

國立交通大學
工業工程與管理學系碩士班

碩士論文

薄膜電晶體陣列廠機台配置機制之構建

The Design of Tool Allocation Mechanism
for a TFT-Array Factory



研究生：梁宇帆

指導教授：鍾淑馨 博士

中華民國九十五年七月

薄膜電晶體陣列廠機台配置機制之構建

The Design of Tool Allocation Mechanism
for a TFT-Array Factory

研 究 生：梁宇帆

Student：Yu-Fan Liang

指導教授：鍾淑馨 博士

Advisor：Dr. Shu-Hsing Chung

國 立 交 通 大 學
工 業 工 程 與 管 理 學 系
碩 士 論 文



Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Industrial Engineering

July 2006

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年七月

薄膜電晶體陣列廠機台配置機制之構建

研究生：梁宇帆

指導教授：鍾淑馨 博士

國立交通大學工業工程與管理學系碩士班

摘要

在 TFT-LCD 產業之三階段製程中，由於第一階段之薄膜電晶體陣列 (TFT Array) 段其機台設備十分昂貴，因此，薄膜電晶體陣列廠中機台數量之配置規劃為一個相當重要之長期決策。此外，產品生產週期時間為一項重要之生產績效指標，同時亦為機台規劃時不可或缺之考慮因素。再者，由於 TFT-Array 廠中玻璃基板體積龐大，須以自動化搬運系統進行物料之運送，若系統之搬運車數配置不當，將導致廠內工件之生產週期時間拉長，因此，不可忽略搬運因素對於生產系統之影響。

有鑑於此，本文首先估算系統所需之合適車數，使生產活動受搬運系統影響而延遲之可能性降低，同時避免不必要之成本浪費。吾人並在考量搬運因素下，依據等候理論方法發展一套適用於 TFT-Array 廠之生產週期時間估算法則，以便快速地求算生產週期時間。本文所設計之機台配置機制，將根據生產週期時間以及機台購置成本等資訊，運用排序方法進行機台數量之配置規劃，使系統之生產績效得以維持在一定水準之上，同時追求機台購置總成本之最小化，以確保整體之競爭力。

驗證結果顯示，本文所推估之搬運車數，在維持瓶頸資源利用率於預定水準之前提下，可使得系統產出量達成預期目標，且不致造成車輛資源的浪費；在產品生產週期時間估算值與模擬結果相比較之下，平均誤差小於 3%；而透過本文模式所求得之機台數量配置，確實可滿足系統要求之生產績效水準。整體而言，本文所發展之模式，具有即時性與有效性，可作為機台規劃決策之參考依據。

關鍵字：薄膜電晶體陣列廠、生產週期時間、機台組合

The Design of Tool Allocation Mechanism

for a TFT-Array Factory

Student : Yu-Fan Liang

Advisor : Dr. Shu-Hsing Chung

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

Abstract

TFT-Array is the first stage among the three-stage manufacturing process of TFT-LCD, which needs quite expensive equipments. Thus, tool allocation for a TFT-Array factory is a significant long-term decision. Besides, product cycle time is one of the major performance measurements, and also an essential consideration of tool allocation. The volume of glasses in the TFT-Array is quite huge, so that if the number of vehicles in automation transportation system is assigned improperly, the product cycle time in the factory will increase. Therefore, the impact of transportation system on the production system should not be ignored.

In this study, we first estimate the ideal number of automatic guided vehicle (AGV) for the system to minimize the probability of production delay resulted from the AGV, and to avoid unnecessary transportation cost. Also, we develop a fast cycle time estimation based on Queueing Theory for a TFT-Array factory considering transportation time. Then, we propose tool allocation mechanism, based on the data of the estimated cycle time and cost, to allocate the number of tools by ranking in order to keep the performance level of production system and the minimization of total purchase cost being pursued simultaneously.

Simulation experiment reveals that on the premise of keeping the utilization of bottleneck machine at predetermined level, the number of AGV estimated is enough for supporting the achievement of planned target. Compare the estimated cycle time and the simulation result, the average error is less than 3%. And the machine units derived from the tool allocation mechanism can make the production performance truly satisfy the requirements of the system. Consequently, the mechanism proposed in this research is effective and efficient, and can be used as a feasible reference of tool planning.

Keywords : TFT-Array, cycle time, tool allocation

誌謝

我十分感謝鍾老師這兩年來的指導與關愛，老師在教學上的熱忱與耐心、作研究時嚴謹的態度、以及日常生活的叮嚀與關心，都深深的影響了我。謝謝老師！

謝謝一平學長的協助與鼓勵，讓我的論文有撥雲見日的一天，謝謝你！謝謝俊穎學長、清貴學長、繼遠、頌翔、自誠、蕙純、進立、哲豪、志偉、翊展、柏先、佩青、雅斐、源翌的陪伴。有了你們，519 和 517 總是充滿了歡樂，和大家一起渡過了許多快樂的時光，也曾經為了課業和論文一起打拚努力，這些都會是我這輩子難忘的回憶。謝謝學弟妹們在我們埋首於論文時，為我們分擔了許多大小事務。也謝謝在研究所這段時間認識的同學與朋友們，有了你們讓我的生活更加有趣。

感謝我的家人，謝謝你們的支持，也謝謝你們常常帶我去吃大餐，讓我每次回家都好嗨。還要謝謝怡禎，謝謝你的體貼與照顧，你是個很重要的人。

經歷了這兩年的研究生活，我從生活週遭的人事物當中學到了很多東西，讓我成長不少，再一次感謝我生活週遭的良師益友們。我相信這只是一個開始，我會一直抱持著學習的態度，不斷地進步。最後，希望大家在往後忙碌的日子裡，能夠抽空聚聚，一起出去玩！

目錄

摘要.....	i
Abstract	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vii
表目錄.....	viii
符號一覽表.....	xi
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍與限制	3
1.4 研究方法與步驟	4
第二章 文獻探討.....	6
2.1 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之介紹	6
2.1.1 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)之製程簡介	6
2.1.2 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之製程介紹.....	7
2.1.3 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之特性.....	9
2.2 自動化搬運系統	10
2.2.1 搬運系統之軌道佈置.....	10
2.2.2 搬運系統之車數問題.....	12
2.3 生產週期時間	12
2.3.1 生產週期時間之定義.....	12

2.3.2	生產週期時間之估算方法	13
2.4	機台數量備配置問題	17
2.4.1	確定性分析法	17
2.4.2	數學分析法	17
2.4.3	模擬法	21
2.4.4	混合法	21
第三章	模式建構.....	25
3.1	問題定義與分析	25
3.2	整體邏輯與架構	28
3.3	搬運車數估算模組	30
3.3.1	搬運系統之最適搬運車數估算	30
3.4	生產週期時間估算模組	34
3.4.1	搬運時間之估算	34
3.4.2	工作站週期時間之估算	41
3.4.3	產品之生產週期時間	51
3.5	機台數量配置模組	55
3.5.1	初始機台數量估算機制	56
3.5.2	機台數量新增機制	59
第四章	實例驗證	69
4.1	系統環境說明	69
4.1.1	生產環境資料	69
4.1.2	生產排程規劃假設	71
4.2	案例說明	72

4.2.1	搬運車數估算模組之執行過程	72
4.2.2	初始機台數量估算機制之執行過程	74
4.2.3	生產週期時間估算模組之執行過程	76
4.2.4	機台數量新增機制之執行過程	89
4.3	模擬驗證	96
4.3.1	模擬環境說明	96
4.3.2	搬運車數估算結果之驗證分析	96
4.3.3	生產績效之評估分析	97
4.3.4	生產週期時間估算模組之成效分析	99
4.3.5	機台數量新增機制之成效分析	101
4.3.6	不同機台配置下之生產週期時間分析	108
第五章	結論與未來研究方向	110
5.1	結論	110
5.2	未來研究方向	111
	參考文獻	113
	附錄	117
	附錄 A 製程資料	117
	附表 B 工作站相關資訊	119
	附表 C 生產週期時間估算與模擬結果	120
	附表 D 生產週期時間估算方法之比較結果	122

圖目錄

圖 1 - 1 研究範圍	4
圖 1 - 2 研究步驟流程圖	5
圖 2 - 1 薄膜電晶體陣列製程流程圖[32].....	8
圖 2 - 2 傳統網路式無人搬運車系統	11
圖 2 - 3 單迴圈式無人搬運車系統[20].....	11
圖 2 - 4 區域式無人搬運車系統[1].....	11
圖 2 - 5 區域雙向單迴圈式無人搬運車系統[21]	11
圖 3 - 1 薄膜電晶體陣列段設備佈置簡圖[34].....	26
圖 3 - 2 整體架構圖	29
圖 3 - 3 搬運車數估算模組流程圖.....	31
圖 3 - 4 搬運時間估算流程圖	37
圖 3 - 5 層級別示意圖	42
圖 3 - 6 工作站可用產能示意圖	44
圖 3 - 7 工作站之週期時間估算流程圖	50
圖 3 - 8 生產週期時間估算流程圖	54
圖 3 - 9 初始機台數量估算機制流程圖	59
圖 3 - 10 各層級 X-factor 值之示意圖.....	61
圖 3 - 11 機台數量新增機制流程圖	68
圖 4 - 1 模擬系統之設備佈置圖.....	70
圖 4 - 2 不同機台配置下一般工件之生產週期時間比較圖	109
圖 4 - 3 不同機台配置下量測工件之生產週期時間比較圖	109

表目錄

表 2-1 各世代玻璃基板可切割各尺寸之片數對應表[34]	9
表 2-2 薄膜電晶體陣列廠與晶圓廠比較表[34]	10
表 2-3 生產週期時間估算方法及其優缺點[5][36].....	14
表 2-4 熊氏[37]三個研究主題之分類.....	20
表 2-5 機台配置問題之相關文獻整理	24
表 4-1 各工作區間之搬運所需圈數表 (單位:圈).....	70
表 4-2 規劃幅度內各屬性別工件之計畫月產量 (單位:lot).....	72
表 4-3 搬運流程從至表-一般工件 (單位:次數).....	73
表 4-4 搬運流程從至表-量測工件 (單位:次數).....	73
表 4-5 各工作站最大可提供之可用產能 (單位:分鐘)	74
表 4-6 各工作站之需求產能 (單位:分鐘).....	75
表 4-7 各工作站之初始機台數量 (單位:台)	76
表 4-8 各屬性別工件於各工作區之總搬運次數表	77
表 4-9 各工作區之工件到達率 (單位:lots/min)	78
表 4-10 各工作區可接受之搬運服務次數表 (單位:次數)	78
表 4-11 搬運系統於各區之搬運服務率 (單位:lots/min)	78
表 4-12 各工作區之等候搬運時間估算結果 (單位:分)	79
表 4-13 各區搬運所需之理論搬運時間表 (單位:分)	79
表 4-14 各區搬運所需之總搬運時間表 (單位:分)	80
表 4-15 各工作站之產出速率、層級產出速率 (單位:lots/min)	81
表 4-16 搬運系統於各工作區之層級搬運服務率 (單位:lots/min)	82
表 4-17 第一層級 TF 區中各工作站之屬性別產出速率 (單位:lots/min)	

.....	83
表 4 - 18 各工作區之工件層級到達率 (單位: lots/min)	84
表 4 - 19 各工作站之工件總到達率 (單位: lots/min)	84
表 4 - 20 各工作站之服務率、機台利用率	85
表 4 - 21 各工作站之等候時間以及週期時間 (單位: 分鐘)	86
表 4 - 22 一般工件之製程步驟週期時間 (單位: 分鐘)	88
表 4 - 23 各屬性別工件之生產週期時間	89
表 4 - 24 各產品之平均生產週期時間	89
表 4 - 25 一般工件於各層級之生產週期時間與 X-factor 值 (單位: 分鐘)	90
表 4 - 26 量測工件於各層級之生產週期時間與 X-factor 值 (單位: 分鐘)	90
表 4 - 27 候選工作站集合	91
表 4 - 28 各候選工作站之排序順位值 $A_{k,1}$	91
表 4 - 29 各候選工作站之排序順位值 $A_{k,2}$	92
表 4 - 30 各候選工作站之排序順位值 $A_{k,3}$	92
表 4 - 31 各候選工作站之機台新增優先順序 A_k	92
表 4 - 32 工作站集合 $S(N)$ 之 R_k 比較表	93
表 4 - 33 各屬性別工件於各層級之週期時間估算結果與 X-factor 值	94
表 4 - 34 新增機台之工作站順序	94
表 4 - 35 最終之機台數量配置與各工作站利用率	95

表 4 - 36 各屬性別工件之生產週期時間	95
表 4 - 37 各產品之平均生產週期時間	95
表 4 - 38 不同車數下之生產績效模擬結果	96
表 4 - 39 各工作站利用率之比較	97
表 4 - 40 各工作區間所需搬運時間之模擬結果 (單位：分鐘)	98
表 4 - 41 各工作站週期時間之模擬結果 (單位：分鐘)	99
表 4 - 42 各屬性別工件之生產週期時間比較	99
表 4 - 43 各種方法下一般工件之生產週期時間比較表	101
表 4 - 44 各種方法下量測工件之生產週期時間比較表	101
表 4 - 45 初始以及最終機台配置下之生產週期時間模擬結果(一般工件)	102
表 4 - 46 初始以及最終機台配置下之生產週期時間模擬結果(量測工件)	102
表 4 - 47 新增機台之工作站順序(閒置成本法).....	104
表 4 - 48 新增機台之工作站順序(邊際貢獻法).....	104
表 4 - 49 各工作站之最終機台配置(閒置成本法)	104
表 4 - 50 各工作站之最終機台配置(邊際貢獻法)	104
表 4 - 51 不同方法下新增機種之名稱及數量	106
表 4 - 52 不同方法下各屬性別各層級之週期時間模擬結果與 X-factor 值	107
表 4 - 53 各方法下生產週期時間模擬資訊與機台總成本之比較	107
表 4 - 54 不同機台配置下一般工件之生產週期時間比較表	108
表 4 - 55 不同機台配置下量測工件之生產週期時間比較表	108

符號一覽表

符號上下標

i : 第 i 種產品別 ($i=1, \dots, I$, I 為產品種類數)。

j : 第 j 個製程步驟 ($j=1, \dots, J^r$, J^r 為屬性別工件 r 之製程步驟總數)。

k : 第 k 個工作站 ($k=1, 2, \dots, BN, \dots, K$, BN 為系統瓶頸工作站, K 為工作站總數)。

l : 第 l 個層級 ($l=1, \dots, L^r$, L^r 為屬性別工件 r 之層級總數)。

r : 工件屬性別, 若 $r=nr$ 為一般工件; $r=wr$ 為量測工件。

x : 工作區 ($x=TF, Photo, Etch, Test$)。

x' : 屬性別工件 r 進行下一製程步驟 $j+1$ 時所在之工作區 ($W_j^r = x, W_{j+1}^r = x'$,

W_j^r 為屬性別 r 進行製程步驟 j 時工作站所在之工作區)。

x'' : 在層級中之工件由目前所在工作區, 依該層級之工作區順序推得之下一順位工作區 x'' 。



搬運車數估算模組符號表

π^r : 工件屬性別 r 所佔總產量之比例。

π_i : 產品 i 所佔總產量之比例。

π_i^r : 屬性別 r 在產品 i 中所佔之比例。

TP^r : 屬性別 r 在規劃幅度內之計畫月產量。

TP : 規劃幅度內之計畫月產量。

Q^r : 屬性別 r 在規劃幅度內每月所需之搬運總圈數。

$Q_{xx'}$: 工件由搬運從點 x 區到搬運至點 x' 區所需之搬運圈數。

$N_{xx'}^r$ ：屬性別 r 自投料至產出由從點 x 區到至點 x' 區所需之搬運次數。

S ：所有工作區之集合， $S \in \{TF, Photo, Etch, Test\}$ 。

DQ ：規劃幅度內每月總需求之搬運圈數。

SQ ：單一搬運車在規劃幅度內每月理想可提供之搬運圈數。

T ：規劃時格長度。

vt ：天車繞行 Interbay 一周所需的時間。

SQ' ：單一搬運車在規劃幅度內每月實際可提供之搬運圈數。

ω_v ：搬運車之有效搬運率。

Veh ：系統所需車數。

生產週期時間估算模組符號表

➤ 搬運時間估算

M_x^r ：在系統規劃幅度內，屬性別 r 於各區之每月平均所需搬運次數。

TP^r ：屬性別 r 在規劃幅度內之計畫月產量。

N_x^r ：屬性別 r 自投料至產出時，由從點 x 區出發所需搬運之次數。

M_x ：工作區 x 於規劃幅度內每月平均所需之搬運次數。

λ_x ：工作區 x 工件之平均到達率。

T ：規劃時格長度。

R_x ：工件在投入/產出之過程中，經過工作區 x 之次數。

R_x' ：工件在投入/產出過程中，工作區 x 不能接受搬運服務之次數。

Y_x : 工件在投入/產出過程中，工作區 x 能夠接受搬運服務之次數。

μ_x : 工作區 x 搬運系統之平均服務率。

Veh : 系統所需車數。

vt : 天車繞行 Interbay 一周所需的時間。

QT_x : 工件於 x 區之平均等候搬運時間。

MT_j^r : 工件由 x 區到 x' 區存貨站所需之純搬運時間。

W_j^r : 屬性別工件 r 進行製程步驟 j 時，加工工作站所在之工作區。

$Q_{xx'}$: 工件由搬運從點 x 區到搬運至點 x' 區所需之搬運圈數。

AT_j^r : 工件 r 於製程步驟 j 所需之搬運時間。



➤ 工作站週期時間估算

O_k : 工作站 k 之產出速率。

B_k^{\max} : 工作站 k 之最大載入批量。

c_k : 工作站 k 之可用機台數。

$E(P_k)$: 工作站 k 之平均製程時間。

M_k : 工作站 k 之機台數量。

$MTTR_k$: 工作站 k 之平均當機時間(mean time to repair)。

$MTBF_k$: 工作站 k 之平均當機間隔時間(mean time between failure)。

PT_k^r : 屬性別 r 在工作站 k 之平均製程時間。

π^r : 工件屬性別 r 所佔總產量之比例。

$\alpha_{l,k}$: 工作站在其出現層級之平均層級產出速率。

L_k : 工作站 k 出現之層級總數。

$\alpha_{l,x}$: 搬運系統於各工作區其出現層級之平均層級搬運率。

μ_x : 工作區 x 搬運系統之平均服務率。

L_x : 工作區 x 出現之層級總數。

α : 全廠之平均產出率。

TP : 規劃幅度內之計畫月產量。

T : 規劃時格長度。

$\lambda_{l,x}$: 層級 l 中工作區 x 之工件層級到達率。

$\lambda_{l,x}^r$: 層級 l 中工作區 x 之各屬性別工件 r 層級到達率。

$S(l,x)$: 在層級 l 中，工作區 x 內所出現之工作站集合。

$\alpha_{l,x,b}^r$: 在層級 l 工作區 x 中，各屬性別工件 r 之瓶頸工作站層級產出速率。

π_k^r : 工作站 k 中加工工件之屬性別為 r 之比例。

$R_{l,x}^r$: 工作區 x 中各屬性別工件 r 之工件層級產出率。

$R_{l,x}$: 工作區 x 之整體工件層級產出率。

λ_k : 工作站 k 之總到達率。



$\lambda_{l,k}$ ：層級 l 中工作站 k 之工件層級到達率。

μ_k ：工作站 k 之平均服務率。

ρ_k ：工作站 k 之機台利用率。

QT_k ：工作站 k 之平均等候時間。

CT_k ：工作站 k 之週期時間。

➤ 產品生產週期時間估算

CT_k ：工作站 k 之週期時間。

AT_j^r ：工件 r 於製程步驟 j 所需之搬運時間。

CT_j^r ：屬性別 r 於製程步驟 j 之週期時間。

CT^r ：屬性別 r 之生產週期時間。

CT_i ：產品 i 之生產週期時間。

π_i^r ：屬性別 r 在產品 i 中所佔之比例。

機台數量配置模組

➤ 初始機台數量估算機制

$Acap_k$ ：工作站 k 中單一機台最大可提供之可用產能。

$MTTR_k$ ：工作站 k 之平均當機時間(mean time to repair)。

$MTBF_k$ ：工作站 k 之平均當機間隔時間(mean time between failure)。

$Dcap_k$: 工作站 k 為達成產出目標所需之需求產能。

TP^r : 屬性別 r 在規劃幅度內之計畫月產量。

PT_k^r : 屬性別 r 在工作站 k 之平均製程時間。

f_k^r : 屬性別 r 從投入至產出所需經過工作站 k 之次數。

U_k : 工作站 k 之負荷水準。

M_k : 工作站 k 之機台數量。

U_k^{UB} : 工作站 k 之負荷水準上限值。

M_k^{\min} : 工作站 k 滿足負荷水準上限之前提下，所需之最小機台數量。

U_{BN}^{LB} : 黃光工作站之平均產能負荷下限值。



➤ 機台數量新增機制

CT_l^r : 屬性別 r 於各層級 l 之層級週期時間。

CT_j^r : 屬性別 r 於製程步驟 j 之週期時間。

$S(r,l)$: 屬性別 r 於層級 l 中所有製程步驟之集合。

PT_l^r : 屬性別 r 於層級 l 之純製程時間。

PT_j^r : 屬性別 r 於製程步驟 j 之工作站純製程時間。

MT_j^r : 工件由 x 區到 x' 區存貨站所需之純搬運時間。

XF_l^r : 屬性別工件 r 於各層級 l 之 X-factor 值。

XF^{UB} : X-factor 上限值。

$S(D)$: 對於各屬性別 r 之 X-factor 值大於上限值的層級，其中所有工作站之集合，為候選工作站集合。

QT_k : 工作站 k 之平均等候加工時間。

$A_{k,1}$: 候選工作站 k 依平均等候加工時間由大至小之排序順位值。

ΔCTI_k : 工作站 k 之改善量。

h_k^r : 工作站 k 於屬性別 r 超出 X-factor 上限值之層級中，所出現之次數。

π^r : 工件屬性別 r 所佔總產量之比例。

ΔCT_k : 工作站 k 新增一部機台所造成之工作站週期時間減少量。

CT_k : 工作站 k 之週期時間。

CT'_k : 工作站 k 新增一部機台時之工作站週期時間。

$A_{k,2}$: 候選工作站 k 依改善量由大至小之排序順位值。

$Cost_k$: 工作站 k 之機台購置成本。

$A_{k,3}$: 候選工作站 k 依機台購置成本由小至大之排序順位值。

A_k : 候選工作站 k 之機台新增優先順序。

$S(N)$: 具有最小新增優先順序值之工作站集合。

R_k : 工作站 k 之改善量與機台購置成本之比值。

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

台灣在 2001 年時薄膜液晶平面顯示器(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, 簡稱 TFT-LCD)之生產量在全世界市場之佔有率高達 26.1%, 使得台灣成為全世界薄膜液晶平面顯示器生產大國之一。而 2002 年經濟部所提出「兩兆雙星產業發展計畫」, 係指將半導體產值與彩色影像顯示器兩項產業的產值在 2006 年時, 各自突破一兆元, 並且推動數位內容與生技產業成為具發展潛力的兩個明星產業。因此, 在此政策之推動下, TFT-LCD 產業已成為重點發展產業之一[40]。

TFT-LCD 之製程主要分為三個階段, 分別為第一階段之薄膜電晶體陣列(TFT Array)段製程、第二階段之液晶面板組立(LC Cell Assembly)段製程以及第三階段之電路模組組立(Module Assembly)段製程。其中, 第一階段之薄膜電晶體陣列廠其製程與半導體晶圓製造廠十分相似, 其生產流程亦具有再回流(Re-entry)之現象。然而, 由於薄膜電晶體陣列段加工之玻璃基板所佔體積龐大, 其加工時礙於設備之空間考量, 故無批量加工之機台製程, 此特性不同於晶圓製造廠有批量加工機台之製程特性。

薄膜電晶體陣列廠之機台設備成本十分昂貴, 且機台組合對於整個系統之生產績效影響甚鉅, 因此, 薄膜電晶體陣列廠在建廠初期, 機台數量規劃是一個相當重要之長期決策。一個良好的機台組合, 不但能夠增加系統產出量、降低產品之生產週期時間, 並且可以提高機台設備的使用率; 反之, 任意的購置機台, 不僅會增加額外的機台購置成本, 造成產能的閒置與浪費, 還可能因為機台組合不適當而影響系統產出量、產品週期時間等重要之績效指標。

對於薄膜電晶體陣列廠而言, 產品生產週期時間是衡量生產績效的重要指標, 其決定了產品之交期時間, 也為規劃機台組合時不可或缺之重要考慮因素。此外, 在薄膜電晶體陣列廠中, 由於玻璃基板所佔體積龐大, 故以自動化搬運系統進行物料之運送。然而, 當自動化搬運系統設計不良時, 物料之搬運時間將拉長, 而造成生產週期時間之增加, 故在薄膜電晶體陣列廠中, 不可忽略搬運系統對於生產週期時間之影響。

基於上述，誘發吾人之研究動機，期望在薄膜電晶體陣列廠建廠初期，對於機台設備之數量進行配置，以避免不必要之機台設備購置成本。並在考量搬運因素下，發展一套適用於薄膜電晶體陣列廠之生產週期時間估算法則，以便基於估算之生產週期時間進行機台數量之配置規劃。

1.2 研究目的

基於上述之研究背景與動機，本文將依據薄膜電晶體陣列廠之特性，在考量搬運因素下，規劃薄膜電晶體陣列廠機台設備之數量配置，使機台產能得以充分利用，以避免產能閒置與購置成本之浪費，並維持系統之生產績效於一定水準之上，確保整體之競爭力。吾人計劃以下列三個模組來達成本文之研究目的：

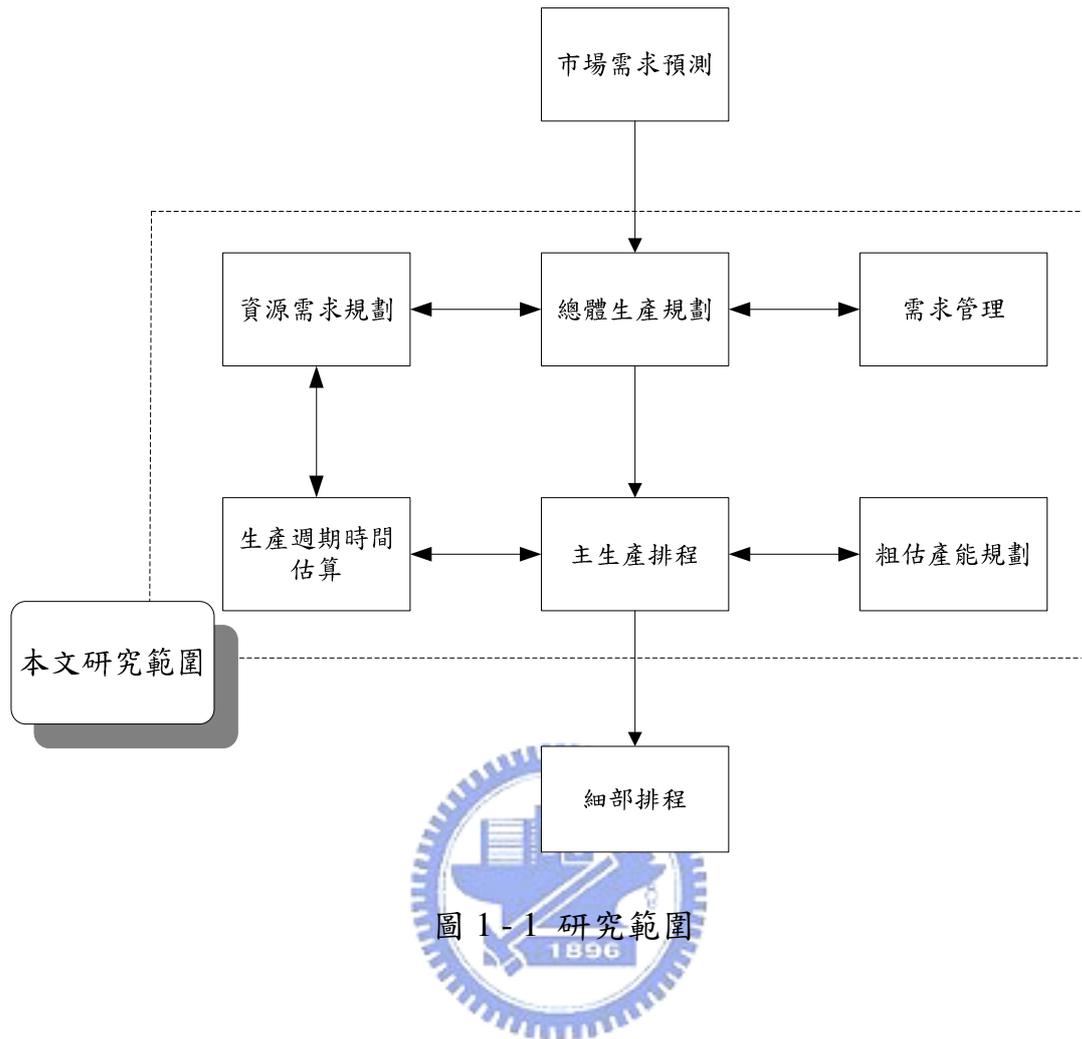
1. 搬運車數估算模組：在本文考量搬運系統之生產環境中，吾人期盼搬運能夠流暢，不因車數過多而造成不必要之成本浪費；亦不希望因車數過少而成為系統瓶頸。因此，吾人將利用郭氏[30]之搬運車數估算模組，根據生產相關資訊求算系統所需之最適搬運車數。
2. 生產週期時間估算法則：吾人以數學方法發展一套考量搬運因素之生產週期時間估算法則，基於搬運車數估算模組所求算之車數，估算包含搬運時間之生產週期時間，其估算結果將作為配置機台數量時之重要參考資訊。
3. 機台數量配置模組：在滿足系統所需產能之前提下，吾人依據生產週期時間估算法則之估算結果，以及機台設備之購置成本等輸入資訊，於薄膜電晶體陣列廠之建廠初期，規劃廠中各機種之機台數量配置。

1.3 研究範圍與限制

本文所發展之機台數量配置機制，係依據市場需求預測所得之目標產出量以及產品組合，進行薄膜電晶體陣列廠中機台數量之配置，以利後續主生產排程、細部生產排程等生產規劃運作之進行。本文研究範圍如圖 1-1 所示。

由於薄膜電晶體陣列廠之生產系統複雜，為了清楚詮釋主題以及降低研究環境之複雜度，本文作了以下之假設與限制：

1. 生產系統為存貨式(Make To Stock, MTS)生產型態。
2. 假設目標產出量、產品組合比例以及產品製造途程皆已知。
3. 各產品製程均相當穩定，不考慮報廢與重加工之情況。
4. 假設同一工作站中所有機台之效能、當機機率與維修間隔皆一致。
5. 不考慮機台之整備時間。
6. 只考慮各工作區間的搬運時間，不考慮工作區內的搬運時間。
7. 搬運車最大負載量為 1 cassette 之工件。
8. 不考慮工廠中廠房空間大小問題。



1.4 研究方法與步驟

為達成前述之研究目的，本文之研究方法如下列方式進行，其步驟流程圖如圖 1-2 所示。

1. 研究背景與動機
2. 文獻探討
3. 問題定義與分析
4. 建構模式
5. 模擬驗證
6. 結論與未來研究方向

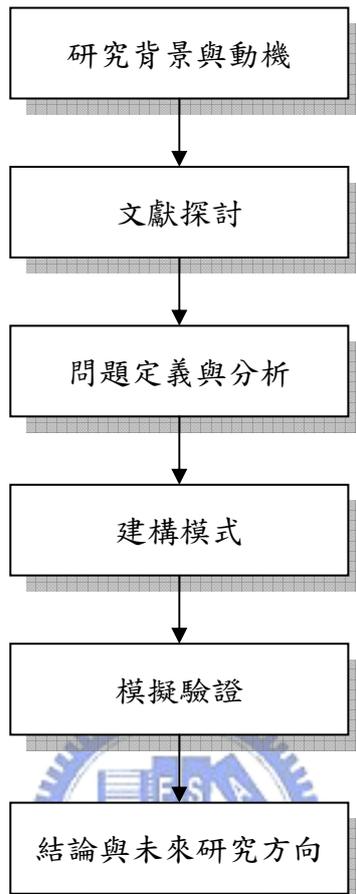


圖 1 - 2 研究步驟流程圖

第二章 文獻探討

本文之研究為薄膜電晶體陣列(TFT-Array)廠考量生產週期時間之機台設備數量配置，主要探討考量搬運因素下之產品生產週期時間以及機台數量配置問題，因此，本章將分為下列幾個方向進行相關文獻之回顧：

