

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

第三名

031611

降落傘阻力大追查

學校名稱：花蓮縣立國風國民中學

作者：	指導老師：
國一 鄒達文	黃耀輝
國一 許力仁	
國一 林立	
國一 李易儒	

關 鍵 詞：降落傘的阻力、傘高最佳值、終端速度

摘要

物體在流體中受到的阻力(Drag force) $F = \frac{1}{2} C \rho A V^2$ (C 是常數，和物體的形狀有關， ρ 是空氣密度， A 是垂直投影面積的大小， V 是速度)。但是我們在實驗室中檢驗降落傘的阻力，得到的結果並不是和垂直投影面積成正比，而是和降落傘面所包住的空氣體積大小成正比。進一步，我們發現體積的高度太高也不好，它存在一個最佳高度，此一高度和底面的邊長有關。此外，我們把降落傘頂端開一小洞並製作兩層的降落傘，希望增加降落傘下降的穩定度和阻力，得到很奇特的結果。希望我們的研究能夠對想要自製降落傘的人，提供氣流流動的基礎認知。

壹、研究動機

前一陣子，從網站上看到一個降落傘比賽的內容，從活動花絮裡感受到科學競賽的歡樂氣氛，一時技癢，也想製作一個降落傘試試看。但是網站上似乎沒有把所有的製作秘訣公開於網站上，使得製作成效不彰。聽老師說我們學校以前辦過降落傘比賽，明年也可能再辦一次。於是，我們就想要成為製做降落傘的專家，自己找出秘訣。

貳、研究目的

- 1、了解降落傘所受的阻力，主要和什麼因素有關。
- 2、了解降落傘的不穩定度和什麼因素有關。
- 3、了解兩層的降落傘，所受的阻力大小是否是單層降落傘的兩倍。
- 4、了解兩層降落傘的傘面間隔距離和阻力有何關聯。
- 5、按照實驗降落傘等比例放大後，實際掛重和終端速度的關係。

參、研究設備及器材

自製低速風洞裝置一具、電子天平、500 公克砝碼一個、風速計、降落傘數十個。

肆、研究過程或方法

在風洞中放置降落傘測試樣品（如下頁圖一）。當風向上流過通道，降落傘張開，受到一個向上的力，電子天平上讀到砝碼重量減少的數值就是降落傘向上的阻力。一般參考資料上

顯示物體在流體中受到的阻力(Drag force) $F = \frac{1}{2} C \rho A V^2$ (C 是常數，和物體的形狀有關，

ρ 是空氣密度， A 是垂直投影面積的大小， V 是速度)。我們將會檢驗這公式是否適用。

製作低速風洞（如下頁圖二）：

- (一)以排風機、塑膠纜線固定管、鋁質角材、塑膠瓦楞紙製作成排風段和縮收段，測試段用 PE 片和透明 PE 片製做。排風扇無法調節風速，所以另外串聯了一個吊扇用的三段式調節開關（如下頁圖三），以調整風速。
- (二)其三段風速（弱、中、強）代表的風速強弱，我們製作一個簡易風速計（如下頁圖四），但簡易風速計只能測到小風扇轉動時的感應電流，所以我們用工業扇和學校的風速計校正。得到的結果如（表一）

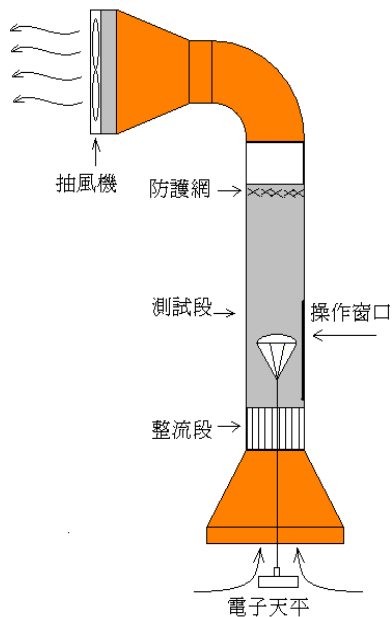
(表一) 風速和感應電流的對應

	風洞外工業扇弱	風洞外工業扇中	風洞外工業扇強
感應電流 (mA)	15.5	21.1	8.6
風速 (公尺/秒)	4.2	4.8	5.6

※上表可以得到一個經驗方程式：**感應電流=9.4*風速+24**

帶入風洞內測到的感應電流，可以得到風洞內的風速，列於下表：(誤差，0.9mA)

	風洞內風速弱	風洞內風速中	風洞內風速強
感應電流 (mA)	9.8	14.7	20.1
風速 (公尺/秒)	3.6	4.1	4.7



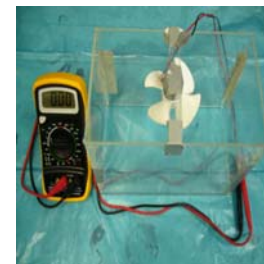
(圖一) 低速風洞構造示意圖



(圖二) 低速風洞真實圖



(圖三) 三段調節開關



(三) 整流段的部份，我們用 6 吋長的珍珠奶茶吸管排列成風的通道，試圖將漩渦狀的紊流整流成直線的風，我們使用保麗龍屑噴黃色螢光廣告顏料被風吸進風洞後流動的狀況以觀察整流效果，其整流結果(如圖五)所示，顯示已經控制氣流為可測驗的直線氣流。

(四) 為了解風動內氣流的流動情況，我們使用塗了黃色螢光顏料的保麗龍小球(和碎屑)，由下至上吸入風動測試段之中。在風動的測試段上方加裝防護網，可以防止保麗龍球飛出去，造成環境髒亂。測試段內壁的部分貼上黑色壁報紙當作保麗龍球軌跡的背景，能夠更清楚的觀察。

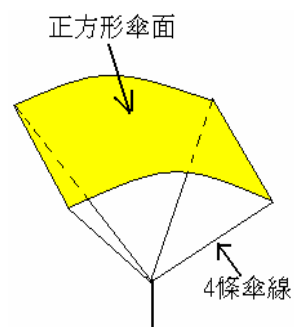


(圖五) 風洞氣流整流後的結果，可以看見直線的氣流。

伍、研究結果及討論

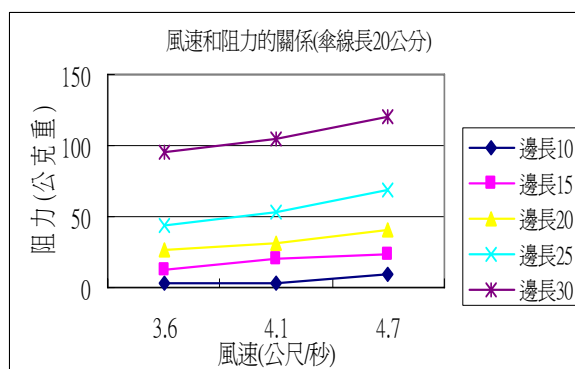
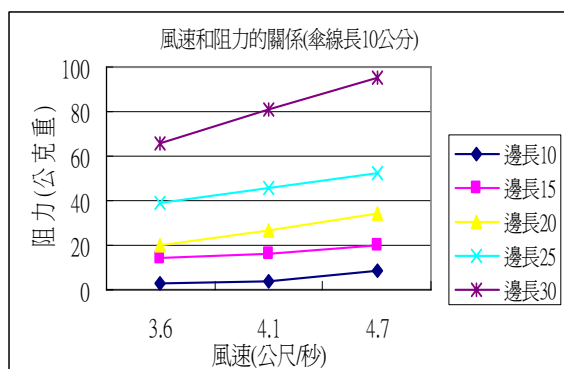
一、對阻力的測試：

(一) 我們採用平面的正方形的降落傘面作為測試樣品(如圖六),以不同的傘線長度、不同的風速,分別測試阻力,所得的結果如下所顯示：



(圖六) 平面正方形降落傘

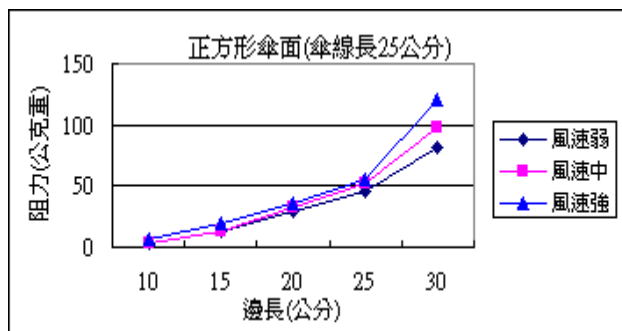
1. 風速和阻力的關係 (其餘數據、圖形詳見附表一)



