

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

以循序多目標求解矽晶太陽能電池產業
之生產規劃模型

研 究 生：李承玫
指 導 教 授：王立志 教授

中 華 民 國 一 〇 二 年 六 月

**Parameter-based Preemptive Goal Programming for
Solar Cell Industry's Production Planning Model**

By
Cheng-Mei Lee

Advisor : Prof. Li-Chih Wang

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and
Enterprise Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2013

Taichung , Taiwan , Republic of China

以循序多目標求解矽晶太陽能電池產業之生產規劃模型

學生：李承玫

指導教授：王立志 教授

東海大學工業工程與經營資訊學系

摘要

近年來，由於環保意識之高漲與全球氣候變遷，各國開始研發替代能源，因此太陽能電池產業成為充滿遠景的新興產業，然而太陽能電池產業的生產型態，普遍面臨良率、顏色與轉換效率產出比率的複雜問題。

在激烈市場競爭的環境，普遍面臨產品生命週期短暫的因素，因此規劃人員在生產決策上採取存貨數量最小化，以減少無法銷售出的成品存貨。有鑑於此，本研究提出一循序多目標生產規劃模式，先進行最小化存貨量，再循序進行利潤最大化的投料規劃，能先以降低廠內成品期末存貨為前提下，再進行利潤最大化之生產規劃，依本模式之循序多目標求解方式，將可提供企業考量不同期末成品存貨容忍度時，如何在利潤方面做取捨。最後，以矽晶太陽能電池產業之業界現行作法相比，以驗證本模式之可行性與實用性。

根據實驗結果可知，不同成本組合與顧客指定產品效率區間，對成品期末總存貨量、缺貨數量與利潤之影響。

關鍵字詞：太陽能產業、生產規劃、循序目標規劃

Parameter-based Preemptive Goal programming for Solar Cell Industry's production planning model

Student : Cheng-Mei Li

Advisor : Prof. Li-chih Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

This paper studies a preemptive goal programming (PGP) problem of solar cell manufacturing. Under the issues of environmental protection and depletion of the natural resources, developing renewable and green power gains a lot of attention in solar cell industry. Accordingly, the needs and production complexity of solar cell are rising up. To make a best production decision based on different considerations including minimum cost, fulfillment of customer demand, and minimum inventory, it is necessary to develop a PGP model for solar cell manufacturing. Based on a parametric preprocessing, we solve the preemptive goal programming problem of the model numerically. Finally, some analysis and discussion are made to verify the results.

Keywords : Solar Cell Industry, Production Planning, Preemptive Goal Programming

致謝詞

兩年的研究所生活即將結束，在專業領域上的知識培養，更重要的還有學習做事的態度及與人合作方法，使我們已經具備一定的能力，在未來能夠面對各式各樣的挑戰以及困難，並將其迎刃而解。

本論文能順利完成，首先要感謝指導教授 王立志老師的教導，在老師辛勞叮嚀論文進度之下，使我能清楚掌握我研究方向與研究進度，且讓我有機會瞭解實際業界營運情形，並將理論結合實務，體驗與他人不同的學習經驗。此外，特地感謝輔仁大學 陳子立老師，感謝老師對於我的論文指導不遺餘力。論文口試期間，承蒙雲林科技大學 袁明鑑老師、虎尾科技大學 陳盈彥老師以及陳怡文老師提供寶貴的意見，使本研究能夠有更完善的成果。

家人的關心與陪伴是研究所兩年重要的動力來源，感謝我的家人們對我的愛與照顧，讓我可以無憂心情完成論文。在碩士生活裡，感謝小眼睛、JL、大樹、依柔、梓皓、果凍、小鈺及駿威等研究室夥伴，適時對我伸出援手並給予明確的建議，常常與我一起討論研究與紓解壓力，亦要感謝研究室的學弟妹尊寅、意凡、明忠、銘哲、孟吟、律惟、維頡、乃菱與京偉在研究生活上的協助。

謹將這份成果獻給每一位幫助過我的貴人，有你們支持及鼓勵，才能完成此論文。

承啟 于東海工工 2013 年 6 月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝詞.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景動機	1
1.2 研究目的	2
第二章 文獻探討.....	5
2.1 生產規劃模式	5
2.2 太陽能電池產業介紹	8
2.3 循序多目標規劃	15
第三章 太陽能電池產業之生產規劃模式.....	17
3.1 問題描述	17
3.2 循序目標多周期多產品多 Wafer 模型之模式說明.....	19
3.3 模式範例	27
第四章 模式應用與績效評估.....	34
4.1 太陽能產業案例相關數據	34
4.2 模式分析	43
第五章 結論與未來發展.....	60
5.1 結論	60
5.2 未來發展方向	60

表目錄

表 2.1 典型太陽能材料之轉換料率.....	14
表 2.2 顧客需求資訊表.....	15
表 3.1 PGP 模型之已知資訊：產能上限資訊表.....	27
表 3.2 PGP 模型之已知資訊：廠內生產資訊表.....	28
表 3.3 PGP 模型之已知資訊：廠內期初成品存貨.....	28
表 3.4 PGP 模型之已知資訊：廠內 Wafer 存貨表.....	29
表 3.5 循序目標模型之已知資訊：顧客需求資訊表.....	29
表 3.6 循序目標模型之已知資訊：成本資訊表.....	29
表 3.7 模式範例-週期一下，目標式一求解結果.....	29
表 3.8 模式範例-週期二下，目標式一求解結果.....	31
表 4.1 PGP 模型之已知資訊：產能上限資訊表.....	35
表 4.2 PGP 模型之已知資訊：廠內生產資訊表.....	35
表 4.3 PGP 模型之已知資訊：廠內成品存貨表.....	37
表 4.4 PGP 模型之已知資訊：廠內 Wafer 存貨表.....	38
表 4.5 PGP 模型之已知資訊：顧客需求資訊表.....	38
表 4.6 PGP 模型之已知資訊：成本資訊表.....	38
表 4.7 成品期末存貨量最小化之目標值.....	39
表 4.8 不同成品期末存貨容忍度下，相關成本資訊.....	39
表 4.9 四週期內，產業現行做投料規劃.....	47
表 4.10 四週期內，PGP 模式規劃結果.....	48
表 4.11 產業現行規劃與 PGP 模式比較.....	48
表 4.12 情境一售價、缺貨成本與存貨成本之對應關係.....	49
表 4.13 情境一售價、缺貨成本與存貨成本之參數.....	50
表 4.14 週期四下，情境一不同成本組合之總利潤.....	50
表 4.15 各週期下，情境一不同成本組合之期末成品存貨.....	50
表 4.16 各週期下，情境一不同成本之缺貨數量.....	51
表 4.17 情境二產出分佈曲線與顧客指定效率區間之組合.....	54
表 4.18 情境二顧客需求資訊之不指定種效率區間.....	54
表 4.19 情境二顧客需求資訊之指定兩種效率區間.....	55
表 4.20 情境二顧客需求資訊之指定單一效率區間.....	55
表 4.21 週期四下，情境二不同成本組合之總利潤.....	55
表 4.22 週期四下，情境二不同成本組合之存貨數.....	56
表 4.23 週期四下，情境二不同成本組合之缺貨數.....	56

圖目錄

圖 1.1 矽晶太陽能電池產出型態圖.....	2
圖 1.2 本研究架構與步驟流程.....	4
圖 2.1 矽晶太陽能電池產業鏈.....	8
圖 2.2 矽晶太陽能電池製造程序.....	9
圖 2.3 粗糙化蝕刻.....	9
圖 2.4 磷擴散.....	10
圖 2.5 磷玻璃蝕刻.....	10
圖 2.6 抗反射層沉積.....	11
圖 2.7 網印.....	11
圖 2.8 快速燒結.....	12
圖 2.9 雷射晶邊絕緣.....	12
圖 2.10 效能測試分類.....	13
圖 2.11 矽晶太陽能電池產出型態圖.....	14
圖 3.1 太陽能電池之投入-產出-需求滿足關聯圖.....	18
圖 3.2 PGP 模型之求解流程圖.....	26
圖 3.3 模式範例.....	27
圖 3.4 模式範例-週期一， ϵ 值=0 之求解結果.....	30
圖 3.5 模式範例-週期一， ϵ 值=0.1 之求解結果.....	31
圖 4.1 產業案例之投入-產出-需求滿足關聯圖.....	34
圖 4.2 PGP 模型：週期四不同存貨量之求解結果.....	40
圖 4.3 PGP 模型-週期四可缺貨下， ϵ 為 0.01 求解結果.....	42
圖 4.4 現行業界投料規劃作業流程.....	44
圖 4.5 業界現行投料做法-週期一規劃結果.....	45
圖 4.6 業界現行投料做法-週期二規劃結果.....	47
圖 4.7 週期四下，情境一不同組合之總利潤曲線.....	51
圖 4.8 週期四下，情境一不同組合之成品期末存貨與缺貨數.....	52
圖 4.9 週期四下，情境一不同組合之成品期末存貨與缺貨數差異百分比率.....	52
圖 4.10 週期四下，情境二不同組合之總利潤.....	57
圖 4.11 週期四下，情境二不同組合之缺貨數與存貨數差異.....	57
圖 4.12 週期四下，情境二不同組合之缺貨數與存貨數差異百分比.....	58

第一章 緒論

1.1 研究背景動機

近年來國際油價高漲及電價不斷攀升，在全球石油資源有限下，全球暖化問題日益嚴重，加上環境保護意識日益高漲，使得傳統燃石油、燃煤等發電方式受到限制，各國政府與各國企業逐漸注重其環保策略。因此，世界主要國家近年來積極研發再生能源來取代礦物燃料發電，以減少傳統發電所產生環境污染問題。為了因應這些問題，世界各國積極投入替代性能源研發，在替代性能源中，無論是太陽能、風能、生質能等，均是各先進國家共同推展的目標，其中以太陽能的應用最受重視，乃因太陽能源是取之不盡，用之不竭的天然能源，無能源耗盡的疑慮之外，並且也可以避免能源被壟斷的問題。因此，太陽能發電產業最被看好，以致太陽能發電產業成為充滿發展遠景的新興產業。

然而隨著太陽能產業蓬勃發展，在激烈市場競爭的環境，廠內通常不會備成品庫存，當有顧客需求才會進行生產，其主要原因包括顧客需求變化很大與產品生命週期短暫的因素，加上矽晶太陽能電池的導電膠材料包括正銀、背銀與背鋁，使用期限只有短暫的三個月，因此規劃人員在生產決策上採取存貨數量最小化，以減少無法銷售出的成品存貨。

目前矽晶太陽能電池產業的生產型態，普遍面臨良率、顏色與轉換效率產出比率的複雜問題，如下圖 1.1 所示，即投入晶片進行生產加工後的產出，會經 Sorting 製程將成品做良率判斷，外觀瑕疵的成品屬次等品，而成品無瑕疵的便屬於等級高的優良品，下一步會依產品顏色進行分類，接著經由效能測試進行轉換效率分類，最後再依顧客需求進行出貨。因此如何制定投料時的規劃決策，以滿足顧客需求與降低成本，將會是太陽能產業須面臨的一大挑戰。

此外，在矽晶太陽能電池產業中，企業進行生產決策主要以存貨數量最小化為優先考量，其次才會考量如何進行成本最小化。而目前生管人員往往透過顧客需求量與產出比率值推算投料量，此作法雖能推算出預計投料量，但無法考量潛在成本如採購與存貨成本等。

有鑑於此，本研究提出循序目標規劃模式 (Preemptive Goal Programming, PGP) 的方法，以先進行存貨數最小化為優先，再依利潤最大

化的方式進行生產規劃最佳化求解，以作為生管人員在進行投料規劃時之參考依據。

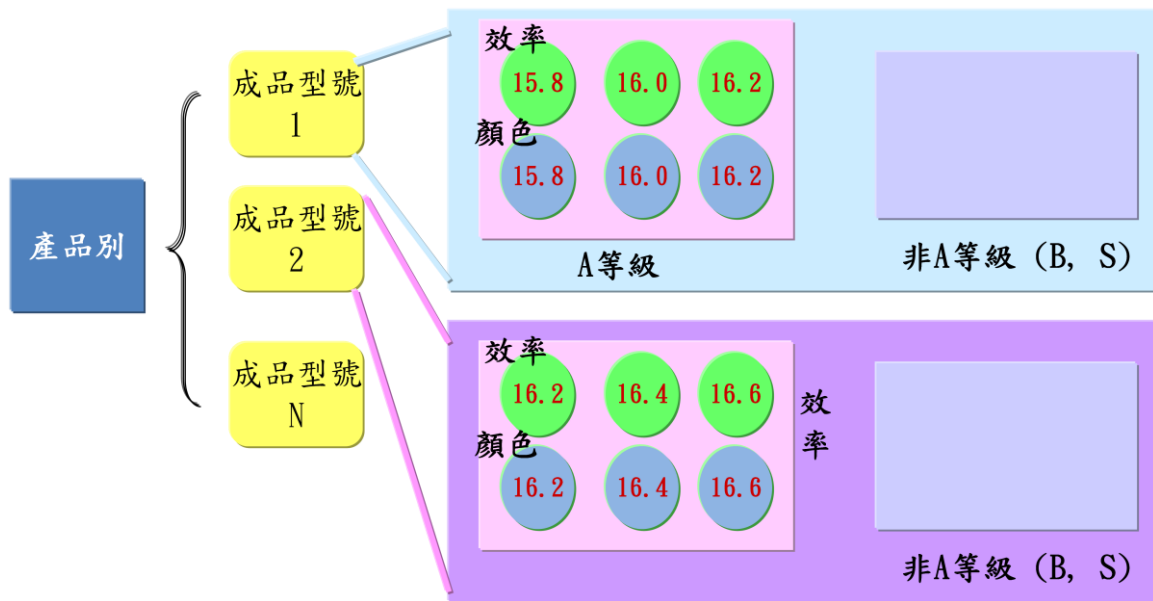


圖1.1 矽晶太陽能電池產出型態圖 (本研究整理)

1.2 研究目的

承如上節所述，為了降低相關生產成本與滿足顧客需求，考量矽晶太陽能電池之產業特性下，本研究提出一循序目標規劃模式(Preemptive Goal Programming, PGP)，進行生產規劃時先以降低成品期末存貨為優先的前提下，再進行以利潤最大化的目標下的生產規劃。依本模式之循序多目標求解方式，將可提供企業考量不同期末成品存貨容忍度時，如何在利潤方面做取捨，最後以矽晶太陽能產業為例，說明與驗證本研究所提出模式之適用性。具體而言，本研究主要目的歸納如下：

1. 歸納矽晶太陽能產業之生產規劃模式的特性。
2. 提出循序目標規劃模式，進行投料規劃，以作為生管人員在進行生產規劃時之參考依據。
3. 比較本模式與現行業界使用規劃方法之優劣，與驗證本模式之適用範圍與效益。

1.3 研究步驟和方法

根據上述之研究目的，本研究依據圖 1.2 的研究步驟進行。

1. 矽晶太陽能電池產業之生產規劃模式之定義、建模及求解技術：本研究針對矽晶太陽能產業之生產規劃模式之定義、建模方式及其相關求解方法進行瞭解，整理過去文獻用於解決生產規劃問題之方法，瞭解過去考慮到哪些特性、限制與規劃目標。
2. 矽晶太陽能電池產業特性瞭解：針對矽晶太陽能電池產業之生產規劃特性進行分析整理。
3. 問題定義與描述：根據矽晶太陽能電池產業之生產規劃模式考量的特性，進行問題分析與定義，瞭解進行生產規劃時，所需考量之特性與限制。
4. 矽晶太陽能電池產業生產規劃模式：提出一循序規劃模式(PGP)，以解決矽晶太陽能電池產業生產規劃問題，並透過模式範例以驗證本研究所提出之數學模式。
5. 矽晶太陽能電池產業案例、分析與評估：提出一產業案例，以驗證本模式之可行性。並透過實驗以驗證本模式之正確性及合理性，並進行敏感度分析。
6. 結論與建議：藉由實驗分析的結果，提出結論以及未來可延伸性的議題。

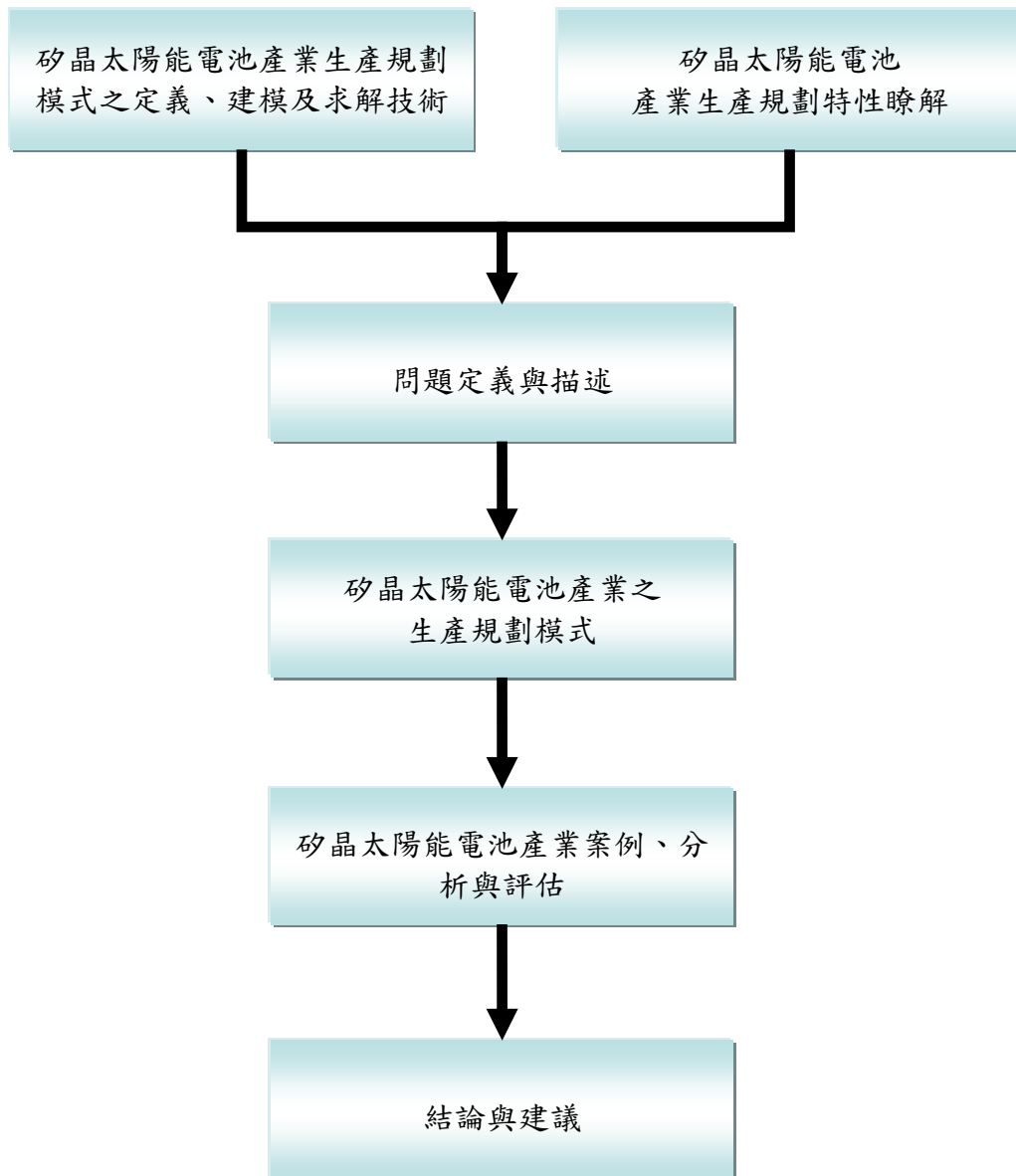


圖1.2 本研究架構與步驟流程 (本研究整理)

第二章 文獻探討

2.1 生產規劃模式

本章節主要以生產規劃進行文獻蒐集與探討，分為兩個小節，敘述現場控制(Shop Floor Control 與投料法則，以下各節將再深入探討。

2.1.1 現場控制

Browne (1991)將製造規劃與控制系統分成三大部份，長期生產規劃主要根據高層年度營運目標，進而規劃出企業長期的總體生產計劃，中期生產計劃依據長期生產規劃，考量製造現場資源規劃出物料需求與製造需求，短期生產承接長期與中期的之規劃，進行製造現場工單檢閱、排程規劃、外包規劃與控制回饋。

現場控制為一個回饋即時生產資訊的控制系統，主要功能包括五大功能，包含(1)工單審核與發放；(2)現場作業排程；(3)資料收集/監控；(4)控制與回饋；(5)製令完工。此五大功能模組涵蓋計劃製令轉為完成製令的全部過程，而工單審核/發放功能在生產活動控制系統中扮演著重要的角色，其將評估製造現場產能負荷值與控制製令進入製造現場的時機，並嚴格控制工單的發放，以避免單位時間內過多的工單發放對現場造成之影響(Melnyk 1985)。Melnyk(1987)規劃系統產生的工單會先存放於暫存庫，控制工單發放至製造現場的時間點，並且透過適當的投料法則，將助於現場人員維持產能與負荷之供需平衡。工單發放可視為規劃製造與現場控制系統的溝通介面，工單審核與發放可控制工單發放到製造現場，達到負荷平準化。(Wight 1985)