- (1) 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之介紹；
- (2) 自動化搬運系統；
- (3) 生產週期時間；
- (4) 機台數量配置問題。

2.1 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之介紹

2.1.1 薄膜液晶顯示器(TFT-LCD)之製程簡介

在介紹薄膜電晶體陣列段之前，吾人首先簡單介紹薄膜液晶顯示器之製造程序。薄膜液晶顯示器之製造程序共有三大製程，分別為前段陣列(Array)製程、後段面板組立(Cell)製程以及模組組裝(Module)製程，其流程為在玻璃基板上製作薄膜電晶體，並將 TFT 陣列工程基板和彩色濾光片基板貼合在一起後，注入液晶而組成液晶胞，最後與電路板和背光板等進行模組組裝[40]，以下簡介此三大製造程序：

(1) 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)製程：

此階段之製程類似半導體製程，主要是在玻璃基板上製作薄膜電晶體，透過洗淨、鍍膜、曝光、顯影、蝕刻等步驟在玻璃基板上進行一定次數的重覆加工，最後在玻璃基板上形成電晶體。

(2) 液晶面板組立(LC Cell Assembly)製程：

液晶面板組立製程為將在陣列製程完成的玻璃基板進行尺寸切割之工作，並與彩色濾光片做配向處理，再經過壓合與封入液晶等過程，即可成為薄膜液晶顯示器的面板。

(3) 液晶模組組裝(LC Module Assembly)製程：

組裝製程為將上一階段完成之液晶面板與 IC、電路板及背光模組等零組件進行組裝，再經過最後的檢驗使其成為一個 TFT-LCD 模組。

本研究著眼於薄膜電晶體陣列(TFT Array)廠之機台數量規劃問題上，故接下來將針對薄膜電晶體陣列段之製程進行探討。

2.1.2 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之製程介紹

薄膜電晶體陣列段之製程與半導體製程類似，皆具有再回流之特性，但因陣列段製程之再回流次數較少且無批量加工機台，故較半導體製程簡單，其製造流程如圖 2 - 1 所示，其說明如下[32][40]：

1. 玻璃基板投入：首先對於欲投入加工製程之玻璃基板進行品質檢驗，確保玻璃基板之厚度均勻以及邊緣無毀損等品質狀況，再將其投入加工製程步驟。
2. 洗淨(Cleaning)：對原物料玻璃基板進行清洗，其目的在於使基板具有良好的導電性、提升薄膜的密著性以改善表面品質，以及清除基板表面的微塵粒子以提昇製程良率。
3. 成膜(Film Deposition)：在成膜製程中有物理方式的濺鍍法(Sputtering)和化學方式的電漿化學氣相沉積法(Deposition)。濺鍍法是用於形成閘電極、源電極、汲電極、掃瞄線、儲存電容電極、信號線和畫像素電極功能之金屬薄膜；電漿化學氣相沉積法是用於成長閘電極絕緣膜、半導體層、保護膜...等。
4. 光阻劑塗佈(Coating)、曝光(Exposure)、顯影(Developing)：將經過成膜製程步驟之基板上塗佈光阻劑，並在黃光區中利用光罩照射進行曝光步驟，曝光之後再進行顯影之工作。
5. 蝕刻(Etching)、去光阻(Resist Stripping)：經過曝光顯影製程步驟後，將不需要之透明電極層進行蝕刻去除，再將表面被光阻覆蓋之介質層去除。
6. 測試(Testing)、TFT 陣列基板完成：將玻璃基板重複以上洗淨、成膜、光阻劑塗佈、曝光、顯影、蝕刻及去光阻等製程步驟五至七次，最後

再進行測試步驟，並完成 TFT 陣列基板之加工。

如圖 2-1 所示，陳氏[34]依照加工步驟及製程相似性，將薄膜電晶體陣列段之設備分為薄膜區、黃光區、蝕刻區、測試區等四大工作區，介紹如下：

1. 薄膜區：洗淨、濺鍍以及電漿設備。
2. 黃光區：光阻劑塗佈、曝光以及顯影設備。
3. 蝕刻區：濕式蝕刻、乾式蝕刻以及光阻剝離設備。
4. 測試區：測試以及修復設備。

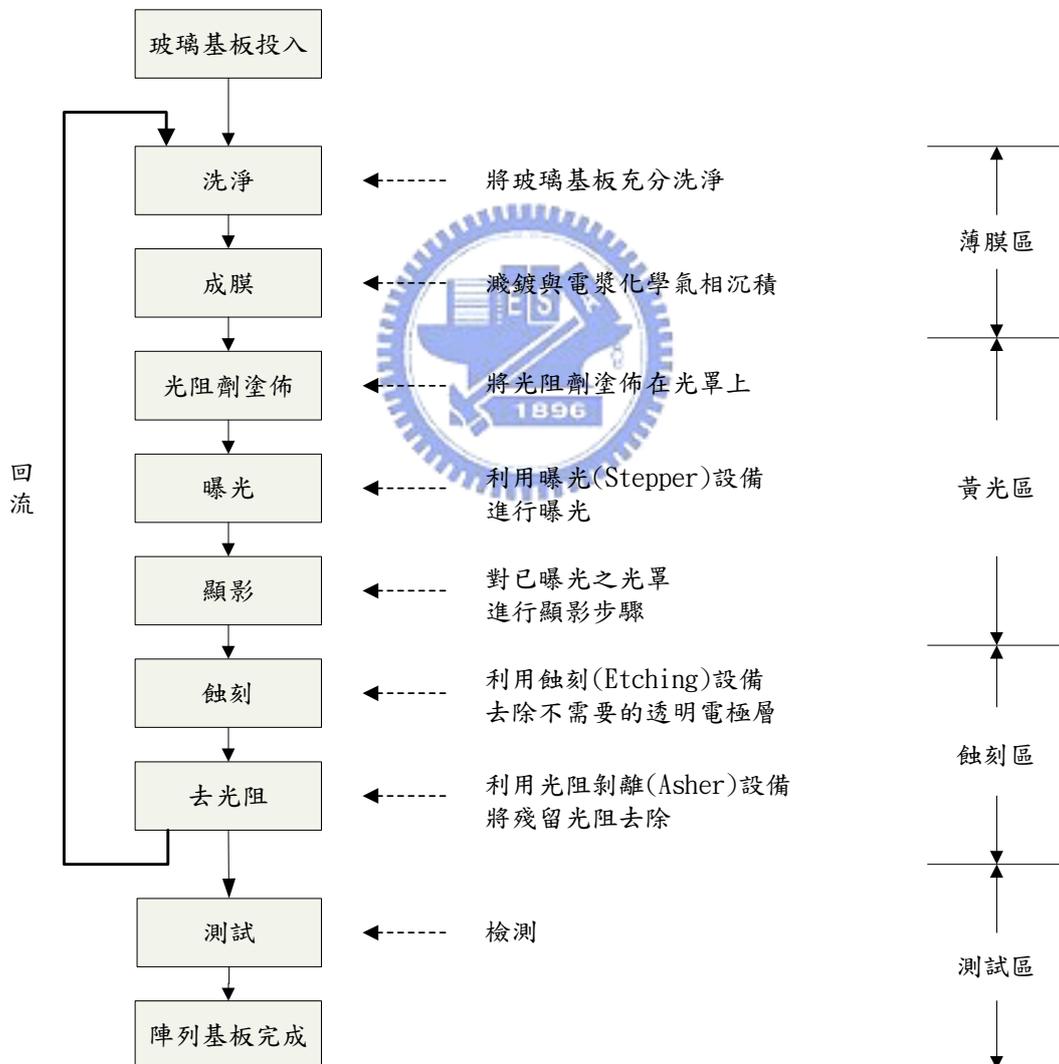


圖 2-1 薄膜電晶體陣列製程流程圖[32]

2.1.3 薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之特性

陳氏[34]針對薄膜電晶體陣列段之特性進行整理分析，如下所示：

1. 生產型態：存貨式生產(Make To Stock, MTS)。
2. 佈置型態：業界大部分採零工式佈置，依照機台功能別將相同功能之機台放置在一起，如此佈置較具彈性。
3. 產品種類：產品之尺寸大小大致分為 15 吋、17 吋、19 吋、26 吋及 46 吋等，陳氏[34]透過訪談將不同世代之玻璃基板所能切割之片數整理如表 2 - 1 所示，而不同產品種類間具有製程步驟相同、製程時間差異小之特性。
4. 產品比例：產品之組合比例會隨時間及淡旺季而有所變化。
5. 製程特性：薄膜電晶體陣列段之製程具有再回流與重加工之特性。
6. 機台特性：由於原物料為大尺寸之玻璃基板，所佔體積龐大，故基於空間之考量，薄膜電晶體陣列段中皆為序列加工機台，和半導體晶圓廠中有批量加工機台之特性不同；機台設置時間方面，除了黃光機台更換光罩時需要換光罩時間外，其餘機台僅需數秒之換線時間。

由於薄膜電晶體陣列段之製程有許多特性與半導體晶圓廠相似，陳氏[34]進一步分析薄膜電晶體陣列段與半導體晶圓廠之異同，其比較如表 2 - 2 所示。

表 2 - 1 各世代玻璃基板可切割各尺寸之片數對應表[34]

	15 吋	17 吋	19 吋	26 吋	46 吋
3 代	2 片	2 片	2 片	1 片	0 片
3.5 代	6 片	4 片	4 片	2 片	0 片
4 代	6 片	6 片	4 片	2 片	0 片
5 代	15 片	9 或 12 片	9 片	4 或 6 片	1 或 2 片
6 代	30 片	25 片	16 或 20 片	12 片	3 片
7 代	42 片	36 片	25 片	18 片	6 片

表 2-2 薄膜電晶體陣列廠與晶圓廠比較表[34]

	薄膜電晶體陣列廠	半導體晶圓廠
生產型態	存貨式生產	訂單式生產
設備佈置	大部分為零工型佈置	零工型佈置
再回流特性	有，(5~7 層)	有，(16~20 層)
共用機台特性	有	有
批次機台	無	有

2.2 自動化搬運系統

2.2.1 搬運系統之軌道佈置

軌道佈置之主要目的為使得搬運系統能將在製品正確且有效率地搬運至目的地。在行走方向之規劃方面，軌道上無人搬運車(Automatic Guided Vehicle, AGV)之行走方向可分為單向(unidirectional)與雙向(bi-directional)兩種，單向軌道在控制上較為簡單，一般工廠大多採用此類設計；而雙向軌道由於可來回行走於軌道上，故可減少所需之搬運路程。在軌道之佈置方面，可分為傳統網路式、單迴圈式、區域式以及區域雙向單迴圈式等四大類，如下所示[30]：

1. 傳統網路式(Network)：由於車輛可於任一軌道上行走，且任一無承載工件之搬運車皆可提供搬運服務於經過之工作站，故造成搬運系統中發生阻塞、擁擠、碰撞等情況之可能性較高，而用來控制並避免造成系統延滯之車輛指派、車輛途程設定等機制也較為複雜，如圖 2-2 所示。
2. 單迴圈式(Single-Loop)：此種佈置方式較容易控制，並且可以有效解決在傳統網路式中可能造成碰撞與死結的情況。然而，此佈置方式之彈性較差，其效能也未必優於傳統網路式佈置[20]，如圖 2-3 所示。
3. 區域式(Tandem)：此種佈置方式是將整個系統區分為數個不重疊交叉之獨立區域，各區有一輛無人搬運車進行搬運工作，並利用各區之間的轉運站，使得相鄰之區域能夠互傳工件，以滿足系統需求。此佈置方式具

有避免碰撞且易於控制等優點，且較單迴圈式更具彈性[1]，如圖 2 - 4 所示。

4. 區域雙向單迴圈式(Segmented Bi-directional Single-Loop, SBSL):此佈置方式結合區域式與單迴圈式，將單迴圈切割成數個不重疊之區段，各區段中僅有一輛無人搬運車來回雙向搬運，而各區段交接處設有轉運站進行工件之傳遞。此佈置方式雖然可以降低因交通問題所造成之時間延誤，然而卻因為裝卸載作業次數之增加，造成了多餘之搬運時間[21]，如圖 2 - 5 所示。

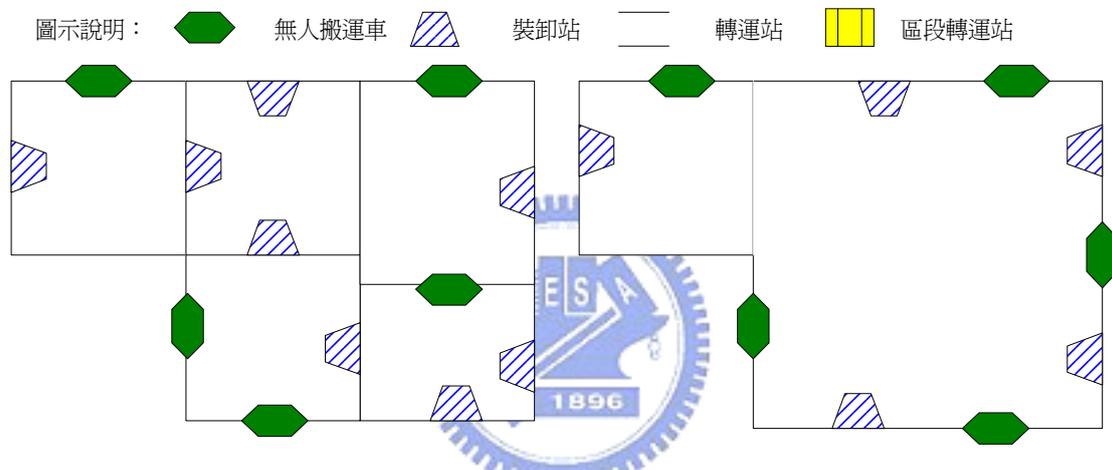


圖 2 - 2 傳統網路式無人搬運車系統 圖 2 - 3 單迴圈式無人搬運車系統[20]

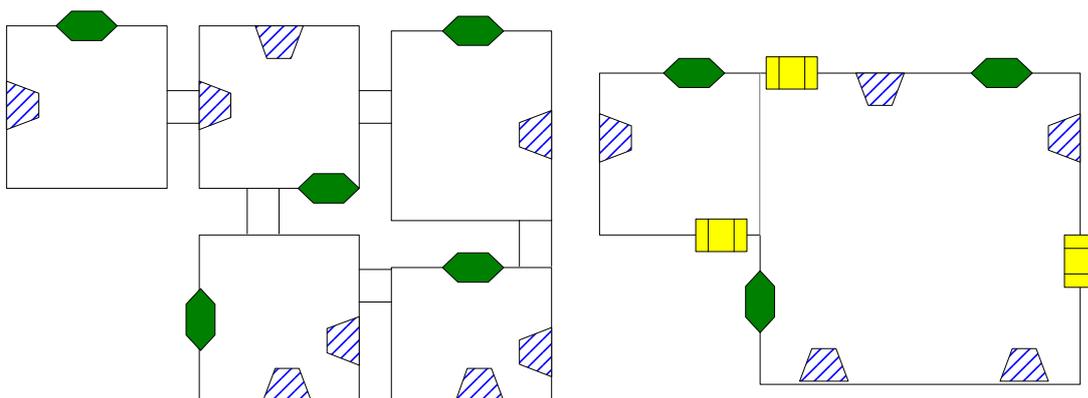


圖 2 - 4 區域式無人搬運車系統[1]

圖 2 - 5 區域雙向單迴圈式無人搬運車系統[21]

2.2.2 搬運系統之車數問題

在搬運系統中，無人搬運車數量對於系統之生產績效與成本有相當程度的影響，因此，決定滿足生產所需之搬運車數量為一重要之課題。

Maxwell & Muckstadt[16]提出一套數學方法，在車輛速度、裝卸載時間以及搬運需求皆為固定已知之假設環境下，估算最短之空車行走時間，並與各工作站之裝卸載時間與負載搬運時間相加總，除以搬運車在規劃幅度內之可用產能，即可得最少所需之搬運車數量。

郭氏[30]根據各產品之製程加工步驟，估算各產品從投料到產出所需繞行 Interbay 之圈數，並以產品繞行 Interbay 之圈數及計劃總產量為輸入參數，在滿足搬運需求量之條件下估算系統所需之搬運車數量。本文將運用郭氏[30]估算搬運車數之理念，估算薄膜電晶體陣列廠中所需之搬運車數量。

2.3 生產週期時間

2.3.1 生產週期時間之定義



Kramer[12]定義生產週期時間為一晶圓批從投料至產出所需花費的時間。而從價值分析(value analysis)的觀點來檢視生產週期時間之組成因子，則可將其分為具增值性時間以及不具增值性時間。具增值性時間之意義為該時間對產品價值之增加，具有其貢獻性，例如純製程時間；而不具增值時間之意義則為該時間對於產品價值之增加，不具有其貢獻性，例如等候加工與等候搬運時間等[13][19]。

黃氏[36]將週期時間分為理論週期時間和等候時間兩部分，其中理論週期時間包含了製程時間、裝卸時間、準備時間等具增值性活動之時間；而等候時間則包含了等候加工及等候搬運等不具增值性活動之時間。一般而言理論週期時間之變異較小，常常被視為一固定值；而等候時間由於具有高度不確定性，為一待估計之值。

除上述生產週期時間之定義外，Chung and Huang[5]考量半導體晶圓製造廠中批量與序列工作站混雜之物流特性，將工件流經晶圓廠所需之時間

分為以下三部份：

1. 源於負荷因子之等候時間：因該工作站之平均工件負荷所造成之等候時間。
2. 源於批量因子之等候時間：因前後製程機台之載入批量差異，及其相對之產出速率差異，所造成之等候時間。
3. 理論週期時間：包含了純製程時間、載入與卸下時間...等等。

2.3.2 生產週期時間之估算方法

在生產週期時間估算方法之分類方面，Chung and Huang[5]依據週期時間估算法之特性差異，將週期時間估算法分為五種類型，分別為直接程序法、模擬法、統計分析法、數學分析法以及混合型方法，其分類彙整如表 2-3 所示。

在工作站週期時間之估算方面，Wang *et al.*[24]結合了由等候理論所推導出之兩個公式：Little's formula 以及 Kingman's equation[7]，以估算週期時間，其公式如式 2-1 所示，其中 u 為機台利用率， a, b 為迴歸係數。其利用各工作站之歷史資料求算迴歸方程式之迴歸係數，並以此方程式作為工作站週期時間之估算式。

$$T = a + b \times \frac{u}{1-u} \quad \text{式 2-1}$$

Kramer[12]與 Martin[15]則以等候理論為基礎，推導出理論週期時間與實際週期時間比值(X-factor)之估算式，其公式如下所示。而在業界也常將 X-factor 視為生產週期時間評估指標之一。

$$\text{Kramer : } X - \text{Factor} = 1/(1-u) \quad \text{式 2-2}$$

$$\text{Martin : } X - \text{Factor} = \frac{1-u/2}{1-u} \quad \text{式 2-3}$$

此外，Conway *et al.*[7]利用拉普拉斯轉換式(Laplace Transforms)來估算工件在單一機台上之流動時間，如式 2-4 所示：

$$E(X) = E(P) + \frac{\lambda E(P^2)}{2(1-\rho)} \quad \text{式 2-4}$$

其中， $E(X)$ 表示工件之期望流動時間， $E(P)$ 表示期望作業時間， $E(P^2)$ 表示作業時間之平方期望值， λ 表示工件到達率， ρ 表示機台利用率。

表 2-3 生產週期時間估算方法及其優缺點[5][36]

求算方法	說明	優點	缺點
直接程序法 (Direct Procedure)	只使用目前可得之資訊(如工件特徵、現場狀況等)。	簡單、不須繁複的計算過程。	模式中所使用之係數仍須以其它方法得到。
模擬法 (Simulation Method)	建立離散事件模擬模型，經由模擬結果來預測週期時間。	透過建立詳細的模型，可以提昇預測之精準性，可解答 What-if 的問題，提供決策參考，或預測控制參數之值。	模式確認(Model validation)不易，須經多次模擬方能確認可行性，且模擬過程所須時間相對較長。
統計分析法 (Statistical Method)	利用迴歸分析或相關分析等統計方法，來分析過去的生產資料，以尋找週期時間與各類變數之間的關係，並依此建立統計模式來進行預測。	具有統計可信度，現場人員接受度較高。	過去的趨勢並不一定適用於未來，且需求改變、產能改變等等，均可能造成模型的不適用性。
數學分析法 (Analytical Method)	以等候理論或數學模式為基礎，利用數學推導工件流動時間及其標準差，進而利用常態分配的假設來設定所需參數。	具統計分配特性，可以推導出預測誤差的分布；且執行運算所須之時間短。	簡化過之數學模式往往與實際情形有所差異；且數學模式複雜度高，有時不易推導出可用模式。
混合型方法 (Mixed Method)	整合多種研究方法，進行週期時間之預測。	可整合各種方法之優點。	各種方法之假設前提可能相互矛盾，不當的整合將增加分析的困難度。

在晶圓製造廠中，批次機台之批量問題為一重要之製程特性，然而，上述各種方法均未將批量因素納入模型中考量，故難以適用於晶圓製造廠。於是蘇氏[39]與施氏[29]考量批次機台之批量因素，將上述之 Conway 估計式加以修正，如式 2-5 所示，而修正後之公式對於生產週期時間估算之準確性亦有相當幅度的提升。

$$E(X) = E(P) + \frac{\lambda E(P^2)}{2(1-\rho) \times ABS} \quad \text{式 2-5}$$

其中 ABS 代表批次機台之批量大小，若為序列機台則 $ABS = 1$ 。

Connors *et al.*[6]運用等候網路模型來估算晶圓製造廠之工作站利用率、生產週期時間等生產績效，其模型中考量重加工(rework)、報廢(scrap)、批量大小等製程因素之影響，且分別依據序列以及批次機台之加工特性建構等候模型。在其等候網路模型中，工作站之到臨事件共分為兩大類，分別為因當機、維修保養等因素造成之失效事件，以及欲加工之工件。

式 2-6、式 2-7 分別代表在到臨事件之到達率皆服從卜瓦松(Poisson)分配的情況下，不同機台數之序列工作站其平均等候時間之估算公式。式 2-6 為在非逐位性優先服務(non-preemptive priority)之 M/G/1 等候模型環境中，用來估算僅有單一機台之序列工作站其平均等候時間之等候公式；式 2-7 為將式 2-6 乘上一修正因子後之 M/G/C 等候模型近似公式，用來估算有多部機台之序列工作站其工件之平均等候時間，若將機台數等於一台代入式 2-7 中，即可發現式 2-7 與式 2-6 相同。由於薄膜電晶體陣列廠之工作站皆為序列工作站，因此，本文將基於上述之 M/G/C 等候模型近似公式，估算薄膜電晶體陣列廠中各工作站之工件等候加工時間。

$$E(D_g) = \frac{\sum_{b \in B_g} \Lambda_b E(S_b^2) + \sum_{k \in T_g} \Lambda_k E(S_k^2)}{2(1-\rho_g^{inc})(1-\rho_g^{inc} - \rho_g)} \quad \text{式 2-6}$$

$$E(D_g) = \frac{(\rho_g + \rho_g^{inc})^{\sqrt{c_g}-1}}{c_g^2} \cdot \frac{\sum_{b \in B_g} \Lambda_b E(S_b^2) + \sum_{k \in T_g} \Lambda_k E(S_k^2)}{2(1-\rho_g^{inc})(1-\rho_g^{inc} - \rho_g)} \quad \text{式 2-7}$$

其中， $E(D_g)$ 表示平均等候時間， T_g 表示在工作站 g 進行加工之作業

集合， $E(S_k^2)$ 表示作業 k 加工時間之平方期望值， Λ_k 表示作業 k 之到達率， ρ_g 表示加工作業造成之工作站利用率， B_g 表示在工作站 g 發生之失效事件集合， $E(S_b^2)$ 表示失效事件 b 其失效時間之平方期望值， Λ_b 表示失效事件 b 之到達率， ρ_g^{inc} 表示失效事件所造成之工作站利用率。

Chung and Huang[5]考量晶圓廠批次機台與序列機台混雜之物流特性，發展出區段基礎式週期時間估算法(block-based cycle time estimation methodology, BBCT)，估算源於負荷因子以及批量因子之等候時間。該演算法先將複雜的製程以批次機台為分割點分解成數個獨立之區段，再依製程特性對於各區段進行週期時間之估算，最後將之全部加總即為整體製程之週期時間，而實證結果顯示應用 BBCT 於晶圓製造廠之生產週期時間估算有不錯之成效。

陳氏[33]進一步將 BBCT 估算模式推廣至系統存在多等級工單之情境，發展晶圓廠多等級生產週期時間估算法(BBCT-MP)。郭氏[30]繼續延伸 BBCT-MP，並考量區間搬運狀況下之搬運時間，發展包含搬運時間在內之晶圓廠生產週期時間估算法，使生產週期時間之估算更臻完備。

陳氏[34]認為薄膜電晶體陣列(TFT-Array)段之製程特性雖與半導體晶圓廠相似，但在薄膜電晶體陣列段製程中並無晶圓廠中批次機台之製程特性，故 BBCT、BBCT-MP 及郭氏考量搬運時間之估算法皆不適用於薄膜電晶體陣列段之週期時間估算。因此，作者在考量區間搬運之環境下，利用迴歸分析方法建構「個別工作站等候時間迴歸式」與「整體迴歸式」，分別估算薄膜電晶體陣列(TFT-Array)廠之生產週期時間。

Wu[25]認為生產系統之績效會受到系統中存在之變異性(variability)所影響，因此，作者以機台設備效率(overall equipment efficient, OEE)之角度作為出發點，在考量機台變異之前提下，以 G/G/1 之等候理論模式，建構機台之生產週期時間估算模型，並加總各機台之生產週期時間以求得產品之生產週期時間。

2.4 機台數量備配置問題

近年來，有許多的學者對於機台之數量配置問題進行研究探討。在求解機台配置問題之方法分類方面，劉氏[38]將之分為確定性分析法、數學分析法、模擬法以及混合法等四種類型，而吾人將依其分類方式對於各種類型進行相關研究之文獻回顧。

2.4.1 確定性分析法

在生產系統設計初期，由於缺乏完整生產資訊，因此可藉由一些簡單的產能粗估方法以及經驗法則來決定系統初始之機台數量配置。

在產能推估方法方面，Chase[4]利用訂單所需之總產能除以規劃時間內可提供產品加工之產能，估算系統所需之機台數量；在經驗法則方面，吳氏[27]指出業者常常根據以往擴廠以及實務經驗來作決策，然而，當外界生產條件有很大的變動時，依據經驗法則規劃機台配置組合時往往會導致錯誤的決策。



2.4.2 數學分析法

數學分析法主要是以數學模式或等候網路模式為理論基礎，進行機台之數量配置，其優點主要為相較於模擬所需之運算時間，數學分析法可快速估算工廠之生產績效。然而，利用數學模式描述複雜之工廠生產系統十分不容易，且其估算之近似績效往往與實際情況有差異，此為數學分析法較為不足之處。

Yoneda[26]將晶圓廠生產系統建構成一個開放式等候網路(open queueing network)，利用所得資訊建立成本函數，其中成本函數定義為機台成本與在製品成本之加總。作者以成本函數最小化為目標，搭配模擬退火法(simulated annealing, SA)在所有可能解中找到一組成本最小之機台配置組合。作者針對 8 種產品以及 31 個工作站進行實例驗證，所需運算時間將近 9 個小時，運算效率略顯不足。其成本函數如式 2-8 所示：

$$\text{Min} \quad f(x) = \sum_i \left(a_i m_i + \sum_j b_{ij} y_{ij} \right) \quad \text{式 2-8}$$

m_i : 工作站 i 的機台數。

y_{ij} : 產品 j 在工作站 i 的在製品數量。

a_i, b_{ij} : 表常數。

Bretthauer[2][3]認為在生產系統中，若機台產能不足，則會造成延遲以及過多在製品之情況發生；反之，設置過多機台數量，會導致利用率降低，造成資源浪費。作者將整個製造系統視為一個 Jackson 網路，並假設工件到達率服從卜瓦松(Poisson)分配、服務率服從指數(Exponential)分配，且網路上每一個節點(node)為單一工作站(single server)。因此，作者藉由決定網路模式中每一個節點之服務率，可求得每一工作站之產能水準，並限制系統之在製品量在一定範圍之內，以機台購置成本最小化為目標，運用分支界線法(branch and bound)進行模式求解，以找出一組最佳的機台配置組合。

Connors *et al.*[6]針對晶圓製造廠之生產系統發展了一套等候網路模型，用來快速估算晶圓廠之生產週期時間、機台利用率等生產績效，文中也運用此等候模型，作為規劃機台之數量配置時估算生產績效之工具。其機台規劃之數學模式如下所示：

$$\min_c \quad \sum_{g \in G} k_g c_g \quad \text{式 2-9}$$

s.t.

$$\Psi^f(c) < \Psi_{\max}^f, \quad \forall f \in F \quad \text{式 2-10}$$

$$c_g \in Z^+, \quad \forall g \in G \quad \text{式 2-11}$$

k_g : 工作站 g 的機台成本。

c_g : 工作站 g 的機台數量。

$\Psi^f(c)$: 在機台組合 c 之下，產品 f 之平均生產週期時間。

Ψ_{\max}^f : 產品 f 允許之最大生產週期時間。

c : $c=(c_1, \dots, c_G)$ ，表示機台組合。

F : 表示系統中所有之產品種類。

G : 表示系統中所有之機台種類。

Z^+ : 表示正整數。

Connors *et al.*[6]利用最大邊際貢獻法來進行上述整數規劃模型之求解，其概念為假設所有工作站之初始機台數為一台，接著一次增加一部機台至機台群中，且在每次增加機台時，優先增加每單位成本的績效改善幅度最大之機台，以此方式不斷的更新機台組合，直到平均生產週期時間滿足週期時間限制為止。

Swaminathan[22]考量產品市場需求不確定之情況下，發展一組混合整數規劃(mixed integer programming)之數學模型，以求解晶圓廠之機台配置問題。作者假設公司管理者能夠預測未來可能發生之數種產品需求情境(scenarios)，而每一個需求情境皆對應一機率值，利用這些需求情境代表產品需求之不確定性。而模型中考慮機台購買預算、機台可用產能、市場需求等限制，以最小化缺貨成本之期望值為目標，進行機台之數量配置。由於晶圓廠機台規模龐大，很難在合理時間內求得最佳解，故作者發展了數個複雜之演算法以進行模式求解。而實驗結果顯示，在不確定需求之情況下，作者提出之機率性模型比單一需求情境之模型成效較佳。

Swaminathan[23]延續上述研究，並將之前只考慮單期的模型擴展至多期間之機台配置決策模型，以及將產品在機台上之加工作業列入規劃中，使模型更為完整。作者認為多期間之考量可反應產品之生命週期對機台配置的影響；而加入機台之加工作業規劃乃有助於細部生產計劃之擬定。

張氏[35]修改 Swaminathan[22][23]之數學模型，加入了 COO(Cost of ownership)成本模式作為單位生產成本，並考量產能不足與過剩之成本，以及機台利用率水準與預算之限制，在產品需求不確定之環境下，建構一套涵蓋多期間之機台產能擴充決策模型，以有效率地添購半導體產業之機台設備數量。

