
使用系統基模協助學生描繪 正確力圖之探討

蔡興國

國立斗六高級中學

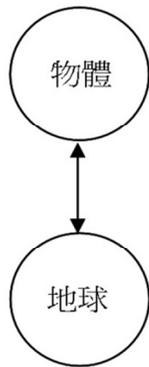
壹、前言

牛頓力學在中學物理課程中，往往是學習物理其他單元的基礎，佔有非常重要的地位。Turner(2003)指出，多數物理教師講解牛頓力學單元時，期望學生們能繪出正確之力圖，以顯現作用在欲分析物體上之所有外力，並據此及牛頓運動定律，列出正確的方程式，故力圖描繪的正確與否，是能否成功解出定量牛頓力學問題的關鍵。然而，Whiteley(1996)的研究卻發現，即使在非常簡單的情境下，中學學生仍因腦中存有許多力的迷思概念，而不能畫出正確之力圖。蔡興國、陳錦章與張惠博(2010)的研究亦發現，學生無法畫出正確力圖，除了可歸因於腦中存有力迷思概念外，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，才能畫出正確之力圖。張慧貞(2007)則指出，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。有鑑於此，本研究旨在介紹何謂系統基模(system schemas)；如何利用系統基模改變學生「力」的迷思概念；如何利用系統基模建立學生「系統」的正確概念；如何利用系統基模畫出正確之力圖。

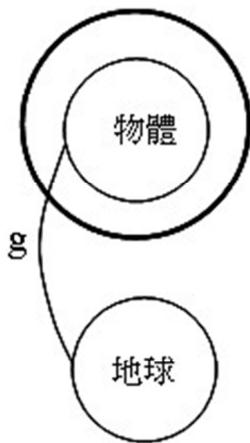
貳、系統基模的發展

Jiménez 與 Perales (2001) 指出，Dumas-Carré在 1987 年提出以物體交互作用圖示 DOI (Diagramme Objets Interactions)，表示物體之間交互作用的情形，希望能改善學生定性分析物理情境的能力，以提昇學生解力學問題的成效。但研究結果顯示，DOI 只對力量出現較複雜的力學問題，才有顯著的成效，且發現多數學生未能正確使用 DOI。儘管 DOI 的成效不如預期，但其仍具有彰顯並易於辨認兩物體間「力」之交互作用情形的優點。Jiménez 與 Perales 並指出學生使用向量符號「→」表徵「力」時，容易出現以下兩個常見的錯誤：其一為將物體的受力視為物體所擁有的特性（擁有力基模）(a possessed-force schema)；另一為混淆物體受力和移動的方向（運動力基模）(a movement-force schema)。為了避免此兩項錯誤的發生，他們參考 DOI，提出較簡單的交互作用符號表徵 SRI (Symbolic Representations of Interactions)，將兩物體間的交互作用以「兩端為箭頭的線」表徵，取代傳統以向量表徵力量的方式，例如圖 1 (a) 為以 SRI 表徵物體的重量。

Hestenes (1995) 鑑於多數學生解題時，無法由具體的物理情境，畫出抽象正確力圖的現象，提出使用系統基模的建議，將兩物體間的交互作用以「線」的方式表徵，且將有興趣部分（系統）的外圍加上粗框線，以區分系統與環境。Hestenes 指出學生解題時，若能於畫出力圖之前，先描繪系統基模，則可有效幫助他們分析系統受外力作用的情形，畫出正確的力圖，提昇解力學問題的成效，例如圖 1 (b) 為以系統基模表徵物體的重量。



(a) 表徵物體重量的 SRI 圖



(b) 表徵物體重量的系統基模

圖 1、物體重量的表徵

綜上所述，系統基模與 SRI 雖很相似，但仍具有以下兩點差異：其一為系統基模以「線」表徵兩物體間的交互作用，而 SRI 則是以「兩端為箭頭的線」表徵；另一為系統基模將有興趣部分（系統）的外圍加上粗框線，而 SRI 則無。故 Hestenes(1995) 所提出的系統基模較偏重幫助學生畫出正確的力圖，而 Jiménez 與 Perales (2001) 所提出的 SRI 則較偏重幫助學生建立力是一種交互作用的正確概念。因本文的主旨在探討如何協助學生畫出正確的力圖，且力圖的描繪必須先選定系統，但 SRI 並無加粗框線於選定的系統，無法幫助學生建立系統概念；及 SRI 以「兩端為箭頭的線」表徵兩物體的交互作用，雖可幫助學生建立力是一種交互作用的概念，但也易使學生誤以為箭頭所指的方向，即為兩物體受力的方向，所以本文選取較能幫助學生畫出正確力圖的系統基模，進行深入的探討。

