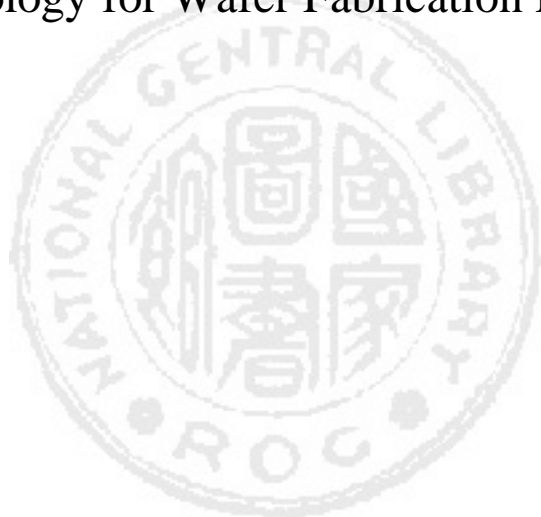


國立交通大學
工業工程與管理學系

博士論文

晶圓製造廠區段基礎式
週期時間估算法

The Block-Based Cycle Time Estimation
Methodology for Wafer Fabrication Factories



研 究 生：黃宏文
指導教授：鍾淑馨 博士

中華民國九十一年十二月

晶圓製造廠區段基礎式週期時間估算法

學生：黃宏文

指導教授：鍾淑馨博士

中文摘要

週期時間是生產規劃過程中的重要元素，然而由於晶圓製造廠製程複雜性與機器設備多樣性等因素的交互影響，故難以精確掌握週期時間的變化。本文之研究目的，即在於發展出一個具備高預測準確性與高即時反應能力之週期時間估算法，以提昇晶圓製造廠週期時間預估能力。

本文所發展之週期時間估算法，係以晶圓廠物流分析為基礎，以確認晶圓批等候時間之形成因素。透過實際觀察與分析，吾人發現物流阻塞的主要原因，來自於關鍵工作站的高負荷量，及批次工作站的載入批量限制。由於上述兩項因素所對應之等候時間形成特性，在本質上有所差異，因此，吾人將上述兩種等候時間形成因素，定義為「負荷因子」與「批量因子」，並分別運用 M/M/c 等候模型及批量因子流程時間估算式(Batching-factor flow time estimation algorithm; BFFT)來進行估算。上述結合負荷因子與批量因子估算觀念的方法，統稱為區段基礎式週期時間估算法(Block-based cycle time estimation methodology; BBCT)。

BFFT 演算法之基本運作程序，共分為三個階段。第一階段為「分解與辨識」階段，其目的為依據物流相似性，將複雜的製程「分解」成為獨立的區段與子區段，並「辨識」出各子區段所對應之流程時間模型；第二階段為「基本運算」階段，其目的為發展各子區段流程時間估算之數學式，並進行估算；第三階段為「組合運算」階段，其目的為將各子區段流程時間「組合」成為區段流程時間，乃至整個製程之流程時間。最後，再組合負荷因子等候時間，成為週期時間值。此外，吾人亦將晶圓製造廠中普遍存在的工程實驗工件批，納入週期時間預測模式中。

經由實例驗證結果顯示，BBCT 法之週期時間預估準確度，不論是在系統高負荷(90%)、中負荷(70%)或低負荷(50%)之情況下，均顯著優於 Conway^{Su} 估計式[87]與 M/M/c 等候模型。在具實驗工件批之生產環境中，BBCT 法亦同樣表現出優於另外兩種方法週期時間之預估能力。此外，BBCT 法在工作站利用率推估上，亦具有相當不錯的成效。

關鍵字：晶圓製造廠、週期時間、工程實驗工件批、等候模型、批量

The Block-Based Cycle Time Estimation Methodology for Wafer Fabrication Factories

Student: Hung-Wen Huang

Advisor: Dr. Shu-Hsing Chung

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

Abstract

Cycle time plays a critical role in production planning. However, the interactive effects between some factors such as process complexity and variety of workstations, leads to the difficulty in estimating cycle time. The purpose of this dissertation is to develop a cycle time estimation algorithm with high estimation accuracy and response capability.

The core base of cycle time estimation is to find out the reasons for material flow congestion, caused by the heavy machine loading and batch lots accumulation. Recognizing that the batch size difference among machine types is a major factor contributing to the congestion of production flow, the process flow of each product type is divided into the same number of blocks as that of the batch machines passing through. This dissertation thus develops an block-based cycle time (BBCT) estimation algorithm to estimate the product cycle time, consists of the waiting time due to batching and loading factor in every block. The corresponding waiting time was estimated using the M/M/c queueing model and batch factor flow time (BFFT) estimation algorithm.

The basic BBCT estimation algorithm is developed for the system only producing normal class products. Considering engineering lots usually existed in shop floor, a revised BBCT estimation algorithm is proposed also.

To verify the performance, a simulation model is constructed to evaluate the accuracy of cycle time estimation with BBCT algorithm. The experiment study showed that the BBCT performance was better than that of M/M/c queueing model

and of the revised Conway's formula by Su (1998) under the system environment of higher loading (90%), medium loading (70%) and lower loading (50%) for all normal class scenario and for engineering lots existing scenario. The related experiments also showed that the BBCT could effectively estimate the workstation utilization rate. BBCT thus is a good tool for production planning and control.

Key word: wafer fab, cycle time, engineering lot, queueing model, batch.

目錄

中文摘要.....	i
Abstract	ii
目錄	iv
圖目錄	vii
表目錄	x
符號一覽表	xii
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	4
第二章、文獻探討	6
2.1. 週期時間之影響因子分析.....	6
2.2. 週期時間之估算方法.....	9
2.3. 週期時間與其他系統績效之關係.....	16
2.4. 緊急工單對週期時間之影響.....	20
2.5. 投料循環表與固定在製品量投料法則	21
第三章、區段基礎式週期時間估算法.....	22
3.1. 問題分析與定義	22
3.2. 區段基礎式週期時間估算法之基本原理與架構.....	24
3.3. 負荷因子等候時間之估算-M/M/c 等候模型	33
3.4. 批量因子等候時間之估算-BFFT 演算法	34
3.4.1. 區段之定義與基本概念	35
3.4.2. 區段流程時間的三個子區段	40
3.4.3. BFFT 演算法參數之求算	43

3.4.4. 計算子區段流程時間的四個基本型式	45
3.4.5. 單一區段之區段流程時間估算	54
3.4.6. 多區段流程時間之估算	58
3.5. 實驗設計與成果	60
3.5.1. 模擬系統適用性驗證	60
3.5.2. 實驗目的與實驗因子	65
3.5.3. 實驗環境說明	66
3.5.4. 實驗結果分析	68
第四章、 考量實驗工件批之區段基礎式週期時間估算法	75
4.1. 問題分析與定義	75
4.2. 具實驗工件批型之週期時間估算模式	76
4.3. 負荷因子等候時間之求算方法	80
4.4. 批量因子等候時間之求算方法	85
4.5. 實驗設計與成果	85
4.5.1. 模擬系統適用性驗證	85
4.5.2. 實驗目的	89
4.5.3. 實驗成果分析	90
第五章、 結論與建議	95
5.1. 結論	95
5.2. 建議	97
參考文獻	99
附錄	109
附錄 A. 產品製程資料	109
附錄 B. 工作站資料	112
附錄 C. 單等級產品別之週期時間估算絕對差異率	113
附錄 D. 批量因子與負荷因子等候時間佔總等候時間之比例	122
附錄 E. 各方法之等候時間估算值的平均絕對差異率(MAD)	123
附錄 F. 單等級工作站利用率估算差異絕對值	124

附錄 G. 二等級產品別之週期時間估算絕對差異率.....	133
附錄 H. 二等級工作站利用率估算差異絕對值.....	139

圖目錄

圖 1. 研究範圍	4
圖 2. 研究方法程序圖	5
圖 3. 簡化模擬模型示意圖[62].....	10
圖 4. 週期時間估算法相關文獻類別圖	14
圖 5. 生產績效指標衝突關係圖	18
圖 6. 生產績效指標關係圖	19
圖 7. 第三章之章節架構	24
圖 8. 批次機台等候線示意圖	26
圖 9. 工件批狀態分類圖	27
圖 10. 各製程步驟等候時間圖	28
圖 11. 各製程步驟之等候時間之解構圖.....	29
圖 12. 區段基礎式週期時間估算法之估算機制.....	30
圖 13. BFFT演算法之基本概念與主要程序示意圖.....	36
圖 14. 區段定義示意圖	36
圖 15. 製程區段示意圖	38
圖 16. 無「前區段」流程時間的示意圖.....	42
圖 17. 包含三子區段流程時間的示意圖.....	42
圖 18. 無「後區段」流程時間的示意圖.....	42
圖 19. 實際載入批量與累積在製品速率之關係圖.....	45
圖 20. SS 型：序列工作站到序列工作站	47
圖 21. SB-s 型：關鍵工作站是序列工作站.....	49

圖 22. SB-b 型：關鍵工作站是批次工作站	50
圖 23. BS-s 型：關鍵工作站是序列工作站	51
圖 24. BS-b 型：關鍵工作站是批次工作站	52
圖 25. BB-b1 型：關鍵工作站是區段中的第一個批次工作站	53
圖 26. BB-b2 型：關鍵工作站是區段中的第二個批次工作站	54
圖 27. 一般型 BSB 區段分解圖暨 MLH 型式釋例圖	55
圖 28. BSB-HML 之釋例圖	56
圖 29. 多區段流程時間示意圖	59
圖 30. 多區段流程時間求算示意圖	59
圖 31. 產品 A 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	63
圖 32. 產品 B 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	63
圖 33. 產品 C 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	63
圖 34. 產品 D 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	64
圖 35. 產品 E 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	64
圖 36. 週期時間估算絕對誤差率分佈圖-單等級產品	69
圖 37. 不同系統負荷率之週期時間 MAD 分佈圖-單等級產品	69
圖 38. 第四章之章節架構	76
圖 39. 實驗工件批之等候時間示意圖	78
圖 40. 正常工件批之等候時間示意圖	79
圖 41. 產品 A 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	87
圖 42. 產品 B 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	87
圖 43. 產品 C 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	88
圖 44. 產品 D 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	88

圖 45. 產品 E 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值	88
圖 46. 週期時間估算絕對誤差率分佈圖-二等級產品	91
圖 47. 不同系統負荷率之週期時間 MAD 分佈圖-二等級產品	91

表目錄

表 1. 週期時間影響因子及其構面	8
表 2. 週期時間估算方法之比較[19][27][41][50][60][86]	15
表 3. BSB 區段所包含各子區段之類型	55
表 4. 模擬系統產出資料表(僅部分列示)	62
表 5. 各產品之投片比例與實際產出比例 (單位: 晶圓批)	65
表 6. 三種實驗方法模型之比較	66
表 7. 實驗之產品組合比例	67
表 8. 各方法之週期時間估算絕對誤差率(MAD)	68
表 9. 單因子變異數分析表-單等級系統利用率 90%	70
表 10. 單因子變異數分析表-單等級系統利用率 70%	70
表 11. 單因子變異數分析表-單等級系統利用率 50%	70
表 12. Sheffe 多重比較分析-單等級系統利用率 90%	71
表 13. Sheffe 多重比較分析-單等級系統利用率 70%	71
表 14. Sheffe 多重比較分析-單等級系統利用率 50%	72
表 15. 不同系統負荷率下之等候時間 MAD 值變化-單等級	73
表 16. 工作站利用率估計差異率-分屬不同級距之觀測值個數	74
表 17. 實驗工件批與正常工件批之等候時間形成因素	79
表 18. 非逐位性優先服務之等候模型	84
表 19. 二等級產品模擬系統產出資料表(僅部分列示)	87
表 20. 各產品之投片比例與實際產出比例-二等級 (單位: 晶圓批)	89
表 21. 實驗之產品組合比例	90
表 22. 各方法之週期時間估算絕對誤差率-二等級產品	91

表 23. 單因子變異數分析表-二等級系統利用率 90%	92
表 24. 單因子變異數分析表-二等級系統利用率 70%	92
表 25. 單因子變異數分析表-二等級系統利用率 50%	92
表 26. Sheffe 多重比較分析-二等級系統利用率 90%	93
表 27. Sheffe 多重比較分析-二等級系統利用率 70%	93
表 28. Sheffe 多重比較分析-二等級系統利用率 50%	93
表 29. 工作站利用率估計差異率-分屬不同級距之觀測值個數	94
附表 A. 產品 A 之加工步驟與作業時間	109
附表 B. 各工作站之基本資料	112
附表 C-1. 單等級系統利用率 90%: 週期時間估算差異率	104
附表 C-2. 單等級系統利用率 70%: 週期時間估算差異率	107
附表 C-3. 單等級系統利用率 50%: 週期時間估算差異率	110
附表 D. 批量因子與負荷因子等候時間佔總等候時間之比例	113
附表 E. 各方法之等候時間估算值的平均絕對差異率(MAD)	114
附表 F-1. 系統利用率 90%: 工作站利用率估算絕對差異率	115
附表 F-2. 系統利用率 70%: 工作站利用率估算絕對差異率	119
附表 F-3. 系統利用率 50%: 工作站利用率估算絕對差異率	121
附表 G-1. 二等級系統利用率 90%: 週期時間估算絕對差異率	124
附表 G-2. 二等級系統利用率 70%: 週期時間估算絕對差異率	127
附表 G-3. 二等級系統利用率 50%: 週期時間估算絕對差異率	128
附表 H-1. 系統利用率 90%: 工作站利用率估算差異絕對值	130
附表 H-2. 系統利用率 70%: 工作站利用率估算差異絕對值	132
附表 H-3. 系統利用率 50%: 工作站利用率估算差異絕對值	134

符號一覽表

符號下標

i ：表示第 i 種製程；

j ：表示第 j 個區段；

k ：表示第 k 個工作站；

l ：表示第 l 個製程步驟；

q ：表示區段中產出速率最小之序列工作站所對應之製程步驟。

BBCT 數學模型之符號定義

B_{ij}^{max} ：表示第 (i,j) 區段之批次工作站之「最大載入批量(maximum batch size)」；

$B_{M(il)}^{max}$ ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟，其所對應之工作站之最大載入批量；

B_{ij}^{min} ：表示第 (i,j) 區段之批次工作站之「最小載入批量(minimum batch size)」，
此為該機台所設定之「最低必須同時作業之晶圓批量」；

$B_{(c)ij}^{min}$ ：表示第 (i,j) 區段之關鍵工作站(critical workstation)之最小可載入批量；(若
此關鍵工作站為序列工作站，則 $B_{(c)ij}^{min}=1$)

$c_{M(i,l)}$ ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟，所對應之工作站之可用機台數；

f_{ik} ：表示第 i 種製程經過第 k 工作站之次數；

$M(i,l)$ ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟所對應之工作站；

n ：表示一個工單(order)所包含的晶圓批數目(number of lots)，本文假設一個工單
包含 6 個晶圓批；

P_{ij}^b ：表示第 (i,j) 區段之批次工作站之平均單位作業時間；

P_{ijl} ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟(其屬於第 j 個區段)，所對應的序列工作
站之平均單位作業時間；

P_{ij}^c ：表示第 (i,j) 區段之關鍵工作站之平均單位作業時間；

P_{ij}^q : 表示在 S_{ij}^S 中，具有最小產出速率的序列工作站之平均單位作業時間；
 S_{ij}^S : 表示第 (i,j) 區段中，所有序列工作站之製程步驟之集合；
 S_{ij}^b : 表示第 (i,j) 區段中，第二個批次工作站之製程步驟；
 S_{ij}^F : 表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之前的所有製程步驟之集合，亦即「前區段 (front-end block)」之製程步驟之集合；
 S_{ij}^B : 表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之後的所有製程步驟之集合，亦即「後區段 (back-end block)」之製程步驟之集合；
 S_{ij}^{Fs} : 表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之前的所有序列型態製程步驟之集合；
 S_{ij}^{Bs} : 表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之後的所有序列型態製程步驟之集合；
 S_{ij}^q : 表示在 S_{ij}^S 中具有最小產出速率的工作站所對應之製程步驟；
 S_{ij}^c : 表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站所對應之製程步驟之集合；
 S_{ij}^{c*} : 表示第 (i,j) 區段中，不包含 S_{ij}^b 在內的所有製程步驟中，具有最小產出速率之工作站所對應之製程步驟；
 T_{ij}^n : 表示第 i 種製程之 n 個晶圓批，流過第 j 個區段所須之流程時間。此為 n 個晶圓批流過單一區段之理論流程時間；
 $T_{(F)ij}^n$: 表示第 (i,j) 區段中的「前區段流程時間(front-end block flow time)」。其等於 $B_{(c)ij}^{min}$ 個工件批流過前區段(S_{ij}^F)所須之流程時間；
 $T_{(B)ij}^n$: 表示第 (i,j) 區段中的「後區段流程時間(back-end block flow time)」。其等於 $B_{(c)ij}^{min}$ 個工件批流過後區段(S_{ij}^B)所須之流程時間；
 $T_{(c)ij}^n$: 表示第 (i,j) 區段中的「關鍵工作站流程時間(critical workstation block flow time)」。其等於 n 個工件批流過關鍵工作站所須之流程時間；
 T_{ijm}^n : 表示第 i 種製程之 n 個工件批，由第 j 個區段流過第 k 個區段所須之流程時間；
 $t_{M(i,l)}$: 表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟，其所對應之工作站之 WIP 累積速率；
 $x_{M(i,l)}$: 表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟，其所對應之工作站之實際載入批量；

$\left\lceil \frac{x}{y} \right\rceil$: 為一非負整數，係等於 x 除以 y 之餘數無條件進一位；

$\left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$: 為一非負整數，係等於 x 除以 y 之餘數無條件捨去；

等候理論模型之符號定義

- c_k : 表示第 k 工作站之可用機台數 ($c_k = c_k^e + c_k^n$) ;
- c_k^e : 表示第 k 工作站被實驗工件批耗用之平均機台數 ;
- c_k^n : 表示第 k 工作站可供正常工件批耗用之平均機台數 ;
- e_k : 表示第 k 工作站之平均效率 ;
- L_k^r : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站之期望在製品數 ;
- L_k^{rq} : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站等候線上的在製品數 ;
- L_k^{rs} : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站接受服務的期望在製品數 ;
- \Re : 總計畫投片量 ($\Re = \Re^e + \Re^n$) ;
- \Re^e : 實驗工件批之計畫投片量 ;
- \Re^n : 正常工件批之計畫投片量 ;
- T : 規劃時格長度 ;
- w_k^r : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站之穩態等候時間 ;
- w_k^{rq} : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站等候線上的穩態等候時間 ;
- I_k : 表示第 k 工作站之平均工件批到達率 ;
- I_k^e : 表示第 k 工作站之實驗工件批平均到達率 ;
- I_k^n : 表示第 k 工作站之正常工件批平均到達率 ;
- m_k : 表示第 k 工作站之平均服務率 ;
- p_k^n : 表示第 i 種正常工件批產品佔正常工件批產品組合之比例 ;
- p_k^e : 表示第 i 種實驗工件批產品佔實驗工件批產品組合之比例 ;
- f_{ik} : 製程 i 經過第 k 工作站之次數 ;
- g_k : 表示第 k 工作站之平均重加工機率 ;
- O_k : 表示第 k 工作站之最大產出速率 ;
- O_k^e : 表示第 k 工作站之實驗工件批最大產出速率 ;
- O_k^n : 表示第 k 工作站之正常工件批最大產出速率。

其他符號定義

$\text{Conway}^{\text{Su}}$: 表示蘇氏修正後的 Conway 估計式[87] ;

MAD : 週期時間估計值與模擬結果之平均絕對差異率(Mean absolute deviation ratio)

T_i^e : 表示第 i 種產品之週期時間預估值 ;

T_i^s : 表示第 i 種產品之模擬時間值 ;

第一章、緒論

1.1. 研究背景與動機

在生產規劃過程中，週期時間(cycle time)扮演著一個重要的角色，其決定了顧客最關注的訂單交期日(order due date),同時也是進行產能規劃與工單排程的基本依據。因此，週期時間預估的準確度，便與生產績效有著高度的相關性。

週期時間基本上包含理論週期時間(theoretical cycle time)與等候時間(waiting time)兩項。理論週期時間包括製程時間(processing time)、裝卸時間(loading and unloading)、準備時間(preparation time for every lot)等[81]，此理論週期時間佔整體週期時間的比例較低，且其變異程度極小，通常被視為一個固定值。

相對地，等候時間則具高度不確定性。假若不考慮人員與工具之產能限制，則等候時間之形成，通常係因為等候可用的機台所花費的時間，亦即此種等候時間之形成，乃係導源於機器之高負荷量所致。然而，在晶圓製造廠中，具有批次工作站(batch workstation)與序列工作站(serial workstation)混雜的特殊現象，使等候時間的形成因素更形複雜。

批次工作站，係指可同時加工的工件批數大於一批(one lot)的機台群組；而序列工作站，則代表可同時加工的工件批數小於或等於一批的機台群組。由於批次工作站之作業時間極長，為了能有效利用其產能，故往往設定有「必須同時載入之最小批量」的條件限制，甚至採用動態式的批量法則(batching rule)[23][26][78]，來決定最佳的工件批載入時機。由於批量法則的限制，即使批次機台是處於閒置的狀態，也可能因為等候之工件批未符合載入條件限制而被迫進行等候，此種型式之等候時間，並非源自於機台的負荷水準，而係因為批量策略之限制所致。此外，批次工作站可同時加工多個工件批，當其加工完畢後，會一次釋放多批至其後製程工作站，造成後製程工作站瞬間尖峰負荷的發生。由於此種因瞬間尖峰負荷所造成之特殊等候時間，係起源於批次機台集批釋出工件批所造成，因此，亦屬於批量因素所形成的等候時間之一。

過去學者之相關研究，大多數僅以負荷因素做為估算週期時間之基礎，少部份學者雖已將批量因素納入考量[18][45][70][84]，但係將各別工作站視為一個獨立系統，來進行週期時間之估算，而忽略了前後製程工作站之批量特性與生產速率差異之交互影響，使得週期時間預測準確度，無法獲得有效提昇。基於週期時間乃是生產規劃之基礎，發展一套同時考量負荷因素與批量因素之週期時間估算法則，具有高度的重要性，故引發吾人研究之動機。

在實務上，晶圓製造廠普遍存在有一定數量之工程實驗(engineering experiment)或製程研發(technology development)工件批，由於這些工件批具有實驗性質，其製程異於正常工件批(normal lots)，使得工程實驗工件批通常無法與正常工件批一起混批加工，造成批次機台發生未滿載加工之產能損失，此外，這些工程實驗工件批具有較高之作業優先權，對於生產規劃與作業控制亦造成了相當大之干擾。因此，對於工程實驗工件批導入至生產系統後，對正常工件批週期時間所造成之影響，亦須要加以評估。有鑑於此，本文亦將工程實驗工件批因素納入週期時間估算模式中，以評估工程實驗工件批對原有系統之影響，並做為現場管理及工程實驗工件批之相關決策的參考決策。

1.2. 研究目的

基於上述研究背景與動機，吾人將依據晶圓製造之製程與設備特性，剖析其工件流之特徵，並據以發展符合該物流特徵之週期時間估算法。基於此研究目的所發展之週期時間估算法，將依據是否考量工程實驗產品，而區分為基本型與考量工程實驗工件批型兩大類。各模型所欲達成之研究目的，如下所述：

(1). 區段基礎式週期時間估算法：基本型

基本型是在產出水準與產品組合已知，且不考慮緊急工件的穩態環境下，透過製程與設備之特徵分析，定義出製程中具有物流相似性的最小製程單元區段，及各種物流特徵所對應之工件流動速率變化。藉由將週期時間之估算模型，賦予對應之物理意義，使得複雜的晶圓廠生產週期時間之變化，得以被合理的解析，以達到提昇晶圓製造廠週期時間估算準確度的目的。

(2). 區段基礎式週期時間估算法：具實驗工件批型

具實驗工件批型是在產出水準與產品組合已知之穩態環境下，考慮工程實驗工件批導入系統後，對各產品週期時間之影響。此模型之理念與前述之基本型相同，係以定義製程中具物流特徵相似性之最小區段為起點，並評估工程實驗工件批對生產系統之干擾與影響，使得吾人可以充分掌握工程實驗工件批與正常工件批之流動速率變化，據以做為工程實驗管理與生產排程規劃之依據。

1.3. 研究範圍與限制

生產週期時間之估算，必須要有投料或產出目標相關資訊，因此，本文假定產出目標與產品組合比例為已知。各項產品生產週期時間之預測結果，將回饋回主生產排程、細部排程(detail schedule)及訂單管理系統，以進行相關之決策運作。上述之研究範圍，請參見圖 1。

為使本文所發展之區段基礎式週期時間估算法之運作邏輯，更易於瞭解，故本文做了下列主要假設：

- (1). 生產系統方面：產出目標與產品組合均為已知，且系統屬於多量少樣之生產型態；
- (2). 生產作業方面：各機台之派工法則，均採用先進先出法(FIFO)，批量法則採用最小批量法(minimum batch size)，且不考慮物料搬運時間及設置時間(setup time)，投料法則採用投料循環表[96]暨固定在製品數量法(Constant WIP; CONWIP)[68]；
- (3). 產品製程方面：各產品製程均相當穩定，無報廢情況；
- (4). 系統限制方面：不考慮人員、物料與工具之產能限制。

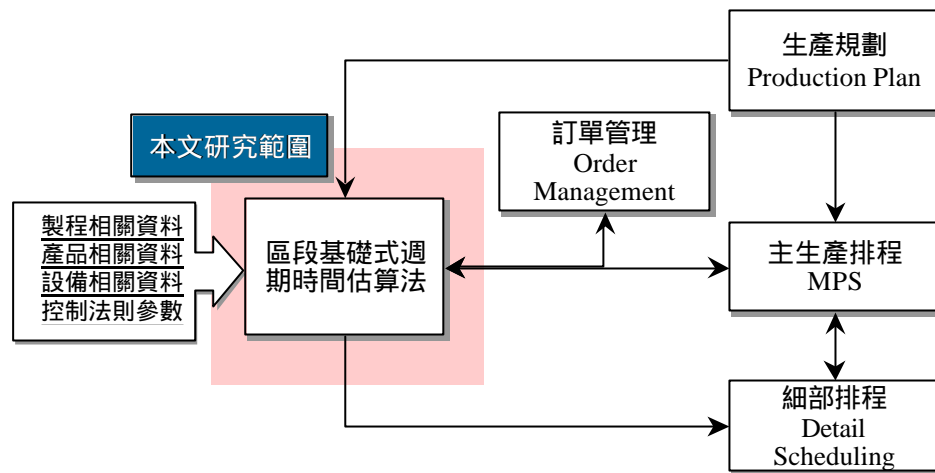


圖1. 研究範圍

1.4. 研究方法

本文之研究方法，主要分為六個部分，各部分所對應之意義，如下所述。其程序示意圖，請參見圖 2。

(1). 文獻探討

依據研究方向與範圍，進行相關之文獻蒐集與探討。主要的文獻探討內容，包括週期時間預測與管理，及緊急訂單管理兩部分。藉由文獻探討，瞭解各學者在週期時間預測方面之相關研究成果，以對吾人所欲發展之週期時間估算法之期望成果與貢獻，進行明確之定位。

(2). 問題定義與分析

就所欲探討問題之本質，進行深入的剖析，並就本文所發展之週期時間估算法之範圍，進行適當的定義。

(3). 發展區段基礎式週期時間估算法：基本型

首先進行晶圓製造廠之晶圓批物流特徵分析，依據物流特徵分析結果，將等候時間形成因素，分成負荷因子與批量因子兩項，並分別探討 M/M/c 等候理論模型，及吾人所發展之區段基礎式週期時間估算法。

(4). 發展考量工程實驗工件批之區段基礎式週期時間估算法：具實驗工件批型

在此階段中，將工程實驗工件批(簡稱實驗工件批)之條件限制，納入基本型之區段基礎式週期時間估算法中。此階段之研究方法，著重在於導入實驗工件批後之物流特徵分析，經由實驗工件批型與基本型之差異分析結果，來修正週期時間演算法之邏輯。

(5). 實例驗證與成果分析

建立以離散事件(discrete event)為基礎之模擬實驗模型，透過模擬結果，分析區段基礎式週期時間估算法之成效，並以統計方式檢定此成果之顯著性。

(6). 結論與建議

依據研究成果，提出適當之結論，並簡略說明未來研究方向。

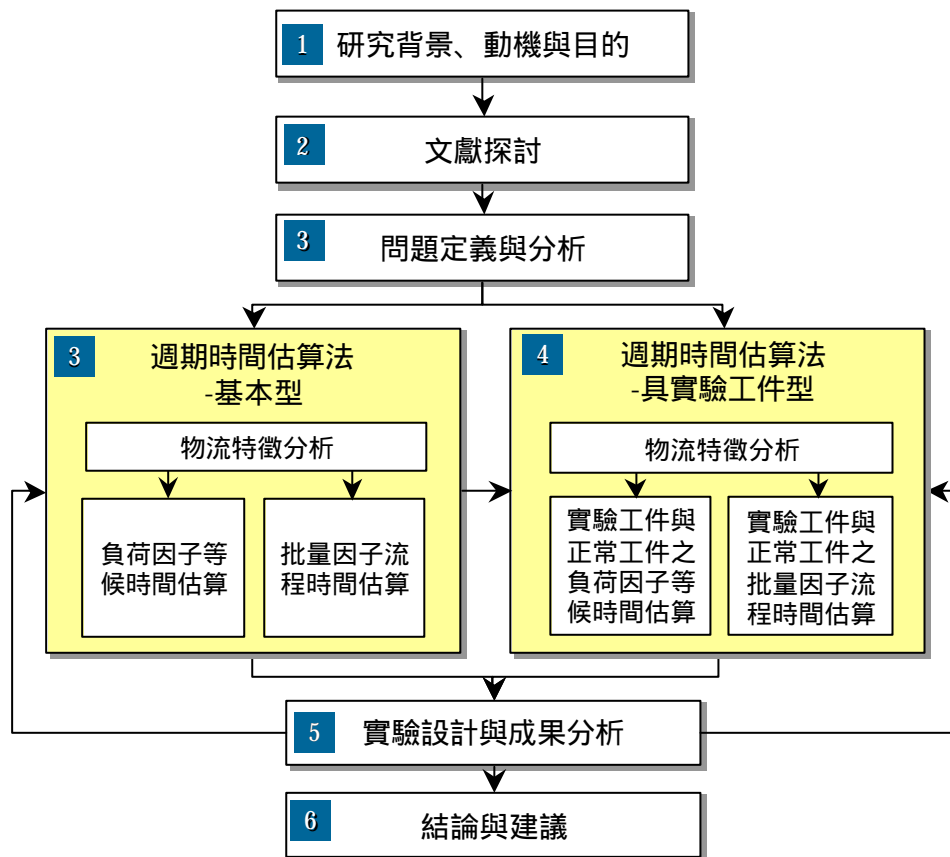


圖2. 研究方法程序圖

第二章、文獻探討

2.1. 週期時間之影響因子分析

本文所探討之週期時間，係指晶圓批之生產週期時間(production cycle time)，其為晶圓批由投料至其完成所有的製程作業所花費的時間。進行週期時間影響因子分析的目的，在於清楚地掌握週期時間之形成特性，以提高週期時間預測之準確性。

首先，從價值分析(value analysis)來檢視週期時間之組成因子，可以將週期時間分成下列兩大部分[42][57]：

(1). 具增值性時間(value-added time)

具增值性時間之意義為：該時間對於產品價值之增加，具有貢獻性。此部分之時間應僅包含純製程時間(pure processing time)。

(2). 不具增值性時間(non-value-added time)

不具增值性時間之意義為：該時間對於產品價值之增加，不具有貢獻性。週期時間中的絕大部分時間，均屬於此種類型。例如等候時間(包括等候機器、等候人員及等候工具)、搬運時間、儲存時間、重加工時間、被凍結時間(hold time)等。

Northey & Southway[57]進一步主張，不論是具增值性或不具增值性之部分，均應設法予以降低。不具增值性部分，通常可以透過有效的生產規劃與作業控制來達到降低的目的。至於具增值性的部分，則可以透過製程的改善來達成降低的目的[45]。

Atherton & Atherton[1]則認為週期時間是系統的一個反應參數(response parameters)，其受到其他控制參數(control parameters)之影響，上述之控制參數包括設備集合、設備可用度、設施、產品組合、製程優先權、控制法則、排程等項目。此外，週期時間亦受到控制暨反應(control & response)參數之影響，例如動態產能、存貨與瓶頸。此外，Maiorana & Iuliano[47]與 Kraft[39]等，則以實務角度認為製程時間、設置時間、設備管理、生產線管理、後勤系統(廠房佈置與物料搬

運)、產品組合、品質管理與人員管理等因素，均會影響週期時間之長短。Atherton & Atherton[1]、Kraft[39]與 Maiorana & Iuliano[47]等學者，則透過魚骨圖與條列式描述等方式，對週期時間影響因子，提出概括式的探討，此有助於進一步就特定影響因子，進行相關研究與實證分析。

如上所述，週期時間影響因子極多，為利於後續分析與探討，吾人將依據各影響因子在系統中的定位與功能，進行適當的分類。以系統觀而言，週期時間之長短，乃是生產系統運作之結果。一個系統，至少包含下列四個部分[84]：投入、轉換(transformation)、產出、回饋與控制。Forgarty *et al.*[22]認為，產出雖是直接來自於轉換過程，但投入、回饋與控制，亦會影響產出之成效。因此，吾人依據系統之組成因子，將上述各項週期時間之影響因子，區分為投入(事前)、轉換(事中)、回饋與控制(事中與事後)。上述之投入，又區分為內部資源(設備、物料等)與外部需求(產品與特殊製程需求等)，共計四大類，每一類別中各自對應數種不同的影響因子。此種分類方式的目的，在於確認影響週期時間的因子中，哪些項目可分別透過事前、事中或事後的規劃與控制來加以改善。各類別所對應之影響因子及其主要特性說明，詳列於表 1 中，吾人並將前述之 Atherton & Atherton[1]、Kraft[39]與 Maiorana & Iuliano[47]等學者所提出之週期時間影響因子列示於於表中，以茲參考比較。

在特定因子對週期時間之影響性分析方面，僅有少數學者直接就某特定因子與週期時間之關係，進行深入的相關分析，大多數學者係在進行諸如設施佈置、派工法則、緊急工件批等特定主題研究時，認為其所發展之模型或方法，有助於提昇包含生產週期時間在內之績效。由於這些研究，有助於釐清各特定因子對週期時間之影響性，因此，吾人將各學者所進行與週期時間有關之研究主題，列示於表 1 右端。藉由表 1 之分析，使吾人對於影響週期時間之相關因子，更具體之瞭解，以增加對於週期時間形成特徵之掌握與描述能力，並進而提昇週期時間預測之績效。

表1. 週期時間影響因子及其構面

影響因子類別	影響因子	主要特性說明	各學者所認定之週期時間影響因子			與週期時間有關之特定研究主題
			Atherton [1]	Kraft [39]	Maiorana [47]	
投入-內部資源	設備	產能規劃、設備穩定性、機台數量、設備調度、保養維修排程	√	√	√	[8][11][17] [44][48][50][56]
	設施與廠房佈置	設施空間(作業空間、維修空間、暫存空間)規劃、機台佈置	√	√		[77][93]
	人員	技術熟練度、人力調度、人機搭配、人員績效管制		√	√	[6][8][17][92]
	搬運	物料存取與搬運系統(Interbay、AGV)、搬運方法、搬運批量	√		√	[17][93]
	物料	原物料(晶圓、化學品、氣體、金屬鈹)之供應方式、品質與穩定性				
	治工具	光罩數量規劃與排程、晶舟(cassettes)數量規劃與控制	√			
	資訊系統	製造執行系統、人員操作介面				
投入-外部需求	產品組合	產品組合、需求量	√		√	[24]
	特殊需求	特殊設備或製程需求			√	
轉換	製程	製程時間、製程步驟數、製程特性限制	√	√	√	[8]
	作業控制	標準作業程序、異常作業程序、人機搭配與操作介面				
控制與回饋	品質管制	SPC、檢驗程序、重加工	√	√		[6][12][15][16]
	投料與派工法則	投料與派工邏輯、即時性				[17][25][34][35] [46][56][73][82][91]
	整備時間與控制	內在與外在整備時間、整備法則設計、即時性	√	√	√	[27][73]
	批量大小與控制	批量法則之設計、即時性	√	√	√	[17][23][26][61][73]
	目標規劃與控制	目標(target)規劃、控制、回饋				[11]
	工件/工單管理	緊急工件、凍結工件(hold lot)、半製品暫存工件(code/bank lot)、生產線平衡	√	√	√	[8][21][24][44] [48][50][52][56]

2.2. 週期時間之估算方法

隨著生產系統複雜度的提高，週期時間預測之困難度將因而倍增。Blackstone[7]即指出，在所有的排程元素(elements)中，以等候時間的估算最為困難，若產能需求規劃系統(Capacity Requirement Planning; CRP)要能有效運作，則週期時間、等候時間必須是可預測的。

在週期時間分類方面，Enns[19]將零工工廠(job shop)之流程時間預測方法(flow time prediction)，分為解析關係法(analytical relationship)、動態績效回饋法(dynamic performance feedback)及實證資料分析(empirical data analysis)三大類。其進一步指出，雖然以實證資料分析法來建立預測模型者最多，但各模型係立基於特定環境下所發展出來的，缺乏通用性的一般原則。Glynn[27]、Matsuyama & Atherton[50]及 Raddon & Grigsby[60]則將週期時間預測法，分成模擬、等候理論與統計迴歸分析法三大類。Lawrance[41]將週期時間預測模式，區分為實證資料分析法、模擬法及數值分析法。

綜合上述說明，吾人依據週期時間估算法之特性差異，將週期時間估算法區分為下列五種類型，並簡述各類型之相關研究。

(1). 直接程序法(direct procedure)

直接程序法係僅利用目前可得之資訊，如工件特徵、現場狀況等資訊，來進行週期時間的估算。

Vig & Dooley[74]及張氏[87]均認為剛完工之工件的生產績效，往往相當程度的反應了系統現況，故採用動態回饋與更新法，利用最新完工的三個工件之週期時間資訊，動態求算工件在各製程步驟之平均流動時間(flow time)，並結合製程步驟數與加工時間等特性，透過適當的加權原則，以做為新工件之週期時間之推估。

(2). 模擬法(simulation)與人工智慧法(artificial intelligence; AI)

建立模擬系統，經由模擬晶圓廠之實際運作，來預測晶圓批之生產週期時間。另一方法是利用專家系統(expert system)與類神經網路(neural network)

等人工智慧方法，來進行預測程序。由於人工智慧方法，常以模擬結果做為其模型中知識庫(knowledge database)之建立，因此，將其與模擬歸為同一類型。

模擬是晶圓製造廠最廣泛使用的作業研究工具之一，其具有模擬系統動態行為及解決 what-if 問題之能力[72]。Atherton & Atherton[1]即認為，模擬是具有描述晶圓製造廠動態產能的唯一工具。因此，絕大多數晶圓廠均已導入模擬系統，以做為預測生產績效或決策支援之工具。

在實務上，模擬雖已被廣泛運用，但在學術研究方面，則係將研究重心置於生產策略、排程及活動控制績效之研究分析上，例如在下列與模擬有關之文獻中[15][21][23][25][26][37][50][55][76][81][87][86][87]，模擬僅只是做為驗證各種策略或方法成效之工具，並非研究之重點。

除上述研究外，Rose[62]透過建立一個簡化的特殊模擬模型，來做為預測週期時間之工具。該模型中僅包含瓶頸工作站及其對應之製程步驟，至於其他非瓶頸工作站，則以延遲時間(delay time)視之，如圖 3所示。其目的在於評估將複雜模型簡化成僅以瓶頸機台為模擬對象時，對週期時間等生產績效之影響性。其模擬結果顯示，利用簡化之模擬模型，可以得到與完整模型近乎相同的模擬結果，且可大幅降低模擬過程之時間。

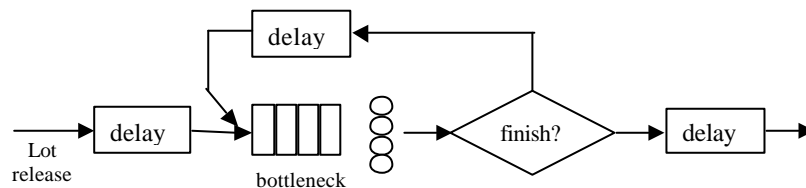


圖3. 簡化模擬模型示意圖[62]

在人工智慧方面，Yu *et al.*[83]運用類神經網路來建立每一工作站之輸入與輸出之關係，並做為週期時間預測之學習系統(learning system)的基礎，游氏[101]並將此週期時間預測機制，運用在晶圓製造廠之整合性訂單達交系統研究中。但是，類神經網路在學習過程中需要耗費相當長的時間，且模型的構建與維護需要特殊之專業知識，使得其與模擬系統在實務上的應用，均受到相當的限制。

(3). 統計分析法(statistical analysis method)

利用迴歸分析或是相關分析等統計方法，尋找週期時間與各類變數之間的關係，並依此建立統計模型來進行預測。

Raddon & Grigsby[60]依據歷史資料建立迴歸模型，以預測工件之生產週期時間，透過此模型，使得週期時間估算誤差在 ± 2 天之內的比例，由 50% 提高到 100%。由於統計分析法，乃藉由過去狀態來推測未來，當系統變異較大時，此種推測法之準確度愈差。故此方法與實證資料分析法所面臨的問題相同，即所發展出之模型，缺乏一致的通用性，且僅適用於短期之預測。

(4). 數學分析法(mathematical method)

主要以等候理論或數學模式為基礎，利用數學公式推導工件流動時間之均值及其標準差，進而利用常態分配的假設來設定所需參數。

在工作站週期時間的估算方面，Wang *et al.*[75]結合兩個由等候理論所推導出之公式：Little's formula($L=\lambda W$)及 Kingman's equation[38]，以估算工作站週期時間，如下式所示。其中 u 為機台利用率， a 及 b 為估計參數，其值係由歷史資料分析而得。

$$T = a + b \times \frac{u}{1-u} \quad (1)$$

Kramer[40]與 Martin[48]則直接以等候理論為基礎，發展理論週期時間與實際週期時間比值(X-Factor)之估算式，如下式所示：

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

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

Martin[48]在其研究中，進一步將瓶頸機台與非瓶頸機台之 X Factor 值，依據兩者在整體製程時間中所佔之時間比例，採加權方式來估算系統整體的 X Factor (X_{OA})，其並將 X_{OA} 乘以整體製程時間所得之值，當做計畫週期時間值。

此外，Conway *et al.*[13]利用 Laplace 轉換式來估算單一機器上的流動時間。Conway 估計式，可表示成下式所示：

$$E(X) = E(P) + \frac{IE(P^2)}{2(1-r)} \quad (4)$$

其中， $E(X)$ 表示工件的期望流動時間， $E(P)$ 表示期望實際作業時間， $E(P^2)$ 表示作業時間之平方期望值， λ 表示工件之到達率， ρ 表示機器利用率。

在某一特定連續製程步驟之週期時間估算方面，Chang *et al.*[11]發展一個確定性(deterministic)之週期時間估算法，其依據各製程區塊(stage)之起始在製品量及主要機台之製程時間，來推算晶圓批之流動速率，以做為訂定生產目標水準之依據。

上述各種方法，均未將批次機台之批量特性納入考量，然而，批量問題乃是晶圓廠重要的製程特性，其為影響週期時間之重要因子。因此，已有部分學者開始將批量因素納入模型考量中。蘇氏[87]與施式[84]修正了上述之 Conway 估計式，將批次機台之加工批量正式納入模式中考量，其修正後之模型，如下式所示：(其中 ABS 代表批次機台之加工批量大小。)

$$E(X) = E(P) + \frac{IE(P^2)}{2(1-r) \times ABS} \quad (5)$$

Srivatsan & Kempf[70]在其研究中，係先透過產能分配模式，來決定各製程步驟之可用產能水準，然後再依據各工件批之優先次序，及其在各製程步驟之製程時間，來推估各工件批通過各製程步驟之時間點。在其模型中已考量了平均載入批量之概念，但對於各機台載入批量大小差異所造成之影響，則未加以考量。

除了直接運用等候模型來估算週期時間外，Sattler[64]在其研究中，則運用等候曲線(queueing curve)來量度各工作中心的產出水準及週期時間，並據以評估生產力改善之成效。上述之等候曲線，乃係運用等候理論來描述產出量(throughput)與週期時間之數學關係，所繪製出之產出量與週期時間關係曲線圖。Aurand & Miller[2]與 Wiendahl[79]同樣認為等候理論模型可以應用

在快速計算特徵作業曲線，以決定績效曲線的彎曲程度。

Connors *et al.*[12]運用等候網路模型來求算晶圓廠之生產績效，其除了分別依據批次與序列機台之特性進行等候模型構建外，模型中亦考量重加工、報廢(scrap)、批量大小等因素之影響。此模型除了被用以估算週期時間、工作站利用率等生產績效外，亦被用以做為機台數之規劃與評估。

(5). 混合法(Hybrid method)

整合多種研究方法，以進行週期時間之預測。

Enns[19]考量工件特徵與現場負荷，同時運用數值分析法與模擬法，發展出一個動態的流程時間估算法，並以此法預測週期時間，做為交期訂定之基礎。張氏與朱氏[89]在其研究中，則結合模擬、迴歸分析與類神經網路，其透過模擬來蒐集系統到達穩態後之訂單資訊，並藉由迴歸分析來找出對於流動時間有影響之因子及各項參數，最後藉由類神經網路之測試及評估，以找出一個有效的交期指定模式。Kaplan & Unal[36]則是採用結合模擬與統計分析法，來進行週期時間之估算。

上述五大類週期時間預測方法，其適用之環境不同，優缺點亦有所差異，但是包括諸位學者[19][27][41][50][60][86]對上述各種方法之評斷，有頗為一致性的看法，吾人將其彙整如表 2 所示。各學者相關文獻之定位，請參見圖 4。在圖 4 中，吾人將週期時間估算法所欲估算之標的物，劃分為製程、特定連續製程區段及工作站(製程步驟)三大類，其各別目的陳述如下：

(1). 以製程為估算標的

其目的在於預測工件之完工日，以做為準時達交(on time delivery)績效預測或交期訂定之依據。

(2). 以連續製程區段為估算標的

例如估算工件批由製程步驟 100 流至製程步驟 150 所須之時間。其目的在於推估某一段時間內，各工件批之移動速率，進而推估各工作中心或整個生產系統之產出(throughput)與利用率(utilization)水準。

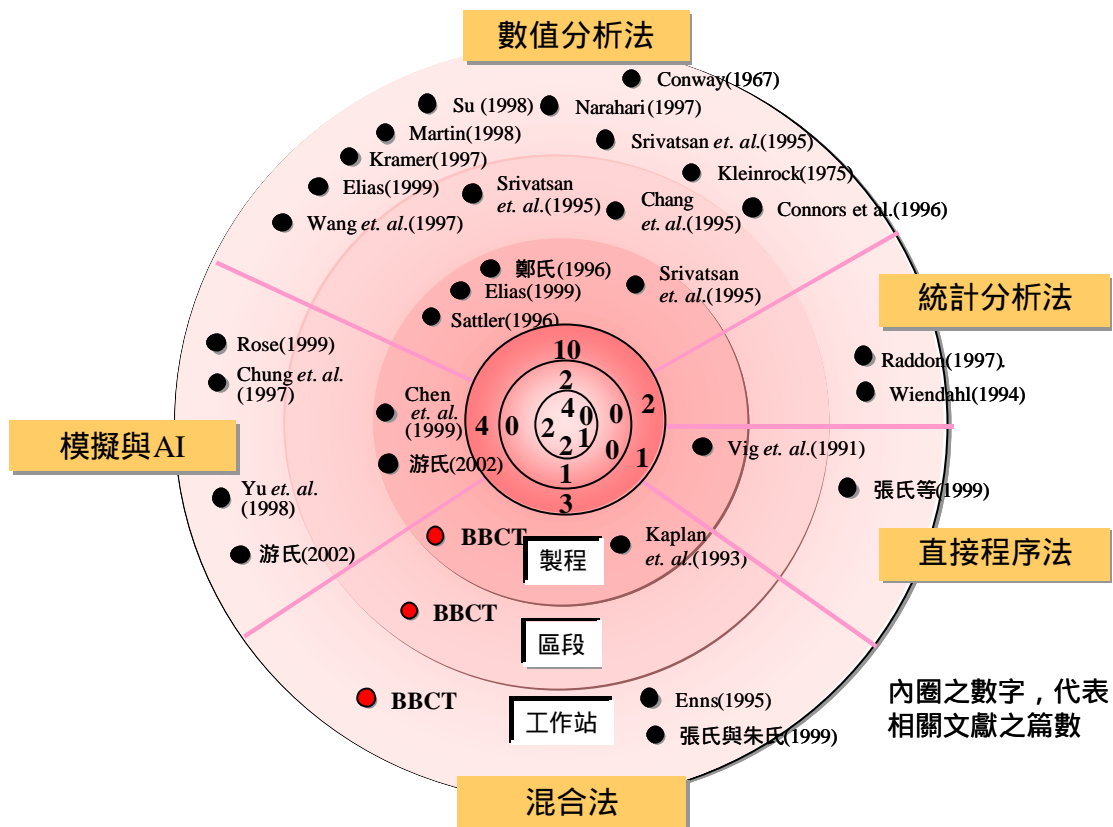


圖4. 週期時間估算法相關文獻類別圖

(3). 以工作站為估算標的

其用途或目的具多樣化，除了可直接用來做為推估整個製程或連續製程區段週期時間之基礎外，亦可做為現場控制及工作站效率改善之依據。

在圖 4中，吾人可以清楚地觀察出，各學者所發展之週期時間估算法，大多係採用以等候理論為主之數學分析法，且探討之對象集中在工作站週期時間估算上，其主要原因在於每一製程之製程步驟繁複，且製程步驟彼此之間及其與工作站之間的交互作用，難以被有效評估與確認。吾人在第三章所發展之區段基礎式週期時間估算法(block-based cycle time estimation methodology; BBCT)，即企圖克服上述問題，將焦點置於工件批或工單之總生產週期時間(亦即製程週期時間)，及特定連續製程步驟之週期時間之估算上。此外，黃氏[95]已將 BBCT 之應用，擴展至作業層(photo layer)週期時間之估算，王氏[94]則以 BBCT 法為基礎，進一步發展出工作站週期時間之估算法則，使得 BBCT 法之應用，同時含括製程、區段及工作站週期時間之估算。

