建國科技大學

工業工程與管理系

一百學年度畢業專題製作

以精實生產提升航空零組件組裝效率

Applying Lean Production to Improve the Manufacturing and Assembly Efficiency of Aviation Components

IE100 夜四-03

指導老師

夏太長

製作學生

蕭東有 97805025
葉士維 97805037
洪明羣 97805029
蔡宜呈 97805020

中 華 民 國 一百 年 十二 月 二十二 日

建 國 科 技 大 學　工 業 工 程 與 管 理 系

畢業生專題製作口試委員會審定書

本系 一百 學年度畢業生：蕭東有　葉士維　洪明羣　蔡宜呈 等員

所提專題題目：以精實生產提升航空零組件組裝效率

合於大學生畢業資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：　　夏太長

　　任筱玉

指導老師：夏太長

系 主 任：

中 華 民 國 一 百 年 十 二 月 二 十 二 日

致謝

本專題能夠順利完成，首先要感謝夏太長院長撥冗願意當我們的指導老師，老師不厭其煩的教導我們如何編寫專題與說明其內容的涵義，還花了許多時間逐一審視我們的專題，並給予修正。在這一年半的時間裡我們持續努力，終於完成專題，在此不得不心懷感激的跟老師說：「老師您辛苦了，還有謝謝您」。

其次，還要感謝漢翔公司給我們實習的機會，讓我們知道如何去對業界執行改善與建議，在實習的過程中，漢翔公司也都會提供我們資源與資訊，幫助我們順利在專題中的進行，碰到困難或是不懂的地方，也都很耐心的講解，讓我們理解問題點，並能夠順利幫助我們研究專題。

最後，要感謝蔡文豐主任、任筱立老師口試上的教導，兩位老師所提出的建議和專題裡的缺失，讓我們明白哪邊是需要改善的，才使這本專題的內容更加的完整。

摘　要

精實(lean)係透過排除浪費提升流程速度來降低成本，精實生產(lean production)則是將精實的方法落實到企業的經營，創造利潤，永續生存。學習曲線(learning curve)係指隨著生產次數的增加，單位生產時間就會下降，這是經由練習累積的經驗所造成的結果。本專題研究實際參予漢翔公司(Aerospace Industrial Development Corporation)精實生產活動，並蒐集該公司在執行精實生產前後分別生產波音 737 飛機與波音 747 飛機輪艙門製造與組裝工時，並探討此兩組工時，學習曲線的學習率變化，得知該公司執行精實生產後，學習率顯著降低，可見推動精實生產的成效，爲本專題研究之具體之貢獻。

關鍵詞：精實生產；學習曲線；航空零組件；生產績效

Abstract

“Lean” is oriented toward achieving the shortest possible cycle time by eliminating waste, and the term "lean manufacturing" is coined to radically improve profitability and create a workable sustainability plan for the organization. Based on the rule representing the learning curve effect, the required labor time is decreased with the increase of total production due to the knowledge and experience accumulated by practices. The team joins Aerospace Industrial Development Corporation(AIDC) in the implementation of lean manufacturing and collects data on the required labor time for the manufacture and assembly of 737, 747 entry doors before and after the implementation of lean manufacturing. We examine the learning curves and find lean manufacturing significantly reduces the required labor time, indicating the effectiveness of lean manufacturing in the improvement of performance.

Keywords: lean manufacturing; learning curve; aircraft component and parts; production performance

目　錄

頁碼

摘要---------- I

英文摘要 ---------- II

目錄---------- III

圖目錄---------- V

表目錄---------- VI

第一章　緒論---------- 01

第二章　文獻探討---------- 03

2-1　學習曲線---------- 03

2-1-1　學習遷移---------- 04

2-1-2　學習曲線的意義---------- 05

2-1-3　學習曲線理論的應用與限制---------- 14

2-1-4　單機模式與平均模式的比較---------- 14

2-2　精實生產---------- 17

2-2-1　精實生產的概念——豐田模式---------- 17

2-2-2　精實生產(Lean Production)---------- 18

2-2-3　豐田生產制度---------- 20

2-2-4　精實生產與七大浪費---------- 21

2-2-5　5S ---------- 24

2-2-6　看板(Kanban)管理---------- 26

第三章　波音 737 飛機輪艙門製造與組裝學習曲線---------- 27

3-1　漢翔公司簡介---------- 27

3-2　波音 737 飛機輪艙門的製造與組裝學習曲線之建立---------- 27

第四章　精實生產改善現況---------- 32

4-1　移動搬運車的改善可降低等待浪費與搬運浪費---------- 32

4-2　環境的改善可降低不良品浪費---------- 33

4-3　工具車的改善可降低動作浪費與加工浪費---------- 34

4-4　站別指標的改善可降低庫存的改善---------- 35
4-5　生產指標的改善可降低製造過多(早)浪費---------- 36
第五章　精實生產後波音 747 輪艙門製造與組裝學習曲線---------- 37
第六章　結論與建議---------- 41
參考文獻---------- 42

圖 目 錄

圖 1-1　經常執行一項工作每次作業所需的時間就會愈少---------- 01

圖 1-2　專題研究架構---------- 02

圖 2-1　生產作業的初期學習曲線爲一連串波狀的遞減曲線---------- 05

圖 2-2　學習曲線---------- 08

圖 2-3　Crawford 80%學習曲線圖---------- 13

圖 2-4　Crawford 80%取對數之學習曲線---------- 13

圖 2-5　以首架飛機 100,000 小時爲例生產到第 64 架時 Y(C)與 Y(W)的比較-- 17

圖 2-6　推式生產與後拉式(pull)生產示意圖---------- 19

圖 2-7　豐田生產制度---------- 21

圖 2-8　人員等待的浪費---------- 22

圖 2-9　庫存的浪費---------- 24

圖 2-10　5S 的內容簡述--- ---------- 25

圖 2-11　看板(Kanban)管理屬後拉式取貨---------- 26

圖 3-1　波音 737 輪艙門製造與組裝---------- 28

圖 3-2　波音 737 輪艙門安裝飛機機腹---------- 28

圖 3-3　使用最小平方法找出 137 個艙門的學習曲線---------- 30

圖 4-1　移動搬運車的改善(一)---------- 32

圖 4-2　移動搬運車的改善(二)---------- 33

圖 4-3　現況的改善降低不良品---------- 34

圖 4-4　工具車的改善---------- 35

圖 4-5　站別指標的改善----------.---------- 36

圖 4-6　生產指標的改善---------- 36

圖 5-1　波音 747 輪艙門結構---------- 37

圖 5-2　波音 747 輪艙門成品---------- 37

圖 5-3　使用最小平方法找出 130 個艙門的學習曲線---------- 39

表 目 錄

表 2-1　學習率與工時降低率指數(斜率) ---------- 08
表 2-2　Wright 的累積平均工時 Y(W)與 Crawford 的單機工時 Y(C)以 80%學習率做比較---------- 15
表 3-1　波音 737 飛機輪艙門專案製造與組裝工時---------- 29
表 3-2　137 個艙門製造與組裝學習曲線之斜率與學習率---------- 30
表 5-1　波音 747 飛機輪艙門專案製造與組裝工時表---------- 38
表 5-2　130 個艙門製造與組裝學習曲線之斜率與學習率---------- 40

第一章 緒論

本專題研究係探討以精實生產提升航空零組件組裝之效率。精實(lean)是一個方法論，係透過排除浪費提升流程速度來降低成本，精實生產(lean production)則是將精實的方法落實到企業的經營，使其運作精實降低浪費，創造利潤，永續生存。精實生產緣起於日本豐田生產制度，世界許多企業都在學習豐田式經營，其精髓是在運用精實思想(lean thinking)從顧客的角度來分析價值的流動，進行持續改善。

學習曲線係指隨著生產次數的增加，單位生產時間都會下降，這是經由練習累積的經驗所造成的結果，本專題研究是探討漢翔公司執行精實生產前後，其航空零組件組裝學習曲線的改變，因爲製造任何產品都有共同的經驗。但這個現象直到二次世界大戰期間才得到確實的驗證，當時美國航空工業爲趕製飛機，發現愈是經常地執行某一項工作，此工作愈是穩定且例行，每次作業所需的時間就會愈少，因而有學習曲線(learning curve) 理論的提出如圖 1-1 所示。1925 年美國俄亥俄州(Ohio) 代頓市(Dayton)萊特-佩特森空軍基地(Wright-Patterson Air Force Base)就用此理論對飛機生產線裝配工時執行實際量化，之後驗證得知當時製造飛機的學習率約在 85%-90%之間。

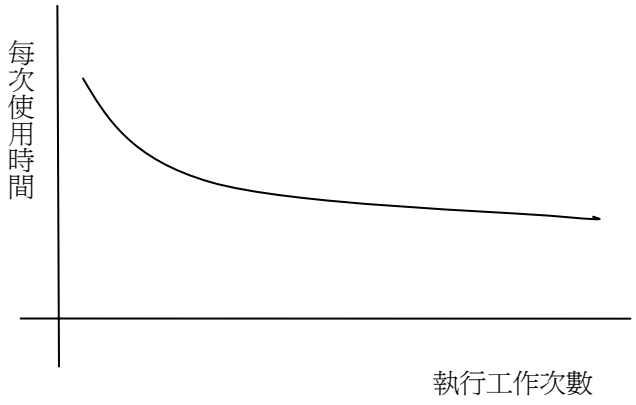


圖 1-1 經常執行一工作每次所需的時間就會愈少

學習是經由練習而導致行爲改變的歷程，當重複執行某些事情時只要有動機，就會學習做的更好。因此動機是一切學習的原動力，動機又可分爲內在與外在兩類，內在的動機與本身的工作(task)有關，它可以促使作業員持續保持工作興趣；外在的動機則需仰賴精實生產五大基本原則：1.正確的確定價值；2.辨識價值流；3.暢流；4.建立後拉式(Pull)生產；與 5.追求盡善盡美；施以訓練並給予適當的激勵(incentives)，當外在的動機改善後，內在的動機亦跟著相對的提升。

本專題研究在探討執行精實生產前後，飛機製造廠航空零組件組裝其學習率的改變，證明飛機製造廠推動精實生產會導致作業員內在與外在動機的提升，因而增進生產效率，其專題研究如圖 1-2 所示。

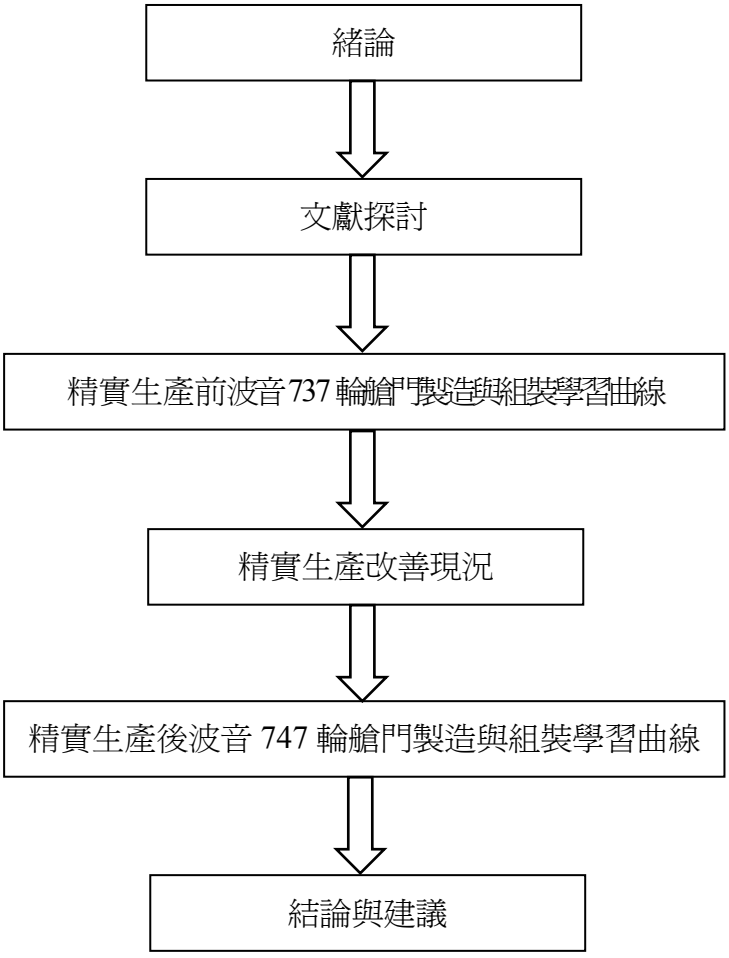


圖 1-2　專題研究

第二章 文獻探討

由於本研究探討以精實生產提升航空零組件組裝效率，在文獻探討的部份分爲兩個主軸，分別是學習曲線與精實生產，現分述如後。

2-1 學習曲線

學習曲線有狹義與廣義的解釋，狹義的學習曲線係指作業員個人的學習行爲而使工時降低，因此狹義的學習曲線又稱爲人員學習曲線；廣義的學習曲線係指某一行業或某一產品，在其產品壽命周期的學習行爲使工時降低，以飛機製造爲例，包含了生產方式的改善、設備的改良、管理的改善與技術的革新，係融合了技術改善與管理的藝術來提升生產力，因此廣義的學習曲線又稱爲生產進步函數(manufacturing progress function)、經驗曲線(experience curve)、效率曲線(efficiency curve)、成本曲線(cost curve)或改進曲線(improvement curve)等。

