將經典科學遊戲轉化為探究導向的學習活動：以小蘇打火山爆發為例

許兆芳

臺北市立大學教育系博士生

前言

「小蘇打火山爆發」（以下簡稱火山爆發）是科學活動裡歷久不衰的經典示範，只要利用生活中容易取得的小蘇打粉，和檸檬酸水溶液反應，就會產生檸檬酸鈉、二氧化碳氣體和水，並伴隨冒泡現象，因其強烈的視覺效果，常成為課堂中吸引學生注意的亮點。然而，筆者在教學現場多次實踐後發現：火山爆發活動呈現方式雖能引起動機，但反應過快、觀察時間短，加上火山造型耗時製作，使活動較難兼顧學生對反應細節的觀察、比較與推論需求。

基於此，筆者開始思考：若不再以火山造型作為核心，是否能將這個熟悉的科普活動轉化為更具探究歷程的學習活動？本文即以此為出發點，提出一套以逐步觀察、提出疑問、形成解釋與延伸應用為主軸的活動流程，使學生能在操作、比較與討論中累積證據，逐步建構對酸鹼反應與氣體生成現象的理解。

火山爆發在教學現場的挑戰

火山爆發是校園科普活動中廣為運用的示範形式，其吸睛的視覺效果能有效提升學生的興趣。然而，在以「效果呈現」為主的操作方式中，活動本身的特性往往壓縮了探究學習所需的細緻觀察、條件比較與重複驗證。本節即從操作面出發，說明典型火山爆發活動在探究脈絡中可能面臨的三項限制。

一、反應速度快，不易觀察細節，容易流於「觀看噴發」

酸性水溶液與小蘇打粉若以一次性、快速倒入的方式呈現，反應會在短時間內完成，使學生難以辨識小蘇打粉遇上酸性水溶液產生二氧化碳氣體的過程，以及反應速率變化等細節。此類操作方式容易讓學生將注意力集中在噴發效果，而非探究所需的觀察、比較與變因控制。

二、製作耗時，偏向勞作，造型模型亦降低操作彈性

傳統火山模型多以黏土或防水材質包覆，製作與整理時間較長，常使活動焦點落在造型與視覺效果。又因容器結構固定、不透明，也較難進行細節觀察，限制探究歷程的發展。

三、清潔與現場管理不易，難以多次重複操作

火山爆發活動為了強調視覺效果，反應量通常較大，液體易向外噴濺，增加桌面與地板的清潔負擔。火山模型的造型亦不利於拆分成低反應量、易課室管理的操作形式，使教師在同堂課中較難有效率的重複操作，間接壓縮探究所需程序與時間。

火山爆發的常見呈現方式雖具吸引力，但若要強化其探究歷程，需要轉化為能逐步觀察、逐步比較的形式，讓學生更深入觀察、建構與理解反應過程與相關概念。

火山爆發活動的轉化與探究設計理念

典型的火山爆發活動若希望學生能從活動中進行觀察、提出問題、比較差異並形成解釋，便需要重新思考火山爆發在的呈現方式，與調整其教學目的，從吸引注意力，轉化為支持科學概念建構的學習歷程。探究學習的核心精神強調逐步累積證據，並在操作與討論中形成理解。為此，將活動設計建立在以下三原則：

一、提高可觀察性

降低反應量、拆解步驟、延長反應歷程，使學生能清楚觀察氣泡生成的位置、速率與變化過程，從現象中看見細節。

二、提高可比較性

以小規模操作替代一次性噴發，使學生能在安全、可控的情境下比較不同條件，如用量、反應速率等，進而理解反應差異的原因。

三、提高可重複性

透過微量反應、簡易器材與易清潔設計，讓學生能在同一節課中多次嘗試、再次驗證，形成「提出假設—操作—修正」的完整探究循環。

上述三項原則呼應建構論的觀點：科學知識並非直接被灌輸，而是學生在經驗、比較與討論中逐步建構的意義架構。因此，本活動設計不再以火山造型作為核心，而是透過一連串的單元活動，使學生能從多次互動中逐步理解本活動所涉及之科學概念。

在前述設計理念之下，本活動以「小蘇打粉與檸檬酸水溶液的化學反應」作為核心科學概念，透過粉末溶解、氣泡生成、氣體蒐集等漸進式探究任務，引導學生從局部現象觀察中理解物質在作用後的變化，並進一步連結到生活情境，如操作「自製炸彈包」玩具，使學生在真實情境中體驗化學反應所產生的效果，強化學習的意義與可遷移性。本課程整合後的學習目標如下：

