

# 第二篇 能源與動力技術

台大生機系 馮丁樹教授

## 第七章 機械動力特性

### 7.1 機械特性(Characteristics of machine)

人有人的特性，機械也有其特性。只要能瞭解機械的特性，我們可以驅駛它為我們工作，不瞭解其性能，則往往要造成不良的後果。就定義而言，凡屬動力機械者，不論其為原動機或作業機，在正常作業過程中，都會遵循所預定的法則及在所許可之範圍內活動。但由於機械本身之構造不一，其所本之活動原理也相當分歧，不同機械之活動自然形成其特有之規則性，綜合此項運動規則，會自然顯示出該機械之特有性格，或簡稱為該機械之特性。

#### 7.1.1 特性之種類

機械特性可有許多種，例如引擎運轉時，負荷與耗油率間之變化關係；精米機作業時，對胚芽保留之程度及相關品質的性能等均是。但在諸特性當中，最普遍而又具科學性的則屬機械之動力特性。由於動力特性牽涉力量與速度間之消長關係，且在實際作業當中，十足具有破壞能力，對作業對象常易造成不可預測之結果。所以，凡是要處理動力機械的人，如果對該種機械的動力特性毫無把握，就等於騎馬而不知馬性，是極為危險的事。因此，本書在此特別選出動力特性一項加以分析討論。

## 7.1.2 特性的表示方法

機械的動力特性是一種相當複雜而特有的觀念，然藉此觀念之擴充與研判，可讓我們進一步瞭解動力機械本身之出力情況。目前本書所要討論的對象通常都是未具備複雜電腦控制系統的單純型動力機械。所以，有關活動的因果關係較為單純。易言之，在相同原因下所造成的結果都應相同，不會產生變化莫測的機械特性。

基於此項理由，凡是屬於動力特性的關係都可利用曲線圖表示。惟就平面圖而言，一般均以二維變化為常態，以兩相垂直的座標向量表示兩種變數間之關係。只是在動力特性方面，其所牽涉之因素並不只兩種變數，較複雜的情況有時會牽連多種因子。此時若僅在單一平面圖上表現，將無法窺得全豹。部分特曲線圖之應用於焉產生。

何謂部份特性？舉一例：某部發電機在定電壓與定轉速之狀態下，所能發揮的供電特性，就是我們所謂之一種部分特性。而在其他電壓與轉速下，亦會產生相類似之部份特性。在此種情況下，必須綜合這些部份特性，方能對整個特性之變化有全盤性之瞭解。

然而，又如何把握某部機械特性的全貌或清楚顯示出所謂之總合特性？最簡便之方法則是盡量設法將許多部分特性在一張紙上重疊起來，加上其他技巧，來表達出總合特性。（後述）或者是靠經驗以及敏捷的分析能力加以綜合。富有經驗的工程或技術人員一般都具有一種特有之能力，只憑幾張部份特性圖就能夠在腦海裡勾繪出機械之總合特性；或者依其特有的靈感，直接把握整個機械之總合特性，專家之真正風格亦在此矣。

## 7.1.3 特性曲線圖之製作

就一般動力機械言，其有關之特性曲線都是按照實際檢驗之結果繪製而成，這種曲線圖最為確實。在經費、人力均充裕之情況下，這是一種最可靠而且值得推薦之方式。可是，有時常因檢

驗設備不夠充實而無法繪出範圍甚廣的特性圖，要怎辦呢？如果有關這部機械之理論發展甚為完備，並且相關之公式或數據亦可利用，則直接採用計算之方法，亦能補充實際檢驗工作所不及之處，這也是目前電腦的專長。

例如，電氣機械、水力機械、空氣機械等，凡是在機體內活動的物質，其性質單純而有規律的，都可歸併在這一類內。至於一般作業機械，由於所涉及之因子甚多，很難以公式化之方式來應用。尤其在處理普通農業作業機械之特性圖時，千萬不要隨便使用外插法伸張曲線，以擴大範圍，較保守的處理方式是以實際檢驗可及之範圍使用為安全。不過在電腦日益普及的今天，內插或外插法卻是很普遍的採用方法，這也是最危險的地方，雖然根據統計學的原理也可進行預測的工作，但其不確定性仍有如抽籤卜卦一樣。使電腦的結果變成一堆垃圾，毫無用處。

### 7.1.5 機械特性曲線圖之概觀

大體而言，機械特性線圖是為機械選擇工作上之方便而製作的，故其所慣用的表現型式繁多，並無標準型式可循，雖然如此，其間仍有一些原則存在：

#### 1. 定速特性

定速機械之活動，其速率大致一定。因此，在實際應用上，速度的變化問題可不加考慮。所以，在製作特性圖時，可先將速率固定在某值上，然後從相關諸因素當中，選出較實用且值得關切的因子，把它刻在水平軸上。另外，將其他因素之對應值，分別刻在垂直軸上，並以不同的曲線繪出，這是一般常用的方法。以抽水機為例，其典型之特性圖如圖 7.1 所示。

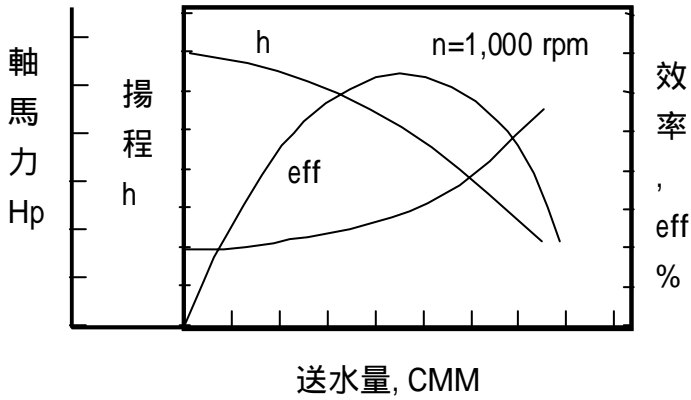


圖 7.1 泵之效率、馬力、揚程與送水量間之關係

在此，送水量  $Q$  最為重要，故將  $Q$  放在水平軸上。其他三種因素--軸馬力、揚程及泵效率等都放在垂直軸上。至於轉速，並無特定曲線，只有  $n=1000$  rpm 之標示。

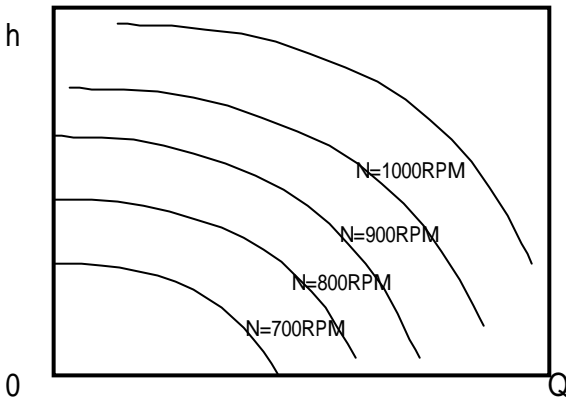


圖 7.2

如果希望充分表達整個抽水機之綜合特性，利用圖 7.1 之方式在同一張紙上同時繪出各特性於垂直軸上，以產生不同之曲線之方法，則較不實際。圖 7.2 是就流量  $Q$  與揚程  $h$  間之關係所繪製之特性圖。此時，在同一張紙上，繪有不同轉速條件下之  $Q$ - $h$  曲線群。這種線群組合，即是所謂之綜合性部分特性圖。如果再配合有關抽水機效率(圖 7.3) 和軸馬力之等因子之相關曲線群，則同一張圖內可顯現範圍相當廣泛的抽水機總合特性。

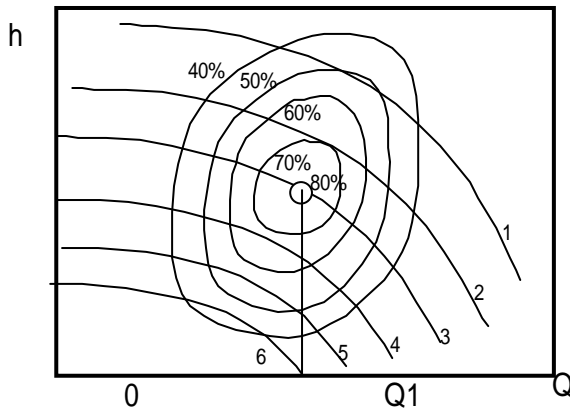


圖 7.3

這種線群之配合，若能設法規畫，並利用繪圖的基本技巧，其所能得到的特性綜合能力將更為增強。以圖 7.3 為例，設定速曲線群當中，曲線 3 所示的轉速條件最配合於此部抽水機之操作。因此，在這種轉速條件下，應可得到最高效率。由圖上所示，水量在  $Q_1$  時，其運轉效率最高。如果抽水量比  $Q_1$  值增加或減少，其效率均會惡化。故沿曲線 3 ( $Q$ - $h$ ) 上可求得效率相當於 80%、70%、60%... 等等之各點。

由於每條  $Q$ - $h$  曲線都可用相同的方式得到對應之效率點，因此，整個線群內之相同效率點均可以虛線相連接，組成另一線群。構成如圖 7.3 之等效率曲線群。此種線群之花樣，有如一般地圖所用的等高線群，故亦可以稱為效率等高線。這種技巧是為

求得總合特性圖所發展者。(註) 此種總合特性表示方式常見於 R. L. Daugherty 所著之 Centrifugal Pumps (1915. New York)一書中。所以，Daugherty 氏在總合特性圖之製作上，可說是一個開拓者。

## 2. 變速特性

此種機械之運轉速率不定，所以在作業過程中，其速度會時快時慢。一般之交通工具所備之原動機就是屬於這類。在此情況下，人們最關切的是速度因素，故多將速度因素刻在特性圖之水平軸上。圖 7.4 是為了圖上得到某部汽車能夠跑的最高速度所採用之表示方式。

