

探究導向教學的理論與實務—以「摩擦力」單元為例

陳均伊¹ 張惠博²

¹國立嘉義大學 科學教育研究所

²國立彰化師範大學 物理學系

(投稿日期：民國 96 年 6 月 21 日，修訂日期：96 年 8 月 22 日，接受日期：96 年 9 月 7 日)

摘要：本文旨在呈現一個科學探究導向的教學設計，希冀藉由教學實務的分享，說明如何將探究教學融入正式課程當中，以落實科學教育目標，營造一個能促使學生探索問題與解決問題的教學情境。教案內容係以國中自然科「摩擦力」單元的概念為主題，採用 Trowbridge 與 Bybee (1990) 提出的 5E 教學模式，包括：參與 (Engagement)、探索 (Exploration)、解釋 (Explanation)、精緻 (Elaboration) 與評量 (Evaluation) 等五個階段，作為設計架構。其次，結合科學寫作，協助學生在進行科學探究的歷程中，記錄其想法、實驗數據與發現等，並透過撰寫的歷程，精煉與反思所習得的相關知能。此教學設計的分享是一個開端，並非實施探究導向教學的唯一形式，希冀藉此引發更多中小教師的共鳴，將探究教學應用於一般的課室教學當中。

關鍵詞：科學探究、科學寫作、探究導向教學

壹、緒論

長期以來，有關科學教學與學習的研究發現，科學教學大多採用傳統的講述方式，將科學知識傳遞給學生，使得學生難以獲致概念的理解與應用。在 1957 年蘇聯發射第一顆人造衛星後，促使美、英等先進國家體認改進科學教學內容的需要，旋即發起科學課程改革，以培養人才、發展尖端技術、加強國際競爭力為主要目的，其他國家亦陸續展開科學課程的改革。當時，科學教育學者已

逐漸體認探究教學的重要性，然而，卻因過分強調科學知識與技能的培養，以致，未能落實教育改革目標。近年來，全美科學素養 (Science for all Americans) (American Association for the Advancement of Science, [AAAS], 1989)，科學素養的里程碑 (Benchmarks for science literacy) (AAAS, 1993)，全美科學教育標準 (National Research Council, [NRC], 1996) 與英國國家課程 (Department of Education Curriculum, [DEC], 1989) 等皆主張探究源自於學生日常生活經驗的真實問題，是科學課程的核心，

科學教學應提供學生較多探究自然的機會，使其在探索的過程中，理解科學概念的意涵、科學知識的發展，以及科學探究的歷程與重要性，並從中培養進行科學探究的能力。在探究與全美科學教育標準(NRC, 2000)一書中曾指出：

科學教育必須協助學生學習三種類別的科學技能與理解：學會科學概念與原理、發展推理能力與過程技能，以及理解科學的本質。所以，學生必須具備進行探究的能力，能藉由調查研究以驗證其想法，並瞭解調查研究的重要性，甚且，已有研究指出，透過探究的方式進行學習，學生較能理解與牢記相關的概念。(pp.xii-xiii)

在國內，於 2002 年曾舉辦全國第一次科學教育會議，會議內容提出當前科學教育亟需重視的六大議題，其中，第一議題「科學教育目標、現況與前瞻」的資料中，亦曾指出中小學科學教育的重要目標之一是培養學生的探究能力，當他們面臨生活上與科學有關的問題時，能運用探究能力及所學過的科學知識自行提出假設、設計實驗或收集數據，以便做出明智的決定或解決問題。教育部(2003)於九年一貫課程綱要中亦指出，自然與生活科技領域的教學應採用科學性的探究活動，使學生獲得相關的科學知能。在自然與生活科技領域的基本理念與分段能力指標中，曾指出：

學習科學，讓我們學會如何去進行探究活動：學會觀察、詢問、規劃、實驗、歸納、研判，也培養出批判、創造等各種能力。特別是以實驗或實地觀察的方式去進行學習，使我們獲得處理事務、解決問題的能力。也了解到探究過程中，細心、耐心與切實的重要性。同時

我們也應該了解科學與技術的發展對人類生活的影響，學會使用和管理科學與技術以適應現代化的社會生活。透過學習使我們能善用各種科學與技術、便利現在和未來的生活。……經由科學性的探究活動，自然科學的學習使學生獲得相關的知識與技能。同時，也由於經常依照科學方法從事探討與論證，養成了科學的思考習慣和運用科學知識與技能以解決問題的能力。經常從事科學性的探討活動，對於經由這種以探究方式建立的知識之本質將有所認識，養成重視證據和講道理的處事習慣。(pp.341-343)

