

An aerial photograph of a vast agricultural landscape. A dark, winding road or canal cuts through the fields. In the center, a small, light-colored building is visible. The fields are divided into various sections, some of which are green, suggesting crops, while others are brown, indicating tilled soil. The overall scene depicts a typical rural agricultural setting.

耕地的管理

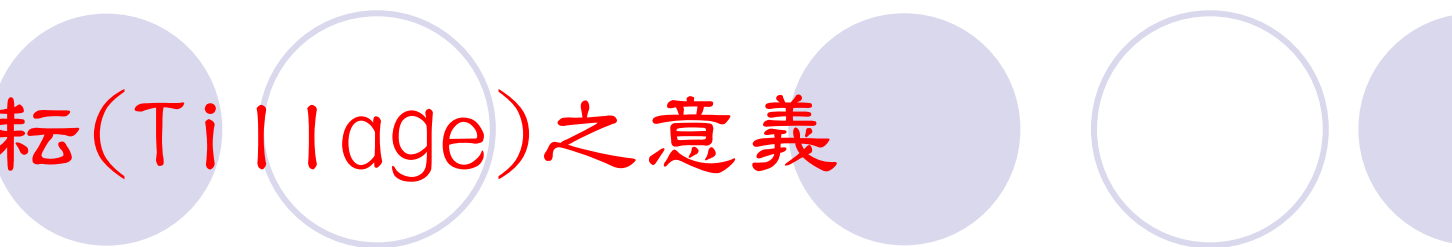
生物產業機電學系
馮丁樹教授

課堂重點

- 農事作業之範疇如何？
- 犁耕之目的為何？

農事作業範疇

- 1. 初次犁耕。翻轉土壤並掩埋雜物及雜草，以控制其滋長。
- 2. 二次犁耕。整理土壤，使其坵塊符合所需之大小及分佈，土壤具良好的透氣性及透水性，以利種子或作物的生長。
- 3. 播種及移植：將種子或秧苗以正確的深度及間隔植入土中。
- 4. 作物保育與管理作業：包括噴藥、除草、施肥等項。
- 5. 收穫：採集所需的作物部分以供進一步使用。
- 6. 加工：將收穫後之穀物或農產品原料進行加工，使其易儲存或使用，並轉換成可供銷售的形式。
- 7. 運輸：運用不同的階段流程將物資運送到所需的地方。



耕耘(Tillage)之意義

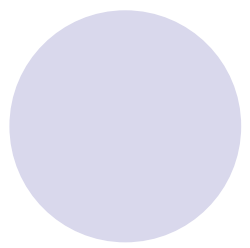
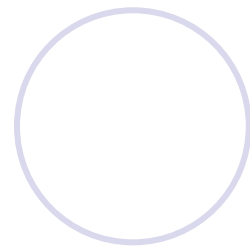
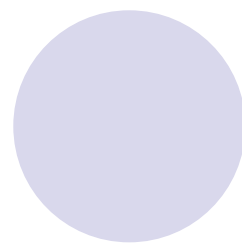
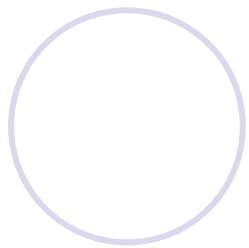
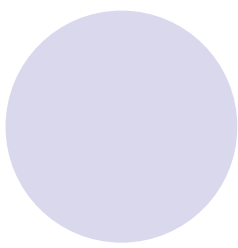
- Plowing, seedbed preparation, and cultivation practices
- The mechanical preparation of the soil by tractor-drawn implements to produce a seedbed for plant growth
- Preparation of a seedbed involving soil disturbance or displacement
- The operation of implements through the soil to prepare seedbeds and rootbeds, control weeds and brush, aerate the soil, and cause faster breakdown of organic matter and minerals to release plant foods (USEPA, 1993).

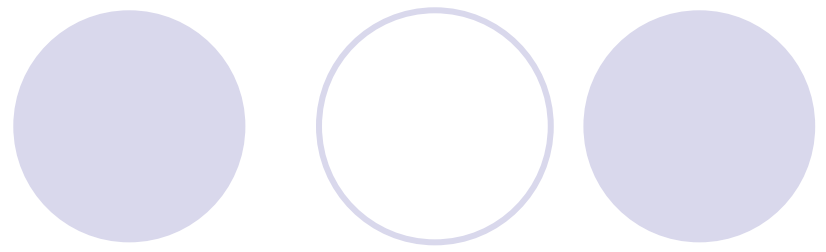
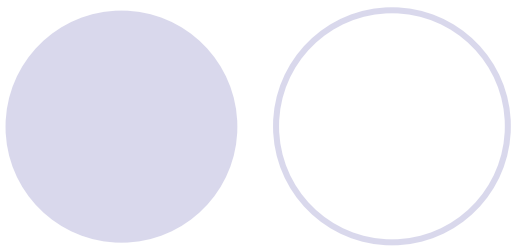
整地要克服的問題

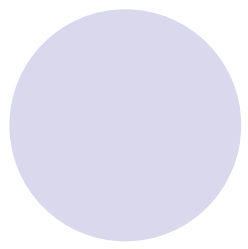
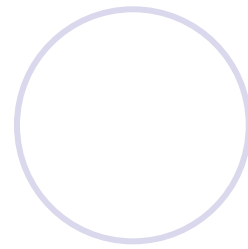
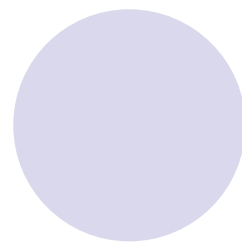
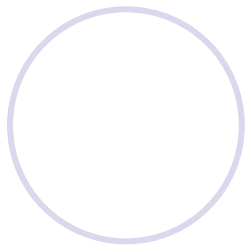
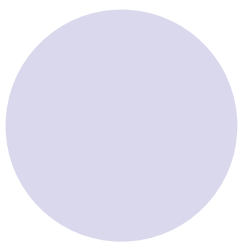
- 1. 不平坦的土地需整理使其平整；
- 2. 有雜草生長之地區應先剷除雜草，或防止其繼續蔓生；
- 3. 必須涵養水分的地區應能適時給水，故需預備良好的水道供水。所以整地應包括犁耕、翻土、碎土及整平等工作。

犁耕之目的

- 1. 土壤經翻轉，可埋覆雜草，以控制其滋長，並維持地力。
- 2. 增加土壤的透水性，減少雨水或灌溉水的流失。
- 3. 深層部位的土壤經翻鬆後，可使作物根部較易穿透，增加作物可利用之水量。
- 4. 提供發芽或發根所需要之溫度。

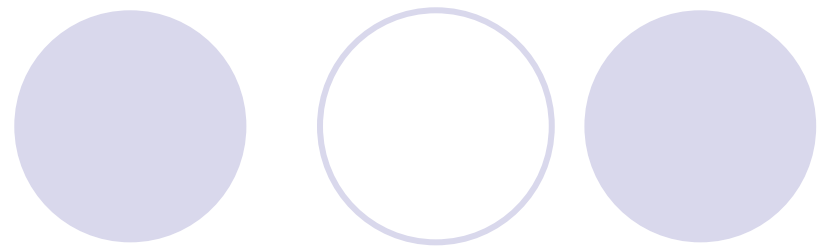
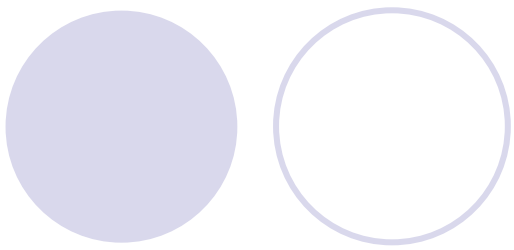


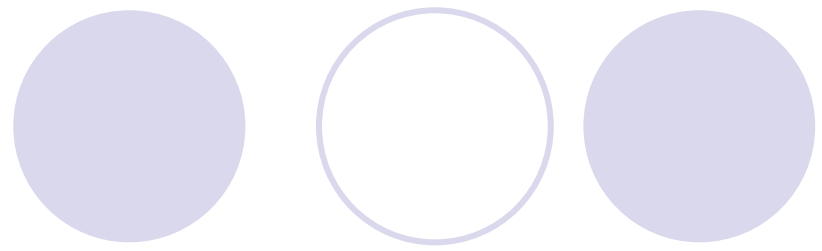
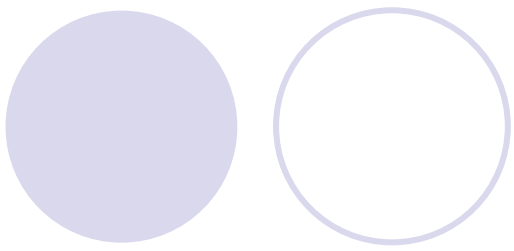


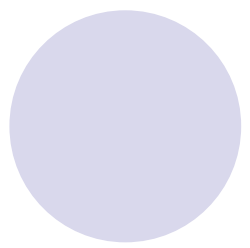
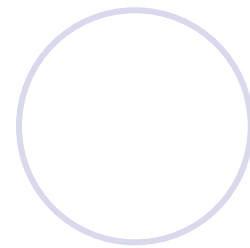
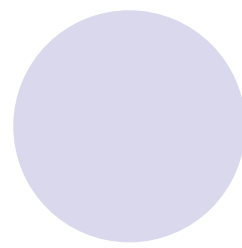
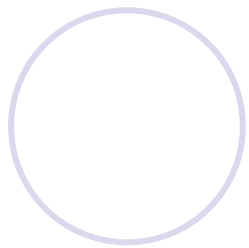
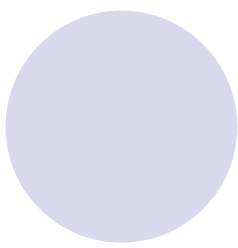


曳引機用犁的種類

- 板犁
- 圓盤犁
- 鑿犁
- 迴轉犁





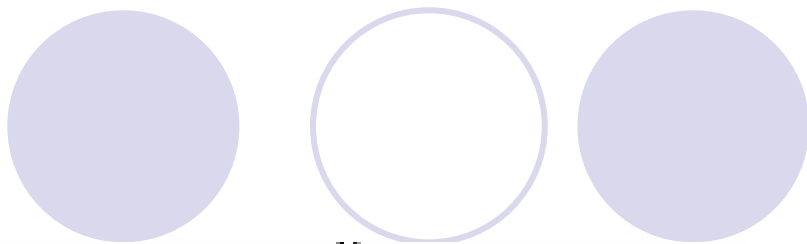


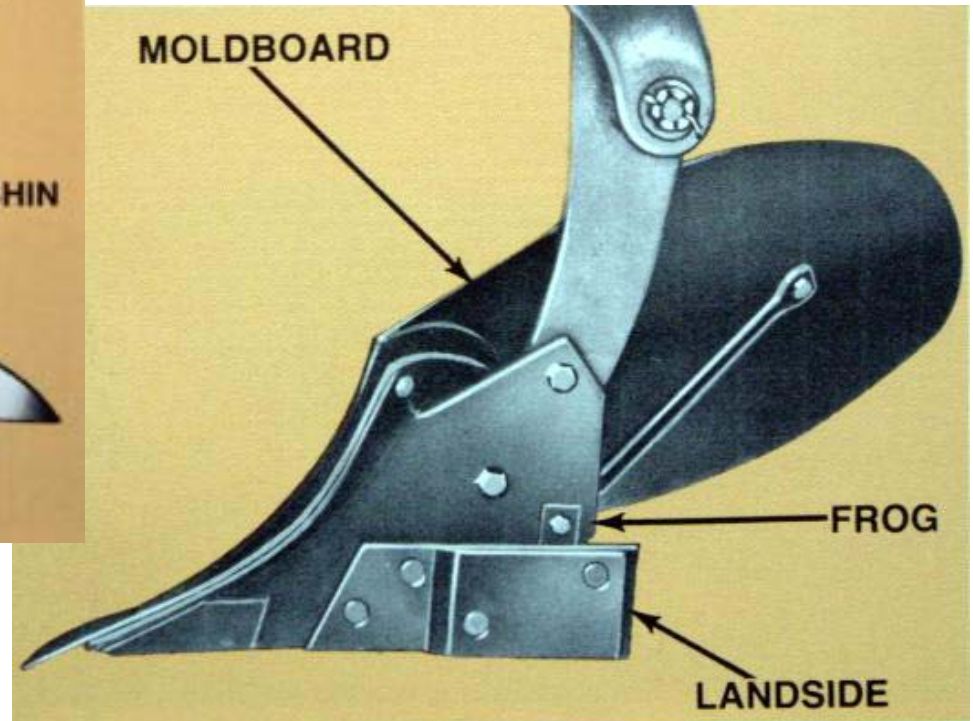
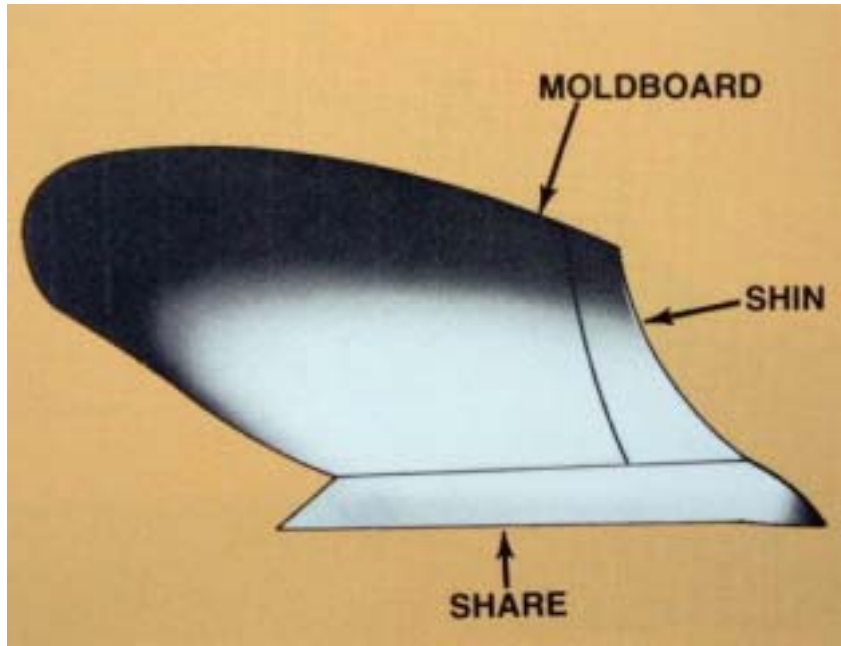
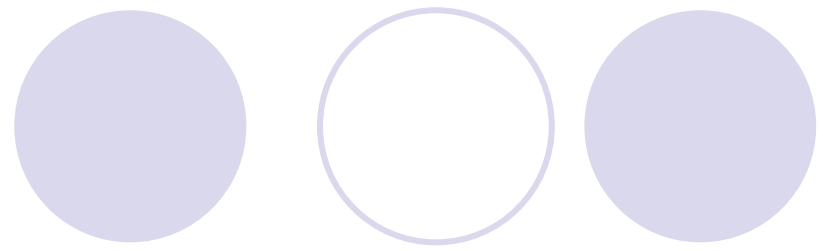
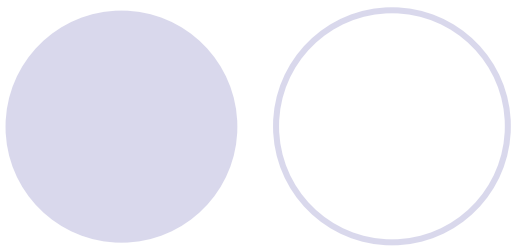
板犁的外觀



