

撓性振動板清倉性能之研究

周震煌¹，蕭介宗²

1. 國立台灣大學生物產業機電工程學研究所研究生，本文通訊作者
2. 國立台灣大學生物產業機電工程學系教授

摘 要

探討撓性振動板清除平底穀倉的殘留料，13% 含水率的台大農場出產之 1000 公斤稻穀（台梗 14 號），以 3、5、7、9 和 11 度的安裝角，在振動板運轉 15 和 10 分鐘的條件下，測試其對應的出料量；並在固定 8 度的安裝角，以不同的頻率 36、42、48、54、60 和 66 Hz，在振動板運轉 12 分鐘的條件下，測試其對應的出料量。

在撓性振動板於 60 Hz 頻率操作時，出料量在振動板安裝角小於 7 度時，增加的速率很小，但安裝角高於 7 度以上，出料量以指數的曲線在增加，迴歸的方程式如 $y = 573.19e^{0.1246x}$ ，(y=出料量，kg/h/m，x=安裝角)，出料量與安裝角之判定係數為 0.9183。又撓性振動板應用於其他穀物，若無試驗數據時，建議保守的安裝角，應可以穀物和振動板間的動摩擦係數的反正切值 ($\tan^{-1}\mu_i$) 為準。振動板的安裝角在 8 度時，320 瓦振動器之頻率對振動板的出料量的影響，與感應電動機的特性曲線類似，而在馬達的額定負載內運轉，不同頻率下的出料量，隨出料時間的增加有成對數曲線遞減的趨勢。

現場調查結果，撓性振動板可安裝在平底倉庫底部，取代昂貴的穀斗倉(Hopper tank)，以直徑 11 米簷高 22 米的筒倉為例，比穀斗倉增加 21.3% 的倉容，及節省 57.23% 的建倉費。並可避免地震帶的結構上之不穩定性，經適當的改裝可適用於任何外形的倉庫，可增加現有倉庫之使用率並達成自動出倉之目標。

關鍵詞：清倉、撓性振動板、穀倉

PERFORMANCE OF FLEXIBLE VIBRATING FLOOR ON RECLAIMING GRAIN RESIDUALS

Chen-Huang Chou¹, Jai-Tsung Shaw²

1. Graduate Student, Graduate Institute of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Corresponding Author.
2. Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University.

ABSTRACT

This study is focused on the application of using Flexible Vibrating Floor (FVF) for cleaning of residuals in flat bottom bin. The local 1000kg paddy rice named TaiKen 14 from the Experimental Farm of National Taiwan University was dried to final wet

base moisture content of 13% by a circulated type dryer, put on the FVF installed at slope of 3, 5, 7, 9 and 11 degree from horizontal level, run 15 minutes, and then measured the output. At a fixed slope of 8 degree for handling the same 1000kg paddy rice, the throughput was measured at 36, 42, 48, 54, 60 and 66Hz under vibrators by adjusting inverter.

At 60 Hertz, the throughput of paddy rice was not increased significantly with a slope of FVF below 7 degree of slope, but increased with an exponential curve above 7 degree of slope. The exponential regression equation is as $y = 573.19e^{0.1246x}$, (Here y is throughput in kg/h/m, and x is slope in degree), and its determination coefficient is equal to 0.9183. While this FVF is applied to handle another kind of grains, an arctangent of kinetic coefficients of friction ($\tan^{-1}\mu_k$) between grain and vibrating floor will be a suggested reasonable degree of slope if the experimental data is not available.

At a fixed 8 degree slope, the throughput was increased with the increase of input frequency before the FVF motor was overloaded. The relationship between throughput and frequency is just similar to the relation of output torque and frequency of motor. Besides, the logarithmic relationship existed between the increases of operation time and decreases of throughput of vibrating floor on the reclaiming residual at the rated motor load.

From the filed investigation, FVF could be mounted in the flat bottom bin to increase 21.3% storage capacity than hopper tank and reduce the 57.23% construction cost based on bin in 11 meter diameter by 22 meter eave high. This structure would prevent the structural instability in seismic zone, and was capable to fit into any shape of grain bin to improve handling efficiency after suitable modification and to reach the automatic reclaiming.