就廣義的學習曲線而言，學習效果的達成，多是綜合多人的努力，因此影響學習曲線的因素包括。

1.作業員動作的純熟度——這是狹義的學習曲線，也是影響廣義學習曲線的最基本因素。

2.管理技術的改善——由於正確的教導，事前的周全準備，獎工制度的應用而影響學習率的提升。

3.工具的改良——可減少作業員操作時間。

4.問題回饋——當產品開始生產後，生產與製造的問題則會逐步回饋到設計部門，經由設計改良，有助於工時的遞減。

5.機器設備之改善與性能提升——使機器設備更具效率，有助於工時之降低。

6.物料及時供應——長期生產持續供應物料，可減少停工待料之時間，有助於工時之降低。

7.專業分工——使每位作業員專注於某一部份簡單的工作，有助於減少作業員學習與遺忘及降低工作的困難度。

探討學習曲線本節以 1.學習遷移；2.學習曲線的意義；3.學習曲線理論的應用與限制；與 4.單機模式與平均模式之比較等四個部份說明如後。

2-1-1 學習遷移

學習遷移(transfer of learning) 指的是先前情境所習得的知識、技能和態度，能否影響至另一個相似情境或新情境的學習的現象；亦即，在某一情景中學習到的成效可否轉移或應用到另一情景的程度與範圍。

學習遷移依遷移的效果可區分爲正遷移(positive transfer)和負遷移(negative transfer)，當一種知識和技能的學習對另一種學習產生促進作用稱爲正遷移，通常兩學習間的刺激與反應愈相似，則愈能引起正遷移；相反地，當某一知識和技能的學習阻礙了另一知識或新知識的學習時則稱爲負遷移，當兩學習間的刺激愈相同但反應愈相異時，負遷移就愈大。

學習遷移依遷移的方向分爲水平遷移(lateral transfer)和垂直遷移(vertical transfer)，所謂水平遷移係指難易程度相同或同一階層主題的兩種學習間之相互影響，如觸類旁通、舉一反三，即是水平遷移；垂直遷移則是難易程度不同或不同階層的兩種學習間之相互影響，依難易度和階層的不同，又可分爲由上而下的高階遷移(high road transfer)，和由下而上的低階遷移(low road transfer)。高階遷移需要從原有的知識中抽取出原則，應用在新的情境和新知識學習中，例如將演習時的戰術戰法應用到真的實戰情境中；而低階遷移猶如產生自動化的過程，例如在學校習得算術，很容易地就能應用在市場中的買賣上。

一位作業員經由學習所獲得的知識與技能，可否有效的應用於實際工作中，從學習遷移的理論得知，當工作輪調時只要前後工作間有某些相似之處，其先前的經驗就可轉移到其後的工作。亦即，兩種情景在活動的因素與工作的方法上有相同的因子，就會產生水平遷移；不同的工作只要給予適當的訓練與良好的管理制度就會產生垂直遷移。

學習曲線以練習的次數(number of practice)當做橫軸，因爲學習係經由練習而使行爲產生改變，練習的次數通常代表累積的產品產量；而學習的效果則以單位產品工時的遞減、單位產品成本的降低或是不良率的降低等當做縱軸，描繪於

座標紙上，這種因累積產品產量增加而產生工時遞減、成本降低或是不良率的降低所繪製的一條下滑曲線就稱爲學習曲線，斜率下滑的愈大，表示學習效果愈佳。

2-1-2 學習曲線的意義

1925 年美國萊特-佩特森空軍基地已開始收集飛機生產線裝配工時，謀求降低成本，這是研究學習曲線的開端。1936 年美國康乃爾(Cornell)大學 T. P. Wright 博士，在航空科學期刊(Journal of Aeronautical Science)發表有關學習曲線的文章 Factors Affecting the Cost of Airplanes(影響飛機成本因子) [1]後，學習曲線的理論不斷地被研究，也被廣泛的應用於航空以外的其他工業。

當時 Wright 指出飛機生產工時之降低係歸因於作業員逐漸學習，而累積之經驗，並指出在生產作業的初期，其每次作業所需的時間通常會有逐漸降低之趨勢，但實際上一定會有因工程變更導致每次作業時間不穩定，學習曲線如一連串波狀的遞減曲線，而非一平滑曲線，如圖 2-1 所示。然爲計算方便與使用上，通常將學習曲線視爲一平滑曲線，所爲平滑曲線乃取每次作業時間與學習曲線其平均效果。

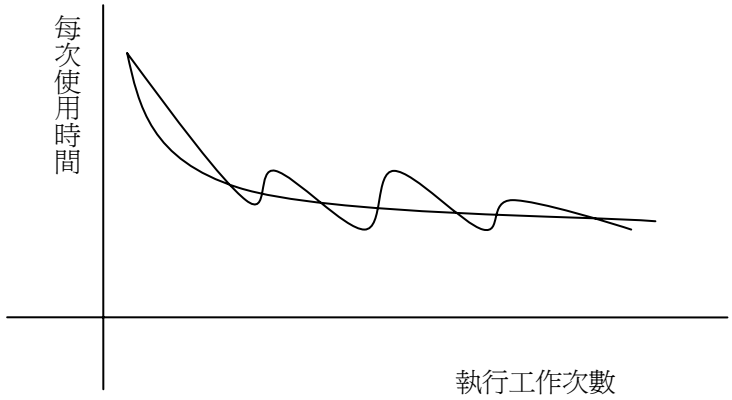


圖 2-1　生產作業的初期學習曲線爲一連串波狀的遞減曲線

Wright 稱累積產量到第 X 架次時的直接工時與累積生產架次，可用(1)式子表示。

$$Yx = a X^{b} \quad (1)$$

式中

Yx：表累積產量到第 X 架次時其累積平均直接工時

a ：爲首架次飛機直接工時

X ：爲累積生產架次

b ：爲工時降低率指數，即斜率

由該(1)式可知，飛機產量的直接工時會隨著累積生產架次逐漸遞減，這與作業員因不斷學習，而使工時降低之情形一致，乃稱(1)式所呈現之曲線爲學習曲線。

現將 Wright 所提出之學習曲線公式(1)的理論推演如下。

設 Yx 表累計產量到第 X 架次時其累積平均直接工時

a 爲首架次飛機直接工時

X 爲累積生產架次

α 爲當累積架次倍增時，工時下降之百分比，亦稱爲學習率

依 Wright 之論點，累計產量到第 X 架次時其累積平均直接工時

$$Y_2 = a\alpha \quad (2)$$

$$Y_4 = Y_2\alpha = a\alpha\alpha = a\alpha^2 \quad (3)$$

$$Y_8 = Y_4\alpha = a\alpha^2\alpha = a\alpha^3 \quad (4)$$

$$Y_{16} = Y_8\alpha = a\alpha^3\alpha = a\alpha^4 \quad (5)$$

$$Y_{32} = Y_{16}\alpha = a\alpha^4\alpha = a\alpha^5 \quad (6)$$

$$Y_{64} = Y_{32}\alpha = a\alpha^5\alpha = a\alpha^5 \quad (7)$$

由(2)至(7)式可歸納爲

$$Yx = a\alpha^{k} \quad (8)$$

令 $X = 2^{k}$ (9)

將(9)式兩邊取對數

$$\log(X) = k\log(2) \quad (10)$$

$$k = \log(X)/ \log(2) \quad (11)$$

將(11)式代入(8)式，則

$$Yx = a\alpha^{(\log(X)/\log(2))} \quad (12)$$

將(12)式兩邊取對數

$$\log(Yx) = \log(a\alpha^{(\log(X)/\log(2))}) \quad (13)$$

$$\log(Yx) = \log(a)+\log(\alpha^{(\log(X)/\log(2))}) \quad (14)$$

$$\log(Yx) = \log(a)+(\log(x)/\log(2))*\log(\alpha) \quad (15)$$

$$\log(Yx) = \log(a)+(\log(\alpha)/\log(2))*\log(x) \quad (16)$$

兩邊取 10^X得

$$Yx = aX^{(\log(\alpha)/\log(2))} \quad (17)$$

設 $b = \log(\alpha)/ \log(2)$ (18)

則(17)式可改寫爲

$$Yx = a\,X^{\,b} \quad (19)$$

這就是 Wright 所提出(1)式的由來。在(18)式中之學習率 α 值一定小於 1，取對數之值爲負，所以產生之 b 值是負值的，表示學習曲線要往下走，亦即斜率爲負的才是正常的學習曲線。

由學習曲線的公式$Yx = a\,X^{\,b}$可知累積生產架次加倍，就可得到學習率(α)，亦即

$$\frac{a(2X)^b}{a(X)^b} = 2^b = \alpha \quad (20)$$

學習率(α)的對數值 = b log2 (21)

$$b = \frac{\text{學習率}(\alpha)\text{的對數值}}{\log 2} \quad (22)$$

若學習率(α)爲 80%，則

$$b = \frac{\log 0.8}{\log 2}$$

$$= \frac{-0.0969}{0.3010}$$

$$= -0.322$$

因此可知學習率(α)與工時降低率指數(斜率)之關係，如表 2-1 所示

表 2-1　學習率與工時降低率指數(斜率)

α 學習率%	b 工時降低率指數	α 學習率%	b 工時降低率指數	α 學習率%	b 工時降低率指數	α 學習率%	b 工時降低率指數	α 學習率%	b 工時降低率指數
51	-0.971	61	-0.713	71	-0.494	81	-0.304	91	-0.136
52	-0.943	62	-0.690	72	-0.474	82	-0.287	92	-0.121
53	-0.916	63	-0.667	73	-0.454	83	-0.269	93	-0.105
54	-0.889	64	-0.644	74	-0.435	84	-0.252	94	-0.090
55	-0.862	65	-0.622	75	-0.415	85	-0.235	95	-0.074
56	-0.837	66	-0.600	76	-0.396	86	-0.218	96	-0.059
57	-0.811	67	-0.578	77	-0.377	87	-0.201	97	-0.044
58	-0.786	68	-0.577	78	-0.359	88	-0.185	98	-0.030
59	-0.761	69	-0.536	79	-0.340	89	-0.169	99	-0.015
60	-0.737	70	-0.515	80	-0.322	90	-0.152		

現用以下三個例子說明 Wright 所提學習曲線公式及其應用。

例一：已知某工作具有 80%的學習率，若作業員生產第一件需 100 小時，計算完成 8 件共需多少時間？(用累積平均工時)

