

先前知識在科學問題解決過程中角色的探究

李金連

國立台北科技大學 光電工程系

摘要：解題者的先前知識在科學問題解決過程中佔有非常重要的角色，經文獻探討發現這些人類既存的知識有陳述性與程序性先備知識。其中陳述性先前知識包括專業的相關知識與非專業但相關的知識；程序性先前知識則包括自發性的概念相關、觀念聯結、問題轉譯技能以及問題解決經驗之直接運用或間接轉用。因此本文首先針對三所國立科技大學的機械工程系與車輛工程系，四年制一年級各一班學生約 200 人作為文中之樣本，以偵測與瞭解解題者於力學之功與能方面的陳述性先前知識作為進一步研究之基礎；再透過篩選，以 50 人做較完整的先前知識測試之樣本，且分析與歸納解題者之科學問題解決時先前知識的內涵與機制。研究結果有：1.歸納出解題者解力學、功與能題目時所需的基本先備知識；2.解題者的先前知識豐富與否可影響其解題能力；3.提出有關科學問題解決時先備知識模式之意涵與建議。

關鍵字：先前知識、問題解決、力學之功與能、先備知識

壹、緒論

人類自出生後即不斷地透過先前知識 (prior knowledge) (主體性所含蘊的知識與經驗) 與外界環境產生交互作用來建構知識，以開啓更多的智慧，來解決所面臨的問題與充實生活。科學是探討、整理並傳達比較共有性的人類經驗的一種方法與成果；文學雖然也處理共有性的經驗，只是比較沒有系統性與較為私有化的另一種主客體相互作用的方法與成果 (李金連, 2004)。在研究與探討個人主體性所含蘊的知識與經驗上二者有其明顯的差異，然而在科學上因有其相對的共有性、邏輯性、客觀性與系統性，故在研究與探討個人的先前知識時將較為單純與客觀，因此本文將局限在探究解題者在面對科學問題時，

那些先前知識是必要存在且須活化的。如果科學問題的解題者能夠清楚科學的本質、科學家的特徵並善加體會與應用，那麼對解決科學問題將有正面的益處與幫助。科學解題是學習的歷程之一，所以學習者透過其主體先前知識的架構，藉由教育歷程來與科學知識互動而獲取自我認知，以促使其科學知識之成長。

人類在其先前知識的基礎上解決所面臨的問題，於此歷程中，解題者知識的建構與儲存乃為解決其所面臨日益複雜問題的重要關鍵因素，而如何讓學習者能應用其已建構和儲存的知識 (包含經驗) 去解決所面臨問題之關鍵機制，則成為國內外從事探討問題解決機制的學者專家們所熱衷的研究主題 (李金連, 1997、

Lee, ...etc., 1996、Lee, 1993)。Kant曾說：思想沒有內容是空虛的，知覺沒有概念是盲目的（Perelman, 1977）；梅爾（Mayer, 1992）認為思考是一種引起認知系統內部某些知識運作的過程，它是有導向性的，並表現在行動中，為試圖解決問題以導向答案；亦即，思考具有主體內在認知運作的歷程性，也具有外在行為的表現性。因此，本文將康德說法的意義延伸為解題者面對問題情景，利用覺知去活化所具備的先前知識〈包含經驗〉來解題，才是有意義的解題；換言之，解題者的先前知識是成功解決問題的重要因素（Larkin, McDermott, Simon, & Simon, 1980）。為此，本文將針對解題者在解科學方面的問題時，所需具有的相關先備知識（requisite knowledge）之內涵與機制作較深入的探討。

科學問題解決的先備知識依大多數學者專家的習慣可分為陳述性（declarative）與程序性（procedural）知識。本文所界定先備的陳述性知識是關於解題者過去所得知相關解題所需之事實和事件的知識，程序性知識則是關於解題者過去如何去執行解題時所需之各種認知活動的經驗或技能〈它基本上包含有問題解決時，選取或應用陳述性知識的技能〉（Champagne, Gunstone, & Klopfer, 1985、Lee, 1996, 1985、Mayer, 1975、Novak, 1977、West, 1975）。所以，本文在較為明確定義的先備知識基礎上，藉由科學解題的探究過程，清楚解題者解題時所需具備的陳述性與程序性先備知識內涵與機制，作為教學者於教學過程中的教材內容與教學方法之參考。基於物理問題解決比起其他自然學科更具邏輯結構的範疇

（well-structured domain），能夠在教室或實驗室中進行以獲得真實世界問題解決的一些本質，並且存在的原理與定律較少（Larkin, ...etc., 1980），為使實證研究較具有可操作性與能偵測性，故本文之科學問題解決就祇針對物理方面之力學問題。

貳、研究目的、問題與限制

本文的主要研究目的有三：首先，尋找解題者在特定範疇的科學問題解決中有那些先備知識是必要的；其次，探討解題者如何運思其先前知識在問題解決中的可能趨勢；最後是提出促進解題者覺知與活化其先前知識的運作模式，使之產生解題的較佳氛圍以幫助解題者解題。

根據上述研究目的，本文的研究問題如下：

1. 在力學的特定範疇問題解決中有那些先備知識是必要的？
2. 可否分析與歸納出解題者如何利用其先前概念解決問題的趨勢？
3. 在力學的問題解決中，可否提出一有效率的促進解題者覺知與活化其先前知識的解題模式？

基於本文研究的目的與問題，研究之範疇將只針對科技大學機械與車輛工程系四年制一年級學生作研究樣本，且以普通物理學中的力學作為本研究工具中解題的主要內容。

研究之限制：在質性研究時礙於樣本學生的先前「非專業相關知識」內涵差異（其主體性各異）不易化約與歸納，故本文實證研究中將只針對樣本學生的先前「專業知識」作相關探討。

