

由臺大耕耘機試驗論耕耘機之 基本性能標準問題

A Study on the Problems of Power Tiller Testing Standard Based on the Taiwan University Power Tiller Test

張 舉 珊 *Chang Chou-shang*

為配合農業增產政策，臺灣省自民國49年起擬在10年內推廣耕耘機 8萬台。同時樹立耕耘機之檢驗制度以確保耕耘機品質性能之優良，是項檢驗制度係由臺灣省檢驗局負責執行，臺灣大學農工系代為試驗。又為鼓勵國產耕耘機起見，臺灣物資局擬自51年起開始輔導補助省產優良耕耘機製造工廠。何種品質性能之耕耘機屬合格？何種耕耘機性能屬優良？因之發生耕耘機基本性能之標準問題。民國50年11月臺灣大學與省檢驗局會特聯合草擬一項「臺灣省耕耘機檢驗項目及暫定最低標準」，由檢驗局邀請有關機關商討修正後送請臺灣省政府核准實施。本文係根據過去數年來臺灣大學與農復會合作之耕耘機試驗研究，並叢集有關資料對耕耘機之基本性能標準問題作進一步之分析探討，以供有關人士之參考。以下所論及之耕耘機基本性能僅包括耕耘機之引擎性能，機械效率，耐久性能，牽引性能，田間犁耕性能等五項。

一、耕耘機引擎基本性能

引擎之基本性能通常用馬力與油料消耗來表示，其表示法與基本標準規範如下：

- 馬力：引擎馬力之表示法有二，一為最大馬力 (Max. Horse power) 即指原設計的最大制動馬力，一為標記馬力 (Rated Horse power)，即為最經濟的常用馬力，約為最大馬力80%左右，但亦有些引擎不特別標明其常用之標記馬力者。引擎馬力之測定標準，根據美國 SAE (American society of Automobile Engineering) 及 ICEI. (Internal Combustion Engine Institute) 所定的規範，以及美國納州曳引機檢驗試驗 (Nebraska Tractor test) 所採用的標準如下：
 - (1) 在標準狀況下，新引擎經磨合運轉 (Run in) 後所產生之最大馬力不宜低於設計之最大馬力95%。所稱之標準狀況係指引擎之進氣溫度在 60°F (15.5°C)，大氣壓力在29.92吋 (760mm)。
 - (2) 凡溫度在60°F以上，每升高10°F (5.5°C) 最大馬力宜校減1%。
 - (3) 凡海拔每升高1,000呎 (約300m)，最大馬力宜

校減3.5%。

以上(2)(3)兩條係因氣壓與溫度的變化，空氣中氧氣密度亦隨之改變，以影響燃料之燃燒，而規定之簡單校正值。正確之校正須依據下式

$$\frac{HP_2}{HP_1} = \frac{P_2}{P_1} \left[\frac{T_1}{T_2} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

本節各式所用符號：

HP_2 = 校正後之馬力

HP_1 = 實際測定之馬力

P_2 = 氣壓，29.92in (760mm)

P_1 = 試驗時之大氣壓力，in (或mm)

P_{wv} = 絕對水蒸汽壓力，in (或mm)

T_1 = 試驗時所讀得之絕對溫度，°F (或°C)

$T_2 = 60 + 460 = 520^\circ\text{F}$ (或 $15.5 + 273 = 288.5^\circ\text{C}$) 絕對標準溫度。目前臺灣暫定之耕耘機性能檢驗標準中有關引擎馬力之規定如下：在標準狀況下實測最大馬力不得低於設計之最大馬力95%。保證之常用馬力應具有設計之最大馬力80%。

此標準所指之標準狀況與 SAE 所定者同。惟臺灣地區濕度甚高，其校正值應考慮空氣中水蒸汽之影響。故臺灣大學耕耘機試驗所採用之校正標準依據下式：

$$\frac{HP_2}{HP_1} = \frac{P_2}{P_1 - P_{wv}} \left[\frac{T_1}{T_2} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

該標準中以80%最大馬力之負荷量作為保證之常用馬力，因大部份引擎常用之標記馬力均在最大馬力80%左右 (見表1)，故採用80%作為統一的檢驗點。油料消耗及耐久性能試驗亦同樣採用此點作為檢驗之標準負荷點。

- 油料消耗 (Fuel Consumption)：一般所指之引擎油料消耗係以克/馬力一小時 (gr./HP-hr) 作為共同比較的單位。引擎的設計製造好壞，各部調節配合是否適當，對油料消耗有着顯著的影響。同一引擎，油料消耗依負荷之不同而異。圖1所示為臺大耕耘機試驗所作之引擎標準性能試驗曲線。該圖所示之油料消耗在引擎之80%負荷以前係隨負荷之

表 1 臺大耕耘機試驗實測引擎性能結果

引擎廠牌	規 格			實測油料消耗 Gr./HP/hr.		實測最大馬力		備註	
	最大馬力 HP.	常用標記馬力 HP.	標記轉速 rpm	80%負荷	最大馬力 負荷	HP.	實達 %		
中農野馬 NT85K 型 (柴油)	8	6.5	81%	1800	214	278	7.6	95%	全新
中農野馬 NT95K 型 (柴油)	10.5	8	76%	1600	193	200	10.5	100%	"
久保田 KND7 型 (柴油)	10	8	80%	2000	198	251	9.5	95%	"
芝浦 GE 13 (汽油)	2.5	2	80%	3600	320	360	2.2	89%	已用
B. S. 19 型 (汽油)	7	5.98	85%	3600	—	395	6.8	97.5%	全新
裕隆 YLDE-4 (柴油)	5	—	—	1350	260	300	4.6	92%	1959年 臺系 大試 機械 驗
自由牌 S-4-1	7	—	—	4500	—	450	6.8	97.5%	
美化 E-4	4	—	—	3600	—	400	3.8	95%	