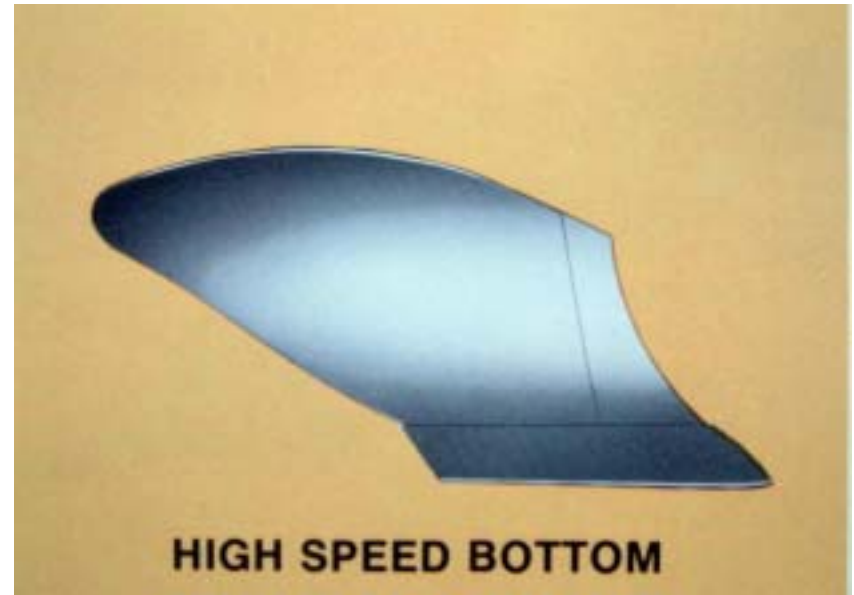


整體構造

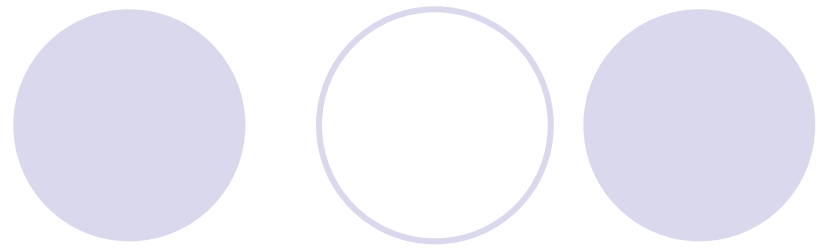




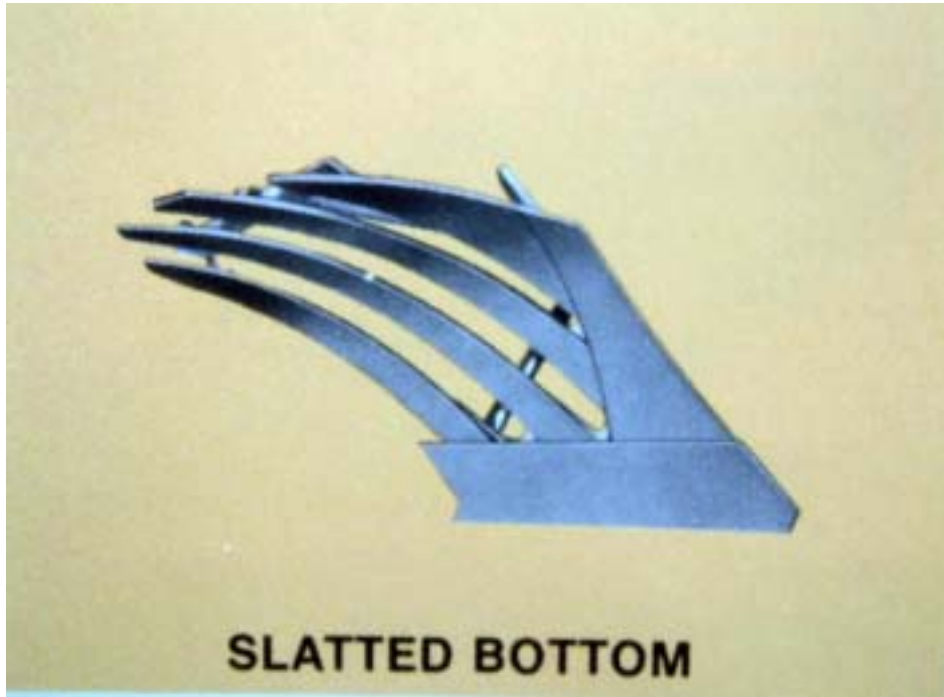
泛用型與高速型(扭轉型)



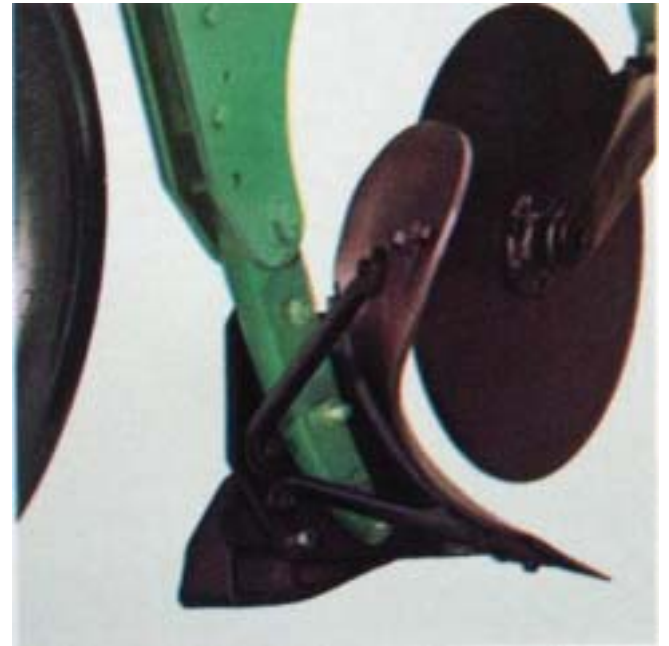
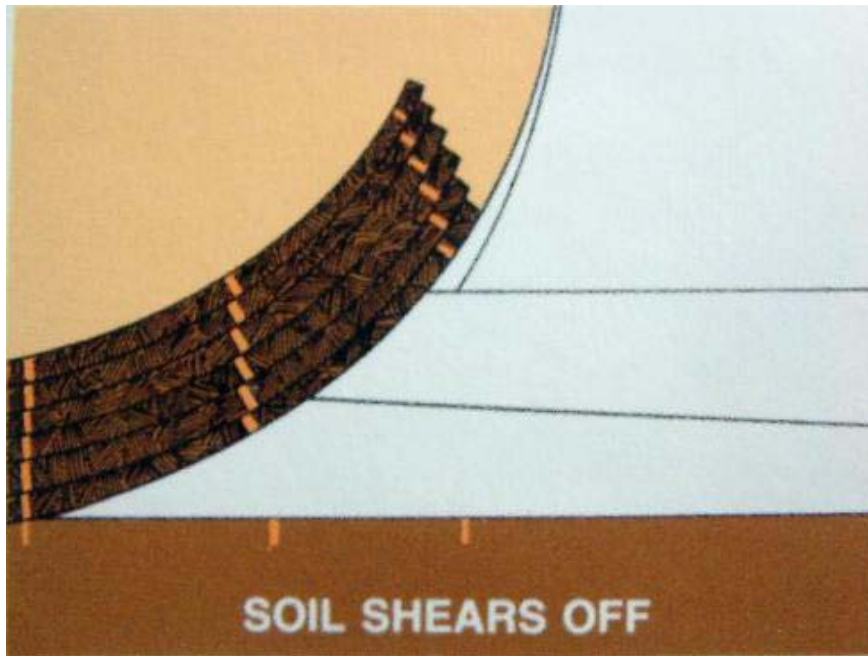
再墾犁(圓筒型)



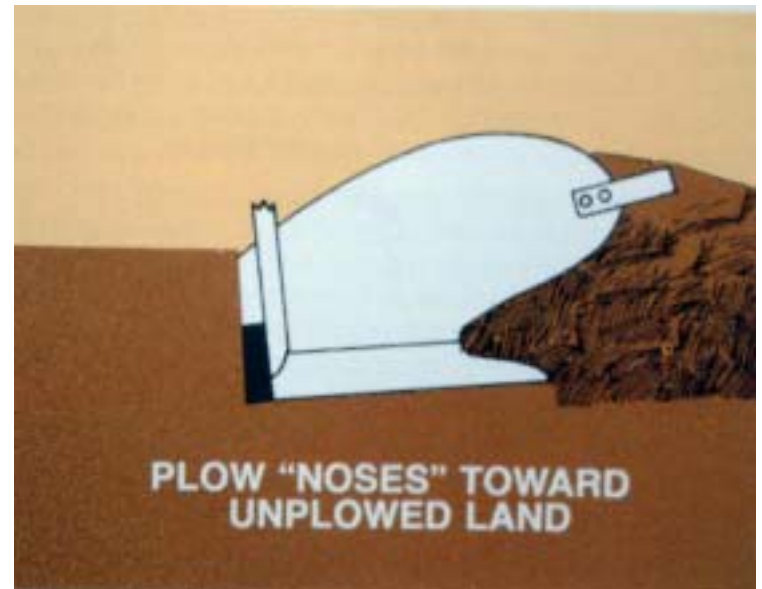
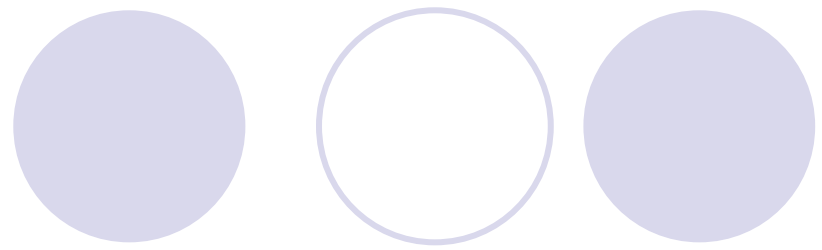
條型犁



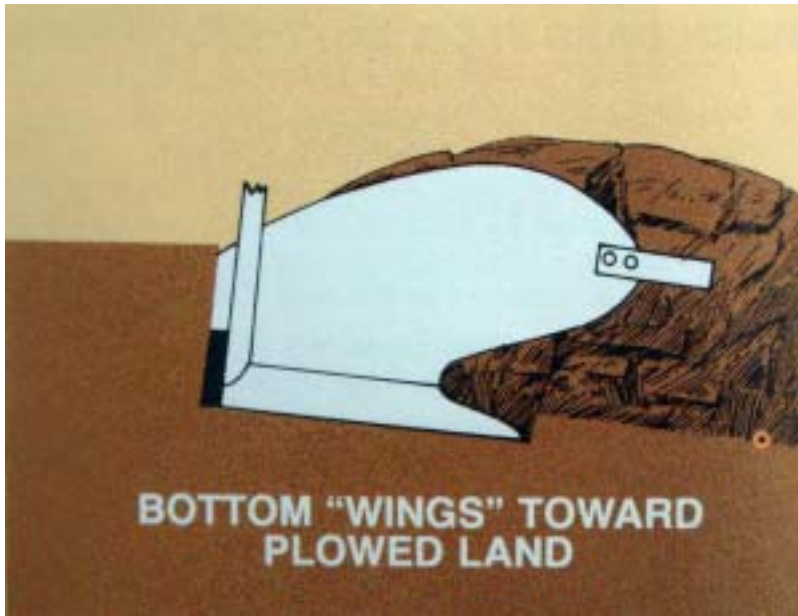
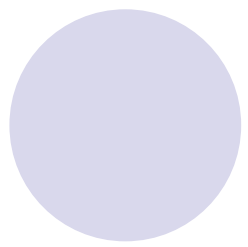
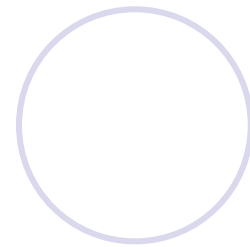
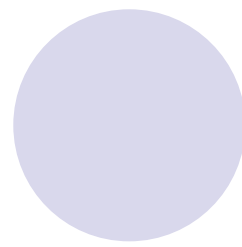
犁刀輪及犁鏵的抬土與切土



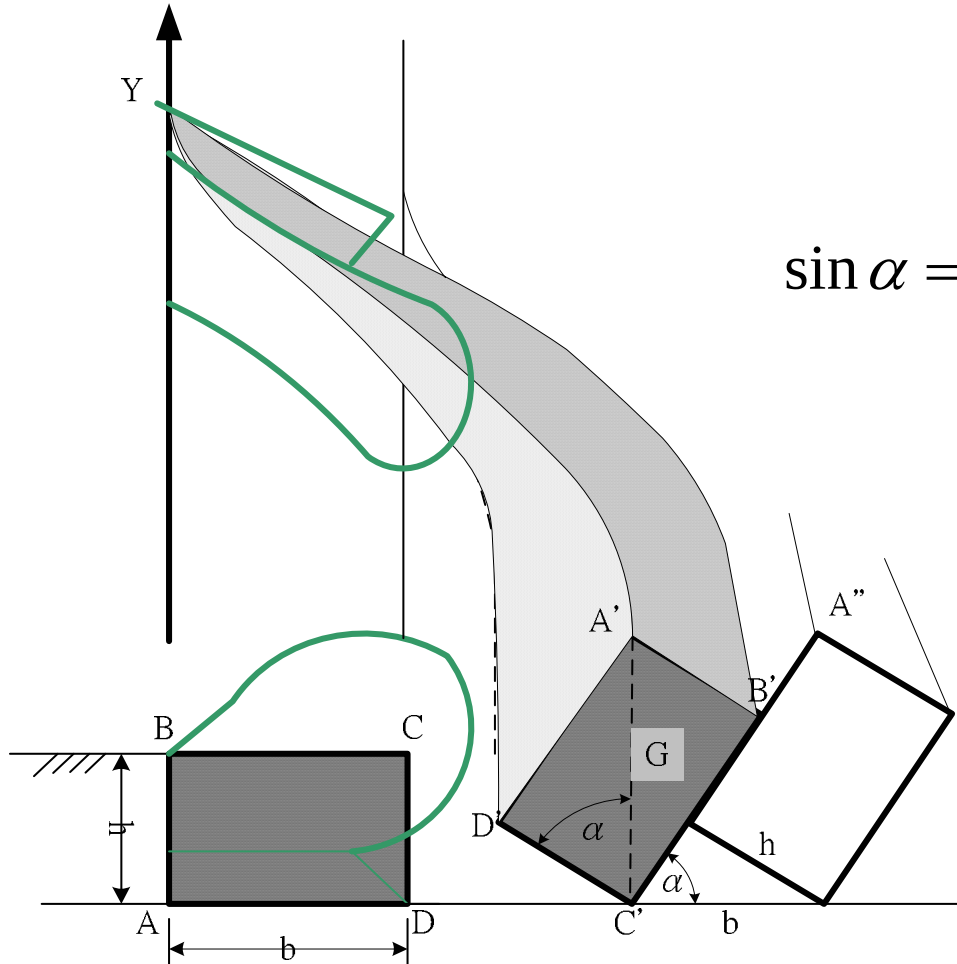
犁板之作用



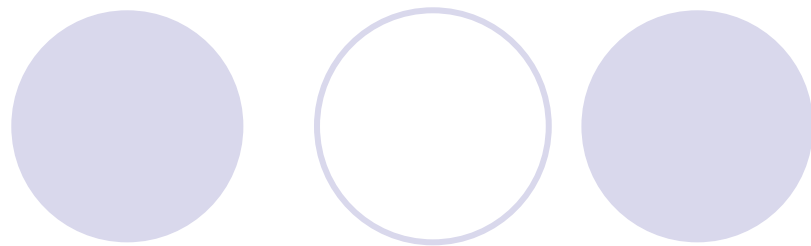
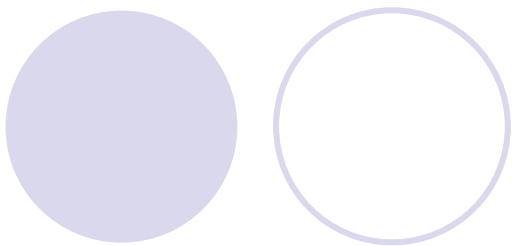
土壤完全翻轉



