

建構不同交期下之先進規劃系統

藍俊雄* 彭武年

南華大學管理科學研究所

摘要

在消費者需求型態的改變及科技快速的進步下，要如何在此競爭激烈和日新月異的環境下創造競爭優勢，必成爲企業經營的核心議題。故本研究嘗試建構一先進規劃排程 APS (Advanced Planning and Scheduling)系統。本研究針對多產品訂單、多工廠生產、多物料採購與持有、成品庫存、限制訂單交期、製成品良率及生產的設定成本等考量因素下建構一以最小成本爲目標的整數非線性規劃 INLP (Integer Nonlinear Programming)模型。本模式可供企業在針對多訂單多廠多物料之生產規劃上做一全盤性的考量及即時性之分析。此外，本模式在求解方面則利用 Lingo 9.0 extended version 套裝軟體內建之 Global Solver 進行運算，並舉一數值範例進行求解說明。本研究乃針對各種實務上所面臨的種種問題如成本、品質、時間等加以設計與構建以 APS 爲基礎所建構的數學模式，並透過 Lingo 9.0 加以成功地取出其全域最佳解。且具有高度的重現特性和符合實務上的應用，因此本研究可爲企業在執行生產與採購規劃上扮演重要之參考依據同時可爲具有卓越眼光的決策者提供有價值之參考工具。

關鍵詞：先進規劃、生產規劃、交期規劃、良率

Construct an APS System for Diverse Order Deadline

Chun-Hsiung Lan Wu-Nien Peng

Graduate Institute of Management Sciences, Nanhua University, Taiwan

Abstract

The business core issue of an enterprise is to create its competitive advantage under the fast changes of customer desire. Based on the APS (Advanced Planning and Scheduling) perspect. This study not only considers the multi-product order, multi-factory production, multi-material purchase, diversified order deadline, production yield, product inventory cost, and production set-up cost, but also provides the material holding cost to construct an Integer Nonlinear Programming (INLP) mathematical model with the least cost. This model can function as a decision-making tool for focusing on the overall and real-time analyses of multi-order for multi-factory production planning. In addition, the proposed mathematical model is constructed by the syntax of Lingo 9.0 extended version, and then selects the built-in global slover as its solving method. A numerical example is then followed. This study is focused on various kinds of practical problems, such as cost, quality, time, etc. to build an APS-based mathematical model, and then the built-in solver of Lingo 9.0 extended version is selected for

* 管理科學研究所教授 地址：嘉義縣大林鎮中坑里中坑 32 號 TEL：05-272100 轉 2070
E-mail：chlan@mail.nhu.edu.tw

obtaining the optimal solution. In addition, this work creates a highly repeated characteristic because of the application of the package software (Lingo 9.0), and therefore it can treat as a valuable decision tool.

Keywords : Advanced Planning and Scheduling (APS), production planning, deadline planning, production yield.

1. 前言

所謂供應鏈管理(Supply Chain Management, SCM)就是同步考慮物料供應、採購、持有、產能設備、配銷等資訊的一套管理哲學(Stevens, 1989)；Gould (1998) 指出在 SCM 裡的決策支援系統(Decision Support System, DSS)中，業界目前最為重視的即為先進規劃與排程系統(Advanced Planning and Scheduling, APS) (1998)。使用 APS 概念來制訂決策和規劃，必須配合有效的資訊共享與整合，才能真正落實供應鏈管理中所謂的專業分工、協調合作與利益共享(Lee, 2001)。

APS常考量複雜的決策與規劃問題，學者Yang 和 Sum (1994) 提到常見規劃分配的規則可分為以時間為基礎的規則(Time-based Rules)、與以成本為基礎的規則(Cost-based Rules)為評量依據進行規劃以面對產品需求多樣化與客製化的現今社會。由於產品和物料種類的愈趨複雜，產品和物料的不當庫存，皆不合經濟效益，並依實際問題來看，規劃制定時應同時考量時間與成本，因此APS之設計應結合上述兩類規則以進行探討。對於多廠生產問題所下的定義為具相同生產流程的多工廠區生產規劃之問題(Vercellis, 1999)。學者Bhatnagar *et al.* (1993) 亦指出，企業在多廠區之間的協調製造系統，著重於企業間的整合關係與各廠區彼此間的協調，更希望可以藉由協調以降低各廠區的庫存量與訂單製造的前置時間進而有效地減少物料持有量和成品之倉儲成本。而APS除了具有同步規劃(synchronized concurrent planning)、最佳化規劃(optimization planning)、即時性規劃(real-time planning)以及支援決策能力(decision support capability)等四項特點(Bermudez, 1998; Layden, 1999; Fleischmann *et al.*, 2000)，並可完全協助決策者對企業所擁有之資源作整體有效的規劃。更進一步來談，APS主要是進行最佳化的供需平衡規劃與生產排程處理，以提供決策者即時且有效的決策參考。因此，以APS觀點為基礎所構建的模式總是傾向處理現今多元化的實務問題。

找出滿足訂單交期且較少生產成本的多廠訂單問題，一直以來是討論的重點，也正如學者Yang 和 Sum (1994) 提到的規劃分配的規則之前項；交期規劃的意義即是使所設定的交貨期具有可預測性(Predictability)和可控制性(Controllability)兩種特性(蔡志弘, 1997)。所謂可預測性，指訂單的交期符合產品在廠內實際的生產時間。但對於工廠內外環境不可避免或無法預期的隨機變動因素，如停水、停電和機器故障等的應變能力，則代表可控制性的高或低。此外學者Veeramani (1997) 認為，顧客選擇供應商以考量具備快速且有效率的即時回應訂單交期規劃者為優先，若企業無法即時回應客戶交貨日期即等於喪失其競爭優勢進而失去其市場；該研究並同時指出，對於一企業而言，實際約僅有5% ~ 30%的訂單可達成客戶的交期需求，因此如何有效地結合生產採購並達成交期需求，亦為現今企業所面臨的實務問題之一。再者近年來多位學者如Kane (1986)、Benson *et al.* (1995)、Meyersdorf and Yang (1997)和Gering (1999)等學者均提及製成品之良率好壞實為影響生產規劃之一重要因素。

