

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

應用限制理論與層級分析法探討軟性顯示  
器關鍵製程之影響品質要素分析

研 究 生：翁柏雅

指 導 教 授：蔡禎騰 博士

邱創鈞 博士

中 華 民 國 一 百 年 六 月

**Applying TOC and AHP to analyze the quality characteristics for the key processes of Flexible Display**

By  
Po-Ya Wong

Advisor: Dr. Jen-Teng Tsai  
Dr. Chuang-Chun Chiou

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

May 2010  
Taichung , Taiwan , Republic of China

# 應用限制理論與層級分析法探討軟性顯示器關鍵製程之影響品質要素分析

學生：翁柏雅

指導教授：蔡禎騰 博士  
邱創鈞 博士

東海大學工業工程與經營資訊學系

## 摘要

根據工研院 IEK 預估，全球軟性電子產品將從 2008 年開始陸續成熟，而整體市場將從 2010 年開始成長，產值約 20 億美元，其中軟性顯示器(Flexible Display)將是最主要的應用產品。在軟性顯示器快速發展的趨勢下，為滿足市場大量需求，軟性顯示器勢必得走向量產階段。然而對於軟性顯示器即將邁入的量產，如何從試產的實驗過程中影響良率的品質要素，並將實驗製程中所面臨的問題做有系統的分析與探討，幫助軟性顯示器日後發展量產製程影響良率之困擾現象問題分析，將為未來製造及推動軟性顯示器技術普及的關鍵。

本研究透過專家訪談，應用特性要因圖結合限制理論之現況樹，分析軟性顯示器 Roll to Roll Laser Etching 製程中可能影響良率的問題與現象，建立影響良率之關鍵要素與關鍵問題。再藉由層級分析法之分析程序，尋找 Roll to Roll Laser Etching 製程中影響良率之核心問題。最後以核心問題運用限制理論之衝突圖、未來樹、條件樹及轉移樹，研擬適用於軟性顯示器 Roll to Roll Laser Etching 製造程序核心問題的解決方案。本研究主要貢獻在於為軟性顯示器關鍵製程建立一個尋求核心問題的流程與解決製程之問題分析模式，期望有助於軟性顯示器日後量產之順利及製程穩定性，做為日後參考依據。

**關鍵字詞：**軟性顯示器、專家訪談、限制理論、層級分析法

# **Applying TOC and AHP to analyze the quality characteristics for the key processes of Flexible Display**

Student: Po-Ya Wong

Advisor: Dr. Jen-Teng Tsai

Dr. Chuang-Chun Chiou

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information  
Tunghai University

## **ABSTRACT**

According to the prediction of Industrial Economics and Knowledge Center of Industrial Technology Research Institute (ITRI IEK), global flexible electronic products had been getting mature since 2008. The market of related products is estimated to grow exponentially to a total value of two billion USD in 2010. Of this market, flexible display is one of the most widely demanded products. As flexible display demand grows, they must go into mass production to sustain a consistent supply. Before flexible displays enter its mass production stage, it is crucial to go through a trial run period to find key characteristics and key problems that can significantly alter the mass production yield rate. It is of equal importance that all the problems faced during the trial production are systematically analyzed and studied, to positively influence the yield rate and perfecting the technology and engineering setting that is crucial to a smooth mass production process.

This research utilizes Expert Interviews, Cause & Effect Diagrams, and the Current Reality Tree within the Theory of Constraint to analyze the effects that the key characteristics and key problems of the Roll to Roll Laser Etching process used to manufacture Flexible Displays can have on yield rates. This research further uses the Analytic Hierarchy Process to find the core problems that Roll to Roll Laser Etching can cause, and uses such core problems in a Conflict Resolution Diagram, Future Reality Tree, Prerequisite Tree and Transition Tree of TOC to find applicable solutions problems of the Roll to Roll Laser Etching manufacturing process. This research is dedicated to finding a systematic flow and analytical process to create solutions in the manufacturing process of Flexible Displays, in hopes that it can stabilize the yield of production in its later stages of mass production.

**Keywords: Flexible Display, Analytic Hierarchy Process, Theory of Constraint, Expert Interview**

## 致謝

兩年的碩士生涯就在仲夏鳳凰花盛開的季節裡邁向了終點，回首當初重回東海美麗校園既期待又熟悉的那份感動，如今隨著兩年的孕育與成長都已化做豐收的喜悅；校園再美麗驪歌再不捨，充滿離別感傷終究要為這短短的研究所兩年求學生涯劃下美麗的句點。

能順利完成我的學業，首先要誠摯的感謝指導教授蔡禎騰老師、邱創鈞老師以及共同指導的彭泉老師、林水順老師、邱文志老師與莊淑惠老師，雖然過程中面對著許多困難，但唯有所有老師無私的奉獻與付出寶貴時間耐心指導，得以順利完成論文；除此之外老師們在生活上的指點與提攜，更讓我能學習到比課業更為重要待人處事的態度，在此謹致上最真摯的感謝。另外感謝工研院影像顯示中心，黃主任、路副組長、葉副組長以及其他專家們，亦感謝元豪、義清、淑怡等許多學長姐的協助，感謝你們的鼎力相助。

完成學業的兩年過程中，更感謝一路相伴共同努力的所有戰友彬辰、倩如、雨馨、涵倩、秋蓉，無論課業亦或論文，每當我遇到困難或挫折時，有你們的加油打氣與嘻笑陪伴，讓我們在挑燈夜戰的每個夜晚不感孤單，兩年來研究室生活的點滴，因為有你們而充滿深刻的回憶，能一起順利的畢業得來不易，如今我們都辦到了，恭喜我們順利走完了這兩年。另外感謝子芳、益泓、冠豪、佳興、良州，過程中給我們的照顧，還有學弟妹品方、姿瑜、彥傑、勁甫、興牧，能一起在同個研究室學習與相處，有你們的陪伴讓兩年的研究生生活變得繽紛亮麗。此外要感謝香誼、采毓、伊雪、大堯、姿陵、大鈞等所有朋友，在這兩年裡，陪伴我走過所有歡笑還是淚水。

最後謹以此文獻給最摯愛的家人，求學生涯二十餘載，謝謝你們無止盡的付出與支持，讓我能毫無後顧之憂的在工作兩年以後還能重圓求學夢，求學生涯也許已劃下了句點，但有你們的包容與支持，永遠會是我最大的幸福與動力。

翁柏雅 謹誌於

東海大學工業工程與經營資訊學系

中華民國一百年 六月

# 目錄

摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
致謝.....	III
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 軟性顯示器現況與問題描述.....	3
1.4 論文架構.....	4
1.5 研究範圍與對象.....	6
第二章 文獻探討.....	8
2.1 軟性顯示器的發展.....	8
2.1.1 軟性電子產業現況.....	8
2.1.2 軟性顯示器發展現況.....	8
2.1.3 軟性顯示器市場發展.....	11
2.1.4 軟性顯示器分類.....	11
2.1.5 軟性顯示器製程技術發展現況.....	14
2.1.6 軟性顯示器製造流程.....	16
2.2 連續性捲對捲製造.....	18
2.3 專家訪談法.....	19
2.4 特性要因圖.....	20
2.5 限制理論的定義.....	20
2.5.1 限制理論簡介.....	21
2.5.2 限制理論之應用與相關研究.....	22
2.5.3 限制理論之戰略流程及戰術樹圖.....	24
2.5.4 限制理論結合戰術樹圖流程與執行步驟.....	25

2.6 層級分析法.....	33
2.6.1 層級分析法的優點.....	34
2.6.2 層級分析法之應用程序.....	35
2.6.3 AHP 基本假設.....	41
第三章 研究方法.....	42
3.1 研究方法與流程.....	42
3.2 運用專家訪談法探討製程困擾現象.....	44
3.2.1 關鍵要素評選流程.....	44
3.2.2 問題要素說明.....	47
第四章 數據分析與解決方案.....	51
4.1 限制理論結合層級分析法.....	51
4.1.1 限制理論結合層級分析法簡述.....	51
4.1.2 層級分析法基本假設.....	51
4.1.3 運用層級分析法評選核心問題.....	52
4.2 運用限制理論找出製程核心問題之解決方案.....	64
4.2.1 衝突圖.....	64
4.2.2 未來樹.....	67
4.2.3 條件樹.....	68
4.2.4 轉移樹.....	71
第五章 結論與建議.....	75
5.1 研究結論.....	75
5.2 未來研究方向與建議.....	76
附錄一.....	80
附錄二.....	87

## 圖目錄

圖 1.1 核心問題分析程序.....	3
圖 1.2 論文架構圖.....	5
圖 1.3 軟性電子產品的生產方式現況與趨勢 .....	6
圖 2.1 全球軟性顯示器產值預測 .....	9
圖 2.2 軟性顯示器可攜性與發展 .....	10
圖 2.3 軟性顯示器結構.....	12
圖 2.4 軟性顯示器分類.....	14
圖 2.5 AM OLED 現行製程圖.....	17
圖 2.6 ROLL TO ROLL PROCESS FLOW .....	19
圖 2.7 現況樹.....	27
圖 2.8 衝突圖.....	29
圖 2.9 未來樹.....	30
圖 2.10 條件樹.....	31
圖 2.11 轉移樹.....	32
圖 2.12 五個戰術樹圖關係圖 .....	33
圖 2.13 AHP 法決策問題流程圖 .....	36
圖 3.1 核心問題分析流程圖.....	43
圖 3.2 ROLL TO ROLL LASER ETCHING 製程問題之魚骨分析圖 .....	44
圖 3.3 ROLL TO ROLL LASER ETCHING 困擾現象之現況樹 .....	46
圖 3.4 關鍵要素與關鍵問題之層級分析圖 .....	50
圖 4.1 第二階-關鍵問題階層圖 .....	54
圖 4.2 第三階-關鍵問題階層圖(機台/參數控制) .....	56
圖 4.3 第三階-關鍵問題階層圖(環境設計) .....	58
圖 4.4 第三階-關鍵問題階層圖(人員訓練) .....	59
圖 4.5 第三階-關鍵問題階層圖(材料特性及變動) .....	60
圖 4.6 第三階-關鍵問題階層圖(其他因素) .....	61

圖 4.7 改善環境設計衝突圖及策略構想 .....	66
圖 4.8 改善環境設計未來圖.....	68
圖 4.9 改善環境設計條件樹.....	70
圖 4.10 改善環境設計轉移樹 .....	72

## 表目錄

表 2.1 不同彎曲程度的軟性電子產品定義 .....	13
表 2.2 應用限制理論解決組織系統限制問題之相關研究 .....	23
表 2.3 限制理論思維程序三步驟與五大戰術樹圖對應表 .....	26
表 2.4 AHP 的評估尺度定義與說明 .....	38
表 2.5 隨機指標表.....	40
表 3.1 關鍵要素與關鍵問題說明 .....	48
表 4.1 第二階-關鍵問題成對比較矩陣與數據分析 .....	55
表 4.2 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(機台/參數控制) .....	57
表 4.3 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(環境設計) .....	58
表 4.4 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(人員訓練) .....	60
表 4.5 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(材料特性及變動) .....	61
表 4.6 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(其他因素) .....	62
表 4.7 核心問題評選權重表.....	63
表 4.8 條件樹障礙與轉移樹之解決方案對應表 .....	73

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

自1995年，Samsung與LG將TFT-LCD產品量產後，顯示器正式從早期的CRT發展到平面顯示器(Flat Panel Display, FPD)；然而顯示器在資訊時代人類的生活中扮演著傳遞訊息與溝通界面的重要角色，因此平面顯示器例如能具有輕、薄與可攜性，將可使人們在生活上更具便利性，由於傳統顯示器的體積龐大，無論是搬運或是安置擺放皆不便利，而近年來隨著平面顯示器的發展與製造技術漸趨成熟，並且為了滿足近代市場的新需求，因此消費者開始追求顯示器的可攜性，如筆記型電腦、手機、電子書及電子看板等輕薄產品，因此造就了新世代軟性顯示器之誕生(李敏鴻，2007)。

資訊發展的進步，平面顯示器一直是進化中且受矚目的產業，其持續不斷的演進與技術革新，進而發展顯示器的應用層面，便是刺激市場需求的主要推力，而隨著平面顯示技術的進步與電子資訊產品走向軟性的趨勢，各學術研究單位及公司機構因此相繼積極投入軟性顯示器(Flexible Display)的開發。

隨著趨勢的發展，很快地，顯示器將不再侷限於大型且笨重的外殼的限制，更不必再只能將其安置在固定角落，背後連接著複雜的訊號及電源線，受益於軟性顯示技術的迅速進展，具有輕、薄、短、小及可撓曲等優勢的軟性電子技術，除了主流市場中的LCD之外，使得新一代顯示器，發展出更具節省空間優勢的顯示器產品。然而消費市場是最早顯現出軟性顯示技術價值的應用領域，從智慧卡、電子書、電子紙、PDA到行動電話，軟性顯示器已開始嶄露頭角(電子工程專輯，2010)。“經過多年來的發展，軟性顯示器應用市場已開始起飛，特別是隨著消費者對於可攜式設備與永不斷電的電子看板應用等需求將會的大幅的成長”(Paul Semeza, 2008)。

根據工研院IEK的預估，全球軟性電子產品將從2008年開始陸續成熟，而整體市場將從2010年開始成長，產值約值20億美元，其中軟性顯示器將是其中最主要的應用產品。軟性顯示器具有輕(Light)、薄(Thin)、可撓曲(Rollable)、耐衝擊(Rugged)與安全性(Safe)等特性(Lee et al., 2006)，因此被看好為新世代的明星級顯示器產業。

在軟性顯示器快速發展的趨勢下，為滿足市場大量需求，軟性顯示器勢必

得走向量產階段。然而對於軟性顯示器即將邁入的量產階段，如何從試產階段的實驗過程，找出製程中影響良率的品質要素，並將實驗製程中所面臨的問題做有系統的分析與探討，進而評估建構適合大量生產之量產模式，幫助軟性顯示器日後發展量產製程影響良率之困擾現象問題分析,以提升量產良率和製程能力，將為未來製造及推動軟性顯示器技術是否能成功普及的關鍵。

## 1.2 研究目的

承接於研究背景與動機，本研究主要以分析軟性顯示器生產線Roll to Roll Laser Etching製程影響良率之問題現象為對象，藉以幫助平面顯示器業者跨入軟性顯示器產業發展量產模式，其主要目的如下：

1. 本研究透過文獻及專家訪談，應用特性要因圖結合專案管理的限制理論之分析戰術樹圖-現況樹，分析軟性顯示器Roll to Roll Laser Etching製程中可能影響良率的困擾現象及製程問題，並且找出問題間之因果關係，再依專家意見進而建立影響良率之關鍵要素與關鍵問題。
2. 藉由層級分析法之分析程序，將關鍵要素與關鍵問題，建構層級與評比尺度，運用層級分析法專家問卷調查之手法，計算各要素之權重，尋找Roll to Roll Laser Etching製程中影響良率困擾現象之核心問題。
3. 最後以影響良率之核心問題結合限制理論之分析工具-衝突圖、未來樹、條件樹及轉移樹，研擬適用於軟性顯示器Roll to Roll Laser Etching現行製造程序之核心問題的解決方案，以利軟性顯示器未來邁入量產階段，評估改善生產線解決核心問題的問題分析模式，期望有助於軟性顯示器日後量產之順利及製程穩定性，做為日後參考依據。其程序如圖1.1所示：

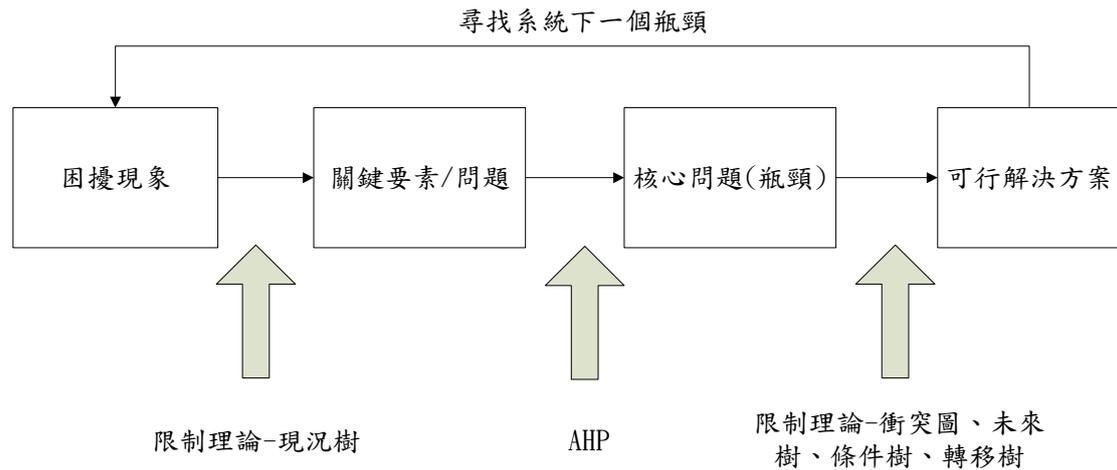


圖 1.1 核心問題分析程序

### 1.3 軟性顯示器現況與問題描述

近年來，隨著軟性電子薄膜電晶體(TFT; Thin-Film Transistor)製程技術的進步，將電路、材料及顯示基板等元件整合於一片軟性材料上，造就了便於攜帶的新世代顯示器產品的應用與發展。然而軟性電子薄膜電晶體(TFT)的製程良率遠不如傳統矽晶片電晶體，如何運用問題分析的模式提升製程良率及找出試產階段中之影響良率之關鍵要素，進而設計出符合現況的量產生產模式，提升製程良率，建立穩定的生產線環境，便成為軟性電子相關產品量產與應用發展成功的關鍵。

軟性顯示器發展至今，相關技術及製造仍處於研發即將邁入量產階段，依據 Display Search 的資料統計，軟性顯示器將至 2015 年才會有普遍應用的現象(電子工程專輯，2010)。

本研究透過專家訪談，於該產業的專家意見中，在軟性顯示器研發與製造程序現況中，了解與歸納出該領域中最常面臨之問題如下：

1. 軟性顯示器的產品種類繁雜，造就了無數個製程方式，目前在產業領域中，顯示器的製程技術尚未達到一個標準化的模式。因此在試產階段的實驗過程，影響關鍵製程良率之困擾現象的改善，將可有效的幫助日後建構量產標準化模式及產品順利量產。
2. 軟性顯示器產品製造階段所產生的相關知識，例如製程參數的設定、機台設備的設計與維修記錄、產品品質記錄與異常問題處理等相關經驗的資訊龐

大，往往難以有效的篩選出量產製造模式中影響品質的關鍵資訊。

3. 在製程技術上，為提升軟性顯示器的生產效能，有別於傳統批量式生產方式，連續式捲對捲製程(Roll to Roll)是目前最普遍用以實現大量連續式的主流生產方式，專家意見中以 Roll to Roll 與 Laser Etching 軟性基材製程最為關鍵，亦是影響大量生產發展的兩大瓶頸，而 Roll to Roll 的製造方式之環境設計與製造程序卻仍處於研發階段，尚未達成熟的標準化階段。

綜合上述，本研究預建構一個適合大產生產階段之量產模式，並透過限制理論之分析程序，以 Roll to Roll Laser Etching 軟性基材製程為研究對象，找出關鍵製程中影響良率之核心問題的分析程序，尋求生產模式中提升良率的有效方法，使未來量產能有具參考價值的依據，做為未來製造及推動軟性顯示器技術的問題分析模式。

## 1.4 論文架構

本論文第一章緒論，依序說明研究背景與動機、研究目的、研究對象之問題描述。第二章文獻探討，主要以「軟性顯示器發展現況」與「專家訪談法」、「特性要因圖」、「限制理論」與「層級分析法」依序做介紹。第三章研究方法，以專家訪談結果，針對本研究對象—軟性顯示器Roll to Roll Laser Etching現行的製造流程與困擾現象，影響良率之關鍵品質要素，透過特性要因圖與限制理論工具-現況樹，描繪困擾現象之全貌與各現象之因果關係，歸納與定義困擾現象中的關鍵要素及關鍵問題，做為層級分析法之分析基礎。第四章數據分析與解決方案，首先建構AHP之層級結構，並運用層級問卷設計，做問卷調查，將專家填寫之問卷透過層級分析法特徵矩陣之數據轉換，分析、計算各關鍵要素及關鍵問題之權重值，評選出軟性顯示器Roll to Roll Laser Etching關鍵製程困擾現象中的核心問題，最後運用限制理論工具-衝突圖、未來樹、條件樹及轉移樹的分析問題程序，探討解決核心問題過程中可能遭遇之障礙與問題的可行解決方案。最後，於第五章提出本研究之結論與建議。本研究之架構圖如圖1.2所示：

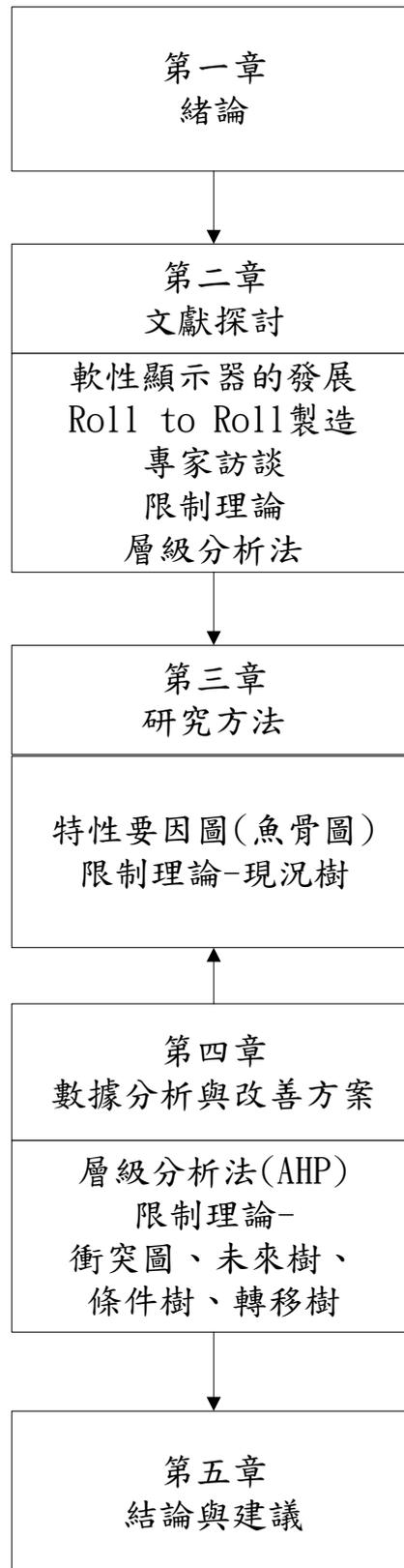


圖 1.2 論文架構圖

## 1.5 研究範圍與對象

本研究以我國軟性顯示器與顯示器相關電子產業研發 Laser Etching 在 Roll to Roll 製程中影響良率之關鍵品質要素為主要探討對象，並以目前台灣軟性顯示器研發單位之試產生產線專家做為訪談對象，蒐集、分析其影響良率之關鍵品質要素，並以軟性顯示器發展之相關研究與製造專家做為問卷發放對象，探討並分析關鍵製程中影響良率的核心問題並研擬問題之解決方案。

鑑於傳統的液晶顯示器(Liquid crystal displays, LCDs)，已發展量產多年，無論是在製程或是材料上的研發皆近於成熟，在供應鏈的發展上更具完整，而相較於軟性顯示器的開發階段，仍需克服降低大量開發所需的時間與成本，與製程所面臨的困境等問題，例如：塑膠基板無法耐高溫製程、彎曲時造成基板上的鍍膜破裂、剝離以及 cell gap 的改變等等。(Peter Cirkel et al., 2007)

根據工研院資料顯示全球軟性電子已於 2010 年陸續進入量產，因應軟性電子大量且低成本的生产目標，軟性連續式捲對捲生產方式將可能成為未來的主流方向。其生產方式現況與趨勢如圖 1.3 所示：