犁翻土之土塊翻轉關係



$$\sin \alpha = \frac{A'D'}{A'C'} = \frac{b}{\sqrt{b^2 + h^2}} = \frac{h}{b}$$



爲解上式，可設 $h/b=a$ ，則9.1式可改寫爲：

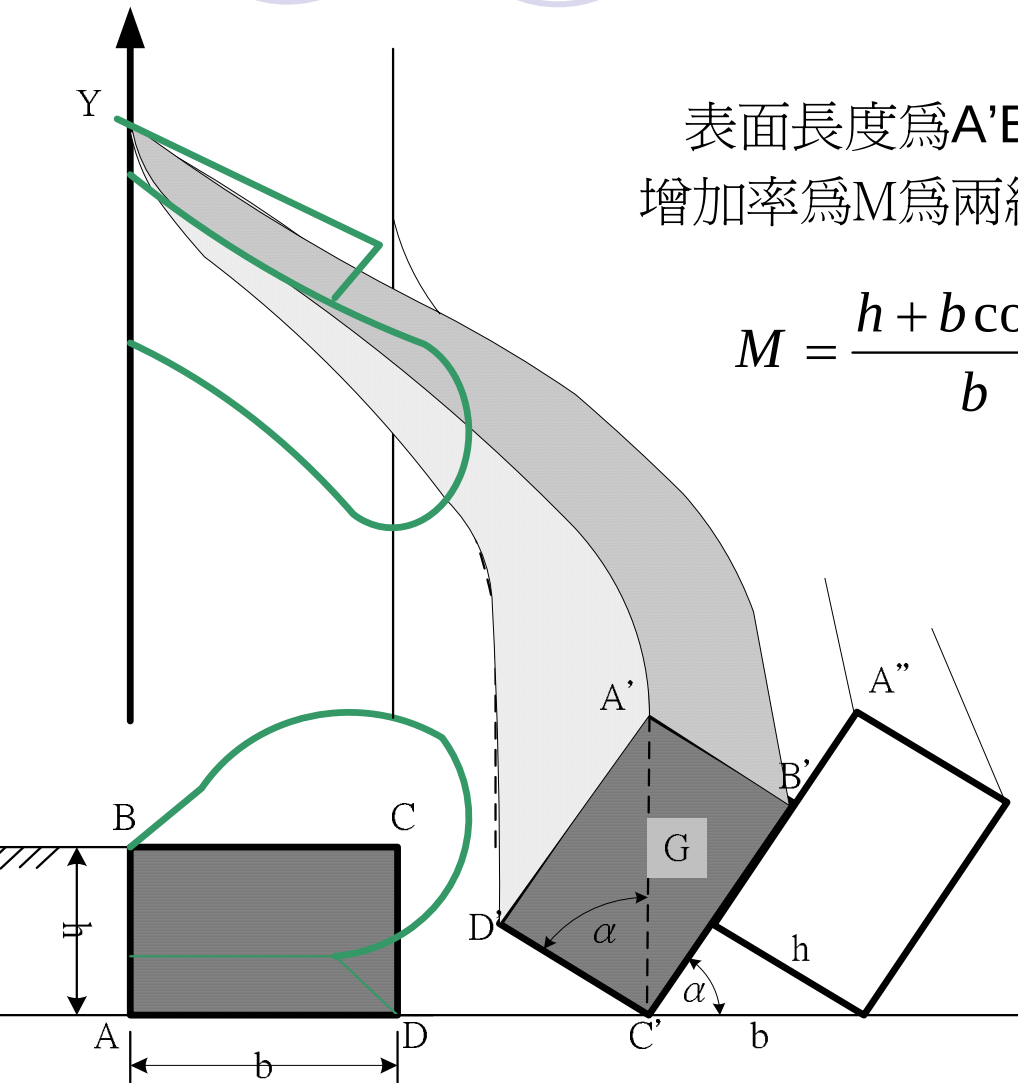
$$\frac{b}{\sqrt{b^2 + b^2 a^2}} = a \quad \therefore \frac{1}{\sqrt{1 + a^2}} = a$$

使用MATLAB撰寫程式

- %find the ratio of h/b
- a=1;aa=0.5;
- while abs(aa-a)>0.0001
- a=aa;
- aa=1/sqrt(1+a*a);
- end
- b2h=1/aa

執行之後可得 $b2h=1.272$ ，或 $b=1.272h$ 。

最大表面積之求法



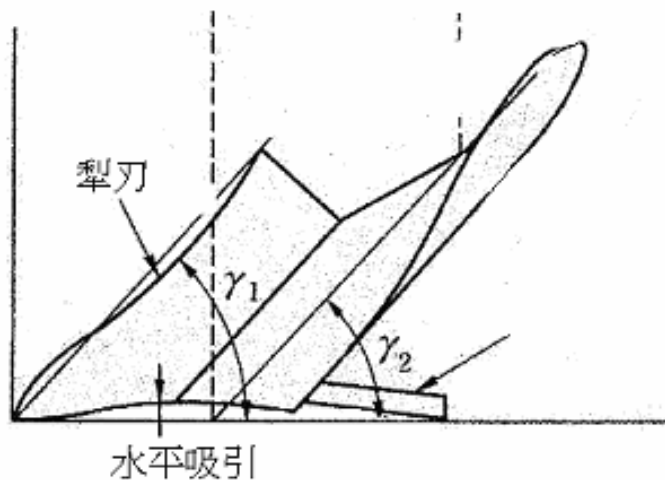
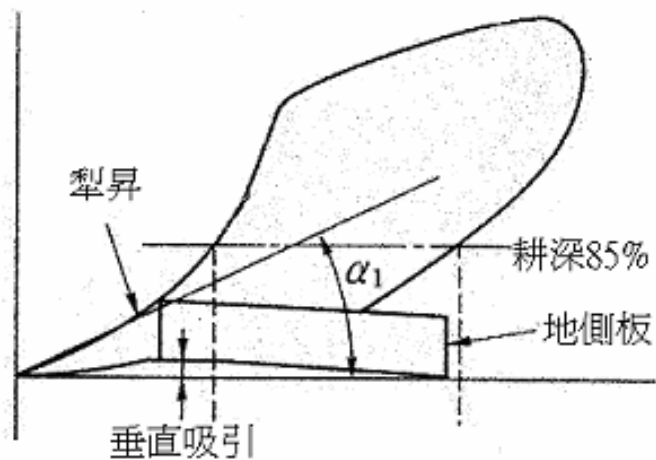
表面長度為 $A'B'A''$ ，其實際長度為 $h + b \cos \alpha$ ，
增加率為 M 為兩線段長度之比，則 M 為：

$$M = \frac{h + b \cos \alpha}{b} = \frac{h}{b} + \cos \alpha = \sin \alpha + \cos \alpha$$

$$\frac{dM}{d\alpha} = \cos \alpha - \sin \alpha = 0$$

$\cos \alpha = \sin \alpha$ ，或 $\alpha = 45^\circ$ 。
因此可得到 $b = 1.41h$ 之最佳狀態。

犁之吸引與角度

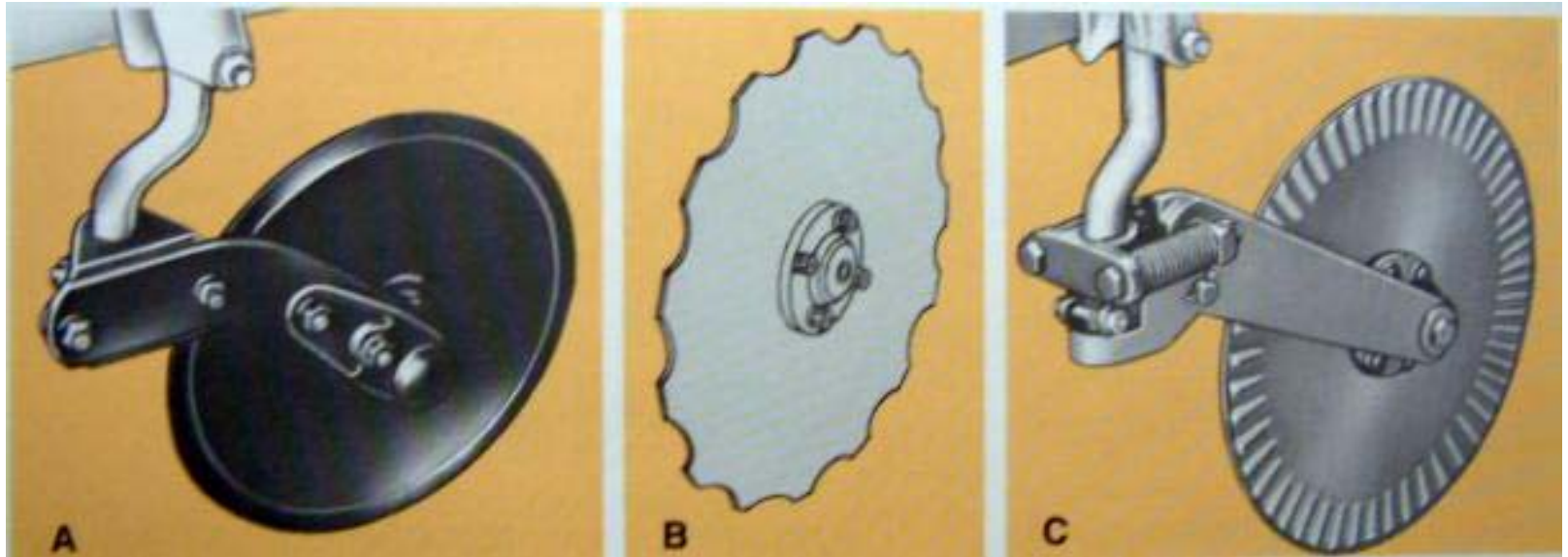


- 垂直吸引或下部吸引(Vertical suction)：在地側板下面，有助於將犁火吸引入土，並防止犁體之上下飄移變動，其值約為4-13mm。
- 水平吸引或側邊吸引(Horizontal suction)：在地側板側面，間隙約4-12mm，可以穩定犁的前進方面，並保持一定耕寬。
- 犁鏟吸引(Share suction)：在犁鏟刀緣下面約5mm的間隙，使切割土方容易使力。

板犁作業情形

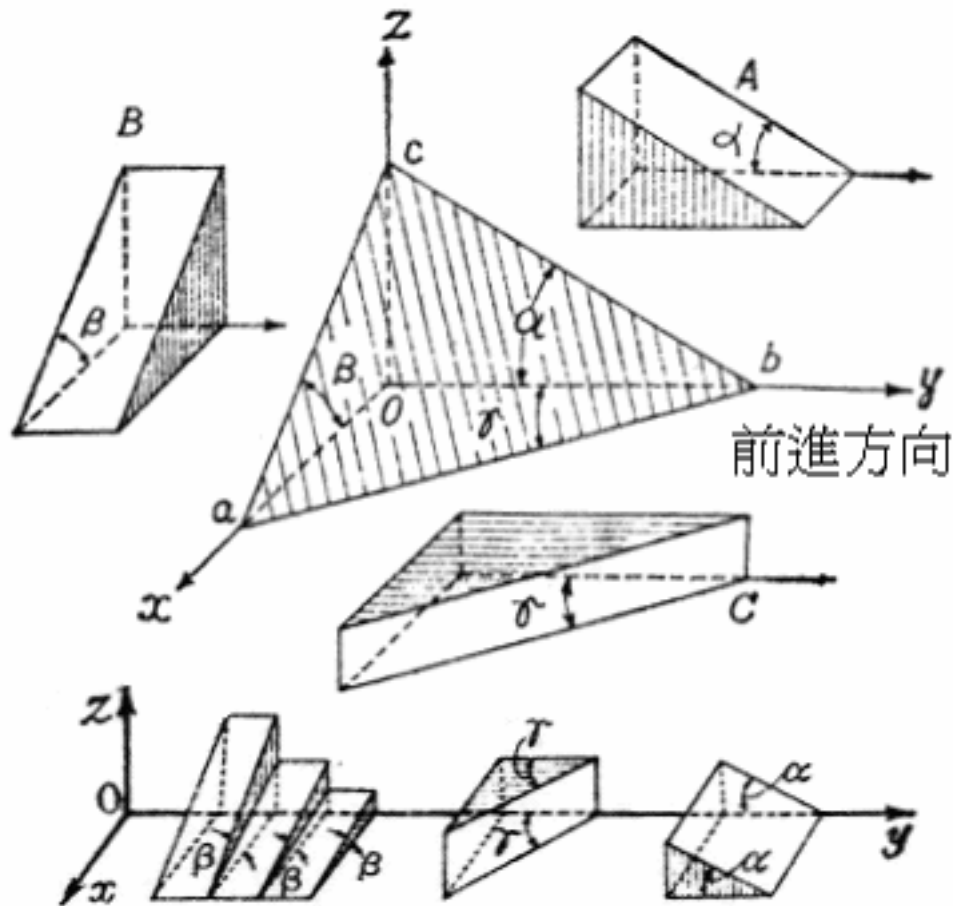


犁刀(Coulter)



