

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

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

研 究 生：蔡忠軒

指導教授：王立志 教授

中 華 民 國 一〇一 年 六 月

**The green supply chain production planning model
with carbon emission in the solar cell industry**

By
Chung-Hsuan Tsai

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 2012
Taichung , Taiwan , Republic of China

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

學生：蔡忠軒

指導教授：王立志 博士

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快速變遷，使得各國政府與各國企業逐漸注重其環保策略。以企業而言，過去傳統之供應鏈架構已轉變成結合逆物流之封閉式之供應鏈(Close Loop Supply Chain; CLSC)架構，綠色供應鏈由此而生。企業必須重新思考，在此種環境下如何進行生產規劃，以有效協調各廠區的供給及面對全球的需求。本研究將在此綠色供應鏈架構下，提出一多目標混整數規劃模型，以進行綠色供應鏈之生產規劃模式，並同時考量經濟面(成本)與環境面(碳排放量)兩種規劃目標，藉由多目標之柏拉圖前緣找出兩者目標之間的關係。此模式可決定在不同的經濟與環境目標之水準下，其整體供應鏈之需求配置結果，並包含了各廠之生產品項與數量、各廠一手物料與二手物料之採購數量以及逆物流回收產品之拆解程度，以作為生管人員在進行生產規劃時之參考依據。

最後，本研究將以矽晶太陽能電池產業為例，以驗證本模式之適用性及可行性，並進行敏感度分析，根據實驗結果可知單廠區之減碳策略對整體供應鏈之影響，以及在不同之採購成本組合下，對製造廠選用一手物料與二手物料之影響，進而決定回收二手產品之拆解還原程度。

關鍵字詞：綠色供應鏈、生產規劃模式、永續製造、矽晶太陽能電池產業、多目標混整數線性規劃

The green supply chain production planning model with carbon emission in the solar cell industry

Student: Chung-Hsuan Tsai

Advisor: Prof. Li-Chih Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

In recent years, due to the rapidly changing of global climate and rising of environmental consciousness, governments and foreign enterprises gradually focus on environmental strategies. The traditional supply chain structure has been transformed into a combination of reverse logistics closed-loop supply chain architecture. Thus, green supply chain is addressed. Companies must to consider how to effectively coordinate the supply of each plant and face the global demands by using production planning strategies in such environment. This paper presents the integrated green (closed-loop) supply chain model considering logistics network, capacity, inventory, and raw materials selection (new or second-hand). A multi-objective mixed integer programming (MOMIP) model that involves the tradeoffs between economic and environmental perspectives under the total operating cost and the carbon dioxide (CO₂) emission strategies is developed. In the numerical evaluation and results, we analyzed the relationship between the total cost and carbon emission in the integrated supply chain network by Pareto-optimal front.

Finally, the proposed MOMIP model is applied in a crystalline silicon solar energy industry to illustrate the efficiency and advantage for the production planning in the green supply chain in practice. Experimental results shows that the single-plant carbon reduction strategy for the overall supply chain. Which influences also reveal the cost of procurement, selection of first-hand materials and secondary materials in different combinations as well, and then decided to recycle used products disassembled degree of reduction.

Keywords: Green Supply Chain, Production Planning Model, Sustainable Manufacturing, Solar Cell Industry, Multi-Objective Mixed Integer Programming

誌謝

兩年的研究所生活即將結束，在此兩年裡，除了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相處的方法，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。

本論文得以完成，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的進度之下，論文才能夠如期的完成，且讓我有機會瞭解實際業界營運情形，並將理論結合實務，體驗到與別人不同的學習經驗。此外，特地感謝虎尾科技大學 陳盈彥老師，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、輔仁大學 陳子立老師以及鄭辰仰老師提供寶貴的意見，使本研究能夠有更完善的成果。

在碩士生活裡，感謝淑芬學姊，在我做研究感到最迷惘的時候，能適時對我伸出援手並給予明確的建議；此外，還要感謝阿楷、阿卜、翟妹和中俊等研究室夥伴，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賈玫、大樹、JL、梓皓、駿威、依柔及小眼睛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。

蔡忠軒 謹致於
東海大學工業工程與經營資訊學系
民國一〇一年六月

目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
誌謝.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.1.1 研究背景.....	1
1.1.2 研究動機.....	2
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究步驟與方法.....	3
第二章 文獻探討	5
2.1 綠色供應鏈.....	5
2.1.1 綠色供應鏈介紹.....	5
2.1.2 綠色供應鏈之相關議題.....	7
2.1.3 碳資產管理.....	9
2.2 供應鏈之生產規劃模式.....	11
2.2.1 傳統供應鏈之生產規劃模式.....	11
2.2.2 綠色供應鏈之生產規劃模式.....	13
2.3 太陽能產業介紹.....	17
2.3.1 太陽能電池種類.....	17
2.3.2 矽晶太陽能產業鏈現況.....	19
2.3.3 太陽能電池回收趨勢與技術.....	21
第三章 整合型綠色供應鏈之生產規劃模式	23
3.1 問題描述.....	23
3.2 整合型綠色供應鏈之生產規劃模式說明.....	24
3.2.1 假設條件.....	25
3.2.2 已知資訊.....	25
3.2.3 符號定義.....	26
3.2.4 多目標混整數線性規劃模式.....	33

3.2.5 多目標之求解流程.....	46
3.3 模式範例.....	49
3.3.1 模式範例相關數據.....	49
3.3.2 模式範例之實驗環境.....	56
3.3.3 模式範例結果.....	56
第四章 模式評估與分析	61
4.1 產業案例	61
4.1.1 產業案例相關數據.....	61
4.1.2 產業案例結果.....	64
4.2 模式分析	69
4.2.1 情境一 單廠區之減碳策略.....	69
4.2.2 情境二 物料之選用策略.....	73
第五章 結論與未來發展方向	80
5.1 結論.....	80
5.2 未來發展方向.....	80
參考文獻.....	81
附錄一 模式範例最低經濟目標之規劃結果	85
附錄二 產業案例之已知資訊	102
附錄三 產業案例最低經濟目標之規劃結果	116

圖目錄

圖 1.1 本研究之架構與流程.....	4
圖 2.1 傳統之供應鏈架構.....	5
圖 2.2 逆物流功能與封閉式供應鏈架構.....	6
圖 2.3 永續供應鏈管理架構圖.....	7
圖 2.4 太陽能電池種類.....	17
圖 2.5 太陽能電池種類比例估計.....	18
圖 2.6 太陽能電池構造與發電原理.....	18
圖 2.7 矽晶太陽能電池產業鏈.....	19
圖 2.8 太陽能產業鏈結構.....	20
圖 2.9 國內太陽能廠商概況.....	21
圖 2.10 矽晶太陽能電池再製製程.....	22
圖 3.1 整合型綠色供應鏈架構.....	23
圖 3.2 產品結構示意圖.....	24
圖 3.3 ϵ -限制法之求解步驟流程圖.....	47
圖 3.4 本研究 ϵ -限制法之流程圖.....	48
圖 3.5 模式案例之產品 BOM 架構圖.....	49
圖 3.6 模式範例之柏拉圖曲線.....	58
圖 4.1 矽晶太陽能之綠色供應鏈架構示意圖.....	62
圖 4.2 產業案例之 SYSTEM 種類 1 之 BOM 架構圖.....	62
圖 4.3 產業案例之 SYSTEM 種類 2 之 BOM 架構圖.....	63
圖 4.4 產業案例之柏拉圖曲線.....	66
圖 4.5 碳排放限制為 1,860,000 時的訂單配置之部分結果.....	68
圖 4.6 各減碳百分比之經濟目標趨勢圖.....	71
圖 4.7 各減碳百分比下之成本差額趨勢圖.....	71
圖 4.8 各減碳百分比之環境目標趨勢圖.....	72
圖 4.9 各減碳百分比下之碳排放量差額趨勢圖.....	73
圖 4.10 不同之採購成本組合選用一手物料之比例.....	76
圖 4.11 不同之採購成本組合之經濟目標.....	77
圖 4.12 不同之採購成本組合之環境目標.....	78

表目錄

表 2.1 近期綠色供應鏈生產規劃模式之相關文獻.....	15
表 3.1 範例問題之已知資料：顧客需求量.....	50
表 3.2 範例問題之已知資料：成品廠至顧客之運輸成本.....	50
表 3.3 範例問題之已知資料：顧客端至 COLLECT 據點之運輸相關資訊.....	50
表 3.4 範例問題之已知資料：每期可由顧客端回收之數量.....	50
表 3.5 範例問題之已知資料：各廠間之運輸相關資訊-1.....	51
表 3.6 範例問題之已知資料：各廠間之運輸相關資訊-2.....	52
表 3.7 範例問題之已知資料：各廠間之運輸相關資訊-3.....	52
表 3.8 範例問題之已知資料：各廠之生產相關資訊.....	54
表 3.9 範例問題之已知資料：各廠之產能限制與存貨上限.....	55
表 3.10 範例問題之已知資料：供應商與二手市場之供給限制.....	56
表 3.11 範例問題之已知資料：半成品之生產良率.....	56
表 3.12 範例問題之已知資料：拆解成品之良率.....	56
表 3.13 範例問題之已知資料：產品之缺貨處罰成本.....	56
表 3.14 範例問題之已知資料：其他相關成本.....	56
表 3.15 經濟目標最小化與環境目標最小化之求解結果.....	57
表 3.16 不同環境目標限制之求解結果.....	57
表 4.1 已知資料：顧客需求量.....	63
表 4.2 已知資料：每期可由顧客端回收之 MODULES 數量.....	63
表 4.3 經濟目標最小化之目標值.....	65
表 4.4 環境目標最小化之目標值.....	65
表 4.5 不同環境目標限制之目標值.....	65
表 4.6 產業案例中最低經濟目標之各廠總碳排放量.....	69
表 4.7 減碳後，各 WAFER 製造廠廠之總碳排放量.....	70
表 4.8 各減碳百分比之經濟目標與環境目標.....	70
表 4.9 物料來源之比例.....	74
表 4.10 採購成本之對應關係.....	75
表 4.11 規劃結果之物料使用比例與其目標值.....	75

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

1.1.1 研究背景

近年來，由於環保意識之高漲與全球氣候快速變遷，使得各國政府與各國企業逐漸注重其環保策略。以企業而言，首當其衝即是供應鏈架構之改變，過去傳統供應鏈以顧客做為供應鏈終點之觀念已改變，逆向供應鏈之發展逐漸完善，即顧客使用過的產品將進行回收、拆解、再利用，綠色供應鏈之概念由此產生。然而，在此封閉式之供應鏈(Close Loop Supply Chain; CLSC)架構下，企業必須重新思考，在此種環境下如何進行生產規劃，以有效協調各廠區的供給及面對全球的需求。

此外，為了因應全球暖化問題，京都議定書已於 2005 年正式生效，亦即正式宣告即將進入「低碳」世界，碳資產管理成為國際間高度重視之議題。各家企業無不開始注意其生產與運輸過程中，所產生的二氧化碳排放量，並期望透過更有效率以及較環保之生產規劃，來減少企業之碳排放，以避免碳成本產生。另一方面，有鑑於不可再生資源之消耗趨勢逐漸遞增，企業間興起一波回收之熱潮。亦將透過回收生命週期結束(End-of-Life; EOL)之產品，經過拆解、翻修或重製等程序後投入供應鏈中進行生產。此營運模式不但可幫助企業提供一條另類的原物料供應管道，並降低新物料採購之營運成本外，更有助於減緩有限資源之消耗。

以矽晶太陽能電池產業現況為例，由於中下游廠商如雨後春筍般蓬勃發展，但多晶矽原料廠商因投資門檻高與擴廠前置時間長之影響，多數矽原料供應廠商不敢貿然擴廠。因此，中下游廠所面臨原物料供不應求的問題在短時間內無法獲得解決。而透過逆物流回收取得再生矽原料與其他稀有金屬，以目前技術而言是一個可行方案。然而，企業如何從一封閉式的供應鏈架構掌握從逆物流回收之二手模組數量趨勢，以及該如何在一手原物料與二手原物料間進行取捨，將是企業在邁入低碳化之綠色供應鏈架構之一大挑戰。

1.1.2 研究動機

承如上節所述，企業為了避免上游因為市場波動而使原物料供應短缺，以及減少二氧化碳等溫室氣體排放，開始針對顧客淘汰之產品進行回收與再製。當企業從原本傳統供應鏈之正向開放式迴路(opened-loop)架構走向綠色供應鏈之封閉式迴路(closed-loop)後，供應鏈之生產規劃方式將有所改變，雖然其規劃目的依舊決定各訂單由哪些製造廠及哪些品項生產而成，但考量之因素與限制卻比過去複雜許多。如正向供應鏈之各個製造廠在採購原物料時，如何從一手物料與二手物料進行選擇；逆物流之拆解廠在進行拆解時，應該將回收之產品拆解至哪一種程度，這些皆是過去傳統供應鏈之生產規劃不需考量之問題。除此之外，整體綠色供應鏈在生產與運輸的過程中對環境的影響，亦須被考量，企業在進行規劃時，將不能再以經濟目標最小為目標，則必須同時考量環境因素。

從過去文獻中，綠色供應鏈管理探討的議題較多落在逆向供應鏈相關議題(如二手物料及拆解排程)，鮮少有整體綠色供應鏈的總體之生產規劃。直到近幾年，才逐漸有學者針對此部分開始進行研究，如 Sheu 等人(2005)從利潤角度探討正逆向供應鏈中各週期的一手原物料與二手原物料的使用數量；以數理規劃之模式求取整體供應鏈淨利最大化(包含正向供應鏈與逆向供應鏈)，其考慮單一產品在整體綠色供應鏈上之活動，並且未探討其規劃結果對環境之影響。而過去文獻中，雖有部分文獻同時考量經濟目標與環境目標，但卻缺少全面性的考量。因此，本研究將提出一套整合綠色供應鏈之生產規劃模式，並可透過此模型提供企業進行生產規劃時，以不同經濟目標與環境衝擊進行評估。簡而言之，本研究所考量之特性如下：

1. 經濟與環境(碳排放量)層面之多目標規劃
2. 綠色供應鏈之封閉式架構之生產環境
3. 半成品之等級與拆解產品之良率
4. 多對多產品替代的特性
5. 考量原物料與二手產品供給數量的限制
6. 各廠區的生產限制(產能、生產能力等)與廠區間的運輸限制
7. 運輸及生產前置時間

1.2 研究目的

基於上述背景與動機，本研究將針對多階多廠之綠色供應鏈架構下，探討供應鏈網絡生產規劃問題，並整合環境議題所牽涉到經濟與環境層面之取捨，提出一多目標之混整數線性規劃(Multi-Objective Mixed Integer Linear Programming; MOMILP)模式在考量上節敘述之特性下，進行綠色供應鏈之生產規劃，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. 歸納過去供應鏈生產規劃之相關文獻所考量之特性
2. 發展一套多目標的綠色供應鏈之生產規劃模式：

以此模式可決定在不同的經濟與環境目標之水準下，其整體供應鏈之訂單配置結果，並包含了各廠之生產品項與數量、各廠一手物料與二手物料之採購數量以及逆物流回收產品之拆解程度，以作為生管人員在進行生產規劃時之參考依據。

3. 經由模式評估與分析，探討如下結果：
 - (1) 以產業案例驗證本模式之適用性及可行性。
 - (2) 透過實驗驗證本模式之正確性及合理性，並進行敏感度分析，如單廠之減碳策略對整體供應鏈效益之影響以及一手物料與二手物料在不同的採購成本組合下，該如何進行取捨。

1.3 研究步驟與方法

為達到上述之研究目的，本研究依據圖 1.1 的研究步驟進行。

1. 綠色供應鏈生產規劃模式之定義、建模及求解技術：本研究針對綠色供應鏈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，並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. 矽晶太陽能電池鏈產業特性瞭解：針對矽晶太陽能電池產業之供應鏈特性進行分析整理。
3. 問題定義與描述：根據綠色供應鏈生產規劃模式考量之特性，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. 整合型綠色供應鏈之生產規劃模式：提出一多目標混整數線性規劃模式 (MOMILP)，以解決綠色供應鏈之生產規劃問題，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。

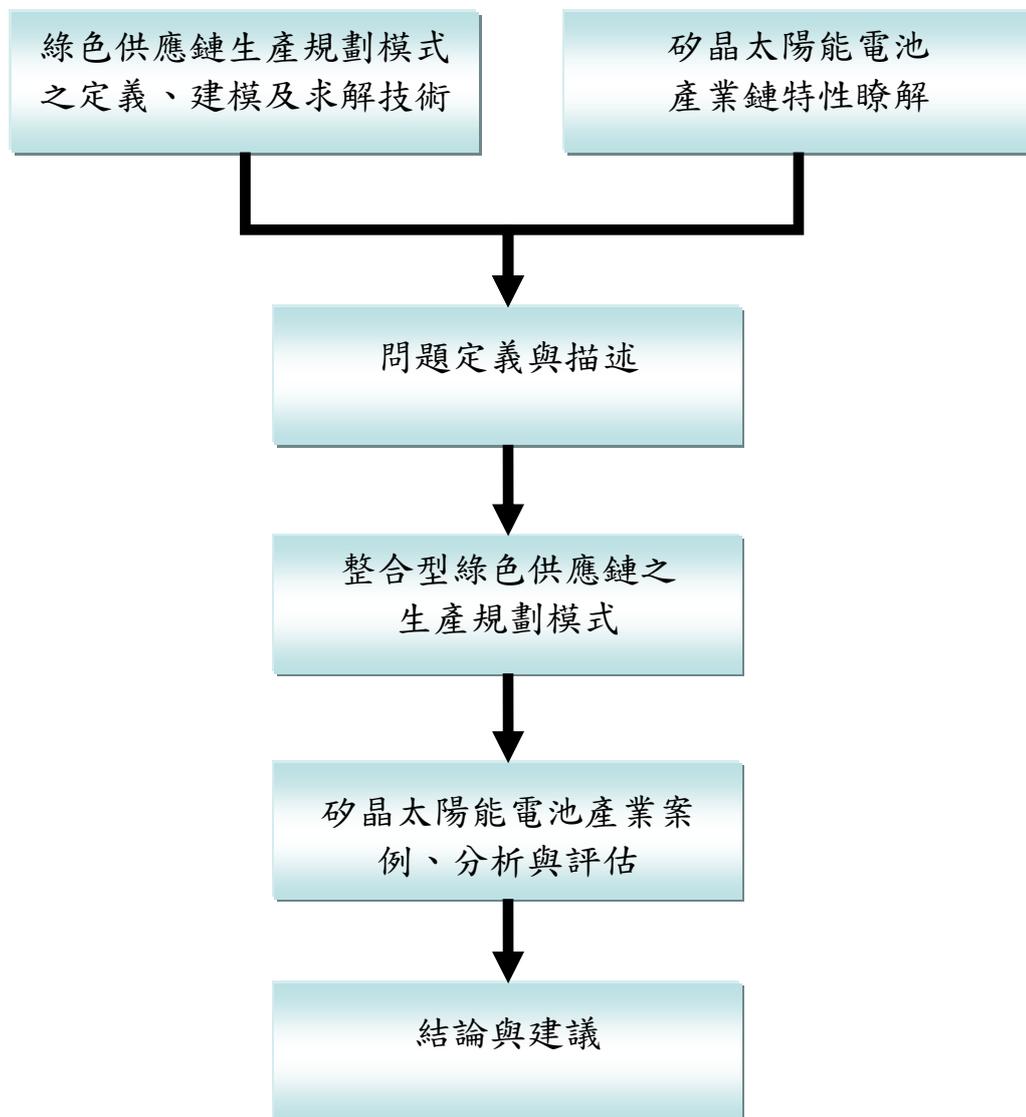


圖1.1 本研究之架構與流程

第二章 文獻探討

本章針對過去文獻進行回顧，一共分為三個主軸，首先探討綠色供應鏈管理議題，銜接第一章之研究背景與動機，強調企業永續必要之條件與趨勢，包括探討過去綠色供應鏈議題結合到碳資產議題；第二，探討過去傳統供應鏈之生產規劃模式，並進一步了解過去學者對於綠色供應鏈之生產規劃模式之作法與探討觀點；最後引入太陽能產業之現況介紹，並針對該產業正面臨到退役太陽能模組回收問題與供需分配方面之議題，銜接至第三章之研究方法。

2.1 綠色供應鏈

本章節主要分為三個小節，敘述綠色供應鏈(Green Supply Chain Management; GSCM)或稱為永續供應鏈管理(Sustainable Supply Chain Management; SSCM)議題中，眾所探討之範疇。從綠色供應鏈之概念、與其相關之管理議題，到如何透過數學模式在封閉式迴路供應鏈(Closed-Loop Supply Chain; CLSC)進行顧客之需求配置，並納入環境議題，形成經濟與環境兩層面之取捨，最終成為多目標規劃問題，以下將分別介紹。

2.1.1 綠色供應鏈介紹

供應鏈管理係探討產品從原物料的取得到最終客戶之間的整體運籌活動，包括與供應商採購、生產/製造、配銷與最終顧客等。Gunasekaran等人(2004)指出，在供應鏈活動中，由於商品從供應端到顧客端之間會經過多個階層，而每個階層又可能包括多個採購、生產或配銷單元，如圖2.1所示。

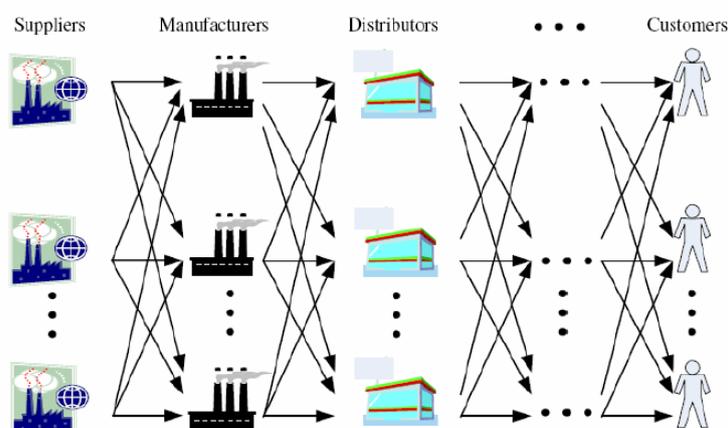


圖2.1 傳統之供應鏈架構

近年來，由於環保意識逐漸抬頭與有限資源耗之環境危機意識，再加上對於企業所排放的固、液與氣態之廢棄物已有相關法規與盤查機制，以規範企業活動對於環境衝擊之影響，使企業必須重新思考其營運策略，供應鏈結構逐漸被「綠化(greening)」，而朝向綠色供應鏈結構發展，目的是在滿足經濟收益下，同時兼顧供企業活動對環境造成影響的雙贏局面。

而將使用後之產品回收再利用，亦符合現今環保之概念。因此，將過去傳統正向供應鏈結合逆物流，形成一封閉式迴路供應鏈架構(Closed Loop Supply Chain; SLSC)，此封閉式迴路之供應鏈架構將作為綠色供應鏈之架構之一，Pagell等人(2007)即提出了一套通用逆物流供應鏈架構，如圖2.2所示。從此圖可知原物料供應商至顧客端後，EOL產品可透過維修、拆解或再製造後進入二手市場或回到正向物流，形成一個封閉式(closed-loop)的供應鏈；若當二手產品無法透過上述還原價值時，則透過焚化或掩埋等最終處置(disposal)離開系統。

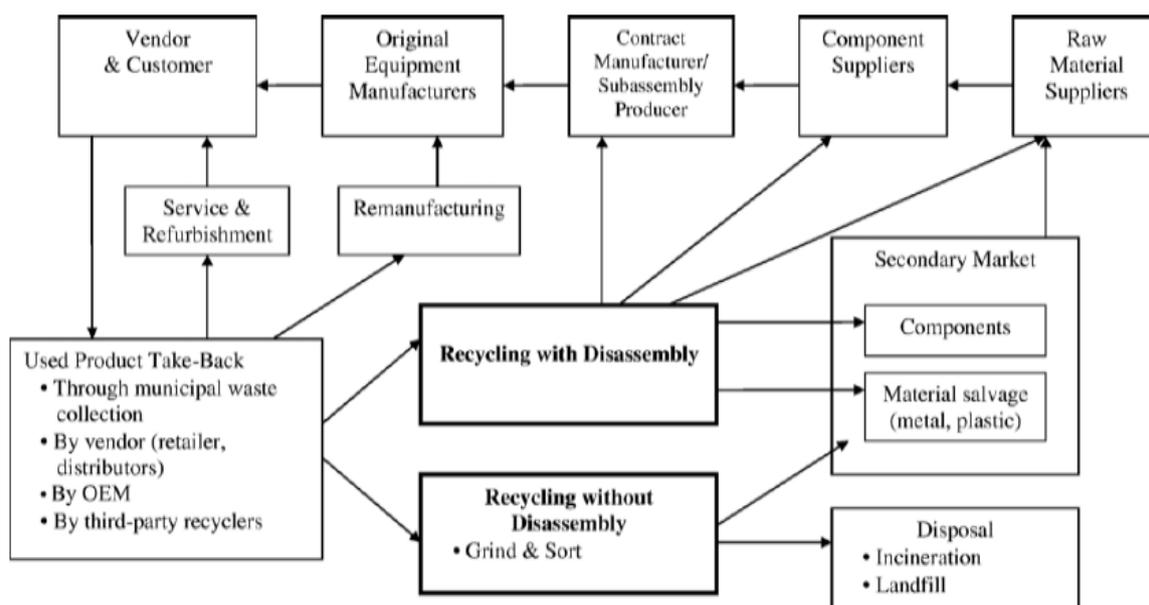


圖2.2 逆物流功能與封閉式供應鏈架構

資料來源：Pagell 等人(2007)

近幾年，則有許多學者對綠色供應鏈進行定義，其中以 Srivastava(2007) 定義綠色供應鏈管理(Green Supply-Chain Management; GrSCM)較為廣義，其說明了綠色供應鏈管理乃是將供應鏈管理加入了環境之思維，其中包含了產品設計、原物料之採購與選擇、製造流程、最終產品之配銷運籌以及消費者使用後產品之回收等各個階段。由此可知，綠色供應鏈之領域含跨

了數多個領域。因此，在下一小節中，本研究將針對過去學者對綠色供應鏈所探討之相關議題進行介紹。

2.1.2 綠色供應鏈之相關議題

Srivastava (2007)鑒於環境永續議題之興起，提出一套供應鏈管理結合永續概念之架構圖，如圖2.3所示。依據此圖，永續發展必須考量之三個關鍵相依層面，分別為經濟面、環境面與社會績效面。進而發展到綠色供應鏈(Green Supply Chain; GSC)之範疇，包括綠色產品設計(green design)、綠色營運(green operations)與新市場開發(new market development)。綠色設計主要是針對產品設計相關議題；綠色營運則可分為三部分：綠色製造與再製造、逆物流網絡設計與運籌管理和廢棄物管理。

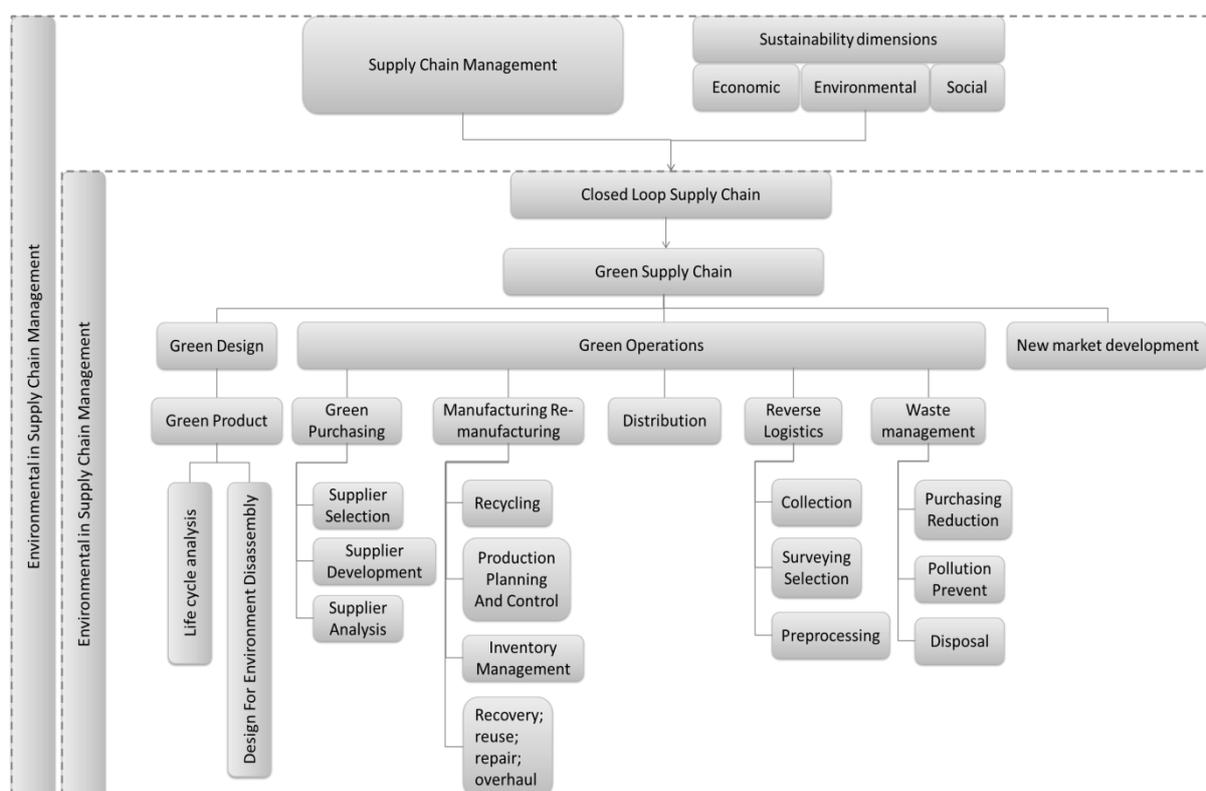


圖2.3 永續供應鏈管理架構圖

資料來源：Srivastava(2007)

綠色製造與再製造則包含了回收拆解、再製造、存貨管理和其生產規劃等相關議題，而過去學者對於生產規劃之相關研究，主要在探討拆解與再製造之細部排程。Gupta與Taleb(1994)提出在逆向供應鏈中物料需求規劃(Reverse Materials Requirements Planning; RMRP)的演算法，其以單一產品

之拆解為例，將物料清單(Bill of Materials; BOM)表中的原料階層(leaf items)作為需求端，並往BOM表之成品階(root items)展算，決定需回收多少成品以滿足leaf items之需求。Lee等人(2002)則根據Gupta與Taleb提出的RMRP概念，提出回收產品後於製造廠之拆解排程，並以整數規劃進行數學模式之求解，其目標式為最小成本，包含採購成本、存貨持有成本以及拆解的操作成本，並以存貨數量、產能作為限制，得到在週期內採購數量、拆解數量以及當期之庫存量。Fleischman等人(1997)以作業研究(Operations Research; OR)之方法檢視再利用之產品與物料。Guide與Pentico(2003)發展了一個是用於再製造與再使用之分層決策的模型。Ketzenberg等人(2003)探討當生產線之製程能力可包含組裝與拆解兩種能力時，其最佳之產線該如何配置。Guide等人(2005)分析再製造產品之績效，並處理兩個再製造產品加工時之優先順序問題。

過去學者對於逆物流網絡設計與運籌管理之相關研究則包含了回收方式與回收據點之選擇、回收不確定性之探討以及逆物流之物料與需求分配。Fleischmann等人(2001)說明了在建構逆物流架構時，在工廠位置與運輸路線上時，需考量其顧客位置以及未來市場之位置。Tibben-Lembke(2002)提出重新之進行物流網絡之設計，使其適用於回收產品、再製造和零件之重新使用，將可以替公司創造更多之利益。Shih(2011)則探討了台灣電子應用與電腦產業之回收逆物流系統，並提出一個適用於此產業之逆物流規劃模式。Hu等人(2002)提出一最小成本為目標之模型，建構一個多週期且多類型的有毒物質之逆物流系統。Nagurney 與 Toyasak(2003)發展一用電子廢棄物回收之整合性架構。Mostard 與 Teunter(2006)使用案例研究之方式，在一個簡單之封閉系統內決定單一週期內之需求分配，並以回收已使用產品之機率去估算其收入與成本。Min等人(2006)以非線性之混整數規劃模型決定集中回收中心之數量與位址，並以基因演算法進行逆物流產品回收問題之求解。Sheu(2005)以數理規劃之模式求取整體供應鏈淨利最大化(包含正向供應鏈與逆向供應鏈)，只考慮單一產品在整體供應鏈上之活動，且將顧客需求設為已知參數，而由顧客端回收產品之數量則是由顧客需求乘以一固定比例後而得，其數學模式中考慮之成本因素包含正向供應鏈中的生產成本、採購成本、原物料與成品的庫存成本、運輸成本以及回收成本；逆向供應鏈中的回收產品之收集成本、處理成本、產品處理前後之庫

存成本、回收之運輸成本以及最終廢棄物之處理成本，考量之限制則包含供應鏈各階層之庫存限制、顧客需求限制和回收資源限制，而此數學模式之決策變數為整體供應鏈中各階層的物件流動的數量。Subramanian等人(2010)發展一個以利潤最大化為目標之非線性之數學模型，此模式將考量公司的環境議題與限制，並應用在柴油引擎產業，探討柴油引擎製造與再製造對環境之影響。

由此小節可知，過去學者在探討綠色供應鏈之生產規劃時，主要在探討回收產品之拆解排程，與其產品原料在設計階段時，該如何選擇符合環境要求之物料。而在逆物流與運籌管理則注重於逆物流與整體供應鏈之網絡設計。

2.1.3 碳資產管理

由於全球氣候暖化，造成暖化最關鍵之溫室氣體-二氧化碳，逐漸受到各國政府與環保團體之重視。因此，二氧化碳之排放量亦成為製造業在製造過程中，一個重要的衡量指標。而如何管理企業在生產活動時產生之二氧化碳以及如何成為「低碳」企業以符合消費者期望與社會責任，則成為企業重要的資產管理議題。

各國政府亦在日本東京召開聯合國氣候變化之相關會議，並通過「京都議訂書(Kyoto Protocol; KP)」，明確的制定各國之溫室氣體排放標準，並在2005年正式生效，且已有已有一百四十國和歐盟批准，明文之要求全球三十九個主要工業國家與地區，必須在2012年前，以1990年的排放量為標準，減少包括二氧化碳、甲烷在內的六種溫室氣體5.2%的排放量，並根據個別國家污染程度設定減量目標，此舉表示全球溫室氣體減量工作已進入執行階段，減量已成為不可避免的趨勢。

根據京都議定書所訂定之三項規範：「共同執行」、「清潔發展機制」及「排放交易」，企業可尋求減少溫室氣體排放之方式，並將所衍生的「碳資產」作為公司的有價資產，並將其有效的管理與運用。高毅民(2007)指出2001年英國政府開始徵收的氣候變化稅。英國排放交易體系(United Kingdom Emissions Trading Scheme; UKETS)則是最早的碳資產交易體系，而歐盟排放交易體系(European Union Emissions Trading Scheme; EUETS)是目前最大且具強制性的溫室氣體交易體系。

英國標準協會(The British Standards Institute; BSI)於2008年提出了PAS 2050標準，是一個針對碳足跡之評估準則，但其內容為包含了碳宣告之要求，而BSI亦於2011年進行改版。此外，已於2012年正式公布ISO14067標準DIS版，明確規範碳足跡與碳宣告要求。台灣環保署亦於2009年責成專案擬定我國碳足跡計算準則，並於2010年正式推行碳標籤制度，此制度乃是參考CNS14040與CNS14044所建立。

過去亦有許多學者針對碳交易等相關碳資產議題進行研究，於製造業中，過去在進行碳資產交易時，通常將碳資產作為成本計算，其大略可分成以下幾類：(1)生產時耗用能源之碳成本，(2)生產時排放之碳成本和(3)碳交易模式。生產耗用能源之碳成本即表示生產時所耗用之能源(如電力)，並透過約當量轉換成碳，再行計算其碳成本；生產時排放之碳成本則表示生產過程中，可能會產生一些有毒氣體或物質，而將這些物質透過約當量轉換成碳，再計算其碳成本；另外，以碳交易之模式計算，則為將各製造廠之碳排放上限做為依據，若超過此上限則需購買碳權，但若未超過可將剩餘的量轉賣，使其成為公司收入。其相關估算碳成本之文獻，如Chaabane等人(2010)計算碳成本時，分成兩部分：(1)LCA based-包含製造、回收、配銷、運送等過程之耗用能源與排放廢棄物之量，並程上排放因子，估計碳量，並乘上成本；(2)碳信用額度-買入成本-賣出收入，另外有環境目標之建置，也就是以最小碳消耗與排放量為目標。Frota Neto等人(2008)則將供應鏈上每一階段的”污染排放源”，設立指數，以方便計算環境之污染排放成本。Guillén-Gosálbez 與 Grossmann(2009)以化學產業之供應鏈為案例產業，透過Eco-indicator 99衡量環境之污染因子，已進行污染成本之估算。Kneifel(2011)則探討建築物之碳足跡與消耗能源之成本，主要可分成3部分：(1) 計算每年能源之耗用量與成本：估計每年建築物內的電力與天然氣的消耗，並乘上其價錢估算當年度之能源成本；(2) Life-cycle costs：比較ASHRAE 90.1-2004 design、ASHRAE 90.1-2007兩種不同之規章，其能減少能源排放之成本；(3) Life-cycle energy-related carbon emissions：比較ASHRAE 90.1-2004 design、ASHRAE 90.1-2007兩種規章下之碳排放量。Mandell(2011)說明了公共建設之碳排放之邊際成本。

