

從化學實驗轉變為競賽試題的設計考量與結果分析—以「二氧化碳與壓力」為例

張嘉宏¹、吳添全²、洪連輝^{3,*}、楊水平^{1,**}

¹ 國立彰化師範大學化學系

² 國立虎尾科技大學電子工程系

³ 國立彰化師範大學物理系

*phlhorng@cc.ncue.edu.tw

**yangsp@cc.ncue.edu.tw

■ 前言

自 2010 年起，科學 HomeRun 創意競賽在彰化縣已舉辦 14 屆(彰化師大物理系，2024)。自 2022 年起，雲林縣加入此競賽的行列。此競賽的指導單位：國科會；主辦單位：國立彰化師範大學、國立虎尾科技大學、彰化縣政府、雲林縣政府、台塑企業；協辦單位：彰化縣立陽明國民中學、遠哲基金會彰化辦公室。競賽對象：彰化縣和雲林縣公私立國中小學生。競賽日期：每年 3 月或 4 月。競賽獎勵：由縣政府頒發每位參賽者參賽證書乙張，每隊指導老師僅限一人。2023 年競賽會場學生參賽情況一隅，如圖 1 所示。



圖 1：競賽會場一隅

這競賽的目的有二：(1)培養學生科學創造力：現階段中小學學習階段學生有必要加強獨立思考能力和創新思維的養成，規劃舉辦整合型中小學科學競賽活動，活動涵蓋跨學科和跨領域(數學領域、物理學科、化學學科及生物學科)，期望產出的競賽手冊能提供國民中小學教學的參考。(2)提升全民科學素養：大眾科學教育普遍受到世界上各國的重視，期望大眾科學教育的推動能喚醒社會大眾對於科學的關注，提升全體國民的科學素養，也希望能增強國家的長久的競爭力。在競賽活動內涵方面，主要以探索式實驗為依歸，我們相信中小學實

驗應以探索起點，教師從學生的認知結構出發，對原已具備瞭解實驗進行拓展，提出新的實驗課題，新的實驗課題包含新的實驗理論、實驗思考方法和新的實驗情境(彰化師大物理系，2024)。

科學 HomeRun 創意競賽每年有二或三項競賽項目，涵蓋數學領域、物理學科、化學學科和/或生物學科。2023 年的競賽項目有二：(1)【項目一】：〈摩擦生電〉，其內涵以物理學科為主；和(2)【項目二】：〈二氧化碳與壓力〉，其內涵以化學學科為主，以物理學科為輔(彰化師大物理系，2023)。項目二的競賽活動有二：【活動一】：此活動類似遊樂場使用空氣槍射擊氣球，其原理是氣體在密封空間中經過壓縮來擊發發射物。此活動使用寶特瓶當作簡易空氣槍，並使用矽膠塞當作發射彈，以化學反應產生氣體充滿寶特瓶，使二氧化碳和空氣在密閉瓶中被壓縮。在化學反應的過程中，當瓶內的氣體總壓力大於矽膠塞與瓶口的摩擦力時，發射彈即刻發射出去。【活動二】：在密閉的寶特瓶中吹脹氣球是一件相當困難的事。在此活動中，使用家用產品，控制藥品的使用量，進行簡單的操作，就可以在密閉瓶中使氣球膨脹(ChemNCUE，2024；科學 Online，2024；彰化師大物理系，2024)。

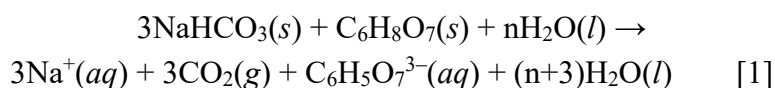
本文僅針對【項目二】：〈二氧化碳與壓力〉的兩項活動，描述競賽試題的設計考量和競賽結果的分析，分述為五部分：(1)競賽試題涉及的實驗原理和概念；(2)競賽使用器材和積分計算方式；(3)競賽實驗操作過程；(4)評分考量和標準設定；以及(5)競賽結果的分析與討論。

■ 競賽試題涉及的實驗原理和概念

本競賽試題涉及的原理和概念涵蓋自然領域和數學領域。自然領域有化學學科的化學反應、理想氣體定律、道爾頓分壓定律及化學計量的理解和應用；物理學科的氣體壓力、應力、摩擦力、彈力之間的多重關係。數學領域有發射彈射遠效率和氣球膨脹效率的定義理解和計算。這些原理和概念僅「化學反應」編入競賽手冊中；「理想氣體定律」和「道爾頓分壓定律」及「化學計量」並未列入其中，但在步驟中提示藥品用量會影響結果；至於「壓力、應力、彈力、摩擦力之間的關係」和「發射角度」，僅在步驟中提示。

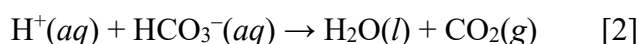
一、化學反應

在項目二：〈二氧化碳與壓力〉的兩活動，涉及的第一反應為碳酸氫鈉 (NaHCO_3) 與檸檬酸 ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) 的反應，當兩反應物混合後，加入水會立即發生化學反應，產生二氧化碳 (CO_2) 氣體和檸檬酸三鈉 ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_7$)，其反應如式[1]所示：

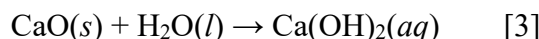


該反應式以淨反應式表示為檸檬酸的氫根離子 (H^+) 與碳酸氫鈉的碳酸氫根離子 (HCO_3^-)

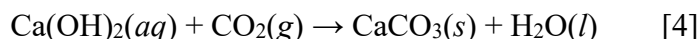
反應，其反應如式[2]所示：



第二反應為氧化鈣（CaO，生石灰）與水（H₂O）反應，生成氫氧化鈣（Ca(OH)₂，熟石灰），其反應如式[3]所示：



第三反應為氫氧化鈣與二氧化碳的反應，生成碳酸鈣（CaCO₃）和水，其反應如式[4]所示：



二、理想氣體定律和道爾頓分壓定律

理想氣體定律：理想氣體狀態的方程式為 $PV=nRT$ ，其中， P 為壓力， V 為體積， n 為氣體物質的量（通常是莫耳）， R 為理想氣體常數， T 為絕對溫度。由 $PV=nRT$ 可推知，在恆定的體積和溫度下，在密閉系統中氣體壓力與莫耳數（或分子數）成正比，亦即氣體莫耳數（或分子數）增加，氣體壓力隨之增加（維基百科，2024a）。就本實驗而言，在寶特瓶中加入檸檬酸和碳酸氫鈉並加水產生二氧化碳，立即塞住矽膠塞形成密閉系統。此時瓶內二氧化碳氣體分子增多，進而其壓力隨之增加。

氣體分壓定律：在恆定的溫度和體積下，在密閉系統中混合氣體的總壓力等於各組成氣體分壓之和，例如：兩種氣體 a 和 b，總壓力等於兩種氣體分壓之和，亦即 $P_t = P_a + P_b$ 。氣體分壓定律也稱為道爾頓分壓定律。道爾頓分壓定律可描述為：在同溫同壓下，單一組成的氣體與混合氣體總的體積之比等於它們的莫耳分數之比，亦即等於分壓與總壓之比（維基百科，2024b）。就本實驗而言，在寶特瓶中加入檸檬酸、碳酸氫鈉及水產生二氧化碳氣體，立即塞住矽膠塞形成密閉系統。此時瓶內含有空氣和二氧化碳氣體，其總壓力為空氣和二氧化碳氣體的分壓之和。當瓶內二氧化碳繼續產生時，二氧化碳氣體分子數增多，進而其分壓隨之增加，導致瓶內的總壓力也隨之增加。當總壓力大於矽膠塞與瓶口的摩擦力時，矽膠塞即刻發射出去。

