多廠生產規劃之供應鏈決策支援模式

Decision Support Models for Multi-plant Production Planning

郭瑞祥[*] 蔣明晃[**] 陳亞男[***] 劉基全[****]
R.S. Guo David. M. Chiang Y.N. Chen J.C. Liou

（Received Mar. 15, 2002；First Revised Nov. 21, 2003；Accepted Apr. 28, 2004）

摘 要：本研究針對供應鏈中多廠生產規劃的問題進行研究，爲了彌補現行企業採用的經驗法則之不足，首先運用混合型整數線性規劃，建構「單階決策模式」，而爲了降低問題的複雜度及運算時間，乃進而建構「二階決策模式」。單階決策模式以成本極小化爲目標式，考量產能限制與物料限制，可求出企業最佳的生產規劃與資源分配。二階決策模式則是將單階決策模式中所考量的成本與限制分成兩個階段考量：第一階段爲「訂單分配階段」；第二階段爲「工廠規劃階段」。透過系統化之情境設計與模擬分析，可得以下結論：1.單階決策模式能得到最佳的生產規劃計畫，但運算耗時，不適合實務應用。2.二階決策模式能求得接近最佳的生產規劃計畫，運算時間合理，若配合企業其他供應鏈管理方案，可提升企業整體營運效能。

關鍵詞：供應鏈、多廠生產規劃、決策支援模式

Abstract: The production planning among many sites is one of the key supply chain management issues. In this research, two decision support models for multi-plant production planning based on mixed-integer linear programming techniques are developed. The first one is a “monolithic model” that considers both the capacity and material constraints and provides an optimal production plan to minimize the overall production cost. The second one is a “two-stage model”, which first allocates the customers’ orders to different plants under the capacity constraint and the minimum cost objective. With the orders being determined, then in the second stage a different model is used to provide the optimal production plans for individual plants under the material and capacity constraints. Results of simulation study show that the two-stage decision support model is superior and provides the near optimal solutions and requires a very efficient computation effort.

Key words: Supply Chain, Multi-plant Prodution Planning, Decision Support Model

[*] 國立台灣大學商學研究所教授
Professor, Graduate Institute of Business Administration, National Taiwan University
[**] 國立台灣大學商學研究所副教授
Associate Professor, Graduate Institute of Business Administration, National Taiwan University
[***] 國立台灣大學商學研究所碩士
MBA, Graduate Institute of Business Administration, National Taiwan University
[****] 國防大學國防管理學院資源管理研究所助理教授
Assistant Professor, Department of Resources Management, National Defense University

壹、緒論

一、研究動機

近年來由於經濟的迅速發展，許多企業開始面臨到全球性的競爭與多變的市場需求。爲使企業能持續發展，提供快速、良好的顧客服務，企業必須整合其內部資源與外部資源，透過協調合作與資訊分享，提升整體顧客服務水準，以創造最佳的生產與營運績效。此種企業內與企業間的協調合作與資訊分享，即爲「供應鏈管理」（Supply Chain Management；SCM）之精神所在。

在此供應鏈管理的概念下，多廠之生產方式乃成爲主流生產方式之一。多廠生產規劃的問題是指企業擁有多個能夠提供相同生能力之工廠，當客户訂單到達時，企業必須決定客户訂單交由那一工廠生產。因此，多廠整合生產規劃成供應鏈中重要的問題之一。

多廠生產規劃的問題是非常複雜的問題，特別當訂單數量、工廠數量、規劃期程、物料類別及供應商數量增加時，此問題之複雜度將成指數成長。因此，企業目前多數採用「經驗法則」實施「訂單分配」給各工廠，並任由各工廠自行進行生產規劃，這種規劃方式無法有效降低總成本與提昇服務水準。因此，如何藉由一個良好的決策支援系統，以輔助企業內各廠間之訂單分配，並從企業角度通盤考量進行生產、物料、存貨等規劃實爲當務之急。

而目前在供應鏈管理之決策支援系統中，最爲業界重視的即爲「先進規劃與排程系統」（Advanced Planning and Scheduling System；APS）（Gould, 1998）。此類系統多由軟體廠商諸如 i2，Adexa 所開發。藉由快速的電腦運算與同步規劃的概念，這些系統能提供企業整體考量，運算快速的良好生產規劃與排程計劃。然而這些「供應鏈」解決方案的軟體價格昂貴，而且運算的演算法對導入的企業而言仍是一個黑盒子。以學者的研究而言，目前研究亦極爲有限（Stadtler & Kilger, 2000），因此本研究旨在根據「先進規劃與排程」之精神，提出一智慧型決策支援模式，針對多廠之生產規劃，提出一系統化與透明化之解決方案。

二、文獻回顧與研究目的

近年來，多廠整合（multi-plant coordination）的研究漸受重視，根據 Bhatnagar & Chandra（1993）之定義，多廠整合包含一般整合與多廠整合兩種。前者是指不同功能的整合決策，例如採購者與供應者整合，生產與配銷整合，存貨與配銷整合等；後者是指在產品生產所經的各個層次工廠間，相同功能的整合決策，例如生產規劃、生產批量、安全存量等。

有關一般整合的文獻非常的多，可參考 Bhatnagar & Chandra（1993）, Thomas & Griffin（1996）,Benita（1998）, Erenguc et al.（1999）, Zipkin（2000）, Min & Zhou

（2002）之文獻回顧，此處不再贅述。然而，有關多廠生產規劃方面的文獻則較少。由於樹狀架構生產系統與本研究之供應鏈多廠生產環境類似，因此，以下乃將有關多廠生產規劃與樹狀架構生產系統之生產排程相關文獻比較如表一所示，並說明如下：

Beek et al.（1985）研究多廠生產系統的彈性與設計，該研究運用數學規劃法，求解出最小前置時間的多廠生產計畫。

表一　多廠生產規劃之文獻

作　者	研究重點	塑模方法	目標函數	求解方法
Beek et al.（1985）	研究多廠生產系統的彈性與設計	整數規劃	極小化前置時間	拉氏釋限法（Lagrangian Relaxation）
Cohen & Lee（1988）	研究加工具有隨機性之不確定性環境之多廠生產規劃問題	馬可夫過程	極小化相關成本：存貨持有成本、生產成本、運輸成本	馬可夫過程
Bhatnagar（1995）	驗證多廠整合生產規劃之效益	整數規劃	極小化相關成本：加班成本、變動加班成本	拉氏釋限法
Carlo（1999）	研究具有平行機器之多廠生產規劃	0-1 整數規劃	極小化相關成本：生產成本、存貨持有成本、延遲損失成本、運輸成本	線性規劃釋限法（LP relaxation）
Park and Kim（2000）	樹狀架構生產系統下接單式生產排程問題	混合整數規劃	極小化相關成本：存貨持有成本及在製品成本	拉氏釋限法
Moon et al.（2002）	樹狀生產系統下整合製程規劃與排程問題	整數規劃（旅行銷售員模式）	極小化總延遲時間	基因演算法
本研究（2003）	建構與比較多廠整合生產規劃之單階及二階整數規劃模式	整數規劃	極小化相關成本：固定生產成本、變動生產成本、物料採購成本、存貨持有成本、延遲損失成本、運輸成本	整數規劃

Cohen & Lee（1988）研究加工具有隨機性之不確定性環境之多廠生產規劃問題。該研究運用馬可夫過程方法，求解出接近最佳解的最小相關成本的多廠生產計畫。

Bhatnagar（1995）驗證多廠整合生產規劃之效益，該研究並未列出眞正的模式與解法，僅說明整數規劃所需內容與拉氏釋限法（Lagrangian relaxation）之步驟，屆以說明多廠整合生產規劃在相關成本方面優於多廠各自規劃的效益。

