

逢甲大學學生報告 ePaper

應用田口方法於 Statapult 投石機參數最佳化 Application of Taguchi Methods for Parameter Optimization of a Statapult System

作者：王韋盛、張映程、朱科諭、魏旭宏、孫語辰、張博勛

系級：工業工程與系統管理學系三年級

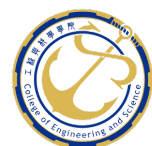
學號：D1248564、D1283900、D1248297、D1225311、D1248369、
D1248386

開課老師：鍾健平 教授

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 第二學期



中文摘要

本研究以 Statapult 投石機作為實驗平台，探討不同瓶蓋與投石機操作參數對投擲距離之影響，並應用田口方法尋找可使瓶蓋投擲距離最大化之最佳參數組合。研究中將投擲距離設定為望大特性，選定瓶蓋種類、發力臂位置、拉力位置及發射角度四項控制因子，且各因子皆設定三個水準，並採用 $L_9(3^4)$ 直交表進行實驗設計。實驗完成後，利用 Minitab 進行 S/N 比分析、主效應分析、最佳參數預測及變異數分析，以判斷各因子對投擲距離之影響程度。分析結果顯示，發射角度為影響投擲距離之最主要因子，其 Delta 值為 13.31，且變異數分析中 P 值為 0.018，達顯著水準。綜合各因子最佳水準後，本研究得到最佳參數組合為 A3、B2、C1、D1，亦即鋁瓶蓋、發力臂位置為中孔、拉力位置為最上孔、發射角度為 90° 。經三次確認實驗後，所得 S/N 比為 62.7368，並落於 95% 信賴區間內，呈現本研究之最佳參數組合具備良好再現性，亦驗證田口方法可有效應用於投石機投擲距離最佳化分析。

關鍵字：田口方法、投石機、投擲瓶蓋、S/N 比、Minitab 統計軟體

Abstract

This study used a Statapult as the experimental platform to investigate the effects of different bottle caps and operating parameters on throwing distance. The Taguchi method was applied to determine the optimal parameter combination for maximizing the throwing distance of bottle caps. In this study, throwing distance was defined as the larger-the-better quality characteristic. Four control factors were selected, including bottle cap type, arm position, pulling position, and launch angle, with each factor consisting of three levels. An L9(3⁴) orthogonal array was adopted to arrange the experimental trials. After the experiments were completed, Minitab was used to conduct signal-to-noise ratio analysis, main effects analysis, parameter prediction, and analysis of variance. The results showed that launch angle was the most influential factor affecting throwing distance, with a Delta value of 13.31. The analysis of variance also indicated that launch angle was statistically significant, with a P-value of 0.018. Based on the main effects analysis, the optimal parameter combination was determined as A3, B2, C1, and D1, corresponding to an aluminum bottle cap, middle arm position, upper pulling position, and 90° launch angle. Three confirmation experiments were further conducted under the optimal condition, and the calculated S/N ratio was 62.7368, which fell within the 95% confidence interval. Therefore, the proposed optimal parameter combination demonstrated good reproducibility, confirming that the Taguchi method can be effectively applied to optimize the throwing distance of a Statapult system.

Keyword: Taguchi method; Statapult; Bottle cap; Parameter Optimization, Signal-to-noise ratio

目 次

第一章、緒論	4
1.1 研究背景	4
1.2 研究動機	4
1.3 研究目的	4
第二章、文獻探討	6
2.1 田口方法	6
2.2 Minitab 統計軟體	6
第三章、研究方法	7
3.1 品質特性	7
3.2 要因分析	7
3.3 實驗材料與設備	8
3.4 實驗流程	13
第四章、研究結果與驗證	15
4.1 S/N 比反應分析	15
4.2 最佳參數組合預測分析	16
4.3 變異數分析	17
4.4 最佳參數組合驗證分析	18
第五章、結論與建議	20
5.1 結論	20
5.2 建議	20

第一章、緒論

1.1 研究背景

教學用投石機 (Statapult) 為品質管理與實驗設計課程中廣泛採用之實務教學工具，其核心機制為將投石機設備視為一個簡化製程系統模型，並於此系統架構下，操作者可藉由調配發射角度、拉力位置、發射杯孔位以及投入物料種類等操作變數，模擬實際工業製程中不同控制因子對系統輸出表現之影響。Adams (2000) 於品質工程教學研究中指出，將 Statapult 導入統計品質管制教學，能有效協助學生理解製程變異、管制圖運作原理以及實驗設計等核心範疇，並透過實際數據之量測與解析，深化對製程改善工程實務之認識。