Hood[10]針對產品需求不確定之情況下，提出一機率性數學模型，以求解多期間之機台數量配置問題。模型之決策變數包括各產品之產量及在不同機台群之加工數量、各期間產量與需求量之差距，以及機台之購置數量。而此數學模型考量了預算、可用產能、缺貨量以及溢貨量等限制下，以產量與需求量差距之期望值最小化為目標，求解機台之數量配置。然而，由於模型中變數與限制式較多導致問題龐大，很難在合理時間求得最佳解，故作者採用啟發式方法進行求解。

熊氏[37]將晶圓廠之機台數量規劃問題分為三個主題進行探討，其分類如表 2-4 所示。第一個主題針對不確定需求之環境下，以利潤最大化為目標，並滿足生產週期時間之限制，進行機台數量之規劃。第二個主題針對產品有季節性調整之環境，建構一個多產品比例之機台規劃模型，此模型以利潤最大化為目標，並考慮了週期時間與機台採購預算之限制。第三個主題對於已擁有多座晶圓廠之業者，其欲增建一座新廠時之機台規劃問題，模型中之決策變數為新廠之機台數量以及各分廠之產品產量配置，以新廠之機台投資成本最小化為目標，並考慮週期時間限制來進行規劃。作者以等候模型作為系統生產績效之評估工具，並運用基因演算法(Genetic algorithm)求解上述主題之機台規劃問題。

表 2-4 熊氏[37]三個研究主題之分類

主題	工廠環境	需求模式	是否考慮週期時間
研究主題一	單廠環境	不確定需求	有考慮週期時間
研究主題二	單廠環境	確定需求(多產品比例)	有考慮週期時間
研究主題三	多廠環境	確定需求	有考慮週期時間

2.4.3 模擬法

模擬法是建構模擬系統，經由模擬工廠中實際運作情形，進行機台配置之規劃。在實務上，已有許多晶圓廠導入模擬系統，藉由模擬系統之動態行為預測系統之生產績效，並作為支援決策之依據。然而，Connors *et al.*[6]認為模擬法之缺點在於模擬系統之建構與執行所需時間太久，且需要不斷投入大量時間與金錢進行模擬系統維護更新。黃氏[36]也指出在學術研究中，模擬僅為驗證各種方法成效之工具，並非研究之重心。

Neacy[18]描述一個考慮多項生產績效因素之機台規劃問題，並運用模擬配合一些啟發式法則，來決定機台組合。首先推估生產系統中所需之初始機台數量，再利用模擬工具求得在製品、生產週期時間、產出量等系統績效，最後利用這些績效值並配合一些啟發式法則，作為調整機台數量之依據。而其啟發式法則為若機台閒置時間百分比低於 2%，或是產品在機台前的平均等候時間超過 8 小時，且機台平均等候與加工時間之總合除以機台平均加工時間之值大於 3，則增加一部機台。

然而，此模型主要的缺點為模擬次數太多，每調整一次機台數量就必須重新進行一次模擬，相當耗時。此外，作者在決定機台數量時並沒有考慮到機台成本之因素。

2.4.4 混合法

混合法是結合多種研究方法，進行機台數量之規劃。常見的混合法為運用模擬法並搭配其他研究方法來進行機台之數量配置，故混合法往往結合了各種方法之優點[38]。

Mollaghasemi[17]等人認為運用模擬法可表現出系統動態之特性，為設計製造系統與分析問題時廣泛使用之工具。然而，若要運用模擬方法找出最佳之製造系統，必須搭配其他的搜尋法。作者將機台數量規劃問題視為一個多目標問題，並認為整個系統最重要的兩個目標函數為產品週期時間與各機台之機台利用率，因此，作者首先考量決策者對於兩個目標函數偏好之情況，再運用 STEM 方法配合模擬系統績效，使得目標函數達到最佳化，以找出系統最佳的機台數量。

Grewal[8]運用模擬法求得系統之生產績效，並配合啟發式法則進行機台配置之規劃。該啟發式法則之概念為先求得一組最小成本之機台配置，利用模擬方法得到生產週期時間以及各工作站之等候時間。接著分別加一部機台至各工作站中，並利用模擬方法求算各工作站降低之週期時間，選擇單位成本週期時間改善幅度最顯著之工作站新增一部機台。以上述之方式不斷更新機台之數量配置，直到滿足週期時間或預算之限制為止。

此外，在 Grewal[8]所提出之模型中，工作站之機台利用率上限值設定為 85%，作者認為此設定值可確保模擬系統之穩定性，以避免因利用率過高而造成系統之變異增大。Kotcher[11]在產品組合不確定之情況下，分析最具敏感性之工作站其應添購機台之時機與數量，模型中亦指出當工作站之機台利用率大於 85%時，即為機台購買點，作者認為工作站之利用率皆應該維持在此上限值以下，以維持產品生產週期時間在合理之範圍內，避免因機台負荷過高而使得週期時間拉長之情況發生。

吳氏[27]所提出之晶圓廠最佳機台組合決策機制，即對於一組給定的產品組合，在滿足週期時間與產出限制之要求下，以最小化機台購置總成本為目標，決定近似最佳之機台組合。此機制主要分為三個模組，分別為起始解產生模組、在製品搜尋模組以及改善解產生模組。首先利用起始解產生模組產生一組初始機台數量，接著運用產出量、週期時間以及在製品三者之關係，搜尋最佳之在製品量，以便利用模擬系統求得系統之生產績效。若目前機台組合之生產績效無法達到設定的要求，或是目前機台數可以再進一步減少，則運用改善解產生模組中的啟發式法則尋找一個最佳之搜尋方向，進而找出一個最佳之改善解。

陳氏[31]延伸吳氏[27]之研究方法，考慮未來市場產品組合不確定之情況，並假設已知未來三年可能生產的產品組合及其發生之機率，以規劃期間內機台購置總成本及期望產出損失成本之最小化為目標，在滿足產品生產週期時間之限制下，建構一套晶圓廠之最佳機台組合決策機制。然而，在吳氏的研究中，對一組產品組合就需花費 35 個小時來產生最佳之機台組合；作者沿用吳氏之方法，並對於未來可能發生之每一種產品組合，決定其對應之最佳機台組合，故所需之運算時間更為冗長。

林氏[28]提出晶圓廠之短期動態機台調整機制，針對晶圓廠未來三天

內機台之負荷狀況，在不增加新機台的前提下，調整替代機台之功能參數使其成為瓶頸機台群之功能，以增加瓶頸機台群之產能。作者以最大化瓶頸機台群的產出量為目標，並限制未來三天內高利用率之工作站在經過機台功能調整後之產出量，不得低於調整功能前之產出量，以避免不正常之調整方案發生。

此外，在調整機台群功能之優先順序方面，作者從候選機台群的產能狀況、支援瓶頸機台的程度、及調整機台功能所需之設置時間等三方面來決定候選機台群的優先順序，排序第一位之機台群優先進行調整，並藉由模擬求得調整後機台組合之產出量，以確認調整方案之可行性。

吾人綜合以上機台數量配置問題之相關文獻，整理如表 2-5 所示。



表 2-5 機台配置問題之相關文獻整理

	文獻	系統環境	有無考慮週期時間	內容摘要
數 學 分 析 法	Yoneda[26]	晶圓製造廠 單一產品組合	無	以最小化機台購置成本為目標，運用等候網路模型搭配模擬退火法進行求解。
	Bretthauer [2][3]	晶圓製造廠 單一產品組合	無	以最小化機台購置成本為目標，運用等候網路模型搭配分支界線法進行求解。
	Connors[6]	晶圓製造廠 單一產品組合	有	以等候網路模型快速估算生產績效，並運用最大邊際貢獻法進行機台配置。
	Swaminathan [22]	晶圓製造廠 多種產品組合	無	考量產品需求不確定性，以最小化缺貨成本期望值為目標，建構一混合整數規劃之數學模型。
	Swaminathan [23]	晶圓製造廠 多種產品組合	無	將上篇考慮單期間之模型，擴展至考慮多期間之機台配置決策模型。
	張氏[35]	晶圓製造廠 多種產品組合	無	修改 Swaminathan[22][23]之數學模型，並於模型中加入 COO 成本模式之考量。
	Hood[10]	晶圓製造廠 多種產品組合	無	考量產品需求不確定性，以產量與需求量之差距期望值最小化為目標，提出一多期間之機台配置數學模型。
	熊氏[37]	晶圓製造廠 多種產品組合	有	利用等候網路模型快速估算生產績效，並運用基因演算法進行模式求解。
模 擬 法	Neacy[18]	晶圓製造廠 單一產品組合	有	運用模擬求得系統生產績效，並搭配一些啟發式法則進行機台之數量配置。
混 合 法	Mollaghasemi [17]	Job Shop 單一產品組合	有	考量決策者對多個目標函數之偏好，運用 STEM 方法配合模擬求得最佳機台配置。
	Grewal[8]	晶圓製造廠 單一產品組合	有	考量各工作站之利用率上限，並運用最大邊際貢獻法搭配模擬求得之生產績效，進行機台數量之規劃。
	Kotcher[11]	晶圓製造廠 多種產品組合	無	考量產品需求不確定性，對具敏感性之工作站應添購機台之時機與數量進行分析。
	吳氏[27]	晶圓製造廠 單一產品組合	有	以最小化機台購置總成本為目標，並滿足週期時間與產出量之限制，以模擬搭配啟發式方法進行機台數量規劃。
	陳氏[31]	晶圓製造廠 多種產品組合	有	承襲吳氏方法，並考量產品需求不確定性，建構一套最佳機台組合決策機制。
	林氏[28]	晶圓製造廠 單一產品組合	無	考量機台之多功能性，以最大化瓶頸機台群之產出量為目標，發展一短期動態機台調整之決策機制。

第三章 模式建構

3.1 問題定義與分析

TFT-LCD 之製造流程主要分為三個階段，由上而下分別為薄膜電晶體陣列段、液晶面板組立段以及電路模組組立段等三階段製程。其中，由於薄膜電晶體陣列段之機台設備相當昂貴，為 TFT-LCD 三階段製程中之瓶頸製程段，故在薄膜電晶體陣列廠建廠之初，其機台設備之數量配置需要良好的規劃，以充分運用機台之產能，並避免機台產能不足或閒置等情形發生。因此，本文針對薄膜電晶體陣列廠之建廠初期，建構一套長期規劃模組，妥善規劃廠內各機種之機台數量，以提升整體之競爭力。

薄膜電晶體陣列段之製程與半導體晶圓廠相似，且皆具有再回流之特性，然而薄膜電晶體陣列段僅有 30~50 道製程步驟，以及 5~7 層之回流層數，其製程複雜度較半導體晶圓廠製程簡單。且由於陣列段之原物料為大尺寸玻璃基板，加工時所佔之空間龐大，因此在薄膜電晶體陣列段中皆為序列加工機台，與半導體晶圓廠具有批次加工機台之特性不同。

此外，薄膜電晶體陣列段屬於存貨式生產，產品種類少，且不同產品別所經過之製程步驟與順序相同，對應之製程步驟所需時間差異小，僅在黃光區所用之光罩不同。對此，吾人在建構薄膜電晶體陣列廠之生產系統環境時，不考慮光罩供量問題，且將不同產品間對應之製程步驟所需時間視為無差異，亦即不同產品間之製程步驟順序與製程時間相同。

然而，雖然不同產品間之製程作業順序與製程時間相同，但為控制產品之不良率，工件在進行黃光區之加工作業前後，將抽批進行導線線寬、光阻塗佈之均勻度檢測等量測作業，若量測結果顯示工件狀況良好，則繼續進行下一個製程步驟；反之，若量測結果顯示工件狀況不佳，則工件須重新進行該層之加工作業。此外，工件經量測後須進行重加工之比率，將隨著產品製程穩定度而有所不同，然而在吾人建構之生產環境中，假設各產品製程已達穩定狀態(steady state)，故不考慮重加工之情況發生。因此，在考慮工件將抽批進行量測作業之狀況下，可將產品製程分為進行量測與不進行量測兩種製程，本文將依工件進行量測與否，將工件之屬性別分為量測工件與一般工件兩類，以進行機台數量之配置規劃。此外，一般和量

測工件在製造途程上之差異僅為量測工件較一般工件多進行了量測工作站之加工，而在各製程工作站¹之製程順序、時間以及經過次數方面則無差異。

在薄膜電晶體陣列廠中，大尺寸之玻璃基板是透過自動化搬運系統進行運送。若工件因搬運系統而造成延遲加工，則可能導致生產週期時間增長、產品良率下降及產出量減少等結果，由此可知，搬運系統對於薄膜電晶體陣列廠而言相當重要。因此，本文將在考量搬運問題之情況下進行模式構建。

此外，在薄膜電晶體陣列段之再回流製程步驟中，每一層加工步驟皆相當一致，故較接近流線型生產型態。然而，由於流線型生產型態較不具彈性，且現今 TFT-LCD 產業之工廠大部分採用零工式生產佈置，故本文依照陳氏[34]對於薄膜電晶體陣列段之設備佈置，在機台設備及搬運系統之佈置方面皆採用零工式佈置，並將機台設備分為四大工作區，其佈置簡圖如圖 3-1 所示。此搬運系統為目前業界採用之 Interbay 系統，為單迴圈之繞行軌道佈置，並假設搬運車將等速均勻於軌道中單向繞行。

本文將根據上述之生產設備佈置，以及薄膜電晶體陣列廠之生產環境與特性，進行薄膜電晶體陣列廠在建廠初期之機台數量配置。此外，吾人亦考量各工作區之位置、距離與搬運需求量以決定搬運車之最適數量，並估算考量搬運時間下之生產週期時間，以作為進行機台數量規劃時之重要參考依據。

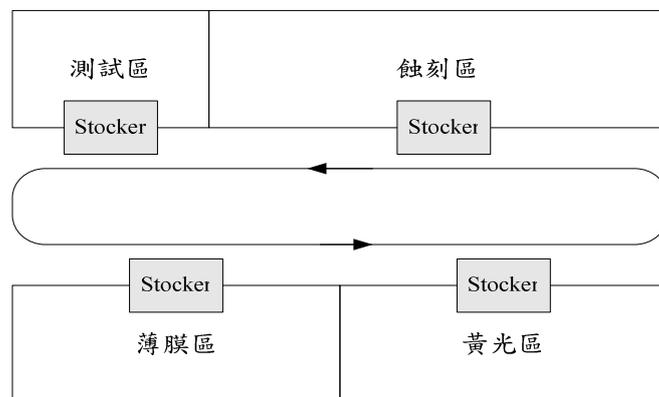


圖 3-1 薄膜電晶體陣列段設備佈置簡圖[34]

¹ 吾人定義薄膜電晶體陣列廠中之非量測工作站為製程工作站，故整廠之工作站共可分為製程工作站與量測工作站兩大類。

綜合上述，為建構薄膜電晶體陣列廠之機台規劃模式，本文對生產系統之假設如下：

1. 生產系統為存貨式(Make To Stock, MTS)生產型態。
2. 各產品製程均相當穩定，不考慮報廢與重加工之情況。
3. 不同產品間之製程步驟順序與製程時間相同。
4. 不考慮機台之整備時間。
5. 不考慮光罩供量問題。
6. 搬運系統為單迴圈之繞行軌道佈置，且搬運車將等速均勻於軌道中單向繞行。
7. 只考慮各工作區間的搬運時間，不考慮工作區內的搬運時間。
8. 由於搬運車進行裝卸載工件之動作只需數秒即可完成，故本文不考慮裝卸載工件時所耗用之時間。



3.2 整體邏輯與架構

本文之研究範圍定位於長期之產能規劃，規劃幅度通常為一年以上，其規劃結果可作為中短期生產規劃之基礎，影響層面既深且廣。本文整體生產架構如圖 3-2 所示，共分為「搬運車數估算模組」、「機台數量配置模組」以及「生產週期時間估算模組」等三個部分。

首先，在「搬運車數估算模組」方面，為了保持生產系統之物流順暢，避免因搬運車數過少而成為生產系統之瓶頸資源，同時也避免因車數規劃過多而造成不必要之成本浪費，吾人承接郭氏[30]所發展之搬運車數估算模組，根據生產相關資訊，求算系統所需之最適搬運車數。

在決定系統所需之搬運車數後，將進行「機台數量配置模組」中之「初始機台數量估算機制」，在滿足系統產能需求以及機台負荷水準之前提下，求算薄膜電晶體陣列廠中各工作站所需之初始機台數量。而在進行各工作站之初始機台數量配置時，若黃光工作站之機台負荷水準無法達預定範圍之內，則須回饋至上層產出目標調整目標產出量；若黃光工作站可達一定之機台負荷水準，則將初始機台組合與估算之搬運車數輸入「生產週期時間估算模組」，分別進行搬運時間與工作站之週期時間之估算，並加總以求算產品之生產週期時間。

生產週期時間估算完成之後，若生產週期時間符合限制條件，則此組機台數量配置即為薄膜電晶體陣列廠之機台最終數量配置；若生產週期時間未滿足限制條件，則將透過「機台數量配置模組」中「機台數量新增機制」，進行各機種之機台數量微調，而估算之生產週期時間將作為調整機台數量時重要之參考依據之一。由於調整機台數量亦會牽動生產週期時間之改變，因此在機台數量新增機制之運算過程中，必須回饋至「生產週期時間估算模組」，以進行調整機台數量後之生產週期時間估算。

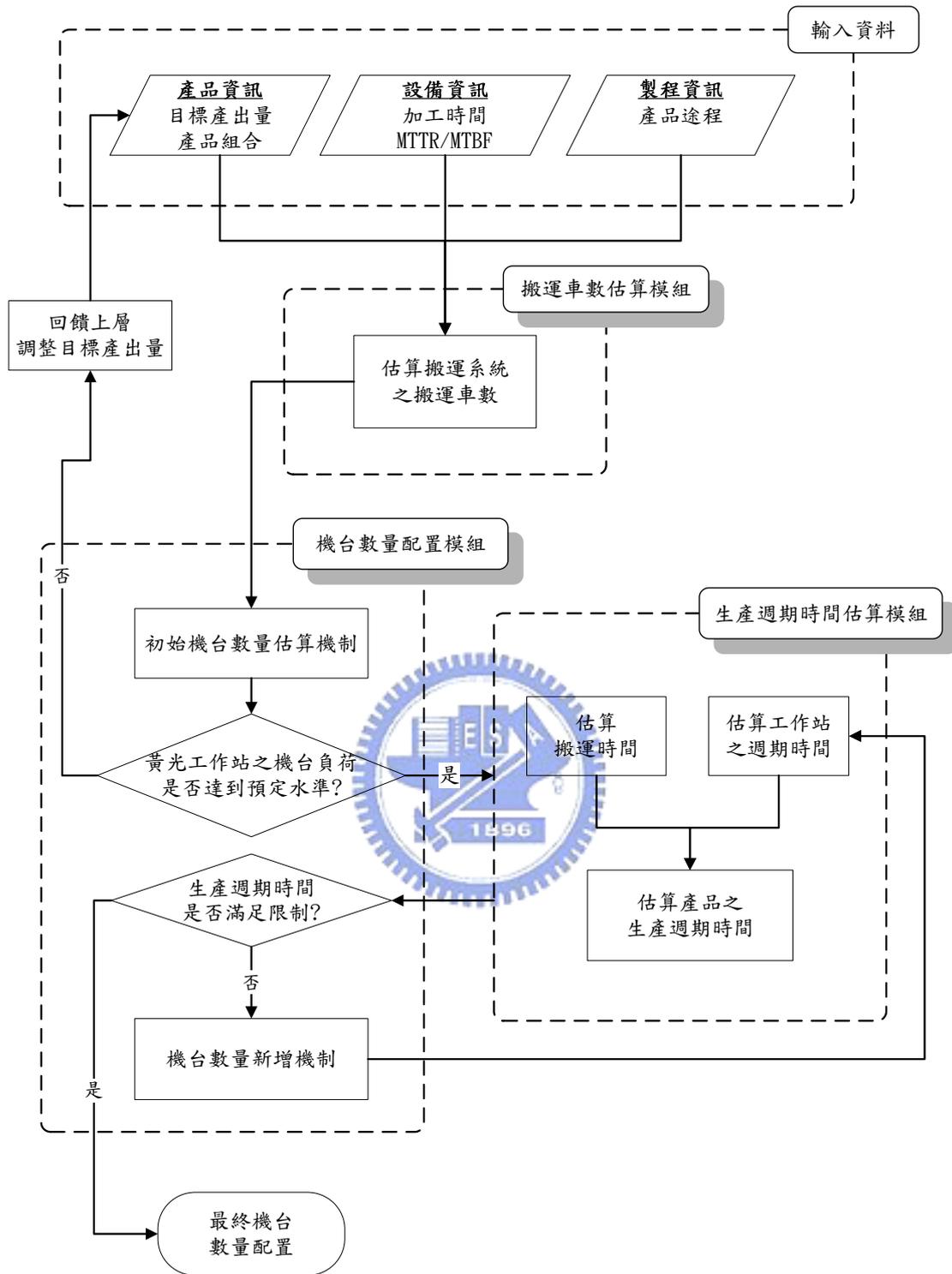


圖 3-2 整體架構圖

3.3 搬運車數估算模組

本文依照陳氏[34]針對薄膜電晶體陣列段之設備佈置，將廠中之機台設備依加工特性與步驟分為四大工作區，各工作區之間須利用搬運系統中之搬運車進行物料搬運，其設備佈置如圖 3-1 所示。

吾人假設搬運車採單向單迴圈之方式繞行軌道，一次只能運送一批量 (lot) 之工件，且各工作區內皆設有一個存貨站 (Stocker) 於軌道旁。當未承載工件之搬運車經過各區存貨站時，將確認存貨站中是否有待運送之工件，若有待運送之工件，則搬運車會將此工件直接搬運至其下一製程步驟所屬工作區之存貨站內，且搬運車在運送途中不會進行其他工件之搬運；而當搬運車在目的地存貨站將工件卸載後，即可在同一存貨區進行其他待搬運工件之裝載及運送。

3.3.1 搬運系統之最適搬運車數估算

對薄膜電晶體陣列廠而言，適當的搬運車數量不僅能保持生產線之順暢，還能夠降低搬運因素所導致的加工延遲，進而達到縮短產品生產週期時間之目標，因此，最適搬運車數之決定，對於生產系統之整體運作而言相當地重要。

此外，由於搬運車之購置成本遠小於其他機台設備，屬於次級資源，因此，在規劃搬運車數時，應盡量避免由於規劃車數不足而造成各區存貨站之在製品量升高、加工機台資源中卻無工件到臨的情況發生；然而同時也須避免規劃車數過多而造成資源的浪費。基於上述，吾人採用郭氏[30]長程規劃模組中之最適搬運車數估算模組，以進行本文之最適搬運車數估算，估算流程圖如圖 3-3 所示，其概念為分別估算生產系統所需之搬運需求量，以及搬運系統中單一搬運車所能提供之搬運供給量，再利用搬運供給量須滿足需求量，計算出系統之最適搬運車數。

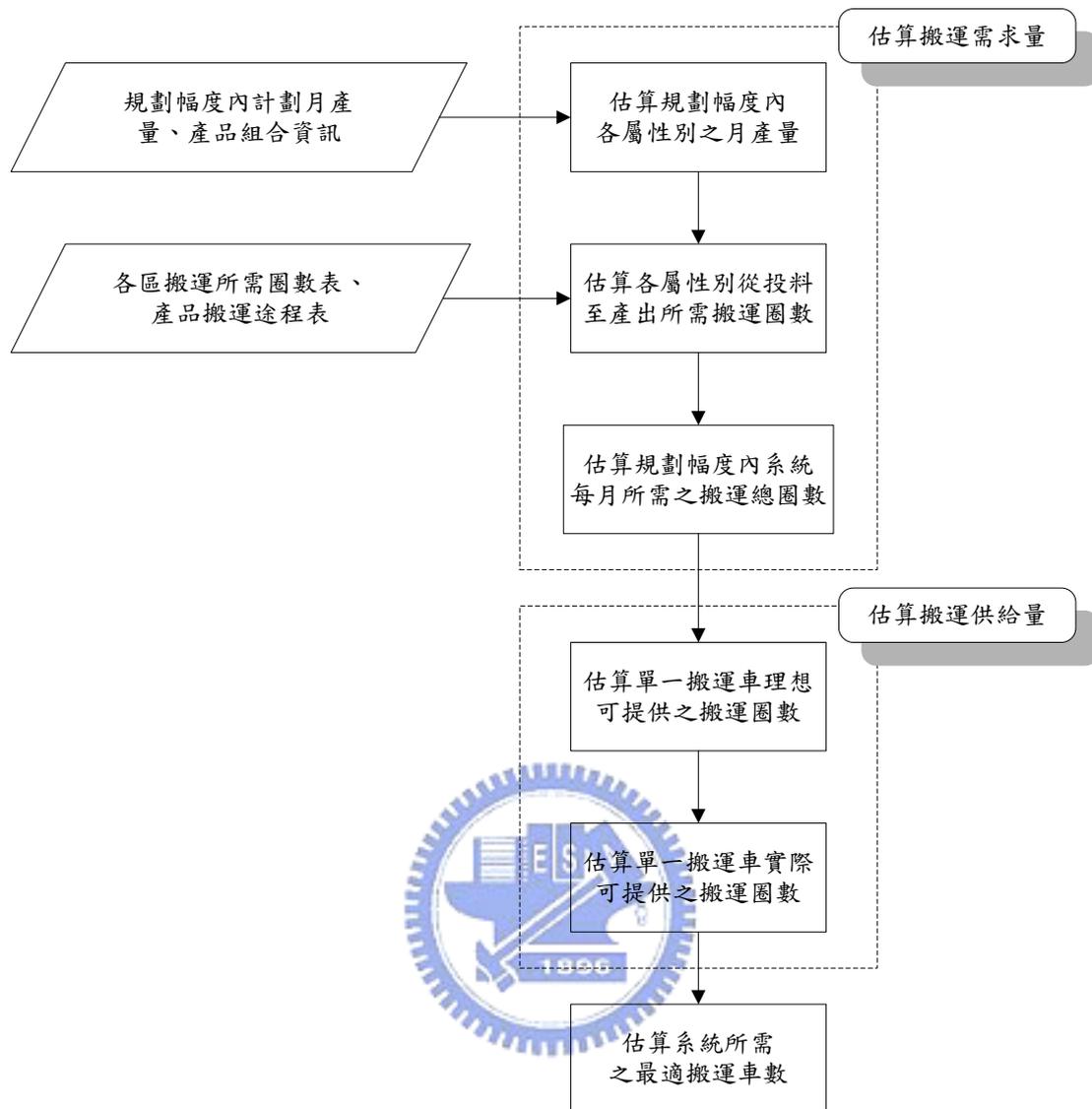


圖 3-3 搬運車數估算模組流程圖

搬運車在繞行 Interbay 系統時，可能因為經過工作區之存貨站中無待搬運之工件，造成搬運車空轉而無法有效地提供該區搬運服務，且系統中亦存在許多不可預期之變異與波動，例如每日變動之生產量以及各製程步驟所需時間之變異等，因此，在搬運車數估算步驟中，式 3-6 之有效搬運率 ω 設定不宜過高，以提供保護性產能來吸收空轉所耗用之產能與系統變異。搬運車數之估算步驟將詳列如下。

符號說明：

π^r ：工件屬性別 r 所佔總產量之比例。

π_i ：產品 i 所佔總產量之比例。

π_i^r ：屬性別 r 在產品 i 中所佔之比例。

TP^r ：屬性別 r 在規劃幅度內之計畫月產量。

TP ：規劃幅度內之計畫月產量。

Q^r ：屬性別 r 在規劃幅度內每月所需之搬運總圈數。

$Q_{xx'}$ ：工件由搬運從點 x 區到搬運至點 x' 區所需之搬運圈數。

$N_{xx'}^r$ ：屬性別 r 自投料至產出由從點 x 區到至點 x' 區所需之搬運次數。

S ：所有工作區之集合， $S \in \{TF, Photo, Etch, Test\}$ 。

DQ ：規劃幅度內每月總需求之搬運圈數。

SQ ：單一搬運車在規劃幅度內每月理想可提供之搬運圈數。

T ：規劃時格長度。

vt ：天車繞行 Interbay 一周所需的時間。

SQ' ：單一搬運車在規劃幅度內每月實際可提供之搬運圈數。

ω_v ：搬運車之有效搬運率。

Veh ：系統所需車數。

搬運車數估算步驟[30]

步驟一：估算系統規劃幅度內各屬性別工件之計畫月產量。

$$\pi^r = \sum_i \pi_i \times \pi_i^r \quad \forall r \quad \text{式 3-1}$$

$$TP^r = TP \times \pi^r \quad \forall r \quad \text{式 3-2}$$

步驟二：估算各屬性別工件從投料至產出所需繞行 Interbay 之圈數 Q^r ，其公式為搬運從點到搬運至點所需之圈數 $Q_{xx'}$ 乘上屬性別 r 從投料至產出須執行該項搬運之次數 $N_{xx'}^r$ 。其中 $Q_{xx'}$ 與 $N_{xx'}^r$ 均由實際製程統計而得。

$$Q^r = \sum_{x \in S} \sum_{x' \in S} Q_{xx'} \times N_{xx'}^r \quad \forall r \quad \text{式 3-3}$$

步驟三：估算規劃幅度內每月所需之搬運總圈數 DQ 。

$$DQ = \sum_r Q^r \times TP^r \quad \text{式 3-4}$$

步驟四：估算單一搬運車在規劃幅度內，平均每月理想可提供之搬運圈數 SQ 。

$$SQ = T \div vt \quad \text{式 3-5}$$

步驟五：估算單一搬運車在規劃幅度內，平均每月實際可提供之搬運圈數 SQ' 。

$$SQ' = SQ \times \omega_v \quad \text{式 3-6}$$

步驟六：估算系統所需之最適搬運車數。

$$Veh = \left\lceil \frac{DQ}{SQ'} \right\rceil \quad \text{式 3-7}$$

3.4 生產週期時間估算模組

由於在機台數量配置模組之運算過程中，必須先進行生產週期時間之估算，並依據估算之生產週期時間作為機台數量配置決策之重要參考指標。因此，吾人在本小節中將建構一套生產週期時間之估算模組，針對薄膜電晶體陣列廠中工件由投入至產出所需之生產週期時間進行估算。

黃氏[36]將晶圓廠中工件由投入至產出所需之生產週期時間分為三部分：源於負荷因子之等候時間、源於批量因子之等候時間和理論週期時間；而郭氏[30]加入了搬運因素之考量，進一步將生產週期時間之組成份子增加二部分：源於搬運因子之等候時間以及理論搬運時間，使得生產週期時間之估算得以更加精準。

由於薄膜電晶體陣列廠中無批量機台之特性，故無所謂之「源於批量因子之等候加工時間」。此外，在薄膜電晶體陣列廠中，加工工件須藉由搬運系統進行搬運，且薄膜電晶體陣列廠之製程步驟較晶圓廠製程少，產品之生產週期時間也較短。因此，因搬運以及等待搬運所造成之時間也相對地重要，其對於生產週期時間之影響亦不可輕忽。基於上述，吾人將在考慮搬運因素下，建構薄膜電晶體陣列廠之生產週期時間估算模組。

吾人將薄膜電晶體陣列廠之生產週期時間分為下列二部分，而關於此二部分時間之估算流程與步驟，將於以下之各下節分述之。

1. 搬運時間：包含源於搬運因子之等候時間以及理論搬運時間，即為工件在各區存貨站中等待搬運至下一工作區所造成之等候時間，加上將工件搬運至下一工作區之純搬運時間。
2. 工作站之週期時間：包含工作站源於負荷因子之等候時間以及理論製程時間，即為工作站因平均工作負荷所造成之等候時間，加上工作站進行加工時之純製程時間。

3.4.1 搬運時間之估算

搬運時間共包含二部分，即理論搬運時間與源於搬運因子之等候時間兩種。理論搬運時間為工件從一工作區之存貨站搬至另一個工作區之存貨

站所需之純搬運時間，其值可由製程資訊中獲得；源於搬運因子之等候時間為工件在存貨站中，等候搬運車前來進行搬運所需之等候時間。吾人將根據郭氏[30]針對晶圓廠生產環境所發展之搬運時間估算模組，加以應用至薄膜電晶體陣列段之搬運時間估算方面。