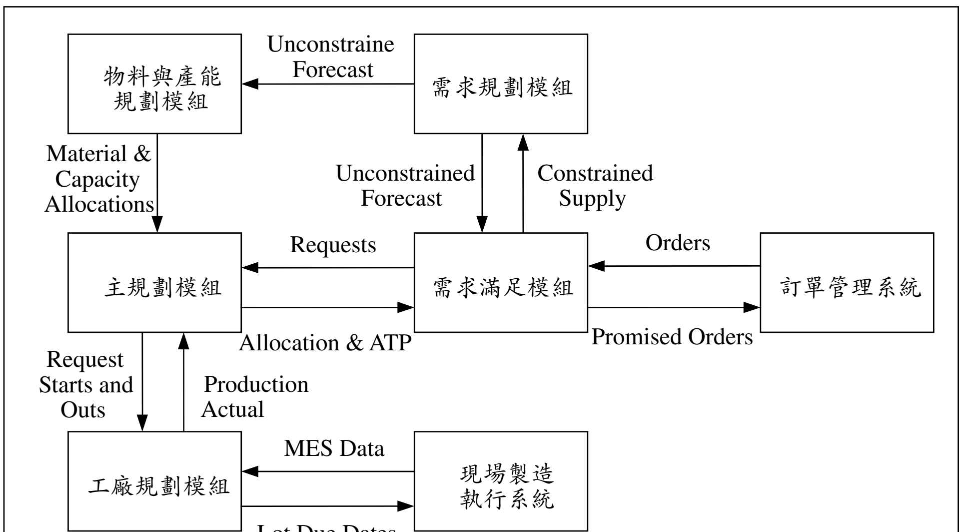
Carlo（1999）研究具有平行機器之多廠生產規劃，該研究建立 0-1 整數規劃模式，以線性規劃釋限法（LP relaxation）求解出接近最佳解的最小相關成本的多廠生產計畫。

在與本研究類似的樹狀架構生產系統之生產排程問題文獻中，Park and Kim（2000）研究樹狀架構生產系統下接單式生產排程問題，該研究建立混合整數規劃，以拉氏釋限法求解出接近最佳解的最小相關成本的生產排程。

Moon et al.（2002）研究樹狀生產系統下整合製程規劃與排程問題，該研究建立整數規劃的旅行銷售員模式，以基因演算法求解出接近最佳解的最小總延遲時間的生產排程。

由上述文獻可知，目前對於多廠生產規劃的研究，大多採用簡化限制式的方式來降低問題的複雜性，諸如：未考慮最小生產量、物料採購量以及物料採購上、下限等限制，同時，相關文獻之成本函數並未同時考慮多廠生產規劃之攸關成本，諸如：固定生產成本、變動生產成本、物料採購成本、存貨持有成本、延遲損失成本、運輸成本…等，因此對實際問題之解決幫助不大。

除了學者的研究外，近年來先進規劃與排程的軟體廠商亦提出了供應鏈管理解決方案。然而，對於這些先進規劃與排程系統的研究並不多，大部分爲觀念性的文獻。根據 Layden（1999）及 Fleischmann et al.（2000）指出，先進規劃與排程系統具有三個主要的特性：同步的規劃（考慮所有限制條件作規劃）、最佳化規劃（運用最佳化方法如線性規劃、混合整數規劃、限制規劃、各種啓發式方法）、階層式規劃（整合長期規劃、中期規劃與短期規劃）。而其功能模組，包含了供應鏈網路設計、需求規劃、供應鏈規劃、運輸規劃、允交量規劃、生產規劃、生產排程等（Harrington, 1999）。



圖一　i2 公司的供應鏈管理解決方案

i2 公司的解決方案（i2, 2001）如圖一所示：在預測階段主要的工作是備料量、備產能量與允交量規劃，此時，需求規劃模組提供整合的需求預測的資料給物料與產能規劃模組作長期的物料及產能的分配，再經由主規劃模組，作出多廠間之生產規劃，交由各廠之工廠規劃模組實施各廠之生產規劃，以提供備料量、備產能量與允交量計畫。

在接單階段，訂單管理系統提供訂單給需求滿足模組實施允交量沖銷後，再 由主規劃模組實施多廠間之生產規劃，及工廠規劃模組實施各廠之生產規劃，計算出確認之交期及數量給需求滿足模組，再回覆給訂單管理系統，提供顧客正確、快速的交期、數量回應。

綜合上述之文獻回顧，雖然多廠規劃之研究已略有進展，但亦有其不足之處，例如：

- 對於多廠生產規劃的研究，大多採用簡化限制式的方式來降低問題的複雜性，但對實際問題之解決幫助不大。
- 目前企業對於多廠生產規劃，多以經驗法則來處理，這些經驗法則之良窳，並沒有系統化的比較研究。
- 軟體廠商之解決方案，並未有明確之理論文獻及研究。

針對上述的不足，本研究的目的在於：

- 建立多廠生產規劃決策支援模式

本研究將以「先進規劃與排程系統」的概念，改進現有研究之缺失，以多廠生產規劃攸關成本爲目標，包含固定生產成本、變動生產成本、物料採購成本、存貨持有成本、延遲損失成本、運輸成本等成本，並考量產能與物料採購、供給的限制，建立整數規劃模式（單階決策模式）。

然而，由於所建立之單階決策模式是 NP-Complete 之問題，尤其當訂單數量、工廠數量、規劃期程、物料類別及供應商數量增加時，此問題之解題速度將成指數成長，甚至超越既有軟體之解題能力。因此，本研究將單階決策模式設計爲二階段求解之方式，建立兩個關聯的混合型整數線性規劃模式來求解。第一個模式稱之爲「訂單分配模式」，考慮產能限制及部分成本，目的是在求出訂單的分配，作爲下階段的輸入變數。第二個模式「工廠生產規劃模式」，依據訂單分配模式所求出之訂單分配，將物料限制加入考慮，建立成本模式，求出各工廠的生產計畫與物料規劃。

- 情境設計與模擬分析

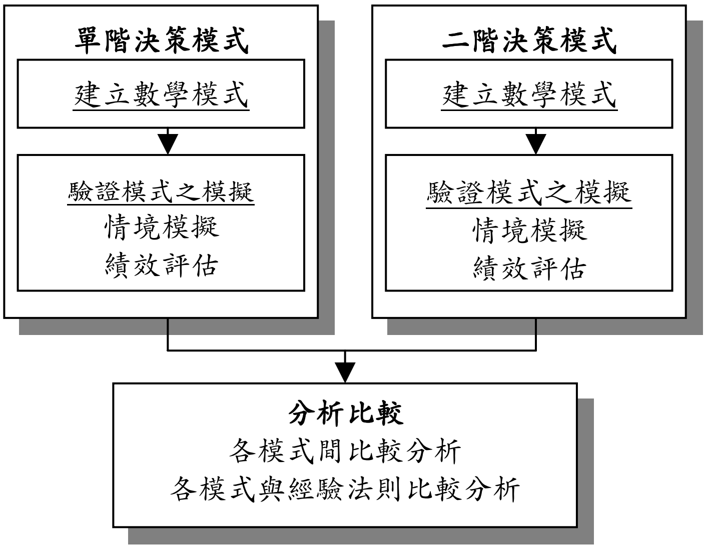
由於經驗法則爲實務界在「訂單分配」階段廣爲採用之方法，因此，本研究乃運用不同的需求情形及企業可能會面臨的各種情境，來進行模擬分析，以瞭解單階決策支援模式、二階決策支援模式以及結合經驗法則與本研究建立之「工廠生產規劃模式」三者在規劃結果及運算時間之表現。

●提出適合企業使用的決策支援模式

根據模擬的結果，提出一個具有良好績效（成本低，規劃結果良好），並且運算快速的決策支援模式。

三、研究範疇與研究方法

本研究範疇如圖一所示，界定在主規劃及物料規劃部份。本研究之研究架構如圖二所示，首先利用數學方法建立單階決策模式及二階決策模式，並經由情境之設計，將單階決策模式、二階決策模式與現今企業使用之經驗法則進行模擬分析，並提出結論。