Kerschbamer 和 Tournas (2003)指出一個多廠區的企業，面對客戶隨機的訂單需求，若營運總部無法

即時獲得各製造廠區之間的生產資訊以進行生產與採購規劃，將會減低企業的作業效率。此外Vercellis (1999) 乃利用LP (Linear Programming)方式解決具相同生產流程的多廠區生產規劃問題，並考慮設備設置時間與各廠區之生產成本等因素，以求得符合訂單需求量下的最低成本。另外，Timple 和 Kallrath (2000) 利用混合整數線性規劃，針對供應鏈環境中各廠間的生產規劃提出解決方法，包括物料運送、生產及持有以求得各廠區的最佳生產量。而Jayaraman 和 Pirkul (2001) 探討在供應商與多製造工廠間彼此的產能限制下，建構一混合整數規劃模式以求出成本最低的生產規劃。有鑑於此本研究嘗試同時考慮多產品訂單、多工廠生產、多物料採購、正常工時、加班工時、不同期各工廠之產能限制、不同的訂單交期、隨機的製成品良率及成品倉儲成本、物料採購價格、物料持有、物料採購限制以及生產設定成本等有關之情況在本研究中加以討論，並依據上述種種情況建構出一以最小成本為目標的整數非線性規劃(Integer Nonlinear Programming, INLP)數學模型。

根據上述並符合實務情境，本研究之APS模式乃使用Lingo9.0 extended version套裝軟體語法建構，而此構建後之APS模式乃歸屬為一複雜的整數非線性規劃(INLP)問題。有關INLP問題，Lingo 9.0內建之Global Solver為一特殊之求解法且專門為搜尋此類複雜問題之全域最佳解而設計。因此本研究採用Global Solver施行求解。最後本研究舉一數值範例進行求解說明與結果分析探討。本APS模式可供企業在實務上針對多廠生產及多訂單規劃上做一快速且有效率的決策參考。

2. 假設及符號說明

本研究乃針對以一擁有多間生產製造工廠之企業集團為主，而該企業集團接獲多張分屬生產不同產品的訂單，其中有某些訂單客戶分別要求在不同期完成且出貨，本研究中的生產與採購規劃之總期間為一多期之生產規劃。並以 APS 模式建構，以期達到以最小成本為目標之規劃。而所有有關本研究的假設及符號說明如下所述。

2.1 研究假設

茲將本研究之假設羅列如下：

1. 假設各工廠內的生產線及人工調配均可隨時進行移轉與調整，無任何限制。
2. 在本模式中，各工廠之設定成本包含了生產設備的更換或設置(set-up)所需之成本，因此在同一工廠中每更換生產不同產品時，必須再計入一筆生產該產品的設定成本。且本研究假設同一工廠中對同一產品在每段期間之設定成本均維持不變。
3. 本研究所討論的生產線均已完成生產線平衡。
4. 假設產品皆是以MTO (Make To Order)生產，不會有預先生產以備接單之情形。
5. 假設各期所採購的物料均將在期初時全數送達，而未使用完畢的部分則為該期之期末存貨。

2.2 符號說明

i :產品訂單編號(每張訂單生產一特定產品), $i = 1, 2, \dots, K$ 。

j :工廠編號, $j = 1, 2, \dots, W$ 。

t :生產規劃間隔時間, 其中總規劃間隔時間數設為 T , $t = 1, 2, \dots, T$ 。

r :物料編號, $r = 1, 2, \dots, M$ 。

\vec{qc}_{ijt} :為單位生產成本向量, 定義為 $\vec{qc}_{ijt} = (pc_{ijt}, ot_{ijt})$; 其中 pc_{ijt} 表示 j 工廠在第 t 規劃期時以正常工時生產 i 訂單產品所需之單位生產成本, 而 ot_{ijt} 則表示 j 工廠在第 t 規劃期時加班生產 i 訂單產品所需之單位生產成本。此外, 本研究假設 $ot_{ijt} > pc_{ijt}$ 。

sc_{ij} : j 工廠對 i 訂單產品之設定成本。

ic_{ij} :在第 j 廠商中第 i 張訂單產品, 每單位成品存放一期時間長度所需的單位倉儲成本。

pp_r :原料 r 在第 t 期之採購價格。

y : y 為一百分比, 當期購入物料的單價乘上此百分比即表示一單位該物料在當期之持有成本。

r_i :預計每生產一單位 i 訂單產品所需耗用的工作小時。

$ncap_{jt}$:正常工時之 j 工廠在第 t 期之最大產能限制(以工作小時衡量)。

$ocap_{jt}$:加班工時之 j 工廠在第 t 期之最大產能限制(以工作小時衡量)。

b_{ir} :係物料清單矩陣(Bill of Material Matrix, BOM) B 中之一元素, 表示訂單編號 i 中每單位產品所

$$\text{需要 } r \text{ 物料之數量; 其中 } B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1r} & \cdots & b_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ b_{i1} & \cdots & b_{ir} & \cdots & b_{iM} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{K1} & \cdots & b_{Kr} & \cdots & b_{KM} \end{bmatrix}。$$

l_{rt} : j 工廠在第 t 期對 r 物料之最大採購量。

dq_i :為 i 訂單產品的需求量。

\vec{A}_{ij} :為生產良率向量, 定義為 $\vec{A}_{ij} = (u_{ij}, v_{ij})$; 其中 u_{ij} 表示對 i 訂單產品而言, j 工廠正常工時的製程良率, v_{ij} 表示對 i 訂單產品而言, j 工廠加班的製程良率。其中 u_{ij} 為平均值 m_1 , 標準差 s_1 之常態分配下, 所產生的隨機數; v_{ij} 為平均值 m_2 , 標準差 s_2 之常態分配下, 所產生的隨機數。

決策變數(Decision Variables) :

\vec{q}_{ijt} :為產量向量, 表示 j 工廠在第 t 規劃期間利用正常工時或加班工時完成 i 訂單之產品數量, 並定義為 $\vec{q}_{ijt} = (nq_{ijt}, oq_{ijt})$; 其中 nq_{ijt} 表示 j 工廠在 t 規劃期利用正常工時所生產 i 訂單產品之數量, oq_{ijt} 則表示 j 工廠在 t 規劃期利用加班工時所生產 i 訂單產品之數量。

