

STEM 整合教學活動—空投救援物資

Integrated STEM Learning Activity - Airdrop of Relief Supplies

蔡依帆、吳心昀

國立臺灣師範大學科技應用與人力資源發展學系

I-Fan Tsai, Hsin-Yun Wu

National Taiwan Normal University

Department of Technology Application and Human Resource Development

摘要

本文以科學、科技、工程、數學(STEM)科際整合教學為基礎，並結合 6E 教學模式，設計一項以空投救援物資為學習情境之實作活動。在活動中教師透過解說以及學習歷程檔案的引導，讓學生使用有限的材料，運用前備知識並發揮小組合作與團隊溝通能力，設計出符合活動要求的擲蛋裝置進行測試。教師於測試後解說相關科學原理，並要求學生使用更少的材料製作擲蛋裝置，以檢視學生對於學科內涵的吸收程度，以及實際運用科學原理進行問題解決的能力。本活動內容包含科學原理、科技使用、工程設計以及數學幾何概念；活動流程則透過參與、探索、解釋、製作、深化與評量六個階段，引導學生主動探索知識，培養其團隊合作與問題解決能力。

關鍵字：STEM、6E 模式、實作活動

壹、活動理念

我國自實施九年一貫教育以來，將原本各自獨立之學科合併為七大學習領域，目的在於以學習領域進行合科教學，企圖統整學科內容以培養學生十大核心能力（教育部，1998）。國中階段之自然與生活科技領域雖然包含理化、生物、地科、生活科技等應用學科，然而在實際教學現場卻仍以分科教學為主，學生難以瞭解學科之間的關聯，亦無法將片段知識進行統整與應用，造成學科內容與日常生活脫節的學用落差（王澄霞，1995；蔡錫濤，2000）。為了達到學科間的知識整合與統整應用，美國麻州省於1998年開始實施科學、科技、工程與數學(Science, Technology, Engineering, Mathematics; STEM)的整合式教學法，主要透過合作學習、探索式學習以及多元評量方式，使學生能自行建構知識理論，並主動探索問題的解決方法(STEMTEC, 2000)。Becker 和 Park(2011)之後設研究分析發現，STEM 科際整合教學在小學、中學以至於大學教育階段的 STEM 學科之間確實具備整合功能，對於 STEM 相關科系學生之學習成就存在顯著的正向影響。

生活科技的課程本質涵蓋科學原理(Science)、數學概念(Mathematics)、科技工具使用(Technology)以及工程設計程序(Engineering)。為使學生能透過合作學習、探索式學習以及多元評量方式來主動建構知識理論，並使用科技工具與工程設計程序進行問題解決與創新思考。因此，本教學活動採用 STEM 科際整合教學模式，除了在課程活動中融入科學、科技、工程與數學之學科內容，在教學流程亦增加有別於傳統科技教育活動的重製再測階段，實踐工程設計程序之最佳化的歷程概念。另外，教學活動之安排，則使用美國國際科技與工程教師學會(International Technology and Engineering Educators Association; ITEEA)所提出之 6E 教學模式(6E Instruction Model)進行課程規畫(Burke, 2014)，透過參與(Engage)、探索(Explore)、解釋(Explain)、製作(Engineer)、深化(Enrich)及評量(Evaluate)六個學習歷程，引導學生在空投物資的教學情境中，逐步加深對於學科內容的統整以及知識理論的應用，培養學生之創新思考與複雜問題解決能力。

貳、設定情境

「轟隆隆」一聲巨響，撕天裂地的大地震震醒了全台每一個沉睡中的人。短短的幾秒鐘，人民遇到這前所未有的災難，頓時面臨物資匱乏與交通中斷的困境。這時，政府及軍方出動滿載救援物資的直升機飛往災區，準備向災區實施大規模空投物資任務。但抵達災區上空後，由於沒有合適的降落場，飛行員只能冒險採取直升機盤旋的方式，將救援物資空投到災區，但衝擊力道與空投高度都可能損害救援物資，因此必須有安全的裝置才能將物資完整地送達地面。

各位同學都是拯救災民的救災小英雄，你們要如何運用所學，才能把物資順利送到災民手上呢？

本教學單元以空投救援物資做為學習情境（如圖 1），要求學生以有限材料設計並製作裝置，此裝置必須在空投過程中有效保護救援物資，並準確地將物資空投至限制範圍內。為檢視裝置的功能性，故以雞蛋做為救援物資，並將雞蛋的完整性與裝置的落點納為評量項目。



