

第四章 研究結果分析與討論

本研究依據研究目的與問題，先經專家座談，詮釋與轉化「自然與生活科技」領域第四階段之「科技的發展」與「設計與製作」能力指標；再於能力指標驗證階段，與現職生活科技教師進行合作行動研究，以瞭解所發展之 MST 教材實施之可行性，及驗證學生能力表現。因此，本章即從能力指標之詮釋、轉化與驗證階段，分別進行研究結果之分析與討論。

第一節 能力指標詮釋結果分析

一、「科技的發展」與「設計與製作」能力指標詮釋過程

「自然與生活科技」領域第四階段之「科技的發展」與「設計與製作」能力指標共有 17 細項，分別表列如下（表 4-1）。

表4-1 第四階段「科技的發展」與「設計與製作」能力指標細項

主題軸	能力指標細項
科技的發展	科技的本質
	4-4-1-1 了解科學、技術與數學的關係
	4-4-1-2 了解技術與科學的關係
	4-4-1-3 了解科學、技術與工程的關係
	科技的演進
	4-4-2-1 從日常產品中，了解台灣的科技發展
	4-4-2-2 認識科技發展的趨勢
	4-4-2-3 對科技發展的趨勢提出自己的看法
	科技與社會
	4-4-3-1 認識和科技有關的職業
	4-4-3-2 認識和科技有關的教育訓練管道
	4-4-3-3 認識個人生涯發展和科技的關係
	4-4-3-4 認識各種科技產業
	4-4-3-5 認識產業發展與科技的互動關係
	設計與製作
8-4-0-2 利用口語、影像(如攝影、錄影)、文字與圖案、繪圖或實物表達創意與構想	
8-4-0-3 了解設計的可用資源與分析工作	
8-4-0-4 設計解決問題的步驟	
8-4-0-5 模擬大量生產過程	
8-4-0-6 執行製作過程中及完成後的機能測試與調整	

資料來源：出自九年一貫課程與教學網

<http://teach.eje.edu.tw/9CC/fields/2003/natureScience-source.php>

於能力指標詮釋階段的專家座談中，二位科技教育學者及二位現職生活科技教師，皆先個別閱讀能力指標相關資料，各自解讀能力指標之意涵，接著於座談中透過互相對話，針對此 17 項能力指標之核心概念逐項交換彼此意見、反覆討論，以整合各項能力指標的理論背景與教學內涵。並且依據李坤崇（2002）所提出的「概念式分析」的能力指標詮

釋方法，整理出能力指標之具體內涵。所謂「概念式分析」方法，需先掌握能力指標的核心概念，利用適切的概念，再詮釋出能力指標的具體內涵。

二、「科技的發展」與「設計與製作」能力指標詮釋結果

以「4-4-1-1 了解科學、技術與數學的關係」為例，其核心概念經專家分析為：科學原理、數學原則、技術方法三者，以及三者間的關係。因此，經由專家座談討論結果，詮釋內涵為「能藉由一個科技產品來分析該產品中相關的科學原理、數學原則及技術方法，並了解彼此間運作之關係。」

再以「8-4-0-5 模擬大量生產過程」為例，該能力指標核心概念很明確，即「模擬」與「製造流程」。因此，經由專家座談解析，詮釋其內涵為「能在設計與製作的學習活動中模擬大量生產的過程。」

專家座談中藉由「概念式分析」方式，形成第四階段中「科技的發展」與「設計與製作」能力指標內涵的詮釋結果（表 4-2）。

表4-2 第四階段「科技的發展」與「設計與製作」能力指標之詮釋

能力指標	詮釋結果
4-4-1-1 了解科學、技術與數學的關係	能藉由一個科技產品來分析該產品中相關的科學原理、數學原則及技術方法，並了解彼此間運作之關係。
4-4-1-2 了解技術與科學的關係	能陳述技術原理、方法與科學原理，以及彼此間相互支援、應用的關係。
4-4-1-3 了解科學、技術與工程的關係	能舉出工程實例，並分析其所運用的科學與技術原理或方法。
4-4-2-1 從日常產品中了解台灣的科技發展	能藉由探討日常所使用之產品的演進過程，來瞭解台灣的科技發展。

表 4-2 第四階段「科技的發展」與「設計與製作」能力指標具體詮釋（續）

4-4-2-2 認識科技發展的趨勢	能藉由生活實例觀察科技產業或產品，並分析該科技產業或產品的發展趨勢。
4-4-2-3 對科技發展的趨勢提出自己的看法	能藉由觀察日常生活中的科技產業或產品，提出自己對該項科技可能發展趨勢的看法。
4-4-3-1 認識和科技有關的職業	能舉例並說明數種日常生活中和科技有關的職業。
4-4-3-2 認識和科技有關的教育訓練管道	能舉例並說明數種能提供科技訓練的教育訓練管道。
4-4-3-3 認識個人生涯發展和科技的關係	能說出個人生涯發展在職業準備、就業及發展等不同階段中，如何運用科技幫助自己。
4-4-3-4 認識各種科技產業	能從不同科技分類中分別舉出其代表性產業，並說明其緣起及發展。
4-4-3-5 認識產業發展與科技的互動關係	能藉由文件閱讀、概念陳述、活動進行，認識各種產業發展和科技的互動關係關係。
8-4-0-1 閱讀組合圖及產品說明書	能閱讀並說明日常生活中各類產品所附的組合圖及產品說明書。
8-4-0-2 利用口語、影像（如攝影、錄影）、文字與圖案、繪圖或實物表達創意與構想	在科技學習活動中，能透過口語、影像（如攝影、錄影）、文字與圖案、繪圖或實物來呈現個人的創意與構想。
8-4-0-3 了解設計的可用資源與分析工作	能了解在科技學習活動中欲進行設計時的可用的資源，以及進行該設計的分析步驟。
8-4-0-4 設計解決問題的步驟	能規劃及設計解決科技問題的步驟。
8-4-0-5 模擬大量生產過程	能在設計與製作的學習活動中模擬大量生產的過程。
8-4-0-6 執行製作過程中及完成後的機能測試與調整	能藉由專題活動實際執行產品的製作流程，並在過程中及完成後進行產品機能的測試與調整。

從能力指標要項與詮釋內涵的對照表中可以發現，「科技的發展」

中有多項能力指標所敘述的概念較廣泛；而「設計與製作」能力指標的敘述中，反而較能找出明確的核心概念。因此，於專家座談時，學者專家們針對「科技的發展」諸項能力指標普遍有較多的意見交流，而在探討分析「設計與製作」六項能力指標時，幾乎不需要太多的討論，就產生詮釋內涵結果。

在能力指標詮釋階段，由專家座談所詮釋的具體內涵，將作為能力指標轉化階段之依據。亦即，於能力指標轉化發展設計教材階段，係參照此具體詮釋內涵，而發展出 MST 整合模式之「橋樑」主題教材。

第二節 能力指標轉化結果分析

一、「科技的發展」與「設計與製作」能力指標轉化歷程

在能力指標轉化(教材)階段，專家座談根據「科技的發展」及「設計與製作」能力指標要項，及「自然與生活科技」領域教學特性，擇定教材主題為「橋樑」，且決議採用 MST 整合模式，以結合數學、科學與科技學習來發展教材與教學活動。

同時專家會議中依「橋樑」之主題，先行設定依循能力指標「4-4-1-1、4-4-1-2、4-4-1-3、4-4-2-3、4-4-3-5、8-4-0-1、8-4-0-2、8-4-0-4、8-4-0-6」等項，來發展教材內容與學習活動。教材發展以專家座談中之二位現職教師為主要設計者，研究者本身亦協助蒐集、整理教材相關資料。教材完成後，於專家座談中一併檢討、修訂，及確認教材內容、教學活動與能力指標之配合。