然而，屬於新興產業之矽晶太陽能電池，雖然在生產過程中，亦會產生溫室氣體之排放，但是相較於傳統的石化燃料發電產生能源，太陽能電

池對於環境造成的影響相對微小許多。陳亮榮(2011)透過生命週期分析法(Life cycle assessment, LCA)研究結果顯示單晶矽太陽能電池之碳排放量為92g-CO₂e/KWh，多晶矽太陽能電池之碳排放量為77g-CO₂e/KWh，兩種太陽能電池碳排放量皆遠低於能源局公告之98年電力排放係數(623g-CO₂e/KWh)。單晶與多晶矽太陽能電池的碳排放量差異主要來自於單晶矽太陽能晶片的拉晶製程耗費較多的能量之故。除此之外，單晶矽及多晶矽太陽能電池能源回收期分別是2.37及1.957年，以現今太陽光電系統20年以上之使用壽命來看，20年內每1KWp約可淨生產19710KWh的電力，每年約985.5KWh，節能效益十分顯著。另一方面，依據某上市公司之環境永續報告書(2011)，以某型號之太陽能電池為例，其生產過程中溫室氣體(GHG)來源集中在多晶矽材料(Poly-silicon)與晶圓(Wafer)之生產，占總體溫室氣體排放約70%以上；電池製程(Cell)階段約有10%，配銷部分約佔0.4%。

2.2 供應鏈之生產規劃模式

本章節主要分成兩部分進行探討過去供應鏈網絡之生產規劃模式。首先，敘述傳統供應鏈之生產規劃模式；第二部分為探討綠色供應鏈之生產規劃模式，並透過此章節之文獻探討，了解過去研究學者在生產規劃之研究重點與議題。

2.2.1 傳統供應鏈之生產規劃模式

在過去供應鏈議題相關研究中，供應鏈之生產規劃問題已有許多學者進行相關之研究，Kawtummachai(2005)說明了在供應鏈網絡規劃下，訂單分配乃是將顧客需求配置給適當的製造廠進行生產，並維持高的顧客服務水準。其過去一般性訂單分配模式考量之特性則包含有多階多廠之供應鏈模式、製造廠之生產能力(產能、製程能力、生產前置時間)、供應鏈節點間之運輸限制(運輸上限、航班限制)、物料限制、存貨限制、缺貨後補...等特性，並考慮上下游的製造成本、存貨成本、短缺成本、運輸成本及加班成本，且以公司利潤最大或整體成本最小為求解目標，將訂單進行最佳化之分配以滿足顧客之需求。然而，訂單分配問題亦時常伴隨著供應商選擇之問題。如Demirtas 與 Ustun(2008)使用整合性之網絡分析法(Analytic Network Process; ANP)和多目標混合整數線性規劃(Multi-Objective Mixed

Integer Linear Programming; MOMILP)考慮有形和無形的因素，將訂單於選定的供應商進行最佳配置，提高供應鏈整體利潤，並盡量減少成本和不良率。Sanayei等人(使用多屬性效用理論(Multi-Attribute Utility Theory; MAUT)考量各種質性與量化指標選擇供應商，並使用線性規劃將訂單進行最佳化之配置。Mafakheri等人(2011)提出了兩階段之訂單分配模式，其第一階段考量供應商之交期、價格、品質以及環境績效，並採用層次分析法(Analytic Hierarchy Process; AHP)進行供應商的分級與選擇，第二階段則考量需求、供應商產能與存貨水準以及供應商等級，在有限之資源下，將訂單進行最佳之配置，期望達到最低成本之目標。

然而，在多階多廠供應鏈網絡之生產環境下，Vercellis(1999)則是使用線性規劃的方式考慮上下游的製造成本、存貨成本、短缺成本、運輸成本及加班成本，使成本在最小的情況下，得到最小的生產批量。Timpe與Kallrath(2000)提出了以混合線性數學規劃法，考量訂單數量、工廠產能、物料流量、存貨及運送的限制，使產品在一定的品質水準下，各工廠生產最適當的數量使公司獲利最大化。Watson與Polito(2003)將考量多產品且多階多廠的生產環境中之訂單分配問題，並以限制理論進行求解。Lin與Chen(2007)則提出了一混整數規劃(Mix Integer Linear Programming; MILP)建構多階多廠之訂單分配問題之模型，並考量不同的產品需求以及其原料之替代關係和產能限制。Kanyalkar與Adil(2008)提出線性規劃模型考慮多產品之特性，將訂單在多階多廠之生產環境中進行最佳之分配。Lin等人(2010)則發展適合TFT-LCD產業之供應鏈訂單滿足模式，並考量運輸限制與產能上限求得每一週期的可允諾之訂單數量。

過去已有許多學者說明了供應鏈規劃問題是屬於NP-hard問題，若以數理規劃模式求解供應鏈生產規劃問題時，將隨著供應鏈規模變大(例如，製造廠數目或訂單產品數目)而使得求解效率降低，因此，部分學者提出結合圖型理論與搜尋演算法求解，Chern(2007)結合有向圖形提出多目標生產計劃演算法，解決多產品供應鏈網路規劃問題，然而，此研究只考量單一產品結構。Wu(2004)則結合圖型理論並利用拉格蘭氏演算法解決多廠區且多種產品結構供應鏈規劃模式。Nie等人(2008)提出了以基因演算法與拉氏鬆弛法解決多廠區生產規劃問題。Moon and Kim(2002)使用基因演算法解決多廠區生產規劃問題，並考量了產能限制與運輸前置時間等因素。

2.2.2 綠色供應鏈之生產規劃模式

由上一小節可知，過去在傳統供應鏈架構下，考量因素可歸納有多階多廠、多產品結構、製造廠產能與生產能力和運輸限制等因素；此外大多數亦以最小成本為目標。然而，本節將針對在綠色供應鏈架構下，過去學者所考量之特性與限制。

Sheu等人(以提出一多目標之數理規劃模式求取整體供應鏈淨利最大化，作者在一封閉式之供應鏈架構下，探討顧客需求該如何進行分配，並考量供應鏈各階層之庫存限制、顧客需求限制和回收資源限制，最後分析結果指出筆記型電腦製造商利用此模式相較於現有經營業績提高了21.1%。Chaabane等人(2010)提出一混整數規劃模式，考量碳交易平衡，正逆物流，存貨平衡，回收平衡限制，多階多廠等限制，以探討永續供應鏈中之碳價格波動對回收產品之影響，並評估經濟與環境面之間的平衡。Wang等人(2011)則考量存貨限制、運輸限制、產能限制以及工廠之環保限制，提出一混整數線性規劃模式應用在建構綠色供應鏈網絡之策略，最後進行提高產能和供應數量是否可降低碳排放量和增加總成本之分析。

Paksoy等人(2011)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，並將其透過碳交易機制轉換成碳成本，整體模型以規劃供應鏈之運輸方式做選擇，以及探討不同的原物料可回收率對供應鏈成本之影響。Amin 與 Zhang(2012)提出一個以供應鏈利潤最大化為目標之混整數規劃模式決定零件與產品之數量，其模式則計算原本正向新產品之利潤外，亦計算了將二手產品賣回二手市場之利潤。Paksoy等人(2011)提出一線性規劃模式，考量供應鏈之正逆物流運輸成本、運輸碳排放量以及採購成本，並案例分析之方式進行環境與營運績效之探討，其主要分析的控制變數分別為需求量變化、不同產品的回收率、利潤改變、運輸方式改變和碳排放率改變。Amin 與 Zhang(2012)使用兩階段的方式建構一訂單分配模式，第一階段使用模糊理論決定供應商之權重以及重要性，第二階段則以多目標混整數線性規劃模型進行供應商選擇、訂單分配以及零件和產品在封閉式供應鏈上的優化，並以供應鏈利潤最大化與回收零件之缺陷率最小為多目標之求解目標，此篇文獻則著重在拆解之產能限制以及其拆

解廠之選址，最後並將其應用在電腦業，而此篇文獻乃是第一篇探討綠色供應鏈之供應商選擇和訂單分配之研究。Abdallah等人(2010)提出一個混整數線性規劃模型，並以最小碳排放量為目標，探討在進行綠色供應鏈之採購活動時，該如何選擇對環境較不影響的運輸路徑或產品。

綜合上述，過去學者在進行綠色供應鏈生產規劃模式之研究時，大多以多目標之數學模式進行探討，主要考量經濟與環境兩個層面，並考量傳統供應量之相關限制，本研究將近期綠色供應鏈生產規劃模式之相關文獻彙整於表2.1。

表2.1 近期綠色供應鏈生產規劃模式之相關文獻

學者(年份)	方法	目標函數	考量特性					
			封閉式供應鏈	碳排放量或碳成本	生產能力	產能限制	存貨限制	運輸限制
Sheu <i>et al.</i> (2005)	Mixed-integer linear programming (MILP)	多目標 (正、逆向物流利潤)	✓				✓	
Chaabane <i>et al.</i> (2010)	MILP	單目標 (供應鏈總成本)	✓	✓		✓		✓
Wang <i>et al.</i> (2011)	MILP	多目標 (供應鏈成本；碳排放)	✓	✓		✓	✓	✓
Paksoy <i>et al.</i> (2011)	MILP	多目標 (正向物流之運輸成本；逆向物流之運輸成本；運輸之碳成本；顧客採購之機會成本)	✓	✓		✓		✓
Amin and Zhang (2012)	MILP	單目標 (供應鏈利潤)	✓			✓	✓	

表 2.1 近期綠色供應鏈生產規劃模式之相關文獻(續)

學者(年份)	方法	目標函數	考量特性					
			封閉式供應 鏈	碳排放量 或碳成本	生產能力	產能限制	存貨限制	運輸限制
Amin and Zhang (2012)	MILP	多目標 (供應鏈利潤; 回收產品 之缺陷率)	✓		✓	✓		
Abdallah <i>et al.</i> (2010)	MILP	單目標 (供應鏈成本)		✓		✓		

2.3 太陽能產業介紹

太陽能電池(solar cell)是一種利用能量轉換之光電元件，透過太陽光的照射，將光能轉換成電能，此外亦有人將太陽能電池稱為光伏特電池(photovoltaic)。然而，史上第一個太陽能電池乃是由1954年美國之Bell實驗室成功發明，其轉換效率約為6%。以下將針對太陽能電池種類、矽晶太陽能電池產業以及其回收趨勢加以介紹。

2.3.1 太陽能電池種類

太陽能電池的種類主要可分為現世代之晶圓型、次世代之薄膜型以及第三代之染料敏化三種類型，目前較為普遍之電池種類則為晶圓型之矽晶類和薄膜型之矽薄膜類，如圖2.4所示。其中，又以矽晶類中的單晶矽(monocrystalline silicon)及多晶矽(multicrystal silicon)太陽能電池發展最為快速，且已普遍受到量產及應用。此外，矽薄膜型太陽能電池之發展亦是逐年上升，但是未來太陽能電池之主流仍是矽晶類之太陽能電池，如圖2.5所示。

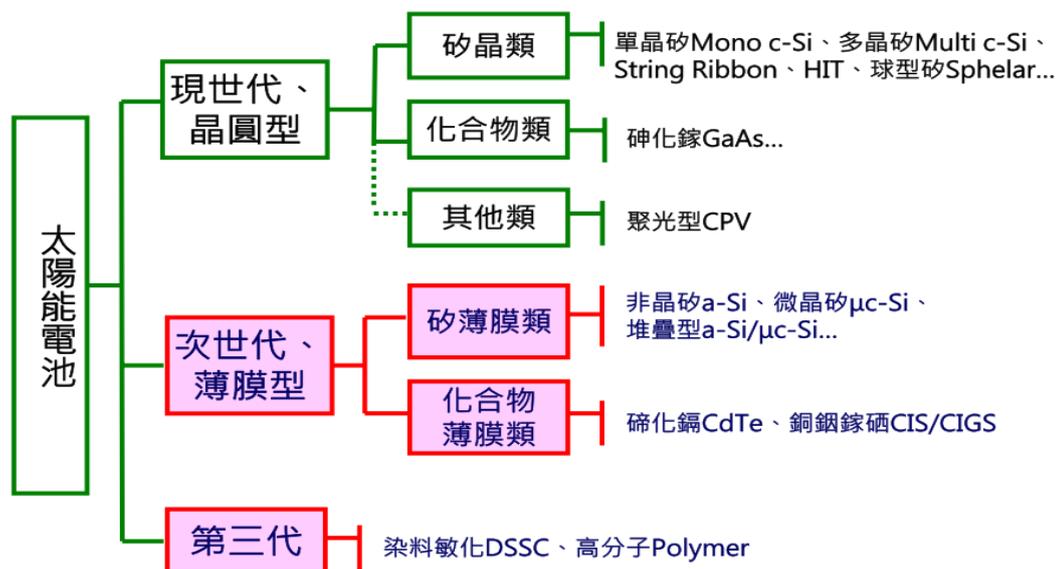


圖2.4 太陽能電池種類

資料來源：工研院產業經濟與趨勢研究中心(2008)

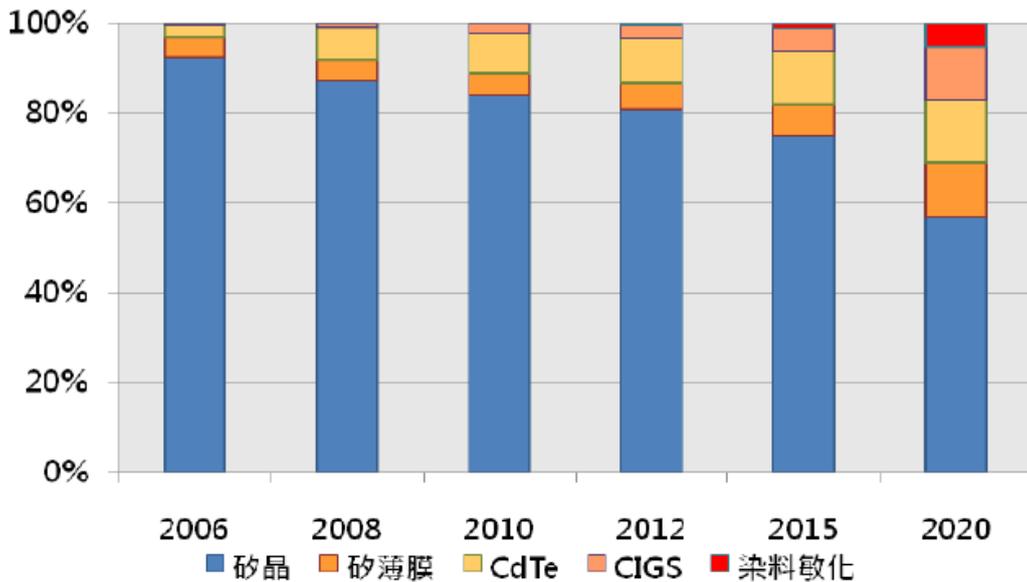


圖2.5 太陽能電池種類比例估計

資料來源：工研院產業經濟與趨勢研究中心(2009)

圖2.6乃是矽晶太陽能電池之構造與發點原理。由圖2.6可知，矽晶太陽能電池整體構造由上至下分別是上電極、抗反射層、P-N半導體以及下電極，其發電原理是藉由P型與N型半導體材料接合構成正極與負極，並在接收到陽光之照射時，其光能使半導體內之正負電荷分離，產生電子(Electron)-電洞(Hole)對。電洞(Hole)和電子(Electron)會分別往正極(P型)和負極(N型)方向移動並且聚集。當正、負極接上負載時，即有電流產生，並可對負載進行作功。

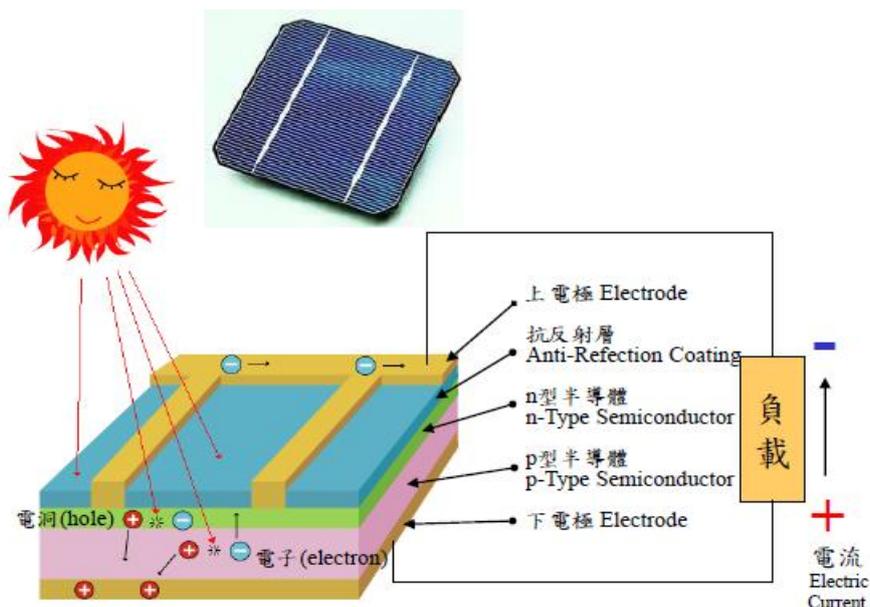


圖2.6 太陽能電池構造與發電原理

2.3.2 矽晶太陽能產業鏈現況

矽晶太陽能電池之產業鏈，一般可分為五個階段，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2.7所示。

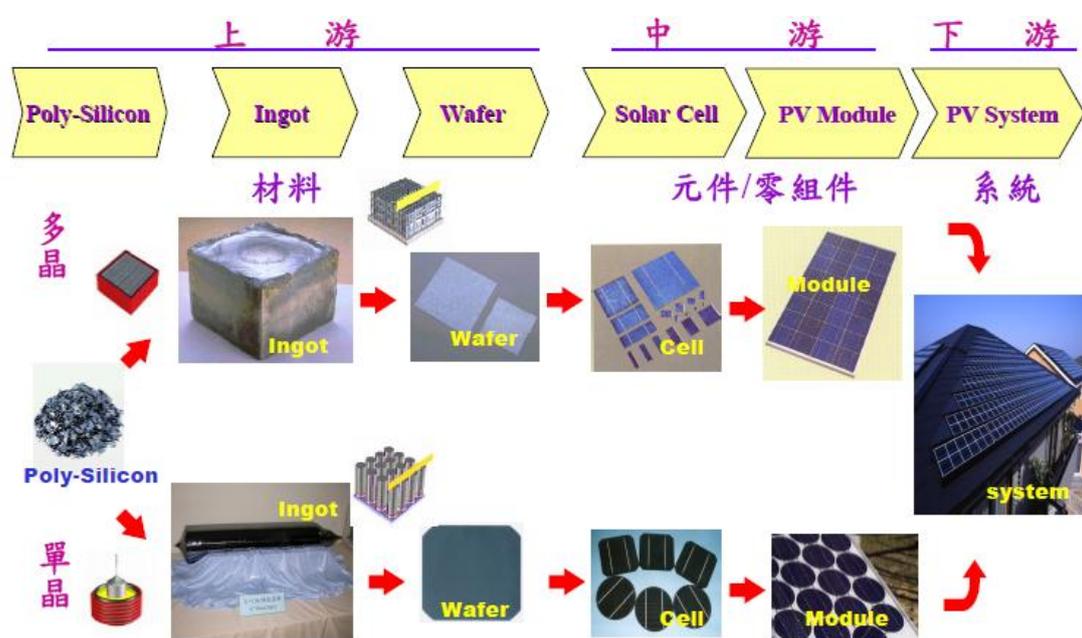


圖2.7 矽晶太陽能電池產業鏈

資料來源：工研院材料所(2005)

由圖2.8可知，矽晶太陽能電池產業越往上游其廠商家數愈少，乃是因為上游之矽原料開採與生產具有製程和技術上之難度，屬於高資本高技術之產業，目前已被美國、日本和德國等大廠壟斷，且前五大廠占有高達85%之市占率。然而，我國近幾年亦有部分企業投入開發，但目前乃屬於研發與試產階段。

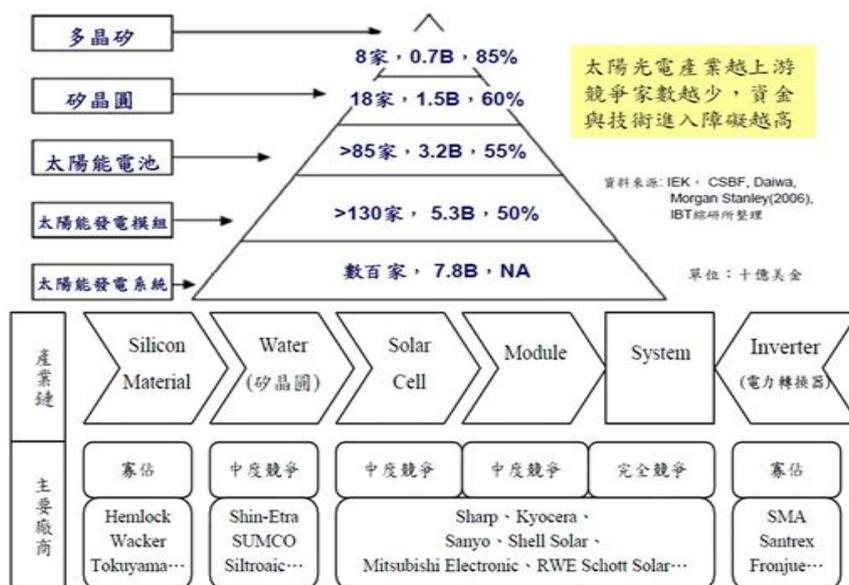


圖2.8 太陽能產業鏈結構

近年來，油價持續高漲與環境意識之抬頭等因素，各國政府逐一開始綠色能源政策的推動，太陽能電池需求也因此大幅成長。各家企業紛紛投入太陽能電池之生產，並大多選擇技術與資本水準較低之中下游發展。然而，中下游廠商大量擴張，使上游矽原料供應不及，導致多晶矽價格不斷上漲，甚至產生缺貨與斷貨危機。廠商為了確保在生產過程中能夠順暢，矽料源品質、價格、數量之穩定性、掌握度尤其重要。

另外，國內之相關廠商在跨入太陽能電池產業時，大多遵循過去半導體產業成功之模式，多以專業代工角色為主，並專攻太陽能電池與模組廠。直到近幾年國內各大廠商開始進行產業之垂直整合，紛紛與日本、德國等國際大廠合作，並開始往上游矽晶圓和下游電池系統整合發展。但由於下游系統端乃屬技術門檻較低之產業，因此目前屬於百家爭鳴之情況，但較具整體規模之廠商仍為少數。國內太陽能產業廠商之概況，如圖2.9所示。



註：加底線為量產廠商，其餘為尚未量產廠商

2005廠商數	0家	2家	8家	5家	25家
2006廠商數	0家	2家	13家	8家	27家
2007廠商數	2家	7家	24家	14家	29家
2008廠商數	8家	10家	28家	18家	36家
2009廠商數	7家	10家	28家	19家	37家

圖2.9 國內太陽能廠商概況

資料來源：工研院產業經濟與趨勢研究中心(2009)

2.3.3 太陽能電池回收趨勢與技術

國際認證規範太陽能電池之可靠度必須至少有20年的使用壽命，使太陽能電池之使用壽命比一般電子產品長。而1990年代，太陽能電池開始量產，當時產業間並未思考如何回收太陽能電池。如今，第一批太陽能電池已達到淘汰之階段。吳貴淳(2005)指出德國之廢太陽能電池產生趨勢將於2015年達到第一波的高峰，並逐步之成長，因此廢太陽能電池之回收與其再利用成為重要的環保議題。

此外，太陽能電池模組中有85%的元件是可以回收再利用的，若技術層次許可，能將零件分離至原物料的階段，將是最符合回收成本效益的原則(Zangl, 2004)。Klugmann-Radziemska 與 Ostrowski(認為，在考量上游原料端的供貨能力與成本，太陽能電池的回收是符合經濟效益的，且並以目前的技術而言，太陽能電池之重製亦是可行的。因此，未來二手太陽能電池回收除了環保意識外，亦可成為另一個供給來源，以降低原物料供給波動所造成的影響。

Wambach等人(2003)提出在德國的實驗室中，目前是以熱處理之方式將太陽能電池表面之EVA氧化，使其能夠重新取得太陽能電池(solar cell)，在透過化學蝕刻將電池表面之抗反射層侵蝕，使其能重新回到太陽能電池之生產線中。T.DoI等人(2001)表示日本處理廢太陽能電池之方式，則是將電

池泡在有機溶劑中，使表層之EVA溶融，在將玻璃與晶片分離。亦有學者提出以切割之方式，分離表層EVA與晶片。若晶片可直接使用，則回到太陽能電池之生產線中，若不能使用，則將其製成晶圓，在回到正向之太陽能供應鏈。有關於矽晶太陽能電池的回收與再製製程，如圖2.10所示。

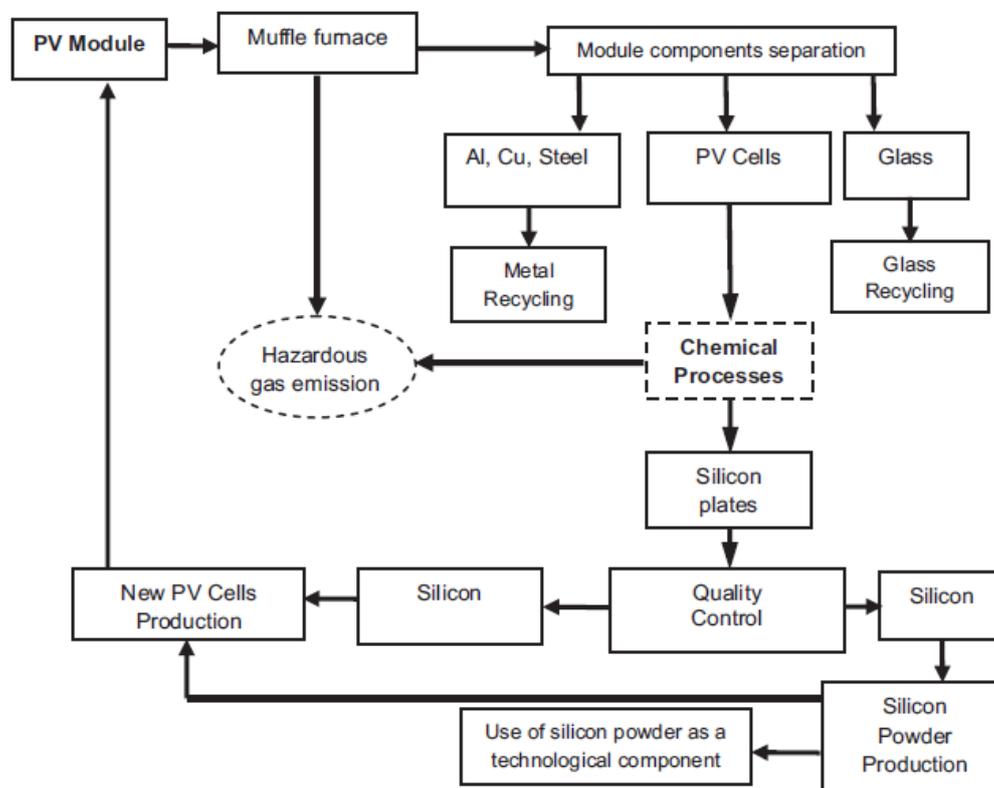


圖2.10 矽晶太陽能電池再製製程

資料來源：Klugmann-Radziemska and Ostrowski(2010)

歸納本節所述，矽晶太陽能產業在未來幾年將會面臨廢棄矽晶太陽能電池產品之處理問題，然而，由經濟層面或技術層面而言，回收並重製矽晶太陽能電池是絕對可行的。另一方面，透過回收與再製，將可提供矽晶太陽能正向供應鏈中之各廠在原物料選用上多了一種選擇，並能夠兼顧環保與經濟之效益。因此，下一章本研究將介紹一整合型綠色供應鏈之生產規劃模式，提供企業在進行顧客需求分配時，可參考之依據，並以矽晶太陽能電池產業為例，評估此模式之適用性。

第三章 整合型綠色供應鏈之生產規劃模式

3.1 問題描述

本研究之整合型綠色供應鏈架構，如圖3.1所示，其正向供應鏈包含了原料供應商、半成品製造廠、成品製造廠以及顧客端；逆向供應鏈則有收集據點(collect)、二手市場(second market)和拆解廠(Disassemble; Dis)。其供應鏈各階層之關係為原料供應商將提供新的原物料給半成品製造廠，半成品製造廠將生產之半成品送給成品製造廠，而成品製造廠再將其完工之成品送給顧客；收集據點將主動向顧客回收報廢之產品，並將其提供給拆解廠，以作為拆解廠之原料，然而，拆解廠則將回收之產品進行拆解至半成品階段，並依上游需求以及產品之拆解狀況，判斷此半成品是否可回到正向供應鏈，亦即回到成品製造廠進行生產，若不行，拆解廠則繼續將半成品再製成原料，再將此二手物料依半成品製造廠之需求，流回至正向供應鏈；此外，拆解廠將可向二手市場購買報廢之成品與半成品，以作為拆解和再製時之原料，而二手市場買入之產品，皆需再經過加工才能回到正向供應鏈。

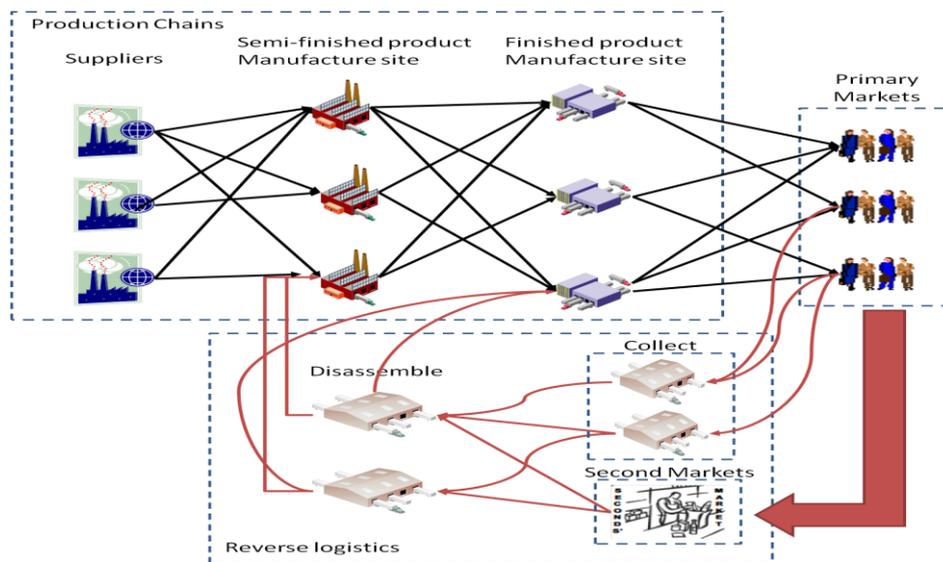


圖3.1 整合型綠色供應鏈架構

本研究在此供應鏈架構下建構一生產規劃模式，以利將顧客需求進行最佳化之配置。此模式以供應鏈最小成本與供應鏈碳排放量為規劃之求解目標，在成本端將考量生產成本、拆解成本、庫存成本、運輸成本、採購成本、回收成本、短缺之處罰成本以及生產之整備成本；在碳排放部分則

考量了生產與運輸時之二氧化碳排放量。並將顧客需求在考量供需平衡、存貨平衡、運輸限制、原料之採購限制、生產能力限制、產能限制以及產品結構與耗用數量限制下，配置到供應鏈上每一階層的每一個製造廠。

本模式在半成品製造廠生產半成品時，將會有產品等級之特性，亦即在生產時欲生產等級較高的A產品，由於生產製程之穩定性，將會在生產A產品時，生產出等級較低的B產品。而拆解廠拆解回收產品時，則會產出不良品，亦即將回收回來之成品進行拆解時，拆解後得到之半成品有良品與不良品之差別，良品可以直接回到正向供應鏈亦或選擇進一步還原成原料，而不良品則必須再接受加工，還原成原料，因此，拆解廠在進行產品拆解時，將會依上游需求以及是否為良品來決定回收產品應該拆解還原至哪一種程度(半成品或原物料)。而本模式只考量關鍵物料，不考量其他相關之物料，並考量其關鍵物料之取替代關係，考量之產品結構，如圖3.2所示，即表示原料A經過加工後得半成品C，原料B亦可經過加工後得半成品C，但是半成品C之產品結構，只考量關鍵物料原料A與原料B，並不考慮其他相關之非關鍵物料。

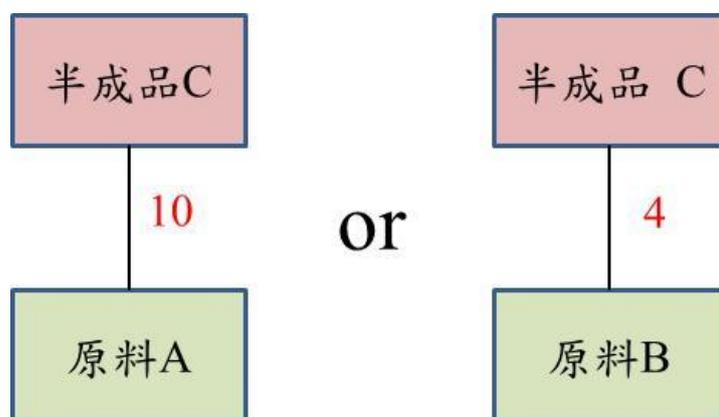


圖3.2 產品結構示意圖

3.2 整合型綠色供應鏈之生產規劃模式說明

以下將說明本研究所提出之整合型綠色供應鏈之生產規劃模式，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，建構一多目標之混整數線性規劃模式(MOMILP Model)，並針對此數學模式進行求解。

3.2.1 假設條件

本研究所提出之整合型綠色供應鏈之生產規劃模式包括以下假設條件：

1. 本模型可允許顧客缺貨，並於下週期進行補貨。
2. 正向與逆向物流間不可跨階運輸。
3. 不考慮各廠間之物料調撥。
4. 本模型不探討二手市場取得二手物料之運輸與通路。
5. 本模型不探討運送至顧客之運輸方式與時間，以及由顧客回收回來的方式與時間。
6. 顧客端、與二手原物料供應商位置為已知，其中二手原物料供應商為單一供應商。
7. 拆解/還原後之二手物料，回到正向供應鏈後，功能與效益和新物料相同。
8. 只考慮關鍵物料，其餘皆不考量。
9. 問題的相關資料為確定性且已知的。

3.2.2 已知資訊

1. 供給與需求資訊

- (1) 每週期顧客之需求量
- (2) 每週期從顧客回收之數量
- (3) 每週期可向供應商購買原物料之數量上限與下限
- (4) 每週期二手市場可供給之二手物料之數量

2. 產品資訊

- (1) 每週期顧客之需求種類
- (2) 每週期從顧客回收之產品種類

3. 成本資訊

- (1) 各廠之生產成本
- (2) 各廠之生產整備成本

- (3) 各廠間之運輸成本
- (4) 各廠間之採購成本
- (5) 由顧客回收產品之回收成本
- (6) 拆解與還原產品之生產成本
- (7) 各廠之庫存成本
- (8) 缺貨之處罰成本

4. 時間資訊

- (1) 各廠之生產前置時間
- (2) 各廠間之運輸前置時間

5. 其他相關資訊

- (1) 各廠生產之碳排放約當量
- (2) 各廠間運輸之碳排放約當量

3.2.3 符號定義

1. 下標

i	供應鏈之節點編號(供應端、需求端)	$i=1,2,\dots,I,\dots,I'$
o	原料(material)種類	$o=1,2,\dots,O$
v	半成品(semi-finished product)種類	$v=1,2,\dots,V$
k	成品(finished product)種類	$k=1,2,\dots,K$
t	求解週期，其週期的編號為下標	$t=1,2,\dots,T$

2. 參數

產品結構與組成用量：

a_{ov}^s	生產半成品種類 v 使用原料種類 o 之需求量
a_{vk}^f	生產成品種類 k 使用半成品種類 v 之需求量
a_{kv}^{ds}	拆解一個成品種類 k 可得半成品種類 v 之數量
a_{vo}^{dm}	拆解一個半成品種類 v 可得原料種類 o 之數量

生產能力：

ma_{iv}^s 半成品製造商 i 生產半成品 v 之能力

ma_{ik}^f 成品製造商 i 生產成品 k 之能力

ma_{iv}^{ds} Dis 廠 i 生產半成品 v 之能力

ma_{io}^{dm} Dis 廠 i 生產原料 o 之能力

運輸能力：

$ta_{ii'}^{su-s}$ 供應商 i 運送原料至半成品製造商 i' 之能力

$ta_{ii'}^{s-f}$ 半成品製造商 i 運送半成品至成品製造商 i' 之能力

$ta_{ii'}^{co-d}$ Collect 據點 i 運送成品至 Dis 廠 i' 之能力

$ta_{ii'}^{d-s}$ Dis 廠 i 運送原料至半成品製造商 i' 之能力

$ta_{ii'}^{d-f}$ Dis 廠 i 運送半成品至成品製造商 i' 之能力

ta_i^{se-d} 二手市場運送至 Dis 廠 i 之能力

供給限制：

s_{iot}^U 供應商 i 在週期 t 之可供給原料種類 o 之數量上限

s_{io}^L 供應商 i 可供給原料種類 o 之數量下限

se_{vkt}^f Second Market 在週期 t 之可供給由半成品種類 v 組成之成品種類 k 數量上限

se_{vt}^s Second Market 在週期 t 之可供給半成品種類 v 數量上限

產能上限：

m_i^s 半成品製造廠 i 之產能上限

m_i^f 成品製造廠 i 之產能上限

m_i^{ds} 拆解廠 i 之產能上限

m_i^{dm} 拆解廠 i 之產能上限

存貨上限：

u_i^{so} 半成品製造廠 i 中原料之總庫存上限

u_i^{sv} 半成品製造廠 i 中半成品之總庫存上限

u_i^{fv} 成品製造廠 i 中半成品總庫存上限

u_i^{fk} 成品製造廠 i 中成品總庫存上限

生產成本：

cm_{iv}^s 半成品製造廠 i 生產半成品種類 v 之單位生產成本

cm_{ik}^f 成品製造廠 i 生產成品品種類 k 之單位生產成本

cm_{iv}^{ds} 拆解廠 i 生產半成品種類 v 之單位拆解成本(拆解成本)

cm_{io}^{dm} 拆解廠 i 生產原料種類 o 之單位拆解成本(拆解成本)