Q_{ijt} : $Q_{ijt} = nq_{ijt} + oq_{ijt}$, 表示 j 工廠在第 t 期對 i 訂單產品所生產的總數量(包含不良品)。

\bar{Q}_{ijt} : $\bar{Q}_{ijt} = \vec{A}_{ij} \cdot \vec{q}_{ijt}$, 表示 j 工廠在第 t 期對 i 訂單產品所生產的良品總數量。

d_{ijt} : d_{ijt} 為一二元變數，當 $d_{ijt} = 1$ 時代表 j 工廠在第 t 規劃期有排定生產第 i 訂單之產品；當 $d_{ijt} = 0$ 時代表 j 工廠在第 t 規劃期時無排定生產 i 訂單之產品。

pq_{rjt} : j 工廠在第 t 規劃期初所需購買 r 物料的數量。

iq_{rjt} : j 工廠在 t 規劃期末時 r 物料的持有量。

is_{ijt} : i 訂單產品在 j 工廠第 t 期之平均倉儲量。即 $is_{ijt} = \frac{1}{2} \bar{Q}_{ijt} + \sum_{k=0}^{t-1} \bar{Q}_{ijk}$ 。

3. 模式構建

以下將建構一以先進規劃排程(APS)為基礎之資源分配與生產規劃模型。

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_X \sum_{j=1}^W \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^K (\vec{q}_{ijt} \cdot \vec{qc}_{ijt} + sc_{ij} d_{ijt} + is_{ijt} ic_{ij}) + \sum_{r=1}^M [pp_r (pq_{rjt} + iq_{rjt} y)] \right] \quad (1) \\ s.t. \\ X = \left\{ \vec{q}_{ijt}, Q_{ijt}, \bar{Q}_{ijt}, d_{ijt}, pq_{rjt}, iq_{rjt}, is_{ijt} \right\} \quad (2) \\ \sum_{i=1}^K (nq_{ijt} \times r_i) \leq ncap_{jt} \quad \forall j, t \quad (3) \\ \sum_{i=1}^K (oq_{ijt} \times r_i) \leq ocap_{jt} \quad \forall j, t \quad (4) \\ \left(\sum_{i=1}^K Q_{ijt} \times b_{ir} \right) + iq_{rjt} = pq_{rjt} + iq_{rj(t-1)} \quad \forall r, j, t \quad (5) \\ pq_{rjt} \leq l_{rjt} \quad \forall r, j, t \quad (6) \\ \left. \begin{array}{l} \text{若 } i \text{ 訂單需在 } t' \text{ 期結束時交貨則 } \sum_{j=1}^W \sum_{t=1}^{t'} \bar{Q}_{ijt} = dq_i, \text{ 其中 } t' < T ; \\ \text{否則 } \sum_{j=1}^W \sum_{t=1}^T \bar{Q}_{ijt} = dq_i \end{array} \right\} \quad (7) \\ d_{ijt} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, t \quad (8) \\ Q_{ijt}, \bar{Q}_{ijt}, iq_{rjt}, pq_{rjt} \geq 0 \text{ 且為整數} \quad (9) \end{array} \right.$$

方程式(2)式表示集合 $\vec{q}_{ijt}, Q_{ijt}, \bar{Q}_{ijt}, d_{ijt}, pq_{rjt}, iq_{rjt}, is_{ijt}$ 這七個決策變數所組成的 X 集合，即本模式期以決定出 j 工廠在 t 時期之最佳產品生產量、物料採購量、物料持有量以及產品平均倉儲量等。第(3)、(4)式為產能限制式，表示在正常工時和加班工時之第 j 家工廠於第 t 期時生產所耗用之工作時數不得超過該工廠在該時期之工時(產能)限制；式(5)表示 j 工廠在第 t 期之期初採購 r 物料之數量加上該工廠前一期(即 $t-1$ 期)期末之該物料持有量之總和須等於第 t 期該物料在 j 工廠用於生產所耗費之量加上該期期末該物料持有量之和；而第(6)式為購買限制式，亦即供應商所供應之原料有其上限存在，因此對於 j 工廠在第 t 期所採購之 r 物料數量應不超過該物料之最大供應量。式(7)為不同訂單可允許不同交期之限制

式。(8)式為生產判斷式，若 j 工廠在 t 時期不生產 i 訂單產品時， d_{ijt} 為 0；否則 d_{ijt} 為 1。式(9)為非負且為整數的限制式，表示總產品生產量 Q_{ijt} (含不良品)、良品生產量(\bar{Q}_{ijt})、物料持有量(iq_{ijt})及物料採購量(pq_{ijt})皆為正整數。最後建構由(1)式表示的目標函數式即考量在總生產成本(包括生產成本、設定成本、採購成本、物料持有成本以及產品倉儲成本)最小化下之最佳決定。綜言之，由式(1)~(9)可得知，本模式為一整數非線性規劃(INLP)問題。

4. 數值範例與分析探討

可知各項與生產有關之成本因素將可能會成為影響整個規劃決策的關鍵，因此對企業而言，在施行生產規劃時須考量各種實際所面臨的狀況，以做出最適的規劃和最佳決策。在前節中，本研究對以APS為基礎所建構的數學模式做完整的描述與介紹，接著本節將藉由一擁有多製造廠之企業在規劃不同交期之多訂單生產與多物料採購上所面臨的各種實際狀況為本研究之數值範例，透過Lingo 9.0 extended version 的語法加以建模並實施整個模式的全域最佳解之求解操作。本研究期望透過數值範例的介紹和計算，對企業面臨相同問題時，提供在生產與採購規劃上的指導施行方向。

本範例乃以一擁兩間生產製造工廠之企業集團為例，該企業集團接獲四張分屬生產不同產品的訂單，其中有兩張訂單客戶分別要求在第2個月和第3個月內完成且出貨，而另外兩張訂單之產品須在五個月內完成且出貨。此四種不同的產品可由五種不同的物料依不同的比例組合製成。本研究中的生產與採購規劃之總期間共為五期(每一期間長度為一個月)且製成品的良率以隨機的方式處理。表4.1顯示生產 i 訂單產品時 j 工廠各 t 期間所需之單位生產成本。其中第1家製造廠因設備不足無法生產第3張訂單，因此無法取得該部分之參數值。

