

---

# 高中生動手作研習架構發展初探：以國立自然科學博物館「高中生史特林引擎模型組裝研習」為例

葉蓉樺

國立自然科學博物館 科學教育組

## 摘 要

近年來大眾科學教育領域倡導「動手作科學」，無論是科學展演機構或大專院校、民間團體辦理的科學研習活動都包含實作的課程在內。然而這些實作課程是否能達成活動規劃時預設的促進科學原理瞭解、培養科學態度、增進學習意願等目標，較少被論及。

本研究對國立自然科學博物館「高中學生的史特林引擎模型組裝研習」活動之發展與執行過程進行分析，資料取自 4 梯次高中職學生史特林引擎組裝研習，以現場觀察、半結構晤談，探討高中學生組裝模型、排除問題的行為，並以電話追蹤訪談及學員問卷，調查參加學生對研習活動的記憶、感想。研究發現高中學生參與科學研習活動的原因，除了興趣之外，同儕、費用都是重要因素，並將研習間參加者慣用的組裝模型行為歸納為 4 種類型。

**關鍵字：**史特林引擎、熱學概念、非制式學習

## 壹、前言

為發展與設計對國民教育具輔助功能的演示活動，由現行九年一貫課程綱要中，分析各個重要物理科易於形成迷思概念的基本概念，例如電學、熱學、光學等教學易出現的迷思概念。在熱學的概念中，國小低年級以達到讓學生以身體感官感知冷熱為目標，中年級則以學會以溫度計測量冷熱，高年級能觀察到物質有不同儲蓄熱的特質，國中階段能瞭解熱對物質的影響(教育部，2000)。

科學博物館在籌劃介紹熱學概念時，欠缺具體、有效的教具，觀眾常反映

概念解說雖然詳盡，但仍偏於抽象。在重新檢索相關資料後發現，近期對引擎發展朝向外燃機，由外供能源轉變為動力來源的史特林引擎成為機械學界的關注的焦點。而且  $\gamma$  型史特林引擎的起動溫度可以低於  $100^{\circ}\text{C}$ ，適於進行公眾演示，其構造簡單，亦適於發展為模型套件提供大眾作為科學組裝活動之用。因此國立自然科學博物館 2004 年至 2005 年間，以國科會大眾科學教育計畫經費的補助，訂製模組化的史特林引擎模型組裝套件，並辦理高中學生史特林引擎模型製作研習營，藉由史特林引擎模型的製作，介紹熱機運作的基

本原理。

本文旨在分析這些推廣高中學生動手嘗試驗證科學原理應用的研習活動，並且透過研習籌備與辦理的歷程回顧，提出高中學生科學製作活動課程規劃的模式。

## 貳、文獻探討

### 一、模型製作活動在培養創造力及科學過程技能的意義

受到傳統思潮與邏輯實證論(經驗論)的影響，實驗向來是科學教育的特徵與代表(林陳涌，1995)。實驗課對中學科學教育有下列的意義：提供學生表露自己想法、討論並測試的機會，藉以訓練學生們的思考技能(姚珩，1994)。通常大家對於實驗的想法，侷限在自然科的實驗課那種照本宣科的實驗—即依序執行後，必需能看到可驗證書本理論之特定結果。這樣的實驗課如果是科學教學的代表性特徵，將很難令學生體會到科學知識產生過程裡有創造力發揮的空間存在。根據林陳涌(1995)從經驗證據和科學理論間的關係分析，認為實驗教學的功能是應用活動的進行使學生瞭解抽象理論的概念，它應該只是個起點，重要的是接續著實驗進行後的討論與協商，這才是體驗科學進行的重要因素。以這個論點來看，在非制式教育環境中的研習活動，具有與實驗課相同的特質，即提供學生有興趣的實作活動、營造學生討論與協商的環境，提供思考訓練的機會。

動手實作的經驗對於創造力培養的關係相當密切，鄧運林(1981)的研究發

現，高科學創意的學童中有 70%，曾有過動手實作科學實驗或模型的經驗。Wagner(1988)也提到製作模型的經驗有助於啓發創造力，並提昇工藝技巧，使創意得以具體實現。培養中小學生動手作工藝的興趣，有助於營造具科學創造力的人格特質(李賢哲，2001)。而非制式學習管道依林樹聲(1999)的分析，具有使學生能對科學有所認知、動手實作(探究科學、經歷科學過程)，並且有機會能夠「談論」科學。因此由社教機構提供的模型製作研習活動，不但有助於啓發創造力，也能達到更深一層的科學教育意涵，即應用科學進行思維、解決問題。

### 二、適當的實作引導原則

學生在實驗課中能否自發地進行科學探究，教學時班級的氣氛佔有重要的地位，教師對於學生提出的問題與詮釋之反應、同儕對此問題的認可與否、與同儕溝通協商的時間限制、口語表達的能力等，都會影響學生感知實驗課的情境是否適於繼續發展科學探究的思維(Rop, 2003)。在一般學校的實驗課，受到學期需進行的活動數量規定，教師無法讓學生有足夠的時間探究他們在實驗過程中感到好奇、欲進行探究的現象。

Mulkay(1979)亦曾提出科學是一項詮釋性事業，科學研究過程中即使是自然科學也是由社會過程被建構出。學員們基於相同興趣(組裝模型、工藝品製作)，有較學校實驗環境及教學活動素材更能引發探

究動機、溝通想法與協商背景情境，因此在研習中的活動指導，將基於促進學員同儕互動或與指導員互動的原則，儘量讓學員有機會陳述彼此想法，達到藉由溝通、澄清、合作而達成理解之學習。