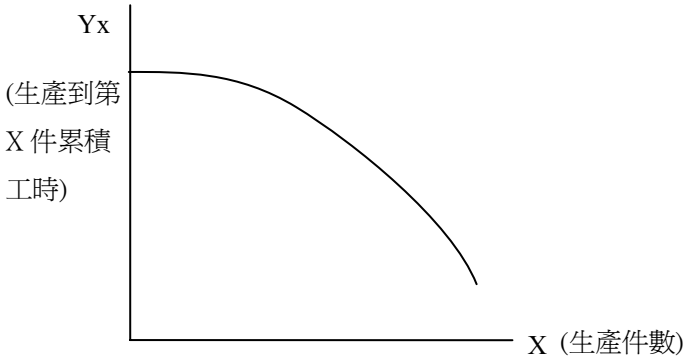


圖 2-2　學習曲線

學習曲線公式

$Yx = a X^{b}$

式中

Yx 表生產到第 x 件平均每件工時

a 表生產第一件工時

α 表學習率

生產到第 2 件時累積平均每件工時

$Yx = a X^{b}$

$Y_2 = a \cdot 2^{b}$

$= 100 \cdot 2^{b}$

$= 100 \cdot 2^{1\ b}$

$= 100 \cdot 2^{b\ 1}$

$= 100 \cdot 0.8^{1}$

= 80 小時

生產到第 2 件時累積平均每件工時爲生產到第 1 件時之 80%。

生產到第 4 件時累積平均每件工時

$Y_4 = a \cdot 4^{b}$

$= 100 \cdot 4^{b}$

$= 100 \cdot 2^{2\ b}$

$= 100 \cdot 2^{b\ 2}$

$= 100 \cdot 0.8^{2}$

= 63.99 小時

生產到第 4 件時累積平均每件工時爲生產到第 2 件時之 80%。

生產到第 8 件時累積平均每件工時

$Y_8 = a \cdot 8^{b}$

$= 100 \cdot 8^{b}$

$= 100 \cdot 2^{3\ b}$

$= 100 \cdot 2^{b\ 3}$

$= 100 \cdot 0.8^{3}$

= 51.2 小時

生產到第 8 件時累積平均每件工時爲生產到第 4 件時之 80%。

完成 8 件共需 51.2 × 8 = 409.6 小時

例二：一生產線花費 100 小時生產出第一個零件，在學習率爲 80%的情況。生產第 2、4、8、16、32 與 64 個零件將花費多少時間？(用累積平均工時)

1. $Y_2 = a X^{b}$

$= 100 \cdot 2^{b}$

$= 100 \cdot 0.8$

$= 80$

$= \frac{100 + t_2}{2}$

$t_2 = 60$

故生產第二個零件將花費 60 小時。

2. $Y_3 = \frac{100 + 60 + t_3}{3}$

$= a X^{b}$

$= 100 \cdot 3^{-0.322}$

$= 70.2$

$= 70.2 \cdot 3 - 100 - 60$

$t_3 = 50.61$

$Y_4 = \frac{100 + 60 + 50.61 + t_4}{4}$

$= a X^{b}$

$= 100 \cdot 4^{-0.322}$

$= 63.99$

$= 63.99 \cdot 4 - 100 - 60 - 50.61$

$t_3 = 45.36$

故生產第四個零件將花費 45.36 小時。

3. $Y_5 = \frac{100 + 60 + 50.61 + 45.36 + t_5}{5}$

$= a X^{b}$

$= 100 \cdot 5^{-0.322}$

$= 59.557$

$= 59.557 \cdot 5 - 100 - 60 - 50.61 - 45.36$

$t_5 = 41.81$

$$Y_6 = \frac{100 + 60 + 50.61 + 45.36 + 41.81 + t_6}{6}$$

$= a X^{b}$

$= 100 \cdot 6^{-0.322}$

$= 56.16$

$= 56.16 \cdot 6 - 100 - 60 - 50.61 - 45.36 - 41.81$

$t_6 = 39.17$

$$Y_7 = \frac{100 + 60 + 50.61 + 45.36 + 41.81 + 39.17 + t_7}{7}$$

$= a X^{b}$

$= 100 \cdot 7^{-0.322}$

$= 53.44$

$= 53.44 \cdot 7 - 100 - 60 - 50.61 - 45.36 - 41.81 - 39.17$

$t_7 = 37.13$

$$Y_8 = \frac{100 + 60 + 50.61 + 45.36 + 41.81 + 39.17 + 37.13 + t_8}{8}$$

$= a X^{b}$

$= 100 \cdot 8^{-0.322}$

$= 51.2$

$= 51.2 \cdot 8 - 100 - 60 - 50.61 - 45.36 - 41.81 - 39.17 - 37.13$

$t_8 = 35.46$

故生產第八個零件將花費 35.46 小時。

餘以類推，可知生產第十六個零件將花費 28.06 小時，生產第三十二個零件將花費 22.33 小時；與生產第六十四個零件將花費 17.82 小時。

例三：某一生產線產出第一個零件需要 80 小時，第二個零件須 72 小時，求學習率爲？(用累積平均工時)

做到第二件之平均工時爲

$$Y_2 = \frac{80+72}{2}$$
$$= 80 * 2^b$$
$$= 80\alpha$$
$$\alpha = \frac{80+72}{80*2}$$
$$= \frac{152}{160}$$
$$= 95\%$$

Wright 的理論提出 10 年之間並未受到太多的挑戰，也沒有其他學者發表與其不同的論點，相關的論文則是補充 Wright 理論與應用，但 10 年後 J. R. Crawford 發表與 Wright 不同觀點，Crawford 主張 Y 應爲單機工時而非累積平均工時，這二種觀點所產生之結果，對學習曲線的斜率就不同。

由 Crawford 所提出用單機工時計算學習曲線更容易解釋與瞭解，假設首架次飛機直接工時爲 100,000 小時，考量學習百分比爲 80%(80%學習曲線)累積產量(裝配)到第 2、4、8、16、32、64 架飛機時，其直接工時爲：

Y_2 = 第 2 架飛機直接工時：

100,000 × 0.80 = 80,000 小時

Y_4 = 第 4 架飛機直接工時：

80,000 × 0.80= 64,000 小時

Y_8 = 第 8 架飛機直接工時：

64,000 × 0.80 = 51,200 小時

Y_{16} = 第 16 架飛機直接工時：

51,200 × 0.80 =40,960 小時

Y_{32} = 第 32 架飛機直接工時：

40,960 × 0.80 = 32,768 小時

Y_{64} = 第 64 架飛機直接工時：

32,768 × 0.80 = 26,214 小時

現將首架次飛機直接工時 100,000 小時，用 Crawford 80%學習曲線繪制之圖形至 64 架次如圖 2-3 所示。

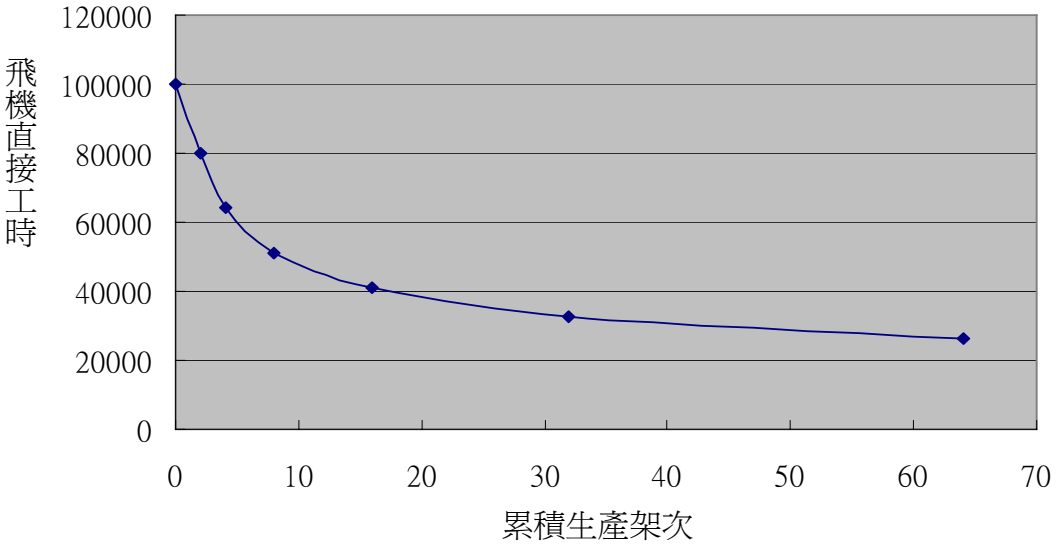


圖 2-3 Crawford 80%學習曲線圖

圖 2-3 是學習曲線最典型的圖形，但因爲它是曲線，繪製時不見得精確，若需在圖上快速推估工時及學習率時，就不會很精確而產生誤差，若能用改直線表示，就能解決上述問題，現將圖 2-3 水平與垂直兩軸取對數，即可將學習曲線轉換成直線如圖 2-4 所示。在直線上只要知道二點，即可計算斜率，並依據直線之斜率或角度即可估算出學習曲線的學習百分比，並可推估產量到 X 架次時之直接工時。

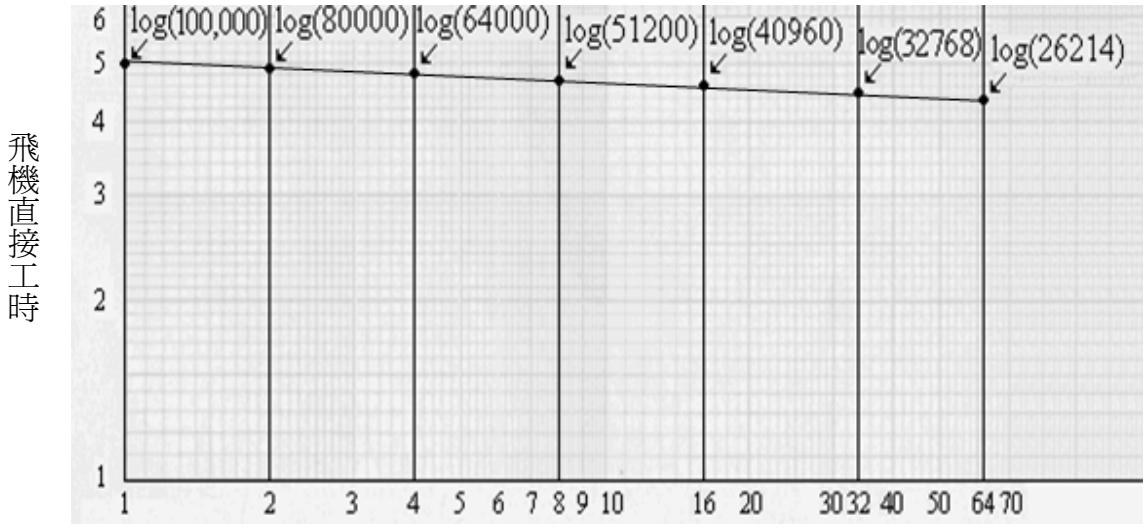


圖 2-4　Crawford 80%取對數之學習曲線

2-1-3 學習曲線理論的應用與限制

學習曲線理論可廣泛應用於以下列領域：

1.人力規劃與生產排程。

2.採購議價。

3.新產品訂價。

4.預算、採購與存貨計劃。

5.產能規劃。

應用學習曲線，能幫助管理者作出更佳的決策，即使用初期生產工時就可預估後期的生產所需要的工時，進而計算出人力需求。當然，在生產過程中工作要執行持續改善，所以學習曲線可提供預期之決策，以規劃成本。此外學習曲線亦可用來評估新進人員受訓期間的學習效果，衡量每位作業員的績效，及衡量作業員學習進步率，並預測是否能於一定期間內達成某工作量的目標。但管理者使用學習曲線，亦應意識到其使用上的限制：

1.學習率在不同的工作，不同的組織間有所差異，而其差異視工作型態是否穩定而定。因此，學習率要建構在實證之基礎上。

2.依學習曲線爲基礎所擬定的計畫，只能視爲預估實際時間的近似值。

3.由於學習曲線是以第一個物品產出的時間值做爲計算的基礎，所以此時間要經過特別精確的計算。

4.在大量生產的情況下，學習曲線可預測生產過程在何時會趨於穩定。然而在生產數量很多的情況下，能更再節省的工時就變的很小，由於單位時間的減少微不足道，而會導致管理者不會引起持續改進的興趣。

2-1-4 單機模式與平均模式之比較

Wright與Crawford學習曲線觀點之不同，係在於Y是採累積平均工時或是單機工時，此二論點對所產生出來的結果一定會有所差異。亦即，學習曲線公式$Yx = aX^b$中的Y，若採Wright之觀點則爲累積平均工時，稱爲Y(W)；若採Crawford之觀點則爲單機工時，稱爲Y(C)。現將學習率訂爲 80%，計算出Wright與Crawford所使用的累積平均工時與單機工時的對應表如表 2-2 所示。

