

逢甲大學學生報告 ePaper

應用 Minitab 於田口品質工程之數據重現與驗證：以
血糖測試片射出成型論文為例

Data Reproduction and Validation of Taguchi Quality En-
gineering Using Minitab: A Case Study of a Blood Glu-
cose Test Strip Injection Molding Thesis

作者：孫雅瑄、李筱晴、吳佳融、林昱雯

系級：工業工程與系統管理學系三年級

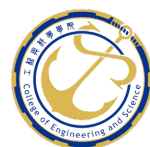
學號：D1225252、D1225368、D1248312、D1248827

開課老師：鍾健平 老師

課程名稱：品質與可靠度工程

開課系所：工業工程與系統管理學系

開課學年：114 學年度 第 2 學期



摘要

塑膠射出成型在精密醫療檢測元件（如血糖驗測試片）的製造中扮演關鍵角色，然而，傳統試模階段往往耗費大量成本。田口方法與品質工程提供了一套能有效降低產品變異、實現製程穩健性的參數設計方法。本報告旨在透過實際演練，應用 Minitab 統計軟體對已發表之文獻《以田口方法導入一模多穴塑膠射出成型品質優化之實驗與數值模擬分析》進行實驗數據的重現與驗證。

研究過程中，本組成員引用 L₁₈ 直交表之 CAE 模流模擬與現場射出實驗數據，針對產品寬度、兩孔間距與上孔孔徑等關鍵尺寸之望目特性重新計算訊號雜訊比（S/N 比），並執行變異數分析。研究結果顯示，在「產品寬度」的實驗分析中，成功推導出與原論文一致的優化參數趨勢；然而，在深入驗證「兩孔間距」之現場原始數據時，Minitab 統計軟體系統判定其標準差趨近於 0，出現了不合理極端統計現象。經探討，真實多穴射出產線必然會受到環境與機遇原因的隨機雜訊干擾，數據理應具備自然的變異分散性。本報告推論，原始文獻之部分數據可能經過平滑化或以理想模擬輸出，而忽略隨機變異干擾因素；此外，針對「上孔孔徑」的變異數分析驗證中，本報告客觀指出僅有『料溫』達到統計顯著水準，修正了原文獻中對多項因子皆具顯著性判定。

本報告不僅完整演練田口方法實務操作流程，更透過客觀 Minitab 統計軟體運算，展現對學術文獻數據合理性批判性思考，期能為品質工程的學習與實務驗證提供具價值參考。

關鍵字：田口方法、Minitab 統計軟體、塑膠射出成型、變異數分析、數據驗證

Abstract

Plastic injection molding is critical for manufacturing precision medical components like blood glucose test strips, yet traditional mold tryouts are highly costly. Taguchi quality engineering provides a parameter design method to effectively reduce variation and achieve process robustness. This report uses Minitab statistical software to reproduce and validate experimental data from the published thesis, *Experimental and Numerical Analysis on Quality Optimization of Plastic Injection of a Multi-Cavity Mold with Taguchi Method*.

Using the L₁₈ orthogonal array's CAE simulation and on-site experimental data, we recalculated the signal-to-noise (S/N) ratios (nominal-the-best) and performed Analysis of Variance (ANOVA) for key dimensions: product width, distance between two holes, and upper hole diameter. While the optimized parameter trend for "product width" matched the original thesis, the raw on-site data for the "distance between two holes" exhibited an unreasonable statistical anomaly with a standard deviation approaching zero. Since real-world multi-cavity production inherently involves random noise, we infer that the original data was artificially smoothed or replaced by ideal simulation outputs. Furthermore, our ANOVA for the "upper hole diameter" objectively indicated that only the 'melt temperature' achieved statistical significance, correcting the original literature's determination of multiple significant factors.

This report not only demonstrates the practical application of the Taguchi method but also showcases critical thinking regarding data validity through objective Minitab calculations, serving as a valuable reference for quality engineering.

Keywords: Taguchi Method; Minitab statistical software; Plastic Injection Molding; Analysis of Variance; Data Validation

目 錄

第一章	緒論	5
1.1	研究背景	6
1.2	研究動機與目的	6
第二章	文獻探討	8
2.1	直交表之幾何定義與橫縱平衡配置	8
2.2	靜態訊號雜訊比與均方差	8
第三章	研究方法	11
3.1	研究說明	11
3.2	研究流程介紹	11
第四章	實驗分析與結果	13
4.1	模擬數據分析	14
4.1.1	寬度	14
4.1.2	兩孔間距	17
4.1.3	上孔孔徑	20
4.2	現場數據分析	23
4.2.1	寬度	23
4.2.2	兩孔間距	26
4.2.3	上孔孔徑	29
4.3	變異分析	32
4.4	實驗結果	35
第五章	結論	36
參考文獻		38

表目錄

表 1 研究步驟說明	12
表 2 L18(21 × 37)田口直交表	13
表 3 控制因子與水準	14
表 4 原始產線之成型條件	14
表 5 模擬數據寬度之平均值與望目 S/N 比	15
表 6 模擬數據產品寬度因子反應表	15
表 7 模擬數據兩孔間距之平均值與望目 S/N 比	18
表 8 模擬數據產品兩孔間距因子反應表	18
表 9 模擬數據上孔孔徑之平均值與望目 S/N 比	20
表 10 模擬數據產品上孔孔徑因子反應表	21
表 11 模擬控制因子調整	22
表 12 原始產線之成型條件	23
表 13 現場數據寬度之平均值與望目 S/N 比	24
表 14 現場數據產品寬度因子反應表	24
表 15 現場數據兩孔間距之平均值與望目 S/N 比	26
表 16 現場數據產品兩孔間距因子反應表	27
表 17 現場數據上孔孔徑之平均值與望目 S/N 比	29
表 18 現場數據產品上孔孔徑因子反應表	30
表 19 現場控制因子調整	31
表 20 現場實驗產品寬度控制因子變異分析	32
表 21 現場實驗產品寬度控制因子顯著性分析	32
表 22 現場實驗產品兩孔間距控制因子變異分析	33
表 23 現場實驗產品兩孔間距控制因子顯著性分析	33
表 24 現場實驗產品上孔孔徑控制因子變異分析	34
表 25 現場實驗產品上孔孔徑控制因子顯著性分析	34

圖目錄

圖 1 模擬數據產品寬度 S/N 比因子反應圖	16
圖 2 模擬數據產品寬度品質特性圖	17
圖 3 模擬數據產品兩孔間距 S/N 比因子反應圖	19
圖 4 模擬數據產品兩孔間距品質特性圖	19
圖 5 模擬數據產品上孔孔徑 S/N 比因子反應圖	21
圖 6 模擬數據產品上孔孔徑品質特性圖	22
圖 7 現場實驗產品寬度 S/N 比因子反應圖	25
圖 8 現場實驗產品寬度品質特性圖	25
圖 9 現場實驗產品兩孔間距 S/N 比因子反應圖	28
圖 10 現場實驗產品兩孔間距品質特性圖	28
圖 11 現場實驗產品上孔孔徑 S/N 比因子反應圖	30
圖 12 現場實驗產品上孔孔徑品質特性圖	31



第一章 緒論

1.1 研究背景

隨著國人飲食習慣及生活型態的改變，許多文明病接踵而來，而糖尿病便是其中一項。根據國際糖尿病聯合會報告，台灣的糖尿病盛行率居高不下且數據仍持續上升。由於目前糖尿病仍無法完全根治，患者需要時時刻刻監控自己的血糖，因此在醫療市場上，血糖驗測試片的需求愈趨高漲。既然患者必須隨時隨地監控血糖，驗測試片與驗測儀器皆被設計得更便於攜帶，這使得產品著重在尺寸精細度與材料機械強度上。然而，對於多穴模具而言，傳統試模階段往往係經由現場人員不斷嘗試與改正，這種盲目摸索的過程耗費了非常多的人力、物力與營運成本，且難以將數據加以統整與分析，對於品質控管與生產效率形成了嚴峻的考驗。黃良政(2016)以《以田口方法導入一模多穴塑膠射出成型品質優化之實驗與數值模擬分析》為題的論文，使用田口方法探討血糖驗測試片在塑膠射出成型時，如何全面的、有系統的調控多項製程條件，在兼顧試模成本的情況下，找出最佳化的製程參數，以達成提升試片尺寸穩定性與生產效率之研究。

1.2 研究動機與目的

在品質與可靠度工程課程中，田口方法與實驗設計是實現製程穩健性與降低變異的核心工具。本報告利用上課所學到的田口方法進行實驗設計，透過重新執行血糖驗測試片的射出成型實驗數據，深入探討各製程因子對產品品質特性的影響。不僅重現並驗證了該論文的優化流程，更透過訊號雜訊比（S/N 比）與變異數分析計算，尋求最佳因子水準組合，更進一步比對我們重新分析的結果與原論文數據之間的差異。具體研究目的如下：

1. 重現與驗證文獻：利用課堂所學之田口方法與 Minitab 統計軟體，重新執行血糖測試片射出成型之 CAE 模流模擬與現場實驗數據，以軟體運算驗證原論文優化流程之準確性與再現性。
2. 探討製程因子對品質特性之影響：透過重新分析，深入探討射出成型各製程因子（如溫度、壓力、時間等）對血糖測試片品質特性的交互作用影響。

