

索引式單軌車之試驗研究(二)

Development of Cable-Drawn Monorail Carrier (2)

臺灣大學農機系副教授

王 康 男

Kang-Nang Wang

Abstract

A cable-drawn monorail carrier was developed by applying the principles of cable way and monorail carrier. The main features of this carrier were that the carrier was drawn by a wire cable which was guided by a guiding device along the railway.

The basic design criterions for this carrier such as the coefficient of friction between the wire cable and the wire cable guiding device, the tensions of the cable under different contact angles between the cable and the driving pulley up to $3 \times 330^\circ$, and the power required for carrying the carrier to move along the incline railway of 45° slope were presented.

一、前 言

本省之農作坡地大部份屬陡坡地且甚零散，因之坡地上之搬運作業困難，嚴重影響坡地農業之發展。日製單軌車之引進，其目的即在解決此項陡坡地上之搬運困難問題，以促進坡地農業之發展。目前本省雖已有此種仿製之單軌車，但因其售價高昂，非一般農家所能負擔，故仍未能普遍推廣，亟待解決。此外，此種仿製單軌車，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。本研究綜合單軌車及索道原理而發展出來的索引式單軌車，其目的即旨在解決此項問題。此種索引式單軌車之構造主要由動力牽引裝置、拖車及鋼索、車軌及支架、鋼索張力裝置及鋼索固定器等五部份所構成。此種構造之主要特點為具鋼索固定器，此外，其動力裝置屬固定型，引擎及傳動裝置不需在車軌上運動。因之，索引式單軌車具有以下特徵：

①動力無需使用由國外進口之質量輕、馬力大

且甚耗油的專用二行程氣冷汽油引擎，而改為採用一般國產之小型柴油引擎即可，如此，既可節省外匯又可節省燃料費用。

②車軌支架不必負擔引擎及其傳動裝置的重量，故可相對增加拖車載重量。此外，尚可免除因引擎振動所引起的車軌支架鬆動問題，有增進行車穩定的效果。

③車軌無需使用浪型齒條，可簡化車軌之構造。而拖車之行進由固定之牽引裝置所控制，故拖車上無需裝設隨時作動之自動煞車裝置，因之，煞車裝置可簡化。因此，索引式單軌車構造簡單，可降低生產成本而減低售價，有利於推廣，甚有其研究發展之價值。

本研究已在前報⁽¹⁾就發展此種單軌車有關之重要基礎事項如無浪型齒條之車軌與拖車滾輪間及鋼索與驅動輪間等之摩擦係數、鋼索拉力、拖車載重與張力輪配重關係以及鋼索固定器之研製等問題作理論及實際應用上的探討。而本文將繼續就動力牽

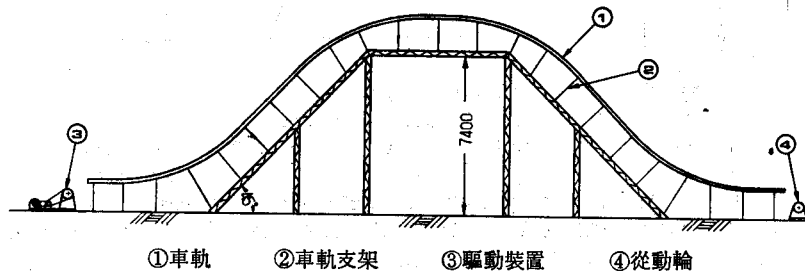
引裝置及鋼索固定器等性能之改良，探討索引式單軌車之性能，而此種性能之測試則在坡度 45° ，車

軌曲率半徑各為4公尺及 6公尺，拖車最大負重 200 公斤，行進速度4.2 km/hr 等之條件下進行。

二、實驗裝置、材料和方法

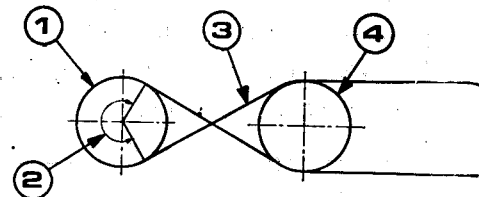
(一)實驗裝置：本實驗裝置主要由鋼架、車軌及支架、動力牽引裝置、拖車及鋼索、鋼索固定器等五部份所構成。

