中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　生活與應用科學科

080809

「史」命必達—史特林引擎之優化研究

學校名稱：新北市土城區安和國民小學

作者：	指導老師：
小六 呂陳奇	黃劍華
小六 沈柏諺	謝慧俐
小六 邱建橙	
小六 李昀軒	
小六 余彥霆	
小六 李宗翰	

關鍵詞：史特林引擎、環境教育、能源教育

摘　要

我們針對史特林引擎的熱能來源、移氣體、汽缸的成分及上下氣缸的溫差進行優化處理，以期使引擎能發揮更大的功效。

我們發現：一、酒精為史特林引擎最佳熱能來源。二、以鋁箔材質製成的移氣體，能讓史特林引擎的運作更順暢。三、以內外均塗料的馬口鐵作為汽缸，能有效提升史特林引擎的運作效率。四、透過提高上下氣缸溫差的方式能有效增進史特林引擎的運作效能。

關鍵詞：史特林引擎、環境教育、能源教育

壹、研究動機

「**地球，這個獨一無二的美麗行星，或許在五十年、一百年後，將失去四季流轉的活力，屆時萬物將失去生機，只因為人類過度消費它的美麗；耗盡了一切能源。而能改變未來的，只有你。**」這是在自然課觀賞環保教育影片時所聽到的一句話，這句話深深的震撼了我們，而也就在這同時，我們認識了史特林引擎。

史特林引擎是由英國牧師史特林(Robert Stirling)於西元1816年所發明，引擎本身具有熱效率高、低噪音、低震動、低污染、熱源多樣化等優點，但實用性比不上後來發明的內燃機引擎，因此常長期以來並未受到重視，直到近幾年來，能源及環境問題越來越嚴重，大家在積極尋找替代能源的同時，史特林引擎才又受到重視。

在進一步了解了史特林引擎的特性之後，我們認為它應該是解決未來能源及環境問題的重要幫手，因此我們針對市售的史特林引擎DIY套件，以日常生活中方便取得的材料進行優化實驗，以期能提高它的效率，進而能運用於日常生活之中。

貳、研究目的

一、研究「熱能來源」對史特林引擎之運作效果的影響

(一)以熱水作為熱能來源的運作效果

(二)以蠟燭作為熱能來源的運作效果

(三)以酒精作為熱能來源的運作效果

二、研究「移氣體材質」對史特林引擎之運作效果的影響

(一)以錫箔作為移氣體的運作效果

(二)以鋼絲絨作為移氣體的運作效果

(三)以鋁箔作為移氣體的運作效果

三、研究「汽缸材質」對史特林引擎之運作效果的影響

(一)以不塗漆之馬口鐵為作汽缸的運作效果

(二)以內塗漆之馬口鐵作為汽缸的運作效果

(三)以內外均塗漆之馬口鐵作為汽缸的運作效果

四、研究提高汽缸「上下溫差」對史特林引擎之運作效果的影響

(一)以冰塊降溫的運作效果

(二)以散熱片降溫的運作效果

參、研究設備及器材

一、一般實驗器材

剪刀、燒杯、碼表、蠟燭、酒燈、三腳架、石綿網、耐熱膠、冰塊、散熱片。

二、電子器材

圖3-2-1 轉速紀錄器 (Digital Tachometer DT-2234C^{+})	圖3-2-2 電子溫度計 (Benetech GM550)	圖3-2-3 碳排放測試器 (Testo 535)	圖3-2-4 電子秤 (Digital Scale 300gx0.01g)

三、史特林引擎 DIY 套件(周鑑恆教授設計)

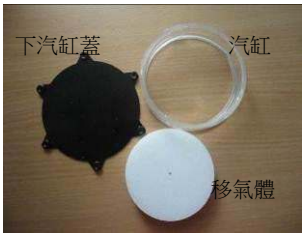


圖3-3-1 引擎DIY套件1	圖3-3-2 引擎DIY套件2	圖3-3-3 引擎DIY套件3	圖3-3-4 引擎DIY套件4

四、自製移氣體

圖3-4-1 錫箔移氣體	圖3-4-2 鋼絲絨移氣體	圖3-4-3 鋁箔移氣體

五、自製汽缸

圖3-5-1 不塗漆馬口鐵氣缸	圖3-5-2 內塗漆馬口鐵氣缸	圖3-5-3 內外均塗漆馬口鐵氣缸	圖3-5-4 加工後之下汽缸蓋

肆、研究過程與方法

一、研究一：史特林引擎之運作原理

在進行史特林引擎優化研究之前，我們先透過相關研究文獻來了解引擎的運作原理，根據周鑑衡教授及陳俊鈞先生的研究指出：史特林引擎主要構造為汽缸、移氣體、活塞及曲軸(如圖 4-1-1)，當汽缸下方的空氣受熱膨脹後，推動移氣體及活塞向上，進而帶動曲軸轉動(如圖 4-1-2)，而當活塞到達到最高點時，因汽缸上方溫度較低，促使熱空氣冷卻收縮，壓力降低，使活塞、移器體及空氣下降(如圖 4-1-3)，下降後的空氣再次受熱膨脹向上移動，如此週而復始，使引擎順利轉動。若於曲軸上加上飛輪，透過飛輪轉動時的慣性作用，則引擎的轉動會更加順利(如圖 4-1-4)（引自周鑑恆，2008、陳俊鈞，2012）。在了解引擎運作原理之後，我們接著進行引擎的優化研究。

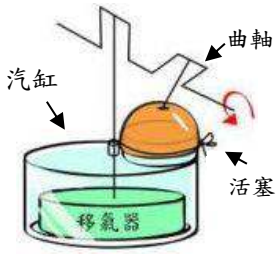
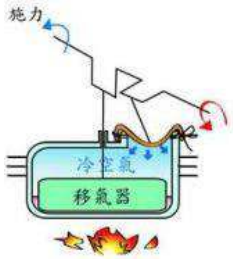
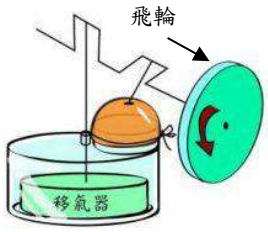
			

圖 4-1-1 引擎構造	圖 4-1-2 引擎受熱	圖 4-1-3 冷空氣下降	4-1-4 加裝飛輪

二、研究二：「熱能來源」對史特林引擎之運作效果的影響

我們先將史特林引擎組裝完成，再分別探究：一、以熱水為熱能來源的運作效果。二、以蠟燭為熱能來源的運作效果。三、以酒精為熱能來源的運作效果。

(一) 以熱水為熱能來源的運作效果

1. 實驗過程

(1)為降低干擾實驗過程的變數，後續每次實驗均選擇固定的實驗室，且因實驗過程中須測量碳排放，所以每次參與實驗的人數均固定為7人(學生6人＋老師1人)。

(2)以1000cc玻璃燒杯裝滿100℃之熱水(如圖4-2-1-1)。

(3)分別以電子溫度計、碳排放測試器記錄史特林引擎汽缸之上下溫度，及實驗前實驗室之碳排放等背景資料。

(4)將史特林引擎置於燒杯之上，並以碼表開始計時引擎預熱時間(如圖4-2-1-2)。

(5)開始預熱後，持續以手推動引擎之CD飛輪，使引擎得以順利轉動(如圖4-2-1-3)。

(6)當引擎順利轉動時，記錄預熱時間及當時的每分鐘轉數、碳排放及汽缸上下溫度。

(7)每1分鐘紀錄引擎的每分鐘轉數(連續測5秒鐘，記錄最高及最低轉數後最再算其平均值)、碳排放及汽缸上、下溫度，因請教周鑑恆教授後得知，當初以運轉30分鐘的前題設計該引擎套件，因此此次實驗預計連續紀錄20分鐘(如圖4-2-1-4)。

圖4-2-1-1 100℃之熱水	圖4-2-1-2 熱水＋引擎	圖4-2-1-3 推動飛輪	圖4-2-1-4 記錄實驗數據

2. 實驗結果

(1)背景資料：碳排放碳排放：689ppm，汽缸上溫度：20.5℃，汽缸下溫度：20.5℃。

(2)預熱2分47秒後引擎開始轉動。

(3)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-2-1-1及圖4-2-1-5。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(4)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-2-1-2及圖4-2-1-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之碳排放：結果如下表4-2-1-3及圖4-2-1-7。

(6)轉數、溫差、碳排放之相互關係分析：將三者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖4-2-8。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**81.9**	**84.6**	**87.6**	**88.1**	**89.1**	**92.2**	**84.1**	**78.4**	**77.4**	**74.5**	**69.1**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**66.6**	**60.2**	**54.4**	**0**							
總平均(圈/分)	**75.9**										

