

# 「小洞洞，大學問」— 高爾夫球面之探討

## 初小組物理科第一名

台北縣丹鳳國民小學

作者：何政瑜、張博雅  
指導教師：簡樹文

### 一、研究動機

有一天我在放學的途中撿到一顆高爾夫球，我拿在手中撫玩著，忽然間，我覺得有一個疑問，為什麼高爾夫球的表面會一個洞一個洞的呢？第二天到校後我請教老師，老師說：有洞洞的表面可能可以增加在草皮上的滾動能力，也可能可以減少它在空氣中飛行時的阻力，所以才能把高爾夫球打得很好。真的是這樣嗎？我有點懷疑。如果真是確定如此的話，那麼什麼樣的凹洞才是最理想的呢？多深？多大？多密？什麼形狀？……為解決這一連串的疑問，於是和同學們在老師的指導下一起做這項研究！

### 二、研究目的

- (一)探討比較表面凹洞與否的球體在空氣中與草地上移動的優越性
- (二)探尋在流體中行進的最佳表面凹洞的球體
- (三)探討比較其他形體表面凹洞與否在水中行進的速度。

### 三、研究問題

- (一)表面有凹洞的球比表面光滑的球在草地上滾動較遠的距離嗎？
- (二)表面有凹洞的球比表面光滑的球在空氣中能飛行較遠的距離嗎？
- (三)表面有凹洞的球比表面光滑的球有較好的爬坡能力嗎？
- (四)表面有凹洞的球在空氣中或水中行進時，所受的干擾情形比表面光滑的球少嗎？
- (五)凹洞的面積會影響球體飛行的距離、滾動的距離、爬坡能力及在水中行進的速度嗎？
- (六)凹洞的深淺會影響球體飛行的距離、滾動的距離、爬坡能力及在水中行進的速度嗎？

- (七)凹洞的分布會影響球體飛行的距離、滾動的距離、爬坡能力及在水中行進的速度嗎？
- (八)凹洞的形狀會影響球體飛行的距離、滾動的距離、爬坡能力及在水中行進的速度嗎？
- (九)除球體外，其他形體表面上的凹洞也能使其在水中行進的速度加快嗎？

## 四、實驗器材

紙黏土、電子秤、皮尺、自製彈射器、保特瓶、地毯、計時器、自製風洞。

## 五、實驗過程與結果

問題(一)：表面有凹洞的球體比表面光滑的球體在空氣中能飛行較遠的距離嗎？

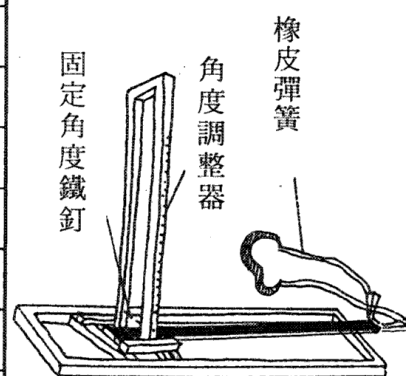
實驗 1：我們將紙黏土搓成圓球，每一粒的重量相等（50 克），分成比較組（表面有凹洞）和對照組（表面光滑）在同一彈射器，相同的彈力（橡皮同樣拉長 20 公分）下，每組實驗 5 次，比較其射程。

（以下從實驗二到實驗八之實驗用的球體及彈射方法皆同此）

結果：有凹洞的球不管任何角度都比同一射角的沒有凹洞球的射得遠。（如表 1）

表 一：凹洞與光滑射程測試表

距離(公尺)	次數	組別					平均
		一	二	三	四	五	
15°	光滑	4.65	4.61	4.68	4.67	4.62	4.65
	有凹洞	5.03	5.05	5.00	5.09	5.06	5.05
30°	光滑	7.25	7.28	7.31	7.22	7.20	7.25
	有凹洞	7.70	7.70	7.68	7.73	7.74	7.71
45°	光滑	7.60	7.62	7.58	7.55	7.62	7.59
	有凹洞	8.15	8.18	8.19	8.16	8.15	8.16
60°	光滑	5.92	5.90	5.95	5.95	5.94	5.93
	有凹洞	6.35	6.33	6.33	6.36	6.34	6.34