因此，研習活動採取單一主題研習的方式進行，讓學員有充分的時間操作並思考所欲介紹的基本概念。讓學員以分組共用工具的方式進行模型組裝的實作活動，促進實作活動中學員間的互動，以便於藉由互動的激盪促使他們運用科學過程技能中的觀察、提出可能的問題、擬定解決方案、嘗試、解決問題，對模型機構進行調整。

根據林陳涌(1995)的分析結果，認為良好實驗教學應該有下列條件：1.教師需瞭解學生可能具備的現有想法種類或基模；2.活動進行應該讓學生有機會表現既有概念，並參與步驟設計；3.實驗教學的重點不在結果，而是學生對結果的詮釋與協商。這樣的教學引導，與近期許多學者(Abell, 1990；王玉如，1999；湯偉君，1999；湯偉君和邱美虹，1999；余瑞虔，1999；程上修，2000)倡議的創意問題解決模式(CPS, creative problem solving)之理念相應和。

在活動規劃時，參考吳佳玲和張俊彥(2001)的研究，將 CPS 分為五個引導階段：發現事實、發現問題、發現想法、發現解答、尋求可被接受的解答。對應到模型製作研習活中，學生的模型成品運作狀況(是否能夠運作、運轉持久時間、運轉流暢度...等)是學生可以在活動當中發現的

事實；問題的發現，在本研習中界定於改進模型運作的部件裝配精準度(學生可以透過觀察、試推各機構，決定哪些部位的零件可能是造成現有問題的關鍵)；學生可透過與同儕或指導員的討論，決定如何調整(拆卸、重裝、設計配重裝置、加設輔助零件...等)；在嘗試之後，學生可能使自己的模型運作、驗證自己從觀察所作的推測，也可能無法改善問題，必需尋求其他解決之道，說明模型無法運作的原因。

## 參、研究方法

研究採用現場記錄、現場及活動後電話訪談及參加者意見調查匯集下列研究資料：(1)模型組裝研習活動指導流程規劃；(2)學生同儕在模型組裝活動中面臨問題與解決的行為模式探討。

熱力學基本概念的教材研發參考網頁資料，採取關於史特林引擎近期的開發及運用之相關資料。配合大專教材關於卡諾微分方程的圖說，作為在研習課程中介紹史特林引擎如何應用熱力學的基本概念，將熱能轉變為機械能。教材的編撰及審查由周鑑恆教授進行。由於研習活動的成果主要反映在學員製作的引擎模型能否順利運轉，因此在講義資料方面，另編有製作指引手冊，配合圖解說明特定零件組合應注意的事項，並指出一些常見錯誤的排除。

學生參加後對研習活動的感想或評價，由學生在研習後填答的問卷及研習後3週的電話追蹤訪問獲得。學生組裝模型的行為模式，由現場參與觀察記錄，及事

後臚錄學生的模型組裝過程，配合助教的報告進行歸納。

資料蒐集期間自 93 年 11 月至 94 年 7 月間辦理 4 梯次高中學生的研習營，共 106 人次參加。其中 3 梯次於臺中市國立自然科學博物館辦理，參加者中僅 4 人來自大臺中以外地區，都居住在中部地區，且在中部求學；1 梯次於國立武陵高級中學辦理，參加者都居住在桃園地區。

## 肆、結果

研究結果擬由下列三方面討論：研習課程規劃、模型製作指導技能發展、研習學生組裝模型行為模式。

### (一) 研習課程規劃

在研習進行前，針對本館高中生義工及義工老師介紹的高中學生 30 名為對象，以訪談蒐集學生對於參加製作性質的研習活動之經驗。結果發現受訪的 30 名學生之中有 28 位在國小都曾參加過科博館舉辦的「動手作」活動，但是國中以後到進入高中，都沒有參加過類似的活動。科博館的動手作活動是以國小中高年級學生為對象，約 3 小時的短期研習活動，活動成果是製作一項應用科學原理的作品，材料費由參加者自付。受訪者們大都認為那樣的活動在國小時覺得很有趣、很有成就感，但上了高中還是作類似的東西就顯得太簡單了，如果要再參加製作性質的活動，至少要符合高中生的程度。

NH1011

研：請問你知道博物館內的「動手作」活動是什麼嗎？

答：嗯，國小的時候作過吧！我媽會幫我報名，星期天下午的樣子。

研：你喜歡參加那樣的活動嗎？

答：還滿好玩的。

研：為什麼好玩呢？

答：就...作出來的東西會動，可以帶回家玩一陣子。比在安親班好玩。

研：國中以後曾經參加過類似動手作的活動嗎？

答：博物館的喔，那太簡單了，跟一堆小孩在一起，太好笑了。假日也要補習比較多。

研：參加過其他單位為國中生辦的嗎？

答：作東西的嗎？...(回想狀)有參加過一些營隊，像童軍的作的東西就是演戲用的道具之類。不然就是一直聽上課那樣的吧！

研：高中有參加過類似活動嗎？

答：研習營嗎？

研：類似。

答：比較少，科博館辦過生命科學營，到大學去作實驗，剪了一個 DNA 模型，滿好玩的。大部分時間還是在聽教授講課。

研：你喜歡參加這類活動嗎？

答：普通啦，聽說對考大學有幫助。不過也只報過一次，後來好像也沒別的給高中生的活動。

從訪談中可以發現，為國中生、高中生安排的活動，較少由學生動手嘗試的性質。檢視本館中小學生「動手作活動」的時間分配，發現原理解說約佔 20-30 分鐘，大概是活動 1/6 的時間，其他 5/6 時間則由學員動手製作；高中學生的生命科學營，動手實作的活動(DNA 剪紙)和實驗(萃取 DNA)佔總研習時數的 1/9，即有大部分時間是靜態的演講型課程。為了落實研習活動以學生動手實作為主的性質，總長 12 小時(1 天半)的研習，在時間規劃上將原理說明與應用設定為 2 小時，其他時間為學員製作及測試之用。