表2. 週期時間估算法之比較[19][27][41][50][60][86]

週期時間估算法	方法及適用環境	優點	缺點
直接程序法	<ul style="list-style-type: none"> •方法：只使用目前可得之資訊(如工件特徵、現場狀況等)。 •適用於：短期、動態環境。 	<ul style="list-style-type: none"> •簡單、不須繁複的計算過程。 	<ul style="list-style-type: none"> •模式中所使用之係數仍須以其它方法得到。
模擬法與人工智慧法	<ul style="list-style-type: none"> •方法：建立離散事件模擬模型，經由模擬結果來預測週期時間。 •適用於：缺乏相關生產資料(例如新廠籌建、新製程導入)、中長期之決策評估。 	<ul style="list-style-type: none"> •透過建立詳細的模型，可以提昇預測之精準性； •有效模擬動態環境； •可解答 What-if 的問題，提供決策參考，或預測控制參數之值。 	<ul style="list-style-type: none"> •Model validation 不易，須經多次模擬方能確認可行性； •模擬過程所須時間相對較長； •每一個 What-if 情境分析，需耗時較長。
統計分析法	<ul style="list-style-type: none"> •方法：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。 •適用於：短中期、穩定環境。 	<ul style="list-style-type: none"> •具有統計可信度； •模型簡單，容易使用； •現場人員接受度較高。 	<ul style="list-style-type: none"> •所需處理之資料量極為龐大耗時； •過去的趨勢並不一定適用於未來； •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	<ul style="list-style-type: none"> •方法：主要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。 •適用於：中長期、穩態環境。 	<ul style="list-style-type: none"> •具統計分配特性，可以推導出預測誤差的分佈； •執行運算所須之時間短。 	<ul style="list-style-type: none"> •簡化過之數學模式往往與實際情形有所差異； •數學模式複雜度高，有時不易推導出可用模式。
混合型	<ul style="list-style-type: none"> •方法：整合多種研究方法，進行週期時間之預測。 •適用於：依據結合的方法，而有不同的適用環境。 	<ul style="list-style-type: none"> •可整合各種方法之優點； •不同的限制條件或影響因子，可各別採用不同的方法來處理。 	<ul style="list-style-type: none"> •各種方法之假設前提可能相互存在矛盾點； •模型估算差異原因的分析可能較為困難。

2.3. 週期時間與其他系統績效之關係

週期時間與系統其他績效之關係，主要可分成良率、在製品與產出量三個部分，如下所述。

1. 週期時間與良率之關係

Matsuyama & Atherton[50]在其研究中指出，ASIC 市場有三個主要的績效量度指標，分別是週期時間、產品品質與成本，但是產品品質與成本，均為週期時間之函數。Meyersdorf & Yang[51]特別針對週期時間影響良率之主要途徑提出說明，其認為週期時間影響良率之主要原因在於：

- (1). 週期時間越長，晶圓遭受微粒子污染的機率越高，造成良率下降；
- (2). 週期時間越長，問題回饋的反應時間越長，造成相同錯誤會不斷重複發生。

總結來說，週期時間越長，晶粒良率將越低。關於週期時間(或等候時間)與良率之關係，有許多實證研究及數學模型[15][16][76]，本文以 Seed's Model[1]為例，說明兩者之關係，如下式所示：

$$y = \exp(AD)^{-1/2} = \exp(AHP)^{-1/2} \quad (6)$$

上述符號中，y 表示晶粒良率(die yield)，A 表示晶方面積(chip area)，D 表示缺陷密度(defect density)，其中 D 為晶圓等候時間(H)與微粒子沉積率函數(P)之乘積。上式顯示出，當晶圓等候時間(H)越長，良率(y)越低。Cunningham[15][16]、Srinivasan *et al.* [69]及 Wein[76]所推導出之數學模型，亦呼應相同的看法。

2. 週期時間與在製品量之關係

當在製品量增加，將使得機台利用率(utilization)提高，而機台利用率提高，雖可使得產出量增加，但同時亦造成週期時間增長。在製品對於週期時間之影響性，不僅來自於在製品數量多寡之影響，包括在製品之產品組合、產品等級、製程特性與生產線平衡狀態等因素，均會對週期時間造成影響。

在產品組合方面，Glynn, *et al.*[27]認為即使在同一工廠中，當生產批量不同時，各產品之流動速率會有差異，生產數量大的產品其流動速率較快，週期時間較短；相對地，生產數量小的產品，其流動速率較慢，週期時間較長。Atherton & Atherton[1]亦指出，當批次機台採用滿載(full load)法則時，對小批量的製程而言，其產品等候時間將特別的長。

在產品等級方面，當緊急工件批佔在製品量比例增加時，則正常工件批(normal lots)週期時間之平均值與標準差，均會急遽增加[9][21]。(在第 2.4 節中，會就緊急工件批之相關文獻，提出詳細說明。)

在製程特性方面，若製程越複雜(製程步驟越多、製程時間越長、特殊製程要求項目越多)，則週期時間平均值及變異數均會加大。此外，在生產線平衡方面，生產線越不平衡，機台利用率與工件批流動速率將越不穩定，週期時間將越長，且其變異亦將增大。

3. 週期時間與產出量之關係

Atherton & Atherton[1]進一步提出，依據週期時間與良率之關係，當在製品量到達某一定程度後，由於週期時間增長，造成了晶粒良率的降低，因此以晶粒衡量的產出量，反而會下降。由於晶圓製造廠銷售的產出物，一般而言，主要是晶粒(good die 或經過封裝測試後之 chip)，或晶圓片(wafer)，但即使是以晶圓片為計價單位，亦是以每一晶圓片上的晶粒良率為計價依據。因此，晶粒乃是晶圓製造廠之實質產出，而晶圓片僅為名目產出。

因此，在探討產出量與週期時間的關係時，主要視是否考量良率因素而有所不同。

- 不考慮良率因素

在不考慮良率的因素下，若可用產能水準與作業效率維持固定不變，則產出量越高，週期時間將越長。(因為產出之增加，來自於在製品量增加之貢獻)

- 考慮良率因素

當考慮良率因素後，若可用產能水準與作業效率效率固定不變，則由於在製品量增加，將導致週期時間增加，而週期時間增加，將造成良率的下降。因此，當考慮良率因素後，在製品量增加會造成週期時間增加，但是否會造成產出量增加，則必須視產出增加率與產品報廢率何者較大而定。

在增加產出量方面，一般工廠往往透過提高在製品水準，來做為提昇產出量的手段，然而，其付出的代價是週期時間增加，並進而導致交期達成率及市場反應力的下降，至於其實質產出，則並不一定獲得提昇，其概念如圖 5 所示。圖 5 亦顯示出，交期達成率、市場反應力及實質產出量之相關績效，會因週期時間增長而下降。

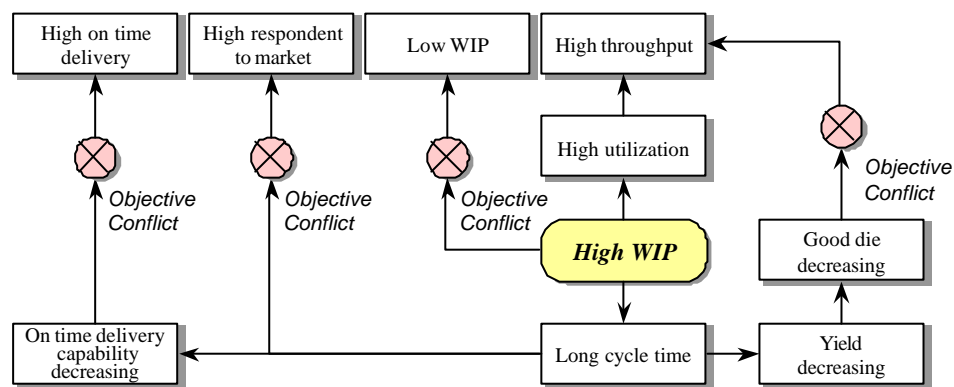


圖5. 生產績效指標衝突關係圖

此外，部分晶圓廠[27][33][48][54]亦開始嘗試運用限制理論(Theory of Constraint; TOC) [48][65][66][71]之概念，企圖藉由提升瓶頸資源之利用率，以增加系統之整體產出。對於 TOC 的運用，Martin[48]提出了警告，其認為 TOC 強調極大化瓶頸利用率，此舉將導致週期時間之上昇，但對晶圓製造業而言，週期時間乃是一項重要的市場競爭力指標，因此，其主張在運用 TOC 理論時，應特別考量產出量與週期時間之間的平衡(balance)問題。

如前所述，在製品量增加，短期內使得名目產出與實質產出均呈遞增狀態，但當在製品量逐漸累積超過某一定量後，由於週期時間的大幅增長，造成晶粒良率的下降幅度加劇，因此，其實質產出量(good die)反而會呈現遞減的狀態。此外，

隨著在製品量的遞增，週期時間會呈現遞增的狀態，當超過某一在製品水準時，週期時間增加的速度會大於在製品量增加的速度，而且市場反應力或準時交貨率會因為週期時間的增長而呈現遞減的狀態。

綜合上述說明，吾人以在製品量為橫軸(X 軸)，晶粒產出量、週期時間、準時交貨率為縱軸(Y 軸)，繪製出生產績效關係曲線圖，如圖 6所示，此圖顯示出週期時間、產出量、準時交貨率與在製品量之間的關係。

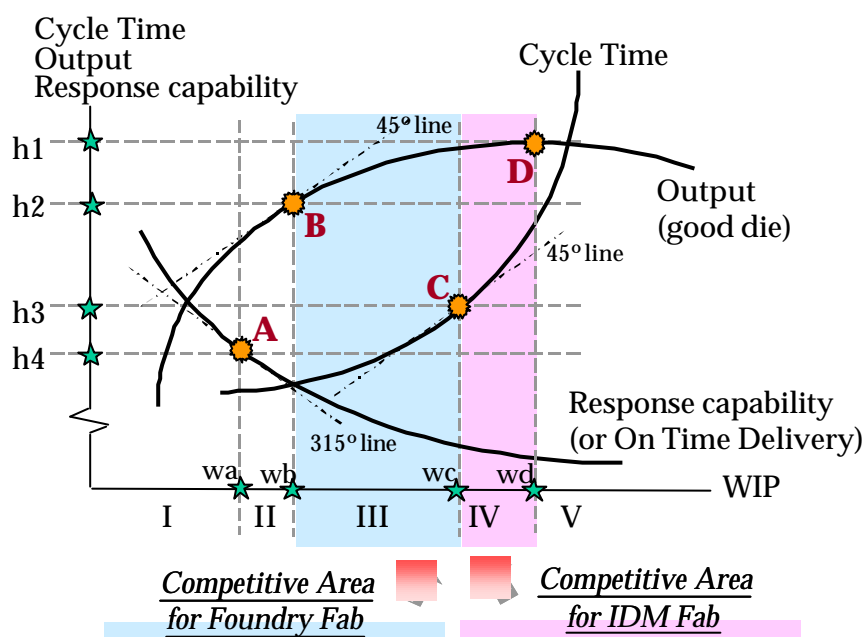


圖6. 生產績效指標關係圖

在圖 6中，吾人首先找出各曲線的反曲點，以瞭解每個指標水準增減速率變化的反向點，計有 A、B、C 及 D 四點，其對應之在製品量分別為 w_a 、 w_b 、 w_c 及 w_d 。透過此四點，吾人將在製品水準區分為五個區段(I-V)，其中在製品量 w_b (對應 B 點)，為產出加速度反向變化的點，在製品量 w_d (對應 D 點)，為產出量由遞增變成遞減的點，因此，最適的在製品水準應維持在 w_b 與 w_d 之間，亦即區段 III 與 IV 之內。

由於訂單式生產(例如：晶圓代工廠；foundry fab)特別著重在週期時間與交期達成率，而存貨式生產(例如：整合元件製造廠；IDM fab)則偏重在產出水準績效[47]。對照圖 6之分析，訂單式生產與存貨式生產系統之最適生產區段，分別為：

(1). 訂單式生產或週期時間是系統限制時：區段 III

(2). 存貨式生產或資源產能是系統限制時：區段 IV

2.4. 緊急工單對週期時間之影響

工廠設立緊急工單之目的，主要在於兩個方面：(1)縮短製程或產品研發之時間，及(2)滿足對特定顧客交期之允諾[21][24]。

就工程實驗工件批對生產系統之影響性而言，Atherton & Atherton[1]認為，因為工程實驗工件批通常有較複雜之製程、較多的步驟數、較長的加工時間與再回流次數，因此，緊急工件批之導入將造成產能之損失。此外，在某些投料速率下，緊急工件批批量可能造成瓶頸漂移的情況，假若瓶頸發生漂移，則所有先前關於產能與資源的規劃，及生產作業之指派，均不再有效。

就導入緊急工單後對其他工件批之影響，Etheshami *et al.*[21]認為，當緊急工件批佔總在製品量比例增加時，系統整體的週期時間平均值仍保持定值，但標準差會急遽增高，此外，正常工件批週期時間之平均值與標準差，均會急遽增加。其並主張任何緊急工件批所造成之額外成本，應被有效量測，例如正常工件批週期時間增長，將會造成良率的降低，因而造成品質成本的損失。Fronckowiak *et al.*[24]與 Miller[52]在針對製程研發工廠所進行的模擬實驗中，也得到與 Etheshami 相同的結論。

上述研究分析係以模擬做為驗證與分析的工具，模擬結果雖明確指出導入緊急工單後，對於系統績效會有負面影響，但模擬結果無法直接一般化，且模擬時間相當耗時，在應用上有其限制性。因此，吾人將評估具有工程實驗產品(亦即緊急工件批)下之物流變化特性，並據以修正第三章所發展之區段基礎式週期時間估算法，使其能應用在具實驗工件批的生產環境，並於第四章中詳細介紹此修正後之數學運算模式。

2.5. 投料循環表與固定在製品量投料法則

投料策略與派工策略係為生產作業控制系統之決策核心工具，該兩決策工具之選定，將影響系統之工件流狀態，進而影響在製品數量、資源利用率、生產週期長短及交期達成率等生產績效，且投料法則對於生產績效之影響性，相對於派工法則重要[46][76][82]。柯氏[96]在其研究中運用投料平準化觀念來構建投料循環表，並結合固定在製品量(Constant WIP; CONWIP)[62][63]之觀念，有效降低產出與週期時間變異，提高客戶交期達成率。因此，本文將引用柯氏[96]的投料循環表與固定在製品量[62][63]，做為投料之決策依據。

柯氏[96]之投料循環表，係以投料平準化為核心觀念，其依據各工件別之目標產出量比例，推算出各工件別之產出間隔時間，再乘以各工件別之連批投料量，得到平均投料間隔時間，當各產品等級依此原則進行安排至一個完整循環時，即完成了投料循環表的設定。

實際投料作業時，係依據上述之投料循環表進行投料，但投料時點的決定，則係依據固定在製品量法。CONWIP 是一種典型的閉迴式(closed-loop)投料機制，其基本觀念在於透過控制系統之在製品數量，以達到控制週期時間水準的目的，故其觀念導源於 Little's formula ($L=\lambda W$)。CONWIP 基本運作邏輯在於：設定一個系統的在製品上限值(threshold)，當系統在製品量低於此上限值時，即觸發投料事件的產生。在此機制下，由於在製品數量趨於定值，工作站利用率與生產週期時間也將會有較小的變異，使系統達到一個較佳的穩定狀態。

第三章、區段基礎式週期時間估算法

3.1. 問題分析與定義

半導體市場之競爭，已由傳統上產品成本與製程技術能力之競爭，擴展到客戶服務品質的競爭，而客戶所關注之週期時間與交期績效，則與週期時間預測與控制能力，有密不可分之相關性。週期時間在生產規劃與控制系統中，扮演著相當關鍵的角色，舉凡生產排程的訂定、訂單交期之指派、產能需求規劃與檢核等等，均需運用工作中心週期時間或訂單週期時間之資訊，以做為規劃與控制之依據。因此，Weindahl[79]即明白的表示，工作中心與訂單之週期時間，乃是生產計畫與管制架構中，最基本的兩個元件，如何量度與監控週期時間，係為生產排程與管制中最主要的工作，週期時間預測的準確性，攸關著系統績效的好壞。

週期時間預測之準確性，決定於是否能夠有效掌握工件批在系統中的流動特徵。所謂工件批之流動特徵，係指工件批在系統既定之製程特性、設備特性、產品組合與生產控制策略之交互作用與影響下，工件批在系統中依據製程步驟順序進行加工作業時，其流動速率所呈現之顯著特質。顯然地，若無法精確掌控工件批在系統中之流動特性，勢將無法有效地進行週期時間之預測。

然而，晶圓製造廠複雜的製程與設備特性，使得系統的運作行為(behavior)，難以被精確描述，其困難點在於晶圓製程動輒四、五百道的製程步驟，且兼具再回流(reentry)及設備多樣性，在各種複雜因素的交互作用下，使得工件批之流動特徵，不易被有效定義出來，過去所發展之各種晶圓製造廠週期時間估算法，也不以描述晶圓流特徵做為週期時間預測模型的理論基礎。

就目前所發展之晶圓製造廠週期時間估算法而言，主要以等候理論模型、迴歸分析及模擬法為主。前兩者由於並未有效考量晶圓製造之物流特性，使得週期時間預測之準確性，無法有效獲得提昇。至於模擬(simulation)方面，其雖被視為最具有描述系統動態行為能力之方法[1]，然而，建立在特定環境下之模擬系統，其成果難以一般化(generalized)[41]，不僅模擬系統構建成本高昂，且系統運作需要耗費相當長的時間，在某些強調快速反應的接單系統或現場排程系統環境下，可能造成實用上之限制。

為解決上述問題，吾人發展一區段基礎式週期時間估算法(BBCT)，以達成高預測準確性、快速反應能力、具一般化且可重複使用性(reusable)之目的。BBCT週期時間預測法，係基於下列基本假設：

- 生產系統屬於多量少樣之型態；
- 計劃產出目標與產品組合均為已知；
- 批量法則採用最小載入批量法；
- 派工作業採用先進先出法(FIFO)；
- 批量法則優先於派工法則；
- 在規劃幅度內工廠產能水準固定且瓶頸設備亦為固定；
- 不考慮替代途程或備用機台；
- 不考慮作業員及工具數量之相關限制；
- 不考慮產品等級限制；
- 不考慮工件批凍結(hold)、分批(split)及併批(merge)；
- 不考慮整備(setup)作業及物料搬運時間。

影響工件批在晶圓廠內流動速率的因素相當多，如第 2.1 節表 1所示之搬運設備、人員配置、廠房設施 等因素，均會對工件批之流動造成影響，但由於晶圓廠絕大部分的建廠支出與營運成本，係來自於生產設備的資本支出與折舊，故實務上不會讓非生產設備(例如：搬運設備、廠房設施、冶工具、作業人員 等)及其對應之管理法則，成為影響晶圓產出與流動的瓶頸。特別是當生產週期時間已成為顧客所關注的績效重點時，任何非瓶頸設備或非生產設備所造成之等候時間，均會被晶圓廠列為改善的重點。在此基本原則下，晶圓批最主要之等候時間係來自於等候生產設備之時間，此等候時間之形成，與該工作站之負荷水準及產能水準有關。由於在一個有效管理的晶圓廠內，晶圓批花在等候非生產設備的時間，遠較生產設備為低，故本文將僅把生產設備之等候時間影響因素納入週期時間估算模型中。

在下一節中，將先分析晶圓批之物流特徵，並進而闡述 BBCT 演算法之基本原理與架構。其次，依序說明負荷因子與批量因子等候時間之估算方法。最後，以晶圓製造廠之實際生產資料，構建一個實驗模型，以驗證 BBCT 法之成效。本章之章節架構，如圖 7 所示。

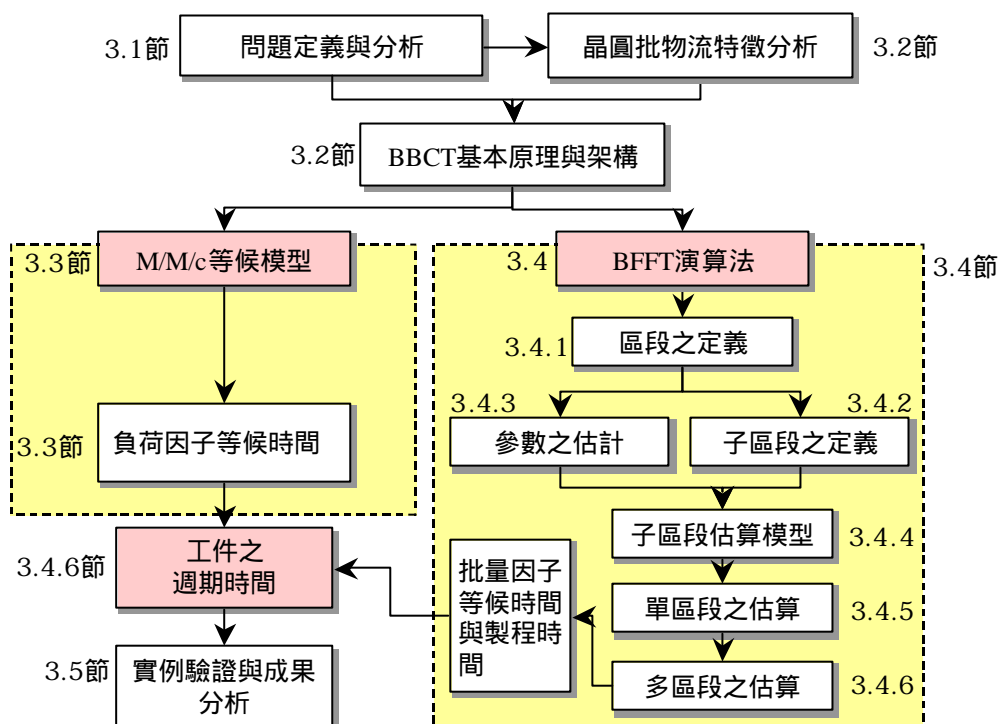


圖7. 第三章之章節架構

3.2. 區段基礎式週期時間估算法之基本原理與架構

區段基礎式週期時間估算法之基本原理，在於有效定義出晶圓廠物流之物理特徵，使複雜的製造流程可以依據物流特性差異，切割成各個獨立之製程區段，並藉由推導出對應該物流特性之數學演算式，及運用組合運算之原理，以求得完整製程之生產週期時間。

由於晶圓製造的複雜性，使得無法以一個簡單的數學模型來含括製造流程的變化。一個可行的方法是對約五百道的製造步驟加以檢視，分析工件批在這些製程步驟間移動時所表現的物流行為，並檢驗這些行為間是否存在相似性，透過相似性檢驗、分析、歸納與整理，將具相似性的製造步驟區段及其特徵予以定義，

並發展出所對應之基本估算模型。每一個估算模型代表一種特定的物流型態，亦即一種特定的週期時間形成狀態，只要能瞭解個別估算模型間之差異，就能掌握工件批在不同區段間流動的可能狀態，因而可以大幅提昇週期時間預測的準確度。

工作站之平均產能水準，主要決定於該工作站之機台數、可使用率(availability)與平均載入批量。該工作站若為序列機種，則平均載入批量為一批；工作站為批次機種，則平均載入批量與批量法則之設定有關。依據實務上之觀察，工作站之載入批量之設定，高度影響該工作站之產出速率，若該工作站之產出速率降低，將使得工件批在該工作站之等候時間增長，此外，前後製程工作站之相對產出速率差異，會影響後製程工作站之在製品累積率，亦因此影響工件批之等候時間。因此，除了工作站之負荷水準之外，工作站的載入批量差異特性，亦是造成晶圓批等候時間形成的重要因素。

綜合上述說明，假若不考慮當機等異常事件之影響，則本文將晶圓批等候時間之形成，歸納為下列兩項因素：(1)工作站負荷水準；與(2)前後製程工作站之載入批量差異。吾人將上述影響等候時間形成因素之因子，分別定義為「負荷因子(loading-factor)」與「批量因子(batching-factor)」。由於批量因子等候時間係源自於批次工作站的作業特性，為進一步詮釋晶圓廠之物流特徵，吾人將先說明各工件批在批次工作站前之等候線狀態。

當工件批進到批次工作站時，會受到批量法則與派工法則之控制，且批量法則優先於派工法則。當此工件批進入等候線，系統將會檢驗等候線上與此工件批屬於同產品之工件批數，是否滿足最小載入批量之限制，若工件批數已達最小載入批量，則此工件批將被視為允許載入之候選工件批，並依據各候選工件批到達工作站之先後次序，依序等候進行加工作業。但若該工件批尚未達最小載入批量，則必須繼續進行集批之等候，直到滿足最小載入批量為止。此外，若工件批超過批次機台之最大載入批量，則超出最大載入批量部分的工件批，將被獨立成為另一工件批，並檢驗其是否符合最小載入批量限制。

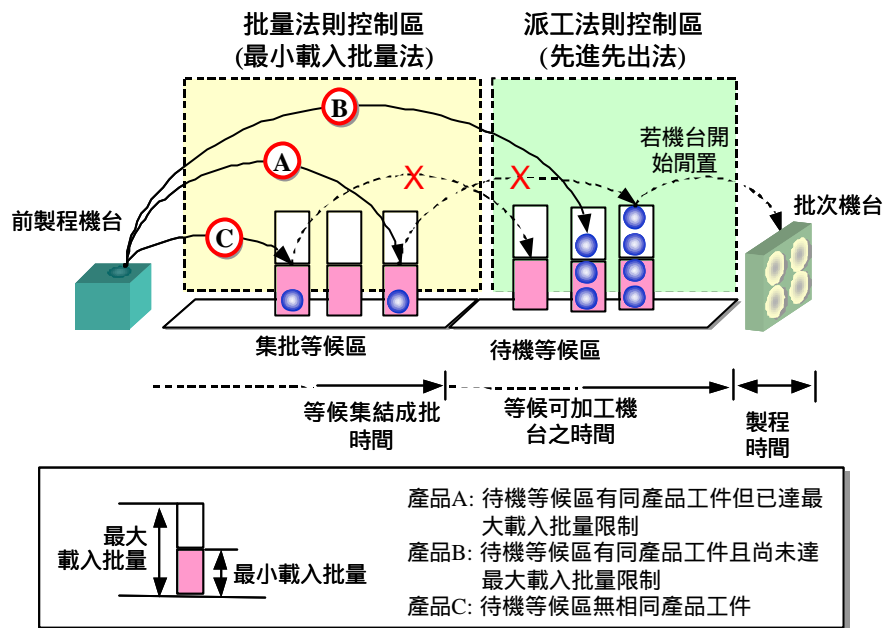


圖8. 批次機台等候線示意圖

由於工件批在滿足最小載入批量限制之前與之後，其等候時間之形成原因有所差異，因此，吾人將等候線劃分為「集批等候區」及「待機等候區」兩個部分，分別對應「尚在等候集結成批之工件批族群」，及「等候可用機台之工件批族群」。此兩個型態之等候區，實質上分別受到批量法則與派工法則之控制。上述概念之示意圖，請見圖 8。

工件批在待機等候區所耗費之等候時間，顯然與機台之負荷有直接關聯性，相對地，工件批在集批等候區中所耗費之等候時間，則與該機台之最小載入批量設定，及前後製程之相對產出速率有關。當最小載入批量越低，工件批之集批時間將越短；相對地，若前製程之產出率相對較低，則會使集批時間增長。

集批等候區及待機等候區與工件批之狀態(lot status)有高度相關性，而不同的工件批狀態則分別歸屬於不同的等候時間類型。如前所述，當工件批到達批次工作站等候線，首先將受到最小載入批量的檢驗，以決定該工件批應進入集批等候區或待機等候區。其次，進入待機等候區中的工件批狀態，會因為機台目前處於忙機或閒置，而產生下列五種可能狀況。(吾人以 B、LB、L、BL 及 R 五種符號簡稱之，其概念示意圖，參見圖 9)。

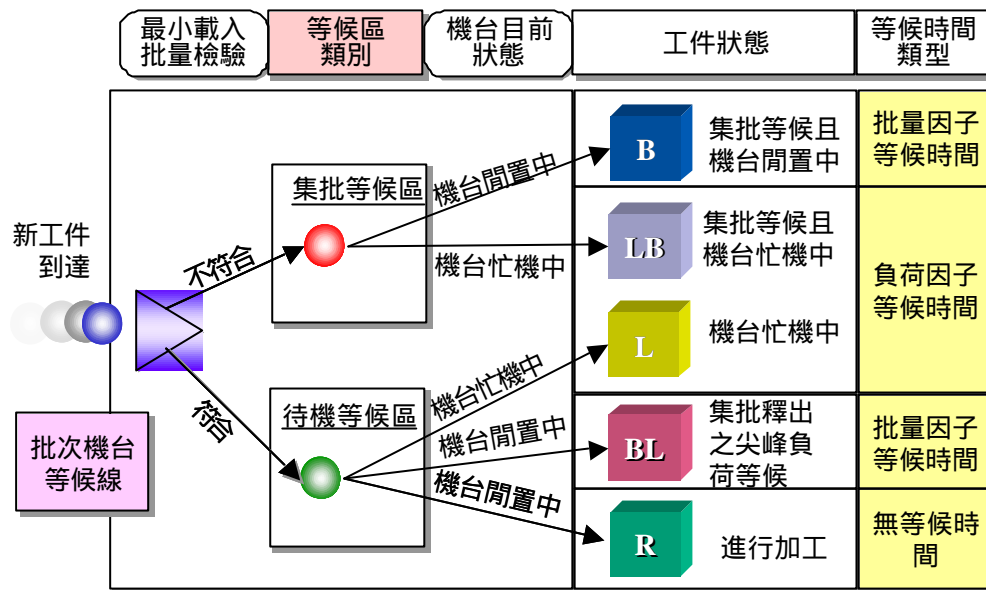


圖9. 工件批狀態分類圖

(1). B 型：工件批處於集批等候狀態。

當工件批到達工作站時，雖然該工作站目前處於閒置狀態，但由於未符合最小載入批量之限制，因而被迫在集批等候區中進行。此時工件批之狀態屬於 B 型，其等候時間模型，屬於批量因子等候時間模型。

(2). LB 型：工件批處於尖峰負荷等候狀態。

所謂尖峰負荷 (peak load)，係指瞬間到達特定工作站之負荷量，超過該工作站所有機台進行一次加工作業可提供之產出量。由於工件批在此種情況下所形成之等候時間，主要是由於批次工作站一次釋出多個工件批所造成，故其等候時間模型，歸屬於批量因子等候時間模型。

(3). BL 型：工件批處於待機且集批等候狀態。

此種狀態下之工件批，正位於集批等候區，且機台正處於忙機狀態。在此情況下，工件批既同時在等候機台閒置，亦因集批而等候。由於此等候時間與負荷因素有關，且此等候時間已被含括在等候模型中，故此種等候時間所對應之模型，將採用負荷因子等候時間模型。

(4). L 型：工件批處於待機等候狀態。

此種狀態下之工件批，正位於待機等候區，且機台正處於忙機狀態。在此情況下，該工件批所屬之工件批群，已經符合最小載入批量之限制，此種型式之等候，純粹是因為機台負荷的關係，因此，此種等候時間所對應之模型，亦採用負荷因子等候時間模型。

(5). R 型：工件批進入加工狀態。

此種狀態下之工件批，正位於待機等候區，且因為其為等候區中唯一的或優先次序最高的工件批，因此，該工件批將可以立即進行載入加工作業，其在待機等候區之時間為零。但若該工件批並非最高優先次序之工件批，則此工件批之狀態係屬於前述之 L 型而非 R 型。

上述係以批次工作站來解釋批量因子與負荷因子等候時間之觀念，但此觀念可以進一步延伸到對整個製造流程的分析上，因此，吾人將觀察物流之範圍，由批次工作站擴展到整個生產線。

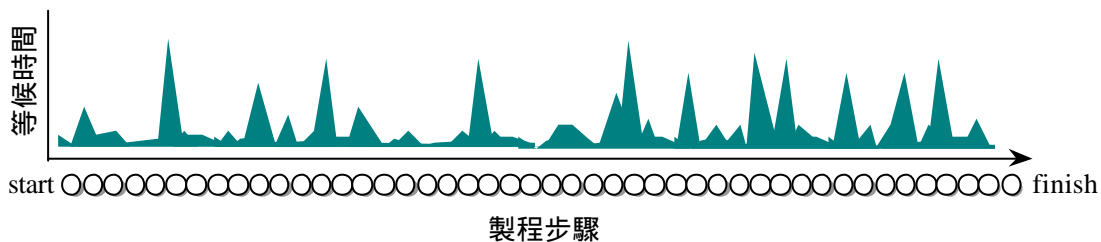


圖 10. 各製程步驟等候時間圖

圖 10 為假定某晶圓批在各製程步驟之等候時間狀態圖，其具有高度不規則性，欲由此不規則的等候時間狀態中，剖析出其特徵，並進而定義其對應之週期時間模型(pattern)，顯然是極其困難的。

為了確認晶圓批在晶圓製造過程中之物流特徵及其模型，吾人依據前述之負荷因子與批量因子，將各製程步驟之等候時間，分解成負荷因子等候時間與批量因子等候時間。負荷因子等候時間大小，主要決定於各工作站之總體負荷水準，因此，瓶頸資源工作站之等候時間，會相對高於其他工作站。如圖 11 中之左下部分所示。因此，只要掌握各工作站之預期負荷，就可以明確估算各工件批在各製程步驟之負荷因子等候時間大小。

另外一方面，批量因子所形成之等候時間，係來自於批次工作站之載入批量限制所造成，此外，在序列工作站部分，也可能因為前製程批次工作站集批釋出多批工件批，使該序列工作站發生瞬間尖峰負荷，而形成特殊之等候時間。此種類型等候時間之形成特徵，與負荷因子等候時間形成特徵不同，必須獨立區分開來檢視，如圖 11 中之右下半所示。總體等候時間則同時由負荷因子與批量因子等候時間所組合而成。

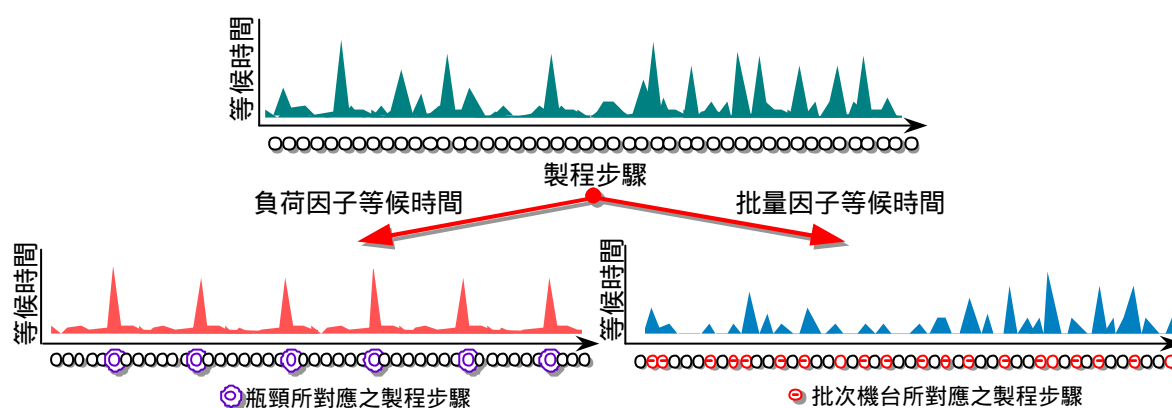


圖 11. 各製程步驟之等候時間之解構圖

在正式說明週期時間估算法則之前，先對下列兩個名詞，做一定義：

- 工件批(lot)：工件批或晶圓批，通常係等於 25 片晶圓(wafer)。工件批為物料搬運的最小單位。
- 工單(order)：一個工單，包含了一定數量之工件批，該工單中之工件批均採用相同的製程，且具有相同的交期。本文假設每一個工單包含 6 個工件批。

對顧客而言，其關注的不僅僅是工件批之週期時間(lot cycle time)，其更加關心整批工單完成所須的時間。因此，本文所探討之週期時間，係指工單之週期時間，亦即同一工單中的所有工件批同時投入生產線，至全部完成並離開生產線為止之時間長度，至於各工件批各別之週期時間，則可由工單週期時間進行反推求得。

如前所述，工件批流經晶圓廠所須之週期時間，可以區分為下列三個部分：

(1). 源於負荷因子之等候時間： T_Q

因該工作站之平均工件批負荷所造成之等候時間。此等候時間將以 M/M/c 等候模式(queueing model)來進行估算，

(2). 源於批量因子之等候時間： T'_B

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。此等候時間將以吾人所發展之「批量因子流程時間演算法(Batching-factor flow time estimation algorithm; BFFT)」來進行估算。

(3) 理論週期時間： T_P

理論週期時間包含純製程時間、載入與卸下時間 等等。

工件批流經工廠所須之整體週期時間 T_T ，則等於 T_Q 、 T'_B 與 T_P 之和。上述結合負荷因子與批量因子等候時間之估算方法，本文綜合稱之為「區段基礎式週期時間估算法(Block-based cycle time estimation methodology; BBCT)」。其概念如圖 12 所示。

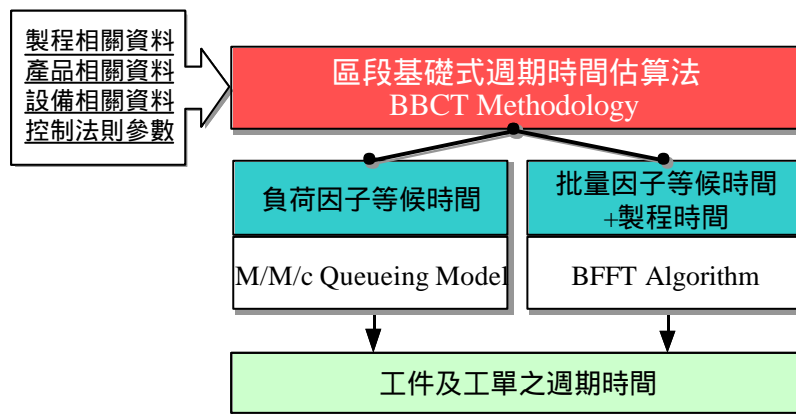


圖 12. 區段基礎式週期時間估算法之估算機制

在正式說明在 T_Q 與 T_B ($T_B = T'_B + T_P$) 之估算程序與演算式之前，先就各項參數符號做一定義。為簡化說明起見，第 i 種製程之第 j 個區段，將以符號 (i,j) 表示。

符號下標

i : 表示第 i 種製程 ;

j : 表示第 j 個區段 ;

k : 表示第 k 個工作站 ;

l : 表示第 l 個製程步驟 ;

q : 表示特定區段之序列工作站群中 , 產出速率最小之工作站所對應之製程步驟。

符號定義

(1). 等候理論模型

c_k : 表示第 k 工作站之可用機台數 ;

e_k : 表示第 k 工作站之平均效率 ;

L_k : 表示第 k 工作站之平均在製品數 ;

\mathfrak{R} : 總計畫投片量 ;

T : 規劃時格長度 ;

I_k : 表示第 k 工作站之平均工件批到達率 ;

m_k : 表示第 k 工作站之平均服務率 ;

f_{ik} : 製程 i 經過第 k 工作站之次數 ;

r_k : 代表第 k 工作站的利用率 ;

g_k : 表示第 k 工作站之平均重加工機率 ;

P_k^0 : 第 k 工作站的在製品水準為 0 的機率 ;

O_k : 表示第 k 工作站之最大產出速率 ;

(2). BFFT 演算法

B_{ij}^{max} : 表示第 (i,j) 區段之後批次工作站之「最大載入批量(maximum batch size)」 ;

B_{ij}^{min} : 表示第 (i,j) 區段之後批次工作站之「最小載入批量(minimum batch size)」 ,
此為該機台所設定之「最低必須同時作業之晶圓批量」 ;

$B_{M(i,l)}^{max}$: 表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟 , 其所對應之工作站之最大載入批量 ;

$B_{(c)ij}^{min}$ ：表示第 (i,j) 區段之關鍵工作站之最小載入批量；(若此關鍵工作站為序列工作站，則 $B_{(c)ij}^{min}=1$)

$c_{M(i,l)}$ ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟，所對應之工作站之可用機台數；

f_{ik} ：表示第 i 種製程經過第 k 工作站之次數；

$M(i,l)$ ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟所對應之工作站；

n ：表示一個工單(order)所包含的晶圓批數目(number of lots)，本文假設一個工單包含 6 個晶圓批；

P_{ij}^b ：表示第 (i,j) 區段之後批次工作站之平均單位作業時間；

P_{ijl} ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟(其屬於第 j 個區段)，所對應的序列工作站之平均單位作業時間；

P_{ij}^c ：表示第 (i,j) 區段之關鍵工作站之平均單位作業時間；

P_{ij}^q ：表示在 S_{ij}^S 中，具有最小產出速率的序列工作站之平均單位作業時間；

S_{ij}^S ：表示第 (i,j) 區段中，所有序列工作站之製程步驟之集合；

S_{ij}^b ：表示第 (i,j) 區段中，後批次工作站(第二個批次工作站)所對應之製程步驟；

S_{ij}^F ：表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之前的所有製程步驟之集合，亦即「前區段(front-end block)」之製程步驟之集合；

S_{ij}^B ：表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之後的所有製程步驟之集合，亦即「後區段(back-end block)」之製程步驟之集合；

S_{ij}^{Fs} ：表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之前的所有序列型態製程步驟之集合；

S_{ij}^{Bs} ：表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站之後的所有序列型態製程步驟之集合；

S_{ij}^q ：表示在 S_{ij}^S 中具有最小產出速率的工作站所對應之製程步驟；

S_{ij}^c ：表示第 (i,j) 區段中，關鍵工作站所對應之製程步驟之集合；

S_{ij}^{c*} ：表示第 (i,j) 區段中，不包含 S_{ij}^b 在內的所有製程步驟中，具有最小產出速率之工作站所對應之製程步驟；

T_{ij}^n ：表示第 i 種製程之 n 個晶圓批，流過第 j 個區段所須之流程時間；

$T_{(F)ij}^n$ ：表示第 (i,j) 區段中的「前區段流程時間(front-end block flow time)」，其等於 $B_{(c)ij}^{min}$ 個工件批流過前區段(S_{ij}^F)所須之流程時間；

$T_{(B)ij}^n$ ：表示第 (i,j) 區段中的「後區段流程時間(back-end block flow time)」；

$T_{(c)ij}^n$ ：表示第 (i,j) 區段中的「關鍵工作站流程時間」。其等於 n 個工件批流過關鍵工作站所須之流程時間；

T_{ijm}^n ：表示第 i 種製程之 n 個工件批，由第 j 個區段流過第 k 個區段所須之流程時間；

$t_{M(i,l)}$ ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟，其所對應之工作站之 WIP 累積速率；

$x_{M(i,l)}$ ：表示第 i 種製程之第 l 個製程步驟，其所對應之工作站之實際載入批量；

$\left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$ ：為一非負整數，係等於 x 除以 y 之餘數無條件進一位；

$\left\lceil \frac{x}{y} \right\rceil$ ：為一非負整數，係等於 x 除以 y 之餘數無條件捨去；

3.3. 負荷因子等候時間之估算-M/M/c等候模型

在求算起源於工作站負荷，亦即起源於負荷因子的等候時間模型中，等候理論(queueing theory)是一個常常被運用的方法。假設各工作站均為不相關的獨立系統，且每個工作站均適用 M/M/c 等候線模型，則第 k 工作站之工件批到達率 λ_k ，可以由計畫投片量(\mathfrak{R})、第 i 種產品之產品組合比例(π_i)、製程 i 所需經過該工作站 k 之次數(f_{ik})與第 k 工作站之平均重加工機率(g_k)計算求得，如公式(7)所示。

$$\lambda_k = \mathfrak{R} \times \sum_i \pi_i \times f_{ik} \times (1 + g_k) \quad (7)$$

第 k 工作站之平均服務率 m_k ，可由規劃時間幅度(T)、第 k 工作站的平均效率(e_k)與單位時間產出速率(O_k)求得，如公式(8)所示：

$$m_k = T \times e_k \times O_k \quad (8)$$

在求得工件批平均到達率 I_k 及工作站平均服務率 m_k 後，工件批流經該工作站所需耗費的等候時間 T_Q ，則可由公式(9)~(12)求得[3][4][80]：

$$\lambda_k = \frac{\lambda_k}{c_k \times \mu_k} \quad (9)$$

$$P_k^0 = \left\{ \left[\sum_{n=0}^{c_k-1} \frac{(I_k/m_k)^n}{n!} \right] + \left[\left(\frac{I_k}{m_k} \right) \left(\frac{1}{c_k!} \left(\frac{c_k \times m_k}{c_k \times m_k - I_k} \right) \right) \right] \right\}^{-1} \quad (10)$$

$$L_k = c_k \times r_k + \frac{(c_k \times r_k)^{c_k+1} P_k^0}{c_k \times (c_k!)(1-r_k)^2} \quad (11)$$

$$T_Q = \frac{L_k}{\lambda_k} - \frac{I}{\mu_k} \quad (12)$$

上式中， r_k 代表第 k 工作站的利用率， c_k 代表第 k 工作站中的可用機台數， L_k 代表第 k 工作站的在製品水準， P_k^0 代表第 k 工作站的在製品水準為0的機率。

3.4. 批量因子等候時間之估算-BFFT演算法

批量因子等候時間，主要受到前後製程載入批量差異及產出速率差異之影響，此類型之等候時間，將採用批量因子流程時間估算法(BFFT)來進行估算。BFFT 估算法係先透過物流分析，來確認影響等候時間形成之主要因素，進而將兩相鄰批次工作站之批量差異之影響，及介於兩批次工作站間的序列工作站之交互影響，一併納入等候時間之預測模式中。

BFFT 之基本運作程序，共分成三個階段，如下所述，其概念示意圖，請參見圖 13：

第一階段：分解與辨識階段(Decomposition and recognition phase)

此階段之主要目的，在於進行晶圓製造之流程分析。依據物流被阻絕的狀態與位置點，將複雜的晶圓製程，切割成數十個獨立區段。由於每個區段內之物流，會受到區段內產出速率最低的工作站之影響，使得物流在該工作站之前與之後具有顯著的差異，因此，每個區段再被細分為三

個子區段，並依據子區段之物流特性，歸納出子區段流程時間之基本模型。其次，進行 BFFT 各項參數值之估算，以做為下一階段求算各子區段(sub-block)流程時間長度之基礎。此階段之相關概念與運作程序，吾人將詳述於 3.4.1 至 3.4.3 節中。

第二階段：基本運算階段(Fundamental calculation phase)

此階段之主要目的，在於依據各子區段之物流特徵，建立對應的數學模型，並依據各項輸入資料與估算之參數值，進行各子區段流程時間之估算。上述之子區段，係為物流相似性之最小單元，其對應之流程時間模型(pattern)，共計有四類，此四類模型係為流程時間運算之最基本單元。各區段或各製程流程時間之求算，均係此四種基本型之組合運算的結果。此階段之相關概念與運作程序，吾人將詳述於 3.4.4 節中。

第三階段：組合運算階段(Combinative calculation phase)

此階段之主要目的，在於依據各區段所包含之子區段之類型，及子區段所對應之數學模型，透過組合原則加以組合，以估算出該區段之流程時間值。此外，進一步運用多區段流程時間組合原則，組合連續多區段之流程時間，以求得工單完成整個製程所須之流程時間長度。此階段之相關概念與運作程序，吾人將詳述於 3.4.5 至 3.4.6 節中。

3.4.1. 區段之定義與基本概念

所謂一般型式之區段(block)，係指製程中兩個相鄰的批次製程步驟，及介於其中之所有序列製程步驟之集合。定義區段的目的，在於批次工作站是物流的重要干擾源，若將其自製程中獨立出來分析，較易於確認兩相鄰干擾源之間的互動情況，及其間之物流變化特性，再運用數學模型將此物流特性加以定義，則可以大幅提昇晶圓廠流程時間變化的預估能力。

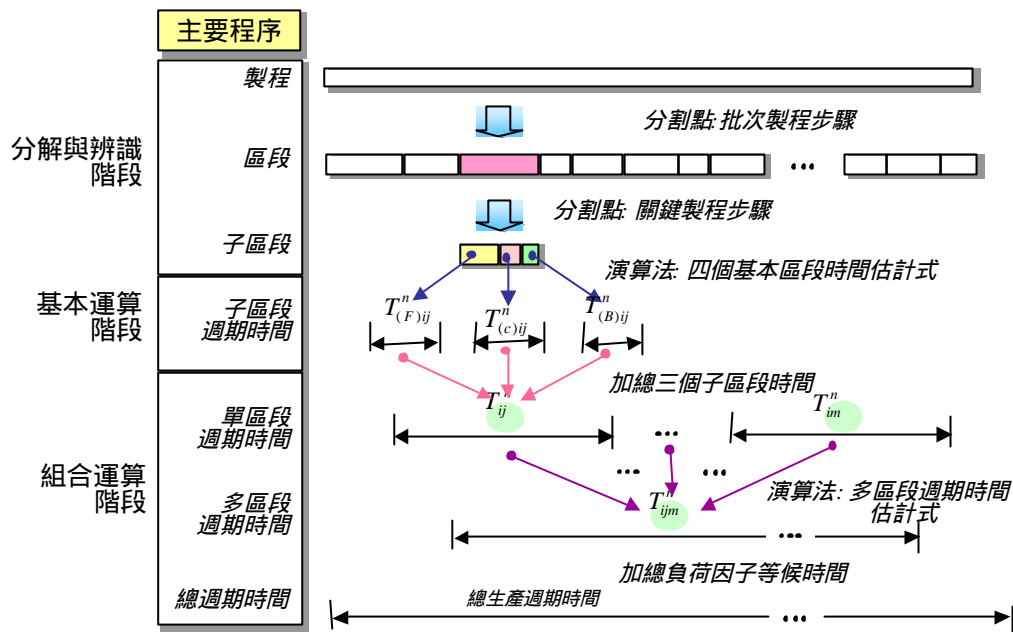


圖13. BFFT演算法之基本概念與主要程序示意圖

由於晶圓製程之複雜性，除了上述所定義一般型式的區段外，尚有三個特殊型式的區段，共四種類型，其基本定義與涵蓋之範圍，如下所述：(區段定義之示意圖，請見圖 14。)