問題(二)：表面上有凹洞的球體比表面光滑的球體在草地上能滾動較遠的距離嗎？

實驗 2：方法如前，但因草地上性質不同所以我們以組合式地毯代替草地。彈射器橡皮拉長到 12 公分的位置（以下滾動之實驗皆同）

結 果：

- ①如表 2：球面凹洞與光滑之滾動測試表。
- ②球面有凹洞比球面光滑滾得遠，但相差不大。

次 數		一	二	三	四	五	平 均
距 離 (公 尺)	光 滑	11.35	11.28	11.34	11.30	11.24	11.30
	有凹洞	11.41	11.36	11.30	11.32	11.28	11.33

問題(三)：表面有凹洞的球體比表面光滑的球有較好的爬坡能力嗎？

實驗 3：我們將模擬草地的地毯布置成坡度分別為  $15^\circ$ 、 $30^\circ$ 、或  $45^\circ$  的情形。其餘方法如前。

結 果：

- ①如表 3：球面凹洞與光滑的爬坡力測試表
- ②球面有凹洞的爬坡力比球面光滑的爬坡力強

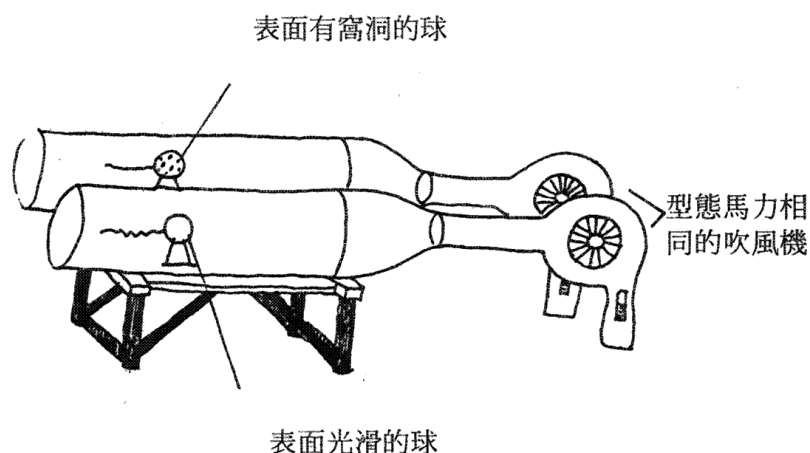
表三：凹洞與光滑爬坡測試表

距 離 (公 尺)	次 數	一	二	三	四	五	平 均
		組別					
坡 度 $15^\circ$	光 滑	5.63	5.60	5.56	5.65	5.58	5.60
	有凹洞	5.81	5.76	5.79	5.75	5.73	5.77
坡 度 $30^\circ$	光 滑	4.56	4.50	4.48	4.51	4.46	4.52
	有凹洞	4.72	4.68	4.66	4.70	4.66	4.68
坡 度 $45^\circ$	光 滑	3.16	3.10	3.11	3.08	3.06	3.10
	有凹洞	3.41	3.38	3.36	3.40	3.37	3.38

