

「推」到最高點－風扇設計型式與推力轉速關係變化的研究

高小組物理科第三名

台北縣丹鳳國民小學

作者：何政瑜、邱明生、楊智安

指導教師：林俊成、簡樹文

一、研究動機

記得在學校的校外教學旅程中，參觀了桃園的航空科學博物館，對館中所陳列的各式各樣的飛機，我都非常感興趣，尤其是館中展出的噴射發動機的解剖展示區，更是吸引我的注意力，我注意到說明板上詳細介紹了各種發動機的推力值，但是都不一樣，我又注意到每一種發動機裡的扇葉排組方式都不相同，難道真是這個原因而產生不同的推力？我很想明白它，所以我拍了幾張照片，帶回學校和老師及同學一起研究討論，想找出影響推力大小的真正原因？

二、研究目的

- (一)想知道影響推力大小的原因有那些？
- (二)想知道影響風扇轉速不同的原因？
- (三)探討並測試出各種風扇組合功率好壞。
- (四)想找出功率最佳的風扇組合型式。

三、研究設備器材

巴沙木、自製推力測試器、光電式轉速測試儀、碼錶、六段式電源轉接器、白膠、熱溶膠。

四、研究過程、方法與結果

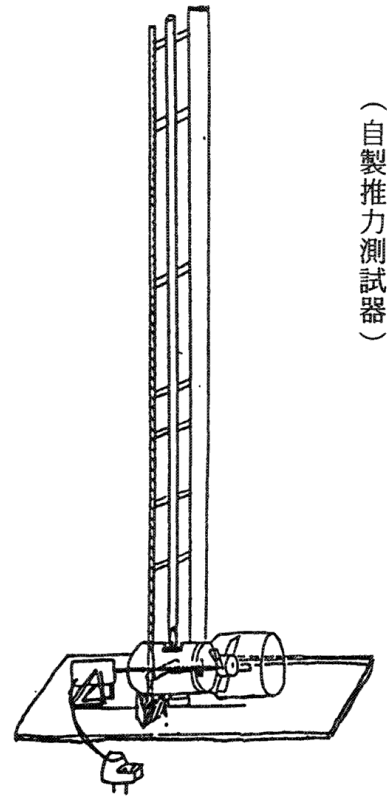
問題(一)：扇葉的形狀不同會影響推力和轉速嗎？

實驗(一)：測試出各種形狀的扇葉所組成的風扇的推力和轉速值。

實驗方法：1.用厚0.2cm的巴沙木裁切成15種不同形狀的扇葉各4片，和圓柱狀巴沙木（直徑2cm，厚1cm），用白膠黏合成風扇。

2. 將15種風扇分別鎖入推力測試器，並測出浮標飛升100cm所需時間，越快的表示推力值高。
3. 在風扇平面上貼反光亮片，配合使用光電式測轉速儀，測出轉速。
4. 電力控制為4.5V。