生產整備成本：

cfm_{iv}^s 半成品製造廠 i 生產半成品種類 v 之整備成本

cfm_{ik}^f 成品製造廠 i 生產成品品種類 k 之整備成本

cfm_{iv}^{ds} 拆解廠 i 生產半成品種類 v 之整備成本

cfm_{io}^{dm} 拆解廠 i 生產原料種類 o 之整備成本

庫存成本：

ci_{io}^{so} 半成品製造廠 i 持有原料種類 o 之單位庫存成本

ci_{iv}^{sv} 半成品製造廠 i 持有半成品種類 v 之單位庫存成本

ci_{iv}^{fv} 成品製造廠 i 持有半成品種類 v 之單位庫存成本

ci_{ik}^{fk} 成品製造廠 i 持有成品種類 k 之單位庫存成本

ci_{ik}^{dk} Disassemble 廠 i 持有成品種類 k 之單位庫存成本

ci_{iv}^{dv} Disassemble 廠 i 持有半成品種類 v 之單位庫存成本

ci_{io}^{do} Disassemble 廠 i 持有原料種類 o 之單位庫存成本

ci_{ik}^{co} Collect 據點 i 持有成品種類 k 之單位庫存成本

採購成本：

- $cp_{ii'o}^{su-s}$ 半成品製造廠 i' 對供應商 i 採購原料種類 o 之單位採購成本
- $cp_{ii'v}^{s-f}$ 成品製造廠 i' 對半成品製造廠 i 採購半成品種類 v 之單位採購成本
- cp_{ivk}^{cu-co} Collect 據點 i 對 Customer 採購由半成品種類 v 組成成品種類 k 之單位採購成本(回收成本)
- $cp_{ii'vk}^{co-d}$ Dis 廠 i' 對 Collect 據點 i 採購由半成品種類 v 組成成品種類 k 之單位採購成本
- cp_{ivk}^{se-d-f} Dis 廠 i 對 Second Market 採購由半成品種類 v 組成成品種類 k 之單位採購成本
- cp_{iv}^{se-d-s} Dis 廠 i 對 Second Market 採購半成品種類 v 之單位採購成本
- $cp_{ii'o}^{d-s}$ 半成品製造廠 i' 對 Dis 廠 i 採購原料種類 o 之單位採購成本
- $cp_{ii'v}^{d-f}$ 成品製造廠 i' 對 Dis 廠 i 採購半成品種類 v 之單位採購成本

運輸成本：

- $ct_{ii'}^{su-s}$ 半成品製造廠 i' 與供應商 i 間之單位運輸成本
- $ct_{ii'}^{s-f}$ 成品製造廠 i' 與半成品製造廠 i 間之單位運輸成本
- ct_i^{f-cu} 成品製造廠 i 與顧客間之單位運輸成本
- ct_i^{cu-co} Collect 據點 i 與 Customer 間之單位運輸成本(回收成本)
- $ct_{ii'}^{co-d}$ Dis 廠 i' 與 Collect 據點 i 間之單位運輸成本
- ct_i^{se-d-f} Dis 廠 i 與 Second Market 間成品之單位運輸成本
- ct_i^{se-d-s} Dis 廠 i 與 Second Market 間半成品之單位運輸成本
- $ct_{ii'}^{d-s}$ 半成品製造廠 i' 與 Dis 廠 i 間之單位運輸成本
- $ct_{ii'}^{d-f}$ 成品製造廠 i' 與 Dis 廠 i 間單位運輸成本

運輸前置時間：

- $t_{ii'}^{su-s}$ 半成品製造廠 i' 與供應商 i 間之運輸時間
- $t_{ii'}^{s-f}$ 成品製造廠 i' 與半成品製造廠 i 間之運輸時間
- $t_{ii'}^{co-d}$ Dis 廠 i' 與 Collect 據點 i 間之運輸時間
- t_i^{se-d} Dis 廠 i 與 Second Market 間之運輸時間
- $t_{ii'}^{d-s}$ 半成品製造廠 i' 與 Dis 廠 i 間之運輸時間
- $t_{ii'}^{d-f}$ 成品製造廠 i' 與 Dis 廠 i 間之運輸時間

生產前置時間：

- t_{iv}^s 半成品製造廠 i 製造半成品 v 之生產時間
- t_{ik}^f 成品製造廠 i 製造成品 k 之生產時間
- t_{iv}^{ds} Dis 廠 i 製造半成品 v 之生產時間
- t_{io}^{dm} Dis 廠 i 製造原料種類 o 之生產時間

運輸之碳約當量：

- $c_{ii'}^{su-s}$ 半成品製造廠 i' 與供應商 i 間之單位運輸碳排放量
- $c_{ii'}^{s-f}$ 成品製造廠 i' 與半成品製造廠 i 間之單位運輸碳排放量
- c_i^{cu-co} Collect 據點 i 與 Customer 間之單位運輸碳排放量
- $c_{ii'}^{co-d}$ Dis 廠 i' 與 Collect 據點 i 間之單位運輸碳排放量
- c_i^{se-d-f} Dis 廠 i 與 Second Market 間成品之單位運輸碳排放量
- c_i^{se-d-s} Dis 廠 i 與 Second Market 間半成品之單位運輸碳排放量
- $c_{ii'}^{d-s}$ 半成品製造廠 i' 與 Dis 廠 i 間之單位運輸碳排放量
- $c_{ii'}^{d-f}$ 成品製造廠 i' 與 Dis 廠 i 間之單位運輸碳排放量

生產之碳約當量：

- c_{iv}^s 半成品製造廠 i 製造半成品 v 之碳約當量
- c_{ik}^f 成品製造廠 i 製造成品 k 之碳約當量

c_{iv}^{ds} Dis 廠 i 製造半成品 v 之碳約當量

c_{io}^{dm} Dis 廠 i 製造原料種類 o 之碳約當量

其他參數：

d_{kt} 產品種類 k 在週期 t 之顧客的總需求數量

r_{vkt} 在週期 t , 回收由半成品種類 v 之組成成品種類 k 之回收數量上限

cs_k^{cu} 產品種類 k 短缺數量之單位處罰成本

α_v 半成品種類 v 之比率

β_k 拆解成品 k 之良率

M 極大數

3. 決策變數

連續變數：

生產數量：

QM_{ivt}^s 在週期 t , 半成品製造廠 i 製造半成品 v 之數量

$QM_{ivv't}^{sv}$ 在週期 t , 半成品製造廠 i 製造半成品 v 時產生半成品 v' 之數量

QM_{ikt}^f 在週期 t , 成品製造廠 i 製造成品 k 之數量

QM_{ivt}^{ds} 在週期 t , Dis 廠 i 製造半成品 v 之良品數量

QM_{ivt}^{dsn} 在週期 t , Dis 廠 i 製造半成品 v 之不良品數量

QM_{iot}^{dm} 在週期 t , Dis 廠 i 製造原料種類 o 之數量

耗用數量：

QC_{iov}^s 半成品製造廠 i 耗用原料 o 製造半成品 v 在週期 t 之數量

QC_{ivkt}^f 成品製造廠 i 耗用半成品 v 製造成品 k 之在週期 t 之數量

QC_{ikvt}^{df} Dis 廠 i 耗用成品 k 製造半成品 v 在週期 t 之數量

QC_{ivot}^{ds} Dis 廠 i 耗用半成品 v 製造原料種類 o 在週期 t 之數量

QC_{ivot}^{dsn} Dis 廠 i 耗用不良半成品 v 製造原料種類 o 在週期 t 之數量

運輸數量：

- $QT_{ii'ot}^{su-s}$ 供應商 i 運輸原料 o 至半成品製造廠 i' 在週期 t 之數量
- $QT_{ii'vt}^{s-f}$ 半成品製造廠 i 運輸半成品 v 至成品製造廠 i' 在週期 t 之數量
- QT_{ikt}^{f-cu} 成品製造廠 i 運輸成品 k 至顧客在週期 t 之數量
- QT_{ivkt}^{cu-co} Collect 據點 i 由 Customer 回收半成品 v 組成成品 k 在週期 t 之數量
- $QT_{ii'vkt}^{co-d}$ Collect 據點 i 運輸半成品 v 組成成品 k 至 Dis 廠 i' 在週期 t 之數量
- QT_{ivkt}^{se-d-f} Dis 廠 i 由 Second Market 購買由半成品 v 組成成品 k 在週期 t 之數量
- QT_{ivt}^{se-d-s} Dis 廠 i 由 Second Market 購買半成品 v 在週期 t 之數量
- $QT_{ii'ot}^{d-s}$ Dis 廠 i 運輸原料 o 至半成品製造廠 i' 在週期 t 之數量
- $QT_{ii'vt}^{d-f}$ Dis 廠 i 運輸半成品 v 至製造廠 i' 在週期 t 之數量

庫存數量：

- QI_{iot}^{so} 半成品製造廠 i 持有原料種類 o 在週期 t 之庫存數量
- QI_{ivt}^{sv} 半成品製造廠 i 持有半成品種類 v 在週期 t 之庫存數量
- QI_{ivt}^{fv} 成品製造廠 i 持有半成品種類 v 在週期 t 之庫存數量
- QI_{ikt}^{fk} 成品製造廠 i 持有成品種類 k 在週期 t 之庫存數量
- QI_{ivkt}^{dk} Disassemble 廠 i 持有由半成品種類 v 組成成品種類 k 在週期 t 之庫存數量
- QI_{ivt}^{dv} Disassemble 廠 i 持有半成品種類 v 在週期 t 之庫存數量
- QI_{ivt}^{dm} Disassemble 廠 i 持有半成品種類 v 不良品在週期 t 之庫存數量
- QI_{iot}^{do} Disassemble 廠 i 持有原料種類 o 在週期 t 之庫存數量
- QI_{ivkt}^{co} Collect 據點 i 持有由半成品種類 v 組成成品種類 k 在週期 t 之庫存數量

各廠之碳排放量：

TCC_i^s 半成品製造廠 i 之總碳排放量

TCC_i^f 成品製造廠 i 之總碳排放量

TCC_i^d Dis 廠 i 之總碳排放量

TMC_i^s 半成品製造廠 i 生產之總碳排放量

TMC_i^f 成品製造廠 i 生產之總碳排放量

TMC_i^d Dis 廠 i 生產之總碳排放量

TTC_i^s 半成品製造廠 i 運輸之總碳排放量

TTC_i^f 成品製造廠 i 運輸之總碳排放量

TTC_i^d Dis 廠 i 運輸之總碳排放量

TTC_i^{co} Collect 據點 i 運輸之總碳排放量

短缺數量：

QS_{kt}^{cu} Customer 在週期 t , 成品種類 k 之短缺數量

二元變數：

製造廠是否生產某產品：

MB_{ivt}^s 1：在週期 t , 半成品製造商 i 生產半成品 v
0：在週期 t , 半成品製造商 i 沒有生產半成品 v

MB_{ikt}^f 1：在週期 t , 成品製造商 i 生產成品 k
0：在週期 t , 成品製造商 i 沒有生產成品 k

MB_{ivt}^{ds} 1：在週期 t , Dis 廠 i 生產半成品 v
0：在週期 t , Dis 廠 i 沒有生產半成品 v

MB_{iot}^{dm} 1：在週期 t , Dis 廠 i 是否生產原料 o
0：在週期 t , Dis 廠 i 是否生產原料 o

3.2.4 多目標混整數線性規劃模式

藉由上述的符號定義，本小節提出一個多目標之混整數線性規劃的數

學模式，以下將詳細描述及說明此數學模式的目標函數及限制式。

目標函數

本研究所提出之多目標混整數線性規劃模式包含了兩個目標函數，分別為經濟目標與環境目標，經濟目標考量了各項相關成本；環境目標則考量了各廠生產與運輸時的碳排放量。

經濟目標(F1)：

$$\text{Minimize } F1 = MC + DC + IC + TC + PC + RCC + SC + FC \quad (1.1)$$

經濟目標為最小成本，其包含之成本如式(1.1)所示，式(1.1)中 MC 為生產成本、DC 為拆解成本、IC 為庫存成本、TC 為運輸成本、PC 為採購成本、RCC 為回收成本、SC 為短缺之處罰成本以及 FC 為生產之整備成本。

生產成本(MC)

生產成本為正向物流之各廠生產數量乘上其生產之單位成本，如式(1.2)所示：

$$MC = \sum_t \{ [\sum_i \sum_v cm_{iv}^s \times QM_{ivt}^s] + [\sum_i \sum_v \sum_{v'} cm_{iv}^s \times QM_{ivv't}^{sv}] + [\sum_i \sum_k cm_{ik}^f \times QM_{ikt}^f] \} \quad (1.2)$$

拆解成本(DC)

拆解成本為逆向物流中拆解廠之拆解數量乘上其拆解之單位成本，如式(1.3)所示：

$$DC = \sum_t \{ [\sum_i \sum_v cm_{iv}^{ds} \times QM_{ivt}^{ds}] + [\sum_i \sum_v cm_{iv}^{ds} \times QM_{ivt}^{dsn}] + [\sum_i \sum_o cm_{io}^{dm} \times QM_{iot}^{dm}] \} \quad (1.3)$$

庫存成本(IC)

庫存成本為供應鏈中各廠之庫存數量乘上其單位庫存成本，如式(1.4)所示：

$$\begin{aligned} IC = & \sum_t \{ [\sum_i \sum_o ci_{io}^{so} \times QI_{iot}^{so}] + [\sum_i \sum_v ci_{iv}^{sv} \times QI_{ivt}^{sv}] + [\sum_i \sum_v ci_{iv}^{fv} \times QI_{ivt}^{fv}] + \\ & [\sum_i \sum_k ci_{ik}^{fk} \times QI_{ikt}^{fk}] + [\sum_i \sum_v \sum_k ci_{vik}^{co} \times QI_{ivkt}^{co}] + [\sum_i \sum_v \sum_k ci_{ivk}^{dk} \times QI_{ivkt}^{dk}] + \\ & [\sum_i \sum_v ci_{iv}^{dv} \times QI_{ivt}^{dv}] + [\sum_i \sum_v ci_{iv}^{dv} \times QI_{ivt}^{dvn}] + [\sum_i \sum_o ci_{io}^{do} \times QI_{iot}^{do}] \} \end{aligned} \quad (1.4)$$

運輸成本(TC)

運輸成本為供應鏈中各廠間之運輸數量乘上其單位運輸成本，如式(1.5)

所示：

$$\begin{aligned}
 & \{[\sum_i \sum_{i'} \sum_o ct_{ii'ot}^{su-s} \times QT_{ii'ot}^{su-s}] + [\sum_i \sum_{i'} \sum_v ct_{ii'vt}^{s-f} \times QT_{ii'vt}^{s-f}] + [\sum_i \sum_k ct_i^{f-cu} \times QT_{ikt}^{f-cu}] + \\
 TC = & \sum_t [\sum_i \sum_{i'} \sum_v \sum_k ct_{ii'vk}^{co-d} \times QT_{ii'vk}^{co-d}] + [\sum_i \sum_v \sum_k ct_i^{se-d-f} \times QT_{ivk}^{se-d-f}] + \\
 & \{[\sum_i \sum_{i'} \sum_v ct_i^{se-d-s} \times QT_{ivt}^{se-d-s}] + [\sum_i \sum_{i'} \sum_o ct_{ii'ot}^{d-s} \times QT_{ii'ot}^{d-s}] + [\sum_i \sum_{i'} \sum_v ct_{ii'vt}^{d-f} \times QT_{ii'vt}^{d-f}]\}
 \end{aligned} \tag{1.5}$$

採購成本(PC)

採購成本為供應鏈中各廠向其上游進行採購之數量乘上其單位採購成本，如式(1.6)所示：

$$\begin{aligned}
 & \{[\sum_i \sum_{i'} \sum_o cp_{ii'o}^{su-s} \times QT_{ii'ot}^{su-s}] + [\sum_i \sum_{i'} \sum_v cp_{ii'v}^{s-f} \times QT_{ii'vt}^{s-f}] + \\
 PC = & \sum_t [\sum_i \sum_{i'} \sum_v \sum_k cp_{ii'vk}^{co-d} \times QT_{ii'vk}^{co-d}] + [\sum_i \sum_v \sum_k cp_{ivk}^{se-d-f} \times QT_{ivk}^{se-d-f}] + \\
 & \{[\sum_i \sum_{i'} \sum_v cp_{iv}^{se-d-s} \times QT_{ivt}^{se-d-s}] + [\sum_i \sum_{i'} \sum_o cp_{ii'ot}^{d-s} \times QT_{ii'ot}^{d-s}] + [\sum_i \sum_{i'} \sum_v cp_{ii'v}^{d-f} \times QT_{ii'vt}^{d-f}]\}
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

回收成本(RCC)

回收成本為收集據點向顧客進行回收之數量分別乘上其單位採購成本與其單位運輸成本，如式(1.7)所示：

$$RCC = \sum_t \{[\sum_i \sum_v \sum_k cp_{ivk}^{cu-co} \times QT_{ivk}^{cu-co}] + [\sum_i \sum_v \sum_k ct_i^{cu-co} \times QT_{ivk}^{cu-co}]\} \tag{1.7}$$

處罰成本(SC)

處罰成本為該週期無法滿足顧客需求之數量乘上其單位處罰成本，如式(1.8)所示：

$$SC = \sum_t \{ \sum_k cs_k^{cu} \times QS_{kt}^{cu} \} \tag{1.8}$$

生產之整備成本(FC)

生產整備成本為各廠是否生產此產品乘上其生產之整備成本，如式(1.9)所示：

$$\begin{aligned}
FC = & \sum_t \sum_i \sum_v cfm_{iv}^s \times MB_{ivt}^s + \sum_t \sum_i \sum_k cfm_{ik}^f \times MB_{ikt}^f + \\
& \sum_t \sum_i \sum_v cfm_{iv}^{ds} \times MB_{ivt}^{ds} + \sum_t \sum_i \sum_o cfm_{io}^{dm} \times MB_{iot}^{dm}
\end{aligned} \tag{1.9}$$

環境目標(F2)：

$$\text{Minimize } F2 = \sum_i TCC_i^s + \sum_i TCC_i^f + \sum_i TCC_i^d + \sum_i TTC_i^{co} \tag{2.1}$$

環境目標為最小碳排放量，如式(2.1)所示，式(2.1)中 TCC 為各廠之總碳排放量；Collect 據點沒有生產活動，因此， TTC_i^{co} 為 Collect 據點之總碳排放量。

半成品製造廠 i 之總碳排放量

半成品製造廠 i 之總碳排放量為半成品製造廠 i 之生產碳排放量加上半成品製造廠 i 之運輸碳排放量，如式(2.2)所示：

$$TCC_i^s = TMC_i^s + TTC_i^s \quad \forall i \tag{2.2}$$

成品製造廠 i 之總碳排放量

成品製造廠 i 之總碳排放量為成品製造廠 i 之生產碳排放量加上成品製造廠 i 之運輸碳排放量，如式(2.3)所示：

$$TCC_i^f = TMC_i^f + TTC_i^f \quad \forall i \tag{2.3}$$

Dis 廠 i 之總碳排放量

Dis 廠 i 之總碳排放量為 Dis 廠 i 之生產碳排放量加上 Dis 廠 i 之運輸碳排放量，如式(2.4)所示：

$$TCC_i^d = TMC_i^d + TTC_i^d \quad \forall i \tag{2.4}$$

在本研究中，將運輸之碳排放量歸納在買方之製造廠中，亦即半成品製造廠向原料供應商進行物料之採購，其運輸過程所產生的二氧化碳將視為半成品製造廠排放。

半成品製造廠 i 運輸之碳排放量

半成品製造廠 i 運輸之碳排放量為由各供應商運輸至半成品製造廠 i 之數量乘上其二氧化碳約當量加由各 Dis 廠運輸至半成品製造廠 i 之數量乘上其二氧化碳約當量，如式(2.5)所示：

$$TTC_i^s = \sum_t \sum_{i'} \sum_o c_{i'i}^{su-s} \times QT_{i'iot}^{su-s} + \sum_t \sum_{i'} \sum_o c_{i'i}^{d-s} \times QT_{i'iot}^{d-s} \quad \forall i \quad (2.5)$$

成品製造廠 i 運輸之碳排放量

成品製造廠 i 運輸之碳排放量為由各半成品製造廠運輸至成品製造廠 i 之數量乘上其二氧化碳約當量加由各 Dis 廠運輸至成品製造廠 i 之數量乘上其二氧化碳約當量，如式(2.6)所示：

$$TTC_i^f = \sum_t \sum_{i'} \sum_v c_{i'i}^{s-f} \times QT_{i'ivt}^{s-f} + \sum_t \sum_{i'} \sum_v c_{i'i}^{d-f} \times QT_{i'ivt}^{d-f} \quad \forall i \quad (2.6)$$

Dis 廠 i 運輸之碳排放量

Dis 廠 i 運輸之碳排放量為由各收集據點運輸至 Dis 廠 i 之數量乘上其二氧化碳約當量加由二手市場運輸各種產品至 Dis 廠 i 之數量乘上其二氧化碳約當量，如式(2.7)所示：

$$TTC_i^d = \sum_t \sum_{i'} \sum_v \sum_k c_{i'i}^{co-d} \times QT_{i'ivkt}^{co-d} + \sum_t \sum_v \sum_k c_i^{se-d-f} \times QT_{ivkt}^{se-d-f} + \sum_t \sum_v c_i^{se-d-s} \times QT_{ivt}^{se-d-s} \quad \forall i \quad (2.7)$$

Collect 據點 i 運輸之碳排放量

Collect 據點 i 運輸之碳排放量為由顧客端運輸至 Collect 據點 i 之數量乘上其二氧化碳約當量，如式(2.8)所示：

$$TTC_i^{co} = \sum_t \sum_v \sum_k c_i^{cu-co} \times QT_{ivkt}^{cu-co} \quad \forall i \quad (2.8)$$

半成品製造廠 i 生產之碳排放量

半成品製造廠 i 生產之碳排放量為半成品製造廠 i 生產各種類品項之數量乘上其二氧化碳約當量，如式(2.9)所示：

$$TMC_i^s = \sum_t \sum_v c_{iv}^s \times QM_{ivt}^s + \sum_t \sum_v \sum_{v'} c_{iv}^s \times QM_{ivv't}^{sv} \quad \forall i \quad (2.9)$$

成品製造廠 i 生產之碳排放量

成品製造廠 i 生產之碳排放量為成品製造廠 i 生產各種類品項之數量乘上其二氧化碳約當量，如式(2.10)所示：

$$TMC_i^f = \sum_t \sum_k c_{ik}^f \times QM_{ikt}^f \quad \forall i \quad (2.10)$$

Dis 廠 i 生產之碳排放量

Dis 廠 i 生產之碳排放量為 Dis 廠 i 拆解還原各種類品項之數量乘上其二氧化碳約當量，如式(2.11)所示：

$$TMC_i^d = \sum_t \sum_v c_{iv}^{ds} \times QM_{ivt}^{ds} + \sum_t \sum_v c_{iv}^{ds} \times QM_{ivt}^{dsn} + \sum_t \sum_o c_{io}^{dm} \times QM_{iot}^{dm} \quad \forall i \quad (2.11)$$

限制式

本研究所考量之限制式，則包含有供需平衡限制式、存貨平衡限制式、產品結構與耗用數量限制式、生產能力限制式、運輸能力限制式、採購上限、存貨上限以及產能上限，其各限制式如以下說明。

供需平衡限制式

$$d_{kt} + QS_{kt-1}^{cu} = QS_{kt}^{cu} + \sum_i QT_{ikt}^{f-cu} \quad \forall k, t \quad (3)$$

此條限制式主要考量顧客需求是否被滿足，若在週期內無法滿足則將納入下一期之需求。因此，顧客本期之總需求量(d_{kt})加上前期短缺數量(QS_{kt-1}^{cu})等於本期短缺數量(QS_{kt}^{cu})加上各成品製造廠供給數量之總和($\sum_i QT_{ikt}^{f-cu}$)。

存貨平衡限制式

此限制式主要有半成品製造廠之存貨平衡限制、成品製造廠之存貨平衡限制、Collect 據點之存貨平衡限制和 Disassemble 廠之存貨平衡限制，其主要邏輯概念為本期庫存數量必須等於前期庫存數量加上本期收到數量或是生產的數量減掉本期耗用的數量或是運送至供應鏈下游的數量。

$$QI_{i'ot}^{so} = QI_{i'ot-1}^{so} + \sum_i QT_{ii'ot}^{su-s} + \sum_i QT_{ii'ot}^{d-s} - \sum_v QC_{i'ovt}^s \quad \forall t, i', o \quad (4.1)$$

限制式(4.1)為半成品製造廠之原料存貨平衡限制式，本期原料之庫存數量($QI_{i'ot}^{so}$)等於前期原料之庫存數量($QI_{i'ot-1}^{so}$)加上本期從原料供應商收到數量之總和($\sum_i QT_{ii'ot}^{su-s}$)和從 Dis 廠收到原料數量之總和($\sum_i QT_{ii'ot}^{d-s}$)減掉本期耗用原料的數量($\sum_v QC_{i'ovt}^s$)。

$$QI_{ivt}^{sv} = QI_{ivt-1}^{sv} + QM_{ivt}^s + QM_{ivv't}^{sv} - \sum_{i'} QT_{ii'v,t+t_{ii'}^{s-f}}^{s-f} \quad \forall t, i, v, v' \quad (4.2)$$

限制式(4.2)為半成品製造廠之半成品存貨平衡限制式，本期半成品之庫存數量(QI_{ivt}^{sv})等於前期半成品之庫存數量(QI_{ivt-1}^{sv})加上本期產出之半成品數量(QM_{ivt}^s)和本期產出較高等級品項時，所產生低等級品項的數量($QM_{ivv't}^{sv}$)減掉本期運送至成品製造廠之數量總和($\sum_{i'} QT_{ii'v,t+t_{ii'}^{s-f}}^{s-f}$)。

$$QI_{i'vt}^{fv} = QI_{i'vt-1}^{fv} + \sum_i QT_{ii'vt}^{s-f} + \sum_i QT_{ii'vt}^{d-f} - \sum_k QC_{i'vkt}^f \quad \forall t, i', v \quad (4.3)$$

限制式(4.3)為成品製造廠之半成品存貨平衡限制式，本期半成品之庫存數量($QI_{i'vt}^{fv}$)等於前期半成品之庫存數量($QI_{i'vt-1}^{fv}$)加上本期從半成品製造商收到數量之總和($\sum_i QT_{ii'vt}^{s-f}$)和從 Dis 廠收到半成品數量之總和($\sum_i QT_{ii'vt}^{d-f}$)減掉本期耗用半成品的數量($\sum_k QC_{i'vkt}^f$)。

$$QI_{ikt}^{fk} = QI_{ikt-1}^{fk} + QM_{ikt}^f - QT_{ikt}^{f-cu} \quad \forall t, i, k \quad (4.4)$$

限制式(4.4)為成品製造廠之成品存貨平衡限制式，本期成品之庫存數量(QI_{ikt}^{fk})等於前期成品之庫存數量(QI_{ikt-1}^{fk})加上本期產出之成品數量(QM_{ikt}^f)減掉本期運送至顧客之數量(QT_{ikt}^{f-cu})。

$$QI_{i'vkt}^{co} = QI_{i'vkt-1}^{co} + QT_{i'vkt}^{cu-co} - \sum_i QT_{i'ivk,t+t_{ii'}^{co-d}}^{co-d} \quad \forall t, i', v, k \quad (4.5)$$

限制式(4.5)為 Collect 據點之成品存貨平衡限制式，本期成品之庫存數量($QI_{i'vkt}^{co}$)等於前期成品之庫存數量($QI_{i'vkt-1}^{co}$)加上本期從顧客端回收數量($QT_{i'vkt}^{cu-co}$)減掉本期由 Collect 據點運送至 Dis 廠之數量($\sum_i QT_{i'ivk,t+t_{ii'}^{co-d}}^{co-d}$)。

$$QI_{ivkt}^{dk} = QI_{ivkt-1}^{dk} + \sum_{i'} QT_{i'ivkt}^{co-d} + QT_{ivkt}^{se-d-f} - QC_{ikvt}^{df} \quad \forall t, i, v, k \quad (4.6)$$

限制式(4.6)為 Dis 廠之成品存貨平衡限制式，本期成品之庫存數量(QI_{ivkt}^{dk})等於前期成品之庫存數量(QI_{ivkt-1}^{dk})加上本期從 Collect 據點收到數量之總和($\sum_{i'} QT_{i'ivkt}^{co-d}$)和從二手市場購買成品之數量(QT_{ivkt}^{se-d-f})減掉本期耗用成品的

數量(QC_{ikvt}^{df})。

$$QI_{ivt}^{dv} = QI_{ivt-1}^{dv} + QM_{ivt}^{ds} - \sum_{i'} QT_{ii'v,t+t_{ii}^{df}}^{d-f} - \sum_o QC_{ivot}^{ds} \quad \forall t, i, v \quad (4.7)$$

限制式(4.7)為 Dis 廠拆解後可直接回到正向物流之半成品良品存貨平衡限制式，本期半成品良品之庫存數量(QI_{ivt}^{dv})等於前期半成品良品之庫存數量(QI_{ivt-1}^{dv})加上本期產出之半成品良品數量(QM_{ivt}^{ds})減掉本期運送至成品製造廠之數量($\sum_{i'} QT_{ii'v,t+t_{ii}^{df}}^{d-f}$)，再減掉本期耗用半成品良品之數量($\sum_o QC_{ivot}^{ds}$)。

$$QI_{ivt}^{dvn} = QI_{ivt-1}^{dvn} + QM_{ivt}^{dsn} + QT_{ivt}^{se-d-s} - \sum_o QC_{ivot}^{dsn} \quad \forall t, i, v \quad (4.8)$$

限制式(4.8)為 Dis 廠拆解後不能直接回到正向物流之半成品不良品存貨平衡限制式，本期半成品不良品之庫存數量(QI_{ivt}^{dvn})等於前期半成品不良品之庫存數量(QI_{ivt-1}^{dvn})加上本期產出之半成品不良品數量(QM_{ivt}^{dsn})和從二手市場購買半成品之數量(QT_{ivt}^{se-d-s})，再減掉本期耗用半成品不良品之數量($\sum_o QC_{ivot}^{dsn}$)。

$$QI_{iot}^{do} = QI_{iot-1}^{do} + QM_{iot}^{dm} - \sum_{i'} QT_{ii'o,t+t_{ii}^{d-s}}^{d-s} \quad \forall t, i, o \quad (4.9)$$

限制式(4.9)為 Dis 廠拆解後可回到正向物流之原料存貨平衡限制式，本期原料之庫存數量(QI_{iot}^{do})等於前期原料之庫存數量(QI_{iot-1}^{do})加上本期產出之原料數量(QM_{iot}^{dm})減掉本期運送至半成品製造廠之數量($\sum_{i'} QT_{ii'o,t+t_{ii}^{d-s}}^{d-s}$)。

產品結構與耗用數量限制式

此限制式主要目的在考慮 BOM 表之組成用量下，產品原料端的耗用數量必須與其可生產出之生產數量相等，並結合產品良率和拆解之良率，以計算出當期最終之生產數量。

$$QM_{iv,t+t_{iv}^s}^s = \alpha_v \times \sum_o \left(\frac{QC_{iovt}^s}{a_{ov}^s} \right), \text{ if } a_{ov}^s > 0 \quad \forall t, i, v \quad (5.1)$$

$$QM_{ivv',t+t_{iv}^s}^{sv} = (1-\alpha_v) \times \sum_o \left(\frac{QC_{iovt}^s}{a_{ov}^s} \right), \text{ if } a_{ov}^s > 0 \quad \forall t, i, v, v' \quad (5.2)$$

$$QC_{iovt}^s = 0, \text{ if } a_{ov}^s = 0 \quad \forall t, i, o, v \quad (5.3)$$

限制式(5.1)-限制式(5.3)皆為半成品製造廠之產品結構與耗用數量限制式，限制式(5.1)表當原料種類 o 能組成半成品種類 v 時(*if* $a_{ov}^s > 0$)，則半成品種類 v 之生產數量($QM_{iv,t+t_v^s}^s$)等於原料 o 之耗用數量除以其單位組成用量，再乘上其良率($\alpha_v \times \sum_o \left(\frac{QC_{iovt}^s}{a_{ov}^s} \right)$)。限制式(5.2)表示在生產半成品 v 時，由於考量產品良率，其不良品即是半成品等級較低半成品 v' ，則半成品種類 v' 由此種方式之生產數量($QM_{iv',t+t_{v'}^s}^{sv}$)等於原料 o 之耗用數量除以其單位組成用量，再乘上半成品 v 之生產不良率($(1-\alpha_v) \times \sum_o \left(\frac{QC_{iovt}^s}{a_{ov}^s} \right)$)。限制式(5.3)則表示當原料 o 對半成品種類 v 之單位組成用量為 0 時(*if* $a_{ov}^s = 0$)，則其耗用數量將亦為 0($QC_{iovt}^s = 0$)。

舉例而言，若欲生產 1 個半成品種類 v 需原料種類 o 之 5 單位，且半成品種類 v 之良率為 0.8，則在此週期中，耗用 100 原料 o 將可生產出半成品 v 有 16 單位($0.8 \times 100 / 5 = 16$)和半成品 v' 有 4 單位($(1-0.8) \times 100 / 5 = 4$)。

$$QM_{ik,t+t_k^f}^f = \sum_v \left(\frac{QC_{ivkt}^f}{a_{vk}^f} \right), \text{ if } a_{vk}^f > 0 \quad \forall t, i, k \quad (5.4)$$

$$QC_{ivkt}^f = 0, \text{ if } a_{vk}^f = 0 \quad \forall t, i, v, k \quad (5.5)$$

限制式(5.4)-限制式(5.5)皆為成品製造廠之產品結構與耗用數量限制式，限制式(5.4)表當半成品種類 v 組成成品種類 k 時(*if* $a_{vk}^f > 0$)，則成品種類 k 之生產數量($QM_{ik,t+t_k^f}^f$)等於半成品種類 v 之耗用數量除以其組成用量，並將所有半成品種類 v 可生產成品種類 k 之數量總和相加($\sum_v \left(\frac{QC_{ivkt}^f}{a_{vk}^f} \right)$)。限制式(5.5)則表示當半成品種類 v 對成品種類 k 之組成用量為 0 時(*if* $a_{vk}^f = 0$)，則其耗用數量將亦為 0($QC_{ivkt}^f = 0$)。

$$QM_{iv,t+t_v^{ds}}^{ds} = \sum_k \left(\beta_k \times QC_{ikvt}^{df} \times a_{kv}^{ds} \right), \text{ if } a_{kv}^{ds} > 0 \quad \forall t, i, v \quad (5.6)$$

$$QM_{iv,t+t_v^{ds}}^{dsn} = \sum_k \left((1-\beta_k) \times QC_{ikvt}^{df} \times a_{kv}^{ds} \right), \text{ if } a_{kv}^{ds} > 0 \quad \forall t, i, v \quad (5.7)$$

$$QC_{ikvt}^{df} = 0, \text{ if } a_{kv}^{ds} = 0 \quad \forall t, i, v, k \quad (5.8)$$

限制式(5.6)-限制式(5.8)皆為 Dis 廠拆解成品時之產品結構與耗用數量限制式，限制式(5.6)表當成品種類 k 能拆解成半成品種類 v 時(*if* $a_{kv}^{ds} > 0$)，則半成品種類 v 之生產數量($QM_{iv,t+t_{iv}^{ds}}^{ds}$)等於成品種類 k 之耗用數量乘上其組成用量，再乘上其拆解良率($\beta_k \times QC_{ikvt}^{df} \times a_{kv}^{ds}$)，最後再將所有成品種類 k 可拆解成半成品種類 v 之數量加總($\sum_k (\beta_k \times QC_{ikvt}^{df} \times a_{kv}^{ds})$)。限制式(5.7)表示在生產半成品 v 時，由於考量產品良率，其不良品之生產數量($QM_{iv,t+t_{iv}^{ds}}^{dsn}$)等於成品 k 之耗用數量乘上其組成用量，再乘上 1 減半成品 v 之生產良率($(1-\beta_k) \times QC_{ikvt}^{df} \times a_{kv}^{ds}$)，最後再將所有成品種類 k 再拆解成半成品種類 v 時產生不良品之數量加總($\sum_k ((1-\beta_k) \times QC_{ikvt}^{df} \times a_{kv}^{ds})$)。限制式(5.8)則表示當成品種類 k 不能拆解成半成品種類 v 時(*if* $a_{kv}^{ds} = 0$)，則其耗用數量將亦為 0($QC_{ikvt}^{df} = 0$)。