2. 正方形邊長和阻力的關係

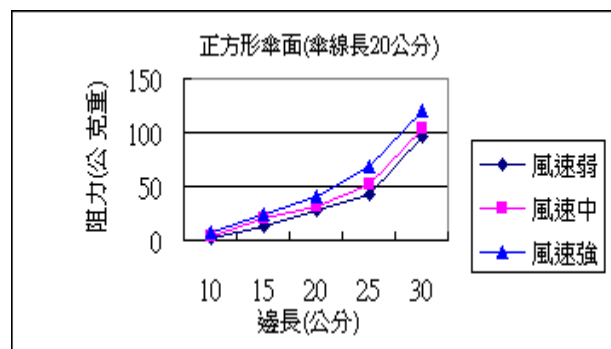
傘線長 25cm

邊長	風速弱	風速中	風速強
10	2.5	4	6
15	13	13	20
20	29	33	36
25	45	52	56
30	82	98	120



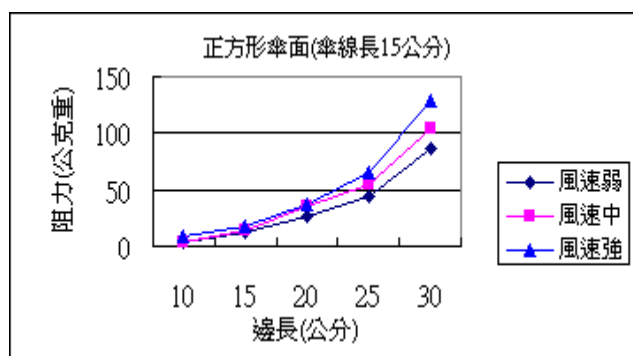
傘線長 20cm

邊長	風速弱	風速中	風速強
10	2.5	3.5	7
15	13	20	24
20	27	31	40
25	43	52	68
30	96	103	121



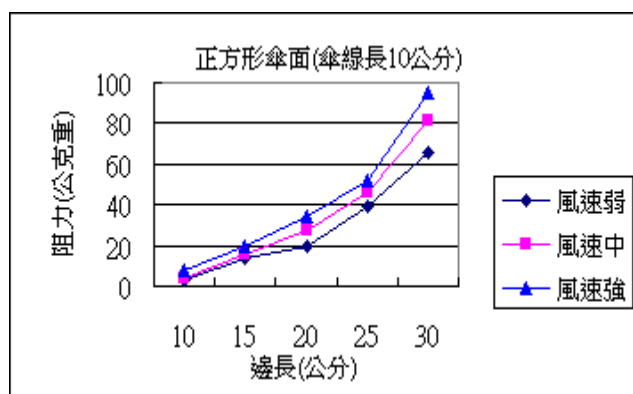
傘線長 15cm

邊長	風速弱	風速中	風速強
10	3	4	8
15	13	15	17
20	27	35	37
25	45	54	65
30	87	105	128



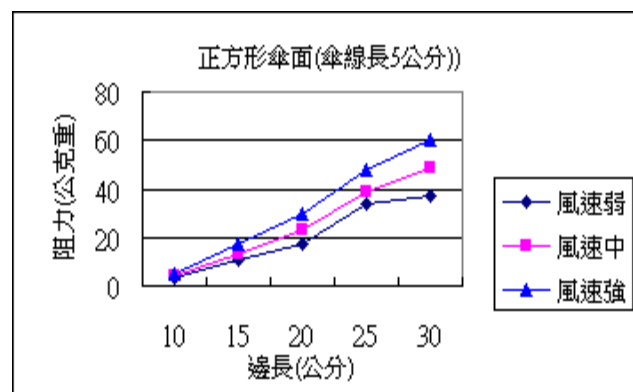
傘線長 10cm

邊長	風速弱	風速中	風速強
10	3	4	8
15	14	16	20
20	20	27	34
25	39	46	52
30	66	81	95



傘線長 5cm

邊長	風速弱	風速中	風速強
10	3	4	5
15	11	13	17
20	17	23	30
25	34	39	48
30	37	49	60



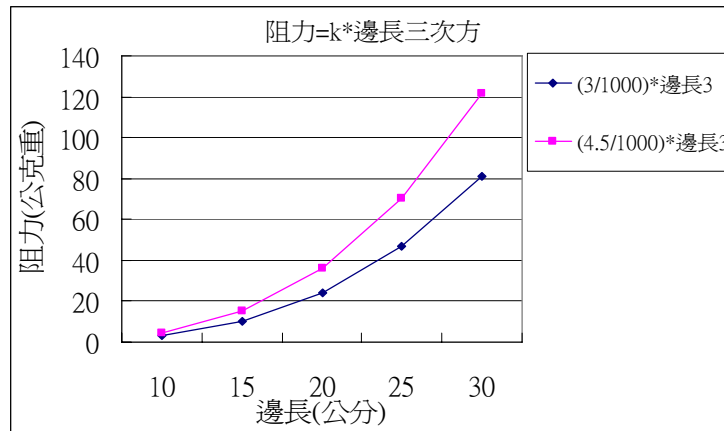
整理結論如下：

- 1、風速愈大，阻力愈大，阻力和風速成近似一次方的線性比例關係，此關係不會因傘線長度不同而改變。
- 2、正方形降落傘面，其邊長愈大，所受阻力愈大。但是比對了長度比較長的傘線(25 公分、20 公分和 15 公分)的數據後，卻發現阻力並非和邊長的平方成正比而是和邊長的三次方成正比。
- 3、傘線長 15 或是 20 公分時，阻力最大。傘線長度縮短，阻力偏離和邊長成三次方正比的關係。尤其以邊長大、面積大的降落傘偏離的差異最明顯。

【討論】1、由結論1，得到的結果和一般參考資料上顯示的阻力(Drag force) $F = \frac{1}{2} C \rho A V^2$ ，

很難看出阻力究竟應該和風速成一次方正比或是二次方正比關係？在(研究目的五)，會有室外測試版的數據做為補充說明。

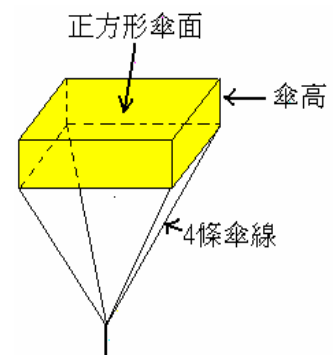
- 2、由結論 2，阻力和傘面邊長的三次方成正比（其模擬三次方的關係如下，數值大約落在 2 個常數之間），這樣又和上述的阻力方程式不相同。我們可以推論：降落傘的阻力並非和降落傘面的垂直投影面積大小成正比，而是和彎曲的傘面所包住的空氣體積大小成正比。



- 3、而結論 3 足以說明當傘線太短(傘線長 10 公分、5 公分)時，傘面彎曲的幅度太大，使得降落傘不能正常地張開，而使包住的空氣體積變少、阻力變小了。最短(5 公分)的傘線造成偏離三次方關係最大，是最佳的佐證。所以我們建議製作正方形降落傘時，傘線長度不可小於邊長。如果傘線長度過長，傘面傾向於平坦、不彎曲，無法包住較多的空氣，阻力也不能達到最大。

(二) 爲了驗證我們的推論：「阻力是和彎曲的傘面所包住的空氣體積大小成正比」，我們開始製造立體傘面的降落傘(如右圖七)，像是空盒子倒蓋的降落傘，希望增加傘面包住的空氣體積而使阻力增加。

我們製作(10*10)、(15*15)、(20*20)平方公分的正方形傘頂面積，傘線長度爲 15 公分，每隔 4 公分製做不同的傘高，測試體積的改變和阻力有何關係？其測試結果如下所示：