結果(-)：1. 扇葉不同形狀風扇組推力和轉速測試記錄：如表一

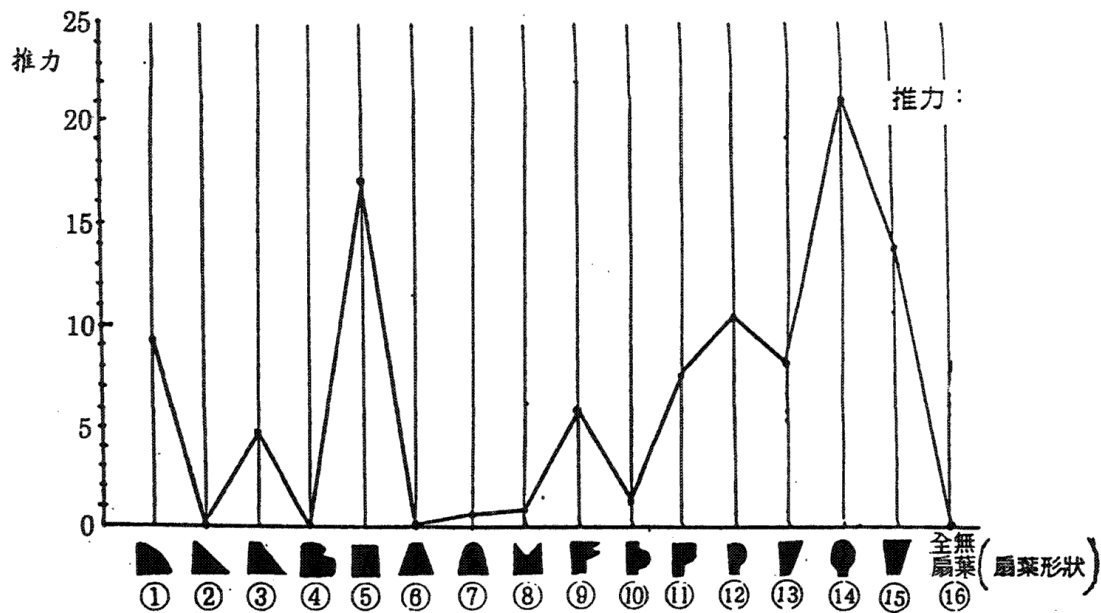


(自製推力測試器)

表一

扇葉形狀	1	2	3	推力平均	最大值	最小值	轉速平均	備註 (cm/秒)
①	11.73	11.06	10.37	11.05	5605.9	5289.1	5447.5	9.05cm/秒
②	×	×	×	×	4854.7	4143.9	4499.3	0
③	19.87	21.9	20.96	20.91	4992.5	4766.4	4879.5	4.78cm/秒
④	×	×	×	×	4721.4	4430.6	4576.0	推15cm
⑤	5.51	5.91	6.33	5.92	4265.3	4093	4179.2	16.89cm/秒
⑥	×	×	×	×	5628.5	5375.3	5501.9	0
⑦	140.62	138.5	141.5	140.21	5047.9	4737.4	4892.7	0.71cm/秒
⑧	104.5	104.1	103	103.49	4848	4672.8	4760.4	0.97cm/秒
⑨	16.37	18.01	16.03	16.8	4890.7	4562.7	4726.7	5.95cm/秒
⑩	84.57	84.3	84.68	84.57	4719.2	4514.3	4616.8	1.18cm/秒
⑪	13.67	14.56	15.82	14.2	4200.2	4044.7	4122.5	7.04cm/秒
⑫	9.83	10.63	9.34	9.93	4683.4	4508.5	4596.0	10.1cm/秒
⑬	12.43	13.20	12.29	12.64	4334.3	4174.2	4254.3	7.91cm/秒
⑭	5.59	4.13	4.92	4.88	4640.7	4440.4	4540.6	20.5cm/秒
⑮	7.03	6.89	7.67	7.20	4990.4	4750.5	4870.5	13.89cm/秒
⑯ 全無扇葉	×	×	×	×	9015.7	8430.5	8723.1	0

