

使用新系統基模改進舊系統基模在分析系統 受力作用缺點之探討

蔡興國

國立斗六高級中學

摘 要

高中學生學習力學單元時，能否畫出正確力圖最為關鍵。但學生因存有許多力的迷思概念，而不能畫出正確的力圖。而學生描繪力圖前，若先描繪系統基模，將有助於學生畫出正確力圖。本研究旨在探討舊的系統基模的缺點及其發生的可能原因；此外，根據舊系統基模的缺點，發展新的系統基模表徵，並介紹新系統基模表徵的描繪方法，及論述新系統基模為何能改進舊系統基模的缺點。

關鍵字：力圖、系統基模、表徵

壹、前言

蔡興國、陳錦章、張惠博（2010）指出，高中物理以力學最為關鍵，因為物理其他單元的學習，常需直接或間接利用力學原理，因此非常重要。但 Fisher（1999）指出，學生在解力學問題時，經常有很大的困難寫下正確的牛頓第二運動定律方程式，究其原因為處理這類力學問題時，必須先利用力圖分析所有相關的力，因此力圖影響力學的學習甚巨。然而，Whiteley（1996）的研究指出，即使在非常簡單的情境下，學生仍因存有許多力的迷思概念，而不能畫出正確的力圖。

許多研究（蔡興國，2011a，2011b；蔡興國、張惠博、陳錦章，2014；蔡興國、陳錦章、張惠博，2017；Hestenes, 1995; Turner, 2003）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選取之系統的所有外力，以利於畫出正確的力圖。這些研究多在探究以下幾個面向：系統基模描繪的方法和其功能、學生接受系統基模教學後，在力的概念上和描繪力圖能力上的表現、系統基模可能需要改進的缺點等，但未深入探討這些缺點發生的可能原因，及改進這些缺點的方法。

貳、系統的相關研究

系統的概念常出現在物理的不同單元，舉凡力圖的描繪及牛頓第二運動定律、動量守恆定律、力學能守恆定律與能量守恆定律的使用等，都必須清楚界定系統的範圍，因此瞭解系統的意義對物理的學習至為重要。

Wilson 和 Buffa（2000）指出，系統定義為由一個真實存在或假想的界面包圍的有限量物質所組成。Halloun（1996）則指出，系統是指有興趣研究對象的集合，包含一個物體或多個彼此之間交互作用的物體，系統外的部分則稱為環境，系統內各物體之間可交互作用，系統外的物體亦可和系統內的物體產生交互作用。Giancoli（2000）亦指出，系統是指所考慮的對象，可能是一個物體，或是一群物體，系統之外的部份則稱為環境。

金尚年（1989）指出，系統與環境的劃分是相對的，質點系統內部各質點間的相互作用力稱為內力，環境對質點系統內各質點的作用力稱為外力，分清系統與環境、內力和外力，對於討論質點系統的問題，有著極為重要的意義。邱韻如（2006a）的研究指出，力會不會被畫在力圖上，端看所考慮的「受力者」（即「系統」）是什麼，也就是畫力圖必須先確定所選取的系統為何，才能區別內力和外力，而只需將外力標示在力圖上，所以描繪力圖與系統選取密切相關。

Halliday、Resnick 和 Walker（2001）則將系統定義為兩個或兩個以上物體所形成的集合；任何由系統外物體作用於系統內物體之力，稱為外力；系統內物體彼此間的交互作用

力，稱為內力；作用於系統所有外力的向量和，稱為作用於系統的淨力（net force）。Halliday 等人並指出，必須先確定所選取的系統，才能正確使用牛頓第二運動定律，而牛頓第二運動定律 $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$ ，表示物體所受的淨力等於物體的質量與其加速度的乘積，雖然是一個簡單的方程式，但卻必須謹慎的使用它。首先，必須確定此定律是應用在哪一個物體上；其次， $\vec{F}_{net}$ 乃是指作用於該物體之所有力的向量和，只有作用於該物體上的力，才能算在向量和中，並不包括作用在其他物體上的力。再者，牛頓第二運動定律 $\vec{F}_{net} = m\vec{a}$ 亦適用多質點所組成的系統，僅需要作如下的修正：將 $\vec{F}_{net}$ 修正為作用於系統之所有外力的向量和， m 修正為系統的質量， $\vec{a}$ 修正為系統的加速度。因此可以知道，使用牛頓第二運動定律時，必須先確定是應用在哪一個物體上，即必須先確定是以哪一個物體為系統，且牛頓第二運動定律亦可適用於多質點系統，故必須先確定系統的範圍，才能正確的使用牛頓第二運動定律。

