

國立交通大學  
工業工程與管理學系

碩士論文

晶圓廠達交率導向派工法

A Hit-Rate Based Dispatching Rule for  
Semiconductor Manufacturing



研究生：洪挺耀

指導教授：巫木誠 博士

中華民國九十四年六月

# 晶圓廠達交率導向派工法

A Hit-Rate Based Dispatching Rule for Semiconductor Manufacturing

研究生：洪挺耀

Student： Ting-Uao Hung

指導教授：巫木誠 博士

Advisor： Dr. Muh-Cherng Wu

國立交通大學

工業工程與管理學系



Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Master of Science

In

Industrial Engineering

June 2005

Hsin-Chu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十四年六月

# 晶圓廠達交率導向派工法

研究生：洪挺耀

指導教授：巫木誠 博士

國立交通大學工業工程與管理研究所

## 中文摘要

以接單為主的晶圓代工廠為了滿足顧客的交期，達交率一直是相當重要的績效指標。過去已有許多文獻探討如何以良好的派工法則來提高達交率，然而這些派工法則大多沒有考慮機台「綁機」的限制，因為這種限制是近幾年半導體加工技術越來越精密所產生的一個現象。近年來，Wu 等人從生產線平衡的整體觀，考慮機台綁機的限制下，發展出 LBSA 派工法則。當晶圓的生產途程較短時，LBSA 派工法在達交率上表現良好，然而當生產途程較長時，達交率卻大幅降低。有鑑於此，本研究擬修正 LBSA 派工方法，期使該方法所能應用的產品族範圍擴大。模擬實驗結果驗證出來，本研究所發展的派工演算法在各種長短途程的邏輯產品族(logic product family)下，其達交率均顯著優於 Wu 等人的派工方法。

關鍵字：派工、半導體製造、綁機、生產線平衡、避免飢餓

# A Hit-Rated Based Dispatching Rule for Semiconductor Manufacturing

Student : Ting-Uao Hung

Advisor : Dr. Muh-Cherng Wu

Department of Industrial Engineering and Management  
National Chiao Tung University

## Abstract



Hit-rate, the percentage of on-time completion, is a very important performance measure in a make-to-order fab. This paper presents a dispatching algorithm for a make-to-order semiconductor fab, with *machine-dedication* feature. This feature imposes a constraint on the production route due to the advance of manufacturing technology, and was rarely addressed in previous relevant literature. A dispatching algorithm, called line balance starvation avoidance (LBSA), was recently developed for a fab with machine-dedication feature. The LBSA algorithm shows very good hit-rate performance for short-routing products but not so well for long-routing products. This paper develops a method to enhance the LBSA algorithm to achieve a high hit-rate performance in both short-routing and long-routing products.

Keywords: dispatching, semiconductor manufacturing, machine-dedication, line-balance, starvation avoidance.

## 誌謝

在經過一年的努力打拼之下，論文終於如期的完成了。本論文能順利完成，最先要感謝的是巫木誠教授。巫教授除了在論文及專業上不留餘力的指導之外，也常常在平時言談過程中，教導學生待人處事與工作上所應有的正確態度，讓學生獲益良多，相信老師的教導對自己在未來人生的道路上有著很大的啟發。同時也感謝許錫美教授、彭德保教授、楊永年教授在論文口試時，所給予的寶貴意見與指導，讓本論文更臻完備。

此外，特別感謝江志雄、邱紹傑、張永政與陳煌全學長，為本論文打下良好的基礎。其次要感謝博士班蘇泰盛學長、施昌甫學長與張文珍學姐，同門蔡正航、林雅娟、陳尚宏、謝岳霖、王君豪與林聲宇，以及吳宜穆、廖建閔、蘇瑋婷、蔡宜娟與張貽朝對我的幫忙及協助，讓我在這點點滴滴 2 年的研究生日子裡，過得相當的充實。

最後深深感謝我親愛的家人，在這漫長辛苦的求學階段，提供給我一個無憂無慮的讀書環境，讓我沒有後顧之憂，得以專心完成學業。最後僅將此篇論文獻給我最敬愛的家人，謝謝你們。

洪挺耀 于風城交大

2005/6/6

# 目錄

中文摘要 .....	i
英文摘要 .....	ii
誌謝 .....	iii
目錄 .....	iv
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	vii
第一章 緒論 .....	1
第二章 文獻回顧 .....	3
2.1 派工法則相關文獻 .....	3
2.2 常見的派工法則 .....	4
2.3 本論文的研究重點 .....	6
第三章 派工法則之建構 .....	7
3.1 綁機型派工的構想 .....	7
3.2 非綁機型的派工構想 .....	8
3.3 派工演算法 .....	8
3.3.1 綁機型機台派工演算法 .....	9
3.3.2 一般序列機台派工演算法 .....	11
3.4 運作情境假設及相關參數設定 .....	12
第四章 模擬實驗 .....	13
4.1 模擬情境 .....	13
4.2 派工法則的績效比較 .....	15
4.3 延遲時間與生產週期時間的績效比較 .....	16
第五章 結論與建議 .....	19
5.1 結論 .....	19

5.2 未來研究方向 .....	19
參考文獻 .....	20
附錄一 .....	22
附錄二 .....	29
附錄三 .....	36
附錄四 .....	43
附錄五 .....	50
附錄六 .....	57
附錄七 .....	59



## 表目錄

表 4.1 各產品族加工途程資訊 .....	14
表 4.2 各產品族於不同派工法之達交率比較 (單位: %).....	16
表 4.3 各產品族於不同派工法之平均延遲時間比較 (單位: 小時).....	17
表 4.4 各產品族於不同派工法之延遲時間變異比較 (單位: 小時).....	17
表 4.5 各產品族於不同派工法之平均生產週期比較 (單位: 小時).....	18
表 4.6 各產品族於不同派工法之生產週期變異比較 (單位: 小時).....	18



## 圖目錄

圖 3.1 派工演算法之流程 .....	9
圖 4.1 生產 1P5M 產品族每日投入批量數的決定 .....	14



# 第一章 緒論

晶圓廠的生產流程比一般的製造業複雜，一片晶圓約需 500 個加工道次，這些加工道次需多次通過同一機台群，一般稱為再回流特性；機台群約在 100 個左右，每一機台群有多部機台，這些機台可能無預警的當機[11]，因此要準確預測晶圓產出的時間點並不容易。特別是在以代工為主的晶圓廠，通常客戶要求的交期很短，而且又採接单生產(make-to-order)的方式運作，因此如何在既定交期下，以現場控制(shop floor control)的方法提高其達交率實在非常重要。

過去已有許多文獻探討如何以現場控制的方式來提高半導體廠的營運效率。這些現場控制的方式可分為「投料」(release)和「派工」兩類。所謂投料是指慎選投料時點，確保廠內的在製品不至過多或過少，以免生產週期時間過長或產出不足。常見的投料法則包括：均勻投料法(uniform method)、在製品總量管制法(CONWIP)[10]、工作負荷調節法(workload regulation)[12]、避免飢餓法(starvation avoidance)[3]。所謂「派工」是指當機台準備加工時，從批量等候線中，挑選加工的批量[5]。

過去二十年來，有關半導體派工已有許多文獻發表[2][4][5][6][7]。然而，這些研究大多沒有考慮機台「綁機」的限制，因為這種限制是近年來半導體加工技術越來越精密所產生的一個現象。所謂綁機是指當某晶圓第一次進入機台群，選定某機台加工後；若再次經過此機台群，須限定用同一機台加工。綁機作業一般都發生在黃光區[11]高解析度的步進機台(stepper)，由於加工作業要求的解析度太高，因此必須限定用同一部機台加工，以縮小加工誤差。本研究稱此種作業為「綁機型作業」(dedicated operation)，其相對應的機台稱為「綁機型機台」(dedicated machine)。

近年來，Wu 等人[13]在綁機情境下，以生產線平衡的觀點來進行派工，希望能提升晶圓代工廠的達交率。此方法假設綁機型機台是瓶頸，以綁機型作業為分割點，將

生產流程切成數個區段，以這些區段的流量平衡為派工的依據。此方法應用於某些邏輯產品族(product)的生產時，顯著比一般常見的派工方法為佳。然而經吾人實證研究，當邏輯產品族的加工道次過長時，此派工方法的績效可能大幅降低，甚至遜於 CR (Critical Ratio)派工法。

有鑑於此，本研究擬修正 Wu 等人(2005)的派工方法，期使該方法所能應用的產品族範圍擴大。經模擬驗證發現，本研究的派工方法，在各種長短途程的邏輯產品族(logic product family)下，其達交率均顯著優於 Wu 等人(2005)的派工方法。與 CR 法相比，在短途程時，本研究的方法顯著優於 CR 法；在長途程時，則與 CR 法相當。

本論文其他章節安排如下，第二章為派工方法的文獻回顧。第三章敘述本研究所發展的派工法則，第四章是模擬實驗，第五章是結論與建議。



## 第二章 文獻回顧

派工法則的優劣對晶圓廠績效影響甚大，良好的派工法則可縮短生產週期時間、提高準時達交率。在過去二十年來，已有許多半導體晶圓廠派工的研究。然而，過去的研究大多沒有考慮生產線平衡(line-balance)，只考慮批量的屬性(lot-attribute)。近年來，Wu 等人[13]在考慮綁機的情境下，以生產線平衡為概念，發展出新的派工法則來提高達交率。以下分別說明派工法則的相關文獻，之後介紹晶圓廠常見的派工法則與本論文的研究重點。

### 2.1 派工法則相關文獻

晶圓的生產過程中，常面臨不可預期之突發事件，例如：良率，機台當機[11]...等。良好的派工法則不但可以降低現場突發事件對生產線的影響，還可提升產品的達交率，進一步控制晶圓的生產週期時間，因此派工法則的優劣即顯得格外重要。「派工」的定義為：「當機台準備加工時，從批量等候線中，挑選加工的批量」[5]。

PanWalkar 和 Iskander 學者曾於 1977 年整理出 100 多種派工法則[9]，不同的派工法則，著重的績效指標會有所不同，例如：週期時間，達交率，產出量或延遲時間...等。在過去十幾年來，已有許多半導體晶圓廠派工的研究。然而，這些研究大多沒有考慮生產線平衡(line-balance)，只考慮批量的屬性(lot-attribute)[1][4][5]進行派工，例如：批量的到達時間、加工時間、週期時間或交期...等。

Lu 等學者[7]於 1994 年以批量的屬性為基礎，應用剩餘時間減去剩餘週期時間的方式，發展出波動平滑法(Fluctuation Smoothing Policy)來縮短生產週期時間與批量延遲時間。經實驗結果證明，FSMCT(Fluctuation Smoothing Policy for Mean Cycle Time)派工法可有效的縮短平均生產週期時間，FSVCT(Fluctuation Smoothing Policy for Variance of Cycle Time)派工法能降低生產週期時間的標準差。Kim[4][5]等人應用瓶頸

機台為影響產出關鍵的概念，控制黃光瓶頸工作站前的在製品數量，讓瓶頸機台的設置時間減少，以縮短生產週期時間，提高機台的利用率與產出量。

近年來，已有部份學者從生產線平衡(line-balance)的觀點，發展出新的派工法則。Dabbas和Fowler[2]考慮了整條生產線的平衡，在每日各加工區段所需的產能已分配情況下，同時應用Global Rules和Local Rules派工法則，來達到多項績效指標的最佳化。經實驗結果證明，對於不同生產環境的晶圓廠，可透過權重的調整，縮短延遲時間、平均生產週期時間與降低生產週期的變異，並讓工件準時達交(On-Time Delivery)。此外，Lee等學者[6]發展出計算各區段流量平衡的派工法，應用各區段實際在製品減去目標在製品，再除以目標在製品的方式計算出流量，對各區段進行派工。

然而隨著半導體加工技術越來越精密，以往研究未被考量的綁機生產情境，已逐漸被學者所重視。近年來，Wu等人[13]同時考慮生產線平衡及綁機的生產情境，發展出新的派工法則。此方法假設瓶頸是綁機型機台，以綁機型作業為分割點，將生產流程切成數個區段，以這些區段的流量平衡為派工的依據。經模擬結果發現，達交率表現優於以往代表性的派工法則。

## 2.2 常見的派工法則

一般的晶圓廠是由序列工作站及批次工作站所組成的，序列工作站一次只能加工一個批量，而批次工作站是屬於集批生產，因此可同時加工多個批量。然而工作站的不同，在派工決策上，所需的派工方式也有所差異。在以往的研究中已發展出許多的派工法則，以下僅針對晶圓廠中常見的派工法則進行說明。

### 1. 先進先出法 (First In First Out ; FIFO)

愈先抵達加工機台等候線之批量，給予愈高之加工優先權。

2. 關鍵比值法 (Critical Ratio ; CR)

計算每一批量之關鍵比值，關鍵比值愈小者，給予最高之加工優先權。關鍵比值計算方式為，將每一批量至交期前剩餘可用的加工時間除以剩下所需的加工時間。

3. 最早交期法 (Earliest Due Date ; EDD)

交期最近的批量給予最高的加工優先權。

4. 最小寬裕時間法 (Least Slack ; LS)

將每一批量至交期前剩餘可用的加工時間減去剩下所需的加工時間，所得的差值稱為寬裕時間。對於寬裕時間最小的批量給予最高的加工優先權。

5. 最小寬裕時間修正法 (Lu-Slack)

本派工法為 Lu 等人[7]發展的演算法。派工方式為計算每一批量的 Slack 值，Slack 值愈小者，給予最高之加工優先權。Slack 值之計算方式為，每一批量至交期前剩餘可用的加工時間減去剩餘加工所需的週期時間。

6. 最短加工時間法 (Shortest Processing Time ; SPT)

加工時間最短的批量給予最高的加工優先權。

7. 最短剩餘加工時間法 (Shortest Remaining Processing Time ; SRPT)

剩餘總加工時間最短的批量給予最高的加工優先權。

8. LBSA 派工法 (Line Balance Starvation Avoidance ; LBSA)

本派工法是由 Wu 等人[13]所提出，在考量生產線流量的平衡，避免瓶頸機台發生缺料的方式來進行派工。其中綁機型步進機的派工是考慮生產線平衡，生產流程被綁機型步進機切成數個區段，並以這些區段的流量平衡為派工的依據。一般序列機台的派工，則避免瓶頸機台發生缺料的概念為主。

## 2.3 本論文的研究重點

本研究針對Wu等人[13]的派工方法進行修正，發展出新的派工演算法，期使該方法所能應用的產品族範圍擴大；亦即於綁機生產情境下，同時考慮整條生產線平衡與各批量落後的進度來進行派工，期使提高達交率，對延遲批進行控管並降低批量延遲時間。至於批次工作站，本論文採用文獻上常見的「最小集批法」(minimum batch sizing)[8]派工。因此，綁機型步進機之派工與一般序列機台的派工，為本研究兩大決策變數。



### 第三章 派工法則之建構

如前所述，綁機型機台精密度很高較為昂貴，通常購買數量較少，因此是晶圓廠產出的瓶頸。綁機型機台如步進機是屬序列機台，亦即一次加工一片晶圓直到加工完一批為止。非綁機型機台則可分為「序列機台」與「批次機台」兩類。批次機台一次可加工多批的晶圓。本論文主要是研究「序列機台」的派工，對批次機台則採用文獻上常見的「最小集批法」派工(minimum batch sizing)[8]。序列機台可分為「綁機型」和「非綁機型」，以下先分別介紹此兩類機台派工方法的構想和演算法，然後介紹此等派工方法的運作情情境，及相關參數的設定方法。

