

國立交通大學

管理學院在職專班工業工程與管理組

碩士論文

應用 SDBR 與緩衝管理

於太陽能晶圓廠交期改善之研究

A Study of Using SDBR and Buffer
Management to Improve Due-Date Performance
for a Solar Wafer Plant

研究生：彭文瑞

指導教授：李榮貴博士

中華民國一百零二年一月

應用 SDBR 與緩衝管理
於太陽能晶圓廠交期改善之研究
**A Study of Using SDBR and Buffer Management to Improve Due-Date
Performance for a Solar Wafer Plant**

學生：彭文瑞

Student : Wen-Jui Peng

指導教授：李榮貴 博士

Advisor : Dr. Rong-Kwei Li



中華民國一零二年一月

應用 SDBR 與緩衝管理
於太陽能晶圓廠交期改善之研究

研究生：彭文瑞

指導教授：李榮貴 博士

國立交通大學管理學院在職專班工業工程與管理組

摘 要

太陽能產業，是一個新興而且市場很不穩定的產業，整個產業景氣循環不是大好即是大壞。景氣好的時候需求暢旺，產能不足交期拉長；景氣不好時以臨時性的急單居多，重視快速交期時間。本研究個案在這樣的產業環境下長期交期績效不佳，遭遇到客戶高度的不滿意。由於許多文獻皆提到導入 TOC SDBR 可使大部分的工廠得到很好的交期績效(高達 95%以上)，釋放出更多產能，得到較短的生產前置時間。因此本研究嘗試將 TOC SDBR 與緩衝管理戰略戰術圖，應用於個案公司太陽能晶片的生產環境，驗證是否可以有效改善交期績效。研究結果顯示，WIP 降低 41.5%，生產前置時間縮短 38.2%，達交率則由 65.4%提升到 93.3%。

關鍵字：TOC SDBR，緩衝管理，戰略戰術圖，交期績效。

A Study of Using SDBR and Buffer Management to Improve Due-Date Performance for a Solar Wafer Plant

Student : Wen-Jui Peng

Advisor : Rong-Kwei Li

Department of Industrial Engineering and Management
National Chiao Tung University

ABSTRACT

Solar power industry is a new and unbalanced industry. The demand is quite strong when business is good and lead to lack of capacity and long lead time. The orders are always rush orders when economy is in a slump and short lead time is requested. In this business environment, the object of this study performed a low due-date performance for a long time and suffered from strong customer' s complaint. Many literatures indicate that implement TOC SDBR can reach high due-date performance for most of the plants (over 95), release more capacity and get shorter production lead time. In this study, we follow S&T Tree to apply SDBR and buffer management on a solar wafer plant to see if it can deliver a high due-date performance as well. The result shows a 41.5% improvement on WIP, reduce 38.2% of production lead time and improve due-date performance from 65.4% to 93.3%.

Keywords: TOC SDBR, buffer management, S&T tree, due-date performance,.

誌謝

我本身大學讀的是理工科系，就業後的工作是在半導體廠的研發部門。就業後三年，因為公司的需要才開始嘗試從事製造管理的工作。然而，門外漢畢竟是門外漢，對於每天複雜多變的生產問題，深深感受到自己在製造管理知識方面的不足。為了不讓自己成為別人工作的絆腳石，於是報名參加受到好評的國立交通大學製造管理師訓練學程，藉以提升自己的管理知識。

在製造管理師的學程中，有幸接觸到李榮貴老師講授有關限制理論的知識，對於限制理論看起來直覺、簡單又有效的管理方式感到驚奇。可是所學的皮毛要談如何應用在工作的改善上，顯然還是太遙遠。於是乎，顧不得每天已經被工作佔滿生活的疲態，我決定報考交通大學工業工程與管理研究所，以便更深入的跟李榮貴老師學習限制理論的相關知識，同時也能學習更多管理的相關知識，以彌補自己理工背景於管理知識上的不足。

在因能力不足所造成的忙碌的工作漩渦中，我努力的查找資料熬夜準備，好不容易也很幸運的考上了交通大學管理學院在職專班工業工程與管理組。然而，快樂並沒有持續很久，考上難，讀起來苦，要完成更是一條漫長的路。

很榮幸可以成為交大的學生，很榮幸可以成為交大校友，很榮幸成為李榮貴老師的學生，感恩。

彭文瑞 謹誌

於

國立交通大學

中華民國一〇一年十二月

目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
圖目錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
第一章	緒論.....	1
1.1	研究背景與動機.....	1
1.2	研究目的.....	9
第二章	文獻探討.....	10
2.1	限制理論的基礎.....	10
2.2	限制驅導式管理.....	12
2.3	簡化型限制驅導式管理.....	14
2.4	TOC 戰略與戰術圖	17
第三章	個案分析.....	23
3.1	個案產品製造流程介紹.....	23
3.2	Touch Time 與 Production Lead Time 分析.....	24
3.3	產能與 WIP 分析.....	26
3.4	交期及投料控制方法.....	27
第四章	實做驗證.....	29
4.1	縮小產品移轉批量及抑制投單管理.....	29
4.2	緩衝管理.....	32
4.3	研究心得.....	35
第五章	結論與未來研究.....	36
參考文獻	.....	37

圖目錄

圖 1.1	太陽能發電技術演進圖	1
圖 1.2	全球太陽能發電安裝量	2
圖 1.3	太陽能發電與傳統發電成本比較圖	3
圖 1.4	不同發電方法提供就業機會比較圖	4
圖 1.5	太陽能發電安裝量預測圖	5
圖 1.6	個案公司營業收入圖	6
圖 1.7	個案公司每股盈餘圖	7
圖 1.8	個案公司一次達交率趨勢圖	9
圖 2.1	組織是一條鏈條	11
圖 2.2	網狀生產流程圖	13
圖 2.3	計畫性負荷示意圖	16
圖 2.4	TOC SDBR 與緩衝管理導入方法—TOC 戰略與戰術圖邏輯樹圖	17
圖 2.5	建立卓越的生產管理績效戰略戰術圖	18
圖 2.6	抑制投單管理戰略戰術圖-1	19
圖 2.7	抑制投單管理戰略戰術圖-2	20
圖 2.8	訂單優先順序管理戰略戰術圖	21
圖 2.9	緩衝狀態示意圖	22
圖 3.1	產品形態轉變示意圖	24
圖 3.2	個案公司各製程月產能分析圖	26
圖 4.1	加工批量示意圖	29
圖 4.2	導入縮小批量與抑制投單管理之達交率變化圖	32
圖 4.3	導入緩衝管理之達交率變化圖	35

表目錄

表 1.1	台灣太陽能產業鏈企業一覽表.....	6
表 1.2	個案公司客戶滿意度調查表.....	8
表 1.3	個案公司抱怨因素分析表.....	8
表 3.1	Touch Time 分析表.....	25
表 3.2	Touch Time 佔 Lead Time 比例分析表.....	26
表 3.3	2011 年 7 月到 2012 年 1 月各製程的平均 WIP 統計表.....	27
表 3.4	工單生產進度管制表.....	28
表 4.1	各製程移轉批量變更表.....	29
表 4.2	緩沖天數計算表—以黏晶棒站為例.....	31
表 4.3	導入縮小批量與抑制投單管理之 lead time 統計表.....	31
表 4.4	導入縮小批量與抑制投單管理之 WIP 變化表.....	32
表 4.5	緩衝狀態計算表示意圖—以黏晶棒站為例.....	33
表 4.6	導入緩衝管理之 lead time 變化表.....	34
表 4.7	導入緩衝管理之 WIP 變化表.....	34

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

光伏特效應 (Photovoltaics, PV)，是將太陽光照射的能量，轉換成為電能的物理現象。光伏特效應是在西元 1839 年，首先由法國的物理學家 Henri Becquerel 所發現。但是一直到 1883 年，第一個太陽能電池才由美國的科學家 Charles Fritts 所製造出來，當時的光電轉換效率還僅僅不到 1%。

現代使用的矽晶太陽能電池，是到 1946 年才由一位叫作 Russell Ohl 的半導體學者所開發出來。Russell Ohl 發現了矽晶材料中 p-n junction 的光電效應，從此開啟了太陽能電池的發展。1954 年貝爾實驗室研究發現，矽材料中摻入一定量的雜質後，材料對光更加敏感，進而開發出第一個摻合某種雜質的矽晶的 PV 電池。這些電池的光電轉換效率在當時能達到 6%。從貝爾以後，一系列技術的新發現，發展出結晶矽、非晶矽、薄膜以及有機物等發電技術，並將太陽能電池的平均光電轉換效率提高到 12% 以上 (圖 1.1)。到 2010 年為止，量產的太陽能電池光電轉換效率最高已經能達到 20% 以上。

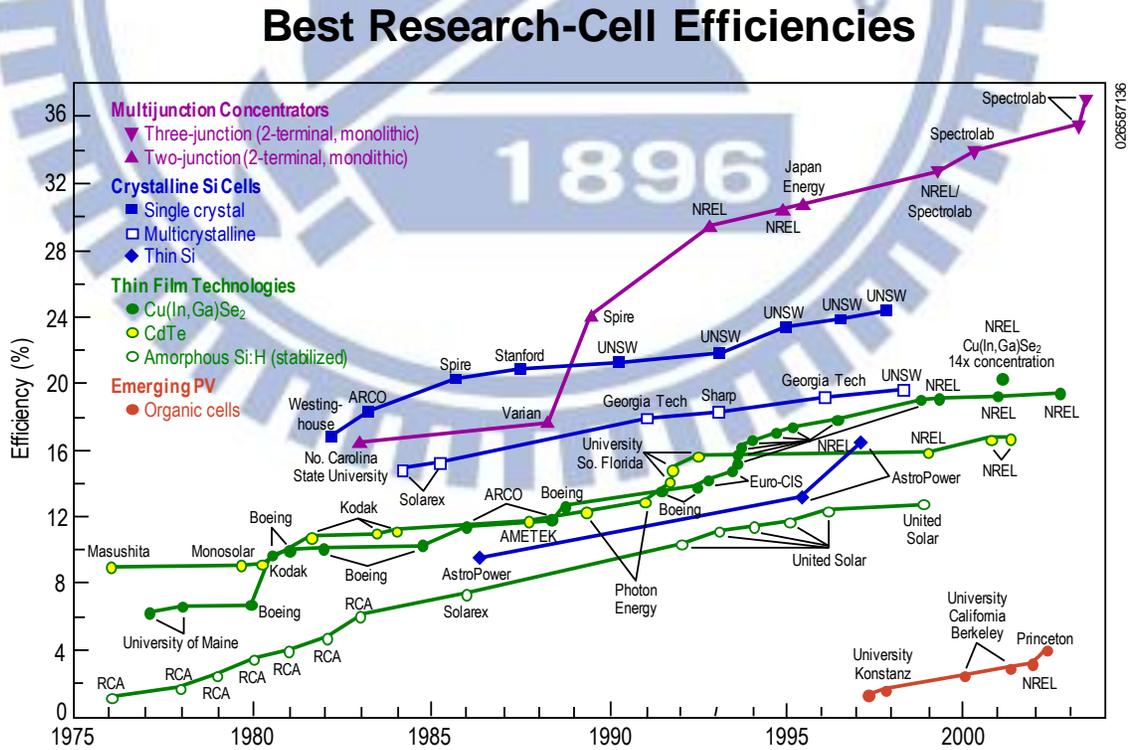


圖 1.1 太陽能發電技術演進圖

資料來源:2010 Solar Technologies Market Report【1】

1973 年第一次石油危機，讓歐美先進國家體認到替代能源開發的重要性。對太陽能發電科技的研究也日益的投入，此後的太陽能電池光電轉換效率開始有大幅度的成長，實驗室所能做到的轉換效率更是遠高於量產的水準。然而因為太陽能電池的發電成本高，以至於市場始終難以擴大。傳統發電成本每度電約在 0.04-0.05 美金左右，太陽能發電成本每度電約在 0.3-0.6 美金左右；也就是說，太陽能發電的成本大約是在傳統發電成本的 10 倍以上。

21 世紀以來，隨著地球暖化帶來的傷害增加，人類環保意識升高，降低石化能源的使用量變成一個迫切而嚴肅的課題。而在所有的替代能源中，以太陽能最為潔淨少副作用，發電的能量來源—太陽光也是取之不盡。所以，歐美已開發國家開始領先實行太陽能發電補助政策，21 世紀儼然是太陽能起飛的世紀。太陽能工業的發展由歐美拓展到全世界，全球太陽能的安裝量急速上揚如圖 1.2 所示。

