

STEM 教學設計之探討：以液壓手臂單元為例

An Exemplar of STEM Teaching Design - Hydraulic Arm

張玉山、楊雅茹

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

Yu-Shan Chang, Ya-Ju Yang

Department of Technology Application and Human Resource Development,
National Taiwan Normal University

摘要

STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)是一個科技整合的學科，由科學、科技、工程和數學所組成。STEM 發展至今，以展現其重要性，在美國也廣為推廣，因此 STEM 的教學應如何設計就顯得極為重要，有好的 STEM 教學設計，才能夠落實並推廣 STEM 教育，為未來的 STEM 課程做準備。本文目的在於探討 STEM 的發展及教學設計，並利用液壓手臂單元為例，提出一個 STEM 教學設計的實例，提供給老師們參考。在發展 STEM 教學活動時，可以參考 6E 模式(投入、探索、解釋、工程件模、豐富、評鑑)，然而生活科技在面對新時代的教育環境，STEM 雖為值得推廣的教學策略之一，但還是須落實機具操作與材料處理的實作教學，才能真正展現 STEM 的教學成果。

關鍵字：STEM 教學設計、液壓手臂

壹、前言

STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)是由科學、科技、工程、數學所整合的學科，目的在於培養國家未來的科學、科技、工程、數學人才，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。我們發現學生在解決問題時，不一定一開始就知道怎麼整合及應用所學的技能，而常以自己的經驗或是嘗試錯誤的方式來解決問題，但是面對科技社會的快速變動，科技學習已無法再依循過去的「試誤學習」模式，或是「手工訓練」模式，而是必須嘗試統整與設計製作產品的相關數學或科學原理，以作為其改良或創新的依據(游光昭、林坤誼，2007)。

目前我國還是主要以不同的科目進行教學，然而分科教學可以便利教師教學及學生學習，但卻不容易讓學習者了解學科與學科之間的關聯，且對知識統整性的應用形成了障礙，不利於思考能力的養成(蔡錫濤，2000)。所以未來的課程趨勢，在於整合不同課程間的教學。教學的最終目標是要使學生能自主地解決各種問題(施良方，1996)，強調「帶著走的能力」，而非「背不動的書包」，這也是科際整合 STEM 存在的意義。儘管 STEM 的重要性排山倒海而來，但是 STEM 教學應如何設計，如何進行，相關的說明文件或文章，還不甚常見。

此外，在自動化普及的今天，液壓式機械手臂的應用十分常見，尤其在工業、醫療、太空研究等等方面上，為人類帶來事半功倍的工作利益，機械手臂的使用可說是由傳統工業發展到高科技產業的象徵。液壓手臂是機械手臂的一類，其設計與作動原理牽涉到科學(帕斯卡定理、槓桿原理)、科技(液壓動力、機械系統)、工程(工程設計程序、機構原理)、數學(量測、角度、幾何、計算)的相關知識與概念，適合用來作為 STEM 的單元主題。

因此，本文先探討 STEM 的發展及教學模式，再以液壓手臂為例，提出一個 STEM 教學設計的實例，提供老師們參考。

貳、STEM 的緣起

(一) STEM 的背景

在 1980 年代，美國意識到科技教育的不足會造成人才的短缺，因此在 1986 年美國國家科學委員會(National Science Board, NSB)提出了由科學、科技、工程和數學整合的 STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)教育，培養素質高的數學家、科學家、工程師及科技教育人才，以提升國家的競爭力(柳棟，吳俊杰，謝作如，沈涓，2013)。然而至現在，多數人對 STEM 的定義還是不熟悉(Sanders, 2009)。Friedman(2005)在《The world is flat》一書中曾提

到，2003 年世界上共授予二百八十萬個科學和工程的學士學位，其中一百二十萬個學位被授予在亞洲大學裡的亞洲學生、八十三萬個學位被授予給歐洲的學生、四十萬個學位被授予美國的學生，在這其中美國只佔只有百分之三十一的科學和工程專業學生，因此，美國更意識到在一個科學和技術佔領主導地位的世界裡，這是一個國家競爭力的重要因素，加上研究顯示由於學生對工程領域的興趣持續下降，而國內外也預期若狀況持續下去，未來從事科技工程相關行業的人才將不敷需求(Basalyga, 2003)，所以近 10 年來，美國政府和美國的一些科學研究機構、學校及基金會透過立法、撥款等方式來推動 STEM 教育。