表4-2-1-1　以熱水為熱能來源之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**33.9**	**31.5**	**29**	**20.1**	**19.9**	**16.9**	**16.1**	**11.2**	**11.1**	**12.2**	**7.6**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**6.3**	**4.7**	**4.1**	**4.3**							

表4-2-1-2　以熱水為熱能來源之上下汽缸溫差紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
碳排放(ppm)	**699**	**711**	**798**	**783**	**799**	**816**	**886**	**882**	**904**	**963**	**956**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
碳排放(ppm)	**924**	**939**	**931**	**940**							

表4-2-1-3　以熱水為熱能來源之碳排放紀錄表

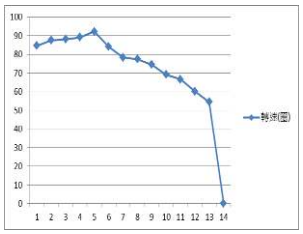


圖4-2-1-5
以熱水為熱能來源
之每分鐘轉數折線圖

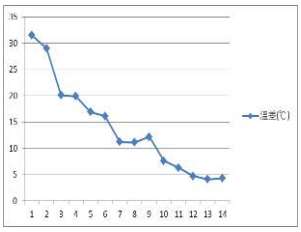


圖4-2-1-6
以熱水為熱能來源
之上下汽缸溫差折線圖

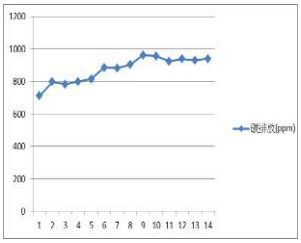


圖4-2-1-7
以熱水為熱能來源
之碳排放折線圖

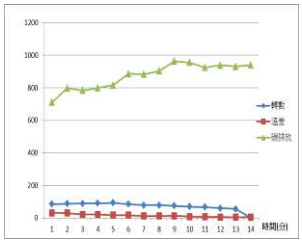


圖4-2-1-8
轉數、溫差、碳排放
之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)以熱水作為史特林引擎之熱能來源，能讓引擎快速啟動，但轉速並不快。

(2)而且隨著熱水溫度逐漸的降低，上下汽缸溫差逐漸縮小，在提供的熱能明顯不足的情況下，引擎運轉不到14分鐘就停止了，無法提供長期運作的需求。

(3)實驗過程中碳排放與實驗前比較並沒有明顯增加，且維持在室內標準碳排放800到1000ppm 之間，顯示以熱水做為能來源並不會造成環境額外的負擔，相當符合環保的需求。

(4)轉數與溫差大致呈現正向關係，即隨著溫差的降低，轉速也降低，但碳排放則和其他兩者沒有明顯關係。

(二) 以蠟燭為熱能來源的運作效果

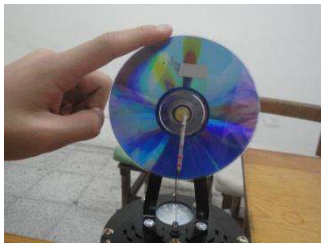
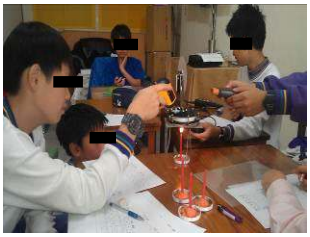
1.實驗過程

(1)將蠟燭依三腳架的高度裁剪後，分別固定於鐵製底座之上(共計30枝，如圖4-2-2-1)。

(2)分別以電子溫度計、碳排放測試器記錄史特林引擎汽缸之上下溫度及實驗前實驗室之碳排放等背景資料。

(3)將史特林引擎置於三腳架之上，點燃蠟燭加熱，並以碼表開始計時引擎預熱時間，為確保蠟燭與引擎接觸的距離，每分鐘便更換一枝新的蠟燭(如圖4-2-2-2)。

(4)其餘操作過程如實驗4-2-1之步驟(如圖4-2-2-3、圖4-2-2-4)

			
圖4-2-2-1 固定後之蠟燭	圖4-2-2-2 蠟燭＋引擎	圖4-2-2-3 推動飛輪	圖4-2-2-4 記錄實驗數據

2.實驗結果

(1)背景資料：碳排放碳排放：720ppm，汽缸上溫度：21.5℃，汽缸下溫度：22.3℃。

(2)預熱3分44秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除蠟燭後，引擎持續運轉3分35秒才停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-2-2-1及圖4-2-2-5。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-2-2-2及圖4-2-2-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)引擎運作過程中之碳排放：結果如下表4-2-1-3及圖4-2-1-7。

(7)轉數、溫差、碳排放之相互關係分析：將三者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖4-2-8。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**97.6**	**111.5**	**114.3**	**117.4**	**122.6**	**121.2**	**126.2**	**126.7**	**130.5**	**126.5**	**127.8**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**128**	**126.2**	**124.4**	**126.4**	**130.1**	**136.1**	**136.8**	**141.5**	**137**	**127.4**	
總平均(圈/分)	**126.9**										

表4-2-2-1　以蠟燭為熱能來源之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**123.4**	**115.9**	**117.2**	**117.4**	**129.3**	**123.1**	**117.2**	**126.4**	**122.1**	**122.7**	**126.3**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**122.9**	**124.5**	**118.3**	**118.1**	**127.7**	**125.4**	**121.8**	**121.6**	**129.5**	**118.2**	

表4-2-2-2　以蠟燭為熱能來源之上下汽缸溫差紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
碳排放(ppm)	**722**	**751**	**761**	**768**	**859**	**873**	**821**	**825**	**796**	**782**	**945**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
碳排放(ppm)	**998**	**998**	**904**	**974**	**954**	**981**	**1093**	**916**	**1093**	**984**	

表4-2-2-3　以蠟燭為熱能來源之碳排放紀錄表

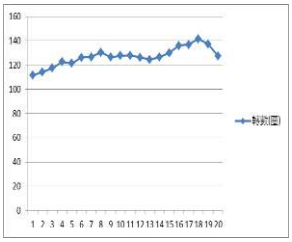
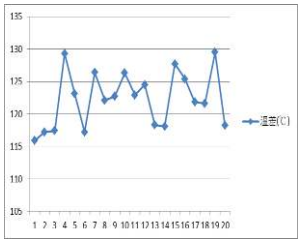
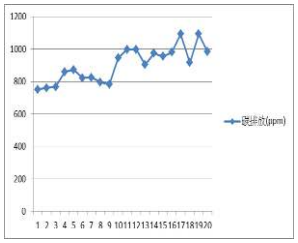
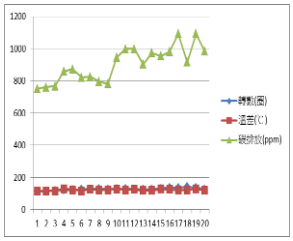
			

圖4-2-2-5 以蠟燭為熱能來源 之每分鐘轉數折線圖	圖4-2-2-6 以蠟燭為熱能來源 之上下汽缸溫差折線圖	圖4-2-2-7 以蠟燭為熱能來源 之碳排放折線圖	圖4-2-2-8 轉數、溫差、碳排放 之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)以蠟燭作為史特林引擎之熱能來源，能讓引擎順利啟動，且每分鐘轉數大約維持在130轉左右，且能持續運轉20分鐘以上，當蠟燭熄滅後，仍得以維持近4分鐘，顯示其持續性相當良好。

(2)轉數和溫差之間呈現正向關係，顯示若能增加上下汽缸溫度差異，應能提高轉速，但因蠟燭燃燒後長度會縮短，造成燭火和引擎接觸的距離會改變，雖然實驗過程中每隔1分鐘便換一次新的蠟燭，但仍無法穩定的提供熱能，造成上下溫差非常不穩定，以致轉速無法大幅提升。

(3)在碳排放方面，隨著實驗時間的增加，碳排放持續提高，最後超過1000ppm的室內標準值碳排放，顯示以蠟燭作為熱源，比較不符合環保。

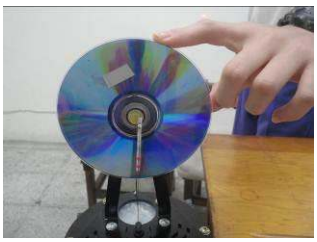
(三) 以酒精為熱能來源的運作效果

1.實驗過程

(1)分別以電子溫度計、碳排放測試器記錄史特林引擎汽缸之上下溫度及實驗前實驗室之碳排放等背景資料。

(2)將史特林引擎置於三腳架之上，點燃酒精燈加熱，並以碼表開始計時引擎預熱時間，(如圖4-2-3-1)。

(3)其餘操作過程如實驗4-2-1之步驟(如圖4-2-3-2、圖4-2-3-3)