3. 尋求最佳化參數組合以降低變異：計算 S/N 比並進行變異數分析，全面評估各製程因子的顯著性，藉以尋求能有效降低產品變異、實現製程穩健性的最佳參數組合。
4. 進行數據比對與學術差異分析：重新分析與計算之結果，與原論文之原始數據進行系統性對比，分析並探討兩者之間可能存在的差異與原因。



第二章 文獻探討

塑膠射出成型是一項發展成熟的加工技術，其主要優勢在於能製作出結構複雜、精密度高的物件，且具備高效率的快速生產能力。若結合一模多穴的模具設計，更能單次產出大量成品。然而，因應現代消費者偏好輕薄短小的產品，設計與製造端皆需迎合此趨勢，這也為塑膠射出製程帶來了考驗。早期的試模程序極度依賴現場人員的經驗，透過反覆試錯來微調參數，此舉不僅浪費時間與塑料成本，也難以將製程資訊進行系統性歸納與經驗傳承。為解決此問題，國內外許多學者致力於將田口方法與 CAE 模流分析軟體相結合，展開了多面向且深入的研究。

2.1 直交表之幾何定義與橫縱平衡配置

直交表起源於幾何學中的拉丁方陣與正交概念，在標準品質工程符號定義中，通常以 $L_N(S^m)$ 的矩陣形式呈現，其中 L 方陣 (Latin Square)， N 代表直交表總共需要進行的實驗配置總次數也就是其列數， S 代表每一個控制因子所規劃的調控水準數，而 m 則代表該張直交表橫向欄位最大可容納的控制因子個數也就是其行數。直交表的物理與幾何意義代表平衡或可分，這意味著在直交表的縱向行與橫向列之間，所有控制因子的水準配置均具備完全平衡的效果(李輝煌，2023)。其幾何定義必須嚴格滿足兩大正交條件，第一是在直交表的任意一欄中，不同水準出現的次數必須完全相等；第二是在直交表的任意兩欄中，所有可能出現的水準組合，其出現的次數也必須完全相等。當技術人員執行直交實驗時，這種完美的幾何平衡特性，使得任何兩列之間的各種水準組合均勻分佈，各個控制因子的單獨效應可以被獨立拆開計算而不相互混淆，因而具備實驗次數極少、結論在整個範圍皆成立、且資料分析極為簡單等卓越的工程優勢。在參數因子配置上，可由設計人員完全掌握與調整的水準參數會被置於內側直交表作為控制因子，而隨環境改變、花費高成本才可控制的機遇原因，則會被置於外側直交表作為雜音因子。

2.2 靜態訊號雜訊比與均方差

在衡量尺度上，品質工程採用訊號雜訊比 (Signal-to-Noise Ratio, 簡稱 S/N 比) 作為評量系統性能與穩健性的關鍵指標。訊號雜訊比原用於測試通訊系統

的信號穩定度，其數值能夠真實反應品質特性的變異程度，且具備簡單性與加法性。訊號雜訊比的基本公式是以可預測的信號功率除以不可預測的雜音功率，在工程設計的實務應用上，其目的在於最大化可預測的訊號部分，並同時最小化因內部雜音、外部環境或產品間變異所引起的不可預測雜音部分，使得比值達到最大。當控制因子與目標值固定且無須考慮輸入訊號的相對變化時，此類製程即歸類為靜態問題(Montgomery, 2009; Su, 2013)。靜態訊號雜訊比的通用數學定義，是以 η 作為符號，其公式表現為：

$$\eta = -10 \log_{10}(MSD) \quad (1)$$

公式中的 MSD 為均方差 (Mean Square Deviation)，用以衡量實驗觀測值與理想目標值之間的平均平方距離，其計量單位為分貝 (dB)。當訊號雜訊比的數值越大，代表製程的均方差越小，相對應的品質損失就越低，意味著產品擁有較好的品質績效與高度的穩健性。

依據產品品質特性的不同需求，靜態訊號雜訊比在公式建構與均方差的定義上分為三種主要數學模型。

第一種為望小特性，其製程標的為數值越小越好，其理想的目標值為零。若在某一特定的直交表實驗組合下，進行了 n 次重複實驗或抽取了 n 個樣本，各個觀測值依序為 $y_1, y_2, \dots, y_n$ ，則望小特性的均方差公式定義為 $MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2$ ，將其代入對數公式後，望小特性的訊號雜訊比公式完整表現為：

$$\eta = -10 \log_{10}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (2)$$

第二種為望大特性，其製程標的為數值越大越好，其各個觀測值倒數平方的平均數即為其均方差，數學公式定義為 $MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}$ ，將其導入後，望大特性的訊號雜訊比公式完整表現為：

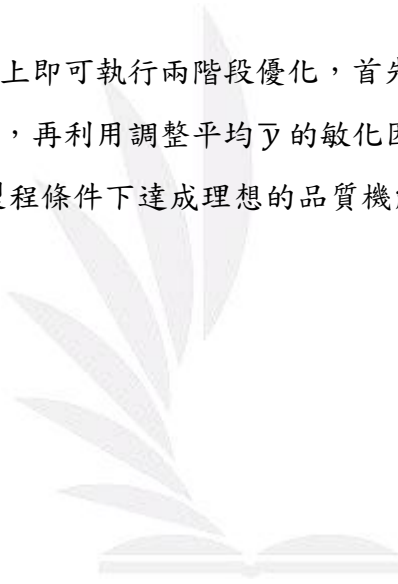
$$\eta = -10 \log_{10}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (3)$$

在這兩種特性下，產品品質之優劣可以直接藉由訊號雜訊比的排序與因子反應圖進行單一階段的穩健水準挑選， η 值最大者即為最佳參數。

第三種則為要求品質特性越靠近特定目標值 m 越好的望目特性。由於其同時考量了品質特性平均值與規格中心的一致性，以及變異數的最小化，在數學上必須衍生出不同的考量。若製程數據的樣本平均數表示為 $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ ，不偏變異數表示為 $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$ ，則望目特性在標準品質工程理論中的均方差公式定義為 $MSD = (\bar{y} - m)^2 + \frac{n-1}{n} S^2$ 。而在實務數據分析中，若目標值 m 與平均值無直接線性比例關係，通常會採用以樣本平均數與變異數之比值為基礎的變異係數倒數模型，其望目特性訊號雜訊比公式表現為：

$$\eta = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} \right) \quad (4)$$

透過此公式，在分析上即可執行兩階段優化，首先挑選能最大化 η 值的控制因子來鎖定系統穩健度，再利用調整平均 $\bar{y}$ 的敏化因子使製程精準對齊規格中心 m ，以在最經濟的製程條件下達成理想的品質機能轉換。



第三章 研究方法

本章將依參考之論文(黃良政，2016)所使用的研究方法進行分析及探討。

3.1 研究說明

本報告旨在探討一模多穴塑膠射出成型之製程參數最佳化配置，以提升精密醫療檢測元件之尺寸穩定性與生產效能，並選定原著中具有一模 24 穴設計之血糖驗測試片模具作為核心分析對象。

由於該產品講求輕薄短小且具高精密尺寸需求，製程中微小的變異皆可能導致產品批量失效。因此，本報告導入品質工程中之田口方法，以產品關鍵尺寸（寬度、兩孔間距、上孔孔徑）之「望目特性」作為品質評估指標。

本報告核心方法在於，利用逢甲大學所提供之校園授權統計分析軟體 Minitab (Minitab, LLC, 2020)建立田口方法，將原論文中所收集之 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表實驗數據重新進行系統化統計驗證。透過 Minitab 統計軟體計算各組實驗之 S/N 比以評估製程的穩健性，並執行變異數分析以鑑別出對各項尺寸品質具有顯著影響之關鍵控制因子（如料溫、油溫、射速、保壓壓力等）。最終，本報告將整合統計分析結果，推導出最佳製程參數組合，並與原論文之 CAE 模流模擬結果及現場實際射出數據進行深入之對比與驗證，以評估品質改善率與生產週期之優化成效。

3.2 研究流程介紹

本報告為確保實驗過程的嚴謹性與數據分析的客觀性，以田口方法為核心架構，並結合 Minitab 統計軟體進行系統化的實驗設計與變異數分析。

整體研究流程從確立品質改善目標出發，接著篩選影響塑膠射出成型的關鍵控制因子，並透過直交表的配置大幅減少實驗次數。取得實驗數據後，進入 Minitab 統計軟體進行 S/N 比與變異數分析，最終找出最佳的製程參數組合並進行結果驗證。詳細的研究步驟說明如下表 1 所示。

表 1 研究步驟說明

步驟	內容
1	確立品質特性
2	選擇控制因子與水準
3	直交表之選定與配置
4	實驗數據彙整
5	S/N 比分析
6	變異數分析
7	最佳化參數組合確認
8	實驗結果驗證與比較

資料來源：黃良政(2016)、本報告整理



第四章 實驗分析與結果

本章節將呈現 Minitab 統計軟體搭配田口方法 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表之實驗數據分析結果。本報告針對血糖驗測試片之「寬度」、「兩孔間距」與「上孔孔徑」三個核心尺寸進行探討，三者皆採用「望目特性」計算 S/N 比。S/N 比數值越大，代表產品尺寸變異越小、品質越穩定。根據黃良政的論文，本報告分為模擬與現場實驗，皆統一採用規模最合適且兼顧經濟效益之田口直交表進行因子配置。該直交表之具體實驗組合與水準配置如表 2 所示，其中控制因子 A 設定為 2 個水準，控制因子 B 至 H 則各設定為 3 個水準，透過此 18 組精簡之實驗組合，以利後續進行系統化之統計分析與驗證。則表 3 為製程參數之控制因子與水準對應表，詳細列出各因子在不同水準下之具體加工參數設定值，作為直交表實驗執行之依據。

