



離心力起重機

羅芳晔 老師

【目的】

行駛中的車輛突然左轉彎時，車內乘客或物體會被甩向右側，又人手提著包裹站在磅秤上，若把它繞著鉛直面做圓運動，更可發現包裹在最上方時磅秤讀數小於人的體重；包裹在最下方時卻大於體重，由原理之探討獲知上述現象乃是離心力所造成，因此只要離心力與物重均作用於同一物體，則當其方向相反時，離心力便可提起重物，這個想法促成了離心起重機之趣味科學活動的誕生，藉此活動可探討與學習向心力和離心力的科學原理

【原理】

根據牛頓第三運動定律，兩物之間有力的關係時，這兩個力互為作用與反作用，其大小相等方向相反，且同時互施於對方。又依牛頓第二運動定律可知物體所受之力為淨力時，它會做加速度運動。加速度的現象包括了快慢與方向兩因素，兩者或兩者之一有變動時，物體就是加速狀態。其中運動快慢變化是受平行於運動方向之淨外力作用的結果，力與運動同向時加速度會使運動增快；反向則減慢。至於運動方向之改變，則是垂直於運動方向之淨外力的作用，所以物體作圓運動時必受有垂直於運動方向之淨外力，此力指向圓心，稱為向心力。向心力的作用只改變速度的方向，不改變速度的大小，這個觀念告訴我們：等速率圓運動物體只受到固定大小之向心力作用；而有快慢變化之圓運動物體受到的淨外力是向心力與平行於運動方向（切線方向）之力的合成力。這些淨外力的來源可能是：繩索之張力、接觸面之摩擦力、正向力、物體之重力、電磁作用力等。

當物體沿著軌道（或被繩索牽引）做圓運動時，軌道（或繩索）施向心力於物體；物體則施離心力於軌道（或繩索），此兩力同時發生，因此向心力消失時，離心力也跟著消失。無向心力時物體便會沿著軌道的切線方向飛出去，而無法改變方向。

向心力的量值需與軌道的切線速度大小配合，才能使物體沿著預計的軌道運行。對圓運動來說，與速度 v 相關的因素有週期 T 、頻率 f （ T 的倒數）和半徑 R ，其

關係為

$$V = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi Rf$$

· 而與向心力 F_c 有關的因素則為質量 m 與加速度量值 a_c 的向心加速度，又向心加速度與速度量值關係為

$$a_c = \frac{V^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 f^2 R$$

所以向心力可表為

$$F_c = ma_c = m \frac{V^2}{R} = \frac{4\pi^2 mR}{T^2} = 4\pi^2 f^2 mR$$

· 根據此關係，適當調節各相關因素，我們便可隨心的操控向心力，當然同時發生的離心力，也會在掌握之中。

【活動一 運球入杯】

(一)場地

每一組使用長條桌一張 (長寬最小各為80cm ; 40cm)

