

插秧機插植機構之設計

Synthesis of Rice Transplanting Mechanisms

國立臺灣大學農工研究所機械組碩士

國立臺灣大學農機系副教授

劉 博 文

張 森 富

Liu Bor-Wen

Chang Sen-Fuh

摘 要

插秧機在我國使用已非常普遍，但國內仍缺乏這一方面之基本設計資料。因此，本文擬綜合整理插植機構之設計方法，其主要目的為：

1. 從整理有關機構設計之方法中，找出設計插植機構之原理與方法。
2. 建立一套完整的插植機構設計與分析程序。

本研究就現有機構設計的方法做簡單的比較，選擇適合插植機構設計的方法。其次，發展出精密點綜合選擇理論之數值計算方法，並與作圖法比較其設計上的差異。經整理後得到一套完整的設計與分析程序。

Abstract

The utilization of rice transplanters is very popular in our country. However, it is still lack of basic data or methods for designing of transplanters. So, the authors intend to conduct studies on the synthesis of the rice transplanting mechanisms. Main objectives of this study are:

1. To investigate related mechanism design methods, thus establish principles and methods for designing of transplanting mechanisms.
2. To construct a complete set of computer programs for design and analysis of transplanting mechanisms.

In this study, general mechanism design methods are reviewed in order to choose a or some suitable methods for designing of rice transplanting mechanisms. The method developed is compared with the graphic method for applications. A complete set of mechanism analysis and synthesis computer programs is obtained.

一、引 言

設計與分析剛好是相反的過程，它是對一個實際的問題，綜合整理出一個最佳解決的方法。一般工程設計（機械設計屬之），須發展出實物解決新

問題或新方法解決舊問題。本文所探討的較近於後者的起步，乃是有鑒於本省插秧機械化工作蓬勃發展的今天，而有關插秧機插植機構基本設計之資料仍是欠缺的情況下，希望能拋磚引玉逐步建立國人自行設計的能力。因此，本研究之主要目的為：

1. 整理相關機構設計之方法，找出設計四連桿插植機構之理論基礎。
2. 建立插植機構完整的設計程序。

二、文 獻 探 討

1. 插植軌跡

在插秧機插植機構的設計上，要考慮插植爪軌跡必定要通過的六點，此六點稱為精密點 (Precision point)，如圖 1 中的 $P_1 \sim P_6$ 。

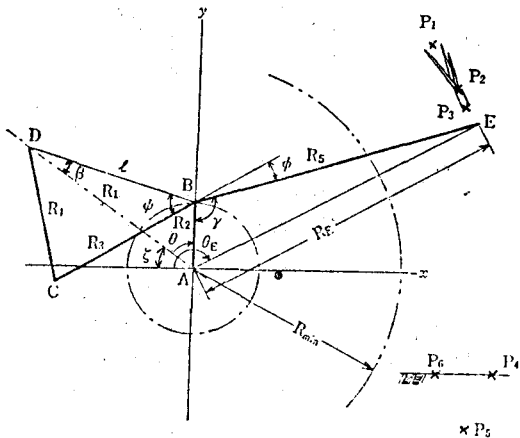


圖 1 插植六精密點

這六點分別是⁽²⁾：

- (1) 秧苗頂點(Upper part of seedling), P_1
- (2) 苗床頂部(Surface point of seedbed), P_2
- (3) 苗床底部 (Bottom point of seedbed), P_3
- (4) 進入泥土點 (Point to enter into the soil), P_4
- (5) 最低點 (The lowest point), P_5
- (6) 離開泥土點 (Point to go upward from the soil), P_6

其中，點 $P_1 \sim P_3$ 關係到插植爪有沒有抓到秧苗及是否損傷到秧苗，與秧苗有密切的關係。插植爪於點 P_4 的插入角度、力量大小、速度及加速度等都影響到插植的狀況，不當的插植可能使秧苗倒伏，甚至漂浮水面。點 P_5 的位置則影響秧苗的插入深度， P_5 如果過低，則使秧苗沒入泥中； P_5 太高則造成插植不穩。點 P_4 與 P_6 的距離如果過近，則插植爪在上升時會影響已插好的秧苗。