1.鋼架：模擬急傾斜坡地，以利索引式單軌車性能之測試為架設本鋼架之目的。本鋼架之構造如圖一所示，架高7.4公尺，架基長18.7公尺，最高點水平距離為5公尺，上升坡度為 45° 。



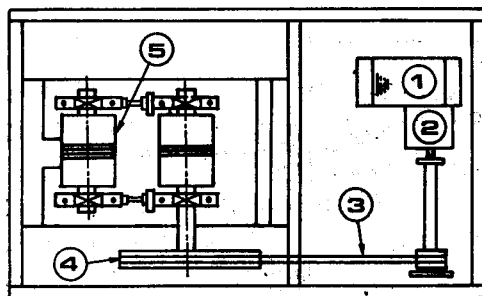
圖一 鋼架

2.動力牽引裝置：本裝置如圖二所示，有捲揚型及摩擦型兩種。捲揚型之裝置與一般市販之捲揚機同，而摩擦型則以鋼索依圖三所示之方法在驅動輪上捲繞三次，使與驅動輪所成之接觸角成爲 $3 \times 300^\circ$ ，以增加摩擦力。

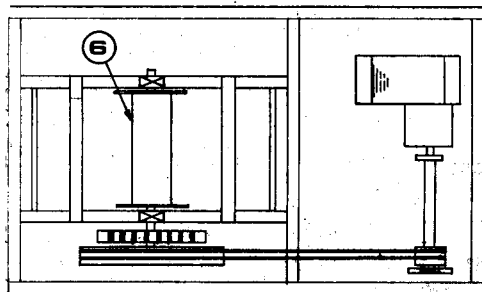


①鋼索驅動輪 ②鋼索對驅動輪之接觸角
③鋼索 ④從動輪

圖三 摩擦型之鋼索捲繞法



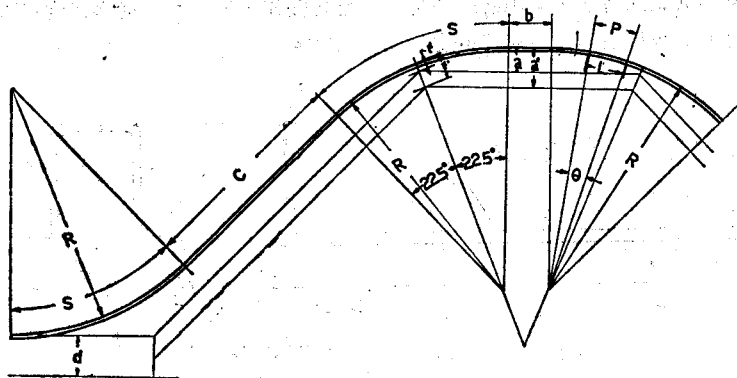
(一)摩擦型



(二)捲揚型
①引擎 ②變速箱 ③三角皮帶 ④驅動輪
⑤鋼索槽溝 ⑥捲揚圓筒

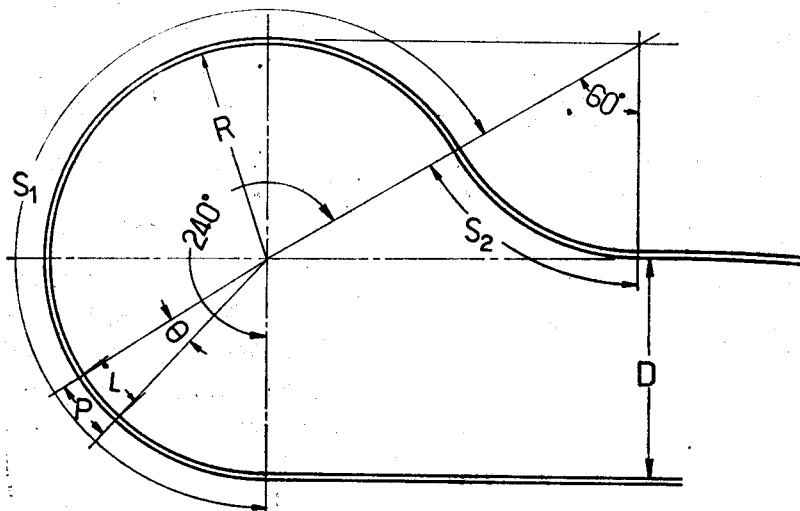
圖二 動力牽引裝置

3.車軌及支架：為測試索引式單軌車在急升及急轉彎情況下之性能，並為免除拖車車腹與車軌接觸，依拖車之構造，將鋼架上之車軌曲率半徑設定為6公尺，而水平部份之車軌曲率半徑，為嚴格測試拖車之轉彎性能及鋼索固定器對鋼索之固定性能，則減小為4公尺。又為使支架在鋼架上之位置易於控制，支架由本研究所研製出來可調整位置之U型螺絲及夾板鎖緊固定於鋼架上。高架部份及地面部份車軌曲率半徑及支架位置之設計如圖四及圖五所示。



1. 彎軌曲率半徑 $R=600$ cm
2. 軌道彎曲部份弧長 $S=600 \times \pi/4=471.24$ cm
3. 彎軌距平台之最近點 $t=25$ cm, $t'=40 \sec 22.5^\circ + 25=68.30$ cm
