

應用紅外線熱顯像技術於加壓氣體儲存洩漏檢測之研究—以氣泡水瓶二氧化碳洩漏為例

邱麗綺

臺中市西屯區永安國小

Email:lich0425@mail.yaes.tc.edu.tw

摘要：本文探討紅外線熱像儀技術在小學科學教育中的應用，我們透過檢測氣泡水瓶中二氧化碳的洩漏，幫助學生理解氣體溶解度、壓力與溫度變化之間的關係。氣泡水中的二氧化碳溶解度受壓力與溫度影響，當瓶蓋打開或瓶身發生洩漏時，氣體逸出會導致局部溫度下降，而這種變化可透過熱像儀進行非接觸式觀察。我們利用熱像儀測量瓶蓋與瓶身的溫度變化，判別是否發生微洩漏，並探討測量距離、環境條件與誤差控制方法。結果顯示，熱像儀能有效檢測高壓氣體洩漏，並可應用於氣體鋼瓶、滅火器、瓦斯罐等設備的安全檢測。此外，透過實驗與視覺化觀察，我們讓學生更直觀地理解二氧化碳的溶解、逸散與固碳概念，進而提升他們對科學學習的興趣。未來，紅外線熱像儀也有機會可作為二氧化碳封存技術的檢測工具。

■ 前言

國小自然科學在高年級教材有認識空氣的相關單元，內容主要是引導學童認識空氣的組成、特性及其在生活中的作用。教材涵蓋氧氣與二氧化碳的特性，探討燃燒、滅火和鐵生鏽等現象與空氣的關係。透過實驗活動，學生將學習氧氣的助燃性、二氧化碳的滅火性，以及影響鐵生鏽的因素。此外，教材也探討有關預防火、防災及逃生避難的知識以及二氧化碳排放過多對環境的影響，還有固碳對減緩全球暖化的作用。

在南一版五年級下學期《認識空氣》單元中為例(盧秀琴，2024)，教材介紹了二氧化碳的排放與固定的概念。植物能透過光合作用吸收大氣中的二氧化碳，並將其轉化為養分儲存在體內，從而減少大氣中的二氧化碳含量，有助於減緩地球暖化。種植樹木是一種有效的減碳方式，特別是森林植物，由於其吸收與固定二氧化碳的能力較強，因此在調節大氣中的二氧化碳濃度方面發揮重要作用。這個過程稱為「固碳」，對環境保護至關重要。

目前固碳方法可分為自然固碳與人工固碳，主要目的是減少大氣中的二氧化碳含量，減緩全球暖化與氣候變遷的影響。以下是幾種主要的固碳方式(國家科學及技術委員會、經濟部、環境保護署，2023)：

一、自然固碳：森林、土壤與海洋碳匯在自然碳封存中扮演重要角色。

(一) 森林碳匯 (Forest Carbon Sink) 透過光合作用將大氣中的二氧化碳固定於植物體內，並將碳儲存在土壤、有機物及木材產品中，減少碳排放對環境的影響。

(二) 土壤碳匯 (Soil Carbon Sink) 是陸域系統中最大的碳儲存庫之一，能夠長期封存碳，並透過適當的農業管理技術有效降低溫室氣體排放。

(三) 海洋碳匯 (Marine Carbon Sink) 則藉由海洋吸收並儲存大氣中的二氧化碳，特別是沿岸生態系 (如紅樹林、海草床、鹽沼等) 在碳封存方面具有重要作用，能夠穩定調節大氣中的二氧化碳濃度，有助於減緩全球暖化的影響(行政院農業委員會，2023)。

二、人工固碳：碳捕捉與封存技術 (CCUS) 是減少二氧化碳排放的重要手段，包括碳捕捉 (Carbon Capture)、碳利用 (Carbon Utilization) 和 碳封存 (Carbon Storage) 三大部分。碳捕捉技術透過燃燒前、燃燒後或富氧燃燒等方式，從燃煤電廠、鋼鐵廠、水泥廠、石化廠等大型固定排放源直接攔截二氧化碳，避免其進入大氣。捕捉到的 CO_2 可進一步碳利用，轉化為燃料 (如甲醇、合成氣)、化學品、建材 (如碳酸鈣) 或透過微生物與藻類吸收轉化為生質產品，提升經濟效益。未被利用的 CO_2 則透過碳封存技術 (CCS)，長期儲存於地質構造 (如枯竭油田、深層鹽水層) 或海洋，以確保其不再釋放回大氣，達到減碳目標。這三者相互配合，形成完整的碳管理技術，為全球減碳與氣候變遷因應提供可行方案。