表4.2中的 sc_{ij} 為 j 工廠生產 i 訂單產品之設定成本(此成本為每生產一項產品設定一次即可)；而 u_{ij} (v_{ij}) 表示 j 工廠生產 i 訂單產品使用正常(加班)工時生產時之隨機良率； ic_{ij} 乃表示 i 訂單產品在 j 工廠之每期每單位之倉儲成本。表4.2中之隨機良率的設定乃是依據該企業之兩製造工廠對該四項產品由正常或加班工時生產良率的歷史資料(假設資料呈常態分配)之平均值與標準差(其中 u_{ij} 之平均值為 $m_1=0.9$ ，標準差 $s_1=0.015$ ； v_{ij} 之平均值為 $m_2=0.8$ ，標準差 $s_2=0.07$)，再藉由 Excel 亂數產生器將隨機數產生。

表4.3中的 r_i 代表每生產一單位 i 訂單產品所需耗費的工作小時，而 dq_i 表示客戶對 i 訂單產品的訂購量。此外，表4.4中數值表示在正常工時和加班工時之各工廠在各時期時該工廠可提供的最大工時限制。表4.5表示各訂單 i 中每單位產品所需要 r 物料之數量，若有某一產品不須使用某物料時，該數值即為0。表4.6表示 j 工廠在不同期間時對 r 物料之最大允購量。

表4.1 pc_{ijt} 、 ot_{ijt} 表示各月生產 i 訂單產品所需之單位生產成本

		t				
		1	2	3	4	5
i	j					
pc_{ijt}	1	18(元)	18(元)	20(元)	20(元)	24(元)
	2	24(元)	24(元)	24(元)	24(元)	30(元)
	3	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4	20(元)	20(元)	20(元)	22(元)	22(元)
	1	20(元)	20(元)	22(元)	22(元)	25(元)
	2	35(元)	35(元)	35(元)	35(元)	50(元)
	3	28(元)	28(元)	28(元)	28(元)	56(元)
	4	22(元)	22(元)	22(元)	24(元)	24(元)
ot_{ijt}	1	21.6(元)	21.6(元)	24(元)	24(元)	28.8(元)
	2	28.8(元)	28.8(元)	28.8(元)	28.8(元)	36(元)
	3	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4	24(元)	24(元)	24(元)	26.4(元)	26.4(元)
	1	24(元)	24(元)	26.4(元)	26.4(元)	30(元)
	2	42(元)	42(元)	42(元)	42(元)	60(元)
	3	33.6(元)	33.6(元)	33.6(元)	33.6(元)	67.2(元)
	4	26.4(元)	26.4(元)	26.4(元)	28.8(元)	28.8(元)

表4.2 sc_{ij} 工廠生產設定成本、 u_{ij} 、 v_{ij} 的隨機良率與 ic_{ij} 單位倉儲成本

		ij							
		11	12	21	22	31	32	41	42
sc_{ij}		2250(元)	2750(元)	2250(元)	2750(元)	(N/A)	2750(元)	2250(元)	2750(元)
u_{ij}		0.90394351	0.887594	0.92085773	0.909158	(N/A)	0.893264	0.90623544	0.868931
v_{ij}		0.72719415	0.730001	0.8336718	0.658364	(N/A)	0.843243	0.84333805	0.824524
ic_{ij}		3.1(元)	3.2(元)	3.5(元)	3.6(元)	(N/A)	3(元)	3.9(元)	3.4(元)

表4.3 r_i 表示預計每生產一單位 i 訂單產品所需耗用的工作小時與 dq_i 為 i 訂單產品的訂購量

		i			
		1	2	3	4
r_i		1(小時)	1.5(小時)	1(小時)	2(小時)
dq_i		1000	2000	3000	2600

表4.4 cap_{jt} 表示在正常工時和加班工時之 j 工廠在第 t 期之最大工時限制(以工作小時衡量)

		t				
		1	2	3	4	5
J						
$ncap_{jt}$	1	800(小時)	990(小時)	1180(小時)	1370(小時)	1560(小時)
	2	500(小時)	800(小時)	1100(小時)	1400(小時)	1700(小時)
$ocap_{jt}$	1	250(小時)	360(小時)	470(小時)	580(小時)	690(小時)
	2	200(小時)	250(小時)	300(小時)	350(小時)	400(小時)

表4.5 b_{ir} 表示訂單編號 i 中每單位產品所需要 r 物料之數量

		r				
		1	2	3	4	5
b_{ir}	1	10	2	7	2	5
	2	7	8	0	0	4
	3	6	5	1	1	0
	4	2	2	2	4	2

表4.6 l_{ijt} 表示 j 工廠在每期對 r 物料之最大採購量、 pp_{rt} 表物料採購價格

		r				
		1	2	3	4	5
l_{ijt}	1	48000	40000	25000	18000	27000
	2	48000	40000	25000	18000	27000
	3	48000	40000	25000	18000	27000
	4	48000	40000	25000	18000	27000
	5	48000	40000	25000	18000	27000
pp_{rt}	1	38(元)	36(元)	36(元)	38(元)	40(元)
	2	35(元)	36(元)	38(元)	38(元)	40(元)
	3	42(元)	42(元)	45(元)	49(元)	49(元)
	4	50(元)	45(元)	45(元)	50(元)	52(元)
	5	40(元)	42(元)	46(元)	52(元)	60(元)

