

從重量守恆推理能力探究學生

對物質變化的錯誤概念

黃寶鈿、陳世雄

國立臺灣師範大學化學系

摘 要

本研究係以重量守恆推理能力為主,探討學生對物質變化的錯誤概念,主要的研究目的如下:

- 1.分析學生的物質變化概念及其重量守恆的推理模式。
- 2.探討學生的物質變化概念和其變化時重量守恆的關係。
- 3.探求學生的形式操作推理能力和物質變化前後重量守恆的關係。

本文所使用之工具係自編的一種診斷工具,主要概念包括溶解、蒸發、昇華、燃燒、氧化、化學反應等;並採用示範實驗群測的研究步驟。計有六所國中共775位的國中學生接受測試。

主要發現如下:

- 一、關於物質變化可歸納成三種錯誤思考類型: 1.錯誤的物質概念。 2.不正確或不適當的物質變化概念。 3.物理變化與化學變化之混淆。
- 二、在重量守恆推理方面,常見的正確推理方式有: 1.應用物質變化過程的知識。 2.可逆性、同一性及互補性推理。 3.使用定律或定則。
- 三、不正確的重量守恆推理型態則為: 1.缺乏物質變化過程的知識。 2.缺乏整體性的考量,僅考慮物質產生變化的部份。 3.錯誤的物質概念。 4.受日常經驗的誤導
- 四、物質變化前後的重量守恆的正確推理,與學生是否瞭解物質的變化過程有顯著的相關,並且與是否具有排水體積守恆推理能力有顯著的相關。

壹、緒論

近年來許多科學教育的學者，從新的認知觀點，對於學生學習自然科學有著不一樣的看法；他們認為學生在學習自然科學之前，對於某些自然現象就已自發地擁有個人的觀點或想法，這些自發的觀點或想法可能不同於科學家的觀點或想法，所以稱為錯誤概念（misconception）（Helm，1980；黃寶鈿，民77b）。因此，研究與瞭解學習者對於自然科學概念的自發性知識體系及推理過程，可做為未來提昇自然科學教學品質和改進教材教法的重要依據。

皮亞傑和英赫德（Piaget & Inhelder，1974）利用簡單的物理實驗（如糖的溶解）研究學生對於物質、重量及體積等守恆推理能力的發展；根據皮亞傑的說法，守恆推理能力之發展和學生邏輯思考能力有密不可分的關係，譬如只有在具體操作後期的學生具有可逆性邏輯推理能力的情形下才能瞭解重量守恆。學生一旦獲得守恆推理能力之後，其守恆推理能力之運用即與所操作的實驗內容無關；也就是說，守恆推理能力是一種普遍化能力（general ability）。

由於皮亞傑所操作的實驗內容乃是屬於比較簡單的物理變化，至於在較為複雜的物理變化（如蒸發、昇華），甚至化學變化的情境之下，學生的守恆推理，尤其是重量守恆推理，是否仍然如皮亞傑所言與學生的邏輯思考有關，則必須要再進一步的加以驗證。另外，一些學者的研究亦指出（Driver，1985；Stavy，1990）在有些情境下學生能瞭解重量守恆，有些情境則否；因此他們認為學生是否具備與實驗內容相關的特定知識亦是影響學生是否能夠瞭解重量守恆的原因。

基於上述的認識，本研究的主要目的為：

- 1.分析學生的物質變化概念及其重量守恆的推理模式。
- 2.探討學生的物質變化概念和其變化時重量守恆的關係。
- 3.探求學生的形式操作推理能力和物質變化前後重量守恆的關係。

貳、理論基礎與文獻探討

一、學習的歷程與本質

行為主義的學者認為學習是刺激與反應間建立一個前所未有的關係；同時若在學習者反應之後給予適當的回饋和增強，更可增進學習的效果（王克先，民76；林

清山，民80）。這種理論認為學習是一種「由外向內」的方式，學習的本質是被動的、接受的及複製的過程。此外，行為主義論者主張知識的學習是一種發現的過程，學習者乃是以在其心智中建立實體複本的方式來學習知識。因此知識可以經由教學以一種現成的方式傳遞給學習者（Philip, Tony & Steven, 1987）。

由於行為主義的學習觀點，忽略了學習者的理解、注意、智力以及經驗在學習歷程中所扮演的角色，故雖然可以解釋部份的學習現象，但卻不能適用於所有的學習情境（王克先，民76）。因之許多心理學家紛紛擺脫行為主義的觀點，從學習者的內在結構和內在歷程來探究學習；皮亞傑即認為在學習的過程中，學習者並非處於一個被動的地位，相反的，學習者扮演的是主動的角色；他認為學習應該是一種同化與順應的行為；要瞭解一種現象，意謂著必須在腦海中利用已有的操作能力或某種變換系統去對應外界事物的變換情形；這種內在的變換系統並不是外界現象的複製，而是個人根據其能力與經驗所採用的可能模式，經過調整後逐漸確定的（黃湘武、黃寶鈿，民75）。

皮亞傑根據適應的觀點，認為知識是一種建構，知識的發生是個體與環境在交互作用中，協調本身內在結構與外在情境以達成平衡的結果，所以知識的形成是一種結構化的過程（Furth, 1970）。

建構主義理論對於學習的看法和皮亞傑相同，主張學習是一種主動的過程；學習者並非簡單地反射出其所看到或聽到的訊息，而是積極主動地建構外來訊息的意義，以尋求瞭解並做判斷和推論，甚至在缺乏完整資訊的情況之下，亦嘗試找出訊息的次序與規律（Osborne & Wittrock, 1983; Resnick, 1983）。因之學習的結果不僅僅依賴學習的情境，尚與學習者的動機與目的有關（Driver & Bell, 1986; Driver, 1988; 1989）。

學習者的自發知識在學習過程中扮演了相當重要的角色，它不但會影響學習者理解學習的程度，甚至更可影響學習者對於外來訊息的興趣和取捨；因此，外來訊息與自發知識間的相互關係便是決定新知識的獲得與否（Pines & West, 1985; 1986）。根據這種觀點，學習本身即是一種概念轉變的過程；在學習過程中學習者以其舊有的概念架構為基礎，不斷將新的經驗與知識同化到既有的架構之中，或者是放棄舊有的概念架構以順應新的經驗與知識（Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982）。