在做插植機構的設計時，即以這六點為重點，

根據以上的關係進行研究。

2. 插植四連桿機構

(1) 機構

凡是可用來改變運動方式，傳遞能量的封閉運動鏈組合都可稱為機構^(5,16)。由於插秧機插植爪的運動軌跡必須通過特定六點，因此必須以機構改變由引擎傳來動力的主動桿運動方式。機構的基本元件包括齒輪系、凸輪系及連桿組⁽¹⁸⁾。

(2) 平面運動

所謂的平面運動是指一機構其運動的軌跡都在同一平面上。如果不考慮外力衝擊所造成的偏移，則插植機構所必須通過的六點都位於同一平面上，屬平面運動。

(3) 插植四連桿機構

連桿是指只有低對 (Lower pairs) 的機構。任何一個運動機構都是由具有有限運動 (Constraint Motion) 的機件組合而成⁽⁸⁾。一個有限運動的機構，其運動自由度等於此機構的輸入變因個數。

對平面機構而言，由 Kutzbach criterion^(16,21)，自由度與連桿數之間的關係為：

$$f = 3(n-1) - 2j_1 - j_2 \dots\dots\dots (1)$$

其中， f ：自由度，

n ：連桿數，

j_1 ：低對 (Lower Pairs) 的數目，

j_2 ：高對 (Higher Pairs) 的數目。

平面連桿組只有低對且只有一個輸入變因，由 Grübler's criterion⁽⁹⁾，(1)式可簡化成：

$$j_1 = \frac{3}{2}n - 2 \dots\dots\dots (2)$$

由(2)式可知， n 必為偶數。即 $n=2,4,6,8\dots\dots$

應用到插秧機插植機構的設計時，插植機構屬平面連桿組合，且只有一個輸入變因（主動桿轉速），因此適用於上式。而具有相對運動的封閉運動鏈的連桿組合最小的連桿數是四⁽¹⁰⁾，由此可知四連桿組是插植機構最簡單的連桿機構方式。

3. 設計方法

任何一個機構設計都須經由：型式設計、數目設計及尺寸設計等三個程序⁽¹⁹⁾。在插植機構的設計上我們選擇連桿這種型式，並選擇連桿數為四，最後的問題就是如何在各種條件限制之下，尋找一個四連桿組，使其軌跡通過特定的六點。

四連桿的設計依目的的不同，大約可分為⁽¹⁸⁾：
 (1)剛體引導(2)功能之演生(3)路徑之演生。插植四連桿機構的設計，由於必須通過特定六點。因此屬於「路徑之演生」。在機構設計學上有：點位置減少法、覆疊法、圓點及中心點曲線法、精密點法、最小平方差法及精密點綜合選擇等方法可供應用。

(1)點位置減少法

所謂「點位置減少法」，簡單言之，就是將要通過的特定點經轉置後兩兩重合，使所經過的點減至三點^(3,16)。使用這種方法可以不經嘗試錯誤法設計通過五特定點的四連桿。通過六特定點的設計則必須加上嘗試錯誤法。採用此法不能做到特定速度的限制，必須做機構分析⁽¹⁾才能確定所設計的四連桿是否合乎特定點的速度及加速度要求。

(2)覆疊法⁽¹⁹⁾

這是一種嘗試錯誤法，應用時不需要任何理論做基礎。方法是以前兩張紙覆疊尋求適合之連桿長度。缺點為嘗試的次數不定、不一定能得到解答，有時得到的解答精確度也不高。

(3)圓點及中心點曲線法^(20,21)

此法是以圓點曲線及中心點曲線決定四連桿的樞點，用於五精密點的設計須利用「Burmester點」原理，六精密點以上則不適用。且此法於建立圓點曲線及中心點曲線時非常繁複費時，準確性因而降低。

(4)精密點法^(7,13)

精密點理論是應用複數方法解位移方程式而得。精密點法對每個特定點沒有容許誤差，使得可解的變數數目減少；且精密點法的位移方程式都屬非線性，雖可利用高速電腦解題，亦頗費時。因此，利用精密點理論雖可使所設計的四連桿軌跡準確的通過特定點，但特定點數目受到限制。而且所設計的四連桿在製造時無法達到設計的公差要求，使精密點法失去了意義。

(5)最小平方差法^(12,14)

