

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

蔡興國

國立斗六高中

thk1057@yahoo.com.tw

(投稿日期：2011.8.4；修正日期：2011.9.16、2011.11.18；接受日期：2011.12.8)

摘要

本研究旨在發展系統基模教學策略，並以實徵性資料探究系統基模教學對高中學生力的迷思概念改變與增強描繪力圖能力的影響。研究方法採準實驗研究法輔以半結構式晤談。實驗組為研究者任教之高二學生 48 人，進行系統基模教學；對照組則為另一位教師任教之高二學生 49 人，進行傳統講述式教學。研究的結論為實驗組學生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。研究的結果顯示系統基模的教學策略確實有助於改善學生一些迷思概念，但仍需繼續修正以增加其效果。

關鍵字：力圖、系統基模、表徵、概念改變

壹、緒言

一、研究背景與動機

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。高中物理課程中，力學單元往往是學習物理其他單元的基礎，其他單元的學習，常需直接或間接利用力學原理，因此力學在高中物理課程中，佔有極為重要的地位。但 Fisher (1999)發現，選修普通物理課程的學生，在解力學問題時，對於建立正確的牛頓第二運動定律方程式經常存有很大的困難，而處理這類力學問題，必須先利用力圖分析所有相關的力量，因此力圖影響力學的學習甚鉅。然而，Whiteley (1996)的研究卻指出，即使在非常簡單的情境下，中學生仍因有許多力的迷思概念，而不能畫出正確力圖。

張慧貞(2007)指出，學生無法正確解出有關力圖的問題，反應出現有的教材教法並不能符合學生的學習需求。因此，欲使學生能描繪出正確力圖，並不如教師所想的那般簡單。蔡興國、陳錦章與張惠博(2010)的研究發現，學生無法畫出正確力圖，除了可歸因於有力的迷思概念外，尚與未建立正確的系統概念有關，所以學生必須同時具有正確的「力」及「系統」概念，才能畫出正確力圖。故尋找妥適的方法，改變學生力的迷思概念，並建立正確的系統概念，將有助於學生描繪出正確力圖，提高學生求解牛頓力學問題的能力。

Hestenes (1995)為了改善學生無法由真實的物理情境，畫出正確力圖的現象，建議教師應該教學生描繪系統基模(system schema)，幫助學生找出作用於所選取系統的所有外力，以利於畫出正確力圖。Turner (2003)及蔡興國(2011)的研究均指出學生畫力圖前，若能先描繪系統基模，將可減少力的迷思概念，並建立系統的正確概念，有助於學生畫出正確力圖。然而，上述關於系統基模的研究，多只是介紹系統基模的描繪方法，或是在理論上分析系統基模所具有的功能，缺乏實徵性資料的驗證，亦欠缺深入探討實施系統基模教學的可行策略。

二、研究目的與待答問題

基於上述原因，本研究旨在發展系統基模的教學策略，並以實徵性的資料探究系統基模教學對高中學生力的迷思概念改變與增強描繪力圖能力的影響。所以，本研究有下述待答問題。

- (一) 學生教學前之力的主要迷思概念及類型為何？
- (二) 學生經過系統基模教學及傳統講述式教學後，力的主要迷思概念改變之比較為何？
- (三) 接受系統基模教學的學生之力的主要迷思概念改變的原因為何？
- (四) 學生經過系統基模教學及傳統講述式教學後，力的迷思概念整體改變之比較為何？
- (五) 學生經過系統基模教學及傳統講述式教學後，描繪力圖成績之比較為何？

貳、文獻探討

一、力圖描繪困難

蔡興國、陳錦章與張惠博(2010)指出，學生無法畫出正確力圖可歸因於存有力的迷思概念及未建立正確的系統概念，所以我們將先從探究與描繪力圖有關之力的迷思概念及系統的迷思概念兩方面著手。

(一) 力的迷思概念

學生描繪力圖解題時，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，將會產生多餘的力、忽略的力、力的方向錯誤、力是物體所擁有的特性及誤用牛頓第三運動定律等迷思，影響描繪力圖的表現。

國外在多餘的力之研究發現：當物體與施力物離開後，物體仍受慣性力維持運動(Thijs, 1992)。如果一個物體移動，那必定是物體移動的方向有一個力在作用(Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985)。在忽略的力之研究發現：靜止的物體只受到一個力的作用，此力為重力(Thijs, 1992)。拋體運動中，物體在最高點處不受力(Galili & Bar, 1992)。在力的方向錯誤之研究發現：雖然知道摩擦力的存在，卻無法正確指出其方向(Thijs, 1992)。在力是物體所擁有的特性之研究發現：

當學生以向量方式表徵力時，常使學生誤以為力是物體所擁有的特性，而不是一種交互作用(Jiménez & Perales, 2001)。在誤用牛頓第三運動定律之研究發現：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(Oliva, 1999)；在空氣中造成物體落下的重力，其反作用力是空氣阻力(Terry & Jones, 1986)。

國內部份，張慧貞(2007)的研究指出，多餘的力包含假力、慣性力、主動力與加速力，其中假力可歸咎於未對學生介紹慣性座標的概念；慣性力顯示學生將運動視為一種力；主動力則暗示學生將力視為在物體上的實體，而非兩物間的作用；加速力則顯示學生認為加速度是力的成因之一。出現忽略的力之可能原因為未能選定合適的系統，或反作用力需要時間反應的不當推論。而力的方向錯誤則主要來自於錯誤判斷張力與摩擦力的方向。邱韻如(2006)的研究發現，大約有 43% 的大一新生誤以為在空氣中自由下落的蘋果，其重力的反作用力是同時作用在其上的空氣阻力，且二力大小不同。蔡興國、陳錦章與張惠博(2010)有關力圖的研究發現，部分學生將合力視為交互作用力，而認為合力有反作用力。

然而，這些迷思概念的分類並不意味著教師在教學時必須一個一個來糾正，Hestenes、Wells 與 Swackhamer (1992)指出，只要我們改變主要的迷思概念及隨著牛頓運動定律之概念的增長，次要的迷思概念就會自動的消失，而主要的迷思概念是指運動的衝力(impetus)概念(物體保持運動狀態需有力量作用)以及優勢原理(dominance principle)的概念(較大的、較重的、速度較快的物體在碰撞時會施予較大的力量)。

根據上述的研究可知，學生通常將力視為一種傳授給物體或物體所擁有的量，他們相信這些量可被耗盡。因此，學生出現這些力的迷思概念，可歸因於將力分類為 Chi、Slotta 與 de Leeuw (1994)所指出之物質(matter)類別，而被賦予物質的特性。然而，就物理學家而言，力則被分類為 Chi 等人所指之過程(process)類別。故學生若用物質的行為與屬性去解釋屬於過程類別之力的概念，力的迷思概念將因此產生，所以學生個人對於科學概念的本體觀是造成迷思概念相當重要的因素之一。

(二)系統的迷思概念

蔡興國、陳錦章與張惠博(2010)的研究發現，學生解題過程中，無法在文本上畫出正確力圖的原因，除了因為力的迷思概念外，尚與未建立正確的系統概

念有關。包括：(一)沒有系統概念，不清楚力圖與選取的系統有關；(二)選取錯誤的系統，將運動狀況不同的物體選為同一個系統；(三)未分割系統與環境，不清楚系統與環境的區別；(四)無法分辨作用於所選取系統的力是內力或外力，顯示學生不清楚內、外力的區別；(五)未能完整考慮作用於所選取系統之所有外力，則顯示學生並無方法可確認作用於系統之外力的數目。

