

# 高中論證教學設計 ——以蠟燭燃燒水面上升為例

許綺婷

國立臺灣師範大學科學教育研究所

國立屏東高級工業職業學校

[hsu9716@gmail.com](mailto:hsu9716@gmail.com)

## ■ 學習論證的重要性

科學論證有兩種意義，其一為「知識的辯護」，其二為「說服」( Jimenez-Aleixandre & Erduran, 2008 )。在科學探究的過程中往往需要用到論證，包括針對問題產生假說，設計實驗以獲取證據的假說演繹論證過程，以及如何說服科學社群接受自己的研究成果的論證過程。因此，高中生若沒有學習論證，則無法學到探究科學知識的完整過程。有鑑於此，本文目的在於提供一個高中論證教學設計，以作為論證教學的參考。

## ■ 論證教學設計

許綺婷 ( 投稿中 ) 提出一個高中科學論證教學模式，由察覺一個困惑的觀察而提出問題，然後進入假說演繹論證過程 ( 針對問題產生假說，設計實驗以獲取證據來支持假說 )，接著進入社群討論之論證過程 ( 透過說服、溝通以討論出最適當的假說 )，最後得出結論。此模式共分四個階段，包括提出問題、假說演繹論證過程、社群討論之論證過程與結論。本文乃依據此模式並修改 Lawson ( 2002 ) 而開發出以化學科「蠟燭燃燒水面上升」為例的論證教學設計。為使學生熟悉

論證結構，以利後續的論證教學，在教學前增加預備情境，先教導論證結構並清楚說明論證的如果/則/所以 ( If/then/Therefore ) 型態。以下將從預備情境開始，依序從提出問題、假說演繹論證過程、社群討論之論證過程最後得到結論等方面說明本文之論證教學設計內容。

### 一、預備情境

(一)先以虎克定律為例，清楚說明提出假說，設計實驗，做出預測，比較觀察值和預測是否符合，是否支持此假說，並清楚說明論證的 If/then/Therefore 型態。

如果 ( If ) ... 彈簧長度是造成彈簧伸長量不同的原因【提出假說】

而且...當控制其它變因時，使兩個彈簧的長度不同【設計實驗】

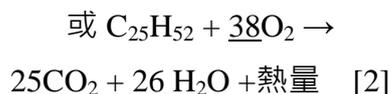
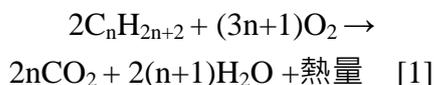
則 ( then ) ... 彈簧伸長量應該會不同【預測】

但是...最後的結果彈簧伸長量是相同的【比較觀察值和預測是否符合】

所以 ( Therefore ) ... 彈簧長度的假說可能是錯誤的【是否支持此假說】

(二)蠟燭為石蠟族  $C_nH_{2n+2}$  的混合物，通常以

$C_{25}H_{52}$  代表。蠟燭與氧燃燒，生成二氧化碳及水，可讓學生練習平衡方程式。其燃燒反應如式[1]和[2]所示：



## 二、提出問題：蠟燭燃燒水面為何上升

教師先示範蠟燭燃燒的實驗，在裝了水的水盆當中有一根燃燒中的蠟燭，將廣口瓶反轉蓋在水盆當中的蠟燭後發現，蠟燭在瓶裡還會燃燒一會兒時間，這時水慢慢上升，但是當燭火熄滅後，水面則快速上升，上升的高度比剛才還高。讓學生透過這樣的觀察而引發他們提出一個問題：水面為何上升？

## 三、假說演繹論證過程

根據實驗現象可以引導學生對於「水面為何上升」的問題，提出多種假說，包括(1)耗氧假說 (H1)，(2)空氣熱漲冷縮的假說 (H2)，(3)水膨脹的假說 (H3)。接著學生針對假說設計實驗，而後經由演繹推理做出預測，將實驗所得的觀察值和預測加以比較，以得到是否支持假說的結論，並請學生將論證過程以 If/then/Therefore 推理來呈現。