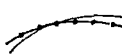
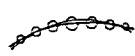
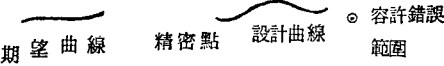
此法由固定座標與移動座標的相對關係，定義「加權差異」，解使加權差異的平方和為最小的條件而得。此法可用於多精密點的設計，但可能導致極大誤差，且只能得到一組機構解，在精密點的準確度也無法預測。

(6)精密點綜合選擇^(6,11,15)

此法與精密點法最大的不同是在精密點上容許某一誤差。解位移方程式所得的兩組最佳連桿對，

可以組合成一組四連桿。對位移方程式取一次微分，並可對速度加以限制。此法與精密點法及最小平方差法的比較列於表1。

表1 精密點法，最小平方差法及精密點綜合選擇法的優缺點比較

設計方法	精密點法 (PPA)	最小平方差法 (LST)	精密點綜合選擇 (SPS)
圖示			
符號			
優點	在精密點準確度很高。 可以得到多組機構解。 可以得到封閉型式解。	可用於多精密點的設計。 所設計的曲線與期望曲線近似。	可用於多精密點的設計。 所設計曲線與期望曲線吻合，甚至更佳。 可以得到多組機構連桿對。
缺點	只能應用於較少的精密點設計。 在精密點之間的軌跡可能誤差很大。	可能導致極大誤差。 只能得到一組機構解。 在精密點的準確度無法預測。	不一定會收斂。

三、作圖法與精密點綜合選擇法之應用

比較上節所述的六種方法，發現其中以「作圖法」（點位置減少法及覆疊法綜合應用）及「精密點綜合選擇」兩種方法較適用於插植機構的設計，因此本文採用這兩種方法做設計。

1. 作圖法之應用

將「點位置減少法」及「覆疊法」合併使用，加上嘗試錯誤試驗，可用來設計通過六點的四連桿組。本文即以此法作圖，並和數值計算法做比較。

(一)通過五點的作圖法

設計一個通過五點（如圖2中點 $C_1 \sim C_5$ ）的四連桿的步驟為：

- (1)選擇兩組點對 (Pairs) 以減少點數。此例中選擇 (C_1, C_5) 及 (C_2, C_3) 。
- (2)作 $\overline{C_1 C_5}$ 及 $\overline{C_2 C_3}$ 的垂直平分線 C_{15} 及 C_{23} ，兩線交於 O_4 點。 O_4 點即為四連桿的固定

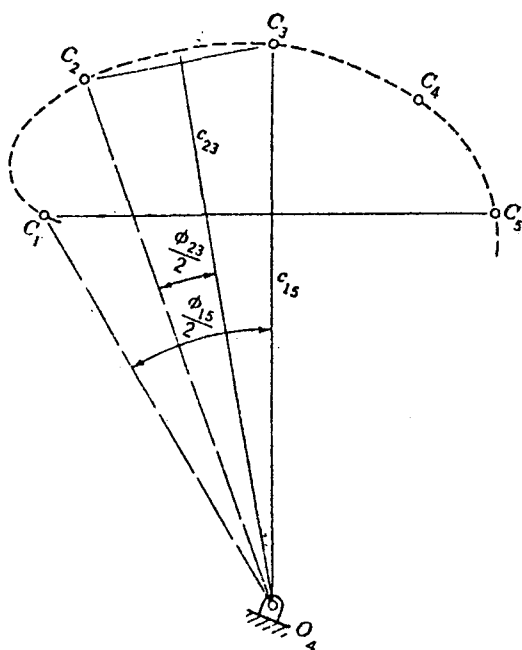


圖 2 五個特定點的作圖法

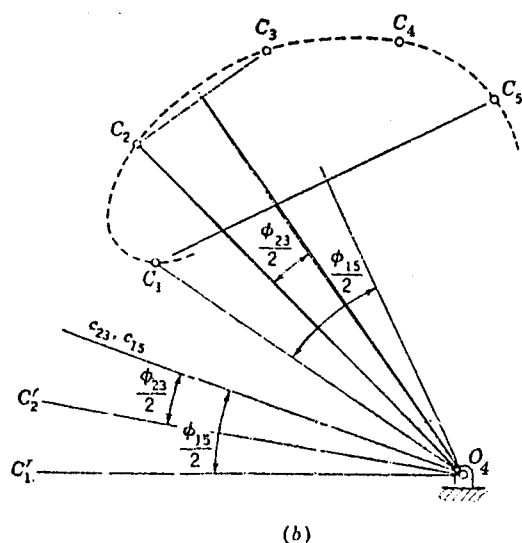
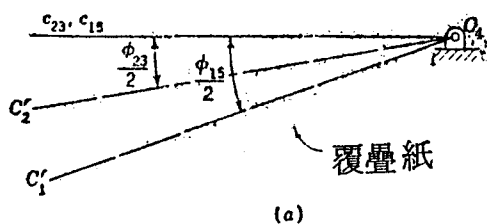