2. 扇葉形狀不同的風扇推力變化圖：



3. 在實驗中我們發現外寬內窄的有較好的推力。如⑨⑪⑫⑬⑭⑮。

4. 扇葉形狀又以左右對稱型較能產生高推力。

5. 轉速最高是第⑯組的9015.7轉，最低是第⑪組的4044.7轉。

問題(二)：扇葉的長寬不同會影響推力和轉速嗎？

實驗(二)：測試不同長度的扇葉所組成的風扇組的推力和轉速值。

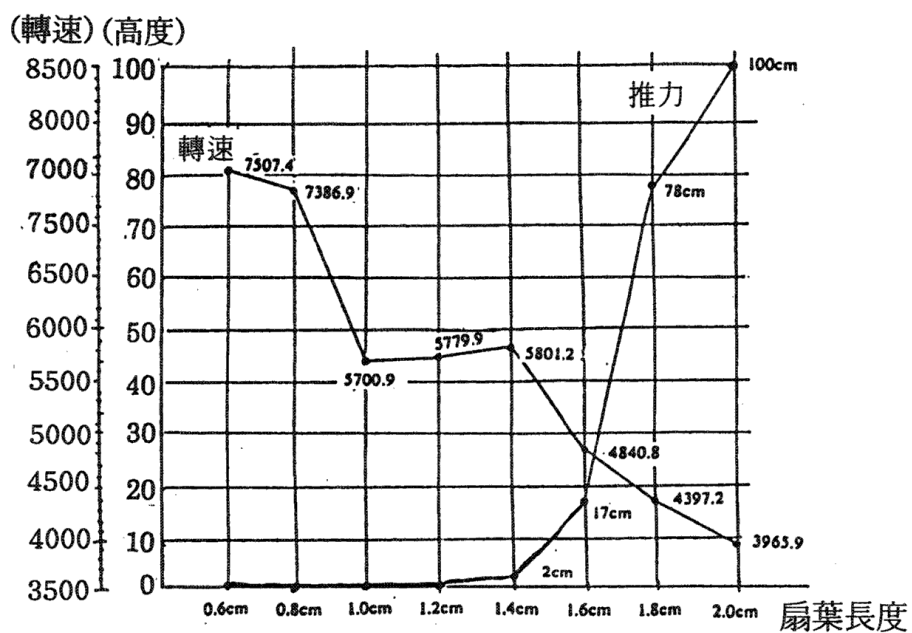
實驗方法：(略)

結果(二)：1. 扇葉長度不同的風扇推力、轉速測試記錄：如表二

表二

扇葉 長度	推力	1	2	3	平均值	備註 (cm/秒)
	轉速	最大值		最小值		
0.6 cm	推力	×	×	×	×	無法推動
	轉速	7559.5		7455.2	7507.4	
0.8 cm	推力	×	×	×	×	晃動
	轉速	7588.2		7185.6	7386.9	
1.0 cm	推力	×	×	×	×	上浮旋轉
	轉速	5795.9		5605.9	5700.9	
1.2 cm	推力	×	×	×	×	較大晃動
	轉速	5842.8		5717.0	5779.9	
1.4 cm	推力	2cm	2cm	2cm	2cm	將橙色部份推至2cm
	轉速	5877.7		5724.6	5801.2	
1.6 cm	推力	10cm	21cm	20cm	平均17cm	無法推出
	轉速	4926.5		4755.1	4840.8	
1.8 cm	推力	28cm	100cm	100cm	平均78cm	花了1分27.55秒才推出100cm 1.14cm/秒
	轉速	4484.9		4309.4	4397.2	
2.0 cm	推力	100cm	100cm	100cm	100cm	①12.58秒②9.95秒③9.91秒 平均10.81秒推至100cm 9.25cm/秒
	轉速	4004.5		3927.2	3965.9	

2. 扇葉長度不同風扇推力、轉速的折線圖：



3.從表二中可見到只有1.8cm和2.0cm組才可將保利龍浮標推出100cm的壓克力管。

4.轉速隨著扇葉長度增加而降低、推力則上升。

實驗(三)：測試扇葉寬度不同的風扇推力及轉速值。

實驗方法：(略)