綜合上述的研究，學生能畫出正確力圖，除了必須具有力的正確概念外，還需選取正確的系統，並正確辨識作用於所選取系統的外力。

二、系統基模的相關研究

系統基模起源於Hestenes (1995)為了改善學生無法由真實的物理情境，畫出正確力圖的現象，建議教師應該教學生使用系統基模，跨越情境圖和力圖間的鴻溝，幫助學生由情境圖開始，找出作用在所選擇系統的所有外力，以正確畫出較抽象的力圖。Hestenes 在文章中簡述系統基模的描繪方法並且發現，教學生學會使用系統基模所費的時間不多，但成效良好，且即使對不甚精通物理的學生，仍能教他們學會使用系統基模。然而，Hestenes 的研究多在介紹系統基模如何描繪，而有關系統基模的成效，則僅以文字敘述，缺乏實徵性資料的支持。

Jiménez 與 Perales (2001)指出，學生使用向量符號「 \rightarrow 」表徵「力」，可能會造成「力是物體所擁有特性」的迷思概念，但若使用與系統基模相似的交互作用符號表徵 SRI (Symbolic Representations of Interactions)表徵力，則可避免此一迷思概念的產生。因此 Jiménez 與 Perales 建議教學生以傳統向量符號表徵力之前，應先教學生以 SRI 表徵力，等學生已經學會力的相關概念之後，再教學生力的向量表示式。然而，Jiménez 與 Perales 的研究，亦缺乏實徵性資料的佐證。

Turner (2003)的研究則指出，許多學生在描繪力圖時，常會出現未能正確辨認作用於所選取系統之外力的數目，未能正確指出力圖上所繪之力的施力者，不知作用力與反作用力會成對出現，分不清內力與外力等諸多困難，以致無法繪出正確力圖。Turner 同時也發現，學生若學習描繪系統基模，不但困難度較力圖低，且有助於建立正確的系統概念及分析物體受力複雜的情境，亦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。並且在 Turner 的研究中，許多於課堂上使用過系統基模進行教學的教師發現，他們先前未以系統基模教力學的時期，其實並未真的教學生如何畫力圖，且系統基模大概是他們教給學生最有用的學習工具。此外參與 Turner 研究的教師亦發現，對於物體受力較複雜的情境，只有那些一開始即能先描繪系統基模的學生，才能解出正確的答案，且學習速度越慢的學生，學習系統基模的獲益反而越大。然而，Turner 的研究雖然詳述系統基模的描繪方法，但實徵性的內容，僅有一些教師對於使用系統基模從事力學教學的感想，缺乏評估學生接受系統基模教學後之學習成效的資料。

鑒於國內尚無介紹系統基模的文章，蔡興國(2011)的文章主要在對國內讀者介紹系統基模的描繪方法及系統基模與力圖的關係。系統基模的描繪方法為：首先，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；其次，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；最後，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，表示兩者有交互作用力，並於交互作用線旁標示力量的種類。系統基模與力圖的關係則以圖 1(a)的情境為例，A、B 兩球球面光滑，靜置於一器壁光滑的箱內，若以 A 物為系統，則其系統基模為圖 1(b)，有四條交互作用線穿過粗框線，表示系統受到四個外力作用，可據以畫出圖 1(c)選取 A 物為系統的力圖，顯示這四個外力的作用。然而，Hestenes (1995)、Turner (2003)與蔡興國的文章，雖然均詳述系統基模的描繪方法，但缺乏實徵性資料驗證系統基模的功效。

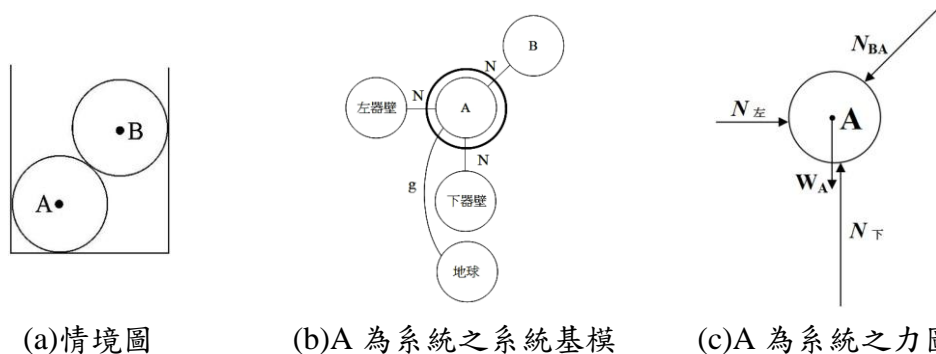


圖 1 A、B 兩球球面光滑，靜置於一光滑箱內之情境圖、系統基模及力圖

探討系統基模對學生力學學習影響的實徵性研究非常罕見，僅有 Savinainen、Scott 與 Viiri (2005) 以與系統基模相似的 SRI 教學生學習牛頓第三運動定律一篇文章。Savinainen 等人的教學程序分為四個階段：(一)先以具體的物理情境，教學生「力」是一種交互作用的概念；(二)其次介紹及教學生描繪 SRI，作為表徵交互作用關係的工具；(三)接著再介紹及教學生描繪力圖，表徵 SRI 所無法表徵之力的大小及方向，學生被要求畫出多種情境下之 SRI 及力圖，並以小組討論的方式比較這些圖形，對「力」提出自己的想法；(四)直到最後教師才提出自己的見解，並作數學方程式的定量討論。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。

綜言之，國內外有關系統基模的相關文章非常少，侷限在介紹系統基模的描繪方法，而實徵性方面的研究，僅有 Savinainen 等人(2005)的文章，數量明顯不足。

三、多重表徵與物理解題

(一)多重表徵理論

在科學教育的領域中，概念應該是最常用來被表徵的事物，那究竟應以何種表徵去表徵概念呢？左台益與蔡志仁(2001)指出，單一表徵常常只能強調一觀念或概念結構的某些部分，可能無法完全顯現出此概念的結構，而多重表徵(multiple representations)的意涵則為用不同的表徵形式以呈現及建構同一概念。

Ainsworth (1999)認為多重表徵在學習環境中，主要有互補(complement)、限制(constrain)和建構(construct)三種功能。第一種功能—互補，是指多重表徵包含互補的資訊或是互補的認知過程，因此使用多重表徵能夠互相彌補，避免只有一種表徵，無法表示所有的訊息，此外多重表徵的學習也能激勵學生使用多種策略去解題。多重表徵的第二種功能—限制，是指一個表徵的使用，可以限制使用第二個表徵時，產生錯誤解釋的可能性，例如使用圖形可以避免列出錯誤的方程式。第三種功能—建構，是指當學生由超過一種表徵整合資訊時，也就

是學生使用多重表徵時，可以促進學生對問題情境建構更深層次的理解。

(二) 多重表徵與物理解題

物理教育界近年來諸多的研究，亦逐漸倡導多重表徵的重要性(Hestenes, 1996; Van Heuvelen & Zou, 2001)。例如 Van Heuvelen 與 Zou 的研究指出，一個物理問題被解決的過程，可以下面的步驟描述：首先以文字描述(文字表徵)；下一步以情境圖(圖形表徵)代表此問題；接下來再以含有物理量的圖形(物理表徵)來表示，例如 x-t 圖或力圖等，物理表徵因有物理專門的符號，有特定的描繪方法，不同於前述的情境圖；最後才運用數學方程式(數學表徵)表示此物理問題。故 Van Heuvelen 與 Zou 認為多重表徵解題策略是指學生利用圖形表徵、物理表徵，將文字表徵轉變為數學表徵的方法，其中位於第三階段的物理表徵實處於樞紐的地位，因此最為重要，是列出正確數學表徵的關鍵。

本文中的系統基模及力圖均為與物理相關的特殊圖形，故均屬於物理表徵。使用系統基模的目的是要加強情境圖和力圖間的連結，使學生由情境圖開始，藉由系統基模的幫助，較容易畫出正確力圖。

