

東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

碩士論文

可用生產時間波動性對產能影響性分析
-以半導體晶圓製造為例

研 究 生：林思逸

指 導 教 授：王立志 教授

中 華 民 國 一〇四 年 六 月

Influence of the Fluctuation of Production Available Time on Capacity Output for Semiconductor Wafer Fabrication

By
Si-Yi Lin

Advisor: Prof. Li-Chih Wang

A Thesis

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

June 2015
Taichung, Taiwan

可用生產時間波動性對產能影響性分析

-以半導體晶圓製造為例

學生：林思逸

指導教授：王立志 教授

東海大學工業工程與經營資訊學系

摘 要

半導體晶圓製造廠的建置需投資昂貴的成本，如何有效的利用產能始終是半導體製造業所面臨的關鍵挑戰。一般而言，規劃人員利用過去機台與途程的平均可用時間等資料，建置一靜態產能規劃(Static Capacity Planning) 模型進行產能評估與規劃，以滿足需求計畫。然而，靜態模型的作法並無法考量半導體生產時的限制條件與特性，以及不定時發生的複雜異常事件(例如：機台故障)，因此很難估計出一個合理且有效益的產能規劃，以滿足每週/月需求(即，晶圓產出)。有鑒於此，本研究利用一產能規劃與分析模擬模型，考量晶圓製造生產特性、機台內部做動行為，並考慮全廠派工邏輯；使用一實際半導體 12 吋晶圓廠所提供的關鍵/瓶頸生產設備可用時間(Available Time; AT)，進行對於機台設備可用生產時間與波動性 (fluctuation) 對於整體產能產出之影響性分析。分析結果發現，當機行為之波動性(特別是單機)對整體晶圓產出影響約為損失 3% - 5.0%，此外，本研究亦針對在單機機台在不同產能負荷(loading) 程度下，對不同可用時間(受當機影響)的產出敏感度分析，以利產能投資決策。整體而言，本研究所提出的產能分型模式，不但可有效分析半導體晶圓製造機台可用時間與其波動性對產出的影響，更可作為機台產能評估與投資決策之參考。

關鍵字詞：晶圓製造、半導體產能規劃與分析、可用時間波動性、產能投資決策

Influence of the Fluctuation of Production Available Time on Capacity Output for Semiconductor Wafer Fabrication

Student: Si-Yi Lin

Advisor: Prof. Li-Chih Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

With the vast amount of capital invested in the 300 mm (12-in.) wafer fab facility, how to effectively utilize the capacity is always a crucial challenge for semiconductor capacity planners. Currently, static capacity planning model, which is based on the historical data of the average available time of machines and routing, is usually employed to plan the required capacity for satisfying the demand plan. Due to the complexity of semiconductor production and many production constraints and frequently occurred abnormal events (e.g., machine breakdown) are not considered, the static model is very hard to estimate a reasonable capacity plan for satisfying a weekly/monthly demand (i.e., wafer out) plan.

Therefore, this paper aims to develop a capacity planning and analysis simulation (CPAS) model which takes into account the production characteristics/constraints, the internal behavior of machines, and the dispatching rules applied in a full-scale 300 mm wafer fab. The accuracy of the CPAS model is validated with the actual input (e.g., wafer release per day, machine run time/available time, routing, WIP) and output (e.g., Cycle time, MOVE, Wafer Out) for all machine tool sets. The CPAS model was also employed by capacity planners in a leading wafer fab in Taiwan to study the effect of the fluctuation of available time (AT) of critical/bottleneck production equipments to fab's overall capacity and output performance. Analysis results show that AT fluctuation may result in 3% to 5% capacity loss, and a sensitivity analysis of the degree of capacity loading and AT to the throughput (i.e., wafer out) is also performed to demonstrate how to apply CPAS model to provide information for making the capacity investment decision.

Keywords: Wafer Fabrication, Semiconductor Capacity Planning and Analysis, Available Time Fluctuation, Capacity Investment Decision

致謝詞

兩年前的今天，我無法深刻的體會寫致謝詞的感覺，兩年後的今天，靜下心回首研究所的求學歷程，我深刻的感受著受到諸位師長、同學、朋友與家人的協助與鼓勵。首先感謝這兩年來辛苦細心指導我們的指導教授王立志博士，無論是專案上的學習，或是面對挑戰該具備的態度，謝謝您總是以自身的經驗與行動帶領著我們往正確的方向，並且給予最大的鼓勵使我能順利的完成每一次的挑戰，在此衷心的向老師致上最高的敬意與感謝。同時謝謝口試委員袁明鑑博士以及陳盈彥博士，與百忙中抽空審查學生之論文，同時於口試給予寶貴的指導與意見，使本論文更加的完善且嚴謹。

兩年的生活點滴，感謝研究室的學長姊、同學與學弟妹的包容與幫助；謝謝心恕學長在專案上的支援，沒有你我們的專案與論文不會有一個結束，研究所的生涯也會減少不少的趣事。謝謝同期的 AUTO 夥伴，除了專案要面對的崩潰時期，一年一度的聖誕節搞屁大會，無數次令人怦然心動的慶生……，謝謝你們一路陪著我渡過這精采的兩年，沒有你們我相信我無法獨自的完成許多看似玩笑卻其實很厲害的活動。感謝學弟妹們支援以及還有每次溫馨的實驗室聚餐，謝謝你們的用心。特別還要感謝系女籃的所有隊友們，在我最無助沒有自信的時候，總是給予鼓勵我、拉我一把，與我並肩一起前進。

在成長的過程中，總是替我擔憂的父母親，謝謝你們支持我這任性的選擇，兩年來的擔心不少，但終於我也完成了看似艱難的過程。謝謝我親愛的手足們，一起玩耍、吵鬧和分享，我相信還是會同手同腳的走下去。此外，謝謝在研究生涯相遇的男友，總是體貼細心的照顧著我，忍受著我一次次的脾氣與牢騷，辛苦你也謝謝你。

曾經我無法想像真正的完成論文的感覺，兩年的酸甜苦辣好像真的要畫上了句號，才發現時間一瞬間就過去了，沒有時間後悔也沒時間等待。慶幸一路上遇到妳/你們，希望我並沒有讓你們失望，也謝謝你們總是給我滿滿的愛與鼓勵，願我可以秉持著這樣的精神，繼續邁進。

林思逸 于東海大學工業工程與經營資訊學系 2015 年 6 月

目錄

摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致謝詞.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 研究步驟與方法.....	4
第二章 文獻回顧.....	6
2.1 產能規劃應用於半導體產業.....	6
2.2 產能分析應用於半導體產業.....	9
2.3 統計分析方法應用於產能分析.....	10
2.4 小結.....	11
第三章 產能規劃與統計分析模擬系統.....	12
3.1 機台群組可用時間分析討論.....	12
3.2 產能規劃與統計分析模擬系統.....	16
第四章 運用模擬系統與統計分析應用於半導體產業.....	21
4.1 分析流程.....	21
4.2 動態產能影響因子.....	22
4.3 案例說明.....	26
4.4 統計假設檢定方法與步驟.....	38
4.5 動態產能影響因子對總產能影響之現象討論.....	40
第五章 結論與未來方向.....	49
5.1 結論.....	49
5.2 未來研究方向.....	50
參考文獻.....	51
附錄一.....	56
附錄二.....	61

表目錄

表 3.1 參數定義.....	13
表 3.2 機台群組相關指標表單.....	19
表 3.3 模擬產出整體資料.....	19
表 4.1 範例-計算離峰值合理性判斷	23
表 4.2 實驗總覽.....	37
表 4.3 範例 Excel 產生 T 檢定之結果	39
表 4.4 產能目標達成程度之影響分析圖表說明.....	40
表 4.5 單機多層-模擬可用生產時間對於總產能損失差異百分比總表	41
表 4.6 單機多層機台群組以集中前當機模式其模擬後產出結果資料.....	42
表 4.7 單機多點波動型態對總產能損失差異.....	45
表 4.8 單機多點在不同 AT 水準下對總產能損失影響差異表.....	46
表 4.9 單機單點在不同 AT 水準下對總產能損失影響差異表.....	46
表 4.10 多機多點在不同 AT 水準下對總產能損失影響差異表.....	46
表 4.11 機台群組負荷量與可用生產時間之關係.....	47
表 4.12 機台群組負荷量與可用生產時間對產能損失關係結果.....	48

圖目錄

圖 1.1 半導體產業的上下游關係.....	1
圖 1.2 2014 台灣 IC 產業產值統計結果.....	2
圖 1.3 現有產能投資模型下規劃產能與實際產能之差異圖.....	3
圖 1.4 本研究之架構與流程.....	5
圖 2.1 不同環境與產品組合下，其 CT-TH 配置關係.....	8
圖 3.1 晶圓製造生產系統示意圖.....	12
圖 3.2 靜態產能規劃機台群組負荷量計算步驟.....	14
圖 3.3 靜態產能規劃流程圖.....	15
圖 3.4 本研究晶圓製造生產系統示意圖.....	16
圖 3.5 產能規劃與統計分析模擬系統架構圖.....	17
圖 3.6 模擬模型系統每月產出驗證示意圖.....	19
圖 4.1 分析流程.....	21
圖 4.2 影響產能原因之魚骨圖分析.....	22
圖 4.3 機台不同指標對產能影響趨勢波動圖.....	24
圖 4.4 高維度的多變量分析進行機台分群.....	25
圖 4.5 範例 K=5 之 Clusters.....	25
圖 4.6 機台群組分類.....	26
圖 4.7 實驗因子分類-波動性因子.....	28
圖 4.8 案例時間分割示意圖.....	28
圖 4.9 波動性因子-集中當機型態示意圖.....	29
圖 4.10 波動性因子-雙高峰當機型態示意圖.....	29
圖 4.11 波動性因子-週期性當機型態.....	29
圖 4.12 波動性因子-間隔性當機型態.....	30
圖 4.13 十二種波動案例模式示意圖.....	32
圖 4.13 十二種波動案例設計操作流程.....	33
圖 4.14 波動性因子-隨機當機型態.....	33
圖 4.15 隨機當機型態設計操作流程.....	34
圖 4.16 隨機案例曲線累積散佈圖.....	34
圖 4.17 實驗因子分類-可用生產時間因子.....	35
圖 4.18 以連續集中前當機型態為例之不同可用時間水準示意圖.....	35

圖 4.19 情境一-以集中前當機型態為例	36
圖 4.20 情境二-以集中前當機型態為例	36
圖 4.21 情境三-以隨機當機型態做為當機參數設計	37
圖 4.22 統計假設檢定步驟.....	38
圖 4.23 AT fluctuation 與其機台群組 WIP、Move 之關係示意圖	40
圖 4.24 可用生產時間波動性對於產能損失的影響關係示意圖.....	41
圖 4.25 集中當機模式之案例結果示意圖.....	43
圖 4.26 雙高峰當機模式之案例結果示意圖.....	43
圖 4.27 週期性當機模式之案例結果示意圖.....	44
圖 4.28 間隔當機模式之案例結果示意圖.....	44
圖 4.29 隨機當機模式之案例結果示意圖.....	45
圖 4.30 上圖表示連續總當機 2.5 天，下圖表示連續總當機 7.0 天.....	48

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

1.1.1 研究背景

半導體產業是近年來台灣的經濟發展的重點項目，因此從上游的晶圓材料到 IC 設計業、IC 製造業、IC 封裝業、測試業；在台灣已經有一套完整的半導體產業的供應鏈結構，圖 1.1。

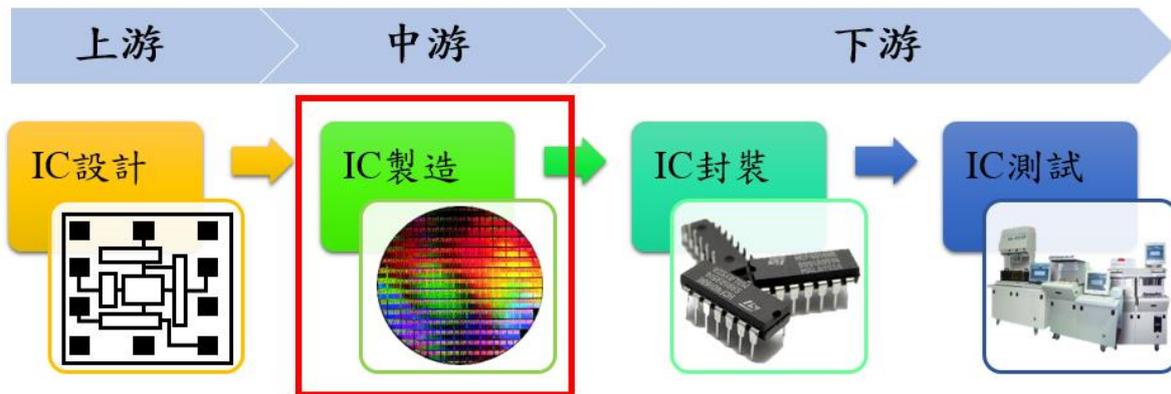


圖 1.1 半導體產業的上下游關係

(來源：本研究整理)

在此之中，以 IC 製造業的產值占全體產業的比值比最為龐大；由圖 1.2，根據工研院 IEK 統計，2014 年 IC 製造業產值為 11,731 億元，占了全年度台灣 IC 產業總產值的 53%。由此可見其 IC 製造業對於整體經濟扮演著重要的角色。然而雖然 IC 製造業的產值相當的高，但建造一座 IC 製造廠的成本相對也非常的高昂。在建置一座六吋 IC 製造廠的成本可能需要兩三百億元，若是一座十二吋 IC 製造廠的建置成本更可能達到一千五百億元，因此建置一座 IC 製造廠的獲利與否，對於投資者而言必須要有非常嚴謹的規劃與評估。

產能規劃(Capacity Planning)是用來確定企業為達成產出目標所需要的資源之多寡，也就是規劃由人員、設備等綜合形成的總體生產能力的大小，其所確定的生產能力將對企業的各種作業層面(如定價策略、財務策略等)產生重大影響。近年來，由於晶圓製造有線寬縮小、尺寸放大的趨勢影響下，如何有效的利用產能始終是半導體產業在進行產能規劃的一個關鍵挑戰。然而，由於製造程序的繁瑣(例如：包含超過五百道製程)以及產品製程上的

迴流特性等不可控制的因素，皆影響著晶圓製造廠在進行產能規劃時難以準確且有效地進行的原因。此外，新技術的快速發展下，對於產能的穩定性和可靠度也將會顯著影響著晶圓的產量與良率。

億新台幣	14Q1	季成長	年成長	14Q2	季成長	年成長	14Q3	季成長	年成長	14Q4	季成長	年成長	2014 年	年成長
IC 產業產值	4,736	-3.4%	15.3%	5,512	16.4%	14.8%	5,883	6.7%	15.9%	5,902	0.3%	20.4%	22,033	16.7%
IC 設計業	1,253	-3.0%	23.8%	1,456	16.2%	19.7%	1,549	6.4%	20.0%	1,505	-2.8%	16.5%	5,763	19.8%
IC 製造業	2,458	-3.6%	13.1%	2,880	17.2%	13.5%	3,116	8.2%	15.3%	3,277	5.2%	28.5%	11,731	17.7%
晶圓代工	1,807	-2.7%	6.2%	2,215	22.6%	12.3%	2,438	10.1%	18.3%	2,680	9.9%	44.2%	9,140	20.4%
記憶體製造	651	-6.1%	37.6%	665	2.2%	17.7%	678	2.0%	5.6%	597	-11.9%	-13.9%	2,591	9.2%
IC 封裝業	710	-3.4%	11.8%	815	14.8%	12.6%	845	3.7%	12.7%	790	-6.5%	7.5%	3,160	11.1%
IC 測試業	315	-3.1%	9.8%	361	14.6%	12.1%	373	3.3%	12.3%	330	-11.5%	1.5%	1,379	8.9%
IC 產品產值	1,904	-4.1%	28.2%	2,121	11.4%	19.1%	2,227	5.0%	15.2%	2,102	-5.6%	5.9%	8,354	16.3%
全球半導體成長率	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.9%

圖 1.2 2014 台灣 IC 產業產值統計結果

(來源：TSIA；工研院 IEK，2015/02)

目前半導體產業在進行產能規劃時，多採用靜態模型的產能規劃方法，其作法為從過去機台與途程的平均可用時間歷史資料加上現今實際產量，搭配經驗公式加以推導計算，以滿足需求計畫所需的產能。而靜態模型亦可以利用數學規劃技術、臨域搜尋法和人工智能方法進行規劃(Gupta and Sivakumar, 2006)。然而在有變異(Variation)存在的真實情況下，預測容易失準，也無法處理許多複雜的細部變因，例如，靜態模型並無法處理等候(queuing)壅塞下所造成的產能損失、半導體機台間的連動性(例如 lead time 隨前後機台的變化)等因素，同時靜態模型也忽略了半導體生產時所存在的生產限制和不預期發生的異常事件(例如：機台的故障)，因此靜態模型的做法並無法產生合理的產能規劃以滿足每月(週)的需求。

1.1.2 研究動機

整體而言，在總產能充足的情況下，機台產能的波動性(fluctuation)對整體晶圓產能的影響可能並不顯著，因此靜態模型所得到的結果可能與實際情況相差不遠；但當在總產能吃緊的情況下(即需求量大於產能供應量時)，機台生產可用時間(Available Time)的波動性卻可能會造成總體產能(或產出)很大的損失，換言之，若只是透過平均值的歷史參數來進行產能規劃時，靜態產能模型可能會高估了產量績效。這將會導致實際生產的成本超過了

計畫的理想成本的差異(gap)，如圖 1.3 所示；同時也造成不恰當的產能投資決策，有鑒於此，在進行規劃時必須在產能規劃模型當中考慮參數變異性與許多相關動態變因，讓產能投資規劃更為精準。

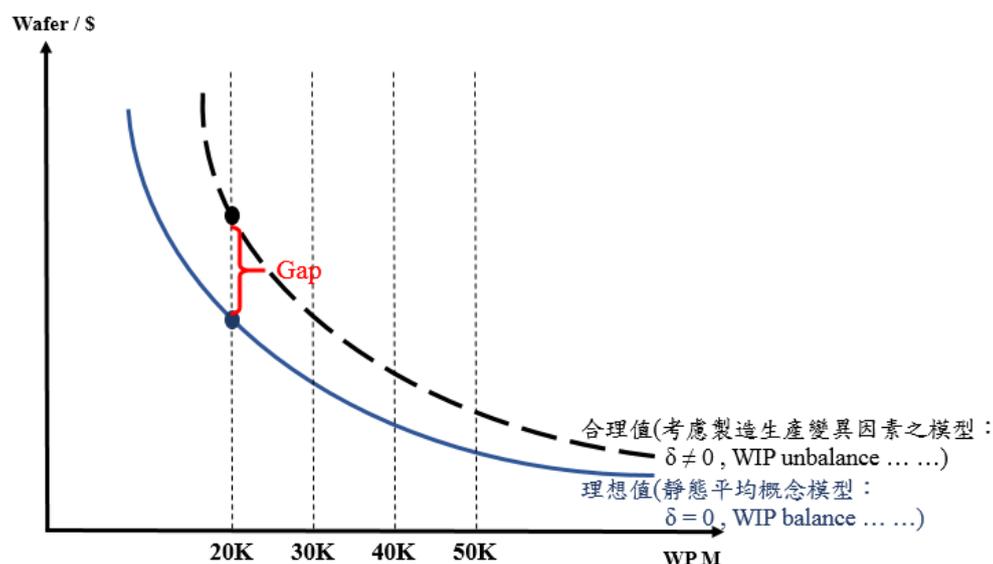


圖 1.3 現有產能投資模型下規劃產能與實際產能之差異圖

實務經驗上，機台的可用產能(Available Time; AT)的不穩定性將會對總體產能(或產出)有損失的影響；但對於是哪些機台群組、在何種的可用產能水準下(AT%)、不同的產品組合及數量，對於總體產能(或產出)有明顯的損失或其影響程度則往往無法得知。若生產與規劃人可以有效的掌握各機台群組在界定的 AT 水準之下(此數據可依據歷史生產資料取得)，並對於特定週期內的產品組合及數量，其對總體產能(或產出)的影響程度，使現場人員有所依據，則僅需對於影響幅度大的“關鍵”機台群組，維持 AT 水準的穩定性或是提升其水準。除此之外，可用產能(即 AT)會受不可控制因素(例如：當機)或者可預期/控制的因素(例如：維修與保養)等影響，倘若可以取得 AT 波動樣式(pattern)對總體產能/產出之影響程度，對於現場人員亦可以將維修與保養時程派置於較適當的時間。

因此，本研究預計利用一個動態產能規劃與分析模擬模型，此模型將會考慮晶圓製造的生產特性與限制，機台內部的稼動行為，並配合全廠的派工規則。同時考量關鍵(或者瓶頸站)生產設備的可用時間波動性參數，進行晶圓製造廠的總體產能(或產出)的影響關係研究。

1.2 研究目的

由上述可知，本研究將利用一考量半導體生產特性、限制條件及影響產能因子的「動態產能規劃模擬系統」，再利用此系統分析關鍵機台群組 (Tool Group) 可用產能 (AT) 的不同波動性或變異性對 Fab 產能大小的影響性。具體而言，本研究欲透過模擬模型與統計方法來找出：

1. 機台可用生產時間的波動情形與產能損失的關係。即在不同 AT 波動狀況在不同系統負荷 (Loading) 下對於 Fab 產能大小的影響 (產能不損失之最大承受 loading)。
2. 期望透過模擬實驗與統計方法能夠找到 Fab 產能大小與不同 AT 波動狀況、不同系統負荷，表達機台產能的損失的狀況；進而做為提供投資決策時的參考依據。
3. 不同機台數 (單、雙機與多機台) 在當機 (Down) 或維護保養 (PM) 時對於 Fab 產能利用與產出績效之影響。

1.3 研究步驟與方法

本研究將應用於目前實際運作的一晶圓製造廠，依照其製造廠實際運用之歷史資料配合一動態生產規劃系統進行模擬實驗，根據其實驗設計後所產出的資料進行統計分析使用。

本篇論文研究的流程依以下步驟進行，如圖 1.4 所示。

1. 瞭解晶圓製造業產能規劃之作法
蒐集相關晶圓製造廠的製造流程，以及產能規劃相關之文獻；進行彙整，以此作為後續研究之理論基礎。
2. 問題定義與分析
對於晶圓製造的生產規劃流程進行探討，確立本篇研究所欲探討之對象與問題，並找出造成問題之因素。
3. 確立研究方法與流程
考量晶圓製造廠之特性，本研究利用一動態生產規劃與分析模擬模型，進行相關實驗設計之模擬，藉此去瞭解影響產能因子所造成產能損失為何。