參、文獻探討

對於科學問題解決的一般方法有：算則解題法（Algorithms）、策略解題法（Heuristic）、差異減除法（Difference-Reduction）、倒向解題法（Working Backward）、順向解題法（Forward Chaining）、類比解題法（Problem Solving by Analogy）、...等等；Newell & Simon（1972）提出方法-目的（Means-ends）分析法，問題空間視為一組狀態空間，透過在狀態間可操作的機制達成解題的目的；Anderson（1983）、Brown & Van Lehn（1980）、與 Card, Moran, & Newell（1983）認為生產系統（Production Systems）在表徵與解決問題上是有用的。因此，從這些問題解決的方法中可以發現：解題者總會依據個人的先前知識，自發性地去克服解題的障礙，並且朝向自認為有利的答案，從事必要的認知解題活動；換言之，解題者先覽閱所呈現的問題，以生理與心理的覺知及活化來運作與問題相關的先前知識，進而從事解題的認知行動。

李（2005）認為人類對於外界的認識過程，會隨著主客體在其特定的時空情景下，依據當時之主體性的內涵與客體受感知的情景，產生當時的表徵與運作方式，且這種認識運作會隨時空情景的延續，而產生一種繼續不斷的知識建構模式。因此，在科學教育的範疇中，解題者於科學問題解決時的運思過程為：1.基於個人的先備知識，對於問題實質情景中之特殊對象的客體（關鍵字、已知條件、與欲求問題）激發起解題意識的活化作用，產生覺

知效應之感動；期間的過程，不同的解題者會依個人的靈敏度與先備知識廣深度的不同而有所差異。2.基於解題者自我擴大知識的原始機制（恢復平衡的內在動力與意識性的動機），於問題意識中尋求內在可理解性，且傾向活化與縮小問題意識中之相關訊息，並尋求片段訊息間的關聯；期間的過程，不同的解題者會依個人克服疑惑與懷疑的動機與持續力強弱，以及知識的近側發展區成熟度之不同而有所差異。3.解題者在有意識、有目的甚至有計畫地趨向解題有關的內在歷程，以得到明確的回答，並使解題者提出自己的最佳答案；期間的過程，不同的解題者會依個人較高層與廣泛觀念結構訊息的提供量，以及有意義解題策略運用的熟悉度之不同而有所差異。綜上所述，本文歸納較簡易清楚的解題模式：覽閱問題→確認問題→挑選關鍵字或所需轉譯的敘述→列出解題所需之適當定理或公式→適當定理或公式的選擇與應用排序→解出所列方程式；上列解題模式之步驟次序，依據解題者的解題經驗或有調整、或有跳躍、也可部分省略。

解題者在科學問題解決當時之主體性的先前知識對於是否有效與成功地解題，佔有非常重要的角色與地位。Lee 等（1996,1985）認為先前知識也可分為專業的相關知識（specific knowledge directly related to the problem, SK）與非專業的相關知識（nonspecific but relevant knowledge to the subject area of problem, NSRK）。Champagne, Gunstone, & Klopfer（1985）、Mayer(1975)、Novak(1977)與 West(1975)

從認知心理學訊息處理的層面認為，問題解決中，訊息處理間的連結是有效解題之重要因素；連結可分為認知結構的內部聯繫、認知結構的特定部分之活化、以及存在於認知結構與新的學習滿足間之外部聯繫。Glaser(1984,1988)、Jansweijer 等人(1990)、Newell 與 Simon(1972)認為，解題者在解題過程中，解題所須之概念性的與程序性的知識基模會被激發，解題者會產生認知結構的統整與同化效應，進而有關問題轉譯技能與先前問題解決之經驗發生。

綜上所述，在先前知識所界定的意涵基礎上，本文歸納出解題時的先備知識包括：相關的陳述性知識、選取該陳述性知識時的前置程序性知識、以及應用該陳述性知識時的後置程序性知識。陳述性先備知識包括專業相關知識與非專業相關知識（例如：專有名詞的定義、物理現象的概念與觀念、...等等）；前置程序性先備知識包括自發性的概念相關與觀念聯結技能（例如：確認問題、尋找關鍵字、定理、...等等）、問題轉譯技能（例如：「光滑平面」轉譯為「摩擦力為零」、「上滑後又折回」轉譯成「上滑至最高點速度為零後再折回下滑」、...等等）以及問題解決經驗的類比（例如：選定適當的定理、公式、步驟、方法、...等等）；後置程序性知識則是指解題時，應用經前置程序性知識運作後所得到的陳述性知識定出解題次序，並加以解答的技能。所以，本文藉由科學解題的探究過程，清楚列出與說明解題者在解題時所需具備陳述性與程序性先備知識的內涵與機制，以便作為教

學者於教學過程中，教材內容與教學方法選擇之參考。

肆、研究方法

為了達到研究的目的，本文以紙筆測驗與晤談方式，探究解題者在解決科學問題時所需具備的先備知識內涵與其運思模式。首先選定背景知識相近（入學學測時的考試科目與高工時所讀的科別相同）之研究樣本作科學問題解決之功與能的概念測驗（verbal knowledge/intellectual skill test, VKIST）；再針對取樣與施測方便之臺北科大樣本學生成績前後 27.5%的較佳與較差之樣本學生作功與能的問題解決能力測驗（work/energy problem solving test, WEPST），以探究其功與能概念的先前知識，來診斷這些樣本學生對於功與能的科學問題解決之先備知識的內涵與機制。

一、研究樣本與教材

1. 臺北科技大學、雲林科技大學、高雄第一科技大學等三所大學的機械工程系與臺北科技大學車輛工程系，四年制一年級各一班學生約 200 人作為 VKIST 測試之樣本，以提供該測驗試題的信度與效度之基礎。再選臺北科大機械與車輛工程系各一班學生，其 VKIST 成績為班上排序前後 27.5%的 50 名作為方便取樣與施測的樣本學生，進行 WEPST 題目測驗，並作相關研究的診斷與分析。
2. 樣本學生的學經歷背景類似，經一定程序的學科能力篩選；且在物理的力學方面有相當程度的接觸與熟悉，因

此選擇力學為本研究工具中解題的主要內容。

二、研究工具

1. 爲了要探究樣本學生對於力學問題解決之先前知識，將設計前測的測驗工具/VKIST (Lee, 1996)：本測驗針對力學能量守恆的主題，共有 20 題，分成二部份；VKIST (1) 爲 10 題關於 SK，另外 VKIST (2) 10 題則是關於 NSRK，每題只有一個正確或適當的答案，答對一題得一分，答錯一題則扣 0.25 分（見附錄，其中每部分皆多一題以檢驗是否爲有效問卷）。測試時間爲 30 分鐘，樣本學生約 200 人。其同時效度（測驗分數與樣本學生第一學期物理期中考成績之間的相關）爲 .70，而信度

