
使用系統基模教學策略修正高中學生力的迷思概念之研究

蔡興國^{1*} 張惠博² 陳錦章³

¹ 國立斗六高級中學

² 高雄市立空中大學

³ 國立彰化師範大學 物理學系

摘 要

本研究旨在以實徵性資料探究系統基模教學策略對高中學生之力的概念理解及力的迷思概念改變的影響。研究對象是研究者任教之高二學生一班 48 人為實驗組，進行系統基模教學；及另一位教師任教之高二學生一班 49 人為對照組，進行傳統講述式教學。研究結果顯示系統基模教學策略對力的概念理解程度愈低的學生之助益愈大；系統基模教學較傳統講述式教學有助於改變學生多餘的力之迷思概念。

關鍵詞：力、系統基模、迷思概念、概念改變

壹、緒言

一、研究背景與動機

物理概念可說是物理教學的核心內容，亦為物理教育研究的重點。蔡興國、陳錦章和張惠博（2010）指出，在物理的諸多概念當中，「力」顯然是最基本的概念之一，所有物質間的交互作用，都與力有關，且高中物理課程，以力學最為關鍵，往往是學習物理其他單元的基礎，其他單元的學習，例如熱學、電學等均需直接或間接利用力學原理，因此極為重要。然而，Halloun 和 Hestenes（1985）的研究卻指出學生力學學習成效非常低落，並非只是無法學會

牛頓力學的基本概念，更顯示出學生關於「力」之迷思概念的根深蒂固，傳統教學不易改變，嚴重影響牛頓力學的學習。

Turner（2003）及蔡興國（2011a；2011b）的研究均指出，學生學習力學課程時，若能描繪系統基模（system schema），將可減少其「力」的迷思概念。其中，Turner 與蔡興國（2011a）的研究，已詳述系統基模的功能及描繪的方法；而蔡興國（2011b）的研究則提出系統基模的教學策略，並以實徵性資料驗證系統基模教學策略，有助於提升學生之力的概念理解，改變學生之力的迷思概念。然而，蔡興國（2011b）的研究並未深入探討系統基模教學策略，對教學前力的概念理解程度不同學生的影響

*為本文通訊作者

有何差異；亦未針對不同力的迷思概念類型，深入探討系統基模教學策略對力的迷思概念不同類型之概念改變的影響有何差異。

二、研究目的與待答問題

基於上述原因，本研究旨在以實徵性資料，探究系統基模教學策略對力的概念理解程度不同學生之概念進步及力的迷思概念不同類型之概念改變的影響有何差異。所以，本研究有下述的待答問題：

- (一) 系統基模教學策略對力的概念理解程度不同的學生之力的概念進步幅度的影響為何？
- (二) 系統基模教學策略對力的迷思概念不同類型之概念改變的影響為何？

貳、文獻探討

一、力的迷思概念

學生不論是學習靜力學或是動力學時，都必須先判斷系統遭受哪些外力作用，若對「力」本身就有迷思概念，將會影響力學的學習。張慧貞（2007）指出，科學上對於「力」的定義，與日常生活對「力」的習慣用語並不一致，因而導致學生對於物體所受之力，產生錯誤的判斷，包含多餘的力、忽略的力及力的方向與大小等錯誤。本研究參考此研究，將力的迷思概念，分為多餘的力、忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤等五種類型，以下將分別探討這些力的迷思概念：

(一) 多餘的力之迷思概念

本研究多餘的力之迷思概念係指，學生在描述物體受力的情形時，通常認為運動物體在其速度方向，必定有力持續作用，才能維持物體運動的狀態，因此在分析運動物體的受力時，常多算一力作用。相關研究如下：Thijs（1992）的研究發現，部分學生認為當物體與施力物離開後，物體仍受衝力（impetus）維持運動。Driver、Guesne 和 Tiberghien（1985）則指出，部分學生認為如果一個物體移動，那必定是物體移動的方向有一個力作用，且欲維持物體作等速運動，則需要施一個固定的力。Clement（1982）的研究則發現有 75% 的大學生，學習一個學期的力學課程之後，依然會認為物體在運動的方向，需要受到力的作用，顯示此迷思概念相當難以改變。

(二) 忽略的力之迷思概念

本研究忽略的力之迷思概念係指，學生在描述物體受力的情形時，通常認為物體若不移動即不受力，或運動的物體不會受到一與其運動方向相反之力，因此在分析靜止物體或運動物體受力時，常少算一力作用。相關研究如下：Thijs（1992）的研究發現，大多數學生認為物體在靜止狀況下，沒有力作用於其上，或認為只受一個重力的作用。Palmer（2001）的研究發現，當物體鉛直向上運動

時，學生常會認為物體沒有受到重力的作用。Trumper 和 Gorsky (1997) 的研究則發現，學生認為只有運動的物體才会有摩擦力作用，故摩擦力只與會動的物體有關，所以靜止物體必不受摩擦力作用。

(三) 力的大小錯誤之迷思概念

本研究力的大小錯誤之迷思概念係指，學生在描述物體受力的情形時，通常認為物體受力的作用大小，與其速度的大小成正比，因此在分析運動物體的受力時，常以為物體運動的速率遞增時，受力也遞增；物體運動的速率遞減時，受力也遞減。相關研究如下：Thijs (1992) 的研究發現，學生認為鉛直上拋的球在上升期間，由於速率逐漸減小，所以其合力也會慢慢地減少；最高點瞬間之速率為 0，所以合力亦為 0；而在下落期間，則由於速率逐漸增加，所以合力也會持續地增加。Hestenes、Wells 和 Swackhamer (1992) 的研究亦指出，物體運動時若速率愈來愈大時，學生常會認為是因為物體所受之力愈來愈大的關係。

