

以先進規劃系統處理突發性生產規劃

藍俊雄 彭武年

南華大學管理科學研究所

嘉義縣大林鎮中坑里中坑 32 號

摘要

在消費者需求改變、科技的快速進步及激烈競爭下，如何創造競爭優勢，已成為企業經營的核心議題。本研究嘗試建構一先進規劃排程 APS (advanced planning and scheduling) 系統以為快速變動的現今企業提供一決策參考之平台。此 APS 系統具全面性考量、同步性、即時性並結合電腦強大的儲存及運算能力，以處理確定性與突發性訂單情境下之整合性問題和即時性之分析，並期在有限的企業生產能力下達成最小成本的目標。本研究乃針對多產品訂單、多工廠生產、生產的設定成本、多物料採購與持有、限制訂單交期、製成品平均良率及成品庫存等考量因素下建構一以最小成本為目標的整數非線性規劃 INLP (integer nonlinear programming) 模型。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。本研究因具有高度的重現性和符合實務上的應用，因此可為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，突發性訂單

Constructing an APS System for Spot-Order Production Planning

CHUN-HSIUNG LAN and WU-NIEN PENG

Graduate Institute of Management Sciences, Nanhua University

No. 32, Chung Keng Li, Dalin, Chia-Yi, Taiwan

ABSTRACT

The core business issue of an enterprise is to create a competitive advantage under rapid changes in customer preferences. The aim of this study, based on an APS (advanced planning and scheduling) perspective, is to establish a system for providing a referenced decision-making platform under the current complex environment. Combining synchronized, real-time, comprehensive characteristics and the quick computational capability of the computer, this system is able to integrate diverse products, deadlines, production, materials and inventory to deal with a deterministic order and spot-order situations under considerations of the lowest cost with finite production capacity. This study not only considers multi-product orders, multi-factory production, multi-material purchasing, diverse-order deadlines, production-yield means, product-inventory costs, and production set-up costs, but also provides a material holding cost to construct an Integer Nonlinear Programming



(INLP) mathematical model with the lowest cost. This model can function as a decision-making tool for focusing on the overall and real-time analyses of multiple orders for multi-factory production planning. In addition, the proposed mathematical model is constructed by the syntax of the extended version of the software package Lingo 9.0, selecting a built-in Global Solver as its solution method, followed by a numerical example. This study creates a highly repetitive characteristic because of the application of Lingo 9.0; therefore, it can be considered as a valuable decision tool.

Key Words: advanced planning and scheduling (APS), production planning, deadline planning, spot-order

一、前言

供應鏈管理 (supply chain management, SCM) 即是全面性的考慮物料供應、採購、持有、產能設備、配銷等資訊的一套管理哲學 [13]; Gould [6] 指出在 SCM 裡的決策支援系統 (decision support system, DSS), 目前最爲業界重視的即爲先進規劃與排程系統 (advanced planning and scheduling, APS)。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 [11]。更進一步來談, APS 主要是決定最佳化的供需平衡規劃與生產排程處理方案, 以提供決策者即時且有效的決策參考。因此, 需以 APS 觀點爲基礎來處理的問題總是傾向實務上真正面臨的情境。此外 APS 也具有同步規劃 (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 [3, 4, 10], 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。而且 APS 常考量複雜的決策與規劃問題, 學者 Yang 和 Sum [17] 提到常見規劃分配的規則可分爲以時間爲基礎的規則 (time-based rules)、與以成本爲基礎的規則 (cost-based rules) 爲評量依據進行規劃產品需求多樣化與客製化的現今社會。由於產品、物料的組合和種類的愈趨複雜, 因此產品和物料的不當庫存, 皆不合乎經濟效益, 因此生產規劃制定時應同時考量時間與成本, 亦即 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乃爲具相同生產流程的多工廠區生產規劃之問題 [16]。學者 Bhatnagar et al. [3] 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, 更希望藉由協調以降低各廠區的庫存與訂單製造的前置時間進而有效地減少成品之倉儲成本和物料持有成本。而交期規劃的意義即是使所設定的交貨期具有可預測 (predictability) 和可控制