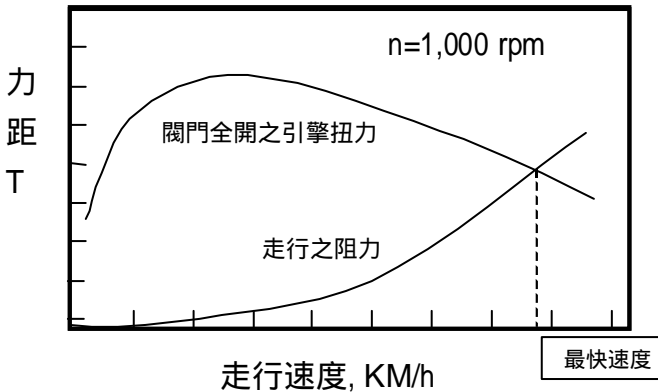


圖 7.4 汽車、引擎特性圖

(註) 以活動速率為主變數之特性圖，其使用範圍很廣，尤其是當要討論機械動力特性問題時大都採用此法。因為機械之活動速率為動力之基本因素之一，而且具有簡明之代表性。

## 7.2 機械動力特性

### 7.2.1 動力機械

所謂動力機械之定義並不明瞭，似有廣義與狹義兩種。按廣義言，凡是由於力的作用而活動的機械都是動力機械。那麼，除了電子機械等以外，所有的機械大都可包括在內(如腳踏式脫穀機)。可是，按照世上通用的動力之字義來講，牛馬或人所生的動力似不可包括在內。因此，動力機械所含範圍應當是如下的：

1. 機械原動機本身。
2. 被機械原動機推動才能做事的作業機。
3. 由機械原動機和作業機之兩者相連而成的，能夠獨立地做功的總合性機械。

無論其定義如何，凡是要與動力相連之機械，操作時必然包括發生動力部分和做事部分，兩者共同存在。因此，在其操作過程中，亦必然有動力之施授現象發生。本來，產生動力的原動機與因受動力才能做事的作業機，兩者都具有其動力上的個性，不可隨便更改。假使兩者的特性不能互相配合，就會產生動力上的混亂，反而不能做事，有時又會惹起危險的事件。機械動力特性之分析與研究因而相當重要。

### 7.2.2 動力特性

動力之意義本來是既要能「動」，也要有「力」，兩者密不可分。故就其特性探討，活動的因素反而成為主要的項目，茲就運動之類型加以討論。

#### 1. 直線運動

牽引力或推力為力，走行速率為動。故凡是要分析這類機械之動力特性時，必需要討論上列兩種因素當中之互動關係。直線運動係以行進為主，當然亦包括兩點間之移動速率。但其所產生之力則需依據牛頓之加速定律規範，亦即力等於質量與加速度之

積。

## 2. 迴轉運動

在迴轉運動中，擔任力之本質則為力矩。即在轉軸上所產生，或者從外施與轉軸的扭轉力。這本來是力矩，故以『長度單位 x 力量單位』之形式表現之，按公制是公斤米。在此值得注意的是功之單位「公斤米」和力矩單位「米公斤」，兩者成分相同，但其意義則完全不相同。因為兩者成分相同，故當進行次元分析時，分不出其間之差異，這是次元分析法本有之缺點。以力矩為特性之機械則如引擎、電動機等。所用的扭力均採平均值。

迴轉運動中，擔任動之本質則是轉速。轉速本來是機械的轉動現象當中，把尺寸觀念排除之後，所得之抽象性質。轉速就是角速度，是角度之變化速率  $d / dt$ 。

機械方面所常用的 RPM，即為每一分鐘迴轉的次數，可說是把一轉以 360 度為一單位角度之特殊性角速度。把一轉化為一個角度單位的做法是和一轉為 360 度之方法一樣，毫無數學根據，只是依其方便性所決定的方法。故 RPM 值和度數/單位時間值都不能直接參與於一般數學運算系統中，通常必須先行換算。

數學系統中可通用的角度單位是弧度(Radian)。有關動力之演算或在公式裡常見的  $2\pi$ ，就是為了補救 RPM 本有的隔離性缺點而用的，因為一轉等於  $2\pi$  弧度之故。

### 7.2.3 力矩--轉速特性圖

動力特性之分析方面最多用的是力矩與轉速間之特性圖，即轉速為主變數而成的特性圖。其理由如下：

1. 現用的動力機械大都是回轉式的。
2. 直線運動式機械也不會是例外，本來是回轉動力為起源，最後仍得到直線運動。
3. 扭力是內在因素，是很難從外面摸得到的東西。(其實，



動力機械界裡，若有平衡、不平衡及轉動是否順利等問題發生，都是與扭力有關的問題)。

- 轉速是外在因素，從外面看得很清楚而且測定容易。在我們的觀念裡這是相當新近的東西。一般來說，當用曲線圖來表現於某種現象時，把較親近於我們的因素為主變數的機會為多。這大概是由於心理上的自然要求而如此的(圖中均以  $T$  來表示扭力)。

## 7.3 扭力-轉速( $T-n$ )特性

### 7.3.1 $T-n$ 特性之分類

如果不談起源，只看最後結果而言， $t-n$  特性大略可以分三種：

- 水平特性
- 漸增特性。
- 漸減特性。

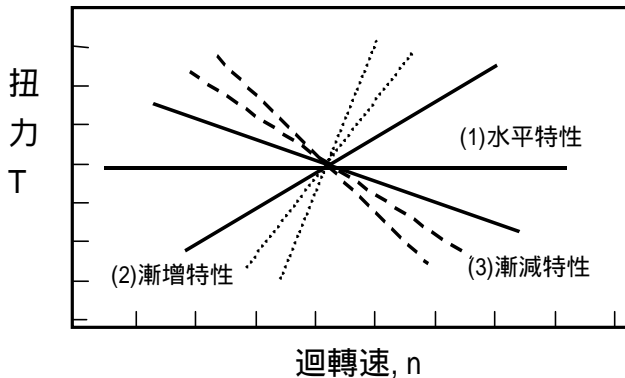


圖 7.5 三種型式之  $T-n$  特性

這些都是由於機械活動原理之不同，或者是由於機械之特殊構造所然的。每一種特性都有好處又有壞處，很難立即作評斷。

### 7.3.2 正作用和反作用

無論是原動機或作業機，凡是屬於機械者都有其工作目的。在此所謂正作用的是為了達成工作目的所加諸之作用。可是機械一開始活動，就有另外一種跟工作目的無直接關係的現象產生，例如馬達之電動勢、車輛之摩擦力等。這些項目有時可說是完全違反目的之達成工作，但卻同時並行發生，這可說是反作用。為厘清這個觀念，下面舉例說明之：

表 7.1 各種機械之正反作用

機械種類	正作用	反作用
風車	受風力而生回轉機械動力	起風作用，等於鼓風機
水輪	受水力而生回轉機械動力	抽水作用，等於抽水機
電動機	受電力而生回轉機械動力	發電作用，等於發電機
蒸汽機	受高壓蒸汽之力量而產生回轉機械動力	壓縮作用，等於壓縮唧筒
內燃機	受高溫高壓空氣之力量而產生回轉機械動力	壓縮作用，等於壓縮唧筒
鼓風機(風扇)	以迴轉動力而產生高速或高壓空氣	風車作用，發生逆方向之扭力。
抽水機(水車)	以迴轉動力而產生高位能之水流	水輪作用，發生逆方向之迴轉扭力。
發電機	以迴轉動力而產生高電位並可通電流	馬達作用，發生逆方向之扭力與動力。
冷凍機(風扇)	以迴轉動力而壓縮氣體而得高壓高溫空氣	蒸氣機作用，發生逆方向之扭力。
踏行畜力機	受馬的體重之分力而生迴轉動力	除了由加速而生的力外並無其他反作用力。
腳踏脫穀機	受人體之部分重量而生迴轉動力	同上

以上所舉的是原動機和作用原理相反於原動機，但機內活物質等於原機的逆原動機型式之作業機則屬後面之兩種。

以踏行畜力機為例，經由機構之轉換，雖能產生迴轉動力，

但原理上等於馬體本身。一般作業機(例如：礮穀機、車床等)也可說具有動力特性。但這種特性則屬摩擦式煞車之性質，本身除慣性力外並無所說的反作用力存在，因此，機械對外所發生的反應之全是摩擦現象引起，這種性質廣泛見於各種作業機之中，並無機械特質。摩擦是直接變為加熱作用，而且變成熱之後，將無法再返回到動力來，因為這個過程是不可逆的。因此之故，摩擦不可能發生抗力而控制動力，只能發生阻力而消耗動力，故摩擦因素不能算是一種反作用。亦即，一般作業機除具有慣性力之外，並無反作用。

### 7.3.3 反作用之型態

反作用和正作用兩者本屬相同，亦無本質上的差別。不過，由於環境之改變而改變立場，就成正或反之兩種作用而已。由於馬達與發電機在構造上同是磁場與轉子，其反作用之出現很容易由其轉動發電之觀念下進行瞭解。茲以下列說明之：

#### 1. 直流分路發電機和直流分路馬達

直流分路電機是具有定磁性格的一類，故本質上等於永磁電機(圖 7.5)。因此，按永磁型電機討論較方便。如果將一部永磁電機連接於變速原動機而推動，則可得如圖 7.6 所示的發電狀態，在轉子或電樞轉動時，其所產生之電壓與其迴轉速成正比，或  $E = k n$ 。

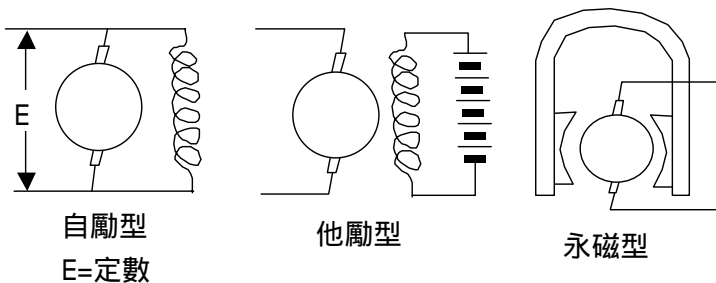


圖 7.6 永磁型發電機型式

在機械處於單獨運轉狀態時，可生的發電現象都是主作用，不會有所謂之反作用發生。電氣轉速計是在這種狀態下進行作業的。在電壓計中，雖然實際上是測定電壓，但其指示值則轉換為 R P M。這種狀態可說是無關於外界電壓(電位 Potential)的遊離狀態。