二、物質變化概念與重量守恆之相關研究

下面就本研究相關的概念摘錄國內外學者的發現。

- 關於蒸發，學生的想法有(Osborne & Cosgrove, 1981; 1983)：
- 1.水乾掉不見了。
 - 2.水跑到盤子裏面去了。
 - 3.水變成氧氣和氫氣而跑到空氣中。
 - 4.跑到空氣中變成雲。

關於燃燒，學生的想法有（黃寶鈿，民77a；BouJaoude，1991；Meheut、Saltiel & Tiberghien，1985；Ross，1991）：1.在燃燒過程中學生知道氧氣是必需的成份，但是氧氣並非主動的參與燃燒。2.沒有新物質的生成，燃燒產物是原有物質中的一部份轉變而來。3.物質並未完全消耗，灰燼是物質無法燃燒的部份。4.學生將燃燒與蒸發、熔化等概念混淆。5.燃燒只是一種物理變化。6.學生將燃燒視為一種破壞而非建構的過程；即物質被消耗，但卻忽略了物質的生成。

關於生鏽，學生的想法有（Schollum，1982）：1.鏽的產生是發生化學變化的結果。2.鏽只是一層表層。3.水加上鐵釘本身的不純物而生成鏽。4.鏽是從鐵釘本身而來。5.鏽是水侵蝕鐵釘的結果。6.鐵釘放入水中就會生鏽。

關於氣泡生成，學生的想法有（Schollum，1982）：1.氣泡是藥片與水產生化學反應（這並不意味學生瞭解氣泡產生的過程）。2.氣泡是藥片放入水中後，本身發生物理變化而引起的。3.不知道氣泡如何生成。

關於沉澱生成，學生的想法有（Schollum，1982）：1.新物質的生成，但並未提及如何產生，僅敘述事實。2.從反應物的其中之一沉澱而來。3.化學變化後的產物。而學生關於物質變化後重量守恆問題的不正確推理型態包括（Driver，1985；Piaget & Inhelder，1974；Stavy，1990）：1.物質不可見則不存在。2.氣體沒有重量或重量比液體、固體輕。3.只考慮物質產生變化的過程與結果。4.以物理變化的觀點來解釋化學變化。5.錯誤的化學知識。

參、方法與步驟

一、研究對象

本研究樣本從國中一至三年級學生中抽取共775人。

二、研究工具

（一）排水體積守恆推理能力測試工具：

本研究採用黃寶鈿（民76）所設計的工具；為一種示範實驗式的群測工具。其信度及效度皆經過考驗。

（二）物質變化概念與重量守恆測試工具：

本工具乃是先經過策劃及分析物質變化概念的知識體系，並參酌國內外相關文獻的研究結果，然後修改Piaget（1974）、Schollum（1982）、Driver（1985）及Stavy（1990）等人的研究工具而成一種示範實驗式的群測工具，主要的目的在於探究學生物質變化概念與重量守恆推理的思考模式。主試者先示範相關的實驗內容，受試者再一一回答，同時受試者亦可參與實驗操作。測試過程分成三個階段：預備、測試、查驗。本工具共分為七大題，除第二題外每大題皆包括二個子題，其中一個子題是關於物質變化的概念，另一個子題則是物質變化後，重量是否守恆的問題。本工具所涉及的概念有溶解、蒸發、昇華、燃燒、氧化（生鏽）、化學反應（二氧化碳生成及碘化鉛沉澱生成）等。

肆、結果與討論

一、物質變化概念與重量守恆推理的分析

（一）溶解

表 4-1 是學生對於糖在水中攪拌一陣子後，便消失不見的想法。從表 4-1 中發現 CD 及 MD 類型的學生約佔全部學生的 96%，顯示學生對於糖溶解的巨觀現象相當熟悉。此外，未以溶解來回答的學生中，一年級的學生多以糖擴散到水中來形容糖的消失不見，二、三年級的學生則以分解、分化或結合來回答。整體來說，大多數的受試學生對於糖在水中的變化，皆能以較正統的科學定義——溶解——來回答，僅有少數學生以擴散、分解等來描述糖的變化，不過學生認為糖並未消失不見，仍然存在於水中。

至於糖溶解之後重量是否守恆的問題，學生的想法如表 4-2。由表中可以將學生關於糖溶解後的重量守恆問題之推理型態整理如下：

1. 擁有糖溶解的特定知識之推理，如 JD 類。
2. 可逆性與同一性的推理，如 R 類。
3. 使用定律或定則，如 UF 類。
4. 糖溶解後重量改變，如 EW 類。
5. 僅考慮糖溶解後的結果，如 PW、DC 類。
6. 對於物質的重量具有不正確的觀點（固體較重），如 LW 類。

表4-1 學生關於糖在水中攪拌後消失不見的想法及人數百分比

代號	%	分 類	標 準
CD*	5.42	糖溶解在水中，同時以分子或粒子的觀點來解釋巨觀現象：糖溶解後便看不見的事實。	
MD*	90.45	糖溶解在水中，所以看不見。	
OC	3.74	糖擴散到水中或被水分解、分化等等。	
NR	0.39	毫無相關的解釋或沒有解釋。	

*較正確的想法

前三種推理使得學生正確地判斷糖溶解後重量是守恆的，而後三種推理則造成學生判斷錯誤。

表4-2 學生關於糖溶解後重量守恆問題的推理型態及人數百分比

代號	%	分 類	標 準
重量增加			
PW	21.42	糖也有重量，要加上糖的重量。	
DC	0.26	糖擴散到水中。	
NR	0.90	毫無相關的解釋或沒有解釋。	
重量不變			
JD*	48.65	糖只是溶解或分解。	
R*	9.03	糖及燒杯已用天平平衡過。	
UF*	2.97	使用定律或定則。	
DC*	0.13	糖擴散到水中。	
NR	0.90	毫無相關的解釋或沒有解釋。	
重量減輕			
LW	7.48	糖溶解或分解後重量減輕。	
EW	4.00	糖溶解或分解後重量消失。	
DC	0.52	糖擴散到水中。	
NR	1.68	毫無相關的解釋或沒有解釋。	
NR	2.06	毫無相關的解釋或沒有解釋。	