表 2-2　Wright 的累積平均工時 Y(W)與 Crawford 的單機工時 Y(C)以 80%學習率做比較

架次	Y(W)累積平均工時			Y(C)單機工時		
	單機因子	累積因子	平均因子	單機因子	累積因子	平均因子
1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
2	0.6000	1.6000	0.8000	0.8000	1.8000	0.9000
3	0.5063	2.1063	0.7021	0.7021	2.5021	0.8340
4	0.4537	2.5600	0.6400	0.6400	3.1421	0.7855
5	0.4182	2.9782	0.5956	0.5956	3.7377	0.7475
6	0.3919	3.3701	0.5617	0.5617	4.2994	0.7166
7	0.3713	3.7414	0.5345	0.5345	4.8339	0.6906
8	0.3546	4.0960	0.5120	0.5120	5.3459	0.6682
9	0.3405	4.4365	0.4929	0.4929	5.8389	0.6488
10	0.3286	4.7651	0.4765	0.4765	6.3154	0.6315
11	0.3181	5.0832	0.4621	0.4621	6.7775	0.6161
12	0.3089	5.3922	0.4493	0.4493	7.2268	0.6022
13	0.3007	5.6929	0.4379	0.4379	7.6647	0.5896
14	0.2934	5.9863	0.4276	0.4276	8.0923	0.5780
15	0.2867	6.2730	0.4182	0.4182	8.5105	0.5674
16	0.2806	6.5536	0.4096	0.4096	8.9201	0.5575
17	0.2750	6.8286	0.4017	0.4017	9.3218	0.5483
18	0.2699	7.0985	0.3944	0.3944	9.7162	0.5398
19	0.2651	7.3635	0.3876	0.3876	10.1037	0.5318
20	0.2606	7.6242	0.3812	0.3812	10.4849	0.5242
21	0.2565	7.8806	0.3753	0.3753	10.8602	0.5172
22	0.2525	8.1332	0.3697	0.3697	11.2299	0.5104
23	0.2489	8.3820	0.3644	0.3644	11.5943	0.5041
24	0.2454	8.6275	0.3595	0.3595	11.9538	0.4981
25	0.2421	8.8696	0.3548	0.3548	12.3086	0.4923
26	0.2390	9.1086	0.3503	0.3503	12.6589	0.4869
27	0.2361	9.3447	0.3461	0.3461	13.0050	0.4817
28	0.2333	9.5781	0.3421	0.3421	13.3471	0.4767
29	0.2306	9.8087	0.3382	0.3382	13.6853	0.4719
30	0.2281	10.0368	0.3346	0.3346	14.0199	0.4673
31	0.2257	10.2624	0.3310	0.3310	14.3509	0.4629
32	0.2233	10.4858	0.3277	0.3277	14.6786	0.4587
33	0.2211	10.7068	0.3244	0.3244	15.0031	0.4546
34	0.2189	10.9258	0.3213	0.3213	15.3244	0.4507
35	0.2169	11.1427	0.3184	0.3184	15.6428	0.4469
36	0.2149	11.3576	0.3155	0.3155	15.9583	0.4433
37	0.2130	11.5705	0.3127	0.3127	16.2710	0.4398
38	0.2111	11.7817	0.3100	0.3100	16.5810	0.4363
39	0.2094	11.9910	0.3075	0.3075	16.8885	0.4330

表 2-2　Wright 的累積平均工時 Y(W)與 Crawford 的單機工時 Y(C)以 80%學習率做比較

架次	Y(W)累積平均工時			Y(C)單機工時		
	單機因子	累積因子	平均因子	單機因子	累積因子	平均因子
41	0.2060	12.4046	0.3026	0.3026	17.4960	0.4267
42	0.2044	12.6090	0.3002	0.3002	17.7962	0.4237
43	0.2028	12.8118	0.2979	0.2979	18.0942	0.4208
44	0.2013	13.0130	0.2958	0.2958	18.3899	0.4180
45	0.1998	13.2129	0.2936	0.2936	18.6835	0.4152
46	0.1984	13.4113	0.2915	0.2915	18.9751	0.4125
47	0.1970	13.6083	0.2895	0.2895	19.2646	0.4099
48	0.1957	13.8039	0.2876	0.2876	19.5522	0.4073
49	0.1944	13.9983	0.2857	0.2857	19.8379	0.4049
50	0.1931	14.1914	0.2838	0.2838	20.1217	0.4024
51	0.1918	14.3832	0.2820	0.2820	20.4037	0.4001
52	0.1906	14.5738	0.2803	0.2803	20.6840	0.3978
53	0.1895	14.7633	0.2786	0.2786	20.9626	0.3955
54	0.1883	14.9516	0.2769	0.2769	21.2394	0.3933
55	0.1872	15.1388	0.2753	0.2753	21.5147	0.3912
56	0.1861	15.3249	0.2737	0.2737	21.7883	0.3891
57	0.1850	15.5099	0.2721	0.2721	22.0605	0.3870
58	0.1840	15.6939	0.2706	0.2706	22.3310	0.3850
59	0.1830	15.8769	0.2691	0.2691	22.6001	0.3831
60	0.1820	16.0588	0.2676	0.2676	22.8678	0.3811
61	0.1810	16.2398	0.2662	0.2662	23.1340	0.3792
62	0.1800	16.4199	0.2648	0.2648	23.3988	0.3774
63	0.1791	16.5990	0.2635	0.2635	23.6623	0.3756
64	0.1782	16.7772	0.2621	0.2621	23.9245	0.3738

以首架飛機直接工時 100,000 小時爲例，若用 80%的學習率將表 2-2 中 Y(W)與 Y(C)的單機因子，繪制成學習曲線圖，如圖 2-5 所示，就可明顯看出二者之差異，但當累積產量增大時，兩者學習曲線將會逐漸驅於穩定，但彼此之差距仍相差約三分之一。亦即，以首架機 100,000 工時計算，生產到第 64 架時，單機工時差距高達 8,390 小時，這樣大的工時差距對於產品之報價、生產工時之規劃與人力之需求，都有相當程度的影響。因此在實際面之考量世界各大企業多採用務實的 Crawford 觀點來探討學習曲線，尤其是飛機製造公司，如 Boeing、LMTAS、Dassault、Sikorsky 與 Bombardier 等大廠，在討論學習曲線時皆採用 Crawford 的觀點。

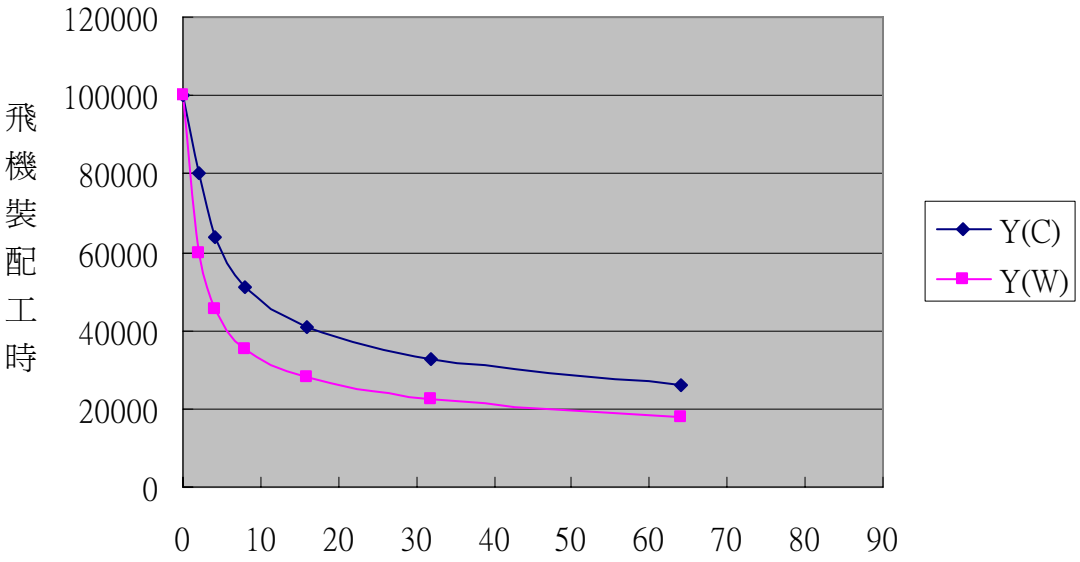


圖 2-5　以首架飛機 100,000 小時爲例生產到第 64 架時 Y(C)與 Y(W)的比較

2-2 精實生產

豐田生產制度源起於 1950 年由大野耐一先生所主導的團隊，以即時生產(Just in time)方式減少浪費，達到少量多樣的生產目標。有關精實生產的研究，本節將分爲以下六點說明如後：1.精實生產(Lean Production)的概念；2.精實生產五大基本原則；3.豐田生產制度；4.精實生產與七大浪費；5.5S；與 6.看板管理。

2-2-1 精實生產的概念——豐田模式

精實生產(Lean Production)緣起於日本豐田生產制度(Toyota Production System)，誕生地點在日本愛知縣豐田市。

Liker(2003)對豐田公司進行 20 多年的研究，歸納出 14 項原則[2]，稱爲豐田模式(Toyota way)，這 14 項原則是豐田生產制度的基礎，共分爲四大類，皆以 P 字母開頭分別是；理念(Philosophy)、流程(Process)、員工/事業夥伴(People/Partners)與解決問題(Problem Solving)。

第一類——理念(Philosophy)指的是長期理念

原則 1：管理決策必須以長期理念爲基礎，即使必須因此犧牲短期財物目標也在所不惜。

第二類——(Process)指的是正確的流程方能產生正確結果

原則 2：建立無間斷的作業流程使問題浮現。

原則 3：使用後拉式制度以避免生產過剩。

原則 4：使工作負荷平準化。

原則 5：建立立即暫停以解決問題，一開始就要重視品質文化。

原則 6：職務工作的標準化是持續改善與對員工授權。

原則 7：使用視覺控管，使問題無從隱藏。

原則 8：使用可靠的、已經經過測試的技術支援人員及流程。

第三類——員工/事業夥伴(People/Partners)指的是要發展員工與事業夥伴，爲組織創造價值

原則 9：栽培徹底了解並擁抱公司理念的員工成爲領導者，並使他們能教導其他員工。

原則 10：栽培與發展信奉公司理念的傑出人才與團隊。

原則 11：重視公司的事業夥伴與供應商網路，挑戰它們，並幫助它們改善。

第四類——解決問題(Problem Solving)指的是持續解決根本問題是學習型組織的驅動力

原則 12：親臨現場查看以徹底了解狀況。

原則 13：決策不急躁，以共識爲基礎，徹底考慮所有可能選擇，快速執行決策。

原則 14：透過不斷地省思與持續改善，以變成一個學習型組織。

2-2-2 精實生產(Lean Production)五大基本原則

爲協助企業引進豐田消除浪費與創造獲利的方法，Womack and Jones(1996)在精實思想(Lean Thinking)一書中，將精實生產歸納出五大基本原則[3]，分別是：

1.正確的確定價值(Specify Value)

正確的確定價值就是以顧客的觀點，來審視產品設計、生產、製造、行銷到維修服務的全部，要使客戶需求達到最大的滿足。因爲企業生產的價值大都以自己爲中心，企業自己設計與製造的產品有些不一定是顧客需要的，而將顧客不需

要的設計與製造轉嫁給顧客是不合理的，因此企業要以顧客爲中心的價值觀，透過不斷對話降低浪費，才能滿足顧客需求的價值。

2.辨識價值流(Identify the Value Stream)

價值流係指用顧客的觀點繪製消費的旅程圖，意指從概念設計到訂單生產，將原材料轉變爲成品所有的轉換程序，及生命週期的支援，使其在價值流中找到那些是真正增值的作用，那些是可以省去的浪費，可用客戶的觀點以價值流圖程分析(value stream map analysis)，每一個步序是否必要。

3.暢流(Flow)

當省去不必要的浪費後，就要設法增進每各個步序的流暢性；亦即要求一個穩定連續且沒有遲滯或瓶頸的製程，使各部門間交換和轉移等待的時間降至最低，因爲此等現象皆會阻斷了本應動起來的價值流。