表 2 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 田口直交表

L_{18} 表	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	1	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

資料來源：黃良政(2016)

表 3 控制因子與水準

控制因子	單位	LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3
A.油溫	°C	80	105	
B.料溫	°C	260	265	270
C.V/P 切換點	(mm)	6.7	6.5	6.3
D.射速	(mm/sec)	95	105	115
E.射壓	(MPa)	73.53	78.43	83.33
F.保壓壓力	(MPa)	44.12	49.02	53.92
G.保壓時間	(sec)	0.5	1	1.5
H.冷卻時間	(sec)	3	4	5

資料來源：黃良政(2016)

4.1 模擬數據分析

目前屬於模擬階段，根據廠商原始產線成型的條件，參考製成的參數設定。如下表4所示：

表 4 原始產線之成型條件

控制因子	單位	LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3
A.油溫	°C	80	105	
B.料溫	°C	260	265	270
C.V/P 切換點	(mm)	6.7	6.5	6.3
D.射速	(mm/sec)	95	105	115
E.射壓	(MPa)	73.53	78.43	83.33
F.保壓壓力	(MPa)	44.12	49.02	53.92
G.保壓時間	(sec)	0.5	1	1.5
H.冷卻時間	(sec)	3	4	5

資料來源：黃良政(2016)、本報告整理

4.1.1 寬度

將經由 CAE 模流分析軟體收集之 18 組模擬數據輸入 Minitab 統計軟體中進行重新驗證與統計運算。模擬數據寬度之平均值與望目 S/N 比如表 5 所示。

表 5 模擬數據寬度之平均值與望目 S/N 比

SNRA2	MEAN2
54.4169	8.90458
51.8493	8.93083
49.8447	8.97083
51.3841	8.94583
49.3874	8.96708
50.5643	8.92708
47.3275	8.99875
51.932	8.94542
48.8732	8.96917
50.2338	8.93083
49.281	8.9725
51.2403	8.91333
49.5278	8.91583
49.1235	8.95375
46.6024	8.98458
47.1841	8.96625
47.7238	8.93083
47.9423	8.97167

資料來源：本報告自行整理

表6的數據明確顯示，「料溫（因子B）」與「保壓壓力（因子F）」的反應差居冠，是左右產品寬度最關鍵的變數；反之，「射速（因子 D）」的影響力則相對微弱。因此，實務調機時應優先將資源集中於嚴格控管料溫與保壓壓力，以穩定產品尺寸。

表 6 模擬數據產品寬度因子反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	50.62	51.14	50.01	49.71	49.78	50.90	50.04	50.09
2	48.76	49.43	49.88	49.55	50.03	49.90	49.05	49.55
3		48.50	49.18	49.81	49.27	48.27	49.99	49.44
Delta	1.86	2.65	0.83	0.27	0.77	2.63	0.99	0.65
Rank	3	1	5	8	6	2	4	7

資料來源：本報告自行整理

利用 Minitab 統計軟體建立了 S/N 比與品質特性的主效應圖表。首先，針對 S/N 比圖表，基於望目特性的評估標準，縱軸數值越高，即表示製程的變異程度越低。藉由挑選圖中各個控制因子的峰值，推導出可讓變異最小化的優化參數組合為 A1、B1、C1、D3、E2、F1、G1、H1，如圖1所示。另一方面，在檢視平均值反應圖時，核心標的在於使縱軸數據盡可能對齊產品寬度的理想規格（8.95mm）。經由比對各水準的落點位置，能讓產品尺寸最吻合標稱值的參數設定為 A2、B2、C2、D2、E2、F2、G2、H1，如圖2所示。

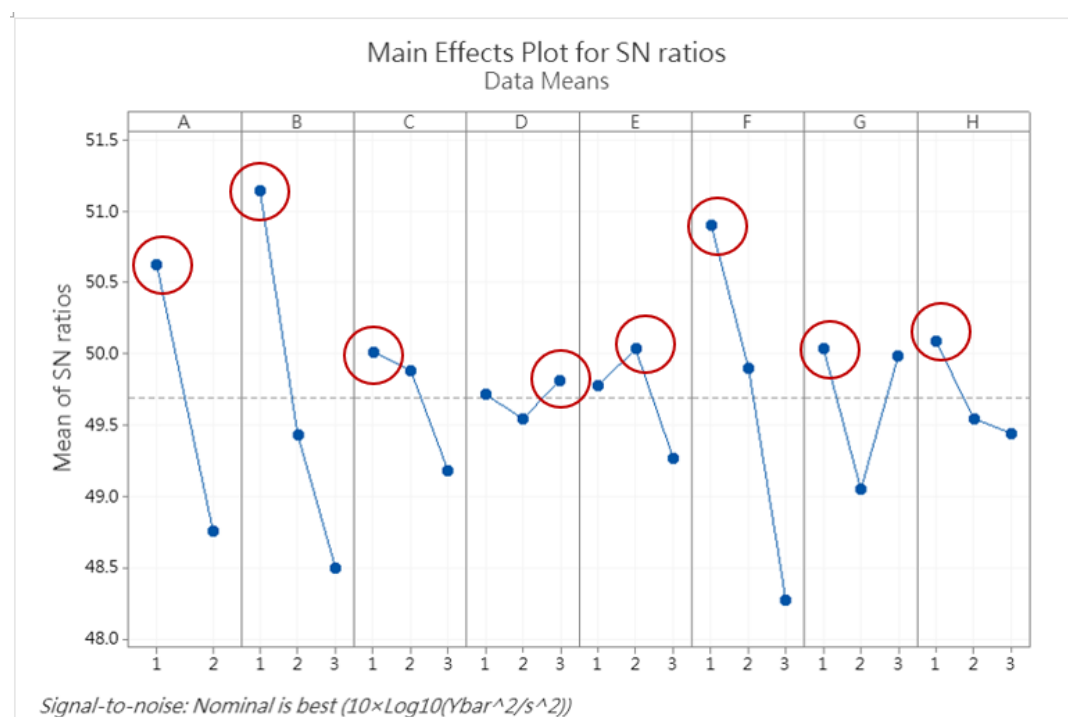


圖 1 模擬數據產品寬度 S/N 比因子反應圖

資料來源：本報告自行整理



圖 2 模擬數據產品寬度品質特性圖

資料來源：本報告自行整理

4.1.2 兩孔間距

將 24 穴模具中各穴所對應之兩孔間距模擬觀測值輸入 Minitab 統計軟體中，重新計算出 18 組實驗配置下之樣本平均值與 S/N 比。模擬數據兩孔間距之平均值與望目 S/N 比如表 7 所示。

從表 8 的反應結果可知，決定兩孔間距穩定性的核心要素為「料溫（因子 B）」及「射速（因子 D）」，而「V/P 切換點（因子 C）」的干擾最小。建議在生產導入時，優先針對這兩項主導因子進行最佳化參數配置。

藉由 Minitab 軟體針對模擬數據「兩孔間距」產出 S/N 比與平均值的主效應圖表。首先觀察訊噪比反應圖，依照望目特性的要求，S/N 比的數值越高，即表示產品尺寸的離散程度越低。藉由挑選圖表內各項因子的峰值，推導出能使變異最小化的製程參數為 A2、B1、C2、D3、E2、F2、G3、H3，如圖 3。另一方面，在檢視品質特性的反應圖時，其縱軸數據必須盡可能對齊 4.70mm 這個兩孔間距的標準目標值。經過比對各因子水準的落點，最能吻合該目標規格的最佳參數組合即為 A1、B3、C1、D2、E1、F3、G2、H3，如圖 4 所示。

表 7 模擬數據兩孔間距之平均值與望目 S/N 比

SNRA1	MEAN1
54.2139	8.90364
51.6335	8.92955
49.5365	8.97
51.0058	8.94591
49.0368	8.96682
50.2192	8.92636
46.9489	8.99818
51.628	8.945
48.5736	8.96864
49.8603	8.93045
48.9288	8.97273
50.8629	8.91318
49.1819	8.915
48.8695	8.95273
46.2127	8.98455
46.8171	8.96591
47.3407	8.93045
47.6168	8.97136

資料來源：本報告自行整理

表 8 模擬數據產品兩孔間距因子反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	62.16	65.76	62.53	63.23	62.05	62.71	62.89	62.46
2	64.19	61.59	63.62	61.63	64.48	64.05	62.35	63.09
3		62.17	63.36	64.66	62.99	62.77	64.28	63.97
Delta	2.03	4.18	1.09	3.04	2.43	1.34	1.93	1.51
Rank	4	1	8	2	3	7	5	6