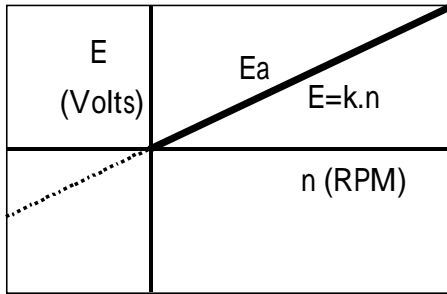


圖 7.7 發電機之電壓

將此發電機接於電源，使發電電壓對抗於電源電壓。在此電源卻能發揮正、反兩種作用。

設轉速為  $N_c$  時，發電電壓  $E_a$  和外界電壓  $E_{ex}$  互相平衡，則這是臨界點，在轉速  $N_c$  以上時是發電機。

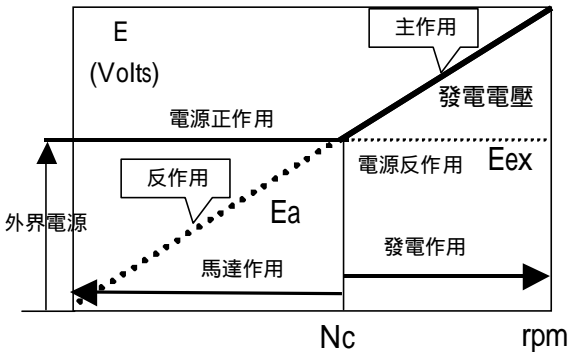


圖 7.8 發電機之主作用與反作用

在馬達境域內( $n=0-N_c$ )，機械所發電的電壓就淹沒在外界電壓裡而看不見又無法測出來，可是所流通之電流強度明示潛在發電作用確實存在。這種處境的發電作用就是反作用。

反作用是如以毒制毒，以牙還牙式的對抗作用，就是以本質上相同於外界侵略力的力量來對抗於外力之作用就是。(註) 固體磨擦、流體磨擦、電阻等不能做這種反抗作用，不過能消耗外界侵略力量而把它全部變成熱而已。

**能(Energy)之變態原則:**

1. 由正作用所產生的功能中，若僅為克服反作用，則其所做的能量應屬於熱以外的另一種能。
2. 正作用所做的功能為克服磨擦(包括電阻、渦流等)，則這些能量將全部轉變為熱。(如圖 7.9)。

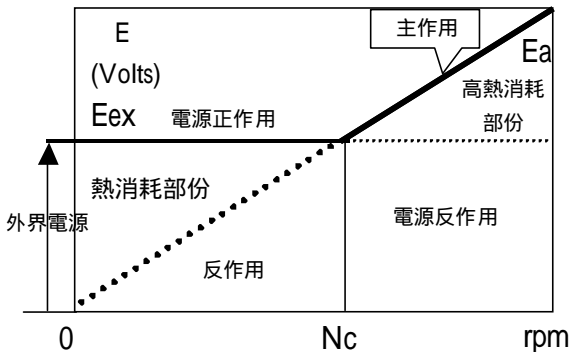


圖 7.9 熱之消耗比例

馬達和發電機都不是以發熱為目的，故若產生熱就是損失。馬達與發電機同是以線圈轉子在磁場中轉動的動作。當外界加以加壓給電機時，開始時由圖 7.9 所示，在不同轉速下之熱損失情形，熱損失在正常轉速  $N_c$  附近其所產生之熱量不多，但在離  $N_c$  的範圍愈大時，其熱損失也愈大。分路電機之轉速特性即是一種明顯的例子，由於其磁場之電壓係另一分路的關係，故磁場固定，其實際工作轉速亦然固定，僅在如圖 7.10 之  $N_p$  範圍內而已。從另一個角度思考，此種機械僅能在轉速大略為一定下運轉，無

法隨意擴大。這種機械即為所謂之定速機械。

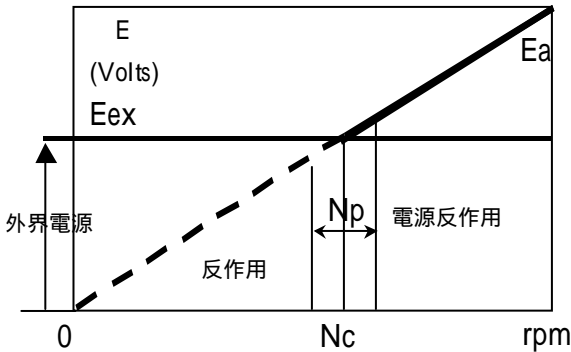
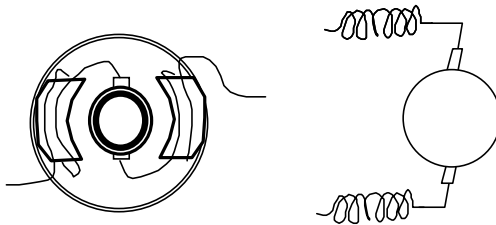


圖 7.10 定速特性與  $N_p$  值

一般言，凡屬分路特性或採分路之電磁系統的電機，如直流分路馬達、直流分路發電機、交流分路馬達(普通型式之三相或單感馬達)等都屬於定速機械。這類之電機何故都有定速特性？因為這類電機之發電機特性都有  $E = k n$  之型式。(即所謂之定磁性格)

## 2. 直流串列馬達

若將磁場電流與電樞電路相串聯，則兩者相互影響，這種電機即沒有定磁性，無法將磁極分開勵磁(圖 7.11)。則磁力就按所通電流之多少而改變其強度，就是變磁電機。



直流串列馬達

圖 7.11 直流串列馬達之構造

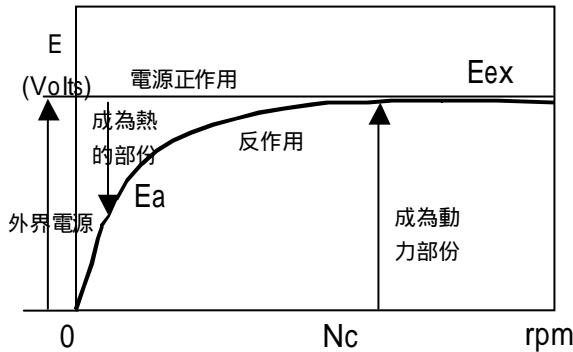


圖 7.12 直流串列馬達之電壓變化

在此， $E_a$  曲線對  $E_{ex}$  線成漸近線而永遠不能超過它，因此並無臨界點  $N_c$  存在，也因而無機會變為發電機。若依上述能之變態原則，這類電機之效率應是跟著轉速之增加同時升高，因為轉換為熱的部份愈小(圖 7.12)。所以其能以實用的轉速範圍相當廣大。凡是有這種特性的機械可說是變速機械。

### 7.3.4 正反作用之差距

在各種轉速條件下，施以正作用及所存反作用間之差是屬於發熱的部份(圖 7.12)，這是因為由正作用之施加，必存在某種流動之現象，例如電流、水流或氣流。這些流動現象會自然形成阻力，遂轉變為熱的一部份。也因為這種差異存在，能量才會往某一方向流動，產生能量之傳遞。而如何好好利用這個相差，盡量減低損失(變熱之損失)？這是機械設計或改良之關鍵，最為值得吾人研究之處。

#### 1. 分路(Shunt)電機

在此，為了提高能之變態效率，不能不採用範圍極窄的實用轉速範圍，換言之， $E_{ex} - E_a$  (在馬達)  $E_a - E_{ex}$  (在發電機) 越小

越好。舉例說， $E_{ex}=100$  伏特， $E_a=96$  伏特時，能之變態效率升高到 96%，這樣才可合於實用條件。則  $E_{ex}-E_a=100-96=4$  伏特。能不能靠著這樣微小的電壓而得足夠的電流強度？這就是轉子回路之電阻值之如何而定的問題。

例如：所需最大電流  $I_{max}=200$  安培，可用之推動電壓， $e=4$  伏特。則轉子系統之總和電阻  $R = e / I = 4 \text{ 伏特} / 200 \text{ 安培} = 0.02$  歐姆。假使某部電機能夠滿足上述之條件，則全負荷轉速  $N_f=0.096N_c$  時，這部馬達之扭力已經到達了其最大值，這部馬達之轉速變率大略等於 4%。

$$T = k I_{max} \quad \text{式中} \quad = \text{磁力，其值不變}$$

$$I_{max} = \text{常用最大電流}$$

$$k = \text{常數}$$

這種電機之 T-n 特性圖可如圖 7.13。

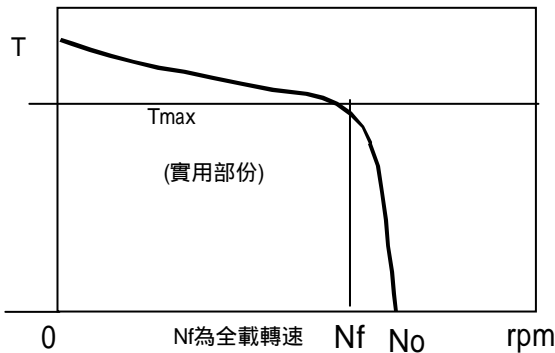


圖 7.13 扭力與定速

這種馬達可說是定速特性相當好的馬達。定速特性就由轉子系統俱有之阻抗  $R$  之增加而惡化。

$$\text{轉速變動率} = (N_o - N_f) / N_o \times 100\%$$

總而言之，就分路電機而言，其定速特性越好，由於轉子系



統中之內電阻很小，其總合效率因而越高，可是一般實際機械方面，因為碰上實用上的種種要求，故不能只考慮總合效率之高而隨便提高其定速特性。(例如，三相感應馬達之起動特性，電風扇之變速能力等，後述)

這裡雖然僅在上面談到馬達問題，但實際的情形仍可引伸到發電機的內部問題，因為兩者之基本性格完全相同。

## 2. 串列電機

在串列電機中，其轉子之電路與磁場之電路相串聯，故只要一通電流，磁場其轉子同樣受到影響，亦即電流大時，磁場及轉子迴轉力均同時增大，反之亦小。故為了減低發熱損失起見，不能不用粗線而捲數極少的勵磁捲線(實際上不是線，就是銅條)。如果，此時之轉子轉速極快，則只靠磁極所殘留(不通電時之殘留磁力)下來的磁力也可發電大略等於外界電壓  $E_{ex}$  之反作用  $E_a$ (馬達)。那時，電流極小，略等於零，則因  $T = k I_a$ ，式中之  $I_a$  和  $E_a$  都極小，故  $T$  也極小，不過能夠自己維持空轉而已。