在本文之薄膜電晶體陣列廠生產環境中，一般工件與量測工件在製造途程上之差異為量測工件在黃光區中增加了量測工作站之檢驗步驟，而在其他各製程工作站之製程順序、時間以及經過次數方面則皆相同。若將一般與量測工件之製造途程以在各工作區之間的搬運行為加以檢視，則可發現此二種屬性別工件由投入至產出，於各工作區間之搬運順序與次數皆相同，換言之，在各工作區之間，各屬性別工件之搬運行為並無差別。吾人將基於此特點，進行薄膜電晶體陣列段中工件搬運時間之估算。

在等候理論之假設中，服務者一旦完成目前之服務，便可以立刻對於下一位顧客進行服務。然而，搬運車所能提供之服務卻受行進軌道之影響，即使搬運車處於閒置狀態，且存貨站中有工件等待搬運，搬運車仍可能由於還在軌道中行駛而無法馬上提供搬運服務。因此，將搬運車視為搬運系統之服務者並不合適，若套用等候理論，其結果必然失真[30]。

吾人依照郭氏[30]估算搬運時間之想法，將搬運系統之服務者定位在整個 Interbay 系統，即服務者為 Interbay 系統，而顧客為存貨站中等待搬運之工件。因此，吾人在估算等候搬運時間時，不考慮個別搬運車之狀態，而是著眼於工件在存貨站中須等待多久的時間，才能送上 Interbay 系統進行搬運服務。由工件送上 Interbay 服務後直到下一工件也被送上 Interbay 進行服務之間的時間差，可定義為服務者提供之服務時間，而前後工件被送上 Interbay 進行服務之時間差即被視為兩輛空車到達之時間差，因此，Interbay 之服務率即等於空車之到達率[30]。

指數分配為一嚴格遞減函數，用於等候理論之基本假設時，若以顧客到達間隔時間的角度來看，即表示顧客間到達之時間間隔越長，其可能性越小；若以服務者之角度來看，即服務者對於每個顧客之服務時間不盡相同，且服務顧客所需之服務時間越長，其可能性越小。

由於薄膜電晶體陣列廠製程具回流之特性，工件加工次數頻繁，且各工作區內之加工機台數眾多，故各區存貨站中之工件到達時間間隔越長的

可能性越小之性質，符合嚴格遞減函數之條件。而各工作區中，工件在到達存貨站之前一加工步驟，會因為工件之回流層級而有所不同，且各加工步驟中皆有相當數量之機台，因此各工件到達存貨站之到達時間可視為彼此無關且無記憶性，服從指數分配之基本假設。

此外，由於搬運車是平均散佈在 Interbay 軌道上，因此對於各工作區而言，搬運車到達之間隔時間相同，然而到達之搬運車可能因為已有負載工件而無法對該區提供搬運服務。吾人觀察薄膜電晶體陣列廠製程順序，發現在四大工作區中，僅測試區會發生已負載工件之搬運車經過而無法提供服務之情況，對於薄膜、蝕刻及黃光三區而言，已負載工件之搬運車在行經此三區時，將不會發生搬運車繞過其中任何一區而不卸下工件之情形，換言之，其必定會在此三區中首先通過之工作區卸載工件，並立即對於該區提供搬運服務。因此，任何到達此三區之搬運車皆可視為空車，且由於各工作區之搬運車到達時間間隔相同，可知 Interbay 系統對於此三區所提供之服務率相當固定，符合常數分配之基本假設。

然而，對於測試區而言，到達該區之搬運車則可能因已有負載工件而無法提供服務，而工件陷入長時間等待搬運之機率將會隨著等待時間的增加而遞減，且工件之等待搬運時間與已等候之時間並無直接相關，適用無記憶性之特質，故符合指數分配之基本假設。

由於各工作區中皆有相當數量之工件不斷地被送至存貨站中等待搬運，因此，工作區中因個別工件延遲送達存貨站，而影響其他各區搬運進行之情形並不明顯。因此，吾人將各工作區視為獨立，並對於測試區採用等候理論之 M/M/1 等候模式，對於薄膜、蝕刻及黃光三區則採用 M/D/1 等候模式，進行等候搬運時間之估算。搬運時間之估算流程圖如圖 3 - 4 所示，估算步驟詳列如下。

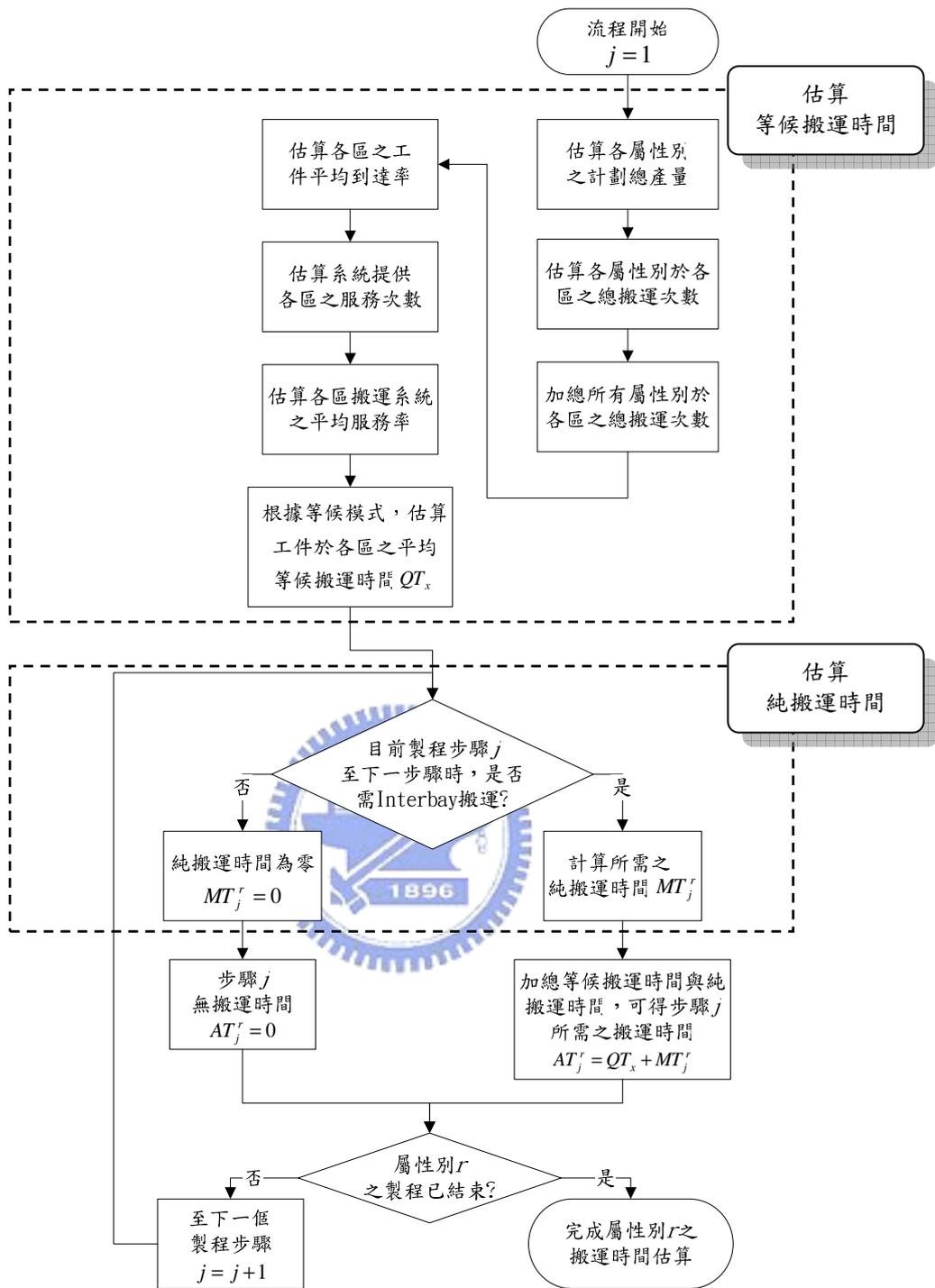


圖 3 - 4 搬運時間估算流程圖

符號說明：

M_x^r ：在系統規劃幅度內，屬性別 r 於各區之每月平均所需搬運次數。

TP^r ：屬性別 r 在規劃幅度內之計畫月產量。

N_x^r ：屬性別 r 自投料至產出時，由從點 x 區出發所需搬運之次數。

M_x ：工作區 x 於規劃幅度內每月平均所需之搬運次數。

λ_x ：工作區 x 工件之平均到達率。

T ：規劃時格長度。

R_x ：工件在投入/產出之過程中，經過工作區 x 之次數。

R_x' ：工件在投入/產出過程中，工作區 x 不能接受搬運服務之次數。

Y_x ：工件在投入/產出過程中，工作區 x 能夠接受搬運服務之次數。

μ_x ：工作區 x 搬運系統之平均服務率。

Veh ：系統所需車數。

vt ：天車繞行 Interbay 一周所需的時間。

QT_x ：工件於 x 區之平均等候搬運時間。

MT_j^r ：工件由 x 區到 x' 區存貨站所需之純搬運時間。

W_j^r ：屬性別工件 r 進行製程步驟 j 時，加工工作站所在之工作區。

$Q_{xx'}$ ：工件由搬運從點 x 區到搬運至點 x' 區所需之搬運圈數。

AT_j^r ：工件 r 於製程步驟 j 所需之搬運時間。

搬運時間估算步驟[30]

步驟一：估算系統規劃幅度內各屬性別之計劃月產量，同式 3-2。

步驟二：估算在系統規劃幅度內，屬性別 r 每月平均之各區總搬運次數

M_x^r ，其公式為屬性別 r 之計劃月產量 TP^r 乘上屬性別 r 由從點 x 區出發所需搬運之次數 N_x^r 。

$$M_x^r = TP^r \times N_x^r \quad \forall r \quad \text{式 3-8}$$

步驟三：加總在系統規劃幅度內，各屬性別 r 於 x 區每月平均之搬運次數 M_x^r ，求得系統於 x 區的搬運次數 M_x 。

$$M_x = \sum_r M_x^r \quad \forall x \quad \text{式 3-9}$$

步驟四：估算各區工件的平均到達率 λ_x ，為規劃幅度內平均月需求搬運次數 M_x 除以規劃時間長度 T 。

$$\lambda_x = M_x \div T \quad \forall x \quad \text{式 3-10}$$

步驟五：工件在投入/產出過程中，必須經由搬運系統運送至各工作區中進行加工。吾人由製程資訊可得知，工件在投入/產出之過程中，經過每一工作區 x 之次數 R_x ，以及工作區 x 不能接受搬運服務²之次數 R_x' 。並利用此二值之差，求得工件在投入/產出過程中，工作區 x 能夠接受搬運服務之次數 Y_x 。此外，由於各屬性別工件於各工作區之間的搬運行為並無差別，故所有工件於此步驟所求得之 R_x 、 R_x' 和 Y_x 值皆相同。

²工件在投入/產出過程中，須經由搬運系統運送至各工作區。當搬運系統依製程順序將工件由一工作區運送至另一個工作區時，搬運過程中可能會經過其他工作區，此時其他工作區將被略過而不能被服務，而被略過之工作區即符合不能接受搬運服務之條件。

$$Y_x = R_x - R'_x \quad \forall x \quad \text{式 3 - 11}$$

步驟六：估算搬運系統於各工作區之平均服務率 μ_x 。由於在搬運系統中搬運車為等速均勻繞行於軌道上，故將搬運車數 Veh 除以單一搬運車繞行系統一圈所需之時間 vt ，即為搬運車到達各區之平均到達率；由 Y_x 與 R_x 之比值可推估搬運系統可提供工作區 x 搬運服務之機率。因此，吾人將搬運車到達各區之平均到達率，乘上搬運車到達時可提供搬運服務之機率，即為搬運系統於各區之平均服務率 μ_x 。

$$\mu_x = \frac{Veh}{vt} \times \frac{Y_x}{R_x} \quad \forall x \quad \text{式 3 - 12}$$

步驟七：根據等候理論模式，估算工件於各區之等候搬運時間 QT_x 。

(1) 對於薄膜(TF)、黃光(Photo)、蝕刻(Etch)三區，分別利用 M/D/1 等候模式[9]估算等候搬運時間。

$$QT_x = \frac{\lambda_x}{2\mu_x(\mu_x - \lambda_x)} \quad \forall x \in TF, Photo, Etch \text{ area} \quad \text{式 3 - 13}$$

(2) 對於測試(Test)區，利用 M/M/1 等候模式[9]來估算等候搬運時間。

$$QT_x = \frac{\lambda_x}{\mu_x(\mu_x - \lambda_x)} \quad \forall x \in Test \text{ area} \quad \text{式 3 - 14}$$

步驟八：計算屬性別 r 所需之純搬運時間 MT_j^r 。首先，判斷屬性別 r 於製程

步驟 j 到下一個製程步驟 $j+1$ 時，是否需要搬運車之運送。

定義： $W_j^r = x$ 區， $W_{j+1}^r = x'$ 區。

➤ 若 $x = x'$ ，表示屬性別 r 進行下一步驟 $j+1$ 時，仍於與步驟 j 同

一工作區中進行加工，無需搬運車運送，故屬性別 r 所需純搬運時間 MT_j^r 為零 ($MT_j^r = 0$)。

- 若 $x \neq x'$ ，表示屬性別 r 進行下一步驟 $j+1$ 時，將在相異工作區進行加工，需要藉由搬運車運送，因此，屬性別 r 所需純搬運時間 MT_j^r 為該搬運從點到至點之搬運圈數 $Q_{xx'}$ 乘上搬運車繞行 Interbay 一圈所需時間 vt 。

$$MT_j^r = Q_{xx'} \times vt \quad \text{式 3 - 15}$$

步驟九：加總等候搬運時間與純搬運時間，可得屬性別 r 於製程步驟 j 所需之搬運時間 AT_j^r 。

$$\begin{cases} \text{if } MT_j^r = 0, \text{ then } AT_j^r = 0 \\ \text{if } MT_j^r \neq 0, \text{ then } AT_j^r = QT_x + MT_j^r \end{cases} \quad \forall r \quad \text{式 3 - 16}$$

步驟十：判斷屬性別 r 之製程是否結束。若是，則屬性別 r 之各製程步驟所需搬運時間估算完成；若否，則估算下一製程步驟 $j+1$ 所需之搬運時間，回到步驟八。

3.4.2 工作站週期時間之估算

工件於工作站之週期時間包含二部份，即理論製程時間以及工作站源於負荷因子之等候時間。工作站進行工件加工時所需之純製程時間，可由製程資料中取得；工作站源於負荷因子之等候時間，即為工件在工作站前等候空閒的機台以進行加工所需之等待時間，為一待估之值，本文將應用等候理論公式估算其值。

在本文之生產環境中，各屬性別工件在加工過程之差異，僅為量測工件在黃光區中，較一般工件多了量測工作站之檢驗步驟，而對於各製程工作站之製程順序、時間以及經過次數方面則皆相同。吾人採用薄膜電晶體

陣列廠中之層級(layer)³觀念，並將各屬性別工件之各層級製造途程以工作區為單位加以劃分，則可發現各屬性別工件對應層級之工作區種類、順序皆相同，且在對應層級之工作區內，製程工作站之種類、加工順序亦完全相同，唯一不同處為量測工件在各層級之黃光區中，增加了量測工作站之製程步驟。

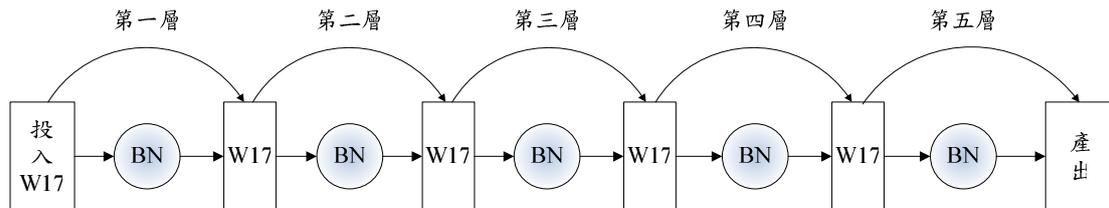


圖 3-5 層級別示意圖

基於上述，可知一般工件與量測工件於系統之各層級中，經過之工作區一致，而工作區內之加工工作站幾乎相同。且由於本文生產環境包含了搬運系統之運作，故工件於工作區間之流動情形亦會受到搬運因素之影響。因此，吾人在推算各工作區之工件到達率時，將加總各屬性別工件於對應層級中對應工作區之工件產出率，以工作區之整體工件產出率，與搬運系統於該工作區所提供之搬運服務率進行比較的方式，決定下一工作區之工件到達率。

首先，由於本文欲採用「固定在製品量」投料法則，也就是說有產出才會投料，故可將系統中各屬性別工件之產出率，視為各屬性別工件於第一層級中第一個工作區之工件到達率。並依據限制理論之觀點，將各屬性別工件於第一個工作區中瓶頸資源之工件產出率，視為屬性別工件於該工作區之工件產出率。接下來，吾人將考量搬運系統之搬運率對於工作區之整體工件產出率的影響，因此，加總各屬性別工件於第一個工作區之工件產出率，以工作區之整體工件產出率，與搬運系統於該區之工件層級搬運率進行比較，並取較小值作為在第一層級中下一順位工作區之工件層級到

³ 本文對於層級別之定義為：工件由投入一開始之薄膜區洗淨工作站(W17)至下一次回流到薄膜區洗淨工作站(W17)稱為第一層級，之後每至一次洗淨工作站(W17)稱為一層級，最後之層級為洗淨工作站(W17)至工件製程結束並產出。而各層級中將通過一次系統之瓶頸資源工作站(以 BN 表示)，層級別示意圖如圖 3-5 所示。

達率。本文基於上述之概念，依各層級之製程順序推算各層級各工作區中，工作站之工件層級到達率。最後對各工作站加總其加工層級中之工件層級到達率，即可求得各工作站之工件總到達率，並以之代入等候理論公式，估算平均等候加工時間。

由於薄膜電晶體陣列廠之工件加工次數頻繁，且具重複回流之加工特性，因此，各工作站之工件到達時間間隔越長其可能性越小，具備嚴格遞減函數之條件，且各工件之到達時間可視為彼此無關，符合指數分配中無記憶性之假設。此外，由於吾人僅能由製程資料中得知各工作站作業時間之平均值和變異數，而無從推測作業時間所屬之分配。因此，本文將應用 Connors *et al.*[6]所提出之 M/G/C 模型近似估計式，估算薄膜電晶體陣列廠中工作站源於負荷因子之等候時間。在此模型中，假設顧客之到達時間服從指數分配，而工作站之服務時間並不限制其服從之分配，只需輸入服務時間之平均值和變異數即可。

在 Connors *et al.*[6]所提出之等候網路模型中，將工作站之到臨事件分為因當機、維修保養等因素造成之失效事件，以及欲進行加工之工件兩大類，並運用非逐位性優先服務(non-preemptive priority)之 M/G/C 等候模型估計式，估算工件等候加工時間，如式 2-7 所示。然而，Connors *et al.*[6]在文中亦提到將失效事件視為非逐位性優先服務工件之不合適處，即現實情形中失效事件可能在工件加工到一半時發生，而不一定要等待工件加工完成後才會發生，且如此一來，可能會造成同時有數個失效事件位於等候線中等候之情形。

因此，吾人擬在應用此估計式求算工作站平均等候時間時，預先扣除因失效事件造成之平均產能損失，而將剩下的工作站可用產能(如圖 3-6 所示)替代原本之總產能，代入估計式中進行估算。如此一來，工作站之到臨事件即不必考慮失效事件之到臨，估算式中也因為無失效事件之因子，而不必考量應否視失效事件為非逐位性優先服務工件之適合性，其公式如工作站週期時間估算步驟中式 3-30 所示。工作站週期時間之估算流程圖如圖 3-7 所示，其估算步驟詳列如下。

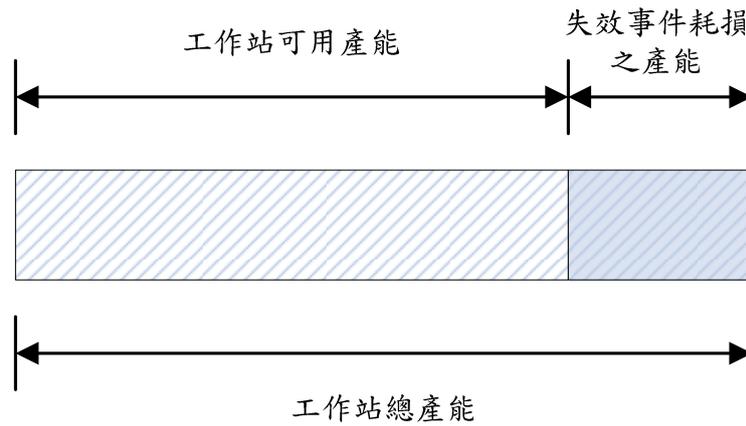


圖 3 - 6 工作站可用產能示意圖

符號說明：

O_k ：工作站 k 之產出速率。

B_k^{\max} ：工作站 k 之最大載入批量。

c_k ：工作站 k 之可用機台數。

$E(P_k)$ ：工作站 k 之平均製程時間。

M_k ：工作站 k 之機台數量。

$MTTR_k$ ：工作站 k 之平均當機時間(mean time to repair)。

$MTBF_k$ ：工作站 k 之平均當機間隔時間(mean time between failure)。

PT_k^r ：屬性別 r 在工作站 k 之平均製程時間。

π^r ：工件屬性別 r 所佔總產量之比例。

$\alpha_{l,k}$ ：工作站 k 在其出現層級之平均層級產出速率。

L_k ：工作站 k 出現之層級總數。

$\alpha_{l,x}$ ：搬運系統於各工作區其出現層級之平均層級搬運率。

μ_x ：工作區 x 搬運系統之平均服務率。

L_x ：工作區 x 出現之層級總數。

α ：全廠之平均產出率。

TP ：規劃幅度內之計畫月產量。

T ：規劃時格長度。

$\lambda_{l,x}$ ：層級 l 中工作區 x 之工件層級到達率。

$\lambda_{l,x}^r$ ：層級 l 中工作區 x 之各屬性別工件 r 層級到達率。

$S(l,x)$ ：在層級 l 中，工作區 x 內所出現之工作站集合。

$\alpha_{l,x,b}^r$ ：在層級 l 工作區 x 中，各屬性別工件 r 之瓶頸工作站層級產出速率。

π_k^r ：工作站 k 中加工工件之屬性別為 r 之比例。

$R_{l,x}^r$ ：工作區 x 中各屬性別工件 r 之工件層級產出率。

$R_{l,x}$ ：工作區 x 之整體工件層級產出率。

λ_k ：工作站 k 之總到達率。

$\lambda_{l,k}$ ：層級 l 中工作站 k 之工件層級到達率。

μ_k ：工作站 k 之平均服務率。

ρ_k ：工作站 k 之機台利用率。

QT_k ：工作站 k 之平均等候時間。

CT_k ：工作站 k 之週期時間。

工作站週期時間估算步驟

步驟一：依據工作站之製程資料，計算各工作站之產出速率 O_k ，如式 3-17

所示。其中，由於薄膜電晶體陣列段之工作站皆為序列工作站，故各工作站之 B_k^{\max} 值皆為 1。

$$O_k = \frac{c_k \times B_k^{\max}}{E(P_k)} = \frac{M_k \times \left(1 - \frac{MTTR_k}{MTBF_k + MTTR_k}\right) \times B_k^{\max}}{\sum_r (PT_k^r \times \pi^r)} \quad \forall k \quad \text{式 3-17}$$

步驟二：依據製程資料中各工作站加工之層級別，可得各工作站加工之層級總數 L_k ⁴。吾人假設對於各工作站，其可用機台產能將平均分配於工作站應加工之各層級，由此可推得各工作站在各層級之平均層級產出速率 $\alpha_{l,k}$ 。

$$\alpha_{l,k} = O_k \times \frac{1}{L_k} \quad \forall l, k \quad \text{式 3-18}$$

步驟三：由製程資料亦可得知各工作區所出現之層級總次數 L_x ⁵。吾人假設

搬運系統提供於各工作區之搬運產能將平均分配於該區加工之所有層級，並將搬運系統於各區之平均服務率 μ_x 視為搬運系統提供於各工作區之搬運產能，因此可由 μ_x 推得搬運系統於各工作區

加工層級之平均層級搬運率 $\alpha_{l,x}$ 。

⁴ 在各屬性別工件之製程資料中，製程工作站加工之層級總數皆相同。而量測工作站之加工層級總數則可由量測工件之製程資訊中獲得。

⁵ 在各屬性別工件之製程資料中，各工作區所出現之層級總數皆相同。

$$\alpha_{l,x} = \mu_x \times \frac{1}{L_x} \quad \forall l, x \quad \text{式 3 - 19}$$

步驟四：由規劃幅度內之計劃月產量 TP ，可推得全廠之工件平均產出率 α 。

$$\alpha = TP \div T \quad \text{式 3 - 20}$$

步驟五：本文將各層級之製程步驟中，屬於同一區域之工作站視為一工作區。因此，吾人由系統平均產出率 α ，推得第一層級中第一個工作區⁶(TF 區)之工件層級到達率 $\lambda_{l,x}$ ，並且設該區為起始工作區 ($l=1, x=TF$)。

$$\lambda_{1,TF} = \alpha \quad \text{式 3 - 21}$$

步驟六：確認目前所在之層級 l 與工作區 x ，以及工作區之工件層級到達率 $\lambda_{l,x}$ 。由於工件層級到達率 $\lambda_{l,x}$ 代表整體工件之到達率，因此吾人將 $\lambda_{l,x}$ 乘上各屬性別工件之比例 π^r ，可得工作區中各屬性別工件 r 層級到達率 $\lambda_{l,x}^r$ ，如式 3 - 22 所示。本文定義各層級作業所對應之每一工作區中，各屬性別工件產出速率 $\alpha_{l,k}^r$ (如式 3 - 23 所示) 最小之工作站，為該工作區中各屬性別工件之瓶頸工作站。吾人並將各屬性別工件 r 之瓶頸工作站層級產出速率 $\alpha_{l,x,b}^r$ 與工件層級到達率 $\lambda_{l,x}^r$ 比較，以較小值作為該工作區各屬性別 r 之工件層級產出率 $R_{l,x}^r$ ，如式 3 - 24 所示。最後，加總該工作區各屬性別 r 之工件層級產出率 $R_{l,x}^r$ ，可得該工作區整體工件之工件層級產出率 $R_{l,x}$ ，如式 3 - 25 所示。

⁶ 由於在各屬性別工件對應層級中，工作區種類及順序皆一致，因此本文在推算各工作區之工件到達率時，將以整體工件於各層級各工作區之工件到達率進行推算。

$$\lambda_{l,x}^r = \lambda_{l,x} \times \pi^r \quad \forall r \quad \text{式 3-22}$$

$$\alpha_{l,k}^r = \alpha_{l,k} \times \pi_k^r \quad \forall r, k \quad \text{式 3-23}$$

$$R_{l,x}^r = \min(\lambda_{l,x}^r, \alpha_{l,x,b}^r) \quad \forall r \quad \text{式 3-24}$$

$$R_{l,x} = \sum_r R_{l,x}^r \quad \forall r \quad \text{式 3-25}$$

步驟七：判斷此層級途中是否有尚未經過之工作區，若是，則將目前工作區之工件層級產出率 $R_{l,x}$ 與搬運系統於該區之層級搬運率 $\alpha_{l,x}$ 比較，並取小值者為下一工作區之工件層級到達率 $\lambda_{l,x'}$ ，如式 3-26 所示，並進入目前層級中下一工作區，至步驟六。若否，則至步驟八。

$$\lambda_{l,x'} = \min(R_{l,x}, \alpha_{l,x}) \quad \text{式 3-26}$$

步驟八：判斷是否有尚未經過之層級，若是，進入下一層級之第一個工作區⁷ ($l=l+1, x=TF$)，至步驟六⁸。若否，則各層級所經工作區之工件層級到達率 $\lambda_{l,x}$ 計算完成，至步驟九。

步驟九：吾人將由各層級作業所經過之工作區之工件到達率，推算各工作站之工件到達率。如式 3-27 所示，由於製程工作站(W01~W17)將進行一般工件與量測工件之加工作業，因此在此類工作站之加工層級中，其所在工作區之整體工件到達率 $\lambda_{l,x}$ 即可視為該工作站之工件層級到達率。故加總製程工作站於各加工層級中所在工

⁷ 由於各層級一開始之工作站為洗淨工作站(W17)，而洗淨工作站(W17)位於 TF 工作區中，因此各層級一開始經過之第一個工作區皆為 TF 工作區。

⁸ 由於各層級中同一工作區內的工作站種類並非完全相同，因此同一工作區各屬性別工件之瓶頸工作站、工件層級產出率亦有可能不同，故吾人將逐層推算工作區之整體工件層級產出率。

作區之工件層級到達率，即可求算其工件總到達率。然而，由於量測工作站(W18,W19)僅進行量測工件之加工作業，因此量測工作站之工件總到達率，為其所在之各加工層級中，所屬工作區的量測工件層級到達率之總和。

$$\begin{cases} \text{if } k = W01 \sim W17, \text{ then } \lambda_k = \sum_l \lambda_{l,x} & k \in S(l,x) \\ \text{if } k = W18, W19, \text{ then } \lambda_k = \sum_l \lambda_{l,x}^{wr} & k \in S(l,x) \end{cases} \quad \text{式 3-27}$$

步驟十：計算各工作站之平均服務率 μ_k 。

$$\mu_k = \frac{1}{E(P_k)} \quad \forall k \quad \text{式 3-28}$$

步驟十一：計算各工作站之機台利用率 ρ_k 。

$$\rho_k = \frac{\lambda_k}{c_k \times \mu_k} = \frac{\lambda_k}{M_k \times \left(1 - \frac{MTTR_k}{MTBF_k + MTTR_k}\right) \times \mu_k} \quad \forall k \quad \text{式 3-29}$$

步驟十二：應用 Connors *et al.*[6]所提出之等候理論估計式，估算各工作站之平均等候時間 QT_k 。

$$QT_k = \frac{\rho_k^{\sqrt{c_k-1}}}{c_k^2} \times \frac{\lambda_k \times E(P_k^2)}{2 \times (1 - \rho_k)} \quad \text{式 3-30}$$

