

# 農業機械學

155  
2

# 農業機械學

## 縮寫字

ASAE ( American Society of Agricultural Engineers ) 美國

農業工程師學會

bu ( bushel ) 蒲式耳

cfm ( cubic feet per minute ) 每分鐘立方呎數

cm ( centimeter ) 公分

cos ( cosine ) 餘弦

cpm ( cycles per minute ) 每分鐘循環數

cu ft ( cubic foot ) 立方呎

cu in ( cubic inch ) 立方吋

dbhp ( drawbar horsepower ) 拖桿馬力

deg ( degree ) 度

diam ( diameter ) 直徑

fpm ( feet per minute ) 每分鐘呎數

ft ( foot ) 呎

ft-lb ( foot - pound ) 呎 - 磅

gal ( gallon ) 加侖

gm ( gram ) 公克

gpm ( gallons per minute ) 每分鐘加侖數

hhp ( hydraulic horsepower ) 液壓馬力

hp ( horsepower ) 馬力

hp-hr ( horsepower - hour ) 馬力 - 小時

hr ( hour ) 小時

in ( inch ) 吋

lb ( pound ) 磅

lb-in ( pound - inch ) 磅 - 吋

LP ( liquefied petroleum ) 液化石油

max ( maximum ) 最大  
min ( minute ; minimum ) 分鐘 ; 最小  
mm ( millimeter ) 公厘  
mph ( miles per hour ) 每小時哩數  
NIAE ( National Institute of Agricultural Engineering )  
美國國立農業工程學會  
OD ( outside diameter ) 外徑  
oz ( ounce ) 盎司 ; 英兩  
PD ( pitch diameter ) 節徑  
psi ( pounds per square inch ) 每平方吋磅數  
PTO ( power take-off ) 動力傳導裝置  
Rc ( hardness number on Rockwell C scale ) 洛氏C尺硬度  
數  
rpm ( revolutions per minute ) 每分鐘轉數  
SAE ( Society of Automotive Engineers ) 汽車工程師學會  
sec ( second ) 秒  
shp ( shaft horsepower ) 軸馬力  
sin ( sine ) 正弦  
sq ft ( square foot ) 平方呎  
sq in ( square inch ) 平方吋  
tan ( tangent ) 正切  
USDA ( United States Department of Agriculture ) 美國農  
部  
VMD ( volume median diameter ) 體積中間直徑

# 目 錄

第一章	農業機械之研究與發展	1
第二章	機具型式，田間能量，與費用	21
第三章	機械動力傳遞與動力傳導機機驅動	46
第四章	液驅動力傳遞與農具控制	77
第五章	土機犁耕與動力學	108
第六章	板 犁	132
第七章	碟形農具	155
第八章	機接系機與犁耕農具之鏈接	172
第九章	機式與多動力犁耕農具	190

第十章	作物種植	204
第十一章	行列作物之中耕，火焰除草，與疏株	232
第十二章	肥料與粒狀防疫劑之施用	254
第十三章	噴霧與噴粉	277
第十四章	乾草收穫：刈割，調製，與鋪排草列	308
第十五章	乾草之包裝與處理	337
第十六章	芻秣細斷操作與搬運	360
第十七章	穀類與種子之收穫	383
第十八章	玉蜀黍採摘與脫粒	421
第十九章	棉花收穫	434
第二十章	根菜作物收穫	451
第二十一章	水果與蔬菜之收穫與搬動	489
附 錄		492
索 引		499

# 第一章 農業機械之研究與發展

**1.1 引言** 將機械用諸於農業生產工作，乃近百年來美國農業顯著發展項目中之一，其結果當可由美國人民生活各方面見之。過去繁重辛勞之農場作業已經逐漸減少，而每一農民之生產總額卻大量增加。由於農業機械化之推行，數以百萬計之農民遂轉入其他工業，因而促使美國之工業乃有驚人之擴展，以及目前人民生活標準之普遍提高。

人口不斷膨脹，勢必繼續需要食物與纖維等農產品之不斷增加。近百年來，某些農產品之所以增產，自當歸功於作物品種之改良、肥料與藥劑之有效施用、以及改善栽培實務等各種非工程形態農業技術之多方進步，不過，其主要之增產因素，仍屬非人類能源以及機械與農具之廣泛有效應用所致也。