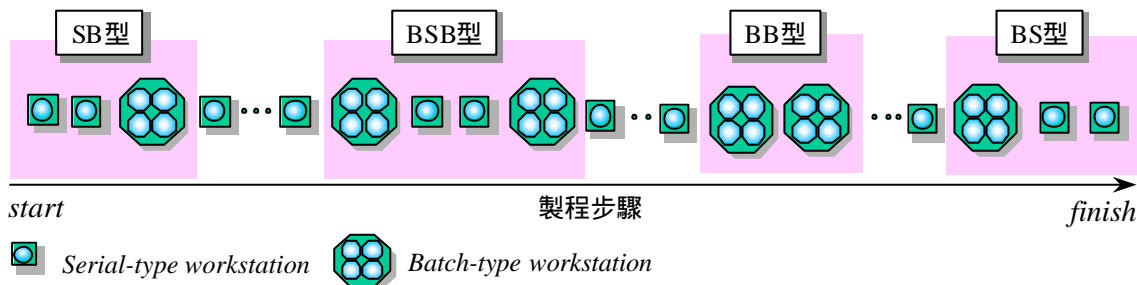


圖14. 區段定義示意圖

一般型之區段(general type block)：BSB

一般型之區段，係為製程中兩個相鄰的批次型式製程步驟，及介於其間之所有序列型式製程步驟之集合。因此，區段中的第一個與最後一個製程步驟，均各自對應一個批次工作站(Batch workstation)，而介於兩者之間的一連串製程步驟，則是對應序列工作站(Serial workstation)。此一般型之區段，以符號BSB代表之。

特殊型之區段(special type block)：BB、SB 與 BS

特殊型之區段，屬於不完整(incomplete)之一般型區段，共有下列三種型式：

- 連續批次型(batch to batch; BB)

在晶圓製造廠之製程中，許多批次型式製程步驟係直接緊鄰於另一個批次型式製程步驟之後，例如 RCA-Clean 與 Gate-OX，係兩個相鄰的批次型式製程步驟，吾人亦定義此兩相鄰的批次作業步驟為一個區段(block)，並以符號 BB 表示之。

- 製程前端型/序列批次型(serial to batch; SB)

此製程前端型或稱為序列批次型，僅發生在製程之最前端，係一般型區段定義中的特例。此特例起源於晶圓製程之第一個步驟，均為序列型式製程步驟，而由此序列型式製程步驟(S)，至第一次經批次型式製程步驟(B)之製程步驟集合，既屬於製程中之一部份，當然亦應為流程時間估算的對象之一，因此，將此特例亦視為一個區段，並以符號 SB 表示之。

- 製程末端型/批序列型(batch to serial; BS)

此製程末端型或稱為批序列型，僅發生在製程之最末端，亦屬於一般型區段定義中的特例。此特例起源於晶圓製程之最後一個製程步驟，均為序列型式製程步驟。如上所述，由於製程中最後一個批次型式製程步驟(B)，至最後一個序列型式製程步驟(S)之集合，亦屬於製程中之一部份，故亦應為流程時間估算的對象之一，因此，將此特例亦視為一個區段，並以符號 BS 表示之。

圖 15為將製程以區段表示之釋例。圖中顯示第 i 種製程之第一個區段為 SB 型，其為區段定義中之特例，在製程中僅出現一次，此區段包含製程步驟 1 至 3。第 11 個區段，屬於 BSB 型，其為區段定義中的一般型，其包括製程步驟 100 至 103。第 32 個區段，屬於 BB 型，其包括製程步驟 212 至 213。此製程之最後一個區段，為第 51 區段，屬於 BS 型，為區段定義中的另一個特例，其在製程中亦僅出現一次，此區段包含製程步驟 298 至 300。由圖中可以瞭解到，一個複雜的晶圓製造流程，係由數十個不同大小的區段所組成，每一個區段必為 BSB、BB、

SB 及 BS 四種類型之一，因此，只要吾人可以清楚掌握工件批在此四種區段類型下，所表現出之物流特性，再透過不同區段間之組合運算原則，則可以有效的掌握工件批流經整個製程所須之流程時間。

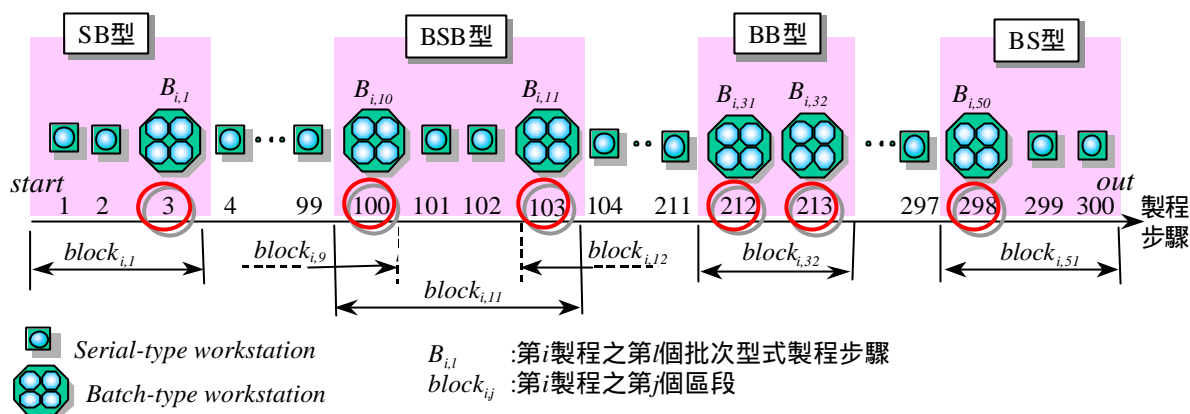


圖 15. 製程區段示意圖

在上述之區段定義下，第 j 個區段的最後一個批次型式製程步驟，亦是第 $j+1$ 個區段的第一個批次型式製程步驟，每一個批次型式製程步驟會被計算兩次，此原因在於必須將每一個區段視為一個獨立單元，以進行區段內之物流特徵分析。在 3.4.6 節探討多區段流程時間估算原則時，會就兩個相鄰區段之交互影響進行評估，並依據其影響性，將重複計算的部分，予以適當的扣除，故不會產生重複計算的問題。

接下來，吾人將說明如何觀察與確認區段內的物流特性。

不論每一區段含括多少的製程步驟數，該區段內工件批之流動速率，均會受控於區段中產出速率最低的工作站，在此定義此產出速率最低的工作站為「關鍵工作站(critical workstation)」，並稱此關鍵工作站所對應之製程步驟為「關鍵製程步驟」。顯然地，此關鍵工作站是觀察區段物流特性，最重要的一個觀測點，其觀察重點在於各工作站之產出速率差異。當工件批通過關鍵工作站後，會以較關鍵工作站產出速率為快的速度，通過區段中的後續製程。假若所有後續工作站均為序列機種，則工件流將不會受到任何的阻塞，且整個區段只要有一個觀測點，就足以有效量度區段內物流速率。

但若後續製程有批次機種工作站，則會因為該批次工作站之最小載入批量限制，而使得工件批在區段內之流動，受阻於批次工作站之前，直到集結的工件批數符合最小載入批量之限制為止。因為集批特性造成之工件批流動速率受到阻塞，使得區段中第二個批次工作站，相當程度地扮演了區段內物流阻絕器(interrupter)的角色。因此，將第二個批次工作站視為區段內物流特性分析的第二個重要觀測點。

此外，批次機台可同時加工多個工件批，當其一次釋放出多個工件批至其後續製程工作站，可能使後續製程產生瞬間尖峰負荷，而相當程度的擾亂了物流的平順化，且區段內前、後批次工作站之相對載入批量差異，亦會影響後批次工作站之集批等候時間。由於批次工作站瞬間釋放多批量的特性，使得區段內的起始物流，一開始就呈現不穩定的狀態，因此，此區段中的第一個批次工作站，相當程度地扮演了物流干擾器(disturbance)的角色，所以，將其視為區段內物流特性分析的第三個重要觀測點。

綜合上述說明，吾人將區段中的物流特性分析觀測點，分別置於區段中的第一個批次工作站、第二個批次工作站與區段中產出速率最低的工作站。此產出速率最低的工作站，可能是批次工作站，亦可能是序列工作站，由於區段中兩個批次工作站，均已被列為重要觀測點，因此，吾人將第三個觀察重點，限定在區段中產出速率最低的序列工作站，以進一步確認批次工作站與序列工作站間之交互作用影響。為簡化說明，吾人定義上述三個重點觀測點為：前批次觀測點、後批次觀測點及序列觀測點。

區段內之物流既然掌控於上述三個重點觀測點，只要確認出這三個重點觀測點，在區段物流中所扮演的關鍵角色及其交互作用影響，就可以有效掌握整個區段之工件批流速變化，及其流程時間之形成特性。

在定義了區段內的三個重要觀測點後，下一個步驟為分析觀測點與觀測點間之批量差異與產出速率差異，所形成之交互作用，及其對於區段內等候時間變化之影響。

3.4.2. 區段流程時間的三個子區段

工件批在區段內流動時，將會被堆積在產出速率最低的工作站前，亦即前一小節中所定義之關鍵工作站，由於不同區段中之關鍵工作站，可能對應不同的觀測點(前批次觀測點、後批次觀測點、序列觀測點)，為使下文中的研究分析具有通用性，因此，吾人定義關鍵工作站所對應之觀測點為「關鍵觀測點」。

前批次觀測點與關鍵觀測點間之物流分析

當工件批由前批次觀測點往關鍵觀測點移動時，由於關鍵工作站之產出速率最慢，因此，同屬於同一工單的第二個工件批到達此關鍵工作站時，第一個工件批必定尚未離開此關鍵工作站(可能尚在加工中或是在等候中)。同樣地，屬於同一工單的最後一個工件批到達此關鍵工作站時，前面 $n-1$ 個工件批也必定尚未完全離開此關鍵工作站。因此，只要掌握下列兩項時間值，即可準確估算出晶圓批由前批次觀測點，全部通過關鍵觀測點之所須之時間：

- (1). 第一個工件批完成區段內的第一個批次作業後，到達關鍵工作站所須花費的時間；
- (2). 屬於同一工單的所有工件批，全部通過關鍵工作站所須花費的時間；

關鍵觀測點與後批次觀測點間之物流分析

由於關鍵工作站之產出速率最低，因此，當工件批離開關鍵工作站後，將會以高於關鍵工作站產出速率的速度，完成所有後續製程作業。因此，只要掌握最後一個工件批離開關鍵工作站後，至完成該區段內所有的後續製程作業所須花費的時間，即可準確估算工件批在這兩個觀測點間的流動速率。

對應上述之物流特性，吾人以各區段之關鍵觀測點(對應關鍵製程步驟)為分割點，將各區段分割成三個子區段(sub-block)：(1).在關鍵製程步驟之前的所有製程步驟，定義為「前區段(Front-end of block_{ij})， S_{ij}^F 」，其目的在於觀察前批次觀測點至關鍵觀測點之物流特徵；(2).在關鍵製程步驟之後的所有製程步驟，定義為「後區段(Back-end of block_{ij})， S_{ij}^B 」，其目的在於觀察關鍵觀測點至後批次觀測點之物流特徵；(3).關鍵製程步驟自成一個子區段，定義為「關鍵步驟區段

(critical step of the block_{ij}), S_{ij}^c 」, 其目的在於觀察關鍵工作站完成同一工單中的所有工件批, 所需花費的時間。

三子區段之詳細定義, 如下所述。

(1). 前區段流程時間(Front-end block flow time; $T_{(F)ij}^n$):

$T_{(F)ij}^n$ 等於滿足關鍵工作站的最小載入批量 $B_{(c)ij}^{min}$ 的工件批, 由該區段的第一個製程步驟流至關鍵工作站, 所須花費的時間。

例如: 若關鍵工作站為序列機種, 由於滿足關鍵工作站的最小載入批量為 1 批($B_{(c)ij}^{min} = 1$), 因此其前區段流程時間, 等於第一個工件批由區段的第一個步驟, 流至關鍵工作站所須花費的時間。若關鍵工作站為批次機種, 由於滿足關鍵資源工作站的最小載入批量 $B_{ij}^{min} > 1$ (假設為 4 批), 則前區段流程時間, 等於此 B_{ij}^{min} 批(4 批)工件批由區段的第一個步驟, 流至關鍵工作站所須花費的時間。

(2). 後區段流程時間(Back-end block flow time; $T_{(B)ij}^n$):

$T_{(B)ij}^n$ 等於完成關鍵工作站作業之最後一個工件批, 由關鍵工作站之下一站, 流至該區段的最後一個製程步驟, 且完成該步驟加工作業所須的流程時間。

若此關鍵工作站為序列機種, 則最後一次加工的工件批為一批, 否則為多批。

(3). 關鍵步驟區段流程時間(Critical step block flow time; $T_{(c)ij}^n$):

$T_{(c)ij}^n$ 等於屬於同一批次的所有工件批, 完成關鍵製程步驟所須花費的流程時間。

整個區段的流程時間大小, 等於前區段流程時間($T_{(F)ij}^n$)、後區段流程時間($T_{(B)ij}^n$)與關鍵步驟流程時間($T_{(c)ij}^n$)三者之和, 如下式所示:

$$T_{ij}^n = T_{(F)ij}^n + T_{(c)ij}^n + T_{(B)ij}^n \quad (13)$$

由於三個子區段之劃分，係以關鍵觀測點(關鍵工作站)在區段中的製程位置來決定，若關鍵觀測點位於該區段的第一個製程步驟時，該區段無「前區段流程時間 $T_{(F)ij}^n$ 」。若關鍵觀測點位於該區段的最後一個製程步驟時，該區段無「後區段流程時間 $T_{(B)ij}^n$ 」。否則，該區段將同時包含 $T_{(F)ij}^n$ 、 $T_{(B)ij}^n$ 與 $T_{(c)ij}^n$ 。上述概念請見圖 16至圖 18。



圖16. 無「前區段」流程時間的示意圖

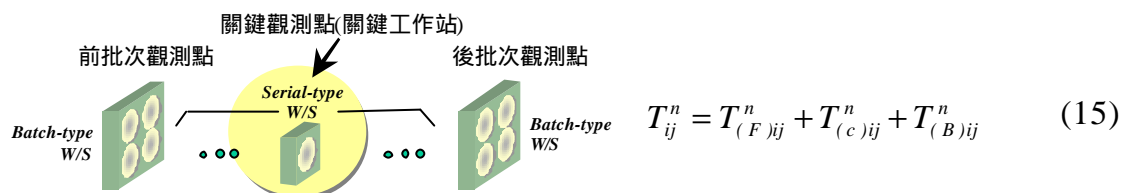


圖17. 包含三子區段流程時間的示意圖

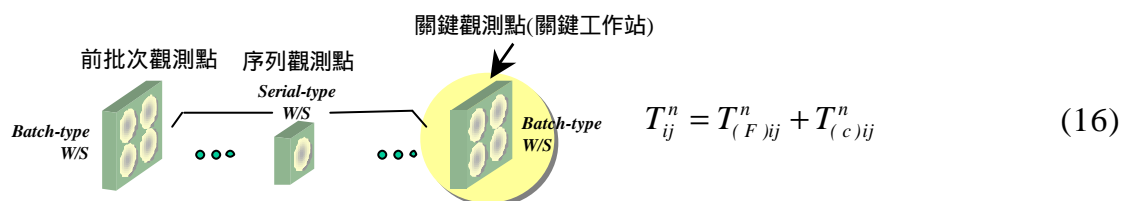


圖18. 無「後區段」流程時間的示意圖

總結來說，為了有效掌握批次工作站載入批量差異與產出速率差異對流程時間之影響，因此以批次工作站為切割點，將製程切割為數十個區段，每一個區段包含有三個重要的物流觀測點。再進一步以關鍵觀測點為切割點，將各區段再切分為三個子區段。將區段劃分為三個子區段的原因，在於所有區段在關鍵工作站之前的物流型式，均具有相似性；同樣地，在關鍵工作站之後的物流型式，亦均有其相似性。透過三子區段的設計，已有效定義出區段內流程時間形成之物理特徵，接下來，將進一步研究如何將此物理特徵轉化成對應之數學式。

3.4.3. BFFT 演算法參數之求算

BFFT 所須求算之參數，主要包括下列數項，依序說明如下：

(1)、求算工作站 k 可用機台數： c_k

工作站 k 之可用機台數 c_k ，等於工作站 k 之機台數，扣除掉因為當機或保養維修所無法使用的約當機台數，其可以表達成下式所示：

$$c_k = \sum_{h \in k} \left(1 - \frac{MTTR_h}{MTBF_h + MTTR_h} - \frac{MTTPM_h}{MTBPM_h + MTTPM_h} \right) \quad (17)$$

上式中的 $MTBF_h$ 表示機台 h 的平均失效間隔時間(mean time between failure), $MTTR_h$ 表示機台 h 的平均修復時間(mean time to repair), $MTBPM_h$ 表示機台 h 的平均維修間隔時間(mean time between PM), $MTTPM_h$ 表示機台 h 的平均維修時間(mean time to PM)。

(2)、求算批次工作站與序列工作站的產出速率： $O_{M(i, S_{ij}^b)}$ 與 $O_{M(i, S_{ij}^{c^*})}$

$O_{M(i, S_{ij}^b)}$ 表示批次工作站 $M(i, S_{ij}^b)$ 的產出速率； $O_{M(i, S_{ij}^{c^*})}$ 則表示序列工作站 $M(i, S_{ij}^{c^*})$ 的產出速率。由於不論是批次工作站或序列工作站，其產出率之求算公式均相同，為了簡化說明起見，吾人令第 i 種製程之任一個製程步驟 l ，所對應之工作站 $M(i, l) = k \quad \forall i, \forall l$ ，且 $M(i, l)$ 之產出速率 $O_{M(i, l)} = O_k \quad \forall i, \forall l$ ，則 O_k 可以表達成下式：

$$O_k = \frac{c_k \times B_k^{max}}{\bar{P}_k} = \frac{\sum_{h \in k} \left(1 - \frac{MTTR_h}{MTBF_h + MTTR_h} - \frac{MTTPM_h}{MTBPM_h + MTTPM_h} \right) \times B_k^{max}}{\frac{\sum_i \sum_{\{l: M(i, l) = k\}} [\Re p_i] p_{il}}{\sum_i [\Re p_i] f_{ik}}} \quad (18)$$

上式中的 \bar{P}_k 表示工作站 k 的平均作業時間， B_k^{max} 表示工作站 k 之最大載入批量，若 k 為序列工作站，則 $B_k^{max} = 1$ 。 p_{il} 表示第 i 種製程第 l 個製程步驟之製程時間， f_{ik} 表示第 i 種製程經過第 k 工作站之次數。

(3)、求算批次工作站 $M(i, S_{ij}^b)$ 之平均在製品量累積率： $t_{M(i, S_{ij}^b)}$

第 (i, j) 區段之批次工作站 $M(i, S_{ij}^b)$ 之平均在製品量累積率 $t_{M(i, S_{ij}^b)}$ ，係決定於工件批到達率與機台產出率之相對差異；而工件批到達率，係決定於前製程中具最低產出速率之工作站 $M(i, S_{ij}^{c*})$ 之產出率，因此， $t_{M(i, S_{ij}^b)}$ 可以表達成下式所示：(上述之 $M(i, S_{ij}^{c*})$ 代表在第 (i, j) 區段中，不包含 $M(i, S_{ij}^b)$ 在內之所有工作站中，具有最小產出速率之工作站。)

$$t_{M(i, S_{ij}^b)} = \text{Max} \left(O_{M(i, S_{ij}^{c*})} - O_{M(i, S_{ij}^b)}, 0 \right) \quad (19)$$

(4)、求算批次工作站的實際平均載入批量： $x_{M(i, S_{ij}^b)}$

如 3.2 節所述，工件批的流動受到批次工作站之最小載入批量 B_{ij}^{min} 的限制，當工作站前累積的在製品量小於最小載入批量 B_{ij}^{min} ，則工件批必須在集批等候區進行等候，直到累積的工件批數大於或等於最小載入批量 B_{ij}^{min} 。相對地，若等候的工件批數已大於最大載入批量 B_{ij}^{max} ，則僅只有 B_{ij}^{max} 個工件批，會被同時載入機台內進行加工作業。此外，若等候的工件批介於 B_{ij}^{max} 與 B_{ij}^{min} 之間，則恰只有此等候的工件批數會被載入機台內進行加工。

綜合上述說明，第 (i, j) 區段的批次工作站的實際平均載入批量 $x_{M(i, S_{ij}^b)}$ ，可以表達成下式所示，其概念示意圖，請參見圖 19。

$$x_{M(i, S_{ij}^b)} = \text{Min} \left(B_{ij}^{max}, \left[\text{Max} \left(t_{M(i, S_{ij}^b)} \times \frac{P_{ij}^b}{C_{M(i, S_{ij}^b)}}, B_{ij}^{min} \right) \right] \right) \quad (20)$$

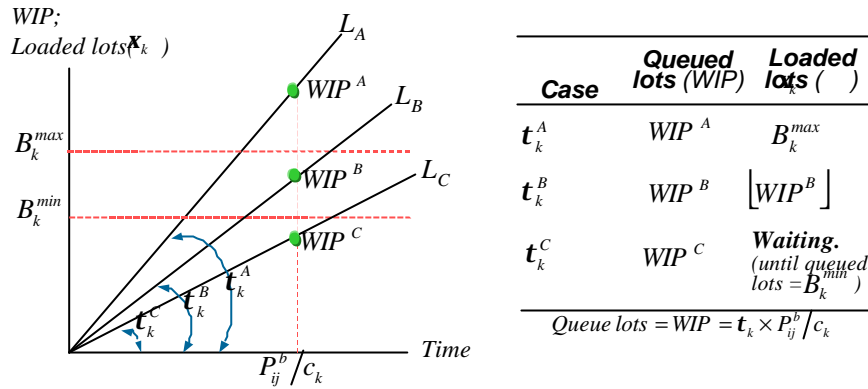


圖 19. 實際載入批量與累積在製品速率之關係圖

3.4.4. 計算子區段流程時間的四個基本型式

本小節之目的，在於依據前兩節所觀察出之各子區段物流特徵，發展出一個對應之數學模型，並運用此具有良好描述物流特徵能力之模型，進行區段流程時間之估算。由於關鍵步驟區段流程時間之求算方式極為明確，因此，本節之說明將著重於前區段與後區段流程時間之求算。

前區段流程時間等於滿足關鍵工作站的最小載入批量 $B_{(c)ij}^{min}$ 的工件批，由前批次觀測點流至關鍵工作站所須花費的時間，因此，關鍵工作站是序列機種或批次機種，將影響 $B_{(c)ij}^{min}$ 值之變化，故為前區段流程時間估算之重要參數。依據關鍵工作站為批次機台或序列機台，可將前區段兩個重要觀測點之機台對應型式，區分為：「批次-序列(batch to serial; BS)」及「批次-批次(batch to batch; BB)」。

相對地，後區段流程時間等於完成關鍵工作站作業之最後一個工件批(單批或多批)，流過區段內所有後製程步驟所花費的時間。因此，關鍵工作站是序列機種或批次機種，會決定關鍵工作站一次會釋放出多少工件批，故為後區段流程時間估算時之重要參數。因此，前區段兩個重要觀測點之機台對應型式，可區分為：「序列-批次(serial to batch; SB)」及「批次-批次(batch to batch; BB)」。

綜合上述說明，當前後觀測點所對應機種(亦即序列機種與批次機種)有所差異時，子區段流程時間之估算即會有所差異。因此，本文將前區段與後區段流程時間估算的數學模型(pattern)，依據前後觀測點所對應機種之差異，區分為 SS、SB、BS 與 BB 四種基本模型。其定義如下所述：

(1). SS 型: 工件批由序列(*Serial*)工作站流到序列(*Serial*)工作站。

在此模型中，工件批在各序列型式製程步驟之流動速率，純粹受到所對應之各序列工作站產出速率之影響，且此區段中之整體物流速率，受控於該區段之關鍵工作站。此種模型之流程時間，僅含負荷因子等候時間，不包含批量因子等候時間。

(2). SB 型: 工件批由序列(*Serial*)工作站流到批次(*Batch*)工作站。

在此模型中，工件批在序列型式製程步驟中之流動速率，純粹受到所對應之各序列工作站產出速率之影響，且此工件批流至批次工作站時，會因集結成批而發生等候，此批量因子等候時間長度，與最小載入批量設定及該批次工作站是否為關鍵工作站有關。若該批次工作站為關鍵工作站，則機台忙機(*busy*)的機率相對較高，故負荷因子等候時間將增長，等候集結成批時間將縮短。

(3). BS 型: 工件批由批次(*Batch*)工作站流到序列(*Serial*)工作站。

在此模型中，物流在序列型式製程步驟中之流動速率，會受到批次工作站集批釋出多批工件批之影響，而造成下游之瞬間尖峰負荷。此尖峰負荷不一定發生在批次機台的下一製程步驟，而是會發生在下游中，第一個不具有處理此瞬間產出量能力的工作站。

(4). BB 型: 工件批由批次(*Batch*)工作站流到批次(*Batch*)工作站。

在此模型中，物流純粹受控於該兩相鄰批次工作站之批量差異與相對產出速率差異。就區段中第二個批次工作站而言，其批量因素等候時間長度，視該工作站是否為關鍵工作站而異，若為關鍵工作站，則其等候集結成批時間將縮短，但負荷因子等候時間將增長。

在求算「前區段流程時間 $T_{(F)ij}^n$ 」與「後區段流程時間 $T_{(B)ij}^n$ 」之前，應先依據上述子區段流程時間基本模型之定義，確認該子區段屬於何種流程時間類型，然後依據此類型所對應的數學模型，進行區段流程時間之求算。

下文中，將依序說明子區段流程時間基本類型之數學運算式。

基礎型 1 – SS 型: 所有工作站均為序列機種

SS 基本型，乃是序列工作站接續序列工作站的情況。由於所有的工作站均為序列機種，因此僅須考慮各工作站間之相對產出速率之差異，而不須考量最小載入批量的問題。

在此模型下，前區段流程時間 $T_{(F)ij}^n$ ，等於第一個工件批通過前區段 S_{ij}^F 所對應的製程步驟之製程時間和。後區段流程時間 $T_{(B)ij}^n$ ，等於最後一個工件批通過後區段 S_{ij}^B 所對應的製程步驟之製程時間和。此外，關鍵步驟流程時間 $T_{(c)ij}^n$ ，等於所有同屬同一批次的工件批，在關鍵資源工作站上的製程時間和。此工件批內之所有工件批，全數通過此區段之流程時間，則等於 $T_{(F)ij}^n$ 、 $T_{(b)ij}^n$ 與 $T_{(B)ij}^n$ 之和。

現舉一例說明如下：設若工件批 A、B、C 及 D 同屬於相同的批次，且計畫流經 SS Type 的區段，此區段包含 step k 至 step $k+3$ 四個製程步驟，其所對應的工作站分別為 W_k 、 W_{k+1} 、 W_{k+2} 及 W_{k+3} ，且設若 W_{k+2} 為該區段中的關鍵機台，則此一批次的工件批全部通過該區段的流程時間，係為下列三個流程時間之和：(1) $T_{(F)ij}^n$ 等於第一個工件批(即 A 工件批)在 step k 與 step $k+1$ 所須之製程時間 (2) $T_{(c)ij}^n$ 等於 A、B、C 及 D 四個工件批在 W_{k+2} 的製程時間、(3) $T_{(B)ij}^n$ 等於最後一個工件批(即 D 工件批)在 step $k+3$ 的製程時間。上述說明所對應之甘特圖，如圖 20 所示。

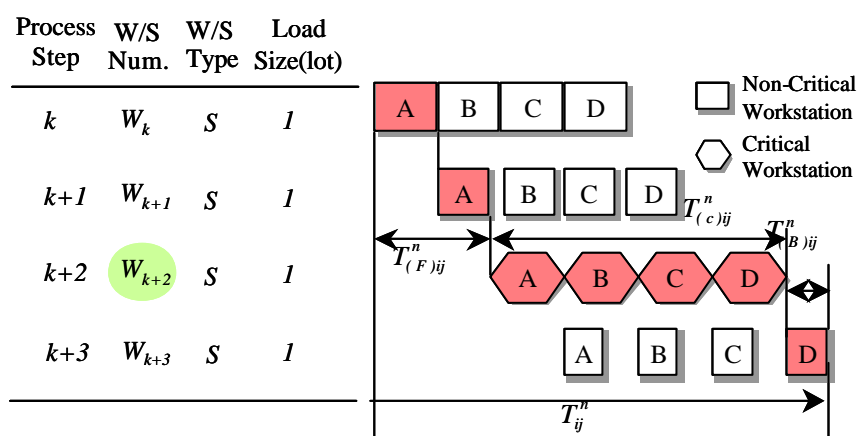


圖20. SS 型：序列工作站到序列工作站

(在 SS 型中， $B_{(c)ij}^{min} = 1$ ， $P_{ij}^c = P_{ij}^q$)

$$\text{前區段流程時間: } T_{(F)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^F} P_{ijl} \quad (21)$$

$$\text{關鍵步驟區段流程時間: } T_{(c)ij}^n = \left\lceil \frac{n}{C_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c \quad (22)$$

$$\text{後區段流程時間: } T_{(B)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^B} P_{ijl} \quad (23)$$

$$\text{區段總流程時間: } T_{ij}^n = T_{(F)ij}^n + T_{(c)ij}^n + T_{(B)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^F} P_{ijl} + \left\lceil \frac{n}{C_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c + \sum_{l \in S_{ij}^B} P_{ijl} \quad (24)$$

因為 $S_{ij}^{B_F} \cup S_{ij}^{B_S} \cup S_{ij}^q = S_{ij}^S$ ，故上述公式可以改寫成：

$$T_{ij}^n = T_{(F)ij}^n + T_{(B)ij}^n + T_{(c)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left\lceil \frac{n - C_{M(i, S_{ij}^c)}}{C_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c \quad (25)$$

基礎型 2 – SB 型

SB 基本型，乃是一個或多個序列工作站，接續批次工作站的情況。由於關鍵工作站是否為序列機種或批次機種，會影響到工件批流之特性，因此，在建立流程時間預測模型時，應將關鍵工作站之機種納入考量。為便於讀者瞭解起見，吾人依據關鍵工作站之機種類型，將 SB 基本型分為 SB-s 與 SB-b 兩種情況，分別討論如下所述：

(1). SB-s：關鍵工作站為序列機種

由於關鍵工作站屬於序列機種，所以前區段 S_{ij}^F 中的所有製程步驟，均為序列型式製程步驟，因此，前區段流程時間 $T_{(F)ij}^n$ 之型態與 SS 型相同，可採用前述之 SS 型之 T_{ij}^n 公式求算，且滿足關鍵機台作業條件的批量 $B_{(c)ij}^{min}=1$ 。各子區段流程時間之求算公式，如下式所示，其概念示意圖，請見圖 21。

(在 SB-s 型中， $B_{(c)ij}^{min}=1$ ， $P_{ij}^c = P_{ij}^q$)

$$\text{前區段流程時間: } T_{(F)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^F} P_{ijl} \quad (26)$$

$$\text{後區段流程時間: } T_{(B)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^B} P_{ijl} = \sum_{l \in S_{ij}^{BS}} P_{ijl} + P_{ij}^b \quad (27)$$

$$\text{關鍵步驟區段流程時間: } T_{(c)ij}^n = \left\lceil \frac{n}{c_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c \quad (28)$$

因為 $S_{ij}^{B_F} \cup S_{ij}^{B_S} \cup S_{ij}^q = S_{ij}^S$ ，故 T_{ij}^n 可以被表達成下式所示：

$$\text{區段總流程時間: } T_{ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left\lceil \frac{n - c_{M(i, S_{ij}^c)}}{c_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c + P_{ij}^b \quad (29)$$

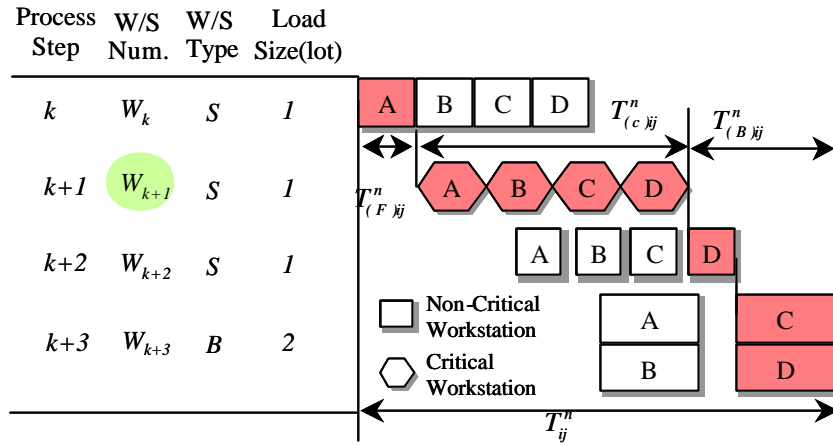


圖21. SB-s 型：關鍵工作站是序列工作站

(2). SB-b：關鍵工作站為批次機種

當關鍵工作站為批次機種，滿足關鍵機台作業條件的批量 $B_{(c)ij}^{min}$ 等於 B_{ij}^{min} ，因此， $T_{(F)ij}^n$ 等於 B_{ij}^{min} 個工件批通過前區段 B_{ij}^F 所須的時間。由於其特徵與 SS 型相同，故 $T_{(F)ij}^n$ 的公式採用 SS 型的 T_{ij}^n ，且 SS 型中 T_{ij}^n 的 n 值，應以 B_{ij}^{min} 來取代。此外，由於關鍵工作站位於該區段的最後一個製程步驟，因此，將不會有後區段流程時間。各子區段流程時間之求算公式，如下式所示，其概念示意圖，請見圖 22。

(在 SB-b 型中， $B_{(c)ij}^{min} = B_{ij}^{min}$ ， $P_{ij}^c = P_{ij}^b$)

$$\text{前區段流程時間: } T_{(F)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^F} P_{ijl} + \left\lceil \frac{B_{ij}^{min} - c_{M(i, S_{ij}^q)}}{c_{M(i, S_{ij}^q)}} \right\rceil P_{ij}^q \quad (30)$$

$$\text{後區段流程時間: } T_{(B)ij}^n = 0 \quad (31)$$

$$\text{關鍵步驟區段流程時間: } T_{(c)ij}^n = \left\lceil \frac{n}{\mathbf{x}_{M(i, S_{ij}^b)} \times c_{M(i, S_{ij}^b)}} \right\rceil P_{ij}^b \quad (32)$$

$$\text{區段總流程時間: } T_{ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left\lceil \frac{B_{ij}^{min} - c_{M(i, S_{ij}^b)}}{c_{M(i, S_{ij}^b)}} \right\rceil P_{ij}^q + \left\lceil \frac{n}{\mathbf{x}_{M(i, S_{ij}^b)} \times c_{M(i, S_{ij}^b)}} \right\rceil P_{ij}^b \quad (33)$$

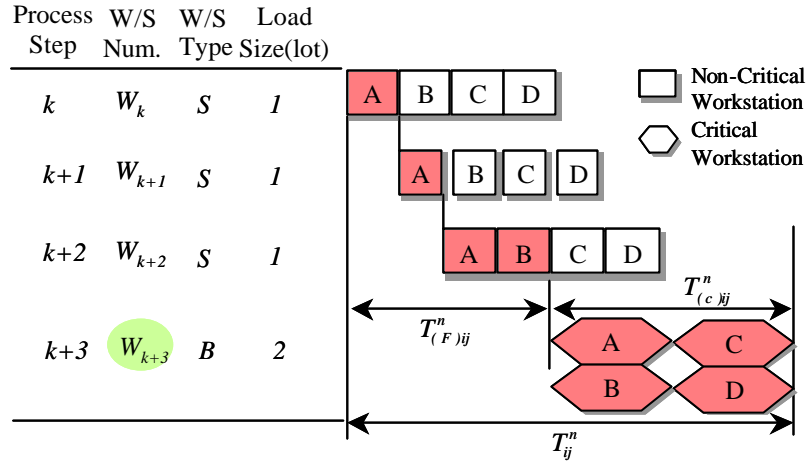


圖22. SB-b 型：關鍵工作站是批次工作站

基礎型 3 –BS 型

BS 基本型，乃是批次工作站接序列工作站的情況。本模型中，吾人亦依據關鍵工作站之類型，將 BS 基本型分為 BS-s 與 BS-b 兩種情況，分別討論如下：

(1). BS-s 型：關鍵工作站為序列機種

若關鍵工作站屬於序列機種，則滿足關鍵工作站作業條件的批量 B_{ij}^c 等於 1。因此， $T_{(F)ij}^n$ 等於第一個工件批通過 S_{ij}^F 所須的製程時間和。各子區段流程時間之求算公式，如下式所示，其概念示意圖，請見圖 23。

(在 BS-s 型中， $B_{(c)ij}^{min}=1$ ， $P_{ij}^c = P_{ij}^q$)

$$\text{前區段流程時間: } T_{(F)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^F} P_{ijl} = P_{i(j-1)}^b + \sum_{l \in S_{ij}^{FS}} P_{ijl} \quad (34)$$

$$\text{後區段流程時間: } T_{(B)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^B} P_{ijl} \quad (35)$$

$$\text{關鍵步驟區段流程時間: } T_{(c)ij}^n = \left\lceil \frac{n}{c_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c \quad (36)$$

區段總流程時間:

$$T_{ij}^n = P_{i(j-1)}^b + \sum_{l \in S_{ij}^{FS}} P_{ijl} + \left\lceil \frac{n}{c_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c + \sum_{l \in S_{ij}^B} P_{ijl} = P_{i(j-1)}^b + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left\lceil \frac{n - c_{M(i, S_{ij}^c)}}{c_{M(i, S_{ij}^c)}} \right\rceil P_{ij}^c \quad (37)$$

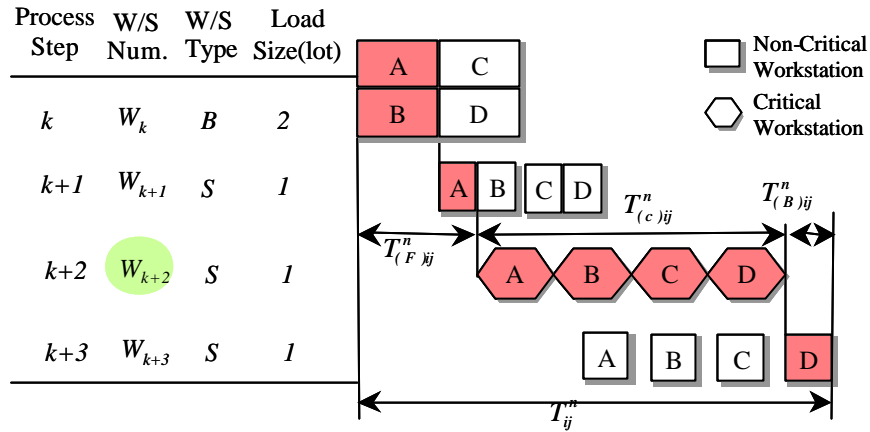


圖23. BS-s 型：關鍵工作站是序列工作站

(2). BS-b 型：關鍵工作站為批次機種

當關鍵工作站為批次機種，由於此批次工作站係位於該區段中的第一個製程步驟，因此，將不會有前區段流程時間，亦即 $T_{(F)ij}^n = 0$ 。此外，因為該批次工作站一次釋放出 $B_{i(j-1)}^{max}$ 個工件批，因此，後區段將考量 $B_{i(j-1)}^{max}$ 個工件批，通過後區段 S_{ij}^B 所須的時間。由於 S_{ij}^B 乃係一連串序列工作站之組合，其特徵係屬於 SS 型，故 $T_{(B)ij}^n$ 的演算式與 SS 型的 T_{ij}^n 相同，惟 n 值以 $B_{i(j-1)}^{max}$ 取代。各子區段流程時間之求算公式，如下式所示，其概念示意圖，請見圖 24。

(在 BS-b 型中， $B_{(c)ij}^{min} = B_{i(j-1)}^{max}$ ， $P_{ij}^c = P_{i(j-1)}^b$)

$$\text{前區段流程時間: } T_{(F)ij}^n = 0 \quad (38)$$

$$\text{關鍵步驟區段流程時間: } T_{(c)ij}^n = \left\lceil \frac{n}{M(iS_{i(j-1)}^b) \times c_{M(iS_{i(j-1)}^b)}} \right\rceil P_{i(j-1)}^b \quad (39)$$

$$\text{後區段流程時間: } T_{(B)ij}^n = \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left[\frac{B_{i(j-1)}^{\max} - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right] P_{ij} \quad (40)$$

因此，總體的區段流程時間，可以表達成：(在 BS-b Type 中， $S_{ij}^B = S_{ij}^S$)

$$T_{ij}^n = \left[\frac{n}{M(iS_{ij-1}^b) \times c_{M(iS_{ij-1}^b)}} \right] P_{i(j-1)}^b + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left[\frac{B_{i(j-1)}^{\max} - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right] P_{ij} \quad (41)$$

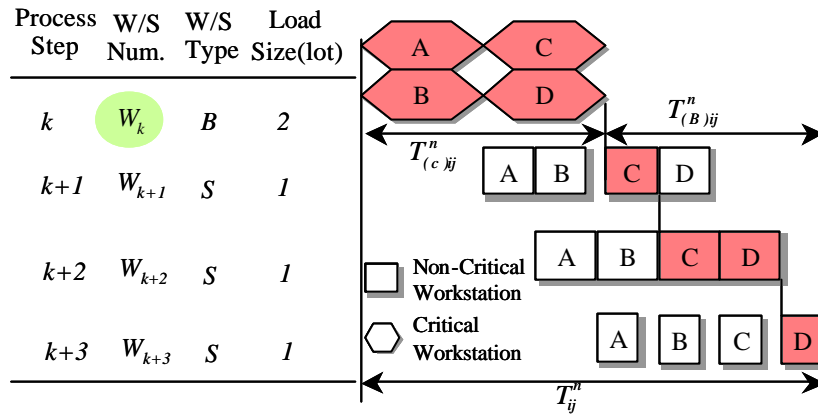


圖24. BS-b 型：關鍵工作站是批次工作站

基礎型 4 –BB 型

BB 基本型，乃是批次工作站接批次工作站的情況。由於此兩個批次工作站對應兩相鄰的製程步驟，且各自有最小載入批量之限制，因此，相對載入批量大小之影響，較前三個模型複雜。本模型中，吾人亦依據關鍵工作站為第一個或第二個批次機台，將 BB 基本型分為 BB-b1 與 BB-b2 兩種情況，分別討論如下所述：

(1). BB-b1 型：關鍵工作站為第一個批次工作站(前批次工作站)

由於關鍵工作站為製程順序中的第一個批次工作站，因此不會有前區段流程時間，亦即 $T_{(F)ij}^n = 0$ 。各子區段流程時間之求算公式，如下式所示，其概念示意圖，請見圖 25。

(在 BB-b1 型中， $B_{(c)ij}^{\min} = B_{i(j-1)}^{\max}$ ， $P_{ij}^c = P_{i(j-1)}^b$)

$$\text{前區段流程時間: } T_{(F)ij}^n = 0 \quad (42)$$

$$\text{後區段流程時間: } T_{(B)ij}^n = \left[\frac{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{\max}}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times \mathbf{X}_{M(i, S_{ij}^b)}} \right] P_{ij}^b \quad (43)$$

$$\text{關鍵步驟區段流程時間: } T_{(c)ij}^n = \left[\frac{n}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{\max}} \right] P_{i(j-1)}^b \quad (44)$$

$$\text{區段總流程時間: } T_{ij}^n = \left[\frac{n}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{\max}} \right] P_{i(j-1)}^b + \left[\frac{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{\max}}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times \mathbf{X}_{M(i, S_{ij}^b)}} \right] P_{ij}^b \quad (45)$$

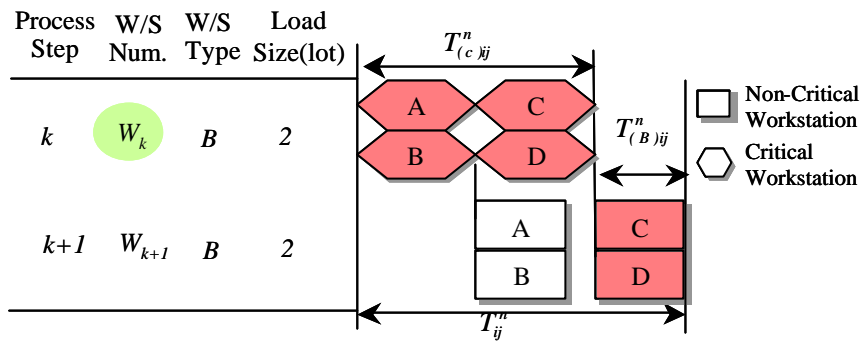


圖25. BB-b1 型：關鍵工作站是區段中的第一個批次工作站

(2). BB-b2 型：關鍵工作站為第二個批次工作站(後批次工作站)

當關鍵工作站為第二個批次工作站，則區段中不包含 S_{ij}^B ，故不會有後區段流程時間，亦即 $T_{(B)ij}^n = 0$ 。各子區段流程時間之求算公式，如下式所示，其概念示意圖，請見圖 26。

(在 BB-b2 型中， $B_{(c)ij}^{\min} = B_{ij}^{\min}$ ， $P_{ij}^c = P_{ij}^b$)

$$\text{前區段流程時間: } T_{(F)ij}^n = \left[\frac{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{ij}^{\min}}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{\max}} \right] P_{i(j-1)}^b \quad (46)$$

$$\text{後區段流程時間: } T_{(B)ij}^n = 0 \quad (47)$$

$$\text{關鍵步驟區段流程時間: } T_{(c)ij}^n = \left[\frac{n}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times \mathbf{X}_{M(i, S_{ij}^b)}} \right] P_{ij}^b \quad (48)$$

$$\text{區段總流程時間: } T_{ij}^n = \left[\frac{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{ij}^{\min}}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{\max}} \right] P_{i(j-1)}^b + \left[\frac{n}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times \mathbf{X}_{M(i, S_{ij}^b)}} \right] P_{ij}^b \quad (49)$$

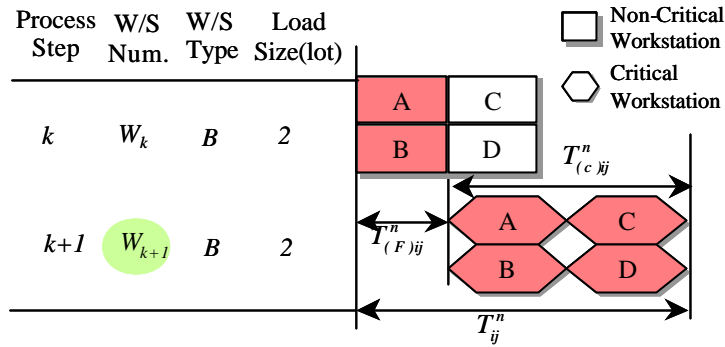


圖26. BB-b2 型：關鍵工作站是區段中的第二個批次工作站

在詳述了子區段流程時間基本模型後，在下一小節中，將詳細說明一個完整區段之流程時間的估算方法。

3.4.5. 單一區段之區段流程時間估算

一般型完整區段(BSB)，係由前區段、後區段與關鍵步驟區段等三個子區段所組合而成，每一個子區段流程時間之型態，又可依據前後觀測點之機種型式，區分為 SS、SB、BS 及 BB 四種基本模型，並發展出對應之數學運算式。上述之 SB、BS 與 BB 四個基本模型，即 3.4.1 節之特殊型不完整區段流程時間估算式。在本小節中，將就一般型完整區段之求算方法，做進一步的詳細說明。

BSB 型區段，係由 BS、SB 兩種基本模型所組合而成，其前區段對應 BS 模型，後區段對應 SB 模型，至於 SS 模型則包含於上述兩模型之中，如圖 27 所示。在前一節中，由於 SB、BS 與 BB 的觀測點只有兩個，因此，當考量此兩個觀測點產出速率差異所造成之影響時，僅須區分成兩種類型(2!=2)。BSB 型之觀測點則有三個，所以當考量此三個觀測點產出速率差異所造成之影響時，將區分成六種類型(3!=6)。由於 BSB 係由 BS 與 SB 所組合而成，兩者在模型中均已各自辨認出關鍵工作站，因此，當吾人採用組合原則，將 BS 與 SB 組合成 BSB 後，必須重新確認 BSB 模型中新的關鍵工作站，以釐清新的關鍵觀測點所在的製程位置。此外，對於其他兩個觀測點之相對速率差異，亦須同步加以確認。

依據上述三個重要觀測點所對應工作站的相對產出速率差異，吾人將 BSB 區段中複雜的工作流特性，歸納為下列六種類型：

HML、HLM、MHL、MLH、LHM、LMH

上述符號中，字母出現的順序，分別代表前批次工作站、序列工作站群中產出速率最小之工作站及後批次工作站。而字母所代表的意義則為：H 代表該工作站之產出速率為三者中最高，L 代表該工作站之產出速率為三者中最低，M 代表該工作站之產出速率介於其他兩者之間。以圖 27 為例，三個重要觀測點之相對產出速率，由低而高之順序，依序為序列機種中產出速率最低的工作站(L)、前批次工作站(M)及後批次工作站(H)，因此，此模型屬於 MLH 型式。

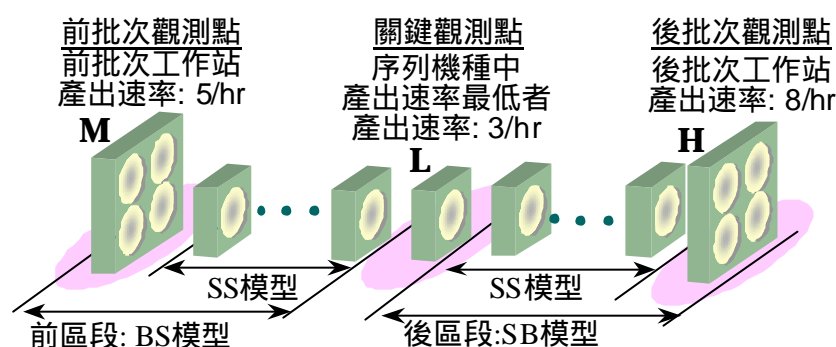


圖27. 一般型 BSB 區段分解圖暨 MLH 型式釋例圖

綜合上述說明，吾人可以歸納出 BSB 各模型中所包含之子區段及其類型，如表 3 所示。顯然地，不論 BSB 模型為哪一種，必然包括關鍵步驟區段。下表中的 B1 及 B2 均為批次機種工作站，分別代表前批次工作站與後批次工作站，S 則代表序列機種工作站。

表3. BSB 區段所包含各子區段之類型

BSB 模型	前子區段類型	後子區段類型	關鍵步驟區段 所對應之機種
HML	BS-s	無	B2
HLM	BS-s	SB-s	S
MHL	BS-b	無	B2
MLH	BS-s	SB-s	S
LHM	無	SB-b	B1
LMH	無	SB-s	B1

