

整合類神經網路與田口式穩健設計法於止滑紋路靜摩擦係數預測之可行性研究

顏端黎

實踐大學工業產品設計學系 研究生

王則眾 *

實踐大學 工業產品設計學系 專任教授

摘要

隨著臺灣老齡化社會的發展，滑倒事故頻傳，防滑產品設計的重要性愈發凸顯。本研究致力於防滑產品設計，嘗試將類神經網路與田口式穩健設計法相互結合，旨在實現對止滑紋路乾式靜摩擦係數的精準預測。研究初始，通過對市售防滑產品止滑紋路的深入剖析，獲取研究切入點；接續，運用田口式穩健設計法，選定止滑紋路的陰刻、陽刻類型、排列方式以及接觸面積等作為關鍵控制因素，藉助 L_{18} 直交表規劃實驗，製作實驗樣本，並依據 ASTM D1894 標準進行摩擦係數測試。將測試所得數據輸入類神經網路進行多輪分析與對比，完成對類神經網路模型的訓練；與此同時，基於田口式穩健設計法生成的各因素優化配比以及參數反應圖的變化趨勢，再次微調控制因素之條件，並預測止滑紋路的靜摩擦係數。基於上述研究，針對不同使用環境提出了適配的優化防滑紋路設計方案，並制定了所構建神經網路模型在實際場景中的應用指導準則。本研究提出的整合類神經網路與田口式穩健設計法，有效降低了防滑產品的開發成本，顯著縮短了開發週期，為防滑產品的設計與優化提供了系統且可靠的技術支撐，有助於對推動防滑技術領域的發展。

關鍵字：靜摩擦力、田口式穩健設計方法、類神經網路

* 通訊作者。

E-mail 地址：zawang@icloud.com

Feasibility study of integrating neural network and Taguchi robust design method for predicting static coefficient of friction of non-slip texture

DUAN LI, YAN

Department of Industrial Design Shih Chien University

CHE CHUNG, WANG

Department of Industrial Design Shih Chien University

Abstract

In light of Taiwan's aging population and the prevalence of slip and fall incidents, the significance of anti-slip product design has escalated. This study is dedicated to the design of anti-slip products, and it attempts to combine the neural network and Taguchi's robust design method. The objective of this study is to accurately predict the coefficient of static friction of the non-slip texture dry type. The study commenced with a comprehensive examination of commercially available non-slip textures, which was utilized to establish a foundation for the study. Subsequently, Taguchi's robust design method was employed to select the shading, anodizing type, arrangement, and contact area of the non-slip textures as the pivotal controlling factors. The experimental samples were meticulously planned using an L_{18} orthogonal array, and the friction coefficients were measured in accordance with the ASTM D1894 standard. Subsequently, the data obtained from the tests were entered into a neural network, which underwent several rounds of analysis and comparison to complete the training of the neural network model. Concurrently, the conditions of the key control factors were fine-tuned based on the optimized ratios of the factors and the trend of the parameter response diagrams generated by the Taguchi's robust design method. The static coefficient of friction of the stop-slip texture was predicted. The proposed optimized anti-slip texture design scheme is applicable to diverse usage environments, and the guidelines for the application of the constructed neural network model in real-world scenarios have been formulated. The integration of a neural network with Taguchi's robust design method, as outlined in this study, has been shown to effectively reduce the development cost of anti-slip products, significantly shorten the development cycle, and provide a systematic and reliable technical support framework for the design and optimization of anti-slip products. This approach is expected to contribute to the enhancement of safety and efficiency in various operational settings.

Keywords: Static friction, Taguchi robust method, Artificial neural network

* Corresponding author.

E-mail address: zawang@icloud.com

第一章 前言

1-1 研究背景

滑倒事故在日常生活中頻繁發生，給人們的生命和健康帶來了嚴重威脅。據衛福部統計處數據顯示，2019 年因「事故傷害」而過世的人數達 6,640 人，其中有 1,487 人因為跌倒（落）死亡，排行第二，僅次於因運輸事故而死亡的人數。而在 2016 年，我國約有五分之一的老年人曾發生過跌倒意外（衛生福利部國民健康署，2016）。國內的研究也顯示，超過一半的人在家中曾經發生過跌倒或滑倒的意外事件。這些意外雖然很少導致死亡，但卻可能造成嚴重的影響，尤其是對於年長者和糖尿病患者而言（陳嘉基，1987）。除了病患本身和家屬所承受的痛苦和負擔之外，每年由於這些意外所產生的健康保險支付費用超過數十億元。在老齡化趨勢日益加劇的背景下，臺灣老年人口數量急劇增加，預計 2025 年將迎來超高齡社會。隨著老年人口的增多，滑倒事故的風險也隨之上升，因此，防滑問題成為保障人們生活安全、提升社會福祉的關鍵課題。

摩擦力作為影響物體防滑性能的關鍵因素，其特性和規律一直是研究的重點。在物理領域，摩擦力的研究涵蓋了多個方面，其中靜摩擦力與其他摩擦力存在顯著差異，它與物體表面的原子和分子相互作用以及表面粗糙度密切相關。固體表面之間的靜摩擦力主要源於原子和分子間的化學鍵重組能量需求以及表面粗糙度導致的互相卡住的阻力。深入理解摩擦力的本質和影響因素，對於優化防滑設計具有重要意義。

田口式穩健設計法和類神經網路在各自領域展現出獨特優勢，將二者整合應用於防滑紋路靜摩擦係數的預測研究，具有實務性的價值。田口式穩健設計法起源於 20 世紀 50 年代，由田口玄一博士提倡，透過直交表進行實驗設計，能夠有效減少實驗次數，同時評估個別變數對結果的影響程度以及不同變數之間的相互作用影響。該方法在眾多工業領域廣泛應用，如製造業、工程和科學研究等，能夠降低產品變異性、提升品質並減少成本；另，類神經網路結構和功能的數學模型，具有自適應性和學習能力，能夠根據外界資訊調整內部結構。在機器學習和認知科學領域，類神經網路被廣泛應用於函數估計、模式識別和決策分析等方面。

本研究透過整合田口式穩健設計法和類神經網路，旨在深入探究影響防滑紋路靜摩擦係數的因素，實現防滑紋路的優化設計。具體而言，運用田口式穩健設計法的直交表，以最少的實驗次數找出優化的設計變數水準組合，有效減少實驗樣本數量，降低實驗成本。同時，運用類神經網路對實驗數據進行分析和建模，開發出能夠準確預測摩擦力的模型，為防滑設計提供系統應用性的依據。透過對真實實驗數據的全面測試，驗證類神經網路模型的可靠性和普適性，確保模型在實際應用中的準確性。基於研究結果，為不同環境提供最佳的防滑紋路建議，並提出在實際情境中使用所開發的類神經網路模型的指導方針。本研究不僅有助於深入理解摩擦力的特性和規律，還能夠為防滑設計提供創新的方法和策略，有望在實際應用中顯著降低滑倒事故的發生率，保障人們的生命安全。

1-2 研究目的與內容

本研究旨在探究及分析影響乾式靜摩擦係數的因素，通過整合田口式穩健設計法與類神經網路，實現防滑紋路的優化設計，並建立可靠的預測模型。具體研究目的如下：

1. 分析影響乾式靜摩擦係數的因素：全面探究接觸面積、紋路設計（圖案、深度、間距等參數）、陰陽刻、排列方式以及接觸點數等因素對乾式靜摩擦係數的影響狀態，分析各因素的作用機制和相互關係。
2. 優化防滑紋路：運用田口式穩健設計法，以最適化靜摩擦係數為目標，對防滑紋路的各項參數進行優化。透過 L18 直交表設定不同的參數組合，進行實驗並分析結果，確定優化的設計變數水準組合，從而設計出具有最優防滑性能的紋路。
3. 建立類神經網路預測模型：基於實驗獲得的乾式靜摩擦係數數據，構建類神經網路模型。利用這些數據對模型進行訓練，使其能夠準確地根據輸入的參數預測乾式靜摩擦係數，為防滑設計提供有效的預測工具。
4. 驗證類神經網路模型：使用未參與訓練的實驗數據對類神經網路模型進行驗證，評估模型的準確性和可靠性。通過對比模型預測結果與實際實驗數據，檢驗模型在不同參數條件下預測乾式靜摩擦係數的能力。
5. 為實際應用提供建議：根據研究結果，為不同環境下的防滑設計提供具體建議。結合實際使用場景的特點，推薦合適的防滑紋路參數，同時制定在實際情境中使用所開發的類神經網路模型的導引，確保模型能夠在實際應用中發揮作用。

1-3 研究限制範圍

在本研究的開展過程中，受到 3D 列印機材料種類以及 ASTM D1894 測試條件的制約。基於此，實驗選擇以 60 mm × 6 0mm 的類橡膠材質作為測試樣本的統一製作條件。通過田口式穩健設計法的 L18 直交表，對可能影響靜摩擦係數的參數進行了設定，具體包括陰陽刻、排列方式、圖案面積、深度、相鄰間距以及接觸點數等。