Keywords: Reclaiming, Flexible Vibrating Floor(FVF), Grain Bin

一、前 言

國內因應各個階段的糧食政策，興建了四千多棟不同構造的倉庫，包括鋼筋混凝土倉庫、加強磚造倉庫和力霸鋼架倉庫，三種倉庫的有效容積，就佔總倉儲量的 85.71%，蘇 (1997)。但隨著自動化倉儲系統的發展，舊有倉庫不符自動進出倉的觀念，耗用鉅資興建的圓筒型穀斗倉，經不起一個百年才可能發生一次的 921 大地震，不但震垮了多數的穀斗倉，也震出了業界對穀斗倉結構穩定性的重視，有鑑於此，替結構穩定性較高的集中型倉庫，加裝撓性振動板，達到與穀斗倉相近功能的自動進出倉，是本研究之主要目的。

Mohsenin (1970) 提出當含水率超過 13%，小麥，玉米，稻穀等穀物對鋼板和木板的靜摩擦係數隨含水份的增加而增加，鄒(1978)也以實驗

證明稻穀在鐵板與不銹鋼板上滑動的靜摩擦係數隨稻穀含水率的增加而增加。Poncet (2000) 指出影響安裝角的主要因素，包括物料之內摩擦角、粘著性及含水率等與物料流動性有關的條件。

振動輸送機的型式，Wooddock (1972) 以彈簧懸吊或支撐，以連桿、偏心馬達或電磁驅動，在高頻率低振幅下執行振動的運動，並以微小的跳動來移送物料，Gaberson(1972) 提出質點在往復輸送機上運動的理論。振動輸送機的操作原理，Handerson(1976) 認為輸送槽在 X (與振動板平行) 和 Y (與振動板垂直) 方向有速度的傳遞，當在 Y 方向的加速度大於輸送物的重量，此物體就會被揚起而在 Y 軸方向成短拋物線狀，而在 X 軸方向的力應比克服最大靜摩擦的力還小，物體才會在 X 方向有最大的“飛行”距離。

Ng (1986) 在訂振動送料機的電腦模式時假設振動系統是簡諧的振動、槽面上的物體是單一質

點、物體在槽面上沒有滾動、物體飛行時的空氣阻小而可以忽略不計。Lim (1997)也提相關理論，且物體在線性供料器上的運動狀態只與振動源有關，而影響物體輸送速度的因素包括：激動角、振幅、摩擦係數(μ)、板的斜度和作用頻率。

國內將撓性振動板應用於穀倉之最後殘留料清除，包括有力霸型倉庫改裝者、鋼筋水泥的方型桶槽改裝者，及安裝於鋼皮圓筒倉庫三大類。由現場調查資料來看，振動板清倉裝置的寬度都是 3.2 米，安裝角由早期的 7 度改成 8.5 度，用於處理稻穀、小麥、玉米、黃豆和魚扁豆等大宗穀物倉底殘留料的清除。設計上是修改振動板的後端尺寸來配合倉庫的外形，板與板間則視儲存物料的需要以不同尺寸的通風管分隔以配合穀倉通風管理之需求，而四周與倉壁連接的空間再以水泥砌出大於安息角的斜坡，讓原物料自動落在振動板上後清除，以達到清倉的目的。