二、「科技的發展」與「設計與製作」能力指標轉化結果

本研究中將能力指標轉化為教材時，以科技學習活動「橋樑」為主題，融入 MST 整合模式之統整概念。教材架構分別以數學、科學及科技三方面為主軸，依據「科技的發展」、「設計與製作」中各項能力指標來發展教材。教材內容經專家確認與「科技的發展」、「設計與製作」中九項能力指標之對應無異。教材主要架構表列如下頁之「橋樑」教材架構表(表 4-3)：

表4-3 「橋樑」教材架構

「橋樑」之教材架構		
橋樑的科技工程 (T)	橋樑的科學原理 (S)	橋樑的數學運算 (M)
1-1 桁架結構應用	2-1 力的概念	3-1 三角形的應用
1-2 桁架橋基本組成	2-2 結構物中的力	3-2 畢式定理
1-3 桁架橋設計形式		3-3 三角函數
1-4 橋與科技的對話		

教材與內容「科技的發展」、「設計與製作」能力指標之對應，經專家座談確認，如以下之「橋樑」教材與「科技的發展」、「設計與製作」能力指標之對應表所示（表 4-4）：

表4-4 「橋樑」教材與「科技的發展」、「設計與製作」能力指標之對應

教材章節架構	對應指標
1-1 桁架結構應用	
1-2 桁架橋基本組成	
1-3 桁架橋設計形式	4-4-1-3、8-4-0-1、8-4-0-2
1-4 橋與科技的對話	4-4-2-3、4-4-3-5
2-1 力的概念	
2-2 結構物中的力	4-4-1-2
3-1 三角形的應用	4-4-1-1
3-2 畢式定理	4-4-1-1
3-3 三角函數	4-4-1-1
活動：橋樑設計與製作	8-4-0-4、8-4-0-6

第四階段中「科技的發展」與「設計與製作」能力指標共有 17 細項，於專家座談中雖已將 17 項逐條詮釋，但實際轉化為教材時，並無法在單一教材或課程內容涵蓋所有能力指標。因此本研究於發展「橋樑」教材時，是選定其中九項來發展教材 MST「橋樑」教材（教材內容如附錄三）。

第三節 能力指標驗證之歷程

經由專家詮釋後的具體能力指標內涵，再轉化成教材後，由研究者與教學現場的現職教師透過合作行動研究的方式，從實際教學現場中來探討轉化教材之可行性與實施成效。以下為進入教學現場之合作行動研究歷程。

一、合作行動研究歷程

(一) 前置作業

- 1.初擬研究計畫：形成研究問題後，即開始擬定合作行動研究計畫，並以能力指標詮釋與轉化後之教材作為實際教學之用，探究實施的可行性及驗證學生能力，並就內容與指導教授討論進行初步修正。
- 2.尋找合作教師：完成研究計畫後，進行合作行動研究教師的尋找與接洽。在合作教師的選擇上，以有自然與生活科技領域（生活科技）實際教學，並具有教學熱忱及進行合作行動研究意願者為考量。因此，透過研究所學姊的引薦，與台北市○○國中的H教師接洽，並獲得H教師同意後，組成合作行動研究小組。
- 3.修訂研究計畫：與合作教師分享本研究的理念、目的及欲進行之概況，達成初步共識；接著就本研究的流程、步驟及相關教學規劃與合作教師溝通討論，以期研究進行順暢。研究實際進行前，亦得到學校方面行政上的支持，同意以H教師的教學班級為研究對象，上學期在三年級的兩個班級中進行研究，下學期的研究對象則為一年級兩個班級學生。

(二) 合作行動研究執行階段

整個合作行動研究，係依循下頁合作行動研究歷程圖（圖 4-1）中的循環持續進行著。

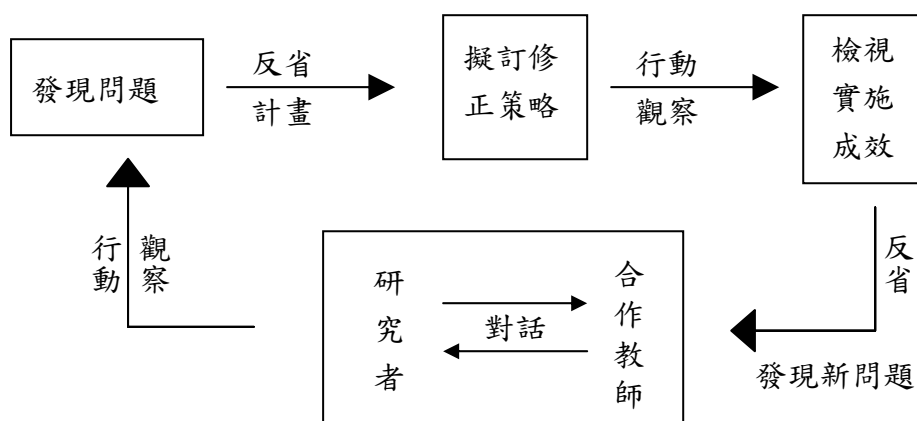


圖 4-1 合作行動研究歷程

- 1.研究期程：為配合學生的學習及教師的教學計畫，合作行動研究實際教學部分自 93 年 12 月開始，以 H 教師任教的兩個三年級班級為對象；但至下學期（94 年 2 月）後，考量三年級需準備學測，且該校調整三年級下學期的教學行事曆，恐影響研究之進行，故而將研究教學對象調整為一年級學生，同樣是 H 教師任教的兩個班級。
- 2.實際進行教學：與合作行動研究的教師先就「橋樑」教材內容與實施教學對象（三年級）進行討論及修正，擬定符合該三年級學生的教學內容，由合作行動研究教師實際進行教學。研究者在教學現場觀察及記錄，發覺問題時，即於課後與合作教師共同溝通討論，尋求解決方案或修正教學方向，並時時檢視教學成效、學生學習狀況，配合實際教學需求，適時修正研究計畫與教材。
- 3.教室觀察與發現：合作教師與研究者由實際教學及學生學習過程，瞭解學生的反應及學習情況，並從橋樑模型設計製作的活動中，瞭解其學習成效。合作教師亦將當日課堂中的觀察及心得記錄作為日後教學的參考。當日課程結束時，研究者與合作教師會視狀況進行簡要的討論，分享彼此在課堂中的觀察或心得。研究

者並於課堂中觀察收集學生的回饋、學習檔案、觀察與訪談記錄，以瞭解學生在「橋樑」教材的學習情形為何。

- 4.結果與省思：根據研究者的觀察、訪談、問卷、觀察紀錄、與合作教師的討論等資料的分析比對，對本研究進行反思與探討，並將研究結果與省思撰寫成報告。

二、教材的修正

在進入教學現場，合作教師開始進行教學前，研究者與合作教師共同檢視教材，討論教學內容，依據現階段國中三年級及一年級學生的學習能力及先備知識，將教材做部分修改。於課堂中講授知識部分，略去在數學及自然領域未學習過的知識概念(但保留原教材內容於學習手冊中供學生自行參閱)，以免學生有太大的學習負擔。

