

Welstead, S. T. (1994). Neural Network and Fuzzy Logic Applications in C/C++.
Canada: John Wiley & Sons, Inc.

Physical Education of
National Chung Hsing University
Vol.7, PP.83-92 (2003, 9)

興大體育
第七期, 頁 83-92 (民 92.9)

棒球變化球之飛行分析

邱靖華

摘要

本研究旨在於探討投手在不同投球速度、轉速、轉向時的各種球路變化情形。研究方法主要是運用旋轉球體的流體力學原理及數值方法，透過編寫程式及電腦進行分析演算。模擬投手在投球出手高度 1.6 公尺，出手仰角 2 度及投球距離 18.44 公尺條件下，分別以 130、140、150、160、170 公里/小時五種球速，在 50、100、150 轉/秒三種不同轉速下進行投球。經模擬分析獲得如下結論，不管是投上旋球、右旋球、左旋球或是下旋球，偏移量隨著轉速的增加而增加。當球速從 130 增加到 170 公里/小時，偏移量則隨著轉速的增加而出現減少的現象。

關鍵詞：左旋球、上旋球、右旋球、下旋球、無旋球

壹、緒論

投手單靠快速球封殺擊球員是近乎不可能的事，如果單純投快速球，擊球員一旦抓住速度的習慣，照樣可以打出安打來，因此投手須有領會各種變化球之必要，這也就是投手最有力的致勝技術(別所毅彥、民 58)。

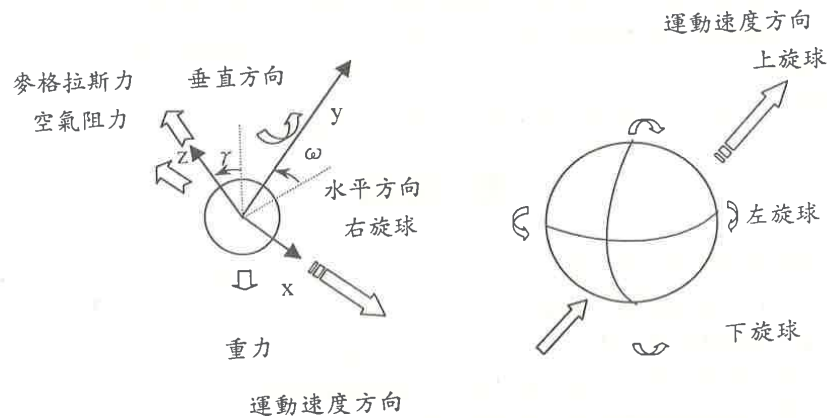
投變化球的竅門，主要是靠空氣動力學使出的招術。當球以高速直線前進時，相對空氣的氣流也會均勻繞球面而過，球面的流速完全對稱，因此球飛行的原有軌跡並沒有改變。如果當球以高速直線前進，又快速向前旋轉(top-spinning)時，情況便有了變化，流過球上面的空氣，會因方向不同而互相抵消一部份，也就是說速度變慢了，而壓力也變大了(根據柏努利原理)。球下面的空氣卻因方向相同而相生，速度變大，壓力變小了。這樣一來球在前進飛行的同時，會比原來只受地心引力時的飛行軌道，提前偏向下方，而形成了下墜球(王懷柱，民 87；邱靖華、民 89)。

投手深知此妙訣，能運用自如地用腕力控制旋轉方向和速度，用臂力使勁將直線投出，看似直衝而來，可是半路上卻悄悄地轉彎了。一會內彎，一會下墜，讓打擊手猜不著球路(王懷柱，民 87)。

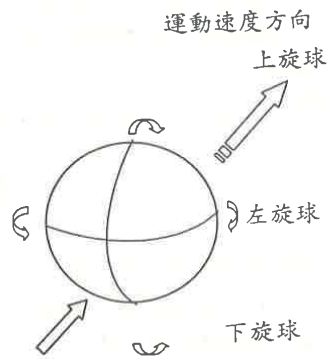
針對上述現象，本研究將運用空氣動力學原理及數值方法，模擬投手在不同投球速度、轉速、轉向條件下的各種飛行路徑。借由模擬結果提供投手了解各種球路變化的情形，以便有效掌握投變化球的竅門。