另一個背景是，在「有教無類法案」(No Child Left Behind, 2001)的年代，以及修正的初等與中等教育法案(Elementary and Secondary Education Act) 的背景，更指出學生在科學與數學學習表現欠佳，更希望在科學與數學的課程中，加入工程與科技的學習，來提升民眾對周遭生活知識的了解(Bybee, 2010)。在當時，STEM 可能被當作是一個流行事物、政策、課程，或是和數學、科學、工程及科技相關的學科，大家對 STEM 的概念相當混亂，但是較常用在科學與數學領域，勝過於科技與工程的領域(Keefe, 2010; Bybee, 2010)。

從積極面來說，美國教育界也希望透過 STEM，來提升學生具備 21 世紀的知能，包括問題解決、自我管理、自我發展、系統思考、互動與溝通等(Keefe, 2010; NRC, 2010)。誠如 PISA 2006 科學架構(OECD, 2006)所提出四項 STEM 素養：(Bybee, 2010)

1. 學習科學、科技、工程、及數學的知識，並用以確認議題、追求新知、即應用在 STEM 相關議題上。
2. 了解 STEM 在人們從事探究、設計、及分析活動時的學科特性。
3. 了解 STEM 學科對人們物質世界、理性世界、及文化世界的影響。
4. 參與 STEM 相關議題，並從科學、科技、工程、及數學方面進行了解，來表現關心、感受、及貢獻。

(二) STEM 的重要性

STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)教育乃是融合科學、科技、工程、數學的科際整合課程，如圖 1，其 STEM 教育哲學為「以設計探索為目的，並用科技技術及科學思考來解決問題」，而課程的培養目標中包含了科學素養、科技素養、工程素養、數學素養(柳棟等人，2013)。根據 Becker and Park (2011)的研究，發現科際整合的 STEM 教育比起其他單科(如：數學)或科際整合的科目(如：MST, Mathematics, Science, Technology)更能引起學生的學

習意願。此外，STEM 教育對小學生的正面影響遠比大學生來的多，也顯示讓學生是越早接受 STEM 教育，學生往後選擇科技工程領域的機會越高。而 STEM 之所以在美國科學教育受到重視，原因在於它是一門整合科學、科技、工程、數學的跨領域學科，他的課程設計可以與當時的科學發展相關，並在實作與討論的過程中，讓學生能了解概念性知識的應用及程序性知識的練習，同時增加同儕間的團隊合作及提升學生的創造力。

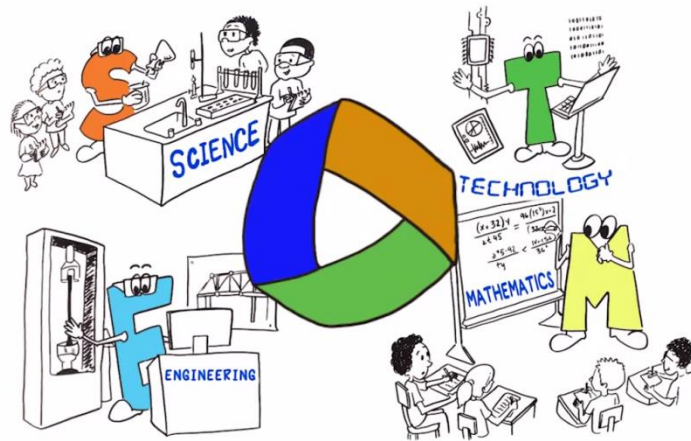


圖 1 STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics)

資料來源: STEM Integration in K-12 Education. Retrieve 21 September, 2014 from

<https://www.youtube.com/watch?v=AIPJ48sintE>

在 2012 年，美國總統歐巴馬啟動 STEM 優秀教師組織計畫(master-teacher corps)，目的在於表揚與獎勵在 STEM 傑出的工作教育者，提升 STEM 的實務教學，希望學生能在優質的 STEM 課程中，提升學生的科學與數學成就表現，並擁有批判思考能力，以便將來能具有競爭力的創新能力與工作能力(The white house, 2012)。在 2013 年時，除了上述的 STEM 優秀教師組織計畫(master-teacher corps)，美國總統歐巴馬更提出 2014 年 STEM 國家人才培育策略，根據美國白宮及教育部的規劃，STEM 國家人才培育重點包括「中小學教育」、「大學教育」、「研究所教育」、「非正式活動 (Informal Education Activities)」(The White House, 2013; U. S. Department of Education, 2013)。有鑒於 STEM 的重要性，我們也應該在 STEM 課程上，著手進行教學的設計，才能夠真正的落實 STEM 教育，並為未來的課程做規劃。

參、STEM 的教學設計原則

根據 PISA 2006 科學架構(OECD, 2006)的建議，STEM 應該從能源效率、氣候變遷等議題為切入點，讓學生能加以探究及學習，這也是一種情境化的科學教育(context-based science education) (Fensham, 2009)。這些議題如表 1。