圖二　研究流程與方法

貳、決策模式之建立

在本節中，我們將建立兩個決策支援模式：單階決策模式與二階決策模式。我們首先述模式的基本假設，再介紹共用的符號，最後則分別介紹這兩個決策模式建構之方法。

一、基本假設

1.產品皆採接單後生產或是接單後組裝的方式生產，不會有預先生產，存貨累積的情形發生。

2.一張訂單只訂購一種產品，亦即訂單可代表客户。

3.訂單不可分割至不同工廠生產。

4.所有成本皆爲已知或可事先估算得知。

5.忽略折舊等沈沒成本。

6.各工廠有其各自之生產優勢，亦即不同產品在各工廠的生產成本不同，包括變動生產成本及固定生產成本。固定生產成本包括：生產設備的更換或是重新設置（set up），每次更換生產產品的生產設備更換或重新設定及每期（time bucket）在期初所需的機台設定。

7.各工廠有其各自的最大及最小產能限制。

8.運輸成本與運送距離及產品種類相關，也就是會隨著顧客的位置及訂單產品種類改變。

9.爲企業初步生產規劃，只考慮數種重要的物料。

10.物料採購所需之前置時間（lead time）爲已知，在運送過程中的物料爲供應商的存貨。

11.下單購買物料後，物料將會準時到達，到達的時點爲期初。

12.在物料持有成本只計算資金積壓的成本，將存放物料所需的倉儲成本視爲沈沒成本而省略之。

13.產品的售價與生產成本、運輸成本與物料成本相關。

14.所有工廠採取訂單在各期生產的部分完成後便立即出貨，故產品的庫存時間很短，存貨持有成本低，將存貨成本忽略。

二、符號說明

註標

i：訂單編號，$i = 1\ldots M$

j：工廠編號，$j = 1\ldots N$

t：時間編號（time bucket，期數），$t = 1\ldots T$

s：供應商編號，$s = 1\ldots S$

r：物料編號，$r = 1\ldots R$

輸入變數

D_i：第 i 張訂單的需求量

U_i：第 i 張訂單的交期

$PC_{i,t}$：第 i 張訂單延遲 t 期交貨的每單位產品處罰成本

$MaxC_j$：工廠 j 的最大產能

$MinC_j$：工廠 j 所要求的最小開工使用率

$R_{i,j}$：第 i 張訂單在工廠 j 生產所需要的資源（以產能百分比表示）

$C_{i,j}$：第 i 張訂單在工廠 j 單位變動生產成本

$F_{i,j}$：第 i 張訂單在工廠 j 所需之固定開工成本，每次開工皆須計算

$Initial\_inv_{j,r}$：工廠 j 在期初規劃時所持有的物料 r 的存貨

$L_{j,r,s}$：工廠 j 向供應商 s 購買物料 r 所需的前置時間

$BOM_{i,r}$：第 i 張訂單的產品的物料表（需要多少個物料 r）

$P_{j,r,t,s}$：在第 t 期時工廠 j 向供應商 s 購買物料 r 的價格

$MaxQ_{j,r,s}$：每一期供應商 s 所能提供給工廠 j 的物料 r 最大供應量

$MinQ_{j,r,s}$：每一期供應商 s 所能提供給工廠 j 的物料 r 最小出貨量

$H_{j,r,t,s}$：工廠 j 在第 t 期向供應商 s 購買的物料 r 的單位持有成本（單位時間、單位數量），其中 $H_{j,r,t,s}=\alpha\times P_{j,r,t,s}$，$\alpha$ 爲一百分率，由持有存貨所產生之利息、保險費用、倉儲費用..等所構成，在資訊電子業中，一年約爲 25％，一週約爲 0.5%。

$TC_{i,j}$：第 i 張訂單在工廠 j 生產所需的單位運輸成本。與工廠 j 至訂單 i 客户間的距離相關

決策變數與輸出變數

$X_{i,j,t}$：第 t 期中，第 i 張訂單在工廠 j 的生產量

$B_{j,r,t,s}$：工廠 j 在第 t 期向供應商 s 所訂購物料 r 的數量

$I_{j,r,k,t,s}$：工廠 j 在第 k 期向供應商 s 購買持有至第 t 期的物料 r 的數量（$k<t$）

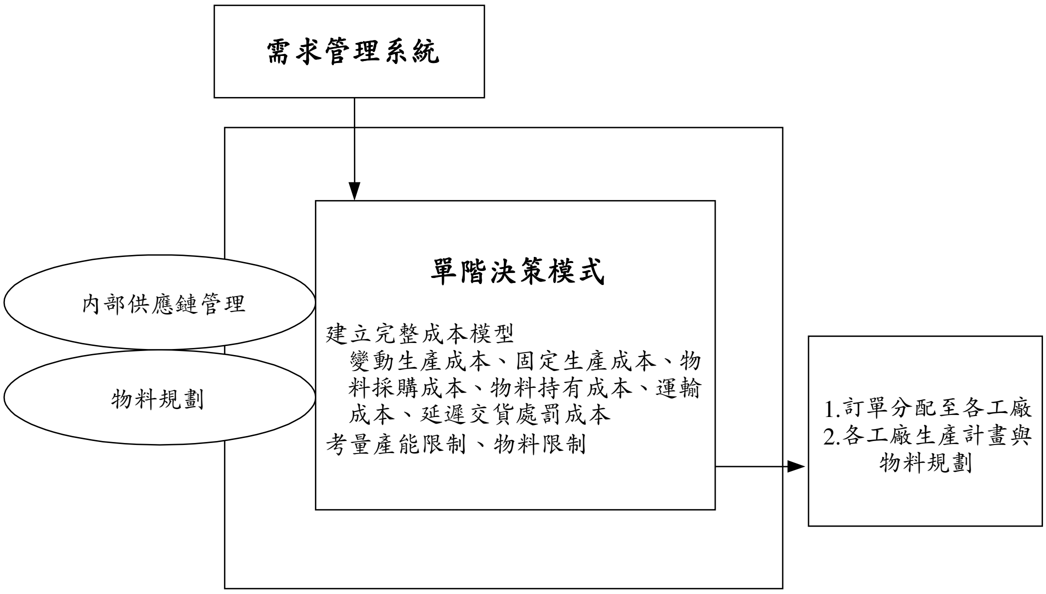
$\Gamma_{i,j}$：爲 0,1 變數，$\Gamma_{i,j}=1$ 表示訂單 i 在工廠 j 生產；$\Gamma_{i,j}=0$ 表示訂單 i 不在工廠 j 生產

$Y_{i,j,t}$：爲 0,1 變數，$Y_{i,j,t}=1$ 表示第 t 期時，訂單 i 在工廠 j 生產；$Y_{i,j,t}=0$ 表示第 t 期時，訂單 i 沒有在工廠 j 生產

$Buy\_or\_not_{j,r,t,s}$：爲 0,1 變數，$Buy\_or\_not_{j,r,t,s}=1$ 表示第 t 期時工廠 j 有向供應商 s 購買物料 r；$Buy\_or\_not_{j,r,t,s}=0$ 表示第 t 期時工廠 j 沒有向供應商 s 購買物料 r

三、單階決策模式

本節建立一完整混合型整數線性規劃模式：「單階決策模式」，同時考慮所有影響因素（圖三）。本模式以成本函數作爲目標式，考慮所有產能、物料等限制。考量以上所有因素與限制，本模式找出生產成本最小的生產規劃，並同時得到物料購買計畫。



