

用 AI 開發高中化學互動教材：四類教材、規範與教師的把關

劉泓其

臺北市立中山女子高級中學

Email: kikimo0704@m2.csghs.tp.edu.tw

摘要：生成式 AI 讓不擅寫程式的教師也能做出互動教材，但 AI 寫出來的東西不一定能直接拿進教室：名詞可能和課本不同、數值可能沒有來源、畫面投影出來可能看不清楚。本文分享筆者以 AI 協作開發高中化學互動教材的經驗，依幫助學生學習的方式將教材分成四類，並以有效碰撞、酸鹼指示劑、緩衝溶液與秒錶反應為例。文中並說明筆者如何把自己的要求寫成「規範檔」，讓 AI 每次開發都必須遵守，再以課綱與樂詞網為優先查核來源，最後由教師本人複核。AI 降低的是製作門檻，不是把關教材品質所需的教師專業。

■ 前言

化學課程中有很多東西是看不見的。學生看得到溶液變色、看得到碼錶上的秒數，但真正要理解的是分子怎麼碰撞、離子濃度怎麼變化，中間還得靠化學式、反應式等符號來表示。學生常常背得出公式、也照著步驟做完實驗，卻不一定知道粒子層次發生了什麼事。互動教材的價值就在這裡：把看不見的過程變成可視化的畫面，讓教師與學生能更深入討論。

問題是這類教材以前很難自己做。多數教師沒有時間也沒有程式基礎，只能找現成的網路模擬，但往往不符合自己的教學脈絡。這兩年生成式 AI 的程式能力進步很快，教師只要用中文描述構想，就能得到一份可以直接在瀏覽器打開的教材。筆者近年就用這種方式做了幾份高中化學互動教材，實際用在課堂投影與學生自行操作。

不過做了幾份之後就會發現，「做得出來」和「可以拿去教」是兩回事。AI 產出的教材常見幾種狀況：同一個指示劑在不同畫面用了不同譯名、數值不知道從哪來、反應式漏了上下標或狀態符號、字級太小投影到後排看不清楚。每一項單獨看都不算大問題，但只要一項進了教室，就可能造成學生的錯誤概念。

所以真正的問題不是「AI 能做什麼」，而是「教師怎麼確保 AI 做出來的東西可以用」。以下先介紹筆者把教材分成哪四類，再說明筆者用什麼方式管控品質。

■ 四類互動教材

一、四類分類與代表案例

筆者在開發教材時，依學生學習困難的性質，將數位教材分成四類（如表 1 所示）。四類沒有高低之分，只是對應不同的教學需求，同一個單元有時也會同時需要兩類。四個例子的畫面分別見圖 1 至圖 4。

本文所舉的四份教材，都是筆者以生成式 AI 的對話介面協作開發而成，實際使用的模型為 Claude Sonnet 5 與 Claude Opus 5，以及 GPT-5.5 與 GPT-5.6。由於 AI 模型的版本更替很快，同一份提示在不同模型、不同版本上的產出並不相同，這也是後文要談規範檔的原因之一：把要求寫成文字，才不會因為換了模型就得重新交代一次。

表 1 四類互動教材

類型	學生的困難	教材做什麼	本文案例
1. 微觀具象化	粒子層次看不見，只能憑想像	把分子碰撞、能量與方向顯示出來	有效碰撞
2. 脈絡建構	把單一現象當成結論，不了解變因的影響	讓學生自己調變因、連續看結果	酸鹼指示劑
3. 列式與計算鷹架	會套公式，但不知道式子怎麼來的	把計算過程拆成看得到的步驟	緩衝溶液
4. 模擬實驗	實驗時間有限，做之前不熟、做完難重現	提供實驗前預習與實驗後回顧的環境	秒錶反應

二、微觀具象化：有效碰撞

碰撞理論要學生同時考慮碰撞的能量以及方向，這些都發生在粒子層次，課本的圖也只能畫某一瞬間。這份教材把位能圖和分子碰撞放在同一個畫面（見圖 1）：左邊位能圖上的黃點隨反應進行移動，右邊的分子依設定的方向與動能互相接近，方向不對或動能不足就彈開，成功時才短暫形成活化複合體再變成產物。學生可以自己拉滑桿改角度、切換動能高低，看看哪些組合才越得過活化能。