圖 3 覆疊法決定 C_1' 及 C_2' 線

點之一。

- (3) 準備另一張紙作覆疊。首先，畫一線作為基線，取 O_4 點。將兩張紙上的 O_4 點疊覆，以基線與 C_{23} 重疊，過 C_2 點畫一線，為 C_2' 線；再以基線與 C_{15} 重合，過 C_1 點畫一線為 C_1' 線。(如圖 3(a))。
- (4) 將覆疊紙以 O_4 點為圓心旋轉，在適當位置將紙上的線刻在作圖紙上(如圖 3(b))，將覆疊紙移開。
- (5) 以 C_1 點為圓心，一適當長度為半徑畫弧，交 O_4C_1' 於 A_1 點；另以 C_2 點為圓心，同一半徑畫弧，交 O_4C_2' 於 A_2 點。(如圖 4)。
- (6) 作 $\overline{A_1A_2}$ 的中垂線 a_{12} ， a_{12} 交 a_{23} (a_{23} 線為以 C_2/O_4 線作 $\phi_{23}/2$ 而得) 於 O_2 點。 O_2 點即為四連桿的另一固定點； $\overline{O_2A_1}$ 長即為主動桿長度。
- (7) 以 O_2 為圓心， $\overline{O_2A_1}$ 為半徑畫圓，在圓上定出 $A_3 \sim A_5$ 點。
- (8) 以 C_1 為圓心， $\overline{C_2O_4}$ 為半徑畫弧；另以 A_1 為圓心， $\overline{A_2O_4}$ 為半徑畫弧，兩弧交於點 2,3。以同樣方法定出點 4。作一圓通過點 2,3、點 4 及 O_4 ，其圓心為 B_1 。
- (9) $O_2O_4A_1B_1$ 即為通過 $C_1 \sim C_5$ 點的四連桿。 C_1 點為中間桿 A_1B_1 的延伸。

(二) 通過六點的作圖法

設計一通過六點(如圖 4 中 $C_1 \sim C_5$ 及 C_4' 點)的四連桿，方法如下：

- (1) 任選五點(如 $C_1 \sim C_5$)，以通過五點的方法求得一組四連桿 O_2O_4AB 。
- (2) 將上一步驟中，兩組點對外的第五點(如 C_4 點)以第六點(如 C_4' 點)取代，重作另一組四連桿 O_2O_4AB' 。
- (3) 通過六點的四連桿組 O_2O_4AB'' 中的 B'' 點位為 B 點與 B' 點之間，以嘗試錯誤法求得。

2. 精密點綜合選擇法之應用

一個連桿對是兩桿兩自由度的機構。當主動桿轉動 r_j 角度，而浮動桿轉動 ϕ_j 角度時，如果這個連桿對所走過的軌跡恰好在精密點的允許誤差範圍內時，此一連桿對稱為最佳對。兩個最佳連桿對可以連結起來成為一個四連桿。