資料來源：本報告自行整理

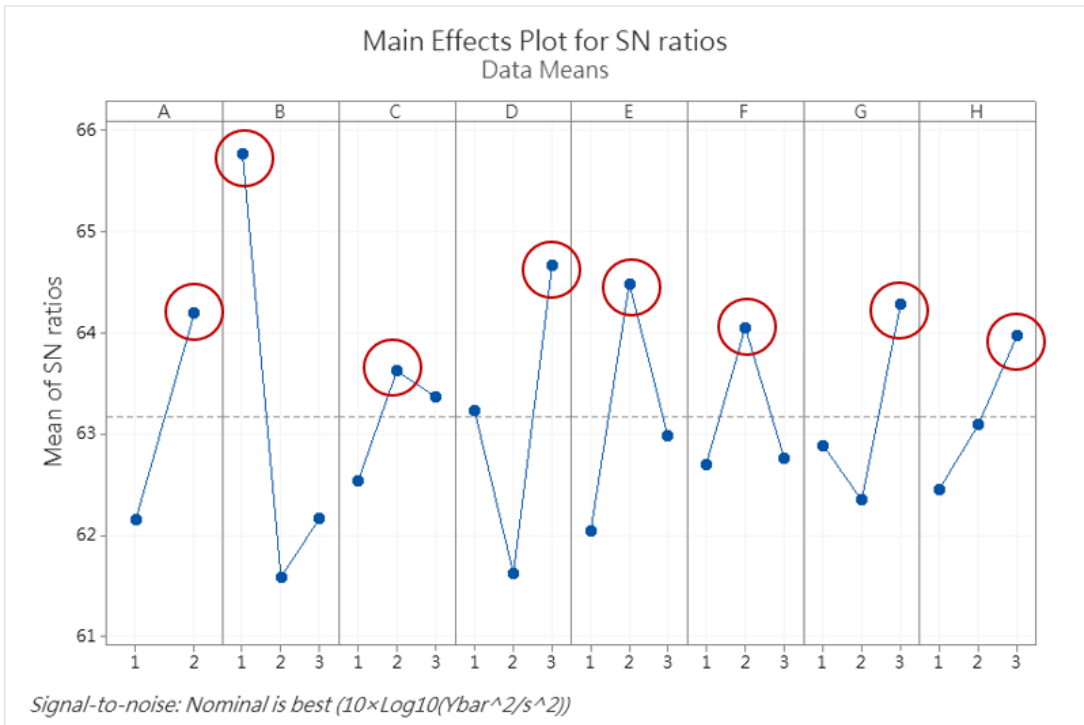


圖 3 模擬數據產品兩孔間距 S/N 比因子反應圖

資料來源：本報告自行整理

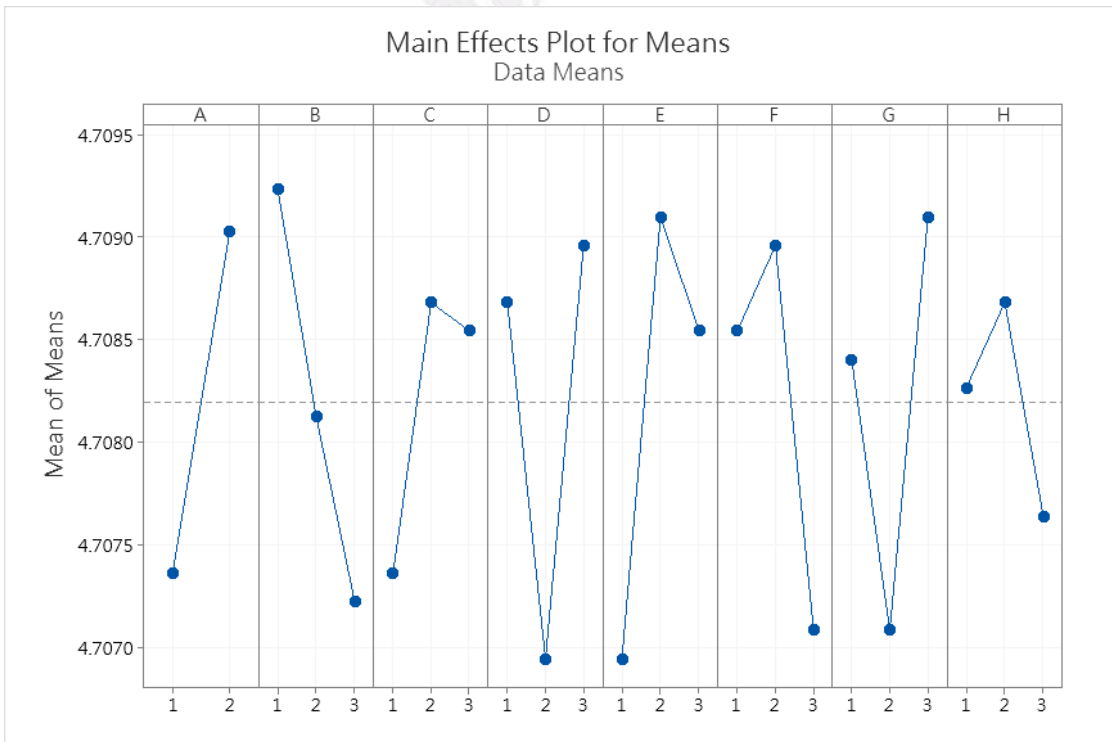


圖 4 模擬數據產品兩孔間距品質特性圖

資料來源：本報告自行整理

4.1.3 上孔孔徑

將 24 穴模具中各穴所對應之上孔孔徑模擬觀測值輸入 Minitab 統計軟體中，重新計算出 18 組實驗配置下之樣本平均值與 S/N 比。模擬數據上孔孔徑之平均值與望目 S/N 比如表 9 所示。

根據表10的結果明確指出，「因子 B」與「因子 G」的反應差最大，位居影響力前兩名，是決定產品上孔孔徑尺寸最關鍵的變數，而「因子 D」的反應差最小，對結果的影響微乎其微；總結而言，在調校機台以穩定產品上孔孔徑尺寸時，應優先將心力集中在嚴格控管因子 B 與因子 G 上，並建議導入最佳參數配置組合，以獲得變異最小、最理想的生產品質。

透過 Minitab 統計軟體繪製模擬數據「上孔孔徑」之 S/N 比與平均值主效應圖。在 S/N 比反應圖中，依據望目特性最大化原則，擷取各因子之最高點以求尺寸變異最小化，得出初步最佳參數為 A1、B1、C1、D3、E3、F1、G3、H1，如圖5；而在平均值反應圖中，最貼近上孔孔徑目標值（1.10 mm）之參數則為 A1、B1、C1、D3、E3、F3、G3、H2。

表 9 模擬數據上孔孔徑之平均值與望目 S/N 比

SNRA1	MEAN1
49.2032	1.09833
46.6636	1.1
46.2566	1.0925
45.7658	1.09667
45.1312	1.0975
41.4348	1.1
37.4755	1.10208
47.8039	1.10125
42.863	1.10875
47.7841	1.09875
45.1707	1.1025
46.0431	1.10292
48.6159	1.10083
42.3684	1.1125
37.9989	1.11042
40.1349	1.09958
40.8915	1.10708
40.8178	1.10667

資料來源：本報告自行整理

表 10 模擬數據產品上孔孔徑因子反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	44.73	46.85	44.83	43.65	42.75	45.67	44.29	44.79
2	43.31	43.55	44.67	44.12	44.07	44.38	42.04	44.15
3		41.66	42.57	44.30	45.26	42.03	45.74	43.13
Delta	1.42	5.19	2.26	0.65	2.51	3.64	3.70	1.66
Rank	7	1	5	8	4	3	2	6