舉例而言，若拆解 1 個成品種類 k 可得到半成品種類 v 之 5 單位，且拆解之良率為 0.8，則在此週期中，耗用 10 成品 k 將可生產出半成品 v 之良品有 40 單位 ($0.8 \times 10 \times 5 = 40$) 和半成品 v 之不良品有 10 單位 ($(1-0.8) \times 10 \times 5 = 10$)。

$$QM_{io,t+t_{io}^{dm}}^{dm} = \sum_v (QC_{ivot}^{ds} \times a_{vo}^{dm}) + \sum_v (QC_{ivot}^{dsn} \times a_{vo}^{dm}), \text{ if } a_{vo}^{dm} > 0 \quad \forall t, i, o \quad (5.9)$$

$$QC_{ivot}^{ds} = QC_{ivot}^{dsn} = 0, \text{ if } a_{vo}^{dm} = 0 \quad \forall t, i, v, o \quad (5.10)$$

限制式(5.9)-限制式(5.10)皆為 Dis 廠拆解半成品時之產品結構與耗用數量限制式，限制式(5.9)表當半成品種類 v 能拆解成原料 o 時(*if* $a_{vo}^{dm} > 0$)，則原料 o 之生產數量($QM_{io,t+t_{io}^{dm}}^{dm}$)等於半成品種類 v 良品之耗用數量乘上其組成用量($\sum_v (QC_{ivot}^{ds} \times a_{vo}^{dm})$)，並加上半成品種類 v 不良品之耗用數量乘上其組成用量($\sum_v (QC_{ivot}^{dsn} \times a_{vo}^{dm})$)。限制式(5.10)則表示當半成品種類 v 不能拆解成原料 o 時(*if* $a_{vo}^{dm} = 0$)，則其耗用數量將亦為 0($QC_{ivot}^{ds} = QC_{ivot}^{dsn} = 0$)。

生產能力限制式

此條限制式之目的在於判斷各製造廠(半成品製造廠、成品製造廠以及

Dis 廠)是否有進行某品項之生產。先進行是否能在此製造廠生產之判斷，即二元變數會受到生產之二元參數所限制，然而，若可進行生產，則在判斷是否在此製造廠進行生產。

$$MB_{ivt}^s \leq ma_{iv}^s, \quad QM_{ivt}^s + QM_{ivv't}^{sv} \leq M \times MB_{ivt}^s \quad \forall t, i, v, v' \quad (6.1)$$

$$MB_{ikt}^f \leq ma_{ik}^f, \quad QM_{ikt}^f \leq M \times MB_{ikt}^f \quad \forall t, i, k \quad (6.2)$$

$$MB_{ivt}^{ds} \leq ma_{iv}^{ds}, \quad QM_{ivt}^{ds} + QM_{ivt}^{dsn} \leq M \times MB_{ivt}^{ds} \quad \forall t, i, v \quad (6.3)$$

$$MB_{iot}^{dm} \leq ma_{io}^{dm}, \quad QM_{iot}^{dm} \leq M \times MB_{iot}^{dm} \quad \forall t, i, o \quad (6.4)$$

限制式(6.1)為半成品製造廠之生產能力限制式，首先進行此製造廠之生產能力之判斷($MB_{ivt}^s \leq ma_{iv}^s$)，若 $ma_{iv}^s = 1$ ，則 MB_{ivt}^s 即可等於 1 或 0，也就是說在半成品製造廠 i 可以生產半成品 v ；然而，若 QM_{ivt}^s 與 $QM_{ivv't}^{sv}$ 其中有一個不等於 0，則 MB_{ivt}^s 即必須等於 1，即表示在半成品製造廠 i 有生產半成品 v ，因此可能會有生產整備成本之產生。反之，若 $ma_{iv}^s = 0$ ，則 MB_{ivt}^s 即等於 0，也就是說在半成品製造廠 i 不可以生產半成品 v ，因此， QM_{ivt}^s 與 $QM_{ivv't}^{sv}$ 亦都會等於 0，即表示半成品製造廠 i 不會生產半成品 v 。

限制式(6.2)為成品製造廠之生產能力限制式、限制式(6.3)為 Dis 廠生產半成品之生產能力限制式、限制式(6.4)為 Dis 廠生產原料之生產能力限制式，其限制式之判斷邏輯，皆與限制式(6.1)相同。

運輸能力限制式

此限制式之目的在於判斷供應鏈各階各廠間是否流通，即表示當兩廠間可進行物流之流通時，即可進行採購或出貨；反之，則流通之數量將等於 0。因此，在此設計二元參數，使其表示兩廠間是否可運輸，若其等於 1，即表示可運輸，若為 0，則表示無法運輸。

$$QT_{ii'ot}^{su-s} \leq ta_{ii'}^{su-s} \times M \quad \forall i, i', o, t \quad (7.1)$$

$$QT_{ii'vt}^{s-f} \leq ta_{ii'}^{s-f} \times M \quad \forall i, i', v, t \quad (7.2)$$

$$QT_{ii'vkt}^{co-d} \leq ta_{ii'}^{co-d} \times M \quad \forall i, i', v, k, t \quad (7.3)$$

$$QT_{ii'ot}^{d-s} \leq ta_{ii'}^{d-s} \times M \quad \forall i, i', o, t \quad (7.4)$$

$$QT_{ii'vt}^{d-f} \leq ta_{ii'}^{d-f} \times M \quad \forall i, i', v, t \quad (7.5)$$

$$QT_{ivkt}^{se-d-f} \leq ta_{ii'}^{se-d} \times M \quad \forall i, v, k, t \quad (7.6)$$

$$QT_{ivt}^{se-d-s} \leq ta_{ii'}^{se-d} \times M \quad \forall i, v, t \quad (7.7)$$

限制式(7.1)乃是原料供應商與半成品製造廠間之運輸限制式， $ta_{ii'}^{su-s}$ 即表示原料供應商 i 與半成品製造廠 i' 間是否可進行運輸，若 $ta_{ii'}^{su-s} = 1$ ，即表示兩廠間可進行運輸；反之，若 $ta_{ii'}^{su-s} = 0$ ，即表示兩廠間無法進行運輸，因此其兩廠間之運輸數量將會等於 0，即 $QT_{ii'ot}^{su-s} = 0$ 。限制式(7.2)-限制式(7.7)則是供應鏈其他階段間之運輸限制式，其判斷的邏輯亦與限制式(7.1)相同。

採購上限

原料供應商在提供給各製造廠相關之原料或產品時，通常會與各製造廠簽訂合約，每週期會有可供給之上限數量與下限數量；二手市場則因為回收產品會受到過去市場所影響，因此每週期亦會有供應上限；而 Collect 據點在向顧客主動回收時，將會全數回收。

$$QT_{ii'ot}^{su-s} \leq s_{iot}^U \quad \forall t, i, i', o \quad (8.1)$$

$$s_{io}^L \leq \sum_t \sum_{i'} QT_{ii'ot}^{su-s} \quad \forall i, o \quad (8.2)$$

限制式(8.1)為半成品製造廠向原料供應商在單一週期內採購之數量 ($QT_{ii'ot}^{su-s}$)，其將小於原料供應商可供應之上限 (s_{iot}^U)。限制式(8.2)為半成品製造廠向原料供應商採購之數量 ($\sum_t \sum_{i'} QT_{ii'ot}^{su-s}$)，其將大於製造廠與原料供應商所簽約之最小採購數量 (s_{io}^L)。

$$\sum_i QT_{ivkt}^{cu-co} = r_{vkt} \quad \forall t, v, k \quad (8.3)$$

限制式(8.3)則為 Collect 據點 i 向顧客端回收之總數量 ($\sum_i QT_{ivkt}^{cu-co}$) 等於此週期可以回收之數量 (r_{vkt})。

$$\sum_i QT_{ivkt}^{se-d-f} \leq se_{vkt}^f \quad \forall t, k, v \quad (8.4)$$

$$\sum_i QT_{ivt}^{se-d-s} \leq se_{vt}^s \quad \forall t, v \quad (8.5)$$

限制式(8.4)與限制式(8.5)表示 Dis 廠在週期內向二手市場採購二手成品與二手半成品之總數量將小於二手市場可以提供之數量。

存貨上限

本研究之存貨上限只考慮正向供應鏈中之半成品製造廠與成品製造廠，並考慮其原料端與成品端兩者。限制式(9.1)是半成品製造廠之原料總存貨小於等於半成品製造廠之原料存貨上限；限制式(9.2)是半成品製造廠之半成品總存貨小於等於半成品製造廠之半成品存貨上限；限制式(9.3)是成品製造廠之半成品總存貨小於等於成品製造廠之半成品存貨上限；限制式(9.4)是成品製造廠之成品總存貨小於等於成品製造廠之成品存貨上限。

$$\sum_o QI_{iot}^{so} \leq u_i^{so} \quad \forall t, i \quad (9.1)$$

$$\sum_v QI_{ivt}^{sv} \leq u_i^{sv} \quad \forall t, i \quad (9.2)$$

$$\sum_v QI_{ivt}^{fv} \leq u_i^{fv} \quad \forall t, i \quad (9.3)$$

$$\sum_k QI_{ikt}^{fk} \leq u_i^{fk} \quad \forall t, i \quad (9.4)$$

產能上限

供應鏈中各階之製造廠之生產數量必須小於等於其產能上限，限制式(10.1)表示半成品製造廠 i 之半成品總生產數量($\sum_v QM_{ivt}^s + \sum_v QM_{ivt}^{sv}$)小於等於半成品製造廠 i 之產能上限(m_i^s)；限制式(10.2)表示成品製造廠 i 之成品總生產數量($\sum_k QM_{ikt}^f$)小於等於成品製造廠 i 之產能上限(m_i^f)；限制式(10.3)表示 Dis 廠 i 之半成品生產數量總和($\sum_v QM_{ivt}^{ds} + \sum_v QM_{ivt}^{dsn}$)小於等於 Dis 廠 i 之半成品產能上限(m_i^{ds})；限制式(10.4)表示 Dis 廠 i 之原料生產數量總和($\sum_o QM_{iot}^{dm}$)小於等於 Dis 廠 i 之原料產能上限(m_i^{dm})。

$$\sum_v QM_{ivt}^s + \sum_v \sum_{v'} QM_{ivv't}^{sv'} \leq m_i^s \quad \forall t, i \quad (10.1)$$

$$\sum_k QM_{ikt}^f \leq m_i^f \quad \forall t, i \quad (10.2)$$

$$\sum_v QM_{ivt}^{ds} + \sum_v QM_{ivt}^{dsn} \leq m_i^{ds} \quad \forall t, i \quad (10.3)$$

$$\sum_o QM_{iot}^{dm} \leq m_i^{dm} \quad \forall t, i \quad (10.4)$$

3.2.5 多目標之求解流程

本研究所提出之整合型綠色供應鏈生產規劃模式乃是一多目標之混整數線性規劃模式，而過去研究中，以多目標進行求解的方法主要有四種：妥協規劃法(compromise programming)、權重法(weighting method)、限制法(constraint method)以及目標規劃法(goal programming method)，而本研究將使用限制法中之 ε -限制法進行多目標之求解。

ε -限制法基本的想法即為將一多目標問題轉為單目標問題求解。選取其中一個目標式做最佳化，並將剩餘的目標式賦予一個 ε 值，加入限制式計算。其求解步驟流程圖，如圖 3.3 所示：

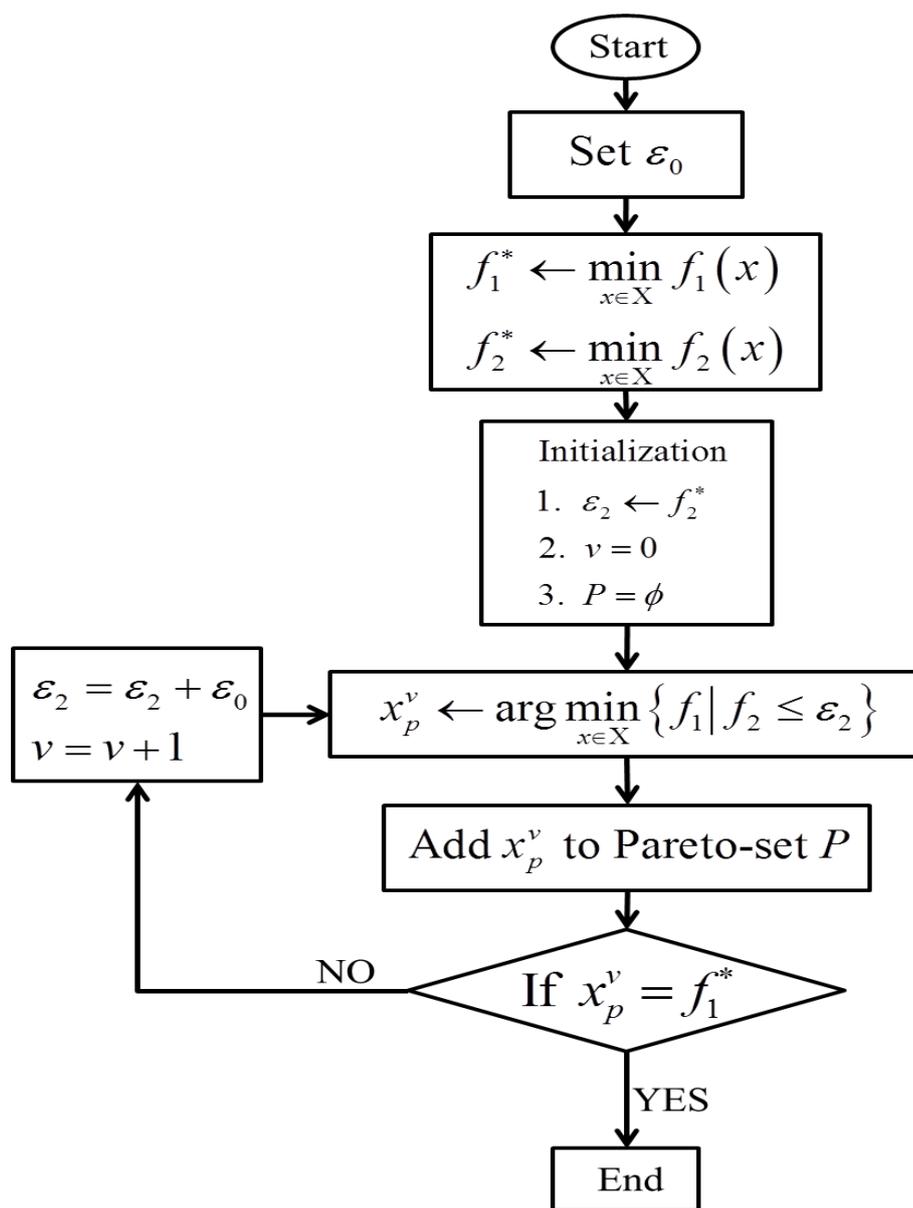


圖3.3 ε -限制法之求解步驟流程圖

ε -限制法求解步驟：

(假設針對 $f_1(x)$ 進行最佳化，同時賦予 $f_2(x)$ 一 RHS 加入限制式)

1. 給定 ε_0 初始值。
2. 分別針對 $f_1(x)$ 與 $f_2(x)$ 進行最佳化，取得 f_1^* 與 f_2^* 。
3. 進行初始化動作。
 - (1) 設定 ε_2 為 $f_2(x)$ 之 RHS。 ε_2 初始值為最佳化 $f_2(x)$ 值 f_2^* 。
 - (2) 設定計數器值 v 為 0。
 - (3) 設定柏拉圖最適解集合 P 為空集合。

4. 求解目標式 $f_1(x)$ 。 x_p^v 為目標式 $f_1(x)$ 最佳解。
5. 將 x_p^v 加入柏拉圖最適解集合 P 。

判斷 x_p^v 是否與最佳化 $f_1(x)$ 值 f_1^* 相同。若無，則將 ε_2 加上 ε_0 且計數器值 v 加 1，回到之前求解步驟繼續執行；反之，結束流程。

而本研究首先將進行以經濟目標最小化之求解，並記錄其對應之環境目標值；接著，進行以環境目標最小化之求解，並記錄其對應之經濟目標值； ε 值以經濟目標最小下的環境目標與最低環境目標之差後，並除以決策人員欲計算柏拉圖最適解之次數後取得，並將 ε 值作為環境目標之上限，開始逐一計算每種情境之經濟目標值，最後將得到一組柏拉圖最適解，取得此組最適解後，將可提供決策人員在考量不同環境目標下之生產規劃結果，並選擇可接受之經濟目標，以進行顧客需求之配置。本研究使用 ε -限制法之流程圖，如圖 3.4 所示：

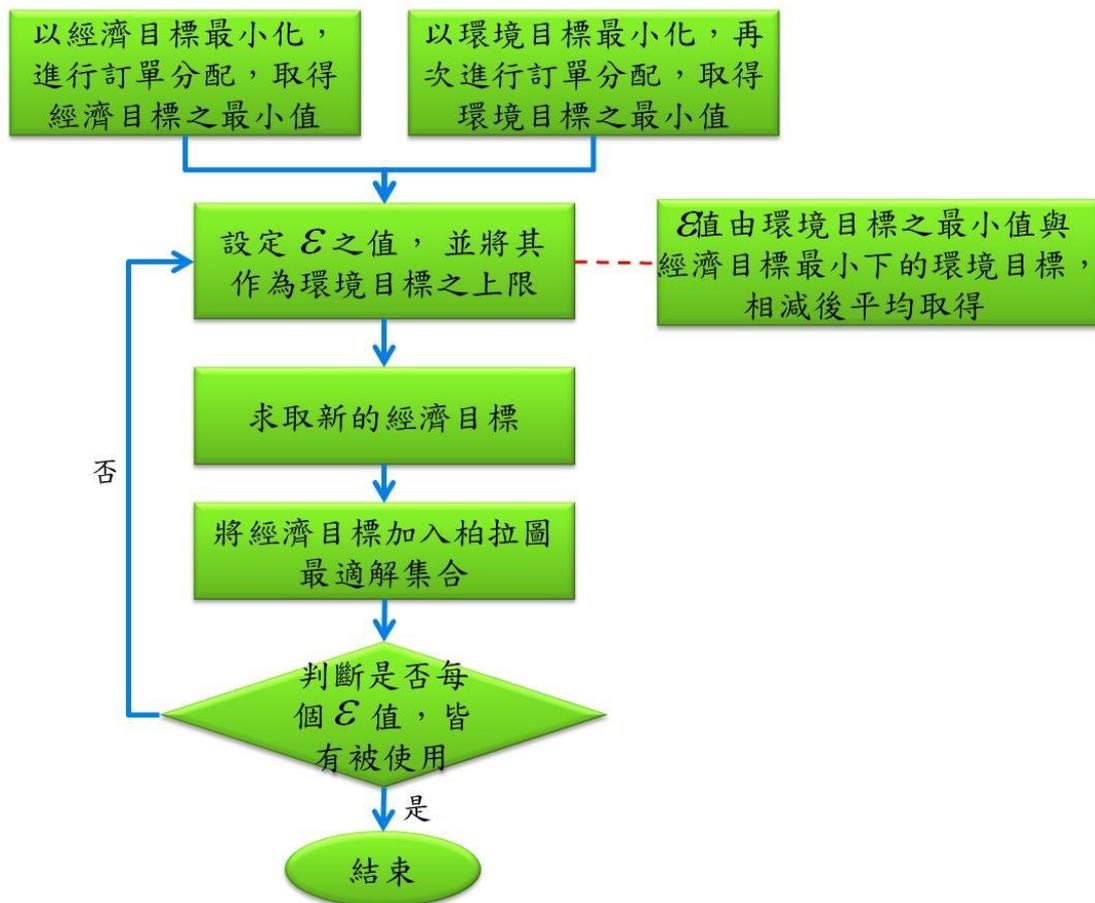


圖3.4 本研究 ε -限制法之流程圖

3.3 模式範例

本節將提出一模式範例，以驗證本研究所提出之數學模式。本節將分成三大部分敘述，分別為模式範例之相關數據、實驗環境與範例結果。而在此範例中，則以兩週為一規劃週期，一次進行 12 個週期的規劃；實驗相關數據則為本研究自行假設。

3.3.1 模式範例相關數據

在此範例中，考量之供應鏈架構，如 3.1 節之圖 3.1，其中則包含了正向供應鏈之原料供應商、半成品製造廠、成品製造廠以及顧客端；逆向供應鏈則有收集據點(Collect)、二手市場(Second Market)和拆解廠(Disassemble; Dis)，本範例則假設有三個原料供應商，其他製造廠與收集據點亦各有三個。而所考量之產品結構與組成用量如圖 3.5 所示，則主要有三種成品、四種半成品和一種原物料，其中半成品 Type1 與半成品 Type2 屬於同類型之半成品，半成品 Type1 等級較 Type2 高；半成品 Type3 與半成品 Type4 亦屬於同類型之半成品，半成品 Type3 等級較 Type4 高。而成品 Type1 主要由半成品 Type1 組成亦可使用等級較低之 Type2 組成；成品 Type2 可以由半成品 Type3 組成亦可使用等級較低之 Type4 組成；成品 Type3 可以由半成品 Type1 組成亦可由 Type3 組成。

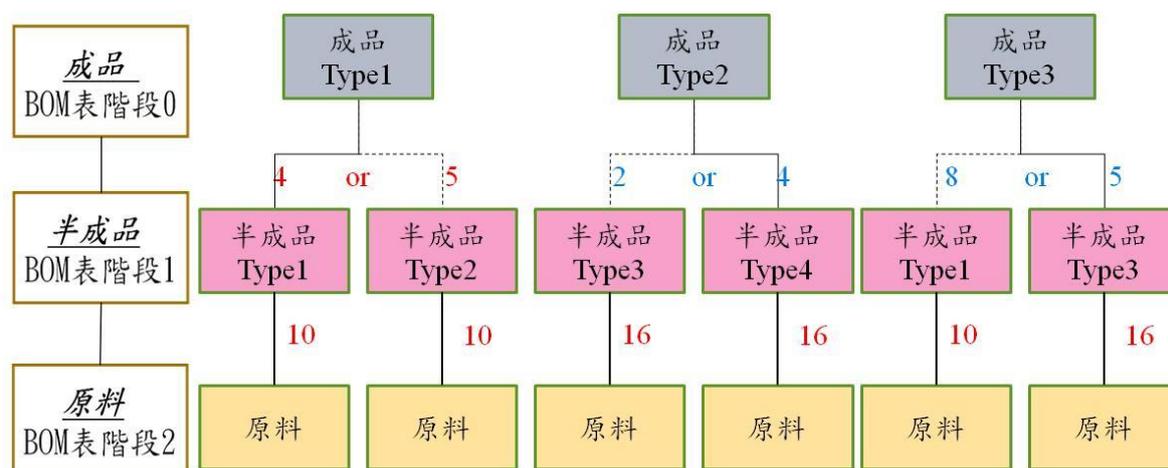


圖3.5 模式案例之產品BOM架構圖

其他已知資訊則包含有顧客需求量、各相關成本、生產良率、產品之生產相關資訊(生產成本、生產整備成本、生產之碳排放量、生產前置時間與生產能力)和運輸相關資訊(運輸成本、碳排放量、運輸前置時間與運輸能力)...等，如下各表所示：

表3.1 範例問題之已知資料：顧客需求量

週期 (t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
產 品 種 類 (k)	1	0	0	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	2	0	0	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	3	0	0	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

表3.2 範例問題之已知資料：成品廠至顧客之運輸成本

	成品製造廠		
	1	2	3
顧客端	$ct_1^{f-cu} : \$1$	$ct_2^{f-cu} : \$1$	$ct_3^{f-cu} : \$1$

表3.3 範例問題之已知資料：顧客端至Collect據點之運輸相關資訊

	Collect 據點					
	1		2		3	
顧客端	$ct_1^{cu-co} : \$1$	$c_1^{cu-co} : 1$	$ct_2^{cu-co} : \$1$	$c_2^{cu-co} : 1$	$ct_3^{cu-co} : \$1$	$c_3^{cu-co} : 1$

表3.4 範例問題之已知資料：每期可由顧客端回收之數量

週期(t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
半成品	產品												
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3.4 範例問題之已知資料：每期可由顧客端回收之數(續)

週期(t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
半成品	產品												
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 3.5 範例問題之已知資料：各廠間之運輸相關資訊-1

		半成品製造廠					
		1		2		3	
供應商	1	$ct_{11}^{su-s} : \$1$	$t_{11}^{su-s} : 1$	$ct_{12}^{su-s} : \$2$	$t_{12}^{su-s} : 1$	$ct_{13}^{su-s} : \$1$	$t_{13}^{su-s} : 1$
		$c_{11}^{su-s} : 1$	$ta_{11}^{su-s} : 1$	$c_{12}^{su-s} : 1$	$ta_{12}^{su-s} : 1$	$c_{13}^{su-s} : 3$	$ta_{13}^{su-s} : 0$
	2	$ct_{21}^{su-s} : \$2$	$t_{21}^{su-s} : 1$	$ct_{22}^{su-s} : \$1$	$t_{22}^{su-s} : 1$	$ct_{23}^{su-s} : \$1$	$t_{23}^{su-s} : 1$
		$c_{21}^{su-s} : 3$	$ta_{21}^{su-s} : 1$	$c_{22}^{su-s} : 1$	$ta_{22}^{su-s} : 1$	$c_{23}^{su-s} : 4$	$ta_{23}^{su-s} : 0$
	3	$ct_{31}^{su-s} : \$1$	$t_{31}^{su-s} : 1$	$ct_{32}^{su-s} : \$1$	$t_{32}^{su-s} : 1$	$ct_{33}^{su-s} : \$2$	$t_{33}^{su-s} : 1$
		$c_{31}^{su-s} : 2$	$ta_{31}^{su-s} : 1$	$c_{32}^{su-s} : 1$	$ta_{32}^{su-s} : 0$	$c_{33}^{su-s} : 4$	$ta_{33}^{su-s} : 1$
DIS 廠	1	$ct_{11}^{d-s} : \$1$	$t_{11}^{d-s} : 1$	$ct_{12}^{d-s} : \$1$	$t_{12}^{d-s} : 1$	$ct_{13}^{d-s} : \$2$	$t_{13}^{d-s} : 1$
		$c_{11}^{d-s} : 1$	$ta_{11}^{d-s} : 1$	$c_{12}^{d-s} : 1$	$ta_{12}^{d-s} : 0$	$c_{13}^{d-s} : 1$	$ta_{13}^{d-s} : 1$
	2	$ct_{21}^{d-s} : \$2$	$t_{21}^{d-s} : 1$	$ct_{22}^{d-s} : \$2$	$t_{22}^{d-s} : 1$	$ct_{23}^{d-s} : \$2$	$t_{23}^{d-s} : 1$
		$c_{21}^{d-s} : 1$	$ta_{21}^{d-s} : 1$	$c_{22}^{d-s} : 1$	$ta_{22}^{d-s} : 0$	$c_{23}^{d-s} : 1$	$ta_{23}^{d-s} : 1$
	3	$ct_{31}^{d-s} : \$2$	$t_{31}^{d-s} : 1$	$ct_{32}^{d-s} : \$1$	$t_{32}^{d-s} : 1$	$ct_{33}^{d-s} : \$1$	$t_{33}^{d-s} : 1$
		$c_{31}^{d-s} : 1$	$ta_{31}^{d-s} : 0$	$c_{32}^{d-s} : 1$	$ta_{32}^{d-s} : 1$	$c_{33}^{d-s} : 1$	$ta_{33}^{d-s} : 1$

表3.6 範例問題之已知資料：各廠間之運輸相關資訊-2

		成品製造廠					
		1		2		3	
半 成 品 製 造 廠	1	$ct_{11}^{s-f} : \$1$	$t_{11}^{s-f} : 1$	$ct_{12}^{s-f} : \$2$	$t_{12}^{s-f} : 1$	$ct_{13}^{s-f} : \$1$	$t_{13}^{s-f} : 1$
		$c_{11}^{s-f} : 1$	$ta_{11}^{s-f} : 1$	$c_{12}^{s-f} : 1$	$ta_{12}^{s-f} : 1$	$c_{13}^{s-f} : 2$	$ta_{13}^{s-f} : 1$
	2	$ct_{21}^{s-f} : \$1$	$t_{21}^{s-f} : 1$	$ct_{22}^{s-f} : \$2$	$t_{22}^{s-f} : 1$	$ct_{23}^{s-f} : \$1$	$t_{23}^{s-f} : 1$
		$c_{21}^{s-f} : 2$	$ta_{21}^{s-f} : 1$	$c_{22}^{s-f} : 1$	$ta_{22}^{s-f} : 0$	$c_{23}^{s-f} : 1$	$ta_{23}^{s-f} : 1$
	3	$ct_{31}^{s-f} : \$1$	$t_{31}^{s-f} : 1$	$ct_{32}^{s-f} : \$1$	$t_{32}^{s-f} : 1$	$ct_{33}^{s-f} : \$1$	$t_{33}^{s-f} : 1$
		$c_{31}^{s-f} : 1$	$ta_{31}^{s-f} : 1$	$c_{32}^{s-f} : 1$	$ta_{32}^{s-f} : 1$	$c_{33}^{s-f} : 1$	$ta_{33}^{s-f} : 0$
DIS 廠	1	$ct_{11}^{d-f} : \$1$	$t_{11}^{d-f} : 1$	$ct_{12}^{d-f} : \$1$	$t_{12}^{d-f} : 1$	$ct_{13}^{d-f} : \$1$	$t_{13}^{d-f} : 1$
		$c_{11}^{d-f} : 1$	$ta_{11}^{d-f} : 1$	$c_{12}^{d-f} : 1$	$ta_{12}^{d-f} : 1$	$c_{13}^{d-f} : 1$	$ta_{13}^{d-f} : 0$
	2	$ct_{21}^{d-f} : \$1$	$t_{21}^{d-f} : 1$	$ct_{22}^{d-f} : \$1$	$t_{22}^{d-f} : 1$	$ct_{23}^{d-f} : \$1$	$t_{23}^{d-f} : 1$
		$c_{21}^{d-f} : 2$	$ta_{21}^{d-f} : 1$	$c_{22}^{d-f} : 1$	$ta_{22}^{d-f} : 0$	$c_{23}^{d-f} : 1$	$ta_{23}^{d-f} : 1$
	3	$ct_{31}^{d-f} : \$1$	$t_{31}^{d-f} : 1$	$ct_{32}^{d-f} : \$1$	$t_{32}^{d-f} : 1$	$ct_{33}^{d-f} : \$1$	$t_{33}^{d-f} : 1$
		$c_{31}^{d-f} : 1$	$ta_{31}^{d-f} : 0$	$c_{32}^{d-f} : 1$	$ta_{32}^{d-f} : 1$	$c_{33}^{d-f} : 1$	$ta_{33}^{d-f} : 0$

表3.7 範例問題之已知資料：各廠間之運輸相關資訊-3

		DIS 廠					
		1		2		3	
Collect 據點	1	$ct_{11}^{co-d} : \$1$	$t_{11}^{co-d} : 1$	$ct_{12}^{co-d} : \$1$	$t_{12}^{co-d} : 1$	$ct_{13}^{co-d} : \$1$	$t_{13}^{co-d} : 1$
		$c_{11}^{co-d} : 1$	$ta_{11}^{co-d} : 1$	$c_{12}^{co-d} : 1$	$ta_{12}^{co-d} : 1$	$c_{13}^{co-d} : 1$	$ta_{13}^{co-d} : 1$
	2	$ct_{21}^{co-d} : \$1$	$t_{21}^{co-d} : 1$	$ct_{22}^{co-d} : \$1$	$t_{22}^{co-d} : 1$	$ct_{23}^{co-d} : \$1$	$t_{23}^{co-d} : 1$
		$c_{21}^{co-d} : 1$	$ta_{21}^{co-d} : 1$	$c_{22}^{co-d} : 1$	$ta_{22}^{co-d} : 1$	$c_{23}^{co-d} : 1$	$ta_{23}^{co-d} : 1$
	3	$ct_{31}^{co-d} : \$1$	$t_{31}^{co-d} : 1$	$ct_{32}^{co-d} : \$1$	$t_{32}^{co-d} : 1$	$ct_{33}^{co-d} : \$1$	$t_{33}^{co-d} : 1$
		$c_{31}^{co-d} : 1$	$ta_{31}^{co-d} : 1$	$c_{32}^{co-d} : 1$	$ta_{32}^{co-d} : 1$	$c_{33}^{co-d} : 1$	$ta_{33}^{co-d} : 1$

表 3.7 範例問題之已知資料：各廠間之運輸相關資訊-3(續)

	DIS 廠					
	1		2		3	
二手市場	$ct_1^{se-d-f} : \$1$	$t_1^{se-d} : 1$	$ct_2^{se-d-f} : \$1$	$t_2^{se-d} : 1$	$ct_3^{se-d-f} : \$1$	$t_3^{se-d} : 1$
	$ct_1^{se-d-s} : \$1$		$ct_2^{se-d-s} : \$1$		$ct_3^{se-d-s} : \$1$	
	$c_1^{se-d-f} : 1$	$ta_1^{se-d} : 1$	$c_2^{se-d-f} : 1$	$ta_2^{se-d} : 1$	$c_3^{se-d-f} : 1$	$ta_3^{se-d} : 1$
	$c_1^{se-d-s} : 1$		$c_2^{se-d-s} : 1$		$c_3^{se-d-s} : 1$	

表3.8 範例問題之已知資料：各廠之生產相關資訊

		生產成本		生產整備成本		生產碳排放量		生產前置時間		生產能力	
半 成 品 製 造 廠	1	$cm_{11}^s : \$3$	$cm_{13}^s : \$4$	$cfm_{11}^s : \$100$	$cfm_{13}^s : \$200$	$c_{11}^s : 9$	$c_{13}^s : 4$	$t_{11}^s : 1$	$t_{13}^s : 1$	$ma_{11}^s : 1$	$ma_{13}^s : 0$
		$cm_{12}^s : \$1$	$cm_{14}^s : \$2$	$cfm_{12}^s : \$100$	$cfm_{14}^s : \$200$	$c_{12}^s : 9$	$c_{14}^s : 4$	$t_{12}^s : 1$	$t_{14}^s : 1$	$ma_{12}^s : 1$	$ma_{14}^s : 0$
	2	$cm_{21}^s : \$3$	$cm_{23}^s : \$4$	$cfm_{21}^s : \$200$	$cfm_{23}^s : \$100$	$c_{21}^s : 8$	$c_{23}^s : 6$	$t_{21}^s : 1$	$t_{23}^s : 1$	$ma_{21}^s : 0$	$ma_{23}^s : 1$
		$cm_{22}^s : \$1$	$cm_{24}^s : \$2$	$cfm_{22}^s : \$200$	$cfm_{24}^s : \$100$	$c_{22}^s : 8$	$c_{24}^s : 6$	$t_{22}^s : 1$	$t_{24}^s : 1$	$ma_{22}^s : 0$	$ma_{24}^s : 1$
	3	$cm_{31}^s : \$3$	$cm_{33}^s : \$4$	$cfm_{31}^s : \$200$	$cfm_{33}^s : \$500$	$c_{31}^s : 3$	$c_{33}^s : 3$	$t_{31}^s : 1$	$t_{33}^s : 1$	$ma_{31}^s : 1$	$ma_{33}^s : 1$
		$cm_{32}^s : \$2$	$cm_{34}^s : \$3$	$cfm_{32}^s : \$200$	$cfm_{34}^s : \$500$	$c_{32}^s : 3$	$c_{34}^s : 3$	$t_{32}^s : 1$	$t_{34}^s : 1$	$ma_{32}^s : 1$	$ma_{34}^s : 1$
成 品 製 造 廠	1	$cm_{11}^f : \$1$	$cm_{13}^f : \$4$	$cfm_{11}^f : \$100$	$cfm_{13}^f : \$300$	$c_{11}^f : 3$	$c_{13}^f : 2$	$t_{11}^f : 1$	$t_{13}^f : 1$	$ma_{11}^f : 1$	$ma_{13}^f : 1$
		$cm_{12}^f : \$2$		$cfm_{12}^f : \$200$		$c_{12}^f : 4$		$t_{12}^f : 1$		$ma_{12}^f : 0$	
	2	$cm_{21}^f : \$1$	$cm_{23}^f : \$4$	$cfm_{21}^f : \$300$	$cfm_{23}^f : \$200$	$c_{21}^f : 6$	$c_{23}^f : 2$	$t_{21}^f : 1$	$t_{23}^f : 1$	$ma_{21}^f : 0$	$ma_{23}^f : 1$
		$cm_{22}^f : \$2$		$cfm_{22}^f : \$300$		$c_{22}^f : 4$		$t_{22}^f : 1$		$ma_{22}^f : 1$	
	3	$cm_{31}^f : \$3$	$cm_{33}^f : \$6$	$cfm_{31}^f : \$200$	$cfm_{33}^f : \$300$	$c_{31}^f : 8$	$c_{33}^f : 2$	$t_{31}^f : 1$	$t_{33}^f : 1$	$ma_{31}^f : 1$	$ma_{33}^f : 1$
		$cm_{32}^f : \$3$		$cfm_{32}^f : \$200$		$c_{32}^f : 5$		$t_{32}^f : 1$		$ma_{32}^f : 1$	

表 3.8 範例問題之已知資料：各廠之生產相關資訊(續)