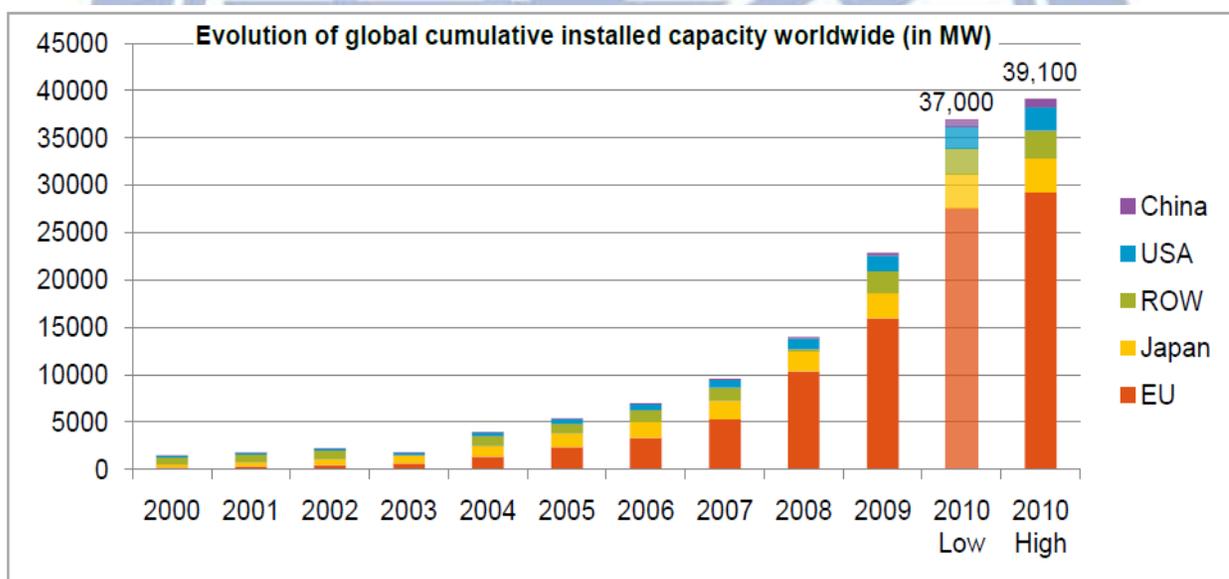


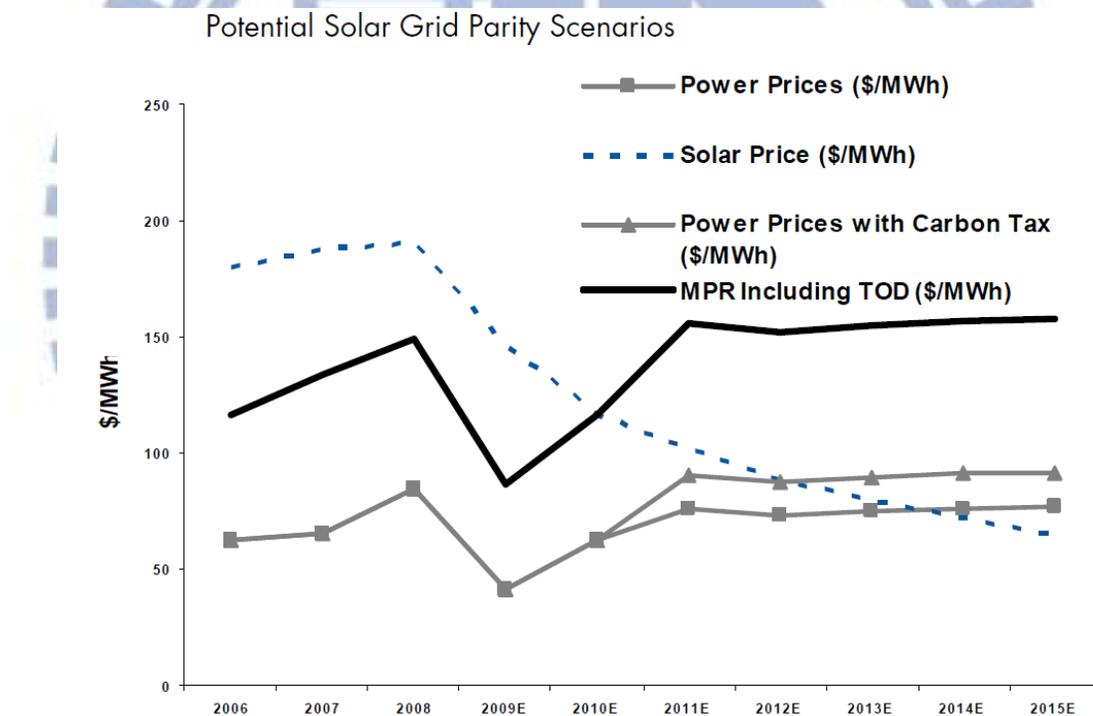
圖 1.2 全球太陽能發電安裝量
資料來源：Market Outlook 2010【2】

依據美國能源部能源資訊署二 00 二年三月出版之「International Energy Outlook 2002」【3】，從一九九九年至二 0 二 0 年全球能源消費趨勢，預測全球能源總消費量將成長百分之六十，其中開發中亞洲及中南美洲國家將成長一倍。其中石油預估將成長五成九，維持占全球能源總消費量四成的比例。天然氣預估將成長一倍，占全球能源總消費量比重

至百分之二十八。煤炭占全球能源總消費量的比重將由百分之二十二降低到百分之二十。也就是說，石化燃料佔了目前全球能源消耗的將近九成。

根據經濟部能源委員會九十一年五月「臺灣能源統計年報（九十年）」資料顯示【4】，預估世界石油蘊藏量只可再開採四十年，天然氣可開採六十二年，煤炭可開採二百二十七年。也就是說，目前全球最為依賴的在二十一世紀的前半，就將日趨枯竭。

太陽能電池製作技術的進步，快速且大幅的降低了太陽能電池的發電成本。同時，因為化石能源日漸枯竭以及開採成本變高，加上碳權的成本，使得太陽能發電與傳統電力的發電成本愈來愈靠近。根據 Barclays Capital 在 2010 年 9 月的研究報告指出【5】，在高電價的區域從 2010 年開始已經能夠達到太陽能發電與市電同價的商業能力（圖 1.3）。

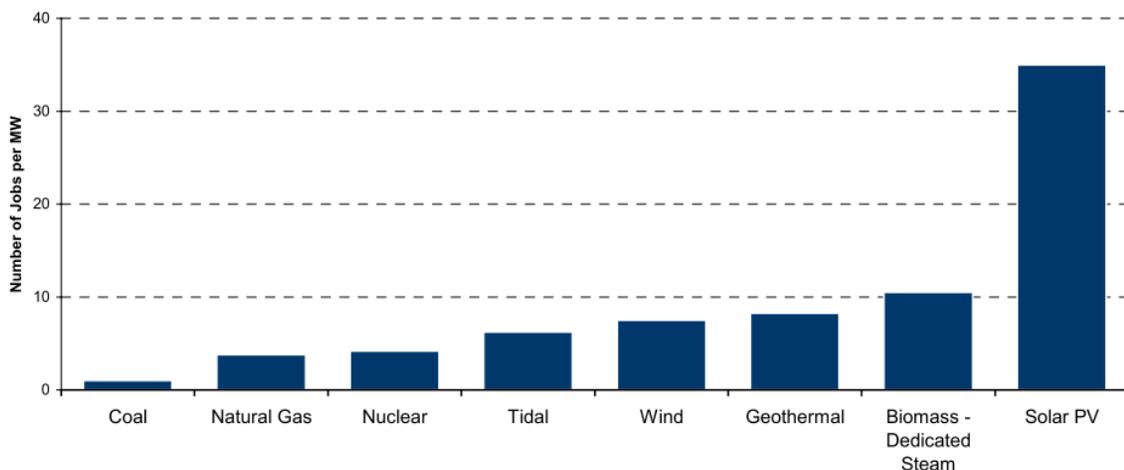


Source: Barclays Capital research

圖 1.3 太陽能發電與傳統發電成本比較圖
資料來源：Solar Energy Handbook【5】

同時，相較於其它發電方式，圖 1.4 顯示太陽能產業可以創造大量的就業機會，這也使得不論是先進國家或開發中國家都相當熱衷與投入，以期能夠對持續低迷的就業市場提供一個改善的契機。

Job Creation Potential of Various Electricity Generation Technologies



Source: INEEL, BC Sustainable Energy Association, Renewable Energy Policy Project, Barclays Capital research

圖 1.4 不同發電方法提供就業機會比較圖
資料來源：Solar Energy Handbook【5】

因為太陽能具有環保低污染，幾乎沒有開採極限，對化石能源的高度替代性，以及疏導就業壓力等諸多好處，EPIA 預測到 2050 年太陽能產業的規模將發展到 250GW，也就是目前的 8 到 10 倍的規模（圖 1.5）。

ANNUAL MARKET
TO 2050 UNDER
THREE SCENARIOS
MW

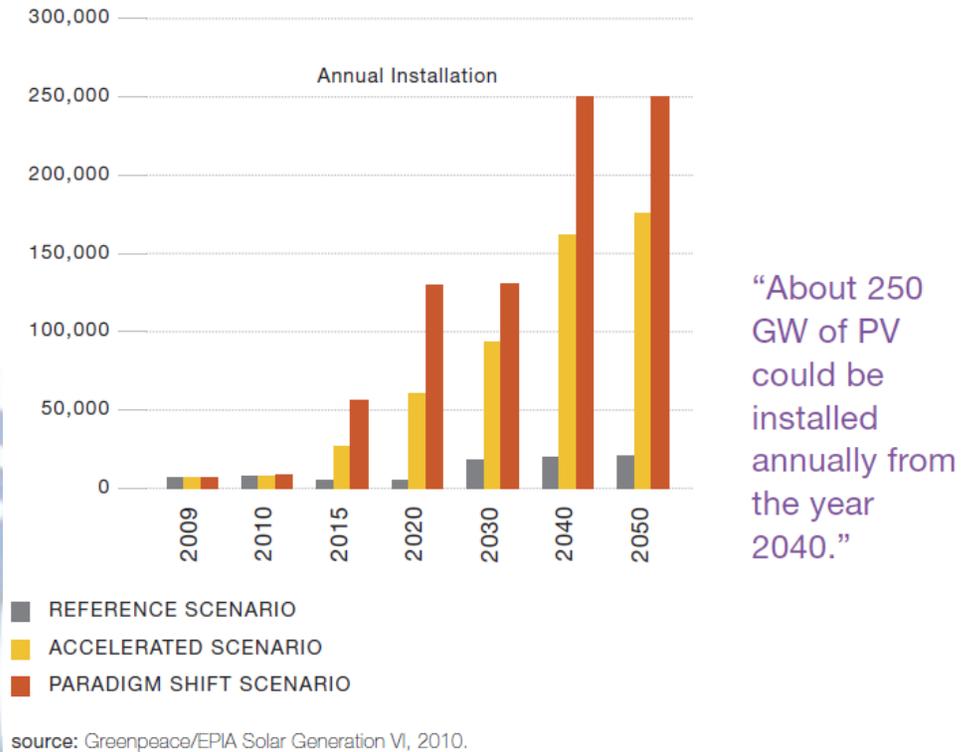


圖 1.5 太陽能發電安裝量預測圖
資料來源：EPIA Solar Generation VI，2010【6】

在諸多有利條件的形成後，太陽能處在一個相當良好的市場氛圍中，亞洲國家挾低製造成本以及高量產能力的優勢，在 21 世紀以來大舉投入太陽能產業，在日本、台灣及中國等地儼然形成太陽能產業的重鎮。

台灣近幾年來有相當多的企業紛紛投入太陽能產業的上、中、下游各段生產，整理如表 1.1 所示。而在這些企業當中，本研究的個案公司可以說是台灣最早投入太陽能產業的企業之一。

POLYSILICON	WAFER	CELL	MODULE	SYSTEM
福聚	中美晶	茂迪	頂晶科	台達電
科冠	綠能	昱晶	友達能源	太陽光
寶德	陽光能	新日光	科風	
	合晶	益通		
	茂迪	昇陽科		
	達能	旺能		
	旭晶	太陽光		
	國碩	太極能源		
	新日光			
	友達			