1. 能以安全且適切的方式，運用感官與簡易測試辨識常見生活材料的特性，理解外觀相似的材料卻具有不同的性質。
2. 能觀察檸檬酸水溶液與小蘇打粉混合後的現象（如冒泡、聲音等），並根據觀察提出可能產生氣體的推論。
3. 能透過操作驗證氣體佔有空間，並能比較不同條件下反應速率的差異。

基於上述目標，本活動設計為四個漸進式探究任務，讓學生在安全、可控且可觀察的情境中逐步發展概念。以下將說明具體的活動流程，以及這些轉化如何在課程中支持更完整的探究經驗。

由觀察到推論的探究活動設計

本活動將快速的酸鹼反應轉化為四個循序的探究任務，使學生能在活動中，逐步辨識材料特性、觀察反應、理解氣體生成，並最終將概念運用於生活化的遊戲情境中。整體設計讓學生從觀察至概念建構，過程中的探究幫助學生推論反應差異的原因，進而理解影響反應的因素。

一、材料的感官辨識

首先從材料本身展開。教師將小蘇打粉與檸檬酸粉末分別放置於小容器（圖 1），讓學生以視覺、嗅覺與觸覺進行材料辨識。透過手指搓揉、鼻尖嗅聞與在自然光下細看顆粒，學生表示檸檬酸顆粒較大、具晶體感，而小蘇打粉則細緻均勻；檸檬酸帶酸味或焦糖味，小蘇打粉幾乎無味；受潮後前者略黏，後者則呈現滑潤。

藉由多感官的簡單辨識，學生能注意到兩種白色粉末其實在外觀、氣味與觸感上並不相同，讓他們在進入下一階段前先聚焦於材料本身，而不致被反應過程的冒泡效果分散注意力。

圖 1
小蘇打粉（左）與檸檬酸粉末（右）

二、微量反應觀察

在辨識材料之後，為了延長反應可觀察的時間，本階段採用「局部、減量」的方式進行。實作時，將小蘇打粉薄鋪在紙盤上，再以滴管吸取少量檸檬酸水溶液，再少量滴入小蘇打粉，反應從溶液接觸位置開始（圖 2），亦利於觀察。

圖 2

少量檸檬酸水溶液滴入小蘇打粉

學生能清楚看見氣泡生成、氣泡像從粉末縫隙中長出來般，伴隨細微聲響，粉末由邊緣開始溶解。反應的強弱隨時間逐漸減弱，讓學生注意到反應不會持續進行，而是會因反應完畢而停止。過程中也有諸多現象得以觀察討論，例如：不同濃度的檸檬酸水溶液滴入後，反應劇烈程度並不相同；在相同條件下，泡泡也會隨時間從較大變小。前者反映外在條件的差異，後者則呈現反應進程隨時間的自然變化，讓學生能從中更清楚比較反應的差異與推理原因。

當反應逐漸趨緩時，學生常會主動再次滴入檸檬酸水溶液，或再撒上小蘇打粉，以確認是否仍會冒泡。此時的觀察會因盤內混合後的溶液酸鹼值不同而呈現差異：若溶液偏酸，加入小蘇打粉後反應會再次出現氣泡；若溶液偏鹼，冒泡則不再明顯。這些差異，使學生開始思考「為什麼有些情況會冒泡、有些不會？」藉此引導說明概念。

在學生充分觀察後，教師再引導學生推論泡泡的來源與意義，例如：「為什麼會有泡泡？」以及「泡泡代表什麼？」最後才揭露氣泡為化學反應產生的二氧化碳氣體，使學生將觀察結果與概念逐步連結，而非直接接受告知。