(Kuder-richardson reliability) α 爲 .76。

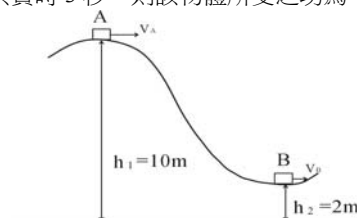
2. 爲了要探究樣本學生在解決力學問題時所擁有的先前知識，針對作過 VKIST 的第二階段之 50 名樣本學生，設計功與能的問題解決能力測驗 (WEPST)，測驗時間爲 60 分鐘。爲了要達到有信度與效度地偵測樣本學生功與能相關的概念，因 VKIST 提供該測驗試題的信度與效度之基礎，並經三位物理專家學者的共識，故此工具的三個問題選自 VKIST 中的 SK 題目，問題一是功與能互動的相關概念，問題二是保守力場下之能量守恆的相關問題，問題三是非保守力場下之能量守恆的相關問題，(見【表 2】)。

【表 2】 WEPST 測驗之力學能量守恆的問題

問題一、質量 2 公斤之物體在光滑之水平面上，由靜止加速至 10 米/秒共費時 3 秒，則該物體所受之功爲多少？

問題二、一物體由 A 點以 3.00 米/秒的速率沿光滑表面滑下，如圖所示。

當此物體行至 B 點時，則其速率變爲米/秒？



問題三、一物體之質量爲 m ，以初速率 v 沿一斜面上滑 l 距離後，又滑回原處，但其速率變爲 $v/2$ ，則該物體與斜面間之摩擦力爲何？

每一問題中包括五個部分：

- (a) 概念相關度測驗 (concept relatedness test, CRT)：寫出題目中的問題、關鍵字、需要用到的定理或公式；由本測驗可得知解題者在解題過程所應用的相關概念。
- (b) 觀念聯結度測驗 (idea association test, IAT)：從問題的敘述中盡可能地寫出以定理或公式爲中心的關鍵字群；由本測驗可得知解題者

在解題過程所應用的相關概念。

- (c) 問題轉譯技能測驗 (problem translating skill test, PTST)：在問題呈述中盡可能找出關鍵語意並轉換成相關物理的形式；由本測驗可得知解題者在解題過程的問題轉譯技能之內涵。
- (d) 先備問題解決經驗之測驗 (prior problem solving experience test, PPSET)：問受測者他們對下列問

題的感覺，1.你是否曾看過相同或類似的問題？ 2.你是否曾看過解答與本問題相同或類似的解法？ 3.你是否曾解答過與本問題相同或類似的問題？由本測驗可得知解題者是否有解題的經驗。

(e) 請寫出本問題的詳細解題過程；由本測驗可得知解題者的後置程序性先前知識中之解題過程的邏輯

結構。

3. 為呈現學生之解題程序，研究者將可能運用到之公式予與編碼，並將學生欲求之變數與公式編號結合，如【表3】所示。例如，學生編碼為 a_2 、 F_6 表示學生用第二個公式 $V=V_0+at$ 求出 a 值，用第六個公式 $F=ma$ 求出 F 值， a_n 代表以第 n 個公式求出 a 。

【表3】 公式編號

公式編號
1.V-t圖中之直線斜率為 a ，面積為 S ，則 $S=(V_1+V_2)t/2$ ， $a=\Delta V/\Delta t$
2. $V=V_0+at$
3. $S=V_0t+\frac{1}{2}at^2$
4. $V^2=V_0^2+2as$
5. $f=\mu N$
6. $F=ma$
7. $W=FS$
8. $E_k=(1/2)mV^2$
9. $W=\Delta E_k=E_{k_f}-E_{k_i}$
10. $U=mgh$
11. $mgh_1+\frac{1}{2}mV_1^2=mgh_2+\frac{1}{2}mV_2^2$
12. $\Delta E_k+\Delta U+W_f=0$
13. $W_f=FS$

伍、結果與討論

本文針對科技大學中力學能量守恆的相關概念，就第二階段之50名樣本學生針對功與能的問題解決能力測驗 (WEPST)所呈現的數據加上三位物理專

家學者的共識，認為解題者解要解【表2】力學問題所需具備的陳述性與程序性知識應有【表4】、【表5】與【表6】所示，方可順利解題。

【表4】 問題一解題者需具備的陳述性與程序性知識

		問題一(給予 m, V, t 求 W)	
		運動學解題方式	能量解題方式
陳述性知識	關鍵字 定理或公式	靜止、末速、質量、時間、 $V=V_0+at$ 、 $S=V_0t+\frac{1}{2}at^2$ 、 $F=ma$ 、 $W=FS$	靜止、末速、質量、功、光滑、 $W=FS$ 、 $動能=(1/2)mV^2$ 、水平面
前置程序性知識	概念相關	寫出上述的陳述性知識(功 W 、質量 2 公斤、末速 10 米/秒、共費時 3 秒)	寫出上述的陳述性知識(功 W 、質量 2 公斤、末速 10 米/秒)
	觀念聯結	寫出以上述的定理或公式 ($V=V_0+at$ 、 $S=V_0t+\frac{1}{2}at^2$ 、 $F=ma$ 、 $W=FS$) 為中心的關鍵字群	寫出以上述的定理或公式 ($動能=(1/2)mV^2$ 、 $W=FS$ 、 $E_{k_f}-E_{k_i}=W$) 為中心的關鍵字群
	問題轉譯技能	「光滑」表示無摩擦，即表示無力學能損失、「靜止」表示初速為零。	「光滑」表示無摩擦，即表示無力學能損失、「靜止」表示初速為零、水平面表示沒有重力位能的變化。
後置程序性知識	應用陳述程序性知識技能	$a_2 \rightarrow S_3 \rightarrow F_6 \rightarrow W_7$	$E_{k8} \rightarrow W_9$