4. 彎軌距平台之最遠點 $a=600-(600-25) \times \cos 22.5^\circ=68.77$ cm
5. 水平軌長 $b=545-(600-25) \times \sin 22.5^\circ \times 2=105.91$ cm
6. 斜軌長 $c=525$ cm, $a'=68.77+40=108.77$ cm
7. 軌道距地面高 $d=85$ cm
8. 相鄰兩固定器間弧長 $P=S \div 5=94.25$ cm
9. 相鄰兩固定器間夾角 $\theta=9^\circ$
10. 相鄰兩固定器間弦長 $\ell=(\sin \theta/2) \times 2 \times 600=94.15095$ cm
11. 固定器間夾角之半之正弦值 $\sin \theta/2=0.0784591$

圖四 高架部份鐵軌曲率半徑及支架位置之設計

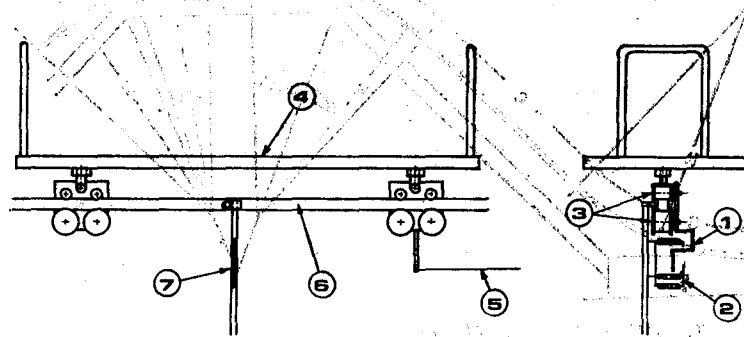


1. 迴轉半徑 $R=400$ cm
2. 內彎弧長 $S_1=400 \times \frac{5}{4} \pi=1570.8$ cm
3. 外彎弧長 $S_2=400 \times \frac{1}{4} \pi=314.16$ cm
4. 平行軌間距離 $D=400$ cm
5. 相鄰兩固定器間弧長 $P=100$ cm
6. 相鄰兩固定器間之夾角 $\theta=14.323945^\circ$
7. 相鄰兩固定器間弦長 $\ell=[\sin(\frac{1}{4} \times \frac{180}{\pi}) \times \frac{1}{2}] \times 400 \times 2=99.739787$ cm
8. 固定器間半角之正弦 $\sin \frac{\theta}{2}=0.125$