2.1.2 投料法則

良好的工單發放機制，是經由適當的投料法則調節製造現場生產負荷，掌握工單進入製造現場的時間點，對於生產績效有關鍵影響性，黃宏文(1994)將投料法則分為開放式(open-loop)與閉迴式(close-loop)兩種，開放式為系統不管生產狀態下，而隨機進行投料；閉迴式投料會考量目前在製品數量與機器利用率等實際現場動態狀況而調整投料，所以閉迴式投料法則在生產績效上表現較佳，以下將對文獻上較常使用投料法則做彙整。

1. 均勻投料法：Glasse and Resende (1988) 提出事先選定投料時間間隔與

數量，在每個時間幅度之初便預設投料數量，不需顧及目前製造現場狀況，是為一開放投料法則。

2. 固定在製品數投料法(Constant WIP, CONWIP)：Spearman(1989)維持生產線的在製品在一定水準，當在製品數低於設定數量，才會進行下一批投料。
3. 工作負荷調節法(Workload Regulation, WR)：Wein(1988)考量瓶頸工作站的生產負荷為投料依據，當瓶頸工作站前在製品小於計畫設定時的安全在製品時，才會進行投料。
4. 雙界法(Two-Boundary, TB)：Boundary)：Lou (1989)提出兼具投料法則與派工法則之「雙界法」，以工作站間計畫在製品數量與考量現場品項的在製品水準，依據每一種產品的計畫產出量，設定機台負荷，且累加此瓶頸機台上所有品項的計畫產出量，視為對瓶頸機台的在製品堆積限制。強調當產品經過瓶頸資源作業時，必須針對投料和派工法則進行控制，至於其他非瓶頸資源作業的控制則以先進先出(First In First Out, FIFO)進行。然而 TB 法考量計畫在製品水準與計畫產出此兩參數的觀點，面對動態的生產現場，難以確切掌握某時刻之實際數據，而導致產生不適當的投料計畫。
5. 飢餓防止法(Starvation Avoidance, SA)：是 Glassey 與 Resende(1988 年)所提出，以瓶頸資源決定整個系統的產出，投料時機依瓶頸資源加工的在製品數量而定，投料方法為當瓶頸資源前在製品水準低於製造前置時間耗用量與安全庫存之總和以下時，則馬上將新訂單投料製造，保持較低在製品數量，儘可能提高瓶頸機台的利用率。
6. 限制驅導式排程法(Drum-Buffer-Rope, DBR)：Goldratt(1986)認為瓶頸工作站決定生產線產出率，因此在瓶頸工作站前設置一暫存區，將有助於減少製程變異性影響產出不如預期水準。Drum 代表鼓聲軍隊行進節奏，Buffer 為兩士兵間距離，以應變突發情況，Rope 指軍隊中同步控制，行進步伐如同鼓聲。

Johri (1992)針對半導體產業複雜的生產流程，提出將流程時間做分割，以期能減少週期時間與變異。Glassey and Resende (1988)提出以半導體產業為案例的生產排程，決定投入晶圓製造的時間和數量、更改光罩在工作站

的排程時間，且也能同時決定投料量與排程時間。陳致亨(2004)提出限制理論 (Theory of Constraint ; TOC)、限制驅導式與現場控管在實務上之應用，以紡織業為案例建構一個以受限產能資源 (Capacity Constrained Resources ; CCR)管理模式，在原物料與在製品數量的改善有明顯效益。Lin, Wang and Peng (2008)針對面板產業的 cell 製程，為了改善後段 system 製程績效，以啟發式演算法依據最小整備時間考量投料時間與派工法則，模擬結果顯示將可有效改善 cell 製程的整備時間。

Wang et al. (2013)說明將矽晶太陽能電池產業製程有六大站，如 Texturing, Diffusion 等，並將其生產系統結構定義為混合流程型生產排程，並同時考量專用機台獨立與相依整備時間及批量分割等特性，建構混整數線性規劃模式，發展一個以最大完工時間極小化為目標的生產排程模式，決定各工單作業先後順序、工單批量分割。王佐益(2012)以太陽能電池產業為案例，提出確定型與隨機型生產規劃模式，以利潤最大化為目標進行生產規劃決策，並透過 T 檢定比較確定型與隨機模型在統計上的差異。然而，隨著環保意識高漲，過去以顧客為終點的傳統供應鏈架構，轉變為結合逆物流之封閉供應鏈，蔡忠軒(2012)提出同時考量經濟面與環境面的多目標混整數規劃模型，並以太陽能電池產業為例，進行單廠減碳策略與選用一手及二手物料之影響。

整體而言，過去學者於現場控制議題多著重於投料管控，以改善生產線上的在製品存貨與生產週期時間，在半導體產業與面板產業已對此議題有深入探討，過去文獻中已有學者進行太陽能產業生產排程與逆物流生產規劃，但很少學者針對太陽能電池產業的生產特性進行相關研究，因此本研究針對太陽能產業進行相關探討。

2.2 太陽能電池產業介紹

太陽能電池是為用能量轉換的光電元件，透過太陽光照射，將光能轉換為電能，以下將針對太陽能電池產業作介紹，分別依產業鏈結構，太陽能製程與太陽能電池生產特性等部分說明。

2.2.1 太陽能產業鏈

矽晶太陽能電池之產業鏈，大致可分為五個階段，分別為矽原料(silicon)、矽晶圓(wafer)、太陽能電池(solar cell)、太陽能電池模組(module)以及太陽能電池系統(PV system)。

矽原料供應商將多晶矽(poly-silicon)材料給矽晶圓製造廠，矽晶圓製造廠透過長晶或熔爐等方式，將其長成矽晶棒或矽晶塊，再經過切割將成矽晶圓，矽晶圓經過加工後即成為太陽能電池，將多個太陽能電池串聯成模組，最後搭配負責直/交流電轉換電力之調節器(inverter)，建置成太陽能光電系統，如圖2.1所示。

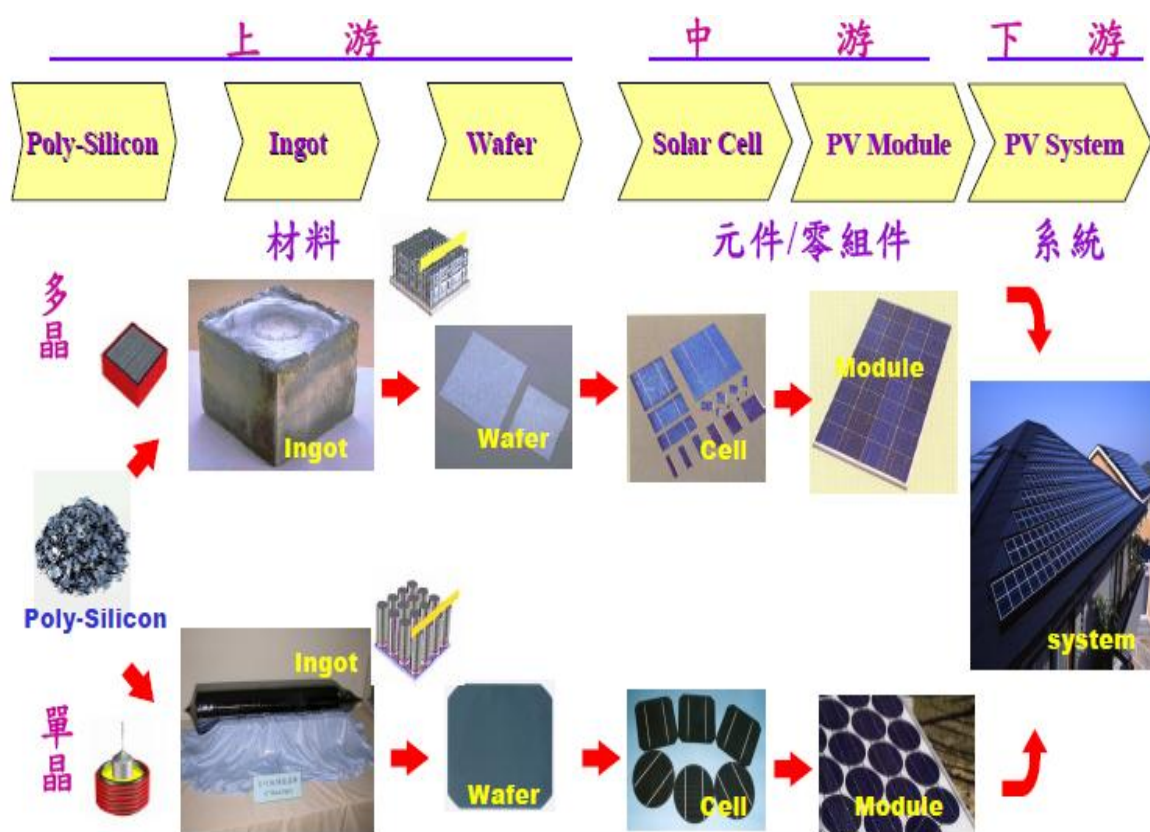


圖2.1 矽晶太陽能電池產業鏈

資料來源：工研院材料所(2005)

目前太陽能電池產業以矽晶類的太陽能電池為主，因此將以矽晶類的太陽能電池作為本研究的探討對象。以下將詳細描述矽晶太陽能電池的製造程序，如圖 2.2。

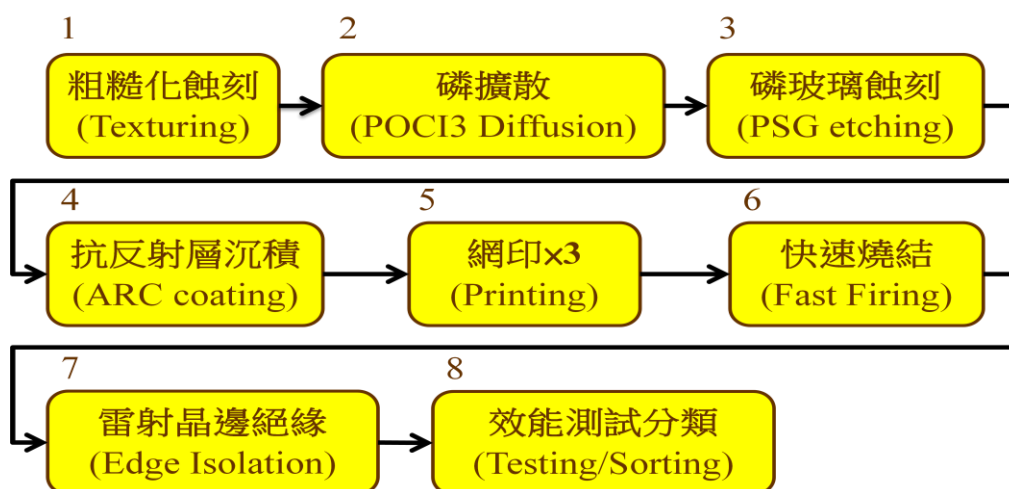


圖2.2矽晶太陽能電池製造程序

1 粗糙化蝕刻(Texturing):使晶片表面粗糙化,增加晶片吸光能力(圖 2.3)。

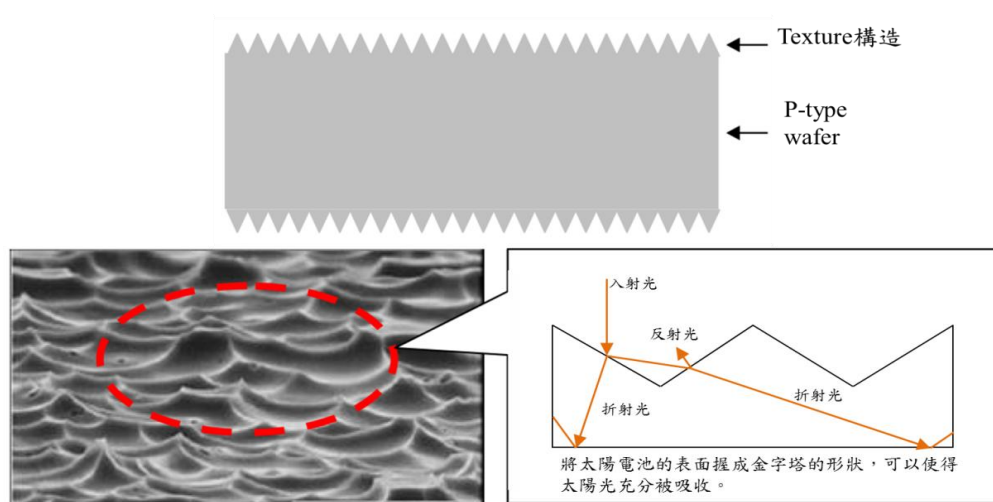


圖2.3 粗糙化蝕刻

(資料來源：長生能源)

2 磷擴散(POCl₃ Diffusion):在 p-type 晶片上形成一層 n-type(圖 2.4)。以氣體方式(N₂+O₂)將帶有磷原子之不純物(POCl₃)送入，在高溫(850~950℃)下進行化學反應，磷原子由濃度高擴散至濃度低之 P 型 Si 上，形成大面積的 P-N 接合二極體。

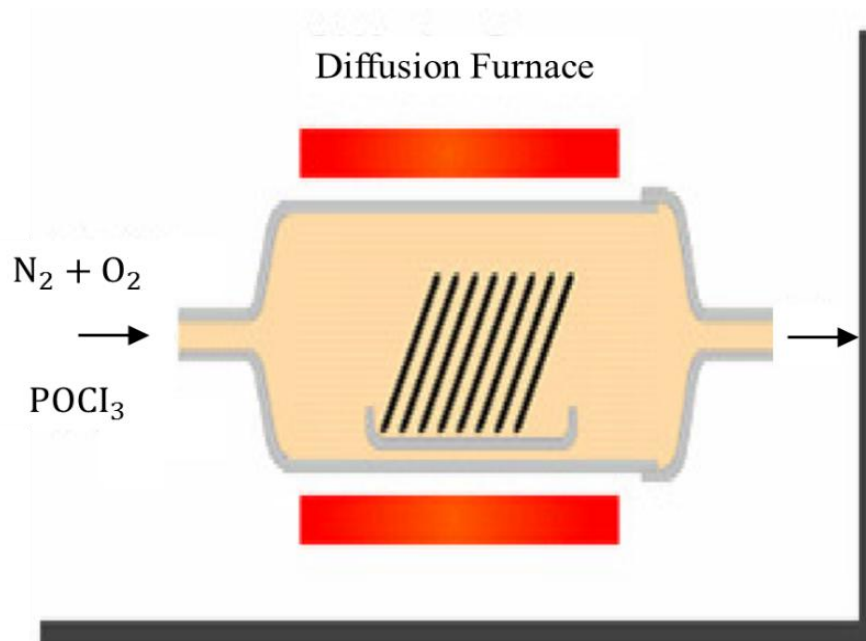


圖2.4 磷擴散

(資料來源：長生能源)

- 3 磷玻璃蝕刻(PSG Etching)：將磷擴散後產生的副產品去除(圖 2.5)，磷擴散製程時會於生產過程中，在晶片表面中會有 SiO_2 及 PO_2 之殘留，該物會影響到電池轉換效率；因此，利用 HF(磷玻璃蝕刻機)將其移除，以達成提升轉換效率的目的。

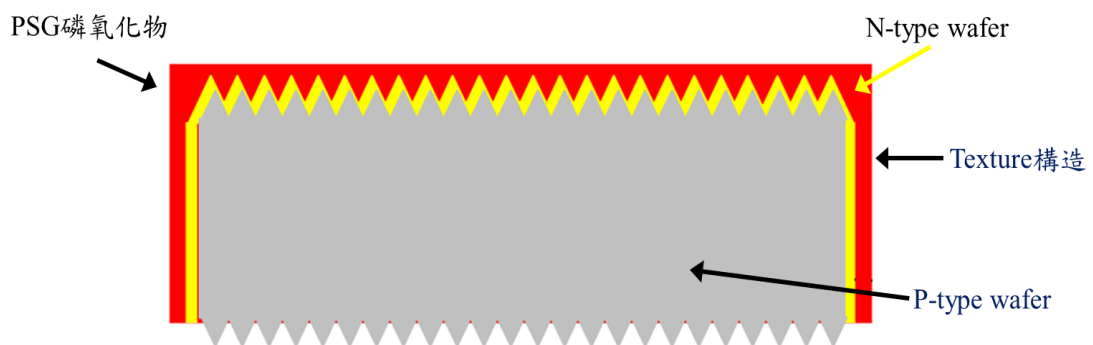


圖2.5 磷玻璃蝕刻

(資料來源：長生能源)

- 4 抗反射層沉積(ARC Coating)：在晶片表面形成一層 SiN AR coating，減少光線的反射(圖 2.6)。利用 PECVD 法(電漿增益化學氣相沉積法)於晶片擴散上面沉積 Si_3N_4 ，用以減少陽光反射，達成增加光吸收率，提高轉換效率的目的。並保護電池不受輻射及大氣的影響，延緩元件老化，

增加元件壽命。

反應式：

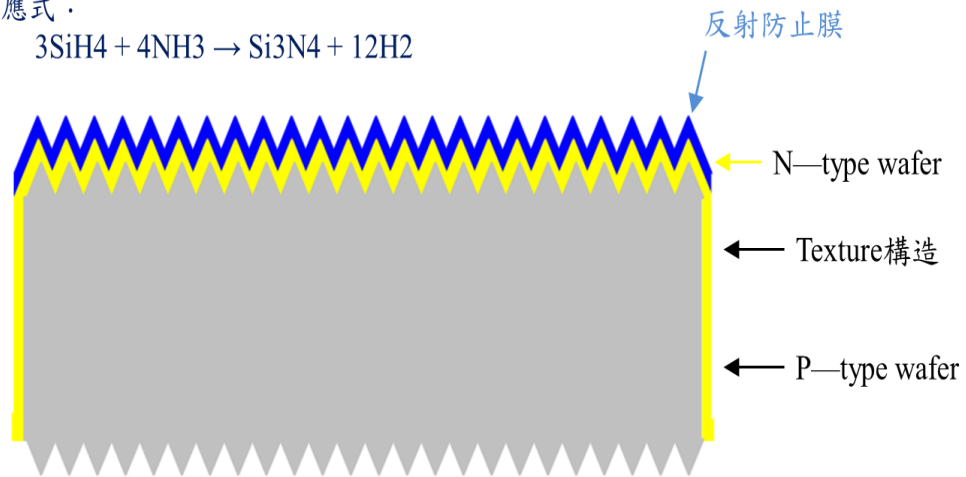


圖2.6 抗反射層沉積

(資料來源：長生能源)

5 網印(Printing)：在晶片正反面印上所需的電極樣式來收集與傳導電流(圖 2.7)。

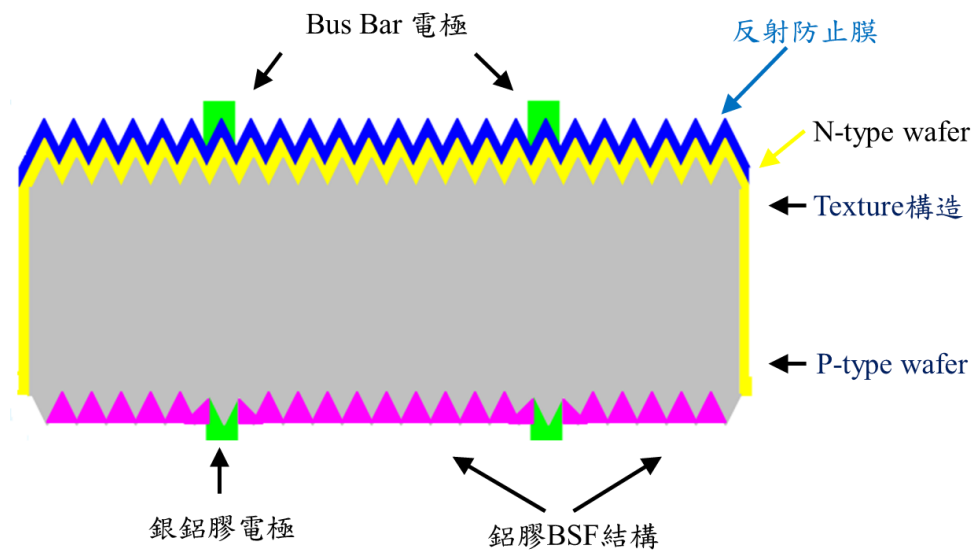


圖2.7 網印

(資料來源：長生能源)

6 快速燒結(Fast Firing)：將金屬膠的有機物與樹脂燃燒，並使金屬與晶片合金(圖 2.8)。

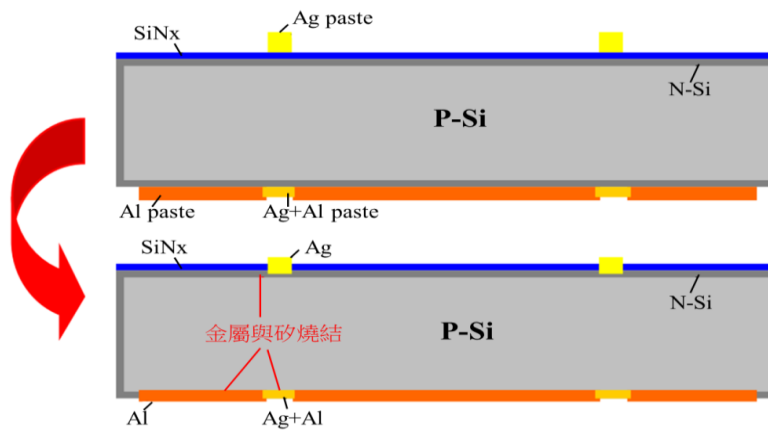


圖2.8 快速燒結

(資料來源：長生能源)