資料來源：本報告自行整理

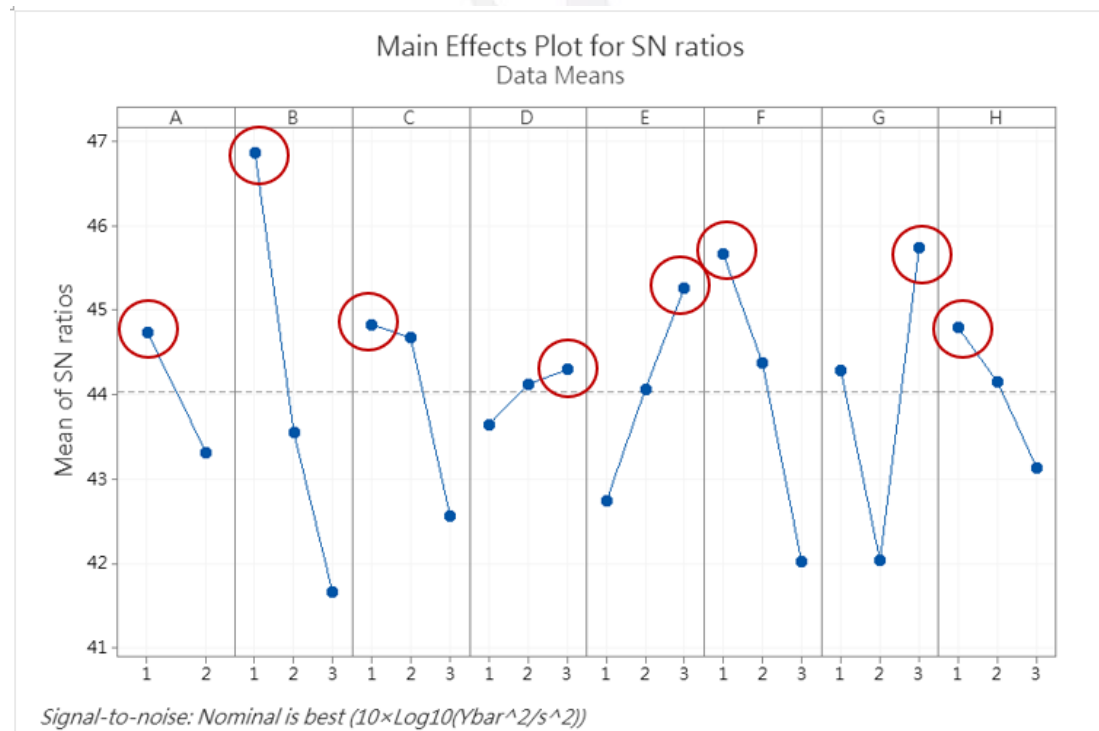


圖 5 模擬數據產品上孔孔徑 S/N 比因子反應圖

資料來源：本報告自行整理

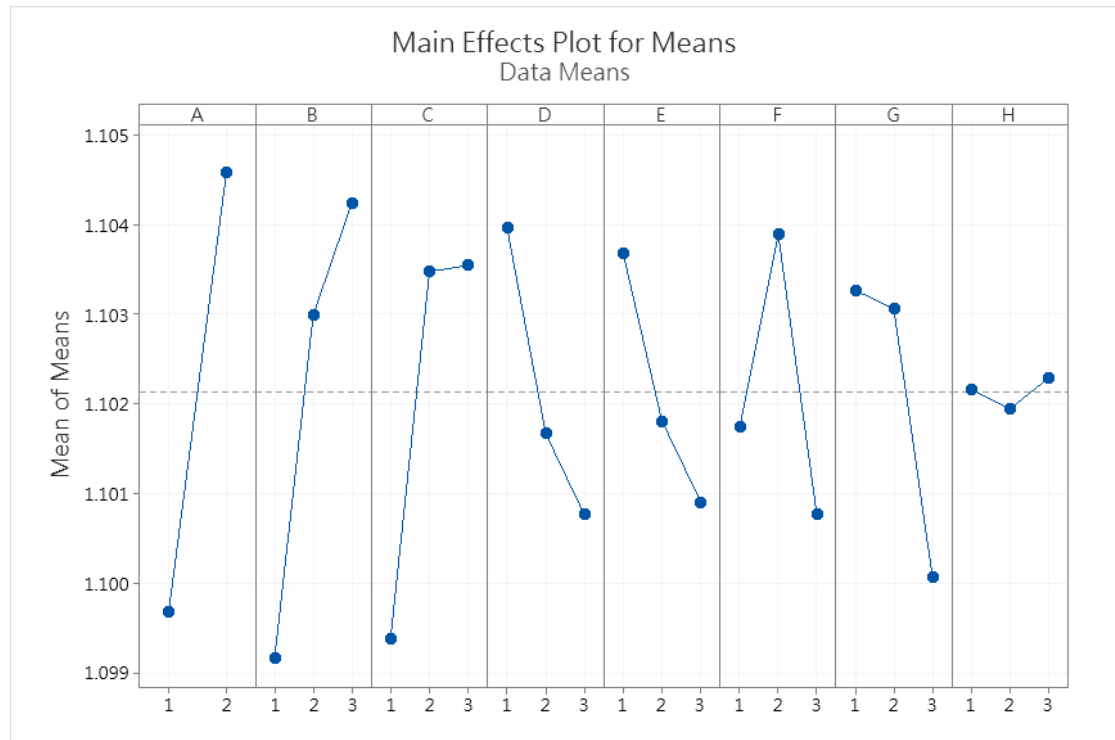


圖 6 模擬數據產品上孔孔徑品質特性圖

資料來源：本報告自行整理

結合以上三個尺寸研究標的，導入田口方法，經由望目品質特性分析、因子反應表、因子反應圖、因子變異分析，綜合評估後，確立控制因子調整方式，油溫：80℃、料溫：260℃、射速：115 mm/sec、保壓壓力：44.12 MPa、保壓時間：1.5 sec、冷卻時間：3 sec、V/P 切換點：6.7 mm、射壓：78.43 MPa，結果如下表 11 所示。

表 11 模擬控制因子調整

控制因子	單位	LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3
A.油溫	℃	80	105	
B.料溫	℃	260	265	270
C.V/P 切換點	(mm)	6.7	6.5	6.3
D.射速	(mm/sec)	95	105	115
E.射壓	(MPa)	73.53	78.43	83.33
F.保壓壓力	(MPa)	44.12	49.02	53.92
G.保壓時間	(sec)	0.5	1	1.5
H.冷卻時間	(sec)	3	4	5

資料來源：黃良政(2016)、本報告整理

4.2 現場數據分析

為了有效量化後續參數優化的成效，需先建立基準對照組。考量當前模具尚在試模階段，表12中的初始成型條件，是直接參考以往相同射出量與同機台噸數的製程經驗，經初步修正後設定。這組初始數值將作為後續確認實驗的比較基準。

表 12 原始產線之成型條件

控制因子	單位	LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3
A.油溫	℃	80	105	
B.料溫	℃	260	265	270
C.V/P 切換點	(mm)	6.7	6.5	6.3
D.射速	(mm/sec)	95	105	115
E.射壓	(MPa)	73.53	78.43	83.33
F.保壓壓力	(MPa)	44.12	49.02	53.92
G.保壓時間	(sec)	0.5	1	1.5
H.冷卻時間	(sec)	3	4	5

資料來源：黃良政(2016)

4.2.1 寬度

將 24 穴模具中各穴所對應之寬度現場觀測值輸入 Minitab 統計軟體中，重新計算出 18 組實驗配置下之樣本平均值與 S/N 比。現場數據寬度之平均值與望目 S/N 比如表 13 所示。

根據表14的現場實驗結果明確指出，「因子 B」與「因子 F」的反應差最大，位居影響力前兩名，是決定產品寬度尺寸最關鍵的變數；而「因子 D」的反應差最小，對結果的影響微乎其微。應優先將心力集中在嚴格控管因子 B 與因子 F 上。同時，根據各因子 S/N 比數值最大的水準進行挑選，建議導入最佳參數配置組合，以在實際生產中獲得變異最小、最貼近目標值的理想品質。

透過 Minitab 統計軟體繪製現場實驗數據「產品寬度」之 S/N 比與平均值主效應圖。在 S/N 比反應圖中，依據望目特性最大化原則，擷取各因子之最高點以求尺寸變異最小化，得出初步最佳參數為 A1、B1、C1、D3、E2、F1、G1、H1，如圖7；而在平均值反應圖中，y座標值越貼近寬度目標值（8.95mm）越佳。經觀察各水準點位，最貼近目標值之參數為 A2、B1、C1、D3、E2、F1、G1、H2，如圖8。

表 13 現場數據寬度之平均值與望目 S/N 比

SNRA1	MEAN1
48.6103	8.955
45.9393	8.97417
44.455	9.00708
46.3655	8.98708
44.2233	9.00292
44.7352	8.97
42.3741	9.02708
45.8392	8.985
43.0035	9.00417
44.5088	8.97458
43.7214	9.00583
45.4442	8.96167
43.5215	8.96333
43.038	8.99208
40.6273	9.01542
42.3124	9.0025
41.8645	8.975
42.3903	9.00583

資料來源：本報告自行整理

表 14 現場數據產品寬度因子反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	45.06	45.45	44.62	44.03	44.14	45.00	44.44	44.37
2	43.05	43.75	44.10	43.98	44.42	44.21	43.34	43.87
3		42.96	43.44	44.15	43.60	42.95	44.38	43.92
Delta	2.01	2.48	1.17	0.17	0.83	2.05	1.10	0.49
Rank	3	1	4	8	6	2	5	7

