

應用模穴壓力感測器於塑膠射出成型之即時品質穩定性監測 Real-Time Surveillance of Quality Stability for Plastic Injection Molding Using Cavity Pressure Sensors

劉承穎^{1*}、黃臆名¹、郭宗勝¹、伍柏霖^{2*}、蔡忠勳²、林冠宇²、林宗彥²

¹ 工業技術研究院智慧微系統科技中心

² 富強鑫精密工業股份有限公司

*E-mail: bermuda@itri.org.tw

*E-mail: FCS3494@fcs.com.tw

摘要

近年來，由於模穴壓力感測器的高速發展與精確度的提升，利用感測器觀察塑膠射出於模穴內之壓力變化，已成為觀察射出成型過程之常見做法。然而，對於使用者而言，如何有效透過此壓力數據進行末端品質之判定，以減少人工判斷之失誤，便成為重要的需求之一。為了驗證模穴壓力與末端品質之關係，本研究於模穴之近遠澆口分別安裝壓力感測器，完整地蒐集模穴壓力數據，並依據射出成型之不同階段，提出一系列模穴壓力特徵值計算方式，進一步分析特徵值與末端品質之關聯性，找出能夠有效作為品質關鍵依據的特徵值。另外，為了達到動態且即時之品質穩定性監控，本研究亦建立一動態品質穩定性監控系統，該系統除了即時監控每一模次於射出成型過程所產生之特徵值，更能藉由過去穩定生產所紀錄之管制標準，即時針對每一個模次進行品質篩選，近一步達到動態品質穩定性監控之目的。在本論文的實驗中，證實了模穴感測器能夠有效提升品質辨識率，且若能正確地於近遠澆口安裝壓力感測器，更能有效提升良品之辨識度，達到即時品質穩定性監控之目的。

關鍵詞：模穴壓力感測器、成型品質、即時、自動辨識

Recently, due to the rapid development and high precision of sensor technology, the cavity the pressure sensor has been widely adopted in capturing production process for injection molding. However, how to effectively and automatically identify the quality of product via cavity pressure become one of the most important requirements for customers. To clarify this, this paper proposed several features and a series of experiments have been conducted to evaluate which of them are the most related key features to the final product quality. In addition, to verify if the proposed method can be applied in a real-time environment, the proposed method has been implemented in a practical field so that the precision can be quantified. The experiment shows the success of identifying defect products via the proposed features of cavity pressure sensors and the implemented system also satisfied the real-time constraint as well.

Keywords: Cavity pressure sensor, Quality, Real-Time, Automatically Identification

1. 問題描述

在射出成型過程，包括充填、保壓、儲料與冷卻等多個階段，每個射出階段皆有相應的製程參數進行控制。雖然製程參數可藉由模流軟體預先進行模擬，但模流軟體無法獲知即時的环境參數，包括室溫、濕度以及環境變異，如模具變異、機台老化變異以及塑料變異，且成型品質極易受環境變異的影響，因此模流軟體雖可協助模具設計以及初始化試射參數設定，但實務上，由於環境因素影響的不確定性，常導致模流軟體模擬的結果無法反映實際射出成型製程，造成量產品質不穩定，影響產業競爭力。

為解決成型品質受生產環境變異影響導致成型品質異常問題，傳統上主要仍以人力進行環境變異檢視、射出機台及周邊設備穩定性檢測、成型品質監測，然效果不佳，且大量依賴現場技術人員的歷史經驗，無法系統化、科學化累積。為解決這樣的困境，國際射出機大廠開始推出智能解決方案，協助客戶建立智能產線，但這些解決方案受限封閉式機台通訊協定往往只支援自家機台，而且感測資訊來源局限機台，無法真正反應模具內成型品質。因此本研究為解決成型產業目前遭遇問題，以感測融合與數據分析技術為基礎發展一套智能化動態品質穩定性監測系統，以模具感測數據進行即時生產品質監控，並採用外掛系統設計以滿足應用場域對不同射出機台的整合需求。

2. 方法對策

本研究主要透過模穴感測器之訊號，擬訂九項與產品品質關聯性較高之特徵值，進行即時生產品質監控。在本章節中，2.1 針對九項特徵值擬訂說明，2.2 測試設備介紹與模穴感測器埋設位置說明，最後 2.3 測試手法說明。