1.2 研究動機

於 Statapult 實驗中，投石機可視為一簡化製程系統，投擲物則可視為製程之投入材料，而投擲距離則代表製程輸出結果。當投擲物重量、大小、材質與形狀不同時，可能會影響發射瞬間之能量傳遞、飛行穩定性與最終投擲距離。一般投石機實驗多以球類作為投擲物，然而球類外型較規則，飛行狀態相對穩定，較不容易觀察形狀與受風面積對飛行結果之影響。相較之下，瓶蓋具有扁平、不完全對稱、重量與尺寸差異明顯等特性，於飛行過程中可能產生旋轉、翻滾或偏移等現象；同時，瓶蓋具有容易取得、成本低、種類多樣且適合重複實驗等優點。有鑑於此，本研究捨棄外型規則之傳統球類，改以瓶蓋作為投擲物，能更有效觀察不同物理特性對於投擲距離與穩定性之影響；且不同瓶蓋於重量、直徑、高度與材質之差異，能造成投擲結果不同，例如較重瓶蓋可能具有較大慣性，而較大瓶蓋雖可能增加空氣阻力，但也可能因與發射裝置接觸較穩定，使發射方向較一致。

1.3 研究目的

有鑑於上述動機，本研究旨在將品質工程理論應用於實務，運用田口方法進行實驗設計，探討不同瓶蓋作為投擲物時，對於 Statapult 投石機投擲距離之影響。本研究將「飛行距離」做為品質特性，並設定為「望大特性」，期望透過系統化的實驗規劃與數據分析，達成以下具體研究目的：

1. 探討控制因子對飛行距離之影響程度：透過計算訊噪比 (S/N 比) 與繪製主效應圖，具體分析「瓶蓋種類」、「發力臂位置」、「拉力位置」及「發射角度」

應用田口方法於 Statapult 投石機參數最佳化

四項控制因子，對於投石機飛行距離的影響程度。

2. 推導投擲距離極大化之最佳參數組合：基於田口方法的實驗數據分析結果，進一步找出能使瓶蓋投擲距離達到極大化的最佳操作參數組合。
3. 驗證投擲物特性與操作參數對輸出結果之影響：藉由捨棄傳統球類改用瓶蓋，觀察並驗證不同投擲物的物理特性結合設備操作參數後，對最終拋射結果所產生的實際影響。
4. 培養以數據為基礎之品質改善實務能力：透過本實作專案，落實理論與統計工具的結合，培養團隊以客觀數據為基礎，進行實驗設計與品質改善之工程實務能力。

第二章、文獻探討

2.1 田口方法

田口方法 (Taguchi Method) 最早由日本品質工程專家田口玄一博士所提出，其核心理念為「穩健設計 (Robust Design)」。此方法強調於產品設計及製程參數最佳化時，應盡量降低外部雜訊因素對品質之干擾，進而維持產品一致性與穩定之性能表現 (李輝煌，2023)。與傳統全因子實驗設計相比，田口方法利用直交表 (Orthogonal Array) 與 S/N 比等核心工具，使研究者於面對多項因子與水準組合時，僅需進行少量代表性實驗，便能有效分析各因子對品質特性的影響。不僅有效減少實驗次數與成本，更落實於設計初期便導入品質規劃之預防概念。許多學術研究已證實其有效性，例如：陳俊智、莊明振 (2006) 於探討產品設計之研究中，便有效應用田口方法與信號雜音比，將多重品質特性最佳化，並推論出符合目標之最佳參數組合。因此，本研究亦運用田口方法進行實驗設計，探討瓶蓋種類、發力臂位置、拉力位置及發射角度等控制因子對於投石機投擲距離影響，期望於有限實驗次數下，能有效尋找使飛行距離極大化之較佳參數組合。