- 7 雷射晶邊絕緣(Edge Isolation)：用雷射將晶片邊緣會短路的地方切斷(圖 2.9)。cell 於磷擴散製程會於 cell 外圍周邊形成磷沉積，造成 P-N 層上下面導通降低電池效能，因此會有一道雷射晶邊絕緣手續將該層絕緣。

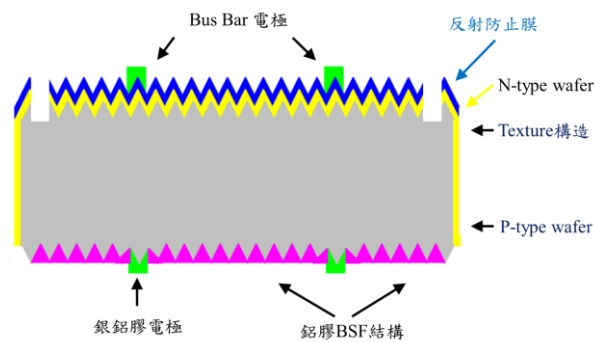


圖 2.9 雷射晶邊絕緣

(資料來源：長生能源)

- 8 效能測試分類(Testing/Sorting)：將做好的太陽能電池作轉換效率測試並分類(圖 2.10)。模擬太陽光照射 cell，量測 cell 的電壓、電流、功率與轉換效率，並依據顏色、外觀、轉換效率或其他電性做分級，將 cell 做分類。

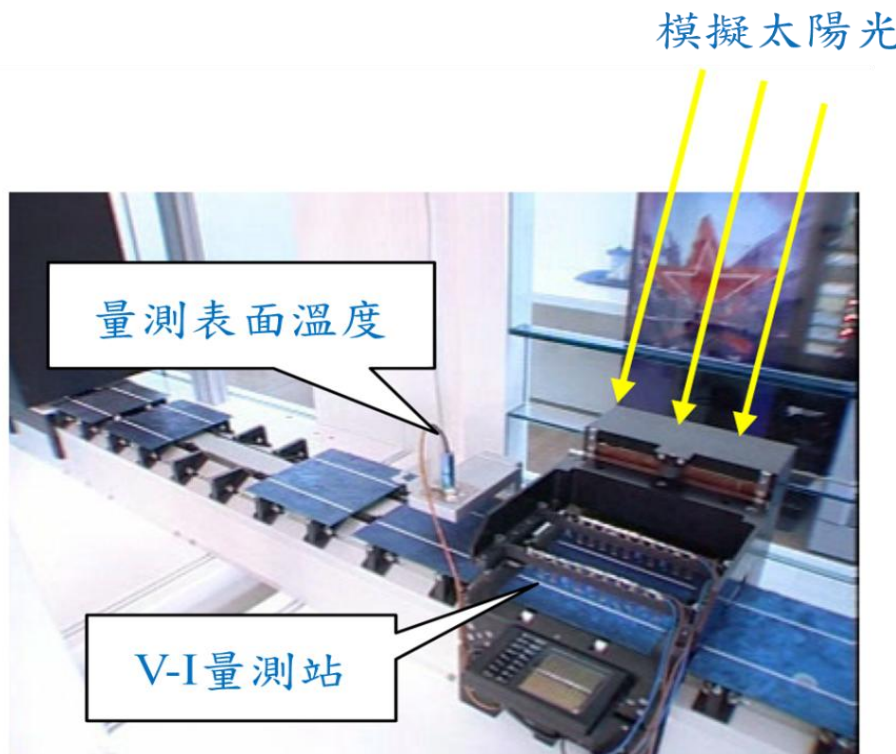


圖 2.10 效能測試分類 (資料來源：長生能源)

2.2.2 太陽能產業生產特性

從上述文獻可得知太陽製程極為複雜，可知太陽能電池產業之生產型態特色，因此本研究將考量其複雜的生產特徵分類：轉換效率、顏色、外觀，並提出之循序求解為根據各個生產產出比率值與顧客需求滿足下，再依利潤最大化進行投料決策制定。

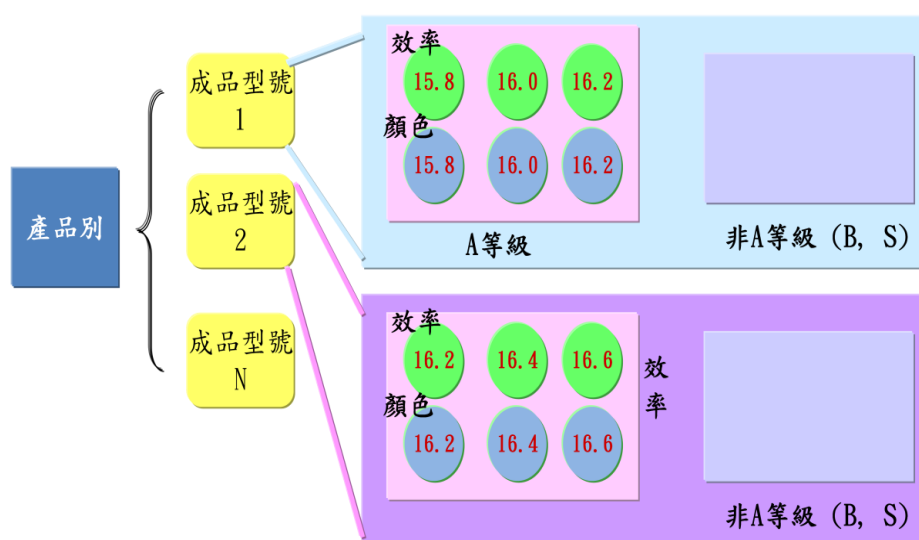
由於矽晶太陽電池能製程極為複雜，有許多因素影響產出型態，相關太陽電池生產特性如下所述：

1. 轉換效率：指太陽能電池能夠把太陽光能轉換成電能的轉換效率，其計算公式： $\text{轉換效率} = \frac{\text{太陽能電池的輸出功率}}{\text{太陽光照射到太陽能板上面的功率}}$ ，下表 2.1 為目前典型的太陽能電池之理論限制效率，研究階段實驗效率與商業量產的模組效率值，以單晶矽太陽能電池的轉換效率最好，而多晶矽生產技術較為簡易，可大規模生產，以多晶矽電池的產量與佔有率最大。

表2.1典型太陽能材料之轉換料率

太陽能材料	理論限制效率	轉換效率實驗級	商業級
單晶矽	28%	17%	14-17%
多晶矽	20%	14%	11-18%
非晶矽	15%	7-10%	5-7%
III-V 族	35%	25-35%	22%
II-IV 族	17-18%	15.8%	10-12%

- 等級：將適宜 Wafer 品項投入生產，經生產加工後會產出由 Sorting 製程將成品進行良率判斷，外觀無瑕疵的成品屬於等級高的優良品，部分外觀瑕疵但不影響轉換效率和功能的成品屬於次等品。
- 顏色：晶矽材料的結構於陽光作用下，由於不同晶面散射強度不一樣，可呈現多種不同色彩；此外，可藉由氯化矽減反射薄膜的厚度，而 sorting 製程透過太陽光譜可產出的太陽能電池依照成品顏色進行分類，大致上依顏色深淺可細分為四種顏色深藍、正常、淺藍與天空藍。
- 投入產出比例問題：wafer 投料後，會有比例值的產出多種矽晶太陽能電池成品，如下圖 2.11 所示，比如產出的成品型號可能會包括正常藍色效率 15.8 的成品、淺藍色效率 15.8 的成品等等。其比例值無法事先得知，得經過去投料的歷史資料推估其產出比例，作為投料依據。



- 顧客指定最小效率：在顧客需求方面，顧客會指定產品等級、顏色、轉

換效率區間與最小平均效率值，如下表 2.2 所示，而轉換效率加權平均效率值須大於顧客指定的最小平均效率值即可。以顧客一為例，指定平均轉換效率為 16.0，而成品轉換效率區間 15.8~16.2，轉換效率加權平均效率值須大於顧客指定的最小平均效率值 16.0 即可。

表2.2 顧客需求資訊表

顧客	產品型號	指定效率區間	平均效率	指定顏色	數量
1	J1	15.8~16.2	16.0	R	400
2	J1	16.0~16.2	16.0	B	600
3	J1	15.8~16.0	16.0	B	1000

本研究將考量太陽能電池成品特性有轉換效率與顏色，轉換效率為太陽能轉換電池電力之比率，其轉換效率的品質與使用晶片與製程有關，而實際產出的轉換效率與顏色的數量無法事先得知，只能透過以往生產歷史資料得知大概的產出比率。在矽晶太陽能電池產業中，企業進行生產決策乃最小化存貨數量，接著才會進行利潤最大化的決策，目前生管人員往往透過顧客需求量與產出比率值推算投料量，此作法雖能推算出預計投料量，但無法考量潛在成本如採購與存貨成本等。有鑑於此，本研究將以循序目標求解的方法，先以進行存貨數量最小化為優先，接著再依利潤最大化的方式進行生產規劃最佳化求解，以做為生管人員在進行投料規劃時之參考依據。

2.3 循序多目標規劃

Charnes (1961)提出利用目標規劃(Goal Programming, GP) 一般用於解決線性規劃在限制條件相互衝突時，可能存在無可行解情形。Romero (2004)提出循序目標規劃模式(Preemptive goal programming, PGP)，針對不同層次問題或目標，給予相對權重或優先順序，找出一組折衷解，因此決策者可以同時考量多種不同衡量目標。

Paksoy, Ozceylan and Weber (2010)提出一個多目標之混整數線性規劃以計算綠色供應鏈中不同運輸方式之選擇與顧客選擇不同可回收率原物料之機會成本，並考量運輸時之碳排放量，整體模型以規劃供應鏈之運輸方

式做選擇，探討不同的原物料可回收率對供應鏈成本之影響。Leung and Chan (2009)考量工廠產能、機台稼動率、短缺率與工廠位置等因素，提出循序目標規劃模式，利潤最大化、維修成本最小化與機台產能最大化目標，並以中國製造廠作為實證案例。Jamalnia and Soukhakian (2009)建構混合模糊多目標模式，在總體成本最小化、缺貨後補成本最小化與勞力異動率最小化的目標下，以建立總體生產規劃。Huan-Neng et al. (2012)針對台灣某網路設備供應鏈為例，提出模糊多階多目標生產規劃模式，以維持適當的存貨水準與最大化供應鏈總利潤。Chien, Wu and Weng (2010)針對半導體產業外包策略評選，探討生產策略目標與績效評估，根據紫色決策分析架構，提出一循序規劃混整數求解數學模型，先衡量各供應商訂單分配達交情形，再以整體成本角度做績效衡量，以作為供應商評選之決策分析。

綜合過去學者於多目標之生產規劃模式求解，近年來新興矽晶太陽能電池產業，很少學者針對此產業的生產特性進行探討，而太陽能電池成品常深受於轉換效率顏色產出比例的困擾，與產品生命週期短暫的問題，因此本產業期盼能減少期末成品存貨量，因此本研究將以矽晶太陽能電池產業為背景，進行循序多目標生產規劃，先進行最小化存貨量，再循序進行利潤最大化的投料規劃，幫助企業能在以降低期末成品存貨的前提下，再追尋利潤最大化的目標。

第三章 太陽能電池產業之生產規劃模式

3.1 問題描述

矽晶太陽能電池產業普遍面臨良率、顏色與轉換效率的產出比率問題，將適宜 Wafer 品項投入生產，經生產加工後會產出由 Sorting 製程將成品進行良率判斷，如有外觀瑕疵的成品會列為次等品，而成品無瑕疵的便屬於等級高的優良品，下一步會依產品顏色與轉換效率進行分類，而對於生產技術而言，產出的太陽能電池的轉換效率之產出比例屬於常態分佈，轉換效率區間值約在 15.8 至 16.2 間，再依照太陽能電池成品之顏色做區分，可再區分為正常藍與淺藍色兩種，因此在等級、轉換效率與顏色的關係特性，在成品產出型態極為複雜，此產品的分類特性如圖 3.1 所示。

另外，顧客會指定太陽能電池產品的規格需求，如太陽能電池的產品的型號、轉換效率區間、最小平均效率與顏色。舉例來說，以圖 3.1 為例，我們考量 2 種 Wafer(w_1, w_2)規格投入生產，而 w_1 可產出一種成品型號($j1_w1$)，進行加工生產後會因良率產出兩種不同等級(0.8G1, 0.2G2)，轉換效率(ck_e)有 3 種包括 15.8、16.0 與 16.2，顏色兩種包括天空藍(R)與正常藍(B)。假設成品型號(j)經生產加工製程後，可得知約有 80%(β_{ijg})的型號屬優等品(G_1)產出與 20%(β_{ijg})的外觀瑕疵次等品(G_2)，且每週期在加工製程有 100,000 的產能上限(ca_t)，接著優等品(G_1)進行分類後，約有 25%的比率會產出轉換效率 15.8 天空藍顏色(15.8R)，25%比率(γ_{ijgce})會產出轉換效率 15.8 正常藍顏色(15.8B)的成品型號，最後再依顧客需求做滿足。以顧客一為例，能滿足顧客一($de1$)400 件需求，可由轉換效率 15.8 天空藍顏色(15.8R)、轉換效率 16.0 天空藍顏色(16.0R)與轉換效率 16.2 天空藍顏色(16.2R)，非顧客指定的產品規格將成為下週期成品期初存貨，待下週期顧客需求再售出。

本研究在此生產架構下建構一生產規劃模式，以利規劃人員進行生產決策。此模式以存貨量最小化與利潤最大化為目標，首先進行存貨量最小化為目標，成本方面考量 wafer 採購成本、生產成本、存貨成本與缺貨成本，在顧客需求方面考量顧客指定太陽能電池成品的型號、轉換效率區間、最小平均效率與顏色，在廠內生產面考量成品存貨平衡、wafer 存貨平衡與產能限制。待存貨量最小化求解完，再進行利潤最大化求解，考量之範圍與目標式一相同。

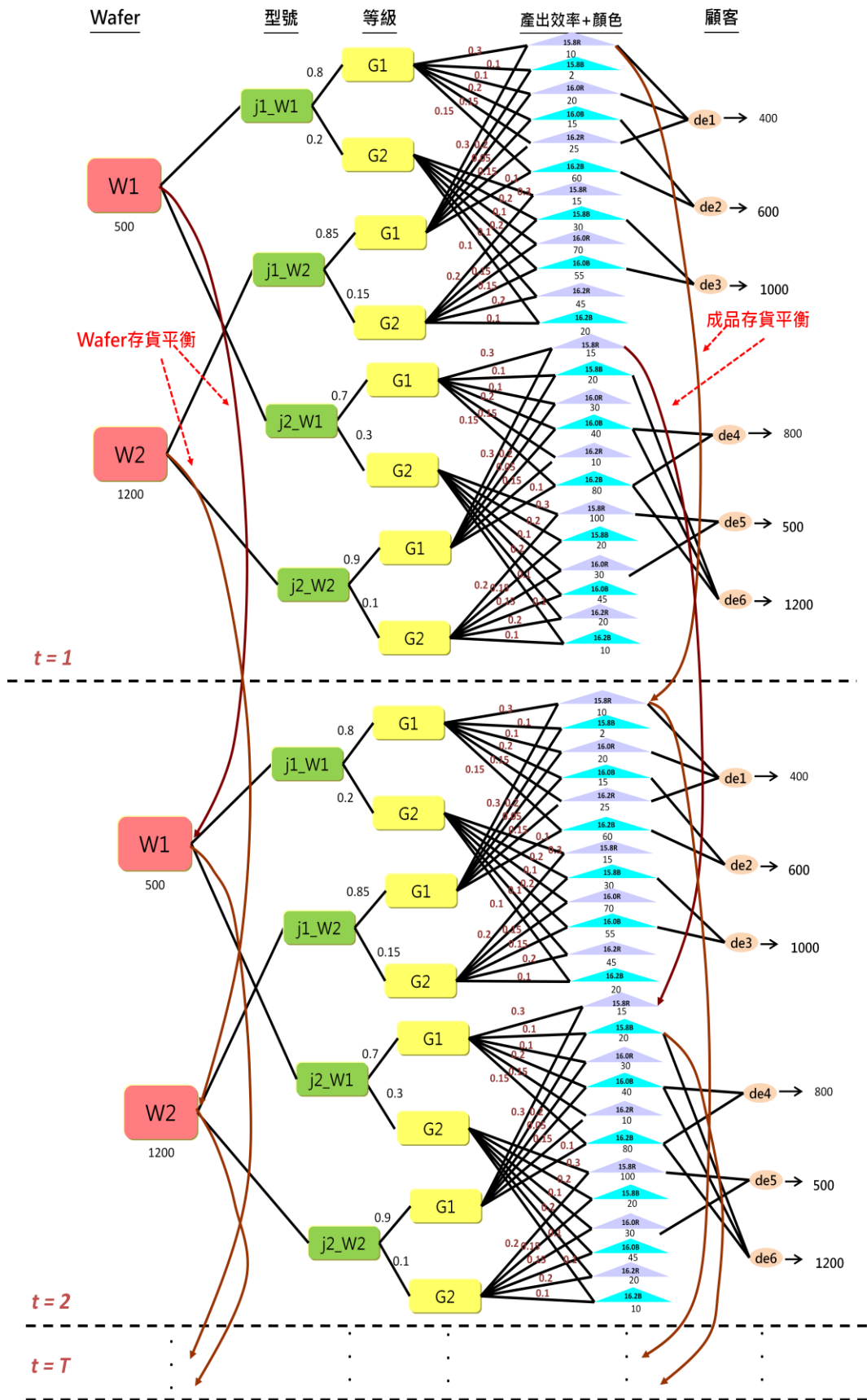


圖3.1 太陽能電池之投入-產出-需求滿足關聯圖 (本研究整理)

3.2 循序目標多周期多產品多 Wafer 模型之模式說明

以下將說明本研究所提出之太陽能產業之生產規劃模式，分別說明此模式之假設條件、已知資訊及符號定義，並以標準型之數學模式為基準，建構一循序目標規劃模式(Preemptive Goal Programming, PGP)，並針對此數學模式進行求解。

3.2.1 假設條件

本研究多循序目標多周期多產品多 Wafer 模型的假設條件如下：

1. 不考慮物料(BOM 表)的影響
2. 多期生產投料
3. 不考慮交期
4. 只考慮單一製程加工的產能，只在 Cell 段加工
5. 允許缺貨，為下週期優先滿足之訂單

3.2.2 已知資訊

1. 供給與需求資訊

- (1) 顧客之需求量
- (2) 顧客之需求種類
- (3) 最小平均指定效率
- (4) 顧客指定效率區間
- (5) 產品售價

2. 生產資訊

- (1) 等級投入比率 (型號→等級)
- (2) 效率顏色產出比率 (等級→效率顏色)
- (3) 投料產出比例(投料 →型號)
- (4) 生產能力限制

3. 成本資訊

- (1) 採購成本
- (2) 生產成本

(3) 存貨成本

(4) 缺貨成本

3.2.3 符號定義

(1) 下標

z	顧客類別	$z=1,2,\dots,Z$
c	顏色類別	$c=1,2,\dots,C$
e	轉換效率類別	$e=1,2,\dots,E$
g	等級類別	$g=1,2,\dots,G$
j	型號類別	$j=1,2,\dots,J$
t	時間週期	$T=1,2,\dots,T$
i	Wafer 類別	$i=1,2,\dots,I$

(2) 參數

de_{jzt} 週期 t 顧客 z 產品型號 j 之總需求量

ca_t 週期 t 的總產能上限

ae_{jz} 顧客 z 指定成品型號 j 之平均效率

β_{ijg} Wafer i 型號 j 等級 g 之等級產出比率

γ_{ijgec} Wafer i 型號 j 等級 g 效率 e 顏色 c 之型號產出比率

wq_i Wafer i 期初存貨

fv_{jgec} 型號 j 等級 g 效率 e 顏色 c 成品期初存貨

ck_e 效率 e 之效率值

cp_{it} 週期 t Wafer i 單位採購成本

cm_t 週期 t 單位生產成本

cW_{it} 週期 t Wafer i 單位存貨成本

cS_{jzt} 週期 t 未滿足顧客 z 型號 j 的單位缺貨成本

cf_{jgect} 週期 t 等級 g 型號 j 效率 e 顏色 c 單位存貨成本

sp_{jzt} 週期 t 銷售於顧客 z 產品型號 j 單位售價

M 極大數

$pg_{jgzt} = \begin{cases} 1: \text{週期 } t \text{ 顧客 } z \text{ 指定等級 } g \text{ 型號 } j \text{ 產品} \\ 0: \text{週期 } t \text{ 顧客 } z \text{ 不指定等級 } g \text{ 型號 } j \text{ 產品} \end{cases}$

$pc_{jczt} = \begin{cases} 1: \text{週期 } t \text{ 顧客 } z \text{ 指定型號 } j \text{ 顏色 } c \text{ 產品} \\ 0: \text{週期 } t \text{ 顧客 } z \text{ 不指定型號 } j \text{ 顏色 } c \text{ 產品} \end{cases}$