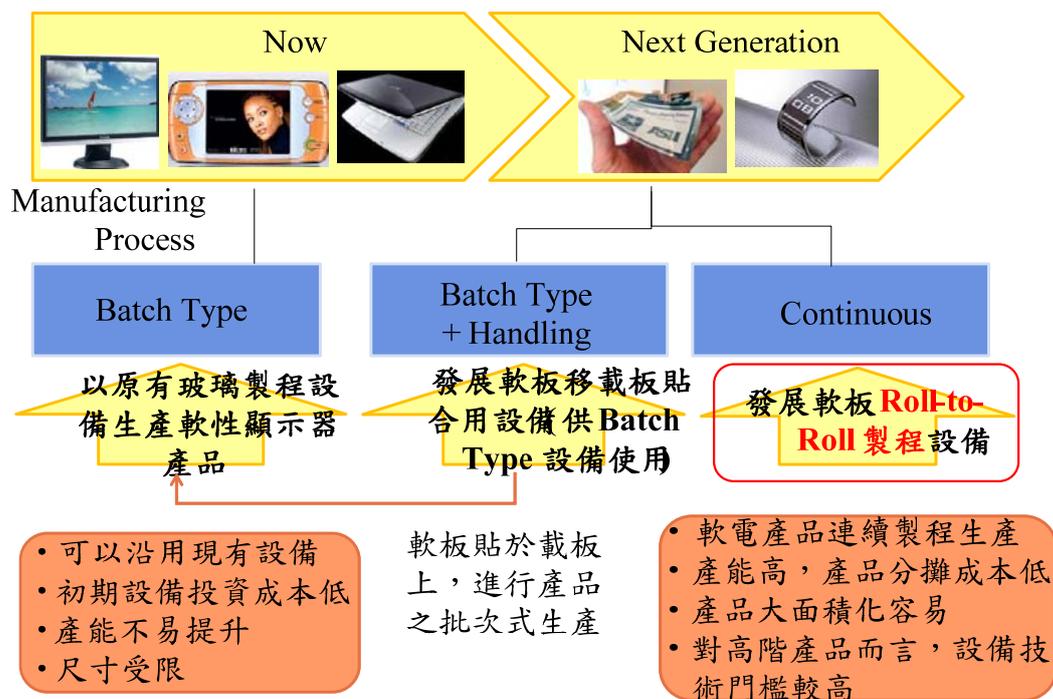


圖 1.3 軟性電子產品的生產方式現況與趨勢

軟性顯示器因具有輕(Light)、薄(Thin)、可撓曲(Rollable)、耐衝擊(Rugged)與安全性(Safe)等特性，所以特別適合使用連續式捲對捲製程，若能使用此製程便可使得生產成本及速度上有所突破，因此若軟性顯示器不論於研發或是製程搭配大面積量測與建構問題分析模式，良率與速度將會大幅度提升(黃柏喻，2008)。

本研究範圍從現有已發展的顯示器產業延伸至軟性顯示器產業，針對連續式捲對捲生產方式(Roll to Roll) Laser Etching 關鍵製程中，以軟性顯示器產業為研究對象，蒐集、分析其關鍵品質要素，探討其製造程序可能影響生產線製造良率之核心問題，提供一套可行的分析問題之模式及問題解決方案。

## 第二章 文獻探討

### 2.1 軟性顯示器的發展

#### 2.1.1 軟性電子產業現況

從早期的 CRT 顯示器到現在的 LCD 液晶螢幕，近年來，隨著新的顯示器技術陸續開發出來，有別於傳統不可折曲的硬性電子，這些新的技術具備過去產品所無法展現的特色，此項新的技術普遍被稱為軟性電子。而這個新技術的定義也在 2005 年 IEEE 會議上首次被提出，定義「軟性電子是一種技術的通稱，是一種建置在薄塑膠片或金屬薄片之軟性或可彎曲（conformal）基板上的元件與材料技術。」

軟性電子或稱軟性顯示技術被視為是繼半導體、平面顯示器後另一個臺灣明星產業。而軟性電子通常是將電子電路透過印刷的方式，印製在塑膠等軟性材料基板上，有別於傳統的矽晶片，軟性電子具有輕薄、短小、可撓曲、易攜帶等特性，除了發展符合人們對電子產品「輕、薄、短、小」的要求以外，更可發展符合人體工學、人性化、行動化與個人化等要求的產品。除此之外，藉由軟性電子的開發，減少紙張的使用與降低樹木的砍伐，更能符合節能減碳的要求(電子工程專刊，2010)。因此，軟性電子的產品的研發，產品的便利與實用性將成為未來市場發展成功與否的關鍵。

#### 2.1.2 軟性顯示器發展現況

可攜式資訊的數位電子產品已是人類日常生活中不可或缺的一部分，輕、薄、耐摔甚至可捲撓等特性的電子產品成為人們追求的夢想，「軟性電子」(Flexible Electronics) 即在此情況下醞釀而出。

液晶顯示器因具有容易碎、不耐衝擊、以及較大厚度與重量等先天缺點。因此，逐漸無法滿足新一代產品應用之輕量、薄型化與可撓曲、摺疊使用等需求。利用「塑膠材質」來取代「玻璃基板」，改善玻璃基板的缺點，同時塑膠具備可撓曲性及薄型化，更可提供新世代平面面板較寬廣的設計。

根據 DisplaySearch 的 OLED 出貨報告指出，2009 年全球 OLED

面板出貨金額達 8.26 億美元，較 2008 年增長了 35%，主要成長因素來自於智慧型手機螢幕對 AMOLED 面板需求增加，這股帶動風潮也導致 AMOLED 面板產值首次超越 PMOLED 面板。

根據研究機構 iSuppli 的研究顯示，2007 年全球軟性顯示器產值為 8 千萬美元，預估 2013 年產值將成長至 280 億美元，產值將翻 35 倍之多。其產值預估如圖 2.1 所示：

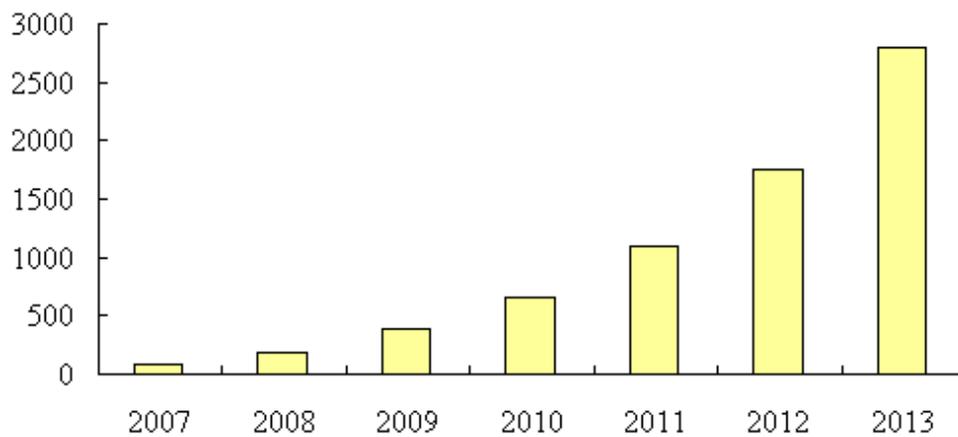


圖 2.1 全球軟性顯示器產值預測

(資料來源：iSuppli，2008)

以往來說，可攜式產品的行動可攜性與功能性通常是相互衝突的，動態影像與省電性也往往無法兼顧，研發更符合便利生活的顯示器技術，成為了新一代顯示器產品的共同目標。以軟性顯示器的發展市場面來說，大致可分為取代性市場與新興市場兩方面區分(陳麒麟等人，2008)。色彩、軟性與 video rate 的技術便是顯示器發展的關鍵方向，而結構、製程、良率等則為成本考量的主要前提。其可攜性與發展如圖 2.2 所示：



圖 2.2 軟性顯示器可攜性與發展

目前國際間面板產品生產類型大致分為利用蝕刻與研磨兩種方式，目標在於降低玻璃基板的厚度，以達可攜式產品輕、薄的特性。而軟性顯示器是直接以厚度 0.2mm 以下的塑膠或玻璃基板進行面板製作，而免去薄型化製程。以 AMOLED 為例，以往玻璃 AMOLED 追求的是有較佳的影像品質與結構簡單可達節能的特性要求，然而軟性 AMOLD 則是將目標放在追求新一代顯示器產品的消費者需求，尋求更大的可視區域、耐摔、可捲曲等特性外，同時還需維持既有玻璃 AMOLED 的產品特性，運用蝕刻或研磨方式將玻璃基板的厚度由 0.7mm 減至 0.3~0.4mm，以達到可攜式產品輕、薄的特性。而通常軟性顯示器直接以厚度 0.2mm 以下的塑膠基板進行面板製作，免去薄型化製程。從技術角度發展捲對捲製造來說，製程簡化代表的意義便是使製程在成本上能具有優勢，尤其塑膠基板顯示器若達到捲對捲式生產則較具經濟性，使得製造能從以往的批量生產達到大量量產的連續性製造方式，加上其在設計時可較具彈性，捲狀生產(Roll to Roll)方式將在本章 2.2.3 結有更詳盡的介紹。雖然目前塑膠顯示器之發展

備受矚目，但其銷售量卻仍未有突出的表現，在塑膠基板的價格顯示特性上仍有相當的努力空間。

### 2.1.3 軟性顯示器市場發展

由上段敘述中，目前軟性顯示器的市場發展大致可分為取代性市場與新興市場兩方向區分。其特性分別如下：

1. 取代性市場：輕、薄、短小、耐衝擊等特性一直以來都是新一代可攜式產品的普遍消費者需求。強化行動性與便利性的優點，將是軟性顯示器在顯示器市場上致勝關鍵，這便是軟性顯示器初期的取代性市場優勢。挾上述特性，將可成為其替代可攜式現有產品的有利條件，且目前可攜式產品發展的種類眾多，對顯示器產品之解析度、色彩等畫質要求彈性日增，因此成為可撓式顯示器初期產品之市場機會。
2. 新興創新性產品市場：近年來，顯示器產業及研究單位紛紛投入大量的資金開發軟性顯示器的新興產品應用領域，由於顯示器的開發邁向輕薄、可撓性與便利性的產品應用發展，使得類紙式的顯示器在顯示器的應用產品受到新世代消費者的矚目，其產品應用若能結合傳統電子產品的畫質需求，同時具備便利性與省電性的優勢，研發的新興應用產品將可能是創造新興市場的潛在商機，如電子書、電子報紙、電子標籤、電子廣告板。

軟性顯示器不僅受新一代資訊電子產品終端消費者的喜愛，同時也擄獲現代產品設計師的心，如何發揮軟性顯示器產品使其更具輕、薄與新奇的產品差異化，將會是新世代產品設計師面對創新性的主要挑戰。

### 2.1.4 軟性顯示器分類

軟性顯示器基本構造可以區分為基板(Substrate)、中間顯示介質與薄膜封裝(Thin Film Encapsulation)等三個主要結構。基板方面可以選擇塑料、薄型金屬與超薄化玻璃基板等。中間層顯示材料則有更多

選擇，從液晶材料到其他電子紙張顯示材料都是選擇項目之一。其結構如圖 2.3 所示：

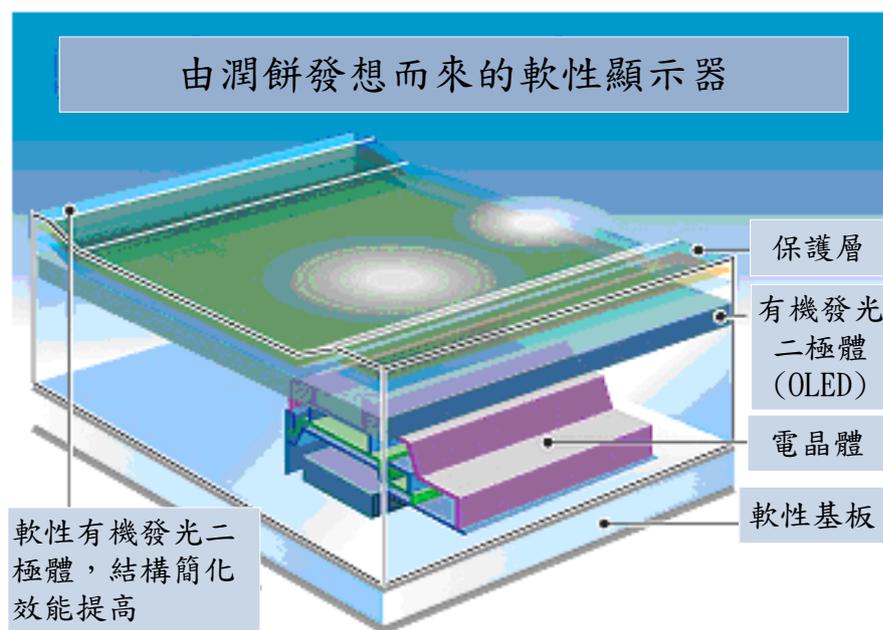


圖 2.3 軟性顯示器結構

(資料來源:工業技術研究院網站，2010)

目前依照產品應用面區分，軟性顯示器大致上可以分為以下幾種型態：

1. 具備紙張畫質的類紙式顯示器：此類型的軟性顯示器應用產品，近年來主要針對取代性市場的應用，產品取代的目標主要在於傳統生活中普遍使用書報、紙張性閱讀刊物或是賣場及街道上常見的廣告刊板等，在此類的應用產品市場，在撓曲的特性需求上通常並非主要的技術發展目標，但在產品的特性上需要薄、低耗電性與低成本等特性，將成為主要應用產品能否取代紙張或大型廣告刊板的關鍵優勢。
2. 具備微彎曲特性的軟性顯示器：需具備低耗電、輕薄，厚度最好在 0.5mm 以下且具備較佳的畫質特性，顯示器彎曲程度的要求卻不需要太高。
3. 卷曲式的軟性顯示器：需具備以上兩項分類之特性外，顯示器本

身還需要具備可以彎曲，甚至可以卷曲至可隨身攜帶的產品特性。

從應用的角度分析，具備紙張畫質特性的軟性顯示器，產品本身潛在應用的機會主要依據可卷曲程度，也就是便利性，能否充分的呈現在顯示器產品的應用程度上以及製程的成本，將成為軟性顯示器能否取代現有顯示器的關鍵。軟性電子產品不同彎曲程度定義如表 2.1 所示：

表 2.1 不同彎曲程度的軟性電子產品定義

(資料來源：工業技術研究院網站，2010)

彎曲程度	定義	應用範圍
Conformable	One time fit an uneven/curved surface	
Flexible	Thin; bendable; lightweight; rugged	
Rollable	Ultra thin; lightweight; rugged; rollable into a small volume when not in use	

而從技術面上來看，軟性顯示器至少可以依據需使用背光源與否，來區分成自發光型(Emissive)與非自發光型(Non-Emissive)兩大類別。故本研究將整個軟性顯示器依技術分類如圖2.4所示：

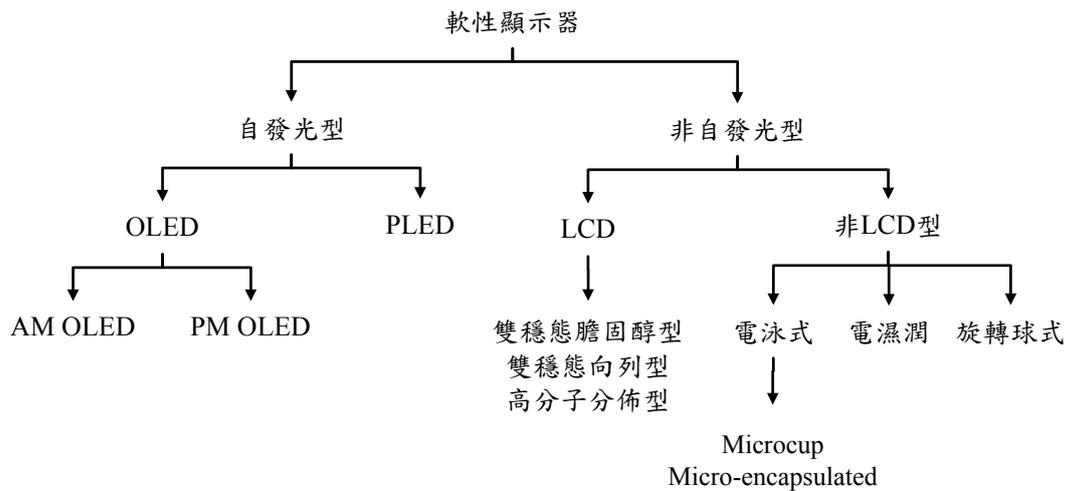


圖 2.4 軟性顯示器分類

### 2.1.5 軟性顯示器製程技術發展現況

雖然軟性顯示器技術已發展多年，其成品仍多停留在實驗室試產階段，並未達大量量產，因此造就了多種製程技術的產生，然而這些量產製程方法並未完全公開，整體來講，本研究整理目前軟性顯示器產業研發製程類型，以研發中的製程技術面做為區分，大致上可以分成三類來討論：

1. 薄化技術(Thinning Technology)：目前平面顯示器市場所使用的基板材料以玻璃基板為主，主要因玻璃具有耐高溫、耐化學性、安定性高等特性。但發展類紙式顯示器產品通常需使產品達輕薄、可撓曲等特性，因此主要目標便是要降低基板的厚度，一旦可降低基板厚度至0.2mm，便可使玻璃基板彎曲，但只是將玻璃基板薄化，仍不能使得玻璃基板成為耐衝擊的可撓式顯示器。
2. 轉貼技術(Transfer Technology)：首先利用既有成熟穩定的玻璃基板製程技術進行製作，再將玻璃基板完全移除，用TFT轉貼至軟性基板上，以實現軟性IC技術。如Sony在玻璃上先製作蝕刻阻絕層(Etching Stop Layer)，再接續TFT製程。工研院顯示中心在AM OLED 上，運用在玻璃基板上塗布一層「離形層」，順利融合業界既有的TFT 製程，在柔軟的 PI 基板上，製作現今面板所使用的

薄膜電晶體陣列，並且能夠在不損害電晶體的情形下，順利將軟性塑膠材質取下。

3. 直接製程技術(Direct Process Technology)：不同於轉貼技術將元件製作於玻璃基板上，而是直接在軟性基板進行元件製程，其可分為採用金屬薄基板進行傳統的高溫製程及塑膠基板進行低溫製程兩大類；目前如Sharp、Samsung、Kodak、Sipix及Xerox等組織企業為此技術之代表。且因為利用軟性基板可捲之特性，進而發展出連續性製程(Roll to Roll Process)，使得生產更具有經濟效益。

綜合上述對製程技術的介紹，可知相對於利用既有玻璃基板轉貼製程技術，目前發展的連續卷狀製程，就成本及製程設計彈性來說較符合軟性顯示器生產產品的經濟及競爭優勢，而直接製程技術中的Roll to Roll製程之應用因較為特殊，本研究範圍將針對Roll to Roll製程做為軟性顯示器主要的核心問題分析製程研究對象，故將在下節詳細探討其技術。

軟性顯示器在結構及特性上主要的差異是具備可彎曲特性的程度，而此項特性的要求，是依據基板材質的選擇而有所差異。若以目前軟性顯示器基板材料面的研發來看，可區分為三種類型，超薄化玻璃基板、塑料基板與薄型化金屬基板。

目前軟性顯示器產品若要達商品化程度，基板需具備耐高溫、抗UV特性、硬度要求、ITO抗阻、低成本、表面光滑度與光學透射率等要求。以下將分別針對三種類型探討。

1. 薄型化玻璃基板：目前台灣發展薄型化玻璃基板，由玻璃工廠可提供最薄的玻璃為0.5mm，為發展顯示器產品可撓性特性的應用，各廠商仍持續期望能研發厚度更薄的玻璃基板，因當厚度低於0.2mm之後，玻璃基板將可具備可彎曲的特性，由此可知，研發可撓曲顯示器產品，開發超薄玻璃基板將成為此類基板研發的技術關鍵。
2. 薄型金屬基板：薄型金屬基板其基板厚度低於0.1mm，而金屬基板具備耐高溫製程與阻水阻氣的功能，並且具備Roll to Roll製程的可

能性、成本低廉(約為塑料基本材料的30%)與取得方便，但以金屬基板做為材料最大的挑戰是需克服材料的表面粗糙度問題，若能克服此問題，將會使金屬基板相關研究的大幅成長。

3. 塑料基板材料：雖然薄型化玻璃基板的研發已經可以達到商品化的程度，但是波型化玻璃基板仍有過高的拋光成本與無法配合Roll to Roll大量製造製程方式的缺點，因此塑料基板目前仍為最多研發廠商選擇的材料。

除上述塑料基板特性外，就主要基板製程要求中，其中最需解決的問題在於克服塑料基板的耐熱性，以TFT製程為例，整個製程中需面臨300°~400°C的高溫製程，因高溫製程的特性對塑料基板來說是一大挑戰，以現況來說，為解決這問題研發以兩方向為主，一為開發低溫薄膜製程，另一則為開發耐高溫的塑料基板材料。而各廠商目前對於塑料基板投入的研發仍處於尋求最佳解決方案的階段，若要找出最佳解決方案仍需要更多的資源與研究投入。

### 2.1.6 軟性顯示器製造流程

本研究依據專家訪談法建構軟性顯示器之現行製造流程如圖2.5所示：

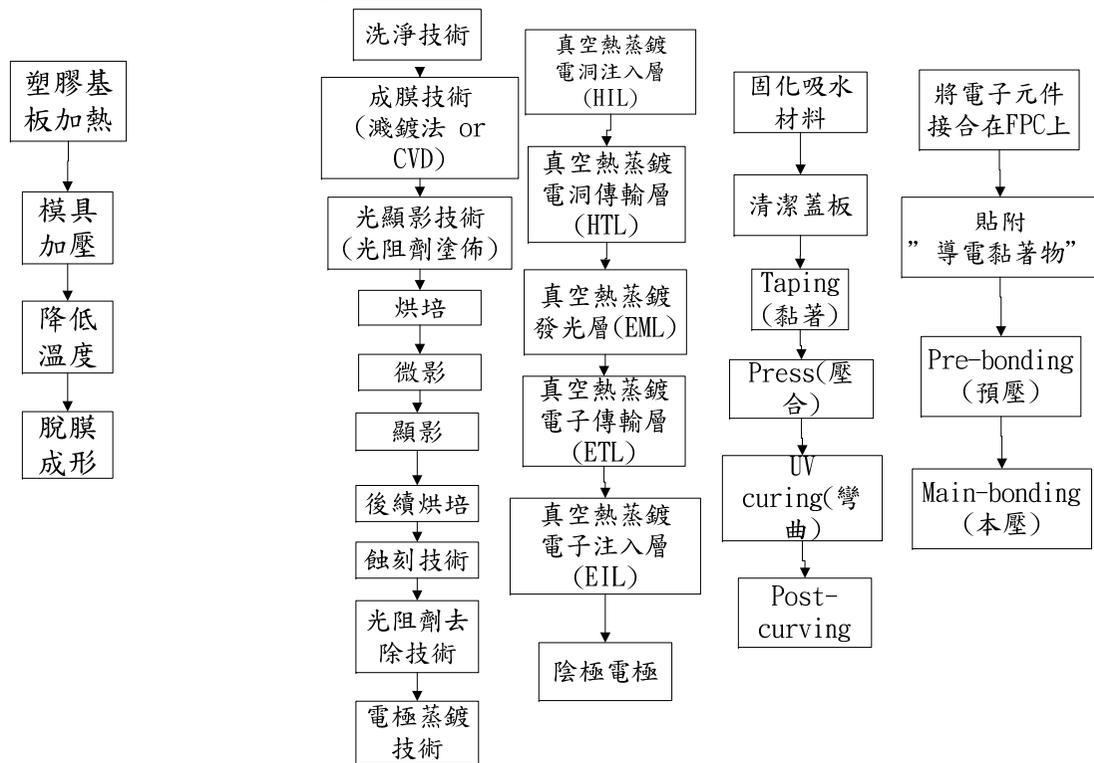
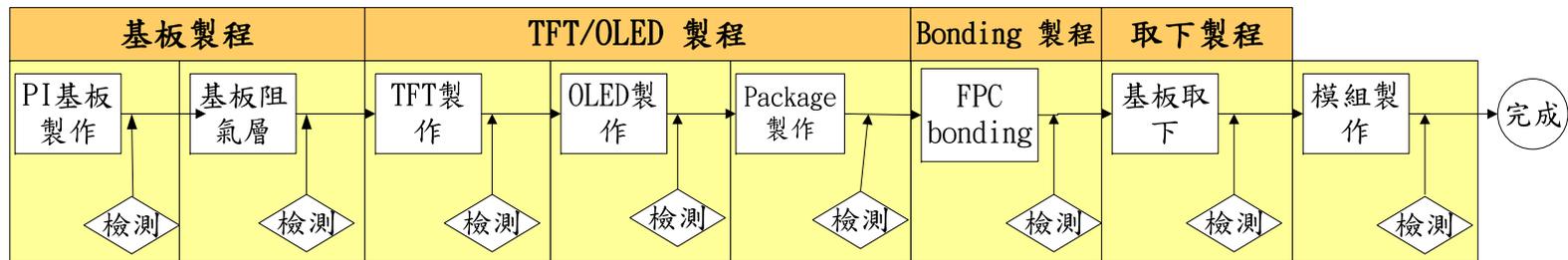