#### 3.1 綁機型派工的構想

對綁機型機台，本研究從以下兩個角度來發展派工方法。第一，盡量維持生產線流量平衡(line balance)；第二，優先加工進度落後的批量。生產線流量平衡的構想是根據一生產線模型發展而成，該生產線模型是將綁機型作業視為切割點，將生產途程切割成數個區段，因為綁機型機台是生產的瓶頸，所以各區段的產出主要是由綁機型機台決定。綁機型派工的目的是希望使各區段的產出率趨於一致，以避免各區段的批量提前或延後產出，導致生產線最終的達交率降低。

在上述的生產線模型，每一區段的最終作業是綁機型作業，如果該作業產出很少，該區段內的在製品會提高，反之則會降低。因此區段內的在製品如果太高，就要優先加工該區段的綁機型作業，以提升該區段的流量。在比較各區段的在製品是否過高時，必須考慮區段的生產週期時間；因為在一完全平衡的生產線，區段生產週期時間越長，該區段的在製品當然越高。因此比較各區段的在製品高低時，需將「在製品」除以「生產週期時間」當成比較基準。

對某一綁機型的機台，若有多個批量待選加工，每一批量都有各自隸屬的區段。上述生產線流量平衡的觀點，其實是以區段的在製品高低來決定批量的加工優序。若有多個批量在同一區段，則以批量進度的落後程度來決定優序。

上述派工方法的優序，是先考慮區段的在製品，再考慮批量的進度。這種方法的缺點是若有批量已經延遲，可能會失去補救的機會。因此，本研究的派工方法是，先將進度落後的批量優先加工；若無此等批量，則以生產線平衡法來派工。亦即，對於延遲的批量是採「例外管理」，因此優先加工；若無例外現象，則採「流量管理」，以維持產出流量的穩定性。

### 3.2 非綁機型的派工構想

如前所述，各區段的最終作業為綁機型作業，其他則為「非綁機型」作業。因為非綁機型機台不是生產的瓶頸，所以其主要功能是用來提供在製品給綁機型機台，以避免其缺料。因此本研究對非綁機型的派工方法是採用「避免瓶頸飢餓」的概念。在非綁機型機台之前的在製品有三個重要的屬性：(1) 該批量隸屬那一部綁機型機台，(2) 該批量加工作業所屬的區段，(3) 該批量的加工進度目前是否延遲或提前。

「避免瓶頸飢餓」派工法的構想，是找出哪個「綁機型機台」最可能缺料，然後優先加工隸屬該機台的批量；若有多個批量符合條件，則按進度落後的狀況決定批量的優序。此種方法是先考慮第一和第二個屬性，之後再考慮第三個屬性。然而，如前述的理由，此種派工方法可能會使過度延遲的批量來不及補救。因此本研究採「例外管理」的方式優先加工「過度延遲」批量，若無此等批量，則採避免飢餓法派工。

### 3.3 派工演算法

本研究所發展的派工演算法將加工批量分為「正常批」與「延遲批」，並於每個區

段設定其 CR 門檻值(此值以下簡稱 $\gamma$ )來判斷該批量是否為延遲批。若等待加工批量的 CR 值皆大於 $\gamma$ 時，則表示所有等待加工的在製品皆為正常批，因此機台派工採「流量管理」的方式；亦即先選區段，同一區段內再用 CR 值選批量。反之，如果待加工批量的 CR 值低於 $\gamma$ 時，該批即視為延遲批，機台派工對於延遲的批量則採「例外管理」，此時不考慮區段，挑選 CR 值最小的批量優先進行加工。圖 3.1 為派工演算法之流程。

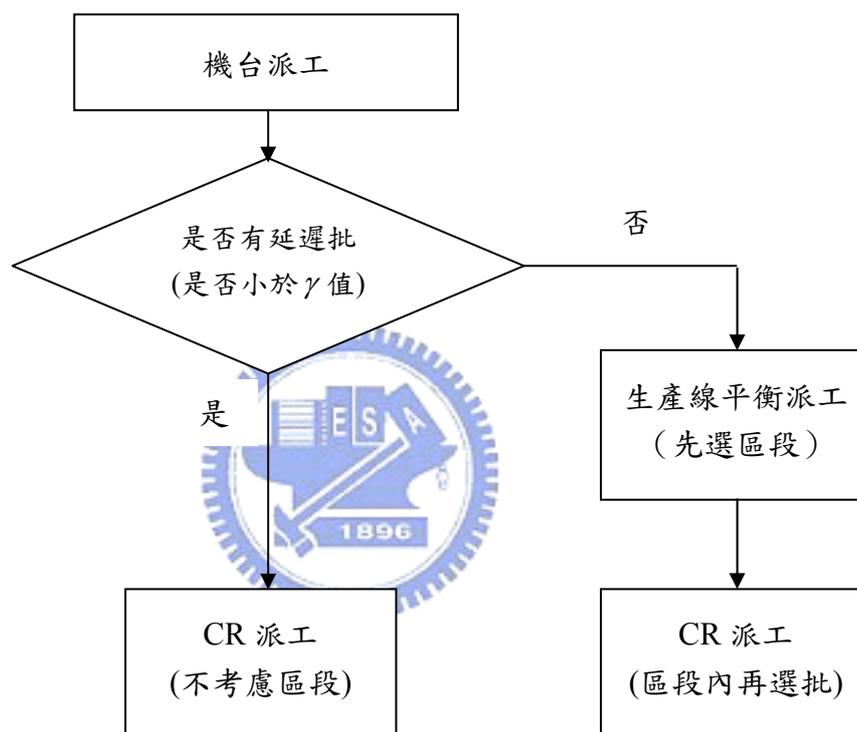


圖 3.1 派工演算法之流程

### 3.3.1 綁機型機台派工演算法

本節將介紹綁機型機台的派工方法，其生產情境假設如下：此晶圓廠有多部綁機型機台，目前擬對某一部綁機型機台進行派工。此工廠只生產一個產品族(product family)，此產品族有  $m$  個產品，這些產品的加工流程完全一樣，但是每個加工作業的時間略有不同；每一個產品有  $s$  個區段，區段  $i$  內目前有  $n(i)$  個批量等待此綁機型機台加工， $L_{ij}$  代表區段  $i$  內第  $j$  個批量  $1 \leq j \leq n(i)$ ， $L_{ij}$  在此綁機型機台的加工時間為  $t_{ij}$ ； $CR_{ij}$

代表批量  $L_{ij}$  的 CR 值。區段  $i$  的平均生產週期時間為  $CT_i$ ， $CT_i$  的值是由模擬法而得。  
茲將此綁機型機台的派工方法 *Dedicated\_Dispatch* 說明如下：

Procedure *Dedicated\_Dispatch*

Step1：計算  $CR_{ij}$ ， $1 \leq i \leq s$ ； $1 \leq j \leq n(i)$

Step2：判斷是否有「延遲批」的存在

IF  $CR_{ij} \leq \gamma$  then 批量  $L_{ij}$  為「延遲批」，

Delay\_Set =  $\{L_{ij} | L_{ij} \text{ 是延遲批}, 1 \leq i \leq s ; 1 \leq j \leq n(i)\}$

Step 3：若有延遲批，選 CR 值之最小批量優先進行加工

If Delay\_Set  $\neq \phi$ ，

Then  $(i^*, j^*) = \text{ArgMin}(CR_{ij})$  for all  $L_{ij} \in \text{Delay\_Set}$

Go To Step 5

Step4：若沒有延遲批，按流量平衡法決定加工優序

If Delay\_Set =  $\phi$ ，

計算區段  $i$  進入綁機型步進機之流量( $v_i$ )，

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^{n(i)} t_{ij}}{CT_i} ; 1 \leq i \leq s$$

選最大流量的區段優先加工

$$i^* = \text{ArgMax}(v_i) \quad \text{for } 1 \leq i \leq s$$

從區段  $i^*$  中，選 CR 值最小的批量

$$j^* = \text{ArgMin}(CR_{i^*j})$$

Step 5: 輸出優先派工的批量

選  $L_{i^*j^*}$  優先加工，STOP

### 3.3.2 一般序列機台派工演算法

本節將介紹「非綁機型」機台的派工方法，其生產情境假設如下：此晶圓廠有  $K$  部綁機型機台，目前擬對某一部「非綁機型」機台  $Y$  進行派工，而該機台  $Y$  隸屬於機台群  $T$ 。此工廠只生產一個產品，該產品有  $s$  個區段，區段  $i$  內的 WIP 可分成  $K$  種，每一種綁在一部步進機上。區段  $i$  內等待機台  $Y$  加工的批量共有  $\sum_{k=1}^K n(i,k)$  個，在此  $n(i,k)$  代表區段  $i$  中綁在步進機  $k$  的批量， $WIP(i,T,k)$  代表區段  $i$  中從機台群  $T$  到綁在步進機  $k$  的在製品數，在機台群  $T$  前的 WIP 數以  $WIP(T)$  表示。 $L_{ijk}$  代表區段  $i$  內綁在步進機  $k$  上第  $j$  個批量  $1 \leq j \leq n(i,k)$ ， $L_{ijk}$  在此機台  $Y$  的加工時間為  $t_{ijk}$ ； $CR_{ijk}$  代表批量  $L_{ijk}$  的 CR 值。區段  $i$  綁在步進機  $k$  上的平均生產週期時間為  $CT_{ik}$ ， $CT_{ik}$  的值是由模擬法而得。茲將此「非綁機型」機台  $Y$  的派工方法 *Non-Dedicated\_Dispatch* 說明如下：

Procedure *Non-dedicated\_Dispatch*

Step1：判斷是否有「延遲批」存在於機台群  $T$  前

$$\text{Delay\_Set} = \{L_{ijk} \mid CR_{ijk} \leq \gamma, L_{ijk} \in WIP(T)\}$$

Step 2：若有延遲批，選 CR 值之最小批量優先進行加工

If Delay\_Set  $\neq \phi$ ，

Then  $(i^*, j^*, k^*) = \text{ArgMin}(CR_{ijk})$  for all  $L_{ijk} \in \text{Delay\_Set}$

Go To Step 4

Step3：若沒有延遲批，按流量平衡法決定加工優序

If Delay\_Set =  $\phi$ ，

計算區段  $i$  在機台群  $T$  到進入綁機型步進機  $k$  之間的流量( $v_{ik}$ )，

$$v_{ik} = \frac{\sum_{j \in S_{ik}} t_{ijk}}{CT_{ik}} ; S_{ik} = \{j \mid L_{ijk} \in WIP(i,T,k)\}$$

選流量最小（最可能飢餓）的步進機優先加工

$$(i^*, k^*) = \text{ArgMin}(v_{ik}) \quad \text{for } 1 \leq i \leq s, 1 \leq k \leq K$$

從區段  $i^*$  內綁在  $k^*$  機台的批量中，選 CR 值最小的批量

$$j^* = \text{ArgMin}(CR_{i^*j^*k^*})$$

Step 4: 輸出優先派工的批量

選  $L_{i^*j^*k^*}$  優先加工，STOP

### 3.4 運作情境假設及相關參數設定

茲將上述派工方法的工廠運作情境說明如下：第一、此晶圓代工廠是採用均勻投料法(uniform release)，每天投入固定數量的批量。第二、每一批量的交期訂定如下  $D = R + \text{Roundup}(X \cdot PT)$ ， $D$  代表交期， $PT$  是該批量的總加工時間， $X$  是由人工給定的一個參數。此  $X$  值的給定方法，是先建一模擬程式，該程式假設晶圓廠採用「先進先出法」派工，然後給定適當的  $X$  值，使產品的平均達交率約在 30%-75% 的範圍。 $X$  值給的越高，容許生產的時間越長，越容易達交，但也表示對客戶的服務能力較差；所以對晶圓代工廠而言，派工的目的就是希望在同一個  $X$  值下，提高達交率。

上述的派工方法用到兩參數  $CT_i$  和  $\gamma$ ，茲將此兩參數設定的方式說明如下。 $CT_i$  是代表區段  $i$  的平均生產週期時間，其設定方式是建立一個模擬程式，先假設初始的  $CT_i$  值等於該區段所有作業的加工時間總和，然後按上述的派工方法派工，求出其模擬後的  $CT_i$  值，進而以此新的  $CT_i$  值進行模擬。重複上述步驟，直到設定的  $CT_i$  值與模擬求得的  $CT_i$  值差距在吾人設定的範圍內。

$\gamma$  的設訂是在  $[1.0, X]$  的範圍內，採用試誤法(trial-and-error)決定。茲以一例說明此試誤法，假設  $X$  的值為 1.4，則先設定  $\gamma = 1.4$  和  $\gamma = 1.3$  兩情境，以模擬方式判定哪一情境績效較佳，如果  $\gamma = 1.4$  情境較佳，則設定  $\gamma = 1.4$ ；若  $\gamma = 1.3$  的情境較佳，則繼續比較  $\gamma = 1.3$  和  $\gamma = 1.2$  兩情境。重複上述步驟，直到  $\gamma$  值被設定。

## 第四章 模擬實驗

本章以模擬方式驗證本研究所發展之派工法則的績效。此模擬實驗比較過去文獻具代表性的四種派工方法，模擬所使用的生產流程和機台相關資訊是台灣某晶圓廠所提供。

### 4.1 模擬情境

此模擬實驗的晶圓廠共有 60 個工作站，其中 51 個為序列工作站，9 個為批次工作站，這些工作站只有一個瓶頸，此瓶頸為「綁機型步進機」工作站。機台的平均當機時間(MTBF)與平均修復時間(MTTR)，皆依實際資料設定為指數分配，機台不考慮光罩數目的限制，機台設置(Setup)時間併入加工時間計算。



此晶圓廠是生產邏輯產品(logic product)，邏輯產品通常由一層多晶矽(polysilicon)層及數層金屬(metal)層所構成。舉例而言，若某一邏輯產品的規格是 1P5M，即代表該產品有一層多晶矽(polysilicon)層及五層金屬(metal)層。此模擬實驗共測試了六個產品族，分別為 1P3M，1P4M，1P5M，1P6M，1P7M，1P8M。這些產品族的加工複雜度如表 4.1 所示，金屬層越多代表電子元件的連線越複雜。因此相對而言，1P3M 可視為較低階的產品，1P8M 則為較高階的產品。

本研究假設此晶圓代工公司規模很大，有數個代工廠，每一工廠只生產一個產品族。每一個產品族有很多種產品，這些產品的生產流稱皆相同，但是加工時間略有差異；本模擬以  $PT \cdot \text{Uniform}(0.9, 1.1)$  來描述此種差異， $PT$  代表某一作業的標準加工時間， $\text{Uniform}(0.9, 1.1)$  是一均勻分配，代表不同產品在此加工道次的作業時間變異。

表 4.1 各產品族加工途程資訊

	1P3M	1P4M	1P5M	1P6M	1P7M	1P8M
加工步驟數	276	310	344	378	412	446
區段(Layer)數	8	10	12	14	16	18
X 值	1.50	1.40	1.50	1.40	1.70	1.90
最佳 $\gamma$ 值	1.30	1.30	1.40	1.30	1.60	1.90
每天投入批量	36	35	32	29	25	22