【表 5】問題二解題者需具備的陳述性與程序性知識

問題二(給予 V_i, H_i, H_f , 求 V_f)		
能量解題方式		
陳述性知識	關鍵字 定理或公式	初位置、末位置、初速、末速、光滑、動能 = $(1/2) mV^2$ 、位能 = mgh 、 力學能 = 動能 + 位能
前置程序性 知識	概念相關	寫出上述的陳述性知識 (末速 = ?、初位置 10m、末位置 2m、初速 3.00 米/秒)
	觀念聯結	寫出以上述的定理或公式 (動能 = $(1/2) mV^2$ 、位能 = mgh 、 力學能 = 動能 + 位能、 $mgh_1 + \frac{1}{2}mV_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mV_2^2$) 為中心的關鍵字群
	問題轉譯技能	「靜止」表示初速為零、「光滑」表示無摩擦，即表示無力學能損失
	先備問題解決經驗	同【表 4】
後置程序性 知識	應用陳述程序性 知識技能	$E_{k8} \rightarrow U_{10} \rightarrow V_{11}$

【表 6】問題三解題者需具備的陳述性與程序性知識

問題三(給予 m, V_0, V_f 求 f)			
		運動學解題方式	能量解題方式
陳述性知識	關鍵字 定理或公式	初速、末速、質量、摩擦力、斜面 長、滑回原處	初速、末速、質量、摩擦力、滑回 原處、滑行距離
前置程序性 知識	概念相關	寫出上述的陳述性知識 (摩擦力 f 、 質量 m 、初速率 v 、斜面長 l 、末速 率 $v/2$)	寫出上述的陳述性知識 (摩擦力 f 、質 量 m 、初速率 v 、斜面長 l 、末速率 $v/2$)
	觀念聯結	寫出以上述的定理或公式 ($V^2 = V_0^2 + 2as$ 、 $F = ma$ 、動能 = $(1/2)$ mV^2) 為中心的關鍵字群	寫出以上述的定理或公式 (動能 = $(1/2) mV^2$ 、 $W = FS$ 、 $E_{kf} - E_{ki} = W$) 為 中心的關鍵字群
	問題轉譯技能	有摩擦力表示有作負功、斜面長表 示上行或下行距離、滑回原處 表示重力位能沒有變化	有摩擦力表示有力學能損失、滑回原 處表示重力位能沒有變化且摩擦力作 二路徑 (上滑或下滑距離) 的負功
	先備問題解決 經驗	同【表 4】	同【表 4】
後置程序性 知識	應用陳述程序 性知識技能	$0^2 = v^2 + 2a_1 l$ $v/2^2 = 0^2 + 2a_2 l$ $(m g \sin\theta + f) = m a_1$ $(m g \sin\theta - f) = m a_2$ 解方程式，求 f	$f(2l) = (1/2) m v^2 - (1/2) m v/2^2$ 或 $-(mg \sin\theta + f) l = 0 - (1/2) m v^2$ $(mg \sin\theta - f) l = (1/2) m v/2^2 - 0$ 解方程式，求 f

本研究設計之檢核表，將受試者在 WEPST 測驗中三個關於力學能量守恆的問題的關鍵字及解題程序予以檢核，發現受試者解題方式可以分成運動學解題方式及能量解題方式，因此在每一個問題的檢核過程均分為運動學及能量解題之方式分析，將可以獲得 1.在此力學的特定範疇問題解決中有那些先備知識是必要的；2.歸納出解題者如何利用其先前概念解決問題的趨勢。茲將每一個問題的結果呈現如下：

(一)問題一

1.解題關鍵字

在檢核樣本學生之 WEPST 測驗中問題一的結果發現，運動學解題者認為解題的關鍵字為質量、時間、末速、靜止、加速度，能量解題者認為解題的關鍵字為靜止、光滑、質量、末速、功、時間。歸納與分析上述數據的結果列於【表 7】，顯示出此二類解題者解題過程中關鍵字出現的百分比，且能量解題者比運動解題者更重

視光滑、靜止、功這些訊息。

【表 7】受試者在問題一中所列出解題關鍵字之百分比

	運動學解題方式 (人數/運動學解題方式總人數)	能量解題方式 (人數/能量解題方式總人數)
末速	64%	40%
加速	56%	20%
質量	89%	60%
功	27%	40%
時間	69%	40%
光滑	42%	60%
靜止	60%	100%

2. 解題程序

研究者將受試者在 WEPST 測驗中的問題一檢核解題程序後加以分析，發現答對的樣本學生其解題之方式有五種（其中一種為能量解題方式），答錯者則有六種，他們相對應的解題程序與相對應的人數如下所示。

(1) 運動學解題方式：

【表 8】呈現運動學方式解題學生的解題程序種類與其解題程序，答對的解題學生其解題程序有四種方式，運用相對的解題方式

【表 8】問題一運動學解題方式之解題程序種類(*表示公式背錯或代錯數值)

解題程序種類	答對				答錯					
	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6
第一步	a_2	a_2	a_1	a_1	a_2	a_2	a_2	a_2	a_2	S_1
第二步	F_6	F_6	F_6	F_6		F_6	F_6^*	F_6	F_6	W_7^*
第三步	S_3	S_4	S_1	S_3			S_3	S_3^*	S_1	
第四步	W_7	W_7	W_7	W_7			W_7	W_7		
人數	17 人	6 人	4 人	4 人	1 人	6 人	4 人	1 人	1 人	1 人
佔運動學解題百分比	68.9%				31.1%					

(2) 能量解題方式

運用能量解題方式解題之學生答對 5 人，佔全部用能量解題方

而答對者分別有 17、6、4、4 人，總答對者共有 31 人，佔所有使用運動學解題方式者的 68.9%。答錯的解題學生其解題程序有六種方式，運用相對的解題方式而答錯者共有 14 人，佔所有使用運動學解題方式者的 31.1%。分析其錯誤原因發現學生會因缺少某些先備知識而導致解題不完整，或對於公式的觀念和定義不清楚而把公式中的一些數值代錯，例如，不管題目的條件為何皆把公式中 a 的部分都代 g 。

