
莫耳概念之教學活動設計

顧炳宏^{1*} 陳瓊森²

國立彰化師範大學 科學教育研究所¹

國立彰化師範大學 物理系²

壹、前言

莫耳在化學上為一相當重要的概念，Kolb(1978)認為莫耳概念乃學習化學時的必要概念，它的必要性在於其可以做為化學計量的基礎。Head(1968)也認為應用莫耳概念可使化學計量邏輯化和系統化，並有可廣泛應用於各種化學問題的優點。因此，在我國中學階段的科學課程中，莫耳概念始終是相當受到重視的部分，從民國 80 年版的理化教科書第二冊、88 年版的理化教科書第二冊，及目前教科書民營化之後的各版本皆是如此。

但較不幸的是，不只老師對於「莫耳」的教學感到棘手，對國中學生來說，「莫耳」更是非常難以理解的概念(吳泓林，1990; 黃寶鈿和李武勳，2002; Venn, 1972; Duncan & Johnstone, 1973; Hudson, 1976; Novic & Menis, 1976; Griffiths, 1979; Cervellati, Montuschi, Perugini, Grimellini-Tomasini & Pecori 1982; Graham, 1983; Gable & Sherwood, 1984; de Sanabia, 1993; Furió, Azcona, Guisasola & Ratcliffe, 2000)。多位科學教育研究者皆建議使用「類比」的方式來教授莫耳概念(Kolb, 1978; Macdonald, 1984; Myers,

1989; de Sanabia, 1993;)，如：1 雙代表 2 個、1 打代表 12 個、1 箱代表 24 個…等，並且向學生強調莫耳只是一個「計數單位」而已。

但是即使是使用類比的教學方式可能還是不足，Gable 和 Sherwood(1984)在研究莫耳概念的類比工作時就指出了學生感到困難的原因：因為此概念所涉及的粒子數目非常巨大，而它們在自然界中又是以極微小的狀態存在，因此學生無法以微觀層次的化學概念(指巨大的粒子數目)來表徵實際存在於化學藥品架上的物質。有關於微觀層次的表徵方式涉及到學生是否能真正感覺到原子、分子等微小粒子的存在，研究者計畫另以專文探討此部分之活動設計。

若依照 Kolb(1978)的教學建議(表 1)，從計算「紙張的 1 令為 500 張」要直接跳到 6×10^{23} (1 莫耳)，這對初次學習莫耳概念的學生來說，中間似乎還存在著相當程度的差距。也就是說，即使已使用類比的方式來教學，但如果不能使學生真正感受到莫耳數量的龐大，那麼學生很可能依舊無法理解究竟用雙、打等比喻與莫耳有什麼關聯，因為在一般的日常生活中並不會經驗到這樣的數字。

* 為本文通訊作者

表 1

項目	集合(set)的種類	形成集合 (set)的數目
襪子、骰子	雙(pair)	2
蛋、橘子	打(dozen)	12
瓶子、罐頭	箱(case)	24
畫筆、鉛筆	籮(gross)	144
紙張	令(ream)	500
原子、分子	莫耳(mole)	6.02×10^{23}

貳、莫耳概念的教學活動設計

承上所述，日常生活中常用之數字和莫耳(6×10^{23})之間存在著不小的差距，單純用一般類比的方式似乎仍感不足。因此本教學設計旨在發展一系列的活動，透過日常生活中較為熟悉的事物，設計出不同的任務，經由學生彼此合作學習與溝通討論的過程，主動歸結出解決任務的具體方法，並利用簡易之運算得到相當於莫耳數量級(10^{23})的結果，使學生能真正經驗到 10^{23} 數量級的例子，讓學生能較真實的感受到此數字的龐大，並將其整理成工作單之模式(附錄一)，以利教師教學上使用。以下乃針對活動設計之教學原理、所需材料與活動引導技巧等做概要之敘述。

一、教學原理：

本教學設計在利用日常生活中常見的「米」及「沙子」，設計出「數米」和「數沙子」的有趣任務，藉著這樣的活動讓學生了解「莫耳只是一個計數單位而已」之概念，透過較親和的事物讓學生不致對「莫

