



## 類神經網路與統計分析在撞球 9 號球開球上之應用

古國宏

美和科技大學休閒運動保健系

投稿日:2014/02/24;審查通過日:2014/05/08

### 摘 要

本研究主要目的在探討撞球 9 號球開球中不同母球位置、母球速度及撞擊角度對進球數的影響，並嘗試以倒傳遞類神經網路結合最佳化演算法來預測最佳進球數下其開球變項為何。受試者為 16 位優秀 9 號球撞球選手，實驗設計為將球桌右半邊開球線，並從顆星邊至中央等分為 7 個母球置球點，每個選手分別在上述 7 個位置及平時比賽位置各開三次球，開球時要求以中桿方式出桿。過程以兩台高速攝影機 (120Hz) 同步擷取影片，並以 Kwon 3D 動作分析軟體來分析運動學參數。統計主要以卡方考驗來分析，並以 SPSS 17.0 版軟體來執行，顯著水準設為  $\alpha=0.05$ 。類神經網路部分則採用 2 個隱藏層結構，以自行撰寫之程式配合 Matlab 7.9 版軟體來執行。研究結果如下：一、1 號位置進球率顯著地大於 3 號、4 號、5 號、6 號及 7 號位置之進球率；整體而言越靠近顆星位置其進球率也越高。二、在 1 號、2 號、3 號及 4 號位置開球，其各洞進球次數之卡方值有達顯著差異；結果顯示在上述這四個位置開球，子球有偏向進某些洞口的趨勢。三、類神經網路配合最佳化在 1 號位置之分析可發現，母球速度似乎不是影響進球數的主要因素。而在撞擊角度方面可發現只有在速度介於 9.7~10.5 公尺每秒時，撞擊角度偏右顆星方向會有較佳進球數；在其餘速度範圍下，整體而言撞擊角度略偏左顆星方向似乎會有較佳的結果。

**關鍵字：**母球位置、母球速度、撞擊角度

### 壹、緒論

所謂「好的開始是成功的一半」，在國際花式撞球比賽中開球時如果能每次有進球、而且進球後母、子球之連結也很好，則相對的贏球的機會也大增。世界女子撞球冠軍陳純甄 (2000) 及陳冠列 (2006) 也曾表示在 9 號球比賽中，如果雙方的出桿技巧、作球觀念、母球控制度都旗鼓相當的話，決定輸贏的重要關鍵即在於開球。

而撞球開球時子球進球的情況，以一般物理學觀點主要是受母球開球位置、母球速度、撞擊角度與子球排列緊密度等因素影響。在開球位置上，綜觀現役國內外優秀選手，開球時為了方便架桿於球檯上，開

球時母球多半是置於靠近邊線顆星地帶。陳純甄 (2007) 及董增華 (2008) 也曾表示置於距長顆星 1~2 顆球的距離位置來衝球以經驗上來說可能較佳，但精確的擺放位置及該位置是否會較其他位置好?他國內外相關研究文獻，也較少對此做更進一步驗證。更遑論是開球時的一些運動學參數如母球速度、撞擊角度等對進球率的影響，本研究都將針對這些因素做更系統化之分析。

開球時母球速度是相關文獻較少探討的，開球速度過快可能易造成母球跳出或是撞擊角度偏差；開球速度過慢則難將 9 顆子球衝散，造成後續進攻困難。然而撞球速度也會因人而異且每次都不相同，其影響程度為何，又開球速度多少較為恰當?才能將進球率與失誤率控制在某個穩定平衡點，這也本研究也希望探討的。在子球排列緊密度上，如果是專業級的裁判來執行，9 顆子球之排列位置及緊密度多能控制在合理

\*通訊作者: 古國宏 Email: x00002190@meiho.edu.tw  
地址: 美和科技大學休閒運動保健系, (912) 屏東縣內埔鄉美和村屏光路 23 號

範圍內，此項因素的影響度會較小。林紀玲與吳蘇(2012)表示早期排球是用木製三角框，自2011年開始採用排球紙。排球紙的使用可使進球率改善，加上近幾年各大國際比賽也開始採用排球紙，故本研究除了安排專業裁判來排球，更將使用排球紙來減少系統性誤差。

