

# 利用 3D 列印並配重的原子模型製作方法

周欣誼<sup>1</sup>、周佳誼<sup>1</sup>、周金城<sup>2\*</sup>

1 國立中科實驗高級中學

2 國立臺北教育大學自然科學教育系

\*Email:ccchou62@tea.ntue.edu.tw

## ■ 前言

2019 年，為了慶祝門德列夫的元素週期表提出 150 周年，國際化學界定為化學週期表年，臺灣也不例外，舉辦了一系列紀念活動，包括影片放映、國際研討會、特展和科普活動等。這些活動為公眾提供了一窗口，以多元化的方式了解生活中的化學元素。我們有幸參觀了在邱美虹教授在國立臺灣科學教育館策展的元素週期表特展，其內容包含元素方塊週期表、光雕投影、化學元素大事記、化學元素海報、視障者點字元素週期表、女性科學家與週期表、稀缺元素週期表、中學生眼中的週期表、元素文學小品、元素郵票展、擴增實境(AR)和虛擬實境(VR)等(邱美虹，2019)。

根據 108 課綱國中自然科學課程關於元素週期表課程要教的內容，其中一項「CAa-Vc-3 元素依原子序大小順序，有規律的排列在週期表上。」週期表上的元素體積變化排列規律是由左至右變小，由上至下變大，重量的規律性隨原子序增加而重量增加。這些內容在課堂上，大多是透過老師講述以及書面表格建立這些概念，但不是實際透過觸覺感來學習。在士林國立臺灣科學教育館參觀的國際化學週期表年特展中，雖然展示內容豐富有趣，卻缺少了可供觸摸的實體原子模型，這激發了我們創造可觸摸的實體模型的想法。

我們上網查詢資料，看到日本東京學藝大學的鎌田正裕教授及其學生曾經使用保麗龍球和鉛塊作為原子模型，這樣學生就能親手感受到原子的大小與重量差異(野口卓也、鎌田正裕，2012)。這個方法很有創意，但我們在嘗試製作時發現，按比例製作出各種尺寸的保麗龍球並不容易，從保麗龍塊切割出完美的球體更是一項挑戰，且要大量複製這樣的模型幾乎是不可能的。因此，我們轉而探索使用 3D 列印技術製作原子模型的可能性，期望透過學校現有的設備來製造出週期表上各種原子的模型，讓各校都能自製原子模型。

隨著 3D 列印技術的普及和成熟，越來越多學校配備了 3D 列印機。這激發了我們的想法，即利用 3D 列印技術來製作原子模型。這樣，我們就能按照所需的不同比例精確列印出模型。我們選擇了 Thinkercad，這是一款操作簡便、可在網頁瀏覽器中運行的免費 3D 建模軟

體。在收集到所有必要的資料並確認可以使用 3D 繪圖軟體和 3D 列印機後，我們開始了繪製和列印原子模型的過程。起初，我們認為這將是一項耗時但相對簡單的任務，但後來我們發現，這其實是一項既複雜又耗時的研究工作。儘管如此，我們最終還是克服了這一挑戰，成功製作出不同的大小與重量的 3D 原子模型。

## ■ 說明 3D 列印並配重的原子模型流程

### 一、設定 3D 列印的原子大小與配重的挑戰

在進行模型印製的規劃階段，我們的核心目標是製作出一套模型，大小適合放置於學生的課桌上，方便展示和觀察，考慮到教學使用學生桌面的空間限制，模型的尺寸不宜過大。不同原子大小。有關原子大小，我們查閱有發現一些期刊文獻提到，原子大小可通過計算電子雲密度得到，但我們最後大學無機化學教科書中列出的原子共價半徑數值(Miessler et al., 2014)，作為原子模型大小參考數據，來製作中學課本常見的原子序 1 至 36 的原子模型。