原理介紹的課程包括：史特林引擎發展的簡史、史特林引擎與內燃機熱效能之比較、不同類型的史特林引擎設計區別、現有的史特林引擎應用性質，以及各型史特林引擎模型的演示。這部分以周鑑恆教

授撰寫的研習手冊為參考資料，其中史特林引擎的熱流計算導證過程附於手冊內，因難度屬於大學熱力學範圍，故不作為課程講解內容，僅學員於休息時間對這部分感興趣時，講者會個別為學生說明。

圖 1 為研習活動使用的模型構造圖，屬於  $\gamma$  型史特林引擎的設計。移氣胴體相連的連桿 1 不具動力輸出的功能，僅活塞連結的連桿 2 有動力輸出；氣室下方是加熱面，氣室上方的平面為主要散熱面，這是  $\gamma$  型史特林引擎典型的特徵。此種設計的起動溫度較低，國外製作較精良的此型模型只要有 20 度的溫差即可驅動。本組模型在設計上，省略了 2 個部位的關節加工，因此可使材料費用降低，但與室溫需有近 60 度的溫差才能驅動。因此在研習中以熱水作為加熱源，使用電熱水瓶提供穩定的熱源，亦可避免使用酒精燈傾倒燃燒的危險。

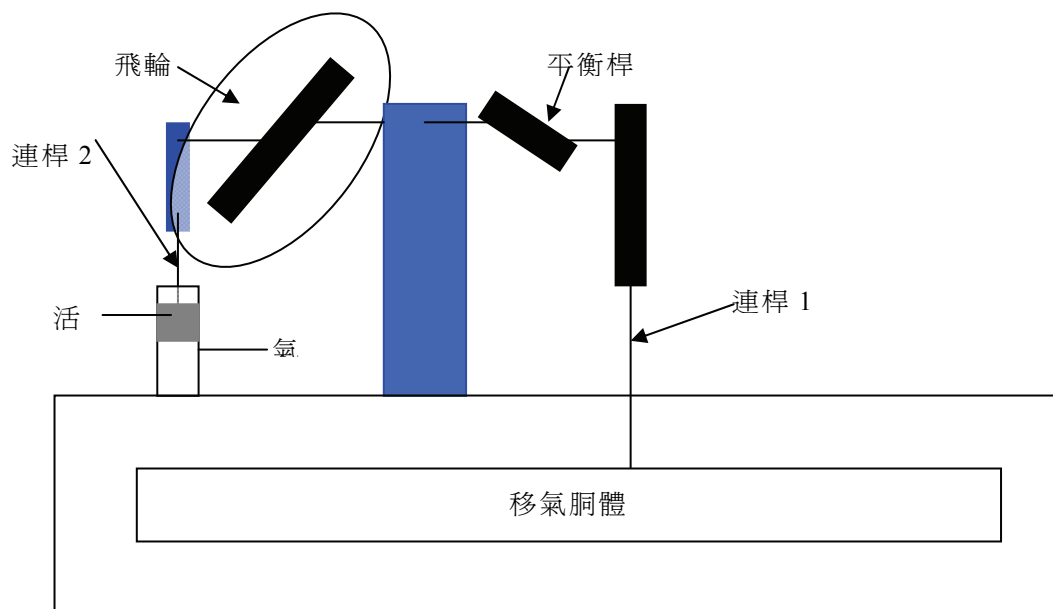


圖 1、史特林引擎模型構造簡圖



## (二) 模型製作指導技能發展

模型設計者建議的製作流程基本上是由模型的上半部開始，最後再封上氣室的底蓋：黏合氣室主體與上蓋⇒組裝支架(支架、平衡桿、連桿)⇒組合移氣胴體、活塞⇒支架及玻璃氣缸固定到氣室上蓋⇒裝入移氣胴體、封上氣室下蓋⇒黏合連桿 2 與活塞、調整連桿 1 的衝程⇒完成

在培訓助教過程中，助教們發現原定的組裝流程易導致後續引擎調校上的困難。其中多個步驟易使未乾的膠污染活塞或移氣胴體，影響轉動。因此修正後的組裝流程改為分開組合氣室下蓋、支架，最後再將上蓋固定、裝上支架及玻璃氣缸：黏合氣室主體與下蓋⇒組裝支架(支架、平衡桿、連桿)⇒組合移氣胴體、活塞⇒安裝移氣胴體、黏合氣室上蓋⇒支架及玻璃氣缸固定到氣室上蓋⇒黏合連桿 2 與活塞、調整連桿 1 的衝程⇒完成

為使得研習的實作活動指導，能依創造性問題解決(CPS, creative problem solving)的原則，引導學生發現事實、發現問題、發現想法、發現解答、尋求可被接受的解答。在籌備期間，請助教們就試作的經驗，提出影響模型成品運作(事實)的可能原因(問題)，透過 6 位助教的經驗與討論，歸納出下列關鍵步驟：