4.建立後拉式(Pull)生產

後拉式生產有別於傳統的推動式生產，豐田後拉式生產是按照顧客的方式、時間、地點及需求投入產出；傳統推動式生產則是由第一道步序至最後一道步序推進，把使用者不想要的產品強行推銷。由於後拉式生產企業的服務與顧客直接對應，可消除過早、過量的投入，減少庫存和現場在製品，最重要的是可依據顧客實際的需要進行設計，按照顧客實際的需求進行生產，如圖 2-6 所示。

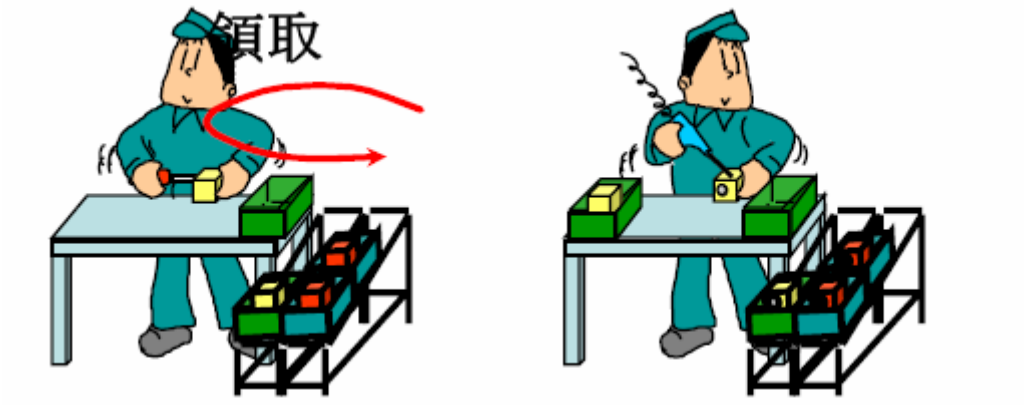


圖 2-6 推式生產與後拉式(pull)生產示意圖

5.追求盡善盡美(Perfection)

盡善盡美的精神是去蕪存菁，止於至善，雖是永遠達不到的目標，若將上述四大基本原則相互運用，必會使價值流流動的度速度加快，並不斷運用價值流分

析尋求更完善的方法，找出更多的隱藏浪費，持續改進，這樣良性的循環，就會使企業盡善盡美不斷精進。

2-2-3 豐田生產制度

豐田生產制度(Toyota production System, TPS)可用架構屋來說明其結構，這個架構屋亦稱爲 TPS House diagram，因爲一間房子的屋頂、樑柱與地基只要有一個環節不穩固，這間房子的結構就會動搖。豐田生產制度的核心原則，係在達成最佳品質、最低成本、最短前置期最佳安全性與最高員工士氣等目標，此等目標稱爲屋頂；屋頂的兩個外緣支柱則爲即時生產與自働化。

及時生產追求的目標是希望在生產的過程中，物料或零件能夠在需要的時機，獲得所需要的數量，送到生產線。自働化則是以最低的成本製造迅速化、專用化、小型化的自動機器，以減少人力需求，在自動化中的「動」加一個人字旁，意思是把人的智慧賦予機器，主要是當生產過程中發生異常時，機器便會立即停止，以避免產出一堆不良品。

架構屋的中心是人員與團隊，要經由持續改善來減少浪費。架構屋的地基則是由幾項要素構成，其中包括要有整體生產維持理念，由此理念延伸出視覺管理達到穩定且標準化的流程，及均一的生產，這樣可維持生產體系的穩定，並使存貨降低至最低。

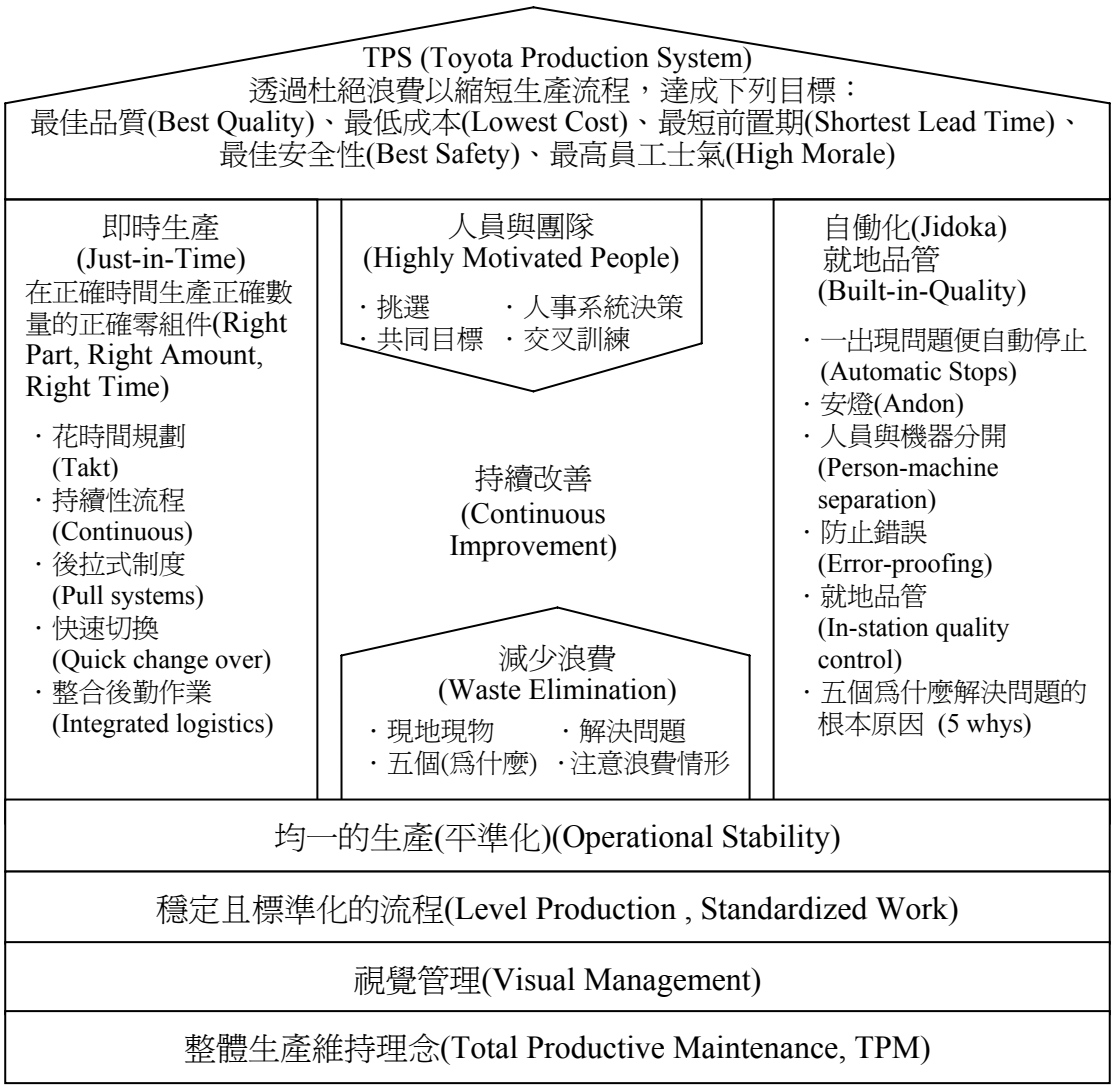


圖 2-7 豐田生產制度

2-2-4 精實生產與七大浪費

精實生產將所有浪費歸納成七種分別是 1.等待浪費；2.搬運浪費；3.不良品浪費；4.動作浪費；5.加工浪費；6.庫存浪費；與 7.製造過多(早)浪費，現分述如下。

1.等待浪費

在工廠中等待的浪費可從兩方面加以說明，一爲原物料等待的浪費；一爲人員等待的浪費。當有原物料入庫時，新入庫的原物料通常不會立即使用，而是使用原先存入庫房的原物料，也就是採用先入庫優先使用的原則，就必須將新進的原物料進行搬運放置定點存放，原物料經由長期存放絕大多數就會產生品質變異的問題，這屬於原物料等待的浪費。

在目前工廠有許多機械屬自動化地加工，工作者只要站立在機械的旁邊因無法執行工作所產生的浪費；或因前一工程的零件尚未運達或而無法加工或是生產線的不平衡、作業安排不當，或是管理者在生產過程中做決策時等待資訊所造成的浪費，這都屬於人員等待的浪費，如圖 2-8 所示。

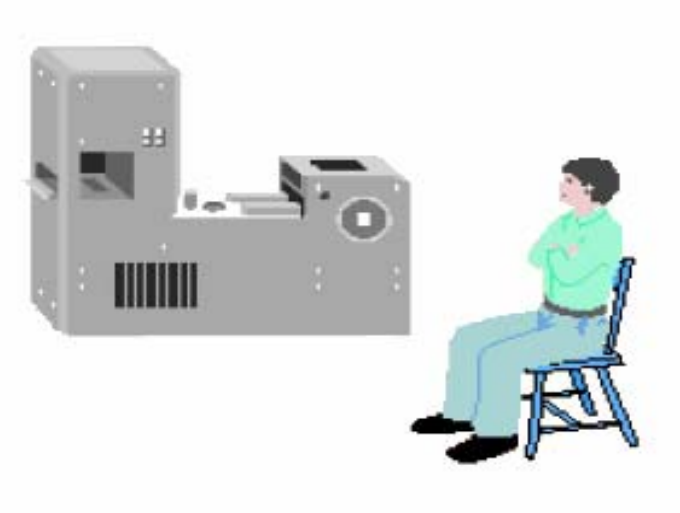


圖 2-8 人員等待的浪費

2.搬運浪費

搬運(move)雖屬於有效動素，但沒有搬運如何執行下一個步驟？所以搬運是必須的動作，在工程當中，搬運皆預設它存在，而不能將它消除，只能設法使搬運時間縮短或是盡量避免暫時性的存放。要降低搬運可用機械輸送帶的方式來克服，但搬運本身的浪費並沒有消除，而只是隱藏起來。所謂的搬運的浪費係指不必要的搬運距離，或是暫時性的放置，堆積更換及移動所產生的浪費。例如在傳統的作法中，倉庫搬至工廠，從工廠搬至機械旁，再從機械旁搬至作業員手邊的堆積處這些移動，重複了好多次。豐田生產方式則是藉由集運架的改善，而排除暫時性的放置，降低搬運的浪費，因此就可提升工作效率。

3.不良品浪費

一般傳統的生產線可允許某種程度的不良品，豐田生產方式則認爲不良品是不能創造產品價值的浪費。在製造過程中任何不良品產生，皆會造成材料、機器、人工的浪費，若將不良品進行翻修，亦要付出額外的成本，若將不良品報廢，更造成材料、人工等的損失，甚至增加處裡報廢品的善後費用。因此實施豐田生產方式強調第一次就把事情作好、做對，前項工程絕不把不良品流到後項工程，徹

底避免不良品的浪費。因此精實生產方式，可及早發現不良品，確定不良品的來源，進而減少不良品的產生，亦即，就是要用一切方法來消除、減少一切非增值活動，在生產的源頭就杜絕不合格零件、原材料流入生產行例。

4.動作浪費

在動作研究中強調相同的動作需達到同樣的目的，因此將動作區分爲 17 個動素，17 個動素又分三類：第 1 類爲進行工作之要素；第 2 類爲阻礙第 1 類工作要素之進行；第 3 類爲對工作無益之要素。針對第 1 類動素是直接進行「動作」或「操作」(Operation)，非此動素則無法進行到下一動素，稱爲有效動素，此類動素只能設法使時間縮短，而非常難以刪除；至於第 2 類與第 3 類動素無法直接關係到操作之進行，只是附帶所產生的因素，這類動素亦稱爲無效動素，可運用操作分析與動作研究之技術予以刪減。此外還需考慮 22 項動作經濟原則，哪些動作是不必要的？哪些動作可被省去？除去不需要、無附加價值、快慢不定的各種動作浪費。因爲這些動作的浪費可能產生作業無法平準化，增加人員與工作時數，無法使作業豐富化等問題。