在進行多次不同尺寸的列印與配重實驗後，我們發現了一些關鍵的問題和解決策略。當原子模型設定過小時，像是氫和氦的模型直徑小於一公分，這樣的尺寸不僅難以觀察，而且由於重量過輕，也無法有效地感受到氫和氦之間的重量的差異。此外，按比例換算時，我們還遇到了另一個挑戰，即當某些原子模型的直徑在 2 至 3 公分左右時，要在其中填充達 50 克的鋼珠實際上是不可能的。

因此，我們對原子模型的最小尺寸設定做了調整，決定將氫的直徑定為 1 公分(見表 1)。這樣一來，氫和氦的模型大小與彈珠相近，更易於觀察和比較。我們沒有進一步增大氫的模型尺寸是因為，若將氫的直徑設定為 1.5 公分，根據共價半徑的比例，鉀的模型直徑將達到約 9.5 公分，這甚至超過了棒球的大小(棒球直徑約為 7.5 公分)。如此大的模型不僅會占用過多空間，而且整套原子模型的總重量將非常沉重，這對於老師在教室中的攜帶和教學將極為不便。

表 1 設定原子序 1-36 的原子列印出的大小與重量

原子序	元素 中文	元素 符號	共價半徑 (pm)	列印模型直 徑(cm)	原子量	模型重量 (克)
1	氫	H	32	1.00	1.008	0.89
2	氦	He	31	0.97	4.002	3.53
3	鋰	Li	123	3.84	6.941	6.12
4	鈹	Be	89	2.78	9.012	7.94
5	硼	B	82	2.56	10.81	9.52

6	碳	C	77	2.41	12.01	10.58
7	氮	N	75	2.34	14.01	12.34
8	氧	O	73	2.28	16	14.10
9	氟	F	71	2.22	19	16.74
10	氖	Ne	69	2.16	20.18	17.78
11	鈉	Na	154	4.81	22.99	20.25
12	鎂	Mg	136	4.25	24.31	21.42
13	鋁	Al	118	3.69	26.98	23.77
14	矽	Si	111	3.47	28.09	24.75
15	磷	P	106	3.31	30.97	27.28
16	硫	S	102	3.19	32.97	29.05
17	氯	Cl	99	3.09	35.45	31.23
18	氬	Ar	98	3.06	39.95	35.20
19	鉀	K	203	6.34	39.1	34.45
20	鈣	Ca	174	5.44	40.08	35.31
21	鈦	Sc	144	4.50	44.96	39.61
22	鈦	Ti	132	4.13	47.87	42.17
23	釩	V	122	3.81	50.94	44.88
24	鉻	Cr	118	3.69	52	45.81
25	錳	Mn	117	3.66	54.94	48.40
26	鐵	Fe	117	3.66	55.85	49.20
27	鈷	Co	116	3.63	58.93	51.92
28	鎳	Ni	115	3.59	58.69	51.71
29	銅	Cu	117	3.66	63.55	55.99
30	鋅	Zn	125	3.91	65.38	57.60
31	鎳	Ga	126	3.94	69.72	61.42
32	鍺	Ge	122	3.81	72.64	64.00
33	砷	As	120	3.75	74.92	66.00
34	硒	Se	117	3.66	78.96	69.56
35	溴	Br	114	3.56	79.45	70.00
36	氬	Kr	111	3.47	83.8	73.83

若原子設定的太大與太小，會在一系列的原子製作中遇到一些配重的困難，例如有的原子 3D 列印出來的外殼，尚未加鋼珠配重就已經超出所需的重量，又或是要加入配重的鋼珠需要很重，超出球殼能放進的鋼珠數量，所以無法全部放入 3D 列印的球殼中，若要解決這個問題尚需要密度比鐵更大金屬來配重才行。由於本文是想介紹較容易實際可製作的方法，因此只採用各種尺寸的鋼珠來配重，讀者若容易取得比鋼珠密度大的物質來配重，例如鉛塊，都是再自行嘗試看看。

我們原子的半徑與重量仍是用不同的放大比例(如表 2)，我們無法採用實際原子體積與重量等比例放大的方式來製作原子模型，因為以相同的比例放大，兩者的相同比例放大差異太大了，無法製作。