			
圖4-2-3-1 酒精＋引擎	圖4-2-3-2 推動飛輪	圖4-2-3-3 紀錄實驗數據	圖4-2-3-4 變形之移氣體

2.實驗結果

(1)背景資料：碳排放碳排放：715ppm，汽缸上溫度：21.7℃，汽缸下溫度：21.3℃。

(2)預熱2分55秒後引擎開始轉動。

(3)因為保麗龍移氣體變形(如圖4-2-3-4)，引擎持續運轉10分20秒後停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-2-3-1及圖4-2-3-5。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-2-3-2及圖4-2-3-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)引擎運作過程中之碳排放：結果如下表4-2-3-3及圖4-2-3-7。

(7)轉數、溫差、碳排放之相互關係分析：將三者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖4-2-3-8。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**109.1**	**114.1**	**157.9**	**189.1**	**210**	**220.5**	**237.6**	**250.6**	**283.3**	**301.9**	**335.2**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**0**										
總平均(圈/分)	**230**										

表4-2-3-1　以酒精為熱能來源之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**326.7**	**344.6**	**403.7**	**431.3**	**427.9**	**448**	**448.8**	**452.8**	**472.5**	**477.6**	**490.5**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**499.3**										

表4-2-3-2　以酒精為熱能來源之上下汽缸溫差紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
碳排放(ppm)	**744**	**823**	**866**	**877**	**903**	**922**	**925**	**950**	**960**	**966**	**975**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
碳排放(ppm)	**960**										

表4-2-3-3　以酒精為熱能來源之碳排放紀錄表

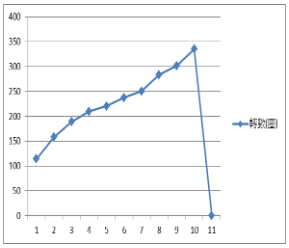


圖4-2-3-5
以蠟燭為熱能來源
之每分鐘轉數折線圖

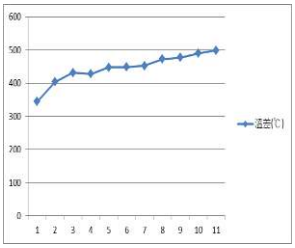


圖4-2-3-6
以蠟燭為熱能來源
之上下汽缸溫差折線圖

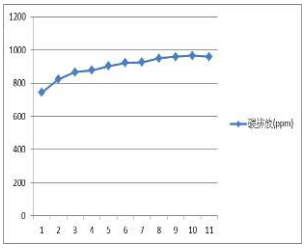


圖4-2-3-7
以蠟燭為熱能來源
之碳排放折線圖

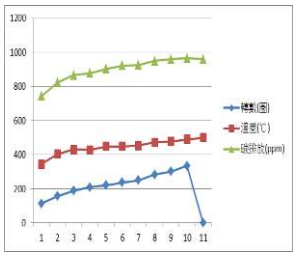


圖4-2-3-8
轉數、溫差、碳排放
之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)以酒精作為史特林引擎之熱能來源，能讓引擎順利啟動，且轉速非常快，每分鐘可超過330轉以上，只可惜移氣體融化，否則轉速應可再增加。

(2)轉數和溫差之間呈現正向關係，顯示若能增加上下汽缸溫度差異，應能提高轉速，而且酒精燈和引擎接觸的距離固定，能提供穩定的熱量來源。

(3)在碳排放方面，隨著實驗時間的增加，碳排放雖然持續提高，但幅度不大，且在960ppm左右就趨於穩定，並未超過室內標準值，顯示以酒精作為熱源，是較符合環保需求的。

(四) 研究總結論：以熱水、蠟燭及酒精為熱能來源均能使史特林引擎順利運轉，但因能提供的熱能不同，以燃燒酒精能使引擎的運轉最為快速(三者每分鐘轉數之相關比較如下圖4-2-4-1)，只是溫度過高，會使保麗龍移氣體融化，而無法持續作。在碳排放方面，因熱水並未持續加熱，因此產生的碳排放最少，而燃燒酒精雖然碳排放較高，但仍維持在標準值1000ppm之內，而燃燒蠟燭則會超過標準值(三者碳排放之相關比較如下圖4-2-4-2)。綜合前述結果，我們選擇以酒精作為熱能來源，並進一步尋找耐熱性較高之材質來優化移氣體，以期提高史特林引擎的運作效率。

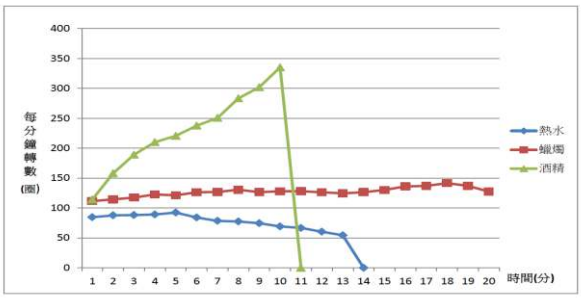


圖4-2-4-1
以熱水、蠟燭、酒精為熱能來源之每分鐘轉數比較圖

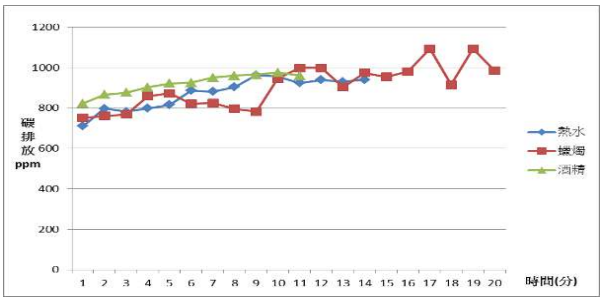


圖4-2-4-2
以熱水、蠟燭、酒精為熱能來源之碳排放比較圖

三、 研究三：「移氣體材質」對史特林引擎之運作效果的影響。

我們根據周教授所設計之史特林引擎之保麗龍移氣體的形狀(半徑 4.5 公分，高 1.3 公分之圓柱體)及重量(約 24.27 公克)，分別製作不同材質的移氣體，分別探究：一、以錫箔作為移氣體的運作效果。二、以鋼絲絨作為移氣體的運作效果。三、以鋁箔作為移氣體的運作效果。

(一) 以錫箔為移氣體的運作效果

1.實驗過程

(1)將自行製作之錫箔移氣體裝置於史特林引擎之中，(如圖4-3-1-1、圖4-3-1-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度(碳排放部分，因已決定以酒精作為熱能來源，因此不再記錄)。

(3)其餘操作過程如實驗4-2-1之步驟(如圖4-3-1-3、圖4-3-1-4)

圖4-3-1-1
自製之錫箔移氣體

圖4-3-1-2
錫箔移氣體＋引擎

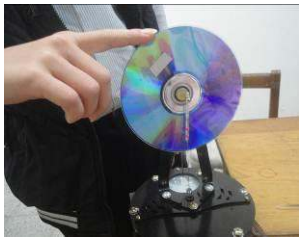


圖4-3-1-3
推動飛輪

圖4-3-1-4
紀錄實驗數據

2.實驗結果

(1)背景資料：汽缸上溫度：20.5℃，汽缸下溫度：20.7℃。

(2)預熱4分16秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除酒精後，引擎持續運轉2分31秒才停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-3-1-1及圖4-3-1-5。(最高及最低轉數之詳細資料請

參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-3-1-2及圖4-3-1-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數、溫差之相互關係分析：將三者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖4-3-1-7。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**58.7**	**65.2**	**73.3**	**81.5**	**91.4**	**97.1**	**103.7**	**117.8**	**129.8**	**130.9**	**123.4**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**128.2**	**135.3**	**141.3**	**147.8**	**149.1**	**153.5**	**155.4**	**167.5**	**168.8**	**168.3**	
總平均(圈/分)	**126.5**										

表4-3-1-1　以錫箔為移氣體之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**286.3**	**284.2**	**371.3**	**324.2**	**330.2**	**339.8**	**359.3**	**359.4**	**370.5**	**375.1**	**374.1**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**376.2**	**379.4**	**381.8**	**378.1**	**370**	**366.6**	**352.8**	**359.8**	**358.8**	**354.5**	