表 1 STEM 教學主題的架構

	個人	社會	全球
健康	保健、營養、意外	疾病控制、傳染、食物選擇、社區健康	流行病、傳染病的傳播
能源效率	能源的個人應用、節能與效率	節能、使用效率及非化石燃料	全球性影響、能源應用與節能
自然資源	個人消耗	人口維持、生命品質、安全、食物生產與分配、能源供應	再生與非再生、天然系統、人口成長、永續利用
環境品質	對環境的友善行為、物料使用及廢棄	人口分配、廢棄物、環境影響、地區氣候	生物多樣性、生態維持、汙染控制、生產、土壤流失
危害減緩	天然與人為、住屋決策	快速改變(地震或嚴厲天氣)、緩慢改變(海岸侵蝕、沉積)、風險評估	氣候變遷、戰爭的影響
新知	對自然現象的科學解釋感到興趣、對科學的嗜好、支持與休閒、音樂及個人科技	新材料、裝置、及加工程序、基因改造、武器科技、運輸	物種滅絕、太空探索、宇宙的起源及結構

資料來源：Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 2010 September, 32.

而在教學活動的實施，OECD(2006)建議以下三大程序：

1. 確認 STEM 議題：

- 1-a. 確認有哪些議題，可以透過 STEM 的觀點來描述
- 1-b. 找出可以用來搜尋 STEM 資訊的關鍵字
- 1-c. 確認在 STEM 學科中的關鍵概念

2. 提出 STEM 觀點的解釋：

- 2-a. 在特定情境中，使用 STEM 知識

- 2-b.使用 STEM 觀點來描述或詮釋現象，並預測其改變
- 2-c.確認那些是適切的描述、解釋、方案、及預測
- 3. 利用 STEM 資訊：
 - 3-a.詮釋 STEM 的資料，形成結論，發表結論
 - 3-b.確認用來形成結論的假設、證據、及推理過程
 - 3-c.針對 STEM 活動的社會意涵，進行反思

而在教學實施方面，可以透過挑戰任務或問題為開端，讓學生深入探究問題的內涵，獲得 STEM 方面的理解，並產生解決方案。學生在問題探究與方案探索過程，所習的知識及能力，則設定在共同核心標準或是其他的國定能力標準(例如 NAEP 的工程與科技素養架構)(Bybee, 2010)，如圖 2。

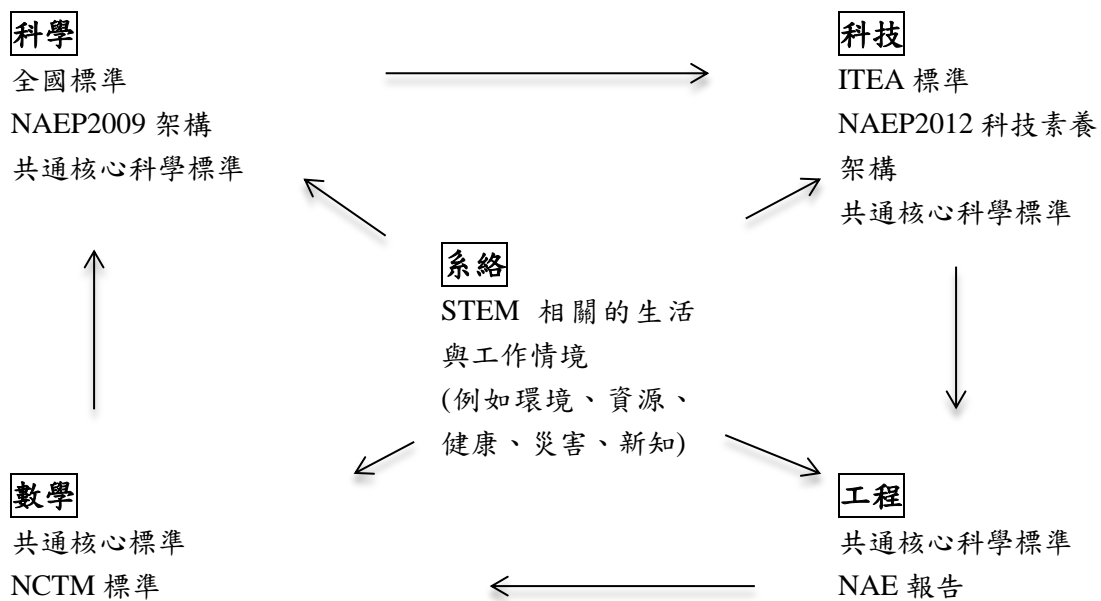


圖 2 STEM 教學單元的架構

資料來源：Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 2010 September, 33.