$pe_{jezt} = \begin{cases} 1: \text{週期 } t \text{ 顧客 } z \text{ 不指定型號 } j \text{ 轉換效率 } e \text{ 產品} \\ 0: \text{週期 } t \text{ 顧客 } z \text{ 不指定型號 } j \text{ 轉換效率 } e \text{ 產品} \end{cases}$

(3) 決策變數

QP_{it} 週期 t wafer i 的採購量

QW_{ijt} 週期 t wafer i 投入型號 j 之生產量

QA_{ijgt} 週期 t 投入 wafer i 等級 g 之產品型號 j 生產量

QG_{ijgect} 週期 t wafer i 型號 j 等級 g 投入顏色 c 效率 e 之生產數量

QH_{it} 週期 t wafer 之期末存貨量

QI_{jgect} 週期 t 型號 j 等級 g 效率 e 顏色 c 之期末存貨數量

QC_{jgeczt} 週期 t 分配給顧客 z 產品等級 g 型號 j 顏色 c 效率 e 之數量

QS_{jzt} 週期 t 無法滿足顧客 z 之產品型號 j 缺貨數量

3.2.4 PGP 模型

目標式一為存貨數量最小化，再進行目標式二為利潤最大化。

目標式一：(1)計算存貨數量最小化；(2) 等級投入產出平衡式；(3) 型號投入產出平衡式；(4) 滿足最小平均效率限制式；(5) 需求滿足式；(6) 顧客指定等級顏色與轉換效率；(7) Wafer 存貨平衡式；(8)成品存貨平衡；(9) 產能上限；(10)變數皆為非負整數。

目標式二：(1)計算利潤最大化；(2) 降低不同衡量目標間的落差限制式， ε 為一個極小值，以降低不同衡量目標間的落差。

目標函數一、

$$\min \sum_t \sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect} \quad (1)$$

本研究提出的目標函數為總成品存貨數量最小化。

限制式

等級投入產出平衡式

$$\begin{aligned} \sum_s QA_{ijgt} &= QW_{ijt} \quad \forall i, j, t \\ QA_{ijgt} &= \beta_{ijg} \times QW_{ijt} \quad \forall i, j, g, t \end{aligned} \quad (2)$$

全部等級產出的數量為投入 Wafer 數量，且等級產出數量是由等級產出比率乘上 Wafer 之投入數量所計算出。

型號投入產出平衡式

$$\begin{aligned} \sum_e \sum_c QG_{ijgect} &= QA_{ijgt} \quad \forall i, j, g, t \\ QG_{ijgect} &= \gamma_{ijgect} \times QA_{ijgt} \quad \forall i, j, g, e, c, t \end{aligned} \quad (3)$$

全部型號產出的數量為投入等級數量，且產出型號數量是由型號產出比率乘上等級之投入數量所計算出。

滿足最小平均效率限制式

$$\sum_g \sum_e \sum_c ck_e \times QC_{jgeczt} \geq ae_{jzt} \times \sum_{g'} \sum_{e'} \sum_{c'} QC_{jg'e'c'zt} \quad \forall j, z, t \quad (4)$$

分配於顧客的效率值乘上等級顏色效率產出數量，須大於平均最小效率乘上分配於客戶等級顏色效率之數量。

需求滿足式

$$\sum_g \sum_e \sum_c QC_{jgeczt} + QS_{jzt} = de_{jzt} + QS_{jz(t-1)} \quad \forall j, z, t \quad (5)$$

生產數量加上缺貨量，是為顧客指定等級顏色效率產品數量加上前期缺貨數量。

顧客指定等級顏色與轉換效率

$$QC_{jgeczt} \leq pg_{jgzt} \times pc_{jczt} \times pe_{jezt} \times M \quad \forall j, g, e, c, z, \quad (6)$$

pg_{jgzt} 、 pc_{jczt} 、 pe_{jezt} 為二元變數，在於判斷顧客指定產品的規格。若 pg_{jgzt} 為 1 時，即表示有分配於客戶此等級成品；若 pc_{jczt} 全部皆為 1 時，即表示有分配於客戶此顏色之成品；若 pe_{jezt} 為 1 時，即表示有分配於客戶此效率之成品數量。當若 pg_{jgzt} 、 pc_{jczt} 、 pe_{jezt} 全部皆為 1，即表示有分配於客戶此等級、此顏色與此效率之成品數量。

Wafer 存貨平衡式

$$wq_i + QP_{it} - \sum_j QW_{ijt} = QH_{it} \quad \forall i, t=1 \quad (7)$$

$$QH_{i(t-1)} + QP_{it} - \sum_j QW_{ijt} = QH_{it} \quad \forall i, t=2, \dots, T$$

第一期的當期存貨數量，由期初存貨加上等級生產數量，再扣除分配給客戶數量。後期的當期存貨數量，便由前期成品存貨量加上等級生產數量，再扣除分配給客戶數量。

成品存貨平衡式

$$fv_{jgect} + \sum_i QG_{ijgect} - \sum_z QC_{jgectz} = QI_{jgect} \quad \forall j, g, e, c, t \quad (8)$$

$$QI_{jgect(t-1)} + \sum_i QG_{ijgect} - \sum_z QC_{jgectz} = QI_{jgect} \quad \forall j, g, e, c, t$$

週期一的庫存數量必須等於期初庫存數量，加上本期生產的數量，扣除本期分配顧客的數量。其他週期的庫存數量為前期庫存數量，加上本期生產的數量，減掉本期分配顧客的數量。

產能上限

$$\sum_i QW_{ijt} \leq ca_t \quad \forall j, t \quad (9)$$

Wafer 總投入生產數量，須小於產能上限。

變數為非負整數

$$QP_{it}, QW_{ijt}, QH_{it}, QA_{ijg}, QG_{ijgect}, QI_{igect}, QS_{jz} \geq 0 \quad (10)$$

$$\forall i, j, g, e, c, t$$

目標函數二、

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_t \sum_z \sum_i \sum_j \sum_g \sum_e \sum_c (sp_{jzt} \times QC_{jgectz}) - \sum_t \sum_z \sum_j (cs_{jzt} \times QS_{jzt}) \\ & - \sum_t \sum_i (cw_{it} \times QH_{it}) - \sum_t \sum_i \sum_j (cm_{ijt} \times QW_{ijt}) - \sum_t \sum_i (cp_{it} \times QP_{it}) \\ & - \sum_t \sum_j \sum_g \sum_e \sum_c (cf_{jgect} \times QI_{jgect}) \end{aligned} \quad (11)$$

本研究提出的目標函數為利潤最大化，由銷貨收入扣除缺貨成本、生產成本、Wafer 的採購成本與存貨成本後計算出的銷售利潤值。

限制式

Subject to (2)-(10)

降低目標落差平衡式

$$\sum_t \sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect} \leq Z^* + \varepsilon Z^* \quad \forall j, g, e, c, t \quad (12)$$

ε 是一個極小的值，以降低不同衡量目標間的落差。

循序求解方法

本研究採用循序目標規劃模式(Preemptive Goal Programming, PGP)的步驟流程歸納如圖 3.2 所示，首先進行目標式一最小化成品存貨數量求解，接著將求解出的最佳解納入目標式二利潤最大化的限制式，並藉由調整 ε 值找出最好的求解結果， ε 是一個極小的值，表示將目標式一給予成品期末存貨容忍度空間，透過微調期末總存貨量的方式，以降低不同衡量目標的落差。

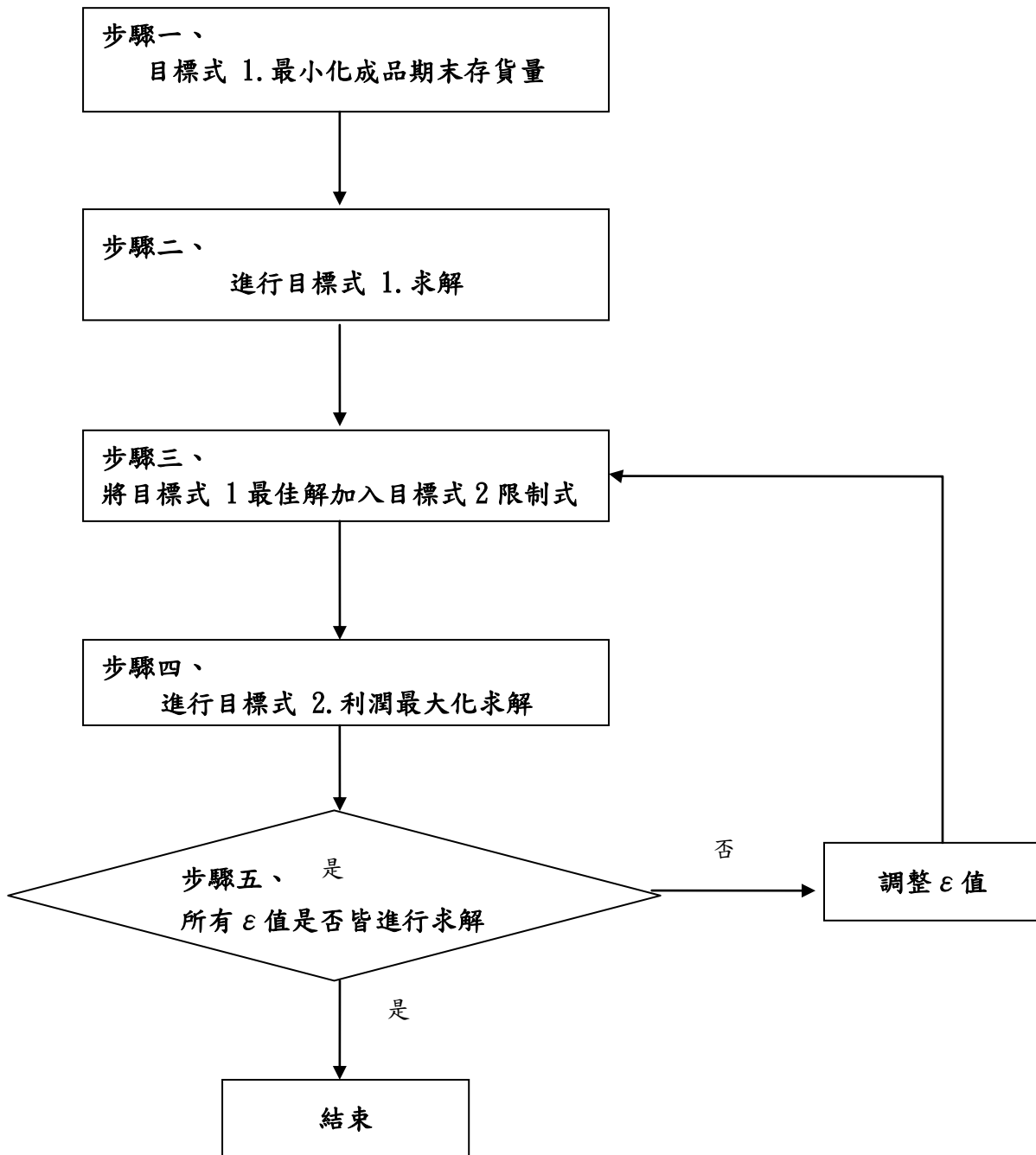


圖3.2 PGP模型之求解流程圖 (本研究整理)

3.3 模式範例

以下將以矽晶太陽能電池產業為案例，依其生產特性架構進行生產規劃以滿足顧客需求，以每個月為單位進行生產規劃，一次進行四周期之規劃。

3.3.1 模式範例相關數據

在此範例中，我們考量一種 Wafer(w_1)規格投入生產，可產出一種成品型號($j1_w1$)，進行加工生產後會因良率產出兩種不同等級($0.8G_1, 0.2G_2$)，轉換效率(ck_e)有兩種包括 15.8、16，顏色兩種包括天空藍(R)與正常藍(B)，如圖 3.3 所示。假設成品型號(j)經生產加工製程後，可得知約有 80%(β_{ijg})的型號屬優等品(G_1)產出與 20%(β_{ijg})的外觀瑕疵次等品(G_2)，且每週期在加工製程有 100,000 的產能上限(ca)，接著優等品(G_1)進行分類後，約有 25%的比率會產出轉換效率 15.8 天空藍顏色(15.8R)，25%比率會產出轉換效率 15.8 正常藍顏色(15.8B)的成品型號，最後再依顧客需求做滿足。其餘相關生產資訊可參考表 3.1 至表 3.6。

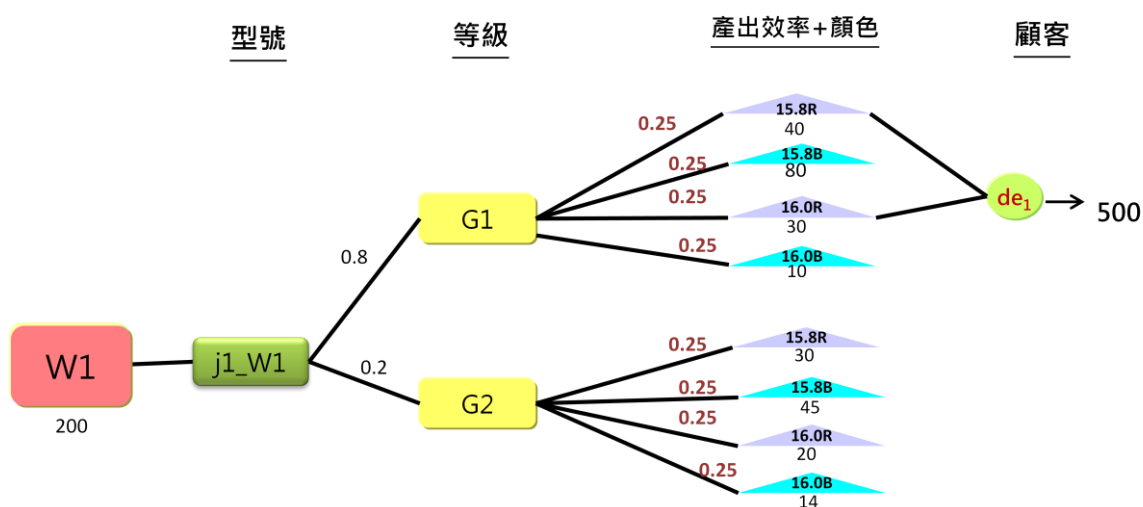


圖3.3 模式範例 (本研究整理)

每週期成品型號的製程皆有產能上限，每週期產能上限如表 3.1：

表3.1 PGP模型之已知資訊：產能上限資訊表

加工製程產能(ca_t)	t=1	t=2
Cell Manufacturing	100,000	100,000

成品型號經生產加工製程後，皆有產出比例問題，如表 3.2 所示，以 w_1 為例，可得知約有 80% 的型號屬優等品(G_1)產出與 20% 的外觀瑕疵次等品(G_2)，然而等級(g)分類完後，需再進一步依照轉換效率(e)與顏色(c)做分類，以優等品(G_1)為例，將有 0.25 機率值(γ_{ijgc})分類出轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品。其他成品的相關產出比率如表 3.2 所示：

表3.2 PGP模型之已知資訊：廠內生產資訊表

Wafer (w_i)	產品型號 (j)	等級 (g)	比率 (β_{ijg})	產出效率 (e)	顏色 (c)	產出比率 (γ_{ijgc})
W1	j1	G1	0.8	15.8	R	0.25
				15.8	B	0.25
				16	R	0.25
				16	B	0.25
		G2	0.2	15.8	R	0.25
				15.8	B	0.25
				16	R	0.25
				16	B	0.25

下表為各成品的期初存貨(fv_{jgc})，以型號 j_1 等級 G_1 顏色 R 的成品為例，其成品期初存貨(fv_{jgc})為 40 件，其他成品的期初存貨(fv_{jgc})資訊如表 3.3 所示。

表3.3 PGP模型之已知資訊：廠內期初成品存貨

產品型號(j)	等級 (g)	產出效率 (e)	顏色 (c)	存貨量 (fv_{jgc})
j1	G1	15.8	R	40
		15.8	B	80
		16	R	30
		16	B	10
	G2	15.8	R	30
		15.8	B	45
		16	R	20
		16	B	14

下表為 wafer 的期初存貨(wq_i)，以型號 w_1 的 Wafer(w_i)為例，其週期一的 Wafer 期初存貨(wq_i)為 200 件，如表 3.4 所示。

表3.4 PGP模型之已知資訊：廠內Wafer存貨表

Wafer(w_i)	T=1 存貨量(wq_i)
W1	200

本研究假設的顧客資訊如下表 3.5 所示，以顧客一而言，滿足其成品 500 件成品需求可由轉換效率 15.8 正常藍顏色(15.8R)、轉換效率 16.0 正常藍顏色(16.0R)，而最後要滿足顧客成品需求數(de_{jzt})與平均轉換效率(ae_{jz})15.8 即可。

表3.5循序目標模型之已知資訊：顧客需求資訊表

週期 (t)	顧客 (de_z)	產品型號 (j)	指定等級 (g)	指定效率 區間	平均效率 (ae_{jz})	指定顏色 (c)	數量 (QC_{jgect})
1	de1	J1	G1	15.8~16.0	15.8	R	500
2	de1	J1	G1	15.8~16.0	15.8	B	200

本研究目標式為利潤最大化求解，表 3.6 為售價(sp_{jzt})、缺貨成本(cs_{jzt})、存貨成本(cf_{jgect})、生產成本與採購成本(cw_{it})參數之設定。

表3.6 循序目標模型之已知資訊：成本資訊表

售價 (sp_{jzt})	缺貨成本 (cs_{jzt})	存貨成本 (cf_{jgect})	生產成本 (cm_t)	採購成本 (cw_{it})
\$1000	\$50	\$10	\$20	\$20

3.3.2 模式範例結果

步驟一：本範例首先進行週期一之存貨最小化求解，其目標式一之存貨最小化求解，求解結果如表 3.7 所示，只取目標式一之最小存貨量進行目標式二求解。

表3.7模式範例-週期一下，目標式一求解結果

	目標式 1: 成品期末存貨量最小化
數量	$\min \sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect} = 319$

步驟二：將目標式一之期末成品存貨($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$)最佳解 319，代入目

標式二限制式中， $\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect} \leq 319$ ，接著進行利潤最大化之求解，所求得的利潤最大化為\$141,060，而相關的變數求解結果如圖 3.4。

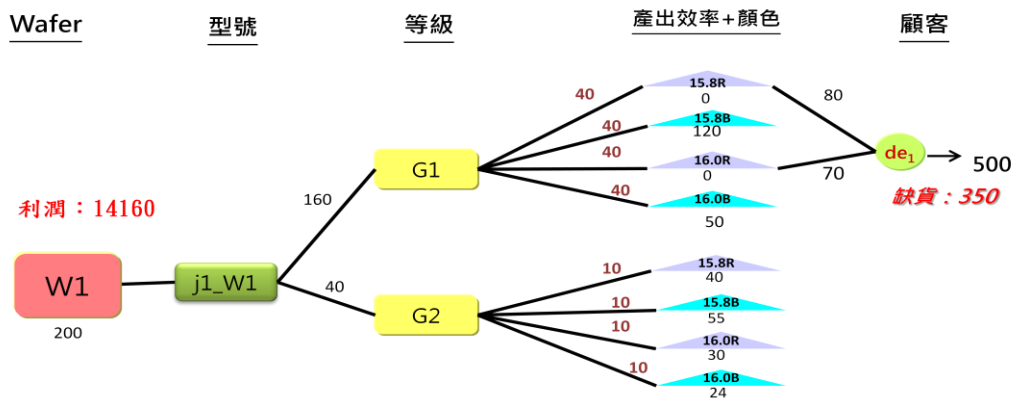


圖3.4 模式範例-週期一， ε 值=0之求解結果(本研究整理)

由圖 3.4 可知，為滿足目標式存貨數最小化，只由現有 200 件 wafer 存貨先投料，因此型號 J1 將可產出 160 件優等品(G1)與 40 件外觀瑕疵次等品(G2)，接著依產出比例再進行分類，以轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品來說，將可產出 40 件成品。

而顧客指定轉換效率區間為 15.8 至 16.0 與顏色 R 的成品，而廠內可因應顧客需求的成品，只有轉換效率 15.8 顏色 R 的成品 80 件與轉換效率 16.0 顏色 R(16.0R)的成品 70 件，因此週期一將有 $QS_{jct}=350$ 件成品無法及時被滿足，是下週期優先滿足之訂單。

步驟三：設定不同的 ε 值，而本範例將 ε 值設定為 0.1，期末存貨容忍度

$$\text{為 } 351(=319*1.1), \sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect} \leq 351。$$