類神經網路由於其有別於傳統迴歸分析之具備非線性之預測、分類與診斷能力，特別是倒傳遞類神經網路(Back-propagation neural network)，年來不管是在學術界、企業界、工商業各界都廣為被應用。自1990年以來歷經美、日學者的努力研發，使得類神經的網路結構完整性及預測模擬能力之精確度都已大弧度提升。近幾年來國內外也開始有幾位專家學者以類神經網路來針對運動技戰術、訓練計畫、體適能運動處方等...項目作分析，企圖運用此一資訊處理過程來找出一個最佳的動作模式，如邱靖華，2004；吳神佑、陳家祥、涂瑞洪，2007；賀育民，2003；劉正達，2011；Maier, Wank, Bartonietz, & Blickhan, 2000等。本研究也首度嘗試將類神經網路的模擬技術，應用於撞球開球表現的分析上，其中輸入值包含了母球位置、母球速度及撞擊角度，輸出值為進球數；並結合最佳化之圖形法分析最佳開球條件，來希望透過高速攝影機及類神經網路的模擬能對開球技術作更全面性分析。

此外李志男(2006)指出優秀撞球選手擊球之穩定度會比一般選手來得好，特別是在肩關節的穩定度上；董增華(2008)亦表示職業選手之進袋成功率及定桿成功率都較業餘選手來得高。故為了減少人為開球時的隨機性誤差(random error)，本研究將針對優秀撞球選手來作分析，希望結果能更有代表性。

## 貳、研究方法

### 一、受試者

本研究受試者為16位優秀9號球撞球選手，成員包含15位男生，1位女生；且皆來自100年高雄市長盃9號球撞球全國邀請賽進入決賽之選手。其中包含前世界9號球冠軍趙豐邦、目前世界9號球冠軍張榮麟、各項國際、國內大賽冠軍，世界青少年冠軍等好手。年齡平均 $28.87 \pm 8.65$ 歲，身高 $171.12 \pm 5.46$ 公分，體重平均 $68.75 \pm 13.46$ 公斤，球齡平均 $12.86 \pm 8.58$ 年。

### 二、實驗時間與地點

實驗時間：配合100年高雄市長盃9號球撞球全國邀請賽，以2011年5月20(五)、21(六)、22(日)這

三天比賽時間來進行。

實驗地點：高雄市統一夢時代型廣場

高雄市前鎮區中華五路789號3樓

### 二、實驗流程與步驟

實驗前選手們先閱讀實驗須知及填寫受試者同意書，接著給選手們換裝準備，並告知本實驗之操作流程，然後給選手們暖身練習3~5分鐘。

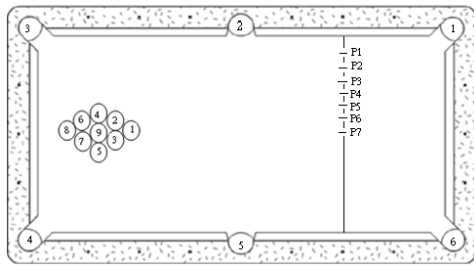
考量選手多為右撇子且一般選手通常都在右邊開球較多，本研究以開球線上右邊顆星到中線(亦稱做頭點head spot)當作開球區；而開球位置則是在開球區內等距離劃分為7個點，分別稱為p1(Position 1，以下簡稱p1)、p2、p3、p4、p5、p6及p7，故開球位置總共有7個(圖一)。本研究之球檯左右顆星寬度約為127公分，中心線至右邊顆星距離為 $127/2 = 64$ 公分，母球半徑為2.5公分，故母球置於最右邊靠顆星處其球心距中心線 $64 - 2.5 = 61.5$ 公分，依此長度等分為7等分，每等分長約為 $61.5/7 = 8.8$ 公分。

母球靠右邊顆星時球心距離顆星2.5公分，p1距右邊顆星 $2.5+8.8=11.3$ 公分；p2距右邊顆星 $11.3+8.8=20.1$ 公分；p3距右邊顆星 $20.1+8.8=28.9$ 公分；p4距右邊顆星 $28.9+8.8=37.7$ 公分；p5距右邊顆星 $37.7+8.8=46.5$ 公分；p6距右邊顆星 $46.5+8.8=55.3$ 公分；p7距右邊顆星 $55.3+8.8=64.1$ 公分。

另外為了觀察進袋情形，本研究亦把6個洞口自右下角底袋依逆時鐘方向做編號分別為1號洞、2號洞、3號洞、4號洞、5號洞及6號洞(如下圖一所示)。正式開始時每位選手會在上述p1~p7位置及比賽位置各做3次開球，其中比賽位置為選手們平時比賽習慣之開球位置，且不限左邊或右邊。本研究採用輪流方式，即某位選手在完畢後才換下一位選手。

為了確保每次開球時9顆子球皆能在固定的位置，本研究聘請大會之裁判擔任排球員，且每次排球皆採用排球紙，以確保每顆子球能緊密且位置固定。子球中1號子球及9號子球按照國際花式撞球9號球比賽規則分別置於最前方及中間處，其餘的子球位置按照下圖一之順序排列，每次開球皆按照此排序以方便分析。