美國在 1960 年代的科學課程促進學會(Science Curriculum Improvement Study, SCIS)提出一個教學模式(簡稱 SCIS model)，包括「探索、發明、發現」(其後修正為探索、詞彙解釋、概念應用)三大步驟。到了 1980 年代，美國生物課程學會(Biological Sciences Curriculum Study, BSCS)修正提出了 5E 教學模式(BSCS 5E Instructional Model)，包括投入 (E1, Engage)、探索 (E2, Explore)、解釋 (E3, Explain)、精緻化 (E4, Elaborate)、評鑑 (E5, Evaluate)，更被廣泛討論與應用(Bybee, 2009; Bybee, Taylor, Gardner, Van Scotter, Carlson Powell, Westbrook, & Landes, 2006)。

在科技與工程教育領域，則有 6E 教學模式的提出(Barry, 2014)。這六大步驟分別如下：
(Barry, 2014)

1. 投入 (Engage)：引起學生的好奇、興趣、和投入。教師透過提問、連結學生之前的學習經驗與知識、點出本單元的重要性、說明設計程序、概述操作技術、評估學生的能力以決定教學策略。學生則先概略認識本單元的主要概念、確認已學到及將學習的內容、設定學習目標、接觸教材及設備。
2. 探索 (Explore)：提供學生建構學習經驗的機會。教師介紹建模(modeling)的概念，介紹 COPA(constraints, optimization, predictive analysis)，複習設計程序，利用詰問法引導學生思考問題，鼓勵學生參與討論及小組合作。學生則加入小組討論，進行建模的預測分析(根據小組資料、效標及限制)。
3. 解釋 (Explain)：學生解釋所學到的東西，並加以改良。教師解釋系統的概念，複習設計的程序，透過詰問讓學生做更深入的思考，引導討論，澄清迷失概念，讓學生確保所學概念能與更多情境相連結。學生應用系統相關的概念、原則、及理論，使用建模、人類價值、及系統來發展方案；利用設計程序來形成解釋；應用更多樣的資訊以及傳播科技與技術。
4. 工程(Engineer) (Extend/Elaborate)：學生將所學自然知識，應用到人造世界，將概念、技術、及態度應用到主要問題，以獲得更深的理解。教師介紹設計與資源的概念及其互動，重申設計的程序，引導學生在設計與探究中學習，提供必要資源給學生進行工程方案的應用，引導學生進行品質控制。學生應用設計的概念、原理及理論，並依資源狀況進行決策；利用設計、建模、人類價值、及系統來發展方案；依照設計程序來測試與改良；控制品質。
5. 豐富(Enrich)：讓學生做更深入的學習，以便將所學應用到更複雜的問題。教師提供資源讓學生將設計概念作新的應用；透過提問，讓學生確認所學可以有更廣的應用。學生了解設計程序，並應用到新情境；擴充工程概念，到新情境及新的應用；進行研究；編寫發明家日誌；將原設計進行延伸。
6. 評鑑 (Evaluate)：讓師生瞭解學習的效果。教師利用前測工具測知學生的學習需求和不足；確認學生的學習是依照各項課程標準(STL, CCSS, NGSS)；在各階段使用形成性評量；解釋評分說明；提供各項評量的回饋；利用工具評量課程的成效。學生了解工程概念中

的設計、建模、資源、系統，用以解決問題；子評量，確認是否達成學習目標；完成形成性與總結性評量。

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)。這九大步驟與 6E 教學的比較對應，如表 2。

從單一的工程設計活動來看，九大步驟和以往的環狀問題解決模式相當接近，是常見的實施程序，適合用在工程設計教學上面。但是如果考量 STEM 的學科整合，以及概念融合的學習與應用，反而是 6E 教學更能將學習概念作進一步的深化，以及擴展延伸到更廣泛的應用，更能彰顯 STEM 的效果。

表 2 STEM 教學步驟的對應關係

6E 程序	工程設計程序
1.投入	1.定義問題
2.探索	2.找尋資料 3.發展方案
3.解釋	4.選擇最佳方案
4.工程	5.製作原型 6.測試與評估 7.溝通方案
5.豐富	8.再設計 9.完成
6.評鑑	

因此，我們在發展 STEM 教學活動的時候，可以參考 6E 模式，首先必須 1.投入：確認適合的議題或問題，引起學生的學習動機；2.探索：引導學生經由 COPA 探索工程問題；3.解釋：引導學生解釋探索的結果，並加以傳播；4.工程建模：利用材料與工具，將方案原型製作出來，並加以改良；5.豐富：將所學經驗作更深的探究，更廣的應用；6.評鑑：分析本單元學習成果，確認下一步的學習目標。

