

2025 仰望盃全國科學 HomeRun 實作大賽

決賽成果報告書

隊伍名稱：感覺不太隊

作品名稱：獄燼焚皇——用聲音守護生命的遙控車

科學概念 1：聲波：

聲波除了讓我們聽見不同的聲音外，還有其他特別的運用方式。因為聲波是疏密波，在傳播過程中會振盪空氣分子使其分布不均，並干擾周遭的空氣流動，在適當情況下可以降低火焰周遭的氧氣濃度，或是吹散燃料降低溫度從而使火焰熄滅。在本實驗中我們探討聲波在不同情況下對於滅火效果的影響，並製作出能以聲波滅火的裝置。

科學概念 2：無線電訊號傳輸：

無線電訊號傳輸是利用電磁波傳遞數據，數據先被轉為數位訊號，接著由發射器產生高頻載波並調製它的部分特性，使其可以攜帶資訊，調製後的訊號會被轉成電磁波並發射。接收器接收到這些電磁波後會將它轉回數位訊號並解調成我們需要的數據。在本實驗中我們打造了一台無線遙控的移動裝置，並在上方搭載聲波滅火器。

決賽成果報告書內文

壹、發想動機：

看新聞時我們發現，火災新聞層出不窮，常常可以從電視上的畫面中看到火災過後一片狼藉的慘烈場景：火場內的物品無一倖免，有的被烈火燃燒殆盡；有的雖然沒被火災影響，但卻因救災過程灌水等原因而讓物品無法再次正常使用，對災後的收拾更是雪上加霜。然而最重要的自然是每個「打火英雄」的生命，每個從火場中搜出的消防員遺體不僅代表了一個生命的終結，更代表一個家庭的破碎。

因此製作一個能夠減少滅火時對其他物品的損害以及減輕滅火後收拾的困擾，並且能夠保護消防員生命的作品成了我們一致的共識，正好我們在網路上發現了有人做了用聲波滅火的實驗，這種方法不僅減少了對周遭物品的損壞也更加環保，於是我們決定用實驗來探討不同特性的聲波和不同周遭環境下對聲波滅火的影響，並找出最好的效果。剛好我們有組員有製作遙控車的經驗，於是我們便想到了可以將這種滅火器結合到遙控車上，使用遙控車進入火場能使消防人員在不必要進入火場的情況下完成滅火，最大程度地保護人員生命安全。

貳、作品創意性：

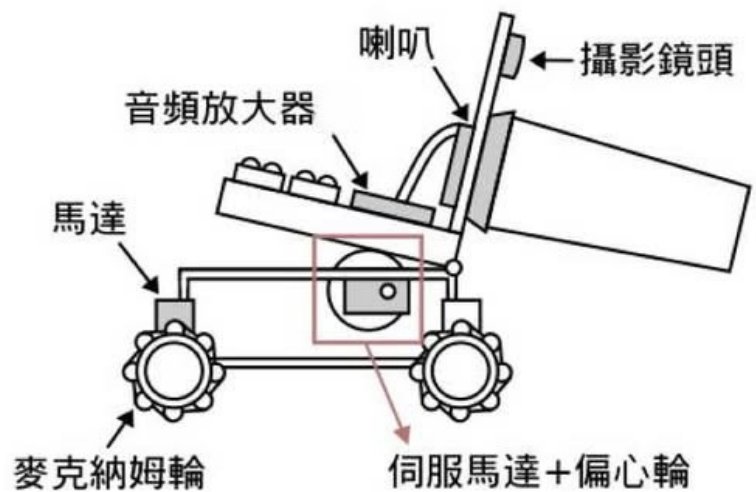
一般滅火方式就算是小火也常導致現場髒亂、難以收拾或造成二次傷害。而使用聲波滅火不僅可以減少這類危害，也更加環保。我們將這項技術結合資訊科技，並加上可以遠端操縱的遙控車，讓裝置可以進入人員不便進入的場所滅火，是兼具創意和實用的滅火方式。這個作品以STEM的理念設計，結合聲波滅火原理(S)，利用聲波特性抑制火源，並採用C++編寫Arduino控制程式(T)，實現遠端操縱。我們使用積木組裝遙控車的結構(E)，確保整體的穩固性，並探索聲波滅火的原理及分析實驗數據(M)，調整聲波特性並評估滅火效果。融合物理、資訊科技、工程設計與數據分析，實踐課堂及網路上的知識並進行延伸改良及運用，為本作品具創意之處。