結果(三)：1.在實驗中我們發現0.2cm~0.5cm的四組風扇均無法推起浮標；從0.6cm開始推力隨著扇葉寬度增加而增高，尤其是1.2cm組推力值最高。

2.轉速亦隨著扇葉寬度漸寬而下降。

問題(三)：扇葉總面積大小會影響風扇的推力和轉速嗎？

實驗(四)：測試出扇葉面積變化後風扇組的推力和轉速值。

實驗方法：1.控制扇葉面積為 2cm^2 ，從2片~10片以 45° 角和軸(直徑2.5cm)組合成風扇組，鎖入測試器測出推力和轉速值。

結果(四)：1.在實驗中可發現6片扇葉的風扇推力最高，10片組是最差。

2.轉速隨著扇葉面積的增加而降低。

問題(四)：扇葉與主軸所夾的角度會影響風扇的推力和轉速嗎？

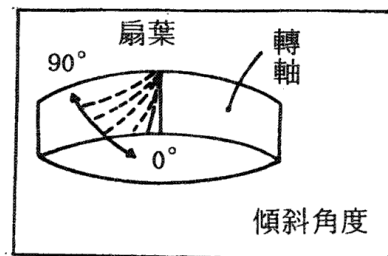
實驗(五)：測試不同扇葉斜角的風扇的推力和轉速值。

實驗方法：1.扇葉安排方式如右圖：每隔 10° 製成風扇。

2.測試方法同前。

結果(五)：1.我們發現扇葉角度增加到 40° 時才開始能推動保利龍浮標，到 70° 時推力值最高。

2.轉速隨角度增大而提昇， 80° 時最高。

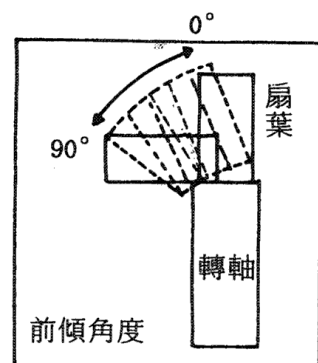


實驗(六)：測試風扇葉片向前傾斜的角度對推力和轉速的影響。

實驗方法：1.改變扇葉前傾角度，每前傾 10° 為單位製成風扇，放入測試器中測出推力與轉速。

結果(六)：1.在實驗中發現前傾 10° 時可得到最高的推力值。

2.轉速的變化也是起伏變化較大，但仍可看出隨角度增加而爬升。



問題(五)：扇葉的彎曲度會影響風扇組的推力和轉速嗎？

實驗(七)：測試扇葉不同的彎曲度對推力和轉速的影響。

實驗方法：1.為了能彎曲扇葉，將扇葉的材質改為塑膠片，分成①——②——③——④——⑤——五種型式，加以測試，方法同前。

結果(七)：1.從實驗中可見到②推力最高，④推力第二高。

2.②推力最高，轉速卻最低，⑤轉速最高，推力卻最低。

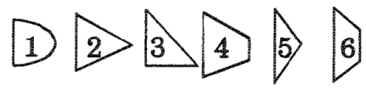
問題(六)：轉軸粗細、造形不同會影響推力和轉速嗎？

實驗(八)：測試風扇軸的變化對推力和轉速的影響。

實驗方法：在實驗(八)中我們分成三部份的變化。（測試法同前）

1.軸的直徑粗細，從1.5cm～3cm。

2.軸身的變化，分成  八種。

3.軸前端的形狀變化，分成  等六種。

結果(八)：1.軸的直徑粗細組，以2.0cm組最高，3.0cm最差。

2.軸身的變化只有①②兩組能產生推力，宜力求簡捷型。

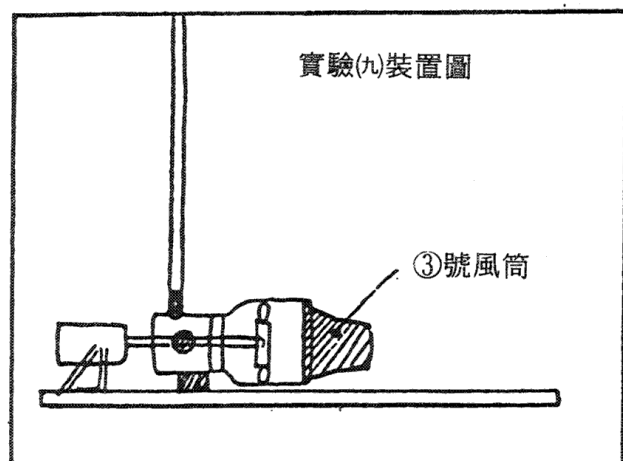
3.軸的前端變化組中以④號推力最高，⑤號次之，③號最差。

問題(七)：不同的扇葉排列型式會影響風扇推力和轉速嗎？

實驗(九)：測試不同的排列方式的風扇推力和轉速值。

實驗方法：1.我們用16片大小為2cm×1cm的長方形扇葉，在直徑2cm長4cm的圓柱上排列了7種風扇組。

2.把7種風扇組放入推力測試器中測推力，但是因為各風扇推力值均無法測得，因此在推力測試器前套入③號風筒見右圖，即可順利比較推力，並配合測轉儀測出轉速。