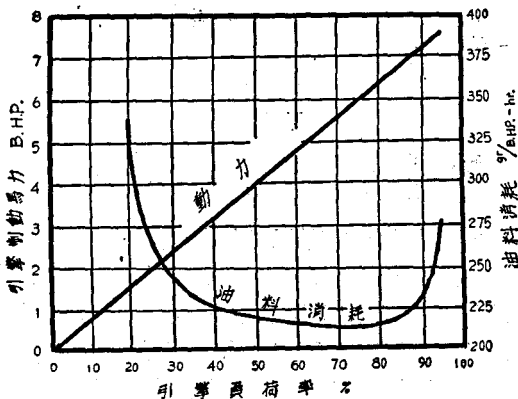


圖 1 中農野馬 N.85K 型 8HP 柴油引擎等速運轉之性能曲線 (臺大耕耘機試驗室)

增加而遞減，過 80 % 以後油料消耗隨負荷之增加而急增。80 % 為該引擎所定的常用標記馬力，亦即為最經濟的負荷點。在 SAE 的規範中對油料消耗只就測定的方法上有所規定，即油料消耗之測定和表示單位宜用重量單位，而不宜使用體積單位，同時測定的時間宜在 5 分鐘以上。臺灣檢驗暫定耕耘機引擎油料消耗最低標準如下：

在保證之常用馬力運轉下，油料消耗不得高於下列之標準：

- (1) 汽油引擎：350gr/HP-hr (此標準稍高)
- (2) 柴油引擎：250gr/HP-hr

以上臺灣所定的油料消耗檢驗標準係指 10 馬力以下的單汽缸引擎，並以 80 % 負荷作為測定的標準點。表 1 為臺大耕耘機試驗室，實測之引擎性能，該表所示，所作之試驗尚不夠完全。汽油引擎在 80 %

負荷下以 350gr/HP/Hr 作為最低的標準是否過高尙有待以後的試驗。

二、耕耘機機械效率

本節所論之耕耘機機械效率，僅指本機的傳動系統，引擎的機械效率不包括在內。耕耘機傳動系統中所用之機械元件，不外皮帶、齒輪、鏈條等，這些機械元件如表 2 所示本身的機械效率均甚高。用一

表 2 各種運轉及傳動機械元件之機械效率
(來源：Mechanical Engineering hand book by L. S. Mark)

一般車軸軸承 (Common Journal bearing).....	98-99%
長車軸軸承 (Journal bearing, Long Line of Shafting)	95%
鋼棍軸承 (Roller bearing)	98%
鋼球軸承 (Ball bearing).....	99%
正齒輪包括軸承 (Spur gear, including bearings)	
鑄造者 (Cast teeth).....	93%
切成者 (Cut teeth).....	96%
斜齒輪傳動包括軸承 (Bevel gear, including bearings)	
鑄造者 (Cast teeth)	92%
切成者 (Cut teeth)	95%
蝸輪齒 (Worm gear) 傳動	
螺紋角度 30°	85-95%
螺紋角度 15°	75-90%
平皮帶傳動 (Flat Belt)	96-98%
三角皮帶傳動 (V-belt)	96-99%
梢接鏈條傳動 (Pinconnected Chain)	95-97%
高級鏈條 (High grade Chains)	97-99%
油壓千斤頂 (Hydraulic Jack).....	80-90%

對正齒輪傳動，在油槽中運轉，所損失的動力約在 0.5 % 左右如表所示，正齒輪的効率包括軸承在內，鑄造者為 93 %，切成者為 96 %。三角皮帶及鏈條之機械効率均可高達 96-99%。耕耘機機械効率之高低，視傳動系統所採用之機械元件之不同以及組合簡單與複雜等而定。如使用一對正齒輪其本身之機械効率可高達 96.5%，使用 10 對則應為 95 %。此外傳動機件裝配是否確實同樣影響機械効率。又耕耘機之効率隨負荷之增加而增加，如圖 2 所示。1957 年日

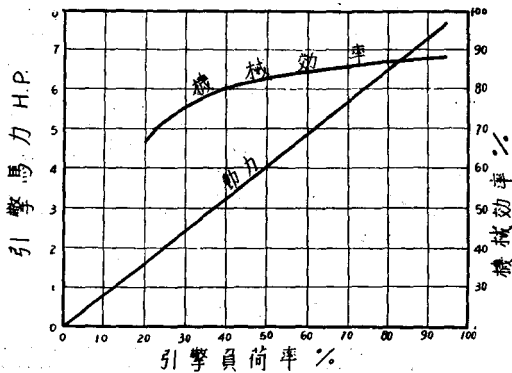


圖 2 中農井關KF48G型耕耘機機械效率 (臺大耕耘機試驗室測定)

本耕耘機檢驗 60 台之成績，在 100% 的負荷下，機械効率達 80 % 以上者計有 45 台，同樣機械在 50% 負荷下測定其機械効率達 80% 以上者僅 14 台。故耕耘機愈近滿負荷運轉愈經濟。

民國 46 年日本國定耕耘機之檢驗標準中耕耘機之機械効率定為 80 % 以上。民國 50 年日本耕耘機檢驗已將機械効率一條刪除，原因係日本對耕耘機之製造近年來已有很大的進步，其機械効率均已超過標準以上，故不再須列入檢驗。過去兩年間臺大會實測過 5 台不同廠牌耕耘機，其機械効率亦均在 80% 以上。

目前臺灣對耕耘機之機械効率暫定標準如下：

耕耘機機械効率以保證常用馬力負荷下作標準。

① 車軸効率 80 % 以上。② 驅動式耕耘機耕耘軸之機械効率 80 % 以上。以上所指之車軸効率係指由耕耘機主軸至耕耘機車軸間之傳動系統。

三、耐久性能

驅動式耕耘機耕耘軸之効率係指耕耘機主軸至耕耘軸間傳動系統。耕耘機是否能持久連續工作，有賴製造精度之良好與否，使用材料是否適當，潤滑系統是否確實，引擎冷卻系統是否完全，乃至裝配是否適