圖 2.5 AM OLED 現行製程圖

## 2.2 連續性捲對捲製造

全球軟性電子發展，於2010年已陸續進入了量產階段，隨著軟性顯示器(flexible display)的生產技術開發，為追求產品在製造上的高效能與低成本等目標，以現有傳統一片一片或批量式生產方式，勢必無法滿足軟性顯示器快速崛起的製造需求，追求連續式及高產能性的生產方式將應運而生，因此在製程技術上，為提升軟性顯示器的生產效能，有別於傳統批量式生產方式連續式捲對捲式製程運用軟性顯示器可撓、卷曲的特性，發展出實現大量連續式的生產方式，使得產品大面積化的生產方式更為容易。為因應軟性顯示器大量且低成本的生產目標，連續性捲對捲式生產方式勢必會成為未來發展的主流方向。

iSuppli 預測2013年，整個軟性顯示器的市場會到達 280億美元的規模，比2007年的8000萬成長了足足35倍有餘。因此設備完善大型工廠的建立，為確保了軟性顯示器的出貨量可以穩定提升，目前運用軟電實驗室的捲對捲製程研發，逐步實踐軟性顯示器產業對未來的製造需要，提出創新的連續式捲對捲生產方式，不僅設計創造了新的製程整合方法，更提升生產的效能。

iSuppli 資深分析師Jennifer Colegrove博士表示：「軟性顯示器不只受消費者喜愛也深受產品設計師歡迎，原因在於它的產品特性。軟性顯示器耐用、輕薄，更重要的是它非常的新奇。靠著先進的製程以及精密捲繞對位技術 (Roll to Roll processing)，軟性顯示器的製造成本可以降到很低。更重要的是，與傳統的硬質螢幕相比，軟性顯示器的運送方法及成本都較為低廉。而當它們破碎時，也不會像傳統硬質螢幕一樣有具傷害性的銳面。」

從電子、光學與光電等零組件整合於低成本電子產品需求的製造技術角度來說，運用舊有與現今的印刷技術在現代電子產品的製造上是較為容易也是常見的方式，而連續式捲對捲生產方式也是能滿足產品需求與實現低成本的可行的唯一方式。(Terho et al., 2005)

一般Roll to Roll製程技術將原本在晶圓或玻璃基板上進行薄膜電晶體製程移植到聚合網路(Polymer Webs)上的生產方式，大致可分成三個程序，分別為沉積(Deposition)、圖案化(Patterning)、封裝

(Packaging) ，如圖2.6所示。

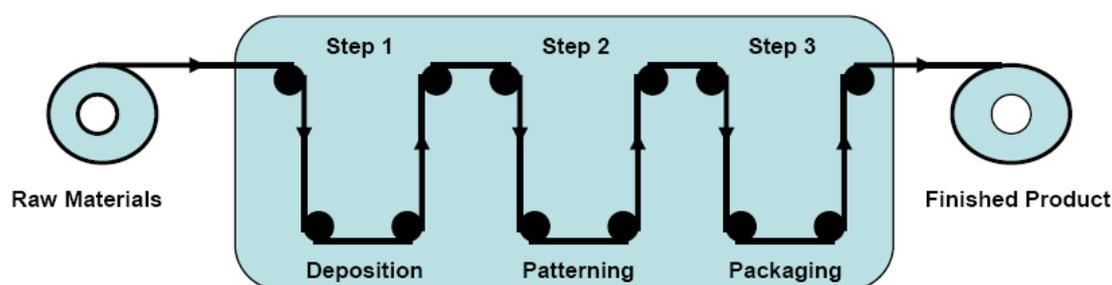


圖 2.6 Roll to Roll Process Flow

(資料來源：Gregg, York & Strnad, 2005)

利用這種方式可以使用塑膠基板，以低成本製程方式，製造出輕、薄並具可彎曲性的彈性顯示產品。且由於連續式的生產方法，進而提高產能且節省人力降低生產成本，當生產不同尺寸或不同材質之基板時，不需購置生產設備，因而降低設備建置成本。

## 2.3 專家訪談法

學者Meuser and Nagel 於1991年指出專家訪談(Expert Interview)是半結構式訪談法的一個特殊應用形式，使用專家訪談的目的是著重於受訪者在某一個領域活動中的專家能力(Uwe Flick, 2007) ，而專家訪談方式主要可分為個人訪問(Personal Interview)和小組訪問(Group Interview)兩種(Quinn et al., 1996)。

以台灣目前工研院電光所主導下發展軟性顯示器產業現況來說，於2005年1月首次成立「軟性電子產業推動聯盟」，陸續接連成立「印刷式天線業界研發聯盟」、「軟電實驗室」及「連續式軟性液晶薄膜研發聯盟」，因此本研究認為藉由訪談工研院光電所之專家，以質化方式進行資料的蒐集，採取個人訪問的方式進行專家訪談，將有助於軟性顯示器製程研發試產邁入量產階段，取得關鍵品質要素的相關重要資訊。

## 2.4 特性要因圖

特性要因圖是一種確認結果(特性)與原因(要因)之間關聯的圖形，可用來說明品質特性以及影響品質之主要要素及次要要素之間的因果關係，因其圖形形狀類似於魚骨結構，因此又稱為「魚骨圖」。特性要因圖於 1953 年由日本東京大學的石川馨教授所提出，因此又有人稱之為「石川 (Ishikawa) 圖」，其目的在於以圖示化的方式呈現，用以找出可能影響分析對象的所有相關因子，便於掌握影響分析對象問題點的主要原因及其因果關係，常被應用於問題之改善解析及製程管制(張簡志偉，2007)。

本研究將針對軟性顯示器 Roll to Roll Raser Etching 製程中影響品質之問題要素及其因果關係透過專家訪談取得之重要相關資訊，將造成製程問題之主要原因繪製成大骨，製作成為要因圖的大骨架，決定問題主要類別後，再往下層展開將次要要素繪製成要因圖之中骨結構，用以分析本研究之研究對象，彙整成影響製程良率之問題的因果關係的特性要因圖。

## 2.5 限制理論的定義

限制理論(Theory of Constraint, TOC)首先由以色列的物理學家 Eliyahu M. Goldratt 博士於1986 年發展的最佳化生產技術 (Optimized Production Technology, OPT) 為基礎所創立的。Goldratt 博士曾出版「目標」一書，以小說的形式敘述一個即將關門的工廠如何起死回生，說明限制理論，且此獨創性的方法使得此方法在往後成為一種企業持續改善的一種方法(Goldratt and Jeff, 1992)。Blackstone(2001)指出：「限制理論為企業持續改善的方法。有別於傳統說法認為限制為可能限制(Limit)系統的事物。限制理論中所謂的限制(Constraint)是影響系統績效的任何事物。」，也就是限制理論運用於企業中不但是一種持續改善的方法，也是一種將資源集中運用的方式，去改善阻礙系統達成其目的之限制條件，以達到持續改善的管理方法(Blackstone, 2001)。

Roser (2003)也指出，每個製造系統的績效，都受系統中的各種「限制」影響，所以要改善系統績效，就必須先確認系統中的「限制」，並加以改善。所謂的「系統限制」就是「瓶頸」(Bottleneck)。瓶頸之定義為，當某機器的產出，將影響整個製造系統的產出時，該機器即為整個系統的瓶頸，瓶頸的大小則視此機器對全系統產出影響的大小而定。

### 2.5.1 限制理論簡介

Goldratt 博士於1986年發明限制理論(TOC)，認為任何組織或系統，在其發展或運作的過程，在組織或系統中一定存在障礙或限制因素，其主張是運用直覺式的邏輯架構，轉化為分析組織限制強而有力的工具。組織系統透過運用科學邏輯的驗證技術，進行一連串的推理思考，分析其因果關係。根據此邏輯基礎，歸納出五大步驟，而且被分別應用於生產管理、財務管理、知識管理、專案管理等領域，Dettmer(1997)針對限制理論解決系統問題的邏輯流程歸納持續改善的五大核心步驟 (Five Focusing Steps)，其步驟如下：

1. 找出其系統中的核心問題亦即限制 (Identify the system's constraint)。
2. 決定如何充分利用系統中的限制 (Decide how to Exploit the system's constraint)。
3. 所有非限制資源全力支援步驟二所做的決策 (Subordinate everything else to the above decision)。
4. 打破提升系統限制 (Elevate the system's constraint)。
5. 如果系統限制在步驟四被打破，則回到步驟一 (If in the previous steps a constraint has been broken; Go Back to Step1)。

當限制被打破一段時間後，它可能不再是瓶頸 (或限制)，故我們必須重回步驟一，重新找出另一個限制。

Goldratt 博士以科學的邏輯推導出思維程序的五個邏輯工具樹，發展至今，已達成熟的階段，也證明其管理方面之貢獻，找出並

解決系統核心問題所在，其方法受到許多學者之推崇與應用，有效解決許多企業之問題。產業界有許多在實務上運用限制理論的管理方法分析問題的例子，例如美國APICS 等研究機構(McMullen, 1998)，McMullen同時描述限制理論在應用領域上可橫跨產業及應用範疇。Dr. Smith(2000) 學者則是以實務上應用，提出策略政策或方案發生衝突時，限制理論對不同類型問題之處理方法的應用。

然而限制理論中所謂的「限制」到底是什麼呢?在Goldratt 博士所提出的限制理論中認為，任何的組織系統都應該存在著一個組織的目標，而在系統中達成目標的過程中還會存在著障礙，阻礙系統達成目標的所有因素就是「限制」。而限制理論認為在任何系統中至少會存在一個限制，否則它就有可能會是無限的產出。若想要提高系統的產出或績效，就必須打破系統中存在的限制。我們可以將此系統想像成一連串的環，而環與環之間是相扣的，這個系統的產出與績效取決於最弱的一環，而不是最強的一環(謝偉民，2000)。值得一提的是，限制可以有形的，如每一工作站缺料、機器故障等；限制也可能是無形的，如公司政策、企業文化、作業程序等；因此，也可以將「限制」定義為組織最弱的環。

Dr. Goldratt 限制理論(TOC)之思維程式 (Thinking Process)讓組織系統可以應用較為嚴謹的因果邏輯關係 (Cause-and-Effect Logic)，得到顯著的問題改善，儘管是無形的人為企業經營管理領域也適用。這樣的邏輯思考流程是一個持續循環的流程架構，使得企業的管理者可為組織系統不斷的找尋組織中的系統限制，且持續依循此架構流程尋找阻礙組織/系統達成目標的重要因素，有助於有效的改善系統績效。Goldratt 特別強調要快速得到改善績效不是進行全面之改善，而應該先找到系統中存在的「限制」，聚焦於穩定系統的機制，才是取得顯著改善績效的第一優先條件(Dettmer , 1997)。

### 2.5.2 限制理論之應用與相關研究

Goldratt(1984)將限制理論之應用分為大三領域，自此以來，無論國內外，均有眾多學者投入研究，並且將其理論應用於各領域之產業

中，在解決組織系統存在的障礙問題均有貢獻。本研究整理出，近年來於國內外各領域，關於問題解決思考模式之研究，於表2.2所示：

表 2.2 應用限制理論解決組織系統限制問題之相關研究

學者	名稱	貢獻
McMullen, Jr. Thomas B.(1998)	Theory of Constraints (TOC) Management System	描述限制理論在應用領域上可橫跨產業及應用範疇
Smith, Debra.(2000)	The Measurement Nightmare	以實務上應用，提出策略政策或方案發生衝突時，限制理論對不同類型問題之處理方法的應用。
Davies et al. (2005)	The theory of constraints a methodology apart-a comparison with selected OR/MS methodologies	應用限制理論中的現況樹，分析了不適當的區域性政策對全球企業的影響。
Yen(2005)	Using theory of constraints in E-Learning for overcoming internal. external. cultural, and international constraints	利用限制理論的五個工具：現況樹、衝突圖、未來樹、轉移樹、條件樹，來解決目前線上學習機制所面臨的難題。
Moss(2007)	Improving service quality with the theory of constraints	將限制理論思考步驟應用於服務的客戶服務品質的改善上。
李芝儀(2006)	應用限制理論研究供應鏈作業系統一以彩色濾光片之材料供應為例	運用限制理論找出根本問題，並以案例公司的主要材料庫存管理，以其實際庫存週轉率的資料，來驗證。

表 2.2 應用限制理論解決組織系統限制問題之相關研究(續)

學者	名稱	貢獻
黃耀寬(2009)	運用限制理論之思考流程探討數位學習資源整合-以公部門數位學習網站為例	利用限制理論思考流程找出影響公部門數位學習資源整合的限制及達成整合的策略
黃運金(2010)	以實務驗證 TOC 營運管理解決方案之可行性及有效性	透過案例導入限制理論改善過程，驗證解決方案執行細節-工具樹圖之可行性及有效性。

### 2.5.3 限制理論之戰略流程及戰術樹圖

Goldratt 於2006年” Reliable rapid response strategy and tactics tree.” Goldratt Group 提出TOC 的戰略及戰術樹圖( Strategy and Tatic Tree, S&T Tree)，在五種戰術樹圖的應用上，針對各種方案的問題提供了具體執行步驟及說明，作為改善實施的指導方針及藍圖。針對戰略戰術樹圖的範圍上的邏輯說明、操作步驟及可能需注意事項也提出非常詳細的說明，使得TOC在理論上能成為一個穩健可行的具體實施程序(Goldratt，2006)。

Goldratt指出，企業或組織必須針對問題的根本原因來制定解決對策，強調以「常識管理」來解決問題，他提出的下列五個邏輯戰術樹圖思考法及邏輯說明如下：

1. 現況樹 (Current Reality Tree, CRT) 圖思考法：檢視因果關係，推論導致問題發生之原因，進而找尋關鍵問題。
2. 衝突圖 (Conflict Resolution Diagram, CRD) 思考法：衝突圖又稱撥雲見日圖，是為了瞭解、檢視對策的目的，以及對策之間有無衝突存在，進而整合對策並化解衝突。
3. 未來樹 (Future Reality Tree, FRT) 圖思考法：預期構想可以達到的成效，並檢視有無分支的存在，以修正對策。
4. 條件樹 (Prerequisite Tree, PRT) 圖思考法：指出實踐新方案的過

程中，可能遭遇的障礙與必要之中間目標。

5. 轉換樹 (Transition Tree, TrT) 圖思考法：轉化系統設計所必需的要素，摒除實行的困難或障礙，並擬定行動方案與執行準則。

本研究利用限制理論邏輯思考程序來解決軟性顯示器Roll to Roll關鍵製程中找出影響良率品質要素的問題，故將焦點集中於限制理論運用Goldratt的五個邏輯戰術樹圖思考模式及程序，解決軟性顯示器預量產在Roll to Roll關鍵製程上的影響良率問題。

目前國內外學者將限制理論解決問題模式運用在無論是服務業、教育系統、系統開發等各方面上，故本研究亦期望能運用限制理論的問題解決模式增加延伸至科技技術開發解決製程問題的研究範圍領域，並且結合層級分析法，使用層級分析法量化製程中的關鍵品質要素，確認製造過程中的核心問題。

#### 2.5.4 限制理論結合戰術樹圖流程與執行步驟

限制理論針對實體性限制(Physical Constrains)與政策性限制(Policy Constraints)所引發的問題，發展出不同的解決問題流程，Goldratt 認為製造資源、市場、供應商等限制問題，為一般在生產製造過程常遭遇的問題，而其主要的瓶頸限制因素便是造成整個生產系統績效降低的原因。除了實體性限制會影響企業獲取利潤最大的目的外，在許多企業與組織中，政策因素也是重要的影響因素及阻礙。限制理論中，在政策性限制問題上強調一個組織系統應該運用科學邏輯驗證的技術，來達成解決問題的模式與共識，以尋求組織系統內的整理最佳化，Goldratt 針對政策限制問題提出的三個解決問題程序，稱為問題解決思維程序(Goldratt, 1996)，其目的及工具樹分別如下：

第一階段：要改變什麼?(What to change?)

- 1.目的：找出隱藏困擾現象背後的根源問題。
- 2.工具：現況樹 (Current Reality Tree, CRT)。

第二階段：要改變成什麼?(What to change to?)

- 1.目的：針對核心問題激發出策略構想，並評估實施策略構想的可

行性，能否達到預期的理想目標。

2.工具：衝突圖 (Conflict Resolution Diagram, CRD)、未來樹 (Future Reality Tree, FRT)。

第三階段：要如何改變?(How to cause the change?)

1.目的：規劃導入策略構想的執行準則，以及可能會遇到的障礙，並找出障礙的解決之道。

2.工具：條件樹 (Prerequisite Tree, PRT)、轉移樹 (Transition Tree, TrT)。

限制理論思考邏輯圖:由現況樹找出核心問題，再依據問題類型選擇下一步樹圖，直到解決問題為止；當現有問題解決之後，有可能出現新的限制，必須回到現況圖，再一次執行分析，以達到持續改善目的。其對應關係如表2.3所示：

表 2.3 限制理論思維程序三步驟與五大戰術樹圖對應表

改變階段	適用工具樹(圖)
要改變什麼?(What to change?)	現況樹(Current Reality Tree)
要改變成什麼?(What to change to?)	衝突圖(Conflict Resolution Diagram)
	未來樹(Future Reality Tree)
要如何改變?(How to cause the change?)	條件樹(Prerequisite Tree)
	轉移樹(Transition Tree)

在限制理論的問題解決思維程序中，便是藉由找出其自合適的工具樹與應用，才能有效的找出各階段預解決的問題及目的。在限制理論問題模式中，所應用的工具樹從現況樹到轉移樹的過程，是一套完整的邏輯思考流程，而其彼此間的相互關係，便會在問題解決的過程中，問題解決者需要徹底的逐一釐清與掌握，才能真正有效的解決問題。首先，我們將先針對各個樹圖的意義與用途詳加說明，最後再進

一步的連結說明各樹圖間的相互關係，以全面的了解整個樹圖架構及邏輯思維。

### 1. 現況樹 (Current Reality Tree, CRT)

現況樹是一個了解問題及確認問題的工具，是以一種「因-果-因」的邏輯思維架構方法來思考並描述目標在現實中存在的真實狀態，並且能反映出系統中存在各問題之間的因果關係(Dettmer, 1997)，其目的便是為了找出企業與組織系統中所隱藏的核心問題(Core Problem)，並從實際狀況中的諸多問題中找出關鍵問題(Key Problem, KP)，做為思考對策流程的基礎(Dettmer, 1997)。

現況樹目前普遍被認為的缺點是針對重要步驟仍以質性方法為基礎，缺乏關鍵問題的鑑別機制、缺乏量化分析方法、無緊急處理措施之機制作改善。本研究利用結合層級分析法的方式，解決現況樹評選核心問題缺乏量化分析機制的問題。其結構如圖2.7所示：

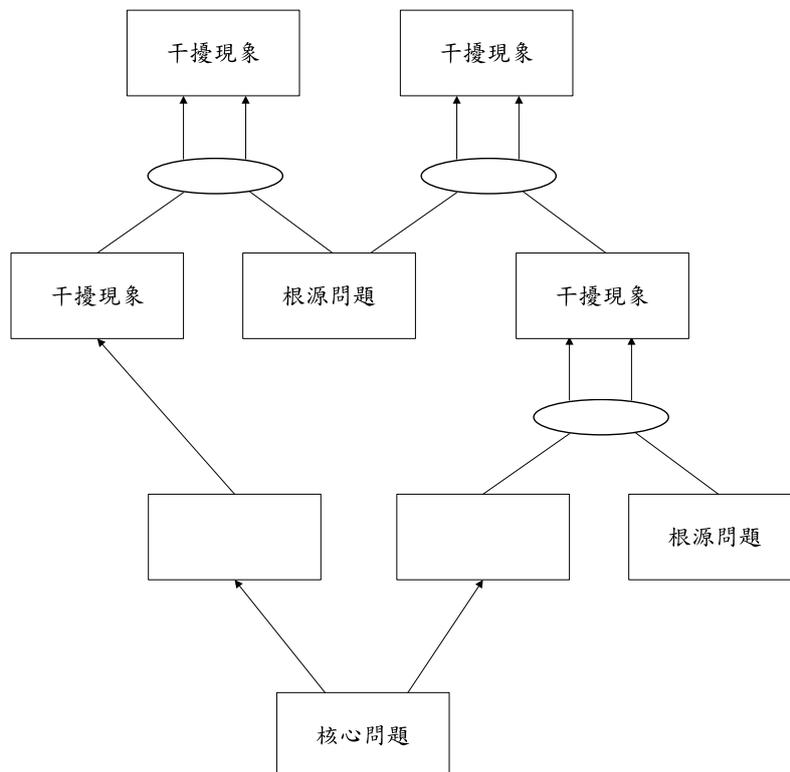


圖 2.7 現況樹

(資料來源: Dettmer, 1997)

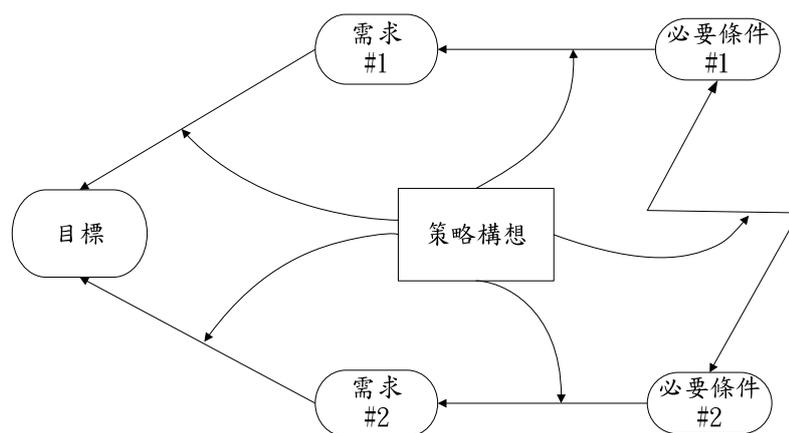
## 2. 衝突圖 (Conflict Resolution Diagram, CRD)

衝突圖是一種描述真實問題及思考與現實狀態存在衝突問題的工具。衝突圖的目的是找出並確認在現實狀態系統中衝突問題的存在，進一步確認造成衝突發生所隱藏的基本假設，再透過找出的基本假設去激發有別於傳統的突破性創意思想。在找到系統的核心問題後，衝突圖用於分析核心問題所造成的矛盾提出雙贏的解決方案。其結構如圖2.8，一般而言衝突圖包含五個組成要素，其五個組成要素分別為：

1. 系統的共同目標(Objective)。
2. 為了達到目標的需求(Requirements)。
3. 滿足其需求的必要條件(Prerequisites);必要條件之間可能存在衝突。
4. 基本假設(Underlying Assumptions)。
5. 策略構想(Injectors)。

而在衝突圖中所建構的語法為：

- I. 為了達成系統中的「共同目標」，先必須有「需求」。
- II. 為了滿足「需求」，先必須有「必要條件」。



## 圖 2.8 衝突圖

(資料來源: Dettmer, 1997)

圖中箭頭代表的涵義為必要條件 (Necessary Condition)，箭頭起始方為終點方的必要條件，閃電的圖形則代表衝突產生。

### 3. 未來樹 (Future Reality Tree, FRT)

未來樹是用來分析評估先前找出突破性創意思想是否能達成預期的理想目標，以及找出在目標達成的過程中所會出現的風險的戰術樹圖。它是用來幫助企業或組織中類似於模擬的方式評估當我們找出解決方案以後需投入的資源，可能對企業或組織造成的影響，以預測掌握未來可能發生的情況。除此之外，未來樹更是提供一個有利的依據，去說服解決問題的相關人員相信及充分了解解決方案的可行性 (Dettmer, 1997)。有利現象又分為兩類，一類是尚未發生的現象，另一類則為已經發生存在的現象。其結構如圖2.9所示，一般而言未來樹包含兩個組成要素，分別為：