研究者與合作教師經過討論後認為，原有教材中的三角函數(數學)及結構物構件內部應力(科學)的部分，超出國中階段學生之學習範圍，因此教師在課堂講課時，不特別強調這兩部分的知識內容。但分別在上學期及下學期的教學中，講授科學部分之力的概念時，因教學對象先備知識不同，三年級學生在理化課中已學過力的相關知識與應用，一年級學生仍無這部分的概念，因此教師在教授力的概念時，三年級學生能將教材內容與理化課所學相呼應；對一年級學生則僅以三角形三邊長的比例關係來對應結構物中力的大小關係。

在橋樑結構設計製作活動方面，合作教師認為不應僅以桁架結構為主，會限制住學生在設計製作時的創意發想。因此修改活動內容，不限制學生設計製作的橋樑結構型式，讓學生可靈活運用老師講解過的各種橋樑結構型式來製作。

另外，製作結構模型使用的材料，在上學期三年級的教學中，合作

教師認為可改以木板及鐵絲作為製作橋樑結構模型的主要材料，這也是與原教材設計不同之處。至下學期轉換教學對象時，考量一年級學生對材料、機器及工具操作的熟悉度較不足，再修改為以吸管、棉線等作為製作橋樑結構模型的主要材料。

三、教學實施歷程

本研究在上學期以三年級為教學研究對象，待實施教學後，視學生的能力達成、學習反應及研究中產生的問題，再調整教材及行動研究計畫。原訂三年級的兩個班級皆有五週的教學活動（含老師教學及學生設計製作、測試），然而因該校調整三年級行事曆之故，最後一週無法依原訂教學進度進行教學，以致學生未能全數完成作品製作，行動研究計畫也因此稍作修正，將數週來教師的教學流程及學生的學習反應作為下學期教學的參考。

研究者與合作教師在上學期末時，針對三年級的教學及教材作了一些溝通討論，並達成共識，認為下學期時可將教材移至一年級進行教學，再從中觀察、瞭解一年級學生的學習狀況，與其能力的達成。一年級學生已學習過營建科技的相關課程，營建方面的先備知識普遍優於三年級，若下學期銜接此「橋樑」教材並無不妥，只是在科學的知識方面，尚需於課堂中再稍作補充。

（一）三年級教學實施

本研究第一次教學實施概況如下頁之三年級教學實施概況表（表4-5），實施對象是三年級的兩個班級，原訂有五週上課時間，但因學校更動最後一週之行事曆，以致教學未能如預期完成。且又適逢期末，三年級學生課業較繁重，沒有其他時間可以補課，故影響研究資料收集。

所以該階段收集的研究資料，以研究者與合作教師的對談資料及觀察記錄為主，並依此階段之教學與行動反思，作為擬定下一階段行動研究計畫修正策略之參考。

表4-5 三年級教學實施概況

教學階段	教學概況說明	備註
第一週 (12/16)	教師分別從科技、科學及數學概念進行教學，以橋樑結構對應學生曾學過的數學及理化概念，以及橋樑科技工程方面的應用。 進行分組，接下來幾週皆以組為單位，進行橋樑結構設計製作。	教師對課程安排很有把握，認為三年級學生對教材內知識的部分較容易掌握，以一週的時間講授知識部分。
第二週 (12/23)	開始進行模型設計及製作。製作前，教師再次提醒同學在結構方面的注意事項。	
第三週 (12/30)	各組學生進行模型設計製作。	
第四週 (1/6)	各組學生進行模型設計製作。	
第五週 (1/13)	模型測試與調整（原訂進度）。	受學校行事曆影響，本週教學未如預定進度進行。

（二）一年級教學實施

因行動研究計畫之調整，下學期教學對象為合作教師所任教的兩個一年級班級。經過上學期在三年級的第一次教學實施後，研究者與合作教師針對教材與教學流程進行討論，認為教材有再調整及補充之需要，使其內容更完善，且較符合一年級學生的學習需求。

因此由研究者即與合作教師共同討論、調整（增減）部分教材內容，並將教學週數調整為六至八週，讓實施教學的時間更充裕，實施概況如一年級教學實施概況表（表 4-6）。

表4-6 一年級教學實施概況

教學階段	教學概況說明	備註
第一週 (2/23)	認識營建，介紹一般營建物的結構與種類。	
第二週 (3/2)	介紹橋樑的種類及其基本結構。在橋樑結構中運用的數學及科學原理。	
第三週 (3/9)	分組實作。各組進行模型設計與製作。	
第四週 (3/16)	各組學生進行模型製作。	
第五週 (3/23)	各組學生進行模型製作。	
第六週 (4/6)	各組學生進行模型製作。製作至本週完成。但有一部分組別並未如期製作完成。	
第七週 (4/13)	課前由老師統一測試橋樑模型之載重，將數據公布給同學，再請學生計算模型的效能，並檢討缺失。	

合作教師所任教的學校，在「自然與生活科技」領域的排課是採取分科教學方式。合作教師本身任教該領域之生活科技課程，每週每班上課時間是一節課。

以「橋樑」教材的統整教學而言，在整個教學活動進行中要兼備知識的學習及操作應用練習，六～八週（一週一節課）的時間多半不足夠。尤其在技能操作部分，學生常常需要用較多的時間在製作、思考及解決問題之過程。為了在學期內教完預定的學習內容及進度，老師在教學上或學生學習時總是無法從容不迫進行，教師趕著教完該教的內容，學生趕著操作練習。通常一個主題的教學活動結束後，少則達三分之一學期，多則可能要用到二分之一學期的時間。雖然這是學校排課上的安排，但對教學而言是一種影響，同時也是教學上必須要

克服的。在分科教學的狀況下，要順利進行統整教學，的確要行政與教學各方的搭配。

四、資料收集與分析方式

研究者進入教學現場，與現職教師進行合作行動研究，期望能夠藉由行動研究深入實務探索的歷程，與合作教師實際教學工作的結合，來探討能力指標經由詮釋、轉化為教材，透過教師實際教學，驗證學生各項能力的達成情形。以下針對研究過程所收集的資料進行探討及分析。

(一) 資料收集來源

1. 教室觀察錄影

為瞭解合作教師教學情形、師生互動及學生學習狀況與課堂中的表現，研究者於合作教師教學時，全程於教室中進行非參與觀察。從旁觀者的立場，以客觀的角度，不干擾教師、學生上課及學習為原則來收集資料，資料的紀錄與收集主要以錄影為主，輔以教室觀察紀錄。因主要資料收集者僅有研究者一人，加上攝影機角度的關係，難免會有疏漏，則以觀察筆記互補。在當日課程結束後，即整理觀察記錄資料與錄影轉錄，並撰寫研究日誌，力求資料完整性。

雖研究者本身定位為非參與觀察者，但實際上學生仍會察覺教室內有一位外來者，在觀察、記錄或拍攝他們的上課狀況，會好奇研究者進行攝影及做紀錄的目的為何，也會想與研究者有言語上的互動，但所幸都沒有引起學生排斥或抗拒現象。合作教師也表示，學生知道有人在幫他們做紀錄（錄影），通常上課表現會比平日好，就學生學習而言是助益。且數週之後，學生熟悉研究者的存在，也習以為常，因此並不致影響研究結果。

2. 合作教師與研究者的討論記錄

為求合作行動研究的完善，研究者與合作教師常不定期針對行動研究過程及教學中產生的問題作討論。有時可能是上課中對學生表現的意見交流、課後對教學實施的反思、檢討及修正，或是合作行動教師與研究者之間的互相回饋。若是事先約定好的討論，則以現場錄音記錄，再由研究者謄打逐字稿，若為臨時性的討論，因不及錄音，通常以臨時筆記方式記錄當日討論重點，再加以整理。