三、化學計量

從化學計量學來看，當進行反應[1]時，2 茶匙（10.1 g）的小蘇打，相當於 120 mmol（10.1 g / 84.0 g·mol⁻¹）的碳酸氫鈉；而 1 茶匙（5.2 g）的食用檸檬酸，相當於 27 mmol（5.2 g / 192.1 g·mol⁻¹）的檸檬酸（不含結晶水）。以第一反應觀之，碳酸氫鈉為過量試劑，而檸檬酸為限量試劑。27 mmol 的檸檬酸（相當於氫根離子 27 mmol × 3），可消耗 81 mmol 碳酸氫鈉（相當於氫氧根離子 27 mmol × 3），剩下 39 mmol 的碳酸氫鈉。在室溫下，產生 81 mmol 的二氧化碳氣體，其體積為 2000 mL（81 mmol × 82.058 mL·atm·K⁻¹ × 298 K / 1.00

atm)，其產生的體積足以充滿 4.4 個容量為 450 mL 的寶特瓶。

當進行反應[3]時，加入 1 茶匙 (5.3 g) 的氧化鈣，相當於 94 mmol (5.3 g / 56.1 g·mol⁻¹) 的氧化鈣。加水後產生 94 mmol 的氫氧化鈣，可消耗二氧化碳的莫耳數為 94 mmol，亦即可消耗二氧化碳體積 2300 mL (94 mmol × 24.45 L·mol⁻¹)。這氧化鈣的使用量足以消耗 5.1 個充滿二氧化碳的寶特瓶 (瓶容量 450 mL)。

四、壓力、應力、彈力、摩擦力之間的關係

由於本競賽使用具有非完全硬質的塑膠寶特瓶、有彈性的矽膠塞和乳膠氣球，因此需要考量寶特瓶瓶身的應力、寶特瓶瓶口與矽膠塞之間的摩擦力、矽膠塞和氣球本身的彈性、以及氣體的壓力，並且需要考慮壓力、應力、彈力、摩擦力之間的交互關係。

五、發射角度

此實驗還需要考慮發射角度。炮彈發射的飛行距離完全取決於初始速度 v 和射出角度 α ，而且 v 與 α 之間並不存在互相關係，亦即 v 不受 α 影響， α 也不受 v 影響。當表面平坦時 (物體初始高度為零)，若射出角度 $\alpha = 45$ 度，則獲得最大距離 (Wikipedia, 2024)。

■ 競賽使用器材和評分方式

為使競賽趨於公平，避免不必要的紛爭，【項目二】：〈二氧化碳與壓力〉使用的藥品和器材由大會統一提供，而且限制其規格和數量。這方面分為兩類：(1)大會提供各隊的藥品與器材，如表 1 和圖 2 所示；和(2)大會提供公共的藥品與器材，如表 2 和圖 3 所示。另外，安全用具由參賽學生自備，如表 3 和圖 2 下方所示，規定自備的原因是學生平時在校操作化學實驗應該遵守實驗室安全守則，安全用具是必備用品。辦理單位應該事先準備一些安全用具，以備學生忘記攜帶的不時之需。

一、競賽使用藥品和器材

(一)大會提供各隊的藥品與器材

表 1：大會提供各隊使用的藥品與器材

項目	規格	數量 (各隊)	備註
碳酸氫鈉	小蘇打粉末	約 20 g (1 小包)	包裝在夾鏈袋中， 用於活動一和活動二
檸檬酸	無水檸檬酸	約 40 g (1 小包)	
氧化鈣	乾燥劑 (生石灰)	約 12 g (1 小包)	包裝在夾鏈袋中，用於活動二
硬質寶特瓶	圓底瓶，450 mL	4 個	用於活動一和活動二
咖啡攪拌匙	平匙容量約 0.1 mL	2 支	用於量取小量藥品

布丁匙	平匙容量約 1.25 mL	2 支	用於量取中量藥品
布丁匙	平匙容量約 1.6 mL	2 支	用於量取大量藥品
塑膠醬料碟	透明·小碟盤	5 個	用於盛裝預估的藥品
塑膠漏斗	家庭用·大口徑	1 個	用於轉移藥品到瓶中
乳膠氣球	10 吋·不易破	3 個 (一個為備用)	用於活動二

(註：所提供材料於活動一和活動二共同使用。材料不一定要全部用完，用完不再提供。)



圖 2：提供各隊使用的藥品與器材 (示意圖)· 用於活動一 (左) 和活動二 (右)

(二) 大會提供公共使用的藥品與器材

表 2：大會提供公共使用的藥品與器材

項目	規格	數量 (公共使用)	備註
自來水和塑膠量杯	一般自來水	活動一：50 mL 活動二：30 mL	大會提供
自來水	一般自來水	40 L	作為測量氣球膨脹的體積
塑膠量杯	容量 50 mL	10 個	用於量測水量
塑膠量杯	容量 100 mL	10 個	用於量測水量
塑膠量杯	容量 300 mL	10 個	用於量測水量
PE 滴管	容量 3 mL	100 支	用於滴加少量的水
透明膠帶	寬度約 2 cm	3 捲	用於黏貼硬幣在矽膠塞上
衛生紙	抽取式	10 包	用於清潔
電子秤	精度 0.1 g	6 台	用於稱量物重
閱讀書架	可調整角度	3 座	當作發射台
矽膠塞	6 號矽膠塞·白色軟質	3 個	控制發射台角度
發射彈 (矽膠塞+10 元硬幣)	8 號矽膠塞·白色軟質	6 個	用於製作發射彈



圖 3：大會公共使用的藥品與器材（示意圖）

(三) 學生自備安全用具

表 3：學生自備安全用具

項目	規格	數量	備註
安全眼鏡	透明塑膠製	1 副/人	防護用具，自備
乳膠手套	S、M 或 L 號	1 雙/人	防護用具，自備

二、競賽積分計算和注意事項

為讓參賽學生對其競賽成績的評量有清楚的認識，並使競賽順利進行，本競賽規範一些注意事項（第 1-4 項）、並且說明違規扣分（第 5-7 項）和積分計算方式（第 8-12 項）。

1. 大會提供的材料包用於活動一和活動二。
2. 在各組的製作區配製活動一和活動二的第一個寶特瓶藥品，時間共 30 分鐘。
3. 本競賽提供的檸檬酸和小蘇打粉為固定供應量，參賽者不得要求額外發給。
4. 在寶特瓶內殘留的液體不可以直接丟棄於垃圾桶中，務必用大量的水稀釋沖掉，再分類回收。不可再次裝水飲用。
5. 參賽者競賽過程須全程配戴安全眼鏡和乳膠手套，違者該競賽活動項目成績乘以 0.8。
6. 參賽者必須在工作區和公共發射區內完成操作，且在操作時不可有任何妨礙他人進行的行為，進行實驗時僅可使用大會提供的藥品和器材，違者該活動項目不予計分。
7. 寶特瓶和氣球不得做任何改造，如拉長或吹脹氣球、寶特瓶擠壓或扭轉等行為，違者本競賽項目不予以計分。
8. 活動一有兩次機會（有兩個寶特瓶，每一個寶特瓶使用兩顆發射彈），取成績較佳的一次當作成績。
9. 活動二有兩次機會（有兩個寶特瓶和兩個氣球），取成績較佳的一次當作成績。
10. 活動一和活動二的競賽積分計算方式：(1) 排序各組競賽的原始分數；(2) 依照各組原始分數由高到低進行排名（第一到最後一名）；以及(3) 各組排名的反向數值當作各組的競賽積分（例如：參加競賽有 60 組，第一名積分得 60 分，最後一名得 1 分）。