結果(九)：1.扇葉不同排列型式推力，轉速測試記錄：

扇 葉 排列方式	1	2	3	平 均	轉 速 最大值 最小值	加③ 1	加③ 2	平 均	最大值	最小值	平 均 轉 速	備 註 (cm/秒)
① 	×	×	×	×	2679.7 2638.5	3.22秒	3.49秒	3.36秒	3010.6	2935.4	2973	29.8 cm/秒
② 	×	×	×	×	2334.2 2304.8	30.9秒	27.26秒	29.1秒	2547.8	2510	2528.9	3.44 cm/秒
③ 	×	×	×	×	3466.8 2289.7	×	×	×	3523.1	2684.2	3103.7	0
④ 	×	×	×	×	2745.4 2673.5	3.68秒	3.92秒	3.8秒	3025.5	2946.3	2985.9	26.3 cm/秒
⑤ 	×	×	×	×	2587.7 2534.3	2.67秒	2.83秒	2.75秒	3058.4	3000.1	3029.3	36.4 cm/秒
⑥ 	×	×	×	×	3013.7 2444.2	4.83秒	4.44秒	4.64秒	2922.9	2852.5	2887.7	21.6 cm/秒
⑦ 	×	×	×	×	2457 2401	15.32秒	10.88秒	13.1秒	2635.1	2587.0	2611	7.6 cm/秒

2.在實驗中的七組風扇都因重量，而推力小，加上③號風筒後可得較明顯的推力值。

3.以①⑤推力值較佳，尤其是⑤號更好，最差的是③號。

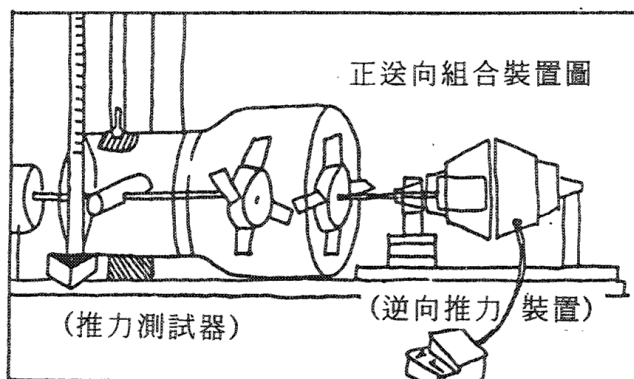
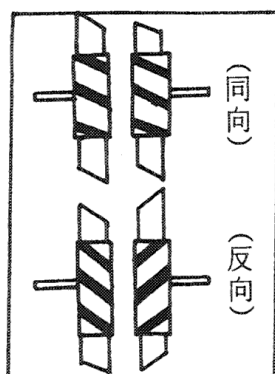
問題(八)：扇葉不同轉向組合是否會影響風扇推力呢？

實驗(十)：測試風扇不同轉向組合所產生的推力差別。

實驗方法：1.在原推力測試器前加裝反方向的推力測試器風扇則分成傾斜同向和反向，並且以電流正負極交換來改變風扇的轉向，測出其推力值和轉速值。

結果(+): 1. 扇葉傾斜方向相同推力測試表:

	前	後	1	2	平均值	備 註 (cm/秒)
轉 向 相 同	快 4.5v	快 4.5v	2.65	2.39	2.5	40cm/秒
	快 4.5v	慢 3.0v	4.97	5.44	5.2	19.2cm/秒
	慢	快	3.9	3.69	3.8	26.3cm/秒
	慢	慢	15.8	13.3	14.6	6.8cm/秒
	多 (6片)	多 (6片)	2.02	1.92	1.97	50.8cm/秒
	多 (6片)	少 (4片)	2.51	2.61	2.56	39.1cm/秒
	少	多	2.33	2.28	2.31	43.3cm/秒
	少	少	2.67	2.52	2.61	38.3cm/秒
轉 向 相 反	快	快	×	×	×	無法上升
	快	慢	×	×	×	無法上升
	慢	快	×	×	×	無法上升
	慢	慢	×	×	×	無法上升
	多	多	×	×	×	無法上升
	多	少	×	×	×	無法上升
	少	多	×	×	×	無法上升
	少	少	×	×	×	無法上升