肆、液壓手臂的 STEM 教學設計

液壓手臂(hydraulic arm)可以模仿著人的手臂延展彎曲，並夾取物品，其運用的就是液壓系統。而液壓系統的使用其實就充斥在我們的日常生活中，不管是汽車剎車或是挖土機都是常見的應用例子，而我們可以嘗試使用塑膠注射針筒和塑膠管來了解液壓系統的運作。在液壓手臂的製作活動中，學生可以運用科學、科技、工程、數學的相關概念，並做知識的連結。

1. 科學概念(S)

在液壓手臂設計製作活動中，需要利用液壓手臂夾取重物，而其中學生會運用到帕斯卡原理及槓桿原理的概念來設計液壓手臂：

(1) 帕斯卡原理

帕斯卡原理(Pascal's principle)，又叫巴斯卡定律，流體(氣體或液體)力學名詞。指密閉容器中靜止流體的某一部分發生的壓力變化，會毫無損失地傳遞至流體的各個部分和容器壁，如圖 3，當施力到活塞 A，會使倉室 B 受到壓力，而倉室 B 所受到的壓力，會與管線 C 和倉室 D 相同(TeacherGeek, 2008)。

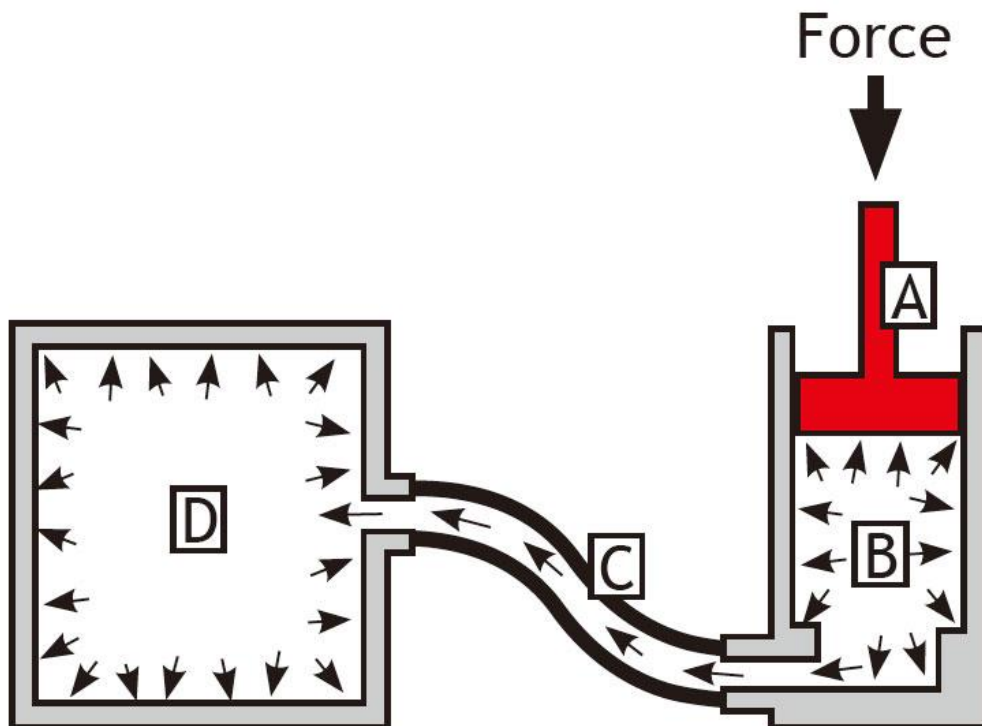


圖 3 帕斯卡原理

資料來源：TeacherGeek(2008). Fluid power lab. Retrieve 21

September, 2014 from: http://www.teachergeek.org/fluid_power.pdf

帕斯卡原理在液壓手臂的應用為利用液壓機兩邊大小活塞所受之壓力相等，而“壓力(P) = $\frac{\text{力}(F)}{\text{面積}(A)}$ ”，使得 $P_1 = P_2$ ， $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$ ，讓人們可以施較小的力氣抬起重物(圖 4)。