11. 活動一和活動二積分的總和即為本競賽項目的成績。
12. 若兩組總積分相同，以同名次計算。(例如：第一名 115 分，第一名 115 分，第二名從缺，接續第三名。)

■ 競賽實驗操作過程

【活動一】：我是有效率的射遠高手

活動一的過程簡述如後：(1)取得一個空的寶特瓶；(2)在瓶中加入預估量的無水檸檬酸和小蘇打，再加入預估量的水；(3)在瓶口塞住一個矽膠塞；以及(4)寶特瓶放在發射台上，等待矽膠塞發射。詳細過程如下：

1. 公共區提供兩個矽膠塞和兩個 10 元硬幣，並已使用透明膠帶黏住矽膠塞的寬徑與 10 元硬幣在一起，製作成兩顆發射彈，如圖 4 所示。

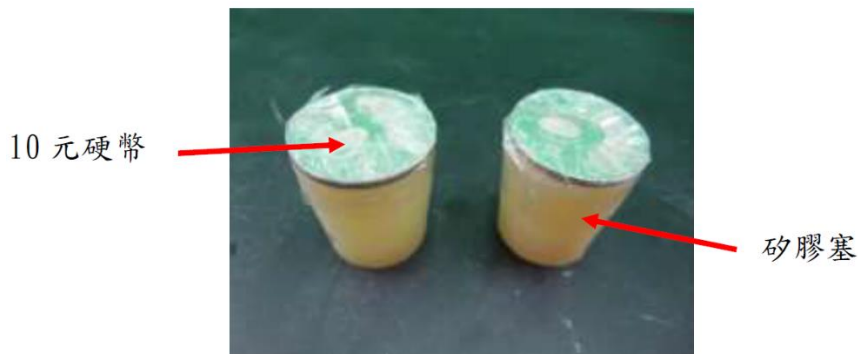


圖 4：完成製作的兩顆發射彈

2. 攜帶寶特瓶(不含瓶蓋)、藥品及塑膠醬料碟到公共區域。各小隊至指定公用區的秤台，使用布丁匙和咖啡攪拌匙，取得預估量的無水檸檬酸和小蘇打放在醬料碟中。(註：各小隊自行預估無水檸檬酸與小蘇打的使用量，藥品用量會影響發射距離。)
3. 各小隊在公用區告知裁判該小隊所想使用的水量(有兩次機會，水量共 50 毫升，可自行評估是否全部用完)，由裁判裝取水量給小隊並記錄所使用水的重量(W_1)，取至公克數小數點後一位，如圖 5 左所示。(註：各小隊自行預估，加入水量會影響發射距離。)
4. 先在電子秤上，放上一個空的寶特瓶和一個塑膠漏斗。然後電子秤歸零，再倒入藥品到寶特瓶中，如圖 5 中所示。測量此二藥品的重量(W_2)並紀錄，取至公克數小數點後一位，如圖 5 右所示。

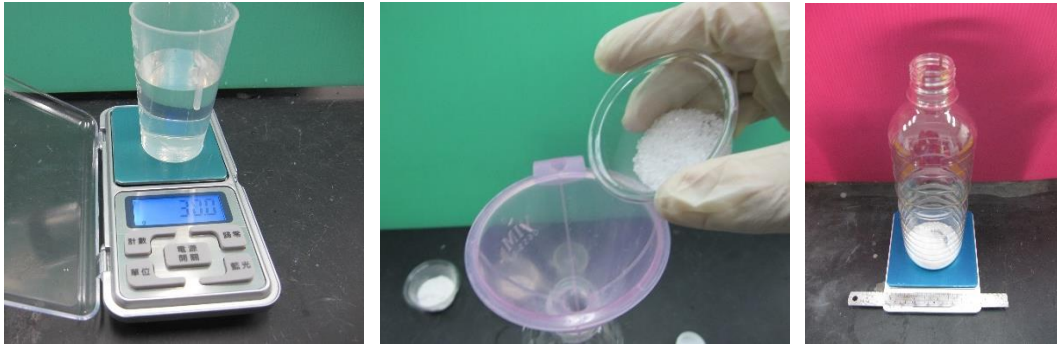


圖 5：測量水的重量（左），二藥品倒入寶特瓶中（中），測量二藥品的重量（右）

5. 至發射區，以閱讀書架當作發射台，參賽者在發射前可事先調整好發射角度。高角度可由閱讀書架的支撐物來控制，低角度可利用大矽膠塞放在適當位置來控制，分別如圖 6 左和右所示。（註：發射彈發射的角度會影響發射距離。）



圖 6：以閱讀書架當作發射台，調整高角度（左）和低角度（右）。

6. 時間限時 3 分鐘，須於時間內完成兩顆發射彈的發射。在工作人員喊「開始」後，立即倒入事先準備的水到寶特瓶中，如圖 7 左所示。立即用發射彈塞住瓶口後並放置此寶特瓶在發射台上，等待彈發射發射出去，如圖 7 右所示。（註：發射彈塞住瓶口的方式和鬆緊度會影響發射距離。若發射彈發射到發射區之外，則不予計分。）

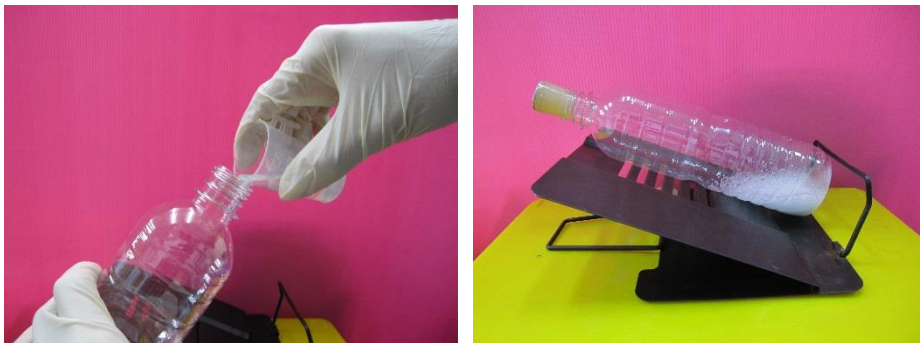


圖 7：水倒入寶特瓶中（左），放置寶特瓶在發射台上（右）。

7. 在第一顆發射彈發射後，立即用第二顆發射彈塞住瓶口，等待發射彈發射出去。（全部過程須在 3 分鐘內完成，若在時限內只發射一顆，則只計算一顆的成績。）
8. 由工作人員計算各小隊兩顆發射彈落入評分區域的得分。若發射彈最後落在界線上，則採取較高分數的區域得分；若落到發射區之外或未發射，則不予計分。最終結果皆由裁