開球時要求選手瞄準母球及1號子球之連心線做撞擊，且要求以中桿方式開球，儘量不要以推桿、左塞、右塞、烏鳥衝(拉桿)的方式撞擊。實驗過程中有兩台同步之JVC-9800(120 Hz)攝影機全程錄影，另有一位助手在旁即時登記每一次開球時母球位置、子球進球狀況等資訊，供事後分析參考用。



圖一、撞球檯設計及開球區示意圖

本研究之兩台攝影機架設於夢時代廣場二樓之欄杆上，兩台攝影機距離撞球檯約 25 公尺，參考架為一長方體參考架，上有 16 個參考點，參見下圖二。



圖二、實驗場地 (左) 及圖示參考架示意圖。

### 三、資料處理與分析

本研究在進球率的計算上，是以成功開球次數為主，即不包含母球跳出、母球進洞等失敗資料。在運動學參數的計算是以兩台同步 JVC-9800 高速攝影機 (120 Hz) 來擷取數位影像訊號，配合 Kwon 3D - 3.01.017 動作分析軟體來分析其速度、距離、角度等運動學參數，其中點 (digitize) 的過程是以母球之中心點來代表其移動情況，並以 Butterworth 4<sup>th</sup> - order Zero Lag Digital Filter 方式來對原始資料做修勻，Cutoff Frequency 設定為 6 Hz。

母球速度定義為開球後到碰撞子球這段期間之最大母球速度來代表開球速度，單位公尺/秒。撞擊角度以 deg 為單位，定義為母球速度向量  $\vec{u}$  與水平線 (開球線) 向量  $\vec{v}$  的夾角，計算方式是先將兩者向量轉為單位向量 (unit vector)，再以內積公式來計算：

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = |\vec{u}| |\vec{v}| \cos \theta \quad \rightarrow \quad \cos \theta = \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|\vec{u}| |\vec{v}|} \quad \rightarrow$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|\vec{u}| |\vec{v}|} \right)$$

#### (一)、統計分析部分

不同母球位置其進球與沒進球之機率是否相同，這部分是以卡方考驗之百分比同質性檢定法 (Test of Homogeneity) 來分析，並做事後比較。而各個母球位

置其各洞進球次數是否相同是以適合度考驗 (Goodness-of-Fit Test) 來觀察各洞機率有無差異。本研究之統計是以 SPSS 17.0 版軟體來執行，顯著水準設為  $\alpha=0.05$ 。

#### (二)、倒傳遞類神經網路部分

在類神經網路之架構中，輸入層包含了母球位置、母球速度與撞擊角度，輸出層為進球數等。而隱藏層 (Hidden layer) 之數目則是先以  $y = 2x + \sin(\pi x) + \sin(2\pi x)$  作為初步檢測方式，檢視 0 層、1 層及 2 層輸出值與標準值之間的誤差及兩者相關係數。測試結果發現 2 層之輸出結果與標準結果十分吻合，兩者間差異最小 ( $<0.001$ )，相關係數最高 ( $r=0.999$ )，故本研究架構採用 2 層隱藏層。至於各隱藏層之神經元 (neuron) 數目、學習速率  $\eta$  (learning rate)、慣性項  $\alpha$  (Momentum term) 等數值則是採用學者建議及試誤學習法視實際情況做調整。這部分是研究者自行撰寫程式，並以 Matlab 7.9 版軟體來執行，其演算方式如下：

首先透過輸入值  $x_i$  與權重  $w_{ij}$  的乘積可得到淨輸出值  $net_j$ ，但一般還會再加上一閾值  $\theta_j$ ，當作是一個激發條件，其計算方式如下。

$$net_j = \sum w_{ij} x_i - \theta_j$$

計算出淨輸出值後，由於輸入值與輸出值皆為標準化 (normalization) 後之結果，為了方便權重之調整，淨輸出值尚須經過一轉換函數  $f(net_j)$ ，又叫做激發函數，本研究採用非線性之 sigmoid function，其計算方式如下。

$$Y_j = f(net_j) = f\left(\sum w_{ij} x_i - \theta_j\right) \quad f(net_j) = \frac{1}{1 + e^{-net_j}} \quad \text{雙}$$

彎曲函數 sigmoid function

倒傳遞網路是一監督式學習 (supervised learning)，經由監督輸出值  $Y_j$  (output) 與目標值  $T_j$  (標準值, Target output) 之誤差  $E$  (error) 大小，來作為權重值  $w_{ij}$  之調整依據。倒傳遞類神經網路之誤差函數 (error function) 一般採用的是誤差平方和 (sum of square error, SSE)，其計算方式如下。

$$E = \frac{1}{2} \sum (T_j - Y_j)^2$$

計算出誤差後，接著利用最陡坡降法 (gradient steepest descent method) 及連鎖律 (chain rule) 之方

法，將誤差函數  $E$  對權重  $w$  做偏微分，即可得到梯度 (gradient, 亦即所謂的調整量  $\Delta w$ )，其計算方式如下。

$$\Delta w = -\eta \frac{\partial E}{\partial w}$$

$\eta$  = 稱之為學習速率，可用以控制權重修改量的大小。此值越大，每次修改幅度也越大；此值越小，每次修改幅度也越小。

$$\text{令 } \delta_j = (T_j - Y_j) \times f'(net_j)$$

$$\Delta w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} = \eta \times (T_j - Y_j) \times f'(net_j) \times x_i = \eta \times \delta_j \times x_i$$