耳」這個詞感到害怕，並有助學生對於往後原子量的產生緣由、原子量與莫耳數之間的關聯等概念之理解，以利於更進階之化學計量的教學與學習。

本活動設計之初衷，乃是以合作學習之教學策略為主軸，力求符合 5E 引導探究式與學習環教學策略之精神。因此研究者不只期待本活動設計能協助學生學習到基本的學科知識，更冀望藉由活動的進行培養學生觀察、邏輯思維、推理、討論、聆聽、動手操作…等各項科學過程技能，而這也正符合九年一貫所強調的「帶著走的能力」之核心價值。

二、使用器材與工具：

200 cc 紙杯	1 個
白米	半杯
量筒 (10 mL)	1 個
電子秤 (最小單位 0.01g)	1 台
細沙(裝進量筒)	1 mL
細沙(預備分給學生)	0.01g
小刀	1 支/每人

三、教學活動引導技巧：

(一) 活動一：吃米不知米數

- 引起動機：**教師事先準備一個 200 cc 的紙杯，並在杯中裝入半滿的白米。先試問學生使否想過自己究竟有多少根頭髮？要怎麼數呢？一根一根數嗎？要全部都數嗎？
- 引入問題：**詢問學生平常是否曾幫家長煮過飯？是否知道一杯米可以煮幾碗

飯？一輩子大概吃了多少粒的米？

3. **分工合作**：將半杯白米(可煮一碗飯)分成六等份，分給各小組各一等份。指示各組分工將所分到的白米數計算出來。再把六組計算出來的米數相加，就可以得到半杯白米，也就是一碗飯的米粒數。
4. 慢慢引領學生一步一步計算出以活 100 歲而言，一生所吃下的米粒數。
5. 最後的結果約可以得到 10^{11} 數量級的數目。但是這距離 10^{23} 的數量級還有一段不小的差距。緊接著進行下一個「數沙」的活動。

(二) 活動二：聚沙成“台灣”

1. **引起動機**：故意嚇嚇學生接下來要請他們數半杯「沙」。接著再將裝有 1cm^3 沙子的量筒拿出來。
2. **引入問題**：詢問學生是否有更具效率的方法以計算出 1cm^3 沙的數量。教師並可視學生之程度決定是否給予「具有電子天平」的提示。
3. **小組討論**：教師必須鼓勵學生彼此討論，以歸納出最好的解決問題的方法。若學生仍百思不得其解時，教師才將較可行的辦法提供予學生，預設的方法可以是：先秤出 0.01g 的沙子，計算其含有多少數量的沙子，再秤量 1cm^3 沙子的重量，以比例換算得之。
4. **分工合作**：同樣將 0.01g 的沙子分成六等份，每個小組各一等份，並分給每個學生一支小刀(撥數沙子用)。指示各組分工將所分到的沙子數計算出來。再把六

組計算出來的沙子數相加，就可以得到 0.01g 的沙子總數。

5. 最後再推算出 1cm^3 的沙子究竟有多少顆。
依作者之原始數據： 0.01g 沙子約有 1100 顆， 1cm^3 沙子重約 1.42g ，即 1cm^3 的沙子約有 $142 \times 1100 = 156200$ 顆。
6. **引入新的問題與情境**：假設台灣是由沙子所組成的，如果要計算台灣的沙子之數目，在已具有的基礎底下(1cm^3 的沙子約有 156200 顆)，是否有可行的方法加以推估。

7. **小組討論**：同樣鼓勵學生彼此討論，想出最好、可行的方法。此處教師預設的方法可以是：將台灣當成錐體來處理，計算出台灣的體積，再依比例換算得之。依作者之原始數據：

沙子 1 立方公分約有 142×1100

$= 156200$ 顆 ≈ 150000 顆

台灣面積約 35778 平方公里

≈ 36000 平方公里

$= 36000 \times 10^{10}$ 平方公分

台灣最高的山為玉山，高度約 3997 公尺。而台灣超過 3500 公尺的山有 50 多座，因此將台灣視為錐體來處理應是可以接受的。

把台灣當作錐體(體積 = 底面積 \times 高 $\times 1/3$) 的話，體積約為：

36000×10^{10} 平方公分 $\times 4000 \times 10^2$ 公分 $\times 1/3 = 44 \times 10^{18}$ 立方公分