正等均為影響耐久性能的主要因子。以上各因子有一項不完善均將導致過高溫度之上升，特別是引擎部份。溫度過高使機械率効降低，油料消耗增加，潤滑作用失去功用，使整個溫度繼續上升，乃至有使引擎燒毀之慮。圖 3 所示為曳引機各部最高工作溫度分佈

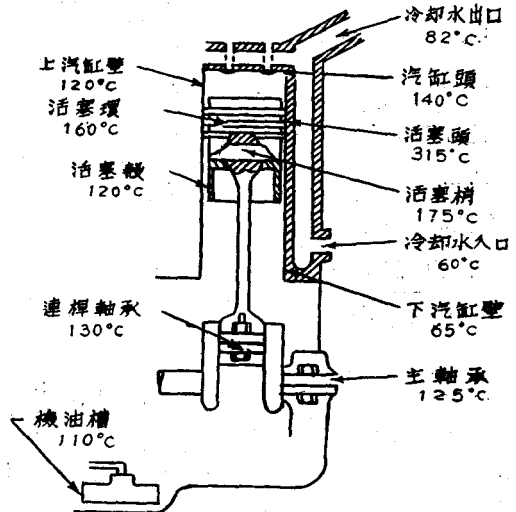


圖 3 曳引機引擎各部最高工作溫度之分佈情形 來源：Farm power-Ben D. Moses 1952

情形，可供耕耘機引擎溫度上升標準之參考。該圖所示曳引機曲軸箱最高工作溫度可達 110°C，按一般 SAE30 號機油在 25°C 時其粘度為 170 Centipoises，110°C 時僅為 8 Centipoises，如溫度再繼續升高則粘度將完全消失，使曲軸與軸承間及活寒與汽缸間之油膜減薄，造成金屬與金屬直接磨擦。按一般軸與軸承間油膜厚度 H_0 與機油粘度 Z 之關係式如下。

$$\frac{H_0}{Cr} = \phi \left[\left(\frac{zn}{p} \right)^a \left(\frac{c}{D} \right)^e \right] \dots \dots \dots (3)$$

本節各式所用符號

H_0 = 油膜厚度 (cm)

C = 軸與軸承間之隙 (大小差) (cm)

$C_r = \frac{1}{2} C$ (cm)

z = 機油粘度 (Centipoises)

n = 車軸轉速 (rps)

p = 軸承所受壓力 (g^2/cm^2)

D = 軸承直徑

a, e = 因次

U = 磨損 (m·kg/min)

f = 磨擦係數

R = 軸承所受的作用力 (kg)

V_r = 車軸圓週速度 (m/min)

③式所示油膜厚度 H_0 與機油粘度 Z 的 a 次方成正比。故機油粘度減低，油膜之厚度亦隨之減小。對表面精度，光滑率不夠之機械，油膜減薄之影響亦較大，因避免金屬直接磨擦所需之油膜厚度亦宜較大之故。此外使用材料過差，易於變形，亦為增加金屬與金屬直接接觸磨擦之機會原因之一。由於磨擦所造成之磨損如公式④所示。式中之磨擦係數 f 油膜與

$$U_f = fRV_f \dots\dots\dots(4)$$

金屬之磨擦為 0.0025-0.025，常用者在 0.005 左右。金屬與金屬直接磨擦，則視表面光滑率之不同約為 0.1-0.3 (參看 Introduction to mechanical design-by T.B. Jeffersan)。

此外工作溫度過高促使機油加速氧化，根據一般試驗此種氧化作用之進行在 100°C 以上則極為顯著。

表 3 為臺大耕耘機試驗室第一號試機之耐久性能試驗結果，該表所示，該機在常用標記馬力負荷下連續

表 3 中農井關 KF48G 耕耘機耐久性能試驗結果

(臺大耕耘機檢驗試驗室實測 6.5HP 柴油水冷驅動式耕耘機)

1. 本試驗以引擎之標記馬力標記轉速 (1800rpm) 之負荷下連續運轉 2 小時
2. 實驗室室溫 23.5°C 74 °F

測定時間		0 min	15 min	30 min	45 min	60 min	75 min	90 min	105 min	120 min
引擎溫度	進氣溫度 °C	23.5	33	34	38	39	35.5	39.5	39.5	39.5
	排氣溫度 °C	50.5	130	160	210	215	215	220	220	220
	機油溫度 °C	23.5	57	76	76	80	80	80	80	80
	機油淨升溫度 °C	0	33.5	52.5	52.5	56.5	56.5	56.5	56.5	56.5
	冷卻水溫 °C	23	84	100	100	100	100	100	100	100
水箱容量: 13,400CC 加入水量: 13,400CC 試舉水量: 4000CC 實耗水量: 13,000CC										
耕耘機溫度	齒輪箱油溫 °C	23.5	29	35	40	44	47	49	50	51
	齒輪箱淨升油溫 °C	0.5	5.5	12.5	17.5	21.5	24.5	26.5	27.5	28.5
	主軸溫度 °C	—	—	—	—	—	—	—	—	50
	車軸溫度 °C	—	—	—	—	—	—	—	—	32
油料消耗	克/小時	—	—	1280	1320	1400	1370	1400	1320	1370
	克/馬力—小時	—	—	200	206	219	214	219	205	214
	公升/小時	—	—	1.55	1.60	1.70	1.66	1.70	1.60	1.66
	公升/馬力—小時	—	—	0.242	2.050	0.266	0.259	0.266	0.250	0.259