倒傳遞演算法更新權重值之方式一般是採用通用差距法則 (general delta rule)。但在實際的運算中，葉怡成 (1997)；周政宏 (1995)；蘇木春、張孝德 (2004)；Jacobs (1988)等學者們推薦再加入一慣性項  $\alpha$ ，此  $\alpha$  是一個介於 0~1 之間的常數，為某比例的上次權重修改量，具有控制  $\Delta w_{ij}$  穩定度及維持前進方向的功能。

$$\Delta w_{ij}(n) = \eta \times \delta_j \times x_i + \alpha \Delta w_{ij}(n-1)$$

$$w_{ij}(n+1) = w_{ij}(n) + \Delta w_{ij}(n)$$

#### 四、研究範圍與限制

本研究之球檯是採用全新 ALEX 國際花式撞球標準比賽球桌，內徑長寬分別為 254 公分 × 127 公分 (±3.175 公厘)，球桌高度 74.295cm~78.74 公分，底袋為 11.43 公分~11.75 公分，中袋為 12.7 公分~13.0175 公分，檯面採用特級比賽專用檯布，含羊毛率 75% 以上。撞球是採用全新比利時 Belgian Super Aramith.Pro Tv 世界比賽用球一組，球體直徑 2-1/4 inch = 5.71 公分，重量 6 oz = 170.09 g；故本研究之實驗結果是在此環境下建立的，如果球桌規格不同，有可能會產生不同的結果。

### 參、結果

#### 一、各母球位置之進球率卡方分析

由表一事後比較結果可知，1 號位置進球率顯著地大於 3 號、4 號、5 號、6 號及 7 號位置之進球率 ( $p < .05$ )；而 2 號位置進球率顯著地大於 5 號位置之進球率 ( $p < .05$ )；3 號位置進球率亦顯著地大於 5 號位置之進球率 ( $p < .05$ )。由此結果可看出最靠近顆星之 1 號位置其進球率不但是最高的，且顯著地大於 3 號、4 號、5 號、6 號及 7 號位置 ( $p < .05$ )。雖然其進球率和 2 號位置未達顯著差異，但在數值上仍可看出應有達中等程度差異；整體而言越靠近顆星位置其進球率也越高，離顆星越遠其進球率越低。

表一、各母球位置成功開球之進球率百分比同質性檢定摘要表

母球位置	皆沒進次數	有進次數	成功總次數	事後比較*
1 號位置	3 (7.7%)	36 (92.3%)	39 (100%)	
2 號位置	12 (30.8%)	27 (69.2%)	39 (100%)	
3 號位置	16 (39.0%)	25 (61.0%)	41 (100%)	1-3
4 號位置	19 (47.5%)	21 (52.5%)	40 (100%)	1-4
5 號位置	32 (76.2%)	10 (23.8%)	42 (100%)	1-5
6 號位置	22 (56.4%)	17 (43.6%)	39 (100%)	1-6
7 號位置	22 (64.7%)	12 (35.3%)	34 (100%)	1-7
總數	126 (46.0%)	148 (54.0%)	274 (100%)	2-5 3-5

卡方值  $\chi^2_{(6, 274)} = 49.43$   $p < .01$

\*  $p < .05$

#### 二、比賽位置之運動學及進球率分析

研究中 16 位選手於比賽位置總計成功開球 37 次，但因影片換帶的問題恰巧導致有 4 次開球未能完整拍攝成功，但進洞情況仍持續紀錄，故在顆星距離及母球速度之計算上，是以成功的 33 次來計算。由表二可看出 16 位選手比賽位置平均值為 12.29±1.78 公分，和 1 號位置相比 1 號位置為 11.3 公分，可看出本研究中之選手們其比賽位置略大於 1 號位置。母球速度 10.32±1.41 公尺/秒；在進球率方面，比賽位置之進球率為 83.8%，和 1 號位置相比 92.3% (參見表一)，其進球率略低於 1 號位置。