4. 實驗設計與統計分析

考量多個因子與不同水準下，分析不同因素下對於總體產能之優劣表現狀況，以作為決策者在進行投資實的管理工具。

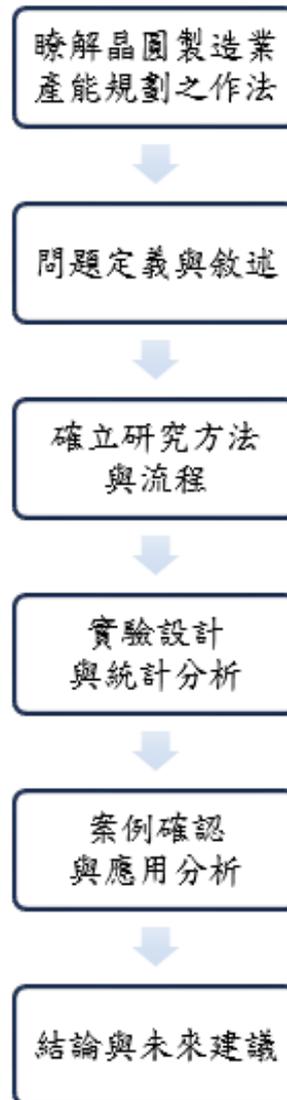


圖 1.4 本研究之架構與流程

本篇論文總計五個章節，其餘章節的安排如下。第二章將進行相關文獻的探討；在第三章描述何為靜態產能規劃模型，並對提出的動態產能規劃與分析模擬系統進行敘述；而實驗設計與統計分析方法將在第四章進行說明，配合的相關案例以及其實驗結果；最後第五章為結論與未來建議。

第二章 文獻回顧

2.1 產能規劃應用於半導體產業

以應用於半導體廠的產能規劃研究方面，目前已有許多學者對各類型或者決策方法進行探討，例如學者余業鑫(2002)歸納出半導體管理決策模式常用到的三種方式：(1)最佳化模式-Chou and Hong(2000)針對晶圓廠在產能固定下的最佳產品組合，利用瓶頸為基礎的規劃方法，減少混整數規劃運算次數與時間；(2)模擬模式-呂麗香(2006)以模擬軟體，進行模擬半導體全廠機台的生產規劃；(3)等候網路模式-Daniel P.(1996)等人將此模式應用在 IBM 的晶圓生產流程上，並且在限制循環時間的前提下得到晶圓廠各區機台的最小成本數量。

2.1.1 靜態產能規劃

由過去的文獻當中，學者 Geng and Jiang (2009)將產能規劃分為靜態規劃與動態規劃兩種方式。而學者 Gupta and Sivakumar (2004)又將靜態產能規劃方法分為啟發式派遣、數學規劃技術、臨域搜尋法、人工智能方法等。比如：呂春美(2004)建立一產能規劃模組，其規劃模組輸出資料作為生產排程參考與決策依據；黃嘉常(2005)利用人工智能的倒傳遞類神經網路方法，進行最適水準的在置品考量；陳志偉(2009)利用局部搜尋法處理平行機台排程的問題。此外，在其他的應用上，如 Witte (1996)建立一靜態產能模型，分析資金規劃和生產計劃；學者 Occhino (2000)開發一產能預測模型，以滿足生產規劃需求。

然而上述規劃方法，皆未考慮影響產能的變動因素，因此無法反應出實際的生產情況。

2.1.2 應用模擬技術於產能規劃

為了克服上述靜態產能規劃的缺失，動態產能規劃模擬模型被廣泛應用，以解決一些複雜的問題，例如：Bahaji and Kuhl (2008)考量兩個晶圓廠的派工法則與訂單策略，建構一實際工廠運作情形的模擬模型，並運用全實驗設計與統計分析，進行各式不同派工與訂單策略下之組合，找出績效最好之晶圓廠。Liu *et al.* (2011)建構一個多維度的三階模型考量投入：產出時間(cycle time)、生產量(throughput)與產品需求狀況(product mix)，同時結合等候模型及系統模擬進行產能規劃，以研究產能擴充的生產設備問題。

整體而言，由半導體產能規劃的研究得知，現今主要運用動態產能規劃方法，為考量各種變異因素結合模擬技術來進行建構。

由於半導體生產的複雜性，往往利用模擬技術進行規劃以運行各式規則，由學者 Negahban 和 Smith (2014) 所整理，模擬技術應用於半導體產業，可大致分為對生產機台進行模擬以及對非生產機台(搬運設備)進行模擬兩大類：

1. 以生產機台(工作站或製程站)為模擬對象：

使用此方法常常是因為該模擬對象可能是產能的瓶頸工作站(製程站)，如由學者 Arisha and Young (2004) 提出一模擬結合人工智慧的規劃方法，目的在減少在製品的目標和產出的時間。或者是模擬對象有特殊的生產行為，因此對於此特殊的生產情況進行模擬，以作相關分析。例如 Aybar and Kishore (2002) 利用模擬建置集束型設備 (cluster tools) 的產能最大化之研究。另外，陳勝一(2005) 也曾對爐管區機台為例，進行批量加工的排程問題。此種模擬方式會強調將生產的特殊性考量進來，至於模型細膩程度則會依需求決定。

2. 以非生產機台(搬運設備)為模擬對象：

通常此對象的模擬是為了研究整個運輸網路的順暢對產能的影響程度，此種模擬的重點是在於整體運輸網路的呈現，因此並不會將機台的各種動作完整呈現。如 Jimenez(2002) 使用模擬系統來防止半導體廠自動運輸系統 AMHS 的運送傳遞堵塞；Wang and Chen(2012) 使用模擬來分析材料處理的設備調度排程問題；Lin *et al.* (2003) 藉由模擬系統執行實驗設計，評估物件傳送對於平均生產時間或產出量或機台使用率的影響情況。

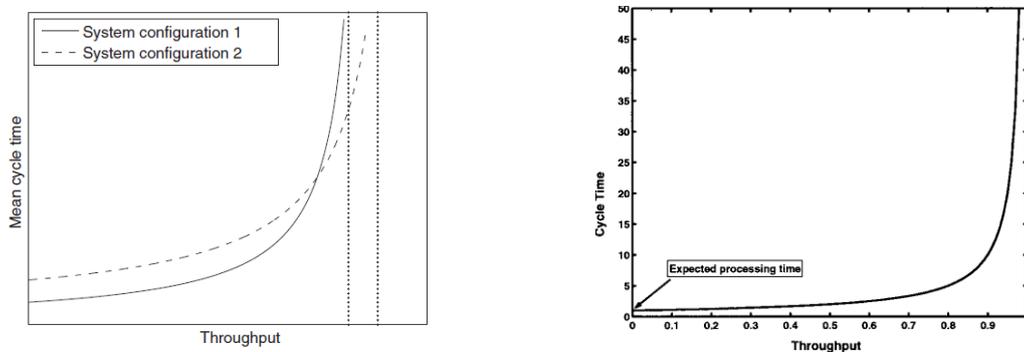
當然，除了模擬應用於上述兩種對象外，也有少數擴展至全廠為模擬對象的研究；例如 Hung *et al.*(2002) 以某半導體廠為目標，利用模擬得到每種晶圓產品每片帶給全廠每個工作區的負荷，此為每日需求模式，並利用此資訊進行線性規劃，求得產出最佳的產品組合，然而此種模型精細度通常都會是最粗略的。

透過上述文獻的歸納，可以看出靜態產能的規劃方法，並未考量生產過程當中的變異因素；而動態產能規劃結合模擬技術進行規劃，

可以解決過去靜態規劃方式無法解決的問題。然而，大多數的研究常常是對於搬運的設備或者是部份的製程進行模擬，其對於機台行為的模擬則只針對有特殊生產行為或者瓶頸加工站進行模擬；若是對晶圓製造廠進行全廠區的建構，所考量的機台特性行為則較為粗略。

2.1.3 靜態模擬結合動態模擬模型

近年來，許多學者為取得在晶圓製造生產規劃有最佳的結果，且可以同時考量多項生產變動因素，都使用靜態數學規劃方法結合模擬模型進行規劃，例如：Jingang Liu *et al.* (2011)使用排隊理論的方法，並結合模擬為基礎進行產能規劃，以得到較好的資源配置，其所採用的特徵值為週期時間與吞吐量的分佈關係(如圖 2.1(a))；Feng Yang *et al.*(2006)亦由排隊理論所支持的非線性回歸元模型開發，並以一 CT-TH 曲線來表示一個製造模擬之反應(圖 2.1(b))，同時為了有效地評估模型，亦建立了在不同順序下得多階段過程，以大量的數值實驗進行驗證其有效性。Dima Nazzal *et al.* (2006)整合模擬模型、實驗設計、統計分析，及合理的經濟工具；其目標在於減少循環時間並量化其對經濟影響，透過篩選實驗確定生產設備對於生產時間週期等顯著影響的因素；基於這些因素建構多個方案下的特性曲線；例用這些曲線了解循環時間與生產量的關係，最後在使用經濟分析以評估投資在其他工具的回報。另外，Feng Yang (2010) 提出了一種對於單/多項產品的神經網絡(NN) 元生產環境的建模方法，以得到其週期時間與吞吐量之配置關係。Minqi Li *et al.* (2014)以兩種啟發式方法，基因演算法和一基礎的指派分配規則評估半導體製造的性能評價和滾動視界的總體規劃；同時考慮需求和執行的不確定。



(a).(來源：Jingang Liu *et al.* (2011)) (b).(來源：Feng Yang *et al.*(2006))

圖 2.1 不同環境與產品組合下，其 CT-TH 配置關係

由以上文獻可知，為因應半導體產業大量的資金投入和高度的競爭力，為取得在產能規劃上有較好的結果，皆使用靜態規劃方法結合模擬實驗，然而對於在晶圓製造廠進行全廠區的建構時，所考慮的因素也較集中關於產出量、產品需求、產品生產週期時間等等，並無探討機台生產可用時間或者機台的波動行為造成的影響。此並無法真正提供現場規劃人瞭解，規劃結果與實際生產時所造成的產能落差為何。

因此本研究希望同樣透過模擬的方法，建置一個完整的晶圓生產模擬模型，並考量晶圓製造的生產特殊性與相關生產限制、重要機台群組的波動行為，來有效處理半導體廠機台可用時間波動性的問題。

2.2 產能分析應用於半導體產業

為解決半導體產能規劃投資、製造設備績效等問題，大多數研究運用統計分析、實驗設計、比較趨勢分析圖等方法進行改善，其中針對產能規劃考量各種不確定因素，如 Swaminathan (2000)利用鬆弛基礎啟發式方法(slack-based heuristics)及貪食態度啟發式方法(greedy heuristics)，將產能規劃分成四季進行預測，同時利用兩種方法規劃所需購買機台數量，以求得在需求不確定情況下的總產能規劃。賴俐君(2006)則是以考慮需求的不確定性為影響產能決策之因素，進行產能規劃與決策並模擬分析，進一步的提供企業於產能設定上之決策參考依據。

以上文獻雖然已經考量不確定性因素的產能規劃方法，然而並沒有對半導體不同案例情境的動態模擬後結果與實驗設計進行分析比較。Nazzal *et al.* (2006) 對於半導體產業，產能擴充的生產設備問題，對於晶圓廠的實際運作狀況建立模擬模型，並根據模擬產出的結果，確立各個生產機台組合影響總產能情況下，結合部分因子實驗與統計分析，並繪製趨勢分析圖進行比較，以得出關鍵機台組合，再依據實驗結果計算其經濟效益，以作為是否擴充產能或購置新的生產設備之依據。Thiesse and Fleisch (2008)運用統計的方式找出關鍵影響機台，再針對不同情境案例實驗結果進行趨勢的比較分析，從趨勢圖分析出在何種機台組合情況下，找出最佳產能規劃的投資選擇。林金宏(2008)與黃崇興(2003)針對半導體產業的供應鏈進行物流、資金流、資訊流的分析，進行市場需求與時效變化的分析，進而建立一晶圓代工廠的模擬模型，運用動態系統模擬方式，分析其產能使用率、總產

能等趨勢圖，以尋求產能投資決策與需求管理模式該如何互相平衡的方法。

然而，過去的研究大多只針對情境案例的結果進行比較與分析，缺少了如同本研究欲探討於不同機台設備作動模式或生產狀況(例如可用時間水準、當機、預防保養時程)下對產能影響的分類，進而提出可讓現場人員進行保養與維修排程規劃的重點。在參考相關研究文獻後，本研究預計運用特色群聚方法找出“關鍵”機台群組，並針對數據進行統計分析，待建模完結合實驗設計之情境得出最適分析結果。以下對相關應用分析方法進行討論。

2.3 統計分析方法應用於產能分析

本研究預計使用群聚方法進行篩選出“關鍵”機台群組，在統計分析中不難發現群聚方法已經被大量應用在許多的地方；比如數據挖掘和知識發現、向量量化、壓縮數據、模式的識別與分類等 Kanungo *et al.* (2002)。此外，Braha *et al.* (2002)等學者更提出一有效且簡單的 Loyd's k-means clustering 應用在方法流程上，透過此算法其敏感度分析可證明其可更快的將群聚分離，並由許多研究證實產生的綜合數值及真實的數據進行彩色量化、數據壓縮和圖像分割。此外本研究預計對不同 AT 的波動產出結果進行分類討論，而學者 Chen-Fu Chien *et al.*(2007)也證實 K - W test 可以利用真實的數據應用在半導體產業處理異常時進行分類；其中 K-W test 是一處理平等處理的方法，亦可以取代一般常使用 ANOVA 的非參數測試。

由於半導體製造過程的繁瑣，其影響的因子及交互關聯性更顯得複雜；要找出影響製程的關鍵因素實屬不易。因此半導體產業在進行產能規劃的同時，多半會伴隨著實驗設計進行以降低實驗成本與縮短實驗時間；例如，林志良(2009)運用六標準差管理方法同時結合田口實驗，以得到晶圓切割製程的最佳參數組合；Tyan *et al.* (2004)則提出一模擬模型透過整合製造過程及 MHS 的方法，配合案例研究週期時間、在製品、準時達交等問題，並利用部分因子實驗找出最適組合進行產能規劃，最後在使用反應曲面找出最佳解。學者王文志(2003)提出以實驗設計為基礎架構的資料探勘方法，以提升晶圓之良率。一般而言在進行實驗設計實，常會透過變異數分析法 (Analysis of variance, ANOVA)作為主要的統計分析工具，其目的即在瞭解因子對系統產出反應的影響，根據所探討因子的數目不同又區分為單因子

變異數分析、雙因子變異數分析、多因子變異數分析；其利用平方和(Sum of square)與自由度(Degree of freedom)所計算的組間與組內均方(Mean of square)估計出 F 值，依靠其 F 的分佈機率作為憑證。廖國欣(2012)透過一實驗設計於晶圓測試，利用變異數分析了解各顯著因子的影響後，藉由製程參數中的針測行程與清針次數設定，有效降低測試錯誤率。

本研究意在討論 AT 波動性對產能之影響性分析，即在考慮實驗因子後所進行模擬後的資料是否與預期產能之差異比較；而基於 T 檢定適用於分析兩組資料的平均數是否相等，廣義上可將 T 檢定視為是變異數分析的一種；而實際上當變異數分析合併在 T 檢定的分析上時，產生的 F 值會等於 T 檢定的平方項。然而做法的特殊性，其必須符合以下假設條件：

1. 常態性假設(Normality)
2. 獨立性假設(Independence)

然而，Keselman *et al.*(1998)發現研究人員很少檢查有效性的假設是否一致；當數據若不呈現常態行為時，即表示無法反映出平均值，除此之外若資料間的變異數也不相等，亦無法說明其每個資料群間據有相同水準的干擾因素。但是在晶圓製造程序的複雜行為下，要取得完整資料已非常不易，若要確保其資料是否有符合分析假設條件，或者要將資料完整清潔整理已進行分析，其過程必經歷需許多繁複的程序。由學者 Schmider *et al.* (2010)提出一 Monte Carlo 方法，已經證明比較不同類型(即違反常態性假設)分佈的 ANOVA 分析結果，其結果會與 ANOVA 結果相同顯著。

由於晶圓製造程序的複雜，必須同時考量眾多因素的困難，若要在給定的時間與資源下要完成完整的實驗有極大的挑戰存在，本研究也遇到相同之困境，因此透過執行實驗設計並結合統計分析的方法，以減少實驗的次數與時間，有效的分析出可用生產時間的波動行為對產能的損失關係。

2.4 小結

綜合上述小節所敘，本研究將利用群聚方法篩選出實驗的”關鍵”機台群組，並透過模擬實驗進行案例的討論，對於模擬後的資料結合 T 檢定統計方法進行差異分析，以探討可用產能的不同波動性對於晶圓製造產能大小的影響性。

第三章 產能規劃與統計分析模擬系統

第三章將介紹本研究中模擬實驗時所使用的產能規劃與統計分析模擬系統並對於生產規劃的方法進行統計關係的說明。在首節中，將對目前晶圓製造業的生產系統，機台群組可用生產時間以及生產規劃中的基本派工規則進行統計關係定義。第二節中提出一產能規劃與統計分析模擬系統且進行驗證；以便於後續進行機台群組可用生產時間的波動性行為對於總產能影響實驗。

3.1 機台群組可用時間分析討論

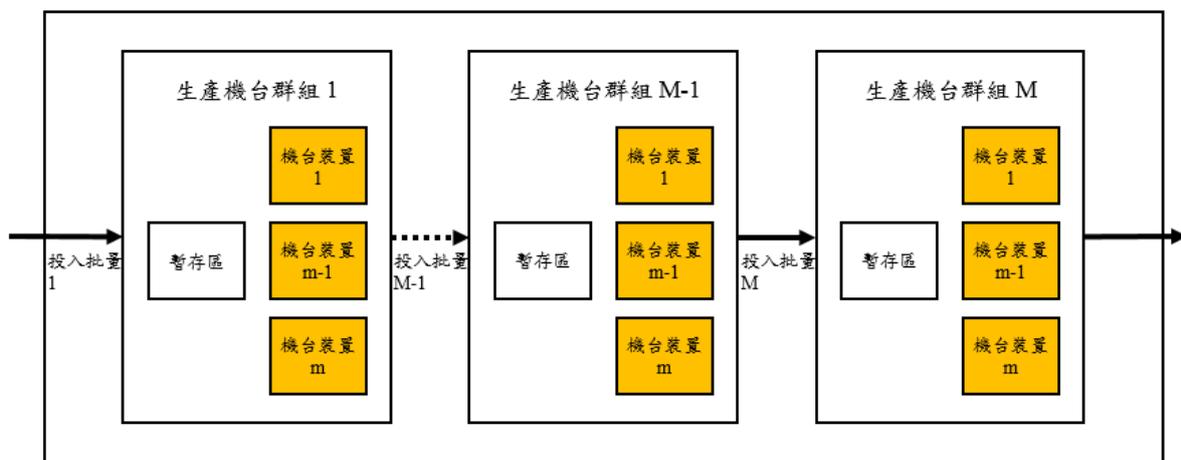


圖 3.1 晶圓製造生產系統示意圖

(本研究整理)

圖 3.1 為晶圓製造生產系統，此生產系統由 M 個機台群組組成，每個群組內皆存在一個晶圓暫存區以及 m 台機台提供晶圓生產。投入晶圓批量會依據產品途程的不同各別進入生產機台群組，再依據各個機台群組的派工法則進行不同生產機台群組間交互的流動，以完成晶圓的製造。

然而晶圓生產製造過程相當複雜且難以進行規劃，其中有相當多不可控制的因素存在，例如一件產品從投料生產到完工入庫需要經過四五百道製程，此外製程中具備的回流特性導致相同的製程需重複生產 20~30 次；另外也可能造成瓶頸情況發生與產品良率不穩等原因，因此對於晶圓製造廠在進行產能規劃時，皆無法進行準確規劃。一般而言，現場人員進行產能規劃時會有以下基本假設：

1. 生產機台群組為無限產能且估算時不預留產能。

2. 進行推估時皆以過去資料平均值進行估算。
3. 不考慮晶圓的流動，通常為長期的穩態產能預測。

基於上述的假設前提，因此本研究歸納整理目前靜態模型使用之供給與需求數學式：

$$\text{Daily tool Need} = \frac{N}{n} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Daily tool Support} = (M - m) * (AT_M - AT_m) * (E) * (B) \dots\dots\dots (2)$$

表 3.1 參數定義

參數符號	參數描述
D	生產規劃天數
N	生產規劃訂單需求量
n	系統晶圓每小時產出批量
M	系統內部包含之機台數量
m	系統內部包含之測試機台數量
E	系統機台生產時使用的效率值
B	系統機台生產批量使用率
P_α	變量的生產時間 $P_{i,\alpha}$ ，即晶圓批量 i 在機台 α 所需時間(包含上、下站時間...等)
Q_α	變量的等待時間 $Q_{i,\alpha}$ ，即晶圓批量 i 在機台 α 所需等待時間
$AT_\alpha := P_\alpha + Q_\alpha$	變量的可用生產時間 $AT_{i,\alpha}$ ，即晶圓批量 i 在機台 α 時所有可用生產時間
$P := \sum_{\alpha=1}^m P_\alpha$	系統內機台群組總變量生產時間
$Q := \sum_{\alpha=1}^m Q_\alpha$	系統內機台群組總變量等待時間
$AT := P + Q = \sum_{\alpha=1}^m AT_\alpha$	系統內機台群組總變量可用生產時間

而現場的人員則會根據步驟(一)選定欲進行產能規劃目標並計算其每日晶圓產出片數；步驟(二)計算產出片數良率與移動站點數後得出所需投片量；步驟(三)運用每日產能與每部機台可提供產能多寡，計算所需機台數目；步驟(四)最後進行機台群組的加總與計算所需機台除以機台群組的總產能，結果得知機台群組負荷，如圖 3.2。

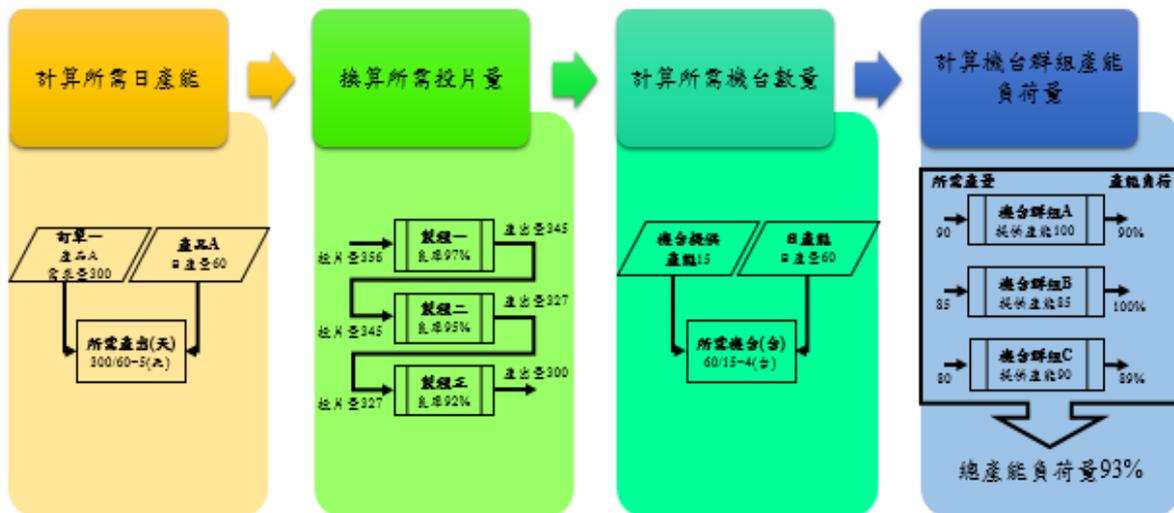


圖 3.2 靜態產能規劃機台群組負荷量計算步驟

(來源：本研究整理)