在研究對象的選取上，本研究主要參考了市面上手杖、鞋款以及輪胎的止滑紋理。然而，受限於人力、時間和經費等資源的有限性，難以對市面上所有的止滑紋理展開大規模的測試與深入研究。因此，僅挑選了目前市面上應用較為廣泛的止滑紋理的特定項目，將其與田口式穩健式設計法的直交表相結合，利用 3D 列印技術製備測試樣本，並委託財團法人塑膠工業技術發展中心，依據 ASTM D1894 標準進行摩擦力檢測。

第二章 文獻探討與分析

2-1 摩擦係數與抗滑標準

摩擦力是物理學中一個重要且複雜的概念，它與相互接觸物體之間的摩擦性質密切相關。在經典力學的理论推導中，為了簡化分析過程，常常在忽略摩擦力的情況下，才得以推導出力學中的基本定律 (Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J., 2013)。在摩擦力的衆多類型中，靜摩擦力與其他形式的摩擦力有着顯著區別。其他形式的摩擦力通常與能量耗散相關，會導致相互摩擦物體之間的相對速度降低。固體表面之間靜摩擦力的產生主要有兩個原因：一是固體表面原子和分子之間相互吸引所產生的化學鍵重組能量需求，也就是所謂的膠力；二是由於表面粗糙度而產生的相互卡住的阻力 (Giancoli, D. C., 2016)。另，動摩擦力則可以被看作是單位位移距離中能量損耗的速率，這種能量損耗源於兩個表面之間各種粒子的相互碰撞作用。

在實際生活中，理解和衡量摩擦係數對於確保物體的抗滑性能至關重要。不同的行業和應用場景對物體的抗滑標準有着不同的要求。在建築領域，地面材料的摩擦係數直接關係到人們的行走安全，特別是在潮溼、有水漬的環境下，如浴室、廚房和游泳池周邊等場所，需要地面材料具備較高的摩擦係數，以有效防止滑倒事故的發生。相關研究表明，當地面材料的摩擦係數低於一定臨界值時，滑倒的風險會顯著增加 (Owen, D. R. F., & Unsworth, A., 2005)。在交通運輸領域，輪胎與路面之間的摩擦係數直接影響車輛的制動性能和行駛穩定性。在雨天、冰雪天氣等惡劣路況下，路面溼滑，輪胎與路面之間的摩擦係數降低，車輛容易出現失控、側滑等危險情況，從而引發交通事故 (Råde, L., & Westergren, A., 2015)。然而，現有文獻多聚焦於摩擦係數的基礎物理機制，較缺乏對不同應用場景下抗滑標準動態調整的系統性研究。因此，深入研究摩擦係數的影響因素，制定合理的抗滑標準，對於保障人們的生命財產安全具有重要意義。

2-2 田口式穩健設計法

1950 年代，田口玄一 (Taguchi Genichi) 博士倡導使用直交表的實驗設計，並開發各種直交表、點線圖、應用技巧與解析方法；由於此一方法的實驗結果之再現性很高與實驗次數可大幅度減少等優點。因此，在日本迅速普及，日本人稱之為品質工程 (Quality Engineering); 此外，歐美各國也於 1980 年代開始接受此一方法並稱謂之為田口式穩健設計法 (Taguchi's Method) (陳啟斌 et al., 2000)。田口式穩健設計法主要由：(1) 損失函數 (Loss Function); (2) 直交表 (Orthogonal Arrays); (3) 信號 / 雜音比 (S/N ratio) 三大部份所構成 (Chang et al., 2009; Lai et al., 2005)。

田口式穩健設計法結合了實驗設計、統計方法和品質管制等技術，旨在達到產品設計和製造過程的最佳條件，從而降低成本並改善品質。該方法利用信號 / 雜音比的計算、變異數

分析 (ANOVA)、變數 (因子) 效果圖以及實驗驗證等工具，以瞭解實驗中各變數的重要性。實驗設計使用直交表來進行部分設計變數的實驗。其目的是在最少實驗次數下找到最佳的設計變數水準組合。相較於一般的全因子設計實驗法，田口式穩健設計法只需使用較少的實驗數據即可找出最佳的設計方案。透過田口式穩健設計法，我們可以有效地探索設計空間，獲得對產品品質具有穩定和優越性能的最佳設計解決方案。這種方法不僅節省了時間和資源，還提高了設計的效率和準確性，從而促進了產品的成功開發和製造 (Lai et al., 2005)。

此外，田口式穩健設計法能夠評估每個個別變數對產品品質的影響程度，並瞭解各變數之間的相互作用影響程度。這使得田口式穩健設計法在許多不同的工業領域得到廣泛應用，用於減少產品變異性、提升品質以及降低成本。透過田口式穩健設計法，我們能夠有效地辨識出對產品品質影響最大的變數，並進一步探討這些變數之間的相互關係。藉由這種分析，我們可以制定出最佳的設計策略，以最小的成本達到穩定且高品質的產品製造。因此，田口式穩健設計法被廣泛應用於各種產業領域，包括製造業、工程、科學研究等，以幫助企業實現產品的一致性、可靠性和經濟性。這種方法的成功應用有助於提升產品競爭力，滿足客戶需求，並實現可持續的業務成功 (Mohan et al., 2007)。然而，田口法雖能通過正交表減少實驗次數，但現有應用多局限於線性效應分析，對非線性交互作用的捕捉能力較為不足 (Chang et al., 2009)。

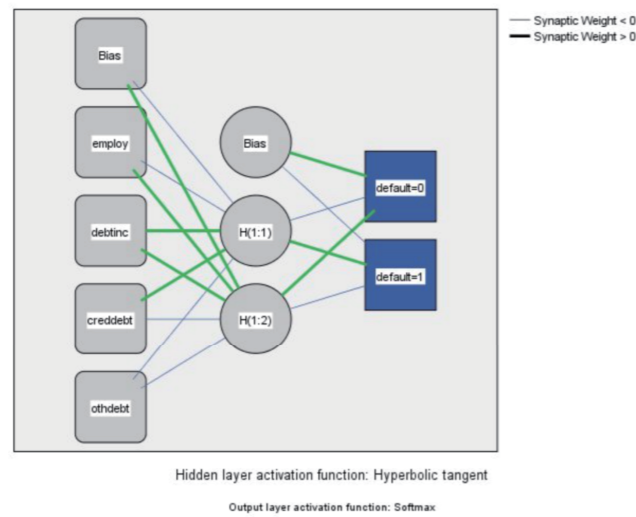
2-3 類神經網路

人工神經網路 (Artificial Neural Network, ANN)，也稱為神經網路 (Neural Network, NN) 或類神經網路，在機器學習和認知科學領域中，是一種數學模型或計算模型，模仿生物神經網路 (尤其是大腦) 的結構和功能，用於對函式進行估計或近似。神經網路由許多人工神經元的聯結組成，用於進行計算。大部分情況下，神經網路能夠根據外界資訊調整內部結構，具有自適應系統的特性，也就是具有學習的能力。現代類神經網路是一種非線性統計建模工具。通常，類神經網路透過基於數學統計學的學習方法進行最佳化，因此也是數學統計學方法的一種實際應用。透過統計學的標準數學方法，能夠得到大量的局部結構空間，可以用函式來表示。另一方面，在人工智慧領域的人工感知方面，可以透過應用數學統計學的方法來解決決策問題。換句話說，透過統計學的方法，人工神經網路能夠具備類似於人類的簡單決策和判斷能力。這種方法相較於正式的邏輯推理演算具有優勢 (“人工神经网络,” 2023)。

倒傳遞類神經網路之基本原理是利用最陡坡降法 (The Gradient Steepest Descent Method) 的觀念，將誤差函數予以最小化，其架構可區分為輸入層、隱藏層與輸出層。輸入層 (Input Layer) 為網路之輸入變數，即訓練範例之輸入向量，其處理單元數則依研究目的之需要而訂定；隱藏層表現輸入處理單元間之交互影響，其處理單元數目並無標準，輸出層 (Output Layer) 表現網路之輸出變數，其處理單元數目亦依問題而定 (陳香伶 et al., 2007)。