參、系統基模的組成

系統基模是由物體、粗框線、交互作用線、系統、環境五者所組成，它們相互之間的關係，如圖 2 所示。圖中 O_1 至 O_7 為系統基模上的物體，而粗框線則將系統基模區分為系統與環境兩部份。

系統基模上每一條交互作用線必連接於兩物體，表徵此兩物體間有一對大小相等且方向相反的交互作用力，也就是每一個作用在物體的作用力，必有另一個大小相等且方向相反的反作用力作用在另一

個物體上。若交互作用線連接的兩物體不需接觸即有力量作用，表示此兩物體間的交互作用力為超距力，例如重力、靜電力及磁力等。若交互作用線連接的兩物體需互相接觸才有力量作用，表示此兩物體間的交互作用力為接觸力，例如張力、正向力及摩擦力等。

系統基模上粗框線內的區域稱為系統，指所觀察或所感興趣的範圍，由物體及交互作用線所構成。系統內之兩物體間，若連有交互作用線，如圖 2 中之 O_1 、 O_2 、 O_3 間連有交互作用線，表徵系統內之物體間的交互作用，代表此系統的內力。

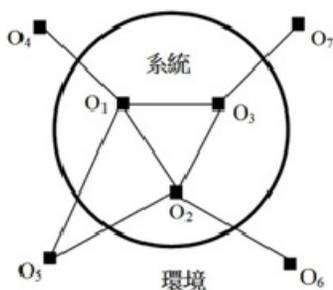


圖 2、系統基模的組成元素

系統基模上粗框線外的區域則稱為環境，指系統外的區域，亦由物體及交互作用線所構成。環境中之物體與系統內之物體間若連有交互作用線，則必穿過粗框線，如圖 2 中之 O_4 穿過粗框線連接 O_1 ； O_5 穿過粗框線連接 O_1 與 O_2 ； O_6 穿過粗框線連接 O_2 ； O_7 穿過粗框線連接 O_3 等，表徵環境中之物體可透過交互作用影響系統內之物體，代表環境對系統施加的外力。此外，實際運用上，我們會忽略環境中之

物體間的交互作用。例如，在牛頓力學我們只考慮環境中之物體作用於系統內之物體的外力。

肆、系統基模的描繪

以圖 3 之 A 物置於地面，而 B 物疊放於 A 物的情境圖為例，說明如何描繪系統基模。

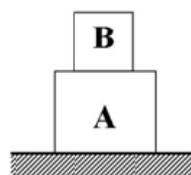


圖 3、B 物體疊放於 A 物體上之情境圖

一、選定系統並分離物體

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。例如若選取 A 物體為系統，則必須將與 A 物體接觸的 B 物體及地面，先與 A 物體分離，再加上超距力的作用者——地球，在系統基模上的相對位置，改以圓圈表徵物體，並在圓圈內標記文字，為物體命名，如圖 4 (a) 所示。

二、系統外圍加上粗框線

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。例如若選取圖 3 之 A 物體為系統，

則在 A 物體的外圍加上粗框線,如圖 4(b)所示。

三、連接交互作用線

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。若兩者間之交互作用力為重力,以「g」代表;正向力以「N」代表;摩擦力以「f」代表;繩子或彈簧的張力以「T」代表。

欲表徵兩物體間之交互作用力,可先考慮超距力。例如圖 3 之 A 物與地球有重力作用,故於圖 4(b)代表 A 物與地球的圓圈連接交互作用線,並於線旁標記符號「g」,表徵地球會施加重力於 A 物,同時 A 物亦會施加大小相等且方向相反的重力於地球,如圖 4(c)所示。考慮完所有的

超距力後,接下來再考慮接觸力,若兩物體相互接觸,則亦以一條交互作用線連接代表此兩物體的兩個圓圈,表徵兩者間有接觸力作用。例如圖 3 之 A 物與 B 物及地面均有接觸,有正向力作用,故於圖 4(b)代表 A 物與 B 物及 A 物與地面的圓圈連接交互作用線,並於線旁標記符號「N」,表徵 A 物會施加正向力於 B 物及地面,同時 B 物及地面亦會施加大小相等且方向相反的正向力於 A 物,如圖 4(c)。

注意地球作用於 A 物之力與地面作用於 A 物之力不同,且兩者不為作用力與反作用力關係,因為地球作用於 A 物的重力為超距力,然而地面作用於 A 物的正向力為接觸力,所以若我們將 A 物舉起脫離地面,則地面作用於 A 物的接觸力會立即消失,但地球作用於 A 物的重力仍然存在。

