4	設計圖專用
6	挫刀	什錦銼	銼削、砂磨表面

5. 教學活動程序

本文根據前述之設計步驟將二氧化碳賽車的教學流程編寫如下表 7，製作歷程如下表 8。

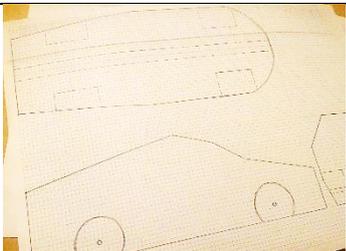
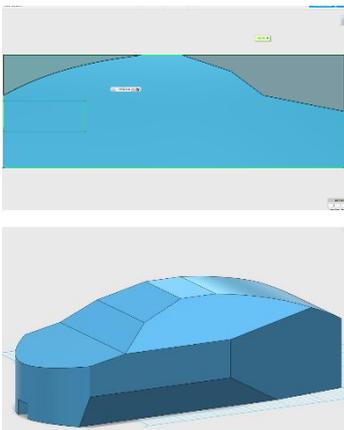
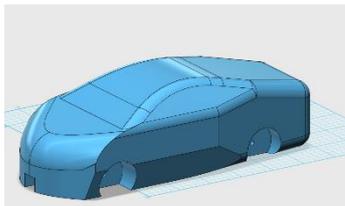
表 7 二氧化碳賽車的教學週次表

週次	設計步驟	教師活動	學生活動	教材教具
備課		準備二氧化碳車材料、工具、學習單、影片等。		
1	研究 構想草圖	<ol style="list-style-type: none"> 科學原理介紹：介紹相關原理的裝置，例如：火箭升空。 告知單元目標、提供的資源及製作上的限制條件。 提供相關原理的介紹與設計參考雛形。 引導學生發現優良範本的共通點，此時可讓學生從學習單記錄的知識中找答案，或是拿現實中賽車與卡車的造型設計差異做為聯想的啟示。 (優良的設計通常具有以下共通點：車體曲線呈現流線型、受風面積小、內部空心或體積小以減輕重量等特徵。) 	<ol style="list-style-type: none"> 紀錄學習單。 蒐集相關設計資料。 與同學討論設計差異之影響。 	簡報檔 案、影片、學習單、範本

2	繪製設計圖	<ol style="list-style-type: none"> 1. 三視圖繪圖教學 2. 設計要點告知，以 STEM 整合的角度提出可以注意的地方或是改善的要點，必須要厭其煩的告知學生影響車體速度的關鍵因素與我們繪製模型的關聯。 (重量直接影響加速度，車體越重起跑加速越慢。 面積與外觀曲線影響受風阻力，直接影響車子的最大速度。) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 從構想中根據所學習到的科學知識選出最佳設計的方案。 2. 學習繪製三視圖，並繪製完成。 	方格紙
3	繪製設計圖 原型建模	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軟體操作技巧訓練。 2. 幫助學生利用 3D 繪圖軟體將三視圖繪製的設計草圖轉換成 3D 模型。 (123D Design 有前視圖、後視圖、俯視圖、仰視圖、右側視圖、左側視圖等六個正投影視圖的角度控制選項) 3. 將 3D 模型的檔案輸出至 3D 列印機完成車體列印。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實際操作工具並完成作業。 2. 紀錄製作步驟。 	電腦設備、3D 列印機。
4	原型建模	<ol style="list-style-type: none"> 1. 協助學生準時完成。 2. 幫助學生改良作品。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 實際操作完成作業。 2. 簡易測驗作品品質。 	電腦、3D 列印、手工具。
5	測試	<ol style="list-style-type: none"> 1. 架設跑道。 2. 紀錄學生測驗數據。 3. 整理歸納測驗結果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 預測作品於比賽之成績。 2. 預測、測試作品成績。 3. 紀錄作品成績，可與同學互相比較，提出改善的構想。 	鋼瓶發射器、計時裝置(閘門)、跑道。

6	重新設計 生產	1. 從 STEM 的角度提出可改善的建議。 例：起跑快的車有時候會被超車，代表第一輛車重量雖然比較輕，起使加速的比較快，可是最高速度(受風阻影響)輸給起跑慢的車，可能是正面面積過大或是車體有造成擾流的結構，導致最高速度較慢。	1. 重新繪製設計圖 2. 再次進行操作與完成作業。	電腦、3D 列印機。
7	生產	1. 再次進行加工指導以及協助。	1. 加工作品直至完成，並將與第一次測驗之不同處予以紀錄並提出改善的依據。 2. 簡易的作品自我檢測。	電腦、3D 列印機、 手工具。
8	測試	1. 架設跑道。 2. 紀錄學生測驗數據。 3. 整理歸納測驗結果，並根據兩次測試的結果給與短評。	1. 預測作品於比賽之成績。 2. 測試作品成績紀錄作品成績。 3. 接受老師點評。	鋼瓶發射 器、計時 裝置(閘 門)、跑 道、紀錄 單。

表 8 製作歷程

步驟 1	步驟 2	步驟 3
將設計構想簡易繪製於方格紙上。	等比例的將設計圖外框於 3D 軟體中完成。	修飾邊框與外表精緻化。
		
步驟 4	步驟 5	步驟 6
轉檔輸出至 3D 列印機	取件後修飾外觀(拔掉輔助支撐、砂磨表面)	裝金屬零件(車軸、底部羊眼)及車輪。
		

伍、結論與建議

本教學活動主要透過 STEM 取向之準工程設計課程提供學生跨學科知識整合的學習，以及科技、工程之設計與操作技能。針對課程的規劃與實施方式，茲提出下列三點建議以做為未來教師實施教學之參考：