事實上，隨著科學教育目標的演變，已有許多研究致力於探討實施探究導向教學的成效，他們的研究結果指出，探究導向的教學不僅有助於學生對於科學本質的理解、探究技能的獲得以及正向科學態度的培養 (Chang & Mao, 1999; Gibson & Chase, 2002; Kanai & Millar, 2004; Schwartz, Lederman, Khishfe, Lederman, Matthews, & Liu, 2002; Solano-Flores, 2000; Zachos, Hick, Doane, & Sargent, 2000) 之外，對於科學概念的學習成效亦有顯著的提升 (Basaga, Geban, & Tekkaya, 1994; Marx, Blumenfeld, Krajcik, Fishman, Soloway, Geier, & Tal, 2004; Von Secker & Lissitz, 1999; Zachos et al., 2000)。然而，在中小學的科學課室中，探究導向的教學仍未普遍。因此，本文將以國中自然與生活科技教材中的「摩擦力」單元為例，呈現一個探究導向教學的教案設計，希冀藉由探究教學實務經驗的分享，以及學生學習表現的討論，促使更多中小學教師關注探究教學，並願意嘗試將探究教學融入其課室當中。「摩擦力」單元的探究導向教學，係以 Trowbridge 與 Bybee (1990) 提出 5E 教學模式為架構，其內容將於下一節進行討論。

貳、5E 教學模式

探究導向教學的實施方式相當多元，可以是概念改變策略 (Posner, Strike, Hewson, & Gertzog, 1982)、學習環 (Keys & Bryan, 2001)，或是 SSCS (Search, Solve, Create, and Share) 問題解決策略 (Luft, 1998)，只要教學目標能協助學生發展科學概念、探究技能以及當代的科學本質觀，且教學方式能符合探究教學的意涵，即可稱為探究導向的教學。

近年來，已有許多研究發展各式不同的探究教學策略，Trowbridge 與 Bybee (1990) 曾以探究為基礎，提出 5E 教學模式，包括：參與 (Engagement)、探索 (Exploration)、解釋 (Explanation)、精緻 (Elaboration) 與評量 (Evaluation) 等五個階段，各階段的內容如下：

(一) 參與：

教學活動能引發學生的學習興趣，使學生願意主動參與教學活動，並能將日常生活的經驗與課程內容相連結。此外，教師亦可採用提問、呈現矛盾的異例等方式，引導學生探討與教學主題相關的內容。

(二) 探索：

學生參與活動後，須有足夠的時間進行探索，經由動手操作，建構共同的、具體的經驗。教師再以學生的共同經驗為基礎，給予充分的時間與機會，協助學生進行探索，並從中學習科學概念與過程技能。

(三) 解釋：

此階段旨在協助學生理解科學知識與發展過程技能，先請學生提出解釋，教師再以學生的想法為基礎，並運用口頭、影片或教學媒體等方式，簡單、明確的介紹科學概念或技能，並引導學生進入下一個階段的活動。值得注意的是，這樣的方式有別於直接講述的教學，教師引導的過程須重視與學生之間的互動，基於學生的想法和語言來解釋科學概念。

(四) 精緻：

以 Vygotsky 的理論為基礎，重視學生之

間的互動，營造能促使學生討論以及相互合作的學習環境，藉由想法的分享與彼此的回饋，建構個人的理解。其次，此階段相當重視學生是否能將其所形成的解釋，應用於新的情境或問題中，亦即，強調學生能將所獲得的科學知識與過程技能，遷移至其他的情境中，俾發展更深、更廣的理解。

(五) 評量：

在學生進行探索與提出解釋後，給予回饋是很重要的，因此，教師在每個階段的活動中，皆可進行形成性評量。以實務層面而言，教師須對學生的理解進行評量，並提供學生應用科學知識與過程技能的機會，甚至，經由學生自我評量，瞭解自己的學習情況。