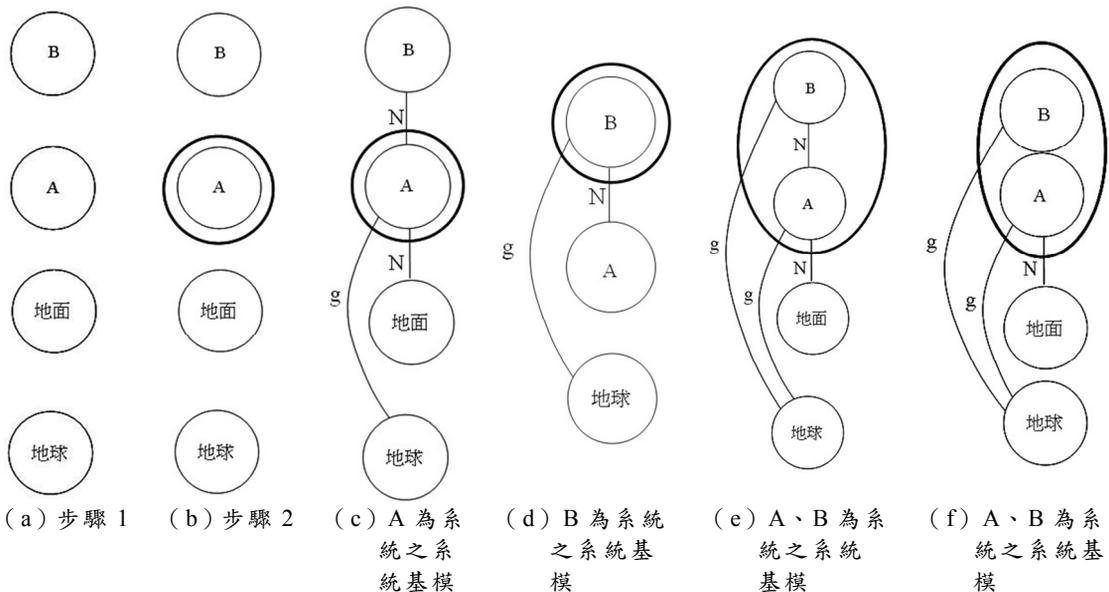


圖 4：系統基模之描繪

系統是我們所想要觀察的範圍，因此可任意選取大小。例如我們除了可選取圖 3 之 A 物為系統外，亦可選取 B 物為系統，由於 B 物與地球有重力作用，與 A 物有正向力作用，故可畫出圖 4 (d) 以 B 物為系統之系統基模，但由於地面與 B 物並無交互作用，故以 B 物為系統之系統基模，並不用畫出表徵地面的圓圈。又如我們亦可選取 A、B 兩物為系統，描繪此系統基模時，系統內代表 A、B 兩物的圓圈可分開，亦可不分開；且由於 A、B 兩物均與地球有重力作用，及 A 物與地面有正向力作用，故可畫出圖 4 (e) 或 4 (f) 之系統基模。

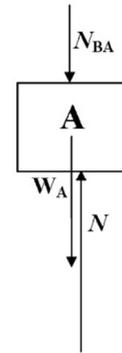
綜合上述描繪系統基模的討論，我們可知系統基模以粗框線區分系統與環境，而利用由環境穿過粗框線進入系統的交互作用線，表徵環境對系統所施加的外力。

伍、系統基模與力圖的關係

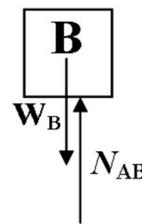
力圖則僅表徵系統的受力情形，只需畫出系統所受的外力，與系統基模同時表徵環境與系統交互作用的情形不同。而系統基模與力圖的關係則為系統基模之每一條由環境穿過粗框線進入系統的交互作用線，表徵環境對系統所施加的一個外力，可幫助學生確認作用於系統之外力的數目，正確畫出表徵系統受外力作用的力圖。

若以圖 4 (c) 選取 A 物為系統的系統基模為例，有三條交互作用線穿過粗框線，表示系統受到三個外力作用，分別是 B 物作用於 A 物的正向力 N_{BA} 、地球作用於 A 物的重力 W_A 及地面作用於 A 物的正

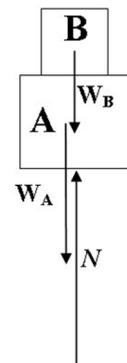
向力 N ，故可據以畫出圖 5 (a) 選取 A 物為系統的力圖，顯示這三個外力的作用。



(a) A 為系統之力圖



(b) B 為系統之力圖



(c) A、B 為系統之力圖

圖 5、力圖之描繪

若以圖 4 (d) 選取 B 物為系統的系統基模為例，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 B 物的重力 W_B 及 A 物作用於 B 物的正向力 N_{AB} ，故可據以畫出圖 5 (b) 選取 B 物為系統的力圖，顯示這兩個外力的作用。

