

陡坡地動力絞盤作業機械之研究改良

國立屏東農專農業機械工程科副教授

國立屏東農專農業機械工程科講師

翁 金 瑞

蘇 重 生

一、前 言

臺灣山坡地約佔全省面積四分之三，山坡地開發中遭遇主要難題之一為如何在面臨勞工短缺而能解決其搬運問題。

本研究為本校與行政院農業發展委員會的合作計畫，係依西德萊因河區陡坡地用大型機具作業方式，設計小型作業機械以適合本省農情。經研製完成一部小型油壓控制式動力絞盤的設計製造，並製成運搬車及拖排各一部在自製可變陡坡地試驗臺進行性能測驗，性能優於機械式，且安全性較高。另外製成曳引機承載雙向驅動式動力絞盤一部，造價較便宜；改良式拖排上亦經安裝研製完成的高性能WS-2型施肥機，在油壓馬達驅動的靜態性能測定中發現該型施肥機性能遠優於國內外製造的施肥機，且結構簡單。造價便宜，自製率達百分之百，對解決坡地施肥當極具價值。

二、有關研究說明

本省山坡地除國有林地，經濟林地及試驗林地外，約有 90 萬公頃待開發，此待開發之坡地依其坡度可歸類如下：

坡度	佔有百分比	} 待開發之陡坡地
0°~10°	33%	
10°~20°	14%	
20°~30°	26%	
30° 以上	27%	

目前本省坡地搬運系統可分為三類：

(1) 索道：以輪盤驅動跨越山谷間的鋼索，解決其間的搬運問題。其利用方式係選擇適當地點之上下兩處各置輪盤，而以鋼索上下連繫，用動力上下索引搬運，或不用動力僅利用其重力交互搬運。索道在坡地搬運系統中約佔 26.9%，但用於短距離經整坡後的陡坡地搬運則顯然不甚經濟。

(2) 單軌車：在坡面起伏不定搬運困難的陡坡地，架設單軌車改善其搬運則甚理想。單軌車用於坡長

一百公尺至三百公尺，橫寬二百公尺左右之活動範圍較理想，由於造價貴，每趟搬運量小，且軌道兩側農產品向單軌車集中甚費勞力，軌道移位甚不方便，農民不易接受。

(3) 運搬車：運搬車是目前坡地搬運肥料、牧草、飼料及其他農產品之良好工具，在一般山坡地農村道路及經整坡之坡地均可行駛，然陡坡地或沖刷過的地面則有困難。

此三者各有其優劣點，筆者提出另一系統以動力絞盤配合其他附屬拖排作為短程陡坡地的主要工具，且可逐步達成其他各項作業的機械化。動力絞盤在解決短程陡坡地搬運問題中當為一經濟而有效的方式，位置變換極為方便，作業時可置於產業道路上，安全性高，造價遠比單軌車便宜，且適用於運搬車不易行駛的陡坡地。

陡坡地用動力絞盤由於作業條件與一般動力絞盤不同，故結構亦異。普通絞盤無論以內燃機或電動馬達驅動，均以牽引負荷向上為主，重物下滑時則以剎車控制，其動力分離較難，長時間作業時制動帶將因過分摩擦而發熱，剎車系統容易失效發生意外。陡坡地作業時，需經常上下坡，故陡坡地用動力絞盤需能雙向驅動，而又容易操作，且下坡時不致產生愈滑愈快的趨勢，本身雖亦具備制動帶，但僅必要時才用，正常作業時均可不用。

動力絞盤搬運系統除用於搬運農產品外，尚可配合其他機具進行施肥、整地、中耕、除草、病蟲害防治及收穫等作業，而單軌車、索道及運搬車則僅能進行搬運作業。

三、理論應用與分析

3.1 介於動力絞盤與拖排間之鋼索理論分析

在設計動力絞盤時，鋼索大小為主要的考慮因素，而鋼索的大小，依拖排加負荷之總重、坡面摩擦係數及坡度而定。拖排作業時受力的力學分析圖示於圖 1。

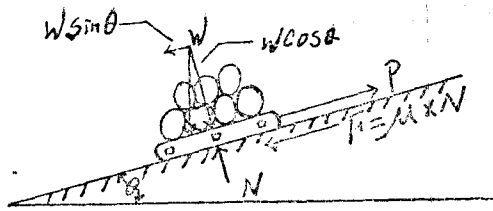


圖 1. 拖排的力學分析圖

F=摩擦力 μ =摩擦係數
 W_1 =拖排重 W_2 =負荷
 $W=W_1+W_2$ =總重 N=法線力
P=拉力

依力學分析結果：

$$F = \mu N = \mu W \cos \theta$$

$$P = F + W \sin \theta$$

$$= W (\mu \cos \theta + \sin \theta)$$

$$= (W_1 + W_2) (\mu \cos \theta + \sin \theta)$$

$$\therefore \mu = \frac{P - (W_1 + W_2) \sin \theta}{(W_1 + W_2) \cos \theta}$$

若 $\theta = 0^\circ$

$$\text{則 } \mu = \frac{P}{(W_1 + W_2)}$$

當坡度等於零時，摩擦係數之實際值可由實際測得之拉力與拖排及載重之重量和而求得，其值與地面之粗糙度有關。今假設鋼索上之最大拉力為五

表 1 鋼索斷面的結構

號 別	1	2	3	4	5	6	7	8a	8b
斷 面									
構 造	6 股每股 7 線中心 纖維	6 股每股 1 2 線中 心及各股 中心纖維	6 股每股 1 9 線中 心纖維	6 股每股 2 4 線中 心及各股 中心纖維	6 股每股 3 0 線中 心及各股 中心纖維	6 股每股 3 7 線中 心纖維	6 股每股 6 1 線中 纖維	平形三角 心 6 股每 股 7 線中 心纖維	平形圓線 三角心 6 股每股 7 線中心纖 維
符 號	6×7	6×12	6×19	6×24	6×30	6×37	6×61	6×F ($\Delta+7$)	6×F(3× 2+3)+7)
9a	9b	10	11	12	13	14	15	16	17
F θ 形三角 心 6 股每 股 24 線 中心纖維	F θ 形圓線 三角心 6 股 每股 24 線 中心纖維	S 形 6 股 每股 19 線 中心纖維	W 形 6 股 每股 19 線 中心纖維	F θ 形 6 股 每股 25 線 中心纖維	F θ 形 6 股 每股 25 線 中心纖維	F θ 形 6 股 每股 25 線 中心纖維	S 形 8 股 每股 19 線 中心纖維	W 形 8 股 每股 19 線 中心纖維	F θ 形 8 股 每股 25 線 中心纖維
6×F($\Delta+12+12$)	6×F(3×2+3)+12+12)	6×S(19)	6×W(19)	6×Fi (19+6)	6×Fi (22+7)	7×7+6× Fi(19+6)	8×S(19)	8×W(19)	8×Fi (19+6)

表 2 鋼索組織、等級與用途

號 別	種 類 組 織 符 號	表 面		不 鍍 鋅					
		鍍	鋅	普 通 Z		Lang Z 及 S			
				等 級	用 途	等 級	用 途	等 級	用 途
1	6×7	鍍	鋅	靜	索	—	—	A、B	絞盤索道
2	6×12	鍍	鋅	動	索	—	—	—	—
3	6×19	鍍	鋅	靜	索	A、B	起重機	—	絞盤索道
4	6×24	鍍	鋅	動	索	A	絞盤	—	—
5	6×30	鍍	鋅	靜	索	—	—	—	—
6	6×37	鍍	鋅	動	索	A、B	起重機	—	—
7	6×61	鍍	鋅	動	索	A、B	起重機	—	—

表3 8號 6×19 鋼索的斷裂身荷及標準重量

情況	斷裂負荷 (公噸)				標準重量 (kg/m)
	用途	靜動索索	起重機、絞盤、索道		
繞股法	普通 Z	普通 } Z 或 S Lang }			
表面	鍍鋅	不鍍鋅			
鋼索直徑 (mm)	鍍鋅級	A 級	B 級		
			普通	Lang	
4	0.81	0.88	0.94	0.96	0.058
5	1.27	1.38	1.46	1.50	0.091
6.3	2.01	2.18	2.33	2.38	0.144
8	3.24	3.52	3.75	3.84	0.233
9	4.11	4.46	4.74	4.86	0.295
10	5.07	5.50	5.86	6.00	0.364
11.2	6.36	6.90	7.35	7.53	0.457
12.5	7.92	8.59	9.15	9.38	0.569
14	9.93	10.08	11.5	11.8	0.713
16	13.0	14.1	15.0	15.4	0.932
18	16.4	17.8	19.0	19.4	1.18
20	20.3	22.0	23.4	24.0	1.46
22.4	25.4	27.6	29.4	30.1	1.83
25	31.7	34.4	36.6	37.5	2.28
28	39.7	43.1	45.9	47.0	2.85
30	45.6	49.5	42.7	54.0	3.28
31.5	50.3	54.6	58.1	59.5	3.61
33.5	56.9	61.7	65.7	67.3	4.08
35.5	63.9	69.3	73.8	75.6	4.59
37.5	71.3	77.3	82.4	84.4	5.12
40	81.1	83.0	93.7	96.0	5.12
42.5	91.5	99.3	106	108	6.57
45	103	111	119	122	7.37
47.5	114	124	132	135	8.21
50	127	138	146	150	9.10