表 1.1 台灣太陽能產業鏈企業一覽表
資料來源：本研究整理

個案公司成立於西元 1981 年，主要從事小尺寸半導體矽晶圓的製造，2001 年洞悉太陽能發展的潛力以後，便開始投入太陽能矽晶圓的製造。個案公司的營收受惠於太陽能產業的蓬勃發展而快速爬升（圖 1.6），甚至在 2008 年創下連續 40 個月營收創新高的台灣上市公司最高記錄。

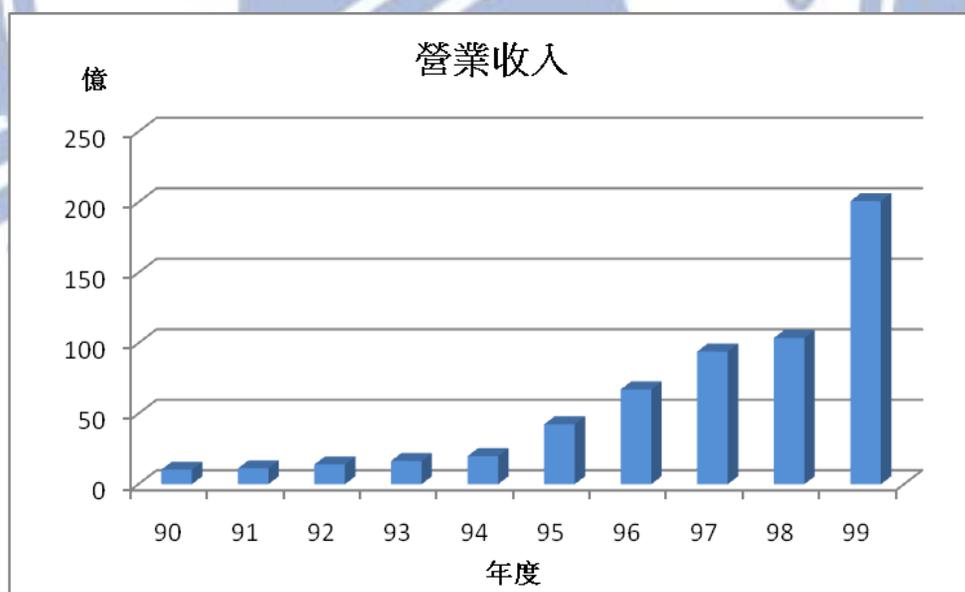


圖 1.6 個案公司營業收入圖
資料來源：本研究整理

如同前面所提到的，因為有太多的企業同時投入太陽能產業，太陽能的產業鏈處在一個不穩定，而且相當競爭的時期。同時，太陽能畢竟還是處於一個需要透過各國政府補助才能獲利的產業，隨著景氣以及各國太陽能政策的變化，太陽能各段的營業預測變得相當困難。好比 2008 年底美債危機，導致 2009 年全台灣太陽能都因為高庫存的跌價損失而虧損，個案公司也僅僥倖維持在虧損邊緣的小賺（圖 1.7）。接著於 2010 年，在德國、西班牙等太陽能補助大國都大幅下修或取消補助的重大利空之下，太陽能獲利卻逆勢開出有史以來獲利最佳的一年紅盤。這樣的悖乎常理以及大起大落正是太陽能產業的寫照。

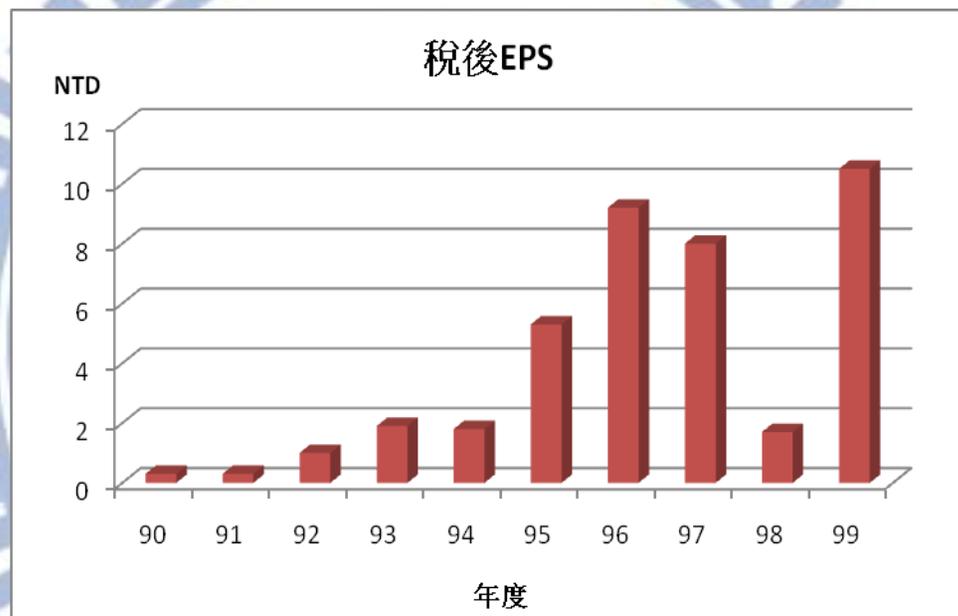


圖 1.7 個案公司每股盈餘圖
資料來源：本研究整理

在太陽能晶圓長期供需不穩定，以及市場景氣變化快速而劇烈的狀態下，客戶多轉而嚴控庫存水位，急單相對越來越多，客戶對交期快而準確也越來越要求。而根據個案公司 2011 年 7 月的年度客戶滿意度調查結果，如表 1.2 所示，交期的滿意度得到了最低的平均 5.4 分的分數，顯示客戶對交期的不滿意排在第一位。

評分標準		極差：0， 差：2， 稍差：4， 尚可：6， 佳：8， 優：10										
配分權重		2	2	2	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	總分	
客戶排名	客戶名稱	評分項目										
		品質	交期	業務應對	產品種類	客訴處理	價格	新產品	技術支援	市場訊息		
1	A	6	8	8	10	4	8	10	8	10	76.0	
2	B	8	7	10	8	10	6	8	8	10	84.0	
3	C	6	4	10	6	8	6	6	6	8	67.0	
4	D	8	6	10	8	8	7	8	8	8	79.5	
5	E	10	4	10	8	10	7	8	8	8	81.5	
6	F	7	8	7	7	8	6	9	6	8	73.5	
7	G	10	6	10	10	10	8	10	8	10	90.0	
8	H	7	8	7	7	8	7	9	6	8	74.0	
9	I	8	4	9	8	8	7	8	8	8	73.5	
10	J	9	6	10	9	10	6	8	7	10	84.5	
11	K	10	4	10	8	10	7	8	8	6	80.5	
12	L	10	4	10	10	10	6	10	10	10	86.0	
13	M	8	2	8	8	8	5	7	8	10	67.0	
14	N	8.5	6	9	10	7	6	10	8	8	80.0	
15	O	9	4	9	10	8	8	10	10	10	81.0	
Average		8.3	5.4	9.1	8.5	8.5	6.7	8.6	7.8	8.8	78.5	

表 1.2 個案公司客戶滿意度調查表

資料來源：本研究整理

個案公司接著再針對交期滿意度這一個項目進行追蹤問卷調查，結果如表 1.3 中低評價因素一欄所指出，客戶對交期不滿的因素不外乎是交期太長、短交、延交及頻繁更改交期等等。

評分低於6分項目追蹤問卷									
客戶排名	客戶名稱	評分項目							低評價因素
		品質	交期	業務應對	產品種類	客訴處理	價格		
1	A	6	8	8	10	4	8	8	交期太長，避重就輕，回覆速度慢
2	B	8	7	10	8	10	6	6	
3	C	6	4	10	6	8	6	6	經常短交，延交期
4	D	8	6	10	8	8	7	7	
5	E	10	4	10	8	10	7	7	交期太長，頻繁更改交期
6	F	7	8	7	7	8	6	6	
7	G	10	6	10	10	10	8	8	
8	H	7	8	7	7	8	7	7	
9	I	8	4	9	8	8	7	7	交期太長，承諾的交期跟數量經常達不到
10	J	9	6	10	9	10	6	6	
11	K	10	4	10	8	10	7	7	交期太長，交期經常變更
12	L	10	4	10	10	10	6	6	交期經常delay
13	M	8	2	8	8	8	5	5	永遠無法達交，價格永遠最高
14	N	8.5	4	9	10	7	6	6	頻繁延交期

表 1.3 個案公司抱怨因素分析表

資料來源：本研究整理

依據個案公司生管部門的統計，民國 99—100 年個案公司的訂單一次達交率幾乎都在 8 成以下（圖 1.8），而且沒有改善的趨勢。交期績效的改善成為個案公司重要的課題。

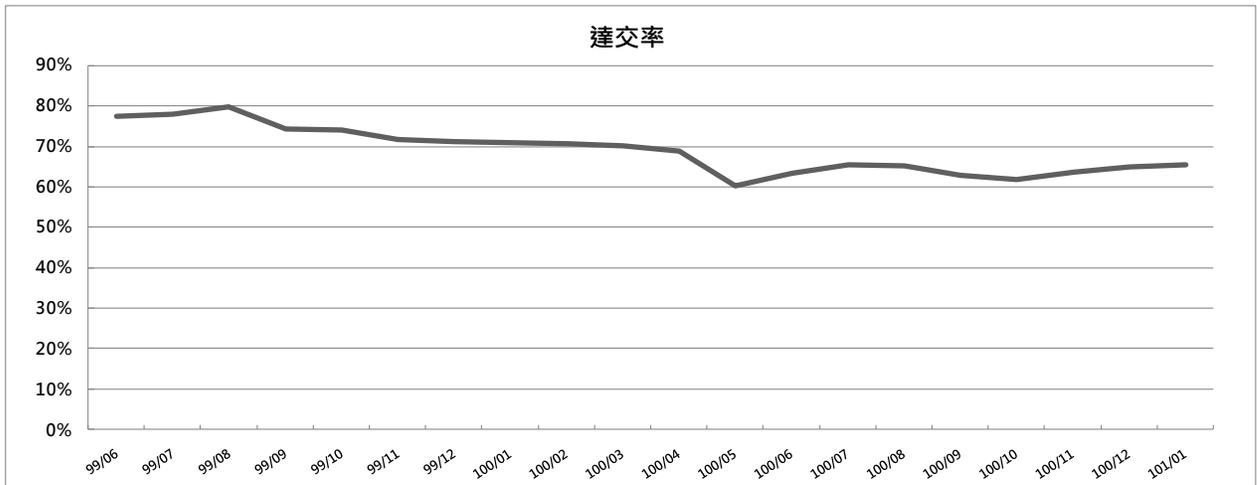


圖 1.8 個案公司一次達交率趨勢圖
資料來源：本研究整理

1.2 研究目的

高德拉特博士(Eliyahu M. Goldratt)在 2006 年「可靠快速回應-策略與戰術圖：3-1 節－99%交期績效」【8】文獻中提出，SDBR (Simplified Drum-Buffer-Rope) 和緩衝管理可以有效提升許多工廠的交期績效。而且許多個案也證明導入 SDBR 可以使大部分的工廠得到很好的交期績效(高達 95%以上)，釋放出更多產能，得到較短的生產前置時間【14】。因此本研究的目的是嘗試將 SDBR 及緩衝管理應用於個案公司的太陽能晶片廠，驗證是否也能夠達到顯著的交期績效的改善。

第二章 文獻探討

2.1 限制理論 (Theory of Constraint, TOC) 的基礎

TOC 理論起源於 OPT (Optimized Production Technology)，OPT 是 1970 年代 Goldratt 博士和其它三位以色列籍合作夥伴，有感於製造業在排程、資源與存貨的管控成效不彰，為了解決這個問題，考量了設備的限制、機器、人員、工具、原料及其他影響排程進行的限制因素所創建的管理系統。他們在 1979 年把它帶到美國，成立了一家名為 Creative Output 的公司，致力於發展 OPT 相關的軟體，在那個時候 OPT 的管理理念和 DBR(Drum-Buffer-Rope)的管理手法也成熟了起來。Creative Output 公司經過幾年的發展後結束了，其後 OPT 的軟體所有權移轉給了一家名為 Scheduling Technology Group 的英國公司。1986 年，Goldratt 博士和 Robert E. Fox 共同創立 Goldratt 研究機構，經過十年發展才成為我們現在所接觸到的 TOC。