若以圖 4 (e) 或 4 (f) 選取 A、B 兩物為系統的系統基模為例，有三條交互作用線穿過粗框線，表示系統受到三個外力作用，分別是地球作用於 B 物的重力 W_B 、地球作用於 A 物的重力 W_A 及地面作用於 A 物的正向力 N ，故可據以畫出圖 5 (c) 選取 A、B 兩物為系統的力圖，顯示這三個外力的作用。

綜合上述系統基模與力圖之關係的討論，我們可以發現藉由描繪系統基模，除了能強迫學生選取系統外，亦能幫助學生正確分析系統受外力作用的情形，計算系統受外力作用的數目，據以繪出正確的力圖。

陸、描繪系統基模的理由

一、系統基模可彰顯力是一種交互作用的正確概念

Savinainen, Scott 與 Viiri (2005) 指出，牛頓第三運動定律的真正意涵為「力是一種交互作用，且必成對產生」。但一般物理教科書，主要以文字表徵牛頓第三運動定律，致使學生對牛頓第三運動定律的理解，通常只停留在背誦階段，誤認為牛頓第三運動定律非常簡單，只是描述作用力與反作用力的關係而已，以致忽略其重要性。

系統基模則改採交互作用線表徵牛頓第三運動定律，例如圖 4 (c)，以交互作用線連接 A 物與地球，表徵 A 物與地球間有作用力與反作用力作用。因交互作用線兩端必連接兩產生交互作用的物體，任何一端必不會空無一物，代表「力」必成對產生，不會單獨存在，因此可彰顯「力是一種交互作用」的正確概念。

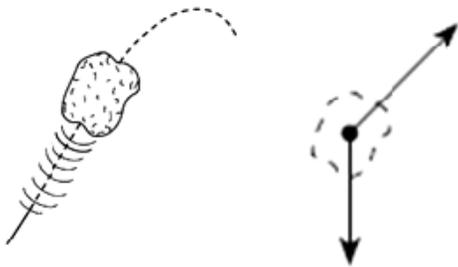
二、系統基模可減少力的迷思概念

蔡興國、陳錦章與張惠博 (2010) 的研究指出，與描繪力圖有關之力的迷思概念，有「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，此處我們將從比較力圖與系統基模表徵物體受力方式的不同，探討系統基模如何減少上述這些力的迷思概念。

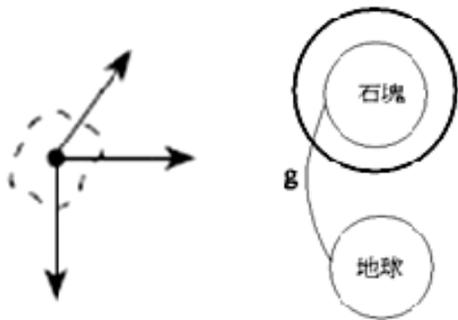
(一) 減少多餘力的迷思概念

Whiteley (1996) 請學生畫出如圖 6 (a) 之情境，石塊在斜向拋射上升過程中的力圖，發現 67% 的學生畫出類似如圖 6 (b) 或 (c) 表示石塊在運動方向上有「力」作用的力圖，可知描繪力圖的過程，僅能協助教師發現學生對物體受力的想法，無法減少多餘力的迷思概念。但描繪系統基模的過程則不然，例如圖 6 (a) 之石塊在斜向拋射上升過程中並未與任何物體接觸，故無接觸力，僅與地球間有超距力作用，所以可得到圖 6 (d) 之系統基模，圖中僅有一條交互作用

線穿過粗框線進入系統，代表只有一個外力作用於系統，若表為力圖，則僅有一向下重力的作用，故運動方向並無力量作用。因此，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，減少多餘力的迷思概念。



(a)斜拋之情境圖 (b)斜拋之迷思力圖



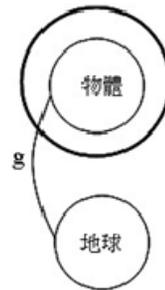
(c)斜拋之迷思力圖 (d)斜拋之系統基模

圖 6、石塊斜向拋射上升過程之情境圖與迷思力圖（引自 Whiteley, 1996）及系統基模

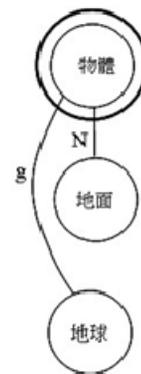
(二) 減少忽略力的迷思概念

Galili 與 Bar (1992) 發現學生認為物體於鉛直上拋運動中之最高點處不受力。若將此迷思概念表為力圖，

將少一重力。由於物體於鉛直上拋運動中之最高點，並未與任何物體接觸，故無接觸力，而僅與地球間有超距力作用，所以可得到圖 7 (a) 之系統基模，圖中有一條交互作用線穿過粗框線進入系統，代表有一個外力作用於系統。若表為力圖，則有一向下重力的作用，故物體於鉛直上拋運動中之最高點處，仍受重力作用。因此描繪系統基模，能使學生易於瞭解物體在鉛直上拋運動之最高點，與地球間的超距力並未隨物體速度為零而消失。