圖三　單階決策模式

目標函數包括：變動生產成本、固定生產成本、物料採購成本、物料持有成本、運輸成本及延遲交貨處罰成本。

目標式爲

$$Min \quad \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} C_{i,j} \times X_{i,j,t} \qquad \text{變動生產成本}$$

$$+ \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} F_{i,j} \times Y_{i,j,t} \qquad \text{固定生產成本}$$

$$+ \sum_{j=1}^{N}\sum_{r=1}^{Q}\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} P_{j,r,t,s} \times B_{j,r,t,s} \qquad \text{物料採購成本}$$

$$+ \sum_{j=1}^{N}\sum_{r=1}^{Q}\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{t-1}\sum_{s=1}^{S} H_{j,r,k,s} \times I_{j,r,k,t,s} \qquad \text{物料持有成本}$$

$$+ \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} TC_{i,j} \times D_i \times \Gamma_{i,j} \qquad \text{運輸成本}$$

$$+ \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=Ui+1}^{T} PC_{i,t-Ui} \times X_{i,j,t} \qquad \text{延遲交貨處罰成本} \cdots\cdots (1)$$

限制式包含以下六大部分（數學式詳見附錄）。

Ⅰ.**需求—生產限制式**：在無預先生產的假設下，所接訂單的數量（需求量）與爲滿足需求的生產量必相等

Ⅱ.**訂單在單一工廠生產限制**：一張訂單只可在一家工廠中生產，不可分散至不同生產工廠；並且顧客可以限定其訂單所欲生產之工廠。

Ⅲ.**產能限制**：每期的生產量需小於工廠最大產能，且每次開工的生產量需超過最小產能使用限制。

Ⅳ.**物料存貨平衡限制式**：各廠的每一種物料在每一期期初之上期存貨加上本期新到物料量應等於本期期末存貨加上本期已生產使用的量。且對於某次購買之物料，存貨量必遞減。

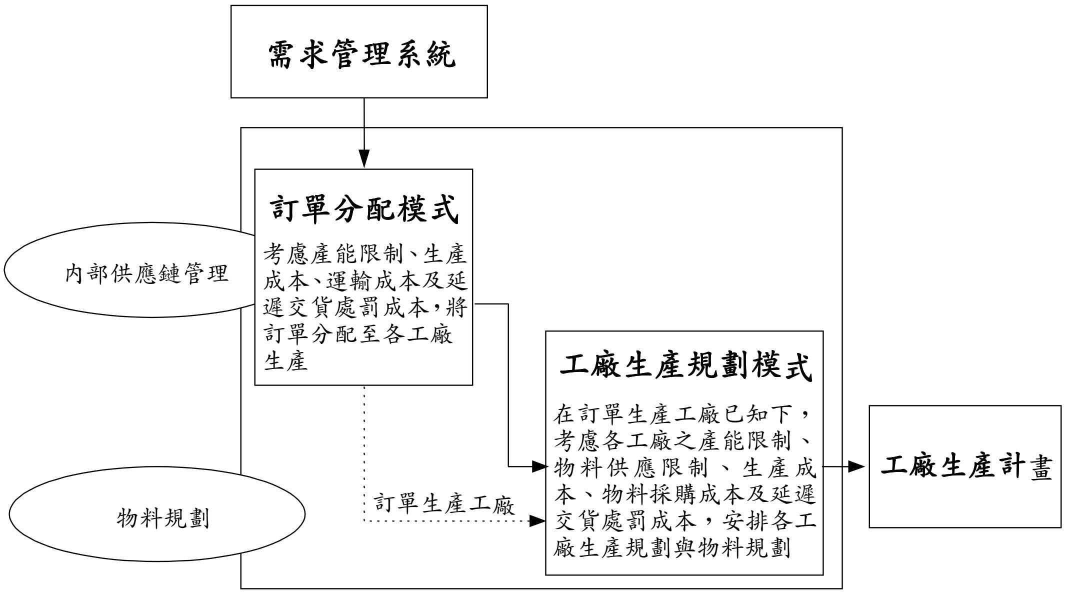
Ⅴ.**物料採購限制式**：工廠向供應商訂購物料時，訂購量需大於最小送貨量，且訂購量需小於最大供應量。

Ⅵ.**變數限制式：**限定各變數之型態。

單階決策模式是整數的分配問題，為一 NP-complete 問題（Garey and Johnson, 1979），其複雜度約為 $O(\sum_i D_i^{M^3+N^3+T^3+R+S})$，其中，M 為訂單數量、N 為工廠數量、T 為規劃期程、R 為物料類別數、S 為供應商數量，故當訂單數量、工廠數量、規劃期程、物料類別及供應商數量增加時，此問題之解題速度將成指數成長。因此，本研究接著將單階決策模式設計為二階段求解之方式，建立兩個關聯的混合型整數線性規劃模式來求解。

四、二階決策模式

在二階決策模式中，所有的基本假設皆與單階決策模式相同，建立兩個關聯的混合型整數線性規劃模式。第一個模式稱之為「訂單分配模式」，考慮產能限制及部分成本，目的是在求出訂單的分配，作為下階段的輸入變數。第二個模式「工廠生產規劃模式」，依據訂單分配模式所求出之訂單分配，將物料限制加入考慮，建立成本模式，求出各工廠的生產計畫與物料規劃。



圖四　二階決策模式概念圖

訂單分配模式

目標函數包含變動生產成本、固定生產成本、運輸成本及延遲交貨的處罰成本。目標式為

$$Min \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} C_{i,j} \times X_{i,j,t} + \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} F_{i,j} \times Y_{i,j,t}$$
$$+ \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N} TC_{i,j} \times D_i \times \Gamma_{i,j} + \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=Ui+1}^{T} PC_{i,t-Ui} \times X_{i,j,t} \qquad (2)$$

限制式包含四部分：需求 - 生產限制式、訂單在單一工廠生產限制、產能限制、變數限制式。

工廠規劃模式

將訂單分配模式所求出的「訂單分配」作為一個輸入變數，並將物料限制加入考量，求出最小成本的生產規劃及物料購買計劃，成本函數包含變動生產成本、固定生產成本、物料採購成本、物料持有成本及延遲交貨處罰成本，其中運輸成本因為訂單生產工廠已確定，為一固定常數，故未列入目標式中。

目標式為

$$Min \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} C_{i,j} \times X_{i,j,t} + \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} F_{i,j} \times Y_{i,j,t}$$

$$+\sum_{j=1}^{N}\sum_{r=1}^{Q}\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} P_{j,r,t,s} \times B_{j,r,t,s} + \sum_{j=1}^{N}\sum_{r=1}^{Q}\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{t-1}\sum_{s=1}^{S} H_{j,r,k,s} \times I_{j,r,k,t,s}$$

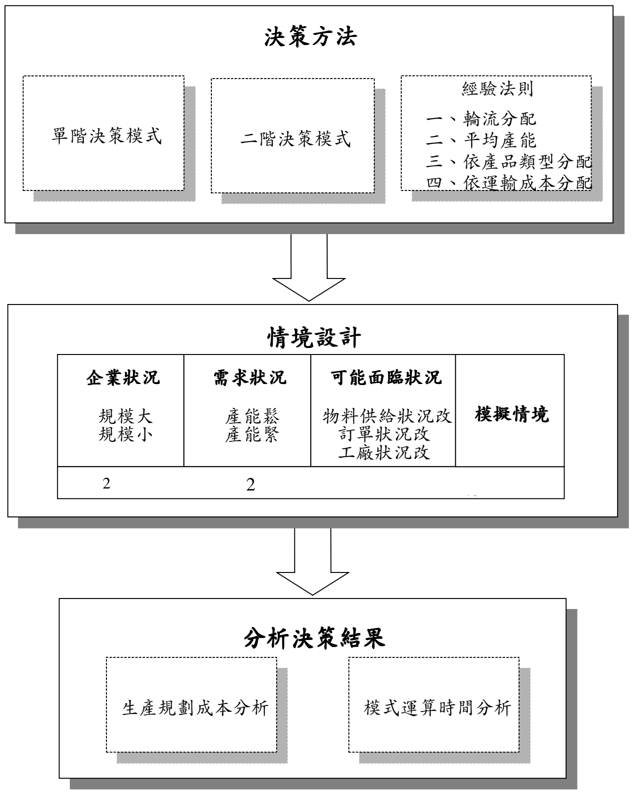
$$+\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=Ui+1}^{T} PC_{i,t\text{-}Ui} \times X_{i,j,t} \quad .(3)$$