表4-3-1-2　以錫箔為移氣體之上下汽缸溫差紀錄表

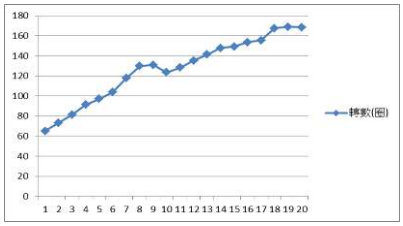


圖4-3-1-5
以錫箔為移氣體
之每分鐘轉數折線圖

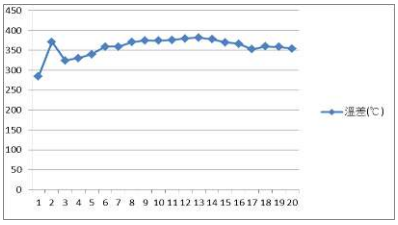


圖4-3-1-6
以錫箔為移氣體
之上下汽缸溫差折線圖

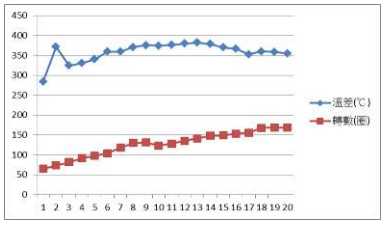


圖4-3-1-7
轉數與溫差
之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)以錫箔作為史特林引擎之移氣體，能讓引擎順利啟動，啟動時間和周教授設計的原件差不多，轉速也隨著加熱時間的增加而逐漸提升，平均每分鐘可達超過160轉以上，但與周教授的設計(330轉)仍有一段差距。

(2)轉數和溫差之間呈現正向關係，當溫差維持穩定時，轉數也維持在一定範圍。

(二) 以鋼絲絨為移氣體的運作效果

1.實驗過程

(1)將自行製作之鋼絲絨移氣體裝置於史特林引擎之中，(如圖 4-3-2-1、如圖 4-3-2-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度。

(3)其餘操作過程如實驗4-2-1之步驟(如圖4-3-2-3、圖4-3-2-4)

圖4-3-2-1 自製之鋼絲絨移氣體	圖4-3-2-2 鋼絲絨移氣體＋引擎	圖4-3-2-3 推動飛輪	圖4-3-2-4 紀錄實驗數據據	圖4-2-3-5 變形之鋼絲絨移氣體

2.實驗結果

(1)背景資料：汽缸上溫度：21.5℃，汽缸下溫度：21.9℃。

(2)預熱5分30秒後引擎開始轉動。

(3)因為鋼絲絨移氣體變形(如圖4-3-2-5)，引擎運轉14分26秒後停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-3-2-1及圖4-3-2-6。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-3-2-2及圖4-3-2-7。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數與溫差之相互關係分析：將二者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖4-3-2-8。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**58.1**	**70.7**	**72**	**78.9**	**92.7**	**105.5**	**112.1**	**107.7**	**112.1**	**65.5**	**63.9**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**61**	**55.9**	**55.4**	**53.8**	**0**						
總平均(圈/分)	**79.1**										

表4-3-2-1　以鋼絲絨為移氣體之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**257.5**	**287.2**	**292.7**	**291.1**	**294.5**	**289**	**292.2**	**294**	**290**	**299.7**	**301.6**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**308.5**	**304.4**	**304.4**	**310.6**	**310.6**						

表4-3-2-2　以鋼絲絨為移氣體之上下汽缸溫差紀錄表

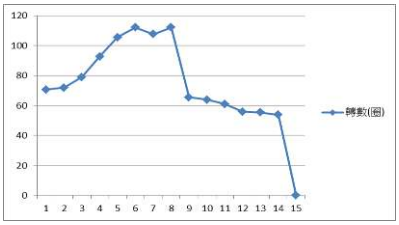
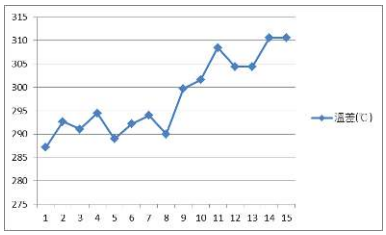
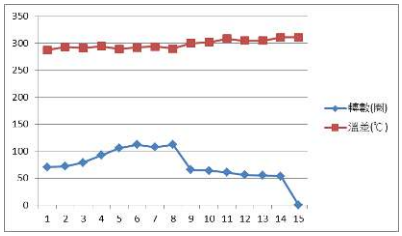
		

圖4-3-2-6 以鋼絲絨為移氣體 之每分鐘轉數折線圖	圖4-3-2-7 以鋼絲絨為移氣體 之上下汽缸溫差折線圖	圖4-3-2-8 轉數與溫差 之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)以鋼絲絨作為史特林引擎之移氣體，能讓引擎順利啟動，但啟動的預熱時間較長，且轉速並不快。

(2)運轉初期，也隨著加熱時間的增加每分鐘轉動的圈數而逐漸提升，但到了9分鐘左右，卻逐漸降低，仔細觀察後發現，鋼絲絨移氣體已歪斜變形(如圖4-3-2-5)，討論後發現因為鋼絲絨的材質較為鬆軟，要塑造成一個柱狀體，需要透過相當多次的擠壓，而鋼絲絨本身具有相當的彈性，此在引擎運轉之後，就逐漸鬆垮而變形，導致引擎的運轉無法順利進行。

(3)若以正常運作的區間來看(1-8分鐘)轉數和溫差之間呈現正向關係，當溫差維持穩定時，每分鐘轉數也維持在一定範圍。

(三) 以鋁箔為移氣體的運作效果

1.實驗過程

(1)將自行製作之鋁箔移氣體裝置於史特林引擎之中，(如圖 4-3-3-1、4-3-3-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度。

(3)其餘操作過程如實驗4-2-1之步驟(如圖4-3-3-3、圖4-3-3-4)

圖4-3-3-1 自製之鋁箔移氣體	圖4-3-3-2 鋁箔移氣體＋引擎	圖4-3-3-3 推動飛輪	圖4-3-3-4 紀錄實驗數據	圖4-3-3-5 變形之汽缸

2.實驗結果

(1)背景資料：汽缸上溫度：21.3℃，汽缸下溫度：21.5℃。

(2)預熱4分20秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除酒精燈後，引擎持續運轉3分10秒才停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-3-3-1及圖4-3-3-6。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-3-3-2及圖4-3-3-7。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數與溫差之相互關係分析：將二者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖4-3-3-8。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**84.4**	**140.9**	**153.3**	**167.8**	**174.8**	**189.6**	**204.4**	**208.5**	**213.6**	**204.1**	**206.7**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**216.9**	**216.8**	**215.9**	**214.8**	**209.9**	**176.9**	**167.1**	**153.6**	**135.9**	**132.9**	
總平均(圈/分)	**185.2**										

表4-3-3-1　以鋁箔為移氣體之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**290**	**284.9**	**314.9**	**314.3**	**326.8**	**335.7**	**334.8**	**338.1**	**342.9**	**347.3**	**350.5**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**359.2**	**354.3**	**355.3**	**355.5**	**354.2**	**353.9**	**358.6**	**358.1**	**359.1**	**362.1**	

表4-3-3-2　以鋁箔為移氣體之上下汽缸溫差紀錄表

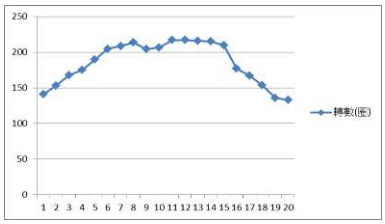


圖4-3-3-6
以鋁箔為移氣體
之每分鐘轉數折線圖

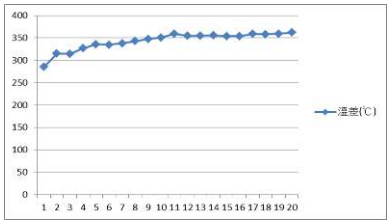


圖4-3-3-7
以鋁箔為移氣體
之上下汽缸溫差折線圖

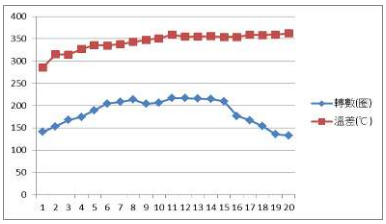


圖4-3-3-8
轉數與溫差
之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)引擎預熱 4 分 20 秒就可啟動，與以錫箔為移氣體之引擎啟動時間差不多，而啟動後每分鐘轉數快速增加，逐漸超過 210 轉，但到了 16 分鐘後卻逐漸減慢，仔細觀察引擎後發現，原先引擎套件之壓克力汽缸壁有變形的現象，於實驗後拆解引擎發現，該汽缸壁已嚴重扭曲變形(如圖 4-3-3-5)，推測變形的汽缸壁是造成轉速降低的主要原因，若非因為汽缸壁變形，或許有再更進一步提升的轉速機會。