2.2 Minitab 統計軟體

本研究所使用之分析工具為逢甲大學所提供之校園授權統計分析軟體 Minitab (Minitab, LLC, 2020)。該軟體廣泛應用於工業工程與品質管理之統計軟體，於田口方法與各類實驗設計 (DOE) 實作上提供完整且直觀之功能介面。透過 Minitab 圖形化操作流程，使用者可以快速建立實驗架構，例如選擇合適直交表並指派控制因子及其水準，進而以極少之實驗次數取得具代表性之分析數據。於實驗結果收集完成後，Minitab 能夠自動計算每組實驗參數的 S/N 比，並生成主效應圖與因子反應圖，有效幫助研究者理解因子間影響關係與趨勢。此外，其內建之預測功能還能針對未經實驗的參數組合進行模擬與最佳化設定，進一步提高實驗效率與應用價值。如趙志國 (2015) 於試驗設計與數據分析的相關研究中指出，運用 Minitab 進行實驗設計與數據處理，不僅能有效簡化繁瑣的統計計算過程，還能精確評估製程條件的顯著性，大幅提升實驗的準確度。基於上述優勢，本研究選擇 Minitab 作為數據分析工具，並利用其 Taguchi Analysis 功能進行 S/N 比與主效應分析，藉以準確找出能使瓶蓋投擲距離最大化之最佳參數組合。

第三章、研究方法

3.1 品質特性

品質特性為評估系統性能與品質水準之核心指標，本研究選定瓶蓋丟擲後之「飛行距離」作為首要品質特性。飛行距離定義為從出手基準線到瓶蓋靜止落點間之直線長度，並以毫米（mm）為測量單位，並且本研究目標在於追求瓶蓋飛行距離，因此本研究將此特性設定為田口方法中之「望大特性」，旨在透過參數最佳化使飛行距離極大化，同時降低環境干擾造成之變異。其中田口方法之望大特性 S/N 比公式如公式(3.1)所示。

符號定義如下：

S/N	訊噪比，數值越大表示品質特性表現越佳，且系統受雜訊影響越小。
LB	表示望大特性，適用於品質特性值越大越好之情況。
n	每組實驗之重複試驗次數。本研究中每組參數組合進行三次重複試驗，因此 n=3。
y _i	第 i 次瓶蓋投擲距離，單位為 mm。

$$S/N_{LB} = -10 \times \log \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}}{n} \quad \text{公式(3.1)}$$

3.2 要因分析

本研究考量瓶蓋本身特性與 Statapult 投石機可調整參數以進行要因分析（如圖 3.1 所示），選定四項主要因子進行探討，分別為瓶蓋種類、發力臂位置、拉力位置及發射角度。其中，瓶蓋類型可呈現不同瓶蓋於重量、直徑、厚度與形狀之差異；發力臂位置會改變投石臂之力臂長度與旋轉半徑，進而影響發射瞬間力矩與加速度；拉力位置會影響橡皮筋所提供之發射能量；發射角度則會影響瓶蓋離開投石機之初始飛行方向與拋射軌跡。

此外，除了上述四項控制因子外，亦包含實驗過程中潛在之雜訊因子（Noise Factors），主要包含「橡皮筋之彈性疲乏」與「環境氣流干擾」。橡皮筋若經多次拉扯，其彈力衰退將導致每次發射初始動能不一致；而環境氣流（如冷氣、風扇或微風）則極易對質量較輕之塑膠瓶蓋產生飛行軌跡偏移。為不增加外側直交表（Outer Array）實驗成本並確保數據信度，本研究首先針對橡皮筋彈性疲乏進行改善，於每次完成一次實驗後，必須更換同規格之全新橡皮筋，以維

應用田口方法於 Statapult 投石機參數最佳化

持每次動力輸出的基準完全一致；與此同時，本研究針對環境氣流干擾進行改善，所有實驗均統一移至密閉、無人員隨意走動之室內場地進行，並盡量避開空調出風口，將動態空氣阻力之變異降至最低。