綜合上述的研究可知，系統為所欲研究的對象，是從相互作用的物體中畫分出來所欲探究的部分，在描述物理現象或使用物理定律時，必須指明所選取的系統為何，若對「系統」本身就有迷思概念，將會嚴重影響力學的學習。

參、描繪力圖出現錯誤的相關研究

國內外有關描繪力圖出現錯誤的研究，並不多見。這些數量有限的研究發現，描繪力圖出現的錯誤，主要在學生存有力的迷思概念，及未建立正確的系統概念。

Turner（2003）指出，多數物理教師講解牛頓力學單元時，期望學生們能畫出正確的力圖，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。但是 Whiteley（1996）的研究卻發現，即使在非常簡單的情境下，如物體在斜向拋射最高點或作等速度運動時，學生仍因存有許多力的迷思概念，而不能畫出正確的力圖。

邱韻如（2006b）的研究指出，雖然學生對於「牛頓第三運動定律」，作用力與反作用力大小相等、方向相反、且作用在不同物體上，都能背得琅琅上口，但請學生畫出蘋果從樹上掉落過程中所受的力，並指出其反作用力時，發現大約有 41% 的大一新生誤以為蘋果所受重力的反作用力，是同時作用在其上的空氣阻力，且有些學生還很明顯的將二個力的長短畫得不一樣，完全忘了空氣阻力和重力是作用在相同物體上，不符合作用力與反作用力必須滿足大小相等且作用在不同物體的要求。而能正確畫出重力及空氣阻力，並能同時正確指出重力的反作用力及空氣阻力的反作用力的學生只有約 23%。又如請學生畫出靜置在桌上蘋果所受的力，並指出其反作用力，發現有高達 52% 的大一新生誤以為蘋果所受重力的反作用力，是同時作用在其上的正向力。而能正確畫出重力及正向力，並能同時

正確指出重力的反作用力及正向力的反作用力的學生只有約 16%。若將上述兩題一起統計，可以發現在第一題中認為重力的反作用力是空氣阻力，且在第二題認為重力的反作用力是正向力的學生高達 32%，而二題都能正確指出反作用力的學生則只有 8%。

張慧貞（2007）先畫出力圖，再求解定量問題的研究，發現只有少數學生能畫出正確的力圖，但一旦能畫出正確力圖，則能解出正確答案的比例非常高。學生無法畫出正確力圖的原因是未能選定合適的系統及有力的迷思概念，而與力圖描繪有關之力的迷思概念有多餘的力、忽略的力及力的大小與方向錯誤等。

蔡興國等人（2010）藉由學生在計算過程所描繪之力圖，探究力圖和列式關係的研究，發現僅有 6.7% 的學生能在解題歷程中，畫出正確的力圖，顯示多數學生未能畫出正確的力圖，究其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。

綜合上述的研究可知，學生描繪力圖解題時，必須先選定系統，再判斷系統遭受哪些外力作用，才能描繪出正確的力圖。故學生能畫出正確的力圖，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。然而，目前國內多數高中採用的物理教科書（王名儒等人，2021；林秀豪等人，2022；姚衍等人，2021；傅祖怡等人，2022），雖然在書中均曾多次提及「系統」兩字，但均缺乏對系統作清楚的定義及介紹，亦缺乏比較同一情境下，若選取的系統不同，力圖究竟會有哪些差異，故學生無法體會系統對物理學習的重要性，亦無法理解力圖的描繪與系統選取密切相關。

肆、系統基模的相關研究

張慧貞（2007）及蔡興國等人（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。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，建議教師在教學生描繪力圖前，應該先教學生描繪系統基模，幫助學生找出作用於選取之系統的所有外力，以利於畫出正確的力圖。

Halloun (1996) 指出，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 1 所示。圖中 O1 至 O7 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的作用，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的作用，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研究的範圍，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 1 中之 O1、O2、O3 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。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 1 中之 O4 穿過粗框線連接 O1；O5 穿過粗框線連接 O1 與 O2；O6 穿過粗框線連接 O2；O7 穿過粗框線連接 O3 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，會忽略環境中之物體間的交互作用。例如，在牛頓力學只考慮環境中之物體作用於系統內之物體的外力。