(一)耗氧假說 (H1)：燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣，水蒸氣於燭火熄滅冷卻後會凝結成小水滴附著在器壁上。生成的二氧化碳是所用掉氧氣體積的 25/38，加上二氧化碳微溶於水，因此瓶中的氣體體積應略為減少，水面因而上升。

If---若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣

And---若使用大廣口瓶

Then---消耗氧氣較多，水面應上升較多

And---看到水面上升量較多，

Therefore---耗氧假說被支持。

(二)空氣熱漲冷縮的假說 (H2)：蠟燭的熱使空氣膨脹，當燭火熄滅後溫度下降，空氣體積縮小，水面因而上升。

If---蠟燭的熱使空氣膨脹，

And---當 4 根蠟燭燃燒時，

Then---由於溫度上升愈多，空氣應膨脹愈多，當燭火熄滅後溫度下降，空氣體積應縮小更多，水面應該上升更多。

And---看到水面上升量較多，

Therefore---空氣熱漲冷縮的假說被支持。

(三)水膨脹的假說 (H3)：蠟燭的熱使水膨脹，水面因而上升。

If---若蠟燭的熱使水膨脹，

And---拿另一個燒杯裝水，當加熱燒杯，使水膨脹，

Then---水面應該會上升，

But---看到水面沒有上升，

Therefore---使水膨脹假說不被支持。

(註：水雖會膨脹，但不足以測量到水面上升)

## 四、社群討論之論證過程

(一)班級社群的討論

在討論中，H1、H2、H3 的支持者先各自提出假說演繹論證的結果 (H3 假說暫時不成立，而 H1、H2 暫時成立)，接著支持 H1、

H2、H3 的人仍可以各自提出更好的解釋來說服別人相信自己的假說，或是去反駁別人的假說，並針對別人對自己的質疑提出辯護。此時教師是基於引導的角色，不要過度介入或干涉學生的想法，讓學生自由討論。

### 1. 耗氧假說 (H1):

演繹論證的結果，耗氧假說 H1 雖暫時成立。但別人對此假說可能提出以下的反駁：

If---若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣

And---當 4 根蠟燭燃燒時，由於瓶中的氧氣量是固定的，4 根蠟燭消耗的氧氣和 1 根蠟燭消耗的氧氣量相同，而 4 根蠟燭和 1 根蠟燭生成二氧化碳及水蒸氣量也相同

Then---水面上升量應該相同，

But---看到水面上升量較多，

Therefore---耗氧假說不被支持。

針對別人的反駁，耗氧假說支持者可以針對別人對自己的質疑提出辯護 1 如下：上述結果是因空氣熱脹冷縮的干擾，若將這個干擾因素去掉，耗氧假說應仍正確。

If---若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣，但有空氣熱脹冷縮的干擾，

And---若我將這個干擾因素去掉，耗氧假說應仍正確。為避免在加熱當時空氣已經膨脹後再反轉廣口瓶，故直接先反轉廣口瓶，再以放大鏡聚光加熱至 4 根蠟燭燃燒。而且原先水面可以弄高一些，以避免空氣在膨脹時逸出。

Then---氧氣用完，水面上升量應該相同，

And---看到水面上升量相同，

Therefore---耗氧假說被支持。

### 2. 空氣熱漲冷縮的假說 (H2)

對方的反駁：如辯護 1 所示，僅單純的考慮耗氧假說時，它是正確的，所以水面上升應是耗氧假說造成的。

針對別人的反駁，空氣熱漲冷縮假說 (H2) 的支持者可以針對別人對自己的質疑提出辯護 2 如下：好，那我們也僅單純的考慮空氣熱漲冷縮假說時，此假說應仍正確。

If---空氣熱脹冷縮是水面上升的原因，但不巧有蠟燭燃燒化學反應的干擾

And---若我將這個干擾因素去掉，空氣熱脹冷縮假說應仍正確。為避免蠟燭燃燒化學反應的干擾，先用燈泡通電發熱，再反轉廣口瓶，

Then---水面應上升

And---看到水面上升，

Therefore---空氣熱脹冷縮假說被支持。

### 3. 水膨脹的假說 (H3)

演繹論證的結果，水膨脹的假說 H3 暫時不成立。可以考慮以下幾種情況：(1)H3 的確不成立；(2)需修改 H3；(3)因為實驗誤差或設計不良才讓 H3 暫時不成立，再做一次實驗驗證。