表 2 完成的原子模型與實際的原子大小與重量比較表

以碳原子為例	實際原子直徑	原子模型直徑	放大倍率
半徑	$1.54 \times 10^{-8}$ 公分	1.21 公分	$7.85 \times 10^7$
重量	$2 \times 10^{-23}$ 克	10.59 克	$5.30 \times 10^{23}$

## 二、 3D 建模方式介紹

確認原子模型製作的大小後，我們利用 Thinkercad 免費 3D 繪圖軟體來建模(圖 1)，在網頁中即可運行，操作算是容易，讀者可以上網查詢 Thinkercad 並申請自己的帳號。

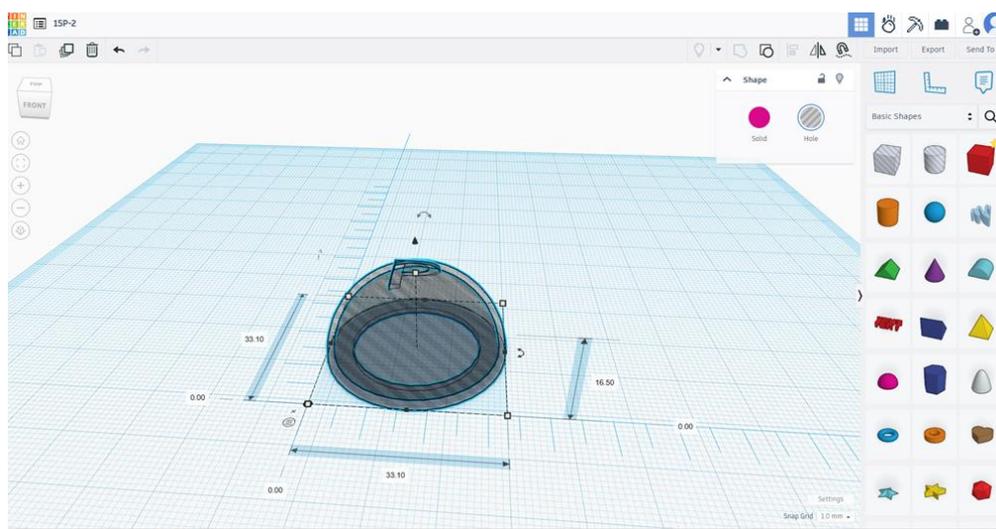
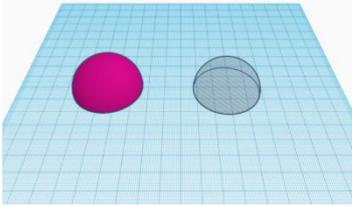
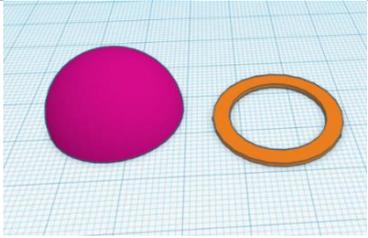
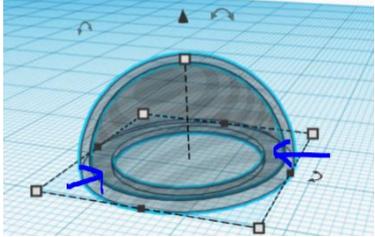
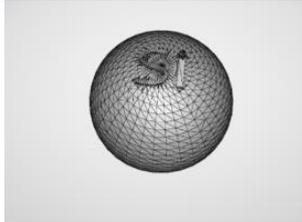
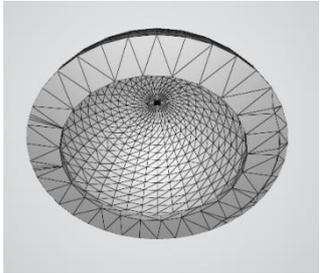