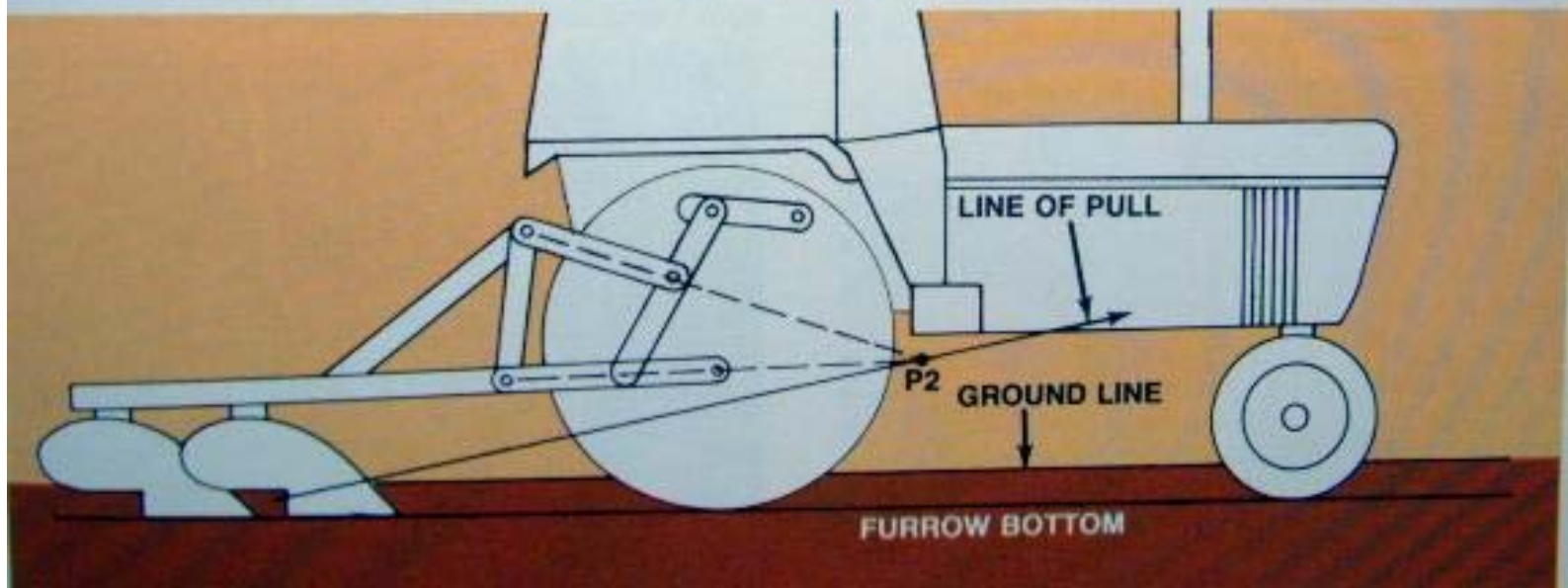
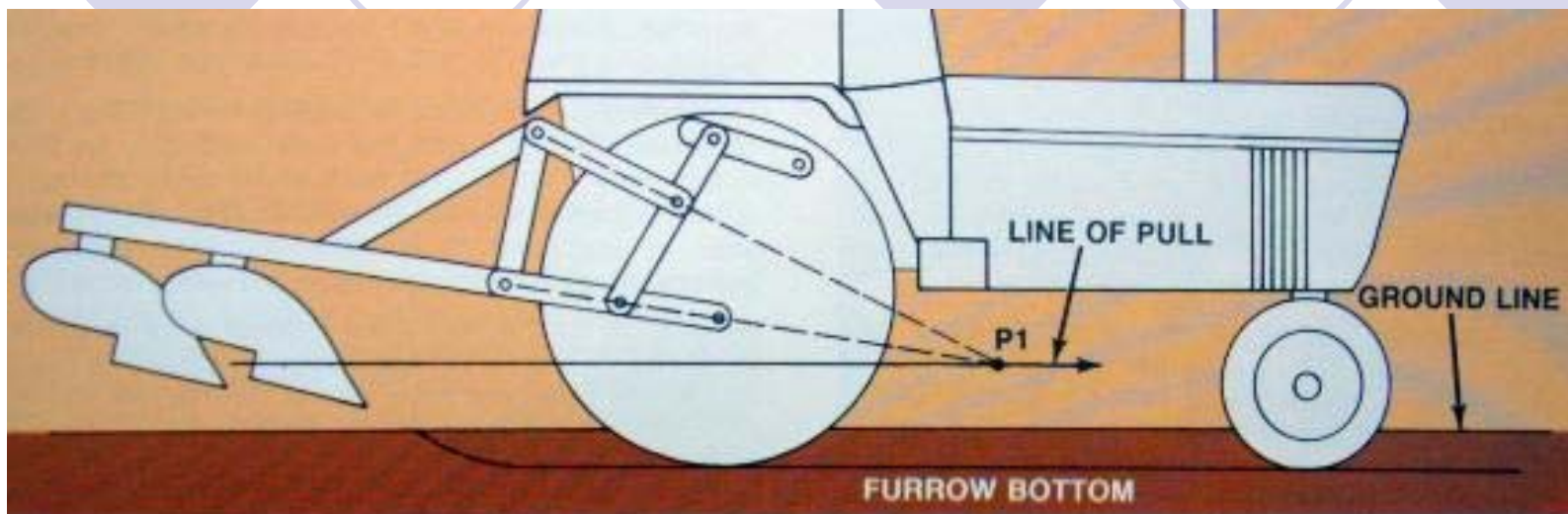
犁的特性--楔形理論

- 耕起角 α 、翻土角 β 及切斷角 γ 。
- 三個角度同時作用即可將土方耕起、切斷及翻轉，成為犁具之特性



不同土壤與犁曲面特性間之關係

土壤性質	耕起 角 α	翻土 角 β	切斷 角 γ	犁體曲 面	翻土板 寬比	碎 土	用途
	13-25	35-55	30-50				
砂質土	大	大	大	圓筒型	0.7-0.8	大	再墾用
壤土	中	中	中	泛用型	0.8-1.0	中	泛用
重黏土	小	小	小	扭轉型	1.0-1.3	小	新墾用



犁面所受的阻力

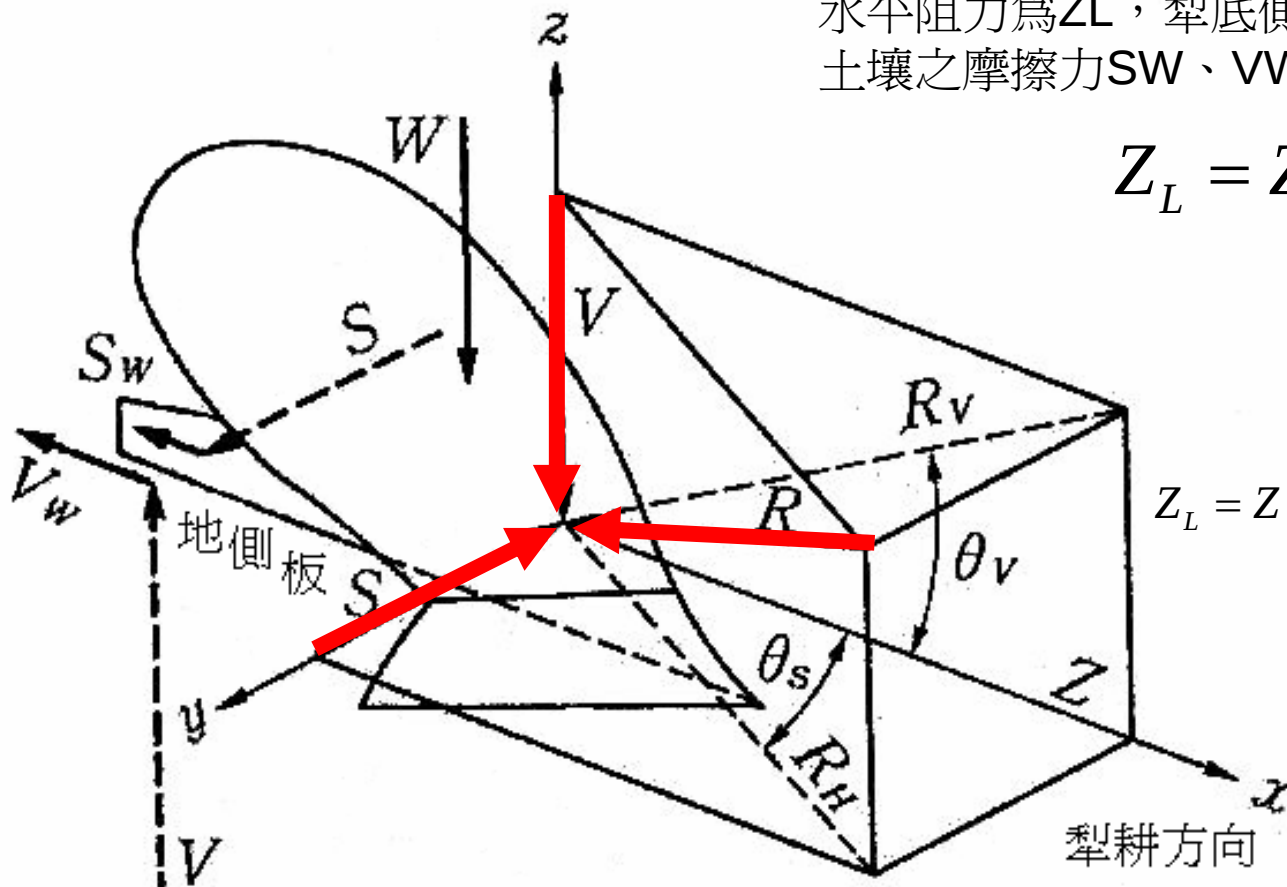
水平阻力為 Z_L ，犁底側面及底面與土壤之摩擦力 S_W 、 V_W ，其關係為：

$$Z_L = Z + S_W + V_W$$

$$S_W = \mu S = \mu Z \tan \theta_s$$

$$V_W = \mu V = \mu Z \tan \theta_v$$

$$Z_L = Z [1 + \mu (\tan \theta_s + \tan \theta_v)]$$



比阻力(Specific resistance)

- 每單位截面積之水平阻力

其值與耕耘速度 V 之開方成正比

- 其值與耕耘速度 V 之開方成正比

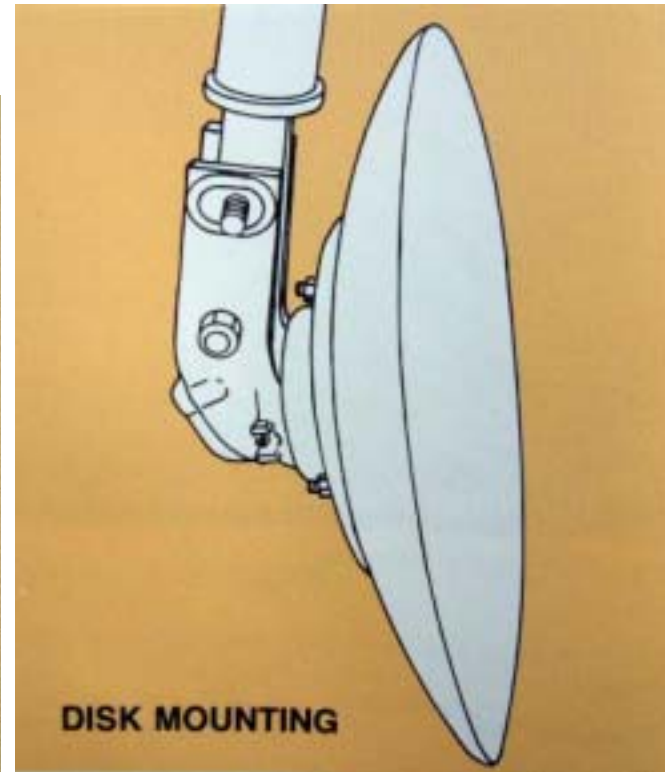
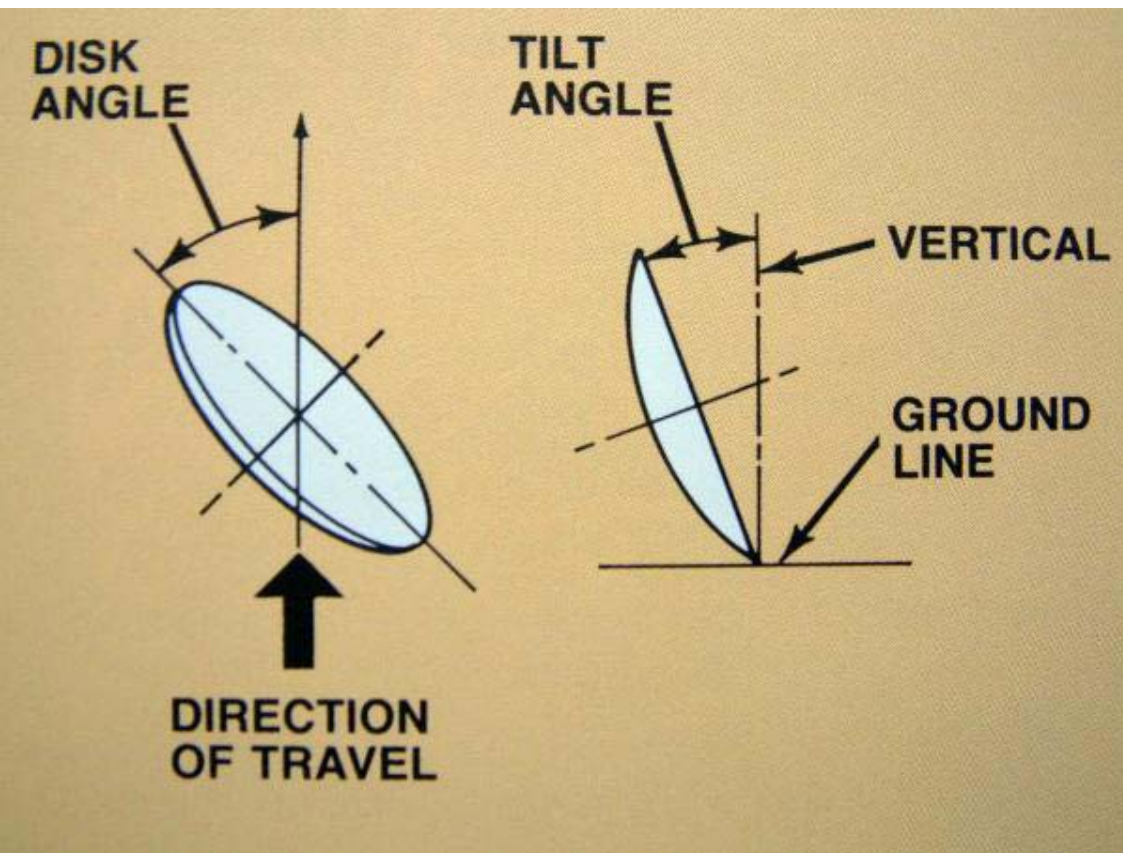
$$Z_L = V^{\frac{1}{2}} z_0 b h [1 + \mu(\tan \theta_s + \tan \theta_v)] \quad [N]$$

$$D = Z_L V = V^{\frac{3}{2}} z_0 b h [1 + \mu(\tan \theta_s + \tan \theta_v)] \quad [W]$$