百公斤，則選擇鋼索之大小時可依下述過程求出：

$$Q = P \times S$$

Q：鋼索斷裂時之載重量 (公噸)。

P：鋼索承受之最大負荷 (公噸)。

S：安全係數。

假設鋼索之安全係數為6

$$\text{則 } Q = P \cdot S$$

$$= 500 \times 6$$

$$= 3000 \text{ 公斤}$$

$$= 3 \text{ 公噸}$$

鋼索規格依 JISG 3525 之規定如表1，有1號至17號的區分，8號及9號又各有 a、b 之規定，又依其繞股法分為普通 Z 繞法 (右繞法)、普通 S 繞法 (左繞法)、Lang Z 繞法及 Lang S 繞法等四種，如圖 2 所示。由表 2 決定採用 6×19 之鋼索，再由表 3 決定採用鋼索之直徑為普通 S 繞法

A 級 8mm 之鋼索，餘此類推。



圖 2 鋼索繞股法之種類

3.2 油壓驅動式動力絞盤之設計理論分析

爲達到在陡坡面上利用油壓驅動式動力絞盤與各種作業機如中耕機、施肥機、病蟲害防治機具及搬運車等連接而能有效且安全地進行上下坡作業，故有此設計。假設該油壓驅動式動力絞盤能將負荷五百公斤以最大坡度即以每秒 1.0 公尺之速度垂直牽引上昇或下降，絞盤直徑 14cm 時，其油路系統設計分析如下：

$$\begin{aligned} \text{絞盤之轉速 } N &= \frac{V}{\pi D} \times 60 \\ &= \frac{100\text{cm/s}}{\pi \times 14\text{cm}} \times 60 \text{ s/min} \\ &= 136 \text{ rpm.} \\ \text{絞盤之扭矩 } T &= W \cdot R \\ &= 500\text{kg} \times 0.7 \text{ cm/100cm/m} \\ &= 35 \text{ kg} \cdot \text{m} \\ \text{絞盤之理論扭矩 } T_0 &= \frac{T}{\eta_0} \text{ (設 } \eta_0 = 0.9) \\ &= \frac{35}{0.9} \\ &= 38.9 \text{ kg} \cdot \text{m.} \\ \text{絞盤之理論迴轉數 } N_0 &= \frac{N}{\eta_m} \text{ (設 } \eta_m = 0.85) \\ &= \frac{136}{0.85} \\ &= 160 \text{ rpm} \end{aligned}$$

選用內齒輪系，其最高可連續使用之壓力 P_0 爲 175 kg/cm² 設定壓力 P 爲其 80%

$$\therefore P = P_0 \times 80\% = 140 \text{ kg/cm}^2$$

馬達所需每迴轉之油量爲

$$\begin{aligned} q_0 &= \frac{T_0 \times 2\pi}{P} \\ &= \frac{38.9 \times 2\pi}{140} \\ &= 174.6 \text{ cc/Rev.} \end{aligned}$$

馬達每分鐘所需之油量爲

$$\begin{aligned} Q &= q_0 \times N_0 \\ &= 174.6 \times 160 \\ &= 28 \text{ l/min} \end{aligned}$$

依上述之數值選擇油壓馬達爲內田油壓公司出

品之 GPM2-200 型。

$$\begin{aligned} q_0 &= 200 \text{ cc/Rev.} \\ P &= 140 \text{ kg/cm}^2 \\ T_0 &= \frac{Pq_0}{2\pi} = 44.56 \text{ kg} \cdot \text{m} \\ \eta_n &= 0.89 \\ T &= T_0 \cdot \eta_0 = 39.6 \text{ kg} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

所選用之油壓馬達扭矩大於所設計之扭矩，故合乎所需。

依 $P=140 \text{ kg/cm}^2$, $Q=28 \text{ l/min}$ ，之條件再選擇油壓泵：

TCP3-F16-MR1，其設定壓力 $P=140 \text{ kg/cm}^2$ ，流量 $Q=28 \text{ l/min}$ ，所需之馬力 $L=7.9 \text{ kw}$ ，使用此型油壓泵時，油壓泵之馬力使用在極限值。

故選用大一型之泵：

TCP3-F20-MRI 型，其設定之壓力 $P=140 \text{ kg/cm}^2$ ，流量 $Q=36.2 \text{ l/min}$

$$\begin{aligned} \text{則 } L &= \frac{P \cdot Q}{612} = \frac{140 \times 36.2}{612} = 8.3 \text{ kw} \\ L_s &= \frac{L}{\eta} = \frac{8.3}{0.82} = 10.1 \text{ kw} \end{aligned}$$

選用柴油引擎（野馬）時，其馬力有 10 Hp, 13 Hp, 15.5 Hp。故應選在 2400 r. p. m. 時其馬力爲 15.5 HP 才能符合此系統之需要。

3.3 施肥機的設計理論與分析

在陡坡地開發過程中，宜以長期作物爲主，可節省整地、中耕、除草等作業，且可防止土壤受到嚴重冲刷，危及坡地。未來陡坡地動力絞盤作業機械體系中之改良式拖排除用於解決農產品的搬運問題外，尚可安裝施肥機進行施肥作業，唯作物不同施肥方式亦異。

施肥機設計時應考慮下述因素：

- (1) 可正確調節施肥量，且調節幅度廣。
- (2) 肥料箱容量以一次一包 (40 kg) 爲度。
- (3) 施肥點位於不同深度，一次分別供應生長初期及中期所需肥料，減少施肥次數。
- (4) 施肥機安裝拆除容易，材料以不易腐蝕，且能大量生產者爲佳。
- (5) 應能適合曳引機之不同作業速，均能正常施肥。

本校研製附掛於改良式拖排上的油壓驅動式 WS-2 型施肥機係採用標準形的螺旋雙向輸送方式，其運送能量 $W(\text{kg/min})$ 計算公式如下：

$$W = 2\eta \left[\frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_r^2) P - \frac{(a+b) \times h \times \pi D_p}{2 \cos \theta} \right]$$

$$P n r' s \times 10^{-3}$$

式中 D_o : 螺旋外徑(cm)

D_r : 螺旋根部直徑(cm)

D_p : 螺旋節圓直徑(cm)

P : 螺旋節距(cm)

n : 螺旋轉速(rpm)

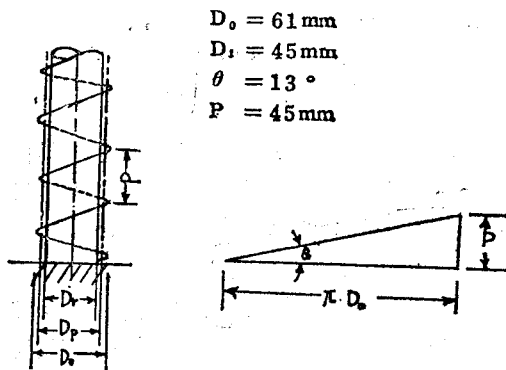
r'_s : 肥料之容積比重量(g/cm^3)

η : 肥料充滿率(0.80~0.93)

θ : 螺旋角

a 、 b 、 h 分別為螺旋橫斷面之上底、下底及高(cm)

設計時，標準形螺旋之螺距 P 約為(0.75~1.2) $\times D_o$ ，不易輸送或有磨耗性的材料則減少螺距且慢速輸送。此外安息角愈大的粉粒肥料，螺距愈小。



四、試驗方法與步驟 (包括試驗材料)

4.1 試驗材料及裝置

(1) 研製一座模擬實際坡地之可變坡度之坡地試驗台，以便瞭解動力絞盤在山坡地之適應性，做為將來設計改良動力絞盤及測定坡地所用機具的性能，故着手研製此一可變陡坡地試驗臺，如圖3所示，其規格為長九公尺、高九公尺、寬1.3公尺，坡度自 5° 至 45° ，依每五度增加之，亦即可變坡度之坡地為 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 、 40° 、 45° 等，以初步瞭解動力絞盤作業機在各種不同之坡地作業時之適應性及作業過程中可能發生之各種問題，並進而觀察所設計之各項附屬作業機之性能。

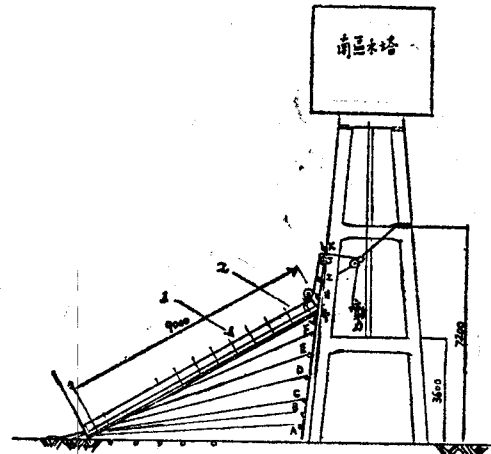


圖3 自製可變坡度之坡地試驗臺

(2) 大型機械式動力絞盤，由三點連接裝置與曳引機結合，以 P. T. O 軸驅動蝸形齒輪經離合器傳至動力絞盤，並以末端二個惰輪使鋼索以任一角度索引負荷，如圖4所示。