(2)轉數和溫差之間呈現正向關係，當溫差維持穩定時，轉數也維持在一定範圍。

(四) 研究總結論：以錫箔、鋼絲絨及鋁箔製作之移氣體均能使史特林引擎順利運轉，但在顧及移氣體的重量及形狀須與原先保麗龍移氣體盡量一致，因此錫箔及鋁箔的移氣體均為空心圓柱體，而鋼絲絨因本身材質的緣故，僅能以擠壓成型的方式製作，並無法非常均勻的成形。以致三種移氣體雖然都能使引擎順利運轉，但每分鐘轉數都不如周教授當初所設計之引擎套件，甚至鋼絲絨的移氣體，在劇烈運轉之後，還會鬆垮變形，以致運轉停止。不過若就這三種移氣體運轉情況來比較(三者每分鐘轉數之相關比較如下圖 4-3-4-1)，我們認為以鋁箔來製作移氣體是較合適的選擇。而實驗後期我們發現以壓克力製作的引擎汽缸壁，因為重複使用的緣故，產生融化變形，以致引擎的轉速無法更進一步提升，因此，我們決定進一步選擇不同材質來製作引擎的氣缸，以期能使引擎更加完善。

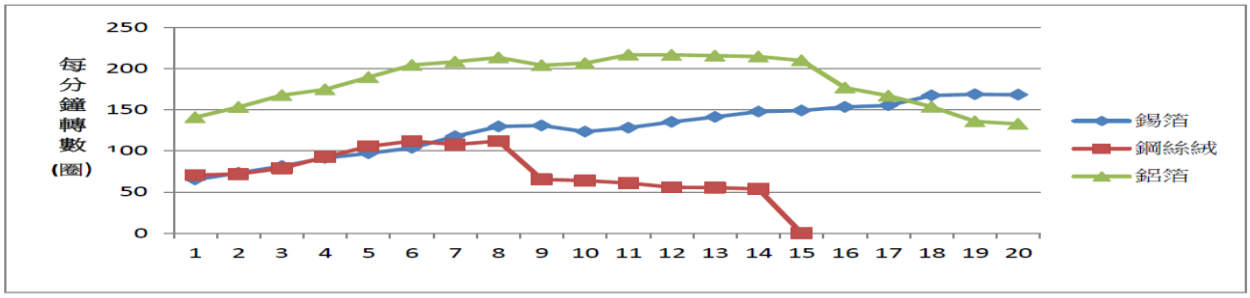


圖4-3-4-1以錫箔、鋼絲絨、鋁箔為移氣體之每分鐘轉數比較圖

四、研究四：不同材質「汽缸」對史特林引擎之運作效果的影響。

我們根據周教授所設計之史特林引擎之汽缸的大小及形狀，從生活中找尋合適的替代材料，後來發現市面上各式包裝餅干的鐵罐是合適的選擇，經蒐集並進一步比較之後發現，各家廠商的鐵罐大多以馬口鐵(鐵＋碳＋錫)製成，但真正的金屬成分及比例均為商業機密而無法得知，所幸經過大家的觀察及討論之後，發現廠商在製作鐵罐時，為了顧及美觀及不污染包裝物，會在鐵罐上塗上保護漆(如環氧樹脂、壓克力樹脂及聚酯樹脂等)，而依據塗漆來分類，大致上分成不塗漆、內塗漆及內外均塗漆三種，因此，我們將分別探究：一、以不塗漆馬口鐵作為汽缸的運作效果。二、以內塗漆馬口鐵作為汽缸的運作效果。三、以內外均塗漆馬口鐵作為汽缸的運作效果。

(一) 以不塗漆馬口鐵為汽缸的運作效果

1.實驗過程

(1)將自行製作之不塗漆馬口鐵為汽缸裝置於史特林引擎，先以加工過之下汽缸蓋鎖緊，再用耐熱膠填補封口，以確保引擎內之氣體不外洩(如圖4-4-1-1、圖4-4-1-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度。

(3)其餘操作過程如實驗4-2-1之步驟(如圖4-4-1-3、圖4-4-1-4)

圖4-4-1-1不塗漆馬口鐵汽缸	圖4-4-1-2不塗漆汽缸＋引擎	圖4-4-1-3 推動飛輪	圖4-4-1-4 紀錄實驗數據

2.實驗結果：

(1)背景資料：汽缸上溫度：20.8℃，汽缸下溫度：21.3℃。

(2)預熱14分16秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除酒精燈後，引擎持續運轉30.6秒停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-4-1-1及圖4-4-1-5。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-4-1-2及圖4-4-1-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數與溫差之相互關係分析：將二者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖 4-4-1-7。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**109.5**	**137.7**	**134.9**	**154.8**	**177.2**	**183.3**	**194.8**	**212.8**	**221.8**	**229.6**	**229.7**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**233.8**	**241.3**	**245**	**249.6**	**253.1**	**254.9**	**268.8**	**270.6**	**279.1**	**294.4**	
總平均(圈/分)	**223.4**										

表4-4-1-1　以不塗漆馬口鐵為汽缸之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**287.3**	**297.3**	**304.8**	**294.7**	**292.6**	**309.9**	**312.9**	**312.6**	**314**	**311.5**	**315.2**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**313.3**	**316.8**	**319.7**	**318**	**320.4**	**324.7**	**317**	**317.4**	**322.9**	**319.6**	

表4-4-1-2　以不塗漆馬口鐵為汽缸之上下汽缸溫差紀錄表

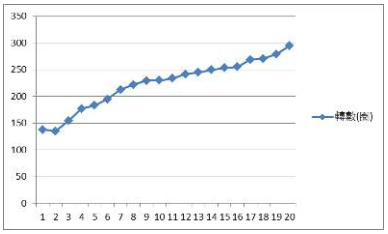
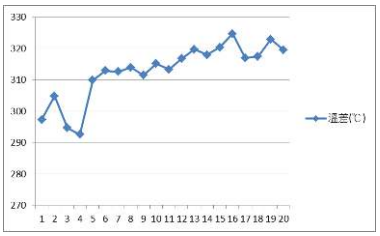
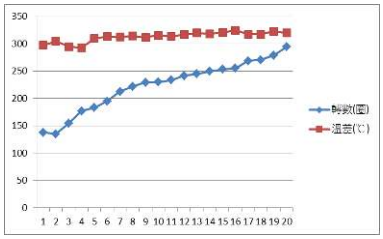
		

圖4-4-1-5 以不塗漆馬口鐵為汽缸 之每分鐘轉數折線圖	圖4-4-1-6 以不塗漆馬口鐵為汽缸 之上下汽缸溫差折線圖	圖4-4-1-7 轉數與溫差 之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)引擎預熱時間較長，但一經啟動，轉速就非常快的提升，可見不塗漆的馬口鐵所製成的汽缸能使引擎順利運轉。

(2)但當移除熱源之後，僅 30 秒左右就停止，引擎的持續性較弱，可能和不塗漆的馬口鐵本身傳熱快；散熱也快的特性有關。

(3)轉數與溫差之間都呈現同步上升的趨勢，但上升幅度之間的關係並不明顯。

(二) 以內塗漆馬口鐵為汽缸的運作效果

1.實驗過程

(1)將自行製作之內塗漆馬口鐵為汽缸裝置於史特林引擎，先以加工過之下汽缸蓋鎖緊，再用耐熱膠填補封口，以確保引擎內之氣體不外洩(如圖4-4-2-1、圖4-4-2-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度。

(3)其餘操作過程如實驗 4-2-1 之步驟(如圖 4-4-2-3、圖 4-4-2-4)

圖4-4-2-1內塗漆馬口鐵汽缸	圖4-4-2-2內塗漆汽缸＋引擎	圖4-4-2-3 推動飛輪	圖4-4-2-4 紀錄實驗數據

2.實驗結果：

(1)背景資料：汽缸上溫度：18.9℃，汽缸下溫度：20.1℃。

(2)預熱6分25秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除酒精燈後，引擎持續運轉45.7秒停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-4-2-1及圖4-4-2-5。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-4-2-2及圖4-4-2-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數與溫差之相互關係分析：將二者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖4-4-2-7。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**73.4**	**84.2**	**83.9**	**86.1**	**92.6**	**99.5**	**103.1**	**103.9**	**110.7**	**111.3**	**116.4**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**120.9**	**127.6**	**145.9**	**151.4**	**147.3**	**147.8**	**148.6**	**150.9**	**150.1**	**151.4**	
總平均(圈/分)	**121.7**										

表4-4-2-1　以內塗漆馬口鐵為汽缸之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**252.2**	**251.9**	**246.8**	**268.2**	**278.1**	**288.1**	**303.4**	**308.4**	**305.9**	**304.4**	**306.5**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**318.3**	**322.7**	**331.1**	**324.1**	**325.2**	**327.8**	**330.4**	**332.6**	**340.8**	**335.7**	