由於 BSB 型態中的每一種模型，其區段流程時間運算式之建立步驟均相同，因此，本文將僅就第一種(HML 型)，詳細說明其前區段、後區段、關鍵步驟區段及區段總流程時間之詳細求算過程，其餘的五種區段類型，則僅列示區段總流程時間求算式。

在 HML 模型中，第一個製程步驟係為批次工作站，且其具有區段中最高的產出速率，最後一個製程步驟亦為批次工作站，且其具有區段中最低的產出速率，至於其他所有的序列工作站之產出速率，均介於上述兩批次工作站之間。如上所述，由於最後一個批次工作站，是該區段中的關鍵工作站，因此，本模型無後區段流程時間，亦即 $T_{(B)ij}^n = 0$ 。其概念示意圖，請參見圖 28。

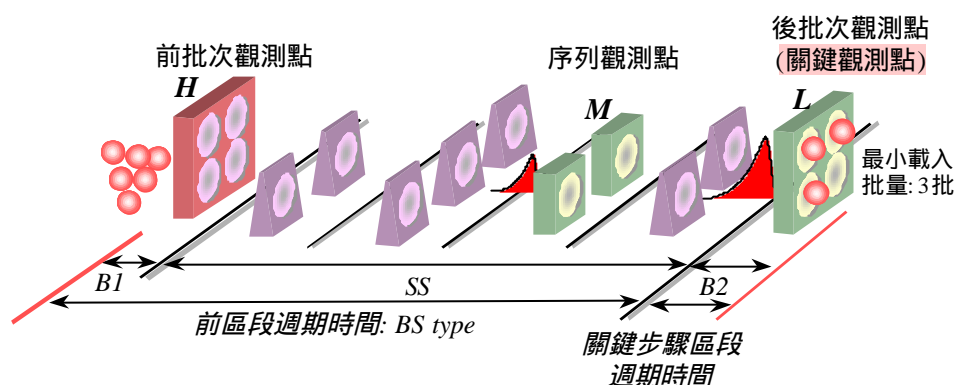


圖28. BSB-HML 之釋例圖

(1). 前區段流程時間： $T_{(F)ij}^n$

因關鍵工作站係位於該區段中的最後一個製程步驟，因此，其前區段之物流特性與 BS 基本型相同，且由於該前區段中產出速率最低的工作站為序列機種，故前區段流程時間 $T_{(F)ij}^n$ 可採用 BS-s 型的 T_{ij}^n 公式來求算，且 BS-s 模型中的 n 值，須以 $B_{(c)ij}^{min}$ 來取代。因此， $T_{(F)ij}^n$ 則等於 $B_{(c)ij}^{min}$ 個工件批，流過區段內第一個製程步驟至最後一個批次工作站前，所需之時間。此 $T_{(F)ij}^n$ 可以被表達成下式所示：(就批次工作站而言， $B_{(c)ij}^{min} = B_{ij}^{min}$)

$$T_{(F)ij}^n = P_{i(j-1)}^b + \left\lceil \frac{B_{ij}^{min} - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right\rceil P_{ij} + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} \quad (50)$$

(2). 關鍵步驟區段流程時間： $T_{(c)ij}^n$

$T_{(c)ij}^n$ 是關鍵工作站處理該批次中的所有工件批，所需的製程時間之總和。

$T_{(c)ij}^n$ 可以被表達如下式所示：

$$T_{(c)ij}^n = \left\lceil \frac{n}{M(iS_{ij}^b) \times c_{M(iS_{ij}^b)}} \right\rceil P_{ij}^b \quad (51)$$

將上述兩個區段之流程時間運算式加以組合，則 T_{ij}^n 可以被達成下式所示：

$$T_{ij}^n = P_{i(j-1)}^b + \left\lceil \frac{B_{ij}^{min} - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right\rceil P_{ij} + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left\lceil \frac{n}{M(iS_{ij}^b) \times c_{M(iS_{ij}^b)}} \right\rceil P_{ij}^b \quad (52)$$

上述為 BSB-HML 一般型區段流程時間之估算式，至於其餘五種一般型流程時間估算式，如下所示：

(1). BSB-HLM：

$$T_{ij}^n = P_{i(j-1)}^b + \left\lceil \frac{n - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right\rceil P_{ij} + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + P_{ij}^b \quad (53)$$

(2). BSB-MHL：

$$T_{ij}^n = \left\lceil \frac{B_{ij}^{min}}{B_{i(j-1)}^{max} \times c_{M(iS_{i(j-1)}^b)}} \right\rceil P_{i(j-1)}^b + \sum_{l \in S_{ij}^{SF}} P_{ijl}^s + \left\lceil \frac{B_{i(j-1)}^{max} - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right\rceil P_{ij} + \left\lceil \frac{n}{M(iS_{ij}^b) \times c_{M(iS_{ij}^b)}} \right\rceil P_{ij}^b \quad (54)$$

(3). BSB-MLH：

$$T_{ij}^n = P_{i(j-1)}^b + \left\lceil \frac{n - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right\rceil P_{ij} + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + P_{ij}^b \quad (55)$$

(4). BSB-LHM :

$$T_{ij}^n = \left[\frac{n}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{max}} \right] P_{i(j-1)}^b + \left[\frac{B_{ij}^{min} - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right] P_{ij} + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + \left[\frac{B_{i(j-1)}^{max}}{x_{M(i, S_{ij}^b)} \times c_{M(iS_{ij}^b)}} \right] P_{ij}^b \quad (56)$$

(5). BSB-LMH :

$$T_{ij}^n = \left[\frac{n}{c_{M(iS_{ij}^b)} \times B_{i(j-1)}^{max}} \right] P_{i(j-1)}^b + \left[\frac{B_{i(j-1)}^{max} - c_{M(iS_{ij})}}{c_{M(iS_{ij})}} \right] P_{ij} + \sum_{l \in S_{ij}^S} P_{ijl} + P_{ij}^b \quad (57)$$

截至目前為止，晶圓製造廠複雜的製程流程，已經被有效的分解成數十個區段，並依據區段內工件批流動的特性差異，提出四種估算之基本模型(SS、SB、BS 與 BB)，所有區段均為此四種基本型之組合變化。雖然各個區段所包括之製程步驟及所對應之加工機台均不同，但是，各種單一區段流程時間估算式，均為四個基本型之組合，只要能運用「分解」、「辨識」、「運算」與「組合」原則，即可以迅速找到所對應之基本型，並進而組合成為適當的區段流程時間估算模型。也就是說，首先應先將區段「分解」成為子區段，其次再「辨識」出各子區段所對應的流程時間類型(SS、SB、BS 與 BB)，接著進行各子區段流程時間之「運算」，最後再將各區段所對應之子區段流程時間，進行適當之「組合」。

在下一節中，將說明求算工件批流經多個區段之流程時間。

3.4.6. 多區段流程時間之估算

受到批次工作站集批特性之影響，使得各工件批在區段內之流動速率差異，會因為集批效應而歸回原點。換言之，前一個區段之物流狀態，會受到批次工作站之阻絕，而不會擴散至下一區段中，當最小載入批量越大，阻絕效果亦越顯著。

基於批次機台扮演了物流阻絕器的角色，因此吾人可將各區段視為一個獨立單元，並求算工件批流經單一區段之流程時間。由於多區段係由數個單一獨立區段所串連而成，如圖 29所示，故在求算工件批流經多區段流程時間時，係將各獨立區段流程時間加以合併，但扣除掉被重複計算一次的批次工作站之製程時間。

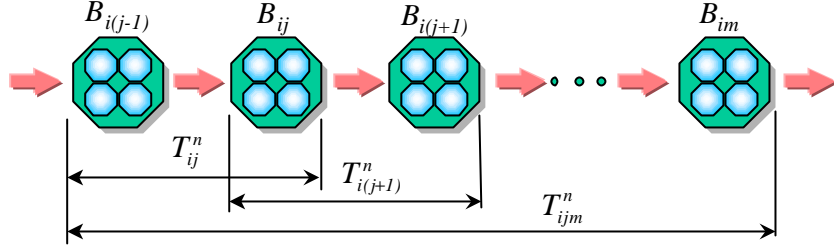


圖29. 多區段流程時間示意圖

圖 30為多區段流程時間估算之示意圖。圖中顯示當工件批在第 (i,j) 區段內流動時，將會在批次工作站 $M(i, S_{ij}^b)$ 前發生集批等候時間。由於 $M(i, S_{ij}^b)$ 既屬於 (i,j) 區段之一部份，亦屬於 $(i,j+1)$ 區段之一部份，故在進一步求算工件批在第 $(i,j+1)$ 區段之流程時間時，不應再求算工件批在 $M(i, S_{ij}^b)$ 前之集批等候時間，否則將使 $M(i, S_{ij}^b)$ 前之集批等候時間，重複被計算兩次。基於此，吾人假定各工件批均已同時在工作站前等候載入加工，且此批次工作站採用最大載入批量進行加工，以避免集批等候時間的產生，此假設亦符合前述將區段視為一獨立單元之概念。

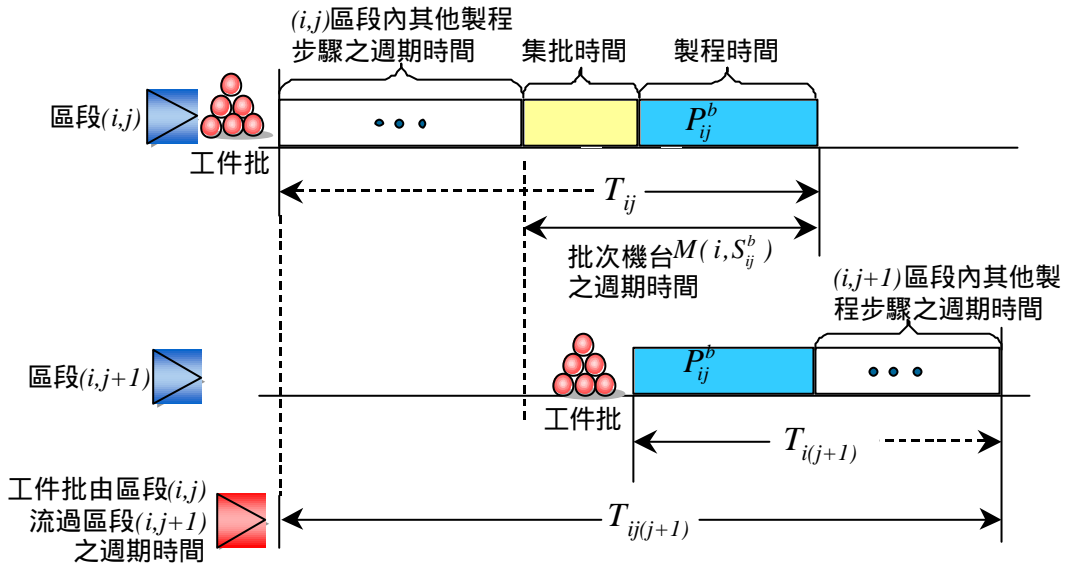


圖30. 多區段流程時間求算示意圖

基於上述說明，第 i 製程的 n 個工件批，流過區段 j 到區段 m 的流程時間 T_{ijm}^n ，可以表達成下式所示：

$$T_{ijm}^n = \sum_{r=j}^m T_{ir} - \sum_{r=j}^{m-1} \left[\frac{n}{c_{M(iS_{ir}^b)} \times B_{ir}^{max}} \right] P_{ir}^b \quad (58)$$

上述之 T_{ijm}^n ，包含了批量因子等候時間與理論製程時間之和，其等於3.2. 節所述之 T_B 值。工單之整體週期時間 T_T ，等於 T_B 與負荷因子等候時間 T_L 之和。

在前文各節中，已分別說明了區段基礎式週期時間估算法之相關理念、求算程序與數學公式，在下一節中，將進行一完整的實驗設計以驗證 BBCT 的實際成效。

3.5. 實驗設計與成果

3.5.1. 模擬系統適用性驗證

本實驗係以 eM-Plant 4.6 為模擬器，在符合第 3.1 節之各項假設條件下，構建一晶圓製造廠之虛擬生產系統。構建此虛擬生產系統所須之產品、製程與設備資料，係採用台灣某晶圓製造廠之實際生產資料，但由於實際生產作業之各項條件限制與不確定性因素較本文之假設環境複雜，且實際生產績效屬於機密資訊亦有取得上之困難，因此無法將 BBCT 預估結果與該晶圓廠之實際生產狀況進行比較。基於模擬是具有描述晶圓製造廠動態產能的唯一工具[1]，故本實驗將以虛擬生產系統之模擬結果為替代真值，據以評估 BBCT 法之週期時間預估準確度能力。

由於本研究最主要的假設條件為：計畫產出水準與產品組合比例為已知，故在進行實驗設計之前，將先驗證此虛擬生產系統之模擬結果，是否確實能夠符合計畫產出水準與產品組合比例。若此結果為真，則以模擬結果來評估 BBCT 週期時間預估能力，即具有相當的適切性。因此，本實驗首先將進行模擬系統適用性的檢驗分析。

模擬系統適用性檢驗，係以主生產排程中所訂定之計畫總產出水準與產品組合比例，做為模擬系統之總投料水準與投料組合比例，並觀察模擬系統之實際產出水準與各產品產出組合比例，是否與計畫值相符，若兩者差異程度在 1% 範圍內，則稱此模擬系統具有適用性。

模擬系統之主要輸入資料包括下列數項：

(1). 產品相關資料

- 產品與製程：本模擬系統共有產品 A~E 五種產品，分別對應製程 A 至製程 E，前兩個產品為邏輯(logic)產品，後三種為記憶體(memory)產品，製程步驟數介於 276 與 345 之間。詳細之製程步驟及其對應的製程時間與工作站等相關資訊，請參見附表 A。
- 計畫產出量：每週 4200 片。由於本文假設產品無報廢情況，故每週計畫投料片數等於計畫產出片數(4200 片)。
- 產品組合：產品 A~E 之產出量比例，依序為 36%、16%、16%、16%、16%。
- 投料機制：採用第 2.5 節之定量在製品數量(CONWIP)法及柯氏[96]所發展之循環投料機制來進行投料，每次投料量為 150 片(6 批)晶圓。

(2). 設備相關資料

- 基本資料：此模擬系統中共有 236 部機台，分屬於 83 種不同類型之工作站。在各式工作站中，屬於批次機種工作站類型者共有 37 種，其中最大載入批量為 6 批者有 15 種，最大載入批量為 4 批者有 3 種，最大載入批量為 2 批者有 19 種。在此系統中，亦考量機台當機與維修的情況。工作站之基本資料，如附表 B 所示。
- 派工法則：為與 BBCT 法之基本假設相符，故模擬系統中所有工作站的派工法則，均採用先進先出法(FIFO)。
- 批量法則：模擬系統中所有批次工作站(2 批、4 批、6 批)的批量法則，均採用滿批載入(full load)法，且由於 BBCT 法假定批量法則之優先權高於派工法則，故模擬系統將先檢驗等候之工件批是否滿足最小載入批量之限制，若符合最小載入批量限制，方能進行派工作業(FIFO 法則)。

模擬起始日期設定為 2000 年 1 月 1 日，總模擬時間為 252 天，並取總模擬時間的 1/3 時間長度(亦即 84 天)，視為模擬系統的暫態(system warm up)階段，在 warm up 階段內之資料不進行蒐集與分析，實驗次數共計為十次。

模擬結果分析

在模擬過程中，系統會自動蒐集每個晶圓批之產出資訊，如表 4 所示。依據各晶圓批完工時間先後順序，可繪製成生產週期時間時序圖，如圖 31 至圖 35 所示。各圖均顯示出當系統模擬日期在 30 天之內，系統即已達穩定狀態。圖中亦將 BBCT 法之週期時間預估值繪示於圖中，由於 BBCT 為一確定性之數學估算模型，故所求算出之值為一定值，故顯示在圖中為一水平直線，且各圖均顯示出 BBCT 法之週期時間預估值與模擬結果相當趨近。

表4. 模擬系統產出資料表(僅部分列示)

Lot ID	Release Time	Finish Time	Product	Priority	Step	Total PT	Total CT
2305	4/7 13:48	4/19 3:28	C	3	277	673616.52	999585.13
2306	4/7 13:48	4/19 3:04	C	3	277	673616.52	998145.13
2307	4/7 13:48	4/19 2:40	C	3	277	673616.52	996705.13
2308	4/7 13:48	4/19 2:16	C	3	277	673616.52	995265.13
2309	4/7 13:48	4/19 1:28	C	3	277	673616.52	992385.13
2310	4/7 13:48	4/19 1:52	C	3	277	673616.52	993825.13
2311	4/7 23:03	4/21 8:46	D	3	331	778434.84	1158223.7
2312	4/7 23:03	4/21 10:22	D	3	331	778434.84	1163983.7
2313	4/7 23:03	4/21 9:58	D	3	331	778434.84	1162543.7
2314	4/7 23:03	4/21 10:46	D	3	331	778434.84	1165423.7
2315	4/7 23:03	4/21 9:10	D	3	331	778434.84	1159663.7

(註: Priority “3”代表正常工件)

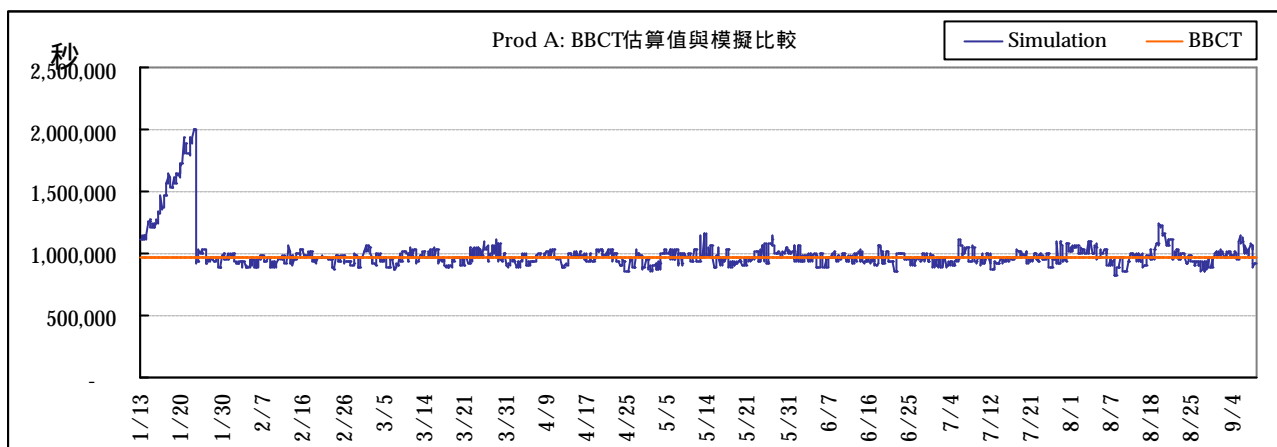


圖31. 產品 A 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

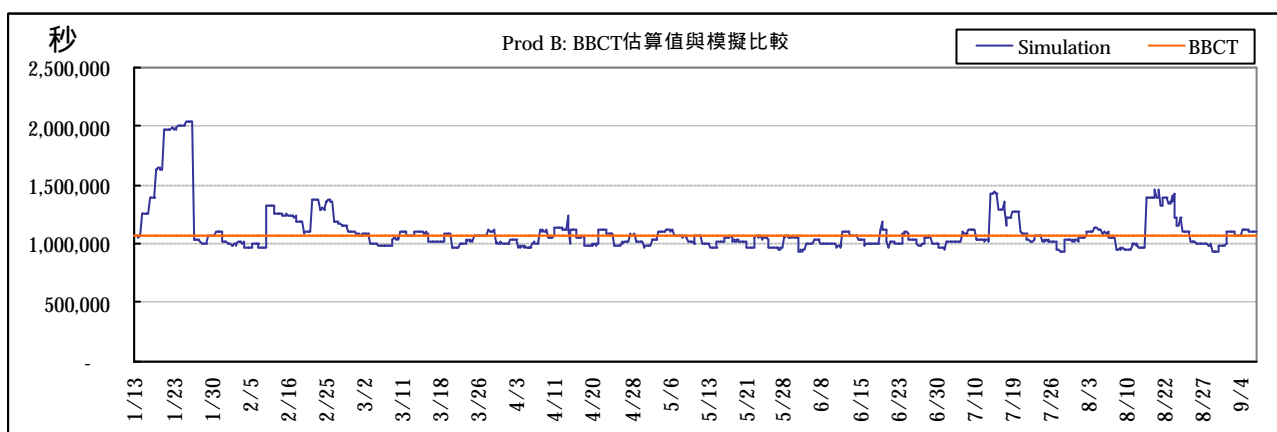


圖32. 產品 B 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

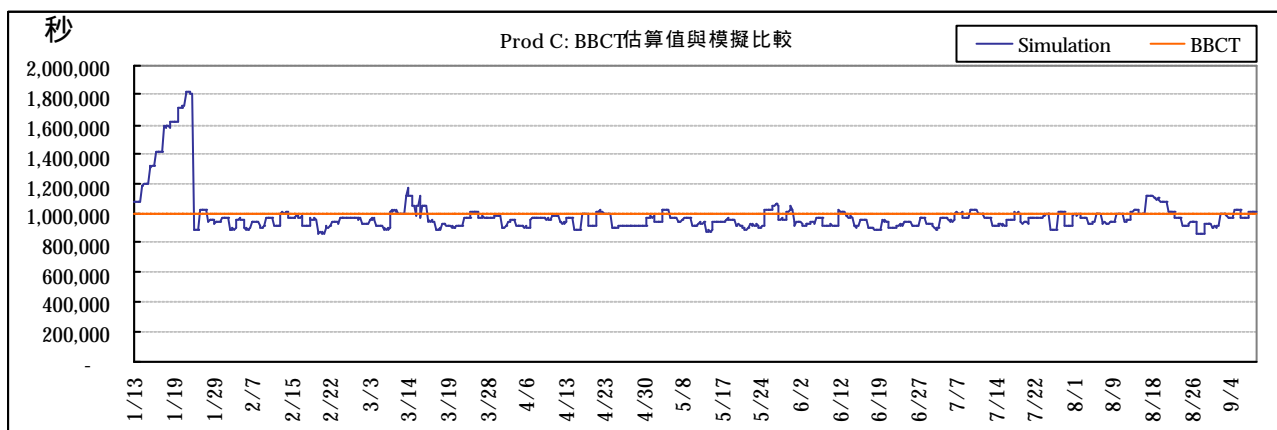


圖33. 產品 C 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

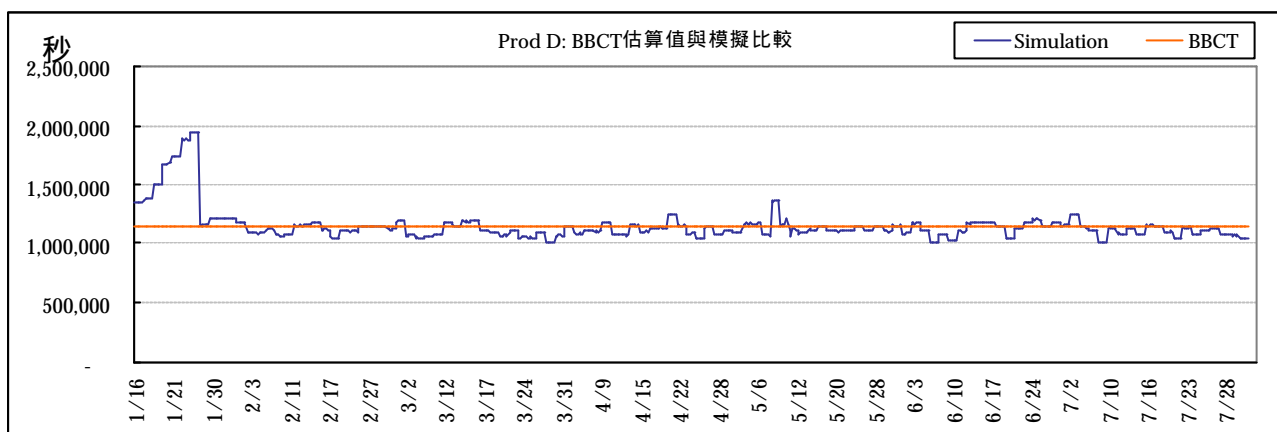


圖34. 產品 D 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

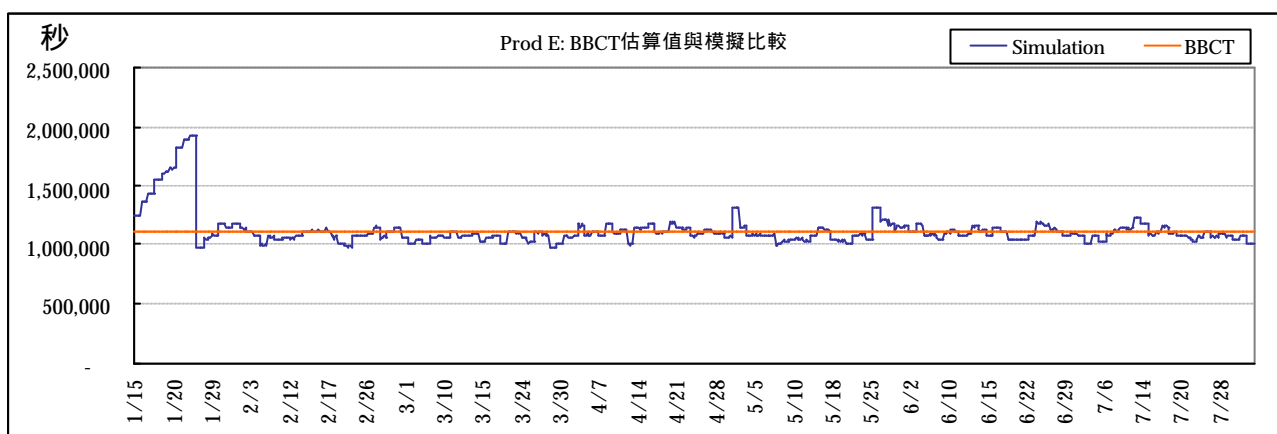


圖35. 產品 E 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

在模擬第 85 天時之期初存貨為 283 批，第 252 天之期末存貨為 288 批，此模擬期間(168 天)之總投片批量為 4032 批，總產出批量 4027 批，各產品之投片批量與產出批量，如表 5 所示。由於產品 A~E 之計畫產出量比例，依序為 36%、16%、16%、16%、16%，而模擬結果之產出比例，為 36.06%、15.94%、15.94%、16.09%、15.97%，其與計畫產出比例之加權平均絕對值差異率，約僅在 0.30%，此結果顯示模擬系統之設計，能達成計畫產出組合比例之要求。

在計畫產出量方面，由於實際蒐集模擬資料的時間區間為 168 天，共產出 4027 批，故每週平均產出量為 $4027 \div 168 \approx 167.8$ ，與計畫每週產出批數 168 批之差異率為 0.12%，顯示此模擬系統之設計，亦能達成計畫產出量之要求。

表5. 各產品之投片比例與實際產出比例 (單位: 晶圓批)

產品	期初存貨	投片量	產出量	期末存貨	計畫產出率	實際產出率	差異率
產品 A	96	1458	1452	102	36.00%	36.06%	0.17%
產品 B	48	642	642	48	16.00%	15.94%	0.38%
產品 C	48	642	642	48	16.00%	15.94%	0.38%
產品 D	48	648	648	48	16.00%	16.09%	0.56%
產品 E	43	642	643	42	16.00%	15.97%	0.19%
合計	283	4032	4027	288			0.30%

經由前述模擬結果分析，顯示出本實驗所構建之模擬系統，確實能夠達成計畫產出水準與產品組合之目標，因此，本研究將以模擬結果所獲得之平均生產週期時間，做為 BBCT 法週期時間之比較基礎。在正式進行實驗之前，將先於下一小節中，就實驗目的與實驗因子做一說明。

3.5.2. 實驗目的與實驗因子

本實驗之最主要目的在於驗證 BBCT 法導入批量因子週期時間之觀念，是否有助於提昇週期時間預估之準確度。

- 環境因子：由於不同的系統負荷率，對等候時間之影響程度不同，因此，本實驗將系統負荷率分成高負荷率(90%)、中負荷率(70%)及低負荷率(50%)三種水準。系統負荷率係以系統中的瓶頸工作站負荷率為代表，在本實驗中，瓶頸工作站為 W46 (stepper)，此工作站亦為實際晶圓廠之瓶頸工作站。
- 控制因子：本實驗主要目的在於驗證 BBCT 法在導入批量因子等候時間觀念後，其週期時間預估準確度，是否優於其他未考量批量因子的週期時間估算法。因此，本實驗亦同時進行蘇氏修正之 Conway 估計式[87](以下簡稱 Conway^{Su})及 M/M/c 等候模型之週期時間估算，故控制因子共有三個水準。

挑選上述兩種方法為比較對象的原因在於：M/M/c 等候模型完全未考量批量因子等候時間，Conway^{Su} 估計式則僅考量批次工作站之載入批量對當站週期時間之影響，而未考量前後

製程工作站之載入批量差異所造成之集批時間或瞬間尖峰負荷等候時間，亦未考量區段內之關鍵工作站因為產出速率較慢所造成之集批等候時間變化。上述三種方法之差異比較，如表 6 所示。若實驗結果顯示 BBCT 之週期時間預測準確度顯著優於上述兩種方法，則可以證明批量因子的導入將有助於提昇預測準確度。

表6. 三種實驗方法模型之比較

模型	考量負荷因子	考量批量因子		
		考量當站平均載入批量之影響	考量前後製程工作站批量差異之影響	考量區段內關鍵工作站之影響
BBCT	√	√	√	√
Conway ^{Su}	√	√		
M/M/c Queueing	√			

(符號√表示上述模型有考量該項因子特性。)

- 績效指標：績效指標為週期時間預估準確度。由於週期時間高估或低估均為預測差異，故本實驗係以預估值與動態模擬結果之「平均絕對差異率(mean absolute deviation ratio; MAD)」為實驗之績效指標，MAD 值越低，表示週期時間預估準確度能力越高。

上述之平均絕對差異率(MAD)，係等於各產品 i 之週期時間估計值(T_i^e)與模擬值(T_i^s)之差異率的絕對值，乘以產品 i 之產品組合比例(R_i)後加總而得。MAD 公式如下所示：

$$MAD = \sum_{i=1}^5 \left(\left| \frac{T_i^s - T_i^e}{T_i^s} \right| \times R_i \right) \quad (59)$$

3.5.3. 實驗環境說明

本實驗採用第 3.5.1 節所描述之模擬系統，此虛擬生產系統之輸入資料包含產品、設備與製程三大部份，如下所述：

- (1). 產品相關資料

- 產品組合：共有 A、B、C、D 與 E 五種產品。由於各產品之投料量佔總投料量的比重不同時，對生產週期時間之變異可能有所影響，故本實驗將各產品投料量區分為高投料量及低投料量兩種比例，分別以 H 及 L 符號表示，並以各產品高低投料量混合的原則，做為設定實驗組之依據。

實驗組之設計方式為：將總投料量劃分為 25 單位，在理想狀況下，五種產品之平均投料量為 5 單位。故本實驗以 5 單位為參考值，高於 5 單位(即 6~9 單位)定義為「高投料量(H)」，低於 5 單位(即 1~4 單位)定義為「低投料量(L)」，各產品組合即為高低投料量混合之結果，扣除掉部分造成瓶頸漂移的產品組合，則共得到 16 組不同的產品組合比例，如表 7 所示，本實驗即以此 16 種產品組合比例進行實驗。

表7. 實驗之產品組合比例

組別	組合	組別	組合	組別	組合	組別	組合
HLLLL	94444	HLLHL	83473	HHHLL	76822	HHHHL	66661
LHLLL	49444	LHLHL	46474	HHLLH	68326	HHLHH	66166
LLHLL	44944	LLHHL	43873	HLHLH	73627	HLHHH	61666
LLLLH	44449	LLLHH	43468	LHHLH	36637	LHHHH	16666

上述符號 HLLLL 之意義為：產品 A 為高投料比重(H)，產品 B~E 為低投料比重(L)，其餘組合之符號意義依此類推。

上述符號 94444 之意義為：產品 A~E 的投料比例依序為 9:4:4:4:4 (總和等於 25)；其餘符號所代表意義依此類推。

- 投料機制：採用第 2.5 節之定量在製品數量(CONWIP)法及柯氏[96]所發展之循環投料機制來進行投料，每次投料量為 150 片 (6 批)晶圓。

(2). 製程相關資料：同 3.5.1 節所述之內容。

(3). 設備相關資料：同 3.5.1 節所述之內容。

實驗之進行方式，係先就所選定之 16 種產品組合進行模擬，並以模擬結果所獲得之週期時間為替代真值。其次，進行 BBCT、M/M/c 等候模型、Conway^{Su} 估計式之週期時間估算，並以預估值與模擬結果之「平均絕對差異率(mean absolute deviation ratio; MAD)」為實驗之觀測值。最後，則透過單因子變異數分析，以檢定 BBCT 的週期時間預估準確度是否顯著優於 M/M/c 等候模型與 Conway^{Su} 估計式。

在模擬系統的環境設計方面，訂定總模擬時間為 252 天，並以總模擬時間的 1/3 時間長度(亦即 84 天)，視為模擬系統的暫態(system warm up)階段，在 warm up 階段內之資料不進行蒐集與分析，實驗次數共計為十次。

3.5.4. 實驗結果分析

3.5.3.1. 週期時間估計準確度

本實驗結果彙整於表 8 中。圖 36 係依據表 8 結果，在不區分系統負荷水準情況下，所繪製之三種方法之實驗值(MAD 值)的分佈圖。該圖顯示 BBCT 法之平均值(2.73%)，顯著地低於 Conway^{Su} 估計式 (19.6%)及 M/M/c 等候模型(23.5%)。

表8. 各方法之週期時間估算絕對誤差率(MAD)

No	產品組合	系統利用率- 90%			系統利用率- 70%			系統利用率- 50%		
		BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
1	94444	0.9%	16.1%	23.0%	2.2%	20.7%	23.4%	2.8%	22.4%	24.1%
2	66166	1.6%	15.0%	22.4%	3.0%	20.3%	23.1%	2.2%	23.0%	24.7%
3	76822	2.2%	15.8%	22.2%	2.9%	20.3%	22.9%	2.9%	21.7%	23.4%
4	83473	1.7%	16.0%	23.4%	2.2%	20.5%	23.3%	3.5%	22.0%	23.7%
5	46474	2.5%	14.5%	22.0%	2.3%	20.7%	23.6%	4.4%	22.1%	23.8%
6	49444	2.0%	15.4%	22.1%	2.3%	21.2%	23.8%	4.0%	23.2%	24.9%
7	61666	2.0%	15.1%	22.5%	3.2%	20.9%	23.8%	4.7%	22.4%	24.1%
8	43873	1.5%	15.9%	23.4%	4.3%	21.9%	24.7%	3.9%	23.2%	24.9%
9	66661	2.1%	14.8%	22.1%	3.6%	19.5%	22.2%	3.4%	23.4%	25.0%
10	44449	1.3%	16.3%	23.6%	2.3%	21.8%	24.7%	3.9%	22.3%	24.0%
11	68326	2.6%	15.2%	21.6%	2.0%	20.6%	23.2%	2.6%	21.7%	23.3%
12	73627	2.3%	15.2%	22.2%	4.0%	20.6%	23.4%	4.1%	20.7%	22.4%
13	36637	2.1%	15.8%	23.1%	1.7%	20.2%	23.0%	3.7%	21.8%	23.5%
14	44944	1.7%	16.2%	23.4%	3.4%	22.7%	25.4%	3.8%	23.4%	25.1%
15	43468	1.1%	15.7%	23.5%	2.4%	22.0%	24.9%	4.5%	22.9%	24.6%
16	16666	1.3%	17.3%	24.7%	2.2%	20.7%	23.5%	3.8%	21.0%	22.8%
	平均值	1.9%	15.5%	22.7%	2.8%	20.9%	23.7%	3.6%	22.3%	24.0%

圖 37則顯示在區分系統負荷水準的情況下，當系統負荷水準由高負荷率(90%)，降至低負荷率(50%)時，三種不同方法之 MAD 值均呈現微幅上昇現象，亦即當系統負荷水準下降，三種方法之週期時間預測準確度均會降低。但以相對比較而言，即時在系統低負荷水準下，BBCT 之 MAD 值仍顯著低於另外兩種方法。

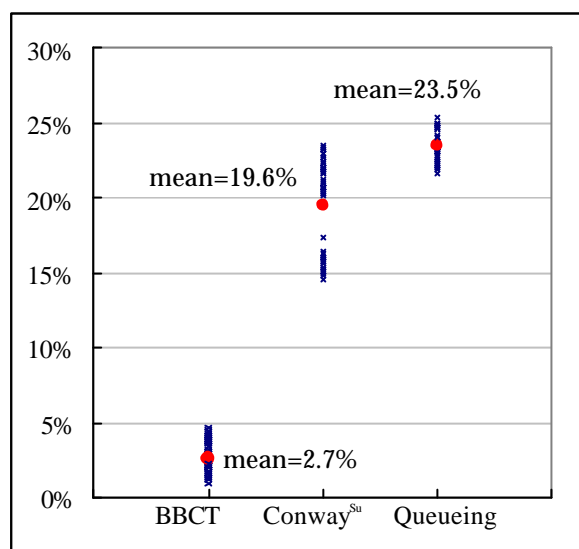


圖36. 週期時間估算絕對誤差率分佈圖-單等級產品

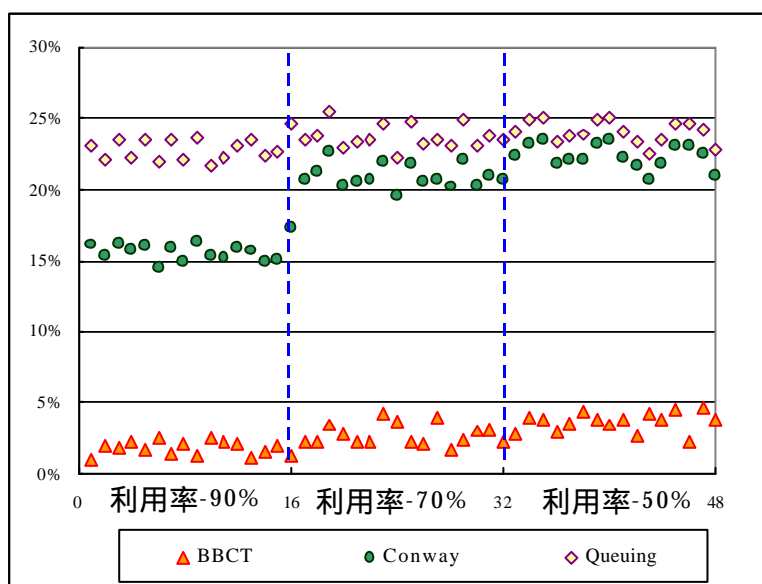


圖37. 不同系統負荷率之週期時間 MAD 分佈圖-單等級產品

上述分析結果清楚顯示出 BBCT 在週期時間預估準確度上，明顯優於另外兩種方法，但為了確認其統計上的顯著性，吾人進一步以 SPSS 統計軟體，就表 8 之觀測值進行單因子變異數分析(One-way ANOVA)，以檢定三種方法之預測準確度是否相同。假設檢定設定如下，其檢定結果摘要於表 9 至表 11 中：(顯著水準 $\alpha=0.05$)

H_0 : 三種方法之 MAD 均值均相同；

H_1 : 三種方法之 MAD 均值不全相同。

表9. 單因子變異數分析表-單等級系統利用率 90%

實驗	變異來源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F值	P-value
系統利用率- 90%	組間	0.3652178	2	0.1826089	3901.4	0.0000
	組內	0.0021063	45	0.0000468		
	全體	0.3673240	47			

表10. 單因子變異數分析表-單等級系統利用率 70%

實驗	變異來源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F值	P-value
系統利用率- 70%	組間	0.4139169	2	0.2069584	3170.6	0.0000
	組內	0.0029373	45	0.0000653		
	全體	0.4168542	47			

表11. 單因子變異數分析表-單等級系統利用率 50%

實驗	變異來源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F值	P-value
系統利用率- 50%	組間	0.4093155	2	0.2046578	3354.9	0.0000
	組內	0.0027451	45	0.0000610		
	全體	0.4120607	47			

表 9 至表 11 顯示出在三種系統負荷水準下(90%, 70%, 50%)，其檢定統計量 F 值分別為(3901.4, 3170.6, 3359.4)，均顯著高於 $F_{0.05,2,45}=3.204$ ，且其 P-value 均趨近於零，故三種系統負荷水準情境下，均拒絕虛無假設 H_0 。此結論顯示不論系統為高負荷、中負荷或低負荷，BBCT、Conway^{Su} 估計式及 M/M/c 等候模型之週期時間預估準確度，均有顯著的不同。

上述統計檢定僅驗證了三個方法之預估準確度有顯著差異，若欲進一步確認彼此間之相對優劣順序，則須進行事後比較(post-hoc comparisons)。常被廣泛採用之事後多重比較分析法有 Sheffe 法、Turkey 法及 Duncan 法[99][100]，為求結論之嚴謹起見，吾人分別以此三種事後比較分析法進行檢定。三種比較法之結果均顯示出 BBCT 法之預估準確度最高，Conway^{Su} 估計式次之，M/M/c 等候模型最低，且此結論極為顯著(P-value 均趨近於零)。由於三種比較法所獲致之結論均相同，為簡化說明起見，在此僅列示 Sheffe 多重比較分析法之結果於表 12 至表 14。

表12. Sheffe 多重比較分析-單等級系統利用率 90%

實驗	(I) 法則	(J) 法則	均差 (I-J) (mean difference)	標準誤 (std error)	顯著性 (sig.)
系統利用率- 90%	1	2	-0.138344	0.002419	0.000000
		3	-0.210186	0.002419	0.000000
	2	1	0.138344	0.002419	0.000000
		3	-0.071841	0.002419	0.000000
	3	1	0.210186	0.002419	0.000000
		2	0.071841	0.002419	0.000000

表13. Sheffe 多重比較分析-單等級系統利用率 70%

實驗	(I) 法則	(J) 法則	均差 (I-J) (mean difference)	標準誤 (std error)	顯著性 (sig.)
系統利用率- 70%	1	2	-0.181769	0.002856	0.000000
		3	-0.209310	0.002856	0.000000
	2	1	0.181769	0.002856	0.000000
		3	-0.027541	0.002856	0.000000
	3	1	0.209310	0.002856	0.000000
		2	0.027541	0.002856	0.000000

表14. Sheffe 多重比較分析-單等級系統利用率 50%

實驗	(I) 法則	(J) 法則	均差 (I-J) (mean difference)	標準誤 (std error)	顯著性 (sig.)
系統利用率- 50%	1	2	-0.186962	0.002761	0.000000
		3	-0.203741	0.002761	0.000000
	2	1	0.186962	0.002761	0.000000
		3	-0.016778	0.002761	0.000001
	3	1	0.203741	0.002761	0.000000
		2	0.016778	0.002761	0.000001

(Rule 1: BBCT; Rule 2: Conway^{Su}; Rule 3: M/M/C Queueing)

綜合上述統計檢定之結論說明，BBCT在不同的系統負荷水準下，均能表現出優於其他兩種方法的週期時間預估能力，且 BBCT與模擬的絕對平均差異率均低於 5%。各別產品之 MAD 值，詳列於附表 C-1 至 C-3 中。

BBCT 法週期時間預估準確度能夠較其他兩種方法為佳，主要原因在於 BBCT 法將批量因子對週期時間之影響納入估算模型中，有效的反應出批次工作站之載入批量差異所造成之等候時間的變化。尤其是當系統負荷率降低時，若最小載入批量之限制不變，則工件批集批等候之時間會上昇，且機台瞬間釋放多個工件批至下游所造成的瞬間尖峰負荷問題依然存在。故當系統負荷率降低時，批量因子等候時間佔總等候時間的比例會上昇。由於 M/M/c 等候模型及 Conway^{Su} 估計式未考量或僅部份考量批量因子等候時間，故兩者所預估的等候時間均有嚴重低估現象，且低估情況隨著系統負荷率的下降而更趨嚴重。

表 15顯示在不同的系統負荷率情境下，批量因子與負荷因子「等候時間」佔「總等候時間」之比例(詳細資料列示於附表 D)。該表顯示出，當系統負荷率由 90%下降至 50%時，BBCT法等候時間 MAD 值上昇幅度最低，僅上昇約 8.1%，而 Conway^{Su} 估計式及 M/M/c 等候模型則分別上昇了 36.4%與 19.3%。此現象係反應出當系統負荷率下降時，未考量批量因子之等候時間預估法之預測誤差，將會有顯著的上昇。各方法所估算之等候時間 MAD 值，列示於附表 E 中。

表15. 不同系統負荷率下之等候時間 MAD 值變化-單等級

系統 負荷率	批量因子等候時間 佔總等候時間比例	等候時間MAD均值		
		BBCT法	Conway ^{su} 法	M/M/c Queuing
90%	75.9%	6.2%	51.0%	74.7%
70%	88.5%	10.2%	77.6%	87.9%
50%	94.4%	14.3%	87.4%	94.0%

在實用性方面，BBCT係為一數學模型，求算速度相當快速，在某些需要即時決策的情境下，BBCT具有良好的速度優勢。以本實驗所採用之電腦系統環境而言，在 CPU Intel Pentium-III 600 MHz，RAM-192MB 環境下，執行一次 BBCT 所需時間約 14 秒，相對地，執行一次晶圓廠動態模擬所需時間約 82 分鐘(約 4920 秒)。模擬系統本身具有可以同時考量多種系統限制條件之優點，故可具體描述出作業現場之動態行為，惟模擬系統構建成本高昂，且在考慮相同系統假設條件限制下，BBCT 法估算值與模擬結果之 MAD 值僅為 2.73%，兩者之估算結果相當趨近，但 BBCT 法執行估算所須時間較動態模擬為短(約僅為模擬的三百五十分之一)，在某些強調快速反應的接單系統或排程系統環境下，BBCT 法應具有良好的實用性。

3.5.3.2. 工作站利用率估計準確度

在本文實驗過程中，亦同時蒐集 83 個工作站的利用率模擬結果，並計算 BBCT 估計值與模擬結果的差異絕對值。在 16 次不同產品組合的實驗下，共可得到 $83 \times 16 = 1,328$ 個差異絕對值資料，每一個差異絕對值視為一個觀測值。三個不同的系統負荷情境實驗下，共可得到 $1,328 \times 3 = 3,984$ 個觀測值。表 16 顯示 3,984 個觀測值中，約有 90.4% 的觀測值其差異絕對值小於 1% 以下，小於 2% 以下的觀測值累計個數已佔所有觀測值(3,984 個)的 98.4%，小於 3% 以下已佔 99.1%。所有觀測值之平均差異絕對值為 0.47%。由此數據可以顯示 BBCT 法在預估工作站利用率方面，亦具有相當好的預估能力。詳細資料請參見附表 F1 至附表 F3。

表16. 工作站利用率估計差異率-分屬不同級距之觀測值個數

Range	觀測值數目				觀測值數目佔總數比			
	Util-90%	Util-70%	Util-50%	Total	Util-90%	Util-70%	Util-50%	Total
<1%	1145	1190	1268	3603	86.22%	89.61%	95.48%	90.44%
(1%, 2%)	156	118	46	320	11.75%	8.89%	3.46%	8.03%
(2%, 3%)	11	7	8	26	0.83%	0.53%	0.60%	0.65%
(3%, 4%)	2	6	4	12	0.15%	0.45%	0.30%	0.30%
(4%, 5%)	6	7	2	15	0.45%	0.53%	0.15%	0.38%
(5%, 10%)	8	0	0	8	0.60%	0.00%	0.00%	0.20%
>10%	0	0	0	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
總數	1328	1328	1328	3984	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

本章中已詳細說明了 BBCT 基礎型之原理與數學模型，並以實例驗證 BBCT 在週期時間與工作站利用率估算準確度上之成效。在下一章中，將考量工程實驗工件批納入生產系統後，如何應用區段基礎式週期時間估算法，以進行工程實驗工件批與正常工件批週期時間之估算。

第四章、考量實驗工件批之區段基礎式週期時間估算法

4.1. 問題分析與定義

在晶圓製造廠中，工程實驗工件批(engineering lots)是一個普遍存在的現象，其通常是為了製程或技術研發，及新產品之試製(pilot)而設立。其主要目的在於縮短生產週期時間，以便即時取得相關的實驗資料，進而加速新產品上市，或做為製程改善之依據。

工程實驗工件批，本文簡稱為實驗工件批，相對於系統中的其他工件批而言，不論其處於製程中的哪一個位置，均具有相對較高的作業優先權[1]。然而，實驗工件批之導入，不可避免地會對系統之正常運作造成負面影響，尤其是正常工件批之生產週期時間會增長，且變異會增大[21]。實驗工件批之目的，既在於實驗而非生產，基於實驗成本之考量，針對每一個特定實驗項目，所進行之實驗工件批數，通常僅為一批或數片(一批等於 25 片晶圓)，這也會造成機台未滿載的產能損失。實際投片量大小，則與所欲進行之實驗目的及所欲蒐集的資料量有關。

雖然實驗工件批有其存在的實質必要性，但是實驗工件批會對系統績效造成相當大的負面衝擊，正常工件批之週期時間會因為實驗工件批之導入而增長。故在進行實驗工件批之相關決策時，應能有效的預測導入實驗工件批後，生產系統中各產品之生產週期時間的變化情況，以做為生產規劃與訂單管理之依據。基於上述理念，吾人將把第三章所發展之區段基礎式週期時間估算法，應用至具有實驗工件批之晶圓製造生產系統中。

本章所探討之考量實驗工件批情況下之 BBCT 估算法，其基本假設條件與第三章所述之 BBCT 基本型相同，但對於實驗工件批部分，新增下列假設條件：

- 系統中只有實驗工件批與正常工件批兩種等級；
- 實驗工件批與正常工件批各採用先進先出(FIFO)派工法則；
- 實驗工件批不受批次機台之最小載入批量的限制；
- 實驗工件批與其他正常工件批，不能混批進行加工作業；
- 各實驗工件批不能混批進行加工作業(因實驗項目不同)；

- 實驗工件批之投料批量為一批(one lot)；
- 實驗工件批之作業屬於非逐位性(non-preemptive)。

在後續各節中，首先將說明考量實驗工件批下，BBCT 法之基本架構與原理。其次，說明如何運用「非逐位性優先服務之等候模型(non-preemptive priority queueing model)」，來估算負荷因子所形成之等候時間。最後，運用具實驗工件批型之 BFFT 演算法，分別估算實驗工件批與正常工件批之批量因素等候時間。本章之內容架構，如圖 38所示。