名詞解釋

棒球在三維空間中運動，如圖一所示，首先定義座標系 $oxyz$ 為一附體座標系，其原點與棒球球心同一位置，當棒球速度方向是沿著 x 軸方向運動，球體旋轉軸(y 軸)與水平方向形成 γ 角，這種現象稱之為「側旋」， γ 稱之為「側旋角」。按右手定則(right-hand rule)當 $\gamma=90^\circ$ 時， y 軸方向同垂直方向，稱為「左旋球」。當 $\gamma=180^\circ$ 時為「上旋球」。當 $\gamma=270^\circ$ 時稱為「右旋球」。當 $\gamma=0^\circ$ 時為稱「下旋球」。不管 γ 角度為何，如果轉速是零，皆稱之為「無旋球」(邱靖華，民 89b)。



圖一 棒球飛行示意圖(邱靖華民，89b，123 頁)



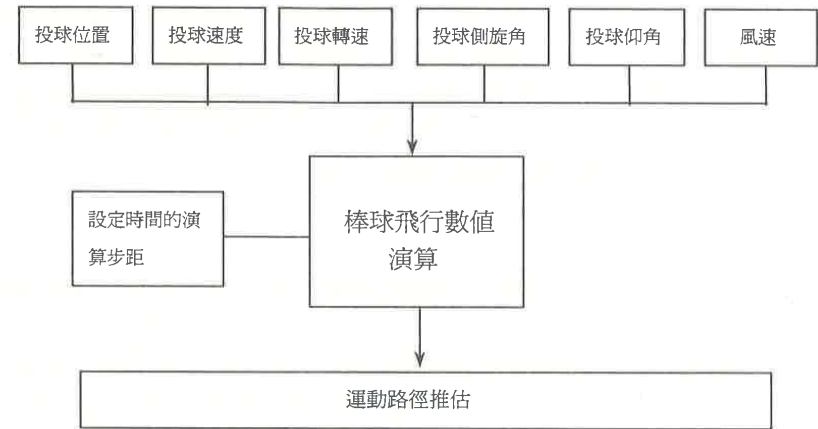
圖二 棒球旋轉飛行示意圖

貳、研究方法與步驟

棒球在飛行過程的數值運算，本研究是採用 C^{++} 編寫電腦程式進行分析，其演算流程如圖三所示。首先設定棒球的輸入變數投球出手位置、速度、轉速、

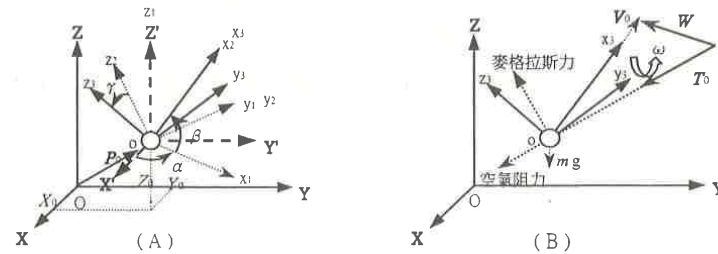
側旋角、角度與風速。再來是設定時間及投球角度的演算步距，最後輸出棒球的飛行軌跡。

本研究設定的棒球基本資料：棒球的直徑與重量，均採用棒球規則(中華民國棒球協會)所承認 B 號球最小值的球直徑 71.5mm，重量為 140.7g。外在的物理條件，空氣密度在標準大氣壓下 $\rho=1.23 \text{ kg/m}^3$ (Munson 等人，1994)。



圖三 棒球的電腦演算流程圖

一、參考座標系統



圖四 投球出手時刻示意圖(邱靖華，民 89b，123 頁)

棒球投球出手時刻，如圖四(A)設直角座標系 $OXYZ$ 為固定座標系，另外從固定座標系中取一平移座標系 $OX'Y'Z'$ ，並且定義平移座標系 $OX'Y'Z'$ 的原點為投球的出手位置 (P_0 為球心位置向量)。接著定義座標系 $ox_1y_1z_1$ 為相對於平移座標系 $OX'Y'Z'$ ，按右手定則對 Z' 軸旋轉 α 角度後，得座標系 $ox_1y_1z_1$ ，接著對 y_1 軸旋轉 β 角度後，得座標系 $ox_2y_2z_2$ ，再對 x_2 軸旋轉 γ 角度後，得到座標系 $ox_3y_3z_3$ 。其中 α 為控制左右方向的方向角， β 為投球出手時的仰角， γ 為側旋角。

