

索引式單軌車之試驗研究(一)

Development of Cable-Drawn Monorail Carrier (1)

臺大農工系副教授

臺大農工系技士

王 康 男

賈 精 石

Kang-Nang Wang

Jing-Shyr Jea

Summary

A cable-drawn monorail carrier was developed by applying the principles of cable way and traditional monorail carrier. This carrier can be used to facilitate the transportation problems on uphill land in Taiwan.

The main features of this carrier were that a power source was fixed on one end of the rail, and the carrier was moved by means of a cable which connects the power source and the carrier. Consequently the vibration problem greatly reduced and the load capacity was increased. A cable guiding device was developed to guide the cable acting along the rail and was found to perform effectively.

The basic design criterions for this carrier such as the tensions of the cable under different contact angles, the relations between the load capacity of the carrier and the weight of the tension pulley, the coefficient of friction between the carrier and the rail, and the coefficient of friction between the cable and the driving pulley were presented.

一、前 言

本省坡地農作面積約有三十餘萬公頃，佔全省耕地總面積三分之一以上，因之坡地農業在本省之農業中實佔相當重要之地位。由於本省之坡地大部份屬陡坡地，且甚零散，故坡地上之搬運作業極費勞力與時間，嚴重影響坡地農業之發展。因此，如何解決坡地上搬運作業之問題，成爲發展坡地農業上亟待解決之重要課題。目前政府正積極推行以下兩種方法解決此項問題：一爲配合農路系統作動力搬運車之搬運，另一爲在陡坡地上裝設單軌車或索道作固定線形設施之搬運。如今前者已因本省坡地農路之普遍開築及小型坡地動力搬運車之普及，已

甚獲成效，而後者之一的單軌車搬運問題，則因單軌車之售價高昂，非一般農家所能負擔，仍未見推廣，亟待解決。單軌車除售價高昂之問題外，據筆者之現場調查得知，其在耗油量、載重量、車軌之穩定性及安全性能上問題仍多，有待解決。

二、目 的

本計畫是針對解決前述單軌車之諸問題而提出，目的在配合本省已有之生產技術，研究發展一種以柴油引擎代替二衝程氣冷汽油引擎，且制動裝置及車軌均簡化之索引式單軌車，以節省燃料費用，降低生產成本，並增加拖車載貨量，行車穩定性及安全等性能，使適合於本省一般坡地農家之需求而

利於推廣，以促進解決本省坡地搬運作業之問題。

三、實驗裝置、材料及方法

(一)索引式單軌車：為達成前述之目的，並配合本省產地設施規模條件之需要，乃綜合單軌車與索道之原理，發展出本索引式單軌車。

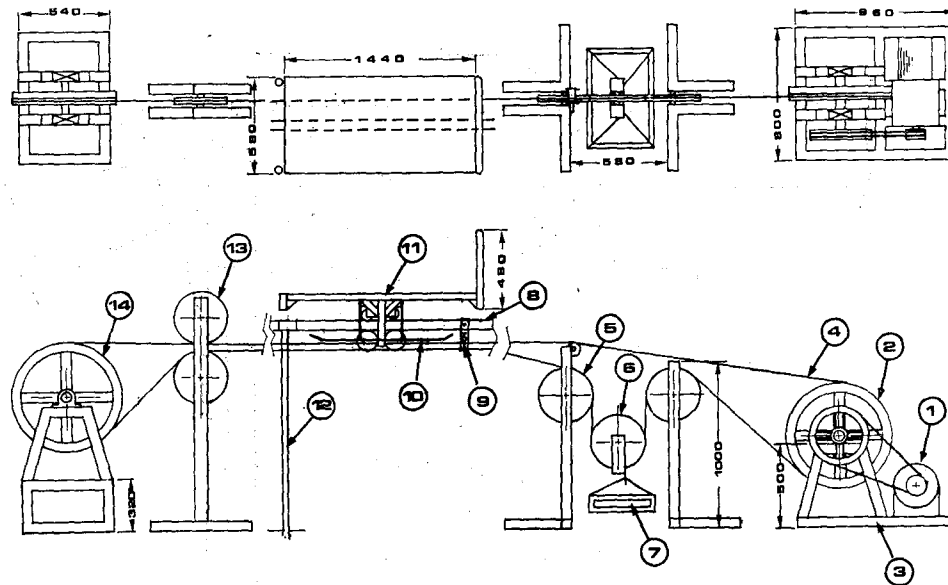
1.索引式單軌車之構造原理：如圖一所示，本索引式單軌車主要由(1)動力牽引裝置及底座，(2)拖車及鋼索，(3)車軌，(4)支架，(5)鋼索張力裝置，(6)鋼索固定器等六部份所構成。

(1)動力牽引裝置：位於車軌之一端，其動力經由馬達(或柴油引擎)①、三角皮帶、驅動輪②及鋼索④而傳出。動力牽引裝置之底座③以多支挿入土中之鋼管固定之。動力牽引裝置所以移到車軌之一端，是基於以下數點理由：(a)因引擎不需在車軌上運動，故其動力可不必使用質輕、馬力大且甚耗油之專用二行程氣冷汽油引擎，而使用一般國產之柴油引擎即可。使用柴油引擎除可節省燃料費用外，又因其固定於車軌之一端，故於農閒時，尚可