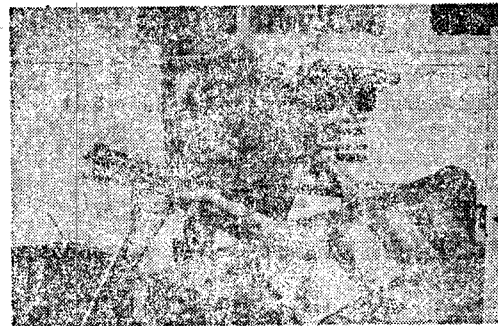


圖4 大型機械式動力絞盤

(3) 小型機械式動力絞盤

為求經濟效益及降低投資，故研製此一小型動力絞盤，其動力傳遞系統如圖5所示，其結構圖示於圖6。

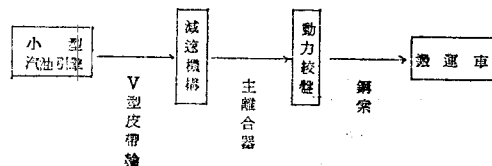


圖5 小型機械式動力絞盤動力傳遞系統圖

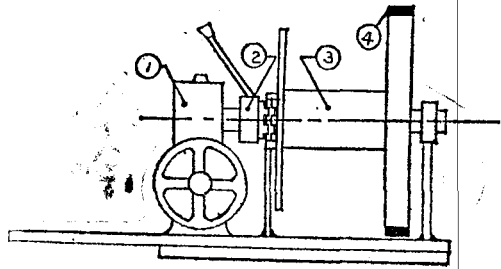


圖 6 小型動力絞盤結構圖
①減速機②主離合器③絞盤組④剎車

(4)油壓驅動式動力絞盤

為避免機械式動力絞盤之缺點，及發揮動力絞盤特殊的功能，不僅在搬運上解決問題，同時亦可進行中耕、施肥、病蟲害防治等作業，故研製此一油壓驅動式動力絞盤，其結構有油壓泵、控制閥、油壓馬達、洩壓閥、油箱、管路等如圖7所示。

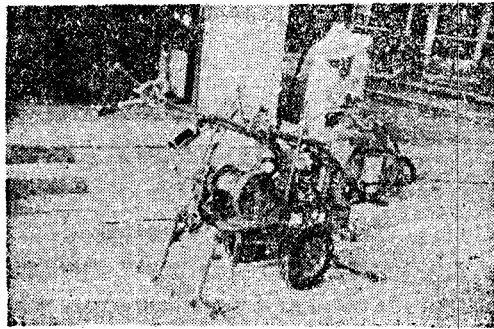


圖 7 自製油壓控制式動力絞盤

(5)曳引機承載雙向驅動式動力絞盤

為避免機械式動力絞盤所牽引之作業機沿下坡面依重力加速下滑，故有此裝置，係以 P.T.O 將動力經變速箱、齒輪組、蝸桿等傳至鋼索上，如圖8。

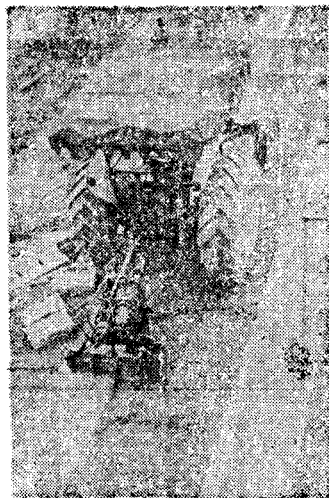


圖 8 曳引機承載雙向驅動式動力絞盤

(6)供試拖排有純拖排、改良式 WS-1 型拖排及 WS-2 型拖排。純拖排在拖排二側下方具有二個雪橇型之滑板，改良式 WS-1 型拖排具有四輪而無轉向系之拖排，改良式 WS-2 型拖排除具有 WS-1 型之特點外，尚可作左右各 15° 之轉向。

(7)施肥機實驗臺

附裝於改良式拖排上，由油壓驅動之 WS-2 型施肥機靜態性能試驗裝置如圖9所示。施肥機之構造示於圖10。

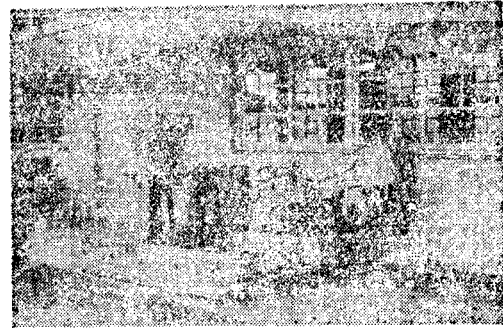


圖 9 油壓驅動式 WS-2 型施肥機靜態試驗裝置

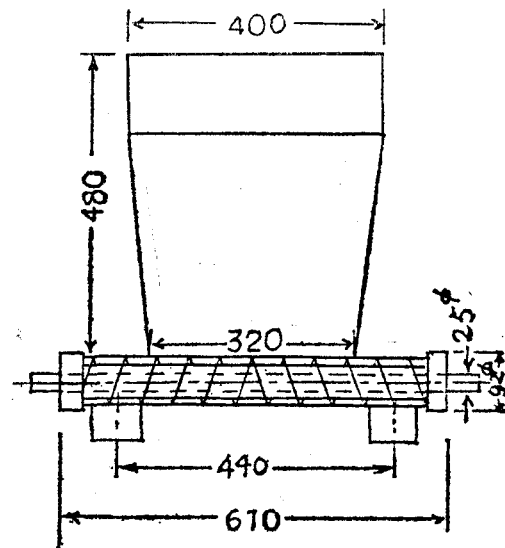


圖10 施肥機示意圖

(8)肥料

施肥機研究過程中所用肥料均為臺灣肥料公司出品，包括粒狀複合肥料1號、5號、39號及粉粒單質肥料硫酸銨、過磷酸鈣、氯化鉀等，就肥料的機械性質加以測試，做為設計施肥機的主要依據。

4.2 試驗方法與步驟：

(1)測試自製搬運車在各種不同地面之摩擦係數，

以及在田間進行測定其牽引之最大拉力，以拉力計掛於絞盤與拖排之間求得其拉力，最後計算出各種不同地面之摩擦係數。

(2)在模擬可變陡坡地試驗臺上進行各種型式動力絞盤在不同坡度之拉力、速度及引擎負荷變化試驗。大型機械式動力絞盤性能測定時，先將動力絞盤承載在曳引機上，由 P. T. O 驅動動力絞盤，以其鋼索與搬運車連接，在模擬可變陡坡地試驗臺上進行測試。小型動力絞盤、油壓驅動之動力絞盤均進行不同坡度、不同負荷下拉力與速度變化之測定。

(3)作各種不同拖排、純拖排，改良 WS-1 型及 WS-2 型拖排在田間及模擬試驗臺之測試。

(4)施肥機測試部份

(A)施肥箱夾角之測定

施肥箱夾角測定時，係固定兩塊互相平行之鐵板於直立位置，而以另外兩塊活動鐵板置於其間，調節其夾角，底面由一活動夾板封口，肥料填滿試驗箱，拉開底板，測定其流動狀況，以決定不同肥料之施肥箱夾角，測試肥料共計六種，採取五重覆。

(B)肥料機械性質之測定

設計施肥機前應先瞭解肥料之機械性質，就其含水率、摩擦係數、密度、安息角等項目，加以測定，供設計施肥機參考。

(C)臺灣現有粉粒狀肥料施肥機的性能

為瞭解臺灣現有粉粒施肥機對供試肥料的適用性，供將來設計施肥機的依據，進而建立施肥機性能測定的標準，乃進行本試驗。

施肥機靜態性能試驗裝置如圖11，試驗程序如下：

a 測定鎮壓輪的迴轉速 (rpm) 及平均直徑 (cm)，算其田間作業速度。

b 以 2.5 公升之量盆盛裝供試肥料，刮平後加入肥料箱內共計 10 次，計 25 公升。

c 啓動馬達，並開始測時，俟流量正常即開始測試。

d 測定時，每次間隔 30 秒鐘，採四重覆方式。

e 俟流量顯著減少時切斷馬達開關，量取施肥箱的殘餘肥料量。

f 求出單位時間流量之平均值，以決定其單位面積之施肥量。

g 變更鎮壓輪轉速，重覆上述測定，以瞭解

該機不同作業速率時之性能。

h 變更施肥量調節裝置，重覆上述測定，以瞭解該施肥機對不同施肥量的適應性。

i 取肥料樣品測定其機械性質。

j 依下列公式計算其每公頃施肥量。

$$\bar{W} = \frac{10^3}{\pi D N W 60} \times \text{Xhr}$$

式中 \bar{W} = 每公頃施肥量 (kg/ha)

D = 鎮壓輪平均直徑 (cm)

N = 鎮壓輪之迴轉速

W = 行距 (cm)

Xhr = 每小時施肥量 (kg/hr)