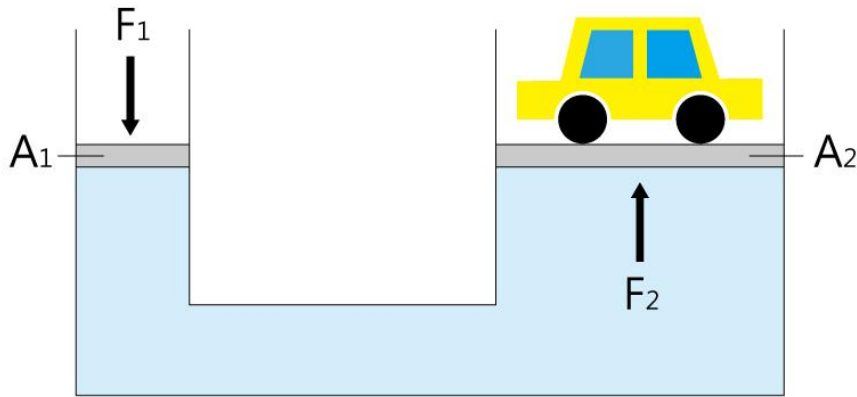


圖 4 帕斯卡原理應用

(2) 槓桿原理

槓桿(Lever)是一種簡單機械，利用功能守恆，而“功(W) = 力(F) × 位移(S)”，使得 $W_1 = W_2$ ， $F_1 \times S_1 = F_2 \times S_2$ ，並將其運用在液壓液手臂中，可以計算出施力與位移的關係，進而了解力與物體間的抬升關係(圖 5)。

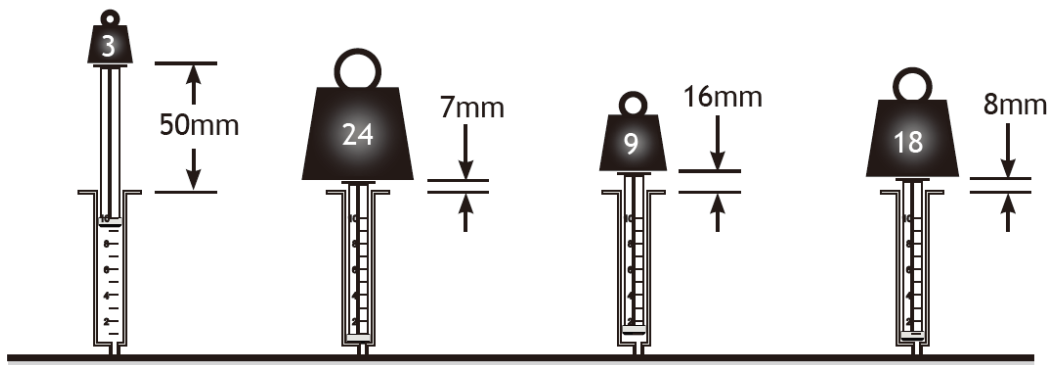


圖 5 槓桿原理之運用

資料來源：TeacherGeek(2008). Fluid power lab. Retrieve 21 September, 2014 from:
http://www.teachergeek.org/fluid_power.pdf

2. 科技概念(T)

液壓手臂(圖 6)的設計製作中，在科技概念的部分，學生會運用運輸科技中的液壓與氣壓系統與營建科技中的結構體工程來進行設計，並在設計的過程中，運用製圖能力進行繪圖，再來做材料的選擇與處理；而在製作的過程中，進行手工具及機械的操作，來完成液壓手臂。



圖 6 液壓手臂

3. 工程概念(E)

在製作液壓手臂的過程中，第一個想法往往不是最好的，所以需要不斷的再設計 (TeacherGeek, 2006)，因此工程設計程序在製作過程中，顯得非常重要，它教導學生組織想法並根據目的做出判斷，發展學生具有品質較高的問題解決能力(Hynes, Portsmouth, Dare, Milto, Rogers, Hammer, & Carberry, 2011)。根據前述 6E 教學模式，液壓手臂設計製作的教學程序如表 3。

表 3 液壓手臂工程設計程序

6E 程序	工程設計程序	運用在機械手臂的設計製作
1.投入	(1)定義問題	使用液壓手臂夾取一公斤重物
2.探索	(2)找尋資料	尋找液壓手臂原理、製作方式、相關材料 討論相關的科學及數學概念
3.解釋	(3)發展解決方案	提出多種可以使用液壓手臂夾取一公斤重物的結構
	(4)選擇最佳方案	根據數學科學及科技(實作可行性)，進行評估 選擇最佳的結構
4.工程	(5)製作原型	製作液壓手臂
	(6)測試與評估	測試液壓手臂是否能夾取一公斤重物
	(7)溝通方案	將解決方案與測試評估用筆記或簡報呈的方式現給大家，進行討論
5.豐富	(8)再設計	將失敗之處進行改善或重新設計，使其能符合目標
	(9)完成	液壓手臂能成功夾取一公斤重物
6.評鑑		檢視自己是否達成學習目標(概念的或是設計作品)

4. 數學概念(M)

在液壓手臂的設計與製作過程中，會運用到各種不同的量測與計算(圖 7)，包括角度的測量、比例的換算、容積的計算、幾何的概念，而這些數學計算的結果，可以作為設計機械手臂工件尺寸與形式的依據。