5.加工浪費

若在缺乏夾、治具導針時，在製造過程中操作者就必須用手按緊夾、治具來作業，除了會造成加工不順利外，更增加了工作時間的浪費，這就是典型的加工浪費。此外，豐田生產方式更重視在產品設計階段就要避免不必要的加工動作，在製造過程中，還需將一些加工步序給予刪除、合併、重排或簡化，以降低加工的浪費。

6.庫存浪費

庫存是萬惡之源，這是豐田式生產對浪費的獨特見解，也是豐田式生產能帶來最大利益的原動力。因爲當庫存增加時，搬運量會增加，需要增加堆積和放置的場所，日常管理與盤點時間亦需要增加，還要對庫存品增加防護措施，這些都會增加人員、設施的浪費。若庫存量大於使用量，還會造成物料長期積壓，而變成呆滯品。

因爲豐田式生產以降低成本爲目標，與其背道而馳的庫存浪費，是絕不允許的。要降低存貨還有以下幾個要點：

(1) 處理廢料、整理、整頓、整潔將工作場所重新安排。

(2) 要求生產線平衡，不要生產下一製程不需要的產品。

(3) 不要爲了折扣而採購大量原物料而造成存貨浪費。

(4) 以小批量方式製造產品，具有較多的轉換時間。



圖 2-9 庫存的浪費

7.製造過多(早)浪費

精實生產指庫存是萬惡之源，而製造過多或提早完成，在豐田式生產則被視爲最大的浪費。製程過多或過早完成皆屬於製程過剩，這是生產線最常見的生產現象，但是這種做的多又做的快所造成的浪費，又最容易受到忽視。此外，若生產大於市場需求相對的就會增加薪質、材料、利息的負擔及庫存成本的壓力，這是造成降低成本最大的阻礙。所以要強調適時生產，也就是在必要的時候，爲顧客生產必要數量的必需產品，除了必要與必需的產品外，所生產的其它產品都屬浪費。

2-2-5 5S

日本有所謂的 5S 方案(5S program)，係日本提出的一系列活動，去除造成錯誤、瑕疵、浪費與工作傷害，這五個 S 的日文分別是 seiri 、seiton、seiso、seiketsu 與 shitsuke，其譯成中文與英文並解釋如下：

1.整理(sort) ——係指整理分類，只留下需要的項目，去除不需要的項目。

2.條理(straighten) ——係指所有項目都要定點放置，一看就井然有序。

3.整潔(shine) ——是一種檢驗機制，可使導致機器故障的原因或不良品提早消除。

4.標準化或訂定規範(standardize) ——制定標準規範監控前三個「S」的執行程序。

5.維持或自律(sustain) ——係指保持一個穩定的工作場所這是一種持續改善的工程。

在生產線上若缺乏 5 S 的觀念，會使許多浪費問題視而不見形成欠缺效率的營運方式。因此要用 5 S 來創造持續改善工作環境的流程，首先，從整理開始，即把辦公室或工廠中具有創造價值所需要使用的物件及不需要使用或很少使用的物件區別出來，把極少使用到的標示紅色標籤移開；第二，爲每一零組件或工具規劃固定的放置地點，其擺放順序位置係依據作業員使用這些零組件或工具的數量與頻率而定，目的是讓作業員能夠立即取得要用時的零組件或工具；第三，整潔確保所有東西天天維持潔淨；第四，標準化係爲了要維持前三的 S 所訂定的標規定範；最後，維持則是養成完成正確程序的習慣，管理者最能維持 5 S 的方法是定期對工作場所使用標準化的表格進行稽核，並對表現最優秀的團隊給予獎勵；其 5 S 的內容簡要敘述如圖 2-10 所示。

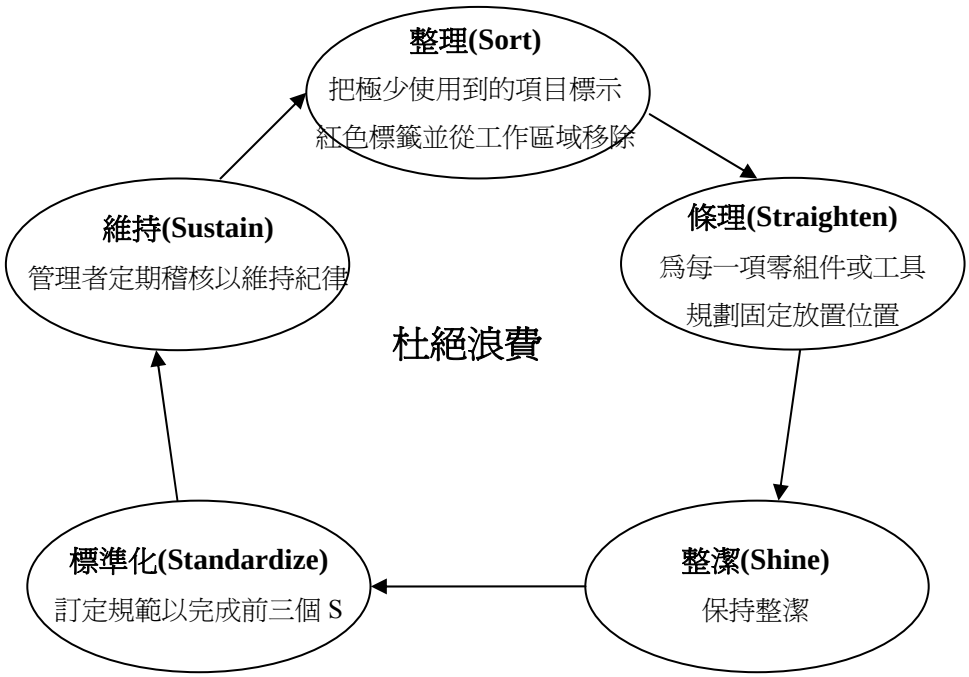


圖 2-10　5S 內容簡述

2-2-6 看板(Kanban)管理

看板管理是視覺管理的一種，看板是一種能夠調節和控制在必要時間生產出必要產品的管理手段。它是一種卡片，上面記載有零部件型號、取貨地點、送貨地點、數量、工位器型號及盛放量等訊息，生產以此作爲取貨、運輸和生產的指示元。

看板管理的構想是把使用者的需要作爲生產的依據。傳統生產採用由上而下的步序，管理由第一道步序向最後一道步序推進，因而被稱爲推動式生產，看板管理則採用後拉式由後道步序向前道步序取貨，一道一道地由後向前轉送指令[4]。

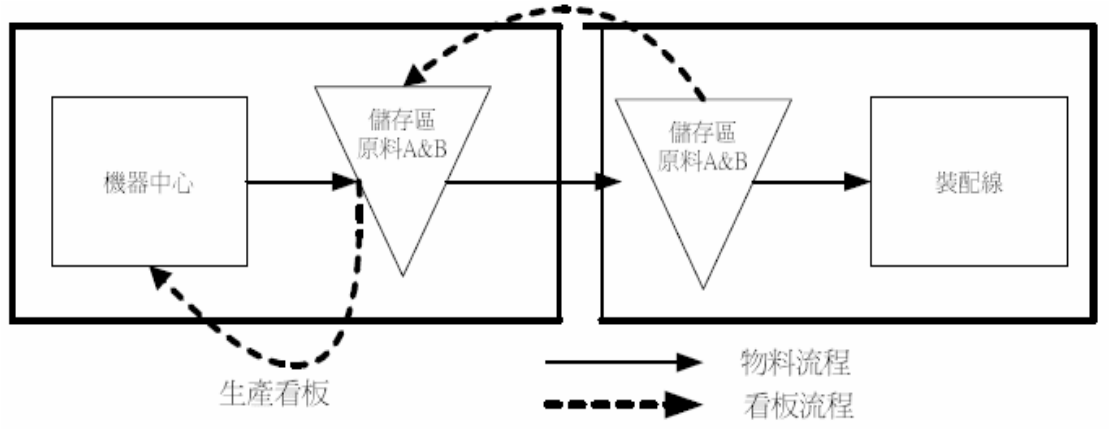


圖 2-11 看板(Kanban)管理屬後拉式取貨

看板管理的優點：

1.生產作用中的訊息回饋及時、高效，具有自律能力。

2.看板隨物流而動，使訊息流融於物流之中，易於管理。

3.庫存量低，品質在生產程序中得到控制。

4.使生產中許多問題暴露出來，促使企業不斷改善。

第三章　精實生產前波音 737 輪艙門製造與組裝學習曲線

本章在探討精實生產前，漢翔公司執行波音 737 輪艙門製造與組裝的學習曲線，分爲兩部分說明如下：1.漢翔公司簡介；與 2.波音 737 輪艙門製造與組裝學習曲線之建立。

3-1 漢翔公司簡介

漢翔航空工業股份有限公司(Aerospace Industrial Development Corporation)(以下簡稱漢翔公司)前身是國防部中山科學院所屬的航空工業發展中心，是我國自主發展經國號戰機 IDF(Indigenous Defensive Fighter)的研發與製造單位，由於漢翔公司對 IDF 戰機研發成功後，美國決定出售我國 F-16 A/B 戰機，政府決定 IDF 生產 150 架後就不再生產。爲了能繼續有效運用漢翔公司即有人力與機具資源，該公司朝向企業化、民營化及國際化方向發展，經營策略也從軍用航空器轉型爲軍民通用航空器。

漢翔公司是台灣唯一具備飛機研發與製造能力的航空公司，擁有軍用飛機研發製造、全機系統整合、民用飛機之區段研發、零組件製造與組裝、後勤支援與飛航服務等能量，爲亞太地區少數兼具研發、系統整合、測試及製造能量之航空工業供應商，近年來承接了許多國外航空公司的訂單，包括：S-92 與H-92 Sikorsky 直升機前機身、C-27J Alania運輸機尾翼、CL300 Bombardier運輸機尾段、波音 717、737、747 與 787 機身結構與發動機維護等，該公司爲因應市場開放與競爭，多年來除拓展飛機製造本業之外，並致力於多角化經營，將科技航太的技術延伸至交通運輸、後勤管理、資訊、醫療、電子、教育訓練等領域。

3-2　波音 737 輪艙門製造與組裝學習曲線之建立

漢翔公司於 2008 至 2009 年間執行波音(Boeing)737 輪艙門專案製造與組裝，如圖 3-1 所示，該輪艙門安在飛機機腹，位置如圖 3-2 所示。本專題研究蒐集到波音 737 輪艙門專案 137 個艙門製造與組裝工時，如表 3-1 所示。

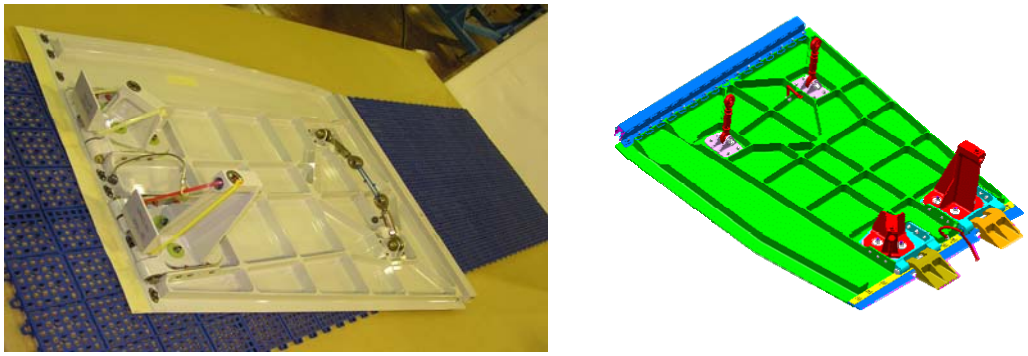


圖 3-1 波音 737 輪艙門製造與組裝



圖 3-2 波音 737 輪艙門安裝飛機機腹

使用此等數據本專題研究再用學習曲線公式$Yx = aX^b$ Crawford 的觀點，以 Excel 軟體使用對數回歸，求得一條最佳逼近學習曲線，使得每個艙門製造與組裝工時，距此學習曲線的垂直距離誤差的平方總合爲最小，如圖 3-3 所示。