- (1) 策略構想。
- (2) 預期效應。

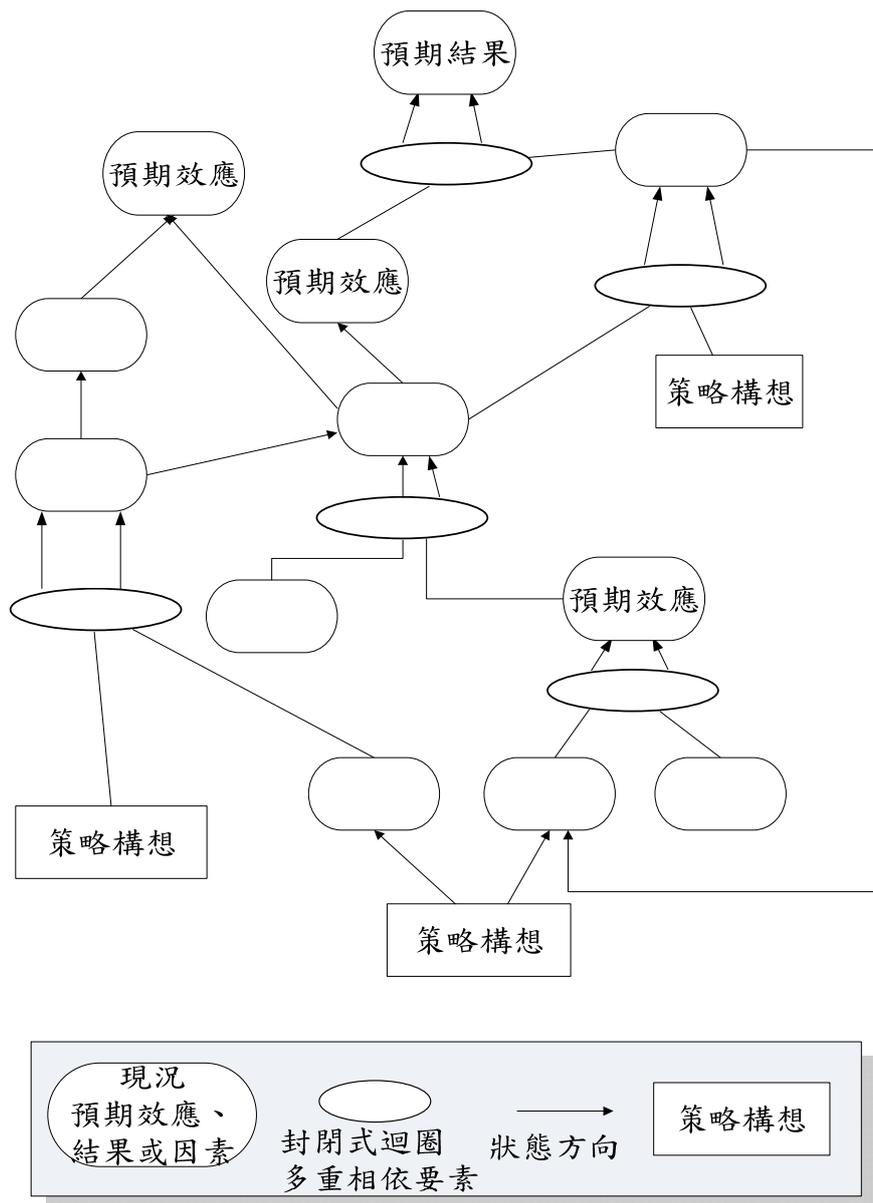


圖 2.9 未來樹

(資料來源: Dettmer, 1997)

#### 4. 條件樹 (Prerequisite Tree, PRT)

條件樹是一種找出在達成目標的過程中會遇到障礙及提出解決對策的工具樹。他可以讓問題解決者在研擬解決方案的過程中，清楚全面的了解看見可能會出現的困難和障礙，並且能透過預先的規劃，了解在達成目標的過程中，需要經過的流程以及各個流程的時間順序 (Dettmer, 1997)。條件樹包含了三個組成要素，其三要素分別為：

- (1) 整理目標。

(2)障礙。

(3)中程目標

中程目標的目的就是要先找出在目標達成的過程中可能會出現的障礙，而目標與中程目標可以是行動準則或狀態。當理想目標為行動準則的時候，大部分的中程目標也會是行動準則，而理想目標為一狀態時，則中程目標就是有利的狀態(Dettmer, 1997)。條件樹的建構與法分為兩種，一種是由下往上，另一種則是有上往下。其結構如圖 2.10所示：

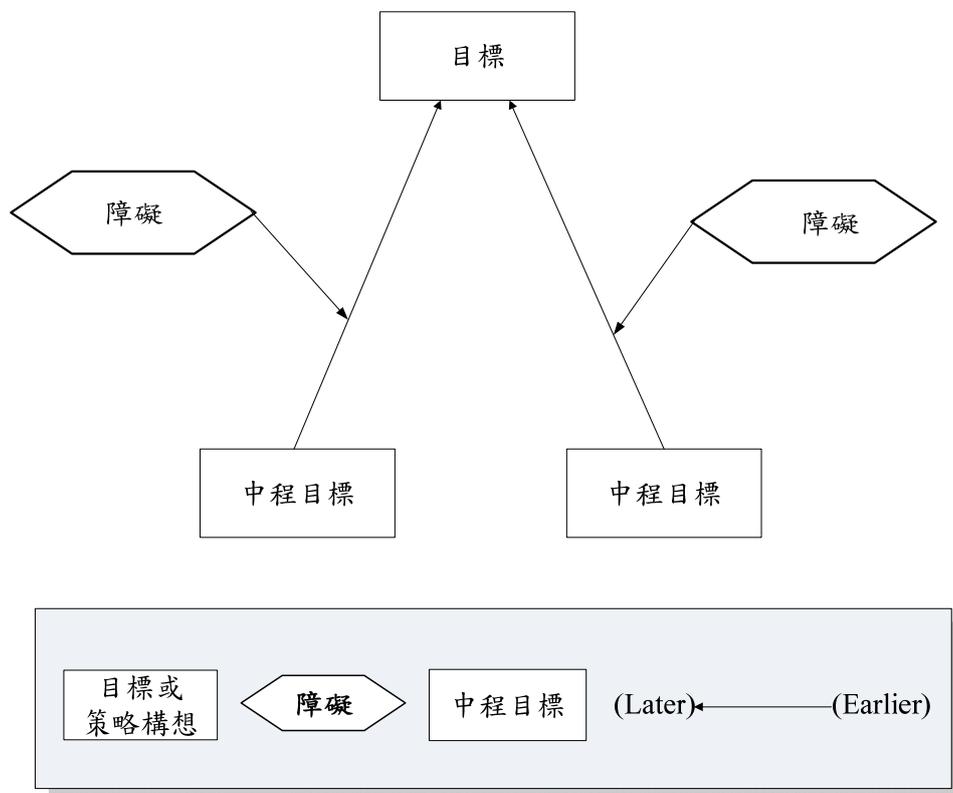


圖 2.10 條件樹

(資料來源: Dettmer, 1997)

## 5. 轉移樹 (Transition Tree, TrT)

轉移樹是一種解決問題方案執行的工具，提供一個將方案步驟化的方法，以一種循序漸進的方法達成目標。協助企業與組織完成一個計劃或達成目標，並且清楚的知道過程中執行的時間順序，及預測會

產生的預期結果(Dettmer, 1997)。條件樹包含四個組成要素，分別為：

- (1)現實狀況
- (2)未實現需求
- (3)期望結果
- (4)行動準則

從現況樹到轉移樹的過程，是一套完整的問題解決邏輯思維程序。從現況樹開始，透過因果關係，釐清整個問題的現況，並且找出隱藏在障礙中困擾現象背後的核心問題，從中選定現況中需要處理解決的關鍵問題，接著透過衝突圖把關鍵問題轉換為共同目標，激發出解決關鍵問題的策略構想，利用未來樹來評估此構想是否能真正有效的解決現況問題，達成企業或組織的理想目標，以及是否會延伸出其他的問題；在確認完策略構想確實能達到理想目標後，繼而利用條件樹找出執行創意的過程中可能會出現的障礙以及可以解決克服障礙的中程目標，並依策略構想的執行準則以及理想結果構製成圖。從這五棵樹之間的相互關係，可看出五顆樹之間彼此有可能連結的關聯性。其結構如圖2.11:

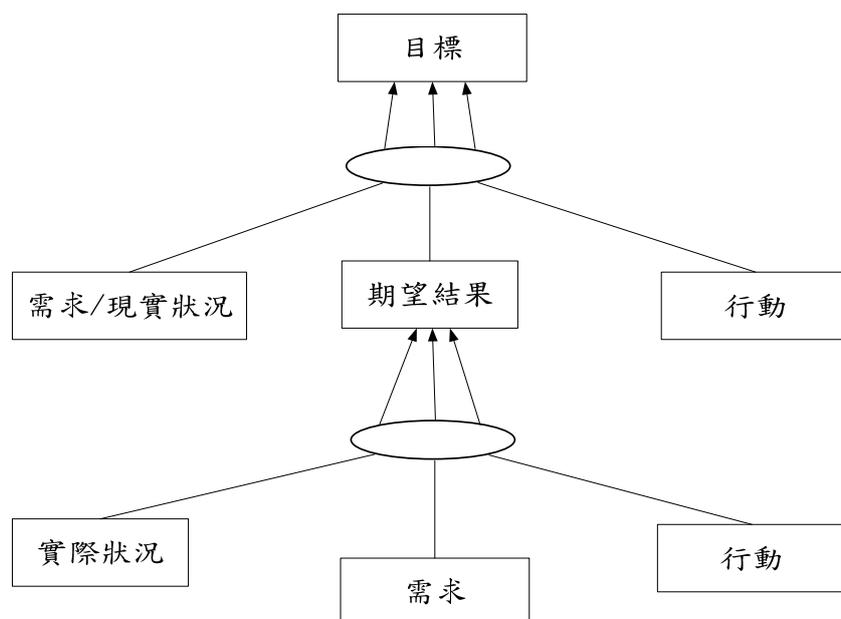


圖 2.11 轉移樹

(資料來源:Dettmer, 1997)

圖2.12為五個工具樹圖之間的相互關係，由下圖可了解五個樹圖之間彼此的關聯性。

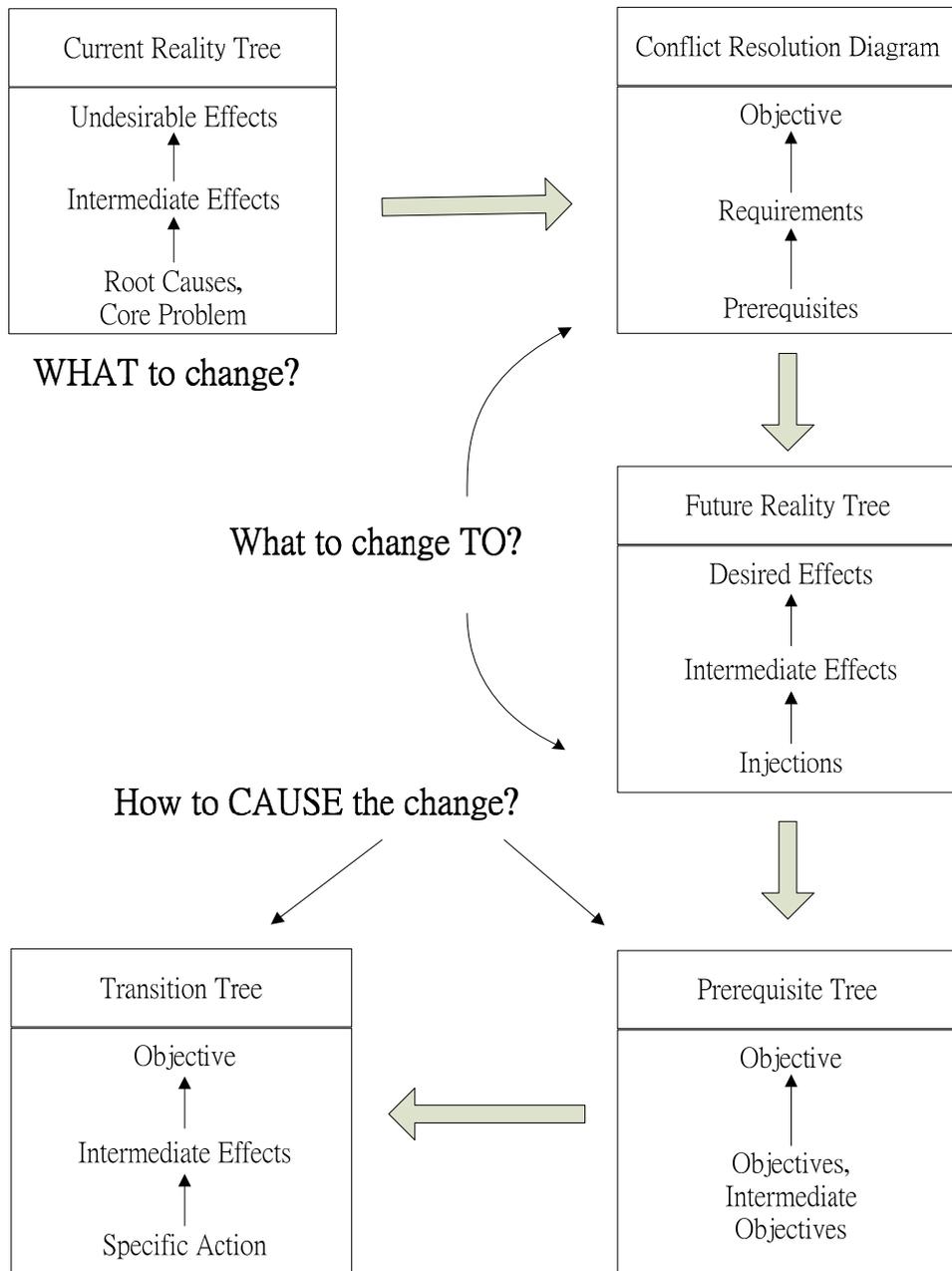


圖 2.12 五個戰術樹圖關係圖

(資料來源：Dettmer, 1997)

## 2.6 層級分析法

層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是美國匹茲堡大學教授Saaty於1971年所創，經過不斷的運用與修正，整個理論於1978

年趨於完備，並於1980年將理論整理成專書出版，後受到許多學者運用於各領域的研究。AHP為綜合應用演繹法與歸納法之方法。演繹法(deductive)亦稱推論法，是利用邏輯的步驟，先定義法則與假設，然後證明定理，最後導出理論學說；歸納法(inductive)又稱系統方法(system approach)(徐燕娟，2007)，層級分析法是系統分析與決策中一種有效的綜合評價方法，理論簡單且易於使用(Saaty, 1980)，是一種以整體全盤的觀點，由上到下的方式(top-down approach)來分析系統，不太注重系統細節的部份。

AHP之所以受到廣泛運用，因理論簡單又具實用性；AHP有系統的分析問題並將各個考慮層面與因素給予層級化的架構，此層級架構有助於決策者對事物的整體瞭解，在工作進行時也易於掌握與達成；Saaty & Vargas (1991)指出AHP可應用的範圍包括：決定優先順序、產生替代方案、選擇最佳方案、決定需求、決定成本效益、資源分配、預測結果或風險評估、衡量績效、系統設計、確保系統穩定、最佳化、規劃、衝突解決等13類決策問題(Saaty & Vargas, 1991)。

### 2.6.1 層級分析法的優點

Ramanathan (2001)指出層級分析法具彈性，可結合量化及質化的要素，並處理群體決策的問題，以結合不同專家的觀點(Ramanathan, 2001)。Tseng & Lin (2005)指出人為的思考過程是有限制的，因此可運用層級分析法解決思維中複雜的問題，再簡化此複雜問題，此方法是透過將複雜的問題逐項分為階層結構，再將每一階層的問題量化，做為決策者資訊來源及分析問題的根據，藉此選擇解決複雜問題的最佳方案(Tseng and Lin, 2005)。Yusuff et al. (2001)則認為層級分析法的優點在於其有能力處理複雜、多屬性、多時期問題的階層，且每一階層關係均以上一層級的準則做為基準，建立其要素間的成對比較，而成對比較的尺度則是使用評比尺度(Scale)，比較兩成對要素間的強度，可經由尺度的轉換過程做為方案的優先順序權重(Yusuff et al., 2001)。

Al-Tabtabai & Thomas (2004)認為層級分析法可用來處理衝突管

理，描述衝突管理的量度及質化思考，且在實際衝突狀況中，藉由層級分析法於利益/損失之量化下，來分析及解決衝突(Al-Tabtabai & Thomas, 2004)。

### **2.6.2層級分析法之應用程序**

使用AHP 法進行決策問題時，主要包括三大階段，八個步驟，其流程圖如圖2.13所示：

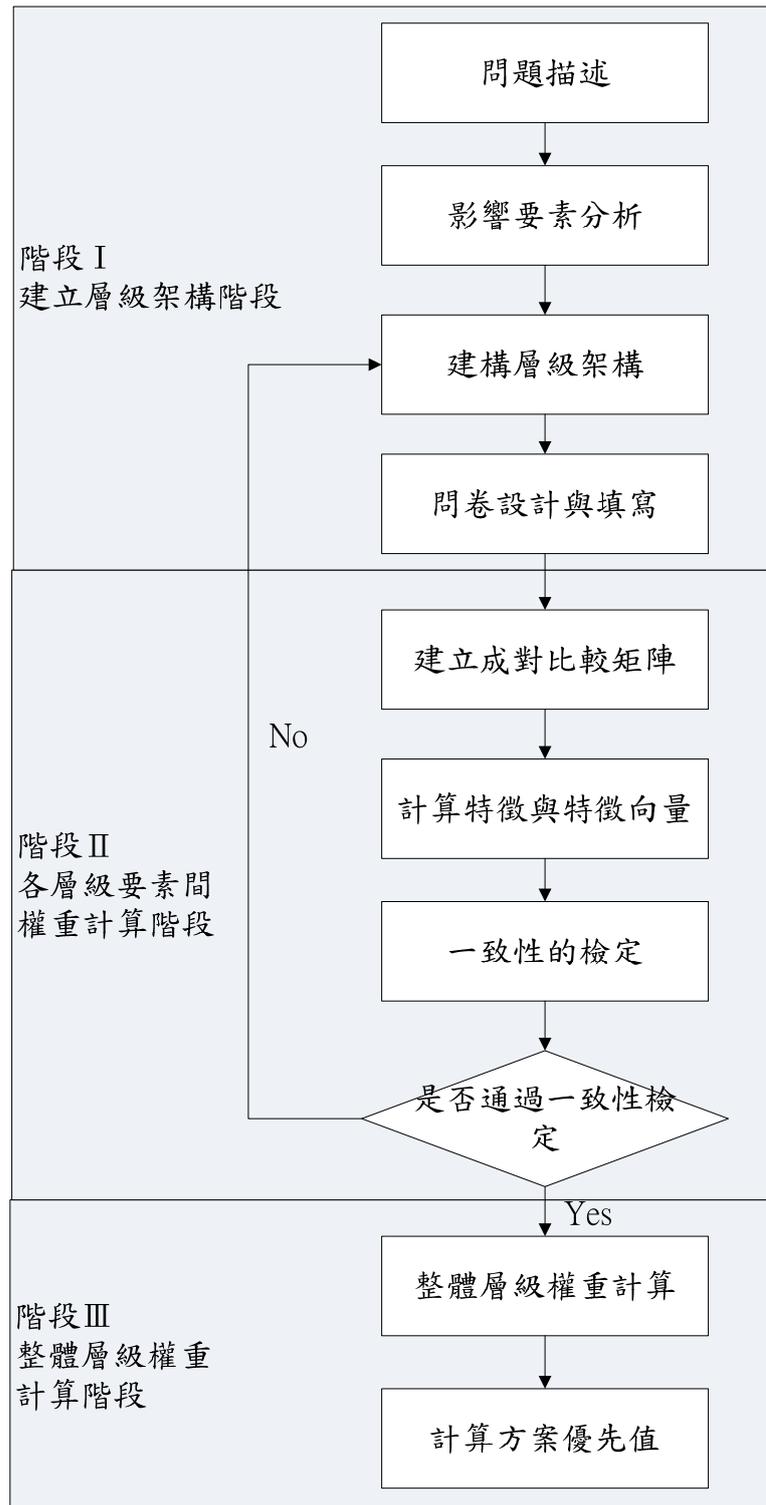


圖 2.13 AHP 法決策問題流程圖

AHP 的操作流程之說明如下：

1. 建立層級架構階段：決策者利用層級結構加以分解，將問題由最上層的決策目標分解成決策準則、決策子準則及最下層的可行方

案，形成層級架構。此階段主要包含四個步驟。

- (1) 問題描述：蒐集相關資訊後，藉由問題的提出、分析界定，進而確認最終的目標，並著手因素的定義與分類。
- (2) 影響要素分析：將文獻做探討再配合學者及決策者的意見，對所面臨的問題評估要素，進行德菲法與腦力激盪以整理出會影響問題決策的評估準則。
- (3) 建構層級架構：整個層級是由目標、準則、次準則及方案所構成。同一層級的各個集合必須互斥，集合內的要素要互相獨立，而上下層級會形成隸屬的層級關係。建立層級架構的原則根據鄧振源與曾國雄(1989)，建立層級時應注意第一層為決策問題的目標或評比之目的、重要性相近的要素應置於同一層級、同一層級內之要素個數不宜過多且應力求獨立，且最底層為決策問題的行動方案或評比對象。
- (4) 問卷設計與填寫：在某一個層級之要素，以上一層級某一個要素為評估準則下，進行要素間的成對比較。依據AHP 採用比率尺度做為衡量成對比較矩陣的衡量尺度，對每一個成對比較問題設計問卷。問卷中評估不同要素之相對重要水準劃分為五級，以表2.4示之。

表 2.4 AHP 的評估尺度定義與說明

評估尺度	定義	說明
1	同等重要(Equal Importance)	兩比較方案的貢獻程度具同等重要性，等強(Equal)
3	稍重要(Weak Importance)	經驗與判斷稍微傾向喜好某一方案，稍強(Moderately)
5	頗重要(Weak Importance)	經驗與判斷強烈傾向喜好某一方案，頗強(Strongly)
7	極重要(Very Strong Importance)	實際顯示非常強烈傾向喜好某一方案，極強(Very Strong)
9	絕對重要(Absolute Importance)	有足夠證據肯定絕對喜好某一方案，絕強(Extremely)
2,4,6,8	相鄰尺度之中間值(Intermediate Value)	需要折衷值時

(資料來源：鄧振源與曾國雄，1989)

## 2. 各層級要素間權重計算階段

在計算各層級要素間相對權重時，首先建立成對比較矩陣以計算其權重。計算成對比較矩陣後，使用特徵值(eigenvalue)解法，找出特徵向量(eigenvector)。最後再進行一致性檢定，以確定其判斷結果是否可信。以下為本階段的三大步驟做逐一說明。

- (5) 建立成對比較矩陣：某層級的要素，以上一層級某一要素為評估基準下，進行要素間的成對比較。若有n 個要素時，則需進行 $n(n-1)/2$  個成對比較。

Saaty (1980) 在一些合理之假設下，利用幾何平均數作為整合之函數。所以  $n$  個決策成員的判斷值  $X_1, X_2, \dots, X_n$ ，其平均值應為  $\sqrt[n]{X_1 X_2 \dots X_n}$  接著將  $n$  個要素比較結果的衡量值，即成對比矩陣  $A$ 。

$$A = \begin{bmatrix} 1 & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ 1/A_{12} & 1 & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/A_{1n} & 1/A_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

- (6) 計算特徵與特徵向量：關於特徵向量的解法，在實務中 Saaty (1991) 認為可利用列向量之元素相乘後，取其幾何平均數，再予以標準化後而得  $W_i$ 。

$$W_i = \frac{\left( \prod_{j=1}^n A_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left( \prod_{i=1}^n A_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n$$

而最大特徵值  $\lambda_{\max}$  的計算方法為把成對矩陣  $A$  乘以特徵向量  $W$  後，得到新向量  $W'$ 。

$$A \times W = W'$$

再將  $W'$  中的每一個向量值分別對應除以  $W$  的每一個向量值，最後取所有數值的算數平均數，就得到最大特徵值  $\lambda_{\max}$ 。

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \left( \frac{W'_1}{W_1} + \frac{W'_2}{W_2} + \dots + \frac{W'_n}{W_n} \right)$$

- (7) 一致性的檢定：理性決策者的偏好架構應該滿足遞移律，因此，理想上成對比較的結果應該滿足遞移律。然而，人為主觀判斷

所構成的成對比較矩陣不容易完全遵照遞移律，因此可以容許遞移性稍微降低，但須測試其偏好一致性的程度。AHP 利用 C.R. 值來衡量成對比較矩陣的一致性，主要是採用一致性指標 (Consistency Index, C.I.) 及一致性比率 (Consistency Ratio, C.R.) 為依歸。

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

其中，C.I.=0 表示前後判斷完全一致，C.I.>0.1 表示前後判斷有偏差，C.I.≤ 0.1 表示前後判斷不完全一致但可接受。

另外，評估尺度所產生的正倒置矩陣，在不同階數下，產生不同的 C.I 值，稱為隨機指標 (Random Index, R.I.)。其值隨矩陣階數之增加而增加。階數 n 及其相對應的隨機指標 R.I. 值，如表 2.5:

表 2.5 隨機指標表

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

(資料來源：Saaty，1977)

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

若 C.R. ≤ 0.1，則一致性程度視為滿意。

### 3. 整體層級權重計算階段

因為層級間重要性並非相同，所以需要檢驗整各層級架構是否符合一致性。唯有通過一致性檢定才可以接受估計值。最後再計算方案間的優先順序。本階段包含最後兩步驟。以下逐一說明。

- (8) 計算方案優先值：把各層級對應上一層不同準則的特徵向量合併成一優先矩陣。再讓每一層及優先矩陣相乘，求得綜合特徵向量。此即為最下層各方案對最高層級目標的優先值。