*較正確的推理

(二)蒸發

表 4-3 係學生關於酒精在密閉試管中，加熱後消失不見的想法。綜合言之，學生對於酒精蒸發的不正確想法有三種類型：

1. 不正確的物質變化概念，如S類；或非正統的科學定義，如OC類。
2. 錯誤的物質概念，如OE類。
3. 將蒸發視為化學變化，如CI類。

關於酒精蒸發後重量守恆的問題，學生的推理型態及人數百分比如表 4-4。由表中可以將學生對於守恆判斷的正確推理整理為：

1. 擁有酒精蒸發的特定知識，如JE類。
2. 密閉系統中，物質變化前後重量不變，如SI類。
3. 使用定律或定則，如UF類。

至於錯誤的推理則有：

1. 酒精蒸發後重量改變，如ELW類。
2. 僅考慮酒精蒸發後的結果，如PW類。
3. 對於物質的重量具有不正確的觀點（氣體較輕），如GLW類。
4. 酒精蒸發後消失不見，如D類。

表4-3 學生關於酒精在密閉試管中加熱後消失不見的想法及人數百分比

代號	%	分 類	標 準
E*	56.52	酒精遇熱蒸發至試管的空氣中。	
CG*	7.35	酒精遇熱變成氣體。	
S	2.58	酒精遇熱昇華。	
OC	16.13	除了蒸發、昇華以外的物理變化，例如揮發、發散等等。	
OE	11.61	酒精變成了水蒸氣。	
CI	4.77	酒精產生了化學變化。	
NR	1.03	毫無相關的解釋或沒有解釋。	

*較正確的想法

表4-4 學生關於酒精蒸發後重量守恆問題的推理型態及人數百分比

代號	%	分類標準
重量增加		
PW	8.77	試管中多了新的物質。
NR	0.39	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量不變		
JE*	17.81	酒精只是蒸發成爲氣體，是狀態上的改變而已並未消失不見。
SI*	18.84	試管是密閉的。
UF*	2.19	使用定律或定則。
NR	1.16	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量減輕		
ELW	18.45	酒精蒸發後，重量減輕或消失。
GLW	10.06	氣體沒有重量或重量比液體輕。
D	16.00	酒精消失不見了。
OS*	2.97	酒精跑到試管外，酒精會從試管與塞子的小縫隙跑到空氣中。
NR	1.29	毫無相關的解釋或沒有解釋。
NR	2.06	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的推理

(三)昇華

學生對於樟腦丸在密閉試管中，加熱後消失不見的想法如表 4-5，這些結果與酒精蒸發的實驗中，學生所具有的想法相類似。表 4-5 顯示認爲樟腦丸遇熱昇華的學生僅有 25%，且集中在二、三年級的學生之中，這可能是因爲國一學生尙未學習過相關的課程內容。此外，比較表 4-3 與表 4-5 可以明顯的發現學生對於蒸發概念的認知要比昇華概念來得強烈；在表 4-3 中，大約只有 3% 的學生以「昇華」來描述酒精的蒸發，而在表 4-5 中，卻有將近 24% 的學生認爲樟腦丸「蒸發」了；此外，在蒸發實驗中，OC 類的學生有 16%；而在昇華實驗中，OC 類的學生卻有將近 30%；這在在說明了學生對於蒸發概念要比對昇華概念熟悉。

同樣的，學生對於樟腦丸昇華的不正確想法亦可整理成三種類型：

1. 不正確的物質變化概念，如E類；或非正統的科學定義，如OC類。
2. 錯誤的物質概念，如OE類。
3. 將昇華視為化學變化，如CI類。

表4-5學生關於樟腦丸在密閉試管中加熱後消失的想法及人數百分比

代號	%	分類標準
S*	25.81	樟腦丸遇熱昇華成氣體。
CG*	8.52	樟腦丸遇熱變成氣體。
E	23.61	樟腦丸遇熱蒸發。
OC	29.55	除了昇華、蒸發以外的物理變化，例如揮發、熔化或溶解等等。
OE	4.77	樟腦丸變成了水蒸氣。
CI	3.87	樟腦丸產生了化學變化。
NR	3.87	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的想法

表4-6為學生對於樟腦丸昇華後重量是否守恆的推理型態及人數百分比，同樣的，這些推理型態與學生在酒精蒸發實驗中的推理型態相類似；與酒精蒸發的實驗相同，學生對於守恆判斷的正確推理有：

1. 擁有樟腦丸昇華的特定知識，如JS類。
2. 密閉系統中，物質變化前後重量不變，如SI類。
3. 使用定律或定則，如UF類。

至於錯誤的推理則有：

1. 樟腦丸昇華後重量改變，如ELW類。
2. 僅考慮樟腦丸昇華後的結果，如PW類。
3. 對於物質的重量具有不正確的觀點（氣體較輕），如GLW類。
4. 樟腦丸昇華後消失不見，如D類。

表4-6 學生關於樟腦丸昇華後重量守恆問題的推理型態及人數百分比

代號	%	分類標準
重量增加		
PW	4.65	試管中多了樟腦丸的氣體或化學反應後的產物比較重。
NR	0.39	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量不變		
JS*	20.77	樟腦丸昇華成爲氣體，只是狀態上的改變而已，並未消失不見。
SI*	15.35	試管是密閉的。
UF*	3.74	使用定律或定則。
NR	1.94	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量減輕		
SLW	4.00	樟腦丸昇華後，重量減輕或消失。
ELW	12.52	樟腦丸蒸發後，重量減輕或消失。
GLW	11.87	氣體沒有重量或重量比固體輕。
D	18.06	樟腦丸消失不見了；試管中沒有樟腦丸。
OS*	2.19	樟腦丸跑到試管外，樟腦丸會從試管與塞子的小縫隙跑到空氣中。
NR	1.81	毫無相關的解釋或沒有解釋。
NR	2.71	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的推理