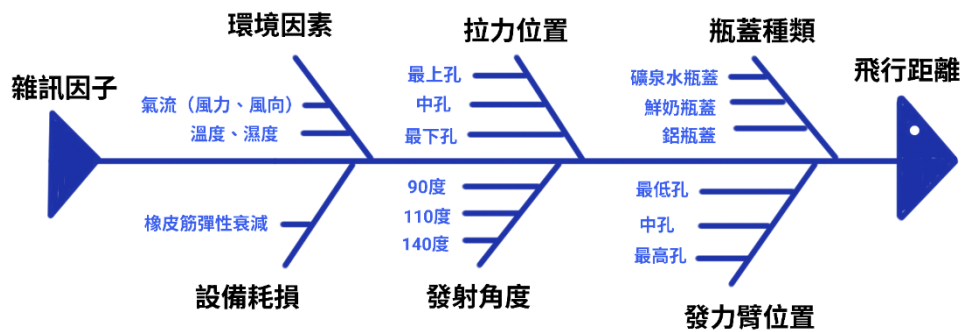


圖 3.1、要因分析之魚骨圖

3.3 實驗材料與設備

本研究所配置之實驗設備包含用於精確讀取數據之標準捲尺(如圖 3.2 所示)，以及具備仰角刻度與多孔位插銷機構之 Statapult 木製統計投石機(如圖 3.3 所示)，並預先準備充足之同規格替換用全新橡皮筋(如圖 3.4 所示)。於拋射耗材部分，本研究選用三種物理外觀具備顯著規格差異之市售瓶蓋，分別為重量較輕之常規礦泉水寶特瓶瓶蓋(如圖 3.5 所示)、幾何直徑較寬且壁面厚度增加之鮮奶瓶蓋(如圖 3.6 所示)，以及於材質密度與結構剛性上皆與前兩者互異之鋁瓶蓋(如圖 3.7 所示)。於投石機機構參數之級數配置方面，發力臂位置規劃有最低孔(對應低轉軸短力臂)、中孔(對應中轉軸中力臂)與最高孔(對應高轉軸長力臂)三種力矩模式(如圖 3.8 所示)；拉力位置規劃有初始位能較低之最下孔、中孔與位能最高之最上孔三處橡皮筋掛載點(如圖 3.9 所示)；發射角度則利用限制擋桿設定為拋射路徑較為平緩之 90 度、仰角適中之 105 度與具備最高拋射弧線之 135 度等三種仰角模式(如圖 3.10 所示)。