運轉 2 小時，引擎曲軸油溫由 23.5°C 漸次上昇，至 90 分鐘後達 80°C，計昇高 56.5°C，以後溫度即保持不變，亦即引擎溫度上昇的熱量與冷卻系統擴散的熱量到達平衡狀態，使整個機械保持在不變的安全溫度下運轉。耕耘機齒輪油溫由 23.5°C 經兩小時同樣情況運轉後達 51°C 計上昇 28.5°C。在 90 分鐘後開始以每 15 分鐘增高 1°C 緩慢上昇，惟耕耘機齒輪

箱油溫之上昇遠較引擎為低，然較高運轉溫度仍表示性能欠佳。

表 4 所示為日本民國 46 年耕耘機檢驗有關耐久性能中之變速齒箱油溫上昇情形之統計表。46 年日本應檢耕耘機計 60 台，在標記馬力負荷下連續運轉 3 小時後，85% 的耕耘機 (51 台) 之上昇溫度均在 40°C 以下。日本耕耘機檢驗對耐久性能僅測定耕耘

表四：日本耕耘機檢驗之變速齒箱油溫上昇統計表 (標記馬力負荷下連續 3 小時運轉)

年次	上昇油溫 °C									
	20以下	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55	55~60	60以上
民國 46 年	4 台	16 台	9 台	12 台	10 台	2 台	4 台	1 台	0	2 台

機本機之變速齒箱油溫，及主軸之表面溫度，對引擎之溫度未作測定。同時對各部上昇溫度的標準亦未作確定。

目前臺灣對耕耘機耐久性能所暫定之最低標準如下：

耐久性能以保證常用馬力負荷下連續運轉 2 小時作標準。① 引擎曲軸箱油溫不得高於室溫 80°C。

② 耕耘機變速齒箱油溫不得高於室溫 30°C。

以上標準中所指之室溫係以臺灣夏天最高溫度 30°C 作標準，故引擎容許之最高溫度為 110°C (30°C+80°C) 與前所討論者同，耕耘機變速齒箱容許之最高溫度為 60°C。選擇兩小時作為連續運轉的標準，係因正常引擎在連續運轉 1 小時以後根據臺大之試驗各部溫度之上昇已趨穩定。

四、牽引性能

牽引性能僅限於牽引式及牽引驅動兼用式耕耘機。一般表示牽引性能的方法可分為兩個部份，一為表示最大牽引能力，通常以最大牽引力 (Maximum drawbar pull) 及最大牽引馬力 (Maximum draw-bar Horse power) 來表示，如(5)式所示。此二者

$$DHP_m = \frac{F_m V}{75} \dots\dots\dots (5)$$

$$E = \frac{DHP_m}{RHP} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

$$C = \frac{F_m}{w} \dots\dots\dots (7)$$

本節各式所用符號

DHP_m = 最大牽引馬力

F_m = 最大牽引力 (kg)

F = 牽引力 (kg)

V = 耕耘機前進速度 (m/sec)

E = 牽引效率 (%)

R.H.P. = 耕耘機引擎常用標記馬力

C = 牽引係數

w = 耕耘機重量 (kg)

L = 耕耘機重心至車輪接地點之垂直距離

α = 牽引力的方向角

y = 水平方向牽引分力至車輪接地點之垂直距離

x = 垂直方向牽引分力至車輪接地點之垂直距離

H_m = 最大土壤推阻力 (kg)

A = 車輪與土壤接觸面 (cm²)

K = 土壤粘着係數 (kg/cm²)

W = 車輪所受的全壓力 (kg) = w + Fsinα

θ = 土粒間之磨擦角

P = 土壤所受平均壓力 (W/A) (kg/cm²)

與耕耘機本身重量及引擎馬力等成正比。一為表示牽引性能所能發揮的最大效率 (Maximum draw-bar Efficiency) 如(6)式所示，及牽引係數 (Coefficient of draw-bar pull) 如(7)式所示。牽引效率及牽引係數在構造上對耕耘機引擎馬力大小與重量的配合，重心位置，牽引接勾 (Hitch) 位置，以及牽引力方向等有直接關係，如圖 4 所示，其關係可用下列各式表示：

1. 耕耘機重量與牽引力之平衡關係式

$$wL - F_m y \cos \alpha - F_m x \sin \alpha = 0 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{或 } wL - F_m (y \cos \alpha + x \sin \alpha) = 0 \dots\dots\dots (8)$$

2. 理論上的牽引係數由(8)式得

$$C = \frac{F_m}{w} = \frac{L}{y \cos \alpha + x \sin \alpha} \dots\dots\dots (9)$$

3. 理論上最大牽引力由(8)式得

$$F_m = \left(\frac{L}{y \cos \alpha + x \sin \alpha} \right) w \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{或 } F_m = Cw \dots\dots\dots (10)$$

由(9)式得知理論上的牽引係數與耕耘機重量 W 之大小無關，而直接受耕耘機重心及接勾二者之位置之影響，即牽引係數之大小與耕耘機重心至車輪地面接觸點之垂直距離 L 成正比，與接勾至該點之位置距離 x, y 大小成反比。根據(10)式，耕耘機之最大牽引力 F_m 對牽引係數及耕耘機之重量 w 二者之大小成正比。實際上耕耘機最大牽引力 F_m 之大小須視土壤對車輪所能產生之最大推阻力 H_m (Maximum Soil Thrust) 之大小來決定。H_m 之大小，等於車輪阻耳 (Lug) 切斷土壤接觸面 A 所需之剪切力 (Soil