1984 年，Goldratt 和 J. Cox 合著的「目標」一書，用小說的手法說明如何用近乎常識的邏輯推演來解決複雜的管理問題，用以引出 TOC 理論基礎，在當時並沒有得到出版商的支持，一般認為沒有人會對一本由物理學家所寫的企管小說有興趣。但 Goldratt 博士並不氣餒，利用各種機會推廣自己的理論跟小說，在不久後就得到了廣大的迴響，越來越多的製造業主管被目標這本書激起共鳴，「這正是我一直在尋找的書」是很多管理者初次讀完這本書時的感想。這本書被英國「經濟學人」雜誌譽為是最成功的企管小說。高德拉特的 TOC 思想和理念終於廣泛的被接受，不僅在許多工業先進國家受到重視，如今也已經被英國、美國等的著名大學列為 MBA 必修課程。

1991 年，當更多的人開始知道和瞭解 TOC 的時候，TOC 又發展出用來邏輯化、系統化解決問題的「思考程序」(Thinking Process, TP)【12】。限制理論之思考程序：「什麼需要改變？」、「改變成什麼？」、「如何改變？」。限制理論稱這三個改變步驟為持續改善程序 (Process of On Going Improvement : P00GI)

1. 要改變什麼？(What to change?): 知道核心問題，該專注的地方。對於組織或企業的問題，首要之務就是找到進步的阻礙即限制。把所有可能妨礙進步的因素之間的因果關係釐清，找出關鍵的核心問題。
2. 要改變成什麼？(What to change to?): 針對第一個步驟所發現的核心問題，研

擬可行的解決方案，訂定改善的方向及目標，使組織有一個清楚的藍圖及努力的目標，持續的破除限制達到高營運績效的表現。

3. 如何作改變？(How to cause the change?): 當研擬出解決方案之後，必須針對各個方案建構具體執行的計劃，訂定里程碑，有系統的達成改善的目標。

TOC 既是朝向有效產出的管理理念，同時又是一系列的思維工具。TOC 理論在美國企業界得到很多應用，在 90 年代逐漸形成一個完善的管理系統。美國生產及庫存管理協會 (American Product and Inventory Control Society, APICS) 非常關注 TOC，稱其為「限制管理」(Constraint Management)，並且成立了限制管理的研究小組。該小組認為：TOC 是一套管理理念與管理工具的結合，他把企業在實現其目標的過程中現存的或潛伏的制約因素稱為「限制」，透過一系列發現系統限制並破除系統限制的改善循環，使得企業的改善方向和改進策略明確化，從而達到幫助企業更有效地實現其目標的目的。

限制理論重視系統的整體改善而不是局部的績效，認為局部改善並不等於整體改善。限制理論認為應該要把企業當作是一個系統，組織相互依賴的關係就如同是一條鏈條一般 (Chain)，如圖 2.1，鏈條由許多的環 (Link) 組成，分析系統內各個單元的連結關係並找到系統最弱的環節，然後針對系統最弱的環節進行改善，而不是各別去改善每個環結。分散資源去做各個環節的局部改善得到的往往不是期望的整體最大效益【12】。



圖 2.1 組織是一條鏈條
資料來源:TOC 限制理論，從有「限」走向無限【12】

限制理論的改善循環即是產出管理的五個專注步驟 (Five Focusing Steps)【12】，說明如下：

步驟一：指出系統限制 (IDENTIFY the system' s constraint)

一條鏈條最弱的環節就是系統的限制，所以第一個步驟就是要找到系統最弱的環節。

鏈條最弱的環節決定整個鏈條的強度，所以要提升鍊條的強度就要先找出系統最弱的地方，那就是系統的限制。

步驟二：決定如何充分利用系統限制（Decide how to EXPLOIT the system' s constraint）

找到最弱的環之後，如果可以花很少的資源就可以打破限制，那就採取直接打破限制，回到步驟一。如果不是，那就不要浪費系統限制，充分的利用系統限制，設法讓系統限制得到更大的有效產出。

步驟三：所有非限制充分支援步驟二所做的決策（SUBORDINATE everything else to the above decision）

對其它非最弱環即非限制所在的環節，必須全力支援系統限制，以讓系統限制的有效產出最大化為目標，而不再是追求局部的改善跟績效。這樣的決策同時也強調且促進了個人以及部門之間的合作。

步驟四：打破系統限制（ELEVATE the system' s constraint）

完成前四個步驟以後，限制可能依然還是原來的限制，如果要增強整個鏈的強度，就可以針對限制來做改善，以打破或提升限制。在這個步驟，要評估可以打破限制的各種方案，然後執行最佳的方案。

步驟五：如果系統限制在步驟四被打破，回到步驟一（If in the previous steps a constraint has been broken : go back to step 1）

當限制在步驟四被打破之後，經過一段時間後限制就不再是限制，如果再繼續執行原來指定的改善方案，不但改善會停滯，甚至可會造成浪費。所以我們必須回到步驟一，找出系統新的限制，再一次改善的循環。

限制理論是一個常識管理，用常識加上邏輯的思考程序（Thinking Process, TP）來解決複雜的管理問題。

2.2 限制驅導式管理【13】（Drum-Buffer-Rope, DBR）

接觸 TOC 的人必然都讀過「目標」【11】一書，也一定對書中藉由童子軍隊伍行進的故

事，所帶領讀者了解的 Drum-Buffer-Rope 的觀念有很清楚的認識。Drum 代標的是行進的節奏，由瓶頸來擔任決定行進的速度。Buffer 就是兩個童子軍之間的距離，確保走的最慢的瓶頸可以不會因為其它突發因素的影響而耽擱，Rope 則將每個人限制在一定的距離以內，避免隊伍拖得太長。

將 DBR 的觀念應用到生產管理技術上：

1. Drum：鼓作為一個生產系統的控制點，用以控制系統中產品的流量。瓶頸就是最佳的控制點，鼓就是瓶頸的生產排程。
2. Buffer：在生產系統中的每一個環節間，建立一個緩衝，確保系統不會因為當機、缺料等因素而造成產能的損失及生產線流動不穩定。
3. Rope：用來確認整個系統都會與瓶頸點 Drum 同步生產的機制，是一種類似看板管理 (Kanban) 的拉式生產 (Pull) 的方法。

如果系統沒有瓶頸，設置鼓的最佳的位置就是產能受限資源 (Capacity Constraint Resource, CCR)。CCR 就是產能利用率接近滿載的作業，所以只要沒有不當的規劃，則確保 CCR 的利用最大化就可以確保系統的有效產出最大化。假如沒有瓶頸也 CCR，則控制點可設於任何地方，一般最好的位置在某些資源產出供下游作業的分歧點。有如圖 2.2 所示，限制驅導式排程為了有效的保護系統的有效產出，預先設置三個存貨緩衝：

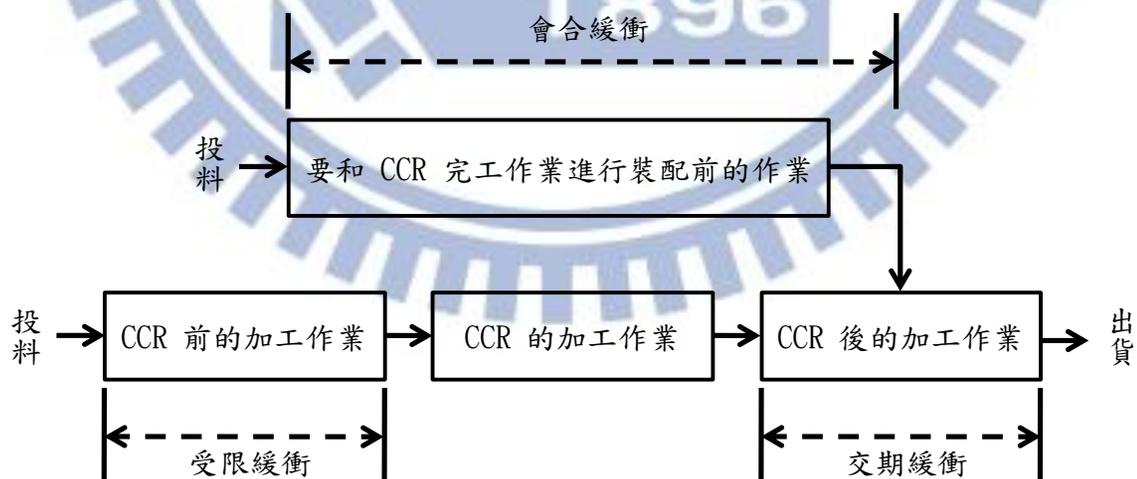


圖 2.2 網狀生產流程圖

資料來源：限制驅導式排程與管理技術【13】

1. 產能受限資源緩衝 (CCR buffer)：置在瓶頸之前，保護受限產能資源不因缺料而閒置，並確保限制驅導節奏的有效進行，也稱為時間緩衝。
2. 會合緩衝 (Assembly buffer)：保護受限產能產出後的裝配不會因等待而慢下來。
3. 交期緩衝 (Shipping buffer)：保護出貨日期，防止錯過對客戶承諾的交期。

DBR 共提出了三種緩衝時間 (Time Buffer) 保護的觀念，時間的內容包含設置與加工時間以及保護系統內部不穩定與負荷尖峰的寬放。而系統內部不穩定與負荷尖峰會是一隨機狀況，因此當製單在現場遇到這些隨機狀況，時間緩衝會保護製令工單及時到達；而製令工單在現場流動很快，如果沒遇到隨機狀況時即會提早到達，然後形成緩衝區的在製品。也就是說緩衝時間的大小還有現場作業的流暢度會決定 CCR 前待加工的在製品數及 CCR 的狀態，特別是緩衝管理僅對 CCR 的緩衝區在製品狀況做評估。所謂的緩衝區即是 CCR 前在製品的暫存區，由計劃緩衝區和實際緩衝區所構成。計劃緩衝區是指到了投料時間的訂單，它提供了緩衝區的內容與各訂單的次序；而實際緩衝區是指在 CCR 前已實際出現的訂單，它提供了緩衝區上的訂單是否已出現的訊息。而其兩者比較其內容，即可發現計劃緩衝區上的訂單比實際緩衝區多，而計劃緩衝區比實際緩衝區多出來的訂單，則稱為緩衝區上的空洞 (hole)。

2.3 簡化型限制驅導式管理 (Simplified-Drum-Buffer-Rope, SDBR)

簡化型限制驅導式排程法 (Simplified Drum-Buffer-Rope, SDBR) 最初是由 Eli Schragenheim 以及 H. William Dettmer 在 2000 年於 Constraints Management Special Internet Group (CMSIG) 技術研討會中首次提出，隨後於 2001 年出版之“Manufacturing at Warp Speed: Optimizing Supply Chain Financial Performance”【10】一書中有更詳盡完整的論述，書中提到傳統的 DBR 雖然是有效的，然而針對 CCR 的排程管理方法卻似乎太複雜了。簡化型限制驅導式排程法 (Simplified Drum Buffer Rope; SDBR) 與傳統 DBR 的概念相同，兩者之間的區別是 SDBR 新增了計畫性負荷 (Planned load; PL) 與單一出貨緩衝設計，也就是只有一個保護交期的緩衝，是一套更簡易只覺得的方法，也更能夠與企業內現有的物料需求規劃 (Material Requirements Planning; MRP) 與企業資源規劃 (Enterprise Resources Planning; ERP) 系統連結。

SDBR 共有兩項假設，第一項假設視市場需求為限制，帶來四點效應【16】：

1. 當我們決定如何充分利用 CCR 時，我們必須同時仔細考慮，這項決定對市場長期的影響。
2. 一旦我們承諾市場需求，當無法完全實現承諾時的損害，可能比犧牲一些 CCR 的產能損失還要嚴重。
3. 前面兩點效應意味著只要系統有 CCR，我們便落入一種互動性限制（Interactive constraint）的情境當中。
4. 內部限制可能出現亦可能消失，但是整體營運的背後總是有市場限制。

簡單的說，CCR 必需配合市場做出承諾，當市場波動時，CCR 有負荷過多的風險，基於此應該維持 CCR 某種程度的保護產能。在這樣的情況之下，引申出第二項假設：一個內部限制的實際作業順序的小變化，對於整體系統績效不具有大幅度影響。第二項假設導引出 SDBR 的基本規則【16】：