上課時結合互動式教材，帶領學生思考：為什麼動能一樣、方向不同結果就不同？形成活化複合體後是否一定變為產物？

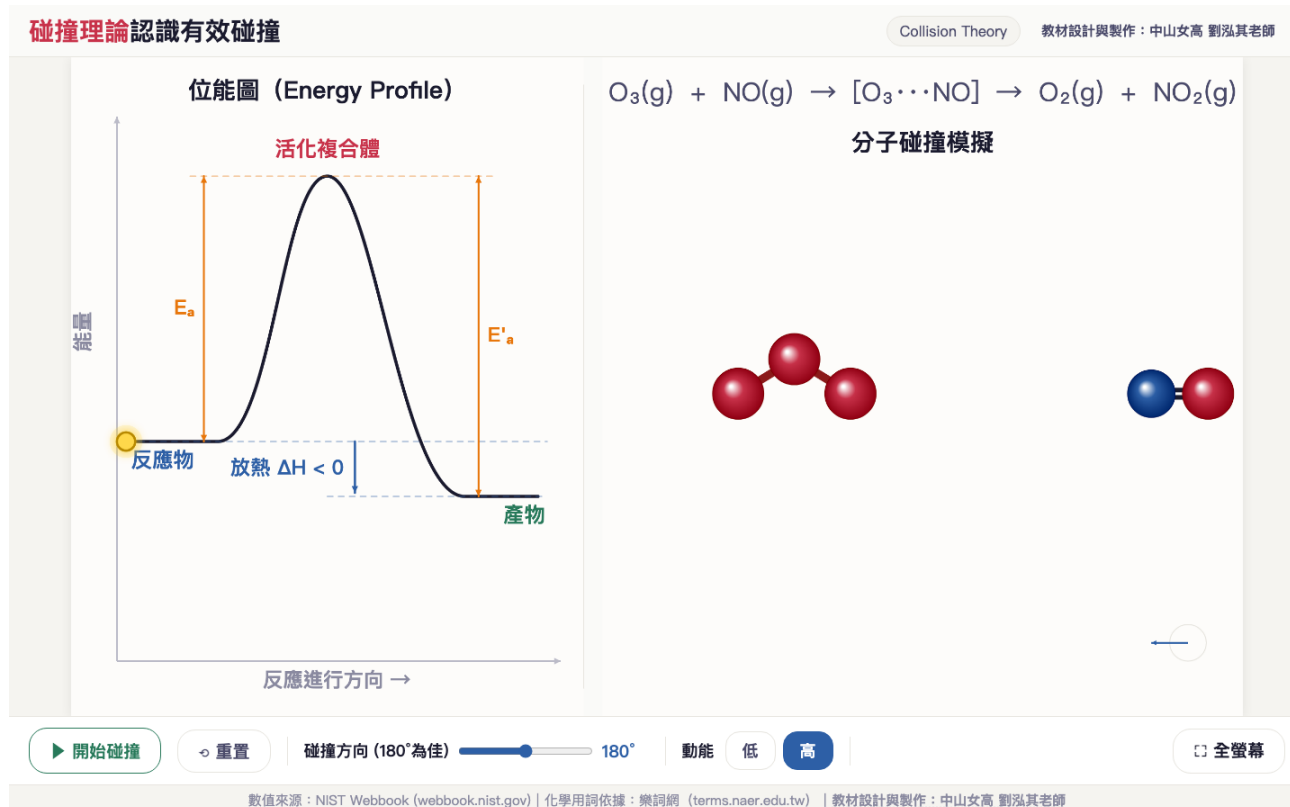


圖 1 有效碰撞教材畫面，左為位能圖，右為分子碰撞模擬

三、脈絡建構：酸鹼指示劑

學生常把指示劑的顏色當成一個 pH 對一個顏色，例如「酚酞遇鹼變紅」，忽略了每種指示劑其實有一段變色範圍，範圍以外顏色根本不變。這份教材讓學生自己配一排 pH 1 到 13 的溶液，選一種或多種指示劑滴進去，一次看完整排的顏色（見圖 2）：酚酞那排大約在 pH 8 到 10 之間慢慢轉粉紅，溴瑞香草酚藍那排在 pH 6 到 7.6 之間由黃轉藍；兩種都加，顏色就是兩者疊加。

透過互動教材，學生在課堂上可以先認識什麼是變色範圍，以及同一種指示劑的酸型顏色與鹼型顏色。再加上混合指示劑的呈色與遮罩設計，上課時的互動問答進行得很順利：先蓋住顏色讓學生預測，再逐杯掀開對照。學生的回饋也很好，課後多能明確說出酸鹼指示劑在不同 pH 下的呈色，而不再只記得「酚酞遇鹼變紅」這一句結論。



