

# 清選器之電腦輔助設計

## Computer Aids to the Design of Separators

國立臺灣大學農機系副教授

陳 世 銘

Suming Chen

### 摘 要

風選或水選應用於農產品之加工及處理作業日趨普遍，因此如何有效率及系統地設計清選器為一重要之課題。本研究成功地推導農產品在二維流場運動之電腦模式，並以實驗及文獻數據驗證其正確性。本研究以此模式計算數種農產品之終端速度與非球體形狀農產品之表觀阻力係數；並舉一實例說明清選器之設計。因此，本模式除可作為設計清選器之輔助工具外，亦可用為農產品浮力物性之研究。研究結果亦指出，一維流場之紊流分析解與模式數值解吻合。

關鍵詞：氣體動力、液體動力、清選器、阻力係數。

### ABSTRACT

The application of separation by air or water is a common practice in many agricultural processing and handling operations. Therefore, an effective and systematic method for the design of separators is essential. In this study, a model which describes the motion of agricultural products in a 2-dimensional fluid field was successfully developed, and verified by experimental and literature reported data. The model was used to calculate the terminal velocities of selected agricultural products and apparent drag coefficients of non-spherical products, also be employed to provide the design parameters for separators. An example of separator design was given in this paper. The model can not only be used for the study of aerodynamic/hydro-dynamic properties of agricultural products, but also be served as computer aids to the design of separators. The results also indicated that in the case of 1-dimensional fluid field, a good agreement between turbulent analytic solution and the numerical solution by this model was found.

Keywords: Aerodynamic, Hydro-dynamic, Separator, Drag Coefficient

## 一、前 言

應用農產品之氣體動力 (Aerodynamics) 或液體動力 (Hydro-dynamics) 特性來進行農產品之加工及處理作業已日趨普遍。一般以空氣或水為媒體以清選雜物或進行流體輸送。利用風選來進行穀物清選的如 Bilanski 等人(1986), Smith 及 Stroshine (1985), Jiang 等人 (1984), Rumble及 Lee(1970), Bilanski 及 Lal(1965); Mueller 等人 (1967) 則利用黑胡桃之氣體動力性質來選別其品質; Quackenbush 等人 (1962) 則曾探討以高速氣流來減少水果機械收穫時之衝擊力。Hallee (1972), Gilfillan 及 Crowther (1959) 則曾研究以氣流來選別馬鈴薯及土塊。Lorenzen 及 Lamouria (1964) 則利用液體動力特性進行杏果 (Apricot) 乾燥前之對齊、整向、切割、去核等作業。

在諸多應用中, 以風選清除雜物為最普遍, 就目前穀類聯合收穫機而言, 其清選之工作即利用穀物與桿渣有不同之氣體動力特性而設計的。水選因須與水接觸, 有病變的可能, 因此較不受到重視, 然而農產品或食品加工及處理常須以液體為處理媒體, 應可利用液體動力特性進行選別或其他應用。文獻上過去的研究, 風選或水選皆各自為政; 亦常為簡化問題而省略浮力, 或假設為一維之運動; 至於假設整個風選過程為紊流 (Turbulent), 或全程僅使用在終端速度 (Terminal Velocity) 時所求得之阻力係數 (Drag Coefficient) 等亦是非常普遍。本研究以質點之運動方程式為起點, 同時考慮氣體動力及液體動力之情況, 並以二維之電腦模式探討農產品由層流 (Laminar Flow) 至紊流之全程運動情形。最後以實驗數據及文獻資料來檢驗模式及說明清選器之實例設計。本模式亦可用以反推農產品之表觀阻力係數 (Apparent Drag Coefficient), 從而可擴大使用於非球體形狀之農產品。

## 二、理 論

考慮一個二維的流場,  $x$  以向右為正向,  $y$  以向下為正向, 當質點 (農產品) 相對於其周遭之流體運動時, 此質點將受重力、浮力、阻力及慣性之作用, 如圖 1 所示。若流場無界面效應 (Effects of Confining Walls), 且質點間無交互作用,

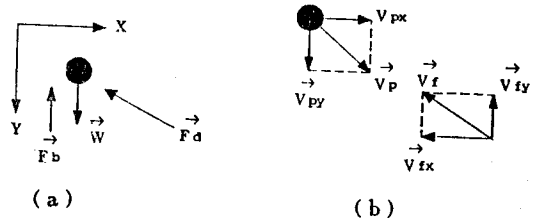


圖 1 樣本之自由體圖

則依牛頓第二定律, 其運動方程式可表為

$$m\ddot{x} = -F_{dx} \dots\dots\dots [1]$$

$$m\ddot{y} = W - F_b - F_{dy} \dots\dots\dots [2]$$

其中  $m$ ,  $W$ ,  $F_b$ ,  $F_{dx}$ ,  $F_{dy}$ ,  $\ddot{x}$  及  $\ddot{y}$  為質點之質量, 所受之重力、浮力、 $x$  方向阻力、 $y$  方向阻力, 以及  $x$  與  $y$  方向之加速度。假設農產品為一球體, 且其直徑與密度為  $D_p$  及  $\rho_p$ , 則式[1]及[2]可表為

$$\ddot{x} + \frac{6}{\pi D_p^3 \rho_p} F_{dx} = 0 \dots\dots\dots [3]$$

$$\ddot{y} + \frac{6}{\pi D_p^3 \rho_p} F_{dy} + g \left( \frac{\rho_f}{\rho_p} - 1 \right) = 0 \dots\dots [4]$$