1. 根據 CCR 的負荷，我們抑制投入訂單來控制在製品的數量：收到訂單第一時間須確認 CCR 的負荷，當 CCR 負荷過載時，為了確保訂單的準時達成，必須採取減輕產能負荷的短期措施。
2. 唯一需要保護的緩衝只有交期緩衝：此項戰略同 DBR 處理無 CCR 的情境，在少數情況下，CCR 可能會發生匱乏，若犧牲一些有效產出，可能換得未來大幅的有效產出，自然可全力配合市場需求。
3. 繩（rope）聯繫到市場需求，不再聯繫到 CCR 排程：物料釋出排程直接由收到的確定訂單來決定。

在接單式生產（Make-to-order；MTO）的環境下，CCR 排程的優先順序由於銷售量突然的增加，可能會有重大的變化，因此 SDBR 藉由使用單一緩衝與不詳排 CCR 的排程來克服局部干擾，讓管理更能聚焦與有效的執行。SDBR 並使用計畫性負荷來決定可靠的交期，以快速回應訂單（Rapid response orders；RR）。新的訂單可達交的日期就為計畫性負荷加上二分之一的生產緩衝時間來決定，圖 2.2。如果我們有把握的安全達交時間早於客戶的需求時間時，可不用承諾一個比市場標準時間還要少的交貨期；所以，如果可靠的交期

少於市場標準生產時間時，可增加緩衝時間至等於市場的標準生產時間【16】。

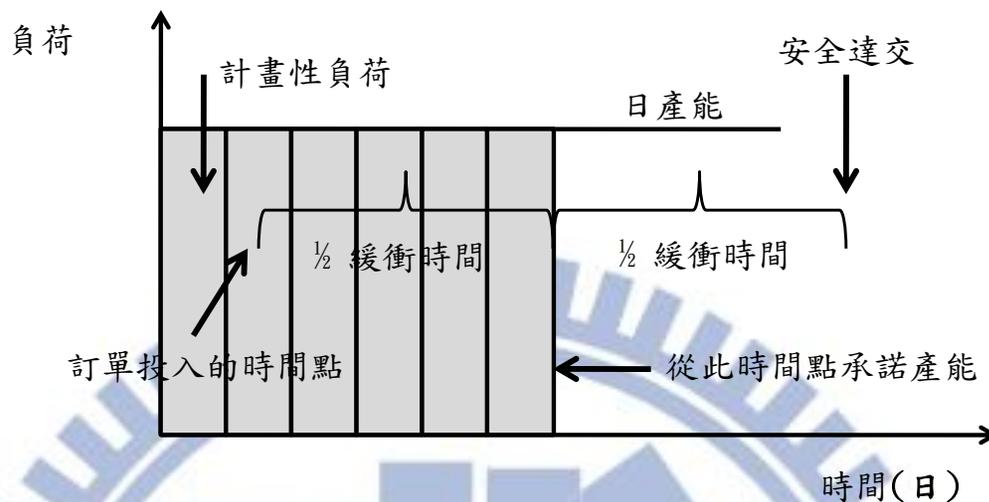


圖 2.3 計畫性負荷示意圖

資料來源：Using SDBR in Rapid Response Project【9】

SDBR 與傳統的 DBR 一樣都使用緩衝管理作為整個生產管制的機制。Goldratt 博士在 2006 年「可靠快速回應-策略與戰術圖：3-1 節—99%交期績效」(TOC Strategy & Tactic Tree)，中提到以 TOC SDBR 建立規劃面的接單、下單流程，讓業務及生管面對客戶洽談訂單時能做及時性的回應，而使用緩衝管理建立執行面的作業加工優先順序，可以使得工廠內的生產活動能更有效及簡易的方式執行，協助企業建立 DDP>99%【7】的高交期績效。

緩衝管理是對訂單消耗緩衝的程度而提供了現場改善的方向，換句話說，對每一張訂單而言，緩衝是讓訂單能及時到達受限產能站的時間長度，這個時間是造成在受限產能站前等待的在製品存貨量多寡的原因之一。緩衝管理提供了緩衝狀態(Buffer Status, BS)清楚判斷訂單優先順序的指標外，也提供了生產線上的那些訂單需要跟催。生產現場包含 CCR 及各工作站派工的優先順序取決其工單的緩衝狀態，而緩衝狀態即是緩衝的耗用比例，以百分比計算，緩衝耗用比率愈高，表示該訂單有愈高的優先加工權。如果工廠生產方式為訂貨生產系統，其緩衝狀態的計算公式：

$$\text{緩衝狀態 (BS)} = (\text{生產緩衝時間} - \text{距交期剩餘時間}) \div \text{生產緩衝時間}$$

2.4 TOC 戰略與戰術圖

基於傳統上對於戰略及戰術定義及作法上的不夠精準，並且得到之效果不佳，因此 Goldratt 簡單的將「戰略」定義為「希望達成的目標」【14】。Goldratt 在思考程序的基礎上，致力於發展出一套協助企業制訂改善內容、程序、步驟架構的新方法，稱之為戰略及戰術的邏輯樹圖，可以幫助企業的高階管理者確認組織所有的改變行為都是必要的，並且是足夠充分據以達成目標的。Goldratt 認為戰略及戰術必須有更清晰的架構及說明，才能為公司最高目標制訂方向，同時找出達成目標的所有必要行動及條件，因此提出了戰略及戰術樹圖。

TOC SDBR 與緩衝管理導入方法—TOC 戰略與戰術圖，其邏輯樹圖如圖 2.4 所示。為建立高交 DDP 的卓越的工廠生產管理績效，本研究將試著導入 3:11 節「抑制投單管理」以及 3:12 節「訂單優先順序管理」即緩衝管理兩個戰略。



圖 2.4 TOC SDBR 與緩衝管理導入方法—TOC 戰略與戰術圖邏輯樹圖

資料來源：TOC SDBR 與緩衝管理導入方法—TOC 戰略與戰術圖

TOC SDBR 與緩衝管理導入方法—戰略與戰術圖，2：1 節(圖 2.5)，卓越的工廠生產管理績效之目標為，持續地以較高的交期績效(DDP)，較短的前置時間，較低的在製品(WIP)交付產品給客戶。

2:1	建立卓越的工廠生產管理績效
必要假設	持續地以較高的交期績效(DDP)，較短的前置時間，較低的在製品(WIP)交付產品給客戶所需要的能力是大部分公司做不到的
戰略/目標	公司達成卓越的工廠生產管理績效
並行假設	<p>➢ TOC S-DBR和緩衝管理(BM)是以下列四個營運管理觀念發展出來的：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 將改善流速(等同於前置時間)當作營運系統的首要目標 2. 這個首要目標的達成必需要有一個知道何時指導營運系統不要生產的管理機制(預防生產過多) 3. 追求局部效率觀念必須揚棄 4. 必須要有一個能平衡流速的聚焦改善程序 <p>➢ 導入S-DBR與緩衝管理可使大部分的工廠得到很好的交期績效(高達95%以上)，釋放出更多產能，較短的生產前置時間</p> <p>* 請閱讀高德拉特博士所寫的 Standing On The Shoulders of Giants 文章</p>
戰術	公司應用S-DBR 與緩衝管理於工廠生產管理上 (只有在準時交貨率持續有極佳表現時，銷售部門才開始推銷交期可靠)
充分假設	要確保重要項目有好的開始，需確保每一部分的第一個扎實行動可以馬上得到實質的效益

圖 2.5 建立卓越的生產管理績效戰略戰術圖

資料來源：TOC SDBR 與緩衝管理導入方法-TOC 戰略與戰術圖

2.1 節建立卓越工廠管理的生產管理績效，其並行假設為，導入 SDBR 與緩衝管理可使大部分的工廠得到很好的交期績效（高達 95%以上），釋放出更多產能，較短的生產前置時間。改善交期績效即為本研究的目標。

TOC SDBR 與緩衝管理導入方法-TOC 戰略與戰術圖，3.11 節抑制投單管理（圖 2.6），其必要假設為當生產現場有太多訂單時會容易做錯優先順序，促進局部最優的行為，因此拉長前置時間（Lead Time）同時嚴重的傷害交期績效。並行假設中提到以傳統方式管理的工廠，工單都太早投入生產，造成太多 WIP 容易做錯優先順序。本研究個案存在工單太早

投入以及沒有系統化管理生產優先順序的問題，符合 TOC 戰略與戰術圖 3.11 節的基本假設。

3:11	抑制投單管理
必要假設	當生產現場有太多訂單時會容易做錯優先順序，促進局部最優的行為，因此拉長前置時間(Lead Time)同時嚴重的傷害交期績效
戰略/目標	生產現場只允許在預設的時間範圍(生產緩衝時間)內需要投入的訂單投入生產現場
並行假設	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 大部分工廠的touch time只佔前置時間(Lead Time)一小部份 (<10%)*。因此依交期日提前一段安全時間投料生產，TOC稱安全時間為生產緩衝時間。有兩個極端情形—緩衝時間太短或太長—都會使生產產生混亂。介於兩者間有很大的安穩區 ➤ 以傳統方式管理的工廠，工單都太早投入生產(第二個極端點)，造成太多WIP容易做錯優先順序。因此以傳統方式管理的工廠，縮短生產前置時間可以將系統遠離第二個極端，但不會有移到另一個極端點的危險 <p>*此為SDBR的假設，如工廠不符合此假設，SDBR需做修正</p>

圖 2.6 抑制投單管理戰略戰術圖-1

資料來源：TOC SDBR 與緩衝管理導入方法-TOC 戰略與戰術圖

同時 3.11 節抑制投單管理，並行假設提到，許多經驗顯示，以傳統方法管理的工廠，如以訂單交期日為基準，只提前半個現在的生產前置時間投料，只會帶來好的結果不會有負面的效應(前置時間縮短一半，交期績效顯著改善，有效產出增大，多餘產能暴露出來)。這樣的效果跟瓶頸存在與否無關(圖 2.7)。

3:11	抑制投單管理
並行假設	<p>▶ 許多經驗顯示，以傳統方法管理的工廠，如以訂單交期日為基準，只提前半個現在的生產前置時間投料，只會帶來好的結果不會有負面的效應* (前置時間縮短一半，交期績效顯著改善，有效產出增大，多餘產能暴露出來)。這樣的效果跟瓶頸存在與否無關</p> <p>* 除非是生產環境有嚴重的 <i>dependent set-up matrixes</i>。此環境必須有不同的方法面對</p>
戰術	<p>▶ 對每一產品群，將生產緩衝時間(<i>buffer time</i>)設定等於現在生產前置時間的50%</p> <p>▶ 只依承諾交期日提前一個緩衝時間將訂單投入生產線(凍結多餘已下線訂單直到根據前面所訂的準則所決定的投單時間到才投單生產)</p> <p>▶ 初期業務人員禁止利用較短前置時間去得到更多訂單</p>
充分假設	<p>試著尋找更精準的數字只會失焦，肯定會拉長得到成效的時間</p>

圖 2.7 抑制投單管理戰略戰術圖-2

資料來源：TOC SDBR 與緩衝管理導入方法-TOC 戰略與戰術圖

黃運金【14】在「以實務驗證 TOC 營運管理解決方案之可行性及有效性」研究中，以 S&T Tree 之抑制投單管理及緩衝管理運用於大陸的傳統家具製造工廠，經過一個月的時間在製品金額就大幅下降 27%，production lead time 更是大幅降低了 60%。該個案改善前的狀態，如僅有財務面的系統管理而沒有生產的管理，很長的製造前置時間以及很高的 WIP 等等，正與本研究個案類似。對於本研究以抑制投單及緩衝管理的戰術來導入生產的管理，預期應該也會有顯著的改善。

按照 TOC SDBR 與緩衝管理導入方法—TOC 戰略與戰術圖，3.12 節-訂單優先順序管理 (圖 2.8)，其必要假設為，狂熱的優先順序 (急、緊急、馬上做) 導致生產現場混亂即使抑制投單管理做的很好，沒有優先順序系統也會導致某些訂單仍然會延遲交貨。其擬定戰略/目標為，生產現場受到一套簡單，但是健全的優先順序系統管控。

3:12	訂單優先順序管理
必要假設	狂熱的優先順序(急, 緊急, 馬上做)導致生產現場混亂 即使抑制投單管理做的很好, 沒有優先順序系統也會導致某些訂單仍然會延遲交貨
戰略/目標	生產現場受到一套簡單, 但是健全的優先順序系統管控
並行假設	許多經驗顯示當根據設定的緩衝時間投料生產, 根據緩衝時間(buffer-time)被消耗掉的程度來設定優先順序(四個顏色區), 可以得到很好的結果:  綠色 - 緩衝時間被消耗掉1/3以內, 低優先順序 黃色 - 緩衝時間被消耗掉1/3到2/3間 紅色 - 緩衝時間被消耗掉超過2/3 黑色 - 已延遲了, 最高優先順序
戰術	教育管理者確保四種顏色的緩衝管理(Buffer Management)是生產現場唯一的優先順序系統, 並依此建立趕工機制
充分假設	只提出一個新的系統不會改變長期存在的習慣