假設一連桿對為最佳對，則對第 1 點及第 j 點

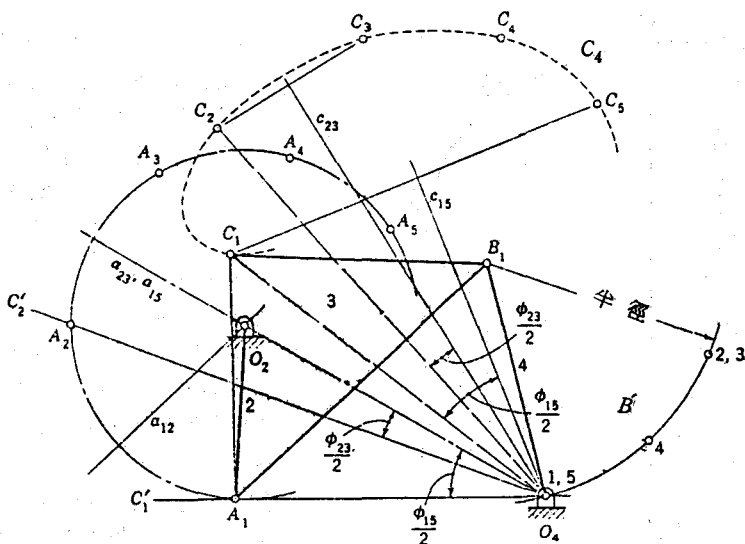


圖 4 以點位置減少法求四連桿

，其封閉環方程式，參見圖 5)，可寫成：

$$V_j = R_j - R_1 + Z_2 + Z_1(1 - e^{i\phi_j}) \quad \dots\dots(3)$$

$$j = 2, 3, \dots\dots m$$

如果有 m 個精密點，則由上式可得 $(m-1)$ 個方程式。其次， Z_2 必須在最大容許誤差範圍內，所以：

$$|V_j - Z_2| \leq h_j, \quad j = 2, 3, \dots\dots m \quad \dots\dots(4)$$

令 Z_1 、 Z_2 分別為：

$$\begin{cases} Z_1 = X_1 + iX_2 \\ Z_2 = X_3 + iX_4 \end{cases} \quad \dots\dots(5)$$

將(5)式代入(3)式得：

$$\begin{aligned} V_j(x) = & [R_{ex}(R_j - R_1) + X_3 + X_1(1 - \cos\phi_j) \\ & + X_2\sin\phi_j] + i[I_{mag}(R_j - R_1) + X_4 \\ & + X_2(1 - \cos\phi_j) - X_1\sin\phi_j] \\ & j = 2, 3, \dots\dots m \quad \dots\dots(6) \end{aligned}$$

將(6)式代入(4)式得

$$|V_j(x) - \sqrt{(X_3)^2 + (X_4)^2}| \leq h_j, \quad j = 2, 3, \dots\dots m_0 \quad \dots\dots(7)$$

$$\text{其中, } V_j(x) = |V_j(x)| \quad \dots\dots(8)$$

將(7)式中的絕對值去掉可以得到 $2(m-1)$ 個不等式，解此 $2(m-1)$ 個不等式可得符合最大容許誤差及位置限制的 X 。

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4] \quad \dots\dots(9)$$

求得 X 後，最佳連桿對固定點的位置向量可以決定如下：

$$Z_0 = R_1 - Z_1 - Z_2 \quad \dots\dots(10)$$

Z_0 即為組合後四連桿的固定點之一的位置向量。

設計時如果不僅對位置條件做限制，而且要求某些個特定點有速度限制時，精密點綜合選擇法仍可適用。由另一個封閉環方程式：

$$Z_0 + Z_1 e^{i\phi_j} + Z_2 e^{i\tau_j} = P_j, \quad j = 1, 2, \dots\dots m_0 \quad \dots\dots(11)$$

其中， P_j 為連桿對在第 j 點誤差範圍內的位置。

$$\begin{aligned} \gamma_j = \arg \left\{ \frac{R_j - R_1 + Z_2 + Z_1(1 - e^{i\phi_j})}{Z_2} \right\} \quad \dots\dots(12) \\ j = 2, 3, \dots\dots m_0 \end{aligned}$$

因為 P_j 位於最大容許誤差範圍內，所以由最大誤差範圍限制得：

$$|R_j - P_j| \leq h_j, \quad j = 2, 3, \dots\dots m_0 \quad \dots\dots(13)$$

將(11)式對時間取一次微分得：

$$Z_1 i \dot{\phi}_j e^{i\phi_j} + Z_2 i \dot{\tau}_j e^{i\tau_j} = S_j e^{i\theta_j}, \quad j = 1, 2, \dots\dots m_0 \quad \dots\dots(14)$$

其中， s_j ：第 j 點的速率；

θ_j ：第 j 點的速度角；

由(5)式及(14)式可解得 s_j 及 r_j 分別為：

$$\begin{cases} s_j = \dot{\phi} \frac{a_{1j} b_{2j} - a_{2j} b_{1j}}{a_{1j} \sin\theta_j - a_{2j} \cos\theta_j} \\ \dot{r}_j = \dot{\phi} \frac{b_{1j} \sin\theta_j - b_{2j} \cos\theta_j}{a_{1j} \sin\theta_j - a_{2j} \cos\theta_j} \end{cases} \quad \dots\dots(15)$$