(四)燃燒

關於水蒸氣的生成，學生想法如表 4-7。這些想法區分成四種型態：

- 1.日常生活中的經驗，如CF類。
- 2.將蠟燭的燃燒視爲物理變化；他們認爲水蒸氣原先即已存在（在空氣中、蠟燭中、玻璃片中），只要有適當的條件就會產生，如AW、PC類。
- 3.不適當的化學反應；這種類型的學生將燃燒產物視爲與燃燒起始物無關，如AWc類。
- 4.不正確的化學變化，如EC類。

在密閉容器內紙張燃燒過程的重量守恆問題，學生的推理型態及人數百分比如表 4-8。而表 4-9是學生關於鋼絲絨燃燒的重量守恆問題之推理型態及人數百分比。

學生的正確守恆推理型態歸納成五類：

1. 擁有燃燒的正確知識，如CA類。
2. 除了有燃燒的正確知識外，兼有互補性（compensation）的推理，如W類。
3. 密閉容器中，物質變化前後重量恆相等，如SI類。
4. 使用定律或定則，如UF類。

而使得學生判斷錯誤的推理型態則有：

1. 物質燃燒後重量改變，如BLW、BMW類。
2. 考慮燃燒的條件或產物，如NGD、PW類。
3. 具有錯誤的物質概念，如EM類。
4. 將燃燒視為物理變化，如SM、JR、PC類。
5. 誤用定律或定則，如MUF類。

表4-7 學生關於玻璃片上水蒸氣的生成之想法及人數百分比

代號	%	分 類	標 準
CB*	15.35	蠟燭燃燒產生水。	
C	5.94	蠟燭燃燒得來的。	
AW	41.55	由空氣中產生的。	
AWc	2.84	空氣中的氫及氧反應生成的。	
CF	19.23	由蠟燭的火焰或熱氣所產生。	
EC	6.19	由二氧化碳轉變而來。	
PC	7.48	蠟燭或玻璃片本身所含的水份轉變而來。	
NR	1.42	毫無相關的解釋或沒有解釋。	

*較正確的想法

表4-8 學生關於密閉容器內紙張燃燒的重量守恆問題之推理型態及人數百分比

代號	%	分類標準
甲較重		
BLW	28.90	燃燒會損失或消耗部份物質。
NGD	4.26	沒有空氣或氧氣的損耗。
PW	6.19	只考慮燃燒產物的輕重，而未注意整個系統的狀態是密閉的。
EM	1.03	將火、能量或熱量視為物質。
NR	0.90	毫無相關的解釋或沒有解釋。
乙較重		
PW	6.45	只考慮燃燒產物的輕重，而未注意整個系統的狀態是密閉的。
EM	8.52	將火、能量或熱量視為物質。
NR	0.65	毫無相關的解釋或沒有解釋。
丙較重		
PW	8.13	只考慮燃燒產物的輕重，而未注意整個系統的狀態是密閉的。
EM	0.26	將火、能量或熱量視為物質。
BMW	1.42	燃燒後重量會增加。
NR	0.90	毫無相關的解釋或沒有解釋。
一樣重		
SI*	5.55	容器是密閉的所以重量相同。
UF*	4.77	使用定律或定則。
W*	1.03	紙雖燃燒成灰燼，但卻生成水蒸氣及二氧化碳。
SM	15.87	同樣的物質，只是型態有所不同。
PW	0.77	只考慮燃燒產物的輕重，而未注意整個系統的狀態是密閉的。
EM	0.52	將火、能量或熱量視為物質。
NR	0.39	毫無相關的解釋或沒有解釋。
NR	3.48	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的推理

表4-9學生關於鋼絲絨燃燒的重量守恆問題之推理型態及人數百分比

代號	%	分類標準
重量增加		
CA*	5.55	與氧氣結合，多了氧氣的重。
ACA	0.39	和空氣中的氣體作用，多了氣體的重。
BMW	3.23	燃燒後重量增加。
NM	2.84	鋼絲絨燃燒之後，產生新的物質，所以重量增加。
EM	0.77	將火、能量或熱量視為物質。
PC	0.65	物理變化；鋼絲絨燃燒之後會膨脹，體積增大重量增加。
NR	0.52	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量不變		
JR	4.65	鋼絲絨只是紅熱一陣子。
SM	21.26	仍是相同的鋼絲絨。
MUF	0.90	誤用定律或定則。
PW	6.71	鋼絲絨燃燒之後，並不會產生灰燼。
EM	0.39	將火、能量或熱量視為物質。
PC	0.77	將燃燒視為物理變化；認為鋼絲絨燃燒前後型態相同，所以重量一樣。
NR	0.52	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量減輕		
BLW	37.94	燃燒會損失或消耗部份物質。
PW	6.71	燃燒後的產物散失。
EM	1.42	將火、能量或熱量視為物質。
NR	2.84	毫無相關的解釋或沒有解釋。
NR	2.06	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的推理

(五)二氧化碳生成

將含有酸及碳酸鈉的藥片放入水中，則水中會有二氧化碳氣泡的生成；對於這些氣泡的生成，學生的想法及人數百分比如表4-10。僅有少數的學生能正確的描述氣泡的生成；而雖有超過半數以上的學生認為氣泡的生成是經由化學反應所產生的，但是這些學生對於化學反應的概念卻十分的模糊不清；而學生對於氣泡生成的不正

確想法則可歸納成二種型態：

1. 視為物理變化，如GS、PC類。
2. 不正確的化學反應，如A、CW、EC類。

表4-11乃學生關於氣泡生成後的重量守恆問題之推理型態及人數百分比。學生正確判斷重量減輕的推理型態僅有BD一類，而這類的推理乃是因學生對於氣泡擁有正確的觀點所致；至於學生的錯誤推理則可區分成五種：