式人數之 100%，全部都使用 $E_{kf} - E_{ki} = W$ 的概念解題；答錯 0 人，佔全部用能量解題方式人數之 0

%。

將樣本學生所列出的關鍵字【表 7】和由專家所列出解題所需之關鍵字【表 4】相互對照比較，可獲知多數樣本學生所具備或缺乏的陳述性知識，例如 $V = V_0 + at$ 、 $S = V_0t + (1/2)at^2$ 、 $F = ma$ 、...等較缺乏。在運動學解題者方面可知樣本學生對於「功」這個關鍵字注意較少，也因此多數樣本學生缺乏 $W = FS$ 這個陳述性知識，進而影響到其解題的程序，從【表 8】中可發現解題程序不完整之樣本學生大部分缺少解出 S 及 W 的步驟，更可印證部分樣本學生因缺乏 $W = FS$ 之陳述性知識造成解題之不完整。而在能量解題者方面，由【表 7】和【表 4】對照可知樣本學生全部提到「水平面」這個關鍵字，因此可推知樣本學生具備有「水平面代表無位能差或沒有重力位能的變化」這樣的

前置程序性知識，導致可以順利解題；換言之，由分析其解題程序可知樣本學生全部都使用 $E_{k f} - E_{k i} = W$ 的概念解題，且答對率高達 100%，因此樣本學生顯示出皆具備此程序性知識。

(二)問題二

1.解題關鍵字

在檢核樣本學生之WEPST測驗中問題二的結果發現，運動學和能量解題者皆認為解題的關鍵字主要的有初位置、末位置、初速、末速與光滑；但能量解題者看到A點B點想到高度及位能，看到初速度想到外力給予的能量，而運動學解題者看到A點B點想到 $S = V_0t + \frac{1}{2}at^2$ ，看到初速度想到 $V = V_0 + at$ ，因而造成解題策略上的差異。歸納與分析受試者所列出之解題關鍵字的數據結果，此二類解題者解題過程中關鍵字出現的百分比列於【表 9】。

【表 9】問題二受試者所列出之解題關鍵字百分比

	運動學解題方式 (人數/運動學解題方式總人數)	能量解題方式 (人數/能量解題方式總人數)
初位置	86%	71%
末位置	71%	63%
位移	29%	14%
初速	71%	51%
末速	14%	23%
光滑	43%	34%

2.解題程序

(1)運動學解題方式：

運用運動學解題方式解題之學生答對 3 人，佔所有運動學解題方式人數之 42.8%，其解題程序皆為運用 $V^2 = V_0^2 + 2as$ 解出答案，雖然

答對但未考慮 V 和 g 之方向，因此觀念上為錯誤。答錯人數則有 4 人，佔所有運動學解題方式人數之 57.2%，其解題程序為 $t_3 \rightarrow V_2$ ，即運用 $S = V_0t + \frac{1}{2}gt^2$ 求出 t 再代入 $V = V_0 + gt$ 求出 V ，對於加速度的觀念

不清楚，不知何時用 a 何時用 g ，在運用運動學公式時沒有考慮 a 的方向。

(2) 能量解題方式

運用能量解題方式解題之學生答對 26 人，佔全部用能量解題方式人數之 68.4%，皆運用 $(1/2)m(V_f^2 - V_i^2) = mg(h_f - h_i)$ 的觀念解題。而答錯者有 12 人，佔全部用能量解題方式人數之 31.6%。其中有 7 人運用 $mg\Delta h = \frac{1}{2}mV^2$ 的公式解題，沒有 ΔV^2 的概念，直接求 V 而忽略有初速，其餘為計算錯誤，或只列出動能、位能的公式而沒列出能量守恆概念的公式。

(3) 未列式（無法歸類屬於運動學解題方式或能量解題方式）者 5 人。

然而由【表 9】的資料和由專家所列出解題所需之關鍵字【表 4】相比可

【表 10】問題三受試者所列出之解題關鍵百分比

	運動學解題方式 (人數/運動學解題方式總人數)	能量解題方式 (人數/能量解題方式總人數)
初速	92%	63%
末速	85%	68%
質量	69%	58%
位移	62%	42%
摩擦力	31%	42%
斜面	8%	11%

2. 解題程序

(1) 運動學解題方式：

運用運動學解題方式解題之學生答對 0 人，佔所有運動學解題方式人數 0%。答錯 13 人，佔所有運動學解題方式人數 100%，分析其解題程序發現未列解題程序者占 10 人 (76.9%)，運用 $a_4 \rightarrow F_6$ 解題程序有 3 人 (23.1%)，學生運

知，樣本學生認為「末速」和「光滑」是解題關鍵的比例較少，可以推測樣本學生較缺少「光滑」表示無力學能損失，以及動能變化是 $(1/2)m\Delta V^2$ 的前置程序性知識。然而從分析樣本學生的解題程序可發現，大部分使用能量解題方式的學生具備利用能量守恆概念解題的程序性知識，但仍有部分學生缺少此種程序性知識，因而只個別列出動能、位能的公式而沒列出能量守恆的概念公式。

(三) 問題三

1. 解題關鍵字

在檢核樣本學生之 WEPST 測驗中問題二的結果發現，運動學和能量解題者皆認為解題的關鍵字主要的有初速、末速、質量、位移、摩擦力與斜面；由【表 10】可知能量解題和運動學所注重的關鍵字相差不多。

用 $V^2 = V_0^2 + 2as$ 來解 a ， $F = ma$ 來解 F ，看到摩擦力所想到的策略是 $F = ma = \mu N$ ，因此很多人解不出來而未列式子。在分析的樣本中，沒有學生知道 $a = g \sin \theta \pm f/m$ ，上坡和下坡的加速度不同，學生把 a 直接代 g ，因此結果均為錯誤。

(2) 能量解題方式：

運用能量解題方式解題之學生

答對 7 人，佔全部用能量解題方式人數之 36.8%，其解題程序皆用 $\Delta E_k = W_f$ 解出答案。答錯者有 12 人，佔全部用能量解題方式人數之 63.2%，分析其解題程序有下列四種： $W_{12} \rightarrow f_{13}^*$ （4 人）、 $W_{12}^* \rightarrow f_{13}$ （2 人）、 f_{12}^* （2 人）、未列解題程序（4 人）。