問題(四)：表面有凹洞的球體在空氣中或水中行進時受干擾的情形比表面圓滑的球體少嗎？

實驗 4：我們以保特瓶連成一長管，管中央固定一顆表面有凹洞的球，球後面連接細線。管口以風扇吹入氣流，觀看球後面細線震動的形態。同樣的控制變因下比較對照組的情形。

結 果：如相片所示，表面有凹洞的球體，後面的細線平直飄起，波浪情形很少。而表面平滑的球後面細線則呈上下起伏的波浪狀，甚至左右旋轉極不穩定。（如圖）



實驗 5：我們用紅墨水塗在有凹洞球與表面光滑的球的周圍，沈落由保特瓶製成之水管中，觀察其顏色散布之情形。

結果：有凹洞球面落水後其紅色水散的較慢。而表面光滑的球落水後其紅色水散布的較快，表示水流較為紊亂。

問題(五)：凹洞的面積會影響球飛行的距離、滾動的距離、爬坡的能力及在水中行進的速度嗎？

說明：面積的不同，我們分二組方式探討，第一種是凹洞的個數相同，但洞的直徑不同。第二種是洞的直徑相同，但個數不同，即間隔距離不同。

實驗 6：本實驗分為四個項目。我們在球面平均打上個數相同的凹洞（50 個），洞的直徑分別為 1 公厘、2 公厘、3 公厘、4 公厘、5 公厘、6 公厘，和對照組（沒有凹洞）的球比較他們在空中的射程（射角為  $45^\circ$ ），在地毯上滾動的距離，爬坡的距離（坡度為  $30^\circ$ ）。及在水管中滑落等距離（120 公分）的秒數。

（以下各實驗之射角、坡度、滑落距離皆同此）

結果：

- ①凹洞 3 公厘的射程最遠。（如表 4）
- ②凹洞愈大滾的距離愈近，但凹洞 1 到 3 公厘的距離相差很小。（如表 5）
- ③爬坡力最好的是凹洞 4 公厘。（如表 6）
- ④滑落速度最快的是凹洞 3 公厘。（如表 7）

表四：凹洞直徑大小不同射程測試表

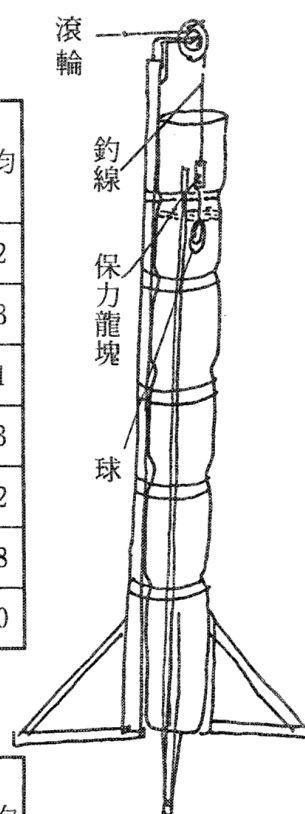
距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞直徑 1 公厘	7.60	7.58	7.64	7.64	7.52	7.62
凹洞直徑 2 公厘	7.71	7.75	7.70	7.76	7.75	7.73
凹洞直徑 3 公厘	8.03	8.08	8.10	8.04	8.09	8.07
凹洞直徑 4 公厘	7.78	7.82	7.83	7.84	7.84	7.82
凹洞直徑 5 公厘	7.70	7.68	7.66	7.68	7.71	7.69
凹洞直徑 6 公厘	7.64	7.65	7.66	7.64	7.63	7.64
沒有凹洞	7.62	7.58	7.60	7.61	7.56	7.59

表五：凹洞直徑大小不同滾動測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞直徑 1 公厘	11.33	11.35	11.30	11.29	11.32	11.32
凹洞直徑 2 公厘	11.35	11.33	11.30	11.31	11.34	11.33
凹洞直徑 3 公厘	11.35	11.32	11.28	11.30	11.31	11.31
凹洞直徑 4 公厘	11.04	11.02	11.05	11.01	11.04	11.03
凹洞直徑 5 公厘	10.76	10.73	10.70	10.71	10.71	10.72
凹洞直徑 6 公厘	10.15	10.19	10.20	10.16	10.19	10.18
沒有凹洞	11.32	11.30	11.29	11.28	11.29	11.30