(controllability) 兩種特性 [1]。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。要如何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; 此外學者 Veeramani [15] 認爲, 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爲優先, 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實爲生產工廠之一重要議題。近年來多位學者如 Kane [8]、Benson et al. [2]、Meyersdorf 與 Yang [12] 和 Gering [5] 等學者均提及製成品之良率好壞實爲影響生產規劃之一重要因素, 亦爲現今企業所面臨的實務問題之一。此外對於在長週期程的規劃中, 臨時發生新訂單的情況是司空見慣的情形, 針對此類臨時訂單加入的情境在本研究中亦有探討, 有鑑於此, 本研究所提之 APS 爲基礎之模式傾向於可處理確定性訂單與突發性訂單的兩種情況以增加本文之實用性。

Vercellis [16] 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。也符合 Kerschbamer 和 Tournas [9] 所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的觀點相同。另外, Timple 和 Kallrath [14] 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 [7] 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、製成品平均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，而構建後之 APS 模式乃歸屬為一複雜的整數非線性規劃問題。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 模式可供企業在確定性和突發性情境時針對多廠生產及多訂單規劃上做一即時且有效率的決策參考。

二、假設及符號說明

所有有關本研究的假設及符號說明如下所述。

(一) 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皆可隨時進行移轉與調整，無任何限制條件。
2. 在本 APS 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皆已完成生產線平衡。
4. 假設皆是以 MTO (make to order) 生產各產品，且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皆將在期初時全數送達，而未使用完畢的部分計入該期之期末存貨。

(二) 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， $r=1,2,\dots,M$ 。

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。

ot_{ijt} ：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_{ijt} ： j 工廠對 i 訂單產品之設定成本（各 t 期開工時必要再計入一次）。

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

pp_{rt} ：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) B 中之一元素，表示訂單編號 i 中每單位產品所需要 r 物料之數量；其中

$$B = \begin{bmatrix} b_{i1} & \cdots & b_{ir} & \cdots & b_{iM} \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ b_{i1} & \cdots & b_{ir} & \cdots & b_{iM} \\ \vdots & & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{K1} & \cdots & b_{Kr} & \cdots & b_{KM} \end{bmatrix}。$$

l_{ijt} ： 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。

u_{ij} ：表示對 i 訂單產品而言， j 工廠正常工時的平均製程良率。其中正常工時之平均製程良率 u_{ij} 乃為歷史資料之平均值。

v_{ij} ：表示對 i 訂單產品而言， j 工廠加班工時的平均製程良率。其中加班工時之平均製程良率 v_{ij} 乃為歷史資料之平均值。

(三) 決策變數 (decision variables)

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（包含不良品）。

oq_{ijt} ：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（包含不良品）。

\bar{Q}_{ijt} ： $\bar{Q}_{ijt} = nq_{ijt} \cdot u_{ij} + oq_{ijt} \cdot v_{ij}$ 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 規畫期有排定生產第 i 訂單之產品；當 $d_{ijt} = 0$ 時代表 j 工廠在第 t 規畫期時無排定生產 i 訂單之產品。

pq_{rjt} : j 工廠在第 t 規畫期初所需購買 r 物料的數量。

iq_{rjt} : j 工廠在 t 規畫期末時 r 物料的持有量。

is_{ijt} : i 產品在 j 工廠第 t 期之平均倉儲量。即

$$is_{ijt} = \frac{1}{2} \bar{Q}_{ijt} + \sum_{k=0}^{t-1} \bar{Q}_{ijt} \quad \circ$$