其中  $g$  為重力加速度,  $\rho_f$  為流體密度。

流體阻力  $\vec{F}_d$  可表為

$$\vec{F}_d = - \left( \frac{1}{2} C_D A \rho_f V_{r.o.1} \right) \vec{V}_{r.o.1} \dots\dots\dots [5]$$

其中  $C_D$ ,  $A$ , 及  $V_{r.o.1}$  為阻力係數、農產品之正向面積 (Frontal Area) 以及農產品相對於流體之相對速度。

由定義可知

$$\begin{aligned} \vec{V}_{r.o.1} &= \vec{V}_p - \vec{V}_f \\ &= (V_{px} - V_{fx})\vec{i} + (V_{py} - V_{fy})\vec{j} \\ &= (\dot{x} - V_{fx})\vec{i} + (\dot{y} - V_{fy})\vec{j} \dots\dots\dots [6] \end{aligned}$$

其中  $V_p$ ,  $V_f$  為質點、流體之速度,  $V_{px}$ ,  $V_{py}$ ,  $V_{fx}$ ,  $V_{fy}$  為質點、流體在  $x$  及  $y$  方向之速度分量,  $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$  亦為質點在  $x$  及  $y$  方向之速度分量。將式 [6] 代入式 [5] 可得

$$F_{dx} = - \frac{1}{2} C_D A \rho_f \sqrt{(\dot{x} - V_{fx})^2 + (\dot{y} - V_{fy})^2} \dots\dots\dots [7]$$

$$F_{dy} = \frac{1}{2} C_D A \rho_f (\dot{y} - V_{fy}) \sqrt{(\dot{x} - V_{fx})^2 + (\dot{y} - V_{fy})^2} \dots\dots\dots [8]$$

McCabe 及 Smith (1976) 提到球體之阻力係數,  $C_D$ , 可以雷諾數 (Reynolds Number),  $R_o$ , 來表示

$$C_D = \frac{P}{R_o^Q} \dots\dots\dots [9]$$

其中

$$R_o = \frac{V_{rei} D_p \rho_f}{\mu_f} \dots\dots\dots [10]$$

而  $\mu_f$  為流體之黏滯度,  $P$  及  $Q$  為常數, 其數值如下:

$$\begin{aligned} 0 < R_o < 2 & \quad P = 24.0, \quad Q = 1.0 \\ 2 < R_o < 500 & \quad P = 18.5, \quad Q = 0.6 \\ 500 < R_o < 2 \times 10^5 & \quad P = 0.44, \quad Q = 0.0 \end{aligned}$$

式[7]代入式[3]可得

$$\ddot{x} + \frac{3}{4} \frac{C_D}{D_p} \frac{\rho_f}{\rho_p} (\dot{x} - V_{fx}) \sqrt{(\dot{x} - V_{fx})^2 + (\dot{y} - V_{fy})^2} = 0 \dots\dots\dots [11]$$

同理, 式[8]代入式[4]可得

$$\begin{aligned} \ddot{y} + \frac{3}{4} \frac{C_D}{D_p} \frac{\rho_f}{\rho_p} (\dot{y} - V_{fy}) \sqrt{(\dot{x} - V_{fx})^2 + (\dot{y} - V_{fy})^2} \\ - g \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) = 0 \dots\dots\dots [12] \end{aligned}$$

到目前為止, 式[12]考慮的情況為沉體; 若考慮浮體, 且在此情況下,  $y$  以向上為正向, 則式[12]可改寫成沉體及浮體皆適用之通式如下

$$\begin{aligned} \ddot{y} + \frac{3}{4} \frac{C_D}{D_p} \frac{\rho_f}{\rho_p} (\dot{y} - V_{fy}) \sqrt{(\dot{x} - V_{fx})^2 + (\dot{y} - V_{fy})^2} \\ - \left| g \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) \right| = 0 \dots\dots\dots [13] \end{aligned}$$

必須注意的是, 式 [11] 與 [13] 為非線性 (Nonlinear) 且耦合 (Coupled)。耦合指式[11]與式[13] (或式[12]) 互相依賴, 無法以單獨之式[11]解出  $x$  (質點之水平位移), 因為式[11]含有未知之  $y$ , 而  $y$  必須以式[13]解之; 式[13]亦然。因此乃以電腦進行數值分析, 將[11]與[13]改寫成

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{3}{4} \frac{C_D}{D_p} \frac{\rho_f}{\rho_p} (\dot{x} - V_{fx}) \sqrt{(\dot{x} - V_{fx})^2 + (\dot{y} - V_{fy})^2} \dots\dots\dots [14]$$