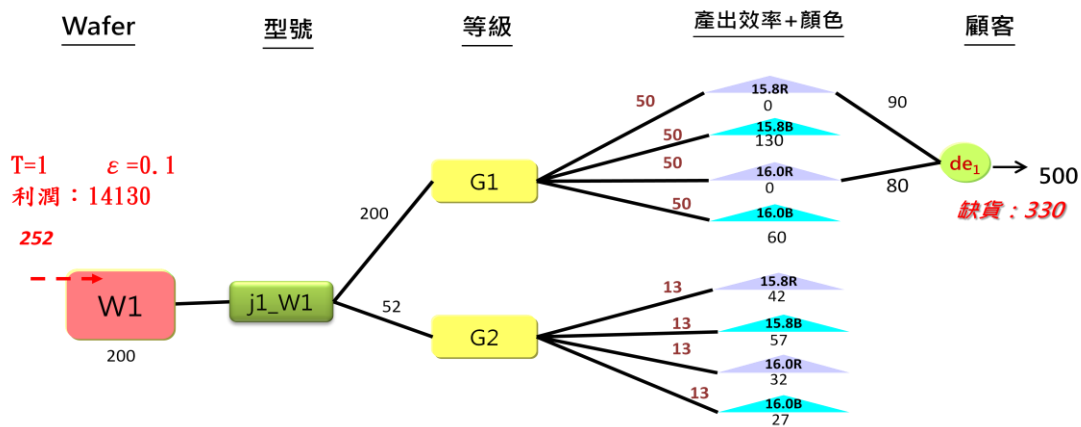


圖3.5 模式範例-週期一， ϵ 值=0.1之求解結果(本研究整理)

由圖 3.5 可知，當 ϵ 值為 0.1 時，將會購買 252 件 wafer(w1)，加上現有 200 件 wafer 存貨，因此將有 452(=252+200)件 wafer 可進行投料，因此型號 J1 將可產出 200 件優等品(G1)與 52 件外觀瑕疵次等品(G2)，接著因產出比例再進行分類，以轉換效率 15.8 顏色 R(15.8)的成品來說，將可產出 50 件成品。而顧客指定轉換效率區間為 15.8 至 16.0 與顏色 R 的成品，但廠內可因應顧客需求的成品，只有轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品 90 件與轉換效率 16.0 顏色 R(16.0B)的成品 80 件，因此週期一將有 $QS_{jzt}=330$ 件成品無法及時被滿足，是下週期優先滿足之訂單。

步驟四：而 ϵ 值的設定取決於規劃人員在成品期末容忍度的決策判斷，若期盼能獲得較高的銷售利潤，因此得付出相對的成品期末存貨量之負擔。而本研究先假設以 ϵ 值為 0 時是最佳值，並將此期末成品存貨之求解結果做為第二週期的期初成品存貨。

步驟五：將前週期未完成的顧客 350 件需求，列為優先生產之訂單，再進行週期二之最小期末成品存貨求解，求解結果如表 3.8。

表3.8模式範例-週期二下，目標式一求解結果

	目標式 1: 成品期末存貨量最小化
數量	840

步驟六：將目標式一之期末成品存貨($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$)最佳解 840，代入目

標式二限制式中， $\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect} \leq 840$ ，接著進行利潤最大化

之求解，所求得的利潤最大化為\$506,460，相關的變數求解結果如圖所示。

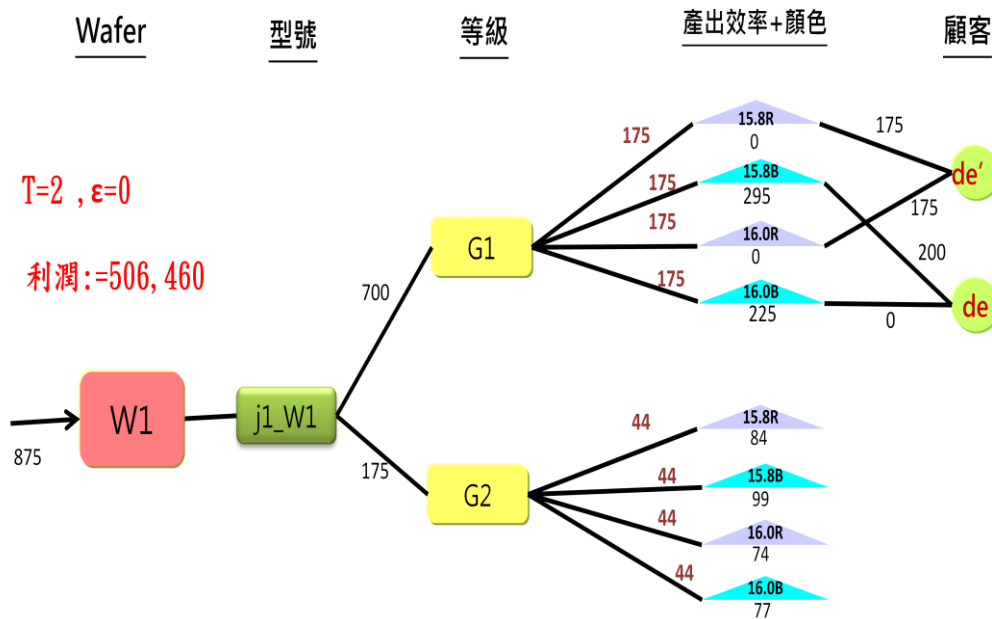


圖 3.6 模式範例-週期二，ε 值=0 之求解結果(本研究整理)

由圖 3.6 可知，當 ε 值為 0 時，將會購買 875 件 wafer，因週期二無現有 wafer 存貨可用，因此將有 875 件 wafer 可進行投料，因此型號 J1 將可產出 700 件優等品(G1)與 175 件外觀瑕疵次等品(G2)，接著因產出比例再進行分類，以轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品來說，將可產出 175 件成品。

而前週期有 350 件成品需求(de')須優先被滿足，顧客指定轉換效率區間為 15.8 至 16.0 與顏色 R 的成品，而廠內可因應顧客需求的成品，有轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品 175 件與轉換效率 16.0 顏色 R(16.8R)的成品 175 件；而週期二，顧客指定轉換效率區間為 15.8 至 16.0 與顏色 B 的成品需求(de)200 件，而廠內可因應顧客需求的成品，有轉換效率 15.8 顏色 B 的成品 200 件，因此本週期將不會發生缺貨。

步驟七：設定不同的 ε 值，而本模式範例將 ε 值設定為 0.1，期末存貨容忍

度為 924(=840*1.1)，
$$\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect} \leq 924$$
，表示成品期末容

忍度可高達 924 件，所求得的利潤最大化為\$512,840。

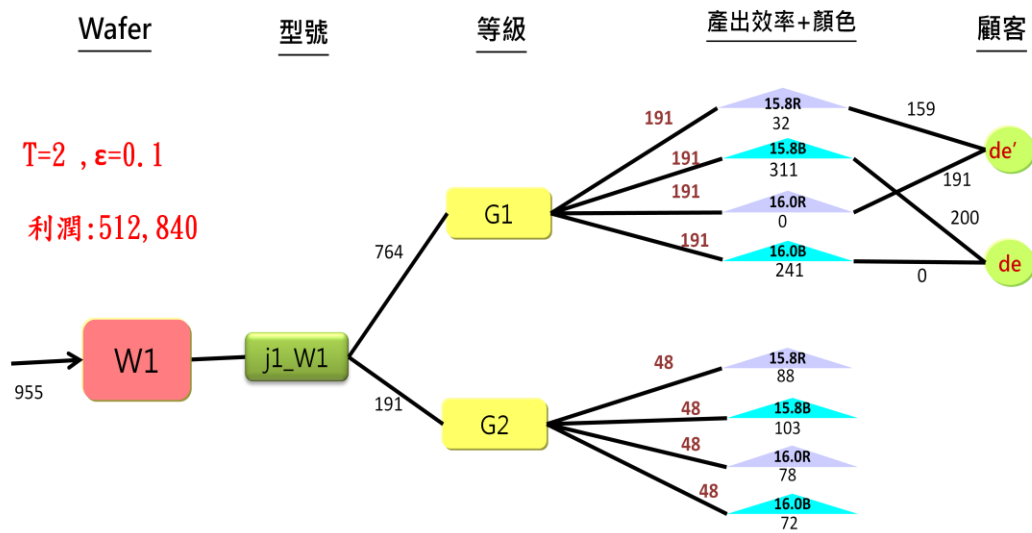


圖 3.7 模式範例-週期二， ϵ 值=0.1 之求解結果(本研究整理)

由圖 3.7 可知，當 ϵ 值為 0.1 時，將會購買 955 件 wafer，因週期二無現有 wafer 存貨可用，因此將有 1155 件 wafer 可進行投料，因此型號 J1 將可產出 764 件優等品(G1)與 191 件外觀瑕疵次等品(G2)，接著因產出比例再進行分類，以轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品來說，將可產出 191 件成品。

而前週期有 350 件成品需求須優先被滿足，顧客指定轉換效率區間為 15.8 至 16.0 與顏色 R 的成品，而廠內可因應顧客需求的成品，有轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品 159 件與轉換效率 16.0 顏色 R(16.0R)的成品 191 件；而週期二，顧客指定轉換效率區間為 15.8 至 16.0 與顏色 B 的成品需求 200 件，而廠內可因應顧客需求的成品，有轉換效率 15.8 顏色 B(15.8B)的成品 200 件，因此本週期將不會發生缺貨。

第四章 模式應用與績效評估

4.1 太陽能產業案例相關數據

本研究將以矽晶太陽能電池產業為案例，以此之生產特性架構進行生產規劃以滿足顧客需求，以每個月為單位進行生產規劃，一次進行四周期之規劃。

4.1.1 太陽能產業相關數據

在此產業案例中，考量之生產特性之架構如圖 4.1 所示，其中包含了顧客端、wafer 種類(i)、產品型號(j)、產品等級(g)、效率(e)與顏色(c)，本案例所考量之產品主要有 2 種 wafer(i)、2 種型號(j)、2 種等級(g)、3 種效率(e)與種 2 種顏色(c)。

已知資訊包含產能上限、wafer 投產各效率(e)與顏色(c)之產出比例(γ_{ijgce})、成品期初存貨(f_{vjgce})、wafer 期初存貨(wq_i)、顧客指定成品規格與成本相關資訊如表 4.1 至表 4.6。

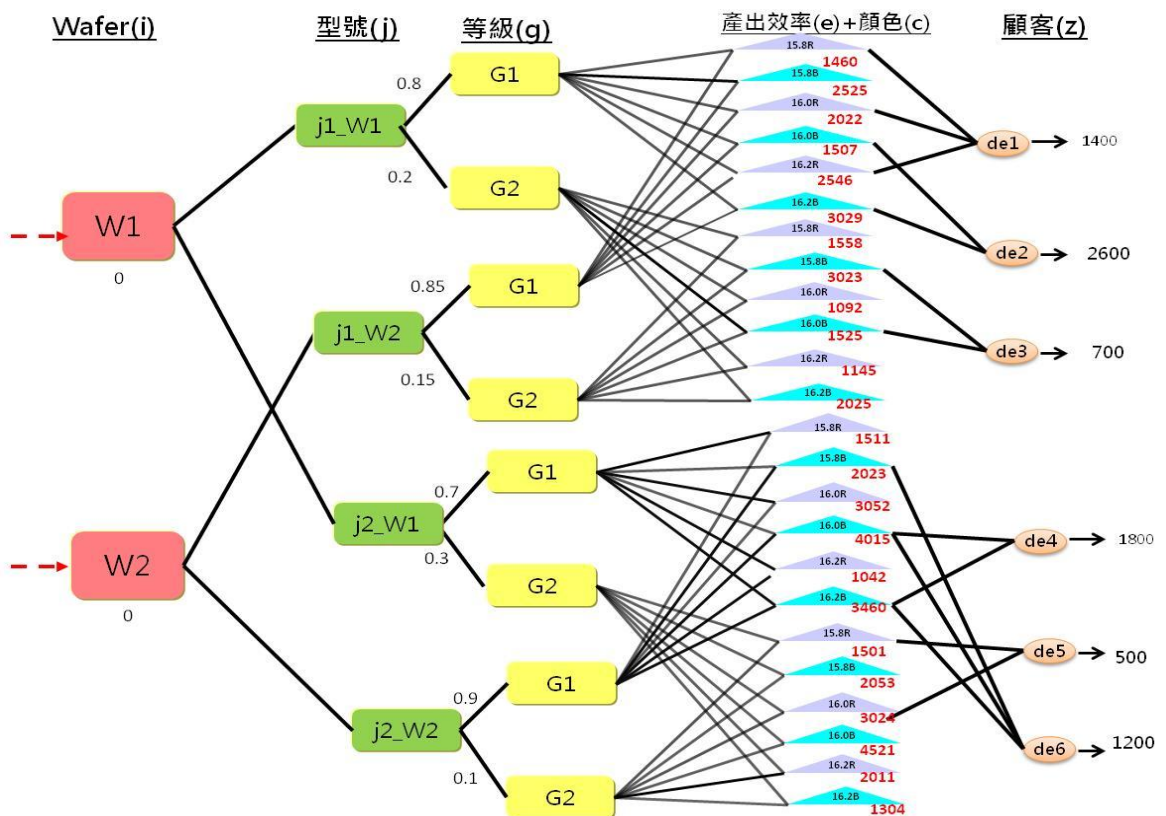


圖4.1產業案例之投入-產出-需求滿足關聯圖(本研究整理)

每週期成品型號的製程皆有產能上限，每週期產能上限如表 4.1：

表4.1 PGP模型之已知資訊：產能上限資訊表

加工製程產能	t=1	t=2	...	t=T
Cell Manufacturing	100,000	100,000	...	100,000

成品型號(j)經生產加工製程後，皆有產出比例問題，如表 4.2 所示，以 w_1 為例，可得知約有 80% 的型號屬優等品(G_1)產出與 20% 的外觀瑕疵次等品(G_2)，然而等級(g)分類完後，需再進一步依照轉換效率(e)與顏色(c)做分類，以優等品(G_1)為例，將有 0.3 機率值(γ_{ijgce})分類出轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品。其他成品的相關產出比率($\beta_{ijg}, \gamma_{ijgce}$)如表 4.2 所示：

表4.2 PGP模型之已知資訊：廠內生產資訊表

Wafer (w_i)	產品型號(j)	等級 (g)	比率 (β_{ijg})	產出效率 (e)	顏色 (c)	產出比率 (γ_{ijgce})
W1	j1	G1	0.8	15.8	R	0.3
				15.8	B	0.1
				16	R	0.1
				16	B	0.2
				16.2	R	0.15
				16.2	B	0.15
	j1	G2	0.2	15.8	R	0.3
				15.8	B	0.2
				16	R	0.1
				16	B	0.2
				16.2	R	0.1
				16.2	B	0.1
	j2	G1	0.85	15.8	R	0.3
				15.8	B	0.1
				16	R	0.1
				16	B	0.2
				16.2	R	0.15
				16.2	B	0.15

(續) 表 4.2 PGP 模型之已知資訊：廠內生產資訊表

Wafer (w_i)	產品型號 (j)	等級 (g)	比率 (β_{ijg})	產出效率 (e)	顏色 (c)	產出比率(γ_{ijgce})
W1	j2	G2	0.15	15.8	R	0.3
				15.8	B	0.2
				16	R	0.1
				16	B	0.2
				16.2	R	0.1
				16.2	B	0.1
W2	j1	G1	0.7	15.8	R	0.3
				15.8	B	0.2
				16	R	0.05
				16	B	0.15
				16.2	R	0.2
				16.2	B	0.1
		G2	0.3	15.8	R	0.2
				15.8	B	0.15
				16	R	0.15
				16	B	0.2
				16.2	R	0.1
				16.2	B	0.2
	j2	G1	0.9	15.8	R	0.3
				15.8	B	0.2
				16	R	0.05
				16	B	0.15
				16.2	R	0.2
				16.2	B	0.1
		G2	0.1	15.8	R	0.2
				15.8	B	0.15
				16	R	0.15
				16	B	0.2
				16.2	R	0.1
				16.2	B	0.2

下表為各成品的期初存貨(fv_{jgce})，以型號 j_1 等級 G_1 顏色 R 的成品為例，其成品期初存貨(fv_{jgce})為 1460 件，其他成品的期初存貨(fv_{jgce})資訊，如表 4.3 所示。

表4.3 PGP模型之已知資訊：廠內成品存貨表

產品型號 (j)	等級 (g)	產出效率 (e)	顏色 (c)	存貨量 (fv_{jsec})
j1	G1	15.8	R	1460
		15.8	B	2525
		16	R	2022
		16	B	1507
		16.2	R	2546
		16.2	B	3029
	G2	15.8	R	1558
		15.8	B	3023
		16	R	1092
		16	B	1525
		16.2	R	1145
		16.2	B	2025
j2	G1	15.8	R	1511
		15.8	B	2023
		16	R	3052
		16	B	4015
		16.2	R	1042
		16.2	B	3046
	G2	15.8	R	1501
		15.8	B	2053
		16	R	3024
		16	B	4521
		16.2	R	2011
		16.2	B	1304

下表為各 wafer 的期初存貨(wq_i)，以型號 w_1 的 Wafer 為例，其週期一

的 Wafer 期初存貨(wq_i)為 500 件，如表 4.4 所示。

表4.4 PGP模型之已知資訊：廠內Wafer存貨表

Wafer(i)	W1	W2
T=1 存貨量(wq_i)	500	1200

本研究假設的顧客資訊如下表 4.5 所示，對顧客一而言，滿足其成品 1400 件成品需求(de_{j1t})可由轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)、轉換效率 16.0 顏色 R(16.0R)與轉換效率 16.2 顏色 R(16.2R)，最後滿足顧客成品需求數(de_{jzt})與平均轉換效率(ae_{jzt})15.8 即可。

表4.5 PGP模型之已知資訊：顧客需求資訊表

顧客	產品型號 (j)	指定等級 (g)	指定效率 區間	平均效率 (ae_{jzt})	指定顏色 (c)	數量 (de_{jzt})
de1	j1	G1	15.8~16.2	15.8	R	1400
de2	j1	G1	16.0~16.2	16.0	B	2600
de3	j1	G2	15.8~16.0	15.8	B	700
de4	j2	G1	16.0~16.2	16.0	B	1800
de5	j2	G2	15.8~16.0	15.8	R	500
de6	j2	G1	15.8~16.2	16.0	B	1200

本研究目標式為利潤最大化求解，表 4.6 為售價(sp_{jzt})、缺貨成本(cs_{jzt})、存貨成本(cf_{jgect})、生產成本(cm_t)與採購成本(cw_{it})參數之設定。

表4.6 PGP模型之已知資訊：成本資訊表

售價 (sp_{jzt})	缺貨成本 (cs_{jzt})	存貨成本 (cf_{jgect})	生產成本 (cm_t)	採購成本 (cw_{it})
\$4000	\$800	\$80	\$80	\$60

本研究以矽晶太陽能電池產業之生產架構為基礎，依實務限制撰寫相對應之數學式，並利用 LINDO 6.1 軟體程式進行目標式最佳化求解，作業平台為 Microsoft Windows 7 64 bit，硬體設備為 Intel(R) Core (TM) i3-370M CPU 2.4GHz、RAM 8G。

4.1.2 產業案例之結果

本產業案例之 PGP 模型求解流程與模式範例數據相同，以下將簡單說明求解步驟：

1. PGP 模型以先進行存貨數量最小化為首要目標，求解結果得到週期四的最小期末成品總存貨如下表 4.7。

表4.7 成品期末存貨量最小化之目標值

	目標式 1: 成品期末存貨量最小化
數量	40,346

2. 接著進行以利潤最大化之目標，為降低目標間的落差而調整 ε 值， ε 值為一個極小的數值，代表為成品期末存貨量的容忍度，而下表 4.8 為週期四之求解結果。

表4.8 不同成品期末存貨容忍度下，相關成本資訊

ε	存貨數	缺貨數	存貨成本	銷售收入	採購成本	生產成本	週期四內總利潤
0	40,346	5,600	3,227,680	10,401,231	557,196	742,927	86,655,600
0.005	40,548	5,491	3,243,840	10,836,309	575,842	767,789	87,118,037
0.01	40,749	5,383	3,259,920	11,269,233	594,420	792,528	87,578,173
0.03	41,556	4,948	3,324,480	13,007,390	668,888	891,851	89,425,590

由表 4.8 可知，在不同的 ε 值目標限制下的各個求解結果，可發現隨著成品期末容忍度的遞增，如 ε 值為 0 與 0.03 相比，缺貨數量(QS_{jzt})有明顯下降的趨勢，銷售收入、採購成本、生產成本與利潤皆有上升趨勢，但相對地得付出龐大的存貨成本，以下將不同成品期末存貨容忍度之求解結果繪製曲線圖，橫軸則為期末成品總存貨量，縱軸為各存貨量(QI_{jgec})的相關成本與銷售利潤值，如圖 4.2。