(四) 力的方向錯誤之迷思概念

本研究力的方向錯誤之迷思概念係指，學生在描述物體受力的情形時，通常認為運動物體在其速度方向，必定有力持續作用，因此在分析運動物體速率遞減時之受力，常會弄錯物體受力的方向；或是學生通常僅

憑感覺判斷系統的受力方向，而未分割系統與環境，因此在分析系統受力的作用時，常將系統「受」張力或摩擦力的方向，判斷為系統內物體對環境中之繩子或接觸面主動「施」張力或摩擦力的方向。相關研究如下：Oliva (1999) 的研究發現，有些學生認為鉛直上拋的球上升期間，只受一個與運動方向相同之力的作用，或是分別受重力與運動方向的力，而不清楚上升期間的球只受到重力的作用。Thijs (1992) 的研究發現，學生雖然知道摩擦力的存在，卻無法正確指出其方向。張慧貞 (2007) 請學生描繪力圖的研究則發現，學生描繪力圖出現力的方向錯誤，主要來自於錯誤判斷張力與摩擦力的方向，將系統受張力或摩擦力作用的方向，誤判為系統內物體對環境中之繩子或接觸面主動施力的方向。

(五) 牛頓第三運動定律錯誤之迷思概念

本研究牛頓第三運動定律錯誤之迷思概念係指，學生在描述物體受力的情形時，通常不知物體重量的反作用力是物體對地球的吸引力，或是通常認為兩物碰撞時，主動的、質量較大的或速率較大的物體，會施予較大的作用力。相關研究如下：Terry 和 Jones (1986) 的研究發現，有關人與地球間作用力的問題，在全部 39 位受測學生中，超過三分之二的受試者認為地球會施力於人，但只有 2 位

學生瞭解人亦會施力於地球，且發現多數學生認為在空氣中造成物體落下的重力，其反作用力是空氣阻力。Oliva (1999) 的研究也發現，兩物體發生碰撞時，質量較大或是運動較快的物體，會施予較大的作用力。

二、系統基模

Turner (2003) 的研究指出系統基模有助於減少力量數目計算錯誤、施力者判斷錯誤及牛頓第三運動定律運用錯誤等「力」的迷思概念；且參與 Turner 研究的教師發現，學習速度越慢的學生，學習系統基模的獲益反而越大。蔡興國 (2011a) 則整理國外系統基模相關的文獻，由理論上探討系統基模可減少「多餘的力」、「忽略的力」、「力的大小錯誤」、「力的方向錯誤」及「牛頓第三運動定律錯誤」等力的迷思概念之理由。然而，Turner 與蔡興國的研究均缺乏實徵性資料的佐證。

國內外探討系統基模對學生力學學習影響的實徵性研究則非常罕見，國外僅有 Savinainen、Scott 和 Viiri (2005) 以與系統基模相似的 SRI (Symbolic Representations of Interactions) 教學生學習牛頓第三運動定律一篇文章。Savinainen 等人的研究發現，以 SRI 學習牛頓第三運動定律的實驗組學生，與傳統以文字表徵學習牛頓第三運動定律的對照組學生相較，在牛頓第三運動定律迷思概念（較大的、較重的、速度較快的物體碰撞時會施予較大力量）的改變上，達到顯

著的差異，顯示 SRI 有助於學生學習牛頓第三運動定律。

國內部份則僅有蔡興國 (2011b) 一篇文章。蔡興國的研究針對學生在教學前主要會選取之力的迷思概念選項，探討教學後發生概念改變的比例，研究發現增加以系統基模教學策略學習力學課程的實驗組學生，與傳統方式學習力學課程的對照組學生相較，在物體運動方向必受力、物體運動時所受之力和速度成正比之迷思概念的改變與正確描繪力圖的能力優於對照組學生；在物體受力方向錯誤之迷思概念的改變與對照組學生相同；在作用力與反作用力量值不同之迷思概念的改變則不如對照組學生。然而研究並未探討系統基模教學策略對教學前力的概念理解程度不同的學生之力的概念進步幅度的影響，亦未依據前述五種力的迷思概念類型，探討系統基模教學策略對這些力的迷思概念類型之概念改變的影響。

參、研究方法

一、研究對象與情境

本研究的個案學校是中部地區一所國立高中，學生入學高中之國中基本學科能力測驗的百分等級約為 77 以上，學科能力屬於中上程度。本研究選取的對象是研究者任教之高二學生一班 48 人，為實驗組，實施系統基模教學；及 A 老師任教之高二學生一班 49 人，為對照組，實施傳統講述式教學，兩組共 97 位學生。

本研究欲探討系統基模教學策略對

力的迷思概念不同類型之概念改變的影響，故必須先探究教學前實驗組與對照組在多餘的力、忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤等五種力的迷思概念類型之人數的比例是否有顯著差異，方法為計算實驗組與對照組於「力的概念測驗」前測出現上述五種力的迷思概念類型的人數及比例，並進行兩獨立樣本百分比差異顯著性檢定，結果如表 1 所示。

觀察表 1 可看出，實驗組與對照組之「力的概念測驗」前測，在多餘的力、忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤之迷思概念類型之人數的比例雖互有高低，但均未達顯著性差異的條件 ($z > 1.96$, $p < .05$)，顯示實驗組與對照組在「力的概念測驗」前測，出現上述五種力的迷思概念類型之人數的比例相近。