轉作其他用途。(b)因引擎不在車軌上運動，故可避免因引擎振動而引起之支架鬆動，可增加行車之穩定性及安全性。(c)因引擎不在車軌上，故支架可不必負擔引擎及傳動裝置等之重量，可相對增加拖車之載貨量。(d)可降低生產成本，因一般單軌車之動力裝置須在車軌上運動，而坡地陡峻，隨時有發生飛車之危險，故其制動裝置之性能要求甚嚴，致使其構造複雜，增加生產成本。至於索引式單軌車，因引擎固定在車軌之一端，其安全裝置只要考慮鋼索斷裂時之危險即可。而此種鋼索斷裂之機會甚少，即煞車裝置在平時之作動量可相對減少甚多，故其構造可簡化而降低生產成本。

(2)拖車及鋼索：拖車⑪用四個滾輪支持，其上設鋼索固定桿，此桿與一條鋼索④固結，可使拖車靠其牽引力而移動。此外，拖車上設有一凸輪壓板⑩，以控制鋼索固定器⑨之開啓。

(3)車軌：車軌⑧承載拖車，其特點為車軌上沒有使用為發生摩擦而產生推力之浪型齒條或洞孔，故構造簡化，可降低價格。



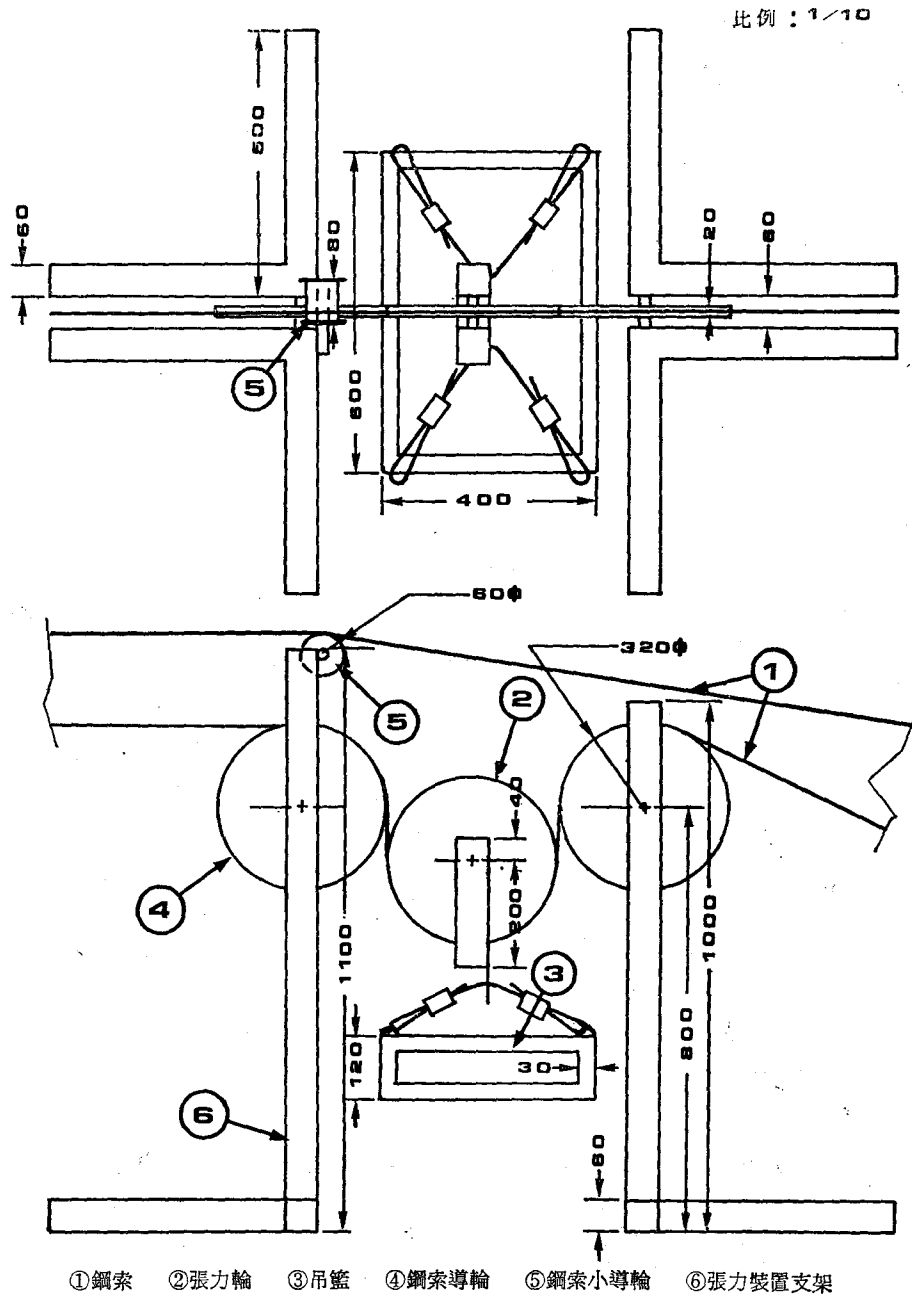
- | | | | |
|------|-------|--------|-------|
| ①馬達 | ⑤鋼索導輪 | ⑨鋼索固定器 | ⑬鋼索導輪 |
| ②驅動輪 | ⑥張力輪 | ⑩凸輪壓板 | ⑭從動輪 |
| ③底座 | ⑦吊籃 | ⑪拖車 | |
| ④鋼索 | ⑧車軌 | ⑫支架 | |