相反地，轉速極慢時，因為正反作用之相差很大，並且，其內部電阻極小，故可通極大的電流。結果，公式  $T = k I_a$  當中之  $I_a$  和磁場  $E_a$  同時增大，使  $T$  大略按  $T \propto k I_a^2$  而增加(如圖 7.9)。因此，當負荷漸減而接近零時，除了極小型馬達之外，其轉速要自 0 增加到無限大，此時很可能由於轉速之過快，離心力過大，最後導致其轉子爆炸而破壞。雖然串列電機有這種危險性，但這種特性卻完全滿足交通車輛所需之條件。車輛無論何時，即時無負載情況下，仍有本身重量所造成之行進阻力，而在起動期間，確需要相當大的扭力。故電車、柴電火車頭、電動客、貨車等都用這種馬達；此外，在離心脫水機方面也是很好用。

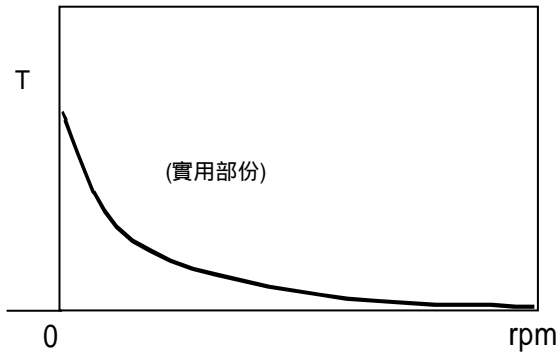


圖 7.14 串列電機之 T-n 特性

這些方面之應用，因為馬達沒有機會空轉，故無爆裂的危險。至於使用圖 7.13 或 7.14 特性之馬達，何種為佳？實際上是見仁見智，依實際之需求及使用之對象而定。交流電方面也有串列馬達，但分為兩類：

1. 串列電路型：等於直流馬達，其電樞有成層鐵心。
2. 感應串列型：例如反撥馬達是。其扭力特性略等於直流串列馬達，但當速度高時，其阻抗變大，故空轉之危險性則較少。

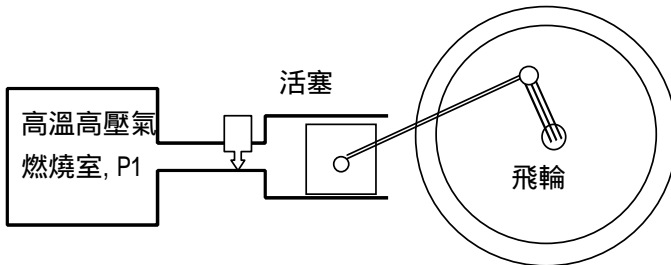
### 7.3.5 活塞式引擎

蒸汽引擎及一般內燃機等都屬於此類。其作用原理相反於活塞引擎的作業機，是活塞型壓縮機。這類機械之活動情況較為特殊，因為它將要做的工作分為幾段，並按所定的順序完成，故根本沒有連續之特性，反而具有分段循環之工作性格。設若活塞式引擎活動時也會有反作用發生，則這作用一定是壓縮機之作用。電機的情況因為活動情況完全連續，故所發生的反作用就淹沒在正作用裡，外面看不出來。可是在活塞式引擎裡，因為活動型式屬於分段循環式，其反作用會在正作用之空擋，向外顯露，使人自外面看得清楚。

#### 1. 活塞式引擎之臨界點

所謂活塞式引擎之臨界點即是引擎變為壓縮機的境界狀態。設圖 7.15 所示的引擎是完全的斷熱性的，活塞在上死點時，先打開氣門使高溫高壓之氣體進入於氣缸裡，此時氣缸內壓力升高。會將活塞向右推出，氣缸裡因此產生斷熱膨脹，活塞已到到下死點時，壓力降到最低點  $P_2$ ，這段工作就是引擎之正作用，即對外做功，飛輪因而加快轉速得到動能。

如果，外界一點功都不吸收，則飛輪繼續轉動而把活塞往內推動，終於達到上死點，則在氣缸裡發生斷熱壓縮，氣壓就經過同一曲線回到點  $P_1$ 。因為氣缸內氣體回復原狀，假使再打開氣門，無法使新氣進入於氣缸內，這種狀態真如彈簧之伸縮作用，根本不會產生引擎之真正作用；壓縮機方面也是無事可做。



圖

7.15 引擎之動作組件

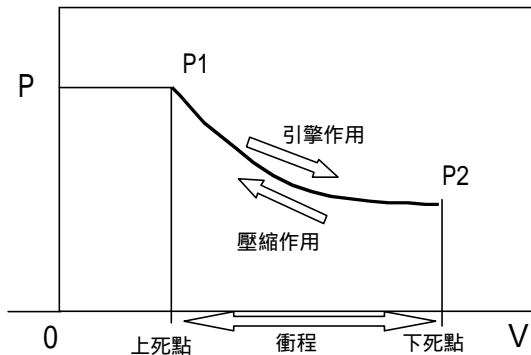


圖 7.16 引擎之壓縮作用

這就是無關於轉速而存在的另一種境界狀態。

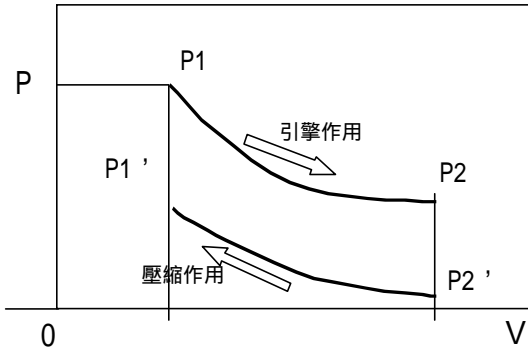


圖 7.17 四衝程之 P-V 圖

## 2. 引擎之作用

在活塞到下死點時，若打開排氣閥間，使氣壓降低至  $P_2'$  (圖 7.17)，然後又藉著飛輪慣性將活塞送回到上死點的位置，則氣壓可回到  $P_1'$ 。此時，活塞壓縮氣體所需之功較少，故只需飛輪慣性力的一部份即可達成任務。而剩餘的力量則可對外作功。同時，由於  $P_1'$  之壓力比  $P_1$  低得很多，故外界的高壓、高熱氣體可以再進入，恢復到原先之狀態。此時即為引擎狀態。

## 3. 引擎之反作用

由圖 7.17 可知：由  $P_2'$  至  $P_1'$  的過程即為引擎之反作用。依照能量轉換原則，反作用所佔的比例愈高，能量的變動率會愈高。但是反作用如果太強，以至於達到引擎正作用點之臨界狀態時(即圖 7.16 所示之  $P_2$  至  $P_1$  線)，飛輪對外將無法輸送任何動力。要此部引擎作功的希望也會落空。

## 4. 內燃機引擎

內燃機引擎是一種特殊的機械，因為它沒有臨界點。最主要

它不是預先準備高壓氣體作壓縮的動能，而是在活塞壓縮回上死點時，利用燃料燃燒後之發熱作用，將氣體溫度升到最高。因此，引擎之反作用永遠不會超過正作用。結果亦無機會達到前述之壓縮機狀態。是以內燃機特有的原則：即壓縮比愈高，其效率愈高的情形方得以確立。

### 5. 活塞引擎之扭力特性

無論蒸汽引擎或內燃機引擎，由於採用分段循環作業的緣故，其所產生的扭力變動得甚為厲害，唯一的辦法是利用飛輪的慣性作為緩衝。因此其相關的扭力均為平均值。引擎之扭力應為熱氣推動活塞之平均扭力與飛輪對活塞壓縮所需之平均扭力間之差。而實際的數值可能要扣除摩擦所造成之扭力損失。

值得注意的是，在正常之運作範圍內，扭力之大小與氣體膨脹或壓縮之速率無關。理想的引擎扭力特性應如圖 7.18 所示，無論正作用或反作用，均與轉速之快慢無關。

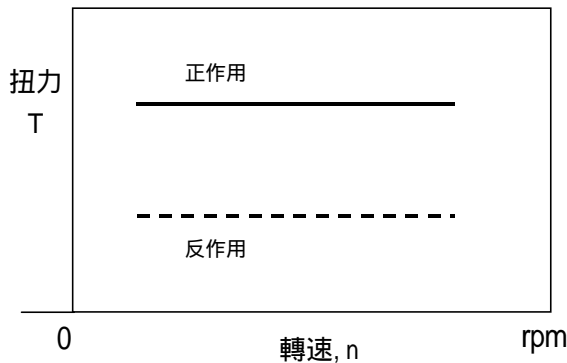


圖 7.18 理想之引擎扭力特性

在實際的運作上，引擎的特性則與圖 7.18 截然不同。對於一般引擎之運作而言，當引擎轉太低時，由於化油器之油門全開，化油器之效率降低，同時熱的損失也增加，使扭力大為降低；轉速太高時，因為氣體之流動摩擦阻力增加，其扭力也因而下降，

故扭力特性會如圖 7.19 所示的情形。曲線 A 為一般引擎在油門全開下之性能曲線，B 為賽車用之引擎性能曲線，後者之扭力高的範圍較廣，以應付高轉速下所需之加速力，但由於運轉不穩，不能作為一般用途。

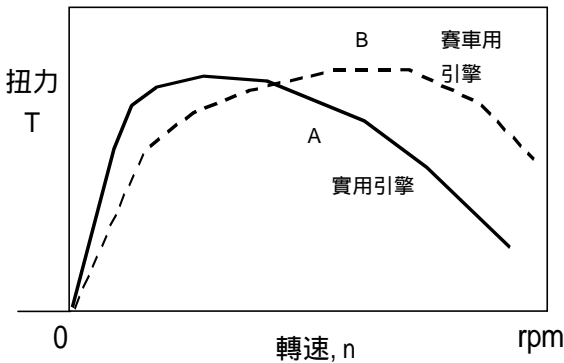


圖 7.19 在油門全開之情況下，兩種引擎之特性比較

## 7.4 轉速、力矩和功率

### 7.4.1 T- 特性和功率之關係

一般原動機與逆原動機之 T- 可分為三種型態：

原動機		逆原動機(作業機)	
無限下降型	分路馬達	無限上升型	分路發電機
急降漸近零線型	串列馬達	急升飽和型	串列發電機
水平型	引擎類	水平型	活塞壓縮機型

因為動力有  $kT$  的構造，故隨著 T- 之不同特性，產生不

同的 P- 特性。圖 7.20 所示為三種情形下之特性曲線。

若  $T$ - 之關係呈直線下降(圖 7.21)，此時在原動機領域會出現最高點，而其最大功率應會發生在  $1/2 N_c$  的位置。若  $T$ - 之特性屬急降近零線型(圖 7.22)，則其特性曲線內並無臨界點存在，亦無逆原動機(或作業機)領域。其最大功  $P_{max}$  應在靠近零點的位置，功率線  $P$  則呈相當不規則的特性。