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x} \dots\dots\dots [15]$$

$$\frac{dy}{dt} = \left| g \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) \right| - \frac{3}{4} \frac{C_D}{D_p} \frac{\rho_f}{\rho_p} (\dot{y} - V_{fy}) \sqrt{(\dot{x} - V_{fx})^2 + (\dot{y} - V_{fy})^2} \dots [16]$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{y} \dots\dots\dots [17]$$

其中  $t$  為時間,  $x$  與  $y$  為質點之水平與垂直位移。假設流體之速度不隨時間改變, 且質點之初始位置與初速已知, 上文式[14]至[17]之聯立微分方程式組可以四階 Runge-Kutta 法得到數值解, 本電腦模式以福傳 (Fortran) 語言寫成。

若將質點及流體初速之  $x$  分量設定為零, 則本模式可用以模擬一維之質點浮力運動。假設流場為一維 ( $y$  方向), 流體為靜止, 且質點初始位置與初速皆為零, 我們可以進一步比較分析法與數值法 (模式) 之計算結果, 在此, 先導出分析解之公式。

(a) 假設流場為層流 (Laminar)

阻力係數及阻力各為

$$C_D = \frac{24}{R_o} \dots\dots\dots [18]$$

$$F_d = 6\pi\mu_f r_p V_{py} \text{ (Stoke's law)} \dots\dots\dots [19]$$

其中  $r_p$  為質點半徑。質點運動方程式之分析解很容易即可解得

$$\dot{y}(t) = V_{py}(t) = -\frac{2}{9} \frac{r_p^2}{\mu_f} g \left| \rho_p - \rho_f \right| \left[ 1 - \exp\left(-\frac{9}{2} \frac{\mu_f}{r_p^2 \rho_p} t\right) \right] \dots\dots\dots [20]$$

$$\begin{aligned} y(t) = \frac{2}{9} \frac{r_p^2}{\mu_f} g \left| \rho_p - \rho_f \right| \left[ t - \frac{2}{9} \frac{r_p^2 \rho_p}{\mu_f} \right. \\ \left. \left[ 1 - \exp\left(-\frac{9}{2} \frac{\mu_f}{r_p^2 \rho_p} t\right) \right] \right] \dots [21] \end{aligned}$$

(b) 假設流場為紊流 (Turbulent)

阻力係數  $C_D$  為一常數 0.44, 其分析解可解得如下:

$$\dot{y}(t) = V_{py}(t) = \frac{1}{a} \tanh(abt) \dots\dots [22]$$

$$y(t) = \frac{1}{a^2 b} \ln \cosh(abt) \dots\dots\dots [23]$$

其中

$$b = g \left[ 1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right] \dots\dots\dots [24]$$

$$a^2 = \frac{C_D A \rho_f}{2mb} \dots\dots\dots [25]$$

式[20]至[23]為沉體與浮體皆適用之通式。

### 三、實驗設計

由於文獻上對農產品之液體動力特性研究不多，故本研究即針對此點來進行水果之浮力實驗。首先設計了一個水箱及釋放桿。水箱乃以8mm厚之透明壓克力板製成之45cm × 45cm × 150cm（高）之箱體，外加鋁條固定加強，以避免水壓過大而崩裂。另外在其中一側面之底處裝設一排水閥，以便實驗完成後洩水之用。釋放桿由一覆有軟質材料之夾頭、固定桿及釋放撥柄所組成。水箱及釋放桿如圖2所示。釋放桿之目的乃當樣本之比重小於水時，先以釋放桿夾住樣本置放於水箱底，然後再釋放之，使其上浮。不論樣本為沉體或浮體，進行實驗時，均由一人操作水果之釋放，另二人以碼錶記錄樣本行經水深之距離所需的時間。視樣品之種

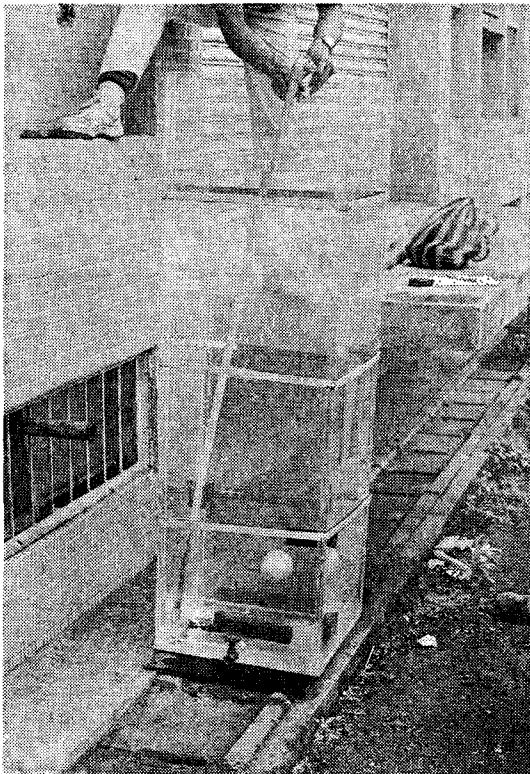


圖2 水果浮力實驗

類，實驗須重覆數次，以減少讀秒之誤差，然後再求時間之平均值。樣本之密度乃以阿基米得法（Mohsenin, 1986）先量得體積，然後再以電子秤測得之質量除之。由於流體阻力與樣本之正向面積有關，樣本若非球形，則以與樣品等體積之球直徑為其直徑（等積直徑），即

