

2025年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

√國中組 □普高組 □技高組 成果報告格式

題目名稱:火焰竄高的機制—負壓與氣流對火焰形態的影響

一、摘要

火焰是一種常見的自然現象, 在日常生活中從點燃爐火、蠟燭、甚至是火災等場景中, 我們皆能觀察到火焰的出現。特別是在不同的空間條件下, 火焰經常會出現高度變化或竄升現象, 這樣的變化有時會造成危險, 例如廚房油鍋起火時的火焰突然竄高, 或密閉空間中火災引發爆炸性回燃。這些現象背後隱藏著氣體壓力、空氣流動、熱力學等物理原理。理解火焰竄高的原因, 不僅能幫助我們更安全地使用火源, 也對建築安全、能源利用及消防設計等方面有直接的應用價值。

二、探究題目與動機

探究動機:

火焰是一種常見的自然現象, 在日常生活中從點燃爐火、蠟燭、甚至是火災等場景中, 我們皆能觀察到火焰的出現。特別是在不同的空間條件下, 火焰經常會出現高度變化或竄升現象, 這樣的變化有時會造成危險, 例如廚房油鍋起火時的火焰突然竄高, 或密閉空間中火災引發爆炸性回燃。這些現象背後隱藏著氣體壓力、空氣流動、熱力學等物理原理。理解火焰竄高的原因, 不僅能幫助我們更安全地使用火源, 也對建築安全、能源利用及消防設計等方面有直接的應用價值。



三、探究目的與假設

探究目的：

本研究旨在探討火焰竄高的機制，透過實驗方式觀察火焰在不同空間結構中的行為變化，進一步了解空間密閉程度、氣體溫度變化與氣流方向對火焰形態的影響。我們希望藉由科學方法驗證火焰竄高與負壓及外部氣流之間的關聯，並找出背後的物理機制。

假設：

假設一：空間密閉導致氣體溫度升高，產生負壓狀態

在密閉空間中，火焰燃燒會不斷釋放熱能，使氣體溫度升高。根據理想氣體方程式($PV=nRT$)，當氣體溫度升高時，若體積固定，壓力會隨之上升；然而若燃燒產生的氣體無法即時釋放，會導致局部壓力下降，形成負壓現象。此時火焰的熱對流會受到限制，只能向上移動，火焰高度因而竄升。

假設二：負壓狀態吸引氣流，形成螺旋氣流助長火焰

根據伯努力定律，流體會由高壓流向低壓，因此當密閉空間內部形成負壓時，外部空氣會從縫隙進入，形成快速流動的氣流。這些氣流與火焰中的熱對流結合後，會產生螺旋氣流，這些氣流會將火焰往上推升，使火焰產生明顯竄高現象，甚至形成火柱或火龍捲。

四、探究方法與驗證步驟

1. 理論分析

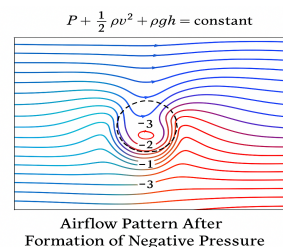
- 依照理想氣體方程式 $PV=nRT$ ，分析火焰燃燒過程中氣體的體積變化、壓力變化及溫度變化。
- 運用伯努力定律 $P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{constant}$ 解釋負壓形成後的氣流運動模式，預測氣流如何影響火焰的高度與形態。

2. 實驗設計

設計不同條件的燃燒環境，測試火焰竄高與氣流變化的關係。

○ 變因控制：

- 操縱變因(獨立變數)：火焰周圍的結構(如開放空間、半密閉空間、完全密閉空間)。



- 應變變因(依變數):火焰高度、火焰形態、空間內壓力變化。
- 控制變因(恆定變數):燃料種類、環境溫度、點燃方式。

○ 實驗設備:

- 燃燒室(可調整密閉程度)
- 溫度計(測量氣體溫度)
- 氣壓計(監測燃燒室內壓力變化)
- 風速器(測量進入燃燒室的氣流速度)
- 攝影機(記錄火焰形態變化)

3. 數據收集與分析

- 測量火焰在不同空間條件下的高度變化,並分析壓力變化對火焰竄高的影響。
- 記錄氣流進入燃燒室的速度與方向,驗證氣流對火焰形態的影響。
- 比較不同燃燒環境下的火焰高度變化,驗證負壓與火焰竄高的關聯性。

驗證步驟

1. 確認氣體膨脹與負壓現象

- 透過溫度計與氣壓計測量密閉空間內氣體溫度與壓力的變化,確保燃燒過程中氣體受熱膨脹且形成負壓狀態。
- 若實驗結果顯示隨著溫度升高,氣壓降低,則證實假設一(負壓形成)的合理性。