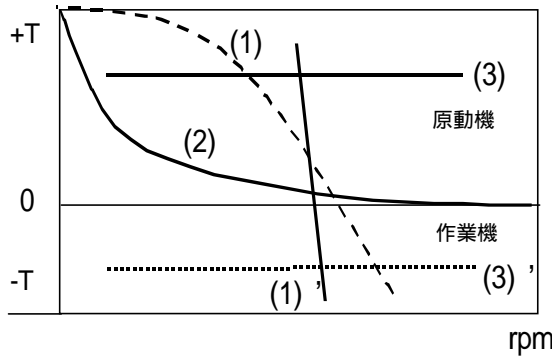


圖 7.20 原動機與作業機之不同特性比較

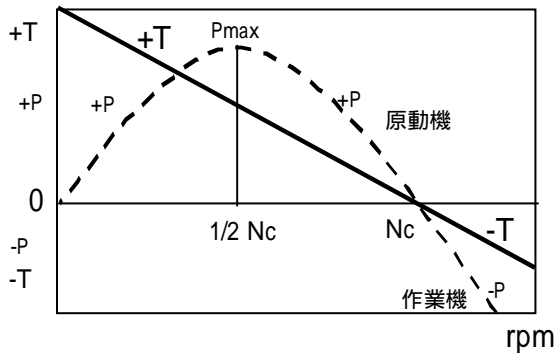


圖 7.21

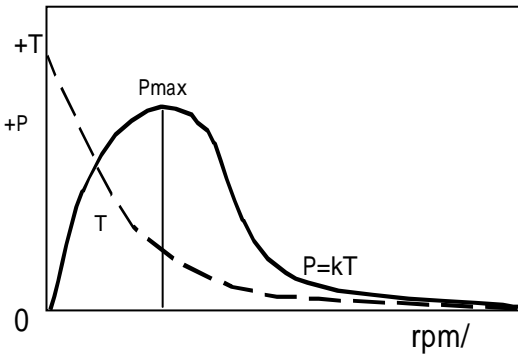


圖 7.22

若  $T$ - 特性屬水平型，或扭力等於一定數，則  $P$ - 呈無限上升之直線型(圖 7.23)。活塞型引擎及同型之壓縮機想  $P$ - 特性均屬此類。雖然此類型之  $P$ - 值不會無限升高，但其一直升高的趨勢則一直存在(如圖 7.24)。值得注意的是當  $N_{tmax} < N_{pmax}$ ，且其間差值愈大時，其特性會愈穩定，更臻實用。

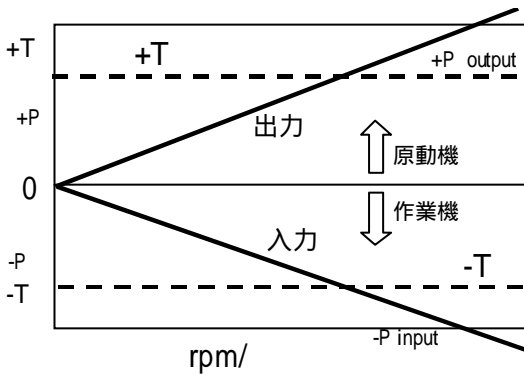


圖 7.23



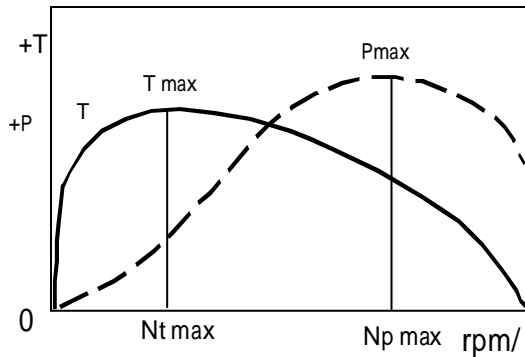


圖 7.24

## 7.4.2 電氣與流體機械特性比較

一般電氣裡所謂之電位差相似於水力方面之落差；而電流之觀念也類似於水流或氣流之念，兩者均具有「量/時間」之型式。尤其電氣機械中的「分路電機」，其活動原理特別相近於流體機械。如圖 7.25 及 7.26 所示，流體機械之實際  $T$ - 特性等於分路電機之  $T$ - 特性。因此，其產生之最大功率值均會發生在  $1/2 N_c$  的情況下。

實際上，流體機械可以將最大功率設定在  $1/2 N_c$  轉速處，並以此為其標準轉速，例如柏爾登水輪或衝擊水輪等均可依此標準設計。但在分路電機中則不是如此，無法以前述  $1/2 N_c$  轉速之規格運作。何以故？

有關分路電機的問題或其特性變化主要是依其電路電阻之變化而作調節。因為電路上之電阻是比較容易調減的元素。所以一般之標準轉速反而選擇在靠近  $N_c$  之處。此區域雖然正、反作用之差甚小(圖 7.27)，但因電阻相當小的關係，反而可以獲得相當大的電流。使能量在變態處稍作改變即可獲得相當大的扭力。這是在電氣機械中特有的現象。流體機械是無法採用這種方式獲得較大的扭力。

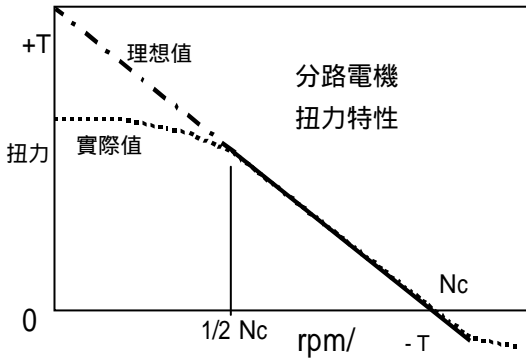


圖 7.25 分路電機之扭力特性

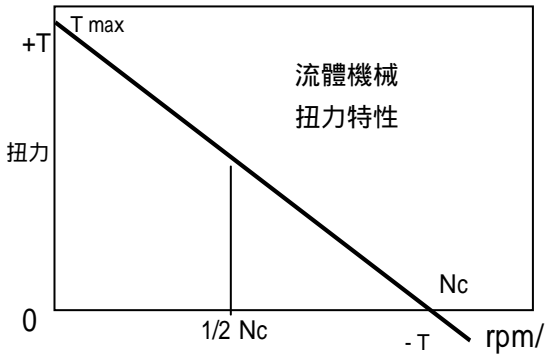


圖 7.26 流體機械之扭力特性

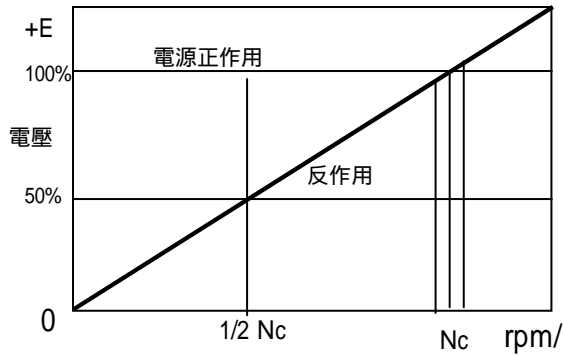


圖 7.27 分路電機之負載情形

至於流體機械方面，因為所處理的對象是有體積又有質量的物質，當轉速達到  $N_c$  時，流體與葉片間已無相對運動，故無法在此獲得力之傳遞，所以不得不將轉速降至  $1/2 N_c$ ，以獲得最大功率，因此其變態效率會降低至 50% 以下。

## 第八章 農業動力之演變

### 8.1 人畜力的古時代

農業動力包括人力、畜力、風力、水力、電力及熱力。風力、水力之利用屬於地域性動力，使用受限制，電力則可能由風力、水力或熱力轉換而來，屬固定型作業之動力。就田間移動式動力而言，人力、畜力及熱力是農業之主要動力源。人力是一種複雜度高的力源，可操作控制，亦可直接工作，但持久性及力道均有限制，其動力僅及 0.06 馬力左右。

畜力伴隨農業耕作數千年，除牽引外，可以作負載及踏行的工作。以牛馬而言，其動力約為  $\frac{2}{3}$  馬力。其拉力約為其重量之十分之一，牽引速度方面，馬每秒約一公尺；牛則按步就班，僅 0.6 公尺。

牛畜可以作為農夫的寵物，但作為農業動力實際上並不經濟。在台灣地區而言，一年中僅能耕作 45-65 天，卻需養飼 365 天，實在不划算，當個寵物倒是真的。但在沒有其他選擇的時候，牛畜對農業的永續，有其不可磨滅的貢獻，而若因其過去的貢獻而不食今日之牛肉，則是有點矯枉過正矣。

### 8.2 耕耘機的世界

典型的農業動力為耕耘機與曳引機，前者為模仿耕牛拖帶犁具，兩輪行走，人步行於後的操作方式，動力約在 6-15 馬力之間；後者為四輪行進，可拖帶各種農具及作業機械，人坐在上面，操作較為舒適，其動力自 20 至 200 馬力不等。

耕耘機係於民國 44 年自美國引進「快樂農夫號」，但使用之初，農夫並不快樂，一則價格貴，二來性能與牛相若，雖然不吃草，但仍要吃較為昂貴的汽油，無法顯現其特點。後來國內有三

家農機廠商—中國農機、新台灣及大地菱從事改良與製造，並引進日本的技術，一方面加大馬力，一方面將迴轉式耕耘刀搭配一起，犁田整地一次完成，耕耘機因而變成一項牛與犁的綜合的代名詞，當時稱為鐵牛，即是紀念其功德。許多牛隻開始失業了，有些被帶到牛墟中被賤價轉賣，但有很大的部份最終被賣到師大路的牛肉攤上了。

耕耘機在民國 75 年以後達到最高峰，曾達十二萬台以上。為適合本省的地質及農民使用習慣所研發的機種，耕耘機自日本引進後，在台灣有相當大的改變，在結構上也特別堅固，原先為汽油引擎，後改為柴油引擎，馬力大，耗油少，在品質及耐用程度上也超越進口機種，是十足代表本省的產物。但曾幾何時，耕耘機也沒落了。它雖取代了牛隻，不久它也被另一批更強而有力的曳引機所取代，僅差沒有被送到牛肉攤上而已！為此，當時的中國農機也倒了，新台灣最後淪為為日本人的農機代理商，大地菱則開始生產其他作業機械。在海峽的彼岸，耕耘機反而大行其道，不但在彼岸生根，而且銷售到海外市場。至八十四年底止，台灣的耕耘機約僅剩七萬二千餘台。