二、材料與方法

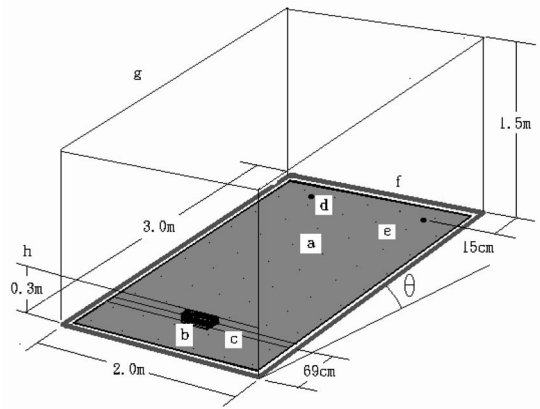
(一) 試驗設備與材料

本實驗所用的撓性振動板裝置主要為一個 2 米寬乘 3 米長的不銹鋼板，在前緣 69 公分處的中間位置裝有一個 50Hz/320W 的振動器，及距後緣 15 公分處用 2 支錨栓固定在基體上防止振動板下滑，並於鋼板底部用適當彈性係數的錐型彈簧支撐，而鋼板四周是用撓性材料當封邊，以防止振動板上的穀物進入板的下方，和避免振動器所產生的振動力傳遞到倉庫的本體，詳細尺寸如圖 1 所示。本實驗所需用到的其他周邊設備，包括烤箱、微量電子秤、稻穀水份計、變頻控制器、溫度與濕度顯示器、電流錶、計時器和計量磅秤等，實驗用 1000 公斤稻穀，為台大試驗農場提供，含水率 13.0%，品種是台梗 14 號。

(二) 試驗方法

1. 撓性振動板安裝角與出料量的關係試驗

將撓性振動板分別安裝成 3、5、7、9 和 11 度，並把稻穀倒入撓性振動板試驗裝置內，接著將撓性振動板的前方檔板全部打開，讓



- a : 鋼板 Steel plate, 2.7mm
- b : 振動器 Vibrator, 320w
- c : 振力傳遞樑 Stiffener
- d : 固定錨 Anchor bolt
- e : 錐形彈簧 Cone spring
- f : 封邊膠條 Sealing membrane
- g : 四週圍成倉庫外形的鋼板 Steel casing
- h : 稻穀流出口 Opening 0.3m
- θ : 安裝角 Slope

圖 1 撓性振動板系統的組成

Fig.1 Combination of vibrating floor system

稻穀在只有重力作用下自然排出，以模擬稻穀在穀倉接近安息角的狀態。再啟動撓性振動板的振動器，並按下計時器，讓稻穀在撓性振動板的作用下排出，再以容器裝盛計量。

2. 撓性振動板作用頻率與出料量的關係試驗

將撓性振動板裝置固定成 8 度的安裝角，並把稻穀倒入撓性振動板裝置內，並盡可能的將稻穀堆高超過安息角的位置，接著將清倉模組的前方檔板全部打開，讓稻穀在只有重力作用下自然排出，以模擬稻穀在穀倉接近安息角的狀態。再把變頻器的頻率分別調整在 36、42、48、54、60 和 66 Hz 等六頻率，啟動撓性振動板，並按下計時器，讓稻穀在振動模組作用下排出，再以容器裝盛計量。

計量方式是用一個 25 公分寬，35 公分長，15 公分高的長方形容器，在撓性振動板啟動後的第 1、第 3、第 5、第 7、第 9 和第 11 分鐘

取樣，即每間隔 1 分鐘取一次，記錄每一分鐘的出料量，每一頻率重複相同的方式取樣計量，並將 35 公分長每一分鐘的出料量，換算成每米長每小時的出料量。

三、結果與討論

(一) 安裝角與出料量的關係曲線

依前述試驗方法將所記錄的結果整理如表 1 所示，對應於每一安裝角的出料量，其中出料流量的單位是以撓性振動板每米寬每小時的出料量來表示，即公斤/小時/米 (kg/h/m)。進一步將表 1 的數字資料，以安裝角為橫座標，單位寬度的出料量為縱座標，所繪得的安裝角與出料量的關係曲線，如圖 2 是一條接近指數函數的曲線，其迴歸的方程式如下式(1)

$$y = 573.19e^{0.1246x} \quad (1)$$

式中 x = 安裝角 (度)

y = 對應的出料量 (kg/h/m)

其判定係數 $R^2 = 0.9183$ 或相關係數 $R = 0.958$ 。

從圖 2 有關安裝角與出料量的關係曲線圖中，可以觀察到，當安裝角小於 7 度時，其對應的出料量較小，仍有隨安裝角之增加而呈線性增加的趨勢，但當安裝角大於 7 度時，其所對應的