(二)使用器材

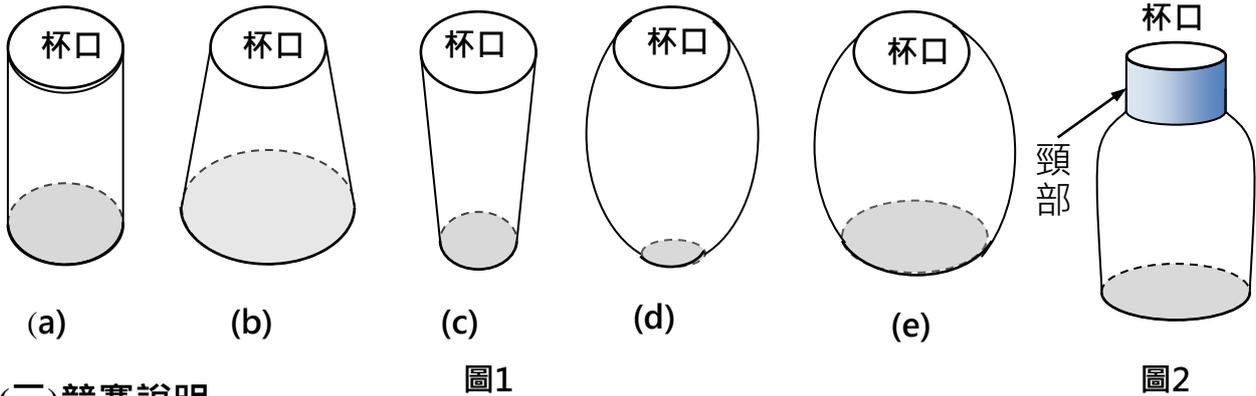
1. 大會提供

直徑2cm的保力龍球；每組有60個比賽球 (進入競賽區比賽時，由裁判發給)，10個練習球(與提供材料一起發放)、A4圖畫紙每組1張、高度11cm，開口直徑9cm的紙杯每組兩個 (競賽場地布置用)。

2. 學生自備

自備運球杯每組3個，杯的規格如下：

- (1) 杯的外型只能採用圖1所示之各種形式的一種。
- (2) 不得選用有頸部設計的形式，如圖2所示。
- (3) 杯口為圓形，其直徑必須大於9cm，高度不限。
- (4) 杯內不得塗抹或添加杯體材質以外之物質；杯外不限。
- (5) 杯口內表面不得有向內凸起之構造。



(三) 競賽說明

1. 操作方式

- (1) 如圖3所示，在競賽場地的水平桌面中央，先以透明膠帶平整固定好A4規格的圖畫紙 P ，然後在其左右畫好半徑6公分的圓圈，用以放置沒有固定的得分紙杯 S_1 和 S_2 ，兩圓圈中心與 P 的最近距離均為30cm。



- (2) 各參賽隊伍，在進入競賽等待區時應先將10個練習用球交由裁判收回（未交還者，每1球扣除本項總分1分）。
- (3) 競賽準備時，各參賽隊員先依序站在場地前指定區內，並由裁判發給3位隊員各20個比賽用球後，等待裁判指令再輪番上場進行運球比賽。競賽時每組共用時4分鐘，計時終止後仍繼續運球入杯者，一律以扣除10球計分。
- (4) 每位上場參賽者必須進行兩次運球，每次運球10個。競賽進行中，前一位隊員兩次運球完畢後，下一位才可接替上場。
- (5) 第一次運球時將10個球放在圖畫紙 P 內的自選位置，接著把杯口向下將球全部扣住，再利用轉動技巧使球在杯內做離心運動，便能把球移離桌面，然後將球運送進入得分杯 S_1 內。運球過程中，杯口平面之高度不得等於或高於杯底平面之高度，故違者，該次以扣除 S_1 杯內10球計分。
- (6) 第一次運球完畢時，參賽者必須喊口令「第二次運球」，才可進行第二次運球動作。

- (7) 操作第二次運球時，可把杯口朝上再放10個球進入運球杯內，然後在圖畫紙 P 的上方空間範圍中，利用轉動技巧使球在杯內做離心運動，並設法使杯口朝下，以便進行運球動作把球送進得分杯 S_2 內。注意運球杯離開 P 上方空間範圍後之過程中，杯口平面不得等於或高於杯底平面，故違者，該次以扣除 S_2 杯內10球計分。
- (8) 運球時錯選得分杯進球，其計分仍以各杯內實際入球數為準，但扣分之計算仍分別以第一次運球違規扣除 S_1 杯內球數；第二次運球違規扣除 S_2 杯內球數為準。
- (9) 運球杯尚未離開紙面上空範圍內，允許重新運送，但計時不停止。
- (10) 一組3人共用相同得分杯，計分時以得分杯內最後的保利龍球數為準。
- (11) 各得分杯內的計分球數以30球為上限，超出部分不列入計分。
- (12) 競賽期間，不小心打翻得分杯，以杯內剩球數為計分標準。

2. 注意事項

- (1) 保利龍球不得變造或塗抹添加物，違者每次扣除10球計分。
- (2) 運球杯可以自選玻璃以外的各種材質，但應自行注意安全性的防護。
- (3) 參賽用的自選運球杯以3個為限，競賽中允許共用。
- (4) 運球杯在操作期間不得將杯口及杯身壓扁成為明顯的變形，故違者以扣除目標得分杯內10球計分，並請參賽者立即修正，若有不從，沒收該隊本項比賽權，成績以零分計。
- (5) 運球過程及送球入杯時，不得用手扶或觸碰得分杯，違規者一律以扣除該杯10球計分。
- (6) 運球過程及送球入杯時，手碰到保利龍球者，每球扣除5球計分並以10球為上限。
- (7) 得分杯位置有偏移時，在不影響競賽進行之狀況下，裁判得隨時將其放為原位。