		生產成本		生產整備成本		生產碳排放量		生產前置時間		生產能力	
DIS 廠	1	$cm_{11}^{ds} : \$2$	$cm_{13}^{ds} : \$2$	$cfm_{11}^{ds} : \$1,000$	$cfm_{13}^{ds} : \$100$ 0	$c_{11}^{ds} : 2$	$c_{13}^{ds} : 3$	$t_{11}^{ds} : 1$	$t_{13}^{ds} : 1$	$ma_{11}^{ds} : 1$	$ma_{13}^{ds} : 1$
		$cm_{12}^{ds} : \$1$	$cm_{14}^{ds} : \$1$	$cfm_{12}^{ds} : \$500$	$cfm_{14}^{ds} : \$500$	$c_{12}^{ds} : 2$	$c_{14}^{ds} : 3$	$t_{12}^{ds} : 1$	$t_{14}^{ds} : 1$	$ma_{12}^{ds} : 1$	$ma_{14}^{ds} : 1$
		$cm_{11}^{dm} : 1$		$cfm_{11}^{dm} : \$100$		$c_{11}^{dm} : 2$		$t_{11}^{dm} : 1$		$ma_{11}^{dm} : 1$	
	2	$cm_{21}^{ds} : \$2$	$cm_{23}^{ds} : \$2$	$cfm_{21}^{ds} : \$500$	$cfm_{23}^{ds} : \$500$	$c_{21}^{ds} : 6$	$c_{23}^{ds} : 8$	$t_{21}^{ds} : 1$	$t_{23}^{ds} : 1$	$ma_{21}^{ds} : 1$	$ma_{23}^{ds} : 1$
		$cm_{22}^{ds} : \$1$	$cm_{24}^{ds} : \$1$	$cfm_{22}^{ds} : \$500$	$cfm_{24}^{ds} : \$500$	$c_{22}^{ds} : 6$	$c_{24}^{ds} : 8$	$t_{22}^{ds} : 1$	$t_{24}^{ds} : 1$	$ma_{22}^{ds} : 1$	$ma_{24}^{ds} : 1$
		$cm_{21}^{dm} : 1$		$cfm_{21}^{dm} : \$100$		$c_{21}^{dm} : 2$		$t_{21}^{dm} : 1$		$ma_{21}^{dm} : 1$	
	3	$cm_{31}^{ds} : \$2$	$cm_{33}^{ds} : \$2$	$cfm_{31}^{ds} : \$500$	$cfm_{33}^{ds} : \$500$	$c_{31}^{ds} : 1$	$c_{33}^{ds} : 1$	$t_{31}^{ds} : 1$	$t_{33}^{ds} : 1$	$ma_{31}^{ds} : 1$	$ma_{33}^{ds} : 1$
		$cm_{32}^{ds} : \$1$	$cm_{34}^{ds} : \$1$	$cfm_{32}^{ds} : \$500$	$cfm_{34}^{ds} : \$500$	$c_{32}^{ds} : 1$	$c_{34}^{ds} : 1$	$t_{32}^{ds} : 1$	$t_{34}^{ds} : 1$	$ma_{32}^{ds} : 1$	$ma_{34}^{ds} : 1$
		$cm_{31}^{dm} : 1$		$cfm_{31}^{dm} : \$100$		$c_{31}^{dm} : 2$		$t_{31}^{dm} : 1$		$ma_{31}^{dm} : 1$	

表3.9 範例問題之已知資料：各廠之產能限制與存貨上限

半成品製造廠之產能上限	10,000	半成品製造廠原料之庫存上限	500,000
成品製造廠之產能上限	1,000	半成品製造廠半成品之庫存上限	500,000
拆解廠生產半成品之產能上限	1,000	成品製造廠半成品之庫存上限	500,000
拆解廠生產原料之產能上限	1,0000	成品製造廠成品之庫存上限	500,000

表3.10 範例問題之已知資料：供應商與二手市場之供給限制

各供應商每一週期可供給原料之數量上限	50,000		
各供應商於規劃週期內供給原料之數量下限	50,000		
二手市場在每一週期之可供給由半成品種類 v 組成之成品種類 k 數量上限(其餘皆為 0)	$se_{11t}^f : 100$	$se_{21t}^f : 500$	$se_{33t}^f : 100$
	$se_{13t}^f : 100$	$se_{32t}^f : 100$	$se_{42t}^f : 500$
Second Market 在週期 t 之可供給半成品種類 v 數量上限	$se_{1t}^s : 500$		$se_{3t}^s : 100$
	$se_{2t}^s : 100$		$se_{4t}^s : 100$

表3.11 範例問題之已知資料：半成品之生產良率

半成品種類	1	2	3	4
生產良率	0.75	1	0.8	1

表3.12 範例問題之已知資料：拆解成品之良率

成品種類	1	2	3
拆解良率	0.8	0.8	0.8

表3.13 範例問題之已知資料：產品之缺貨處罰成本

成品種類	1	2	3
單位處罰成本	99,999	99,999	99,999

表3.14 範例問題之已知資料：其他相關成本

採購成本	皆為\$1
庫存成本	皆為\$1

3.3.2 模式範例之實驗環境

本範例在作業系統為 Windows XP Professional SP3，CPU 為 Intel® Core(TM) i7-2600K 3.40GHz 3.39GHz 與記憶體為 3.42GB RAM 之環境下，進行實驗，並以 ILOG CPLEX 11.0 軟體進行求解運算，其程式語言為 JAVA。此模式範例之經濟目標最小化之求解結果置於最後的附錄一中。

3.3.3 模式範例結果

本範例首先進行經濟目標最小化之求解，其經濟目標與環境目標，如表 3.15 所示；接著，則將模式轉換為以環境目標最小化進行求解，其經濟目標與環境目標，如表 3.15 所示。

表3.15 經濟目標最小化與環境目標最小化之求解結果

	經濟目標(F1)	環境目標(F2)
經濟目標最小化	\$3,211,254	2,912,048.8888
環境目標最小化	\$3,270,442	2,609,809

將兩個環境目標進行相減得到 302,240 (2,912,049-2,609,809=302,240)，而本模式範例預計找出 30 個柏拉圖最適解，因此設定 ϵ 值為 10,000 (302,240/30=10,000)，亦即環境目標之上限將分別設為 2,620,000、2,630,000 逐漸遞增，各求解結果如表 3.16 所示。本研究 ϵ 值之決定，將取決於決策人員之判斷，並可能以碳排放之上限作為 ϵ 值之考量。然而，本範例將 ϵ 值設為 10,000，其主要原因在於本範例將求取 30 個柏拉圖最適解，以凸顯本模式之功能與目的。

表3.16 不同環境目標限制之求解結果

環境目標上限	經濟目標	環境目標
2,620,000	3,262,977	2,620,000
2,630,000	3,255,652	2,629,999.9999
2,640,000	3,248,341	2,640,000
2,650,000	3,233,798	2,650,000
2,660,000	3,233,798	2,659,999.9999
2,670,000	3,226,781	2,670,000
2,680,000	3,219,874	2,680,000
2,690,000	3,215,942	2,689,999.9999
2,700,000	3,215,584	2,700,000
2,710,000	3,215,071	2,709,999.9999
2,720,000	3,214,873	2,719,999.9999
2,730,000	3,214,679	2,729,999.9999
2,740,000	3,214,505	2,740,000
2,750,000	3,214,292	2,750,000
2,760,000	3,214,098	2,760,000
2,770,000	3,213,904	2,770,000
2,780,000	3,213,711	2,780,000
2,790,000	3,213,517	2,790,000
2,800,000	3,213,323	2,799,999.9999

表 3.16 不同環境目標限制之求解結果(續)

環境目標上限	經濟目標	環境目標
2,810,000	3,213,130	2,810,000
2,820,000	3,212,936	2,820,000
2,830,000	3,212,742	2,830,000
2,840,000	3,212,568	2,840,000
2,850,000	3,212,355	2,850,000
2,860,000	3,212,181	2,860,000
2,870,000	3,211,968	2,869,999.9999
2,880,000	3,211,793	2,880,000
2,890,000	3,211,600	2,889,999.9999
2,900,000	3,211,387	2,900,000

由表 3.16 可知，在不同的環境目標限制下的各個求解結果，並將此表之求解結果繪製柏拉圖曲線圖，如圖 3.6 所示，縱軸為經濟目標值；橫軸則為環境目標值，並在此曲線圖上加入最低經濟目標與最低環境目標之結果，以利進行分析。

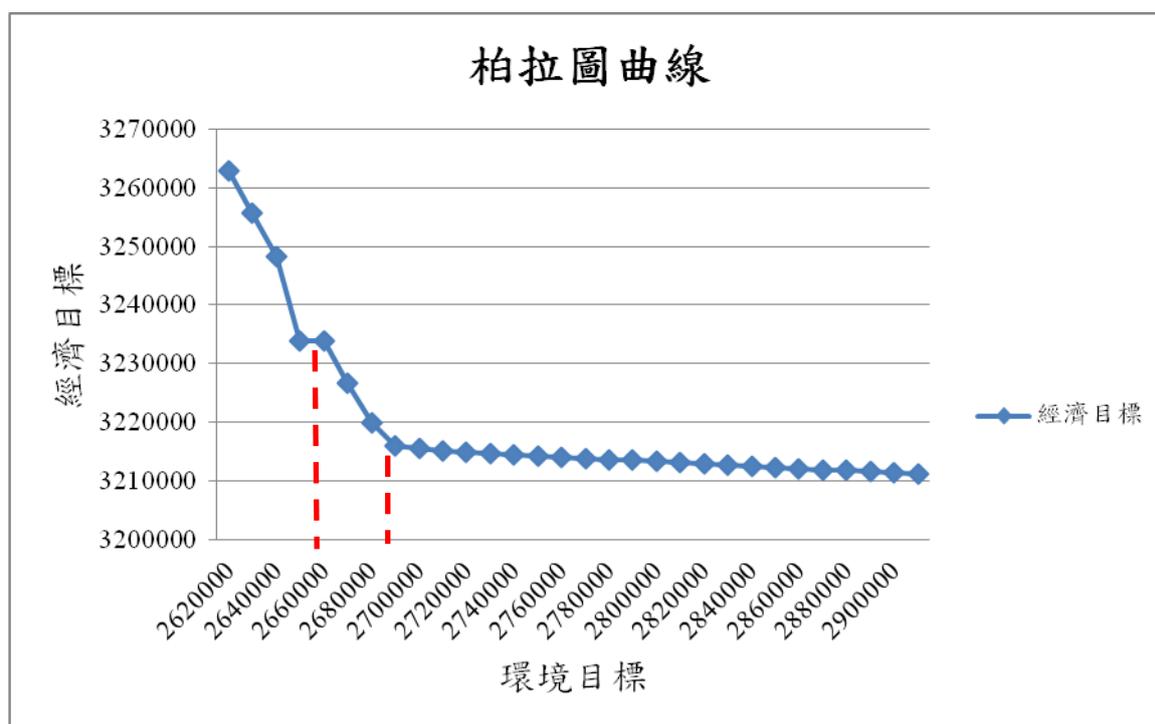


圖3.6 模式範例之柏拉圖曲線

由圖 3.6 可知，環境目標限制在 2,650,000 與 2,660,000 時，其經濟目標皆為 3,233,798，並可得知若再降低環境目標之限制，經濟目標將會大幅

上升；而環境目標限制若介於 2,660,000 與 2,690,000 之間，其經濟目標亦依環境目標限制之減少，呈現小幅上升之情況；接著，若環境目標限制在 2,690,000 以上，則經濟目標則會隨著環境目標限制的放寬，呈現穩定減少的狀況。

若以數據面進行分析，將有以下幾點發現：

1. 將環境目標限制設定在 2,690,000 時，其與最小經濟目標最小化之環境目標 2,912,049 相比，碳排放量約減少 222,049 ($2,690,000 - 2,912,049 = -222,049$)，而其經濟目標增加 4,688 ($3,215,942 - 3,211,254 = 4,688$)，亦表示減少 1 單位之碳排放量需增加 0.02 單位之成本。
2. 若以環境目標限制 2,660,000 與 2,690,000 之間進行比較時，可得知當環境目標限制為 2,660,000 時，環境目標與 2,690,000 相比約減少 30,000 ($2,660,000 - 2,690,000 = -30,000$)，經濟目標約增加 17,856 ($3,233,798 - 3,215,942 = 17,856$)，亦表示減少 1 單位之碳排放量需增加 0.60 單位之成本
3. 以環境目標限制 2,660,000 與最低環境目標 2,609,809 之間進行比較時，可得知當環境目標限制為 2,660,000 時，環境目標約減少 50,191 ($2,609,809 - 2,660,000 = -50,191$)，但經濟目標卻增加 36,644 ($3,270,442 - 3,233,798 = 36,644$)，亦表示減少 1 單位之碳排放量需增加 0.73 單位之成本。

因此，若將柏拉圖曲線分成三大區塊，第一區塊為環境目標介於 2,690,000 與 2,912,049 之間，若企業在此區塊內增加環境目標之限制，將較符合經濟效益；第二區塊為環境目標介於 2,660,000 與 2,690,000 之間，若企業在此區塊內增加環境目標之限制，則其經濟目標上升之幅度將會略微上升；第三區塊為環境目標介於 2,609,809 與 2,660,000 之間，若企業在此區塊內增加環境目標之限制，則其經濟目標將大幅提高。

綜合上述，本模式範例所進行求解之結果，可提供決策人員在進行生產規劃時，可依其需求進行經濟目標與環境目標之取捨。並透過本模式範例之柏拉圖曲線，可得知本模式範例之兩個環境目標之臨界點，分別在 2,690,000 與 2,650,000，在此兩點加強環境目標之限制時，經濟成本將大幅

上升。因此，依此模式範例之求解結果，本研究將建議決策人員可將環境目標限制之最小值設定於 2,690,000，並選擇符合其決策要求之生產規劃結果。

第四章 模式評估與分析

4.1 產業案例

本研究將以矽晶太陽能電池產業為例，以此產業之綠色供應鏈架構進行生產規劃以滿足最終端顧客之需求，並以每個月作為規劃週期，一次進行六週期之規劃。

4.1.1 產業案例相關數據

在此產業案例中，考量之供應鏈架構，如圖 4.1，其中則包含了正向供應鏈之矽原料供應商、Wafer 製造廠、Cell 製造廠、Module 製造廠、System 製造廠以及顧客端；逆向供應鏈則有收集據點(Collect)、二手市場(Second Market)、拆解廠(Disassemble; Dis)和重製廠(Re-Ms)。每一階層除了顧客端與二手市場外，皆假設有三個廠。供應鏈各成員之功能說明，如下所述：

1. 矽原料供應商：提供太陽級多晶矽原物料。
2. Wafer 製造廠：太陽能電池第一階生產單位，純化多晶矽原料，並製成晶圓；矽原料由矽原料供應商或重製廠提供。
3. Cell 製造廠：太陽能電池第二階生產單位，將晶圓製成電池；晶圓由 Wafer 製造廠或重製廠提供。
4. Module 製造廠：太陽能電池第三階生產單位，將電池封裝成模組；電池由 Cell 製造廠或拆解廠提供。
5. System 製造廠：太陽能電池最末階生產單位，將模組配置成為系統，並配銷至顧客端。
6. 回收據點：第一階逆物流成員，收集淘汰之太陽能模組。
7. 拆解廠：第二階逆物流成員，將報廢模組拆解為太陽能電池；可用之太陽能電池將直接投入 Module 製造廠生產，需要重製之太陽能電池則交給重製廠進行再製。
8. 重製廠：最末階逆物流成員，將廢棄電池重製為可用之晶圓或矽原料，並將其提供給 Cell 製造廠和 Wafer 製造廠。
9. 二手原物料市場：其他可提供逆物流成員二手物料之潛在通路。

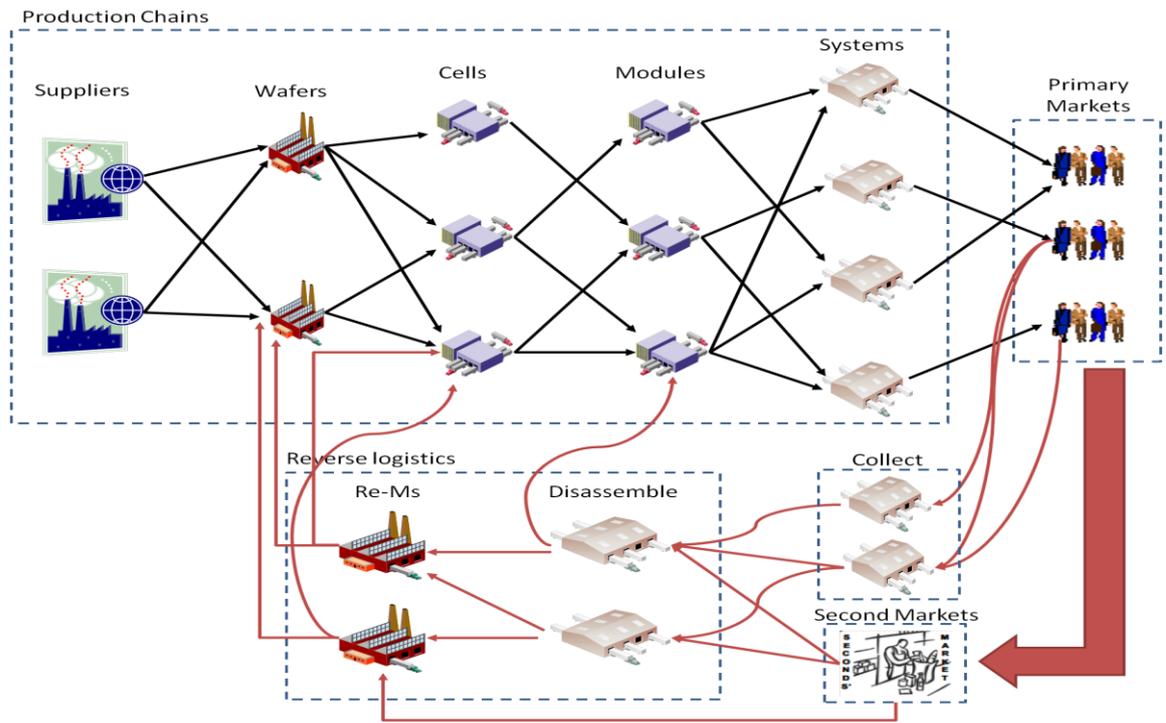


圖4.1 矽晶太陽能之綠色供應鏈架構示意圖

本案例所考量之產品主要有 2 種 systems、3 種 modules、4 種 cells、2 種 wafers 和矽原料，其結構與組成用量如圖 4.2 和圖 4.3 所示，其中種類 1 之 cell 與種類 2 之 cell 屬於多晶矽之 cell；種類 3 之 cell 與種類 4 之 cell 屬於單晶矽之 cell，而種類 1 與種類 3 之轉換效率各別較種類 2 和種類 4 為佳；另外種類 1 之 wafer 為多晶矽之 wafer，種類 2 之 wafer 為單晶矽之 wafer。

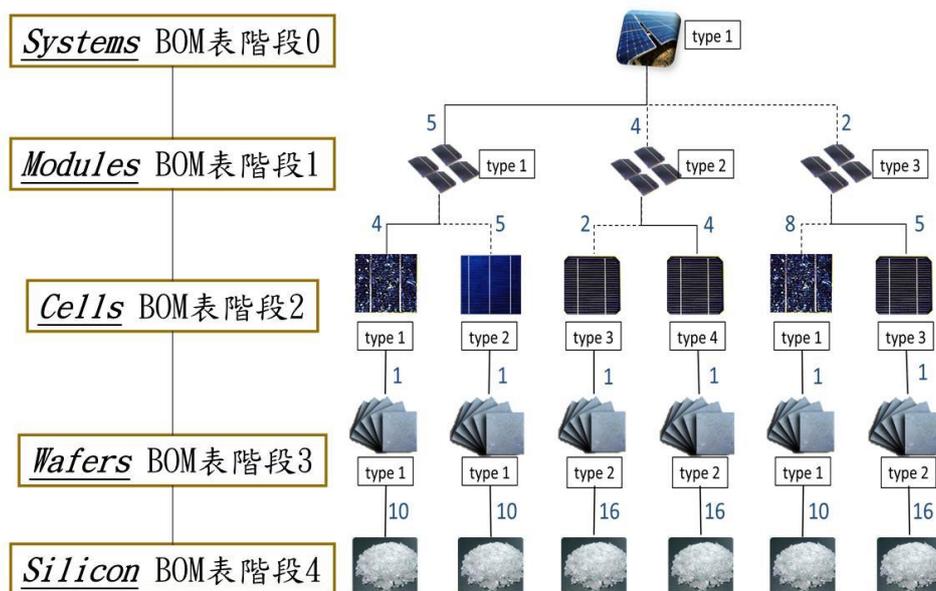


圖4.2 產業案例之system種類1之BOM架構圖

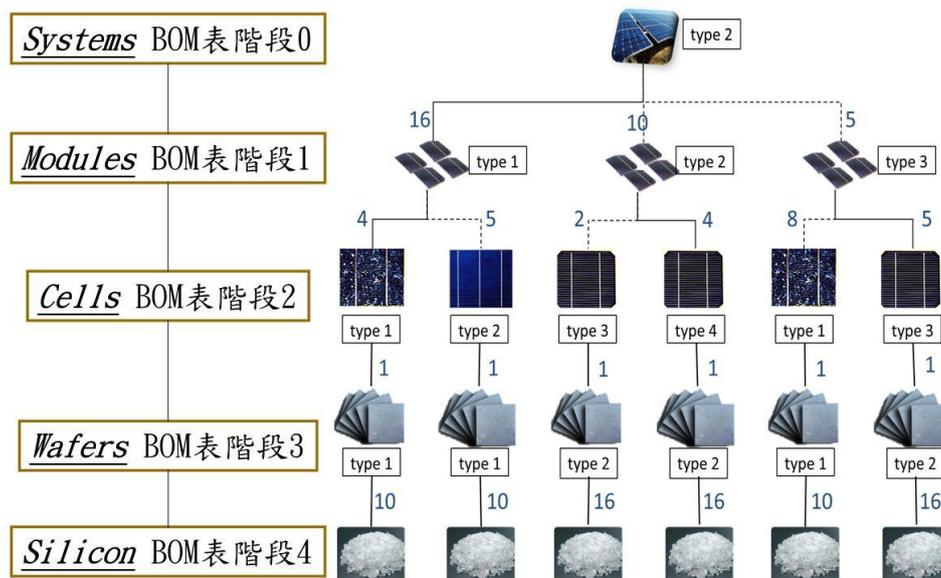


圖4.3 產業案例之system種類2之BOM架構圖

已知資訊主要有顧客需求量和每期可由顧客端回收之數量，如表 4.1 和表 4.2 所示，其他相關已知資訊，包含生產相關資訊和運輸相關資訊，將置於論文之附錄中。

表4.1 已知資料：顧客需求量

週期(t)		1	2	3	4	5	6
systems 種類(k)	1	0	0	0	1,000	1,000	1,000
	2	0	0	0	1,000	1,000	1,000

表4.2 已知資料：每期可由顧客端回收之modules數量

		週期(t)					
		1	2	3	4	5	6
cells(l)	modules(v)						
1	1	500	500	500	500	500	500
	2	0	0	0	0	0	0
	3	500	500	500	500	500	500
2	1	300	300	300	300	300	300
	2	0	0	0	0	0	0

表 4.2 已知資料：每期可由顧客端回收之 modules 數量(續)

週期(t)		1	2	3	4	5	6
cells(l)	modules(v)						
2	3	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
	2	300	300	300	300	300	300
	3	0	0	0	0	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0
	2	500	500	500	500	500	500
	3	500	500	500	500	500	500

本產業案例之實驗環境與模式範例相同，亦在作業系統為 Windows XP Professional SP3，CPU 為 Intel® Core(TM) i7-2600K 3.40GHz 3.39GHz 與記憶體為 3.42GB RAM 之環境下，進行實驗，並以 ILOG CPLEX 11.0 軟體進行求解運算，其程式語言為 JAVA。此產業案例之最低經濟目標之求解結果置於論文的附錄三中。

4.1.2 產業案例結果

本研究所提出之生產規劃模式，可以經濟目標為基礎，進行需求分配之求解，亦可以環境目標作為基礎進行求解。若以環境目標為基礎作為考量，乃是將經濟目標作為 ϵ -限制法之限制，將可求得在不同的經濟限制下之環境目標，當企業必須符合綠色產業之需求時，以提供企業在考量環境議題下亦可兼顧整體供應鏈之成本。然而，在實務上，目前各企業仍期望以成本最低作為生產規劃之目標，因此，在本產業案例將與過往相同，以經濟目標作為規劃之基礎，並同時考量生產過程中之碳排放量(環境目標)，以符合實際業界之需求。

本產業案例之多目標求解流程與模式範例相同，如圖 3.4 所示，其各步驟說明如下：

1. 以經濟目標最小化進行求解，其求解結果，如表 4.3 所示。

表4.3 經濟目標最小化之目標值

	經濟目標	環境目標(ton)
經濟目標最小化 (min cost)	\$3,148,360	1,895,827

2. 以環境目標最小化進行求解，其求解結果，如表 4.4 所示。

表4.4 環境目標最小化之目標值

	經濟目標	環境目標(ton)
環境目標最小化 (Min carbon)	\$3,218,723	1,808,022

3. 決定 ϵ -限制法之 ϵ 值

將兩個環境目標進行相減得到 87805(1895827-1808022=87805)，而本產業案例中，預計設定 ϵ 值為 10,000，因此將找出 9 個柏拉圖最適解(87,805/10,000=8.7)，而環境目標之上限則分別設定為 1,810,000、1,820,000、...、1,890,000。

4. 柏拉圖最適解

由 ϵ -限制法所決定的環境目標上限，其求解結果之目標值，如表 4.5 所示。

表4.5 不同環境目標限制之目標值

環境目標上限	經濟目標	環境目標(ton)
1,810,000	\$3,210,215	1,810,000
1,820,000	\$3,194,129	1,820,000
1,830,000	\$3,184,726	1,830,000
1,840,000	\$3,176,714	1,840,000
1,850,000	\$3,168,518	1,850,000
1,860,000	\$3,160,618	1,859,999.999
1,870,000	\$3,153,565	1,870,000
1,880,000	\$3,150,498	1,879,999.999
1,890,000	\$3,148,954	1,887,745

5. 結果分析

將表 4.5 之結果繪製成柏拉圖曲線圖，如圖 4.4 所示，縱軸為經濟目標

值；橫軸則為環境目標值，並在此曲線圖上加入最低經濟目標與最低環境目標之結果，以利進行分析。

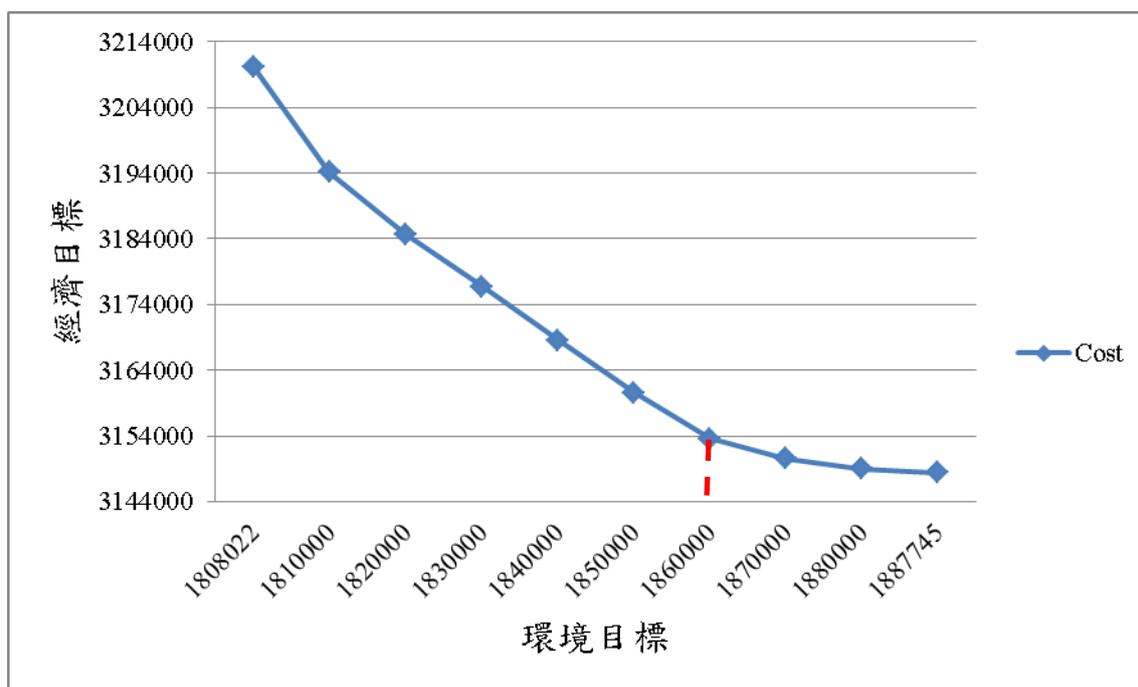


圖4.4 產業案例之柏拉圖曲線

由此圖可知，隨著環境目標之減少，其經濟目標則逐漸上升。然而，當環境目標為 1,860,000 時，此柏拉圖曲線約略可分成兩區塊，針對此兩區塊之說明如下：

1. 環境目標介於 1,860,000 與 1,887,745 之間：

在此區塊中，碳排放量減少約 27,745 ($1,860,000 - 1,887,745 = -27,745$)，而經濟目標則增加約 \$11,664 ($3,160,618 - 3,148,954 = 11,664$)，亦表示減少 1 單位之碳排放量需增加 0.42 單位之成本。

2. 環境目標介於 1,860,000 與 1,808,022 之間：

在此區塊中，碳排放量約減少 51,987 ($1,808,022 - 1,860,000 = 51,987$)，而經濟目標卻增加約 \$58,105 ($3,218,723 - 3,160,618 = 58,105$)，亦表示減少 1 單位之碳排放量需增加 1.12 單位之成本。

綜合上述，可推論碳排放限制在 1,860,000 為一臨界點，因此建議生管人員依環境目標限制為 1,860,000 之規劃結果，作為生產規劃之依據。其建議之原因為其經濟目標與最低的經濟目標相差不大，且單位之減碳成本亦符合經濟效益，此結果將可符合產業低成本之生產考量，亦兼具減碳之成

效。

而碳排放限制為 1,860,000 時的訂單配置之部分結果，如圖 4.5 所示，圖 4.5 為碳排放限制為 1,860,000 時，供應鏈各階層為了滿足顧客在第四週期需求之配置結果。由圖 4.5 可知為了滿足此週期的顧客需求，供應鏈各階層其生產數量以及節點間之運輸數量。舉例來說，Cell 1 廠生產出 cell 種類 3 之數量為 4,256 和 cell 種類 4 之數量為 1,064，因此，其所需的物料為 wafer 種類 2 之數量 5,320，而此 wafers 之主要是由 Wafer 2 廠提供，因此 Wafer 2 廠必須生產出 5,320 單位之 wafer 種類 2 之產品，為了滿足 Wafer 2 廠之生產需求，其向原料供應商購買相對需求之矽原料數量。其他各階層各廠之邏輯亦相同，以此類推。

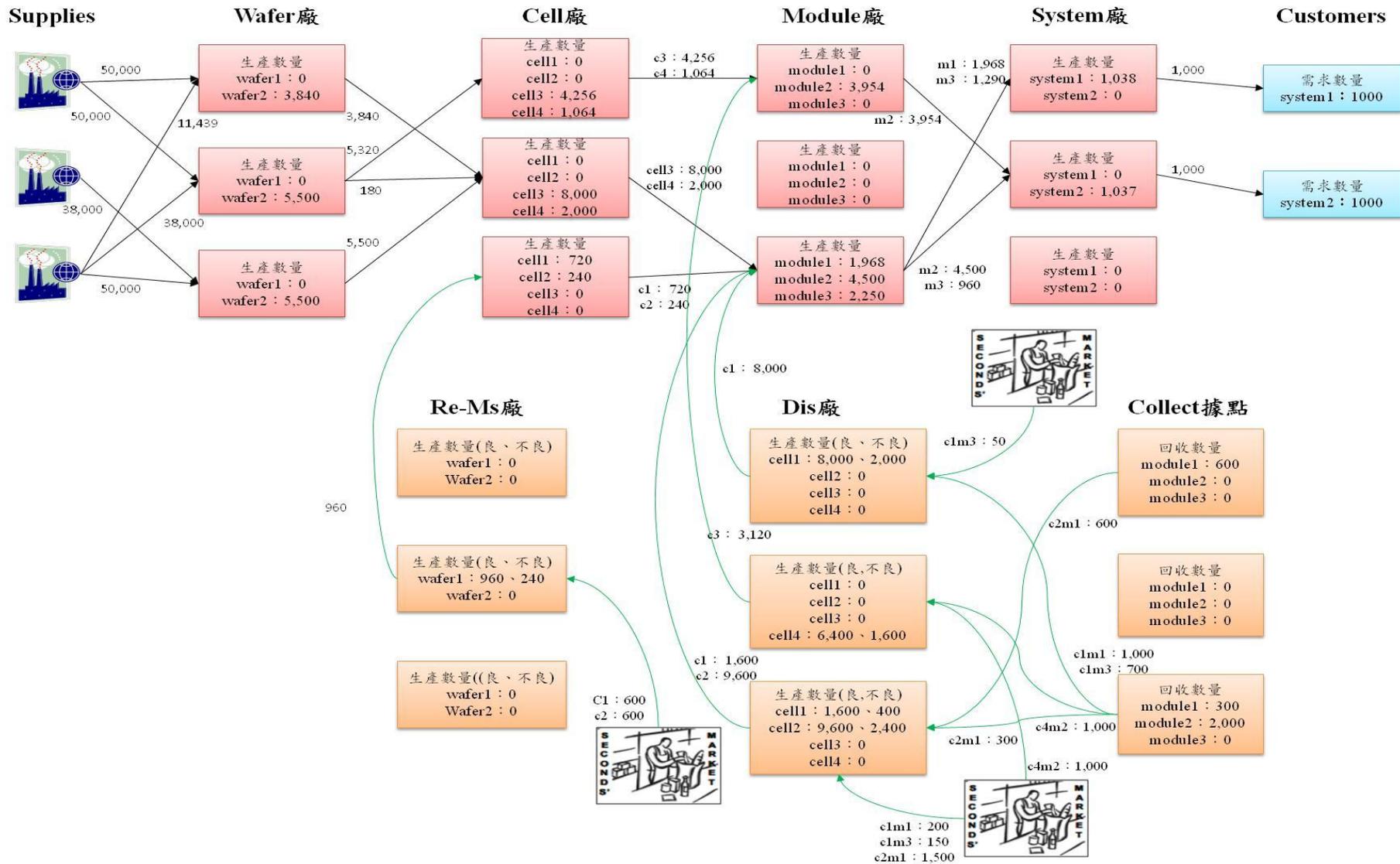


圖4.5 碳排放限制為1,860,000時的訂單配置之部分結果

4.2 模式分析

以下將針對本研究所提出之生產規劃模式作進一步探討，並以產業案例中之最低經濟目標作為探討之基礎，分別在兩種不同之情境下進行分析，其中情境一為單廠區之減碳策略對經濟目標所造成之影響，情境二為探討物料之選用策略，並考量在經濟目標與環境目標兩種不同之環境下之結果。

4.2.1 情境一 單廠區之減碳策略

本小節將針對單一製造廠之減碳策略對整體規劃目標之影響進行探討，並以最小經濟目標作為探討之依據，其目的為在最低經濟目標之規劃下，若有出現單一廠區碳排放量超出限制時，是要對外進行購買碳權較為划算，亦或是減少該廠之碳排放量較符合經濟效益，若要減少其單廠之碳排放量，該減少多少。因此，透過此情境之分析可得知每減少一單位的碳的相對增加之成本，並能與碳交易知單位成本進行比較。

首先，將碳排放量最高之製造廠挑選出來，並將此製造廠之碳排放量設計減碳策略，逐一設定減碳百分比，並探討在不同之減碳百分比下對經濟目標與環境目標之影響。由 4.1 節之產業案例中可知，在以最低經濟目標為求解目標時，各製造廠之總碳排放量如表 4.6 所示，由表 4.6 可知，碳排放量最多的乃是 Wafer 製造廠，並以 Wafer 3 廠之碳排放量為最多，因此將針對此廠進行單廠區之減碳。

表4.6 產業案例中最低經濟目標之各廠總碳排放量

廠別	總碳排放量 (ton)	廠別	總碳排放量 (ton)	廠別	總碳排放量 (ton)
Wafer 1 廠	244,050	Wafer 2 廠	330,000	Wafers 3 廠	379,500
Cell 1 廠	132,000	Cell 2 廠	101,107	Cell 3 廠	14,774
Module1 廠	170,949	Module 2 廠	0	Module 3 廠	131,856
System 1 廠	25,159	System 2 廠	10,016	System 3 廠	12,213
Dis 1 廠	110,134	Dis 2 廠	76,600	Dis 3 廠	104,765
Re-Ms 1 廠	17,500	Re-Ms 2 廠	16,000	Re-Ms 3 廠	3,599
Collect 據點 1	65,921	Collect 據點 2	6,790	Collect 據點 3	1,000

設定 Wafer 3 廠之減碳百分比為 0%-20%，而各 Wafer 製造廠不同之減碳百分比下之碳排放量，如表 4.7 所示。而其他 Wafer 製造廠受到 Wafer 3 廠減碳策略之影響，其說明如下：

1. Wafer 1 廠：

Wafer 1 廠之碳排放量逐漸上升，原因是當 Wafer 3 廠碳排放量受到限制時，其生產之數量相對減少，而原本在 Wafer 3 廠生產之數量移轉配置給 Wafer 1 廠生產，因此其碳排放量隨著減碳百分比增加而上升。

2. Wafer 2 廠：

Wafer 2 廠之碳排量不受 Wafer 3 廠之減碳策略所影響，則乃因於其以達最大之碳排放量，亦即其生產時以滿足最大產能限制，無法額外生產更多之東西，因此其碳排放量不受 Wafer 3 廠所影響。