2.1 九項特徵值擬訂說明

近年來歐美國家已將壓力感測器廣泛應用在射出成型製程上，利用模穴內的壓力感測器偵測的壓力曲線進行成品品質預測，且有多項文獻指出模穴壓力可以反映成品品質與監測成品品質，因此本論文以模穴壓力感測器為成品品質的鑑定指標，透過感測器訊號可以取得模穴壓力曲線，模穴壓力曲線具有射出、保壓、冷卻與開模階段的訊息，如圖 1 所示。

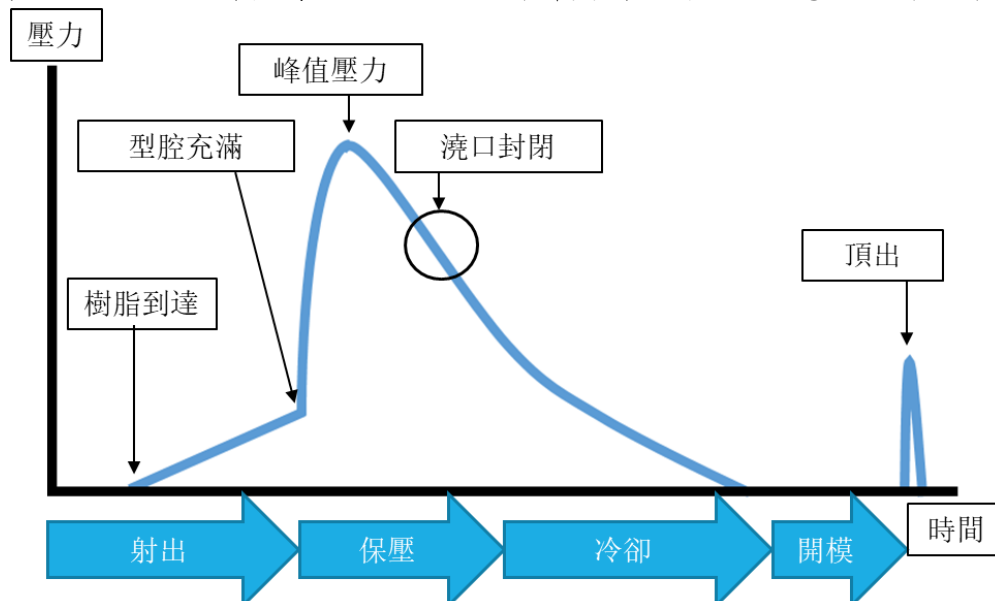


圖1 模穴壓力曲線

因此當環境變異、成型參數變動、機台老化變異以及塑料變異時，各階段模穴壓力曲線會隨著變動，故透過模穴壓力曲線與品質關聯性建立九項特徵值，作為即時生產品質監控，其九項特徵值說明如下：

1. **射出階段之積分值**：主要由射出速度決定，同時也受到材料黏性、模溫及料溫之影響，導致影響產品品質或外觀等問題。
2. **壓力最大值**：主要由保壓壓力決定，同時也受到射出速度、材料特性、模溫及料溫之影響，導致產品毛邊或縮水進而影響尺寸問題。
3. **壓力最大值之時間**：主要由V/P切換位置決定，同時也受到射出速度、材料特性、模溫及料溫之影響，導致產品毛邊或縮水進而影響尺寸問題。
4. **第一階段平均斜率**：主要由射出速度決定，同時也受到材料黏性、模溫及料溫之影響，導致影響產品品質或外觀等問題。
5. **第二階段平均斜率**：主要由保壓時間決定，當保壓時間不足可能導致模內壓力急遽下降，甚至發生熔膠逆流現象，進而影響第二階段平均斜率，成品易產生縮水之現象。
6. **開模瞬間壓力**：主要觀察是否過充填現象，一般結晶材料或正常充填時開模前壓力應當回歸到零，若未歸零表示產品過充填易產生毛邊。
7. **最大壓力差值**：主要由射出速度決定，同時也受到材料黏性、模溫及料溫之影響，導致影響產品品質或外觀等問題。
8. **近、遠澆壓力反應時間**：主要觀察材料黏度，受到射出速度、模溫之影響，導致產品毛邊或縮水進而影響尺寸問題。
9. **開模瞬間壓力差**：主要觀察是否收縮均勻，壓力差差異越小表示產品收縮均勻性佳，若差異太大可能導致產品翹曲、縮水或毛邊之現象。