二、授課教材

系統基模的授課教材分為系統基模簡介及學習單兩部份。

(一) 系統基模簡介

系統基模簡介部份的內容主要是介紹系統基模的描繪方法及其與力圖的關係。本研究所討論的系統基模，係採取蔡興國(2011a)將區分系統與環境的框線加粗的表徵。而描繪系統基模的步驟為：1.根據情境圖選定欲討論的系統，並分離與系統互相接觸的物體，再加上超距力的施力者，在系統基模上相對位置，改以圓圈內標記文字的方式表徵物體；2.以粗框線框起所欲討論的系統，將系統基模分割成兩部份，粗框線內為所選取的系統，粗框線外則為所選取系統外的環境；3.若環境中之物體與系統內之物體有交互作用，則以交互作用線連接表徵此兩物體的圓圈，表示兩者間有交互作用力作用，並於交互作用線旁標示力之種類。例如以圖 1(a)一木塊在光滑斜面上加速向下滑行之情境圖為例，則以木塊為系統的系統基模為圖 1(b)。

表 1 實驗組與對照組教學前之力的迷思概念類型之人數及比例

力的迷思概念類型	實驗組		對照組		z 值
	人數	比例	人數	比例	
多餘的力類型	48	100.00%	49	100.00%	0
忽略的力類型	43	89.58%	41	83.67%	0.79
力的大小錯誤類型	44	91.67%	46	93.88%	0.41
力的方向錯誤類型	42	87.50%	45	91.84%	0.66
牛頓第三運動定律錯誤類型	40	83.33%	46	93.88%	1.54

註：實驗組 48 人，對照組 49 人

系統基模與力圖的關係為系統基模之一條穿過粗框線進入系統的交互作用線，即表徵系統所受的一個外力，可幫助學生確認系統受外力的數目，進而畫出正確的力圖。例如圖 1(b)的系統基模，有兩條交互作用線穿過粗框線，表示系統受到兩個外力作用，分別是地球作用於木塊的重力 W 及斜面作用於木塊的正向力 N ，故可據以畫出圖 1(c)選取木塊為系統的力圖。此外，教師向學生說明如何由系統基模畫出力圖時，必須強調力圖上所標示之力為系統的「受力」，而非系統對環境的施力，以建立學生描繪力圖的正確概念。

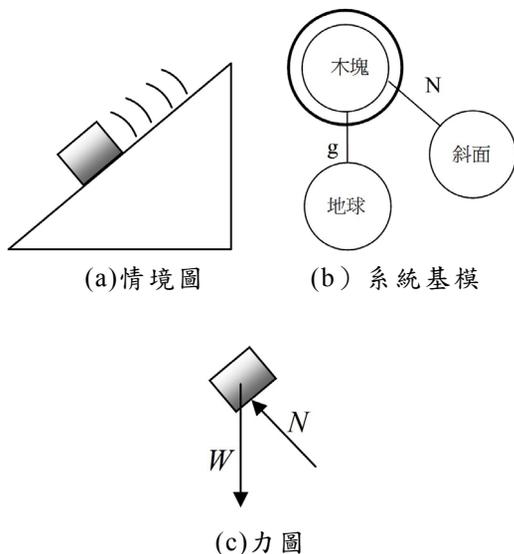


圖 1、木塊在光滑斜面上之情境圖、系統基模與力圖

(二)系統基模學習單

學習單的部份則是希望讓學生

透過描繪系統基模及力圖，使學生改變力的迷思概念。由於「基模」兩字對於高中學生過於生澀，故在簡介及學習單等發給學生的教材上牽涉有「系統基模」時，均改以「系統圖」取代，以避免學生因對基模兩字陌生而產生畏懼的心理。

學習單問題的選取是以高中物理靜力學及牛頓運動定律、圓周運動和拋體運動等動力學單元，所需學習之力的概念為範圍，參考 Court(1993, 1999a, 1999b) 的研究，提供可促使學生思考物體受力的不同情境。學習單如表 2 所示，分為「情境圖」、「猜想力圖」、「系統基模」及「正確力圖」等四個欄位。學習單使用的方式如下：(1)在教學前先讓學生經由給定條件的「情境圖」畫出「猜想力圖」，以呈現其教學前對系統受力的想法，引發其力的迷思概念；(2)教學時再利用「系統基模→正確力圖」的步驟，幫助學生畫出正確的力圖，學生可藉由比較第二欄猜想力圖與第四欄正確力圖的差異產生認知衝突，並藉由第三欄的系統基模理解第四欄之正確力圖，進而產生力的迷思概念改變。

茲以一位學生所繪的學習單為例，呈現學生填寫學習單的情形，如表 3 所示，教學前所畫的猜想力圖在第二欄，上課時經教師教學後所繪的系統基模及正確力圖在第三及第四欄。

表 2 系統基模學習單範例

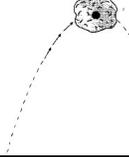
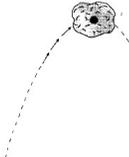
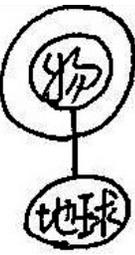
情境圖	猜想力圖	系統基模	正確力圖
物體在真空中斜向上 拋射，在最高點時			
			

表 3 學生描繪系統基模學習單之實例

情境圖	猜想力圖	系統基模	正確力圖
物體在真空中斜向上 拋射，在最高點時			
			

研究者將授課教材設計完成之後，分別請一位大學物理教授及一位高中物理教師審閱，並給予意見，故具有專家效度。

三、教學實施

本研究設計之系統基模教學，均利用物理正課時間授課，方式為融入力學各單元教學，並未額外增加授課時間，故實驗組與對照組教授靜力學與動力學的總時數相同，差別在實驗組較對照組增加課後描繪系統基模及力圖的作業，並減少於課堂講解定量範例的時間，以進行系統基模教學，使學生熟悉系統基模及力圖的描繪。