將上述的資訊輸入 Excel 中，接著用 Lingo 9.0 extended version 之語法建構出一以 APS 為基礎之數學模型(詳見附錄)，並藉由該軟體內建之 Global Solver 進行全域最佳解的搜尋。本範例模型中變數共有 300 個，其中非線性變數為 80 個、整數變數 180 個；限制式共有 328 條，其中非線性限制式有 80 條，此模式歸類為一整數非線性規劃(INLP)模式；本範例歷經 10,394 次搜尋始得出全域最佳解，其最佳成本為 6,091,798 元。茲將決策變數之最佳解整理並列於表 4.7 中。在表 4.7 中可以看出符合一般常理，正常工時有生產產品時加班工時才會施行生產；且因加班工時比正常工時之成本為高且可用的加班工時比正常工時為少，因此加班工時的產量並沒有大於正常工時的產量。最佳解中亦顯示出，第 1、2 張訂單的產品，成功地在客戶要求期間內結束前完成其需求量(因在表 4.7 中，第 1 張訂單在第 4 期之後的產量為 0，第 2 張訂單在第 5 期產量也為 0)。接著本研究依據最佳解，將部分結果繪製成圖 4.1~圖 4.4 以利後續的探討與說明。

表4.7 各決策變數之最佳解

	$i(r)$	j	t				
			1	2	3	4	5
nq_{ijt}	1	1	0	990	78	0	0
	2		533	0	421	691	0
	3		(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4		0	0	235	166	780
	1	2	0	39	0	0	0
	2		331	201	0	0	0
	3		0	458	1100	1400	0
	4		0	0	0	0	850
oq_{ijt}	1	1	0	0	0	0	0
	2		0	0	0	0	0
	3		(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4		0	0	235	163	345
	1	2	0	0	0	0	0
	2		0	0	0	0	0
	3		0	250	175	0	0
	4		0	0	0	0	200
\bar{Q}_{ijt}	1	1	0	895	70	0	0
	2		491	0	388	636	0
	3		(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4		0	0	411	288	998
	1	2	0	35	0	0	0
	2		301	184	0	0	0
	3		0	620	1130	1250	0
	4		0	0	0	0	903
d_{ijt}	1	1	0	1	1	(N/A)	(N/A)
	2		1	0	1	1	(N/A)
	3		(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4		0	0	1	1	1
	1	2	0	1	0	(N/A)	(N/A)
	2		1	1	0	0	(N/A)
	3		0	1	1	1	0
	4		0	0	0	0	1
iq_{rjt}	1	1	0	0	7745	2250	0
	2		14880	12900	8436	2250	0
	3		0	4394	2908	2250	0
	4		0	0	5816	4500	0
	5		13636	8686	5672	2250	0
	1	2	0	0	10500	2100	0
	2		20701	15457	9100	2100	0
	3		0	4775	3500	2100	0
	4		0	0	5600	4200	0
	5		3099	2100	2100	2100	0
pq_{rjt}	1	1	3731	9900	12412	0	0
	2		19144	0	0	0	0
	3		0	11324	0	0	0
	4		0	1980	7852	0	0
	5		15768	0	0	0	0
	1	2	2331	6045	18150	0	0
	2		23365	0	0	0	0
	3		0	5756	0	0	0
	4		0	786	6875	0	0
	5		4431	0	0	0	0