2.2 測試設備介紹與模穴感測器埋設位置說明

本論文研究測試機台為 AH-200 噸射出機，如圖 2 所示，載具為一模 16 穴家族模具，成品為長毛象組合玩具，如圖 3 所示，並在產品近澆口位置與遠澆口位置埋設模穴壓力感測器，模穴壓力感測器如圖 4 所示，進行收集模穴壓力訊號，以提供九項特徵值進行生產品質即時監控，埋設位置如圖 5 所示。



圖2 AH-200噸射出機



圖3 長毛象模具



圖4 模穴壓力感測器

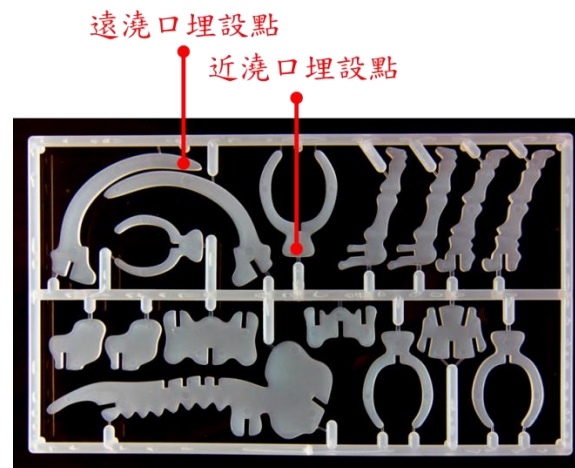


圖5 長毛象模具埋設模穴壓力感測器位置

2.3 測試手法說明

本論文研究為驗證九項特徵值於量產階段之系統執行可行性，故進行試模階段找出最佳成型參數，在進行 125 模次連續量產，並量測重量與系統進行比對，為觀察系統穩健性效能，後續規劃兩種干擾實驗各進行 15 模次測試，第一種為射出速度調降，模擬成品縮水，第二種為保壓壓力提升，模擬成品產生毛邊，觀察成品發生不良時，確認系統判斷是否正確。

3. 問題解決

在本論文中，為即時觀察成型特徵值與品質之關聯，並驗證導入場域之可行性，我們自行開發出一品質虛擬檢測系統，藉由安裝於模穴內之壓力感測器，蒐集模穴內成型過程所導致的壓力變化，並計算九項特徵值，即時監控是否落於管制範圍內。在本章節中，3.1 描述了系統、硬體架構與場域的布置方式，3.2 針對系統的功能進行介紹，最後，於 3.3 測試結果說明本系統於實際場域使用之範例與成效。

3.1 系統與硬體架構

本系統之主要系統架構如圖 6，於射出機端除了安裝模穴壓力感測器之外，為了準確判定開關模之時機，系統必須取得開關模之訊號，並記錄每一個模次完整射出成型過程中，模穴壓力隨時間之變化。其中，模穴壓力之訊號會藉由放大器先轉為數位輸出，最後透過資料擷取模組進行擷取，如此，系統便能夠同時取得開關模之時間點，模穴壓力之變化，進行特徵值之即時運算，並詳細記錄每一個模次之成型過程於系統中。