參、硬體及電路架構圖：

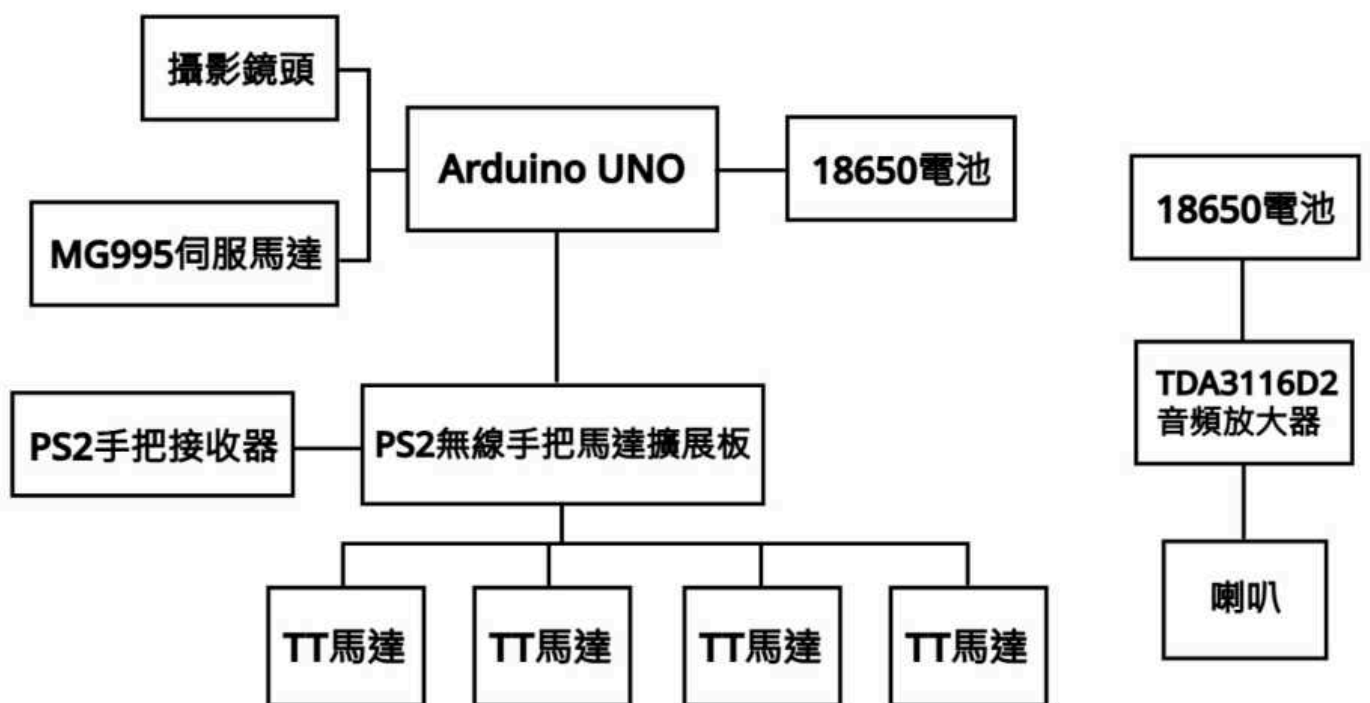
裝置構造如圖一(實際照片如圖七)，以智高積木為主要結構，下半部為一輛使用PS2無線手把遙控的遙控車，由積木組裝而成，並在四個TT馬達上裝麥克納姆輪控制移動。在車體中央有一個伺服馬達可以精準控制偏心輪的轉動；上半部為滅火裝置，由音頻放大器板接收藍牙訊號控制喇叭，喇叭上方裝有一個攝

影鏡頭，可以將即時影像傳輸到電子設備觀看。裝置與遙控平台中間由鉸鏈連接，使滅火裝置的角度可調整。

電路架構主要分為聲波滅火裝置和遙控車兩大部分，零件詳細資訊如圖二所示，其中攝影鏡頭使用ESP32-CAM，方便我們自行調整各種參數。



圖一 成品構造示意圖



圖二 作品電路架構圖(本團隊自行繪製)