其中，

$$\begin{cases} a_{1j} + ia_{2j} = (x_4 - ix_3) e^{i\tau_j} \\ b_{1j} + ib_{2j} = (-x_2 + ix_1) e^{i\phi_j} \end{cases} \quad \dots\dots(16)$$

若第 j 個特定點的速率訂為 U_j ，最大容許速

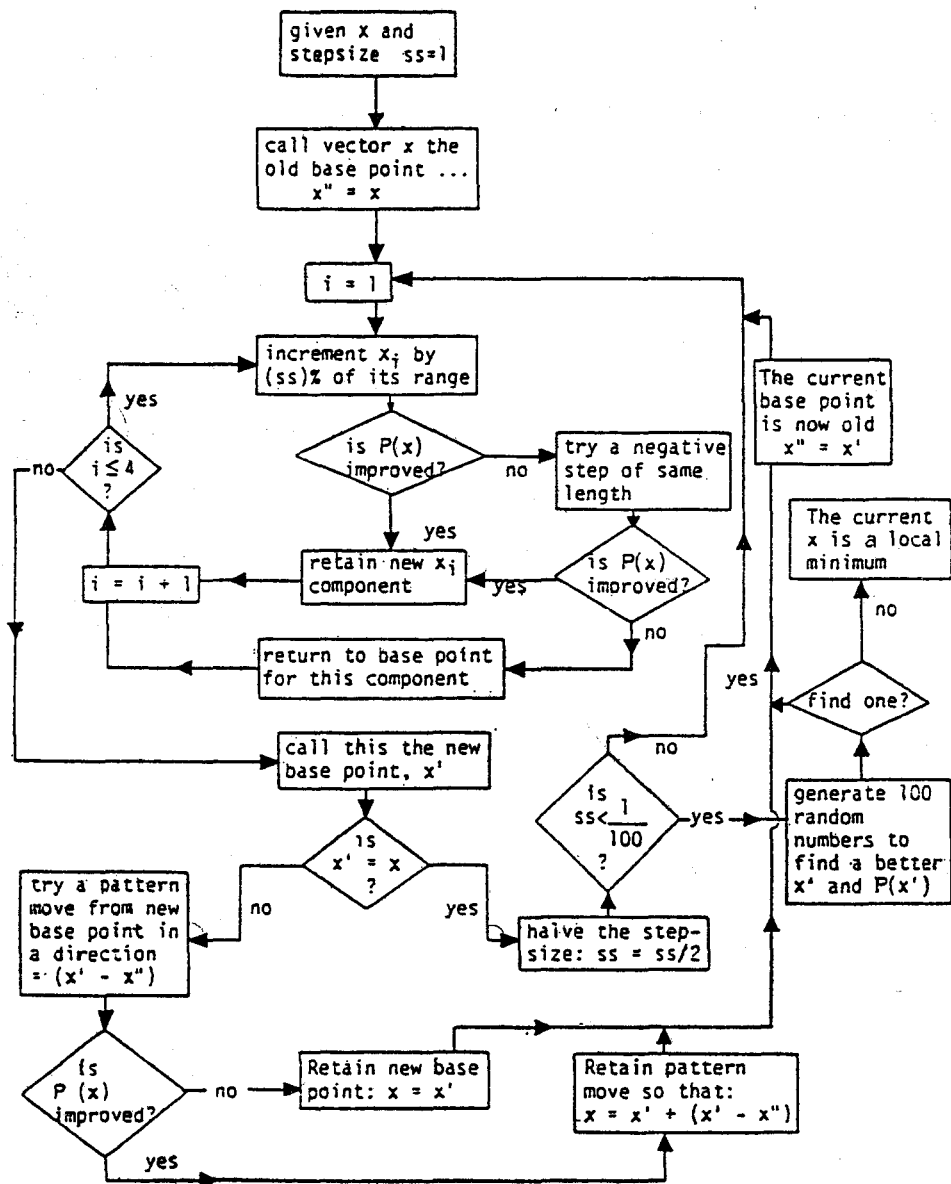


圖 7 Hooke & Jeeves 搜尋法流程圖

表 2 設計實例

	例 一	例 二	例 三	例 四	速度限制
P ₁	(275, 80)	(213, -50)	(175, 80)	(190, 234)	$v > 1.0$
P ₂	(290, 50)	(230, -61)	(190, 50)	(213, 192)	
P ₃	(300, 30)	(315, -70)	(200, 30)	(230, 157)	
P ₄	(270, -100)	(386, -153)	(170, -100)	(176, -190)	$\theta v > 80^\circ$
P ₅	(230, -130)	(353, -120)	(130, -130)	(153, -215)	
P ₆	(210, -100)	(275, -56)	(110, -100)	(137, -190)	