3.訪談學生紀錄

為求更瞭解學生在學習過程中之表現與各項能力指標的對應情形，研究者在所有課程結束後，對學生進行正式訪談，主要採取半結構式的訪談型式與學生對話。訪談大綱以能蒐集更多學生在各項能力表現之資料為主，各班訪談對象以組為單位，採隨機取樣，進行半結構式訪談。訪談以錄音筆錄下談話內容，事後研究者再轉成逐字稿，以作為進一步之資料分析與探討。

訪談前，研究者已事先編擬訪談大綱，作為訪談的參考架構。研究者於訪談中視學生的回答，再深入訪談，同時也不強迫學生回答問題，以免學生有壓力。以下為訪談大綱（括號內數字表能力指標之流水號）：

- (1) 老師於課堂中曾介紹過在橋樑工程裡，需要運用科學原理、工程技術（科技）與數學運算的搭配。請你以自己組所設計的橋樑模型為例，說明你們是如何運用科學、工程技術（科技）與數學（請學生分別就所知的科學、科技、數學逐一說明）。（4411、4412、4413）
- (2) 在整個設計與製作橋樑模型中，是否利用前面提過（科學、科技與數學的）的相關原理知識？或者老師曾教過的其他營建相關知識？有哪些？（4411、4412、4413）

- (3) 承 2.是否用到其他課所學過的？比如從自然課或數學課中學到的知識？有哪些？（4411、4412、4413）
- (4) 承 2.是否用到以前（國一上學期或小學時）學過的知識？有哪些？（4411、4412、4413）
- (5) 你所設計製作的橋樑模型是如何構想出來的？為什麼選擇用這種型式做為橋樑模型的主要結構？有什麼優點或缺點？（針對各組作品深入瞭解）（8402）
- (6) 你如何利用有限的材料來設計製作能承受最大重量的橋樑模型？考慮哪些因素？（8403）
- (7) 設計製作模型的過程中，遇到哪些什麼問題？有沒有解決？問題後來如何解決？是否有主動發現問題？能解決嗎？（8404）
- (8) 設計製作模型的過程中，你是否知道如何調整橋樑模型使可以發揮最大功能？從哪幾個地方去思考如何調整？（8405）
- (9) 對於自己製作的模型是否滿意？

此外，非正式訪談的進行，於課後或課堂中隨機訪談不特定的學生，談話內容視當時學生學習狀況而定，通常是為了瞭解學生行為表現的動機。這些訪談通常屬突發性，並未進行錄音紀錄，但是研究者會於訪談結束後，立即記錄於研究日誌中。

4.學生學習文件

為瞭解學生在教學中的學習狀況、學習成果、相關能力的達成情形，故學生學習文件亦為本研究需收集的資料之一，主要收集下學期一年級學生的學習活動單、學習自評檢核表及作品測試記錄。

因為學生是分組進行活動，因此學習活動單及作品測試記錄是以

組別為單位，學習自評檢核表則是以個人為單位。

5. 研究者觀察日誌

在行動研究中，研究者的反思與修正行動是重要關鍵所在。因此，隨時記錄研究行動的過程與反思，成為研究中的重要工作之一。研究者在研究過程持續不斷撰寫研究日誌，記錄任何與研究相關的事件、觀察、心得、思考、困難、感受、偶發的想法等等，並以電腦建檔整理、編碼管理。

(二) 資料處理與分析方式

本研究進行過程中，資料的蒐集與分析並非直線式的，而是同時進行且循環交替。研究資料的來源有多種管道：包括學生學習文件、觀察錄影、訪談、與合作教師的討論等等。資料的來源透過三角校正，希望能藉此降低研究者的偏見，透過觀察、分析、集中焦點、再觀察、再分析的方式，使研究的觀察記錄可以更廣、更深。

1. 質化資料

研究中各項資料的項目與代號如下頁之資料分項與代號表（表 4-7），研究者將代號加上獲得資料的時間作為資料編碼。例如：教室觀察錄影資料代號為 CR，而 CR931230 即代表民國 93 年 12 月 30 日的教室觀察錄影資料；因上學期（三年級兩班）、下學期（一年級兩班）學生皆為分組活動，因此又分別以英文字母 A、B 代表三年級班級，C、D 代表一年級班級，數字 01、02...代表各班組別序號，CR931230-A01 所表示的是民國 93 年 12 月 30 日 A 班 01 組的觀察錄影紀錄。

研究者與合作教師的討論記錄代號為 TR，因此，TR940217 即表示為民國 94 年 2 月 17 日研究者與合作教師之討論記錄。學生訪談記

錄以 SI 為代號，以數字 01、02...代表訪談序號，表示成 SI-A01，SI-A02...。學習單代號為 SL，以數字 01、02...代表各組學習單序號。

編碼後依照主題、時間與原始資料作交叉比對，進行統整與歸納分析，並經研究者將有意義的資料進一步加以詮釋，將這些發現與研究者的省思形成主張，寫成研究報告。

表4-7 資料分項與代號

資料來源	資料項目	代號
教室觀察錄影	教室觀察錄影	CR
合作教師與研究者的討論記錄	合作教師與研究者的討論記錄	TR
訪談學生紀錄	正式訪談	SI
學生學習文件	學習單	SL
研究者觀察日誌	研究者觀察日誌	RW

2. 量化資料

本研究中所蒐集的量化資料主要為：一年級教學研究對象的作品測試紀錄及學習自評檢核表。資料回收後，剔除不齊全的學習單或檢核表等無用的資料，再將相關資料作為分析學生能力之參考。

在研究者與 H 教師合作行動研究，進行能力指標驗證之歷程中，遵循行動研究是一個「繼續不斷反省的循環」，在每個循環中不斷地計畫、行動、觀察、反省，並多方收集相關資料，以分析能力指標詮釋與轉化的執行成效，瞭解學生能力表現。

第四節 能力指標驗證歷程之分析與討論

本節主要針對能力指標驗證歷程進行分析與討論。在能力指標驗證階段，由合作教師以 MST 模式的「橋樑」主題教材，實施於教學班級，並與研究者共同探討對教材及教學的省思、教學轉變的過程，及分析學生於學習過程中在各項能力指標上的表現。

一、能力指標與教材的對應

在能力指標詮釋與轉化階段，由專家座談中所發展之 MST「橋樑」主題教材，在交由合作教師實施教學前，仍要藉由合作教師的教學經驗及對該校學生特質的掌握做適度的調整，才能使教材更符合實際教學。在進行統整科學、數學與科技（MST）的教學前，因合作教師本身即具備生活科技及數學教師資格，負責校內生活科技與數學之教學，且於校內教學研究會時，自然老師與生活科技老師在學期初已就整學期的教學內容進行充分溝通、協調與分配，因此合作教師對統整 MST 教學可以有不錯的掌握。（TR940322）

過程中，研究者與合作教師皆依循合作行動研究歷程，發現問題即討論、研擬修正策略，再行動、檢視實施成效，隨時反省與修正。以下即為本研究中能力指標轉化為教材及教學歷程之探討：

（一）能力指標之轉化—第一階段教學

上學期在三年級的教學實施中，合作教師的教學內容以研究者所提供的 MST「橋樑」教材為主。實際教學前，透過研究者與合作教師針對實際教材內容與教學流程共同討論後，將教學內容做適度的修正，刪去超出現有學科知識內容部分（保留於教材內，但教師上課不強調此內容），並再次確認教學內容與能力指標之間的對應無誤後，始進行教學。修正後之三年級教材架構，如下頁之三年級教材與能力