系統基模教學方式亦可分為系統基

模簡介及學習單兩部份。系統基模簡介部份的教學方式，採傳統講述式教學，由研究者親自授課。系統基模學習單部份的教學方式，則採建構主義取向的教學方式，先請同學上台演練講解，再請其他同學提問並由台上學生回答，最後再由研究者進行總結評論。詳細的系統基模教學過程如下：(一)在課程將要進入靜力學前，先將所有系統基模學習單發給學生，要求學生利用課餘時間，描繪所有學習單第二欄之猜想力圖部分；(二)接著於課堂上以講述法介紹系統基模教材之系統基模簡介部分，使學生瞭解系統基模的描繪方法及其與力圖的關係；(三)再於課程進入靜力學及動力學各單元教學時，將學習單中與此

單元相關的題目，當作學生的作業，要求學生於課後描繪第三欄的系統基模及第四欄的正確力圖；(四)待下次上課時，針對先前學習單作業的每一個情境圖，抽一位學生上台對全班講解針對此情境圖所描繪的系統基模及正確力圖；(五)待學生講解完後，請其他學生提出問題，由台上的學生回答，以營造同學討論溝通的氛圍；(六)最後由研究者指正台上學生所描繪的系統基模及力圖錯誤之處，並進行總結評論，以加深學生的印象。

四、研究工具

本研究以「力的概念測驗」進行教學前學生之力的概念理解程度的分類，及教學後學生之力的概念進步幅度的分析。「力的概念測驗」的題目選自「力的概念評量工具」Force Concept Inventory (FCI) 及「力與運動的概念評量」The Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE) 的部分題目，此兩份測驗均是以文獻研究為基礎的標準化考題。FCI的內容是為確認學生所持有的力學迷思概念，及評量學生對牛頓力學基本概念是否理解而設計，整份試卷均不需計算，廣為物理教育學者用於調查力學迷思概念及評鑑各種改良教學方式的有效性。FCI第一版是由Hestenes等人(1992)所提出，共有29題單選題，於1995年被Halloun、Hake、Mosca和Hestenes所修訂，提出新版FCI，共有30題單選題，本研究即採用1995年新版FCI的部份題目。Thornton和Sokoloff(1998)則提出

FMCE，而FMCE和FCI一樣是為確認學生所持有的力學迷思概念及評量學生對牛頓力學基本概念是否理解而設計，整份試卷亦不需計算，有43題單選題。雖然FCI和FMCE設計的目的相同，但兩份試題的表徵方式稍有不同。FCI的題目各題獨立，各有不同的情境，包含的面向較廣，故較著重於廣度；FMCE則以題組的方式呈現，若干題共用相同的情境，只是條件稍有不同，較能偵測出學生對問題是否深入瞭解，故較著重於深度。

本研究欲以實徵性的研究，探討系統基模對學生力的迷思概念改變的影響，故只挑選 FCI 與 FMCE 與力的概念有關的題目。FCI 與力的概念有關的題目為第 3、4、5、11、13、15、16、18、28、29、30 題；FMCE 與力的概念有關的題目為第 8、9、10、11、12、13、30、31、32、33、34、35、36、37、38、39 題。其中 FCI 第 4 題在 FMCE 細分成五種條件，呈現於第 30 至 34 題，研究者選取 FMCE 第 30 至 34 題。FCI 第 15、16 和 28 題，與 FMCE 第 36、37 和 39 題相同，研究者選取 FCI 第 15、16 和 28 題。故研究者自 FCI 選取第 3、5、11、13、15、16、18、28、29、30 題，共 10 題單選題；自 FMCE 選取第 8、9、10、11、12、13、30、31、32、33、34、35、38 題，共 13 題單選題，兩份試題合計選取 23 題單選題，各題的出處詳列於表 4 之第 2 欄。研究者將此 23 題翻譯成中文，並邀請兩位具碩士學位之高中物理教師及兩位高三資優班學生，對翻譯用語提供修改的

建議後, 編寫為「力的概念測驗」。

本研究並依據文獻探討將力的迷思概念分為多餘的力、忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤等五種類型的方式, 將此 23 題有關力的迷思概念的選項作分類, 詳見表 4 之第 4 至第 11 欄, 以釐清此 23 題所包含的選項, 可以偵測到哪些力的迷思概念。此外, 並將題目的內容簡要敘述於表 4 之第 3 欄, 以便於讀者能快速瞭解此 23 題的內容, 與物體在那些情境的受力情形有關。

本研究亦對「力的概念測驗」作內部一致性分析, 將學生「力的概念測驗」前測成績作庫李信度檢定, 所得之信度值為 .74。Nunnally (1978) 指出, 信度值 $\alpha = .70$ 是一個較低, 但還可以接受的量表邊界值, 已出版的量表中 α 值低於 .70 的並非不常見。DeVellis (1991) 亦指出, 研究量表的 α 值介於 .70 至 .80 之間為相當好 (Respectable)。因此, 本研究之「力的概念測驗」為具有良好信度的測驗。