步驟十三：加總各工作站之平均製程時間 $E(P_k)$ 與平均等候時間 QT_k ，可得

各工作站之週期時間 CT_k 。

$$CT_k = E(P_k) + QT_k \quad \forall k \quad \text{式 3-31}$$

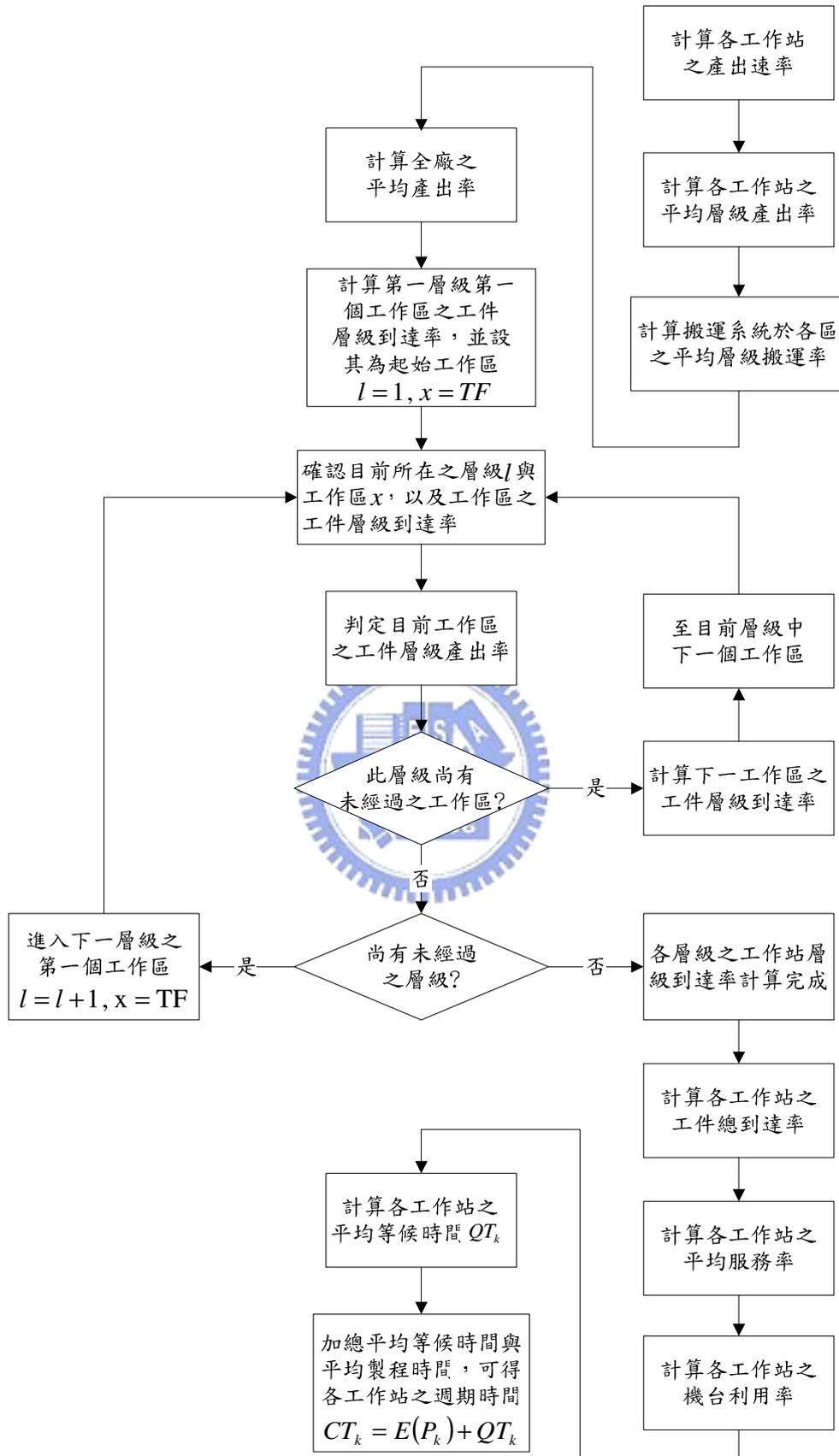


圖 3 - 7 工作站之週期時間估算流程圖

3.4.3 產品之生產週期時間

本文將薄膜電晶體陣列廠產品之生產週期時間分為二部分，分別為工作站週期時間以及搬運時間。工件於依製造途程進行加工時，在各工作站皆需經歷工作站前之平均等候加工時間以及工作站中之理論製程時間，加總此二部份之時間即為工作站之週期時間。除此之外，若工件目前所在之製程步驟與下一製程步驟分別位於不同之工作區，則工件須經由搬運系統運送至下一製程步驟所屬之工作區，此時工件將經歷在存貨站中平均等待搬運時間，以及工件在搬運車上之純搬運時間，此二部份之時間合稱為搬運時間。

由於工件由投入至產出所經過的時間不外乎上述之工作站週期時間與搬運時間二種，因此，吾人將依照 3.4.1 節之搬運時間估算結果，以及 3.4.2 節之工作週期時間估算結果，搭配製程資訊求算生產週期時間。

在薄膜電晶體陣列廠中，由於同屬性別之各種工件其製造程序相同，故同屬性別之各種工件其生產週期時間皆相同。然而，不同屬性別之工件有不同之生產週期時間，故各產品之平均生產週期時間將因其屬性別工件比例之不同而有所差異。因此，吾人首先將進行每一屬性別工件之生產週期時間估算，再將估算之生產週期時間乘上對應屬性別所佔之比例，即可求得特定產品之平均生產週期時間。產品生產週期時間之估算流程圖如圖 3-8 所示，其步驟詳列如下。

符號說明：

CT_k ：工作站 k 之週期時間。

AT_j^r ：工件 r 於製程步驟 j 所需之搬運時間。

CT_j^r ：屬性別 r 於製程步驟 j 之週期時間。

CT^r ：屬性別 r 之生產週期時間。

CT_i ：產品 i 之生產週期時間。

π_i^r ：屬性別 r 在產品 i 中所佔之比例。

產品生產週期時間估算步驟

步驟一：進行屬性別 r 投料，初始製程步驟 $j=1$ 。

步驟二：判定屬性別 r 之目前製程步驟 j 。

步驟三：確認屬性別 r 進行目前製程步驟 j 所使用之工作站 k ，以及其工作站之週期時間 CT_k 。

步驟四：判斷屬性別 r 於目前製程步驟 j 至下一製程步驟 $j+1$ 時，是否需要 Interbay 搬運系統進行運送，若是，則至步驟五；若否，則至步驟六。

步驟五：確認屬性別 r 於目前製程步驟 j 所需之搬運時間 AT_j^r ，至步驟七。

步驟六：目前製程步驟 j 至下一製程步驟 $j+1$ 時無需搬運時間 ($AT_j^r = 0$)，至步驟七。

步驟七：計算目前製程步驟 j 之週期時間 CT_j^r 。

$$CT_j^r = CT_k + AT_j^r \quad \text{式 3 - 32}$$

步驟八：判斷屬性別 r 之製程是否結束，若是，則至步驟九；若否，則進行下一製程步驟 ($j = j+1$)，至步驟二。

步驟九：計算屬性別 r 之生產週期時間 CT^r 。

$$CT^r = \sum_j CT_j^r \quad \text{式 3 - 33}$$

步驟十：判斷各屬性別之生產週期時間是否皆估算完成，若是則至步驟十一；若否，則對於尚未估算生產週期時間之屬性別 r' 進行估算，至步驟一。

步驟十一：計算產品*i*之平均生產週期時間 CT_i 。

$$CT_i = \sum_r (CT^r \times \pi_i^r)$$

式 3 - 34



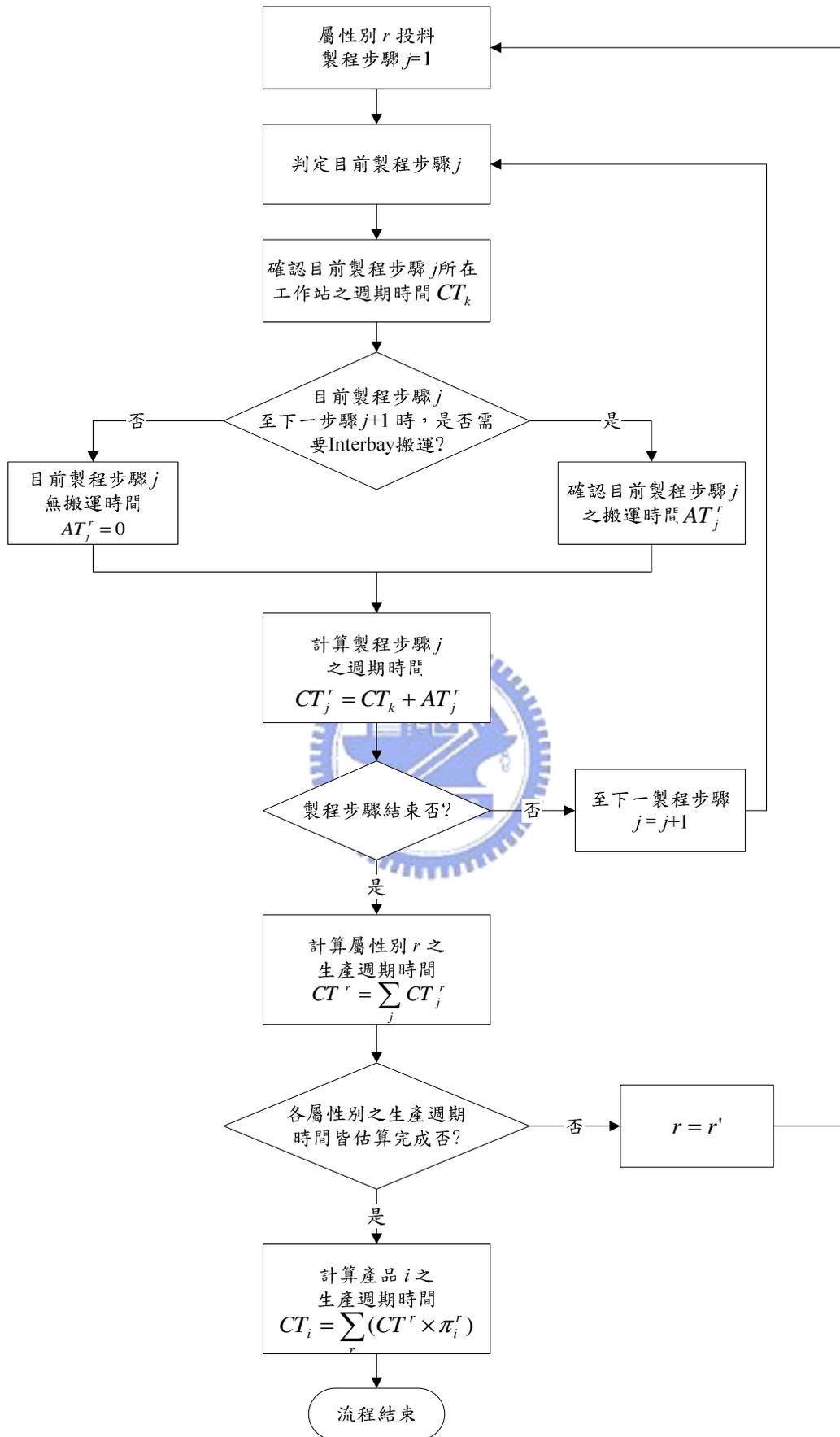


圖 3 - 8 生產週期時間估算流程圖

3.5 機台數量配置模組

近年來有許多學者探討半導體晶圓廠之機台規劃問題，然而探討有關薄膜電晶體陣列廠機台規劃之文獻卻相當缺乏。雖然二者之製程相似，且皆具有機台設備昂貴之特色，但在生產行為上仍有不同之處。因此，吾人將針對薄膜電晶體陣列廠之特性，建構薄膜電晶體陣列廠之機台數量配置模組。

在半導體晶圓廠中，各種產品之回流層級數、層級中之製程步驟以及於同一加工製程之作業時間皆有所不同，因此，許多學者在探討半導體晶圓廠之機台組合問題時，考量了在不同產品組合的情況下，對於機台所需數量之影響[10][11][22][23][31][35][37][38]。

在本文之薄膜電晶體陣列廠生產環境中，各產品之製程可分為不進行量測作業之一般工件製程，以及進行量測作業之量測工件製程，且各產品之兩種製程皆有固定之比例。由於同屬性別工件之製程作業順序與製程時間相同，且量測工件與一般工件在製程上之差異，僅為量測工件於黃光區中較一般工件增加了量測工作站之步驟，而在製程工作站之製程步驟順序與加工時間則完全相同。因此，當系統之產品組合變動時，將導致系統中一般工件與量測工件之數量波動，而此波動僅會造成量測工作站負荷之變化，例如系統中量測工件比例升高，量測工作站之工件負荷量亦會加重。然而由於一般與量測工件皆會於製程工作站進行加工，因此量測比例之波動將不會影響製程工作站之工件負荷量。

此外，以工作站對於生產系統之功能性而言，量測工作站之功能僅為檢測工件，與製程工作站對工件進行製程加工之功能不同，一般而言應避免量測工作站產能不足而導致工件加工延遲之情況發生，因此，吾人根據訪談結果，以一合理之量測工件比例值進行陣列廠建廠初期之機台配置，期望工廠在往後因新產品導入而使得系統中量測比例略為升高時，量測工作站仍有足夠產能滿足量測作業之負荷量。

本文之「機台數量配置模組」中，包含「初始機台數量估算機制」以及「機台數量新增機制」二部份。在「初始機台數量估算機制」中，吾人利用各工作站之產能負荷水準上限，求得各工作站滿足上限所需之最小數

量，並以此作為初始之機台組合。下一階段之「機台數量新增機制」，吾人將基於初始機台組合、各工作站之機台購置成本、以及 3.4 節之「生產週期時間估算模組」估算結果，進行各工作站之機台數量微調，以決定一組最終機台數量配置。

3.5.1 初始機台數量估算機制

此機制之主要目的為產生一組滿足產能負荷限制、且最小數量之機台初始組合。吾人藉由各工作站中單一機台所能提供之最大可用產能、各工作站為達產出目標量所需之需求產能，以及各工作站平均負荷水準之上限，求算各工作站在滿足負荷水準上限之前提下，所需之最小機台數量。

由於製造現場有許多不可預期之變異與統計波動，因此吾人在此設定各工作站負荷水準之上限值，限制各工作站之平均負荷水準 U_k 不得超過此上限，以預留保護性產能來吸收系統變異，並提高生產系統之穩定性。

吾人將參考 Grewal[8]以及 Kotcher[11]於其模式中所設定之機台利用率上限值(85%)，作為本文生產系統中非黃光工作站之機台利用率上限值。而由於黃光工作站之機台成本格外昂貴，應充分運用其機台產能，因此，吾人擬以 95%之負荷水準作為黃光工作區之機台利用率上限值，並設定 90%之負荷水準為黃光工作區之機台利用率下限值，以確保機台產能得以充分利用。

因此，在求出黃光工作站最小所需之機台數量後，若黃光工作站之平均負荷水準 U_{BN} ，低於吾人設定之黃光工作站負荷水準下限值(90%)，將未達預期之效益，須重新調整目標產出量，增加產出目標以使得黃光工作站滿足一定之負荷水準。初始機台數量估算機制之流程圖如圖 3-9 所示，而估算機制之步驟將詳列如下。

符號說明：

$Acap_k$ ：工作站 k 中單一機台最大可提供之可用產能。

$MTTR_k$ ：工作站 k 之平均當機時間(mean time to repair)。

$MTBF_k$ ：工作站 k 之平均當機間隔時間(mean time between failure)。

$Dcap_k$ ：工作站 k 為達成產出目標所需之需求產能。

TP^r ：屬性別 r 在規劃幅度內之計畫月產量。

PT_k^r ：屬性別 r 在工作站 k 之平均製程時間。

f_k^r ：屬性別 r 從投入至產出所需經過工作站 k 之次數。

U_k ：工作站 k 之負荷水準。

M_k ：工作站 k 之機台數量。

U_k^{UB} ：工作站 k 之負荷水準上限值。

M_k^{\min} ：工作站 k 滿足負荷水準上限之前提下，所需之最小機台數量。

U_{BN}^{LB} ：黃光工作站之平均產能負荷下限值。



初始機台數量估算步驟

步驟一：計算各工作站 k 中，單一機台最大可提供之可用產能 $Acap_k$ ，為各
工作站 k 中單一機台之每月總產能，扣除因當機造成之產能損耗。

$$Acap_k = 28 \times 24 \times 60 \times \left(1 - \frac{MTTR_k}{MTTR_k + MTBF_k} \right) \quad \forall k \quad \text{式 3 - 35}$$

步驟二：計算各工作站 k 為達成產出目標所需之需求產能 $Dcap_k$ 。

$$Dcap_k = \sum_r TP^r \times PT_k^r \times f_k^r \quad \forall k \quad \text{式 3-36}$$

步驟三：在各工作站 k 負荷水準滿足上限之前提下，計算各工作站 k 所需之最小機台數量 M_k^{\min} 。式 3-37 表示各工作站 k 之負荷水準 U_k 須小於上限值 U_k^{UB} 。

$$U_k = \frac{Dcap_k}{M_k \times Acp_k} \leq U_k^{UB} \quad \forall k \quad \text{式 3-37}$$

式 3-37 經過轉換後，可得下列公式：

$$M_k \geq \frac{Dcap_k}{U_k^{UB} \times Acp_k} \quad \forall k \quad \text{式 3-38}$$

因此，各工作站 k 所需之最小機台數量 M_k^{\min} ，可由式 3-39 求得。

$$M_k^{\min} = \left\lceil \frac{Dcap_k}{U_k^{UB} \times Acp_k} \right\rceil \quad \forall k \quad \text{式 3-39}$$

步驟四：判斷黃光工作站之平均產能負荷 U_{BN} 是否低於其下限值 U_{BN}^{LB} ？若是，則回饋至上層，重新調整目標產出量；若否，則初始機台數量估算完成。

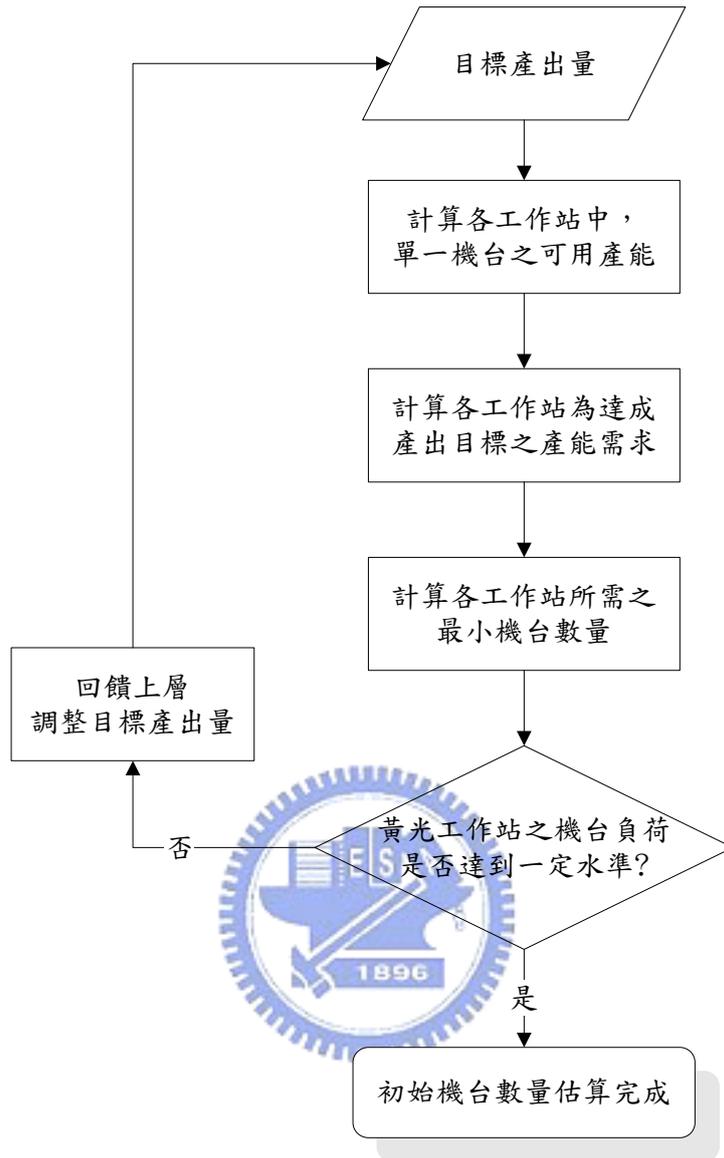


圖 3-9 初始機台數量估算機制流程圖

3.5.2 機台數量新增機制

本文所設計之「機台數量新增機制」，將基於「初始機台數量估算機制」所求得之初始機台數量配置，以及將此初始機台組合輸入「生產週期時間估算模組」所得之估算結果，進行各工作站機台數量之新增微調。此外，由於黃光工作站之機台購置成本格外昂貴，須充分利用其產能，因此，「初始機台估算機制」中所計算之黃光機台最小數量，即為黃光機台最終之數量配置，故在此「機台數量新增機制」中並不考慮黃光機台數量之新增微調。

在此機制中，吾人評估機台組合所產生之生產週期時間，將以 X-factor 為替代指標進行判斷。X-factor 為實際生產週期時間與理論週期時間之比值，在業界往往被用來作為生產週期時間之評估指標。當系統產能過剩時，X-factor 會維持在一個相當低的水準；當系統產能呈現飽和或不足之狀態時，X-factor 將大幅成長。吾人將設定一業界可接受之 X-factor 上限值，並利用此值於機台數量新增機制中，作為是否繼續新增機台數量之判別條件。

吾人觀察各屬性別工件之製程順序，發現各屬性別工件在每一層級中之加工步驟皆相當一致，因此，吾人在調整機台數量時，將以層級為單位進行評估，計算各屬性別工件於每一層級中，層級週期時間與層級純製程時間之比值，即各屬性別工件於各層級之 X-factor 值，並限制各層級之 X-factor 值須小於設定之上限值，避免因工件於某些層級之層級週期時間過長，而造成工件延遲進行下一層級加工作業之情況發生，以提高工件於各層級間流程之同步性。

由圖 3 - 10 可看出，由於各層級之 X-factor 值高低不一，故有可能工件於整體生產系統之 X-factor 值小於業界可接受之上限值，然而各層級之 X-factor 值卻不一定皆小於此上限值。若以層級之觀點，則工件於各層級之 X-factor 值高低不一，表示工件於某些層級停留過久，而在其他層級之加工作業卻能在較短時間內完成，此將造成工件於層級間物流不順暢之現象。因此，即使工件於生產系統之 X-factor 值小於業界可接受之上限值，並不一定表示工件於層級間之生產流程順暢，故吾人將更進一步著眼於各層級之 X-factor 值，期望在薄膜電晶體陣列廠之建廠初期，即能夠提高每一層級間物流之平順程度。

利用 Little's Law[14]， $L = \lambda \times W$ ，若將式中 L 視為層級在製品量、 λ 視為層級之工件到達率、 W 視為層級週期時間，則可知當層級之工件到達率固定時，層級中之在製品量與週期時間成正比之關係，亦即層級週期時間越長，層級中之在製品量也越多。本文以 X-factor 之上限值為衡量標準，若層級之 X-factor 值超過此標準，則表示該層級之週期時間過長，而該層級中亦堆積過多的在製品數量。因此，吾人在機台數量新增機制中，將針對超出 X-factor 上限值之層級，調整層級中工作站內之機台數量，使得此

類層級中，週期時間過長以及在製品堆積之情況得以改善。

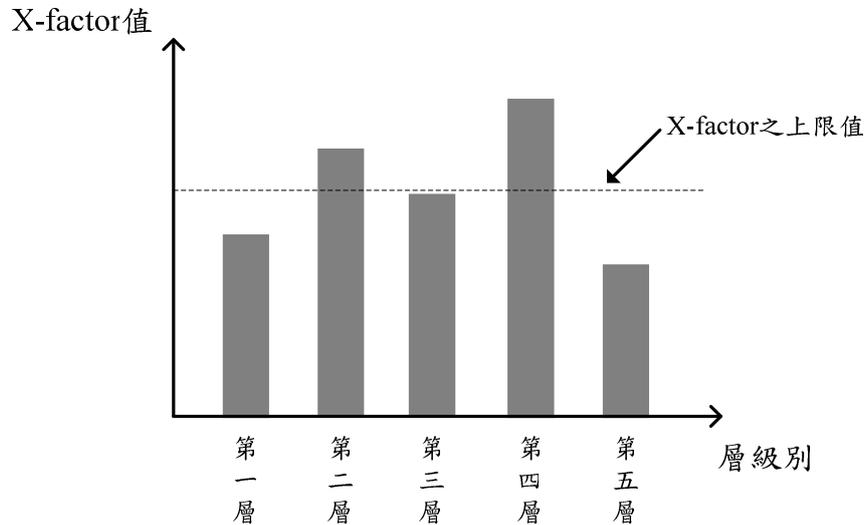


圖 3 - 10 各層級 X-factor 值之示意圖

此外，吾人認為生產系統中在製品量、生產週期時間等之績效指標，雖然可運用短程之投料、派工法則進行改善，然而，這些法則往往受限於工廠內既有之機台設備數量，使得生產績效之改善幅度有限。因此，若能夠在建廠時即妥善規劃機台設備之數量，使生產流程得以順暢，往後再搭配合適之短期現場排程規劃，必能有效地維持系統良好之生產績效。而在本文薄膜電晶體陣列廠之生產環境中，吾人運用層級之概念進行各工作站之機台數量配置，除了能夠更精準地掌控生產流程之平順性以外，也由於產品組合之變動並不會影響製程工作站之負荷量，使得機台數量之配置結果更具穩健性。

在本文之「機台數量新增機制」中，吾人首先將根據初始機台組合環境中工作站週期時間以及搬運時間，計算各屬性別工件之層級週期時間，以及各屬性別工件於各層級之 X-factor 值。由於本文著眼於各層級之 X-factor 值，並期盼各工作站之機台配置完成後，每一屬性別工件各層級之 X-factor 值皆小於預定的上限值。因此，在計算各屬性別工件於各層級之 X-factor 值後，吾人將針對 X-factor 值超出上限值的層級，利用增加加工

作站機台數量的方式，降低其層級週期時間與 X-factor 值。故吾人選取各屬性別工件中超出上限值之層級，並將已選取層級中對應每一加工步驟之所有工作站，加以彙整於一候選工作站集合中，而此候選工作站集合在本文中將以符號 $S(D)$ 表示之。

接下來，吾人將針對候選工作站集合 $S(D)$ 中所有之候選工作站，進行機台新增優先順序之排定，期望能經由本文所訂定之排序準則，對搜尋出最適宜增加機台數量之工作站能有所助益。本文之排序準則將考量生產週期時間以及機台購置成本等因子，對於候選工作站進行細部之排序，以挑選出能夠快速、有效地降低生產週期時間，且兼顧機台成本考量之工作站。以下將逐一介紹本文對於候選工作站進行排序時所考量之準則與理念。

1. 吾人認為平均等候加工時間越長之工作站，應該優先考慮增加機台數量，即以增加工作站產能之方式，縮短不具增值性之工件等候加工時間，並降低工作站前在製品量之堆積。因此，吾人依據平均等候加工時間之值，將候選工作站由大至小進行排序，並給予各候選工作站排序順位值。
2. 此外，吾人亦認為若候選工作站增加一部機台時，對於各屬性別工件超出上限值之層級，其層級週期時間之改善量越大，對於降低層級 X-factor 值之助益將越明顯，故應優先考量於工作站添增機台數量。在此，吾人定義候選工作站之改善量，為針對各屬性別工件其 X-factor 值超出上限之層級而言，工作站新增機台時所造成的週期時間減少程度，與各屬性別工件佔整體工件之比例相乘所得之值，如式 3 - 43 所示。因此，吾人運用「生產週期時間估算模組」中，工作站週期時間之估算流程步驟，估算在候選工作站集合 $S(D)$ 中，各候選工作站新增一部機台時，候選工作站週期時間之變化量，如式 3 - 44 所示，並將其值代入式 3 - 43 中求算候選工作站之改善量。最後，吾人將候選工作站依據改善量之值由大至小進行排序，並給予各候選工作站排序順位值。
3. 在薄膜電晶體陣列廠中，由於機台購置成本十分昂貴，各工作站之機台單價動輒上千萬元，因此在候選工作站集合 $S(D)$ 中挑選工作站時，

應加入機台購置成本較低之工作站優先新增機台之考量。故在此排序準則中，吾人將以機台購置成本之值，將候選工作站由小至大進行排序，並給予各候選工作站排序順位值。

基於上述之準則與理念，候選工作站集合 $S(D)$ 中之候選工作站在依照上述排序準則分別進行排序後，每一個候選工作站在不同準則下皆有一排序順位值。因此，吾人對於每一個候選工作站，加總其在不同排序準則下之排序順位值，即可獲得各候選工作站之機台新增優先順序，而本文將在候選工作站集合 $S(D)$ 中，挑選機台新增優先順序值最小之工作站，增加一部機台。

然而，當 $S(D)$ 中有兩個以上之候選工作站皆具有最小之機台新增優先順序值，即以上述排序準則無法對候選工作站進行有效之排序時，吾人將於該群具有最小機台新增優先順序之候選工作站中，利用一指標排定其新增機台之優先順序。本文依各工作站購置一部機台時，每單位之購置成本對於超出上限值的層級之改善量大小，即工作站改善量除以機台購置成本之比值大小，對於具有最小機台新增優先順序之候選工作站進行排序，並選取比值最大之候選工作站，優先新增一部機台。

由於工作站機台數量之改變將會造成工作站週期時間、各屬性別工件之層級週期時間、以及各層級之 X-factor 值產生變動，因此，吾人在挑選出最適新增之候選工作站，並進行機台數量新增之動作後，將更新系統資訊，重新計算各屬性別工件於各層級之 X-factor 值，再重複進行上述之流程，選取下一個優先新增機台之工作站，直到各屬性別於各層級之 X-factor 值皆小於上限值為止，而此時各工作站之機台數量，即為最終之機台數量配置。機台數量新增機制之流程圖如圖 3 - 11 所示，而機台數量新增機制之步驟將詳列如下。

符號說明：

CT_l^r ：屬性別 r 於各層級 l 之層級週期時間。

CT_j^r ：屬性別 r 於製程步驟 j 之週期時間。

$S(r,l)$ ：屬性別 r 於層級 l 中所有製程步驟之集合。

PT_l^r ：屬性別 r 於層級 l 之純製程時間。

PT_j^r ：屬性別 r 於製程步驟 j 之工作站純製程時間。

MT_j^r ：工件由 x 區到 x' 區存貨站所需之純搬運時間。

XF_l^r ：屬性別工件 r 於各層級 l 之 X-factor 值。

XF^{UB} ：X-factor 上限值。

$S(D)$ ：對於各屬性別 r 之 X-factor 值大於上限值的層級，其中所有工作站之集合，為候選工作站集合。

QT_k ：工作站 k 之平均等候加工時間。

$A_{k,1}$ ：候選工作站 k 依平均等候加工時間由大至小之排序順位值。

ΔCTI_k ：工作站 k 之改善量。

h_k^r ：工作站 k 於屬性別 r 超出 X-factor 上限值之層級中，所出現之次數。

π^r ：工件屬性別 r 所佔總產量之比例。

ΔCT_k ：工作站 k 新增一部機台所造成之工作站週期時間減少量。

CT_k ：工作站 k 之週期時間。

CT_k' ：工作站 k 新增一部機台時之工作站週期時間。

$A_{k,2}$ ：候選工作站 k 依改善量由大至小之排序順位值。

$Cost_k$ ：工作站 k 之機台購置成本。

$A_{k,3}$ ：候選工作站 k 依機台購置成本由小至大之排序順位值。

A_k ：候選工作站 k 之機台新增優先順序。

$S(N)$ ：具有最小新增優先順序值之工作站集合。

R_k ：工作站 k 之改善量與機台購置成本之比值。

機台數量新增機制之步驟

步驟一：計算各屬性別工件 r 於各層級 l 之層級週期時間 CT_l^r 。

$$CT_l^r = \sum_{j \in S(r,l)} CT_j^r \quad \forall r, l \quad \text{式 3 - 40}$$

步驟二：計算屬性別工件 r 於各層級之 X-factor 值 XF_l^r ，為屬性別工件 r 於

各層級 l 之層級週期時間 CT_l^r ，除以層級純製程時間 PT_l^r ，如式 3

- 42 所示。其中，層級純製程時間 PT_l^r ，為層級中各製程步驟 j 之

純加工時間 PT_j^r 與純搬運時間 MT_j^r 之和，如式 3 - 41 所示。

$$PT_l^r = \sum_{j \in S(r,l)} (PT_j^r + MT_j^r) \quad \forall r, l \quad \text{式 3 - 41}$$

$$XF_l^r = \frac{CT_l^r}{PT_l^r} \quad \forall r, l \quad \text{式 3 - 42}$$

步驟三：判斷各屬性別工件 r 於各層級 l 之 X-factor 值 XF_l^r ，是否皆小於

X-factor 上限值 XF^{UB} ？若是，則停止，目前之機台組合即為最終之機台配置；若否，則至步驟四。

步驟四：選取各屬性別工件 r 其 XF_l^r 值大於上限值 XF^{UB} 之層級，並將選取

層級中所有之工作站種類，彙整於一集合中，並稱此集合為候選工作站集合 $S(D)$ 。

步驟五：對於候選工作站集合 $S(D)$ 中之所有候選工作站，分別透過下列準則進行排序。吾人假設 $S(D)$ 中有 N 個候選工作站，其排序方法如下：

- ▶ 將候選工作站依平均等候加工時間 QT_k 之值由大至小排序，並分別給予各候選工作站 1~ N 之排序順位值 $A_{k,1}$ 。
- ▶ 將候選工作站依改善量 ΔCTI_k 之值由大至小排序，並分別給予各候選工作站 1~ N 之排序順位值 $A_{k,2}$ 。其中， ΔCTI_k 為工作站 k 於各屬性別工件目前仍超出上限值 XF^{UB} 之層級中所出現之次數 h_k^r ，與各屬性別所佔比例 π^r 之乘積加總值，乘上工作站 k 新增一部機台造成之工作站週期時間減少量 ΔCT_k ，如式 3-43 所示 (ΔCT_k 之公式如式 3-44 所示)。

$$\Delta CTI_k = \sum_r (h_k^r \times \pi^r) \times \Delta CT_k \quad \forall k \in S(D) \quad \text{式 3-43}$$

$$\Delta CT_k = CT_k - CT'_k \quad \forall k \in S(D) \quad \text{式 3-44}$$

- ▶ 將候選工作站依機台購置成本 $Cost_k$ 之值由小至大排序，並分別給予各候選工作站 1~ N 之排序順位值 $A_{k,3}$ 。

步驟六：加總各候選工作站之 $A_{k,1}$ 、 $A_{k,2}$ 以及 $A_{k,3}$ 排序值，即可得候選工作站之機台新增優先順序 A_k 。

$$A_k = A_{k,1} + A_{k,2} + A_{k,3} \quad \forall k \in S(D) \quad \text{式 3 - 45}$$