2. 扇葉傾斜方向相反推力測試表：

	前	後	1	2	平均值	備 註 (cm/秒)
轉 向 相 同	快	快	×	×	×	無法上升
	快	慢	×	×	×	無法上升
	慢	快	×	×	×	無法上升
	慢	慢	×	×	×	無法上升
	多	多	×	×	×	無法上升
	多	少	×	×	×	無法上升
	少	多	×	×	×	無法上升
	少	少	×	×	×	無法上升
轉 向 相 反	快	快	1. 28	1. 39	1. 34	74. 6cm/秒
	快	慢	1. 96	2. 28	2. 12	47. 2cm/秒
	慢	快	1. 67	1. 69	1. 68	59. 5cm/秒
	慢	慢	2. 77	2. 66	2. 72	36. 8cm/秒
	多	多	1. 49	1. 73	1. 61	62. 1cm/秒
	多	少	2. 13	2. 11	2. 12	47. 2cm/秒
	少	多	1. 51	1. 33	1. 42	70. 4cm/秒
	少	少	1. 53	1. 52	1. 53	65. 4cm/秒

3. 從上面（表十）中可發現到：

(1) 扇葉傾斜方向相同時：

◆轉向相同可產生推力，扇葉多的比少的推力高。

◆轉向相反無法產生推力，力量互相抵消了。

4. 從（表十一）中可發現到：

(1) 扇葉傾斜方向相反時：

◆轉向相同無法產生推力，力量互相抵消。

◆轉向相反可產生推力，推力值比傾斜同向、同轉向組高出很多。扇葉少反而推力高。

問題(九)：風扇入風口形狀不同是否影響推力和轉速值？

實驗(±)：測試不同形狀入風口，和不同面積入風口的推力和轉速值。

實驗方法：1.我們用塑膠杯底切出面積相近、形狀不同的入風口五種；配合推力測試器測出推力及轉速值。

2.用塑膠片2片組合出11種不同面積的入風口，每組相差2.5cm²的面積。配合測試器測出推力、轉速值。

結果(±)：1.在實驗中可發現圓形的入風口的推力最高，三角形的最低。

2.風口面積以關閉3/10組可得最大推力，全關或關閉9/10組幾無推力產生。

問題(十)：風扇的外殼造型不同是否影響推力和轉速值呢？

實驗(±)：測試外殼造型不同的風扇推力和轉速值。

實驗方法：1.利用各種不同形狀的塑膠瓶和塑膠杯，切割組合成12種不同的外殼造型，用相同的扇葉組，互相搭配測試出推力值，並配合測轉儀測出轉速。

結果(±)：1.外殼造型不同風扇推力、轉速測試記錄：

表十四

外殼造型	1	2	推力平均	最大值	最小值	轉速平均	備註 (cm/秒)
① 	24.74	26.74	25.74	4033.0	3981.1	4007.1	3.89cm/秒
② 	4.86	4.70	4.78	4381.4	4233.9	4307.1	20.92cm/秒
③ 	2.04	2.11	2.08	4619.6	4436.5	4528.1	48.1 cm/秒
④ 	1.37	1.57	1.47	4657.3	4457.3	4557.3	68.03cm/秒
⑤ 	0.88	1.23	1.06	4779.3	4611.4	4695.4	94.3 cm/秒
⑥ 	0.87	0.99	0.93	4725.5	4620.0	4672.8	107.5cm/秒
⑦ 	2.97	3.19	3.08	5063.2	4555.4	4809.3	32.5 cm/秒
⑧ 	1.43	1.75	1.59	9432.4	4311.2	6871.8	62.9 cm/秒
⑨ 	1.23	1.57	1.40	4588.5	4392.7	4490.6	71.4 cm/秒
⑩ 	1.83	1.89	1.86	7252.5	1191.3	4221.9	53.8 cm/秒
⑪ 	3.75	4.91	4.33	4369.6	4140.5	4255.1	23.1 cm/秒
⑫ 	4.47	7.51	5.99	4271.9	4181.7	4226.8	16.7 cm/秒

2.由測試記錄可知，不同的外殼有不同的推力，尤其是⑥號高達107.5cm/秒最高，最低者是①號沒加外殼組的3.89cm/秒，相差非常的大。

問題(±)：功率不良的風扇組可以改善嗎？

實驗(±)：測試並探討前面各組功率較差的風扇改良的可行性。

實驗方法：1.我們找出功率較差的風扇組：

實驗(-)②、⑥號，實驗(二)的0.8cm和1cm，實驗(三)的0.4cm和0.5cm組，實驗(四)9片、10片組，實驗(五)的30°組，實驗(九)的第②組，共十組。