農業機械化，乃由植物學家與生物科學家之貢獻所促成。植物培植人員，育成更能適應於機械收穫之品種，例如矮小品種之蘆粟具有生長均勻之特點、能耐風暴之棉花、不易倒伏之雜種玉蜀黍、以及在短時期內得以同時成熟並且可以承受機械收穫時施以粗暴處理之蕃茄等均屬之。如今某些作物之栽培實務業已變更，以重新調節其生長習性，俾更能適應機械之收穫操作。

**1.2 實施機械化之理由** 減少勞力之需求，乃推動農業機械化之主要激發力。於1870年，美國全部勞動力約有半數以上仍然留在農場工作〔7〕，然而在1960年，12個美國勞動者中僅有1人從事於農業工作，至1969年更減為22個勞動者中只有1人矣〔22〕。每年在某一較短之期間內，於收穫某些水果蔬菜等時期所發生之勞力需求頗峰如能減至最小，則益顯農業機械化之實施為有利也。

根據已往記載，由於其他工業對勞力之強烈渴求，遂由農場招募若干工作人員，並逐步提高工資，因而使農業機械化更有長足進步。在一次與二次世界大戰之間，美國曾發生嚴重之勞力短缺與工資增高現象，再加需求更多之農產品，故對某些操作之實施機械化具有顯著之影響。例如在二次大戰以前，就甜菜收穫操作之機械化而言，由於加工部門不願接受由機械收穫所採

收之甜菜而陷於停頓，然而由於發生因戰爭所引起之勞力短缺問題，迫使工業界不得不重新修改其標準，更新加工設備，並且願意接受由機械所收穫之甜菜，從而阻止嚴重之單位面積減產。目前由於勞力問題日趨嚴重，而正以不正常之快速步驟從事推動水菓與蔬菜等收穫操作為機械化中。

農業機械化，有助於農場企業管理更趨於完善，並可提供若干空閒時間從事計畫與研究工作。美國在 1945 與 1969 年間，作物栽培總面積雖大致保持不變，但農場面積之平均大小卻變成兩倍〔22〕。農場面積增大，再實施高度之機械化，自當發生龐大之資金投資問題，因此，在管理方面更需額外加強。

實施機械化又可以把握農時，以增加收益。欲獲得最佳之成果與最大報酬，則若干田間操作必須在極短之期間內予以完成，每逢此一重要關頭，倘有必要可採用高性能之機械化機具全天操作，俾各項操作能在極短之時間內全部完成。此外，農業機械化之其他貢獻或目的，則為操作條件及工作性能之改善，蓋此等工作頗難甚至無法以人手從事操作也。

雖然實施機械化以全面降低成本為吾人之最高要求，但並非全都如此，如在某些情況下，淨收益縱使有些許之減少，但農民們仍寧願採取機械化，以避免發生僱工與管理等龐大勞動力之必然困擾。

**1.3 將來之機械化** 過去歷史指出，農業機械化之過程乃為機動性者，並無一可見之終極目標。於自由競爭企業體制下，各個製造廠家必須不斷改良其產品，發展新穎機械，以保持有利之地位而繼續生存茁壯，此外對工作人員之安全、舒適、方便等問題，仍將繼續為人所注意。今後駕駛人員必將日漸遠離機械之主要部分，用於複雜機械之監聽系統與自動控制等裝置必定顯得更加重要。包括自動引導系統在內某些田間操作之自動化，至今已非為一夢想階段矣。

曳引機馬力日漸加大，各種犁耕器具必須設計為可用於較高之速率，或者除拖桿動力以外更能予以有效利用之型式，故曳引問題已不再為一項限制因素矣。目前已有甚多研究機關，從事發展每英畝以較少之動力即可在土地上產生預期效果之更有效犁耕器具。

關於水菓與蔬菜收穫之機械化操作，目前雖然已有顯著之進步，但仍有若干工作尚未完成。此等作物之機械收穫操作極為困難，蓋作物種類之不同，其本身特性亦異，同時，大部分水菓與蔬菜均屬纖維脆弱，且容易損壞之作物所致。以傳統方式所完成之梨樹與葡萄之剪枝操作，需要人類頭腦之判