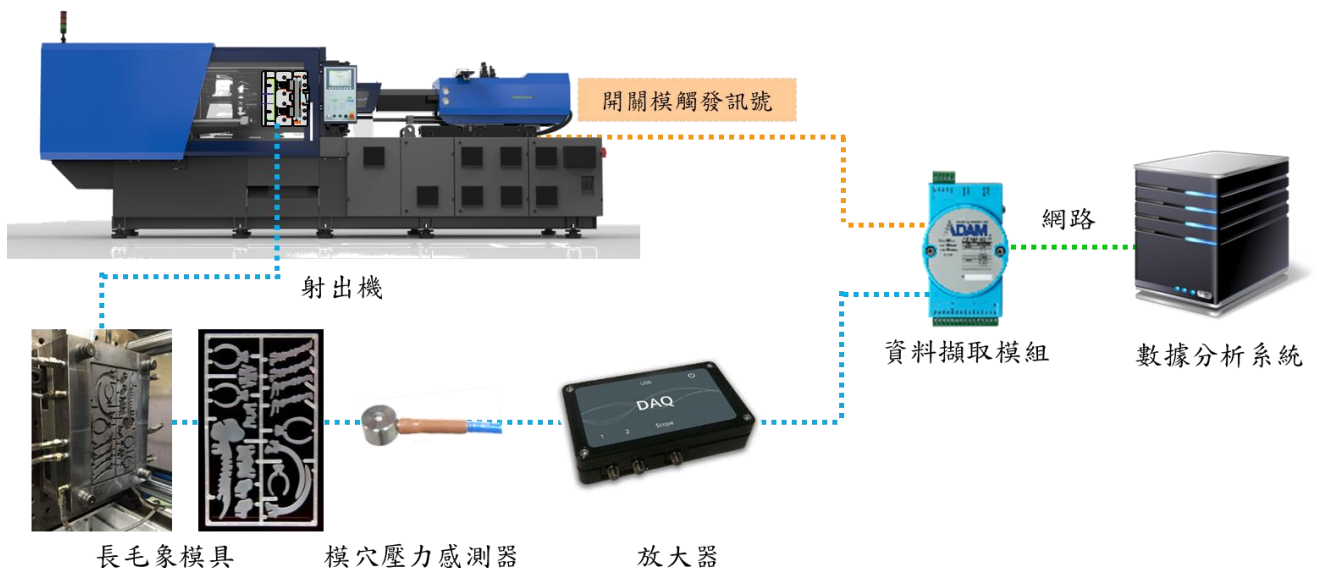


圖6 系統架構圖

於實際場域中，我們根據圖 6 之方式進行布建，實際布建成果如圖 7，由模具感測器將訊號傳遞至放大器後匯至資料擷取模組。其中，繼電器連接射出機開關模狀態之點位，以利於判斷各模次之起始與結束。值得注意的是，由於感測器可能於實際場域之不同而有不同之解碼方式，故必須先藉由放大器處理來自模穴壓力感測器之訊號，方能透過資料擷取模組進行蒐集。



圖7 場域布建圖

3.2 系統功能

為了使場域實驗中能夠即時顯示成型過程中模穴壓力感測器之變化，我們開發了一套使用者介面，如圖8、圖9，其中圖8中可見兩個模穴壓力感測曲線，壓力峰值較高者，為近澆口之模穴壓力感測器曲線，較低者則為遠澆口之模穴壓力感測器曲線。此外，在每個模次成型完成之後，會自動計算相對應之特徵值，並繪製於管制圖中，如圖9，可見每個管制圖中，皆有上下管制界限，當特徵值坐落於管制區間內，則表示此模次為良品，反之，若特徵值脫離管制界限外，則表示此模次之特徵值與過去坐落範圍有異，意即不良品產生。

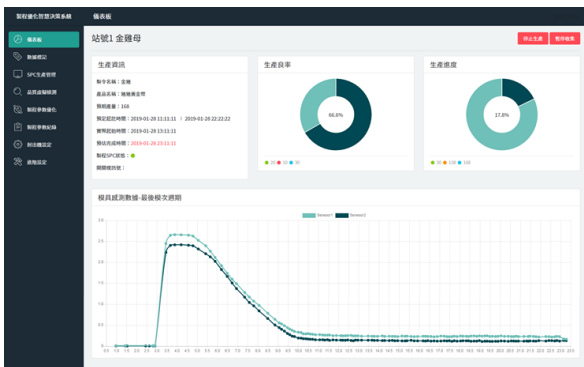


圖8 模穴壓力感測器曲線圖

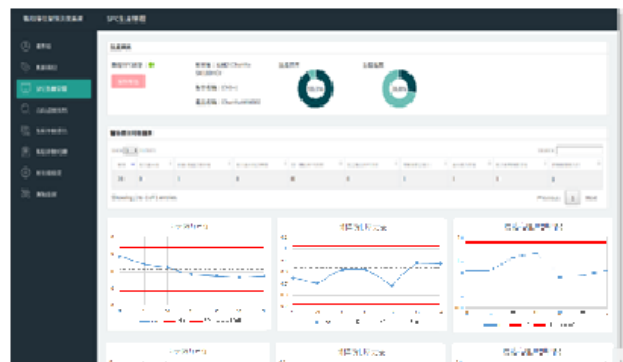


圖9 特徵值管制界限警示圖

3.3 測試結果

本系統共制定九項特徵值，並即時顯示計算結果與適用者介面上，圖10即為系統九項特徵值之畫面，系統中以紅色點表示該模次之特徵值異常。首先，試模完成後找出最佳成型參數，並進行125模次量產測試，當系統自動計算與判斷該模次九項特徵值其中一項未落在管