於前述每個階段中，教師與學生間的關係皆有別於傳統，不再只是知識的傳遞者與接受者，5E 教學模式不僅強調以學生為中心，亦提供學生探索問題、形成解釋、建構與應用概念、溝通與表達想法的機會。探究與全美科學教育標準 (NRC, 2000) 曾指出 5E 教學模式，有助於學生學習搜尋證據、操作與解釋等科學探究技能。在陳均伊、張惠博與張文華 (2003) 以及 Carin, Bass 與 Contant (2005) 等人的研究中，亦曾發現透過 5E 教學模式的實施，教師將有較多的機會與學生互動、觀察與傾聽學生的想法或表現、確認學生的另有概念，以及協助學生發展科學概念等。

參、教學設計

一、設計理念

「摩擦力」單元的探究導向教學係以將探究教學融入一般課室教學為前提，並採用 5E 教學模式與小組合作學習的策略，以營造能協助學生主動探索的學習環境，讓學生透過教師教學演示的觀察，提出可能影響摩擦力大小的因素，再據此自行設計實驗以驗證

其想法。最後，透過小組之間實驗結果的分享與討論，進行概念的澄清或應用。

二、教學目標

「摩擦力」單元屬於國中自然與生活科技學習領域的課程內容，參考 94 年南一版自然與生活科技教科書第四冊第五章第三節進行探究導向教學設計，教學時間為四節課（180 分鐘）。主要的單元教學目標包括：

- （一）能了解摩擦力的意義及其影響因素。
- （二）能了解摩擦力對日常生活的影響。
- （三）能知道減少摩擦力的方法。
- （四）藉由以學生為主體的探究導向教學，培養學生的科學知能。

其次，依據「摩擦力」單元探究導向教學的內容與目標，在附錄一中詳列此單元能協助學生發展的九年一貫課程自然與生活科技領域分段能力指標。

三、器材

「摩擦力」單元的探究導向教學所需要的器材包括：彈簧秤、粗橡皮筋、不同形狀的木塊、懸掛式砝碼、小型台車、毛巾、長尺、彈簧、附螺絲釘的鐵環等，數量需足夠全班學生使用。

四、內容

依據 5E 教學模式的各個階段，分別描述教師與學生在「摩擦力」單元的探究導向教學中，所需進行的活動，並以一個國三班級學生在「摩擦力」單元中的學習表現為例，俾具體說明此單元的教學流程，以及學生在教學過程中的參與情形。

（一）參與

教師活動	學生活動
1. 教師演示： 先將兩本課本開口互	1. 學生仔細觀察 2. 學生體驗活動：

相面對，使頁與頁交叉重疊後，從左、右兩邊用力拉（圖 1）。然後，用橡皮筋由前至後網綁一圈（圖 2），再次從左、右兩邊用力拉。

2. 教師演示：
將兩手掌分開，掌心相對，取 30 公分長尺平放於食指上方，然後，將兩手掌緩慢相互靠近合併在一起（圖 3）。接著，使用橡皮筋在長尺的右端固定一 100 克的砝碼，並重複上述兩手掌由長尺兩端互相靠近的過程。
3. 學生仔細觀察
4. 學生體驗活動：
觀察教師示範後，兩位學生一組，運用課室中現有資源，體驗兩手掌從各種長形或具長柄物體（例如：尺、掃帚、球棒等）兩端互相靠近的過程。

3. 教師演示：
將一塑膠罐平放於桌面上，用粗橡皮筋彈射使其滾動。然後，在桌面上平鋪一條毛巾，並將橡皮筋拉開至與前面相同之長度，請學生預測其是否能滾動？接著，再實際演示。
5. 學生仔細觀察並進行預測。

4. 教師提問：
「從上述活動中，你可以想到什麼？」、「你發現了什麼？」，藉此引起學生的回應，並瞭解學生對摩擦力的先前概念。
6. 學生根據實際動手操作的經驗及感受，發表自己的想法或問題。
7. 傾聽其他小組同學的想法。

（二）探索

教師活動	學生活動
1. 透過參與階段的學生體驗活動，引導學生探討影響物體啓動難易的因素，並進行實驗設計，以驗證其想法。	1. 各組學生針對影響物體啓動難易的因素進行討論，並形成假設。例如：探討接觸面積大小、接觸面粗糙程度、物體重量等因素，對於
2. 教師提供事先準備的	

器材，供學生自由選用，亦鼓勵學生就地取材或提出需支援的器材。	物體摩擦力大小的影響。
3. 觀察與聆聽學生間的互動，並使用數位相機拍攝學生的實驗裝置，以收集有關學生進行探究歷程的資料。	2. 各組自備或自由選用教師提供之器材。 3. 與同儕討論，並著手進行實驗設計與操作(圖4、5)。 4. 記錄小組實作的成果，並製作投影片，以準備在解釋階段中進行實驗結果發表。