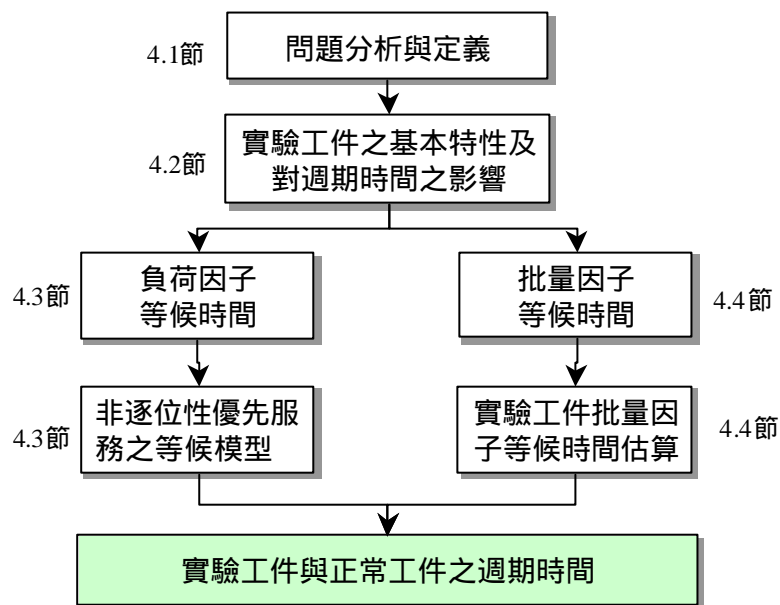


圖38. 第四章之章節架構

4.2. 具實驗工件批型之週期時間估算模式

當系統導入實驗工件批後，系統之整體物流特徵會受到改變，此物流特徵之變化，主要受到下列兩項實驗工件批的基本特性之影響：

- (1). 實驗工件批具有相對較高作業優先權。

當機台處於閒置狀態時，實驗工件批具有優先進行加工之權利，即使等候佇列中，存在有某一個正常工件批已符合等候時間限制 (time constraint)，此情況仍不影響該實驗工件批之作業優先權。

(2). 實驗工件批不受批量法則之限制。

批次機台之最小載入批量之限制，是著眼於機台運用之效率，然而，實驗工件批週期時間最小化的重要性，高於前述之機台效率問題，因此，在實務上實驗工件批並不受最小載入批量之限制，亦即實驗工件批不受批量法則之限制。

工件批在系統中之物流特徵，將受到上述兩個特性之影響，因此，批量因子與負荷因子所形成之等候時間特性，將產生下列變化：

實驗工件批之等候時間特性

(1). 實驗工件批無批量因子等候時間

由於「實驗工件批不受批量法則之限制」，因此，實驗工件批並不須為了集結成批而等候，故無集批等候時間。其次，由於各實驗工件批不能混批加工，故各實驗工件批在批次機台上均屬於單批作業，對於批次機台之後製程機台而言，將不會有集批釋出所造成的瞬間尖峰負荷問題。

(2). 實驗工件批有極短的負荷因子等候時間

實驗工件批仍有負荷因素所形成之等候時間。其主要形成原因來自於：

- 實驗工件批進入等候佇列時，該工作站中並無任一機台為閒置狀態，故須等候任一機台轉為閒置狀態所花費的等候時間；
- 實驗工件批進入等候佇列時，已有其他實驗工件批在等候，由於實驗工件批採用 FIFO 派工法則，故須等候其他實驗工件批所產生之等候時間。

由於實驗工件批佔整個系統在製品之比例，維持在相當低的水準，因此上述兩項因素所形成之等候時間均相當的低。上述概念之示意圖，參見圖 39。

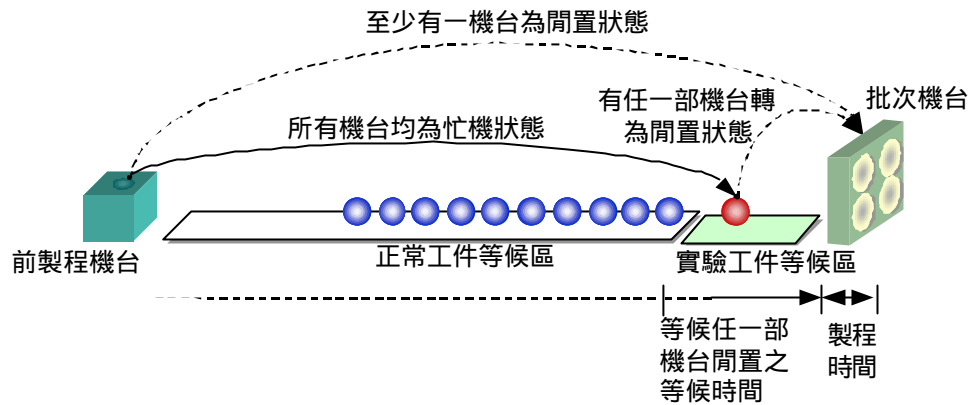


圖39. 實驗工件批之等候時間示意圖

正常工件批之等候時間特性

(1). 正常工件批之批量因子等候時間會增長

實驗工件批會造成批次機台發生產能未滿載損失，使得正常工件批對應之可用產能降低，造成等候時間之增加。其次，正常工件批之流動速率下降，也造成了集結成批的時間增長。

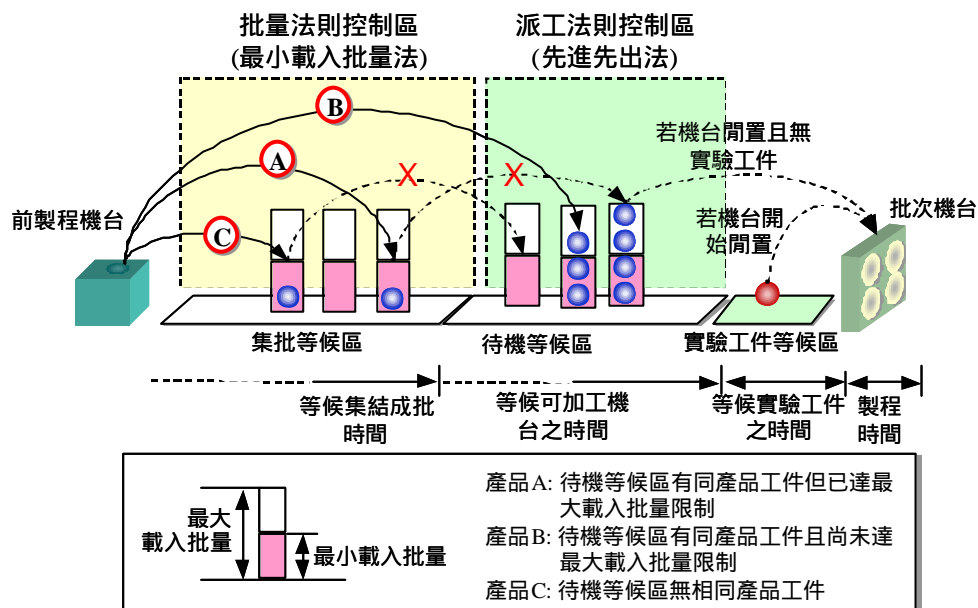
(2). 正常工件批之負荷因子等候時間會增長

正常工件批之作業優先權較實驗工件批低，使得正常工件批等候可用機台之機率提高，等候時間增長。

綜合上述兩點說明，當導入實驗工件批後，正常工件批之批量因子及負荷因子等候時間均會增大。實驗工件批與正常工件批之等候時間形成因素之比較說明，彙整於表 17，上述概念之示意圖，請參見圖 40。

表17. 實驗工件批與正常工件批之等候時間形成因素

等候時間形成因子	實驗工件批	正常工件批
批量因素	無批量因素等候時間。 因為實驗工件批不受最小載入批量限制且無瞬間尖峰負荷情況。	批量因子等候時間比無實驗工件批狀態下來的長。 正常工件批之流動速率變慢，造成集結成批的時間增長。
負荷因素	負荷因素等候時間極短。 因為實驗工件批具有高作業優先權，且實驗工件批數目少，同時搶佔同一資源之機率低。	負荷因子等候時間比無實驗工件批狀態下來的長。 正常工件批之作業優先權相對較低，且批次機台因實驗工件批批量未滿載加工造成產能損失，使得正常工件批所對應之可用產能數減少。



4.3. 負荷因子等候時間之求算方法

實驗工件批具有高作業優先權，但此優先權並不高於正在加工中之任一工件批，亦即所有正在加工中之工件批，並不須因為實驗工件批的到達而被迫退回等候線，由於此種等候模型特徵，與「非逐位性優先服務之等候模型(non-preemptive priority queueing model)」[29][80][90]相符，故吾人將運用「非逐位性優先服務之等候模型」，來估算各等級工件批在系統中的等候時間。

在正式說明之前，先將週期時間估算模式中之相關參數符號，作一明確定義，如下所示：

符號定義

- c_k : 表示第 k 工作站之可用機台數($c_k = c_k^e + c_k^n$)；
- c_k^e : 表示第 k 工作站被實驗工件批耗用之平均機台數；
- c_k^n : 表示第 k 工作站可供正常工件批耗用之平均機台數；
- e_k : 表示第 k 工作站之平均效率；
- L_k^r : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站之期望工件批數；
- L_k^{rq} : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站等候線上的期望工件批數；
- L_k^{rs} : 表示第 r 優先等級之工件批別，正在第 k 工作站接受服務的期望工件批數；
- \mathfrak{R} : 總計畫投片量($\mathfrak{R} = \mathfrak{R}^e + \mathfrak{R}^n$)；
- \mathfrak{R}^e : 實驗工件批之計畫投片量；
- \mathfrak{R}^n : 正常工件批之計畫投片量；
- T : 規劃時格長度；
- w_k^r : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站之穩態等候時間(含製程時間)；
- w_k^{rq} : 表示第 r 優先等級之工件批別，在第 k 工作站等候線上的穩態等候時間；
- I_k : 表示第 k 工作站之平均工件批到達率；
- I_k^e : 表示第 k 工作站之實驗工件批平均到達率；
- I_k^n : 表示第 k 工作站之正常工件批平均到達率；

- m_k : 表示第 k 工作站之平均利用率；
 p_i^n : 表示第 i 種正常工件批產品佔正常工件批產品組合之比例；
 p_i^e : 表示第 i 種實驗工件批產品佔實驗工件批產品組合之比例；
 f_{ik} : 製程 i 經過第 k 工作站之次數；
 g_k : 表示第 k 工作站之平均重加工機率；
 O_k : 表示第 k 工作站之最大產出速率；
 O_k^e : 表示第 k 工作站之實驗工件批最大產出速率；
 O_k^n : 表示第 k 工作站之正常工件批最大產出速率。
 \bar{P}_k^n : 表示正常工件批在第 k 工作站之平均加工時間。
 \bar{P}_k^e : 表示實驗工件批在第 k 工作站之平均加工時間。

為易於了解，吾人將負荷因子等候時間之估算程序，區分為下列八個步驟，依序說明如下：

(1). 求算工件批平均到達率： I_k

第 k 工作站之工件批到達率 I_k ，等於實驗工件批到達率(I_k^e)與正常工件批到達率(λ_k^n)之和。 I_k^e 與 λ_k^n 之值，可以分別由計畫投片量 \Re^e 及 \Re^n 、所採用之製程 i 所需經過工作站 k 之次數(f_{ik})，與平均重加工機率(g_k)計算求得。其計算式如下所示：

$$\Re = \Re^e + \Re^n \quad (60)$$

$$\lambda_k^n = \Re^n \times \sum_i p_i^n \times f_{ik} \times (1 + g_k); i \in G(n) \quad (61)$$

$$\lambda_k^e = \Re^e \times \sum_{i'} p_{i'}^e \times f_{i'k} \times (1 + g_k); i' \in G'(e) \quad (62)$$

$$\lambda_k = \lambda_k^e + \lambda_k^n \quad (63)$$

上述之 $G(n)$ 表示正常工件批之產品別(製程別)之集合； $G'(e)$ 表示所有實驗工件批之集合。

(2). 求算工作站可用機台數： c_k

工作站可用機台數 c_k ，等於該工作站 k 的總機台數 n_k ，扣掉當機與維修

之約當機台數。假定工作站 k 第 m 部機台的平均當機時間為 $MTBF_{k_m}$ ，平均修復時間為 $MTTR_{k_m}$ ，平均預防保養間隔時間為 $MTBPM_{k_m}$ ，平均預防保養時間為 $MTTPM_{k_m}$ ，則工作站可用機台數 c_k 之求算公式，可以表達成下式所示：

$$c_k = \sum_{m=1}^{n_k} \left(1 - \frac{MTTR_{k_m}}{MTBF_{k_m} + MTTR_{k_m}} - \frac{MTTPM_{k_m}}{MTBPM_{k_m} + MTTPM_{k_m}} \right), \quad \text{for each } k \quad (64)$$

(3). 求算實驗工件批耗用產能數： c_k^e

實驗工件批耗用批次工作站 k 之約當機台數 c_k^e 的求算公式，如下式所示：

$$c_k^e = \text{Min} \left(\frac{\sum_{i \in G'(e)} \sum_{l: M(i,l)=k} [\mathfrak{R}^e \times p_i^e] \times p_{il}}{T}, c_k \right), \quad \text{for each } k \quad (65)$$

上式中 p_{il} 表示第 i 種工件批第 l 個製程步驟之製程時間， $M(i,l)$ 表示第 i 種工件批第 l 個製程步驟所對應之工作站。

(4). 求算正常工件批可耗用產能數： c_k^n

由於實驗工件批之作業優先權高於正常工件批，故正常工件批僅能消耗用實驗工件批所分配後之剩餘產能。實驗工件批可耗用之約當機台數 c_k^e 的求算公式，如下式所示：

$$c_k^n = \text{Max}(c_k - c_k^e, 0) \quad (66)$$

(5). 求算正常工件批與實驗工件批之平均作業時間： \bar{P}_k^e 與 \bar{P}_k^n

實驗工件批與正常工件批在工作站 k 之平均作業時間(分別為 \bar{P}_k^e 與 \bar{P}_k^n)，如下式所示：

$$\bar{P}_k^e = \frac{\sum_{i \in G'(e)} \sum_{l: M(i,l)=k} [\mathfrak{R}^e \times p_i^e] \times p_{il}}{\sum_{i \in G'(e)} [\mathfrak{R}^e \times p_i^e] \times f_{ik}}, \quad \text{for each } k \quad (67)$$

$$\bar{P}_k^n = \frac{\sum_{i \in G(n)} \sum_{l: M(i,l)=k} [\mathfrak{R}^n \times p_i^n] \times p_{il}}{\sum_i [\mathfrak{R}^n \times p_i^n] \times f_{ik}}, \quad \text{for each } k \quad (68)$$

(6). 求算工作站最大產出速率： O_k

實驗工件批與正常工件批在工作站 k 之最大產出速率(分別為 O_k^e 與 O_k^n)，如下式所示：

$$O_k^e = \frac{c_k}{P_k^e}, \quad \text{for each } k, \quad (69)$$

$$O_k^n = \frac{c_k^n \times B_{ij}^{max}}{P_k^n}, \quad \text{for each } k, \quad (70)$$

$$O_k = \frac{\Re^e}{\Re} \times O_k^e + \frac{\Re^n}{\Re} \times O_k^n, \quad \text{for each } k. \quad (71)$$

(7). 求算工作站平均利用率： m_k

在服務率 m_k 方面，由於實驗工件批之製程處方(recipe)通常較為特殊，無法與正常工件批或其他實驗工件批混批加工，使得批次機台處理實驗工件批時會造成產能之批量損失，此批量損失大小，介於 $(B_{ij}^{max} - 1, B_{ij}^{min} - 1)$ 之間。所以，批次機台處理實驗工件批之單位時間產出量，會低於處理正常工件批之單位時間產出量。至於序列機台之產出速率，則不受批量損失的影響。

第 k 工作站之平均服務率 m_k ，等於第 k 工作站處理實驗工件批之產出速率，與處理正常工件批之產出速率之加權平均值，如下式所示：

$$\mu_k = T \times e_k \times O_k \quad (72)$$

(8). 求算負荷因子等候時間： w_k^r

如上所述，在非逐位性優先服務之等候模型下，具較高優先權之工件批進入等候系統時，正在進行加工的工件批不必退回等候線(不被逐位)，因此，第 r 個優先等級工件批，在工作站 k 之穩態等候時間 w_k^r 之求算公式[29][80]，如下所示：

$$w_k^r = \frac{I}{A_k \times B_k^{r-1} \times B_k^r} + \frac{c_k}{\mu_k}, \quad \text{for } r=1,2,\dots,N \quad (73)$$

$$w_k^{rq} = w_k^r - \frac{c_k}{\mu_k}, \quad \text{for } r=1,2,\dots,N \quad (74)$$

$$\text{where } A_k = c_k! (\mu_k - ?_k) \left(\frac{\mu_k}{c_k ?_k} \right)^{c_k} \sum_{j=0}^{c_k-1} \frac{1}{j!} \left(\frac{c_k ?_k}{\mu_k} \right)^j + \mu_k$$

$$?_k = \sum_{i=1}^N ?_{ki}$$

$$B_0 = 1$$

$$B_k^r = 1 - \frac{\sum_{i=1}^r ?_{ki}}{\mu_k}, \text{ for } r = 1, 2, \dots, N$$

在穩態情況下，第 r 類顧客在工作站 k 之期望顧客數(L_k^r)、第 r 類顧客在工作站 k 之等候線上之期望顧客數(L_k^{rq})，及第 r 類顧客正在工作站 k 接受服務的期望顧客數(L_k^{rs})，分別等於：

$$L_k^r = I_k^r \times w_k^r, \text{ for } r=1, 2, \dots, N \quad (75)$$

$$L_k^{rq} = I_k^{rq} \times w_k^{rq}, \text{ for } r=1, 2, \dots, N \quad (76)$$

$$L_k^{rs} = L_k^r - L_k^{rq} = c_k \times ?_k^r / \mu_k, \text{ for } r=1, 2, \dots, N \quad (77)$$

在本章中，由於僅考量實驗工件批與正常工件批兩種等級，故上述公式可以彙整成表 18 所示：

表18. 非逐位性優先服務之等候模型

參數	實驗工件批($r=e$)	正常工件批($r=n$)
$w_k^e \& w_k^n$	$w_k^e = \frac{\mu_k}{A \times (\mu_k - ?_k^e)} + \frac{c_k}{\mu_k}$	$w_k^n = \frac{\mu_k^2}{A \times (\mu_k - ?_k^e) \times (\mu_k - ?_k^e - ?_k^n)} + \frac{c_k}{\mu_k}$
$w_k^{eq} \& w_k^{nq}$	$w_k^{eq} = \frac{\mu_k}{A \times (\mu_k - ?_k^e)}$	$w_k^{nq} = \frac{\mu_k^2}{A \times (\mu_k - ?_k^e) \times (\mu_k - ?_k^e - ?_k^n)}$
$L_k^e \& L_k^n$	$L_k^e = ?_k^e \times w_k^e$	$L_k^n = ?_k^n \times w_k^n$
$L_k^{es} \& L_k^{ns}$	$L_k^{es} = c_k \times ?_k^e / \mu_k$	$L_k^{ns} = c_k \times ?_k^n / \mu_k$
A_k	$A_k = c_k! (\mu_k - ?_k) \left(\frac{\mu_k}{c_k ?_k} \right)^{c_k} \sum_{j=0}^{c_k-1} \frac{1}{j!} \left(\frac{c_k ?_k}{\mu_k} \right)^j + \mu_k, \text{ where } ?_k = ?_k^e + ?_k^n$	

4.4. 批量因子等候時間之求算方法

工件批在生產線上流動，是否會形成批量因子等候時間，與工件批屬性有關。如前所述，實驗工件批並不受批量法則之限制，故無批量因子等候時間。此外，數個實驗工件批同時搶同一資源，而造成其中一個或數個實驗工件批被迫進行等候，此種情況下所形成之等候時間，係屬於負荷因子等候時間類型，故採用前一節之非逐位性優先服務之等候模型，來進行等候時間之估算。

相對地，由於正常工件批之作業優先權低於實驗工件批，故在估算正常工件批之批量因子等候時間時，僅能就實驗工件批所耗用後之剩餘產能為基礎，來進行估算。除此之外，正常工件批在區段內的物流特性並未改變，因此，正常工件批之批量因子等候時間之求算邏輯與數學運算式，可以應用第 3.4 節所發展之 BFFT 法，但須修正可用產能水準 c_k 為 c_k^n 。由於本小節求算邏輯及數學估算式與第 3.4 節相同，故本小節不再重複陳述。

在說明了考量實驗工件批下之區段基礎式週期時間估算法之相關理念、求算程序與數學公式後，在下一節中，將進行一完整的實驗設計以驗證其實際成效。

4.5. 實驗設計與成果

4.5.1. 模擬系統適用性驗證

本章之實驗採用第 3.5 節所詳述之模擬系統(以 eM-Plant 4.6 所構建)，各項產品、製程與設備資料亦與第 3.5 節相同，但為符合第 4.1 節之實驗工件批之相關假設條件，故做下列修正：

(1). 產品等級與投料批量：

產品 A 至產品 D 為正常工件批，且投料批量均為六批。產品 E 為實驗工件批，投料批量為一批，且假定虛擬晶圓廠為一個量產工廠而非實驗工廠，工程實驗之主要目的僅在於製程改善與良率提昇，而不包括新製程或新產品之開發與導入，故實驗工件批佔總產能之比例極低，本實驗假定工程實驗批佔總產出比例為 4%。

(2). 派工法則：

採用先進先出法，且實驗工件批之作業優先權高於正常工件批。當工作站有任一機台閒置時，將先辨別等候佇列中是否有實驗工件批，若至少有一個實驗工件批在等候，則以先進先出原則挑選等候時間最久的實驗工件批。若等候佇列中無實驗工件批，則挑選等候時間最久的正常工件批進行加工。

(3). 批量法則：

實驗工件批之最小載入批量為一批，亦即實驗工件批不受最小載入批量的限制，且實驗工件批不能與任一正常工件批混批加工。正常工件批之最小載入批量，則仍維持六批。

在正式進行實驗之前，將先進行模擬系統適用性的檢驗分析。模擬系統適用性檢驗方式與第 5.3 節相同，係計算模擬系統之實際產出水準與各產品產出組合比例，是否與計畫產出水準與計畫產品組合比例相符，若上述實際值與計畫值差異率在 1%範圍內，則判定此模擬系統具有適用性，亦即吾人可將此模擬系統所獲得之週期時間值，做為各週期時間估算法成果之比較基準。

總模擬時間設定為 252 天，並取總模擬時間的 1/3 時間長度(亦即 84 天)，視為模擬系統的暫態(warm up)階段，在 warm up 階段內之資料不進行蒐集與分析，實驗次數共計為十次。

模擬結果分析

在模擬過程中，模擬系統所蒐集之每個晶圓批的生產週期時間資訊，如表 19 所示。依據表 19 之各晶圓批完工時間先後順序，可繪製成生產週期時間時序圖，如圖 31 至圖 35 所示。其結果顯示出，當模擬系統導入實驗工件後，模擬系統仍在 30 天之內即已達穩定狀態。吾人亦將 BBCT 法之週期時間預估值繪示於圖 31 至圖 35 中。

表19. 二等級產品模擬系統產出資料表(僅部分列示)

Lot ID	Release Time	Finish Time	Product	Priority	Step	Total PT	Total CT
1967	3/25 12:25	4/4 6:09	E	1	319	762415.6	841442.2
1973	3/25 13:37	4/5 23:22	B	3	346	726480.0	985513.8
1970	3/25 13:37	4/5 23:46	B	3	346	726480.0	986953.8
1972	3/25 13:37	4/6 0:10	B	3	346	726480.0	988393.8
1971	3/25 13:37	4/6 0:34	B	3	346	726480.0	989833.8
1969	3/25 13:37	4/6 0:58	B	3	346	726480.0	991273.8
1968	3/25 13:37	4/6 1:22	B	3	346	726480.0	992713.8
1977	3/25 17:54	4/5 17:20	C	3	277	673616.5	948385.3
1978	3/25 17:54	4/5 17:44	C	3	277	673616.5	949825.3
1979	3/25 17:54	4/5 18:08	C	3	277	673616.5	951265.3
1975	3/25 17:54	4/5 18:32	C	3	277	673616.5	952705.3

(註: Priority : 1 代表實驗工件批, 3 代表正常工件)

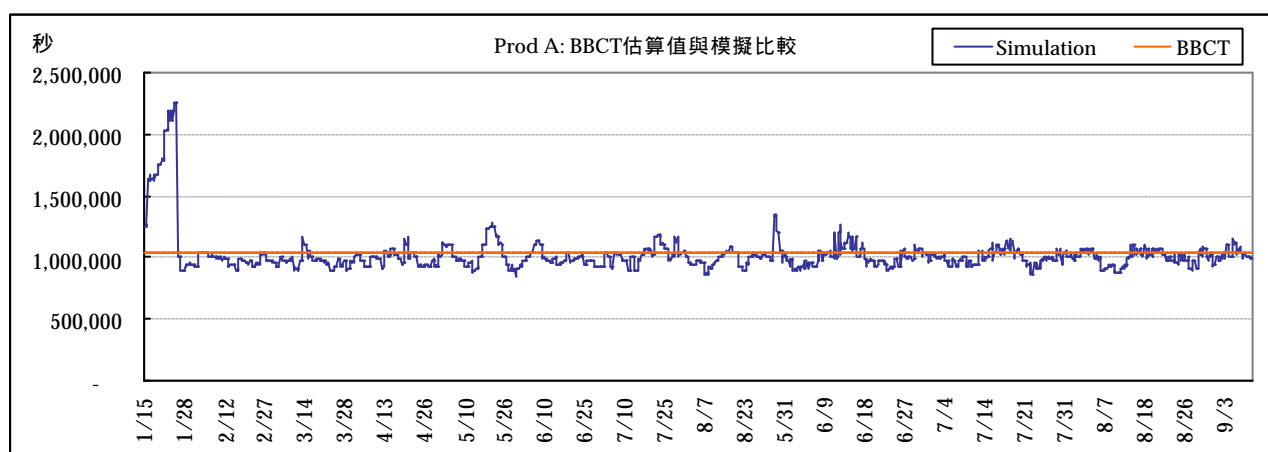


圖41. 產品 A 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

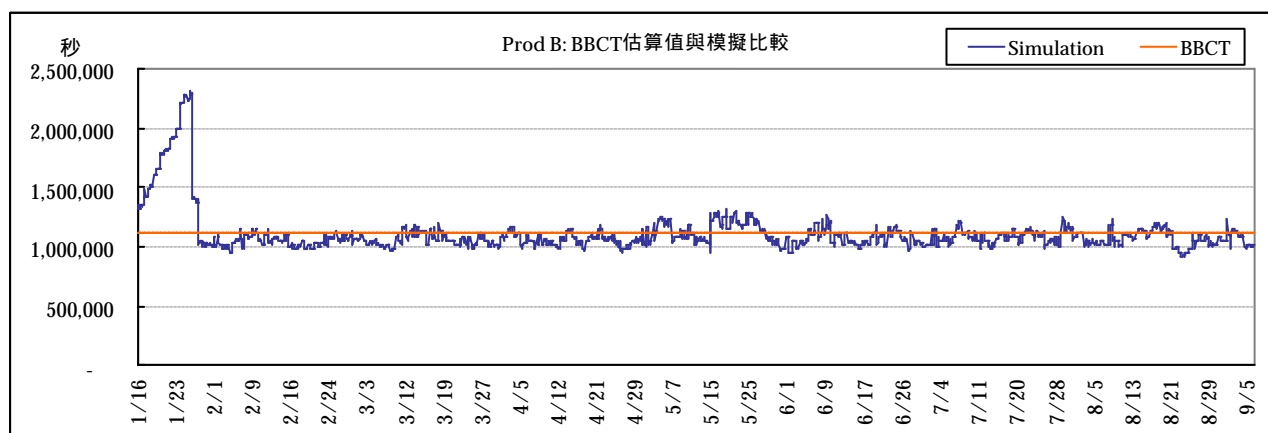


圖42. 產品 B 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

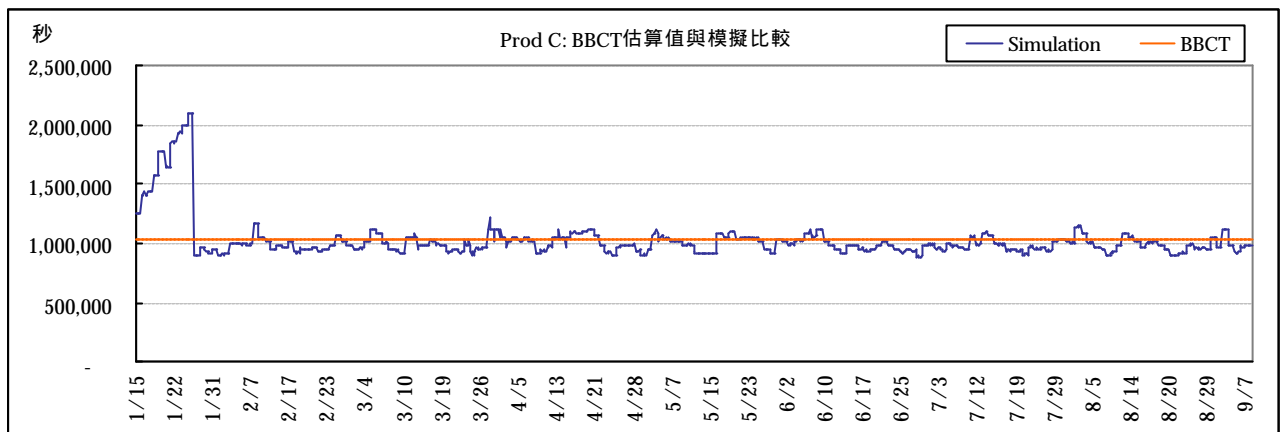


圖43. 產品 C 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

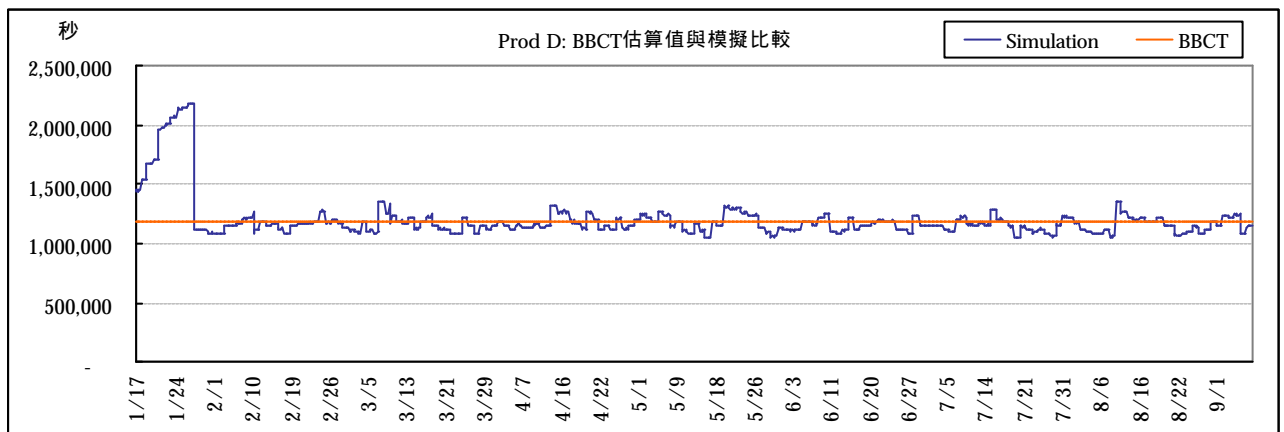


圖44. 產品 D 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

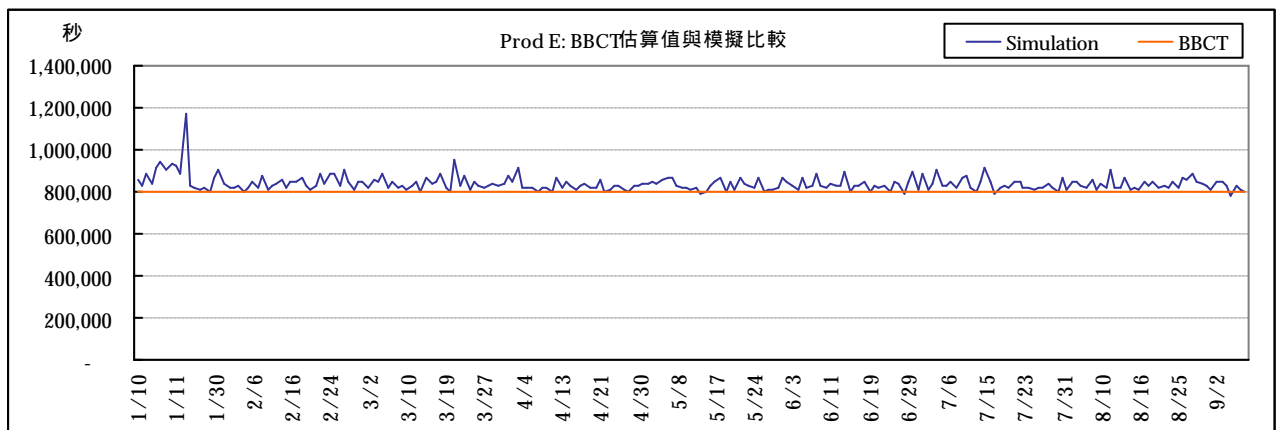


圖45. 產品 E 之模擬週期時間時序圖與 BBCT 預估值

在模擬第 85 天時之期初存貨為 289 批，第 252 天之期末存貨為 296 批，此模擬期間(168 天)之總投片批量為 4006 批，總產出批量 3999 批，各產品之投片批量與產出批量，如表 5 所示。由於產品 A~E 之計畫產出量比例，依序為 20%、36%、20%、29%、4%，而模擬結果之產出比例，為 19.8%、36.11%、19.95%、20.11%、4.03%，其與計畫產出比例之加權平均絕對值差異率，約僅在 0.48%，此結果顯示模擬系統之設計，能達成計畫產出組合比例之要求。

在計畫產出量方面，由於實際蒐集模擬資料的時間區間為 168 天，共產出 3999 批，故每週平均產出量為 $3999 \div 168 \approx 166.6$ ，與計畫每週產出批數 168 批之差異率為 0.82%，顯示此模擬系統之設計，亦能達成計畫產出量之要求。

表20. 各產品之投片比例與實際產出比例-二等級（單位：晶圓批）

產品	期初存貨	投片量	產出量	期末存貨	計畫產出率	實際產出率	差異率
產品 A	54	804	792	66	20.00%	19.80%	0.98%
產品 B	106	1440	1444	102	36.00%	36.11%	0.30%
產品 C	60	804	798	66	20.00%	19.95%	0.23%
產品 D	60	798	804	54	20.00%	20.11%	0.52%
產品 E	9	160	161	8	4.00%	4.03%	0.65%
合計	289	4006	3999	296			0.48%

經由前述模擬結果分析顯示，即使導入實驗工件至模擬系統，該模擬系統仍能有效達成計畫產出水準與產品組合之目標，因此，本研究將以模擬結果所獲得之平均生產週期時間，做為 BBCT 法週期時間之比較基礎。在下一小節中，將先就實驗目的與實驗因子做一說明。

4.5.2. 實驗目的

本實驗之目的在於檢定當系統中存在工程實驗工件批時，BBCT 法之週期時間預估準確度，是否均較 Conway^{Su} 估計式及 M/M/c 等候模型為佳。本實驗之實驗環境及條件與 3.5.1 節相同，故不再重述，唯一差別僅在於將產品 E 設定為實驗工件批。由於實驗工件批為實驗性質，投料批量很小，故本實驗假定其投料批量為總投料批量的 2.5%。

在實驗組別之選定方面，仍假定總投料量為 25 單位，故產品 E 之投料量為 1 單位(2.5%)，其他四種產品(A~D)方面，則落於 2~9 單位之間，由於 2 與 9 之平均值為 5.5，故以 2~5 單位為「低投料量(L)」，6~9 單位為「高投料量(H)」，各產品組合即為高低投料量混合之結果，扣除掉部分造成瓶頸漂移的產品組合，則共得到 8 組不同的產品組合比例，如表 21 所示，本實驗即以此 8 種產品組合比例進行實驗。

表21. 實驗之產品組合比例

組別	組合	組別	組合
HLLLL	95551	HLLHL	94471
LHLLL	59551	LHLHL	49471
LLHLL	55951	LLHHL	44791
HHHLL	86641	HHHHL	66661

本實驗之進行方式與 3.5.2 節相同，係以三種方法所估算之週期時間與模擬結果之平均絕對差異率(MAD)為觀測值，並進行單因子變異數分析之檢定。環境因子方面，共有三個水準，分別為高利用率(90%)、中利用率(70%)與低利用率(50%)，本實驗將在不同系統利用率水準下，各別檢定三種方法之週期時間預估準確度績效之優劣性。

4.5.3. 實驗成果分析

4.5.2.1. 週期時間估計準確度

本實驗之結果彙整於表 22 中。圖 46 係依據表 22 之結果，在不區分系統負荷水準情況下，所繪製之實驗值(MAD 值)的分佈圖。該圖顯示 BBCT 法之平均值(3.6%)顯著低於 Conway^{Su} 估計式(18.1%)及 M/M/c 等候模型(22.6%)。圖 47 則顯示在區分系統負荷的情況下，當系統負荷水準由高負荷率(90%)降至低負荷率(50%)時，三種不同方法之 MAD 值均呈現微幅上昇的現象，但 BBCT 之 MAD 值仍顯著低於另外兩個方法。此現象與 3.5.3.1 節之單等級實驗結果所獲致之結論相同。

表22. 各方法之週期時間估算絕對誤差率-二等級產品

No	產品組合	系統利用率- 90%			系統利用率- 70%			系統利用率- 50%		
		BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
1	95551	2.0%	18.0%	21.6%	3.8%	16.1%	22.3%	3.6%	19.4%	22.8%
2	44791	1.7%	17.7%	22.0%	3.0%	19.0%	25.2%	6.3%	21.3%	24.6%
3	55951	2.4%	17.2%	21.3%	3.0%	16.7%	23.0%	2.9%	20.8%	24.1%
4	86641	4.3%	15.9%	19.5%	4.0%	15.5%	21.9%	4.1%	19.1%	22.5%
5	59551	2.9%	17.1%	20.5%	4.0%	15.4%	21.8%	4.2%	20.6%	24.1%
6	94471	3.7%	16.0%	20.1%	4.3%	16.6%	22.9%	3.4%	22.4%	25.7%
7	49471	3.8%	16.7%	20.6%	4.9%	16.2%	22.5%	4.6%	20.3%	23.6%
8	66661	2.4%	17.3%	21.3%	2.8%	16.9%	22.9%	3.9%	21.5%	24.8%
	平均值	2.4%	17.3%	21.3%	2.8%	16.9%	22.9%	3.9%	21.5%	24.8%

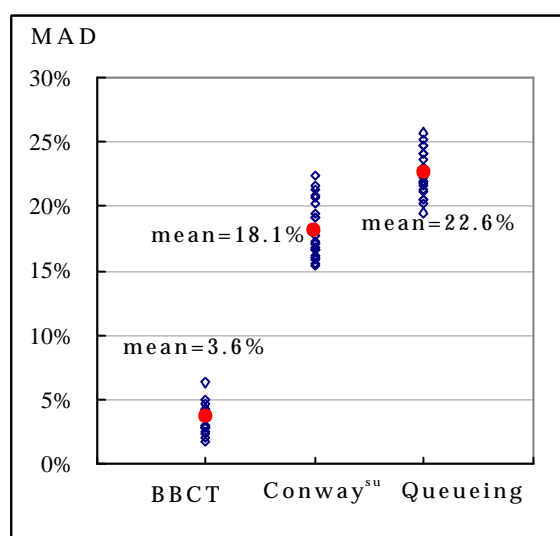


圖46. 週期時間估算絕對誤差率分佈圖-二等級產品

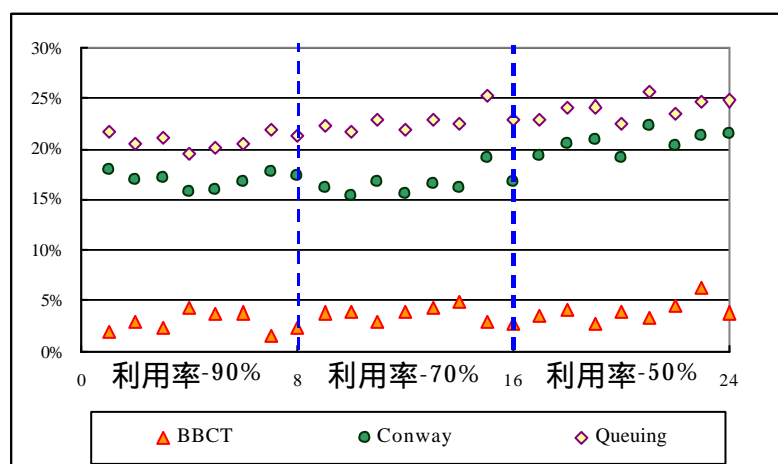


圖47. 不同系統負荷率之週期時間 MAD 分佈圖-二等級產品

為了確認上述分析結論在統計上的顯著性，吾人以表 22 之觀測值進行單因子變異數分析，以檢定三種方法之週期時間預估準確度是否相同。假設檢定設定如下，其檢定結果摘要於表 23 至表 25 中：(顯著水準 $\alpha=0.05$)

H_0 : 三種方法之 MAD 均值均相同；

H_1 : 三種方法之 MAD 均值不全相同。

表23. 單因子變異數分析表-二等級系統利用率 90%

實驗	變異來源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F值	P-value
系統利用率- 90%	組間	0.1425369	2	0.0712684	801.3	0.0000
	組內	0.0018677	21	0.0000889		
	全體	0.1444046	23			

表24. 單因子變異數分析表-二等級系統利用率 70%

實驗	變異來源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F值	P-value
系統利用率- 70%	組間	0.1514733	2	0.0757367	769.8	0.0000
	組內	0.0020661	21	0.0000984		
	全體	0.1535394	23			

表25. 單因子變異數分析表-二等級系統利用率 50%

實驗	變異來源	平方和(SS)	自由度(df)	均方(MS)	F值	P-value
系統利用率- 50%	組間	0.1815155	2	0.0907577	808.7	0.0000
	組內	0.0023569	21	0.0001122		
	全體	0.1838724	23			

表 23 至表 25 顯示在三種系統負荷水準下，其統計檢定量 F 值分別為(801.3, 769.8, 808.7)，均顯著高於 $F_{0.05,2,21}=3.467$ ，其 P-value 值均趨近於零。故在三種系統負荷情境下，均拒絕虛無假設 H_0 。此結論顯示不論系統為高負荷、中負荷或低負荷，三種方法的週期時間預估準確度均有顯著的不同。接下來，吾人以 Sheffe 法、Turkey 法、及 Duncan 法[99][100]進行事後多重比較分析，以進一步確認三種方法預估準確度的優劣順序。由於三種檢定法所獲致之結論相同，為簡化說明起見，吾人僅就 Sheffe 法之結果進行說明。

Sheffe 多重比較分析法之結果列示於表 26至表 28中。該表顯示上述三種方法中，以 BBCT法之 MAD 值最低，Conway^{Su} 估計式次之，M/M/c 等候模型最高，且此結論顯著(P-value=0.0<0.05)。上述統計檢定顯示出即使生產系統中增加了實驗工件批之干擾因素，BBCT 仍能表現出優於其他兩種方法之週期時間預估能力。各別產品之 MAD 值，詳列於附表 G-1 至 G-3 中。

表26. Sheffe 多重比較分析-二等級系統利用率 90%

實驗	(I) 法則	(J) 法則	均差 (I-J) (mean difference)	標準誤 (std error)	顯著性 (sig.)
系統利用率- 90%	1	2	-0.026833	0.0047153	5.57E-05
		3	-0.175236	0.004715	0.000000
	2	1	0.026833	0.004715	0.000056
		3	-0.148403	0.004715	0.000000
	3	1	0.175236	0.004715	0.000000
		2	0.148403	0.004715	0.000000

表27. Sheffe 多重比較分析-二等級系統利用率 70%

實驗	(I) 法則	(J) 法則	均差 (I-J) (mean difference)	標準誤 (std error)	顯著性 (sig.)
系統利用率-70%	1	2	-0.128366	0.004959	0.000000
		3	-0.190843	0.004959	0.000000
	2	1	0.128366	0.004959	0.000000
		3	-0.062477	0.004959	0.000000
	3	1	0.190843	0.004959	0.000000
		2	0.062477	0.004959	0.000000

表28. Sheffe 多重比較分析-二等級系統利用率 50%

實驗	(I) 法則	(J) 法則	均差 (I-J) (mean difference)	標準誤 (std error)	顯著性 (sig.)
系統利用率- 50%	1	2	-0.165455	0.005297	0.000000
		3	-0.198929	0.005297	0.000000
	2	1	0.165455	0.005297	0.000000
		3	-0.033474	0.005297	0.000014
	3	1	0.198929	0.005297	0.000000
		2	0.033474	0.005297	0.000014

4.5.2.2. 工作站利用率估計準確度

在前一小節中所進行的系統負荷情境實驗中，亦同步蒐集了 83 個工作站利用率的相關資訊。由於總共進行了 8 種不同產品組合之實驗，故總共可得到 $83 \times 8 = 664$ 個工作站利用率差異絕對值，每一個差異絕對值視為一個觀測值。三種系統負荷情境下，共可得到 $664 \times 3 = 1,992$ 個觀測值。表 29 顯示在 1,992 個觀測值中，約有 82.3% 的觀測值其差異絕對值小於 1% 以下，小於 2% 以下的觀測值累計個數已佔所有觀測值(1,992 個)的 96.9%，小於 3% 以下已佔 98.7%。詳細資料請參見附表 G1 至附表 G3。

所有觀測值之平均差異絕對值為 0.63%，此值略高於無實驗工件批環境下之平均絕對差異值 0.47%，顯示當系統導入實驗工件批後，由於實驗工件批對生產系統運作之干擾，使得工作站利用率估算準確度略微下降。但以工作站利用率估算之平均差異絕對值僅為 0.63% 而言，BBCT 法在工作站利用率之預估準確度方面，仍具有相當好的成效。

表29. 工作站利用率估計差異率-分屬不同級距之觀測值個數

Range	觀測值數目				觀測值數目佔總數比			
	Util-90%	Util-70%	Util-50%	Total	Util-90%	Util-70%	Util-50%	Total
<1%	434	597	608	1639	65.36%	89.91%	91.57%	82.28%
(1%, 2%)	188	54	48	290	28.31%	8.13%	7.23%	14.56%
(2%, 3%)	32	0	3	35	4.82%	0.00%	0.45%	1.76%
(3%, 4%)	3	1	4	8	0.45%	0.15%	0.60%	0.40%
(4%, 5%)	0	3	0	3	0.00%	0.45%	0.00%	0.15%
(5%, 10%)	7	6	1	14	1.05%	0.90%	0.15%	0.70%
>10%	0	3	0	3	0.00%	0.45%	0.00%	0.15%
總數	664	664	664	1992	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

第五章、結論與建議

5.1. 結論

在晶圓製造廠中，由於製程的複雜性及機器設備的多樣性等因素之交互影響，使得工件批之流動特性難以掌握，造成週期時間估算準確率難以有效提昇。本文之研究目的，即在於發展出一個具備高預測準確性與即時反應能力之晶圓製造廠週期時間估算法。

此週期時間估算法，係以晶圓廠物流特性分析為基礎，透過此物流分析，吾人發現物流的阻塞，不僅來自於具有高負荷率的機台；散佈在製程中的批次機台之載入批量限制，亦是造成物流不穩定的主因之一。因此，吾人首先導入「批量因子」等候時間之觀念，並發展對應之 BFFT 流程時間估算法。

BFFT 估算法之運作邏輯，主要分為下列三個階段：

- (1). 分解與辨識階段：依據「分解」原則將製程切分為區段與子區段，再依據「辨識」原則確認各個子區段所歸屬的物流特徵模型；
- (2). 基礎運算階段：依據各子區段所對應之流程時間模型，求算工件批通過各子區段所需之流程時間；
- (3). 組合運算階段：運用組合運算原則，將各子區段流程時間組合成單一區段、多區段或完整製程之流程時間。

由於實驗工件批為晶圓製造廠普遍存在之現象，故本文進一步就具實驗工件批之晶圓製造廠進行物流分析，並修正正常工件批之負荷因子與批量因子等候時間模型，使所對應之可用機台產能，僅對應至實驗工件批分配過後之剩餘產能。

在實例驗證方面，本研究將 BBCT 法(考慮批量因子)與 Conway^{Su} 估計式 [87](部份考慮批量因子)及 M/M/c 等候模型(未考慮批量因子)進行比較，並得到下列顯著結果：

(一)、在週期時間預估準確度方面

1. 依實驗結果顯示，在系統負荷水準為高負荷(90%)、中負荷(70%)及低負荷(50%)情況下，BBCT法之週期時間預估準確度，均顯著較其他兩種方法為佳。顯示批量因子觀念的導入，有效反應出批次加工特性所造成之等候時間，故能有效提昇週期時間預估能力。
2. 在產品等級為單等級與二等級之生產環境下，BBCT法之週期時間預估準確度，均顯著較其他兩種方法為佳。顯示批量因子觀念可同時有效應用在單等級與二等級之作業環境。
3. 在16組不同產品組合實驗下，BBCT法之週期時間預估準確度，均顯著較其他兩種方法為佳。顯示出運用「分解與辨識」原則，可以正確地將不同產品組合下之製程，進行區段之分解與物流模型之辨識，故能因應不同產品組合之變化。
4. BBCT法具有良好之工作站利用率預估準確度，顯示BBCT法運用等候模型觀念來推估各工作站之負荷率，具有良好成效。

(二)、在即時反應能力方面

1. 模型構建極為容易且快速。

由於BBCT法僅為幾個數學式之組合，故在電腦系統中構建或重建BBCT模型，均極為快速且容易。

2. 已構建之模型可適用於不同的產品組合或產能變異等情況。

由於系統可依據「分解與辨識」原則，自動進行區段切割與物流類型辨識，故實驗過程中任何產品組合或產能變化，僅須變更輸入資料(input data)，顯示此模型具有高度使用彈性，可運用於下列環境之變化：