三、模式構建

以下將建構一以先進規畫排程為基礎之資源分配與生產規畫模型。

$$\min_X \sum_{j=1}^W \sum_{t=1}^T \left[\sum_{i=1}^K (pc_{ijt} \cdot nq_{ijt} + ot_{ijt} \cdot oq_{ijt}) + sc_{ij} d_{ijt} + is_{ijt} ic_{ij} \right] + \sum_{r=1}^M [pp_{rt} (pq_{rjt} + iq_{rjt} y)] \quad (1)$$

s.t.

$$X = \left\{ \begin{array}{l} nq_{ijt}, oq_{ijt}, \bar{Q}_{ijt}, d_{ijt}, \\ pq_{rjt}, iq_{rjt}, is_{ijt} \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^K (nq_{ijt} \times r_i) \leq ncap_{jt} \quad \forall j, t \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^K (oq_{ijt} \times r_i) \leq ocap_{jt} \quad \forall j, t \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(\sum_{i=1}^K (nq_{ijt} + oq_{ijt}) \times b_{ir} \right) + iq_{rjt} \\ = pq_{rjt} + iq_{rj(t-1)} \quad \forall r, j, t \end{array} \right\} \quad (5)$$

$$pq_{rjt} \leq l_{rjt} \quad \forall r, j, t \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{若 } i \text{ 訂單需在 } t' \text{ 期結束時交貨則} \\ \sum_{j=1}^W \sum_{t=1}^{t'} \bar{Q}_{ijt} = dq_i, \text{ 其中 } t' < T; \\ \text{否則 } \sum_{j=1}^W \sum_{t=1}^T \bar{Q}_{ijt} = dq_i \end{array} \right. \quad (7)$$

$$d_{ijt} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, t \quad (8)$$

$$\bar{Q}_{ijt}, iq_{rjt}, pq_{rjt} \geq 0 \text{ 且為整數} \quad (9)$$

方程式 (2) 表示 $nq_{ijt}, oq_{ijt}, \bar{Q}_{ijt}, d_{ijt}, pq_{rjt}, iq_{rjt}, is_{ijt}$ 之七個決策變數所組成的 X 集合，即本 APS 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) 式為採購數量限制式，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 i 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 時期生產 i 訂單產品時 ($nq_{ijt} > 0$)， d_{ijt} 為 1；不生產 ($nq_{ijt} = 0$) 則 d_{ijt} 為 0，且 d_{ijt} 為一二元變數，在模式中即為非線性變數。式 (9) 為非負且為整數之限制式，表示總產品生產量 Q_{jt} (含不良品)、良品生產量 (\bar{Q}_{ijt})、物料持有量 (iq_{rjt}) 及物料採購量 (pq_{rjt}) 皆為正整數。另外由 (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、產品倉儲成本以及物料的採購成本和持有成本) 最小化下之目標。綜言之，由式 (1) ~ (9) 可得知，本 APS 模式為一整數非線性規畫問題。

四、數值範例與分析探討

各項生產成本因素為影響整個規畫決策的關鍵，因此對企業而言，在施行生產規畫時須考量各種實際所面臨的狀況，以做出最適的規畫和最佳決策。在前節中，本研究已完整的描述與介紹以 APS 為基礎所建構的數學模式，接著本節將藉由一擁有多製造廠之企業在以先進規畫系統建構生產規畫排程之多訂單生產與多物料採購上所面臨的實際狀況為本研究之個案範例。本範例透過 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。本研究期望透過個案之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畫上的指導與施行方向。本個案範例乃以一擁有多兩間生產製造工廠之企業集團為例，該企業集團先接獲三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 7 個月和第 8 個月內完成突發性和確定性兩種情況下決策變數之最佳解整理並列於



藍俊雄、彭武年：以先進規劃系統處理突發性生產規劃

且出貨，而另外一張訂單之產品須在九個月內完成且出貨，而企業在第三個月結束後突然接到第四張訂單，並要求在第八個月內完成且出貨。此四種不同的產品可由六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九期（每一期間長度為一個月）且製成品的平均良率的方式處理。