出料量確呈指數的趨勢在遞增。這種現象很可能導因於在安裝角小於稻穀與振動平板間最大靜摩擦係數的反正切值($\tan^{-1}\mu_s$)時，振動器所產生的振動力，必須一部份用來克服稻穀間的內磨擦力，將稻穀向前推擠，一部份消耗在稻穀與平板間的摩擦力，一旦安裝角大於最大動摩擦係數的反正切值($\tan^{-1}\mu_k$)時，消耗在稻穀與平板間的摩擦力減少了，大部份的振動力用在克服穀間的內摩擦而使稻穀在有斜度的振動板上大量流動，在接近完成出料之前，撓性振動板上的稻穀層變薄時，可以看出稻穀顆粒有很明顯的跳動現象。

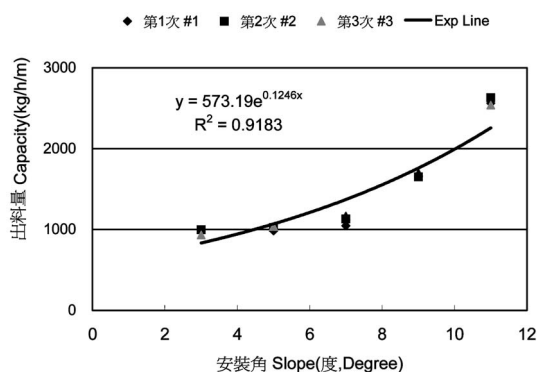


圖 2 安裝角與出料量的關係 (指數函數迴歸)，頻率 60Hz

Fig.2 Relation of slope vs. throughput (Exponential regression) at 60Hz

表 1 安裝角與出料量的關係
Table 1 Relation of slope vs. throughput

次數 time 安裝角 slope	第 1 次 出料量(kg/h/m)	第 2 次 出料量(kg/h/m)	第 3 次 出料量(kg/h/m)	平均 出料量(kg/h/m)
3°	979.96	997.98	932.94	970.293
5°	984.06	1,024.46	1,037.10	1,015.207
7°	1,046.84	1,129.88	1,165.24	1,113.987
9°	1,666.08	1,651.98	1,695.68	1,671.247
11°	2,561.94	2,630.00	2,536.88	2,576.273

出料量的單位(kg/h/m):公斤/小時/米
Unit of throughput: kg/h/m

由此理論推估振動板的最小安裝角最好是以稻穀和振動板間的動摩擦係數的反正切值($\tan^{-1}\mu_k$)為準，依鄒(1978)的試驗結果，蓬萊稻穀與不銹鋼平面的動摩擦係數可以迴歸方程式 $\mu_k = 0.1336672 + 0.0019572M$ 來計算，(式中M=稻穀濕基含水率，相關性係數R=0.945)，含水率為13%的台梗14號稻穀在不銹鋼振動板上的動摩擦係數， $\mu_k = 0.159$ ，其反正切值($\tan^{-1}\mu_k$)為9.04度，比出料量趨緩的7度安裝角相差大約2度，就有較大的出料量。若此振動板安裝在穀倉時，取穀物與振動板間的動摩擦係數的反正切值($\tan^{-1}\mu_k$)做為設計安裝角，應該可以得到設計裕度。

(二)不同頻率作用時間與出料量的關係

依前述試驗方法將所記錄的結果整理如表2所示，進一步將表2的數字資料以曲線圖形來表示，以不同頻率為橫座標，單位長度的出料量為縱座標，所繪8度安裝角，稻穀在各時間點不同頻率36、42、48、54、60及66Hz與其對應的出料量如圖3所示。在馬達的額定負載內，不同頻率對出料量的影響，和一般感應電動機之頻率與輸出扭力的關係曲線類似(林，1985；蕭，1987)，顯示以改變頻率來控制出料量的意義不大；振動

器超過額定轉速運轉時，馬達會有失速的現象，如圖3中66Hz時的出料量明顯下降，因對設計為50Hz的振動器而言已超出額定轉速。

接著若以振動時間為橫軸，其對應的出料量為縱軸，繪出每一組頻率的作用時間與出料量關係曲線，結果如圖4，顯示在試驗時間內，出料量有隨出料時間增加而成對數函數曲線遞減的趨勢。不同作用頻率的方程式有類似的趨勢但各不相同，如頻率60 Hz時，作用時間x (min)所對應