表 4 力的概念測驗題目出處內容及各選項所對應迷思概念類型之分析表

題號	出處	內容	各選項所對應的迷思概念類型							
			A	B	C	D	E	F	G	J
1	FCI 3	自由落體	⑥	③	✓	②	④	×	×	×
2	FCI 5	圓周運動	②	✓	①	①	①	×	×	×
3	FCI 11	曲棍球遭受球桿撞擊	②	①②	①	✓	②	×	×	×
4	FCI 13	鉛直上拋物體	①	③	①	✓	②	×	×	×
5	FCI 18	小孩玩盪鞦韆	②	✓	①②	①	①④	×	×	×
6	FCI 28	一人施力推另一人	⑤	⑤	⑤	⑤	✓	×	×	×
7	FCI 29	椅子靜止在地板上	②	✓	①②	①	②	×	×	×
8	FCI 30	網球拍擊球	②	①②	✓	①②	①	×	×	×
9	FMCE 8	物體在斜面向上運動	✓	③	③	③	④	③④	③④	×
10	FMCE 9	物體在斜面最高點	✓	③	③	②③	④	③④	③④	×
11	FMCE10	物體在斜面向下運動	✓	③	③	③	④	③④	③④	×
12	FMCE 11	物體鉛直上拋上升期間	✓	③	③	③	④	③④	③④	×
13	FMCE 12	物體鉛直上拋達最高點	✓	③	③	②③	④	③④	③④	×
14	FMCE 13	物體鉛直上拋下降期間	✓	③	③	③	④	③④	③④	×
15	FMCE 30	大小車以相同速率相撞	⑤	⑤	⑤	⑤	✓	⑤	×	⑤
16	FMCE 31	小車以較快速率撞大車	⑤	⑤	⑤	⑤	✓	⑤	×	⑤
17	FMCE 32	小車撞靜止不動的大車	⑤	⑤	⑤	⑤	✓	⑤	×	⑤
18	FMCE 33	兩相同車以相同速率相撞	⑤	⑤	⑤	⑤	✓	⑤	×	⑤
19	FMCE 34	一車撞靜止不動的另一車	⑤	⑤	⑤	⑤	✓	⑤	×	⑤
20	FMCE 35	小車推大車但大車仍未動	✓	⑤	⑤	⑤	⑤	×	×	⑤
21	FCI 5	小車推大車加速運動	✓	⑤	⑤	⑤	⑤	×	×	⑤
22	FCI 5	小車推大車等速運動	✓	⑤	⑤	⑤	⑤	×	×	⑤
23	FMCE 38	小車推大車而大車突然煞車	✓	⑤	⑤	⑤	⑤	×	×	⑤

註：表中“①”代表多餘的力之迷思概念；表中“②”代表忽略的力之迷思概念；表中“③”代表力的大小錯誤之迷思概念；表中“④”代表力的方向錯誤之迷思概念；表中“⑤”代表牛頓第三運動定律錯誤之迷思概念；表中“⑥”代表其他的迷思概念；表中“✓”代表正確的概念；表中“×”代表無此選項。

五、資料蒐集

實驗組及對照組學生在接受牛頓力學課程教學前及後，研究者使用「力的概念測驗」分別對兩組學生實施前測及後測，測驗時間為 30 分鐘，以詳細蒐集實驗組及對照組學生教學前後之力的概念情形。

六、資料的處理與分析

「力的概念測驗」之資料處理與分析方式是待實驗組與對照組學生之「力的概念測驗」前、後測均施測完畢，由研究者批改兩組學生作答的答案後，進行分數的分析及選項的分析，詳細的資料處理與統計分析如下：

(一)分數的分析

學生「力的概念測驗」前、後測分數的分析部分，可分為學生之力的概念理解程度不同學生之分組與力的概念進步幅度之分析等兩項，詳如下述：

1. **力的概念理解程度不同學生之分組：**本研究為探討系統基模教學及傳統講述式教學，對力的概念理解程度不同學生之力的概念進步幅度的影響，必須將實驗組與對照組教學前力的概念理解程度不同之學生加以分組，方式為根據 Kelley (1939) 所提出的論點，高、低分組在常態分配下最適當的比率是各佔 27%，將實驗組與對照組學生依據「力的概念測驗」前測成績，將其分成高（前 27%）、

中、低（後 27%）三組。

2. **力的概念進步幅度之分析：**本研究欲探討教學前力的概念理解程度不同的學生，經過系統基模教學及傳統講述式教學後之力的概念進步幅度，故針對此部分，實驗組與對照組之高、中、低三組之「力的概念測驗」前、後測的資料處理與分析方式如下：首先，分別計算實驗組與對照組之高、中、低三組之「力的概念測驗」前測的平均成績；其次，再分別計算實驗組與對照組之高、中、低三組之「力的概念測驗」後測的平均成績；最後，再計算此三組之「力的概念測驗」成績的進步幅度，方法為參考 Hake (1998) 所提出「平均常態增益」(average normalized gain) 的概念，定義為教學後學生進步分數與其最大可能進步分數的比例，以符號 $\langle g \rangle$ 表示，公式為 $\langle g \rangle = (\text{後測成績} - \text{前測成績}) / (\text{滿分} - \text{前測成績}) \times 100\%$ ， $\langle g \rangle$ 介於 0% 到 100% 之間，可視為學生經教學後分數的進步幅度。故研究者可利用實驗組與對照組之高、中、低三組之前、後測的平均成績，計算實驗組與對照組之高、中、低三組之 $\langle g \rangle$ 值。且 Savinainen 與 Scott (2002) 的研究結果顯示， $\langle g \rangle$ 值與學生原先的成績無關。故利用 $\langle g \rangle$ 值可看出系統基模教學與傳統講述式教學，對高、中、低三組之「力的概念測驗」成績增益或進步幅度的影響。