表4-4-2-2　以內塗漆馬口鐵為汽缸之上下汽缸溫差紀錄表

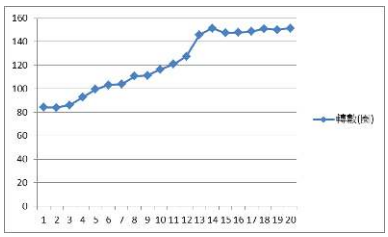


圖4-4-2-5
以內塗漆馬口鐵為汽缸
之每分鐘轉數折線圖

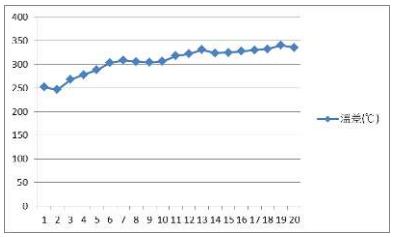


圖4-4-2-6
以內塗漆馬口鐵為汽缸
之上下汽缸溫差折線圖

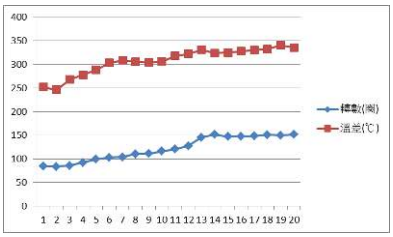


圖4-4-2-7
轉數與溫差
之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)引擎預熱時間較短，但運轉之後，轉速雖有提升，但是並不快，可能是僅有內部塗漆，內外不一致進而造運轉效率較差的緣故。

(2)而當移除熱源之後，大約 45.6 秒左右就停止，引擎的持續性較不塗漆之氣缸佳，可能和內塗漆的馬口鐵本身傳熱慢；散熱也慢的特性有關。

(3)轉數與溫差之間幾乎呈現相同的上升趨勢。

(三) 以內外均塗漆馬口鐵為汽缸的運作效果

1.實驗過程

(1)將自行製作之內外均塗漆馬口鐵為氣缸裝置於史特林引擎，先以加工過之下汽缸蓋

鎖緊，再用耐熱膠填補封口，以確保引擎內之氣體不外洩(如圖4-4-3-1、圖4-4-3-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度。

(3)其餘操作過程如實驗 4-2-1 之步驟(如圖 4-4-3-3、圖 4-4-3-4)

圖4-4-3-1 內外均塗漆馬口鐵汽缸	圖4-4-3-2 內外均塗漆汽缸＋引擎	圖4-4-3-3 推動飛輪	圖4-4-3-4 紀錄實驗數據

2.實驗結果：

(1)背景資料：汽缸上溫度：18.1℃，汽缸下溫度：19.5℃。

(2)預熱3分47秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除酒精燈後，引擎持續運轉54.8秒停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-4-3-1及圖4-4-3-5。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-4-3-2及圖4-4-3-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數與溫差之相互關係分析：將二者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖 4-4-3-7。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**123.3**	**130.5**	**129.3**	**132.9**	**141.8**	**164.5**	**180.1**	**194.8**	**219.3**	**229.2**	**245.9**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**240.5**	**253.5**	**255.2**	**264.3**	**274.4**	**283.7**	**279.5**	**289.7**	**292.9**	**295.9**	
總平均(圈/分)	**224.9**										

表4-4-3-1　以內外均塗漆馬口鐵為汽缸之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**288.6**	**280.1**	**280.2**	**278.4**	**282.7**	**289.5**	**292.5**	**292.2**	**303.5**	**299.6**	**303.5**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**300.4**	**317.5**	**316.6**	**314.4**	**312**	**324.2**	**328.9**	**328.8**	**332.1**	**337.5**	

表4-4-3-2　以內外均漆馬口鐵為汽缸之上下汽缸溫差紀錄表

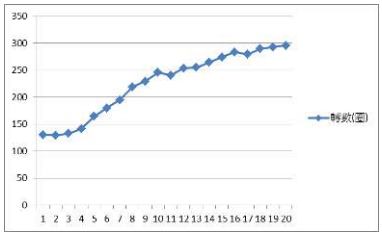
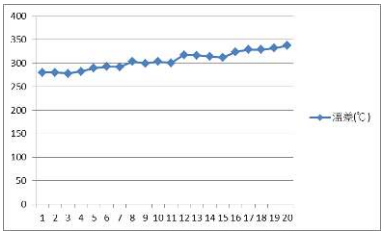
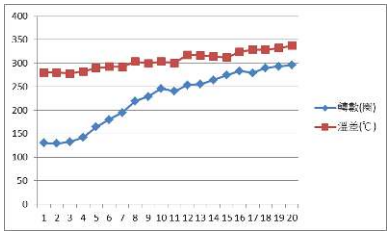
		

圖4-4-3-5 以內外均塗漆馬口鐵為汽缸 之每分鐘轉數折線圖	圖4-4-3-6 以內外均塗漆馬口鐵為汽缸 之上下汽缸溫差折線圖	圖4-4-3-7 轉數與溫差 之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)引擎預熱時間相當短，只有 3 分 47 秒，而且每分鐘平均最快轉數接近 300 轉，已相當接近周教授當初設計的引擎 DIY 原件，因此以內外均塗漆馬口鐵製成之汽缸應能有效提升引擎的運作效能。

(2)而當移除熱源之後，大約能持續 55 秒左右就停止，引擎的持續性較不塗漆之汽缸佳，可見以內外均塗漆馬口鐵製成之汽缸對熱能的維持具有一定的功效。

(3)當引擎運轉順利之後。每分鐘轉數和溫差之間的變化差不多，兩者之間存在著正向的關係。

(四) 研究總結論：以不塗漆、內塗漆及內外均塗漆之馬口鐵所製成的汽缸，雖然預熱時間的長短不一，但均能使史特林引擎順利運轉，但只有不塗漆之汽缸因導熱性較強以致預熱啟動的時間較長；其次，其吸熱快(啟動時下汽缸溫度較高)的特性，相對的散熱也較快，因此運轉的持續性也較差。而只有內塗漆的汽缸，可能因為內外不一致的關係，雖然啟動時間較短，但引擎轉動的速度，就相對減弱許多。至於內外均塗漆的汽缸，則不管在啟動時間或是轉動速度方面，均優於前兩者(如圖 4-4-4-1)，也相當接近周教授所設計的引擎原件，且該原件保麗龍移氣體及壓克力汽缸容易受熱而融化變形的缺點，也在此一併克服，因此我們認為，以鋁箔移氣體搭配內外均塗漆之馬口鐵所製成的汽缸，是相當好的組合。另外，在研究過程中我們一再發現，汽缸上下溫差和每分鐘轉數之間存在著正向關係，因此，我們決定進一步嘗試提高上下汽缸的溫差，希望能更提升引擎的優化程度。

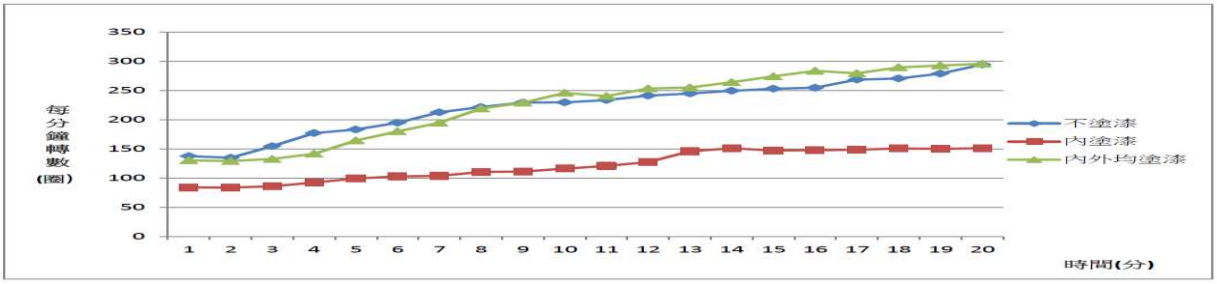


圖4-4-4-1以不塗漆、內塗漆、內外均塗漆為汽缸之每分鐘轉數比較圖

五、研究五：提高上下汽缸「溫差」對史特林引擎之運作效果的影響。

我們從上述的各項實驗中發現汽缸上下溫差和引擎的運轉之間存在著正向關係，因此我們從日常生活中找尋可以降低上汽缸溫度的工具，經過討論，我們決定以冰塊及電腦的散熱片，來探究上下汽缸溫差對史特林引擎運轉的影響，我們將分別探究一、冰塊對引擎運作的影響。二、電腦散熱片對引擎運作的影響。

(一) 冰塊對引擎運作的影響

1.實驗過程

(1)以夾鏈袋包裹冰塊後(預先依引擎大小包好5袋，每袋300公克，以備冰塊融化時更換)，放置於已優化後之史特林引擎(鋁箔移氣體＋內外均塗漆之馬口鐵汽缸)之上(如圖4-5-1-1、圖4-5-1-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度。

(3)其餘操作過程如實驗 4-2-1 之步驟(如圖 4-5-1-3、圖 4-5-1-4)