1. 檢查氣室及氣缸的氣密。
2. 調整曲軸與連桿的角度至最佳作動角度，並且固定。
3. 支架位置是否歪斜、偏向。

4. 調整移氣胴體的高度，檢視在衝程中是否會抵住氣室上蓋或下蓋。

當學員進行實作、產生問題時，助教們可依前述步驟，引導學員發現自己的問題、提出可改進的想法，並且逐步驗證。在第一梯次研習研習活動當中，發現學員進行組裝時，還常因為下列因素無法順利完成組裝：

1. 對接著劑的性質不瞭解
2. 無法維持曲軸與連桿的垂直與平行
3. 支架位置、移氣胴體的調整
4. 機構體平衡的調整

基於接著劑為一般較少使用的混合凝固樹脂(俗稱 AB 膠)，學員欠缺經驗與敏感度將之列入待發現的問題，或針對這一點提出解決的方案。在熟學解說的課程安排之後，加入一小段時間，由助教讓學生分組試用 AB 膠，測試不同比例膠體混合後凝固的時間與硬度。也藉此過程，促進彼此不認識的學員互動、討論的氣氛。將後 3 項加入關鍵步驟，使之擴充為 7 項。

指導模型製作的流程確立如圖 2。

在流程當中的組裝與測試階段，助教並非逐步示範，而是分成支架組裝、氣室組裝、支架與氣室組合和移氣胴體安裝等四階段，先說明當階段的關鍵步驟完成後，階段成果的完成品應出現的特點；學生完成階段成品後自行測試，如發現問題、無法確定解決步驟，助教以引導觀察、討論的原則協助學員確定排除問題的作法，並付諸行動。

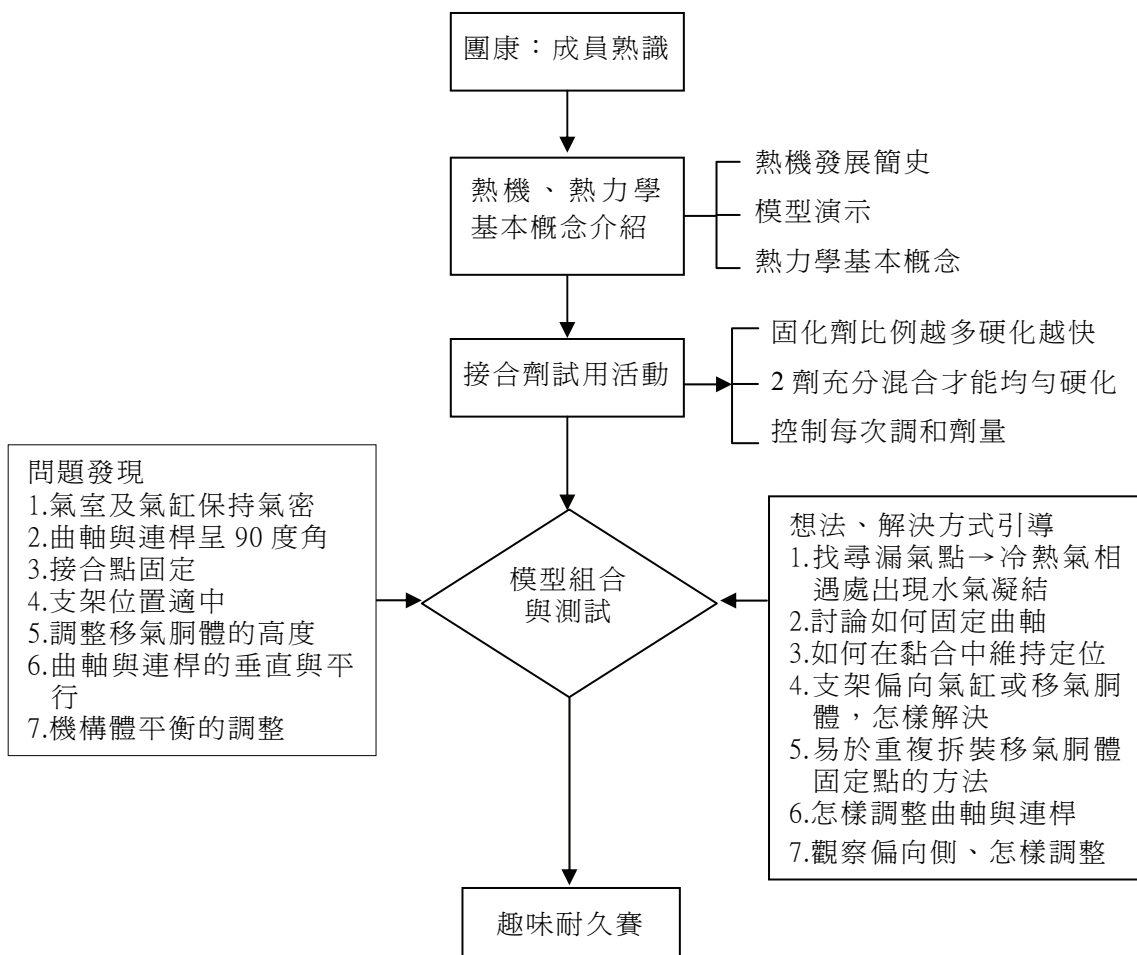


圖 2、研習流程示意圖

### (三) 研習學生組裝模型的行為模式

#### 1. 依組裝手冊程序進行不與同儕討論

研習梯次中有 4 名個案學生採此種方式。這些學生都是獨自報名參加，其中 1 名來自臺北市。採取此種組裝方式的原因，可能是他們在營隊中沒有原來就認識的同學可以一起討論。