斷，因此，便不易實施機械化。如能變更栽培實務，實施樹籬方式之剪枝，則不難實施機械化。在美國十大經濟作物之一之菸草，至今亦然需要相當可觀之人手勞動。

小規模農場究應採用何種型式之機械方能符合經濟原則，乃為一大問題，農業尚未完成實施機械化以前，此一問題必須多加考慮。若干農場，由於其栽培單一作物之面積過小，以致難以斷定各種昂貴設備如乾草捆紮機、乾草壓塊機、棉花採摘機、蕃茄收穫機等機械之所有權屬於何一農場最為恰當，如由共同所有權與合約方式或代耕方式中任選其一，則以農民之立場而言，尚有若干限制與缺點存在。

將來必定需要將複雜之機械加以簡化，關於此點，恰好與目前之發展趨勢成一對比，此對農業工程師而言，確為一項挑戰也。

**1.4 農業機械工程之特性** 所謂農業工程，乃將工程之知識與技術應用於農業者，優秀之農業工程師必須知曉農業與其他工業兩者之間有其基本不同之處。

生物因素在工程應用上乃屬一項重要之顧慮因素，因土壤與植物通常均與其有相互牽連之關係。農業機械工程師應該熟稔機械在農業上之基本原理與實際應用，栽培實務有時需要加以變更，或者發展新的作物品種，俾某一特別操作之機械化得以付諸實施，或者提高機械之有效性。加工設備及其標準，有時需要修改，以適應由機械所收穫之作物。作物之品質與生產量，有時因採用機械而降低，其在全錢上之損失當歸咎於機械。

農務工業本為不集中或分散之一項工業，在美國即約有三百萬個操作單位（1969年共有297萬個農場）〔22〕，其受氣候情況好壞之影響頗大。最好能將動力移向加工物，而不將加工物移向各個集中之動力廠。大半之田間操作本來具有季節性者，欲完成該項操作，僅有極為短促之期間可資利用，因此，田間機械之年間利用多屬偏低（即每年之工作小時數少）。

一般均認為農業機械之設計領域對工程師能力上之挑戰，遠較對其他任何工程領域者為大。農業機械必須能在甚多變數之情況下完成令人滿意之工作。彼等可能在溫度高於100°F或者低於冰點之地區工作，並且尚須承受雨雪、冰雹等之襲擊。除停於堅固之工廠地板上或行駛於光滑之道路上以外，必須又能在灰塵、泥砂、石礫與高低不平之處從事工作，因此，應將彼等設計成為可以處理應付各種不同之作物與土壤條件之機械。若干駕駛人員之所以未能完全熟練，一半歸咎於機械之使用尚有一定之限制。

農業機械除能適應上述各種艱難之環境情況以外，尚受制於更為苛刻之經濟限制。農業機械之製造成本必須維持於絕對最低之價格，如此，有限之工作量方不致使每小時之費用變為驚人數值，由此觀之，農業機械之設計應該儘量簡化，並採用可以滿足工作而費用為最低之材料，同時，更應使其性能優異而製造公差最寬。

**1.5 遭遇之各種難題** 從事研究農業機械工程學科之學生，為探討此等難題，必須就此領域內經常所遭遇之難題型式，以一般所慣用之方法詳加思考。可能遭遇之各種難題，雖然範圍甚廣，但大部分可歸納為下列之一般分類：

1. 新型機械之發展。
2. 機械之改良，發展與現有機械相似之新型機械，或變更設計以求降低機械之製造成本。
3. 數個機械之比較試驗，或單獨機械之性能評鑑。
4. 機械或機械化體制，在作物生產上與（或）經濟上之效果調查。
5. 各種現有機械如何予以有效利用，及其對特殊情況適應能力之研究。
6. 不僅限於某一機械例如與犁耕以及曳引有關之土壤動力學等基本問題之研究。

商業製造機構原本與農業機械之發展改良有關，其最終目的，乃為如何獲得有用而樂為農民所接受，並且可以付諸製造而具有若干銷售利潤之產品。如此，等於農機工業已代為完成大量之研究工作，其結果當可應用於某些特別等級之機械上。

州立農業試驗所與美國農部等公家機構，可就上述各項難題之任何一項著手研究，惟彼等主要著眼之處與責任，乃為研究農業機械之活動情形（第3～6條）。有關機械化問題之研究，常需數項科學之相互併用，故由州立或聯邦實驗所出面研究為最有效。一般多為公家機構與農機具工業間之聯合研究，另一部分則由製造廠家以贈款、獎學金、與設備出借等方式由旁側支持。