圖 1 空投救援物資情境模擬圖

參、活動目標

本教學活動為一 STEM 取向之科際整合課程，故活動目標包含科學、科技、工程與數學之學科內容、基本操作能力與核心素養。

- （一）能善用 STEM 知識理論進行機構設計。
- （二）能整合 STEM 的程序與技能製作機構。
- （三）能從 STEM 理論角度進行檢討與改善。

肆、活動資源

本教學活動所用之材料與工具皆由教師準備，學生必須使用教師提供材料與工具進行裝置設計與製作，材料清單如下表 1 與下圖 2 所示，工具清單如表 2 所示。教師亦可依據學生能力、經費限制與課程設計，彈性調整是否允許學生自備材料與工具。

表 1 材料清單（以組為單位）

項目名稱	數量	價格	何處購買
塑膠袋	1 個	55 元/一包	五金行
氣球(大)	5 顆	10 元/一包	文具店
氣球(小)	10 顆	10 元/一包	文具店
棉線	2 公尺	50 元/一捆	五金行
海綿 11.4*7.6 公分	2 片	10 元/一片	五金行
四開厚紙板	1 張	2 元	文具店



圖 2 材料範例

表 2 工具清單（以組為單位）

剪刀	1 支
美工刀	1 支
雙面膠	1 捲
膠帶	1 捲
尺	1 把

運用上述材料與工具可製作出不同形式的擲蛋裝置，表 3 所呈現之製作步驟主要為降落傘形式擲蛋裝置之示例，僅提供教師作為參考，實際課程實施時，學生必須使用教師所提供之材料自行設計與製作。

表 3 擲蛋裝置製作步驟示例

步驟一	步驟二	步驟三
依據雞蛋大小用剪刀在兩塊海綿上挖洞	將夾鏈袋連同雞蛋放入挖好洞的海綿	用兩片海綿包住雞蛋，並以膠帶固定海綿
		
步驟四	步驟五	步驟六
在紙盒上端四個角落穿孔，並用棉繩綁上塑膠袋	將包好的雞蛋與海綿放入紙盒，蓋上盒蓋並用膠帶封緊	完成
		

伍、教學設計

本教學活動為一 STEM 取向之科際整合課程，教學內容涵蓋科學原理(Science)、科技使用(Technology)、工程設計(Engineering)與數學幾何概念(Mathematics)，期透過實作活動整合學科內容，並進一步將學科知識應用於實際生活之問題解決。教學流程則以國際科技與工程教育學會所提出之 6E 教學模式(6E Instructional Model)為基礎(Burke, 2014)，針對此教學模式的六個面向，分別為參與(Engage)、探索(Explore)、解釋(Explain)、製作(Engineer)、深化(Enrich)、及評量(Evaluate)，設計相應之教學內容，提供學生完整的學習歷程，培養學生主動探索思考的精神。

- (一) 教學時間：國中每節課 45 分鐘，共 8 週，合計 360 分鐘。
- (二) 教學對象：本教學活動須具備簡單手工具操作能力，以及國小幾何數學展開圖概念，故建議於國中七年級實施。
- (三) 教學地點：本教學活動包含小組討論與實作部分，故建議於專科教室實施，以利教學活動之進行。此外，擲蛋裝置測試時需要一定高度才能鑑別裝置是否有效，故宜於四樓以上之頂樓朝空曠處丟擲。
- (四) 教學設計：本教學活動共分為 8 節課實施，前 3 節課為擲蛋裝置的第一階段設計與製作，接著進行 1 節課的原理解說，並利用 3 節課讓學生進行裝置檢討，以及第二階段的重製與測試，最後 1 節課分組上台報告擲蛋裝置的檢討重製與測試之成果。為避免教師先行講解原理可能影響學生創意思考，降低擲蛋裝置設計的多樣性，故在教學流程的編排不同於一般實作活動，而改採先製作、再講解、後重製的方式進行。教學時數的分配也縮短教師講述的比重，而將大部分時間提供給學生進行討論、重製與測試，期使學生體認工程設計核心理念之最佳化的歷程。各節課教學內容分述如表 4。