表 3-1 波音 737 飛機輪艙門專案製造與組裝工時

艙門號碼	工時	最小平方和	艙門號碼	工時	最小平方和	艙門號碼	工時	最小平方和	艙門號碼	工時	最小平方和
1	191.2	193.6	36	169.3	146.5	71	139.3	139.0	106	127.8	134.7
2	120.8	183.4	37	168.9	146.2	72	140.6	138.8	107	129.0	134.6
3	169.3	177.7	38	167.1	145.9	73	136.6	138.7	108	130.6	134.5
4	171.4	173.8	39	166.3	145.6	74	135.1	138.5	109	123.2	134.4
5	196.5	170.8	40	136.6	145.3	75	130.5	138.4	110	143.4	134.3
6	120.5	168.4	41	137.3	145.0	76	149.1	138.2	111	133.8	134.2
7	138.0	166.4	42	172.9	144.7	77	185.8	138.1	112	128.6	134.1
8	155.9	164.7	43	134.1	144.5	78	154.5	137.9	113	132.4	134.0
9	161.8	163.2	44	131.7	144.2	79	154.9	137.8	114	133.4	133.9
10	158.7	161.8	45	155.6	144.0	80	142.8	137.7	115	139.2	133.8
11	164.8	160.7	46	149.6	143.7	81	134.8	137.5	116	137.5	133.7
12	163.5	159.6	47	129.4	143.5	82	122.1	137.4	117	139.4	133.7
13	163.2	158.6	48	135.0	143.3	83	183.0	137.3	118	140.5	133.6
14	185.3	157.7	49	136.5	143.0	84	120.9	137.2	119	137.3	133.5
15	163.3	156.8	50	114.4	142.8	85	122.3	137.0	120	143.9	133.4
16	184.4	156.0	51	130.7	142.6	86	123.0	136.9	121	129.4	133.3
17	172.3	155.3	52	150.7	142.4	87	123.4	136.8	122	128.6	133.2
18	167.5	154.6	53	114.9	142.2	88	132.5	136.7	123	129.5	133.1
19	179.6	154.0	54	141.3	141.9	89	131.0	136.5	124	134.1	133.1
20	171.3	153.4	55	141.3	141.7	90	132.0	136.4	125	138.4	133.0
21	166.6	152.8	56	133.3	141.5	91	129.5	136.3	126	159.8	132.9
22	147.4	152.2	57	135.5	141.4	92	132.5	136.2	127	138.0	132.8
23	142.6	151.7	58	130.8	141.2	93	136.8	136.1	128	136.8	132.7
24	190.0	151.2	59	131.9	141.0	94	134.1	136.0	129	119.2	132.6
25	164.4	150.7	60	134.3	140.8	95	126.9	135.8	130	123.5	132.6
26	185.2	150.3	61	135.8	140.6	96	121.1	135.7	131	121.2	132.5
27	187.0	149.8	62	137.0	140.4	97	153.9	135.6	132	123.6	132.4
28	145.1	149.4	63	139.2	140.3	98	121.8	135.5	133	119.1	132.3
29	144.9	149.0	64	139.7	140.1	99	121.3	135.4	134	118.0	132.3
30	167.3	148.6	65	138.8	139.9	100	129.5	135.3	135	130.2	132.2
31	163.6	148.2	66	134.1	139.7	101	128.8	135.2	136	138.5	132.1
32	164.4	147.8	67	133.8	139.6	102	128.2	135.1	137	150.0	132.0
33	159.4	147.5	68	130.5	139.4	103	129.1	135.0			
34	159.3	147.1	69	130.4	139.3	104	135.7	134.9			
35	160.0	146.8	70	138.7	139.5	105	132.4	134.8			

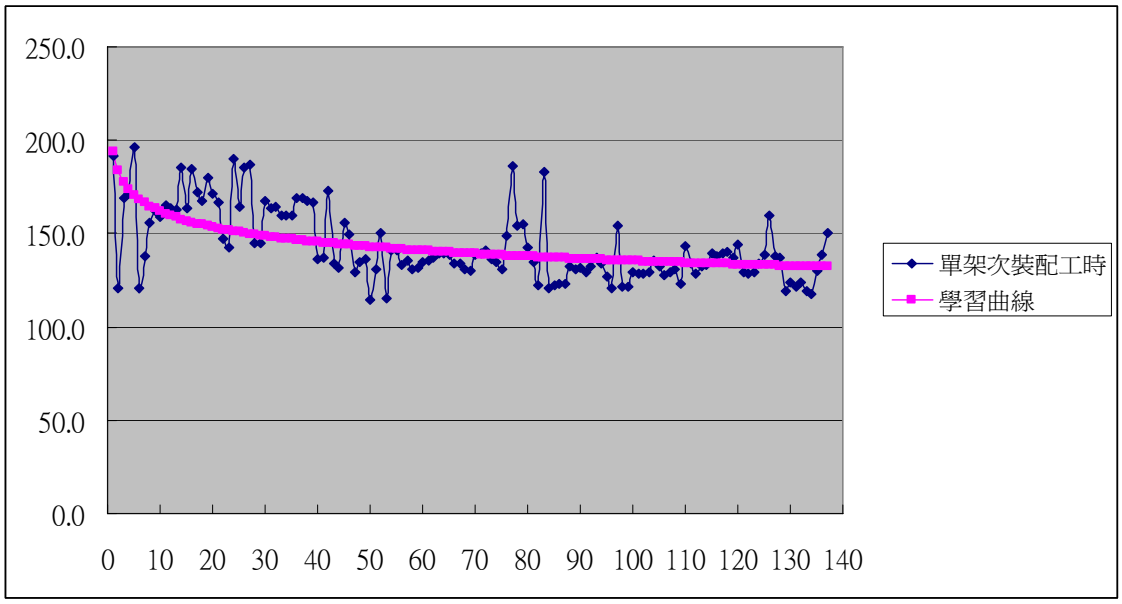


圖 3-3 使用最小平方法找出 137 個艙門的學習曲線

經由 Excel 軟體試算出此 137 個艙門製造與組裝學習曲線的斜率(工時降低率指數)爲-0.0778，經轉換成學習率爲 94.75%，如表 3-2 所示。

表 3-2　波音 737　137 個輪艙門製造與組裝學習曲線相關統計資料

迴歸統計

R	0.576929276
R 平方	0.33284739
調整的 R 平方	0.327905519
標準差	0.045226185
觀察值個數	137

ANOVA

	DF	SS	MS	F	P-Value
迴歸	1	0.137763	0.137763	67.3525	1.6E-13
殘差	135	0.27613	0.002045		
總和	136	0.413893			

	係數	標準差	t 統計	P-值
截距	2.286814481	0.016703	136.9074	1 E-146
斜率	-0.077847716	0.009486	-8.20686	1.6E-13

學習曲線首架艙門工時 = 193.5594954

學習率 α = 94.75%

工時降低率(b) = -0.077847716

由表 3-2 所知，漢翔公司於 2007 至 2009 年間，執行波音 737 輪艙門專案製造與組裝其學習率爲 94.75%，有兩種解釋，其一爲該公司生產效率已達製造的巔峰很難有再進步的空間；其二爲該公司尚未達到一般國際飛機製造廠的生產效率。

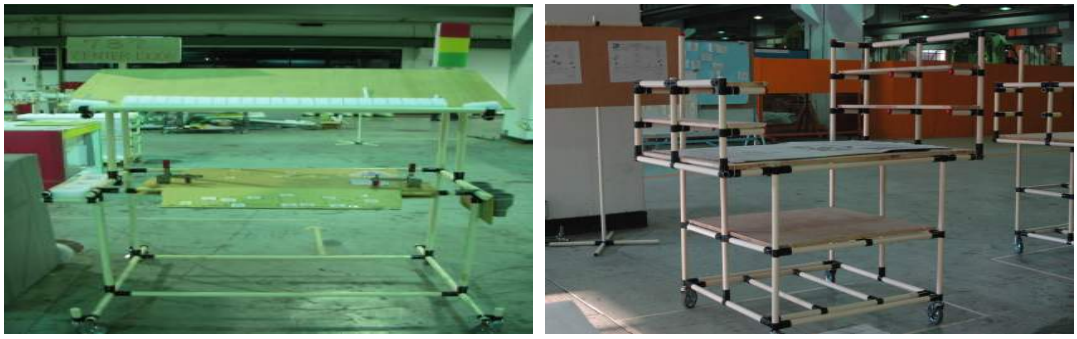
第四章 精實生產改善現況

雖然漢翔公司飛機製造與組裝在2007至2009年間的學習率尚未達到世界飛機製造廠的生產效率，該公司在 2010 年從波音公司引進精實生產系統來提升其製造與組裝之績效，此時本專題即加入漢翔公司的精實生產改善團隊，共同學習取其經驗。

漢翔公司依照精實生產的五大基本原則，用豐田生產制度的核心，以最佳品質、最低成本、最短前置期、最佳安全性與最高員工士氣，對飛機製造與組裝生產線執行改善，其方法包括融入 5S，使用看板管理與降低七大浪費，現將該公司生產線執行精實生產改善現況，對應七大浪費逐一說明如後。

4-1 移動搬運車的改善可降低等待浪費與搬運浪費

在輪艙門製造與組裝的過程中會有許多的蒙皮或肋條需要搬運，因此需要移動搬運車，以往移動搬運車一次只能搬運一件蒙皮或肋條，經改善後的搬運車加裝了多層放置架，因此搬運的數量可以提升，且在搬運過程中也更爲安全，如圖 4-1 所示。



加裝放置架的移動搬運車，搬運數量提升搬運過程也更爲安全	
改善前	改善後

圖 4-1 移動搬運車的改善(一)

另外針對尺寸大小不一的零件在執行搬運時，以往是用推車運送，但有在運送過程中有掉落的堪慮，現改爲多層次的搬運車，即可克服上述缺點，如圖 4-2 所示。移動搬運車的改善可以減少不必要的等待浪費與搬運浪費。





多層次的搬運車可載送較多的零件

改善前	改善後

圖 4-2 移動搬運車的改善(二)

4-2 環境的改善可降低不良品浪費

飛機製造與組裝生產線的環境直接影響產品之品質，因此要用 5S 的觀念來改善工作環境，現以空壓氣管與電纜線的改善兩個實例來說明改善的成效。

以往空壓氣管與電纜線皆放置在地面，作業員用目視即可看到空壓氣管與電纜線的源頭，在執行作業的過程中有其方便性，畢竟空壓氣管與電纜線在地面會造成工作場所之凌亂，若有不慎則會造生工安事件，經過推動 5S 之檢討，現將空壓氣管與電纜線高架至工作站上，即可降低工作場所以凌亂及工安事故之發生，除了提升工作品質外，更可使不良品之浪費降低。




空壓氣管的改善




電纜線的改善

改善前	改善後

圖 4-3 現況的改善降低不良品

4-3 工具車的改善可降低動作浪費與加工浪費

在飛機製造與組裝生產線上，在不同的站位需配置該工作站需求的工具車，車上放置生產線該站位作業所需使用之工具與組裝之零件，由作業員推至生產線旁執行工作，若能將工具車上的工具，依樣式大小分別就定位，並將所需要之零件做好分類，再依工作的步序將工具排列，就可減少不必要的動作浪費與加工浪費，如圖 4-4 所示。




依工作站工作的步序將工具排列




依工作站所需要使用之零件做好分類




將工具車上的工具依樣式大小分別就定位避免雜亂

改善前	改善後

圖 4-4 工具車的改善

4-4 站別指標的改善可降低庫存的改善

以往執行飛機製造與組裝的工作站並沒有區分工作區域的標誌，其他站的作業員無法明確看出該站的工作項目與工作進度的達成率，更不知道該工作站相對下一個工作站的需求，經常造成部分工作站製造過剩，製造過剩的零件或半成品需暫存庫房，造成庫存浪費，部分工作站生產不足，需要加班趕工，因生產線的

不平衡，造成有些工作站製造過剩的零件或與半成品庫存的增加，有些工作站人力不足。改善後則將每個工作站的工作分別訂定大指標與小指標，大指標顯示工作類別小指標顯示工作項目，每個工作站皆列出大小指標所需花費之工時並予以量化，用看板管理讓每位作業員皆能知曉每個工作站的工作項目，達到生產線的平衡，杜絕庫存的浪費。