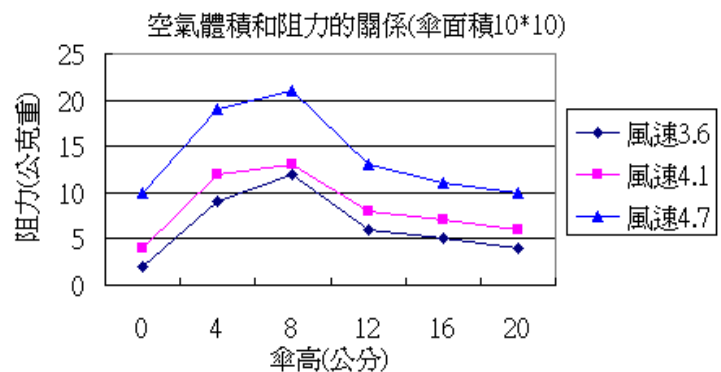


(圖七)立體的降落傘

立體降落傘，空氣體積和阻力的關係

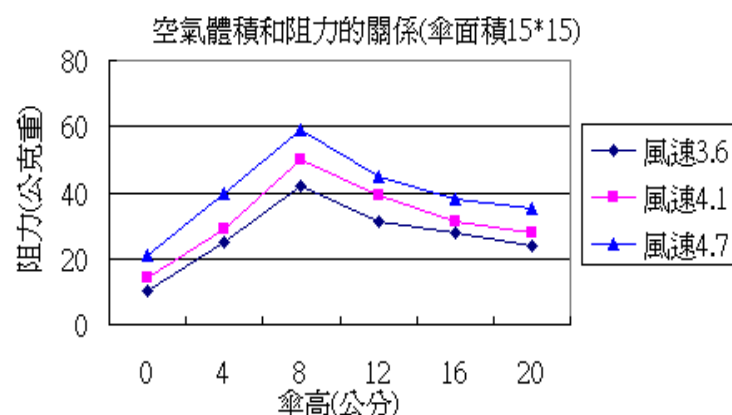
10 公分見方（傘線 15 公分）

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	2	4	10
4	9	12	19
8	12	13	21
12	6	8	13
16	5	7	11
20	4	6	10



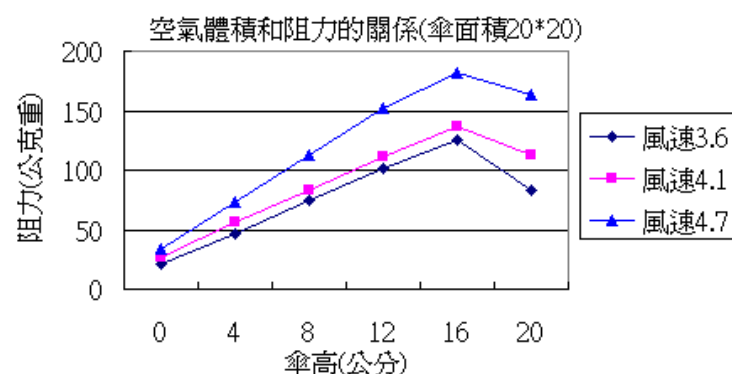
15 公分見方（傘線 15 公分）

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	10	14	21
4	25	29	40
8	42	50	59
12	31	39	45
16	28	31	38
20	24	28	35



20 公分見方（傘線 15 公分）

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	21	27	34
4	46	56	73
8	75	83	112
12	102	111	152
16	125	136	181
20	83	113	163



整理其結果如下：

- 1、立體降落傘的阻力比平面降落傘受到的阻力大。
- 2、傘的高度不大時，阻力確實和體積成正比（傘高愈大代表體積愈大）。
- 3、當傘高更大時，阻力反而變小。也就是說：**傘高有一最佳值，使阻力達到最大值。**

【討論】1、爲了明白爲什麼存在一個傘高的最佳值，我們希望藉由了解氣流通過降落傘時的狀況而獲得說明。我們採用的方法是，先製作透明的降落傘，傘高都是 20 公分。讓風洞吸入一大群塗螢光顏料的保麗龍小球(碎屑)，用數位像機拍下過程，從中剪出四張連續圖。其結果如下：

傘頂 10*10、傘高 20



（圖八）保麗龍小球從中央衝進降落傘，繞了一圈，大約 7~8 公分高，再從邊緣衝出來。

傘頂 15*15、傘高 20



(圖九) 保麗龍小球從中央衝進降落傘，繞了一圈，大約 10~11 分高，再從邊緣衝出來。

傘頂 20*20、傘高 20



(圖十) 保麗龍小球從中央衝進降落傘，繞了一圈，大約 14~15 分高，再從邊緣衝出來。

從以上的三組連續圖中，可以觀察到氣流在降落傘裡面旋轉，隱約可看到氣流以中央為對稱點，左右兩側各有一個漩渦。我們從以上的連續圖，可以推論：**氣流旋轉的最高點，就是傘高的最佳值**。當傘高逐漸增加，可以容納更多的氣流進入降落傘，撞向降落傘內壁而施予力量，使降落傘獲得比較大的向上力，因此，阻力和體積成正比。但是，當傘高超過最佳值，氣流撞擊不到降落傘的頂面而使向上的阻力變小。

另外，從對稱中央的兩個漩渦得到暗示：漩渦可能從對角線中央分兩側，也就是說，漩渦的直徑等於對角線的一半，且漩渦的直徑就是漩渦能夠到達的最高點。所以，傘高的最佳值應該等於對角線的一半。10*10 傘面的對角線之半等於 7.1cm、15*15 傘面的對角線之半等於 10.6cm、20*20 傘面的對角線之半等於 14.1cm。

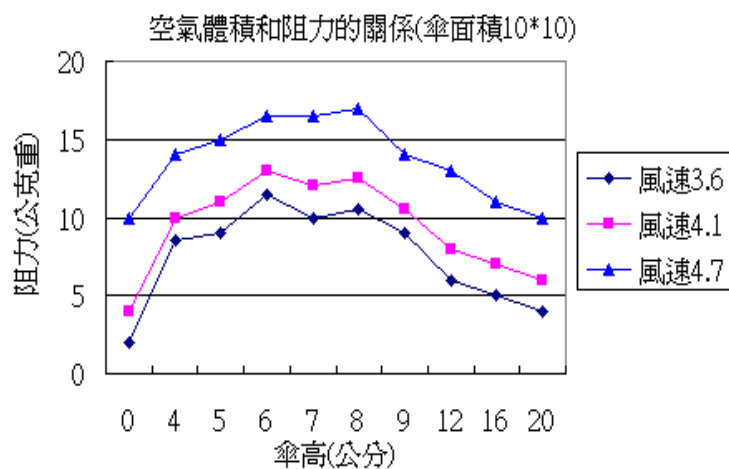
(三) 因為傘高並非連續式的增加，而是每次 4 公分的差增加，所以我們無法斷定此一傘高最佳值真正的高度和邊長有何關係。

為了驗證我們「**傘高的最佳值等於對角線一半**」的推論，我們馬上開始製造在最佳值附近，高度差 1 公分的降落傘，實驗測試的結果如下：

傘高差 1 公分的空氣體積對阻力的關係

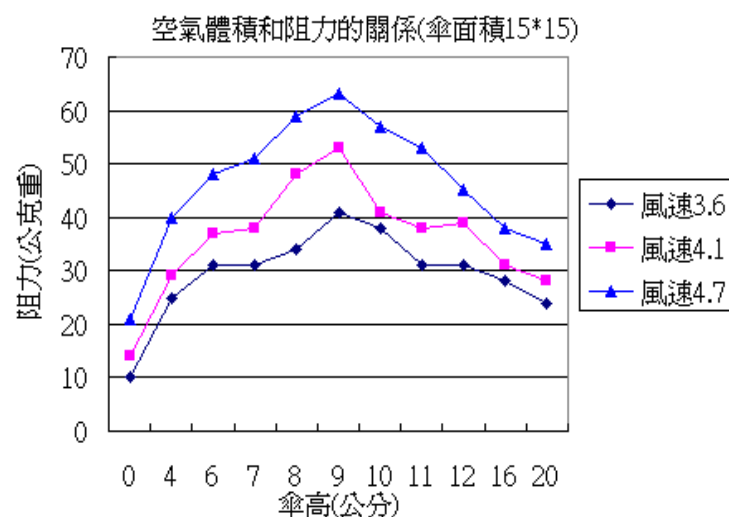
10 公分見方（傘線 15 公分）

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	2	4	10
4	8.5	10	14
5	9	11	15
6	11.5	13	16.5
7	10	12	16.5
8	10.5	12.5	17
9	9	10.5	14
12	6	8	13
16	5	7	11
20	4	6	10



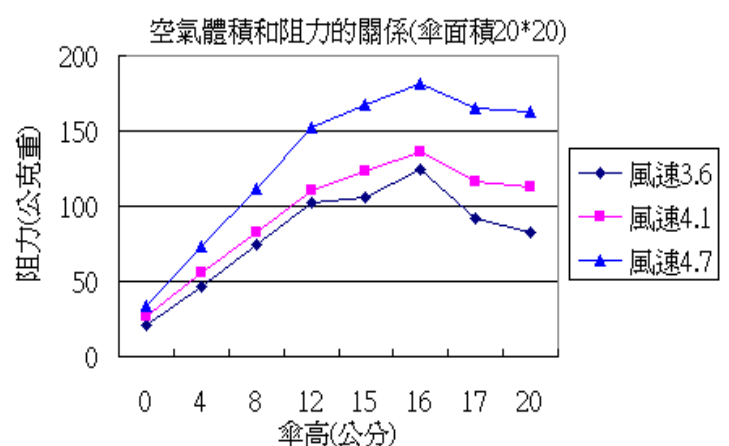
15 公分見方（傘線 15 公分）

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	10	14	21
4	25	29	40
6	31	37	48
7	31	38	51
8	34	48	59
9	41	53	63
10	38	41	57
11	31	38	53
12	31	39	45
16	28	31	38
20	24	28	35