### 2.6.3 AHP 基本假設

鄧振源與曾國雄（1989）對AHP 提出以下之基本假設。

1. 一個系統可被分成許多種類（classes）或成分（component），並形成有向網路式的層級結構。
2. 在層級結構中，每一層級的要素均具獨立性（independence）。
3. 每一層級內的要素，可用上一層級內某些或所有要素作為評準，進行評估。
4. 在比較評估時，可將絕對數值尺度轉為比率尺度（ratio scale）。
5. 成對比較後，可以用正倒矩陣（positive reciprocal matrix）處理。
6. 好關係滿足遞移性（transitivity）。不僅優劣關係滿足遞移性（如：A 強於B，B 強於C，則A 強於C），同時強度關係亦滿足遞移性（如：A 強於B 三倍，B 強於C 二倍，則A 強於C 六倍）。
7. 完全具遞移性不容易，因此可容許不具遞移性的存在，但需測試其一致性（consistency）的程度。
8. 要素的優勢程度，可經由加權法則（weighting principle）求得。
9. 任何要素只要出現在階層中，不論其優勢程度如何小，均被認為與整個評估結構有關，非檢核階層結構的獨立性。

本研究將於第三章，以限制理論應用於改善軟性顯示器關鍵製程，並以此方法探討影響良率之關鍵問題，結合層級分析法，以找尋軟性顯示器Roll to Roll Laser Etching製程關鍵要素之核心問題，並尋求影響製程良率核心問題之可行解決方案。

## 第三章 研究方法

### 3.1 研究方法與流程

本研究以限制理論邏輯思維流程與五大戰術樹圖做為找尋製程問題之分析之工具，並結合層級分析法，以解決「軟性顯示器Roll to Roll Laser Etching製程中影響良率之核心問題」為主軸，故方法程序可分為以下四大階段，各階段內容如下：

階段 I：現況分析。以文獻探討與專家訪談法，建構軟性顯示器製造流程及關鍵製程- Roll to Roll Laser Etching 研發現況，以特性要因圖(魚骨圖)與現況樹做為分析描繪製程問題現況，找出製程中影響良率之困擾現象，作為分析影響品質良率要素之基礎，並探討現況中影響良率的各困擾現象之因果關係，將困擾現象予以分類。

階段 II：核心問題之評選。接續特性要因圖及現況樹結果，利用層級分析法步驟，將困擾現象之分類結果，以層級分析法建立本論文對象 Roll to Roll Laser Etching 關鍵製程影響良率問題的三階層關係，確認困擾現象之關鍵要素與關鍵問題，並依其層級進行專家問卷調查及數據分析，目標在於求得各關鍵要素與關鍵問題之權重值，進一步確認影響良率現象的核心問題，擬定製程中影響品質的重要指標，共有建立層級、問卷設計、專家問卷調查、問卷數據分析、核心問題之評選等步驟。

階段 III：研擬解決方案。依據核心問題之評選結果，運用限制理論其餘四大戰術樹圖-衝突圖、未來樹、條件樹、轉移樹，探討若以「解決 Roll to Roll Laser Etching 製程核心問題為目標」，研擬的可能解決方案及達成目標過程中，了解方案中可能發生的衝突或障礙，最後克服衝突與障礙，研擬可行之解決方案

其三大階段之流程圖如圖 3.1 所示：



圖 3.1 核心問題分析流程圖

## 3.2 運用專家訪談法探討製程困擾現象

### 3.2.1 關鍵要素評選流程

本研究於研究流程第一階段現況分析中，在關鍵要素的評選上，採專家訪談法，以訪談的方式進行，針對目前台灣工研院發展軟性顯示器量產的主流生產方式-連續式 Roll to Roll 捲對捲生產，了解軟性顯示器在製程中 Laser Etching 為現況中影響製程品質之關鍵製程，並取得此製程中影響良率的眾多困擾現象之相關重要資訊，探討 Laser Etching 製造過程中的製程問題，進行關鍵要素及關鍵問題的資料蒐集及評選，主要運用常見於解決問題思考流程-特性要因圖之方法，以解決 Roll to Roll Laser Etching 製程中影響良率問題為目標，藉由「因」與「果」之關係，運用其架構，建構成造成 Roll to Roll 製程問題的原因與結果關係，將其「原因」作一個有系統的整理與分類。將相關原因歸納後，其主要要素即是大骨、次要要素即是中骨。

本研究以此流程分析在 Roll to Roll Laser Etching 製程問題之困擾現象，從因果關係圖中歸納列出五大主要製程問題 (大骨)，而次要要素多項製程問題即為圖中的中骨所示，其因果關係如圖 3.2 所示：

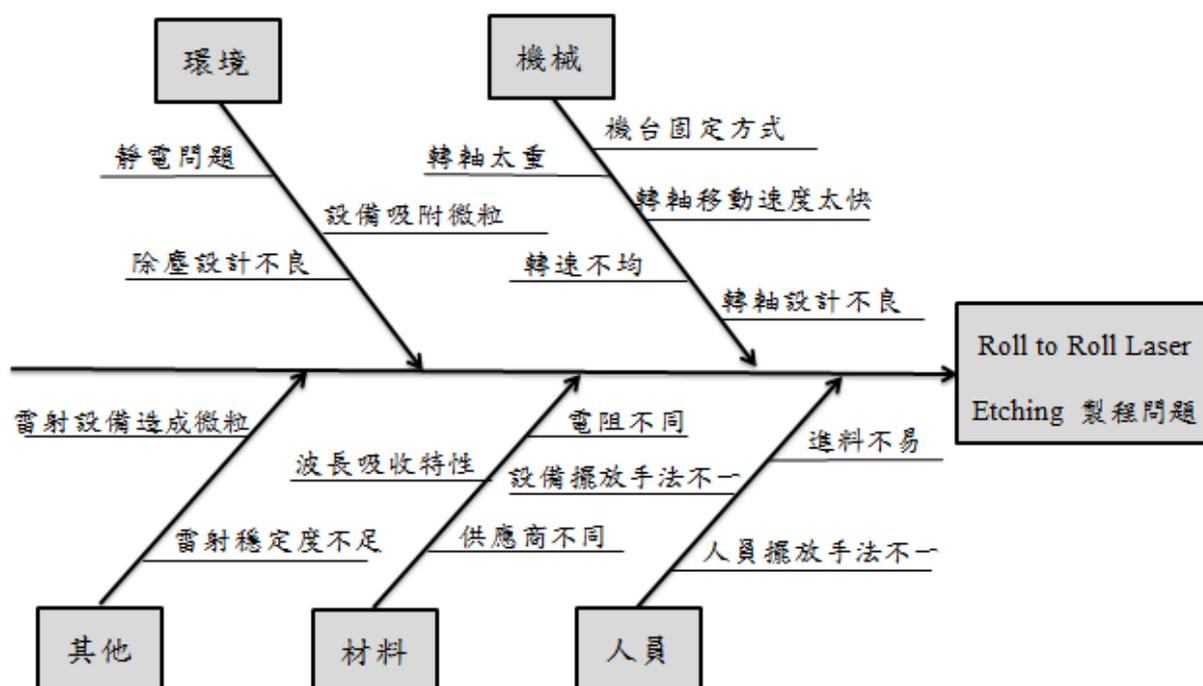


圖 3.2 Roll to Roll Laser Etching 製程問題之魚骨分析圖

### 3.3 運用限制理論-現況樹評選製程問題之關鍵要素/問題

本研究依據限制理論解決問題之邏輯思維，並依據第二章文獻探討中所描述之限制理論五大工具樹流程，接續特性要因圖中困擾現象之五大製程要素及其因果關係，從現況樹出發，釐清並描述Roll to Roll Laser Etching製程中的問題現況，以找出隱藏在製程問題中可能影響良率困擾現象的關鍵要素與關鍵問題，從現況中釐清需要處理解決的製程不良現象。

現況樹的主要功能在於探索出複雜問題背後所隱藏之問題的根源，並用以呈現Roll to Roll製程問題中的因果關係，以確認製程中困擾現象的全貌，其分析流程步驟如下：

1. 依據特性要因圖將上階段歸納之困擾現象，分析歸納為五大製程主要素及17項次要素，再將主要素及次要素重新思考分類找出與製程相關之「關鍵要素/問題」及其問題的全貌，作為現況樹因果關係之架構基礎。
2. 將所有要素之因果關係重新歸結成現況樹結構，逐步成為現況樹因果關係與結構，以「改善Roll to Roll Laser Etching製程問題」為目標的第一層結構，第二層則為六項製程問題造成的現象，第三層為16項關鍵問題，最後底層則依關鍵問題之結果屬性，歸納作為製程問題之五大關鍵要素，其分別為：人員訓練、機台/參數控制、環境設計、材料特性及變動與其他，並連結其次要素之因果關係、第二層16項製程中的關鍵問題、第三層最後連結至改善解決Roll to Roll Laser Etching製程問題之最終目標。

現況樹如圖3.3所示：

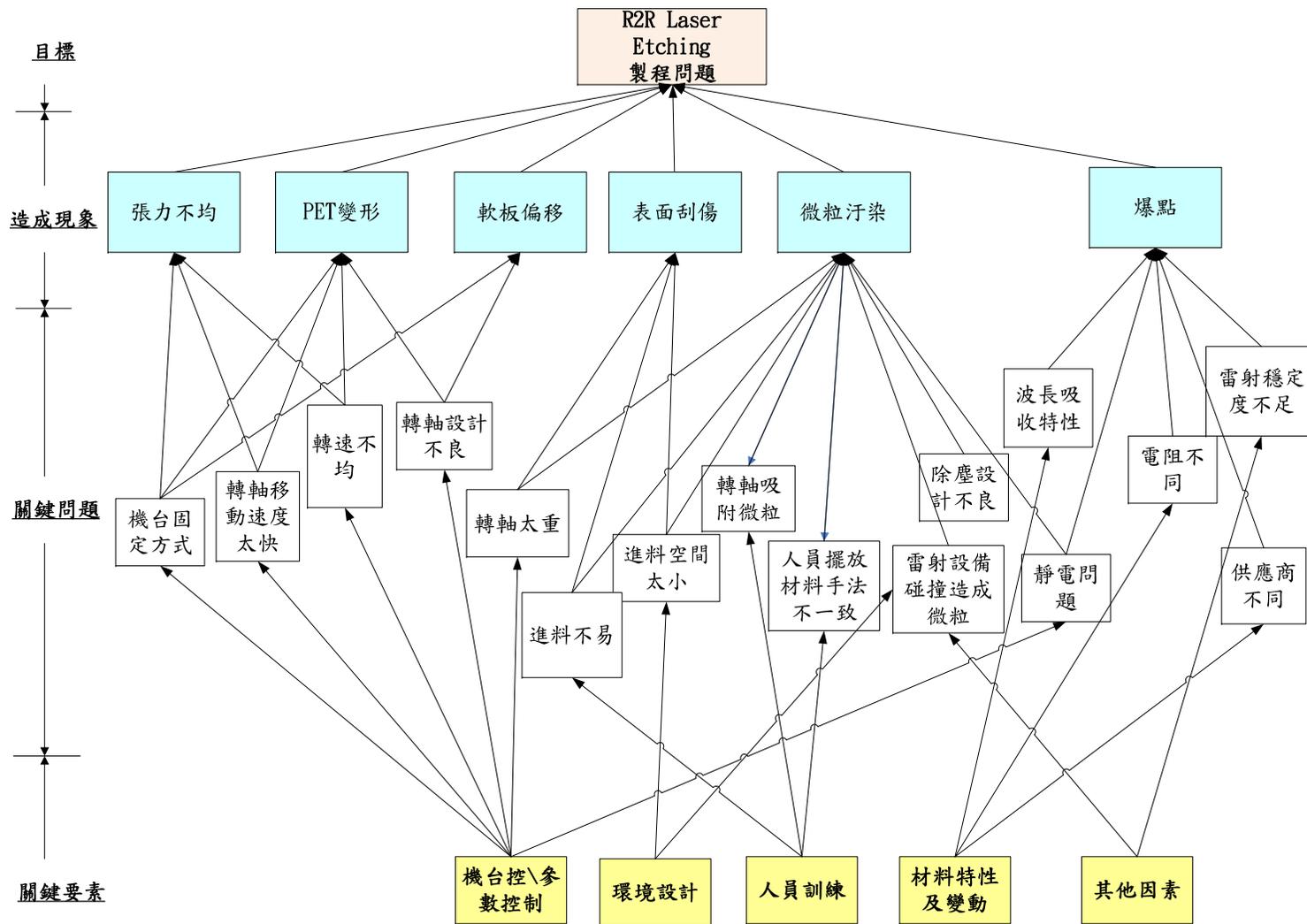


圖 3.3 Roll to Roll Laser Etching 困擾現象之現況樹

本研究利用現況樹所找出的五大主要要素與16項次要要素，其中16項次要要素的製程問題參考專家意見依其屬性分類如下：

1. 機台/參數控制：
  - (1) 轉軸設計不良
  - (2) 轉速不均
  - (3) 機台固定方式
  - (4) 轉軸太重
  - (5) 靜電問題
  - (6) 轉軸移動速度太快
2. 環境設計
  - (1) 進料空間太小
  - (2) 除塵設計不良
3. 人員訓練
  - (1) 人員擺放材料手法不一致
  - (2) 進料不易
  - (3) 轉軸吸附微粒
4. 材料特性及變動
  - (1) 波長吸收特性
  - (2) 電阻不同
  - (3) 供應商不同
- 5.其他
  - (1) 雷射穩定度不足
  - (2) 雷射設備碰撞造成微粒

### **3.2.2 問題要素說明**

本研究依據現況樹解決問題之邏輯思維流程，將影響良率的五大主要要素視為影響良率之關鍵要素，以因果關係的思維而言，依專家訪

談結果整理關鍵要素造成可能產生問題之結果，而 16 項問題則視為製程中的要素問題，也是在現況中待解決的關鍵問題，而本研究將在下階段結合層級分析法，進行關鍵要素及關鍵問題之分析並以此結果作為層級分析法之問卷基礎，評選關鍵問題之重要程度，找出現況中應該馬上被解決的核心問題。五大關鍵要素與 16 項關鍵問題可能產生的影響說明如表 3.1 所示：

表 3.1 關鍵要素與關鍵問題說明

關鍵要素	關鍵問題	可能產生的影響
機台/參數控制	轉軸設計不良	轉軸設計不良會上下移動，容易造成軟板偏移。
	轉速不均	轉速不均產生張力不均問題。
	機台固定方式	因機構為單軸懸臂固定，容易因張力不均造成軟板偏移。
	轉軸太重	傳統式單軸懸臂固定式橫躺厚重鋼體，要加上軟板材料時容易沾到微粒與刮傷軟板。
	靜電問題	軟板為塑膠材質容易產生靜電發生爆點。
	轉軸移動速度太快	滾輪移動速度太快產生張力問題。
環境設計	進料空間太小	因為機構設計為捲對捲製程，在進、放料處的空間較小，因此容易沾到微粒與刮傷軟板。
	除塵設計不良	除塵設計通常只有單一排氣裝置來去除微粒，易造成微粒去除不乾淨。

表 3.1 關鍵要素與關鍵問題說明(續)

關鍵要素	關鍵問題	可能產生的影響
人員訓練	人員擺放材料手法不一致	擺放手法不一致，如手套更換、上料時膠帶黏貼、對準刻號線，與設備產生摩擦造成表刮傷。
	進料不易	因機構為捲對捲製程，進、放料端空間較小，因此容易沾到微粒與刮傷軟板。
	轉軸吸附微粒	在每次擺放材料更換人員後，如沒果有更換手套或用乾淨無塵布沾酒精擦拭轉軸，並且將轉軸吹乾，容易造成微粒沾附。
材料特性及變動	波長吸收特性	根據塑膠材料(PET)對波長吸收特性來分析，能量過大就會造成爆點之問題。
	電阻不同	電阻不同，所以在雷射蝕刻製程上，工程師需開發適合雷射蝕刻的參數。
	供應商不同	因材料供應商的不同，提供產品不一致因此造成材料特性不同。
其他	雷射穩定度不足	雷射能量若有異常產生不穩定的現象，將會影響雷射產生爆點。
	雷射設備碰撞造成微粒	因雷射加工平台結構，為陶瓷材質，容易因碰撞掉出微粒。

本研究現況樹分析結果最後以目標、六項造成現象、16 項關鍵問題、五大關鍵要素為四層結構，並將以上分析結果作為下階段層級分析法之基礎，其中第二層「造成現象」已是問題終端結果，因此本研究於層級分析法將不列入層級，於評選核心問題階段中，將扣除六項造成現象，建立一個解決 Roll to Roll Laser Etching 製程問題為最終目標、16 項關鍵問題，五大關鍵要素的三階結構，以層級分析法問卷的方法分析各關鍵要素與關鍵問題的重要程度，及架構如圖 3.4 所示：

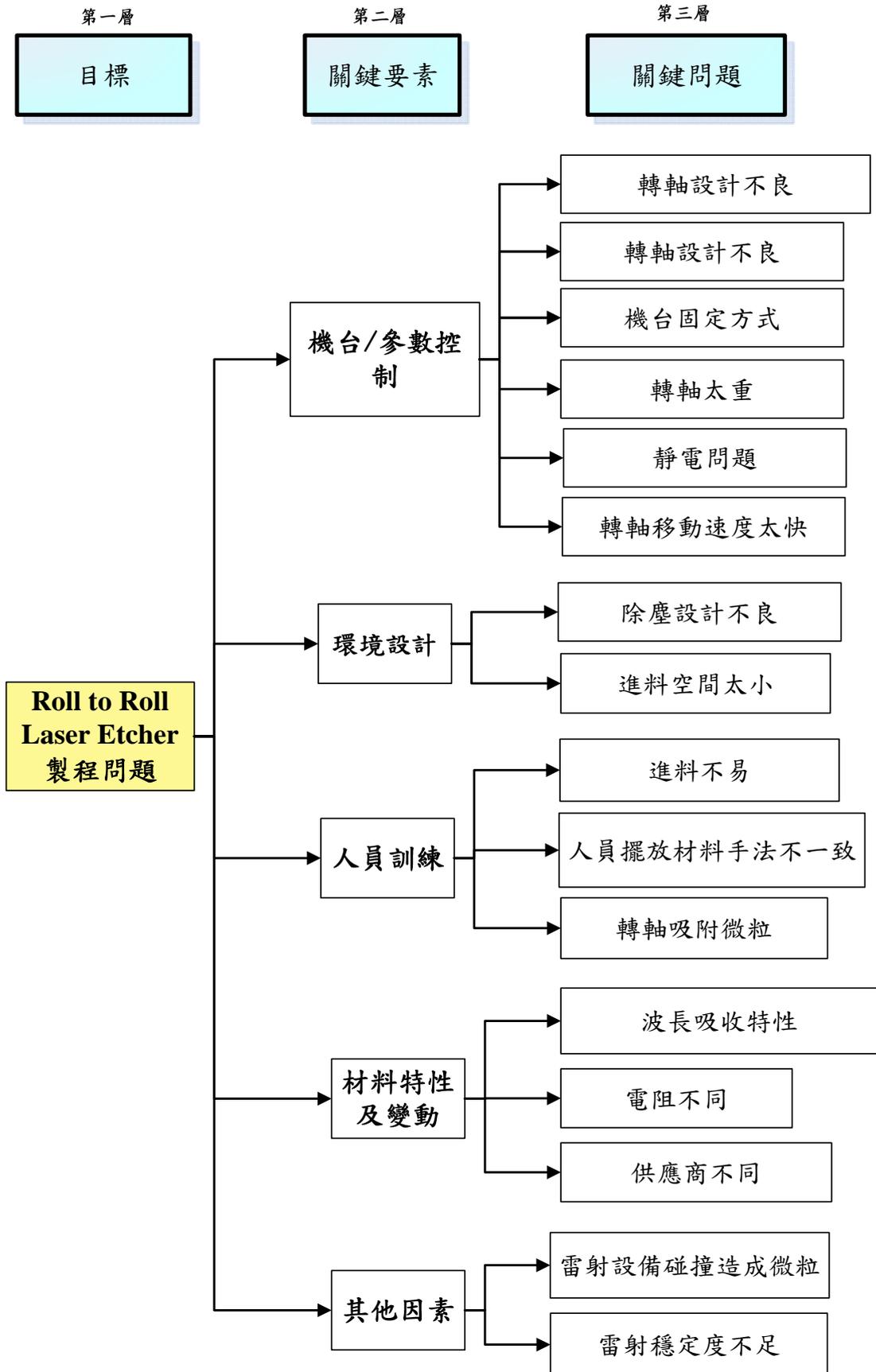


圖 3.4 關鍵要素與關鍵問題之層級分析圖

## 第四章 數據分析與解決方案

### 4.1 限制理論結合層級分析法

#### 4.1.1 限制理論結合層級分析法簡述

在研究流程核心問題之評選的第二階段中，接續上述，依據特性要因圖之因果關係及限制理論之現況樹分析結果，找出 Roll to Roll Laser Etching 製程中的關鍵要素與關鍵問題，分析歸納出三階問題結構，作為層級分析法的研究流程基礎，建立其層級結構圖後，本研究利用層級分析法之操作步驟，針對軟性顯示器相關產業中了解製程現象之專家做為問卷發放對象，做為評選層級間之關鍵要素與關鍵問題計算權重與排序依據，以找出問題的重要程度，以確認 Roll to Roll Laser Etching 製程中困擾現象之核心問題。

#### 4.1.2 層級分析法基本假設

本小節將針對層級分析法的含意及流程探討，本研究之基本假設，依據 Statty 學者於 1980 年提出之層級分析法基本假設架構，設定本研究之基本假設，其假設分別如下：

1. 本研究層級分析法探討範圍為分析軟性顯示器 Roll to Roll Laser Etching 製程中影響良率之關鍵要素與關鍵問題，其餘製程不允以探討。
2. 於軟性顯示器 Roll to Roll Laser Etching 製程中，將關鍵要素與關鍵問題視為一有系統的整體問題，將其分解五大類關鍵要素、16 項關鍵問題與一項解決 Roll to Roll Laser Etching 製程問題之目標，且這些問題可形成網路層級之三階層結構。
3. 階層結構中，每一階層的元素均假設其具有獨立性。
4. 每一階層內的元素，可用上一層內某些元素做為評估準則。
5. 進行元素之間的比較評估時，各層級分析元素進行成對比較後，階層分析法可將名目尺度 (nominal scale) 轉換成比例量尺 (ratio scale)。

6. 元素之間的成對比較 (pairwise comparison) 時，可使用正倒矩陣 (positive reciprocal) 加以進一步處理。
7. 元素之間的成對比較時，評估者的偏好關係滿足遞移性 (transitivity)，且優劣與強度關係也滿足遞移性。
8. 於實用狀態時，容許非遞移性的情形存在，但需測試其一致性 (consistency) 的程度。
9. 要素的優劣程度，經由加權法則 (weighting principle) 求得。
10. 任何要素只要出現在架構中，不論其優先程度如何，均被認為與整個評估架構有關。

#### 4.1.3 運用層級分析法評選核心問題

在此階段本研究目的在於利用層級分析法建立製程核心問題之評選機制，運用層級分析法的量化過程，以專家意見做為問卷基礎，客觀的評比製程關鍵要素/問題之權重與排序，並評選出關鍵要素/問題之核心問題，根據層級分析法之操作流程，作為本研究評選核心問題之流程，其步驟如下：

##### 1. 建立層級架構階段

延續上章，本研究根據現況樹分析結果所建立的 Roll to Roll Laser Etching 製程問題層級架構共分三層結構，第一層為改善「Roll to Roll Laser Etching 製程問題」做為最終目標，第二層則是製程關鍵五大要素，最後第三層為 16 項之關鍵問題。

建立層級架構後，進行專家問卷發放，旨在評選影響製程良率之關鍵要素/問題之順序與權重。專家回收之有效問卷共計十份，由於 AHP 屬主觀評估的定量分析方法，以決策者主觀偏好來決定考量要素的重要性，屬專家評比的訪談工具，因此本研究回收有效問卷十份可適於層級分析法之分析。

##### 2. 各層級要素間權重計算階段

- (1) 建立成對比較矩陣：本研究第二層以五大關鍵問題要素做成對比較，進行要素的問卷結構，共 5 個要素進行  $5(5-1)/2=10$  個

項目的成對比較。第三層 16 項關鍵問題五個成對比較項目數如上述計算方式類推。

- (2) 計算特徵與特徵向量：根據層級結構於專家問卷成對比較矩陣之評比尺度，利用「幾何平均」將專家問卷給予的權重先進行平均，再建立成對比較矩陣。
- (3) 一致性的檢定：運用判斷矩陣中成對要素的評比差異，產生矩陣內各要素的向量，做為後續計算矩陣中各要素的權重係數，並由層級分析法中的一致性檢定；一致性是指問卷中各層級要素間的關聯前後必須一致，表示專家於問卷調查中評比各要素能完全照上層的要素進行評估，並非自行定義其關聯性，本研究進行一致性檢定，依層級分析法計算一致性指標(C.I.)，檢查專家填寫問卷中的成對比較矩陣，是否能通過一致性檢定。