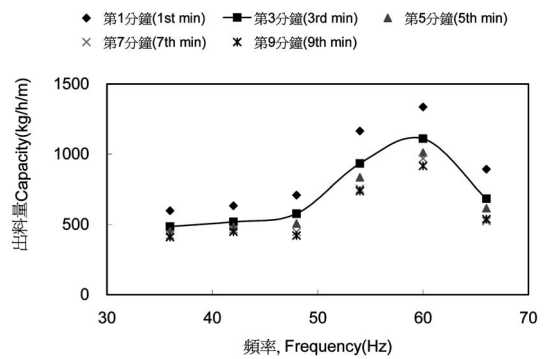


圖3 振動頻率與出料量的關係，安裝角8°
Fig.3 Relation of frequency vs. throughput at 8° slope

表2 不同頻率作用時間與出料量的關係
Table 2 Relation of time vs. throughput under given frequency

時間 time \ 頻率(Hz)	36	42	48	54	60	66
第1分鐘 1 st min	600.0	634.1	710.8	1,165.9	1,336.4	893.2
第3分鐘 2 nd min	485.8	519.9	577.8	934.1	1,111.4	685.2
第5分鐘 5 th min	455.1	485.8	508.0	835.2	1,012.5	617.0
第7分鐘 7 th min	424.4	465.3	448.3	753.4	968.2	525.0
第9分鐘 9 th min	410.8	450.0	422.7	739.8	917.0	538.6

出料量的單位(kg/h/m):公斤/小時/米
Unit of throughput: kg/h/m

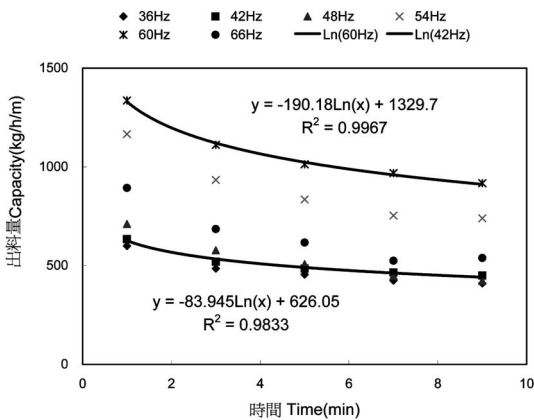


圖 4 振動時間與出料量的關係（對數函數迴歸），安裝角 8°

Fig.4 Relation of working time vs. throughput (Natural log regression) at 8° slope

的為出料量 y (kg/h/m) 有如下自然對數(Ln)的關係式：

$$y = -190.18 \ln(x) + 1329.7 \quad (2)$$

其判定係數 $R^2 = 0.976$ 或相關係數 $R = 0.988$ 。

(三) 撓性振動板的幾個特點

由現場調查發現撓性振動板在應用上有以下幾個特點，分項說明如下：

1. 可以用小動力取代大量勞力

以大安農會 3.2m 寬 4m 長的振動板為例，所用的動力是 320 瓦，而同一面積所堆積的殘留料，以稻穀的安息角為 34 度和安裝角為 7 度時，是 3.53 立方米的稻穀，假設稻穀的散裝密度是 550kg/m³，相當於 1,942kg 殘留稻穀需要用人力清除，對已老化的農村勞力而言，是一項吃力的工作。

2. 可為老舊的倉庫注入新的生命

如圖 5 現有 12m 寬 30m 長 1200 噸儲存量的稻穀散裝倉庫為例，可安裝 16 組 3.2m 寬 5m 長的振動板，設安裝角為 8.5 度，且與倉壁距離 75cm 的空間以水泥修成 45 度的斜坡，所減少的倉容量總計為 165m³，約減少 90 噸稻穀的倉容，16 組振動板的最大需動力為 5.12 千瓦，而所需清除的殘留料為 368,000 公斤稻穀，