圖4-5-1-1 包裹冰塊	圖4-5-1-2 冰塊＋引擎	圖4-5-1-3 推動飛輪	圖4-5-1-4 紀錄實驗數據

2.實驗結果：

(1)背景資料：汽缸上溫度：20.6℃，汽缸下溫度：20.8℃。

(2)預熱1分24秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除酒精燈後，引擎持續運轉2分47秒停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-5-1-1及圖4-5-1-5。(最高及最低轉數之詳細資料請

參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-5-1-2及圖4-5-1-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數與溫差之相互關係分析：將二者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖 4-5-1-7。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**94.1**	**109.9**	**144.3**	**180.4**	**205.6**	**221**	**242.8**	**268**	**280.7**	**282.1**	**279.9**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**292.8**	**323**	**327.6**	**328.2**	**349.9**	**363.8**	**370.4**	**396.6**	**398.7**	**410.3**	
總平均(圈/分)	**288.8**										

表4-5-1-1　放置冰塊後引擎之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**251.5**	**303**	**311.9**	**359.4**	**355.8**	**355.2**	**364.4**	**367.7**	**366.5**	**370.6**	**373.8**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**396.8**	**404.3**	**411.2**	**418.6**	**415.7**	**418.1**	**422.8**	**425.6**	**428.5**	**431.9**	

表4-5-1-2　放置冰塊後引擎之上下汽缸溫差紀錄表

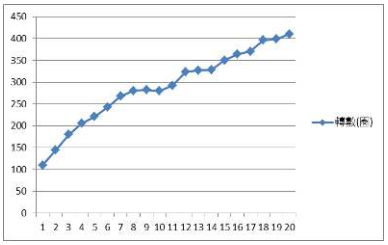


圖4-5-1-5
放置冰塊後引擎
之每分鐘轉數折線圖

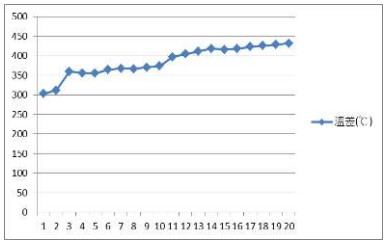


圖4-5-1-6
放置冰塊後引擎
之上下汽缸溫差折線圖

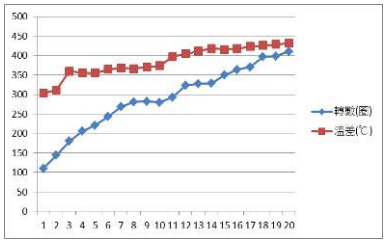


圖4-5-1-7
轉數與溫差
之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)引擎預熱時間相當短，只要 1 分 24 秒，而且一經啟動，引擎每分鐘的轉數就持續提升，甚至超過了 400 轉，也是所有實驗之最，顯示透過冰塊來降低汽缸上的溫度，進而加大上下汽缸的溫差，能有效提升引擎運轉的效率。

(2)而當移除熱源之後，還能持續 2 分 47 秒才停止，引擎的持續性佳，可見在引擎上放置冰塊對熱能的維持具有一定的功效。

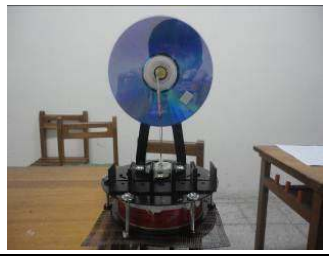
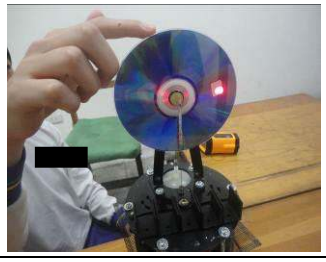
(二) 散熱片對引擎運作的影響

1.實驗過程

(1)將散熱片(共5片)固定於於已優化後之史特林引擎(鋁箔移氣體＋內外均塗漆之馬口鐵汽缸)之上(如圖4-5-2-1、圖4-5-2-2)。

(2)分別以電子溫度計記錄實驗前史特林引擎汽缸之上下溫度。

(3)其餘操作過程如實驗 4-2-1 之步驟(如圖 4-5-2-3、圖 4-5-2-4)

			
圖4-5-2-1 散熱片	圖4-5-2-2 散熱片＋引擎	圖4-5-2-3 推動飛輪	圖4-5-2-4 紀錄實驗數據

2.實驗結果：

(1)背景資料：汽缸上溫度：20.2℃，汽缸下溫度：20.4℃。

(2)預熱2分9秒後引擎開始轉動。

(3)當實驗結束，移除酒精燈後，引擎持續運轉1分33秒停止。

(4)5秒鐘轉數平均值：結果如下表4-5-2-1及圖4-5-2-5。(最高及最低轉數之詳細資料請參閱實驗日誌)

(5)引擎運作過程中之上下汽缸溫差：結果如下表4-5-2-2及圖4-5-2-6。(上下汽缸溫度之詳細資料請參閱實驗日誌)

(6)轉數與溫差之相互關係分析：將二者之折線圖並置，以探討其關聯性，如圖 4-5-2-7。

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
轉速(圈/分)	**73.9**	**93.6**	**140.8**	**161.3**	**171.9**	**201.5**	**217.5**	**237.4**	**260.6**	**269.6**	**293.8**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
轉速(圈/分)	**301.7**	**306.9**	**307**	**305**	**326.1**	**324.4**	**336.8**	**334.3**	**337.8**	**338.9**	
總平均(圈/分)	**263.3**										

表4-5-2-1　放置散熱片後引擎之每分鐘轉數紀錄表

時間(分)	啟動	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
溫差(℃)	**254.1**	**325.8**	**332.8**	**346.4**	**354.3**	**357.5**	**365.6**	**369.3**	**372**	**368.8**	**375.2**
時間(分)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
溫差(℃)	**384.5**	**388**	**392.6**	**408.6**	**415.1**	**416.8**	**431.1**	**429.5**	**430.8**	**434.4**	

表4-5-2-2　放置散熱片後引擎之上下汽缸溫差紀錄表

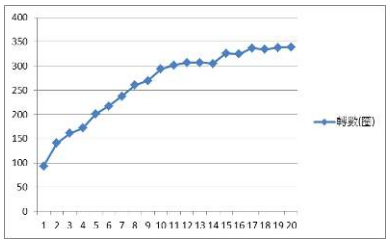


圖4-5-2-5
放置散熱片後引擎
之每分鐘轉數折線圖

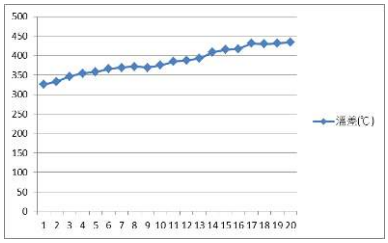


圖4-5-2-6
放置散熱片後引擎
之上下汽缸溫差折線圖

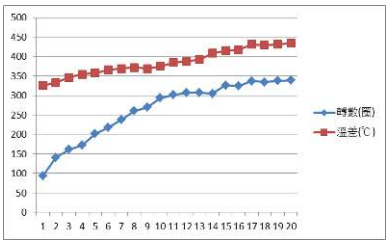


圖4-5-2-7
轉數與溫差
之相互關係圖

3.實驗結果分析與討論

(1)引擎預熱時間相當短，只要 2 分 9 秒，而且當引擎運轉順暢之後，每分鐘最快轉數超過 330 轉，可見透過散熱片降低汽缸上的溫度，加大上下汽缸的溫差，能有效提升引擎運轉的效率。

(2)而當移除熱源之後，還能持續 1 分 33 秒才停止，引擎的持續性佳，可見加裝散熱片片熱能的維持具有一定的功效。

(四) 研究總結論：從研究結果證實了，提高上下汽缸的溫差能有效提升史特林引擎的運作效能，不論是採用直接放置冰塊降溫，或是加裝散熱片，都能得到相當好的效果(如圖 4-5-3-1)，而上述兩者搭配優化後的引擎，所產生的效能都超過周鑑恆教授當初設計的引擎原件。