在問卷分析數據程序與確認問卷皆能通過一致性檢定後，本研究依據計算矩陣中要素間評比的結果，將五大關鍵要素找出各自的權重並予以排序，再分別將五大要素類別中的關鍵問題予以排序，評選分析出五大要素中關鍵問題的核心問題，則為後續運用限制理論探討核心問題解決方案之分析基礎。

在計算五大關鍵要素及16項關鍵問題間相對權重時，首先建立成對比較矩陣以計算其權重。計算第二層(關鍵要素)與第三層成對(關鍵問題)比較矩陣後，使用特徵值(eigenvalue)解法，找出特徵向量(eigenvector)。最後將本研究列出之六項比較矩陣進行一致性檢定，以確定其判斷結果是否可信。

1. 關鍵要素分析，階層之結構圖如圖4.1所示：

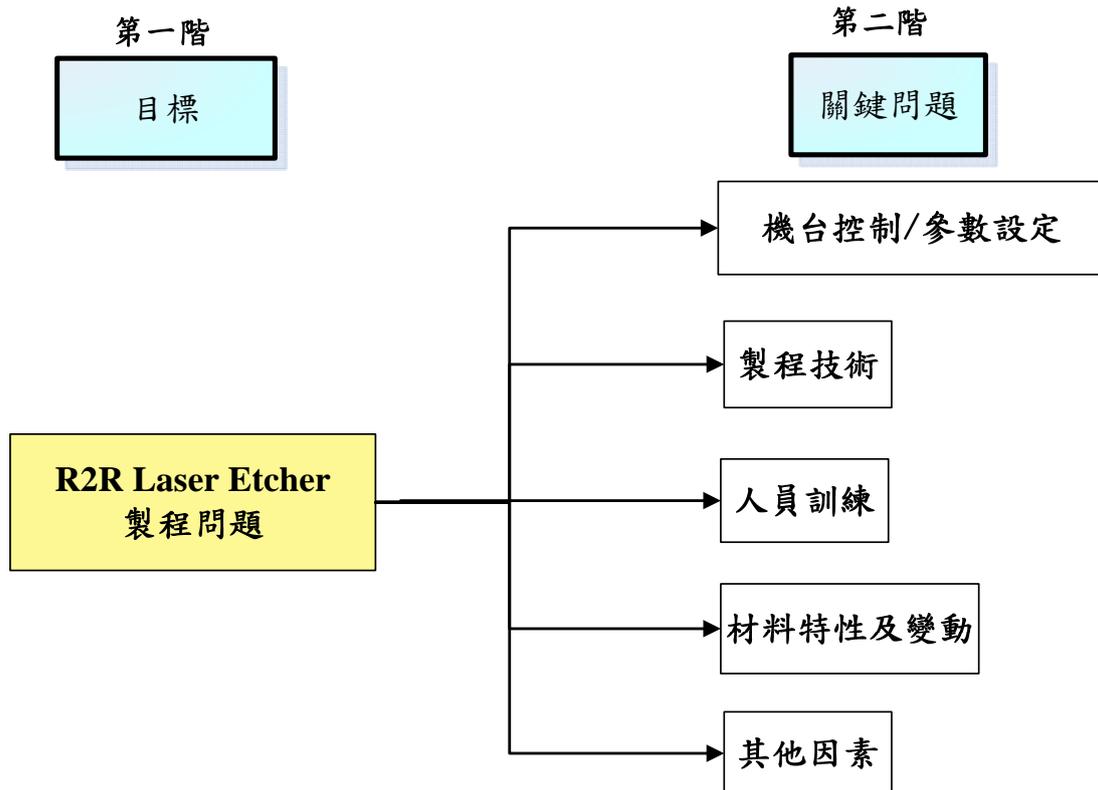


圖 4.1 第二階-關鍵問題階層圖

進行關鍵問題評比時，應衡量「機台/參數控制」、「環境設計」、「人員訓練」、「材料特性及變動」與「其他因素」五大關鍵問題重要性，透過專家填寫對這些影響準則之相對重要性，進行成對比較，共需填寫10個相對重要性  $(5(5-1)/2 = 10)$ ，各專家之一致性需小於0.1；通過一致性檢定後，將所有專家填寫之相對重要性比例，進行幾何平均，形成整體之對比矩陣，再加以求算權重即相對重要性和一致性比率。分析過程及結果如下：

$$w = \begin{bmatrix} \text{機台/參數控制} \\ \text{環境設計} \\ \text{人員訓練} \\ \text{材料特性及變動} \\ \text{其他因素} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.203 \\ 0.415 \\ 0.154 \\ 0.173 \\ 0.056 \end{bmatrix}$$

由分析結果顯示，第二階關鍵問題專家問卷中，「環境設計」被認為是影響 Roll to Roll Laser Etching 製程良率最重要的要素，權重  $W=0.415$ ；其次為「機台/參數控制」，權重  $W=0.203$ ，其餘依次為材料特性及變動、人員訓練與其他因素，權重分別為 0.173、0.154、0.056。其成對比較矩陣如表 4.1：

表 4.1 第二階-關鍵問題成對比較矩陣與數據分析

	機台/參數 控制	環境設 計	人員訓 練	材料特性 及變動	其他因 素	Wi(權 重)	排序
機台/參數 控制	1.000	0.378	1.424	1.570	3.411	0.203	2
環境設計	2.646	1.000	2.203	2.877	6.169	0.415	1
人員訓練	0.702	0.454	1.000	0.629	3.608	0.154	4
材料特性 及變動	0.637	0.348	1.591	1.000	3.762	0.173	3
其他因素	0.383	0.162	0.277	0.266	1.000	0.056	5

最大特徵值  $\lambda_{\max}=5.166$ ， $C.I.=0.041556$ ， $C.R.=0.037103 \leq 0.1$

〔註： $C.R. \leq 0.1 \rightarrow$ 可通過一致性檢定〕

2. 關鍵問題-機台/參數控制，階層之結構圖如圖4.2所示：

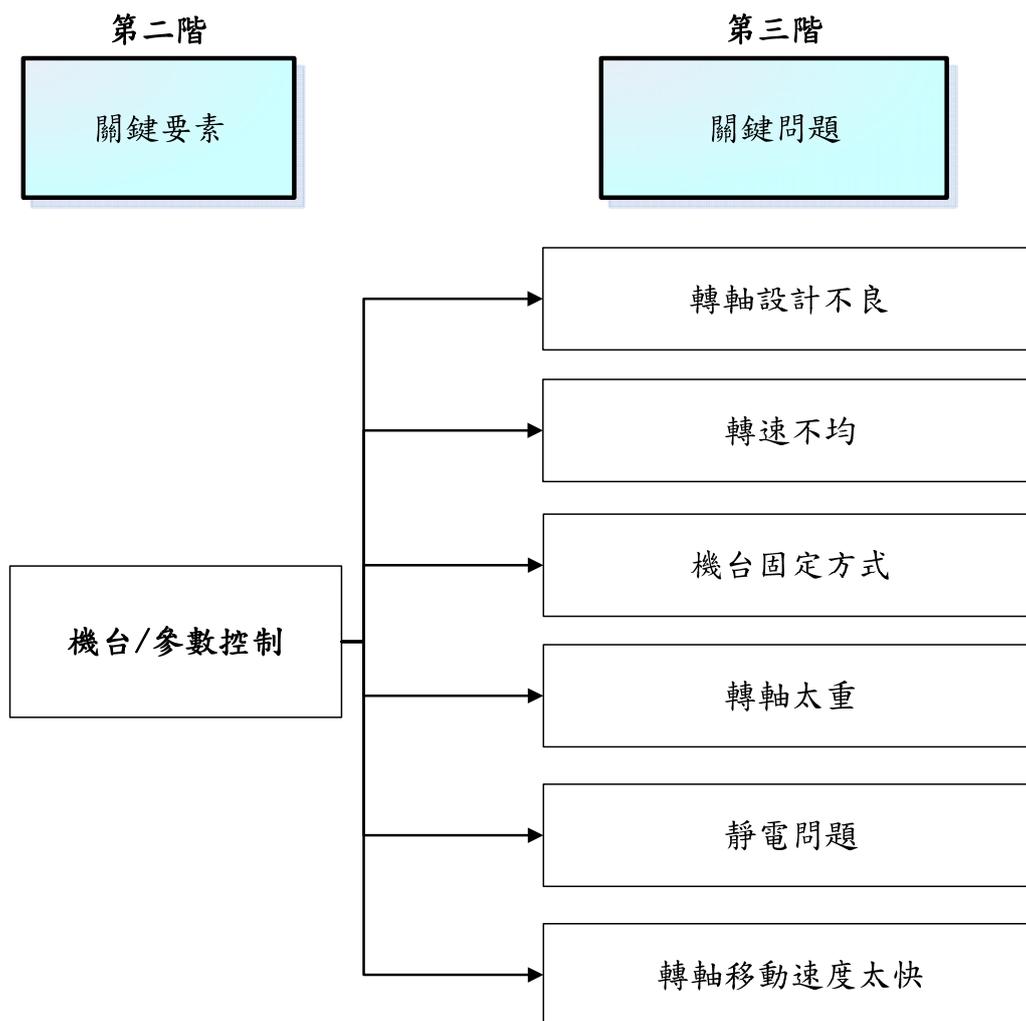


圖 4.2 第三階-關鍵問題階層圖(機台/參數控制)

進行第三階關鍵問題評比時，應衡量「轉軸設計不良」、「轉速不均」、「機台固定方式」、「轉軸太重」、「靜電問題」與「轉軸移動速度太快」六項關鍵問題重要性，進行成對比較，共需填寫 15 個相對重要性 ( $6(6-1)/2 = 15$ )，分析過程及結果如下：

$$w = \begin{bmatrix} \text{轉軸設計不良} \\ \text{轉速不均} \\ \text{機台固定方式} \\ \text{轉軸太重} \\ \text{靜電問題} \\ \text{轉軸移動速度太快} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.365 \\ 0.248 \\ 0.088 \\ 0.093 \\ 0.076 \\ 0.129 \end{bmatrix}$$

表 4.2 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(機台/參數控制)

	轉軸設計不良	轉速不均	機台固定方式	轉軸太重	靜電問題	轉軸移動速度太快	Wi (權重)	排序
轉軸設計不良	1.00	2.26	3.27	4.15	3.09	3.41	0.365	1
轉速不均	0.44	1.00	3.41	3.00	3.13	2.26	0.248	2
機台固定方式	0.31	0.29	1.00	1.20	1.22	0.49	0.088	5
轉軸太重	0.24	0.33	0.83	1.00	1.99	0.66	0.093	4
靜電問題	0.32	0.32	0.82	0.50	1.00	0.64	0.076	6
轉軸移動速度太快	0.29	0.44	2.05	1.53	1.57	1.00	0.129	3

最大特徵值  $\lambda_{\max}=6.166$ ，C.I.= 0.033140，C.R.= 0.026725  $\leq 0.1$

[註：C.R.  $\leq 0.1$  → 可通過一致性檢定]

3. 關鍵問題-環境設計，階層之結構圖如圖4.3所示：

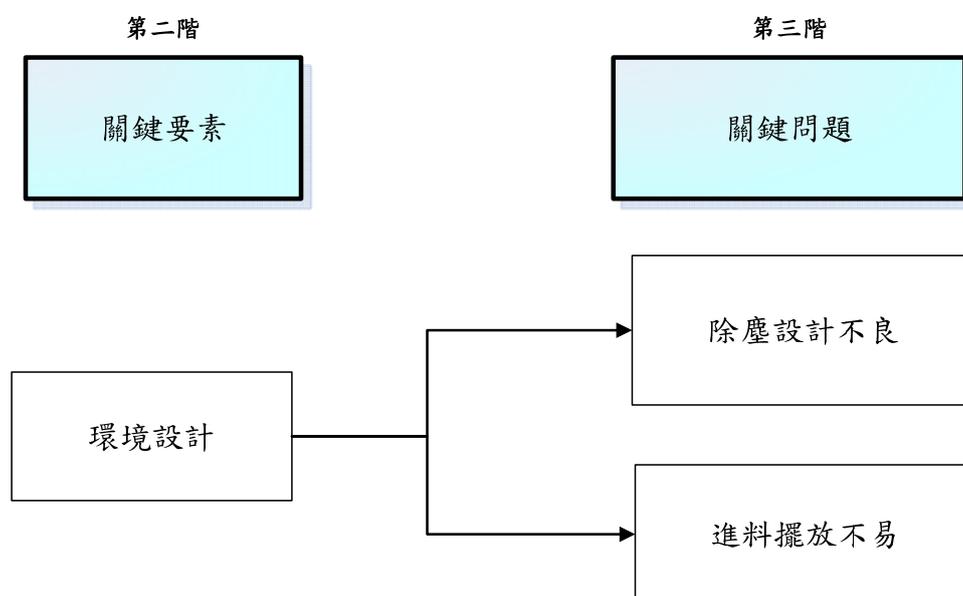


圖 4.3 第三階-關鍵問題階層圖(環境設計)

如圖4.3，第三階-環境設計問題中，應衡量「進料空間太小」與「除塵設計不良」兩項關鍵問題重要性，進行成對比較，填寫 1個相對重要性，分析結果如下：

$$w = \begin{bmatrix} \text{進料擺放不易} \\ \text{除塵設計不良} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.266 \\ 0.734 \end{bmatrix}$$

表 4.3 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(環境設計)

	進料空間太小	除塵設計不良	Wi(權重)	排序
進料空間太小	1.00	0.36	0.266	2
除塵設計不良	2.76	1.00	0.734	1

最大特徵值  $\lambda_{\max}=2.000$ ，C.I.=0，C.R.=0 (不需檢定)

4. 關鍵問題-人員訓練分析:

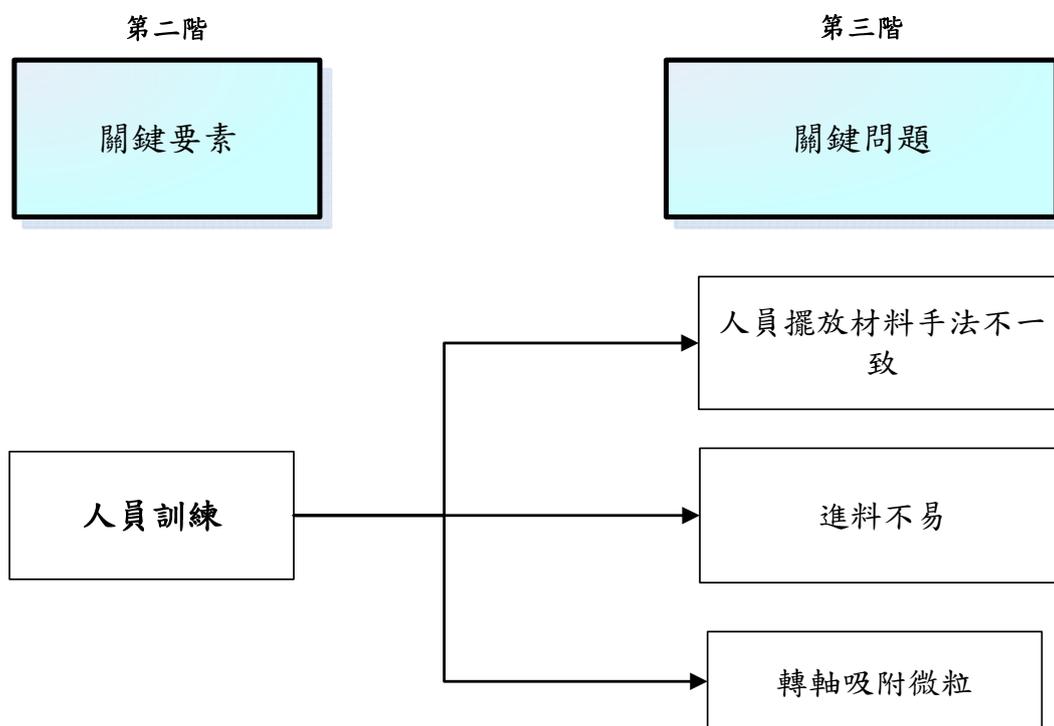


圖 4.4 第三階-關鍵問題階層圖(人員訓練)

如圖4.4，第三階-人員訓練問題中，應衡量「人員擺放材料手法不一致」、「進料不易」與「轉軸吸附微粒」三項關鍵問題重要性，進行成對比較，共需填寫3個相對重要性 $(3(3-1)/2 = 3)$ ，分析結果如下：

$$w = \begin{bmatrix} \text{人員擺放材料不一致} \\ \text{進料不易} \\ \text{轉軸吸附微粒} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.426 \\ 0.382 \\ 0.192 \end{bmatrix}$$

表 4.4 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(人員訓練)

	人員擺放材料 手法不一致	進料不易	轉軸吸附 微粒	Wi(權重)	排序
人員擺放材料 手法不一致	1.00	1.00	2.47	0.426	1
進料不易	1.00	1.00	1.78	0.382	2
轉軸吸附微粒	0.41	0.56	1.00	0.192	3

最大特徵值  $\lambda_{max}= 3.012$  , C.I.= 0.005849 , C.R.= 0.010085

[註：C.R.  $\leq 0.1$  → 可通過一致性檢定]

5. 關鍵問題-材料特性及變動分析:

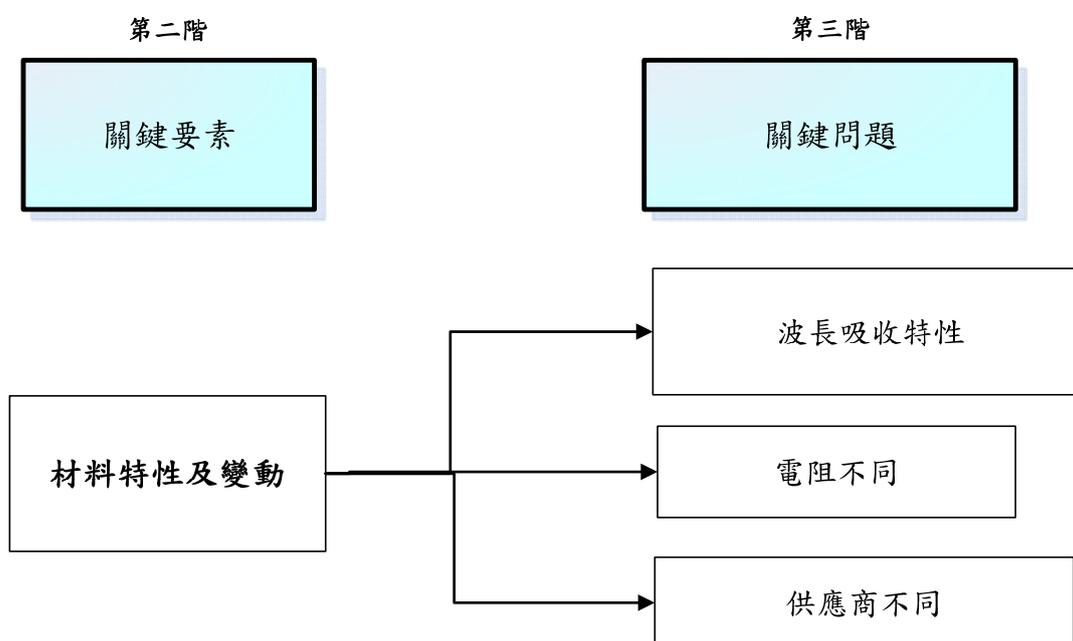


圖 4.5 第三階-關鍵問題階層圖(材料特性及變動)

如圖4.5，第三階-材料特性及變動問題中，應衡量「波長吸收特性」、「電阻不同」與「供應商不同」三項關鍵問題重要性，進行成

對比較，共需填寫3個相對重要性（ $3(3-1)/2 = 3$ ），分析結果如下：

$$w = \begin{bmatrix} \text{波長吸收特性} \\ \text{電阻不同} \\ \text{供應商不同} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.357 \\ 0.467 \\ 0.176 \end{bmatrix}$$

表 4.5 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(材料特性及變動)

	波長吸收特性	電阻不同	供應商不同	Wi(權重)	排序
波長吸收特性	1.00	0.69	2.24	0.357	2
電阻不同	1.44	1.00	2.40	0.467	1
供應商不同	0.45	0.42	1.00	0.176	3

最大特徵值  $\lambda_{\max} = 3.010$ ，C.I. = 0.004960，C.R. = 0.008551

[註：C.R.  $\leq 0.1 \rightarrow$  可通過一致性檢定]

6. 關鍵問題-其他因素分析:

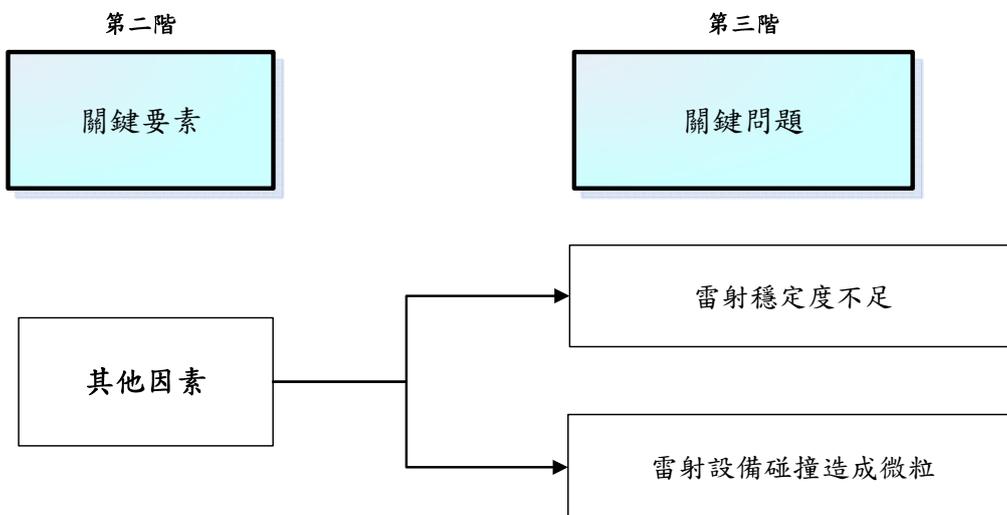


圖 4.6 第三階-關鍵問題階層圖(其他因素)

如圖4.6，第三階-其他因素問題中，應衡量「雷射穩定度不足」與「雷射設備碰撞造成微粒」兩項關鍵問題重要性，進行成對比較，填寫 1個相對重要性，分析結果如下：

$$w = \begin{bmatrix} \text{雷射穩定度不足} \\ \text{雷射設備碰撞造成微粒} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.825 \\ 0.175 \end{bmatrix}$$

表 4.6 第三階關鍵問題成對比較矩陣與數據分析(其他因素)

	雷射穩定度不足	雷射設備碰撞造成微粒	Wi (權重)	排序
雷射穩定度不足	1.00	4.72	0.825	1
雷射設備碰撞造成微粒	0.21	1.00	0.175	2

最大特徵值  $\lambda_{\max}=2.000$ ，C.I.=0，C.R.=0 (不需檢定)

#### 4.1.4 整體層級權重計算階段

綜合以上五大關鍵要素及 16 項關鍵問題層級分析法數據分析結果，計算完各階層要素權重值後，接著將計算整體層級權重以找出三階層結構最終評比要素之實際權重，最後再依照評比權重值予以排序，以決定影響良率之核心問題。結果如表 4.7 所示：

表 4.7 核心問題評選權重表

最終目標	關鍵要素	權重	關鍵問題	權重	實際權重值	總排序
解決 Roll to Roll Laser etching 製程問題	機台/參數控制	0.203	轉軸設計不良	0.365	0.0740	4
			轉速不均	0.248	0.0503	8
			機台固定方式	0.088	0.0178	14
			轉軸太重	0.093	0.0188	13
			靜電問題	0.076	0.0155	15
			轉軸移動速度太快	0.129	0.0262	12
	環境設計	0.415	進料空間太小	0.266	0.1103	2
			除塵設計不良	0.734	0.3043	1*
	人員訓練	0.154	人員擺放材料手法不一致	0.426	0.0654	5
			進料不易	0.382	0.0587	7
			轉軸吸附微粒	0.192	0.0295	11
	材料特性及變動	0.173	波長吸收特性	0.357	0.0619	6
			電阻不同	0.467	0.0809	3
			供應商不同	0.176	0.0306	10
	其他	0.056	雷射穩定度不足	0.825	0.0461	9
雷射設備碰撞造成微粒			0.175	0.0098	16	

從上表結果顯示，影響Roll to Roll Laser Etching製程良率之第二階中關鍵要素中以「環境設計」為0.415權重值最大，「機台/參數控制」權重值0.203居次。綜合三階結構，實際權重值部分，前五項關