類神經網路是一種適用於松散相關系列模型的術語，其特點是具有大型參數空間和類似於大腦活動的結構。它起源於腦功能研究領域，但隨著時間的推移，大部分新模型都被應用於非生物化的應用程序，儘管其中許多相關的技術術語仍然反映了其來源。神經網路可以被視為一個龐大的並行分佈式處理器，它能夠儲存經驗知識並提供自然的使用傾向。它與大腦有兩個相似之處：首先，通過學習過程，類神經網路可以從網絡中獲得知識；其次，神經元之間的連接強度（稱為突觸權重）被用於儲存這些知識 (IBM Documentation, 2023)。此結構被稱為前饋架構，如圖 1 所示。它之所以稱為前饋，是因為在網絡中的連接沒有任何反饋迴路，訊號從輸入層向前流動到輸出層。在這個結構中，輸入層包含預測變數，隱藏層包含不可見的節點或單元。每個隱藏單元的值都是預測變數的某種函數，而函數的具體形式一部分取決於網絡類型，一部分取決於使用者可以控制的規範。輸出層包含回應值，由於預設值的過程是一個具有兩個類別的類別變數，因此將其重新編碼為兩個指標變數。每個輸出單元都是隱藏單元的某種函數。同樣地，函數的具體形式一部分取決於網絡類型，一部分取決於使用者可以控制的規範 (IBM Documentation, 2023)。

圖 1
類神經網路架構示意圖
資料來源 (IBM Documentation, 2023)



第三章 創作實驗

本研究過程透過三階段；第一階段為「利用田口穩健設計直交表製作測試樣本」；第二階段為「送檢 ASTM D1894 檢測」；及第三階段為「利用類神經網路去進行訓練模組用檢測數據」。

3-1 以田口式穩健設計直交表演算最優化配比

本實驗設計是一種透過 L18 直交表執行部分設計變數實驗的方法，以六種參數中的二及三種水準配置出十八種實驗總數，其目的在於用最少的實驗次數找出最佳的设计變數水準組合。相較於一般的全因子设计實驗法，驗设计只需少量的實驗數據，就能夠找出最佳的设计方案。

田口式穩健設計法是一種方法，可以評估個別變數對結果產生的影響程度，同時也能觀察不同變數之間的相互作用影響。這種方法已經在眾多不同的工業領域廣泛應用，用於降低產品變異性、提升品質並減少成本。

田口式穩健設計法的優勢在於能夠同時考慮多個變數和它們之間的相互作用。這有助於確定影響品質特性的關鍵因素，並提供有效的解決方案，以減少變異性並改進產品或製程的性能。透過這種方法，企業可以降低失敗率、提高產品品質和可靠性，同時減少不必要的成本 (Tzeng & Chen, 2006)。

望大特性：以最大化平均值與最小化變異為目標。

S/N 比的定義和計算式如下所示：

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

望小特性：以最小化平均值與變異為目標。

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

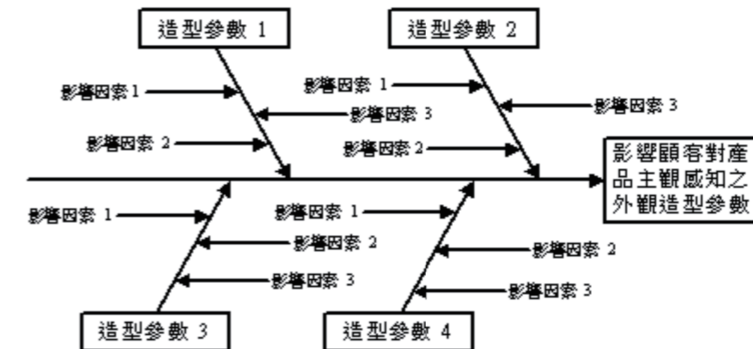
望目特性：有一固定目標值，可以利用 S/N 比最小化變異外，還可利用調整因子將平均值調整至目標值，本研究初步設定靜摩擦係環境需求設定為 1.600（望目目標）。

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

η 為 S/N 比特性， y_i 為實驗值， S 為變異數， n 為實驗次數，dB 為 S/N 比的分貝單位。

不論是哪種特性，擁有較大的 η 值（即較高的 S/N 比）對於品質特性來說是最佳的。在計算每個實驗回應值時，無論 S/N 比的範圍如何，最大的 S/N 比即代表最好的回應值，也就是最理想的製程或設計回應。同時，透過結合變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA)，可以找出可控因子的重要程度及最佳水準組合，並且識別對品質特性具有顯著影響的因子。另，田口穩健設計法之分析步驟分別如下：

圖 2
特性要因圖



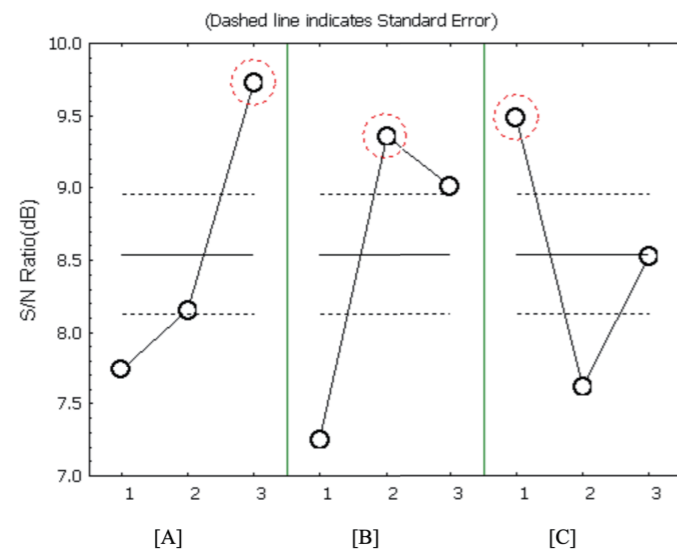
步驟 1：選擇變因項目與水準，田口式穩健設計法進行的第一步驟必須先找出「設計變數」，透過討論與分析，確認直交表實驗計劃之造形變數。此外，以日本品管權威學者石川馨博士所考案的特性要因圖 (圖 2)(Cause and Effects Charts，又稱魚骨圖或石川圖) 分析法，藉以分析影響設計的變數，做為設計變數之水準的選擇依據。

步驟 2：產品偏好度量測：利用樣本圖形之評估問卷等的實施，取得受測者對測試樣本之品質評價結果，有效地將受測者需求的主觀判斷予以量化後，以田口式穩健設計法進行提案的擇優評估。

步驟 3：計算每一實驗組合的 SN 比平均值：SN 比為一種包含平均值與標準差的指標，其中包含望小、望大與望目三種不同類型的品質特性公式，本研究擬採用望大品質特性公式分析。

步驟 4：依各變數之水準別加總其 SN 比平均值繪製成輔助圖：根據步驟 4 所得出之 SN 比平均值，依各設計變數之水準別將其 SN 比平均值加總後繪製如圖 3 之輔助圖。

圖 3
SN 比反應圖



步驟 5：變異數分析 (Analysis of Variance, ANOVA) 之目的是在評估每一個設計變數對目標函數之影響力的多寡與計算各個設計變數和目標函數間偏離量，求得對目標函數值影響顯著之變數，然後可針對這些顯著變數之控制變數之水準進行調整實驗，將偏移的設計變數微調至函數的目標值。

步驟 6：求得最佳變數組合與計算其 SN 比之預測值：取各個設計變數之水準的 SN 比平均數總和之最大值，如圖 3 圈選之水準，為該設計變數的最佳水準，並以下列公式計算出最佳設計變數水準組合之 SN 比之預測值。

$$\hat{\eta}_{(opt)} = \bar{\eta}_m + \sum_{j=A}^l (\bar{\eta}_{j(max)} - \bar{\eta}_m) \quad (4)$$

其中

$$\hat{\eta}_{(m)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\eta}_i \quad \text{and} \quad \bar{\eta}_{j(max)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \eta_{k(max)} \quad (5)$$

田口式穩健設計法能夠識別個別變數所產生的影響程度及可檢視各變數間相互作用的影響程度。因此，田口式穩健設計法近來已經被很多不同的工業廣泛應用於減少產品變異、增加品質和降低成本，本實驗田口式穩健設計法 L18 直交表的參數如表 1 及表 2，測試樣品圖如圖 4。本研究選取陰陽刻 (2 水平)、排列方式 (3 水平)、接觸面積 (3 水平) 等參數，基於防滑產品的三大核心設計維度：表面形態 (陰陽刻 / 排列)、幾何尺度 (面積 / 深度 / 間距)、接觸特性 (點數)。

其中，接觸面積設置為 78.5/176.5/314 mm²，對應小型 (手杖)、中型 (鞋款)、大型 (輪胎) 防滑場景的典型接觸面積範圍；深度 0.5/1/2 mm 覆蓋常規模具加工精度；間距 3/5/10 mm 參考人體工程學中防滑紋路的手指觸感閾值 (3 mm 為精細防滑，10 mm 為寬鬆型設計)。此類劃分既覆蓋工程常見值域，亦符合防滑設計的人機工程學原則。