註：①速度 v 單位：m/sec

②各點座標單位：(mm, mm)

表 3 以作圖法及精密點綜合選擇理論對表 2 實例作設計之結果

實 例	設計方法	連桿 1 長	連桿 2 長	連桿 3 長	連桿 4 長	連桿 5 長	ϕ	ζ
1	作 圖	102.3	30.6	125.4	77.9	271.2	36	-73
	SPS	101.34	31.93	125.47	76.68	266.96	33	-74
	實 例	101.4	31.9	125.5	76.7	267.0	33.5	-74
2	作 圖	166.4	73.9	291.4	92.6	430.7	26	49
	SPS	168.45	73.58	293.46	93.28	436.58	28	46
	實 例	168.6	73.5	294.1	92.3	437.2	29	46
3	作 圖	100.0	36.9	90.2	57.3	164.2	43	-70
	SPS	100.01	37.53	90.64	58.12	166.63	46	-73
	實 例	100.0	37.5	90.7	58.1	166.7	45.5	-72
4	作 圖	129.5	42.0	91.3	88.1	194.6	38	40
	SPS	129.41	40.25	90.23	87.56	200.16	36	41
	實 例	130.0	41.0	90.0	88.2	200.2	35	41

註：1.連桿長度單位為mm。

2.角度單位為 degree。

3.“SPS” 為精密點綜合選擇法。

表 4 作圖法與精密點綜合選擇數值計算法設計誤差統計表

探討之連桿特性 及插植狀況	實 例 1		實 例 2		實 例 3		實 例 4	
	作圖	SPS	作圖	SPS	作圖	SPS	作圖	SPS
連桿 1 長度	0.89	0.06	1.30	0.09	0.00	0.01	0.38	0.45
連桿 2 長度	4.08	0.09	0.54	0.01	1.60	0.08	2.43	1.83
連桿 3 長度	0.08	0.02	0.92	1.60	0.55	0.07	1.44	0.26
連桿 4 長度	1.56	0.03	0.33	1.06	1.38	0.03	0.11	0.73
連桿 5 長度	0.37	0.01	1.49	0.14	1.50	0.04	2.80	0.02
角度 ϕ	8.95	1.49	10.34	3.45	5.49	3.30	8.57	2.86
角度 ζ	1.35	0.00	6.52	0.00	2.78	1.39	2.44	0.00
插植深度	7.82	4.61	9.28	10.39	3.10	1.11	16.25	3.26
插植角度	4.67	1.16	9.24	2.69	6.67	4.32	5.20	3.01
進入泥土點 與離開泥土 點間之距離	9.20	4.26	8.31	3.69	12.68	8.34	9.96	1.26
進入泥土點 之速度	11.26	6.36	9.56	7.73	19.26	3.01	10.27	9.26
進入泥土點 之加速度	16.70	9.26	10.26	8.23	21.46	9.26	14.26	11.02