圖一 索引式單軌車之構造

(4) 支架：支架②與一般單軌車所使用者相同，目的在支持車軌。

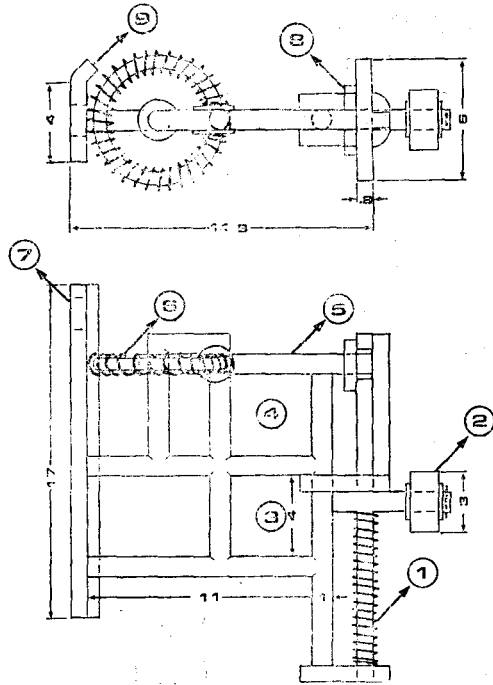
(5) 鋼索張力裝置：鋼索張力裝置位於驅動裝置與車軌之間，其作用除引導鋼索順利進入鋼索固定器③中外，因其張力輪下方設置一吊籃，可以放置適當重量，故可消除鋼索因鬆弛而在驅動輪上打滑。鋼索張力裝置如圖二所示。

(6) 鋼索固定器：如圖三所示，目的在使鋼索保持在固定孔③④之內，以免鋼索因脫離車軌而絆到樹枝、石塊或其他障碍物使牽引阻力增加或拖車翻覆。鋼索固定器之動作程序如下：當凸輪②受到拖車凸輪壓板(圖一⑩)之壓力而往下移動時，與凸輪成一體之固定叉⑧即隨之往下移動而離開水平橫桿⑤。在此情況下之水平橫桿⑤即可讓鋼索固定桿自



圖二 鋼索張力裝置

比例：1/2 單位：cm

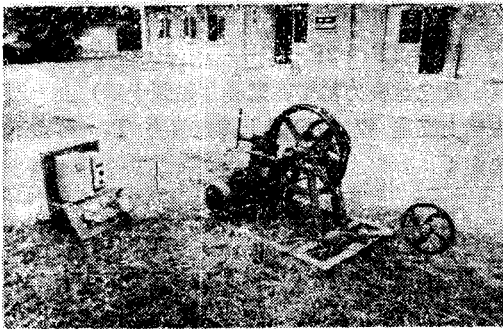


- | | | |
|------|-------|------|
| ①縱彈簧 | ④固定孔 | ⑦固定板 |
| ②凸輪 | ⑤水平橫桿 | ⑧固定叉 |
| ③固定孔 | ⑥橫彈簧 | ⑨加強板 |

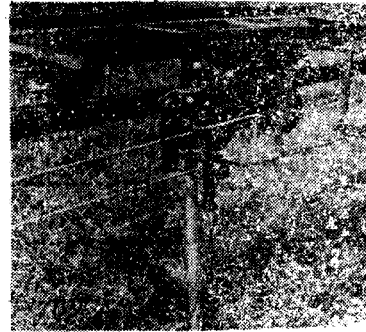
圖三 鋼索固定器之構造

由通過。當鋼索固定桿通過後，水平橫桿⑤即因圓形彈簧⑥之彈力而自動彈回原位。之後，凸輪壓板即隨之離開凸輪②，使凸輪及與凸輪連接成一體之固定叉⑧又能靠彈簧①之彈力而彈回原位，並將水平橫桿叉住。經此連續動作後，拖車上鋼索固定桿可順利通過鋼索固定器，而鋼索能繼續保持在固定孔③④之內。