表 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 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）工時生產時之平均良率； 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 2 中之平均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平均良率的歷史資料之平均值（如表 2 所示）。表 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 d_{qi} 表示客戶對 i 訂單產品的訂購量。此外，表 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 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 6 中 l_{rj} 和 pp_{rn} 表示 j 工廠在每期間時對 r 物料之最大允購量和採購 r 物料的價格。

將表 1 到表 6 的資訊輸入 Excel 中，接著用 Lingo9.0 extended version 之語法建構出一以 APS 為基礎之數學模型，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 576 個，其中非線性變數為 144 個（因為 d_{ij} 為一二元變數）、整數變數 360 個；限制式共有 622 條，其中非線性限制式有 144 條（因為 d_{ij} 為一二元變數），此模式歸類為一整數非線性規劃模式；本研究在以 APS 模式下把本範例分為「突發性」和「確定性」兩種情況下去做比較，其突發性時最佳成本為 7,707,071 元，而在確定性下最佳成本為 7,403,338 元。茲將突發性和確定性兩種

表 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

	i	j	t								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
pc_{ijt} (元)	1	1	17	17	18	18	20	20	21	21	22
	2		20	20	22	22	24	24	24	24	24
	3		(N/A)								
	4		22	22	24	24	26	26	28	28	30
	1	2	21	21	21	21	21	22	22	22	22
	2		30	30	30	30	31	31	31	31	31
	3		35	35	40	40	40	45	45	45	50
	4		22	24	26	28	30	32	34	36	38
ot_{ijt} (元)	1	1	22.95	22.95	24.3	24.3	27	27	28.35	28.35	29.7
	2		27	27	29.7	29.7	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
	3		(N/A)								
	4		29.7	29.7	32.4	32.4	35.1	35.1	37.8	37.8	40.5
	1	2	28.35	28.35	28.35	28.35	28.35	29.7	29.7	29.7	29.7
	2		40.5	40.5	40.5	40.5	41.85	41.85	41.85	41.85	41.85
	3		47.25	47.25	54	54	54	60.75	60.75	60.75	67.5
	4		29.7	32.4	35.1	37.8	40.5	43.2	45.9	48.6	51.3

表 2. sc_{ij} 工廠生產設定成本、 u_{ij} 、 v_{ij} 的平均良率與 ic_{ij} 單位倉儲成本

	ij							
	11	12	21	22	31	32	41	42
sc_{ij} (元)	2100	2450	2100	2450	(N/A)	2450	2100	2450
u_{ij}	0.92822	0.86671	0.87845	0.85836	(N/A)	0.92331	0.85368	0.91399
v_{ij}	0.66189	0.85183	0.78981	0.77166	(N/A)	0.78493	0.923	0.82959
ic_{ij} (元)	3.5	3.6	3	3.2	(N/A)	3.1	4	3.6



表 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 (小時)	1	1.5	1	2
dq_i	1500	2500	4000	2500

表 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)

	j	t								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
$ncap_{jt}$	1	400	520	640	760	880	1000	1120	1240	1360
(小時)	2	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
$ocap_{jt}$	1	150	190	230	270	310	350	390	430	470
(小時)	2	120	125	130	135	140	145	150	155	160

表 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

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

表 6. l_{jt} 和 pp_{rt} 表示 j 工廠在每期間時對 r 物料之最大允購量和採購 r 物料的價格

	t	r					
		1	2	3	4	5	6
l_{jt}	1	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	2	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	3	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	4	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	5	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	6	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	7	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	8	65000	45000	30000	22000	30000	41000
	9	65000	45000	30000	22000	30000	41000
pp_{rt} (元)	1	26	35	40	30	40	20
	2	27	35	40	30	40	25
	3	28	35	40	40	40	30
	4	29	35	45	40	50	35
	5	30	37	45	40	50	40
	6	31	37	45	50	50	45
	7	32	37	50	50	50	50
	8	33	38	50	50	60	55
	9	34	38	50	50	60	60