(a) 物體在拋體運動最高點之系統基模



(b) 物體靜止於地面之系統基模

圖 7、物體在拋體運動的最高點及靜止於地面時的系統基模

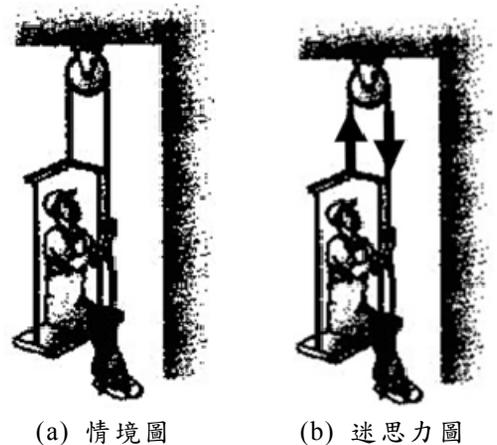
Thijs (1992) 則發現學生認為靜止於地面的物體只受到重力的作用。若將此迷思概念表為力圖，將少一正向力。由於物體靜止於地面，除了與地球間有超距力作用外，尚與地面接觸，有接觸力作用，故可得到圖 7(b) 之系統基模，有兩條交互作用線穿過粗框線進入系統，代表有兩個外力作用於系統。若表為力圖，則有重力及正向力兩個外力作用，故靜止於地面的物體應受重力及正向力的作用。

綜言之，描繪系統基模，可幫助學生有系統地分析系統受外力作用的情形，減少忽略力的迷思概念。

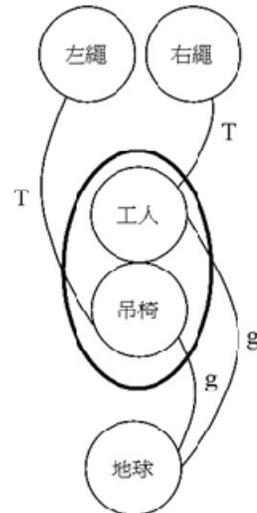
(三) 減少力之方向錯誤的迷思概念

Thijs (1992) 指出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) 亦發現學生所繪力圖之力的方向錯誤，主要來自於錯誤判斷張力與摩擦力的方向。例如張慧貞請學生畫出如圖 8(a) 工人坐在吊椅拉繩之情境，以工人和吊椅為系統之力圖，發現近半數學生認為工人之手所受之繩張力的方向向下，畫出如圖 8(b) 的力圖，顯示學生所畫為工人施力於繩的方向，而非此系統受繩張力的方向，故描繪力圖的過程，並無法幫助學生判斷系統受力的方向。但若將圖 8(a) 之情境，表徵成以工人和吊椅為系統之系統基模，因系統所受的外力為地球對工人與吊

椅之重力作用，及左繩對吊椅與右繩對工人之張力作用，可得到如圖 8(c) 之系統基模，得知工人施向下之力於右繩，故右繩施向上之力於工人，並非如圖 8(b) 所示之力圖。因此系統基模能使學生易於判斷環境中之物體作用於系統內之物體的力量方向，減少力之方向錯誤的迷思概念。



(a) 情境圖 (b) 迷思力圖

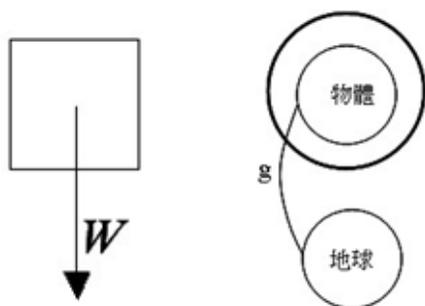


(c) 系統基模

圖 8、工人坐在吊椅拉繩之情境圖與迷思力圖 (引自張慧貞, 2007) 及系統基模

(四) 減少「力是物體所擁有特性」的迷思概念

Jiménez 與 Perales (2001) 指出當學生使用向量符號表徵「力」時，容易出現「擁有力」的迷思概念。我們可比較力圖及系統基模表徵物體重量的不同，探討系統基模如何減少「擁有力」的迷思概念。力圖以一作用點在物體重心的向量，表徵物體的重量，如圖 9 (a) 所示，其缺點為易使學生誤以為重量是物體所擁有的特性。然而，系統基模則以一條交互作用線連接物體與地球所代表的圓圈，表徵地球施一重力於物體，則物體必定也施一重力於地球，如圖 9 (b) 所示，其優點為易使學生瞭解，物體的重量與物體及地球兩者皆有關係，非物體單獨擁有；且因表徵物體重量之交互作用線，連接於表徵物體與地球的圓圈外，故亦能避免學生產生「擁有力」的迷思概念。