- 工作站產能變化
- 產品組合比例變化
- 不同世代製程產品並存

- 目標產出水準異動
- 工作站批量法則改變
- 實驗工廠、量產工廠或實驗轉量產工廠

3. BBCT擁有快速的運算能力。

由於「分解與辨識」階段之分解與辨識原則簡單且可邏輯化，且「基礎運算」與「組合運算」均為簡單數學運算式，故在本文實驗過程中執行 BBCT 所須時間僅約 14 秒。相對地，執行一次動態模擬所須時間約為 4920 秒(約 82 分鐘)。

總結而言，模擬系統具備模擬多種不同生產假設條件與系統情境之能力，且能即時呈現不同變數間的動態交互作用，但相對地，BBCT 法具備快速、準確之週期時間預估能力，能有效進行生產規劃(交期設定、在製品水準訂定、產能規劃)之快速檢核，此外，對於建廠規劃時之機台數配置、產出水準訂定、週期時間降低等問題間之折衝，亦有相當之助益。

5.2. 建議

本文所發展之 BBCT 法，在單等級或兩等級之生產週期時間與工作站利用率推估上，證實已有相當良好的成效。除此之外，一些以 BBCT 法為基礎之相關研究，諸如：多等級生產週期時間推估[98]、作業層週期時間(photo layer cycle time)推估[95]、製程步驟週期時間推估[94][103]、多等級工單情境下之工作站利用率推估[98]及在製品數量推估[96]、工作站週期時間推估[98]、最小載入批量水準設定[96]等方面，亦已獲證實具有良好的成效。除了上述與 BBCT 有關之其他研究外，吾人認為下列幾點亦應在未來做進一步的研究與探討。

(1). 以 BBCT 觀念，構建非晶圓製造領域之週期時間推估模型。

BBCT 法起始於物流特性分析，並透過「分解與辨識」、「基本運算」、「組合運算」三個階段的觀念來進行，此週期時間推估之邏輯與程序，可應用至晶圓製造外之其他領域。

然而，不同產業之生產製造型態必有差異，應就阻塞物流的關鍵因子重

新確認，並修正 BBCT 數學模型，以對應該生產型態之物流特性。例如：裝配業(assembly)之加工型態中，組裝點即為異於晶圓製造的重要物流觀測點。

(2). 以 BBCT 觀念，推演多個關鍵資源環境下的週期時間預估模型。

BBCT 所定義之區段中的關鍵工作站，在規劃幅度(planning horizon)內並不會改變。但若系統同時擁有多個負荷率極高的工作站，甚至發生瓶頸漂移的現象，則 BBCT 之估算準確度將會下降。

故當區段內出現一個以上高負荷率的工作站時，須就區段週期時間估算模型進行修正，以使 BBCT 能適用於多關鍵資源的動態環境，並進一步做為產品組合或產能管理之依據。

參考文獻

- [1] Atherton, L. F., and Atherton, R. W., *Wafer Fabrication: Factory Performance and Analysis*, Kluwer Academic Publishers, 1995
- [2] Aurand, S. S., and Miller, P. J., "The Operating Curve: A Method to Measure and Benchmark Manufacturing Line Productivity," *1997 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 391-397, 1997
- [3] Banks, J., *Discrete-Event System Simulation*, Prentice-Hall, Inc., 1984
- [4] Baudin, M., *Manufacturing Systems Analysis with Application to Production Scheduling*, Prentice-Hall Inc., 1990
- [5] Baudin, M., Mehrotra, V., Tullis, B., Yeaman, D., Hughes, R. A., "From Spreadsheet to Simulation: A Comparison of Analysis Methods for IC Manufacturing Performance," *1992 IEEE/SEMI Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, pp. 94-99, 1992
- [6] Benson, R. F., Cunningham, S. P., Leachman, R. C., " Benchmarking Manufacturing Performance in the Semiconductor Industry," *Production and Operation Management*, vol. 4, no. 3, pp. 201-216, Summer 1995
- [7] Blackstone, J. H., *Capacity Management*, South-Western Publishing CO., 1989
- [8] Boebel, F. G. and Ruelle, O., "Cycle Time Reduction Program at ACL," *1996 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 165-168, 1996
- [9] Caplice C., Sheffi, Y., "A Review and Evaluation of Logistics Metrics," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 5, num. 2, pp. 11-28, 1994
- [10] Chang, F. C. R., "Heuristics for dynamic job shop scheduling with real-time updated queueing time estimates," *International Journal of Production Research*, vol. 33, no. 3, pp. 651-665, 1997

- [11] Chang, S. C., *et al.*, " Iterative Capacity Allocation and Production Flow Estimation for Scheduling Semiconductor Fabrication, " *1995 IEEE/CPMT Int'l Electronic Manufacturing Technology Symposium*, pp. 508-512, 1995
- [12] 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, August, pp. 412-427, 1996
- [13] Conway, R., Maxwell, W., and L. W. Miller, *Theory of Scheduling*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1967
- [14] Crandall, R. E., and Burwell, T. H., "The Effect of Work-In-Process Inventory Levels on Throughput and Lead Times," *Production and Inventory Management Journal*, First Quarter, pp. 6-12, 1993
- [15] Cunningham, J. A., "The Use and Evaluation of Yield Model in Integrated Circuit Manufacturing," *IEEE Transaction on Semiconductor Manufacturing*, vol. 3, no. 2, May, pp. 60-72, 1990
- [16] Cunningham, J. A., and Shanthikumar, J. G., "Empirical Results on the Relationship Between Die Yield and Cycle Time in Semiconductor Wafer Fabrication," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 9, no. 2, May, pp. 273-277, 1996
- [17] Domaschke, J., Robinson, J. and Leibl, F., "Effective Implementation of Cycle Time Reduction Strategies for Semiconductor Manufacturing," *Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference*, pp. 985-992, 1998
- [18] Elias, R. J., and Cochran, J. K., "Queueing Network Modeling of Semiconductor Wafer Fabrication and Profitability," *Proceeding of Int'l Conference on Semiconductor Mfg. Operational Modeling and Simulation*, pp. 13-18, 1999
- [19] Enns, S. T., "A dynamic forecasting model for job shop flowing prediction and tardiness control," *International Journal of Production Research*, vol. 33, no. 5, pp. 1295-1312, 1995

- [20] Enns, S. T., "An integrated system for controlling shop loading and work flow," *International Journal of Production Research*, vol. 33, no. 10, pp. 2801-2820, 1995
- [21] Etheshami, B., et al., "Trade-Offs in Cycle Time Management: Hot Lots," *IEEE Trans. on Semi. Manu.*, vol. 5, no. 2, May, pp.101-105, 1992
- [22] Forgarty, D. W., and Hoffmann, T. R., Stonebraker, P. W. *Production and Operations Management*, South-Western, 1989
- [23] Fowler, J. W., Philips, D. T., and Hogg, G. L., "Real Time Control of Multiproudct Bulk-Service Semiconductor Manufacturing Processes," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 5, no. 2, pp. 158-163, May 1992
- [24] Fronckowiak, D., Peilert, A., and Nishinohara, K., "Using Discrete Event Simulation to Analyze the Impact of Job Priorities on Cycle Time in Semiconductor Manufacturing," *1996 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 151-155, 1996
- [25] Glassey, C. R., and Resende, M. G. C., "Closed-loop Job Release Control for VLSI Circuit Manufacturing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, no1. 1, pp. 36-46, 1988
- [26] Glassey, C. R., and Weng, W. W., "Dynamic Batching Heuristics for Simultaneous Processing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 4, no. 2, pp. 77-82, May 1991
- [27] Glynn, P. M., *et al.* "How to get predictable throughput times in a multiple product environment," *IEEE*, pp. 27-30, 1997
- [28] Goldratt, E. M., *The Haystack Syndrome*, North River Press Inc, 1990
- [29] Hiller, F. S., and Lieberman, G. J., *Introduction to Operations Research*, Fifth Edition, McGRAW-HILL Publishing Company, 1990

- [30] Hopp, W. and Spearman, M., "Throughput of a constant work in process manufacturing line subject to failure," *International Journal of Production Research*, vol. 29, no. 3, pp. 635-655, 1991
- [31] Huang, H. W., and Chung, S. H., "The Design of Target Planning System for Wafer Fabrication Factories," *Proceeding of Joint Conference of The Fifth International Conference on Automation Technology and 1998 ICPR Asia Meeting*, Section A3-1, 1998
- [32] Huang, H. W., "The Design of Architecture of Constraint-oriented Target Management System for Wafer Fabrication Factories," *Proceeding of the Chinese Institute of Industrial Engineers National Conference*, pp. 940-945, 1997
- [33] Janakiram, M., "Cycle Time Reduction at Motorola's ACT fab," *1996 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 465-469, 1996
- [34] Johri, P. K., *et al.*, "Dispatching In An Integrated Circuit Wafer Fabrication Line," *Proceeding of the 1989 Winter Simulation Conference*, pp. 918-921, 1989
- [35] Joshi, M., "Making Wafer In The JIT Style," *IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 10-14, 1990
- [36] Kaplan, A. C. and Unal, A. T., "A Probabilistic Cost-based Due Date Assignment Model for Job Shops," *International Journal of Production Research*, vol. 31, no. 12, pp. 2817-2834, 1993
- [37] Kim, Y. D., *et. al*, "Due-Date Based Scheduling and Control Policies in a Multiproduct Semiconductor Wafer Fabrication Facility," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 11, no. 1, February 1998
- [38] Kleinrock, L., *Queueing System*, John Willey & Sons, 1975
- [39] Kraft, C., "Semiconductor Business, Process, Product and Fab Influence on Throughput, Cycle Time and Chip Cost," *Semiconductor Fabtech*, pp. 25-36, 1997

- [40] Kramer, Scott S., "Total Cycle Time Management by Operational Elements," *International Semiconductor Manufacturing Science Symposium*, pp. 17-20, 1989
- [41] Lawrence, S. R., "Estimating flowtimes and setting due-dates in complex production systems," *IIE Transactions*, pp. 657-668, 1995
- [42] Leachman, R. C., and Hodges, D. A., " Benchmarking Semiconductor Manufacturing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 9, no. 2, May 1996
- [43] Leachman R. C., "Closed-Loop Measurement of Equipment Efficiency and Equipment Capacity," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 10, no. 1, February 1997
- [44] Leonovich, G., "An Approach for Optimizing WIP/Cycle Time/Output in a Semiconductor Fabricator," *1994 IEEE/CPMT Electronics Manufacturing Technology Symposium*, pp. 106-111, 1994
- [45] Lin, C., Lin, W., and Robert, D. S., "The Dynamic of Semiconductor Line and Cycle Time," *International Conference on Semiconductor Manufacturing Operational Modeling and Simulation*, pp. 139-143, 1999
- [46] Lou S., and Kager, P. W., "A Robust Production Control Policy for VLSI Wafer Fabrication," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 2, no. 4, pp. 159-164, 1989
- [47] Maiorana, A., and Iuliano, G., "Improving Cycle Time through managing variability in a DRAM production line," *1997 IEEE*, pp. A-29 to A-32, 1997
- [48] 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, pp. 29-34, ICG publishing Ltd, 1998
- [49] Martin, D. P., "The Advantages of Using Short Cycle Time Manufacturing (SCM) Instead of Continuous Flow Manufacturing (CFM)," *1998 IEEE/SEMI Advanced*

Semiconductor Manufacturing Conference, pp. 43-49

- [50] Matsuyama, A. and Atherton, R. W., "Experience in Simulation Wafer Fabs in The USA and JAPAN," *1990 Int'l Semiconductor Manufacturing Science Symposium*.
- [51] Meyersdorf, D., and Yang, T., "Cycle Time Reduction for Semiconductor Wafer Fabrication Facilities," *1997 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 418-423
- [52] Miller, D. J., "Implementing The Results of A Simulation in a Semiconductor Line," *Proceeding of the 1989 Winter Simulation Conference*, pp. 922-929, 1989
- [53] Montgomery, D. C., *Design and Analysis of Experiment*, John Wiley & Sons, Inc., 1997
- [54] Murphy, R. E., "Breakthrough Performance in the Semiconductor Industry," *1996 APICS Constraints Management Symposium Proceeding*, pp. 16-20, 1996
- [55] Narahari, Y., and Khan, L. M., "Modeling the Effect of Hot Lots in Semiconductor Manufacturing Systems," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 10, no. 1, pp. 185-188, February, 1997
- [56] Nakata, T., Matsui, K., Miyaki, Y., and Nishioka, K., "Dynamic Bottleneck Control in Wide Variety Production Factory," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 12, no. 3, pp. 273-280, 1999
- [57] Northey, P., Southway, N., *Cycle Time Management*, Productivity Press, 1993
- [58] Olsen, R. E., "The Great Opportunity: Lead-Time and Cycle-Time Reduction," *APIC 1990 Conference Proceeding*, pp. 223-226, 1990
- [59] Plossl, G. W., "Throughput time control," *International Journal of Production Research*, vol. 26, no. 3, pp. 493-499, 1988
- [60] Raddon, A., and Grigsby, B., "Throughput Time Forecasting Model," *1997 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 430-433,

1997

- [61] Robinson, J. K., Fowler, J. W., and Bard, J. F., "The use of upstream and downstream information in scheduling semiconductor batch operations," *International Journal of Production Research*, vol. 33, no. 7, pp. 1849-1869, 1995
- [62] Rose, O., "Estimation of The Cycle Time Distribution of a Wafer Fab by a Simple Simulation Model," *Int'l Conference on Semiconductor Manufacturing Operational Modeling and Simulation*, pp. 133-138, 1999
- [63] Rose, O., "CONWIP-like Lot Release for a Wafer Fabrication Facility with Dynamic Load Changes," *2001 Advanced Simulation Technology Conference*, papers on CD-ROM, Washington, April, 2001.
- [64] Sattler, L., " Using Queueing Curve Approximation in a Fab to Determine Productivity Improvement, " *1996 IEEE/SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 140-145, 1996
- [65] Schragenheim, E., and Ronen, B., "Buffer Management : A Diagnostic Tool For Production Control," *Production and Inventory Management Journal*, Third Quarter, pp. 74-79, 1990
- [66] Schragenheim, E., and Ronen, B., "Drum-buffer-Rope Shop Floor Control," *Production and Inventory Management Journal*, Third Quarter, pp. 18-22, 1990
- [67] SEMATECH , *Cycle Time Improvement Guidebook*
- [68] Spearman M. L., and Woodruff, D. L., "CONWIP : a pull alternative to kanban," *International Journal of Production Research*, vol. 28, no. 5, pp. 879-894, 1990
- [69] Srinivasan, K., Sandell, R., and Brown, S., "Correlation Between Yield and Waiting Time: A Quantitative Study," *1995 IEEE/CPMT Int'l Electronics Manufacturing Technology Symposium*, pp. 66-69, 1995
- [70] Srivatsan, N., and K. Kempf, "Effective Modeling of Factory Throughput

- Times,” *1995 IEEE/CPMT Int’l Electronics Manufacturing Technology Symposium*, pp. 377-383, 1995
- [71] Umble, M. M. and Srikanth, M. L., *Synchronous Manufacturing : principles for world class excellence*, South-Western
- [72] Uzsoy, R., Lee, C. Y., and Martin-Vega, Louis A., "A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry Part I : System Characteristics, Performance Evaluation and Production Planning," *IIE Transactions*, vol. 24, num. 4, pp.47-60, September, 1992
- [73] Uzsoy, R., Lee, C. Y., and Martin-Vega, Louis A., "A Review of Production Planning and Scheduling Models in the Semiconductor Industry Part II : Shop-Floor Control," *IIE Transactions*, vol. 26, num. 5, September, 1994
- [74] Vig, M. M. and Dooley, K. J., “Dynamic Rules for Due-Date Assignment,” *International Journal of Production Research*, vol. 29, no. 7, pp. 1361-1377, 1991
- [75] Wang, T. H., Lin, K. C., and Huang, S. R., “Method of Dynamically Determining Cycle Time of a Working Stage,” *1997 IEEE/CPMT International Electronics Manufacturing Technology Symposium*, pp. 403-407, 1997
- [76] Wein, L. M., "Scheduling Semiconductor Wafer Fabrication," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 1, no. 3, pp. 115-130, 1988
- [77] Weiss, M., "300 mm Tool Automation and its Impact on Fab Design and OEE," *1996/IEEE Advanced Semiconductor Manufacturing Conference*, pp. 156-161, 1996
- [78] Weng, W. W., and Leachman, R. C., “An Improved Methodology for Real-Time Production Decisions at Batch-process Work Stations,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 6, no. 3, pp. 219-225, Aug. 1993
- [79] Wiendahl, H., *Load-Oriented Manufacturing Control*, Mercedesdruck, Berlin, 1994

- [80] Winston, W. L., *Operations research: applications and algorithms*, PWS-KENT publishing company, 1991
- [81] Wood, S. C., "Cost and Cycle Time Performance of Fabs Based on Intergrated Single-Wafer Processing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, vol. 10, no. 1, February 1997
- [82] Yan, H., Lou, S., Gardel, S. S. A., and Deosthali, P., "Testing the Robustness of Various Production Control Policies in Semiconductor Manufacturing," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, August, pp. 1-24, 1992
- [83] Yu, C. Y., Chen, S. W., and Huang, H. P., "Estimating of Waiting Time for Products in an IC Fab," *Proceeding of Joint Conference of the Fifth Int'l Conference on Automation Technology and 1998 int'l Conference of Production Research*, A1-3, 1998
- [84] 賴士葆, 生產作業管理-理論與實務, 華泰書局, 1995
- [85] 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研究所碩士論文, 1996
- [86] 鄭照明, 晶圓製造廠交期指定模式之構建, 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 1996
- [87] 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研究所碩士論文, 1998
- [88] 張盛鴻, 王志偉, 嚴本立, 李榮貴, "晶圓代工廠之派工模式-動態更新週期時間," *生產排程理論與應用研討會論文集*, pp. C65-C69, 1999
- [89] 張百棧, 朱震家, "晶圓廠之交期指定模式-應用類神經網路," *生產排程理論與應用研討會論文集*, pp. C47-C52, 1999
- [90] 方世榮譯, Richard B. Chase, Nicholas J. Aquilano, 原著, 生產與作業管理上冊 (Production & Operations Management), 五南圖書公司, 85 年 3 月 2 版
- [91] 黃宏文, 晶圓製造廠生產作業控制策略之構建, 國立交通大學工業工程研究

所碩士論文, 1995

- [92] 黃靜萩, 陳書民, 吳文峰, 巴錦琳, “IC 測試廠之動態化人力配置模型,” 中國工業工程學會八十六年度年會論文集, pp. 906-909, 1997
- [93] 林靖智, 模組化晶圓廠物料搬運系統之設計, 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 1999
- [94] 王得各, 晶圓製造廠生產週期時間估算模式, 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 1999
- [95] 黃俊穎, 晶圓製造廠因應產品組合更動之快速生產規劃機制, 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 1999
- [96] 柯文清, 晶圓製造廠多工單等級下生產規劃模式之構建, 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 2000
- [97] 李振樺, 晶圓製造廠縮短特定訂單週期時間之研究, 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 2000
- [98] 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研究所碩士論文, 2000
- [99] 呂金河, 變異數分析, 三民書局, 1997
- [100] 吳明隆, SPSS 統計應用實務, 松崗電腦圖書資料公司, 2000
- [101] 游志源, 晶圓代工廠之整合式訂單達交系統, 國立台灣大學機械工程學研究所博士論文, 2002
- [102] 李幸娥, 晶圓製造廠非穩態環境下之生產排程規劃, 國立交通大學工業工程研究所碩士論文, 2002
- [103] 郭志隆, 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研究所碩士論文, 2002

附錄

附錄 A. 產品製程資料¹

附表 A. 產品 A 之加工步驟與作業時間

單位：分鐘

步驟	工作站	加工時間	步驟	工作站	加工時間	步驟	工作站	加工時間
1	W43	3.00	31	W02	3.00	61	W40	38.00
2	W45	3.00	32	W07	32.00	62	W39	6.00
3	W79	1.00	33	W71	11.00	63	W39	6.00
4	W67	12.00	34	W56	5.00	64	W07	32.00
5	W24	346.00	35	W02	3.00	65	W71	11.00
6	W37	3.00	36	W67	12.00	66	W02	3.00
7	W46	42.00	37	W25	288.00	67	W46	42.00
8	W01	3.00	38	W37	3.00	68	W01	3.00
9	W20	8.00	39	W67	12.00	69	W48	82.00
10	W07	32.00	40	W24	346.00	70	W40	38.00
11	W75	8.00	41	W37	3.00	71	W40	38.00
12	W11	58.00	42	W28	346.00	72	W39	6.00
13	W07	32.00	43	W37	3.00	73	W39	6.00
14	W71	11.00	44	W44	2.00	74	W07	32.00
15	W02	3.00	45	W79	1.00	75	W71	11.00
16	W03	1.00	46	W12	90.00	76	W02	3.00
17	W67	12.00	47	W37	3.00	77	W67	12.00
18	W24	346.00	48	W67	12.00	78	W37	3.00
19	W37	3.00	49	W25	288.00	79	W67	12.00
20	W28	346.00	50	W37	3.00	80	W04	3.00
21	W37	3.00	51	W74	36.00	81	W26	346.00
22	W44	2.00	52	W37	3.00	82	W37	3.00
23	W79	1.00	53	W02	3.00	83	W04	3.00
24	W46	17.00	54	W68	12.00	84	W29	346.00
25	W57	5.00	55	W24	346.00	85	W37	3.00
26	W01	3.00	56	W37	3.00	86	W44	2.00
27	W52	6.00	57	W46	42.00	87	W35	247.00
28	W20	8.00	58	W01	3.00	88	W42	3.00
29	W12	90.00	59	W48	82.00	89	W81	21.00
30	W37	3.00	60	W40	38.00	90	W69	10.00

¹ 因產品製程資料取自產業界，具有相當機密性，故僅列示產品 A 之製程資料以供參考。

附表 A. 產品 A 之加工步驟與作業時間(續)

單位：分鐘

步驟	工作站	加工時間	步驟	工作站	加工時間	步驟	工作站	加工時間
91	W46	17.00	131	W38	77.00	171	W07	32.00
92	W57	5.00	132	W07	32.00	172	W15	87.00
93	W01	3.00	133	W71	11.00	173	W37	3.00
94	W52	6.00	134	W02	3.00	174	W02	3.00
95	W20	8.00	135	W46	42.00	175	W07	32.00
96	W09	64.00	136	W01	3.00	176	W72	11.00
97	W37	3.00	137	W22	8.00	177	W02	3.00
98	W02	3.00	138	W38	77.00	178	W53	6.00
99	W07	32.00	139	W07	32.00	179	W76	25.00
100	W71	11.00	140	W71	11.00	180	W37	3.00
101	W56	5.00	141	W02	3.00	181	W55	41.00
102	W02	3.00	142	W69	10.00	182	W37	3.00
103	W53	6.00	143	W41	48.00	183	W78	2.00
104	W06	1.00	144	W31	247.00	184	W41	48.00
105	W69	10.00	145	W76	25.00	185	W63	32.00
106	W31	247.00	146	W55	41.00	186	W37	3.00
107	W37	3.00	147	W66	3.00	187	W62	48.00
108	W46	42.00	148	W41	48.00	188	W78	2.00
109	W01	3.00	149	W77	25.00	189	W54	36.00
110	W22	8.00	150	W41	48.00	190	W37	3.00
111	W39	12.00	151	W79	1.00	191	W78	2.00
112	W07	32.00	152	W70	5.00	192	W46	42.00
113	W71	11.00	153	W70	5.00	193	W57	5.00
114	W02	3.00	154	W30	346.00	194	W01	3.00
115	W69	10.00	155	W37	3.00	195	W52	6.00
116	W30	346.00	156	W61	32.00	196	W47	82.00
117	W37	3.00	157	W37	3.00	197	W18	96.00
118	W16	36.00	158	W04	3.00	198	W02	3.00
119	W37	3.00	159	W32	247.00	199	W73	13.00
120	W69	10.00	160	W80	22.00	200	W02	3.00
121	W46	42.00	161	W59	17.00	201	W53	6.00
122	W01	3.00	162	W37	3.00	202	W59	17.00
123	W22	8.00	163	W64	120.00	203	W37	3.00
124	W38	77.00	164	W37	3.00	204	W59	1.00
125	W07	32.00	165	W58	40.00	205	W37	3.00
126	W71	11.00	166	W46	17.00	206	W64	120.00
127	W02	3.00	167	W57	5.00	207	W37	3.00
128	W46	42.00	168	W01	3.00	208	W58	40.00
129	W01	3.00	169	W52	6.00	209	W59	17.00
130	W22	8.00	170	W20	8.00	210	W37	3.00

附表 A. 產品 A 之加工步驟與作業時間(續)

單位：分鐘

步驟	工作站	加工時間	步驟	工作站	加工時間	步驟	工作站	加工時間
211	W46	42.00	251	W59	17.00	291	W14	90.00
212	W57	5.00	252	W37	3.00	292	W37	3.00
213	W01	3.00	253	W21	8.00	293	W02	3.00
214	W52	6.00	254	W46	42.00	294	W08	27.00
215	W21	8.00	255	W57	5.00	295	W73	13.00
216	W08	27.00	256	W01	3.00	296	W02	3.00
217	W13	120.00	257	W52	6.00	297	W34	247.00
218	W37	3.00	258	W21	8.00	298	W49	26.00
219	W02	3.00	259	W08	27.00	299	W46	42.00
220	W08	27.00	260	W13	120.00	300	W01	3.00
221	W73	13.00	261	W37	3.00	301	W73	13.00
222	W02	3.00	262	W02	3.00	302	W36	346.00
223	W53	6.00	263	W08	27.00	303	W82	72.00
224	W21	8.00	264	W73	13.00	304	W05	24.00
225	W55	41.00	265	W02	3.00	305	W83	3.00
226	W37	3.00	266	W55	41.00			
227	W78	2.00	267	W37	3.00			
228	W63	32.00	268	W78	2.00			
229	W37	3.00	269	W63	32.00			
230	W62	48.00	270	W37	3.00			
231	W54	36.00	271	W62	48.00			
232	W37	3.00	272	W54	36.00			
233	W78	2.00	273	W37	3.00			
234	W46	42.00	274	W78	2.00			
235	W57	5.00	275	W46	42.00			
236	W01	3.00	276	W57	5.00			
237	W52	6.00	277	W01	3.00			
238	W47	82.00	278	W52	6.00			
239	W18	96.00	279	W47	82.00			
240	W02	3.00	280	W18	96.00			
241	W73	13.00	281	W02	3.00			
242	W02	3.00	282	W08	27.00			
243	W53	6.00	283	W73	13.00			
244	W59	17.00	284	W56	5.00			
245	W37	3.00	285	W02	3.00			
246	W59	1.00	286	W60	39.00			
247	W37	3.00	287	W37	3.00			
248	W64	120.00	288	W46	42.00			
249	W37	3.00	289	W01	3.00			
250	W58	40.00	290	W21	8.00			

附錄B. 工作站資料

附表 B. 各工作站之相關資料²

工作站編號	W01	W04	W07	W10	W13	W16	W19	W22	W25	W28
加工批量	1	1	2	1	2	1	1	1	6	6
機台數	3	2	7	1	3	2	2	2	3	5
MTBF (hr)	200	—	300	250	200	—	200	500	500	108.6
MTTR (hr)	4	—	8	4	4	—	4	4	8	12.2
MTBPM (hr)	716	—	240	330	60	—	—	168	4320	480
MTPM (hr)	4	—	1	2	6	—	—	0.5	72	24
工作站編號	W31	W34	W37	W40	W43	W46	W49	W52	W55	W58
加工批量	6	6	1	4	1	1	1	1	1	1
機台數	3	3	5	2	1	13	2	3	4	4
MTBF (hr)	500	500	—	70	—	24	70	100	100	400
MTTR (hr)	8	8	—	6	—	1.5	2	4	5	8
MTBPM (hr)	4320	4320	—	168	—	163	162	716	96	710
MTPM (hr)	72	72	—	8	—	5	4	4	8	10
工作站編號	W61	W64	W67	W70	W73	W76	W79	W81		
加工批量	1	1	2	2	2	2	1	2		
機台數	1	7	1	2	2	1	2	1		
MTBF (hr)	100	105	1400	1400	1400	1400	400	—		
MTTR (hr)	8	10	5.5	5.5	5.5	5.5	8	—		
MTBPM (hr)	20	10	2160	2160	2160	2160	710	—		
MTPM (hr)	5	1.5	4	4	4	4	10	—		

²因工作站資料取自產業界，具有相當機密性，故謹列示部分工作站資料以供參考。

附錄C. 單等級產品別之週期時間估算絕對差異率

附表 C-1. 單等級系統利用率 90%: 週期時間估算差異率與平均絕對差異率

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
94444	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	977,680	978,156	823,274	755,584	0.0%	15.8%	22.7%
Prod_B	1,059,573	1,060,751	894,856	820,420	-0.1%	15.5%	22.6%
Prod_C	956,422	995,754	811,571	743,332	-4.1%	15.1%	22.3%
Prod_D	1,125,710	1,133,402	933,507	858,017	-0.7%	17.1%	23.8%
Prod_E	1,104,985	1,112,568	914,891	839,342	-0.7%	17.2%	24.0%
加權平均絕對差異率(MAD)					0.9%	16.1%	23.0%
49444	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	977,546	981,275	823,367	758,702	-0.4%	15.8%	22.4%
Prod_B	1,036,691	1,065,910	895,789	825,578	-2.8%	13.6%	20.4%
Prod_C	957,813	995,471	810,027	743,049	-3.9%	15.4%	22.4%
Prod_D	1,122,789	1,132,864	931,593	857,479	-0.9%	17.0%	23.6%
Prod_E	1,102,472	1,112,114	913,081	838,888	-0.9%	17.2%	23.9%
加權平均絕對差異率					2.0%	15.4%	22.1%
44944	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	979,258	966,611	819,803	746,601	1.3%	16.3%	23.8%
Prod_B	1,056,108	1,046,350	889,955	808,583	0.9%	15.7%	23.4%
Prod_C	973,007	995,852	812,599	744,628	-2.3%	16.5%	23.5%
Prod_D	1,119,446	1,133,514	934,938	859,462	-1.3%	16.5%	23.2%
Prod_E	1,089,007	1,112,571	916,220	840,678	-2.2%	15.9%	22.8%
加權平均絕對差異率					1.7%	16.2%	23.4%
76822	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	963,187	980,271	818,598	757,646	-1.8%	15.0%	21.3%
Prod_B	1,051,338	1,064,004	889,992	823,622	-1.2%	15.3%	21.7%
Prod_C	964,092	995,956	806,162	743,348	-3.3%	16.4%	22.9%
Prod_D	1,110,645	1,132,093	926,525	856,421	-1.9%	16.6%	22.9%
Prod_E	1,085,535	1,111,733	908,241	838,221	-2.4%	16.3%	22.8%
加權平均絕對差異率					2.2%	15.8%	22.2%
83473	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	955,644	972,501	825,067	750,899	-1.8%	13.7%	21.4%
Prod_B	1,093,702	1,053,321	896,217	813,961	3.7%	18.1%	25.6%
Prod_C	964,683	995,701	815,615	743,800	-3.2%	15.5%	22.9%
Prod_D	1,133,571	1,134,712	938,939	859,942	-0.1%	17.2%	24.1%
Prod_E	1,125,284	1,113,319	919,932	840,708	1.1%	18.2%	25.3%
加權平均絕對差異率					1.7%	16.0%	23.4%
46474	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	961,836	970,068	822,489	748,981	-0.9%	14.5%	22.1%
Prod_B	1,019,389	1,051,060	893,534	812,215	-3.1%	12.3%	20.3%
Prod_C	951,108	994,219	813,369	742,582	-4.5%	14.5%	21.9%
Prod_D	1,111,865	1,133,206	936,531	858,741	-1.9%	15.8%	22.8%
Prod_E	1,087,622	1,111,811	917,569	839,505	-2.2%	15.6%	22.8%
加權平均絕對差異率					2.5%	14.5%	22.0%

附表 C-1. 單等級系統利用率 90%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
43873	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	984,854	965,859	825,803	746,458	1.9%	16.1%	24.2%
Prod_B	1,046,378	1,045,006	896,360	807,848	0.1%	14.3%	22.8%
Prod_C	971,428	997,734	819,294	746,832	-2.7%	15.7%	23.1%
Prod_D	1,132,790	1,137,041	943,342	863,364	-0.4%	16.7%	23.8%
Prod_E	1,096,666	1,115,480	924,174	843,962	-1.7%	15.7%	23.0%
加權平均絕對差異率					1.5%	15.9%	23.4%
66661	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	961,085	979,087	828,041	756,968	-1.9%	13.8%	21.2%
Prod_B	1,029,030	1,062,038	900,321	822,161	-3.2%	12.5%	20.1%
Prod_C	971,215	997,720	816,371	745,480	-2.7%	15.9%	23.2%
Prod_D	1,130,271	1,135,728	938,824	860,533	-0.5%	16.9%	23.9%
Prod_E	1,077,497	1,114,708	920,098	841,672	-3.5%	14.6%	21.9%
加權平均絕對差異率					2.1%	14.8%	22.1%
44449	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	963,103	963,952	818,946	743,974	-0.1%	15.0%	22.8%
Prod_B	1,037,181	1,043,281	888,937	805,545	-0.6%	14.3%	22.3%
Prod_C	951,798	993,348	812,068	742,257	-4.4%	14.7%	22.0%
Prod_D	1,124,217	1,132,353	935,405	858,504	-0.7%	16.8%	23.6%
Prod_E	1,122,866	1,111,050	916,461	839,361	1.1%	18.4%	25.2%
加權平均絕對差異率					1.3%	16.3%	23.6%
68326	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	962,879	982,210	819,698	759,192	-2.0%	14.9%	21.2%
Prod_B	1,038,137	1,067,162	891,781	826,386	-2.8%	14.1%	20.4%
Prod_C	941,627	994,285	805,687	741,647	-5.6%	14.4%	21.2%
Prod_D	1,125,191	1,131,138	926,590	855,507	-0.5%	17.7%	24.0%
Prod_E	1,089,618	1,110,616	908,221	837,144	-1.9%	16.6%	23.2%
加權平均絕對差異率					2.6%	15.2%	21.6%
73627	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	949,443	968,501	817,126	747,399	-2.0%	13.9%	21.3%
Prod_B	1,037,554	1,048,690	887,154	809,830	-1.1%	14.5%	21.9%
Prod_C	960,946	993,863	808,847	742,164	-3.4%	15.8%	22.8%
Prod_D	1,106,769	1,131,238	930,692	856,678	-2.2%	15.9%	22.6%
Prod_E	1,085,049	1,110,486	912,104	838,086	-2.3%	15.9%	22.8%
加權平均絕對差異率					2.3%	15.2%	22.2%
36637	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	1,006,792	968,483	820,891	747,923	3.8%	18.5%	25.7%
Prod_B	1,037,570	1,049,120	891,620	810,803	-1.1%	14.1%	21.9%
Prod_C	956,789	994,643	812,516	743,220	-4.0%	15.1%	22.3%
Prod_D	1,114,886	1,132,601	935,010	858,357	-1.6%	16.1%	23.0%
Prod_E	1,101,011	1,111,649	916,313	839,565	-1.0%	16.8%	23.7%
加權平均絕對差異率					2.1%	15.8%	23.1%

附表 C-1. 單等級系統利用率 90%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
43468	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	983,270	965,381	828,852	746,001	1.8%	15.7%	24.1%
Prod_B	1,040,754	1,044,407	899,757	807,270	-0.4%	13.5%	22.4%
Prod_C	956,371	997,172	822,343	746,365	-4.3%	14.0%	22.0%
Prod_D	1,137,018	1,137,840	947,603	864,307	-0.1%	16.7%	24.0%
Prod_E	1,113,255	1,115,946	928,204	844,572	-0.2%	16.6%	24.1%
加權平均絕對差異率					1.1%	15.7%	23.5%
66166	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	955,671	975,311	826,057	753,240	-2.1%	13.6%	21.2%
Prod_B	1,032,624	1,057,546	897,966	817,717	-2.4%	13.0%	20.8%
Prod_C	950,230	994,817	814,990	742,756	-4.7%	14.2%	21.8%
Prod_D	1,132,606	1,134,037	938,306	859,118	-0.1%	17.2%	24.1%
Prod_E	1,098,502	1,112,669	919,371	839,910	-1.3%	16.3%	23.5%
加權平均絕對差異率					1.6%	15.0%	22.4%
61666	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	945,010	963,005	821,147	743,616	-1.9%	13.1%	21.3%
Prod_B	1,016,191	1,041,411	890,845	804,264	-2.5%	12.3%	20.9%
Prod_C	957,742	995,676	815,417	744,824	-4.0%	14.9%	22.2%
Prod_D	1,128,178	1,135,194	939,470	861,592	-0.6%	16.7%	23.6%
Prod_E	1,097,530	1,113,606	920,265	842,163	-1.5%	16.2%	23.3%
加權平均絕對差異率					2.0%	15.1%	22.5%
16666	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	1,065,076	964,874	823,693	745,483	9.4%	22.7%	30.0%
Prod_B	1,025,572	1,044,543	894,378	807,394	-1.8%	12.8%	21.3%
Prod_C	960,009	995,551	816,767	744,698	-3.7%	14.9%	22.4%
Prod_D	1,124,025	1,134,929	940,639	861,326	-1.0%	16.3%	23.4%
Prod_E	1,095,726	1,113,415	921,566	841,971	-1.6%	15.9%	23.2%
加權平均絕對差異率					2.3%	15.3%	22.9%

附表 C-2. 單等級系統利用率 70%: 週期時間估算絕對差異率

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
94444	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	914,833	928,485	730,805	705,912	-1.5%	20.1%	22.8%
Prod_B	1,012,758	1,004,528	790,968	764,197	0.8%	21.9%	24.5%
Prod_C	909,375	954,354	726,695	701,932	-4.9%	20.1%	22.8%
Prod_D	1,056,746	1,085,342	838,589	809,957	-2.7%	20.6%	23.4%
Prod_E	1,047,866	1,066,303	821,455	793,077	-1.8%	21.6%	24.3%
加權平均絕對差異率					2.2%	20.7%	23.4%
49444	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	957,335	929,608	730,802	707,034	2.9%	23.7%	26.1%
Prod_B	986,731	1,006,434	791,326	766,102	-2.0%	19.8%	22.4%
Prod_C	919,341	954,197	725,968	701,774	-3.8%	21.0%	23.7%
Prod_D	1,068,275	1,085,053	837,694	809,667	-1.6%	21.6%	24.2%
Prod_E	1,047,118	1,066,055	820,597	792,829	-1.8%	21.6%	24.3%
加權平均絕對差異率					2.3%	21.2%	23.8%
44944	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	984,532	922,557	729,701	702,547	6.3%	25.9%	28.6%
Prod_B	1,050,233	997,467	789,225	759,700	5.0%	24.9%	27.7%
Prod_C	935,200	954,477	727,970	703,253	-2.1%	22.2%	24.8%
Prod_D	1,060,954	1,085,456	840,142	811,403	-2.3%	20.8%	23.5%
Prod_E	1,034,255	1,066,345	822,957	794,452	-3.1%	20.4%	23.2%
加權平均絕對差異率					3.4%	22.7%	25.4%
76822	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	916,628	929,719	730,486	707,094	-1.4%	20.3%	22.9%
Prod_B	995,862	1,006,264	790,810	765,882	-1.0%	20.6%	23.1%
Prod_C	904,795	954,916	725,906	702,308	-5.5%	19.8%	22.4%
Prod_D	1,053,532	1,085,287	837,254	809,615	-3.0%	20.5%	23.2%
Prod_E	1,041,729	1,066,442	820,230	792,930	-2.4%	21.3%	23.9%
加權平均絕對差異率					2.9%	20.3%	22.9%
83473	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	907,302	925,521	730,539	703,918	-2.0%	19.5%	22.4%
Prod_B	1,004,018	1,000,833	790,356	761,473	0.3%	21.3%	24.2%
Prod_C	931,481	954,095	727,653	702,193	-2.4%	21.9%	24.6%
Prod_D	1,057,755	1,085,630	840,025	810,860	-2.6%	20.6%	23.3%
Prod_E	1,033,472	1,066,352	822,772	793,742	-3.2%	20.4%	23.2%
加權平均絕對差異率					2.2%	20.5%	23.3%
46474	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	937,332	924,586	730,195	703,499	1.4%	22.1%	24.9%
Prod_B	983,088	1,000,020	790,060	761,175	-1.7%	19.6%	22.6%
Prod_C	910,876	953,735	727,441	702,098	-4.7%	20.1%	22.9%
Prod_D	1,066,182	1,085,314	839,850	810,848	-1.8%	21.2%	23.9%
Prod_E	1,038,406	1,066,018	822,596	793,713	-2.7%	20.8%	23.6%
加權平均絕對差異率					2.3%	20.7%	23.6%

附表 C-2. 單等級系統利用率 70%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
43873	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	969,487	920,787	729,265	701,385	5.0%	24.8%	27.7%
Prod_B	1,083,190	995,309	788,572	758,151	8.1%	27.2%	30.0%
Prod_C	918,724	954,155	728,159	703,254	-3.9%	20.7%	23.5%
Prod_D	1,050,821	1,085,673	840,696	811,995	-3.3%	20.0%	22.7%
Prod_E	1,038,324	1,066,343	823,409	794,826	-2.7%	20.7%	23.5%
加權平均絕對差異率					4.3%	21.9%	24.7%
66661	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	907,334	927,398	730,008	705,279	-2.2%	19.5%	22.3%
Prod_B	966,833	1,003,438	790,112	763,562	-3.8%	18.3%	21.0%
Prod_C	905,814	954,091	726,167	701,851	-5.3%	19.8%	22.5%
Prod_D	1,051,941	1,085,007	837,960	809,812	-3.1%	20.3%	23.0%
Prod_E	1,021,587	1,065,937	820,823	792,901	-4.3%	19.7%	22.4%
加權平均絕對差異率					3.6%	19.5%	22.2%
44449	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	959,533	922,330	730,748	702,352	3.9%	23.8%	26.8%
Prod_B	1,015,667	997,151	790,346	759,416	1.8%	22.2%	25.2%
Prod_C	913,048	954,186	729,107	703,095	-4.5%	20.1%	23.0%
Prod_D	1,056,827	1,085,970	841,914	812,121	-2.8%	20.3%	23.2%
Prod_E	1,060,547	1,066,661	824,624	794,972	-0.6%	22.2%	25.0%
加權平均絕對差異率					2.3%	21.8%	24.7%
68326	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	931,111	931,312	731,749	708,293	0.0%	21.4%	23.9%
Prod_B	991,647	1,008,400	792,450	767,624	-1.7%	20.1%	22.6%
Prod_C	900,200	954,693	726,389	702,055	-6.1%	19.3%	22.0%
Prod_D	1,050,082	1,085,495	838,100	809,864	-3.4%	20.2%	22.9%
Prod_E	1,044,531	1,066,558	821,025	793,087	-2.1%	21.4%	24.1%
加權平均絕對差異率					2.0%	20.6%	23.2%
73627	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	904,691	924,208	729,514	703,106	-2.2%	19.4%	22.3%
Prod_B	1,079,798	999,336	789,142	760,477	7.5%	26.9%	29.6%
Prod_C	907,637	953,906	727,068	702,208	-5.1%	19.9%	22.6%
Prod_D	1,051,793	1,084,854	839,125	810,295	-3.1%	20.2%	23.0%
Prod_E	1,027,640	1,065,819	821,981	793,419	-3.7%	20.0%	22.8%
加權平均絕對差異率					4.0%	20.6%	23.4%
36637	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	930,478	893,036	729,922	703,110	4.0%	21.6%	24.4%
Prod_B	987,364	964,797	789,680	760,649	2.3%	20.0%	23.0%
Prod_C	906,419	925,039	727,560	702,517	-2.1%	19.7%	22.5%
Prod_D	1,041,379	1,052,678	839,781	810,814	-1.1%	19.4%	22.1%
Prod_E	1,036,131	1,034,499	822,605	793,868	0.2%	20.6%	23.4%
加權平均絕對差異率					1.7%	20.2%	23.0%

附表 C-2. 單等級系統利用率 70%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
43468	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	966,689	920,349	729,498	700,970	4.8%	24.5%	27.5%
Prod_B	1,020,619	994,786	788,806	757,649	2.5%	22.7%	25.8%
Prod_C	912,600	953,639	728,479	702,832	-4.5%	20.2%	23.0%
Prod_D	1,067,156	1,085,720	841,419	812,186	-1.7%	21.2%	23.9%
Prod_E	1,058,341	1,066,275	824,077	794,901	-0.7%	22.1%	24.9%
加權平均絕對差異率					2.4%	22.0%	24.9%
66166	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	941,149	926,941	730,850	704,870	1.5%	22.3%	25.1%
Prod_B	979,613	1,002,833	790,990	763,004	-2.4%	19.3%	22.1%
Prod_C	898,606	953,705	727,152	701,644	-6.1%	19.1%	21.9%
Prod_D	1,044,044	1,085,346	839,532	810,427	-4.0%	19.6%	22.4%
Prod_E	1,029,311	1,066,087	822,298	793,327	-3.6%	20.1%	22.9%
加權平均絕對差異率					3.0%	20.3%	23.1%
61666	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	910,909	920,279	729,204	700,890	-1.0%	19.9%	23.1%
Prod_B	1,186,720	994,548	788,375	757,401	16.2%	33.6%	36.2%
Prod_C	907,386	953,955	728,369	703,102	-5.1%	19.7%	22.5%
Prod_D	1,068,665	1,085,749	841,134	812,146	-1.6%	21.3%	24.0%
Prod_E	1,037,900	1,066,370	823,816	794,927	-2.7%	20.6%	23.4%
加權平均絕對差異率					3.2%	20.9%	23.8%
16666	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	887,933	920,942	729,436	701,551	-3.7%	17.9%	21.0%
Prod_B	996,512	995,754	788,933	758,605	0.1%	20.8%	23.9%
Prod_C	923,567	953,709	728,028	702,856	-3.3%	21.2%	23.9%
Prod_D	1,059,917	1,085,359	840,651	811,757	-2.4%	20.7%	23.4%
Prod_E	1,036,086	1,066,030	823,370	794,587	-2.9%	20.5%	23.3%
加權平均絕對差異率					2.2%	20.7%	23.5%

附表 C-3. 單等級系統利用率 50%: 週期時間估算絕對差異率

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
94444	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	902,076	909,691	702,533	687,118	-0.8%	22.1%	23.8%
Prod_B	1,019,683	983,182	759,594	742,852	3.6%	25.5%	27.1%
Prod_C	897,219	939,041	701,011	686,618	-4.7%	21.9%	23.5%
Prod_D	1,034,891	1,068,168	809,618	792,782	-3.2%	21.8%	23.4%
Prod_E	1,005,693	1,049,660	793,012	776,434	-4.4%	21.1%	22.8%
加權平均絕對差異率					2.8%	22.4%	24.1%
49444	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	1,019,384	910,545	703,264	687,971	10.7%	31.0%	32.5%
Prod_B	975,786	984,393	760,572	744,062	-0.9%	22.1%	23.7%
Prod_C	887,519	939,344	701,328	686,921	-5.8%	21.0%	22.6%
Prod_D	1,019,175	1,068,457	809,939	793,072	-4.8%	20.5%	22.2%
Prod_E	1,031,354	1,049,954	793,335	776,728	-1.8%	23.1%	24.7%
加權平均絕對差異率					4.0%	23.2%	24.9%
44944	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	997,513	905,845	701,809	685,836	9.2%	29.6%	31.2%
Prod_B	975,570	978,916	758,531	741,149	-0.3%	22.2%	24.0%
Prod_C	906,998	938,552	701,559	687,327	-3.5%	22.7%	24.2%
Prod_D	1,033,879	1,067,589	810,289	793,536	-3.3%	21.6%	23.2%
Prod_E	1,016,882	1,049,050	793,662	777,157	-3.2%	22.0%	23.6%
加權平均絕對差異率					3.8%	23.4%	25.1%
76822	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	911,000	910,354	702,696	687,730	0.1%	22.9%	24.5%
Prod_B	968,986	984,055	759,869	743,673	-1.6%	21.6%	23.3%
Prod_C	892,532	939,529	700,919	686,921	-5.3%	21.5%	23.0%
Prod_D	1,011,210	1,068,436	809,289	792,765	-5.7%	20.0%	21.6%
Prod_E	1,004,456	1,050,000	792,727	776,488	-4.5%	21.1%	22.7%
加權平均絕對差異率					2.9%	21.7%	23.4%
83473	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	923,061	908,411	703,016	686,808	1.6%	23.8%	25.6%
Prod_B	995,692	981,685	759,968	742,324	1.4%	23.7%	25.4%
Prod_C	876,084	939,080	702,078	687,178	-7.2%	19.9%	21.6%
Prod_D	1,022,473	1,068,434	810,995	793,664	-4.5%	20.7%	22.4%
Prod_E	1,011,128	1,049,819	794,324	777,208	-3.8%	21.4%	23.1%
加權平均絕對差異率					3.5%	22.0%	23.7%
46474	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	974,626	907,535	702,525	686,448	6.9%	27.9%	29.6%
Prod_B	957,284	980,837	759,465	741,992	-2.5%	20.7%	22.5%
Prod_C	883,098	938,637	701,687	687,000	-6.3%	20.5%	22.2%
Prod_D	1,035,227	1,067,972	810,583	793,507	-3.2%	21.7%	23.3%
Prod_E	999,676	1,049,356	793,918	777,051	-5.0%	20.6%	22.3%
加權平均絕對差異率					4.4%	22.1%	23.8%