指標之對應表（表 4-8）。

表4-8 三年級教材與能力指標之對應

教材架構	對應指標
1-1 桁架結構應用	4-4-1-1、4-4-1-2、8-4-0-1
1-2 桁架橋基本組成	4-4-1-2、4-4-1-3
1-3 桁架橋設計形式	4-4-1-3、8-4-0-1、8-4-0-2
2-1 力的概念	4-4-1-2
2-2 結構物中的力	4-4-1-1
3-1 三角形的應用	4-4-1-1
3-2 畢式定理	4-4-1-1
科技學習活動：橋樑設計與製作	8-4-0-2、8-4-0-4、8-4-0-6

教材以與第 4-4-1-1、4-4-1-2、4-4-1-3、8-4-0-2、8-4-0-4、8-4-0-6 項能力指標之對應為主。教材的修改，經研究者與合作教師討論後皆認為，原教材在數學的「三角函數」部分、科學的「結構物內部構件應力」內容，已超出國中生在數學及科學方面的能力，且礙於上課時間有限，不另補充，也不於課堂中深入探討，但仍列為學生參考資料。在講述「力的概念」內容後，還是能夠讓同學了解到，橋樑中的結構就是應用到科學原理中合力與分力的概念（TR931208）。

原本教材僅以桁架結構為主軸，進行講述及橋樑結構設計製作活動，合作教師認為這樣太偏頗。於是，經研究者與合作教師共同討論後，適度修改為：廣泛介紹各種常見的橋樑種類，讓學生對橋樑結構有全面性的認識，學生的設計製作活動，也不設限於只能針對桁架結構。藉此希望學生可以結合課堂所學及生活中的經驗，來發想要設計製作的橋樑模型，減少限制條件，讓學生可以有較多的空間發揮創

意。(RW931215、TR931219、CR931223)

「我覺得如果說是針對橋樑結構的話，應該不是只有侷限在桁架橋這種架構，可以讓學生自由的去做他想做的架構，然後看他們設計的東西、還有做出來的成品，因為我們介紹的橋樑架構有很多種嘛。」(TR931219)

此外，合作教師也從自身的教學經驗中提出建議，認為在「橋樑模型設計製作」的科技學習活動中，原本以木條為材料，也應當要稍做修改，木條的使用可能無法讓學生從中體認到結構物中力與力之間變化的關係。因此，經研究者與合作教師討論後，決定提供木板與鐵絲給各組學生來設計製作橋樑模型。

「...這樣的材料不太能顯示結構的強度，頂多是看學生在連結材料時黏得好不好。我建議改成用木板跟鐵絲，這樣學生比較能觀察到在結構中力的變化(從鐵絲之間的拉扯)。」(TR931208)

以上，是上學期與合作教師在三年級班級實施教學歷程中，對「橋樑」教材之適切性的修正，以及在教材與能力指標之間的對應所做的轉化及調整。

上學期課程結束後，經過與合作教師的討論，及研究的需要，再進行第二階段教學。因考量繼續於三年級實施可能影響研究進行之限制，下學期改以合作教師任教的一年級班級(兩班)為教學對象，但主要教學架構不變。因教學對象已不同，經研究者與合作教師的對談及討論後，在教材內容與教學方式上也做了適度調整。

(二) 能力指標之轉化－第二階段教學

第二階段教學，於合作教師下學期所任教的一年級班級中(兩班)進行。教材則對應下列各項能力指標：第 4-4-1-1、4-4-1-2、4-4-1-3、8-4-0-2、8-4-0-4、8-4-0-6 項，與第一階段相同。但是在教材內容上，因考量對象為一年級學生，因此在研究者與合作教師反思第一階段教

學實施歷程後，經討論與適度調整，才實施教學。修正後之一年級之教材架構與能力指標之對應表如下（表 4-9）：

表4-9 一年級教材與能力指標之對應

教材架構	對應指標
補充：營建基本概念	4-4-1-2、4-4-1-3
1-1 桁架結構應用	4-4-1-1、4-4-1-2、8-4-0-1
1-2 桁架橋基本組成	4-4-1-2、4-4-1-3
1-3 桁架橋設計形式	4-4-1-3、8-4-0-1、8-4-0-2
2-1 力的概念	4-4-1-2、4-4-1-3
2-2 結構物中的力	4-4-1-1
3-1 三角形的應用	4-4-1-1
3-2 畢式定理	4-4-1-1
科技學習活動：橋樑結構設計製作	8-4-0-2、8-4-0-4、8-4-0-6

根據合作教師指出，一年級學生在上學期學習過營建範疇的相關課程（具有營建方面室內設計的學習經驗與先備知識），對營建方面的知識較熟悉。若「橋樑」教材在一年級實施，學生也可延續上學期學習經驗，在設計製作時進行結構方面的練習。因此，在研究者與合作教師討論後，維持原主要教材架構，增加對營建基本概念的講述後，再引入橋樑種類的介紹，最後實際設計製作橋樑模型，使學生能對結構設計有進一步瞭解。（TR940120、RW940223）

其次，在數學、科學及科技三方面的統整學習上，一年級學生在數學課已學習過三角形的幾何概念，在他們的數學課本中，也曾出現用橋樑（有斜張橋）的圖示來做為幾何三角形結構的示例，學生在這方面具有數學（三角形）與科技（橋樑結構）的連結。

再由三角形的特性延伸加入科學概念，以三角形的邊長關係有：任兩邊邊長的和大於第三邊，來說明結構物中，向上的力要大於向下的力，才能使結構物處於平衡狀態。教材中，教師也以模型總重量與支撐重量的比值關係，向同學說明可以依此來評估橋樑結構模型的效能，同時提醒同學注意切勿無限制增加材料使用量，應謹慎考量兩者間的關係。(TR940120、RW940302)

在橋樑模型的設計製作中所使用的材料，從合作教師的教學反思，與研究者討論後，認為實有修正之必要。為了使橋樑模型更容易製作、測試及調整，且學生使用材料也較靈活，最後改以吸管為主要材料。學生亦可自行視設計製作之需求，輔以其他材料增加強度。

「...上學期看他們用木板跟鐵絲做，大部分都做得太牢固，這樣要測試橋樑結構會較費事，太牢固就測不出到底做得好不好，所以材料上要調整一下。我覺得可以改成用吸管當主要材料，吸管也有粗細可用，若在結構上製作精巧，同樣可以承受不小的重量。而且對一年級學生來說，他們要裁剪材料也比較方便，吸管用剪刀就可以剪，用熱融膠、膠帶就可以固定，在材料上比較方便，測量起來也不用大費周章。」(TR940120)

研究經兩階段的教材轉化及教學實施歷程，從教師教學的不斷反思、研究者與合作教師的對談、觀察學生的學習與表現，來持續修正及調整教材內容與教學流程，以求能更符應能力指標，且更適合學生學習。於此過程中研究者與合作教師亦曾討論過，以「橋樑」教材為例，是由多項能力指標轉化發展的教材，需要充分的教學時間及課程規劃之配合，才能完整且確實地實施。然而對目前實際教學狀況而言，教材無法太龐大，必須簡潔切要。因此，若能以單一項能力指標為主，轉化發展小而美的教材或教學活動，會比較符合教學現場的需求。

「橋樑」教材對應了能力指標第 4-4-1-1、4-4-1-2、4-4-1-3、8-4-0-2、

8-4-0-4、8-4-0-6 等六項轉化而來，以下將學生在「科技的發展」之能力（第 4-4-1-1、4-4-1-2、4-4-1-3 項），與「設計與製作」之能力（8-4-0-2、8-4-0-4、8-4-0-6）逐一分析。