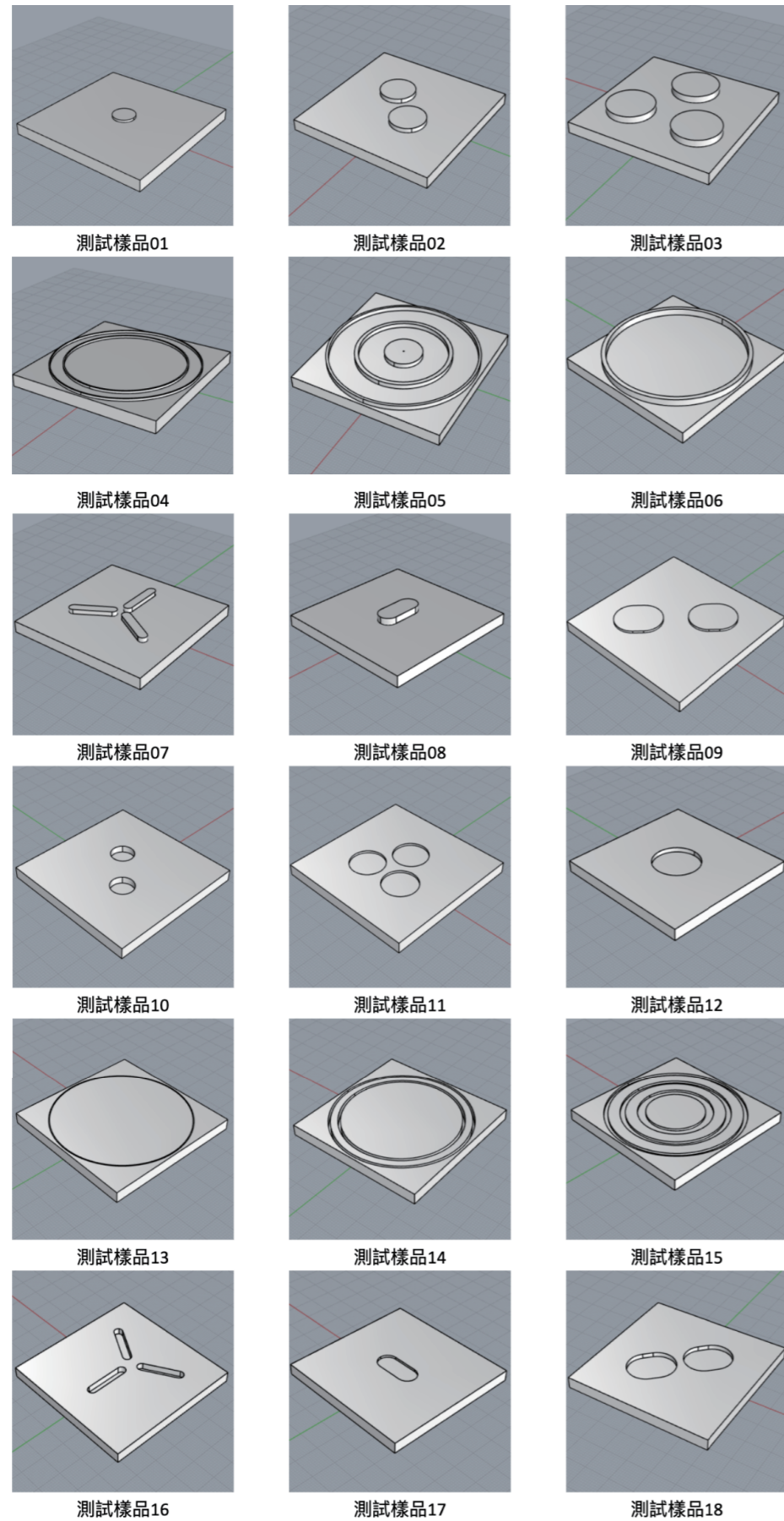
表 1
止滑紋路實驗參數設定表

Control Parameters / Unit	Level 1	Level 2	Level 3
(A) 陰陽刻	陽刻	陰刻	-
(B) 排列	點狀(圓點)	環狀(同心圓)	放射(長條狀)
(C) 接觸面積(mm ²)	78.5	176.5	314
(D) 深度(mm)	0.5	1	2
(E) 邊緣最近間距(mm)	3	5	10
(F) 接觸點數量	1	2	3

表 2
田口式穩健設計 L18 止滑紋路實驗參數表

No.	實驗參數設定					
	陰陽刻	排列	接觸面積 (mm ²)	深度 (mm)	邊緣最近間距 (mm)	接觸點數量
1.圖(1)	陽刻	點狀	78.5	0.5	3	1
2.圖(2)	陽刻	點狀	176.5	1	5	2
3.圖(3)	陽刻	點狀	314	2	10	3
4.圖(4)	陽刻	環狀	78.5	0.5	5	2
5.圖(5)	陽刻	環狀	176.5	1	10	3
6.圖(6)	陽刻	環狀	314	2	3	1
7.圖(7)	陽刻	放射	78.5	1	3	3
8.圖(8)	陽刻	放射	176.5	2	5	1
9.圖(9)	陰刻	放射	314	0.5	10	2
10.圖(10)	陰刻	點狀	78.5	2	10	2
11.圖(11)	陰刻	點狀	176.5	0.5	3	3
12.圖(12)	陰刻	點狀	314	1	5	1
13.圖(13)	陰刻	環狀	78.5	1	10	1
14.圖(14)	陰刻	環狀	176.5	2	3	2
15.圖(15)	陰刻	環狀	314	0.5	5	3
16.圖(16)	陰刻	放射	78.5	2	5	3
17.圖(17)	陰刻	放射	176.5	0.5	10	1
18.圖(18)	陰刻	放射	314	1	3	2

圖 4
測試樣品圖



3-2 類橡膠材質 3D 列印

類橡膠材質 (Flexible) 的一個主要優勢是能夠模擬觸感柔軟的材料如圖 5，材料機械性質如表 4，可提供逼真的觸感體驗。該材料為需要舒適和人體工學握把的應用的理想選擇，無論是用於手柄、握把還是緩衝元件，這種樹脂都可以為設計增添舒適感和用戶友好性。此外，類橡膠材質特別適合用於多材料組件，它可以與其他材料無縫結合，創造出具有不同彈性水平的複雜零件。這種多功能性為在不同區域具有不同功能要求的產品設計打開了可能性。通過使用類橡膠材質，可以在不影響耐用性和強度的前提下實現所需的靈活性和人體工學特性。使用此樹脂製造的零件具有出色的耐磨、耐撕裂和抗衝擊性能，適用於各種應用。

圖 5
3D 列印類橡膠材質
圖片來源：(光固化 3D 列印機 Form 3 低應力光固化成型技術 - 台灣天馬, 2023)



無論是在開發原型、功能模型還是最終使用零件，類橡膠材質都提供了一種具有成本效益的解決方案，可用於添加人體工學特徵、製造具有彎曲、壓縮和觸感柔軟特性的零件。其多功能性和耐用性使其成為各個行業的寶貴材料，包括消費品、電子產品、汽車等。

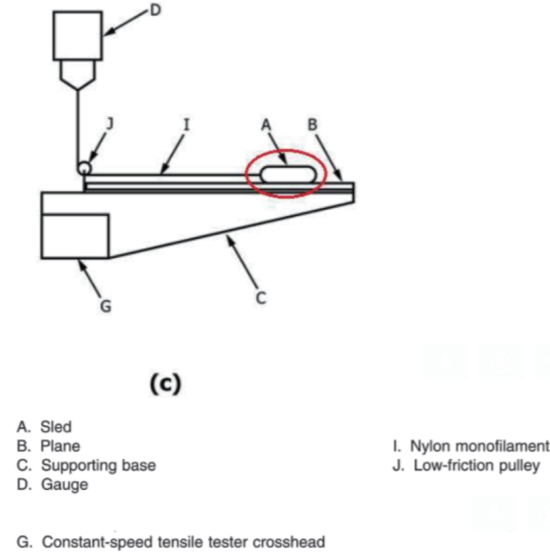
表 3
類橡膠材料性質
資料來源：(光固化 3D 列印機 Form 3 低應力光固化成型技術 - 台灣天馬, 2023)

機械性質	數據	測試方法
極限拉伸強度 (Ultimate Tensile Strength)	7.7-8.5 MPa	ASTM D 412-06 (A)
斷裂伸長率 (Elongation at Failure)	75-85 %	ASTM D 412-06 (A)
壓縮永久變形 (Compression Set)	0.40 %	ASTM D 395-03 (B)
撕裂強度 (Tear Strength)	13.3-14.1 kN/m	ASTM D 624-00
蕭氏硬度 (Shore Hardness)	80-85 A	ASTM 2240

3-3 ASTM D1894 檢測

ASTM D1894 是美國材料和試驗協會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) 制定的一個標準試驗方法如圖 6，用於測量固體材料之間的摩擦係數。

圖 6
ASTM D1894 檢測圖
資料來源：(塑膠中心首頁 | 財團法人塑膠工業技術發展中心, 2017)