圖 3.2、捲尺



圖 3.3、Statapult 木製統計投石機



圖 3.4、橡皮筋



圖 3.5、寶特瓶瓶蓋



圖 3.6、鮮奶瓶蓋



圖 3.7、鋁瓶蓋



圖 3.8、發力臂之各水準位置標註圖



圖 3.9、拉力位置之各水準位置標註圖

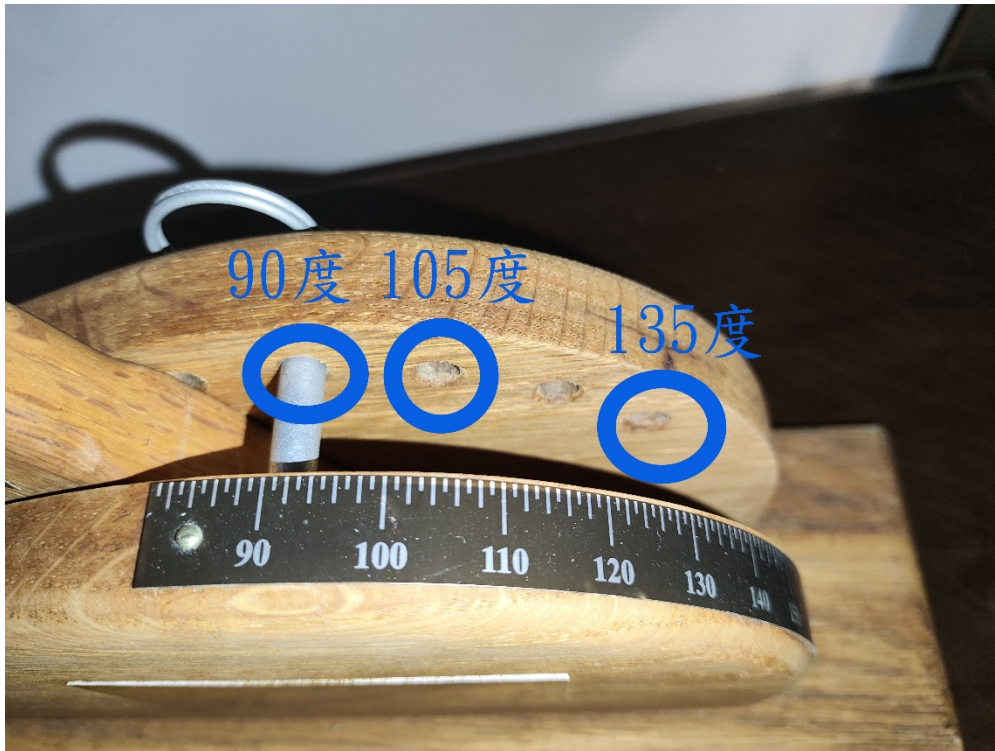


圖 3.10、發射角度各水準位置標註圖

綜上所述，本研究應用田口實驗設計法，為找出最大瓶蓋射出距離，針對四個主要因子（瓶蓋種類、發力臂位置、拉力位置及發射角度），並於各因子設置三種不同水準（如表 3.1 所示），最後選用最具有代表性之 $L_9(3^4)$ 直交表作為實驗配置之基礎（如表 3.2 所示）。透過此直交表之結構，將原本需要進行八十一次之全因子實驗收斂至僅需九組代表性之實驗組合，於維持數據解析效能並同時降低人力與時間成本。直交表每一列代表一種特定參數配置，例如第一組實驗將配置為「礦泉水瓶蓋、最低發力臂位置、最低拉力位置且最小發射角度」進行測試，確保各因子於有限次數中能均勻地參與交互檢驗。

表 3.1、各因子之各水準範例表

控制因子	水準 1	水準 2	水準 3
A：瓶蓋種類	礦泉水 寶特瓶瓶蓋	鮮奶瓶蓋	鋁瓶蓋
B：發力臂位置	最低孔 (低轉軸)	中孔 (中轉軸)	最高孔 (高轉軸)
C：拉力位置	最上孔	中孔	最下孔
D：發射角度	90° (小)	105° (中)	135° (大)

表 3.2、 $L_9(3^4)$ 直交表之實驗配置表

Exp.	A (瓶蓋種類)	B (發力臂位置)	C (拉力位置)	D (發射角度)
	1	2	3	4
1	礦泉水瓶蓋	最低孔	最上孔	90 度
2	礦泉水瓶蓋	中孔	中孔	105 度
3	礦泉水瓶蓋	最高孔	最下孔	135 度
4	鮮奶瓶蓋	最低孔	中孔	135 度
5	鮮奶瓶蓋	中孔	最下孔	90 度
6	鮮奶瓶蓋	最高孔	最上孔	105
7	鋁瓶蓋	最低孔	最下孔	105 度
8	鋁瓶蓋	中孔	最上孔	135 度
9	鋁瓶蓋	最高孔	中孔	90 度

3.4 實驗流程

於實驗執行前，首先本研究選定無明顯環境氣流干擾之室內場地（人言大樓 B113A 教室），並於測試地面標示固定之發射基準線與量測延伸軸線，以確保所有測試皆具備一致之空間起點；同時，預先備妥三種不同物理規格之瓶蓋樣本並完成分類與編號，確認各組實驗所用之耗材能準確對應 $L_9(3^4)$ 直交表所規劃之因子水準配置。

應用田口方法於 Statapult 投石機參數最佳化

於測試過程中（如圖 3.11 所示），操作人員依據直交表所指定之參數組合，依序完成投石機之發力臂孔位、橡皮筋拉力位置以及發射角度擋桿等機構設定。設備參數設定完畢後，將指定之瓶蓋平穩置入投石機之發射杯中，待確認瓶蓋放置穩固且投石機底座前端完全對齊發射基準線後，隨即執行拋射動作（<https://youtu.be/tsqaNXCnHeg>）。瓶蓋射出後，觀測人員統一以瓶蓋首次接觸地表之瞬間落點作為有效判定位置，並利用捲尺量測自發射基準線至該落點間之水平直線距離，測量數據皆以毫米（mm）為單位進行詳實記錄。



圖 3.11、實驗進行之示意圖
（實驗操作請參考：<https://youtu.be/tsqaNXCnHeg>）

為有效管控操作過程中可能產生之隨機誤差，每一組參數配置皆進行三次獨立之重複試驗。同時，為避免橡皮筋因反覆拉扯造成彈性疲乏而影響初始動能輸出，每完成一組直交表參數組合之測試，即強制更換一條同規格之全新橡皮筋。若拋射過程中發生瓶蓋未正確置入發射杯、投石機本體產生滑移、瓶蓋於空中碰撞外部障礙物，或落點因彈跳而無法明確判讀等異常狀況，該次測試即判定為無效試驗，並直接重新進行補測。此外，為確保外在環境條件之絕對一致性，全數實驗皆安排於同一工作日內集中完成，並要求測試全程避開室內空調出風口、電風扇及人員頻繁走動之區域，藉以將氣流擾動與溫濕度變異對拋射軌跡之干擾降至最低。