2.將十組較差的風扇組和實驗(±)中最佳的風扇外殼造型⑥互相組合測試其推力值是否改善？

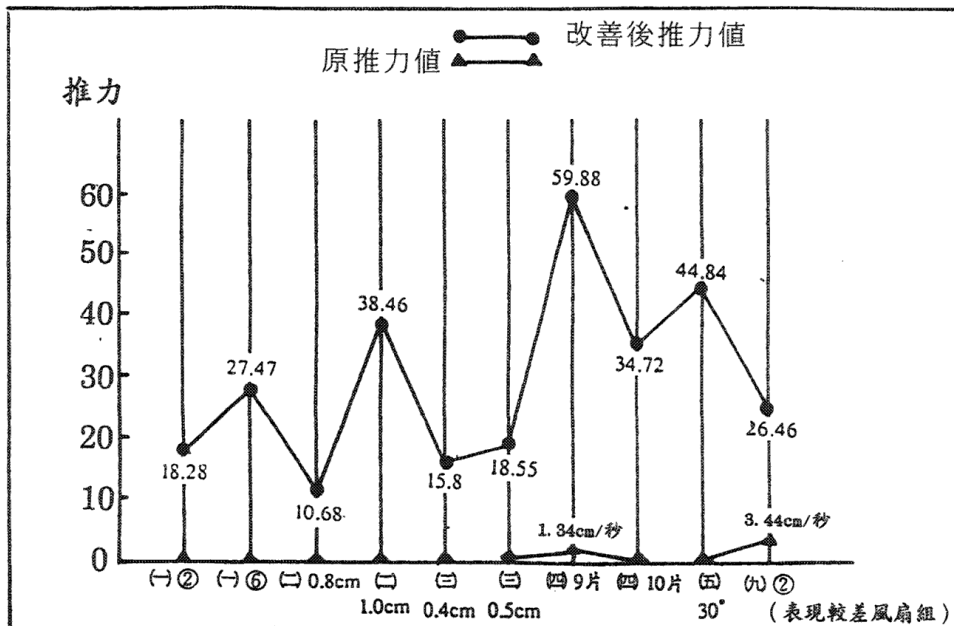
結果(±)：1.改良功率較差的風扇測試記錄：如表十五

表十五

較差風扇型號	1	2	3	平均推力值	原推力值	改善情形	備註 (cm/秒)
(-)(②)	2.71	7.29	6.41	5.47秒	0	5.47秒	18.28cm/秒
(-)(⑥)	2.48	3.83	4.62	3.64秒	0	3.64秒	27.47cm/秒
(二)0.8cm	3.47	10.73	13.89	9.36秒	0	9.36秒	10.68cm/秒
(二)1.0cm	2.43	2.42	2.95	2.60秒	0	2.60秒	38.46cm/秒
(三)0.4cm	6.53	7.58	4.89	6.33秒	0	6.33秒	15.8cm/秒
(三)0.5cm	7.30	4.45	4.41	5.39秒	0	5.39秒	18.55cm/秒
(四)9片	1.93	1.72	1.36	1.67秒	76.43秒	74.76秒	59.88cm/秒
(四)10片	3.74	2.24	2.67	2.88秒	0	2.88秒	34.72cm/秒
(五)30°	2.11	1.89	2.70	2.23秒	0	2.23秒	44.84cm/秒
(九)(②)	5.47	2.69	3.17	3.78秒	29.1秒	25.32秒	26.46cm/秒