當公家機構實施機械之發展改良時，常與地區性之特殊問題有關，或者可能為一龐大之發展工作，而必須與其他農業領域內之研究人員（如植物培育人員、植物學家、昆蟲學家等）密切配合。此項計劃，通常多著重於基本要求之確立、基本原理之試驗、以及基本元件之發展等問題，產品型式之最後設計，則留給製造廠家予以完成。

農業工程師無論從事研究發展機械之工作，或者處理可能遭遇之其他任何問題時，必須採取穩健之步驟，並應具有高度之信心與決心，而認為該項問題終歸必能圓滿解決。此外尚需對全盤工作作一冷靜之思考與銳利之觀察，虛心與胸襟寬宏之修養亦屬重要。

## 研究

艾利森氏 (Ellison) (8) 曾將研究二字定義為“計畫如何獲得並非預期形式之基本資料之一種探討工作”。研究所得之結果乃屬基本者，可與由相同方法在另外時間內所證實之研究結果相互比較。發展工作、試驗、測定、調查、與實驗等，各屬研究計畫項目中之一部分，其本身均不能構成一個完整之研究體制。

**1.6 研究程序** 研究程序者乃為從事分析、計畫、與處理某一問題之一項順序過程 (8)。最為重要且首先應予慎重顧慮者，即為對擬予解決之問題應有何種認識以及如何選擇，否則，該項研究工作將無多大意義。第二步，當為多方蒐集與該問題有關之一切現有資料，然後將此等數據以及與該問題有相互關聯之一切因素 (變數與常數) 加以嚴謹客觀分析。各個變數，應使其得以在建立函數相倚關係之方式下加以結合。一項完善之基本分析，應無任何偏見與私好，求出各個根本之事實與相互關係。

其次，即為學說之形成以及根據此一學說編組各項實驗。尚未直接著手實施主要目標以前，在實驗方法與儀器準備上常耗費大量時間，倘能將事先之數個階段以謹慎客觀之態度加以完成，再按照選擇程序實施，隨後分析各項所得結果，如此，則必可指向其最終之研究目標。

妥善記錄 (書寫與攝影) 實驗之情況與結果亦屬重要。所得結論必須再與其他機構所完成之相似研究結果，作一比較核對，再將數據加以分析解釋，俾獲得最多之有用資料尤其一般原理。此外，迅速將此等結果予以有效發表，亦為研究程序上之一項重要工作。

**1.7 實驗之設計** 倘在研究問題中包括有土壤或生物材料在內，則多半含有未知數或部分已知數等不能控制之變數。此等變數必定影響所得結果。遇有此種情形時，則應利用實驗統計學從事設計實驗與分析所得之結果。在實驗之設計上與統計分析上，農業工程師必須藉助統計學家之協力，或者參

考某些適當之出版刊物〔5〕，假定能小心處理試驗與精確測定，則適當之統計設計必可保證所得結果極為有用可靠。

良好之實驗設計具有兩個基本特性，即每一處理或每一材料之數項重複之包含（inclusion），以及各處理之隨機化。所需重複之數目多寡，乃依不能控制變數之預定量多少而定，最少需要兩個重複，始可估算出變動誤差或實驗誤差，但大多情形下均應採取四個重複。增加重複之數目，則可減少與二處理間觀察差異有關之實驗誤差，因而又可減少統計意義上所需之差異量。

所謂隨機化，乃純以隨意之態度從事確定何項實驗單位或實驗區可以配合某項指定處理之一個過程。隨機化必須完全客觀，例如隨意抽出可以表示不同處理寫有數字編號之紙籤，或者採用由統計資料所發表之隨機數字表等辦法均是〔5〕。隨機化可將由不能控制變數所引起之偏見減至最少，如此，在任何重複中一項處理當不致較其他處理更為偏好，因而可以確保誤差之統計估算更能正確有效。

在一實驗中，同時探討兩個或更多變動因素而每一變動因素又為兩個或更多同等情況之以統計學為基礎之實驗設計方法，目前已有若干發展。此項設計，如所周知之因素實驗，對每一變數甚至兩變數間之任何交互影響具有若干作用〔13〕。所謂交互影響，即一個變數無法在另一變數之整個區或級內具有相同之反應。每一重複所需之實驗區數目，等於所有變數之級數之乘積。