土壤之比阻力與摩擦係數

土壤種類	比阻力 kgf/cm ² (N/cm ²)	摩擦係數 μ
砂土	0.20-0.32(2.0-3.2)	0.364
砂質壤土	0.23-0.35(2.3-3.5)	0.425
壤土	0.25-0.40(2.5-4.0)	0.466
黏質壤土	0.30-0.50(3.0-5.0)	0.520
重黏土	0.35-0.60(3.5-6.0)	0.577

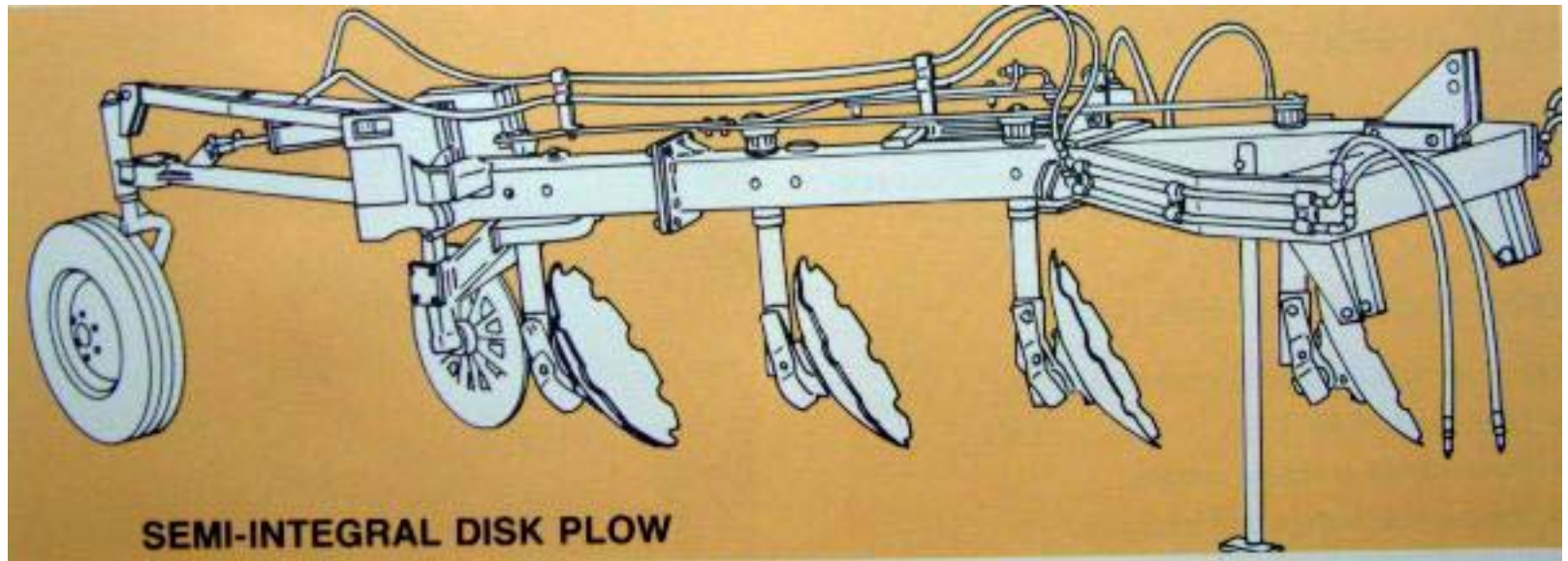
碟犁 (Disk plow, 圓盤犁)



碟犁作業

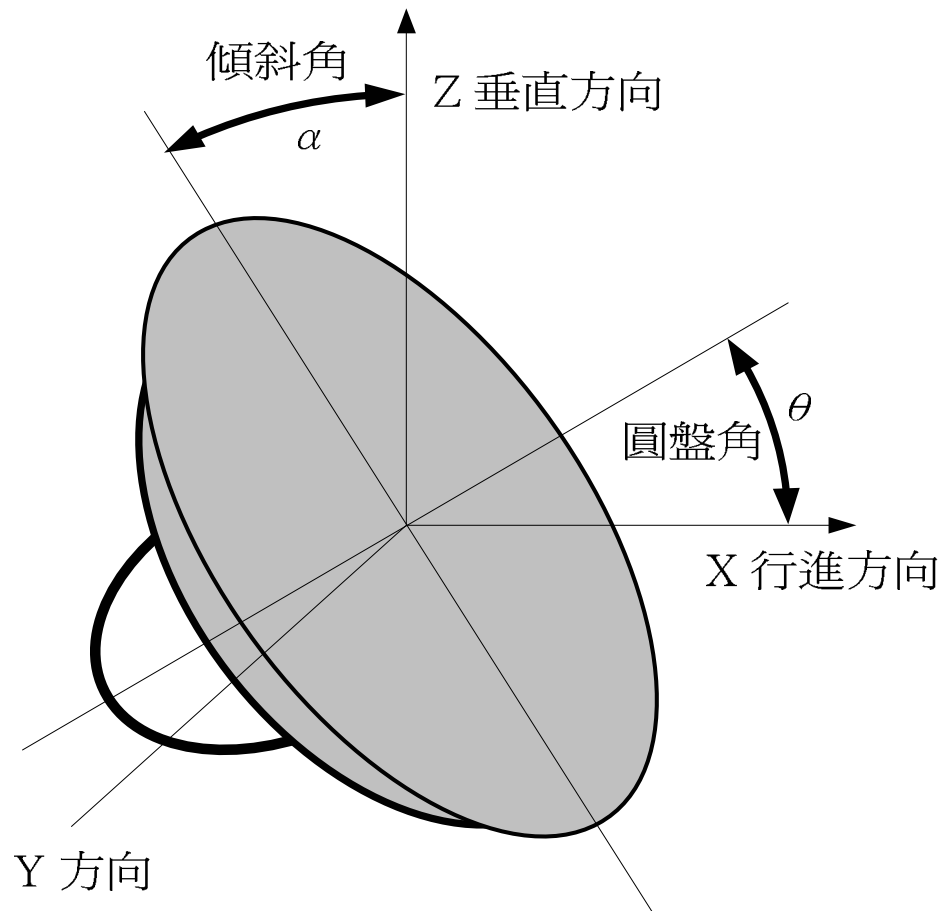


齒型碟犁



碟犁之方向及作用角

- 碟犁(Disk plow)為板犁之變形其外形如衛星碟盤。
- 碟盤之直徑約60-81cm，曲率半徑46-64cm，凹面深度則為9-13cm。
- 碟盤中心傾斜於前進方向，或稱為圓盤角 θ ，其範圍42-45度，
- 垂直方向之傾斜角 α 約15-25度。



碟犁之作用阻力

- 碟犁常由1-7個圓盤組成，每碟之耕寬約為18-30cm，其耕深則以圓盤直徑之三分之一為限，或為10-30cm。
- 最適之耕深為圓盤直徑 $1/4$ ，此時其阻力最小。由於碟犁無犁底及側板，因此並無吸引現象。為保持耕深其骨架必須加重。
- 由於側壓力約為牽引力之50-70%，故必須另外加裝後輪及盤輪作為支撐。且由於側壓力大，支撐部份必需採用側推或斜滾筒式軸承。

作用於圓盤之力

- 圓盤所受土壤阻力可用三個互相垂直的力 R_x 、 R_y 與 R_z 表示。
- 圓盤之傾斜角與圓盤角對入土性能及土壤阻力有較大的影響。一般言之，圓盤角以近**45度**時阻力最小，此角度愈大雖然拋土較遠，垂直阻力減少，入土性能增強，但總阻力增加。
- 傾斜角一般在**15-25度**之範圍。傾斜角增大會使牽引阻力和垂直阻力會增加，但側向阻力反而減少；傾斜角較小時，入土性能較佳。

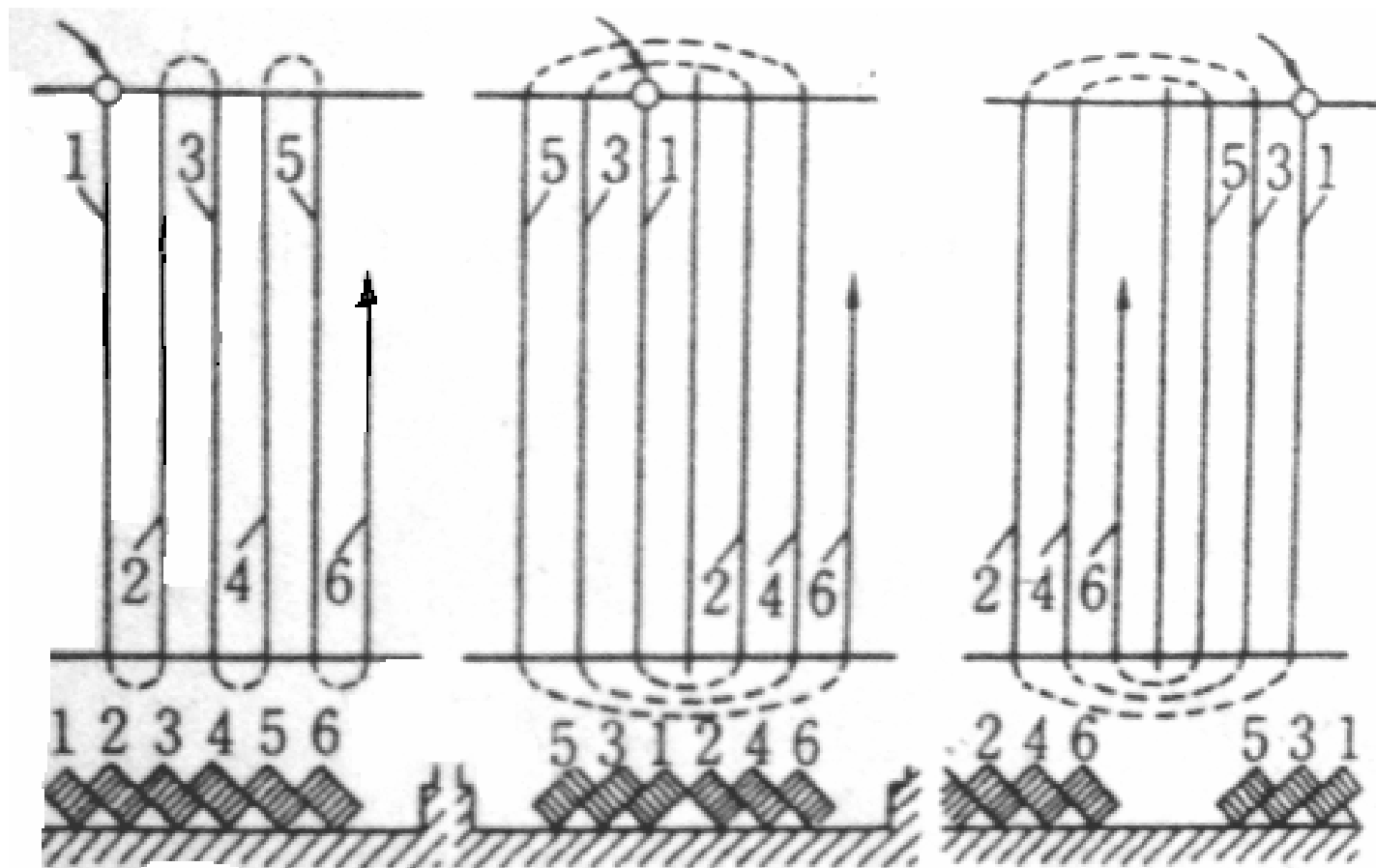
適用範圍

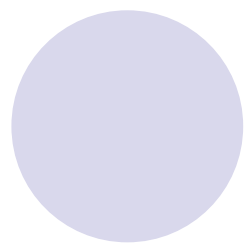
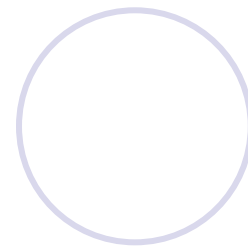
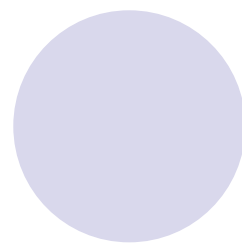
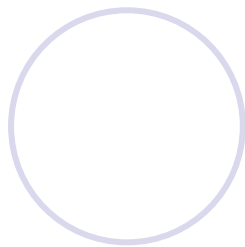
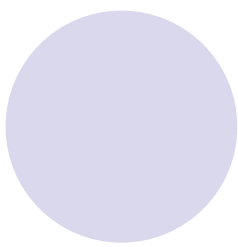
- 碟犁適用於堅硬乾燥土、黏土、礫土、殘株或根莖特多的耕地。
- 在板犁作業有困難的地區亦可以碟犁取代。
- 碟犁之缺點是其翻土性能不佳，產生之坵塊大，但對防止土壤沖刷問題倒是比較有利。

犁耕方法

- 1. 來回耕法：分外翻法(Casting)及內聚法(Gathering)。
- 2. 迴轉續耕法：分外耕法與內耕法兩種。

來回耕(順序耕)法、外耕法及內耕法

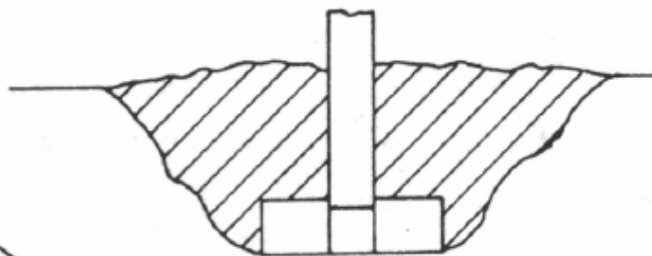
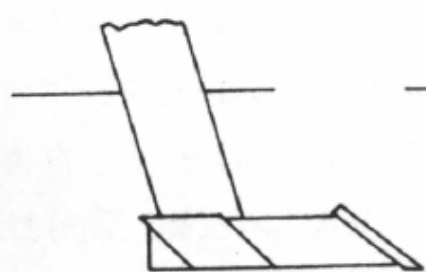
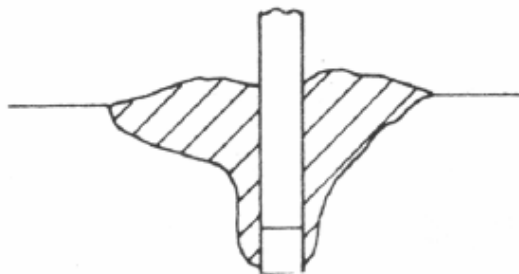
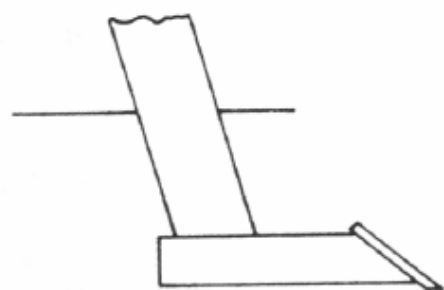