判認定。發射彈落入區域的以公尺為區分與其對應的區域得分，如圖 8 所示。

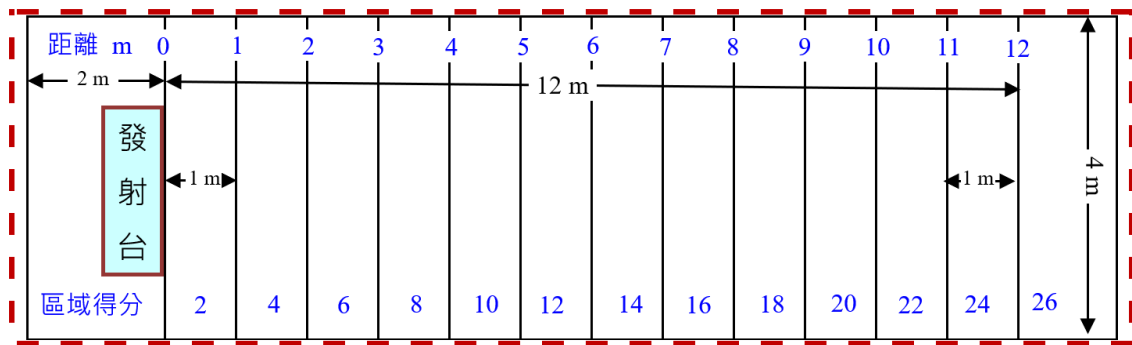


圖 8：發射區域的以公尺為區分與其對應的得分

9. 在第一個寶特瓶發射後，回到自己的製作區，使用第二個寶特瓶(當作第二次)，自行調整藥品用量及水量，重複步驟 2-8，進行第二次實驗。
10. 在結束後，倒出寶特瓶內的溶液到廢棄桶中，並放置此二寶特瓶至公共區域。

【活動二】：我有奇招使氣球在密閉瓶中膨脹

活動二的過程簡述如後：(1)取得一個空的硬質寶特瓶；(2)在瓶中加入預估量的無水檸檬酸和小蘇打，再加入固定量的水；(3)在反應的適當時機，加入預估量的氧化鈣；以及(4)在瓶口內套緊一個氣球；以及(4)搖晃寶特瓶，促使氣球在寶特瓶中膨脹。詳細過程如下：

1. 各小隊至指定公用區的電子秤，使用布丁匙和咖啡攪拌匙，取預估量的檸檬酸與小蘇打放在塑膠醬料碟中，再取預估量的氧化鈣放在另一個醬料碟中。(註：無水檸檬酸、小蘇打及氧化鈣的使用量會影響氣球膨脹的程度。)
2. 攜帶寶特瓶(不含瓶蓋)、含無水檸檬酸和小蘇打的醬料碟、氧化鈣的醬料碟以及塑膠漏斗到公共區域，如圖 9 所示。



圖 9：取預估量的藥品和器材到公共區域

3. 取一個空的寶特瓶和一個漏斗，放在電子秤上並歸零，再倒入無水檸檬酸和小蘇打到寶特瓶中，測量此二藥品的重量 (W_1)，取至公克數小數點後一位，如圖 10 左所示。
4. 由工作人員加入約 30 g 自來水，如圖 10 中和左所示，此時瓶內混合物開始反應，參賽

者可輕輕地搖晃寶特瓶使其混合均勻。(註：統一由工作人員稱重約 30 g 的水並加入瓶中。)



圖 10：測量二藥品的重量(左)，量杯中約 30 g 自來水(中)，加入水到寶特瓶(右)

5. 參賽者放置裝有混合物的寶特瓶和漏斗在已歸零的電子秤上，在適當時機倒入氧化鈣到寶特瓶中，如圖 11 所示。測量氧化鈣的重量(W_2)，並紀錄，取至公克數小數點後一位。



圖 11：在適當時機倒入氧化鈣到寶特瓶中

6. 立即取下漏斗後，馬上懸掛一顆氣球在寶特瓶的瓶口內，並套緊在瓶口上，使之形成密閉系統，如圖 12 所示。(注意：勿用太大力使氣球破裂，如有破裂，材料包有一顆備用氣球。)



圖 12：懸掛一個氣球在寶特瓶的瓶口內

7. 帶回裝有氣球的寶特瓶至製作區，輕輕地搖晃此寶特瓶，使氣球在寶特瓶中逐漸膨脹，需時 10-20 分鐘，如圖 13 所示。



圖 13：搖晃寶特瓶，使氣球在寶特瓶中膨脹

8. 參賽者等待氣球不再膨脹後，攜帶裝有氣球的寶特瓶到公共區域，放在電子秤上並歸零。
9. 工作人員提供自來水，讓參賽者慢慢地倒入水到膨脹的氣球中，如圖 14 左所示。當水位接近瓶口時，用滴管慢慢地滴加，直到水位與瓶口切齊，如圖 14 中所示。再由工作人員秤重，並記錄加水的重量 (W_3)，如圖 14 右所示。



圖 14：倒入水到氣球中（左），用滴管滴加直到水位與瓶口切齊（中），秤量水重（右）。

10. 使用第二個寶特瓶（當作第二次），調整藥品用量，重複前述步驟 1-9，進行第二次實驗。
11. 在結束後，繳回兩個寶特瓶（倒出自來水）到大會處，瓶內的殘留物由工作人員統一處理。
12. 放入所有器材和剩餘的藥品到材料包中，繳回到公共區域。

■ 評分考量與標準設定

一、評分考量項目

活動一的競賽評量考量為發射彈射遠距離，活動二為氣球膨脹體積。發射彈射遠距離和氣球膨脹體積（應變變因，依變因）與反應物的藥品使用量（操縱變因，自變因）產生或消耗二氧化碳氣體的體積量有正相關或無相關，這涉及化學計量的原理。再者，影響這兩項評量有寶特瓶身的塑膠材質（應力）、矽膠塞和乳膠氣球的矽膠和橡膠材質（彈性）、以及寶特瓶瓶口與矽膠塞之間塞緊程度（摩擦力）。此外，發射彈發射角度亦會影響射遠距離。由於這類的應力、彈性、摩擦力及發射角度在現場難以評估或不易計量，因此本次競賽採用相

同材質和大小的寶特瓶、矽膠塞及乳膠氣球，而塞緊程度和發射角度不納入評量的考量。

在操縱變因方面：(1)在活動一和二中，產生二氧化碳氣體的反應物（小蘇打、檸檬酸及水）使用量，小蘇打和檸檬酸的使用量越多產生氣體體積越多，這涉及化學計量的原理；使用水量也會影響實驗結果。活動一的水量由學生自行決定有列入評量，而活動二由大會工作人員統一加入固定的水量不列入評量；發射角度也會影響發射距離但不列入評量。(2)在活動二中，反應物（氧化鈣）的使用量會影響消耗二氧化碳氣體的量，氧化鈣使用量越多消耗二氧化碳氣體量越多，這也涉及化學計量的原理。另外，在應變變因方面：(1)活動一為發射彈發射距離，發射距離越遠區域得分越高；(2)活動二為氣球膨脹體積，膨脹體積越大得分越高。