表六：凹洞大小不同之爬坡距離測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞直徑 1 公厘	4.71	4.73	4.73	4.70	4.71	4.72
凹洞直徑 2 公厘	4.78	4.76	4.81	4.81	4.78	4.79
凹洞直徑 3 公厘	4.86	4.88	4.86	4.85	4.89	4.87
凹洞直徑 4 公厘	4.92	4.96	4.93	4.95	4.90	4.93
凹洞直徑 5 公厘	4.84	4.86	4.83	4.85	4.83	4.84
凹洞直徑 6 公厘	4.78	4.78	4.76	4.75	4.74	4.76
沒有凹洞	4.70	4.65	4.69	4.67	4.67	4.68



表七：凹洞大小不同之水中滑落速度表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞直徑 1 公厘	3.58	3.56	3.54	3.56	3.58	3.56
凹洞直徑 2 公厘	3.26	3.28	3.26	3.25	3.28	3.27
凹洞直徑 3 公厘	2.90	2.86	2.92	2.88	2.88	2.89
凹洞直徑 4 公厘	3.09	3.08	3.06	3.09	3.07	3.08
凹洞直徑 5 公厘	3.42	3.44	3.42	3.45	3.40	3.42
凹洞直徑 6 公厘	3.50	3.51	3.54	3.54	3.50	3.52
沒有凹洞	3.60	3.68	3.70	3.66	3.65	3.66

實驗 7：我們在球面上打上一樣大的凹洞（直徑 3 公厘）洞與洞之間的距離分別為 1 公厘、2 公厘、3 公厘、4 公厘、5 公厘，和對照組比較他們在射程距離滾動距離、爬坡距離及在水中滑落的速度。

結果：

- ①以洞距 2 公厘的射程最遠。（如表 8）
- ②以洞距 3 公厘的滾動距離最遠。（如表 9）
- ③以洞距 3 公厘的爬坡距離最遠。（如表 10）
- ④以洞距 2 公厘在水中滑落的速度最快。（如表 11）

表八：凹洞個數不同之射程測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞間距 1 公厘	8.41	8.45	8.38	8.42	8.43	8.42
凹洞間距 2 公厘	8.52	8.55	8.51	8.55	8.54	8.53
凹洞間距 3 公厘	8.37	8.36	8.36	8.34	8.32	8.35
凹洞間距 4 公厘	8.09	8.06	8.10	8.05	8.11	8.08
凹洞間距 5 公厘	7.86	7.88	7.82	7.82	7.87	7.85
沒有凹洞	7.62	7.58	7.60	7.61	7.56	7.59

表九：凹洞個數不同之滾動距離測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞間距 1 公厘	11.28	11.26	11.30	11.28	11.29	11.28
凹洞間距 2 公厘	11.33	11.33	11.32	11.35	11.34	11.33
凹洞間距 3 公厘	11.37	11.35	11.35	11.39	11.37	11.37
凹洞間距 4 公厘	11.23	11.25	11.25	11.22	11.24	11.24
凹洞間距 5 公厘	11.13	11.11	11.09	11.12	11.12	11.13
沒有凹洞	11.28	11.31	11.30	11.29	11.29	11.30

表十：凹洞個數不同之爬坡距離測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞間距 1 公厘	4.71	4.71	4.69	4.67	4.70	4.70
凹洞間距 2 公厘	4.92	4.90	4.90	4.93	4.88	4.91
凹洞間距 3 公厘	5.02	4.96	4.98	5.01	4.98	4.99
凹洞間距 4 公厘	4.91	4.86	4.86	4.84	4.85	4.86
凹洞間距 5 公厘	4.73	4.75	4.76	4.74	4.74	4.74
沒有凹洞	4.69	4.66	4.69	4.68	4.67	4.68

表十一：凹洞個數不同之水中滑落速度表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞間距 1 公厘	2.90	2.92	2.92	2.88	2.91	2.91
凹洞間距 2 公厘	2.72	2.75	2.70	2.71	2.69	2.71
凹洞間距 3 公厘	2.96	3.01	2.94	2.92	2.95	2.96
凹洞間距 4 公厘	3.06	3.08	3.10	3.05	3.04	3.07
凹洞間距 5 公厘	3.21	3.23	3.26	3.18	3.20	3.22
沒有凹洞	3.64	3.68	3.65	3.66	3.67	3.66