2.經過測試後發現推高100cm的距離，都飛昇入10秒內，原本沒有推力的都產生很好的推力。

3.改善後和原推力比較圖：



五、討論與結論

- (一)實驗(一)中證明扇葉形狀必須外寬內窄並左右對稱表現較好。
- (二)推力高轉速不一定高，反而常比較低約在4,000~4,500轉之間。
- (三)由實驗(二)(三)中得知扇葉長度必須1.4cm以上，寬度0.6cm以上才能有推力。
- (四)由實驗(四)中發現扇葉太多太少都不佳，以3片、6片和7片較佳。
- (五)由實驗(五)中可知扇葉夾角70°組推力最高，因為角度與其他實驗不同，因此轉速高於5,000轉／秒。
- (六)由實驗(六)中發現扇葉前傾10°可得最高推力值。
- (七)從實驗(七)中證明適當的扇葉弧度可提昇推力。
- (八)我們從實驗(八)的結果中得知直徑不宜太大或太小，軸身以單純簡單的①②組較佳，前端形狀以④號最好。
- (九)在實驗(九)中我們發現風扇不宜太重，排列型式以⑤號最佳。其型式是集中在前後並整齊排列。
- (十)由實驗(十)中我們研究發現：
 1. 扇葉傾斜方向相同時，必須轉向也相同才可產生推力。而且在此組中多片的風扇組比少的推力高。
 2. 扇葉傾斜方向相反時，轉向也必須相反，才可產生推力，而且從兩組的推力比較圖中明顯的反向的組合方式，推力增高許多。我們還發現此組中葉

片少的推力反而較高。

- (±)在實驗(+)裡證明扇葉反向反轉的型式，比扇葉同向同轉的型式功率高很多；而且我們在圖書館裡找到尖端武器雜誌中，曾介紹蘇俄製的戰鬥直升機就是採用旋翼反向反轉的方式，如此可省去後面的小螺旋槳，又可增加一倍的載彈量，提升了飛機的性能。
- (±)在實驗(±)中我們測試出圓形的入風口最好，能使風扇發揮最高的效率。入風口面積若關閉3/10~7/10時可發揮較高的推力，關太少或太多都減少推力。
- (±)由實驗(±)中我們發現適當的風扇外殼可提昇風扇原有效率甚多，如實驗中的第①組，是完全沒加上其他風筒，它推浮標上昇100cm需要25.74秒，然而底下②~⑫組，加上其他風筒後，所需的時間全部減到6秒以內，尤其是第⑥號風筒甚至只需0.93秒就推出100cm，推力由原來的3.89cm/秒飛昇為107.5cm/秒，推力提昇約28倍。也因此我們又設計了下一個實驗驗證它。
- (±)在實驗(±)的實驗進行前，我們原本想過，這10種完全看不出推力的風扇組怎麼可能有改善的本錢，但是在實驗後我們非常興奮，因為10組風扇的推力都得到非常好的改善，各組都可以在10秒內將保力龍浮標推出100cm高的壓克力管。
- (±)設計一個風扇來使用，就是希望能有較高的效率，我們設計了十三個實驗就是為了找出設計好風扇的一些原則或點子，我們認為一個好的風扇該具備下列條件：
- 1.扇葉形狀是外大內小的對稱形狀。
 - 2.扇葉的長、寬必須適度，配合外殼，太大太小都不好。
 - 3.扇葉數目三片或六片。
 - 4.扇葉傾斜角度約70°左右最佳。
 - 5.扇葉向前傾10°~20°。
 - 6.適當的弧度。
 - 7.若需要多組合用時可考慮，扇葉反向轉向相反而且扇葉不多的設計型式可得到最高推力。
 - 8.入風口可設計成圓形，面積要適當。
 - 9.最後就是要給它一個合身的殼，可增加風扇的推力，提昇效率。
- (±)在生活中用到風扇的地方實在是非常多，如：吹風、抽風、散熱、旋翼……等，但是常因為設計型式或為了節省空間，而犧牲性能去選擇功率較差的風扇，因此發生散熱不良、性能不佳等缺失。針對此點我們覺得在現有使用風扇的地方，可能都還有可改進的地方，運用人類的智慧設計出更好的風扇，

以應付二十一世紀人類的需求。

六、參考資料

- (一)新世紀科學百科全書－貓頭鷹出版社。
- (二)大英科技百科全書－光復書局。
- (三)光復科學圖鑑－飛機、火箭－P90～91，94～95。

評 語

由參觀航空博物館，引發探討影響發動機推力和轉速的因素之動機。研究的內容包括改變扇葉型狀、長寬、總面積與主軸夾角、和彎曲度，轉軸粗細造型，風扇入風口形狀和面積，風扇外殼造型，以及扇葉組不同轉向組合等等。所用實驗裝置由學生自行裝組，部分器材取自日常生活用品。研究過程中能培養學生手腦並用，分工合作等科學精神。