限制式包含五部分：需求—生產限制式、產能限制、物料存貨平衡限制式、物料採購限制式、變數限制式。

單階決策模式設計爲二階段求解之方式後，第一個模式「訂單分配模式」之複雜度約爲 $O(\sum_i D_i^{M^2+N^2+T^2})$，第二個模式「工廠生產規劃模式」，之複雜度約爲 $O(\sum_i D_i^{M^3+T^3+R+S})$，因此，其複雜度比單階決策模式爲低。爲了比較單階決策模式、二階決策模式以及結合經驗法則與本研究建立之「工廠生產規劃模式」之成本與時間之表現，下節將進行情境設計與模擬。

參、情境設計與模擬

在本節中，如圖五所示，我們將以情境設計與模擬之方式，比較各決策方法之優劣點。由於經驗法則爲實務界在「訂單分配」階段廣爲採用之方法，因此，比較的決策方法有三：包含單階決策支援模式、二階決策支援模式以及結合經驗法則（四種企業常用之經驗法則）與本研究建立之「工廠生產規劃模式」；情境設計包含了 48 種情境分析；分析指標則包含規劃成本與模式運算時間。



圖五　模擬方法

一、決策方法

在訂單分配階段，企業經常使用之四種經驗法則包含：

經驗法則一：輪流分配：接到訂單後，將這些訂單輪流分配至各工廠。

經驗法則二：平均各廠產能：以人工大致分配訂單至各工廠，使得各工廠的平均產能使用率約略相等。

經驗法則三：依產品類型分配：依照各個訂單所訂購的產品類型分配至較適合的工廠。

經驗法則四：依運輸成本分配：將訂單分配給距離較近的工廠，可得最小運輸成本。

在使用經驗法則分配訂單至各工廠後，再利用本研究建立之「工廠生產規劃模式」求解。表二詳列了本節所欲比較之六種決策方法。

表二　單階決策模式、二階決策模式與四種經驗法則

	訂單分配	工廠規劃
單階決策模式	利用數學模式，解出最佳解 （考量所有因素，訂單分配與工廠規劃同時完成）	
二階決策模式	數學模式	在訂單已分配至各工廠的限制下 以數學模式求出各工廠最佳的生產與物料規劃
經驗法則模式	經驗法則一：輪流分配	在訂單已分配至各工廠的限制下 以數學模式求出各工廠最佳的生產與物料規劃
	經驗法則二：平均各廠產能	在訂單已分配至各工廠的限制下 以數學模式求出各工廠最佳的生產與物料規劃
	經驗法則三：依產品類型分配	在訂單已分配至各工廠的限制下 以數學模式求出各工廠最佳的生產與物料規劃
	經驗法則四：依運輸成本分配	在訂單已分配至各工廠的限制下 以數學模式求出各工廠最佳的生產與物料規劃

一、情境設計

本節說明設計參數的準則，並且站在企業角度，考量企業可能面對的各種狀況，以設計情境。

參數設計

根據 Lambert et al.（1993）書中所提到的製造業的成本結構，來假設各項成本的平均值。製造成本：22%、物料成本：23%、運輸成本：10%。

但由於工廠間的差異、顧客的地點不同以及供應商與工廠間的距離或關係不同，所以模擬的成本數據具有以下特色：

1.生產成本：各工廠具有其生產優勢，所以不同產品在不同工廠有不同的變動生產成本與固定生產成本。

2.運輸成本與顧客和工廠間的距離相關。

3.主要物料購買成本隨供應商與工廠間的關係或距離有所不同。

4.物料持有成本：每週持有成本爲購買成本的 0.5%。

5.延遲交貨處罰成本：假設延遲處罰成本爲遞增的函數，延遲一週的處罰成本爲售價的 5%，延遲二週罰成本爲售價的 5×（1+2）%，延遲三週處罰成本爲售價的 5×（1+2+3）%，以此類推。

情境設計

本節針對企業本身狀況、需求情形及實際運作上可能會面臨的改變來設計情境。本研究將企業狀況分成兩種規模，需求情形分成兩種狀況，並假設實際運作可能面臨的突發狀況有 12 種狀況，共 48 種情境（如表三所示）：

表三　模擬情境

企業狀況 規模大 規模小	**需求狀況** 產能鬆 產能緊	**可能面臨突發狀況** 物料供給狀況改變 訂單狀況改變 工廠狀況改變	**模擬情境**
2　×	2　×	12　=	48

1.企業狀況（企業規模）：假設有兩種規模

(1)較小：兩個工廠，可接訂單數少（8），模擬期數短（10 週）

(2)較大：三個工廠，可接訂單數多（15），模擬期數長（13 週）

2.需求情形：假設有兩種狀況

(1)產能較鬆：在交貨日期前需求量小於可生產量，若能妥善規劃，應可以如期完成所有訂單。

(2)產能較緊：在交貨日期前需求量大於可生產量，一定無法如期完成所有訂單，勢必會有一些訂單延遲交貨。

3.實際運作時，企業可能會面臨到的突發狀況：假設有 12 種狀況（如表四）。企業面臨到突發狀況後，將更改參數重新進行規劃。

(1)原物料供給狀況的改變：價格平穩、價格上升、價格下降、價格波動、供給量突然減少。

(2)訂單狀況的改變：已接訂單取消、接到新訂單、已接訂單數量增加、已接訂單數量減少、已接訂單交期提早、已接訂單交期延後。

(3)工廠狀況的改變：生產線停擺。

表四　企業可能面臨的突發狀況

類　別	描　　述	情境編號
物料方面	價格不變	S1
	價格上升	S2
	價格下降	S3
	價格波動	S4
	供給量限制（供給量減少）	S5
訂單方面	訂單取消	S6
	新訂單	S7

	已接訂單訂購數量增加	S8
	已接訂單訂購數量減少	S9
	已接訂單交貨日期提早	S10
	已接訂單交貨日期延後	S11
工廠方面	工廠產能限制（生產線停擺）	S12

由於模擬情境數量很多，為了分析時能簡單明瞭，所以將這 48 個情境依照企業狀況及需求情形分成 4 大部分來做討論（如表五所示），每一部份都有 12 種企業可能面臨的突發狀況。我們使用 iLog 軟體（ILOG, 2000）來進行模式建立與求解。

表五　四部分模擬情境

模擬情境分類	**可生產量大於需求量**	**可生產量小於需求量**
企業規模較小	規模小、產能鬆	規模小、產能緊
企業規模較大	規模大、產能鬆	規模大、產能緊

一、結果分析

1.規模小、產能鬆

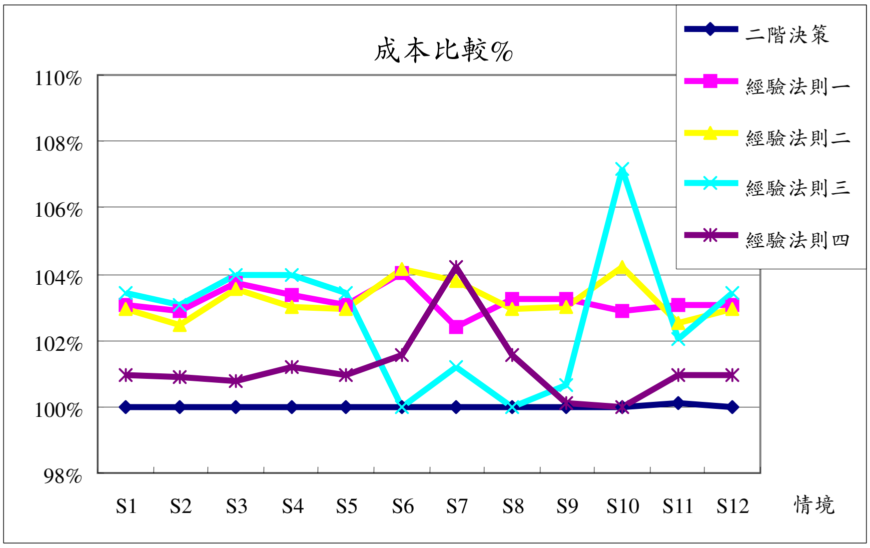
模式成本

單階決策模式是由一個考量所有限制與成本的混合型整數線性規劃模式，所以由單階決策模式所求得的成本必為最低成本。因此，此處之成本比較係比較各模式所得出之成本與單階模式成本。