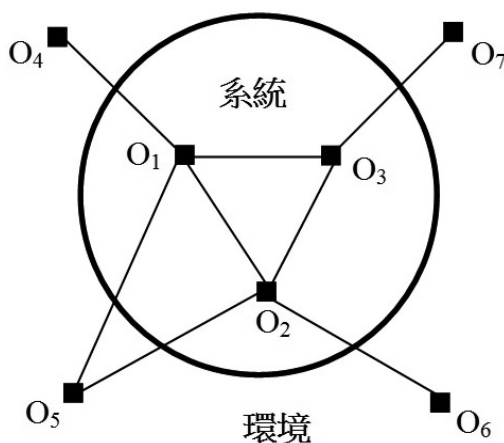


圖 1：系統基模的組成元素

蔡興國 (2012) 指出，教學生學習系統基模表徵的目的是在較具體的情境圖，與較抽象的力圖之鴻溝間，搭起系統基模的鷹架，使學生能由情境圖，藉由系統基模的幫助，畫出正確的力圖，故一旦學生能順利由情境圖畫出正確力圖，則可拆除系統基模的鷹架，節省解題的時間。因此，系統基模主要是當作一個過渡的表徵，目的是透過它，較容易畫出正確的力圖表徵，故一旦學生能直接畫出正確力圖，即可省略描繪系統基模表徵的步驟。

Turner (2003) 的研究則顯示，學生在描繪力圖前，先描繪系統基模，有助於其建立正確的「系統」概念，並改變「力」的迷思概念，而較能畫出正確之力圖。鑒於國內尚無介紹系統基模的文章，蔡興國 (2011a) 的研究，在探討系統基模的發展、組成、描繪及其與力圖的關係，並從理論上探討系統基模有助於學生學習力學的原因如下：系統基模可彰顯力是一種交互作用的正確概念、可減少力的迷思概念、可加強系統概念並正確分辨內力與外力、可加強定性分析力學問題能力、有助於正確判斷力的來源、有助於正確分析系統受力複雜的情境、有助於正確計算外力的數目及可加強情境圖與力圖間的連結。

上述的研究主要在介紹系統基模的描繪方法、理論上分析系統基模具有改變學生之力的迷思概念及增進學生描繪力圖的能力等面向，缺乏具體的教學策略及實徵性資料的驗證。因此，蔡興國 (2011b) 發展系統基模的教學策略，並以實徵性的研究發現，實施系統基模教學策略的實驗組學生，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。蔡興國等人 (2014) 的研究發現，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，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；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，進步幅度愈大，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；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；但在忽略的力、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。蔡興國等人 (2017) 的研究則顯示，學生認為系統基模有麻煩、抽象及無法獲知物體受力的方向等缺點，不一定會使用系統基模解題。由上述三個實徵性研究可發現，系統基模仍有無法改變物體受力方向錯誤之迷思概念、無法改變作用力與反作用力量值不同的迷思概念、無法改變忽略的力之迷思概念及有麻煩和抽象等的缺點，尚有改進的空間。雖然蔡興國 (2012) 的博士論文，已簡述原有的系統基模表徵 (以下簡稱舊系統基模表徵) 有麻煩、抽象及無法獲知物體受力方向等缺點，並在論文的最後一節討論與啟示，簡短提出新的系統基模表徵 (以下簡稱新系統基模表徵)，以改進上述舊系統基模表徵的缺點；然而，論文僅提及新系統基模所作的改進，並未描述新系統基模表徵的描繪方法，亦未深入分析舊系統基模表徵缺點發生的可能原因，及為何新系統基模表徵，可改善舊系統基模表徵的缺點。故本研究旨在探討舊系統基模表徵之缺點發生的可能原因，並介紹新系統基模表徵的描繪方法及論述新系統基模表徵為何能改進舊系統基模表徵的缺點。