圖 2.8 訂單優先順序管理戰略戰術圖

資料來源：TOC SDBR 與緩衝管理導入方法-TOC 戰略與戰術圖

3-12 節-訂單優先順序管理, 其並行假設為, 許多經驗顯示當根據設定的緩衝時間投料生產, 根據緩衝時間(buffer-time)被消耗掉的程度來設定優先順序 (四個顏色區), 可以得到很好的結果(圖 2.9):

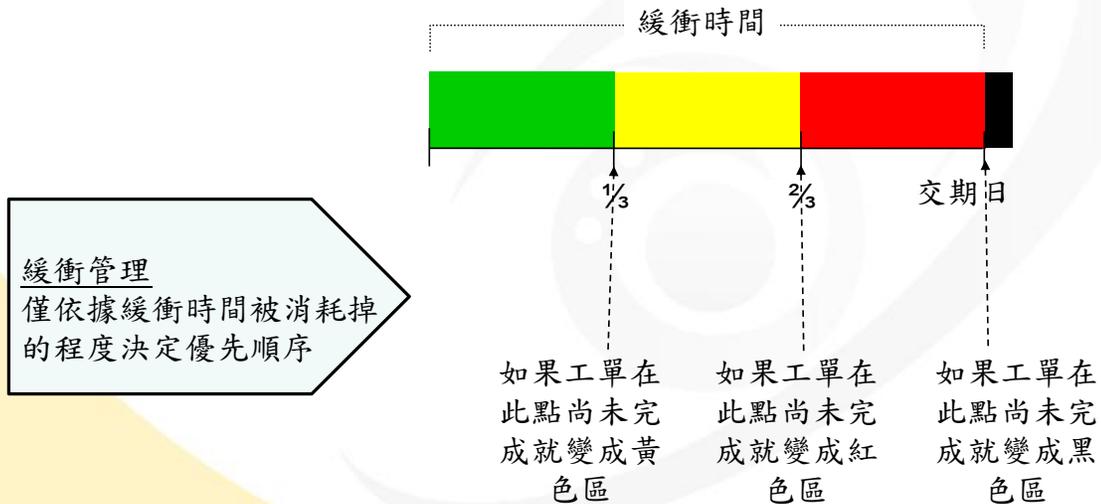
綠色 - 緩衝時間被消耗掉 1/3 以內, 低優先順序

黃色 - 緩衝時間被消耗掉 1/3 到 2/3 間

紅色 - 緩衝時間被消耗掉超過 2/3

黑色 - 已延遲了, 最高優先順序

訂單優先順序管理



11

圖 2.9 緩衝狀態示意圖

資料來源：TOC SDBR 與緩衝管理導入方法-TOC 戰略與戰術圖

3-12 節-訂單優先順序管理，其戰術為，教育管理者確保四種顏色的緩衝管理(Buffer Management)是生產現場唯一的優先順序系統，並依此建立趕工機制。

本研究試著擬定具體的執行步驟，導入上述「TOC SDBR 與緩衝管理導入方法-TOC 戰略與戰術圖」之管理技術。

第三章 個案分析

3.1 個案產品製造流程介紹

本研究個案為一個專業的太陽能晶圓製造工廠，屬於接單式生產，製程主要分成 13 個工站，按流程順序說明如下：

1. 長晶 (Casting) — 利用一種稱為鑄錠爐的設備，將純度高達 99.999999% 以上的矽原料熔融之後，以一種固定方向凝固結晶的晶體成長方式，製程一個擁有半導體特性之巨大塊狀晶體。依據不同客戶的需求，給予不同的配方，生產不同半導體特性的晶體。
2. 冷卻 (Cooling) — 移出鑄錠爐後之晶體鑄錠仍處於攝氏數百度高溫的狀態，為免熱應力造成產品脆裂，必須將高溫的晶體置放於設計過的特定空間，以期望的溫度梯度進行冷卻，直到溫度降到室溫為止。
3. 開方 (Squaring) — 利用一種稱為開方機之設備，將巨大的晶體切割為特定截面積之小方塊。
4. 切頭尾 (Cropping) — 利用一種稱為帶鋸機之設備，將小晶體方塊兩端有瑕疵的部位切除。
5. 中剖回切 (Inclusion removing) — 利用一種稱為外徑鋸片切割機之設備，將小晶體方塊中間有瑕疵的部位切除。
6. 平磨 (Grinding) — 利用一種稱為表面研磨機的設備，將晶體方塊的表面做細緻化的加工，移出切割所留下的損傷層。
7. 黏晶棒 (Mounting) — 使用特定的工具及化學物品，將晶體方塊固定在後製程設備使用的治具上，經過足夠長時間的穩固。
8. 切片 (Slicing) — 利用一種稱為游離砥粒切割機的設備，將晶體方塊切割成特定厚度的晶體薄片。依據的需求，切割成不同的厚度。
9. 預洗 (Pre-clean) — 利用一種稱為預洗機的設備，將切割完成的晶體薄片與固定用的治具分離，並進行初步的清洗。

10. 晶片清洗 (Final-clean) — 利用一種稱為晶片清洗機的設備，將晶體薄片進行更進一步的清潔並乾燥。
11. 分選 (Sorting) — 利用一種稱為晶片分選機的設備，將晶體薄片按照特定的規格要求，進行半導體特性及尺寸的量測及分類。
12. 目檢 (Visual inspection) — 利用人工目視檢驗，剔除特定的瑕疵。
13. 包裝入庫 (Packing) — 依客戶要求的特定方式進行包裝入庫。

太陽能晶圓生產的過程中，產品的形態經過數次轉變，如圖 3.1 所示，由大方塊加工成小方塊，最後切成薄片狀的成品。形態轉變的過程簡單敘述如以下 3 點。

1. 零散的各種矽原料在經步驟 1 長晶製程後，形成一個 500kg 左右之大型晶體
2. 經過步驟 3 開方製程後，分割成 25 個 13kg 左右之小晶體方塊
3. 經過步驟 8 切片製程後，切割成 600 片左右之晶體薄片，即為最終成品形態，稱之為晶片。

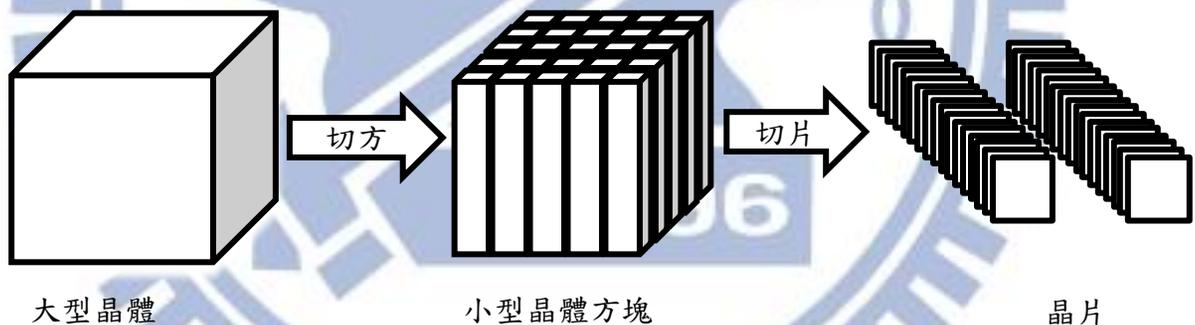


圖 3.1 產品形態轉變示意圖

資料來源：本研究整理

工單下線後，製造批量以一個大型晶體為製程移轉批量。

3.2 Touch Time 與 Lead Time 分析

高德拉特博士在 2008 年「站在巨人的肩膀上」文獻中提出【7】：使用 TOC DBR (Drum-Buffer-Rope) 時有一重要假設，此假設就是在工廠現場的作業環境設定上產品加

工時間 (Touch time) 應該要小於客戶前置時間 (Quoted Lead Time, QLT) 的 10%。

但根據陳春源【15】研究指出，SDBR 與緩衝管理在 $QLT/TT \leq 10$ 的生產環境仍然有效，只是在預定完工日時紅單比例可能會較高。

本研究個案的加工時間 (Touch Time) 分析如表 3.1，計算個案公司產品生產的 13 個流程的純加工時間，將其加總後得到 5,390 分鐘，換算成天數大約是 3.74 天。

No.	製程	加工時間 (min)
1	Casting(長晶)	3,720
2	Cooling(冷卻)	600
3	Squaring(開方)	210
4	Cropping(切頭尾)	40
5	Inclusion removing(中剖回切)	40
6	Grinding(平磨)	70
7	Mounting(黏晶棒)	10
8	Slicing(切片)	540
9	Pre-clean(預洗)	30
10	Final-clean(晶片清洗)	75
11	Sorting(分選)	15
12	Visual inspection(目檢)	10
13	Packing(包裝入庫)	30
Total		5,390

表 3.1 Touch Time 分析表
資料來源：本研究整理

由製造資訊系統資料統計個案公司 2011 年 7 月到 2012 年 1 月所生產的，每一張工單的平均製造前置時間 (production lead time)，並計算 touch time 與 production lead time 的比例，如表 3.2 所示：

時間	平均 lead time (day)	touch time / lead time
2011-Jun	30.5	12.3%
2011-Jul	29.3	12.8%
2011-Aug	30.4	12.3%
2011-Sep	30.7	12.2%
2011-Oct	28.5	13.1%
2011-Nov	29.1	12.9%
2011-Dec	30.5	12.3%
2012-Jan	31.8	11.8%
平均	30.1	12.4%

表 3.2 Touch Time 佔 Lead Time 比例分析表

資料來源：本研究整理

分析結果顯示 touch time 約僅佔 production lead time 的 12% 左右。依據高德拉特博士在 2008 年「站在巨人的肩膀上」文獻【7】中的重要假設，當 touch time 小於 production lead time 的 10% 時，使用 SDBR 可以有顯著的改善。本研究分析的結果雖然 touch time 大於 production lead time 的 10%，但相當接近。

3.3 產能與 WIP 分析

個案以第一個製程長晶為關鍵製程，長晶製程的產能是最低的。本研究個案太陽能晶片的月產能，以長晶估計約當 6,245,574 片。該廠各製程產能依製程順序表示如圖 3.2。

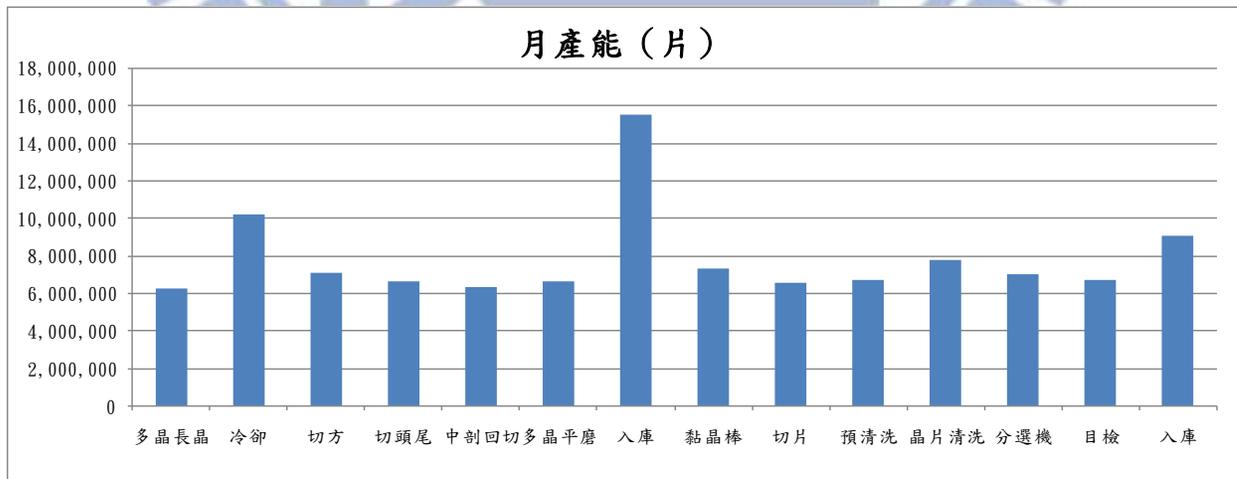


圖 3.2 個案公司各製程月產能分析圖

資料來源：本研究整理

統計 2011 年 7 月到 2012 年 1 月各製程的平均 WIP，並與月產能做一比較，如表 3.3 所示。Total WIP 約為年產量的 7%，多晶長晶、多晶平磨及中剖回切這些製程的 WIP 都要大於 3 天才能做完，顯示 WIP 相當高。