本研究為了清楚描述圖四(A)中投球出手時的相關力學條件，借由圖四(B)來加以表示。 V_0 是投球出手的初始速度向量，其運動方向參考圖四(A)(B)，是沿著座標系 $ox_3y_3z_3$ 的 x_3 軸方向飛出，座標系 $ox_3y_3z_3$ 的 y_3 軸為棒球的旋轉軸 (ω 為其旋轉角速度)。 T_0 為棒球出手時的初始相對空氣速度向量， W 為風速向量，其吹拂的方向平行於固定座標系 $OXYZ$ 的 XY 平面。

二、數值方法

由圖四(B)所示，假設球投出以後飛行過程，以 t_k ($k=0, 1, \dots, n$) 表示連續時間中的時間點， t_0 為出手時刻， t_n 為代表棒球在飛行時的終點時刻。 t_k 為飛行過程中任意時刻球心的位置向量，則以 $P_k = [X_k, Y_k, Z_k]^T$ 表示。因此當棒球從出手位置向量 $P_0 = [X_0, Y_0, Z_0]^T$ 飛行到位置向量 $P_m = [X_m, Y_m, Z_m]^T$ ， $0 \leq m \leq n$ 其間的水平距離可寫成 $d = [(X_m - X_0)^2 + (Y_m - Y_0)^2]^{1/2}$ 。

終點位置向量 P_n 中 X_n 、 Y_n 代表在固定座標系 $OXYZ$ 中的 XY 平面位置， Z_n 為終點高度。在飛行過程中，任意取相鄰的時間點 t_k 與 t_{k-1} ，兩點的單位時間間隔為 $\Delta t = t_k - t_{k-1}$ 。取 t_{k-1} 與 t_k 兩個時間點十分的接近時，棒球的質心位置從 t_k 移動到 t_{k-1} 可視為等加速度運動 (Soong, 1982; 邱靖華, 民 89a; 邱靖華, 民 89b)，因此在 t_{k-1} 時間點的位置向量 P_{k+1} 可寫成：

$$P_{k+1} = P_k + V_k \Delta t + (A_k \Delta t^2) / 2 \quad (1)$$

方程式中 V_k 、 A_k 分別是棒球質心速度及加速度向量。在 t_{k-1} 時刻的 V_{k-1} 及在 t_k 時刻的 A_k 則寫成：

$$V_{k-1} = V_k + A_k \Delta t \quad (2)$$

$$A_k = F_k / m \quad (3)$$

F_k 為棒球飛行期間所受的外力， m 為棒球質量。

如圖四(A)所示，投球的初始質心速度向量 V_0 ，其速度方向是旋轉 α 、 β 及 γ 角度座標變換後，沿著座標系 $ox_3y_3z_3$ 的 x_3 軸方向飛出，因此 V_0 可寫成：

$$V_0 = Azyx(\alpha, \beta, \gamma) [Vs, 0, 0]^T \quad (4)$$

方程式(4)中 Vs 為投球出手速率， $Azyx(\alpha, \beta, \gamma)$ 為旋轉座標變換矩陣，表示成 ($c\alpha = \cos \alpha, c\beta = \cos \beta, c\gamma = \cos \gamma, s\alpha = \sin \alpha, s\beta = \sin \beta, s\gamma = \sin \gamma$)：

$$Azyx(\alpha, \beta, \gamma) = \begin{bmatrix} c\alpha s\beta & -s\alpha c\gamma - c\alpha s\beta s\gamma & -s\alpha s\gamma - c\alpha s\beta c\gamma \\ s\alpha c\beta & c\alpha c\gamma - s\alpha s\beta s\gamma & s\alpha s\gamma - c\alpha s\beta c\gamma \\ s\beta & c\beta c\gamma & c\beta s\gamma \end{bmatrix} \quad (5)$$

三、重力、阻力與麥格拉斯力

從流體力學原理中得知，運動中的旋轉球體，除受到重力、空氣阻力 (Drag force) 影響之外，尚受到麥格拉斯力的作用，如圖四(B)所示。因此在 t_k 時刻的 F_k 可寫成：

$$F_k = \rho As Vr_k^2 (CD_k \mathbf{u}_{Dk} + CL_k \mathbf{u}_{Lk}) / 2 + mG \quad (6)$$