圖五 地面部份鐵軌曲率半徑及支架位置之設計

4.拖車：拖車構造如圖六所示，其車架由二組共八個之滾輪所支持，而車架與滾輪之間則另設一

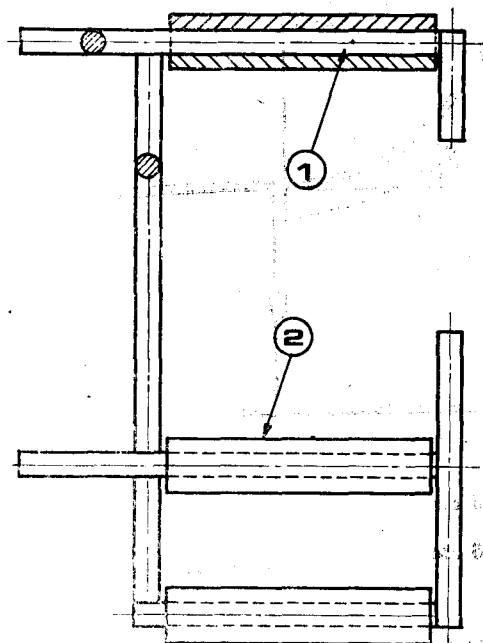
迴轉裝置，使較長之拖車亦能在彎曲之車軌上行進自如。



①鋼索拉桿 ②固定器 ③拖車滾輪 ④台車 ⑤鋼索 ⑥車軌 ⑦支架

圖六 拖車及鋼索

5.鋼索固定器：如圖七所示，為一種靜態型的固定器，在靜止狀態下其開口即可讓繫於拖車上之鋼索固定彎桿通過。鋼索固定器開口有兩種，第一種如圖七所示，為側面開口，適於上下彎曲車軌上之鋼索固定用，另一種為上側開口，適於左右彎曲車軌上之鋼索固定用。固定器在鋼索通過之處設置有滾輪，以減低摩擦阻力。



①固定器滾軸 ②固定器滾輪

圖七 鋼索固定器

阻力有三種，第一種為拖車及荷重與車軌間之摩擦力 P_1 ，第二種為台車及荷重之總重量在引索方向之分力 P_2 ，第三種為鋼索與鋼索固定器間所產生之阻力 P_3 。鋼索之有效拉力 P ，必須克服以上三種阻力，拖車才能行進。以上各種阻力除 P_3 外，均已在前面⁽¹⁾有詳細的說明，以下為下節計算理論值時，所必須引用之公式

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots(1)$$

$$P = T_1 - T_2 = \text{有效張力(kg)} \dots\dots\dots(2)$$

$$T_1 = P \frac{e^{\mu\theta}}{e^{\mu\theta} - 1} = \text{鋼索緊邊之張力(kg)} \dots\dots(3)$$

$$T_2 = P \frac{1}{e^{\mu\theta} - 1} = \text{鋼索鬆邊之張力(kg)} \dots\dots(4)$$

$$P_1 = \mu' \times W_1 \cos \alpha = \text{台車及荷重與車軌間之摩擦阻力(kg)} \dots\dots\dots(5)$$

$$P_2 = W_1 \times \sin \alpha = \text{台車及荷重之總重量在引索方向之分力(kg)} \dots\dots\dots(6)$$

$$P_3 = \text{鋼索與鋼索固定器間所產生的摩擦阻力(kg)}$$

以上各式：

α = 軌道仰角

μ = 驅動輪與鋼索間之摩擦係數⁽¹⁾

μ' = 車軌與台車間之摩擦係數⁽¹⁾

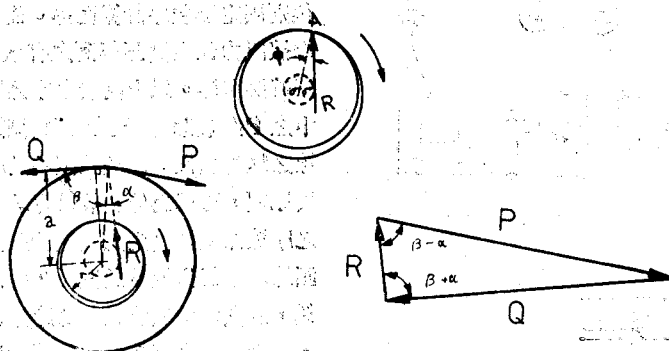
θ = 驅動輪與鋼索間之接觸角 (Radian)

W_1 = 台車及負載之總重量

而 P_3 之求法如下：

鋼索固定器之構造如前節所示，其滾輪與滾軸間之接觸可假定為一直線，與軸線平行，因此其摩擦學之關係⁽⁵⁾可以圖八表示。

(二)鋼索拉力之決定法：拖車在車軌上行進，其



圖八 鋼索固定器上鋼索緊邊與鬆邊之力學關係

$$\text{因 } \rho = r \sin \phi = r \tan \phi = r \mu' \dots\dots\dots (7)$$

$$\sin \alpha = \frac{r \mu'}{a / \cos (90^\circ - \beta)} \dots\dots\dots (8)$$

由力之平衡三角形得

$$Q = P \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin(\beta + \alpha)} \dots\dots\dots (9)$$