舉一簡單範例，步驟進行說明如下：

Step1：今有一產品 A 數量 300 之需求訂單，而目前製造現場對於產品 A 的日可允產量平均為 60 片，因此計算可得知工廠為達成目標需求，所需花費的工時時間平均為五天進行製造。

Step2：而步驟二利用過去歷史資料進行評估現場各加工站點之製造良率，以評估為得目標產能之下，製造現場所需投片數量為何的逆向推導方法，如產品 A 所需經過途程分別會製程一、製程二、製程三，其良率分別為 97%、95%、92%，則目標產出量為 300 之下，其總投片量則應為 356，才得以滿足需求數量。

Step3：步驟三與四進行機台負荷量的評估，對於產品 A 而言可允日產能平均為 60 片，而機台每日所提供之產能為 15 片情況下，則需要利用四台製造機台以滿足每日所需日產能。

Step4：最後依據途程資料進行機台負荷量評估，可供應產能之機台群組所能負荷之產能分別計算為何，如分配後機台群組 A、B、C 所需產

出量為 90、85、80，機台群組可供應的產能分別為 100、85、90；因此可計算出其機台群組的負荷程度為 90%、100%、89%；綜合上述可知可供應產品需求之機台群組的總負荷量平均為 93%。

由於，半導體製造所花費之資金相當龐大，一般而言，產能規劃人員會希望將機台群組之負荷量可提升至百分百，全面利用產能；因此得機台群組負荷之後，現場規劃人員因應訂單的需求量，根據不同的產品與途程重複計算機台是否會超出負荷量，再依次進行調整所需提供之產能，無論是分配至其他產品需求使用或是增加其投片量，所以此靜態規劃方法會不斷的重複直至計算出其機台群組負荷量為 100%。以求得供需平衡時所需產能，依此作為機台群組之產能預測。流程如圖 3.3。

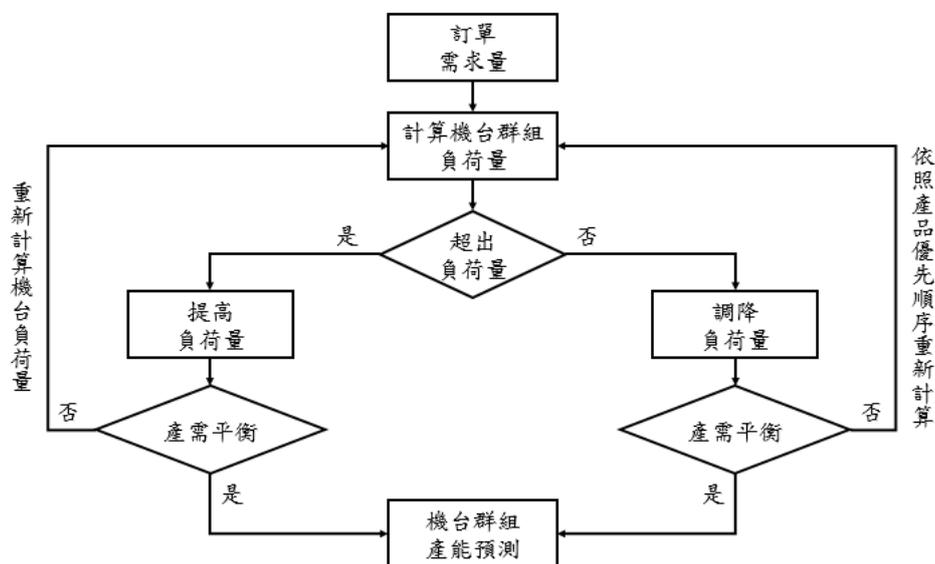


圖 3.3 靜態產能規劃流程圖

(來源：本研究整理)

3.2 產能規劃與統計分析模擬系統

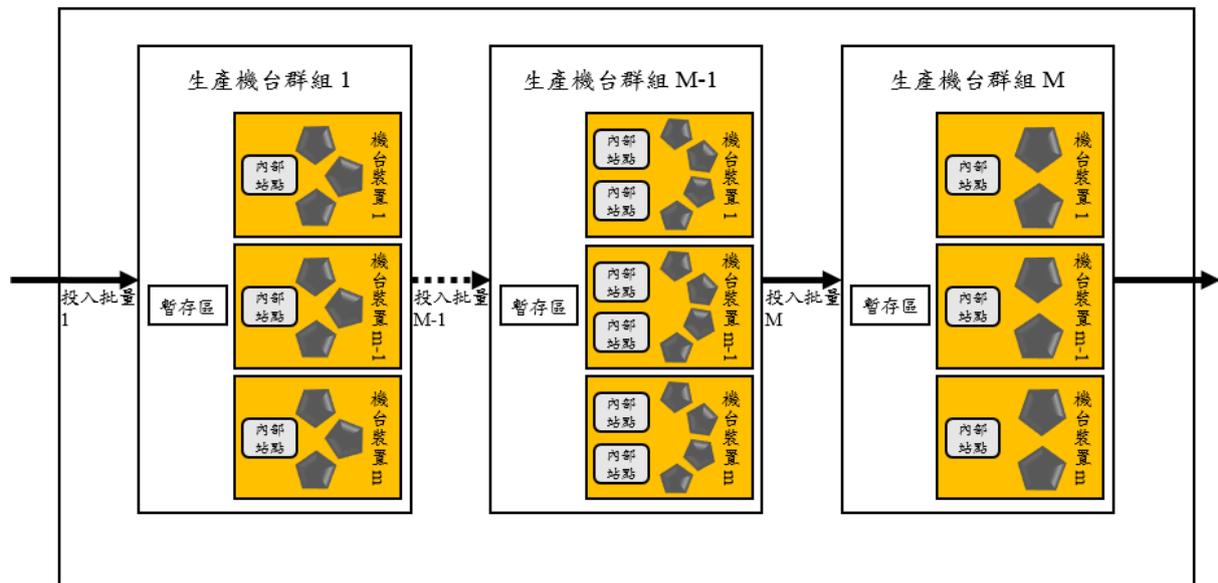


圖 3.4 本研究晶圓製造生產系統示意圖

(來源：本研究整理)

本論文所提出的產能規劃與統計分析模擬系統的主要特性/功能，可歸納如下：

1. 此模擬模型考量到生產的特點與限制、機器內部的細部行為、同時訂立全廠區之派工規則；為了有效的產生晶圓廠製造過程之生產進度，並對於可用時間與波動行為對產出所造成的影響進行分析；此模擬模型必須要進行全面性的完整模擬，以符合實際現場狀況。
2. 分析：對於晶圓廠內部關鍵機台群組，在不同工作的特性與生產限制〈如：機台可用時間、故障與維修時間...等〉，其對晶圓廠的總產出之影響討論；為了完整了解波動性與可用時間對總產出的影響，此分析需配合多項情境設計進行模擬，並依照模擬結果進行分析與檢定，以確保結果的真實性。

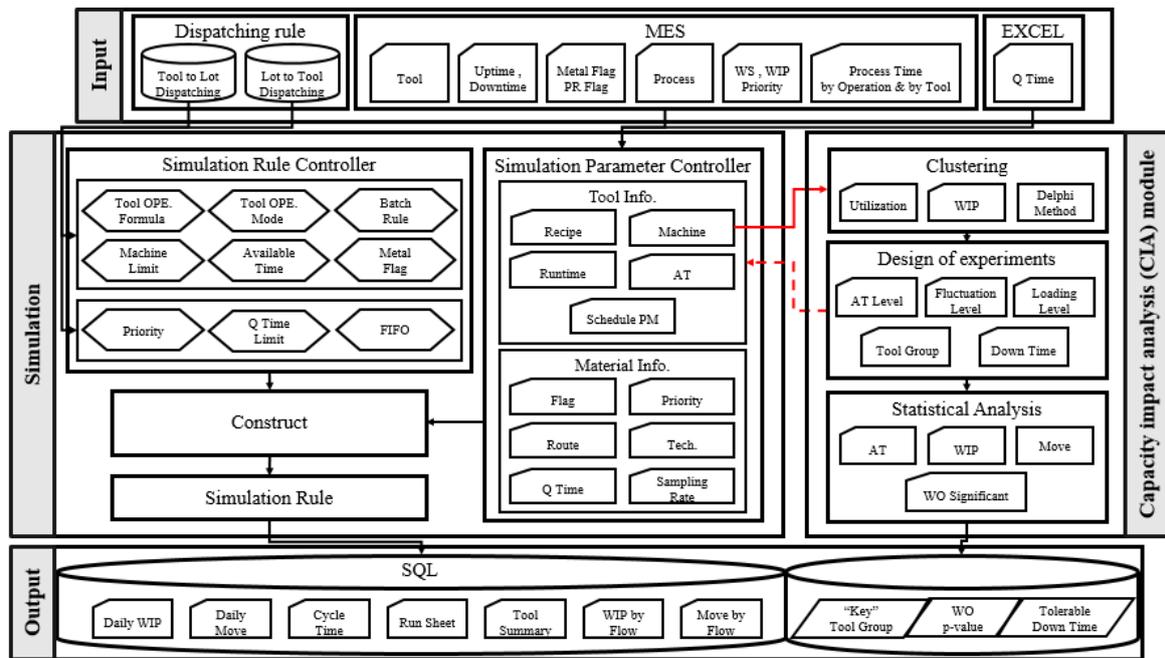


圖 3.5 產能規劃與統計分析模擬系統架構圖

(來源：本研究整理)

為了滿足上述特性，圖 3.5 對於 CPAS(產能規劃與統計分析模擬系統)進行了繪製，CPAS 它是由四個主要模塊所組成：(1) 基本資料輸入，(2) 動態產能模擬，(3) 產能影響分析，和 (4) 資料輸出。而本論文所提出的 CPAS 也可以整合外部應用系統 (如 ERP 和 MES)，並可依據外部環境的變化而做出反應。每個模塊的作用和功能描述如下。

1. 基本資料輸入模塊

輸入模塊包含數據文件和邏輯文件，其數據文件包含了由 ERP 所得之物料相關的資訊 (例如，MO，產品技術，途程)，而機台相關的數據 (例如，機台可用時間，運行時間，計劃 PM) 則由 MES 提供。另外邏輯文件則儲存了在目前晶圓廠所頻繁使用之生產方面的限制 (例如，QTIME，機械金屬標誌) 和生產調度時的相關規則 (例如，配料，優先級)。

2. 動態產能模擬模塊

動態產能模擬模塊，此為產能規劃和統計分析模擬系統的核心，是由模擬系統引擎，模擬系統派工法則控制器和模擬系統參數控制器所組成。其建立在所發佈的製造業訂單 (MO) 和半導體晶圓廠的生產特點、各項限制因素和派工規則上，相關功能介紹如下：

(1) 模擬系統派工法則控制器(Simulation Rule Controller)

模擬系統派工法則資料主要由邏輯文件內相關的生產限制與調度規則所構成。而此派工法則分成兩類，物料選擇機台(LOT Dispatching)以及機台選擇物料(Machine Dispatching)。兩者的差異在於前者在產能充足下進行，此法則為固定模式，物料會根據途程選擇相對應類型的機台；而後者在產能不足，即在物料造成堆積的情形時發生，此派工法則會根據模擬實驗中的批量晶圓內的優先級別(Priority)和等候時間(Queueing-Time)來判別需先加工的批量晶圓。另外，本模擬控制器亦加入幾種常見的派工法則(如：FIFO)，使用者可依需求進行選擇。

(2) 模擬系統參數控制器

此參數控制器資料為 ERP、MES 和現場相關資訊所提供。與派工法則控制器相同，參數控制器亦可分為兩大類，機台參數與物料參數；物料參數通常為固定，其內容包含物料的種類(Tech、Route)、優先級別(Priority)、屬性(Flag、Q-Time、Sampling Rate)；而機台參數則會依據「產影響分析之模塊」所模擬實驗情境進行變動，可調參數包括 Recipe、機台種類(Machine)、機台加工時間(Runtime)、可允使用時間(AT)。

3. 產能影響分析 (CIA) 模塊

CIA 採用 K 均值聚類技術篩選出研究關鍵/瓶頸機台群組；根據所研究的生產環境（例如，固定一機台群組保持在一定的 AT 水平下之不同波動行為）和模擬結果，將此機台群組所進行的相關實驗設計的波動水準對於晶圓廠的整體生產能力和產出影響（如移動，晶圓產出）進行分析，並提出相關建議。

4. 輸出模塊

其數據的輸出建立在兩種類型上，一個是生產模擬系統所產出的績效例如，每日總和，週期時間，不同製程所流通之在製品數量，不同製程所流通的產品步數，以表 3.2、表 3.3 分別說明模擬產出內容：表 3.2 機台群組相關指標表單，表單內容包含機台群組正常加工時間、機台閒置時間、當機時間等等資料，表 3.3 模擬產出整體資料，資料包含

系統晶圓總投片量、晶圓總產出量、系統內晶圓總在途數量、系統內晶圓總移動步數等。另一種則是產能影響分析結果(例如,關鍵機台群組,AT波動對產能的影響)。其不論是模擬或是分析的所有生產結果將定期(例如,每一天的模擬結果)通過 ODBC(開放式數據庫連接)導出到外部數據庫。分析的結果將被儲存且在 SQL 中進行操控與分析,最後利用 Excel 的圖形表示結果。

表 3.2 機台群組相關指標表單

日期	機台群組	正常加工時間	可加工但閒置的時間	AT時間	當機時間	修復時間	總當機時間	At百分比	使用率	實驗編號
2013/11/1	機台群組A	04:02:38	18:16:32	22:19:12	01:40:48	00:00:00	01:40:48	0.93	0.18	1
2013/11/1	機台群組B	20:12:18	00:54:52	21:07:12	02:52:48	00:00:00	02:52:48	0.88	0.96	1
2013/11/1	機台群組C	18:00:00	00:00:00	18:00:00	06:00:00	00:00:00	06:00:00	0.75	1.00	1
2013/11/1	機台群組D	21:46:05	00:47:30	22:33:36	01:26:24	00:00:00	01:26:24	0.94	0.96	1
2013/11/1	機台群組E	20:52:48	00:00:00	20:52:48	03:07:12	00:00:00	03:07:12	0.87	1.00	1
2013/11/1	機台群組F	02:13:15	17:56:19	20:09:36	03:50:24	00:00:00	03:50:24	0.84	0.11	1
2013/11/1	機台群組G	12:06:36	09:58:11	22:04:48	01:55:12	00:00:00	01:55:12	0.92	0.55	1
2013/11/1	機台群組H	00:29:59	17:29:59	18:00:00	06:00:00	00:00:00	06:00:00	0.75	0.03	1
2013/11/1	機台群組I	17:58:12	02:11:23	20:09:36	03:50:24	00:00:00	03:50:24	0.84	0.89	1
2013/11/1	機台群組J	16:14:57	05:49:49	22:04:48	01:55:12	00:00:00	01:55:12	0.92	0.74	1
2013/11/1	機台群組K	00:31:27	19:09:20	19:40:48	04:19:12	00:00:00	04:19:12	0.82	0.03	1

表 3.3 模擬產出整體資料

日期	系統晶圓總投片數	產品A投片數	產品B投片數	系統晶圓總產出片數	產品A產出片數	產品B產出片數	系統晶圓總在途量	系統晶圓總移動步數
2013/11/1	675	325	350	525	225	300	17525	412869
2013/11/2	650	325	325	600	300	300	16650	417805
2013/11/3	675	350	325	650	400	250	16925	400287
2013/11/4	650	325	325	750	250	500	18200	409092
2013/11/5	675	325	350	600	325	275	18225	384313
2013/11/6	650	325	325	650	375	275	17600	396855
2013/11/7	675	350	325	600	275	325	17475	405410
2013/11/8	650	325	325	700	425	275	16850	393080
2013/11/9	675	325	350	600	400	200	17750	373653
2013/11/10	650	325	325	725	275	450	17975	398415

此外,利用此動態產能規劃與統計分析模擬系統,規劃人員便可利用模擬規劃方法,調整使其機台群組負荷量達至百分百,用以確認當完全發揮機台群組負荷時藉此觀察當機行為對總產能影響之效果,如圖 3.6。

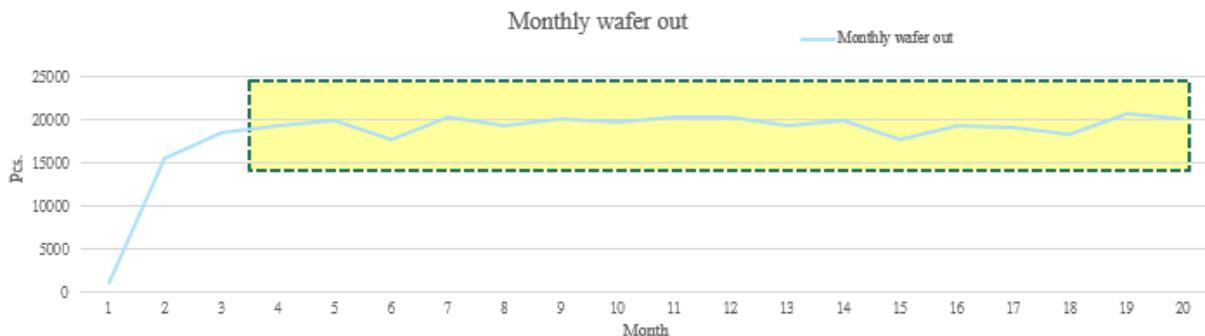


圖 3.6 模擬模型系統每月產出驗證示意圖

圖 3.6 為一每月產品 A、產品 B 各投入 10K 晶圓片後,進行模擬運行後的每月晶圓產出數量示意圖,為符合統計情境需屏除其餘不考慮之因子影響,故模擬系統在初始重新運行,且可以看出投入晶圓後在第三個月其

總產出(Monthly wafer out) ，已經趨近於平穩，其月平均總產出在 20K (片)上下，即不考慮影響產能產出之因子，投片量等於產出量。

第四章 運用模擬系統與統計分析應用於半導體產業

本研究之應用案例公司其中一座十二吋晶圓廠實際運作情況，由於晶圓製造現場的不確定變數，導致晶圓的產出將出現波動性，因此本研究希望透過動態模型模擬所產出的數據，可依據不同情境與案例所規劃的目標產值進行比較及分析，藉由找出不足產能之間的差異，以確認關鍵機台可用時間波動對於產能的影響，並分析其影響的原因。

4.1 分析流程

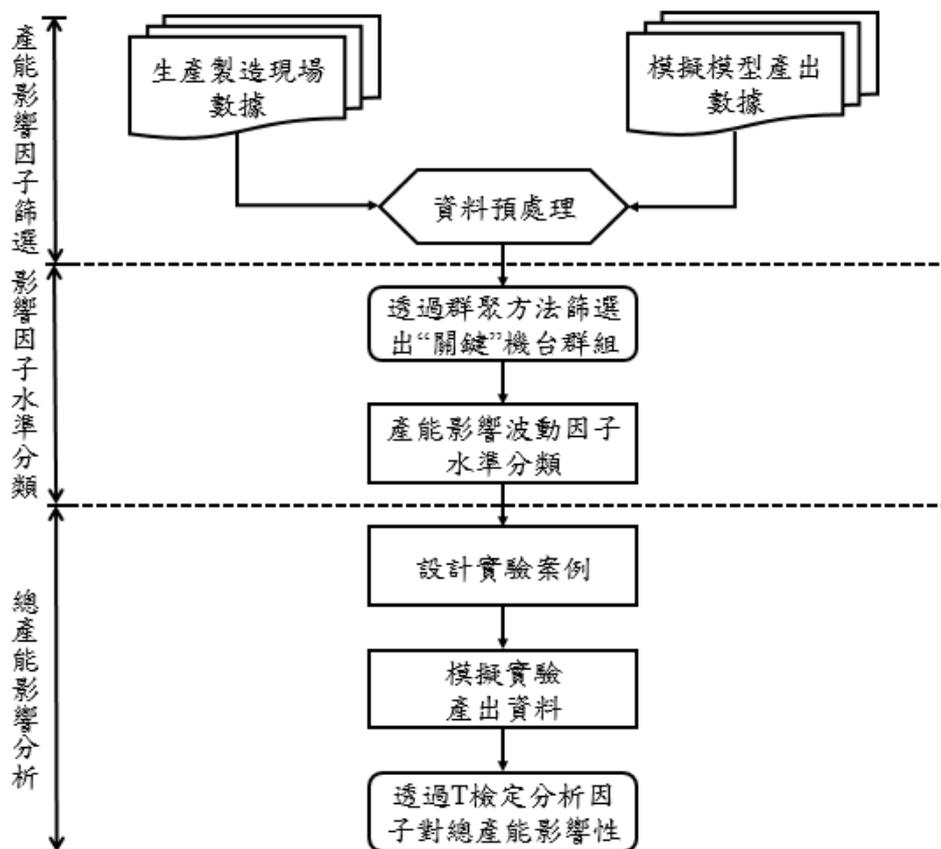


圖 4.1 分析流程

(來源：本研究整理)

由分析流程如圖 4.1，首先本研究將透過現場歷史資料與正常一般模擬狀況所產出之數據進行資料處理，找尋可能影響產能之因子；再來利用群聚方法篩選出實驗對象的“關鍵”機台群組，同時針對分析之影響因子進行水準的分類。最後，配合相關所設計的實驗案例放入模型內進行模擬，將所產出的資料進行統計分析，透過 T 檢定方法了解影響總產能的原因。