四、概念改變

(一) 概念改變理論

Chi 等人(1994)從本體論(ontology)的角度來分析概念結構，將概念分為物質、過程與心智狀態(mental state)等三種有不同的本體屬性，本質上互相獨立的類別，並將每一類別譬喻為本體樹。這三個類別之下有所謂的次概念，且具有階層性。Chi 等人同時依概念在本體樹跨越的情形，將科學概念的改變分為本體類別內的概念改變及本體類別間的概念改變，其中本體類別間的概念改變是跨本體樹的概念改變，比本體類別內的概念改變更為困難，需要適當的概念改變策略才能夠加以達成。Chi 等人認為導致學生不容易學習科學概念的因素，主要是科學概念的科學意義和學生質樸概念的初始意義分屬在不同的本體類別，及我們在教學上忽略了學生之本體觀與科學上之本體觀的差距。因此 Chi 等人建議學生學習物理概念的過程中，必須能辨別他們的初始本體類別，並和科學社群之本體類別作比較。例如 Chi 等人發現，當教學能促成學生對力的本體論作轉移時，就能達成許多力學概念的改變。又如 Savinainen 等人(2005)為了轉移學

生對力的錯誤本體觀，利用 SRI 表徵物體間之力的交互作用情形，獲得正面的成效。

(二) 概念改變模式

對於學生如何產生概念改變，Posner、Strike、Hewson 與 Gertzog (1982) 提出概念改變模式 (conceptual change model, CCM)，廣為大家所熟知，其將概念改變分為同化 (assimilation) 與調適 (accommodation) 兩種，意義即為皮亞傑理論的同化與調適。同化發生在學生利用現有的概念來處理新的現象，或僅是將新知識加入原有的知識當中，而新、舊知識二者並未重新組織，這種學習方式並未使原有的概念體系發生重大的改變；調適則是指當學生現有的概念，不足以用來處理新的現象與問題時，這個時候就必須要取代或是重新整理他的中心思想，這種學習方式會使原有的概念體系發生劇烈的改變，即為根本上的概念改變，類比於孔恩的科學革命。Posner 等人將其研究的重點放在後者這種概念劇烈改變的類型，提出發生概念改變的四個條件：(一) 先對原有的概念感到不滿意 (dissatisfied)、(二) 新概念是可理解的 (intelligible)、(三) 新概念是合理的 (plausible)、(四) 新概念是有效用的 (fruitful)。Posner 等人並認為對原有的概念感到不滿意，可說是概念改變過程的核心，因為透過此一步驟，學生了解到唯有取代或重組舊概念，才能使其成功地接受其他新的概念。因此本研究將設計符合上述四個條件，尤其是促使學生產生對原有的概念感到不滿意的學習單，再透過調適的過程，使學生產生概念重組，達到概念改變的目的。

綜言之，由 Chi 等人 (1994) 的理論可知，學生之力的迷思概念不易消失，可歸因於學生將原本應隸屬於過程類別之力的概念，錯置於物質類別。因此，學生之力的迷思概念改變為跨本體樹的概念改變，需利用 Posner 等人 (1982) 所提出之 CCM，才可使學生原有之力的迷思概念發生劇烈的改變。故本研究欲參考多重表徵解物理問題依次表徵問題的步驟，並依據 CCM 發生概念改變的四個條件來設計系統基模學習單，透過教學生填寫系統基模學習單的過程，改變學生之力的迷思概念，以描繪出正確力圖。

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，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。兩位授課教師的基本資料如下：研究者 43 歲，具碩士學位，有 16 年任教高中物理經驗，A 老師 38 歲，亦具碩士學位，有 10 年任教高中物理經驗。

晤談對象採立意取樣，為研究者整理實驗組「力的概念測驗」前、後測成績後，自後測成績較前測成績進步最多的 16 位學生中，選取 10 位口語表達較佳的學生，進行深入晤談，俾了解這些迷思概念改變最大的實驗組學生，促成其迷思概念改變的因素，以獲知系統基模教學對高中學生力的迷思概念改變之影響。

二、教學設計

本研究設計之系統基模教學，其內容包含牛頓靜力學及動力學，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牛頓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與力圖的作業，及減少於課堂上講解定量範例的時間，以抽出時間進行系統基模教學，使學生熟悉系統基模的使用。詳細的教學設計將分別以授課教材及教學模式探討之。

(一)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。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。學習單的部份則是希望讓學生透過描繪系統基模及力圖，使學生熟悉系統基模的描繪方法，並建立系統基模與力圖關係的連結，促使學生更容易畫出正確力圖。學習單問題的選取是以高中物理靜力學及動力學單元所需學習力的概念為範圍，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。學習單問題的呈現方式，如表 1 所示，係參考多重表徵解物理問題，依次以文字表徵、圖形表徵、物理表徵、數學表徵等步驟表徵問題而設計，將學習單依序分為情境圖、猜想力圖、系統基模及正確力圖等四個欄位。學習單的內容並會與日後定量範例作連結，以表 1 之題目所對應之定量範例為例，題目為「A、B 兩球球面光滑，半徑皆為 r ，重量皆為 W ，置於一底邊長度 $3r$ 之光滑箱內，求：(1)箱底作用於 B 球之力的大小為何？(2)箱之側面作用於 B 球之力的大小為何？(3)兩球間之作用力的大小為何？」

此外，系統基模學習單依據 CCM 分為四個欄位，說明如下：(一)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，教學時再利用「系統基模→正確力圖」的步驟，幫助學生描繪出正確力圖，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，而對原有之力的迷思概念感到不滿意，以符合 Posner 等人(1982)提出對原有的概念感到不滿意是概念改變過程核心的要求；(二)學生可藉由第三欄的系統基模理解第四欄正確力圖之力，而認為第四欄正確力圖之力是可理解及合理的；(三)學生在日後作相關定量範例時，可藉由系統基模分析系統受力，畫出正確力圖，進而求得正確的答案，而認為正確力圖是有效用能解決問題的。因此，學生可藉由「描繪猜想力圖→描繪系統基模→描繪正確力圖→求解定量問題」的步驟，發現其教學前對系統受力想法錯誤之處，改變力的迷思概念。以一位學生所繪的學習單為例(表 2)，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、四欄。

表 1 系統基模學習單範例



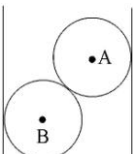
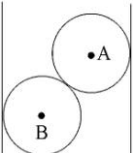

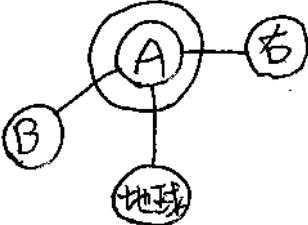

情境圖	猜想力圖	系統基模	正確力圖
A、B 兩球球面光滑，靜置於一光滑箱內			
			

表 2 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
<p>A、B 兩球球面光滑，靜置於一光滑箱內</p> 			

(二)教學模式

系統基模的教學模式亦分為系統基模簡介及學習單兩部份。簡介部份的教學模式，採傳統講述式教學，由研究者親自授課。學習單部份的教學模式，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單元前，先發給學生所有的系統基模學習單，要求學生利用課餘時間，先描繪所有學習單第二欄之猜想力圖；(二)接著於課堂上以講述法介紹系統基模授課教材之系統基模簡介部分，讓學生對於系統基模能有基本的認識；(三)再於進行靜力學及動力學相關單元教學時，將學習單中與此單元相關的題目，當作學生的作業，交由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)待下次上課時間，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)最後再由研究者指正台上學生描繪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。此外，並於日後進行定量範例演練時，提醒學生可利用系統基模分析系統的受力，以畫出正確力圖，解出正確答案。

三、研究設計

本研究採用準實驗研究法輔以半結構式晤談，探討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的情形，設計模式如表 3。

- (一) 實驗前，實驗組與對照組均接受「力的概念測驗」前測(O1)
- (二) 實驗組接受的實驗處理為系統基模教學(X)，對照組接受的實驗處理為傳統講述式教學(C)
- (三) 實驗處理後一週，兩組均接受「力的概念測驗」後測(O2)
- (四) 「力的概念測驗」後測一週之後，研究者依據立意樣本選取部份實驗組學生，利用「力的概念測驗晤談大綱」進行晤談(O3)
- (五) 實驗處理後兩週，兩組均接受「力圖描繪測驗」(O4)