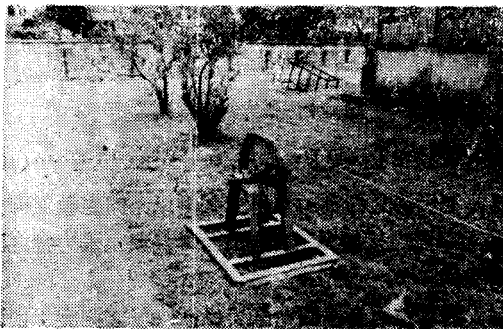
2.索引式單軌車之製作：在正式試製之前，為避免製造錯誤修改不易，故先製作一小模型(圖略)，供作初步探討索引式單軌車之構想後再進入試作實驗用機之階段。本實驗索引式單軌車之驅動輪、從動輪及鋼索之規格均與索道用者相同，經重新製作之成品如圖四、圖五所示。為控制驅動輪之迴轉數，動力使用三相電源5馬力之V S馬達。台車及支架係使用弘星單軌車製造廠出品者，拖車裝上凸輪壓板及鋼索固定桿後即成為如圖六所示者。車軌之材料係直接使用市販 $50 \times 50 \text{mm}^2$ 之方形管，其上並未加焊浪型齒條。鋼索固定器係用直徑10mm之圓鐵及二條彈簧燒焊組成，其裝着之位置與支架同，如圖六所示。經試製而成之單軌車，如圖七所示。



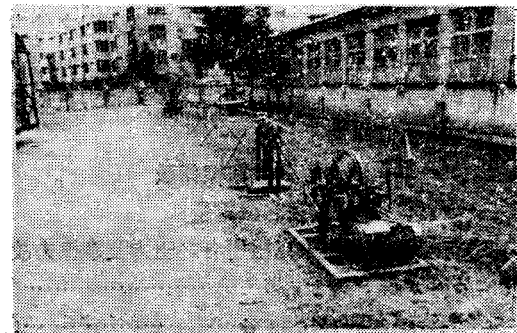
圖四 驅動裝置



圖六 拖車、壓板及固定器

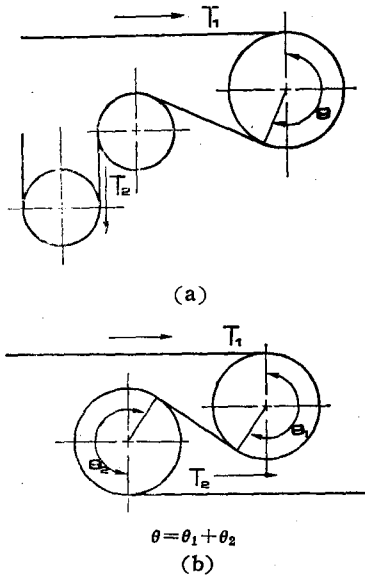


圖五 從動輪



圖七 試製完成之索引式單軌車

(二)鋼索張力之決定法：本索引式單軌車鋼索與驅動輪間之鋼索張力及接觸角如圖八所示。



圖八 鋼索與驅動輪間之鋼索張力及接觸角

圖中

- T_1 = 鋼索緊邊之最大張力 (kg)
- T_2 = 鋼索鬆邊之張力 (kg)
- μ = 驅動輪與鋼索間之摩擦係數
- θ = 驅動輪與鋼索間之接觸角度 (Radian)
- P = 鋼索之有效張力 (kg)

依 Eytelwin 氏之公式，則：

$$P = T_1 - T_2 \dots\dots\dots(1)$$

$$T_1 = P \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1} \dots\dots\dots(2)$$

$$T_2 = P \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta} \text{ 或 } T_1 = T_2 e^{\mu\theta} \dots\dots\dots(4)$$

又

- P_1 = 台車及荷重與車軌間之摩擦力 (kg)
- P_2 = 台車及荷重之總重量在引索方向之分力 (kg)
- P_3 = 鋼索及各導輪間所生之摩擦阻力 (kg)
- α = 軌道仰角
- μ' = 車軌與台車間之摩擦係數
- W_1 = 台車及負載之總重量

其中有效張力是用來克服所有之阻力及摩擦力故

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots(5)$$

$$P_1 = \mu' \times W_1 \times \cos \alpha \dots\dots\dots(6)$$

$$P_2 = W_1 \times \sin \alpha \dots\dots\dots(7)$$

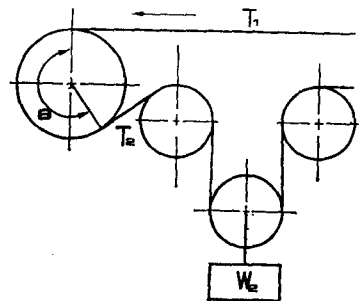
如果能求得 T_1/P 值，則對不同 P 值 (有效張力)，即可定出鋼索之最大張力 T_1 。而 T_1/P 可經由下式求出之：

$$\frac{T_1}{P} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{T_2 e^{\mu\theta}}{T_2 e^{\mu\theta} - T_2} = \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1} \dots\dots\dots(8)$$