4.2 動態產能影響因子

4.2.1 魚骨圖分析

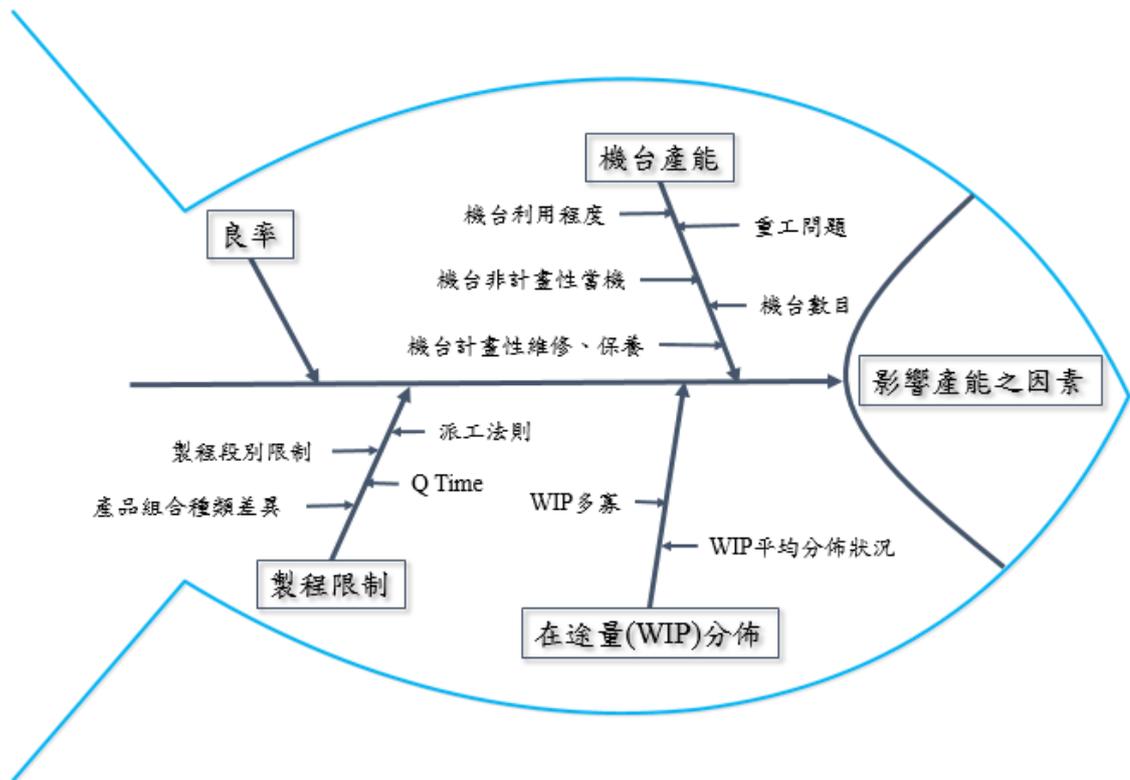


圖 4.2 影響產能原因之魚骨圖分析

影響現行半導體製造產能之因素繁多，歸納如圖 4.2 觀察可能受製程限制，如產品組合總類的差異、派工法則等。然而，本研究著重在於“關鍵”機台群組的可用時間波動性對產能的影響。因此將使用歷史資料中機台的利用率、在途量以及一般在產業常常使用的 Move 數，做為篩選指標使用。其 Total move 數為反應全廠產能目標之指標，Total move 數即為全廠各機台的 move 數加總，例如機台 1 移動至機台 2 表示一單位移動站點數。

決定好指標，常態而言資料間有許多變異，因此並無法直接進行分析使用，本研究將利用三個步驟進行資料預處理，以便於後續分析。其步驟如下：

Step1 整合資料

將蒐集之機台生產資料與相關指標進行彙整，並將資料按照時間序列完成其排序。

Step2 資料清潔

統整後的資料，會出現遺漏值(Missing Values)或零值(Zero Values)情況，過去研究中常運用一倍四分位差(1xIQR)與三倍四分位差(3xIQR)方式，將資料進行成對移除，同時判斷離峰值(Outlier)之合理性如表 4.1；以免後續分析時產生資料不對稱的狀況，或是納入無用資料而干擾其分析結果。

表 4.1 範例-計算離峰值合理性判斷

Control Panel		Target Curve	675	681	700	875	725	425	400	
NO	Tool Group	效應延遲天數K	Tool ID	2013/7/1	2013/7/2	2013/7/3	2013/7/4	2013/7/5	2013/7/6	2013/7/7
1	W		W10		0.68	4.69	0.05	0.14	3.32	1.4
2	D		D43	0.5	0.46	4.84	10.86	2.8	1.93	0.2
3	T		T20	0	0.54	1.14	1.57	0	0	0
4	A		A2	1.97	1.22	4.02	0	2.28	1.7	3.14
5	A		A47	3.11	1.12	5.55	6.21	6.1	0	2.12
6	U		U10	0.4	0.95	0.52	0.78	1.04	0.51	0.44
7	B		B35	1.03	0.39	0.67	0.46	0.73	0.58	0.15
8	B		B64	0.67	0.57	0.66	0.03	0.35	0.23	0.41
9	H		H19	0.79	0.27	0.98	0.66	0.15	0.24	0.36
10	P		P65	14.58	0	0.66	6.29	0	0	0
11	Q		Q21	0	0	0.19	0	2.14	5.2	0
12	K		K34	0	4.52	0	0	0	0	0
13	J		J07	0	0	0	0	0	4.16	0
14	M		M52	7.71	4.82	2.67	0	6.74	7.71	0.58
15	L		L30	4.31	0.73	12.01	0.29	0.3	10.64	0.69
16	L		L49	7.71	5.91	2.39	0	6.74	7.71	0.58
17	E		E95	2.32	0	1.5	3.42	1.73	3.52	0
18	T		T30	5.96	4.47	3.5	9.39	0	0	1.57
19	R		R49	2.32	0.18	2.37	2.56	0	0	0

Step3 資料轉換

由於所蒐集之資料的值可能存在著單位格式不相同或者大小不一的差異，此會影響後續資料進行分析時結果的差距，本研究將運用 T 分配與 Z 分配，兩種標準化公式轉換資料格式以消除單位差異，以例進行兩兩之間比較。

- $t = \frac{X - \min}{\max - \min}$ (T 分配)：可將值壓縮至 0 與 1 之間，但轉換結果較易受到離峰值影響。(此以數列最大、最小值作為標準化依據)
- $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ (Z 分配) → 轉換結果較不易受到資料離峰值影響，但轉換後資料分佈較為發散。(以標準差作為標準化依據)

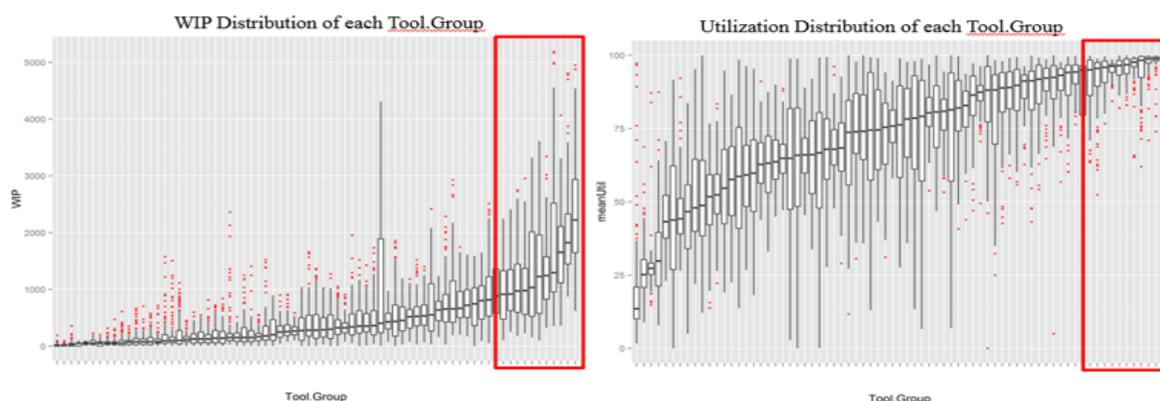
4.2.2 群聚方法(Clustering)

群聚方法是將相似的樣本聚集在一起，形成集群(cluster)，此統計分析方法的優點在於其不需要有任何的假設存在。做法上是利用集群間的「距離」作為分類的依據，『相對距離』愈接近的，判定其「相似程度」愈高，可歸類成同一群組。而群聚分析方法又成分層法(Hierarchical)、非分層法

(Nonhierarchical)和兩階段法。本研究將使用非分層法中最具代表的 K 組平均法(K-means)並配合專家判斷找尋出模擬實驗對象的“關鍵”機台群組。本研究預計按照以下四個步驟來進行總體產能影響性機台群組的分群：

Step1 : 進行特定指標下機台重要性排序

首先，承接上述步驟，將整理好之過去歷史生產資料，針對特定指標(例如 WIP, utilization, AT)對產能影響進行趨勢分析，運用趨勢分析線可判斷兩者波動相似程度，進而判斷其指標下各機台群組對產出的影響程度，由此將可以繪出圖形對該指標下的機台重要性排序，如圖 4.3。例如，圖 11(a)的 x-軸為機台，y-軸為 WIP，圖中每個長條圖皆是針對單一機台篩選離峰值(離峰值篩選條件為： $Q_1 - 3L \leq X_i \leq Q_3 + 3L$ ， $L = Q_3 - Q_1$ ， $Q_1, Q_3 \in$ 四分位數)，若認為高 WIP 之機台對於產能與產出的影響較大，則圖中所示機台重要性排序將由左至右向上攀升。同理，圖 11(b)表示在指標 Utilization 高的情形下，其對於產出影響較高，其趨勢呈現正相關關係，趨勢排序亦由左至右攀升。



(a)機台 WIP 對產能影響趨勢圖、(b)機台 Utilization 對產能影響趨勢圖

圖 4.3 機台不同指標對產能影響趨勢波動圖

Step2 : 將所有對象分為 K 個簇(群)，以使簇(群)內的相似度較高

Step3 : 高維度的多變量分析進行機台分群

在重要性排序完成後，依前述兩步驟，將所有機台群組對不同的影響因子(例如從 MOVE 換成 AT, NAT 等)加以排序，綜合不同維度，分群找出關鍵機台。以圖 4.4 為例，紅色框內的機台群組，即表示它們在兩個指標下(Utilization、WIP)其排序皆較高，

成為“關鍵”機台群組的可能性較大。

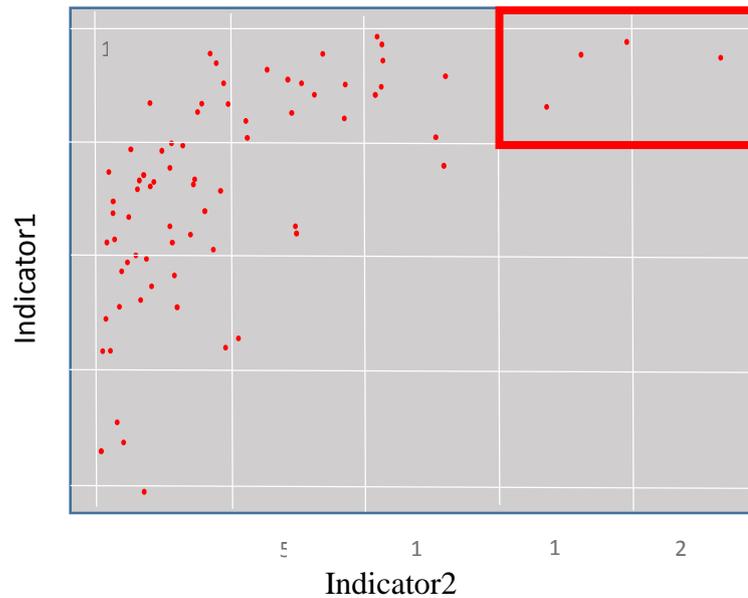


圖 4.4 高維度的多變量分析進行機台分群

Step4：依據所需之分群，判定群數，以縱軸橫切決定分群機台。

反覆的進行前述步驟，直至收斂至實驗所需進行機台數判定所需群數，找到可能為“關鍵”機台群組進行後續實驗。如圖 4.5，為 K=5 的 clusters。

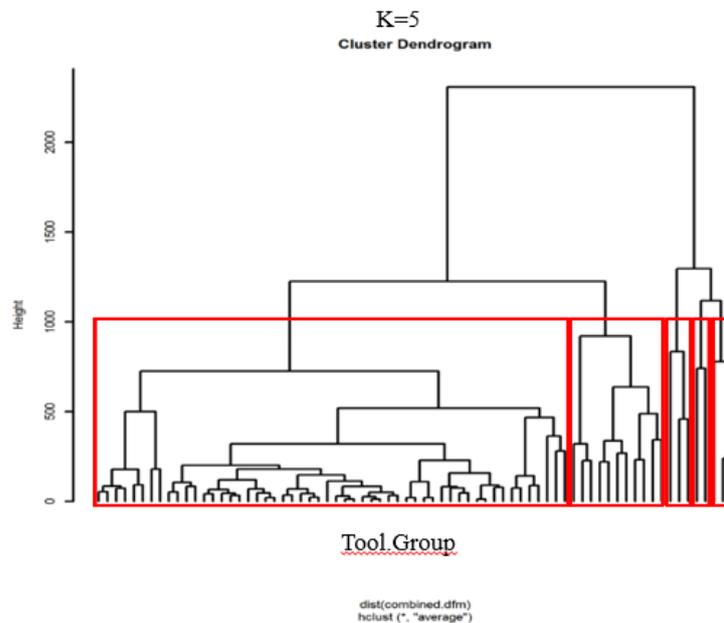


圖 4.5 範例 K=5 之 Clusters

綜合上述四步驟，本小節定義出可能影響產能之相關指標，並進行初步的資料整理以配合後續案例分析使用；同時利用群聚分析方法篩選出所

需使用之“關鍵”機台群組模擬實驗對象，而本研究亦與現場人員進行確認其模擬實驗之機台群組影響產能的程度大小。

4.3 案例說明

本研究在 4.3 小節，首先將對於模擬實驗的對象進行討論，此將依據機台群組在半導體製造時不同的生產特性進行分類討論；在依循本研究所要探討的可用生產時間波動性行為等，模擬實驗因子進行說明；最後，考量時間軸對於總產能影響性，進行不同情境的討論。

4.3.1 模擬實驗對象分類

本研究依據機台群組在晶圓製造時不同的生產特性將其分類。首先，依據群組內部所屬機台數量區分為兩大類型，(1)包含單一機台(2)多於一台機台；則前者用以探討即便群組不屬於關鍵機台群組，然此機台群組內因只為單一機台進行製造，假若機台發生當機行為時，是否會形成瓶頸站進而對總體產造成影響。類型二，即在 4.2 節所篩選出的關鍵機群，其內部在多於一台機台情況下，對於總產能之影響。而在半導體製程當中單一機台(tool)可能會有多個反應腔(chamber)平行作業；因此本研究對於關鍵機群更進一步探討，將機台內部反應腔(chamber)生產運行時間(或當機時間)設定為 (1)chamber 同時運行或當機(同開同關)，或者(2) chamber 分別進行當機和生產行為(不同開關)，如圖 4.6。

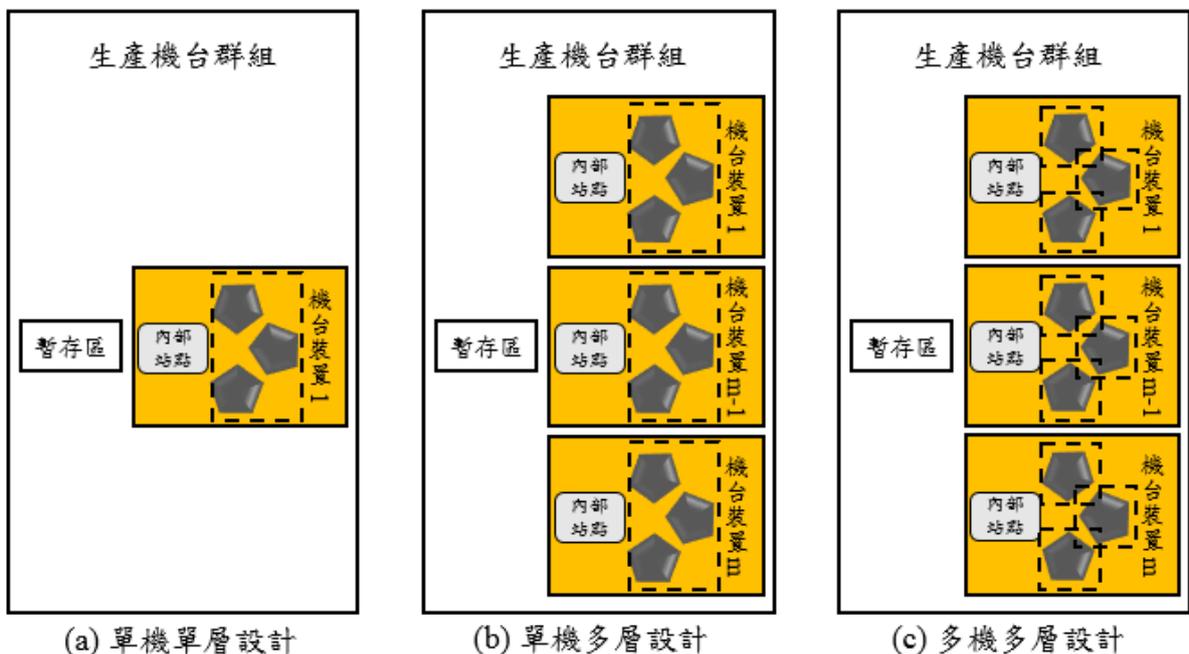


圖 4.6 機台群組分類

因此，本論文將所需的模擬分析對象歸納整理為下列三種類型：

1. 單機單層設計：實驗機台群組對象只擁有單一機台，此雖非關鍵機台群組，然而可能在發生當機行為下造成瓶頸站，因此本研究將觀察其單一機台在不同可用生產時間波動案例情境下是否對產能亦會造成影響。
2. 單機多層設計(同開同關)：此實驗對象為關鍵機台群組且包含多部機台進行晶圓生產，而本研究目的即觀察此機台群組內所有機台同時當機時對於總產能之影響性，因此進行模擬參數設計時所有機台皆設計為單一相同時間，然而對於單一機台而言，為仿製現場機台真實情況所以機台內部亦建置多個 chamber。綜合上述原因，因此本研究稱此模擬對象群組為單機多層。
3. 多機多層設計(不同開關)：有別於單機多層設計，此模擬實驗機台群組將配合群組內機台的不同生產可用時間進行模擬參數設計，以利觀察若機台群組內機台並非同時發生當機行為時對於總產能的影響關係，因此在進行模擬參數設計時，每一台機台皆設計為機台本身可用產時間，多組機台會有多組不同可用生產時間。另一方面，為效仿現場機台實際情形，因此對於機台內部多個 chamber 進行亦進行不同時程上的當機行為考量。因此稱此模擬群組對象為多機多層。

4.3.2 實驗因子分類

本論文旨在研究可用生產時間波動性對產能影響性，因此所考量的因素包含為：生產可用時間(AT)和其波動性(Fluctuation)，而過去文獻中常常將考量之因子直接進行放入商用軟體中進行實驗設計，然而此方法並無法直接得出在何種波動型態或時間變化上對產能的影響變異最大；因此常常會造成現場人員無法直接進行判別是否在一可用時間內即可維持產能，或者在了解波動樣式對產能影響後，進行更適的維修保養時程。因此本研究將設定三個情境下，十三種實驗案例進行實驗，以供後續分析參考之依據。此外，由於本研究欲同時探討多個維度的因子水準考量，因此將利用三維度的實驗因子示意圖，分別進行不同實驗因子下之水準說明，並期待對於總產能影響，利用不同因子的考量進行較為全面性的思考。其情境與案例說明如下：

1. 波動性因子(Fluctuation)

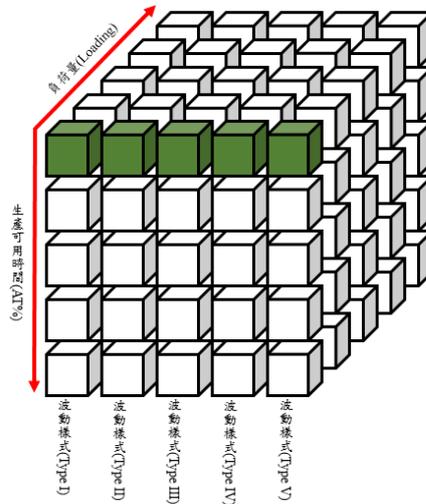


圖 4.7 實驗因子分類-波動性因子

首先，本研究將橫軸定義為波動性因子之考量，如圖 4.7。其因子探討之目的為不同型態下可用生產時間波動性對於產能之影響，此將依據實驗不同的關鍵機台群組對象，將其機台預期性的保養與維修時間扣除後的可用生產時間進行規劃討論，並將規劃時間設定為一個月；而每月依三十天為單位，再以十天為一間隔分為前、中、後段(如圖 4.8 所示)，用以觀察規劃時間內不同當機時間趨勢對於總產能造成影響程度。

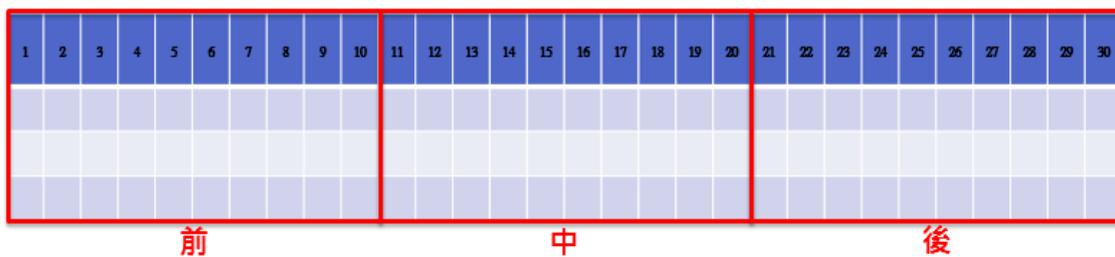


圖 4.8 案例時間分割示意圖

此外，對於機台群組當機時間的長短，即表示模擬機台群組對象其當機時間連續集中發生對於產能的影響程度，或者當機時間分散於規劃時程內對產能的影響程度...等等，皆為本研究的考量。有鑒於此，為了更有效益的得出可用時間波動行為對於總產能之影響，因此，本研究將當機波動形態歸納為四種樣式形態進行模擬實驗：

- (1) 集中當機型態：此目的在於模擬機群發生大當機時(即可用生產時間等於零)，且當機時程為連續集中的情況下對於總產能影響。如

圖 4.9，此示意圖內機台群組可用生產時間為 85%情況下，而使當機情況集中發生在前 4.5 天之案例。

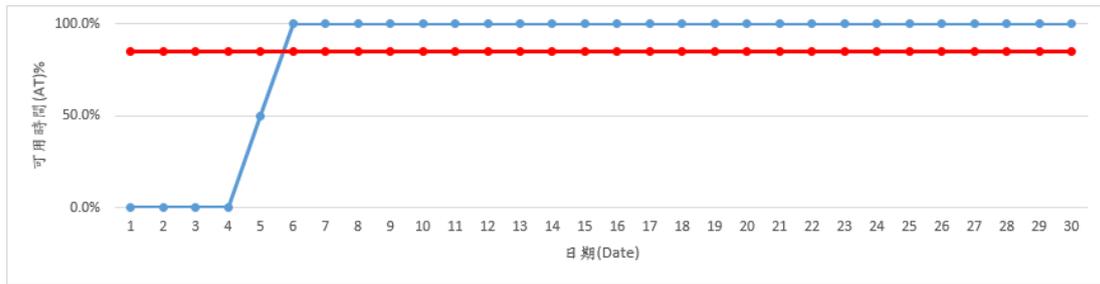


圖 4.9 波動性因子-集中當機型態示意圖

(2) 雙高峰當機型態：有別於集中當機型態，將當機行為分佈在規劃時程內兩個不同區段，使其發生兩次大當機(機台群組可用生產時間為零)情況下觀察對於總產能影響。如圖 4.10，在可用生產時間為 85% 時，發生在時間區隔為前段與中段的案例示意圖，由於機台可用生產時間的限制，因此其發生當機的時間會小於集中案例的 4.5 天，此計算後當機天數為 2.25 天。