為讓參賽師生對於操縱變因和應變變因之間的交互關係有更深入的理解，本競賽項目以「效率」作為競賽積分的評量標準，亦即在不浪費藥品的情況下（操縱變因）可以成功完成最佳的結果（應變變因）。提出射遠效率（射遠距離/藥品和水總量）和氣球膨脹效率（氣球膨脹體積/藥品總量）的概念，讓參賽者控制最少量的反應物能使發射彈發射最遠距離和氣球膨脹最大體積，找出射遠效率和氣球膨脹效率的最佳條件。

二、評分標準設定

【活動一】：我是有效率的射擊高手

1. 本活動列入評分項目有二：(1)水和二種藥品的總重量 ($W_1 + W_2 = W$)，以及(2)連續兩顆發射彈的區域得分之和 (D)。

射遠效率 (E) 的定義為兩顆發射彈的區域得分之和除以使用藥品和水重量之和，亦即 $E = D \div W$ 。E 值越大，得分越高。

2. 本活動的成績計算方式如下：
 - (1) 發射彈落入區域得分 (D): 兩顆發射彈射到區域得分之和 ($D_1 + D_2$)。
 - (2) 射遠效率 (E): $E = D \div W$ ，單位 1/g。取四捨五入至小數點後兩位。
 - (3) 成績計算方式：依照射遠效率 (E) 排序，E 值越大，得分越高。
 - (4) 本競賽活動有兩次機會（兩個發射瓶），取其中一次 E 值較大者進行排名和得分。

【活動二】：我有奇招使氣球在密閉瓶中膨脹

1. 本活動列入評分項目有二：(1)三種藥品的總重量 ($W = W_1 + W_2$): 檸檬酸與小蘇打的重量 (W_1) 加上氧化鈣的重量 (W_2)，以及(2)氣球膨脹體積 (V)。

氣球膨脹效率 (E) 的定義為三藥品的單位重量能使氣球膨脹體積的大小，亦即 $E = V \div W$ 。E 值越大，得分越高。

2. 本活動的成績計算方式如下：

- (1) 使用三種藥品的總重量 (W): 亦即 $W = W_1 + W_2$ 。
- (2) 汽球膨脹的體積 (V): 氣球膨脹後加水後的重量 (W_3)。若氣球膨脹的體積未達 100.0 g 的水量，則本競賽活動的成績不予計分。(註：假設水密度是 1.00 g/mL，以水的重量代表氣球膨脹體積。)
- (3) 氣球膨脹效率 (E): $E = V \div W$ ，單位 mL/g。取四捨五入至小數點後兩位。
- (4) 成績計算方式：依照氣球膨脹效率 (E) 排序， E 值越大，得分越高。
- (5) 本活動有兩次機會 (兩個氣球膨脹瓶)，取其中一次 E 值較大者進行排名和得分。

■ 競賽結果的分析與討論

針對活動一 (有效率的射遠高手) 和活動二 (氣球在密閉瓶中膨脹) 的競賽結果，分別進行射遠距離和射遠效率以及氣球膨脹體積和膨脹效率的統計分析。本文探討五個問題：(1) 針對活動一，探討不同兩顆發射彈 (自變項) 對射遠距離 (依變項) 有何影響？探討不同兩次實驗 (自) 射遠效率 (依) 有何影響？(2) 針對活動二，探討不同兩次實驗 (自) 對氣球膨脹體積 (依) 和膨脹效率 (依) 有何影響？(3) 針對活動一，探討不同兩階段學生 (自) 對發射彈射遠距離 (依) 和射遠效率 (依) 有何影響？(4) 針對活動二，探討不同兩階段學生 (自) 對氣球膨脹體積 (依) 和膨脹效率 (依) 有何影響？以及(5) 針對兩活動，探討不同兩階段學生 (自) 對使用藥品用量 (依) 和化學計量 (依) 有何影響？

在 2023 年，雲林縣有 25 隊參加，由於有一隊故意使用極少量的藥品，雖得到很低的區域得分，但是獲得最高分的射遠效率，本文排除該隊的數據不列入統計分析，因此樣本數只有 24 隊。此外，在競賽活動時，由於有些隊伍在混合藥品後或加入水後才稱重，並未分開稱重，因此這些隊伍的數據不納入統計分析。

一、活動一 (射遠高手) 所有學生的射遠距離與射遠效率

活動一有兩個發射瓶 (兩次機會)，每一次實驗可連續發射兩顆發射彈。發射區域 (距離) 以每公尺劃一區隔線。若發射彈落在兩區隔線之間，則以 0.5 公尺計之，例如：落在 2 與 3 公尺之間，以 2.5 公尺計之。在表 4A 和 4B 中，每一次實驗的第一彈和第二彈的樣本數都是 $n = 24$ ，兩次合併的第一彈和第二彈的樣本數都是 $n = 48$ 。

表 4A：活動一—所有學生的射遠距離

射遠距離 發射次別	第一彈距 離平均值 (m)	第二彈距 離平均值 (m)	兩彈距離 平均值差 異(m)	兩彈距離 之和平均 值(m)	第一彈 最遠距 離(m)	第二彈 最遠距 離(m)	兩彈最 遠距離 差異(m)	兩彈距離 比較 t -test p 值	兩次距離 比較 t -test p 值
第一次	3.8	2.8	-1.0	6.7	12.5	12.5	0.0	0.310	0.301

第二次	4.7	3.5	-1.1	8.2	12.5	9.5	-3.0	0.244	
兩次合併	4.4	3.3	-1.1	7.8	12.5	12.5	0.0	0.474	NA
兩次差異	0.8	0.7	-0.1	1.5	0.0	-3.0	-3.0	NA	NA
兩次差異%	22	25	14	23	0	-24	NA	NA	NA

$P < 0.05$ *, $P < 0.01$ **, $P < 0.001$ ***

根據表 4A，從射遠距離的平均值來看，無論是第一次、第二次還是兩次合併，參賽者第一彈的成績都優於第二彈，其原因是瓶中產生二氧化碳氣體產生量隨時間遞減。根據 t 檢定的結果，在顯著性水準 $\alpha = 0.05$ 下，沒有足夠的證據表明在第一次、第二次或兩次合併方面，第一顆與第二顆發射彈發射距離的平均值之間存在顯著差異(分別 $p = 0.310$ 、 0.244 及 0.474)。此外，第二次的成績都優於第一次，這顯示學生有進行實驗改善；在顯著性水準 $\alpha = 0.05$ 下，沒有足夠的證據表明第一次與第二次的兩彈發射距離之和的平均值之間存在顯著差異 ($p = 0.301$)。這意味著任何觀察到的差異很可能是隨機變異造成的，而不是因為學生改善實驗有顯著的效應。

表 4B：活動一—所有學生的射遠效率

發射次別 \ 射遠效率	射遠效率 平均值	射遠效率 最大值	射遠效率 最小值	射遠效率 標準差	射遠效率 兩次比較 t -test p 值
第一次	0.52	1.30	0.00	0.39	0.305
第二次	0.64	1.74	0.00	0.42	
兩次合併	0.58	1.74	0.00	0.40	NA
兩次差異	0.12	0.43	0.00	0.0	NA
兩次差異%	23	33	NA	8	NA