表十二：凹洞深度不同之射程測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞間距 1 公厘	8.44	8.42	8.40	8.45	8.41	8.42
凹洞間距 2 公厘	8.66	8.69	8.71	8.68	8.70	8.69
凹洞間距 3 公厘	8.53	8.49	8.48	8.51	8.53	8.51
凹洞間距 4 公厘	8.21	8.18	8.16	8.15	8.17	8.17
凹洞間距 5 公厘	7.95	7.98	8.03	8.04	7.98	7.99
沒有凹洞	7.62	7.58	7.61	7.60	7.56	7.59

表十三：凹洞深度不同之滾動距離測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞間距 1 公厘	11.31	11.32	11.32	11.33	11.34	11.32
凹洞間距 2 公厘	11.31	11.30	11.32	11.33	11.29	11.31
凹洞間距 3 公厘	11.28	11.30	11.29	11.32	11.32	11.30
凹洞間距 4 公厘	11.31	11.31	11.33	11.29	11.30	11.31
凹洞間距 5 公厘	11.28	11.28	11.32	11.31	11.32	11.30
沒有凹洞	11.28	11.31	11.30	11.29	11.29	11.30

問題(六)：凹洞的深淺會影響球體飛行的距離、滾動距離、爬坡距離及在水中滑落的的速度嗎？

實驗 8：我們在球體上分別打上大小一樣（直徑 3 公厘）的凹洞，凹洞的距離也一樣（間距 2 公厘）但洞的深度分別為 1 公厘、2 公厘、3 公厘、4 公厘、5 公厘，和對照組比較其射程，滾動、爬坡距離及在水中滑落的的速度。

結果：

- ①凹洞深度 2 公厘時的射程最遠。（如表 12）
- ②凹洞深度與滾動距離關係不大。（如表 13）
- ③凹洞深度 4 公厘與 5 公厘的爬坡距離最遠。（如表 14）
- ④凹洞深度 2 公厘時在水中滑落速度最快。（如表 15）



表十四：凹洞深度不同之爬坡距離測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞深 1 公厘	4.81	4.83	4.79	4.78	4.85	4.81
凹洞深 2 公厘	4.88	4.85	4.86	4.88	4.85	4.86
凹洞深 3 公厘	4.91	4.90	4.94	4.92	4.94	4.92
凹洞深 4 公厘	5.06	5.05	5.08	5.09	5.10	5.08
凹洞深 5 公厘	5.09	5.06	5.07	5.08	5.07	5.07
沒有凹洞	4.68	4.66	4.69	4.69	4.67	4.68

表十五：凹洞深度不同之滑落速度表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
凹洞深 1 公厘	2.96	2.95	2.98	2.99	2.94	2.96
凹洞深 2 公厘	2.66	2.63	2.68	2.60	2.69	2.65
凹洞深 3 公厘	2.93	2.90	2.94	2.93	2.89	2.92
凹洞深 4 公厘	3.24	3.26	3.22	3.28	3.25	3.25
凹洞深 5 公厘	3.55	3.57	3.58	3.57	3.55	3.56
沒有凹洞	3.68	3.64	3.65	3.66	3.67	3.66

問題(七)：凹洞的分布情形會影響球體飛行距離、滾動距離、爬坡距離及在水中滑落的  
速度嗎？

實驗 9：我們在球體上打上大小相同、深度相同的凹洞，但分布情形不同的各  
組。如下圖示：



和對照組比較它們在飛行距離、滾動距離、爬坡距離及在水中滑落的  
速度。

結果：












①凹洞平均分布於球體的形狀，射程最遠。(如表 16)

②凹洞排列情形為 的滾動的距離較遠，而排列情形 滾得最近。(如表 17)











③凹洞平均分布於球體的形狀爬坡距離最遠。(如表 18 )

④凹洞平均於球體的形狀在水中滑落的速度最快(如表 19 )