此類組裝者並不依照助教要求的次序進行，而是按自己閱讀理解的步調組裝模型，經常超前進行到下一個步驟；也會因

為無法突破或完成某個步驟而停滯。

當他們無法作到說明手冊上要求的裝配結果時，會翻閱手冊並作出思考狀，有時會試著拆開已經組合固定的部分，回到幾個步驟前，重頭再作一遍。在組裝過程中，他們最主要的參考是研習手冊上的圖解，就外觀的組裝完成度而言，這類學生的作品外觀為最符合手冊圖繪者。外觀最漂亮、乾淨，乍看之下無懈可擊。

組裝完成的模型無法運轉，常是因為

零件的相對位置需要調整。要能發現這個問題並且解決，常需要對照陳列在各組的完成品或是由同儕的經驗指出。由於此種組裝行為的學生是單獨參加研習，既不主動與人攀談也不太回應他人的攀談，在研究期間未見到他們向同組者要求觀察模型完成品。因此他們往往無法自行解決模型無法運轉的問題，而是在試機後，由助教主動趨前與之討論，才能試著決定幾項排除問題的嘗試。

## 2. 觀察組裝成品⇨著手組裝⇨調整作品



學生當中有 19 例是以這種方式進行組裝。採這種方式的學生並未出現翻閱組裝說明手冊的行為，他們在助教說明後，會趨前觀察各組放置的組裝成品，以手撥弄、觀察機構動作的相對位置。每製作幾個步驟，就會再拿完成品撥動一下，仔細觀看，再調整自己的成品。

不急於開始動手組裝是其行為特徵，有些學生除了觀察組裝成品之外，也會看著身旁其他人進行組裝一段時間，看起來像是無所事事。這類型組裝者在看著他人組裝時，不會進行與組裝行動有關的發言，純粹是看著對方、偶爾開玩笑、聊聊其他事情。一旦開始動手組裝就相當嚴肅，除非進行到需等待黏合處固定的步驟，否則不太回應同組其他人的互動。雖然他們是有同伴一起參加研習，但本質上他們的組裝嘗試也是相當個人的行為。

現場晤談資料顯示，這些學生以完成

品為主要參照時，參考的焦點著重於移氣胴體和活塞移動時的相對位置，以及掛裝移氣胴體的連桿所銜接之曲軸方向與其移動時的相對位置。其對成品的參考不以外觀為主，而是注重各部件靜止和運作時的相對位置。成品雖然不見得乾淨漂亮，但完成後試機都可以順利運轉。

## 3. 組裝手冊⇨組裝成品⇨觀察同儕組裝⇨同儕討論⇨組裝

這一型的學生在解說完組作程序後，會先暫時不理會同儕，自顧自的翻閱手冊，但很明顯地以參考圖解為主，因為他們看圖的時候多伴隨有以手指點著圖的局部之動作。有些學員是觀察者趨前詢問，確認他們翻看手冊時主要是注意上面的圖。

有趣的是閱讀手冊後，他們會先與已經在動手組作的同學討論，對別人組裝的程序、手法提出問題，所以常是小組中最後開始動手的成員。等他看著別的同學開始組作到特定步驟後，才會開始裝配他自己的模型；遇到不確定的步驟時，會主動與同儕討論，或是翻閱手冊再繼續進行組作。學員中有 27 位採這種方式進行組裝。其成品不一定比同儕漂亮或標準，當助教在場時，這類學員會主動向助教發問、確認自己的裝配是否標準、尋求建議。

## 4. 組裝⇨同儕討論⇨參考手冊或對照成品



這類學員的數量有 56 位，採取先動



手再說的策略，是研習中最常看到的組裝模式。行動的起點，往往是根據助教介紹組裝流程的印象，他們是四種組裝行為中，最專心聽助教講解的。有趣的是他們遭遇問題時，總是先跟同學討論，除非同學建議的方式或指引仍然無法幫助他完成特定的組裝步驟，才會翻閱手冊，或對照各組放置的完成品。通常他們比較喜歡先對照成品，而把翻看手冊當作最後的選擇。前述舉動都無法協助他們克服問題時，才會尋求助教協助。

研究進行期間，有 19 名採用此種組裝行為的學員發生裝配次序錯誤，拆除重作的情形。他們並沒有因為發現此種錯誤而出現惱怒的表現，同儕和助教以裝錯次序笑他們粗心，並未使小組氣氛改變。

#### (四) 過程間學生對數學及科學觀念之應用

在組裝過程中，有些材料並未標示黏合點的位置。為了將支架安裝在連桿 1、2 的中間位置，保持支架(圖 1 中央的藍色粗直線)、連桿 2 和連桿 1 垂下時保持平行，學生們需要應用一些幾何學，例如利用弦找出圓心、連心線、平行的檢測等。

參加研習學生在研習課程一開始，都表示知道氣體的熱漲冷縮現象。但都表示沒有聽過什麼應用這個現象的事，有 6 位學生提到利用氣體的熱脹冷縮把白煮蛋吸入玻璃瓶的實驗。研習結束後，受訪學員皆提到：由模型的運作，實際觀察到氣體接受能量而

膨脹，將能量消耗在作功之後體積縮小。

#### 個案 93A003

...這個[模型運作]滿容易看的，就下面[氣室]移氣胴體這邊的空氣被加熱，從小洞膨脹到玻璃這邊[氣缸]把活塞撐起來，碰到上面的板子[氣室的上蓋]散熱就縮小，就撐不住[移氣胴體]被拉下來。