3. 評分標準

- (1) 得分杯內最後的保利龍球數，在 S_1 內者以 N_1 表之；在 S_2 內者為 N_2 。
- (2) 分別以 n_{11} 、 n_{12} 、 n_{13} 代表3位組員第一次運球時之扣分球數，而 n_{21} 、 n_{22} 、 n_{23} 則代表3位組員第二次運球之扣分球數。
- (3) 若取 $N_1 - (n_{11} + n_{12} + n_{13}) = A$ ； $N_2 - (n_{21} + n_{22} + n_{23}) = B$ ，又當 A 或 B 的運算值為負分時，以0分計入，則各組在活動一所得總分 T_1 以下列運

算式計分，即

$$T_1 = (A+1) \times (B+1)$$

(4) 統整上述關係得紀錄表格，如表一

表一

S_1 杯內的總球數	$N_1 =$			
S_2 杯內的總球數	$N_2 =$			
第一次扣分球數	$n_{11} =$	$n_{11} =$	$n_{11} =$	$n_{11} =$
第二次扣分球數	$n_{21} =$	$n_{21} =$	$n_{21} =$	$n_{21} =$
活動一所得總分	$A = [N_1 - (n_{11} + n_{12} + n_{13})] =$			
	$B = [N_2 - (n_{21} + n_{22} + n_{23})] =$			
	$T_1 = (A+1) \times (B+1) =$			
特殊違規記錄				

編號：_____ 簽名：_____。

(5) 將各隊活動一所得總分按高低順序排列後，依六等第計分法（見表三）計分，得活動一之成績 X 。

【活動二：離心起重機】

(一)場地

1. 每組使用長3公尺寬1公尺的場地。
2. 組與組之間距1公尺。

(二)使用器材

1. 大會提供

1. 大會提供10號線釣魚線，長度80cm的釣魚線3條/組、外直徑0.8cm；內直徑0.6cm；長度20cm的PVC塑膠管3支/組、50mm特大迴紋針3支/組、600ml礦泉水1打/組。

2. 學生自備

質量約為32克的10號橡皮塞若干個（數量自行決定）、吊物袋（裝載礦泉水瓶之用）若干個（數量及形式自行決定）、棉手套（規格及數量自行決定）、氣球吸管或硬質吸管（長度、規格及數量自行決定）。潤滑油、自選工具如美工刀、剪刀、尖嘴鉗及打孔器等。

(三) 競賽說明

1. 操作方式

- (1) 參考圖4所示，利用大會提供或規定的自備材料，在製作時間內組裝離心起重機裝置，組裝時，首先把釣魚線一端穿入做圓運動之打孔橡皮塞的孔內，再以氣球吸管（或硬質吸管）塞入孔中將其緊緊固定妥當後，才把釣魚線的另一端穿過PVC塑膠管，最後綁上大型迴紋針作為吊物袋的掛勾
- (2) 在掛好掛勾的吊物袋內放入適量裝滿水的礦泉水瓶，然後手握起重機裝置中的PVC塑膠管並旋轉甩動橡皮塞，當質量為 m 的橡皮塞做圓運動時，其向心力的大小與運動頻率及迴轉半徑有關，而此力之來源是帶動物體做圓運動之釣魚線的拉力，當拉力作用於橡皮塞的同時，橡皮塞也反方向施同一大小的張力於釣魚線，它也就是橡皮塞之離心力的來源。因此在載重吊物袋被提起掛在空中形成靜力平衡時，釣魚線的張力值恰等於總質量 M 的吊物袋重量，所以整體觀之，我們就說質量 m 的橡皮塞，利用離心力把質量 M 的載重吊物袋提起來了。
- (3) 起重機吊掛重物的全部操作過程中，PVC管之轉動必須盡量維持繞著鉛直方向的軸線，操作中，若因傾斜而使管子頂端低於底端時，一律以扣除5瓶礦泉水計分。
- (4) 各組的競賽場地大小為長300cm寬100cm的長方形，如圖5所示，圖中A為接力出發區，B為得分區，兩區均為長100cm寬60cm的長方形範圍。