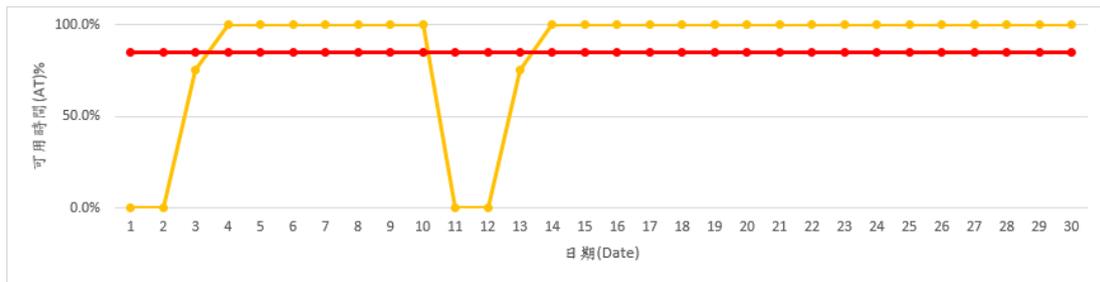


圖 4.10 波動性因子-雙高峰當機型態示意圖

(3) 週期性當機型態：此當機模式是為觀察機台群組常發性當機行為下對於總產能之影響。由於固定可用生產時間的限制條件，因此模擬參數設計為小幅度當機(即可用生產時間非為 100%)。如圖 4.11，依前述案例，此機台群組可用時間為 85%，在當機週期性為三天的情況下案例示意圖，其每次當機時可用生產時間將會掉至 50%。

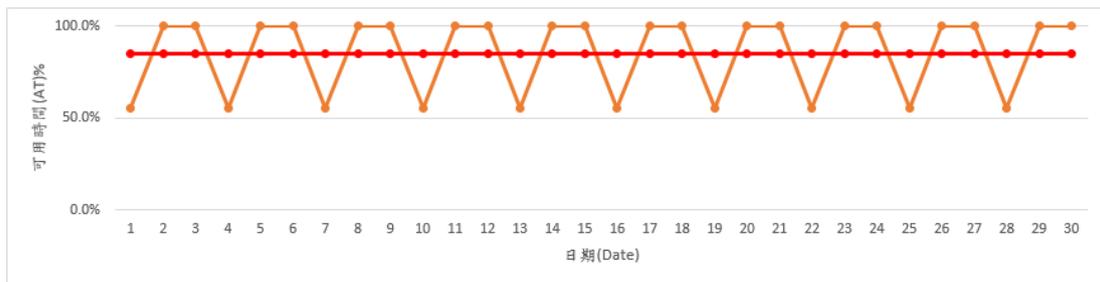


圖 4.11 波動性因子-週期性當機型態

(4) 間隔性當機型態：此相似於集中當機型態，然而此設計是將當機行為以間隔一天發生，其對於總產能影響性的討論。圖 4.12 即為當機時程發生一天當機一天可生產時之前段案例示意圖。

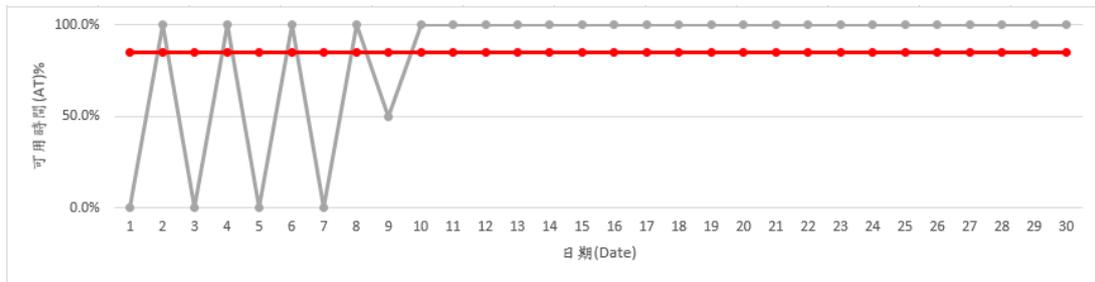
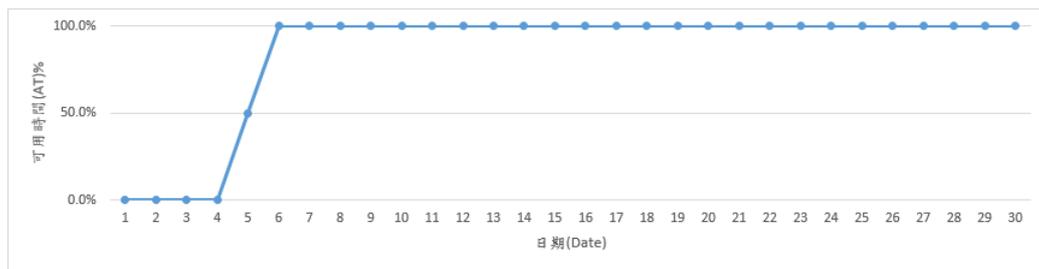


圖 4.12 波動性因子-間隔性當機型態

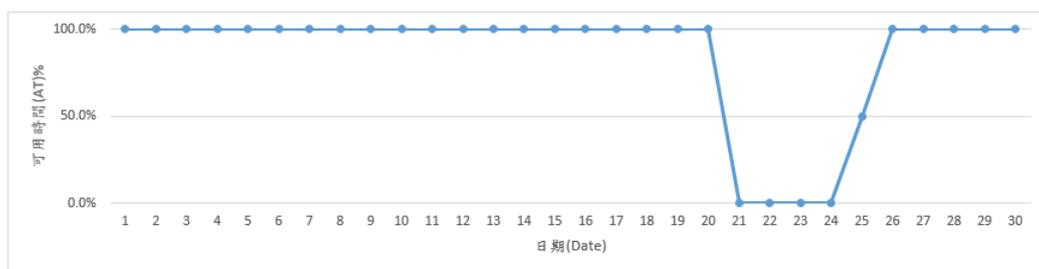
本研究為用以觀察規劃時間內不同當機時間趨勢對於總產能影響關係，因此將以此四種當機型態如前所述，將規劃時程每月依三十天為單位，並以十天為一間隔分為前、中、後段，三個時程。再予以分別進行探討，因此共可得十二種案例進行模擬實驗，其完整十二種案例示意圖 4.13：



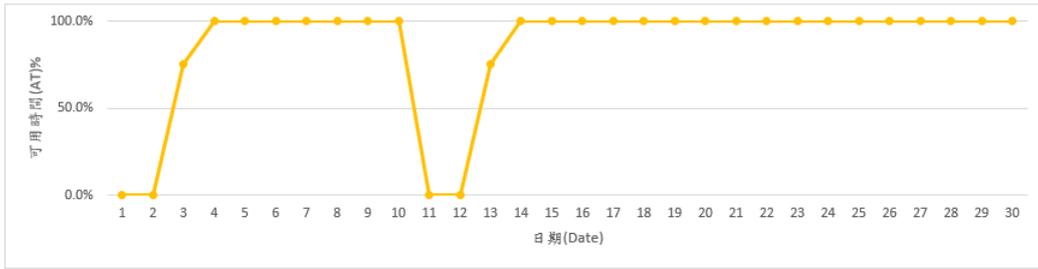
(a) 集中當機型態-前當機



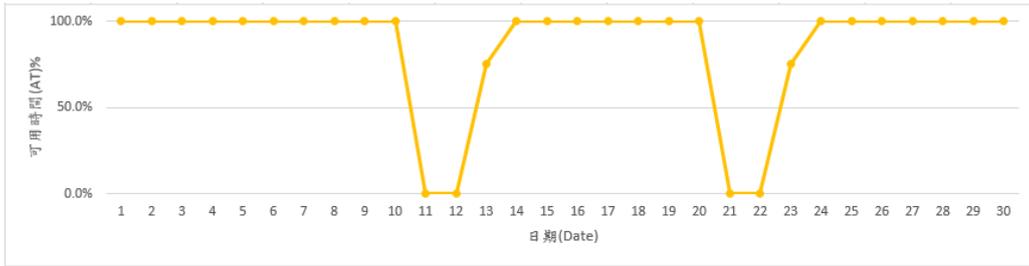
(b) 集中當機型態-中當機



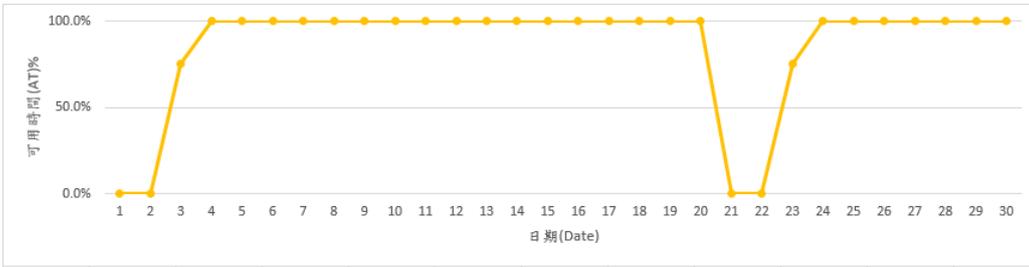
(c) 集中當機型態-後當機



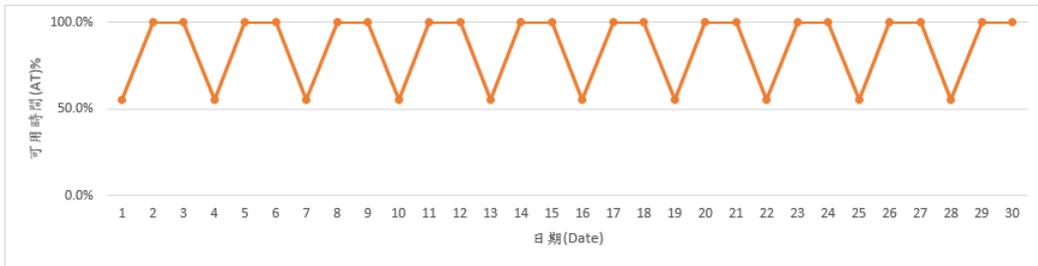
(d) 雙高峰當機型態-前中當機



(e) 雙高峰當機型態-中後當機



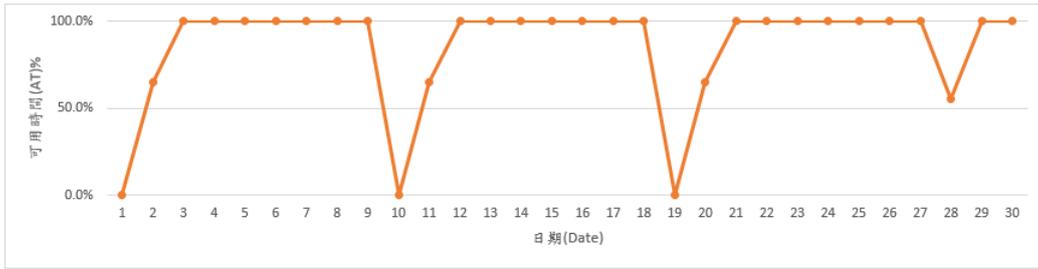
(f) 雙高峰當機型態-前後當機



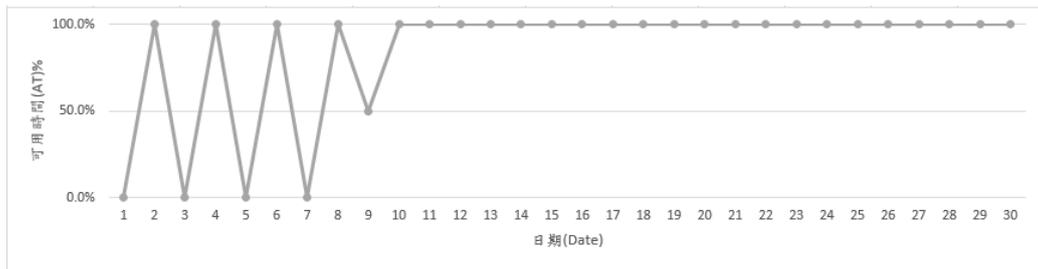
(g) 週期性當機型態-當機週期三天



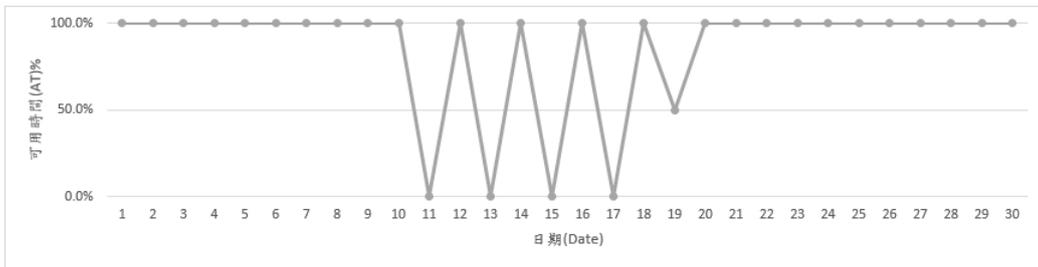
(h) 週期性當機型態-當機週期六天



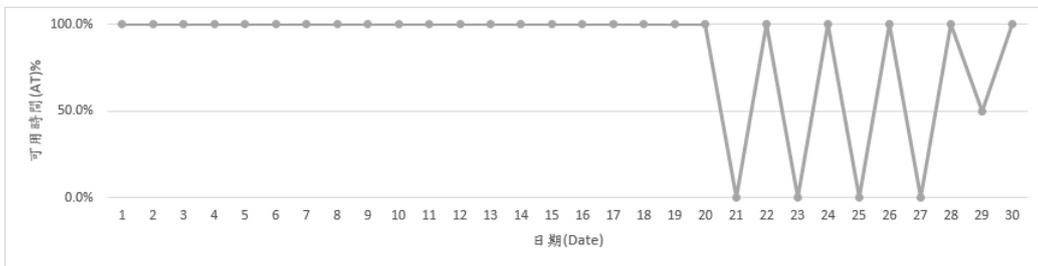
(i) 週期性當機型態-當機週期九天



(j) 間隔性當機型態-前間隔當機



(k) 間隔性當機型態-中間隔當機



(l) 間隔性當機型態-後間隔當機

圖 4.13 十二種波動案例模式示意圖

而其十二種案例模擬當機參數設計可參考三步驟操作設計，分別(1)分段天數、(2)計算可用生產時間可散佈量、(3)散佈可用生產時間其百分量致指定區間，其完整說明如下：

Step1 分段天數：

三十天以十天為單位共分為前(1-10)、中(11-20)、後(21-30)。

Step2 計算 AT 可散佈量：

以 AT=75%區間 30 天為例，首先計算指定區間內總 AT 百分比 $75*30=2250$ ；並扣除非當機時段 AT 百分比 $2250-100*20=250$

Step3 散佈 AT 百分比至指定區間：

將剩餘可用 AT 量由後往前堆置；直至消耗完畢。

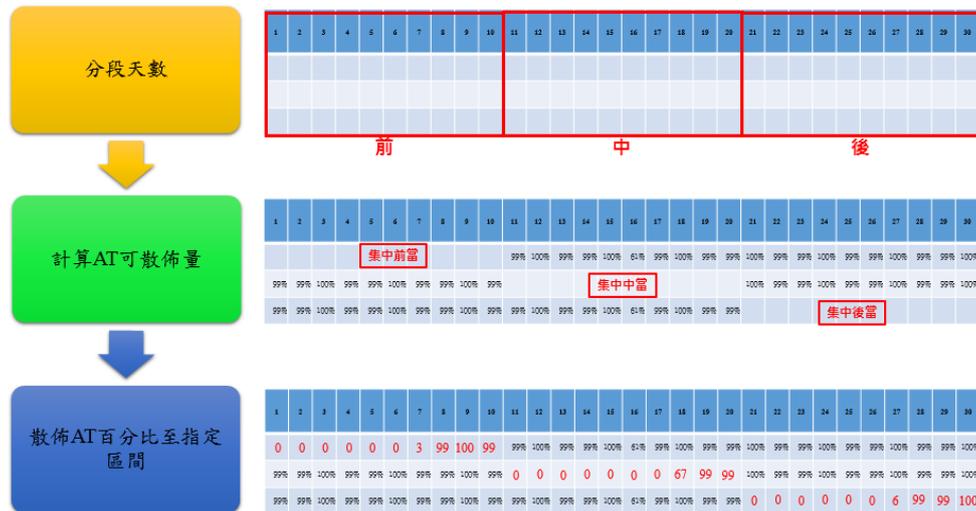


圖 4.13 十二種波動案例設計操作流程

然而，其上述所列之十二種波動案例並無法完全考量其機台群組的當機波動形態，因此本研究為更全面性的考慮其波動因子型態，進而增加一隨機當機型態，以做為其餘可用時間生產波動因子對於總產能影響之模擬。如圖 4.14，即在可用生產時間 85% 情況之下，其隨機波動型態示意圖。

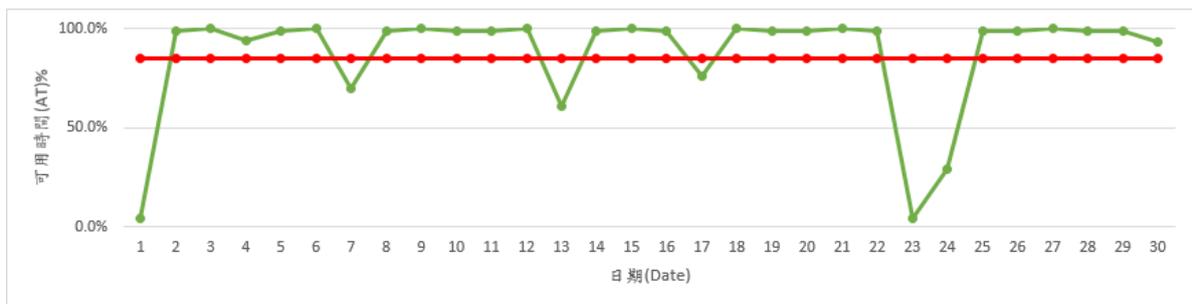


圖 4.14 波動性因子-隨機當機型態

而隨機當機型態的當機參數產生方法，則將使用本研究所撰寫的 VBA 程式輸入包含當機間隔上下限、機台可用生產時間上下限、所需規劃天數，以及扣除基本機台保養與修復時間之可用生產時間，則 VBA 程式會依據所輸入的限制產生每日機台可用生產時間，並計算所對應實驗之相關資料。其當機參數產生流程與相關資料如圖 4.15 所示。



圖 4.15 隨機當機型態設計操作流程

同時，本實驗將產生多組隨機之案例並繪製如圖 4.16 曲線累積散佈圖，由圖形中可觀察其當機的次數會與其波動程度成正比，與平均的可用生產時間成反比，而此現象與現場真實狀況相符。

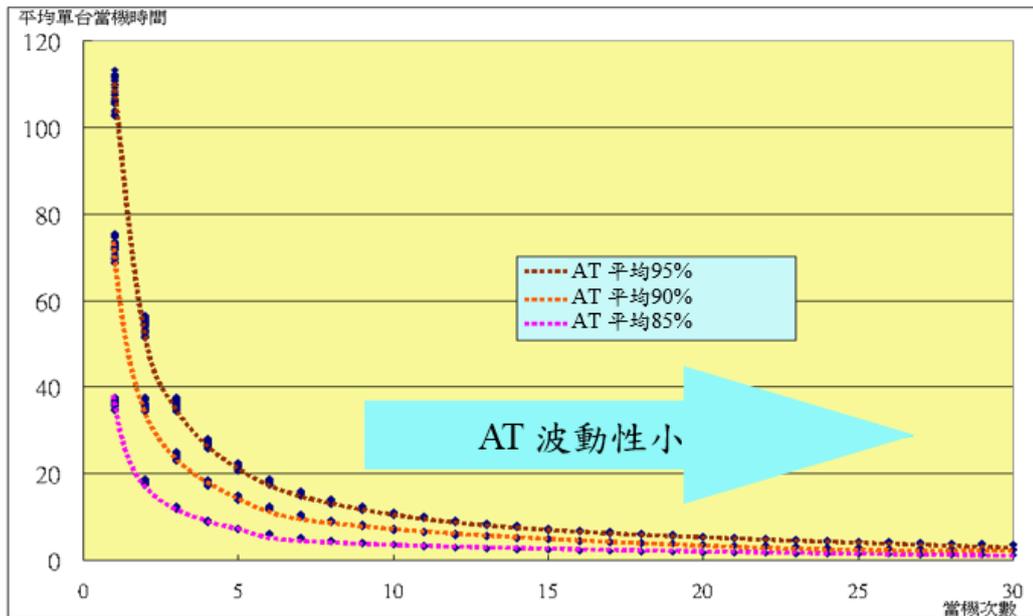


圖 4.16 隨機案例曲線累積散佈圖

2. 生產可用時間因子(AT)

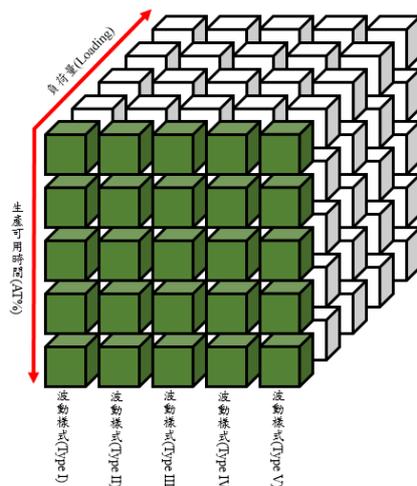


圖 4.17 實驗因子分類-可用生產時間因子

本研究將實驗第二因子可用生產時間做為 Y 軸討論如圖 4.17，其目的為考量在不同可用生產時間條件內對產能的影響損失；本論文將可用生產時間因子亦分為五個不同水準進行討論，分別為：(1)原始可用時間水準、(2)可用時間低於標準 5%、(3)可用時間低於標準 10%、(4)可用時間低於標準 15%、(5)可用時間低於標準 20%，其水準示意圖如 4.18。

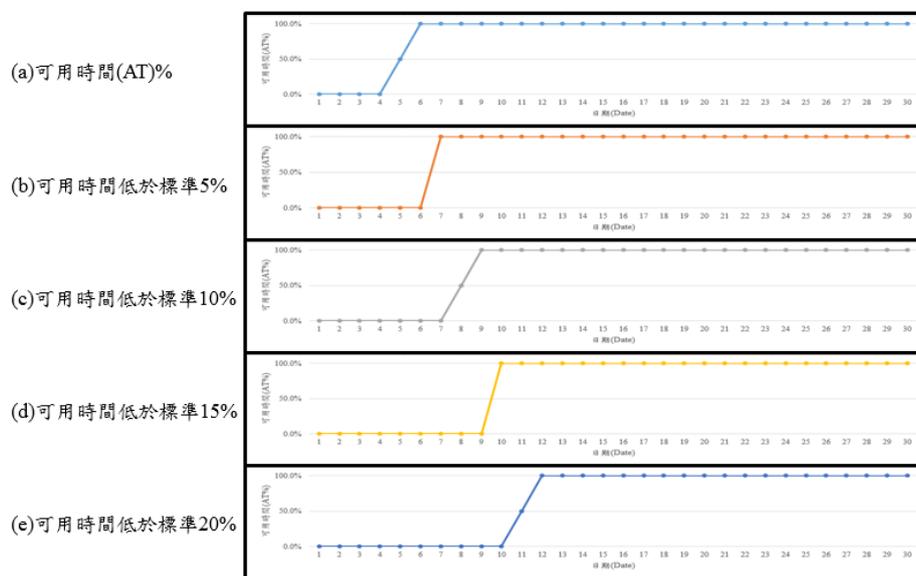


圖 4.18 以連續集中前當機型態為例之不同可用時間水準示意圖

圖 4.18 所示，以連續集中前當機型態做為範例，其第一水準考量(a)即為扣除機台預期性的保養與維修時間，可用生產時間設定為 85% 之規劃下，連續集中當機 4.5 天之行為。而低於可用時間低於標準 5% (即(b))，使其可用生產時間為 80% 情形下，其連續集中當機行為之天數將會延長至 6 天；