表 3 研究設計模式

組別	前測	實驗處理	後測	晤談	其他測驗
實驗組	O1	X	O2	O3	O4
對照組	O1	C	O2		O4

四、研究工具

本研究的研究工具計有「力的概念測驗」、「力的概念測驗晤談大綱」、「力圖描繪測驗」等三項，其中力的概念測驗晤談大綱及力圖描繪測驗編寫完後，分別請同一位大學物理教授及同一位高中物理教師審視欲測項目與呈現題目之間的關連，以建立此兩項研究工具的專家效度。

(一) 力的概念測驗(見附錄一)

評量學生經過系統基模教學及傳統講述式教學前及後，力的迷思概念及其改變之情形是以力的概念測驗前後測的成績來調查。本研究之力的概念改變定義為力的概念測驗前測時，某生在某題選取錯誤的選項，後測時若該生填寫同一題變更為選取正確的選項，則稱該生對該錯誤選項所對應之力的迷思概念發生概念改變。

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 與 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。若對新版 FCI 題目有興趣的讀者，請至美國建模教師協會(American Modeling Teachers Association, AMTA)之建模教學(Modeling Instruction)網頁索取(<http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html>)。Thornton 與 Sokoloff (1998)則提出 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了解，故較著重於深度。

本研究欲以實徵性的研究，驗證系統基模是否具有蔡興國(2011)所宣稱可減少力的迷思概念之功能，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 題與 FMCE 第 36 題相同，研究者選取 FCI 第 15 題；FCI 第 16 題與 FMCE 第 37 題相同，研究者選取 FCI 第 16 題；FCI 第 28 題與 FMCE 第 39 題相同，研究者選取 FCI 第 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。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。FCI 的作者不同意研究者將試題置於附錄供讀者參考，以避免試題外洩，影響試題對學生之力的概念診斷的正確性。而 FMCE 的作者則同意研究者將試題置於附錄，供讀者參

考，故附錄一僅有選自 FMCE 的 13 題單選題。

本研究並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，表示力的概念測驗的可信度高。

(二) 力的概念測驗晤談大綱(見附錄二)

本晤談大綱為自行發展完成，主要是為深入探究實驗組學生概念改變的原因，以釐清系統基模在學生概念改變上的功效而設計。包含了三個晤談問題，前兩題請學生針對其力的概念測驗前測時產生力的主要迷思概念(定義為力的概念測驗前測，受測學生勾選比例超過 2 成的迷思概念)，但後測時答題正確的每一道題目，分別說明其在前測及後測時的想法；第三個問題則請學生解釋是什麼因素造成其概念的改變。

(三) 力圖描繪測驗(見附錄三)

本研究評量實驗組與對照組學生描繪力圖的成績，是以自行編製的力圖描繪測驗來調查，目的是以實徵性的研究驗證系統基模是否可以幫助學生畫出正確力圖。本測驗具有下列特點：題目涉及水平及鉛直方向的力，以驗證學生是否可完整考慮作用於系統之所有的外力；題目涉及摩擦力，以驗證學生是否可正確判斷摩擦力的方向；題目的設計避免與教科書及參考書雷同，以測驗學生描繪力圖時的真實想法。

五、資料蒐集

(一) 力的概念測驗

實驗組及對照組學生在接受牛頓力學課程前及後，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，測驗的結果並作為半結構式晤談的依據。

(二) 半結構式晤談

研究者對實驗組及對照組學生實施力的概念測驗後測之後，隨即進行資料的處理與分析，得到表 4 的結果後，研究者再依據力的概念測驗晤談大綱，及利用表 4 選取實驗組學生發生力的主要迷思概念的 19 個選項作為晤談問題，與

所選取的晤談對象，針對其在此 19 個選項中，前測產生主要迷思概念但後測選取正確概念的題目進行訪談，詢問學生在這些讓他們產生力的主要迷思概念的題目，其前測與後測的想法，及什麼因素造成了想法的改變，以獲知系統基模教學對高中學生力的迷思概念改變之影響。至於前測有力的主要迷思概念，後測變為另一迷思概念，或者前測答對，但後測變為迷思概念的次數非常少，代表性不足，故不作晤談。訪談沒有時間限制，避免學生沒有足夠的時間思考及陳述自己的想法。訪談時並作錄音，以便日後分析訪談的內容。

(三)力圖描繪測驗

實驗組及對照組學生接受完牛頓力學課程之後，研究者使用力圖描繪測驗對兩組學生施測，以詳細蒐集實驗組與對照組學生描繪力圖的成績。因現行國中及高一學生均未納入描繪力圖的課程，且實驗組與對照組學生在接受牛頓力學教學前，研究者亦曾口頭詢問學生是否學過力圖的描繪，絕大多數的學生表示，以前的物理教師解力學題目時，會在黑板畫出力圖，並利用力圖分析物體受力的情形，但並未教力圖的描繪，所以多數學生無描繪力圖的經驗，故此兩組學生均不作力圖描繪測驗的前測，而只於教學後實施後測。

六、資料的處理與分析

(一)力的概念測驗

力的概念測驗資料處理與分析的方式是待實驗組與對照組學生力的概念測驗前後測均施測完畢後，由研究者批改學生作答的答案，進行資料的統計分析。詳述如下：

1.前測之力的主要迷思概念的分析

計算實驗組與對照組學生於力的概念測驗前測時，各題之各選項勾選的人數及比例，以探究實驗組與對照組學生在教學前，學生主要會選取哪些力的迷思概念選項，並探討這些力的主要迷思概念選項間的共同性，再歸納出幾種力的主要迷思概念類型。

2.前測之力的主要迷思概念改變的分析

計算實驗組與對照組學生於力的概念測驗後測時，在前測產生力的主要迷思概念的選項及前述力的主要迷思概念類型中，發生概念改變的人數及比例，

以比較實驗組與對照組學生於接受實驗處理後，在前測產生力的主要迷思概念的選項及力的主要迷思概念類型中，發生概念改變的比例。

3.力的迷思概念整體改變的分析

力的概念測驗總共 23 題，計分方式為每答對一題得 1 分，滿分為 23 分。由研究者批改學生前後測作答的答案後，計算實驗組與對照組班級前後測的平均成績，並以前測分數為共變數，後測分數依變數，進行單因子共變數分析，排除前測差異的影響，考驗實驗組學生之力的迷思概念整體改變是否優於對照組學生。

(二)半結構式晤談

半結構式晤談之資料的處理與分析方式是由研究者進行訪談後，重複聆聽錄音帶，逐字轉錄為文字稿，於本文中呈現力的主要迷思概念改變的情形及發生的機制。本文中引用訪談文字稿時，「研」指研究者，且為區別不同學生的訪談資料，我們以不同的人名代表不同的訪談學生，並於引用訪談文字資料的最後以(訪，學生代號)註明資料的來源。

(三)力圖描繪測驗

力圖描繪測驗的評分標準是依據力圖的特徵，包含力圖上之箭號的數目及方向，每畫對一箭號得 1 分，如圖 2(a)所示為正確力圖，因兩個力圖總共有 8 個箭號，故總分為 8 分，學生得分愈高，表示所畫力圖愈正確。圖 2(b)則為某位學生所畫的錯誤力圖，圖中 A、B 兩物所受之摩擦力方向錯誤，且 B 物少畫地面施予其向上之正向力，而其餘正確，故以 A 為系統之力圖得 2 分，以 B 為系統之力圖得 3 分，合計得 5 分。研究者與同校另一位物理教師，依照評分標準，個別檢視每一位學生所繪的力圖，將評分結果分別記錄於不同的表格。待個別完成評分後，針對兩人不同的評分進行協商，整理出力圖描繪測驗的分數，以降低研究者偏見，提高評分者信度。