資料來源：本報告自行整理

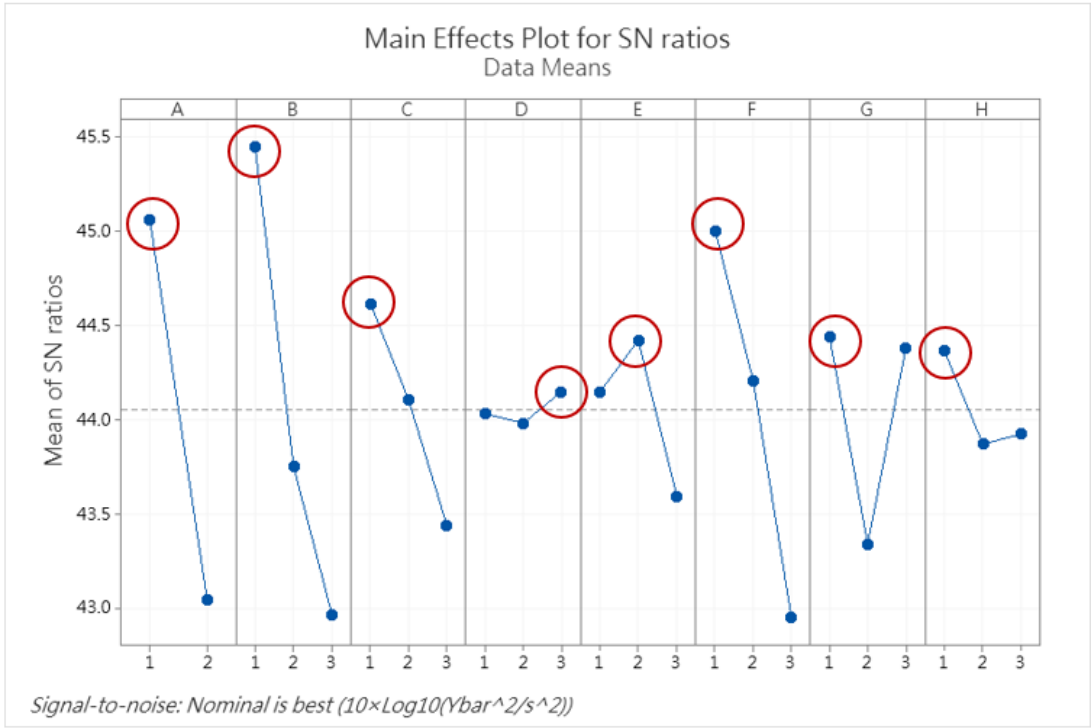


圖 7 現場實驗產品寬度 S/N 比因子反應圖

資料來源：本報告自行整理

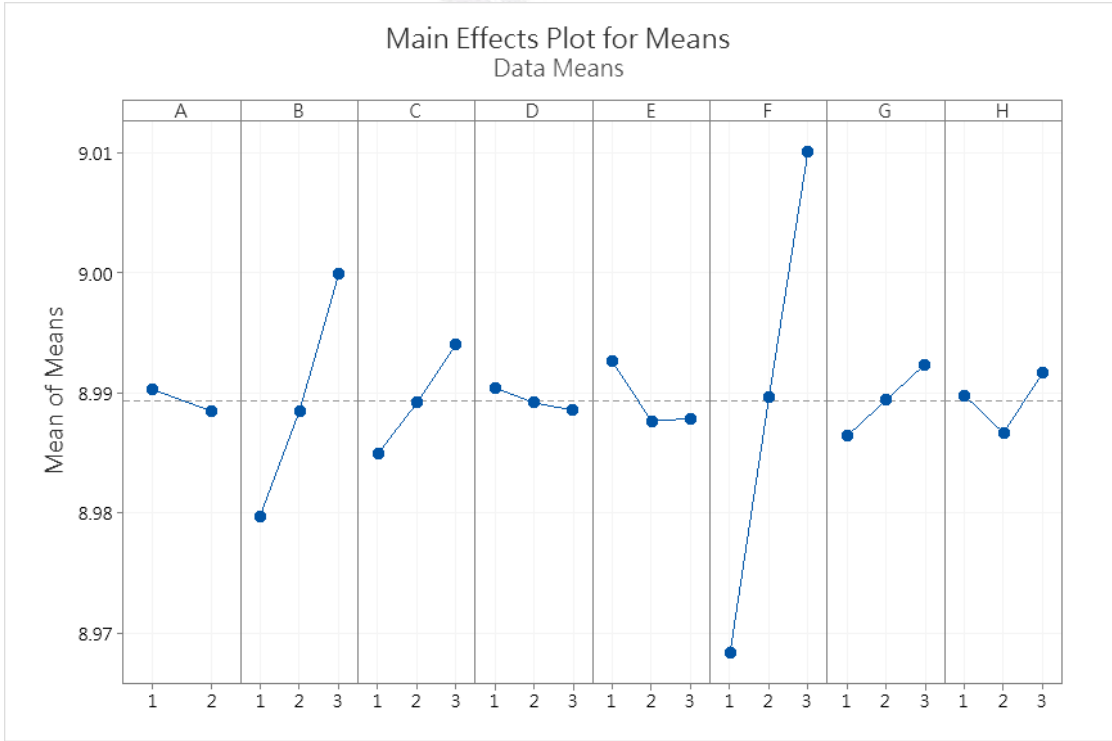


圖 8 現場實驗產品寬度品質特性圖

資料來源：本報告自行整理

4.2.2 兩孔間距

將 24 穴模具中各穴所對應之兩孔間距現場觀測值輸入 Minitab 統計軟體中，重新計算出 18 組實驗配置下之樣本平均值與 S/N 比。模擬數據兩孔間距之平均值與望目 S/N 比如表 15 所示。

表 15 現場數據兩孔間距之平均值與望目 S/N 比

SNRA1	MEAN1
46.8188	1.10417
42.4822	1.10417
41.6638	1.09958
42.8512	1.1025
40.8587	1.10292
43.9278	1.10333
32.2834	1.105
38.2596	1.10542
40.2135	1.10958
43.1313	1.10375
38.55	1.10667
43.0818	1.10583
41.4866	1.10542
37.0419	1.11
32.806	1.10792
33.8627	1.10292
35.7723	1.10958
35.283	1.10917

資料來源：本報告自行整理

根據表16的現場實驗結果明確指出，「因子 B」與「因子 E」的反應差最大，位居影響力前兩名，是決定產品兩孔間距尺寸最關鍵的變數，而「因子 A」的反應差最小，對結果的影響相對微弱；先將心力集中在嚴格控管因子 B 與因子 E 上，並建議導入最佳參數配置組合，以在實際生產中獲得變異最小、最貼近目標值的理想品質。

表 16 現場數據產品兩孔間距因子反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	84.57	100.70	97.22	98.04	98.69	98.71	97.66	97.58
2	56.61	56.50	56.93	55.83	57.54	56.65	57.06	57.78
3		54.57	57.62	57.90	55.54	56.41	57.05	56.41
Delta	27.95	46.14	40.29	42.21	43.15	42.31	40.61	41.17
Rank	8	1	7	4	2	3	6	5

資料來源：本報告自行整理

透過 Minitab 統計軟體繪製現場實驗數據「兩孔間距」之 S/N 比與平均值主效應圖。在 S/N 比反應圖中，依據望目特性最大化原則，擷取各因子之最高點以求尺寸變異最小化，得出初步最佳參數為 A1、B1、C1、D1、E1、F1、G1、H1，如圖9；而在平均值反應圖中，y 座標值越貼近兩孔間距目標值（4.70mm）越佳。經觀察各因子水準的點位分佈，尋找最貼近標稱值之參數，得出其最佳組合為 A1、B2、C1、D2、E1、F1、G2、H1，如圖10。