表十六：凹洞分布情形不同之射程測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
	8.35	8.33	8.36	8.38	8.36	8.35
	7.78	7.75	7.74	7.76	7.79	7.76
	8.65	8.68	8.72	8.65	8.70	8.68
	8.26	8.27	8.29	8.26	8.28	8.27
	8.41	8.43	8.44	8.39	8.42	8.42
	8.24	8.22	8.20	8.19	8.22	8.21
	8.38	8.39	8.40	8.37	8.37	8.38
	7.86	7.89	7.82	7.88	7.83	7.86
	8.45	8.48	8.49	8.46	8.50	8.48
	8.53	8.57	8.49	8.51	8.48	8.52
	7.62	7.58	7.60	7.61	7.56	7.59












表十七：凹洞分布情形不同之滾動測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
	11.31	11.33	11.29	11.26	11.30	11.29
	10.73	10.78	10.77	10.72	10.70	10.74
	11.35	11.32	11.35	11.31	11.32	11.33
	11.22	11.25	11.21	11.20	11.23	11.22
	11.29	11.30	11.32	11.28	11.32	11.30
	10.92	10.88	10.91	10.89	10.90	10.90
	11.32	11.32	11.34	11.28	11.30	11.31
	10.89	10.85	10.90	10.86	10.88	10.88
	11.35	11.35	11.33	11.30	11.34	11.33
	11.33	11.31	11.33	11.35	11.31	11.33
	11.28	11.31	11.30	11.29	11.29	11.30

表十八：凹洞分布情形不同之爬坡測試表

距離(公尺) 組別	次數					
	一	二	三	四	五	平均
	4.86	4.89	4.91	4.85	4.88	4.88
	4.72	4.72	4.70	4.69	4.72	4.71
	5.10	5.06	5.04	5.07	5.09	5.07
	4.75	4.75	4.76	4.78	4.76	4.76
	4.90	4.88	4.91	4.90	4.89	4.90
	4.79	4.80	4.80	4.78	4.80	4.79
	4.85	4.83	4.80	4.80	4.82	4.82
	4.73	4.70	4.70	4.69	4.72	4.71
	4.93	4.90	4.89	4.92	4.92	4.91
	4.88	4.87	4.90	4.90	4.85	4.86
	4.68	4.66	4.69	4.69	4.67	4.68

表十九：凹洞分布情形不同之水中滑落測試表

距離(公尺) 組別	次數					
	一	二	三	四	五	平均
	3.09	3.06	3.10	3.07	3.06	3.08
	3.41	3.44	3.40	3.42	3.40	3.41
	2.48	2.50	2.49	2.51	2.52	2.50
	3.15	3.14	3.17	3.13	3.16	3.15
	2.78	2.78	2.80	2.80	2.76	2.78
	3.28	3.25	3.29	3.26	3.26	3.27
	2.92	2.94	2.94	2.96	2.90	2.93
	3.37	3.35	3.38	3.39	3.36	3.37
	2.71	2.68	2.75	2.73	2.69	2.71
	2.59	2.61	2.64	2.58	2.57	2.60
	3.68	3.64	3.65	3.66	3.67	3.66

問題(八)：凹洞的形狀會影響球體飛行的距離、滾動的距離、爬坡能力及在水中

行進的速度嗎？

實驗 10：我們在球面上打大小相同、面積相同的凹洞，但凹洞的形狀分為三角柱、正方柱、長方柱、圓球狀、三角錐、正方錐、長方錐、圓錐等和對照組比較其在射程距離滾動的距離，爬坡距離及在水中滑落的速度。

結 果：

- ①射程距離以圓球形和正方柱形最遠。（如表 20）
- ②滾動距離以正方形柱最遠，但差別不大。（如表 21）
- ③爬坡距離以長方錐形的爬坡距離最遠。（如表 22）
- ④在水中滑落速度以圓球形最快。（如表 23）