(三) 解釋

教師活動	學生活動
1. 請各小組學生上台報告他們的實驗結果與解釋。	1. 利用投影片進行報告，以呈現實驗紀錄與小組討論結果(圖6、7)。
2. 聆聽各組學生的解釋，並引導學生進行概念澄清。	2. 聆聽同儕的解釋，並提出不同的觀點或疑問。
3. 介紹靜摩擦、最大靜摩擦、動摩擦、正向力等科學名詞之定義及區分。	3. 聆聽與理解教師提出的解釋。

(四) 精緻

教師活動	學生活動
1. 針對現有的資料與數據，問學生：你已經知道什麼？你想如何改良先前的設計？	1. 綜合各組同學的資料，提出不同的想法，並說明改良實驗的可能方式。
2. 教師提問：以筷子夾住網球，詢問學生網球是否受到摩擦力作用？是什麼種類的摩擦力？力作用的方式為何？等問題。	2. 應用先前所學的科學概念與符號等，解釋位於非水平面上物體，其摩擦力及正向力的關係。
3. 說明自然科課後個人報告書寫格式及評分標準(附錄二)。	3. 撰寫自然科課後個人報告。

(五) 評量

教師活動	學生活動
1. 批閱學生所撰寫的課後報告，並從中尋找學生改變其想法或行為的證據。	1. 經由課後報告具體呈現自己對於概念與技能的理解，並以實例說明自己的成長與進步(圖8、9)。
2. 在學生的課後報告中，挑選寫作內容較詳細，或具有特色的部份，影印給學生參考，以促進學生相互觀摩學習。	2. 改變過去由老師引導直接作答的習慣，透過實作、反思、閱讀資料、小組討論與觀摩等方式，主動進行學習。

探究導向的教學係有別於傳統講述式教學，在傳統講述教學的課室中，學生扮演知識的被動接受者，由教師直接說明科學概念，告訴學生最大靜摩擦力與動摩擦力的定義，並說明影響摩擦力的因素，再讓學生透過食譜式實驗，一一進行驗證。

然而，探究導向教學的實施，則相當重視讓學生透過探索的方式建構知識，在「摩擦力」探究導向教學中，學生透過觀察教師所進行的三個演示活動、親身的體驗(教案內容中參與階段的教師演示與學生體驗活動)，以及基於其先前的想法等，提出可能影響摩擦力大小的因素，包括：接觸面的材質、小型台車的重量、小型台車行進的斜面高度等，然後，自己設計實驗以驗證想法的正確性。最後，再透過與同儕的討論，以及教師的協助等，釐清最大靜摩擦力與動摩擦力的差異，並瞭解影響摩擦力大小的因素。

因此，在探究導向的教學中，學生是知識的主動建構者，藉由觀察、探索、實驗設計與操作、資料收集與分析、形成解釋、討論與溝通等，學習相關的科學概念，並發展進行科學探究的能力，以及正向的科學態度。此外，科學寫作的結合，提供學生機會將其想法記錄下來，並能深刻反思其學習過程，使概念的學習獲致理解。



圖 1：兩本課本頁與頁交叉重疊



圖 2：以橡皮筋由前至後綑綁課本

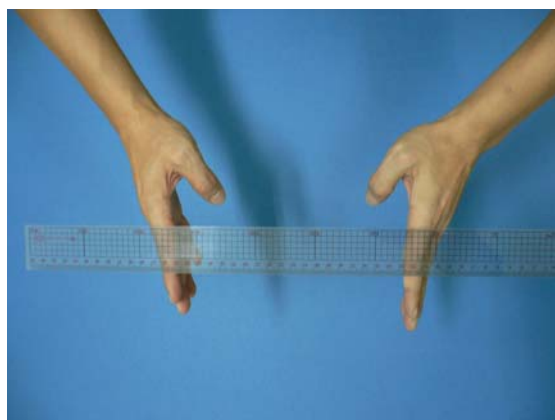


圖 3：手掌相對並將長尺置於食指上

組別：1

探討：
不同接觸面是否
影響摩擦力大小

使用材料：

1. 木塊
2. 彈簧秤
3. 砝碼 (800g)
4. 木板
5. 毛巾
6. 透明塑膠墊
7. 粉筆灰

注意：
在拉的過程，
操作者須同一個人。
★要有誤差★
取三次平均，累加
估計值

作法：
將木塊放入不同的材質上，
使用彈簧秤測量其最大靜
摩擦力。

圖 4：第一組學生的實驗設計

第五組

我們的想法：斜坡的高度越陡 對摩擦力的
的影響程度，還有車子的負重量越大時摩擦力的
大小關係。

可能影響摩擦力的因素：①車子本身的重量 ②輪子的
平滑程度 ③斜坡的角度 ④車子的負重

示意圖：
(1)