此處A：接觸點

O：滾軸圓心

ϕ ：靜摩擦角（通常甚小）

ρ ：摩擦圓半徑

r ：滾軸半徑

a ：滾輪外徑

P：固定器鋼索緊邊張力

Q：固定器鋼索鬆邊張力

R：反力

μ' ：滾輪與滾軸之摩擦係數

α ：PQ夾角之平分線與R反力線所成之夾角

β ： $\frac{1}{2}$ PQ 夾角

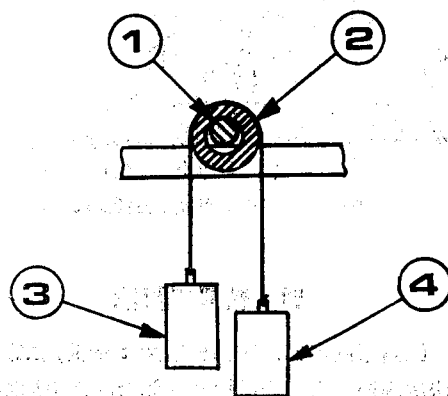
實際上車軌彎曲 45° 處之鋼索由地面上三個和高架上四個鋼索固定器所承載，其所構成之 2β 角有 165° 及 168.5° 兩種。計算 P, Q 時依鋼索固定器在車軌上之位置順序將 2β 角代入式(9)，反覆計算即可得驅動邊之拉力P及台車前端固定器上之拉力Q。將此二力相減即可得鋼索在固定器上的全部摩擦阻力。但本裝置之 $r=5\text{mm}$, $a=11\text{mm}$, $\mu'=0.218$ 。

(三)鋼索固定器滾輪對滾軸間之摩擦係數 μ' 之測定法：從式(1)(8)(9)中知，求 P_s 時，必須用到 μ' ，而固定器所使用之滾輪與滾軸，為顧及製造成本，僅使用市面販賣之普通圓管及圓棒製造，因其表面粗糙，故兩者相對之間的摩擦係數有重新測定之

必要。其測定法如圖九所示，而以兩塊重錘失去平衡時之重量差與重錘總重量之比求出摩擦係數。實際量測時，法碼③各以 5.355, 5.395, 5.441 kg，法碼④各以 5.373, 5.414, 5.342 kg 重複三次進行。

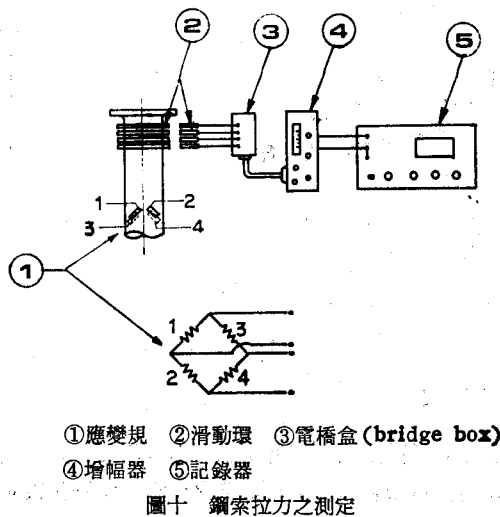
四鋼索拉力之測定法：鋼索拉力之測定係在動力驅動軸上粘貼四枚之應變規，應變規之粘貼位置，結線法及其與滑動環、接線盒、放大器以及記錄器間之接線關係，如圖十所示。

試驗進行時，拖車之行進方式分為兩階段，第一階段為使拖車僅在鋼架車軌上作上下運行，並使負載 0、40、80、120、160、200 公斤之肥料（肥料每包重40公斤），而行車速度保持 4.2 km/hr，以觀察索引式單軌車在爬坡時的性能。第二階段為使拖車在地面水平部份之車軌上作水平往復運行，以觀察鋼索固定器固定鋼索位置之功能及拖車之轉彎性能。其實際試驗情形如圖十一所示。