表二十：各種凹洞形狀不同之射程測試表

距離 (公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
三角柱形凹洞	8.31	8.28	8.28	8.26	8.25	8.28
正方柱形凹洞	8.58	8.60	8.62	8.59	8.61	8.60
長方柱形凹洞	8.41	8.42	8.38	8.40	8.43	8.41
圓球形凹洞	8.63	8.65	8.66	8.68	8.62	8.65
三角錐形凹洞	7.68	7.70	7.71	7.69	7.68	7.69
正方錐形凹洞	7.84	7.82	7.80	7.86	7.87	7.83
長方錐形凹洞	7.80	7.70	7.75	7.79	7.77	7.77
圓錐形凹洞	7.91	7.88	7.90	7.90	7.92	7.90
沒有凹洞	7.62	7.58	7.60	7.61	7.56	7.59

表二一：各種凹洞形狀之滾動距離測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
三角柱形凹洞	11.28	11.26	11.29	11.30	11.27	11.28
正方柱形凹洞	11.36	11.32	11.36	11.35	11.29	11.34
長方柱形凹洞	11.30	11.27	11.25	11.30	11.29	11.28
圓球形凹洞	11.34	11.31	11.33	11.31	11.34	11.33
三角錐形凹洞	11.28	11.25	11.23	11.27	11.26	11.26
正方錐形凹洞	11.30	11.25	11.24	11.26	11.28	11.27
長方錐形凹洞	11.29	11.24	11.26	11.27	11.28	11.27
圓錐形凹洞	11.25	11.25	11.26	11.29	11.26	11.26
沒有凹洞	11.28	11.31	11.30	11.29	11.29	11.30

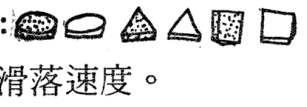
表二二：各種凹洞形狀之爬坡距離測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
三角柱形凹洞	5.02	5.00	5.03	5.05	4.96	5.01
正方柱形凹洞	5.06	5.04	5.08	5.05	5.06	5.06
長方柱形凹洞	5.01	4.98	5.02	5.02	5.03	5.01
圓球形凹洞	5.10	5.06	5.07	5.04	5.10	5.07
三角錐形凹洞	5.22	5.17	5.16	5.14	5.15	5.17
正方錐形凹洞	5.20	5.18	5.18	5.21	5.15	5.18
長方錐形凹洞	5.22	5.26	5.27	5.23	5.26	5.25
圓錐形凹洞	5.13	5.11	5.13	5.15	5.10	5.12
沒有凹洞	4.68	4.66	4.69	4.69	4.67	4.68


表二三：各種凹洞形狀之水中滑落測試表

距離(公尺) 組別	次數					平均
	一	二	三	四	五	
三角柱形凹洞	2.63	2.61	2.60	2.64	2.61	2.62
正方柱形凹洞	2.38	2.35	2.36	2.38	2.39	2.37
長方柱形凹洞	2.54	2.58	2.55	2.57	2.54	2.56
圓球形凹洞	2.35	2.33	2.36	2.31	2.34	2.34
三角錐形凹洞	3.34	3.35	3.37	3.34	3.35	3.35
正方錐形凹洞	2.96	2.99	2.98	2.95	2.97	2.97
長方錐形凹洞	3.21	3.24	3.25	3.23	3.20	3.23
圓錐形凹洞	2.73	2.70	2.72	2.74	2.70	2.72
沒有凹洞	3.68	3.64	3.65	3.66	3.67	3.66