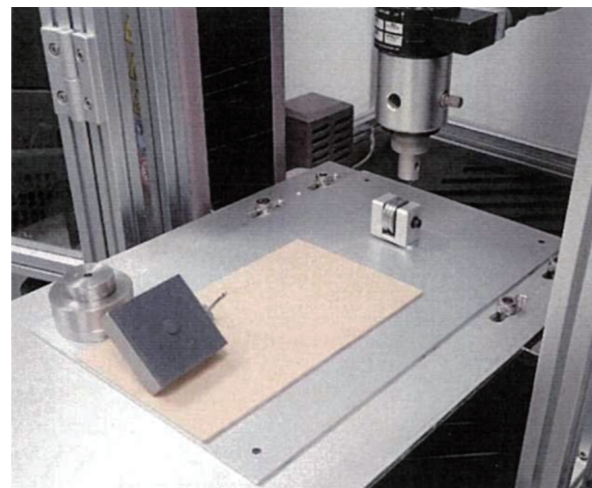


ASTM D1894 試驗方法旨在確定固體材料在平面上的靜態和動態摩擦特性。這個試驗方法適用於各種材料，包括塑料、橡膠、紙張、塗層和薄膜等。它可以提供有關材料間摩擦性能的數據，這對於設計和製造需要考慮材料之間摩擦的產品非常重要。在試驗中，試樣材料通常以平面狀態放置在測試設備上。然後，一個稱為摩擦測試機的裝置會施加一定的力量，使試樣與另一個表面相互接觸和滑動。通過測量施加的力量和相對運動的阻力，可以計算出摩擦係數。檢測環境檢測的 18 個樣本如表 4 及圖 7 所示。

表 4
ASTM-D1894 乾式檢測環境

環境條件	測試物體
試片調節條件: 23°C±2°C，相對濕度50%±5%，24小時以上 實驗室條件: 23°C±2°C，相對濕度50%±5%	試驗條件: 速度：150mm/min 測試距離：150mm 上載荷重：1000g 並將試驗試片放上地板木板上執行測試

圖 7
實驗環境圖
圖片來源：(塑膠中心首頁 | 財團法人塑膠工業技術發展中心, 2017)

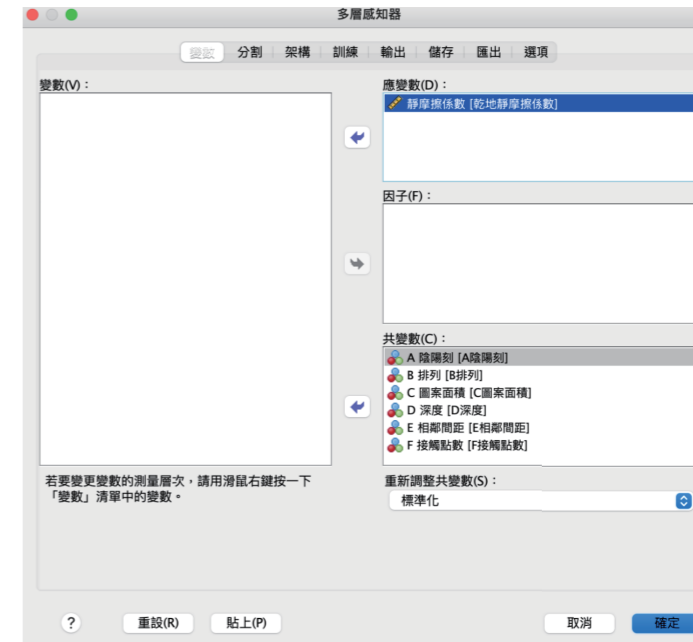


3-4 類神經網路

本研究以前面階段所產生之實驗數據，將資料分為兩階段分別為第一階段訓練集來訓練類神經網路的模組建構，第二階段透過第一階段訓練的神經網路模型來代入參數來預測出相對應的摩擦係數。用 SPSS 類神經網路套裝軟體為例：

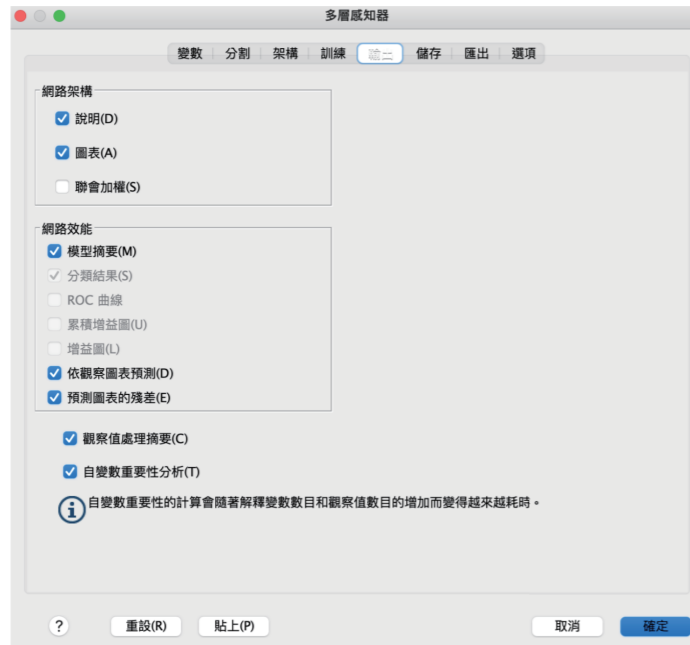
- (1) 開啟數據檔案
- (2) 選擇選單 "分析" -> "類神經網路" -> "多層感知器"
- (3) 第一階段乾地靜摩擦總共做 13 次類神經網路訓練，然後第一次在 "變數" 介面中，把參數 (A) 陰陽刻 (B) 排列 (C) 圖案面積 (D) 深度 (E) 相鄰間距 (F) 接觸點數放入 "共變數" 欄位中，乾地靜摩擦係數放入 "應變數" 欄位中，"重新調整共變數" 選擇標準化選項，如圖 8。

圖 8
神經網路多層感知器選項



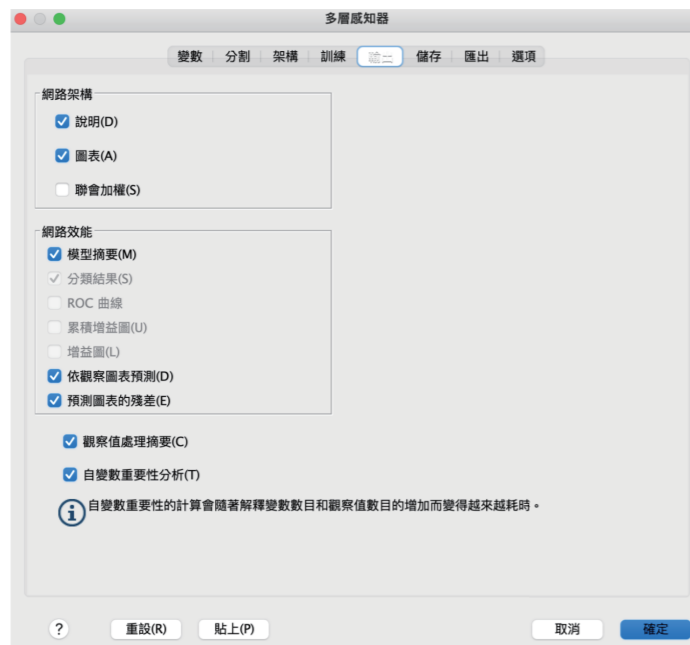
- (4) 在 "輸出" 介面中勾選說明、圖表、模型摘要、依觀察圖表預測、預測圖表的殘差、觀察值處模型摘要與自變數重要性分析，詳如圖 9 所示。

圖 9
多層感知器輸出介面選項



(5) 介面中勾選儲存每個應變數的預測值或種類，如圖 10。

圖 10
多層感知器儲存介面選項



- (6) 進行類神經網路分析時，使用了以下的分割區參數：
1. 訓練分割區大小設定為 70%，用於訓練數據。
 2. 測試分割區大小設定為 30%，用於測試數據。
- (7) 選擇 " 確定 " 開始訓練模型，然後反覆訓練多次計算其平均值。

第四章 研究結果分析

4-1 ASTM D1894 實驗檢測結果

本實驗對田口式穩健設計法所規劃的 18 個樣本進行測試，測試結果如表 5 所示。進行測試時，試片的調節條件為保持溫度在 23°C ± 2°C，相對濕度在 50% ± 5%，並進行 24 小時以上的維持。測試時的速度為每分鐘 150 毫米，測試距離為 150 毫米，上載荷重為 1000 克。