## 發展程序

“發展”二字，乃意指某一計畫朝向指定目標逐漸邁進，並敘述各式農業機械之全部演進過程者。努力工作、客觀的思考與計畫、以及多次挫折等，乃典型農業機械發展計畫之特性。

早期之農業機械發展，多為利用試探方式而極為粗放隨便，不過，隨機械之不斷發展，已能逐漸根據由研究方法所得之基本原理與資料，使近代之農業機械設計得以快速變為科學化。

現在之各項發展計畫，無論在工業界或公家機構，均能依照節1.6內所述之研究方式辦理。無論在實驗室內或在田間，各機件與機械之基本試驗與物理試驗，均屬任一發展計畫中不可缺少之一部分。

由整個農業機械化之歷史觀之，農民們為符合其本身需要，常使彼等在

機械設備之發展上能發生重要的作用，例如，大部分現在之新式農業機械所用之概念，均創始於農場，同時，最初之型式多半由農民們自己或在彼等之指導下予以製成。於早期商業新式機械之田間試驗期間，關於農民與駕駛人員們之協助與合作，對製造廠家而言乃屬極為可貴者，甚至有時可以左右機械之成功與失敗。

**1-8 現有機械之改良** 製造廠家之機械生產計畫大半均為進化發展者，其中包括現有機械之改良，或者相似於現有機械之重新設計。現有機械，無論就其在作用上抑機械上之觀點而言，縱使均能完全令人滿意，但為經濟理由，仍舊重新提出若干生產計畫，例如如何減少成本或者尋求立刻可以應用之材料之代替等問題。

倘製造廠家認為某項新穎設計就其製造成本以及可以保持或者增加銷售量而言，對農民更具價值時，則試項代替舊式機械之新穎設計，始能付諸生產。所謂對農民具有較大價值，當能顯示出工作品質之改進、動力或人工之更有效利用、較高之耐用性、以及容易修理保養等。有關新穎設計之各項詳細計畫規範，則依機械之特徵、顧客滿意與否之調查、對現有機械之保養經驗、市場分析、生產與栽培實務上之計畫趨勢、以及最近之技術發展等情形而定〔19〕。

於典型之情況下，銷售、服務、與生產工程團體，應該共同研究發展包括允許成本與預估銷售量在內之新穎設計計畫規範，然後生產工程團體從事設計發展能符合於該規範之新式機械，再併入其他各項改良。倘此項新穎設計表示與現有型式之機械完全不同，則該發展程序即與下述用於新式機械者相同。

**1.9 新式機械之發展** 若干新式機械乃具有革命性或者不按慣例所發展者，可提供新穎與更佳之工作方法。茲以小型聯合收穫機為例而言，此項機械係於1930年代引入，不久即行替代穀類捆紮機與固定式西洋脫穀機〔19〕。又以最近之舉例如乾草製塊機，對處理乾草之方法已大為改良。此外如番茄收穫機，已可大量減少勞力之需求。

擬發展一新式機械時，第一步即為對問題之認識與估算，以公家機構而言，發展農業機械之計畫（以及其他各種問題），大半多因若干具有影響力之外界團體或機構之要求而創始，該等機構中之會員，可由發展計畫之結果直接獲益，或者根據研究機構中知曉問題之重要性之某些私人建議而創始。

農業工程師與各種農業科學團體間之合作計畫，通常則屬於實驗所之工作。無論在何種情況下，遇有某項建議計畫時，必須就計畫結果之可能應用及其有關節省勞力、增加作物報酬、改良品質、增加收益等對農民們之價值如何，應先行加以研討與估算。

商業機構從事發展新型機械之各項計畫，可能由於順利之市場研究，或者由於經驗豐富工程師之正確判斷與高級主管指出其可取之處以後而提出。市場研究本身可能令人發生誤解，蓋農民們對於一推薦之新型機械並無任何經驗，能否願意接受或採用均不易定論，故頗難由農民們獲得一可靠之反應，因此，為獲得銷售之估計情形，必定需要相當之經驗與判斷。至於其他因素如擬行設計之機械在工程上之問題及其經濟可行性等，於評定計畫時以及決定是否付諸實施時，亦應一併加以考慮。

**1.10 作用要求與基本關係之決定** 無論工業界或者公家研究機構，於發展某一新型機械時，第二步即為如何建立一套機械之作用要求（functional requirement）或機械規範，換言之，機械應做何事？機械在何種情況下始能順利操作？第一個問題之答案包括點播機對種子之最佳分佈、犁耕器具對土壤之所需效果、以及收穫機械對產品回收與產品品質之所需作用與允許公差等各項因素之周詳考慮。至於一般經驗或田間調查測定，則包括在第二個問題答案之內。