(3)未列式（無法歸類屬於運動學解題方式或能量解題方式）者 18 人。

然而由【表 10】的資料和由專家所列出解題所需之關鍵字【表 4】相比可知樣本學生認為「摩擦力」為解題關鍵字之比率較低，也因此樣本學生對於「有摩擦力表示有力學能損失」的前置程序性知識較缺乏。此外沒有樣本學生提到「滑回原處」為解題關鍵，可知樣本學

生對於「滑回原處」所代表的「總位能無變化」以及滑行距離為 $2L$ 的前置程序性知識缺乏，然而這也可從分析樣本學生之解題程序發現，運用能量解題之學生雖然有使用 $\Delta E_k + \Delta U + W_f = 0$ 之能量守恆程序性知識，但由於對於上述兩項前置程序性知識缺乏，因此在解題程序中出現錯誤。

綜合上述之數據，使用運動學解題方式者之答對與答錯的百分比算出後和使用能量解題方式者比較，結果如【表 11】所示。此表顯示在三個問題中，使用能量解題方式學生皆比較容易答對。原因可能為運動學解題方式所需之步驟比能量解題方式之步驟多，學生易在不同的步驟上出現錯誤，或是搜尋不到某一關鍵性的步驟而導致解題錯誤。

【表 11】運用運動學及能量解題方式之答對答錯百分比比較

	問題一		問題二		問題三	
	答對	答錯	答對	答錯	答對	答錯
運動學解題方式	68.9%	31.1%	0%	100%	0%	100%
能量解題方式	100%	0%	68.4%	31.6%	36.8%	63.2%

陸、結論與建議

主體認識外在世界時，乃基於個人所擁有的一基本認識邏輯之宏觀結構，且此一結構是建立在常識理論與科學理論的基礎上。當人類面對障礙或問題需要去克服或解決時，亦必須建立在個人具有常識理論與科學理論之先備知識上；換言之，解決問題的重要因素雖然頗多，但都須從解題者先備知識的基礎上來執行認識行為。從本文上述在科學問題解決裡實證的結果中得知，個人所具有常識理論與科學理論之先備知識確能影響從事解決問題的科學認知活動；因此，綜論上文作以下

之結論與建議：

一、結論

1. 本文特定的力學範疇問題解決中，樣本學生所具備的先備知識確有影響從事科學問題解決的認知活動。
2. 關於樣本學生所具備的先備知識可以分為陳述性知識、前置程序性知識與後置程序性知識，其內容如【表 4】、【表 5】與【表 6】所示。
3. 解題者在其先備知識的基本認識邏輯之宏觀結構上，利用運動學解題方式和能量解題方式來解決本文特定的力學範疇問題。

4. 本文三個關於力學能量守恆的問題經受試者在 WEPST 測驗後，發現受試者每一個問題有那些先備知識是必要的，如【表 4】、【表 5】與【表 6】所示；亦發現解題者如何利用其先備知識解決問題，如上文所示。若能藉由上述的科學解題探究過程，清楚列出與說明解題時所需具備陳述性與程序性先備知識的內涵與其可能的機制，則當可作為教學者於教學過程中，教材內容與教學方法選擇之參考。
5. 由本文的質性研究探討，所收集解題者如何應用其先備知識解決問題的資料，經分析與歸納後並與文獻探討中的小結論作一比對與推論，提出一有較效率的促進解題者覺知與活化其先備知識的解題模式，以供教師與學習者作教與學的參考。此解題模式為：覽閱問題→確認問題→挑選關鍵字或所需轉譯的敘述→列出解題所需之適當定理或公式→適當定理或公式的選擇與應用排序→解出所列方程式；上列解題模式之步驟次序，依據解題者的解題經驗或有調整、或有跳躍、也可部分省略。

二、建議

1. 在已探究與了解關於樣本學生所具備陳述性與程序性的先備知識的基礎上，除了可以提以供教師與學習者作教與學的參考之外，尚可以作進一步科學解題的相關研究之基礎。
2. 於教師的教學與學生的學習過程中，若能適度地瞭解與應用本文所提出之

解題模式的動態機制，使學生能習慣利用如此解題的過程，將有助於對該領域學習的精進。

柒、謝致

感謝行政院國家科學委員會提供（計畫編號：NSC 89-2511-S-027-011）之經費資助以及研究助理蘇淑菁的資料整理。

參考文獻

1. 李金連（2005）：*情知意的理念在認識機制中之角色探究*，*科教學刊*，第 13 卷第 3 期，347-365。
2. 李金連（2004）：*從人文與科技的融合問題探究學校教育中之通識教育*。*科學教育月刊*，268，20-29。
3. 李金連（1997）：*從後現代主義觀點探究科學知識之解題*，*國立台北科技大學學報*，第 31-1 期，55-78。
4. Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
5. Brown, J. S., & Van Lehn, K. (1980). Repair theory: A generative theory of bugs in procedural skills. *Cognitive Science*, 4, 397-426.
6. Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
7. Champagne, A. B., Gunstone, R. P., & Klopfer, L. E. (1985). Effective changes in cognitive structures among physics students. In L. H. T. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Orlando, FL: Academic Press.
8. Glaser, R. (1984). Education and thinking: The role of knowledge. *American Psychologist*, 39, 93-104.
9. Glaser, R., & Chi, M.T.H. (1988). Overview. In M.T.H. Chi, R. Glaser, & M.J. Farr (Eds.), *The nature of expertise*, (pp. xv-xxviii). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
10. Jansweijer, W., Elshout, J. J. & Wielinga (1990). On the multiplicity of learning to solve problems. In H. Mandl et al. (Eds.), *Learning and instruction*,