工作站	月產能	平均 WIP
多晶長晶	6,245,574	1,096,424
冷卻	10,142,752	380,478
切方	7,043,577	490,738
切頭尾	6,592,789	328,439
中剖回切	6,268,784	872,424
多晶平磨	6,611,571	714,087
入庫	15,495,870	77,490
黏晶棒	7,301,408	279,929
切片	6,542,062	369,852
預清洗	6,717,296	298,688
晶片清洗	7,776,000	108,960
分選機	6,998,400	32,272
目檢	6,720,000	136,248
入庫	9,000,000	24,355
Total		5,210,382

表 3.3 2011 年 7 月到 2012 年 1 月各製程的平均 WIP 統計表

資料來源：本研究整理

3.4 交期及投料控制的方法

本研究個案公司在業務接獲訂單後，生管回覆的交期是以接受訂單的時間加上標準的 lead time 4~5 週為承諾的出貨時間，而 4~5 週的 lead time 是依據客戶的要求及生管根據經驗認為安全可行的時間。生管使用試算表計劃和管控工單生產進度，如表 3.4 所示。生管在接到業務的訂單後，依訂單量除以 21~28 天作為每日該訂單應入庫量，同時整筆工單立即投入產線。現場的排程由生產線自己決定。生管每天撈系統的入庫數，把入庫數不足的工單別回饋給生產線，然後針對已經延遲交期及距離交期較近的訂單進行跟催的工作。有時也根據訂單的大小或客戶的重要性選則要生產單位優先滿足特定的訂單。因為沒有一套有系統有邏輯的方法進行投料及生產優先順序的管理，導致生產線上有太多的工

單、太高的WIP，因而容易做錯優先順序，導致低落的交期績效。

				負荷	184,000	184,000	208,500	207,500	200,500	209,500	204,500	216,500	195,500
					12/1	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	12/7	12/8	12/9
工單編號	出貨時間	出貨量	已入庫量										
XXX-XXX0003	12/9	200,000		plan	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000				
				actual									
XXX-XXX0004	12/9	400,000		plan	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000				
				actual									
XXX-XXX0005	12/12	300,000		plan	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	
				actual									
XXX-XXX0006	12/12	220,000		plan	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	11,000	
				actual									
XXX-XXX0007	12/16	500,000		plan	24,000	24,000	24,000	24,000	23,000	23,000	23,000	23,000	
				actual									
XXX-XXX0008	12/16	230,000		plan	11,000	11,000	11,000	11,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
				actual									
XXX-XXX0009	12/19	180,000		plan	9,000	9,000	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500	8,500
				actual									
XXX-XXX0010	12/19	240,000		plan	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
				actual									
XXX-XXX0011	12/22	360,000		plan	18,000	18,000	18,000	17,000	17,000	17,000	17,000	17,000	17,000
				actual									

表 3.4 工單生產進度管製表

資料來源：本研究整理



第四章 實做驗證

4.1 縮小移轉批量及抑制投單管理

本研究個案在第一個製程長晶後為一個大型晶體鑄錠，經過第三道製程切方後變成 25 個小晶體方塊(圖 4.1)，但製程移轉的批量仍以一個大型晶體鑄錠為一批，也就是同一個大型晶體鑄錠所分切下來的 25 個小晶體方塊仍必須為同一批移動。然而後製程的加工設備都是以一個小晶體方塊為最小生產單位，所以每一道製程都必須等 25 個小晶體方塊都完成加工後集結，再移轉到下一製程進行生產，也就是產品耗費許多時間在生產線上進行等候。

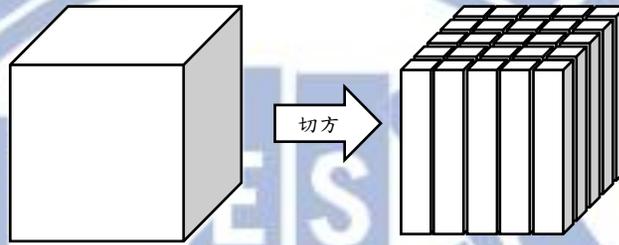


圖 4.1 加工批量示意圖

資料來源：本研究整理

本研究首先改變系統設定，在開方後即賦予每一個小晶體方塊一個獨立的編號，過站時也取消綁定 25 個小晶體方塊的限制，改以一個小晶體方塊為移轉批量，之後依製程設備之不同各別設定不同的移轉批量(表 4.1)。

製程	移轉批量(舊) (pcs)	移轉批量(新) (pcs)
Casting(長晶)	14194	14194
Cooling(冷卻)	14194	14194
Squaring(開方)	14194	14194
Cropping(切頭尾)	14194	2268
Inclusion removing(中剖回切)	14194	567
Grinding(平磨)	14194	567
Mounting(黏晶棒)	2268	2268
Slicing(切片)	2268	2268
Pre-clean(預洗)	567	567
Final-clean(晶片清洗)	567	567
Sorting(分選)	567	567
Visual inspection(目檢)	567	567
Packing(包裝入庫)	1200	1200

表 4.1 各製程移轉批量變更表

資料來源：本研究整理

依照圖 TOC SDBR 與緩衝管理導入方法—TOC 戰略與戰術圖，3:11 節抑制投單管理，擬定的戰術為：

- 對每一產品群，將生產緩衝時間(buffer time)設定等於現在生產前置時間的 50%。個案從 2011 七月到 2012 一月的平均 production lead time 為 29.5 天，所以將緩衝時間設定為現在生產前置時間的 50%，即為 15 天。
- 只依承諾交期日提前一個緩衝時間將訂單投入生產線(凍結多餘已下線訂單直到根據前面所訂的準則所決定的投單時間到才投單生產)。本研究利用現有製造資訊系統的功能，每日由各製程生產單位人員攫取系統內每張工單的製造資訊，匯入試算表後予以計算該工單距離出貨日的天數，只要是距離出貨日大於一個生產緩衝時間的工單都予以凍結。
- 初期業務人員禁止利用較短前置時間去得到更多訂單

戰術的導入以下面的幾個具體步驟來執行：

1. 以現在平均 lead time 的 50%為生產緩衝=15days
2. 每日撈取系統資料計算距離工單入庫日的天數(Today - 應入庫日)，如表 4.2
3. 在線距離入庫日超過一個生產緩衝時間的工單都凍結，即若(Today - 應入庫日) > 14 days，則先凍結
4. 未投入的工單在距離出貨一個生產緩衝時間時才投入

廠別	作業站名稱	工單編號	長度	重量	數量	單位	今日日期	預訂出貨日期	距離出貨天數
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	122	7.021	324	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	237	13.533	635	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	118	6.746	313	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	33	1.995	83	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	121	6.906	321	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	114	6.59	302	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	116	6.742	308	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	120	7.106	318	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	112	6.347	297	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	236	13.667	632	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	117	6.728	310	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	109	6.347	289	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	111	6.45	294	pcs	2012/1/24	2012/1/28	4.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	125	7.312	332	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	115	6.533	305	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	121	6.868	321	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	243	13.848	651	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	230	13.179	616	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	229	13.261	613	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	230	13.124	616	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	236	13.494	632	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	104	6.12	275	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	229	13.507	613	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	110	6.483	291	pcs	2012/1/24	2012/2/2	9.0

表 4.2 緩沖天數計算表—以黏晶棒站為例

資料來源：本研究整理

2012 二月依以上擬定的策略，進行縮小批量以及抑制投單管理的導入，月底結算後整理平均 lead time 的變化如表 4.3。lead time 平均為 26.7 天，較施行前的平均 30.1 天減少 11.2%。

狀態	時間	平均 lead time(day)
執行改善策略前	2011 年 7 月至 2012 年一月	30.1
縮小批量及抑制投單	2012 年二月	26.7

表 4.3 導入縮小批量與抑制投單管理之 lead time 統計表

資料來源：本研究整理

執行縮小批量及抑制投單管理後，WIP 的變化統計如下表 4.4，相較前期 2012 一月，total WIP 下降了 22.5%。

時間	2011-Jun	2011-Jul	2011-Aug	2011-Sep	2011-Oct	2011-Nov	2011-Dec	2012-Jan	2012-Feb
多晶長晶	1,096,424	1,053,286	1,092,829	1,103,614	1,024,527	1,046,096	1,096,424	1,143,157	959,820
冷卻	380,478	365,508	379,230	382,972	355,528	363,013	380,478	396,695	333,074
切方	490,738	471,430	489,129	493,956	458,559	468,213	490,738	511,655	429,597
切頭尾	328,439	315,516	327,362	330,592	306,902	313,363	328,439	342,438	287,518
中剖回切	872,424	838,099	869,563	878,144	815,215	832,378	872,424	909,609	763,728
平磨	714,087	685,992	711,746	718,770	667,262	681,309	714,087	744,524	625,119
入庫	77,490	74,442	77,236	77,999	72,409	73,933	77,490	80,793	67,836
黏晶棒	279,929	268,915	279,011	281,764	261,573	267,079	279,929	291,860	245,052
切片	369,852	355,300	368,639	372,277	345,599	352,875	369,852	385,616	323,772
預清洗	298,688	286,937	297,709	300,647	279,102	284,978	298,688	311,419	261,475
晶片清洗	108,960	104,673	108,603	109,675	101,815	103,959	108,960	113,604	95,385
分選機	32,272	31,002	32,166	32,483	30,156	30,790	32,272	33,647	28,251
目檢	136,248	130,888	135,802	137,142	127,314	129,994	136,248	142,056	119,273
入庫	24,355	23,396	24,275	24,514	22,757	23,237	24,355	25,393	21,320
Total	5,210,382	5,005,384	5,193,299	5,244,549	4,868,718	4,971,217	5,210,382	5,432,464	4,561,220

表 4.4 導入縮小批量與抑制投單管理之 WIP 變化表

資料來源：本研究整理

執行縮小批量及抑制投單管理後，達交率的統計如圖 4.2 表示。達交率提高了 11% 來到 73.3%。達交率對比前期可以說是有顯著提高，但是 73.3% 的達交率距離卓越仍有相當大的距離。

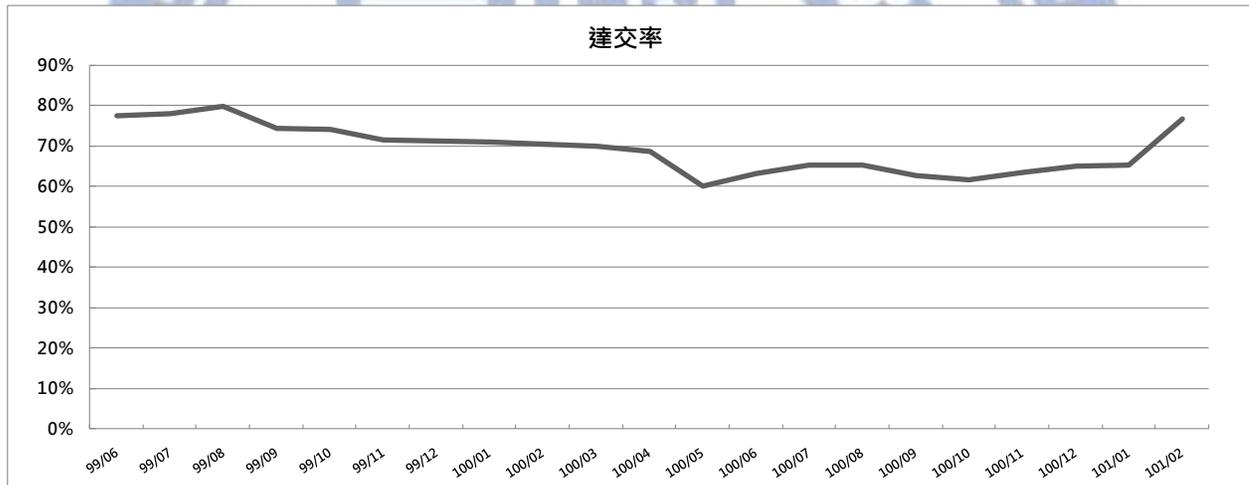


圖 4.2 導入縮小批量與抑制投單管理之達交率變化圖

資料來源：本研究整理

導入縮小批量與抑制投單管理的導入，結果 WIP 有效的降低，production lead time 及達交率也有些許的改善。

4.2 緩衝管理

本研究在利用現有製造資訊系統的功能，每日由各製程生產單位人員攫取系統內每張工單的製造資訊，匯入試算表後予以計算該工單距離出貨日的天數，及緩衝時間被消耗掉的比例，並在程式中設定前述的顏色管理如下表 4.5 所示。