表4.7 減碳後，各Wafer製造廠廠之總碳排放量

減碳百分比	Wafer 1 廠	Wafer 2 廠	Wafer 3 廠
0%	244,050 (ton)	330,000 (ton)	379,500 (ton)
5%	258,075 (ton)	330,000 (ton)	360,525 (ton)
10%	272,100 (ton)	330,000 (ton)	341,550 (ton)
15%	280,500 (ton)	330,000 (ton)	322,575 (ton)
20%	280,500 (ton)	330,000 (ton)	303,600 (ton)

若以整體經濟目標與環境目標之角度進行探討，表 4.8 為各減碳百分比下之經濟目標與環境目標，並針對不同減碳百分比之經濟目標與環境目標之結果，進行各別之敘述。

表4.8 各減碳百分比之經濟目標與環境目標

減碳百分比	經濟目標	成本差額	環境目標 (ton)	碳排放量差額 (ton)
0%	\$3,148,360	\$0	1,895,827	0
5%	\$3,155,785	\$7,425	1,890,877	-4,950
10%	\$3,163,210	\$14,850	1,885,927	-9,600
15%	\$3,203,614	\$55,254	1,900,340	4,513
20%	\$6,276,258	\$3,127,898	1,887,606	-8,221

1. 經濟目標：

由圖 4.6 與圖 4.7 可知，隨著減碳百分比之提升，其對應之經濟目標亦逐漸上升，其與最低經濟目標之差額亦慢慢增大。然而，減碳百分比為 20% 時，成本大幅上升，乃是因為有缺貨處罰成本之產生，亦表示在 Wafer 3 廠減碳 20% 時，Wafer 1 廠、Wafer 2 廠和 Re-Ms 廠之產能已無法負荷由 Wafer 3 廠轉移出來之應生產數量，導致有缺貨之情況發生。

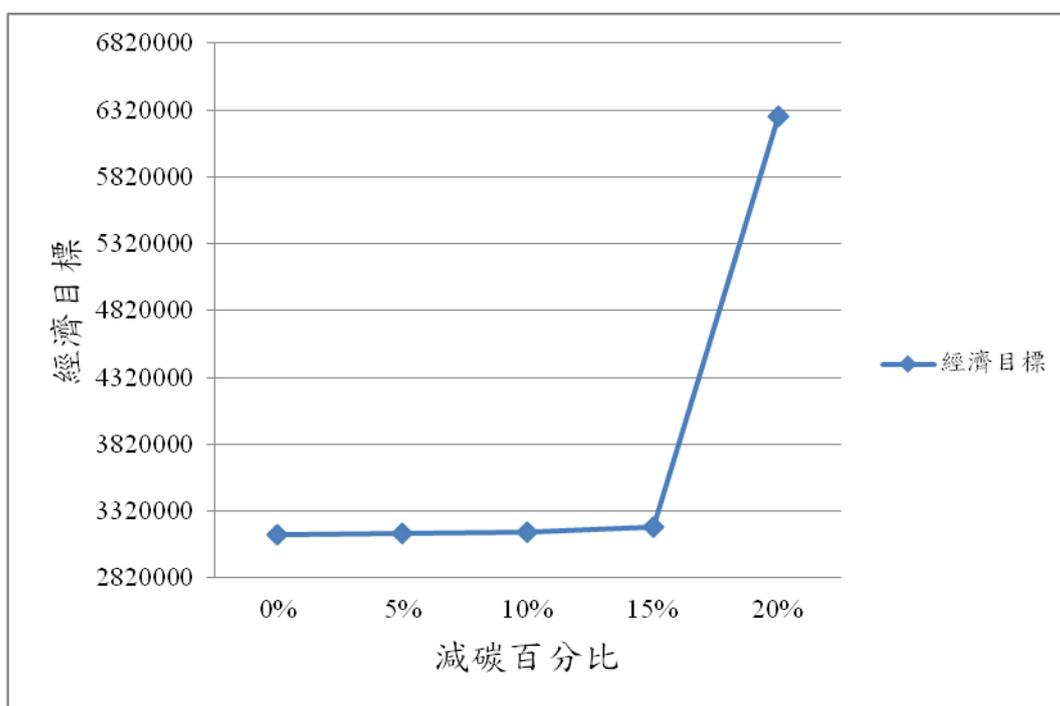


圖4.6 各減碳百分比之經濟目標趨勢圖

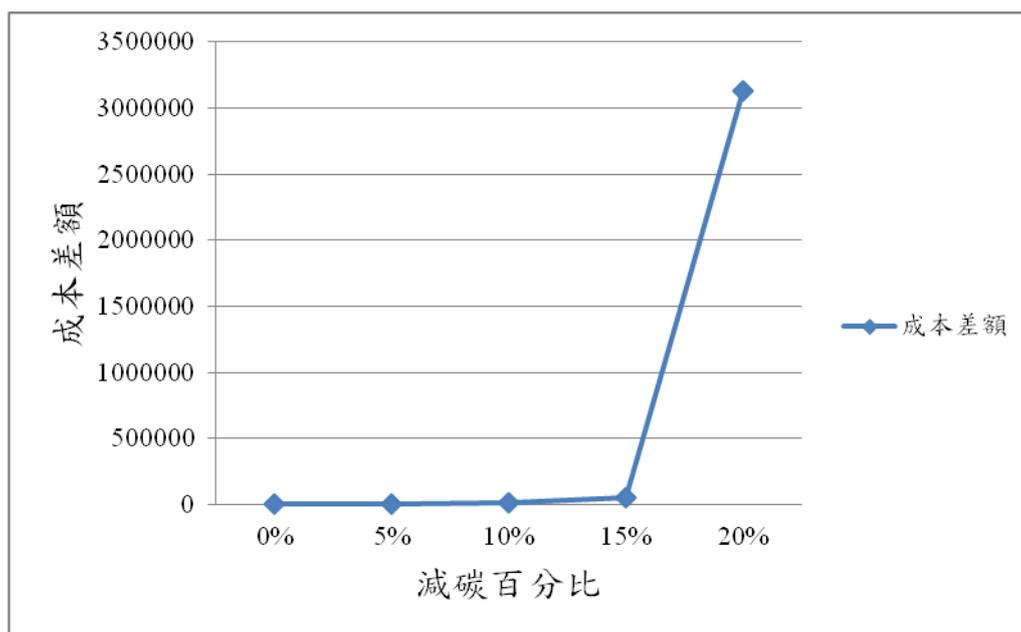


圖4.7 各減碳百分比下之成本差額趨勢圖

2. 環境目標：

圖 4.8 與圖 4.9 則表示在各減碳百分比下之環境目標與碳排放量之差額，在 Wafer 3 廠之減碳百分比為 5% 與 10% 時，其整體環境目標亦呈正向反應，即環境目標隨著 Wafer 3 廠之減碳而下降，但在減碳 15% 時，其環境目標不降反升，此結果表示 Wafer 3 廠減碳 15% 時，雖然成功之減少其碳排放量，但卻影響其他供應鏈之碳排放量，導致整體之環境目標上升。透過其配置結果了解到其碳排放量上升之來源，主要是 Re-Ms 廠，由於 Wafer 廠因為碳排放量限制，而使一手 wafers 之可供給量減少，因此各 Cell 廠對二手 wafers 之需求相對提升，而為了因應 Cell 製造廠之需求，Re-Ms 廠增加二手 wafers 之生產，Re-Ms 廠之碳排放量亦因此而上升，進而導致整體環境目標上升。然而，在減碳 20% 時，其碳排放量較未進行減碳時之碳排放量少，但由經濟目標可以得知在減碳 20% 時，已經造成相對之缺貨，因此，其生產之碳排放量亦相對減少，使得整體的碳排放量亦減少。

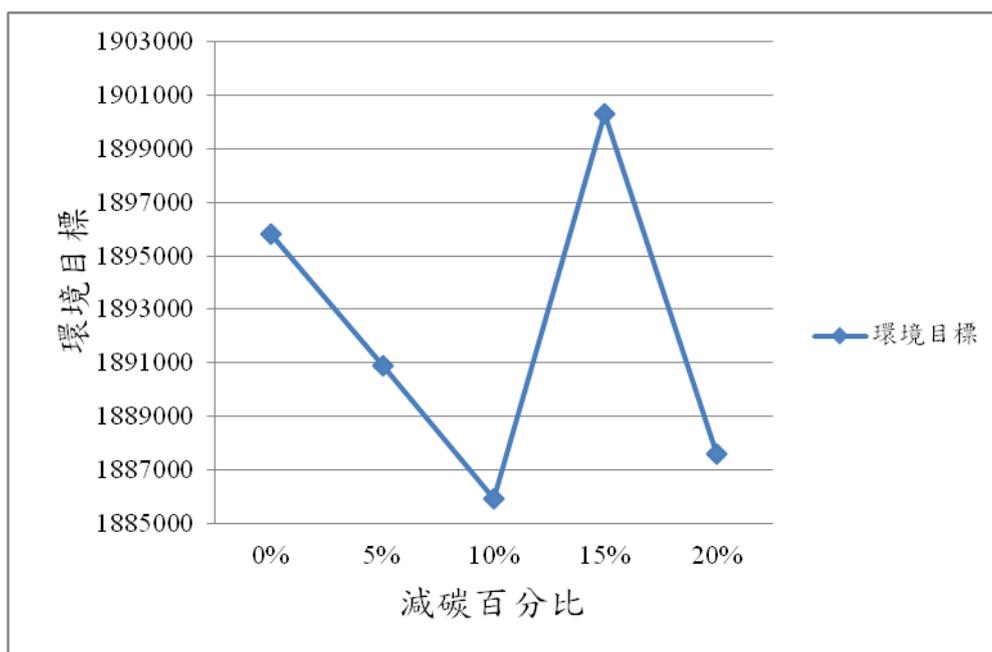


圖4.8 各減碳百分比之環境目標趨勢圖

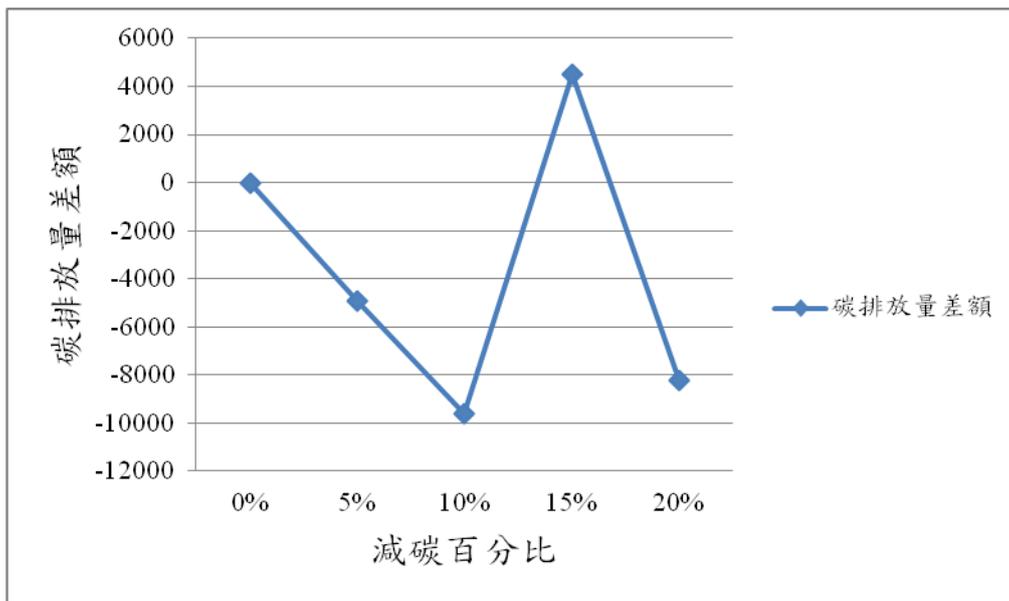


圖4.9 各減碳百分比下之碳排量差額趨勢圖

綜合上述，在進行單一廠區減碳時，將不能一味地進行減碳，亦須注意其他製造廠之碳排放量與整體之規劃結果。依此情境之減碳結果，有以下幾點發現：

1. Wafer 3 廠減碳 5% 時，其對整體供應鏈而言減少 1 單位之碳排放量約增加 1.5 單位之成本。
2. Wafer 廠 3 減碳 10% 時，其對整體供應鏈而言減少 1 單位之碳排放量約增加 1.54 單位之成本。
3. Wafer 廠 3 減碳 15% 時，環境目標並沒有因此減少。
4. Wafer 廠 3 減碳 20% 時，雖然環境目標較未減碳時之碳排放量低，但是已有缺貨現象產生，若以滿足需求為考量前提下，此結果不具減碳效益。

簡言之，以此情境之結果，在減碳 5% 與 10% 時，其單位之減碳成本相差不多，因此本研究建議在此案例中，若要進行 Wafer 3 廠之單廠減碳活動，將減碳百分比設為 10% 時，較符合經濟與環境之效益並且可依此結果與碳交易之碳權金額進行比較，選擇較符合經濟效益之結果。

4.2.2 情境二 物料之選用策略

本小節將針對一手物料與二手物料如何進行選用進行探討，並以 4.1 小節之產業案例中經濟目標最小化之結果作為探討基礎，並找出物料選用之影響因子，並探討不同採購成本下之選用策略。

由 4.1 小節的產業案例中的最低經濟目標之規劃結果可知各 Module 廠、Cell 廠以及 Wafer 廠之物料使用情況與其對應之數量，表 4.9 則表示 Module 廠、Cell 廠以及 Wafer 廠使用物料之來源比例。

表4.9 物料來源之比例

Cell 種類	來源	比例	Wafer 種類	來源	比例
1	一手	16.84%	1	一手	0%
	二手	83.16%		二手	100%
2	一手	10.83%	2	一手	81.12%
	二手	89.17%		二手	18.88%
3	一手	89.98%	Total	一手	71.58%
	二手	10.02%		二手	28.42%
4	一手	64.59%	Silicon 種類	來源	比例
	二手	35.41%			
Total	一手	53.98%	1	一手	100%
	二手	46.02%		二手	0%

本研究將採購成本設定為控制因子，探討不同之採購成本對製造廠選用物料的影響，其採購成本之對應關係，如表 4.10 所示，表中的高與低即表示當次規劃之採購成本之高低；中則表示兩種物料之成本相等。此外，表 4.9 中的編號 1 乃是案例中的最低經濟目標之規劃，即表示所有採購成本皆相同；編號 2 至編號 7 是各別物料採購成本高低之組合，主要在測定各物料之採購成本高低對物料選用之影響；而編號 8 至編號 15，乃是物料採購成本高低之交互組合，因此有八種組合結果，目的為在測定不同之採購成本組合對物料選用之影響。各採購成本組合之規劃結果目標值與其物料使用比例，如表 4.11 所示。

表4.10 採購成本之對應關係

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
一手 cells	中	高	低	中	中	中	中	高	高	高	高	低	低	低	低
二手 cells	中	低	高	中	中	中	中	低	低	低	低	高	高	高	高
一手 wafers	中	中	中	高	低	中	中	高	低	高	低	高	低	低	高
二手 wafers	中	中	中	低	高	中	中	低	高	低	高	低	高	高	低
一手 silicon	中	中	中	中	中	高	低	高	低	低	高	高	低	高	低
二手 silicon	中	中	中	中	中	低	高	低	高	高	低	低	高	低	高

表4.11 規劃結果之物料使用比例與其目標值

編號	cells		wafers		silicon		經濟目標	環境目標 (ton)
	一手	二手	一手	二手	一手	二手		
1	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	100%	0%	\$3,148,360	1,895,827
2	48.46%	51.54%	80.77%	19.23%	100%	0%	\$3,792,020	1,903,498
3	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	100%	0%	\$3,530,760	1,895,827
4	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	100%	0%	\$3,527,027	1,895,827
5	48.46%	51.54%	80.77%	19.23%	100%	0%	\$3,271,566	1,903,498
6	57.60%	42.40%	63.90%	37.10%	98.26%	1.74%	\$9,849,079	1,936,697
7	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	100%	0%	\$3,148,360	1,895,827
8	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	98.36%	1.64%	\$10,910,215	1,906,035
9	48.46%	51.54%	80.77%	19.23%	100%	0%	\$3,882,470	1,903,498
10	48.93%	51.07%	79.90%	20.10%	100%	0%	\$4,186,792	1,902,760
11	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	98.36%	1.64%	\$10,684,771	1,909,235
12	61.05%	39.95%	63.91%	36.09%	98.34%	1.66%	\$10,568,125	1,936,697
13	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	100%	0%	\$3,684,408	1,895,826
14	61.05%	39.95%	63.91%	36.09%	98.34%	1.66%	\$10,400,440	1,936,697
15	53.98%	46.02%	71.58%	28.42%	100%	0%	\$3,909,607	1,895,827

由表 4.11 可知，一手 cells 和二手 cells 之選用比例大約在各 50% 上下；在一手 cells 和二手 cells 之使用上相差不大，乃是因為在考量生產與運輸之前置時間下，二手 cells 將可較快速之反應顧客需求，因此，經由拆解後之二手 cells 若無損壞亦符合顧客需求，即會回到正向供應鏈，使得 Module 廠在選用 cells 之物料上，一手與二手之使用比例接近，但受到其他因素所影響，一手使用比例略高於二手之使用比例。

然而，一手 wafers 和二手 wafers 之選用比例約為 4:1，此乃二手之產品大多已在 cells 階段即回到正向供應鏈，因此在二手 wafers 之供給量將相對減少。此外，若將二手產品往下拆解置 wafers 階段則須經過較長之前置時間，在反應顧客之需求上，較不及於一手 wafers，因此，在 Cell 廠選用 wafers 時，若不考慮其他因素，在物料選用上，會以使用一手 wafers 為主。

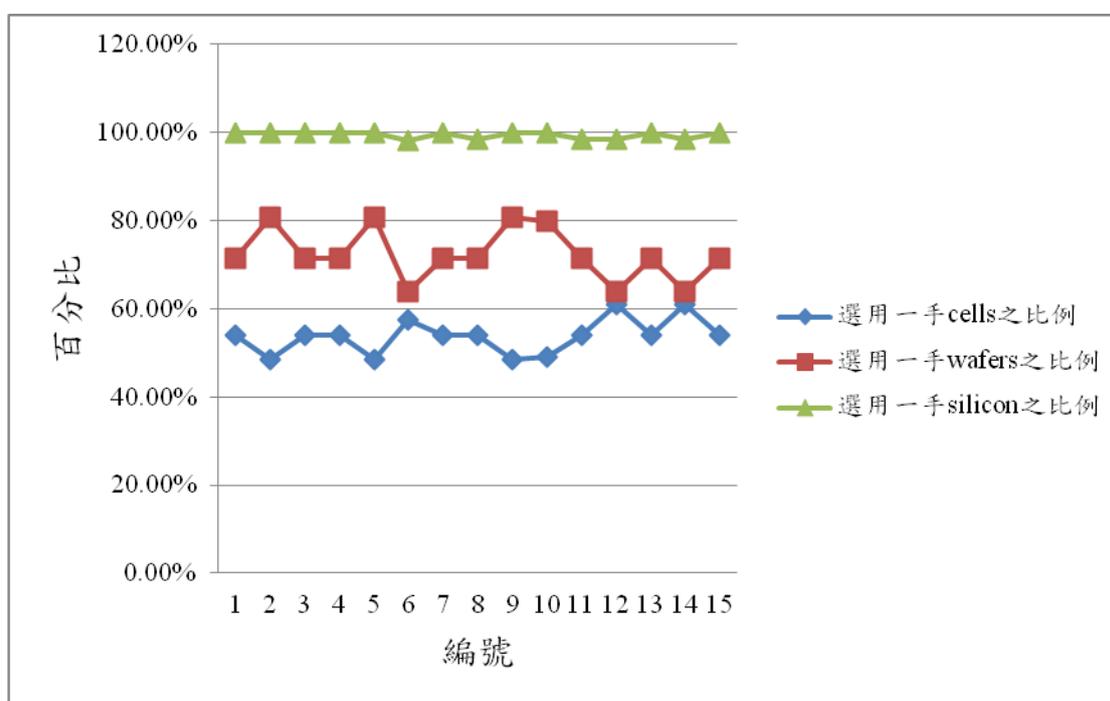


圖4.10 不同之採購成本組合選用一手物料之比例

由圖 4.10 可知，在不同之採購成本組合下，各物料之選用原則，如下幾點說明：

1. 矽原料之選用：主要受到其矽原料採購成本之影響，若一手矽原料之採購成本比二手矽原料之採購成本高，則選用一手矽原料之比例則降低，但是降低幅度不大的主因乃是二手產品在拆解回收，需經過多道加工手續，將會有其他額外之相關成本產生。

2. wafers 之選用：主要受到 wafers 之採購成本影響外，亦受到矽原料與 cells 之採購成本影響，在編號 6 之成本結構組合中，推論得到當 Cell 製造廠增加二手物料之選用時，主要是因為一手之矽原料之採購成本偏高，導致生產一手 wafers 之成本相對提升，因此 Cell 製造廠使用較多之二手 wafers；而編號 12 與 14，除了受到一手之矽原料之採購成本影響外，亦受到二手 cells 之採購成本所影響，由於二手 cells 採購成本較一手 cells 採購成本為高，因此 Module 製造廠則選用較多之一手 cells，相對於二手 cells 之需求則大幅降低，使得這些二手 cells 則繼續還原成二手 wafers，以提供 cells 製造廠使用，以應付 Module 製造廠對 cells 製造廠之需求。
3. cells 之選用：除了受到自身之採購成本影響，亦會受到 wafers 和矽原料之成本所影響。

此外，由圖 4.9 亦可發現 cells 與 wafers 之選用，略成相反關係。舉例來說，若一手 cells 之採購成本比二手 cells 之採購成本高，則將降低一手 cells 之使用數量，而二手 cells 之需求相對提升，因此，在將回收回來之產品進行拆解時，將其拆解至二手 cells 即會回到正向供應鏈，而減少繼續還原成二手 wafers 之數量；反之，若一手 cells 之採購成本比二手 cells 之採購成本低時，二手 cells 需求量則降低，此時，則會將回收之產品拆解還原至二手 wafers，在將其提供給正向供應鏈使用。而一手 wafers 與二手 wafers 之採購成本高低，亦會造成相同之影響。

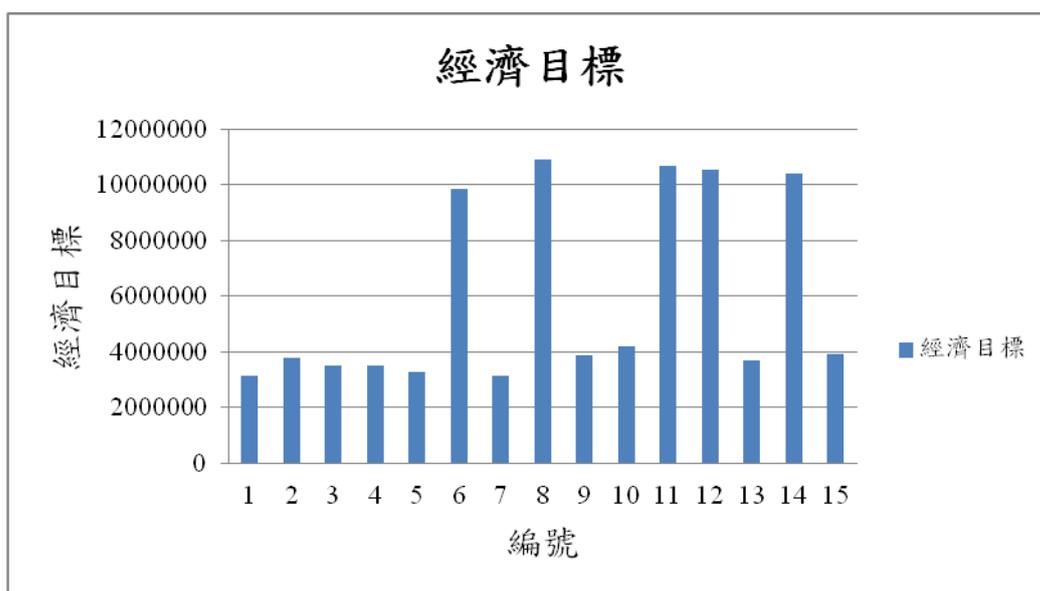


圖4.11 不同之採購成本組合之經濟目標

圖 4.11 表示這些不同採購成本結構之整體經濟目標。由圖 4.10 可知，經濟目標主要受到一手矽原料之採購價格所影響，當一手矽原料價格提高時，則成本皆大幅上升，乃是由於二手回收產品數量有限，無法滿足所有顧客之需求，因此仍須向矽原料採購商買進一定之數量，因此導致整體經濟目標上升。

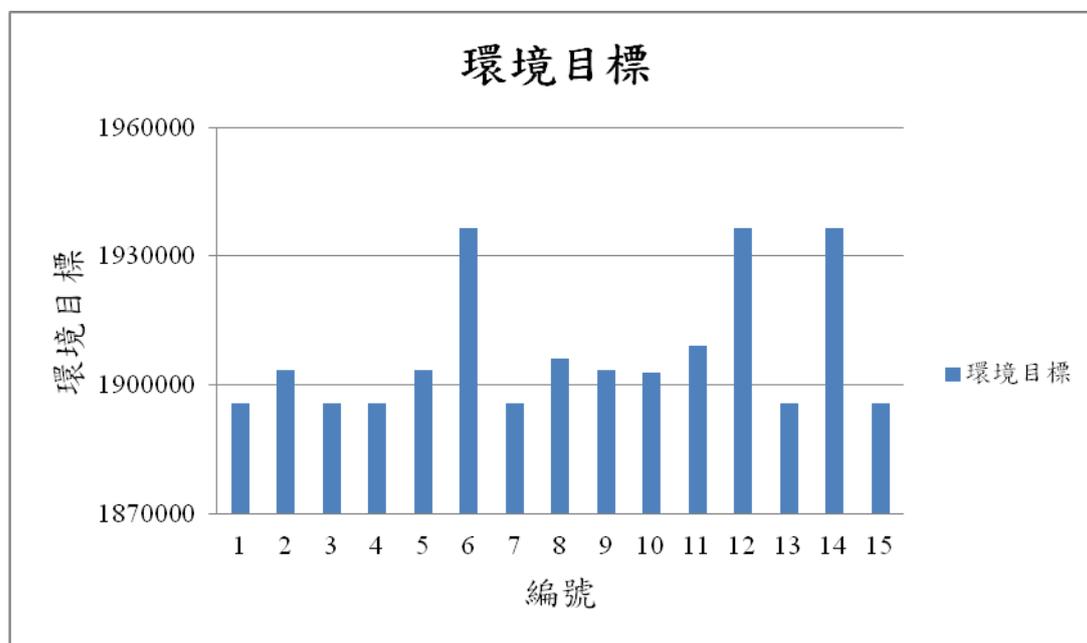


圖4.12 不同之採購成本組合之環境目標

圖 4.12 表示這些不同採購成本結構之整體環境目標。由圖 4.11 可知，在編號 6、12 和 14 之組成結構下，其碳排放量相對於其他成本組合之碳排放量高，本研究推論此結果之原因是當一手矽原料採購成本高於二手矽原料之採購成本，因此供應鏈上各階層之製造廠使用較多二手物料，使其逆物流之碳排放量因此相對上升，導致環境目標亦上升。而在其他採購成本組合之環境目標相差不大，乃是因為此情境乃是以成本作為探討基礎，其碳排放量並未隨著成本進行相對之調整，因此規劃結果對環境目標影響不大。

綜合上述，於此情境之分析結果，得到下列幾點結論：

1. 若不考慮其他影響因素，只以生產與運輸之前置時間做為考量，則可知道在二手產品之拆解上，將會以越快回到正向供應鏈為主要目的，以快速回應顧客之需求。
2. 根據各物料之選用原則，可發現在拆解二手產品時，主要會將其拆解成

cells 或是 wafers 而回到正向供應鏈，較少還原成矽原料回到正向供應鏈。造成此結果之原因，乃是因為在將二手產品拆解還原後，亦須回到正向供應鏈進行相關之加工，才能重新賣給顧客，因此在考量相關之成本與前置時間下，相關之二手物料越快回到正向供應鏈，將較符合經濟效益與環境效益。

3. 在二手產品之拆解還原程度之決策上，將會受到其各階物料之採購成本所影響。若 BOM 表上階之物料，其二手採購成本較高，則此二手產品則會往 BOM 表之底階品項繼續拆解還原；反之，若 BOM 表上階之物料，其二手採購成本較低時，則將減少繼續拆解還原之數量，並以越快回到正向供應鏈為主要目的，以減少整體之成本。
4. 在回收數量有限下，一手矽原料之採購價格，將直接影響整體供應鏈之經濟目標與環境目標。

第五章 結論與未來發展方向

5.1 結論

本研究主要考量供應鏈生產與運輸時產生之碳排放量，並以整合正逆向物流之供應鏈架構，且考量過去一般生產規劃模式所考量之特性，如生產能力、運輸限制、物料供需平衡...等特性，提出一多目標之生產規劃模式，同時考量經濟面與環境面，以提供規劃人員在進行綠色供應鏈之生產規劃時，能同時考量此兩構面，並進一步得到低成本且低碳排放量之規劃結果。依本模式之多目標求解方式，將可提供企業考量不同目標(經濟目標或環境目標)基礎下，不同之規劃結果。最後，以矽晶太陽能電池產業之供應鏈架構作為案例，驗證本模式之可行性與實用性。

此外，根據實驗結果可得知，在進行單廠區之減碳時，應注意滿足顧客需求以及其他製造廠額外增加之碳排放量。除此之外，藉由本模式亦可得知在一手物料與二手物料之選用上，需考量其成本之相對關係，並可得知二手產品之拆解還原程度，對整體供應鏈生產規劃之影響。

5.2 未來發展方向

本研究所提出之模式主要考量關鍵物料，以矽晶太陽能電池產業為例，即只考量矽原料、矽晶圓、電池、電池模組和電池系統等主要物件，並未考量其他貴重金屬等物料。此外，本模式是以一些基本假設及限制為前提下所建立，並在回收數量以及製程良率上，皆設為已知參數，在實務上回收數量乃是個不確定性之因子，而製程良率亦因產業不同而有所不同，以矽晶太陽能電池產業為例，其太陽能電池(cells)製程良率屬常態分配。因此建議未來可改進的研究方向如下：

1. 本研究之數學模式只考量關鍵物料，可將本數學模式擴充加以考量其他貴重金屬之回收利益。
2. 將回收數量與製程良率等參數，設計為隨機參數，以更符合實務之需求。換言之，即將本數學模式轉換成不確定型之數學模式。

參考文獻

- 吳貴淳(民 95)。太陽能電池的材料回收處理與再利用研究(碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- 高毅民(民 96 年 5 月 23 日)。企業碳資產管理【中技社 96 年度春季環境與能源研討會】。取自 <http://www.ctci.org.tw/public/Attachment/812115521171.pdf>
- 陳亮榮(民 96)。太陽光電系統減少碳排放量之可行性研究(碩士論文)。國立臺中教育大學，台中市。
- Abdallah, T., Diabat, A., & Simchi-Levi, D. (2010). *A carbon sensitive supply chain network problem with green procurement*. Paper presented at the Computers and Industrial Engineering (CIE), 2010 40th International Conference on.
- Amin, S., & Zhang, G. (2012). A proposed mathematical model for closed-loop network configuration based on product life cycle. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 58(5), 791-801.
- Amin, S. H., & Zhang, G. (2012). An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8), 6782-6791.
- Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M. (2010). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics.*, 135(1), 37-49.
- Chaabane, A., Ramudhin, A., & Paquet, M. (2010). *OPTIMIZATION AND EVALUATION OF SUSTAINABLE SUPPLY CHAINS*. Paper presented at the 8th International Conference of Modeling and Simulation.
- Chern, C. C., & Hsieh, J. S. (2007). A heuristic algorithm for master planning that satisfies multiple objectives. *Computers & Operations Research*, 34(11), 3491-3513.
- Demirtas, E. A., & Üstün, Ö. (2008). An integrated multiobjective decision making process for supplier selection and order allocation. *Omega*, 36(1), 76-90.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Van Wassenhove, L. N. (2001). THE IMPACT OF PRODUCT RECOVERY ON LOGISTICS NETWORK DESIGN. *Production and Operations Management*, 10(2), 156-173.
- Fleischmann, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Dekker, R., van der Laan, E., van Nunen, J. A. E. E., & Van Wassenhove, L. N. (1997). Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, 103(1), 1-17.
- Frota Neto, J. Q., Bloemhof-Ruwaard, J. M., van Nunen, J. A. E. E., & van Heck, E. (2008). Designing and evaluating sustainable logistics networks. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 195-208.
- Guide Jr, V. D. R., Jayaraman, V., & Linton, J. D. (2003). Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery. *Journal of Operations Management*,

21(3), 259-279.

- Guide Jr, V. D. R., Souza, G. C., & van der Laan, E. (2005). Performance of static priority rules for shared facilities in a remanufacturing shop with disassembly and reassembly. *European Journal of Operational Research*, 164(2), 341-353.
- Guillén-Gosálbez, G., & Grossmann, I. E. (2009). Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty. *AIChE Journal*, 55(1), 99-121.
- Gunasekaran, A., Patel, C., & McGaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3), 333-347.
- Gupta, S. M., & Taleb, K. N. (1994). Scheduling disassembly. *International Journal of Production Research* 32, 1857-1866.
- Hu, T. L., Sheu, J. B., & Huang, K. H. (2002). A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review*, 38(6), 457-473.
- Kanyalkar, A. P., & Adil, G. K. (2008). A robust optimisation model for aggregate and detailed planning of a multi-site procurement-production-distribution system. *International Journal of Production Research*, 48(3), 1-22.
- Kawtummachai, R., & Hop, N. V. (2005). Order allocation in a multiple-supplier environment. *International Journal of Production Economics*, 93-94(8), 231-238.
- Ketzenberg, M. E., Souza, G. C., & Guide, V. D. R. J. (2003). Mixed assembly and disassembly operations for remanufacturing. *Production and Operation Management*, 12(3), 320-335.
- Klugmann-Radziemska, E., & Ostrowski, P. (2010). Chemical treatment of crystalline silicon solar cells as a method of recovering pure silicon from photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 35(8), 1751-1759.
- Kneifel, J. (2011). Beyond the code: Energy, carbon, and cost savings using conventional technologies. *Energy and Buildings*, 143(4), 951-959.
- Lee, D. H., Xirouchakis, P., & Züst, R. (2002). Disassembly Scheduling with Capacity Constraints. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 51(1), 387-390.
- Lin, J., & Chen, Y.-Y. (2007). A multi-site supply network planning problem considering variable time buckets- A TFT-LCD industry case. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 33(9), 1031-1044.
- Lin, J. T., Hong, I. H., Wu, C.-H., & Wang, K.-S. (2010). A model for batch available-to-promise in order fulfillment processes for TFT-LCD production chains. *Computers & Industrial Engineering*, 59(4), 720-729.
- Mafakheri, F., Breton, M., & Ghoniem, A. (2011). Supplier selection-order allocation: A two-stage multiple criteria dynamic programming approach. *International Journal of Production Economics*, 132(1), 52-57.

- Mandell, S. (2011). Carbon emission values in cost benefit analyses. *Transport Policy*, 18(6), 888-892.
- Min, H., Ko, C. S., & Ko, H. J. (2006). The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network. *Computers & Industrial Engineering*, 51, 309-320.
- Moon, C., Kim, J., & Hur, S. (2002). Integrated process planning and scheduling with minimizing total tardiness in multi-plants supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, 43, 331-349.
- Mostard, J., & Teunter, R. (2006). The newsboy problem with resalable returns: a single period model and case study. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 81-96.
- Nagurney, A., & Toyasaki, F. (2003). Supply chain supernetworks and environmental criteria. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 8(3), 185-213.
- Nie, L., X.F., X. X., & Zhan, D. (2008). Collaborative planning in supply chains based on Lagrangian relaxation and genetic algorithm. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 7(1), 183-197.
- Pagell, M., Wu, Z., & Murthy, N. N. (2007). The supply chain implications of recycling. *Business Horizons*, 50(2), 133-143.
- Paksoy, T., Bekta, T., & zceylan, E. (2011). Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(4), 532-546.
- Paksoya, T., Ö zceylana, E., & Weberb, G-W. (2011). A MULTI OBJECTIVE MODEL FOR OPTIMIZATION OF A GREEN SUPPLY CHAIN NETWORK. *Global Journal of Technology & Optimization* 2, 84-96.
- Sanayei, A., Farid Mousavi, S., Abdi, M. R., & Mohaghar, A. (2008). An integrated group decision-making process for supplier selection and order allocation using multi-attribute utility theory and linear programming. *Journal of the Franklin Institute*, 345(7), 731-747.
- Sheu, J.-B., Chou, Y.-H., & Hu, C.-C. (2005). An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(4), 287-313.
- Sheu, J. B., Chou, Y. H., & Hu, C. C. (2005). An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 41(4), 287-313.
- Shih, L. H. (2011). Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan. *Conservation and Recycling*, 132(1), 55-72.
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*, 9(1), 53-80.
- Subramanian, R., & B. Talbot, S. G. (2010). An approach to integrating environmental

- considerations within managerial decision-making. *Journal of Industrial Ecology*, 14(3), 378-398.
- T.Doï, I.Tsuda, H.Unagida, A.Murata, K.Sakuta, & K.Kurokawa. (2001). Experimental study on PV module recycling with organic solvent method. *Sol. Energy Mater, Sol. Cells*.
- Tibben-Lembke, R. S. (2002). Life after death:reverse logistics and the product life cycle. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 32(3), 223-244.
- Timpe, C. H., & Kallrath, J. (2000). Optimal planning in large multi-site production networks. *European Journal of Operational Research*, 126(2), 422-435.
- Vercellis, C. (1999). Multi-plant production planning in capacitated self-configuring two-stage serial systems. *European Journal of Operational Research*, 119(2), 451-460.
- Wang, F., Lai, X., & Shi, N. (2011). A multi-objective optimization for green supply chain network design. *Decision Support Systems*, 51(2), 262-269.
- Watson, K., & Polito, T. (2003). Comparison of DRP and TOC financial performance within a multi-product, multi-echelon physical distribution environment *International Journal of Production Research*, 141(4), 741-765.
- Wu, S. D., & Hakan, G. (2004). Multi-Item, Multi-Facility Supply Chain Planning: Models, Complexities, and Algorithms. *Computational Optimization and Applications*, 28(3), 325-356.
- Zangl, S. (2004). Regulation Scenarios for Waste PV Modules, Workshop on Life Cycle Analysis and Recycling of Solar Modules-The Waste Challenge. *European Communities Brussels*, 18-19.