1. 藥片溶解後重量減輕，如EW類。
2. 考慮藥片溶解後的結果，如PW類。
3. 產生新物質重量增加，如NM類。
4. 將氣泡的生成視為物理變化，如AD、JD、R、MUF類。
5. 對於物質重量具有不正確的觀點，如BW、LW類。

(六) 鐵釘生鏽

關於學生對鐵釘生鏽的想法及人數百分比如表4-12。

同樣的，學生關於生鏽的不正確想法亦有三種類型：

1. 參與反應的物質不對，如MN類。
2. 將生鏽視為物理變化，如PC類、A類等。
3. 不正確的化學變化，如EC類。

表4-10 學生關於二氧化碳氣泡生成的想法及人數百分比

代號	%	分 類 標 準
CA*	4.90	酸及碳酸鈉反應生成的。
A	52.13	藥片與水反應生成的。
CW	15.87	酸或碳酸鈉遇水產生反應而來。
GS	16.65	原先即存在於藥片、水中或空氣中的氣體。
EC	5.42	不正確的化學反應。
PC	3.74	藥片溶解後，藥片中某種成份轉變而來。
NR	1.29	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的想法

表4-11 學生關於氣泡生成後的重量守恆問題之推理型態及人數百分比

代號	%	分類標準
重量增加		
PW	16.13	藥片也有重量，要加上藥片的重。
NM	4.00	有新物質的生成。
NR	0.90	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量不變		
JD	32.52	藥片只是溶解。
R	5.03	藥片及燒杯已用天平平衡過。
MUF	0.39	誤用定律或定則。
NR	1.03	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量減輕		
BD*	16.77	氣泡散失到空氣中。
AD	7.23	少掉藥片中的物質。
BW	2.32	氣泡較輕或沒有重量。
LW	5.29	藥片溶解之後重量減輕。
EW	4.26	藥片溶解之後重量消失。
NR	1.29	毫無相關的解釋或沒有解釋。
NR	2.84	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的推理

表4-13係學生對於鐵釘生銹後重量是否守恆的推理型態及人數百分比。整體來說，學生的正確守恆推理有二種型態：

1. 擁有生銹的特定知識，如ON、ON/WN類。
2. 產生新物質（銹）重量增加，如MR類。

不正確的推理型態則有：

1. 產生化學變化後重量減輕，如CLW類。
2. 日常生活中的經驗，如RD類。
3. 將生鏽視為物理變化，如SM、RSW類。
4. 對於物質的重量具有不正確的觀點，如RW、SC類。
5. 不正確的化學變化，如MW類。
6. 誤用定律或定則，如MUF類。

(七)碘化鉛沉澱的生成

表4-14是學生對於碘化鈉溶液與醋酸鉛溶液混合後，產生黃色沉澱的想法及人數百分比。學生關於碘化鉛沉澱生成的不正確想法有：

1. 不知道沉澱如何生成，如TA類。
2. 視為物理變化，如PC類。
3. 不正確的化學反應，如EC類。

而產生沉澱之後，重量是否守恆？學生的想法及人數百分比如表4-15。學生正確的守恆推理有：

1. 互補性的推理，如JA類。
2. 可逆性與同一性的推理，如R類。
3. 使用定律或定則，如UF類。

不正確的推理有：

1. 產生化學變化後重量改變，如CMW、CLW類。
2. 考慮沉澱生成後的結果，如PW、TW、TFO類。
3. 對於物質的重量具有不正確的觀點，如NMW類。
4. 不正確的化學變化，如MD類。

表4-12 學生關於鐵釘生鏽的想法及人數百分比

代號	%	分 類 標 準
ON*	9.55	鐵釘與氧氣產生氧化反應。
ON/WN*	1.81	鐵釘與水、氧氣產生氧化。
MN	18.19	鐵釘與其它物質產生氧化反應。
A	53.03	只要有水和空氣就會生鏽。
O/N	4.90	鐵釘與氧氣產生反應。
EC	1.16	生鏽與二氧化碳有關。
PC	8.52	物理變化。
NR	2.84	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的想法

表4-13 學生關於鐵釘生銹後的重量守恆問題之推理型態及人數百分比

代號	%	分 類	標 準
重量增加			
ON*	7.23	多了氧氣的重量。	
ON/WN*	0.65	多了水和氧氣的重。	
MW	8.39	多了其它物質的重。	
MR*	36.90	多了鐵銹的重。	
NR	0.13	毫無相關的解釋或沒有解釋。	
重量不變			
SM	12.77	只是生銹，鐵釘仍然是鐵釘。	
RSW	4.13	生銹不影響重量。	
MUF	0.65	誤用定律或定則。	
NR	2.84	毫無相關的解釋或沒有解釋。	
重量減輕			
CLW	2.32	產生化學變化後重量減輕。	
RW	9.68	銹比較輕。	
SC	9.94	物質被分解或取代。	
RD	2.97	銹容易剝落。	
NR	0.90	毫無相關的解釋或沒有解釋。	
NR	2.71	毫無相關的解釋或沒有解釋。	

*較正確的推理

從重量守恆推理能力探究學生
對物質變化的錯誤概念

表4-14 學生關於碘化鉛沉澱生成的想法及人數百分比

代號	%	分類標準
CA*	9.94	碘化鈉溶液與醋酸鉛溶液產生化學反應生成碘化鉛黃色沉澱。
C	33.42	產生化學反應的結果。
TA	38.06	兩杯溶液混合後所產生的
EC	4.13	不正確的化學反應。
PC	6.84	物理變化。
NR	7.61	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的想法

表4-15學生關於沉澱生成後的重量守恆問題之推理型態及人數百分比

代號	%	分類標準
重量增加		
PW	21.94	多了沉澱物質的重量。
TW	2.58	兩杯溶液相混合，重量增加。
CMW	0.65	產生化學變化後，重量增加。
NR	0.52	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量不變		
JA*	40.65	物質仍在燒杯之中。
R*	11.61	燒杯原先已經平衡過了。
UF*	7.61	使用定律或定則。
NMW	2.45	沉澱物不會增加重量。
NR	1.29	毫無相關的解釋或沒有解釋。
重量減輕		
TFO	2.71	兩種物質變成一種物質，重量減輕。
MD	3.23	物質有散失。
CLW	0.52	產生化學變化後，重量減少。
NR	0.52	毫無相關的解釋或沒有解釋。
NR	3.74	毫無相關的解釋或沒有解釋。