三、氣體收集

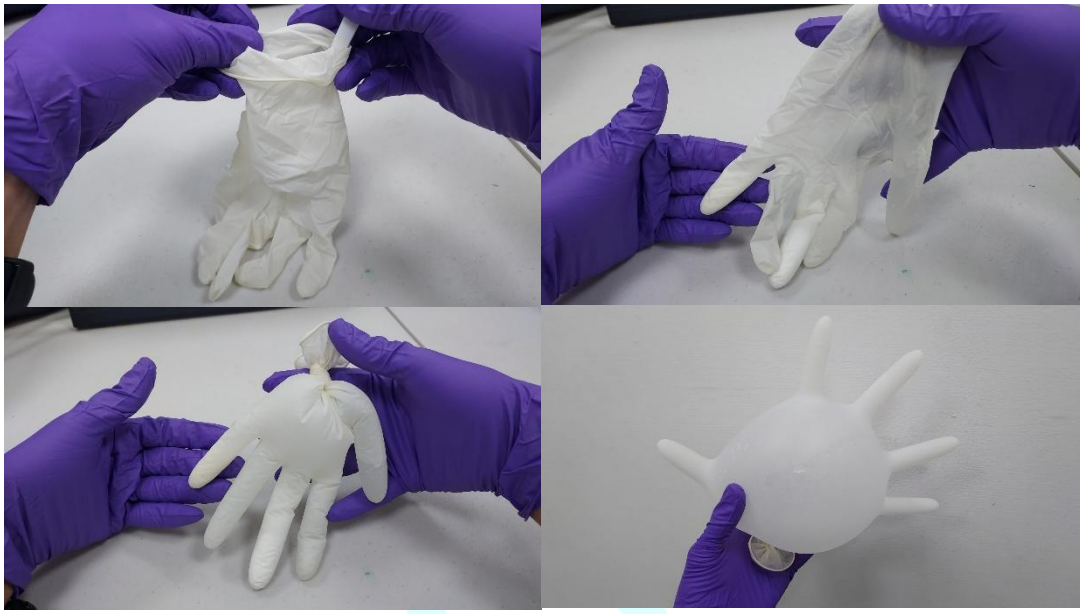
當學生理解氣泡代表氣體產生後，教師延伸提出新的問題情境：「既然會產生氣體，那能不能收集？可以怎麼操作？要怎麼做才不會在反應開始後才收集？」本階段改用乳膠手套作為收集容器，其指節的分隔使小蘇打粉、檸檬酸粉末與水能在裝填時保持分離，避免準備過程就開始反應導致氣體散逸。

操作時，可用湯匙和滴管將不同的材料分別裝入手套的不同指內，例如中指位置

裝小蘇打粉，拇指位置裝檸檬酸水溶液，材料放置有所間隔，完成分裝後再將手套綁緊。透過搖晃、擠壓將各指位置材料集中到手掌處，使反應開始並生成氣體（圖 3）。同樣的概念，還可以設計讓學生比較其它各種不同狀態的混合方式（例如：小蘇打粉＋檸檬酸粉＋水、小蘇打溶液＋檸檬酸水溶液）所產生的反應速率與膨脹差異。

圖 3

利用手套收集氣體



學生在操作時常會觀察到：有些條件下反應較快、有些反應較慢，不同材料量也會造成膨脹程度的差異。這些現象使學生自然提出問題：「為什麼膨脹得比較大？」「為什麼粉末先混在一起再遇到水反應比較慢？」「兩種水溶液混合反應比較快？還是兩種粉末混合再加水比較快？」

手套被撐起的視覺與觸覺讓學生看見氣體佔有空間、具有體積、會撐大手套像氣球般，便於直接比較不同反應條件所形成的氣體量與壓力的差異。本階段的重點是透過手套各指頭位置的分隔，協助學生在「反應前」完成材料隔離，進而能在「反應開始後」有條件地比較不同混合方式、材料型態或比例對反應速率與膨脹程度的影響。