雙向犁



深耕犁



側視圖

後視圖



心土犁



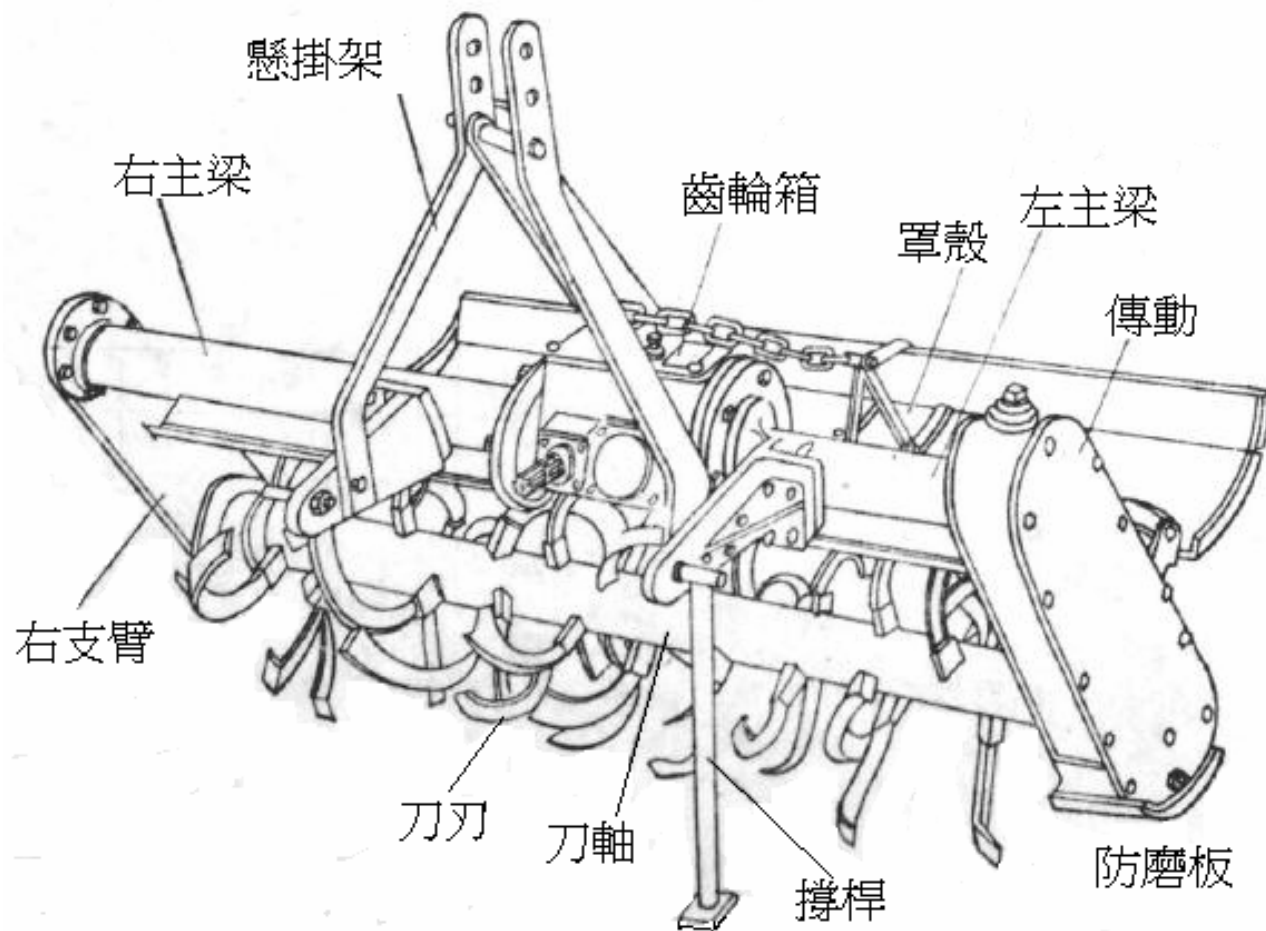
鑿犁

- 在破裂硬土，並將雜物留在表面上，因此頗適用於有土壤沖蝕嚴重的地區。
- 其齒桿可作橫向調整，以適合不同行列作物的要求。犁尖部位有些設計成更換型，磨耗後或破壞時可以更換，其根部則有剪力螺栓保護，以避免撞到異物。
- 但這兩種犁對深層土壤並未具鬆土效果，有時反因曳引機在畦溝內反覆操作，壓實土壤，使作物根部之穿透阻力增加。

迴轉耕耘機（迴轉犁）

- 迴轉耕耘機是以曳引機為動力旋轉耕耘刃，以切削與細碎土塊。
- 切土、碎土能力強，且一次作業能達到犁耕數次的效果。
- 犁後地表平整、鬆軟，故頗能滿足農民精耕細作、節省耕作次數之要求。
- 在國內，迴轉耕耘機已取代各種板犁的作業。然迴轉耕耘機耗費相當大的動力，且一再使用之後，容易使土壤結構遭受破壞。

迴轉耕耘機之組成



迴轉犁之分類

- 旋轉犁依旋轉耕耘軸的位置可分為橫軸式(臥式)、立軸式(立式)及斜軸式等三種。
- 按與動力連結方式分為牽引式、懸掛式及直結式等三種。
- 依耕耘軸傳動方式則可分為中間傳動與側邊傳動等兩種。

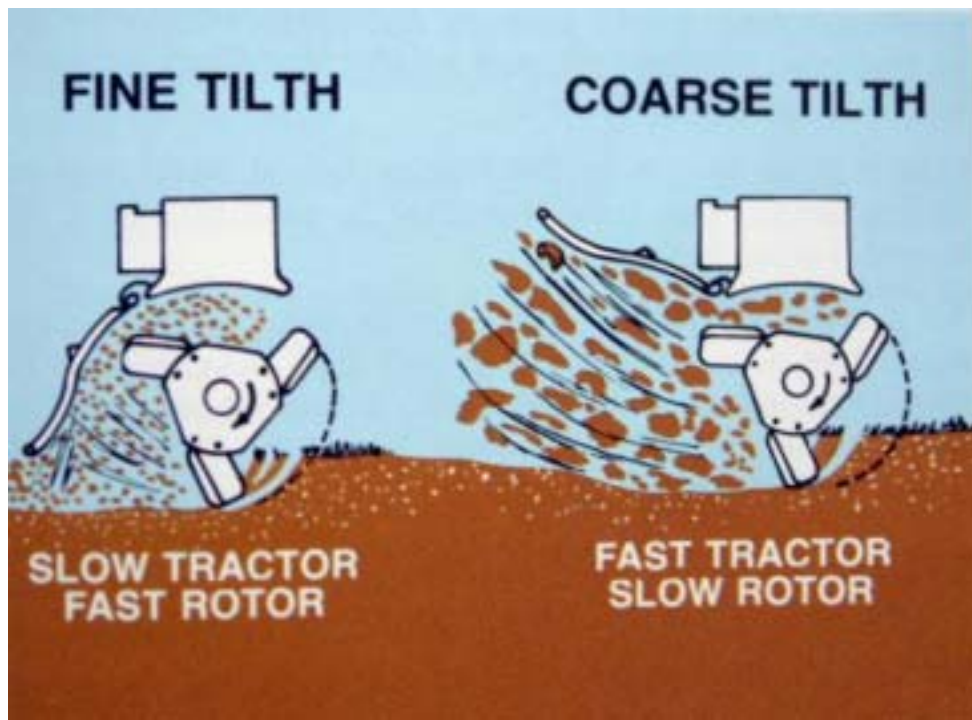
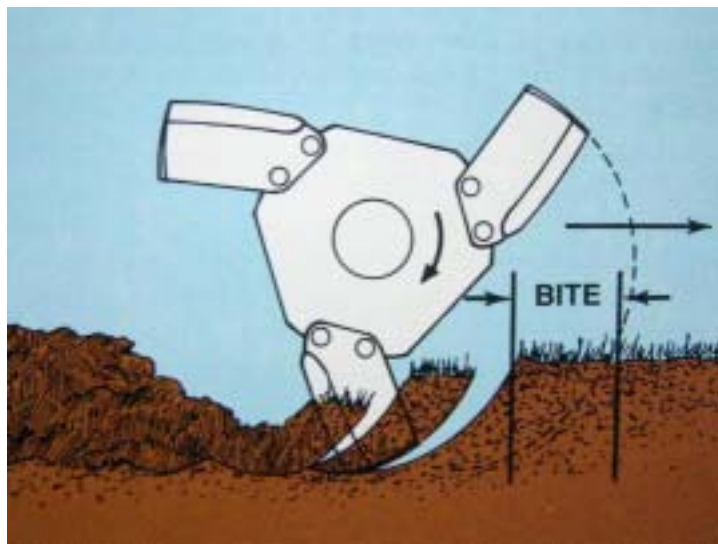
耕耘機與迴轉犁