表二、選手平時比賽位置之開球結果分析

母球位置	離顆星距離 (cm)	母球速度 (m/s)	皆沒進次數	有進次數	成功總次數
比賽位置 (N=37)	12.29±1.78 (N=33)	10.32±1.41 (N=33)	6 (16.2%)	31 (83.8%)	37 (100%)

#### 三、不同母球位置開球之各洞進球次數卡方分析

這部分以成功開球下有進球次數中之各位置進洞機率來分析。針對各個母球位置其 6 個洞口進球次數做卡方之適合度考驗，觀察各洞口進球次數有無差異。由表三可看出，1 號、2 號、3 號及 4 號位置之卡方值有達顯著差異 ( $p < .05$ )，結果顯示在上述這四個位置開球，子球有偏向進某些洞口的趨勢；而越靠中間的 5 號、6 號及 7 號位置其各洞間進球次數之卡方值則未達顯著差異，顯示各洞進球次數差不多。

表三、不同母球位置開球之各洞進球次數卡方分析

母球位置	1號洞 (%)	2號洞 (%)	3號洞 (%)	4號洞 (%)	5號洞 (%)	6號洞 (%)	適合度考驗之卡方值 (顯著性)
1號位置	5 (13.9)	5 (13.9)	30 (83.3)	0 (0)	17 (47.2)	0 (0)	29.9* (.000)
2號位置	5 (18.5)	2 (7.4)	26 (96.2)	0 (0)	7 (25.9)	1 (3.7)	51.0* (.000)
3號位置	4 (16)	3 (12)	18 (72)	2 (8)	9 (36)	0 (0)	24.2* (.000)
4號位置	2 (9.5)	4 (19.0)	9 (42.9)	2 (9.5)	9 (42.9)	1 (4.8)	25.8* (.000)
5號位置	2 (20)	0 (0)	3 (30)	1 (10)	1 (10)	4 (40)	3.0 (.543)
6號位置	1 (5.9)	4 (23.5)	6 (35.3)	2 (11.8)	4 (23.5)	5 (29.4)	4.7 (.450)
7號位置	1 (8.3)	3 (25)	5 (41.7)	4 (33.3)	3 (25)	1 (8.3)	4.5 (.476)

註：進洞率=進洞次數/進球次數 (表一)

四、9號球開球之倒傳遞類神經網路分析

(一) 最終訓練結果與說明

經由總計 119 筆訓練資料之訓練後，最終誤差達收斂標準 SSE<0.001，結果參見表四。在訓練過程中也不斷的參考相關學者們之建議及數十次之試誤學習 (trial and error learning)，研究者發現在訓練之過程中如果覺得誤差過大可首先增加隱藏層神經元數，其效果會比增加學習速率好。增加隱藏層神經數目之後，接著需把學習速率略調降，因為如果神經元數目增加，學習速率又高的話則難以收斂，反而會有誤差增大情形。在調降學習速率後如果有發現誤差有震盪情形，則可考慮加大慣性項，確保修正方向的一致性。經過這些步驟之後可檢視誤差是否收斂，如收斂情況還不滿意，則重複上述步驟增加隱藏層神經元數或減低學習速率或增加慣性項，直至合乎收斂標準。

(二) 實際模擬測試結果與說明

根據訓練結果之模型，本研究分別針對 1 號~7 號母球開球之數據作實際測試。

由於本研究之輸出值為進球數，雖然訓練時誤差評估是採用 SSE，為了方便描述起見，本測試結果將

採用總錯誤率來做評量。測試方式為分別將 1 號、2 號、3 號、4 號、5 號、6 號及 7 號位置之測試資料 (test data) 分別帶入前面訓練完成之模組，然後觀察測試結果。由結果可看出各位置總錯誤率皆為 0，可見此網路架構在撞球開球的模擬是可行且效果佳的。

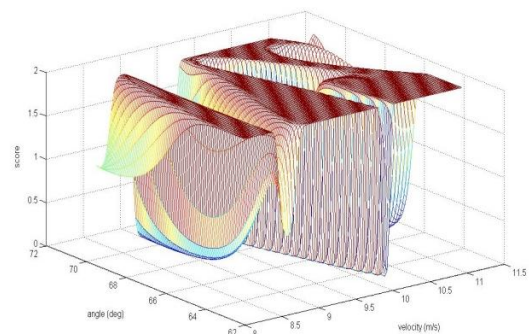
$$\text{總錯誤率} = \frac{\text{範例總數} - \text{正確分類之範例總數}}{\text{範例總數}} \times 100\%$$