將每個工作站訂定指標予以量化達到生產線平衡

改善前	改善後

圖 4-5 站別指標的改善

4-5 生產指標的改善可降低製造過多(早)浪費

當完成站別指標的改善後，整個生產線即可計算出每一工作站每一天可完成的零件或半成品的數量以及每一零件、半成品與完成一個輪艙門製造與組裝的工時，因此可訂定每一天的生產指標，依此生產指標來控管，即可降低製造過多(早)浪費，達到及時生產的目標。




依生產指標達到及時生產的目標

改善前	改善後

圖 4-6 生產指標的改善

第五章　精實生產後波音747輪艙門製造與組裝學習曲線

本專題研究自 2010 年 9 月即加入漢翔公司推展精實生產的活動，該公司經過半年對飛機製造與組裝生產線的改進，2011 年初又接獲波音公司 747 飛機輪艙門專案的訂單，開始執行波音公司最大飛機的輪艙門製造與組裝，波音 747 輪艙門比波音 737 複雜，因此製造與組裝工時相對波音 737 爲高，其結構如圖 5-1 所示，輪艙門成品如圖 5-2 所示。

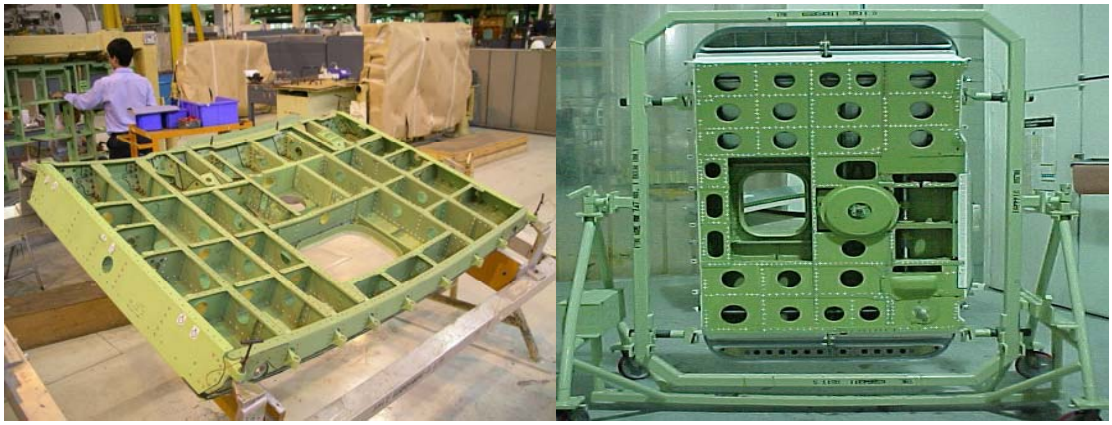


圖 5-1 波音 747 輪艙門結構



圖 5-2 波音 747 輪艙門成品

本專題研究利用 1 年的時間搜集到波音 747 輪艙門專案 130 個艙門製造與組裝工時，如表 5-1 所示。使用此等數據本專題研究再用學習曲線公式$Yx = aX^b$ Crawford 的觀點，以Excel 軟體使用最小平方法，求得一條最佳逼近學習曲線，

使每個艙門製造與組裝工時到此學習曲線的垂直距離誤差的平方總合爲最小，如圖 5-3 所示。

表 5-1 波音 747 飛機輪艙門專案製造與組裝工時表

艙門號碼	工時	最小平方和	艙門號碼	工時	最小平方和	艙門號碼	工時	最小平方和	艙門號碼	工時	最小平方和
1	366.8	299.6	34	106.8	123.0	67	88.7	103.6	100	89.7	93.7
2	190.5	251.5	35	133.5	122.1	68	88.0	103.2	101	85.2	93.4
3	196.4	227.0	36	118.6	121.2	69	92.1	102.9	102	89.2	93.2
4	169.1	211.1	37	117.3	120.4	70	91.1	102.5	103	100.3	93.0
5	184.0	199.6	38	148.2	119.6	71	87.8	102.1	104	99.0	92.7
6	171.5	190.6	39	101.2	118.8	72	90.5	101.8	105	85.1	92.5
7	176.0	183.3	40	130.0	118.0	73	88.0	101.4	107	108.4	92.1
8	160.0	177.2	41	140.2	117.3	74	97.0	101.1	108	107.4	91.9
9	169.5	172.0	42	130.2	116.6	75	89.3	100.7	109	100.0	91.6
10	160.0	167.5	43	79.2	115.9	76	79.3	100.4	110	100.0	91.4
11	180.4	163.5	44	95.0	115.2	77	85.1	100.0	111	106.0	91.2
12	159.7	160.0	45	108.4	114.6	78	84.8	99.7	112	93.6	91.0
13	152.6	156.8	46	152.7	113.9	79	85.0	99.4	113	98.6	90.8
14	174.3	153.9	47	127.1	113.3	80	85.0	99.1	114	99.1	90.6
15	170.1	151.2	48	110.4	112.7	81	79.6	98.8	115	88.9	90.4
16	177.1	148.8	49	121.5	112.1	82	80.7	98.5	116	91.8	90.2
17	196.5	146.5	50	119.7	111.6	83	79.4	98.2	117	95.0	90.0
18	184.0	144.4	51	142.0	111.0	84	90.1	97.9	118	98.0	89.8
19	160.8	142.4	52	137.1	110.5	85	84.0	97.6	119	84.6	89.6
20	150.8	140.6	53	101.6	109.9	86	100.0	97.3	120	100.6	89.4
21	169.9	138.9	54	97.7	109.4	87	86.2	97.0	121	120.1	89.3
22	150.0	137.3	55	85.3	108.9	88	73.9	96.7	122	121.7	89.1
23	166.2	135.7	56	86.2	108.4	89	85.0	96.5	123	121.4	88.9
24	200.0	134.3	57	76.0	107.9	90	85.0	96.2	124	120.0	88.7
25	176.9	132.9	58	82.0	107.5	91	78.4	95.9	125	121.6	88.5
26	187.7	131.6	59	88.1	107.0	92	87.5	95.7	126	115.1	88.3
27	115.6	130.4	60	64.5	106.6	93	120.6	95.4	127	111.2	88.2
28	160.6	129.2	61	88.4	106.1	94	100.8	95.1	128	104.7	88.0
29	182.0	128.0	62	88.4	105.7	95	120.0	94.9	129	102.2	87.8
30	154.0	126.9	63	88.4	105.2	96	94.6	94.6	130	104.1	87.7
31	142.0	125.9	64	88.4	104.8	97	82.9	94.4			
32	119.6	124.9	65	88.4	104.4	98	81.9	94.1			
33	98.2	123.9	66	91.6	104.0	99	84.7	93.9			

經由 Excel 軟體算出此 130 個艙門製造與組裝學習曲線的斜率(工時降低率指數)爲-0.2525，經轉換成學習率爲 83.94%如表 5-2 所示。

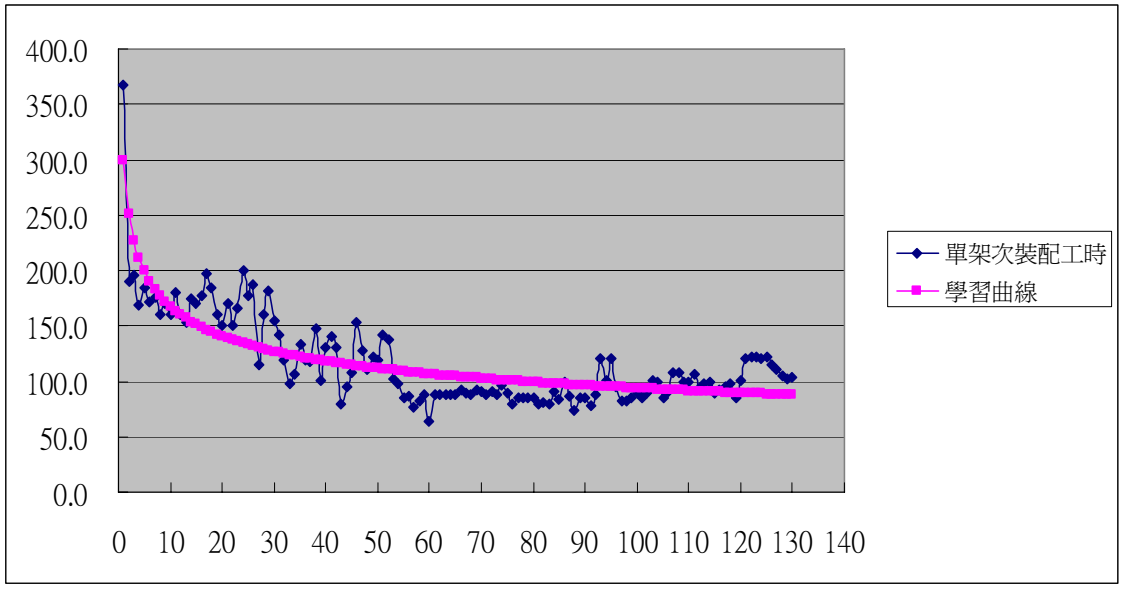


圖 5-3 使用最小平方法找出 130 個艙門的學習曲線

表 5-2　波音 747　130 個艙門製造與組裝學習曲線相關統計資料

迴歸統計

R	0.796395627
R 平方	0.634245995
調整的 R 平方	0.631388542
標準差	0.078538258
觀察值個數	130

ANOVA

	DF	SS	MS	F	P-Value
迴歸	1	1.369119	1.369119	221.962	9.74E-30
殘差	128	0.789537	0.006168		
總和	129	2.158656			

	係數	標準差	t 統計	P-值
截距	2.476509578	0.029477	84.0148	7.9E-114
斜率	-0.252536513	0.016951	-14.8984	9.74E-30

學習曲線首架艙門工時 = 299.577766

學習率 α = 83.94%

工時降低率(b) = -0.252536513

由表 5-2 所知，漢翔公司於 2011 年間執行波音 747 輪艙門專案製造與組裝，其學習率已達 83.94%，已超越一般國際飛機製造廠的生產效率。經比較表 3-2 與表 5-2 可知，由表 5-2 迴歸統計資料表得知，波音 747，工時截距 log a = 2.476 大於表 3-2 波音 737 工時截距 log a = 2.286，而表 5-2 波音 747 工時降低率的絕對值-0.252，亦明顯大於表 3-2 波音 737 工時降低率-0.077 的絕對值，故此證明執行精實生產的改善，有顯著的效益。

第六章　結論與建議

6-1　結論

本專題研究係探討漢翔公司製造與組裝波音飛機輪艙門，其學習曲線在執行精實生產前後之改變，而得知其績效之增進。學習曲線理論指出，因爲隨著生產次數的增加，單位生產時間就會下降，當生產工時下降的幅度愈大，學習曲線學習率愈低，表示生產績效愈佳；精實生產的概念，包括五大基本原則、豐田生產制度、七大浪費、5S 與看板管理。

本專題研究蒐集到 2008 至 2009 年間漢翔公司生產波音 737 輪艙門的製造與組裝工時，繪製成學習曲線；其後本專題自 2010 年加入該公司精實生產團隊，共同執行生產線的改善，再蒐集到精實生產後，該公司自 2011 年起，執行波音 747 輪艙門的製造與組裝工時。

本專題研究對該公司執行精實生產前後，輪艙門製造與組裝其學習曲線的學習率變化做比較，得知該公司執行精實生產後，學習率有顯著的降低，可見推動精實生產的成效。

6-2　建議

從上述可得知在執行精實生產後，生產績效有顯著提高，所以該公司應繼續進行精實生產，使生產效率能持續改善，而使其達到更佳的生產績效。

參考文獻

[1]Wright, T. P., Factors Affecting the Cost of Airplanes, Journal of Aeronautical Science 3, February 1936, pp. 122-128.

[2]Liker, J., Becoming Lean：Inside stories of U. S. Manufacturers, Productivity Press, 1997.

[3]Womack, J. P., and Jones, D. T., Lean Thinking：Banish waste and create wealth in your corporation, Simon and Schuster, 1996.

[4]蘇德柏，及時生產與臨界生產。

http://intranet.vate.com.tw/TPD-Web/Train/Material/Pdt/%A7Y%AE%C9%A5%CD%B2% A3%BBP%C1%7b%AC%C9%A5%CD%B2%A3.ppt#1