制界限範圍內時，系統亦會自動將該模次集中顯示於警告模次特徵值表，如圖 11 所示。測試結果顯示，第 31、99 與 124 模次九項特徵值未全落在管制界限範圍內，第 31 模次射出+壓縮之壓力積分值與壓力最大値之時間皆高於管制界限，其九項特徵值管制圖如圖 10 所示，第 99、124 模次開模瞬間壓力差皆高於管制界限，其九項特徵值管制圖如圖 12、13 所示，表示該 3 個模次暫時判定為疑似不良品。

故進行 125 模次成品重量數據比對，如圖 14 所示，比對結果第 31、99 與 124 模次成品重量符合管制界線內，表示第 31、99 與 124 模次成型過程中受到環境些微干擾，促使模穴壓力感測器訊號回饋至九項特徵值計算，初步判斷為疑似不良品，但成型條件具足穩健性，故最終結果成品重量符合允收範圍內。

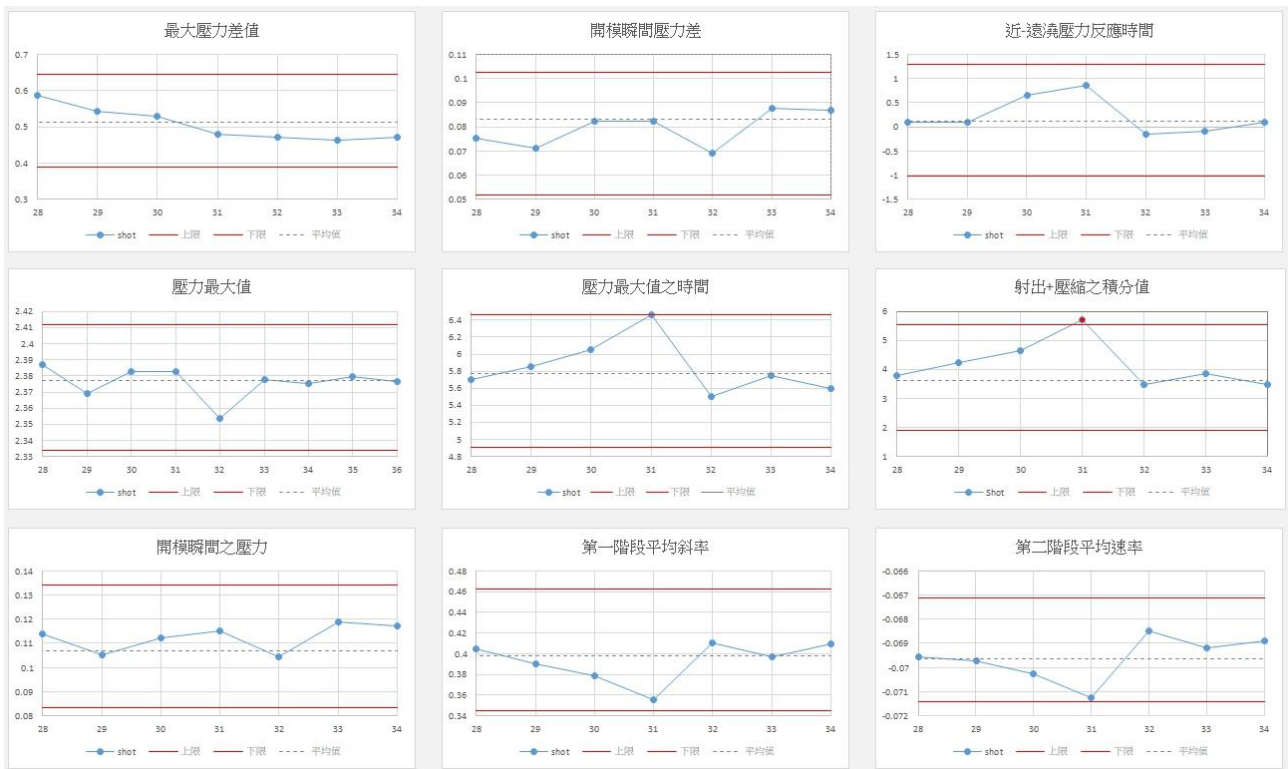


圖10 特徵值管制圖(第30模次特徵值管制圖)