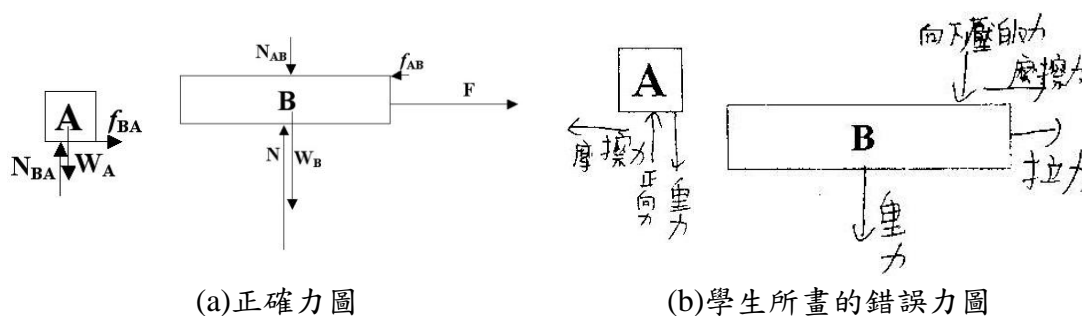


圖 2 力圖描繪測驗之力圖

力圖描繪測驗分數的分析方式為以力圖描繪測驗的分數為依變項，實驗處理(實驗組、對照組)為自變項，進行獨立樣本 t 檢定，並由於表 9 顯示實驗組學生在力的迷思概念整體之改變，優於對照組學生，且力圖的描繪與力的概念密切相關，因此研究者有信心，實驗組學生在力圖描繪測驗的成績會優於對照組學生，故進行獨立樣本 t 檢定之單尾檢定。

肆、研究結果與討論

一、學生教學前之力的主要迷思概念及其類型

本研究為探究實驗組與對照組學生在教學前有哪些主要的迷思概念，研究者定義力的主要迷思概念為力的概念測驗前測，受測學生勾選比例超過 2 成的迷思概念。如表 4 之第 1 欄所示的 21 個選項，為實驗組或對照組學生前測時勾選比例超過 2 成的迷思概念；表 4 之第 2、3、6、7 欄為實驗組及對照組學生產生力的主要迷思概念的人數及比例；表 4 最後一欄則為這 21 個選項所對應迷思概念的內容，我們可歸納學生之力的主要迷思概念有物體運動方向必受力、物體受力與速度成正比、兩物碰撞時主動的或較重的或施力較大的物體施力較大、物體離開施力者後仍受慣性力、弄錯物體受力方向、少算物體的受力及大氣壓力會施加一向下的合力於物體等。由於這 21 個選項除 7D 與 8E 選項外，其餘選項的部分選項間具有共同性，我們可將其分為下列三大類型：2C、2D、3B、3C、5D、5E 為物體運動方向必受力類，記為型一；4C、9G、10D、11B、12G、13D、14B 為物體受力與速度成正比類，記為型二；15A、16B、20B、21C、

22C、23B 為作用力與反作用力量值不同的迷思概念類，記為型三，如表 4 倒數第 2 至 4 列所示，其中第 2、3、6、7 欄為實驗組及對照組學生產生力的主要迷思概念三大類型的人數及比例。

二、學生教學後之力的主要迷思概念改變

本研究為探究實驗組與對照組學生經教學後，在上述有關力的主要迷思概念的選項中，發生概念改變的比例，乃分別計算實驗組與對照組學生前測時勾選此力的主要迷思概念選項，但後測時發生概念改變而勾選正確選項的人數，經整理後如表 4 之第 4、5、8、9 欄。研究者並計算實驗組與對照組學生，發生上述有關力的主要迷思概念三大類型之概念改變的人數及比例，呈現於表 4 倒數第 2 至 4 列之第 4、5、8、9 欄。說明如下：(一)實驗組學生在型一類型迷思概念改變的比例為 42.99%，高於對照組學生的 18.87%，顯示實驗組學生在物體運動方向必受力之迷思概念的改變優於對照組學生；(二)實驗組學生在型二類型迷思概念改變的比例為 40.38%，高於對照組學生的 29.90%，顯示實驗組學生在物體運動時所受之力與速度成正比之迷思概念的改變優於對照組學生；(三)實驗組學生在型三類型迷思概念改變比例為 44.83%，低於對照組學生的 64.22%，顯示實驗組學生在作用力與反作用力量值不同之迷思概念的改變不如對照組學生，與 Savinainen 等人(2005)發現與系統基模相似之 SRI 有助於學生學習牛頓第三運動定律的結果明顯不同；(四)表 4 之 8E 選項，與物體離開施力者後仍受慣性力維持運動的迷思概念有關，實驗組迷思概念改變比例為 42.86%，遠高於對照組的 18.75%，顯示實驗組學生在物體離開施力者後仍受慣性力維持運動之迷思概念的改變優於對照組學生；(五)表 4 之 5E 選項，與物體受力方向錯誤的迷思概念有關，實驗組與對照組之迷思概念改變的比例均為 40.00%，顯示實驗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。

表 4 實驗組學生(48 人)與對照組學生(49 人)之力的主要迷思概念及力的主要迷思概念改變的結果

主要迷思概念	實驗組				對照組				迷思概念內容
	人數	比例	概念改變人數	概念改變比例	人數	比例	概念改變人數	概念改變比例	
2C	17	35.42%	5	29.41%	9	18.75%	2	22.22%	物體運動方向必受力
2D	20	41.67%	10	50.00%	23	46.94%	4	17.39%	物體運動方向必受力
3B	10	20.83%	2	20.00%	13	26.53%	3	23.08%	物體運動方向必受力,及少算地面對物體的正向力
3C	29	60.42%	13	44.83%	27	55.10%	3	11.11%	物體運動方向必受力
4C	29	60.42%	14	48.28%	23	46.94%	6	26.09%	物體受力與速度成正比
5D	21	43.75%	12	57.14%	24	48.98%	4	16.67%	物體運動方向必受力
5E	10	20.83%	4	40.00%	10	20.41%	4	40.00%	物體運動方向必受力,及弄錯繩張力方向
7D	16	33.33%	8	50.00%	21	42.86%	7	33.33%	大氣壓力會施加一向下的合力於物體
8E	35	72.92%	15	42.86%	32	65.31%	6	18.75%	物體離開施力者後,仍受慣性力
9G	24	50.00%	9	37.50%	30	61.22%	5	16.67%	物體受力與速度成正比
10D	38	79.17%	7	18.42%	36	73.47%	7	19.44%	物體受力與速度成正比
11B	23	47.92%	7	30.43%	25	51.02%	10	40.00%	物體受力與速度成正比
12G	32	66.67%	17	53.13%	33	67.35%	11	33.33%	物體受力與速度成正比
13D	36	75.00%	15	41.67%	32	65.31%	16	50.00%	物體受力與速度成正比
14B	26	54.17%	15	57.69%	25	51.02%	6	24.00%	物體受力與速度成正比
15A	9	18.37%	5	55.56%	13	26.53%	11	84.62%	兩物碰撞時,較重的物體施力較大
16B	9	18.37%	4	44.44%	11	22.45%	7	63.64%	兩物碰撞時,速率較大的物體施力較大
20B	12	25.00%	6	50.00%	14	28.57%	8	57.14%	兩物碰撞時,較重的物體施力較大
21C	20	41.67%	8	40.00%	26	53.06%	14	53.85%	兩物碰撞時,主動的物體施力較大
22C	12	25.00%	7	58.33%	17	34.69%	10	58.82%	兩物碰撞時,主動的物體施力較大
23B	25	52.08%	9	36.00%	28	57.14%	20	71.43%	兩物碰撞時,主動的物體施力較大
型一	107	37.15%	46	42.99%	106	36.05%	20	18.87%	物體運動方向必受力
型二	208	61.90%	84	40.38%	204	59.48%	61	29.90%	物體受力與速度成正比
型三	87	30.21%	39	44.83%	109	37.07%	70	64.22%	作用力與反作用力量值不同迷思概念
總計	453	44.94%	192	42.38%	472	45.87%	164	34.75%	