肆、作品成果報告：

一、設計實驗及實驗結果：

我們設計了六種實驗來探討不同變因下聲波滅火的效果。

實驗一、距離對滅火效果的影響

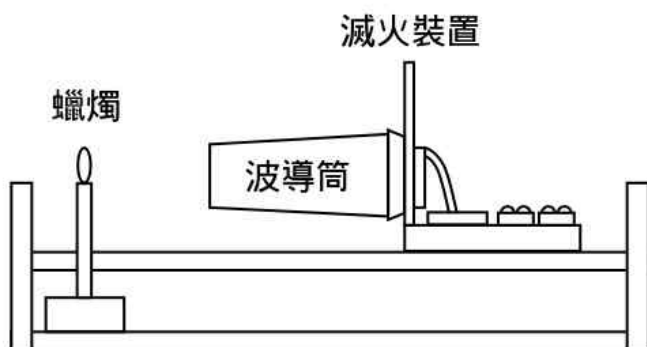
我們推測當喇叭距離火焰越近時，效果會越好。在這個實驗中我們將滅火裝置固定了一個滑軌上，並在滑軌的其中一端放置一根蠟燭，將滅火裝置移置另一端並開啟聲音，接著慢慢將滅火裝置推近蠟燭，同時觀察蠟燭火焰的狀態，不過在做這個實驗時，我們卻發現聲波滅火效果不如預期，喇叭要移動到距離蠟燭約1至2公分處才能將蠟燭熄滅，但如果在喇叭上加裝一個**波導筒**，雖然喇叭與火焰的距離增加，卻可以得到更好的滅火效果。而波導筒前端距離火焰越近滅火效果越好，且在進行實驗六時，我們在網路上查找資料的期間得知波導筒的開口大小似乎會大幅影響滅火的效果，於是我們做了一個延伸實驗來探討波導筒開口與喇叭大小的縮減比例對滅火效果的影響。

實驗二、在相同距離下，哪種頻率的聲波滅火效果最好

為了測試哪種頻率能有最好的滅火效果，我們將裝置擺放如圖三，將聲波滅火裝置固定，並在波導筒正前方數公分處放置兩支蠟燭，並固定喇叭的音量，接著讓喇叭發出不同頻率的聲音，從50赫茲開始(本實驗使用的喇叭的最低極限)，以10赫茲為單位增加，測量不同頻率下滅火所需的秒數，最終獲得數據如表一(本報告之表中平均欄位的數據皆為去極端值後取平均數四捨五入至小數點後第二位)、並將數據繪製成圖四。

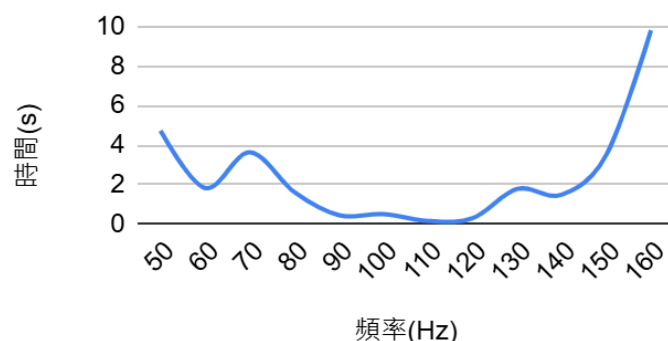
頻率(Hz)	秒數(s)					平均
50	5.43	2.91	5.62	6.67	3.14	4.73
60	1.21	2.90	1.20	1.99	2.26	1.82
70	3.50	1.87	5.87	3.05	4.36	3.64
80	1.99	3.28	1.40	1.13	1.46	1.62
90	0.34	0.87	0.54	0.47	0.34	0.45
100	0.53	0.40	0.80	0.61	0.27	0.51
110	0.21	0.14	0.21	0.14	0.14	0.16
120	0.4	0.28	0.21	0.27	0.34	0.3
130	0.54	0.74	2.38	2.65	2.25	1.79
140	0.80	5.62	1.79	1.79	0.9	1.49
150	0.54	0.41	5.10	5.40	4.93	3.52
160	7.14	8.84	9.70	10.89	12.14	9.81