二、「科技的發展」能力之分析探討

（一）4-4-1-1 了解科學、技術與數學的關係

依據專家詮釋結果，此項能力指標具體詮釋為「能藉由一個科技產品來分析該產品中相關的科學原理、數學原則及技術方法，並了解彼此間運作之關係」。

在本研究教學實施中的「橋樑」教材，以「橋樑」來對應「科技產品」。學生在學習過程中，必須對橋樑結構中所運用的基本科學、數學及科技的各項原理原則有基本認知，也就是力的概念、數學三角形應用、數學運算、橋樑種類、橋樑結構，及彼此間搭配運作的關係。進一步實際設計製作橋樑模型時，能夠運用到前述的科學、數學與科技之原則、方法。

從 49 位一年級學生的學習自評檢核表中，認為自己達到 4-4-1-1 能力指標各程度的狀況如下：

能力指標評分等級	人數
5 在橋樑結構設計圖中，能正確分析所運用的科學原理，數學原則及技術方法。	9
4 在設計橋樑結構時，能在設計圖中繪出橋樑受力（科學）情形及運用數學計算。	8
3 在設計橋樑結構時，僅繪出設計圖，沒有分析橋樑受力（科學）情形及運用數學計算。	23
2 知道橋樑結構中所運用的基本科學原理，數學原則及技術方法。	8
1 知道橋樑結構，但不瞭解其中相關的科學原理，數學原則及技術方法。	1

合作教師於教學中講述教材內容的相關概念及知識時，都以符合該學習階段學生的學習內容為主，以不超出理化或數學課的學習範圍，並且互相連結為原則。在學生可以理解的知識範圍內，講述橋樑結構中所應用的基本科學原理、數學原則及技術方法（力的概念、數學三角形、數學運算、橋樑種類、結構）。

研究中發現，一年級學生在設計製作橋樑結構模型時，一開始多是單純的構想「要如何用限定的材料來搭造出一座橋樑模型？」，而忽略了在設計製作上也要考量的科學原理、數學原則。學生在學習單中都能繪圖來示意所設計的橋樑架構（外型），但忽略大小尺寸標註，以及對結構受力分佈的分析（SL）。對材料大小、多寡的掌握，及對結構物承受力的理解與應用，則反應在模型製作階段。（SI-A04）

大部分學生在設計製作初期都顯得很有興趣，躍躍欲試地投入在模型的設計、製作活動中，但是在丈量材料長度、裁切時，大部分都較為粗糙、隨意，幾乎都是用目測或用比對的方式（目視覺得一樣長就剪開），僅少數同學會很仔細拿尺量好確定長度（SI-A03、SI-A04、SI-B02）、並逐一對照（CR940309），再裁切出需要的材料。多數同學都忽略在使用材料上也要控制材料用量，以免增加整個模型的重量，而一再增加吸管或竹筷等材料的使用，想以大量材料結合來加強結構強度。另有同學即表示，因為自己在製作時會一邊控制材料使用的數量，所以完成的模型經過測試重量較別組輕，而且能承載的重量較別組重，也有為求美觀與橋體平衡，運用到數學中的比例原則（SI-A01、SI-B02），顯然有一部份同學是懂得理論、也能應用。

反之，上學期的三年級學生，於設計橋樑結構時，考量到力的分佈，及運用數學原則的情形，普遍多於一年級學生。觀察發現，三年級學生在處理材料時，能以尺量度長短，更有逐一仔細計算者（CR931223、

CR931230、CR940106)，不同於一年級學生多是隨性的目視。這也顯示三年級學生在數學原則的運用上，普遍比一年級學生來得嫻熟，而一年級學生對於這方面數學原則的運用仍非常不足。

在科學原理應用方面（力的概念、結構物所受的力），學生表現在實際製作上。於組合材料或組裝各部位構件時，多能考量到「能不能承受重量」、「如何增強材料的強度」的問題，這些通常與材料使用及結構之間關係密切。雖然學生不一定是以較正確的方式來增強結構模型的強度及可承受的重量，但也沒有偏離主題，有些同學能明確說出他在製作過程中運用到力的分析、槓桿原理。（SI-B01、SI-A04）

無論是上學期的三年級、或下學期一年級學生，幾乎是先設定好主要結構，再設計外型，接著動手製作，有了橋樑模型雛形，再繼續思考模型能否承受更多重量，少有在製作前就能從材料使用、橋樑結構、受力各方面先進行分析、設計。

然而，上、下學期分別在不同年級間教學時，數學方面提到的是三角形結構的應用、三角形的邊長關係可以與力的大小作對應，以及使用橋樑模型的承重與本身淨重的比值來計算橋樑模型的效能；另一方面教師也會提醒同學要控制材料用量。合作教師在教學中並沒有特別向學生強調數學的計算，或要求學生精密計算材料的使用量，這些應該是學生在設計製作前，就需具備的基本知識與技能。

（二）4-4-1-2 了解技術與科學的關係

依據專家詮釋結果，將此項能力指標具體詮釋為「能陳述技術原理、方法與科學原理，以及彼此間相互支援、應用的關係」。

學生在學習「橋樑」教材之後，必須能夠分辨出數種生活中可見的橋樑種類及結構（吊橋、拱橋...等），知道各種不同的橋樑結構如

何提供支撐力，並說明不同橋樑結構的受力情形，進一步將其應用在設計製作上。在設計製作的橋樑結構模型時，瞭解所用材料的特性，選擇適合的材料搭配以製作橋樑結構模型。

在 49 位一年級學生的學習自評檢核表中，認為自己達到 4-4-1-2 能力指標各程度的狀況如下：

能力指標評分等級	人數
5 能比較不同結構物的受力情形及所運用的技術的方法。	9
4 能以圖或文字說明解釋橋樑結構的受力情形。	14
3 知道橋樑，但不瞭解橋樑結構中所應用的技術跟科學的關係。	15
2 知道橋樑且能分辨其結構型態。	9
1 知道橋樑，但無法分辨橋樑結構。	2

研究中，學生多數能分辨出不同的橋樑結構類型，也知道自己所設計製作的是哪一類型的橋樑。在設計製作橋樑模型的過程中，應用相關科學原理及技術方面，學生能考量到分別利用筷子、吸管等不同材料特性，模仿桁架結構，並減少材料用量，在不會使橋體過重的條件下，增加其支撐力；也有運用槓桿原理來調整橋樑架構平衡者（SI-A01、SI-A04）。更從製作中理解到：運用簡單的材料也能製作出可以承受一定重量的結構（SI-B01）。以結構模型能承受較大的壓力為出發點進行設計製作，並且注意到在材料黏接處是否黏妥，才能穩固（SI-A02、SI-A04）；將吸管並排黏接以增加材料強度、將一～三支竹筷套進一粗吸管中、在吸管中穿入鐵絲、或是在粗吸管中塞入細吸管等等，普遍為各組學生用來作為增強材料強度的方法。（SI-B02、CR940309、CR940316、CR940323）

其中，有一部分學生將所使用的「材料」（吸管、竹筷）誤解為就是所謂的橋樑「結構」，或不確定自己的設計應歸類為哪一種橋樑結構；

甚或是製作出來的某部分結構與原來設計中的功能不符，所完成的橋樑模型中有某部分的結構不足以發揮支撐效果，只能說是有裝飾作用（SI-A04、SI-B01）。

某些學生在設計製作模型的單一部分結構時，組員之間再三推敲、非常仔細考量尺寸大小、結構問題，甚至把組件拆開重新組合，但直到最後教學結束，卻沒有完成整座橋樑模型的製作。例如：比起其他學生，花很多時間精心製作出穩固的橋面，但卻無法配合其他結構，將整座橋樑結構模型順利完成。這情況顯示學生雖然懂得在設計與製作上善用科學、數學原則，但實際製作時在技術上無法完全配合，也有可能在問題解決過程沒有找到解決問題的策略，而未能如期完成，突顯出在「設計與製作」這項能力有待加強（CR940316-C03、CR940323-D01）。