表 4.1 亦揭露各產品族的 X 值、 $\gamma$  值及每日的投料批量。X 值和  $\gamma$  值是根據前述的參數設定方法決定。此晶圓廠是每天投入固定的批量，此投料批量的決定，是逐漸增加投入量，直到模擬系統內的在製品達到穩定狀態。圖 4.1 是 1P5M 在製品趨勢的變化圖，由該圖可知，1P5M 每日投入 32 批系統將達到穩態。根據此等模擬實驗可決定各產品族在系統達穩態時的每日投料量。投入的批量依序綁在每一「綁機型」機台上。

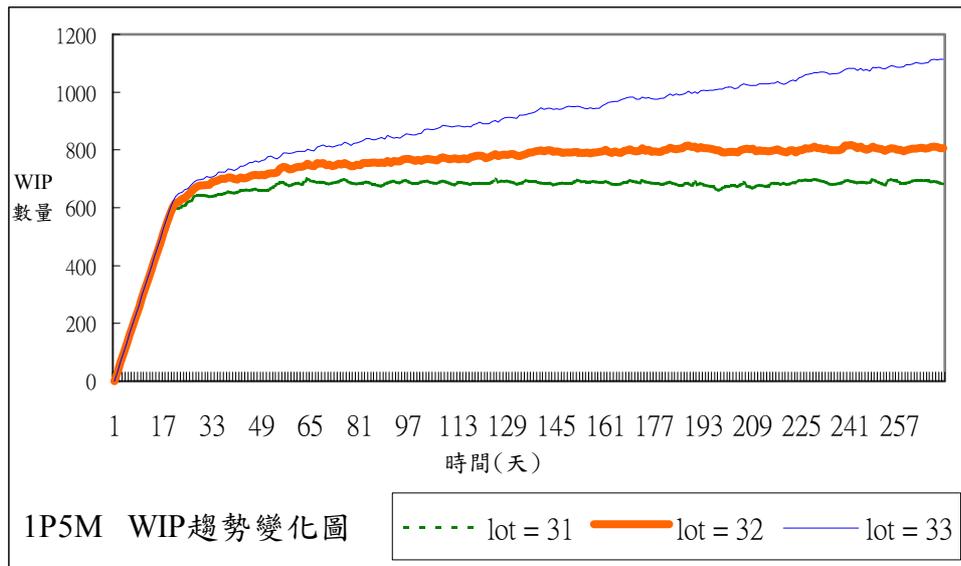


圖 4.1 生產 1P5M 產品族每日投入批量數的決定

本模擬以空廠開始投料，每一次總模擬時距(time horizon)為 270 天，收集後 180 天的資料，每一模擬情境進行 15 次實驗(replicates)。本模擬實驗的硬體是用 Intel 處理器 (3.0G) 之個人電腦，軟體採用 Tecnomatix 公司開發之模擬軟體 eM-plant 4.6[14]。

## 4.2 派工法則的績效比較

在此模擬實驗中，與本研究相比較的派工法則有下列四種：先進先出法(FIFO)，關鍵比值法(CR)，Lu 等人所提出之派工法[7]，以及 Wu 等人所提出的 LBSA[13]派工法。茲將選這四種派工法則的原因分析如下：FIFO 是工業界常見的派工法，而且是本研究設定  $X$  值的情境。CR 法根據過去的研究，在以交期為導向的派工情境，其績效不錯。Lu 等人[7]的派工法在縮短平均延遲時間的績效相當好，並且在半導體廠得到驗證。Wu 等人所發展的 LBSA 派工法則，經過大量的模擬實驗比較，發現 LBSA 在提高達交率有很好的績效。這些派工方法相互比較的績效指標是達交率。

本研究的派工法在提高達交率有很好的績效，如表 4.2 所示，本研究的派工法在中短途程的產品族(1P3M-1P6M)都比其他方法為佳；但是在長途程的產品族(1P7M-1P8M)，卻屈居第二名，最佳的是 CR 法；但是經統計檢定，此等差異並不顯著，詳細統計檢定請見附錄一。當加工產品族 1P7M 時，透過 Duncan 分群統計檢定，其 P 值為 0.11，詳細統計檢定請見附錄六。當加工產品族 1P8M 時，透過 Duncan 分群統計檢定，其 P 值為 0.08，詳細統計檢定請見附錄七。

茲將本研究的派工方法表現優良的原因分析如下。如前所述，本方法是 LBSA 法的修正，由表 4.2 可知，LBSA 法在中短生產途程(1P3M-1P6M)都是第二名，但是在長生產途程(1P7M-1P8M)的績效，則與 CR 法相差甚遠。本研究能有效改善 LBSA 法的原因，是將「延遲批」分離出來優先派工，亦即對延遲批採用 CR 法，對一般批則採用 LBSA 法。本法本質上可謂是 CR 法與 LBSA 法的組合，依照現場情境決定優先使

用 CR 法或 LBSA 法。

為何本研究的方法在長途程時會略遜於 CR 法？本研究嘗試分析如下：本研究的方法有兩個主要概念：第一、需維持區段流量平衡，使各區段產出量均勻，若各區段的產出量高低不一，會造成產品經常提前或延後產出，達交率因而容易降低。第二、需重視「個別批量延遲」的狀況，如果某一批延遲非常嚴重，就需適時犧牲流量平衡，先使個別批量趕上進度。此兩概念應優先採取何者，應視加工情境而定，若加工道次太長時，區段數會過多，利用「區段流量平衡」的派工方式來改善區段流量的差異，其效果可能很有限。因此 CR 法放棄「區段流量平衡」的概念，完全採取「個別批量延遲」的方式管理，效果可能較本方法為佳。

表 4.2 各產品族於不同派工法之達交率比較 (單位: %)

派工法則	1P3M	1P4M	1P5M	1P6M	1P7M	1P8M
FIFO	66.4	52.1	75.3	67.7	46.2	36.4
CR	67.0	24.8	75.6	55.5	96.7	92.9
Lu-Slack	70.4	21.5	79.4	57.6	54.7	70.6
LBSA	87.2	80.8	88.9	80.6	70.8	54.6
本研究	95.2	90.8	97.5	91.2	94.7	90.6

#### 4.3 延遲時間與生產週期時間的績效比較

在延遲時間的績效方面，表 4.3 及表 4.4 顯示出當產品為短途程時(1P3M-1P6M)，不論是平均延遲時間或是延遲時間變異，排名皆和達交率相同，顯示出對延遲批已有良好的控管。當生產途程較長時(1P7M-1P8M)，延遲時間績效僅次於 CR 派工法，但經過統計檢定後發現兩者之間的差異並不顯著，分類為同一組，詳細統計檢定請見附錄四和附錄五。當加工產品族 1P7M 時，透過 Duncan 分群統計檢定，平均延遲時間

的 P 值為 0.78，延遲時間變異的 P 值為 0.35，詳細統計檢定請見附錄六。當加工產品族 1P8M 時，透過 Duncan 分群統計檢定，平均延遲時間的 P 值為 0.71，延遲時間變異的 P 值為 0.23，詳細統計檢定請見附錄七。

表 4.3 各產品族於不同派工法之平均延遲時間比較 (單位: 小時)

派工法則	1P3M	1P4M	1P5M	1P6M	1P7M	1P8M
FIFO	11.4	14.3	8.0	9.5	44.2	94.1
CR	7.9	18.7	5.9	10.7	0.8	1.7
Lu-Slack	7.3	19.3	5.2	10.3	20.9	14.2
LBSA	3.4	4.8	3.1	5.0	14.0	40.3
本研究	1.1	2.2	0.6	2.1	1.3	2.2

表 4.4 各產品族於不同派工法之延遲時間變異比較 (單位: 小時)

派工法則	1P3M	1P4M	1P5M	1P6M	1P7M	1P8M
FIFO	17.9	16.6	15.8	14.9	54.8	96.2
CR	11.3	11.1	10.1	11.9	4.2	5.7
Lu-Slack	11.1	10.4	9.9	11.8	27.2	24.9
LBSA	8.6	9.8	8.9	10.4	25.5	54.4
本研究	4.8	6.8	3.3	6.6	5.5	7.2

表 4.5 為不同派工法則在平均生產週期時間的績效表現，本研究所提出的派工法幾乎在所有的產品族上皆有良好的績效表現，僅在生產 1P4M 時，本研究屈居於 LBSA 之後，排名第二，詳細統計檢定請見附錄二。表 4.6 為不同派工法則在生產週期時間變異的績效表現，本研究方法在所有的產品上皆排名第三名，屈居於 CR 和 Lu-slack 之後，但在 1P8M 時排名第二，詳細統計檢定請見附錄三。CR 和 Lu-slack 的生產週

期時間變異很小，但因平均生產週期時間過長，使得達交率排名大都屈於本研究之後。

表 4.5 各產品族於不同派工法之平均生產週期比較 (單位: 小時)

派工法則	1P3M	1P4M	1P5M	1P6M	1P7M	1P8M
FIFO	471	504	559	568	781	970
CR	475	510	569	575	745	887
Lu-Slack	469	511	566	574	762	863
LBSA	461	493	552	564	732	897
本研究	459	498	552	562	715	854

表 4.6 各產品族於不同派工法之生產週期變異比較 (單位: 小時)

派工法則	1P3M	1P4M	1P5M	1P6M	1P7M	1P8M
FIFO	24	18	26	20	76	124
CR	7	8	7	13	18	
Lu-Slack	9	8	11	8	41	69
LBSA	15	12	18	14	57	96
本研究	12	9	13	10	43	61

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究針對接單生產(make-to-order)的晶圓廠，在綁機生產的情境之下，發展出一派工演算法來提升產品的達交率。相較於以往文獻上具代表性的派工法則，本研究發展的演算法幾乎在所有的產品族上(1P3M-1P8M)，達交率有著最好的表現。除此之外，在平均延遲時間、延遲時間的變異與平均生產週期時間的績效上，本研究的演算法也有不錯的表現，僅在生產週期時間的變異表現較差。

本研究發展的派工演算法主要有兩大概念，分別為保持生產線平衡與優先加工延遲的批量。生產線進行生產時，派工的主要目標為保持生產線平衡，然而當機台前出現延遲的批量時，則必須暫時忽略生產線平衡，改以優先加工延遲批量為主要目標。在綁機型機台派工上，是以生產線平衡為概念。在一般序列機台的派工上，則以避免瓶頸機台發生飢餓。



### 5.2 未來研究方向

在後續研究方面，本研究目前只討論生產單一產品族，生產途程從短到長。然而目前實際晶圓廠，不少是在多產品的生產情境下進行生產，因此當同時生產多種產品時，像是同時生產 1P3M 與 1P8M 兩種加工步驟差異甚大，不同製程的多產品時，或是在不同產品比例之下，本研究的派工法是否仍然有效，或是需發展出新的派工法，是日後可以再深入探討的議題。

## 參考文獻

- [1] Blackstone Jr, J. H., Phillips, D. T., and Hogg, G. L., “A state-of-the-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations,” *International Journal of Production Research*, 1982, Vol. 20, No. 1, pp. 27-45.
- [2] Dabbas, R. M., and Fowler, J. W., “A new scheduling approach using combined dispatching criteria in wafer Fabs,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 2003, Vol. 16, No. 3, pp. 501-510.
- [3] Glassey, C. R., and Resende, M. G. C., “Closed-loop job shop release control for VLSI circuit manufacturing,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1988, Vol. 1, No. 1, pp. 36-46.
- [4] Kim, Y. D., Kim, J. U., Lim, S. K., and Jun, H. B., “Due-date based scheduling and control policies in a multiproduct semiconductor wafer fabrication facility,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1998, Vol. 11, No. 1, pp. 155-164.
- [5] Kim, Y. D., Kim, J. G., Choi, B., and Kim, H. U., “Production scheduling in a semiconductor wafer fabrication facility producing multiple product types with distinct due dates,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2001, Vol. 17, No. 5, pp. 589-598.
- [6] Lee, Y. H., Park, J., and Kim, S., “Experimental study on input and bottleneck scheduling for a semiconductor fabrication line,” *IIE Transactions*, 2002, Vol. 34, No. 2, pp. 179-190.
- [7] Lu, S. C. H., Ramaswamy, D., and Kumar, P. R., “Efficient scheduling policies to reduce mean and variance of cycle-time in semiconductor manufacturing plants,” *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1994, Vol. 7, No. 3, pp. 374-388.
- [8] Neuts, M. F., “A general class of bulk queues with Poisson input,” *Ann. Math. Stat.*, 1967, Vol. 38, pp. 759–770.

- [9] PanWalkar, S. S., and Iskander, W., "A survey of scheduling rules," *Operations Research*, 1977, Vol. 25, No. 1, pp. 45-61.
- [10] Spearman, M. L., Woodruff, D. L., and Hopp, W. J., "CONWIP: a pull alternative to kanban," *International Journal of Production Research*, 1990, Vol. 28, No. 5, pp. 879-894.
- [11] Uzsoy, R., Lee, C. Y., and Martin-Vega, L. A., "A review of production planning and scheduling models in the semiconductor industry. part I: system characteristics, performance evaluation and production planning," *IIE Transactions on Scheduling and Logistics*, 1992, Vol. 24, No. 4, pp. 47-60.
- [12] Wein, L. M., "Scheduling semiconductor wafer fabrication," *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1988, Vol. 1, No. 3, pp. 115-130.
- [13] Wu, M. C., Huang, Y. L., Chang, Y. C., and Yang, K. F., "Dispatching for semiconductor fabs with machine-dedication features," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (accepted for publication, 2004).
- [14] [http : // www.tecnomatix.com](http://www.tecnomatix.com)

# 附錄一

## 達交率統計檢定



## 附錄一 達交率 統計檢定

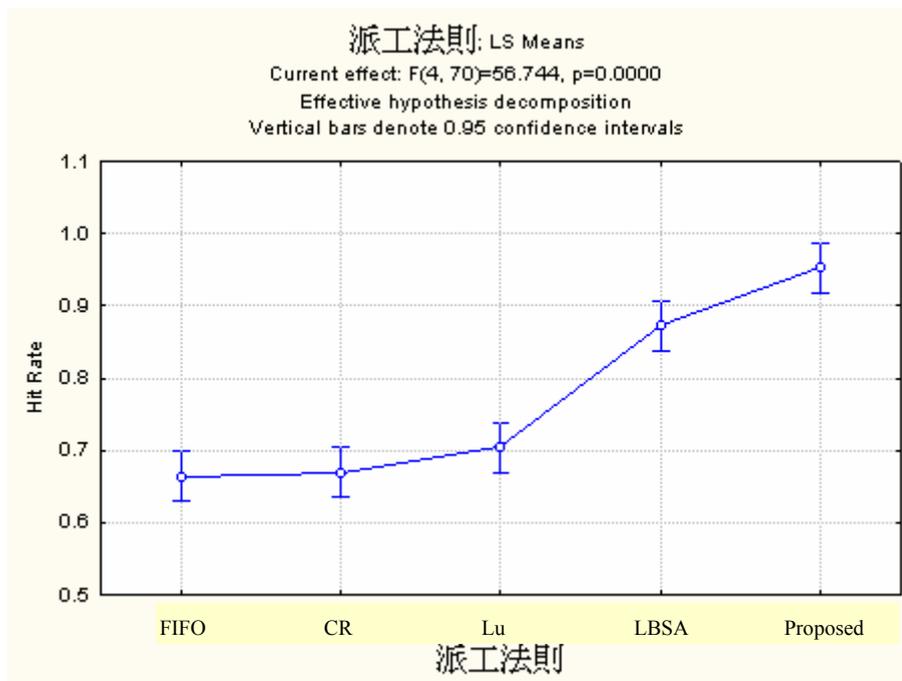
**ANOVA 表---1P3M**

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	44.74575	44.74575	9766.700	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>1.03989</b>	<b>0.25997</b>	<b>56.744</b>	<b>0.00</b>
Error	70	0.32070	0.00458		
Total	74	1.36059			