(a) 物體重量的力圖 (b) 物體重量的系統基模

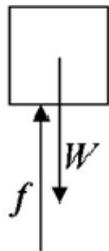
圖 9、物體重量的力圖與系統基模

(五) 減少牛頓第三運動定律的迷思概念

Terry 與 Jones (1986) 發現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。但物體在空氣中下落所受之重力及空氣阻力，均作用於物體，其力圖如圖 10 (a) 所示，顯示學生認為作用力與反作用力可作用於相同的物體，明顯與牛頓第三運動定律不符。因此學生無法藉由描繪力圖的過程，建立作用力與反作用力作用於不同物體的概念。然而，系統基模以一條交互作用線，連接兩產生交互作用的物體，表徵作用力與反作用力作用於同一條交互作用線兩端之不同物體。例如將物體在空氣中自由下落的情境表徵為系統基模，如圖 10 (b) 所示，包括兩條交互作用線：一條連接物體與地球，表徵兩者間有重力作用，顯示地球吸引物體之重力的反作用力是物體吸引地球之力；另一條連接物體與空氣，表徵兩者間有摩擦力作用，顯示空氣作用於物體之空氣阻力的反作用力是物體作用於空氣之力。因作用於物體之空氣阻力與重力並非連接於同一條交互作用線的兩端，故可明顯看出它們並非互為作用力與反作用力關係。

Oliva (1999) 的研究則發現，學生存有兩物體發生碰撞時，質量較大或是運動較快的物體，會施予較大作用力的迷思概念。若將兩車碰撞的情

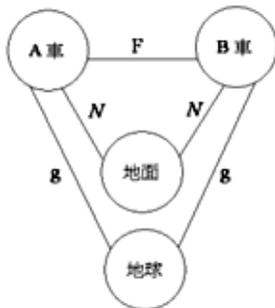
境表徵為系統基模，因兩車均受地球之重力、地面之正向力及碰撞之力的作用，可得到如圖 10 (C) 之系統基模。由於系統基模以一條交互作用線連接代表兩車的圓圈，表徵兩車碰撞之力為作用力與反作用力關係，可使學生易於了解，此交互作用線連接的兩車，不論質量大小或速度快慢，碰撞之力的作用大小必相等。



(a) 物體受空氣阻力之力圖



(b) 物體受空氣阻力之系統基模



(c) 兩車碰撞之系統基模

圖 10、物體在空氣中自由下落之力圖與系統基模及兩車碰撞之系統基模

因此使用系統基模，不但可幫助學生確認哪些力互為作用力與反作用力，亦可破除兩物碰撞時，質量較大或是運動較快的物體，會施予較大作用力的迷思，減少牛頓第三運動定律的迷思概念。

三、系統基模可加強系統概念並正確分辨內力與外力

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畫出正確力圖，不全然起因於力的迷思概念，有時亦與未建立正確的系統概念，不清楚力圖與選取的系統有關。例如學生未必知道描繪如圖 5 (c) 之力圖時，需選取 A、B 兩物為系統，所以描繪力圖的過程，並無法加強學生的系統概念。然而，描繪系統基模的過程則不同，必須如圖 4(c)、(d)(e) 或(f)，在所選取系統的外圍加上粗框線，所以描繪系統基模能強迫學生選取系統，加強學生的系統概念。

蔡興國、陳錦章與張惠博（2010）的研究亦發現，學生畫力圖的缺點之一為無法正確分辨作用於所選取系統之力是內力或外力。然而，Turner（2003）即已指出，系統基模以一具體可見的表徵，使學生易於區別內力與外力。此處，我們以系統基模表徵交互作用力的方式，探討其如何幫助學生正確分辨內力與外力。系統基模以連接於粗框線內之物體間，沒有穿過粗框線的交互作用線，表徵作用於系統內物體間的內力；而以連接於粗框線外與內之物體間，穿過粗框線的交互作用線，表徵環