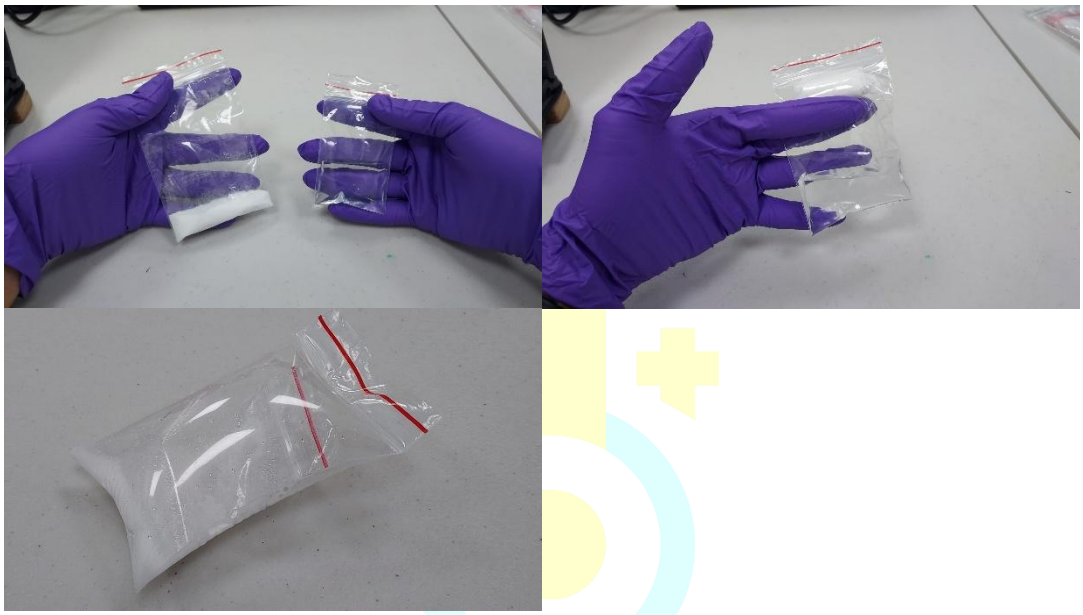
這樣的設計直接回應常見的氣球收集限制，其作法需將粉末以漏斗倒入狹小的氣球口，再將氣球套在裝有酸性溶液的寶特瓶口，當氣球拉起，粉末掉入瓶中產生氣體吹起氣球。實務操作上需額外準備漏斗才能將粉末裝入氣球，材料用量也較大。本活動透過乳膠手套的空間分隔特性，既避免過早反應，也使材料配置更自由，操作更容易，強化探究的可行性與觀察深度。

四、生活情境應用

在理解反應速率與氣體生成的脈絡後，將探究轉向一個貼近生活的科學遊戲情境：「如果要做一個像玩具炸彈包一樣會氣爆的科學玩具，能不能用最少的材料做到？又能不能控制它什麼時候爆？」

如圖 4，學生使用兩個封口袋裝盛，大封口袋僅放入少量小蘇打粉，小封口袋倒入適量檸檬酸水溶液，不須封口，再放入大封口袋內密封。之後透過搖晃與擠壓，使小封口袋中的檸檬酸水溶液與小蘇打粉接觸，學生即可觀察袋子逐漸膨脹的反應歷程。

圖 4
利用封口袋裝盛氣體



在逐步調整粉末與液體比例的過程中，學生會開始挑戰能否以最少的材料達到膨脹甚至氣爆的效果，也能延伸思考「成本」差異，貼近生活的科學遊戲與應用情境。

接著，教師引導學生思考另一個問題：「我們之前觀察過反應速率的條件，如果想要延後爆炸時間，甚至在一定的時間條件內爆開呢？」在此時，學生能重新運用前面的經驗，例如粉末遇水反應快、液體遇液體更快，再次把注意力放在「反應速率」上。

此時可以用另一種實驗方式進行，先將一匙小蘇打粉包裹在衛生紙中，再將約四分之一袋量的檸檬酸水溶液倒入封口袋裡；再用手指夾住封口袋中段，將包裹粉末的衛生紙置入袋內，使兩者保持分隔不接觸。只需將袋子攤平，讓衛生紙吸入檸檬酸水溶液與小蘇打粉反應，袋子便會逐漸膨脹。

圖 5

利用衛生紙包裹粉末

當學生開始操作用衛生紙包裹的小蘇打粉時，會注意到溶液雖然會被衛生紙迅速吸收，但仍需要一段時間才能穿透紙纖維並真正接觸到粉末；也因此，包得越厚、折得越多層，反應啟動的速度就越慢。這些連續的觀察讓學生推論出：衛生紙其實可以成為「延遲反應」的工具，使封口袋像定時炸彈般在過一段時間後才開始膨脹。透過不斷的操作、比較與修正，他們逐漸意識到，同樣的材料只要調整接觸方式與滲透速度，就能掌握反應速率與爆炸時機，真正從遊戲中建構對化學反應的理解。

這樣的科學遊戲情境，讓學習由觀察現象延伸到生活化的調整與推理，使學生把前面累積的概念重新運用到真實世界中，完成重要的概念遷移。

結語

本活動讓學生從材料感知、局部反應、氣體收集到生活應用，逐步累積觀察證據，並在逐層推進的操作中建構概念。整體設計強化了「看得見的現象」與「背後的科學概念」之間的連結，使化學反應不再是一次性的視覺娛樂，而是可以比較、可以控制、可以遷移的探究歷程。透過逐步拆解與重新編排的操作脈絡，學生得以從材料特性出發，最終發展出對反應條件與結果之間關係的理解，展現科學探究從觀察到推論的完整面貌。