### 8.3 曳引機的來臨

曳引機(Tractor)是一獨立之原動機，不依任何軌道而行走，具有動力輸出，並且具有適合於牽引之構造與性能，復可認為一種特殊作業用汽車之型態。對一般汽車而言，必須具備速度、裝載力與牽引力等三種性能。曳引機則是取其牽引性能加以強化之動力車，亦是因循畜力機械化之方向應用於田間作業之動力機械(圖 8.1)。



圖 8.1 曳引機可以做各種不同的田間工作

農用曳引機，從前稱為火犁。初期，台灣能夠使用大型曳引機者，僅台糖公司。台糖當時有廣大面積的甘蔗園，必須利用這種大型曳引機進行整地的工作。由於台糖所屬土地廣大，且以礮土為多，故其引進之曳引機均以搭配礮犁為主，發明礮犁的人大概是一位廚師，因為礮犁之外觀很像炒菜用的鍋子，可一面前進，一面翻土，故老百姓均以火犁稱呼之，主要是看到礮犁及曳引機一面作業，一面吐煙的樣子；大陸則稱為拖拉機，似乎更為傳神，因為它可以拖也可以拉。一般曳引機有四個輪子，人乘座在上面駕駛，會有威風的感覺，說不定有一天，有人會將它開上馬路，當做新娘的禮車，還可記上金氏紀錄。無論如何，當時沒人會想到有一天，這種俗稱火犁的曳引機會成為台灣農業的主力，它帶動了台灣農業的永續，也把原來很看好的耕耘機給逼退了，實在是一件不可思議的事情。

台灣地小人稠，每戶農民平均約一公頃的土地。一台曳引機，在田間轉個彎，最小也要十來公尺，小小一公頃的方寸土地，僅能供其轉三、四個彎兒。再怎樣也不需要曳引機來工作。當初就有人估計，台灣所需的曳引機最大馬力四十匹應是綽綽有餘。但這種估計維持不了多久就被打破，八十馬力變成主力。目前八十馬力已不是代耕農民的寵兒，因為它們認為一百八十馬力才算真正夠力！於是大馬力的曳引機開始由歐洲引進來，日本也製造不了那麼大的馬力。於是乎馬力自 20 馬力開始，至 200 馬力為止，

數百種廠牌的曳引機，彙集在這一個小小的台灣島上，真可謂天下奇觀！金氏紀錄似也可以記上一筆。

台灣農民有很多特點，勤奮是其一，他們追求速度，追求門面，但不一定講求效率。這點可以從曳引機的發展看出來，也有點類似現代年青人沒事在路上飆車的心態一樣。曳引機本來是農業動力之源，可以提供行走、驅動、拖行等動作所需之動力，因此可以鏈接任何需要在田間作業之農事機械，諸如犁、耙、抽水機、噴藥機、播種機、施肥機、割草機、切碎機、收穫機、牧草打包機等等。但在台灣使用曳引機最主要目的在於取代耕耘機的功能。因此，大部份曳引機均配裝有迴轉犁，成為標準配件。這種迴轉犁以 300rpm 以上的轉速，將土壤細切成小塊，只要走過一趟，萬事 OK！免除以往需先行犁翻土壤，再行碎土的重覆步驟，一貫化，多麼寫意。但這種迴轉刀碎土的方式，耗費相當大的動力，深度愈深，所需動力愈多。這也是造成台灣地區需要大馬力曳引機之主要原因。

## 8.4 代耕中心的興起

事實上，以約一甲地的農戶，根本無能力購置價格一百多萬元的曳引機，即使購置了，也只能放在客廳裡炫耀的時間多，無法充分利用。這也是代耕中心興起的原因。代耕中心由農民自行設立，當時政府也補助了些經費。開始時本身也有些農田，可以自行耕種，有餘力才幫他人行代耕工作。後來有些農民乾脆全心全力為代人作代耕的工作，賺取血汗錢。

這種代耕中心全省有八百餘處，每處至少購置有四十馬力以上之曳引機一台及其他作業機械。一下子代耕中心變成另一種新興的行業，有些手腕較為靈活的，則擴大其工作範圍，其所獲利潤不菲，在鄉裏中儼然是新興的大戶，工作時雖赤足下田，胼手胝足，農閒時西裝革履，出入常以昂貴驕車代步。為爭取更多的顧客及工作時效，其所購置的曳引機馬力也愈來愈大，其型式也愈來愈豪華。曳引機上有隔音舒適的駕駛艙，艙內冷氣、音響、控制面板、電視等樣樣俱全。

## 8.5 曳引機之發展史



圖 8.2 傳統的曳引機以蒸汽引擎為動力

早年的曳引機係以蒸汽機為動力(圖 8.2)，當時還必須用牛馬拖帶至田間，旁邊尚須十幾個人力來發動，一旦發動後，又必須繼續作業，因為停下來的程式也相當複雜。1900 年美國加州使用的一台這種蒸汽曳引機重達 41 噸，木製車輪直徑 9 英尺，寬度 15 英尺，相當笨重。內燃機問世後，亦開始試圖將之配置於曳引機上作為動力。1908-1912 年間，在加拿大溫尼柏地方每年還舉辦蒸汽曳引機與內燃機曳引機的作業比賽，看那一型耕作得輕鬆愉快。結果兩者雖不是很滿意，但還是後者逐漸佔優勢。蒸汽車頭僅能在鐵軌上作為火車頭，也沿用相當久的時間。

1919 年美國內州通過曳引機試驗法，其中規定所有在該州販售的曳引機必先通過測定檢驗，形成一個性能測試的準則。這種測試過程後來變成一個公認的性能測試報告。由於報告公正客



觀，後來之購買者均要求廠商提供這類報告書，故全世界的曳引機製造商依慣例均會先將產品送到內州進行檢驗，然後再上市銷售。1925 年動力分導裝置(PTO)開始廣泛使用，數年後 ASAE 並以 540rpm 設定為標準轉速，所有迴轉的作業機具必須依此轉速設計其規格與作業性能。近年來，由於高速作業機具之需求日殷，又另訂一個以 1000rpm 為標準之 PTO 軸，或為動力第二軸，以傳遞高速之迴轉動力。

由於曳引機拖拉農具時需要甚大的牽引力，故其機體要重，才能安步當車，否則空有一身武功，也使不出勁兒來，僅會在地上打滑。因此製造時，其車輪必須大而寬，才能在地面上產生抓地力。在蒸汽機時代，車輪均以鐵輪為主，為增加抓地力，鐵輪面上裝設有凸緣或刺釘，就像賽跑時穿釘鞋一樣，才能跑得快；我們在雪地行車時，在車輪外面加上鐵鍊，也有相同的道理。但行走用鐵輪，實在太笨重，走在馬路上，好像在現代的壓路機在創造新馬路一樣。1930 年代，橡膠輪胎問世，曳引機開始採用橡膠輪胎，體質因此大為減輕，行動亦較為便捷，然而為使輪胎有鞋釘的效果，輪胎外圍製有凸出的花紋，俗稱為輪耳。

利用履帶，實際上也是增加抓地力的方法，它的原理是在地面上先行鋪一條堅固的履帶軌道，給輪子走，輪子走過後，履帶又收回來重復使用。故即使極不好的路面，輪子也能履險如夷。履帶式曳引機的問世，實際與軍事有關聯，均是用來在不特定地面行走的機械，而上面裝上大砲，即為戰車；上面裝上收穫裝置，即為收穫機。歐洲很多製造農業機械的公司，都與製造軍火有關，其原因也在此。因為重型農機與大砲，結構上都要很堅固，所用的原理幾乎一樣，差只在於一個目的在殺人，一個目的在處理農作物而已。

## 8.6 曳引機的分類

曳引機可依使用的產業、使用目的、結構、形態等加以分類。若依用途則有農業用、林業用、工業用及軍事用等四種。工業用曳引機多作為道路搬運、工場內搬運、建築工程用及機場運輸

等。在這些不同的應用中仍然以農用曳引機為最多。

若依原動機之型式分類，則有蒸汽曳引機、內燃引擎曳引機及電氣曳引機等。蒸汽曳引機多為大馬力者，體積龐大且笨重，早期曾為大面積之作業，目前已逐漸減少。電氣曳引機則是裝配配動機為動力，其電源為電池或另行架線，使用上不甚方便。目前使用者仍以內燃引擎曳引機為最多。依其燃料除電力外復可分為汽油、瓦斯、柴油及重油等型式。

在構造上，則可依其行走裝置而分為輪式、履帶式及半履帶式曳引機等。而輪式則又可依輪數之多寡分為單輪、二輪、三輪及四輪、八輪等型式。單輪與二輪者多為步行式，或稱為中耕機或耕耘機，操作人員必須隨機器在甚後面步行操縱。三輪以上則以乘坐型為主。

履帶型曳引機則係將車輪以兩條無限軌道型之履帶取代。以乘用型為主，多用於土木工程之產業機械如挖斗、堆土機等；亦有用於軍事用途者，如戰車及野地搬運車等。園藝用者亦有使用單軌履帶型，但均屬小型機種。半履帶式曳引機則是以履帶取代後部份車輪，前面之車輪仍維持作為轉向，履帶則可增加抓地力。

就輪式與履帶式曳引機之優劣點比較，輪式者具有下列優點：

1. 運轉及保養較為容易。
2. 價格較低，具普遍性。
3. 重量較輕，可以高速駕駛。
4. 輪距可以變更，可以適應不同行距之農事作業。

履帶式曳引機之優點則有：

1. 打滑少，牽引力大。
2. 接地面積寬大，容易通過高低不平或鬆軌之地面。
3. 重心低，適合於坡地作業。
4. 轉向半徑小，操作容易。

農業曳引機之種類因使用場合及對象作物之不同大體分為

標準型、通用型、園圃型及果園型等四種(圖 8.3-8.5)。標準型以犁耕作業為主，以履帶型或四輪型為多，其馬力亦甚大，需 40HP 以上。通用型則除一般犁耕作業外，亦廣用於中耕除草、收穫等工作。其行駛速度之範圍較大，且必須配合作物之高度，故地面距較高(45-55cm)，且需具有輪距調節之構造。此類曳引機操作甚為靈活，座位之視野也相當廣，可以看到作業情形。