#### 個案 93B019

...下面被加熱以後就膨脹啊，那就會把這個[移氣胴體]推起來，空氣從洞會推白色的[活塞]，把這根[連桿]頂上去。那碰到上面[氣室上蓋]就散熱了，會體積變小，撐不住這片[移氣胴體]就往下，把這邊[飛輪側的連桿]拉下來。

由晤談中發現，學生能從這個模型體認到空氣膨脹與收縮對機構作動的傳遞過程。但會誤以為受熱的空氣推動的除了活塞以外，還有移氣胴體。其實移氣胴體只是扮演氣室的氣體擾動，及機構體以慣量帶動衝程的平衡功能。

從事後電話訪問蒐集到的資料顯示，大部分參加者皆意會到自己在這個活動當中應用了數學及科學課程中習得的知識，並且認為製作模型的活動難度適於高中程度、具有挑戰性和趣味。晤談資料整理如表一。

表一、參加者在活動後對研習的記憶

記憶內容屬性 反應型態	研習課程內容	模型製作活動	應用學校 習得知識	正向情緒 反應及評價
主動回想	76	94	87	91
提示後回想	18	----	7	2

註：電訪總有效樣本 94 人。

電話訪問在活動結束後第三週進行，採半結構式晤談。請受訪者先試行回憶研習活動中令他印象較深刻的方式，此部分的資料於分析時屬於表格中「主動回想」類別，再就活動流程中就受訪者未主動提及的部分，提示各項活動名稱請受訪者談談感想或印象記得的部分，此處資料轉譯後記於「提示後回想」的類別。

資料顯示多數受訪者在未提示之下，多數都能主動回想起課程當中「熱機發展的簡史」、「史特林引擎運作的方式」、「史特林引擎機構略分為四型」等相關內容，無論受訪者提到的詳盡程度或次數多寡，在表一中都記為「主動回想」研習課程內容的 1 次。提示後回想的受訪者是在被問及「上課時講些什麼你還有印象嗎」，之後才提到課程內容。「模型製作的過程」是所有受訪者都主動提到的一項，顯示受訪者對於模型製作的印象都相當深刻。受訪者都對活動感到滿意、新奇及有趣，當中僅一人對於研習課程沒有正向的評價，原因是他的模型最後沒有運轉；受訪者們雖然對活動感到滿意，但也提到活動的費用偏高，如果沒有家長支持或催促，他們不會主動報名。受訪者都覺察到活動中應

用學校習得的知識，許多人提到槓桿、平衡、熱脹冷縮、波以爾定律、連心線等。

## 伍、結論與建議

所有的參加學員都在模型的運轉過程中，觀察到氣體的體積變化，以及透過機械構造，將體積變化轉變為動力輸出。學員在研習後的敘述都較研習前精緻，顯示動手作的活動讓他們對引擎構造有更多的瞭解與觀察。謹就本次活動規劃經驗歸納出下列結論：

### (一) 組裝成功率引發學生成就感與興趣

在這個研習活動採用的史特林引擎模型組件，氣室採取透明化的設計，有助於調整衝程時的觀察與對照；也能清楚觀察到氣體作功過程與連桿的關係。因此參與的學員組裝的成功率很高，有 92 名(106 人次)可運轉，可運轉作品中有 35 件可維持 10 分鐘以上，最佳紀錄為 60 分鐘。

參加者因為組裝成功後，更樂於投注在調整自己的成品讓它運轉得更久，也相對地觀察得更深入，能夠有機會思考到與模型運作有關的科學理論。

## (二) 研習流程設計應營造讓學員覺得討論很安全、舒適的氣氛

動手實作的活動中發現在組裝過程中學員雖然與助教有說有笑、學長學弟相稱，但面臨成品未達測試判準時，學員仍覺得主動詢問助教很不好意思，尤其是同工作桌的同學沒有別人需要助教協助解決問題時。高中學生對於「面子」很重視，除前述向助教求助之外，也反映在成品測試程序。不同於教師研習時，每位老師都想試試自己的模型可以連續運轉的最長時間，高中生研習的學員們通常都是看到自己的引擎會轉了，就要求拿回去。經過助教勸誘都很難讓他們試試自己的機器能轉多久。晤談發現他們不想跟別人「比較」，除非他們自己確定知道自己的實力。

就學員們的觀點，把自己的模型擺在前面，讓「全部人」盯著看，萬一轉動記錄超爛會很丟臉。最後一個梯次，趣味的比賽記錄改成在小組內進行，每位學員都把機器擺著試轉到自然停止才取下。顯然這種型式，讓學員覺得是在「比較熟」的人面前比較不那麼丟臉，是個較安全的測試氛圍。

## (三) 助教需要製作技能和輔導技巧的培訓

大部分高中生研習活動，都具有較強的升學導向，也因此參加者以校內智優表現的學生居多。前面提到過學員因為面子顧慮，不會主動求助，所以助教人格特質上多少要有點雞婆、有親切感。另一方面，助教應該能落實指導原則、熟知各種模型組裝過程會出現的問題，所以他們的訓練