$$D_p = \sqrt[3]{6Vol/\pi} \dots\dots\dots [26]$$

其中 Vol 為樣本體積。若樣本與球形形狀相去甚遠，如楊桃，除了求其等積直徑外，亦記錄其三主軸之長度。

### 四、結果與討論

#### (A) 模式驗證

由於模式是以球形樣本為其假設條件之一，故首先以乒乓球及橡皮球在靜止水中行經設定距離所需之時間來驗證模式，至於不規則形狀之農產品，如楊桃等將於後文再予討論。為使乒乓球與橡皮球有多種不同之比重，乃以鐵屑置於球內，再封缺口。因此本實驗所使用10個乒乓球之比重範圍由0.543至1.091，而5個橡皮球為0.604至1.144。乒乓球之直徑為3.84cm，橡皮球為6.21cm。各以水深1.00, 1.23和1.45公尺進行重複實驗。其與由本電腦模式所計算之數值解的比較如圖3所示。由圖中可看出大部份之數據位於45°直線之下方，如果計算值與實驗值相等，則數據應落於45°直線上，由此可見實驗值平均而言較計算值為大。不過這是合理的，由於鐵屑在球中並非均勻分佈，而是

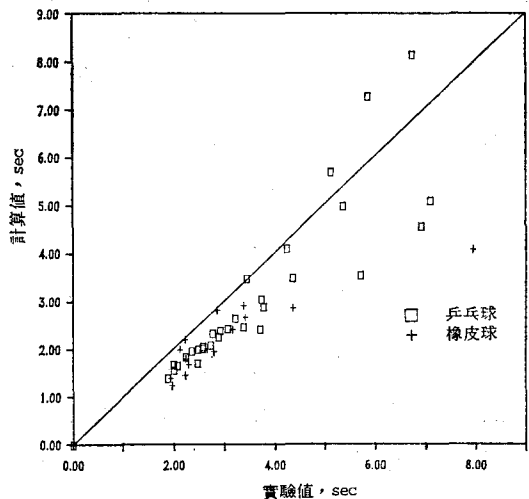


圖3 球體行經設定水深所需之時間

集中於最下端，因此在實驗時發現，球有時會旋轉，或非以直線行進，因此增加了到達終點所需的時間。由於圖3大部份之數據點皆相當靠近45°直線，再加上實驗時間皆有偏長之傾向，模式所預測之時間值可說是相當準確。

再以形狀近乎球體之蘋果與柳丁來進行水之浮力實驗。水箱之水深為1.0及1.285公尺，蘋果之密度範圍為767.5至815.4 kg/m<sup>3</sup>，柳丁為840.3至958.3 kg/m<sup>3</sup>，而蘋果之等積直徑範圍為8.18至8.64 cm，柳丁為5.72至7.10 cm。圖4即為其行經時間之實驗值與計算值之比較。實驗時亦發現水果並非全以直線行進，所以圖4之結果亦符合

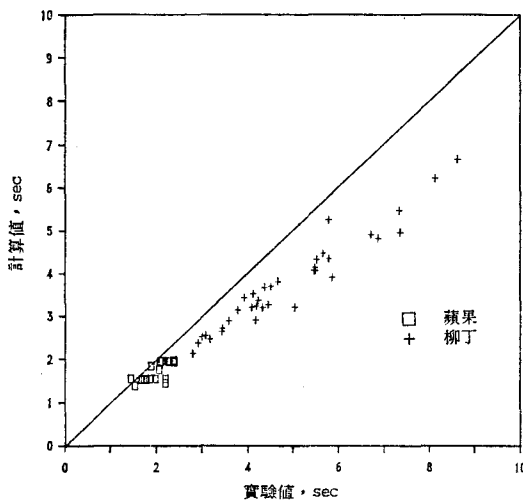


圖4 近球形水果行經設定水深所需之時間

實驗之觀察。由比較之結果判斷，本模式亦可用以模擬近球形水果在水中之運動。

Bilanski 等人 (1962) 曾對多種穀物種子進行其氣體動力特性之實驗，量測種子自由落體時之行經時間，並藉以求得其終端速度 (Terminal Velocity)。Mueller 等人 (1967) 也對黑胡桃 (Black Walnut) 進行氣體動力特性之研究，以 Hawk 等人 (1966) 所設計之裝置測量黑胡桃之終端速度。為了進一步驗證模式在空氣中之運動情形，以 Bilanski 及 Mueller 等人所發表的實驗條件及數據進行電腦模擬，其終端速度之比較見表1。結果顯示以塑膠球之終端速度最接近文獻數據，此乃因為塑膠球為球體之故。大豆、玉米、苜蓿 (Alfalfa) 種子亦非常接近實驗數據。至於模擬 Mueller 等人之黑胡桃結果亦相當不錯，表1列出4個 (#5~#8) 以供比較對照之用。由上文之討論，本電腦模式不論以水或空氣為流場進行模擬，皆與實驗數據相當吻合。