①滾軸 ②滾輪 ③左法碼 ④右法碼

圖九 鋼索固定器摩擦阻力之測定



(一) 試驗準備情形



(二) 拖車上坡中情形

圖十一 索引式單軌車性能試驗情形

四、結果與討論

(一)鋼索固定器之摩擦係數 μ' ：依前述二(三)節測定法所測得之未加潤滑油及加潤滑油之平均摩擦係數 μ' 各為0.218及0.16。

(二)鋼索固定器之摩擦阻力：鋼索固定器之理論總摩擦阻力依式(8)、式(9)及實驗測得之摩擦係數由

個別固定器依序計算而得。而實測之鋼索固定器總摩擦阻力係由實測得到之有效張力 P ，再依式(1)(5)(6)轉換而得。以上兩者之摩擦阻力如表一及圖十二中之 P_s' (理論)及 P_s' (實測)曲線所示。兩者曲線之趨勢相似，但理論值小於實測值。引起此種差異原因，可認為係由於計算理論摩擦阻力時所使用之摩擦係數較實測之固定器摩擦係數小所致，因實測的固定器係放置於室外，受外界天候的影響而生銹，故其滾輪與滾軸間的摩擦係數必然增加。因之，若計算用之摩擦係數值再加以適當提高，則其所預測之摩擦阻力應甚為接近。從表一或圖十二中知，鋼索固定器之摩擦阻力甚大，在負載量接近 300 公斤時，摩擦阻力高達 550 公斤，故改良固定器使其摩擦係數減小，實有必要。

(三)鋼索拉力：鋼索實測拉力 P 及理論拉力 P' ，如表一及圖十二所示，兩者均隨負載量之增加而增加，於負載重量超過 250 公斤時，則稍有急速增加之現象，這種趨勢與前述鋼索固定器摩擦阻力隨負載重量而增加之情形相同，此顯示鋼索拉力受鋼索摩擦阻力之影響甚大。

(四)索引式單軌車所需動力：在行車速度4.2km/hr，載重量從92公斤增加至 200 公斤，上下 45°坡度時在索引式單軌車所需之動力(PS)如表二及圖十二所示，但所需動力係由下式：

$$PS = T_q \cdot N / 716$$

$$T_q = Pr$$

換算而得，其中

$$T_q = \text{Torque (扭矩)}$$

$$N: \text{迴轉速度 (rpm)}$$

從表二或圖十二知，上坡時拖車所需馬力隨重量之增加而略呈直線增加，於負重 292 公斤時所需之動力約為2.02馬力，顯示在負載重達 292 公斤時，5馬力之動力牽引裝置仍然有足夠之牽引能力。在下坡時，引擎所需之動力僅為提供拖車煞車所需之負荷，故所耗之動力甚小。

(五)其他性能：

1.本索引式單軌車之捲揚型動力牽引裝置，其所曳引之鋼索無打滑現象，但其利用以單向之捲揚較佳，故其利用時較易受到坡面地形之限制。

2.本索引式單軌車之摩擦型動力牽引裝置，其所曳引之鋼索有打滑現象，故拖載重量較小。又本設計之鋼索驅動，其與鋼索間的磨損量甚大，故其直徑有加以增大之必要。

3.在水平彎曲或上下彎曲之車軌上的鋼索固定器，均順利任由鋼索固定彎桿順利通過，顯示構造簡單之靜態型鋼索固定器性能甚佳。

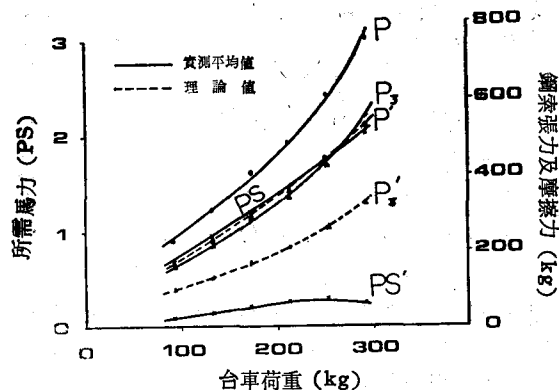
4.於車軌曲率半徑小到4公尺時，拖車尚能順利通過，顯示車架與拖車滾輪間所設置之迴轉裝置有其必要性。

表一 台車荷重與各種阻力

W_1 (kg)	P (kg)	P_1 (kg)	P_2 (kg)	$P_3 = P - P_1 - P_2$ (kg)	Q (kg)	$P'_3 = P - Q$ (kg)	$P' = P_1 + P_2 + P'_3$ (kg)
92	222.4	1.1	65.1	156.2	128.8	93.6	159.7
132	305.2	1.5	93.3	210.4	176.7	128.5	223.4
172	408.6	2.0	121.6	285.0	238.6	172.0	295.6
212	486.2	2.5	149.9	333.8	281.6	204.6	357.0
252	605.2	2.9	178.2	424.1	350.5	254.7	435.8
292	760.4	3.4	206.5	550.5	440.3	320.1	530.0