於建立作用要求時，常需其他技術團體（如植物學家、土壤學家、昆蟲學家、以及作物加工專家）之協助與建議。於相互抵觸之二要求間或者理想要求與實際機械可得之要求兩者間，必須採取一折衷之方式。

緊接第二步之後，即為對現有資料（或機械）以及與問題有關之過去經驗作一決定性之觀察與評鑑。在解決問題上可能具有價值之基本關係，無論採用田間之調查方式抑以實驗室研究方式，均應予以求出。例如，植物之何種特性可供利用而有助於所需最終結果之完成？由植物或土壤之特性所引起之限制為何？

**1.11 實驗機之設計與發展** 工程師應善加利用其想像力與推理方法以及他人所提出之概念，俾對某一問題可累積若干選擇解答之概念。對一切可能者必須加以客觀估計，選出其中最為希望者再作進一步之擇討。

最初之實驗設計，乃著重於基本作用，通常係考慮機械之各個元件而不必顧及整個機械，其主要目的即為從事試驗與發展（或取消）操作上之某些

概念或原理。實驗機 ( experimental machine ) 之雛型，只要能夠達到可供適當之作用試驗之程度，其在機械細節上如堅固與否以及是否精緻等並不重要，然而該項概念在機械上與經濟上之實用性如何，卻應多加考慮，以求進一步之發展。當然，其最終之目的，不外為使該項機械盡量簡單有效，並具有令人滿意之特定作用。於計畫一圓滿設計之前，可能需要製造數個整套之實驗機，然後再加以試驗。

到此階段之發展計畫，可由公家機構或製造團體辦理，惟其他再進一步之設計與試驗工作，則應由製造廠家予以完成之。

**1.12 生產原型機之設計** 倘認為由實驗機之發展結果極具希望，並顯示出該機械將來具有經濟價值時，則現在可著手設計一套堅固耐用並能符合商業生產之機械。設計時，尚需顧及該機械所包含之各種力、動力要求、各個活動機件之慣性、重量、平衡、耐用性、保養調節之難易、安全、舒適、有否符合工業標準、以及成本等因素。就材料、製造程序，以及其他可使機械之製造極為經濟且該機械操作良好，能以最少之修理而提供所需之使用壽命等各項因素而言，在工程、生產、與銷售各部門代表之間，必須保持密切協調。

分析設計程序，目前已被逐漸採用，不過若干不太重要之結構機件，則以比例方法或者採取與其他相同用途者互作比較方式加以設計，蓋如此可以節省時間，同時，可能遭遇之極端負荷又不易預測之故也。

由銷售立場觀之，一個良好設計應能考慮到顧主之興趣所在以及預測出顧主之偏見為何。簡單、操作容易、對駕駛人員之舒適與安全、引人之式樣、以及可以表露出能量與堅固之一般外表等，亦為促進顧主與駕駛人員發生興趣之設計因素。

**1.13 原型機之構造與試驗** 倘某一機械為最新發展者，按照慣例多將其製成一有限數量之生產原型機或試驗機 ( prototype or pilot unit )，當設計尚未能付諸生產以前，該生產原型機將接受數年之試驗與修改。通常原型機多以實驗場法 ( experimental-shop method ) 加以製造，但卻根據所計畫之生產設計。此等機械，可由駕駛人員操作於各種不同地區，令其所遭遇之情況範圍較為廣泛，其性能良否，則由現場工程師或設計工程師等加以定期檢查核對而定。此外，又需實施實驗室之試驗，俾求出過度應力之發生位置以及在耐用性上任何其他可能缺點之象徵。至於某些重要機件，則

需施以加速疲勞試驗 ( accelerated fatigue tests )。

**1.14 生產型機之製造** 按照所需，將所計畫之生產設計設法加以修改。修改時，應根據原型機之田間試驗與實驗室試驗所得結果，以及成本估計人員、品質控制人員、生產代表人員、仔細校閱設計人員等之建議。修改以後，則此項最後之設計即可付諸生產。

製造廠家可以參酌於此階段內設計變更之實際情況與範圍、機械之複雜性與型式、以及於操作情況下所預期之變動程度等，再決定第一年度約有 25 至 50 部左右之有限生產操作。如此，縱使在機械上或作用上發生嚴重之問題，則需要予以廢棄或再造之機械數目當不致過多。反之，倘預產機械 ( Preproduction machines ) 極為成功，則該項設計即可在第二年度內邁向全量生產矣。