問題(九)：除球體外，其他形體表面上的凹洞也能使其在水中行進的速度加快嗎？

實驗 11：我們以同重量的黏土（50 克）做成如下之形體：比較有凹洞與沒有凹洞在水中滑落速度。

結果：不管哪一種形體表面有圓柱形之凹洞者在水中滑落的速度都比表面沒有凹洞者來得快。

其中以  為最快。（如表 24）

表二四：各種形體表面凹洞與否在水中滑落速度表

時間(秒) 組別	次數					
	一	二	三	四	五	平均
	3.12	3.15	3.09	3.13	3.11	3.12
	3.45	3.48	3.49	3.46	3.49	3.47
	3.85	3.88	3.87	3.86	3.84	3.86
	4.09	4.09	4.12	4.15	4.12	4.11
	3.03	3.01	3.02	3.05	3.02	3.03
	3.12	3.09	3.13	3.11	3.09	3.11
	2.90	2.93	2.93	2.96	2.95	2.94
	3.26	3.28	3.31	3.32	3.29	3.29
	2.59	2.56	2.57	2.54	2.58	2.57
	2.71	2.73	2.75	2.76	2.73	2.74
	2.28	2.25	2.30	2.29	2.26	2.28
	2.49	2.51	2.48	2.52	2.54	2.51

## 六結論

1. 從實驗 1 中得知在相反的控制變因下，不管任何角度，有凹洞的球的射程比沒有凹洞的球遠。
2. 球體在空中的飛行或水中的滑落都會受到空氣或水的阻力，阻力越小則在空中的飛行距離愈遠、在水中滑落的速度愈快。而阻力的大小與球面的性質有很大的關係。從實驗 4 和實驗 5 中可以明顯比較出來表面有凹洞的球當風或水流經過時對球體產生的干擾比表面沒有凹洞的球，少了許多。
3. 凹洞的大小、面積、深淺都和射程有很大的關係，從各實驗中得知當每一個洞的直徑為 3 公厘，洞與洞的間距為 2 公厘以及洞的深度為 2 公厘時，能得到最遠的射程。
4. 洞的形狀和射程的遠近也有密切的關係，從實驗中得知洞得形狀為曲面的球形洞比平面的柱形洞好。而柱形洞又比錐形洞好。難怪高爾夫球上的窩洞都是球形而沒有其他形狀。
5. 在凹洞分布的實驗了解到能平均分布於球體上的凹洞最能發揮其功用，使射程達到最遠。
6. 從實驗 11 中，我們得知不管那一種形體，當它的外表有球狀的凹洞都能減

少在空中飛行的阻力及在水中滑落的速度。

7. 在各種滾動測試實驗中得知當凹洞的直徑太大（超過 4 公厘），洞的間距太長（超過 5 公厘）或凹洞的分布不均勻（如）時，會受到較大的影響，使其減少滾動能力。至於凹洞的形狀則幾乎不受影響，和對照組相差不多。
8. 從各實驗中得知球面有凹洞者爬坡能力都比球面沒有凹洞者好。但最能發揮爬坡功能的凹洞是直徑 4 公厘、洞的間距 3 公厘、洞深 4 公厘以上且能平均分布於球面上。
9. 洞的形狀和爬坡力也有密切關係，從實驗 10 中得知洞形為長方錐形的爬坡距離最遠。

## 七、心得與感想

1. 從各實驗中我們體會到球在空中的射程和水中的滑落速度，似乎有正面相對的關係；也就是射程較遠的在水中滑落的速度也比較快。可見空氣和水在阻力的性質上有某些共通性。
2. 本次研討的範圍在同一球上的凹洞大小相同，若是在同一球體上有大小不同的凹洞相互參雜）則在射程、滾動、爬坡、及在水中滑落的速度也許會有差異。留待繼續實驗。
3. 從球體的爬坡力實驗中，我們得知爬坡力與洞的形狀、深度頗有關係。在輪胎的爬坡設計上也應有類似的關係。值得探討。
4. 在目前的輪船及飛機的機身機翼均為平滑狀，若能研發類似高爾夫球的凹窩狀，或許能增加其航行之能力。

## 八、參考資料

1. 孩子的第一學習文庫—小小科學家。
2. 現代休閒育樂百科第 4 冊。

## 評語

本實驗探討表面設有凹洞的物體在流體中運動時所受的阻力與沒有凹洞比較。發現物體表面設有均勻分布之凹洞時受擾動與阻力最小而可以動得更遠，在地面上也可以滾得更遠。內容充實也頗具創意。