**Duncan 檢定---1P3M**

派工法則	達交率	1	2	3
FIFO	0.663871	****		
CR	0.669879	****		
Lu	0.703772	****		
LBSA	0.872193		****	
Proposed	0.952312			****

**Least Square Means---1P3M**



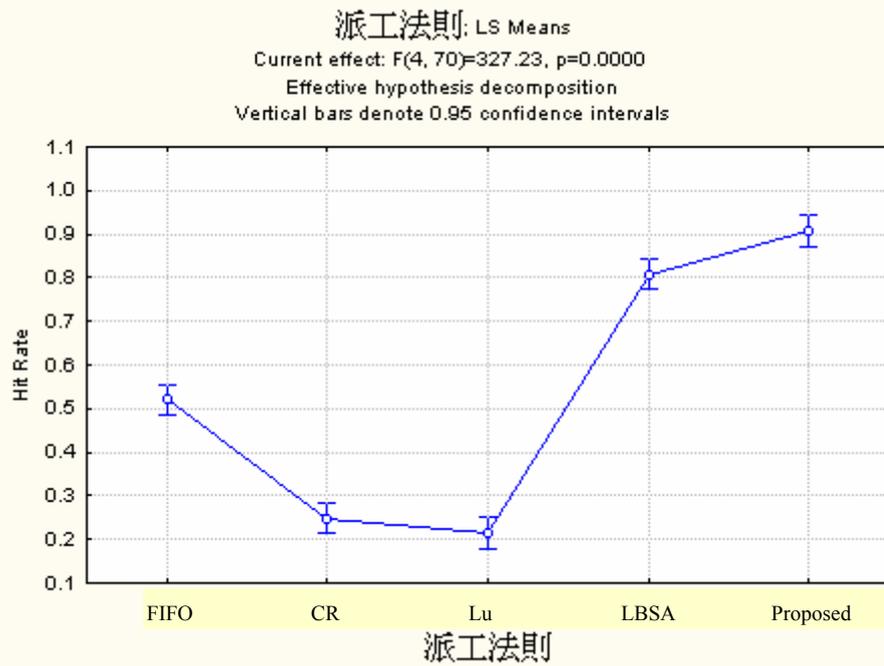
ANOVA 表---1P4M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	21.86053	21.86053	4793.874	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>5.96880</b>	<b>1.49220</b>	<b>327.230</b>	<b>0.00</b>
Error	70	0.31921	0.00456		
Total	74	6.28801			

Duncan 檢定---1P4M

派工法則	達交率	1	2	3	4
Lu	0.215185	****			
CR	0.248198	****			
FIFO	0.520600		****		
LBSA	0.807702			****	
Proposed	0.907731				****

Least Square Means---1P4M



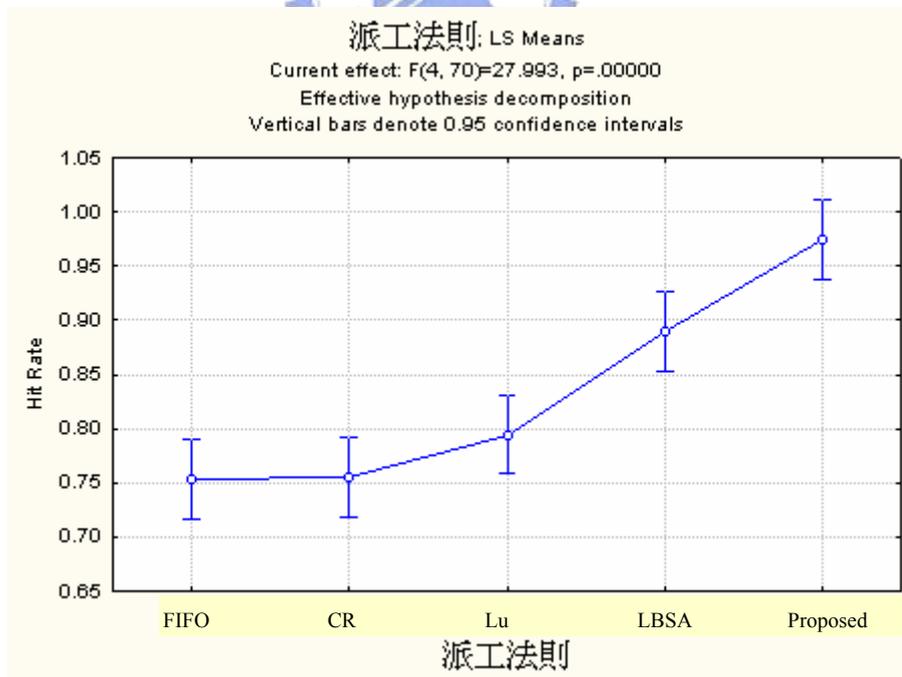
### ANOVA 表---1P5M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	52.09904	52.09904	10473.61	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>0.55699</b>	<b>0.13925</b>	<b>27.99</b>	<b>0.00</b>
Error	70	0.34820	0.00497		
Total	74	0.90519			

### Duncan 檢定---1P5M

派工法則	達交率	1	2	3
FIFO	0.753432	****		
CR	0.755455	****		
Lu	0.794225	****		
LBSA	0.889388		****	
Proposed	0.974796			****

### Least Square Means---1P5M



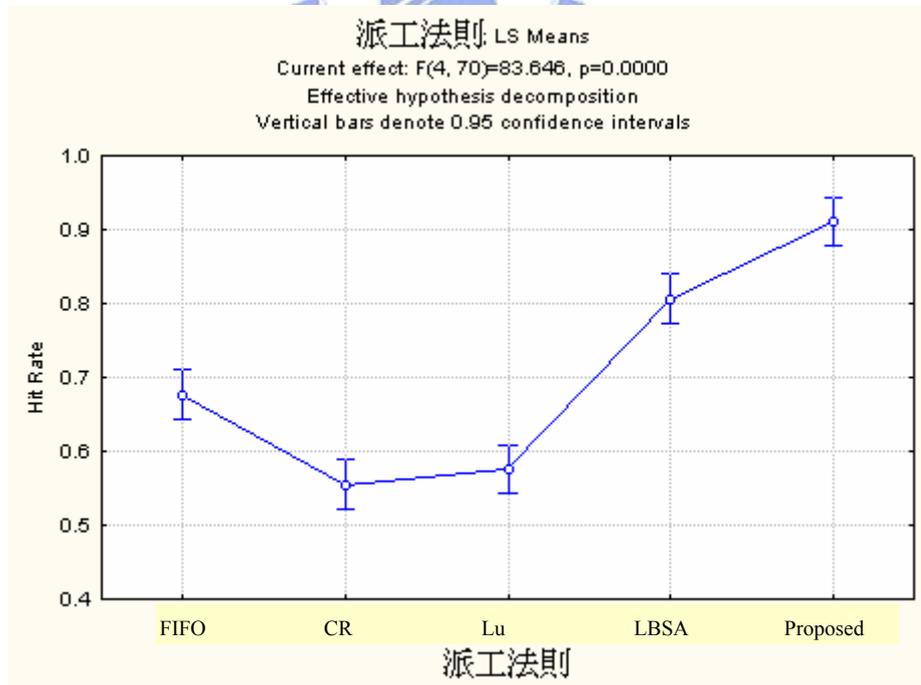
ANOVA 表---1P6M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	37.27970	37.27970	8957.611	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>1.39247</b>	<b>0.34812</b>	<b>83.646</b>	<b>0.00</b>
Error	70	0.29133	0.00416		
Total	74	1.68380			

Duncan 檢定---1P6M

派工法則	達交率	1	2	3	4
CR	0.555073	****			
Lu	0.575901	****			
FIFO	0.676488		****		
LBSA	0.806189			****	
Proposed	0.911482				****

Least Square Means---1P6M



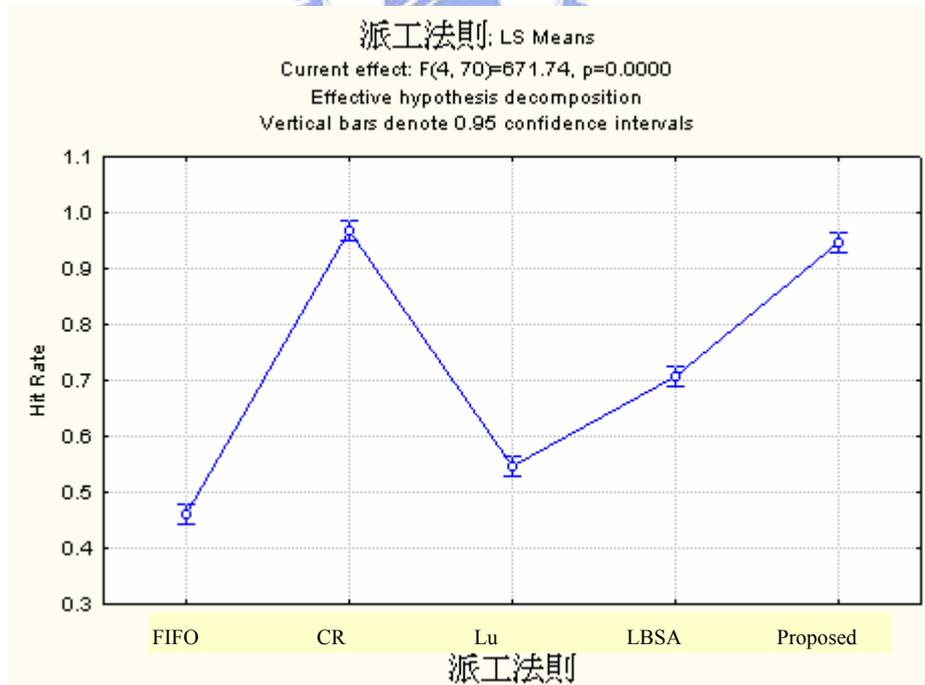
### ANOVA 表---1P7M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	39.54750	39.54750	33969.84	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>3.12813</b>	<b>0.78203</b>	<b>671.74</b>	<b>0.00</b>
Error	70	0.08149	0.00116		
Total	74	3.20963			

### Duncan 檢定---1P7M

派工法則	達交率	1	2	3	4
FIFO	0.461991	****			
Lu	0.547440		****		
LBSA	0.707968			****	
Proposed	0.946663				****
CR	0.966708				****

### Least Square Means---1P7M



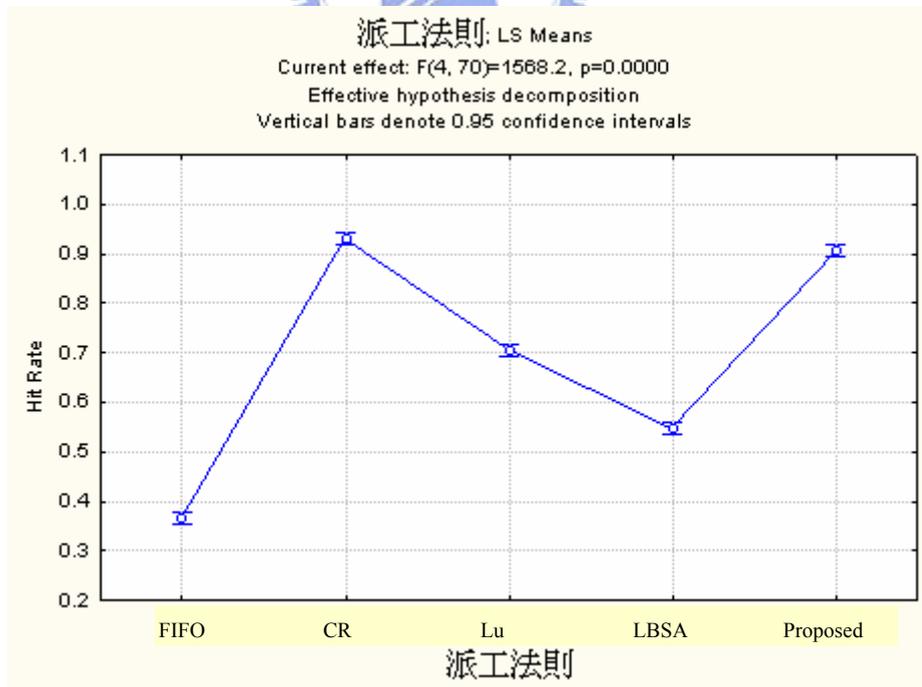
ANOVA 表---1P8M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	35.74469	35.74469	64620.02	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>3.46989</b>	<b>0.86747</b>	<b>1568.23</b>	<b>0.00</b>
Error	70	0.03872	0.00055		
Total	74	3.50861			

Duncan 檢定---1P8M

派工法則	達交率	1	2	3	4
FIFO	0.364287	****			
LBSA	0.545605		****		
Lu	0.706198			****	
Proposed	0.905784				****
CR	0.929923				****

Least Square Means---1P8M



## 附錄二

### 平均週期時間統計檢定



## 附錄二 平均週期時間 統計檢定

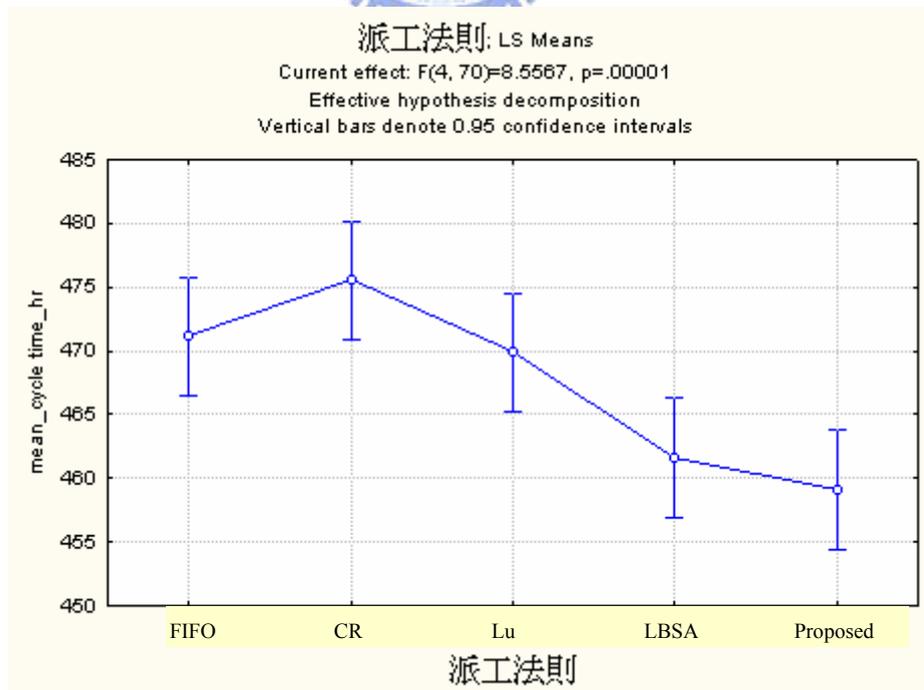
### ANOVA 表---1P3M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	16387512	16387512	197585.0	0.000000
派工法則	<b>4</b>	<b>2839</b>	<b>710</b>	<b>8.6</b>	<b>0.000011</b>
Error	70	5806	83		
Total	74	8644			