表一 不同頻率下的滅火時間數據



圖三 不同頻率下滅火效果實驗裝置示意圖

聲波頻率與滅火時間關係圖



圖四 聲波頻率與滅火時間關係圖

當頻率到了170赫茲時，火焰雖然會搖晃，但五次皆超過20秒未熄滅，測試直至200赫茲結果皆相同，所以最終我們獲得的結果為：此型號喇叭在頻率在50至160赫茲時可以滅火，且在110赫茲時效果最佳。

實驗三、相同頻率下，聲音越大(聲波震幅越大)滅火效果是否越好

滅火裝置與蠟燭的擺放方式如圖三，但放置一分貝計於喇叭側面用於測量音量，固定蠟燭與喇叭的距離不變，並固定喇叭的頻率為實驗二中得出滅火效果最佳的110赫茲，接著控制喇叭以不同的音量發出聲音(音量以分貝計測量到的數值為準)，從80分貝開始，以10分貝為單位減少，最終獲得數據如表二(表格中X表示實驗進行超過20秒後依然無法滅火)。

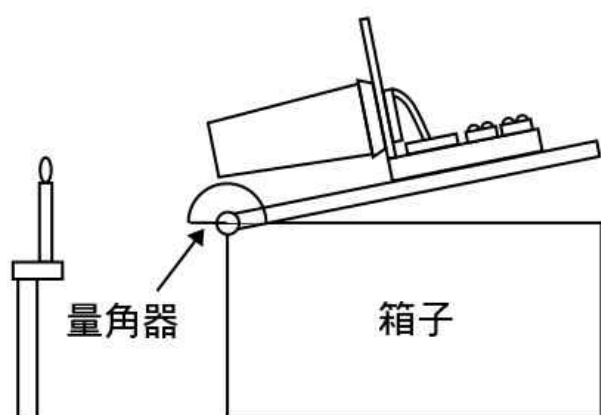
音量(dB)	秒數(s)					平均
50	X	X	X	X	X	X
60	X	X	X	X	X	X
70	5.04	4.89	6.94	11.44	6.29	6.09
80	0.29	0.15	0.21	0.40	0.27	0.26

表二 不同音量下的滅火時間數據

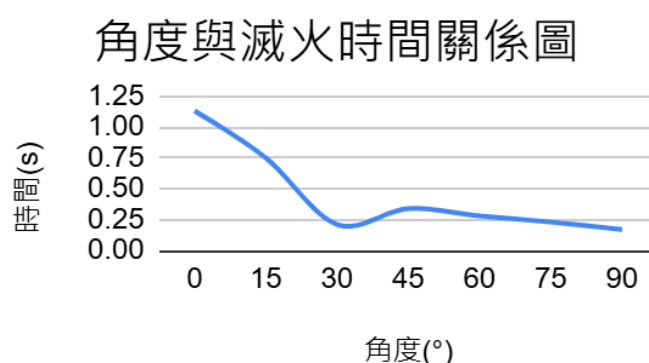
當音量降至70分貝時，滅火時間明顯增加，且當音量降至60分貝時，火焰僅有非常微弱的搖晃，幾乎不受影響，當音量降至50分貝時，無法觀測出火焰的搖晃，火焰完全不受影響，最終由結果得出：相同頻率下，當音量越大時，滅火效果越好。

實驗四、以哪種角度滅火效果最好

我們設計實驗裝置如圖五，將裝置固定在一個連接箱子的可掀蓋子上，並固定一個量角器在蓋子和箱子的連接處用來測量裝置的傾斜角度，在調整好角度後，移動蠟燭使焰心位於喇叭正前方20公分處。從水平開始測試，以15度為單位增加直至裝置垂直地面，每個角度實驗五次並取平均值，繪製結果如圖六。當角度提升至30度後，直至90度滅火效果都相當接近，但由實驗數據分析得出30度角的效果依然最佳，所以最終結果為：**當裝置從火源上方，與地面夾30度時，滅火效果最好。**