生產量

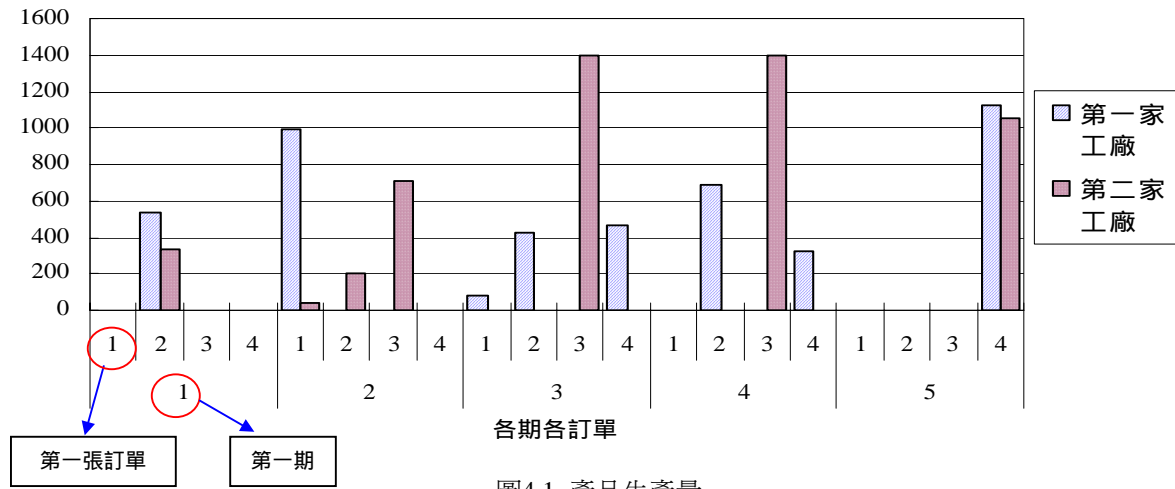


圖4.1 產品生產量

累積倉儲量

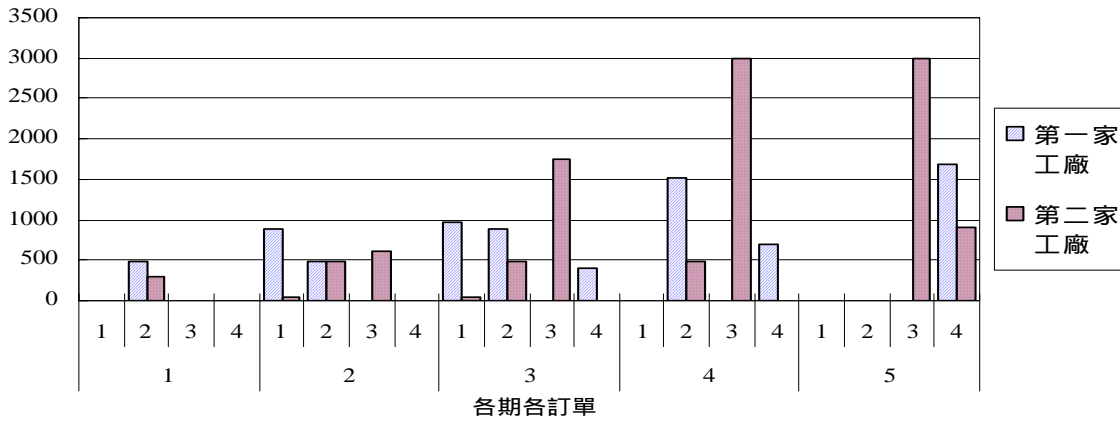


圖4.2 產品累積倉儲量

採購量

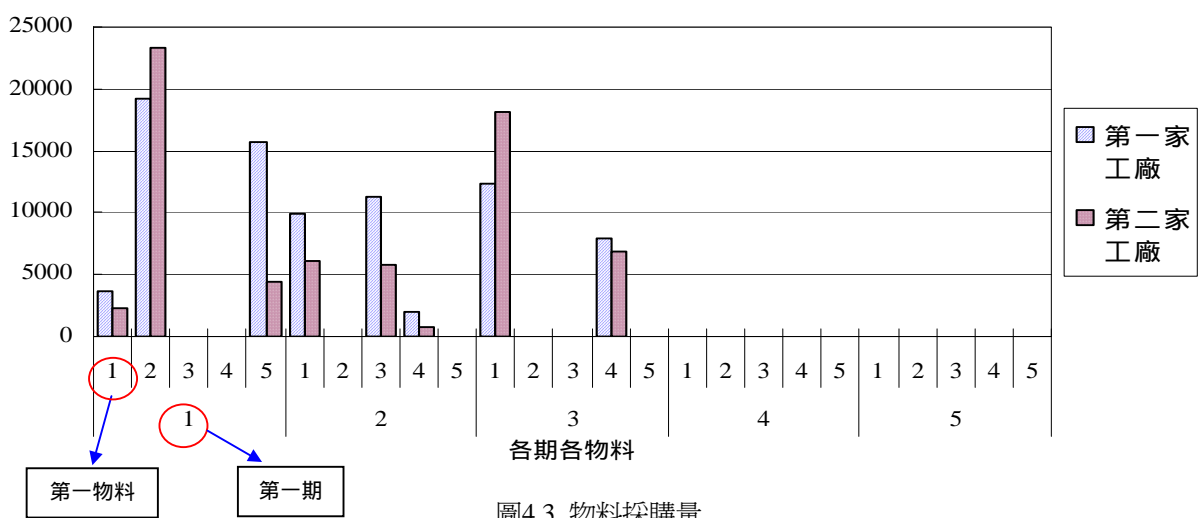


圖4.3 物料採購量

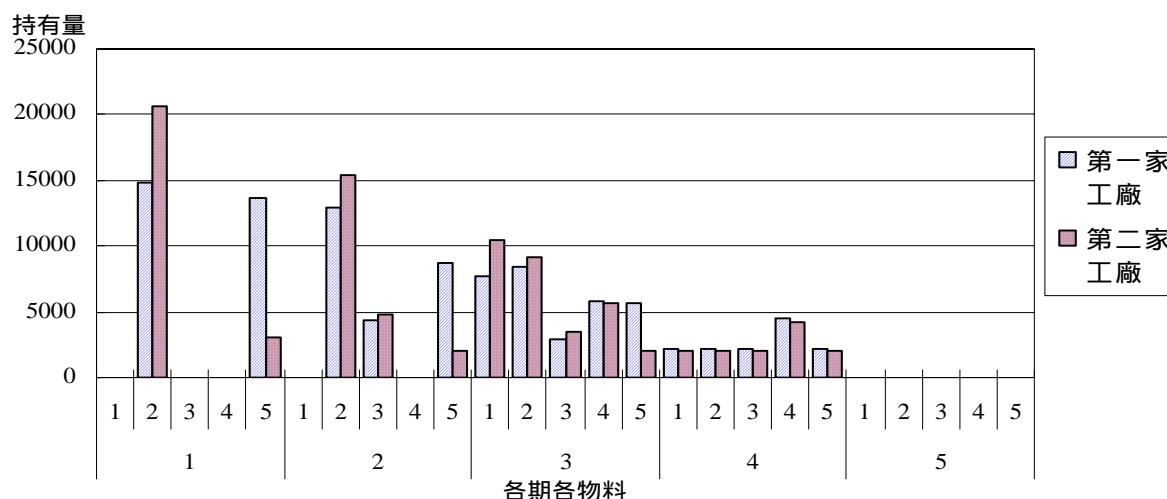


圖4.4 物料持有量

在產能運用部份，經輸出報表中資訊可得(參照表 4.4 cap_{jt} 之工時上限和表 4.7 之 nq_{ijt} 和 oq_{ijt} 換算出之產能使用工時時數)各工廠之最適規劃在第 5 期時兩家工廠正常工時和加班工時之總和產能使用時數各為 2,250 和 2,100 皆為最大產能來施行生產且除了在第 5 期外其餘時期在第 1 家工廠在正常工時產能使用時數前四期分別為 799.5、990、1179.5、1368.5、1560；加班工時產能使用時數前四期分別為 0、0、470、326、690 及第 2 家工廠在正常工時產能使用時數前四期分別為 496.5、798.5、1100、1400、1700；加班工時產能使用時數前四期分別為 0、250、175、0、400，正常工時和加班工時之總和均未使用最大產能來施行生產，且在加班工時有寧可不生產以降低成本的做法，其餘的加班工時約保持著五成以上的產能時數使用率，而在正常工時皆保持著九成以上的產能時數使用率。容其可能原因如下，因第 5 期時不用考慮倉儲和持有成本故發揮最大產能以達客戶需求。

由圖 4.1 到 4.4 裡可以看出兩家工廠在各期各訂單的生產量、倉儲量與各期各物料的採購量、持有量之情形。圖 4.1 中顯示各產品在各期時的生產量，且可看出因第 1 家工廠對無法生產第 3 張訂單產品故皆由第 2 家工廠生產第 3 張訂單產品之所有需求量，而此生產規劃模式達到最小化製造成本的目的。而圖 4.2 說明各工廠對各產品在各時期之累積倉儲量(此倉儲量已將不良品加以排除)。由以上兩個可共同看出本研究之重點所在，即第 1 張訂單產品和第 2 張訂單產品必須分別在第 3 和第 4 期時完成製造並交貨。而此生產規劃模式也達到最小化產品倉儲成本的目的。