圖 1 使用 Thinkercad 軟體來建立 3D 原子模型

我們簡單說明 3D 原子模型繪圖與製作過程如下：

說明	Thinkercad 畫面	操作說明
步驟一		<p>在 Thinkercad 工作檯面上拉出兩個半圓形球體，一個為實心，一個為空的，實心的半圓形直徑要大於空的半圓形，兩者差距取決於列印的殼厚度大小。</p>
步驟二		<p>在碗狀模型加上一個環，直徑介於實心與空的半圓形之間，目的要製作出兩個半球形可以上膠的黏合處。</p>
		<p>左圖透視圖可以看出，在半圓形底層加上「環」，目的是要製造將兩個半圓形黏合的空間，藍色箭頭就是建模過程中加上的「環」，但是環也不能太大，因為大顆的鋼珠會塞不進去。</p>
步驟三		<p>在繪圖過程中加上元素符號，讓列印出來的模型更容易辨識。因為後續製作出的原子序相近的原子大小與重量都很接近，加上元素符號就不易弄混。</p>
步驟四		<p>利用 3D 檢視器 360 度預覽原子模型建模是否成功，確認沒問題後即可輸出檔案進行 3D 列印。</p>

附件有原子序 1 至 36 的 3D 原子模型列印檔，也可以使用 Thinkercad 登入帳號後匯入系統開啟與修改。讀者也可以使用 windows 系統中的 Microsoft Store 上的小畫家 3D 來開啟觀看。

### 三、 3D 列印方式介紹

我們採用了免費的 Thinkercad 3D 繪圖軟體進行原子模型的建模，這款軟體能夠在網頁中運行，使用上相對容易。然而，剛開始時，繪製並列印的過程經常出現失敗，常常列印出來的原子模型有破洞等問題。經過多次的測試和調整原子模型殼層厚度後，我們終於成功建立了完整的原子序 1 至 36 的 3D 原子模型列印檔案。

最初，我們嘗試列印出兩個空心半圓形的原子模型(圖 2)，希望通過將兩個半圓黏合起來製作出一個球形的原子模型。但實際列印並嘗試黏合後，我們發現兩個半圓的接觸面積太小，導致黏合不牢固，兩個半球容易脫開，這種方法被證明是不可行的。我們也曾嘗試將半球內部填滿黏膠來增強黏合，但這種方法由於黏膠本身也有重量，而且在放入配重鐵球後，需要加入的黏膠重量難以精確計算，這最終導致配重不準確，同樣以失敗告終。



圖 2 在碗狀模型不易年和牢固



圖 3 在碗狀模型加上一個環增加黏合面積

為了解決這些問題，我們對兩個半球的設計進行了改進，增加了一個內環結構(圖 3)，使得黏合時兩個半球之間的接觸面積變大，從而提高了黏合的牢固度。這種設計改進後，所需的黏膠量較少，對整體重量的影響也很小。在進行列印前，我們使用 3D 列印機上的軟體再次檢視和預覽原子模型設定(圖 4)，以確保建模成功，無任何問題後才輸出檔案進行 3D 列印(圖 5)。