（三）4-4-1-3 了解科學、技術與工程的關係

依據專家詮釋結果，將此項能力指標具體詮釋為「能舉出工程實例，並分析其所運用的科學與技術原理或方法」。

以本研究中實施的「橋樑」教材而言，則是以「橋樑」替代上述的「工程實例」。學生從學習中，能夠分辨營建物中的不同結構物及其用途，並能說出自己設計製作的橋樑結構中，所運用之科學原理以及技術方法。

此 4-4-1-3 項能力指標「了解科學、技術與工程的關係」與 4-4-1-2 項「了解技術與科學的關係」的能力，在字面上看來非常的相近，但 4-4-1-3 項更著重於學生設計製作的過程中，是否能夠正確運用科學原理及技術方法，且進一步說明、分析所應用的科學原理及技術方法。

在 49 位一年級學生的學習自評檢核表中，認為自己達到 4-4-1-3 能力指標程度的狀況如下：

能力指標評分等級	人數
5 能以圖或文字舉例說明如何運用技術方法與科學原理來解決橋樑結構的問題。	5
4 能以圖或文字舉例說明橋樑結構中的科學原理。	16
3 能舉例說明在生活中的結構物及其用途。	18
2 能舉例說明生活中的不同結構物。	8
1 不能分辨自然結構物與人造結構物。	2

研究中發現，多數學生能夠分辨結構物，知道不同結構的用途，並能說出相關的科學原理，例如：力的分析、槓桿原理、模型的平衡、增加材料強度等等。其中「增加材料強度」是多數學生都會注意到部分，只是在製作上運用的方式各有不同。有的學生可以清楚說明自己在製作過程中，應用槓桿原理來判斷橋樑結構模型左右是否能達到平衡，並選擇較具穩定性的材料來製作模型，換言之，在製作中他注意到要維持結構模型整體的平衡（SI-A01）。

另有學生表示，他們「運用了槓桿原理去計算橋樑能承受多少重量」，但是對於如何運用或計算卻無法清楚說明。其實學生想表達的是：「在製作過程中，曾測試過結構模型能否承受多瓶礦泉水瓶的重量而不受破壞，測試方式是在模型兩側各自吊掛多瓶礦泉水。」但學生解釋為槓桿原理應該是誤用。此外，這組學生認為門字形的橋體結構受力優於圓拱型，因此他們製作的模型從外觀上看起來是一立體門字形，也是不正確的想法（SI-A04）。

另一學生的橋樑模型，以拱橋（主結構）搭配桁架結構來製作，其作品測試結果優於其他同學。該學生表示是直覺認為拱橋能承受較大的壓力，因此製作模型時就以拱橋為主要結構，但卻無法進一步解釋說明在作品中應用的原理及技術（SI-A02）。觀察這位學生在製作過程中，

很流暢的完成模型製作，材料之間的接合等也處理得不錯。

學生使用可增加材料強度的方式有好幾種。其中之一，學生認為將粗吸管中填充細吸管後再組合的方式，會比較輕且堅固。模型是仿照吊橋型式，由棉線、吸管、竹筷組成，竹筷用量不多，一方面是為了讓模型不會太重。製作過程中若發現承重不夠的話，會再加強其支撐力；但後來又發現，為了加強模型的支撐力再加上去的材料，似乎又使模型重量增多。(SI-B01、CR940323-D02)

另一種用來增加材料強度的方式，是把整排吸管用膠帶固定網綁，在直排吸管組成的橋面上，再黏上橫排吸管，增加橋面強度。學生認為橋面夠穩的話，橋的支撐力也會比較好，其他部分是吸管搭配棉線組成。在訪談中，學生說明自己製作的模型運用到斜張橋的型式，但最後完成交給老師的作品並非斜張橋。(SI-B02)

三、「設計與製作」能力指標之探討

(一) 8-4-0-2 利用口語、影像（如攝影、錄影）、文字與圖案、繪圖或實物表達創意與構想

依據專家詮釋結果，將此項能力指標具體詮釋為「在科技學習活動中，能透過口語、影像（如攝影、錄影）、文字與圖案、繪圖或實物來呈現個人的創意與構想」。

以本研究中的「橋樑」教材而言，進行到科技學習活動時，各組學生於設計製作活動階段，必須能畫出橋樑結構模型設計圖，並清楚表達設計的創意與構想，也要能以口語陳述自己的想法與創意，最後動手製作結構模型將構想具體呈現。

在 49 位一年級學生的學習自評檢核表中，認為自己達到 8-4-0-2 能力指標程度的狀況如下：

能力指標評分等級	人數
5 能以清楚的文字、正確繪圖方式並製成模型以呈現橋樑結構設計的創意構想。	8
4 能以清楚的文字及正確繪圖方式呈現橋樑結構設計的創意構想。	14
3 能以文字、圖案方式呈現橋樑結構設計的創意構想。	20
2 能以口語方式呈現橋樑結構設計的創意構想。	7
1 無法以任何方式表達橋樑結構設計的創意構想。	0

合作教師要求各組學生先構思、設計，畫出設計圖，再依照設計圖製作模型。多數學生在自評檢核表中認為自己可以用文字、圖案方式呈現橋樑的設計構想。研究者從課堂中對學生的觀察、檢視學生的學習單及訪談學生後，歸納出以下學生在這項能力指標上的表現。

學生畫在學習單上的設計圖，幾乎都是繪出模型的立體外觀，少數是以平面圖呈現，而且能與實際完成的模型相符合的不到半數。大部分的設計圖比較像是草稿圖，而且沒有輔以尺寸標註或文字、符號說明，不容易判讀，也不足以完整呈現設計構想，顯然學生在這項活動中，無法充分以文字、圖案來表達橋樑模型的創意與構想。(SL)

從教室觀察或訪談中，讓學生以口語「說」的方式，反而較容易表達出自己的創意與構想。學生可以表達出他們在製作模型時，考量到美觀、配色，或說明自己製作的橋樑結構是參考拱橋的型式，以及比較清楚的描述橋樑模型的結構(SI-A01、SI-A03、SL-C06)。相反的，也有學生不擅於以口語表達，但是在學習單的設計圖上可以用文字配合圖案表達自己的設計構想。(SI-A02、SL-C05)

另有一組則是沒有按照設計圖製作，以致於完成的模型非設計圖所示(SI-A04)；或是構想還停留在腦海中，不能完整地用圖文來表達，

透過同學之間口語溝通來完成，常常一邊做、一邊討論、又一邊修改（SI-B03、SI-B02、SL-D04、CR940316-D04）。

綜觀以上，同學僅符合可以用口語、影像、文字、圖案或實物其中一或二種方式來表達出自己的創意與構想。

（二）8-4-0-4 設計解決問題的步驟

依據專家詮釋結果，將此項能力指標具體詮釋為「學生在科技學習活動中遇到問題時，能規劃及設計解決問題的步驟」。

在本研究中實施的「橋樑」教材而言，學生需要解決問題的時機，大多發生在設計與製作的科技學習活動階段。學生要能夠發現問題，並且運用所學的知識（涵蓋科學、數學及科技方面）、相關的資源，發展解決問題方案，來改善設計製作階段出現的問題，以得到最佳成果。