三、實驗組學生之力的主要迷思概念改變的原因

本研究為探討系統基模教學對高中學生之力的迷思概念改變的影響，研究者乃針對實驗組學生產生力的主要迷思概念改變的選項進行深入晤談，探究實驗組學生在這些選項上前後測的想法及促成力的主要迷思概念改變的原因。結果如下：

實驗組學生在物體運動方向必受力之迷思概念改變的主因是學生於後測時以系統基模分析物體的受力情形。以第 2 題為例，題目略述如下：一球高速射入圓弧型管道，則球在管道內受哪些力作用？學生前測的想法為球會轉彎是因切線(運動)方向受力；後測的想法為球會轉彎是因法線方向受力；迷思概念改變是因以系統基模分析球的受力，可知球只受管壁施加之法線力，而無運動方向之切線力。

研：你第 2 題前後測的答案不同，可否說明你前測及後測時的想法？

小愷：我覺得這顆球最後會沿切線方向飛出去，前測時的想法是認為有一個力會推著它一直往運動方向動，所以會有這個力。可是後測想法是球在作圓周運動，它會轉彎是因為有向心力，最後出去是因為有慣性。

研：可是我對你們作後測時，還沒有教你們圓周運動，你會有這樣想法的改變是因為老師有教你們什麼嗎？是力圖？還是系統基模？還是其他？

小愷：應該是利用系統基模去分析力量，就知道運動方向並沒有力去碰球，球會飛出去完全是因為慣性。

(訪，20137)

實驗組學生在物體運動時所受之力與速度成正比之迷思概念改變的主因是學生於後測時以系統基模分析物體的受力情形。以第 10 題為例，題目詳見附錄一。學生前測的想法為車子會在最高點停止是因不受力；後測的想法為因車子在最高點後仍會向下運動，故車子在最高點仍受力量作用；迷思概念改變是因以系統基模分析車子的受力，可知車子在最高點仍受固定的重力及正向力，故合力固定。

研：你第 10 題前後測的答案不同，可否說明你在前測時的想法？

小能：車子在最高點的速度為零，所以合力為零。

研：那麼後測時，為什麼認為合力不是零，而是定力作用？

小能：因為車子下一秒就開始動，所以需要一個合力，由系統基模可知車子在最高點仍受固定的重力及正向力，所以合力就固定。

(訪，20131)

實驗組學生在作用力與反作用力量值不同之迷思概念改變的主因是再次學習牛頓第三運動定律，並非使用系統基模分析物體的受力情形。以第 21 題為例，題目詳見附錄一。學生前測的想法為轎車推動卡車的力大於卡車推回給轎車的力，所以卡車才會加速；後測的想法為轎車與卡車間之力是交互作用力，故轎車推動卡車與卡車推回給轎車之力大小相同；迷思概念改變是因再次學習牛頓第三運動定律，而與系統基模較無關係。

研：你第 21 題前後測的答案不同，可不可以說明一下你在前測時的想法？

小皓：因為轎車推動卡車加速，所以會覺得是轎車推動卡車的力大於卡車推回給轎車的力。

研：那麼後測時，為什麼會改變想法？

小皓：因為它們是作用力與反作用力，所以大小相等方向相反。

研：可是這個概念不是國中就學過了嗎？

小皓：因為很久沒有碰了。

研：那與老師所教的系統基模有關係嗎？

小皓：系統基模……，應該沒有關係，因為系統基模只知道兩者有交互作用，並不知道力量一樣大，而是直接由牛頓第三運動定律就可以知道。

(訪，20124)

實驗組學生在物體離開施力者後，仍受慣性力維持運動之迷思概念改變的主因是，學生於後測時以系統基模分析物體的受力情形。以第 8 題為例，題目略述如下：網球運動員擊球過網但尚未落地前，會受哪些力作用？學生前測的想法為球離開球拍後，球拍施於球之力仍會持續作用，所以球才會持續向前飛；後測的想法為球離開球拍後，已無接觸球拍，故球拍已無施力於球；迷思概念改變與以系統基模分析球在空中飛行時，只受超距力，而無接觸力有關。

研：第 8 題你前後測的答案不同，可不可以說明一下你在教學前的想法？

小睿：因為球受力有加速度才會往前飛，如果沒有推的話感覺就不會往前動了，所以運動方向一直會有力量持續作用才對。

研：那麼後測時，為什麼會認為沒有這個力？

小睿：後來就有那個公式。

研：什麼公式？我並沒有教過與打球有關的公式呀！還是與學習到什麼東西有關？

小睿：可能與系統基模有關，與公式也有關吧！就是推導拋體運動的公式阿！後來才知道球如果沒有接觸球拍以後，就只能受超距力作用而已。

研：那與系統基模有什麼關係？

小睿：因為高一時候沒有分析力，所以高一時候觀念不清楚，高二的時候教過系統基模分析力，知道力量可分為接觸力與超距力，就比較清楚了。

(訪，20134)

實驗組學生在物體受力方向錯誤之迷思概念改變的原因與使用系統基模分析物體受力的關係並不明顯。以第 5 題為例，題目略述如下：一男孩玩盪鞦韆向下擺盪期間受哪些力作用？學生前測的想法為男孩向下擺盪期間會拉繩，故男孩受一指出繞轉中心之力；後測的想法為以男孩為系統，故男孩受一指向繞轉中心之力；迷思概念改變與系統基模的關係並不明顯。

研：第 5 題繩子張力的方向，你前後測時的答案不同，請說明一下你在前測時的想法？

小源：那時候認為是手往下拉，所以張力的方向是由 O 點指向 A 點。

研：那麼為什麼後測時，你會認為張力的方向和前測時不同？

小源：就是以男孩為系統，所以作用在男孩的張力應該是由 A 點指向 O 點。

研：所以想法改變和系統基模有關嗎？

小源：應該是有吧，雖然當時我在寫的時候沒想到，但可能下意識已經用到系統基模的概念。

(訪，20133)

綜合上述及前述概念改變比例的研究結果，實驗組學生在有關物體運動方向必受力、物體運動時所受之力與速度成正比、物體離開施力者後仍受慣性力維持運動的問題上，後測時會使用系統基模分析物體的受力情形，因此實驗組學生在這些迷思概念改變的比例上，優於對照組學生。然而，實驗組學生在有關物體受力方向的問題上，後測時並無明顯使用系統基模分析物體受力的方向，因此實驗組學生在此迷思概念改變的比例上，只與對照組學生相同；實驗組學生在有關作用力與反作用力的問題上，後測時並無使用系統基模分析物體的受力，因此實驗組學生在此迷思概念改變的比例上，不如對照組學生。

四、學生教學後之力的迷思概念整體的改變

本研究採單因子共變數分析進行統計檢定，比較兩組學生後測成績是否有明顯差異。首先將實驗組與對照組學生之「力的概念測驗」前、後測成績進行描述性統計分析，求得前、後測成績的平均值、標準差及受測人數，如表 5 所示。此處後測成績的平均值為未排除共變項(前測)影響之後測成績的原始平均值。

表 5 力的概念測驗之前、後測成績的描述性統計分析表

組別	前測		後測		受測人數
	平均值	標準差	平均值	標準差	
實驗組	11.02	3.94	14.81	4.89	48
對照組	10.31	3.72	11.98	4.26	49
總和	10.66	3.82	13.38	4.78	97

其次進行組內迴歸係數同質性檢定，結果為自變項與共變項(組別*前測)的交互作用 $F=.28$ ， $p=.60 > .05$ ，未達顯著水準，表示共變項(前測)與依變項(後測)間的關係，不會因自變項(組別)不同而有所差異，符合組內迴歸係數同質性的假定，可進行共變數分析，如表 6 所示。