表 4 教學流程與教學內容

節次	教學內容	6E 教學模式	備註
1	透過預設情境引導學生進入活動主題，接著發下學習歷程檔案並講解活動流程與實施方式。剩餘時間讓學生分組討論擲蛋裝置如何設計。	Engage Explore	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五個步驟編製而成。
2	各組輪流上台講解上節課所討論之擲蛋裝置設計及加工流程。並以教師所提供的材料製作擲蛋裝置，不可使用額外材料。	Explain Engineering	老師可針對同學所發表內容給予回饋，引導學生能夠進行有效的製作與加工。製作時可提醒材料不需全部使用。
3	製作完畢後至頂樓進行擲蛋裝置測試，裝置必須有效保護雞蛋並落入限制範圍內。教師依據擲蛋裝置測試檢核表上的計分方式完成裝置的評分。	Engineering Evaluate	建議老師在測試前先把雞蛋裝在 3 號夾鏈袋裡再讓學生放入裝置內，萬一摔破較容易清理。教師可依據學校場地與學生能力規劃測試範圍。

4	老師解說擲蛋活動的科學原理，引導學生思考影響裝置成功或失敗的因素有哪些，並進一步說明可行的解決方法。各組在聽完老師講解後，針對自己製作的擲蛋裝置進行檢討，找出影響裝置成敗的原因，並提出改善設計構想，紀錄於學習歷程檔案，作為第二階段裝置重製之參考。	Explain Enrich	老師可先將學生製作的擲蛋裝置分類，並講解各種設計方式對應的科學原理。並視時間長短與學生能力，斟酌是否進行改善設計構想的發表與回饋。
5-7	學生依據所檢討之結果，並使用老師所提供之材料，再次進行裝置的設計與製作。第二階段的測試將縮小範圍，以提高任務難度，學生必須設法使裝置的落點更精確。在此階段，學生仍須將設計與製作過程紀錄於學習歷程檔案中。教師仍須依據擲蛋裝置測試檢核表的評分依據進行評分。	Enrich Enineering	第二階段測試範圍，建議可將測試邊界內縮 1 公尺。教師可依據學生能力調整內縮範圍，避免學生無法達成任務。
8	各組上台報告，展示裝置檢討的成果，最後繳交學習歷程檔案。	Evaluate	老師可視時間長短給予各組回饋。

(五) 6E 教學流程建議

1. 參與(Engage)：此面向主要目的為激發學生之興趣與動機，並預告課程內容，使學生能對後續課程有初始概念。本活動透過「空投救援物資」的情境設定，使課程與真實生活情境產生連結，引起學生對擲蛋活動的興趣，並說明小組競賽的最終目標—製作保護雞蛋的裝置。在此階段教師可適度利用空投過程中可能遭遇的問題，例如：空投現場突然颳起大風把物資吹走、空投過程飛來一隻大鳥劫走物資等突發狀況，使學生更能融入情境。
2. 探索(Explore)：此面向主要概念為提供學生機會，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。本活動以學習歷程檔案作為學生分組討論的基礎，學生透過學習歷程檔案的引導，依序探索擲蛋裝置的影響因素、科學原理相應的解決方式，並提出可行的設計構想。在此階段因教師尚未講解科學原理，學生可能毫無頭緒或認為無法達成任務，此時教師可適當提示可運用的科學原理，引導學生喚起已有的先備知識，並鼓勵學生嘗試。
3. 解釋(Explain)：此面向主要目的是給予學生解釋並重新思考所學內容的機會，藉此確認每一學科概念所包含的內涵與意義。本活動透過各組上台講解設計構想，以檢視學生是否能夠合理解釋裝置各項設計的功能，如：降落傘作為減緩降落速度之機構、使用海綿