由於農用曳引機之種類大小甚為分散，有時以噸數或馬力進行分級。大體而言，小型者為 10-20 馬力，重約 1 噸；中型者 20-50 馬力，重約 2-4 噸；大型者 50 馬力以上，重約 5 噸以上。

特殊用途之曳引機則如前述之耕耘機，馬力約在 10hp，但亦有達 15hp 者，在國內耕耘機均應用於田間犁耕，以兩輪為主。國外則以應用於割草為多，亦有乘坐型者，但均為四輪。另有果園型曳引機則是果園專用，其外殼常用流線型護蓋，且座位亦較低，以避免傷及果實或樹枝傷及駕駛者。

除以上所述之曳引機外，其他特殊曳引機則有四輪傳動曳引機及農具曳引機等，或有沿傾斜地之等高線行駛時可以適應坡形而使車身保持水平之專用曳引機。



圖 8.3 四輪曳引機



圖 8.4 果園型曳引機



## 圖 8.5 履帶型曳引機

### 8.7 未來的曳引機

未來的曳引機當然不能冀望它變成像跑車那麼快，但是它的穩重、舒適、操作方便，則是可以預期的。未來的曳引機將著重在控制與作業資訊的傳遞，一般耗油量、打滑率、行進速度的資訊已廣泛應用在較現行化的曳引機上了，而播種效率、收穫狀況監視、噴藥量控制等等之應用亦是近幾年來的研究開發的目標。

無段變速的功能亦開始被採用，如此可以節省操作者不少不必要的動作（除非有些操作者仍然著迷於從前的方式）。未來通訊的發展亦將會很快應用到曳引機上，當然這裡所講的並不是收聽廣播等一類的東西。利用衛星定位(GPS)的方式，不久將曳引機上實現，只要將田區情況預先作安排，曳引機必可自動地沿設定的路徑前進，並可以決定到何時停止。到時，操作者不爽的話，走下曳引機來，抽根煙也無所謂。因為機器還是會照原訂計畫做完（那樣的話，花錢請操作員做什麼呢？）。

### 8.8 曳引機的性能

#### 8.8.2 曳引機之工作

依工作之性質、狀況及目的等可有下列利用方式：

1. 牽引作業 利用曳引機之牽引裝置從事拖曳的工作，其中以犁耕為主。項目包括西洋犁、日本犁、耙、碎土器、耙土機、中耕器、施肥播種機及水田中耕除草器等。
2. 推進作業 如平土板、除雪板、中耕器安裝於曳引機體之前端或下腹部，從事向前推進之作業。
3. 行走驅動作業 如迴轉鋤、耕耘刀、入土用轉動鋤、培土器等可安裝於機體之後方，利用曳引機動力傳導裝置予以驅動，

且曳引機同時行進者。另如收割裝置、噴霧器、鼓風機、散粒機、堆肥撒佈機等安裝或搭載於機體之前端或上方，當曳引機前進之同時配合驅動運轉者。

4. 車軸驅動作業 將曳引機兩車輪卸下，然後在該車軸上換裝各種型式之迴轉鋤而作碎土機之用；或在該車軸上換裝靴子以從事踏麥工作者。

5. 定置作業 將曳引機停止一處不動，而僅利用引擎上之皮帶輪，以驅動脫穀機、迴穀機、抽水機、動力鋸以及切碎機等之定置作業。

## 8.8.2 牽引力

曳引機之主要任務在於拖曳作業機械，故牽引力為其重要之性能之一。牽引力之發生係由引擎出力軸之扭矩轉換為車輪與地面接觸時對土壤摩擦阻力以及輪胎花紋對土壤之剪力所發生。其大小受曳引機之重量、型式、引擎出力、行走裝置之構造與土壤狀況等。

設牽引力為  $F$ [kg]，其值可用公式計算：

$$F = \frac{\eta T}{100 \times R} \times \gamma_v$$

式中， $\eta$  為動力傳動之機械效率[%]； $\gamma_v$  為總減速比； $T$  為引擎扭力[kgm]； $R$  為驅動輪半徑[m]。

一般動力傳動之機械效率  $\eta$  約 70%，最高值可達 95%。由於上式僅計至車輪部份之牽引力，由於車輪與土壤間有接觸損失及滾動阻力，故實際之牽引力值  $P$  仍比上述  $F$  值為小。其比值  $P/F \times 100$  約 60-70%，或稱為機械利益。

土壤之水分亦會影響上述值。一般土壤水分 15-16%時可以得到最大的牽引力。

### 8.8.3 牽引係數

牽引係數為實際牽引力  $P$  與驅動輪軸之荷重  $W$  之百分比。  
即：

$$\eta_{coeff} = \frac{F}{W} \times 100\%$$

橡膠車輪之牽引係數如表 8.1 所示。

表 8.1 輪式曳引機之牽引係數 (輪胎氣壓  $0.48\text{kg/cm}^2$ )

地面狀況	牽引係數[%]	打滑率[%]
水泥地面	66	5
乾燥黏土	55	16
砂壤土	50	16
乾燥細砂	36	16
石礫路面	36	5
牧草地	36	8

當曳引機負載增加時，車輪之打滑率也會增加，車輪因而發生空轉現象。打滑率(Slippage)為理論速度與實際速度之差，可用下式表示：

$$s = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100$$

式中， $V_0$  為車輪之圓周速度， $V$  為車輪之前進速度。輪式曳引機之打滑率如表 8.1 所示。打滑率亦可用來定義曳引機之前進運動效率，或稱為打滑效率  $\eta_s$ ，其值為：

$$\eta_s = 1 - s/100 = \frac{V}{V_0}$$

### 8.8.4 牽引效率

當曳引機拖拉一農具時，經過拉桿所傳遞之出力即為拉力， $F$ ，若行進速度為  $V$ [m/s]，則其拉桿馬力( $P_d$ )為：

$$P_d = \frac{FV}{75} \quad [ps]$$

設引擎之軸馬力為  $P_s$ ，則牽引效率  $\eta_t$  即為  $P_d/P_s$  之百分比，或：

$$\eta_t = \frac{P_d}{P_s} \times 100\%$$

就車輪與地接觸的部份，由於車輪前進時具有滾動阻力，則上述之實際拉桿力  $F$  與行走機構所產生之推進力  $H$  之百分比稱為滾動阻力效率， $\eta_R$  或：

$$\eta_R = \frac{F}{H} \times 100\% = \frac{F}{F + R} \times 100\%$$

其中  $R$  為水平之滾動阻力。

若曳引機動力傳遞系統之機械效率為  $\eta_m$ ，則曳引機之總牽引效率  $\eta_F$  應為：

$$\eta_F = \eta_R \eta_s \eta_m$$

圖 8.6 說明由引擎輸出的馬力消耗在各項損失及轉換為有效拖桿馬力間之分佈情形。在不同的操作環境下，曳引機之總牽引效率亦有很大的差異。例如：一 40kW 之曳引機若在良好的路面作業，其拉力為 23.6 kN。打滑率為 8% 時則可提供 33.2 kW 拖桿馬力，其總效率可達 83%；反之，若在剛犁耕過之田地操作時，其打滑率變為 15%，其拉力變為 19.5 kN，拖桿馬力僅為 25.2kW，總效率降至 63%。



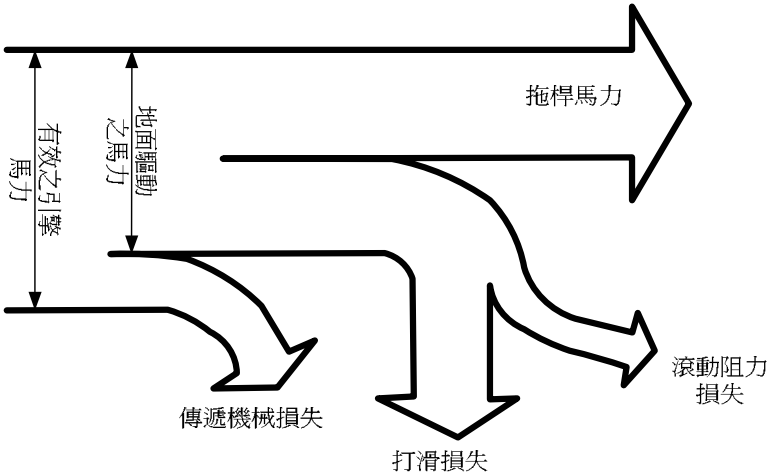


圖 8.6 曳引機作業體系之各項馬力損失

## 8.9 搬運機械

搬運是生產過程中最基本的作業。無論在農事作業或產業方面，資材之搬運是經常必須進行的工作，有時可能配合在生產過程，有些則配合在銷售的活動之中。而農業方面，由於農業機械化之發展，搬運機械需求也日益增加，有些機械化的過程則完全由搬運機具串接而成，構成一個自動化之流程與體系。

### 8.9.1 搬運機具之種類

搬運作業依作業性質及作業區可分為簡易搬運機具、車輛運載機具及坡地果園軌道設施之搬運設備等。簡易搬運機具如推車、單輪及多輪動力搬運車等，可以在特定區域或園圃內進行搬運的工作。車輛運載機具則可作較遠距離之資材搬運，有些是適合山坡地環境之搬運車，有些則屬大型卡車。另外在山坡地坡度較為陡峭的地區，水果之輸送及搬運則採用固定軌道系統，或在

水稻育苗中心以固定的空中輸送機作場內各項秧盤之搬運等，均屬定置型之搬運機具。

搬運物質之形狀不一，故如何有效率地進行運搬運工作，相當重要。其經常採取的措施包括：

1. 壓縮 將搬運之對象物經壓縮，使體積縮小，如牧草包、壓塊等，均必須經過處理後才能順利的運輸。
2. 包裝 採用袋裝或固定容器包裝，如花卉、種苗等，使其容易托運。
3. 細化 能夠經由細化或粉碎之資料先行處理，使其具有流動性，容易進出料。如狼尾草收穫時先經細斷，玉米採收時先行脫粒等等。
4. 節省能源 多採用省能源的處理方式，或利用其重量自然落下，如供給稻穀進入選別機等。
5. 動線合理化 適當選擇移動路線、搬運速度及機具，減短搬運機械之作業週期。