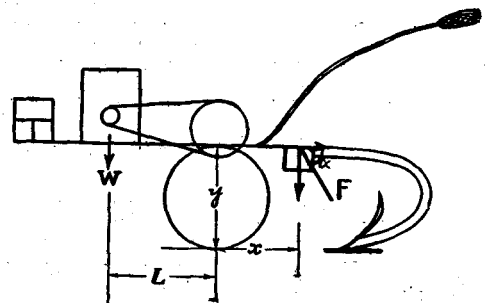


圖 4 耕耘機作用力分析圖

Shearing force)。如圖5所示。根據 M.G. Bekker 之研究，推阻力之關係式如下：

$$H = Ak + W \tan \theta \dots \dots \dots (11)$$

(11) 式中之 W 為車輪所受之全壓力。按 $W = w + F \sin \alpha$ 。即耕耘機重量與垂直方向牽引分力之和。式中之土壤粘着力 (Cohesive force) k 由 O 之乾砂至 0.21 kg/cm^2 $C = 3 \text{ psi}$ 之飽和粘土。土粒之磨擦角度 θ ，由 O 之飽和塑性粘土 (Plastic Saturated Clay) 至 35° 之乾砂。一般水份含量極高之粘土 $k = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ ($= 1.5 \text{ psi}$)。故一般水份含量高之粘土， $H_m = 0.1A$ 。一般乾砂土之 $H_m = W \tan 35^\circ = 0.7W$ 。換言之水份含量高之粘重水田，土壤之推阻力只與車輪對土壤之接觸面積 A 成正比，而與車輪加於土壤之壓力 W 無關，對乾砂土則僅與 W 成正比，而與接觸面 A 無關。

土壤推阻力 H_m 與耕耘機牽引力之關係，應 $H_m > F \cos \alpha$ 耕耘機方能保持牽引前進。 $H_m \leq F \cos \alpha$ ，車輪達 100% 打滑，耕耘機停止前進，當水平牽引分力 $F \cos \alpha = 0$ 時，車輪打滑率亦應為 0。故車輪之打滑率視土壤之推阻力與水平牽引力差之大小而定，差愈大，打滑率愈小，差愈小，打滑率愈大。根據臺大耕耘機試驗室過去試驗結果 (參看表 5，表 6)，車輪能維持之最大打滑率約 25%-30% 左右。

對於乾硬之土壤或路面，能維持之最大打滑率僅 20%-22% 左右。圖 6 所示打滑率隨牽引力的增加而增加，到達最大維持的打滑率 (圖中所示為 22%) 時其

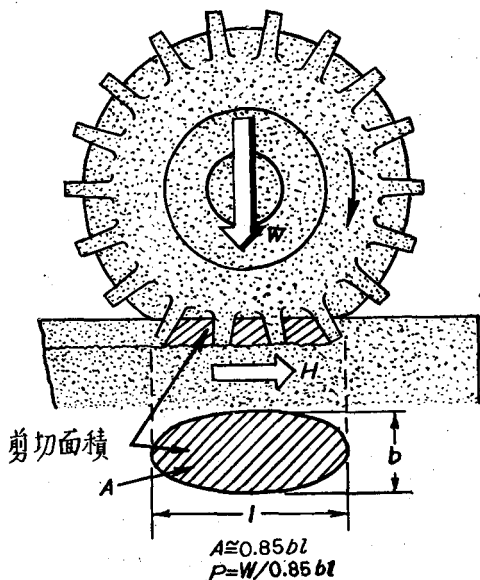


圖 5 車輪與土壤推阻力的關係

所付出之牽引力即為最大牽引力 (75kg)。故由打滑率的多少亦可推知該耕耘機在某情況下是否已到達最大的負荷牽引力。

由以上的討論得知耕耘機的牽引性能隨土質及地面的情況之不同而異。目前一般有牽引機與耕耘機的檢驗制度的國家，測定牽引性能對於試地所採用的標準各有不一。為了地面的影響因子易於控制起見，有採用水泥面者，木質面者，橡皮面者，及經壓緊後之土面者，亦有直接用耕地之實際情況者。美國過去用壓緊後之土面，自 1950 年起改用水泥面，日本在 1955 年的試驗係採用壓緊後土面，1957 年改用木質地面，1960 年後改在田間實測。臺灣大學耕耘機試驗室 1960 年係使用木質地面，1961 年改用水泥面。有關牽引性能試驗除田間實測者外，牽引力方面均採用水平方向，即 $\alpha = 0$ 。

目前臺灣暫定的耕耘機檢驗標準中，有關牽引性能規定如下：

- 牽引性能以橡皮車輪對水泥地面作標準，打滑率在 20% 以上，(1) 牽引效率 ($= \frac{\text{最大牽引馬力}}{\text{保證之常用馬力}} \times 100\%$) 須在 50% 以上。
- (2) 牽引係數 ($= \frac{\text{最大牽引力 kg}}{\text{耕耘機重量 kg}}$) 須在 0.7 以上。

在以上的規定中所指之最大牽引力及最大馬力，測定時耕耘機所用的前進速齒，據臺大的試驗係採用最大的耕速 (參看表 5)，按最大的耕速，行走式耕耘機不得超過 1m/sec (3.5km/hr)。

使用水泥，木質或壓緊後之土面等之硬質地面作為測定之標準，對車輪的設計 (如 Lug) 之好壞無法表現，且實際的牽引力方向角 α 不等於零。惟因實際田間情況無法加以控制，如何表示田間實測的結果，使其具有比較的價值，目前臺灣大學正在進行研

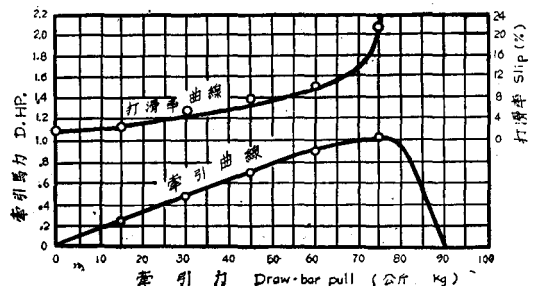


圖 6 2.5HP 牽引式耕耘機之車輪打滑率與牽引力之關係—橡皮車輪對木質地面 (臺大耕耘機試驗室試驗資料)