表 5
靜摩擦係數實驗結果

No.	實驗參數設定						實驗結果
	陰陽刻	排列	接觸面積 (mm ²)	深度 (mm)	邊緣最近間距 (mm)	接觸點數量	靜摩擦係數
1	陽刻	點狀	78.5	0.5	3	1	0.962
2	陽刻	點狀	176.5	1	5	2	0.954
3	陽刻	點狀	314	2	10	3	1.166
4	陽刻	環狀	78.5	0.5	5	2	1.125
5	陽刻	環狀	176.5	1	10	3	1.205
6	陽刻	環狀	314	2	3	1	0.965
7	陽刻	放射	78.5	1	3	3	1.194
8	陽刻	放射	176.5	2	5	1	0.908
9	陽刻	放射	314	0.5	10	2	1.034
10	陰刻	點狀	78.5	2	10	2	1.725
11	陰刻	點狀	176.5	0.5	3	3	1.611
12	陰刻	點狀	314	1	5	1	1.636
13	陰刻	環狀	78.5	1	10	1	1.380
14	陰刻	環狀	176.5	2	3	2	1.525
15	陰刻	環狀	314	0.5	5	3	1.455
16	陰刻	放射	78.5	2	5	3	1.724
17	陰刻	放射	176.5	0.5	10	1	1.858
18	陰刻	放射	314	1	3	2	1.792

4-2 田口穩健設計法實驗結果分析

本研究初步設定靜摩擦係環境需求設定為 1.600 (望目目標)，乾式環境靜摩擦係數以望目 (Nominal the Best) 進行演算，從實驗結果 (表 5) 可以看出，不同參數組合下的靜摩擦係數存在明顯差異，陰陽刻參數對靜摩擦力的影響較為顯著，陰刻樣本的靜摩擦係數普遍高於陽刻樣本，顯示陰刻的紋路設計在乾式環境下能夠提供更好的防滑性能，可能是因為陰刻紋路在與地面接觸時，能夠形成更緊密的咬合，增加摩擦係數。

排列參數也對靜摩擦係數產生了一定的影響。點狀排列的樣本在某些參數組合下表現出較高的靜摩擦係數，如第 10 號樣本 (陰刻、點狀、78.5、2、10、2，靜摩擦係數為 1.725)；另，環狀排列的樣本靜摩擦係數相對較為穩定，在不同參數組合下波動較小。放射狀排列的樣本靜摩擦係數在不同參數組合下差異較大。這說明不同的排列方式對靜摩擦係數的影響具有複雜性，需要綜合考慮其他參數的協同作用。

接觸面積參數與靜摩擦力之間呈現先增大，然後減小的趨勢（圖 11）。隨著接觸面積的增大，靜摩擦係數有逐漸增大的趨勢。在陽刻、點狀排列的情況下，接觸面積從 78.5mm² 增加到 314mm²，靜摩擦力從 0.962 增加到 1.166。但這種正相關關係並非絕對，還受到其他參數的影響。當接觸面積增加時，表面的微觀結構和分子間作用力也會發生變化，從而影響靜摩擦係數的大小。

深度參數對靜摩擦係數也有些許的影響。在部分樣本中，隨著深度的增加，靜摩擦係數呈現遞減的趨勢（圖 11）。這可能是因為深度過深時，紋路容易被堵塞，導致摩擦係數下降。深度還會影響紋路的變形能力，進而影響與地面的接觸狀態和摩擦力。

邊緣最近間距參數對靜摩擦係數有一定的影響，隨著間距的增加，靜摩擦係數呈現遞減的趨勢（圖 11），較小的邊緣最近間距在一些樣本中表現出較高的靜摩擦係數，可能是因為較小的間距可以增加紋路之間的協同作用。在陰刻、點狀排列的樣本中，邊緣最近間距為 3mm 時，靜摩擦係數相對較高。

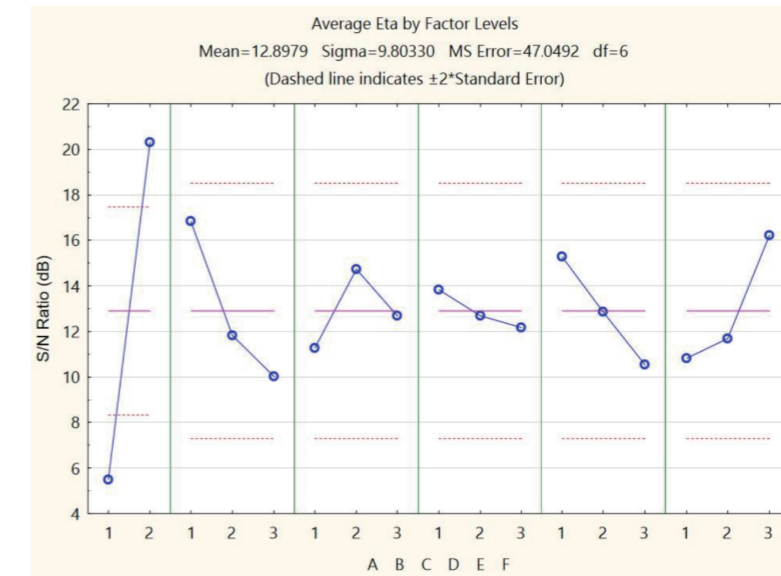
接觸點數量參數對靜摩擦係數有一定的影響，靜摩擦係數呈現遞增的趨勢（圖 11）。較多的接觸點在某些樣本中能夠提供更高的靜摩擦力。在陰刻、放射狀排列的樣本中，接觸點數量為 3 時，靜摩擦係數相對較高。這是因為較多的接觸點可以增加摩擦力的均勻性，提高防滑性能。

為了進一步分析各參數對靜摩擦係數的影響程度，進行了變異數分析（ANOVA）。變異數分析結果顯示（表 6），陰陽刻、排列、接觸面積、深度、邊緣最近間距和接觸點數量這六個參數對靜摩擦係數的影響均具有統計學意義。陰陽刻參數的影響最為顯著，其 F 值較大，P 值小於 0.01。由此再次證明陰陽刻是影響乾式靜摩擦係數的關鍵因素；另，深度參數的影響相對較小，但仍然對靜摩擦係數有一定的貢獻。透過變異數分析，能夠明確各參數在影響靜摩擦係數方面的重要性，為後續的參數優化和模型建立提供了有力的參考依據。

表 6
乾式環境靜摩擦力變異數分析表

參數項	SS	DOF	MS	F檢定	P檢定
[A]陰陽刻	988.125	1	988.125	21.002	0.004
[B]排列	149.597	2	74.798	1.589	0.279
[C]接觸面積	36.998	2	18.499	0.393	0.691
[D]深度	8.681	2	4.341	0.092	0.913
[E]最近間距	67.407	2	33.703	0.716	0.526
[F]接觸點數量	100.678	2	50.339	1.069	0.400

圖 11
靜摩擦係數之參數反應圖 (A: 陰陽刻 B: 排列 C: 接觸面積 D: 深度 E: 最近間距 F: 接觸點數量)



4-3 類神經網路模型訓練

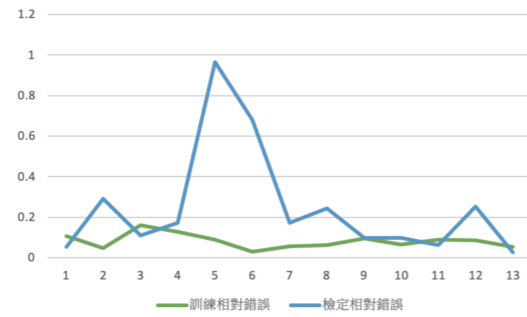
應用 SPSS 裡面的神經網路分析，透過前階段田口式穩健設計法與 ASTM D1894 的檢測結果，以乾式環境檢測環境，分別進行多形態（次）類神經網路分析，因為類神經網路模型因隨機初始化特性，不同訓練批次結果存在微小波動，但最終分析的結果會在某一個數據區間範圍內，所以透過多次分析的結果做為分析的標準也藉此訓練類神經網路的完整性；最終，以訓練的相對錯誤和檢定相對錯誤接近於 0.05 為訓練完成依據。

以乾式環境靜摩擦係數檢測 18 組的數據透過類神經網路分析預測的結果，並排除相對非重要的參數，採取相對重要的參數；最終，實驗進行多形態類神經訓練得到相對準確的訓練結果如表 7，其數據統計如圖 12。