圖 5：第五組學生的實驗設計

第三組

想法：

1. 附載的重量對摩擦力的影響

器材：

1. 小車車 x1
2. 彈簧秤 x1
3. 長木板 x1
4. 砝碼 (50g, 100g, 500g) 各1個

步驟：

1. 木板水平放在桌上，小車車放在木板上，用彈簧秤測量其物重 150g 時會多少重力？
2. 先放上 50g 的砝碼放於小車上，發現需施力 0g。車上砝碼 100g 時，需施力 20g。車上砝碼 500g 時，需施力 130g (施力：向東方拉)


光滑的接觸面	小車車重量 = 150g
小車車 + 50g 砝碼	0g
小車車 + 100g 砝碼	20g
小車車 + 500g 砝碼	130g

結論：
附載重量越大，摩擦力越大

圖 6：第三組學生的小組報告

② 討論正向力的大小(拉動車子行進快慢)對摩擦力的影響。

實驗：



(一) 在小車上放置 1000 克的重量 (∴ 使彈簧秤刻度讀數較明顯)

(二) 以不同力道來拉動車子，使車子的行進速度不同

(三) 觀察施不同力道時彈簧秤的讀數

(四) 結果：

施力大時，讀數是 15.0g。施力小時，讀數也是 15.0g

(五) 結論：

正向力的大小(拉動車子行進快慢)對摩擦力沒有影響。

圖 7：第二組學生的小組報告

所需工具：①木塊 ② 4條橡皮筋 ③尺 ④桌墊 ⑤毛巾

實驗步驟：

1. 先將4條橡皮筋剪斷，綁成一個長條形。
2. 將此長條綁在木塊的小圓環上。
3. 把尺擺在桌墊上，先測橡皮筋原長。之後慢慢拉長橡皮筋，看拉長到幾公分時，木塊開始移動，此時總共施加的力量就是看伸長量（全長-原長）是多少。
4. 同步驟3.，把木塊換成擺在毛巾上，測其開始移動的伸長量。
5. 觀察木塊在桌面上和在毛巾上的「最大靜摩擦力」是多少，我們是用橡皮筋伸長量的長短，來表示施力的大小。

示意圖：

(A) 變因：
 ① 控制變因：
 木塊重量、橡皮筋原長……
 ② 操縱變因：接觸面的性質

(B) 實驗數據：

橡皮筋原長	25 cm	
接觸面	橡皮筋全長	伸長量
毛巾	41.00 cm	16.00 cm
桌墊	33.00 cm	8.00 cm

(1) 我想到 粗重的東西為什麼在光滑的地面上容易移動，在粗糙的地面卻不易移動

(2) 我做了 木塊放在桌墊上和放在毛巾上，要使它開始移動時，所施加的力量是多少
 (看它的伸長量)

(3) 我討論 接觸面的性質(光滑或粗糙)是否會影響「最大靜摩擦力」

(4) 我學習到 接觸面性質不同，則所受的最大靜摩擦力也不同

圖 8：學生所撰寫的個人課後報告—以橡皮筋測量力的大小

~ 物體與接觸面對摩擦力的影響 ~

(一) 我想到什麼？

在沙漠中或冰湖上推冰箱，何者所用的力較小呢？是否較光滑的面比粗糙的面所用的力比較小呢？所以我們想以木塊，在不同地接觸面上拉動，比較它們之間的關係。

(二) 作法：

① 準備的材料有：

A. 木塊 B. 砝碼 C. 彈簧秤 D. 木板 E. 毛巾 F. 透明墊
G. 粉筆灰 (800g)

② 將砝碼放至木塊上增加其重量，以便觀察其刻度。

③ 再把木塊分別放在木板、毛巾、透明墊、粉筆灰上，測量所拉的量。

圖例：

做出的數據：

種類	1	2	3	平均
毛巾	470.0	470.0	460.0	466.0
透明墊	800.0	770.0	800.0	790.0
木板	320.0	390.0	460.0	390.0
粉筆灰	700.0	750.0	730.0	726.0