表 6 力的概念測驗前測成績之組內迴歸係數同質性檢定摘要表

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
組別*前測	4.40	1	4.40	.28	.60

接著進行組內變異數同質性考驗，分析組內變異數是否相同，結果為 $F=1.388$ ， $p=.242 > .05$ ，未達顯著水準，表示力的概念測驗後測成績之組內變異數具同質性，可進行共變數分析，如表 7 所示。

表 7 力的概念測驗後測成績之組內變異數同質性考驗

<i>F</i> 檢定	分子自由度	分母自由度	顯著性
1.39	1	95	.24

最後進行共變數分析，經排除共變項(前測)對依變項(後測)的影響後，可得「力的概念測驗」後測成績調整後的平均值，如表 8 所示。

表 8 力的概念測驗後測調整後的成績

組別	平均值	標準誤	95% 信賴區間	
			下限	上限
實驗組	14.60	.57	13.45	15.73
對照組	12.20	.57	11.07	13.32

此外，自變項(組別)所造成的變異量 $F=8.80$, $p=.00 < .05$ ，已達顯著水準，表示排除前測的影響後，後測成績的高低，會因組別不同而有顯著差異，如表 9 所示。

表 9 力的概念測驗後測成績共變數分析摘要表

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	<i>F</i> 檢定	顯著性	淨相關 Eta 平方
班級	137.92	1	137.92	8.80	.00	.09

綜合上述的報表可知，排除共變項後，實驗組學生的後測平均成績仍遠超過對照組學生的後測平均成績，表示實驗組學生在力的迷思概念整體之改變優於對照組學生。

五、學生教學後之力圖描繪表現

本研究為確認實驗組學生教學後之描繪力圖能力是否優於對照組學生，乃以兩組學生之「力圖描繪測驗」成績做獨立樣本的 *t* 檢定之單尾檢定。結果如

表10所示，顯示實驗組學生教學後之力圖描繪測驗成績明顯優於對照組學生 ($t=2.88$, $p=.00^*$)，故實驗組學生正確描繪力圖的能力明顯優於對照組學生。

表 10 實驗組與對照組描繪力圖成績之獨立樣本 t 檢定結果

組別	人數	後測平均分數	標準差	df	t	P (單尾)
實驗組	48	6.33	1.75	95	2.88	.00 [*]
對照組	49	5.39	1.47			

註： $\alpha=.05$, $*p<.05$ 達顯著差異

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) 實驗組學生在物體運動方向必受力及物體運動時所受之力和速度成正比之迷思概念的改變優於對照組學生

表 4 中實驗組學生在物體運動方向必受力之型一類型及物體受力和速度成正比之型二類型的迷思概念改變比例均高於對照組學生，顯示系統基模教學較傳統講述式教學更能有效改變此兩類型的迷思概念。究其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，減少此兩類型之力的迷思概念。且系統基模學習單係依據 CCM 指出發生概念改變的四個條件及多重表徵解物理問題的步驟而設計，請學生在學習系統基模前，先行描繪學習單之猜想力圖欄位，以呈現學生對系統受力的初始想法，待研究者以講述法介紹完系統基模簡介部分後，再請學生描繪學習單之系統基模及正確力圖欄位，學生可藉由比較其猜想力圖與正確力圖的差異，並利用系統基模作進一步的分析，發現其迷思概念產生的原因，故能有效改變其力的迷思概念。

(二) 實驗組學生在作用力與反作用力量值不同之迷思概念的改變不如對照組學生

表 4 中實驗組學生在兩物碰撞之型三類型，有關作用力與反作用力量值不同之迷思概念的改變比例低於對照組學生，顯示系統基模教學在改變有關兩物碰撞之作用力與反作用力量值不同之迷思概念的效果，不如傳統講述式教學。究其原因如表 2，描繪系統基模時，以一條連接兩物的交互作用線，表徵兩物間之作用力與反作用力，著重在分析物體受力的來源及數目，並未強調作用力與反作用力的大小相等。

(三) 實驗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

表 4 中實驗組學生在與物體受力方向有關之 5E 選項概念改變的比例與對照組學生相同，顯示系統基模教學相較於傳統講述式教學，並無法更有效幫助學生釐清物體受力的方向。究其原因為描繪系統基模時不需標示，亦無方法可判斷物體受力的方向，故學生無法藉由描繪系統基模的過程釐清物體受力的方向。

(四) 實驗組學生正確描繪力圖的能力優於對照組學生

表 10 中實驗組學生教學後之力圖描繪測驗成績明顯優於對照組學生，顯示系統基模教學較傳統講述式教學可有效幫助學生描繪出正確力圖。究其原因為系統基模教學較可改變學生之物體運動方向必受力及物體運動時所受之力和速度成正比的迷思概念，幫助學生確認物體受外力作用的數目，故較可幫助學生畫出正確力圖。

二、建議

本研究發現實驗組學生在物體運動方向必受力與物體運動時所受之力和速度成正比的迷思概念改變上，及正確描繪力圖的面向上，相較於對照組學生，均有顯著的進步，顯示系統基模對學生力學的學習極有助益。然而，本研究亦發現實驗組學生在釐清物體受力方向的面向上，與對照組學生進步的幅度相同；在作用力與反作用力量值不同之迷思概念改變的面向上，不如對照組學生進步的幅度，顯示系統基模尚有許多改進的空間。因此，後續研究宜以本研究發現實驗組學生在作用力與反作用力量值不同之迷思概念的改變不如對照組學

生，及實驗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等缺點為基礎，改進系統基模的表徵方式，並評估改進後之系統基模的成效。故改進原系統基模及評估改進後之系統基模，可成為日後研究的方向。

致謝

承蒙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

- 左台益、蔡志仁(2001)。高中生建構橢圓多重表徵之認知特性。*科學教育學刊*，**9**(3)，281-297。
- 邱韻如(2006)。大一普物教學的迷思之我見我思。*物理雙月刊*，**28**(3)，554-562。
- 張慧貞(2007)。*創新物理教材教法：理論與錦囊*。臺中：逢甲大學出版社。
- 蔡興國(2011)。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*，**34**1，18-31。
- 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**(2)，155-175。
- Ainsworth, S. E. (1999). The functions of multiple representations. *Computer & Education*, *33*(2/3), 131-152.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, *4*, 27-43.
- 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.
- 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: Open University Press.
- Fisher, K. (1999). Exercises in drawing and utilizing free-body diagrams? *The Physics Teacher*, 37(7), 434-435.
- Galili, I., & Bar, V. (1992). Motion implies force: Where to expect vestiges of the misconception. *International Journal of Science Education*, 14(1), 63-81.
- Hestenes, D. (1995). Modeling software for learning and doing physics. In C. Bernardini, C. Tarsitani, & M. Vincentini (Eds.), *Thinking physics for teaching* (pp. 25-66). New York: Plenum.
- Hestenes, D. (1996). Modeling method for physics teachers. In E. F. Redish, & J. S. Rigden (Eds.), *The changing role of physics departments in modern universities* (pp. 935-958). College Park, MD: AIP Press.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- Jiménez, J. D., & Perales, F. J. (2001). Graphic representation of force in secondary education: Analysis and alternative educational proposals. *Physics Education*, 36(3), 227-235.
- Oliva, J. M. (1999). Structural patterns in students' conceptions in mechanics. *International Journal of Science Education*, 21(9), 903-920.
- 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(2), 211-227.
- 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.

Turner, L. (2003). System schemas. *The Physics Teacher*, 41(7), 404-408.

Van Heuvelen, A., & Zou, X. (2001). Multiple representations of work-energy processes. *American Journal of Physics*, 69(2), 184-194.