伍、造成舊系統基模缺點的可能原因

蔡興國 (2011a) 的文章已詳述舊系統基模的描繪方法，此處將不再贅述。以下我們將以圖 2 (a) 的情境，B 物疊放於 A 物上，兩者間之接觸面不光滑，置於水平光滑地面上，手透過繫於 A 物的繩子施定力拉 A 物，使 A、B 兩物間無相對滑動，一起作等加速運動，選取 A 物為系統可得如圖 2 (b) 的舊系統基模為例，進一步探討造成舊系統基模麻煩、抽象、無法看出物體受力方向、無法改變忽略的力、無法看出作用力與反作用力量值相同等五個缺點的可能原因如下：

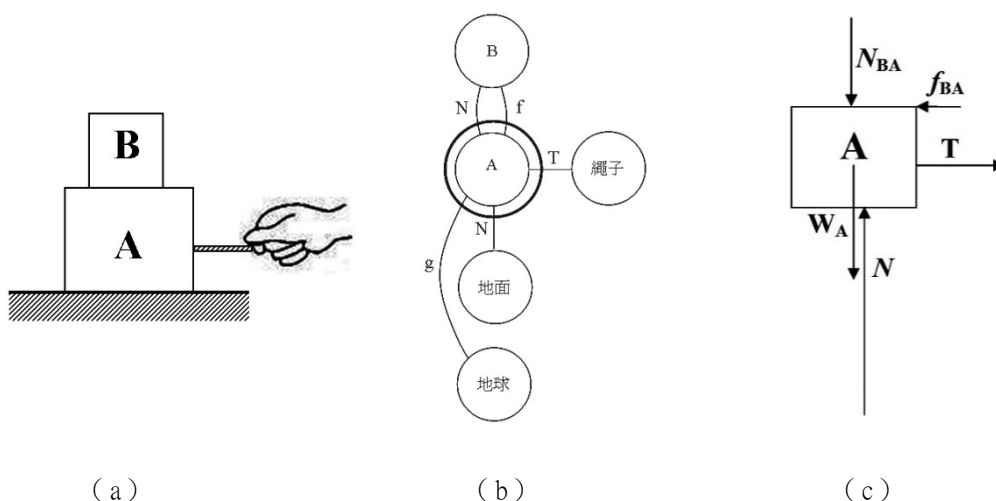


圖 2：A、B 兩物間無相對滑動作等加速度運動之情境圖、舊系統基模及力圖

一、以粗框線框起系統，增加作圖的麻煩

如圖 2 (b) 之舊系統基模以粗框線框起欲討論的系統，學生必須另外準備能畫粗線的筆，或以一般粗細的筆多畫數次，才能畫出粗框線，增加繪圖上的麻煩，且易造成學生混淆框起系統之粗框線與物體間之交互作用線。

二、以符號標示交互作用力的種類，增加作圖的麻煩

如圖 2 (b) 之舊系統基模的交互作用線旁，以符號「 g 」、「 N 」、「 T 」、「 f 」等標示交互作用力的種類，增加舊系統基模的複雜度及繪圖上的麻煩，且對後續畫出力圖的步驟，並無實際的幫助，倘若需要弄清作用於物體之力的種類，則僅需觀察與物體連接之交互作用線的另一端之施力者，即可得知。例如圖 2 (b) 與 A 物連接之交互作用線的另一端若為地球，則代表此力為重力；與 A 物連接之交互作用線的另一端若為繩子，則代表此力為張力，因此並不需要於交互作用線旁刻意標示力的種類。

三、以兩條交互作用線表徵接觸面之正向力與摩擦力，增加作圖的麻煩，也無法改變學生忽略的力之迷思概念

如圖 2(a) 之情境，A、B 兩物間之接觸面不光滑，其間之接觸力，可分為垂直表面的正向力與平行表面的摩擦力。若以舊系統基模表徵此接觸面之正向力與摩擦力，必須如圖 2(b) 於表徵 A、B 兩物的兩個圓圈間，畫上兩條交互作用線，增加舊系統基模的複雜度及作圖的麻煩。此外，由於必須於表徵 A、B 兩物的兩個圓圈間，畫上兩條交互作用線，學生常會忘了畫其中一者，因此常無法改變學生忽略的力之迷思概念。

四、以標記文字的圓圈表徵物體，增加舊系統基模的抽象程度

如圖 2(a) 之情境圖轉換為圖 2(b) 之舊系統基模時，以一個圓圈表徵一個物體，並在圓圈內標記文字，為每一個物體命名，故必須將情境圖中的所有物體均轉變成相對應的文字，除了增加情境圖轉換為舊系統基模的困難度外，亦增加舊系統基模的抽象程度。