*較正確的推理

二、物質變化概念及其重量守恆之相關分析

表4-16的資料顯示，在物理變化的三個概念之中，僅昇華概念與重量守恆的卡方考驗達到統計上的顯著水準，至於化學變化概念與重量守恆的卡方考驗則皆具有統計上的顯著水準；顯示隨著變化程度的漸趨複雜，學生要正確的判斷及推理重量守恆，更需要具備相關的物質變化概念。換言之，學生擁有相關的物質變化概念，不一定就能正確的判斷及推理重量守恆，但是擁有物質變化概念的學生比未擁有物質變化概念的學生，正確的判斷及推理重量守恆的人數百分比要高（尤其是在較為複雜的變化之中）。

三、形式操作推理能力與重量守恆之相關分析

表4-17的資料顯示，可以發現不論是在物理變化或化學變化之中，能否正確的判斷及推理物質變化前後的重量守恆關係，與學生是否具有排水體積守恆推理能力大多數有顯著的相關。

表4-16 物質變化概念與重量守恆之 χ^2 考驗

主概念			CR	N-CR	總計	Chi-Square
溶解	CT	人數 (人)	455	288	743	1.625
		百分比 (%)	61.24	38.76	100.00	
	N-CT	人數 (人)	16	16	32	
		百分比 (%)	50.00	50.00	100.00	
蒸發	CT	人數 (人)	214	281	495	1.145
		百分比 (%)	43.23	56.77	100.00	
	N-CT	人數 (人)	110	170	280	
		百分比 (%)	39.29	60.71	100.00	
昇華	CT	人數 (人)	162	104	266	59.608***
		百分比 (%)	60.90	39.10	100.00	
	N-CT	人數 (人)	164	345	509	
		百分比 (%)	32.22	67.78	100.00	
氣泡生成	CT	人數 (人)	27	11	38	84.328***
		百分比 (%)	71.05	28.95	100.00	
	N-CT	人數 (人)	103	634	737	
		百分比 (%)	13.98	86.02	100.00	
燃燒之一	CT	人數 (人)	41	78	119	73.686***
		百分比 (%)	34.45	65.55	100.00	
	N-CT	人數 (人)	47	609	656	
		百分比 (%)	7.16	92.84	100.00	

從重量守恆推理能力探究學生
對物質變化的錯誤概念

表4-16 物質變化概念與重量守恆之 χ^2 考驗(續)

主概念		CR	N-CR	總計	Chi-Square	
燃燒之二	CT	人數 (人)	24	95	119	40.681***
		百分比 (%)	20.17	79.83	100.00	
	N-CT	人數 (人)	28	628	656	
		百分比 (%)	4.27	95.73	100.00	
生鏽	CT	人數 (人)	59	29	88	19.913***
		百分比 (%)	67.05	32.95	100.00	
	N-CT	人數 (人)	288	399	687	
		百分比 (%)	41.92	58.08	100.00	
沉澱生成	CT	人數 (人)	66	11	77	23.770***
		百分比 (%)	85.71	14.29	100.00	
	N-CT	人數 (人)	398	300	698	
		百分比 (%)	57.02	42.98	100.00	

*** $p < .001$

CR : 重量守恆推理能力之判斷及推理均正確

N-CR : 重量守恆推理能力之判斷及推理其中之一不正確或兩者均不正確

CT : 物質變化概念正確

N-CT : 物質變化概念不正確

表4-17 排水體積守恆推理能力與物質變化後重量守恆之 χ^2 考驗

主概念		CR	N-CR	總計	Chi-Square	
溶解	VC	人數 (人)	104	34	138	19.271***
		百分比 (%)	75.36	24.64	100.00	
	N-VC	人數 (人)	131	118	249	
		百分比 (%)	52.61	47.39	100.00	
蒸發	VC	人數 (人)	88	50	138	39.163***
		百分比 (%)	63.77	36.23	100.00	
	N-VC	人數 (人)	77	172	249	
		百分比 (%)	30.92	69.08	100.00	
昇華	VC	人數 (人)	87	51	138	41.647***
		百分比 (%)	63.04	36.96	100.00	
	N-VC	人數 (人)	73	176	249	
		百分比 (%)	29.32	70.68	100.00	
氣泡生成	VC	人數 (人)	52	86	138	49.626***
		百分比 (%)	37.68	62.32	100.00	
	N-VC	人數 (人)	21	228	249	
		百分比 (%)	8.43	91.57	100.00	

表4-17 排水體積守恆推理能力與物質變化後重量守恆之 χ^2 考驗(續)

主概念			CR	N-CR	總計	Chi-Square
燃燒 之一	VC	人數 (人)	38	100	138	38.644***
		百分比 (%)	27.54	72.46	100.00	
	N-VC	人數 (人)	13	236	249	
		百分比 (%)	5.22	94.78	100.00	
燃燒 之二	VC	人數 (人)	24	114	138	32.962***
		百分比 (%)	17.39	82.61	100.00	
	N-VC	人數 (人)	4	245	249	
		百分比 (%)	1.63	98.17	100.00	
生鏽	VC	人數 (人)	77	61	138	34.276***
		百分比 (%)	55.80	44.20	100.00	
	N-VC	人數 (人)	91	158	249	
		百分比 (%)	36.55	63.45	100.00	
沉澱 生成	VC	人數 (人)	103	35	138	31.630***
		百分比 (%)	74.64	25.36	100.00	
	N-VC	人數 (人)	112	137	249	
		百分比 (%)	44.98	55.02	100.00	