(三) 1 號位置之最佳化模擬分析

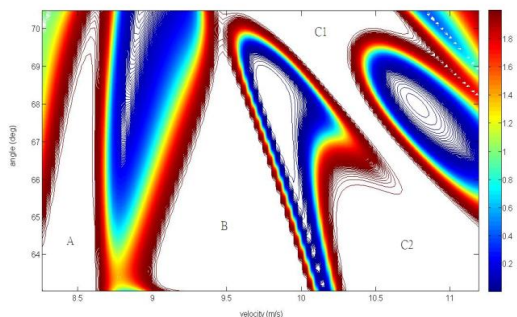
由於選手們比賽位置最接近 1 號位置，本研究即針對 1 號位置作母球速度及偏差角度之最佳化分析。設計變數 (design variable) 有兩個，一為母球速度，二為撞擊角度；目標函數 (objective function) 為進球數。限制條件 (constraints) 為 1 號位置開球之母球速度範圍及撞擊角度範圍。

最佳化分析方式：由於自變數與目標函數間並無特定方程式，且最佳解可能不只一個，所以這部分本研究以圖型法 (Graph method) 來求解。首先將母球速度自最小速度 minv 到最大速度 maxv 之間等分為 100 個點，同樣方式將撞擊角度亦等分為 100 個點，再將速度與角度以語法 meshgrid 處理建立矩陣，再將這些矩陣數值帶入訓練好之倒傳遞類神經網路模型，然後把輸出值以圖型法之網狀圖及等高線圖型法來分析。分析結果如下圖三及圖四所示。

透過圖三及圖四可以清楚看到兩個不同變數下進球數分佈情況，首先由圖三我們可以看到其前後軸為撞擊角度 (angle)，水平軸為母球速度 (velocity)，垂直軸為進球數 (score)，進球數 2 的區域大致上有左、中及右邊三個高原區域。接著配合圖四等高線圖則更可進一步觀察，等高線圖中深紅色代表進球數最高，深藍色代表進球數最低，白色之區域為平坦區 (即無高低坡度變化)，圖四可以發現進球數最高的深紅色線段間的白色區域大致上有左邊 A 區、中間 B 區及右邊 C 區，而 C 區又可再細分為 C1 及 C2 兩區，後續將再進一步針對這些區域作分析。



圖三、不同開球變數下進球數之三維網狀圖



圖四、不同開球變數下進球數之二維等高線圖 (右為進球數指標)

## 肆、討論與建議

### 一、不同母球位置開球之進球情形分析

表一可看出整體而言母球越靠近顆星位置開球其進球率也越高，離顆星越遠其進球率越低。研究結果顯示 1 號位置之進球率最高，達 92.3%，且最接近選手們比賽位置，故再針對 1 號位置做進一步進洞情形分析。由表三結果可知，1 號位置開球進洞主要是 3 號洞 (右尾底袋)，佔 83.3%；其次為 5 號洞 (左中袋)，佔 47.2%；且進這些洞之機率顯著地較其他洞來的高 ( $p < .05$ )。根據現場記錄及事後影片分析，進球數方面以進 2 顆及 1 顆最多，皆有 16 次 (各佔 41.0%)；其次為 3 顆，有 4 次 (佔 10.3%)，最少為 0 顆，有 3 次 (7.7%)，加權平均進球數 1.54 顆。張紘瑋、林君樺、林廣建、李軾揚、黃士魁 (2013) 研究中曾針對 227 局一桿清檯局 (clean table 或 break clearance) 開球作分析，發現每局開球平均衝進 1.81 顆，以本研究來說，1 號位置最接近此一進球數。

由前面結果可知 1 號位置開球右尾底袋及左中袋有較高之進球率，進一步分析影片及現場記錄可發現其中 4 號子球最容易進右邊尾底袋，1 號子球最容易進左邊中袋；隨著母球位置越往中線移動此兩洞進球率也隨之降低，特別是左中袋甚至跟其他洞進球率不相上下 (參見表三)。董增華 (2008) 在其著作中指出如以超小力的衝球方式，配合在開球時母球不旋轉，則 4 號角球會進尾底袋，1 號球會進對面中袋，而母球自然倒退 20 公分，他表示此種方式曾在 2000 年歐洲選手及美國女子職業會 (Women's Professional Billiard Association, WPBA) 廣為使用。如果開球時 4 號及 1 號子球皆有進袋，則剩下的 2 號子球即為連接球，選手們可更留意 2 號子球之進攻方式。董增華 (2012) 曾表示衝球時有幾個重點：不能洗袋、要有球進、球型要散及連接球要為機會球；但要小心的地方

是如 1 號子球沒有進中袋而反彈到頭顆星中央附近，如果太貼近頭顆星，則會形成安全球造成進攻困難。張紘瑋、林君樺、林廣建、李軾揚、黃士魁 (2013) 亦指出 4 號子球進右邊尾底袋、1 號子球進左中袋、母球停留在中央附近及至少進一顆球是容易一桿清檯之球型結果。由研究結果可知，1 號位置開球較能開出符合綜合上述學者之標準或一桿清檯之球型結果。