五、僅由交互作用線，無法看出系統內之物體的受力方向

如圖 2(b) 之舊系統基模任一條交互作用線的兩端，並無圖示此交互作用線兩端所對應之作用力與反作用力的方向，學生無法藉由系統基模判斷系統內之物體的受力方向，因此常無法改變學生物體受力方向錯誤之迷思概念，故無法有效幫助學生畫出正確的力圖。

六、僅由交互作用線，無法看出作用力與反作用力量值相同

如圖 2(b) 之舊系統基模任一條交互作用線的兩端，並無圖示此交互作用線兩端所對應的為作用力與反作用力，學生無法藉由系統基模了解作用力與反作用力成對產生且量值相同，因此無法有效幫助學生改變卡車追撞機車時，卡車施予機車之力大於機車施予卡車之力等作用力與反作用力量值不同的迷思概念，進而建立作用力與反作用力量值相同的正確概念。

綜上所述，學生覺得舊系統基模麻煩的可能原因為舊系統基模以粗框線框起系統、以符號標示交互作用力的種類及以兩條交互作用線表徵接觸面之正向力與摩擦力；學生覺得舊系統基模抽象的可能原因為舊系統基模以標記文字的圓圈表徵物體；舊系統基模無法幫助學生看出物體受力方向的可能原因為舊系統基模交互作用線的兩端並無標示交互作用力的方向；舊系統基模無法幫助學生看出作用力與反作用力量值相同的可能原因為舊系統基模交互作用線的兩端並無標示作用力與反作用力，無法強調作用力與反作用力成對產生且量值相同；舊系統基模無法幫助學生改變忽略的力之迷思概念的可能原因為舊系統基模以兩條交互作用線分別表徵正向力與摩擦力，學生常會忘了畫其中一者。

陸、新系統基模的描繪

蔡興國（2012）在博士論文中，嘗試將舊系統基模表徵做若干的修改，提出新系統基模表徵，改進舊系統基模表徵的缺點，幫助學生由情境圖開始，能更正確且迅速地畫出系統基模及力圖。現仍以圖 2（a）之情境為例，說明如何描繪新系統基模。

一、選定系統並分離系統與環境

首先根據情境圖，選定欲討論的系統後，將與系統互相接觸的物體分離，再加上超距力的施力者，同時繪於新系統基模上，並於圖上以虛線框起系統。例如以圖 2（a）情境之 A 物為系統，先將與 A 物互相接觸的物體（B 物、繩子、地面）分離，再增加超距力的施力者（地球，此處以一段加上斜線的圓弧表徵地球）於新系統基模內，並以虛線框起 A 物，表示以 A 物為系統，如圖 3（a）所示。