由於二氧化碳的封存這些概念較為抽象，不容易直接教導學生，因此我們嘗試設計一個能讓學生觀察到具體現象的實驗，幫助他們理解二氧化碳封存的相關概念。在日常生活中，學生最常接觸到的二氧化碳來源之一就是二氧化碳氣體鋼瓶，例如氣泡水機會使用二氧化碳鋼瓶來製造氣泡水，空氣手槍則可能使用較小型的二氧化碳鋼瓶，而二氧化碳滅火器與汽水機則使用更大容量的二氧化碳氣體鋼瓶。我們希望透過這些生活中的實例，讓學生更直觀地認識二氧化碳的封存與應用。

前幾年因為疫情的關係，每個學校都會購置熱顯像儀用來測量學生體溫，我們利用這個被閒置的工具，並拿生活中學生常接觸的「氣泡水」進行實驗觀察，讓學生對於二氧化碳的認識能更視覺化。

■ 高壓增加二氧化碳溶解於水的現象

要認識二氧化碳對小學生來說，碳酸飲料最貼近他們的生活經驗，而近幾年流行的氣泡水主要原理是將二氧化碳 (CO_2) 溶解於水中形成碳酸 (H_2CO_3)，其反應式為 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$ 。當瓶蓋打開時，溶解的二氧化碳會釋放出來，形成氣泡。在製造過程中，工廠會將純水放入

加壓設備，並在高壓環境下注入二氧化碳氣體，使其大量溶解於水中，轉變為碳酸水。二氧化碳的溶解度受溫度與壓力影響，壓力越大，溶解度越高，因此氣泡水在未開封時瓶內壓力較高，而溫度越低，二氧化碳溶解度也越高，這使得冷藏氣泡水比常溫氣泡水保留更多氣體。當二氧化碳溶於水時，會與水分子發生可逆反應，生成少量碳酸 (H_2CO_3)，使氣泡水帶有微酸性 (pH 約 3-4)，這也是氣泡水喝起來帶有刺激感的原因。

當瓶蓋打開時，瓶內壓力突然下降，原本溶解在水中的二氧化碳會重新轉變為氣體並逸出，形成上升的氣泡，使氣泡水發出「嘶嘶聲」。如果瓶子在開啟前經過搖晃，氣體釋放的速度會更快，可能會導致氣泡水噴出。這些特性使氣泡水具有獨特的口感與飲用體驗。

二氧化碳氣體對水的溶解度，可以用亨利定律來計算。氣體溶解在水中的量，會隨著氣體的壓力增加而增加。換句話說，壓力越高，二氧化碳溶解得越多，壓力降低時，二氧化碳就會從水中跑出來變成氣泡。這就是為什麼氣泡水在瓶蓋打開時會冒出氣泡的原因。另外，溫度也會影響二氧化碳的溶解度。當水的溫度越低，二氧化碳溶解得越多；當溫度升高，二氧化碳就更容易從水中跑出來。因此，冷藏的氣泡水比常溫氣泡水保留更多氣體，而熱的氣泡水則會變淡，因為二氧化碳比較容易逸出。簡單來說，氣泡水中的二氧化碳會因為壓力與溫度的變化而影響溶解度，這也是為什麼氣泡水需要高壓、低溫的條件下才能保留最多的氣泡。

瓶裝飲料中灌入二氧化碳的其中一個目的，就是讓打開時飲料的溫度降低。這是因為當瓶蓋打開後，瓶內的壓力下降，溶解在飲料中的二氧化碳迅速逸出並轉變為氣體，在這個過程中會吸收熱量，造成氣體膨脹冷卻效應，使得飲料溫度稍微降低。這種現象與噴霧罐噴出液體時感覺變冷的原理類似，都是因為氣體擴散時會帶走部分熱量。因此，當我們打開氣泡飲料時，會能聽到「嘶嘶聲」，還可能感覺到瓶口附近變得稍微涼爽。

如果寶特瓶裝的氣泡水放久了變得沒有氣，通常是因為瓶蓋沒有鎖緊，導致二氧化碳慢慢逸出。我們可以利用高壓氣體洩漏時需要吸熱的特性來檢測瓶蓋是否有漏氣。當二氧化碳從瓶蓋縫隙洩漏時，周圍的溫度會稍微降低，而這個變化可以透過學校購買的熱顯像儀來觀察。使用熱顯像儀後，瓶蓋有漏氣的部分會顯示出較低的溫度區域，讓這個現象變得清楚可見。

■ 熱像儀使用說明

在前幾年新冠肺炎嚴重時期，學校門口得有使用讓顯像儀來測量進學校的人員是否有發燒的情形。但是，因為疫情緩和後，學校就將讓顯像儀封存起來，因此我們想到可以使用學校採購的顯像儀來進行一些有趣的測量工作。我們使用的紅外線熱像儀，型號是 FLIR E5XT