其中 ρ 為空氣密度， As 為棒球空氣阻力面積， CD_k 、 CL_k 分別是在 t_k 時刻的空氣阻力及麥格拉斯力係數， \mathbf{u}_{Dk} 及 \mathbf{u}_{Lk} 為 t_k 時刻在空氣阻力及麥格拉斯力方向的單位向量， G 為重力加速度向量 $G = [0, 0, -g]^T$ ， g 為重力加速度 9.81 m/s^2 ， Vr_k 為 t_k 時刻棒球相對空氣速率。從圖四(B)中得知，初始相對空氣速度向量 T_0 ，為風速向量 W 與初始球速度向量 V_0 的向量差，故 T_0 可寫成 $T_0 = W - V_0$ ， $W = [\lambda \cos \alpha, \lambda \sin \alpha, 0]^T$ ， λ 為風的速率，順風時 λ 為正值，逆風時為負值。同樣地， t_k 時刻相對空氣速度向量 T_k 可寫成 $T_k = W - V_k$ ，因此相對空氣速率可寫成 $Vr_k = \|T_k\|$ 。而空氣阻力方向的單位向量 \mathbf{u}_{Dk} 可寫成 $\mathbf{u}_{Dk} = T_k / \|T_k\|$ 。

如圖四(B)所示，座標系 $ox_3y_3z_3$ 中 y_3 軸為棒球的旋轉軸， y_3 軸方向的單位向量 \mathbf{u}_y 可表示成 $\mathbf{u}_y = Az(\alpha)Ay(\beta)Ax(\gamma) [0, 1, 0]^T$ ，得知 \mathbf{u}_y 之後，圖四(B)中麥格拉斯力方向是跟空氣阻力方向及旋轉軸 (y 軸) 互相垂直，因此麥格拉斯力的單位向量 \mathbf{u}_{Lk} 可寫成：

$$\mathbf{u}_{Lk} = \mathbf{u}_y \times \mathbf{u}_{Dk} / \|\mathbf{u}_y \times \mathbf{u}_{Dk}\| \quad (7)$$

四、空氣阻力與麥格拉斯力係數

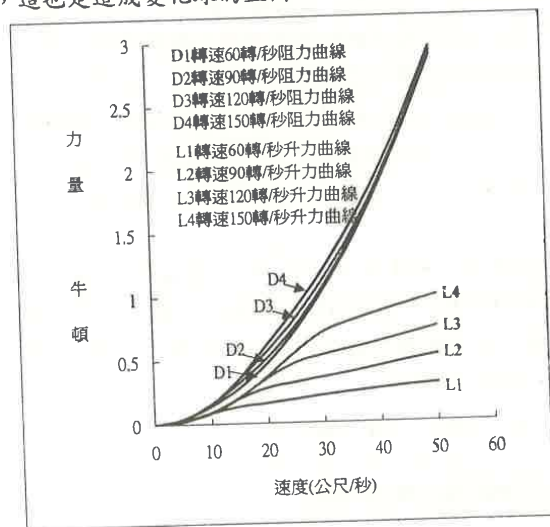
因為運動中的球體所受到的空氣阻力及麥格拉斯力係數並非定值，會隨球

速相對轉速的改變而改變，為求出在固定的轉速下球體，在任一 t_k 時刻速度所相對的空氣阻力 CD_k 及麥格拉斯力 CL_k 值，本研究採用旋轉光滑球體的阻力及麥格拉斯力係數關係圖 (Munson 等人, 1994, p625)，取得阻力及麥格拉斯力之係數資料(雷諾數 6×10^4) (邱靖華, 民 89b, 161 頁)，並運用 Spline 內插法進行處理(張紹勳和蔡志敏, 民 80)，其演算方法引自邱靖華(民 89b, 125 頁)撰寫之「排球傳球、發球與扣球之飛行軌跡分析」一文。

參、結果與討論

一、大小球在不同速度下阻力比較

棒球投手要投出各種變化球，必須借助空氣對球的作用，才能改變棒球的飛行曲線。根據流體力學的原理得知，當圓形球體以旋轉運動飛行時，會受到重力、空氣阻力與麥格拉斯力三種外力的影響。重力是造成棒球飛行最後往地面掉下的力量。而空氣阻力是與棒球的運動速度、外型結構和大小改變有關，它會造成縱向減速作用。另外麥格拉斯力的形成因素，主要是與棒球運動速度、外型結構和大小、旋轉速度有關。麥格拉斯力的主要作用，在於造成運動中棒球產生橫向偏移，這也是造成變化球的主因。