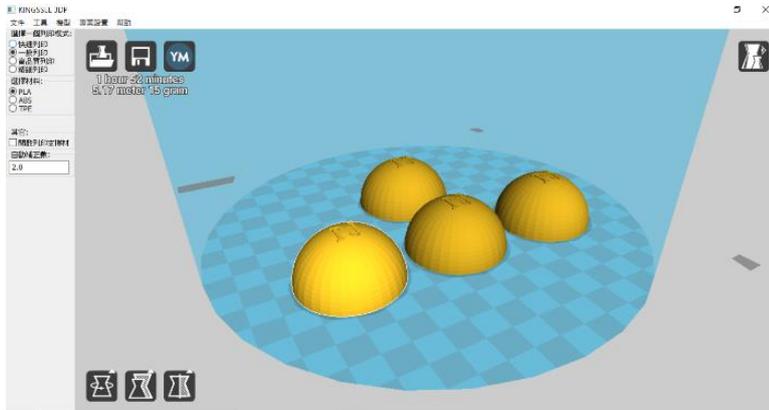


圖 4 將繪製好的原子模型檔案在 Kingsssel 3DP 工作平台上

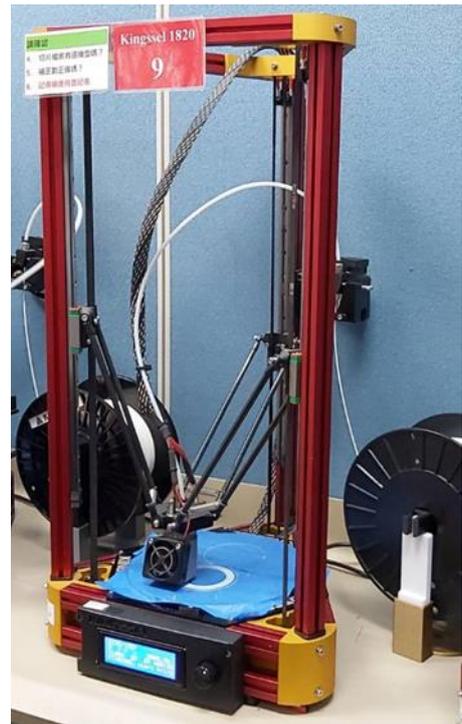


圖 5 透過 3D 列印機列印原子模型(3D 列印機型號是 Kingsssel 1820)

#### 四、原子模型內部的配重

在原子模型外殼列印完成之後，下一步是進行配重工作。我們這一批原子模型中，直徑最大的接近 4 公分，需配重的最重可達 50 多公克。因此，選擇填充物時需考慮到重量，我們認為球形的金屬球作為填充物最為適宜。經過在網路上的搜尋，我們發現鋼珠、銅球是相對普遍的選項，其中鋼珠的尺寸種類最多，且價格相對便宜且易於取得。我們找到的鋼珠直徑在 3 公分及以下的就有 13 種不同尺寸可供選擇 (圖 6)，表 3 為鋼珠的尺寸及重量，因此決定使用小鋼珠作為填充物。透過網路購買很方便，我們獲取了多種不同尺寸的鋼珠，能滿足不同重量需求的原子模型配重(圖 7)。但後續進行配重時，發現氦中原子模型的空間無法塞入 3.53 克的鋼珠，但考量要再調整與列印不容易，所以直接取規格七的鋼珠當作氦原子。剛好規格七的鋼珠大小與重量與我們預設氦原子的重量與大小都很接近，所以解決的我們的難題。但由於 3D 列印的原子模型都是使用 PLA 的白色線材列印，但鋼珠不是白色的，所以在鋼珠外層使用立可白塗上白色的顏料，這樣整體原子模型看起來就相當一致了。



圖 6 不同尺寸的鋼珠

表 3 鋼珠的尺寸及重量如下

	直徑 (公分)	重量 (公克)		直徑 (公分)	重量 (公克)
規格一	0.2	0.03206	規格八	1.11	5.6182
規格二	0.3	0.1233	規格九	1.27	8.4028
規格三	0.4	0.2551	規格十	1.54	16.3974
規格四	0.47	0.4417	規格十一	1.9	28.3935
規格五	0.6	1.0683	規格十二	2.22	44.9839
規格六	0.8	2.0512	規格十三	2.54	67.2674
規格七	0.95	3.5368			