註：1.表中各值之單位為％。

2.“SPS”代表精密點綜合選擇法。

，作圖法的誤差較大。

(1)以作圖法設計上述四個例子所花費的時間由198分鐘到315分鐘，極其費時；且經不斷的嘗試錯誤，設計紙面逐漸污損，準確度降低。

(2)以精密點綜合選擇理論設計上述四個例子所

花時間從27分鐘到69分鐘不等，與作圖法比較此法花費時間減少甚多。但此法在運算過程中曾有多組初始假設無法收斂，如果這種情形發生較多次，則所花時間勢必加長。

(3)上述例中，以精密點綜合選擇理論設計除了

各精密點的位置限制外，可另外加上各點的速度限制，而作圖法則無此優點。除了節省時間之外，這一優點使精密點綜合選擇理論較作圖法適用於設計。

(4)以精密點綜合選擇理論設計，所花費的時間長短常取決於初始猜測值，不當的初始猜測值使精密點綜合選擇計算過程無法收斂。此點是精密點綜合選擇理論最大的缺點。

(5)設計完成後的四連桿以分析步驟加以分析，都能符合速度的限制，證明精密點綜合選擇理論是可用的。

五、結 論

在上文中已經比較了作圖法與精密點綜合選擇理論，在設計時應以精密點綜合選擇理論配合數值方法做設計，再以設計得到的連桿組做驗證。

設計的步驟為：

(1)定下 $P_1 \sim P_3$ 及 $P_4 \sim P_6$ 兩組相關點的位置。通常可以機體上任一點為原點，參考機身高度及載苗台位置、角度定出 $P_1 \sim P_6$ 點。精密點綜合選擇理論的優點即在於可以先設計出插秧機的其他部分，再來設計插植機構。

(2)定下各精密點的速度及加速度限制。

(3)以 Hooke & Jeeves 搜尋法做數值計算。

(4)由位置向量定出插植機構各連桿長度及其角度大小，並定出主動桿迴轉中心及從動桿迴轉中心的位置。

以精密點綜合選擇理論做插植機構的設計，可以快速的設計一組四連桿；精密點綜合選擇理論並可知加入更多的限制條件，諸如速度、加速度的限制做機構設計。因為製造時公差的限制，精密點綜合選擇理論可符合實際需要。

從無到有的設計，必須先假設各精密點的條件試行設計，再以分析步驟⁽¹⁾加以分析，並以修正原則做各種條件的修正；做改良設計時則是對現有機型做運動及動力分析，由力學的觀點及客觀條件找出設計原則，然後加以設計。

動力分析是在設計完成製成樣品後進行，提供做為考慮材料、尺寸等的依據。

因此，無論是改良設計或新設計，其目的都在設計分析過程旨在提供設計的指標及目標的驗證，設計方法與分析方法必須互相配合才能形成完整的設計流程。一個完整的設計程序為：

(1)定出各精密點的位置及限制條件。

(2)以精密點綜合選擇理論配合 Hook & Jeeves 搜尋法做設計。

(3)將設計出的四連桿尺寸做機構分析，驗證設計宗旨。

(4)由分析結果得到設計原則，再做改良設計。

(5)設計完成製成實物後，做動力分析，以提供後續改良的參考。

目前日本正在研究中之插植機構為齒輪皮帶式⁽¹⁾，此為設計的新方向，吾人亦可在這方面急起直追。

參考資料

1. 劉博文，1986. 插植四連桿機構之分析與設計，國立臺灣大學農業工程學研究所碩士論文。
2. 並河 清，1977. リニワ式田植機植付け機構の總和，日本農業機械學會誌，Vol. 37, No. 4, pp.533-538.
3. Allen, C. Wesley, 1959. Point Position Reduction, Machine Design, Vol. 31, No.2, pp.41-45, Jan, 22.
4. Bereridge, S. G. Gordon & S. Robert, Schecter, 1970. Optimization: Theory and Practice, McGraw-Hill Book Company, New York.
5. Beyer, Rudolph. 1963. The Kinematic Synthesis of Mechanisms, Chapman & Hall Ltd., London.
6. Fox, R. C. & K. D. Willmert, 1967. Optimum Design of Curve-Generating Linkage with Inequality Constraints, Trans. ASME, Series B, Journal of Eng. for Ind., Vol. 89, No.1, pp. 144-152.
7. Freudenstein, F. & G. N. Sandor, 1959. Synthesis of Path-Generating Mechanisms by Means of a Programmed Digital Computer, Trans. ASME, Series B, Journal of Eng for Ind. Vol. 81, No. 2, pp. 159-168.
8. Goodman, T. P., 1960. Four Cornerstones of Kinematic Design, Trans. of the 6th Conference of Mechanism, Purdue University.
9. Hartenberg, R. S. & J. Denavit, 1964. Kinematic Synthesis of Linkage, McGraw-Hill Book Company, New York.
10. Hrones, J. & G. Nelson, 1951. Analysis of the Four-Bar Linkage, John Wiley & Sons, Inc.
11. Kramer, S. N. & G. N. Sandor, 1975. Selective (文轉第2頁)