#### (B) 與分析解之比較

在文獻上常有研究者以分析解來描述農產品之流體動力特性。在此將進一步比較及探討本模式與分析解之差異。假設流場為一維，流體為靜止，且樣本之初始位置與初速皆為零，若流場為層流，則樣本之速度與y方向之位移如式[20]與[21]所示，若流場為紊流，則為式[22]及[23]。今以葡萄柚、玉米粒及黑胡桃為例，假設其為球形，其密度與直徑之數據如表2所示，模擬葡萄柚在水中行進，玉

表1 本模式所計算之終端速度與文獻數據之比較

樣本	直徑 m	密度 kg/m <sup>3</sup>	終端速度, m/s		文獻出處
			本模式	文獻數據	
塑膠球	0.00951	1168.40	16.53	16.77	Bilanski 等人 (1962)
大豆	0.00681	1245.34	14.41	13.50	
玉米	0.00793	1092.40	12.02	10.64	
苜蓿	0.00162	1079.95	6.12	5.46	
黑胡桃 #5	0.0308	1040.69	23.80	22.53	Mueller 等人 (1967)
黑胡桃 #6	0.0272	1024.83	21.97	20.50	
黑胡桃 #7	0.0289	468.69	15.38	14.51	
黑胡桃 #8	0.0276	708.00	17.53	16.40	

米粒及黑胡桃在空氣中行進。模擬時，空氣與水均以 20°C 之性質為依據，即空氣之  $\rho_f = 1.206 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu_f = 1.815 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$ ，而水之  $\rho_f = 1000.52 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu_f = 1.0065 \times 10^{-3} \text{ kg/m-s}$ 。模式之數值解與層流、紊流之分析解之比較詳圖 5, 6 及 7。由此三圖可發現葡萄柚、玉米粒及黑胡桃之模式數值解與紊流分析解相當吻合，層流分析解在剛開始時一致，而一段時間後即愈離愈遠，甚至於達到離譜的地步。相對於圖 5 及圖 7，圖 6 亦指出，葡萄柚很快地由層流轉入紊流，然後亦很快地達到終端速率，進行其他水果之水中實驗結果分析時，亦有相同之發現。由此推論，若以一維而言，則紊流分析解應可以用為模擬公式，但若為二維分析，因為式[11]與[13]互為耦合，以分析解來分析，相當麻煩，仍然以數值解較方便。

表 2 數種農產品之直徑、密度與行經之流體對照表

樣本	直徑 m	密度 kg/m <sup>3</sup>	流體
黑胡桃 #28	0.0299	1076.09	空氣
玉米	0.0079	1092.40	空氣
葡萄柚	0.0943	842.10	水

### (C) 清選器設計實例

本電腦模式之最終目的，乃在於提供設計清選器之資料與數據。本研究以 Mueller 等人(1967)所提供之30個黑胡桃為例，設計一清選器以選別黑胡桃之品質。依 Mueller 等人之分法，將黑胡桃分成好品質(19個)與差品質(11個)兩類，其平

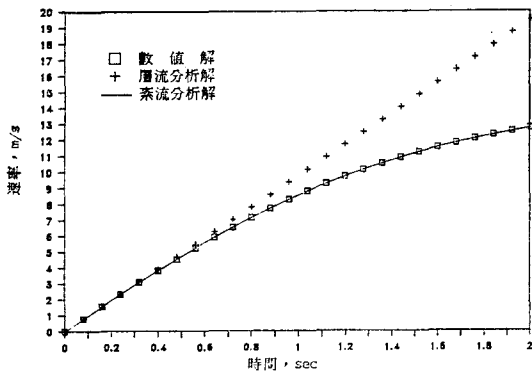


圖 5 玉米粒在靜止空氣中 y 方向之速率與時間之關係

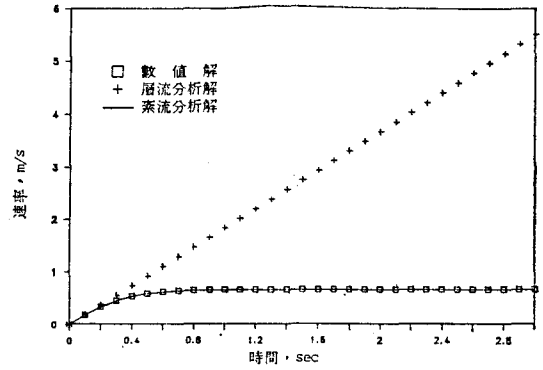


圖 6 葡萄柚在靜止水中 y 方向之速率與時間之關係

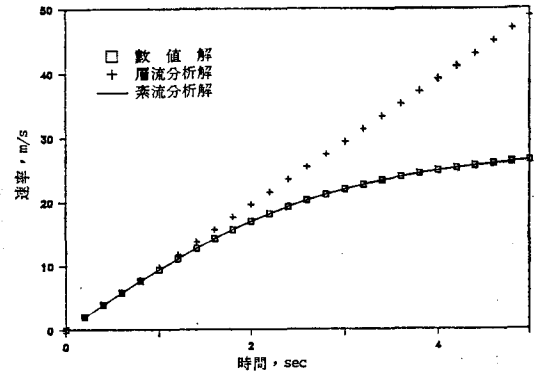


圖 7 黑胡桃在靜止空氣中 y 方向之速率與時間之關係

均直徑及平均密度則如表 3 所示。選用 20°C 空氣為選別之流體，考慮二維之運動，而風場之初速度為  $V_{fx} = -20 \text{ m/s}$ ,  $V_{fy} = 0$ ；胡桃之初速度為  $V_{px} = -5$ ，或 0，或 5 m/s,  $V_{py} = 0$ 。模式以行走 1 公尺深度 (y) 之清選器計算胡桃所能達到之水平 (x) 方向之位移，並將結果列於表 3。結果顯示胡桃與風場之相對速度愈大，好與差品質之胡桃的水平位移差距也愈大，亦即選別效果愈好，其中負號表示方向向左。