第四章、研究結果與驗證

4.1 S/N 比反應分析

本研究首先依據九組 $L_9(3^4)$ 直交表實驗結果（如表 4.1 所示）進行 S/N 比分析，並以各因子水準間之 Delta 值判斷其對投擲距離之影響程度。由 S/N 比反應結果（如圖 4.1 所示），於四項控制因子中，以 D 因子「發射角度」之影響最大，其 Delta 值為 13.31；其次為 B 因子「發力臂位置」，Delta 值為 7.08；而 A 因子「瓶蓋種類」與 C 因子「拉力位置」之 Delta 值分別為 4.31 與 3.72，呈現其相對影響程度較低。此結果表示，於本實驗條件下，發射角度為影響瓶蓋投擲距離最主要之因素，而發力臂位置亦具有一定程度之影響

依據 S/N 比之主效應圖可進一步判斷各因子之最佳水準。分析結果顯示（如圖 4.2 所示），A 因子以水準 3 表現最佳，呈現瓶蓋種類以鋁瓶蓋為較佳選擇；B 因子以水準 2 表現最佳，呈現發力臂位置以中孔較佳；C 因子以水準 1 表現最佳，呈現拉力位置以最上孔較佳；D 因子方面，水準 1 與水準 2 之表現皆相對較佳，但水準 1 略高於水準 2，因此選定水準 1 作為最佳設定。綜合各因子之最佳水準後，本研究推得最佳參數組合為 A3、B2、C1、D1，亦即「鋁瓶蓋、發力臂位置為中孔、拉力位置為最上孔、發射角度為 90° 」。

表 4.1、 $L_9(3^4)$ 直交表實驗結果

	A	B	C	D	y1	y2	y3
1	1	1	1	1	833	835	856
2	1	2	2	2	1245	1235	1270
3	1	3	3	3	178	185	187
4	2	1	2	3	89	85	90
5	2	2	3	1	915	880	904
6	2	3	1	2	1005	910	900
7	3	1	3	2	651	649	638
8	3	2	1	3	558	449	480
9	3	3	2	1	1018	1053	1033

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	A	B	C	D
1	55.23	51.19	57.24	59.29
2	52.46	58.27	53.70	59.19
3	56.76	54.99	53.51	45.98
Delta	4.31	7.08	3.72	13.31
Rank	3	2	4	1