附錄一 模式範例最低經濟目標之規劃結果

本附錄表示模式範例中之最低經濟目標所有變數結果之值，如下各表所示，但礙於版面篇幅之關係，其所有變數值只列出非 0 之部分。

附錄表 1.1 半成品製造廠良品生產數量 $QM_S(i,v,t)$

週期(t)													
廠別	半成品种類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1	1	0	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500	7,500
2	3	0	1,904	1,800	1,778	1,709	1,656	1,656	1,567	1,567	1,487	0	0

附錄表 1.2 半成品製造廠不良品生產數量 $QM_{SV}(i,v,v',t)$

週期(t)														
廠別	半成品		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	(v)	(v')												
1	1	2	0	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	0	0
2	3	4	0	476	450	444	427	414	414	392	392	371	0	0

附錄表 1.3 成品製造廠生產數量 $QM_F(i,k,t)$

週期(t)													
廠別	成品種類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		1	1	0	0	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	2	0	0	0	360	600	0	520	400	600	400	400	520
	3	0	0	0	640	400	1,000	480	600	400	600	600	480
3	2	0	0	0	640	400	1,000	480	600	400	600	600	480
	3	0	0	0	360	600	0	520	400	600	400	400	520

附錄表 1.4 拆解廠之良品生產數量 $QM_{DS}(i,v,t)$

週期(t)													
廠別	半成品種類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	800	0	0	0	800	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	800	800	800	0	0
	4	0	800	800	0	800	0	800	0	0	0	0	0
2	1	0	0	800	0	800	0	800	800	800	800	0	0
	2	0	800	0	800	0	800	0	0	0	0	0	0
3	1	0	480	0	800	160	0	0	800	800	560	0	0
	3	0	320	800	0	640	800	800	0	0	240	0	0

附錄表 1.5 拆解廠之不良品生產數量 $QM_{DSN}(i,v,t)$

週期(t)													
廠別	半成品種類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	200	0	0	0	200	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	200	200	200	0	0
	4	0	200	200	0	200	0	200	0	0	0	0	0
2	1	0	0	200	0	200	0	200	200	200	200	0	0
	2	0	200	0	200	0	200	0	0	0	0	0	0
3	1	0	160	0	200	40	0	0	200	200	140	0	0
	3	0	80	200	0	160	200	200	0	0	60	0	0

附錄表 1.6 半成品製造廠之耗用數量 $QC_S(i,o,v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
廠別	原料(o)	半成品(v)												
1	1	1	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	0	0	0
2	1	3	38,0890	36,000	35,556	34,178	33,111	33,111	32,333	32,333	29,733	0	0	0

附錄表 1.7 成品製造廠之耗用數量 $QC_F(i,v,k,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
廠別	半成品(v)	成品(k)												
1	1	1	0	0	1,360	0	1,360	2,000	1,360	2,000	2,000	2,000	2,000	0
	2	1	0	0	3,300	2,500	3,300	2,500	3,300	2,500	2,500	2,500	2,500	0
2	1	3	0	0	5,120	3,200	8,000	3,840	4,800	3,200	4,800	4,800	1,840	0
	3	2	0	0	320	800	0	640	800	800	800	800	1,040	0
	4	2	0	0	800	800	0	800	0	800	0	0	0	0
3	1	3	0	0	1500	2,840	0	2,620	2,140	3,040	2,300	2,300	3,020	0
	3	2	0	0	1,042	575	1,778	746	993	593	1,004	1,004	774	0

附錄表 1.7 成品製造廠之耗用數量 QC_F(i,v,k,t) (續)

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
廠別	半成品(v)	成品(k)												
3	3	3	0	0	862	1,225	0	963	662	1,062	563	563	713	0
	4	2	0	0	476	450	444	427	413	414	392	392	372	0

附錄表 1.8 拆解廠之耗用數量 QC_DF(i,k,v,t)

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
廠別	半成品(v)	成品(k)												
1	1	1	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0
	2	3	0	0	0	0	0	0	100	200	100	0	0	0
	2	4	250	250	250	0	0	250	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	75	0	75	0	0	0	0	0	0	0
	3	3	0	0	0	0	0	0	160	120	160	0	0	0

附錄表 1.8 拆解廠之耗用數量 QC_DF(i,k,v,t) (續)

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
廠別	半成品(v)	成品(k)												
2	1	1	0	100	0	100	0	100	100	150	25	0	0	0
	1	2	200	0	200	0	200	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	0	75	0	75	0	75	75	50	113	0	0	0
3	1	1	100	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
	2	3	100	100	0	200	100	100	0	0	0	0	0	0
	3	1	25	0	125	25	0	0	125	100	88	0	0	0
	3	3	40	160	0	80	160	160	0	0	60	0	0	0

附錄表 1.9 拆解廠不良品之耗用數量 $QC_DSN(i,v,o,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
廠別	半成品(v)	成品(k)												
1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200
3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140
	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220

附錄表 1.10 原料供應商至半成品廠之運輸數量 $QT_SUS(i,i',o,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
供應商 (i)	半成品 廠(i')	原料(o)												
1	1	1	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	0	0	0
2	2	1	38,089	36,000	35,556	34,178	33,111	33,111	31,333	31,333	29,733	0	0	0
3	1	1	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	0	0	0

附錄表 1.11 半成品製造廠至成品製造廠之運輸數量 $QT_{SF}(i,i',v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
半成品廠(i)	成品廠(i')	半成品(v)												
1	1	1	0	0	1,360	2,260	1,100	2,000	1,360	1,200	1,200	1,200	1,200	0
	1	2	0	0	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	2,500	0
	2	1	0	0	4,640	3,200	6,400	3,680	4,000	3,200	4,000	4,000	3,280	0
	3	1	0	0	1,500	2,040	0	1,820	2,140	3,100	2,300	2,300	3,020	0
2	3	3	0	0	1,904	1,800	1,778	1,709	1,656	1,656	1,567	1,567	1,487	0
	3	4	0	0	476	450	444	427	414	414	392	392	372	0

附錄表 1.12 成品製造廠至顧客之運輸數量 $QT_FCU(i,k,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
成品廠(i)	成品(k)												
1	1	0	0	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	2	0	0	0	360	600	0	520	520	600	400	400	520
2	3	0	0	0	640	400	1,000	480	480	400	600	600	480
3	2	0	0	0	640	400	1,000	480	480	400	600	600	480
3	3	0	0	0	360	600	0	520	520	600	400	400	520

附錄表 1.13 回收之數量 $QT_CUCO(i,v,k,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
收集據點(i)	半成品(v)	成品(k)												
1	2	1	100	100	100	0	100	0	0	0	100	0	100	100
	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0
	3	3	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
	4	2	100	100	100	100	0	0	100	100	100	100	100	0

附錄表 1.13 回收之數量 $QT_CUCO(i,v,k,t)$ (續)

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
收集據點(i)	半成品(v)	成品(k)												
2	1	3	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	100	0	100	100	100	0	100	0	0
	3	3	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
3	2	1	0	0	0	0	0	0	100	0	100	0	0	0
	3	2	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
	3	3	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0
	4	2	0	0	0	0	100	100	0	0	0	0	0	0

附錄表 1.14 收集據點至拆解廠之運輸數量 $QT_COD(i, i', v, k, t)$

				週期(t)											
收集據點(i)	拆解廠(i')	半成品(v)	成品(k)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				1	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	100			0	200	0	100	0	0	0	0	0	0
2	2	1	0		0	200	0	100	0	0	0	0	0	0	0
2	1	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0
	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
		1	3	0	0	0	0	0	0	75	0	12	0	0	0
		2	1	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0
		1	3	0	0	0	0	0	0	25	0	88	0	0	0
3	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
		3	3	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0
		4	2	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0

附錄表 1.15 拆解廠至成品廠之運輸數量 $QT_{DF}(i,i',v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
收集據點(i)	拆解廠(i')	半成品(v)												
1	2	1	0	0	0	0	800	0	800	0	0	0	0	0
		3	0	0	0	800	0	0	0	0	800	800	800	0
		4	0	0	0	800	0	800	0	800	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	800	800	800	800	0
		2	0	0	800	0	800	0	800	0	0	0	0	0
	3	1	0	0	800	0	800	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1	0	0	480	0	800	160	800	0	800	800	560	0
		3	0	0	320	800	0	640	0	800	0	0	240	0

附錄表 1.16 二手市場至拆解廠之運輸成品數量 $QT_SEDF(i,v,k,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
拆解廠(i)	半成品(v)	成品(k)												
1	1	1	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0
		3	0	0	75	0	75	0	0	0	0	0	0	0
	3	2	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0	0	0
		3	0	0	0	0	0	0	100	100	40	0	0	0
	4	2	250	150	0	50	0	50	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	100	0	100	0	100	100	100	25	0	0	0
		3	75	0	0	75	25	100	0	0	100	0	0	0
	2	1	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		3	25	100	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	2	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0	0
		3	100	100	100	100	100	100	0	0	60	0	0	0

附錄表 1.17 二手市場至拆解廠之運輸半成品數量 $QT_SEDS(i,v,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
拆解廠(i)	半成品(v)												
1	1	0	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
	4	0	100	100	0	100	100	100	100	100	0	0	0
2	1	0	0	200	0	200	0	200	0	0	0	0	0
	2	0	100	100	100	200	100	100	200	200	0	0	0
3	1	0	120	0	200	40	0	0	200	200	0	0	0
	3	0	80	100	0	100	100	100	0	100	0	0	0

附錄表 1.18 成品廠之半成品庫存數量 $QI_FV(i,v,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
成品廠(i)	半成品(v)												
1	1	0	0	0	260	0	0	0	0	0	0	0	0

附錄表 1.19 收集據點之庫存數量 $QI_CO(i,v,k,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
收集據點(i)	半成品(v)	成品(k)												
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0
	2	1	100	0	100	0	100	100	100	100	100	100	200	0
	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	0
	4	2	0	100	0	100	0	0	100	200	300	400	500	0
2	2	1	0	0	0	0	0	100	100	200	200	300	300	0
	3	3	0	0	0	0	0	20	20	0	0	0	0	0
3	2	1	0	0	0	0	0	0	100	100	200	200	200	0
	4	2	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	0

附錄表 1.20 拆解廠之成品庫存數量 $QI_DK(i,v,k,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
拆解廠 (i)	半成品 (v)	成品 (k)												
1	3	3	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
2	1	3	75	0	0	0	25	50	50	0	0	0	0	0
3	1	3	0	100	0	0	0	0	100	100	200	200	200	0
	3	2	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	3	60	0	100	120	6	0	0	0	0	0	0	0

附錄表 1.21 拆解廠半成品不良品之庫存數量 $QI_DVN(i,v,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
拆解廠 (i)	半成品 (v)												
1	3	0	0	0	0	0	0	0	100	300	500	500	0
	4	0	100	200	100	200	100	200	100	0	140	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	200	0
	2	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	100	0	60	160	260	260	160	220	140	0

附錄表 1.22 半成品廠之二元變數 $MB_S(i,v,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
半成品 廠(i)	半成品 (v)												
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
2	3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

附錄表 1.23 成品廠之二元變數 MB_F(i,k,t)

週期(t)													
成品廠 (i)	成品 (k)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1

附錄表 1.24 拆解廠之二元變數 MB_DS(i,v,t)

週期(t)													
拆解廠 (i)	半成品 (k)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
	4	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0
	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
	3	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0

附錄表 1.25 各廠之碳排放量

	廠別(<i>i</i>)	數值		廠別(<i>i</i>)	數值
TCC_S(<i>i</i>)	1	2,160,000	TMC_S(<i>i</i>)	1	810,000
	2	415,861		2	113,416
	3	0		3	0
TTC_S(<i>i</i>)	1	1,350,000	TCC_F(<i>i</i>)	1	67,980
	2	302,444		2	76,400
	3	0		3	90,543
TMC_F(<i>i</i>)	1	27,000	TTC_F(<i>i</i>)	1	40,980
	2	25,600		2	50,800
	3	33,600		3	56,943
TCC_D(<i>i</i>)	1	28,490	TMC_D(<i>i</i>)	1	25,000
	2	57,238		2	54,000
	3	12,338		3	9,000
TTC_D(<i>i</i>)	1	3,490	TTC_CO(<i>i</i>)	1	1,800
	2	3,289		2	820
	3	3,338		3	580

附錄二 產業案例之已知資訊

附錄表 2.1 System 製造廠至顧客之運輸成本

	System 製造廠		
	1	2	3
顧客端	$ct_1^{s-cu} : \$1$	$ct_2^{s-cu} : \$1$	$ct_3^{s-cu} : \$1$

附錄表 2.2 顧客端至 Collect 據點之運輸相關資訊

	Collect 據點					
	1		2		3	
顧客端	$ct_1^{cu-co} : \$1$	$c_1^{cu-co} : 1$	$ct_2^{cu-co} : \$1$	$c_2^{cu-co} : 1$	$ct_3^{cu-co} : \$1$	$c_3^{cu-co} : 1$

附錄表 2.3 各廠間之運輸相關資訊-1

		System 製造廠					
		1		2		3	
Module 製造廠	1	$ct_{11}^{m-s} : \$1$	$t_{11}^{m-s} : 0$	$ct_{12}^{m-s} : \$1$	$t_{12}^{m-s} : 0$	$ct_{13}^{m-s} : \$1$	$t_{13}^{m-s} : 0$
		$c_{11}^{m-s} : 1$	$ta_{11}^{m-s} : 1$	$c_{12}^{m-s} : 1$	$ta_{12}^{m-s} : 1$	$c_{13}^{m-s} : 1$	$ta_{13}^{m-s} : 1$
	2	$ct_{21}^{m-s} : \$1$	$t_{21}^{m-s} : 0$	$ct_{22}^{m-s} : \$1$	$t_{22}^{m-s} : 0$	$ct_{23}^{m-s} : \$1$	$t_{23}^{m-s} : 0$
		$c_{21}^{m-s} : 1$	$ta_{21}^{m-s} : 1$	$c_{22}^{m-s} : 1$	$ta_{22}^{m-s} : 0$	$c_{23}^{m-s} : 1$	$ta_{23}^{m-s} : 0$
	3	$ct_{31}^{m-s} : \$1$	$t_{31}^{m-s} : 0$	$ct_{32}^{m-s} : \$1$	$t_{32}^{m-s} : 0$	$ct_{33}^{m-s} : \$1$	$t_{33}^{m-s} : 0$
		$c_{31}^{m-s} : 1$	$ta_{31}^{m-s} : 1$	$c_{32}^{m-s} : 1$	$ta_{32}^{m-s} : 1$	$c_{33}^{m-s} : 1$	$ta_{33}^{m-s} : 1$

附錄表 2.4 各廠間之運輸相關資訊-2

		Wafer 製造廠					
		1		2		3	
矽原料 供應商	1	$ct_{11}^{su-w}:\$1$	$ta_{11}^{su-w}:1$	$ct_{12}^{su-w}:\$1$	$ta_{12}^{su-w}:1$	$ct_{13}^{su-w}:\$1$	$ta_{13}^{su-w}:1$
		$c_{11}^{su-w}:1$		$c_{12}^{su-w}:1$		$c_{13}^{su-w}:1$	
	2	$ct_{21}^{su-w}:\$1$	$ta_{21}^{su-w}:1$	$ct_{22}^{su-w}:\$1$	$ta_{22}^{su-w}:1$	$ct_{23}^{su-w}:\$1$	$ta_{23}^{su-w}:1$
		$c_{21}^{su-w}:1$		$c_{22}^{su-w}:1$		$c_{23}^{su-w}:$	
	3	$ct_{31}^{su-w}:\$1$	$ta_{31}^{su-w}:1$	$ct_{32}^{su-w}:\$1$	$ta_{32}^{su-w}:1$	$ct_{33}^{su-w}:\$1$	$ta_{33}^{su-w}:1$
		$c_{31}^{su-w}:1$		$c_{32}^{su-w}:1$		$c_{33}^{su-w}:1$	
Re-Ms 廠	1	$ct_{11}^{r-w}:\$1$	$t_{11}^{r-w}:1$	$ct_{12}^{r-w}:\$1$	$t_{12}^{r-w}:1$	$ct_{13}^{r-w}:\$1$	$t_{13}^{r-w}:1$
		$c_{11}^{r-w}:1$	$ta_{11}^{r-w}:1$	$c_{12}^{r-w}:1$	$ta_{12}^{r-w}:1$	$c_{13}^{r-w}:1$	$ta_{13}^{r-w}:0$
	2	$ct_{21}^{r-w}:\$1$	$t_{21}^{r-w}:1$	$ct_{22}^{r-w}:\$1$	$t_{22}^{r-w}:1$	$ct_{23}^{r-w}:\$1$	$t_{23}^{r-w}:1$
		$c_{21}^{r-w}:1$	$ta_{21}^{r-w}:0$	$c_{22}^{r-w}:1$	$ta_{22}^{r-w}:1$	$c_{23}^{r-w}:1$	$ta_{23}^{r-w}:1$
	3	$ct_{31}^{r-w}:\$1$	$t_{31}^{r-w}:1$	$ct_{32}^{r-w}:\$1$	$t_{32}^{r-w}:1$	$ct_{33}^{r-w}:\$1$	$t_{33}^{r-w}:1$
		$c_{31}^{r-w}:1$	$ta_{31}^{r-w}:0$	$c_{32}^{r-w}:1$	$ta_{32}^{r-w}:1$	$c_{33}^{r-w}:1$	$ta_{33}^{r-w}:1$

附錄表 2.5 各廠間之運輸相關資訊-3

		Cell 製造廠					
		1		2		3	
Wafer 製造廠	1	$ct_{11}^{w-c}:\$1$	$t_{11}^{w-c}:1$	$ct_{12}^{w-c}:\$1$	$t_{12}^{w-c}:1$	$ct_{13}^{w-c}:\$1$	$t_{13}^{w-c}:1$
		$c_{11}^{w-c}:1$	$ta_{11}^{w-c}:1$	$c_{12}^{w-c}:1$	$ta_{12}^{w-c}:1$	$c_{13}^{w-c}:1$	$ta_{13}^{w-c}:1$
	2	$ct_{21}^{w-c}:\$1$	$t_{21}^{w-c}:1$	$ct_{22}^{w-c}:\$1$	$t_{22}^{w-c}:1$	$ct_{23}^{w-c}:\$1$	$t_{23}^{w-c}:1$
		$c_{21}^{w-c}:1$	$ta_{21}^{w-c}:1$	$c_{22}^{w-c}:1$	$ta_{22}^{w-c}:1$	$c_{23}^{w-c}:1$	$ta_{23}^{w-c}:1$
	3	$ct_{31}^{w-c}:\$1$	$t_{31}^{w-c}:1$	$ct_{32}^{w-c}:\$1$	$t_{32}^{w-c}:1$	$ct_{33}^{w-c}:\$1$	$t_{33}^{w-c}:1$
		$c_{31}^{w-c}:1$	$ta_{31}^{w-c}:1$	$c_{32}^{w-c}:1$	$ta_{32}^{w-c}:1$	$c_{33}^{w-c}:1$	$ta_{33}^{w-c}:1$
Re-Ms 廠	1	$ct_{11}^{r-c}:\$1$	$t_{11}^{r-c}:0$	$ct_{12}^{r-c}:\$1$	$t_{12}^{r-c}:0$	$ct_{13}^{r-c}:\$1$	$t_{13}^{r-c}:0$
		$c_{11}^{r-c}:1$	$ta_{11}^{r-c}:0$	$c_{12}^{r-c}:1$	$ta_{12}^{r-c}:1$	$c_{13}^{r-c}:1$	$ta_{13}^{r-c}:1$
	2	$ct_{21}^{r-c}:\$1$	$t_{21}^{r-c}:0$	$ct_{22}^{r-c}:\$1$	$t_{22}^{r-c}:0$	$ct_{23}^{r-c}:\$1$	$t_{23}^{r-c}:0$
		$c_{21}^{r-c}:1$	$ta_{21}^{r-c}:1$	$c_{22}^{r-c}:1$	$ta_{22}^{r-c}:0$	$c_{23}^{r-c}:1$	$ta_{23}^{r-c}:1$
	3	$ct_{31}^{r-c}:\$1$	$t_{31}^{r-c}:0$	$ct_{32}^{r-c}:\$1$	$t_{32}^{r-c}:0$	$ct_{33}^{r-c}:\$1$	$t_{33}^{r-c}:0$
		$c_{31}^{r-c}:1$	$ta_{31}^{r-c}:1$	$c_{32}^{r-c}:1$	$ta_{32}^{r-c}:1$	$c_{33}^{r-c}:1$	$ta_{33}^{r-c}:1$

附錄表 2.6 各廠間之運輸相關資訊-4

		Module 製造廠					
		1		2		3	
Cell 製造廠	1	$ct_{11}^{c-m}:\$1$	$t_{11}^{c-m}:1$	$ct_{12}^{c-m}:\$1$	$t_{12}^{c-m}:1$	$ct_{13}^{c-m}:\$1$	$t_{13}^{c-m}:1$
		$c_{11}^{c-m}:1$	$ta_{11}^{c-m}:1$	$c_{12}^{c-m}:1$	$ta_{12}^{c-m}:1$	$c_{13}^{c-m}:1$	$ta_{13}^{c-m}:0$
	2	$ct_{21}^{c-m}:\$1$	$t_{21}^{c-m}:1$	$ct_{22}^{c-m}:\$1$	$t_{22}^{c-m}:1$	$ct_{23}^{c-m}:\$1$	$t_{23}^{c-m}:1$
		$c_{21}^{c-m}:1$	$ta_{21}^{c-m}:0$	$c_{22}^{c-m}:1$	$ta_{22}^{c-m}:1$	$c_{23}^{c-m}:1$	$ta_{23}^{c-m}:1$
	3	$ct_{31}^{c-m}:\$1$	$t_{31}^{c-m}:1$	$ct_{32}^{c-m}:\$1$	$t_{32}^{c-m}:1$	$ct_{33}^{c-m}:\$1$	$t_{33}^{c-m}:1$
		$c_{31}^{c-m}:1$	$ta_{31}^{c-m}:1$	$c_{32}^{c-m}:1$	$ta_{32}^{c-m}:1$	$c_{33}^{c-m}:1$	$ta_{33}^{c-m}:1$
Dis 廠	1	$ct_{11}^{d-m}:\$1$	$t_{11}^{d-m}:0$	$ct_{12}^{d-m}:\$1$	$t_{12}^{d-m}:0$	$ct_{13}^{d-m}:\$1$	$t_{13}^{d-m}:0$
		$c_{11}^{d-m}:1$	$ta_{11}^{d-m}:1$	$c_{12}^{d-m}:1$	$ta_{12}^{d-m}:0$	$c_{13}^{d-m}:1$	$ta_{13}^{d-m}:1$
	2	$ct_{21}^{d-m}:\$1$	$t_{21}^{d-m}:0$	$ct_{22}^{d-m}:\$1$	$t_{22}^{d-m}:0$	$ct_{23}^{d-m}:\$1$	$t_{23}^{d-m}:0$
		$c_{21}^{d-m}:1$	$ta_{21}^{d-m}:1$	$c_{22}^{d-m}:1$	$ta_{22}^{d-m}:0$	$c_{23}^{d-m}:1$	$ta_{23}^{d-m}:0$
	3	$ct_{31}^{d-m}:\$1$	$t_{31}^{d-m}:0$	$ct_{32}^{d-m}:\$1$	$t_{32}^{d-m}:0$	$ct_{33}^{d-m}:\$1$	$t_{33}^{d-m}:0$
		$c_{31}^{d-m}:1$	$ta_{31}^{d-m}:0$	$c_{32}^{d-m}:1$	$ta_{32}^{d-m}:1$	$c_{33}^{d-m}:1$	$ta_{33}^{d-m}:1$

附錄表 2.7 各廠間之運輸相關資訊-5

		Re-Ms 廠					
		1		2		3	
Dis 廠	1	$ct_{11}^{d-r}:\$1$	$t_{11}^{d-r}:1$	$ct_{12}^{d-r}:\$1$	$t_{12}^{d-r}:1$	$ct_{13}^{d-r}:\$1$	$t_{13}^{d-r}:1$
		$c_{11}^{d-r}:1$	$ta_{11}^{d-r}:1$	$c_{12}^{d-r}:1$	$ta_{12}^{d-r}:1$	$c_{13}^{d-r}:1$	$ta_{13}^{d-r}:0$
	2	$ct_{21}^{d-r}:\$1$	$t_{21}^{d-r}:1$	$ct_{22}^{d-r}:\$1$	$t_{22}^{d-r}:1$	$ct_{23}^{d-r}:\$1$	$t_{23}^{d-r}:1$
		$c_{21}^{d-r}:1$	$ta_{21}^{d-r}:1$	$c_{22}^{d-r}:1$	$ta_{22}^{d-r}:1$	$c_{23}^{d-r}:1$	$ta_{23}^{d-r}:1$
	3	$ct_{31}^{d-r}:\$1$	$t_{31}^{d-r}:1$	$ct_{32}^{d-r}:\$1$	$t_{32}^{d-r}:1$	$ct_{33}^{d-r}:\$1$	$t_{33}^{d-r}:1$
		$c_{31}^{d-r}:1$	$ta_{31}^{d-r}:1$	$c_{32}^{d-r}:1$	$ta_{32}^{d-r}:1$	$c_{33}^{d-r}:1$	$ta_{33}^{d-r}:1$
二手市場	$ct_1^{se-r-c}:\$1$	$ta_1^{se-r}:1$	$ct_2^{se-r-c}:\$1$	$ta_2^{se-r}:1$	$ct_3^{se-r-c}:\$1$	$ta_3^{se-r}:1$	
	$ct_1^{se-r-w}:\$1$		$ct_2^{se-r-w}:\$1$		$ct_3^{se-r-w}:\$1$		
	$c_1^{se-r-c}:1$	$c_1^{se-r-w}:1$	$c_2^{se-r-c}:1$	$c_2^{se-r-w}:1$	$c_3^{se-r-c}:1$	$c_3^{se-r-w}:1$	

附錄表 2.8 各廠間之運輸相關資訊-6

		Re-Ms 廠					
		1		2		3	
Dis 廠	1	$ct_{11}^{d-r}:\$1$	$t_{11}^{d-r}:1$	$ct_{12}^{d-r}:\$1$	$t_{12}^{d-r}:1$	$ct_{13}^{d-r}:\$1$	$t_{13}^{d-r}:1$
		$c_{11}^{d-r}:1$	$ta_{11}^{d-r}:1$	$c_{12}^{d-r}:1$	$ta_{12}^{d-r}:1$	$c_{13}^{d-r}:1$	$ta_{13}^{d-r}:0$
	2	$ct_{21}^{d-r}:\$1$	$t_{21}^{d-r}:1$	$ct_{22}^{d-r}:\$1$	$t_{22}^{d-r}:1$	$ct_{23}^{d-r}:\$1$	$t_{23}^{d-r}:1$
		$c_{21}^{d-r}:1$	$ta_{21}^{d-r}:1$	$c_{22}^{d-r}:1$	$ta_{22}^{d-r}:1$	$c_{23}^{d-r}:1$	$ta_{23}^{d-r}:1$
	3	$ct_{31}^{d-r}:\$1$	$t_{31}^{d-r}:1$	$ct_{32}^{d-r}:\$1$	$t_{32}^{d-r}:1$	$ct_{33}^{d-r}:\$1$	$t_{33}^{d-r}:1$
		$c_{31}^{d-r}:1$	$ta_{31}^{d-r}:1$	$c_{32}^{d-r}:1$	$ta_{32}^{d-r}:1$	$c_{33}^{d-r}:1$	$ta_{33}^{d-r}:1$
二手市場		$ct_1^{se-r-c}:\$1$	$ta_1^{se-r}:1$	$ct_2^{se-r-c}:\$1$	$ta_2^{se-r}:1$	$ct_3^{se-r-c}:\$1$	$ta_3^{se-r}:1$
		$ct_1^{se-r-w}:\$1$		$ct_2^{se-r-w}:\$1$		$ct_3^{se-r-w}:\$1$	
		$c_1^{se-r-c}:1$	$c_1^{se-r-w}:1$	$c_2^{se-r-c}:1$	$c_2^{se-r-w}:1$	$c_3^{se-r-c}:1$	$c_3^{se-r-w}:1$

附錄表 2.9 各廠間之運輸相關資訊-7

		DIS 廠					
		1		2		3	
Collect 據點	1	$ct_{11}^{co-d}:\$1$	$t_{11}^{co-d}:0$	$ct_{12}^{co-d}:\$1$	$t_{12}^{co-d}:0$	$ct_{13}^{co-d}:\$1$	$t_{13}^{co-d}:0$
		$c_{11}^{co-d}:1$	$ta_{11}^{co-d}:1$	$c_{12}^{co-d}:1$	$ta_{12}^{co-d}:1$	$c_{13}^{co-d}:1$	$ta_{13}^{co-d}:1$
	2	$ct_{21}^{co-d}:\$1$	$t_{21}^{co-d}:0$	$ct_{22}^{co-d}:\$1$	$t_{22}^{co-d}:0$	$ct_{23}^{co-d}:\$1$	$t_{23}^{co-d}:0$
		$c_{21}^{co-d}:1$	$ta_{21}^{co-d}:1$	$c_{22}^{co-d}:1$	$ta_{22}^{co-d}:1$	$c_{23}^{co-d}:1$	$ta_{23}^{co-d}:0$
	3	$ct_{31}^{co-d}:\$1$	$t_{31}^{co-d}:0$	$ct_{32}^{co-d}:\$1$	$t_{32}^{co-d}:0$	$ct_{33}^{co-d}:\$1$	$t_{33}^{co-d}:0$
		$c_{31}^{co-d}:1$	$ta_{31}^{co-d}:1$	$c_{32}^{co-d}:1$	$ta_{32}^{co-d}:1$	$c_{33}^{co-d}:1$	$ta_{33}^{co-d}:1$
二手市場		$ct_1^{se-d}:\$1$	$ta_1^{se-d}:1$	$ct_2^{se-d}:\$1$	$ta_2^{se-d}:1$	$ct_3^{se-d}:\$1$	$ta_3^{se-d}:1$
		$c_1^{se-d}:1$		$c_2^{se-d}:1$		$c_3^{se-d}:1$	

附錄表 2.10 正向供應鏈各製造廠之生產相關資訊

		生產成本		生產整備成本		生產碳排放量		生產前置時間		生產能力	
Wafer 製造廠	1	cm_{11}^w :\$9	cm_{12}^w :\$10	cfm_{11}^w :100	cfm_{12}^w :200	c_{11}^w :1	c_{12}^w :1	t_{11}^w :1	t_{12}^w :1	ma_{11}^w :1	ma_{12}^w :1
	2	cm_{21}^w :\$5	cm_{22}^w :\$7	cfm_{21}^w :200	cfm_{22}^w :100	c_{21}^w :5	c_{22}^w :5	t_{21}^w :1	t_{22}^w :1	ma_{21}^w :1	ma_{22}^w :1
	3	cm_{31}^w :\$1	cm_{32}^w :\$1	cfm_{31}^w :200	cfm_{32}^w :500	c_{31}^w :9	c_{32}^w :7	t_{31}^w :1	t_{32}^w :1	ma_{31}^w :1	ma_{32}^w :1
Cell 製造廠	1	cm_{11}^c :\$2	cm_{13}^c :\$4	cfm_{11}^c :100	cfm_{13}^c :300	c_{11}^c :3	c_{13}^c :3	t_{11}^c :0	t_{13}^c :0	ma_{11}^c :1	ma_{13}^c :1
		cm_{12}^c :\$1	cm_{14}^c :\$2	cfm_{12}^c :100	cfm_{14}^c :300	c_{12}^c :5	c_{14}^c :5	t_{12}^c :0	t_{14}^c :0	ma_{12}^c :1	ma_{14}^c :1
	2	cm_{21}^c :\$2	cm_{23}^c :\$5	cfm_{21}^c :300	cfm_{23}^c :200	c_{21}^c :3	c_{23}^c :1	t_{21}^c :0	t_{23}^c :0	ma_{21}^c :1	ma_{23}^c :1
		cm_{22}^c :\$1	cm_{24}^c :\$1	cfm_{22}^c :300	cfm_{24}^c :200	c_{22}^c :7	c_{24}^c :5	t_{22}^c :0	t_{24}^c :0	ma_{22}^c :1	ma_{24}^c :1
	3	cm_{31}^c :\$4	cm_{33}^c :\$6	cfm_{31}^c :200	cfm_{33}^c :200	c_{31}^c :1	c_{33}^c :1	t_{31}^c :0	t_{33}^c :0	ma_{31}^c :1	ma_{33}^c :1
		cm_{32}^c :\$1	cm_{34}^c :\$2	cfm_{32}^c :100	cfm_{34}^c :100	c_{32}^c :5	c_{34}^c :3	t_{32}^c :0	t_{34}^c :0	ma_{32}^c :1	ma_{34}^c :1
Module 製造廠	1	cm_{11}^m :\$1	cm_{13}^m :\$3	cfm_{11}^m :100	cfm_{13}^m :100	c_{11}^m :8	c_{13}^m :2	t_{11}^m :0	t_{13}^m :0	ma_{11}^m :1	ma_{13}^m :0
		cm_{12}^m :\$2		cfm_{12}^m :500		c_{12}^m :5		t_{12}^m :0		ma_{12}^m :1	
	2	cm_{21}^m :\$2	cm_{23}^m :\$7	cfm_{21}^m :500	cfm_{23}^m :500	c_{21}^m :5	c_{23}^m :3	t_{21}^m :0	t_{23}^m :0	ma_{21}^m :0	ma_{23}^m :1

附錄表 2.10 正向供應鏈各製造廠之生產相關資訊(續)

		生產成本		生產整備成本		生產碳排放量		生產前置時間		生產能力	
Module 製造廠	2	cm_{22}^m :\$5		cfm_{22}^m :500		c_{22}^m :5		t_{22}^m :0		ma_{22}^m :1	
	3	cm_{31}^m :\$2	cm_{33}^m :\$5	cfm_{31}^m :500	cfm_{33}^m :500	c_{31}^m :3	c_{33}^m :1	t_{31}^m :0	t_{33}^m :0	ma_{31}^m :1	ma_{33}^m :1
		cm_{32}^m :\$2		cfm_{32}^m :500		c_{32}^m :5		t_{32}^m :0		ma_{32}^m :1	
System 製造廠	1	cm_{11}^s :\$1	cm_{12}^s :\$2	cfm_{11}^s :100	cfm_{12}^s :500	c_{11}^s :2	c_{12}^s :1	t_{11}^s :0	t_{12}^s :0	ma_{11}^s :1	ma_{12}^s :1
	2	cm_{21}^s :\$1	cm_{22}^s :\$2	cfm_{21}^s :500	cfm_{22}^s :500	c_{21}^s :2	c_{22}^s :1	t_{21}^s :0	t_{22}^s :0	ma_{21}^s :1	ma_{22}^s :1
	3	cm_{31}^s :\$1	cm_{32}^s :\$2	cfm_{31}^s :500	cfm_{32}^s :500	c_{31}^s :2	c_{32}^s :1	t_{31}^s :0	t_{32}^s :0	ma_{31}^s :1	ma_{32}^s :1

附錄表 2.11 逆向供應鏈各製造廠之生產相關資訊

		生產成本		生產整備成本		生產碳排放量		生產前置時間		生產能力	
Dis 廠	1	cm_{11}^d :\$2	cm_{13}^d :\$2	cfm_{11}^d :1,000	cfm_{13}^d :3,000	c_{11}^d :2	c_{13}^d :3	t_{11}^d :1	t_{13}^d :1	ma_{11}^d :1	ma_{13}^d :0
		cm_{12}^d :\$1	cm_{14}^d :\$1	cfm_{12}^d :1,000	cfm_{14}^d :3,000	c_{12}^d :2	c_{14}^d :3	t_{12}^d :1	t_{14}^d :1	ma_{12}^d :1	ma_{14}^d :0
	2	cm_{21}^d :\$2	cm_{23}^d :\$2	cfm_{21}^d :3,000	cfm_{23}^d :2,000	c_{21}^d :6	c_{23}^d :8	t_{21}^d :1	t_{23}^d :1	ma_{21}^d :1	ma_{23}^d :1
		cm_{22}^d :\$1	cm_{24}^d :\$1	cfm_{22}^d :3,000	cfm_{24}^d :2,000	c_{22}^d :6	c_{24}^d :8	t_{22}^d :1	t_{24}^d :1	ma_{22}^d :1	ma_{24}^d :1

附錄表 2.11 逆向供應鏈各製造廠之生產相關資訊(續)