因之當 μ , μ' 與 α 為已知，則對不同之 W_1 可求得 P 及 T_1 ，又本裝置 P_3 之摩擦阻力甚小，可略去不計，故此可令

$$P = P_1 + P_2$$

(三)鋼索張力與張力輪配重之決定法：如圖九所示，

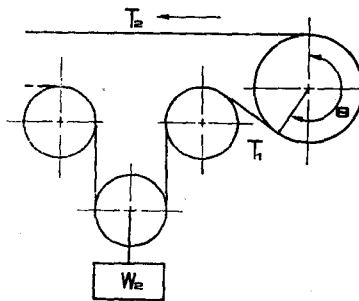


圖九 張力輪配置法一

當鋼索之緊邊 T_1 在驅動輪之上方，而張力輪置於鬆邊 (即 T_2) 上，則張力輪上配重 W_2 與鬆邊上之張力 T_2 由下式決定：

$$W_2 = 2T_2 = 2P \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} \dots\dots\dots(9)$$

反之當張力輪掛在緊邊 (如圖十示) 上，則張力輪上配重 W_2 與緊邊上鋼索張力 T_1 ，可由下式決定：



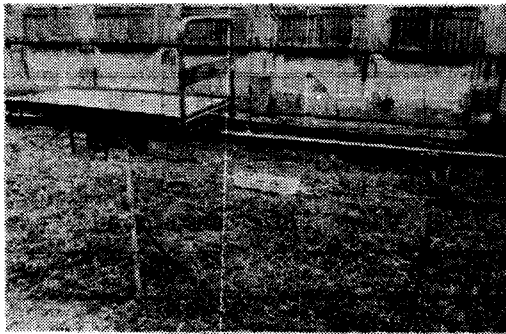
圖十 張力輪配置法二

$$W_2 = 2T_1 = 2P \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1} \dots\dots\dots(10)$$

為便利現場之作業，本研究試圖以不同之軌道仰角 α ，不同之接觸角 θ ，求出台車負載與張力輪之配重關係。

四車軌與台車間之摩擦係數 μ' 之測定：由前述知欲求得 P_1 值，則 μ' 不可不知。 μ' 是以台

車裝載重物，總重量為 W_1 ，然後以與軌道平行之拉力 F 拉之，由 $\mu' = \frac{F}{W_1}$ 計算而得。其測定裝置如圖十一所示

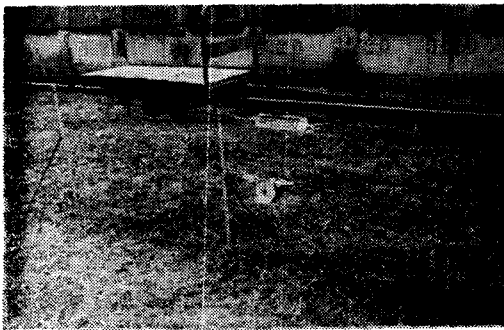


圖十一 車軌與台車間摩擦係數之測定裝置

(四)鋼索與驅動輪間摩擦係數 μ 之測定：鋼索與驅動輪間之摩擦係數 μ 可以影响曳引力之大小，其測定法如下：在接觸角 θ 固定下，驅動輪兩邊之鋼索上分別掛以彈簧秤，然後轉動驅動輪，測得 T_1 及 T_2 張力，再依(4)式

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta}$$

求出 μ 值，實驗裝置如圖十二所示



圖十二 鋼索與驅動輪間摩擦係數之測定裝置

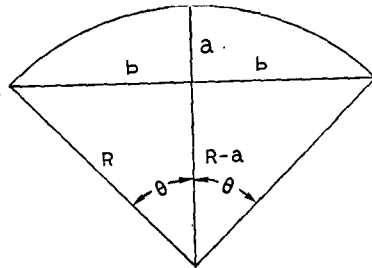
(六)索引式單軌車在彎軌上行駛之測定：為適應坡地地形之變化，軌道必會有所彎曲，因此單軌車必須在此彎曲之軌道上前進。在此需考慮者，一為固定器之性能，一為拖車滾輪之性能。而軌道彎曲之程度可用曲率半徑表示之。其曲率半徑求法如下：

設 a, b 為已知， R 表曲率半徑，

$$\text{則 } \sin\theta = \frac{b}{R}, \quad \tan\theta = \frac{b}{R-a},$$

$$\tan^2\theta = \frac{\sin^2\theta}{1-\sin^2\theta}$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{b^2}{(R-a)^2} &= \frac{b^2/R^2}{1-b^2/R^2} \\ \frac{b^2}{R^2-2aR+a^2} &= \frac{b^2}{R^2-b^2} \\ \therefore 2aR &= a^2+b^2 \\ R &= \frac{a^2+b^2}{2a} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$



圖十三 曲率半徑求法

至於鋼索固定器是裝在彎曲之軌道上以考驗其性能。使拖車以平均速率 3 公尺/秒往復 100 次，每次通過六個鋼索固定器，以觀察其故障發生率及其與鋼索間之摩擦損傷情形。而拖車滾輪性能之測定，在軌道彎曲情形下，觀察滾輪及車軌間磨耗之情形，即可知其性能如何。

四、結果與討論

(一)車軌與台車間之摩擦係數 μ' ：如前三、四所敘，在 $W_1=222\text{kg}$ (台車連負載總重) 下，經重複 20 次求得不同之拉力值 F ，代入 $\mu' = \frac{F}{W_1}$ 式中，得到表一之結果，故本索引式單軌車之車軌與台車間之摩擦係數平均值 $\mu' = 0.0165$ 。