就物料採購量(圖 4.3)而言，各工廠在各期幾乎皆在物料採購之單位價格較低，如物料 1 在第 2 期和第 3 期、物料 2 在第 1 期、物料 3 在第 2 期、物料 4 在第 2 期和第 3 期、物料 5 在第 1 期時之採購價格最小(見表 4.6)，故以大量採購物料以方便生產和降低採購成本；其中工廠 1 和工廠 2 在第 3 期時對物料 1 之採購量為 12,412 和 18,150 以及第 3 期對物料 4 之採購量為 7,852 和 6,875 皆出現了比前兩期更大量的採購量，究其原因為工廠 1 和工廠 2 在第 3 期對產品 3 施行比前兩期更大量之生產，而物料 1 和物料 4 正為產品 3 之主要組成成份(見表 4.5)且就物料採購價格而言是為相同價格(見表 4.6)，且在考量物料持有成本下以後期買進物料為優。圖 4.4 說明各工廠對各物料在各時期末之持有量，在考量物料持有成本和物料採購價格下，且第 5 期之採購價格變動甚大，所以提前一期採購為最佳方法。而上述物料之持有規劃

和採購規劃模式皆達到最小化物料之持有和採購成本的目的。而所建構的 APS 模型不僅成功扮演即時性、同步性的規劃並也成功的獲得最小化之生產和採購規劃成本。

5. 結論

近年來在科技不斷創新的輔助下，新一代更優質化的企業資源規劃系統得以快速地成長且更完善。這對於許多實際生產規劃上所面臨的情境(如不同時期有不同的工時限制(包括正常工時與加班工時)、產品生產之設定成本、成品與物料兩者的庫存問題、不同步的訂單交期及成品製造良率的隨機性以等等)，茲將其加以考量後，將會使整個APS系統趨向一更複雜的INLP模式，有關如此複雜的整數非線性規劃(INLP)模式常受限於先前軟體的求解功能與效率的不足，因此鮮少在前人的研究中同時被加以探討。在物料訂購數量決策面來談，單一物料之採購有較多研究的著墨，然現實中的採購常屬多物料之採購問題；因此本研究乃考量多物料的採購之實務情況。此外本研究更將物料持有成本與產品庫存成本有關之情況同時引進本研究中加以討論。

以下為本研究主要的貢獻：首先，本研究主要乃針對各種實務上所面臨的種種問題如成本、品質、時間等加以設計與構建以APS為基礎所建構的數學模式以追求考量實務情境下最少成本之規劃。此模式乃屬一複雜之整數非線性規劃(INLP)問題，但透過本研運用Lingo 9.0 extended version語法的設計，使此一複雜困難的問題得以落實成數學模式，並透過Lingo 9.0內建之Global Solver加以成功地取出其全域最佳解。同時，因本研究的設計針對實務上真實的問題，冀以減輕企業在施行決策上的負擔並同時滿足顧客的需求並可真正有效地為企業在實務上之生產與採購規劃上提供一參考方向。再者，本研究所建構的數學模式乃運用套裝軟體加以建構與求解，因此本研究具有高度的重現性(repetitivity)，亦即當企業擁有的接獲的訂單數、製造廠數、生產規劃期間長度、產品需求量、交期時間、生產良率、多物料採購資訊以及各項規劃所需的參數決定後，可輕易地套用本研究之語法加以規劃求解。換言之，本研究因具有高度的重現性(repetitivity)，故在實務應用上具有可觀的價值。

未來研究的方向可針對所謂的動態APS進行探討，例如物料採購上的數量折扣享有更多不同的折扣、當物料突然發生缺料的情況、當各期可供給之工時上限臨時改變、規劃期中新訂單的突然加入時要如何動態並即時地全面性調整企業的規劃以及當生產能力不敷負載時，內製或發放外包的等情況下的決策。有關此類動態APS都是未來值得探索的議題。此外，當企業輸入較為龐大資料量時(如訂單數量、物料數量、時間期數等)，將會導致本研究所建構的數學模式求解運算所需的時間遽增，因此未來研究者可嘗試將計算智慧CI(Computational Intelligence)導入或發展啟發式解法(Heuristic Method)以縮短求解之時間與減少搜尋全域最佳解的複雜度。

參考文獻

1. 蔡志弘(1997)，〈零工型工廠交期設定模式之構建〉，《交通大學工業工程研究所》，博士論文。
2. Benson, R. F, Conningham S. P. and Leachman, R. C. (1995) "Benchmarking manufacturing performance in semiconductor industry", *Production and Operations Management*, 38, 3, 201-216.

3. Bermudez, J. (1998), *What is APS ?* , (APS), pp.50-52.
4. Bhatnagar, R, Pankaj, C. and Suresh, K. G. (1993), “Models for multi-plant coordination”, *European Journal of Operational Research*, 67, 1, 141-160.
5. Caroloin, T, Pascal, B, Dinitri, G. and Gernar, B. (1995), “Multi-site planning: non flexible production units and set-up time treatment”, *Proceedings of the Emerging Technologies and Factory Automation*, 3, 261-269.
6. Errington, J. (1997), “Advanced planning and Scheduling (APS):a powerful emerging Technology”, *IEE Colloquium*, 315, 3/1~3/6.
7. Fleischmann, B, Meyer, H. and Wagner, M. (2000), *Advanced Planning*, edited by Stadler, H. and Kilger, C, (Springer), pp.75-77.
8. Gering, M. (1999) “Activity based costing and performance improvement” , *Management Accounting*, March, 24-25.
9. Gould, S. L. (1998), “Introducing APS: Getting Production in Lock Step with Customer Demand”, *Automotive Manufacturing & Production*, May, 54-58.
10. Jayaraman, V. and Pirkul, H. (2001), “Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities”, *European Journal of Operational Research*, 133, 394-408.
11. Kane, V. E. (1986), “Process Capability Indices ”, *Journal of Quality Technology* , 18, 1, 41-52.
12. Kerschbamer, R. and Tournas, Y. (2003), “In-house competition, organizational slack, and the business cycle”, *European Economic Review*, 47, 505-520.
13. Layden, J. (1999), “APS is Here to Stay”, *Manufacturing Systems*, Feb, 66-68.
14. Lee, C. S. (2001), “Modeling the business value of information technology”, *Information & Management*, 39, 191-210.
15. Meyersdorf, D. and Yang, T. (1997), “Cycle time reduction for semiconductor wafer fabrication facilities”, *Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, IEEE/SEMI*, pp.418 –423.
16. Stevens, G. (1989), “Integrating the Supply Chain”, *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 19, 8, 3-8.
17. Timple, C. H. and Kallrath, J. (2000), “Optimal planning in large multi-site production networks”, *European Journal of Operational Research*, 126, 422-435.
18. Veeramani, D. and Joshi, P. (1997), “Methodologies for Rapid and Effective Response to Requests for Quotation (RFQs)”, *IIE Transactions*, 2, 825-838.
19. Vercellis, C. (1999), “Multi-plant production planning in capacitated self-configuring two-stage serial systems”, *European Journal of Operational Research*, 119, 451-460.
20. Yang, K. K. and Sum, C. C. (1994), “A comparison of job shop dispatching rulestotal cost criterion”, *International Journal of Production Research*, 32, 4, 807-820.