20 公分見方（傘線 15 公分）

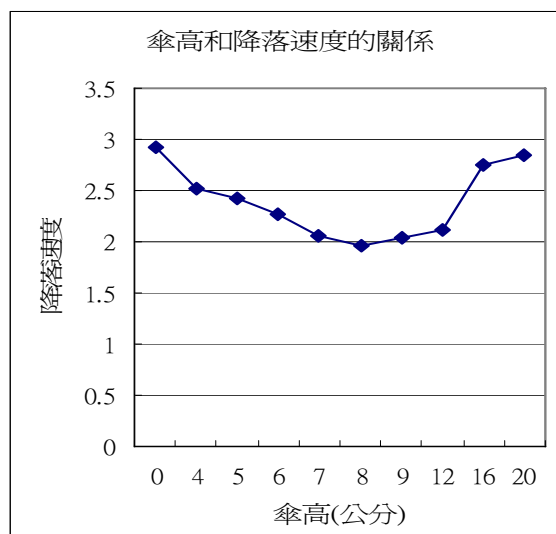
傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	21	27	34
4	46	56	73
8	75	83	112
12	102	111	152
15	106	123	167
16	125	136	181
17	92	116	165
20	83	113	163



(四) 爲了驗證降落傘在室外施放也有相同的結果，我們從 11 公尺高度施放降落傘，每組使用相同的掛重，則落下的速度愈小代表阻力愈大，結果如下：

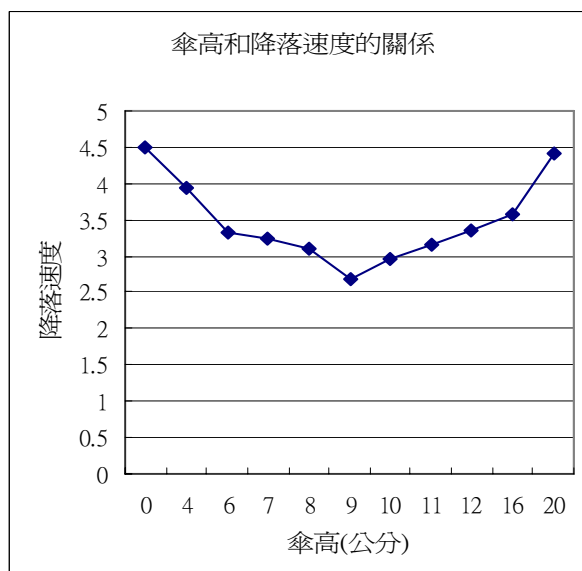
10 公分見方(傘線 15 公分)

傘高	降落時間	降落時間	降落時間	三次平均	速度 m/sec
0	3.89	3.75	3.68	3.773333	2.915194
4	4.31	4.37	4.39	4.356667	2.524866
5	4.62	4.62	4.34	4.526667	2.430044
6	4.94	4.72	4.93	4.863333	2.261823
7	5.42	5.21	5.42	5.35	2.056075
8	5.64	5.68	5.58	5.633333	1.952663
9	5.42	5.39	5.41	5.406667	2.034525
12	5.26	5.12	5.17	5.183333	2.122186
16	4.01	3.99	3.97	3.99	2.75689
20	3.9	3.87	3.86	3.876667	2.837489



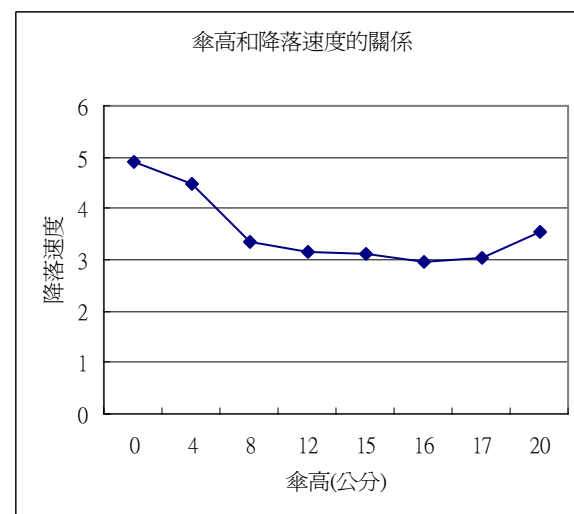
15 公分見方(傘線 15 公分)

傘高	降落時間	降落時間	降落時間	三次平均	速度 m/sec
0	2.22	2.54	2.58	2.446667	4.495913
4	2.93	2.8	2.64	2.79	3.942652
6	3.57	3.26	3.12	3.316667	3.316583
7	3.57	3.41	3.21	3.396667	3.238469
8	3.61	3.47	3.56	3.546667	3.101504
9	4.12	4.02	4.16	4.1	2.682927
10	3.76	3.73	3.7	3.73	2.949062
11	3.62	3.31	3.48	3.47	3.170029
12	3.21	3.21	3.42	3.28	3.353659
16	3.12	2.97	3.16	3.083333	3.567568
20	2.55	2.47	2.46	2.493333	4.411765



20 公分見方(傘線 15 公分)

傘高	降落時間	降落時間	降落時間	三次平均	速度 m/sec
0	2.22	2.28	2.24	2.246667	4.896142
4	2.45	2.52	2.42	2.463333	4.465494
8	3.24	3.23	3.41	3.293333	3.340081
12	3.47	3.48	3.57	3.506667	3.136882
15	3.53	3.62	3.4	3.516667	3.127962
16	3.68	3.68	3.76	3.706667	2.967626
17	3.62	3.68	3.51	3.603333	3.052729
20	3.08	3.03	3.15	3.086667	3.563715



這結果和實驗室風洞中的測試結果一致，證明降落傘拿到室外施放仍可以得到相同的結果。

由上述的結果，整理各種傘頂面積的最大值：計算值、實驗值和氣流的最高點如右表：（單位：公分）

這結果很符合「**傘高的最佳值等於對角線一半**」的推論。

傘頂面	對角線一半計算值	最佳傘高實驗數值	照片中的氣流最高點
10*10	7.1	6~8	7~8
15*15	10.6	9	10~11
20*20	14.1	16	14~15

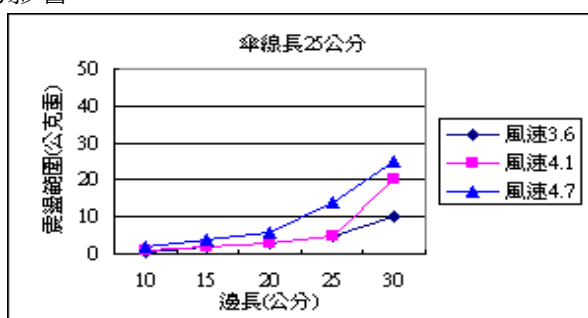
二、對於不穩定度的測試：

（一）讀取電子天平上的讀數時，數值是不停跳動的，有一個震盪範圍，我們做記錄時，統一讀取數值跳動時阻力的最大值，同時記下數值的震盪範圍，當作穩定度的指標，震盪範圍大就表示不穩定度大。其測試結果如下所示，整理其結果如下：

各面積、風速對**平面降落傘**不穩定度的影響

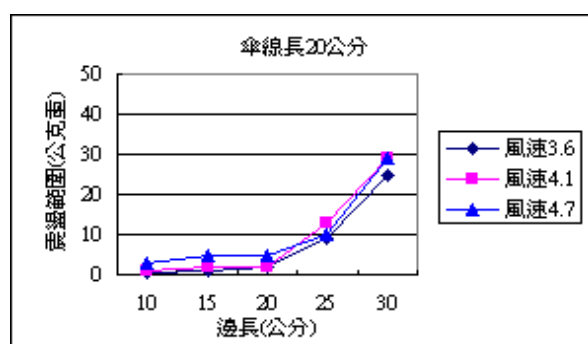
傘線長度 25cm

	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
10	0.5	1	2
15	2	2	4
20	3	3	6
25	5	5	14
30	10	20	25



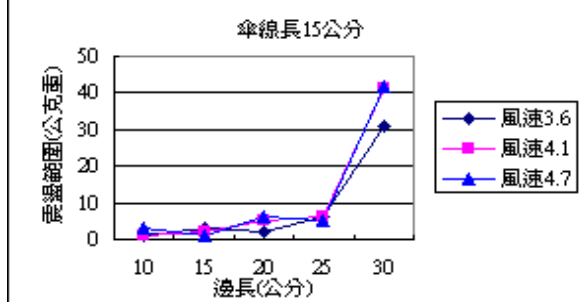
傘線長度 20cm

	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
10	0.5	1	3
15	1	2	5
20	2	2	5
25	9	13	10
30	25	29	29