由表 3 之三組速度條件，以選用  $V_{fx} = -20 \text{ m/s}$ ,  $V_{px} = 5 \text{ m/s}$  為最佳。若以此為設計參數，並用以模擬所有 30 個胡桃之水平位移，結果則見表 4。好品質之黑胡桃的平均水平位移為 1.511m，而差品質之黑胡桃則為 1.330m。圖 8 即為好的與差的胡桃之最遠、平均及最近路徑軌跡圖。圖中顯示有部份重疊的現象，若將  $x = 1.51 \text{ m}$  設為選別標準，即  $x > 1.51 \text{ m}$  的視為好品質，反之則為差品質，則所選到的所謂好胡桃這類內將無摻有壞胡桃，

表 3 黑胡桃初速對其水平位移之影響

品 質	平均直徑 m	平均密度 kg/m <sup>3</sup>	水 平 位 移 , m		
			V <sub>px</sub> = -5m/s	V <sub>px</sub> = 0m/s	V <sub>px</sub> = 5m/s
好	0.0302	1011.65	- 2.595	- 0.513	1.514
差	0.0299	774.59	- 2.682	- 0.662	1.291

註：風之初速為 V<sub>rx</sub>=20m/s, V<sub>ry</sub>=0m/s

但壞胡桃內則夾雜有好的。當然選別標準之好壞必須視樣本是否具有代表性而定。至於該定何距離為選別標準，應依精度要求、需要、市場價格等眾多因素而決定，本模式僅提供工程上之設計考慮。

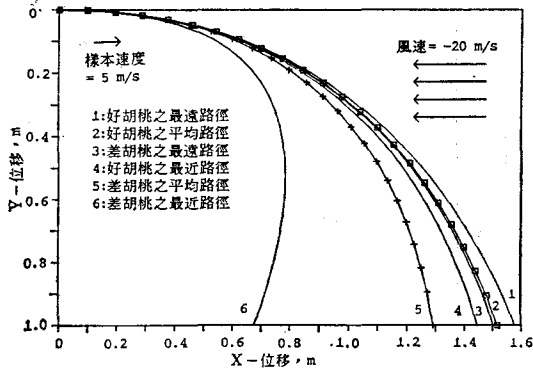


圖 8 黑胡桃品質清選器之設計示意圖

除了水平相對速度之調整會影響選別效率外，清選器之深度亦是設計的重點之一。樣本在清選器內停留之時間與深度有關，如有需要，亦可使氣流有向上之速度分量。另外當樣本沉至箱底時，若其速度依然很大，會經由箱底碰撞而再彈回至流場內，此乃所謂之“Reentrainment”之現象。設計時若加大深度會引起風速之下降，要維持原來之風速，則須有更大馬力之風機配合才可。模式在此能提供各種模擬條件之選別狀況，因此能夠藉由電腦之模擬而選擇最佳之選別精度、清選器尺寸及風機馬力等互相配合之設計。

(D)表觀阻力係數

前文提到本模式乃以球體為假設條件之一，而層流狀態亦很快就進入紊流狀態。以非球形水果而言，若仍假設其為球體，則其在水中之行經時間的實驗值與模式計算值如圖 9 所示。楊桃、枇杷、草莓等離球體形狀較遠之水果顯示計算值與實驗值相差極大，顯然此類水果之阻力係數不能再以式 [9]

表示。在此提出以實驗數據為準，而以模式來反推表觀阻力係數(Apparent Drag Coefficient)的方法。此乃假設此類樣本之直徑為等積直徑，且全程皆以某一定值之阻力係數行進，此一定值之阻力係數即為表觀阻力係數。本研究之電腦程式設計可以使電腦反覆改變阻力係數值，直至行經設定距離之時間計算值與時間實驗值吻合，此時所使用之阻力係數即稱為表觀阻力係數。