(二)鋼索與驅動輪間之摩擦係數：如前三、(四)所述之實驗方法實測求得 T_1, T_2 及 θ 值，再由公式(4)導出

$$\mu = \frac{1}{\theta} \ln \frac{T_1}{T_2} \dots\dots\dots(12)$$

之形式，而將 T_1, T_2 及 θ 值代入 (12) 式求得 μ 值，其結果如表二所示。 θ 角為鋼索與驅動輪接觸角，本實驗實測得到之 $\theta=195^\circ$ 。一般而言，此摩擦係數變異甚大，此乃由於兩接觸面間之情況例如乾燥程度及是否塗油等有甚大差異之故。通常此 μ 值介於 0.23 與 0.05 之間，而本實驗求得之 $\mu=0.225$ 係為一平均值。為慎重起見， μ 值可取小一點，因之在以下 T_1/P 值之計算中， μ 值係參照盆子正已編「機械設計製圖」一書中所提供者，取 $\mu=0.17$ 。

表一 車軌與台車間之摩擦係數

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W ₁ (kg)	222	222	222	222	222	222	222	222	222	22
F (kg)	4.8	1.8	2.5	2.3	2.3	2.5	3.4	3.4	3.2	4.1
μ' = F/W ₁	0.0215	0.0082	0.0113	0.0102	0.0102	0.0113	0.0154	0.0154	0.0143	0.0184
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
W ₁ (kg)	222	222	222	222	222	222	222	222	222	222
F (kg)	2.3	2.3	2.7	4.5	7.3	6.8	3.9	5.5	2.3	5.5
μ' = F/W ₁	0.0102	0.0102	0.0123	0.0205	0.0328	0.0307	0.0174	0.0246	0.0102	0.0246
μ' 平均值	0.0165									

表二 鋼索與驅動輪間之摩擦係數

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T ₁ (kg)	11.5	12	13	13	16	25	13	11	15	16
T ₂ (kg)	6.8	6.8	7.3	7.3	7.3	7.7	6.8	6.4	6.4	6.8
T ₁ /T ₂ (kg)	1.69	1.76	1.79	1.79	2.2	3.24	1.91	1.73	2.36	2.35
μ	0.154	0.166	0.171	0.171	0.232	0.345	0.19	0.161	0.252	0.251
No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T ₁ (kg)	12	15	14	17	14	16	14.5	19	16	15
T ₂ (kg)	6.8	7.3	7.3	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	5.9	5.5
T ₁ /T ₂	1.76	2.06	1.93	2.49	2.05	2.35	2.13	2.79	2.71	2.75
μ	0.166	0.213	0.192	0.268	0.211	0.251	0.222	0.301	0.293	0.297
μ 之平均值	0.225									

(三)鋼索張力：本索引式單軌車鋼索之最大張力係依
$$\frac{T_1}{P} = \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1} \dots \dots \dots (8)$$

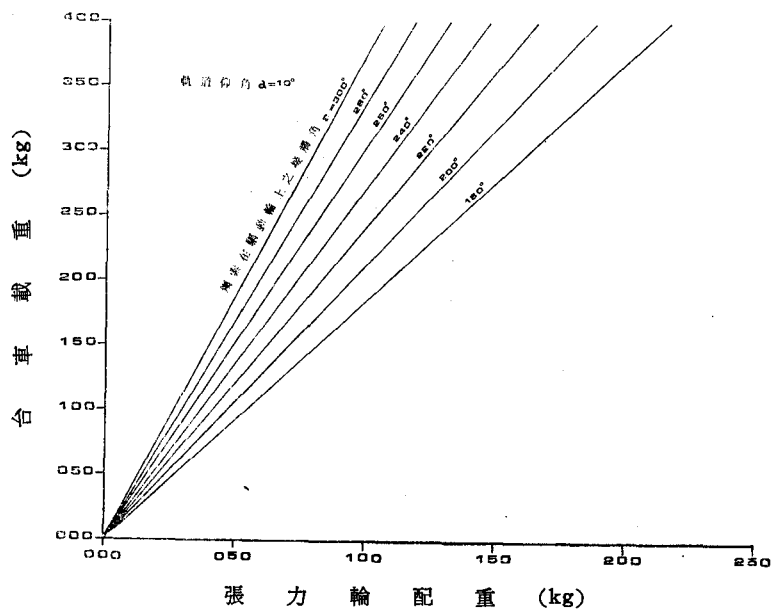
中之 T₁/P 求得，式中 μ=0.17，接觸角 θ=180°~600° T₁/P 比值之計算結果如表三：