- Oxford: Pergman, 2.1,127-146.
11. Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980) . Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 208, 1335-1342.
 12. Lee, K. W. (1985). Cognitive variables in problem solving in chemistry. *Research in Science Education*, 15,43-50.
 13. Lee, K. L. (1993) . A study of the conceptual cognitive development on static electricity for students of the five-year-program institute of technology, *Journal of Taipei Institute of Technology*, 26-2, 129-174.
 14. Lee,K.W. 、Goh,N.K. 、Chia,L.S. & Chin,C. (1996) .Cognitive variables in problem solving in chemistry: a revisited study. *Science Education*,80 (6) ,691-710.
 15. Mayer, R. E. (1992). *Thinking, Problem solving, cognition*. NY: Freeman.
 16. Mayer, R. E. (1975). Information processing variables in learning to solve problems. *Review of Educational Research*, 45, 525 - 541.
 17. Newell, A., & Simon, H.A. (1972) . *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
 18. Novak, J. D. (1977). *A theory of education*, Ithaca, NY: Cornell University Press.
 19. Perelman, Ch. (1977) . An historical introduction to philosophical thinking. Chinese Translation by Meng Hsiang-Sen. COWBOY PUBLISHING CO. LTD. P.271
 20. West, L. H. T. (1975). *The organizing role of prior knowledge and advance organizers in chemical learning*. Unpublished doctoral thesis, Monash University, Victoria, Australia.

A Preliminary study of a Role about the Prior Knowledge Influencing in the Science Problem Solving

King-lien Lee

Department of Electro-Optical Engineering

National Taipei University of Technology

Abstract

The prior knowledge of solver is intimated with the very important role in the science problem solving. That discovers the declarative and the procedural prior knowledge in humanity mind by conferring related documents. The declarative prior knowledge includes specific knowledge directly related to the problem and nonspecific but relevant knowledge to the subject area of problem. The procedural prior knowledge includes spontaneity concept relatedness, concept relatedness, problem translating skill, and prior problem solving experience. The 200 objects of the test are the first-year students of the four National Universities of Technology by an experiment design. One part of research tools is based on the test of the concept about work & energy to explore the students' prior knowledge of problem solving. We can find the 50 specimen students about the top and bottom 27.5% rank among the test of learning performance to be tested the VKIST. Through analyzing and inducing the data of specimen's test, the research results are 1. provided the fundamental prior knowledge of solver in the science problem solving, 2. discovered the positive influence between the learning performance and the related prior knowledge of solver, 3. brought up the meaning and suggestions about the applications of teaching and learning practice in the science problem solving.

Keywords: prior knowledge, problem-solving, work & energy of mechanics, requisite knowledge.

附錄

學校：_____ 日期：__ 年 __ 月 __ 日

學號：_____ 姓名：_____

有趣的功與能

請詳閱該题目的意義與所問的問題，經過閣下
聰明的腦袋分析與判斷後，將正確或適當的答

答案卷

題號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
答案											
題號	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
答案											

國科會-基礎研究-科學教育-學生學習科學特性

流水號 89AFAA300181

試題說明

本試題是關於功與能的概念測驗，總共 22 題，分成二個部分：其一為非專門的概念部分；另一為專門的概念部分。每題只有一個正確或適當的答案，答對一題得一分，答錯一題則扣 0.25 分。請詳閱該題目的意義與所問的問題，經過閣下聰明的腦袋分析與判斷後，再仔細地作答。

第一部分

一.

化學能 → 熱能 → 機械能（及散失的熱能）

- 下列哪一項事件符合上圖中所顯示的能量轉換程序？(A) 手電筒的電池使燈泡發光 (B) 燃燒的蠟燭 (C) 燃燒汽油來供應汽車動力 (D) 利用電流使冰箱運作。
- 二. 人們從食物攝取能量。然而儲存在食物內的能量，追根究底是從哪裡來的？最理想的說法為 (A) 肥料 (B) 太陽 (C) 維生素 (D) 泥土
- 三. 下列有關功的敘述，何者正確？(A) 某人背靠牆壁，此人即對該壁作功 (B) 某人阻擋向其前進中的腳踏車，數步後停止，則此人對該車作功 (C) 某人提重物，等速水平移動，則此人對該物體作功 (D) 某人頭頂一物體，站立良久，此人對此物作功
- 四. 有位初為人父之先生，在沒有走動與沒有搖晃的情況下，抱著嬰孩一陣子之後覺得手臂酸酸的。下列哪一種敘述才是正確的？(A) 這位先生施了很多的力且做了很多的功 (B) 這位先生施了很多的力但是沒有作功 (C) 這位先生沒有施力但是作了很多的功 (D) 這位先生沒有施力而且也沒有作功
- 五. 水在瀑布頂端的溫度較落至底部的溫度為低，下列哪一種敘述較為合理？(A) 瀑布頂端水的重力位能較高 (B) 瀑布頂端水的動能較大 (C) 瀑布頂端與底部水的部分重力位能差轉變為熱 (D) 瀑布頂端與底部水的部分重力位能差轉變為動能
- 六. 一傘兵跳傘，正以等速度降落，在此過程中傘及傘兵的動能及重力位能作何變化？(A) 動能漸少，位能漸少 (B) 動能漸增，位能漸少 (C) 動能及位能之和不變 (D) 動能不變，位能漸少
- 七. 有一體力充沛的登山者爬一高山，在山腳下發現有幾條不同的可行路徑可以抵達山頂，下列哪一種觀念較合理？(A) 較陡的路徑，可以節省登山時間與減少能量的消耗 (B) 較不陡的路徑，可以減少能量的消耗卻是增加登山時間 (C) 隨著登山路徑的不同，將會影響登山者能量消耗的值 (D) 登山者的登山路徑雖然不同，卻不會影響其能量消耗的值