圖 4.1、實驗進行之示意圖

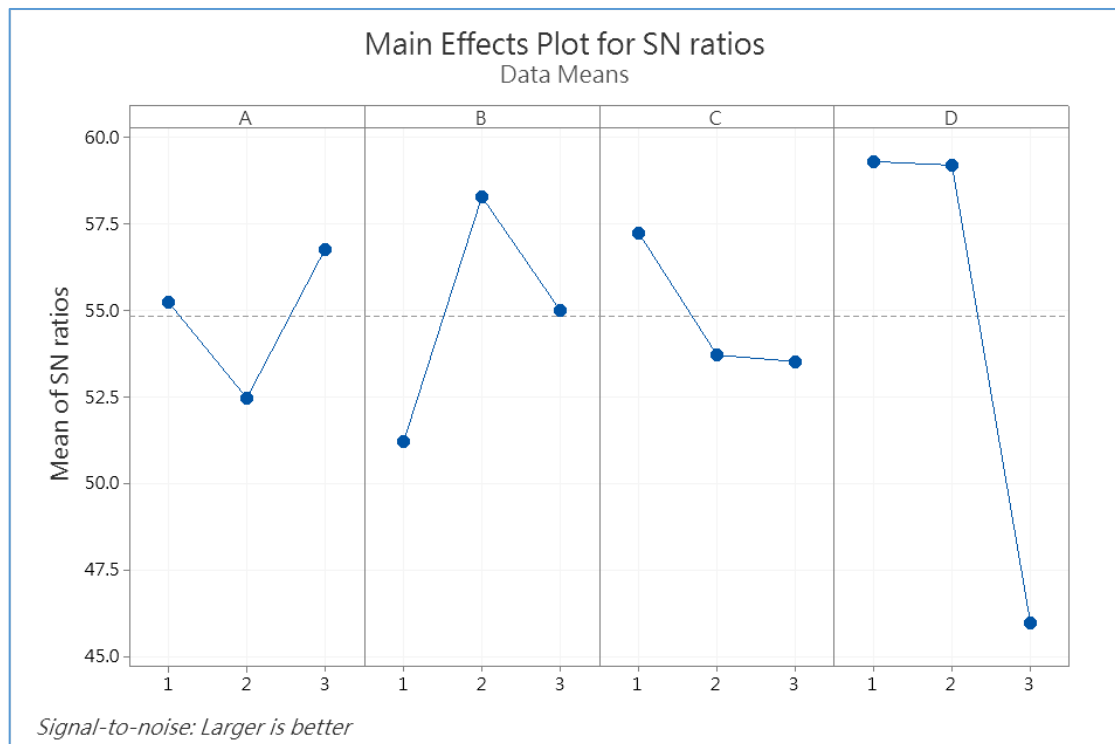


圖 4.2、S/N 比反應圖

4.2 最佳參數組合預測分析

為評估最佳參數組合之預期表現，本研究進一步利用 Minitab 對 A3、B2、C1、D1 進行投擲距離預測。根據預測結果（如圖 4.3 所示），該最佳組合之 S/N 比為 67.1081，平均投擲距離為 1165.22mm，標準差為 51.0512，標準差取對數值為 4.6085。此結果顯示，A3、B2、C1、D1 組合於提升平均投擲距離方面具有較

應用田口方法於 Statapult 投石機參數最佳化

佳潛力，且其變異程度仍維持於可接受範圍內。由於田口方法之核心精神不僅於提升品質特性平均值，同時也強調降低雜訊干擾對系統輸出之影響，因此本研究後續透過變異數分析與驗證實驗進一步確認此最佳組合之可靠性。

Prediction			
S/N Ratio	Mean	StDev	Ln(StDev)
67.1081	1165.22	51.0512	4.60854

Settings			
A	B	C	D
3	2	1	1

圖 4.3、A3、B2、C1、D1 之預測結果

4.3 變異數分析

為進一步檢定主要因子對 S/N 比之統計顯著性，本研究依據一半法則選取影響程度較高之 B 因子「發力臂位置」與 D 因子「發射角度」進行變異數分析。分析結果顯示（如圖 4.4 所示），D 因子之 F 值為 12.79，P 值為 0.018，小於顯著水準 0.05，呈現發射角度對 S/N 比具有顯著影響；相較之下，B 因子之 F 值為 2.74，P 值為 0.178，大於 0.05，呈現發力臂位置對 S/N 比之影響未達統計顯著水準。

綜上所述，雖然 S/N 比反應分析顯示發力臂位置為第二重要之影響因子，但其統計檢定結果並未達顯著水準，呈現其影響可能受到實驗誤差或樣本數限制影響。相較之下，發射角度不僅於 Delta 值排序中位居第一，亦於變異數分析中達到顯著水準，因此可判定為本研究中影響瓶蓋投擲距離最關鍵之控制因子。

Analysis of Variance for SN ratios						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
B	2	75.25	75.25	37.62	2.74	0.178
D	2	351.56	351.56	175.78	12.79	0.018
Residual Error	4	54.97	54.97	13.74		
Total	8	481.78				

圖 4.4、變異數分析結果

4.4 最佳參數組合驗證分析

為確認最佳參數組合之再現性與可信度，本研究針對最佳參數組合進行確認實驗，並以 S/N 比之信賴區間作為判斷依據。根據 Minitab 分析結果（如圖 4.5 所示），於 95%信心水準下，最佳參數組合之 S/N 比預估信賴區間為 55.0709 至 70.4139。為驗證預測結果是否具有實際可行性，本研究依據最佳參數組合 A3、B2、C1、D1 進行三次重複驗證實驗，測得投擲距離分別為 1370.20 mm、1370.51mm 及 1370.44mm。將上述數據代入望大特性之 S/N 比公式後，可得確認實驗之 S/N 比為 62.7368。

由於確認實驗所得之 S/N 比 62.7368 落於 95%信賴區間 55.0709 至 70.4139 之內，呈現實際驗證結果與 Minitab 之預測結果具有一致性。因此，本研究可確認田口方法所推得之最佳參數組合具有良好再現性，且本次實驗設計與分析結果具備一定程度之可靠性。綜上所述，最佳條件 A3、B2、C1、D1 能有效提升瓶蓋投擲距離，其中又以發射角度為最主要之影響因子，呈現於 Statapult 投石機之瓶蓋投擲實驗中，初始發射角度對飛行軌跡與最終距離具有關鍵作用。

General Linear Model Information

Terms	
B D	

Settings

Variable	Setting
B	2
D	1

Prediction

Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
62.7424	2.76306	(55.0709, 70.4139)	(49.9055, 75.5792)