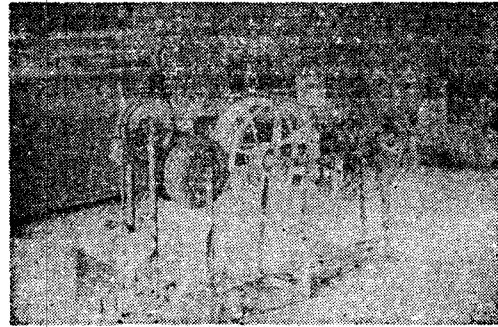


圖11 施肥機靜態試驗裝置

根據上述測定結果，研製 WS-2 型施肥模型機供試驗，務求在施肥量及作業速度與田間需要配合，研製後進行同樣的靜態性能測定，再於自製動態性能試驗場測其性能。

五、試驗結果

5.1 不同地面摩擦係數之測定

在動力絞盤的設計中，鋼索的尺寸極關重要，其大小則依負荷、坡度及坡面的摩擦係數而定，為瞭解自製拖車在各種表面行進的摩擦係數，乃進行此測定。測定項目計粗糙的泥土面、石礫地面、草地、木板表面、水泥地面及橡皮地面，所得結果如圖12。

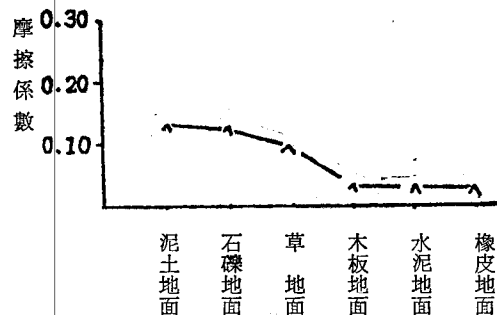


圖12 自製拖車在不同表面的摩擦係數

5.2 動力絞盤及其附屬裝置在模擬可變陡坡地試驗臺上測試之試驗結果

(1) 拖排負荷與鋼索拉力

根據運搬甘蔗用純拖排在臺東田間測試之摩擦係數 0.6，計算在不同坡度及負荷下鋼索之理論拉力 P 如圖 13 所示。為瞭解田間運搬實際產生之拉力，乃將最大刻度 1000 公斤的拉力計裝在純拖排與鋼索間進行拉力測定，在坡度 8° 及 12° 時測得之拉力值示於表 4；圖 14 顯示在普通沖刷的坡面由於障礙物對純拖排產生的阻力矩，其實際拉力值約為理論值的 1.5 倍，而嚴重沖刷的坡面則幾乎可達荷重的二倍，在設計動力絞盤時應加考慮。

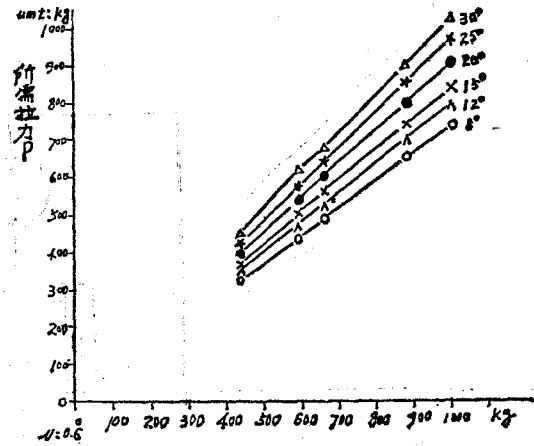


圖 13 不同負荷在不同坡度下的鋼索理論拉力 (u=0.6)

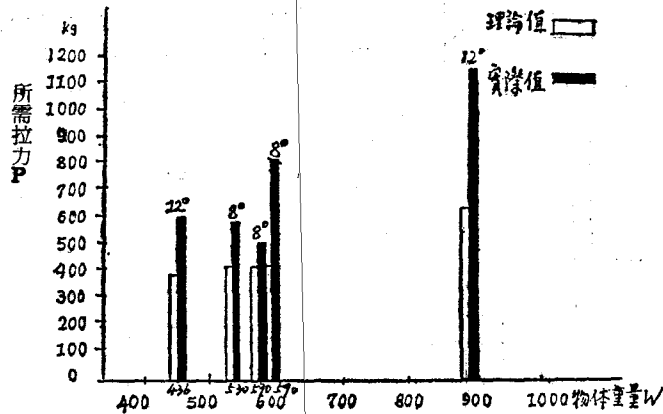


圖 14 理論和實際拉力值之比較圖

表 4. 純拖排裝載負荷在 8° 及 12° 坡面實際測定之拉力值。

坡度	P	W = W ₁ + W ₂	u
12°	min 800 max 1200	880	0.6
	min 420 max 600	436	0.6
8°	min 380 max 800	590	0.6
	min 330 max 600	530	0.6
	min 350 max 500	570	0.6
	min 350 max 500	570	0.6

(2) 小型機械式動力絞盤

本試驗所用動力為 Briggs and Stratton 研製之 3 Hp, 4 衝程汽油引擎，在自製試驗臺（坡度 25°）試驗結果如圖 15 所示。此型動力絞盤由

於操作困難，危險性大，尤其在有負荷時，欲將負荷放下斜坡全靠剎車裝置，及主離合器，在坡度及負荷大時，下滑速度太快，甚為危險，可行性小。

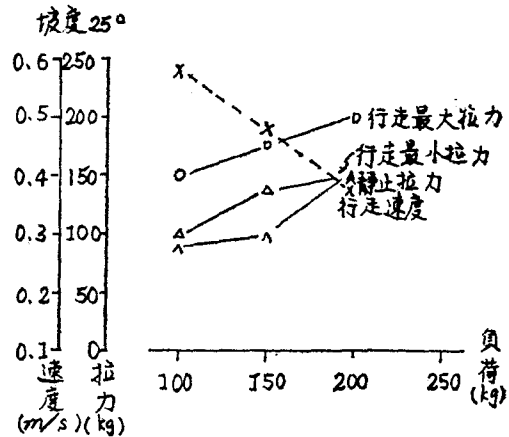


圖 15 小型機械式動力絞盤在 25° 及不同負荷下的試驗拉力

(3)油壓控制式動力絞盤

改良型油壓控制式動力絞盤之油壓系統試驗裝置如圖 16 所示，此種附有壓力及止回之流量控制

閥裝於回壓油路上，已能控制拖排在坡面上下穩定地行走。

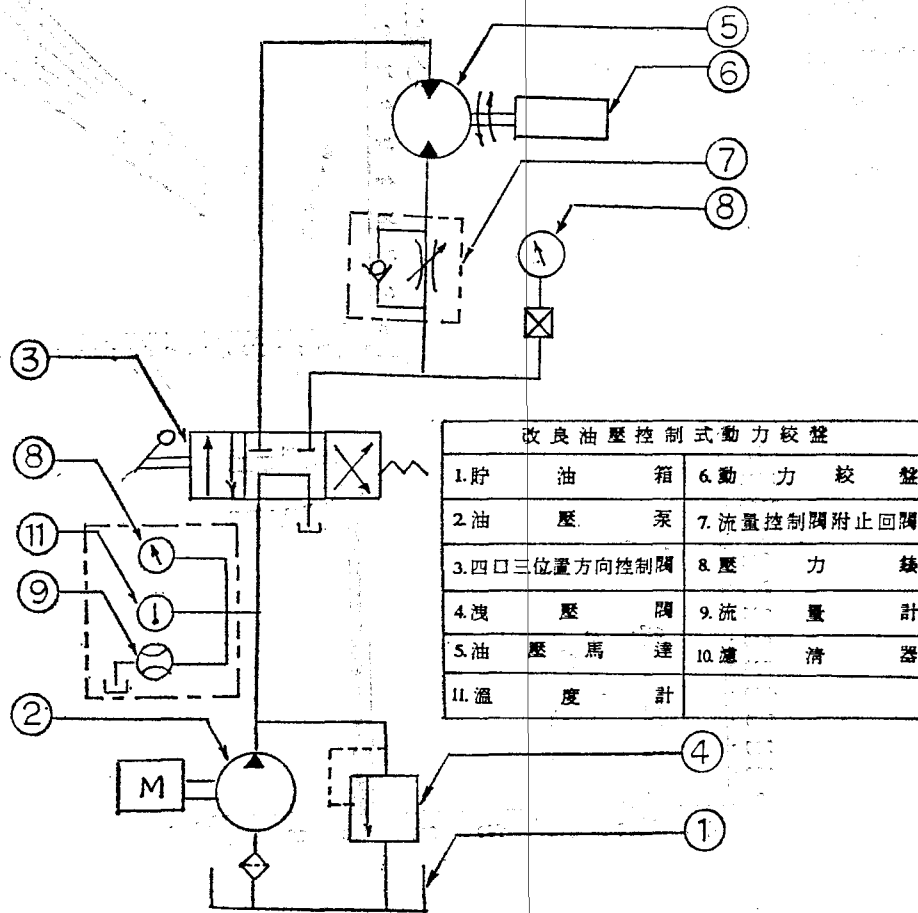


圖16 油壓驅動式改良型動力絞盤試驗裝置示意圖

油壓控制式動力絞盤與 WS-2 型拖排之搬運能力試驗結果如圖 17 所示。在負荷 500 公斤，坡度 20° 時，搬運速度可達 0.6m/s (引擎轉速1470 rpm)，坡度增為 25° 時，搬運速度降至0.4 m/s (引擎轉速 1370 rpm)。