不只是嘗試錯誤，也應有一定的過程。就本次活動規劃的經驗發現，在培訓程序應包含確立標準組裝程序、擴充實作問題排除經驗、助教角色與定位的認同等方面提出建議。

### 1. 精緻化組裝程序

這組引擎模型零件的設計者只提供最基本的組裝步驟供參考。遵循這個組裝步驟對常製作模型的人而言，成功運轉不是問題，然而對於少有製作模型或調整機械裝置經驗的一般高中生來說，成品往往外觀沒有大問題卻無法運作的模型。因此首要之務，需將組裝過程再細分為數個階段、每階段有數個步驟。大學部擔任助教的學生，以周老師指導試作、排除運轉障礙的經驗為基礎，確立 4 階段的基本組裝流程。

### 2. 將個人學習經驗遷移到規劃輔導人員的招募與訓練程序。

參與籌備的助教學生將試作期間及各次研習活動中遇到的學員疑難及排除方式，歸納出有效的製作疑難排除程序。於研究者的訓練與要求下，將這些流程與訣竅書面化，用於訓練其他擔任活動輔導的大專同學，使訓練過程與使用的模型套件消耗達到最精簡的程度。

### 3. 助教角色與定位的建立

社教機構常有許多義工協助執行活動，其中不乏現職或退休教師，因此他們習慣於直接將正確概念講出或要求

學員逐步依照其指示進行。本次研習招募的助教為大專學生，完成模型組作訓練後，還花了點時間與他們討論助教在活動執行時的角色與定位。助教們建立一個共識：學員不是一個動作、一個指令地跟著作完整個模型，所以不控制學員組作的步驟和次序，但有個段落的進度，達成之後再回應裝配調整的問題。

亦鼓勵助教就接觸到的學生意見，反思活動執行的優缺點。在第一梯營隊辦理後，主動參考高中學生們在活動中與他們聊天時反映的感想與反應，對研習課程的安排提出建議。例如：加入學員與助教彼此熟識互動的活動、在熟學概念介紹之前先以熱機發展的簡史引起同學興趣、將不同黏膠的性質與使用獨立出一段介紹的時間並讓學員們先試用、這些意見落實在後繼梯次活動中，確實使研習學員組裝模型的進度加快，在面臨問題時無論是與同儕或助教間有更多的互動。

#### (四) 學生模型組裝行為模式的意義

本文完成資料整理之初曾在物理教學及示範研討會中發表，當時在場的多是大專院校的物理教師，他們感到好奇的問題是：哪一種組裝行為模式的學生最具科學研究精神？就本次學生組裝成品運轉比例而言，組裝行為模式差異並未反映在成功率上。這些行為的趨向，也許在某種程度上能看出學生與同儕協調的能力及意願。但欠缺與科學能力或態度差異有關的證據。

表現出第 1 型組裝模式者，可能只是

性格內向、沒有同伴一起參加。而以高中職自然與生活科技教師為對象的研習活動中，超過一半的資深教師採用第 2 型組裝模式。研究者與助教群在研習後討論發現，每次研習較令我們有正面印象的學員常是採用第 3 型組裝模式者，因為在研習前半段時間，他們組裝的進度總是最慢、一直在跟同組的人聊天，但研習後半段時，他們的組裝完成度常出乎意料的好。

觀察學員的組裝行為模式的初衷，是作為助教訓練時參考行為，並非篩選資優的指標。4 種組裝行為中，只有第 2 型是完全不看組裝手冊，大部分採第 2 型者都有較多模型組作經驗，較常出現大致正確、少數細節忽略的現象。而第 3 型的學員雖然組裝進度較慢，但可自行調整而跟上。讓我們得知在高中生的動手作過程中，不必太刻意要求進度一致，只要確定學員知道次一步驟怎樣進行即可。協助學員時只需就如何將已組配的結果調整到符於運轉的細節，在不破壞既有完成度的前提下，改達到改善的目的。

基於前述結論，提出對於推廣高中學生科學實作研習活動規劃的建議：

#### (一) 材料模組化之外亦需達到最佳化

辦研習時常會大量採購材料，也因此能事先將材料裁切為適當的尺寸，簡化製作的過程，並使助教們得以建立標準化的組作程序。也讓學員可以依照指示的原則組裝，並且透過觀察與嘗試，排除造成運轉障礙的問題，不需再考慮零件尺寸符合與否的問題。模組化的材料能協助主辦單



位將工具準備的複雜度降到最低，並且使活動執行時間易於掌控。

進行材料籌備時，除了模組化之外，亦需考慮最佳化的設計。以本次活動發展的這套模型材料包為例，只是在規劃研習課程時，根據壹件成功運轉的模型尺寸訂製各零件，並未考慮到其間材質的多樣化，降低了接合劑的效能及模型成品的堅固程度。也沒有考慮到一般參加者欠缺模型製作背景，對於特殊接合劑性質不熟悉造成的操作障礙。因此，在初步的材料模組化發展完成後，還需要交由專業工業設計人員作一些最佳化的改善，才能確實達到簡化研習所需籌備的工具、教學程序，並使時程控制更完善。由於這項研習活動完全由國科會計劃經費支持，通常在執行計畫過程中有時間的壓力，且經費編列時未加入工業設計的費用，未進行最佳化即生產的材料意外地增加了模型組裝的困難度，也使訂製的材料包無法脫離研習活動成爲獨立的商品流通。

## (二) 研習目標設定應跳脫科目及升學取向

以本館辦理的活動爲例，設定對象爲高中學生的研習營隊，常爲了吸引學員參加，刻意將研習目標設定爲與升學有關的科目學習、認識科系或實驗操作概念之建立。但是以「動手作」爲主要訴求的研習活動，如果又將研習目標設定在科目概念的學習，勢必排擠學生動手嘗試的時間。本次活動的主要目標是培養學生動手作的興趣，並透過製作模型應用到曾學過的數學及科學原理。雖然應用的層級並不高，