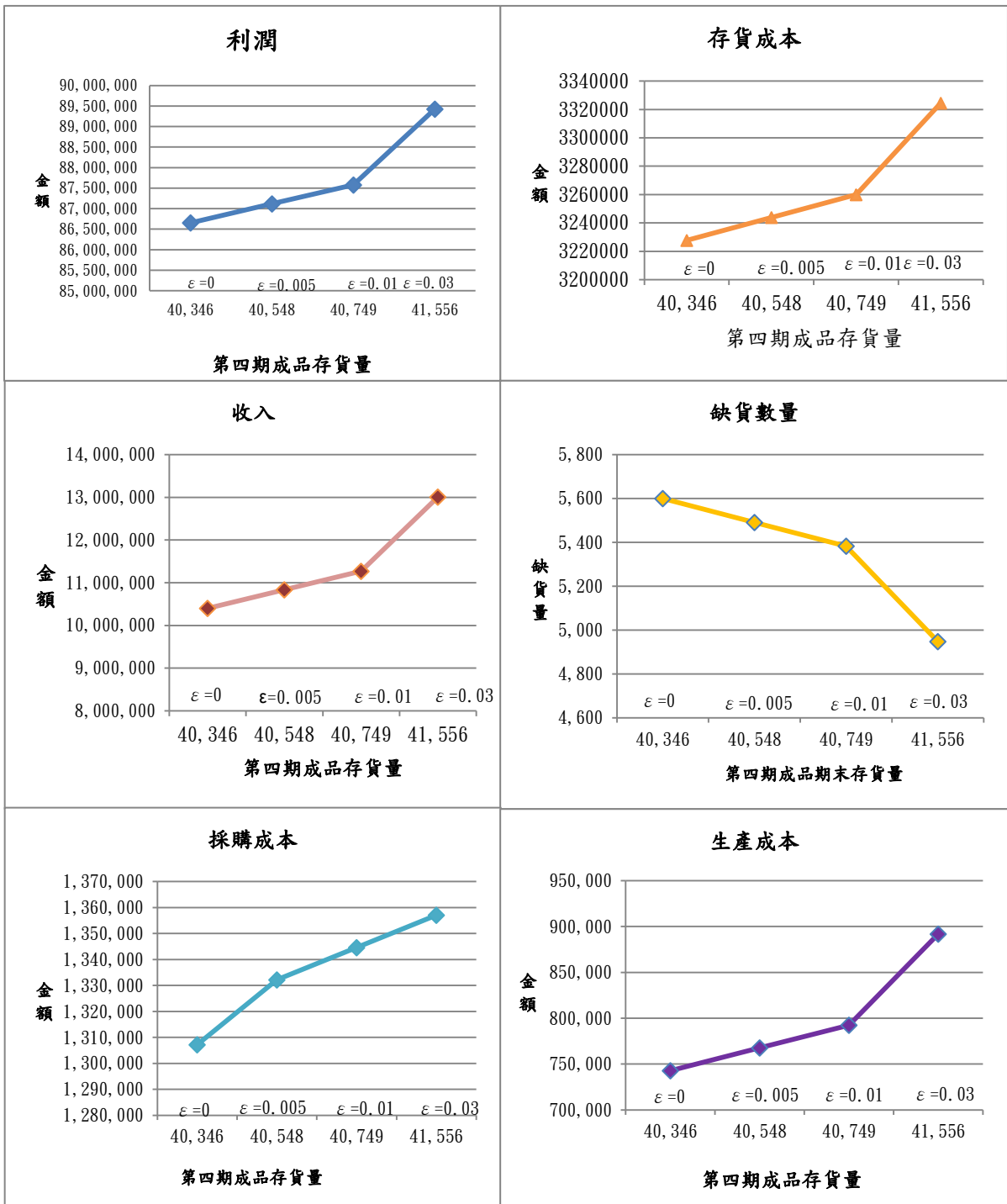


圖4.2 PGP模型：週期四不同存貨量之求解結果(本研究整理)

根據上圖 4.2，可得知隨著成品期末存貨容忍度的遞增，銷售收入、存貨成本、採購成本(cw_{it})與生產成本(cm_t)也將隨之遞增；然而隨著成品期末存貨容忍度的遞增，缺貨成本也將隨之遞減。

隨著成品期末存貨量容忍度的增加，採購成本(cw_{it})、生產成本也將隨之遞增。主要原因為隨著因採購數量的增加，進而增加投入生產數量，顯而易見地生產數量增加也將影響於期末成品存貨量增加。

增加成品期末存貨量的容忍度，缺貨成本隨之遞減，間接影響到銷售收入的增加，利潤曲線也因缺貨成本遞減與銷售收入增加，而有上升趨勢。

即便成品期末容忍度增加，雖然會增加相關 Wafer 採購成本(cw_{it})、生產成本與存貨成本的負荷，但缺貨成本的減少與銷售收入的增加，有助於減少相關成本的負擔，使得利潤也會隨著期末容忍度增加而遞增。

若將成品期末存貨量的容忍度值設定為 0.01，第四週期的存貨量 ($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jg ec4}$) 為 40,749，利潤是 \$108,579,699。在顧客需求面，以顧客一 1400 件成品需求為例，可由 657 件轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品與 743 件轉換效率 16.0(16.0R)顏色 R 的成品所滿足。在生產面，需採購 9517 件 Wafer，而其中有 9286 件 Wafer 投入生產型號 J1，231 件 Wafer 投入生產型號 J2。下一步，型號 J1 進行良率分類，約有 7429 件成品屬優等品(g_1)，1857 件成品屬瑕疵品(g_2)。接著，型號 J1 優等品(g_1)的成品進行顏色與效率分類，約有 2428 件成品屬於轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)，而又因分配於顧客一 657 件轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)成品，於是轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品期末存貨約有 2414 件。在缺貨方面，顧客二有 2600 件缺貨量(QS_{j2t})、顧客四有 1713 件缺貨量(QS_{j4t})與顧客六有 1017 件缺貨量(QS_{j6t})，為下週期優先滿足之訂單，相關之廠內生產端資訊如圖 4.3 所示。

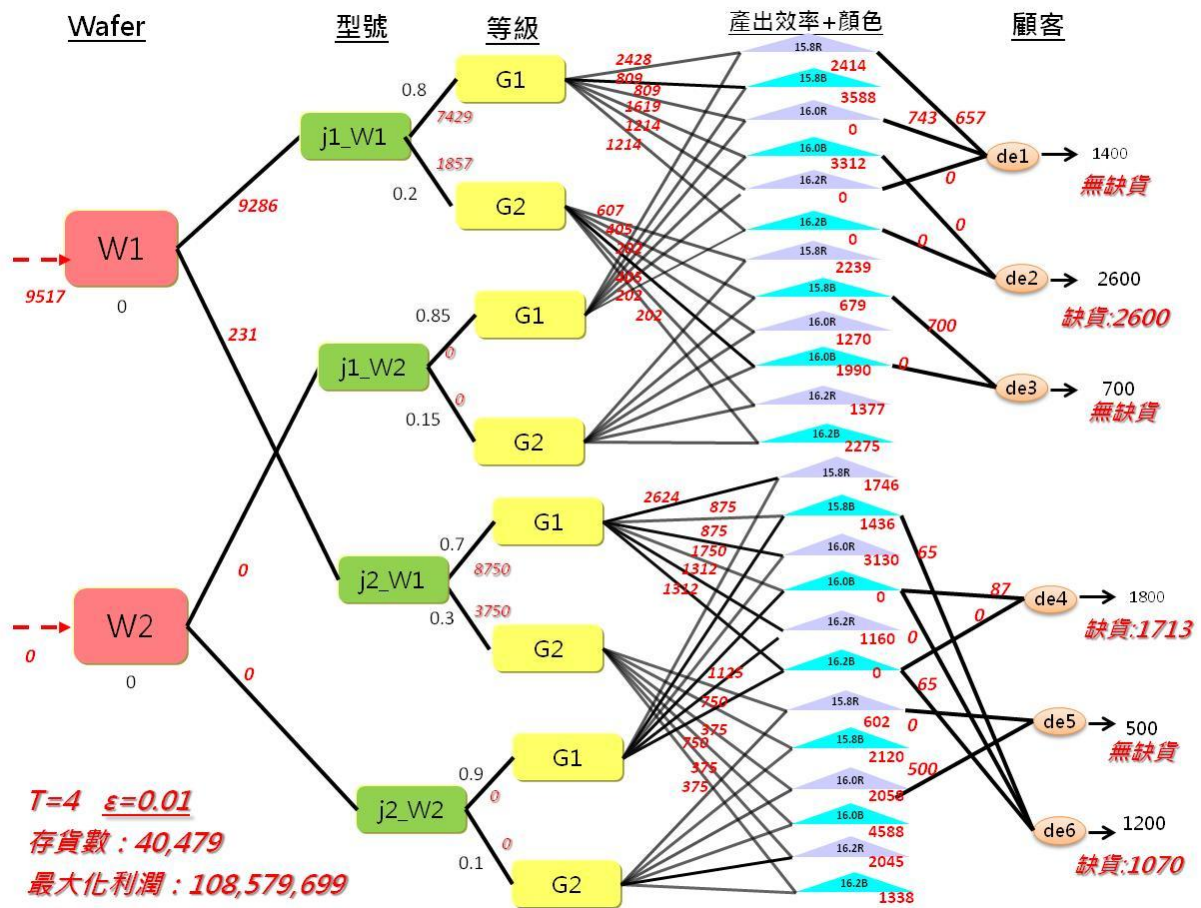


圖4.3 PGP模型-週期四可缺貨下， ϵ 為0.01求解結果(本研究整理)

經由上述分析，可得知存貨數量(QI_{jgect})與缺貨數量(QS_{jct})是一體兩面，因此，成品期末存貨容忍度得依照企業生產決策而擬定。當企業的決策為存貨數量($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$)最小化，無可避免地將面臨無法及時滿足顧客需求；若企業的決策為滿足顧客需求為優先，即缺貨數量最小化，則須付出相對的存貨成本。

4.2 模式分析

以下將針對本研究所提出之 PGP 模式之生產規劃作進一步探討，並與產業案例之現行做法相比，以驗證本研究之效益。此外，分別在兩種不同情境下進行分析，情境一為不同成本造成之成本與利潤之影響，情境二為探討成品實際產出分佈與顧客指定效率區間的影響。

4.2.1 產業現行規劃方法驗證

本節將探討本研究提出 PGP 模式與產業現行投料規劃之差異，因此會先介紹產業現行投料規劃流程，接著再依產業現行實務做法案例之數據進行 PGP 模式求解，以驗證本研究之效益。

4.2.1.1 產業現行規劃方法

因科技的日新月異，太陽能電池產品的生命週期很短，原料膠的使用期限只有短短的三個月，且顧客需求變化很大，因此在廠內通常不會備庫存，有顧客需求才會進行生產，產業生產時盡量採取不缺貨策略，滿足顧客需求。

目前太陽能生產規劃人員現行投料作業流程如下圖 4.4 所示：

1. 以訂單數量先後決定優先次序，依產品型號加總需求量。
2. 若有廠內成品存貨，則會先使用。
3. 若現行無合適的存貨可先使用，會進行 wafer 投料，依照需求的等級選擇合適的 wafer。
4. 依照投料產出比例的歷史數據與顧客需求，決定實際投料量。
5. 產出的成品以轉換效率較接近顧客指定的先滿足，不會考量顏色做決策。例如顧客指定最小效率 16.8，則會先以效率 16.8 先供應，接著再以效率 17.0 成品供應，一直累計達到顧客總需求為止。

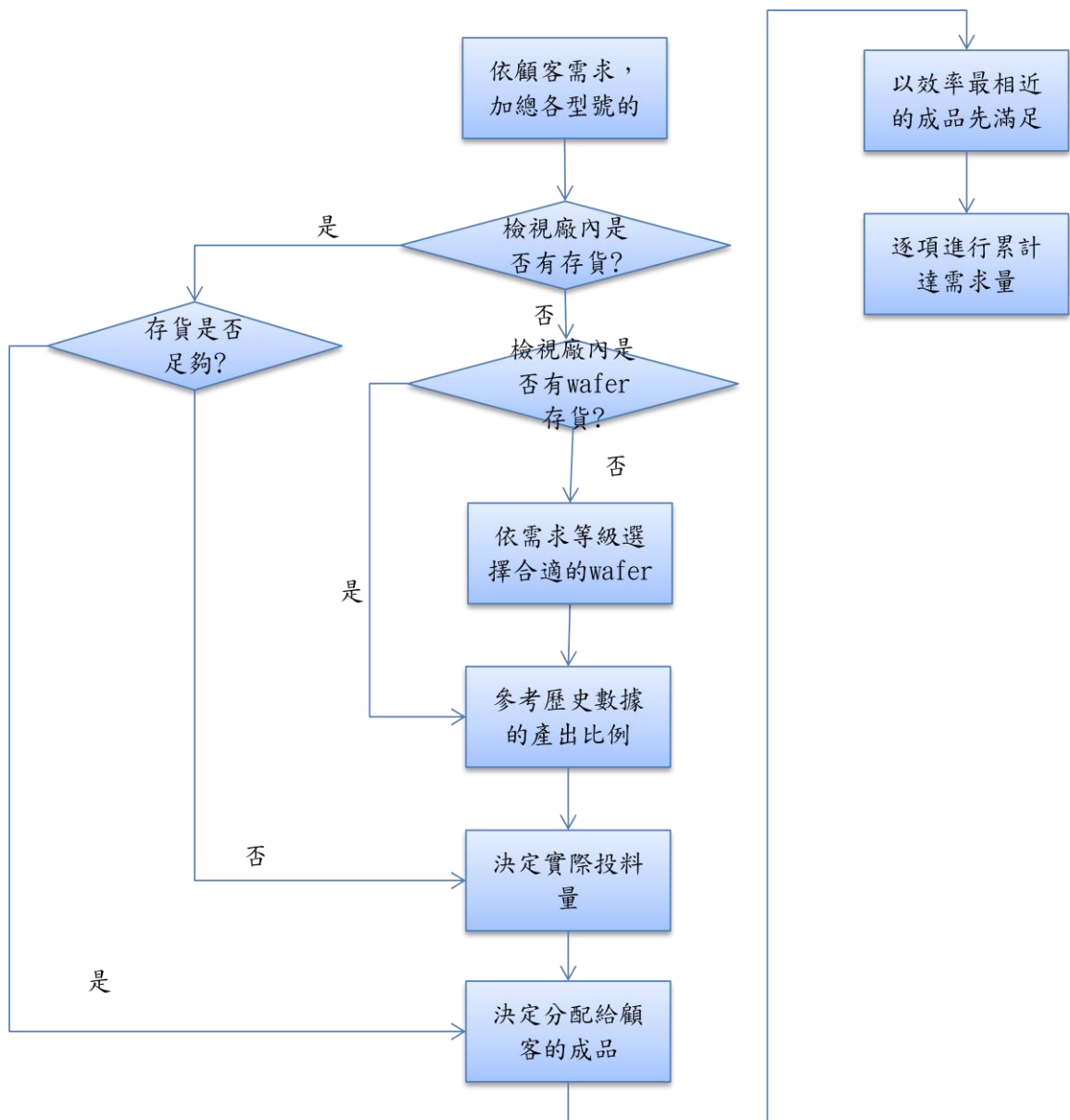


圖4.4 現行業界投料規劃作業流程(本研究整理)

以下將以週期一為例，簡述現行業界投料規劃作業流程，往後週期之規劃請以此類推。

步驟一：依照顧客需求，加總各產品型號(Ji)等級(Gi)的總需求量，以 4.1 節的案例數據為例，產品型號 J1 等級 G1 需求為 4000 件，產品型號 J1 等級 G2 需求為 700 件，產品型號 J2 等級 G1 需求為 3000 件，產品型號 J2 等級 G2 需求為 500 件。因此，若有產能上限問題，將會優先生產產品型號 J1 等級 G1 的成品。

步驟二：檢視工廠內是否有足夠成品存貨能先因應顧客需求，而本週期內有足夠存貨能先因應。

步驟三、步驟四：因現有成品足以因應顧客需求，因此本週期不進行投料。

步驟五：顧客指定的效率區間決定分配成品之依據，例如顧客一所指定轉換效率區間為 15.8 至 16.2，平均轉換效率 15.8 與顏色 R 的成品。，因此在分配需求時會以轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品存貨 1400 件先滿足，最後轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品還有 60 件成為期末成品存貨。因本週期現有存貨可因應而無進行投料規劃，因此 w1 的 1200 與 w2 的 500 成為 wafer 存貨，其他剩餘成品存貨將為下週期之成品期初存貨，其他顧客分配方式如圖 4.5。

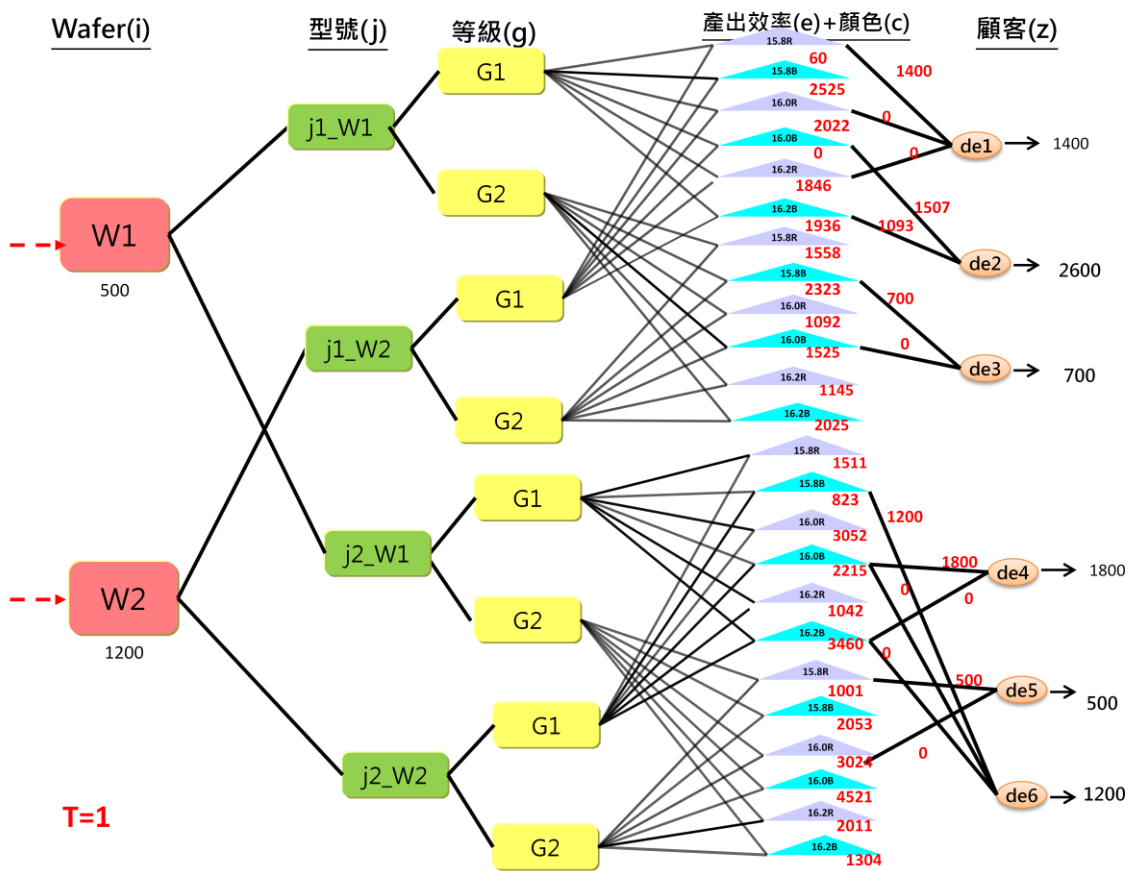


圖4.5 業界現行投料做法-週期一規劃結果(本研究整理)

以下將對週期二的投料規劃做說明：

步驟一：依照顧客需求，加總各產品型號(Ji)等級(Gi)的總需求量，以 4.1 節的案例數據為例，產品型號 J1 等級 G1 需求量为 4000 件，產品型號 J1 等級 G2 需求量为 700 件，產品型號 J2 等級 G1 需求量为 3000 件，產品型號 J2 等級 G2 需求量为 500 件。因此，若有產能上限問題，將會優先生產產品型號 J1 等級 G1 的成品。

- 步驟二：檢視工廠內是否有足夠成品存貨能先因應顧客需求，而本週期 J2 型號的存貨能滿足顧客需求，但 J1 型號的存貨無法滿足顧客二需求。
- 步驟三：因 J1 型號無法用現有成品存貨因應，因此須進行投料，以等級產出比率(β_{ijg})選擇 wafer，以 j1_w1 產出優等品(G1)的比率最高，因此以 w1 進行投料。
- 步驟四：顧客二的 2600 件需求，扣除廠內現有期初成品存貨(f_{jg})後，尚不足 664 件(=2600-1936)，又滿足顧客二的需求規格有轉換效率 16.0 顏色 R(16.0R)與轉換效率 16.2 顏色 R(16.2R)兩種，所以將不足的需求作平分，兩種規格皆須生產 332 件(=664/2)。下一步參考歷史資料數據依顏色效率產出比率(γ_{ijg})，以轉換效率 16.2 顏色 R(16.2R)規格的產出比率(γ_{ijg})0.15 最差，做為反推的 wafer 投料數據。須先反推至優等品的產出量(QG_{ijg})，其比率(γ_{ijg})值約 0.15，在反推至 J1_w1 的投料量，其等級產出比率(β_{ijg})約 0.8，因此決定 wafer 投入生產量(QW_{ijg})為 2766(=332/(0.15*0.8))，而因現有 wafer(w1)存貨 500 件，所以 w1 採購量(QP_{it})為 1566。
- 步驟五：顧客指定的效率區間決定分配成品之依據，例如顧客一所指定轉換效率區間為 15.8 至 16.2，平均轉換效率 15.8 與顏色 R 的成品，因此在分配需求時會以轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品存貨 1400 件先滿足，最後轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品還有 60 件成為期末成品存貨。因本週期 j2 型號現有成品存貨可因應而無進行規劃，因此 w2 的 1200 成為 wafer 存貨，其他剩餘成品存貨將為下週期之成品期初存貨，其他顧客分配方式如圖 4.6。