*** p<.001

CT : 物質變化概念正確

N-CT : 物質變化概念不正確

VC : 體積守恆推理能力之判斷及推理均正確

N-VC : 體積守恆推理能力之判斷及推理其中之一不正確或兩者均不正確

伍、 結論

一、 將學生關於物質變化的誤解想法整理成三種類型：

(一) 錯誤的物質概念

主要出現在蒸發及昇華的實驗中，有的學生以為酒精或樟腦丸成份內含有水，因此加熱後會產生水蒸氣；有些則認為只要是蒸氣，就是水蒸氣。

(二) 不正確或不適當的物質變化概念

分成物理變化與化學變化來敘述。在物理變化中，如學生將蒸發視為昇華、揮發，而誤認昇華為蒸發等等；在化學變化裡，例如水蒸氣生成的實驗，學生雖然知道水蒸氣的生成乃是氫氣與氧氣化合的結果，但其卻以為是空氣中

的氫氣與氧氣化合而與蠟燭沒有關係，在他們的看法裡，蠟燭僅僅是提供熱使得氫氣與氧氣得以化合而已；又如碘化鉛沉澱的生成，學生視之為中和反應，碘化鈉為鹼、醋酸鉛為酸，兩者相遇就會產生沉澱。

(三)將物理變化視為化學變化，化學變化視為物理變化

如學生將酒精在試管中加熱蒸發的現象看成燃燒，並認為會生成二氧化碳及水；而在氣泡生成的例子裡，學生以為氣泡是原先即存在於藥片的小縫隙裡，當藥片溶於水之後，縫隙被水所取代，因此氣泡便逸出燒杯。

二、在重量守恆推理方面，學生常見的正確推理有：

(一)擁有物質變化過程的知識

這類學生對於物質的變化過程大多有相當程度的瞭解，因此能夠正確的判斷物質變化前後的重量守恆關係；如鋼絲絨燃燒後，學生認為重量增加的原因是因鋼絲絨與氧氣結合所造成的。

(二)可逆性、同一性及互補性推理

此類型學生大多是由整個系統的狀態來判斷物質變化前後的重量守恆關係；譬如在糖溶解的實驗中，學生認為糖及燒杯事先已平衡過了，且在溶解的過程裡，並無任何物質的增加或減少，因此重量不變。這種推理型態與Piaget & Inhelder (1974) 的結論相同。

(三)密閉容器內，物質變化前後重量不變

這種推理型態與 2. 的推理型態頗為類似，均認為沒有物質的進出系統，所以重量不變；惟前者出現在密閉的系統之中，後者則常見於開放的系統裡。

(四)使用定律或定則

常見的是質量守恆定律或質量不滅。

三、不正確的重量守恆推理型態則可歸納成四種：

(一)缺乏物質變化過程的知識

大致上有四種想法：

1.將化學變化視為物理變化

以鋼絲絨燃燒例子，學生覺得鋼絲絨燃燒前後除了外觀有點不同之外，並沒有什麼差異，因此重量不變；又如鐵釘生鏽的實驗裡，學生以為鏽是從鐵釘本身轉變而來，故重量不會改變。

2.直覺的認為物質發生變化後重量改變

這些學生並未詳細敘述重量改變的原因，僅直覺的認為重量會增加、減少、甚至消失。

3. 錯誤的化學知識

譬如學生認為生鏽的原因是鐵釘與空氣產生氧化作用的結果，所以生鏽後的鐵釘多了空氣的重量，所以重量增加；又如鋼絲絨燃燒後，少數學生以為鋼絲絨會產生氣體（如二氧化碳）而跑走，使得重量減輕。

4. 誤用定律或定則

常用的是質量守恆定律或質量不滅，顯然學生對於這些定律或定則的意義並不十分清楚，故造成學生在使用上的錯誤。

(二) 缺乏整體性的考量

學生在判斷重量是否守恆時，常將注意焦點置於物質產生變化之後的結果，而對於當時系統所處的狀態則常忽略不考慮；以酒精蒸發為例子，學生以為酒精蒸發後，試管中多了酒精的重量，所以重量應該增加，可是學生卻忽略了原先試管中即含有酒精的事實。另外，有的學生則只注意產生變化所需要的條件；如密閉容器內紙張的燃燒，學生認為燃燒需要氧氣，因此正在燃燒或燃燒後的容器，其內的氧氣均有所消耗，故重量減輕；這種思考則是忽略了物質產生變化後的結果。

(三) 錯誤的物質概念

這些學生在判斷物質變化後的重量守恆關係時，之所以發生錯誤的原因乃在於學生具有對物質的錯誤概念。一般說來，這些概念有三種：

1. 物質看不見則不存在

主要出現在蒸發及昇華的實驗中，這些學生以為試管內已看不到酒精或樟腦丸，所以它們已消失不見了；雖然部份學生知道酒精蒸發或樟腦丸昇華，但顯然他們的想法並不完整。

2. 對於物質的重量具有不正確的觀點

學生認為固體的重量比液體、氣體要重，氣體重量較輕或沒有重量，所以當物質由固體轉變成液體、氣體時，其重量減輕；這種思考可能源自於日常生活的體驗。

3. 將火、能量及熱量視為物質

在燃燒的實驗裡，有的學生覺得火有重量要加以考慮；有的學生則以為鋼絲絨燃燒後會損失部份能量，故重量減輕。

(四) 受日常經驗的誤導

在鐵釘生鏽的實驗中，學生認為鐵釘生鏽之後，其上的鏽容易剝落，因此生鏽後鐵釘的重量比起未生鏽鐵釘的重量要輕。

四、物質變化概念是化學變化之相關概念的基礎

在物理變化的三個概念之中，僅昇華概念與重量守恆的相關達到統計上的顯著水準，至於化學變化概念與重量守恆的相關則皆具有統計上的顯著水準；顯示隨著變化程度的漸趨複雜，學生要正確的判斷及推理重量守恆，更需要具備相關的物質變化概念。

五、形式操作推理能力與物理變化或化學變化有相關

不論是在物理變化或化學變化之中，能否正確的判斷及推理事物變化前後的重量守恆關係，與學生是否具有排水體積守恆推理能力均有顯著的相關。

六、以上研究結果在化學或物理的教學中顯示的意義是：

(一)質量守恆是學習理化的重要概念

質量守恆概念是學習物理變化或化學變化的基礎。進一步更影響學生對化學反應式、化學式、以及化學計量的學習。但尚有其他之影響這些概念學習的變因。而這些問題有待進一步之研究。