表三 不同接觸角下 T₁/P 值

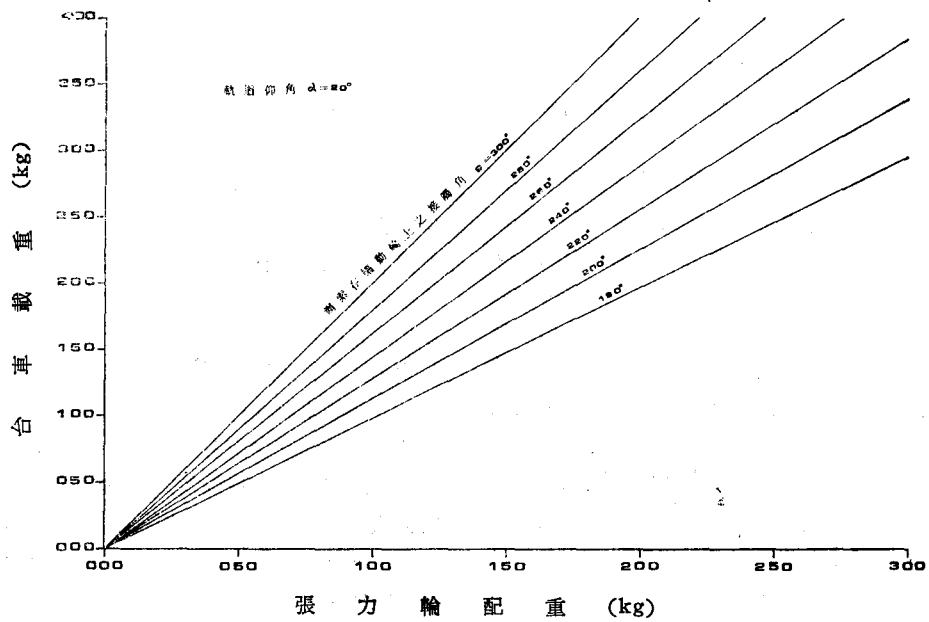
接觸角 Deg	T ₁ /P 值	接觸角 Deg	T ₁ /P 值
180	2.42	255	1.83
185	2.37	270	1.81
190	2.32	285	1.75
195	2.28	300	1.70
200	2.23	315	1.65
205	2.19	330	1.60
210	2.16	345	1.56
215	2.12	360	1.52
220	2.09	420	1.40
225	2.05	500	1.29
240	1.96	600	1.20

四台車負重與張力輪之配重：由於索引單軌車之驅動輪需正逆迴轉，使 T₁ 及 T₂ 相互交換，故張力輪所需之配重亦不相同。例如張力輪與 T₂ 同側，則配重與鋼索上鬆邊張力有 W₂=2T₂ 之關係。當驅動輪逆轉時，原來的鬆邊變成了緊邊，原來的緊邊變成鬆邊，即 T₁ 變成 T₂，T₂ 變成 T₁，在此情況下 W₂=2T₁。故在驅動輪正轉時 $\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu\theta}$ ，而 W₂=2T₂，所以 T₁₊* = $\frac{W_2}{2} e^{\mu\theta}$ ，在驅動輪逆轉時 W₂=2T₁，所以 T₁₋* = $\frac{W_2}{2}$ 。此二情況下；T₁₊ : T₁₋ = $\frac{W_2}{2} e^{\mu\theta} : \frac{W_2}{2} = e^{\mu\theta} : 1$ 故逆轉時張力輪之配重不變，台車所能負載之重量當會降低，其降低之量即為正轉時台車負載的 $\frac{1}{e^{\mu\theta}}$ 。而在軌道仰角 α=10°，20°，30° 下所求得之接觸角，台車負重與張力輪配重之間呈直線關係，如圖十四，十五，十六所示。

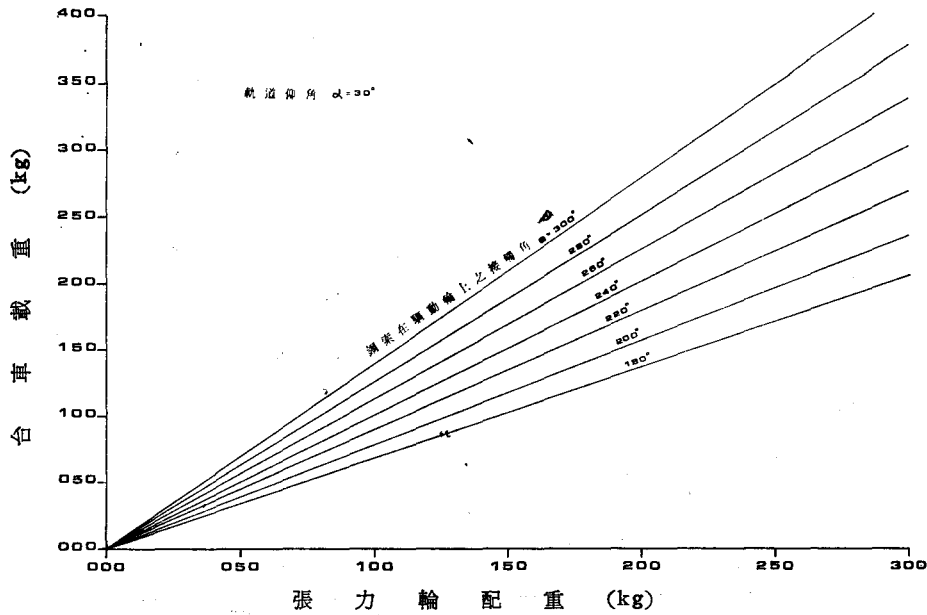
*：+，- 表示驅動輪之正轉及逆轉



圖十四 台車載重與張力輪配重之關係



圖十五 台車載重與張力輪配重之關係



圖十六 台車載重與張力輪配重之關係

(甲)單軌車在彎軌上行駛之測定：由於本實驗部份是在彎軌上進行，而彎軌之曲率半徑 R (見圖十三) 因實測得 $a=1.3$ 米， $b=4.4$ 米，代入(1)式中得到