### Duncan 檢定---1P3M

派工法則	平均週期時間(hr)	1	2
Proposed	459.0667	****	
LBSA	461.6000	****	
Lu	469.8667		****
FIFO	471.1333		****
CR	475.5333		****

### Least Square Means---1P3M



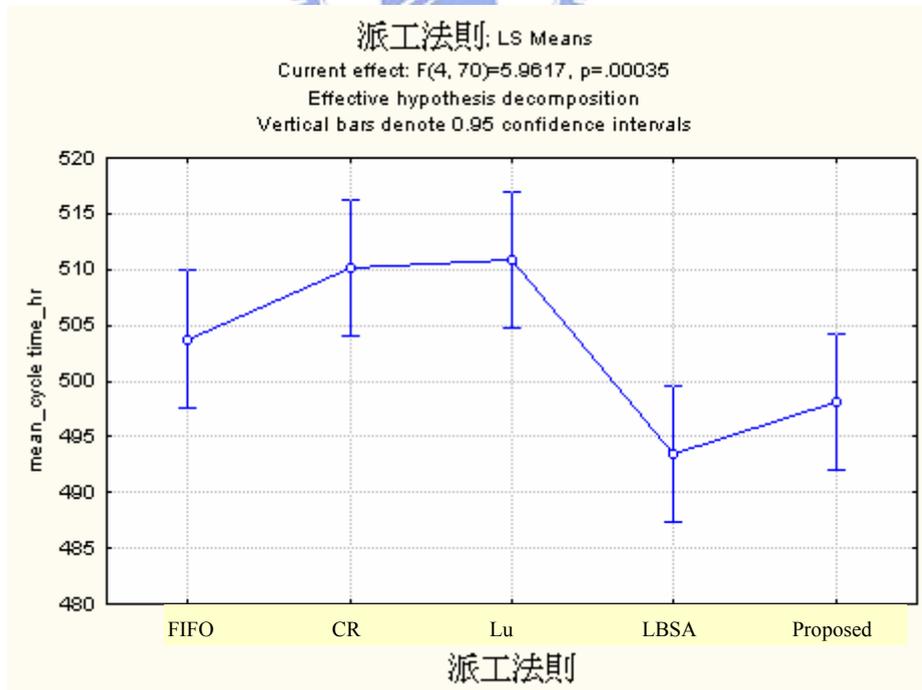
ANOVA 表---1P4M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	18995800	18995800	132733.5	0.000000
派工法則	<b>4</b>	<b>3413</b>	<b>853</b>	<b>6.0</b>	<b>0.000346</b>
Error	70	10018	143		
Total	74	13431			

Duncan 檢定---1P4M

派工法則	平均週期時間(hr)	1	2	3
LBSA	493.4667	****		
Proposed	498.1333	****	****	
FIFO	503.7333		****	****
CR	510.1333			****
Lu	510.8667			****

Least Square Means---1P4M



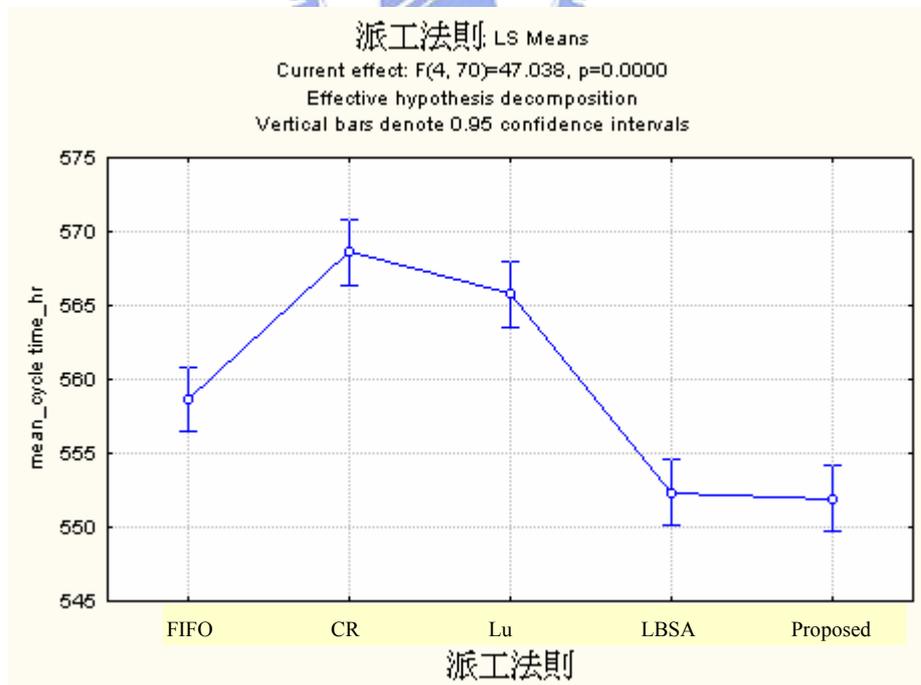
ANOVA 表---1P5M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	23475221	23475221	1270304	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>3477</b>	<b>869</b>	<b>47</b>	<b>0.00</b>
Error	70	1294	18		
Total	74	4771			

Duncan 檢定---1P5M

派工法則	平均週期時間(hr)	1	2	3
Proposed	551.9333	****		
LBSA	552.3333	****		
FIFO	558.6667		****	
Lu	565.8000			****
CR	568.6000			****

Least Square Means---1P5M



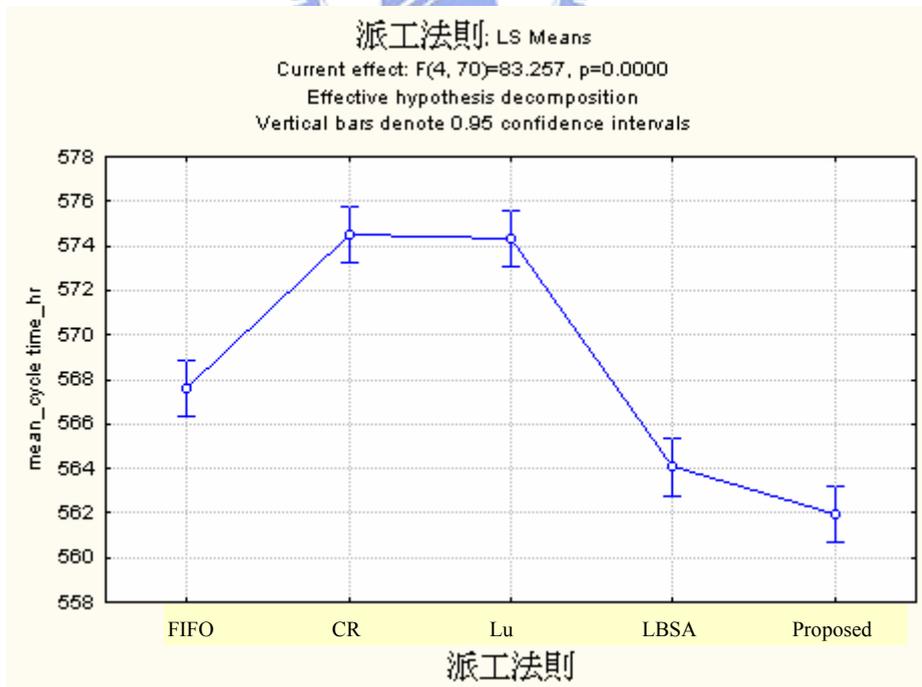
ANOVA 表---1P6M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	24238850	24238850	4015587	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>2010</b>	<b>503</b>	<b>83</b>	<b>0.00</b>
Error	70	423	6		
Total	74	2433			

Duncan 檢定---1P6M

派工法則	平均週期時間(hr)	1	2	3	4
Proposed	561.9333	****			
LBSA	564.0667		****		
FIFO	567.6000			****	
Lu	574.3333				****
CR	574.5333				****

Least Square Means---1P6M



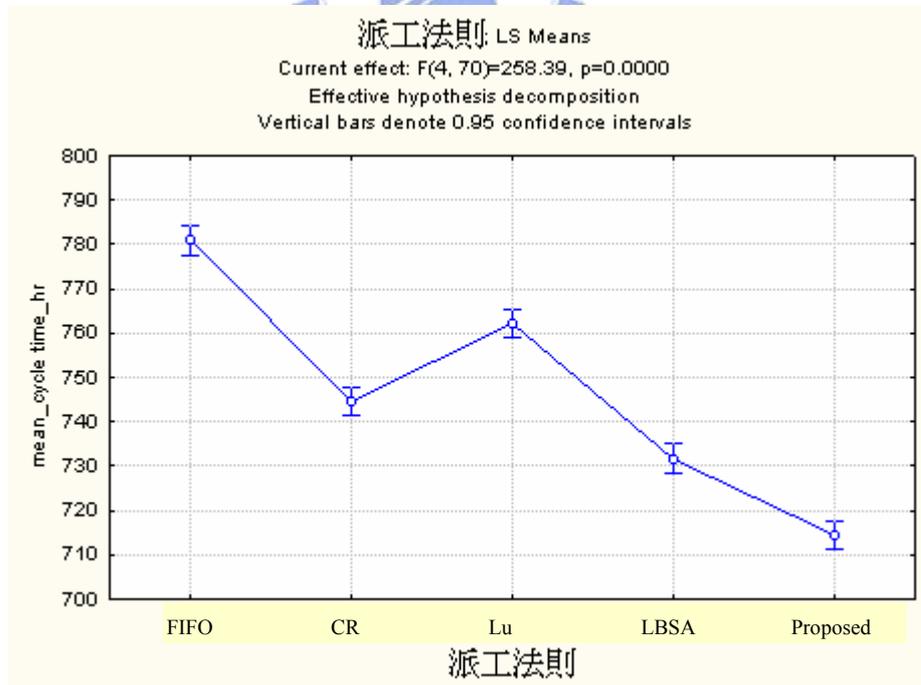
**ANOVA 表---1P7M**

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	41832749	41832749	1079435	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>40055</b>	<b>10014</b>	<b>258</b>	<b>0.00</b>
Error	70	2713	39		
Total	74	42768			

**Duncan 檢定---1P7M**

派工法則	平均週期時間(hr)	1	2	3	4	5
Proposed	714.6000	****				
LBSA	731.7333		****			
CR	744.7333			****		
Lu	762.2000				****	
FIFO	780.9333					****

**Least Square Means---1P7M**



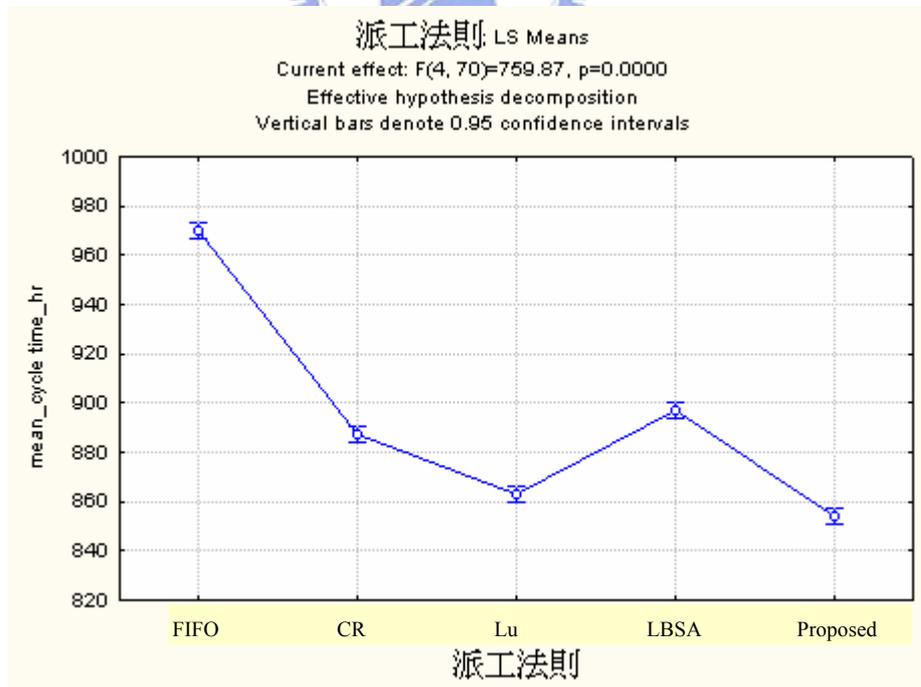
### ANOVA 表---1P8M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	59994563	59994563	1456179	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>125226</b>	<b>31306</b>	<b>760</b>	<b>0.00</b>
Error	70	2884	41		
Total	74	128110			

### Duncan 檢定---1P8M

派工法則	平均週期時間(hr)	1	2	3	4	5
Proposed	854.2000	****				
Lu	863.2667		****			
CR	887.3333			****		
LBSA	897.2000				****	
FIFO	969.9333					****

### Least Square Means---1P8M



## 附錄三

### 週期時間變異統計檢定



### 附錄三 週期時間變異 統計檢定

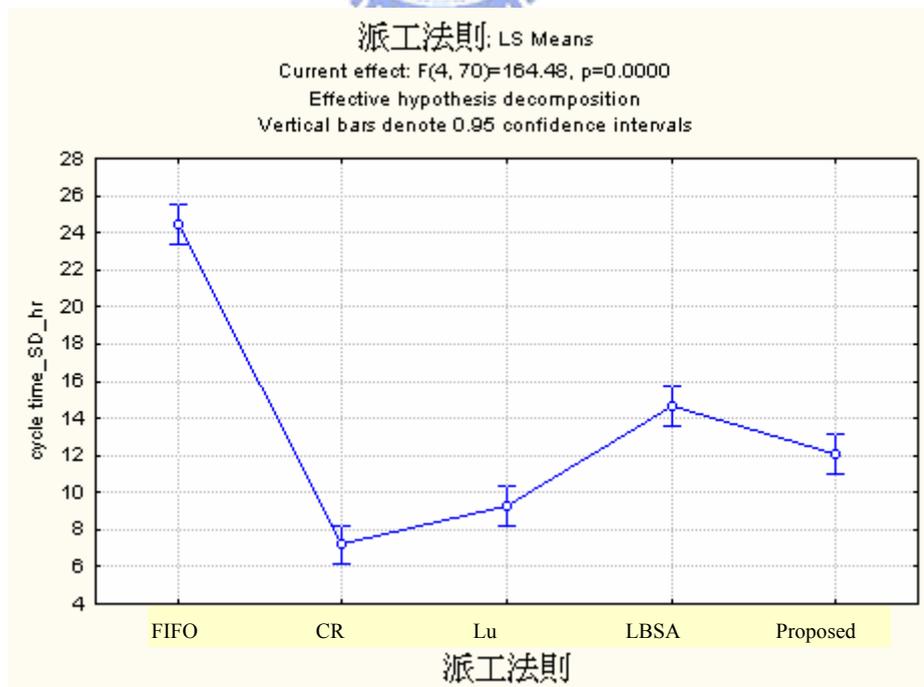
ANOVA 表---1P3M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	13736.33	13736.33	3323.306	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>2719.33</b>	<b>679.83</b>	<b>164.476</b>	<b>0.00</b>
Error	70	289.33	4.13		
Total	74	3008.67			

Duncan 檢定---1P3M

派工法則	週期時間變異(hr)	1	2	3	4	5
CR	7.20000	****				
Lu	9.26667		****			
Proposed	12.06667			****		
LBSA	14.66667				****	
FIFO	24.46667					****