步驟七：判斷具有最小新增優先順序值 A_k 之工作站是否唯一？若是，則選取新增優先順序值 A_k 最小之工作站，新增一部機台，至步驟九。若否，則須對於具有最小新增優先順序值 A_k 之工作站作進一步之分析，至步驟八。

步驟八：在具有最小新增優先順序值 A_k 之工作站集合 $S(N)$ 中，吾人將對於每一個工作站，分別計算其改善量 ΔCTI_k 與機台購置成本 $Cost_k$ 之比值 R_k ，如式 3 - 46 所示。並選擇 R_k 值最大之工作站，優先新增一部機台。

$$R_k = \frac{\Delta CTI_k}{Cost_k} \quad \forall k \in S(N) \quad \text{式 3 - 46}$$

步驟九：更新系統之機台數量組合、工作站週期時間、以及各屬性別工件於各層級之層級週期時間，至步驟二。

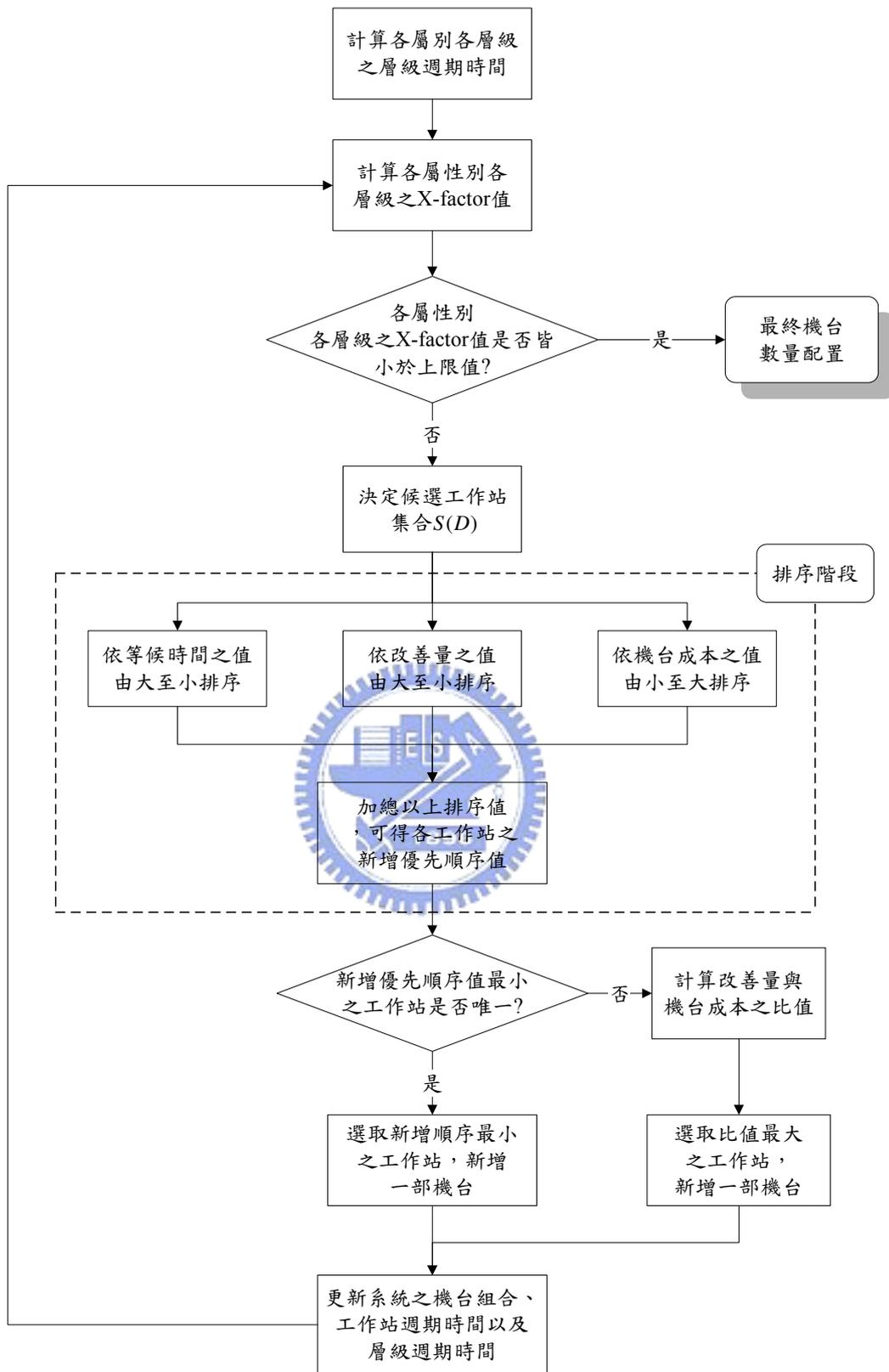


圖 3 - 11 機台數量新增機制流程圖

第四章 實例驗證

為驗證本文第三章所提出之機台配置機制的可行性，本章將以一範例資料為基礎，構建一薄膜電晶體陣列廠之生產模擬系統。

本章之驗證工作主要分為下列三個部分：

1. 系統環境說明：描述基本生產系統資料以及相關假設。
2. 執行過程：以實例來說明本規劃機制中各模式之執行過程。
3. 結果分析與比較：整理各項執行成果，並與模擬結果進行分析、比較。

4.1 系統環境說明

4.1.1 生產環境資料

吾人依照訪談所得之範例資料作為本文之生產相關資訊，以進行第四章的實例驗證工作。以下將列示說明本文所採用之生產環境資料。

1. 產品基本資料：

本文之生產系統共生產 A、B、C 三種產品，各產品可分為一般工件與量測工件兩種屬性別。各產品製程相同，但不同工件屬性別之製程步驟不同，而各製程步驟所在之工作站以及加工時間均為已知，如附表 A-1 以及附表 A-2。

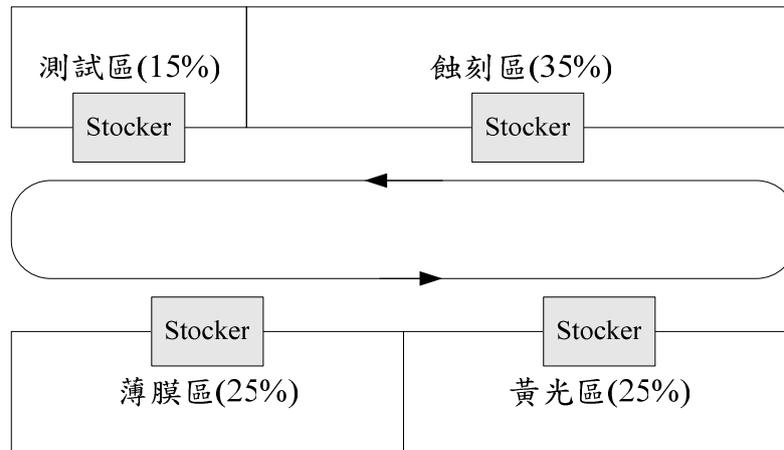
2. 工作站資訊：

本文所採用之生產系統中，共有 19 種不同之工作站(W01~W19)，皆為序列工作站，本文所定義之瓶頸工作站為 W16。所有工作站別之平均當機間隔時間(MTBF)與平均當機修復時間(MTTR)將依指數分配予以設定，如附表 B-1。

3. 設備規劃相關資訊：

依本文第三章之假設，薄膜電晶體陣列廠之設備佈置主要分為四大工作區：薄膜區、黃光區、蝕刻區以及測試區，設備佈置圖如圖 4-

1 所示。



*百分比表示各區所佔之空間比例

圖 4-1 模擬系統之設備佈置圖

本文之搬運系統為一 Interbay 系統，搬運車將均勻散佈且單向等速繞行於軌道上，一次只能搬運 1 lot 之工件。各工作區之間搬運所需繞行之圈數如表 4-1 所示，本文假設搬運車繞行一圈 Interbay 需要 15 分鐘，因此，在搬運車等速前進之情況下，可推得各工作區間所需之純搬運時間。此外，藉由此表可求算產品由投入至產出所需之搬運圈數。

表 4-1 各工作區間之搬運所需圈數表 (單位：圈)

From \ To	薄膜區(TF)	黃光區(Photo)	蝕刻區(Etch)	測試區(Test)
薄膜區(TF)	-	0.25	0.55	0.8
黃光區(Photo)	0.75	-	0.3	0.55
蝕刻區(Etch)	0.45	0.7	-	0.25
測試區(Test)	0.2	0.45	0.75	-

4. 工作站利用率限制：

本文將瓶頸工作站之利用率上限設定為 95%，而非瓶頸工作站之利用率上限設定為 85%，以預留保護性產能吸收系統變異。此外，由於瓶頸工作站之機台成本格外昂貴，因此本文將設定瓶頸工作站之利用率下限為 90%，以確保瓶頸工作站之產能得以充分運用。

5. 生產週期時間之評估指標(X-factor)：

X-factor 值為實際生產週期時間與純製程時間之比值，吾人根據訪談結果，將工件之 X-factor 值設定為 1.3。

4.1.2 生產排程規劃假設

1. 規劃幅度與規劃週期：

本文之規劃幅度為十二個月，規劃週期為一個月。

2. 投料法則：

本文著眼於系統穩態產出之理念，以固定在製品量(CONWIP)法進行投料。

3. 派工法則：

本文將採用先進先出(FIFO)法。

4. 產品良率：

對於生產系統中產品因製程或生產週期時間所造成之不良狀況，本文不加以考慮，即假設各加工步驟良率皆為 1。

5. 需求預測方面：

假設目標產出量與產品組合皆為已知，其中目標月產出量為 1740 lots，產品組合(A：B：C)=(2：2：1)。

6. 各產品之工件屬性比例(一般工件/量測工件)：

產品 A 為(5：1)，產品 B 為(1：2)，產品 C 為(5：1)。

4.2 案例說明

本節以 4.1 節所述之系統環境背景下，進行案例之分析，並對本文各模組之運算過程予以詳盡的說明，使本文之推算結果更加清楚明瞭，並更具可信度。

4.2.1 搬運車數估算模組之執行過程

如本文 3.3 節所述，吾人將分別求算系統之搬運需求量，以及單一搬運車之搬運供給量，運用搬運需求與供給平衡之概念，估算搬運車數之最適配置量。經由(式 3 - 1)~(式 3 - 7)之步驟，可推得系統所需之搬運車數 Veh ，試算結果如下：

執行步驟

步驟一：估算各屬性別工件之計畫月產量 TP^r ，如表 4 - 2 所示。

$$TP^{mr} = TP \times \sum_i (\pi_i \times \pi_i^{mr}) = 1740 \times \left(\frac{2}{5} \times \frac{5}{6} + \frac{2}{5} \times \frac{1}{3} + \frac{1}{5} \times \frac{5}{6} \right) = 1740 \times \frac{19}{30} = 1102$$

$$TP^{wr} = TP \times \sum_i (\pi_i \times \pi_i^{wr}) = 1740 \times \left(\frac{2}{5} \times \frac{1}{6} + \frac{2}{5} \times \frac{2}{3} + \frac{1}{5} \times \frac{1}{6} \right) = 1740 \times \frac{11}{30} = 638$$

表 4 - 2 規劃幅度內各屬性別工件之計畫月產量 (單位：lot)

	A	B	C	Total
一般工件	580	232	290	1102
量測工件	116	464	58	638
Total	696	696	348	1740

步驟二：估算各屬性別工件從投入至產出所需繞行 Interbay 之圈數 Q^r 。吾人根據(式 3 - 3)求得 Q^r 值，其中 $Q_{xx'}$ 之值請參考表 4 - 1， $N'_{xx'}$ 之值

詳見表 4-3 與表 4-4。

$$Q^{mr} = \sum_{x \in S} \sum_{x' \in S} Q_{xx'} \times N_{xx'}^{mr} = 0.25 \times 5 + 0.3 \times 5 + 0.25 \times 2 + 0.45 \times 3 + 0.2 \times 1 = 4.8$$

$$Q^{wr} = \sum_{x \in S} \sum_{x' \in S} Q_{xx'} \times N_{xx'}^{wr} = 0.25 \times 5 + 0.3 \times 5 + 0.25 \times 2 + 0.45 \times 3 + 0.2 \times 1 = 4.8$$

表 4-3 搬運流程從至表-一般工件 (單位：次數)

From \ To	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
薄膜區	-	5	0	0
黃光區	0	-	5	0
蝕刻區	3	0	-	2
測試區	1	0	0	-

表 4-4 搬運流程從至表-量測工件 (單位：次數)

From \ To	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
薄膜區	-	5	0	0
黃光區	0	-	5	0
蝕刻區	3	0	-	2
測試區	1	0	0	-

步驟三：估算規劃幅度內每月所需之搬運總圈數 DQ 。

$$DQ = \sum_r Q^r \times TP^r = 4.8 \times 1102 + 4.8 \times 638 = 8352$$

步驟四：估算單一搬運車在規劃幅度內，平均每月理想可提供之搬運圈數 SQ 。

$$SQ = \frac{T}{vt} = \frac{28 \times 24 \times 60}{15} = 2688$$

步驟五：估算單一搬運車在規劃幅度內，平均每月實際可提供之搬運圈數 SQ' 。其中有效服務率 ω_v 依照一般業界標準訂為 0.7。

$$SQ' = SQ \times \omega_v = 2688 \times 0.7 = 1881.6$$

步驟六：估算系統所需之最適搬運車數 Veh 。

$$Veh = \left\lceil \frac{DQ}{SQ'} \right\rceil = \left\lceil \frac{8352}{1881.6} \right\rceil = \lceil 4.438 \rceil = 5$$

經由上述步驟，可知系統所需之搬運車數為 5 輛。接下來將透過機台數量估算模組中之「初始機台數量估算機制」，進行初始機台組合之求算。

4.2.2 初始機台數量估算機制之執行過程

為方便說明初始機台數量估算機制之執行過程，下列估算過程係以 W17 為例進行演算。經由(式 3-35)~(式 3-39)之步驟，可推得各工作站在滿足負荷水準上限之前提下，所需之最小機台數量。試算結果如下：

執行步驟

步驟一：計算各工作站 k 中，單一機台最大可提供之可用產能 $Acap_k$ (分鐘/28 天)。由下式可知，在 W17 工作站中，單一機台之總產能在扣除當機因素造成之產能損耗後，最大可提供之可用產能為 37800 分鐘。此步驟之計算結果彙整於表 4-5 中。

$$\begin{aligned} Acap_k &= 28 \times 24 \times 60 \times \left(1 - \frac{MTTR_k}{MTTR_k + MTBF_k} \right) \\ &= 28 \times 24 \times 60 \times \left(1 - \frac{6000}{90000 + 6000} \right) = 37800 \end{aligned}$$

表 4-5 各工作站最大可提供之可用產能 (單位：分鐘)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
最大可用產能	38278.48	38473.28	40320	37800	38278.48
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
最大可用產能	37800	40320	37800	37333.33	38278.48

工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
最大可用產能	40320	38278.48	40320	40320	38278.48
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
最大可用產能	37333.33	37800	40320	40320	

步驟二：計算各工作站 k 為達成產出目標所需之需求產能 $Dcap_k$ (分鐘/28 天)。由下式可求得 W17 工作站為達系統目標所需之產能，而各工作站需求產能之計算結果彙整於表 4-6 中。

$$Dcap_k = \sum_r TP^r \times PT_k^r \times f_k^r = 1102 \times 20 \times 5 + 638 \times 20 \times 5 = 174000$$

表 4-6 各工作站之需求產能 (單位：分鐘)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
需求產能	189068.4	109028.4	45240	191400	196028.4
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
需求產能	137442.6	45240	131056.8	92776.8	55088.4
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
需求產能	69008.4	68434.2	42908.4	34800	66694.2
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
需求產能	303282	174000	104400	156600	

步驟三：計算各工作站 k 在負荷水準滿足上限之前提下，所需之最小機台數量 M_k^{\min} 。本文擬設定瓶頸工作站之負荷水準上限值為 95%，非瓶頸工作站之負荷水準上限值為 85%，以期規劃結果在製造現場能夠確實達成。由下式可求得 W17 工作站所需之最小機台數量，而各工作站之機台數量計算結果彙整於表 4-7 中。

$$M_k^{\min} = \left\lceil \frac{Dcap_k}{U_k^{UB} \times Acap_k} \right\rceil = \left\lceil \frac{174000}{0.85 \times 37800} \right\rceil = \lceil 5.4155 \rceil = 6$$

表 4-7 各工作站之初始機台數量 (單位：台)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
初始數量	6	4	2	6	7
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
初始數量	5	2	5	3	2
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
初始數量	3	3	2	2	3
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
初始數量	9	6	2	2	

步驟四：此步驟將判斷黃光工作站之平均產能負荷是否低於下限值。由於黃光工作站之機台格外昂貴，應充分利用其機台產能，因此本文擬設定黃光工作站之負荷水準下限值為 90%。於本案例中，黃光工作站之初始機台數量為 9 台，其平均負荷水準為 90.26%(如下式所示)，高於 90% 之下限值，因此符合本文所設定之負荷水準限制。

$$U_{BN} = \frac{Dcap_{BN}}{M_{BN} \times Acap_{BN}} = \frac{303282}{9 \times 37333.33} = 0.9026$$

4.2.3 生產週期時間估算模組之執行過程

在完成搬運車數及初始機台數量之估算後，根據本文之架構流程，吾人將承接 4.2.1 節所求得之搬運車數，以及 4.2.2 節中初始機台數量組合之估算結果，進行生產週期時間之估算。在本文之生產系統中，產品週期時間可分為搬運時間以及工作站週期時間二部分，其估算步驟分述如下。

4.2.3.1 搬運時間之估算

搬運時間之估算又可分為二大部分，第一部分為理論搬運時間，可由製程資訊中推得；第二部分為等候搬運時間之估算，本文將採用等候模型

進行估算。經由(式 3 - 8)~(式 3 - 16)之步驟，可求得各屬性別工件於各工作區之到達率以及服務率等資訊，進而代入等候公式中進行等候搬運時間之估算。下列估算過程係以一般工件、薄膜區為例來進行演算，試算結果如下：

執行步驟

步驟一：估算系統規劃幅度內各屬性別之計劃月產量，其值見表 4 - 2 所示。

步驟二：估算在系統規劃幅度內，各屬性別 r 平均每月由從點 x 區出發所需之總搬運次數 M_x^r 。下式中 $N_{TF}^{nr} = \sum_{x \in S} N_{TF,x}^{nr} = 5+0+0=5$ (見表 4 -

3)，其他各工作區之計算方式亦同，結果如表 4 - 8 所示。

$$M_{TF}^{nr} = TP^{nr} \times N_{TF}^{nr} = 1102 \times 5 = 5510$$

步驟三：加總各屬性別 r 於 x 區平均每月之搬運次數 M_x^r ，以求得系統於 x 區

之搬運次數 M_x 。由下式可求得薄膜區之總搬運次數，而各工作區之 M_x 值計算結果詳見表 4 - 8 之總和列。

$$M_{TF} = \sum_r M_{TF}^r = 5510 + 3190 = 8700$$

表 4 - 8 各屬性別工件於各工作區之總搬運次數表

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
一般工件	5510	5510	5510	1102
量測工件	3190	3190	3190	638
總和	8700	8700	8700	1740

步驟四：估算各工作區之工件平均到達率 λ_x 。由下式可求得薄膜區(TF)之工件平均到達率(lots/min)，其他各工作區之工件平均到達率如表 4 - 9 所示。

$$\lambda_{TF} = M_{TF} \div T = 8700 \div (28 \times 24 \times 60) = 0.2158 \quad (\text{lots/min})$$

表 4-9 各工作區之工件到達率 (單位：lots/min)

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
工件到達率 λ_x	0.2158	0.2158	0.2158	0.0432

步驟五：求得工件在投入/產出過程中，工作區 x 能夠接受搬運服務之次數 Y_x 。吾人引用附表 A-1 及附表 A-2 之製程資料，可推得工件在投入/產出之過程中經過每一工作區 x 之次數 R_x ，以及工作區 x 不能接受搬運服務之次數 R'_x 。利用此二值之差，即可求得 Y_x 之值，如表 4-10 所示。

$$Y_{TF} = R_{TF} - R'_{TF} = 5 - 0 = 5$$

表 4-10 各工作區可接受之搬運服務次數表 (單位：次數)

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
R_x	5	5	5	5
R'_x	0	0	0	3
Y_x	5	5	5	2

步驟六：估算搬運系統於各工作區之平均服務率 μ_x 。下式可求得搬運系統於薄膜區之平均服務率(lots/min)，其他各區之服務率列於表 4-11 中。

$$\mu_{TF} = \frac{Veh}{vt} \times \frac{Y_{TF}}{R_{TF}} = \frac{5}{15} \times \frac{5}{5} = \frac{1}{3} = 0.3333 \quad (\text{lots/min})$$

表 4-11 搬運系統於各區之搬運服務率 (單位：lots/min)

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
搬運服務率 μ_x	0.3333	0.3333	0.3333	0.1333

步驟七：根據等候理論模式，估算工件於各區之等候搬運時間 QT_x 。各工作區之估算結果彙整於表 4-12 中。

(1) 對於薄膜(TF)、黃光(Photo)、蝕刻(Etch)三區，分別利用 M/D/1 等候模式估算等候搬運時間。由下式可求得薄膜區之等候搬運時間，而黃光區以及蝕刻區之估算結果列於表 4-12 中。

$$QT_{TF} = \frac{\lambda_{TF}}{2\mu_{TF}(\mu_{TF} - \lambda_{TF})} = \frac{0.2158}{2 \times 0.3333 \times (0.3333 - 0.2158)} = 2.7552 \text{ (min)}$$

(2) 對於測試(Test)區，利用 M/M/1 等候模式來估算等候搬運時間。

$$QT_{Test} = \frac{\lambda_{Test}}{\mu_{Test}(\mu_{Test} - \lambda_{Test})} = \frac{0.0432}{0.1333 \times (0.1333 - 0.0432)} = 3.5969 \text{ (min)}$$

表 4-12 各工作區之等候搬運時間估算結果 (單位：分)

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
等候搬運時間 QT_x	2.7552	2.7552	2.7552	3.5969

步驟八：計算純搬運時間 MT_j' 。以一般工件之第 2 製程步驟為例，工件於

此步驟將從薄膜區搬至黃光區，其所需之純搬運時間如下式所示。各工作區搬運所需之純搬運時間如表 4-13 所示。

$$MT_2^{nr} = Q_{TF, Photo} \times vt = 0.25 \times 15 \text{ (min)} = 3.75 \text{ (min)}$$

表 4-13 各區搬運所需之理論搬運時間表 (單位：分)

From \ To	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
薄膜區	-	3.75	-	-
黃光區	-	-	4.5	-
蝕刻區	6.75	-	-	3.75
測試區	3	-	-	-

步驟九：承步驟八，計算所需之總搬運時間 AT_j^r 。以一般工件之第 2 製程

步驟為例，其所需之總搬運時間如下式所示。各工作區搬運所需之總搬運時間如表 4 - 14 所示。

$$AT_2^{nr} = QT_{TF} + MT_2^{nr} = 2.7552 + 3.75 = 6.5052 \text{ (min)}$$

表 4 - 14 各區搬運所需之總搬運時間表 (單位：分)

From \ To	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
薄膜區	-	6.5052	-	-
黃光區	-	-	7.2552	-
蝕刻區	9.5052	-	-	6.5052
測試區	6.5969	-	-	-

4.2.3.2 工作站週期時間之估算

工作站週期時間之估算又可分為二大部分，第一部分為理論加工時間，可由製程資訊中推得；第二部分為等候加工時間之估算，本文將應用等候模型進行估算。經由(式 3 - 17)~(式 3 - 31)之步驟，可求得各工作站之工件到達率、服務率以及機台利用率等資訊，進而代入等候公式中進行等候加工時間之估算，最後加上理論加工時間，即為工作站之週期時間。試算結果如下：

執行步驟

步驟一：計算各工作站之產出速率 O_k 。下式以 W17 工作站為例進行演算，

而各工作站之產出速率 O_k 計算結果列於表 4 - 15 中。

$$\begin{aligned}
 O_k &= \frac{c_k \times B_k^{\max}}{E(P_k)} = \frac{M_k \times \left(1 - \frac{MTTR_k}{MTBF_k + MTTR_k}\right) \times B_k^{\max}}{\sum_r (PT_k^r \times \pi^r)} \\
 &= \frac{6 \times \left(1 - \frac{6000}{90000 + 6000}\right) \times 1}{20 \times 0.6333 + 20 \times 0.3667} = 0.28125 \text{ (lots/min)}
 \end{aligned}$$

步驟二：計算各工作站在各層級之平均層級產出速率 $\alpha_{l,k}$ 。由下式可得 W17

工作站之平均層級產出速率，而各工作站之計算結果如表 4 - 15 所示。

$$\alpha_{l,k} = O_k \times \frac{1}{L_k} = 0.28125 \times \frac{1}{5} = 0.05625 \quad (\text{lots/min})$$

表 4 - 15 各工作站之產出速率、層級產出速率 (單位：lots/min)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
產出速率 O_k	0.052422	0.121826	0.076923	0.255682	0.050561
出現層數 L_k	1	2	1	5	1
層級產出速率 $\alpha_{l,k}$	0.052422	0.060913	0.076923	0.051136	0.050561
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
產出速率 O_k	0.178029	0.076923	0.124469	0.104193	0.059973
出現層數 L_k	3	1	2	2	1
層級產出速率 $\alpha_{l,k}$	0.059343	0.076923	0.062234	0.052096	0.059973
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
產出速率 O_k	0.075643	0.072415	0.081103	0.1	0.074305
出現層數 L_k	1	1	1	1	1
層級產出速率 $\alpha_{l,k}$	0.075643	0.072415	0.081103	0.1	0.074305
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
產出速率 O_k	0.239051	0.28125	0.166667	0.111111	
出現層數 L_k	5	5	5	5	
層級產出速率 $\alpha_{l,k}$	0.04781	0.05625	0.033333	0.022222	

步驟三：計算搬運系統於各工作區加工層級之平均層級搬運率 $\alpha_{l,x}$ 。由下

式可得搬運系統於薄膜區之層級搬運服務率，而各工作區之計算結果如表 4 - 16 所示。

$$\alpha_{l,x} = \mu_x \times \frac{1}{L_x} = 0.3333 \times \frac{1}{5} = 0.0667 \quad (\text{lots/min})$$

表 4 - 16 搬運系統於各工作區之層級搬運服務率 (單位：lots/min)

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
搬運服務率 μ_x	0.3333	0.3333	0.3333	0.1333
出現層數 L_x	5	5	5	2
層級搬運服務率 $\alpha_{l,x}$	0.0667	0.0667	0.0667	0.0667

步驟四：計算全廠之工件平均產出率 α ，如下式所示。

$$\alpha = TP \div T = 1740 \div (28 \times 24 \times 60) = 0.04315 \quad (\text{lots/min})$$

步驟五：推算第一層級中第一個工作區(TF 區)之整體工件層級到達率 $\lambda_{l,x}$ ，

如下式所示。

$$\lambda_{l,TF} = \alpha = 0.04315 \quad (\text{lots/min})$$



步驟六：計算工作區整體工件之工件層級產出率 $R_{l,x}$ 。首先，吾人根據(式

3 - 22)計算第一層級第一個工作區中各屬性別工件到達率 $\lambda_{l,x}^r$ ，計算結果分別如下式所示。

$$\lambda_{l,TF}^{nr} = \lambda_{l,TF} \times \pi^{nr} = 0.04315 \times 0.6333 = 0.02733 \quad (\text{lots/min})$$

$$\lambda_{l,TF}^{wr} = \lambda_{l,TF} \times \pi^{wr} = 0.04315 \times 0.3667 = 0.01582 \quad (\text{lots/min})$$

接下來，吾人依據(式 3 - 23)計算第一層級第一個工作區中，各工作站之屬性別工件產出速率。以 W17 工作站之一般工件產出速率為例進行演算，如下式所示。而各工作站之屬性別工件產出速率如表 4 - 17 所示。

$$\alpha_{l,k}^{nr} = \alpha_{l,k} \times \pi_k^{nr} = 0.05625 \times 0.6333 = 0.03562 \quad (\text{lots/min})$$

由表 4 - 17 可知，W17 工作站一般工件以及量測工件之產出速率皆為最小，為第一層級第一個工作區中，一般工件及量測工件之瓶頸工作站。因此，吾人根據(式 3 - 24)推算各屬性別工件之層級產出率 $R_{l,x}^r$ ，推算結果分別如下式所示。

$$R_{1,TF}^{nr} = \min(\lambda_{1,k}^{nr}, \alpha_{1,TF,b}^{nr}) = \min(0.02733, 0.03562) = 0.02733 \quad (\text{lots/min})$$

$$R_{1,TF}^{wr} = \min(\lambda_{1,k}^{wr}, \alpha_{1,TF,b}^{wr}) = \min(0.01582, 0.02063) = 0.01582 \quad (\text{lots/min})$$

最後，吾人依據(式 3 - 25)，加總各屬性別工件之層級產出率，即可求得第一層級第一工作區之整體工件產出率，如下式所示。

$$R_{1,TF} = \sum_r R_{1,TF}^r = 0.02733 + 0.01582 = 0.04315 \quad (\text{lots/min})$$

表 4 - 17 第一層級 TF 區中各工作站之屬性別產出速率(單位：lots/min)

工作站	一般工件產出速率	量測工件產出速率
W17	0.03562	0.02063
W06	0.03758	0.02176

步驟七：計算下一工作區之工件層級到達率 $\lambda_{l,x}$ 。由下式可求得整體工件經過第一層級第一個工作區(TF)後，於下一順位工作區(Photo)之工件層級到達率。

$$\lambda_{1,Photo} = \min(R_{1,TF}, \alpha_{1,TF}) = \min(0.04315, 0.0667) = 0.04315 \quad (\text{lots/min})$$

步驟八：計算各層級中工作區之工件層級到達率 $\lambda_{l,x}$ 。重複上述之步驟六、步驟七，可推得各層級中每一工作區之工件到達率，其計算結果彙整於表 4 - 18 中。

表 4-18 各工作區之工件層級到達率 (單位：lots/min)

	第一層級	第二層級	第三層級	第四層級	第五層級
薄膜區	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315
黃光區	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315
蝕刻區	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315
測試區	0.04315	-	-	-	0.04315

步驟九：計算各工作站之總到達率 λ_k ，如表 4-19 所示。

表 4-19 各工作站之工件總到達率 (單位：lots/min)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
工件總到達率 λ_k	0.04315	0.08631	0.04315	0.21577	0.04315
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
工件總到達率 λ_k	0.12946	0.04315	0.08631	0.08631	0.04315
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
工件總到達率 λ_k	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315	0.04315
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
工件總到達率 λ_k	0.21577	0.21577	0.07912	0.07912	