以方程式(1)計算所預估的清倉量為 $y=1,653$ kg/h/m，每次開 4 個振動器，就有 12.8m 的開口長，每小時的出倉量就是 21,158kg，相當於每小時可清除 21.16 噸殘留稻穀。

3. 結構的安全性高

由於振動板四周是以撓性封邊裝置，將振動板與倉庫本體隔離，振動器所產生的振動力完全不會傳遞到桶槽結構，對原來設計用來儲存散裝穀物的倉庫來說，只會犧牲小部份的倉容量，而完全不會影響倉庫本體的結構安全。例如嘉食化公司台中飼料廠，於 82 年將 11 米直徑 1000 噸平底鋼皮圓筒倉，改成 40 度穀斗倉，減少倉容 210 噸，於 89 年 921 大地震時震毀，而斗南農會於 87 年在 11 米直徑 1500 噸鋼皮圓筒倉加裝 6 組振動板，減少倉容量 45 噸，地震時仍無恙。

4. 平倉也能自動化

如大安農會的稻穀袋裝型倉庫，在加裝振動板後，變成散裝型儲存倉庫，稻穀的進出倉可以用輸送設備來完成，完全取代人力搬運袋裝稻穀，使得整廠稻穀的輸送得以自動化。

5. 可取代昂貴的穀斗倉

一般穀斗倉應用於進出次數較為頻繁的穀物買賣中心，或穀物短期的儲存之用，主要是穀斗倉底部設成漏斗的形狀，易於穀物

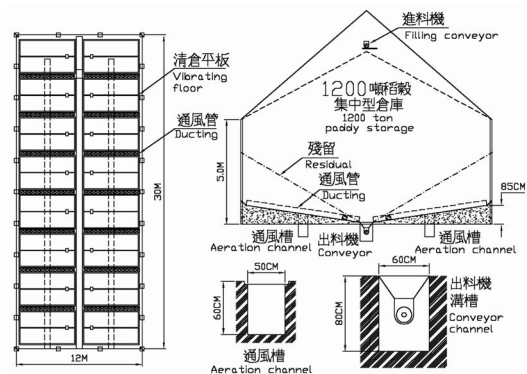


圖 5 寬 12m 長 30m 高 5m 的集中型倉庫安裝振動板的示意圖

Fig.5 Indication of vibrating floor on 12m wide by 30m long by 5m high storage

的流動，有不須要清倉的特點，但也因此將所有穀物的重量直接轉由圓筒倉的腳架來支撐，其所衍生的問題是不但犧牲了倉容的空間，也同時增加了建造圓筒倉的結構費用和減低抗風抗震性；而平底圓筒倉加裝振動板，實用上完全可以取代穀斗倉，缺點是必須用振動器來驅動振動板。

四 撓性振動板的經濟性分析

如表 3，比較同一直徑與高度的穀斗倉(Behlen 型號 M11×16H)和平底鋼皮圓筒倉(Behlen 型號 M11×22)加裝振動板或加裝掃倉機三者的經濟性，說明如下：

將平底圓筒倉與穀斗倉的高度差 54 cm，所占的容積 51.32 m³，也一併計算，由表 3 中第 3 項可以發現，同一直徑與高度的平底鋼皮圓筒倉，

在倉儲量上平底圓筒倉的容量比穀斗倉高出了 21.3%。

從表 3 中第 4 項的桶槽建造費，以平底圓筒倉加撓性振動板或平底圓筒倉加螺旋掃倉機為分母，建造穀斗倉費用，分別增加 26.58%和 62.81%的投資。又如表 3 中第 5 項初期投資的單位容積工程費，花在穀斗倉的費用，相較於平底圓筒倉加撓性振動板或平底圓筒倉加螺旋掃倉機，分別增加 57.23%和 102.23%的投資。假如進出倉不很頻繁，平底圓筒倉加螺旋掃倉機在經濟上是比較可以被大部份業者所接受。

進一步的比較三者的每年費用與剩餘價值時，假設圓筒倉的使用壽命是 18 年（蕭，1985），18 年後的廢料價值以廢鐵重量計算，如表 3 中第 7 項，分別為總建造費的 4.0%，2.75%和 2.5%；而平均每年的操作和維修費，如表 3 中第 8 項，