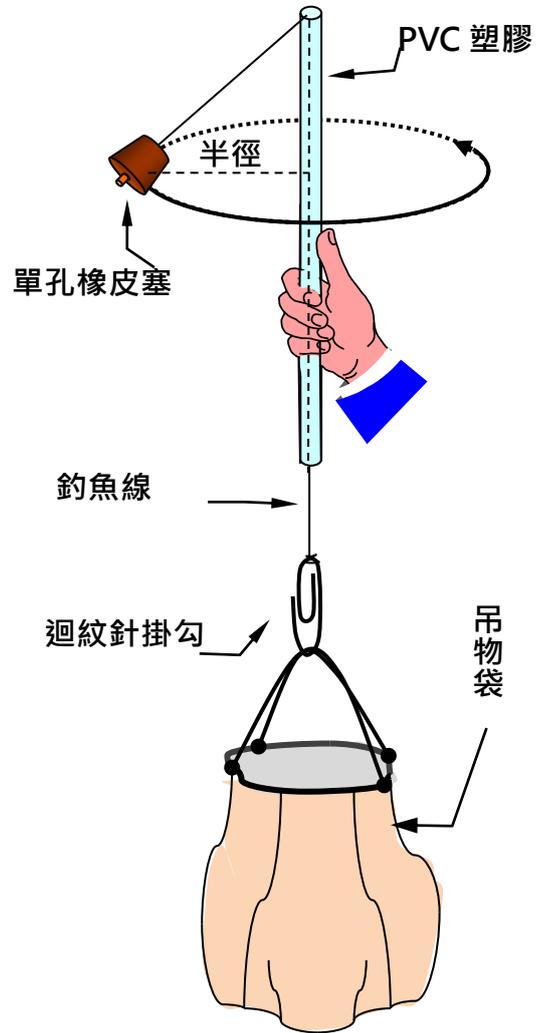


圖 4

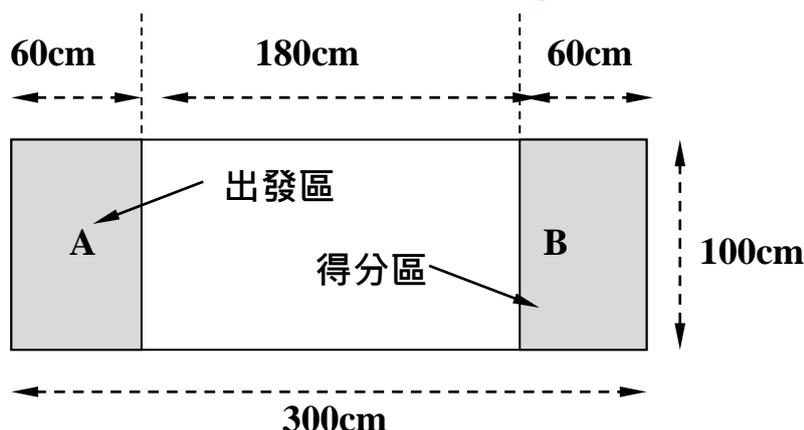


圖 5

- (5) 參賽隊伍每位隊員各拿著自己的起重裝置，在等候區內接受裁判指揮再輪番上場。上場時，第一棒站入場地之A區，第二棒、第三棒依序站在A區外第一棒後面，靜候裁判號令以開始進行接力比賽。
- (6) 競賽計時號令開始後，站在A區的第一棒在第二、第三棒的協助下，將12瓶礦泉水分配裝入各個自備的吊物袋中，須等待全部裝妥後才允許第一棒以掛勾鉤住載重吊物袋（數量自由選定）開始往B區運送。
- (7) 當第一棒抵達B區放妥運送的吊物袋後，立即返回A區並用持起重機的手掌拍擊接力第二棒的手掌（若持起重機時為雙手，則用雙掌拍擊），表示接力完成，於是第二棒才可和第一棒換位，進入A區開始吊掛吊物袋往B得分區運送礦泉水，運送完成後就可奔回出發區和第三棒擊掌完成接力，第三棒完成運送動作後又交棒給第一棒，如此順序循環下去，直到所有礦泉水運送完畢或計時終了為止。
- (8) 競賽時每組共用時5分鐘，計時終止後仍繼續者，一律以扣除5瓶礦泉水計分。
- (9) 在出發區與得分區之間若有下列情形之一者，該次吊掛量不計分，吊掛物亦不得再併入出發區內作為得分使用：
 - ① 運送中吊掛袋觸碰地面者。
 - ② 運送中手碰釣魚線或吊物袋者。
 - ③ 運送中橡皮塞觸碰到PVC塑膠管者。
 - ④ 落地時滾出得分區外者（不含壓線在內）。
- (10) 在出發區與得分區之間若有下列情形之一者，該瓶礦泉水不列入計分，亦不得再併入出發區內作為得分使用：
 - ① 運送中掉落地面者。