		生產成本		生產整備成本		生產碳排放量		生產前置時間		生產能力	
Dis 廠	3	$cm_{31}^d : \$2$	$cm_{33}^d : \$2$	$cfm_{31}^d : 2,000$	$cfm_{33}^d : 2,000$	$c_{31}^d : 1$	$c_{33}^d : 1$	$t_{31}^d : 1$	$t_{33}^d : 1$	$ma_{31}^d : 1$	$ma_{33}^d : 1$
		$cm_{32}^d : \$1$	$cm_{34}^d : \$1$	$cfm_{32}^d : 1,000$	$cfm_{34}^d : 1,000$	$c_{32}^d : 1$	$c_{34}^d : 1$	$t_{32}^d : 1$	$t_{34}^d : 1$	$ma_{32}^d : 1$	$ma_{34}^d : 1$
Re-Ms 廠	1	$cm_{11}^{rw} : \$1$	$cm_{12}^{rw} : \$1$	$cfm_{11}^{rw} : 500$	$cfm_{12}^{rw} : 500$	$c_{11}^{rw} : 1$	$c_{12}^{rw} : 1$	$t_{11}^{rw} : 0$	$t_{12}^{rw} : 0$	$ma_{11}^{rw} : 1$	$ma_{12}^{rw} : 1$
		$cm_{11}^{rsi} : 1$		$cfm_{11}^{rsi} : 100$		$c_{11}^{rsi} : 1$		$t_{11}^{rsi} : 0$		$ma_{11}^{rsi} : 1$	
	2	$cm_{21}^{rw} : \$1$	$cm_{22}^{rw} : \$1$	$cfm_{21}^{rw} : 500$	$cfm_{22}^{rw} : 500$	$c_{21}^{rw} : 1$	$c_{22}^{rw} : 1$	$t_{21}^{rw} : 0$	$t_{22}^{rw} : 0$	$ma_{21}^{rw} : 1$	$ma_{22}^{rw} : 1$
		$cm_{21}^{rsi} : 1$		$cfm_{21}^{rsi} : 100$		$c_{21}^{rsi} : 1$		$t_{21}^{rsi} : 0$		$ma_{21}^{rsi} : 1$	
	3	$cm_{31}^{rw} : \$1$	$cm_{32}^{rw} : \$1$	$cfm_{31}^{rw} : 500$	$cfm_{32}^{rw} : 500$	$c_{31}^{rw} : 1$	$c_{32}^{rw} : 1$	$t_{31}^{rw} : 0$	$t_{32}^{rw} : 0$	$ma_{31}^{rw} : 1$	$ma_{32}^{rw} : 1$
		$cm_{21}^{rsi} : 1$		$cfm_{21}^{rsi} : 100$		$c_{21}^{rsi} : 1$		$t_{21}^{rsi} : 0$		$ma_{21}^{rsi} : 1$	

附錄表 2.12 各廠之產能限制與存貨上限

Wafer 製造廠之產能上限	5,500	Wafer 製造廠矽原料之庫存上限	500,000
Cell 製造廠之產能上限	10,000	Wafer 製造廠 wafers 之庫存上限	500,000
Module 製造廠之產能上限	10,000	Cell 製造廠 wafers 之庫存上限	500,000
System 製造廠之產能上限	10,000	Cell 製造廠 cells 之庫存上限	500,000
Dis 廠之產能上限	10,000	Module 製造廠 cells 之庫存上限	500,000
Re-Ms 廠還原 wafers 之產能上限	10,000	Module 製造廠 modules 之庫存上限	500,000
Re-Ms 廠還原矽原料之產能上限	10,000	System 製造廠 modules 之庫存上限	500,000
		System 製造廠 systems 之庫存上限	500,000

附錄表 2.13 供應商與二手市場之供給限制

各供應商每一週期可供給矽原料之數量上限	50,000		
各供應商於規劃週期內供給矽原料數量下限	5,000		
二手市場在每一週期之可供給由 cells 種類 b 組成之 modules 種類 v 數量上限	$se_{11t}^m : 100$	$se_{12t}^m : 0$	$se_{13t}^m : 100$
	$se_{21t}^{mf} : 500$	$se_{22t}^m : 0$	$se_{23t}^m : 0$
	$se_{31t}^m : 0$	$se_{32t}^{mf} : 100$	$se_{33t}^m : 100$
	$se_{41t}^m : 0$	$se_{42t}^m : 500$	$se_{43t}^m : 0$
Second Market 在週期 t 之可供給 cells 種類 b 數量上限	$se_{1t}^s : 500$	$se_{3t}^s : 100$	
	$se_{2t}^s : 100$	$se_{4t}^s : 100$	
Second Market 在週期 t 之可供給 wafers 種類 l 數量上限	$se_{1t}^s : 500$	$se_{2t}^s : 100$	

附錄表 2.14 cells 之生產比率

cells 種類	1	2	3	4
生產比率	0.75	1	0.8	1

附錄表 2.15 拆解 modules 之良率

modules 種類	1	2	3
拆解良率	0.8	0.8	0.8

附錄表 2.16 拆解 cellss 之良率

cells 種類	1	2	3	4
拆解良率	0.8	0.8	0.8	0.8

附錄表 2.17 產品之缺貨處罰成本

systems 種類	1	2
單位處罰成本	99,999	99,999

附錄表 2.18 庫存成本

庫存成本	皆為\$1
------	-------

附錄表 2.19 採購成本-1

		Wafer 製造廠		
		1	2	3
矽原料 供應商	1	$cp_{111}^{su-w} : \$1$	$cp_{121}^{su-w} : \$1$	$cp_{131}^{su-w} : \$1$
	2	$cp_{211}^{su-w} : \$1$	$cp_{221}^{su-w} : \$1$	$cp_{231}^{su-w} : \$1$
	3	$cp_{311}^{su-w} : \$1$	$cp_{321}^{su-w} : \$1$	$cp_{331}^{su-w} : \$1$
Re-Ms 廠	1	$cp_{111}^{r-w} : \$1$	$cp_{121}^{r-w} : \$1$	$cp_{131}^{r-w} : \$1$
	2	$cp_{211}^{r-w} : \$1$	$cp_{221}^{r-w} : \$1$	$cp_{231}^{r-w} : \$1$
	3	$cp_{311}^{r-w} : \$1$	$cp_{321}^{r-w} : \$1$	$cp_{331}^{r-w} : \$1$

附錄表 2.20 採購成本-2

		Cell 製造廠					
		1		2		3	
Wafer 製造廠	1	$cp_{111}^{w-c} : \$1$	$cp_{112}^{w-c} : \$2$	$cp_{121}^{w-c} : \$1$	$cp_{122}^{w-c} : \$2$	$cp_{131}^{w-c} : \$1$	$cp_{132}^{w-c} : \$2$
	2	$cp_{211}^{w-c} : \$1$	$cp_{212}^{w-c} : \$2$	$cp_{221}^{w-c} : \$1$	$cp_{222}^{w-c} : \$2$	$cp_{231}^{w-c} : \$1$	$cp_{232}^{w-c} : \$2$
	3	$cp_{311}^{w-c} : \$1$	$cp_{312}^{w-c} : \$2$	$cp_{321}^{w-c} : \$1$	$cp_{322}^{w-c} : \$2$	$cp_{331}^{w-c} : \$1$	$cp_{332}^{w-c} : \$2$
Re-Ms 廠	1	$cp_{111}^{r-c} : \$1$	$cp_{112}^{r-c} : \$1$	$cp_{121}^{r-c} : \$1$	$cp_{122}^{r-c} : \$1$	$cp_{131}^{r-c} : \$1$	$cp_{132}^{r-c} : \$1$
	2	$cp_{211}^{r-c} : \$1$	$cp_{212}^{r-c} : \$1$	$cp_{221}^{r-c} : \$1$	$cp_{222}^{r-c} : \$1$	$cp_{231}^{r-c} : \$1$	$cp_{232}^{r-c} : \$1$
	3	$cp_{311}^{r-c} : \$1$	$cp_{312}^{r-c} : \$1$	$cp_{321}^{r-c} : \$1$	$cp_{322}^{r-c} : \$1$	$cp_{331}^{r-c} : \$1$	$cp_{332}^{r-c} : \$1$

附錄表 2.21 採購成本-3

		System 製造廠					
		1		2		3	
Module 製造廠	1	$cp_{111}^{m-s} : \$1$	$cp_{112}^{m-s} : \$2$	$cp_{121}^{m-s} : \$1$	$cp_{122}^{m-s} : \$2$	$cp_{131}^{m-s} : \$1$	$cp_{132}^{m-s} : \$2$
		$cp_{113}^{m-s} : \$3$		$cp_{123}^{m-s} : \$3$		$cp_{133}^{m-s} : \$3$	
	2	$cp_{211}^{m-s} : \$1$	$cp_{212}^{m-s} : \$2$	$cp_{221}^{m-s} : \$1$	$cp_{222}^{m-s} : \$2$	$cp_{231}^{m-s} : \$1$	$cp_{232}^{m-s} : \$2$
		$cp_{213}^{m-s} : \$3$		$cp_{223}^{m-s} : \$3$		$cp_{233}^{m-s} : \$3$	
	3	$cp_{311}^{m-s} : \$1$	$cp_{312}^{m-s} : \$2$	$cp_{321}^{m-s} : \$1$	$cp_{322}^{m-s} : \$2$	$cp_{331}^{m-s} : \$1$	$cp_{332}^{m-s} : \$2$
		$cp_{313}^{m-s} : \$3$		$cp_{323}^{m-s} : \$3$		$cp_{333}^{m-s} : \$3$	

附錄表 2.22 採購成本-4

		Module 製造廠					
		1		2		3	
Cell 製造廠	1	$cp_{111}^{c-m} : \$2$	$cp_{113}^{c-m} : \$3$	$cp_{121}^{c-m} : \$2$	$cp_{123}^{c-m} : \$3$	$cp_{131}^{c-m} : \$2$	$cp_{133}^{c-m} : \$3$
		$cp_{112}^{c-m} : \$1$	$cp_{114}^{c-m} : \$1$	$cp_{122}^{c-m} : \$1$	$cp_{124}^{c-m} : \$1$	$cp_{132}^{c-m} : \$1$	$cp_{134}^{c-m} : \$1$
	2	$cp_{211}^{c-m} : \$2$	$cp_{213}^{c-m} : \$3$	$cp_{221}^{c-m} : \$2$	$cp_{223}^{c-m} : \$1$	$cp_{231}^{c-m} : \$2$	$cp_{233}^{c-m} : \$3$
		$cp_{212}^{c-m} : \$1$	$cp_{214}^{c-m} : \$1$	$cp_{222}^{c-m} : \$1$	$cp_{224}^{c-m} : \$1$	$cp_{232}^{c-m} : \$1$	$cp_{234}^{c-m} : \$1$
	3	$cp_{311}^{c-m} : \$2$	$cp_{313}^{c-m} : \$3$	$cp_{321}^{c-m} : \$2$	$cp_{323}^{c-m} : \$1$	$cp_{331}^{c-m} : \$2$	$cp_{333}^{c-m} : \$3$
		$cp_{312}^{c-m} : \$1$	$cp_{314}^{c-m} : \$1$	$cp_{322}^{c-m} : \$1$	$cp_{324}^{c-m} : \$1$	$cp_{332}^{c-m} : \$1$	$cp_{334}^{c-m} : \$1$
Dis 廠	1	$cp_{111}^{d-m} : \$2$	$cp_{113}^{d-m} : \$3$	$cp_{121}^{d-m} : \$2$	$cp_{123}^{d-m} : \$3$	$cp_{131}^{d-m} : \$2$	$cp_{133}^{d-m} : \$3$
		$cp_{112}^{d-m} : \$1$	$cp_{114}^{d-m} : \$1$	$cp_{122}^{d-m} : \$1$	$cp_{124}^{d-m} : \$1$	$cp_{132}^{d-m} : \$1$	$cp_{134}^{d-m} : \$1$
	2	$cp_{211}^{d-m} : \$2$	$cp_{213}^{d-m} : \$3$	$cp_{221}^{d-m} : \$2$	$cp_{223}^{d-m} : \$3$	$cp_{231}^{d-m} : \$2$	$cp_{233}^{d-m} : \$3$
		$cp_{212}^{d-m} : \$1$	$cp_{214}^{d-m} : \$1$	$cp_{222}^{d-m} : \$1$	$cp_{224}^{d-m} : \$1$	$cp_{232}^{d-m} : \$1$	$cp_{234}^{d-m} : \$1$
	3	$cp_{311}^{d-m} : \$2$	$cp_{313}^{d-m} : \$3$	$cp_{321}^{d-m} : \$2$	$cp_{323}^{d-m} : \$3$	$cp_{331}^{d-m} : \$2$	$cp_{333}^{d-m} : \$3$
		$cp_{312}^{d-m} : \$1$	$cp_{314}^{d-m} : \$1$	$cp_{322}^{d-m} : \$1$	$cp_{324}^{d-m} : \$1$	$cp_{332}^{d-m} : \$1$	$cp_{334}^{d-m} : \$1$

附錄表 2.23 採購成本-5

	Collect 據點					
	1		2		3	
顧客端	$cp_{11}^{cu-co} : \$1$	$cp_{13}^{cu-co} : \$1$	$cp_{21}^{cu-co} : \$1$	$cp_{23}^{cu-co} : \$1$	$cp_{31}^{cu-co} : \$1$	$cp_{33}^{cu-co} : \$1$
	$cp_{12}^{cu-co} : \$1$		$cp_{22}^{cu-co} : \$1$		$cp_{32}^{cu-co} : \$1$	

附錄表 2.24 採購成本-6

		Re-Ms 廠					
		1		2		3	
Dis 廠	1	$cp_{111}^{d-r} : \$1$	$cp_{112}^{d-r} : \$1$	$cp_{121}^{d-r} : \$1$	$cp_{122}^{d-r} : \$1$	$cp_{131}^{d-r} : \$1$	$cp_{132}^{d-r} : \$1$
		$cp_{113}^{d-r} : \$1$	$cp_{114}^{d-r} : \$1$	$cp_{123}^{d-r} : \$1$	$cp_{124}^{d-r} : \$1$	$cp_{133}^{d-r} : \$1$	$cp_{134}^{d-r} : \$1$
	2	$cp_{211}^{d-r} : \$1$	$cp_{212}^{d-r} : \$1$	$cp_{221}^{d-r} : \$1$	$cp_{222}^{d-r} : \$1$	$cp_{231}^{d-r} : \$1$	$cp_{232}^{d-r} : \$1$
		$cp_{213}^{d-r} : \$1$	$cp_{214}^{d-r} : \$1$	$cp_{223}^{d-r} : \$1$	$cp_{224}^{d-r} : \$1$	$cp_{233}^{d-r} : \$1$	$cp_{234}^{d-r} : \$1$
	3	$cp_{311}^{d-r} : \$1$	$cp_{312}^{d-r} : \$1$	$cp_{321}^{d-r} : \$1$	$cp_{322}^{d-r} : \$1$	$cp_{331}^{d-r} : \$1$	$cp_{332}^{d-r} : \$1$
		$cp_{313}^{d-r} : \$1$	$cp_{314}^{d-r} : \$1$	$cp_{323}^{d-r} : \$1$	$cp_{324}^{d-r} : \$1$	$cp_{333}^{d-r} : \$1$	$cp_{334}^{d-r} : \$1$
二手市場		$cp_{11}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{13}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{21}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{23}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{31}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{33}^{se-r-c} : \$1$
		$cp_{12}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{14}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{22}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{24}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{32}^{se-r-c} : \$1$	$cp_{34}^{se-r-c} : \$1$
		$cp_{11}^{se-r-w} : 1$	$cp_{12}^{se-r-w} : 1$	$cp_{21}^{se-r-w} : 1$	$cp_{22}^{se-r-w} : 1$	$cp_{31}^{se-r-w} : 1$	$cp_{32}^{se-r-w} : 1$

附錄表 2.25 採購成本-7

		DIS 廠					
		1		2		3	
Collect 據點	1	$cp_{11b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{11b3}^{co_d} : \$1$	$cp_{12b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{12b3}^{co_d} : \$1$	$cp_{13b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{13b3}^{co_d} : \$1$
		$cp_{11b2}^{co_d} : \$1$		$cp_{12b2}^{co_d} : \$1$		$cp_{13b2}^{co_d} : \$1$	
	2	$cp_{21b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{21b3}^{co_d} : \$1$	$cp_{22b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{22b3}^{co_d} : \$1$	$cp_{23b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{23b3}^{co_d} : \$1$
		$cp_{21b2}^{co_d} : \$1$		$cp_{22b2}^{co_d} : \$1$		$cp_{23b2}^{co_d} : \$1$	
	3	$cp_{31b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{31b3}^{co_d} : \$1$	$cp_{32b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{32b3}^{co_d} : \$1$	$cp_{33b1}^{co_d} : \$1$	$cp_{33b3}^{co_d} : \$1$
		$cp_{31b2}^{co_d} : \$1$		$cp_{32b2}^{co_d} : \$1$		$cp_{33b2}^{co_d} : \$1$	
二手市場		$cp_{1b1}^{se_d} : \$1$	$cp_{1b3}^{se_d} : \$1$	$cp_{2b1}^{se_d} : \$1$	$cp_{2b3}^{se_d} : \$1$	$cp_{3b1}^{se_d} : \$1$	$cp_{3b3}^{se_d} : \$1$
		$cp_{1b2}^{se_d} : \$1$		$cp_{2b2}^{se_d} : \$1$		$cp_{3b2}^{se_d} : \$1$	

附錄三 產業案例最低經濟目標之規劃結果

附錄表 3.1 Wafer 廠之生產數量 $QM_W(i,l,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
Wafer 廠(i)	wafers 種類(l)						
1	2	5,480	5,500	3,376	0	0	0
2	2	5,500	5,500	5,500	0	0	0
3	2	5,500	5,500	5,500	0	0	0

附錄表 3.2 Cell 廠之良品生產數量 $QM_C(i,b,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
Cell 廠(i)	cells 種類(b)						
1	3	0	0	8,000	8,000	8,000	0
2	1	0	0	1,080	2,760	1,992	0
	3	0	0	6,848	5,056	5,875	0
3	3	0	0	0	4,112	813	0

附錄表 3.3 Cell 廠之不良品生產數量 $QM_CB(i,b,b',t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
Cell 廠(i)	cells 種類(b)	cells 種類(b')						
1	3	4	0	0	2,000	2,000	2,000	0
2	1	2	0	0	360	920	664	0
	3	4	0	0	1,712	1,264	1,469	0
3	3	4	0	0	0	1,028	203	0

附錄表 3.4 Module 廠之生產數量 $QM_M(i,v,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
Module 廠(i)	modules 種類(v)						
1	1	0	0	1,280	0	0	1,280
	2	0	0	0	6,060	6,556	6,151
3	1	0	0	0	712	184	132
	2	0	0	0	3,852	3,101	4,751
	3	0	0	1,200	1,095	1,050	984

附錄表 3.5 System 廠之生產數量 $QM_S(i,k,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
System 廠 (i)	systems 種類(k)						
1	1	0	0	856	144	1,000	1,000
	2	0	0	0	0	790	0
3	2	0	0	0	1,210	0	1,000

附錄表 3.6 重製廠之生產 wafers 良品之數量 $QM_{RW}(i,l,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
重製廠(i)	wafers 種類(l)						
1	1	0	0	0	3,680	2,656	0
	2	0	0	0	0	3,984	0
2	2	0	0	2,080	4,960	0	0
3	1	0	0	1,440	0	0	0

附錄表 3.7 拆解廠之生產 cells 良品之數量 $QM_D(i,b,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)						
1	1	0	0	1,600	7,680	5,640	0
	2	0	0	6,400	0	0	6,400
2	3	0	0	0	3,120	0	0
	4	0	0	4,800	0	0	6,400
3	1	0	0	8,000	0	0	5,879
	2	0	0	0	3,200	0	0
	3	0	0	0	0	0	2,080
	4	0	1,600	0	0	0	3,200

附錄表 3.8 拆解廠之生產 cells 不良品之數量 $QM_DN(i,b,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)						
1	1	0	0	400	1,920	1,410	0
	2	0	0	1,600	0	0	1,600
2	3	0	0	0	3,120	0	0
	4	0	0	1,200	0	0	1,600
3	1	0	0	2,000	0	0	1,470
	2	0	0	0	800	0	0
	3	0	0	0	0	0	520
	4	0	400	0	0	0	800

附錄表 3.9 重製廠之生產 wafers 不良品之數量 $QM_RWN(i,l,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
重製廠(i)	wafers 種類(l)						
1	1	0	0	0	920	664	0
	2	0	0	0	0	996	0
2	2	0	0	520	1,240	0	0
3	1	0	0	360	0	0	0

附錄表 3.10 Wafer 廠之耗用數量 $QC_W(i,o,l,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
Wafer 廠(i)	矽原料(o)	wafers 種類(l)						
1	1	2	87,680	88,000	54,015	0	0	0
2	1	2	88,000	88,000	88,000	0	0	0
3	1	2	88,000	88,000	88,000	0	0	0

附錄表 3.11 Cell 廠之耗用數量 $QC_C(i,l,b,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
Cell 廠(i)	wafers 種類(l)	cells 種類(b)						
1	2	3	0	0	10,000	10,000	10,000	0
2	1	1	0	0	1,440	3,680	2,656	0
	2	3	0	0	8,560	6,320	7,344	0
3	2	3	0	0	0	5,140	1,016	0

附錄表 3.11 Module 廠之耗用數量 $QC_M(i,b,v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
Module 廠(i)	cells 種類(b)	modules 種類(v)						
1	2	1	0	0	6,400	0	0	6,400
	3	2	0	0	0	11,120	12,112	8,000
	4	2	0	0	0	2,000	2,000	8,603
3	1	3	0	0	9600	8,760	8,401	7,871
	2	1	0	0	0	3,560	920	664
	3	2	0	0	0	6,848	5,056	8,768
	4	2	0	0	0	1,712	2,292	1,469

附錄表 3.12 重製廠耗用 cells 之數量 $QC_{RC}(i,b,l,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
重製廠(i)	cells 種類(b)	wafers 種類(l)						
1	1	1	0	0	0	2,900	2,420	0
	2	1	0	0	0	1,700	900	0
	3	2	0	0	0	0	880	0
	4	2	0	0	0	0	4,100	0
2	3	2	0	0	300	100	0	0
	4	2	0	0	2,300	6,100	0	0
3	1	1	0	0	1,500	0	0	0
	2	1	0	0	3,00	0	0	0

附錄表 3.13 System 廠之耗用數量 $QC_S(i,v,k,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
System 廠(i)	modules 種類(v)	systems 種類(k)						
1	1	1	0	0	1,280	712	184	1,413
	2	1	0	0	0	0	3,853	2,870
	2	2	0	0	0	0	5,804	0
	3	1	0	0	1,200	3	1,050	0
2	2	2	0	0	0	0	0	8,032
	3	2	0	0	0	0	0	983
3	2	2	0	0	0	9,912	0	0
	3	2	0	0	0	1,092	0	0

附錄表 3.14 矽原料供應商至 Wafer 廠之運輸數量 $QT_{SUW}(i,i',o,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
供應商(i)	Wafer 廠(i')	原料(o)						
1	1	1	50,000	38,000	50,000	0	0	0
	2	1	38,000	38,000	38,000	0	0	0
	3	1	38,000	38,000	38,000	0	0	0
2	1	1	37,680	50,000	4,015	0	0	0
	2	1	50,000	50,000	0	0	0	0
	3	1	50,000	50,000	50,000	0	0	0
	2	1	0	0	50,000	0	0	0

附錄表 3.15 拆解廠之耗用數量 QC_D(i,v,b,t)

週期(t)			1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	modules 種類(v)	cells 種類(b)						
1	1	1	0	100	600	600	0	0
		2	0	1,600	0	0	1,600	0
	3	1	0	200	900	581	0	0
2	2	3	0	0	1,200	0	0	0
	2	4	0	1,500	0	0	2,000	0
	3	3	0	0	300	0	0	0
3	1	1	0	1,100	0	0	600	0
	1	2	0	0	800	0	0	0
	2	3	0	0	0	0	800	0
	2	4	500	0	1,000	0	0	0
	3	1	0	700	0	0	619	0
	3	3	0	0	0	0	200	0

附錄表 3.16 重製廠耗用 wafers 不良品之數量 QC_RWN(i,l,o,t)

週期(t)			1	2	3	4	5	6
重製廠(i)	wafers 種類(l)	原料(o)						
1	2	1	0	0	0	0	996	0
2	2	1	0	0	520	1,240	0	0

附錄表 3.17 拆解廠至重製廠之運輸數量 $QT_DR(i,i',b,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	重製廠(i')	cells 種類(b)						
2	2	4	0	0	0	3,200	0	0
3	1	4	0	0	0	0	4,800	0
	2	4	0	0	1,600	0	0	0

附錄表 3.18 System 廠至顧客之運輸數量 $QT_SCU(i,k,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
System 廠(i)	systems 種類(k)						
1	1	0	0	0	1,000	1,000	1,000
	2	0	0	0	0	790	0
2	2	0	0	0	0	0	1,000
3	2	0	0	0	1,000	210	0

附錄表 3.19 Wafer 廠至 Cell 廠之運輸數量 $QT_WC(i,i',l,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
Wafer 廠(i)	Cell 廠(i')	wafers 種類(l)						
1	1	2	0	0	5,480	5,500	0	0
	2	2	0	0	0	0	3,376	0
2	1	2	0	0	5,500	5,320	4,484	0
	3	2	0	0	0	180	1,016	0
3	1	2	0	0	2,420	4,680	2,140	0
	2	2	0	0	3,080	820	3,360	0

附錄表 3.20 拆解廠至重製廠運輸不良品之數量 $QT_DRN(i,i',b,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	重製廠(i')	cells 種類(b)						
1	1	1	0	0	0	400	1,920	0
		2	0	0	0	1,600	0	0
2	1	3	0	0	0	0	780	0
	2	4	0	0	0	1,200	0	0
3	1	1	0	0	0	2,000	0	0
		2	0	0	0	0	800	0
		4	0	0	0	0	800	0
	2	4	0	0	400	0	0	0

附錄表 3.21 Cell 廠至 Module 廠之運輸數量 $QT_CM(i,i',b,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
Cell 廠(i)	Module 廠(i')	cells 種類(b)						
1	1	3	0	0	0	8,000	8,000	8,000
		4	0	0	0	2,000	2,000	2,000
2	3	1	0	0	0	1,080	2,760	1,992
		2	0	0	0	360	920	664
		3	0	0	0	6,848	5,056	5,875
		4	0	0	0	1,712	1,264	1,469
3	1	3	0	0	0	2,000	4,112	0
		4	0	0	0	0	0	203
	3	3	0	0	0	0	0	0
		4	0	0	0	0	1,028	813

附錄表 3.22 拆解廠至 Module 廠之運輸數量 $QT_{DM}(i,i',b,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	Module 廠(i')	cells 種類(b)						
1	1	2	0	0	6,400	0	0	6,400
	3	1	0	0	1,600	7,680	5,641	0
2	1	3	0	0	0	3,120	0	0
		4	0	0	0	0	0	6,400
3	3	1	0	0	8,000	0	0	5,879
		2	0	0	0	3,200	0	0
		3	0	0	0	0	0	2,080

附錄表 3.23 Module 廠至 System 廠之運輸數量 $QT_{MS}(i,i',v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
Module 廠(i)	System 廠(i')	modules 種類(v)						
1	1	1	0	0	1,280	0	0	1,280
		2	0	0	0	0	6,556	0
		3	0	0	0	720	0	0
	2	2	0	0	0	0	0	6,150
	3	2	0	0	0	6,060	0	0
3	1	1	0	0	0	0	184	133
		2	0	0	0	0	3,101	2,870
		3	0	0	1,200	3	1,050	0
	2	2	0	0	0	0	0	1,881
		3	0	0	0	0	0	984
	3	3	2	0	0	0	0	0
3			0	0	0	0	0	1,092

附錄表 3.24 收集據點之庫存數量 $QI_CO(i,b,v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
收集據點(i)	cells 種類(b)	module 種類(v)						
1	4	3	0	0	0	0	500	500
2	4	3	0	0	0	0	1,000	1,000
3	1	1	0	0	0	0	0	500
		3	0	0	0	0	0	500
	2	1	0	0	0	0	0	300
	3	2	0	0	0	0	0	300
	4	2	0	0	0	0	0	500
		3	0	0	0	0	1,000	1,500

附錄表 3.25 回收數量 $QT_CUCO(i,b,v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
收集據點(i)	cells 種類(b)	module 種類(v)						
1	1	1	500	500	0	0	500	0
		3	500	200	0	500	0	0
	2	1	300	300	300	0	300	0
	3	2	0	0	0	300	0	0
	4	3	0	0	500	0	0	0
2	1	1	0	0	500	0	0	0
		3	0	300	500	0	0	0
	2	1	0	0	0	300	0	0
	3	2	300	300	300	0	0	0
	4	2	500	500	0	500	500	0

附錄表 3.25 回收數量 $QT_CUCO(i,b,v,t)$ (續)

週期(t)			1	2	3	4	5	6
收集據點(i)	cells 種類(b)	module 種類(v)						
2	4	3	0	0	0	500	500	0
3	1	1	0	0	0	0	0	500
	1	3	0	0	0	0	500	500
	2	1	0	0	0	0	0	300
	3	2	0	0	0	0	300	300
	4	2	0	0	500	0	0	500
	4	3	500	500	0	0	0	500

附錄表 3.26 收集據點至拆解廠之運輸數量 $QT_COD(i,b,v,t)$

週期(t)				1	2	3	4	5	6	
收集據點 (i)	拆解廠 (i)	cells 種類 (b)	module 種類 (v)							
1	1	2	1	0	600	0	0	300	0	
		1	3	0	0	0	500	0	0	
	3	1	1	1	0	1,000	0	0	0	0
			3	3	0	700	0	0	0	0
		2	1	0	0	300	0	0	0	
		3	2	0	0	0	300	500	0	
2	1	1	1	0	0	500	0	0	0	
			3	3	0	0	800	0	0	0
	2	1	0	0	0	300	0	0		
	2	3	2	0	600	300	0	0	0	

附錄表 3.26 收集據點至拆解廠之運輸數量 $QT_COD(i,b,v,t)$ (續)

週期(t)				1	2	3	4	5	6
收集據點 (i)	拆解廠 (i')	cells 種類 (b)	module 種類 (v)						
2	2	4	2	0	1,000	0	0	1000	0
3	1	1	1	0	0	0	500	0	0
	3	1	3	0	0	0	0	500	0
		3	2	0	0	0	0	300	0
		4	3	0	0	500	0	0	0

附錄表 3.27 重製廠至 Cell 廠之運輸數量 $QT_RC(i,i',l,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
重製廠 (i)	Cell 廠(i')	wafers 種類(l)						
1	2	1	0	0	0	3,680	2,656	0
		2	0	0	0	0	3,984	0
2	1	2	0	0	2,080	0	0	0
	3	2	0	0	0	4,960	0	0
3	2	1	0	0	1,440	0	0	0

附錄表 3.28 二手市場至拆解廠之運輸數量 $QT_SED(i,b,v,t)$

週期(t)			1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)	module 種類(v)						
1	1	1	100	100	100	0	0	0
	1	3	0	100	100	81	0	0
	2	1	500	500	0	500	500	0
2	3	2	100	100	100	0	0	0
	3	3	100	100	100	0	0	0
	4	2	0	500	0	500	500	0

附錄表 3.28 二手市場至拆解廠之運輸數量 $QT_SED(i,b,v,t)$ (續)

		週期(t)		1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)	module 種類(v)							
3	1	1	100	0	500	0	100	0	
	1	3	0	0	0	19	100	0	
	2	1	0	0	500	0	0	0	
	3	2	0	0	0	100	100	0	
	3	3	0	0	0	100	100	0	
	4	2	500	0	500	0	0	0	

附錄表 3.29 二手市場至重製廠運輸 cells 之數量 $QT_SERC(i,b,t)$

		週期(t)		1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)								
1	1	0	0	0	500	500	0		
	2	0	0	0	100	100	0		
	3	0	0	0	0	100	0		
	4	0	0	0	0	100	0		
2	3	100	100	100	100	0	0		
	4	100	100	100	100	0	0		
3	1	500	500	500	0	0	0		
	2	100	100	100	0	0	0		

附錄表 3.30 System 廠之成品庫存數量 $QI_SK(i,k,t)$

		週期(t)		1	2	3	4	5	6
System 廠(i)	systems 種類(k)								
1	1	0	0	856	0	0	0		
3	2	0	0	0	210	0	0		

附錄表 3.31 拆解廠之 modules 庫存數量 $QI_{DV}(i,b,v,t)$

		週期(t)		1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)	module 種類(v)							
1	1	1	100	0	0	0	0	0	0
	2	1	500	0	0	800	0	0	0
2	3	2	100	800	0	0	0	0	0
	3	3	100	200	0	0	0	0	0
	4	2	0	0	0	500	0	0	0
3	1	1	100	0	0	0	0	0	0
	1	3	0	0	0	19	0	0	0
	3	2	0	0	0	400	0	0	0
	3	3	0	0	0	100	0	0	0

附錄表 3.32 收集據點之庫存數量 $QI_{CO}(i,b,v,t)$

		週期(t)		1	2	3	4	5	6
收集據點(i)	cells 種類(b)	module 種類(v)							
1	1	1	500	0	0	0	0	0	0
	1	3	500	0	0	0	0	0	0
	2	1	300	0	0	0	0	0	0
	4	3	0	0	500	500	0	0	0
2	1	3	0	300	0	0	0	0	0
	3	2	300	0	0	0	0	0	0
	4	2	500	0	0	500	0	0	0
	4	3	0	500	500	500	0	0	0
3	4	3	500	500	500	1,000	0	0	

附錄表 3.33 重製廠 cells 之庫存數量 $QI_RB(i,b,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
重製廠(i)	cells 種類(b)						
2	3	100	200	0	0	0	0
	4	100	200	0	0	0	0
3	1	500	1,000	0	0	0	0
	2	100	200	0	0	0	0

附錄表 3.34 拆解廠不良 cells 之庫存數量 $QI_DBN(i,b,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)						
1	1	0	0	0	1,410	0	0

附錄表 3.35 重製廠不良 wafers 之庫存數量 $QI_RLN(i,l,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
重製廠(i)	wafers 種類(l)						
1	1	0	0	0	920	1,584	1,584
3	1	0	0	360	360	360	360

附錄表 3.36 Cell 廠之二元變數 $MB_C(i,b,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
Cell 廠(i)	cells 種類(b)						
1	3	0	0	1	1	1	0
2	1	0	0	1	1	1	0
	3	0	0	1	1	1	0
3	3	0	0	1	1	1	0

附錄表 3.37 Wafer 廠之二元變數 $MB_W(i,l,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
Wafer 廠(i)	wafers 種類(l)						
1	2	0	1	1	1	0	0
2	2	0	1	1	1	0	0
3	2	0	1	1	1	0	0

附錄表 3.38 Module 廠之二元變數 $MB_M(i,v,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
Module 廠(i)	modules 種類(v)						
1	1	0	0	1	0	0	1
	2	0	0	0	1	1	1
3	1	0	0	0	1	1	1
	2	0	0	0	1	1	1
	3	0	0	1	1	1	1

附錄表 3.39 System 廠之二元變數 $MB_S(i,k,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
System 廠(i)	systems 種類(k)						
1	1	0	0	1	1	1	1
	2	0	0	0	0	1	0
2	2	0	0	0	0	0	1
3	2	0	0	0	1	0	0

附錄表 3.40 重製廠之二元變數 $MB_RW(i,l,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
重製廠(i)	wafers 種類(l)						
1	1	0	0	0	0	1	0
	2	0	0	0	0	1	0
2	2	0	0	1	1	0	0
3	1	0	0	1	0	0	0

附錄表 3.41 拆解廠之二元變數 $MB_D(i,b,t)$

週期(t)		1	2	3	4	5	6
拆解廠(i)	cells 種類(b)						
1	1	0	0	1	1	1	0
	2	0	0	1	0	0	1
2	3	0	0	0	1	0	0
	4	0	0	1	0	0	1
3	1	0	0	1	0	0	0
	2	0	0	0	1	0	0
	3	0	0	0	0	0	1
	4	0	0	0	1	0	0

附錄表 3.42 各廠之碳排放量

	廠別(i)	數值		廠別(i)	數值
TCC_W(i)	1	244,050	TCC_C(i)	1	132,000
	2	330,000		2	101,107
	3	379,500		3	14,774
TCC_M(i)	1	170,949	TCC_S(i)	1	25,159
	2	0		2	10,016
	3	131,856		3	12,213
TCC_D(i)	1	110,134	TCC_R(i)	1	17,500
	2	76,600		2	16,000
	3	104,765		3	3,600
TMC_W(i)	1	14,356	TTC_W(i)	1	229,694
	2	66,000		2	264,000
	3	115,500		3	264,000
TMC_C(i)	1	102,000	TTC_C(i)	1	30,000
	2	71,107		2	30,000
	3	8,618		3	6,156
TMC_M(i)	1	114,314	TTC_M(i)	1	56,635
	2	0		2	0
	3	65,936		3	65,920
TMC_S(i)	1	6,790	TTC_S(i)	1	18,369
	2	1,000		2	9,016
	3	1,210		3	11,004
TMC_D(i)	1	103,953	TTC_D(i)	1	6,181
	2	71,600		2	5,000
	3	98,447		3	6,319
TMC_R(i)	1	12,900	TTC_R(i)	1	4,600
	2	8,800		2	7,200
	3	1,800		3	1,800
TTC_CO(i)	1	4,700			
	2	5,500			
	3	5,400			