境作用於系統的外力。例如圖 4 (e) 是以 A、B 兩物為系統之系統基模，圖中連接 A、B 兩物間之交互作用線，並沒有穿過粗框線，故此交互作用線所對應之 A、B 兩物間的正向力，為此系統之內力；而圖 4 (e) 連接地面與 A 物、連接地球與 A 物及連接地球與 B 物之交互作用線，均穿過粗框線，故這三條交互作用線所對應之地面施予 A 物的正向力、地球施予 A 物的重力及地球施予 B 物的重力，為此系統之外力。因此，學生可藉由系統基模上之交互作用線是否穿過粗框線，正確區別出作用於系統之內力與外力。

四、系統基模可加強定性分析力學問題能力

圖 5 之力圖是以數學向量符號表徵「力」，此時向量的長度表徵力的大小，向量箭號的方向表徵力的方向。故力圖雖被歸類為定性表徵，但因描繪力圖時，必須同時注意定量之力的大小及方向，學生仍不易繪出正確的力圖。然而，系統基模則為較簡單的圖形表徵，描繪時著重於區分系統與環境，及連接交互作用線以釐清環境與系統交互作用的關係，並不需於圖形上表徵力的大小及方向，將更有助於定性分析問題，且降低繪圖上的困難。例如學生描繪圖 4 之系統基模時，完全不需注意定量之力的大小及力的方向，故能將心力投注在連接交互作用線於發生交互作用之兩物體的步驟。因此與描繪力圖相較，描繪系統基模之困難度較低，且更能營造有如物理專家解題時，先對問題作

定性分析的情境，加強學生定性分析力學問題的能力。

五、系統基模有助於正確判斷力的來源

張慧貞 (2007) 的研究指出，許多學生沒有「力必定有施力者」的概念，因此常將「運動」視為一種力。例如圖 6 (b) 及 (c) 之力圖，顯示學生認為石塊在運動方向上有「力」的作用，但未深思此「慣性力」的施力者為何？然而，系統基模之交互作用線的兩端，必連接表徵兩個物體的圓圈，交互作用線之任何一端必不會空無一物，因此學生可藉由觀察連接於某物體之交互作用線的另一端，追溯施力於某物體之力的來源。例如圖 6 (d) 為圖 6 (a) 情境之系統基模，圖中僅有一條交互作用線連接於石塊，此交互作用線的另一端為地球，表徵此交互作用線所對應之交互作用力的施力者為地球，代表石塊在斜向拋射過程中，僅受地球向下的重力作用，運動方向因無施力者，所以並無力量作用。故系統基模有助於正確判斷力的來源，強化「力必有施力者」的正確概念。

六、系統基模有助於正確分析系統受力複雜的情境

Turner (2003) 的研究發現，學生使用系統基模，有助於分析系統受力複雜的情境，解出正確的答案。以圖 11 (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。以下我們將分別以選

取 B 物與選取 A 物為系統的系統基模，分析 B 物與 A 物受外力作用的情形。

若選取 B 物為系統，則其系統基模如圖 11 (b) 所示。因 B 物與地球有超距力作用，故連接一條註記為「g」的交互作用線，表徵 B 物與地球間有重力作用。B 物並與表面光滑之 A 物接觸，故連接一條註記為「N」的交互作用線，表徵 B、A 兩物間有正向力作用。B 物亦與表面光滑之右器壁接觸，故連接一條註記為「N」的交互作用線，表徵 B 與右器壁間有正向力作用。

若選取 A 物為系統，則其系統基模如圖 11 (c) 所示。因 A 物與地球有超距力作用，故連接一條註記為「g」的交互作用線，表徵 A 物與地球間有重力作用。A 物並與表面光滑之 B 物接觸，故連接一條註記為「N」的交互作用線，表徵 A、B 兩物間有正向力作用。A 物亦與表面光滑之左器壁接觸，故連接一條註記為「N」的交互作用線，表徵 A 與左器壁間有正向力

作用。又因 A 物與表面光滑之下器壁接觸，故連接一條註記為「N」的交互作用線，表徵 A 與下器壁間有正向力作用。

因此，若無系統基模，學生將很難完整考慮 B 物與 A 物受外力作用的情形，故系統基模有助於正確分析系統受力複雜的情境。

七、系統基模有助於正確計算外力的數目

張慧貞 (2007) 及蔡興國、陳錦章與張惠博 (2010) 的研究均指出，許多學生不清楚物體受哪些力作用，故無法正確計算外力的數目。而系統基模以一條交互作用線表徵一對作用力與反作用力，因此一旦系統選定之後，只要計算由環境穿過粗框線進入系統之交互作用線的數目，即可確認系統受外力作用的數目。例如圖 11(b) 以 B 物為系統之系統基模，有三條交互作用線由環境穿過粗框線進入系統，表徵有