附表 C-3. 系統利用率 50%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
43873	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	893,005	905,145	702,232	685,744	-1.4%	21.4%	23.2%
Prod_B	1,107,223	978,099	758,904	740,941	11.7%	31.5%	33.1%
Prod_C	909,915	938,634	702,297	687,733	-3.2%	22.8%	24.4%
Prod_D	1,040,813	1,067,923	811,287	794,245	-2.6%	22.1%	23.7%
Prod_E	1,006,525	1,049,285	794,603	777,767	-4.2%	21.1%	22.7%
加權平均絕對差異率					3.9%	23.2%	24.9%
66661	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	932,582	909,432	702,850	687,313	2.5%	24.6%	26.3%
Prod_B	1,019,537	982,986	759,958	743,110	3.6%	25.5%	27.1%
Prod_C	887,649	939,232	701,406	686,992	-5.8%	21.0%	22.6%
Prod_D	1,052,959	1,068,352	810,042	793,157	-1.5%	23.1%	24.7%
Prod_E	994,084	1,049,819	793,421	776,783	-5.6%	20.2%	21.9%
加權平均絕對差異率					3.4%	23.4%	25.0%
44449	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	945,730	905,674	702,119	685,696	4.2%	25.8%	27.5%
Prod_B	993,975	978,702	758,849	740,967	1.5%	23.7%	25.5%
Prod_C	875,582	938,283	701,929	687,191	-7.2%	19.8%	21.5%
Prod_D	1,017,961	1,067,640	810,947	793,791	-4.9%	20.3%	22.0%
Prod_E	1,019,920	1,049,031	794,278	777,342	-2.9%	22.1%	23.8%
加權平均絕對差異率					3.9%	22.3%	24.0%
68326	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	904,860	911,151	703,243	688,133	-0.7%	22.3%	24.0%
Prod_B	969,762	985,043	760,578	744,266	-1.6%	21.6%	23.3%
Prod_C	889,562	939,396	701,103	686,758	-5.6%	21.2%	22.8%
Prod_D	1,046,073	1,068,480	809,656	792,849	-2.1%	22.6%	24.2%
Prod_E	1,005,424	1,050,010	793,070	776,539	-4.4%	21.1%	22.8%
加權平均絕對差異率					2.6%	21.7%	23.3%
73627	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	877,989	907,389	702,227	686,287	-3.3%	20.0%	21.8%
Prod_B	928,680	980,568	759,057	741,708	-5.6%	18.3%	20.1%
Prod_C	895,412	938,743	701,548	687,045	-4.8%	21.7%	23.3%
Prod_D	1,021,308	1,067,829	810,284	793,269	-4.6%	20.7%	22.3%
Prod_E	1,013,074	1,049,315	793,667	776,915	-3.6%	21.7%	23.3%
加權平均絕對差異率					4.1%	20.7%	22.4%
36637	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	913,146	906,841	702,345	686,281	0.7%	23.1%	24.8%
Prod_B	996,509	980,088	759,225	741,771	1.6%	23.8%	25.6%
Prod_C	881,976	938,620	701,728	687,197	-6.4%	20.4%	22.1%
Prod_D	1,028,310	1,067,756	810,537	793,512	-3.8%	21.2%	22.8%
Prod_E	1,004,448	1,049,214	793,905	777,130	-4.5%	21.0%	22.6%
加權平均絕對差異率					3.7%	21.8%	23.5%

附表 C-3. 系統利用率 50%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
43468	Simulation	BBCT			BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	948,352	904,921	702,280	685,542	4.6%	25.9%	27.7%
Prod_B	1,058,071	977,837	758,940	740,700	7.6%	28.3%	30.0%
Prod_C	894,752	938,322	702,395	687,515	-4.9%	21.5%	23.2%
Prod_D	1,030,746	1,067,850	811,576	794,316	-3.6%	21.3%	22.9%
Prod_E	1,011,699	1,049,170	794,870	777,796	-3.7%	21.4%	23.1%
加權平均絕對差異率					4.5%	22.9%	24.6%
66166	Simulation	BBCT			BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	897,828	909,263	703,253	687,192	-1.3%	21.7%	23.5%
Prod_B	1,013,803	982,765	760,372	742,937	3.1%	25.0%	26.7%
Prod_C	915,299	938,984	701,883	686,923	-2.6%	23.3%	25.0%
Prod_D	1,048,784	1,068,402	810,818	793,483	-1.9%	22.7%	24.3%
Prod_E	1,024,083	1,049,795	794,153	777,035	-2.5%	22.5%	24.1%
加權平均絕對差異率					2.2%	23.0%	24.7%
61666	Simulation	BBCT			BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	959,357	904,788	701,953	685,399	5.7%	26.8%	28.6%
Prod_B	938,386	977,624	758,530	740,477	-4.2%	19.2%	21.1%
Prod_C	887,336	938,377	702,176	687,524	-5.8%	20.9%	22.5%
Prod_D	1,027,299	1,067,767	811,247	794,165	-3.9%	21.0%	22.7%
Prod_E	1,013,541	1,049,117	794,556	777,674	-3.5%	21.6%	23.3%
加權平均絕對差異率					4.7%	22.4%	24.1%
16666	Simulation	BBCT			BBCT	Conway	Queuing
Prod_A	868,302	905,276	702,448	685,885	-4.3%	19.1%	21.0%
Prod_B	971,118	978,357	759,225	741,209	-0.7%	21.8%	23.7%
Prod_C	888,039	938,481	702,341	687,628	-5.7%	20.9%	22.6%
Prod_D	1,025,786	1,067,840	811,393	794,237	-4.1%	20.9%	22.6%
Prod_E	1,003,981	1,049,200	794,708	777,757	-4.5%	20.8%	22.5%
加權平均絕對差異率					3.8%	21.0%	22.8%

附錄D. 批量因子與負荷因子等候時間佔總等候時間之比例

No	產品組合	系統負荷率- 90%		系統負荷率- 70%		系統負荷率- 50%	
		批量因子	負荷因子	批量因子	負荷因子	批量因子	負荷因子
1	94444	75.2%	24.8%	88.3%	11.7%	94.4%	5.6%
2	49444	74.5%	25.5%	87.9%	12.1%	94.1%	5.9%
3	44944	76.7%	23.3%	88.9%	11.1%	94.6%	5.4%
4	76822	74.9%	25.1%	88.0%	12.0%	94.2%	5.8%
5	83473	75.9%	24.1%	88.7%	11.3%	94.4%	5.6%
6	46474	76.2%	23.8%	88.8%	11.2%	94.5%	5.5%
7	43873	76.3%	23.7%	89.0%	11.0%	94.5%	5.5%
8	66661	74.8%	25.2%	88.4%	11.6%	94.3%	5.7%
9	44449	77.1%	22.9%	88.9%	11.1%	94.6%	5.4%
10	68326	74.5%	25.5%	87.6%	12.4%	94.1%	5.9%
11	73627	76.8%	23.2%	89.0%	11.0%	94.6%	5.4%
12	36637	76.6%	23.4%	87.5%	12.5%	94.6%	5.4%
13	43468	76.2%	23.8%	89.0%	11.0%	94.5%	5.5%
14	66166	75.4%	24.6%	88.4%	11.6%	94.3%	5.7%
15	61666	76.8%	23.2%	89.1%	10.9%	94.6%	5.4%
16	16666	76.6%	23.4%	89.0%	11.0%	94.5%	5.5%
	平均值	75.9%	24.1%	88.5%	11.5%	94.4%	5.6%

附錄E. 各方法之等候時間估算值的平均絕對差異率(MAD)

No	產品組合	系統利用率- 90%			系統利用率- 70%			系統利用率- 50%		
		BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
1	94444	3.0%	52.1%	74.5%	8.2%	77.4%	87.5%	11.1%	87.6%	94.1%
2	49444	6.6%	50.6%	72.8%	8.5%	77.8%	87.3%	14.5%	87.7%	93.9%
3	44944	5.7%	52.8%	76.0%	11.7%	79.4%	89.0%	13.7%	88.2%	94.4%
4	76822	7.3%	52.1%	73.2%	11.0%	77.0%	86.8%	11.9%	87.1%	93.6%
5	83473	5.4%	51.5%	75.4%	8.3%	77.1%	87.8%	14.6%	87.1%	93.9%
6	46474	8.5%	49.0%	74.2%	8.7%	77.5%	88.0%	17.2%	87.2%	94.0%
7	43873	4.9%	51.3%	75.7%	15.0%	78.7%	88.6%	13.8%	87.8%	94.2%
8	66661	7.1%	48.8%	73.0%	14.3%	76.2%	86.8%	13.2%	88.0%	94.2%
9	44449	4.3%	53.0%	76.7%	8.3%	78.4%	88.7%	15.6%	87.5%	94.2%
10	68326	8.6%	50.8%	72.3%	7.8%	77.0%	86.7%	10.5%	86.8%	93.5%
11	73627	7.9%	51.2%	75.0%	14.8%	77.4%	88.0%	17.4%	86.5%	93.7%
12	36637	7.0%	51.8%	75.7%	6.4%	77.0%	87.8%	15.4%	87.2%	94.0%
13	43468	3.7%	50.5%	75.8%	8.7%	78.8%	88.9%	16.9%	87.7%	94.2%
14	66166	5.4%	49.5%	74.0%	11.5%	76.8%	87.5%	8.3%	87.6%	94.2%
15	61666	6.8%	50.3%	75.2%	11.3%	77.6%	88.2%	18.3%	87.5%	94.1%
16	16666	7.6%	50.3%	75.3%	8.4%	77.5%	88.1%	15.7%	86.6%	93.7%
	平均值	6.2%	51.0%	74.7%	10.2%	77.6%	87.9%	14.3%	87.4%	94.0%

附錄F. 單等級工作站利用率估算差異絕對值

附表 F-1. 系統利用率 90%：工作站利用率估算絕對差異率

工作站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661	44449	68326	73627	36637
W01	0.24%	0.64%	0.47%	0.58%	0.22%	0.46%	0.06%	0.67%	0.35%	0.80%	0.89%	0.50%
W02	0.38%	0.99%	0.72%	0.88%	0.33%	0.68%	0.09%	1.01%	0.55%	1.22%	1.32%	0.75%
W03	0.03%	0.04%	0.03%	0.04%	0.02%	0.03%	0.01%	0.03%	0.02%	0.05%	0.05%	0.03%
W04	0.06%	0.16%	0.14%	0.16%	0.05%	0.14%	0.03%	0.19%	0.11%	0.18%	0.23%	0.13%
W05	0.56%	1.13%	0.64%	0.83%	0.44%	0.71%	0.27%	0.92%	0.58%	1.23%	1.18%	0.74%
W06	0.01%	0.02%	0.01%	0.02%	0.01%	0.02%	0.00%	0.02%	0.01%	0.02%	0.03%	0.01%
W07	0.38%	1.06%	0.83%	1.03%	0.40%	0.96%	0.12%	1.24%	0.61%	1.31%	1.64%	0.97%
W08	0.47%	0.97%	0.65%	0.77%	0.32%	0.39%	0.12%	0.83%	0.51%	1.22%	1.02%	0.54%
W09	1.51%	2.00%	2.03%	1.98%	1.76%	2.54%	1.52%	2.46%	1.95%	2.24%	2.73%	2.09%
W10	0.33%	0.88%	1.12%	0.96%	0.46%	0.88%	0.40%	1.07%	0.75%	0.85%	1.52%	0.90%
W11	0.62%	1.13%	0.64%	0.88%	0.34%	0.84%	0.21%	0.80%	0.50%	1.32%	1.32%	0.84%
W12	0.35%	0.54%	0.09%	0.47%	0.47%	0.21%	0.71%	0.20%	0.12%	0.82%	0.76%	0.22%
W13	0.04%	0.70%	0.44%	0.45%	0.22%	0.10%	0.43%	0.64%	0.17%	1.11%	0.89%	0.17%
W14	0.34%	0.79%	0.41%	0.52%	0.17%	0.33%	0.05%	0.47%	0.40%	0.93%	0.91%	0.40%
W15	0.43%	0.80%	0.61%	0.85%	0.41%	0.55%	0.24%	1.09%	0.49%	1.06%	1.19%	0.75%
W16	0.27%	0.57%	0.44%	0.70%	0.37%	0.64%	0.13%	0.84%	0.31%	0.76%	0.95%	0.57%
W17	0.23%	0.40%	0.36%	0.25%	0.31%	0.55%	0.08%	0.45%	0.43%	0.48%	0.75%	0.51%
W18	0.83%	0.13%	0.46%	0.37%	0.95%	0.81%	1.21%	0.20%	0.58%	0.16%	0.22%	0.58%
W19	1.03%	1.24%	1.56%	1.23%	1.14%	1.17%	1.24%	1.41%	1.61%	1.38%	1.98%	1.67%
W20	0.40%	0.82%	0.70%	0.82%	0.37%	0.78%	0.21%	0.87%	0.54%	1.03%	1.21%	0.78%
W21	0.89%	1.69%	1.23%	1.40%	0.66%	0.80%	0.32%	1.51%	0.97%	2.09%	1.80%	1.05%
W22	0.24%	0.61%	0.52%	0.64%	0.32%	0.64%	0.11%	0.85%	0.38%	0.77%	1.04%	0.64%
W23	0.09%	0.15%	0.17%	0.17%	0.09%	0.19%	0.06%	0.20%	0.10%	0.18%	0.29%	0.18%
W24	0.70%	1.64%	1.08%	1.42%	0.59%	1.19%	0.36%	1.31%	0.91%	1.83%	1.93%	1.19%
W25	0.51%	1.44%	1.02%	1.28%	0.50%	1.08%	0.30%	1.09%	0.76%	1.55%	1.60%	1.12%
W26	0.30%	1.14%	0.94%	0.99%	0.35%	0.94%	0.22%	1.10%	0.78%	1.08%	1.48%	0.75%
W27	0.04%	0.30%	0.35%	0.33%	0.07%	0.26%	0.05%	0.27%	0.25%	0.27%	0.47%	0.28%
W28	0.20%	0.38%	0.09%	0.38%	0.23%	0.14%	0.44%	0.13%	0.07%	0.66%	0.55%	0.17%
W29	0.20%	0.29%	0.26%	0.32%	0.12%	0.29%	0.35%	0.42%	0.04%	0.37%	0.72%	0.18%
W30	0.27%	0.23%	0.13%	0.33%	0.19%	0.33%	0.46%	0.74%	0.03%	0.58%	0.90%	0.35%
W31	0.33%	0.84%	0.65%	0.90%	0.43%	0.89%	0.23%	1.18%	0.50%	1.12%	1.30%	0.77%
W32	0.33%	0.58%	0.59%	0.76%	0.28%	0.48%	0.06%	0.93%	0.36%	0.94%	1.10%	0.70%
W33	0.30%	0.47%	0.53%	0.44%	0.31%	0.31%	0.21%	0.57%	0.56%	0.61%	0.87%	0.60%
W34	0.58%	0.91%	0.70%	0.69%	0.42%	0.48%	0.23%	0.77%	0.63%	1.06%	1.13%	0.72%
W35	0.42%	0.94%	0.82%	1.07%	0.51%	0.99%	0.44%	1.08%	0.66%	1.11%	1.34%	0.88%
W36	0.73%	1.38%	0.76%	1.08%	0.53%	0.85%	0.37%	1.12%	0.73%	1.54%	1.44%	0.91%
W37	0.52%	1.12%	0.85%	1.05%	0.46%	0.78%	0.25%	1.15%	0.70%	1.35%	1.45%	0.89%
W38	0.04%	0.72%	0.55%	0.87%	0.13%	0.89%	0.49%	1.49%	0.26%	1.27%	1.93%	0.95%
W39	0.00%	0.27%	0.16%	0.24%	0.02%	0.21%	0.04%	0.28%	0.13%	0.26%	0.37%	0.17%
W40	0.06%	1.01%	0.60%	0.87%	0.09%	0.60%	0.35%	0.78%	0.36%	1.02%	1.22%	0.55%
W41	0.28%	0.44%	0.21%	0.46%	0.22%	0.20%	0.51%	0.85%	0.03%	0.84%	1.28%	0.46%
W42	0.02%	0.05%	0.04%	0.06%	0.02%	0.06%	0.02%	0.06%	0.03%	0.07%	0.08%	0.05%

附表 F-1. 系統利用率 90%:工作站利用率估算絕對差異率(續)

工作 站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661	44449	68326	73627	36637
W43	0.07%	0.14%	0.08%	0.10%	0.05%	0.08%	0.03%	0.11%	0.07%	0.15%	0.15%	0.09%
W44	0.00%	0.02%	0.01%	0.02%	0.00%	0.01%	0.00%	0.02%	0.01%	0.02%	0.02%	0.01%
W45	0.04%	0.07%	0.04%	0.05%	0.03%	0.04%	0.02%	0.06%	0.03%	0.07%	0.07%	0.04%
W46	0.56%	0.60%	0.04%	0.39%	0.66%	0.01%	1.13%	0.65%	0.27%	1.03%	1.25%	0.14%
W47	0.85%	1.70%	1.15%	1.41%	0.63%	0.84%	0.31%	1.59%	0.98%	2.04%	1.91%	1.07%
W48	0.26%	0.90%	0.60%	0.80%	0.24%	0.59%	0.09%	0.75%	0.47%	0.93%	0.93%	0.56%
W49	0.03%	0.34%	0.06%	0.16%	0.06%	0.05%	0.15%	0.20%	0.02%	0.41%	0.38%	0.11%
W50	0.20%	0.49%	0.65%	0.52%	0.24%	0.49%	0.21%	0.60%	0.44%	0.48%	0.86%	0.49%
W51	0.07%	0.28%	0.20%	0.21%	0.05%	0.00%	0.32%	0.42%	0.20%	0.50%	0.77%	0.28%
W52	0.23%	0.56%	0.41%	0.53%	0.18%	0.35%	0.03%	0.58%	0.32%	0.77%	0.76%	0.42%
W53	0.70%	1.34%	1.08%	1.26%	0.68%	1.00%	0.36%	1.52%	0.91%	1.65%	1.87%	1.11%
W54	0.44%	1.20%	0.73%	0.96%	0.27%	0.42%	0.03%	1.13%	0.58%	1.50%	1.42%	0.67%
W55	0.06%	0.60%	0.33%	0.53%	0.11%	0.17%	0.23%	0.74%	0.10%	0.93%	0.91%	0.27%
W56	0.05%	0.22%	0.13%	0.22%	0.04%	0.16%	0.00%	0.19%	0.07%	0.30%	0.25%	0.14%
W57	0.10%	0.39%	0.25%	0.35%	0.06%	0.21%	0.06%	0.41%	0.18%	0.55%	0.55%	0.26%
W58	0.21%	0.67%	0.35%	0.65%	0.13%	0.25%	0.02%	0.74%	0.21%	0.94%	0.67%	0.32%
W59	0.08%	0.65%	0.35%	0.56%	0.02%	0.09%	0.14%	0.67%	0.25%	0.92%	0.83%	0.34%
W60	0.28%	0.66%	0.37%	0.44%	0.11%	0.24%	0.10%	0.44%	0.29%	0.80%	0.78%	0.27%
W61	0.40%	0.21%	0.15%	0.40%	0.52%	0.00%	0.94%	0.87%	0.29%	0.81%	1.09%	0.33%
W62	0.21%	1.11%	0.53%	0.86%	0.04%	0.29%	0.19%	1.03%	0.34%	1.40%	1.28%	0.48%
W63	0.29%	1.20%	0.60%	0.94%	0.09%	0.36%	0.14%	1.14%	0.40%	1.51%	1.38%	0.55%
W64	6.64%	6.44%	4.00%	6.18%	5.61%	5.30%	3.93%	5.51%	4.14%	6.25%	4.18%	4.71%
W65	0.15%	0.28%	0.29%	0.33%	0.12%	0.36%	0.02%	0.40%	0.11%	0.38%	0.60%	0.33%
W66	0.01%	0.04%	0.04%	0.05%	0.02%	0.04%	0.01%	0.07%	0.01%	0.07%	0.07%	0.04%
W67	0.74%	1.85%	1.29%	1.61%	0.68%	1.44%	0.44%	1.52%	1.06%	1.99%	2.13%	1.37%
W68	0.20%	0.59%	0.63%	0.53%	0.21%	0.57%	0.11%	0.62%	0.50%	0.56%	0.86%	0.52%
W69	0.30%	0.69%	0.54%	0.82%	0.34%	0.67%	0.20%	0.87%	0.37%	0.89%	1.03%	0.60%
W70	0.15%	0.28%	0.32%	0.30%	0.18%	0.37%	0.06%	0.46%	0.25%	0.40%	0.61%	0.38%
W71	0.32%	0.86%	0.65%	0.85%	0.33%	0.75%	0.18%	0.90%	0.47%	0.99%	1.15%	0.70%
W72	0.18%	0.33%	0.36%	0.33%	0.21%	0.37%	0.06%	0.50%	0.31%	0.46%	0.69%	0.45%
W73	0.47%	0.96%	0.62%	0.75%	0.34%	0.46%	0.17%	0.81%	0.53%	1.12%	1.03%	0.57%
W74	0.27%	0.74%	0.59%	0.66%	0.18%	0.58%	0.08%	0.65%	0.40%	0.76%	0.87%	0.57%
W75	0.18%	0.26%	0.22%	0.22%	0.13%	0.18%	0.09%	0.22%	0.18%	0.30%	0.35%	0.23%
W76	0.30%	0.62%	0.50%	0.67%	0.28%	0.42%	0.11%	0.84%	0.35%	0.85%	1.00%	0.54%
W77	0.04%	0.19%	0.15%	0.22%	0.08%	0.15%	0.02%	0.27%	0.06%	0.30%	0.28%	0.15%
W78	0.07%	0.20%	0.12%	0.17%	0.04%	0.07%	0.01%	0.20%	0.09%	0.25%	0.25%	0.11%
W79	0.01%	0.05%	0.03%	0.05%	0.01%	0.04%	0.01%	0.05%	0.02%	0.07%	0.07%	0.04%
W80	0.46%	0.75%	0.69%	0.88%	0.38%	0.56%	0.20%	1.08%	0.52%	1.12%	1.27%	0.80%
W81	0.18%	0.35%	0.31%	0.45%	0.17%	0.39%	0.10%	0.43%	0.22%	0.46%	0.56%	0.33%
W82	0.47%	0.85%	0.46%	0.65%	0.34%	0.51%	0.22%	0.69%	0.46%	0.94%	0.86%	0.57%
W83	0.07%	0.14%	0.08%	0.10%	0.05%	0.09%	0.03%	0.11%	0.07%	0.15%	0.15%	0.09%

附表 F-1. 系統利用率 90%:工作站利用率估算絕對差異率(續)

工作站	43468	66166	61666	16666	工作站	43468	66166	61666	16666
W01	0.00%	0.27%	0.39%	0.05%	W43	0.04%	0.05%	0.09%	0.04%
W02	0.01%	0.39%	0.57%	0.09%	W44	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%
W03	0.01%	0.02%	0.03%	0.01%	W45	0.02%	0.03%	0.04%	0.02%
W04	0.02%	0.10%	0.10%	0.05%	W46	1.31%	0.55%	0.19%	1.15%
W05	0.30%	0.41%	0.71%	0.31%	W47	0.04%	0.54%	0.70%	0.30%
W06	0.00%	0.01%	0.01%	0.00%	W48	0.30%	0.45%	0.45%	0.24%
W07	0.02%	0.56%	0.77%	0.10%	W49	0.18%	0.03%	0.11%	0.20%
W08	0.05%	0.24%	0.40%	0.07%	W50	0.19%	0.40%	0.59%	0.23%
W09	1.34%	1.98%	2.23%	1.45%	W51	0.55%	0.16%	0.03%	0.28%
W10	0.30%	0.68%	1.03%	0.33%	W52	0.07%	0.19%	0.29%	0.02%
W11	0.23%	0.33%	0.69%	0.14%	W53	0.15%	0.68%	0.90%	0.33%
W12	0.60%	0.25%	0.07%	0.45%	W54	0.33%	0.18%	0.35%	0.05%
W13	0.73%	0.35%	0.02%	0.49%	W55	0.51%	0.05%	0.07%	0.32%
W14	0.12%	0.09%	0.33%	0.12%	W56	0.01%	0.06%	0.12%	0.01%
W15	0.10%	0.38%	0.56%	0.12%	W57	0.16%	0.07%	0.15%	0.08%
W16	0.03%	0.45%	0.48%	0.05%	W58	0.15%	0.26%	0.18%	0.02%
W17	0.07%	0.36%	0.32%	0.04%	W59	0.40%	0.01%	0.13%	0.19%
W18	1.41%	1.11%	0.77%	1.24%	W60	0.15%	0.04%	0.24%	0.11%
W19	0.85%	0.85%	1.60%	1.18%	W61	1.09%	0.19%	0.15%	0.91%
W20	0.16%	0.47%	0.69%	0.20%	W62	0.50%	0.03%	0.18%	0.28%
W21	0.08%	0.56%	0.84%	0.31%	W63	0.45%	0.10%	0.24%	0.23%
W22	0.04%	0.42%	0.52%	0.08%	W64	4.38%	6.19%	3.30%	4.40%
W23	0.04%	0.10%	0.16%	0.01%	W65	0.04%	0.14%	0.27%	0.07%
W24	0.44%	0.68%	1.08%	0.42%	W66	0.00%	0.04%	0.02%	0.01%
W25	0.45%	0.69%	0.96%	0.53%	W67	0.49%	0.87%	1.15%	0.59%
W26	0.20%	0.68%	0.68%	0.39%	W68	0.21%	0.37%	0.50%	0.23%
W27	0.15%	0.16%	0.26%	0.11%	W69	0.12%	0.48%	0.53%	0.13%
W28	0.35%	0.21%	0.07%	0.36%	W70	0.02%	0.23%	0.28%	0.04%
W29	0.39%	0.08%	0.12%	0.27%	W71	0.18%	0.48%	0.61%	0.20%
W30	0.61%	0.11%	0.04%	0.49%	W72	0.02%	0.22%	0.32%	0.07%
W31	0.10%	0.63%	0.65%	0.15%	W73	0.05%	0.30%	0.46%	0.14%
W32	0.13%	0.39%	0.42%	0.04%	W74	0.24%	0.36%	0.41%	0.22%
W33	0.03%	0.16%	0.44%	0.18%	W75	0.06%	0.09%	0.21%	0.09%
W34	0.16%	0.36%	0.63%	0.22%	W76	0.09%	0.32%	0.37%	0.08%
W35	0.39%	0.70%	0.78%	0.42%	W77	0.01%	0.16%	0.09%	0.03%
W36	0.33%	0.58%	0.88%	0.33%	W78	0.07%	0.03%	0.06%	0.02%
W37	0.10%	0.53%	0.69%	0.25%	W79	0.01%	0.01%	0.03%	0.00%
W38	0.72%	0.31%	0.47%	0.44%	W80	0.05%	0.45%	0.57%	0.17%
W39	0.03%	0.12%	0.14%	0.03%	W81	0.08%	0.24%	0.27%	0.07%
W40	0.02%	0.27%	0.31%	0.04%	W82	0.23%	0.31%	0.51%	0.21%
W41	0.92%	0.10%	0.03%	0.46%	W83	0.04%	0.05%	0.09%	0.04%
W42	0.01%	0.03%	0.04%	0.01%					

附表 F-2. 系統利用率 70%:工作站利用率估算絕對差異率

工作站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661	44449	68326	73627	36637
W01	0.53%	0.49%	0.23%	0.64%	0.30%	0.28%	0.17%	0.86%	0.23%	0.56%	0.20%	0.40%
W02	0.82%	0.72%	0.35%	0.99%	0.48%	0.44%	0.25%	1.31%	0.32%	0.83%	0.36%	0.64%
W03	0.03%	0.02%	0.03%	0.04%	0.03%	0.02%	0.02%	0.06%	0.01%	0.03%	0.02%	0.02%
W04	0.17%	0.16%	0.07%	0.16%	0.06%	0.07%	0.03%	0.21%	0.08%	0.14%	0.03%	0.08%
W05	0.77%	0.52%	0.73%	0.97%	0.53%	0.56%	0.57%	1.36%	0.22%	0.74%	0.50%	0.54%
W06	0.01%	0.02%	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%	0.02%	0.00%	0.01%
W07	0.90%	0.98%	0.40%	1.07%	0.58%	0.47%	0.28%	1.54%	0.45%	1.00%	0.22%	0.66%
W08	0.78%	0.45%	0.31%	0.96%	0.40%	0.41%	0.24%	1.12%	0.21%	0.75%	0.57%	0.60%
W09	1.86%	1.84%	1.21%	1.66%	1.53%	1.58%	1.39%	2.41%	1.69%	1.76%	0.86%	1.56%
W10	0.93%	0.68%	0.58%	0.78%	0.35%	0.52%	0.31%	1.17%	0.87%	0.74%	0.03%	0.59%
W11	0.69%	0.46%	0.70%	0.93%	0.71%	0.49%	0.50%	1.58%	0.08%	0.70%	0.43%	0.52%
W12	0.27%	0.20%	0.24%	0.63%	0.01%	0.02%	0.42%	1.33%	0.30%	0.19%	0.36%	0.02%
W13	0.62%	0.14%	0.07%	0.82%	0.11%	0.10%	0.17%	1.13%	0.19%	0.57%	0.33%	0.42%
W14	0.64%	0.26%	0.35%	0.83%	0.30%	0.28%	0.27%	1.05%	0.07%	0.49%	0.48%	0.43%
W15	0.73%	0.80%	0.20%	0.84%	0.58%	0.49%	0.34%	1.06%	0.23%	0.85%	0.43%	0.67%
W16	0.49%	0.73%	0.00%	0.70%	0.33%	0.15%	0.20%	0.77%	0.41%	0.73%	0.12%	0.44%
W17	0.41%	0.55%	0.12%	0.25%	0.44%	0.25%	0.30%	0.46%	0.39%	0.43%	0.10%	0.39%
W18	0.04%	0.41%	0.72%	0.18%	0.45%	0.40%	0.67%	0.51%	0.78%	0.18%	0.28%	0.09%
W19	1.08%	1.02%	1.05%	1.18%	1.15%	1.09%	1.34%	1.49%	0.99%	0.89%	0.96%	1.32%
W20	0.71%	0.66%	0.44%	0.77%	0.51%	0.48%	0.32%	1.16%	0.40%	0.70%	0.24%	0.53%
W21	1.33%	0.89%	0.68%	1.59%	0.78%	0.82%	0.50%	1.88%	0.47%	1.30%	0.97%	1.07%
W22	0.53%	0.74%	0.11%	0.69%	0.34%	0.21%	0.22%	0.86%	0.41%	0.71%	0.10%	0.45%
W23	0.14%	0.15%	0.06%	0.13%	0.05%	0.06%	0.05%	0.20%	0.13%	0.14%	0.01%	0.12%
W24	1.10%	0.97%	1.02%	1.48%	0.77%	0.80%	0.54%	2.13%	0.45%	1.10%	0.58%	0.71%
W25	0.93%	0.89%	0.97%	1.29%	0.70%	0.72%	0.27%	1.86%	0.47%	0.89%	0.37%	0.70%
W26	1.15%	0.94%	0.55%	0.98%	0.29%	0.42%	0.05%	1.37%	0.63%	0.85%	0.01%	0.43%
W27	0.20%	0.26%	0.22%	0.28%	0.10%	0.12%	0.00%	0.37%	0.14%	0.16%	0.04%	0.14%
W28	0.25%	0.13%	0.16%	0.44%	0.05%	0.06%	0.21%	0.95%	0.23%	0.22%	0.16%	0.01%
W29	0.41%	0.32%	0.03%	0.32%	0.05%	0.01%	0.26%	0.57%	0.21%	0.29%	0.38%	0.03%
W30	0.35%	0.66%	0.33%	0.54%	0.13%	0.10%	0.12%	0.72%	0.08%	0.61%	0.21%	0.24%
W31	0.76%	1.01%	0.21%	0.86%	0.48%	0.32%	0.23%	1.12%	0.59%	1.02%	0.17%	0.55%
W32	0.63%	0.86%	0.10%	0.69%	0.41%	0.37%	0.34%	0.88%	0.16%	0.79%	0.42%	0.53%
W33	0.46%	0.38%	0.23%	0.50%	0.43%	0.41%	0.41%	0.71%	0.17%	0.35%	0.28%	0.51%
W34	0.74%	0.50%	0.60%	0.89%	0.51%	0.50%	0.54%	1.12%	0.29%	0.61%	0.61%	0.60%
W35	0.88%	0.80%	0.47%	0.95%	0.40%	0.50%	0.33%	1.12%	0.74%	0.82%	0.11%	0.55%
W36	0.99%	0.62%	0.91%	1.19%	0.61%	0.62%	0.67%	1.67%	0.30%	0.97%	0.76%	0.73%
W37	0.94%	0.84%	0.45%	1.08%	0.60%	0.58%	0.34%	1.40%	0.41%	0.93%	0.47%	0.73%
W38	0.75%	1.34%	0.24%	1.26%	0.49%	0.06%	0.12%	1.55%	0.33%	1.30%	0.04%	0.67%
W39	0.22%	0.26%	0.07%	0.25%	0.02%	0.03%	0.04%	0.38%	0.13%	0.22%	0.08%	0.07%
W40	0.77%	0.63%	0.51%	0.97%	0.01%	0.29%	0.37%	1.43%	0.10%	0.58%	0.28%	0.23%
W41	0.55%	0.74%	0.23%	0.81%	0.18%	0.09%	0.24%	1.06%	0.20%	0.83%	0.06%	0.38%
W42	0.05%	0.05%	0.02%	0.05%	0.02%	0.02%	0.01%	0.07%	0.04%	0.05%	0.00%	0.03%

附表 F-2. 系統利用率 70%:工作站利用率估算絕對差異率(續)

工作 站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661	44449	68326	73627	36637
W43	0.10%	0.06%	0.09%	0.12%	0.07%	0.07%	0.07%	0.17%	0.03%	0.09%	0.06%	0.07%
W44	0.02%	0.01%	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%
W45	0.05%	0.03%	0.04%	0.06%	0.03%	0.03%	0.04%	0.09%	0.01%	0.04%	0.03%	0.04%
W46	0.52%	0.39%	0.36%	0.90%	0.16%	0.19%	0.53%	1.50%	0.40%	0.60%	0.35%	0.17%
W47	1.43%	0.99%	0.53%	1.62%	0.82%	0.92%	0.52%	1.96%	0.42%	1.27%	0.99%	1.21%
W48	0.65%	0.59%	0.51%	0.81%	0.20%	0.39%	0.03%	1.05%	0.29%	0.56%	0.08%	0.33%
W49	0.20%	0.06%	0.13%	0.35%	0.04%	0.08%	0.04%	0.51%	0.09%	0.21%	0.14%	0.11%
W50	0.53%	0.38%	0.34%	0.44%	0.19%	0.32%	0.18%	0.66%	0.50%	0.42%	0.02%	0.32%
W51	0.34%	0.29%	0.08%	0.41%	0.27%	0.20%	0.17%	0.66%	0.21%	0.26%	0.03%	0.34%
W52	0.50%	0.42%	0.16%	0.57%	0.30%	0.29%	0.16%	0.76%	0.17%	0.49%	0.24%	0.39%
W53	1.20%	1.07%	0.50%	1.28%	0.83%	0.78%	0.57%	1.61%	0.56%	1.17%	0.66%	1.04%
W54	1.07%	0.68%	0.27%	1.15%	0.55%	0.62%	0.24%	1.51%	0.14%	0.94%	0.67%	0.87%
W55	0.59%	0.43%	0.09%	0.76%	0.19%	0.21%	0.19%	0.97%	0.08%	0.70%	0.29%	0.44%
W56	0.17%	0.14%	0.07%	0.23%	0.07%	0.08%	0.02%	0.33%	0.07%	0.18%	0.05%	0.10%
W57	0.35%	0.28%	0.07%	0.40%	0.18%	0.16%	0.05%	0.57%	0.08%	0.34%	0.13%	0.25%
W58	0.55%	0.48%	0.04%	0.68%	0.20%	0.25%	0.09%	0.76%	0.06%	0.69%	0.36%	0.39%
W59	0.55%	0.39%	0.03%	0.72%	0.19%	0.24%	0.06%	0.86%	0.04%	0.58%	0.32%	0.43%
W60	0.55%	0.18%	0.23%	0.72%	0.24%	0.21%	0.22%	0.90%	0.02%	0.43%	0.41%	0.39%
W61	0.48%	0.81%	0.57%	0.73%	0.02%	0.12%	0.03%	1.04%	0.40%	0.58%	0.04%	0.27%
W62	0.99%	0.52%	0.04%	1.07%	0.40%	0.48%	0.04%	1.37%	0.02%	0.90%	0.52%	0.76%
W63	1.06%	0.58%	0.09%	1.14%	0.47%	0.54%	0.01%	1.47%	0.03%	1.00%	0.60%	0.81%
W64	4.44%	4.99%	3.55%	4.51%	4.20%	4.01%	3.23%	3.92%	3.41%	4.94%	3.56%	3.46%
W65	0.26%	0.31%	0.06%	0.27%	0.05%	0.08%	0.03%	0.45%	0.23%	0.29%	0.07%	0.22%
W66	0.04%	0.06%	0.01%	0.06%	0.02%	0.01%	0.01%	0.06%	0.02%	0.06%	0.03%	0.03%
W67	1.37%	1.23%	1.10%	1.64%	0.86%	0.82%	0.48%	2.35%	0.70%	1.26%	0.48%	0.81%
W68	0.51%	0.51%	0.37%	0.58%	0.17%	0.28%	0.09%	0.80%	0.35%	0.41%	0.06%	0.31%
W69	0.63%	0.76%	0.17%	0.74%	0.28%	0.27%	0.17%	0.93%	0.44%	0.75%	0.06%	0.42%
W70	0.29%	0.37%	0.08%	0.32%	0.25%	0.15%	0.20%	0.42%	0.25%	0.33%	0.10%	0.30%
W71	0.69%	0.73%	0.40%	0.84%	0.34%	0.35%	0.12%	1.17%	0.38%	0.75%	0.13%	0.42%
W72	0.33%	0.40%	0.10%	0.37%	0.34%	0.22%	0.29%	0.49%	0.23%	0.36%	0.16%	0.37%
W73	0.75%	0.48%	0.38%	0.90%	0.43%	0.45%	0.31%	1.09%	0.22%	0.70%	0.57%	0.61%
W74	0.53%	0.53%	0.49%	0.66%	0.28%	0.35%	0.01%	0.96%	0.18%	0.47%	0.10%	0.39%
W75	0.19%	0.13%	0.18%	0.23%	0.18%	0.14%	0.16%	0.34%	0.07%	0.17%	0.13%	0.16%
W76	0.57%	0.62%	0.17%	0.74%	0.40%	0.32%	0.15%	0.84%	0.15%	0.71%	0.38%	0.49%
W77	0.17%	0.24%	0.04%	0.26%	0.07%	0.04%	0.00%	0.26%	0.06%	0.25%	0.11%	0.12%
W78	0.18%	0.12%	0.03%	0.20%	0.09%	0.10%	0.03%	0.25%	0.02%	0.17%	0.11%	0.14%
W79	0.04%	0.04%	0.03%	0.06%	0.02%	0.02%	0.01%	0.09%	0.01%	0.04%	0.01%	0.02%
W80	0.74%	0.91%	0.23%	0.86%	0.54%	0.49%	0.39%	1.03%	0.22%	0.91%	0.49%	0.66%
W81	0.34%	0.34%	0.12%	0.38%	0.11%	0.16%	0.10%	0.48%	0.27%	0.35%	0.01%	0.20%
W82	0.59%	0.36%	0.55%	0.74%	0.37%	0.40%	0.47%	1.03%	0.13%	0.57%	0.43%	0.44%
W83	0.10%	0.07%	0.09%	0.12%	0.07%	0.07%	0.07%	0.17%	0.03%	0.09%	0.06%	0.07%

附表 F-2. 系統利用率 70%:工作站利用率估算絕對差異率(續)

工作站	43468	66166	61666	16666	工作站	43468	66166	61666	16666
W01	0.21%	0.44%	0.47%	0.62%	W43	0.02%	0.07%	0.09%	0.15%
W02	0.34%	0.66%	0.69%	0.93%	W44	0.00%	0.01%	0.01%	0.02%
W03	0.01%	0.02%	0.03%	0.05%	W45	0.01%	0.04%	0.04%	0.08%
W04	0.04%	0.11%	0.10%	0.14%	W46	0.43%	0.26%	0.34%	0.75%
W05	0.14%	0.59%	0.70%	1.24%	W47	0.71%	1.12%	1.01%	1.29%
W06	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	W48	0.15%	0.53%	0.42%	0.65%
W07	0.41%	0.75%	0.88%	1.17%	W49	0.12%	0.12%	0.18%	0.36%
W08	0.28%	0.60%	0.48%	0.67%	W50	0.19%	0.32%	0.46%	0.56%
W09	1.69%	1.85%	1.98%	2.05%	W51	0.32%	0.22%	0.30%	0.55%
W10	0.44%	0.54%	0.80%	1.07%	W52	0.27%	0.40%	0.41%	0.51%
W11	0.15%	0.55%	0.66%	1.29%	W53	0.86%	1.00%	1.06%	1.23%
W12	0.54%	0.24%	0.31%	0.93%	W54	0.46%	0.75%	0.68%	0.95%
W13	0.03%	0.38%	0.30%	0.49%	W55	0.20%	0.37%	0.29%	0.44%
W14	0.01%	0.45%	0.41%	0.81%	W56	0.02%	0.13%	0.12%	0.20%
W15	0.62%	0.62%	0.66%	0.80%	W57	0.14%	0.26%	0.27%	0.36%
W16	0.35%	0.49%	0.57%	0.54%	W58	0.22%	0.44%	0.26%	0.28%
W17	0.59%	0.48%	0.53%	0.50%	W59	0.22%	0.37%	0.33%	0.42%
W18	0.46%	0.23%	0.18%	0.04%	W60	0.01%	0.39%	0.38%	0.69%
W19	1.33%	1.01%	1.50%	1.75%	W61	0.36%	0.31%	0.33%	0.69%
W20	0.37%	0.61%	0.73%	0.97%	W62	0.44%	0.67%	0.47%	0.71%
W21	0.55%	1.05%	0.90%	1.30%	W63	0.48%	0.73%	0.51%	0.80%
W22	0.36%	0.49%	0.59%	0.63%	W64	2.59%	4.39%	2.30%	2.88%
W23	0.10%	0.10%	0.17%	0.19%	W65	0.14%	0.18%	0.30%	0.38%
W24	0.14%	0.85%	1.01%	1.75%	W66	0.01%	0.03%	0.02%	0.03%
W25	0.15%	0.84%	0.97%	1.57%	W67	0.19%	1.05%	1.17%	1.80%
W26	0.07%	0.68%	0.55%	0.82%	W68	0.04%	0.38%	0.52%	0.65%
W27	0.09%	0.14%	0.28%	0.43%	W69	0.27%	0.49%	0.50%	0.51%
W28	0.31%	0.10%	0.24%	0.67%	W70	0.32%	0.27%	0.38%	0.40%
W29	0.09%	0.19%	0.17%	0.38%	W71	0.11%	0.53%	0.59%	0.80%
W30	0.20%	0.32%	0.46%	0.41%	W72	0.43%	0.33%	0.44%	0.50%
W31	0.42%	0.64%	0.73%	0.72%	W73	0.28%	0.57%	0.53%	0.76%
W32	0.61%	0.54%	0.55%	0.72%	W74	0.07%	0.46%	0.51%	0.66%
W33	0.51%	0.38%	0.59%	0.71%	W75	0.10%	0.15%	0.20%	0.32%
W34	0.24%	0.55%	0.73%	0.98%	W76	0.37%	0.42%	0.45%	0.59%
W35	0.39%	0.69%	0.72%	0.76%	W77	0.04%	0.11%	0.11%	0.10%
W36	0.23%	0.75%	0.92%	1.39%	W78	0.09%	0.13%	0.11%	0.16%
W37	0.47%	0.77%	0.78%	1.03%	W79	0.00%	0.03%	0.04%	0.07%
W38	0.65%	0.71%	0.95%	0.99%	W80	0.71%	0.69%	0.69%	0.83%
W39	0.07%	0.15%	0.14%	0.21%	W81	0.13%	0.25%	0.28%	0.28%
W40	0.64%	0.49%	0.47%	0.84%	W82	0.15%	0.45%	0.55%	0.89%
W41	0.23%	0.16%	0.39%	0.55%	W83	0.02%	0.07%	0.09%	0.16%
W42	0.02%	0.04%	0.04%	0.04%					

附表 F-3. 系統利用率 50%:工作站利用率估算絕對差異率

工作站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661	44449	68326	73627	36637
W01	0.15%	0.37%	0.27%	0.17%	0.47%	0.34%	0.04%	0.28%	0.49%	0.24%	0.35%	0.45%
W02	0.19%	0.56%	0.37%	0.23%	0.71%	0.50%	0.05%	0.42%	0.74%	0.36%	0.52%	0.62%
W03	0.01%	0.03%	0.01%	0.01%	0.03%	0.02%	0.00%	0.01%	0.03%	0.03%	0.02%	0.03%
W04	0.08%	0.09%	0.11%	0.07%	0.11%	0.09%	0.03%	0.07%	0.12%	0.08%	0.09%	0.15%
W05	0.24%	0.76%	0.26%	0.21%	0.63%	0.44%	0.04%	0.32%	0.75%	0.39%	0.57%	0.68%
W06	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%
W07	0.38%	0.64%	0.60%	0.36%	0.87%	0.59%	0.20%	0.50%	0.91%	0.50%	0.58%	0.98%
W08	0.00%	0.50%	0.14%	0.07%	0.59%	0.42%	0.09%	0.33%	0.59%	0.23%	0.52%	0.26%
W09	0.88%	1.28%	1.46%	0.96%	1.39%	1.38%	1.13%	1.28%	1.55%	0.95%	1.15%	1.75%
W10	0.34%	0.66%	0.90%	0.47%	0.33%	0.80%	0.52%	0.53%	0.86%	0.46%	0.47%	1.29%
W11	0.30%	0.82%	0.04%	0.17%	0.89%	0.61%	0.01%	0.30%	0.86%	0.61%	0.56%	0.80%
W12	0.02%	0.81%	0.09%	0.01%	0.49%	0.19%	0.38%	0.03%	0.48%	0.50%	0.08%	0.69%
W13	0.41%	0.32%	0.07%	0.34%	0.50%	0.24%	0.42%	0.15%	0.52%	0.07%	0.41%	0.05%
W14	0.10%	0.44%	0.12%	0.04%	0.54%	0.40%	0.29%	0.20%	0.55%	0.10%	0.45%	0.17%
W15	0.28%	0.24%	0.43%	0.10%	0.72%	0.33%	0.13%	0.44%	0.60%	0.31%	0.61%	0.34%
W16	0.30%	0.38%	0.56%	0.41%	0.53%	0.39%	0.20%	0.35%	0.42%	0.26%	0.35%	0.64%
W17	0.19%	0.17%	0.21%	0.07%	0.40%	0.25%	0.27%	0.25%	0.64%	0.08%	0.17%	0.33%
W18	0.74%	0.24%	0.45%	0.72%	0.09%	0.13%	0.85%	0.26%	0.15%	0.55%	0.03%	0.39%
W19	0.53%	0.61%	0.84%	0.49%	0.98%	0.78%	0.77%	0.92%	1.09%	0.53%	0.98%	0.75%
W20	0.31%	0.58%	0.43%	0.25%	0.62%	0.50%	0.20%	0.40%	0.75%	0.41%	0.43%	0.77%
W21	0.09%	0.95%	0.23%	0.30%	1.05%	0.72%	0.02%	0.62%	0.99%	0.53%	0.93%	0.56%
W22	0.27%	0.32%	0.52%	0.35%	0.54%	0.38%	0.19%	0.36%	0.49%	0.25%	0.38%	0.62%
W23	0.04%	0.10%	0.17%	0.10%	0.10%	0.13%	0.09%	0.09%	0.13%	0.06%	0.08%	0.23%
W24	0.52%	1.28%	0.40%	0.49%	1.10%	0.88%	0.17%	0.51%	1.15%	0.97%	0.76%	1.25%
W25	0.52%	1.24%	0.49%	0.55%	0.92%	0.64%	0.23%	0.49%	0.96%	1.02%	0.46%	1.15%
W26	0.50%	0.65%	0.70%	0.59%	0.55%	0.61%	0.23%	0.42%	0.75%	0.55%	0.51%	1.11%
W27	0.13%	0.23%	0.21%	0.10%	0.20%	0.21%	0.08%	0.10%	0.39%	0.21%	0.20%	0.43%
W28	0.05%	0.57%	0.08%	0.04%	0.39%	0.23%	0.25%	0.08%	0.36%	0.35%	0.01%	0.49%
W29	0.08%	0.23%	0.27%	0.12%	0.12%	0.18%	0.01%	0.11%	0.35%	0.13%	0.08%	0.62%
W30	0.01%	0.16%	0.40%	0.13%	0.48%	0.24%	0.09%	0.19%	0.36%	0.01%	0.24%	0.51%
W31	0.34%	0.45%	0.62%	0.48%	0.63%	0.50%	0.24%	0.47%	0.67%	0.33%	0.38%	0.83%
W32	0.27%	0.18%	0.50%	0.14%	0.65%	0.40%	0.08%	0.33%	0.51%	0.20%	0.52%	0.41%
W33	0.15%	0.17%	0.31%	0.12%	0.45%	0.28%	0.18%	0.40%	0.44%	0.13%	0.39%	0.25%
W34	0.12%	0.49%	0.07%	0.16%	0.59%	0.54%	0.10%	0.42%	0.63%	0.23%	0.55%	0.34%
W35	0.38%	0.64%	0.72%	0.56%	0.47%	0.59%	0.40%	0.49%	0.58%	0.46%	0.44%	0.96%
W36	0.25%	0.78%	0.18%	0.22%	0.86%	0.63%	0.06%	0.33%	0.89%	0.36%	0.74%	0.67%
W37	0.29%	0.65%	0.48%	0.29%	0.77%	0.56%	0.15%	0.49%	0.79%	0.47%	0.60%	0.70%
W38	0.38%	0.26%	0.85%	0.44%	1.11%	0.52%	0.10%	0.52%	0.81%	0.19%	0.55%	0.93%
W39	0.09%	0.17%	0.18%	0.12%	0.14%	0.14%	0.02%	0.11%	0.19%	0.13%	0.12%	0.30%
W40	0.39%	0.80%	0.31%	0.24%	0.60%	0.38%	0.08%	0.21%	0.75%	0.67%	0.27%	1.03%
W41	0.17%	0.06%	0.25%	0.04%	0.69%	0.16%	0.28%	0.22%	0.39%	0.05%	0.36%	0.27%
W42	0.02%	0.04%	0.04%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.06%

附表 F-3. 系統利用率 50%:工作站利用率估算絕對差異率(續)