相同方法，在圖 4.18 中(c)、(d)、(f)分別對於可用時間低於標準 10%、15%、20%時，為配合其可用生產時間因此其當機天數亦分別延長至 7.5 天、9 天即 11.5 天。

4.3.3 情境案例

綜合上述波動性與可用生產時間兩種模擬實驗因子，本研究將總運行模擬時間訂立於三個月(一季)，同時發展三個情境以探討當機參數時間對於產能的影響，其目的說明如下：

1. **情境一**：實驗當機參數設定為第一個月，其後第二、三月則每日保持機台群組相同可用生產時間，其示意如圖 4.19，其第一個月產生集中當機之行為後，第二個月與第三個月則回復可用生產時間產能 85%之情形。本研究設置情境一之觀察目的是為了解其 AT 波動行為對產能造成影響，是否可以在後續規劃時程內進行彌補之討論。

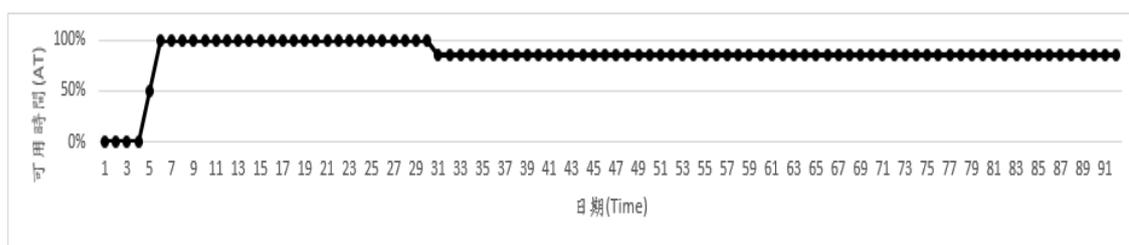


圖 4.19 情境一-以集中前當機型態為例

2. **情境二**：實驗當機參數設定為三個月，即表示當機參數案例將連續放置於三個月，如圖 4.20。其假設之目的為在第一個月發生當機後，於第二個月和第三個月皆又發生相同當機之行為下，可用生產時間波動性行為將對於總產能造成的影響性分析。

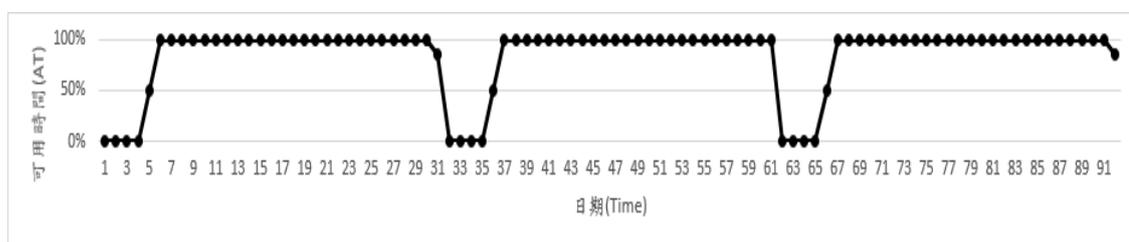


圖 4.20 情境二-以集中前當機型態為例

3. **情境三**：實驗當機參數設定為三個月，然而此情境在不影響可用生產時間情況下，對於不包含於十二種案例情形(即隨機實驗)進行模擬，其對於總產能影響性分析。圖 4.21，即在機台群組可用生產時間為 85%時，將三個月規劃內當機皆做隨機當機型態放置。

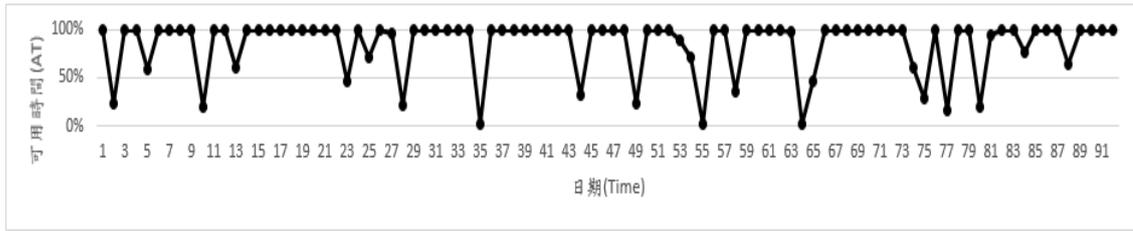


圖 4.21 情境三-以隨機當機型態做為當機參數設計

歸納上述兩種實驗因子、十三種案例、三個情境；本研究利用表 4.2 實驗總覽，以呈現本研究將預計進行模擬之相關因子與情境。

表 4.2 實驗總覽

實驗對象	波動因子型態	可用生產時間			不同可用生產時間水準		
		情境一	情境二	情境三	情境一	情境二	情境三
單機單層	波動Type I	+	+	-	+	+	-
	波動Type II	+	+	-	+	+	-
	波動Type III	+	+	-	+	+	-
	波動Type IV	+	+	-	+	+	-
	波動Type V	-	-	+	-	-	-
單機多層	波動Type I	+	+	-	+	+	-
	波動Type II	+	+	-	+	+	-
	波動Type III	+	+	-	+	+	-
	波動Type IV	+	+	-	+	+	-
	波動Type V	-	-	+	-	-	-
多機多層	波動Type I	-	-	-	-	-	-
	波動Type II	-	-	-	-	-	-
	波動Type III	-	-	-	-	-	-
	波動Type IV	-	-	-	-	-	-
	波動Type V	-	-	+	-	+	+

其中表 4.2 第一列即表示在模擬實驗對象為單機單層情況下，其在扣除正常保養與維修時間後，對於可用生產時間與低於不同標準可用時間水準之下分別進行情境一與二之模擬討論。即+表示進行模擬、-表示本研究將不特別進行模擬討論，其他欄列對應方式皆以此參造，其分別對應之波動型態、模擬實驗對象、情境之考慮等。

4.4 統計假設檢定方法與步驟

將上述情境案例放入模擬實驗後，本研究將進行觀察與整理其不同案例情境下，可用生產時間波動性對產能的影響，並透過過去文獻中常使用的統計假設檢定方法，做進一步的確認。其分析步驟如圖 4.22 表示。



圖 4.22 統計假設檢定步驟

Step1 : 訂虛無假設

即對於實驗母體參數所訂立的假設性陳述，一般以 H_0 表示。

Step2 : 訂對例假設

當可以顯示虛無假設為假時的陳述，一般以 H_1 表示。

本研究為了解波動性對於總產能的影響分析；對於晶圓的產出片數以 666 片/月為基準，其無論大於或小於都將視作影響，因此虛無與對立假設如下：

$$W_0 \begin{cases} H_0: \mu = 666 \\ H_1: \mu \neq 666 \end{cases}$$

Step3 : 決定顯著水準

理論而言，顯著水準都將其取自 5% ($\alpha=0.05$)，即 95% 的信心水準；然從過去文獻中，實務上都將於 $\alpha=0.1$ ，即 90% 的信心水準即為顯著。因此本研究應用於依實際案例上，亦取 90% 信心水準做為依據。

Step4 : 計算樣本統計量

本研究意在討論 AT 波動性對產能之影響性分析，即在考慮實驗因子後所產生的模擬資料與預期產能之差異結果比較；基於 T 檢定適用於分析兩組資料的平均數是否相等，而實際上當變異數分析合併在 T 檢定的分析上時，產生的 F 值會等於 T 檢定的平方項。然而其做法的特殊性，往往必須符合以下假設條件：

1. 常態性假設(Normality)
2. 獨立性假設(Independence)

一般而言，當數據若不呈現常態行為時，理論而言並無法反映出平均值，除此之外資料間的變異數也不相等的狀況下，更無法說明其每個資料群間據有相同水準的干擾因素。但是在晶圓製造程序的複雜行為下，要完整取得資料已非常困難，若要同時確保其資料是否有符合分析假設條件，或者要將資料完整清潔整理已進行分析，其過程必經歷需許多繁複的程序。由學者 Schmider et al. (2010) 提出一 Monte Carlo 方法，已經證明比較不同類型(即違反常態性假設)分佈的 ANOVA 分析結果，其結果會與 ANOVA 結果相同顯著。本論文將利用樣本的標準差取代母體標準差進行計算，進行對期望值(平均數)之檢測，即 T 檢定，統計量為下：

$$t = \frac{\bar{d} - u_0}{s_d / \sqrt{n}}$$

其中 $i = 1 \dots n$ ， n 為配對的樣本數， $\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$ 為檢驗的配對樣本差值的平均數， $s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$ 為配對樣本差值的標準偏差。

此統計量與檢定值(test value)，本文將使用 Excel 中既有的資料分析工具產生；其找到 T 檢定方法，輸入兩樣本的資料範圍，即可產生如表 4.3 完整檢定分析表格。

表 4.3 範例 Excel 產生 T 檢定之結果

	變數 1	變數 2
平均數	611.2903	634.6774
變異數	13199.95	2731.417
觀察值個數	93	93
Pooled 變異數	7965.682	
假設的均數差	0	
自由度	184	
t 統計	-1.78686	
P(T<=t) 單尾	0.037803	
臨界值：單尾	1.286169	
P(T<=t) 雙尾	0.075606	
臨界值：雙尾	1.653177	

Step5 : 進行決策

根據上述所得之統計量進行決策，其結論由下一小節進行介紹。

4.5 動態產能影響因子對總產能影響之現象討論

4.5.1 波動性對產能影響分析

經由上述完整的情境實驗進行模擬後，欲針對 AT fluctuation 對產能目標達成程度之影響進行分析，此階段將繪製兩種圖表分別進行不同目標討論，如表 4.4 敘述：

表 4.4 產能目標達成程度之影響分析圖表說明

目標需求	圖表說明
AT fluctuation vs. Move、WIP 關係	X 軸：時間(Date) Y 軸(副)：可用生產時間(AT%) Y 軸(主)：片數(Move、WIP)
機台群組可用時間波動性與產能損失的關係	X 軸：時間(Date) Y 軸：可用生產時間(AT%) Z 軸：晶圓產出片數(WO)

對於 AT fluctuation 與其機台群組 WIP、Move 之關係示意圖形如圖 4.23，圖 4.23 依可用生產時間為 91.64% 下，集中前當機型態以模擬一個月資料進行示意說明；其使產出圖形 X 軸為日期，主 Y 軸用以觀察其 WIP 在當機模擬實驗後每日所產生之堆疊行為，同時表達其每日機台群組所產出之片數；以此與副 Y 軸參數設計之 AT 波動模式，進行比對觀察是否與預期當機台群組當機行為開始時其 WIP 數會往上堆疊，當正常生產時其機台群組之 WIP 也會逐漸減少，並且在波動模式下機台群組產出的晶圓片數的波動跡象亦與之相同。

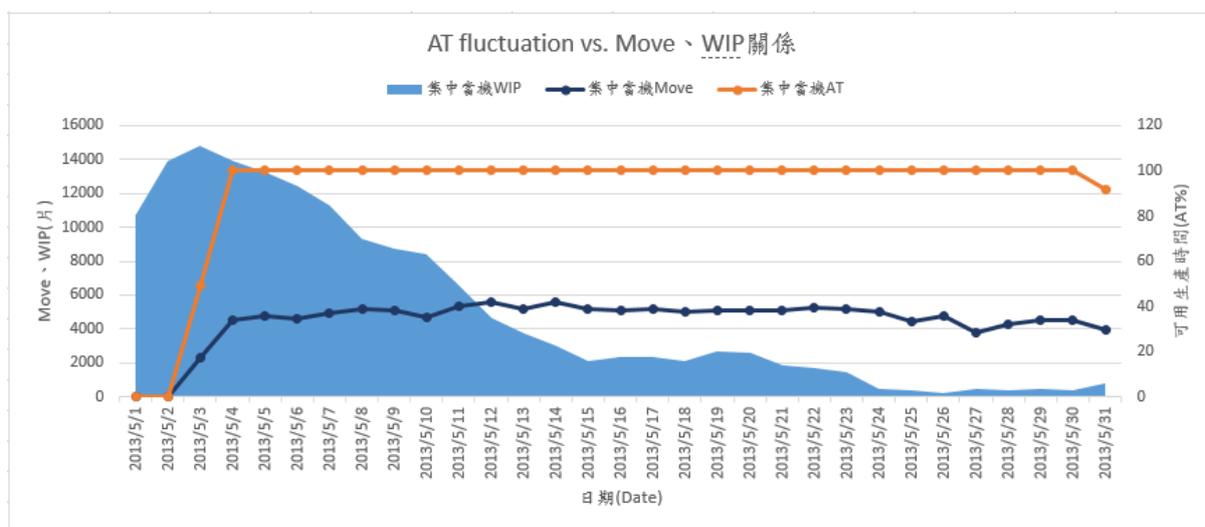


圖 4.23 AT fluctuation 與其機台群組 WIP、Move 之關係示意圖

為了解可用生產時間波動性對於產能損的影響關係，本研究將利用如圖 4.24 進行討論。其 X 軸與副 Y 軸和 AT fluctuation 與其機台群組 WIP、Move 之關係示意圖相同，此圖例亦用相同 AT=91.64%之集中當機型態下，一個月資料圖例說明；此圖示主 Y 軸即呈現其模擬實驗之後所產出晶圓片數，並利用圖示綠色區塊觀察其對於總晶圓產出片數之差異比較(即 (Simulation Average WO - Target WO)/Target WO)。

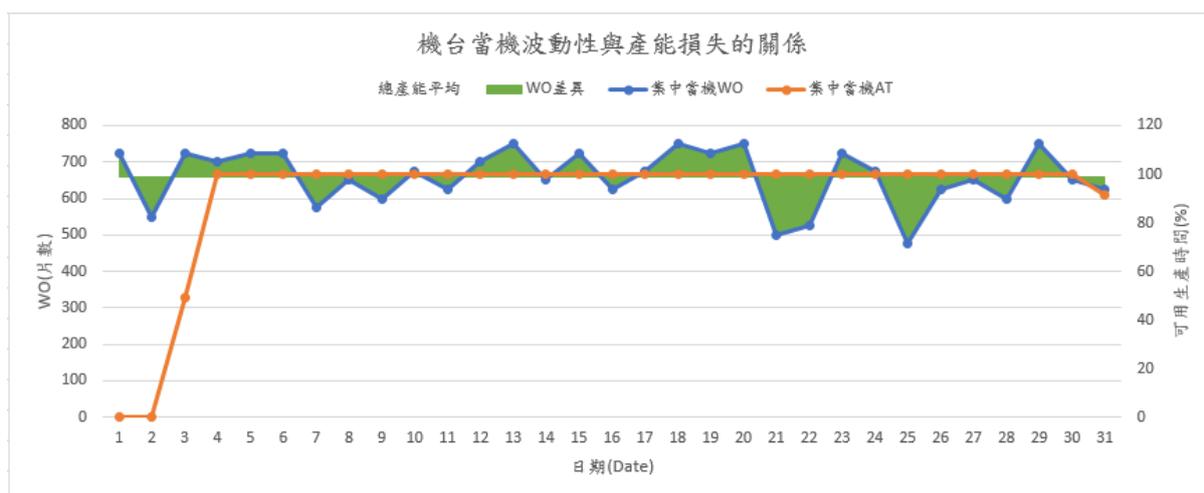


圖 4.24 可用生產時間波動性對於產能損失的影響關係示意圖

本研究對於可用生產時間波動性行為對於總產能影響，將依據 276 組實驗結果進行統計分析討論使用。此以一組單機多層機台群組共 54 組實驗為例，其餘機台群組實驗結果將放於附錄一作為參考。

由範例表 4.5，表中模擬實驗對象為單機多層之機台群組，對於十三種波動案例進行三個情境模擬實驗後對於總產能損失差異百分比總表。

表 4.5 單機多層-模擬可用生產時間對於總產能損失差異百分比總表

單機多層-波動性對總產能影響差異百分比					
情境一		情境二	情境三		
集中前當機	-4.46%	-6.67%	隨機當機模式	-2.48%	-4.73%
集中中當機	-0.95%	-2.88%		-2.93%	-5.27%
集中後當機	-8.42%	-7.58%		-2.93%	-3.90%
雙高峰當機(前中)	-2.52%	-3.19%		-7.38%	-2.68%
雙高峰當機(中後)	-5.11%	-4.89%		-3.73%	-4.86%
雙高峰當機(前後)	-3.14%	-3.55%		-6.52%	-1.43%
週期性當機(三天)	-0.87%	-0.94%		-6.80%	-2.64%
週期性當機(六天)	-1.72%	-1.64%		-10.11%	-4.06%
週期性當機(九天)	-1.60%	-2.05%		-1.11%	-3.96%
間隔性前當機	-5.55%	-10.50%		-3.05%	-8.70%
間隔性中當機	-1.47%	-2.72%		-3.21%	-5.23%
間隔性後當機	-9.22%	-10.07%		-2.56%	-3.29%
				-12.01%	-3.49%
			-3.14%	-2.00%	
			-8.26%	-6.44%	

以情境一(即當機參數放置於第一個月，第二個月與第三個月將機台群組回復至正常可用生產時間)集中前當機型態之結果為例，其每日晶圓產出與預期產出差異值如表 4.6，因此計算可得模擬實驗總產能差異百分比為-4.46%，其計算方法即為：

$$\begin{aligned}
 (\text{差異百分比}(\%)) &= \frac{(\text{模擬實驗晶圓產出量} - \text{預期每日晶圓產出量})}{\text{預期每日晶圓產出量}} \\
 &= \frac{636.29 - 666}{666} = -4.46\%
 \end{aligned}$$

表 4.6 單機多層機台群組以集中前當機模式其模擬後產出結果資料

日期	模擬實驗晶圓產出量(片)	預期每日晶圓產出量(片)	模擬實驗晶圓產出與預期每日產出差異量(片)
2015/05/01	725	666	59
2015/05/02	550	666	-116
2015/05/03	725	666	59
2015/05/04	700	666	34
⋮			
2015/07/28	750	666	84
2015/07/29	675	666	9
2015/07/30	725	666	59
2015/07/31	625	666	-41
平均值	636.29	666.00	-29.71

因此，綜合上述方法與計算步驟，本論文將對於不同實驗對象之模擬結果歸納整理(同表 4.5 之模式)後，其分別對於總產能損失影響分析整理為：

1. 單機單層：其波動性總產能損失 2.0%
2. 單機多層：波動性總產能損失 4.0±1.0%
3. 多機多層：波動性總產能損失 1.5%

而本論文將針對波動性總產能損失影響最大之機台群組，即單機多層的不同波動型態對產能損失影響進行詳細圖例分析說明。(單機單層結果放置於附錄二、多機多層將放附錄三以供參考。)

此說明案例模擬機台群組，扣除例行性維修保養時間後，可用生產時間為 91.64%，其分析其當機型態對產能影響說明如下：

1. 集中當機模式：在集中當機行為時，影響的總產能損失約為 5.7%。

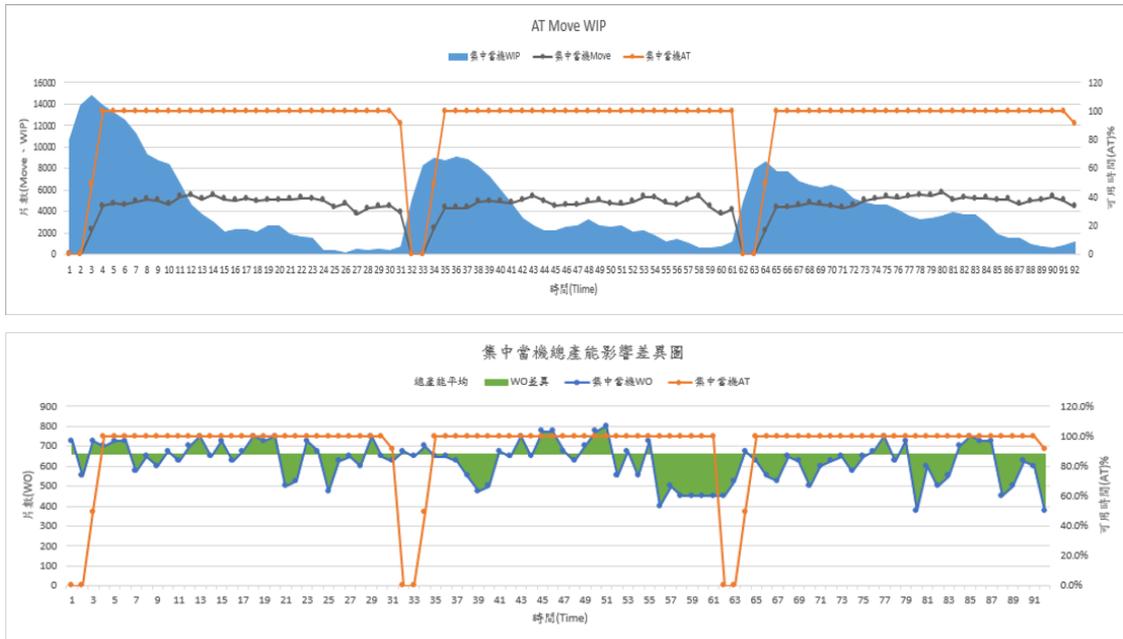


圖 4.25 集中當機模式之案例結果示意圖

由圖 4.25 可觀察當 AT 產生波動行為時，其 WIP 的堆積量會隨著當機行為的產生堆疊上升，當機行為結束後，WIP 的趨勢會向下消除；其 Move 會隨著波動當機時程進行變化。