(4)大型雙向驅動動力絞盤

根據大型機械式動力絞盤田間試驗結果顯示在陡坡地使用時，其設計不很適宜。陡坡地下坡作業，若全靠其重力及剎車，不僅操作不易，亦甚危險。陡坡地用動力絞盤應能雙向驅動。油壓驅動式動力絞盤具上述功能，欲使坡地用動力機械發揮功能，則承載式動力絞盤以 P. T. O. 軸驅動者仍有必要。本校研製之大型雙向驅動動力絞盤，係以變速箱 (收 3 檔、放 1 檔) 配合蝸桿齒輪組將 P. T. O 轉速自 540 rpm 降為 14~64 rpm，使坡地作業速

- 坡度25°負荷轉速之變化
- △——△ 坡度25°速度之變化
- △——△ 坡度20°速度之變化
- ×——× 坡度20°負荷轉速之變化

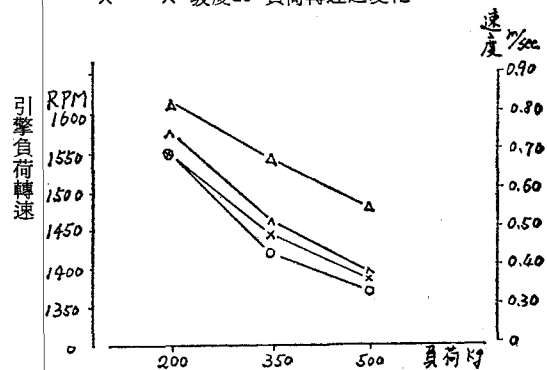


圖17. 改良型油壓控制式動力絞與 WS-2 型拖排之運搬能力，在不同坡度及負荷下對行走速度與引擎轉速之影響。

度介於 0.17~0.77 m/s 之間，當改變行進方向時，負荷靠蝸桿齒輪組鎖住，上下坡時均以 P. T. O 軸驅動，可穩定安全地作業。研製完成之雙向驅動動力絞盤經實際測試其作業速度如下表：

檔 數	引擎轉速	1200	1500	1700
	減速比	rpm	rpm	rpm
放 1	1/32	0.130	0.149	0.169
收	1	1/24	0.167	0.200
	2	1/12	0.357	0.417
	3	1/7	0.588	0.714

單位：m/s

5.3 拖排：

本試驗目的在瞭解純拖排在各種地面行進時所需拉力，做為設計動力絞盤及改良拖排的依據，試驗結果如圖 18 所示。純拖排的拉力甚大，放下坡面需以外力牽引向下，且易損及坡面，故進行改良型拖排之研製，使其兼具運搬車與拖排的優點。研製完成的 WS-2 型拖排在模擬實際坡地之自製可變試驗臺經不同坡度 (15°, 20°, 25°) 及不同負荷 (200kg、350kg、500kg) 試驗結果示於圖 19。試驗結果顯示改良式 WS-2 型拖排已能符合設計要求，其重心與純拖排一樣低，做為坡地運搬工具的穩定性甚佳。

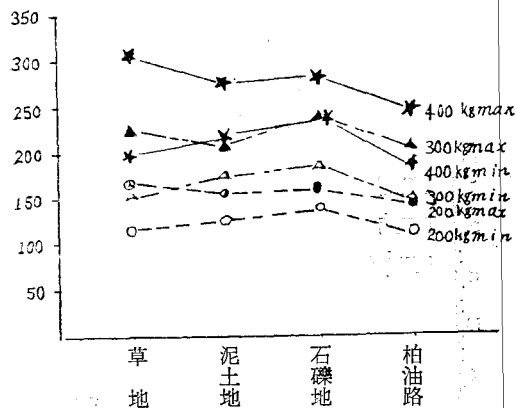


圖18 純拖排在各種路面及不同負荷的拉力試驗

5.4 施肥機測試部份

(1) 施肥箱之設計

欲使肥料流動良好，避免在箱內形成死角，研製施肥箱壁之角度及箱底開口大小甚為重要，以粉

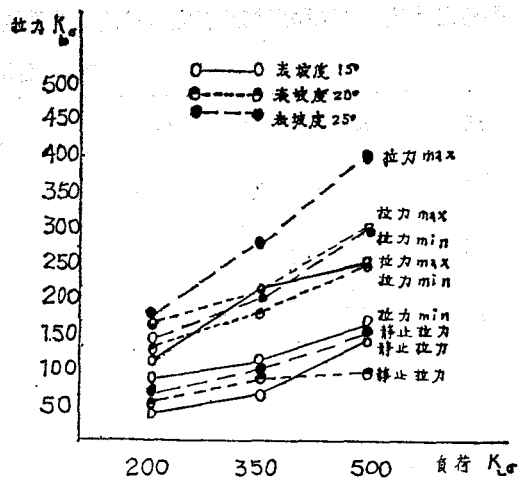


圖19 改良式WS-2型拖排在不同坡度時負荷與拉力之關係

粒狀肥料在可變角度施肥箱試驗臺測定結果如圖20所示。其中以粉狀單質肥料過磷酸鈣之施肥箱角度最大，70° 方能使肥料順利流出，因此施肥箱角度之設計，不得小於70°。

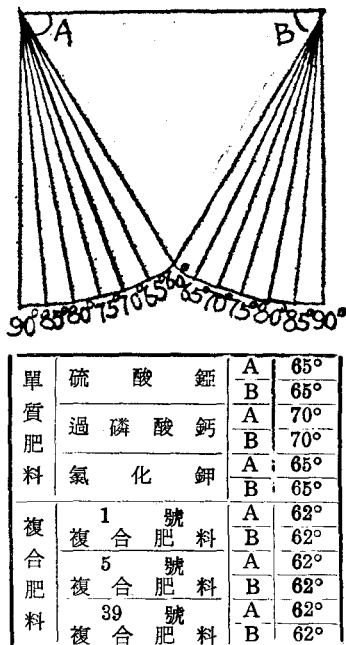


圖20 施肥箱夾角試驗結果

(2) 肥料之機械性質

影響施肥機設計的肥料機械性質包括含水率、摩擦係數、安息角及密度等項已如前述，其中含水率對施肥機的影響最大，並且影響其它機械性質。肥料經拆裝後，其含水率即隨外在環境迅速改變呈

不穩定狀態，本試驗所測肥料之機械性質僅為含水率時之值，僅供參考（參閱表5）。

表5 各種供試肥料之機械性質

肥料種類名稱	主要成份(%)					含水率(%)	摩擦係數				安息角(°)		密度(kg/公升)
	氮	磷	矽	鉀	氯化鉀		自然滑下		輕微震盪		柱筒式	漏斗式	
							鐵板	不銹鋼	鐵板	不銹鋼			
粒狀複合肥料	1號	20	5	10		22.7	0.7	0.7	0.6	0.5	28	29	1.032
	5號	16	8	12		27.0	0.6	0.6	0.5	0.5	32	32	0.948
	39號	16	18	12		12.5	0.6	0.5	0.5	0.5	31	31	0.956
粉狀單質肥料	硫酸銨	21	0	0		2.0	1.0	2.4	0.7	1.0	44	36	0.857
	過磷酸鈣	0	18	0		9.0	1.3	0.9	0.8	0.7	37	36	0.830
	氯化鉀	0	0	水溶性60		3.0	0.9	1.9	0.7	0.5	35	29	0.970

(3)臺灣現有粉粒狀肥料施肥機的性能測定結果

臺灣目前使用中的粉粒狀肥料施肥機以強鹿牌玉米點播施肥機、布施牌高粱播種施肥機及臺糖研製之甘蔗用施肥機較為普遍，故本研究選擇三種施肥機進行靜態性能測定，瞭解其優劣點供設計施肥裝置參考，供試機種資料如下表

	強鹿牌 (John Deere)	布斯牌 (Burch)	臺糖研製
施肥箱容積(公升)	30	30	30
肥料輸送方式	螺旋單邊輸送	水平旋轉刮出	垂直迴轉分配
施肥量控制方式	變更齒數比	變更刮出板位置	控制肥料出口大小
傳動方式	鎮壓輪	鎮壓輪	曳引機後輪

在施肥機靜態性能試驗臺上進行測驗時，係在不同肥料、作業速度及施肥量下，測定其性能，並以單位時間之施肥量（測定時以30秒為單位及測試後殘留肥料箱之殘餘肥料量加以比較，在最慢作業速度10.81 m/s）及最小單位面積施肥量下，其結果如圖21、圖22、圖23所示：