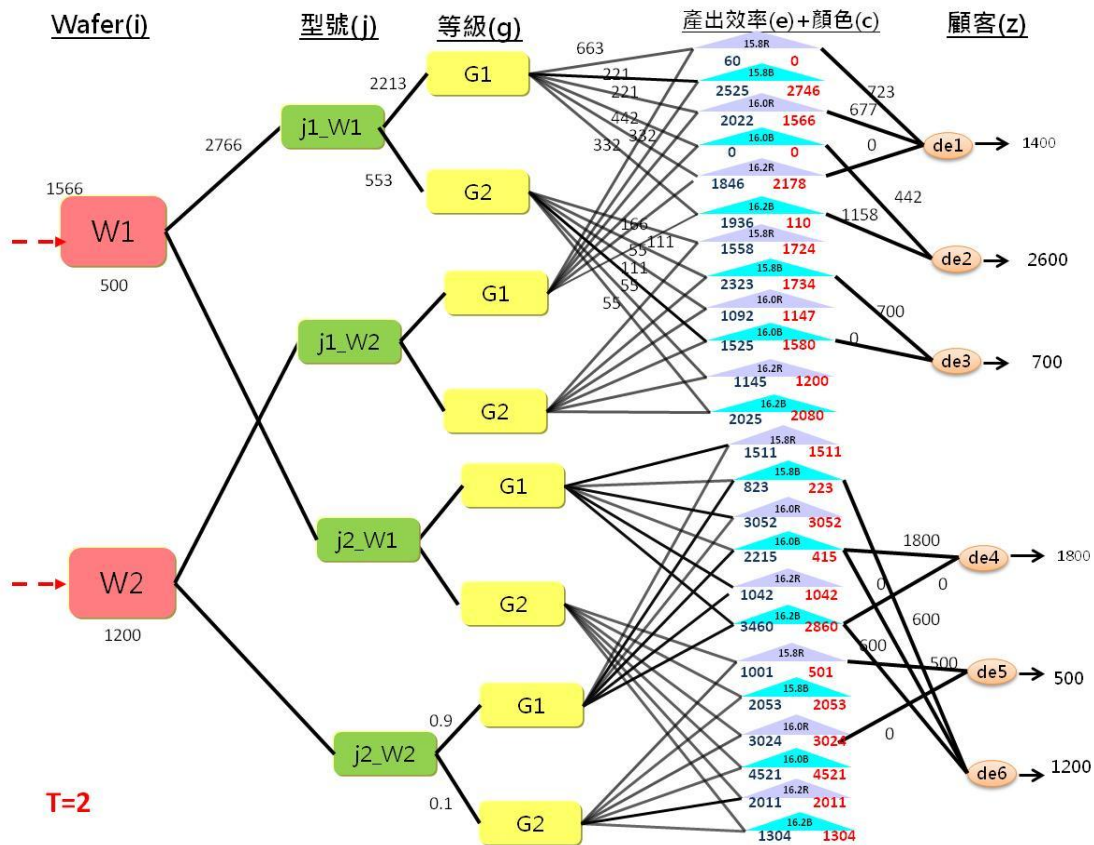


圖4.6 業界現行投料做法-週期二規劃結果(本研究整理)

週期三往後求解做法，也如同週期一與週期二的求解流程，因此將不再贅述，表 4.9 為四週期的求解結果。

表4.9 四週期內，產業現行做投料規劃

	週期一	週期二	週期三	週期四	總和
wafer 存貨成本	\$136,000	\$96,000	\$0	\$0	\$232,000
採購成本	\$0	\$135,960	\$688,200	\$1,496,040	\$2,320,200
生產成本	\$0	\$221,280	\$1,013,600	\$1,994,720	\$3,229,600
成品存貨成本	\$3,543,760	\$3,113,520	\$3,564,320	\$4,731,840	\$14,953,440
總存貨成本	\$3,679,760	\$3,209,520	\$3,564,320	\$4,731,840	\$15,185,440
成品存貨數	44,297	38,919	44,554	59,148	186,918
利潤	\$29,120,240	\$29,233,240	\$27,907,260	\$24,577,400	\$110,838,140

因週期一廠內以現有成品存貨因應，因此在週期一不會有採購成本與生產成本的支出，而在週期二的現有 wafer 存貨將全數使用完，在週期三

與週期四將無現有 wafer 存貨可用，因此週期三與週期四的總存貨成本只包括成品存貨成本。

4.2.1.2 PGP 模式規劃

企業在實務做法為不缺貨情形進行生產規劃，因此本節將依照 4.2.1.1 節產業數據進行 PGP 模式規劃，求解流程與 4.1 節的做法相似，因此只簡述表 4.10 求解結果。

表4.10 四週期內，PGP模式規劃結果

	週期一	週期二	週期三	週期四	總和
wafer 存貨成本	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
採購成本	\$0	\$87,647	\$708,257	\$1,144,936	\$1,940,840
生產成本	\$136,000	\$116,863	\$944,343	\$1,526,582	\$2,723,788
成品存貨成本	\$3,679,760	\$3,140,480	\$3,428,720	\$429,880	\$10,678,840
總存貨成本	\$3,679,760	\$3,140,480	\$3,428,720	\$429,880	\$10,678,840
成品存貨數	45,996	39,256	42,859	53,736	181,847
利潤	\$28,984,240	\$29,454,900	\$27,718,600	\$25,829,200	\$111,986,940

如表 4.10 可知 PGP 模式規劃結果，週期一時會將所有 wafer 存貨先進行投料，因此不會有 wafer 的存貨成本，總存貨成本只包括成品存貨成本。

表4.11 產業現行規劃與PGP模式比較

	產業現行規劃	PGP 模式	差異比率
wafer 存貨成本	\$232,000	\$0	100.00%
採購成本	\$2,320,200	\$1,940,840	16.35%
生產成本	\$3,229,600	\$2,723,788	15.66%
存貨成本	\$14,953,440	\$10,678,840	28.59%
總存貨成本	\$15,185,440	\$10,678,840	29.68%
存貨數	186,918	181,847	2.71%
利潤	\$110,838,140	\$111,986,940	1.04%

由表 4.11 可得知，若採用以本研究提出 PGP 模式進行生產規劃，將可

幫助企業先考量廠內期末成品存貨(QI_{jgect})，再考量利潤面的議題，如表 4.9 所示，獲利將可多增加約 1.04%，成品存貨數量降低 2.71%。

其主要原因為企業在生產規劃時，未考量到成品存貨數量(QI_{jgect})方面，透過本研究提出 PGP 模式進行生產規劃，可協助企業於生產規劃時同時考量期末成品存貨與利潤，以決定最適宜的 wafer 投料量，因此如表 4.11 可發現 PGP 模式顯著效益。

4.2.2 情境一：不同成本參數

本節將針對售價(sp_{jzt})、缺貨成本(cs_{jzt})與存貨成本(cf_{jgect})的不同組合，探討 wafer 投料量(QW_{it})、期末成品期末存貨量(QI_{jgect})與缺貨量(QS_{jzt})之影響，售價(sp_{jzt})、缺貨成本(cs_{jzt})與存貨成本(cf_{jgect})三個因子的高低組合，將有 8 種組合結果，如表 4.12 所示，目的為在測定不同之售價(sp_{jzt})、缺貨成本(cs_{jzt})與存貨成本(cf_{jgect})組合時，對於期末成品存貨量(QI_{jgect})與利潤之影響。

表4.12 情境一售價、缺貨成本與存貨成本之對應關係

	售價(sp_{jzt})	缺貨成本(cs_{jzt})	存貨成本(cf_{jgect})
1	高	高	高
2	高	高	低
3	高	低	高
4	高	低	低
5	低	高	高
6	低	高	低
7	低	低	高
8	低	低	低

為了解不同成本參數對求解結果的影響，表 4.13 為售價(sp_{jzt})、缺貨成本(cs_{jzt})與存貨成本(cf_{jgect})之成本高低設定。

表4.13 情境一售價、缺貨成本與存貨成本之參數

	售價(sp_{jzt})	缺貨成本(cs_{jzt})	存貨成本(cf_{jgect})
高	\$4000	\$800	\$80
低	\$2000	\$400	\$40

進行四週期的循序多目標求解，先進行存貨最小化再循序利潤最大化求解規劃，下述為週期四內，各成品期末存貨容忍度的總期末成品存貨數與利潤。

表4.14 週期四下，情境一不同成本組合之總利潤

$\varepsilon=0$	週期一	週期二	週期三	週期四	利潤總和
編號 1	\$28,984,240	\$27,779,440	\$13,124,040	\$16,767,880	\$86,655,600
編號 2	\$30,824,120	\$29,308,120	\$14,519,430	\$17,481,860	\$92,133,530
編號 3	\$28,891,200	\$28,013,600	\$13,633,480	\$20,350,990	\$90,889,270
編號 4	\$30,777,600	\$29,588,800	\$17,524,520	\$20,615,059	\$98,505,979
編號 5	\$12,584,240	\$12,468,640	\$7,568,004	\$4,410,431	\$37,031,315
編號 6	\$14,424,120	\$14,324,940	\$8,221,080	\$12,386,605	\$49,356,745
編號 7	\$12,584,240	\$12,524,640	\$6,879,364	\$4,668,155	\$36,656,399
編號 8	\$14,424,120	\$14,053,320	\$8,937,372	\$11,263,430	\$48,678,242

根據表 4.14 所示，以單因子售價(sp_{jzt})做分析，高售價(sp_{jzt})下編號 1 至編號 4，相較於低售價(sp_{jzt})下編號 5 至編號 8 的，高售價(sp_{jzt})的利潤營收較好。

表4.15 各週期下，情境一不同成本組合之期末成品存貨

期末成品存貨								
$\varepsilon=0$	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	編號 6	編號 7	編號 8
週期一	47,160	47,160	47,160	47,160	47,160	47,160	47,160	47,160
週期二	39,380	39,380	39,380	39,380	40,080	39,370	39,380	39,380
週期三	36,077	36,077	36,077	36,077	35,338	35,286	34,996	36,329
週期四	40,346	44,462	44,093	39,131	35,383	36,502	36,144	37,448
總存貨數	162,963	167,079	166,710	161,748	157,961	158,318	157,680	160,317

根據表 4.15 所示，以單因子售價(sp_{jzt})做分析，高售價(sp_{jzt})下編號 1 至編號 4，相較低售價(sp_{jzt})下編號 5 至編號 8，高售價(sp_{jzt})存貨數較多。

表4.16 各週期下，情境一不同成本之缺貨數量

缺貨數量								
$\varepsilon=0$	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	編號 5	編號 6	編號 7	編號 8
週期一	0	0	0	0	0	0	0	0
週期二	0	409	0	409	409	0	409	409
週期三	3,816	3,816	4,416	3,816	3,458	3,816	3,816	3,312
週期四	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600	5,600
總缺貨數	9,416	9,825	10,016	9,825	9,467	9,416	9,825	9,321

根據表 4.16 所示，以單因子售價(sp_{jzt})做分析，高售價(sp_{jzt})下編號 1 至編號 4，相較低售價(sp_{jzt})下編號 5 至編號 8，高售價(sp_{jzt})缺貨數量較多。

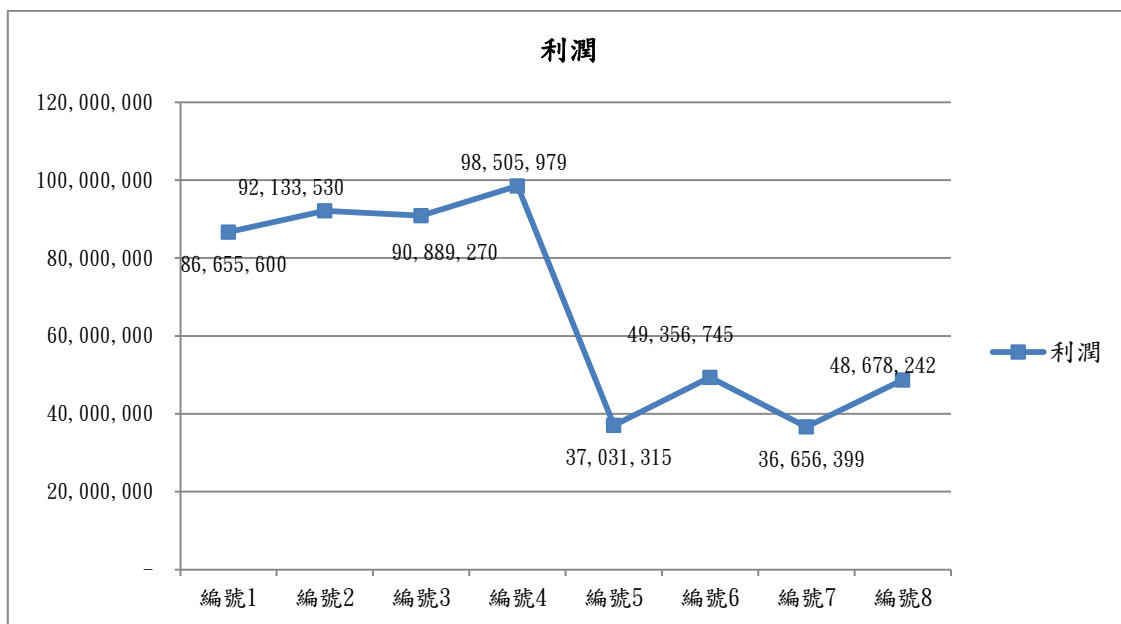


圖4.7 週期四下，情境一不同組合之總利潤曲線(本研究整理)

根據上圖 4.7 所示，以單因子售價(sp_{jzt})做分析，高售價(sp_{jzt})下編號 1 至編號 4，相較於低售價(sp_{jzt})下編號 5 至編號 8，高售價(sp_{jzt})的利潤營收較好。

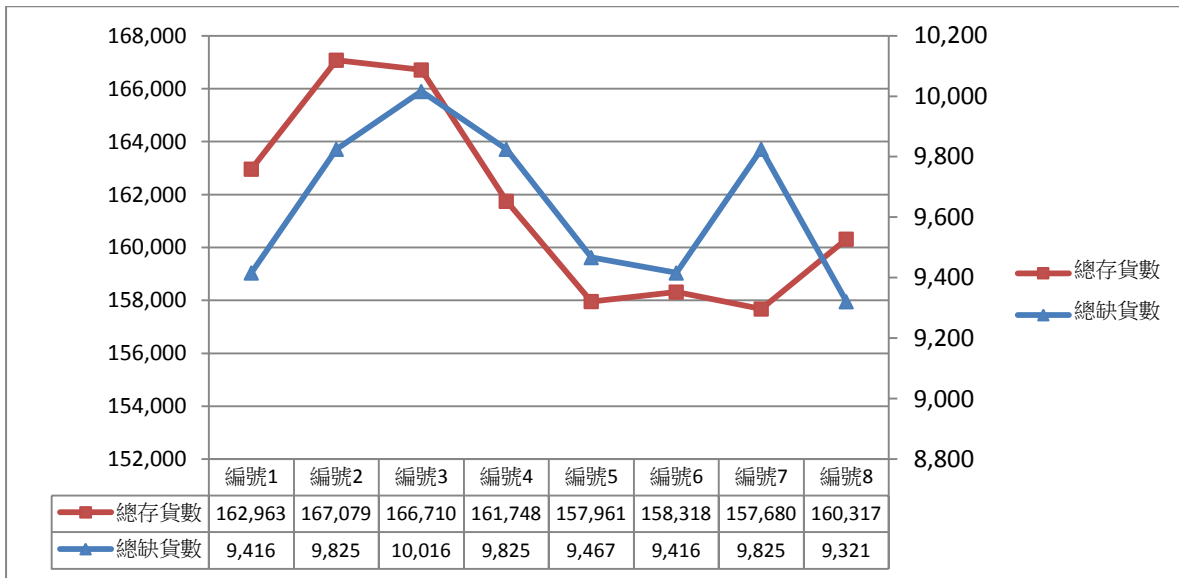


圖4.8 週期四下，情境一不同組合之成品期末存貨與缺貨數(本研究整理)

由上圖 4.8，可發現編號 2 的總成品存貨數偏高，編號 3 的總缺貨數偏高。接著，為了解不同組合的差異性，將總存貨數與總缺貨數設定基準值，總存貨數的基準值設定為 150,000，總缺貨數的基準值設定為 9,000，其差異百分比如圖 4.9 所示。

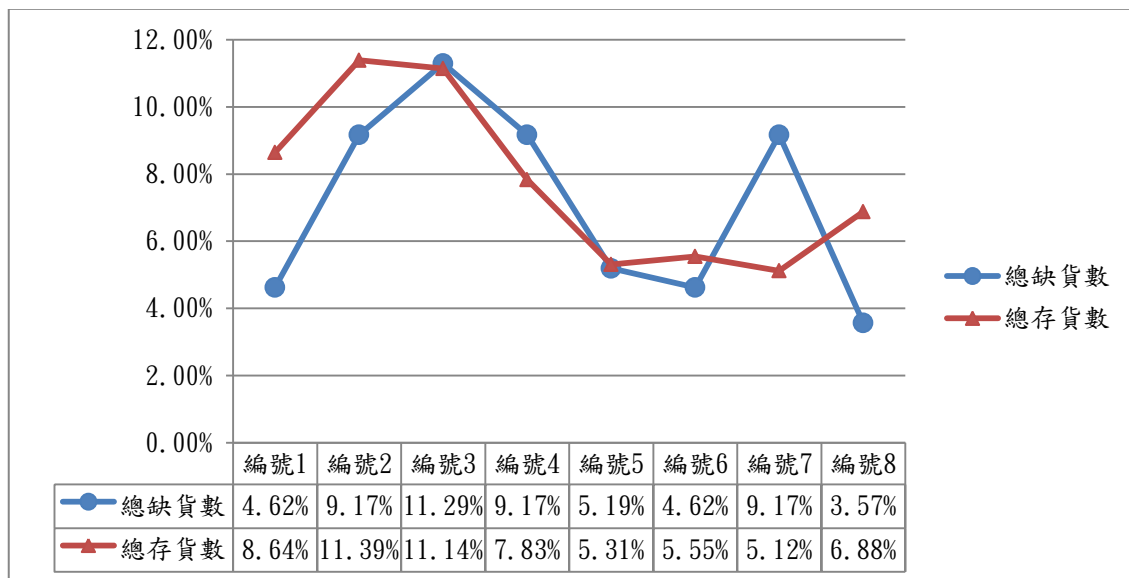


圖4.9 週期四下，情境一不同組合之成品期末存貨與缺貨數差異百分比率
(本研究整理)

根據圖 4.8 與圖 4.9，將有以下幾點發現：

1. 可發現不同成本組合對成品期末存貨(QI_{jgect})的影響，如編號 2 與編號 6 的期末成品存貨量(QI_{jgect})會偏高，乃因其為成品存貨成本(cf_{jgect})偏低，又缺貨成本(cs_{jzt})偏高，使得企業在進行決策時，廠內為了減少因缺貨

量(QS_{jzt})造成利潤下降的發生，因而多投入 wafer 進行生產，而成品效率(e)顏色(c)產出比例也將導致其他成品的產出，進而提高成品期末總存貨量($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$)。

2. 若成品存貨成本(cf_{jgect})偏高，缺貨成本偏低，如編號 3 與編號 7 成本組合，廠內會致力於減少成品期末總存貨量($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$)，減少投入 wafer 進行生產，因此也將面臨無法及時滿足顧客需求量(de_{jzt})，造成缺貨量(QS_{jzt})的偏高。
3. 在售價(sp_{jzt})高時，不同缺貨成本與存貨成本(cf_{jgect})組合下，利潤曲線以編號 4 的利潤最佳，編號 2 為次佳。編號 2 相對於編號 3 的利潤曲線較佳的原因，影響利潤最關鍵的部分在於存貨數量(QI_{jgect})的部分，因為成品效率(e)顏色(c)產出比例的緣故，間接產出的其他成品成為廠內的存貨(QI_{jgect})，得等顧客下單後才能銷售出去，因此當編號 3 成本組合的存貨成本(cf_{jgect})變高時，顯然利潤曲線表現不如編號 2。

綜合上述分析結果顯示，當存貨成本設定偏低時，總利潤的數值也較好，推論為因期末成品存貨量過多，所以當存貨成本偏高時，利潤的數值會偏低。此外，缺貨成本的高低對缺貨數量有些微影響，但對於利潤的影響不高，主要原因可能為缺貨數量變少，將需要投入大量 wafer 進行生產，而產出比率將導致曾加過多的期末成品存貨，而存貨成本也將隨之提高，雖然缺貨數減少有利於銷售收入的增加，但仍無法平衡成品存貨成本，使得利潤的影響變少。

4.2.3 情境二：顧客指定效率區間範圍

本節將針對顧客指定效率區間的不同組合，探討 wafer 投料量(QW_{it})、期末成品存貨量(QI_{jgect})與缺貨量(QS_{jzt})之影響，顧客指定效率區間的單因子 6 種組合結果，目的為測定顧客指定效率區間的組合，對期末成品存貨(QI_{jgect})、缺貨量(QS_{jzt})與利潤之影響，實驗組合如表 4.17 所示。