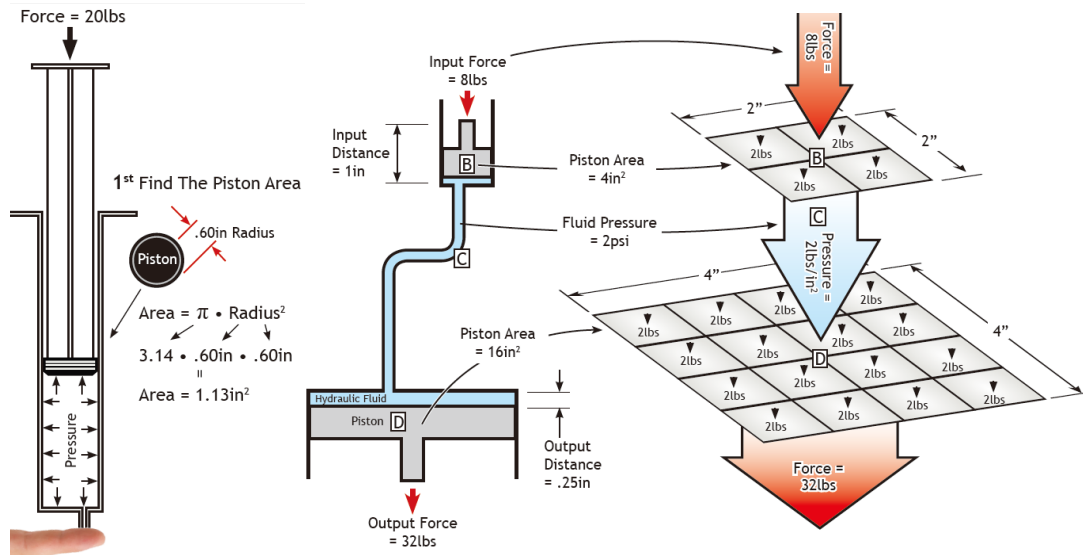


圖 7 面積量測與公式計算

資料來源：TeacherGeek(2008). Fluid power lab. Retrieve 21 September, 2014 from: http://www.teachergeek.org/fluid_power.pdf

5. STEM 教學活動程序

本文根據前述 6E 教學程序，將液壓機械手臂單元的 STEM 教學程序編寫如表 4。

表 4 液壓手臂教學活動

節次	6E 程序	工程設計程序	教師活動	學生活動	教材教具
準備			蒐集相關資料，準備材料、工具及設計學習單		
1	投入	定義問題	1.進行分組，以二到四人為限，並強調小組成員互助合作的重要 2.介紹日常生活中常見的液(氣)壓原理的裝置，如：挖土機、自動門，引起動機並開始介紹主題：機械手臂 3.確認本單元的任務內容(目標、資源、限制等)	專心聽講，並適時發問	
2	探索	找尋資料	1.液壓、氣壓動力系統原理介紹 2.引導學生經由 COPA 探索液壓	在課前，搜集液壓手臂的相關資料	電腦簡報、單槍

			手臂的問題 3.列出相關的 STEM 概念	料,並在上課時,專心聽講,適時發問	投影機、學習單
3	解釋	發展解決方案、選擇最佳方案	1.引導學生利用所查的資料,分析機械手臂本體(外觀造型、動力裝置、控制裝置、製造材料、機體結構) 2.設計要點分析(講述、舉例、圖片展示)、引導學生並討論設計草圖 3.從 STEM 的觀點提出合理性的說明	熟悉與問題有關之因素、資源、限制,畫出幾個初步構想設計圖,並思考可能遭遇之問題,並選擇最後決定方案	電腦簡報、單槍投影機、學習單、機械手臂模型
4	工程	製作原型	指導學生 1.利用材料與工具,將方案原型製作出來 2.找出待改良之處 3.從 STEM 的觀點提出問題與改善方法 4.加以改良	準備材料,實際操作,製作成品,並記錄遭遇的問題,與同學或是老師討論	
5	工程	製作原型、測試與評估	1.提醒學生注意操作上的安全事項 2.協助學生解決實作上的技術問題 3.根據效標進行測試	實際操作,製作成品,並測試、修正	
6	工程	溝通方案、再設計	1.整理測試結果 2.重新修整方案	1.實際操作,製作成品,並測試、修正,完成作品 2.自我評鑑	
7	豐富、評鑑	完成	1.舉行各組成品之比賽,引導學生自我比較及評量、教室評鑑 2.討論還可以進一步探究的方向 3.討論有哪些事機械手臂可以延伸應用的領域	各自展現自己的作品,完成指定任務,學習它組的優點,並注意聽取老師的評鑑分析	