鍵問題之權重值依序為：「除塵設計不良」、「進料空間太小」、「電阻不同」、「轉軸設計不良」與「人員擺放材料手法不一致」；權重值依序為0.3043、0.1103、0.0809、0.0740、0.0654，由於前兩項關鍵問題「除塵設計不良」、「進料空間太小」皆屬關鍵要素「環境設計」，因此本研究依層級分析法評選機制，選定製程中影響良率之核心問題為「環境設計」的「除塵設計不良」與「進料空間太小」。

## 4.2 運用限制理論找出製程核心問題之解決方案

承接上章研究分析結果評選核心問題後，下階段將以限制理論之思考流程，依據第二章文獻探討中的限制理論三大思考流程：(1)決定要改變什麼？(What to change?)-現況樹 (2)要改變成什麼？(What to change TO?)-衝突圖、未來樹 (3)要如何改變？(How to cause the change?)-條件樹、轉移樹，逐步探討軟性顯示器 Roll to Roll Laser Etching 製程影響良率製程核心問題的解決方案。

接續選定核心問題後，本研究將進行限制理論思考流程的下一階段流程，先利用衝突圖及未來樹探討評選出的核心問題，思考要將製造流程中影響良率之核心問題改變成什麼，建構衝突圖與未來樹確立改變的問題以及預達成什麼的目標後，再運用最後階段條件樹與轉移樹，產生要如何改變之解決方案，最為找出改善軟性顯示器 Roll to Roll Laser Etching 影響良率之核心問題的最終可行解決方案。以此邏輯思維模式期望能解決製程中的核心問題，得以有效的改進製程問題。

### 4.2.1 衝突圖

在限制理論中探討「決定要變成什麼」的邏輯工具為衝突圖及未來圖，這兩個戰術樹圖是為了幫助我們了解核心問題所造成的衝突並思考可能的解決方案，主要針對核心問題激發出策略構想，並評估實施策略構想的可行性，分析評估先前找出突破性的創意性策略構想是否能達成預期的理想目標，以及找出在目標達成的過程中所會出現的風險。

衝突圖包含四個部份，目標 (Objective)、需求 (Requirements)、前提 (Prerequisites) 還有激發出來的策略構想，需求即是要達成目標的必要條件，而相對的，達到需求的必要條件則是前提 (Choe and Herman, 2004)，所謂的必要條件，就像「為了要達到B，我們必須要先完成A」，在例子中A 就是B 的必要條件。

在層級分析法分析結果中，最重要的前兩項核心問題為「除塵設計不良」、「進料空間太小」，而這兩項核心問題皆屬於五大關鍵要素中的「環境設計」問題，因此表示在Roll to Roll Laser Etching製程中，「環境設計」，在專家意見中被認為是影響良率之核心問題，我們在以下限制理論思考流程應用戰術樹圖分析中，將改善「環境設計」做為衝突圖之目標 (Objective)，而「除塵設計不良」、「進料空間太小」兩項核心問題則一併列入衝突圖的改善需求 (Requirements)，最後再推論思考如預達成需求的前提或必要條件 (Prerequisites) 為何，以及在必要條件之間可能造成之衝突。

於下圖4.7中，本研究建構之衝突圖，推論要達成「解決進料空間太小問題」與「改善除塵設計」需求的必要條件為「將加大機台進、放料空間需求，列入環境設計考量」以及「改善微粒除塵問題，加置排氣裝置數量」，但此兩項必要條件中，我們也明顯的發現此兩項必要條件的確是衝突的，機台一旦加大機台進、放料空間，將可能增加製造機台環境造成微粒數的風險，但另一項前提則是為解決微粒除塵問題所推論之必要條件。

在確了解決目標的兩項需求及必要條件後，我們再分別針對兩項必要條件擬定可能可行的策略構想，「將加大機台進、放料空間需求，列入環境設計考量」的需求是為了要解決進料空間太小' 問題；而「改善微粒除塵問題，加置排氣裝置數量」則是為了改善微粒除塵問題。我們在了解衝突還有背後的需求及目標以後，我們發現最主要的衝突點在於當我們加大機台進、放料空間需求以後，卻無法同時兼顧降低製造機台環境的微粒數，解決第二項必要條件「改善除塵設計」的需求。

本研究對兩項必要條件研擬兩項初步策略構想，必須以「改善環

境設計要素影響良率」為目標，因此研擬之策略構想期望可以同時達成改善進、放料空間及除塵設計的需求。兩項策略構想如下所示：

1. 改善機台進、放料設計，以降低微粒與避免損傷軟性基板。
2. 加強環境設計吸附微粒裝置的吸力，運用加強吸力的方式改善微粒問題。

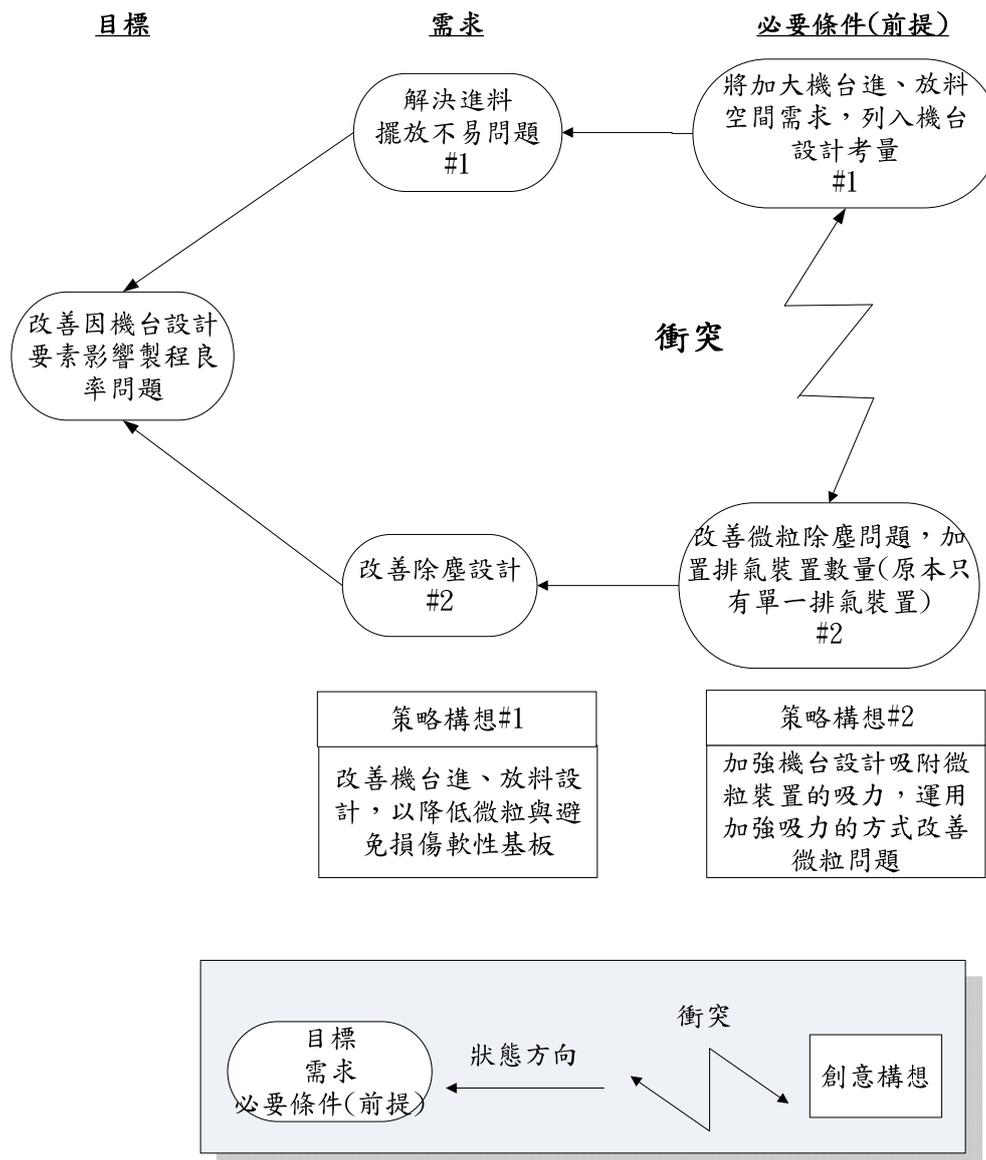


圖 4.7 改善環境設計衝突圖及策略構想

#### 4.2.2 未來樹

衝突圖可以讓我們了解在改善環境設計要素的核心問題的需求時，可能造成的衝突與前提為何？並且在此過程中是否能激發出追求雙贏的策略構想。而未來圖則是找出在策略構想的實行下如何運用預期效應的設定為中程目標以達到最後的理想目標，利用這兩個邏輯圖形，我們可以知道「要改變成什麼？」且變成這樣，確實可以達到我們想要的目標。

未來圖以策略構想為起點，理想目標為終點，分析策略構想如何達到理想目標，過程中將預期效應（Desired Effects, DE）轉成中程目標。

利用本研究提出的兩項策略構想，為未來圖之起點，以「改善因環境設計要影響良率問題」為終點之理想目標，並且將過程中可能的預期效應轉換成各中程目標，以確認在達成理想目標的過程裡，必須先達成「評估進、放料時損傷軟性基板之可能性」、「找出捲對捲製程基板進、放料可行之路徑」、「訂定進料擺放手法之標準作業程序」、「降低微粒之附著」、「提升除塵吸附微粒之能力」等各項中程目標，我們藉由延續解決衝突圖之衝突的兩項策略構想為出發點，逐項列出在達成理想目標的過程，將可能的預期效應列為中程目標，最終達到理想目標。

彙整所有改善環境設計要素的核心問題需求與中程目標後，進行互相關系的串聯，建立得到本研究之未來圖如圖4.8所示：

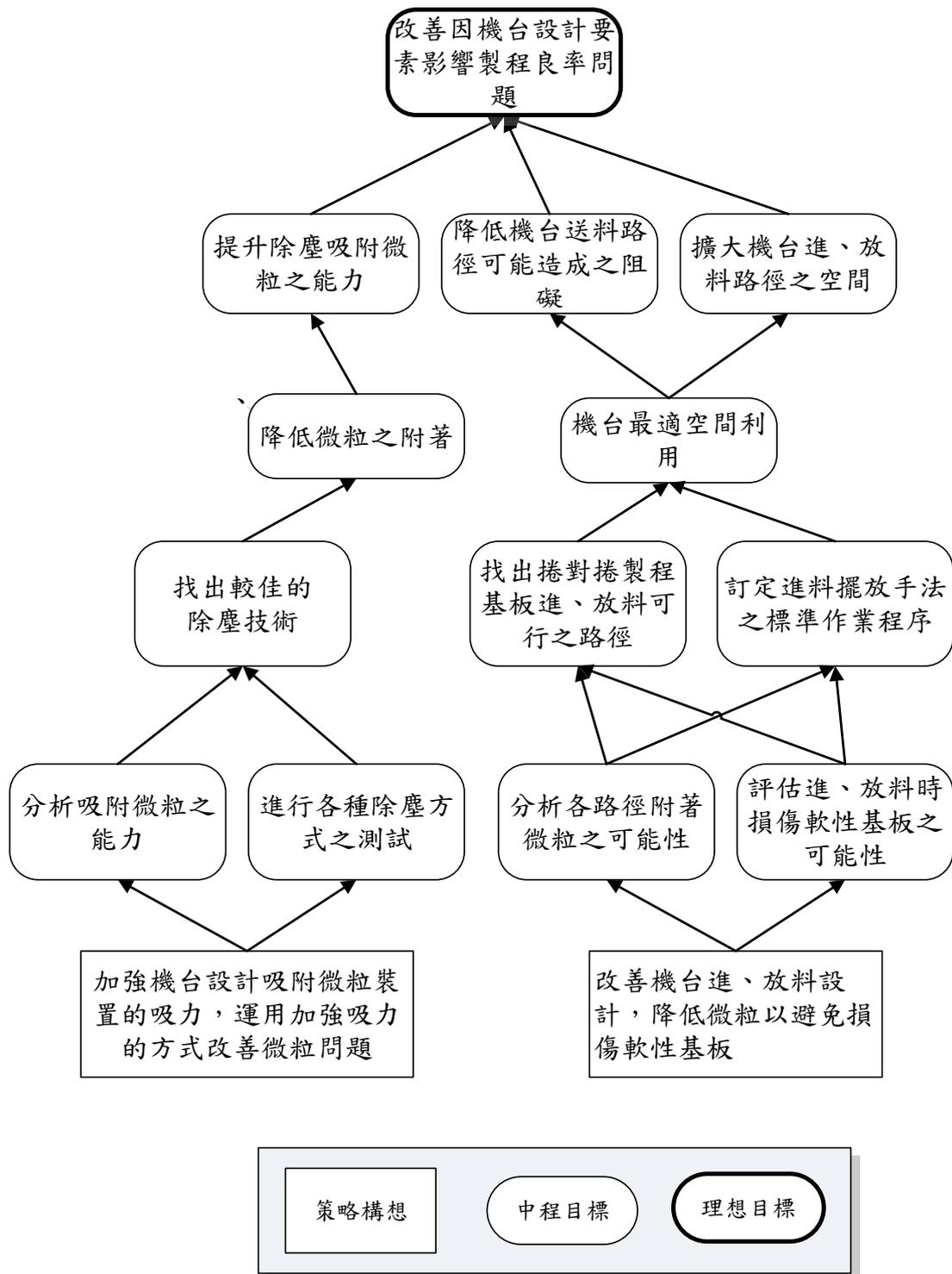


圖 4.8 改善環境設計未來圖

### 4.2.3 條件樹

確定了「要改變成什麼？」後，限制理論的下一個步驟就是決定「要如何改變？」，使用的邏輯戰術樹圖為條件樹、轉移樹。在操作

運用條件圖時通常會使用未來圖、衝突的策略構想做為條件樹的目標，用以分析策略構想應該如何實際具體的達成，且在達成中程目標的過程中有可能會遇到的障礙有哪些？（Dettmer, 1998）。

條件圖是幫助我們正式分析策略構想的實行，目的是為了判斷出在達成目標前實行的策略構想，並轉換成中程目標，以釐清達中程目標的過程中有可能會遇到哪些障礙。轉移樹則是幫助我們分析如何利用具體的行動克服條件樹中每一項中程目標所產生的障礙。

因此本階段之條件樹以上一階段未來樹的兩項策略構想與衝突，結合做為本階段條件樹的目標，以「改善機台進、放料設計，以降低微粒與避免損傷軟性基板，並提升除塵吸附微粒之能力」為目的，分析應該如何具體的實行策略構想，且在各中程目標中可能遇到哪些障礙。

以「改善機台進、放料設計，以降低微粒與避免損傷軟性基板，並提升除塵吸附微粒之能力」的策略構想為目標，建構條件樹，如下圖4.9所示：

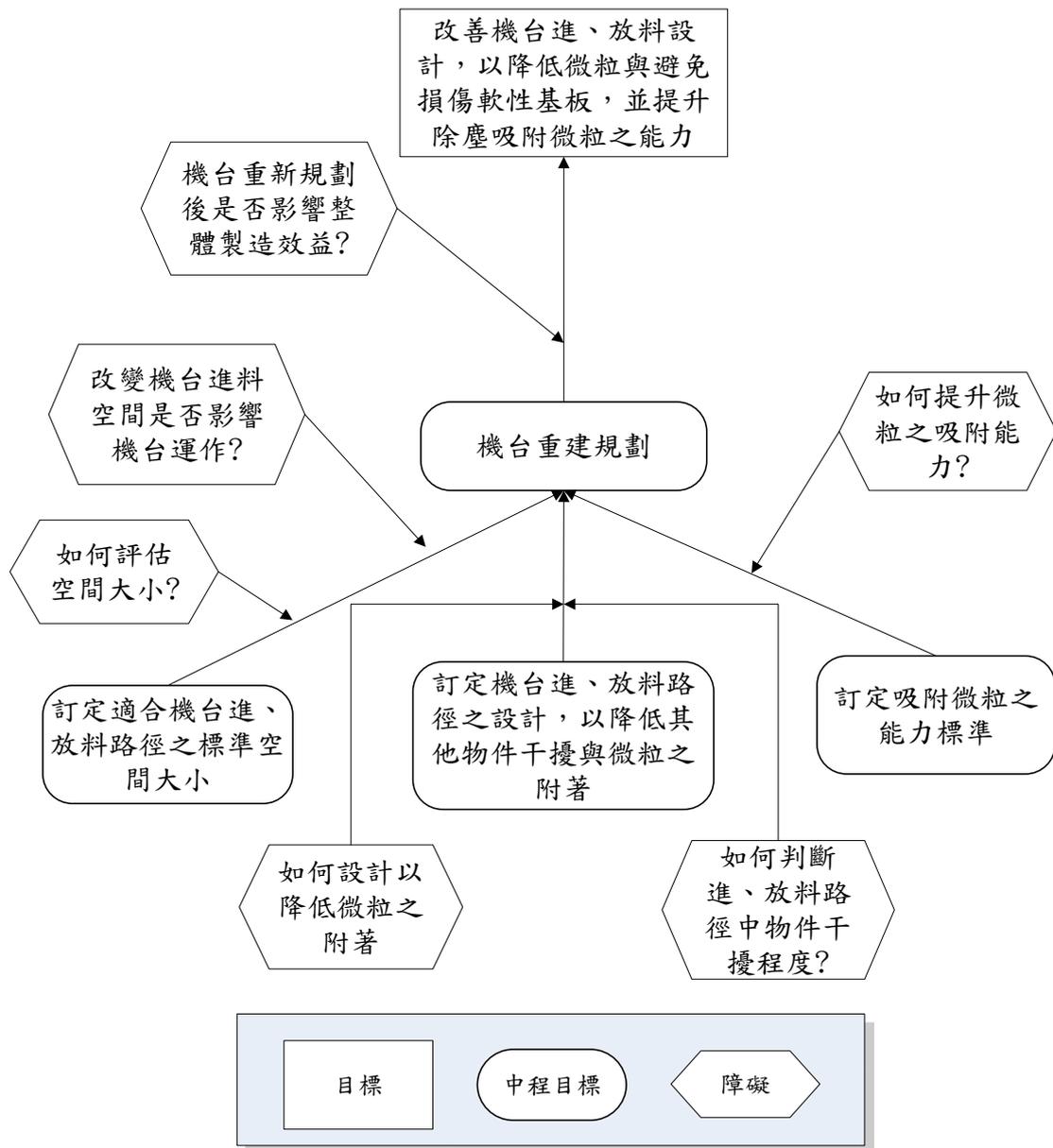


圖 4.9 改善環境設計條件樹

圖 4.9 中，最底端之中程目標分別為「訂定適合機台進、放料路徑之標準空間大小」、「訂定機台進、放料路徑之設計，以降低其他物件之微粒之干擾與微粒附著」、「訂定吸附微粒之能力標準」三項中程目標，以及「機台重建規劃」為在上層的中程目標。

以下針對各項中程目標所面臨之障礙逐項列出：

1. 訂定適合機台進、放料路徑之標準空間大小：

- 如何評估空間大小？

- 改變機台進料空間是否影響機台運作?
2. 訂定機台進、放料路徑之設計，以降低其他物件干擾與微粒之附著：
    - 如何設計路徑以降低微粒附著?
    - 如何判斷路徑中物件干擾程度?
  3. 訂定吸附微粒之能力標準：
    - 如何提升微粒之吸附能力?
  4. 機台重建規劃：
    - 機台重建規劃後是否影響整體製造效益?

#### 4.2.4 轉移樹

轉移樹是以條件樹為基礎，將條件樹中分析出的各障礙，提出克服障礙的具體行動，本研究建立轉移樹以策略構想「改善機台進、放料設計，以降低微粒與避免損傷軟性基板，並提升除塵吸附微粒之能力」為目標，分析應該如何將策略構想中的各項障礙轉換成具體的行動。

本研究針對條件樹的各項障礙轉換的具體行動，分項條列如下：

1. 訂定適合機台進、放料路徑之標準空間大小：
  - 實際計算捲對捲製程進、放料所需的最適空間。
  - 評估改變空間後，機台中其他設備運作是否會造成干擾。
2. 訂定機台進、放料路徑之設計，以降低其他物件干擾與微粒之附著：
  - 重新規劃機台進、放料路徑，使路徑縮短、以降低進、放料時微粒附著之可能。
  - 重新規劃機台路徑，降低進、放料路徑中與物件碰撞的可能。
3. 訂定吸附微粒之能力標準：
  - 增加除塵排氣裝置，以提升去除微粒之能力。
4. 機台重建規劃：

- 整體機台重新規劃後，實際模擬其生產程序，以確認重置後之改善效益與影響。

其轉移樹如圖4.10所示：

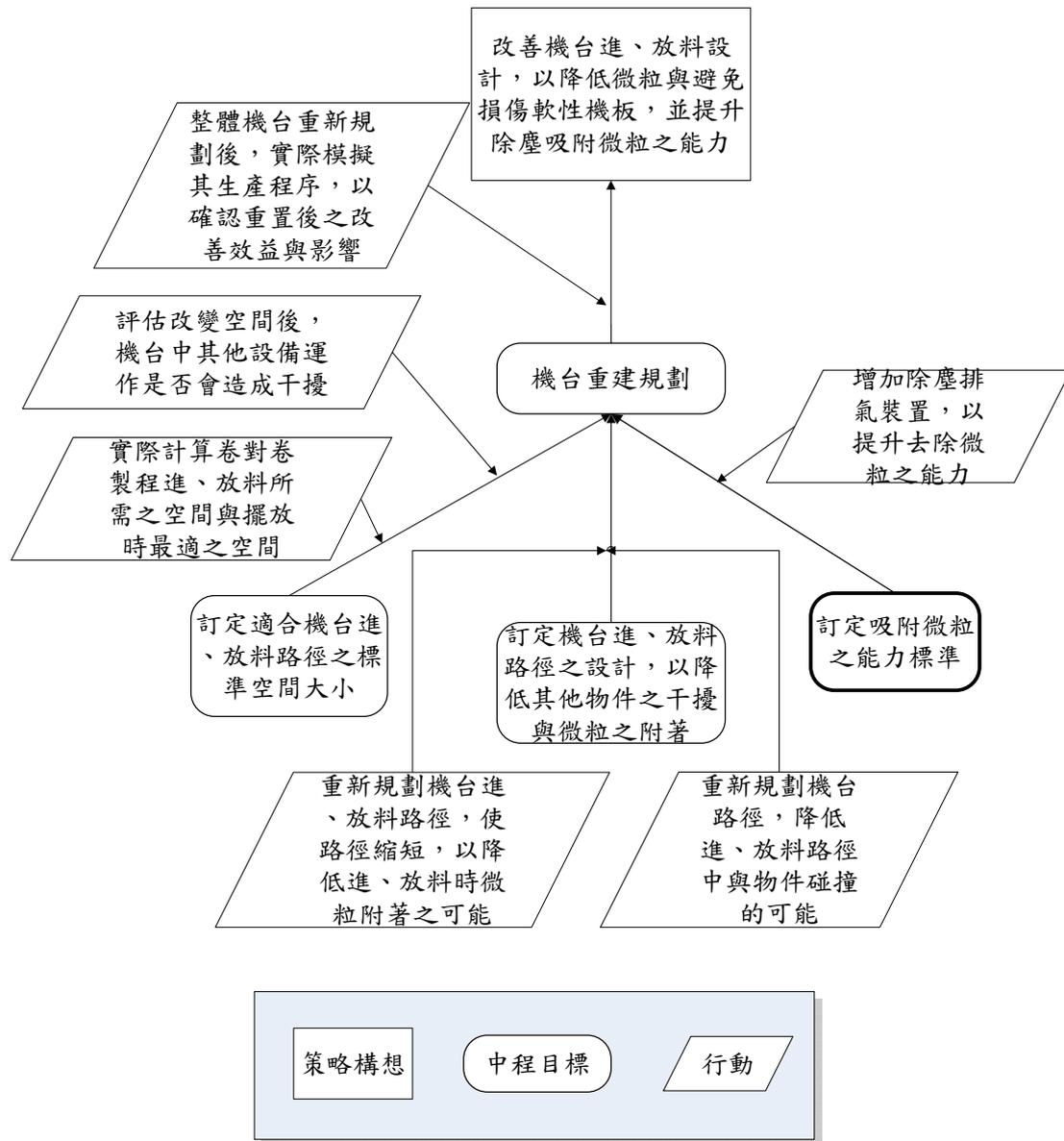


圖 4.10 改善環境設計轉移樹

利用條件樹、轉移樹，本研究以「改善機台進、放料設計，以降低微粒與避免損傷軟性基板，並提升除塵吸附微粒之能力」為目標，並找出其改善流程中可能面臨之障礙，並將障礙利用轉移樹轉換成以及克服障礙的具體行動，分析出在達成的中程目標過程中，可能遇到