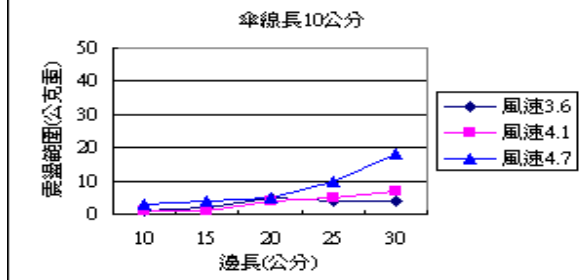
傘線長度 15cm

	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
10	1	1	3
15	3	2	1
20	2	5	6
25	6	6	5
30	31	41	42



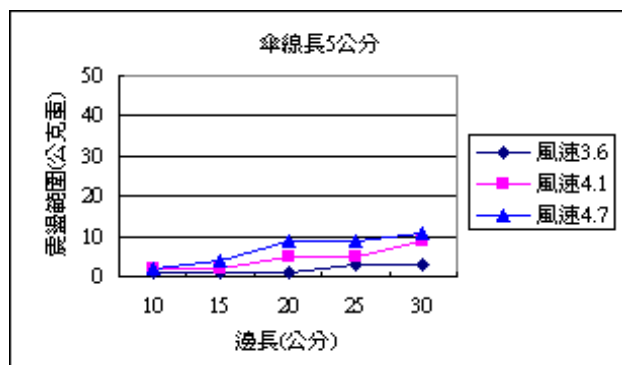
傘線長度 10cm

	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
10	1	1	3
15	2	1	4
20	5	4	5
25	4	5	10
30	4	7	18



傘線長度 5cm

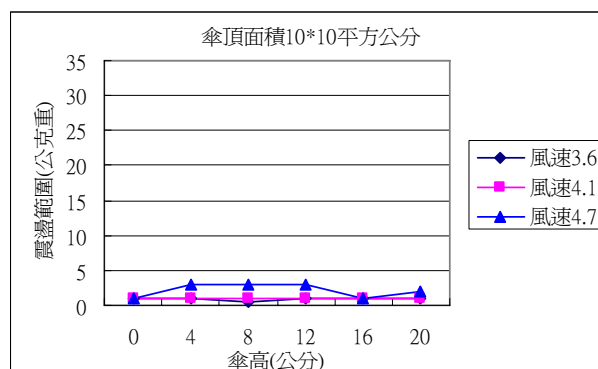
	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
10	1	2	2
15	1	2	4
20	1	5	9
25	3	5	9
30	3	9	11



傘高、風速對立體降落傘不穩定度的影響，傘線長度定 15 公分

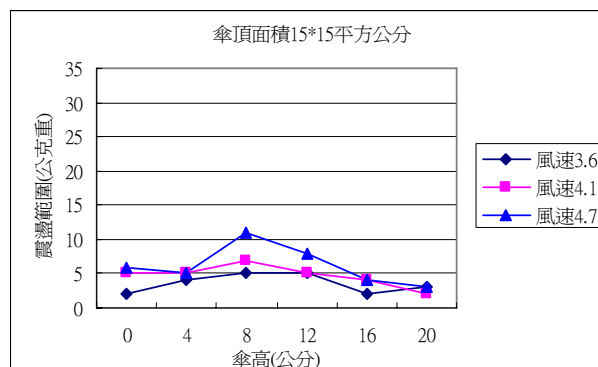
傘頂面積 10*10

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	1	1	1
4	1	1	3
8	0.5	1	3
12	1	1	3
16	1	1	1
20	1	1	2



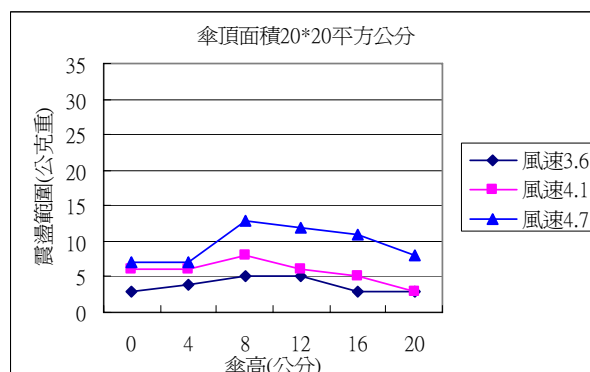
傘頂面積 15*15

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	2	5	6
4	4	5	5
8	5	7	11
12	5	5	8
16	2	4	4
20	3	2	3



傘頂面積 20*20

傘高	風速 3.6	風速 4.1	風速 4.7
0	3	6	7
4	4	6	7
8	5	8	13
12	5	6	12
16	3	5	11
20	3	3	8



結論：平面降落傘，傘面愈大，不穩定度愈大。

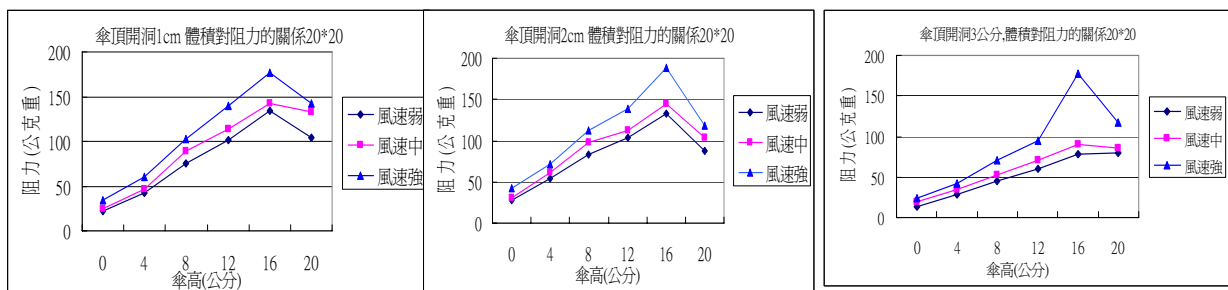
- 1、平面降落傘，傘面較小時不穩定度幾乎不受傘線長度的影響。傘面較大時，傘線長較長，有較佳的穩定效果。
- 2、平面降落傘，傘線長度太短，穩定度反而提高。
- 3、立體降落傘，傘面愈大，不穩定度愈大。當傘高度變大時，不穩定度有一最大值。
- 4、立體傘面的降落傘，其不穩定度比平面降落傘大。

【討論】1、對於平面降落傘的部份，傘面大，能包住較大的氣流，漩渦氣流從降落傘邊緣離開時所造成的不穩定度也較大。當傘線長度太短時，彎曲幅度過大的降落傘能容納的氣流少，造成不穩定度也較小。

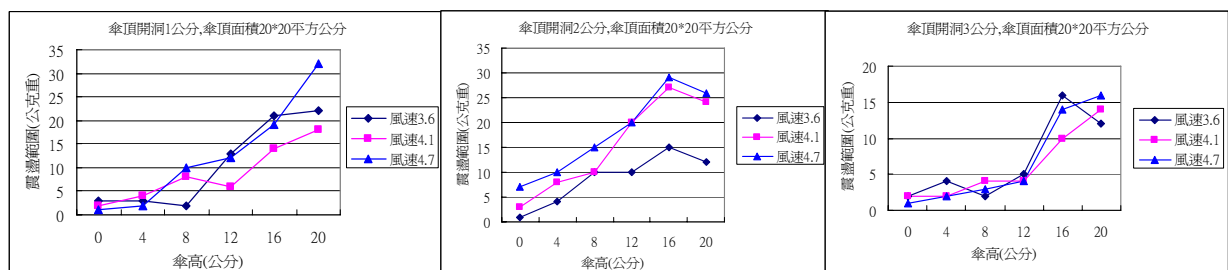
2、立體傘面能容納的氣流較大，所以當漩渦氣流通過降落傘邊緣流出時所造成的不穩定度也較大。至於不穩定度也存在一個最大值，這現象和阻力存在一個最大值很相似，相信兩者之間有定的關連性。

(二) 爲了確認阻力的最大值和不穩定度的最大值之間的關連性，我們把降落傘頂部中央分別開 1 公分、2 公分和 3 公分的小洞。再從頭測量阻力和震盪數值，得到的結果，分別列於下：