2. 雙高峰當機模式：在雙高峰當機行為時，總產能影響損失約為 3.9%。

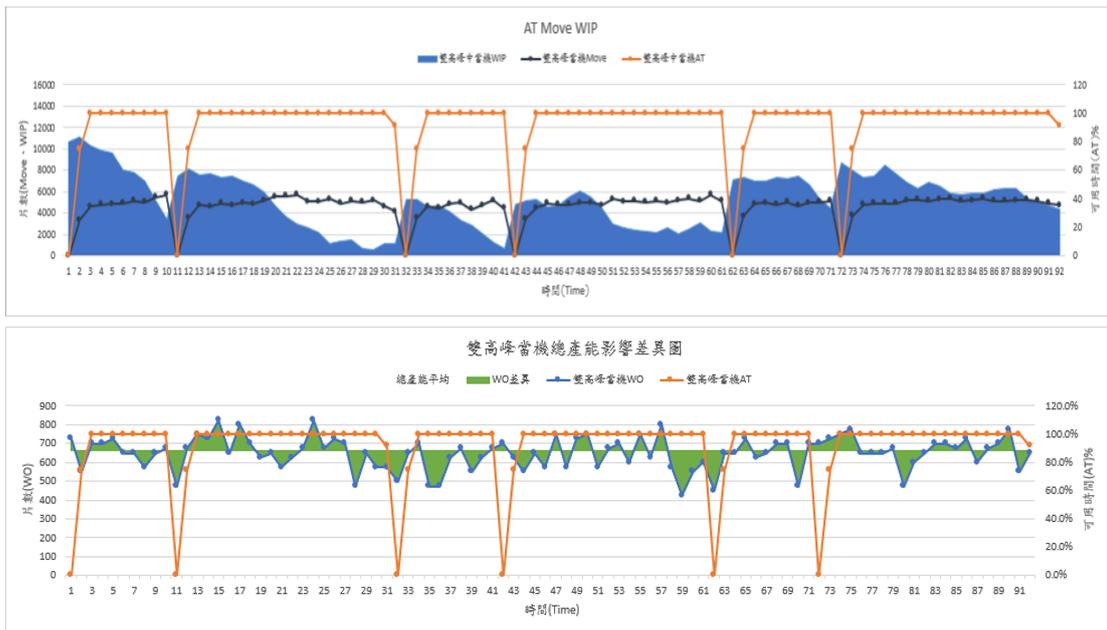


圖 4.26 雙高峰當機模式之案例結果示意圖

由圖 4.26 可以看出其 WIP 與 Move 亦隨著波動型態進行消長，由於雙高峰當機較集中當機模式的當機時間短，且出現兩次當機行為，其 WIP 的堆積數量較為平緩，對於總產出的影響程度也較小。

3. 週期性當機模式：在週期性當機行為時，總產能影響損失約為 1.5%。

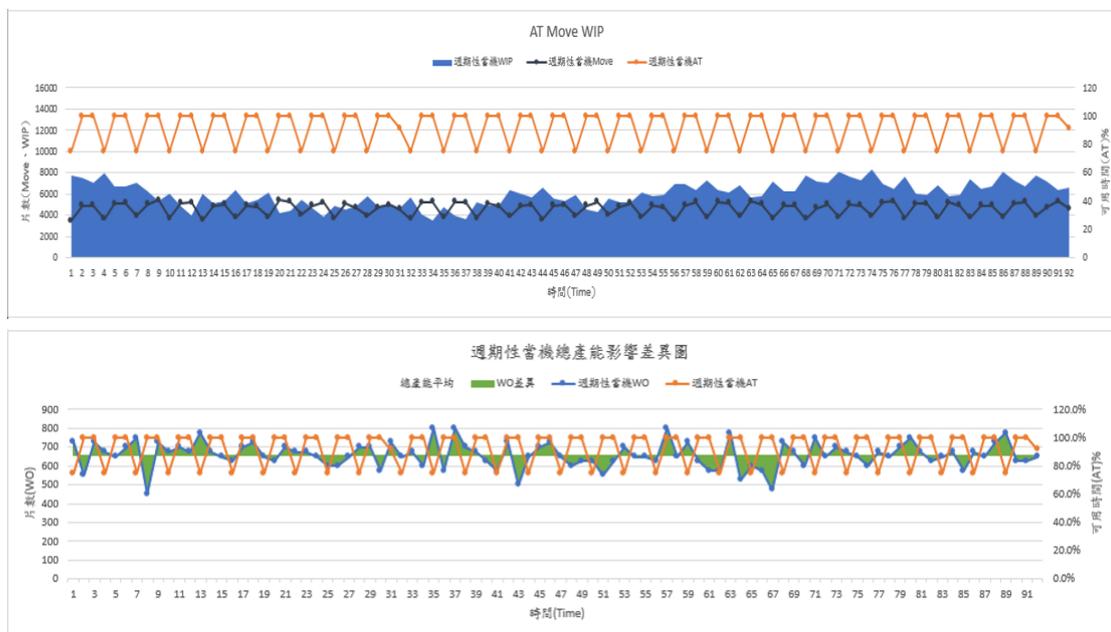


圖 4.27 週期性當機模式之案例結果示意圖

由於當機時間短且頻繁；對於 WIP 堆積影響差異並不劇烈，其產能也較能維持在較高的水準，此型態下的產能損失為最小。

4. 間隔當機模式：間格當機行為時，總產能影響損失約為 7.8%。

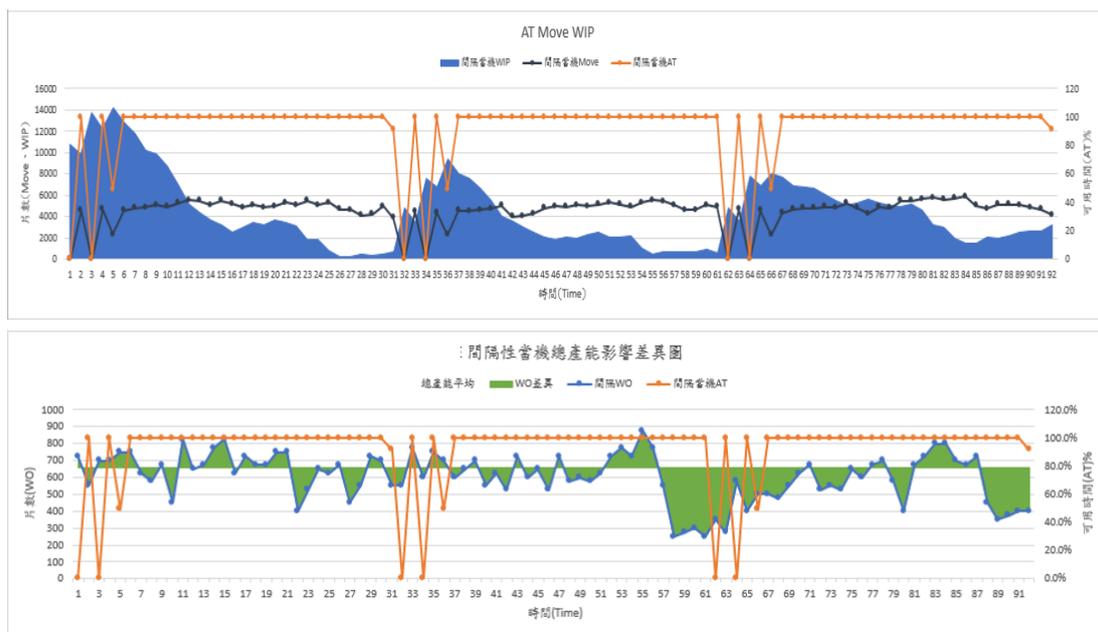


圖 4.28 間隔當機模式之案例結果示意圖

此波動型態對於產能損失影響差異程度最為劇烈；其在短時間內發生密集的當機行為，對於WIP的數量影響較為劇烈；由總產能影響差異圖亦可以看出其影響區塊也較前述當機模式影響程度大。

5. 隨機當機模式：隨機當機行為時，總產能影響損失約為4.6%。



圖 4.29 隨機當機模式之案例結果示意圖

綜合上述結果，因機台生產常會伴隨非預期性的當機，其當機行為之波動性(特別是單機)對整體產出影響約損失 4.0%±1%之晶圓產出量，表 4.7。於實務上的產能投資考量「機台波動性所造成損失」，因此在產能投資規劃時，此模擬機台群組之負荷量上限應以不超過 96% 以因應波動性所產生的損失風險。

表 4.7 單機多點波動型態對總產能損失差異

	集中當機 Type I	雙高峰當機 Type II	週期性當機 Type III	間隔當機 Type IV	隨機當機 Type V
總產能損失	5.7%	3.9%	1.5%	7.8%	4.6%

而在不同模擬實驗對象，其波動性對總產能影響分別為：

- 單機單點：可用生產時間波動行為對整體產出影響損失約 2.0%，其結果討論放置於附錄二。
- 多機多點：可用生產時間波動行為對整體產出影響損失為 1.5%，其結果討論放置於附錄三。

4.5.2 可用生產時間不同水準對於產能影響

本研究進一步探討，當機型態不變情況之下，其對於當機天數延長即表示 AT 水準低於標準之下，經實驗不同類型機台群組可歸納其對於產能損失影響關係之原因組合。由表 4.8、表 4.9、表 4.10 可知其總產能的損失會等於波動性的損失與額外當機天數比例損失相加的結果。

表 4.8 單機多點在不同 AT 水準下對總產能損失影響差異表

	AT=91.6%	AT=86.6	AT=81.6%	AT=76.6%	AT=71.6%
連當天數	2.5 天	4.0 天	5.5 天	7.0 天	8.5 天
未達 AT 標準，損失%	0.0%	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
總產能損失	5.7%	10.1%	15.7%	20.9%	24.9%

表 4.9 單機單點在不同 AT 水準下對總產能損失影響差異表

	AT=91.0%	AT=86.0%	AT=81.0%	AT=76.0%	AT=71.0%
連當天數	2.7 天	4.2 天	5.7 天	7.2 天	8.7 天
未達 AT 標準，損失%	0.0%	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
總產能損失	1.8%	7.0%	12.3%	17.6%	23.0%

表 4.10 多機多點在不同 AT 水準下對總產能損失影響差異表

	AT=91.6%	AT=86.6%	AT=81.6%	AT=76.4%	AT=71.6%
未達 AT 標準，損失%	0.0%	5.0%	10.0%	15.0%	20.0%
總產能損失	1.5%	3.6%	8.5%	13.4%	18.7%

4.5.3 關鍵機台群組中對於負荷量與可用時間的產能損失影響性關係

綜合上述小節，已可以分別觀察出在不同當機型態下對於總產能的損失，亦得出當可用生產時間若沒有保持在既定的水準之下，其總產能的損失將會是波動損失加上當機天數比例的結果。

然而，當在進行機台投資規劃時，規劃人員尚未得知再多少的機台負荷下可以容忍的最大當機天數為何，超過多少的機台負荷下，當機天數最長為何時將進行保險性的投資機台。因此，本研究將對於此問題進行討論。對照表 4.11 將對應之因子放入模擬進行共 56 組實驗。

表 4.11 機台群組負荷量與可用生產時間之關係

分析指標	增加Down機天數	0.0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0
	連連Down機天數	2.5	4.0	5.5	7.0	8.5	10	11.5
Loading	平均AT							
	AT下降%							
	100%							
	90%							
	80%							
	70%							
	60%							
	50%							
40%								
30%								

橫軸與可用生產時間水準設計相同，即利用增長當機天數使之可用生產時間水準不同，縱軸是負荷量(Loading)下降水準差異，此模擬實驗參數利用機台加工時間(Process Time)乘上對應的倍數進行實驗。即加工時間*100%、*90%...，以達到負荷量不同之效果。並將設計好之參數放入第一個月進行模擬實驗，爾後兩個月則為原始當績型態，如圖 4.29 示意。

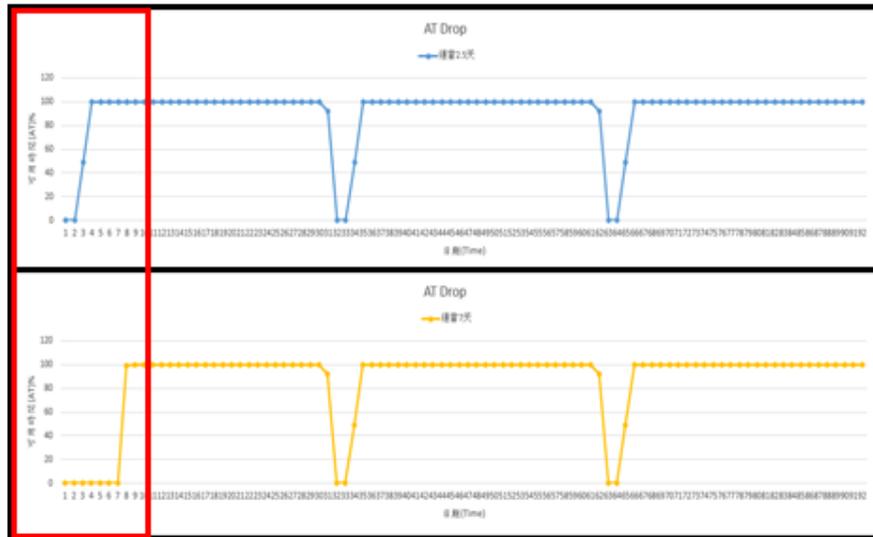


圖 4.30 上圖表示連續總當機 2.5 天，下圖表示連續總當機 7.0 天

放入模擬實驗所產生之數據，進行統計分析後結果如表 4.12。表格內藍色部份即表示依照 T-test 檢定，在 90% ($\alpha \leq 0.1$) 信心水準下對產能損失會大於 3% 的結果。因此我們可以觀察出，若總連當機天數在 10 天之後其產能的損失影響可能是企業界無法承受的；對於機台負荷量而言在 60%，連當 8.5 天的情形下即為產能損失 3% 的臨界值。

表 4.12 機台群組負荷量與可用生產時間對產能損失關係結果

總產能(wo) 差異百分比 (三個月平均)	增加Down機天數	0.0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0
	連續Down機天數	2.5	4.0	5.5	7.0	8.5	10	11.5
	平均AT	91.6%	90.0%	88.4%	86.7%	85.1%	83.5%	81.9%
	AT下降%	0.0%	-1.8%	-3.6%	-5.3%	-7.1%	-8.9%	-10.7%
Loading	100%		-3%	-5%	-8%	-9%	-9%	-12%
	90%	4%	1%	-4%	-4%	-6%	-9%	-12%
	80%	6%	2%	-1%	-4%	-3%	-6%	-9%
	70%	6%	5%	3%	-1%	-3%	-5%	-7%
	60%	7%	4%	4%	0%	-2%	-3%	-6%
	50%	6%	5%	3%	0%	0%	-3%	-5%
	40%	7%	4%	6%	2%	-1%	-4%	-4%
	30%	7%	6%	4%	0%	0%	-5%	-4%

本研究結合實務上，實際與應用案例人員進行討論，為保險起見一般業界在單機機台設計產能負荷(Loading) > 70% 時，為避免長時間連續當機 (>7 天) 影響產能(Wafer Out) 時，便會建議應加買一台以降低單機&機況不佳之加乘效應影響總產能。

第五章 結論與未來方向

5.1 結論

由於半導體製造業建置時需大量的資金投入，為取得在產能規劃上有較好的結果，皆使用模擬與實驗設計結合統計方法進行分析，以往大多在晶圓製造廠進行全廠區的建構時，所考慮的因素較集中在關於產出量、產品需求、產品生產週期時間等等，並無探討機台生產可用時間或者機台的波動行為造成的影響。然而從實務經驗上，機台的可用產能(Available Time; AT)的不穩定性與不定時發生的複雜異常事件(例如：機台故障)都將會對總體產能(或產出)有損失的影響。

為使規劃人員可以有效的掌握其各項不確定變動因素對總體產能(或產出)的影響程度，本研究提出一完整產能規劃與分析決策模式，由選定影響產能規劃的因素開始，並透過系統模擬與相關實驗設計、進行統計分析，以提出相關規劃決策作為管理參考依據。並以某公司實際資料與運作情形建立一模擬模型更貼近真實。

本研究透過模擬所得實驗後產出結果，歸納整理可知以下結果：

1. 波動性對產能影響分析

因機台生產常會伴隨非預期性的當機，其當機行為之波動性(特別是單機)對整體產出影響約損失 4.0%±1%之晶圓產出量，因此在產能投資規劃時，機台群組負荷量需加上可能損失影響百分比；以因應波動性所產生的損失風險。

2. 可用生產時間不同水準對於產能影響

當機型態不變情況之下，總產能的損失會等於波動性的損失與額外當機天數比例損失相加的結果。

3. 關鍵機台群組中對於負荷量與可用時間的產能損失影響性關係

結合實務上，實際與應用案例人員進行討論，為保險起見一般業界在單機機台設計產能負荷>Loading) > 70%時，為避免長時間連續當機(>7 天)影響產能(Wafer Out)時，便會建議應加買一台以降低單機&機況不佳之加乘效應影響總產能。

綜合以上的結果，本研究不以一般過去文獻較常討論週期時間與吞吐量進行關係比對，而是直接使用機台可用生產時間的波動行為對於總生產量影響的比較；因此可以使規劃人員更直接瞭解在過去規劃中，對於實際生產過程中所造成的產能差異。

5.2 未來研究方向

本研究以半導體晶圓製造場為基礎，考量機台可用生產時間的波動行為對於總產能之影響；然而在實際現場狀況所需考慮的動態變異並非只為單一因素，其可能受到機台數目不同、產品組合狀況、派工法則等等影響，其後續研究可納入上述不同影響因素，除機台波動行為亦可同時考量多動態變異因素。

此外，本論文在進行案例討論時所應用的多為設定下之模擬環境，其實驗範圍與因子水準皆依據實驗者對於半導體機台的瞭解而訂立，若可利用現今數據探勘的方法，則可以有較為一致的篩選因子水準執行實驗，並從最終的實驗結果直接進行不同一般經驗的結果討論。同時本研究只針對模擬實驗後結果進行整理分析，並無考量搜尋最佳化的結果，因此期許未來可以使用本論文之結論，搭配演算法尋找多目標之最佳解的情況下，執行更為精確的產能規劃結果。

歸納以上所論述，本研究建議之未來方向包含以下三點：

1. 執行產能規劃時可納入更多動態變異因素。
2. 進行模擬實驗時，其環境考量可以有更完整的資料進行參考，其因子考量可依據資料探勘取得，使模擬結果更符合現場實際狀況。
3. 進一步的應用本研究結果結合基因、PSO 等等演算法尋找多目標求得最佳解，使所預期的產能規劃結果更為準確，以提供管理及排程人員更好的決策方法。

參考文獻

- [1] 余業鑫 (2003)。以生產力為觀點的半導體晶圓廠產能規劃方法 (碩士論文)。國立清華大學，新竹市。
- [2] 呂麗香 (2006)。以規模經濟的觀點探討半導體晶圓廠產能規劃之研究:一個以系統模擬為基礎的方法 (碩士論文)。國立中央大學，桃園市。
- [3] 林金宏 (2008)。以 TPM 法提升半導體製造設備績效之研究 (碩士論文)。國立交通大學，新竹市。
- [4] 陳勝一 (2005)。批量加工之排程問題-半導體廠爐管機台為例 (碩士論文)。國立清華大學，新竹市。
- [5] 黃崇興 (2003)。晶圓代工廠產能投資決策與需求管理模式之研究 (碩士論文)。國立臺灣大學，台北市。
- [6] Akrami, B., Karimi, B., & Hosseini, S. M. (2006). Two metaheuristic methods for the common cycle economic lot sizing and scheduling in flexible flow shops with limited intermediate buffers: The finite horizon case. *Applied Mathematics and Computation*, 183(1), 634-645.
- [7] Andradóttir, S. (2006). An overview of simulation optimization via random search. *Handbooks in operations research and management science*, 13, 617-631.
- [8] Aybar, M., Potti, K., & LeBaron, T. (2002). *Modeling methodology: using simulation to understand capacity constraints and improve efficiency on process tools*. Paper presented at the Proceedings of the 34th conference on Winter simulation: exploring new frontiers.
- [9] Azadeh, A., Nokhandan, B. P., Asadzadeh, S. M., & Fathi, E. (2011). Optimal allocation of operators in a cellular manufacturing system by an integrated computer simulation–genetic algorithm approach. *International Journal of Operational Research*, 10(3), 333-360.
- [10] Bahaji, N., & Kuhl, M. (2008). A simulation study of new multi-objective composite dispatching rules, CONWIP, and push lot release in semiconductor fabrication. *International Journal of Production Research*, 46(14), 3801-3824.
- [11] Bassi, H. V., Ferreira Filho, V. J. M., & Bahiense, L. (2012). Planning and scheduling a fleet of rigs using simulation–optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 63(4), 1074-1088.

- [12] Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 35(3), 268-308.
- [13] Boesel, J., Nelson, B. L., & Ishii, N. (2003). A framework for simulation-optimization software. *IIE Transactions*, 35(3), 221-229.
- [14] Braha, D., & Shmilovici, A. (2002). Data mining for improving a cleaning process in the semiconductor industry. *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on*, 15(1), 91-101.
- [15] Briggs, D. D., Mollaghasemi, M., & Sepúlveda, J. A. (1995). *A hybrid analytical/simulation modeling approach for planning mass tactical airborne operations*. Paper presented at the Proceedings of the 27th conference on Winter simulation.
- [16] Cantoni, M., Marseguerra, M., & Zio, E. (2000). Genetic algorithms and Monte Carlo simulation for optimal plant design. *Reliability Engineering & System Safety*, 68(1), 29-38.
- [17] Chien, C.-F., Wang, W.-C., & Cheng, J.-C. (2007). Data mining for yield enhancement in semiconductor manufacturing and an empirical study. *Expert Systems with Applications*, 33(1), 192-198.
- [18] Chou, Y.-C. (2000). A methodology for product mix planning in semiconductor foundry manufacturing. *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on*, 13(3), 278-285.
- [19] Chou, Y.-C., Cheng, C.-T., Yang, F.-C., & Liang, Y.-Y. (2007). Evaluating alternative capacity strategies in semiconductor manufacturing under uncertain demand and price scenarios. *International Journal of Production Economics*, 105(2), 591-606.
- [20] Connors, D. P., Feigin, G. E., & Yao, D. D. (1996). A queueing network model for semiconductor manufacturing. *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on*, 9(3), 412-427.
- [21] Dorigo, M., & Blum, C. (2005). Ant colony optimization theory: A survey. *Theoretical computer science*, 344(2), 243-278.
- [22] Geng, N., & Jiang, Z. (2009). A review on strategic capacity planning for the semiconductor manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 47(13), 3639-3655.
- [23] Hung, M. H., Wang, E., & Wang, I. (2002, December). Using simulation and daily-

- demand method to analyze the capacity utilization for product-mix in semiconductor fabrication. *In Semiconductor Manufacturing Technology Workshop, 2002* (pp. 302-306). IEEE.
- [24] Kanungo, T., Mount, D. M., Netanyahu, N. S., Piatko, C. D., Silverman, R., & Wu, A. Y. (2002). An efficient k-means clustering algorithm: Analysis and implementation. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 24(7), 881-892.
- [25] Kleywegt, A. J., Shapiro, A., & Homem-de-Mello, T. (2002). The sample average approximation method for stochastic discrete optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 12(2), 479-502.
- [26] Larranaga, P., & Lozano, J. A. (2002). *Estimation of distribution algorithms: A new tool for evolutionary computation* (Vol. 2). North, Central and South America.
- [27] Lim, S. J., Jeong, S. J., Kim, K. S., & Park, M. W. (2006). A simulation approach for production-distribution planning with consideration given to replenishment policies. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 27(5-6), 593-603.
- [28] Lin, J. T., Wang, F.-K., & Wu, C.-K. (2003). Simulation analysis of the connecting transport AMHS in a wafer fab. *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on*, 16(3), 555-564.
- [29] Liu, J., Yang, F., Wan, H., & Fowler, J. W. (2011). Capacity planning through queueing analysis and simulation-based statistical methods: a case study for semiconductor wafer fabs. *International Journal of Production Research*, 49(15), 4573-4591.
- [30] Nazzal, D., Mollaghasemi, M., & Anderson, D. (2006). A simulation-based evaluation of the cost of cycle time reduction in Agere systems wafer fabrication facility—a case study. *International Journal of Production Economics*, 100(2), 300-313.
- [31] Negahban, A., & Smith, J. S. (2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(2), 241-261.
- [32] Occhino, T. J. (2000). *Capacity planning model: the important inputs, formulas, and benefits*. Paper presented at the Advanced Semiconductor Manufacturing Conference and Workshop, 2000 IEEE/SEMI.
- [33] Oğuz, C., & Ercan, M. F. (2005). A genetic algorithm for hybrid flow-shop scheduling

- with multiprocessor tasks. *Journal of Scheduling*, 8(4), 323-351.
- [34] Olafsson, S. (2006). Metaheuristics. *Handbooks in operations research and management science*, 13, 633-654.
- [35] Omkumar, M., Shahabudeen, P., Gughan, S., & Azad, A. (2009). GA based static scheduling of multilevel assembly job shops. *International Journal of Operational Research*, 4(2), 197-213.
- [36] Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., & Shapiro, A. (2005). A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 167(1), 96-115.
- [37] Seppelt, R., & Voinov, A. (2002). Optimization methodology for land use patterns using spatially explicit landscape models. *Ecological Modelling*, 151(2), 125-142.
- [38] Stevenson, W. (2011). *Operations management*: McGraw-Hill/Irwin.
- [39] Subramanian, D., Pekny, J. F., & Reklaitis, G. V. (2000). A simulation—optimization framework for addressing combinatorial and stochastic aspects of an R&D pipeline management problem. *Computers & Chemical Engineering*, 24(2), 1005-1011.
- [40] Truong, T. H., & Azadivar, F. (2003). *Simulation optimization in manufacturing analysis: simulation based optimization for supply chain configuration design*. Paper presented at the Proceedings of the 35th conference on Winter simulation: driving innovation.
- [41] Wang, G., Yan, Y., Zhang, X., Shanguan, J., & Xiao, Y. (2008). *A simulation optimization approach for facility layout problem*. Paper presented at the Industrial Engineering and Engineering Management, 2008. IEEM 2008. IEEE International Conference on.
- [42] Wu, M.-C., Jiang, J.-H., & Chang, W.-J. (2008). Scheduling a hybrid MTO/MTS semiconductor fab with machine-dedication features. *International Journal of Production Economics*, 112(1), 416-426.
- [43] Xu, J., Nelson, B. L., & Hong, L. J. (2013). An adaptive hyperbox algorithm for high-dimensional discrete optimization via simulation problems. *INFORMS Journal on Computing*, 25(1), 133-146.
- [44] Yang, T., Kuo, Y., & Cho, C. (2007). A genetic algorithms simulation approach for the multi-attribute combinatorial dispatching decision problem. *European Journal of Operational Research*, 176(3), 1859-1873.