2. 確認氣流被吸入密閉空間

- 透過風速儀測量燃燒室周圍小縫隙的氣流速度與方向,驗證外部氣體是否流入燃燒室並形成螺旋氣流。
- 若觀察到外部氣流進入燃燒室,且氣流速度與燃燒產生的壓力差成正比,則證實假設二(負壓吸引氣流)。

3. 測試火焰竄高現象

- 使用高速攝影機記錄火焰高度變化,並對比不同結構條件下的火焰形態。
- 若在密閉環境下火焰高度顯著增加,且與壓力變化趨勢一致,則證明負壓與火

焰竄高的關聯性。

五、結論與生活應用

本研究探討了火焰周圍結構對火焰竄高的影響，並驗證了密閉空間內火焰燃燒產生負壓，進而吸引氣流的機制。透過實驗與數據分析，得出以下結論：

1. 負壓形成與氣體膨脹

- 火焰燃燒時，周圍空氣受熱膨脹，根據理想氣體方程式，當氣體溫度上升，體積增加，壓力降低，使燃燒空間內部形成負壓。
- 負壓的形成會影響周圍氣流，進一步改變火焰形態。

2. 負壓吸引氣流的影響

- 根據伯努力定律，空氣會從高壓區流向低壓區，因此負壓區會吸引外部氣流進入。
- 這股氣流與原本的燃燒氣流相互作用，形成螺旋狀或向上的氣流，使火焰竄高。

3. 火焰竄高的機制

- 在密閉或半密閉空間內，氣流進入速度快，火焰因為被不斷供應的新鮮空氣而持續燃燒，導致火焰比在開放空間時更高。
- 若環境內氧氣供應不足，燃燒可能變得不完全，產生更多煙霧與一氧化碳等有害氣體。

未來展望：

本研究雖為初步探討，但仍有許多值得深入的發展方向。未來可以加入更多實驗變因，如燃料種類、環境濕度、風速等，並使用熱像儀、氣體流速監測器等專業儀器進行精密分析。在應用方面，可用於消防與建築安全設計，如優化排煙與通風系統，預防火災回燃。此外，也能推廣至燃燒技術與節能設計上，提升能源效率與環保效益。隨著智慧感測與AI技術進步，未來可結合本研究成果開發智慧火災預警系統或自動控制裝置，廣泛應用於家庭與公共空間，提升生活安全與品質變因，例如使用不同種類的燃料(如酒精、天然氣、木柴)、改變容器材質(如金屬、不鏽鋼、陶瓷)與形狀(球形、柱狀、漏斗型)，進一步探討各種因素對火焰竄高的影響。此外，也可以引入流體力學模擬軟體或熱像儀，進行更高精度的模擬與分析，提升研究的準確度與應用層次。

在應用層面，本研究可作為消防安全設計的參考，特別是在地下建築、倉儲空間、學校實驗室等密閉或半密閉空間中，若能預先評估火焰竄高風險，並設置合適的通風設備與感測器，即可有效降低火災造成的人身與財產損害。

此外，本研究亦可延伸至智慧科技的應用，如研發智慧感測貼紙、火焰追蹤裝置、自動通風系統與火災預警平台，將研究成果轉化為具體的商品或技術，結合物聯網與AI技術，提高家庭與公共空間的安全性。未來若能與工程、建築、消防、能源等領域跨界合作，將有機會打造出一套更完整、有效且可實際應用的火焰行為監控與預警系統。

總而言之，本研究不僅提升了我們對火焰竄高現象的理解，也提供了實際可行的應用方向，為未來火災防治、節能設計與智慧安全系統的發展奠定了基礎。

參考資料

https://www.ava-prevent.com.tw/edcontent_d.php?lang=tw&tb=3&id=774

<https://www.ava-prevent.com.tw/edcontent.php?lang=tw&tb=2>

<https://law.nfa.gov.tw/GNFA/flaw/PrintFLAWDAT02.aspx?lsid=f1005059&lawNumber=112&TypeSort=3>

https://www.ava-prevent.com.tw/edcontent_d.php?lang=tw&tb=3&id=822

註：

1. 報告總頁數以6頁為上限。
2. 除摘要外，其餘各項皆可以用文字、手繪圖形或心智圖呈現。
3. 未使用本競賽官網提供「成果報告表單」格式投稿，將不予審查。
4. 建議格式如下：

- 中文字型:微軟正黑體;英文、阿拉伯數字字型:Times New Roman
- 字體:12pt為原則, 若有需要, 圖、表及附錄內的文字、數字得略小於12pt, 不得低於10pt
- 字體行距, 以固定行高20點為原則
- 表標題的排列方式為向表上方置中、對齊該表。圖標題的排列方式為向圖下方置中、對齊該圖