根據表 4B，從射遠效率的平均值來看，參賽者第二次的成績優於第一次；從最大值來看，參賽者第二次的表現也優於第一次。這些結果顯示學生有進行改善實驗。根據 t 檢定的結果，在顯著性水準 $\alpha = 0.05$ 下，沒有足夠的證據表明在第一次、第二次或兩次合併方面，第一顆與第二顆發射彈的射遠效率之間存在顯著差異 ($p = 0.305$)，這可能的原因是學生進行改善實驗沒有顯著的效應。

二、活動二 (氣球膨脹) 所有學生的氣球膨脹體積與膨脹效率

在表 5A 和 5B 中，第一次和第二次的樣本數都是 $n = 24$ ，兩次合併的 $n = 48$ 。用於氣球體積膨脹的塑膠瓶，其容量為 450 mL。

表 5A：活動二—所有學生的氣球膨脹體積

氣球體積 膨脹次別	膨脹體積 平均值 (mL)	膨脹體積 平均值與 瓶容量差 異(mL)	膨脹體積 平均值與 瓶容量差 異%	膨脹體積 最大值 (mL)	膨脹體積 最大值與 瓶容量差 異(mL)	膨脹體積 最大值與 瓶容量差 異%	膨脹體積 標準差 (mL)	膨脹體積 兩次比較 <i>t</i> -test <i>p</i> 值
第一次	163.8	-286.2	36.4	354.8	-95.2	78.8	101.9	0.204
第二次	123.8	-326.2	27.5	316.0	-134.0	70.2	112.7	
兩次合併	143.8	-306.2	32.0	354.8	-95.2	78.8	316.0	NA
兩次差異	-39.9	-39.9	-8.9	-38.8	-38.8	-8.6	10.7	NA
兩次差異%	-24	14	-24	-11	41	-11	11	NA

根據表 5A，從氣體膨脹體積的平均值來看，參賽者第一次和第二次分別只佔瓶容量的 36.4% 和 27.5%；第二次的成績劣於第一次，其原因有待商榷。從最大值來看，參賽者第一次和第二次分別佔瓶容量的 78.8 和 70.2%；第二次的成績也劣於第一次，其原因不明。根據 *t* 檢定的結果，沒有足夠的證據支持在第一次與第二次的氣球膨脹體積的平均值之間存在顯著差異 (*p* 值為 0.204)，這暗示觀察到的差異可能是由隨機變異造成的。

表 5B：活動二—所有學生的氣球膨脹效率

膨脹效率 膨脹次別	膨脹效率 平均值	膨脹效率 最大值	膨脹效率 最小值	膨脹效率 標準差	膨脹效率 兩次比較 <i>t</i> -test <i>p</i> 值
第一次	13.32	30.50	0.00	8.23	0.837
第二次	12.72	43.89	0.00	11.66	
兩次合併	13.02	43.89	0.00	9.99	NA
兩次差異	-0.60	13.39	0.00	3.44	NA
兩次差異%	-5	44	NA	42	NA

根據表 5B，從氣體膨脹效率的平均值來看，參賽者第二次的成績劣於第一次。從最大值來看，參賽者第二次的表現優於第一次。根據 *t* 檢定的結果，沒有足夠的證據支持在第一次與第二次的氣球膨脹效率的平均值之間存在顯著差異 (*p* = 0.837)，這可能的原因是學生進行改善實驗未達顯著的效應。

三、活動一（射遠高手）國小生和國中的射遠距離與射遠效率

在評分標準中提到：活動一的射遠距離計算為在同一發射瓶（同一次）連續兩顆發射彈發射的距離之和。在表 6A 和 6B 中，國小第一次和第二次的樣本數都是 $n = 16$ ，國中都是 $n = 8$ ；兩次合併的樣本數，國小 $n = 32$ ，國中 $n = 16$ 。

表 6A：活動一—國小生與國中生的射遠距離

射遠距離 發射次別	國小兩彈 距離之和 平均值 (m)	國中兩彈 距離之和 平均值 (m)	兩者兩彈 距離之和 平均值差 異(m)	國小兩彈 距離之和 最遠距離 (m)	國中兩彈 距離之和 最遠距離 (m)	兩者兩彈 距離之和 最遠差異 (m)	國小兩彈 距離之和 標準差 (m)	國中兩彈 距離之和 標準差 (m)	兩者兩彈 距離之和 比較 <i>t</i> - test <i>p</i> 值
第一次	6.3	11.1	4.8	12.5	18.0	5.5	4.0	5.8	0.415
第二次	12.8	9.5	-3.3	18.0	18.0	0.0	5.0	7.7	0.650
兩次合併	7.2	8.9	1.7	18.0	18.0	0.0	4.5	6.6	0.374
兩次差異	6.5	-1.6	-8.1	5.5	0.0	-5.5	1.0	1.9	NA
兩次差異%	102	-14	-169	44	0	NA	25	33	NA

根據表 6A，在兩彈射遠距離之和的平均值方面，國小生在第二次表現優於第一次；國中生則相反；兩次合併則以國中生表現較佳。在兩彈發射最遠距離之和方面，國中生和國小生的第二次均可發射達到 18 公尺。在顯著性水準 $\alpha = 0.05$ 下， $p = 0.415$ 、 0.650 及 0.374 均大於 α ，我們不認為在第一次、第二次或兩次合併方面，國小生與國中生的兩顆發射距離之和的平均值之間有顯著差異，這暗示觀察到的射遠距離差異並未達到國中生表現比國小生較佳的期望。

表 6B：活動一—國小生與國中生的射遠效率

射遠效率 發射次別	國小射遠 效率平均 值	國中射遠 效率平均 值	兩者射遠 效率平均 值差異	國小射遠 效率最大 值	國中射遠 效率最大 值	兩者射遠 效率最大 值差異	國小射遠 效率標準 差	國中射遠 效率標準 差	兩者射遠 效率比較 <i>t</i> -test <i>p</i> 值
第一次	0.43	0.56	0.13	0.93	1.30	0.37	0.30	0.48	0.149
第二次	0.56	0.81	0.25	1.04	1.74	0.69	0.31	0.57	0.268
兩次合併	0.49	0.76	-0.09	1.04	1.74	0.69	0.31	0.51	0.063
兩次差異	0.13	0.25	0.12	0.11	0.43	0.32	0.00	0.09	NA
兩次差異%	31	45	91	12	33	86	1	19	NA

根據表 6B，在發射效率的平均值方面，無論是第一次、第二次還是兩次合併，國中生表現均優於國小生。在最大值方面，國中生的表現也均優於國小生。在顯著性水準 $\alpha = 0.05$ 下， p 值為 0.149 、 0.268 及 0.063 均大於 α ，我們不認為在第一次、第二次或兩次合併方面，國小生與國中生兩顆射遠效率的平均值之間有顯著差異。這暗示觀察到射遠效率的差異未出現國中生的表現比國小生較佳的期望。

四、活動二（氣球膨脹）國小生和國中的氣球膨脹體積與膨脹效率

在表 7A 和 7B 中，國小的第一次和第二次的樣本數都是 $n = 16$ ，國中都是 $n = 8$ ，國小的兩次合併 $n = 32$ ，國中的兩次合併 $n = 16$ 。