(二) 選項的分析

學生「力的概念測驗」前、後測選項的分析部分，可分為教學前後力的迷思概念類型人數比例之分析與教學後力的迷思概念類型發生概念改變人數比例之分析，詳如下述：

1. 教學前後力的迷思概念類型人數比例之分析：

本研究欲探討教學前、後實驗組與對照組具有多餘的力、忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤等五種力的迷思概念類型之人數的比例，故實驗組與對照組之「力的概念測驗」前、後測的資料處理與分析方式如下：(1)整理實驗組與對照組學生於「力的概念測驗」前、後測選取錯誤的選項；(2)利用表 4，將這些錯誤的選項轉換成所對應的迷思概念；(3)分別檢視每位學生所有之力的迷思概念，只要學生在某種力的迷思概念類型出現一次迷思概念，即認為學生有此種類型之力的迷思概念，所以就在此種力的迷思概念類型增加一人，例如前測時甲學生在 2、3、4 題有多餘的力類型之迷思概念出現，在 9、13 兩題有忽略的力類型之迷思概念出現，計算時即在多餘的力迷思概念類型增加一人，忽略的力迷思概念類型增加一人；(4)分別計算實驗組與對照組在上述五種力的迷思概念類型，出現的人數及比例；(5)進行兩獨立樣本百分比差異顯著性檢定，以探

究實驗組與對照組在教學前、後，具有某種力的迷思概念類型之人數的比例是否有顯著差異。

2. 教學後力的迷思概念類型發生概念改變人數比例之分析：

本研究欲探討教學後實驗組與對照組在五種力的迷思概念類型發生概念改變之人數的比例，故實驗組與對照組之「力的概念測驗」前、後測的資料處理與分析方式如下：(1)計算實驗組與對照組學生在前測時選取某種力的迷思概念類型所對應的一個或多個選項，即前測時有某種類型之力的迷思概念，但後測時完全未選取此種力的迷思概念類型所對應任何一個選項的人數，即為此種力的迷思概念類型發生概念改變的人數；(2)配合實驗組與對照組教學前具有某種力的迷思概念類型之人數，求得此種力的迷思概念類型改變的比例；(3)進行兩獨立樣本百分比差異顯著性檢定，以探究系統基模教學對學生此種力的迷思概念類型發生概念改變的助益，是否明顯優於傳統講述式教學。例如「力的概念測驗」前測時，實驗組有 48 位學生具有多餘的力類型之迷思概念，而「力的概念測驗」後測時，這 48 位學生中若有 12 位學生完全未選取多餘的力之迷思概念類型所對應的選項，則稱實驗組有 12 位學生在多餘的力之迷思概念類型發生概念改變，且實驗組在多餘的力之迷思概念類型發生概念改變人數的比例為 $12/48=25\%$ 。

肆、研究結果與討論

一、力的概念進步幅度

本研究欲探討系統基模教學及傳統講述式教學對學生力的概念進步幅度，是否會因為教學前學生之力的概念理解程度不同而有所差異，而將實驗組與對照組學生依據「力的概念測驗」前測成績，分成高(前 27%)、中、低(後 27%)三組。實驗組共 48 人，「力的概念測驗」前測分數為 7 分(含)以下共 10 人為低分組；8 至 13 分共 26 人為中分組；14 分(含)以上共 12 人為高分組。對照組共 49 人，「力的概念測驗」前測分數為 7 分(含)以下共 11 人為低分組；8 至 12 分共 25 人為中分組；13 分(含)以上共 13 人為高分組。並分別計算實驗組與對照組之高、中、低三組之「力的概念測驗」前、後測的平均成績及平均常態增益 $\langle g \rangle$ 值，如表 5 所示。

根據表 5，發現教學前力的概念理解程度不同之實驗組學生，經系統基模教學後，「力的概念測驗」成績之平均常態增益 $\langle g \rangle$ 值以低分組的 36.90% 為最高，其次為中分組的 30.28%，最低為高分組，但仍有 26.25%。顯示無論教學前學生之力的概念理解程度為何，系統基模教學策略均能

有效提升他們之力的概念理解。尤其是對力的概念理解低分組學生之力的概念進步幅度最大；而對力的概念理解中分組學生之力的概念進步幅度次之；對力的概念理解高分組學生之力的概念進步幅度最小，但仍可改變其超過兩成五的迷思概念。根據表 5，亦可發現力的概念理解程度不同之對照組學生，經傳統講述式教學後，「力的概念測驗」成績之平均常態增益 $\langle g \rangle$ 值以低分組的 29.47% 為最高，其次為中分組的 9.42%，最低為高分組的 -4.85%。顯示傳統講述式教學對力的概念理解低分組學生之力的概念進步幅度最大，對力的概念理解中分組學生之力的概念進步幅度次之，對力的概念理解高分組學生而言，反而不利提升其力的概念理解。綜合比較實驗組與對照組之高、中、低三組之「力的概念測驗」成績之平均常態增益 $\langle g \rangle$ 值，發現實驗組高、中、低三組之 $\langle g \rangle$ 值均勝過對照組之高、中、低三組，顯示系統基模教學對力的概念理解程度不同學生之力的概念進步幅度，均優於傳統講述式教學對力的概念理解程度不同學生之力的概念進步幅度。

表 5 實驗組與對照組之高中低三組之力的概念測驗成績增益表

成績	實驗組			對照組		
	高分組	中分組	低分組	高分組	中分組	低分組
前測平均成績	16.33	10.42	6.20	15.08	9.84	5.73
後測平均成績	18.08	14.23	12.40	14.69	11.08	10.82
$\langle g \rangle$ 值	26.25%	30.28%	36.90%	-4.85%	9.42%	29.47%

二、教學後力的迷思概念類型之人數比例

本研究欲探討教學後實驗組與對照組在多餘的力、忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤等五種力的迷思概念類型之人數的比例，研究者計算實驗組與對照組於「力的概念測驗」後測出現上述五種力的迷思概念類型的人數及比例，並進行兩獨立樣本百分比差異顯著性檢定，以探究教學後實驗組與對照組在上述五種力的迷思概念類型之人數的比例是否有顯著差異，結果如表 6 所示。