所以台灣的總沙子數

$\approx 44 \times 10^{18} \times 150000 = 66 \times 10^{23}$ 顆

8. 依照這樣的計算結果，不只可以讓學生經由解決實際問題的過程，得到 10^{23} 數量級的數目，且較令人震撼的是，台灣若全為沙子所組成的話，那麼總沙子數也不過是約 10 莫耳左右，雖然我們可以感覺到這樣多的沙子數量已是非常龐大，但這跟化學藥品動輒數十、數百莫耳相較之下卻只是微不足道的數目罷了。接下來，如果學生感覺很具體的話，就可以持續的探討一杯水所含的分子數可能是幾杯沙、幾輛砂石車、幾個墩、幾座丘所含的沙粒數，讓整個類比活動與實際的莫耳問題結合的更穩固，更容易讓學習達到理解的程度。

參、建議

1. 本教學設計乃取材自生活中的事物，經由適當的有趣任務，讓學生在較輕鬆的情境下學習本為非常抽象、難以親近的莫耳數量級概念。學生透過教師的引導，同儕之間的討論、分工、合作等良好互動行為，不只學習到基本的學科知識，也培養了自身的創造力、問題解決能力…等科學過程技能。
2. 九年一貫課程強調「結合日常生活經驗」及「主動學習」。但現今多數版本教科書在述及此部分時，多以講述部分直接告知學生：一莫耳等於 6×10^{23} 個。我們已經從眾多文獻中發現這樣的方式可能是不恰當的。因此本教學活動設計希望藉由熟悉事物所形成的任務，引導學生主動學習，也提供教師另一種教學模式的選擇。

3. 最後我們可以利用類似的題材，將 Kolb 的教學建議(表 1)再延伸，如下表 2。

表 2

項目	集合(set)的種類	形成集合(set)的數目
襪子、骰子	雙(pair)	2
蛋、橘子	打(dozen)	12
瓶子、罐頭	箱(case)	24
畫筆、鉛筆	籮(gross)	144
紙張	令(ream)	500
沙子	沙(0.01 克)	1000
沙子	撮(1 立方公分)	1.5×10^5
沙子	杯(200 cc)	3×10^7
沙子	車(砂石車)	1×10^{12} (註 1)
沙子	墩	8.4×10^{15} (註 2)
沙子	丘(柴山)	2×10^{20} (註 3)
原子、分子	莫耳(mole)	6.02×10^{23}

註 1：砂石車一般容積為 7 立方公尺，換算得一輛砂石車所含沙粒的數量約為 $7 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^5 \approx 1 \times 10^{12}$ 顆

註 2：墩乃一般民間通俗用語，意指小土丘。此處研究者自定以直徑 150 公尺，高 10 公尺的小土丘為一墩。因此粗略估計一墩所含的沙粒數約為 $\pi \times 752 \times 10 \times 1/3 \times 10^6 \times 1.5 \times 10^5 \approx 8.4 \times 10^{15}$ 顆

註 3：丘謂丘陵，乃指高度不超過 1000 公尺之隆起地。柴山標高約 350 公尺，長約 6 公里，寬約 2.5 公里，佔地約 1200 公頃，即 12000000 平方公尺。由此粗略估算柴山體積(以錐體計算)約為 1.4×10^{15} 立方公分，則柴山所含沙粒的數量約為 $1.4 \times 10^{15} \times 150000 \approx 2 \times 10^{20}$ 顆

參考文獻

- 吳泓林 (1990)：莫耳概念學習階層之教學研究。國立彰化師大科學教育研究所碩士論文。未出版。
- 黃寶鈿和李武勳 (2002)：抽象概念的具體化教學：以莫耳概念為例。科學教育月刊，253，48-50。