究中。

五、田間犁耕性能

耕耘機田間犁耕性能，一般廠商，農業界及政府之檢驗機構等，通常慣用犁耕深度作為主要的表示方法。但單純的犁耕深淺並不能代表或比較犁耕性能的高低。因犁耕的深淺除受耕耘機及犁具本身構造的影響而外，土壤對犁耕的影響尤甚。土壤情況之不同除影響牽引性能已於前述者外，同樣亦影響所加於犁具之阻力，此阻力稱之為牽引阻力(Resistance of draw-bar pull) 以 kg/cm^2 表示。上節所指之牽引力係指某耕耘機所具有之牽引能力。牽引阻力與牽引力對犁耕深淺實有密切的相互關係。三者之簡單關係式如 (12) 式所示：

$$F = AR \dots\dots\dots (12)$$

$$= dbR \dots\dots\dots (12)$$

$$\therefore d = \frac{F}{bR} \dots\dots\dots (12)$$

式中符號：

F = 牽引力 (kg)

A = 犁耕土壤之斷面積 (cm^2)

d = 犁耕深度 (cm)

b = 犁耕寬度 (cm)

由(12)式得知，如犁耕寬度保持不變，則犁耕深度與耕耘機之牽引力成正比，與犁具之牽引阻力成反比。臺灣的犁耕寬通常採用水稻行距作標準，即 25cm。犁耕阻力由於土壤因子及犁的構造之不同，根據美國 U. S. D. A. 的研究約為 $0.35 \sim 0.85 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ，(5~121bs/in²) 此結果係以美國的旱田作標準，根據筆者過去的試驗臺灣水田最低的平均牽引阻力，約為 $0.25 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 左右，放水後乾耕之水田最高約為

$0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 左右。如某耕耘機能產生牽引力 $F = 150 \text{ kg}$ ，對犁具之牽引阻力 $R = 0.5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ，則能犁耕的深度 $d = 12 \text{ cm}$ 。若 $R = 0.3 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 則 $d = 20 \text{ cm}$ 。影響土壤加於犁具之牽引阻力之主要因子有五，(1)土壤的粘着力(Cohesion)，(2)土壤的附着力(Adhesion)，(3)土壤的摩擦阻力(Soil Resistance)，(4)土壤的抗壓力(Resistance to Compression)，(5)土壤的抗剪力(Resistance to Shear)。構成以上五個因子之主要因素可歸納為四，(1)土壤中粘土的含量(Percent of Clay)，(2)土壤水份含量(Percent of moisture Content)，(3)土壤密度(Bulk density)，(4)耕耘機前進速度(Traveling Speed)。茲將以上各因素分別討論如下：

牽引阻力及粘土含量與水份含量之關係：圖 7 為日本所作之試驗結果，該圖所示牽引阻力隨土壤之粘土含量增加而增加，隨土壤水份含量之增加而減少。土壤水份含量在 20% 以下對牽引阻力之影響極甚，尤以粘土含量在 45% 以上之土壤更為顯著。臺灣水稻第一期放水後行乾耕時，土壤水份含量約在 40% 左右。浸水耕之水田視浸水時間的長短不同約在 70% 以上。圖 8 為臺灣之土壤分佈圖，由該圖可推知各地可能之粘土含量。

土壤的密度大小亦即土壤的緊實程度，對牽引阻力的影響亦同樣極為顯著，土壤密度增加，牽引阻力亦隨之增加，二者的關係為直線上升的關係或 $y = ax + b$ ，式中 y 代表牽引力，x 代表壓緊土壤的力量(Packing force)。據美國 Randolph 之試驗，一般砂質壤土之密度由 1.68 增至 1.83 時牽引阻力將增加 15~35%。

此外牽引速度增加時牽引阻力亦隨之增加，二者之關係為曲線式，或 $y = ax^b + c$ ，式中 y 為牽引阻力，x 代表速度。牽引速度對牽引阻力的影響程度視土壤水份及粘土含量之不同而定。據美國 USDA Tillage Laboratory 的試驗，砂土之水份含量在 7.25% 以下時，速度對牽引阻力無影響，即因次 $b = 0$ 。對粘土及土壤水份含量高的土壤，b 均大於 1。式中 ab 值除決定於土壤水份及粘土含量之外，同時亦受犁具之形狀構造之不同而影響。

以上所論及之土壤粘土含量，水份含量，土壤密度等在同一田區中之分佈亦非均勻之狀態存在。一般言之表土較鬆軟，尤其是一般經常犁耕的熟田，鬆軟的表土密度小，水份含量較高，心土則緊實，密度大，水份含量較低。此外土壤水份在土壤表面不斷的蒸

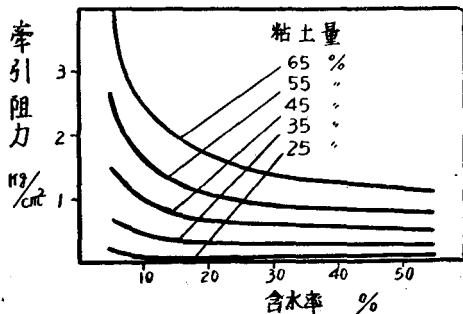


圖 7 粘土及水份含量對牽引阻力之關係 (來源：日本機械化農業昭和 33 年 4 月份)

表五：臺大牽引性能試驗成績

(下表為橡皮輪對木質地面之相對值)