表 3 M11×16H 穀斗倉與 M11×22 平底倉費用比較
Table 3 Comparison of investment on hopper tank vs. flat bottom bin

項次 No	穀倉型式 Bin 比較項目 Items	M11×16H 穀斗倉 Hopper Tank	M11×22 平底倉 加撓性振動板 Flat bin plus Vibrating Floor	M11×22 平底倉 加螺旋掃倉機 Flat bin plus Sweeper
1	直徑 Diameter(m)	11.0	11.0	11.0
2	桶簷高 Eave Height 22(m)	21.46	22.0	22.0
3	容量 Storage(m ³)	1,759	2,185	2,185
4	桶槽建造費用* Bin cost (NTD)	3,419,000	2,701,000	2,100,000
5	初期單位容積工程費 Initial unit cost of bin (NTD/m ³)	1,943.72	1,236.16	961.10
6	使用年限 Using year(yr)	18	18	18
7	廢料價值 Waste value(%)	4.0%	2.75%	2.5%
8	操作維護費 Operation cost(%)	1.25%	1.4%	4.5%
9	銀行利率 Bank interest(%)	7.15%	7.15%	7.15%
10	保險費 Insurance(%)	0.2%	0.1%	0.1%
11	18 年累計費用(NTD)	6,524,273	5,213,462	5,227,228
12	單位容積 18 年累計費 Total unit cost of years(NTD/m ³)	3,709.08	2,386.02	2,392.32

*註：桶槽費用包括通風與測溫系統等周邊設備及安裝，但未含進出倉設備與土木工程費。

*Note: Bin cost are including installation of bin, aeration, temperature monitoring and accessories except filling, reclaiming conveyor and civil work.

分別為總建造費的 1.25%，1.4%和 4.5%；又銀行的利率，如表 3 中第的 9 項均為 7.15%；保險費，如表 3 中第的 10 項以颱風和地震為主，分別為總建造費的 0.2%，0.1%和 0.1%；測溫 and 通風因操作條件一樣不列入比較。

以表 3 所列條件並採直線折舊法計算圓筒倉的折舊，其他經濟評估因素如每年的費用、剩餘價值和累計費用等，詳細計算如（周，2003）；結果發現 18 年累計費用，如表 3 中第 11 項，穀斗倉的投資明顯比平底圓筒倉加振動板或加掃倉機出清殘留料者為高，約高出 25%。若以單位容積 18 年累計費(NTD/m³)來比較，花在穀斗倉的投資費用，如表 3 中第 12 項，更高出 55%；又比較平底圓筒倉加振動板和加掃倉機時，到第 18 年兩者的的累積費用相當，但若清倉勞力短缺，或者操作費用增加 0.9%，則使用掃倉機的第一年的累積費用就與使用振動板的一樣，到第 18 年累計時更高出 6.8%。

從以上經濟性分析可以看出撓性振動板的實用性很高，另外在台灣如台榮公司的 13 米直徑和中聯及卜蜂公司的 15 直徑的鍍鋅鋼皮圓筒倉加裝振動板，作為最後殘留料的清除，這是穀斗倉在結構上或投資經費上無法達到的。因此，以撓性振動板加裝在平底圓筒倉取代穀斗倉，不但有經濟效益的可行性，且有結構穩定性之優勢。

從外觀上看，撓性振動板都安裝在高度與直徑比較大的圓筒倉內，這是因為對同一直徑的圓筒倉而言，所需的振動板數量一樣，但倉庫愈高，容積就愈大，對投資人而言，單位容積的投資費用相對的就愈低，就如同穀斗倉都是高度與直徑比很大的圓形筒倉，也是基於投資的經濟性來考量。

四、結 論

針對台大農場 91 年一期所提供濕基含水率為 13%的台梗 14 號稻穀，在試驗期間，外界溫度變化從 19 到 24℃，相對濕度變化從 58%到 68%，以 AOAC 烤箱法量測稻穀的含水率，並以兩種間接水份計追蹤試驗稻穀的含水率並沒有明顯變化，可排除含水率變動對摩擦係數的影響，所做