表 7A：活動二—國小生與國中生的氣球膨脹體積

氣球體積 膨脹次別	國小膨脹 體積平均 值(mL)	國中膨脹 體積平均 值(mL)	兩者膨脹 體積平均 值差異 (mL)	國小膨脹 體積最大 值(mL)	國中膨脹 體積最大 值(mL)	兩者膨脹 體積最大 值差異 (mL)	國小膨脹 體積標準 差(mL)	國中膨脹 體積標準 差(mL)	兩者膨脹 體積比較 <i>t</i> -test <i>p</i> 值
第一次	173.9	143.5	-30.5	354.8	260.5	-94.3	105.5	97.9	0.495
第二次	95.0	181.5	86.5	316.0	294.4	-21.6	103.5	114.3	0.095
兩次合併	134.5	162.5	28.0	354.8	294.4	-60.4	110.4	104.7	0.397
兩次差異	-78.9	38.0	116.9	-38.8	33.9	72.7	-2.0	16.4	NA
兩次差異%	-45	26	-384	-11	13	-77	-2	17	NA

根據表 7A，在膨脹體積的平均值方面，國小生的第一次表現優於第二次；國中生則相反；兩次合併以國中生表現較佳。在膨脹體積最大值方面，無論是第一次、第二次還是兩次合併，國小生均大於國中生，國小生比國中生分別多於 94.3 mL、21.6 mL 及 60.4 mL，這表現令人意料之外，其原因有待進一步探討。根據 *t* 檢定的結果，*p* 值分別為 0.495、0.095 及 0.397，在 95% 的信心水準下，無法表明在第一次、第二次或兩次合併方面，國小生與國中生的氣球膨脹體積的平均值之間有顯著差異，這暗示觀察到膨脹體積的差異未達到國中生表現比國小生較佳的期望。

表 7B：活動二—國小生與國中生的氣球膨脹效率

球膨效率 膨脹次別	國小膨脹效率 平均值	國中膨脹效率 平均值	兩者膨脹效率 平均值差異	國小膨脹效率 標準差	國中膨脹效率 標準差	兩者膨脹效率 比較 <i>t</i> -test <i>p</i> 值
第一次	14.40	11.17	-3.23	8.31	8.16	0.379
第二次	12.72	16.67	3.96	12.08	10.38	0.229
兩次合併	12.57	13.92	1.35	10.36	9.45	0.654
兩次差異	-1.68	5.50	7.18	3.77	2.22	NA
兩次差異%	-12	49	-223	45	27	NA

根據表 7B，在氣球體積效率的平均值方面，國小生對第一次和兩次合併的表現稍優於國中生，第二次則國中生的表現較佳。在 95% 的信心水準下，我們無法表明在第一次、第二次或兩次合併方面，國小生與國中生氣球膨脹效率的平均值之間有顯著差異，這暗示觀察到膨脹效率的差異並未達到國中生表現比國小生較佳的期望。

五、活動一（射遠高手）和活動二（氣球膨脹）的藥品用量分析

在表 8A-1、8A-2、8B-1 及 8B-2 中，僅以「檸檬酸」表示無水檸檬酸；「合乎化學計量」被定義為莫耳數比與理論比在 $\pm 10\%$ 之內；「3 酸與 1 鹼莫耳數比」是指 3 倍無水檸檬酸與 1 倍小蘇打的莫耳數比。在活動一的表 8A-1 和 8A-2 中，國小的樣本數 $n = 13$ ，國中 $n = 6$ ，國小與國中合併 $n = 19$ 。在活動二的表 8B-1 和 8B-2 中，國小的樣本數 $n = 20$ ，國中 $n = 8$ ，國小與國中合併 $n = 28$ 。

表 8A-1：活動一—國小生與國中生使用檸檬酸與小蘇打的重量與化學計量 (1/2)

藥品用量 學習階段	檸檬酸重 量平均值 (g)	檸檬酸莫 耳數平均 值(mol)	小蘇打重 量平均值 (g)	小蘇打莫 耳數平均 值(mol)	3 酸與 1 鹼莫耳數 比平均值	合乎化學計 量的莫耳數 比平均值	合乎化學 計量隊數	佔全部隊 數%
國小	6.8	0.035	7.1	0.085	1.566	0.908	1	7.7
國中	3.9	0.020	3.1	0.037	1.674	NA	0	0.0
國中小合併	5.9	0.031	5.8	0.069	1.600	0.908	1	5.3
兩者差異	-2.88	-0.015	-4.02	-0.048	0.108	NA	-1	-7.69
兩者差異%	-42	-42	-57	-57	7	NA	-100	-100

表 8A-2：活動一—國小生與國中生使用檸檬酸與小蘇打的重量與化學計量 (2/2)

藥品用量 學習階段	檸檬酸過量莫耳數 %	檸檬酸過量 隊數	佔全部隊數 %	小蘇打過量莫耳數 %	小蘇打過量 隊數	佔全部隊數 %
國小	82.6	10	76.9	40.5	2	15.4
國中	67.4	6	100.0	NA	0	0.0
國中小合併	76.9	16	84.2	40.5	2	10.5
兩者差異	-15.2	-4	23.1	NA	-2	-15.4
兩者差異%	-18	-40	30	NA	-100	-100

根據表 8A-1 和 8A-2，在活動一（射遠高手）的藥品用量方面，國小生和國中生使用兩藥品合乎化學計量的隊數佔全部隊數的百分比很低（分別只有 7.7% 和 0.0%），國小生和國中生使用無水檸檬酸過量居大多數（分別為 76.9% 和 100.0%），而使用小蘇打過量則甚少（分別只有 15.4% 和 0.0%）。使用檸檬酸過量越多，氣體膨脹效率會越低，導致得分就會越低。

表 8B-1：活動二—國小生與國中生使用檸檬酸與小蘇打的重量與化學計量 (1/2)

藥品用量 學習階段	檸檬酸重 量平均值 (g)	檸檬酸莫 耳數平均 值(mol)	小蘇打重 量平均值 (g)	小蘇打莫 耳數平均 值(mol)	3 酸與 1 鹼 莫耳數比平 均值	合乎化學計 量莫耳數比 平均值	合乎化學計 量莫耳數隊 數	佔全部 隊數%
國小	4.3	0.022	4.0	0.047	1.569	-1.660	5	25.0
國中	7.3	0.038	4.0	0.047	2.376	NA	0	0.0
國中小合併	5.1	0.027	4.0	0.047	1.799	-1.660	5	17.9
兩者差異	3.0	0.016	0.0	0.000	0.8	NA	-5.0	-25.0
兩者差異%	70	70	0	0	51	NA	-100	-100

表 8B-2：活動二—國小生與國中生使用檸檬酸與小蘇打的重量與化學計量 (2/2)

藥品用量 學習階段	檸檬酸 過量莫 耳數%	檸檬酸 過量隊 數	佔全 部隊 數%	小蘇打 過量莫 耳數%	小蘇打 過量次 數	佔全 部隊 數%	可製造 CO ₂ 體 積(mL)	多出瓶容 量體積平 均值(mL)	不足瓶容 量體積平 均值(mL)	與瓶容 量差異 %
國小	105.0	10	50.0	24.1	5	25.0	833	709	-106	95

國中	137.6	8	100.0	NA	0	0.0	1152	702	NA	156
國中小合併	118.1	18	64.3	24.1	5	17.9	924	706	-106	112
兩者差異	32.6	-2.0	50.0	NA	-5.0	-25.0	318.7	-7.3	NA	61.4
兩者差異%	31	-20	100	NA	-100	-100	38	-1	NA	65