圖五 不同角度下滅火效果實驗裝置示意圖



圖六 角度與滅火時間關係圖

實驗五、風是否會影響滅火的效果(用於模擬室內和室外的情況)：

我們在室外有風環境進行滅火時，滅火裝置與蠟燭的擺放方式及蠟燭與喇叭的距離保持與實驗2相同，並取得以下數據

頻率(Hz)	秒數(s)					平均
110	0.28	0.21	0.14	0.21	0.22	0.21

結果非常接近室內的數據，幾乎可以忽略不計(人按下碼表的誤差)。不過因為我們實驗用的蠟燭火焰太小，遇到太大的風就會熄滅，在微風環境下測試的結果可能無法反映出真正風的影響。

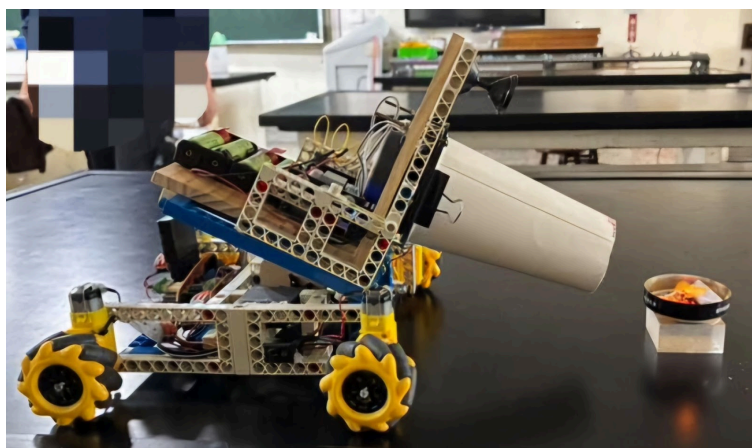
實驗六、聲波滅火方式較適用於哪一種類型的火災：

為了測試聲波滅火適合運用在什麼場合，我們希望測試此種滅火方式應付A、B、C、D類火災的效果，但最終因為C、D類火災實驗風險較高，我們只做了A、B類火災的實驗。

我們將燃料放置於一金屬碟內，並將聲波滅火車調整好角度後置於碟子前方，並讓喇叭以最大音量發出頻率110赫茲的聲波進行滅火。

實驗結果如下：

1. 在A類火災的實驗中我們選擇用紙作為燃料，當開始滅火時，火焰雖然被抑制，但卻無法被完全熄滅，直至紙張燃燒殆盡。
2. 在B類火災的實驗中我們選擇酒精作為燃料，當開始滅火時，火焰僅有不穩定的搖晃，且有時甚至有忽然變大的跡象，無法將其熄滅。



圖七 實驗過程照片

根據實驗結果，聲波滅火似乎較難對B類火災造成影響，不過奇怪的是我們的裝置可以輕鬆熄滅多根同為B類的蠟燭，在經過上網查詢資料後我們發現曾經有人跟我們做過類似的實驗，在實驗的一開始作者在喇叭前方擺放一個圓筒狀的波導筒來進行滅火，並測試對於固體燃料(木頭)、液體燃料(油)、氣體燃料(瓦斯)的滅火效果。測試結果為固體燃料火焰使用最長時間熄滅，氣體燃料火焰在短時間內熄滅，而液體燃料的火焰無法被熄滅，且會受影響而擴大火焰邊界，這與我們的結果有部分類似，皆是聲波對液態燃料的火焰滅火效果比固態燃料的火焰差，且在液體燃料的實驗中竟然發生了類似的火焰變大的現象。