附錄一

表 1 單機多層波動性對總產能影響差異百分比(群組一)

單機多層-波動性對總產能影響差異百分比(-)					
情境一		情境二	情境三		
集中前當機	-4.46%	-6.67%	隨機當機模式	-2.48%	-4.73%
集中中當機	-0.95%	-2.88%		-2.93%	-5.27%
集中後當機	-8.42%	-7.58%		-2.93%	-3.90%
雙高峰當機(前中)	-2.52%	-3.19%		-7.38%	-2.68%
雙高峰當機(中後)	-5.11%	-4.89%		-3.73%	-4.86%
雙高峰當機(前後)	-3.14%	-3.55%		-6.52%	-1.43%
週期性當機(三天)	-0.87%	-0.94%		-6.80%	-2.64%
週期性當機(六天)	-1.72%	-1.64%		-10.11%	-4.06%
週期性當機(九天)	-1.60%	-2.05%		-1.11%	-3.96%
間隔性前當機	-5.55%	-10.50%		-3.05%	-8.70%
間隔性中當機	-1.47%	-2.72%		-3.21%	-5.23%
間隔性後當機	-9.22%	-10.07%		-2.56%	-3.29%
				-12.01%	-3.49%
				-3.14%	-2.00%
			-8.26%	-6.44%	

表 2 單機多層波動性對總產能影響差異百分比(群組二)

單機多層-波動性對總產能影響差異百分比(二)					
情境一		情境二	情境三		
集中前當機	-8.09%	-18.64%	隨機當機模式	-5.55%	-3.90%
集中中當機	-4.18%	-14.30%		-4.42%	-4.78%
集中後當機	-4.78%	-13.23%		-3.98%	-6.40%
雙高峰當機(前中)	-2.93%	-9.51%		-4.85%	-5.75%
雙高峰當機(中後)	-0.66%	-9.04%		-6.20%	-3.09%
雙高峰當機(前後)	-5.37%	-12.94%		-4.82%	-8.58%
週期性當機(三天)	-1.02%	-1.88%		-4.22%	-5.79%
週期性當機(六天)	-0.94%	-3.61%		-6.36%	-5.91%
週期性當機(九天)	-1.69%	-6.60%		-6.36%	-5.91%
間隔性前當機	-6.55%	-13.66%		-4.78%	-4.38%
間隔性中當機	-2.44%	-10.68%		-4.82%	-4.50%
間隔性後當機	-5.05%	-10.15%		-5.72%	-4.62%
				-3.61%	-7.37%
				-5.99%	-6.39%
			-5.01%	-6.84%	

表 3 單機單層波動性對總產能影響差異百分比(群組三)

單機單層-波動性對總產能影響差異百分比(-)					
情境一		情境二	情境三		
集中前當機	-1.77%	-1.77%	隨機當機模式	-2.28%	-2.73%
集中中當機	-2.56%	-2.56%		-1.84%	-2.64%
集中後當機	-3.31%	-3.39%		-3.19%	-2.32%
雙高峰當機(前中)	-1.73%	-1.77%		-3.46%	-1.96%
雙高峰當機(中後)	-2.60%	-2.56%		-2.77%	-2.36%
雙高峰當機(前後)	-1.89%	-2.01%		-3.01%	-2.56%
週期性當機(三天)	-1.97%	-1.93%		-3.41%	-2.73%
週期性當機(六天)	-1.60%	-1.89%		-2.40%	-2.24%
週期性當機(九天)	-1.76%	-1.77%		-2.20%	-2.24%
間隔性前當機	-1.76%	-1.80%		-2.73%	-2.56%
間隔性中當機	-2.56%	-2.64%		-2.40%	-2.56%
間隔性後當機	-3.37%	-3.75%		-2.32%	-2.52%
				-3.41%	-3.79%
				-2.32%	-4.54%
			-3.17%	-2.04%	

表 4 單機單層波動性對總產能影響差異百分比(群組四)

單機單層-波動性對總產能影響差異百分比(二)					
情境一		情境二	情境三		
集中前當機	-0.99%	-0.07%	隨機當機模式	-0.14%	-0.67%
集中中當機	-0.46%	-0.88%		-1.88%	-0.02%
集中後當機	-0.26%	-0.47%		-1.03%	-0.10%
雙高峰當機(前中)	-0.02%	-0.62%		-1.35%	-0.75%
雙高峰當機(中後)	-0.75%	-0.03%		-0.48%	-1.11%
雙高峰當機(前後)	-0.42%	-0.55%		-0.42%	-0.30%
週期性當機(三天)	-0.59%	-0.78%		-0.26%	-0.79%
週期性當機(六天)	-0.02%	0.17%		-0.22%	-0.87%
週期性當機(九天)	-0.75%	-1.69%		-1.03%	-0.48%
間隔性前當機	-0.48%	-0.70%		-0.70%	-0.79%
間隔性中當機	-0.98%	-1.65%		-0.42%	-0.98%
間隔性後當機	-0.55%	-0.53%		-0.51%	-0.75%
				-0.78%	-1.84%
				-1.06%	-0.67%
			-0.42%	-0.67%	

表 5 多機多層波動性對總產能影響差異百分比

多機多層-波動性對總產能影響差異百分比					
情境三			情境三		
隨機當機模式 機台群組一	-1.23%	-3.53%	隨機當機模式 機台群組二	-2.08%	-1.47%
	-0.87%	-1.47%		-4.06%	-1.35%
	-0.87%	-1.47%		-1.84%	-1.27%
	-2.32%	-1.35%		-2.04%	-1.84%
	-2.48%	-1.64%		-1.55%	-2.28%
	-0.79%	-1.11%		-2.16%	-2.60%
	-1.64%	0.42%		-2.20%	-1.19%
	-2.48%	-1.64%		-1.84%	-2.56%
	-0.99%	-2.36%		-2.12%	-1.38%
	-0.91%	-1.43%		-1.64%	-1.27%
	-2.73%	-1.88%		-1.68%	-3.37%
	-0.59%	-0.87%		-1.68%	-1.80%
	-0.59%	-1.15%		-2.16%	-1.76%
	-1.87%	-1.11%		-1.64%	-3.01%
	-0.91%	-1.96%		-2.08%	-4.46%

附錄二

此範例模擬機台群組，扣除例行性維修保養時間後，可用生產時間為 91%，其分析其當機型態對產能影響說明如下：

1. 集中當機模式：在集中當機行為時，影響的總產能損失約為 2.6%。

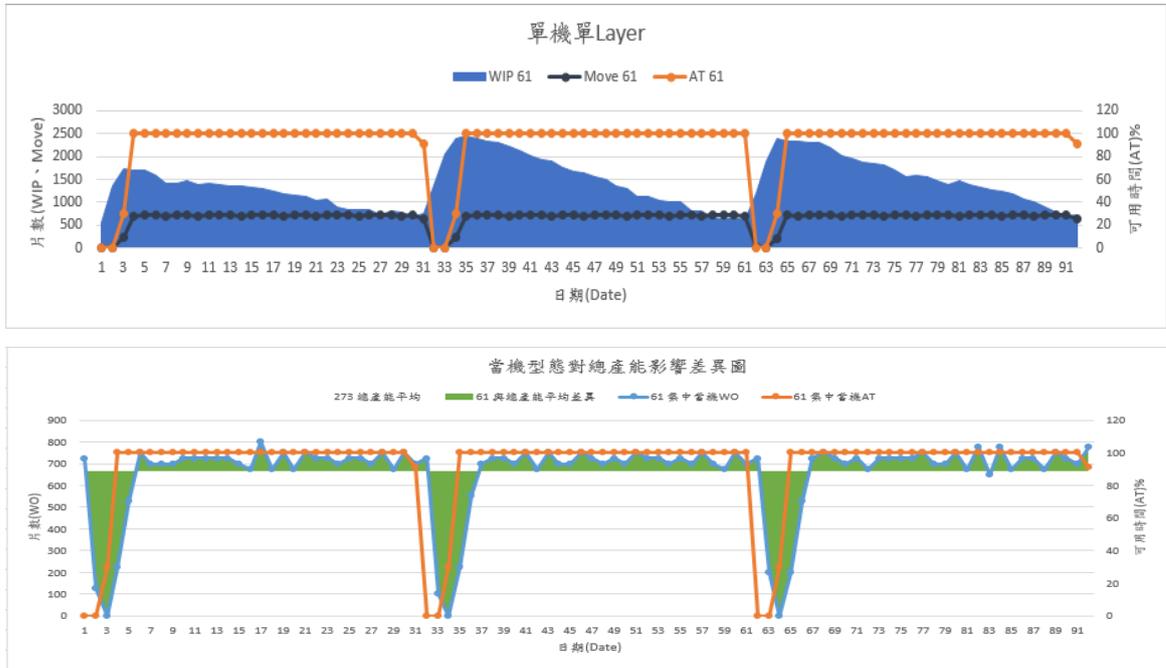


圖 1 集中當機模式之案例結果示意圖

2. 雙高峰當機模式：在雙高峰當機行為時，總產能影響損失約為 2.1%。

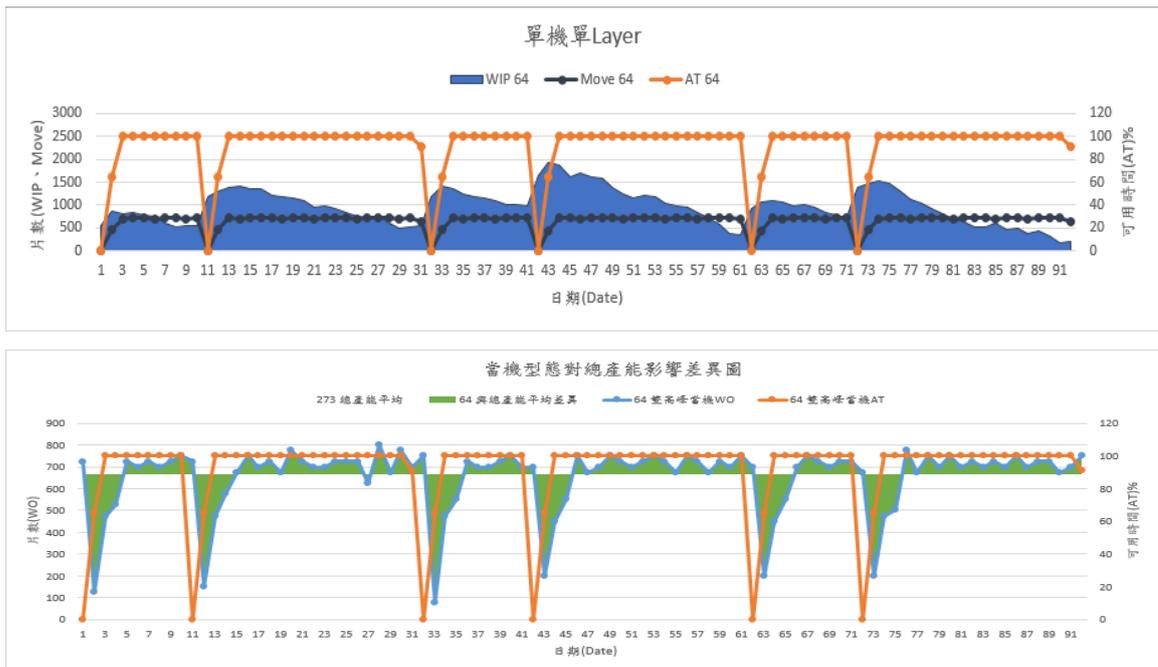


圖 2 雙高峰當機模式之案例結果示意圖

3. 週期性當機模式：在週期性當機行為時，總產能影響損失約為 1.9%。

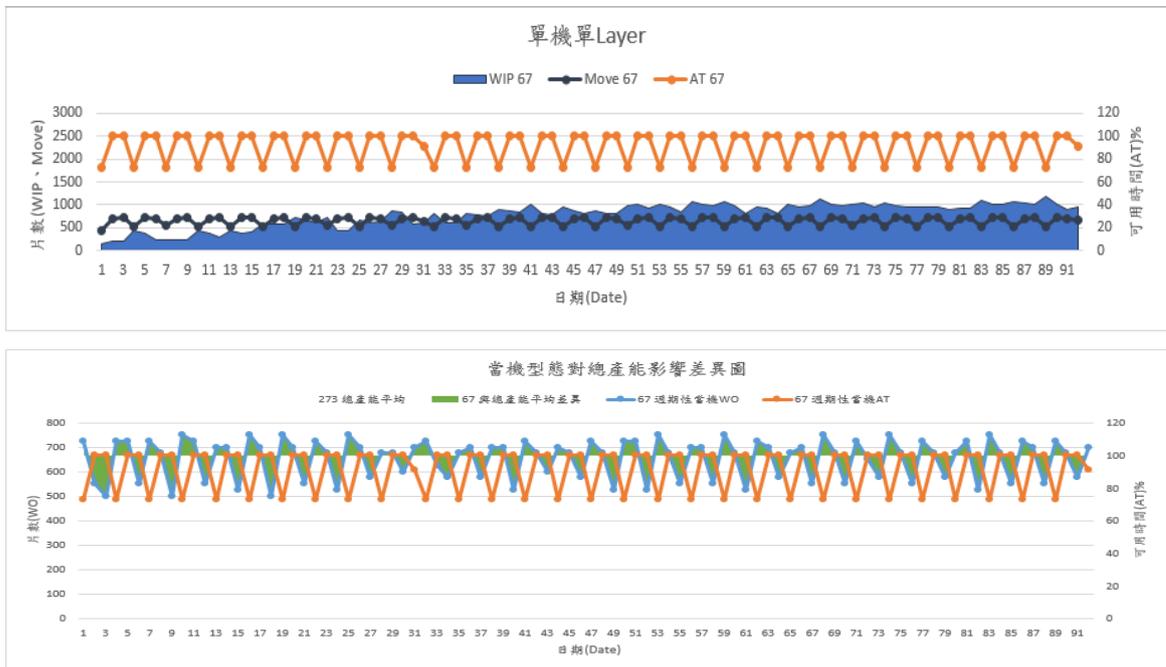


圖 3 週期性當機模式之案例結果示意圖

4. 間隔當機模式：間格當機行為時，總產能影響損失約為 2.7%。

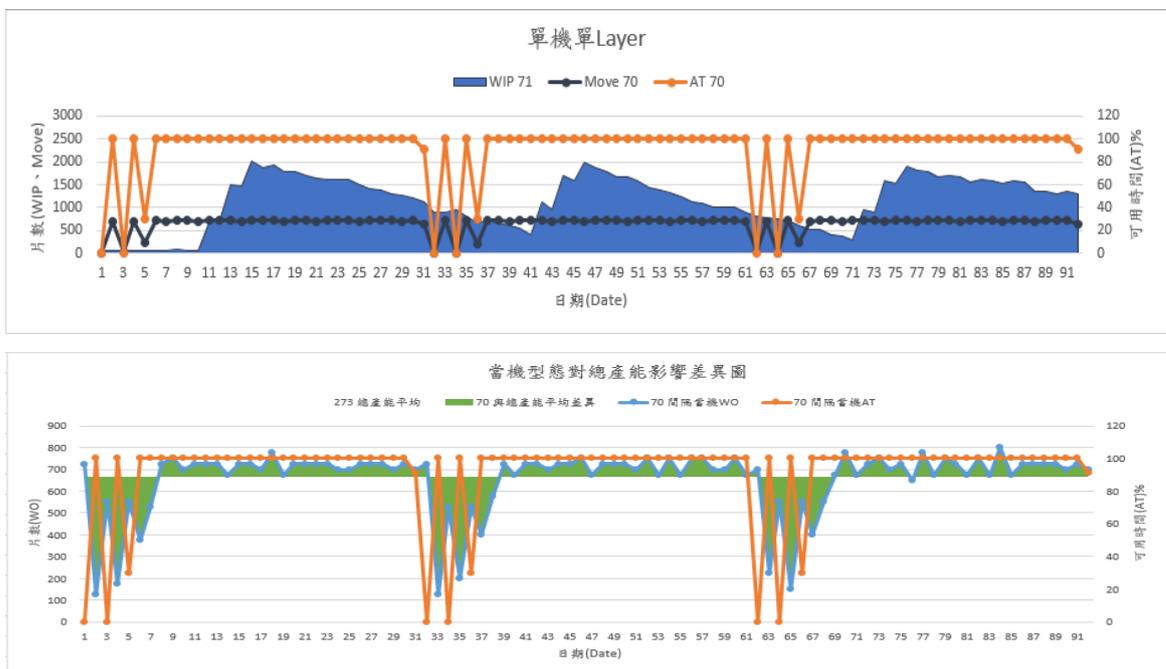


圖 4 間隔當機模式之案例結果示意圖

5. 隨機當機模式：隨機當機行為時，總產能影響損失約為 2.7%。

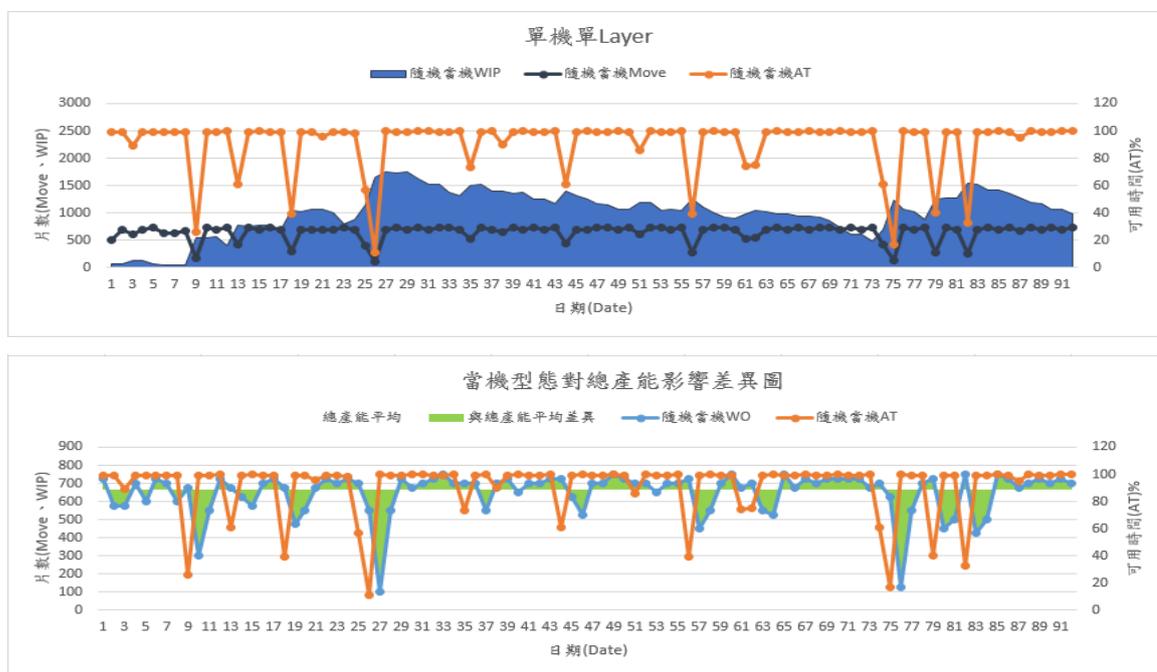


圖 5 隨機當機模式之案例結果示意圖

綜合上述結果，因機台生產常會伴隨非預期性的當機，其當機行為之波動性(特別是單機)對整體產出影響約損失 2.0%之晶圓產出量，表 1。於實務上的產能投資考量「機台波動性所造成損失」，因此在產能投資規劃時，此模擬機台群組之負荷量上限應以不超過 93% 以因應波動性所產生的損失風險。

表 6 單機單點波動型態對總產能損失差異

	集中當機 Type I	雙高峰當機 Type II	週期性當機 Type III	間隔當機 Type IV	隨機當機 Type V
總產能損失	2.6%	2.1%	1.9%	2.7%	2.7%
產品 A 損失	2.2%	1.1%	1.8%	2.1%	2.0%
產品 B 損失	3.0%	3.2%	1.9%	3.4%	3.4%

附錄三

此範例模擬機台群組，扣除例行性維修保養時間後，可用生產時間為92%，此機台群組與單機多點機台群組相同，然進行模擬實驗時內部機台使其不同開機與當機；則其分析對產能影響說明如下：



圖 6 多機多點當機模式之案例結果示意圖