觀察表 6 可看出「力的概念測驗」後測，實驗組在忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤之迷思概念類型之人數的比例，雖然均低於對照組，但未達顯著性差異，顯示實驗組與對照組在「力的概念測驗」後測，出現上述四種力的迷思概念類型之人數的比例相近。而實驗組在多餘的力之迷思概念類型之人數的比例低於對照組，且達顯著性

差異 ($z=3.01$, $p<.01$)，顯示系統基模教學對減少學生多餘的力之迷思概念，優於傳統講述式教學。

三、教學後發生迷思概念改變之人數比例

本研究欲進一步探討教學後實驗組與對照組，在多餘的力、忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤等五種力的迷思概念類型，發生概念改變之人數的比例，並進行兩獨立樣本百分比差異顯著性檢定，以探究教學後實驗組與對照組在上述五種力的迷思概念類型，發生概念改變之人數的比例是否有顯著差異，結果如表 7 所示。其中，第 2 欄與第 5 欄為教學前實驗組與對照組出現五種力的迷思概念類型之人數；第 3、4 欄與第 6、7 欄為教學後實驗組與對照組在五種力的迷思概念類型發生概念改變的人數及比例；第 8 欄為第 4 欄與第 7 欄進行百分比差異顯著性檢定的結果。

表 6 實驗組與對照組教學後之力的迷思概念類型之人數及比例

力的迷思概念類型	實驗組		對照組		z 值
	人數	比例	人數	比例	
多餘的力類型	39	81.25%	49	100.00%	3.01**
忽略的力類型	39	81.25%	44	89.80%	1.11
力的大小錯誤類型	39	81.25%	44	89.80%	1.11
力的方向錯誤類型	31	64.58%	38	77.55%	1.18
牛頓第三運動定律錯誤類型	30	62.50%	37	75.51%	1.15

註 1：實驗組 48 人，對照組 49 人，註 2：** $p<.01$

表 7 實驗組與對照組教學後發生迷思概念改變的人數及比例

力的迷思概念類型	實驗組			對照組			z 值
	迷思概念人數	概念改變人數	概念改變比例	迷思概念人數	概念改變人數	概念改變比例	
多餘的力類型	48	9	18.75%	49	0	0.00%	3.18**
忽略的力類型	43	6	13.95%	41	2	4.88%	1.42
力的大小錯誤類型	44	6	13.64%	46	3	6.52%	1.13
力的方向錯誤類型	42	13	30.95%	45	10	22.22%	0.92
牛頓第三運動定律錯誤類型	40	12	30.00%	46	11	23.91%	0.64

** $p < .01$

根據表 7，可看出實驗組在忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤之迷思概念改變的比例，雖然均高於對照組，但未達顯著性差異，顯示系統基模教學與傳統講述式教學改變學生上述四種力的迷思概念的比例相似。而實驗組在多餘的力之迷思概念改變的比例高於對照組，且達顯著性差異 ($z=3.18, p < .01$)，顯示系統基模教學相較於傳統講述式教學，較有助於改變學生多餘的力之迷思概念。

伍、結論與建議

一、結論

本研究有以下數點的研究發現，值得深入探討：

(一)系統基模教學策略對力的概念理解程度愈低的學生之助益愈大

根據表 5 可知，實驗組之力概念高、中、低三組學生，在「力的概念測驗」成績的進步幅度，均高於對照組之力概念高、中、低三組學生；且

進步幅度以低分組的 36.90%最高，中分組的 30.28%次之，高分組的 26.25%最低。顯示無論教學前學生之力的概念理解程度為何，系統基模教學策略均能有效提升他們力的概念理解，且教學前力的概念理解程度愈低的學生，經系統基模教學後，其力的概念進步幅度反而愈大，與 Turner (2003) 的研究指出，學習速度越慢的學生，學習系統基模的獲益反而越大的研究發現相同。

探究系統基模教學策略對力的概念理解愈低的學生，幫助反而愈大的可能原因有二：1.描繪系統基模時，選定為系統的物體，若與環境中之物體有交互作用，則必須在兩者間連接交互作用線，表徵兩者間有交互作用力，因此力的概念理解程度較低的學生可藉此過程，瞭解力是施力者與受力者間的交互作用，必成對產生，不會單獨存在，並可追溯物體受力的來源，非常有

助於力的概念理解程度較低的學生建立力的正確概念，因此其力的概念進步幅度較大；2.對於力的概念理解程度較高的學生而言，由於已有較正確之力的概念，因此上述連接交互作用線的過程，則顯得繁瑣且多餘，故其力的概念進步幅度較小。

(二)系統基模教學較傳統講述式教學有助於改變學生多餘的力之迷思概念

根據表七可知，實驗組在忽略的力、力的大小錯誤、力的方向錯誤及牛頓第三運動定律錯誤類型之迷思概念改變的比例與對照組相較，雖未達到顯著差異，但仍均高於對照組。而實驗組在多餘的力類型之迷思概念改變的比例高於對照組，且達顯著性的差異，顯示系統基模教學策略與傳統講述式教學方式相較，較有助於學生改變多餘的力類型之迷思概念。

探究系統基模教學策略較有助於改變學生多餘的力之迷思概念的可能原因為描繪系統基模時，若環境中之物體與系統內之物體有交互作用，則必須在兩者間連接交互作用線，藉此過程學生可反思系統內之物體的受力來源，減少速度方向必有力作用等多餘的力之迷思概念。而在力的大小錯誤及力的方向錯誤之迷思概念改變，未能達到顯著差異的可能原因為系統基模並無