表4.17 情境二產出分佈曲線與顧客指定效率區間之組合

編號	顧客指定效率			
	週期一	週期二	週期三	週期四
1	不指定效率	不指定效率	不指定效率	不指定效率
2	指定兩種效率	指定兩種效率	指定兩種效率	指定兩種效率
3	指定單一效率	指定單一效率	指定單一效率	指定單一效率
4	不指定效率	不指定效率	指定單一效率	指定兩種效率
5	不指定效率	指定單一效率	指定單一效率	指定兩種效率
6	不指定效率	指定單一效率	指定兩種效率	指定兩種效率

在顧客指定轉換效率區間，本情境舉三種指定轉換效率區間的案例，下表為顧客不指定轉換效率區間下，即為顧客指定轉換效率區間皆為 15.8 至 16.2，顧客需求資訊如表 4.18 所示：

表4.18 情境二顧客需求資訊之不指定種效率區間

顧客	產品型號 (j)	指定等級 (g)	指定效率 區間	平均效率 (ae_{jzt})	指定顏色 (c)	數量 (de_{jzt})
de1	j1	G1	15.8~16.2	15.8	R	1400
de2	j1	G1	15.8~16.2	15.8	B	2600
de3	j1	G2	15.8~16.2	15.8	B	700
de4	j2	G1	15.8~16.2	15.8	B	1800
de5	j2	G1	15.8~16.2	15.8	R	1500
de6	j2	G2	15.8~16.2	15.8	B	600

在顧客指定轉換效率區間，下表為顧客指定兩種轉換效率區間下，即為顧客指定效率區間可能是 15.8 至 16.0，或轉換效率區間 16.0 至 16.2，顧客需求相關資訊如表 4.19 所示：

表4.19 情境二顧客需求資訊之指定兩種效率區間

顧客	產品型號 (j)	指定等級 (g)	指定效率 區間	平均效率 (ae_{jzt})	指定顏色 (c)	數量 (de_{jzt})
de1	j1	G1	15.8~16.0	15.8	R	1400
de2	j1	G1	16.0~16.2	16.0	B	2600
de3	j1	G2	16.0~16.2	16.0	B	700
de4	j2	G1	15.8~16.0	15.8	B	1800
de5	j2	G1	16.0~16.2	16.0	R	1500
de6	j2	G2	16.0~16.2	16.0	B	600

在顧客指定轉換效率區間，下表為顧客指定一種轉換效率區間下，即為顧客指定效率區間可能是轉換效率(e)15.8、轉換效率(e)16.0 或轉換效率(e)16.2，顧客需求相關資訊如表 4.20 所示：

表4.20 情境二顧客需求資訊之指定單一效率區間

顧客	產品型號 (j)	指定等級 (g)	指定效率 區間	平均效率 (ae_{jzt})	指定顏色 (c)	數量 (de_{jzt})
de1	j1	G1	15.8	15.8	R	1400
de2	j1	G1	16.0	16.0	B	2600
de3	j1	G2	16.2	16.2	B	700
de4	j2	G1	15.8	15.8	B	1800
de5	j2	G1	16.0	16.0	R	1500
de6	j2	G2	16.2	16.2	B	600

進行四週期的 PGP 模型求解，先進行存貨最小化再循序利潤最大化求解規劃，下述為週期四內，各成品期末存貨容忍度的總期末成品存貨數 ($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$) 與利潤。

表4.21 週期四下，情境二不同成本組合之總利潤

$\varepsilon=0$	週期一	週期二	週期三	週期四	利潤總和
編號 1	30,435,600	31,350,880	28,296,560	22,612,159	112,786,799
編號 2	30,527,200	25,710,560	21,289,548	18,748,369	96,275,677
編號 3	26,925,680	9,285,320	18,233,097	18,819,640	73,263,737
編號 4	30,435,600	31,259,280	12,427,280	44,729,050	118,851,210
編號 5	30,435,600	19,020,240	25,997,870	32,376,420	107,830,130
編號 6	30,435,600	19,020,240	31,868,600	10,867,120	92,191,560

根據表 4.21 所示，先檢視的編號 1、編號 2 與編號 3，可發現顧客不

指定轉換效率區間如編號 1，相較於顧客指定單一轉換效率如編號 3，以顧客不指定轉換效率區間的利潤較佳。

表4.22 週期四下，情境二不同成本組合之存貨數

$\varepsilon=0$	週期一	週期二	週期三	週期四	總存貨數
編號 1	47,855	39,259	31,398	26,431	144,943
編號 2	47,588	39,923	35,436	37,087	160,034
編號 3	48,628	47,801	66,276	68,836	231,541
編號 4	47,855	39,259	34,659	36,871	158,644
編號 5	47,855	41,767	47,394	49,815	186,831
編號 6	47,855	41,767	31,642	26,081	147,345

根據表 4.22 所示，先檢視編號 1、編號 2 與編號 3，可發現顧客不指定轉換效率區間如編號 1，相較於顧客指定單一轉換效率如編號 6，以顧客不指定轉換效率區間的總存貨量($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$)較少。

表4.23 週期四下，情境二不同成本組合之缺貨數

	週期一	週期二	週期三	週期四	總缺貨數
編號 1	0	0	739	2,600	3,339
編號 2	0	664	2,653	4,594	7,911
編號 3	738	4,970	5,664	5,993	17,365
編號 4	0	0	4,000	0	4,000
編號 5	0	2,508	2,506	1,090	6,104
編號 6	0	2,508	0	4,468	6,976

根據表 4.23 所示，檢視編號 1、編號 2 與編號 3，可發現顧客不指定轉換效率區間如編號 1，相較於顧客指定單一轉換效率如編號 6，以顧客不指定轉換效率區間的缺貨量(QS_{jzt})較少。

當顧客指定轉換效率區間的範圍較廣泛，利潤的數值表現也較佳，其主要原因為當顧客指定轉換效率區間越窄，能滿足顧客需求的方式不彈性，期末成品存貨量與缺貨數量(將越多，進而導致利潤降低。

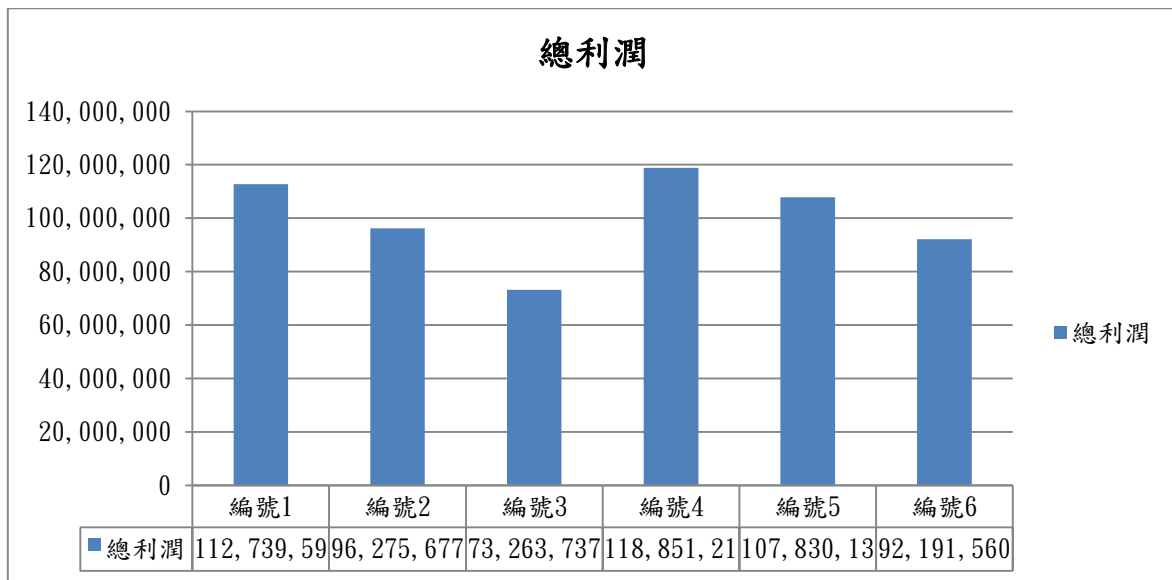


圖4.10 週期四下，情境二不同組合之總利潤(本研究整理)

根據圖 4.10 所示，當顧客指定效率區間的範圍較廣泛，其缺貨率發生率較低。其主要原因在於當顧客指定效率區間範圍越廣泛時，只要滿足顧客所指定的最小平均效率需求，可分配於顧客多種效率成品。舉例說明，如編號 1 與編號 3，編號 1 為顧客不指定轉換效率區間，即表示滿足顧客成品需求包括轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)、轉換效率 16.0 顏色 R(16.0R) 與轉換效率 16.2 顏色 R(16.2R)三種成品規格；而編號 3 為顧客指定單一轉換效率，即表示只有轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)的成品規格能滿足顧客需求。因此當指定效率區間越廣泛，可分配的成品需求方式越彈性，進而降低無法滿足顧客需求的發生率。

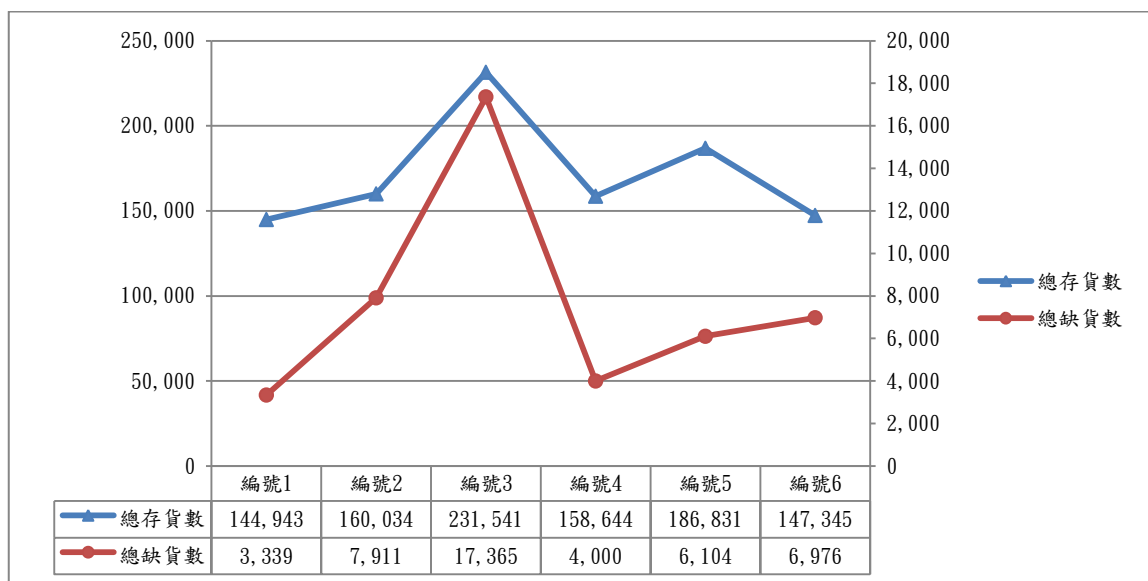


圖4.11週期四下，情境二不同組合之缺貨數與存貨數差異(本研究整理)

如圖 4.11，可發現編號 3 的期末成品總存貨數與總缺貨數偏高。為了解不同組合的差異性，將總存貨數與總缺貨數設定基準值，總存貨數的基準值設定為 140,000，總缺貨數的基準值設定為 3,000，其差異百分比如圖 4.12 所示。

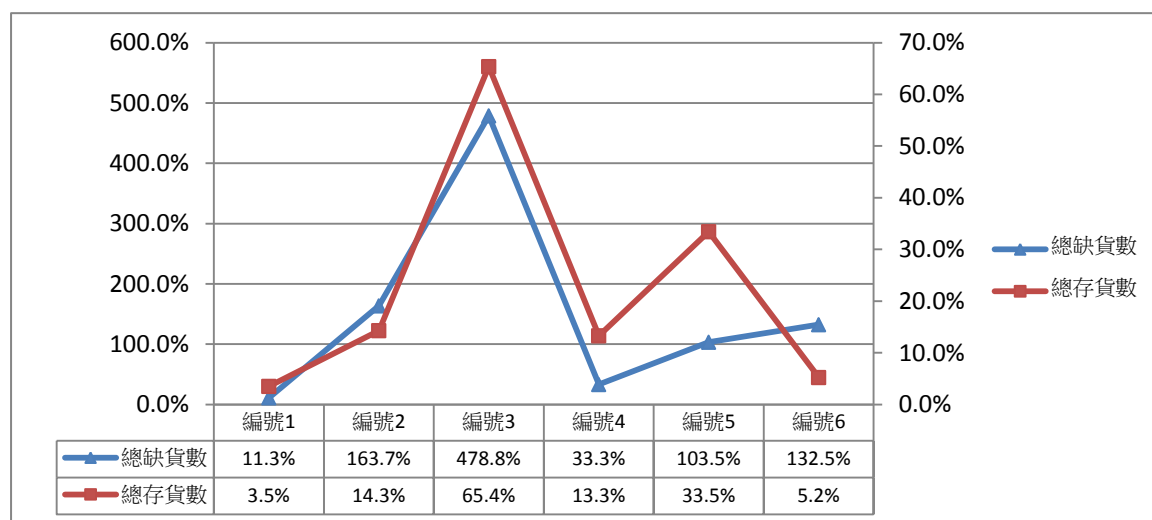


圖4.12週期四下，情境二不同組合之缺貨數與存貨數差異百分比
(本研究整理)

根據上圖 4.11 與圖 4.12 得知，當顧客指定轉換效率區間的範圍較廣泛，成品期末存貨數 ($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$) 也會下降，因為當顧客只有指定一種轉換效率，若廠內無現有存貨可因應，得進行生產以滿足顧客需求，而又成品產出比率問題，導致其餘成品存貨數 ($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$) 的增加。舉例說明，如編號 1 與編號 3，編號 1 為顧客不指定轉換效率區間，即表示滿足顧客成品需求包括轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R)、轉換效率 16.0 顏色 R(16.0R) 與轉換效率 16.2 顏色 R(16.2R) 三種成品規格；而編號 3 為顧客指定單一轉換效率，即表示只有轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R) 的成品規格能滿足顧客需求，因此廠內得再針對轉換效率 15.8 顏色 R(15.8R) 的成品規格進行生產，而又因產出比例的問題，將生產出其他成品如規格轉換效率 15.8 顏色 B(15.8B)、轉換效率 16.0 顏色 B(16.0B) 的成品規格... 等。因此當指定效率區間越狹窄，可分配的成品需求方式越不彈性，進而增加廠內成品期末存貨量 ($\sum_j \sum_g \sum_e \sum_c QI_{jgect}$)。

另一方面，當顧客指定轉換效率區間的範圍較廣泛，利潤的數值表現

也較佳，其主要原因為當顧客指定轉換效率區間越窄，能滿足顧客需求的方式不彈性，期末成品存貨量與缺貨數量將越多，進而導致利潤降低。

綜合上述分析可知顧客指定轉換效率區間的廣度，將影響利潤、缺貨與存貨相關成本，因此若顧客指定轉換效率區間越窄，將導致發生廠內存貨成本與缺貨成本偏高，或許得向顧客提高售價，以平衡存貨與缺貨成本的損失。

第五章 結論與未來發展

5.1 結論

本研究主要以矽晶太陽能電池產業為研究背景，考量其複雜生產環境特性，並考量過去一般生產規劃模式所考量之特性，如產能上限、物料供需平衡...等特性，提出 PGP 生產規劃模式，先進行最小化存貨量，再循序進行利潤最大化的投料規劃，能先以降低廠內成品期末存貨為前提下，再進行利潤最大化之生產規劃，依本模式之循序多目標求解方式，將可提供企業考量不同期末成品存貨容忍度時，如何在利潤方面做取捨。最後，以矽晶太陽能電池產業之現行作法相比，以驗證本模式之可行性與實用性。

此外，根據實驗結果可得知，在不同成本之組合時，影響利潤的主要關鍵為成品期末存貨數量。再者，顧客指定產品效率區間也將影響成品期末存貨數量。

5.2 未來發展方向

本研究所提出之模式在小規模問題下具有最佳之求解結果，因此建議未來的研究方向可發展演算法，以期在大規模問題下，可有效求解所提出之數學模式，因此建議未來可改進的研究方向如下：

1. 考量其物料清單如網版與膠等物料的生產規劃
2. 為避免效率檢驗判斷不一致，在 sorter 製程需固定機台做檢驗，未來可再多考量機台指定變數

參考文獻

- 王立志(1999)。系統化運籌與供應鏈管理。台中市：滄海出版社。
- 翁敏航(2013)。太陽能電池:原理.元件.材料.製程與檢測技術。東華書局。
- 沈輝(2008)。太陽能光電技術。五南圖書。
- 李雯雯(2005)。太陽能光電技術。工業技術學院。
- 邱昱芳(2011)。太陽能光電製造業基本資料。台灣經濟研究院產經資料庫。
- 蔡忠軒(2012)。考量碳排放之綠色供應鏈生產規劃模式-以矽晶太陽能電池產業為例(碩士論文)。東海大學，台中市。
- 王佐益(2012)。太陽能電池之確定性與隨機性生產計畫模型(碩士論文)。清華大學，新竹市。
- 張晉璋(2011)。考量專用機台及整備時間之混合流程型批量流問題排程最佳化模式—以太陽能電池產業為例(碩士論文)。東海大學，台中市。
- 黃宏文(1994)。晶圓製造廠生產作業控制策略之建構(碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 陳致亨(1993)。產能限制驅導現場管理模式建立—以紡織業為例(碩士論文)。中原大學，桃園市。
- Chien, C.-F., J.-Z. Wu & Y.-D. Weng (2010) Modeling order assignment for semiconductor assembly hierarchical outsourcing and developing the decision support system. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 22, 109-139.
- Charnes, A. and Cooper, W. W., Management Models and Industrial Applications of Linear Programming, *John Wiley and Sons*, Vols. 1 & 2, New York, NY, 1961.
- Glasse, C. R. & M. G. C. Resende (1988) A scheduling rule for job release in semiconductor fabrication. *Operations Research Letters*, 7, 213-217.
- Goldratt, E. M., and R. E. Fox., 1986. *The Race*. North River Press.
- Goldratt, E. M. a. K., R. 1979. *Optimised Production Technology*. Scheduling Technology Group.
- Huan-Neng, C., L. Chien-Te, H. Deng-Kui & C. Wen-Hong. 2012. A fuzzy multi-objective supply chain production planning model: A case of the network product manufacturing industry in Taiwan. In *Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2012 9th International Conference on*, 191-196.
- J. Browne, G. L., R. Bowden, J. Duggan, A. Bauer, Alfred Bauer. 1991. *Shop Floor Control Systems*
- Jamalnia.A., Soukhakian.M.A. A hybrid fuzzy goal programming approach with different goal priorities to aggregate production planning, *Computers and Industrial Engineering*. Vol 56, 2009, PP 1474–1486
- Johri, P. K. (1992) Optimal partition for shop floor control in semiconductor wafer fabrication. *European Journal of Operational Research*, 59, 294-297.
- Kendall, K. E. & M. J. Schniederjans (1985) Multi-product production planning: A goal

- programming approach. *European Journal of Operational Research*, 20, 83-91.
- Leung, S. C. H. & S. S. W. Chan (2009) A goal programming model for aggregate production planning with resource utilization constraint. *Computers & Industrial Engineering*, 56, 1053-1064.
- Lin, J. T., F. K. Wang & C. C. Peng (2008) Lot release times and dispatching rule for a TFT-LCD cell process. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24, 228-238.
- Lou, S. a. P. W. K. (1989) A Robust Production Control Policy for VLSI Wafer Fabrication. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 2, 159-164.
- Maravelias, C. T. & C. Sung (2009) Integration of production planning and scheduling: Overview, challenges and opportunities. *Computers & Chemical Engineering*, 33, 1919-1930.
- Melnyk, S. C., Phillip L.; Dilts, David M; Lyth, David M. 1985. *Shop Floor Control*.
- Paksoy, T., E. Ozceylan & G.-W. Weber (2010) A MULTI OBJECTIVE MODEL FOR OPTIMIZATION OF A GREEN SUPPLY CHAIN NETWORK. *AIP Conference Proceedings*, 1239, 311-320.
- Romero, C. (2004) A general structure of achievement function for a goal programming model. *European Journal of Operational Research*, 153, 675-686.
- Spearman, M. L., David L. woodruff, and Wallace J. Hopp (1990) CONWIP: A Pull Alternative to Kanban. *International Journal of Production Research*, 28.
- Steven A. Melnyk, P. L. C., Walter R. Gartman. 1987. *Production Activity Control: A Practical Guide*. Business One Irwin.
- Tunc, E. A. & J. Haddock (1992) Production and work force planning in manufacturing systems for long-cycle products: A survey. *Journal of Manufacturing Systems*, 11, 238-245.
- Wang, L.-C., Y.-Y. Chen, T.-L. Chen, C.-Y. Cheng & C.-W. Chang (2013) A hybrid flowshop scheduling model considering dedicated machines and lot-splitting for the solar cell industry. *International Journal of Systems Science*, 1-17.
- Wein, L. M. (1988) Scheduling Semiconductor Wafer Fabrication. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 1, 115-130.
- Wight, O. W. (1985) Input / Output Control : a Real Handle on Lead Times. *Production and Inventory Management*, 11.
- Yang, J., H. Yan & S. P. Sethi (1999) Optimal production planning in pull flow lines with multiple products. *European Journal of Operational Research*, 119, 582-604.