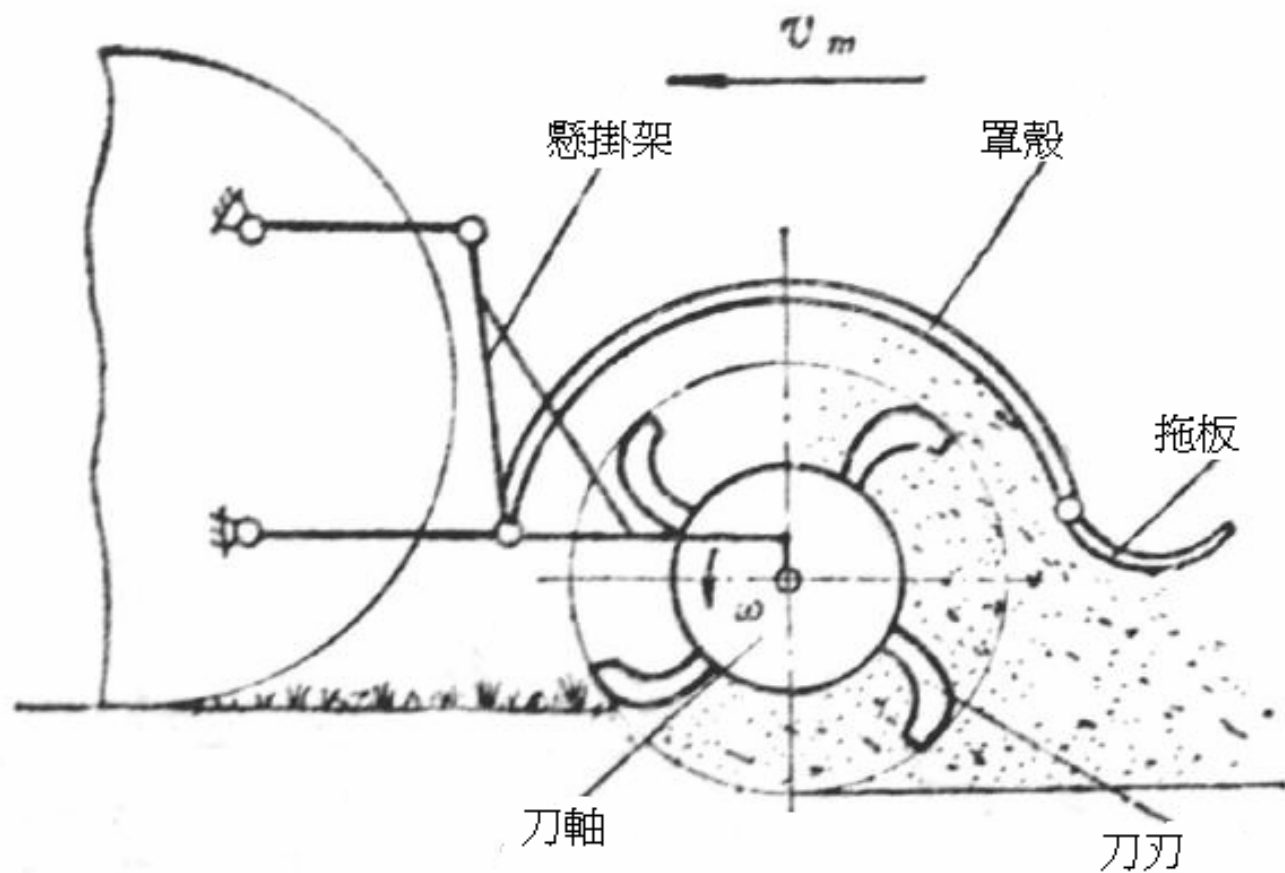
迴轉犁之作業



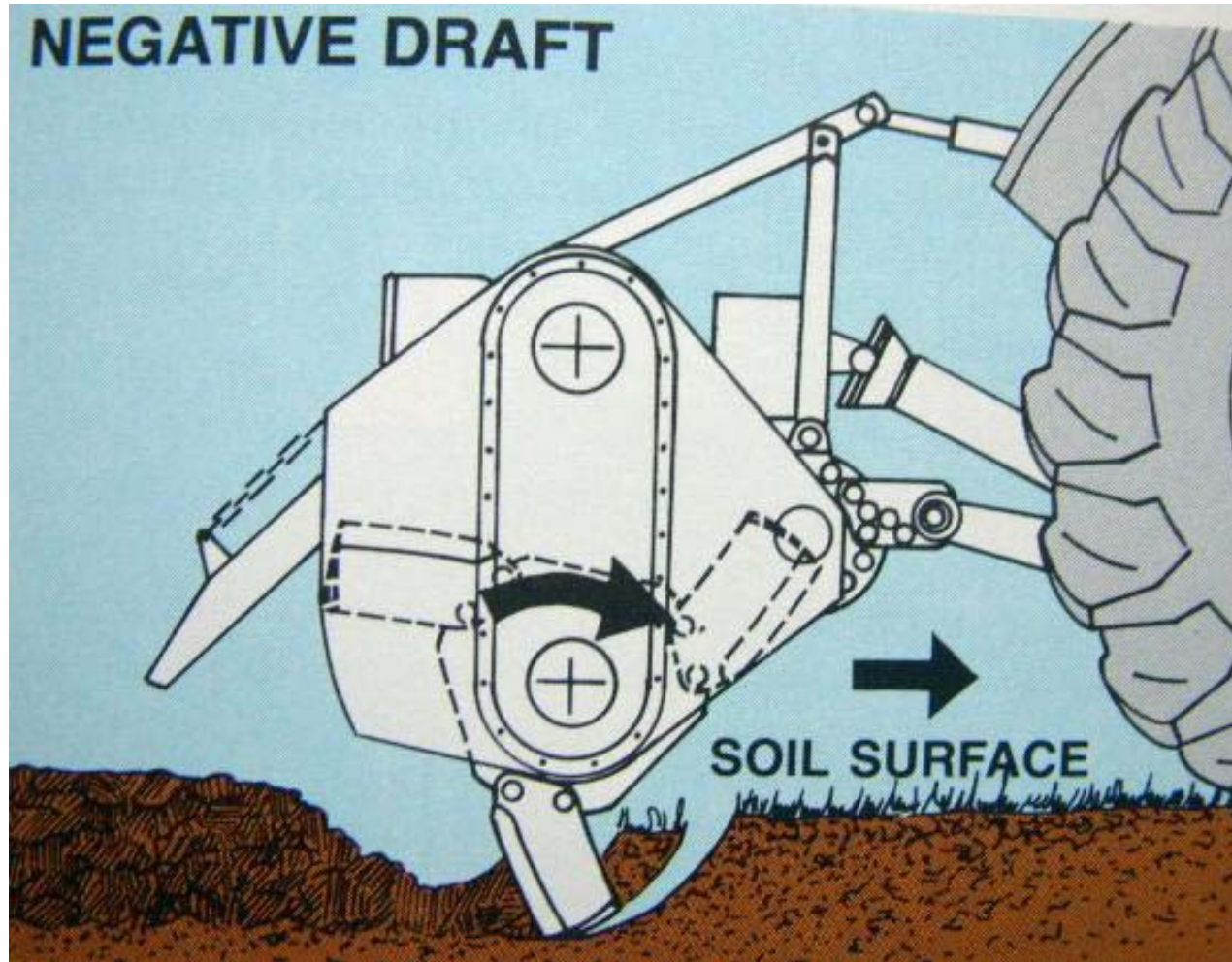
耕耘刀的切削量



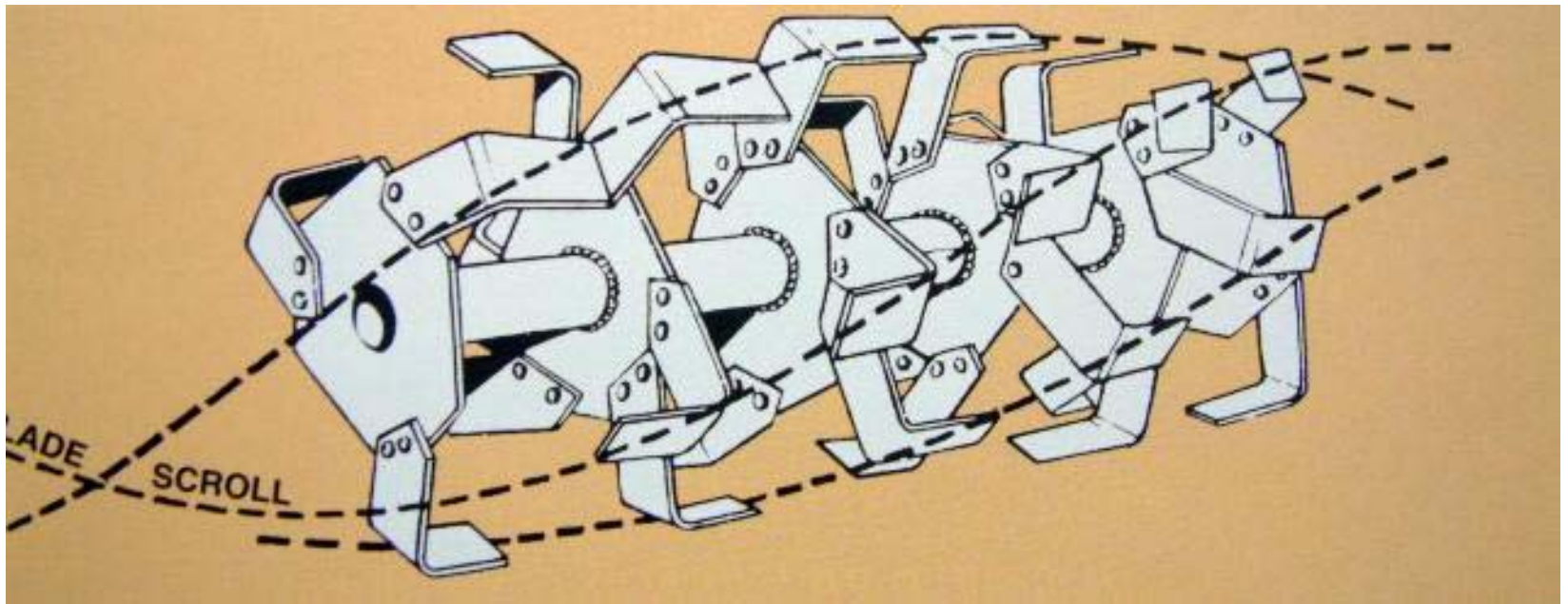
迴轉耕耘刀之作用



Negative Draft



切削之軌跡



耕深控制方式

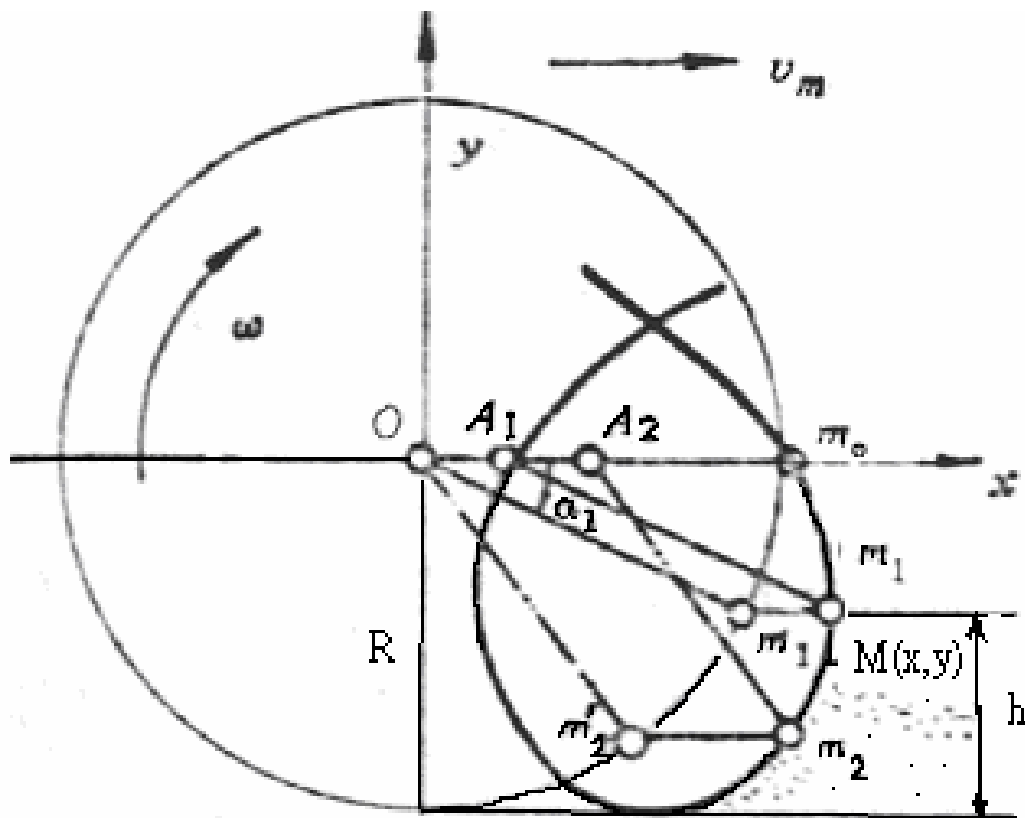
- 雪撬式：安裝於機架底部，調節雪撬與耕耘軸之相對距離可改變耕深，一般用於水田。
- 耕深輪：耕深輪安裝於機體後部，由套管、升降桿及輪叉等組成，普用於旱田作業。

刀刃的軌跡

$$x = R \cos \omega t + v_m t$$

$$y = -R \sin \omega t$$

- (x,y) 爲刀刃之端點座標，
- v_m 爲機體之前進速度，m/s；
- R 爲刀刃點 M 之迴轉半徑，mm。



點M之絕對速度及夾角餘弦

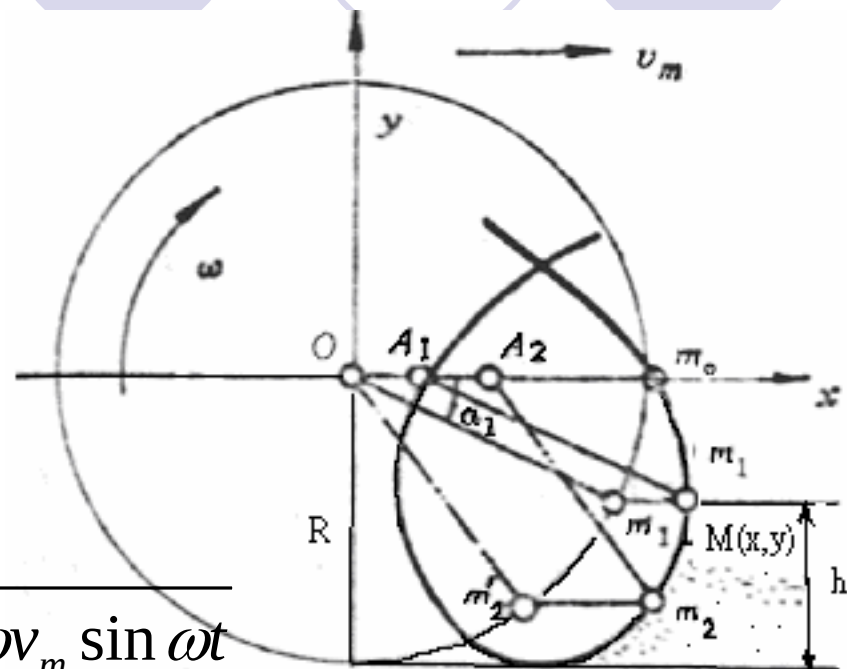
$$v_x = \frac{dx}{dt} = v_m - R\omega \sin \omega t$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = -R\omega \cos \omega t$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{R^2 \omega^2 + v_m^2 - 2R\omega v_m \sin \omega t}$$

$$\varphi = \cos^{-1} \left[\frac{v_x}{v} \right] = \cos^{-1} \left[\frac{v_m - R\omega \sin \omega t}{\sqrt{R^2 \omega^2 + v_m^2 - 2R\omega v_m \sin \omega t}} \right]$$

$$v_x = v_m - R\omega \sin \omega t \leq 0$$



刀刃工作深度

迴轉耕耘機之耕深與運動參數 R 、 $R\omega$ 及 v_m 有關，其關係如下：

$$y = -(R - h)$$

上式應為切土之合理條件，設切線速度 $U = R\omega$ ，代入上式，則：

$$\sin \omega t = \frac{R - h}{R}$$

$$\therefore v_m \leq R\omega \sin \omega t = R\omega \frac{R - h}{R} = \omega(R - h)$$

代入上式，得：

$$\therefore v_m < \omega R - \omega h$$

$$\therefore h < R - \frac{v_m}{\omega} = R\left(1 - \frac{v_m}{U}\right)$$

公式討論

$$\therefore h < R - \frac{V_m}{\omega} = R(1 - \frac{V_m}{U})$$

- 當 v_m/U 之值減小時，耕深可以增大，最高為迴轉半徑 R 。
- 但隨著 h 值之增加，其消耗之動力會增大。
- 一般的設計中合理值:旱作約為**12-16cm**，水田則約為**14-18cm**。

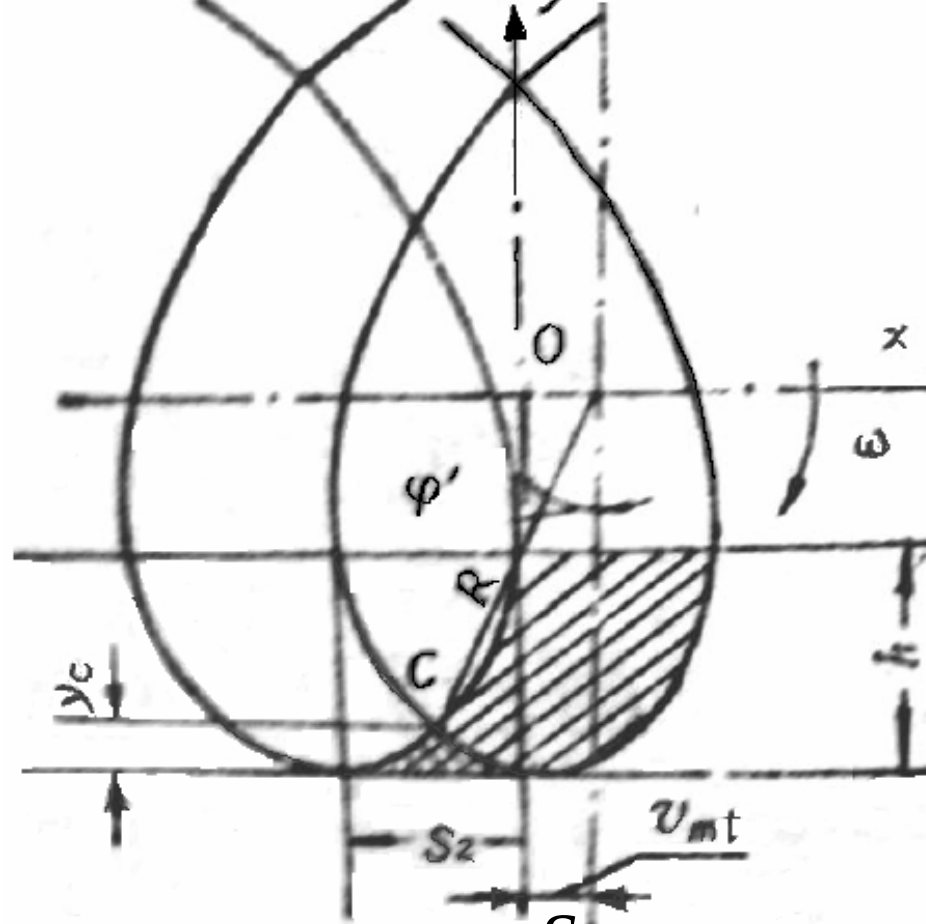
耕耘刀進給量

$$S_z = v_m t = v_m \frac{60}{zn} = v_m \frac{2\pi}{z\omega} = \frac{v_m}{U} \frac{2\pi R}{z} \quad [cm]$$

- 設其為 **Sz**，**n** 為耕耘軸迴轉速[rpm]，**z** 為同一斷面之耕耘刀數(國內**z=1**，歐美**z>1**)，**t** 則為每一耕耘刀所經歷之時間[sec]。
- 增加**z**或**n(ω)**等均會令進給量**Sz**變小，土方變為細碎，而隨轉速增加，功率消耗亦會增加。
- 若增加刀刃數，則刀刃間距變小，易產生堵塞現象。若進給量增大，土方及溝底凸起高度亦增大，所以進給量不能過大，一般約為**1-2cm**。