圖六 大小球運動速度之空氣阻力與麥格拉斯力關係圖

如圖六所示，當棒球在不同旋轉速度(60、90、120、150 轉/秒)下，運動速度由 0 公尺/秒增加到 60 公尺/秒，棒球所受到的空氣阻力是隨著速度的增加而遞增，但不同旋轉速度對空氣阻力的影響並不十分明顯。但是，棒球飛行時所受到的麥格拉斯力，不同旋轉速度對球的影響卻十分明顯，轉速愈快所受到麥格拉斯力的作用也愈大。因此我們可以確定，投球時讓球旋轉飛行是產生變化球的必要條件。

不同投球條件下的偏移量

為了要三振打擊手，投手最想學習的是能投出讓打者錯失打擊機會的變化球。曲球是變化球中最常見的，如果熟練這種投法對投手而言是最佳的武器(呂文賢, 民 86)。曲球可分為左曲球與右曲球，左曲球是指球飛行時向左側產生偏移的現象，在物理學上是指投手投出右旋球所形成的飛行軌跡。反之，右曲球是指球飛行時向右側產生偏移的現象，是右旋球所形成的飛行軌跡。另外一種下墜球是指球飛行時向下產生下墜的現象，是上旋球所形成的飛行軌跡。而下旋球對球所形成的飛行軌跡，會行成上浮的現象，球的飛行軌跡會比原來還高。

為了了解投手在不同投球速度，以及不同轉速條件下的球體飛行偏移量。根據電腦模擬的結果，如表一所列之資料，投手在投球出手高度 1.6 公尺，出手仰角 2 度條件下，分別以 130、140、150、160、170 公里/小時五種球速進行投擲，在每一種投球速度中，模擬上旋球、右旋球、左旋球、下旋球，在 50、100、150 轉/秒三種不同轉速下的偏移情形。

表一 棒球在不同投球速度及轉速條件下的飛行偏移量

投球速度		投球出手高度 1.6 公尺 出手角度 2 度											
130 公里/小時 (36.1 公尺/秒)		上旋球偏移量			右旋球偏移量			左旋球偏移量			下旋球偏移量		
轉速 (轉/秒)	0 (無旋球)	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150
X(公尺)	18.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(公尺)	0	0	0	0	-0.17	-0.43	-0.77	0.17	0.43	0.77	0	0	0
Z(公尺)	0.82	-0.17	-0.43	-0.77	0	0	0	0	0	0	0.17	0.43	0.77
投球速度		投球出手高度 1.6 公尺 出手角度 2 度											
140 公里/小時 (38.9 公尺/秒)		上旋球偏移量			右旋球偏移量			左旋球偏移量			下旋球偏移量		
轉速 (轉/秒)	0 (無旋球)	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150
X(公尺)	18.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(公尺)	0	0	0	0	-0.15	-0.39	-0.70	0.15	0.39	0	0	0	0
Z(公尺)	0.86	-0.15	-0.39	-0.70	0	0	0	0	0	0.70	0.15	0.39	0.70
投球速度		投球出手高度 1.6 公尺 出手角度 2 度											
150 公里/小時 (41.7 公尺/秒)		上旋球偏移量			右旋球偏移量			左旋球偏移量			下旋球偏移量		
轉速 (轉/秒)	0 (無旋球)	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150
X(公尺)	18.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(公尺)	0	0	0	0	-0.16	-0.36	-0.64	0.16	0.36	0.64	0	0	0
Z(公尺)	1.16	-0.15	-0.36	-0.64	0	0	0	0	0	0	0.16	0.36	0.64
投球速度		投球出手高度 1.6 公尺 出手角度 2 度											
160 公里/小時 (44.4 公尺/秒)		上旋球偏移量			右旋球偏移量			左旋球偏移量			下旋球偏移量		
轉速 (轉/秒)	0 (無旋球)	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150
X(公尺)	18.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(公尺)	0	0	0	0	-0.13	-0.33	-0.57	0.13	0.33	0.57	0	0	0
Z(公尺)	1.31	-0.13	-0.33	-0.57	0	0	0	0	0	0	0.13	0.33	0.57