(一) 材料使用的建議

原先進行教學時有設定給學生車體造型長、寬、高的限制，避免學生做出過大過重且不符合設計原理的車輛，可是仍有學生刻意做出公車的造型，長、寬與高雖勉強符合限制條件，整體卻不符合設計原理。因此，建議之後的條件限制追加體積方面的設定，可以避免材料被無謂的浪費。

另外，一輛正常設計的二氧化碳賽車只計算 3D 耗材時，重量約 50~100 克，換句話說，班上所有學生假設 30 人都列印完成大約會消耗 6 卷的列印材料，從成本的角度考量並不符合效益，建議進行教學時以 3 人為一組，建模完成後先讓同學進行小組討論。故建議教師可事先說明測試規則以及重述判斷車輛優良與否的依據，讓小組討論能夠有所依循。

(二) 設備與空間使用的建議

3D 列印一輛二氧化碳車需要約 2~3 小時的時間，而且模型繪製的時間長短也會根據每個同學的能力不同而有所差異，如果統一收作業及列印作品，一來會造成老師體力上的負擔，同時也會有時間上的壓力。故建議老師可以於前置課程中進行 3D 列印機操作與問題排除的教學並規劃空間開放的時間，讓學生能在課程以外的時間也能自行操作機器完成作品。

STEM 取向之準工程課程目的在於培養學生之基本工程素養以及提升學生對工程學科的了解。對科技領域來說，STEM 的目的在於將數學與科學的知識導入工程設計的步驟中，例如車體重量對車速有影響，所以必須測量相關數據(如圖 11)，並用實際的教學活動給予學生知識與現實的連結(圖 12)，提供一個擁有根據及意義的預測、分析、解釋流程。換句話說，希望學生於學習該課程之後，在解決問題的方法上，能夠有別於傳統的試誤方法，改用合理的邏輯思考來解決問題。故該課程比起測驗出來的比賽結果，學生是否能對比賽的結果進行預測及解釋要來的更重要。



圖 11 重量測量



圖 12 二氧化碳車競速活動

十二年國教的理念中，STEM 整合及工程教育是重要的目標。但是工程教育在實施上仍有挑戰；工程教育的內容龐大，如果沒有完善的課程規劃，將會消耗許多時間讓學生進行冗長的紀錄與解釋，反而消耗了學生對學習的熱情。因此，審思如何透過準工程教育，協助學生具備關鍵能力、科技與工程素養，深具重要性。

參考文獻

一、中文部分

- 李隆盛(1998)。高中實施「工程科技」的可能性。《中學工藝教育月刊》，31(5)，2-7。
- 李博宏(2006)。STEM 教育中，T&E(科技－工程)課程發展近況。《生活科技教育月刊》，39(7)，108-109。
- 林坤誼、顏郁欣(2000)。以準工程取向建構高中科技教育。《生活科技教育》，33(8)，13-19。
- 林坤誼(2001)。高中開設準工程取向科技教育課程之研究。國立臺灣師範大學工業科技教育學系碩士論文，未出版，台北市。
- 陳志嘉、謝淑惠(2008)。美國近代科技教育發展與現況。《生活科技教育月刊》，41(6)，18-36。
- 張玉山、楊雅茹(2014)。STEM 教學設計之探討：以液壓手臂單元為例。《科技與人力教育季刊》，1(1)，2-17。
- 羅希哲、陳柏豪、石儒居、蔡華齡、蔡慧音(2009)。STEM 整合式教學法在國民中學自然與生活科技領域之研究。《人文社會科學研究》，3(3)，42-66。

二、英文部分

- Basalyga, S. (2003). *Student Interest in Engineering is on Decline*. Retrieved from <http://djcoregon.com/news/2003/06/11/student-interest-in-engineering-is-on-decline>
- Hynes, M., Portsmouth, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). *Infusing engineering design into high school STEM courses*. Retrieved from http://ncete.org/flash/pdfs/Infusing_Engineering_Hynes.pdf
- Pitsco Education. (2016). *The design process*. Retrieved from http://www.science-of-speed.com/STEM_Learning/Engineering?art=8067
- Toulmin, C., & Groome, M. (2007), *Building a science, technology, engineering, and math agenda*. Retrieved from ERIC database. (ED496324).

● 附錄 1 檢核表

小隊代號：_____

開始測試前，請填寫下表

車體長度	mm	面積(前視圖為準)	mm ²
車體寬度	mm	底盤距離地面高度	mm
車體高度	mm	車輪轉動順暢	(YES / NO)
車體總重量	g	車身為流線型	(YES / NO)

比賽預測

()你覺得你的賽車成績會落在？A. 前 25% B. 前 25~50% C 後 25~50% D. 後 25%

你認為哪一隊的賽車速度會最快？_____。(實際上最快的是_____)

測試評估

本次 CO2 F1 賽車，我的賽程跑道距離為_____公尺。

跑完全程所花費的時間為_____秒(四捨五入到小數第二位)。

初步計算，我的賽車速度為_____公尺/秒，等於時速_____公里/小時。

測試的結果中，你的車子有沒有符合你對它的預測？(YES / NO)

如果選擇是 YES，請告訴我，你使用了哪些資料當作預測的依據？(150 字以內)

如果選擇是 NO，請思考一下，是什麼造成預測與現實產生落差？(150 字以內)