茲將試驗結果討論如下：

(1)臺糖施肥機對粉狀單質肥料呈阻塞現象，粒狀複合肥料的殘餘量亦高。

(2)強鹿牌對粉狀肥料的殘餘量均甚高，單位時間平均施肥量也有較大的差異。

(3)布施牌的單位時間平均施肥量較均勻，供試三型施肥機中為較佳者。

綜合上述測試結果，布施牌雖然顯示性能較佳，但由於本身結構無法避免死角，仍有相當的殘餘

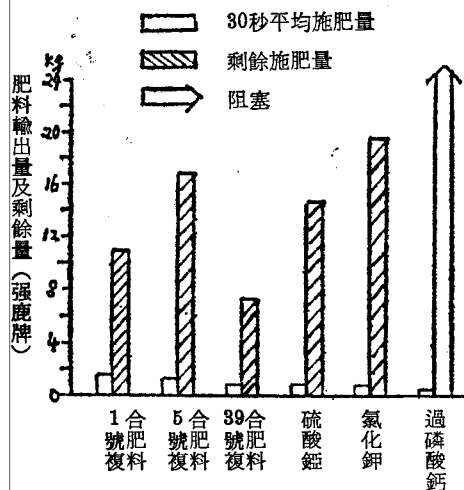


圖21 強鹿牌施肥機靜態性能測定（作業速度 0.81 m/s, 齒速比=施肥軸齒數：主動軸齒數=18:14）

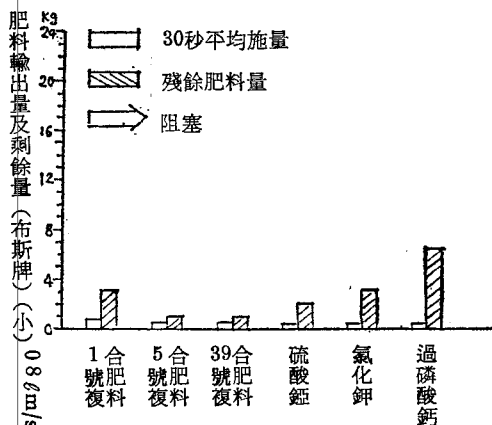


圖22 布施牌施肥機靜態性能測定（作業速度0.81 m/s, 流量開度小）

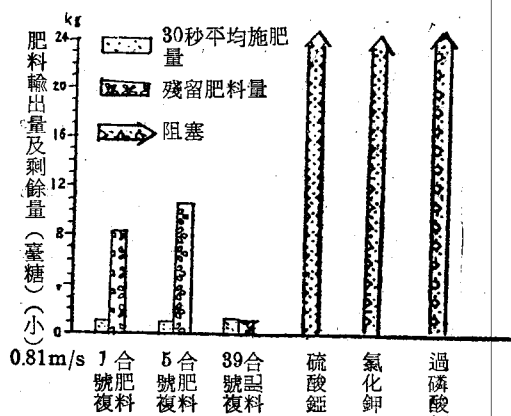


圖23 臺糖研製施肥機靜態性能測定 (作業速度0.81 m/s, 流量開度小)

肥料，結構複雜，需經一組傘型齒輪改變動力傳遞方向，製造麻煩，其施肥量調整亦不易一致，故本研究不予採用。

WS-2型施肥機設計時採用螺旋雙向輸送施肥軸（每一單元可施肥兩行），將肥料出口由肥料箱內側移至外側，以避免產生死角，施肥軸位置亦由施肥箱底面的上方移至下方，使施肥箱夾角可依實際需要而變更。經此設計研製完成的WS-2型施肥機示於圖24，其靜態性能測定結果如圖25所示。新型施肥機的殘餘肥料量極低，且單位時間平均施肥量較布施牌更為均勻；圖22與圖25相比較顯示WS-2型施肥機性能遠優於布施牌，且結構及傳動系統均極為簡單，製造費用極低，自製率可達100%。

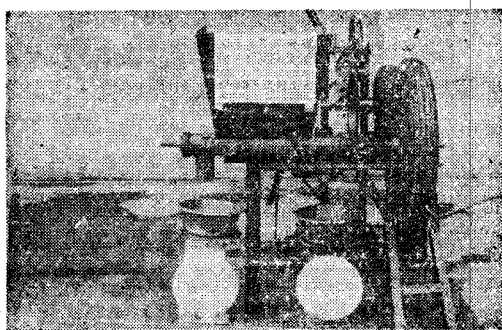


圖24 研製完成 WS-2 型施肥機

六、經濟效益分析

動力絞盤搬運系統之經濟效益分析是以動力絞盤為主，並以牛車及牛拉拖排為對照，計算其搬運

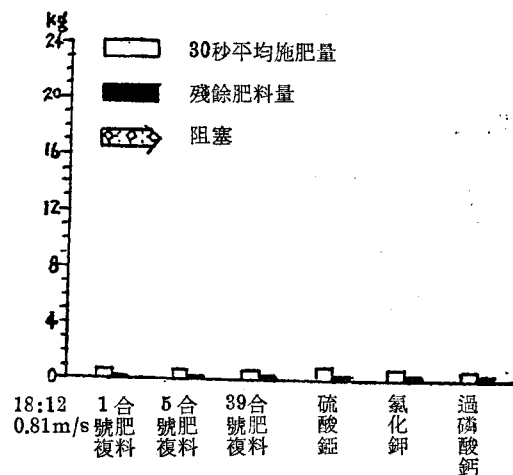


圖25 WS-2 型施肥機靜態性能測定結果 (作業速度 0.81 m/s, 齒數比=施肥軸齒數:主動軸齒數=18:14)

能量及成本分析，經權值後以 S-Diagram 比較之。作業機中的 WS-2 型施肥機，亦經選擇另外三種施肥機以技術經濟評價圖比較之。

(1) 動力絞盤之搬運能量

動力絞盤之搬運之作物為種植於坡地之甘蔗，以長 50 公尺、寬 40 公尺作為搬運小區，每次搬運重量為 550 公斤，每次往復之搬運時間為 21 分鐘，包括裝車 15 分鐘，卸車 3 分鐘及往返平均時間 3 分鐘，其運搬能量如下：

$$\text{每日搬運之次數} = \frac{60 \text{分/小時}}{21 \text{分/次}} \times 8 \text{小時} = 22 \text{次/日}$$

$$\text{每日搬運之重量} = 0.550 \text{公噸/次} \times 22 \text{次/日} = 12.1 \text{噸/日}$$

$$\text{實際之搬運能量} = 12.1 \text{噸/日} \div 8 \text{小時/日} = 1.51 \text{噸/小時}$$

(2) 動力絞盤之成本分析

A 變動成本分析

每日雇工資為 500 元，田間整理工之每日工作能量為 20.8 噸，搬運中需配合田間整理工 1 人，原料裝卸工 4 人，故

$$\text{田間整理費 } T = \frac{500 \text{元/工}}{20.8 \text{噸/工}} = 24.04 \text{元/噸}$$

$$\text{原料裝卸費 } L = \frac{4 \times 500 \text{元/工}}{12.1 \text{噸/日}} = 165.29 \text{元/噸}$$

每日油料費包含

$$\text{柴油} = 0.67 \text{升/小時} \times 8 \text{小時/日} \times 14 \text{元/升} = 75.04 \text{元/日}$$

$$\text{機油} = 0.02 \text{升/小時} \times 8 \text{小時/日} \times 50 \text{元/升} = 8 \text{元/日}$$

∴每噸之油料費 $F = (75.04 \text{元/日} + 8 \text{元/日}) \div 12.1 \text{噸/日} = 6.86 \text{元/噸}$

∴每噸之變動成本 $C_v = T + L + F$
 $C_v = 24.04 + 165.29 + 6.86 = 196.19 \text{元/噸}$

B 固定成本分析

動力絞盤及拖排製造費 46000元，年利率8.5%、殘餘價值為原價之 1/10 即 4600 元，使用年限 6 年，每年收成噸數為 2080 噸，修理費為原價格之 2%。

a. 折舊費： $R_f = \frac{46000 - 4600}{6} = 6900 \text{元/年}$

每噸之折舊費： $r_f = 6900 \text{元/年} \div 2080 \text{噸/年} = 3.32 \text{元/噸}$

b. 利息 $I = \frac{46000 + 4600}{2} \times 8.5\% = 2150.5 \text{元/年}$

每噸之利息 $i = 2150.5 \div 2080 = 1.03 \text{元/噸}$

c. 修理費 $R_p = \frac{46000 \times 2\% \text{元/年}}{2080 \text{噸/年}} = 0.44 \text{元/噸}$

∴每噸之固定成本 $C_f = r_f + i + R_p$

$C_f = 3.32 + 1.03 + 0.44 = 4.79 \text{元/噸}$

故每噸之成本為 $C = C_v + C_f$

$C = 196.19 + 4.79 = 200.98 \text{元/噸}$

每小時之成本為 $C_H = 200.98 \text{元/噸} \times 1.51 \text{噸/小時} = 303.5 \text{元/小時}$

C 牛車及牛拉拖排的運搬能量及使用成本依上述過程推出，列表如下：

	牛 車	牛拉拖排	絞盤用拖排
運搬能量噸/小時	0.87	0.70	1.51
使用成本元/小時	349.3	302.8	303.5

(3)今以西德國家工程師協會 VDI 出版之 *konstruktion slehre* 之 S-Diagram 方法加以評價。S-Diagram 以 X 軸代表技術評價值，y 軸代表經濟評價值，而 S 在 $x=1, y=1$ 時為最理想的機種。技術評價值 (TW) 為機械之實際性能與理想性能之權值，而經濟評價值 (WW) 為經濟上之實際與理想值之權值，圖中 R 為等值線，一般以 0.1、0.2、0.3、0.4……0.9、1 等表示之。R 值為 x 乘 y 之積的平方根 ($R = \sqrt{xy}$)，機械經評價後其值越接近 S 點則表示其性能越接近理想。