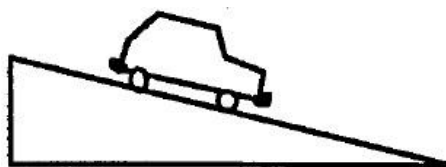
Whiteley, P. (1996). Using free body diagrams as a diagnostic instrument. *Physics Education*, 31(5), 309-313.

附錄一：「力的概念測驗」

1~8 為 FCI 題目，請上網 <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html> 索取。

請使用下面的說明及附圖，回答以下三個問題(9 至 11)。

右圖所示為一玩具汽車突然受一推力沿斜面向上運動，達到最高點後，再沿斜面向下運動，且假設作用在玩具汽車上的摩擦力很小，可忽略不計。



對於描述於問題 9 至 11 玩具汽車所處的情境，請由下列選項(A 至 G)中，選擇一個可以指出在此情境下，作用於玩具汽車上的合力為何？

你可以使用下列選項(A 至 G)超過一次以上，或是一次都沒有，但是每一個問題，只能填入一個選項。如果你認為下列選項都不適合回答問題，請將該題的答案填為 J。

A.沿斜面向下固定的合力	D.合力為零	E.沿斜面向上固定的合力
B.沿斜面向下持續增加的合力		F.沿斜面向上持續增加的合力
C.沿斜面向下持續減小的合力		G.沿斜面向上持續減小的合力

9.玩具汽車遭受推力作用之後，沿斜面向上運動時？

10.玩具汽車在最高點時？

11.玩具汽車沿斜面向下運動時？

請使用下面的說明，回答以下三個問題(12 至 14)。

沿鉛直方向向上投擲一個銅板進入空氣中，銅板脫離手之後，向上運動達到最高點後，再沿鉛直方向向下運動，且假設作用在銅板上的摩擦力很小，可忽略不計。

對於描述於問題 12 至 14 銅板所處的情境，請由下列選項(A 至 G)中，選擇一個可以指出在此情境下，作用於銅板上的合力為何？

你可以使用下列選項(A 至 G)超過一次以上，或是一次都沒有，但是每一個問題，只能填入一個選項。如果你認為下列選項都不適合回答問題，請將該題的答案填為 J。

A.向下固定的力	D.合力為零	E.向上固定的力
B.向下持續增加的力		F.向上持續增加的力
C.向下持續減小的力		G.向上持續減小的力

12.銅板離開手之後，向上運動的期間？

13.銅板在最高點的時刻？

14.銅板向下運動的期間？

請使用下面的說明，回答以下五個問題(15 至 19)。

問題 15 至 19 為一輛轎車與卡車碰撞的問題，對於以下有關碰撞的描述，請由下列可能選項(A 至 J)中，選擇一個最適合描述轎車與卡車間作用力大小的選項？

你可以使用下列選項(A 至 J)超過一次以上，或是一次都沒有，但是每一個問題，只能填入一個選項。

- A.卡車作用於轎車的力在數值上大於轎車作用於卡車的力。
- B.轎車作用於卡車的力在數值上大於卡車作用於轎車的力。
- C.卡車與轎車均不互相施力，轎車被撞毀是因為它擋在卡車前進的路上。
- D.卡車施力於轎車，但轎車並沒有施力於卡車。
- E.卡車施力於轎車的力在數值上等於轎車施力於卡車的力。
- F.資訊不足，無法回答。
- J.上述答案，均無法正確描述碰撞時兩車作用力的關係。

如下圖所示，問題 15 至 17 中，卡車比轎車重很多。



- 15.當卡車和轎車以相同速率相撞，哪一個選項可描述兩者間的作用力？
- 16.當轎車以遠大於卡車的速率和卡車相撞，哪一個選項可描述兩者間的作用力？
- 17.當轎車撞卡車時，較重的卡車靜止不動，哪一個選項可描述兩者間的作用力？

如下圖所示，問題 18 和 19 中的卡車是小型的卡車，且其重量與轎車相等。



- 18.當卡車和轎車以相同速率相撞，哪一個選項可描述兩者間的作用力？
19.當轎車撞卡車時，卡車靜止不動，哪一個選項可描述兩者間的作用力？

請使用下面的說明，回答以下四個問題(20 至 23)。

如下圖所示，問題 20 至 23 中，大卡車在路上拋錨，並由一輛小轎車在後面將其推到城裡修理。請由下列可能選項(A 至 J)中，選擇一個能正確描述問題 20 至 23 所述，轎車與卡車間作用力大小的問題？

你可以使用下列選項(A 至 J)超過一次以上，或是一次都沒有，但是每一個問題，只能填入一個選項。



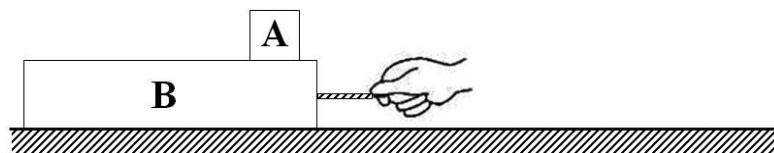
- A. 轎車推卡車的力在數值上等於卡車推回給轎車的力。
B. 轎車推卡車的力在數值上小於卡車推回給轎車的力。
C. 轎車推卡車的力在數值上大於卡車推回給轎車的力。
D. 轎車的引擎在運轉，因此當它推卡車時，會對卡車施力；但卡車的引擎並沒有在運轉，因此不能向後對轎車施力。
E. 卡車與轎車均不互相施力，卡車被推向前只是因為它擋在轎車前進的路上。
J. 上述答案，均不能正確描述碰撞時兩車作用力的關係。
20. 轎車正施力於卡車，但力量不足使卡車移動時？
21. 轎車仍然推動卡車，正加速達到固定最省油速率的過程？
22、23 為 FCI 題目，請上網 <http://modeling.asu.edu/R&E/Research.html> 索取。

附錄二：「力的概念測驗晤談大綱」

1. 這一題你前後測的答案不同，可否說明你前測時對這一題的想法為何？
2. 可否說明你後測時對這一題的想法又為何？
3. 你後測時的想法與前測時不同，什麼因素造成了這樣的改變？是老師上課提到相關的概念，或是學習課本內容，還是利用系統基模或力圖思考，還是其他原因所造成？

附錄三：「力圖描繪測驗」

如圖，B 物體放置在水平光滑的桌面上，再將 A 物體置放在 B 物體上，已知 A 與 B 接觸面間粗糙不光滑。今施一水平向右之力拉動 B 物體，使 A、B 間產生相對滑動，若 B 物體夠長，在 A 物體尚未掉落到水平桌面期間，請分別繪出 A 物體及 B 物體受力的力圖？(請分別繪出所有作用在 A 物體及 B 物體的交互作用力)



Using System Schema to Correct High School Students' Misconceptions of Force and Enhance their Drawing Ability of Force Diagrams

Hsing-Kuo Tsai

National Tou-Liu Senior High School

thk1057@yahoo.com.tw

Abstract

The purpose of this study was to develop the system schema teaching strategy, and to explore the influence of the system schema instruction on correcting the high school students' misconceptions of force and on enhancing the drawing ability of force diagrams. Quasi-experimental method and semi-structured interview were used to collect data. The subjects consisted of two classes of 11th graders. The researcher's class consisting of 48 students was the experimental group that received the system schema instruction. Another teacher's class consisting of 49 students, the control group, received the traditional expository instruction. The conclusions of the study were as follows: (1) The students in the experimental group did better than those in the control group in correcting the misconceptions of force that acts on the direction of movement and is proportional to the velocity; (2) The students in the experimental group did better than those in the control group in drawing the force diagrams correctly; (3) Two groups had the same performance in correcting the misconceptions of the wrong direction of force that acts on the object; (4) The students in the control group did better than those in the experimental group in correcting the misconceptions of action and reaction force that are unequal in magnitude. The results of the study showed that the system schema teaching strategy can improve some students' misconceptions of force. However, it needs to be further revised to enhance its effect.

Keywords: force diagram, system schema, representation, conceptual change