試以數種水果為例，計算其表觀阻力係數值，如表 5 所示。其中柳丁、蘋果、葡萄柚因較接近球體，其表觀阻力係數皆較接近球體之0.44；反觀枇杷及楊桃則遠大於0.44，而蓮霧則居中。一旦表觀阻力係數求出，代入模式即可進行分析，因此本模式亦可使用於非球體之農產品。West(1972)曾建議以農產品表面積與等體積之球體表面積比來修正阻力係數。若以ψ表示面積比，則 C<sub>D</sub> 可表為

$$C_D = 5.31 - 4.88\psi \dots\dots\dots [27]$$

West 表示此修正方法相當不錯。總之，不論以 West 的方法或藉由表觀阻力係數，本模式皆可輕易地擴大至非球體形狀農產品之應用。

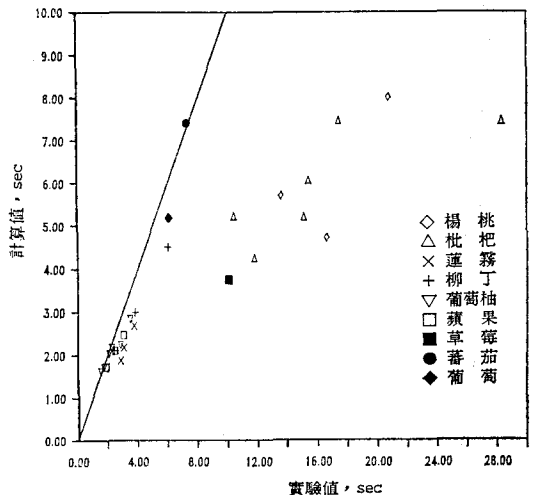


圖 9 水果行經設定水深所需之時間

表4 黑胡桃品質對其水平位移之影響

好品質之黑胡桃			
編號	密度 $\rho_p, \text{kg/m}^3$	直徑 $D_p, \text{m}$	水平移位 $x, \text{m}$
1	931.13	0.0304	1.457
2	943.30	0.0332	1.531
5	1040.69	0.0308	1.547
6	1024.83	0.0272	1.446
9	1061.99	0.0316	1.578
11	1047.10	0.0287	1.502
12	1047.42	0.0306	1.547
13	1022.59	0.0292	1.497
14	1077.69	0.0284	1.515
18	872.66	0.0348	1.509
20	1033.16	0.0276	1.463
21	1015.06	0.0301	1.514
22	960.28	0.0308	1.490
23	1019.07	0.0315	1.548
24	992.48	0.0288	1.465
25	1108.77	0.0277	1.517
26	911.42	0.0318	1.475
27	1035.56	0.0318	1.566
28	1076.09	0.0299	1.550
平均 標準差	1011.65 60.17	0.0302 0.0019	1.511 0.038

差品質之黑胡桃

3	488.39	0.0305	0.804
4	887.24	0.0339	1.502
7	468.69	0.0289	0.674
8	708.00	0.0276	1.132
10	813.39	0.0265	1.236
15	910.46	0.0319	1.477
16	845.59	0.0312	1.402
17	915.91	0.0303	1.442
19	861.13	0.0269	1.291
29	730.10	0.0309	1.268
30	891.56	0.0298	1.408
平均 標準差	774.59 153.96	0.0299 0.0021	1.330 0.388

註：條件為  $V_{px}=5\text{m/s}$ ,  $V_{py}=0\text{m/s}$   
 $V_{rx}=-20\text{m/s}$ ,  $V_{ry}=0\text{m/s}$

表5 數種農產品之表觀阻力係數

樣本	直徑 $\text{m}$	密度 $\text{kg/m}^3$	時間*, sec		表觀 阻力 係數
			實驗值	$C_D=0.44$	
柳丁	0.0667	840.3	2.14	1.87	0.61
蘋果	0.0835	767.5	1.54	1.39	0.58
葡萄柚	0.0943	842.1	1.58	1.62	0.41
蓮霧	0.0632	876.0	3.08	2.18	0.99
枇杷	0.0459	971.0	10.44	5.23	2.03
楊桃	0.1018**	988.0	13.59	5.71	3.60

註：\* 水深為1公尺

\*\* 三徑之平均

### 五、結 論

本電腦模式以二維之流場來模擬農產品在空氣中或水中之運動情形，並以實驗數據及文獻資料證明其具有可行性與正確性。因此本文舉一實例說明如何應用此模式，作為電腦輔助方法以設計清選器。至於非球體形狀之農產品，可藉由此模式反推求得表觀阻力係數，本研究亦求得數種農產品之表觀阻力係數與終端速度。本研究亦指出，以一維之流場而言，紊流分析解與模式數值解都可用為描述農產品在流場中之運動。

### 六、誌 謝

研究期間承蒙邱宗榮、薛文珍、田秉才、陳榮彬及張家禎等同學協助，特此誌謝。

### 七、符號說明

- A 樣本正向面積， $[\text{m}^2]$
- a 常數，式[25]
- b 常數，式[24]
- $C_D$  阻力係數，[無因次]
- $D_p$  樣本直徑， $[\text{m}]$
- $F_b$  浮力， $[\text{N}]$
- $F_d, F_{dx}, F_{dy}$  流體阻力、x分量阻力、y分量阻力， $[\text{N}]$
- g 重力加速度， $[\text{m/s}^2]$
- m 樣本質量， $[\text{kg}]$
- P 常數，式[9]
- Q 常數，式[9]