茲就各種可能應用之搬運機具分別說明如下：

### 1. 貨車

引擎排氣量 50cc、裝載量 3.5kN 之輕型貨車較富機動性，價格亦較低廉，維護費亦低，故常作為近距離搬運用。這種機型可在園圃場內行駛，其速度可在 1m/s 以下低速行駛，因此可以跟隨收穫機作業。且由於此種車輛具 PTO，可以作為散佈作業之動力源。其在軟地及傾斜地行駛時，仍具有相當優良的性能。

### 2. 拖車

可以利用曳引機為牽引，具有四輪之拖車均具有 10-20 之傾卸功能，有些機型則可有三方傾到的機構，使月手時相當方便。有些機型可專門運送具有容器之農產品。容器因此可以堆疊，不會壓壞作物。

### 3. 牧草搬運車

一般牧草均需經細段處理，此種牧草專用車則備有輸送帶，可以直接卸料。另專為檢拾設計之搬運車亦可進行堆積搬運，以節省空間。堆積的牧草有壓縮成方塊，以整塊為單位進行堆積、搬運及下卸的作業。

#### 4. 動力搬運車

具有一至四輪之動力搬運車適合於果園中作業；另六、八輪則適用於不整地、傾斜地及水田等。其裝載量為 1-1.5kN，八輪車則可達 10 kN。多輪式雖適合於不平地面，但因採用離合器，其操作方向較為困難；最近亦有改用油壓者。小型動力搬運車可以在溫室內作物料管理，也可開發成搬運機器人，使操控能完全自動化。

### 8.9.2 坡地搬運設施

山坡地果園均屬陡坡作業，其坡度約在 30 度，搬運作業除利用特殊機具外，亦有利用單軌設施者。這種單軌車沿地表面空中架設，使搬運車跨軌或懸掛行駛。由於其坡度有時甚陡，為安全起見僅能運載農產品，不能載人。其採用之動力有空冷二衝程汽油引擎(出力 2.2 kW)，動力經由變速並傳遞至驅動小齒輪，與單軌下側之齒條相啮合，驅動車體前進。

車體之後方則屬載台，可以裝卸資材或農產品。此台有剎車裝置，可以控制下坡之速度，亦可使整個機台保持靜止，以供作業。此剎車並有緊急剎裝置，遇超速時可以自動剎車，以保障車體之安全。

除搬運功能外，單軌設施亦有沿果樹頂上架設者，如此可在軌道上安裝作業機械如剪枝機、噴藥機等，以進行管理與病蟲害防治作業。

### 8.9.3 移動桁架系統

移動桁架(Gantry)系統是一個可以進行軌道型移動之橫向桁架，利用其整個桁架之移動性可以在特定範圍內進行農事生產、

管理、收穫及搬運工作。這種桁架系統之開發旨在以高效率的方式，就特定田區進行精耕。一般應用於溫室、育苗場及花卉繁殖場。

移動桁架系統具有兩種型式：即自走型與軌道型。自走行桁架或稱為寬跨距車輛型，由一具輪距很大的車體組成，可以利用動力自行在園圃中循一定路線行走，兩端可為車輪或履帶。歐美以旱作為主的國家應用甚多，其優點如下：

1. 減少曳引機在田間之碾壓，造成土壤的壓實問題。
2. 減少對作物之損傷。
3. 土壤在極為鬆軟或土壤水分過多之條件下，仍能繼續作業。
4. 資材、農產品、勞動力之搬運能力大、作業寬度大，可提高作業效率。
5. 適合於需要多人同時作業之工作。

軌道型桁架系統之桁架則在一定的軌道上移動，成為一種固定的設施，也利於自動化，甚至無人化之作業。其優點如下：

1. 可自動行駛，作定點控制，成為機器手臂之另一種變形。
2. 不論晴雨，均可作業，作業精度高。
3. 其動力可利用電力或太陽能。

軌道桁架系統廣應用於國內之水稻育苗中心，擔任苗箱之進出等搬運作業，又稱為空中或高架輸送系統。

## 8.9.4 移動桁架之構造原理

### 1. 自走型桁架系統

以履帶為行走裝置，由操作人控制。圖 8.7 所示為一台蔬菜專用之收穫桁架系統，其跨距為 9m、高度 0.62m，寬度 1.33m 全重 7kN 之自走型桁架系統。其履帶長為 3m，寬 0.5m。整個平台成為作業場所，為配合作業，整個跨距上置有六個堆高機構及三

點懸掛架。採用 60kW 柴油引擎為動力，其系統完全以油壓控制。

這種工作平台屬多功能之型式。利用其作整地用途時，可以在桁架之上堆高機處各裝 45Kw 之引擎帶動迴轉式耕耘刀，進行碎土作業。至於播種、移植等作業則可將相關之機具在三點懸掛架上安裝，每次可以三行或五行同時操作，懸掛架可以在平台上橫向移動，以涵蓋整個區域之作業。若進行病蟲害防治作業時，則可在其上安置藥箱及高壓泵，噴藥桿則沿平台之橫斷面布置，一次完成全區之作業。收穫時則可在平台上裝設輸送帶，將收穫之農產品加以集中。

桁架之兩端各備有車輪，可以當作枕頭地橫向移動之用；當整台系統要在公路上搬運時，亦可以將兩端車輪同時放下，抬高履帶，由曳引機拖帶，其最高速度為 32km/h。

## 2. 軌道型移動桁架

日本曾研究使用 20m 跨距之軌道型桁架系統，可裝中耕機具、插秧機及聯合收穫機(77Kn)。以系統係以無人化為目標，用感測器、電腦等控制行走裝置及作業部之定位。圖 8.7 為其應用的例子。在單行作業行程中，可令桁架定位在該行之位置，該作業機具沿桁架方向移動，並進行作業。因此桁架的長度方向承受作業機之阻力。

國內在水稻育苗方面則採用高架輸送機，架設於水泥軌道上，其單一跨距有 25m 及 30m 者，可以串聯成更長的桁架。這種桁架以輸送育苗箱為主，每小時達 1000 箱以上。其結構是將兩條平行的三角皮帶裝設於桁架上，進行苗箱縱向輸送。桁架斷面呈梯型，上部寬度為 48 公分，下部寬度為 75 公分，高度為 43 公分。桁架可依照綠化場長度大小來進行多節串聯銜接。每節桁架均設有開關，可控制所有輸送帶運轉或停止，桁架兩端具有驅動輪，以馬達同步驅動做橫向移動。驅動輪行走於水泥砌成之軌道上，軌道寬度為 30 公分。由於此種搬運系統採用 X-Y 方向移動的原理，因此綠化場區塊需呈長方型或正方形，作業時方能涵蓋整個綠化場。圖 8.8 為高架輸送機系統。

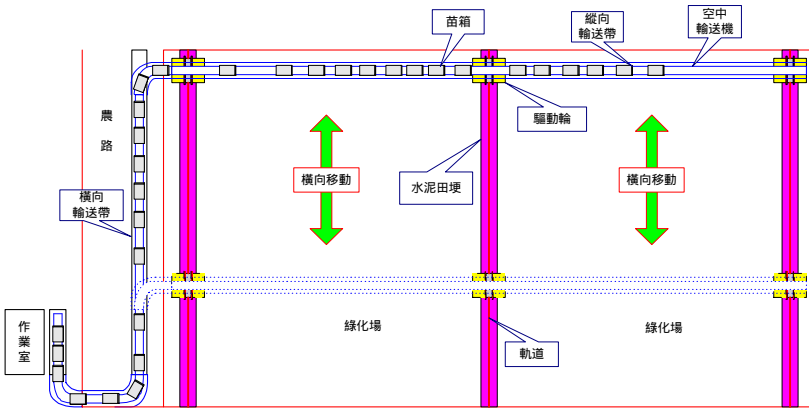


圖 8.8 高架輸送機系統



圖 8.9 育苗中心之高架搬運系統

### 3. 卸取箱機構

由於育苗中心之作業中必須將播種後之苗箱送至綠化場綠化，再將綠化之秧苗提出綠化場。因此國內有配合高架輸送機設計自動卸取箱機，其考慮點如下：

1. 具有固定載台：由於卸箱與取箱裝置具相當重量，且必須配合輸送帶作業，故在應用時須有固定的載台可以支

撐。

- 2.卸箱取箱功能應同時存在：卸箱與取箱兩個動作大略相同，方向相反，結合設計將能減少機構之複雜度，空間亦較為節省。
- 3.輕便為原則：整套機械需裝置在移動載台上，必須輕便，以利在綠化場中移動自如。

圖 8.10 是根據上述原則所設計之往復式自動卸取箱裝置概念圖。苗盤每三盤一疊，自中間之運送機送來，經由中央夾持組合以輪替的方式，將其送至兩旁之升降夾持組合，再將之下降置放於地上。由於是三盤為一疊，故每次下降必須按順序將三盤分開平置於地面。當一側下降進行鋪設工作時，另一側之組合則升高至最高點，以等待由中央夾持機構將第二疊送至夾持組合中。

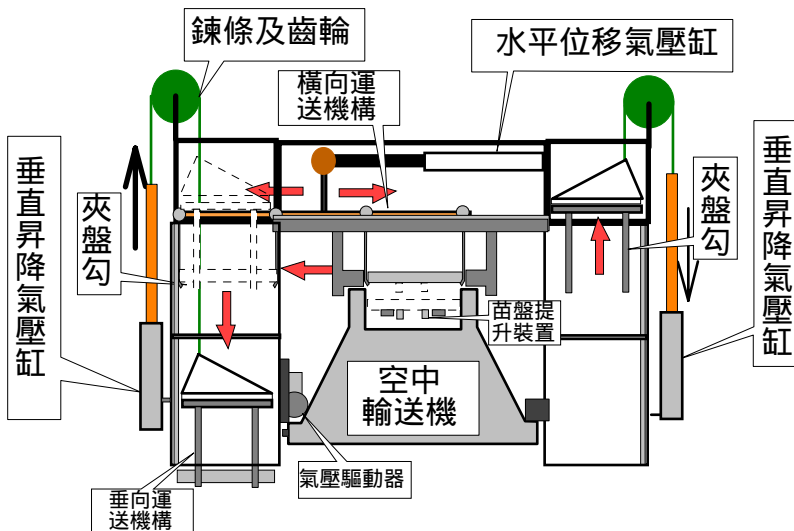


圖 8.10 往復式自動卸箱裝置動作流程示意圖