比較力的大小：透明墊 > 粉筆灰 > 毛巾 > 木板

★ 結論：物體與接觸面間的性質會影響摩擦力的大小。

從中發現一個問題：

為何看似平滑的透明塑膠墊所需的量，竟比表面粗糙的毛巾來得大呢？

這和之前預估的並不一樣啊！

P.S. 注意事項：

- 考慮到操作者是否同一人，以免產生誤差。
- 在做數據部份時，可以取多一些數，再加以平均。記得加上估計值！

課後延伸：

增加摩擦力，WHY？

例：1. 鞋底的紋路 2. 賽跑穿的釘鞋 3. 車輪胎在雪上行駛加上鐵鍊
4. 浴室放防滑墊，避免滑倒……

減少摩擦力，WHY？

例：1. 在冰上溜冰 2. 機器加入潤滑劑 3. 腳踏車輪的軸承

圖 9：學生所撰寫的個人課後報告—以彈簧秤測量力的大小

肆、結論

近年來，各國的科學教育改革目標皆強調培養學生科學素養的重要性，並戮力於探究教學的實施，希冀藉由科學探究的歷程，促使學生獲得相關的科學知能，使其能做明智的抉擇，以解決日常生活問題與社會議題等。

此外，亦有不少研究致力於探討探究教學的實施成效，Hinrichsen 與 Jarrett (1999) 曾指出科學探究是科學教學與學習的最佳策略，以探究為基礎的學習有助於學生理解科學本質、科學探究技術與推理的過程，並能培養正向的態度。Gauld (1982) 亦指出實施探究教學的目的在於使學生熟悉科學家的工作，並獲得解決問題的知能。

本文所呈現的是一個以探究為導向的教學設計，以 Trowbridge 與 Bybee (1990) 提出的 5E 教學模式為架構，讓學生觀察與體驗和摩擦力有關的現象，並透過教師的引導，協助學生經由觀察、形成問題、設計與操作實驗、收集與分析數據、提出解釋等歷程，學習影響摩擦力大小的因素，以及進行科學探究的能力。本文所呈現的「摩擦力」單元探究導向教學，採用 5E 教學模式進行設計，並結合科學寫作，提供了一個實施探究教學的可行方式，可作為中小學教師設計與進行探究教學的參考，俾協助學生經由科學探究的歷程，建構科學概念與發展探究能力，以落實科學教育改革的目標。

誌謝

本研究的進行與撰寫，蒙行政院國家科學委員會專題計畫經費支助(96-2511-S-415-001 與 NSC95-2511-S-018-002)，特此致謝。

參考文獻

1. 教育部 (2002)：全國第一次科學教育會議資料。台北：教育部。
2. 教育部 (2003)：國民中小學九年一貫課程總綱綱要。台北：教育部
3. 陳均伊、張惠博和張文華 (2003)：國中教學模組發展實例：以「鏡」為例。論文發表於自然與生活科技課程研討會。台北市：國立台灣師範大學。
4. American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for all Americans: A Project 2061 report on scientific literacy goals in science, mathematics, and technology*. Washington, DC: Author.
5. American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press.
6. Basaga, H., Geban, O., & Tekkaya, C. (1994). The effect of the inquiry teaching method on biochemistry and science process skills achievements. *Biochemical Education*, 22, 29-32.
7. Carin, A. A., Bass, J. E., & Contant, T. L. (2005). *Teaching science as inquiry* (10th ed). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc.
8. Chang, C. Y. & Mao, S. L. (1999). Comparison of Taiwan science students' outcomes with inquiry: Group versus traditional instruction. *The Journal of Educational Research*, 92, 340-346.
9. Department of Educational Curriculum. (1989). *Science in the national curriculum*. London: HMSO.
10. Gauld, C. (1982). The scientific attitude and science education: A critical reappraisal. *Science Education*, 66, 109-121.
11. Gibson, H. L. & Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86, 693-705.