或氣球緩衝雞蛋落地之撞擊力等。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。

4. 製作(Engineer): 此面向提供學生實際運用學科知識的機會, 使學生更深入了解問題核心, 並將自然世界的概念應用到人為的、設計的世界。此階段包含裝置製作與裝置測試, 學生依據分組討論所得的設計構想, 使用老師提供的有限材料進行裝置製作, 並於指定場所進行裝置測試, 以驗證裝置保護雞蛋的功能與落點的準確度。製作前教師必須先確認設計圖之完成度與可行性, 避免部分小組於製作階段進度落後, 以及因設計不佳造成材料的浪費。測試階段建議教師可於學生全部投擲完裝置後, 再統一下樓檢核投擲結果, 包括雞蛋的完整性與裝置的落點。
5. 深化(Enrich): 此面向主要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。本活動主要透過縮小測試範圍提升任務難度, 並藉由擲蛋裝置的重製與測試檢視學生是否能統整所學知識。老師在測試後解說相關的科學原理, 包括作用力與反作用力、空氣阻力、地球引力、外力平衡、衝量、位能與動能等。建議教師可以簡報方式呈現學生作品照片, 藉以說明裝置內所運用的科學原理, 使學生透過真實的例子理解抽象的科學概念。學生則須在瞭解科學原理後, 分析影響測試結果的因素, 運用教師提供的材料再次製作擲蛋裝置, 並設法提升裝置之投擲精準度。
6. 評量(Evaluate): 此面向的目的為幫助學生與老師判斷習得內容的多寡與深度, 以確認教學活動所產生的學習效果。本活動最後階段為成果報告, 測試失敗組別需進一步提出改善構想, 而測試成功之組別則須詳細分析裝置成功之因素, 並紀錄於學習歷程檔案。此階段學生可能提出天馬行空或是不夠具體的改善構想, 建議教師可透過舉例、引導思考、適時給予建議等方式提高學生所提構想的可行性。老師可從報告內容及學習歷程檔案得知學生對知識內容的理解與精熟程度, 學生也可由觀摩他組同學報告再次檢視已習得的內容, 或是補足未瞭解的知識概念。建議教師可事先提供報告格式, 並指定報告內容, 避免學生報告內容不一而造成教師評分困難。

陸、教學省思與建議

本教學活動主要透過 STEM 取向之科際整合課程, 使學生透過實作活動整合數學、科學之學科知識內容, 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, 茲提出下列兩點建議以做為未來教師實施教學之參考:

(一) 測試規則的說明

在實際進行裝置測試時，學生可能會以不同的方式投擲裝置，裝置是否具有初始速度、裝置是否向外或向上拋投、以及降落傘初始之開合狀態等因素皆會影響測試結果，造成評定分數之爭議。故建議教師可事先說明測試規則，並要求學生依循規則進行投擲測試。例如：測試者必須將裝置平舉，在初始速度為零的狀態下讓裝置自由落下，不可向上或往外拋投。若裝置具有降落傘，則須將傘面收折在盒蓋上，使其與裝置一併落下，不可在展開或垂掛狀態下進行投擲。

(二) 結合多元評量

傳統擲蛋活動的評量方式多半僅以裝置測試結果作為評定分數的依據。現代教育強調多元發展，本教學單元以 STEM 科際整合策略進行教學，故在課程評量方面建議除了評定裝置測試結果之外，亦可將 STEM 所包含的學科內容與學生應用 STEM 理論的能力納入評量項目當中，以檢核學生的學習成果是否符合教學活動之目標。根據 Petrina(2007) 所提出的多種真實性評量(Authentic Assessment)，其中檔案評量(Portfolio Assessment)與檢核表(Rubrics)兩種方式與本教學活動之目標較契合，故採用檔案評量與檢核表兩種形式作為主要的評量方式。

檔案評量(Portfolio Assessment)

檔案評量主要以學習歷程檔案為評量依據。學習歷程檔案之內容依 6E 教學流程安排，藉此引導學生設計擲蛋裝置，並要求學生於繪製裝置設計圖時，畫出各部件之展開圖，以瞭解學生是否具備數學展開圖之相關知識與技能。在測試評估階段則要求學生說明改善設計構想所運用的科學原理，以得知學生是否瞭解科學知識及其應用。學習歷程檔案詳見附件一。

檢核表(Rubrics)

主要包含裝置檢核表及成果發表檢核表。裝置檢核表分別評量擲蛋裝置的功能、外觀與創意性，藉以檢核學生的科技能力；成果發表檢核表主要於學生發表過程檢視學生是否瞭解所學科學原理，藉以作為科學部分的評量結果。檢核表詳見附件二與附件三。