情況下決策變數之最佳解整理並列於表 7 和表 8 中。(所謂突發性情況即是施行規劃前無法得知在第 4 期時有第 4 張訂單的加入, 而確定性情況則是在規劃施行前已得知在第 4 期時有第 4 張訂單的加入, 本研究嚐試對此兩種情境分別求解並加以比較分析。)

在表 7 和表 8 中可以看出符合一般常理, 與正常工時有生產產品時加班工時才可考慮施行生產; 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 (表 7 和表 8), 第 1、2 張訂單的產品, 成功地在客



表 7. 突發性有第 4 張訂單加入時各決策變數之最佳解

		t									
$i(r)$	j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
nq_{ijt}	1	1	400	520	640	54	0	0	0	(N/A)	(N/A)
		2	0	0	0	290	380	224	483	0	(N/A)
		3	(N/A)								
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	135	155	332	197	277	(N/A)
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
		2	0	0	0	311	0	0	296	800	(N/A)
		3	500	600	700	333	900	0	0	0	1300
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	500	328	0	(N/A)
oq_{ijt}	1	1	3	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)
		3	(N/A)								
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	135	155	175	195	215	(N/A)
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)
		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	0	0	0	(N/A)
\bar{q}_{ijt}	1	1	373	482	595	50	0	0	0	(N/A)	(N/A)
		2	0	0	0	255	334	197	424	0	(N/A)
		3	(N/A)								
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	240	275	445	348	435	(N/A)
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
		2	0	0	0	285	0	0	272	733	(N/A)
		3	462	554	646	307	831	0	0	0	1200
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	457	300	0	(N/A)
d_{ijt}	1	1	1	1	1	0	0	0	(N/A)	(N/A)	
		2	0	0	0	1	1	1	1	0	(N/A)
		3	(N/A)								
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	1	1	1	1	1	(N/A)
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
		2	0	0	0	1	0	0	1	1	(N/A)
		3	1	1	1	1	1	0	0	0	1
		4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	1	1	0	(N/A)
iq_{ijt}	1	1	20064	14864	8464	11011	7731	5149	984	0	0
		2	0	0	0	12098	8438	5632	984	0	0
		3	0	0	378	0	0	1768	984	0	0
		4	0	1388	108	0	5564	3536	1968	0	0
		5	0	0	4798	2828	688	0	984	0	0
		6	4856	2776	216	6804	5564	3536	1968	0	0
	2	1	34492	30892	26692	22528	17128	16128	13400	7800	0
		2	0	0	0	21424	16924	15924	12900	6500	0
		3	0	0	2533	2200	1300	1956	1300	1300	0
		4	0	3233	2533	2200	4612	2612	1300	1300	0
		5	0	0	6568	5324	5324	4324	3200	0	0
		6	15332	12932	10132	12112	8512	6512	5200	5200	0
pq_{ijt}	1	1	24094	0	0	5657	0	0	0	0	0
		2	806	1040	1280	15066	0	0	0	0	0
		3	2821	3640	4858	540	620	2782	0	0	0
		4	806	2428	0	1080	6804	0	0	0	0
		5	2015	2600	7998	0	0	1222	3700	0	0
		6	6468	0	0	7884	0	0	0	0	0
	2	1	37492	0	0	11	0	0	0	0	0
		2	2500	3000	3500	25577	0	0	0	0	0
		3	500	600	3233	0	0	1656	0	0	0
		4	500	3833	0	0	3312	0	0	0	0
		5	0	0	6568	0	0	0	716	0	0
		6	17332	0	0	3312	0	0	0	0	0