12. Hinrichsen, J. & Jarrett, D. (1999). *Science inquiry for the classroom: A literature review*. Portland: Northwest Regional Educational Laboratory.
13. Kanari, Z., & Millar, R. (2004). Reasoning from data: How students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 748-769.
14. Keys, C. W. & Bryan, L. A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 631-645.
15. Luft, J. A. (1998). *Inquiry-based demonstration classrooms: An in-service model for science teachers*. ERIC document Reproduction Service No. ED 421 336.
16. Marx, R. W., Blumenfeld, P. C., Krajcik, J. S., Fishman, B., Soloway, E., Geier, R., & Tal, R. T. (2004). Inquiry-based science in middle grades: Assessment of learning in urban systemic reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 1063-1080.
17. National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academic Press.
18. National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
19. Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
20. Schwartz, R. S., Lederman, N. G., Khishfe, R., Lederman, J. S., Matthews, L., & Liu, S. Y. (2002). *Explicit/reflective instructional attention to nature of science and scientific inquiry: Impact on student learning*. ERIC document Reproduction Service No. ED 465 622.
21. Solano-Flores, G. (2000). Teaching and assessing science process skills in physics: The bubbles task. *Science Activities*, 37(1), 31-37.
22. Trowbridge, L. W. & Bybee, R. W. (1990). *Becoming a secondary school science teacher* (5th ed.). New York: Merrill.
23. Von Secker, C. E., & Lissitz, R. W. (1999). Estimating the impact of instructional practices on student achievement in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 1110-1126.
24. Zachos, P., Hick, T. L., Doane, W. E. J., & Sargent, C. (2000). Setting theoretical and empirical foundations for assessing scientific inquiry and discovery in educational programs. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 938-962.

附錄一

分段能力指標	
過程技能	1-4-1-1 能由不同的角度或方法做觀察。 1-4-1-2 能依某一屬性(或規則性)去做有計畫的觀察。 1-4-1-3 能針對變量的性質，採取合適的度量策略。 1-4-4-2 由實驗的結果，獲得研判的論點。 1-4-4-4 能執行實驗，依結果去批判或瞭解概念、理論、模型的適用性。 1-4-5-4 正確運用科學名詞、符號及常用的表達方式。
科學與技術認知	2-4-1-1 由探究的活動，嫻熟科學探討的方法，並經由實作過程獲得科學知識和技能。 2-4-1-2 由情境中，引導學生發現問題、提出解決問題的策略、規劃及設計解決問題的流程，經由觀察、實驗，或種植、搜尋等科學探討的過程獲得資料，做變量與應變量之間相應關係的研判，並對自己的研究成果，做科學性的描述。
科學本質	3-4-0-5 察覺依據科學理論作推測，常可獲得證實。 3-4-0-7 察覺科學探究的活動並不一定要遵循固定的程序，但其中通常包括蒐集相關證據、邏輯推論、及運用想像來構思假說和解釋數據。 3-4-0-8 認識作精確信實的紀錄、開放的心胸、與可重做實驗來證實等，是維持「科學知識」可信賴性的基礎。
科技的發展	4-4-2-2 認識科技發展的趨勢。 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。
科學態度	5-4-1-1 知道細心的觀察以及嚴謹的思辨，才能獲得可信的知識。
思考智能	6-4-5-1 能設計實驗來驗證假設。
科學應用	7-4-0-1 察覺每日生活活動中運用到許多相關的科學概念。 7-4-0-4 接受一個理論或說法時，用科學知識和方法去分析判斷。 7-4-0-6 在處理問題時，能分工執掌、操控變因，做流程規劃，有計畫的進行操作。
設計與製作	8-4-0-4 設計解決問題的步驟。

附錄二

自然科課後個人寫作要點

親愛的同學：

經過這一次科學探究的學習，趁著記憶猶新，趕快動筆將它記錄下來，如果你能把握這次難得的機會，力求創新，勇於接受挑戰，你將對自己的學習成果感到驕傲，但願每位同學都能看重自我，努力求進步，讓我們一起加油吧！

以下是自然科課後個人寫作報告要點：

- 一、基本資料：就讀學校、班級、座號、姓名、上課時間（例如：2005/04/14 Am9:20~10:15）、上課單元名稱（第五章第三節：摩擦力）。
- 二、大綱
 - （一）我想到什麼？
 - （二）我做了什麼？
 - （三）我討論了什麼？
 - （四）我學習到什麼？
 - （五）其它

以上要點提供同學們作為參考，若你有更好的想法，也可以記錄下來，和大家一起分享，報告請於隔天放學以前，繳交給小組長，再由小組長統一繳交給老師，本次報告將列入期末平時成績考核，祝學習順利。