Least Square Means---1P3M



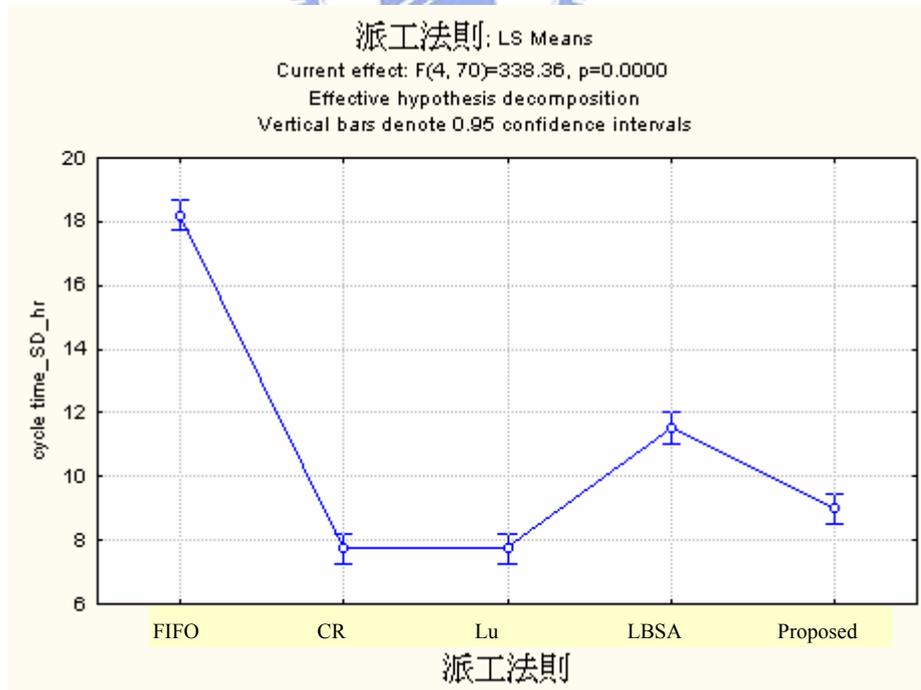
**ANOVA 表---1P4M**

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	8812.920	8812.920	10281.74	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>1160.080</b>	<b>290.020</b>	<b>338.36</b>	<b>0.00</b>
Error	70	60.000	0.857		
Total	74	1220.080			

**Duncan 檢定---1P4M**

派工法則	週期時間變異(hr)	1	2	3	4
Lu	7.73333	****			
CR	7.73333	****			
Proposed	9.00000		****		
LBSA	11.53333			****	
FIFO	18.20000				****

**Least Square Means---1P4M**



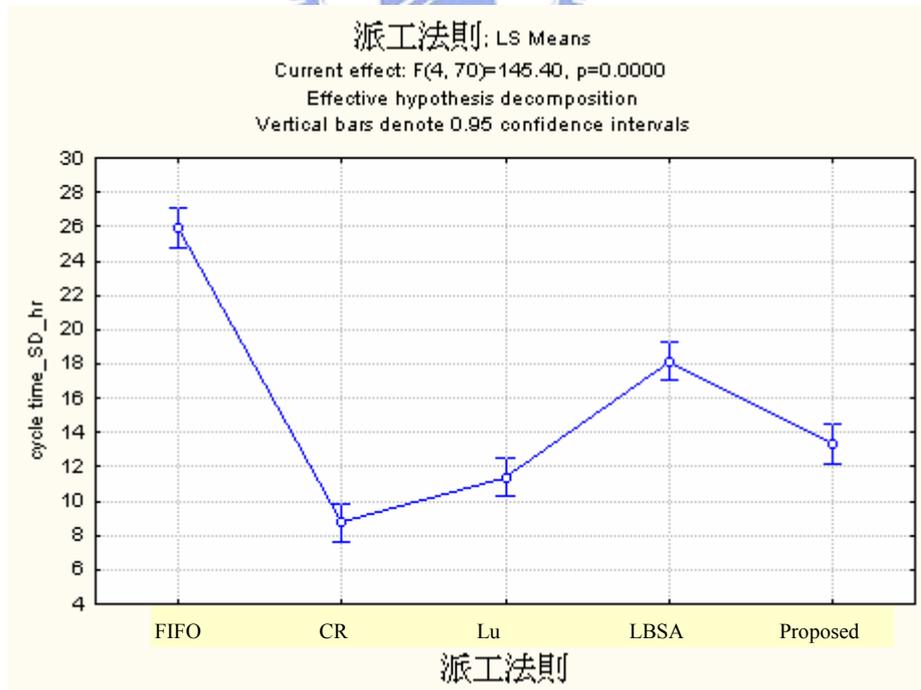
ANOVA 表---1P5M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	18034.25	18034.25	3819.275	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>2746.21</b>	<b>686.55</b>	<b>145.398</b>	<b>0.00</b>
Error	70	330.53	4.72		
Total	74	3076.75			

Duncan 檢定---1P5M

派工法則	週期時間變異(hr)	1	2	3	4	5
CR	8.73333	****				
Lu	11.40000		****			
Proposed	13.33333			****		
LBSA	18.13333				****	
FIFO	25.93333					****

Least Square Means---1P5M



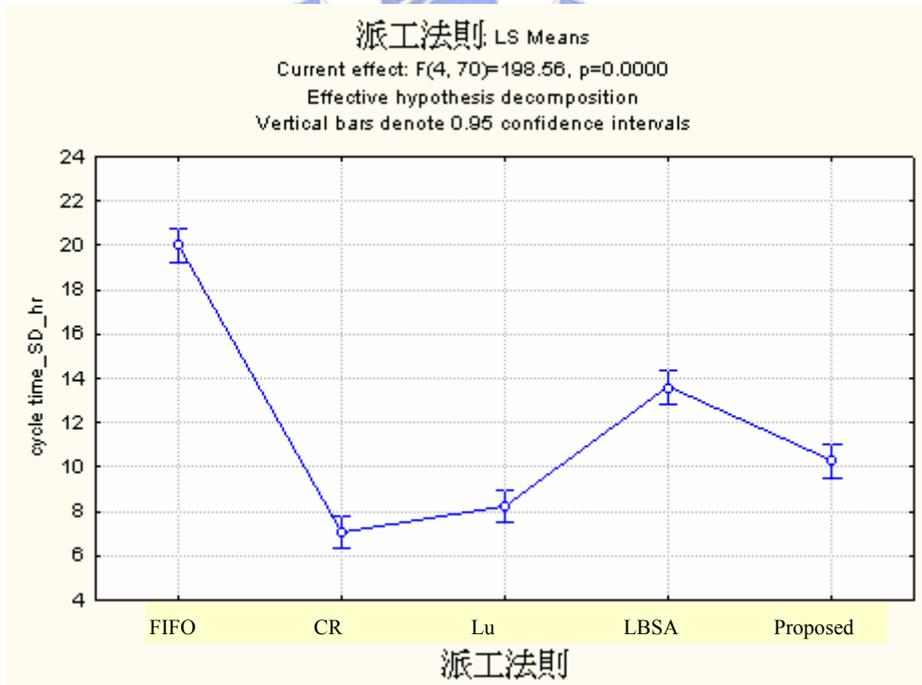
ANOVA 表---1P6M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	10513.92	10513.92	5168.360	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>1615.68</b>	<b>403.92</b>	<b>198.556</b>	<b>0.00</b>
Error	70	142.40	2.03		
Total	74	1758.08			

Duncan 檢定---1P6M

派工法則	週期時間變異(hr)	1	2	3	4	5
CR	7.06667	****				
Lu	8.26667		****			
Proposed	10.26667			****		
LBSA	13.60000				****	
FIFO	20.00000					****

Least Square Means---1P6M



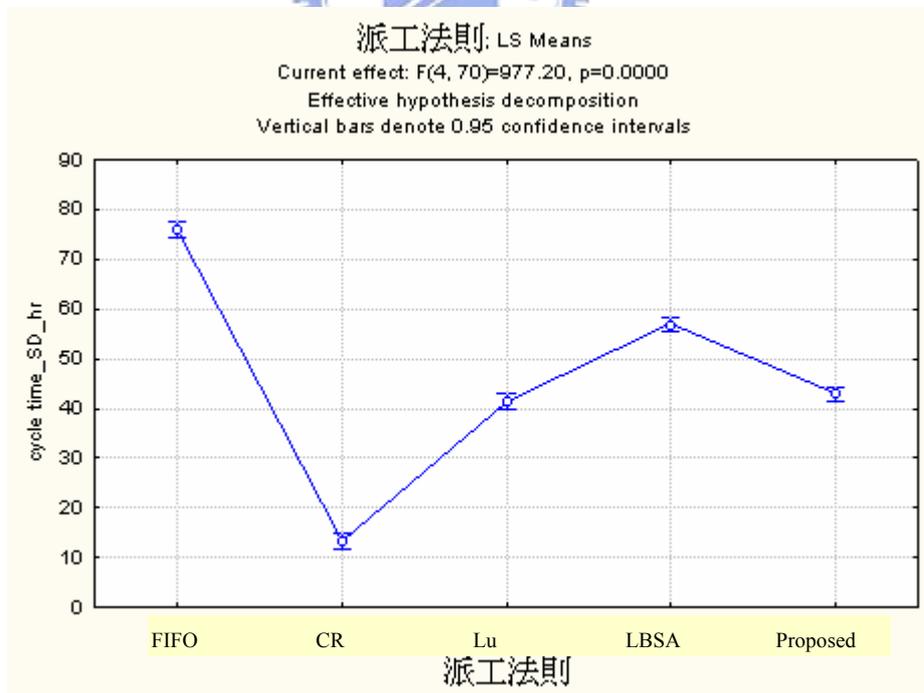
ANOVA 表---1P7M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	159344.7	159344.7	19628.33	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>31732.1</b>	<b>7933.0</b>	<b>977.20</b>	<b>0.00</b>
Error	70	568.3	8.1		
Total	74	32300.3			

Duncan 檢定---1P7M

派工法則	週期時間變異(hr)	1	2	3	4
CR	13.26667	****			
Lu	41.46667		****		
Proposed	42.93333		****		
LBSA	56.86667			****	
FIFO	75.93333				****

Least Square Means---1P7M



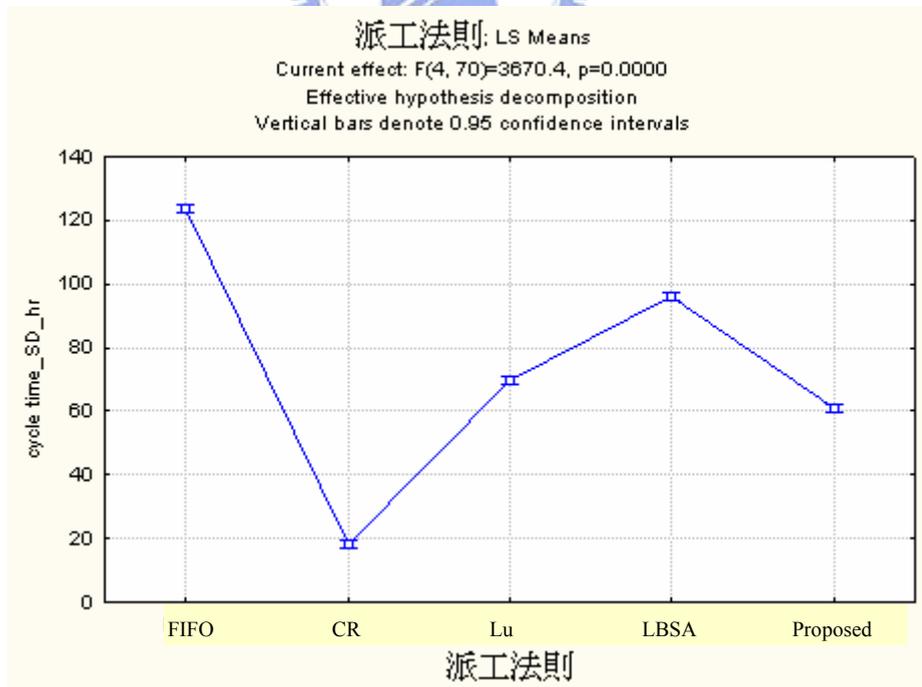
### ANOVA 表---1P8M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	407008.3	407008.3	63293.65	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>94410.5</b>	<b>23602.6</b>	<b>3670.43</b>	<b>0.00</b>
Error	70	450.1	6.4		
Total	74	94860.7			

### Duncan 檢定---1P8M

派工法則	週期時間變異(hr)	1	2	3	4	5
CR	18.0000	****				
Proposed	60.8667		****			
Lu	69.4667			****		
LBSA	96.3333				****	
FIFO	123.6667					****

### Least Square Means---1P8M



## 附錄四

### 平均延遲時間統計檢定



## 附錄四 平均延遲時間 統計檢定

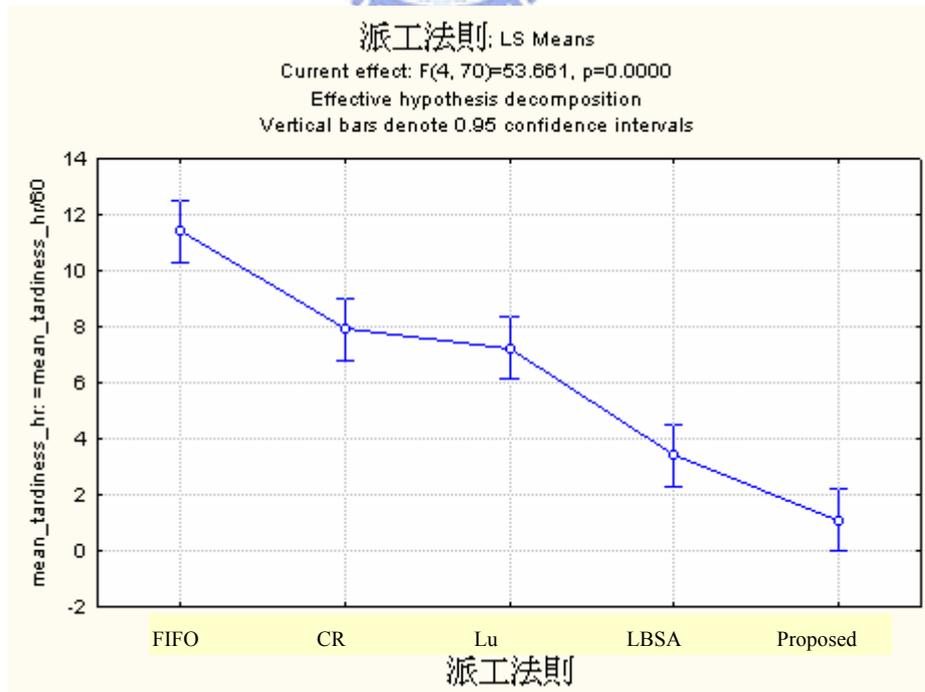
ANOVA 表---1P3M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	2901.630	2901.630	638.6188	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>975.258</b>	<b>243.815</b>	<b>53.6611</b>	<b>0.00</b>
Error	70	318.052	4.544		
Total	74	1293.311			

Duncan 檢定---1P3M

派工法則	平均延遲時間(hr)	1	2	3	4
Proposed	1.09667	****			
LBSA	3.42333		****		
Lu	7.24556			****	
CR	7.91667			****	
FIFO	11.41778				****