步驟十：計算各工作站之平均服務率 μ_k 。下式以 W17 工作站為例進行演

算，而各工作站之計算結果如表 4-20 所示。

$$\mu_k = \frac{1}{E(P_k)} = \frac{1}{20} = 0.05 \quad (\text{lots/min})$$

步驟十一：計算各工作站之機台利用率 ρ_k 。下式以 W17 工作站為例進行

演算，而各工作站之計算結果如表 4-20 所示。

$$\rho_k = \frac{\lambda_k}{c_k \times \mu_k} = \frac{0.21577}{5.625 \times 0.05} = 0.7672 = 76.72\%$$

表 4 - 20 各工作站之服務率、機台利用率

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
服務率 μ_k (lots/min)	0.009203	0.031918	0.038462	0.045455	0.008876
可用機台數 c_k	5.6962	3.8168	2	5.625	6.6456
利用率 ρ_k (%)	82.32	70.85	56.10	84.39	73.16
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
服務率 μ_k (lots/min)	0.037979	0.038462	0.026553	0.037509	0.031586
可用機台數 c_k	4.6875	2	4.6875	2.7778	1.8987
利用率 ρ_k (%)	72.72	56.10	69.34	82.84	71.96
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
服務率 μ_k (lots/min)	0.025214	0.025426	0.040552	0.05	0.026089
可用機台數 c_k	3	2.8481	2	2	2.8481
利用率 ρ_k (%)	57.05	59.59	53.21	43.15	58.08
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
服務率 μ_k (lots/min)	0.028686	0.05	0.083333	0.055556	
可用機台數 c_k	8.3333	5.625	2	2	
利用率 ρ_k (%)	90.26	76.72	47.47	71.21	

步驟十二：運用(式 3 - 30)估算各工作站之平均等候時間 QT_k 。下式以 W17

工作站為例進行演算，而各工作站之計算結果如表 4 - 21 所示。

$$QT_k = \frac{\rho_k^{\sqrt{c_k-1}}}{c_k^2} \times \frac{\lambda_k \times E(P_k^2)}{2 \times (1 - \rho_k)} = \frac{0.7672^{\sqrt{5.625-1}}}{5.625^2} \times \frac{0.21577 \times 400}{2 \times (1 - 0.7672)} = 3.3134 \text{ (min)}$$

步驟十三：吾人依據(式 3 - 31)計算各工作站之週期時間 CT_k 。下式以 W17

工作站為例進行演算，而各工作站之計算結果如表 4 - 21 所示。

$$CT_k = E(P_k) + QT_k = 20 + 3.3134 = 23.3134 \text{ (min)}$$

表 4-21 各工作站之等候時間以及週期時間 (單位：分鐘)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
平均等候時間 QT_k	29.1361	5.7552	4.6602	7.34021	10.9942
平均加工時間 $E(P_k)$	108.66	31.33	26	22	112.66
平均週期時間 CT_k	137.7961	37.0852	30.6602	29.34021	123.6542
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
平均等候時間 QT_k	4.1462	4.6602	4.8590	18.0181	15.6596
平均加工時間 $E(P_k)$	26.33	26	37.66	26.66	31.66
平均週期時間 CT_k	30.4762	30.6602	42.5190	44.6781	47.3196
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
平均等候時間 QT_k	3.9701	5.0382	3.7305	1.6381	4.4536
平均加工時間 $E(P_k)$	39.66	39.33	24.66	20	38.33
平均週期時間 CT_k	43.6301	44.3682	28.3905	21.6381	42.7836
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
平均等候時間 QT_k	14.9852	3.3134	1.2873	7.9269	
平均加工時間 $E(P_k)$	34.86	20	12	18	
平均週期時間 CT_k	49.8452	23.3134	13.2873	25.9269	

4.2.3.3 生產週期時間之估算

綜合上述搬運時間以及工作站週期時間之估算結果，輔以 3.4.3 節之生產週期時間估算模式，經累加可求得每一屬性別工件之生產週期時間估算，再將估算之生產週期時間乘上對應屬性別所佔之比例，即可求得特定產品之平均生產週期時間。本文將以一般工件、產品 A 為例來進行演算，試算結果如下：

執行步驟

步驟一：進行屬性別 r 投料，初始製程步驟 $j=1$ 。本文以一般工件為例進行投料。

步驟二：判定屬性別 r 目前之製程步驟 j 。一般工件目前之製程步驟 $j=1$ 。

步驟三：確認屬性別 r 進行目前製程步驟 j 所使用之工作站 k ，以及其工作

站之週期時間 CT_k 。一般工件於製程步驟 $j=1$ 所使用之工作站為 W17，其工作站之週期時間為 23.3134 分鐘。

步驟四：判斷屬性別 r 於目前製程步驟 j 至下一製程步驟 $j+1$ 時，是否需要 Interbay 搬運系統進行運送，若是，則至步驟五；若否，則至步驟六。由附表 A-1 可知，一般工件由製程步驟 $j=1$ 至下一製程步驟 $j=2$ 時，不需要搬運系統進行運送，故跳過步驟五，至步驟六。

步驟五：確認屬性別 r 於目前製程步驟 j 所需之搬運時間 AT_j^r ，至步驟七。

步驟六：目前製程步驟 j 至下一製程步驟 $j+1$ 時無需搬運時間 ($AT_j^r = 0$)，至步驟七。一般工件由製程步驟 $j=1$ 至下一製程步驟 $j=2$ 時，無需搬運時間，即 $AT_1^{nr} = 0$ 。

步驟七：計算目前製程步驟 j 之週期時間 CT_j^r 。由下式可求得一般工件於製程步驟 $j=1$ 之週期時間。

$$CT_1^{nr} = CT_k + AT_1^{nr} = 23.3134 + 0 = 23.3134 \quad (\text{min})$$

步驟八：判斷屬性別 r 之製程是否結束。由於一般工件之製程尚未結束，因此進行下一製程步驟 $j=2$ ，並至步驟二。經由步驟二~步驟八之反覆演算後，可求得一般工件所有製程步驟之週期時間，其結果如表 4-22 所示。

步驟九：計算屬性別 r 之生產週期時間 CT^r 。吾人加總一般工件所有製程步驟之週期時間(如表 4-22 所示)，即可求得一般工件之生產週期時間(如下式所示)。

$$CT^{nr} = \sum_j CT_j^{nr} = 23.3134 + 36.9828 + \dots + 43.6368 = 1520.39 \quad (\text{min})$$

步驟十：完成各屬性別工件之生產週期時間估算。一般工件以及量測工件之生產週期時間估算值詳列於表 4-23 中。

步驟十一：計算產品 i 之平均生產週期時間 CT_i 。由下式可求得產品 A 之生

產週期時間，而各產品之生產週期時間如表 4 - 24 所示。

$$CT_A = \sum_r (CT^r \times \pi_A^r) = 1520.39 \times \frac{5}{6} + 1716.46 \times \frac{1}{6} = 1553.07 \quad (\text{min})$$

表 4 - 22 一般工件之製程步驟週期時間 (單位：分鐘)

編號	工作站	工作站 週期時間	搬運時間	製程步驟 週期時間	編號	工作站	工作站 週期時間	搬運時間	製程步驟 週期時間
1	W17	23.3134	0.0	23.3134	18	W17	23.3134	0.0	23.3134
2	W06	30.4796	6.5032	36.9828	19	W08	42.5257	6.5032	49.0289
3	W16	49.8518	7.2532	57.1050	20	W16	49.8518	7.2532	57.1050
4	W09	44.6847	0.0	44.6847	21	W15	42.7869	0.0	42.7869
5	W04	29.3402	6.5032	35.8434	22	W04	29.3402	9.5032	38.8434
6	W02	37.0885	6.5891	43.6776	23	W17	23.3134	0.0	23.3134
7	W17	23.3134	0.0	23.3134	24	W06	30.4796	6.5032	36.9828
8	W08	42.5257	6.5032	49.0289	25	W16	49.8518	7.2532	57.1050
9	W16	49.8518	7.2532	57.1050	26	W03	30.6602	0.0	30.6602
10	W10	47.3262	0.0	47.3262	27	W04	29.3402	6.5032	35.8434
11	W04	29.3402	9.5032	38.8434	28	W14	21.6381	0.0	21.6381
12	W17	23.3134	0.0	23.3134	29	W12	44.3715	0.0	44.3715
13	W06	30.4796	6.5032	36.9828	30	W01	137.8028	0.0	137.8028
14	W16	49.8518	7.2532	57.1050	31	W02	37.0885	0.0	37.0885
15	W09	44.6847	0.0	44.6847	32	W05	123.6608	0.0	123.6608
16	W13	28.3971	0.0	28.3971	33	W07	30.6602	0.0	30.6602
17	W04	29.3402	9.5032	38.8434	34	W11	43.6368	0.0	43.6368

*搬運時間為零表示該步驟無須經由 Interbay 搬運

表 4 - 23 各屬性別工件之生產週期時間

	一般工件	量測工件
平均生產週期時間(分鐘)	1520.39	1716.46
平均生產週期時間(小時)	25.34	28.61

表 4 - 24 各產品之平均生產週期時間

	產品 A	產品 B	產品 C
產品生產週期時間(分鐘)	1553.07	1651.11	1553.07
產品生產週期時間(小時)	25.88	27.52	25.88

4.2.4 機台數量新增機制之執行過程

在求得初始機台組合環境下之生產週期時間後，吾人將透過機台數量新增機制，首先確認生產週期時間是否滿足系統限制，若尚未滿足限制，則進行工作站機台數量之新增微調，以達成系統設定之限制條件，並求得最終機台配置。試算結果如下：

執行步驟

步驟一：計算各屬性別工件 r 於各層級 l 之層級週期時間 CT_l^r 。下式以一般

工件之第一層級為例進行演算，而各屬性別工件於各層級之週期時間如表 4 - 25 以及表 4 - 26 所示。

$$CT_{l=1}^{nr} = \sum_{j \in S(nr, l=1)} CT_j^{nr} = 23.3134 + \dots + 43.6776 = 241.61 \quad (\text{min})$$

步驟二：計算屬性別工件 r 於各層級之 X-factor 值 XF_l^r 。在此將以一般工

件之第一層級為例進行演算。首先，依據(式 3 - 41)計算一般工件第一層級之純製程時間，如下式所示。

$$PT_{l=1}^{nr} = \sum_{j \in S(nr, l=1)} (PT_j^{nr} + MT_j^{nr}) = (20 + 0) + \dots + (36.67 + 3) = 176.20 \quad (\text{min})$$

接下來，依據(式 3 - 42)計算一般工件於第一層級之 X-factor 值，

如下式所示。而各屬性別工件於各層級之 X-factor 值如表 4 - 25 以及表 4 - 26 所示。

$$XF_{l=1}^{nr} = \frac{CT_{l=1}^{nr}}{PT_{l=1}^{nr}} = \frac{241.61}{176.20} = 1.37$$

表 4 - 25 一般工件於各層級之生產週期時間與 X-factor 值 (單位：分鐘)

	第一層級	第二層級	第三層級	第四層級	第五層級
層級週期時間	241.61	215.62	229.33	211.08	622.76
層級純製程時間	176.20	161.20	169.53	167.87	518.87
層級 X-factor 值	1.37	1.34	1.35	1.26	1.20

表 4 - 26 量測工件於各層級之生產週期時間與 X-factor 值 (單位：分鐘)

	第一層級	第二層級	第三層級	第四層級	第五層級
層級週期時間	280.82	254.83	268.54	250.29	661.98
層級純製程時間	206.20	191.20	199.50	197.87	548.87
層級 X-factor 值	1.36	1.33	1.35	1.26	1.21

步驟三：由表 4 - 25 以及表 4 - 26 可知，一般工件於各層級之 X-factor 值未小於 X-factor 上限值 $XF^{UB}(1.3)$ 者為第一、第二以及第三層級；量測工件於各層級之 X-factor 值未小於 X-factor 上限值 $XF^{UB}(1.3)$ 者亦為第一、第二以及第三層級。因此，目前之機台組合尚未為最終之機台數量配置，至步驟四。

步驟四：選取各屬性別工件其 XF_l^r 值大於上限值 XF^{UB} 之層級(一般工件之第一、第二及第三層級，與量測工件之第一、第二及第三層級)，並將選取層級中所有的工作站，彙整為一候選工作站集合 $S(D)$ ，如表表 4 - 27 所示。

表 4 - 27 候選工作站集合

	候 選 工 作 站									
工作站編號	W02	W04	W06	W08	W09	W10	W13	W17	W18	W19
目前機台數量	4	6	5	5	3	2	2	6	2	2

步驟五：對於表表 4 - 27 中之所有候選工作站，分別透過下列準則進行排序。目前 $S(D)$ 中有 10 個候選工作站，其排序方法如下：

- 將候選工作站依平均等候加工時間 QT_k 之值由大至小排序，並分別給予各候選工作站 1~10 之排序順位值 $A_{k,1}$ ，如表 4 - 28 所示。

表 4 - 28 各候選工作站之排序順位值 $A_{k,1}$

	候 選 工 作 站									
工作站編號	W02	W04	W06	W08	W09	W10	W13	W17	W18	W19
等候加工時間 QT_k (分)	5.76	7.34	4.15	4.86	18.02	15.66	3.73	3.31	1.29	7.93
排序順位值 $A_{k,1}$	5	4	7	6	1	2	8	9	10	3

- 將候選工作站依改善量 ΔCTI_k 之值由大至小排序，並分別給予各候選工作站 1~N 之排序順位值 $A_{k,2}$ ，如表 4 - 29 所示。下式以 W17 工作站為例進行演算，而各候選工作站之改善量列於表 4 - 29 中。

$$\Delta CTI_k = \sum_r (h_k^r \times \pi^r) \times \Delta CT_k = (3 \times 0.6333 + 3 \times 0.3667) \times 2.224 = 6.67 \text{ (min)}$$

表 4 - 29 各候選工作站之排序順位值 $A_{k,2}$

	候 選 工 作 站									
工作站編號	W02	W04	W06	W08	W09	W10	W13	W17	W18	W19
改善量 ΔCTI_k (分)	4.29	15.89	5.79	3.34	30.64	13.77	3.21	6.67	1.22	7.68
排序順位值 $A_{k,2}$	7	2	6	8	1	3	9	5	10	4

► 將候選工作站依機台購置成本 $Cost_k$ 之值由小至大排序，並分別給予各候選工作站 1~N 之排序順位值 $A_{k,3}$ ，如表 4 - 30 所示。

表 4 - 30 各候選工作站之排序順位值 $A_{k,3}$

	候 選 工 作 站									
工作站編號	W02	W04	W06	W08	W09	W10	W13	W17	W18	W19
機台成本 $Cost_k$ (百萬)	50	100	120	220	250	200	300	60	100	100
排序順位值 $A_{k,3}$	1	3	4	6	7	5	8	2	3	3

步驟六：加總各候選工作站之 $A_{k,1}$ 、 $A_{k,2}$ 以及 $A_{k,3}$ 排序值，即可得各候選工作站之機台新增優先順序 A_k ，如表 4 - 31 所示。

表 4 - 31 各候選工作站之機台新增優先順序 A_k

	候 選 工 作 站									
工作站編號	W02	W04	W06	W08	W09	W10	W13	W17	W18	W19
機台新增優先順序 A_k	13	9	17	20	9	10	25	16	23	10

步驟七：由表 4 - 31 可知，具有最小新增優先順序值之工作站分別為 W04

以及 W09，因此吾人將對於 W04 與 W09 工作站作進一步之比較，至步驟八。

步驟八：在工作站集合 $S(N)$ 中，吾人將比較每一個工作站之 R_k 值，並選取 R_k 值最大之工作站優先新增一部機台。由下式可求得 W04 工作站之 R_k 值，而 $S(N)$ 中各工作站之 R_k 值詳列於表 4 - 32 中。如表 4 - 32 所示，W04 工作站之 R_k 值最大，因此吾人將新增一部機台至 W04 工作站。

$$R_k = \frac{\Delta CTI_k}{Cost_k} = \frac{15.89}{100} = 0.1589$$

表 4 - 32 工作站集合 $S(N)$ 之 R_k 比較表

工作站編號	W04	W09
改善量	15.89	30.64
購置成本	100	250
比值 R_k	0.1589	0.1226

步驟九：在求得第一順位新增機台之工作站後，吾人將更新系統之機台組合、週期時間等資訊，並重複步驟二至步驟九之運算流程，以搜尋第二、第三.....等順位之工作站，直到各屬性別工件於各層級之 X-factor 值小於上限值，即停止搜尋。此時各屬性別於各層級之 X-factor 值如表 4 - 33 所示，新增機台數量之工作站順序詳列於表 4 - 34 中，而最終之機台數量配置如表 4 - 35 所示。

表 4 - 33 各屬性別工件於各層級之週期時間估算結果與 X-factor 值

		一般工件	量測工件
第一層級	層級週期時間(分鐘)	220.99	260.20
	層級純製程時間(分鐘)	176.20	206.20
	層級之 X-factor 值	1.25	1.26
第二層級	層級週期時間(分鐘)	196.55	235.76
	層級純製程時間(分鐘)	161.20	191.20
	層級之 X-factor 值	1.22	1.23
第三層級	層級週期時間(分鐘)	208.71	247.92
	層級純製程時間(分鐘)	169.53	199.53
	層級之 X-factor 值	1.23	1.24
第四層級	層級週期時間(分鐘)	205.78	244.99
	層級純製程時間(分鐘)	167.87	197.87
	層級之 X-factor 值	1.23	1.24
第五層級	層級週期時間(分鐘)	617.47	656.68
	層級純製程時間(分鐘)	518.87	548.87
	層級之 X-factor 值	1.19	1.20

表 4 - 34 新增機台之工作站順序

新增機台順序	1	2	3
工作站編號	W04	W09	W10
新增機台數量(台)	1	1	1
購置成本(百萬元)	100	250	200

表 4 - 35 最終之機台數量配置與各工作站利用率

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
機台數量(台)	6	4	2	7	7
工作站利用率	82.32%	70.85%	56.10%	72.34%	73.16%
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
機台數量(台)	5	2	5	4	3
工作站利用率	72.72%	56.10%	69.34%	62.13%	47.97%
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
機台數量(台)	3	3	2	2	3
工作站利用率	57.05%	59.59%	53.21%	43.15%	58.08%
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
機台數量(台)	9	6	2	2	
工作站利用率	90.26%	76.72%	47.47%	71.21%	

表 4 - 36 與表 4 - 37 分別為於最終機台數量配置之環境下，各屬性別及各產品之生產週期時間。

表 4 - 36 各屬性別工件之生產週期時間

	一般工件	量測工件
平均生產週期時間(分鐘)	1449.49	1645.56
平均生產週期時間(小時)	24.16	27.43

表 4 - 37 各產品之平均生產週期時間

	產品 A	產品 B	產品 C
產品生產週期時間(分鐘)	1482.17	1580.20	1482.17
產品生產週期時間(小時)	24.70	26.34	24.70

4.3 模擬驗證

吾人於本節中將蒐集模擬所得的生產績效資訊，對於本文之機台配置規劃結果進行驗證比較。模擬驗證之內容將於以下各小節中詳述，而模擬環境將於 4.3.1 節中說明。

4.3.1 模擬環境說明

本文之模擬環境設定皆與 4.1 節所述相同，並且依據 4.2 節之規劃結果來進行模擬，最後蒐集模擬所得之生產資訊，以進行績效評估。

本研究採用 Tecnomatix 公司所發展之 eM-Plant 軟體為工具，以一範例資料構建一擬真之生產環境。每次模擬之總模擬天數為 168 天，前 84 天為 warm up 階段，僅蒐集後 84 天之結果。吾人針對每一模擬環境進行 30 次模擬，並取平均值作為可信賴之數據。

4.3.2 搬運車數估算結果之驗證分析

為了驗證本文 4.2.1 節所估算之搬運車數是否合適，吾人分別設定 3 輛、4 輛、5 輛和 6 輛搬運車於搬運系統中進行模擬驗證，每種車數狀況模擬 30 次，每次模擬總時間為 168 天，前 84 天為 warm up 時間，僅蒐集後 84 天之模擬資訊。吾人將分別觀察瓶頸工作站之利用率平均值、各屬性工件之平均生產週期時間以及平均總產出量，其結果如表 4-38 所示。

表 4-38 不同車數下之生產績效模擬結果

	3 輛	4 輛	5 輛	6 輛
瓶頸利用率	78.6%	88.9%	90.6%	91.0%
一般工件週期時間(小時)	25.2	24.1	23.7	23.5
量測工件週期時間(小時)	27.9	26.8	26.4	26.3
總產出量(lots/月)	1516	1718	1745	1752

由表 4 - 38 可知，搬運車數在 3 輛和 4 輛時，將導致生產系統之瓶頸工作站利用率降低、生產週期時間拉長以及總產出量下降等情形發生，可見此時車數不足已經造成了生產活動之阻礙。而搬運車數在 5 輛和 6 輛時，其總產出量皆可達成目標產出量(1740 lots)，且瓶頸利用率、生產週期時間以及總產出量差距甚小，表示配置 5 輛和配置 6 輛搬運車之差異不大，因此本文配置 5 輛搬運車之規劃結果是適當的。

4.3.3 生產績效之評估分析

4.3.3.1 工作站利用率分析

在各工作站利用率方面，本文數學規劃所得之結果(見表 4 - 35)與模擬結果相當接近，平均相差 0.14%。表 4 - 39 中列出數學規劃與模擬兩種方式之各工作站利用率及其相異程度，由表可知所有工作站之誤差皆在 1% 以內。因此，本文在工作站利用率方面之分析相當準確。

表 4 - 39 各工作站利用率之比較

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
(1)數學規劃	82.32%	70.85%	56.10%	72.34%	73.16%
(2)模擬結果	82.48%	70.97%	56.19%	72.50%	73.36%
(3)差值[=(1)-(2)]	-0.16%	-0.12%	-0.09%	-0.16%	-0.20%
(4)誤差[=(3)/(2)]	-0.19%	-0.17%	-0.15%	-0.22%	-0.27%
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
(1)數學規劃	72.72%	56.10%	69.34%	62.13%	47.97%
(2)模擬結果	73.01%	56.24%	69.45%	62.26%	48.06%
(3)差值[=(1)-(2)]	-0.29%	-0.13%	-0.10%	-0.13%	-0.09%
(4)誤差[=(3)/(2)]	-0.39%	-0.24%	-0.15%	-0.21%	-0.19%
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
(1)數學規劃	57.05%	59.59%	53.21%	43.15%	58.08%
(2)模擬結果	57.19%	59.74%	53.32%	43.21%	58.17%
(3)差值[=(1)-(2)]	-0.14%	-0.14%	-0.11%	-0.06%	-0.10%
(4)誤差[=(3)/(2)]	-0.24%	-0.24%	-0.21%	-0.13%	-0.17%

工作站編號	W16	W17	W18	W19
(1)數學規劃	90.26%	76.72%	47.47%	71.21%
(2)模擬結果	90.56%	76.81%	47.58%	71.36%
(3)差值[=(1)-(2)]	-0.30%	-0.09%	-0.10%	-0.15%
(4)誤差[=(3)/(2)]	-0.33%	-0.12%	-0.21%	-0.21%

4.3.3.2 生產週期時間分析

生產週期時間預估之準確性與否對於產品交期有著高度的影響性。因此，吾人藉由蒐集模擬系統之資訊，作為本文生產週期時間估算模式準確與否之驗證。

各區搬運時間以及各工作站週期時間之模擬結果分別如表 4 - 40 和表 4 - 41 所示。而各屬性別工件生產週期時間估算值(表 4 - 36)與模擬結果之比較詳見表 4 - 42。由表 4 - 42 可知，本案例最大之誤差為 3.70%，平均誤差在 3%以內，整體而言，生產週期時間之估算值與模擬結果相當接近。吾人另外驗證數個不同產品組合下之估算情況，其結果詳見附表 C。由附表 C 可知，本文生產週期時間估算模組之成果良好，可作為生產週期時間快速之求算方法。

表 4 - 40 各工作區間所需搬運時間之模擬結果 (單位：分鐘)

	薄膜區	黃光區	蝕刻區	測試區
薄膜區	-	6.90	-	-
黃光區	-	-	7.60	-
蝕刻區	9.79	-	-	6.79
測試區	6.89	-	-	-

表 4 - 41 各工作站週期時間之模擬結果 (單位：分鐘)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
平均週期時間	127.52	36.98	29.40	24.73	121.00
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
平均週期時間	31.25	28.48	43.58	31.20	34.88
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
平均週期時間	40.40	44.35	27.13	20.53	44.28
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
平均週期時間	44.35	23.68	12.74	21.71	

表 4 - 42 各屬性別工件之生產週期時間比較

	一般工件	量測工件
(1)週期時間 估算值 (分鐘)	1449.49	1645.56
(2)週期時間 模擬值 (分鐘)	1421.37	1586.92
(3)差值[=(1)-(2)]	28.12	58.64
(4)誤差[=(3)/(2)]	1.98%	3.70%

4.3.4 生產週期時間估算模組之成效分析

為了驗證本文所提出的生產週期時間估算模組之成效，吾人將以另外兩種生產週期時間估算法則之估算結果，與本文模式所得之估算結果進行比較。本文將分別採用 Conway 估計式[7]以及 M/M/C 等候模型[5][9][36]等數學方法進行生產週期時間之估算，而此二種方法之公式介紹分別詳列如下：

1. Conway 估計式：首先運用式 4 - 1 估算工作站 k 之期望有效服務時間 $E(P_k)$ ，接著再代入 Conway 估計式中求算工件在工作站 k 上之期望流動時間 $E(T_k)$ ，如式 4 - 2 所示。

$$E(P_k) = PT_k \times (1 + DT_k + PM_k) \quad \forall k \quad \text{式 4 - 1}$$

$$E(T_k) = E(P_k) + \frac{\lambda_k E(P_k^2)}{2(1-\rho_k)} \quad \forall k \quad \text{式 4-2}$$

其中， PT_k 為工作站 k 之平均加工時間， DT_k 為工作站 k 之平均當機時間比例， PM_k 為工作站 k 之平均預防保養時間比例， $E(P_k^2)$ 為工作站 k 之有效服務時間平方期望值， λ_k 為工作站 k 之工件到達率， ρ_k 為工作站 k 之機台利用率。

2. M/M/C 等候模型：在此等候模型中，工件流經工作站 k 所需耗費之流動時間 T_k ，可由式 4-3~式 4-6 求得：

$$\rho_k = \frac{\lambda_k}{c_k \times \mu_k} \quad \text{式 4-3}$$

$$P_k^0 = \left\{ \left[\sum_{n=0}^{c_k-1} \frac{(\lambda_k / \mu_k)^n}{n!} \right] + \left[\left(\frac{\lambda_k}{\mu_k} \right)^{c_k} \left(\frac{1}{c_k!} \left(\frac{c_k \times \mu_k}{c_k \times \mu_k - \lambda_k} \right) \right) \right] \right\}^{-1} \quad \text{式 4-4}$$

$$L_k = c_k \times \rho_k + \frac{(c_k \times \rho_k)^{c_k+1} P_k^0}{c_k \times (c_k!) (1-\rho_k)^2} \quad \text{式 4-5}$$

$$T_k = \frac{L_k}{\lambda_k} \quad \text{式 4-6}$$

其中， ρ_k 為工作站 k 之機台利用率， λ_k 為工作站 k 之工件到達率， μ_k 為工作站 k 之服務率， c_k 為工作站 k 之可用機台數， L_k 為工作站 k 之在製品水準， P_k^0 為工作站 k 在製品水準為 0 之機率。

吾人分別利用上述兩種方法估算工件於各工作站之流動時間，並依據不同屬性別工件之製程步驟，加總工件由投入至產出所需經歷之工作站流

動時間以及搬運時間，即可求得在此二種方法下各屬性別工件之生產週期時間估算值。其中之搬運時間皆採用本文模式之搬運時間估算結果來進行加總。吾人將彙整本文與另外兩種方法所產生之各屬性別工件週期時間估算結果，並與模擬結果進行比較，如表 4 - 43 及表 4 - 44 所示。由此二表可得知本文之估算方法所造成的誤差遠小於另外兩種估算方法，相較之下本文之生產週期時間估算較為準確許多。吾人亦驗證了數個不同產品組合下之估算情形，其結果詳見附表 D。由附表 D 可知，本文方法在數個不同產品組合下之估算誤差值皆小於其他兩種方法。因此，吾人所發展之估算模式不失為一套良好的生產週期時間估算方法。

表 4 - 43 各種方法下一般工件之生產週期時間比較表

	本文方法	Conway 估計式	M/M/C 等候模型
(1)週期時間估算值(分鐘)	1449.49	2209.97	1729.42
(2)週期時間模擬值(分鐘)	1421.37	1421.37	1421.37
(3)差值[=(1)-(2)]	28.12	788.60	308.05
(4)誤差[=(3)/(2)]	1.98%	55.48%	21.67%

表 4 - 44 各種方法下量測工件之生產週期時間比較表

	本文方法	Conway 估計式	M/M/C 等候模型
(1)週期時間估算值(分鐘)	1645.56	2350.90	1989.47
(2)週期時間模擬值(分鐘)	1586.92	1586.92	1586.92
(3)差值[=(1)-(2)]	58.64	763.98	402.55
(4)誤差[=(3)/(2)]	3.70%	48.14%	25.37%

4.3.5 機台數量新增機制之成效分析

吾人將於本小節驗證本文機台數量新增機制之成效。首先，表 4 - 45 與表 4 - 46 為在 4.2.2 節中所得之初始機台配置(見表 4 - 7)、以及 4.2.4 節中經由本文機制產生之最終機台配置(見表 4 - 35)下，生產週期時間平均值

與標準差之比較表。由此二表中可知，最終機台配置下各屬性別工件生產週期時間之平均值與標準差，皆較初始機台配置所得之值為低。

表 4 - 45 初始以及最終機台配置下之生產週期時間模擬結果(一般工件)

	生產週期時間平均值(分鐘)	生產週期時間標準差(分鐘)
(1)初始機台配置	1480.72	4.45
(2)最終機台配置	1421.37	3.33
(3)差值[=(1)-(2)]	59.35	1.11

表 4 - 46 初始以及最終機台配置下之生產週期時間模擬結果(量測工件)

	生產週期時間平均值(分鐘)	生產週期時間標準差(分鐘)
(1)初始機台配置	1648.11	5.25
(2)最終機台配置	1586.91	2.54
(3)差值[=(1)-(2)]	61.20	2.71

接下來，吾人將以本研究所得之機台數量配置結果，與運用另外兩種啟發式方法所得之機台組合進行比較。吾人首先介紹將與本文機制作比較之兩種啟發式方法：

1. 閒置成本法[27][31]：一般管理階層希望成本較高之機台，要有較高之利用率，以盡量減少高成本機台之數量；反之，成本較低之機台則允許有較多的數量，以維持生產系統之流暢。而閒置成本法利用機台閒置成本作為機台優先新增之依據，機台之閒置成本越低，優先考慮新增機台數量，機台閒置成本 IC_k 之公式如下所示：

$$IC_k = (1 - \rho_k) \times Cost_k \quad \forall k \quad \text{式 4 - 7}$$

其中， ρ_k 為工作站 k 之機台利用率， $Cost_k$ 為工作站 k 機台購置成本。

2. 邊際貢獻法[6][8][27][31]：此啟發式方法考量了週期時間以及機台成本，尋找成本低且能快速降低生產週期時間之機台，亦即單位成本之週期時間改善率越大之機台，優先考慮新增。此方法以週期時間改善幅度與機台成本之比值為評估指標，比值最大之工作站優先新增一部機台。比值 $Ratio_k$ 之計算公式如式 4-8 所示，其中 ΔWCT_k 為增加一部機台所減少之總生產週期時間⁹，公式如式 4-9 所示。

$$Ratio_k = \frac{\Delta WCT_k}{Cost_k} \quad \forall k \quad \text{式 4-8}$$

$$\Delta WCT_k = \sum_r (L_k^r \times \pi^r) \times \Delta CT_k \quad \forall k \quad \text{式 4-9}$$