- ②在 B 區落地時滾出得分區外者 (不含壓線在內)。
- ③在 B 區被碰出界外者 (不含壓線在內)。

(11) 計時結束後，在得分區B內的總礦泉水瓶數列為主要計分標準。

2. 注意事項

- (1) 橡皮塞限定為質量約為 32 克的 10 號規格。
- (2) 只要能把橡皮塞用釣魚線牢牢綁緊，橡皮塞是否打孔可自行決定。
- (3) 塞入自行打孔之橡皮塞孔內之氣球吸管 (或硬質吸管)，應注意與塞面平齊，方可防止碰撞時受到割傷。
- (4) PVC 塑膠管除了塗抹潤滑劑或在管口作平滑造型整修以外，不得切短、組合及添加其他材料。
- (5) 如有必要可自行戴上安全帽保護，以防碰撞。
- (6) 在家自行練習時，應注意遠離易碎物品或人員。
- (7) 起重機裝置可以共用，但以現場製作之三組為限。

3. 評分標準

- (1) 在得分區 B 內的礦泉水瓶數以 N_B 表之。
- (2) 計時終止後，扣除總瓶數以 N_E 表之。
- (3) 三組起重裝置運送時使用之橡皮塞數量分別記為 n_1 、 n_2 、 n_3 ，其總和扣 3 得 N_D 。
- (4) 各組在活動二所得總分以 T_2 表之，其計算方式如下式：

$$T_2 = (N_B - N_E - N_D)$$
 計算中若有 $(N_B - N_E - N_D) < 0$ 的負值結果時， T_2 以 0 分記入。
- (5) 統整上述關係得紀錄表格，如表二

表二

B 區內的總瓶數	$N_B =$			
扣除總瓶數	$N_E =$			
橡皮塞 (或矽膠塞) 數量	$n_1 =$	$n_1 =$	$n_1 =$	$n_1 =$
活動二所得總分	$T_2 = (N_B - N_E - N_D) =$			
特殊違規記錄				

編號：_____ 簽名：_____。

- (6) 將各隊活動二所得總分 T_2 按高低順序排列後，再依六等第計分法 (見表

三) 計分，得活動二之成績 Y 。

表三：六等第記分法

名次	一	二	三	四	五	六
隊數	1	3	6	10	15	其它
得分	30	21	15	12	9	6

【評等】

1. 活動一之成績 X 與活動二之成績 Y 相加得 Z ，即 $Z = X + Y$ 。
2. 將參賽隊伍所得之 Z 值再以六等第計分法排序，得最高分者為本項優勝，若最高分不只一隊時，則以活動一之原始成績最佳者獲得單項優勝獎。

【活動三：創意競賽】

1. 根據離心力原理設計而成，且具備類似活動一或活動二的活動均可。
2. 要繳作品書面報告（包括文字、圖、照片等，限在 A4 紙兩頁內呈現）。
3. 評分方式，依整體創意 40%、功能 20%、美觀 20%、書面報告 20% 等特色評分，得分最高的隊伍，頒發創意獎。此項評分獨立計績，不列入總成績內。