Least Square Means---1P3M



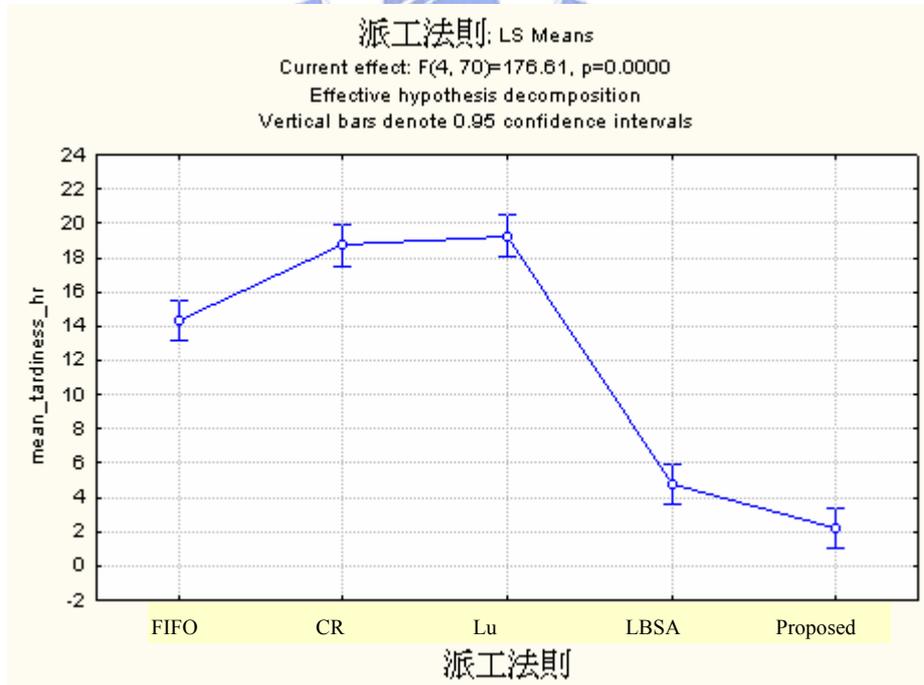
**ANOVA 表---1P4M**

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	10553.19	10553.19	1970.292	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>3783.87</b>	<b>945.97</b>	<b>176.613</b>	<b>0.00</b>
Error	70	374.93	5.36		
Total	74	4158.80			

**Duncan 檢定---1P4M**

派工法則	平均延遲時間(hr)	1	2	3	4
Proposed	2.20556	****			
LBSA	4.74778		****		
FIFO	14.34444			****	
CR	18.72933				****
Lu	19.28333				****

**Least Square Means---1P4M**



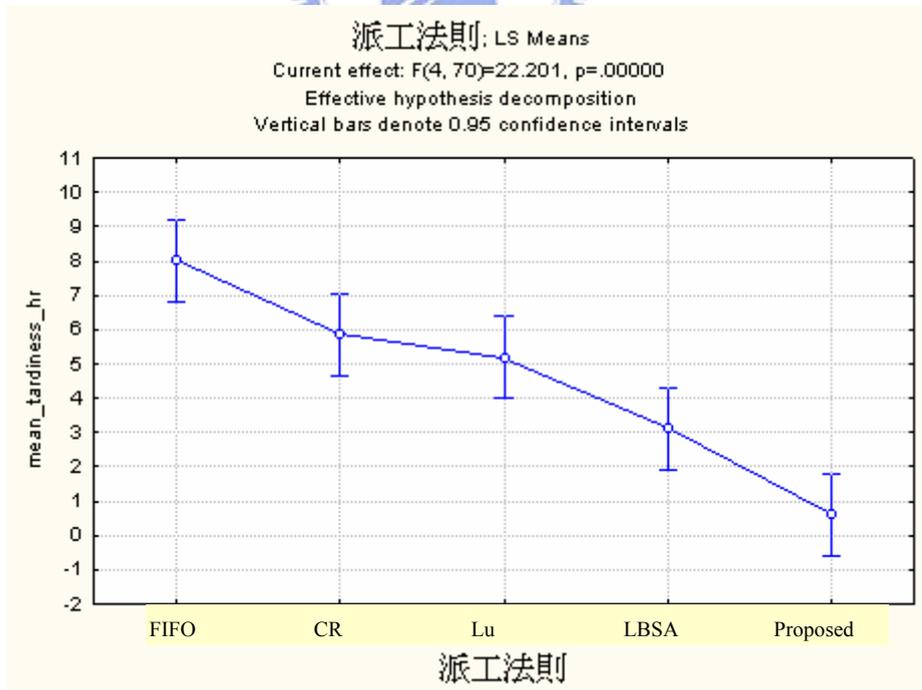
ANOVA 表---1P5M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	1558.456	1558.456	290.0210	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>477.201</b>	<b>119.300</b>	<b>22.2012</b>	<b>0.00</b>
Error	70	376.152	5.374		
Total	74	853.352			

Duncan 檢定---1P5M

派工法則	平均延遲時間(hr)	1	2	3	4
Proposed	0.602222	****			
LBSA	3.122222		****		
Lu	5.178889			****	
CR	5.865556			****	
FIFO	8.023333				****

Least Square Means---1P5M



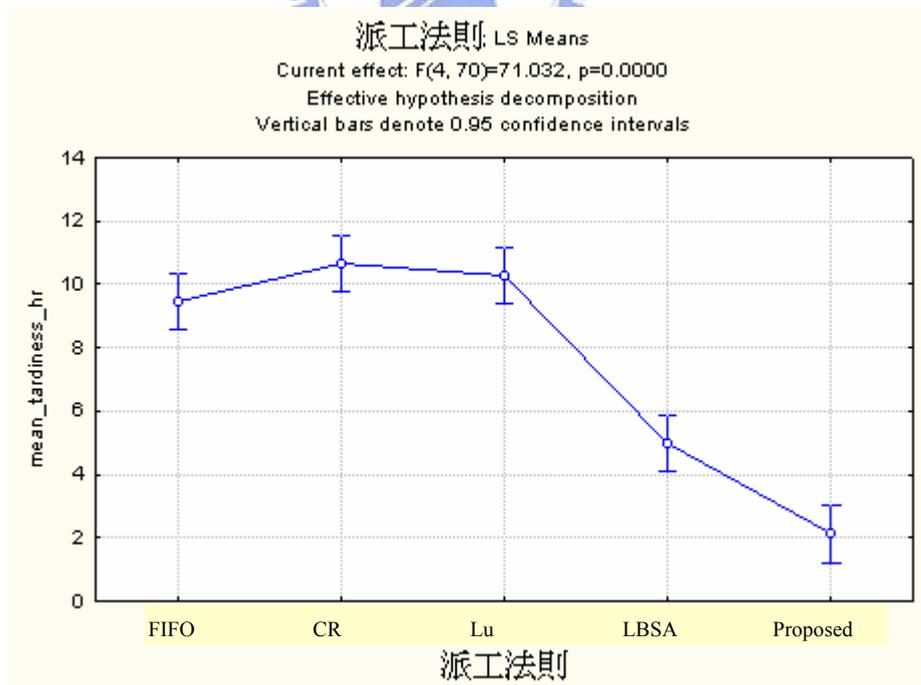
**ANOVA 表---1P6M**

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	4224.752	4224.752	1407.456	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>852.868</b>	<b>213.217</b>	<b>71.032</b>	<b>0.00</b>
Error	70	210.119	3.002		
Total	74	1062.987			

**Duncan 檢定---1P6M**

派工法則	平均延遲時間(hr)	1	2	3
Proposed	2.11778	****		
LBSA	4.99778		****	
FIFO	9.46333			****
Lu	10.26667			****
CR	10.68111			****

**Least Square Means---1P6M**



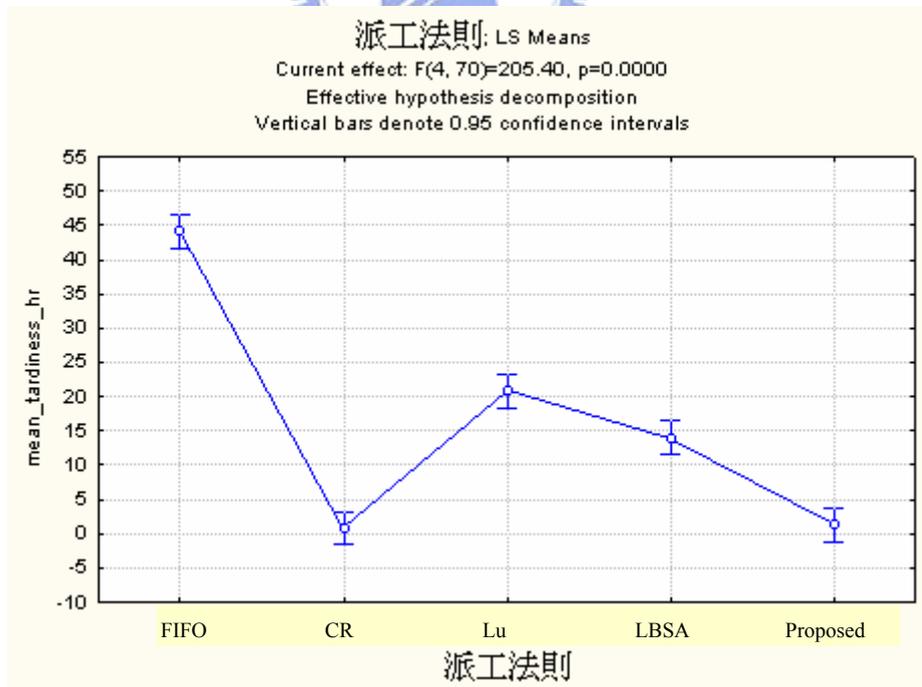
### ANOVA 表---1P7M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	19772.74	19772.74	854.4313	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>19012.52</b>	<b>4753.13</b>	<b>205.3950</b>	<b>0.00</b>
Error	70	1619.90	23.14		
Total	74	20632.42			

### Duncan 檢定---1P7M

派工法則	平均延遲時間(hr)	1	2	3	4
CR	0.80667	****			
Proposed	1.30556	****			
LBSA	14.00333		****		
Lu	20.91000			****	
FIFO	44.15889				****

### Least Square Means---1P7M



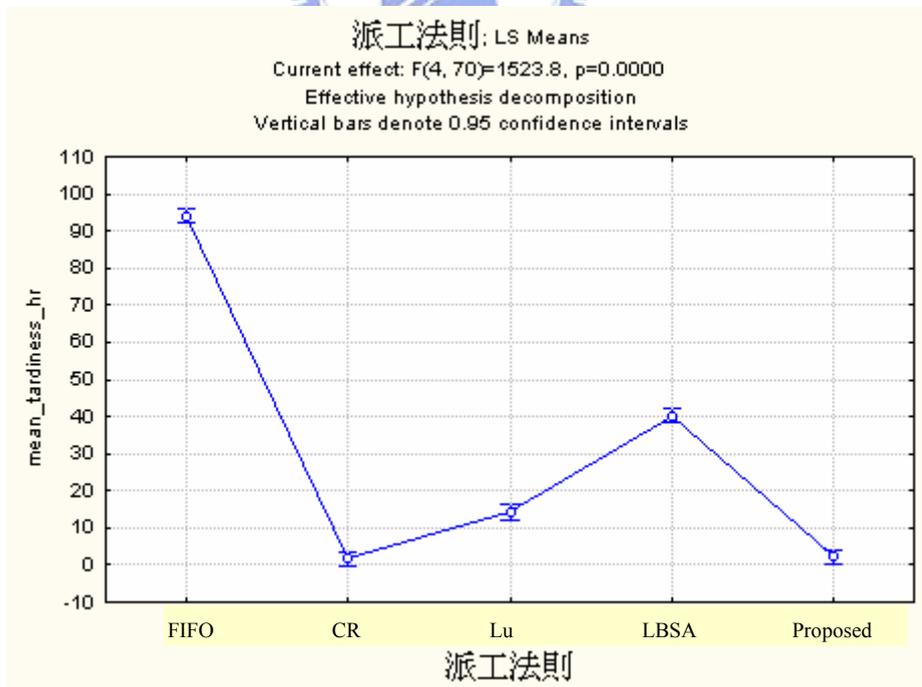
### ANOVA 表---1P8M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	69751.47	69751.47	4701.087	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>90436.26</b>	<b>22609.06</b>	<b>1523.799</b>	<b>0.00</b>
Error	70	1038.61	14.84		
Total	74	91474.87			

### Duncan 檢定---1P8M

派工法則	平均延遲時間(hr)	1	2	3	4
CR	1.70889	****			
Proposed	2.23556	****			
Lu	14.16778		****		
LBSA	40.32333			****	
FIFO	94.04556				****

### Least Square Means---1P8M



## 附錄五

### 延遲時間變異統計檢定



## 附錄五 延遲時間變異 統計檢定

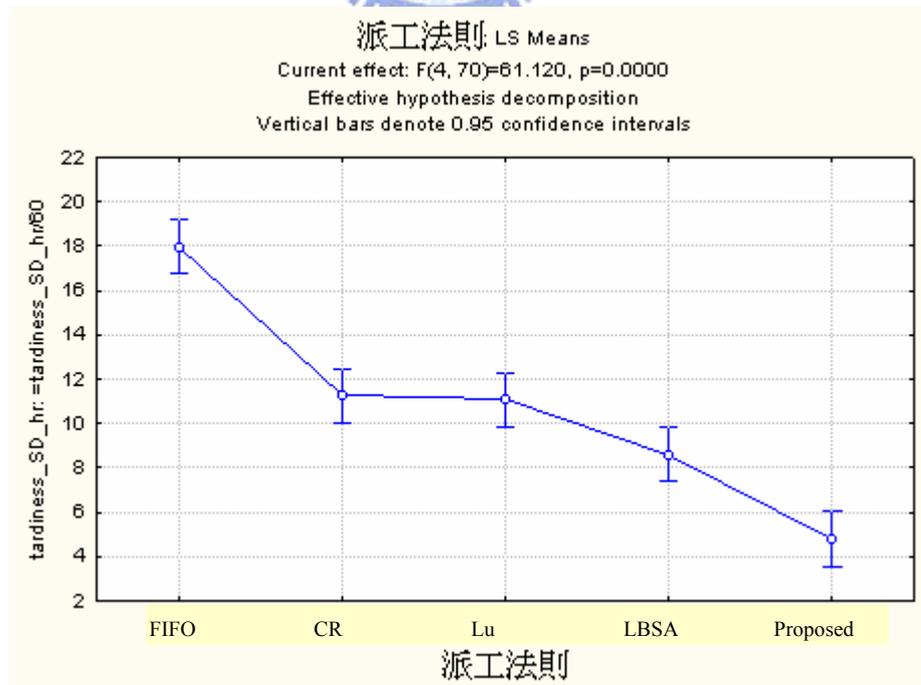
### ANOVA 表---1P3M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	8650.712	8650.712	1525.202	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>1386.645</b>	<b>346.661</b>	<b>61.120</b>	<b>0.00</b>
Error	70	397.029	5.672		
Total	74	1783.674			

### Duncan 檢定---1P3M

派工法則	延遲時間變異(hr)	1	2	3	4
Proposed	4.79222	****			
LBSA	8.62111		****		
Lu	11.07111			****	
CR	11.24889			****	
FIFO	17.96556				****