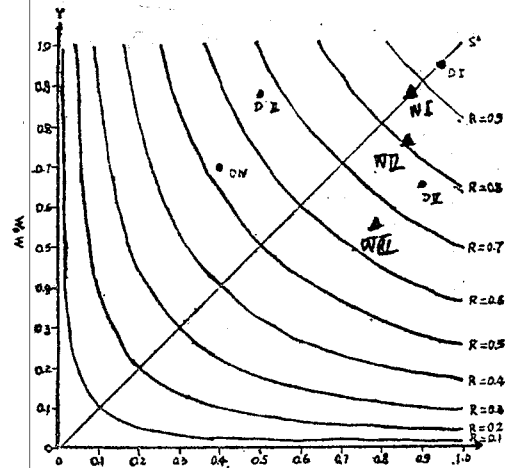


圖26 動力絞盤與施肥機之經濟與技術評價圖 (S-Diagram)

WI：動力絞盤

WII：牛車

WIII：牛拉拖排

DI：置於拖排上 WS-2 型施肥機

DII：置於拖排上布施牌施肥機

DIII：置於拖排上強鹿牌施肥機

DIV：置於拖排上臺糖甘蔗施肥機

圖 26 中顯示，動力絞盤之 R 值為 0.88 比牛車及牛拉拖排為優，而相同地置於作業機拖排上之施肥機經相同之權值後，所研究改良之 WS-2 型施肥機遠比其他現有之施肥機理想，只要坡地整坡後及高經濟作物選定後，動力拖排將成為陡坡地之主要作業機械。

七、討論與建議

(1) 從等高線到順坡面的開發方式

臺灣山坡地的開發有 53% 屬陡坡地，應先經整體規劃再行整坡，為配合未來的機械化，應從等高線的開發方式，改為順坡面，以利動力絞盤及其附屬作業機械進行陡坡地作業。依農發會編印之水土保持手冊所訂，山坡地可利用限度分類標準圖解 (圖 27)，28.8° 以下之坡地才宜農牧，28.8° 以上則屬宜林地區。為避免雨水冲刷，坡度 28.8° 之最陡坡面在水土保持溝渠設計中，其斜面距離僅 12m (參閱表六)，而允許有 25% 之差異，即可用坡長只有 15m，若坡地表面覆蓋良好，則長度可增加 1 倍至 30m，每 30m 應有一作業道或山邊溝作為連絡道或排水溝，故陡坡地用動力絞盤鋼索長度設計時以 30~40m 之間為準，足可滿足作業的需要。

表 6 坡地之坡度、溝距與斜面距離間之關係

坡 度 %	度	溝 距 (m)	
		水 平 距 離	斜 面 距 離
3	1.7	30	30
4	2.3	25	25
5	2.9	22	22
6	3.4	20	20
7	4.0	19	19
8	4.6	18	18
9-10	5.1-5.7	16.5	16.6
11-15	6.3-8.5	15	15.1
16-20	9.1-11.3	13.3	13.5
21-25	11.9-14.0	12.6	12.9
26-30	14.5-16.7	12.1	12.5
31-40	17.1-21.8	11.7	24.4
41-55	22.3-28.8	11	12

坡地資源的開發須從長計劃才能達到預期開發坡地的效果，德國在這方面已有良好的成績，可資借鏡。西德萊茵河畔向陽坡面皆種葡萄，為使葡萄園能全部機械化及水土保持作用完整皆經坡地重劃，坡地的施工設計及施工方法皆與現行臺灣東部已重劃之坡地有很大之不同，德國在坡地重劃施工時，係先將表土集中，將床土整平後再把表土客回，作業道或產業道路之內緣均有排水溝，作業道可容曳引機進出（詳細的坡地整坡資料，可向西德坡地重編局索取。總之，臺灣坡地及陡坡地之開發，若無法先有系統地加以規劃再行開發，則五十年到一百年後臺灣之坡地寶貴資源將冲刷殆盡。

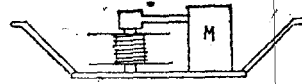


圖28 提攜式動力絞盤

(B)曳引機承載式動力絞盤靠曳引機之 P. T. O 軸驅動，有後承載、前承載、側承載及後側承載等方式（圖30）。臺灣目前的曳引機大部份只在後面具 R. T. O，軸坡地作業欲發揮功能，曳引機仍

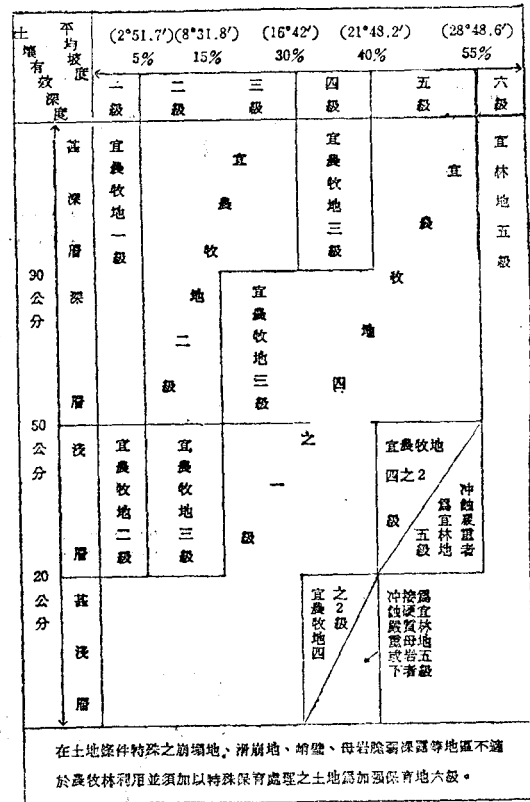


圖27 山坡地土地可利用限度分類標準圖解

(2)動力絞盤未來運用之型態

動力絞盤未來運用時依其作業方式可分為三種型態，(A)提攜式、(B)曳引機承載式及(C)自行推進式。茲分述如下：

(A)提攜式動力絞盤（圖28）屬於小型者，作業時係定置於產業道路旁，配合滑輪組進行坡地作業（圖29）本身沒有行走機構。

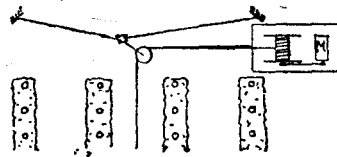


圖29 提攜式動力絞盤之作業方式

宜選用前、後及側面均有 P. T. O 軸者為佳，尤其是側承載式動力絞盤在坡地作業最簡便，不影響其後承載之機具。

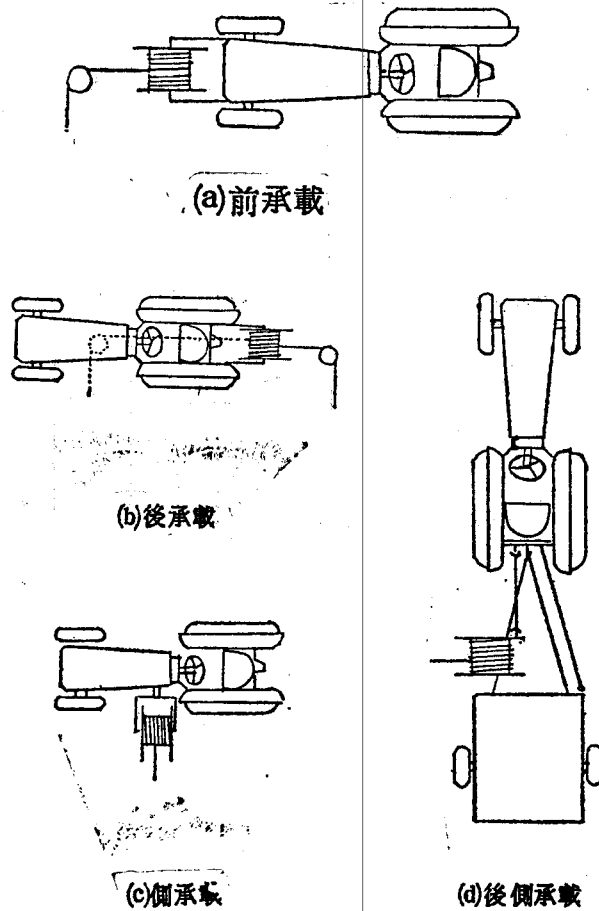
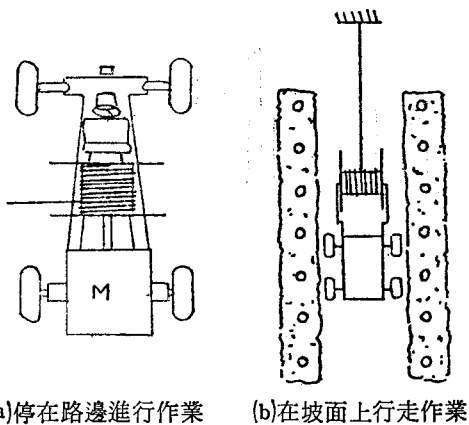