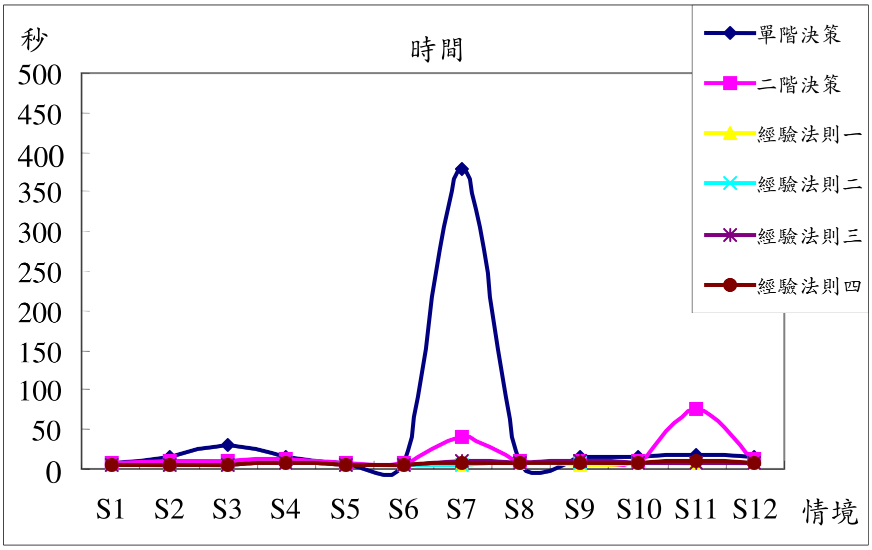
如圖六所示，二階決策模式與單階決策模式的成本差距很小，皆在 0.5%以下，在部分的模擬情境下，差距甚至為零。而由經驗法則模式來做生產規劃的結果，與單階決策模式所求出的最低成本皆有差距，約在 3%~4%左右。而且各個經驗法則結合本研究建立之「工廠生產規劃模式」在不同情境下的成本表現並不穩定，並無某經驗法則結合本研究建立之「工廠生產規劃模式」在所有情境下皆表現最佳之情況。

規劃時間

我們接著從模式運算所需的 CPU 時間來評比這幾個模式，所計算的 CPU 時間係在 Pentium III 450 與 128MB RAM 的電腦上所得到。如圖七所示，所有的模式所需的運算時間都很短，平均而言都在一分鐘內可以得到規劃結果。其原因為在這組模擬情境中的一般變數及 0,1 變數都較少。



圖六　各模式成本與單階決策模式成本比較（規模小、產能鬆）

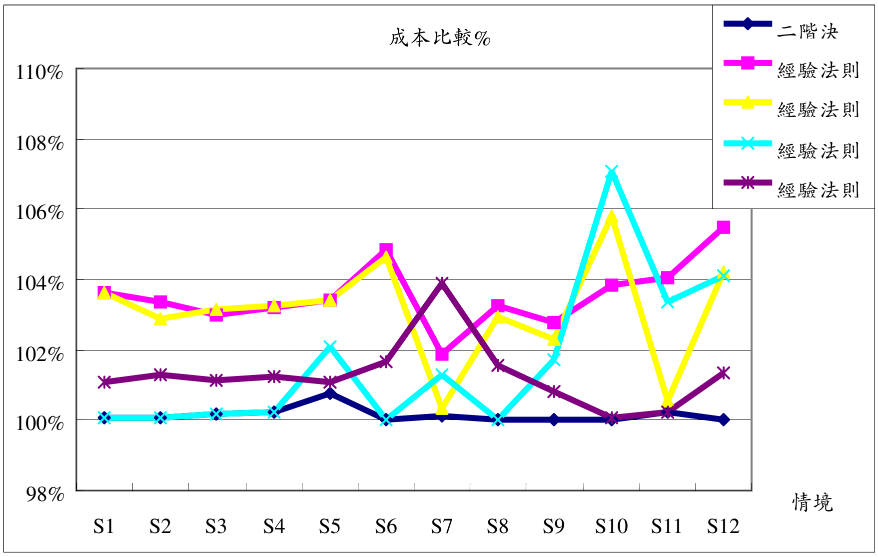


圖七　模式規劃時間（規模小、產能鬆）

2.規模小、產能緊

<u>模式成本</u>

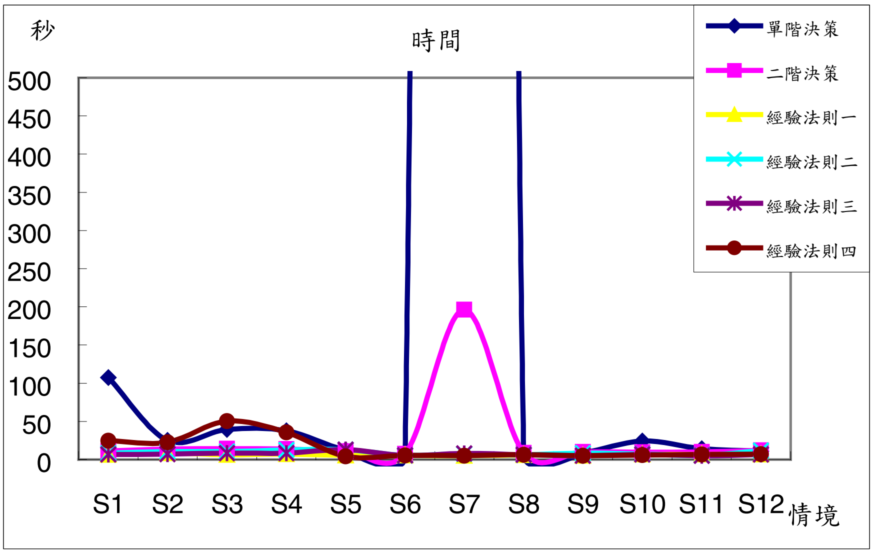
如圖八所示，二階決策模式與單階決策模式的成本差距仍然很小，皆在 1%以下，在多數的模擬情境下，差距幾乎爲零。而由結合經驗法則與本研究建立之「工廠生產規劃模式」來做生產規劃的結果，與單階決策模式所求出的最低成本皆有差距，範圍從 0%到 7%，變化相當大。



圖八　各模式成本與單階決策模式成本比較（規模小、產能緊）

規劃時間

結合經驗法則與本研究建立之「工廠生產規劃模式」，以及二階決策模式所需要的時間相當短，但單階決策模式運算時間已經為其他模式的數倍。(圖九)