圖 2 酸鹼指示劑教材畫面，三排分別為酚酞、溴瑞香草酚藍與兩者混合

四、列式與計算鷹架：緩衝溶液

緩衝溶液的 pH 計算大概是學生最容易「會算但不懂」的題型。多數學生背得出 $\text{pH} = \text{p}K_a + \log([A^-]/[HA])$ ，但可能對於細節不甚瞭解，也不知道「同離子效應使變化量極小」這個近似為什麼可以用。這份教材讓學生自己設定緩衝溶液的配方，還可以同時配好幾杯對照，再加入定量的 HCl 或 NaOH 看 pH 怎麼變。

於教材中可以點擊逐步展開整個計算過程(見圖 3)：先判斷同離子效應，接著以 ICE 表列出解離前、變化與平衡時各物種的濃度，再代入 K_a 關係式求氫離子濃度，最後換算成 pH。每一步都可以前進、後退或一次全部展開，投影時可以停在某一步發問，學生自學時也能對照自己的列式，看出哪一步和自己想的不一樣。

步驟 1 — 建立解離平衡 ICE 表



	CH_3COOH	$\rightleftharpoons$	CH_3COO^-	+	H^+
解離前	0.100 M		0.100 M		≈ 0
變化	-x		+x		+x
平衡	0.100 - x		0.100 + x		x

由於同離子效應， CH_3COO^- 的存在抑制 CH_3COOH 解離，使 x 極小，因此平衡時 $\text{CH}_3\text{COOH} \approx 0.100 \text{ M}$ ， $\text{CH}_3\text{COO}^- \approx 0.100 \text{ M}$ 。

步驟 2 — 由 K_a 關係式求 $[\text{H}^+]$

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{x(0.100 + x)}{0.100 - x}$$

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = 1.80 \times 10^{-5} \times \frac{0.100}{0.100} = 1.80 \times 10^{-5} \text{ M}$$

上一步 ←

下一步 →

↺ 重播

計算全步驟 ↶

圖 3 緩衝溶液教材的 pH 計算過程，逐步展開 ICE 表與關係式

五、模擬實驗：秒錶反應

秒錶反應是反應速率單元的課綱實驗，但實驗課時間有限：學生常常還沒弄清楚器材和步驟就得開始計時，做完一組濃度就下課了，很難比較不同條件。這份教材照著真實實驗的流程做（見圖 4）：選一支不同碘酸鉀濃度的試管倒進燒杯和 B 溶液混合，碼錶開始跑，溶液變藍黑色時停止。每組數據記錄到表格後可以點開速率計算過程，也可以把多組數據作圖；另一個分頁則是固定濃度改變溫度。

要特別說明的是，模擬實驗不是要取代學生進實驗室，而是補實驗時間不夠的那一段：實驗前先熟悉器材與操作順序，知道等一下要改什麼變因、要記哪些數據；實驗後可以重現不同條件，把自己親手做出來的數據和理論重新連起來。操作技能與實驗誤差的經驗仍得靠真實實驗。

秒錶反應 Clock Reaction [個人模式]

$\text{IO}_3^- + 3\text{HSO}_3^- \rightarrow \text{I}^- + 3\text{SO}_4^{2-} + 3\text{H}^+$ Clock Reaction

溫度對反應速率的影響 溫度對反應速率的影響

器材與藥品

A 溶液：碘酸鉀 $[\text{KIO}_3]_0 = 0.020 \text{ M}$

B 溶液：亞硫酸氫鈉 $[\text{NaHSO}_3]_0 = 0.0040 \text{ M}$

B 溶液含澱粉指示劑與稀硫酸

配製方法

A1 $[\text{IO}_3^-] = 0.0200 \text{ M}$

A2 $[\text{IO}_3^-] = 0.0160 \text{ M}$

A3 $[\text{IO}_3^-] = 0.0120 \text{ M}$

A4 $[\text{IO}_3^-] = 0.0080 \text{ M}$

A5 $[\text{IO}_3^-] = 0.0040 \text{ M}$

☐ 自動計時 (變色即停止)

實驗進行區

請先選擇 A1~A5 試管配製溫度

100 mL 燒杯

燒杯目前為空，等待 A 試管與 B 試管同步倒入。

碼錶

00:00.00

開始計時 記錄數據 碼錶歸零

實驗數據紀錄

數據作圖

實驗	試管	混合後 $[\text{IO}_3^-] (\text{M})$	反應時間 (s)	HSO_3^- 消耗速率 $(\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1})$	刪除
尚無數據					