- 八.一部在水平道路快速行駛的跑車因故作緊急煞車而停止，下列哪一種觀念才是正確的？(A)跑車的動能減少而位能增加 (B) 跑車的動能減少而力學能增加 (C) 跑車的動能減少而力學能也減少 (D) 跑車的動能減少而力學能維持不變
- 九.物理學上有「能量守恒」的原理，我們也常聽到「能源危機」的議題，下列哪一種觀念才是正確的？(A)「能量守恒」只有在特殊情況下才成立，一般來說，能量愈用愈少，總有用完之時，故有「能源危機」(B)「能量守恒」表示總能量不會減少，故能量是用不完的，所以「能源危機」只是勸人節省的口號而已 (C) 能量在使用中互相轉換，其總值會減少，故有「能源危機」 (D)「能量守恒」總是成立的，但是被用來發電、行車的汽油與煤，用過之後變成廢氣和熱能，不易再使用，故有「能源危機」
- 十.不計阻力的情況下，單擺由最高位置擺動到最低位置，在此過程中下列敘述何者正確？(A) 動能減少是由擺繩張力作負功而來 (B) 動能增加是由重力作功而來 (C) 位能增加是由重力作功而來 (D) 位能減少是因擺繩張力消耗所致
- 十一.牛頓運動定律是由何人提出？(A) 牛頓 (B) 曼哈頓 (C) 華盛頓 (D) 柯林頓

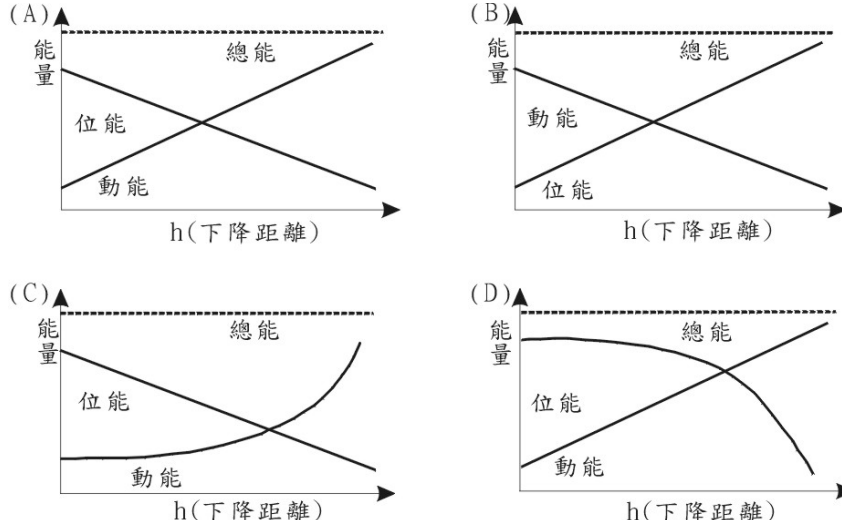
第二部分

(以下題目若非特別指明，則重力加速度皆設為 9.8 公尺/秒^2)

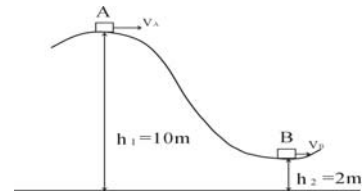
- 十二.質量為 5 公斤的物體，自鉛直高度為 10 公尺的斜面滑下，滑到斜面底部時的速率為 8 公尺/秒，則因摩擦力而損失的能量為何？(A)25 焦耳 (B)160 焦耳 (C)330 焦耳 (D)460 焦耳
- 十三.在保守力場中，當物體受保守力作用，從最初位置至最後位置所作的功，與作功的路徑長度 (A) 成正比 (B) 成反比 (C) 成指數關係 (D) 無關
- 十四.某人將質量為 2 公斤的手提箱由地面等速提至高度為 0.5 公尺後，沿水平面緩慢行走 10 公尺。設行走時手提箱維持在離地 0.5 公尺的高度，則此人對手提箱所作的功為 (A) 0 (B) 1 焦耳 (C) 9.8 焦耳 (D) 196 焦耳
- 十五.一光滑斜面和水平面成 30° 角。今有質量為 1 公斤的物體，由靜止開始，沿著斜面下滑 2 公尺的距離，則就整個運動過程而言，下列有關「功」的敘述，何者錯誤？(A) 重力垂直於斜面的分力，總共作了 9.8 焦耳的功 (B) 重力平行於斜面的分力，總共作了 9.8 焦耳的功 (C) 重力總共作了 9.8 焦耳的功 (D) 斜面施於物體的正向力，總共作了 0 焦耳的功
- 十六.質量 2 公斤之物體在光滑之水平面上，由靜止加速至 10 公尺/秒共費時 3 秒，則該物體所受之功為 (A) 40 (B) 60 (C) 80 (D) 100 焦耳

十七.將一彈簧從原長壓縮 x 長度，需施力 F ，作功 W 。若再繼續壓縮 x 長度，則 (A) 需再作功 W (B) 需再作功 $2W$ (C) 需再作功 $3W$ (D) 需再作功 $4W$

十八.一隻老鷹抓獲獵物，以 10 公尺/秒的水平等速度飛行，飛行之中獵物突然脫落。如果忽略空氣阻力，下列何圖代表獵物的「力學能」隨著獵物在垂直方向下降時距離的變化關係（圖中之「總能」乃表題中之「力學能」）？



十九.一物體由A點以 3.0 公尺/秒的速率沿光滑表面滑下，如圖所示。當此物體行至B點時，則其速率變為 (A) 7.0 公尺/秒 (B) 13.0 公尺/秒 (C) 14.5 公尺/秒 (D) 15.8 公尺/秒（設重力加速度為 10 公尺/秒²）



二十.質量 100 公克的子彈出口速率 100 公尺/秒，設槍管長 1 公尺，則子彈在槍管內所受的平均推力為 (A) 100 牛頓 (B) 500 牛頓 (C) 1000 牛頓 (D) 5000 牛頓

二十一.一彈簧長 20 公分，若施以 20 牛頓之力，可伸長至 25 公分，今施力於該彈簧使其由 20 公分之長度壓為 10 公分之長度，則需對彈簧作功多少焦耳？ (A) 0.8 焦耳 (B) 2.0 焦耳 (C) 40 焦耳 (D) 200 焦耳

二十二.一物體之質量為 m ，以初速率 v 沿一斜面上滑 l 距離後，又滑回原處，但其速率變為 $\frac{v}{2}$ ，則該物體與斜面間之摩擦力為何？ (A) $\frac{3mv^2}{8l}$ (B) $\frac{3mv^2}{16l}$ (C) $\frac{3mv^2}{32l}$

(D) $\frac{mv^2}{8l}$