### 二、不同母球速度與撞擊角度對進球率之影響

開球速度過快可能易造成母球跳出或是撞擊角度偏差；開球速度過慢則難將 9 顆子球衝散，造成後續進攻困難。由圖四可看出，在母球速度部分，區域 A、B、C 三區之速度範圍從低、中、高都有，此結果顯示速度大小似乎不是影響高進球數之主要因素。董增華 (2012) 指出，如果開球時速度較慢 (軟衝)，較有機會將角球-4 號子球撞進底袋，1 號球會進中袋；如果以大力衝球 (硬衝)，則 4 號球仍會進底袋，但 1 號球通常會跳過中袋，反彈左顆星及頭顆星。其指出硬衝時如力道不足，則有可能造成子球反彈至貼近頭顆星位置，如此將不容易進攻。

接著觀察撞擊角度，區域 A、B、C2 之角度範圍多偏 <67 度；只有在 C1 區，其最佳撞擊角度為偏 >69 度，可看出最佳撞擊角度似乎會隨著速度不同而有不同變化。由於母球置於 1 號位置時與 1 號子球連心線角度為 67.84 度，可發現只有在速度介於 9.7~10.5 公尺/秒時，撞擊角度偏大 (偏右顆星方向) 會有較佳進球數；在其餘速度範圍下 (<9.7 公尺/秒或 >10.5 公尺/秒)，撞擊角度略偏小 (偏左顆星方向) 似乎會有較佳的結果。只是需小心的地方是如果過度偏左，需小心母球進左邊中袋，本研究顯示 1 號位置發生母球進洞主要是在 5 號洞 (左邊中袋)。

### 三、結論與建議

本研究結果可看出 1 號位置位置有最高之進球機率 92.3%，進球數平均 1.54 顆，其中以 4 號子球進右尾底袋機率最高，其次為 1 號子球進左中袋。另外亦發現只有在介於 9.7~10.5 公尺/秒這段中等速度範圍時，撞擊角度偏右顆星方向會有較佳進球數；在其餘速度範圍如速度加大或速度減少之情況下，撞擊角度略偏左顆星方向會有較佳的進球數，但要偏左撞擊可能容易造成母球進左邊中袋，出桿力量過大可能造成出桿不穩產生撞擊角度偏差 (李志男、湯文慈、陳冠列，2004；林如瀚，2010)，或是母球容易跑到上半球檯區，不利後續 1 號子球 (多半停留在下半檯區) 之進攻等情形，而速度過小又不易將球衝散，故以後者

方式撞擊仍有其風險。

本研究已找出距離顆星 11.3 公分處有最高進球率，約是 2 顆球的距離，此點除可提供選手開球位置上的參考外，亦可提供一些撞球機器人影像偵測系統做決策上的參考如周辰威 (2008)、黎哲廷 (2005)、劉苡宗 (2011)、蘇裕淵 (2010)、Shih (2010) 等人之研究，或許可提高其一桿清檯之機率。建議選手們可在本研究建議位置附近多所嘗試，以中等之開球速度配合調整一下撞擊角度或旋轉速度，且未來的研究也可以再縮小範圍，或許可以找到不同的開球模式。

此外影響開球的因素很多，本研究比較遺憾的是無法對旋轉速度作測量。由於撞球球體小難以固定三點不共線之座標點，加上開球時旋轉速度快，即使以一般 120 hz 之攝影機也不容易量測，加上有球檯的遮擋且攝影機一般需與運動物體保持有 10 公尺以上距離，即使真在球體上劃上三個不共線點，要能清楚且全程完整的紀錄並不容易；故以傳統的旋轉速度量測法勢必很困難，這也是本研究當初未能將旋轉速度列入分析的原因。運動生物力學界曾有學者以一些運算方法分析旋轉速度，但考量上述因素加上球檯遮擋且一般高速攝影機速度還不夠快，本研究這部分還是難以進行；因為如果擷取頻率不夠快，在對所得資料作修勻與微分時誤差會很大，期望未來的研究在這部分能有突破。

## 伍、參考文獻

陳冠列 (2006)。我國優秀花式撞球選手訓練歷程之研究。未出版碩士論文，中國文化大學，台北市。  
 陳純甄 (2000)。敲出第一桿：陳純甄撞球魔法書。台北市：英特發股份有限公司。  
 董增華 (2008)。學撞球標準指南 (下) 世界冠軍手中的秘笈。台北市：富育國際股份有限公司。  
 董增華 (2012)。學撞球標準指南 (中) 職業選手秘笈大公開。台北市：富育國際股份有限公司。  
 林如瀚 (2010)。人類視覺控制與運動知覺關係探討。中華體育季刊，24(2)，65-73。  
 林紀玲、吳蘇 (2012)。不同年份使用之排球工具對撞球比賽勝負因素之比較研究-以 2007 與 2011 年全國運動會為例。休閒運動健康評論，4(1)，55-67。  
 吳神佑、陳家祥、涂瑞洪 (2007)。拔河靜態姿勢下肢伸展肌群蹬力之類神經網路模擬研究。2007 國際運動生物力學研討會暨台灣運動生物力學年會：台北市。