表 8. 確定性有第 4 張訂單加入時各決策變數之最佳解

		<i>t</i>								
<i>i</i> (<i>r</i>)	<i>j</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>nq_{ijr}</i>	1	400	520	640	54	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	290	380	425	486	388	(N/A)
	3	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	135	155	181	195	225	(N/A)
	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	0	0	0	40	800	(N/A)
	3	500	600	700	800	900	0	0	0	833
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	500	520	0	(N/A)
<i>oq_{ijr}</i>	1	2	0	1	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)
	3	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	135	155	175	195	215	(N/A)
	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	0	0	0	(N/A)
<i>Q_{ijr}</i>	1	373	482	595	50	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	255	334	373	427	341	(N/A)
	3	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	240	275	316	346	391	(N/A)
	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	0	0	0	37	733	(N/A)
	3	462	554	646	739	830	0	0	0	769
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	457	475	0	(N/A)
<i>d_{ijr}</i>	1	1	1	1	1	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	1	1	1	1	1	(N/A)
	3	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)	(N/A)
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	1	1	1	1	1	(N/A)
	1	0	0	0	0	0	0	0	(N/A)	(N/A)
	2	0	0	0	0	0	0	1	1	(N/A)
	3	1	1	1	1	1	0	0	0	1
	4	(N/A)	(N/A)	(N/A)	0	0	1	1	0	(N/A)
<i>iq_{ijr}</i>	1	29465	24265	17855	14745	11465	7778	3596	0	0
	2	0	0	0	16424	12764	8652	3984	0	0
	3	0	0	3910	2992	2372	1660	880	0	0
	4	0	8454	7172	5984	4744	3320	1760	0	0
	5	0	0	11678	9708	7568	5156	2432	0	0
	6	11924	9844	7280	5984	4744	3320	1760	0	0
	1	30918	27318	23118	18318	12918	11918	10598	4998	0
	2	0	0	0	17425	12925	11925	10565	4165	0
3	0	0	4573	3773	2873	1873	833	833	0	
4	0	7313	6613	5813	4913	2913	833	833	0	
5	0	0	5400	5400	5400	4400	3200	0	0	
6	19412	17012	14212	11012	7412	5412	3332	3332	0	
<i>pq_{ijr}</i>	1	33485	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	804	1040	1282	19332	0	0	0	0	0
	3	2814	3640	8397	0	0	0	0	0	0
	4	804	9494	0	0	0	0	0	0	0
	5	2010	2600	14883	0	0	0	0	0	0
	6	13532	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	33918	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	2500	3000	3500	21425	0	0	0	0	0
3	500	600	5273	0	0	0	0	0	0	
4	500	7913	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	5400	0	0	0	0	0	0	
6	21412	0	0	0	0	0	0	0	0	



戶要求期間內結束前完成其需求量（因在表 7 和表 8 中，第 1 張訂單在第 8 期之後的產量為 0，第 2 張訂單和第 4 張訂單在第 9 期產量也為 0，而第 3 張訂單也如期在九期內完成）。接著本研究依據最佳解，將部分結果繪製成圖 1 到圖 3 以利後續的探討與說明（其中圖 1 到圖 3 各情況各訂單在各期之生產量乃為二家工廠產量之和）。

在表 7 和表 8 中可以看出兩種情況（突發性和確定性）的各期產品生產量、倉儲量與各物料的採購量、持有量之情形。產能運用部份，經輸出報表中資訊可得各工廠之最適規劃除了在最後一期（第 1 廠為第 8 期）時其餘各期兩家工廠之正常工時產能使用皆達最大產能上限（包括突發性和確定性兩種情況）；而加班工時則多半未達其產能極限，此說明