表 7
多形態之乾式環境之類神經訓練數據組分析結果

No	參數	操作	訓練相對錯誤	檢定相對錯誤
01	[A][B][C][D][E][F]	標準化並全參數訓練	0.106	0.054
02	[A][B][C][D][E][F]	常態化並全參數訓練	0.048	0.292
03	[A][B][C][D][E][F]	調整常態化並全參數訓練	0.159	0.110
04	[A][C][D][E][F]	標準化及去除B參數訓練	0.127	0.172
05	[A][C][D][F]	標準化及去除E參數訓練	0.088	0.966
06	[A][C][D][F]	重複第5次參數訓練	0.028	0.680
07	[A][C][D][F]	重複第5次參數訓練	0.056	0.172
08	[A][D][F]	標準化及去除C參數訓練	0.061	0.242
09	[A][D][F]	重複第8次參數訓練	0.095	0.099
10	[A][D][F]	重複第8次參數訓練	0.066	0.099
11	[A][D][F]	重複第8次參數訓練	0.089	0.061
12	[A][C][D][F]	標準化並調整添入參數C訓練	0.087	0.253
13	[A][C][D][F]	重複第12次參數訓練	0.053	0.025

圖 13 類神經網路參數訓練模型圖



透過類神經網路分析出的最終訓練模組之分析圖，如圖 10 所示。最終訓練結果影響較大的四個參數分別為 [A] 陰陽刻，[C] 圖案面積，[D] 深度及 [F] 接觸點數量，其重要性分別是 0.478、0.067、0.176、0.279，如表 8 所示。

圖 12 乾式環境靜摩擦係數之神經訓練數據的訓練結果

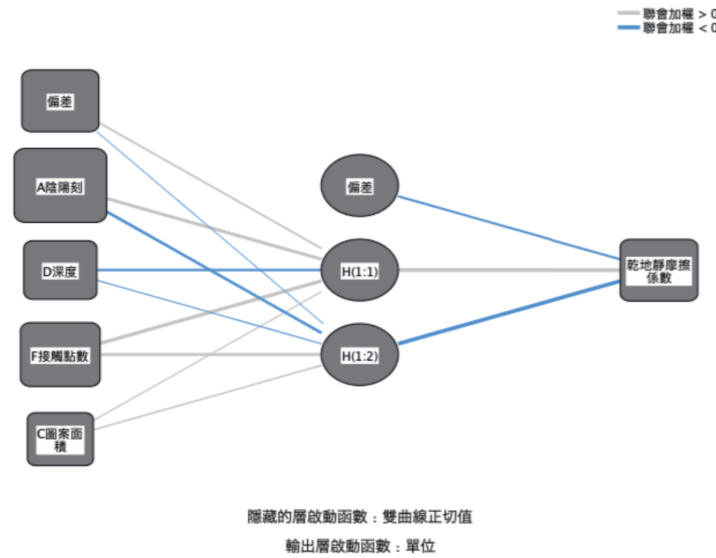


表 8 類神經分析之自變數的重要性

參數項	重要性	常態化重要性
[A] 陰陽刻	0.478	100%
[C] 圖案面積	0.067	13.9%
[D] 深度	0.176	36.7%
[F] 接觸點數	0.279	58.4%

透過田口式穩健設計法之分析步驟，其乾式摩擦係數信號雜音比得知優化參數水準組合為 A2/B1/C2/D1/E1/F3，如圖 11；接續，並透過此參數數據代入前階段訓練完成的神經網路模型進行微調與分析。針對此配比進行 [A] 陰陽刻、[C] 接觸面積及 [D] 深度參數的微調後，代入前面階段訓練的靜摩擦係數之類神經網路模型，進行 10 次推導演算再進行平均值之統計分析。透過圖 11 參數反應圖可顯示參數 [A] 陰陽刻無法做參數微調，參數 [C] 接觸面積的值中間點最高，所以採用高點旁之左右兩點的值，最後參數 (D) 深度的值則是中間點最高所以採用分別左右兩點的值，參數 (F) 接觸點數量無法做參數微調，其參數值分別帶 (C) 接

觸面積 166.5、176.5、186.5 以及 (D) 深度參數為 0.3、0.4、0.5 交互組合得出 9 組搭配的參數，如表 9 所示。交互組合得出 9 組的相對應的平均靜摩擦係數，分別為 1.625、1.623、1.620、1.627、1.624、1.622、1.628、1.619、1.621，透過田口穩健設計法中的訊號雜訊比 (Signal-to-Noise Ratio) 望目靜摩擦係數所設定 1.600 的優化參數代入神經網路模型，所得到的優化結果是 1.619 ± 0.067。

透過田口穩健設計法中的訊號雜訊比所分析之乾式摩擦係數信號雜音比得知優化參數水準組合為 A2/B1/C2/D1/E1/F3，經由公式 (4) 及 (5) 計算，田口的靜摩擦係數預測值為 1.600 ± 0.023 亦即 1.623 或 1.577；另，透過 ASTM D1894 的實際檢測結果，其靜摩擦係數為 1.611 (表 5 中，第 11 組數據)；類神經網路訓練模組的值為 1.619 ± 0.067 整體上較貼近真實檢測數據 (表 9)，模型預測的靜摩擦係數與實際值的平均誤差在 5% 以內，驗證了模型的準確性和可靠性。另，從田口式穩健設計法中的訊號雜訊比 (Signal-to-Noise Ratio) 分析可以看出 [A] 陰陽刻為最影響的因素；另，類神經網路所分析的控制參數影響重要程度大到小則是 [A] 陰陽刻、[F] 接觸點數量、[D] 深度、[C] 圖案面積；[A] 陰陽刻和 [F] 接觸點數量是最直接影響到接觸面積的因素，所以其會影響程度較高，[D] 深度則是有可能是垂直施力會導致底部變形，進而導致影響到拉動時的接觸面積。

表 9 透過調整 [C] 接觸面積及 [D] 深度參數進行乾地優化靜摩擦係數之神經網路推算數據

次數	[C]	166.5	176.5	186.5	166.5	176.5	186.5	166.5	176.5	186.5
	[D]	0.3			0.4			0.5		
01		1.632	1.627	1.622	1.634	1.629	1.624	1.636	1.631	1.626
02		1.723	1.718	1.713	1.724	1.719	1.714	1.725	1.701	1.716
03		1.538	1.532	1.526	1.544	1.538	1.532	1.550	1.524	1.538
04		1.691	1.688	1.685	1.690	1.687	1.684	1.688	1.685	1.682
05		1.559	1.559	1.559	1.559	1.559	1.559	1.559	1.559	1.559
06		1.533	1.533	1.533	1.533	1.533	1.533	1.533	1.533	1.533
07		1.574	1.574	1.574	1.574	1.574	1.574	1.574	1.574	1.574
08		1.655	1.648	1.640	1.660	1.653	1.646	1.666	1.635	1.632
09		1.691	1.691	1.691	1.691	1.691	1.691	1.690	1.690	1.691
10		1.656	1.657	1.658	1.656	1.657	1.658	1.656	1.657	1.657
平均值		1.625	1.623	1.620	1.627	1.624	1.622	1.628	1.619	1.621
標準差		0.069	0.069	0.068	0.069	0.068	0.068	0.068	0.067	0.066

4-4 兩種方法對比與綜合分析

田口式穩健設計法和類神經網路在分析影響因素、優化參數以及預測靜摩擦係數方面各具特色，通過對比兩者的優缺點，能夠更全面理解此兩種方法在本研究中的作用和價值。

田口式穩健設計法的優點在於其基於直交表的實驗設計，能在較少的實驗次數下，有效的評估多個因素及其交互作用對結果的影響。在本研究中，通過 L18 直交表對六個參數進行實驗組合，大幅減少了實驗樣本數量，降低了實驗成本和時間。田口式穩健設計法利用信噪比和變異數分析，能夠獲致各因素對靜摩擦係數的影響程度，從而確定優化的參數組合。在乾式環境靜摩擦係數分析中，通過田口法計算信噪比，得出陰陽刻、排列、接觸點數量等因素對靜摩擦力影響較大，並確定了 A2/B1/C2/D1/E1/F3 的優化參數水準組合。然而，田口

式穩健設計法也存在一定的局限性，需依賴於實驗數據，對複雜的非線性關係處理能力較弱。在實際應用中，當影響因素之間存在複雜的非線性關係時，田口法可能無法準確地描述和預測靜摩擦係數的變化；另，田口式穩健設計法在參數微調方面相對不夠靈活，難以對參數進行更精細的調整以適應不同的應用場景。

類神經網路則具有強大的非線性建模能力，能夠自動學習輸入參數與靜摩擦係數之間複雜的非線性關係。在本研究中，通過對實驗數據的學習和訓練，類神經網路能夠準確地預測不同參數組合下的靜摩擦係數。類神經網路對資料的適應性強，能夠處理各種類型的數據，包括雜訊數據和不完整資料。在數據預處理過程中，即使數據存在一定的雜訊和缺失值，經過數據前置處理後，類神經網路依然能夠有效的學習和建模。類神經網路在參數調整方面相較於田口式穩健設計法具有較高的靈活性，可以通過調整網路結構和參數，適應不同的預測需求。透過增加或減少隱藏層節點數、調整學習率等參數，可以優化模型的性能。但是，類神經網路也存在一些缺點，它的模型型態猶如是一種黑盒模型，內部的學習和決策過程難以直觀理解，缺乏可解釋性。在實際應用中，這可能會給用戶帶來一定的困惑，難以明確模型的決策依據。類神經網路的訓練需要大量的數據和計算資源，訓練時間較長。