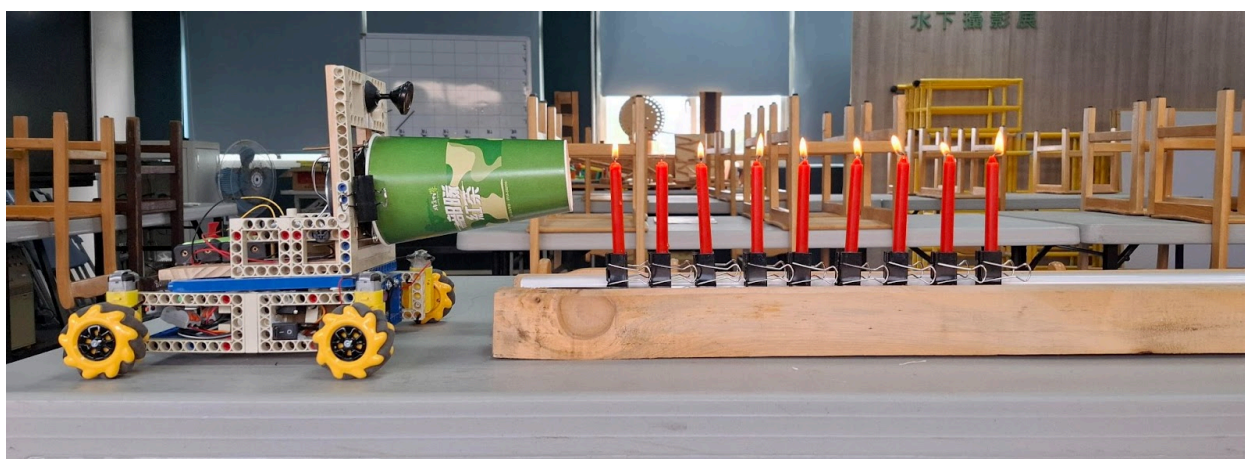
經過我們參考蒐集的資料及討論後認為會有這樣的實驗結果是因為：蠟燭雖然是由固態的蠟組成，但實際進行燃燒的燃料是加熱後產生的氣態蠟(氣態燃料)，所以很容易被熄滅；而雖然酒精和油這些液態物質本質上也是在燃燒加熱後產生的氣體，但因為液態物質揮發速度較固態的蠟更快，我們的裝置發出的聲波不足以及時將空氣中的氣態燃料完全振散從而使火焰熄滅，所以影響的效果較差。

而會造成火焰忽然變大的原因我們推測是因為聲波將空氣中的液態酒精震散，導致空氣中氣態酒精燃料的分布變得更廣，但卻因威力不足而無法使火焰熄滅，反而擴大了火焰邊界。

不過根據前述他人的實驗中，在改變波導筒的形狀後有助於改善此情況，於是我們多設計了一個探討波導筒開口與喇叭大小的縮減比例對滅火效果的影響的實驗。

延伸實驗：波導筒開口與喇叭大小的縮減比例對滅火效果的影響

為了要探討在相同頻率下，波導筒開口與喇叭大小的縮減比例對於滅火效果的影響，我們製作了三種前端開口大小不同的波導筒(大小關係如圖十所示)，三種波導筒的筒身長度皆固定為17.5公分，後端開口皆為直徑10.2公分(符合喇叭大小)，前端開口直徑分別為7.2公分(面積縮減約50%)、5.2公分(面積縮減約75%)、3.2公分(面積縮減約90%)，我們將聲波滅火車擺放在桌上，並在波導筒前方擺放一排蠟燭，裝置如圖八。



圖八 波導筒實驗照片

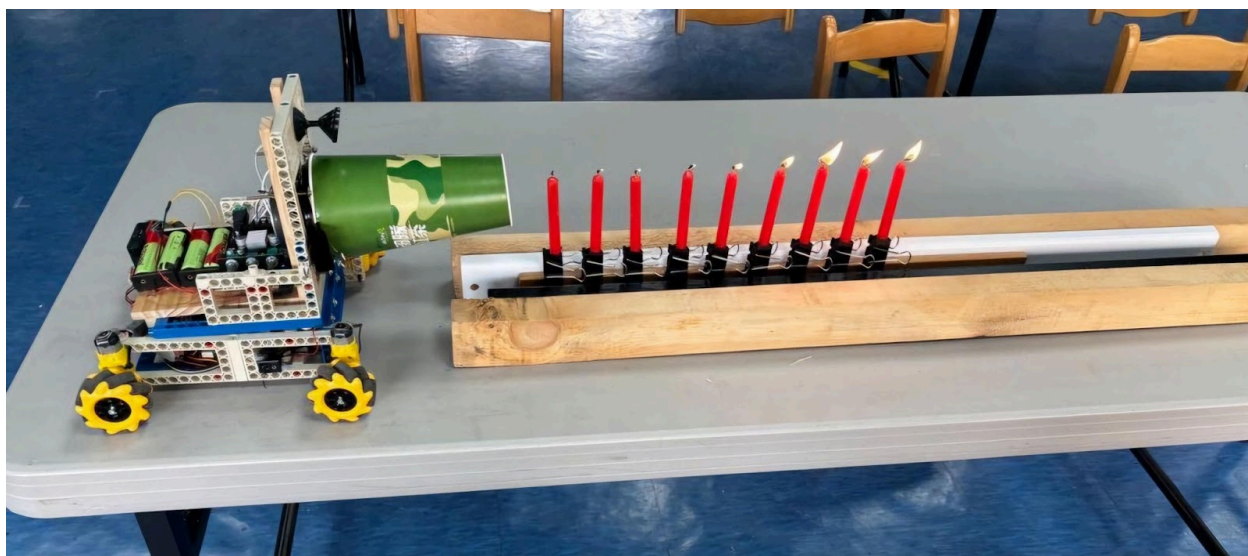
將蠟燭全部點燃後，讓喇叭以最大音量發出固定頻率110赫茲的聲波進行滅火，並觀察對於前方蠟燭的影響，並取得以下結果：