註：測量鋼珠的尺寸與重量方式是取十顆相同規格的鋼珠，測量尺寸和重量再計算平均值。



圖 7 利用電子秤與鋼珠進行原子配重

## 五、兩個半圓球原子模型的黏合

在進行原子模型配重和黏合的過程中，選擇適合的黏著劑顯得尤為重要。我們首先嘗試使用三秒膠來黏合模型的兩個半球殼，但發現在將乾燥後的模型往地上丟幾次後，模型容易裂開，顯示三秒膠的黏合效果並不理想。接著，我們嘗試使用熱熔膠，但發現熱熔膠在黏合時對已經秤重的原子模型重量有較大的影響，而且黏合力也不夠強。因此，我們轉而使用 AB 膠。經過測試，即便是將乾燥後的模型往地上丟幾次，模型也不會裂開，證明了 AB 膠具有較佳的黏合效果。為了確認 AB 膠固化前後對模型重量的影響，我們進行了一項小測試，結果顯示使用 AB 膠作為黏著劑(圖 8)，在乾燥前後對模型整體重量的差異非常小(表 4)。此外，AB 膠黏合前的可調整時間允許我們對鋼珠進行精確的配重調整，從而達到更精準的配重結果。

表 4 AB 膠乾燥前後重量比較

A 膠與 B 膠	重量(公克)
混合前之重量	0.3795
混合後之重量	0.3790
誤差重量	0.0005 (0.13%)



圖 8 使用 AB 膠作為黏著劑

## 六、製作完成的原子模型成品

我們將序數 1 至 36 的原子模型放置於一張大型週期表上，讓人一眼就能看出它們的實際大小差異。如果目的僅是觀察這些大小差異，繪製圖片就已足夠，無需進行實體列印。然而，透過 3D 列印並精確配重的原子模型，不僅可以視覺上辨識出大小的不同，還能透過手感體驗到重量的明顯差異(圖 9)。



圖 9 將原子列在大型的週期表海報上

為了方便收納，我們在網路上尋找了眾多收納盒賣家，最終找到了一款大小合適的收納盒。這款收納盒能夠按照元素週期表的排列順序，將原子序 1 至 36 的原子模型有序地排列其中(圖 10)。此外，我們還在收納盒內部貼上了標籤，清晰標示每個原子模型對應的元素，以便於識別(圖 11)。



圖 10 依照元素週期表上的排法，將 36 個原子模型依序排列在收納盒中



圖 11 每個格子底部及側邊都貼有元素的基本資料

## ■ 結語

本文透過 3D 列印技術，把教科書上抽象的原子概念轉變為可見、可觸摸的立體模型。這種創新的教學方法不僅讓學生能直觀感受到週期表中各原子的相對大小與質量差異，還進一步加深了他們對化學元素特性的理解及記憶。學生們能夠通過觸摸，學習並理解週期表上元素的大小及質量變化規律。實際操作這套模型的學生反映：「原來同一周期的原子，看起來更大的，拿起來卻比較輕，真是太特別了。」這顯示出，透過直接的觸感體驗，學生的學習印象能被顯著加深。最後，我們把繪製的 3D 列印原子模型檔案也放於附件供大家下載，方便感興趣的學校自行列印製作，這樣就能讓更多的學生有機會以這種獨特的方式學習。

## ■ 致謝

本研究曾參與 109 學年度臺中市中小學科學展覽會化學科國中組，題目是《元素週期表原子 3D 列印的挑戰—模型大小、配重與使用》，獲得台中市第三名，感謝孫彩瑄老師的指導與協助。

## ■ 參考資料

邱美虹(2019)。《2019 國際化學元素週期表年特展》活動介紹。臺灣化學教育，31。  
<http://chemed.chemistry.org.tw/?p=33970>

野口卓也、鎌田正裕(2012)。原子の「重さ」や「大きさ」を表現したモデル教材：開発と中学校理科授業での試用。科學教育研究, 36(1), 38-43。

Noguchi, T. & Kamata, M. (2012). Particle model expressing “weight” and “size” of atoms: Development and trial use in junior high school science. *Journal of Science Education in Japan*, 36(1), 38-43. ° <https://doi.org/10.14935/jssej.36.38>

Miessler, G. L., Fischer, P. J., & Tarr, D. A (2014). *Inorganic Chemistry* (5<sup>th</sup> Edition). Pearson Education. ISBN 978-1-29202-075-4

## ■ 附錄

原子序 1-36 原子模型 3D 列印檔如下，有興趣的讀者可以下載並修改使用。  
<https://reurl.cc/L4Gr8x>