圖九　模式規劃時間（規模小、產能緊）

3.規模大、產能鬆

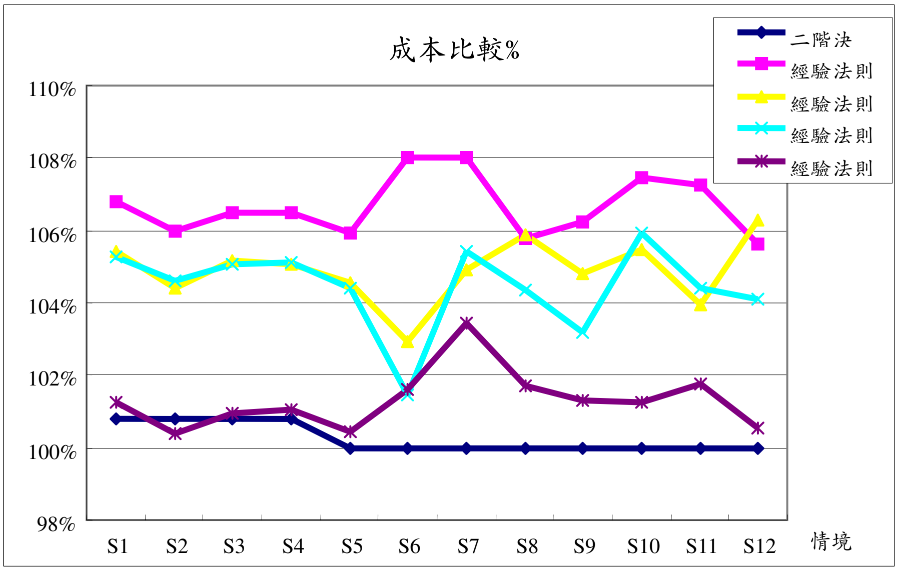
模式成本

如圖十所示，二階決策模式與單階決策模式的成本差距仍然很小，皆在 1%以下，

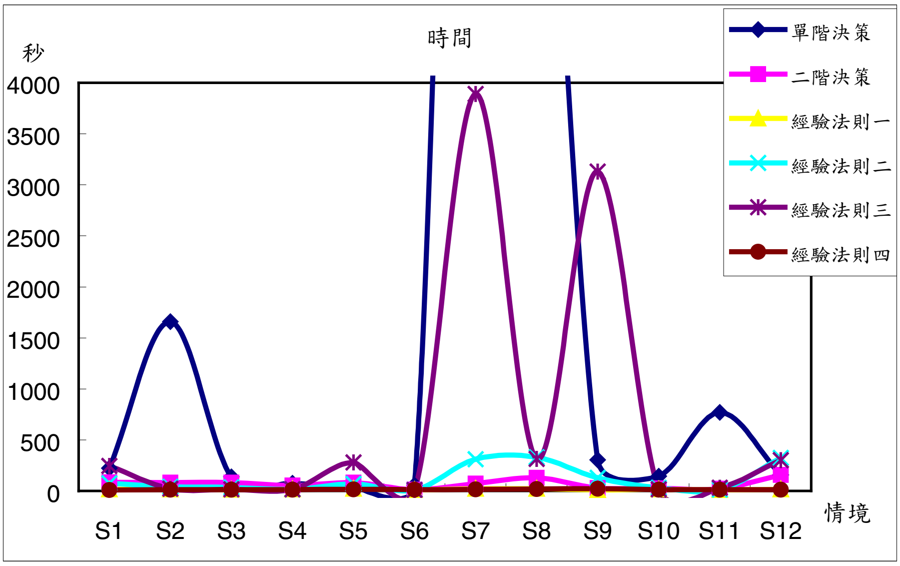
在多數的模擬情境下，差距幾乎爲零。而由經驗法則結合本研究建立之「工廠生產規劃模式」來做生產規劃的結果，與單階決策模式所求出的最低成本仍有差距，範圍從0.5%到 8%，變化相當大。

規劃時間

結合經驗法則與本研究建立之「工廠生產規劃模式」，以及二階決策模式所需要的時間相當的短，但單階決策模式運算時間已經爲其他模式的數十倍。(圖十一)



圖十　各模式成本與單階決策模式成本比較（規模大、產能鬆）



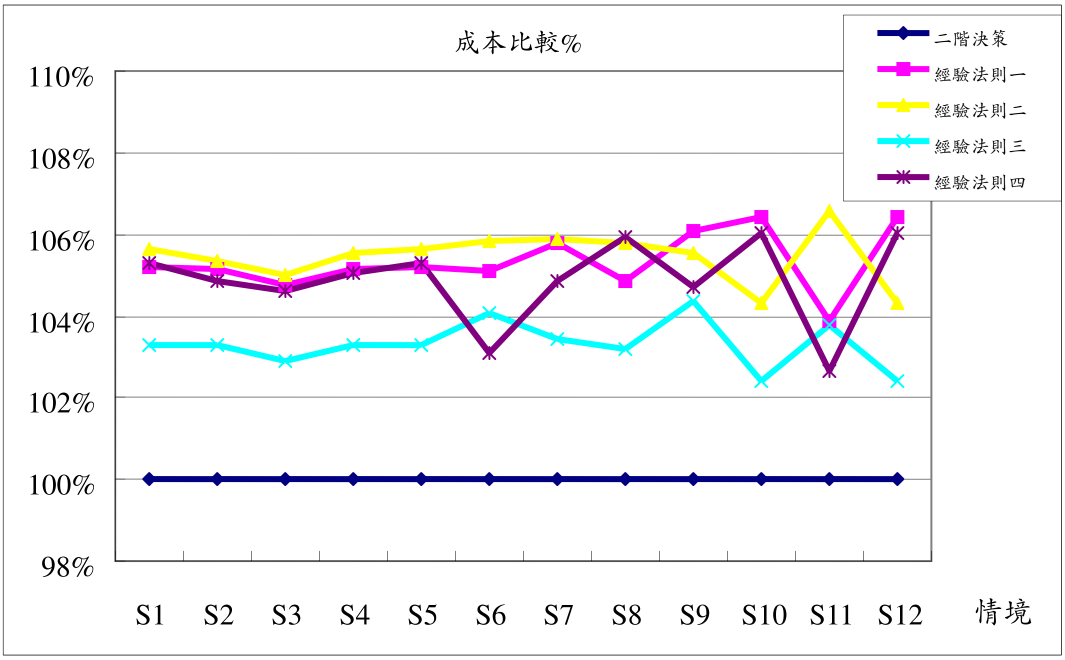
圖十一　模式規劃時間（規模大、產能鬆）

4.規模大、產能緊

模式成本

在規模大、產能緊的需求狀況與企業規模下，單階決策模式發生解題時間過長的情況的情況，然而二階決策模式卻可以在合理時間內解出問題。這是由於二階決策模式將問題分成兩階段來解，將求解模式中變數減少許多，其中 0,1 變數的個數是造成解題時間的不同最主要原因。

由於無法求出單階決策模式的最低成本規劃，但由二階決策模式以及結合經驗法則與本研究建立之「工廠生產規劃模式」的成本比較（圖十二），可以得知利用二階決策模式來解企業的生產規劃問題，可以得到比結合經驗法則與本研究建立之「工廠生產規劃模式」更佳的結果，並且可在合理的時間內得到規劃結果。



圖十二　各經驗法則模式成本與二階決策模式比較（規模大、產能緊）

5.小結

現在一般企業所採用的方法「經驗法則」運用在「訂單分配」上，多數情況下會使企業的資源未妥善使用，造成成本高、資金浪費。各經驗法則都有其較適用的狀況，但實際上工廠及訂單的狀況與這些狀況有極大差異，採用經驗法則分配訂單、進行規劃將會導致規劃結果不佳。而採用本研究所建立之單階決策模式或二階決策模式為企業做生產規劃，都會得到比使用一般的人為經驗法則進行生產規劃更佳的規劃結果。

比較單階決策模式與二階決策模式，雖然單階決策模式可以保證生產規劃的結果必然為最佳，但是利用單階決策模式進行生產規劃時，規劃所需要的時間非常長，難

以應用到實際問題。而在多數的情形下，利用二階決策模式進行規劃能得到與利用單階決策模式規劃相似的結果，而且規劃求解所需要的時間合理，所以較適合企業實際使用。

肆、結論

本研究利用先進規劃與排程之概念，設計以成本為基礎的單階決策模式與二階決策模式，提供多工廠之企業在訂單分配、生產規劃及物料規劃方面的決策參考。

經由情境設計與模擬，測試單階決策模式、二階決策模式的績效與可行性，並與結合經驗法則本研究建立之「工廠生產規劃模式」的測試結果相較，可以得到以下結論：

1.經驗法則不足

企業現行採用的人為經驗法則雖然可以簡便的求出生產規劃計畫，但是卻無法保證低成本，也無法協調企業內各廠互相支援。在企業全球化，供應鏈管理日漸重要的現在，仍只採用經驗法則的企業將無法做好企業內部協調、降低生產成本，將日漸失去其競爭力。