- Cervellati, R., Montuschi, A., Perugini, D., Grimellini-Tomasini, N., Pecori B. B. (1982). Investigation of secondary school students' understanding of the mole concept in Italy. *Journal of Chemical Education*, 59, 852-856.
- Duncan, I. M. & Johnstone, A. H. (1973). The mole concept. *Education in Chemistry*, 10, 213-214.
- de Sanabria, J. A. (1993). Relative atomic mass and the mole: A concrete analogy to help students understand these abstract concepts. *Journal of Chemical Education*, 70, 233-224.
- Furió, C., Azcona, R., Guisasola, F., & Ratcliffe, M. (2000). Difficulties in teaching the concepts of "amount of substance" and "mole". *International Journal of Science Education*, 22, 1285-1304.
- Griffiths, A. K. (1979). The mole concept: Investigation of hierarchical model. (University Microfilms No. 0342746)
- Graham, I. (1983). Difficulties encountered by biology students in understanding and applying the mole concept. *Journal of Biology Education*, 17, 339-342.
- Gable, D. & Sherwood, R. D. (1984). Analyzing difficulties with mole-concept tasks using familiar analog. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 843-851.
- Head, J. O. (1968). Teaching the mole concept in school. *School Science Review*, 184, 496-498.
- Hudson, M. J. (1976). Introducing the mole. *Education in Chemistry*, 13, 110-114.
- Kolb, D. (1978). The mole. *Journal of Chemical Education*, 55, 729-736.
- Macdonald, J. J. (1984). The mole: How should it be taught? *School Science Review*, 65, 486-497.
- Myers, R. T. (1989). Moles, pennies, and nickels. *Journal of Chemical Education*, 66, 249.
- Novic, S. & Menis, J. (1976). A study of student perceptions of the mole concept. *Journal of Chemical Education*, 53, 720-722.
- Venn, G. C. (1972). The mole in Nuffield O-level chemistry. *School Science Review*, 184, 648-649.

附錄一 工作單

活動一：吃米不知米數

還記得你昨晚吃了幾碗飯嗎？嘿嘿~ 你可知道昨晚吃進多少粒米？這是能估算出來的喲！讓我們來算一算，在一生中，你究竟吃進多少粒米？

如果你幫媽媽做過飯就會知道「1 杯米(約 200c.c)可以煮 2 碗飯」，而現在，老師要讓全班透過小隊一起分工，來數一數 1 碗飯（也就是 1/2 杯米）究竟有多少粒米？

根據全班分工一起數的結果：(請用科學記號表示)

1 碗飯有 _____ 粒米。

1 碗飯，總共有	粒米
1 餐 吃 _____ 碗飯，吃下	粒米
1 天 吃 _____ 2 _____ 餐，吃下	粒米
1 年 吃 365 天，吃下	粒米
1 生 吃 _____ 年，吃下	粒米



經過估算，是不是覺得你一生中所吃的米粒數量大為驚人！

活動二：聚沙成“台灣”

我們剛剛很辛苦的一粒一粒去算半杯米，嘿嘿~，猜猜老師現在想叫你們算什麼呢？我們現在來算半杯沙有多少粒沙子吧，哈哈~量倒了吧，你覺得要用什麼樣的方法才可以節省我們的時間呢？（提示：如果我們有電子天平的話）

我的想法	小隊討論
------	------

老師現在把 0.01 克的沙分成六等份，各小隊拿一份回去數，寫下各隊沙子有幾顆。

隊名							總數
沙子數量							

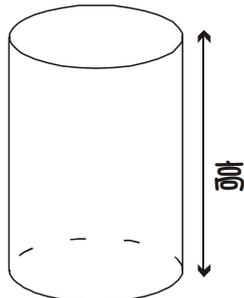
再秤一下 1c.c (1 cm³)的沙有多重？_____。

所以我們大概可以估算 1 cm³ 的沙子有_____顆。

取一個整數，1 cm³ 的沙子有_____顆。

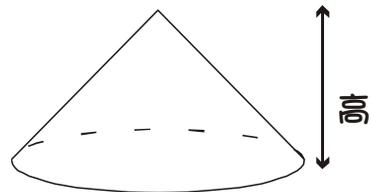


你知道一個圓柱體的體積要怎麼算嗎？



$$\begin{aligned} \text{底面積} &= \pi r^2 \\ &= 3.14 \times (\text{半徑})^2 \end{aligned}$$

你知道一個圓錐體的體積要怎麼算嗎？



$$\begin{aligned} \text{底面積} &= \pi r^2 \\ &= 3.14 \times (\text{半徑})^2 \end{aligned}$$

1. 想一想，假設台灣是由沙子所組成的話，如果我們要計算台灣的沙子總共有幾顆，你覺得可以怎麼做呢？

我的想法	小隊討論

2. 有沒有想過台灣的體積大概有多少呢？現在讓我們來算算吧！

a. 先把台灣的底面積算出來(看作長方形再乘 $\frac{3}{5}$)，
或者你知道台灣的面積有多少也可以直接用。

b. 知道台灣最高的山是什麼山嗎？有多高呢？

c. 把台灣大概當成錐體來算，那台灣的體積
大概是多少呢？

d. 算算台灣這麼大的體積又有多少顆沙子呢？