賀育民 (2003)。高爾夫揮桿動作電腦化學習系統雛形之建構。未出版碩士論文，義守大學，高雄縣。  
 李志男、湯文慈、陳冠列 (2004)。花式撞球選手擊球姿勢與出桿動作之穩定初探。中華體育季刊，20(3)，93-101。  
 李志男 (2006)。花式撞球選手定桿出桿動作上肢之運動學分析與穩定度探討。未出版碩士論文，國立體育學院，桃園縣。  
 張紘瑋、林君樺、林廣建、李軾揚、黃士魁 (2013)。右手持桿男子撞球選手不同側開球一桿清檯球型分析。中原體育學報，2，131-140。  
 黎哲廷 (2005)。撞球機器人在九號球局之應用。未出版碩士論文，淡江大學，台北縣。  
 蘇裕淵 (2000)。撞球機器人擊球決策之設計。未出版碩士論文，淡江大學，台北縣。  
 蘇木春、張孝德 (2004)。機器學習：類神經網路、模糊系統以及基因演算法則。全華圖書股份有限公司：台北縣。  
 周辰威 (2008)。撞球精靈：花式撞球擊球策略學習系統。未出版碩士論文，台灣大學，台北市。  
 周政宏 (1995)。神經網路-理論與實務。松崗電腦圖書資料股份有限公司：台北市。  
 邱靖華 (2004)。應用倒傳遞類神經網路建立體適能之運動處方診斷模式。大專體育學刊，6 (1)，245-253。  
 劉正達 (2011)。人工智慧方法應用於聖火傳遞路徑最佳化。大專體育學刊，13(4)，368-378。  
 劉苡宗 (2011)。灰色系統理論在撞球機器人之清檯攻擊研究。未出版碩士論文，淡江大學，台北縣。  
 葉怡成 (1997)。應用類神經網路。台北市：儒林出版社。  
 Maier, K. D., Wank, V., Bartonietz, K., & Blickhan, R. (2000). Neural network based models of javelin flight: Prediction of flight distance and optimal release parameters. *Sports Engineering*, 3(1), 57-63.  
 Jacobs, R. A. (1988). Increased rates of convergence through learning rate adaptation. *Neural Networks*, 1, 169-180.  
 Shih, C. (2010). Aiming strategy error analysis and verification of a billiard training system. *Knowledge-Based System*, 23, 732-742.



## The Application of Neural Network and Statistic Analysis for 9-Ball Break in Billiard



*Guo-Hong Gu*  
*Meiho University*

Accepted: 2014/05/08

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study was to investigate the effect of different positions, velocity and impinging angle of the cue ball on scoring situation in 9-Ball billiard. In addition, the back-propagation neural network with optimization method was used to find the optimal solution in the break. **Methods:** The subjects were 16 excellent 9-Ball pool players. Experiment was conducted on the right half of the table. The breaking line from the right edge to the central point was equally divided into seven points. Every player broke three times in each of the seven points and usual game breaking point. The subject was requested to break in stop shot way. The procedure was recorded using two synchronized high-speed cameras (120Hz). Kwon 3D motion analysis software was used for data analysis. Chi-Square tests were used for statistical analysis. The significant level was set at  $\alpha=.05$ . The structure of neural network used two hidden layers and analyzed by a Matlab program. **Results:** The scoring rate of the 1st position was significantly greater than that of the 3rd, the 4th, the 5th, the 6th, and the 7th position. Overall, the position that was more closed to the cushion had higher score. In the 1st, the 2nd, the 3rd, and the 4th position, the differences of scores for each hole were significantly different in chi-square test. These results showed that when break in the above four positions, some holes may have higher scores than the other holes. The results of back-propagation neural network and optimization analysis in the 1st position showed that the cue ball velocity did not seem to have a main effect on score. Only between the velocity of 9.7-10.5 m/s, the impinging angle toward right can have better score. In other velocity range, the impinging angle slightly toward left can have better results.

**Key words:** cue ball position, cue ball velocity, impinging angle

---

\*Corresponding author: Guo-Hong Gu. Department of Sports & Recreation Meiho University  
(910) No.23, Pingguang Rd., Neipu Township, Pingtung, Taiwan (R.O.C.)  
E-mail address: x00002190@meiho.edu.tw