波導筒縮減比例(%)	10秒內實際熄滅蠟燭數
50	1
75	3
90	3

當開始進行滅火時，可以觀察到幾乎整排蠟燭都受到影響，如圖九(面積縮減比例50%)，而面積縮減比例75%的波導筒影響效果則更為顯著，而我們原本預計當使用縮放比例越大的波導筒進行滅火時，對於蠟燭的影響距離會越遠，熄

滅的蠟燭數也會更多。不過當面積縮減比例從75%改為90%時，熄滅的蠟燭數並沒有發生明顯的變化，而是在同樣的時間內熄滅了同樣數量的蠟燭。

因為當波導筒的前端的縮放比例提升後，理論上應該會因為通道的縮小而導致管口噴出的氣流流速增快，從而增加熄滅的蠟燭數。不過這卻與實驗結果不符。經過我們討論後認為，縮小波導筒開口雖然會增加影響距離，但也會導致滅火範圍的減少，而無法熄滅更多蠟燭的原因是因為在熄滅較遠處蠟燭的過程中氣流流速已經減慢，加上氣流衝擊的範圍過小，所以無法將較遠處的火焰周圍的燃料完全振散，而導致蠟燭僅受到影響，不會被熄滅。



圖九 波導筒實驗過程照片(縮減比例50%)



圖十 波導筒開口大小關係圖(圖中數值為面積縮減比例, 左側為喇叭大小)

二、成品組裝及測試：

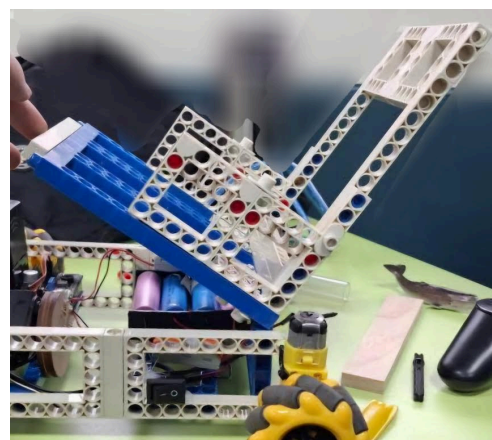
綜合以上實驗結果，我們決定將滅火裝置的喇叭發出的聲波頻率固定在110赫茲，且將滅火時的音量調整固定為喇叭的最大音量，並安裝一個開口大小為喇叭大小25%(縮減75%)的波導筒在喇叭前方來聚集聲波能量，提升滅火效果。

車體部分使用智高積木組裝，將主控版、伺服馬達、電池盒、線路整理固定在車體框架內，防止因為碰撞導致零件損毀，並使用熱縮套保護及固定電線。我們在主控版上安裝了一個PS2無線手把馬達擴充版，可以將PS2無線手把的接收器直接安裝在上方，省去接線的麻煩，擴充版上有可以四個連接馬達的端子台，可以更方便動控制馬達，並在連接馬達的電線上加裝了快拆端子，使我們可以在測試馬達及維修時節省時間，並在最後將電池盒以及主控版透過一個船型開關連接，方便通電及斷電。