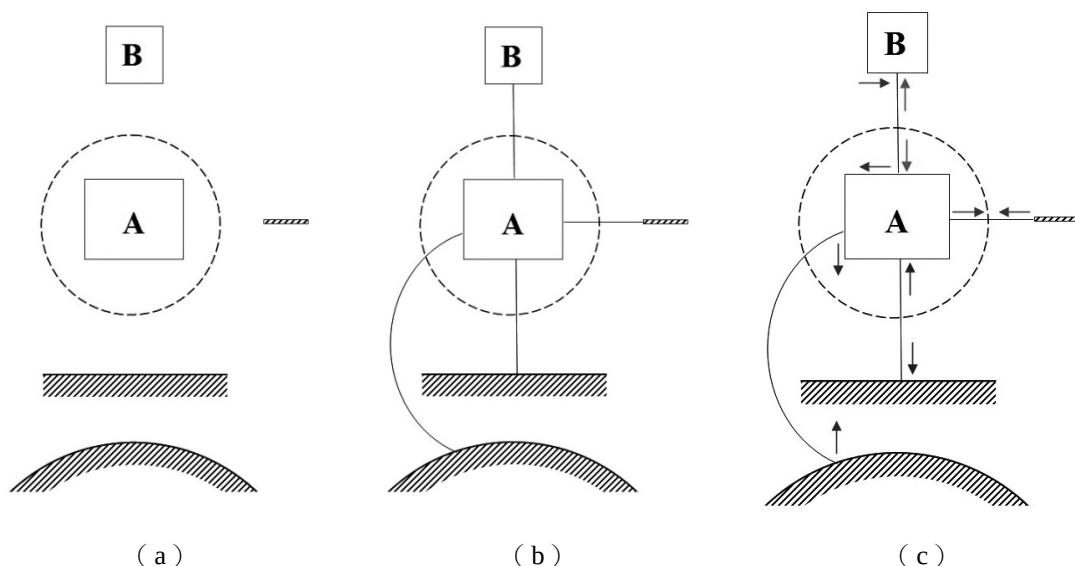


圖 3：新系統基模之描繪

二、連接交互作用線

其次若系統內之物體與環境中之物體有交互作用，則以交互作用線連接此兩物體。先考慮超距力（此處為重力），以一條交互作用線連接地球與系統內之物體，表徵地球與物體間有交互作用力作用；例如圖 3（a）之 A 物與地球有重力作用，故以交互作用線連接 A 物與地球，如圖 3（b）所示。考慮完超距力後，再考慮接觸力，若系統內之物體與環境中之物體相互接觸，則以一條交互作用線連接系統內之物體與環境中之物體，表徵兩者間亦有交互作用力作用；例如圖 3（a）之 A 物與 B 物、繩子及地面均互相接觸，故於 A 物與 B 物、繩子及地面之間連接交互作用線，如圖 3（b）所示。

三、描繪箭頭

最後於每一條交互作用線的兩端旁加上箭頭，表徵此交互作用線所對應之交互作用力的方向。以圖 3 (b) 連接 A 物和地球的交互作用線為例，地球施一向下重力於 A 物，故於此條交互作用線的 A 物端旁，加上一向下的箭頭；A 物亦同時施一向上重力於地球，故於此條交互作用線的地球端旁，加上一向上的箭頭，如圖 3 (c) 所示。

以圖 3 (b) 連接 A 物和地面的交互作用線而言，A 物施一向下正向力於地面，故於此條交互作用線的地面端旁，加上一向下的箭頭；地面亦同時施一向上正向力於 A 物，故於此條交互作用線的 A 物端旁，加上一向上的箭頭，如圖 3 (c) 所示。

以圖 3 (b) 連接 A 物和繩子的交互作用線而言，繩子施一向右作用力於 A 物，故於此條交互作用線的 A 物端旁，加上一向右的箭頭；A 物亦同時施一向左的作用力於繩子，故於此條交互作用線的繩子端旁，加上一向左的箭頭，如圖 3 (c) 所示。

以圖 3 (b) 連接 A、B 兩物的交互作用線而言，B 物施一向下正向力於 A 物，故於此條交互作用線的 A 物端旁，加上一向下的箭頭；A 物亦同時施一向上正向力於 B 物，故於此條交互作用線的 B 物端旁，加上一向上的箭頭；且因 A、B 兩物間之接觸面不光滑，B 物可由靜止向右作加速度運動，得知 A 物必施一向右摩擦力於 B 物，故於此條交互作用線的 B 物端旁，除了原先一表徵正向力的向上箭頭外，再加上一表徵摩擦力的向右箭頭；B 物亦同時施一向左摩擦力於 A 物，故於此條交互作用線的 A 物端旁，除了原先一表徵正向力的向下箭頭外，再加上一表徵摩擦力的向左箭頭；故連接 A、B 兩物之交互作用線的 A 物端旁及 B 物端旁，均包含兩個箭頭，表徵此接觸面有垂直表面的正向力及平行表面的摩擦力作用，如圖 3 (c) 所示。

完成新系統基模後，可利用虛線框內之物體旁的箭頭數目及指示方向，確認系統受外力作用的數目及方向，據以畫出正確的力圖。如圖 3 (c) 虛線框內之 A 物旁共有五個箭頭，表徵 A 物受五個外力作用，並可根據箭頭所指示的方向，畫出圖 2 (c) 以 A 物為系統之正確力圖。

綜上所述，描繪新、舊系統基模表徵最大的區別有二：一為新系統基模的描繪為直接取用情境圖，以圖形表徵物體，而舊系統基模則以標記文字的圓圈表徵物體；另一為新系統基模於每一條交互作用線的兩端旁加上箭頭，表徵此交互作用線所對應之交互作用力作用的方向，而舊系統基模則無。