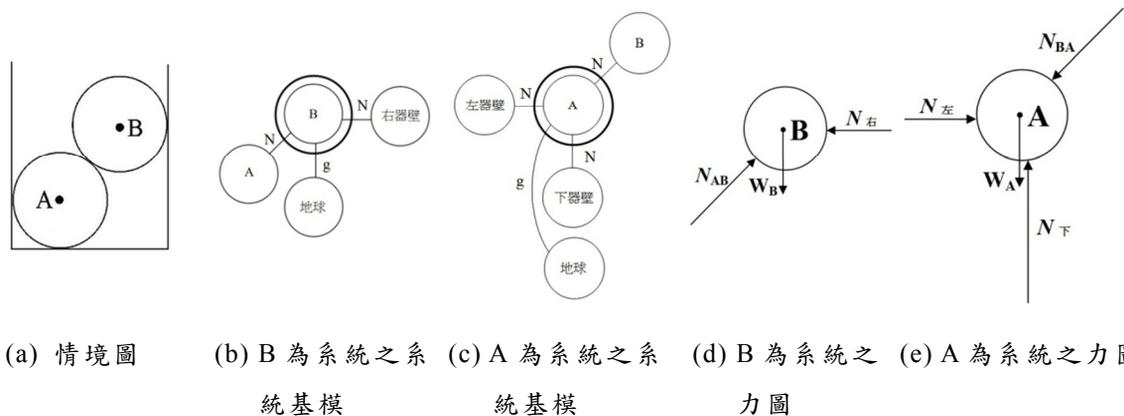


圖 11、A、B 兩球球面光滑，靜置於一光滑箱內之情境圖、系統基模及力圖

三個外力作用於 B 物，其中一個是地球施予 B 物的作用力，一個是 A 物施予 B 物的作用力，一個是右器壁施予 B 物的作用力。而圖 11 (c) 則是以 A 物為系統的系統基模，有四條交互作用線由環境穿過粗框線進入系統，表徵有四個外力作用於 A 物，其中一個是地球施予 A 物的作用力，一個是 B 物施予 A 物的作用力，一個是左器壁施予 A 物的作用力，一個是下器壁施予 A 物的作用力。因此若無系統基模，學生將很難正確計算作用於 B 物或 A 物之外力的數目。故系統基模能幫助學生正確計算作用於系統之外力的數目，增強學生解題的信心。

八、系統基模可加強情境圖與力圖間的連結

張慧貞 (2007) 及蔡興國、陳錦章與張惠博 (2010) 的研究均發現，多數學生未能畫出正確的力圖，表示具體之情境圖與抽象之力圖間的鴻溝太大，學生往往無法直接由情境圖畫出正確的力圖。然而，Turner (2003) 即已指出，若在情境圖與力圖間，加上系統基模，則可加強情境圖與力圖間的連結，幫助學生畫出正確的力圖。例如學生很難直接由圖 11 (a) 之情境，畫出圖 11 (d) 以 B 物為系統或圖 11 (e) 以 A 物為系統的力圖。但若利用圖 11 (b) 以 B 物為系統的系統基模，分析 B 物受到三個外力作用，則可較容易畫出圖 11 (d) 以 B 物為系統之力圖。而若利用圖 11 (c) 以 A 物為系統的系統基模，分

析 A 物受到四個外力作用，亦可較容易畫出圖 11 (e) 以 A 物為系統之力圖。因此系統基模可視為情境圖抽象化的第一步，使建立力圖成為一種可分析而非記憶或猜測的過程。故系統基模可加強情境圖與力圖間的連結，使學生能由情境圖開始，藉由系統基模的分析，描繪出正確的力圖。

柒、結語與建議

一、結語

本文首先從探討系統基模的發展及組成著手；其次，以實例介紹系統基模的描繪及其與力圖的關係；最後，說明系統基模的八種功能—彰顯力是一種交互作用的正確概念、減少力的迷思概念、加強系統概念並正確分辨內力與外力、加強定性分析力學問題能力、正確判斷力的來源、正確分析系統受力複雜的情境、正確計算外力的數目、加強情境圖與力圖間的連結，闡述需要描繪系統基模的理由。

綜合本文先前對系統基模的介紹，可知學生畫力圖前，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，有助於畫出正確的力圖。

二、建議

本研究受限於文章篇幅，並無深入探討系統基模的教學策略，亦缺乏評估系統基模教學成效的實徵性資料。故後續研究宜以本研究所提供系統基模的介紹為基礎，發展系統基模的教學策略，並藉由實徵性的研究，評估此系統基模教學策略的效益。

參考文獻

- 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。
- 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。
- 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.
- 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.
- 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.
- Turner, L. (2003). System schemas. *The Physics Teacher*, 41(7), 404-408.
- Whiteley, P. (1996). Using free body diagrams as a diagnostic instrument. *Physics Education*, 31(5), 309-313.