R.	雷諾數，式[10]，〔無因次〕
$r_p$	樣本半徑，〔m〕
t	時間，〔s〕
$V_t, V_{tx}, V_{ty}$	流體速度、x分量速度、y分量速度，〔m/s〕
Vol	樣本體積，〔m <sup>3</sup> 〕
$V_p, V_{px}, V_{py}$	樣本速度、x分量速度、y分量速度，〔m/s〕
$V_{r,rel}$	樣本相對於流體之相對速度，〔m/s〕
W	樣本重量，〔N〕
$x, \dot{x}, \ddot{x}$	樣本x方向之位移、速度及加速度，〔m〕，〔m/s〕，〔m/s <sup>2</sup> 〕
$y, \dot{y}, \ddot{y}$	樣本y方向之位移、速度及加速度，〔m〕，〔m/s〕，〔m/s <sup>2</sup> 〕
$\rho_t$	流體之密度〔kg/m <sup>3</sup> 〕
$\rho_p$	樣本之密度，〔kg/m <sup>3</sup> 〕
$\mu_t$	流體之黏滯度，〔kg/m-s〕
$\psi$	樣本表面積與等體積球體之表面積之比值，〔無因次〕

## 八、參考文獻

1. Bilanski, W. K., S. H. Collins, and P. Chu. 1962. Aerodynamic properties of seed grains. *Agricultural Engineering* 43(4):216-219.
2. Bilanski, W. K., D. K. Jones, and D. N. Mowat. 1986. Mechanical and aerodynamic separation of whole-plant corn silage into grain and stover. *Transactions of the ASAE* 29(5):1188-1192.
3. Bilanski, W.K. and R. Lal. 1965. Behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. *Transactions of the ASAE* 8(3):411-413, 416.
4. De Baerdemaeker, J. and L.J. Segerling. 1974. Aerodynamic properties of strawberries. *Transactions of the ASAE* 17(4):729-732, 736.
5. Garrett, R.E. and D. B. Brooker. 1965. Aerodynamic drag of farm grains. *Transactions of the ASAE* 8(1):49-52.
6. Gilfillan, G. and A. J. Growther. 1959. The behaviour of potatoes, stones and clods in a vertical airstream. *J. of Agri. Engr. Research* 4(1):9-15.
7. Hallee, N.D. 1972. Aerodynamic properties of potatoes and associated soil materials. *Transactions of the ASAE* 15(2):303-307.
8. Hawk, A. L., D. B. Brooker, and J. J. Cassidy. 1966. Aerodynamic characteristics of selected farm grains. *Transactions of the ASAE* 9(1):48-51.
9. Igbeka, J. and R. Sagi. 1971. Physical and aerodynamic properties of dropped citrus flower particles. *Transactions of the ASAE* 14(5):844-846.
10. Jiang, S., W.K. Bilanski, and J. H. A. Lee. 1984. Parameters for an aerodynamic combine precleaner. *Transactions of the ASAE* 27(1):36-40,44.
11. Keck, H. and J.R. Goss. 1965. Determining aerodynamic drag and terminal velocities of agronomic seeds in free fall. *Transactions of the ASAE* 8(4):553-554,557.
12. Law, S.E. and J.A. Collier. 1973. Aerodynamic resistance coefficients of agricultural particulates determined by Elutriation. *Transactions of the ASAE* 16(5):918-921.
13. Lorenzen, C. and L.H. Lamouria. 1964. Hydraulic handling of fruit in processing operations. *Agricultural Engineering* 45(5):258-259, 262-263.
14. McCabe, W.L. and J.C. Smith. 1976. *Unit operations of chemical engineering*. 3rd ed., McGraw-Hill Inc., New York.
15. Menzies, D. and W. K. Bilanski. 1968. Aerodynamic properties of alfalfa particles. *Transactions of the ASAE* 11(6):829-831.
16. Mohsenin, N.N. 1986. *Physical properties of plant and animal materials*.

- Second revised and updated edition. Gordon and Breach Science Publishers, New York.
17. Mueller, R. A., D. B. Brooker and J. J. Cassidy. 1967. Aerodynamic properties of black walnuts: application in separating good from bad walnuts. Transactions of the ASAE 10(1):57-61.
  18. Quackenbush, H. E., B. A. Stout and S.K. Ries. 1962. Pneumatic tree-fruit harvesting. Agricultural Engineering 43(7):388-393.
  19. Rumble, D.W. and J.H. A. Lee. 1970. Aerodynamic separation in a combine shoe. Transactions of the ASAE 13(1):6-8.
  20. Smith, D.B., E.D. Threadgill and E.C. Burt. 1973. Aerodynamic testing of cotton squares. Transactions of the ASAE 16(2):222-226.
  21. Smith, R.D. and R.L. Stroshine. 1985. Aerodynamic separation of cobs from corn harvest residues. Transactions of the ASAE 28(3):893-897,902.
  22. Soule, H.M. Jr. 1970. Investigation of some aerodynamic properties of low-bush blueberries. Transactions of the ASAE 13(1):114-117.
  23. West, N.L. 1972. Aerodynamic force predications. Transactions of the ASAE 15(3):584-587.

專營土木、水利、建築等工程

振和營造有限公司

地址：屏東市建興路2號

電話：(08)7529207

專營土木、水利、建築等工程

南輝營造有限公司

地址：高雄市苓雅區河北路74號

電話：(07)7517852