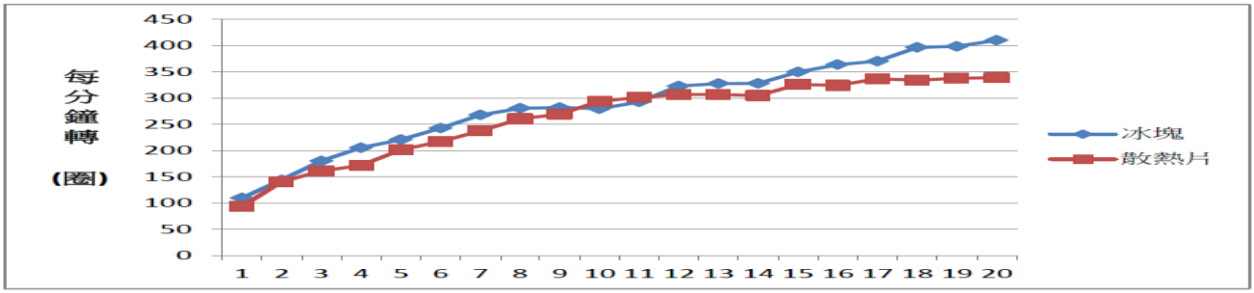


圖4-5-3-1 放置冰塊、散熱片後引擎之每分鐘轉數比較圖

伍、研究結果

本研究主要針對史特林引擎進行優化處理，透過實驗與討論，結果歸納如下：

一、在熱能來源選擇方面：本實驗以熱水、蠟燭及酒精作為熱能來源選擇，其中熱水的碳排放最少，最符合環保需求，但能提供能量也最少，以致引擎的轉動速度較慢；蠟燭雖然能提供較多的熱能，相對的引擎轉速也較快，但燃燒過程中碳排放較高，及因長度縮短須隨時補充新蠟燭，是其重大的缺點。至於酒精燈，則在熱能提供、碳排放及每分鐘平均轉動圈數方面都具有相對的優勢。

二、在移氣體的選擇方面：因原先周教授設計之引擎原件是以保麗龍作為移氣體，但在實驗過程中容易遇熱而變形，因此本實驗從日常生活及學校實驗室中選找可替代的材料，我們先後以錫箔、鋼絲絨及鋁箔作為移氣體進行研究。其中鋼絲絨因其材質鬆軟具彈性不易定型，以致在實驗過程中因快速運轉而變形，而錫箔及鋁箔所作成的移氣體，均能使引擎順利運作，經過討論與比較，我們選擇以鋁箔作為移氣體進行下一步的優化實驗。

三、在汽缸的選擇方面：因引擎原件是以壓克力作為汽缸，在長時間加熱過程中容易融化變形，因此我們根據引擎原件汽缸的大小尋找可替代的材料，先後以不塗漆、內塗漆及內外均塗漆之馬口鐵製成汽缸，進行實驗。結果發現三種材質的汽缸都能使引擎順利運轉，但不塗漆之汽缸啟動的預熱時間相當的久，不過一經啟動，轉速便能快速提升；而內塗漆之汽缸，則啟動時間較短，但相對的轉速就相對慢了許多；至於內外均塗漆之汽缸則不管在啟動時間及轉速方面都勝過前兩者許多。

四、在提高上下氣缸溫差方面：從一連串的實驗中我們發現上下氣缸溫差和轉速之間大致都存在著正向關係，因此我們選擇以冰塊及散熱片來探討溫差對轉速的影響，結果發現，兩者都能有效降低汽缸上的溫度並增加上下汽缸的溫差，進而提升引擎的轉速，使引擎的運轉效率更加提升。

陸、討　論

根據本研究結果及實驗過程所遇到的困難，我們進行以下的討論：

一、引擎運轉方面：推動飛輪是使引擎得以順利運轉的第一步驟，當完成引擎套件組裝後，我們發現要推動飛輪使引擎運轉並不順利，有時成功，有時失敗，經過多次嘗試及請教學校老師後發現，在啟動過程中必須讓移氣體先往上才能順利運轉，因為移氣體要超前動力活塞(兩者存在90°相位差)，經討論應該是這樣才能讓移氣體產生向下的慣性作用，再藉由冷熱空氣移動的力量來使引擎運轉。

二、在熱能來源方面，當初史特林引擎最吸引我們的就是，只要靠熱水就能順利轉動，但實驗後發現熱水並無法持續提供熱能，而若要透過加熱熱水來確保熱能的提供，似乎又有些畫蛇添足，倒不如直接對引擎加熱，才不會浪費能量。而蠟燭及酒精都是目前小學實驗室中較容易取得的熱能來源，但蠟燭燃燒後所能產生的能量並不如酒精，再加上蠟燭會隨著燃燒而縮短其長度，無法固定維持和引擎接觸的距離，而燃燒後所產生的碳排放，更超過室內 1000ppm 的碳排放標準，因此，決定以酒精作為本次實驗的熱能來源。

三、在移氣體方面，錫箔、鋁罐及鋼絲絨均是實驗室中容易取得的材料，在塑形過程中，為了符合周教授引擎原件之保麗龍移氣體的重量，起初是將一片片圓形錫箔及鋁箔薄片黏合，但始終無法順利運轉，在請教相關專長老師後得知，移氣體必須是圓柱狀，因為這樣才能有效隔離冷熱空氣，後來將錫箔及鋁箔移氣體改成空心圓柱狀，引擎才得以順利運轉。至於鋼絲絨移氣體部分，原本就製成圓柱狀，但因其材質較為鬆軟且具彈性，不易固定形狀，原本想以耐熱膠固定形狀，但經討論後覺得如此一來將增加實驗的干擾因素及融化沾黏的後果，因此形狀無法相當均勻，以致在經過劇烈運轉後，歪斜變形無法再順利運轉。

四、在汽缸優化方面，根據引擎原件的汽缸大小，我們以耐熱的前提，蒐集了各式各樣的食品鐵罐，在請教學校老師後得知，導熱係數較低的金屬材料較適合製作汽缸，因此，我們捨棄了導熱係數較高的鋁罐(237W/mk)、鐵罐(80W/mk)而選擇鍍錫(67W/mk)的馬口鐵，再將馬口鐵分成不塗漆、內塗漆、內外均塗漆(沒有外塗漆而內不塗漆之罐頭)，分別製成汽缸後進行相關實驗。實驗後發現內外均塗漆之馬口鐵所製成的汽缸，能使引擎最有效率的運轉，經查詢相關資料後發現，廠商大多以環氧樹脂、壓克力樹脂及聚酯樹脂等材質來進行塗漆，而這些材質都具有耐熱性高及導熱係數差的特性，恰好與理想汽缸的特質吻合。

五、在提高上下汽缸溫差部分，因實驗過程中，一再顯示溫差是影響引擎轉速的重要因素，因此我們決定將提高上下汽缸溫差作為引擎優化的最後步驟，因為除了實驗中呈現轉速與溫差存在著正相關之外，我們也發現實驗過程中汽缸上的溫度在實驗後期會超過 100℃，造成使用上的不便。而透過冰塊及散熱片的作用，不但提高溫差，有效提升運轉效率，而且汽缸上的溫度大約只上升到 60℃左右，增加了引擎的實用性。至於冰塊和散熱片的選擇，因為冰塊遇熱會快速融化，須隨時更換，雖然其運轉效率較散熱片好，但我們仍決定以加裝散熱片，來完成史特林引擎的優化。

六、因為實驗時間有限，我們只能進行引擎優化的部分，至於後續研究，則建議從引擎的實際應用方面著手，例如引擎的發電功效或是將引擎動能轉為機械能的應用，這些對解決未來環境及能源的問題，都會有相當大的助益。

柒、結　論

根據實驗結果，我們歸納出下列幾點結論：

一、以酒精作為史特林引擎的熱能來源，最能使引擎順利的運作，也較符合環保的需求。

二、以鋁箔製成史特林引擎之移氣體，能有效解決移氣體融化變形的困擾，使引擎持續順利運作。

三、以內外均塗漆之馬口鐵製成的史特林引擎汽缸，能有效解決壓克力氣缸遇熱時容易變形的缺點，進能提升引擎的運轉效能。

四、透過加裝散熱片，能有效將低汽缸上的溫度，進而提高上下汽缸的溫差，不僅能使史特林引擎運轉更有效率，也增加了其實用性。

捌、參考資料

周鑑恆(2005)。**輕鬆學物理的第一本書：31 個有趣的物理實驗。**台北：如何出版社。

周鑑恆(2006)。**史特林引擎組裝說明書**。台南：德盟工作室。

周鑑恆(2008)。能源之星—史特林引擎。**物理雙月刊，30(4)**，363-376。

南一編輯群(2012)。**國小自然與生活科技第八冊第三單元。**台南：南一。

陳俊鈞(2012)。**史特林引擎初探**。線上檢索日期：2014 年 9 月 5 日。網址：www.shs.edu.tw/works/essay/2012/11/2012111612193053.pdf 。

聖工坊編輯群(2008)。**氣候變遷下的抉擇。**線上檢索日期：2014 年 9 月 5 日。網址：https://www.youtube.com/watch?v=PRBoJzUKZrw

聶新威(2011)。**自由活塞史特林引擎。**萬能科技大學工程科技研究所碩士論文，未出版：桃園。

【評語】080809

該研究進行史特林改擎之優化研究，此技術發展至今已近 200 年，此項成果其中以移氣體材質討論對引擎運作效果影響以兼具成熟製作技術，且亦探討散熱片加裝之效率提升效果，研究內容豐富，未來提議可考慮利用廢熱如地熱等，進行引擎程序。