2.單階決策模式能得最佳的生產規劃計畫，但很耗時，不適合企業應用

本研究所建立之單階決策模式考慮完整限制及成本因素，可求得成本最低的生產規劃計畫。但由於單階決策模式中的變數數目多，尤其是其中 0,1 變數的個數更是使得單階決策模式無法快速求得生產規劃計畫，這也造成單階決策模式無法實際推行給企業使用。

3.二階決策模式能求得接近最佳的生產規劃，且運算快速，可以實務應用

二階決策模式雖無法求得最佳的規劃結果，但是可以得到近似結果，且規劃求解所需要的時間合理，若能配合供應鏈管理其他功能模組，必能有助於企業營運整合能力之提昇。

伍、參考文獻

Beek, P., A. Bremer, and C. Putten (1985), "Design and Optimization of Multi-Echelon Assembly Networks: Savings and Potentialities," European Journal of Operational Research, 29(1), pp.57-67.

Benita, M. B. (1998), "Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods," International Journal of Production Economics, 55(3), pp.218-294.

Bhatnagar, R. (1995), "Multi-plant Coordination: Towards Improved Manufacturing Performance, "95 Engineering Management Conference, IEEE, pp.396-401.

Bhatnagar, R. and P. Chandra (1993), "Models for Multi-Plant Coordination," European Journal of Operational Research, 67(2), pp.141-160.

Carlo, V. (1999),"Multi-Plant Production Planning in Capacitated Self-Configuring Two-Stage Serial Systems," European Journal of Operational Research, 119, pp.451-460.

Cohen, M. A. and H. L. Lee (1998), "Strategic Analysis of Integrated Production-Distribution Systems: Models and Methods," Operations Research, 36(2) pp.216-228.

Erenguc, S. S., N. C. Simpson, and A. J. Vakharia (1999), "Integrated Production /Distribution Planning in Supply Chains: An Invited Review," European Journal of Operational Research, 115, pp.219-236

Fleischmann, B., H. Meyer and M. Wagner (2000), "Advanced Planning," in Stadtler H. and C. Kilger, Supply Chain Management and Advanced Planning, Springer.

Garey, M. R. and D. S. Johnson (1979), Computers and Intractability, Bell Laboratories, Murray Hill, New Jersey.

Gould, S. L. (1998), "Introducing APS: Getting Production in Lock Step with Customer Demand," Automative Manufacturing & Production, May, pp.54-58.

Harrington, L. H. (1999), "Better Forecasting Can Improve Your Bottom Line," Transportation and Distribution, July, pp.21-28.

i2 (2001), i2 Training Material, i2 Technology Inc.

ILOG (2000), ILOG OPL Optimization Programming Languange, ILOG.

Lambert, D. M. and J. R. Stock (1993), Strategic Logistics Management, Third Edition, Springer.

Layden, J. (1999), "APS is Here to Stay", Manufacturing Systems, Feb, pp.66-68.

Min, Hokey and Zhou, Gengui, (2002), "Supply chain modeling: past, present and future." Computers & Industrial Engineering, Vol.43, pp.231-249.

Moon, C., J. Kim, and S. Hur (2002), ”Integrated process planning and scheduling with minimizing total tardiness in multi-plants supply chain,” Computers & Engeering, 43, pp.331-349.

Park, M. W. and Y. D. Kim (2000), ”A Branch and Bound algorithm for a production scheduling problem in an assembly system under due date constraints,” European Journal of Operational Research, 123, pp.504-518.

Stadtler, H. and C. Kilger (2000), Supply Chain Management and Advanced Planning, Springer.

Thomas, D. J. and P. M. Griffin (1996), “Coordinated Supply Chain Management,” European Journal of Operational Research, 94, pp.1-15.

Zipkin, P. H., (2000), Foundations of inventory management, McGraw-Hill.

附錄　限制式

Ⅰ.需求—生產限制式：在無預先生產的假設下，所接訂單的數量（需求量）與爲滿足需求的生產量必相等

$$D_i = \sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} X_{i,j,t} \qquad \text{for all } i \qquad \text{(A1)}$$

Ⅱ.訂單在單一工廠生產限制：一張訂單只可在一家工廠中生產，不可分散至不同生產工廠；並且顧客可以限定其訂單所欲生產之工廠{B}。

$$\sum_{j\in\{B\}} \Gamma_{i,j} = 1 \qquad \{B\}\text{爲工廠集合之子集 for all } i \qquad \text{(A2)}$$

$$\sum_{t=1}^{T} X_{i,j,t} \leqq Big\ Number \times \Gamma_{i,j} \qquad \text{for all } i, j \qquad \text{(A3)}$$

Ⅲ.產能限制：每期的生產量需小於工廠最大產能，且每次開工的生產量需超過最小產能使用限制。

$$MaxC_j \geqq \sum_{i=1}^{M} X_{i,j,t} \times R_{i,j} \qquad \text{for all } j, t \qquad \text{(A4)}$$

$$X_{i,j,t} \leqq Big\ Number \times Y_{i,j,t} \qquad \text{for all } i, j, t \qquad \text{(A5)}$$

$$X_{i,j,t} \times R_{i,j} \geqq MinC_j \times Y_{i,j,t} \qquad \text{for all } i, j, t \qquad \text{(A6)}$$

Ⅳ.物料存貨平衡限制式：各廠的每一種物料在每一期期初之上期存貨加上本期新到物料量應等於本期期末存貨加上本期已生產使用的量。且對於某次購買之物料，存貨量必遞減。

$$\sum_{k=1}^{t}\sum_{s=1}^{S} I_{j,r,k,t+1,s} = \sum_{k=1}^{t-1}\sum_{s=1}^{S} I_{j,r,k,t,s} + \sum_{s=1}^{S} B_{j,r,t-L,s} - \sum_{i=1}^{M} BOM_{i,r} \times X_{i,j,t}$$

$$\text{for all } j, r, t \qquad \text{(A7)}$$

$$I_{j,r,k,t,s} \geqq I_{j,r,k,t+1,s} \qquad \text{for all } j, r, t=2\ldots T, k<t, s \qquad \text{(A8)}$$

$$B_{j,r,k,s} \geqq I_{j,r,k,t+1,s} \qquad \text{for all } j, r, t=2\ldots T, k<t, s \qquad \text{(A9)}$$

Ⅴ.物料採購限制式：工廠向供應商訂購物料時，訂購量需大於最小送貨量，且訂購量需小於最大供應量。

$$B_{j,r,t,s} \leqq Big\ Number \times Buy\_or\_not_{j,r,t,s} \qquad \text{for all } j, r, t, s \qquad \text{(A10)}$$

$$Buy\_or\_not_{j,r,t,s} \times MinQ_{j,r,s} \leqq B_{j,r,t,s} \qquad \text{for all } j, r, t, s \qquad \text{(A11)}$$

$$B_{j,r,t,s} \leqq MaxQ_{j,r,s} \qquad \text{for all } r, t, s \qquad \text{(A12)}$$

Ⅵ.變數限制式：限定各變數之型態

$X_{i, j, t}$、$B_{j, r, t, s}$、$I_{j, r, k, t, s} \geqq 0$ for all i, j, r, t, k, s (A13)

$\Gamma_{i, j}$、$Y_{i, j, t}$ 、$Buy\_or\_not_{j, r, t, s} = 0$ or 1 for all i, j, t, s (A14)