在車體組裝好後，我們將滅火裝置及車體的一端用兩個鉸鍊連接，使滅火裝置的一端可以抬起，在控制角度的方面我們使用了一顆伺服馬達加上一個偏心輪來控制(如圖一紅色框處)，利用旋轉中心不在圓心的特性，透過控制其旋轉可以不同程度的抬高裝置的一側，從而達到調整裝置角度的效果。

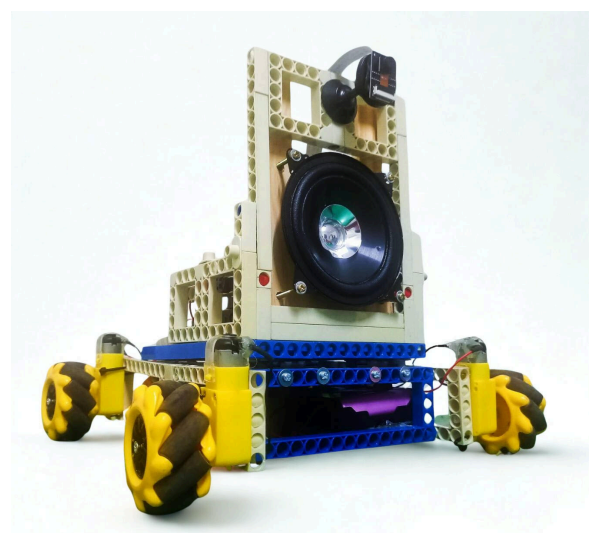


圖八 滅火裝置與車體連接處



圖九 調整角度示意圖

另外我們在裝置上方安裝了一台攝影機，使遙控者可以在無法直接看見車體的情況下進行操控，讓人員可以遠離危險，也可以更精確的判斷車體與火焰的距離，此外，為了提升裝置的機動性，我們使用麥克納姆輪作為車子的輪胎，並配合程式，讓車體可以進行橫向以及斜前方向的移動。成品外觀如圖十。



圖十 成品外觀(波導筒未安裝狀態)

最終在成品組裝完畢後，我們在地上擺設數個障礙物並讓操縱者在無法看見車體的情況下進行操控測試，並成功在遠端遙控的情況下熄滅蠟燭的火焰，證明此設計的可行性。

三、結論：

在這個實驗中我們探究了不同的影響聲波滅火效果的因素，以聲波的頻率、音量、距離、角度、外部干擾及波導筒開口縮減比例等為變因，設計實驗並進行資料分析，探究在何種情況下可以去得最好的滅火效果，並在過程中融合了物理、電子電路、結構設計、C++程式控制與資料分析等多種學科知識。

在我們這次的研究中展現出了聲波滅火技術的潛力，本作品能夠在特定條件下有效熄滅小型火焰。不過就實驗結果而言，若以在真實的火場中進行遙控滅火為目標，仍然存在更多技術挑戰。因為車體主要由積木以及塑膠材質組成，並不具備防火和耐高溫的能力，若實際進入高溫或含有有毒氣體的火場環境，可能會導致裝置零件損毀、變形或者熔解。而且此裝置所使用的藍牙與無線電訊號可能會在充滿濃煙干擾的情況下導致訊號中斷，影響遠端遙控的靈活度與即時影像的畫面，導致操控失靈，現階段應用範圍頂多在火苗剛點燃的初期進行滅火，或是做為模擬用途。

但本作品作為一台概念車可能可以為未來的消防輔助設備提供初期的構想，在未來若將車體改用金屬材質，或使用耐熱絕緣材料，並改用具備抗干擾性的通訊方式，以及提高聲波輸出的功率等，便有可能在未來實際應用在火場救援中，減少對環境的損害、保護消防人員的安全，並讓聲波滅火不只是存在於實驗室中。

伍、參考文獻：

1. 本作品作者(2025)。獄爐焚皇——用聲音守護生命的遙控車。2025仰望盃全國科學HomeRun實作大賽複賽作品說明書。
2. 李本滢(n. d.)。為什麼燭光是黃色而煤氣爐火是藍色？。香港天文台教育資源。
3. Alexander, A. A. (2015年1月)。Study of Sound Wave as a Flame Extinguisher。Universiti Teknologi PETRONAS。