【傘頂開洞 1 公分、2 公分、3 公分，阻力和傘高的關係】（附表二、三、四只各取一代表圖形，詳細資料請見附表二、三、四）



【傘頂開洞 1 公分、2 公分、3 公分，震盪範圍和傘高的關係】（附表五、六、七只各取一代表圖形，詳細資料請見附表五、六、七）



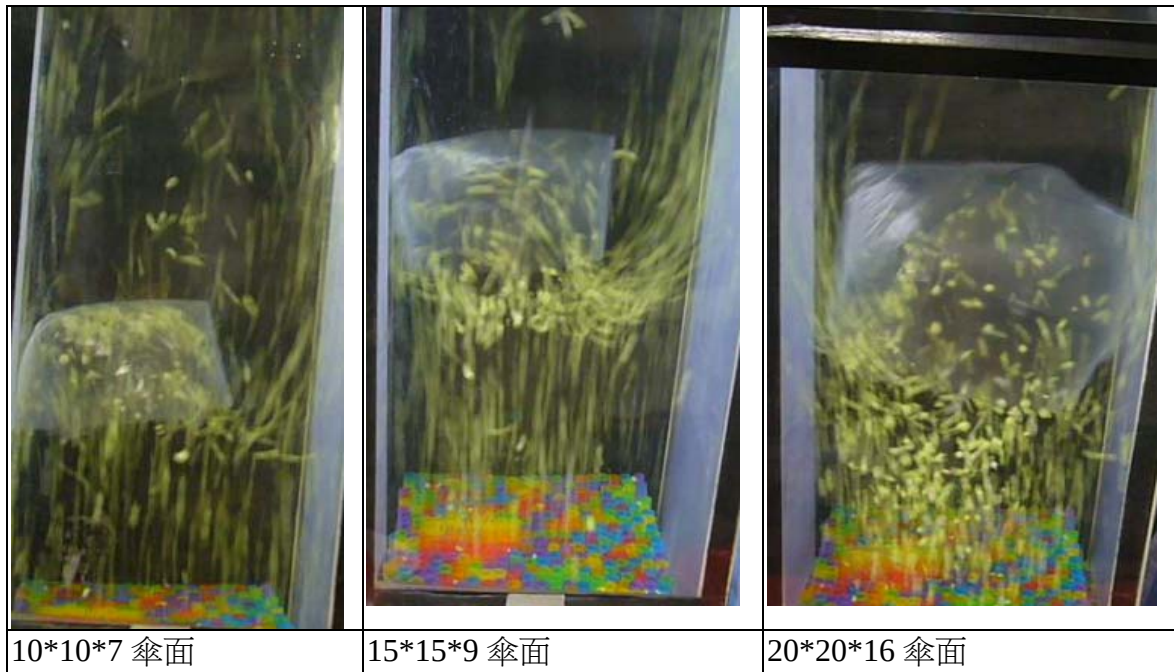
整理其結果如下：

- 1、阻力的和不穩定度的變化趨勢是相同的。驗證兩者之間必然存在一個學理上的相關性。
- 2、傘頂開洞的降落傘，當洞的直徑 1 公分、2 公分時，阻力變小、不穩定度變小，但差異不大。洞的直徑 3 公分時才有較為明顯的差異，它的阻力會降低大約 12%。

我們本來以為傘頂開洞後，可以使氣流從洞口流出一小部份，使得漩渦氣流通過降落傘時，從邊緣流出的氣流減少使不穩定度減少。更重要的是，希望引導氣流能由上方的洞流出，進而增加氣流撞擊傘頂的機會而增加向上的阻力，或是使傘高的有效高度能因此增加。但是數據上並沒有顯示這種結果。

(三) 爲了瞭解以上實驗的結果，我們採用各種傘面的最佳傘高，觀察氣流衝擊傘頂的狀況。其結果如(圖十一)顯示：

傘頂開洞 3 公分

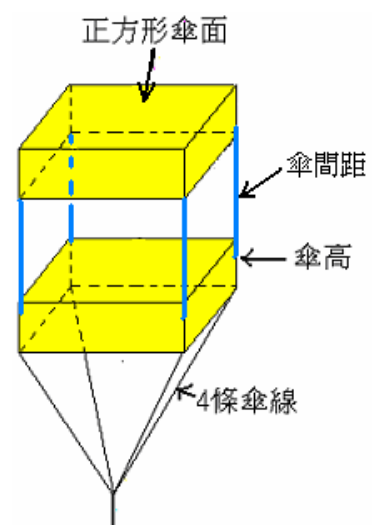


(圖十一)傘頂開洞 3 公分的降落傘,只有少部分的氣流從傘頂流出,大部分的氣流仍然維持漩渦狀從邊緣流出。

這樣顯示：傘頂開洞大至 3 公分，對於氣流仍然沒有明顯的導引作用，以致對阻力和穩定度都沒有明顯的影響。

三、兩層的降落傘(如圖十二)的阻力是否為單層降落傘的兩倍？

(一) 因為 10*10 的傘面，它的最佳傘高介於 4~8 公分之間，所以我們對於 10*10 的傘面特地做了三個不同傘高的兩層降落傘(傘間距定為 12 公分)，測量它的阻力之後，再和單層降落傘的阻力作比較。其結果整理如下：

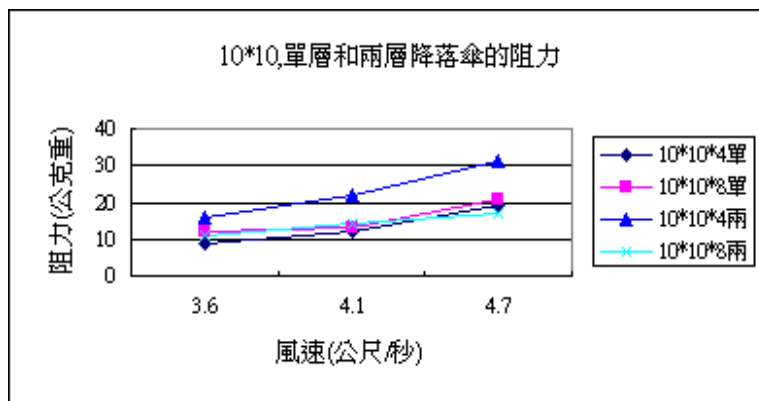


(圖十二) 兩層降落傘

兩層和單層的降落傘，阻力的比較（傘間距 12 公分）

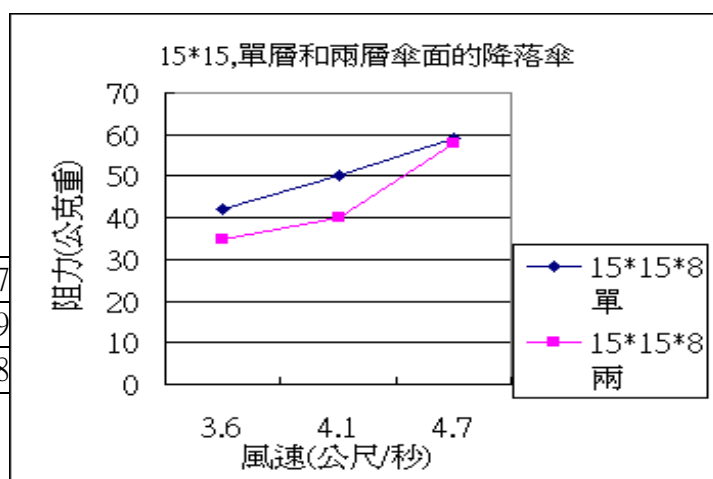
10*10 傘面的降落傘

	3.6	4.1	4.7
10*10*4 單	9	12	19
10*10*8 單	12	13	21
10*10*4 兩	16	22	31
10*10*8 兩	11	14	17