附錄:LINGO 語法範例

Sets:

Order: Rate, Demand;

Factory: Setupcost;

Time;

Material: Limit;

Link1(Order, Factory, Time): Normalquantity, Overquantity, Dummy, Inventoryquantity, Inventorystock;

Link2(Material, Factory, Time): Purchasequantity, Inventory ;

Link3(Order, Time): Pcost1, Pcost2, Overtime1, Overtime2;

Link4(Factory, Time): Capacity1, Capacity2;

Link5(Order, Material): BOM;

Link6(Material, Time): Pprice;

Link7(Material, Factory): Initialstock;

Link8(Order, Factory): u, v, Inventoryprice;

Endsets

Data:

Order,Factory,time,demand,Setupcost,Material,Overtime1,Overtime2,BOM,Y,Capacity1,Capacity2,Limit,Pcost
1,Pcost2,rate,Initialstock,u,v,Inventoryprice,Pprice=

@OLE('C:\i4r5k5-k345.xls','Order','Factory','time','demand','Setupcost','Material','Overtime1','Overtime2','BOM',
'Y','Capacity1','Capacity2','Limit','Pcost1','Pcost2','rate','Initialstock','u','v','Inventoryprice','Pprice');

Enddata

Min=@Sum(Link3(i,t):Pcost1(i,t)*Normalquantity(i,1,t))
+@Sum(Link3(i,t):Pcost2(i,t)*Normalquantity(i,2,t))
+@Sum(Link3(i,t):Overtime1(i,t)*Overquantity(i,1,t))
+@Sum(Link3(i,t):Overtime2(i,t)*Overquantity(i,2,t))
+@Sum(Link1(i,j,t):@Sum(Factory(j):Setupcost(j)*Dummy(i,j,t)))
+@Sum(Link2(r,j,t):Pprice(r,t)*Purchasequantity(r,j,t))
+@Sum(Link2(r,j,t):Pprice(r,t)*Y*Inventory(r,j,t))
+@sum(Link1(i,j,t):Inventorystock(i,j,t)*Inventoryprice(i,j));

@for(Link1(i,j,t):Dummy(i,j,t)=@if(Normalquantity(i,j,t) #NE# 0, 1, 0));

@for(Link1(i,j,t):Overquantity(i,j,t)=@if(Normalquantity(i,j,t) #EQ# 0, 0, Overquantity(i,j,t));

@for(Link1(i,j,t):Normalquantity(i,j,t)>=Overquantity(i,j,t));

@For(Link4(j,t):@Sum(Order(i): Normalquantity(i,j,t)*Rate(i))<=Capacity1(j,t));

@For(Link4(j,t):@Sum(Order(i): Overquantity(i,j,t)*Rate(i))<=Capacity2(j,t));

@For(Order(i)|i #eq# 1:@Sum(Link1(i,j,t)|t #eq# 4: Normalquantity(i,j,t)*u(i,j)+Overquantity(i,j,t)*v(i,j))=0;
 @Sum(Link1(i,j,t)|t #eq# 5: Normalquantity(i,j,t)*u(i,j)+Overquantity(i,j,t)*v(i,j))=0);
 @For(Order(i)|i #eq# 2:@Sum(Link1(i,j,t)|t #eq# 5: Normalquantity(i,j,t)*u(i,j)+Overquantity(i,j,t)*v(i,j))=0);

@For(Order(i):@Sum(Link4(j,t): Normalquantity(i,j,t)*u(i,j)+Overquantity(i,j,t)*v(i,j))>=Demand(i));

@For(Link2(r,j,t)|t #EQ# 1:@sum(Order(i):
 Normalquantity(i,j,t)*BOM(i,r)+Overquantity(i,j,t)*BOM(i,r))+Inventory(r,j,t)
 =Purchasequantity(r,j,t)+Initialstock(r,j));

@For(Link2(r,j,t)|t #GE# 2:@sum(Order(i):
 Normalquantity(i,j,t)*BOM(i,r)+Overquantity(i,j,t)*BOM(i,r))+Inventory(r,j,t)
 =Purchasequantity(r,j,t)+Inventory(r,j,t-1));

@For(Link2(r,j,t):Purchasequantity(r,j,t)<=Limit(r));

@for(Link1(i,j,t):Inventoryquantity(i,j,t)=Normalquantity(i,j,t)*u(i,j)+Overquantity(i,j,t)*v(i,j));
 @for(Link1(i,j,t)|t #eq# 1:Inventorystock(i,j,t)=1/2*Inventoryquantity(i,j,t));
 @for(Link1(i,j,t)|t #ge# 2:Inventorystock(i,j,t)=Inventoryquantity(i,j,t-1)+(1/2*Inventoryquantity(i,j,t));

@for(Link1(i,j,t):@gin(Normalquantity(i,j,t));
 @for(Link1(i,j,t):@gin(Overquantity(i,j,t));
 @for(Link2(r,j,t):@gin(Purchasequantity(r,j,t));
 @for(Link2(r,j,t):@gin(Inventory(r,j,t));

End