其中， $Cost_k$ 為工作站 k 之機台購置成本， L_k^r 為屬性別 r 之製程步驟中經過工作站 k 次數， π^r 為屬性別工件 r 佔總產量之比例， ΔCT_k 為工作站 k 新增一部機台時之工作站週期時間減少量。

吾人將以 4.2.2 節所求得之機台初始組合為出發點，經由計算各屬性別工件之層級週期時間與 X-factor 值，以選取 X-factor 值超出上限之層級中所有的工作站，並彙整為候選工作站集合 $S(D)$ 後，分別運用上述兩種常見之啟發式方法，搜尋優先考量新增機台之工作站，予以增加一部機台。並反覆執行上述步驟，直到各屬性別工件於各層級之 X-factor 值皆小於設定之上限值(1.3)為止。吾人利用上述兩種方法所求得之新增機台順序分別如表 4-47 及表 4-48 所示，而最終機台數量配置將分別列於表 4-49 以及表 4-50 中。

⁹ 此處 ΔWCT_k 代表於工作站 k 增添一部機台時所造成之週期時間總減少量，而本文第三章中之 ΔCT_k 則表示於工作站 k 新增一部機台時，針對 X-factor 值超出上限之層級所造成的週期時間減少量，二者定義不同。

表 4 - 47 新增機台之工作站順序(閒置成本法)

新增機台順序	1	2	3	4	5	6
工作站編號	W17	W02	W04	W17	W02	W17
新增機台數量	1	1	1	1	1	1
新增機台順序	7	8	9	10	11	12
工作站編號	W02	W04	W19	W17	W17	W06
新增機台數量	1	1	1	1	1	1

表 4 - 48 新增機台之工作站順序(邊際貢獻法)

新增機台順序	1	2	3	4	5	6
工作站編號	W04	W17	W02	W19	W09	W10
新增機台數量	1	1	1	1	1	1

表 4 - 49 各工作站之最終機台配置(閒置成本法)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
機台數量(台)	6	7	2	8	7
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
機台數量(台)	6	2	5	3	2
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15
機台數量(台)	3	3	2	2	3
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
機台數量(台)	9	11	2	3	

表 4 - 50 各工作站之最終機台配置(邊際貢獻法)

工作站編號	W01	W02	W03	W04	W05
機台數量(台)	6	5	2	7	7
工作站編號	W06	W07	W08	W09	W10
機台數量(台)	5	2	5	4	3
工作站編號	W11	W12	W13	W14	W15

機台數量(台)	3	3	2	2	3
工作站編號	W16	W17	W18	W19	
機台數量(台)	9	7	2	3	

接下來，吾人分別以此二種方法所得之最終機台配置進行模擬驗證，每組機台配置狀況模擬 30 次，每次模擬總時間為 168 天，前 84 天為 warm up 時間，僅蒐集後 84 天之模擬資訊。吾人分別蒐集每組機台配置下各層級生產週期時間的模擬結果，並與本文機制所得之結果進行比較，如表 4-52 所示。此外，吾人亦將各種方法下各屬性別工件之生產週期時間平均值與標準差，以及機台購置總成本等資訊，整理於表 4-53 中。

由於新增機台之搜尋方法將會決定最終機台數量配置之品質，一個不好的機台新增組合，會使得機台購置成本增加，而生產績效卻無法大幅提升；反之，一個好的機台新增組合，會使得決策者在新增機台時，增加對系統績效改善幅度大、購置成本低之機台。

然而，生產績效之提升是需要成本的，任何的搜尋方法所得之機台新增組合，皆為機台成本與生產績效之間的取捨(Trade-off)。舉例而言，若決策者決定新增之機台完全取決於機台購置成本，則必定先增加成本最低之機台，然而卻可能由於無法新增對系統績效影響較大之機台，使得生產績效遲遲無法達到系統限制。相反的，若決策者先新增了對系統績效改善幅度大的機台，固然會使得生產績效迅速滿足系統設定之要求，但卻可能犧牲了機台成本，使得機台購置成本居高不下。

因此，本文欲在成本與績效的取捨之間決定機台數量配置，使得機台總購置成本盡可能降低，同時又能夠滿足 X-factor 值之限制。由表 4-52 中三種方法下各屬性別於各層級之週期時間模擬結果以及 X-factor 值，可知分別運用此三種方法所求得之最終機台規劃，於模擬系統中確實可滿足本文對於各層級 X-factor 值之限制(1.3)。然而，在三種機台配置組合皆達成限制條件之情況下，透過本文機制所產生之最終機台配置，其機台購置總成本最低，如表 4-53 所示。

由閒置成本法之搜尋結果(彙整於表 4-51)可發現，其共增加了 12 部

機台才能滿足本文 X-factor 值之限制，且其中成本較小之工作站(W02、W17)就佔了 8 部，可見此方法傾向搜尋成本較小之機台，而不注重生產績效之改善幅度大小，導致系統之 X-factor 值遲遲無法達到要求。

邊際貢獻法之搜尋結果(彙整於表 4 - 51)共增加了 6 部機台，其中有 3 部機台(W04、W09、W10)亦為本文機制之搜尋結果。然而，透過本文之機制只需新增 3 部機台即可滿足系統限制，且機台購置總成本較其他兩種方法低，由此可知於本案例中，本文機制之搜尋成效較佳。

然而，雖然此三種方法所得之機台新增組合皆為滿足 X-factor 值限制下之結果，但由於透過本文機制所新增之機台數量，小於另外兩種方法之機台新增數量(如表 4 - 51 所示)，因此，本文最終機台配置下之生產週期時間平均值與標準差，與另外兩種方法所得之值相比並非最低，如表 4 - 53 所示。

表 4 - 51 不同方法下新增機種之名稱及數量

	新增之機種名稱與數量(括號內為新增之機台數量)
本文方法	W04(1)、W09(1)、W10(1)
閒置成本法	W02(3)、W04(2)、W06(1)、W17(5)、W19(1)
邊際貢獻法	W02(1)、W04(1)、W09(1)、W10(1)、W17(1)、W19(1)

表 4 - 52 不同方法下各屬性別各層級之週期時間模擬結果與 X-factor 值

		本文機制		閒置成本法		邊際貢獻法	
		一般工件	量測工件	一般工件	量測工件	一般工件	量測工件
第一層級	層級週期時間(分鐘)	212.79	246.07	215.26	244.85	207.97	238.51
	層級純製程時間(分鐘)	176.20	206.20	176.20	206.20	176.20	206.20
	層級之 X-factor 值	1.21	1.19	1.22	1.19	1.18	1.16
第二層級	層級週期時間(分鐘)	208.12	243.04	210.37	246.83	208.66	239.49
	層級純製程時間(分鐘)	161.20	191.20	161.20	191.20	161.20	191.20
	層級之 X-factor 值	1.29	1.27	1.30	1.29	1.29	1.25
第三層級	層級週期時間(分鐘)	214.29	247.31	220.62	250.63	213.89	243.86
	層級純製程時間(分鐘)	169.53	199.53	169.53	199.53	169.53	199.53
	層級之 X-factor 值	1.26	1.24	1.30	1.26	1.26	1.22
第四層級	層級週期時間(分鐘)	196.84	229.05	195.81	223.51	195.15	225.45
	層級純製程時間(分鐘)	167.87	197.87	167.87	197.87	167.87	197.87
	層級之 X-factor 值	1.17	1.16	1.17	1.13	1.16	1.14
第五層級	層級週期時間(分鐘)	589.33	621.43	582.35	609.27	585.95	615.52
	層級純製程時間(分鐘)	518.87	548.87	518.87	548.87	518.87	548.87
	層級之 X-factor 值	1.14	1.13	1.12	1.11	1.13	1.12

表 4 - 53 各方法下生產週期時間模擬資訊與機台總成本之比較

	本文機制	閒置成本法	邊際貢獻法
一般工件週期時間平均值(分鐘)	1421.37	1424.39	1411.62
一般工件週期時間標準差(分鐘)	3.33	3.18	3.33
量測工件週期時間平均值(分鐘)	1586.91	1575.10	1562.84
量測工件週期時間標準差(分鐘)	2.54	3.02	4.08
機台購置總成本(百萬元)	15040	15360	15250

4.3.6 不同機台配置下之生產週期時間分析

由 4.2.4 節所得之機台新增結果(表 4 - 34)可知，以初始機台數量配置為出發點，透過本文模式之搜尋，直到最終機台配置時一共新增加了 3 個工作站之機台，其順序分別為 W04、W09 以及 W10 工作站。因此，本小節將由初始機台配置開始，依照新增順序逐一增加機台，並對於每增加一部機台後之機台配置環境，進行生產週期時間估算值與模擬結果之比較，如表 4 - 54 以及表 4 - 55 所示。由此二表可知，在數個不同機台配置之環境下，運用本文模式所求得之生產週期時間估算值，其誤差均小於 5%，可見本文之估算模式不失為一良好之週期時間估算法則。此外，吾人亦將此二表格之數值以圖之方式呈現，如圖 4 - 2 以及圖 4 - 3 所示。

表 4 - 54 不同機台配置下一般工件之生產週期時間比較表

	初始配置下	新增 1 部機台 (W04)下	新增 2 部機台 (W04、W09)下	最終配置下
(1)週期時間估算值(分鐘)	1520.39	1493.90	1463.26	1449.49
(2)週期時間模擬值(分鐘)	1480.72	1459.10	1433.89	1421.37
(3)差值[=(1)-(2)]	39.67	34.80	29.37	28.12
(4)誤差[=(3)/(2)]	2.68%	2.39%	2.05%	1.98%

表 4 - 55 不同機台配置下量測工件之生產週期時間比較表

	初始配置下	新增 1 部機台 (W04)下	新增 2 部機台 (W04、W09)下	最終配置下
(1)週期時間估算值(分鐘)	1716.46	1689.97	1659.33	1645.56
(2)週期時間模擬值(分鐘)	1648.11	1626.55	1601.85	1586.92
(3)差值[=(1)-(2)]	68.35	63.42	57.48	58.64
(4)誤差[=(3)/(2)]	4.15%	3.90%	3.59%	3.70%

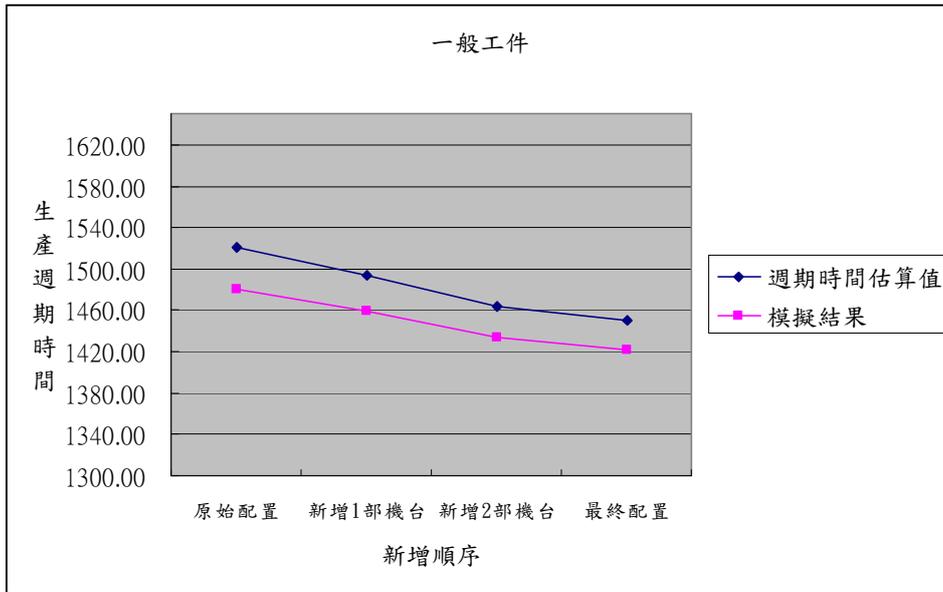


圖 4 - 2 不同機台配置下一般工件之生產週期時間比較圖

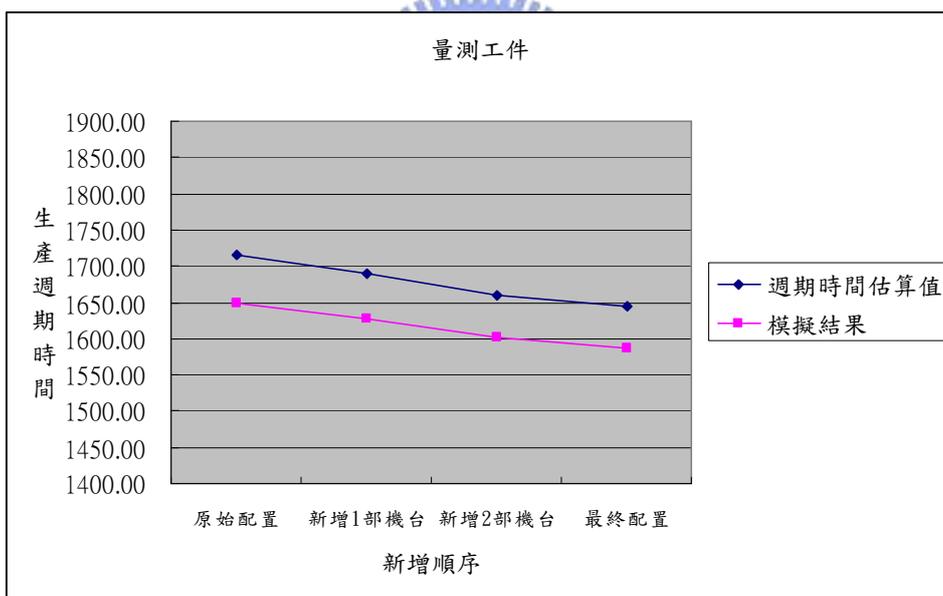


圖 4 - 3 不同機台配置下量測工件之生產週期時間比較圖

第五章 結論與未來研究方向

5.1 結論

在 TFT-LCD 產業之三階段製程中，第一階段之薄膜電晶體陣列(TFT Array)段製程與半導體晶圓製造廠十分相似，然而薄膜電晶體陣列段無批量加工機台之製程特性，則不同於晶圓製造廠有批量加工機台之製程特性。對於薄膜電晶體陣列廠而言，由於其機台設備成本十分昂貴，因此，機台數量之配置規劃是一個相當重要之長期決策。此外，生產週期時間決定了產品之交期時間，為衡量生產績效之重要指標，亦為規劃機台組合時不可或缺之考慮因素。然而，在薄膜電晶體陣列廠中，由於原物料玻璃基板所佔體積龐大，故以自動化搬運系統進行運送。若搬運系統設計不良，則將造成產品之生產週期時間增加，故在薄膜電晶體陣列廠中，不可忽略搬運系統對於生產週期時間之影響。

有鑑於此，吾人首先考量搬運問題之影響，設定搬運系統配置最適搬運車數，而後依據薄膜電晶體陣列廠之製程特性，在考量搬運因素下，規劃薄膜電晶體陣列廠機台設備之數量。吾人亦發展一套適用於薄膜電晶體陣列廠之生產週期時間估算法則，以便基於估算之生產週期時間進行機台數量之配置規劃。本文之機台配置機制共包含以下三個模組：

1. 搬運車數估算模組：在考量搬運系統之生產環境中，吾人以搬運供給量須滿足搬運需求量之理念，估算系統所需之最適搬運車數，期盼搬運行為能夠流暢，不因車數過多而造成不必要之成本浪費；亦不希望因車數過少而成為系統瓶頸。
2. 生產週期時間估算模組：吾人依據等候理論方法發展一套考量搬運因素下之生產週期時間估算法則，估算包含搬運時間之生產週期時間，並將估算結果作為配置機台數量時之重要輸入資訊。
3. 機台數量配置模組：吾人根據生產週期時間估算模組之估算結果，以及機台設備之購置成本等輸入資訊，考量工作站之等候加工時間、生產週期時間之改善量、以及機台購置成本等因子，藉由排序方法選取優先新增機台之工作站，以求得滿足系統績效限制之機台配置組合。

由本文第四章之驗證結果顯示，以本文方法所推得之系統所需搬運車數，經模擬驗證後，本文之車數規劃確實能夠應付系統產出之需求，並使搬運系統之運作得以流暢，且不造成搬運系統成本之浪費。

在生產週期時間之估算方面，以本文構建之估算模式所推得之生產週期時間，與模擬結果相比較，其最大誤差小於 5%，平均誤差則為 3% 以下，可知本文在生產週期時間之估算上有良好之成效，且無模擬系統構建費時、模擬時間動輒數小時以上的缺點。

最後，本文之機台數量配置模組所求得之最終機台組合，經由模擬系統驗證後，其各屬性別工件於各加工層級之 X-factor 值確實能夠滿足系統所設定之條件，以維持層級間之物流平順。此外，於本文第四章之案例中可得知，以吾人設計之機台配置模式與另外兩個常見之啟發式法則相比較，運用本文模式所產生之最終機台配置，其機台購置總成本最低，相較於另外兩種方法所得之機台總成本，平均省下了約 2.7 億元之機台購置成本，可見本文方法有相當之成效。

總體而言，透過本文機台配置機制之設計，可提供薄膜電晶體陣列廠於建廠初期所需之搬運車數、以及適當配置各機種之機台數量，並且在不經由模擬工具輔助之環境下，能夠快速地求算生產週期時間，且具有不錯之估算成果。

5.2 未來研究方向

在本文研究過程中所獲得之成果與心得，吾人認為尚有值得後續研究之處，分述如下：

1. 在本文之問題假設中，只考慮系統內各工作區之間的搬運問題，而不考慮工作區內各工作站之間的搬運問題。因此，未來研究中可考量各工作站之間的搬運問題，並對於工作站間搬運系統所需之搬運車數、以及預計造成之搬運時間等方面，進行後續之研究。
2. 本文對於薄膜電晶體陣列廠中生產週期時間之估算，與模擬結果相比仍有些許誤差，未來可嘗試其他更為準確之生產週期時間估算方法，以縮

短數學規劃模式與模擬之間的差距。

3. 吾人基於生產週期時間以及購置成本等資訊，透過本文機制之設計，可求得一組最終之機台數量配置。然而，由於生產績效與成本間之權衡取捨實為不易，且實務上不同決策者之切入角度亦不盡相同。因此，未來可嘗試運用不同之方法及工具進行績效與成本之取捨，抑或針對其他影響機台規劃之重要因子進行研究探討，以便進一步發展機台配置方法之設計。



參考文獻

- [1] Bozer, Y. A., and Srinivasan, M. M., “Tandem Configurations for AGV Systems Offer Simplicity and Flexibility,” *Industrial Engineering*, Vol. 21, No. 2, pp.23-27, 1989.
- [2] Bretthauer, K. M., “Capacity Planning in Networks of Queues with Manufacturing Applications,” *Mathematical Computer Modeling*, Vol. 12, No. 12, pp.35-46, 1995.
- [3] Bretthauer, K. M., “Capacity Planning in Manufacturing and Computer Networks,” *European Journals of Operational Research*, Vol. 91, pp.386-394, 1996.
- [4] Chase, R. B., and Aquilano, N. J., *Production and Operations Management*, Fourth Edition, Mei-Ya, Inc., pp.155-156, 1985.
- [5] Chung, S. H., and Huang, H. W., “The Block-Based Cycle Time Estimation Algorithm for Wafer Fabrication Factories,” *International Journal of Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 4, pp.307-316, 1999.
- [6] Connors, D. P., Feigin, G. E., and Yao, D. D., “A Queueing Network Model for Semiconductor Manufacturing,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 9, No. 3, pp.412-427, 1996.
- [7] Conway, R., Maxwell, W., and Miller, L. W., *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1967.
- [8] Grewal, N. S., Bruska, A. C., Wulf, T. M., and Robinson, J. K., “Integrating Targeted Cycle-Time Reduction into the Capital Planning Process,” *Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference*, pp.1005-1010, 1998.
- [9] Hiller, F. S., and Lieberman, G. J., *Introduction to Operations Research*, Seventh Edition, McGraw-Hill Publishing Company, 2001.
- [10] Hood, S., Bermon S., and Barahona, F., “Capacity Planning Under Demand Uncertainty for Semiconductor Manufacturing,” *IEEE*

Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 16, No. 2, pp.273-280, 2003.

- [11]Kocher, R., “Capacity Planning in the Face of Production-Mix Uncertainty,” *Proceeding International Symposium on Semiconductor Manufacturing, Santa Clara, California, U.S.A.*, pp.73-76, 1999.
- [12]Kramer, Scott S., “Total Cycle Time Management by Operational Elements,” *International Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, pp.17-20, 1989.
- [13]Leachman, R. C., and Hodges, D. A., “Benchmarking Semiconductor Manufacturing,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 9, No. 2, 1996.
- [14]Little, J. D. C., “A Proof for the Queueing Formula $L = \lambda w$,” *Operation Research*, Vol. 9, pp.383-387, 1961.
- [15]Martin, D. P., “How the Law of Unanticipated Consequences Can Nullify the Theory of Constraint: The Case for Balanced Capacity in A Semiconductor Manufacturing Line,” *Semiconductor FABTECH*, Seventh Edition, ICG publishing Ltd, pp.29-34, 1998.
- [16]Maxwell, W. L., and Muckstadt, J. A., “Design of Automated Guided Vehicle Systems”, *IIE Transactions*, Vol. 14, No. 2, pp.114-124, 1982.
- [17]Mollaghasemi, M., and Eavns, G. W., “Multicriteria Design of Manufacturing Systems Through Simulation Optimization,” *IEEE Transaction on Systems, MAN, and Cybernetics*, Vol. 24, No. 9, pp.1407-1411, 1994.
- [18]Neacy, E., Abt, N., Brown, S., McDavid, M., Robinson, J., Srodes, S., and Stanley, T., “Cost Analysis for A Multiple Product / Multiple Process Factory: Application of SEMATECH's Future Factory Design Methodology,” *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp.212-219, 1993.
- [19]Northey, P., Southway, N., *Cycle Time Management*, Productivity Press,

1993.

- [20] Sinriech, D., Tanchoco, J. M. A., “An Economic Model for Determining AGV Fleet Size”, *International Journal of Production Research*, Vol. 1, No. 6, pp.1255-1268, 1992.
- [21] Sinriech, D., Tanchoco, J. M. A., and Herer, Y. T., “The Segmented Bi-directional Single-loop Topology for Material System”, *IIE Transaction*, Vol. 28, No. 1, pp.40-54, 1996.
- [22] Swaminathan, J. M., “Tool Capacity planning for Semiconductor Fabrication Facilities Under Demand Uncertainty,” *European of Operational Research*, Vol. 120, pp.545-558, 2000.
- [23] Swaminathan, J. M., “Tool Procurement Planning for Wafer Fabrication Facilities: A Scenario-Based Approach,” *IIE Transactions*, Vol. 34, pp.145-155, 2002.
- [24] Wang, T. H., Lin, K. C., and Huang, S. R., “Method of Dynamically Determining Cycle Time of A Working Stage,” *IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium*, pp.403-407, 1997.
- [25] Wu, K., “An Examination of Variability and Its Basic Properties for a Factory,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, Vol. 18, No. 1, pp.214-221, 2005.
- [26] Yoneda, K., Wadraton, I., and Haruki, K., ”Job Shop Configuration with Queueing Networks and Simulated Annealing,” *IEEE International Conference on System Engineering*, pp.407-410, 1992.
- [27] 吳家駒，「晶圓代工廠機台組合決策」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，1999。
- [28] 林時龍，「晶圓廠短期動態機台調整機制」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，2001。
- [29] 施盈志，「晶圓製造廠在製品水準之規劃與控制」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，1996。

- [30]郭志榮，「晶圓製造廠考量製程步驟間搬運問題下之生產週期時間估算模式」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，2002。
- [31]陳溪川，「晶圓代工廠產品組合不確定之機台決策機制」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，2000。
- [32]陳蓮春，「什麼是液晶」，建興出版社，2000年6月。
- [33]陳志強，「多工單等級下晶圓廠生產週期時間估算模式」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，2000。
- [34]陳亞妮，「薄膜電晶體陣列廠生產規劃系統之構建」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，2004。
- [35]張晏蓉，「不確定環境下半導體機台產能規劃分析」，國立清華大學工業工程與工程管理學系碩士班，碩士論文，2004。
- [36]黃宏文，「晶圓製造廠區段基礎式週期時間估算法」，國立交通大學工業工程與管理學系博士班，博士論文，2002。
- [37]熊雅意，「晶圓代工廠考慮週期時間限制之機台規劃研究」，國立交通大學工業工程與管理學系博士班，博士論文，2004。
- [38]劉睿鈞，「晶圓製造廠機台刪減機制之設計」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，2003。
- [39]蘇昱彰，「新興晶圓代工廠生產規劃與排程系統之構建」，國立交通大學工業工程與管理學系碩士班，碩士論文，1998。
- [40]顧洪壽，「光電液晶平面顯示器技術基礎及應用」，新文京開發出版有限公司，2004年3月。

附錄

附錄 A 製程資料

附表 A - 1 一般工件之加工步驟與作業時間

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	加工時間標準差	步驟	工作站	平均加工時間	加工時間標準差
1	W17	20.00	4.00	18	W17	20.00	4.00
2	W06	*	*	19	W08	*	*
3	W16	25.00	4.33	20	W16	37.33	7.00
4	W09	26.67	4.67	21	W15	38.33	7.67
5	W04	22.00	4.17	22	W04	22.00	4.00
6	W02	36.67	6.83	23	W17	20.00	4.00
7	W17	20.00	4.00	24	W06	*	*
8	W8	*	*	25	W16	37.33	7.67
9	W16	37.33	9.67	26	W03	*	*
10	W10	*	*	27	W04	22.00	5.00
11	W04	22.00	4.00	28	W14	20.00	4.00
12	W17	20.00	4.00	29	W12	39.33	8.00
13	W06	*	*	30	W01	*	*
14	W16	37.33	7.33	31	W02	26.00	5.67
15	W09	26.67	5.00	32	W05	*	*
16	W13	24.67	5.00	33	W07	26.00	5.00
17	W04	22.00	4.67	34	W11	*	*

[註 1] 加工時間服從常態分配，其中 W16 為瓶頸工作站。

[註 2] W17 為各個層級之起始站。

[註 3] *表示該製程資料不公開。

附表 A - 2 量測工件之加工步驟與作業時間

(單位：分)

步驟	工作站	平均加工時間	加工時間標準差	步驟	工作站	平均加工時間	加工時間標準差
1	W17	20.00	4.00	23	W04	22.00	4.67
2	W06	*	*	24	W17	20.00	4.00
3	W18	12.00	2.00	25	W08	*	*
4	W16	25.00	4.33	26	W18	12.00	2.00
5	W19	18.00	2.50	27	W16	37.33	7.00
6	W09	26.67	4.67	28	W19	18.00	2.50
7	W04	22.00	4.17	29	W15	38.33	7.67
8	W02	36.67	7.00	30	W04	22.00	4.00
9	W17	20.00	4.00	31	W17	20.00	4.00
10	W08	*	*	32	W06	*	*
11	W18	12.00	2.00	33	W18	12.00	2.00
12	W16	37.33	9.67	34	W16	37.33	7.67
13	W19	18.00	2.50	35	W19	18.00	2.50
14	W10	*	*	36	W03	*	*
15	W04	22.00	4.00	37	W04	22.00	5.00
16	W17	20.00	4.00	38	W14	20.00	4.00
17	W06	*	*	39	W12	39.33	8.00
18	W18	12.00	2.00	40	W01	*	*
19	W16	37.33	7.33	41	W02	26.00	5.00
20	W19	18.00	2.50	42	W05	*	*
21	W09	26.67	5.00	43	W07	26.00	5.00
22	W13	24.67	5.00	44	W11	*	*

[註 1] 加工時間服從常態分配，其中 W16 為瓶頸工作站，W18 和 W19 為量測機台 1 和量測機台 2。

[註 2] W17 為各個層級之起始站。

[註 3] *表示該製程資料不公開。

附表 B 工作站相關資訊

附表 B - 1 各工作站相關資訊

工作站 編號	W01	W02	W03	W04	W05	W06	W07	W08
MTBF (hr)	25	25	-	25	25	25	-	25
MTTR (hr)	1.33	1.2	-	1.67	1.33	1.67	-	1.67
區域						TF		TF
工作站 編號	W09	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16
MTBF (hr)	12.5	12.5	-	12.5	-	-	12.5	12.5
MTTR (hr)	1	0.67	-	0.67	-	-	0.67	1
區域								
工作站 編號	W17	W18	W19					
MTBF (hr)	25	-	-					
MTTR (hr)	1.67	-	-					
區域	TF	Photo						

[註 1] MTBF 和 MTTR 為指數分配。



附表 C 生產週期時間估算與模擬結果

附表 C-1 - 1 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=2:1:2)下，各屬性別工件之生產週期時間

	一般工件	量測工件
(1)週期時間 估算值 (分鐘)	1449.49	1614.74
(2)週期時間 模擬值 (分鐘)	1428.66	1579.77
(3)差值[=(1)-(2)]	20.83	34.97
(4)誤差[=(3)/(2)]	1.46%	2.21%

附表 C-1 - 2 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=2:1:2)下，各產品之生產週期時間

	產品 A	產品 B	產品 C
產品生產週期時間(分鐘)	1477.03	1559.66	1477.03
產品生產週期時間(小時)	24.62	25.99	24.62

附表 C-2 - 1 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=1:2:1)下，各
屬性別工件之生產週期時間

	一般工件	量測工件
(1)週期時間 估算值 (分鐘)	1449.49	1686.20
(2)週期時間 模擬值 (分鐘)	1423.47	1607.77
(3)差值[=(1)-(2)]	26.02	78.42
(4)誤差[=(3)/(2)]	1.83%	4.88%

附表 C-2 - 2 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=1:2:1)下，各
產品之生產週期時間

	產品 A	產品 B	產品 C
產品生產週期時間(分鐘)	1488.94	1607.29	1488.94
產品生產週期時間(小時)	24.82	26.79	24.82

附表 D 生產週期時間估算方法之比較結果

D-1 - 1 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=2:1:2)下，不同估算方法之一般工件生產週期時間比較表

	本文方法	Conway 估計式	M/M/C 等候模型
(1)週期時間估算值(分鐘)	1449.49	2209.975	1729.416
(2)週期時間模擬值(分鐘)	1428.66	1428.66	1428.66
(3)差值[=(1)-(2)]	20.83	781.32	300.76
(4)誤差[=(3)/(2)]	1.46%	54.69%	21.05%

D-1 - 2 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=2:1:2)下，不同估算方法之量測工件生產週期時間比較表

	本文方法	Conway 估計式	M/M/C 等候模型
(1)週期時間估算值(分鐘)	1614.74	2276.642	1920.529
(2)週期時間模擬值(分鐘)	1579.77	1579.77	1579.77
(3)差值[=(1)-(2)]	34.97	696.87	340.76
(4)誤差[=(3)/(2)]	2.21%	44.11%	21.57%

D-2 - 1 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=1:2:1)下，不同估
算方法之一般工件生產週期時間比較表

	本文方法	Conway 估計式	M/M/C 等候模型
(1)週期時間 估算值 (分鐘)	1449.49	2209.975	1729.416
(2)週期時間 模擬值 (分鐘)	1423.47	1423.47	1423.47
(3)差值[=(1)-(2)]	26.02	786.51	305.95
(4)誤差[=(3)/(2)]	1.83%	55.25%	21.49%

D-2 - 2 目標產出量為 1740(lots/月)，產品組合為(A:B:C=1:2:1)下，不同估
算方法之量測工件生產週期時間比較表

	本文方法	Conway 估計式	M/M/C 等候模型
(1)週期時間 估算值 (分鐘)	1686.20	2438.487	2074.789
(2)週期時間 模擬值 (分鐘)	1607.77	1607.77	1607.77
(3)差值[=(1)-(2)]	78.42	830.71	467.01
(4)誤差[=(3)/(2)]	4.88%	51.67%	29.05%