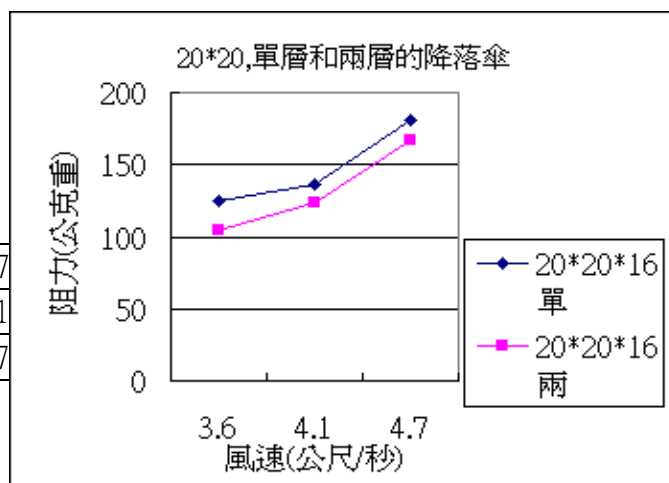
15*15 傘面的降落傘

	3.6	4.1	4.7
15*15*8 單	42	50	59
15*15*8 兩	35	40	58



20*20 傘面的降落傘

	3.6	4.1	4.7
20*20*16 單	125	136	181
20*20*16 兩	105	124	167



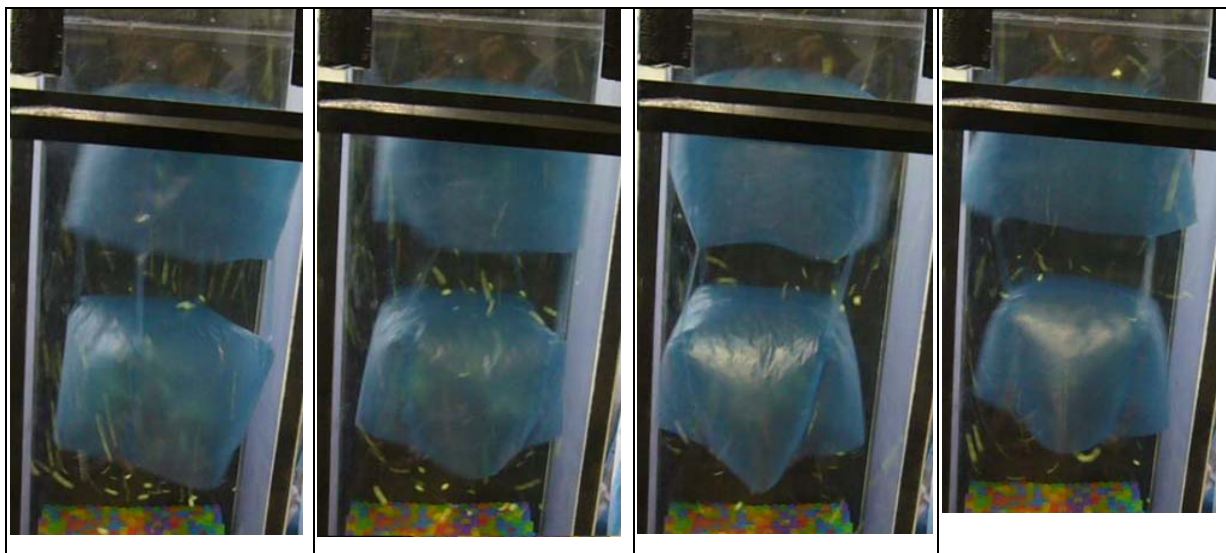
可以得到以下的結論：

- 1、傘面小，兩層降落傘獲得更大的阻力，但阻力沒有達到 2 倍。
- 2、傘面變大，降落傘的阻力反而變的比單層的降落傘更小。

（二）為了解造成上述結論的原因，我們還是藉由保麗龍球，觀察氣流在兩層降落傘間通過時的軌跡，先以 10*10 和 20*20 兩種傘面為例來說明，其結果如（圖十三）和（圖十四）：



(圖十三) 10*10*4 兩層降落傘，傘間距 12 公分。氣流通過兩層降落傘的連續圖，上層傘面也有受到氣流衝擊，上層傘面的氣流向下衝出來時，不會對下層傘面施力。



(圖十四) 20*20*16 兩層降落傘，傘間距 12 公分。氣流通過兩層降落傘的連續圖，上層傘面較少受到氣流衝擊，且上層傘面的氣流向下衝出來時，會對下層傘面施一向下的力。

- 【討論】
- 1、由於下一層傘面的阻擋，氣流並沒有完全到達上一層傘面，所以傘面小，阻力會比單層傘面大，但是並沒有達到兩倍。
 - 2、當傘面更大，氣流被下一層傘面阻擋更嚴重，所以較少的氣流撞擊上一層傘面，並且撞擊後會向下彈到下一層傘面，向下施予一個力量，阻力反而會變小。
 - 3、傘面大，氣流通過傘面產生的漩渦較大，會撞擊到上一層傘面，而向下施予一個力量，也使得阻力反而會變小。

四、兩層降落傘的傘面間隔距離和阻力有何關聯？

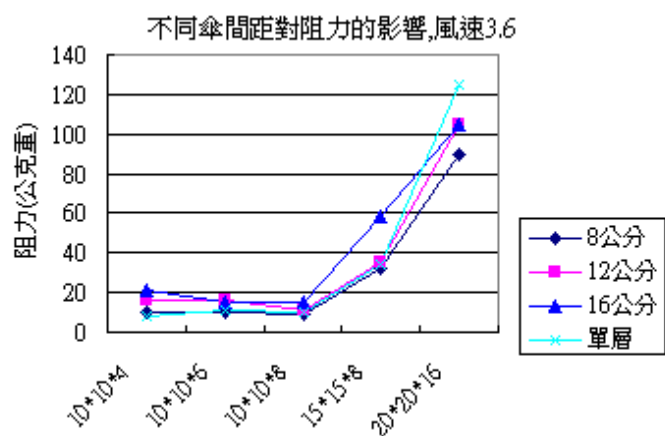
因為漩渦氣流通過大小傘面時所產生的漩渦大小並不相同，導致產生的阻力有建設性和破壞性之差別。阻力的大小和兩層傘面之間間距有什麼關係呢？我們把原來 12 公分

的間距縮小為 8 公分及擴大為 16 公分，分別測試它的阻力大小並且和單層傘面作一比較，整理其結果如下

不同傘間距的兩層降落傘，阻力的變化

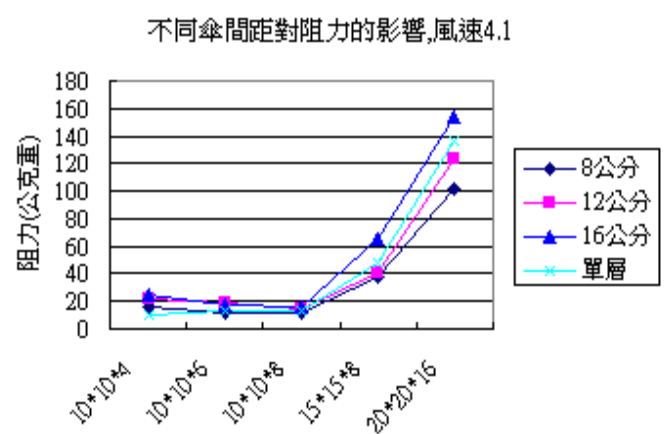
兩層傘，傘間距 8 公分、12 公分、16 公分。風速 3.6

	8 公分	12 公分	16 公分	單層
10*10*4	10	16	21	8.5
10*10*6	10	16	15	11.5
10*10*8	9	11	15	10.5
15*15*8	32	35	58	34
20*20*16	90	105	105	125



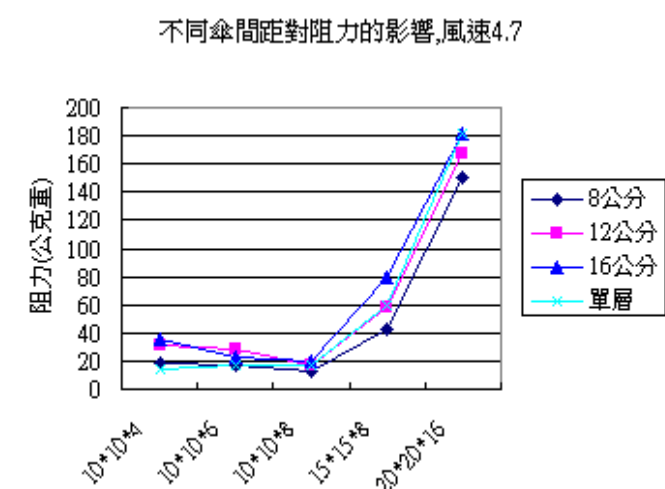
兩層傘，傘間距 8 公分、12 公分、16 公分。風速 4.1

	8 公分	12 公分	16 公分	單層
10*10*4	16	22	24	10
10*10*6	12	19	18	13
10*10*8	11	14	16	12.5
15*15*8	38	40	65	48
20*20*16	101	124	154	136



兩層傘，傘間距 8 公分、12 公分、16 公分。風速 4.7

	8 公分	12 公分	16 公分	單層
10*10*4	18	31	35	14
10*10*6	17	29	22	16.5
10*10*8	13	17	20	17
15*15*8	43	58	79	59
20*20*16	150	167	181	181