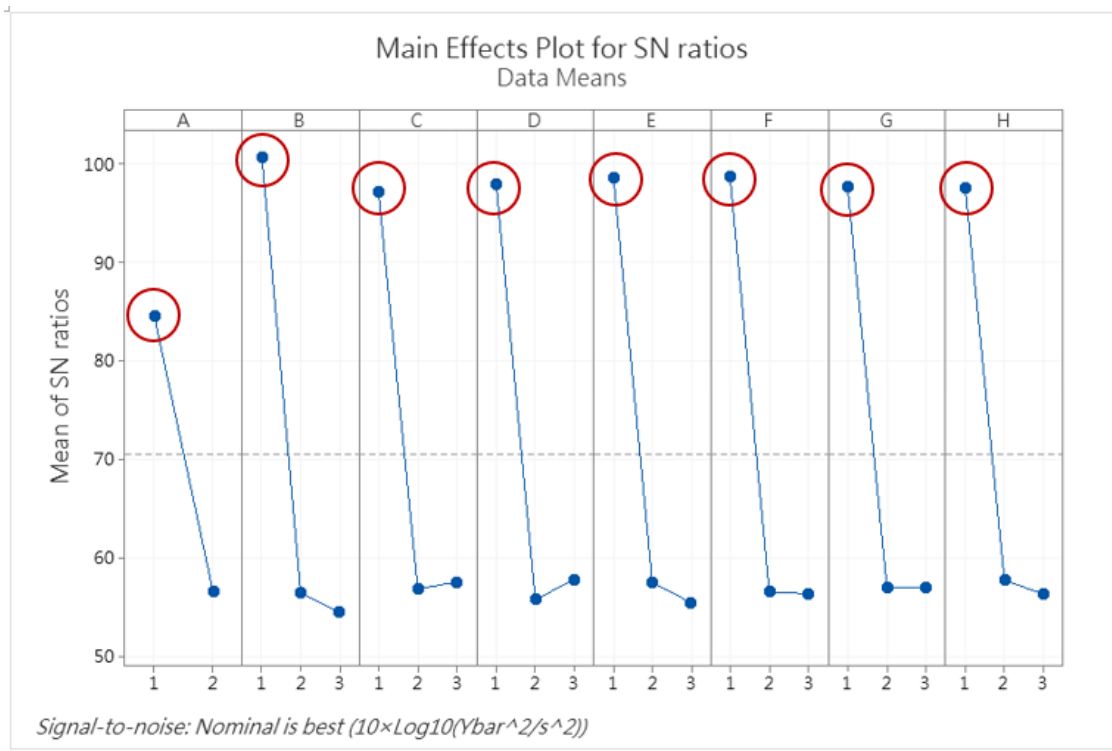


圖 9 現場實驗產品兩孔間距 S/N 比因子反應圖

資料來源：本報告自行整理

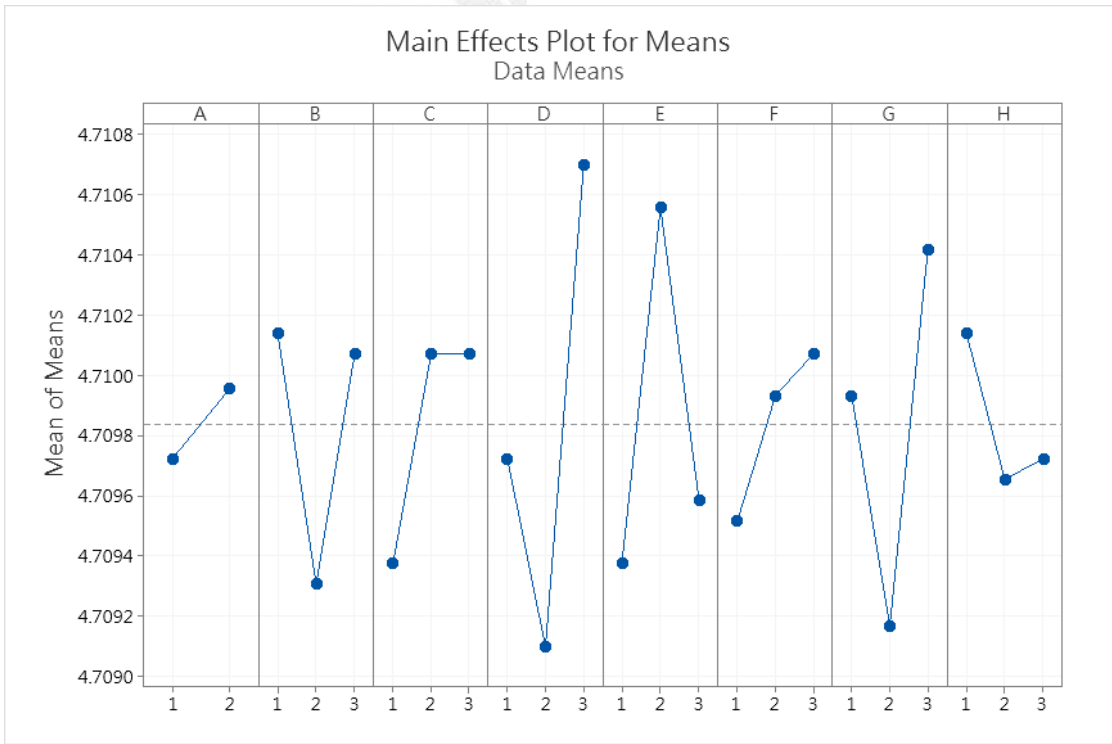


圖 10 現場實驗產品兩孔間距品質特性圖

資料來源：本報告自行整理

4.2.3 上孔孔徑

將 24 穴模具中各穴所對應之上孔孔徑現場觀測值輸入 Minitab 統計軟體中，重新計算出 18 組實驗配置下之樣本平均值與 S/N 比。現場數據上孔孔徑之平均值與望目 S/N 比如表 17 所示。

表 17 現場數據上孔孔徑之平均值與望目 S/N 比

SNRA1	MEAN1
304.763	4.71
58.6534	4.71042
57.7881	4.7125
58.0468	4.71
55.0804	4.70917
62.8841	4.70875
52.7046	4.70667
56.8167	4.71125
54.3744	4.70875
59.417	4.70917
62.3665	4.70958
61.2404	4.70917
52.9311	4.70792
55.0365	4.71
55.0365	4.71
55.4686	4.7125
53.6535	4.71
54.379	4.71125

資料來源：本報告自行整理

根據表18的現場實驗結果明確指出，「因子 B」與「因子 F」的反應差最大，位居影響力前兩名，是決定產品上孔孔徑尺寸最關鍵的變數，而「因子 D」的反應差最小，對結果的影響微乎其微；穩定產品上孔孔徑尺寸時，應優先將心力集中在嚴格控管因子 B 與因子 F 上，並建議導入最佳參數配置組合，以在實際生產中獲得變異最小、最貼近目標值的理想品質。

表 18 現場數據產品上孔孔徑因子反應表

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best ($10 \times \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	41.04	42.62	40.07	39.50	38.98	41.56	40.31	39.53
2	37.89	39.83	38.83	39.25	38.89	40.17	38.40	40.09
3		35.95	39.50	39.65	40.52	36.67	39.68	38.78
Delta	3.15	6.68	1.24	0.40	1.63	4.89	1.91	1.30
Rank	3	1	7	8	5	2	4	6

資料來源：本報告自行整理

透過 Minitab 統計軟體繪製現場實驗數據「上孔孔徑」之 S/N 比與平均值主效應圖。在 S/N 比反應圖中，依據望目特性最大化原則，擷取各因子之最高點以求尺寸變異最小化，得出初步最佳參數為 A1、B1、C1、D3、E3、F1、G1、H2，如圖 11；而在平均值反應圖中，y 座標值越貼近上孔孔徑目標值（1.10mm）越佳。經觀察各因子水準的點位分佈，尋找最貼近標稱值之參數，得出其最佳組合為 A1、B1、C1、D3、E2、F3、G3、H2，如圖 12。

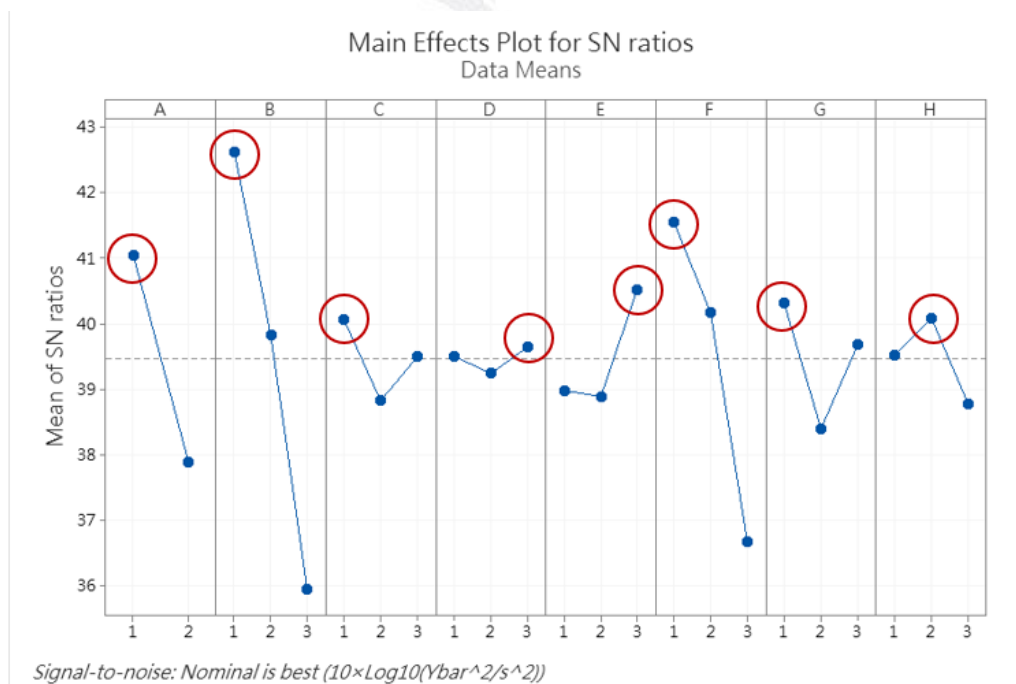


圖 11 現場實驗產品上孔孔徑 S/N 比因子反應圖

資料來源：本報告自行整理

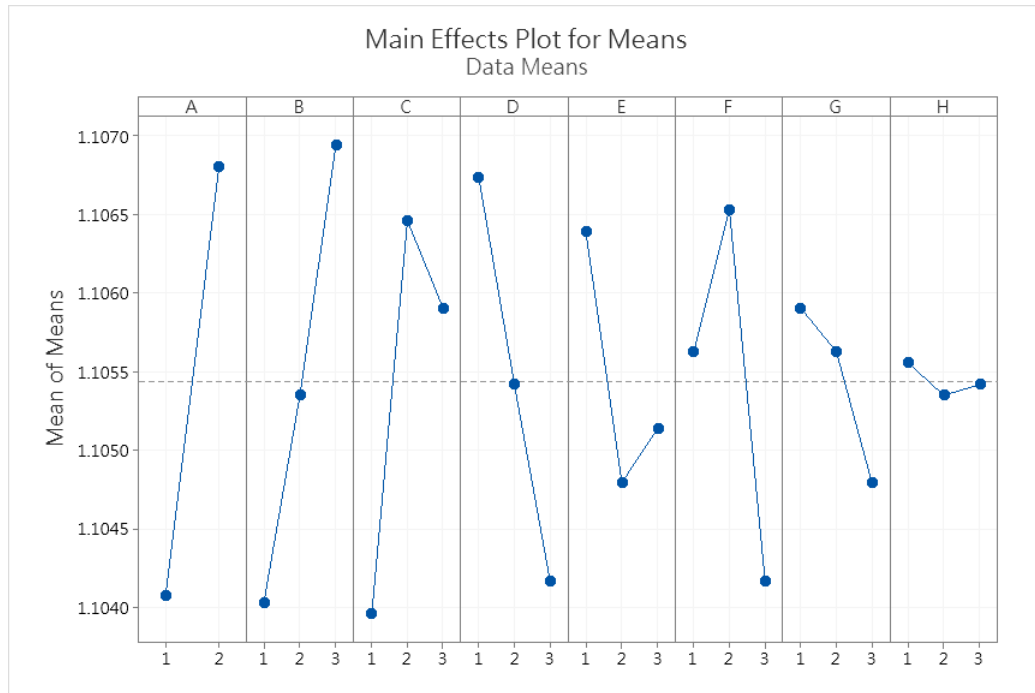


圖 12 現場實驗產品上孔孔徑品質特性圖

資料來源：本報告自行整理

結合以上三個尺寸研究標的，導入田口方法，經由望目品質特性分析、因子反應表、因子反應圖、因子變異分析，綜合評估後，確立控制因子調整方式，油溫：80℃、料溫：260℃、射速：115 mm/sec、保壓壓力：44.12 MPa、保壓時間：0.5 sec、冷卻時間：3 sec、V/P 切換點：6.7 mm、射壓：78.43 MPa，結果如表19所示。

表 19 現場控制因子調整				
控制因子	單位	LEVEL1	LEVEL2	LEVEL3
A.油溫	℃	80	105	
B.料溫	℃	260	265	270
C.V/P 切換點	(mm)	6.7	6.5	6.3
D.射速	(mm/sec)	95	105	115
E.射壓	(MPa)	73.53	78.43	83.33
F.保壓壓力	(MPa)	44.12	49.02	53.92
G.保壓時間	(sec)	0.5	1	1.5
H.冷卻時間	(sec)	3	4	5