本教學活動欲評量項目及對應之評量方式整理如表 5，活動目標與所對應之評量方式整理如表 6。

表 5 評量項目與評量方式對照表

評量項目	STEM 知識	評量方式	是否具備相關先備知識
S 科學原理	作用力與反作用力、空氣阻力、地球引力、外力平衡、衝量、位能與動能	學習歷程檔案、成果發表檢核表	七年級學生對地球引力應有初步理解(國小高年級自然課程),其餘知識內容於課堂中教授
T 科技使用	基本手工具操作、加工方法	裝置檢核表	七年級學生應對基本手工具操作與簡易材料加工有基本知能(國小中、高年級美術課程)
E 工程設計程序	最佳化的歷程	學習歷程檔案	此部分為 6E 教學模式之核心,學生將於本教學活動中實際體認
M 數學幾何概念	立方體的展開圖	學習歷程檔案	七年級學生應具備立體展開圖概念(國小高年級數學)

表 6 活動目標與評量方式對照表

活動目標	評量方式
能善用 STEM 知識理論進行機構設計	學習歷程檔案、成果發表檢核表
能整合 STEM 的程序與技能製作機構	學習歷程檔案、裝置檢核表
能從 STEM 理論角度進行檢討與改善	學習歷程檔案、成果發表檢核表

(三) 與傳統科技教育活動的差異

擲蛋活動為過去生活科技課程常見的活動,一般將教學流程分為講解、設計、製作與測試,而學生在完成任務後,由老師給予回饋意見即結束該課程,學生缺乏再次檢視概念原理與設計構想的機會。本活動有別於傳統教學方式,在學生完成第一次裝置測試後,運用教師解說原理所習得的內容,檢視裝置成敗因素並再次製作及測試擲蛋裝置,使其達到難度更高的任務要求,以深化所學內容。

參考文獻

- 王澄霞(1995)。STS 活動中之「學」與「教」。科學教育學刊，3(1)，115-137。
- 教育部(1998)。國民教育階段九年一貫課程總綱綱要。台北：教育部。
- 蔡錫濤(2000)。九年一貫課程重要概念釋疑。新講臺教育雜誌，1，48-51。
- Becker, K. H., & Park, K. (2011). Integrative approaches among science, technology, engineering, and mathematics (STEM) subjects on students' learning: A meta-analysis. *Journal of STEM Education: Innovations and Research*, 12, 23-37.
- Burke, B .N. (2014). The ITEEA 6E learning byDeSIGN™ model, maximizing informed design and inquiry in the integrative STEM classroom. *Technology and Engineering Teacher*, 73 (6), 14-19.
- Petrina, S. (2007). *Advanced teaching methods for the technology classroom*. Hershey, PA: Information Science Publishing.
- STEMTEC (2000). *Science, Technology, Engineering, and Mathematics Teacher Education Collaborative (STEMTEC) proposal*. Retrieved from <http://k12s.phast.umass.edu/~stemtec/about/mission/proposal.html>

附件一：生活科技擲蛋活動學習歷程檔案

本學習歷程檔案以 6E 教學流程編寫，內容包括參與、探索、解釋、製作、深化與評量六項步驟，學生可藉由 6E 教學流程之引導，完成教師指定任務並紀錄學習歷程，以供教師作為評量依據，並檢核學生之學習成果是否與活動目標相符。各階段所列問題之評分重點分述如下。

- 參與(Engage) ● 各位救災小英雄都肩負著拯救災民的重責大任，請問你是否能夠在出任務前，先分析可能影響完成任務的因素有那些呢？

裝置的重量、降落傘的形狀、有沒有風、降落傘有沒有開...

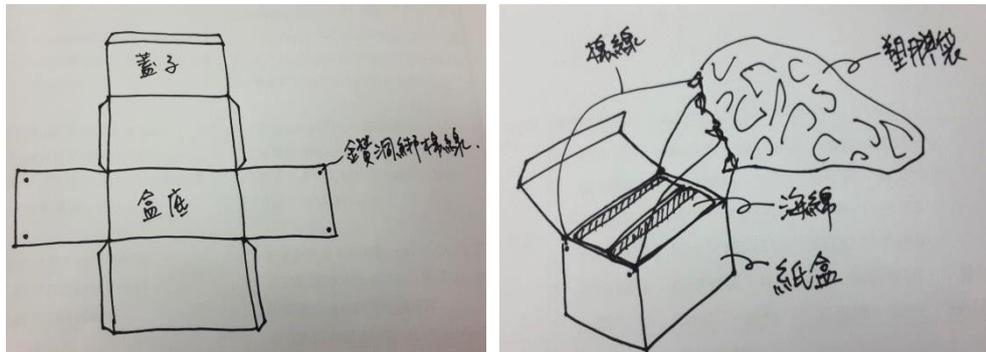
評量重點：學生須提出大量且合理的想法

- 你剛剛已經提出可能影響任務成敗的因素，接下來你又會如何解決這些問題呢？

用較輕的材料製作裝置、上網查降落傘形狀的相關資料作為參考、把裝置做成流線型減少風阻、實際測試前先確保降落傘可以打開...