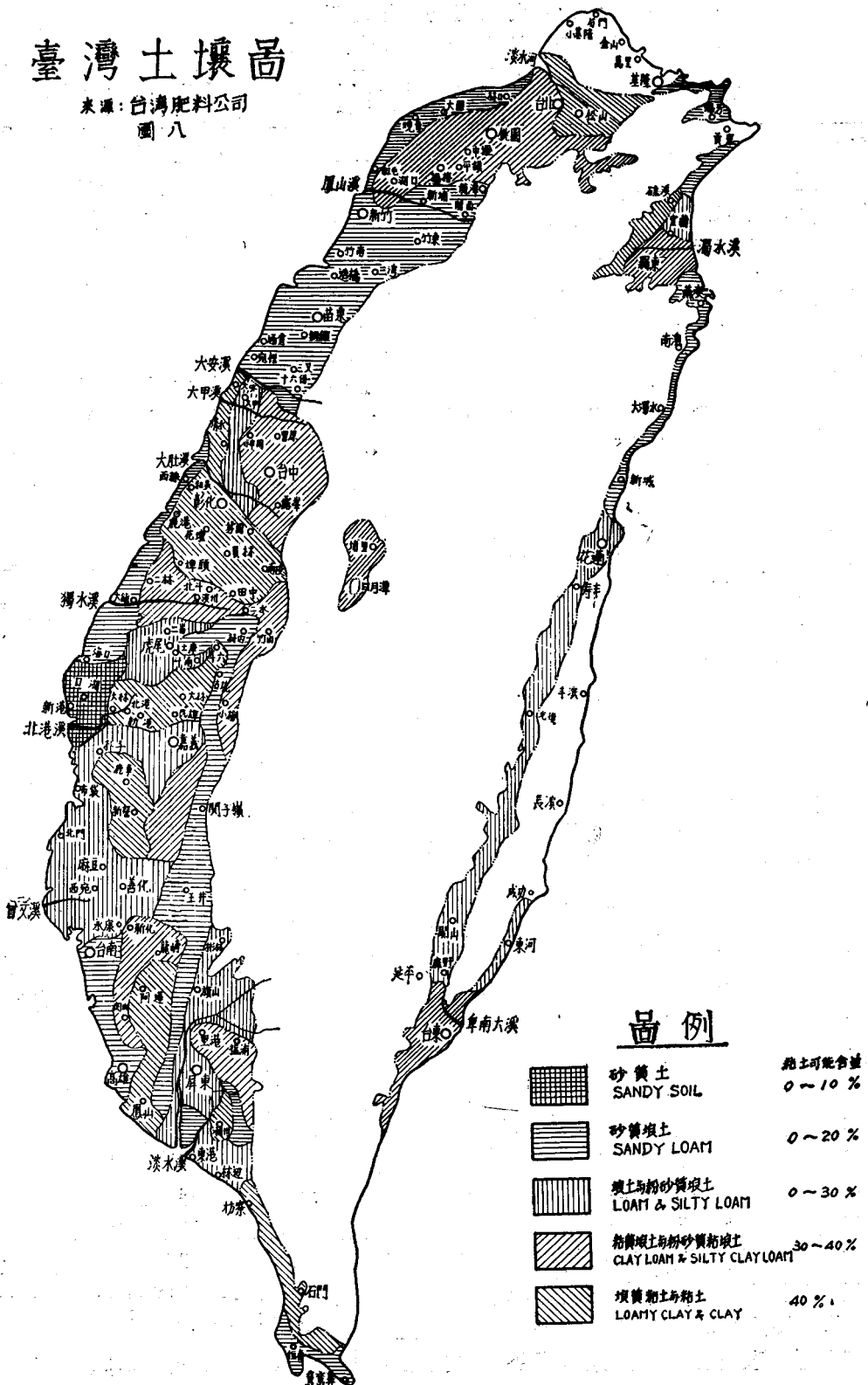
試驗情況	第一號機 5~8 馬力 (HP) 柴油水冷兼用式				第二號機 2~2.5 馬力 (HP) 汽油空冷牽引式	
	最大 值		(常用值打滑率15%)		最大 值	(常用值打滑率15%)
耕耘機全重公斤 (kg)	314				102.5	
引擎公斤 (kg)	114				17.5	
本機公斤 (kg)	200				55	
加重鐵公斤 (kg)					30	
車胎規格	B. S. 5.00~12				4.00~9	
車胎氣壓磅/吋 ² (lb/in ²)	20				14	
室溫	14°~18°C				23°C	
試驗成績(引擎在標記轉速下之成績)	高一低	高一中	高一低	高一中	耕速	耕速
牽引力×前進速度(公斤×米/秒) kg.m/sec	225×0.55	225×0.82	138×0.68	138×1.02	75×1.03	65×1.1
打滑率 (%)	25	25	15	16	22	15
拉桿牽引力 (D.HP)	1.7	2.6	1.2	1.85	1.1	0.8
牽引係數	0.72	0.72	0.64	0.64	0.73	0.63
牽引效率 (%)	31	47	21.7	34	55	40
油料消耗 克/小時 (gr/hr)	670	900	58.0	680	510	480

表六：臺大田間犁耕試驗結果之一

試驗情況與測定項目		第一號機 5~8 馬力 (HP) 柴油水冷兼用式				第二號機 2~2.5 馬力 (HP) 汽油空冷牽引式	
		兩段鋤犁	雙行鋤犁		耕耘力	乾犁	浸水犁
試地情況	土質	粘土	粘土或劣質粘土	粘土或劣質粘土	粘土	粘土或劣質粘土	粘土
	土壤水分(表土) %	46.6	39.6	50.8	50.8	52.3	71.3
	表土深度公分 (cm)	8~12	8~10	11~14	11~14	14~16	10~14
	耕層土壤穿透阻力 公斤 (kg)	20~78	53~90	25~85	37~88	5~50	4~50
工作測定項目	氣候	晴	晴	陰	陰	陰	陰雨
	打滑率(平均值)	19%	18%	14.2%	—1.3%	26%	22.5%
	車輪	鐵輪	鐵輪	鐵輪	鐵輪	鐵輪	鐵輪
	齒	高低	高低	高中	低中	—	—
	平均耕速公尺/秒 (m/sec)	0.67	0.65	1.03	0.43	0.62	0.76
	平均耕寬公分 (cm)	24	42	42	45	24	24
	平均耕深公分 (cm)	12.8	11.8	14.8	15.8	14.6	13.7
	翻土率 (%)	75左右	80以上	80以上		80以上	85以上
平均每公頃所需犁耕時間 hr/ha	19	11.4	7.4	15.8	20.4	16.8	
耗油量	單位時間消耗量 克/小時 (gr/hr)	940	662	1,200	1,100	510	560
	每公頃之消耗量 公升/公頃 (L/ha)	21.1	11.4	10.5	20.7	13	12.9