【競賽時間】

(一) 製作：活動一、二的製作與測試時間（含說明及領取材料）共 20 分鐘。

(二) 評審：活動一、二分區同時進行，共 50 分鐘。

注意：本項活動必需在 70 分鐘內完成。

【總評分】

1. 活動一之成績 X 與活動二之成績 Y 相加得 Z ，即 $Z = X + Y$ 。
2. 將參賽隊伍所得之 Z 值再以六等第計分法排序，得最高分者為本項優勝，若最高分不只一隊時，則以活動一之原始成績最佳者獲得單項優勝獎。
3. 活動三，創意競賽成績不併入大會獎計分，另予頒發數名創意獎。

【給評分者的建議】

(一) 檢查事項

1. 活動一

- (1) 檢查杯子的外型是否符合圖1所示之各種形式的一種。
- (2) 檢查杯子是否違規使用玻璃材質。
- (3) 檢查杯子開口直徑是否大於9cm。
- (4) 檢查開口是否變形。
- (5) 檢查杯子內部有無塗抹或添加杯體材質以外之物質。
- (6) 競賽前檢查練習用球是否確實收回。
- (7) 檢查計分杯內之保利龍球是否有違規擠壓變造的狀況。
- (8) 檢查杯口內表面是否有凸起構造。

2. 活動二

- (1) 檢查10號橡皮塞的規格是否符合質量約為32克(大會提供電子秤備用)。
- (2) 檢查起重機之釣魚線有沒有被固定卡在PVC管上。
- (3) 檢查釣魚線是否大會所提供之規格。

3. 檢查未通過者，可在3分鐘內補全(該隊比賽延後兩輪)，否則取消該項目未通過者的參賽資格。

(二) 學生操作

1. 比賽活動一時

- (1) 運球杯必須用手操作。
- (2) 注意運球的操作必須確實，亦即遵守「杯口不得平行或高於杯底」的運球規則，還有完成第一次運球時，必須喊口令「第二次運球」，才可以進行下一個動作。
- (3) 每一次扣分時裁判需向參賽者做明確的口頭宣告。

2. 比賽活動二時

- (1) 注意轉動的PVC管頂端(綁橡皮塞的甩動端)必須高於底端(吊掛端)。
- (2) 必須要求接棒時完成確實的擊掌動作。
- (3) 每一次扣分時裁判需向參賽者做明確的口頭宣告。

(三) 節省時間：活動一與活動二的評審要同時進行。

【給競賽者的建議】

- (一) 請參考「給評分者的建議」，確實做到符合各檢查項目及操作時應注意事項。
- (二) 活動一與活動二的器材均容易取得（若無法取得，請洽遠哲科學教育基金會高振翔先生，電話2363-3118#14），因此可以在家事先勤加演練，方能在競賽時獲取佳績。
- (三) 活動二之橡皮塞可以打孔或不打孔，只要能用釣魚線將其綁緊的處置均可（但注意不可置入規定以外之材料）
- (四) 塞入橡皮塞孔內之吸管，應注意與塞面平齊，方可防止碰撞時受到割傷。
- (五) 在家自行練習時，應注意遠離易碎物品或人員。
- ★(六) 活動二之釣魚線，使用次數多易磨損，建議現場減少或用自備材料測試。

【材料及工具總表】

名稱	品名	規格	數量	備註
活動一	競賽用保力龍球 練習用保力龍球 圖畫紙 紙杯 透明膠帶	直徑 2cm 直徑 2cm A4 高度 11cm；開口直徑 9cm	60 個 10 個 每組 1 張 每組 2 個 1~2 卷	大會提供
	運球杯	杯口直徑大於 9cm，高度不限	每組 3 個	學生自備
活動二	釣魚線 (僅限尼龍材質)	10 號或 0.5mm (長度 80cm) 外直徑 0.8cm；內直徑 0.6cm； 長度 20cm	每組 3 條	大會提供
	PVC 塑膠管		每組 3 支	
	礦泉水	容積 600ml	每組 1 打	
	特大迴紋針	50mm	每組 3 支	
	橡皮塞	10 號規格 (約 32 克，自選打孔或不打孔)	自行決定	學生自備
氣球吸管或硬質 吸管	自由選用	自行決定		
棉手套	自由選用	自行決定		
吊物袋	自由選用	自行決定		
工 具	潤滑油	自由選用	自行決定	
	安全帽、美工刀、 剪刀、打孔機、尖 嘴鉗等	自由選用	自行決定	學生自備