紅外線熱像儀，根據網站說明書標示的可偵測溫度範圍為 -20°C 至 $+400^{\circ}\text{C}$ ，紅外線解析度 160×120 像素。然而，在進行實驗觀察前，仍需先進行儀器溫度校正。為確保測量的準確性，我們需先比對熱像儀偵測到的溫度與電子溫度計測得的溫度之間的差異，確認儀器的準確度後，再進行後續實驗。



圖 1 熱像儀-FLIR E5XT



圖 2 熱像儀測量溫度的照片

在校正過程中，我們分別設定 5 公分至 100 公分的測量距離，並逐步增加熱像儀與待測物之間的距離，以分析測量誤差的變化。結果顯示，當熱像儀與測量物的距離介於 20 至 40 公分時，測量誤差較小。因此，在後續的實驗設計中，我們將熱像儀與偵測物的距離統一設定在 20 至 40 公分之間，以確保測量數據的準確性。

在使用熱像儀進行偵測時，需嚴格控制環境溫度，以確保測量結果的準確性與穩定性。熱像儀可設定並顯示偵測範圍內的最高溫或最低溫，因此在實驗過程中，環境條件需保持一致，以減少外界因素對測量數據的干擾。首先，應避免陽光直射，以防止輻射熱影響測量結果。其次，偵測時應確保測量區域內無人體或其他發熱源，以降低熱輻射干擾。此外，建議在室內環境中開啟空調，以維持恆溫狀態，避免環境溫度波動影響熱像儀的熱場解析。透過有效控制這些變因，可提升熱像儀測量的準確度與可重複性，確保實驗數據的可靠性。

體溫會影響待測物溫度，故手勿直接接觸實驗相關物品。若是直接用手接觸物品，手的熱量會與物品有讓熱量交換作用，造成後續溫度判斷的誤差。因此在實驗過程中需要使用品質較好的隔熱手套或是夾子接觸相關物品，避免因為熱量交換，導致後續要花較多時間等待測物品要降溫到室溫的時間。

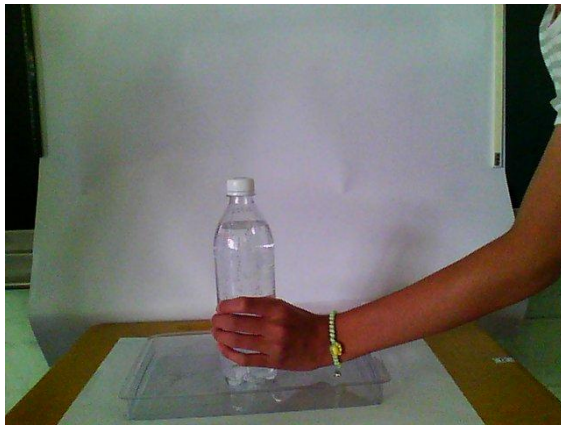


圖 3 測量時勿以手直接握瓶子會影響測量

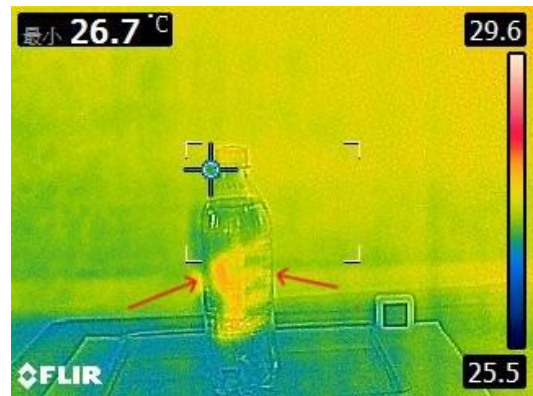


圖 4 手直接握瓶子會造成接觸瓶身處溫度上升

熱像儀顯示的顏色為相對溫度值，而非絕對溫度值。藍色代表相對低溫區域，紅色則表示相對高溫區域，然而顏色本身無法直接對應實際溫度。由於本儀器無法手動設定顏色變化範圍，而是由儀器自動調整並鎖定顯示範圍，因此在進行實驗時，應根據每張熱像圖右側的溫度尺標來判讀各區域的實際溫度，而不可直接以不同熱像圖的顏色進行跨圖比較。這樣可確保溫度判讀的準確性，避免因儀器自動調整顏色範圍而產生誤判。

■ 使用熱像儀來檢測氣泡水加壓二氧化碳氣體的洩漏

我們找了兩瓶氣泡水，可以發現沒有漏氣的氣泡水，整個瓶子的溫度都與環境溫度一樣，但是若有微漏氣的瓶子，雖然肉眼看不出來氣泡水有在漏氣，但是瓶蓋處的溫度的確比較低，這樣我們就可以知道有在微微的漏氣，相當的方便。