臺灣土壤圖

來源：台灣肥料公司
圖八



發，故同一田區土壤水份之含量每小時均有差異，因之田間的犁耕性能極難獲得精確之比較結果。為明瞭土壤水份含量，土壤密度，粘土含量等對土層之分佈影響情形，臺大耕耘機試驗室曾特別設計一種記錄式土壤穿透阻力計 (Recording type Soil Penetrator) 以測取土層之穿透阻力分佈情形，用以間接明瞭以上各因子對土壤之綜合影響情形。圖 9 所示為臺大耕耘機試驗室實測田區土層之穿透阻力結果之一。該圖所示，該試區之表土深僅 10~12cm。表土之穿透阻力由土層穿透阻力與牽引阻力間之正確關係應如何確立，以簡化牽引阻力之影響因子，目前臺大正在着手研究此一問題。表 6 為臺大田間犁耕試驗結果之一。根據臺大的試驗研究，目前臺灣耕耘機檢驗對田間犁耕性能所暫定的標準如下：

1. 一般壤土，水份含量在 70 % 左右之水田，其耕深須在 15cm 以上。

2. 一般壤土，水份含量在 40 % 左右之旱田，其耕深須在 15cm 以上，粘質土壤，水份含量在 40% 左右之旱田，其耕深須在 12cm 以上。

3. 犁耕速度宜在 1.5km/hr~3.5km/hr 之範圍。

4. 翻土率必須在 75% 以上。

5. 鏈齒箱必須密閉，不得有泥水浸入之現象發生。

在以上暫定的標準中，雖對土質，水份含量及耕速等均有規定，但實際田間之試驗情況每次均有差異，此種差異目前尚無可靠的方法加以修正使其更具比較價值。在該標準中對土壤密度未作說明，原因係因臺大採用測定土壤的穿透阻力以代替測取土壤密度，而土壤穿透阻力本身的標準尚待確定，故未作規定。

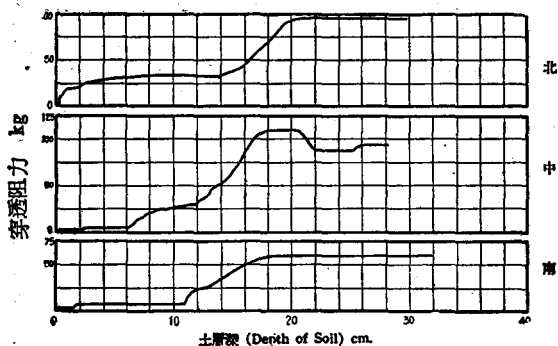


圖 9 放水後稍經晒乾之水田土層穿透阻力之分佈圖，該田粘土含量為 47 %，表土水份含量 50.8%，心土水份含量為 35.5% (臺大耕耘機試驗室)

六、結 語

本文之主要目的在討論耕耘機的基本性能，進而檢討臺灣耕耘機有關基本性能檢驗標準。耕耘機之基本性能本文所討論者包括引擎，機械效率，耐久，牽引及犁耕等五項。其中引擎性能，機械效率，耐久性能等，可在室內加以控制測定。主要的影響因子如溫度，氣壓及濕度等均可加以修正以資比較，故欲定一檢驗標準不難。牽引性能用水泥，本質或壓緊後之土面等作為測定的標準，無法充份代表耕耘機重量，車輪構造，及牽引力方向等對實地田間所表現的性能，惟田間情況差異很大，此等差異應如何控制俾使測定的結果能具有簡單的比較價值，實乃今後研究的重要課題。田間犁耕性能與牽引性能同受土壤因子的影響，主要因子為土壤粘土含量，水份含量，土壤密度以及前進速度等。故目前所定的標準只能供作參考，仍缺乏比較價值。有關牽引及犁耕性能目前臺灣大學正在進行研究，可望將來對此項性能的檢驗標準問題能有所幫助。

參 考 文 獻

1. 張舉珊：臺大耕耘機性能試驗初步結果報告中國農業工程學報，1961年3月。
2. 臺大耕耘機試驗室：臺大耕耘機試驗第一~三次報告
3. S. C. Chou, R. L. Wang, F. C. Ma.: A Survey or power tiller manufacture in Taiwan. Plant Industry Series No 18. J. C. R. R. march. 1960.
4. 日本農林省：農用小型トラクタ検査成績昭和 30, 31, 32.
5. 土屋功位：ロタリソー耘と犁耘の問題昭和33年4月1日本機械化農業社。
7. 日本機械化農業社：優良農購入の手引き昭和37年。
8. European Productivity Agency: The Testing of Farm Machinery on an International Basis Juns, 1956。
9. M. G. Bekker: Mobility of Cross-Country Vehiel Machine design Dec. 24, 1959, Jan. 7, 21, and Feb. 4, 1960
10. Baba Telischi, H. F. McColly, Earl Erickson: Droft Measurement for Tillage Tools Agricultural Engineering Sept. 1956.
11. Barger, Caletton, Mekibben, Bonner: Tractor and their Power Units John Wiley 1952
12. Ben D. Moses., Kenneth. R. Frost.: Farm Power 1952
13. Lionel S. Marks: Meechanical Engineering Hand Book McGraw Hill 1955
14. Virgil M. Faires, Roy M. Wingren: Design of maehae Elements Macmillan Co. 1955