綜合兩者研究法，其結果可以發現，田口式穩健設計法在實驗設計和因素分析方面具有優勢，能夠快速確定影響靜摩擦係數的關鍵因素和優化參數組合。另，類神經網路在非線性建模和預測方面表現出色，能夠根據輸入參數準確預測靜摩擦係數。在實際應用中，可以將兩者研究法結合起來；首先利用田口式穩健設計法進行實驗設計、採集數據和因素分析等，確定主要影響因素和初步的優化參數組合。然後，將這些初步結果作為類神經網路的輸入，進一步訓練和優化模型，提高模型的預測準確性和泛化能力。在對某特定摩擦係數之防滑產品進行設計時，先通過田口式穩健設計法確定關鍵參數和優化組合，再利用類神經網路對不同使用場景下的靜摩擦係數進行預測，為產品的設計和改進提供更全面的支援。

第五章 結論與展望

5-1 研究總結

本研究整合田口式穩健設計法與類神經網路，對乾式靜摩擦係數進行了深入研究，取得了一系列初步成果。通過田口式穩健設計法的 L18 直交表實驗設計，系統地探究了陰陽刻、排列、接觸面積、深度、邊緣最近間距和接觸點數量等參數對乾式靜摩擦係數的影響。實驗結果表明，陰陽刻和接觸點數量是影響乾式靜摩擦係數的關鍵因素，這與預期相符，因為陰陽刻直接影響紋路與地面的接觸方式，而接觸點數量則決定了接觸面積和摩擦力的分佈。通過分析各參數的不同水準組合，確定了優化的參數組合，為防滑紋路的設計提供了具體的參考依據。

基於實驗數據，構建了多層感知器類神經網路模型，並通過多次訓練和優化，使其能夠準確地預測乾式靜摩擦係數。模型訓練結果顯示，經過多次反覆運算訓練，模型在訓練集和

測試集上的損失函數分別下降到了 0.05，準確率達到了 95% 以上。這表明模型具有良好的學習能力，能夠有效地根據輸入的參數預測乾式靜摩擦係數。通過對比模型預測結果與實際檢測結果，發現模型預測的乾式靜摩擦係數與實際值的平均誤差在 5% 以內，驗證了模型的準確性和可靠性。

將田口式穩健設計法與類神經網路相結合，發揮了兩者的優勢，提高了研究的效率和準確性。田口式穩健設計法通過合理的實驗設計，減少了實驗次數，降低了實驗成本，同時能夠全面考察各參數及其交互作用對乾式靜摩擦係數的影響。類神經網路則能夠對複雜的數據進行分析和建模，學習到參數與乾式靜摩擦係數之間的非線性關係，為預測提供了強大的工具。這種相互結合方法為防滑紋路的優化設計和靜摩擦係數的預測提供了一種創新的思路和方法，具有實務上的參考價值。

本研究結果對於防滑產品的設計和開發具有重要的參考指標性。在實際應用中，可以根據不同的使用環境和需求或法規之規範，參考本研究確定的優化參數組合，設計出具有最佳防滑性能的紋路。今以設計靜摩擦係數為 1.60 為需求為範例，在乾式地面防滑設計中，可以選擇陰刻、點狀排列、接觸面積為 176.5mm²、深度為 0.5mm、邊緣最近間距為 3mm 和接觸點數量為 3 的紋路組合，以提高地面的防滑性能。所開發的類神經網路模型可以作為預測工具，幫助設計師快速評估因應在不同靜摩擦係數所對應之優化參數組合下的防滑設計，提高產品的品質和安全性。

5-2 研究不足與展望

本研究在整合田口式穩健設計法與類神經網路對止滑紋路靜摩擦係數的預測方面取得了初步成果，但仍存在一些不足之處。樣本材料的選擇相對單一，僅採用了一種類橡膠材質進行實驗。在實際應用中，不同材質的表面特性和摩擦性能差異較大，如金屬、塑膠、木材等材質在不同環境下的靜摩擦係數表現各不相同。單一的樣本材料限制了研究結果的普適性，無法全面反映各種材質在防滑應用中的特點和規律。後續研究可以考慮增加樣本材料的種類，涵蓋更多不同特性的材料，再進行對比實驗，以獲得更具廣泛適用性的研究成果，為不同材質的防滑設計提供更全面的數據庫。

本研究在實驗環境僅類比了乾式環境，未考慮其他複雜的實際使用環境，諸如高溫、低溫、高濕度與油污等特殊環境，對靜摩擦力的影響。這些特殊環境因素可能會改變材料的表面性質和摩擦特性，從而影響防滑效果。在高溫環境下，材料可能會變軟，導致摩擦力發生變化；在油污環境中，表面的潤滑作用會顯著降低靜摩擦力。未來研究應拓展實驗環境的多樣性，類比各種實際使用場景，深入探究不同環境因素對靜摩擦係數的影響機制，為在複雜環境下的防滑設計提供更準確的依據。

雖然類神經網路模型在本研究中取得了初步的預測效果，但模型的泛化能力仍有待進一步提高。模型的訓練數據基於特定的實驗條件和參數範圍；但對於超出這些範圍的新數據，模型的預測準確性可能會下降。在實際應用中，可能會遇到各種不同參數組合和環境條件的

情況，模型需要具備更強的泛化能力才能準確預測靜摩擦係數。後續可以通過增加訓練數據的多樣性，包括不同的紋路參數組合、材料特性和環境條件等，藉以提高模型的泛化能力。

展望未來，相關研究可以朝著多因素綜合分析的方向發展。除了考慮紋路參數和環境因素外，還可以將材料的微觀結構、表面處理等因素納入研究範圍，全面深入探究這些因素對靜摩擦係數的影響。通過建立更複雜、更全面的模型，才能夠更準確地預測不同條件下的靜摩擦係數，為防滑設計提供更精確的設計支援。

誌謝

本研究承實踐大學專題研究計畫 (USC-112-05-01001) 經費補助，特此感謝。

參考文獻

1. Chang, Y. C., Liu, C. T., & Hung, W. L. (2009). Optimization of process parameters using weighted convex loss functions. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 752-763. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VCT-4S92TM1-3/2/cfecaca37dbdf6e40fca13bf073bb1af>
2. Giancoli, D. C. (2016). *Physics: Principles with applications* (7th ed.). Pearson.
3. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamentals of physics* (10th ed.). Wiley.
4. IBM Documentation. (2023, March 3). SPSS Statistics 29.0 神經網路分析用戶手冊 [Computer software manual]. <https://www.ibm.com/docs/zh-tw/spss-statistics/29.0.0?topic=networks-what-is-neural-network>
5. Owen, D. R. F., & Unsworth, A. (2005). A review of friction and slip at the human-floor interface. *Tribology International*, 38(3), 249-261.
6. Råde, L., & Westergren, A. (2015). *Mathematics for engineering and science* (6th ed.). Pearson.
7. Tzeng, Y., & Chen, F.-C. (2006). Multiobjective process optimisation for turning of tool steels. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*, 1(1), 76-93. <https://doi.org/10.1504/IJMMM.2006.010659>
8. 人工神经网络. (2023). In 維基百科，自由的百科全書. <https://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E4%BA%BA%E5%B7%A5%E7%A5%9E%E7%BB%8F%E7%BD%91%E7%BB%9C&oldid=76753129>
9. 光固化列印機 Form 3 低應力光固化成型技術—台灣天馬. (2023). <https://www.taiwantema.com.tw/form-3-3d.html>
10. 陳香伶, 呂立晨, 劉益萍, 傅麒錦, & 陳昱達. (2007). 應用類神經網路於國內開放式科技基金淨值預測之研究. *南亞學報* (27), 197-207. <https://doi.org/10.6989/JN.200712.0197>
11. 陳啟斌, 林進財, & 張哲維. (2000). 灰關聯應用於田口方法多重品質特性問題. *技術學刊*, 15(1), 25-33.
12. 陳嘉基. (1987). 台灣地區建築氣候之研究 ~ 建築用氣候分區及風氣象資料之整理 [國立成功大學]. 台南市. <https://hdl.handle.net/11296/2f3eau>
13. 塑膠中心首頁 | 財團法人塑膠工業技術發展中心. (2017). 塑膠中心首頁 | 財團法人塑膠工業技術發展中心. <https://www.pidc.org.tw/>
14. 衛生福利部國民健康署. (2016, 十二月 31). 衛生福利部國民健康署 (涵蓋範圍) [Text/html]. 衛生福利部國民健康署; 衛生福利部國民健康署. <https://www.hpa.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=807&pid=4327>