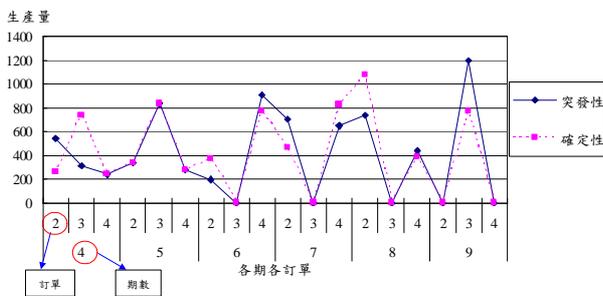


圖 1. 突發性和確定性下之產品生產量

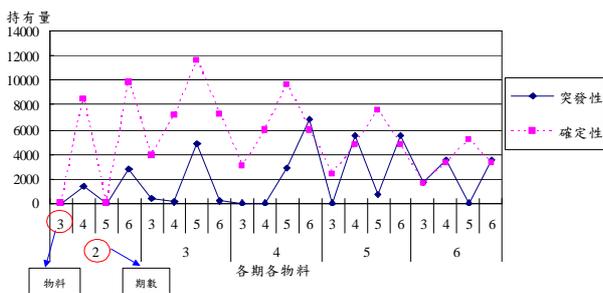


圖 2. 突發性和確定性下第 1 廠的物料累積持有量

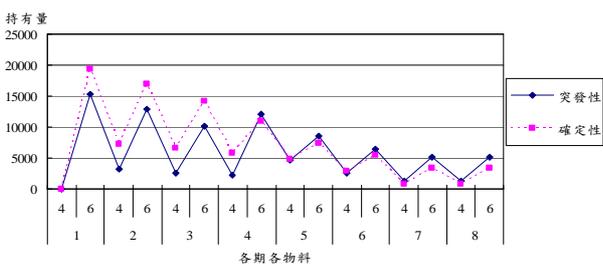


圖 3. 突發性和確定性下第 2 廠的物料累積持有量

了加班工時以盡可能不做以避免加班的生產成本過高的情形，且可保留加班工時以保持產能的彈性。

圖 1 中顯示突發性和確定性情況時第 2 訂單、第 3 訂單及第 4 訂單之四到九期生產量（此生產量已將不良品加以排除），其生產模式均大致相同且皆未有遞增生產或遞減生產的趨勢出現。其可能原因為其生產成本、倉儲成本、物料的採購成本和持有成本的差距皆不大，故其生產排程規劃的變動才有平緩的趨勢。而前三時期時就突發性和確定性情況而言第 1 張訂單的生產模式也均無明顯差異，其主要原因是生產成本和倉儲成本皆為最低而造成生產量在此三期優先大量地生產。

圖 2 說明突發性和確定性下第 1 廠的第 3 物料、第 4 物料、第 5 物料和第 6 物料在二到六期下之累積持有量。而圖 3 說明突發性和確定性下之第 2 廠在第 4 物料和第 6 物料在前八時期之累積持有量；以第 3 個月和第 4 個月的物料採購量而言（表 7 和表 8），由於在第 4 期突然接到第 4 張訂單以造成第 4 個月的物料採購量出現了大量的採購以配合第 4 張訂單的物料需求量，而圖 2 和圖 3 中亦說明物料持有量也因第 4 期時的第 4 訂單加入而有較多的持有量發生，同時亦可以看出物料的持有在確定性情況下是呈現持有量依期數的增加而持續性且穩定的減少。另外，圖 2 中顯示在確定性情況下前兩時期物料皆有較多的持有，其可能原因為前幾期採購價格較低故採取一次大量採購。

五、結論

近幾年來科技不斷的創新與輔助，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加完善。茲將許多實際生產規劃上所面臨的情境（如確定性與突發性情境、不同步的訂單交期規劃、工時限制（包括正常工時和加班工時）、產品生產之設定成本、成品與物料兩者的庫存問題及成品平均製造良率等等），考量後將會使整個 APS 系統趨向一更複雜的 INLP 模式，而有關如此複雜的整數非線性規劃模式常受限於軟體的求解功能與效率的不足，因此鮮少在前人的研究中被同時加以探討。就物料訂購數量決策面來談，對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；因此本研究除考量多物料採購之實務情況，更將物料持有成本與產品庫存成本有關之境況同時引進本研究。此外本研究所建之模式可對突發性的情況即時加入處理使之成為更趨完善的 APS 模式。