$$R = \frac{a^2 + b^2}{2a} = 8.1 \text{ 米}$$

(a)鋼索固定器之性能：

1.拖車以平均速度 3 公尺/秒往返通過時，受測之六個鋼索固定器均能正常開啓，讓鋼索固定桿順利通過並使鋼索保持在正常位置上，顯示鋼索固定器之性能尚良好。其惟一故障為水平橫桿(圖三⑥)未能回復原位，此種故障之發生約為 10/600，但均不影響正常操作。此種故障發生之原因，經觀察鋼索固定器之分解慢動作後知乃因該固定器旁之車軌連接處有扭曲或左右高低不平之現象，致使凸輪壓板(圖一⑩)提早離開凸輪(圖三②)，而使水平橫桿(圖三⑥)在未回復原位之前，固定叉(圖三⑧)即已先彈回原位所使然。故鋼索固定器本身並未發生故障，真正應改良之處應為鋼索固定器裝着之位置，因之車軌連接處容易發生扭曲或不平之處不宜裝置鋼索固定器。

2.經觀察，鋼索固定器與鋼索之間發現有輕微之摩擦痕跡。此種摩擦在長久使用之後必然會產生摩擦損傷，故宜在鋼索固定器上設置滾輪以減少摩擦損傷。

(b)拖車滾輪性能：從實驗裏發現車軌兩邊有傷痕。經仔細觀察結果發現此種原因乃因拖車之滾輪形狀與車軌之形狀不符合所致。故滾輪形狀之設計應注意配合車軌之形狀。

五、結 論

為配合本省工業之生產技術及產地設施規模條件之需要，綜合單軌車與索道之原理設計而成之實驗用索引式單軌車已初步製作完成。此種單軌車主要由動力牽引裝置、台車、車軌、支架、鋼索、鋼索張力裝置及鋼索固定器等所組成。從台車在直線及彎曲車軌上運行之基本實驗中，證明索引式單軌車性能尚稱良好，尤其是為使鋼索不脫離車軌而開發出來之鋼索固定器，經實驗結果證明性能良好，使索引式單軌車深具可行性。

本單軌車台車與車軌間及鋼索與驅動輪間之摩擦係數，經測定結果各為 $\mu' = 0.0165$ ， $\mu = 0.225$ 。從此二摩擦係數及有效張力並根據 Eytelwin 氏之公式及斜坡物體滑動之原理所求出台車總重與張力輪配重間之關係，如圖十四、十五、十六所示呈直線關係。

六、中文摘要

索引式單軌車係為改善單軌車性能之缺失以促進解決本省陡坡地上運搬作業之問題，綜合索道及

單軌車之原理設計製作而成。此種單軌車主要由動力牽引裝置、台車、車軌、支架、鋼索、鋼索張力裝置及鋼索固定器等所組成，其主要特徵為動力源係固定於車軌之一端而台車在車軌上之運動是靠鋼索之牽引。本單軌車之優點為：

1. 動力源可採用省油之省產小型柴油引擎，而不必使用甚耗汽油必須從國外進口之質輕而馬力大之二行程氣冷引擎。

2. 由於動力源不必在車軌上運動，因此，除可減少因動力源之振動所產生之車軌支架鬆動外，並可相對增加載貨量及行車之穩定性及安全性。

從基本實驗中，證明索引式單軌車性能尚稱良好，尤其為使鋼索不脫離車軌而開發出來之鋼索固定器，經實驗結果證明性能良好，使索引式單軌車深具可行性。

本單軌車台車與車軌間及鋼索與驅動輪間之摩擦係數，經測定結果各為 $\mu' = 0.0165$ ， $\mu = 0.225$ ，從此二摩擦係數及有效張力所推算出來之鋼索最大

張力及台車總重與張力輪配重等各如表三及圖十四、十五、十六所示，而後者間之關係呈線性。

七、謝 啓

本研究係在農發會 69 農建—5.1 一源—008(3) 計畫下完成，試驗期間，承蒙台大農工系技士游誠一先生之協助，在此一併致謝。

八、參考文獻

1. 益子正己 機械設計製圖 175~180 1962.
2. 眞島卯太郎 コンベヤ計算法 23~31 1970.
3. 平田孝三 農業用モノレール 日本農業機械化協會 3~71 1974
4. 江崎春雄等 農業機械、施設試験方法便覽179~182 1977.
5. 涂本玉 坡地農業機械作業之研究發展 中國農業工程學報 24(4) 5~9 1974.

加速國家建設

厚植復國力量

堅定反共志節

奮勵自強精神