圖30 曳引機承載式動力絞。(a)盤前承載、(b)後承載、(c)側承載、(d)後側承載。

(c)自行推進式動力絞盤(圖31)一般均屬低重心，輪距較寬，作業時有停在產業道路或作業道旁，或行走於坡面，而配以支柱及滑輪組。



(a)停在路邊進行作業 (b)在坡面上行走作業

圖31 自行推進式動力絞盤

(3)油壓驅動式動力絞盤所用油壓迴路系統

動力絞盤坡地作業時，由於牽引之作業機或拖排及負載具有一向下之分力，在下坡作業時有逐漸加速下滑的趨勢，增加危險，在油壓迴路系統中應加考慮。

油壓系統中控制速度有三種基本迴路，即入壓線油路(Meter In Circuit)、回壓線油路(Meter Out Circuit)及分洩油路(Bleed-Off Circuit)如圖32所示，就控制速度而言，則以流量調節閥調節油量最容易而有效，一般均使用附有壓力補償及防止閥之流量調節閥。入壓線油路常用於負荷安定的油路；分洩油路常用於負荷變動較小者，但轉速難以正確控制；回壓線油路可適用於負荷急速變動而馬達仍定速轉動者，故本陡坡地用油壓驅動式動力絞盤之油壓系統採用回壓線路。

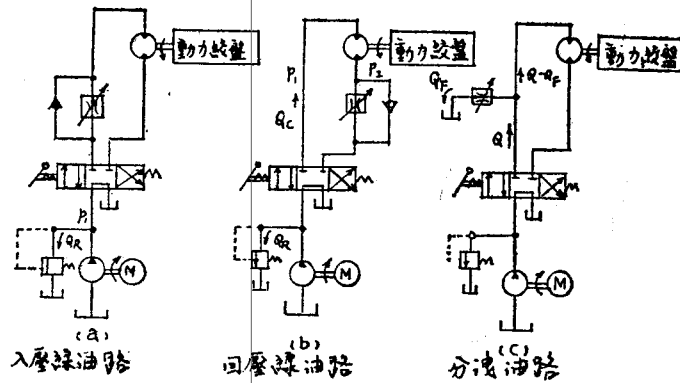


圖32 控制速度之三基本油路

(4) 坡地開發之系統規劃

坡地的開發若能先加以有系統地規劃，則其成效必然更顯著，目前我們所遭遇困難之一為如何選定具有高度經濟價值的作物為對象，集中有限的人力、物力，解決其整個系統的機械化。圖 33 為德

直接曳引範圍 鋼索曳引範圍

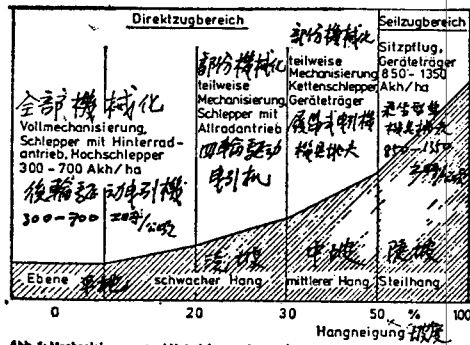


Abb. 1: Mechanisierungs- und Motorisierungsformen im Weinbau in Abhängigkeit von der Hangneigung.

圖33 西德葡萄園在不同坡度機械化情形

國以高經濟作物葡萄為主在不同坡度的機械化情形，坡度 0~20% 之平地及緩坡地，田間各項作業均已機械化，且以後輪驅動之曳引機為主要動力；坡度 20%~30% 之坡地則部份機械化，曳引機必須採用四輪驅動；30%~50% 之坡地亦僅部份機械化，以履帶式曳引機及人力使用之簡易機具為主；而坡度 50% 以上之坡地則只能以動力絞盤上的鋼索牽引各項農機具進行坡地作業，一般平地每公頃需 300~700 工時，在陡坡地則增至 850~1350 工時，幾乎增加一倍。陡坡地開發之系統規劃中，動力絞盤搬運系統作業體系示意圖 (圖34) 顯示在連接其他各項作業機具後不但可作搬運工作，且可進行施肥、整地、中耕、除草、病蟲害防治及收穫等作業

，而單軌車、索道及搬運車則僅能進行搬運作業。

八、參考文獻

- (1) 野野、武者賴耿陽譯著(1978)：粉粒體輸送裝置，復漢出版社印行。
- (2) 涂本玉(1978)：「坡地農業機械作業之研究發展」農業工程學報第 24 卷第四期。
- (3) 劉文德、黃清旺(1978)「臺灣坡地主要果園農業機械作業調查研究」嘉義農專工程科特刊六號。
- (4) 劉昆揚(1974)：「臺灣省坡地農產運輸索道之調查研究」臺灣大學農業工程學系。
- (5) 林文雄(1976)：「山坡地果園機械—單軌車搬運機械之試驗研究」中國農業工程學報第22卷第四期抽印。
- (6) 松山龍男、川崎健、前周邦彥「傾斜地江おけら步行型二輪トラクタの横轉倒角」，農業機最學會誌第32卷第1及2號。
- (7) 田邊：「傾倒地農業の機械化、作業技術の 1~15」
- (8) 林文晃編著(1971)：「機械設計原理與實例」，信明出版社印行。
- (9) 小栗富士雄著，臺隆書店編輯委員會譯(1969)「標準機械設計圖表便覽」。
- (10) 翁金瑞、蘇重生(1980)：「陡坡地動力絞盤作業機械之研究(-)」農業機械學會學報十七期 P.P. 37~38 屏東農專農業機械工程科。
- (11) 翁金瑞、蘇重生(1981)：「陡坡地動力絞盤作業機械之研究(二)」屏東農專農業機械工程科印行。
- (12) 翁金瑞、蘇重生(1980)：「臺灣現有粉、粒肥料施肥機性能之測定」。屏東農專雜糧機械研究室 (未發表)。
- (13) 翁金瑞、蘇重生(1980)：「WS-2 型施肥機之研製及其性能測定」屏東農專雜糧機械研究室。(未發表)
- (14) 翁金瑞、蘇重生(1981)：「真空式播種機施肥裝置研製」六十九年度農機研究發展與示範推廣彙報 P.P 44~50。

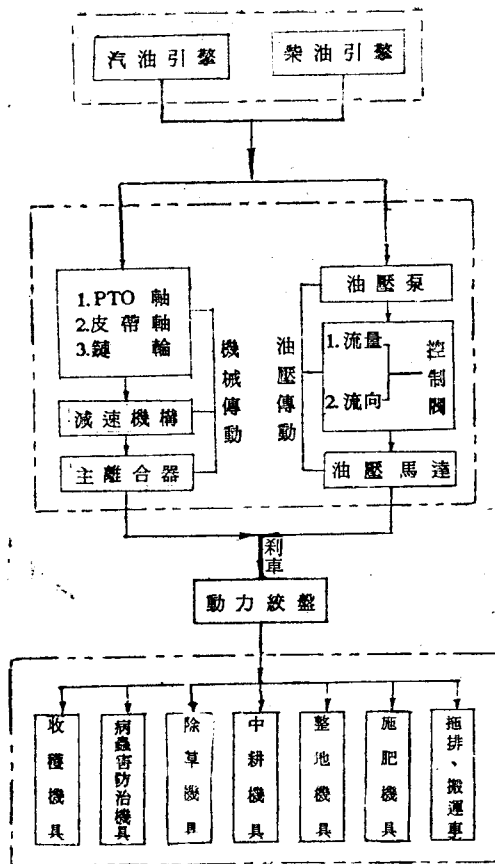


圖34 動力絞盤運系統作業體系示意圖

原 動 機
(PRIME MOVERS)

傳 遞 機
(POWER
TRANSMISSION
MACHINES)

作 業 機
(WORKING
MACHINES)

- (15)翁金瑞、蘇重生(1982):「陡坡地動力絞盤作業體系之經濟效益分析」屏東農專雜糧機械研究室。(未發表)
- (16)王康男(1982):「索引式單軌車之試驗研究(二)」農業工程學報第28卷第二期。
- (17)行政院農業發展委員會臺灣省農林廳山地農牧局編印(1981第二次修訂)「水工保持手冊」。
- (18)C. B. RICHEY, PAVL JACOBSON, CARL W HALL. (1961): Fertilizing and Liming Machines. Agricultural Engineers Handbook. P 164.
- (19)GUNKEL, W.W., and A. HOSOKAWA. (1964): Laboratory device for measuring Performance of Granular Pesticide applicators,

Trans, ASAE, 7 (1): 1~5.

- (20)HOLZHEI, D. E., and W. W. GUNKEL. (1967): Design and Development of new Granular Applicators, Trans. ASAE. 10 (2): 182~184, 187.
- (21)E. Moser, (1979): Kuratorium fur Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. D-Stuttgart 28~29. Neuzzeitliche Verfahrenstechnik im Weinbau BAND I&II
- (22)Werner Ruhling, (1979): Mechanisierung und Verfahrenstechnik im Steillagen-Weinbau, Landtechnik 7/8.