(二)日常生活經驗與理化的學習有關

從學習的過程與本質觀點而言，學生的認知發展階層也是影響學生學習物質變化概念的主要原因。但日常生活的經驗更是學生學習這些相關概念的一部分過程，而且是根深蒂固的，不是正統之學校教學可易於改變的。

參考文獻

- 王克先（民76）：學習心理學。台北市：桂冠圖書公司。
- 林清山（民80）：教育心理學—認知取向。台北市：遠流出版公司。
- 黃湘武、黃寶鈿（民75）：學生推理能力與概念發展之研究。第一次認知與學習研討會論文專集。台北市：國家科學委員會，4-16頁。
- 黃寶鈿（民76）：示範式群測法研究學生的排水體積守恆概念。測驗年刊，34輯，137-146頁。
- 黃寶鈿（民77a）：我國中小學生科學概念與推理能力發展之相關研究：燃燒的化學及物理概念。國科會專題研究計劃報告。

- BouJaoude, S.B.(1991). A study of the nature of students' understandings about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8) , 689-704.
- Cosgrove, M.M. & Osborne, R.J.(1981). Physical change. ERIC Document, No. ED 236009.
- Driver, R.(1985). Beyond appearance : the conservation of matter. In R. Driver 、 E. Guesne & A. Tiberghien(Eds.), *Children's Ideas in Science*(pp145-169). Milton Keynes : Open University Press.
- Driver, R.(1988). Theory into praction(II). a constructivist approach to curriculum development. In P. Fensham(Eds.), *Development and Dilemmas in Science Education* (pp133-149). London : The Falmer Press.
- Driver, R.(1989). Changing conceptions. In P. Adey 、 J. Bliss & M. Shayer(Eds.), *Adolescent Development and School Science* (pp79-104). London : The Falmer Press.
- Driver, R. & Bell, B.(1986). Student's thinking and learning of science : a constructivist view. *School Science Review*, 67(240), 443-456.
- Furth, H.G.(1970). *Piaget for Teachers*. Englewood Cliffs : N.J., Prentice-Hall.
- Gilbert, J.K. 、 Osborne, R.L. & Fensham, P.L.(1982). Children's science and it's consequence for teaching. *Science Education*, 66(4), 632-633.
- Helm, P.(1980). Misconceptions in physics amongst South Africa students. *Physics Education*, 15(2), 92-97 、 105.
- Meheut, M. 、 Saltiel, E. & Tiberghien, A.(1985). Pupils'(11-12 year old) conceptions of combustion. *European Journal of Science Education*, 7(1), 83-93.
- Osborne, R.J. & Cosgrove, M.M.(1983). Children's conceptions of the changes of state of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Osborne, R.J. & Wittrock, M.C.(1983). Learning science : a generative process. *Science Education*, 67(4), 489-508.
- Philip, S. 、 Tony, D. & Steven, G.(1987). A constructivist view of learning and teaching in science. ERIC Document, No. ED 287706.
- Piaget, J. & Inhelder, B.(1974). *The Child's Construction of Quantities : Conservation and Atomism*. London : Routledge & Kegan Paul.
- Pines A.L. & West L.H.T. (1986). Conceptual understanding and science learning : an interpretation of research within a source of knowledge framework. *Science Education*, 70(3) , 583-604.
- Posner, G.J. 、 Strike, K.A. 、 Hewson, P.W. & Gertzog, W.A.(1982). Accommodation of a scientific conception : toward a theory of concepceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-228.
- Resnick, L.B.(1983). Mathematics and science learning : a new conception. *Science*, 29(4) , 477-478.
- Ross, K.(1991). Burning : a constructive not a destructive process. *School Science Review* , 72(251), 39-49.

Schollum, B.(1982). Reaction. ERIC Document, No. ED 236020.

Stavy, R.(1990). Children's conception of change in the state of matter from liquid(or solid)to gas.
Journal of Research in Science Teaching, 27(3) , 247-266.

West, L.H.T. & Pines, A.L.(1985). *Cognitive Struction and Conceptual Change*. London : Academic Press.

Study the Students' Conceptions and Reasonings About the Transformations of Matter through their Abilities of the Conservation of Weight

Bao-tyan Hwang 、 Shih-shiung Chen

Department of Chemistry,
National Taiwan Normal University

Abstract

This paper was to study students' conceptions and reasonings about the transformations of matter and conservation of weight. The main purposes for conducting the study were :

1. to analyze how students perceive the transformations of matter and weight conservation when matter transformed.
2. to investigate the relationship between students' conceptions about the transformations of matter and weight conservation when substance transformed.
3. to study the relationship between students' cognitive development and weight conservation abilities when matter transformed.

The test instrument for measuring the students' conceptions is a form of group demonstration test, which was developed from the first author by referring to some of the other research results. The test consists several concepts : dissolution 、 evaporation 、 sublimation 、 oxidation and chemical reaction. There were 775 students selected from six junior high schools as the subjects for the study.

The results of this study were :

1. Three types of students' misunderstandings about the transformations of matter were found as follows: (1) Incorrect conceptions about matter, (2) Incorrect or improper conceptions about the matter transformations, (3) Confusion between chemical change and physical change.
2. Four types of students' correct reasoning on weight conservation were found: (1) To possess conceptions about the transformations of matter, (2) Reversibility 、 identity and compensation reasoning, (3) The weight is unchanged in closed system, (4) To use laws or rules, such as the law of mass conservation.
3. Four types of students' incorrect reasoning of conservation of weight were also found: (1) To lack conceptions about the transformations of matter, (2) Only consider part of the matter transformed and missing the whole situation, (3) Incorrect conceptions about matter. (4) To be misled by daily life experience.
4. The more information students acquired about the transformations of matter, especially in more complicated transformations, the easier it is for them to judge and reason correctly about the weight of matter when matter transformed.
5. The students who were able to operate formally can easily judge and correctly reason about the weight of matter when matter transformed.