## 五、社群討論決定最後結論

在這社群討論溝通的過程中，必須權衡證據的輕重，考慮到是否有其他的另有假說可以導致相同的證據？是否別人的假說比自己的更適合，是否應該修改自己的假說？建議教師基於引導的角色，不要過度介入或干涉學生的想法，讓學生自由討論出他們所認

可的假說。最後，教師再來總結說明目前較為科學社群所接受的假說（或較為合適的假說）為何，讓學生比較一下是否有所不同，讓學生能了解到是否在班級討論中大家欠缺考量某些的因素。教師可以用來總結說明目前較為合適的假說的過程簡述如下：

1. 水膨脹的假說，基於演繹論證的結果不成立，難以服眾，故放棄此假說。
2. 耗氧假說、空氣熱漲冷縮的假說，基於演繹論證的結果成立，雙方假說均有一定的解釋力，且發現若將干擾因素去掉，雙方假說仍正確，故雙方假說都是可能原因。因此達成結論如下：水面上升的原因，可分以下兩個部份來看：

(1)蠟燭在瓶裡還會燃燒一會兒時間，這時水慢慢上升，是因為消耗氧氣。燭火消耗瓶中的氧氣，但會生成二氧化碳及水蒸氣。生成的二氧化碳是所用掉氧氣體積的  $25/38$ （註 1），加上二氧化碳微溶於水，因此瓶中的氣體體積應略為減少，水面因而上升。但由於燃燒後溫度較高，二氧化碳溶解的量應不多，故而水面上升量應不多。因此消耗氧氣並非水面上升的主要原因，而是次要原因。若要明顯看到耗氧效應，可設計如下的實驗：

If—若耗氧，燭火消耗瓶中的氧氣而生成二氧化碳及水蒸氣

And—加入適量的氫氧化鈉溶液，大部分的二氧化碳會直接與氫氧化鈉生成碳酸鈉；少部分的二氧化碳則先溶於水生成碳酸，碳酸再與氫氧化鈉生成碳酸鈉，

Then—當氧氣用完時，水面應上升更多，

And—看到水面上升量更多，

Therefore—耗氧假說被支持。

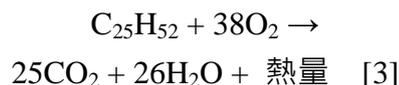
(2)當燭火熄滅後，水面快速上升則是因為空氣熱脹冷縮的關係。在廣口瓶罩住蠟燭時，蠟燭的熱已經使空氣膨脹，當燭火熄滅後溫度下降，空氣體積縮小，水面因而上升，這是水面上升的最主要原因。但此處仍須多考量一個因素：蠟燭燃燒為放熱反應，也能造成空氣熱脹冷縮的效果造成水面上升。

## ■ 結語

本文之教學設計強調結合假說演繹與社群討論之論證過程，在教學設計中可以看出，假說演繹的論證與社群討論的論證是同等重要的。學生經由提出假說、設計實驗以獲取證據來支持假說，而透過接下來的社群討論，不管是在維護自己的假說、接納別人或修改自己的假說時，都能藉由溝通論證得到更適合的結論，讓學生經歷類似科學家的論證過程。近來高中科學課程的課綱開始有論證的意涵出現，顯示論證已經受到重視，然而對於如何進行論證教學卻未清楚說明。因此希望藉由此教學設計的提出，能提供教師作為論證教學的參考。

## ■ 附註

註 1：蠟燭與氧燃燒，生成二氧化碳及水。其燃燒反應如式[3]所示：



## ■ 參考資料

許綺婷（投稿中）。探究為主的高中科學論證模式架構。

- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. In S. Erduran & M.P. Jimenez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Lawson, A. E. (2002). Sound and faulty arguments generated by pre-service biology teachers when testing hypotheses involving un-observable entities. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 237-252.