廠別	作業站名稱	工單編號	長度	重量	數量	單位	今日日期	預訂出貨日期	距離交期天數佔生產緩衝之百分比
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	122	7.021	324	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	237	13.533	635	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	118	6.746	313	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	33	1.995	83	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	121	6.906	321	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	114	6.59	302	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	116	6.742	308	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	120	7.106	318	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	112	6.347	297	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	236	13.667	632	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	117	6.728	310	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	109	6.347	289	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX1	111	6.45	294	pcs	2012/1/24	2012/1/28	27%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	125	7.312	332	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	115	6.533	305	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	121	6.868	321	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	243	13.848	651	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	230	13.179	616	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	229	13.261	613	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	230	13.124	616	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	236	13.494	632	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	104	6.12	275	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	229	13.507	613	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%
1	黏晶棒	XXX-XXXXXXXX2	110	6.483	291	pcs	2012/1/24	2012/2/2	60%

表 4.5 緩衝狀態計算表示意表-以黏晶棒站為例

資料來源：本研究整理

本研究在維持 2012 年二月所導入之縮小移轉批量及抑制投單管理的狀態下，擬定以下幾個具體策略來執行緩衝管理的導入：

1. 持續抑制投單的管理
2. 仍以 15days 為生產緩衝時間
3. 每日撈取系統資料計算距離工單入庫日的天數計算緩衝狀態
4. 訓練各工作站領班依照緩衝狀態安排生產的優先順序

2012 年三月及四月兩個月執行以上戰術，統計 lead time 變化如下表 4.6。平均 lead time 逐月下降，2012 年四月的 lead time 18.6 天較改善前的平均 30.1 天，下降了 37%。

狀態	時間	平均 lead time(day)
執行改善策略前	2011 年 7 月至 2012 年 1 月	30.1
縮小批量及抑制投單	2012 年 2 月	26.7
緩衝管理	2012 年 3 月	22.3
	2012 年 4 月	18.6

表 4.6 導入緩衝管理之 lead time 變化表

資料來源：本研究整理

統計執行緩衝管理後的 2012 三月及四月的 WIP，結果如下表 4.7 也呈現每個月下降的趨勢，對比導入改善方案前的 2012 年一月，WIP 下降了 41%。

時間	2011-Jun	2011-Jul	2011-Aug	2011-Sep	2011-Oct	2011-Nov	2011-Dec	2012-Jan	2012-Feb	2012-Mar	2012-Apr
多晶長晶	1,096,424	1,053,286	1,092,829	1,103,614	1,024,527	1,046,096	1,096,424	1,143,157	959,820	801,648	668,639
冷卻	380,478	365,508	379,230	382,972	355,528	363,013	380,478	396,695	333,074	278,185	232,029
切方	490,738	471,430	489,129	493,956	458,559	468,213	490,738	511,655	429,597	358,802	299,270
切頭尾	328,439	315,516	327,362	330,592	306,902	313,363	328,439	342,438	287,518	240,137	200,294
中割回切	872,424	838,099	869,563	878,144	815,215	832,378	872,424	909,609	763,728	637,870	532,035
平磨	714,087	685,992	711,746	718,770	667,262	681,309	714,087	744,524	625,119	522,103	435,476
入庫	77,490	74,442	77,236	77,999	72,409	73,933	77,490	80,793	67,836	56,657	47,256
黏晶棒	279,929	268,915	279,011	281,764	261,573	267,079	279,929	291,860	245,052	204,669	170,710
切片	369,852	355,300	368,639	372,277	345,599	352,875	369,852	385,616	323,772	270,416	225,549
預清洗	298,688	286,937	297,709	300,647	279,102	284,978	298,688	311,419	261,475	218,385	182,151
晶片清洗	108,960	104,673	108,603	109,675	101,815	103,959	108,960	113,604	95,385	79,666	66,448
分選機	32,272	31,002	32,166	32,483	30,156	30,790	32,272	33,647	28,251	23,595	19,680
目檢	136,248	130,888	135,802	137,142	127,314	129,994	136,248	142,056	119,273	99,618	83,089
入庫	24,355	23,396	24,275	24,514	22,757	23,237	24,355	25,393	21,320	17,807	14,852
Total	5,210,382	5,005,384	5,193,299	5,244,549	4,868,718	4,971,217	5,210,382	5,432,464	4,561,220	3,809,558	3,177,479

表 4.7 導入緩衝管理之 WIP 變化表

資料來源：本研究整理

統計執行緩衝管理後的 2012 三月及四月的達交率，達交率上升到 93.3%，對比導入改善方案前的 2012 一月的 65.4%，達交率提高了 27.9%。

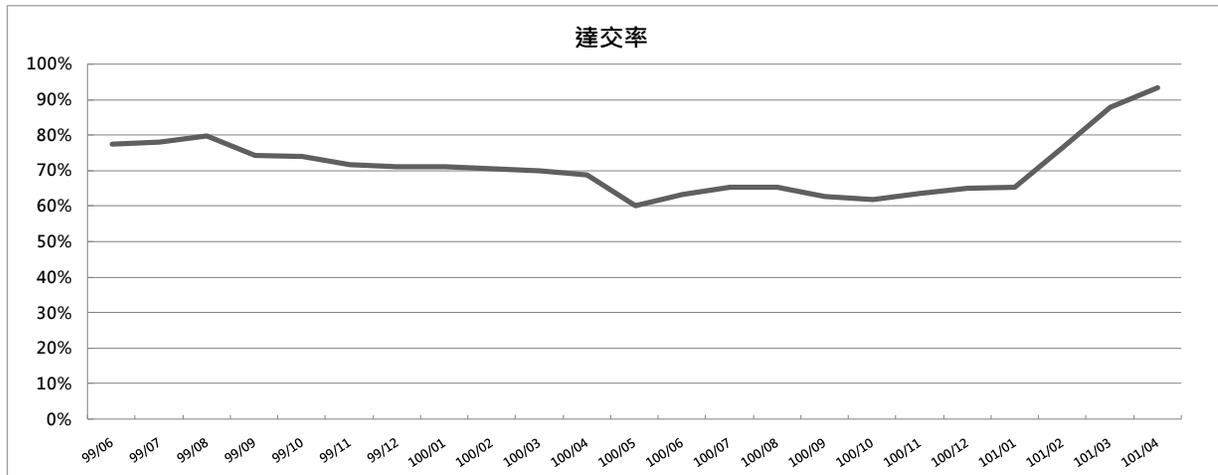


圖 4.3 導入緩衝管理之達交率變化圖

資料來源：本研究整理

4.3 研究心得

在導入 SDBR 戰略戰術圖的方法前，我們先安排給予基層幹部進行 TOC 以及 SDBR 的基礎知識的訓練。在 TOC 相關的知識分享時，對於這種直覺卻又抽象的概念，幾乎所有人都表現得興趣缺缺。有領班說，「聽起來很神，可是要做什麼？」。後來講到戰略戰術圖的管理方法時，也沒有激起太多迴響跟熱情。有領班的回應是，「聽起來很簡單啦，如果這麼簡單就有很好的效果，那別人都比較笨？」。是的，大家都不相信這套技術有什麼了不起，也不預期導入它會有什麼不同。但是也就因為它太簡單，不會增加任何配合單位顯著的工作負擔，所以大家都抱著「反正沒什麼差，你愛做就做」的心態，也就沒有遇到什麼阻力。

也因為大家普遍不認為這一次會有什麼不同，相對的並不十分重視專案導入的活動，而導入的活動都要靠課級幹部頻繁的查核、指揮、監督，才能防止第一線同仁的陽奉陰違。但是實務上還是發現不少按照自己的邏輯和經驗生產，不理會新導入的管理邏輯的狀況。第一線的人員對交期績效向來沒有感覺，一直等到現場 WIP 明顯減少的時候，基層才開始認同並主動的配合 SDBR 的管理方法。改變總是很困難，而「簡單」加上「有效」似乎使得新方法的推展變得更容易了。

第五章 結論與未來研究

台灣較早期成立的中小型企業，多半在生產管理上並沒有投入太多的資源，一方面建置 IT 系統的成本對中小企業而言相對過高，另一方面傳統的生產管理知識如作業研究等，因為較為複雜，在管理者沒有足夠的認識時也不容易導入。生產管理的業務負責人多半是靠經驗以及直覺在進行排程及交期的管理。當企業成長到一個規模之後，沒有系統化的方法與邏輯的管理，很容易就落入 Goldratt 博士在 TOC 戰略戰術圖中所假設的情境；生產線上有太多的訂單，導致做錯優先順序，促進局部最優的行為，因此拉長前置時間(Lead Time)同時嚴重的傷害交期績效。過高的 WIP 更使得製造現場變得更擁擠凌亂，更加不易管理，更容易做錯優先順序，從而落入一個訂單越多交期績效越差的惡性循環。

本個案的研究顯示，利用簡單的管理邏輯，導入具體的 Goldratt 博士所發展出來的 SDBR 與緩衝管理 S&T Tree 的方法，且再一次驗證這樣的管理技術在不同產業別的有效性。導入 SDBR 與緩衝管理 S&T Tree 的方法並不需要投入太多艱深的學問的先期研究，也不需要花費大筆的經費進行資訊系統的變更。這使得計劃的導入更容易被各個管理階層接受，執行階層也不會增加太多額外的負擔而變得更願意配合變革。

Goldratt 發展出來的 SDBR 與緩衝管理 S&T Tree 的方法，可以提供一般企業一個容易理解的觀念，以及具體可以應用的管理工具。

在符合或接近 Goldratt 的 SDBR 與緩衝管理 S&T Tree 的基本假設：產品加工時間(Touch time)應該要小於客戶前置時間(Quoted Lead Time, QLT)的 10%的情境下，導入 SDBR 與緩衝管理 S&T Tree 的管理技術經實證都可以達到很好的改善成果，然而越差的工廠生產管理狀態可以得到越大的改善幅度似乎是天經地義。對於一個已經具有規模，且過去已經導入過其他的改善手法取得一定的改善成果，而其產品加工時間(Touch time)大於客戶前置時間(Quoted Lead Time, QLT)的 20%甚至更高的環境的時候，如果導入 SDBR 與緩衝管理 S&T Tree 的技術結果會是如何？這或許是一個可以進行實證研究的方向。

參考文獻

1. NREL, 2010 Solar Technologies Market Report, 2011.
2. EPIA, Market Outlook 2010, 2010.
3. EIA, International Energy Outlook 2002, 2002.
4. 經濟部能源會，中華民國九十年臺灣能源統計年報，民國91年。
5. Barclays Capital, Solar Energy Handbook, 2010.
6. EPIA, EPIA Solar Generation VI, 2010.
7. Goldratt, Eliyahu M., “Standing on the Shoulders of Giants”, 2008 in http://www.goldrattschools.org/pdf/shoulders_of_giants-eli_goldratt.pdf.
8. Goldratt, Eliyahu M., “Reliable rapid response strategy and tactics tree”, Goldratt Group., 2006.
9. Schragenheim, E., Using SDBR in Rapid Response Projects. Goldratt group, 2006.
10. Schragenheim, E., & Dettmer, H. W., Manufacturing at Warp Speed: optimizing supply chain financial performance. Boca Raton, FL: St. Lucie Press, 2000.
11. 高德拉特、柯克斯，目標，齊若蘭譯，三版，天下遠見，台北，民國95年。
12. 李榮貴、張盛鴻，TOC 限制理論—從有限走向無限，初版，中國生產力中心，台北，民國94年。
13. 李榮貴、吳鴻輝，限制驅導式現場排程與管理技術，三版，全華科技圖書，台北，民國96年。
14. 黃運金，「以實務驗證 TOC 營運管理解決方案之可行性及有效性」，國立交通大學，博士論文，民國99年。
15. 陳春源，「SDBR 應用於不同環境下之影響」，國立交通大學，碩士論文，民國98年。
16. 彭淑華，「限制驅導式方法改善交期績效之探討」，國立交通大學，碩士論文，民國98年。