圖 4.5、變異數分析結果

第五章、結論與建議

5.1 結論

本研究應用田口方法探討 Statapult 投石機於瓶蓋投擲距離最佳化之影響因素，並以「望大特性」進行分析。透過系統化的實驗與數據分析，本研究具體達成了原定之四項研究目的，結論如下：

1. 探討控制因子對飛行距離之影響程度：透過 Minitab 進行訊噪比（S/N 比）與變異數分析（ANOVA），結果顯示影響投擲距離最主要之因子為「發射角度」（Delta 值高達 13.31），且其 P 值為 0.018，小於顯著水準 0.05，呈現統計上的顯著影響。其次為「發力臂位置」（Delta 值為 7.08），而「瓶蓋種類」與「拉力位置」的影響程度則相對較小。
2. 推導投擲距離極大化之最佳參數組合：綜合 S/N 比主效應分析，本研究成功推導出極大化投擲距離之最佳參數組合為 A3、B2、C1、D1，亦即「鋁瓶蓋、發力臂位置為中孔、拉力位置為最上孔、發射角度為 90°」。後續透過三次確認實驗驗證，所得投擲距離分別為 1370.20 mm、1370.51mm 與 1370.44mm，計算後之 S/N 比為 62.7368，且精準落於 95%信賴區間(55.0709 至 70.4139)之內。此結果證實本研究所推得之最佳參數組合具備優異的再現性與可靠度。
3. 驗證投擲物特性與操作參數對輸出結果之影響：本研究捨棄傳統外型規則的球類，改採物理特性差異顯著的瓶蓋作為投擲物。實驗結果驗證了不同材質與幾何特性的投擲物（如表現最佳的鋁瓶蓋）在結合特定的機械操作參數（如 90°發射角度與中孔發力臂）後，會對飛行軌跡與最終拋射距離產生決定性的影響。這顯示投入物料（投擲物）特性與製程參數（投石機設定）間的高度關聯性。
4. 培養以數據為基礎之品質改善實務能力：透過本次 Statapult 投石機實作專案，團隊成功將品質工程理論落實於實務中。利用 L9(3⁴)直交表，將原需 81 次的全因子實驗大幅收斂至 9 次代表性實驗，並熟練運用 Minitab 軟體進行數據解析。這不僅有效解決了工程問題，更具體展現了團隊以客觀數據為基礎，進行實驗設計與製程品質改善的核心實務能力。

5.2 建議

雖然本研究已成功利用田口方法找出最佳參數組合，但基於實驗過程中的觀察與分析，針對未來相關研究提出以下三點建議：

1. 擴大參數水準差距以釐清次要因子影響：本研究中「發力臂位置」雖於 S/N 比分析中顯示具有一定影響力（Delta 值排名第二），但其變異數分析結果卻未達統計顯著水準。這可能與設定的水準間差異不足或實驗樣本數有限有

應用田口方法於 Statapult 投石機參數最佳化

關。建議未來可適度增加發力臂位置的水準差距，或提高重複實驗次數，以進一步確認其真實影響程度。

2. 導入自動化觸發裝置以降低系統雜訊：投擲結果仍可能受到瓶蓋放置之初始角度、人為釋放動作的穩定度、投石機本體晃動及量測視角等變異因素干擾。建議後續實驗可開發固定夾具或導入機械式觸發裝置（如快拆扣），以降低人為操作所帶來的實驗誤差，進一步提升每次拋射動作的基準一致性。
3. 深化投擲物物理特性與飛行表現之量化關聯研究：本研究已初步證實瓶蓋種類對投擲結果有影響。未來研究可進一步使用精密儀器，精確量測各類瓶蓋之重量、直徑、厚度、重心位置及材質密度等具體物理特性數值，並透過迴歸分析等統計手法，探討這些連續型變數與投擲距離之間的量化關係，以更全面地解析投擲物特性對空氣動力與飛行表現的影響。

參考文獻

Adams, S. G. (2000). Project based learning in a statistical quality control course. In *2000 Annual Conference* (pp. 5-505).

Minitab, LLC. (2020). *Minitab* (Version 19.2020.1) [電腦軟體].

<https://www.minitab.com>

李輝煌（2023）。田口方法：品質設計的原理與實務。高立圖書。

陳俊智、莊明振（2006）。以行動電話為例探討灰色田口方法於產品美感品質最佳化設計之研究。設計學報，11(1)。

趙志國（2015）。Minitab 在選煤試驗設計與資料分析中的應用。選煤技術，43(3)，78-80，85。