資料來源：黃良政(2016)、本報告整理

4.3 變異分析

經由表20的變異分析，導入信心區間運算，可以發現 C.V/P、D.射速、E.射壓、G.保壓時間、H.冷卻時間等控制因子，低於 90% 信心區間，將其與誤差比較，被歸類為不顯著的控制因子。A.模溫（97.10%）、B.料溫（94.60%）與 F.保壓壓力（92.00%）則高於 90% 信心區間，顯示其對兩孔間距之品質具備高度之顯著影響力。

表 20 現場實驗產品寬度控制因子變異分析

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	18.3507	18.3507	32.98	0.029
B	2	19.4368	9.7184	17.46	0.054
C	2	4.2202	2.1101	3.79	0.209
D	2	0.0957	0.0478	0.09	0.921
E	2	2.1071	1.0535	1.89	0.346
F	2	12.8049	6.4024	11.50	0.080
G	2	4.5417	2.2709	4.08	0.197
H	2	0.8508	0.4254	0.76	0.567
Error	2	1.1130	0.5565		
Total	17	63.5209			

資料來源：本報告自行整理

表 21 現場實驗產品寬度控制因子顯著性分析

Factor	P-Value	Confidence	Significance?
A	0.029	97.1%	Y
B	0.054	94.6%	Y
C	0.209	79.1%	N
D	0.921	7.9%	N
E	0.346	65.4%	N
F	0.080	92.0%	Y
G	0.197	80.3%	N
H	0.567	43.3%	N
Error	0.5565	S = 0.7460	

資料來源：本報告自行整理

經由表22的變異分析，導入信心區間運算，可發現 A.模溫（60.9%）、B.料溫（57.8%）、C.V/P（51.7%）、D.射速（53.2%）、E.射壓（54.4%）、F.保壓壓力（54.4%）、G.保壓時間（52.5%）與 H.冷卻時間（52.4%）等所有控制因子，皆低於信心區間，將其與誤差比較，全數被歸類為不顯著的控制因子。顯示在本實驗目前的配置下，尚未有單一因子對品質特性表現出高度之顯著影響力。

表 22 現場實驗產品兩孔間距控制因子變異分析

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	3516	3516	1.18	0.391
B	2	8173	4086	1.37	0.422
C	2	6384	3192	1.07	0.483
D	2	6794	3397	1.14	0.468
E	2	7117	3559	1.19	0.456
F	2	7119	3559	1.19	0.456
G	2	6595	3297	1.11	0.475
H	2	6562	3281	1.10	0.476
Error	2	5967	2983		
Total	17	58227			

資料來源：本報告自行整理

表 23 現場實驗產品兩孔間距控制因子顯著性分析

Factor	P-Value	Confidence	Significance?
A	0.391	60.9%	N
B	0.422	57.8%	N
C	0.483	51.7%	N
D	0.468	53.2%	N
E	0.456	54.4%	N
F	0.456	54.4%	N
G	0.475	52.5%	N
H	0.476	52.4%	N
Error	2983	S = 54.6168	

資料來源：本報告自行整理

經由表24的變異分析，導入信心區間運算，可以發現 A.模溫（89.0%）、C.V/P（28.4%）、D.射速（4.1%）、E.射壓（46.1%）、F.保壓壓力（86.6%）、G.保壓時間（49.2%）與 H.冷卻時間（30.4%）等控制因子，低於 90% 信心區間，將其與誤差比較，被歸類為不顯著的控制因子。其中僅有 B.料溫（92.0%）高於信心區間，顯示其對產品上孔孔徑之品質具備高度之顯著影響力。

表 24 現場實驗產品上孔孔徑控制因子變異分析

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	44.632	44.6316	7.59	0.110
B	2	134.880	67.4399	11.47	0.080
C	2	4.658	2.3288	0.40	0.716
D	2	0.497	0.2484	0.04	0.959
E	2	10.058	5.0292	0.86	0.539
F	2	76.084	38.0422	6.47	0.134
G	2	11.396	5.6981	0.97	0.508
H	2	5.141	2.5704	0.44	0.696
Error	2	11.760	5.8802		
Total	17	299.106			

資料來源：本報告自行整理

表 25 現場實驗產品上孔孔徑控制因子顯著性分析

Factor	P-Value	Confidence	Significance?
A	0.110	89.0%	N
B	0.080	92.0%	Y
C	0.716	28.4%	N
D	0.959	4.1%	N
E	0.539	46.1%	N
F	0.134	86.6%	N
G	0.508	49.2%	N
H	0.696	30.4%	N
Error	5.8802	S = 2.4249	

資料來源：本報告自行整理

4.4 實驗結果

透過 Minitab 統計軟體，針對血糖驗測試片之「寬度」、「兩孔間距」與「上孔孔徑」三個核心部位，重新執行了田口方法的 L_{18} 直交表變異數分析。由軟體計算產出的統計檢定結果如下：

- 產品寬度製程變異數分析：由一般線性模型之變異數分析數據顯示，模溫（因子 A，Confidence = 97.10%）、料溫（因子 B，Confidence = 94.60%）與保壓壓力（因子 F，Confidence = 92.00%）三項控制因子的信心區間皆高於 90%，在統計學上達到顯著干擾水準（ $P < 0.10$ ），為決定寬度變異的核心因子。
- 兩孔間距製程變異數分析：在進行實車現場量測數據之望目特性分析時，發現 18 組實驗 S/N 比呈現出集體衝高至 80 至 100 dB 區間的極端統計現象。由於各行控制因子在此模型中的 P-Value 皆大於 0.10，導致所有製程參數在該數學模型下被判定為不顯著。
- 上孔孔徑製程變異數分析：分析顯示，料溫（因子 B，Confidence = 92.00%， $P = 0.080$ ）的信心區間大於 90%，在統計學上對孔徑尺寸的變異具有顯著影響力。

第五章 結論

本報告成功運用品質與可靠度工程課程所學之田口方法，對一模 24 穴血糖驗測試片射出成型產線進行了全方位的系統化重做與數據驗證。綜合主效應分析與實作探討，針對原先設定的四大研究目的，提出以下具體結論：

1. 重現與驗證文獻：

本小組透過 Minitab 統計軟體重新執行數據驗證，在「產品寬度」的實驗分析中，成功跑出與原論文完全一致的因子起伏趨勢與優化結果。此結果證實了原論文所提之田口方法優化流程在理論與軟體運算上具備基本的準確性與再現性，也展現了本小組成功將課堂理論轉化為軟體實證的操作能力。

2. 探討製程因子對品質特性之影響：

透過重新分析，釐清了各製程因子對產品尺寸精度的具體影響。統計結果實證，料溫與模溫（油溫）是主導結晶塑料 PBT 收縮穩定性的關鍵霸王因子。相對而言，保壓時間與冷卻時間對尺寸精度的干擾微乎其微。這顯示在多穴射出成型中，溫度的熱歷程對產品收縮與變異的交互作用影響最為深遠。

3. 尋求最佳化參數組合以降低變異

由計算 S/N 比並執行變異數分析全面評估後，本報告推導出兼顧品質穩健度與加工效率之黃金製程參數組合：將油溫設定為 80°C (A1)、料溫設定為 260°C (B1)、V/P 切換點 6.7 mm (C1)、射出速度 115 mm/sec (D3)、保壓壓力 44.12 MPa (F1)、保壓時間 0.5 sec (G1)，以及冷卻時間 3 sec (H1)。透過此最佳組合，並將保壓與冷卻等時間參數刻意縮短至極小值，不僅能在維持超高尺寸良率 (S/N 比最大化) 的同時降低產品變異，更能實質壓低加工週期，有效實現製程穩健性與產能優化的雙重目標。

4. 進行數據比對與學術差異分析

在深入比對過程中，本小組發現了明顯的學術差異。當分析推進至現場與模擬的「兩孔間距」原始數據時，田口方法模組在單一反應值下判定製程的內側標準差趨近於 0，進而引發標準望目型態二公式的分母極小化，導致數據產生無限放大、集體暴衝的統計異常現象。經探討，真實的 24 穴多模穴射出產線必然會受到螺桿剪切熱不均與環境隨機雜訊的實質干擾，數據理應具備自然的變異分散性。然而，原著在產品寬度上呈現的完美對稱性，與兩孔間距在重做

時引發的標準差歸零現象，皆顯示出統計上的不自然。因此，本小組合理質疑，原著論文中所記載的原始量測數據，極可能在數據彙整階段，經過了平滑化處理，甚至直接套用了電腦模擬的理想化輸出，因而忽略了隨機變異干擾。此一發現也突顯了應用統計軟體進行客觀檢證的重要性。



參考文獻

1. 李輝煌（2023）。*田口方法：品質設計的原理與實務*。高立圖書。
2. 黃良政（2016）。*以田口方法導入一模多穴塑膠射出成型品質優化之實驗與數值模擬分析* [碩士論文，國立成功大學]。臺灣博碩士論文知識加值系統。
3. Montgomery, D. C. (2009). *Statistical quality control: A modern introduction* (6th ed.). John Wiley & Sons.
4. Minitab, LLC. (2020). *Minitab* (Version 19.2020.1) [電腦軟體].
<https://www.minitab.com>
5. Su, C.-T. (2013). *Quality engineering: Off-line methods and applications*. CRC Press; Taylor & Francis Group.