例如：如何用現有的材料組織成橋樑的各個結構、材料與材料間的接合方式、接合方式不好如何解決、如何增加材料強度、增強結構支撐力、材料的處理...等等情況，學生都必須按部就班一步步解決問題，才能完成模型的製作，接受載重測試。

在 49 位一年級學生的學習自評檢核表中，認為自己達到 8-4-0-4 能力指標程度的狀況如下：

能力指標評分等級	人數
5 能以結構模型設計製作的最佳方案進行動手實作。	8
4 能發展出結構模型設計製作的方案。	12
3 能在結構模型設計製作中蒐集相關資料。	19
2 知道結構模型設計製作的問題。	8
1 不知道解決問題的步驟。	2

學生在設計製作活動中，從發展設計構想到完成模型過程中，幾乎都是一邊做、一邊修改，最後的完成品不一定是最初構想設計的結構。但是主要結構型式多是一開始就設定好的，同學們會先想好模型要參考的型式，可能是拱橋、桁架橋或吊橋...等等，然後再繪圖設計與製作。

學生在製作中普遍遭遇的問題，可以歸納成材料處理及結構兩大項。有同學會向老師發問、找老師討論，請老師提供意見；與同學共同討論，請教其他同學，參考、模仿他人的製作方法，或自己想辦法解決、多嘗試幾次找到解決方案。而沒有發展出解決問題方案的，問題通常也呈現在完成的作品上，可以從作品中看出明顯的缺陷，或是無法承受重量，甚至還來不及測試，模型已經幾乎要解體。

(RW940323、CR940309、CR940316、CR940323)

從單一材料到形成立體模型，例如，「要如何做出拱型？」，學生的解決辦法是：將吸管剪開成一段一段、套入鐵絲、再彎出拱型(SI-A02、SI-A03)。

材料的結合，如果是需要「黏」起來的材料，大部分學生都使用膠帶及熱融膠當接著劑，這是最基本的接合方式。有學生為使材料接合後強度更好，除了用熱融膠接著，會輔以膠帶或棉線綑綁；也有比較過熱融膠或膠帶的強度後，選擇其認為比較適用的接著劑

(SI-B02)。有同學使用到棉線，在棉線與其他材料固定接合上，應用到童軍活動學過的繩結來處理(CR940316-D01)，或請教已有相關經驗的同學如何處理(SI-B02)。在吸管的連接方式上，大多數同學是用膠帶或熱融膠，有一組為了讓連結更穩定，想到用針線將吸管縫起來(CR940309-C08)。

在結構方面，如果無法馬上判定如何製作時，會先用一部份材料

試做看看、做小部分的模擬 (CR940316-D02、CR940316-C03)，與同學、老師討論，尋求製作方法的建議，甚至自認為做得不好將結構拆掉，重新製作 (CR940316-C07、CR940316-D04)。

對於同學在解決問題的步驟上，多數同學在訪談中都認為自己在製作時沒遇到太大的問題。但其實從教室觀察中就可以發現，學生在製作過程，同時也是解決問題的過程。要將材料逐項地組合，再構成一個立體結構，除了材料之間的搭配外，製作技巧也是關鍵，要有立體空間概念，也要能妥善處理材料。

(三) 8-4-0-6 執行製作過程中及完成後的機能測試與調整

依據專家詮釋結果，將此項能力指標具體詮釋為「能藉由專題活動實際執行產品的製作流程，並在過程中及完成後進行產品機能的測試與調整」之能力。

就本研究中實施的「橋樑」教材而言，產品就是橋樑結構模型。由學生自行設計與製作橋樑結構模型，製作過程要注意是否能使模型結構發揮該有的承重功能，適時地調整、測試模型的機能(結構強度、載重)，讓橋樑模型達到較佳的效能。

作品完成後的測試，是由教師統一對各組橋樑結構模型測試載重，並測量橋體的重量，再將數據結果公布給各組學生。然後要求學生計算橋樑結構模型在承重與橋體重量的比值，接著請各組同學互相比較不同各組之間的差異。藉此學生可以瞭解到，載重相近的橋樑，若本身重量較輕，其效能優於重量重的一方，表示重量輕的一方，雖然用了較少、較輕的材料，但效能反而高。

以下是 49 位一年級學生的學習自評檢核表中，認為自己達到 8-4-0-6 能力指標程度的狀況如下：

能力指標評分等級	人數
5 能將結構模型的機能測試與調整至最佳狀況。	9
4 能進行結構模型的機能測試與調整。	16
3 能運用材料與工具完成結構模型的设计與製作。	15
2 能進行結構模型的设计與製作。	9
1 未能進行結構模型的實際製作。	0

另外，在製作過程中，學生除了要能夠依照設計圖將模型製作出來之外，若能隨時測試、發現問題、調整機能，才可使作品更成功。

比如某組學生在做好一部分結構時，經過測試（用手壓）發現強度可能不夠，於是就針對所使用的材料、接合方式及結構物的受力，彼此互相討論，並且在重新組合材料時，也更加謹慎處理（CR940309-C03、CR940316-D04）。

在製作過程會注意模型是否平衡、能否維持穩定、強度是否足夠、能否承受重壓，也注意到製作出來的模型大小要符合要求，有發現問題就即時修正、調整。增加材料或結構以加強支撐力，或修補接合不好的地方、拆掉部分材料再重新組合。（SI-A01、SI-A03、SI-A04、SI-B01）

其中有一組學生認為拱形較能承重，因此想在模型上做出一個拱形結構，但製作過程發生問題（做不出拱形），也因為沒有調整成功，最後在原本設計要有拱形的地方卻做成了門字形；也有發現承重不夠，想要改善，但是沒有找到真正的問題，自己也認為好像無法再調整了，因為覺得該黏的地方都黏了。（SI-A04、SI-B01）

此外，有學生在調整時用了錯誤的方法，影響到結構強度。比如在吸管中要橫向穿過竹篾（成十字交叉狀），在吸管上挖洞再把竹篾套進去，但是洞挖得太大，對於在結構的穩定與強度而言，反而造成

反效果。(CR940323-D04)

四、小結

從能力指標之驗證歷程中可發現，教師在每次實施教學前，都會評估教學對象的學習特性，將教學內容再做適度地轉化與調整，以求能更適合學生學習。

在「科技的發展」能力方面，此教材涵蓋其中的 4-4-1-1、4-4-1-2 及 4-4-1-3 項能力指標。學生在數學原理的應用上普遍不足；在科學方面，雖然理解相關的科學原理，及科學與技術的關係，但在實作中要將與技術與數學搭配應用時，並沒有較好的表現。從「認知」到成為可以「帶著走的能力」，仍有努力的空間。

在「設計與製作」能力方面，此教材涵蓋其中的 8-4-0-2、8-4-0-4 及 8-4-0-6 項能力指標。學生在表達創意與構想的能力上，以口語表達優於以文字、圖案表達，且需交互運用各種方式才能完整表達；在解決問題能力上表現良好，面對製作過程的問題，多數都能逐一找出解決方案，美中不足的是未能規劃與設計解決問題的步驟；而對產品的機能測試與調整，僅少數同學達到。

學生對相關知識原理理解與否，以及各項能力上的展現，是從整個實作過程、學習單、老師與學生對談、訪談中的綜合表現來一一驗證。教學者經常要視結果來調整教材、教學活動，甚至在後續的教學中再加強學生不足的能力。