點擊速率欄可放大查看計算推導過程；最多保留 10 筆資料。

反應方程式

1) $\text{IO}_3^-(\text{aq}) + 3\text{HSO}_3^-(\text{aq}) \rightarrow \text{I}^-(\text{aq}) + 3\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 3\text{H}^+(\text{aq})$

2) $5\text{I}^-(\text{aq}) + \text{IO}_3^-(\text{aq}) + 6\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow 3\text{I}_2(\text{aq}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{l})$

3) $\text{I}_2 + \text{澱粉} \rightarrow \text{藍黑色錯合物}$

NaHSO₃ 必須為限量試劑

重置當前 Tab 退出全螢幕

數值來源：CRC Handbook (莫耳質量)、簡化 Arrhenius 近似 ($Q_{10}=2$) | 化學用詞依據：藥詞網 (terms.naer.edu.tw) | 教材設計與製作：中山女高 劉弘其老師

圖 4 秒錶反應教材畫面，含器材、濃度選擇、碼錶與數據紀錄

■ 規範檔：把教師的要求寫下來

一、為什麼需要規範檔

剛開始做教材時，筆者和多數人一樣，是一次次對話去「提示」AI：這裡字太小、那個名詞不對、方程式要加上下標。做一份教材還行，教材一出就出問題：用語和風格開始不一致、同樣的錯誤又出現一次、AI 還會在沒被要求的地方自己補內容。其實教師心裡一直有一套標準，只是平常放在腦子裡，沒有寫下來。

規範檔就是把這些標準寫成文字，讓 AI 每次開發、修改、檢查都必須先讀過。它不是提示技巧，而是教師自己的要求的書面版。有了它，新教材可以從同一套標準出發，修改有依據可循，換另一個 AI 或另一位教師也能照同樣的標準檢查。

二、規範涵蓋哪些類型

筆者目前的規範分成幾個檔案，分別處理內容與禁止事項、視覺與介面、計算呈現與名詞稽核。這裡不列完整內容，只說明涵蓋哪些類型（如表 2 所示），供有意自己建立規範的教師參考。

這些規範檔通常存成 md 格式，開發或檢查教材時直接讓生成式 AI 讀取；本文附錄節錄了其中兩份的片段，以及搭配使用的參考 prompt，供有需要的教師參考。

表 2 規範檔涵蓋的類型

規範類型	規範重點
教學內容與課程範圍	教材對應的課綱單元與年級，不引入超出高中範圍的內容
化學名詞	一律依樂詞網高中化學用詞，同一概念全教材只用一種名稱
科學數值	常數、 K_a 、變色範圍等須註明來源，不得由 AI 自行推算
化學方程式與 ICE 表	上下標、電荷、狀態符號與箭號須正確；平衡計算須完整列出 ICE 表
格式與檔案	單一 HTML 檔可離線開啟，檔頭註明課綱對應與數值來源
外觀與介面	統一配色與版面，字級以投影可讀為準，畫面不出現捲動軸

■ 稽核來源與教師的把關

一、以課綱與樂詞網為第一順位

AI 的訓練資料混雜了各國、各層級的教材與網路內容，不能只靠它自己「知道」的東西，因此筆者要求 AI 查核資料時有明確的先後順序。第一順位是十二年國教課綱自然科學領域（教育部，2018）與國家教育研究院樂詞網，前者確認教材對應的學習內容與階段，後者確認化學中文名詞；第二順位是各版本高中化學教科書，用來對照教學現場常見的說法與深度，但不把任何單一版本當成唯一標準。數值則依性質分別查核：分子鍵長與鍵角等結構數據以 NIST 計算化學比較與標準資料庫（NIST CCCBDB）（Johnson, 2022）為準，熱力學等物理化學數據可查 NIST Chemistry WebBook（National Institute of Standards and Technology, 2025），指示劑變色範圍與莫耳質量參考 CRC Handbook（Rumble, 2023）；高中教學慣用的常數則沿用課本通用值，並在教材頁尾標示。

二、開發與檢查的流程

實際的流程並不複雜：教師先確認學生的困難、決定要做哪一類教材，接著讓 AI 讀規範檔並產出教材；產出後先依上述順位查核內容，再請 AI 依規範做第二輪檢查，例如核對中文名詞、比對數值來源、檢查字級與版面。這些都過了，才輪到教師自己複核：內容對不對、畫面會不會讓學生產生錯誤概念、操作合不合教學情境。教材進教室之後，課堂上發現的問題再回寫到規範檔，成為下一次修改的起點。