表二 台車荷重與所需動力 (車速 4.2km/hr)

W_1 (kg)	T_q (上) (kg-m)	PS	T_q (下) (kg-m)	PS'
92	11.12	0.65	1.81	0.11
132	15.26	0.89	2.33	0.14
172	20.43	1.20	3.67	0.22
212	24.31	1.43	4.40	0.26
252	30.26	1.77	5.12	0.30
292	38.02	2.02	4.14	0.24



圖十二 台車荷重性能曲線(PS及 PS' 各為上坡及下坡所需馬力)

五、結 論

本研究綜合單軌車及索道之原理發展研製而成的索引式單軌車，經改良後，其性能在由高7.4公尺，架基長18.7公尺，斜邊成45°之梯形鋼架所模

擬而成之山坡上所架設曲率半徑為6公尺之車軌上進行試驗，其試驗結果經分析後，可得到如下結論：

(一)本索引式單軌車在允許載重量200公斤(若含拖車重，則總重292公斤)，行車速度4.2km/hr，爬坡45°時所需之馬力約為2.02馬力，顯示所需動力小故其動力源可採用國產5馬力之小型柴油引擎。

(二)在上側或側邊開口之靜態型鋼索固定器，結構簡單，其在使鋼索固定彎桿順利通過並限制鋼索僅在固定器內滑動的性能良好。惟其對鋼索所產生的摩擦阻力甚大，顯示其摩擦係數甚大，故固定器滑動部尚須加以改良。

(三)本索引式單軌車，其摩擦型之動力牽引裝置，可作雙向之動力曳引，甚為方便，惟較易打滑，負載量較少。而捲揚型之動力裝置，沒打滑現象，負載量較多，惟較適於單向之動力曳引。

六、摘要

索引式單軌車係綜合索道及單軌車之原理發展研製而成。其構造主要包括動力牽引裝置、拖車及鋼索、車軌及支架、鋼索張力裝置以及鋼索固定器等五部份。改良型之動力牽引裝置及鋼索固定器，以架高7.4公尺，架基長 18.7 公尺，上昇坡度45°之模擬山坡及曲率半徑各為 4 公尺及 6 公尺之車軌，車速 4.2 km/hr 之條件測試其性能，得到以下之結果：

(一)在允許負載重量（含拖車本身之重）300 公斤時，本索引式單軌車爬坡所需之動力約為 2.02 馬力 (PS)，顯示所需動力甚小，故本裝置之動力源可採用國產 5 PS 之小型柴油引擎。

(二)外側或上側開口之靜態型鋼索固定器之性能良好，具維持鋼索於一定位置之功能。惟鋼索固定器所產生之摩擦阻力甚大，因此惟有減少此種阻力，才能減少鋼索之拉力。

(三)捲揚型之動力牽引裝置，較適於單向之曳引，而摩擦型之動力牽引裝置，可作雙向之動力曳引，惟較易打滑。

七、謝 啓

本研究係在農發會70農建—5.1—源—03(3)計畫下完成，試驗期間，承蒙臺大農機系技士賈精石、游誠一及賴國興三位先生之協助，資料整理時承蒙研究助理楊金洲不分晝夜大力幫忙，在此一併致謝。又本研究部份製圖及實驗數據，承本系四年級學生康文昌及雷鵬魁兩位同學協助完成，謹此致謝。

八、參考文獻

1. 王康男、賈精石 索引式單軌車之試驗研究 中國農業工程學報 27(1)48~57, 1981.
2. 益子正己 機械設計製圖 175~180 1962.
3. 眞島卯太郎 コンベヤ計算法 23~31 1970.
4. 平田孝三 農業用モノレール 日本農業機械化協會 3~71 1974.
5. 機械工程師手冊(上) 4—43~44 1976.
6. 江崎春雄等 農業機械、施設試驗方法便覽 179~182 1977.
7. 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.

創 新 開 發 科 技

促 進 經 濟 發 展