根據表 8B-1 和 8B-2，在活動二（氣球膨脹）的藥品用量方面，國小生和國中生使用兩藥品合乎化學計量的隊數佔全部隊數百分比很低（分別只有 25.0% 和 0.0%），使用無水檸檬酸過量居大多數（分別是 50.0% 和 100.0%），而使用小蘇打過量則甚少（分別只有 25.0% 和 0.0%）。這些結果顯示大部分學生不懂得或指導教師未教導學生化學計量的原理。使用檸檬酸過量越多，氣體膨脹效率會越低，導致得分就會越低；而且後續需要使用更多量的氧化鈣進行酸鹼中和。在製造 CO₂ 方面，國小生和國中生均製造氣體體積量比瓶容量（450 mL）多出甚多（分別多出 709 mL 和 702 mL，分別多出 1.58 倍和 1.56 倍）。

在活動二的表 8B-3 中，國小的樣本數 $n = 15$ ，國中 $n = 5$ ，國小與國中合併 $n = 20$ 。

表 8B-3：活動二—國小生與國中生使用氧化鈣的用量

藥品用量 學習階段	氧化鈣重量 平均值(g)	氧化鈣莫耳 數平均值 (mol)	氧化鈣用量 可消耗 CO ₂ 體積(mL)	消耗 CO ₂ 體 積與瓶容量 差異平均值	消耗 CO ₂ 體 積為瓶容量 倍數	多出瓶容量 CO ₂ 體積平 均值(mL)	不足瓶容量 CO ₂ 體積平 均值(mL)
國小	3.5	0.063	1541	1091	2.4	1091	NA
國中	3.0	0.053	1311	861	1.9	1443	-13
國中小合併	3.4	0.061	1483	1033	2.3	1150	-13
兩者差異	-0.5	-0.009	-230	-230	-0.5	352	NA
兩者差異%	-15	-15	-15	-21	-21	32	NA

根據表 8B-3，在使用氧化鈣可消耗 CO₂ 體積方面，國小生（1541 mL）比國中生（1311 mL）多出 21%，這些用量可消耗 CO₂ 體積量分別為瓶容量（450 mL）的 2.4 倍和 1.9 倍，這顯示國小生和國中生使用氧化鈣用量也不合乎化學計量的原理。以多出或不足瓶容量來推論，國小生所有隊伍均使用過量且偏高的氧化鈣用量，國中生只有極少數使用不足量的氧化鈣用量。

■ 結語

在競賽實驗操作方面，本競賽試題的活動一（有效率的射遠高手）和活動二（氣球在密閉瓶中膨脹）的步驟設計採用結合詳述的（expository）和基於問題的（problem-based）實驗模式（Domin, 1999）。進一步說，在競賽手冊中提供大部分詳細的操作步驟，同時納入少部分的開放性思考，尤其在化學藥品使用量方面，並且納入一些半開放性的提示，讓學生有思考並嘗試改善的機會，激發團體集思廣益的潛能。

在評量標準設定方面，本競賽項目採用目標導向的評量，其目標設定為：發射彈射遠距離（活動一）和氣球膨脹體積（活動二）。由於反應物的藥品使用量產生或消耗二氧化碳氣體的體積量對射遠距離和膨脹體積有正相關或無相關的影響，因此藥品使用量的限制成為評量的重要考量。為讓參賽師生對於操縱變因和應變變因之間的交互關係有更深入的理解和應用，本競賽項目以「效率」作為競賽得分的評量標準，因而提出：射遠效率和氣球膨脹效率。增加學生思考如何控制最少量的反應物能使發射彈發射最遠距離和氣球膨脹最大體積，進而找出射遠效率和氣球膨脹效率的最佳條件。這「效率」的概念確實帶給競賽學生對問題解決增加很大的挑戰。然而，在活動一的評量標準未規定發射距離達到指定的距離才能計分，以致有一隊使用非常少量的藥品發射很短的距離而得到很高的射遠效率，這不是原本設計本競賽的本意，往後需要增加限制條件以合乎公平。

在競賽結果分析方面，(1)參賽者同一次實驗的第一彈射遠距離和射遠效率的成績均優於第二彈，這合乎同一瓶中二氧化碳氣體產生量隨時間遞減的化學原理；第二次的成績都優於第一次，這顯示學生有進行實驗改善。(2)參賽者在第一次和第二次的氣體膨脹體積分別只佔瓶容量的三成六和二成七，這顯示氣球膨脹體積的效果不佳。(3)國小生在第二次兩彈發射距離之和的表現優於第一次；國中生則相反；國中生和國小生發射兩彈發射距離之和最高可達到 18 公尺；國中生在射遠效率表現均優於國小生。(4)國小生的氣球膨脹體積和膨脹效率第一次的表現優於第二次；國中生則相反。(5)國小生和國中生在兩活動中使用無水檸檬酸和小蘇打合乎化學計量的隊數百分比很低，國小生和國中生使用過量的無水檸檬酸佔大多數，使用過量的小蘇打則很少數。再者，國小生使用氧化鈣可消耗二氧化碳體積比國中生多出約二成，而且可消耗二氧化碳體積量分別為瓶容量的 2.4 倍和 1.9 倍，這結果顯示國小生和國中生使用氧化鈣也不合乎化學計量的原理。在比較兩者平均值方面，經過 t 檢定的結果，在 95% 的信心水準下，沒有足夠的證據表明所有想要探討的不同兩項自變因對依變因存在顯著差異，包括：同一次實驗的第一顆與第二顆發射彈對射遠距離和射遠效率、第一次與第二次對氣球膨脹體積和膨脹效率、國小生與國中生對兩顆射遠距離和射遠效率、國小生與國中生對氣球膨脹體積和膨脹效率，這意味著任何觀察到的差異很可能是隨機變異造成的。若期望兩者存在顯著差異，則需要考慮不同學習階段學生的知識背景且控制更多條件的試題設計。

■ 致謝

感謝國科會（科普活動推廣計畫）和台塑企業（雲林守望輔導計畫）的經費贊助。感謝國立彰化師範大學、國立虎尾科技大學、彰化縣政府、雲林縣政府、台塑企業、彰化縣立陽明國民中學以及遠哲基金會彰化辦公室的協助辦理。感謝此競賽的助理黃聖棋和參與學生的大力幫忙。

■ 參考文獻

- ChemNCUE (2024)。化學示範實驗：氣球在密閉瓶中膨脹—亞佛加厥定律 (Avogadro's Law)。擷取日期：2024 年 8 月 30 日。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=fFRSghnGcwg>。
- 科學 Online (2024)。化學示範實驗：氣球在密閉瓶中膨脹—亞佛加厥定律 (Avogadro's Law)。2024 年 8 月 30 日。取自 <https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=14800>。
- 維基百科 (2024a)。理想氣體狀態方程式。2024 年 8 月 30 日。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/理想氣體狀態方程式>。
- 維基百科 (2024b)。道爾頓分壓定律。2024 年 8 月 30 日。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/道爾頓分壓定律>。
- 彰化師大物理系 (2024)。HomeRun 創意競賽。2024 年 8 月 30 日。取自 <http://phys5.ncue.edu.tw/contest/>。
- Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543-547.
- Wikipedia (2024). Projectile motion. Retrieved 2024 August 30, https://en.wikipedia.org/wiki/Projectile_motion.

■ 附錄

下載檔案：2023 雲林科學 HomeRun 創意競賽手冊