工作 站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661	44449	68326	73627	36637
W43	0.03%	0.10%	0.03%	0.02%	0.08%	0.06%	0.00%	0.04%	0.09%	0.05%	0.07%	0.08%
W44	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%
W45	0.02%	0.05%	0.01%	0.01%	0.04%	0.03%	0.00%	0.02%	0.05%	0.02%	0.04%	0.04%
W46	0.29%	0.35%	0.03%	0.24%	0.65%	0.24%	0.64%	0.07%	0.67%	0.03%	0.31%	0.51%
W47	0.14%	0.77%	0.40%	0.24%	1.07%	0.80%	0.05%	0.70%	1.05%	0.46%	0.99%	0.51%
W48	0.41%	0.66%	0.33%	0.31%	0.51%	0.35%	0.10%	0.28%	0.51%	0.57%	0.34%	0.67%
W49	0.08%	0.16%	0.13%	0.05%	0.23%	0.15%	0.25%	0.01%	0.19%	0.00%	0.17%	0.11%
W50	0.20%	0.39%	0.50%	0.27%	0.18%	0.47%	0.29%	0.30%	0.48%	0.28%	0.28%	0.72%
W51	0.00%	0.03%	0.15%	0.00%	0.40%	0.18%	0.10%	0.34%	0.29%	0.00%	0.27%	0.07%
W52	0.07%	0.30%	0.20%	0.07%	0.41%	0.28%	0.01%	0.25%	0.43%	0.17%	0.32%	0.30%
W53	0.35%	0.64%	0.51%	0.33%	1.04%	0.68%	0.22%	0.70%	0.98%	0.47%	0.81%	0.73%
W54	0.05%	0.47%	0.23%	0.01%	0.81%	0.53%	0.19%	0.45%	0.77%	0.23%	0.71%	0.29%
W55	0.08%	0.18%	0.17%	0.13%	0.56%	0.20%	0.23%	0.12%	0.43%	0.07%	0.37%	0.16%
W56	0.00%	0.17%	0.09%	0.07%	0.14%	0.11%	0.00%	0.07%	0.15%	0.11%	0.09%	0.17%
W57	0.01%	0.20%	0.12%	0.02%	0.29%	0.19%	0.04%	0.16%	0.32%	0.09%	0.21%	0.20%
W58	0.03%	0.31%	0.18%	0.03%	0.43%	0.23%	0.12%	0.16%	0.37%	0.16%	0.35%	0.21%
W59	0.08%	0.28%	0.11%	0.10%	0.46%	0.22%	0.19%	0.21%	0.43%	0.05%	0.39%	0.16%
W60	0.11%	0.34%	0.13%	0.02%	0.45%	0.34%	0.27%	0.17%	0.45%	0.09%	0.39%	0.08%
W61	0.04%	0.09%	0.31%	0.31%	0.77%	0.25%	0.40%	0.22%	0.49%	0.14%	0.47%	0.26%
W62	0.14%	0.37%	0.20%	0.13%	0.78%	0.34%	0.24%	0.27%	0.67%	0.12%	0.63%	0.20%
W63	0.11%	0.45%	0.22%	0.09%	0.85%	0.36%	0.23%	0.32%	0.70%	0.20%	0.68%	0.23%
W64	3.77%	3.70%	2.20%	4.11%	2.49%	2.80%	2.41%	3.48%	1.83%	4.17%	2.37%	2.58%
W65	0.05%	0.19%	0.37%	0.20%	0.19%	0.25%	0.15%	0.19%	0.25%	0.11%	0.17%	0.49%
W66	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.04%	0.02%	0.00%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%
W67	0.65%	1.33%	0.71%	0.65%	1.09%	0.91%	0.29%	0.64%	1.25%	1.07%	0.72%	1.50%
W68	0.27%	0.44%	0.43%	0.27%	0.34%	0.38%	0.18%	0.28%	0.61%	0.37%	0.30%	0.72%
W69	0.27%	0.43%	0.51%	0.42%	0.44%	0.44%	0.20%	0.38%	0.44%	0.32%	0.32%	0.69%
W70	0.11%	0.16%	0.30%	0.13%	0.30%	0.23%	0.15%	0.21%	0.32%	0.08%	0.20%	0.32%
W71	0.34%	0.57%	0.45%	0.39%	0.57%	0.47%	0.15%	0.36%	0.62%	0.48%	0.38%	0.83%
W72	0.12%	0.13%	0.29%	0.08%	0.38%	0.22%	0.15%	0.24%	0.37%	0.09%	0.28%	0.25%
W73	0.06%	0.49%	0.13%	0.14%	0.59%	0.43%	0.08%	0.34%	0.57%	0.24%	0.52%	0.30%
W74	0.33%	0.58%	0.31%	0.28%	0.43%	0.32%	0.12%	0.29%	0.57%	0.50%	0.23%	0.67%
W75	0.07%	0.18%	0.04%	0.06%	0.18%	0.15%	0.04%	0.12%	0.21%	0.13%	0.15%	0.17%
W76	0.25%	0.23%	0.26%	0.16%	0.57%	0.25%	0.04%	0.29%	0.41%	0.25%	0.43%	0.30%
W77	0.13%	0.08%	0.09%	0.09%	0.19%	0.09%	0.01%	0.08%	0.10%	0.08%	0.10%	0.14%
W78	0.00%	0.07%	0.04%	0.00%	0.15%	0.08%	0.03%	0.07%	0.13%	0.04%	0.12%	0.05%
W79	0.02%	0.05%	0.01%	0.01%	0.04%	0.03%	0.00%	0.02%	0.04%	0.03%	0.02%	0.05%
W80	0.31%	0.24%	0.48%	0.21%	0.78%	0.42%	0.09%	0.46%	0.56%	0.29%	0.59%	0.40%
W81	0.11%	0.25%	0.29%	0.23%	0.20%	0.25%	0.15%	0.20%	0.24%	0.17%	0.15%	0.39%
W82	0.15%	0.52%	0.16%	0.11%	0.50%	0.35%	0.00%	0.24%	0.54%	0.25%	0.45%	0.44%
W83	0.03%	0.09%	0.03%	0.03%	0.08%	0.05%	0.01%	0.04%	0.09%	0.05%	0.07%	0.09%

附表 F-3. 系統利用率 50%:工作站利用率估算絕對差異率(續)

工作站	43468	66166	61666	16666	工作站	43468	66166	61666	16666
W01	0.11%	0.10%	0.54%	0.42%	W43	0.02%	0.07%	0.09%	0.08%
W02	0.20%	0.17%	0.77%	0.58%	W44	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%
W03	0.01%	0.02%	0.03%	0.03%	W45	0.01%	0.03%	0.04%	0.04%
W04	0.03%	0.02%	0.15%	0.11%	W46	0.39%	0.40%	0.77%	0.40%
W05	0.17%	0.52%	0.67%	0.61%	W47	0.50%	0.22%	0.84%	0.57%
W06	0.00%	0.00%	0.02%	0.02%	W48	0.05%	0.45%	0.54%	0.52%
W07	0.15%	0.20%	1.10%	0.88%	W49	0.06%	0.04%	0.17%	0.17%
W08	0.29%	0.12%	0.42%	0.24%	W50	0.05%	0.03%	0.74%	0.68%
W09	0.92%	0.74%	2.03%	1.85%	W51	0.12%	0.02%	0.38%	0.38%
W10	0.09%	0.04%	1.32%	1.18%	W52	0.15%	0.04%	0.41%	0.28%
W11	0.15%	0.56%	0.77%	0.72%	W53	0.44%	0.24%	1.07%	0.76%
W12	0.20%	0.39%	0.49%	0.45%	W54	0.29%	0.04%	0.64%	0.32%
W13	0.17%	0.24%	0.35%	0.06%	W55	0.22%	0.33%	0.34%	0.00%
W14	0.09%	0.22%	0.44%	0.42%	W56	0.03%	0.06%	0.14%	0.11%
W15	0.37%	0.04%	0.67%	0.43%	W57	0.06%	0.02%	0.30%	0.19%
W16	0.10%	0.00%	0.64%	0.50%	W58	0.31%	0.08%	0.23%	0.04%
W17	0.11%	0.04%	0.56%	0.40%	W59	0.22%	0.14%	0.31%	0.03%
W18	0.33%	0.68%	0.01%	0.32%	W60	0.08%	0.16%	0.34%	0.33%
W19	0.71%	0.57%	1.25%	1.23%	W61	0.12%	0.64%	0.65%	0.30%
W20	0.18%	0.22%	0.85%	0.71%	W62	0.31%	0.28%	0.46%	0.03%
W21	0.52%	0.40%	0.73%	0.53%	W63	0.35%	0.22%	0.48%	0.07%
W22	0.13%	0.03%	0.72%	0.55%	W64	1.58%	3.92%	1.57%	2.49%
W23	0.01%	0.02%	0.25%	0.20%	W65	0.05%	0.00%	0.53%	0.41%
W24	0.26%	0.87%	1.15%	1.06%	W66	0.02%	0.01%	0.03%	0.01%
W25	0.32%	0.83%	0.96%	0.98%	W67	0.26%	0.85%	1.33%	1.20%
W26	0.08%	0.25%	1.10%	0.81%	W68	0.02%	0.19%	0.70%	0.61%
W27	0.01%	0.13%	0.34%	0.33%	W69	0.09%	0.07%	0.66%	0.55%
W28	0.12%	0.28%	0.33%	0.34%	W70	0.06%	0.00%	0.46%	0.35%
W29	0.23%	0.21%	0.60%	0.45%	W71	0.10%	0.25%	0.75%	0.64%
W30	0.13%	0.37%	0.69%	0.46%	W72	0.12%	0.01%	0.48%	0.37%
W31	0.14%	0.06%	0.88%	0.70%	W73	0.26%	0.20%	0.47%	0.34%
W32	0.39%	0.10%	0.59%	0.42%	W74	0.07%	0.32%	0.58%	0.52%
W33	0.14%	0.14%	0.55%	0.53%	W75	0.05%	0.14%	0.20%	0.19%
W34	0.17%	0.32%	0.66%	0.65%	W76	0.25%	0.02%	0.45%	0.28%
W35	0.11%	0.24%	0.90%	0.79%	W77	0.08%	0.04%	0.11%	0.05%
W36	0.21%	0.55%	0.84%	0.73%	W78	0.06%	0.02%	0.10%	0.04%
W37	0.31%	0.25%	0.82%	0.63%	W79	0.01%	0.02%	0.04%	0.04%
W38	0.08%	0.41%	1.33%	0.95%	W80	0.42%	0.01%	0.64%	0.48%
W39	0.08%	0.04%	0.27%	0.21%	W81	0.01%	0.05%	0.40%	0.34%
W40	0.32%	0.42%	0.77%	0.72%	W82	0.14%	0.34%	0.53%	0.43%
W41	0.08%	0.47%	0.53%	0.23%	W83	0.02%	0.07%	0.08%	0.08%
W42	0.00%	0.01%	0.06%	0.05%					

附錄G. 二等級產品別之週期時間估算絕對差異率

附表 G-1. 二等級系統利用率 90%: 週期時間估算絕對差異率

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
95551	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	840,776	796,848	926,494	796,848	5.2%	-10.2%	5.2%
Prod_A (N)	1,002,015	1,027,621	835,825	796,271	-2.6%	16.6%	20.5%
Prod_B (N)	1,128,791	1,114,936	907,769	865,829	1.2%	19.6%	23.3%
Prod_C (N)	1,007,410	1,038,008	822,790	777,369	-3.0%	18.3%	22.8%
Prod_D (N)	1,181,396	1,185,193	945,145	896,666	-0.3%	20.0%	24.1%
加權平均絕對差異率					2.0%	18.0%	21.6%
59551	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	833,074	796,342	923,222	796,342	4.4%	-10.8%	4.4%
Prod_A (N)	1,010,202	1,029,418	834,413	798,068	-1.9%	17.4%	21.0%
Prod_B (N)	1,083,017	1,118,930	907,112	869,823	-3.3%	16.2%	19.7%
Prod_C (N)	992,544	1,035,920	819,815	775,280	-4.4%	17.4%	21.9%
Prod_D (N)	1,164,007	1,182,698	941,771	894,172	-1.6%	19.1%	23.2%
加權平均絕對差異率					2.9%	17.1%	20.5%
55951	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	833,383	798,109	933,036	798,109	4.2%	-12.0%	4.2%
Prod_A (N)	1,020,495	1,019,750	837,533	790,356	0.1%	17.9%	22.6%
Prod_B (N)	1,074,354	1,104,070	908,584	856,919	-2.8%	15.4%	20.2%
Prod_C (N)	1,003,872	1,041,870	828,647	782,194	-3.8%	17.5%	22.1%
Prod_D (N)	1,170,658	1,189,785	951,843	902,363	-1.6%	18.7%	22.9%
加權平均絕對差異率					2.4%	17.2%	21.3%
86641	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	839,436	796,659	924,860	796,659	5.1%	-10.2%	5.1%
Prod_A (N)	987,933	1,028,974	835,046	797,608	-4.2%	15.5%	19.3%
Prod_B (N)	1,069,876	1,117,000	907,122	867,877	-4.4%	15.2%	18.9%
Prod_C (N)	987,116	1,038,124	821,534	777,426	-5.2%	16.8%	21.2%
Prod_D (N)	1,148,259	1,184,728	943,382	896,111	-3.2%	17.8%	22.0%
加權平均絕對差異率					4.3%	15.9%	19.5%
94471	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	835,827	797,194	927,401	797,194	4.6%	-11.0%	4.6%
Prod_A (N)	976,695	1,020,426	834,204	789,560	-4.5%	14.6%	19.2%
Prod_B (N)	1,052,699	1,105,757	905,437	857,135	-5.0%	14.0%	18.6%
Prod_C (N)	987,478	1,035,572	823,071	775,261	-4.9%	16.6%	21.5%
Prod_D (N)	1,171,715	1,183,644	946,331	895,538	-1.0%	19.2%	23.6%
加權平均絕對差異率					3.7%	16.0%	20.1%
49571	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	832,739	796,988	930,477	796,988	4.3%	-11.7%	4.3%
Prod_A (N)	1,057,049	1,029,964	839,232	796,937	2.6%	20.6%	24.6%
Prod_B (N)	1,060,001	1,118,342	912,158	867,558	-5.5%	13.9%	18.2%
Prod_C (N)	992,024	1,040,517	825,940	778,046	-4.9%	16.7%	21.6%
Prod_D (N)	1,169,161	1,189,141	949,342	898,874	-1.7%	18.8%	23.1%
加權平均絕對差異率					3.8%	16.7%	20.6%

附表 G-1. 二等級系統利用率 90%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

44791	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	833,789	798,540	930,416	798,540	4.2%	-11.6%	4.2%
Prod_A (N)	1,008,407	1,009,063	832,136	780,816	-0.1%	17.5%	22.6%
Prod_B (N)	1,083,839	1,091,196	901,973	845,192	-0.7%	16.8%	22.0%
Prod_C (N)	1,012,097	1,037,383	825,633	778,309	-2.5%	18.4%	23.1%
Prod_D (N)	1,163,304	1,185,611	949,498	898,889	-1.9%	18.4%	22.7%
加權平均絕對差異率					1.7%	17.7%	22.0%
66661	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	835,506	796,834	921,361	796,834	4.6%	-10.3%	4.6%
Prod_A (N)	989,493	1,015,178	828,222	784,774	-2.6%	16.3%	20.7%
Prod_B (N)	1,085,845	1,100,251	898,882	852,090	-1.3%	17.2%	21.5%
Prod_C (N)	987,290	1,031,987	817,801	771,861	-4.5%	17.2%	21.8%
Prod_D (N)	1,169,913	1,178,698	940,059	890,784	-0.8%	19.6%	23.9%
加權平均絕對差異率					2.4%	17.3%	21.3%

附表 G-2. 二等級系統利用率 70%: 週期時間估算絕對差異率

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
95551	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	827,550	782,492	842,903	782,492	5.4%	-1.9%	5.4%
Prod_A (N)	904,039	946,459	772,435	712,229	-4.7%	14.6%	21.2%
Prod_B (N)	1,030,266	1,023,323	837,725	771,337	0.7%	18.7%	25.1%
Prod_C (N)	923,002	970,655	761,033	706,535	-5.2%	17.5%	23.5%
Prod_D (N)	1,065,918	1,106,719	876,198	814,712	-3.8%	17.8%	23.6%
加權平均絕對差異率					3.8%	16.1%	22.3%
59551	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	820,043	783,004	845,351	783,004	4.5%	-3.1%	4.5%
Prod_A (N)	923,499	949,784	778,467	715,553	-2.8%	15.7%	22.5%
Prod_B (N)	990,013	1,027,746	845,481	775,759	-3.8%	14.6%	21.6%
Prod_C (N)	920,713	972,202	764,376	708,083	-5.6%	17.0%	23.1%
Prod_D (N)	1,067,313	1,108,364	879,797	816,357	-3.8%	17.6%	23.5%
加權平均絕對差異率					4.0%	15.4%	21.8%
55951	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	824,910	783,973	848,685	783,973	5.0%	-2.9%	5.0%
Prod_A (N)	931,258	943,400	773,273	711,125	-1.3%	17.0%	23.6%
Prod_B (N)	1,014,588	1,019,352	837,361	769,321	-0.5%	17.5%	24.2%
Prod_C (N)	922,613	972,660	767,846	709,504	-5.4%	16.8%	23.1%
Prod_D (N)	1,083,509	1,108,922	883,897	818,020	-2.3%	18.4%	24.5%
加權平均絕對差異率					3.0%	16.7%	23.0%
86641	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	826,731	783,000	845,342	783,000	5.3%	-2.3%	5.3%
Prod_A (N)	917,737	948,942	777,196	714,695	-3.4%	15.3%	22.1%
Prod_B (N)	990,460	1,026,322	843,341	774,319	-3.6%	14.9%	21.8%
Prod_C (N)	929,848	972,365	764,546	708,187	-4.6%	17.8%	23.8%
Prod_D (N)	1,060,117	1,108,387	879,705	816,289	-4.6%	17.0%	23.0%
加權平均絕對差異率					4.0%	15.5%	21.9%
94471	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	824,700	783,523	847,657	783,523	5.0%	-2.8%	5.0%
Prod_A (N)	912,528	946,494	775,533	712,749	-3.7%	15.0%	21.9%
Prod_B (N)	1,076,308	1,023,010	840,514	771,508	5.0%	21.9%	28.3%
Prod_C (N)	916,742	972,075	765,943	708,284	-6.0%	16.4%	22.7%
Prod_D (N)	1,071,169	1,108,837	882,597	817,250	-3.5%	17.6%	23.7%
加權平均絕對差異率					4.3%	16.6%	22.9%
49571	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	822,535	783,203	846,060	783,203	4.8%	-2.9%	4.8%
Prod_A (N)	1,002,667	947,384	776,050	713,638	5.5%	22.6%	28.8%
Prod_B (N)	969,253	1,024,775	842,268	773,272	-5.7%	13.1%	20.2%
Prod_C (N)	939,652	971,522	764,282	707,731	-3.4%	18.7%	24.7%
Prod_D (N)	1,061,294	1,108,085	880,524	816,498	-4.4%	17.0%	23.1%
加權平均絕對差異率					4.9%	16.2%	22.5%

附表 G-2. 二等級系統利用率 70%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

44791	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	826,501	784,221	851,132	784,221	5.1%	-3.0%	5.1%
Prod_A (N)	995,268	939,599	770,958	708,472	5.6%	22.5%	28.8%
Prod_B (N)	1,052,088	1,014,781	834,003	765,897	3.5%	20.7%	27.2%
Prod_C (N)	948,538	971,859	769,175	709,305	-2.5%	18.9%	25.2%
Prod_D (N)	1,089,744	1,108,538	886,613	818,337	-1.7%	18.6%	24.9%
加權平均絕對差異率					3.0%	19.0%	25.2%
66661	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	824,348	782,947	844,474	782,947	5.0%	-2.4%	5.0%
Prod_A (N)	926,382	943,990	770,847	710,705	-1.9%	16.8%	23.3%
Prod_B (N)	1,002,782	1,020,378	835,471	769,337	-1.8%	16.7%	23.3%
Prod_C (N)	922,290	970,594	762,381	706,988	-5.2%	17.3%	23.3%
Prod_D (N)	1,084,503	1,106,853	878,116	815,459	-2.1%	19.0%	24.8%
加權平均絕對差異率					2.8%	16.9%	22.9%

附表 G-3. 二等級系統利用率 50%: 週期時間估算絕對差異率

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

產品組合	模擬結果	估計值			估計差異率		
95551	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	824,467	774,425	806,199	774,425	6.1%	2.2%	6.1%
Prod_A (N)	892,997	922,248	720,956	689,414	-3.3%	19.3%	22.8%
Prod_B (N)	993,706	995,882	780,030	745,290	-0.2%	21.5%	25.0%
Prod_C (N)	887,645	953,283	717,826	689,294	-7.4%	19.1%	22.3%
Prod_D (N)	1,051,405	1,087,583	828,221	795,862	-3.4%	21.2%	24.3%
加權平均絕對差異率					3.6%	19.4%	22.8%
59551	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	820,756	773,611	805,986	773,611	5.7%	1.8%	5.7%
Prod_A (N)	977,596	924,965	722,631	690,135	5.4%	26.1%	29.4%
Prod_B (N)	974,047	999,103	782,456	746,515	-2.6%	19.7%	23.4%
Prod_C (N)	908,431	953,157	717,532	688,437	-4.9%	21.0%	24.2%
Prod_D (N)	1,038,540	1,087,196	827,554	794,589	-4.7%	20.3%	23.5%
加權平均絕對差異率					4.2%	20.6%	24.1%
55951	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	818,341	774,085	806,715	774,085	5.4%	1.4%	5.4%
Prod_A (N)	931,695	921,348	719,683	688,474	1.1%	22.8%	26.1%
Prod_B (N)	998,373	994,783	778,290	744,152	0.4%	22.0%	25.5%
Prod_C (N)	911,261	952,773	718,290	689,017	-4.6%	21.2%	24.4%
Prod_D (N)	1,047,583	1,086,749	828,483	795,247	-3.7%	20.9%	24.1%
加權平均絕對差異率					2.9%	20.8%	24.1%
86641	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	817,860	773,672	805,673	773,672	5.4%	1.5%	5.4%
Prod_A (N)	896,217	924,866	721,958	690,019	-3.2%	19.4%	23.0%
Prod_B (N)	973,107	998,829	781,447	746,225	-2.6%	19.7%	23.3%
Prod_C (N)	895,859	953,382	717,391	688,604	-6.4%	19.9%	23.1%
Prod_D (N)	1,042,926	1,087,391	827,268	794,693	-4.3%	20.7%	23.8%
加權平均絕對差異率					4.1%	19.1%	22.5%
94471	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	831,989	773,795	806,139	773,795	7.0%	3.1%	7.0%
Prod_A (N)	910,936	923,382	720,597	689,036	-1.4%	20.9%	24.4%
Prod_B (N)	1,119,281	997,005	779,553	744,902	10.9%	30.4%	33.4%
Prod_C (N)	907,708	952,804	717,355	688,413	-5.0%	21.0%	24.2%
Prod_D (N)	1,082,227	1,087,024	827,806	794,837	-0.4%	23.5%	26.6%
加權平均絕對差異率					3.4%	22.4%	25.7%
49571	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	826,377	773,724	805,755	773,724	6.4%	2.5%	6.4%
Prod_A (N)	984,130	923,846	721,167	689,499	6.1%	26.7%	29.9%
Prod_B (N)	983,435	997,797	780,638	745,693	-1.5%	20.6%	24.2%
Prod_C (N)	887,681	952,750	717,045	688,358	-7.3%	19.2%	22.5%
Prod_D (N)	1,024,404	1,086,910	827,366	794,723	-6.1%	19.2%	22.4%
加權平均絕對差異率					4.6%	20.3%	23.6%

附表 G-3. 二等級系統利用率 50%: 週期時間估算絕對差異率(續)

時間單位: 秒

估計差異率=(模擬值-估計值)/(模擬值)

44791	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	820,765	774,310	808,022	774,310	5.7%	1.6%	5.7%
Prod_A (N)	987,202	919,337	718,943	687,609	6.9%	27.2%	30.3%
Prod_B (N)	1,072,987	992,495	777,126	743,011	7.5%	27.6%	30.8%
Prod_C (N)	893,350	952,309	719,192	689,154	-6.6%	19.5%	22.9%
Prod_D (N)	1,030,326	1,086,426	830,024	795,624	-5.4%	19.4%	22.8%
加權平均絕對差異率					6.3%	21.3%	24.6%
66661	Simulation	BBCT	Conway	Queuing	BBCT	Conway	Queuing
Prod_E (Hot)	825,039	773,837	806,101	773,837	6.2%	2.3%	6.2%
Prod_A (N)	925,673	922,861	720,407	688,977	0.3%	22.2%	25.6%
Prod_B (N)	1,050,141	996,526	779,410	744,885	5.1%	25.8%	29.1%
Prod_C (N)	902,333	952,773	717,484	688,567	-5.6%	20.5%	23.7%
Prod_D (N)	1,044,283	1,086,860	827,739	794,867	-4.1%	20.7%	23.9%
加權平均絕對差異率					3.9%	21.5%	24.8%

附錄H. 二等級工作站利用率估算差異絕對值

附表 H-1. 系統利用率 90%: 工作站利用率估算差異絕對值

工作站	95551	59551	55951	86641	94471	49471	44791	66661
W01	0.67%	0.90%	0.53%	0.70%	0.95%	0.68%	0.55%	0.80%
W02	0.94%	1.34%	0.79%	1.03%	1.43%	1.03%	0.85%	1.18%
W03	0.03%	0.05%	0.03%	0.04%	0.06%	0.05%	0.03%	0.05%
W04	0.13%	0.22%	0.16%	0.19%	0.25%	0.17%	0.12%	0.22%
W05	0.95%	1.34%	0.71%	1.08%	1.41%	1.01%	0.87%	1.10%
W06	0.01%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.03%
W07	1.92%	1.71%	1.08%	1.31%	1.78%	1.30%	1.01%	1.58%
W08	0.47%	1.17%	0.60%	0.92%	1.31%	0.89%	0.79%	0.99%
W09	3.51%	2.81%	2.22%	2.22%	2.85%	2.50%	2.13%	2.75%
W10	2.50%	1.35%	1.10%	0.83%	1.21%	0.89%	0.86%	1.34%
W11	0.88%	1.36%	0.71%	1.01%	1.54%	1.19%	0.75%	1.29%
W12	0.03%	0.84%	0.09%	0.34%	1.15%	0.63%	0.01%	0.56%
W13	0.09%	0.99%	0.24%	0.68%	1.29%	0.58%	0.57%	0.72%
W14	0.88%	0.95%	0.37%	0.69%	1.11%	0.77%	0.66%	0.85%
W15	0.98%	1.22%	0.87%	1.04%	1.29%	0.97%	1.11%	1.06%
W16	0.42%	1.05%	0.72%	0.89%	0.91%	0.67%	0.57%	0.90%
W17	1.85%	0.50%	0.34%	0.35%	0.63%	0.50%	0.46%	0.54%
W18	0.82%	0.13%	0.51%	0.21%	0.34%	0.24%	0.12%	0.11%
W19	2.37%	1.37%	1.62%	1.34%	1.63%	1.27%	2.00%	1.45%
W20	1.44%	1.18%	0.77%	0.88%	1.27%	0.98%	0.77%	1.12%
W21	0.87%	2.01%	1.13%	1.64%	2.19%	1.57%	1.39%	1.71%
W22	0.79%	1.04%	0.71%	0.87%	0.97%	0.72%	0.63%	0.92%
W23	0.46%	0.25%	0.20%	0.17%	0.21%	0.18%	0.18%	0.25%
W24	3.05%	2.41%	1.44%	1.76%	2.67%	1.95%	1.28%	2.19%
W25	2.45%	2.06%	1.18%	1.45%	2.32%	1.76%	1.12%	1.75%
W26	2.20%	1.72%	1.23%	1.33%	1.85%	1.37%	0.74%	1.78%
W27	1.57%	0.51%	0.40%	0.38%	0.60%	0.41%	0.32%	0.57%
W28	1.10%	0.77%	0.12%	0.33%	0.93%	0.52%	0.01%	0.60%
W29	2.53%	0.79%	0.39%	0.49%	0.78%	0.55%	0.06%	0.79%
W30	2.21%	1.17%	0.49%	0.95%	1.04%	0.70%	0.36%	1.00%
W31	2.02%	1.75%	1.07%	1.41%	1.68%	1.35%	0.84%	1.49%
W32	1.68%	1.22%	0.87%	1.13%	1.40%	0.92%	1.05%	1.13%
W33	2.54%	0.90%	0.83%	0.77%	0.99%	0.68%	1.01%	0.83%
W34	2.59%	1.45%	0.87%	1.06%	1.46%	1.08%	1.14%	1.28%
W35	1.76%	1.58%	1.21%	1.27%	1.53%	1.29%	0.88%	1.53%
W36	2.54%	1.98%	1.04%	1.52%	1.98%	1.50%	1.33%	1.72%
W37	0.95%	1.46%	0.95%	1.17%	1.57%	1.16%	0.97%	1.28%
W38	2.19%	2.03%	1.09%	1.59%	1.90%	1.20%	1.13%	1.65%
W39	0.23%	0.40%	0.24%	0.33%	0.43%	0.26%	0.09%	0.41%
W40	0.34%	1.22%	0.66%	0.98%	1.49%	0.83%	0.22%	1.30%
W41	0.57%	1.25%	0.49%	0.94%	1.24%	0.76%	0.59%	0.83%
W42	0.04%	0.08%	0.06%	0.06%	0.08%	0.06%	0.04%	0.08%

附表 H-1. 系統利用率 90%：工作站利用率估算差異絕對值(續)

工作站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661
W43	0.11%	0.17%	0.09%	0.14%	0.18%	0.12%	0.11%	0.14%
W44	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%
W45	0.06%	0.09%	0.05%	0.07%	0.09%	0.06%	0.06%	0.07%
W46	0.37%	1.30%	0.23%	0.76%	1.43%	0.66%	0.32%	1.00%
W47	1.18%	2.10%	1.24%	1.66%	2.20%	1.63%	1.54%	1.72%
W48	0.23%	1.04%	0.61%	0.85%	1.19%	0.77%	0.37%	1.01%
W49	0.27%	0.47%	0.08%	0.21%	0.49%	0.31%	0.22%	0.37%
W50	1.42%	0.75%	0.59%	0.47%	0.68%	0.52%	0.46%	0.75%
W51	1.41%	0.45%	0.38%	0.37%	0.61%	0.31%	0.59%	0.45%
W52	0.49%	0.78%	0.44%	0.60%	0.84%	0.60%	0.51%	0.66%
W53	1.50%	1.75%	1.18%	1.47%	1.91%	1.39%	1.33%	1.56%
W54	0.43%	1.48%	0.79%	1.13%	1.62%	1.08%	1.07%	1.15%
W55	0.71%	1.01%	0.37%	0.71%	1.11%	0.62%	0.53%	0.75%
W56	0.03%	0.32%	0.15%	0.22%	0.33%	0.25%	0.12%	0.27%
W57	0.38%	0.57%	0.29%	0.41%	0.62%	0.42%	0.35%	0.48%
W58	0.45%	0.96%	0.40%	0.71%	0.95%	0.66%	0.43%	0.68%
W59	0.14%	0.95%	0.38%	0.65%	1.03%	0.59%	0.53%	0.66%
W60	0.53%	0.70%	0.28%	0.58%	0.93%	0.59%	0.61%	0.70%
W61	0.38%	1.04%	0.40%	0.95%	1.43%	0.50%	0.66%	0.79%
W62	0.41%	1.37%	0.64%	0.99%	1.54%	0.96%	0.85%	1.00%
W63	0.36%	1.48%	0.72%	1.10%	1.68%	1.06%	0.91%	1.10%
W64	8.45%	6.35%	5.07%	6.50%	5.23%	6.42%	3.79%	5.51%
W65	1.04%	0.52%	0.39%	0.34%	0.41%	0.35%	0.33%	0.52%
W66	0.05%	0.10%	0.04%	0.08%	0.09%	0.06%	0.03%	0.06%
W67	1.69%	2.28%	1.42%	1.78%	2.53%	1.86%	1.23%	2.15%
W68	1.54%	0.85%	0.63%	0.61%	0.95%	0.67%	0.50%	0.87%
W69	0.28%	1.26%	0.78%	0.98%	1.09%	0.86%	0.55%	1.06%
W70	1.12%	0.52%	0.40%	0.44%	0.53%	0.43%	0.43%	0.52%
W71	0.81%	1.30%	0.81%	1.00%	1.32%	0.96%	0.60%	1.20%
W72	1.25%	0.55%	0.45%	0.48%	0.59%	0.47%	0.58%	0.53%
W73	0.71%	1.16%	0.63%	0.89%	1.25%	0.90%	0.83%	0.97%
W74	0.66%	0.95%	0.53%	0.68%	0.98%	0.76%	0.46%	0.82%
W75	0.45%	0.33%	0.23%	0.27%	0.38%	0.28%	0.26%	0.31%
W76	0.31%	1.04%	0.63%	0.84%	1.07%	0.75%	0.68%	0.84%
W77	0.20%	0.39%	0.15%	0.34%	0.36%	0.28%	0.14%	0.27%
W78	0.04%	0.25%	0.14%	0.19%	0.28%	0.19%	0.18%	0.20%
W79	0.04%	0.08%	0.04%	0.06%	0.09%	0.06%	0.03%	0.06%
W80	0.81%	1.17%	0.86%	1.02%	1.33%	0.87%	1.09%	1.07%
W81	0.36%	0.61%	0.42%	0.47%	0.56%	0.46%	0.30%	0.56%
W82	0.76%	0.99%	0.55%	0.80%	1.06%	0.78%	0.68%	0.83%
W83	0.12%	0.17%	0.09%	0.13%	0.18%	0.13%	0.11%	0.14%

附表 H-2. 系統利用率 70%：工作站利用率估算差異絕對值

工作站	95551	59551	55951	86641	94471	49471	44791	66661
W01	0.69%	0.31%	0.44%	0.29%	0.44%	0.05%	0.27%	0.47%
W02	1.06%	0.47%	0.67%	0.46%	0.68%	0.11%	0.41%	0.71%
W03	0.04%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.01%	0.02%	0.03%
W04	0.17%	0.09%	0.13%	0.08%	0.11%	0.02%	0.09%	0.13%
W05	0.95%	0.44%	0.62%	0.61%	0.67%	0.30%	0.44%	0.82%
W06	0.02%	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%
W07	1.26%	0.57%	0.82%	0.49%	0.77%	0.06%	0.57%	0.94%
W08	1.05%	0.47%	0.61%	0.48%	0.71%	0.21%	0.30%	0.60%
W09	1.95%	1.35%	1.79%	1.22%	1.81%	1.02%	1.47%	1.67%
W10	0.80%	0.50%	0.83%	0.43%	0.56%	0.11%	0.48%	0.71%
W11	1.04%	0.46%	0.57%	0.58%	0.53%	0.11%	0.34%	0.87%
W12	0.55%	0.08%	0.12%	0.15%	0.08%	0.57%	0.07%	0.35%
W13	1.09%	0.10%	0.40%	0.09%	0.55%	0.26%	0.01%	0.40%
W14	0.76%	0.27%	0.51%	0.38%	0.48%	0.04%	0.07%	0.41%
W15	1.12%	0.58%	0.82%	0.47%	0.77%	0.25%	0.55%	0.88%
W16	0.62%	0.34%	0.53%	0.20%	0.46%	0.03%	0.39%	0.54%
W17	0.37%	0.19%	0.28%	0.10%	0.26%	0.09%	0.35%	0.37%
W18	0.32%	0.54%	0.18%	0.50%	0.13%	0.94%	5.19%	0.29%
W19	1.23%	0.80%	1.34%	0.81%	1.03%	0.47%	1.10%	1.15%
W20	0.88%	0.44%	0.60%	0.43%	0.57%	0.12%	0.44%	0.71%
W21	1.74%	0.89%	1.07%	0.90%	1.17%	0.45%	0.59%	1.05%
W22	0.69%	0.35%	0.56%	0.25%	0.49%	0.04%	0.39%	0.56%
W23	0.16%	0.06%	0.14%	0.08%	0.11%	0.02%	0.06%	0.11%
W24	1.83%	0.85%	0.94%	1.03%	1.00%	0.32%	0.82%	1.43%
W25	1.36%	0.76%	0.73%	0.95%	0.76%	0.22%	0.76%	1.25%
W26	1.23%	0.73%	0.82%	0.61%	0.69%	0.05%	0.69%	0.79%
W27	0.34%	0.22%	0.20%	0.19%	0.23%	0.01%	0.25%	0.32%
W28	0.58%	0.11%	0.02%	0.08%	0.03%	0.46%	0.05%	0.30%
W29	0.60%	0.11%	0.23%	0.02%	0.12%	0.37%	0.01%	0.28%
W30	0.73%	0.09%	0.54%	0.11%	0.38%	0.43%	11.63%	0.44%
W31	1.15%	0.60%	0.96%	0.46%	0.83%	0.15%	0.51%	0.85%
W32	1.06%	0.52%	0.81%	0.41%	0.77%	0.12%	0.47%	0.90%
W33	0.86%	0.37%	0.71%	0.34%	0.56%	0.01%	0.44%	0.67%
W34	1.09%	0.52%	0.85%	0.66%	0.83%	0.17%	0.33%	0.85%
W35	1.11%	0.66%	0.82%	0.67%	0.83%	0.34%	0.57%	0.83%
W36	1.40%	0.66%	0.99%	0.90%	1.01%	0.41%	0.56%	1.30%
W37	1.17%	0.60%	0.79%	0.58%	0.78%	0.23%	0.55%	0.85%
W38	1.40%	0.38%	0.97%	0.12%	0.84%	0.40%	0.58%	1.03%
W39	0.26%	0.10%	0.13%	0.06%	0.13%	0.05%	0.08%	0.15%
W40	1.00%	0.32%	0.04%	0.29%	0.35%	0.23%	0.18%	0.47%
W41	0.92%	0.15%	0.65%	0.07%	0.56%	0.36%	0.09%	0.61%
W42	0.05%	0.03%	0.04%	0.02%	0.04%	0.01%	0.02%	0.04%

附表 H-2. 系統利用率 70%：工作站利用率估算差異絕對值(續)

工作站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661
W43	0.12%	0.06%	0.08%	0.08%	0.09%	0.03%	0.05%	0.10%
W44	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.01%	0.01%
W45	0.06%	0.03%	0.04%	0.04%	0.05%	0.02%	0.03%	0.05%
W46	1.02%	0.10%	0.25%	0.14%	0.26%	0.82%	0.21%	0.36%
W47	1.82%	0.88%	1.18%	0.92%	1.32%	0.45%	0.70%	1.10%
W48	0.84%	0.40%	0.21%	0.43%	0.41%	0.13%	0.30%	0.47%
W49	0.30%	0.07%	0.16%	0.11%	0.13%	0.07%	0.03%	0.20%
W50	0.45%	0.29%	0.48%	0.22%	0.30%	0.07%	0.28%	0.38%
W51	0.51%	0.04%	0.35%	0.12%	0.26%	0.32%	0.11%	0.30%
W52	0.66%	0.29%	0.41%	0.27%	0.42%	0.08%	10.56%	0.42%
W53	1.50%	0.74%	1.07%	0.71%	1.07%	0.38%	0.74%	1.01%
W54	1.36%	0.51%	0.84%	0.53%	0.91%	0.12%	21.30%	0.76%
W55	0.93%	0.21%	0.48%	0.12%	0.55%	0.09%	0.18%	0.51%
W56	0.23%	0.09%	0.13%	0.10%	0.13%	0.00%	8.53%	0.14%
W57	0.49%	0.17%	0.27%	0.15%	0.29%	0.01%	0.12%	0.29%
W58	0.81%	0.43%	0.39%	0.32%	0.53%	0.24%	0.24%	0.50%
W59	0.85%	0.28%	0.43%	0.24%	0.50%	0.00%	0.15%	0.45%
W60	0.63%	0.22%	0.38%	0.30%	0.40%	0.08%	0.03%	0.27%
W61	0.96%	0.08%	0.65%	0.05%	0.57%	0.67%	0.03%	0.60%
W62	1.34%	0.39%	0.72%	0.35%	0.80%	0.06%	0.37%	0.68%
W63	1.43%	0.47%	0.78%	0.43%	0.86%	0.13%	0.43%	0.75%
W64	4.37%	5.56%	3.75%	5.48%	4.47%	5.50%	8.01%	4.28%
W65	0.34%	0.10%	0.30%	0.12%	0.21%	0.01%	0.06%	0.20%
W66	0.06%	0.03%	0.04%	0.02%	0.06%	0.01%	0.01%	0.05%
W67	1.65%	0.86%	1.00%	0.95%	0.97%	0.31%	0.84%	1.36%
W68	0.54%	0.36%	0.40%	0.27%	0.38%	0.09%	0.34%	0.50%
W69	0.76%	0.44%	0.57%	0.34%	0.56%	0.10%	0.33%	0.58%
W70	0.39%	0.18%	0.36%	0.12%	0.28%	0.02%	0.22%	0.31%
W71	0.89%	0.45%	0.55%	0.42%	0.56%	0.11%	0.39%	0.66%
W72	0.49%	0.22%	0.41%	0.17%	0.33%	0.03%	0.31%	0.40%
W73	0.96%	0.47%	0.63%	0.51%	0.67%	0.21%	0.32%	0.61%
W74	0.61%	0.38%	0.27%	0.42%	0.35%	0.12%	0.34%	0.54%
W75	0.26%	0.13%	0.19%	0.15%	0.16%	0.05%	0.11%	0.21%
W76	0.83%	0.41%	0.62%	0.33%	0.64%	0.16%	0.35%	0.60%
W77	0.25%	0.15%	0.18%	0.07%	0.23%	0.06%	0.05%	0.21%
W78	0.24%	0.08%	0.14%	0.09%	0.15%	0.02%	0.08%	0.14%
W79	0.06%	0.02%	0.03%	0.02%	0.03%	0.00%	0.02%	0.04%
W80	0.99%	0.54%	0.80%	0.50%	0.78%	0.24%	0.54%	0.86%
W81	0.40%	0.21%	0.28%	0.17%	0.29%	0.05%	0.15%	0.28%
W82	0.73%	0.32%	0.46%	0.43%	0.56%	0.25%	0.34%	0.63%
W83	0.12%	0.06%	0.08%	0.08%	0.08%	0.04%	0.05%	0.10%

附表 H-3. 系統利用率 50%：工作站利用率估算差異絕對值

工作站	95551	59551	55951	86641	94471	49471	44791	66661
W01	0.10%	0.18%	0.36%	0.61%	0.38%	0.58%	0.15%	0.15%
W02	0.15%	0.27%	0.55%	0.91%	0.57%	0.89%	0.20%	0.23%
W03	0.01%	0.00%	0.02%	0.04%	0.02%	0.04%	0.01%	0.03%
W04	0.00%	0.03%	0.10%	0.16%	0.12%	0.12%	0.07%	0.04%
W05	0.25%	0.03%	0.56%	0.92%	0.46%	0.88%	0.13%	0.63%
W06	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%
W07	0.21%	0.29%	0.71%	1.17%	0.79%	1.02%	0.35%	0.30%
W08	0.11%	0.28%	0.46%	0.76%	0.42%	0.91%	0.09%	0.18%
W09	0.65%	0.23%	1.29%	1.65%	1.56%	1.54%	1.23%	0.73%
W10	0.07%	0.28%	0.86%	0.90%	0.66%	0.72%	0.65%	0.21%
W11	0.31%	0.05%	0.57%	1.16%	0.44%	1.04%	0.05%	0.75%
W12	0.69%	0.46%	0.38%	0.88%	0.36%	0.76%	0.28%	0.29%
W13	0.56%	0.91%	0.36%	0.75%	0.21%	1.04%	0.22%	0.24%
W14	0.27%	0.32%	0.28%	0.69%	0.35%	0.59%	0.03%	0.34%
W15	0.10%	0.25%	0.52%	0.72%	0.53%	0.69%	0.19%	0.10%
W16	0.06%	0.09%	0.32%	0.64%	0.42%	0.54%	0.27%	0.13%
W17	0.03%	0.02%	0.13%	0.23%	0.32%	0.40%	0.16%	0.06%
W18	0.99%	1.28%	0.14%	0.21%	0.24%	0.47%	0.63%	0.66%
W19	0.42%	0.22%	1.00%	0.93%	0.64%	0.87%	0.66%	0.51%
W20	0.07%	0.13%	0.55%	0.80%	0.56%	0.75%	0.28%	0.31%
W21	0.08%	0.29%	0.79%	1.32%	0.78%	1.48%	0.26%	0.43%
W22	0.04%	0.13%	0.36%	0.66%	0.45%	0.54%	0.26%	0.10%
W23	0.02%	0.07%	0.12%	0.15%	0.12%	0.14%	0.10%	0.03%
W24	0.29%	0.01%	1.12%	1.84%	1.05%	1.65%	0.37%	1.16%
W25	0.09%	0.04%	1.09%	1.50%	1.11%	1.40%	0.38%	0.91%
W26	0.03%	0.20%	0.88%	1.28%	1.08%	0.88%	0.53%	0.38%
W27	0.03%	0.04%	0.32%	0.36%	0.31%	0.30%	0.15%	0.16%
W28	0.68%	0.36%	0.29%	0.74%	0.29%	0.67%	0.25%	0.37%
W29	0.37%	0.47%	0.31%	0.65%	0.49%	0.39%	0.19%	0.13%
W30	0.57%	0.55%	0.15%	0.72%	0.36%	0.57%	0.10%	0.19%
W31	0.04%	0.15%	0.56%	1.12%	0.83%	0.91%	0.48%	0.21%
W32	0.12%	0.21%	0.34%	0.72%	0.58%	0.74%	0.32%	0.07%
W33	0.05%	0.08%	0.46%	0.61%	0.39%	0.59%	0.21%	0.07%
W34	0.03%	0.18%	0.60%	1.01%	0.46%	0.83%	0.14%	0.46%
W35	0.16%	0.04%	0.80%	1.09%	0.93%	0.75%	0.53%	0.28%
W36	0.29%	0.14%	0.75%	1.40%	0.68%	1.25%	0.18%	0.71%
W37	0.06%	0.17%	0.64%	0.96%	0.64%	0.98%	0.27%	0.29%
W38	0.54%	0.72%	0.47%	1.27%	0.70%	1.03%	0.30%	0.15%
W39	0.08%	0.13%	0.17%	0.33%	0.24%	0.22%	0.08%	0.03%
W40	0.37%	0.42%	0.78%	1.12%	0.82%	0.79%	0.19%	0.25%
W41	0.61%	0.80%	0.31%	0.79%	0.27%	0.63%	0.03%	0.23%
W42	0.00%	0.01%	0.04%	0.06%	0.05%	0.04%	0.02%	0.01%

附表 H-3. 系統利用率 50%: 工作站利用率估算差異絕對值(續)

工作站	94444	49444	44944	76822	83473	46474	43873	66661
W43	0.03%	0.00%	0.07%	0.11%	0.06%	0.11%	0.02%	0.08%
W44	0.00%	0.00%	0.01%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
W45	0.01%	0.00%	0.03%	0.06%	0.03%	0.06%	0.01%	0.04%
W46	1.02%	1.22%	0.33%	1.04%	0.36%	0.96%	0.34%	0.28%
W47	0.11%	0.36%	0.84%	1.33%	0.76%	1.57%	0.24%	0.27%
W48	0.05%	0.05%	0.59%	0.81%	0.68%	0.62%	0.28%	0.33%
W49	0.25%	0.22%	0.08%	0.37%	0.07%	0.25%	0.08%	0.14%
W50	0.06%	0.14%	0.49%	0.53%	0.38%	0.40%	0.35%	0.12%
W51	0.27%	0.29%	0.21%	0.40%	0.14%	0.30%	0.04%	0.11%
W52	0.09%	0.19%	0.31%	0.51%	0.31%	0.57%	0.09%	0.08%
W53	0.00%	0.18%	0.70%	1.14%	0.82%	1.14%	0.36%	0.27%
W54	0.29%	0.55%	0.61%	1.01%	0.50%	1.21%	0.04%	0.05%
W55	0.44%	0.69%	0.30%	0.63%	0.30%	0.84%	0.05%	0.17%
W56	0.06%	0.09%	0.12%	0.23%	0.14%	0.22%	0.04%	0.07%
W57	0.13%	0.22%	0.21%	0.39%	0.22%	0.43%	0.03%	0.01%
W58	0.14%	0.29%	0.25%	0.50%	0.32%	0.74%	0.05%	0.01%
W59	0.27%	0.48%	0.31%	0.56%	0.26%	0.81%	0.05%	0.12%
W60	0.25%	0.31%	0.25%	0.58%	0.28%	0.53%	0.03%	0.27%
W61	0.76%	0.90%	0.08%	0.70%	0.25%	0.64%	0.11%	0.40%
W62	0.46%	0.77%	0.51%	0.91%	0.46%	1.21%	0.07%	0.18%
W63	0.46%	0.74%	0.55%	0.99%	0.53%	1.28%	0.03%	0.11%
W64	3.83%	5.05%	2.72%	3.46%	3.28%	2.86%	2.45%	3.81%
W65	0.01%	0.20%	0.23%	0.32%	0.23%	0.29%	0.18%	0.02%
W66	0.01%	0.01%	0.02%	0.05%	0.03%	0.04%	0.02%	0.01%
W67	0.10%	0.07%	1.14%	1.70%	1.12%	1.52%	0.47%	0.92%
W68	0.01%	0.05%	0.49%	0.57%	0.46%	0.51%	0.28%	0.23%
W69	0.00%	0.12%	0.42%	0.81%	0.56%	0.60%	0.29%	0.16%
W70	0.01%	0.07%	0.21%	0.32%	0.23%	0.31%	0.17%	0.04%
W71	0.07%	0.14%	0.56%	0.92%	0.63%	0.75%	0.31%	0.33%
W72	0.03%	0.08%	0.25%	0.35%	0.24%	0.34%	0.14%	0.02%
W73	0.10%	0.19%	0.44%	0.77%	0.42%	0.81%	0.12%	0.27%
W74	0.01%	0.05%	0.55%	0.62%	0.53%	0.58%	0.23%	0.30%
W75	0.01%	0.00%	0.17%	0.25%	0.12%	0.22%	0.05%	0.15%
W76	0.10%	0.18%	0.35%	0.61%	0.41%	0.56%	0.15%	0.10%
W77	0.02%	0.05%	0.08%	0.21%	0.11%	0.17%	0.08%	0.06%
W78	0.06%	0.10%	0.10%	0.17%	0.09%	0.20%	0.00%	0.00%
W79	0.02%	0.01%	0.03%	0.06%	0.03%	0.05%	0.00%	0.03%
W80	0.08%	0.15%	0.41%	0.68%	0.51%	0.67%	0.28%	0.17%
W81	0.03%	0.08%	0.25%	0.44%	0.32%	0.30%	0.16%	0.07%
W82	0.19%	0.02%	0.39%	0.70%	0.32%	0.66%	0.10%	0.47%
W83	0.03%	0.00%	0.07%	0.12%	0.06%	0.11%	0.02%	0.08%