可得到下列的結論：

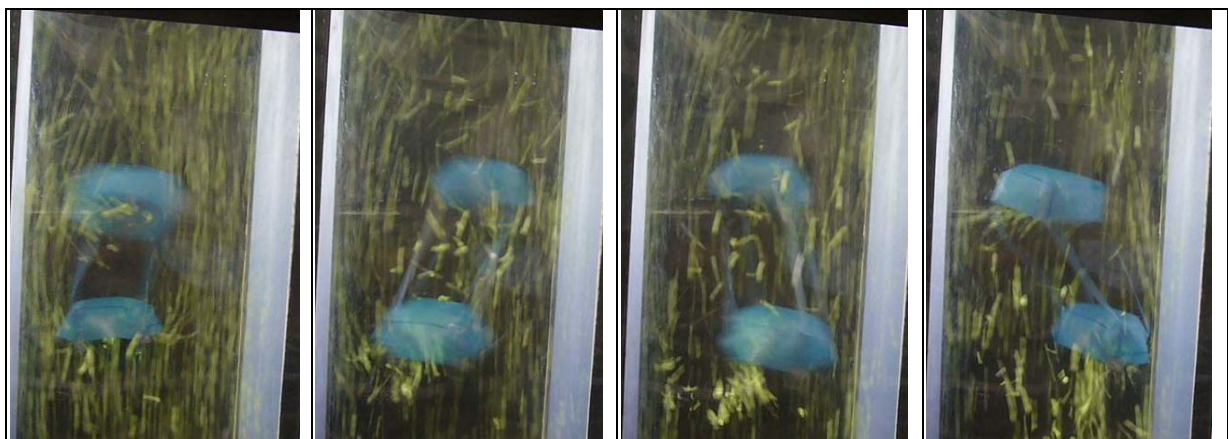
- 1、傘間距縮小，阻力變小；間距變大，阻力變大。
- 2、傘面小的降落傘，間距小，阻力會比單層降落傘小；傘間距變大，阻力會變大到逼近單層傘面的兩倍。傘面大的降落傘，在我們有限的實驗空間裡，其間距還很難大到阻力比單層傘面更大。

【討論】1、以下四張連續圖（圖十五至圖十八）可以說明：兩層降落傘的間距太小，上層傘面都受不到氣流衝擊。阻力變小。拉大傘間距，上層降落傘才能受到氣流衝擊，阻力變大。

- 2、傘間距加大，衝擊上層傘的氣流，向下衝出時，不容易向下撞擊到下層傘（不容易有向下的力）。



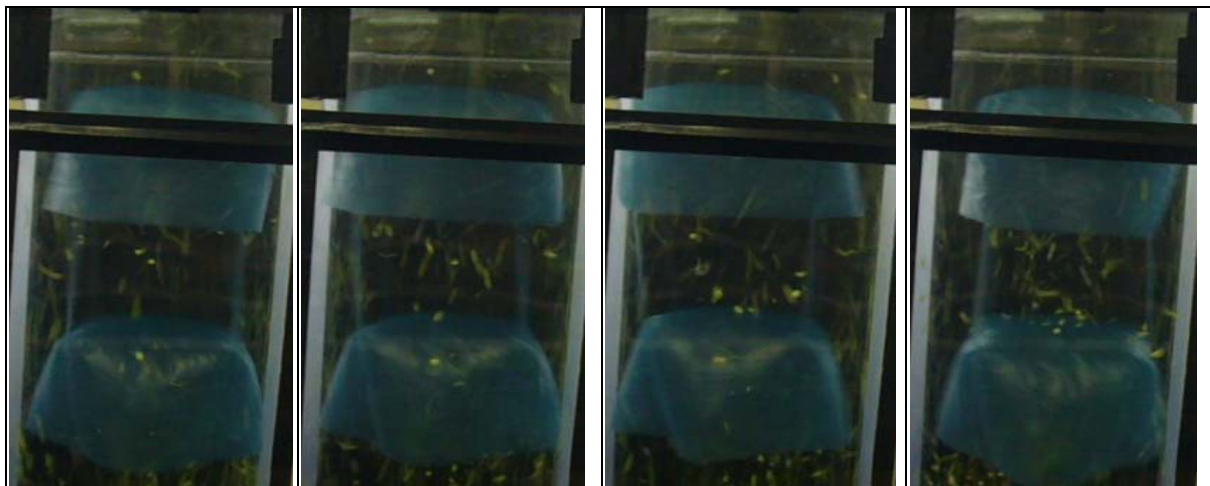
（圖十五）10*10*4 兩層降落傘，傘間距 8 公分。氣流通過兩層降落傘的連續圖。注意上層的降落傘幾乎沒有受到氣流衝擊。



（圖十六）10*10*4 兩層降落傘，傘間距 16 公分。氣流通過兩層降落傘的連續圖。注意上層的降落傘也有受到氣流衝擊。



(圖十七) 20*20*16 兩層降落傘，傘間距 8 公分。氣流通過兩層降落傘的連續圖。注意上層的降落傘沒有受到氣流衝擊，軟弱無力掉了下來貼在下層傘上。



(圖十八) 20*20*16 兩層降落傘，傘間距 16 公分。氣流通過兩層降落傘的連續圖。注意上層的降落傘也有受到氣流衝擊。

五、降落傘的阻力和落下的速度有什麼關係？

我們把降落傘拿到室外，以降落傘懸吊寶特瓶，改變水量即可得到我們想要測試的物重，從參考資料顯示：降落傘會在很短的時間（大約 0.5 秒）內達到終端速度，所以，先假設每一次的施放，降落傘都是保持等速度（終端速度）自由落下。只要量好了落下高度，測到落下的滯空時間，即可換算速度。我們採用放大版的降落傘分別測試（高度 7.68 公尺），測試結果如下表所示：



74*74*50 降落傘

物重（傘＋水瓶）	86.7 公克	86.7*4 公克	86.7*9 公克
速度（公尺/秒）	0.95	2.56	4.08

【討論】如果按照理論值，阻力(Drag force) $F = \frac{1}{2} C \rho A V^2$ ，阻力和速度的平方成正比。但

是我們改變物重為 4 倍、9 倍，預期應該會得到速度是 2 倍、3 倍，但是卻遠超過這個倍數。加上在研究結果一、得到的結果是：阻力和速度的關係是近似一次方的正比。根據以上的實驗數值，我們找到一個近似的方程式： $F = 93.6 * v^{1.5}$ 來匹配它。說明降落傘的阻力大約和速度的 1.5 次方成正比。

陸、結論

- 1、可以使用自製的風扇風速計，用學校的風速計加以校正後，放進風洞裡測出風洞內的風速大小。
- 2、風洞裡靠近四面內壁的風速會因氣流摩擦阻力而變小，可以把整流吸管的長度剪短而獲得改善。
- 3、平面降落傘的阻力和彎曲的降落傘面包住的空氣體積大小成正比，而不是和降落傘的垂直投影面積大小成正比。
- 4、立體降落傘包住了更多的空氣使得阻力變的更大，是因為有更大量的漩渦氣流衝擊到降落傘面。
- 5、立體降落傘的傘高不可以太大，傘高超過某一高度後阻力反而減小。最適宜的高度大約是降落傘垂直投影面對角線的一半附近。
- 6、立體降落傘的傘頂開洞，當洞口小，幾乎不影響漩渦氣流的流動，阻力幾乎不受影響。當洞口大，有部分氣流會從洞口流出，阻力會變小，但是提高了降落傘的穩定度。
- 7、降落傘的阻力愈大，表示衝擊傘面的氣流愈多，當氣流離開傘面邊緣時，造成的不穩定度會變大。
- 8、平面降落傘的傘線長度太長會導致傘面彎曲程度不夠大，包住的空氣不多，阻力不是最大。如果傘度比邊長的一半還短，傘面彎曲程度過大，包住的空氣會減少，也會導致氣流無法衝到最高點。所以，傘線最好介於對角線的一半至邊長之間。
- 9、兩層的降落傘，當兩層之間間距太小，會導致上層的降落傘沒有受到氣流的衝擊，更嚴重的是通過下層傘面的漩渦氣流轉到上方後會撞擊上層傘面的上方，使得阻力反而比單層傘面更小。間距加大，阻力變大，但是不會大到是單層降落傘的兩倍大。
- 10、降落傘的阻力大約是速度的 1.5 次方正比關係。

柒、參考資料及其他

- 1、羅道正，降落傘的物理原理及其教學應用，甲大學物理教學研究中心暨光電物理研究所，djlwo@fcu.edu.tw
- 2、<http://cedesign.me.ncu.edu.tw>，降落傘之設計。
- 3、Halliday, David Fundamentals of physics, extended third edition, page109, 1988

評 語

031611 降落傘阻力大追查

1. 使用自製的風洞，並自行設計控制變因來探討問題，具有實驗精神。
2. 雖然類似的問題在往年及文獻上多有探討，但仍能找出新的探討重點，並詳加分析，實屬難得。
3. 數據完整，惟在定量的分析上，可再改進。