柒、新系統基模所作的改進

根據上述描繪新系統基模方法的討論，我們可以發現新系統基模表徵針對舊系統基模表徵的缺點，作了下列數點的改進：

一、以虛線取代粗框線框起系統，降低系統基模繪圖上的麻煩

將如圖 2 (b) 以粗框線框起系統的表徵，變更為如圖 3 (c) 以虛線框起系統的表徵，具有不用另行準備能畫粗線的筆，或不用以一般粗細的筆來回畫數次的優點，可降低繪圖上的麻煩，亦可避免學生混淆框起系統之線與物體間之交互作用線。

二、去除以符號標示交互作用力的種類，降低系統基模繪圖上的麻煩

將如圖 2 (b) 系統基模之交互作用線旁，以符號「 g 」、「 N 」、「 T 」、「 f 」等標示力量種類的表徵，變更為如圖 3 (c) 只連接交互作用線於兩發生交互作用的物體，不再標示力量種類於交互作用線旁，可降低繪圖上的麻煩。

三、以圖形取代標記文字的圓圈表徵物體，降低系統基模的抽象程度

將系統基模內物體的表徵，由原先如圖 2 (b) 之圓圈內標記文字的表徵，變更為如圖 3 (c) 直接取用圖 2 (a) 情境圖內物體圖形的表徵，使學生可由情境圖直接連結至系統基模，除可降低情境圖轉換為系統基模的困難度外，亦可降低系統基模的抽象程度。

四、以交互作用線兩端旁的箭頭，表徵交互作用力的方向，改變系統內之物體受力方向錯誤及作用力與反作用力量值不同的迷思概念

舊系統基模雖以由環境穿過粗框線進入系統之交互作用線的數目，表徵系統受外力作用的數目，但無法判斷系統內之物體受外力作用的方向。例如圖 2 (b) 有五條交互作用線由環境穿過粗框線連接於 A 物，雖可表徵 A 物受五個外力作用，但無法判斷 A 物受此五個外力作用的方向。所以，新系統基模表徵將如圖 2 (b) 兩物體間連接交互作用線的表徵，變更為如圖 3 (c) 於兩物體間連接交互作用線後，再於交互作用線兩端旁，加上箭頭的表徵，表示此交互作用線所對應之作用力與反作用力的方向，使學生可利用虛線框內箭頭指示的方向，確認系統內之物體受外力的方向，改進舊系統基模無法看出系統內之物體受外力方向的缺點，而能較容易繪出如圖 2 (c) 之正確力圖。此外，由於學生需在交互作用線的兩端旁加上箭頭，可以提醒學生作用力與反作用力大小相等且方向相反，有助於改變學生作用力與反作用力量值不同的迷思概念。

五、以交互作用線兩端旁兩互相垂直的箭頭取代兩條交互作用線，表徵作用於接觸面之正向力與摩擦力，減少忽略的力之迷思概念

將不光滑接觸面間之正向力與摩擦力，由原先如圖 2 (b) A、B 兩物間之兩條交互作用線的表徵，變更為如圖 3 (c) A、B 兩物間之一條交互作用線兩端旁兩互相垂直箭頭的表徵，以減少系統基模上交互作用線的數目，除了可降低繪圖的麻煩及系統基模的複雜度外，亦有助於表徵接觸力作用的方向，及避免學生因需用 2 條交互作用線，分別表徵正向

力與摩擦力，常會忘了畫其中一者，而產生忽略的力之迷思概念。

綜上所述，新系統基模對舊系統基模作了下面數點的改進：以虛線代替粗框線框起系統、去除以符號標示交互作用力的種類，可降低舊系統基模繪圖的麻煩；以圖形取代標記文字的圓圈表徵物體，可降低舊系統基模的抽象程度；以交互作用線兩端旁之箭頭表徵交互作用力的方向，可改變系統內之物體受力方向錯誤及作用力與反作用力量值不同的迷思概念；以交互作用線兩端旁之兩互相垂直的箭頭，取代以兩條交互作用線，表徵作用於接觸面之正向力與摩擦力，減少忽略的力之迷思概念。