標示力之大小及方向的表徵，故無法幫助學生有效改變此兩類型的迷思概念。而在牛頓第三運動定律錯誤類型之迷思概念改變，未能達到顯著差異的可能原因除了無標示力之大小的表徵外，尚與系統基模學習單問題選取的內容並未包含碰撞單元有關，故無法幫助學生有效改變諸如大車撞小車時小車受力較大等牛頓第三運動定律錯誤類型之迷思概念。而在忽略的力之迷思概念改變，亦未達到顯著差異的可能原因則為系統基模過於複雜，若遇到諸如物體在上拋最高點瞬間靜止等看似簡單情境的問題，學生常會直覺認為物體的受力為零，而傾向不利用系統基模分析物體的受力，所以系統基模無法有效幫助學生改變此一類型的迷思概念。

二、建議

基於本研究的結果與發現，針對教師的教學與未來進一步的研究，提出以下的建議：

(一)教學的建議

根據系統基模教學對力的概念理解高、中、低三組學生之力的概念進步幅度，均優於傳統講述式教學，故建議教師在進行力學課程教學時，應挪出部分時間實施系統基模教學，使學生學會使用系統基模分析物體的受力，以提升學生之力

的概念理解程度；並由於研究亦發現力的概念理解程度愈低的學生，經過系統基模教學後進步幅度反而愈大，故建議教師若進行力學課程補救教學時，可將重點放在系統基模教學，以有效幫助這些力的概念理解程度較差的學生，建立正確之力的概念。

(二) 研究的建議

本研究發現，雖然在五種力的迷思概念類型，實驗組發生迷思概念改變之人數的比例，均高於對照組，但僅有在多餘的力類型之迷思概念改變的比例與對照組有顯著的差異，顯示系統基模的表徵方式尚有改進的空間，因此改進系統基模的表徵方式，並評估改進後之系統基模表徵，可為日後研究的方向。

致謝

感謝楊文金教授、郭金美教授、王國華教授及兩位審查委員細心的指正，並惠賜寶貴建議，對本文裨益良多，謹致謝忱。

參考文獻

- 張慧貞(2007)。創新物理教材教法：理論與錦囊。台中：逢甲大學出版社。
- 蔡興國(2011a)。使用系統基模協助學生描繪正確力圖之探討。科學教育月刊，341，13-26。
- 蔡興國(2011b)。使用系統基模促進高中學生改變力的迷思概念及正確描繪力圖表徵之研究。科學教育研究與發展季刊，63，1-36。
- 蔡興國、陳錦章、張惠博(2010)。高中學生解題歷程之力圖表徵與列式關係之研究。科學教育學刊，18，155-175。
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Court, J. E. (1993). Free-body diagrams. *The Physics Teacher*, 31(2), 104-108.
- Court, J. E. (1999a). Free-body diagrams revisited - I. *The Physics Teacher*, 37(7), 427-433.
- Court, J. E. (1999b). Free-body diagrams revisited - II. *The Physics Teacher*, 37(8), 490-495.
- DeVellis, R. F. (1991). *Scale development: Theory and applications*. Newbury Park, CA: Sage.
- Driver, R., Guesne, E., & Tiberghien, A. (1985). Some features of children's ideas and their implications for teaching. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 193-201). Milton Keynes, England: Open University.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1055.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- Kelley, T. L. (1939). The selection of upper and lower groups for the validation of test item. *Journal of Educational Psychology*, 30(1), 17-24.
- Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Oliva, J. M. (1999). Structural patterns in students' conceptions in mechanics. *International Journal of Science Education*, 21(9), 903-920.
- Palmer, D. (2001). Students' alternative conceptions and scientifically acceptable conceptions about gravity.

- International Journal of Science Education*, 23(7), 691-706.
- Savinainen, A., & Scott, P. (2002). The force concept inventory: A tool for monitoring student learning. *Physics Education*, 37(1), 45-52.
- Savinainen, A., Scott, P., & Viiri, J. (2005). Using a bridging representation and social interactions to foster conceptual change: Designing and evaluating an instructional sequence for Newton's third law. *Science Education*, 89(2), 175-195.
- Terry, C., & Jones, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 291-298.
- Thijs, G. D. (1992). Evaluation of an introductory course on "force" considering students' preconceptions. *Science Education*, 76(2), 155-174.
- Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1998). Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *American Journal of Physics*, 66(4), 338-351.
- Trumper, R., & Gorsky, P. (1997). A survey of biology students' conceptions of force in preservice training for high school teachers. *Research in Science and Technological Education*, 15(2), 133-147.
- Turner, L. (2003). System schemas. *The Physics Teacher*, 41(7), 404-408.
- 投稿日期：102 年 11 月 06 日
接受日期：103 年 04 月 15 日

Using System Schema Teaching Strategy to Correct High School Students' Misconceptions of Force

Hsing-Kuo Tsai^{1*}, Huey-Por Chang², and Chin-Chang Chen³

¹National Tou-Liu Senior High School

²Open University of Kaohsiung

³Department of Physics, National Changhua University of Education

Abstract

The purpose of this study was to explore the influence of system schema teaching strategy on improving the high school students' conceptions of force and correcting their misconceptions of force by empirical data. The subjects consisted of two classes of 11th graders. Researcher's class consisting of 48 students was the experiment group that received system schema instruction. Another teacher's class consisting of 49 students, the control group, received traditional expository instruction. The results of the study were as follows: (1) The lower the students' conceptual understanding on force was, the more the system schema teaching strategy improved their conceptions of force; (2) The system schema instruction can correct more misconceptions of an additional force than the traditional expository instruction.

Key words: force, system schema, misconception, conceptual change.

* corresponding author