的障礙和克服障礙的行動，讓我們知道在「決定要改變什麼？」「要改變成什麼？」後，應該如何達成策略構想，進一步找出應該「要如何改變？」的可行具體行動。

其障礙與解決方案對應如表 4.8 所示：

表 4.8 條件樹障礙與轉移樹之解決方案對應表

中程目標	障礙	解決方案
訂定適合機台進、放料路徑之標準空間大小	如何評估空間大小？	實際計算捲對捲製程進、放料所需的最適空間。
	改變機台進料空間是否影響機台運作？	評估改變空間後，機台中其他設備運作是否會造成干擾。
訂定機台進、放料路徑之設計，以降低其他物件干擾與微粒之附著	如何設計路徑以降低微粒附著？	重新規劃機台進、放料路徑，使路徑縮短、以降低進、放料時微粒附著之可能。
	如何判斷路徑中物件干擾程度？	重新規劃機台路徑，降低進、放料路徑中與物件碰撞的可能。
訂定吸附微粒之能力標準	如何提升微粒之吸附能力？	增加除塵排氣裝置，以提升去除微粒之能力。
機台重建規劃	機台重建規劃後是否影響整體製造效益？	整體機台重新規劃後，實際模擬其生產程序，以確認重置後之改善效益與影響。

經由限制理論的四個戰術樹圖之分析工具，結果找出影響良率之五大關鍵要素與 16 項關鍵問題，並依專家問卷結果以層級分析法評選製程核心問題視為研究對象之瓶頸問題，以解決「軟性顯示器 Roll to Roll 製程中影響良率問題」為目標，主要以限制理論五大戰術樹圖

之邏輯思考流程，並結合層級分析法量化製程問題，評比製程核心問題。研究結果評選出關鍵要素的「環境設計」中兩大核心問題：(1) 除塵設計不良。(2) 進料空間太小。

針對兩大核心問題，本研究運用戰術樹圖分析問題之邏輯程序，過程中藉由衝突圖引發解決核心問題之策略構想，並由未來樹逐步分析預達策略構想之中程目標，最後以條件樹與轉移樹找出達目標過程中可能遭遇的障礙，與克服障礙之具體行動即為解決方案，期望能做為軟性顯示器試產邁入量產化階段的問題分析模式。

## 第五章 結論與建議

本研究以軟性顯示器為例，針對軟性顯示器關鍵製程Roll to Roll Laser Etching為研究對象，目的為在製程研發邁入量產階段，用以分析影響良率之困擾現象，尋求核心問題，確定核心問題之後提出可行的因應方案，以提供一個探討問題與研擬解決方案的流程與模式。

本章將陳述研究結論、說明研究貢獻與未來研究建議。

### 5.1 研究結論

本研究經由研究建構之問題分析程序，以特性要因圖(魚骨圖)尋求製程中影響良率之困擾現象，得困擾現象之五項主要要素與其餘次要要素，並以此為分析基礎，繪製限制理論之現況樹，了解Roll to Roll Laser Etching關鍵製程所有困擾現象的問題全貌與其因果關係，研究結論如下：

1. 共歸納影響製程良率之五大關鍵要素與16項關鍵問題：

- (1) 機台/參數控制：轉軸設計不良、轉速不均、機台固定方式、轉軸太重、靜電問題、轉軸移動速度太快。
- (2) 環境設計：進料空間太小、除塵設計不良。
- (3) 人員訓練：人員擺放材料手法不一致、進料不易、轉軸吸附微粒。
- (4) 材料特性及變動：波長吸收特性、電阻不同、供應商不同。
- (5) 其他：雷射穩定度不足、雷射設備碰撞造成微粒。

2. 六項不良問題造成之現象：張力不均、PET變形、軟板偏移、表面刮傷、微粒汙染與爆點。

3. 運用層級分析法之三階層架構，並以專家問卷數據分析結果，得到五大關鍵要素之權重排序依序為：(1)環境設計。(2)機台/參數控制。(3)材料特性及變動。(4)人員訓練。(5)其他。與16項關鍵問題之權重值乘積，得前排序前五項關鍵問題依序為：(1) 機台設計-除塵設計不良。(2) 環境設計-進料空間太小。(3) 材料特性及變動-電阻不同。(4) 機台/參數控制-轉軸設計不良。(5) 人員訓練-人員擺放材料手法不一致。前兩大排序之關鍵問題即為Roll to Roll Laser Etching製程影響良率之核心問題(瓶頸)，作為分析改善目標。

4. 藉由限制理論之邏輯分析程序，得到繪製之四項戰術樹圖，過程中擬定兩項解決核心問題之策略方案，並透過戰術樹圖釐清達目標前可能遭遇的障礙及其解決方案。

限制理論之改善過程，實為一持續改善系統之方法，依據研究目的所述，本研究為軟性顯示器關鍵在研發邁入量產階段，建構一個找尋製造系統之核心問題(瓶頸)程序與解決方案之分析模式，直到系統中之核心(瓶頸)問題被解決，排除於系統後，再找尋下個改善瓶頸做為改善目標，有助於軟性顯示器日後量產之順利及製程穩定性，做為日後建構量產模式與改善困擾現象之參考依據。

## 5.2 未來研究方向與建議

本研究基於產品研發時程、資料的取得性等實際限制，本研究在此無法逐一討論，茲將未來的研究方向與建議整理如下希望可以由後續之研究者進行更深入之探討：

1. 本研究僅針對Roll to Roll Laser Etching關鍵製程做分析與探討，限制理論為一整體系統化之研究方法，日後研究者可將研究範圍擴大至軟性顯示器整體製造程序，擴大範圍分析軟性顯示器整體製程之核心問題。
2. 限制理論可被應用於各領域中，除了將限制理論應用於軟性顯示器領域外，本研究也建議研究者採用限制理論時，可與層級分析法以外之研究方法結合或與其他的分析步驟進行搭配，增加限制理論之實用性。

## 參考文獻

### I、中文部份(依姓氏筆劃排序)

1. 李芝儀(2006)。應用限制理論研究供應鏈作業系統—以彩色濾光片之材料供應為例，中原大學工業工程研究所，碩士論文。
2. 李政賢、廖志桓、林靜如(譯)(2007)。質性研究導論。台北：五南圖書出版有限公司。(Uwe Flick., 2008)。
3. 李敏鴻(2007)。軟性顯示器之開發與進展。國家奈米元件實驗室奈米通訊，14(1)，35-41。
4. 林政宏、李宜庭、邱莉婷(2008)。綠色科技新知，生活科技教育月刊，41(7)，1-12。
5. 徐燕娟(2007)。以 AHP 法探討供應商遴選關鍵決定因素權重之研究- 以筆記型電腦週邊配件為例，中央大學企業管理學系碩士在職專班，碩士論文。
6. 陳尚佑(2005)。整合層級分析法之限制理論關鍵問題評選機制之研究，中原大學工業工程研究所，碩士論文。
7. 陳麒麟、張榮芳、張加強(2008)。軟性顯示器發展及關鍵技術現狀，機械工程雜誌，光電與半導體設備技術專輯，258，110 – 121。
8. 張簡志偉(2007)。以鋼球撞擊試驗評估玻璃面板強度，交通大學精密與自動工程組，碩士論文。
9. 黃柏喻(2008)。大面積量測奈米粒子誘使液晶垂直配向之軟性顯示器，清華大學光電工程研究所，碩士論文。
10. 黃運金(2010)。以實務驗證 TOC 營運管理解決方案之可行性及有效性，交通大學工業工程與管理學系，博士論文。
11. 黃耀寬(2008)。運用限制理論之思考流程探討數位學習資源整合—以公部門數位學習網站為例，中山大學資訊管理研究所，碩士論文。
12. 齊若蘭(譯)(2006)。目標：簡單有效的嘗試管理，台灣：天下文化出版。(Eliyahu M. Goldratt, 1992)。
13. 謝偉民(2000)。高科技產業導入JIT 生產方式的績效研究-以美台電訊公司為例，清華大學工業工程與工程管理學系，碩士論文。
14. 鄧振源、曾國雄(1989)。層級分析法(AHP)的內涵特性與分析運用（上），中國統計學報，27(6)，5-22。
15. 鄧振源、曾國雄(1989)。層級分析法(AHP)的內涵特性與分析運用（下），中國統計學報，27(7)，1-15。
16. 工研院，<http://newwww.itri.org.tw/>，於2010/5/21擷取。
17. 電子工程專刊，<http://www.eettaiwan.com/>，於2010/5/21擷取。
18. Isuppli，<http://www.isuppli.com/Pages/Home.aspx>，於2010/5/21擷取。
19. DisplaySearch，<http://www.displaysearch.com/>，於2010/5/21擷取。

## II、英文部份(依姓氏字母排序)

1. Al-Tabtabai, H. M. and Thomas, V. P. (2004). Negotiation and solution of Conflict Using AHP: An Application to Project Management. *Construction and Architectural Management*, 11(2), 90-100.
2. Blackstone, J. H. (2001). Theory of constraints – a status report. *International Journal of Production Research*, 39 (6), 1053-80.
3. Choe, K. and Herman, S. (2004). Using Theory of Constraints Tools to Manage Organizational Change: A Case Study of Euripa Labs. *International Journal of Management and Organizational Behavior*, 8(6), 540-558.
4. Davies, J., Mabin, V. J. and Balderstone, B. J. (2005). The Theory of Constraints: A Methodology Apart—A Comparison with Selected OR/MS Methodologies. *Omega*, 33(1), 506-524.
5. Dettmer, H. W. (1997). *Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement*. Milwaukee, Wisconsin: ASQC Quality Press.
6. Goldratt, E. M. and Cox, J. (1992). *The goal :a process of ongoing Improvement*. Great Barrington. MA :/North River Press,/c1992.
7. Goldratt, E. M. (1984). *The Goal*. North River Press. Great Barrington.
8. Goldratt, E. M., (2006). *Reliable rapid response strategy and tactics tree*. Goldratt Group.
9. Gregg, A., York, L., & Strnad, M. (2005). *Roll-to-Roll Manufacturing of Flexible Displays, Flexible Flat Panel Displays*. John Wiley & Sons, New York.
10. Lee, M., Ho, K., Chen, P., Cheng, C., Cheng, S., Tang, M., Liao, M. and Yeh, Y. (2006). Promising a-Si: H TFTs with High Mechanical Reliability for Flexible Display. *The International Electron Devices Meeting*, 299-232.
11. Meuser, M. and Nagel, U. (1991). ExpertInneninterviews - vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion, In: Garz. D & Kraimer. K. *Qualitativ-empirische Sozialforschung*, Opladen, 441-447.
12. McMullen, J. and Thomas, B. (1998). *Theory of Constraints (TOC) Management System*. The St. Lucie Press/APICS Series on Resource Management.
13. Moss, H. K. (2007). Improving Service Quality with the Theory of Constraints. *Journal of Academy of Business and Economics*, 58(5), 31-37.
14. Noreen, E., Smith, D. and Mackey, J., (1995). *The Theory of Constraints and Its Implication for Management Accounting*. North River Press: MA.
15. Quinn, J. B., Anderson, P. and Finkelstein, S. (1996). Managing Professional Intellect: Making the Most of the Best. *Harvard Business Review*, 71-80.
16. Ramanathan, R. (2001). A Note on the Use of the Analytic Hierarchy Process for Environmental Impact Assessment. *Journal of Environmental Management*, 63, 27-35.
17. Roser, C., Nakano, M., and Tanaka, M.(2001). A Practical Bottleneck Detection Method. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, 949-953.
18. Matusik, S. F. and Hill, C. W. L. (1998). The Utilization of Contingent Work, Knowledge Creation, and Competitive Advantage. *Academy of Management*

- Review*, 23(4), 680-697.
19. Smith, D. (2000). The Measurement Nightmare. *APICS Series on Resource Management*.
  20. Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.
  21. Saaty, T. L. and Vargas, L. G. (1991). *Prediction, projection, and forecasting: Applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games, and sports*. MA: Kluwer Academic Publishers.
  22. Tseng, Y. J. and Lin, Y. H. (2005). A Model for Supplier Selection and Tasks Assignment. *Journal of American Academy of Business, Cambridge*, 6(2), 197-207.
  23. Kololuoma, T., Tuomikoski, M., Haring, T., and Kopola, H. (2005). Roll-to-roll manufacturing technologies for flexible MEMS applications, in *Proc. IEEE Optical MEMS and their Applications Conference*, 87-88.
  24. Yusuff, R. M., Yee, K. P. and Hashmi, M. S. J. (2001). A Preliminary Study on the Potential Use of the Analytical Hierarchical Process(AHP) to Predict Advanced Manufacturing Technology(AMT) Implementation. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17, 421-427.
  25. Yen, M. (2005). Using Theory of Constraints in E-Learning for Overcoming Internal. External. Cultural and International Constraints. *Journal of Academy of Business and Economics*. 31(2), 56-72.

# 附錄一

親愛的企業先進，您好：

本人目前正進行一項影響「軟性顯示器R2R Laser Etcher軟性基材製程良率」關鍵要素評估指標之學術性研究。本研究AHP 專家問卷中各個衡量項目均無標準答案，沒有所謂的對與錯，希望您根據實際情況或經驗，按照題目順序並在適當位置上勾選。

本研究對於您所填寫的任何資料，絕對不作為其他用途或透露給第三者，敬請安心填答。再次感謝您的幫忙！

敬祝

身體健康 萬事如意！

東海大學 工業工程與經營資訊學系碩士班

指導教授：蔡禎騰、邱創鈞博士

研究生：翁柏雅

電子郵件：[G98330091@thu.edu.tw](mailto:G98330091@thu.edu.tw)

## 填寫說明：

本問卷的評估方法係採「層級分析程序法」來設計，透過兩兩比較以求得各層因子的相對重要性。

### I. 先針對因素排列其重要順序

#### 〈範例〉

例如：在買房子時，有不同的因素考量，如價格、地點、屋齡、大小、格局等，將其重要度以1~5排出。

若您覺得地點比價格重要，格局次之，大小在後，屋齡最不重要，請填：

  2   價格

  1   地點

  5   屋齡

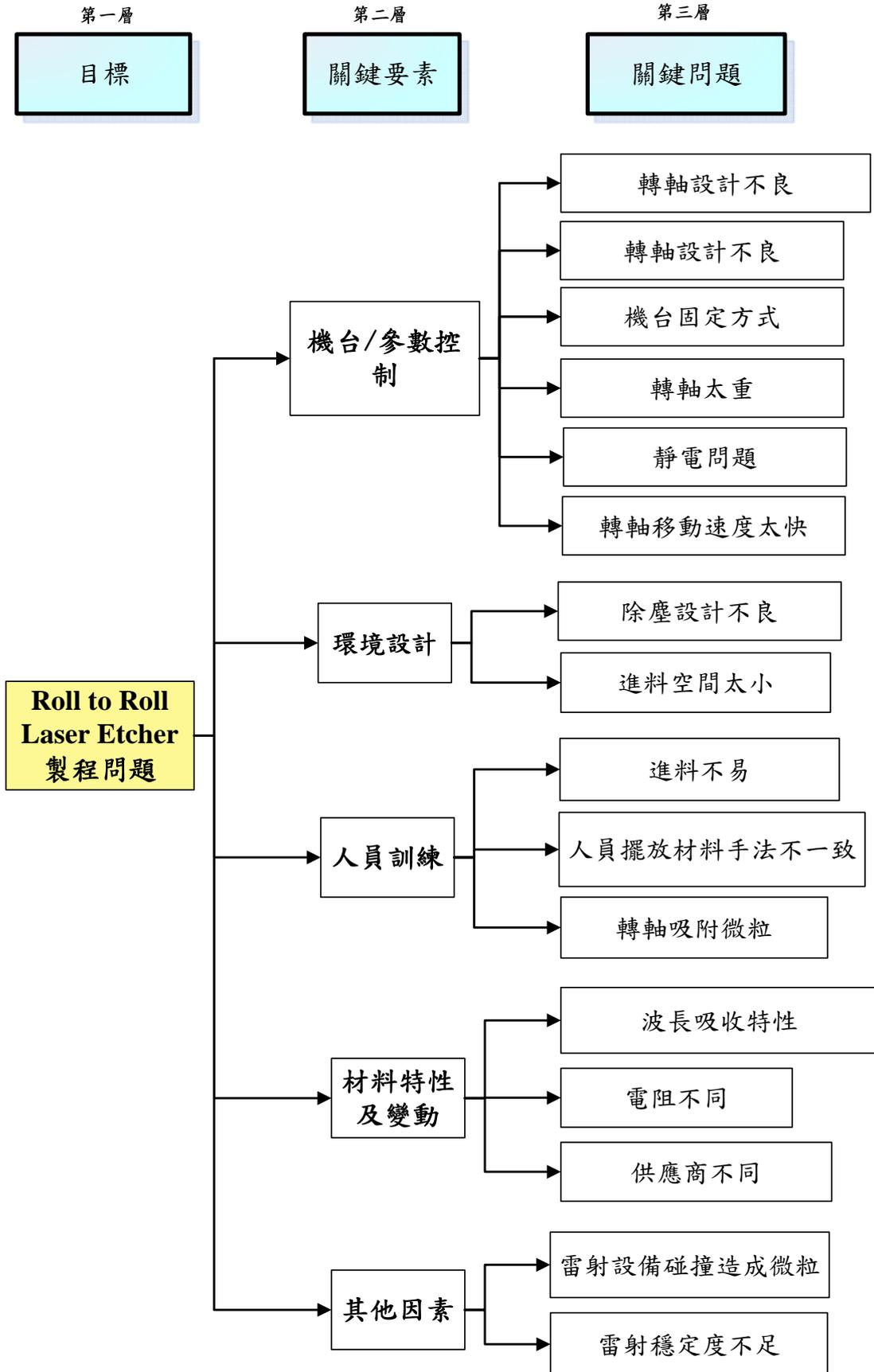
  4   大小

  3   格局

### II. 再針對個因素兩兩成對評比其重要程度

請依據此步驟填答下列的空格。

## 解決製程問題關鍵要素架構圖



	可能產生的問題	可能產生的影響
機台/參數控制	轉軸設計不良	轉軸設計不良會上下移動，容易造成軟板偏移
	轉速不均	轉速不均將使得張力產生問題。
	機台固定方式	因機構為單軸懸臂固定，容易因張力不均造成軟板偏移。
	轉軸太重	傳統式單軸懸臂固定式橫躺厚重鋼體，要加上軟板材料時容易沾到微粒與刮傷軟板。
	靜電問題	因軟板為塑膠材質容易產生靜電發生爆點。
	轉軸移動速度太快	滾輪移動速度太快將使得張力產生問題。
環境設計	進料空間太小	因機構為捲對捲製程，再進、放料端空間小，容易沾到微粒與刮傷軟板。
	除塵設計不良	除塵設計只有單一排氣裝置來去除微粒，易造成微粒去除不乾淨。
人員訓練	人員擺放材料手法不一致	設備工程師自行測試取放軟板注意事項，例如手套更換、上料時膠帶黏貼、對準刻號線、不可與加工 Table 摩擦造成表刮傷。
	進料不易	因機構為捲對捲製程，再進、放料端空間小，容易沾到微粒與刮傷軟板。
	轉軸吸附微粒	在每次上料時更換人員後，如沒有更換手套或用乾淨無塵布沾酒精擦拭每一根 Roller，然後再將 Roller 吹乾，容易造成微粒沾附。
材料特性及變動	波長吸收特性	根據塑膠材料(PET)因銻錫氧化物(ITO)對波長吸收特性來分析，只要能量過大會造成爆點之問題。
	電阻不同	電阻不同，所以在雷射蝕刻，工程師將開發適合雷射蝕刻參數。
	供應商不同	材料供應商，所提供產品不一致造成材料特性不同。
其他因素	雷射穩定度不足	經由裝機時所做的雷射能量測試，並無不穩定現象，如有異常也將會影響雷射產生爆點。
	雷射設備碰撞造成微粒	雷射加工平台的材質為多孔隙陶瓷，因結構關係容易因碰撞掉出微粒。

### 問卷開始：

1. 依重要度1~5排序，1表最重要，2為其次，以此類推。

- \_\_\_\_\_ 機台/參數控制
- \_\_\_\_\_ 環境設計
- \_\_\_\_\_ 人員訓練
- \_\_\_\_\_ 材料特性及變動
- \_\_\_\_\_ 其他因素

請您兩兩比對並勾選下列關鍵問題的相對重要性。

準則 A	準則 A 與 B 成對比較之重要程度									準則 B
	A 較重要 ←		一樣重要					→ B 較重要		
	絕對重要	非常重要	重要	稍重要	同等重要	稍重要	重要	非常重要	絕對重要	
機台/參數控制										環境設計
機台/參數控制										人員訓練
機台/參數控制										材料特性及變動
機台/參數控制										其他因素
環境設計										人員訓練
環境設計										材料特性及變動
環境設計										其他因素
人員訓練										材料特性及變動
人員訓練										其他因素
材料特性及變動										其他因素

2. 機台/參數控制，依重要度1~6排序，1表最重要，2為其次，以此類推。

- \_\_\_\_\_ 轉軸設計不良
- \_\_\_\_\_ 轉速不均
- \_\_\_\_\_ 機台固定方式
- \_\_\_\_\_ 轉軸太重
- \_\_\_\_\_ 靜電問題
- \_\_\_\_\_ 轉軸移動速度太快

準則 A	準則 A 與 B 成對比較之重要程度									準則 B
	A 較重要 ←			一樣重要			→ B 較重要			
	絕對重要	非常重要	重要	稍重要	同等重要	稍重要	重要	非常重要	絕對重要	
轉軸設計不良										轉速不均
轉軸設計不良										機台固定方式
轉軸設計不良										轉軸太重
轉軸設計不良										靜電問題
轉軸設計不良										轉軸移動速度太快
轉速不均										機台固定方式
轉速不均										轉軸太重
轉速不均										靜電問題
轉速不均										轉軸移動速度太快
機台固定方式										轉軸太重
機台固定方式										靜電問題
機台固定方式										轉軸移動速度太快
轉軸太重										靜電問題
轉軸太重										轉軸移動速度太快
靜電問題										轉軸移動速度太快

3. 環境設計，依重要度 1~2 排序，1 表最重要，2 為其次。

\_\_\_\_\_ 進料空間太小

\_\_\_\_\_ 除塵設計不良

準則 A	準則 A 與 B 成對比較之重要程度									準則 B
	A 較重要 ←			一樣重要			→ B 較重要			
	絕對重要	非常重要	重要	稍重要	同等重要	稍重要	重要	非常重要	絕對重要	
進料空間太小										除塵設計不良

4. 人員訓練，依重要度1~3排序，1表最重要，2為其次。

\_\_\_\_\_人員擺放材料手法不一致

\_\_\_\_\_進料不易

\_\_\_\_\_轉軸吸附微粒

準則 A	準則 A 與 B 成對比較之重要程度									準則 B
	A 較重要 ←			一樣重要			→ B 較重要			
	絕對重要	非常重要	重要	稍重要	同等重要	稍重要	重要	非常重要	絕對重要	
人員擺放材料手法不一致										進料不易
人員擺放材料手法不一致										轉軸吸附微粒
進料不易										轉軸吸附微粒

5. 材料特性及變動，依重要度1~3排序，1表最重要，2為其次，以此類推。

\_\_\_\_\_波長吸收特性

\_\_\_\_\_電阻不同

\_\_\_\_\_供應商不同

準則 A	準則 A 與 B 成對比較之重要程度									準則 B
	A 較重要 ←			一樣重要			→ B 較重要			
	絕對重要	非常重要	重要	稍重要	同等重要	稍重要	重要	非常重要	絕對重要	
波長吸收特性										電阻不同

波長吸收特性										供應商不同
電阻不同										供應商不同

6. 其他因素，依重要度1~2排序，1表最重要，2為其次。

\_\_\_\_\_雷射穩定度不足

\_\_\_\_\_雷射設備碰撞造成微粒

準則 A	準則 A 與 B 成對比較之重要程度									準則 B
	A 較重要 ←			一樣重要			→ B 較重要			
	絕對重要	非常重要	重要	稍重要	同等重要	稍重要	重要	非常重要	絕對重要	
雷射穩定度不足										雷射設備碰撞造成微粒

本問卷到此全部結束，再一次感謝您的耐心填答與協助！

## 附錄二

本研究將問卷發給光電產業專業人員填寫，問卷對象為十位該產業之工程師，其各專家之公司、部門和職稱的相關資料，如表一。

表一 專家之相關資料

公司	部門	職稱
A 公司	製程研發	主任
A 公司	製程設備	工程師
B 公司	製程研發	工程師
B 公司	製程	高級工程師
B 公司	製程	工程師
B 公司	製程	工程師
C 公司	製程研發	工程師
C 公司	製程	工程師
C 公司	製程	工程師
C 公司	製程	工程師