有關安裝角與出料量的關係試驗、以及不同時間與作用頻率對出料量的關係試驗，可做出下列幾個結論：

1. 在 60 Hz 的作用頻率下，撓性振動板安裝角與出料量的關係，在 3 度到 11 度間，有近似指數曲線的關係存在，判定係數為 0.9183。曲線的迴歸方程式為 $y = 573.19e^{0.1246x}$ ， x =安裝角（度），如本試驗安裝為 7 度時， y =其所對應的出料量(kg/h/m)，可快速求得。
2. 由理論推估撓性振動板的最小安裝角，假使以稻穀和振動板間的動摩擦係數的反正切值($\tan^{-1}\mu_k$)可得保守設計的安裝角為 9.04 度，略大於試驗結果的 7 度安裝角。只要穀物與振動板間的動摩擦係數已知，要應用於國內其他大宗穀物，如大豆、小麥、玉米等安裝撓性振動板，設計的安裝角可以保守求得。
3. 在 8 度安裝角，作用頻率與出料量的關係，近似於感應電動機的轉數與輸出扭力關係曲線，為電動機本身的特性。隨振動時間的增加，清倉的出料量呈對數曲線遞減。
4. 以撓性振動板安裝在 11 米直徑的平底組合式鋼皮筒倉底部，比穀斗倉增加 21.3%的倉容量，結構的穩定性高，並可比穀斗倉減少 57.23%的建造費用。

五、誌 謝

研究期間承蒙馮丁樹教授與周楚洋教授共同指導及系上多位教授提供寶貴意見，謹致謝意，並感謝正同開發股份有限公司提供法國進口撓性振動板實驗設備，及台大農場提供實驗稻穀 1000 公斤，使本研究得以順利完成。

六、參考文獻

1. 周震煌。2003。撓性振動板應用於穀物清倉。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機械工程學研究所。
2. 林明生。1986。電工機械(4)。初版，312-316。台北：全華科技圖書公司。

3. 鄒瑞珍。1978。稻穀摩擦係數之研究。碩士論文。台北：國立台灣大學農業工程學研究所。
4. 蕭介宗。1985。鐵質圓筒倉庫之結構儲存性能與經濟效益調查。出自“倉儲叢書第十七輯”，51-59。台北：台灣區雜糧發展基金會。
5. 蕭弘清。1987。電機學。第四版，229-248。台北：中央圖書出版社。
6. 蘇德明。1997。台灣地區糧政業務委託倉庫調查報告。行政院農業委員會 86 農建-3.4-糧-25 (3)，8-12。台北：台灣省政府糧食處。
7. Association of Official Analytical Chemists. 1980. Official Methods of analysis. 13th ed. 220, Washington, D. C. : Association of Official Analytical Chemists.
8. Gaberson, H. A. 1972. Particle motion on oscillating conveyors, Part 1&2. ASME Journal of Engineering for Industry 94(1): 50-63.
9. Handerson, S. M. 1976. Agricultural Process Engineering. 41-223. Westport: The AVI Publishing Co. Inc.
10. Lim, G. H. 1997. On the conveying velocity of a vibratory feeder-computers & structures, 62(1): 197-203.
11. Mohsenin N. Nuri. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Materials , 537-683. New York: Gordon and Breach, Science Publishers. Inc.
12. Ng, K. L., L. A. Ang and S. C. Chang. 1986. A computer model for vibrating conveyors. Proc Instn Engrs 200(B2):123-130.
13. Poncet, J. C. 2000. Total flow- maximizing storage in bins, hoppers, bunkers, and silos by the use of novel correctly applied vibrations. C566/067 169-84. Saint Boil: Silexport Int' l.
14. Wooddock, C. R. 1972. Vibratory conveyors in " Bulk Solids Handling", 358-379, New York : Chapman and Hall.

收稿日期：2003 年 7 月 18 日

修改日期：2003 年 2 月 24 日

接受日期：2004 年 3 月 31 日