### Least Square Means---1P3M



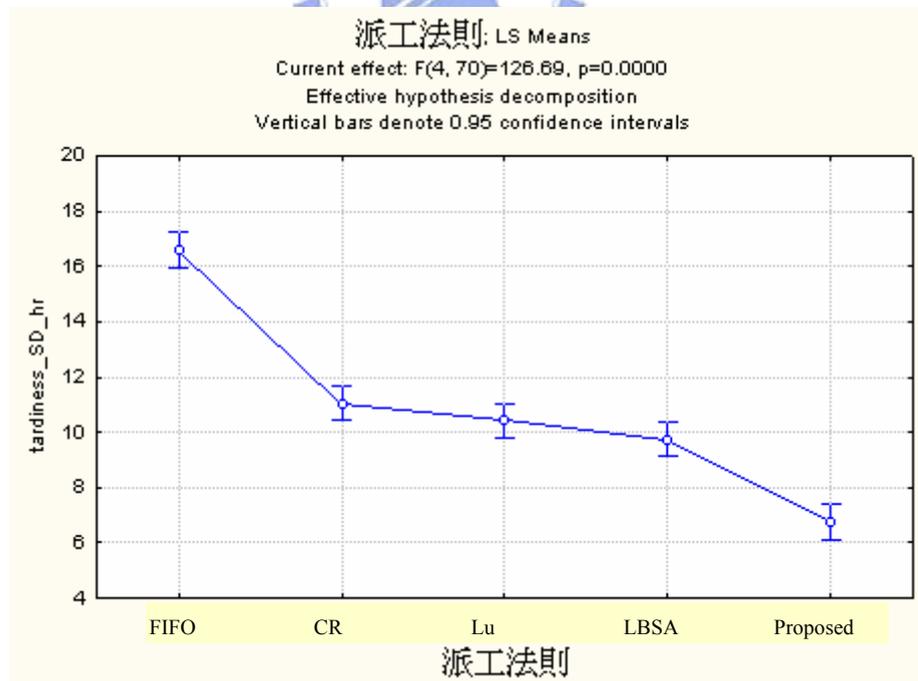
### ANOVA 表---1P4M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	8931.545	8931.545	5894.721	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>767.840</b>	<b>191.960</b>	<b>126.692</b>	<b>0.00</b>
Error	70	106.062	1.515		
Total	74	873.903			

### Duncan 檢定---1P4M

派工法則	延遲時間變異(hr)	1	2	3	4
Proposed	6.75222	****			
LBSA	9.75333		****		
Lu	10.41533		****	****	
CR	11.04933			****	
FIFO	16.59333				****

### Least Square Means---1P4M



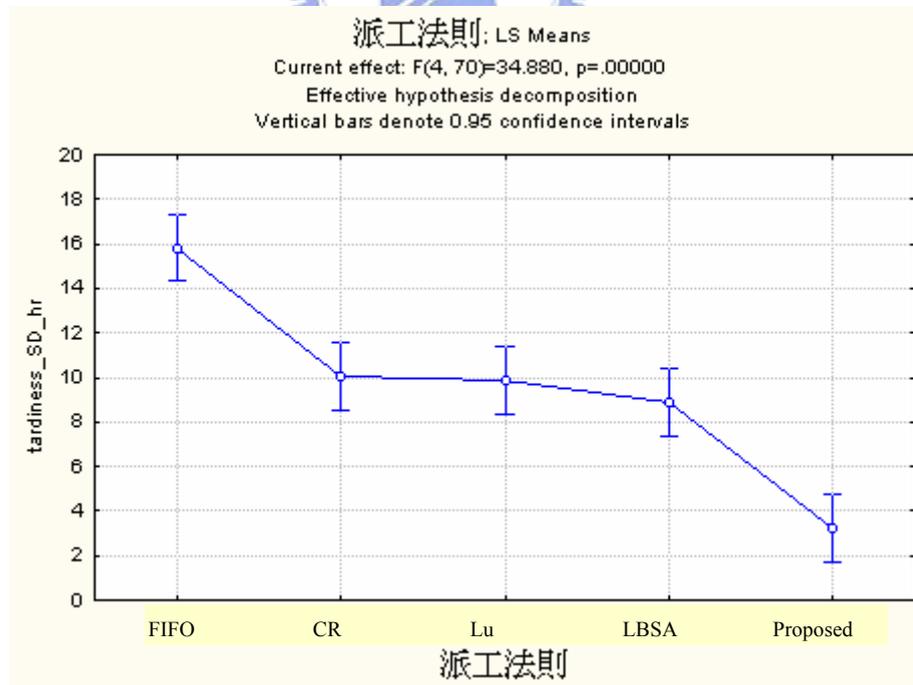
### ANOVA 表---1P5M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	6881.633	6881.633	802.3993	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>1196.572</b>	<b>299.143</b>	<b>34.8801</b>	<b>0.00</b>
Error	70	600.342	8.576		
Total	74	1796.914			

### Duncan 檢定---1P5M

派工法則	延遲時間變異(hr)	1	2	3
Proposed	3.25778	****		
LBSA	8.87667		****	
Lu	9.88889		****	
CR	10.04667		****	
FIFO	15.82444			****

### Least Square Means---1P5M



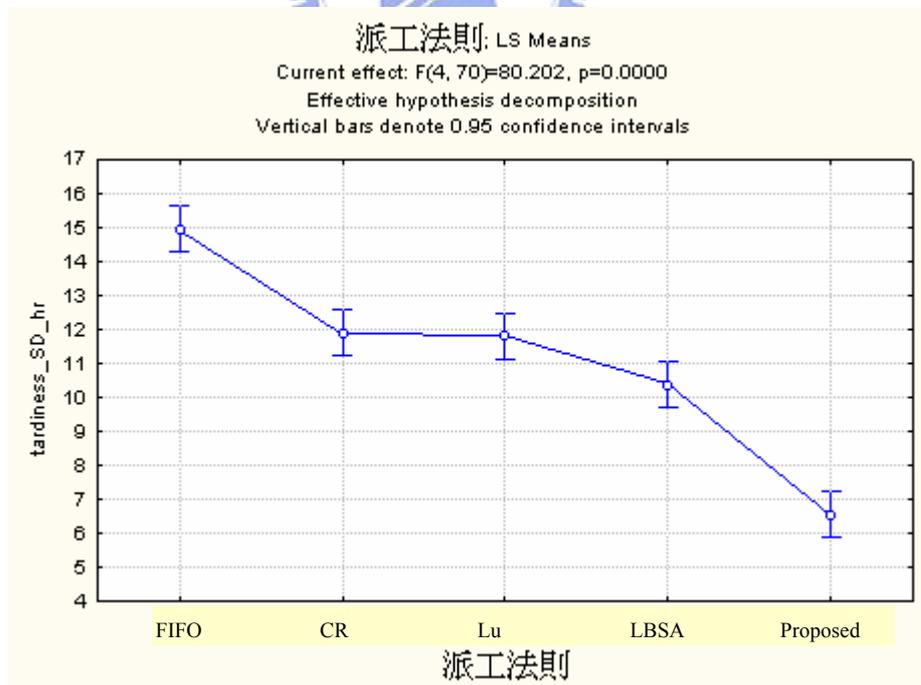
### ANOVA 表---1P6M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	9268.891	9268.891	5324.003	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>558.513</b>	<b>139.628</b>	<b>80.202</b>	<b>0.00</b>
Error	70	121.867	1.741		
Total	74	680.380			

### Duncan 檢定---1P6M

派工法則	延遲時間變異(hr)	1	2	3	4
Proposed	6.54556	****			
LBSA	10.38333		****		
Lu	11.81556			****	
CR	11.88667			****	
FIFO	14.95333				****

### Least Square Means---1P6M



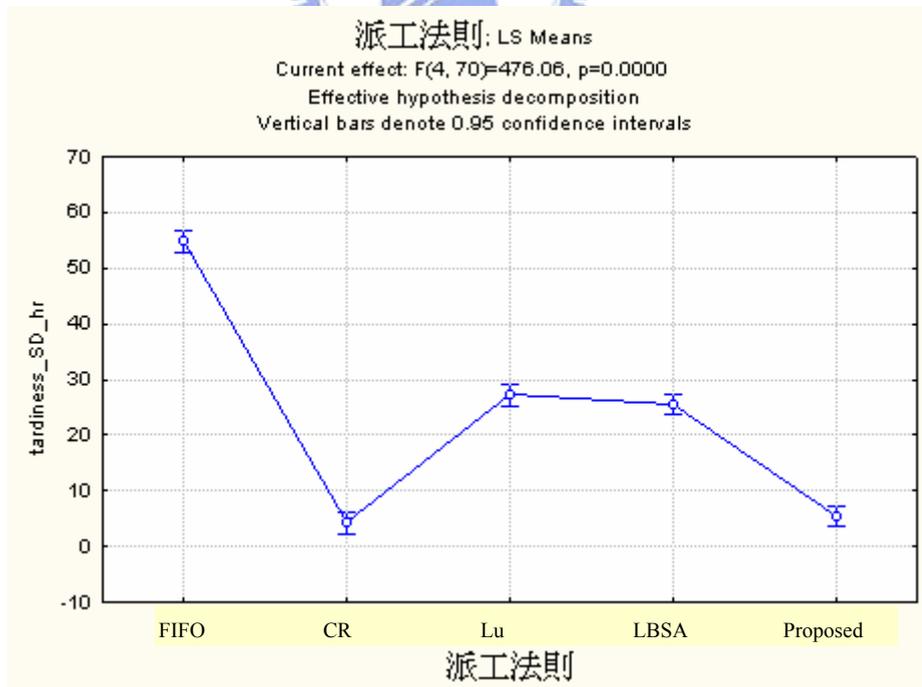
ANOVA 表---1P7M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	41189.55	41189.55	3079.325	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>25471.26</b>	<b>6367.82</b>	<b>476.057</b>	<b>0.00</b>
Error	70	936.33	13.38		
Total	74	26407.59			

Duncan 檢定---1P7M

派工法則	延遲時間變異(hr)	1	2	3
CR	4.20000	****		
Proposed	5.44778	****		
LBSA	25.48000		****	
Lu	27.20889		****	
FIFO	54.83778			****

Least Square Means---1P7M



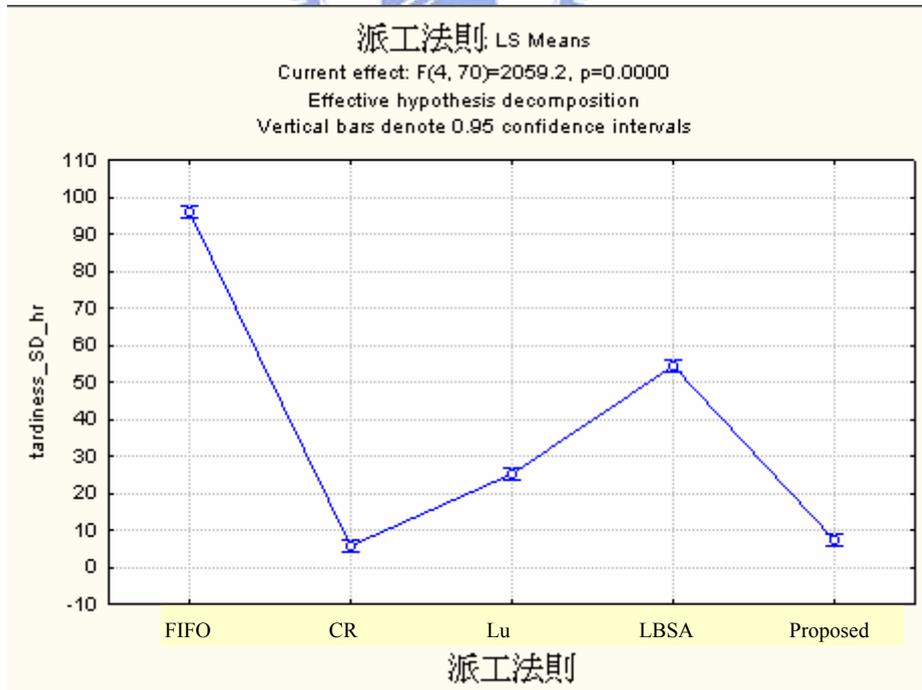
ANOVA 表---1P8M

	自由度	平方和	均方	F	P
Intercept	1	106498.8	106498.8	10063.68	0.00
派工法則	<b>4</b>	<b>87165.4</b>	<b>21791.3</b>	<b>2059.19</b>	<b>0.00</b>
Error	70	740.8	10.6		
Total	74	87906.1			

Duncan 檢定---1P8M

派工法則	延遲時間變異(hr)	1	2	3	4
CR	5.74111	****			
Proposed	7.17667	****			
Lu	24.96111		****		
LBSA	54.37333			****	
FIFO	96.16111				****

Least Square Means---1P8M



## 附錄六

### 1P7M Duncan 分群統計檢定



## 附錄六 1P7M Duncan 分群統計檢定

**Duncan 分群表---1P7M 達交率**

派工法則	FIFO	CR	Lu	LBSA	Proposed
FIFO		0.000031	0.000116	0.000056	0.000050
CR	0.000031		0.000050	0.000056	<b>0.112265</b>
Lu	0.000116	0.000050		0.000116	0.000056
LBSA	0.000056	0.000056	0.000116		0.000116
Proposed	0.000050	<b>0.112265</b>	0.000056	0.000116	

**Duncan 分群表---1P7M 平均延遲時間**

派工法則	FIFO	CR	Lu	LBSA	Proposed
FIFO		0.000031	0.000116	0.000056	0.000050
CR	0.000031		0.000050	0.000056	<b>0.777358</b>
Lu	0.000116	0.000050		0.000303	0.000056
LBSA	0.000056	0.000056	0.000303		0.000116
Proposed	0.000050	<b>0.777358</b>	0.000056	0.000116	

**Duncan 分群表---1P7M 平均延遲時間**

派工法則	FIFO	CR	Lu	LBSA	Proposed
FIFO		0.000031	0.000116	0.000056	0.000050
CR	0.000031		0.000050	0.000056	<b>0.353471</b>
Lu	0.000116	0.000050		<b>0.199810</b>	0.000056
LBSA	0.000056	0.000056	<b>0.199810</b>		0.000116
Proposed	0.000050	<b>0.353471</b>	0.000056	0.000116	

## 附錄七

### 1P8M Duncan 分群統計檢定



## 附錄七 1P8M Duncan 分群統計檢定

**Duncan 分群表---1P8M 達交率**

派工法則	FIFO	CR	Lu	LBSA	Proposed
FIFO		0.000031	0.000056	0.000116	0.000050
CR	0.000031		0.000056	0.000050	<b>0.084203</b>
Lu	0.000056	0.000056		0.000116	0.000116
LBSA	0.000116	0.000050	0.000116		0.000056
Proposed	0.000050	<b>0.084203</b>	0.000116	0.000056	

**Duncan 分群表---1P8M 平均延遲時間**

派工法則	FIFO	CR	Lu	LBSA	Proposed
FIFO		0.000031	0.000056	0.000116	0.000050
CR	0.000031		0.000056	0.000050	<b>0.709330</b>
Lu	0.000056	0.000056		0.000116	0.000116
LBSA	0.000116	0.000050	0.000116		0.000056
Proposed	0.000050	<b>0.709330</b>	0.000116	0.000056	

**Duncan 分群表---1P8M 平均延遲時間**

派工法則	FIFO	CR	Lu	LBSA	Proposed
FIFO		0.000031	0.000056	0.000116	0.000050
CR	0.000031		0.000056	0.000050	<b>0.230996</b>
Lu	0.000056	0.000056		0.000116	0.000116
LBSA	0.000116	0.000050	0.000116		0.000056
Proposed	0.000050	<b>0.230996</b>	0.000116	0.000056	