上述者，雖可視為在機械之演進上已屬一個最後階段，但在工程問題上，仍然不斷顯示出下列各種情形，例如，如何能有一合意之改良、如何獲得令人滿意之使用壽命、如何使用新穎或改善之材料與製造方法以減低成本、以及如何擴大機械之應用範圍等均是。

**1.15 電子計算機之應用** 於農業機械之設計、研究、與教學上，已逐漸利用比量計算機與數位計算機 ( analog and digital computers )，由於利用計算機可以解決若干複雜之設計問題，故工程師可有多餘之時間從事創造思考與生產工程。計算機可以高速操作，在設計變量上遠較人工計算可以獲得更多之解答，以選出最佳之變數量組合，因而設計與生產之新穎簡化技術當可實現 [ 25 ]，此即表示實質上無法以人工解答包含複雜方程式在內之理論分析，亦可利用計算機予以完成之。

比量計算機可以處理表示各個問題變數大小之量，尤其特別適用於包括微分方程式解答在內之各種問題。計算機之輸出，通常則為可指出兩變數關係之圖解顯示，其精度可與由計算尺所求得者相比擬。倘有需要，計算機操作人員亦可看到所計算之結果，同時，調節若干變數量以後又能立刻實施另一項操作。

利用比量計算機解答農業機械有關問題之舉例如 (a) 撒播肥料顆粒時其弧形行程之求法，(b) 在教室內對萬向接頭運動與動力研究 [ 27 ]，以及 (c) 於某種情況下對現有曳引機附掛半承載犁頭不穩定問題之分析與校正 [ 27 ]。比量計算機乃一優異之教室教具，此乃一部分由於計算機之裝設、簡目之



編排、以及取得與數學記述以及系統之活動狀態有關問題之解答等所用方法為佳也〔27〕。

數位計算機可以處理純數學與簡單算術，且具備累積與邏輯之能力，於極短之時間內可以精確解決甚多型式之工程問題。又極為複雜之問題，利用數位計算機遠較利用比量計算機為恰當，尤其對於令人厭倦反復之問題更為適用。將微分方程式編排於數位計算機內，遠較編排於比量計算機內為不便，蓋任一非算術問題，在將其編排於數位計算機以前，尚有必須利用數字分析方法將其變成簡單之算術階段也。不過，若干數位計算機系統，均具有可以積分之副節目編排，如此，可免除計算機使用人自行書寫積分節目之煩。

於農機設備工業上，數位計算機較比量計算機更為人所樂用，此可能一部分由於將數位計算機應用於薪水冊準備工作、存貨清單計算、以及工程之故。茲舉數例，說明過去利用數位計算機所解決之各種問題：(a)建立通過板犁犁耕之土壤顆粒動路之經驗公式，求出沿該動路之加速率，作為理論分析與比較犁頭性能之依據〔4〕，(b)協助設計大型田間機械之懸浮系統與機架之結構〔21〕，(c)計算棉花採摘機滾筒上各式凸輪輪廓之尺寸，如此當可大量試驗與比較凸輪之輪廓〔3〕，(d)設計齒輪，以及(e)與試驗數據統計分析有關一切冗長令人乏味之計算〔3〕。

**1.16 標準化** 包括一切農業工程界之若干ASAE標準、推薦書、以及數據文件等業已逐漸發表，此等最新之敘述均包括於每期農業工程師年報之刊物內。此項刊物每年由美國農業工程師學會(ASAE)出版發行，自動分送給各個會員，遇有必需時，則將現有之文件加以校訂或者重新編製。如在1971年度之年報內，即載有35個標準、21個推薦書、與一個數據(農機管理數據)，此等資料可適用於農具與曳引機，或單適用於農具。

某些ASAE標準與推薦書，乃與汽車工程師學會或者農工設備研究所共同研訂者。ASAE標準與推薦書均屬“一致”(consensus)型式，完全可以自由選用。不過，其在美國農場設備製造廠家間被遵循之程度頗高。與農用曳引機及農具有關之標準化(standardization)，其目的與優點列明於下：

1. 改進各個不同廠牌與型式之農具與曳引機間之互換性。
2. 改進農具與曳引機之操作安全。
3. 減少所需機件之種類，以協助工業。
4. 改進訂定設備能量、尺寸、與定額等方法之一律性。