但是對學生而言，除了完成作品之外，驗證自己學過的東西能夠被使用，也增加了學習的自信。

## (三) 研習任務具有智力及技能的挑戰性

這個研習能夠推廣，必需感謝國科會大眾科學教育計畫的支持。因爲在這項研習之前，國立自然科學博物館的評估認爲不會有高中生願意付費參加與升學無關的研習活動。在研習進行當中，非正式的晤談發現，多數參加者是對於主題感到好奇，再加上「製作一個引擎，聽起來很特別」，因此報名參加。他們最初以爲可能會很簡單，所以會比較無趣，因此對於「報名聽課」抱持較大的期待，認爲收獲較大的部分應是聽一場介紹科技發展的演講。但是在實作之後發現，看似簡單的構造，其實需要相當仔細地調整，但這些挑戰又不致於是無法勝任，所以在製作模型時，其心智相當投入，使他們在活動結束後對於這項活動的印象仍很深刻。顯示高中學生並不排斥實作活動，但活動內容必需兼具智力的可理解性，及任務的挑戰性，才能讓他們覺得有所收穫。

## 陸、誌謝

本研究由國科會 NSC93-2515-S-178-002 研究計畫補助，特此誌謝。

感謝國立自然科學博物館助理研究員劉冠任先生、國立中興大學機械系羅志誠、蔡智宇、羅正毅、李依縈、陳國揚及楊浚泯同學協助辦理研習活動；萬能大學周鑑恆教授提供引擎模型組件構想，及熱學課程介紹綱要。



## 柒、參考文獻

- 王玉如 (1999)：地球科學問題解決教學模組對高一學生學習影響之初探。國立臺灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
- 余瑞虔 (1999)：國中理化創造性教學法影響中學生創造思考能力之研究。國立臺灣師範大學化學研究所碩士論文。
- 吳佳玲和張俊彥(2001)：學生解決問題能力與其個人背景變項之初探。科學教育月刊，245,2-10。
- 李賢哲 (2001)：以動手作(DIY)工藝的興趣培養中小學童具科學創造力的人格特質。科學教育月刊,243,2-7。
- 林陳涌 (1995)：從經驗證據和科學論之間的關係來探討自然科實驗教學的意義。科學教育月刊,184,2-14。
- 林樹聲 (1999)：科學素養的省思，科學教育月刊。第 222 期,16-26。
- 姚珩 (1994)：實驗教學法淺論。中等教育,45(2),1-14。
- 教育部 (2000)：國民中小學九年一貫課程暫行綱要。臺北：教育部。
- 湯偉君 (1999)：創造性問題解決模式對國三學生科學學習的影響。國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士論文。
- 湯偉君和邱美虹(1999)：創造性問題解決(CPS)模式的沿革與應用。科學教育月刊,233,2-20。
- 程上修 (2000)：創造性問題解決教學模式對高一學生學習氣象單元成效分析。國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文。
- 鄧運林 (1981)：發現、發明與科學教育。科學教育，43，6-8。
- Abell, S. K. (1990). The problem-solving muse. *Science and Children*, 28, 27-29.
- Baquero, J. M. and Santos A. (2001) Heat and kinetic theory in 19<sup>th</sup>-century Physics textbooks. *Science & Education*, 10:307-319.
- Rop, C.J. (2003) Spontaneous inquiry questions in high school chemistry classrooms: perceptions of a group of motivated learners. *Int. J. Sci. Educ.*, 25(1):13-33.
- Baquero, J. M. and Santos A. (2001) Heat and kinetic theory in 19<sup>th</sup>-century Physics textbooks. *Science & Education*, 10:307-319.
- Medved, M. I. and Oatley, K. (2000) Memories and scientific literacy: remembering exhibits from a science centre. *Int. J. Sci. Educ.*, 22(10): 1117-1132.
- Mulkay, M. (1979) .Science and the Sociology of Knowledge. 中譯本(科學與知識社會學)，蔡振中譯，台北：巨流。
- Wagner, J. (1988) : Building Model Airplanes, Model Airplane News, 116 (9) ,pp.24。

投稿日期：95 年 05 月 29 日

接受日期：95 年 11 月 27 日

# **The Study of High School Students' Hands-on Workshop: A case study of Sterling Engine model making workshop conducted by National Museum of Natural Science**

**Jung-Hua Yeh**

National Museum of Natural Science, Science Education Department

## **Abstract**

The concept of thermodynamics is an important field in physics. The materials in citizenships education focus on the phenomena of what heat makes only, rare to talking about the application and characters of heat. But there are lots of mechanics that their functions relate to thermodynamics closely in daily life. Once the social education faculties introduce the thermodynamics concepts to publics, those concepts are too abstract to communicate with people. In this project, we introduce some basic concepts about thermodynamics by way of making a model of Sterling engine that can work. The Sterling Engine we used in the workshop designed by Dr. Chou, Chien-Heng that was the simplest and easiest one to build by high school students. We provided a module for students to learn how heat work and trying to enhance the efficiency of the engine. It is good for learning by doing.

The study for how high school students thinking about heat, conducted by interview telephone-tracing interview and questionnaire. From the observation of working process, we find there were 4 patterns, which students often use in model making. Then described the practitioners benefits from this project and their contributions.

**Key words: Sterling Engine, thermodynamics, informal learning**