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確定性或突發性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問題，但透過本研究 Lingo9.0 extended version 語法的設計，使此一複雜困難的問題得以落實，並透過 Lingo9.0 內建之 Global Solver 加以成功地求取出其全域最佳解。同時，因本研究的設計針對實務上有關確定性的規劃問題和突發情況的即時規劃問題，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且可有效地為企業在各種不同情境下之生產與採購規劃提供一參考方向。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，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、交期時間、平均生產良率、生產和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，故在實務應用上具有可觀的價值。

未來研究的方向可針對 APS 中加入一些更複雜的限制而進行探討，例如物料數量的採購上享有更多不同的折扣以函數方法表示，或如當物料突然發生短缺時需找替代品或停工的規劃模式以及當可供給之工時上限臨時改變以及生產能力不敷負載時或其他突發狀況發生時要如何即時地全面性調整企業的規劃，包括內製或發放外包下的決策。有關此類更複雜之 APS 都是未來值得探索的議題。此外，本研究所建構的數學模式當企業輸入較為龐大資料量時（如訂單量、物料種類、時間期數、過多階段決策規劃等），將會導致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、發展啟發式解法 (heuristic method) 以減少搜尋全域最佳解的計算複雜度和時間。

誌謝

感謝評審委員對本研究所提出的所有寶貴意見，使本研究在依建議修正後更臻完善。

參考文獻

1. 蔡志弘 (民 86)，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. S. P. Conningham and R. C. Leachman (1995) Benchmarking manufacturing performance in semiconductor industry. *Production and Operations Management*, 38(3), 201-216.
3. Bhatnagar, R., C. Pankaj and K. G. Suresh (1993) Models for multi-plant coordination. *European Journal of Operational Research*, 67(1), 141-160.
4. Fleischmann, B. H. Meyer and M. Wagner (2000) Advanced planning. In: *Symposium on Operations Research*, 75-77. H. Stadler and C. Kilger Eds. Springer, Berlin.
5. Gering, M. (1999) Activity based costing and performance improvement. *Management Accounting*, March, 24-25.
6. Gould, S. L. (1998) Introducing APS: Getting production in lock step with customer demand. *Automotive Manufacturing & Production*, May, 54-58.
7. Jayaraman, V. and H. Pirkul (2001) Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, 133, 394-408.
8. Kane, V. E. (1986) Process capability indices. *Journal of Quality Technology*, 18(1), 41-52.
9. Kerschbamer, R. and Y. Tournas (2003) In-house competition, organizational slack, and the business cycle. *European Economic Review*, 47, 505-520.
10. Layden, J. (1999) APS is here to stay. *Manufacturing Systems*, Feb., 66-68.
11. Lee, C. S. (2001) Modeling the business value of information technology. *Information & Management*, 39, 191-210.
12. Meyersdorf, D. and T. Yang (1997) Cycle time reduction for semiconductor wafer fabrication facilities. *Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, IEEE/SEMI*, 418-423.
13. Stevens, G. (1989) Integrating the supply chain. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 19(8), 3-8.
14. Timple, C. H. and J. Kallrath (2000) Optimal planning in large multi-site production networks. *European Journal of Operational Research*, 126, 422-435.
15. Veeramani, D. and P. Joshi (1997) Methodologies for rapid and effective response to requests for quotation (RFQs). *IIE Transactions*, 2, 825-838.
16. Vercellis, C. (1999) Multi-plant production planning in capacitated self-configuring two-stage serial systems.



European Journal of Operational Research, 119, 451-460.

Journal of Production Research, 32(4), 807-820.

17. Yang, K. K. and C. C. Sum (1994) A comparison of job shop dispatching rules total cost criterion. *International*

收件：94.12.30 修正：95.02.17 接受：95.04.19