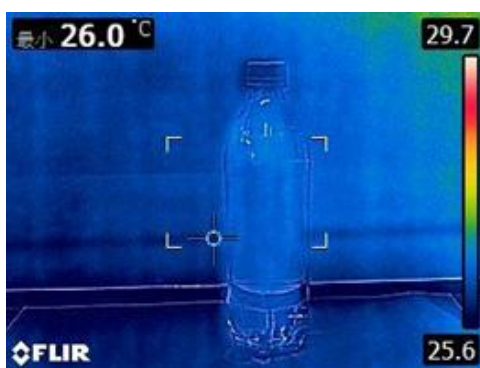


圖 5 氣泡水瓶長時間放置室溫下，由熱像儀可看出氣泡水瓶溫度與室溫非常相近

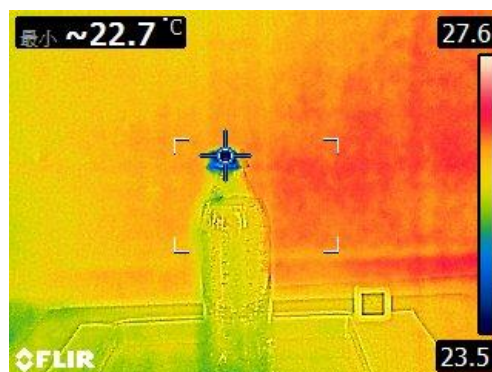


圖 6 氣泡水瓶長若有洩漏情形，由熱像儀可看出氣泡水瓶瓶蓋的溫度比環境溫度低

透過熱像儀觀察，有助於讓溫度變化視覺化，學生從實驗觀察中也可以了解到，這種漏

氣檢測方式或許也能應用於其他領域，例如卡式瓦斯罐、攜帶式氧氣瓶、液化石油氣等壓縮氣體鋼瓶，以及汽車或自行車輪胎的氣嘴與氣閥。當這些設備發生微漏氣時，洩漏處可能會因氣體擴散導致局部降溫，而透過熱像儀可以快速偵測這些溫度變化，從而判斷是否有氣體洩漏。這項技術適用於任何涉及高壓氣體封存的場景，不僅能提供非接觸式的快速檢測方法，還能在安全維護與設備檢修方面發揮重要作用，具有廣泛的應用潛力。

由於不同類型的氣體洩漏通常需要專門的儀器來檢測其氣體分子，但大多數高壓氣體洩漏時都會吸收熱量並導致局部降溫，因此熱像儀可以作為基礎檢測工具，提供初步的洩漏偵測，幫助快速篩選可能的洩漏位置，再進一步使用專業儀器進行確認。這種方法既高效便捷，又能提升檢測效率，對於氣體設備的安全管理具有極高的實用價值。

■ 結語

本文探討了紅外線熱像儀技術在小學科學教育中的應用，特別是其對加壓氣體（二氧化碳）洩漏的觀察與分析。透過熱像儀，我們能夠即時、非接觸地檢測氣泡水瓶中二氧化碳的微洩漏，並透過溫度變化視覺化該現象。這不僅提升了學生對氣體溶解度、壓力與溫度變化之間關係的理解，也提供了一種創新的教學工具，使抽象的科學概念更具體化。此外，本研究結果顯示，熱像儀能夠有效辨識漏氣位置，具有潛在的應用價值，如應用於其他高壓氣體設備的檢測。未來可進一步擴展至不同類型的氣體與更精確的溫度分析，以強化此技術在教育與工業檢測上的應用。此外，若未來推動二氧化碳高壓封存技術，紅外線熱像儀亦可作為一種簡單且非接觸式的檢測工具，透過偵測封存設備表面的溫度變化，快速辨識可能的洩漏點，提高監測效率並確保封存系統的安全性與穩定性。

■ 參考文獻

行政院農業委員會 (2023)。臺灣 2050 淨零轉型「自然碳匯」關鍵戰略行動計畫。2025 年 2 月 28 日檢索自 <https://www.ey.gov.tw/File/EF63415FAC210FF2?A=C>

亞斯科技 (n.d.)。FLIR E5XT 熱像儀。2025 年 2 月 28 日檢索自 <https://www.astek-tw.com/product-category/hardware/flir/ext/>

國家科學及技術委員會、經濟部、環境保護署 (2023)。臺灣 2050 淨零轉型「碳捕捉利用及封存」關鍵戰略行動計畫。2025 年 2 月 28 日檢索自 <https://www.ey.gov.tw/File/EF63415FAC210FF2?A=C>

教育部 (2014)。十二年國民基本教育課程綱要總綱。臺北市：教育部。

盧秀琴 (主編) (2024)。國民小學自然科學 5 下。臺南市：南一書局。