溝底凸起高度

- 凸起高度 y_c 值的大小是由刀刃運動軌跡曲線和刀刃進給量 S_z 決定



$$x_c = R\left(\frac{v_m}{U} \varphi' - \sin \varphi'\right)$$

$$y_c = -R(1 - \cos \varphi')$$

$$x_c = R\left(\frac{v_m}{U} - 1\right)\varphi' = \frac{S_z}{2}$$

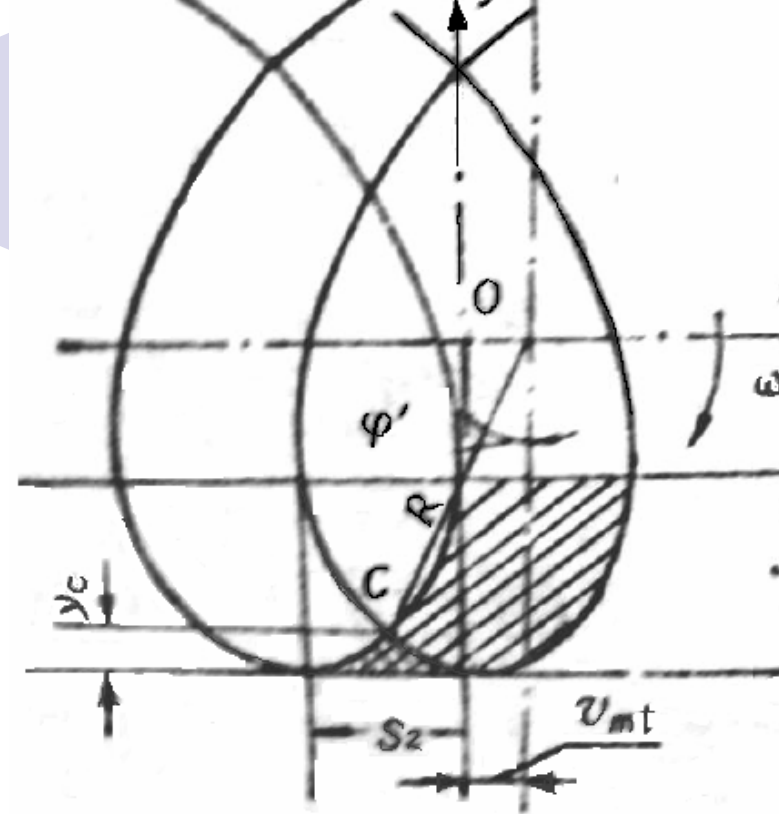
$$\therefore \varphi' = \frac{S_z}{2R\left(1 - \frac{v_m}{U}\right)}$$

高度 **yc**

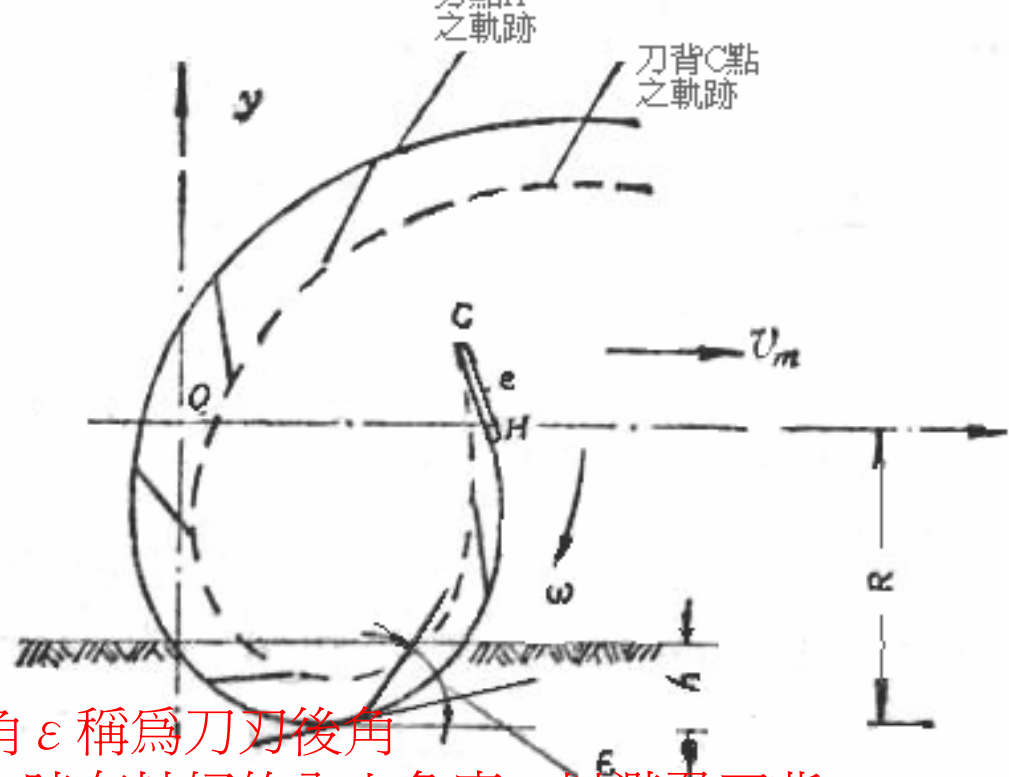
$$x_c = R\left(\frac{v_m}{U} - 1\right)\varphi' = \frac{S_z}{2}$$

$$\therefore \varphi' = \frac{S_z}{2R\left(1 - \frac{v_m}{U}\right)}$$

$$y_c = R \left[1 - \cos \left(\frac{S_z}{2R\left(1 - \frac{v_m}{U}\right)} \right) \right]$$

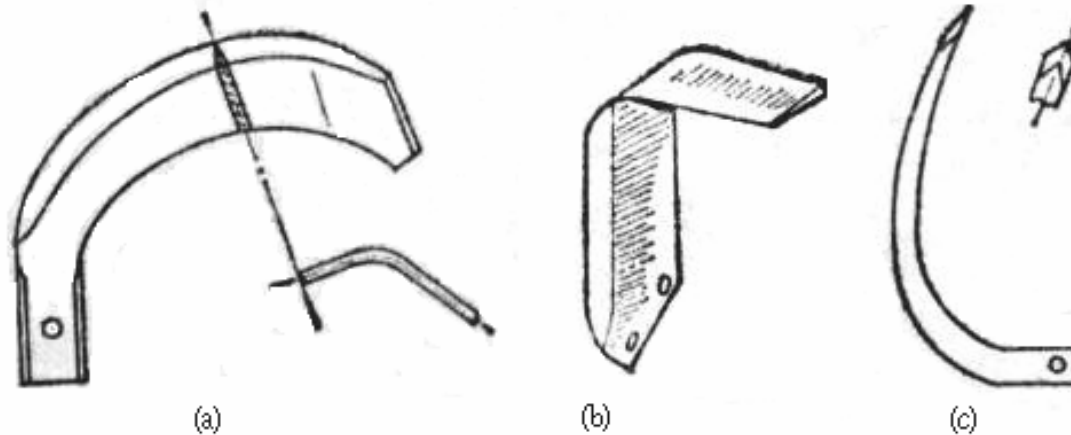


刀刃之後角



- 刀刃之軌跡曲線與刀背的夾角 ϵ 稱為刀刃後角
- 後角的作用是使刀片能在切土時有較好的入土角度，以避免刀背推擠未切的土壤。
- 必須使CH之軌跡在刀刃H點之軌跡以內；刀刃初入土時 ϵ 值應在很小的角度下入土，以減少阻力。
- 刀刃在受到土壤阻力最大的位置時，調整後角的度數可以減少功率消耗。
- 刀齒在完成切土後，後角變為較大以利向後拋土。
- 後角的大小是由刀背的結構參數與刀刃運動軌跡決定。

耕耘刀之種類



- (1)普通型：其正面切削刃口較寬。正面刃口與側面刃口均有切削作用。工作時靠近刀柄部分的刃口先與土壤接觸，後依次遠離耕耘軸中心沿側面刃口滑移。這種刀對土壤的適應性強，故普遍在亞洲地區使用。
- (2)L型：為直角型刀刃，其正面及側面都有刃口，呈直線型，彎曲部分近於直角。
- (3)C型：或稱鑿形刀，其刀刃之正面為較窄的鑿形刃口，產生刺切作用。相鄰兩刀刃間距大於正面刃口之寬度，所有土方兩側主要以撕裂方式與土地分離開來。其入土性能較好，所需動力小，主要用於板結土壤的水田耕作。在潮濕粘重土壤中耕作時漏耕嚴重，易纏草堵塞。

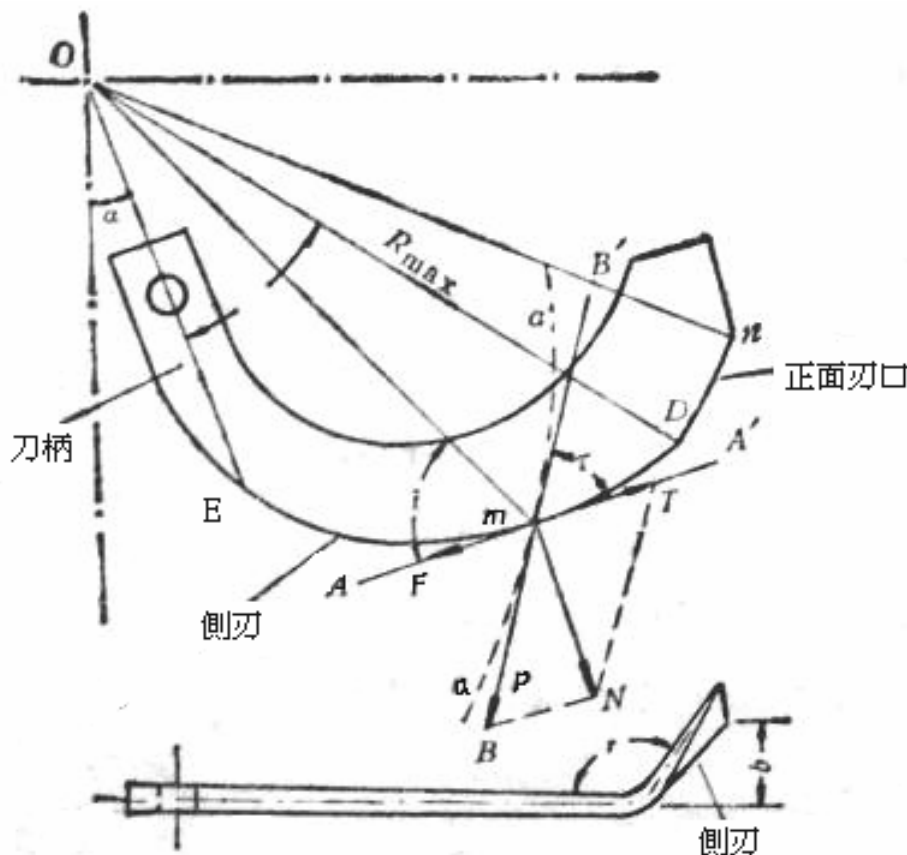
刀刃口曲線之形狀

- 滑切條作為 $T > F$

$$T = N \cot \tau \quad F = N \tan \varphi$$

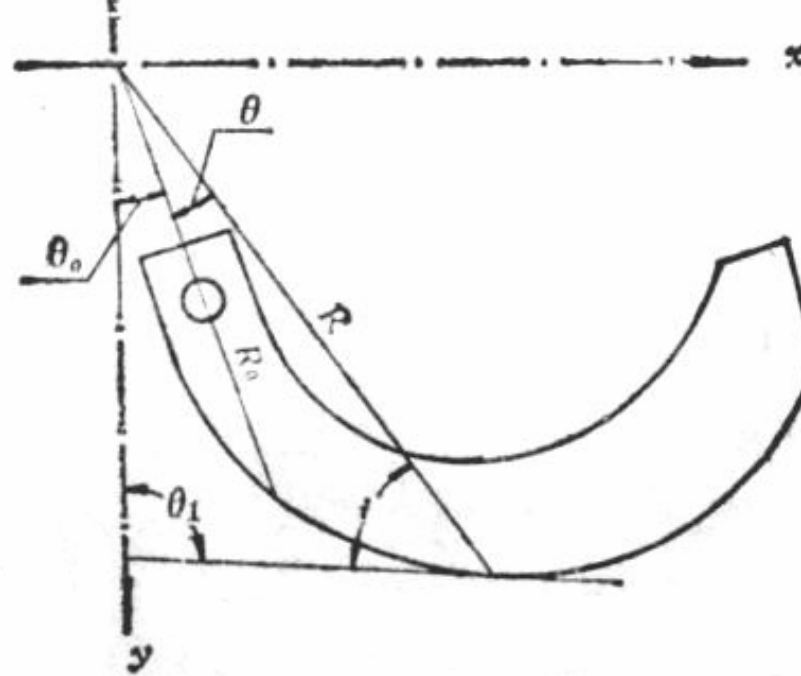
$$\therefore \cot \tau > \tan \varphi \quad \tan(90^\circ - \tau) > \tan \varphi$$

$$\therefore 90^\circ - \tau > \varphi \quad \therefore \tau < 90^\circ - \varphi$$



阿基米德螺線刃口

$$R = R_0(1 + K\theta)$$



$$\theta_2 = \theta_0 + \theta \quad \theta_1 = i + \theta_2 \quad \therefore i = \theta_1 - \theta_2$$
$$\tan i = \tan(\theta_1 - \theta_2) = \frac{\tan \theta_1 - \tan \theta_2}{1 + \tan \theta_1 \tan \theta_2}$$

$$\therefore \tan \theta_1 = \frac{dy}{dx}$$

$$x = R(\theta) \sin \theta_2$$

$$y = R(\theta) \cos \theta_2$$

阿基米德螺線刀口(二)

$$\tan \theta_1 = \frac{dy}{dx} = \frac{dy/d\theta}{dx/d\theta} = \frac{R' \sin \theta_2 + R \cos \theta_2}{R' \cos \theta_2 - R \sin \theta_2}$$

$$= \frac{R' \tan \theta_2 + R}{R' - R \tan \theta_2}$$

$$\therefore \tan i = \frac{\frac{R' \tan \theta_2 + R}{R' - R \tan \theta_2} - \tan \theta_2}{1 + \tan \theta_2 \frac{R' \tan \theta_2 + R}{R' - R \tan \theta_2}} = \frac{R}{R'}$$

將上式整理，角度*i*變為：

$$i = \tan^{-1} \frac{1 + K\theta}{K}$$

討論*i*角之變化

$$i = \tan^{-1} \frac{1 + K\theta}{K}$$

- *i*角隨 θ 增加而變大；而 τ 則隨之減少，但此時之滑切作用反而增大。
- 刀刃口曲線應使溝底橫向平整，以減少衝擊及動力消耗，同時對草桿具有切割之作用。
- 刃口曲線工作位置在縱垂面的投影應在刀刃最大半徑的圓周上。在水平面的投影為與側面刃口相交的斜線。
- 側面刃口與正面刃口的交角 γ 大於**90**度。

本節暫時結束

- 下星期期中考（二）
- 範圍：期中考（一）後至本日所教的內容
- 考試方式：分 A ， B 卷， A 卷為選擇與填空； B 卷為問答。 A 卷作完後繳交才能取 B 卷。