評量重點：學生所提出的解決方式必須具體且可行

- 探索(Explore) ● 現在你的後援部隊已經就定位，需要你協助設計裝置，請你將你的設計構想畫下來，並且以展開圖的形式呈現給後援部隊。



評量重點：學生必須繪製裝置的設計圖，以及正確的幾何展開圖

- 解釋(Explain) ● 在完成設計圖之後，請你向後援部隊解釋裝置的設計構想與製作流程，讓他們瞭解如何將你的設計構想製作出來。

1. 把展開圖剪下，折成盒狀並黏貼
2. 在紙盒的四個角鑽洞。
3. 將塑膠袋剪成降落傘狀，四個角綁上等長的棉繩
4. 將海綿挖洞，裝入雞蛋後用膠帶捆紮，塞進紙盒後蓋上蓋子
5. 將降落傘綁上紙盒即完成裝置製作

評量重點 1：學生必須完整分析各部位的用途，並明確指出該部位所使用的製作材料

評量重點 2：學生必須以條列方式規劃正確的加工流程

製作
(Engineer)

- 現在後援部隊已經準備就緒，你必須開出材料與工具清單，並與他們著手進行裝置的製作。

材料	工具
<u>塑膠袋(降落傘)</u>	<u>剪刀</u>
<u>棉線(綁降落傘)</u>	<u>美工刀</u>
<u>海綿(保護蛋)</u>	<u>雙面膠</u>
<u>厚紙板(盒子)</u>	<u>膠帶</u>
	<u>尺</u>

深化(Enrich)

- 由於當地災情擴大，能投擲物資的範圍縮小，因此，你必須使用相同的材料製作出更具精準度的投擲裝置，請你再次進行投擲裝置的設計與製作，並設法提高裝置投擲的精準度，以確保能完成任務。並將改變設計之處詳細記錄下來。



加翅膀，作為擾流板

加氣球，使造形較為流線形

評量重點：學生必須盡可能詳細記錄設計與測試的細節，以利後續改善參考之用

評量
(Evaluate)

- 現在救災任務已經結束，你們正在召開檢討會議，請你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，並說明你在改善設計構想中運用了哪些科學原理。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。

成功!! 因為降落傘抵銷重力，海綿降低撞擊力，膠帶把海綿網緊，保護雞蛋不會滾出去!!!

評量重點 1：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

評量重點 2：所提出之科學原理必須與分析結果相對應

附件二：擲蛋裝置測試檢核表

組別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
裝置 製作 60%	加工方 法 完成度									
	外觀									
	機構									
裝置 落點 20%	範圍內 範圍外									
完成 任務	成功 不成功									
總分										

附件三：成果發表檢核表

組別	參與(Engage)	<input type="checkbox"/> 小組分工詳細而且適當 <input type="checkbox"/> 小組成員都有發揮所長 <input type="checkbox"/> 小組成員都有積極參與

報告者	探索(Explore)	<input type="checkbox"/> 能提出大量裝置設計構想 <input type="checkbox"/> 能提出具可行性的設計構想 <input type="checkbox"/> 能呈現裝置設計圖

分數	解釋(Explain)	<input type="checkbox"/> 能針對初步設計構想提出說明 <input type="checkbox"/> 能分析裝置各部位的功能 <input type="checkbox"/> 能詳細說明裝置製作流程

	製作(Engineer)	<input type="checkbox"/> 能選用適當材料進行製作 <input type="checkbox"/> 能使用正確工具進行加工
	深化(Enrich)	<input type="checkbox"/> 能在材料減半條件下設計裝置 <input type="checkbox"/> 能在材料減半條件下製作裝置
	評量(Evaluate)	<input type="checkbox"/> 能提出具可行性的改善構想 <input type="checkbox"/> 能提出與裝置相應的科學原理
	給予他們的建議：	