捌、結語與建議

本文首先從探討系統、力圖、舊系統基模的相關文獻及舊系統基模之缺點發生的可能原因著手；其次介紹新系統基模的描繪方法；最後比較新、舊系統基模之不同，闡述新系統基模所作的改進及為何其可改善舊系統基模的缺點。然而，受限於文章的篇幅，本文缺乏以下數個面向的實徵性資料：評估學生對新系統基模改進舊系統基模缺點之知覺；學生對新、舊系統基模接受度的差異；新、舊系統基模對學生力的迷思概念改變及描繪力圖能力影響的差異。故後續研究宜以蔡興國（2011a）介紹舊系統基模描繪方法及本研究介紹新系統基模描繪方法為基礎，同時對學生介紹新、舊系統基模兩種描繪方法，並設計學習單請學生由情境圖開始，分別描繪新、舊系統基模後，再繪出力圖。幫助學生熟悉新、舊系統基模描繪的方法及分析系統受力的方式，待系統基模課程結束後，利用問卷調查學生對新系統基模改進舊系統基模缺點之知覺及學生對新、舊系統基模接受度的差異。此外，亦可將程度相同的學生分為三組，分別進行傳統講述式教學、舊系統基模教學及新系統基模教學，並利用力的概念測驗及描繪力圖測驗，評估新、舊系統基模對學生力的迷思概念改變及描繪力圖能力影響的差異。

參考文獻

- 王名儒、王俊乃、張清俊、張良肇、趙臨軒（2021）。**選修物理 I 力學一**。台南市：南一書局企業股份有限公司。
- 林秀豪、徐國誠、鄭呈因、張銘傑、張智詠（2022）。**選修物理 I (全)力學一**。新北市：龍騰文化事業股份有限公司。
- 邱韻如（2006a）。大一普物教學的迷思之我見我思。**物理雙月刊**，28，554-562。
- 邱韻如（2006b）。從學生對牛頓第三定律的迷思概念探討教學上的一些問題。劉湘瑤（主持人），**多元素養與科學教育**。中華民國第 22 屆科學教育學術研討會，國立臺灣師範大學公館校區。
- 金尚年（1989）。**古典力學**。台北市：亞東書局。
- 姚衍、張嘉泓、李重賢、陳東閔、劉國棟、高銘宏（2021）。**選修物理 II 力學二與熱學**。台南市：翰林出版事業股份有限公司。

- 傅祖怡，蔡志申、賴文哲，胡家瑤、羅焜哲、陳忠城，蔡銘賢，賴宏聿。(2022)。**選修物理 I 力學一**。新北市：泰宇出版股份有限公司。
- 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 (2012)。**系統基模教學策略對修正高中學生力的迷思概念及增進描繪力圖能力影響之研究**。國立彰化師範大學科學教育研究所博士論文。
- 蔡興國、張惠博、陳錦章 (2014)。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。**科學教育月刊**，**370**，2-18。
- 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。
- 蔡興國、陳錦章、張惠博 (2017)。高中學生對於系統基模接受度之研究。**科學教育月刊**，**397**，2-19。
- Fisher, K. (1999). Exercises in drawing and utilizing free-body diagrams. *The Physics Teacher*, 37(7), 434-435.
- Giancoli, D. C. (2000). *Physics for scientists & engineers* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2001). *Fundamentals of physics* (6th ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
- 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, NY: Plenum
- 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), 309-31.
- Wilson, J. D., & Buffa, A. J. (2000). *College physics* (4th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

投稿日期：112 年 10 月 25 日

接受日期：113 年 01 月 04 日

Discussion on Using the New System Schema to Improve the Shortcomings of the Old System Schema in Analyzing the Forces Acting on a System

Hsing-Kuo Tsai

National Tou-Liu Senior High School

Abstract

When senior high school students learn the mechanics unit, whether they can draw the correct force diagram is the most important thing. However, students cannot draw the correct force diagram because they have many misconceptions about force. If students first draw the system schema before they draw the force diagram, it will help the students to draw the correct force diagram. The purpose of this study was to explore the shortcomings of the old system schema and the possible reasons why they happened. In addition, we developed a new system schema representation according to the shortcomings of the old system schema. We also introduce the description method of the new system schema representation, and discuss why the new system schema can improve the shortcomings of the old system schema.

Keywords: force diagram, system schema, representation