三、教師專業在流程中的位置

在這個流程裡，教師不是最後才出現、只負責驗收的人。判斷學生真正卡在哪裡、決定做哪一類教材、訂規範、判斷 AI 產出對不對、依課堂反應修改，每一步都是教師的專業判斷。正因為產出變容易了，教師對內容的責任反而更重。

■ 結語

生成式 AI 讓教師有機會做出過去因為技術門檻而做不出來的教材，也讓不同的學習困難可以對應到不同類型的互動教材。

但 AI 產出本身不能保證教學品質。規範檔把教師原本放在腦子裡的要求寫下來、可以重複使用；課綱與樂詞網提供公開可查的依據；最後仍然要教師自己複核。模擬實驗也應該定位成真實實驗的預習與回顧工具，而不是取代實驗室。

整體而言，AI 改變的不只是做教材的速度，而是讓教師能把更多教學構想變成可以操作的數位教材；但教材該不該進教室，還是取決於清楚的規範、可靠的查核來源，以及教師自己的判斷。

■ 參考文獻

教育部(2018)。十二年國民基本教育課程綱要國民中學暨普通型高級中等學校自然科學領域。臺北市：教育部。

國家教育研究院。樂詞網。<https://terms.naer.edu.tw/>

Johnson, R. D., III (Ed.). (2022). *NIST Computational Chemistry Comparison and Benchmark Database* (Release 22, Standard Reference Database No. 101) [Database]. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.18434/T47C7Z>

National Institute of Standards and Technology. (2025). *NIST Chemistry WebBook* (NIST Standard Reference Database No. 69) [Database]. <https://doi.org/10.18434/T4D303>

Rumble, J. R. (Ed.). (2023). *CRC handbook of chemistry and physics* (104th ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

■ 附錄

規範檔節錄與參考 prompt

以下節錄筆者實際使用的兩份規範檔片段，以及搭配使用的參考 prompt，供有意建立自己規範的教師參考。完整規範另含視覺、互動與計算呈現等項目，此處僅摘出與化學內容最相關的兩則。這兩份規範檔在筆者的工作環境中分別命名為 ref.md 與 terms.md，開發或檢查教材時由 AI 讀取。

示例一：ref.md (術語與數值來源規範，節錄)

- 唯一來源：樂詞網 (terms.naer.edu.tw) 高中化學。
- 數值來源：數值可參考 NIST 資料庫 (nist.gov)；分子結構數據 (鍵長、鍵角) 查 NIST CCCBDB (cccbdb.nist.gov)；熱力學等物理化學數據查 Chemistry WebBook

(webbook.nist.gov/chemistry/); 指示劑變色範圍與莫耳質量用 CRC Handbook ; 高中教學慣用常數沿用課本通用值，並於教材頁尾標示。

- 化學數值不得自行推算或近似，原則上照各教材的參考檔填寫。
- 英文化學術語一律改用樂詞網的繁體中文用詞。

示例二：terms.md (中文名詞稽核規範，節錄)

- 名詞來源：國家教育研究院樂詞網 (<https://terms.naer.edu.tw/>)。
- 樂詞網可能對同一個英文詞列出多個學術領域的譯名，不得因為搜尋結果第一筆出現某個中文名稱，就直接當成教材應採用的標準詞。
- 判定時必須依下列優先順序：
 - (一) 化學名詞 - 兩岸中小學教科書名詞。若此領域有對應項目，原則上即採用。
 - (二) 高中以下化學名詞。僅在第一順位找不到時使用。
 - (三) 化學名詞 - 化學術語。僅在前兩順位均找不到時使用。
 - (四) 其他樂詞網領域僅供參考，不得優先於上述三者；若只有其他領域找到結果，標記為待教師判斷。
- 永遠不得：因搜尋排名較前而改變上述順序、自行創造「標準譯名」、僅依 AI 本身的知識判定樂詞網內容，或在找不到資料時假裝已完成查證。

示例三：搭配使用的參考 prompt

規範檔本身不會自動生效，須在對話中明確要求 AI 讀取並遵守。筆者常用的兩句如下。

「生成教材時，必須參考 ref.md 中規範選擇參考資料來源。」

「請按照 terms.md 中的規範來檢查教材中的名詞，並且給予檢查列表。」

前者用於開發階段，讓 AI 在需要數值或名詞時，先回到規範指定的來源，而不是逕自引用訓練資料中的內容；後者用於檢查階段，要求 AI 逐一比對學生會看到的中文名詞並列出清單，教師再據以複核。