投球速度 170 公里/小時 (47.2 公尺/秒)	投球出手高度 1.6 公尺 出手角度 2 度												
	上旋球偏移量			右旋球偏移量			左旋球偏移量			下旋球偏移量			
轉速(轉/秒)	0 (無旋球)	50	100	150	50	100	150	50	100	150	50	100	150
X(公尺)	18.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Y(公尺)	0	0	0	0	-0.12	-0.30	-0.53	0.12	0.30	0.53	0	0	0
Z(公尺)	1.50	-0.12	-0.30	-0.53	0	0	0	0	0	0	0.12	0.30	0.53

(上旋球偏移量負號是代表向下偏移, 右旋球偏移量負號是代表向左偏移。)

當投手投球速度 130 公里/小時(X 軸 18.44 公尺水平距離指投手板前緣中央至本壘板尖之距離), 當上旋球旋轉速度是 50、100、150 轉/秒時, 其下墜偏移量是 -0.17、-0.43、-0.77 公尺, 隨轉速增加而增加。當右旋球、左旋球、下旋球在 50、100、150 轉/秒時, 偏移量跟上旋球一樣, 亦隨轉速增加而增加。另外, 投手投球速度從 130 公里/小時增加到 170 公里/小時, 可以發現在同樣轉速條件下, 不管是上旋球或是右旋球、左旋球、下旋球等, 其偏移量是隨速度增加而減少。主要是因球速增加而縮短了飛行時間, 相對的麥格拉斯力作用的時間也縮短了, 因此造成偏移量隨速度增加而減少的現象。

肆、結論

根據結果討論獲如下結論: 投手在投球出手高度 1.6 公尺, 出手仰角 2 度及在投球距離 18.44 公尺條件下, 以 130、140、150、160、170 公里/小時五種球速進行投球, 在每一種投球速度中, 不管是投上旋球、右旋球、左旋球或是下旋球, 在 50、100、150 轉/秒三種不同轉速下, 偏移量隨著轉速的增加而增加。在 50、100、150 轉/秒三種不同轉速中發現, 而球速從 130 公里/小時增加到 170 公里/小時, 偏移量隨著轉速的增加而減少。

伍、參考文獻

別所毅彦(民 58): 棒球投球技巧。台南市: 王家出版社。
呂文賢(民 86): 棒球技巧入門。台南市: 文國書局。

- 張紹勳、蔡志敏(民 80)：演算法入門與進階--使用 C 語言。台北市：建發印刷公司。
- 邱靖華(民 89a)：男女世界鉛球紀錄保持者之最佳投擲成績推估。大專體育雙月刊，第四十八期，頁 157-164。
- 邱靖華(民 89b)：排球傳球、發球與扣球之飛行軌跡分析。大專體育雙月刊，第五十期，頁 121-130。
- Craig, J. J. (1989). Introduction to Robotics Mechanics and Control. (2nd ed.) New York: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Munson, B. R., Young, D. F., & Okiishi, T. H. (1994). Fundamentals of Fluid Mechanics (2nd ed.) (pp.622-626). Canada:Lehigh press.
- Soong, T. C. (1982). Biomechanical analyses and applications of shot put, discus and javelin throws. In D. N. Ghista (Eds.). Human Body Dynamics:Impact, Occupational, and Athletic Aspects (pp.462-497). Oxford:Clarendon press.

三級學校籃球選手目標取向 與內在動機之差異研究

何全進

摘要

本研究主要目的在探討三級學校籃球選手目標取向與內在動機之差異。以 89 學年度參加三級籃球聯賽男生甲級聯盟決賽前十二名的隊伍 336 名選手為研究對象（國中=108、高中=106、大學=122），施以目標取向量表與內在動機量表測驗。經 SPSS 8.0 中文版統計套裝軟體之單因子變異數分析 one-way ANOVA、相依樣本 t 考驗比較三級學校籃球選手在目標取向與內在動機間之差異，結果發現：

- 一、全體籃球選手「工作取向」顯著高於「自我取向」。
- 二、國中選手的「工作取向」顯著高於高中與大學選手；高中選手的「自我取向」顯著高於大學選手。
- 三、三級籃球選手之「內在動機」無顯著差異。

關鍵詞：目標取向 (goal orientation)、內在動機 (intrinsic motivation)、籃球 (basketball)

壹、緒論

一、前言

青少年、青年與成年是人生的重要階段，是一個人成長與學習重要的旅程，此階段的決定過程影響未來的一生。國中、高中、大學正與此階段的時期相符合，也是我國重要的學制，更是生理與心理成長的重要時期。我國運動選手的培養大多經由此一系統來培育與養成，也就是說三級學校是栽培運動選手的搖