伍、結論與建議

STEM 是由科學、科技、工程、數學所整合的學科,對科技與工程教育領域來說,STEM 是一種整合性教學策略,其目的是將科學及數學知能,融入到工程設計程序中,作為預測分析的資料依據。

在發展 STEM 教學活動的時候，可以參考 6E 模式，首先必須 1.投入：確認適合的議題或問題，引起學生的學習動機；2.探索：引導學生經由 COPA 探索工程問題；3.解釋：引導學生解釋探索的結果，並加以傳播；4.工程建模：利用材料與工具，將方案原型製作出來，並加以改良；5.豐富：將所學經驗作更深的探究，更廣的應用；6.評鑑：分析本單元學習成果，確認下一步的學習目標。

生活科技在面對新時代的教育環境，STEM 是值得推廣的教學策略之一。但是工程設計與科技實作依然是生活科技課程的最重要核心，否則在缺乏加工技術與材料處理技術的狀況下，STEM 只能用卡紙剪刀與膠帶，所能帶給學生的科技創新與科技素養，將真的只是「紙上談兵」，只能在卡紙上面學習了。因此，為推動更高層次的 STEM 教學，生活科技教學應該更落實機具操作與材料處理的實作教學，才能加深加廣 STEM 的教學效果。

參考文獻

- 柳棟, 吳俊杰, 謝作如, 沈涓(2013)。STEM、STEAM 課程與可能的實踐路線。 *中小學訊息技術雜誌*, **6**, 39-41。
- 施良方(1996)。學習理論。高雄：麗文文化。
- 游光昭, 林坤誼(2007)。數學、科學、科技統整課程對不同學習風格學習者在學習成效上之影響。 *教育研究學報*, **41**(1), 1-16。
- 蔡錫濤(2000)。九年一貫課程重要概念釋疑。 *新講台教育雜誌第一期*, 48-51。
- Barry, N. (2014). The ITEEA 6E learning byDeSIGN™ Model. *The Technology and Engineering Teacher*, March 2014, 14-19. Retrieved September 27, 2014, from <http://www.oneida-boces.org/cms/lib05/NY01914080/Centricity/Domain/36/6E%20Learning%20by%20Design%20Model.pdf>.
- Basalyga, S. (2003). *Student interest in engineering is on decline*. DJC Oregon, Retrieved 21 September, 2014, from <http://djcoregon.com/news/2003/06/11/student-interest-in-engineering-is-on-decline/>.
- Becker, K., & Park, K. (2011). Effects of integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A preliminary meta-analysis. *Journal of STEM education*, *12*, 23-36.
- Bybee, R. W. (2009). *The BSCS 5E instructional model and 21st century skills: A commissioned paper prepared for a workshop on exploring the intersection of science education and the development of 21st century skills*. The National Academies Board on Science Education.
- Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 2010 September, 30-35.
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson Powell, J., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins, effectiveness and applications*. Retrieved from <http://www.bsces.org/bsces-5e-instructional-model>
- Fensham, P. (2009). Real world contexts in PISA science: Implications for context-based science education. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(8), 884-896.
- Friedman (2005). *The world is flat. A brief history of the twenty-first century*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Hynes, M., Portsmore, M., Dare, E., Milto, E., Rogers, C., Hammer, D., & Carberry, A. (2011). *Infusing engineering design into high school STEM courses*. National Center for Engineering and Technology Education.
- Keefe, B. (2010). *The perception of STEM: Analysis, issues, and future directions*. Survey.

Entertainment and Media Communication Institute.

National Research Council (NRC). (2010). *Exploring the intersection of science education and 21st century skills: A workshop summary*. Washington, DC: National Academies Press.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. Paris: OECD.

Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *The Technology Teacher*, 68(4), 20-26.

TeacherGeek (2006). *Easy engineering guide*. Retrieve 21 September, 2014, from:

http://www.teachergeek.org/Easy_Engineering_Guide.pdf

TeacherGeek (2008). Fluid power lab. Retrieve 21 September, 2014, from:

http://www.teachergeek.org/fluid_power.pdf

The White House (2012). *President Obama announces plans for a new, national corps to recognize and reward leading educators in science, technology, engineering, and math*. Retrieved 21 September, 2014, from <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/07/17/president-obama-announces-plans-new-national-corps-recognize-and-reward->

The White House. (2013). *Preparing a 21st century workforce —science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education in the 2014 budget*. Retrieved 21 September, 2014, from http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/2014_R&Dbudget_STEM.pdf

U. S. Department of Education. (2013). *Science, technology, engineering and math: education for global leadership*. U. S. Department of Education. Retrieved 21 September, 2014, from <http://www.ed.gov/sites/default/files/stem-overview.pdf>