警告模次特徵值表									
模次	壓力最大値	射出+壓縮之積分値	壓力最大値之時間	第一階段平均斜率	第二階段平均速率	開模瞬間之壓力	最大壓力差值	壓力反應時間差值	開模瞬間壓力差
124	O	O	O	O	O	O	O	O	X
99	O	O	O	O	O	O	O	O	X
31	O	X	X	O	O	O	O	O	O

Showing 36 to 38 of 38 entries

Previous 1 ... 4 5 6 7 8 Next

圖11 警告模次特徵值表

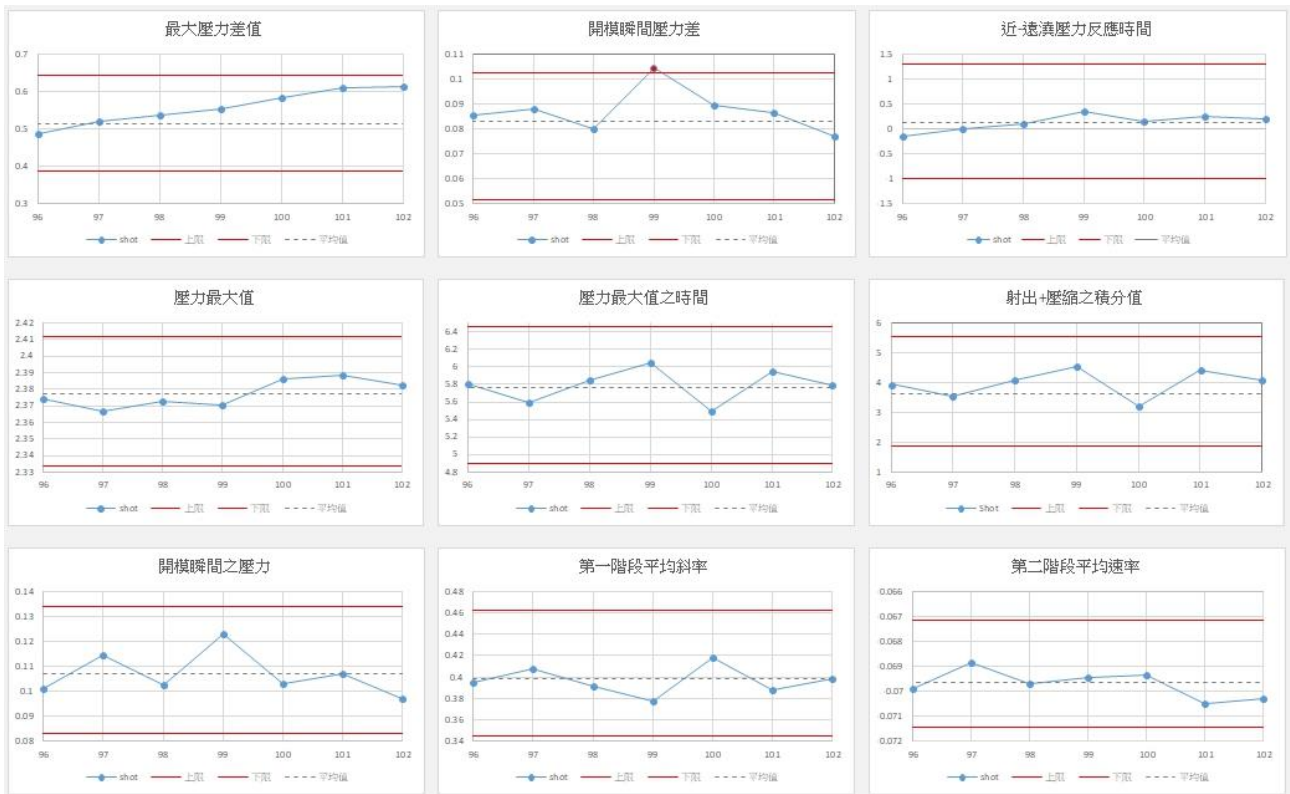


圖12 第99模次特徵值管制圖

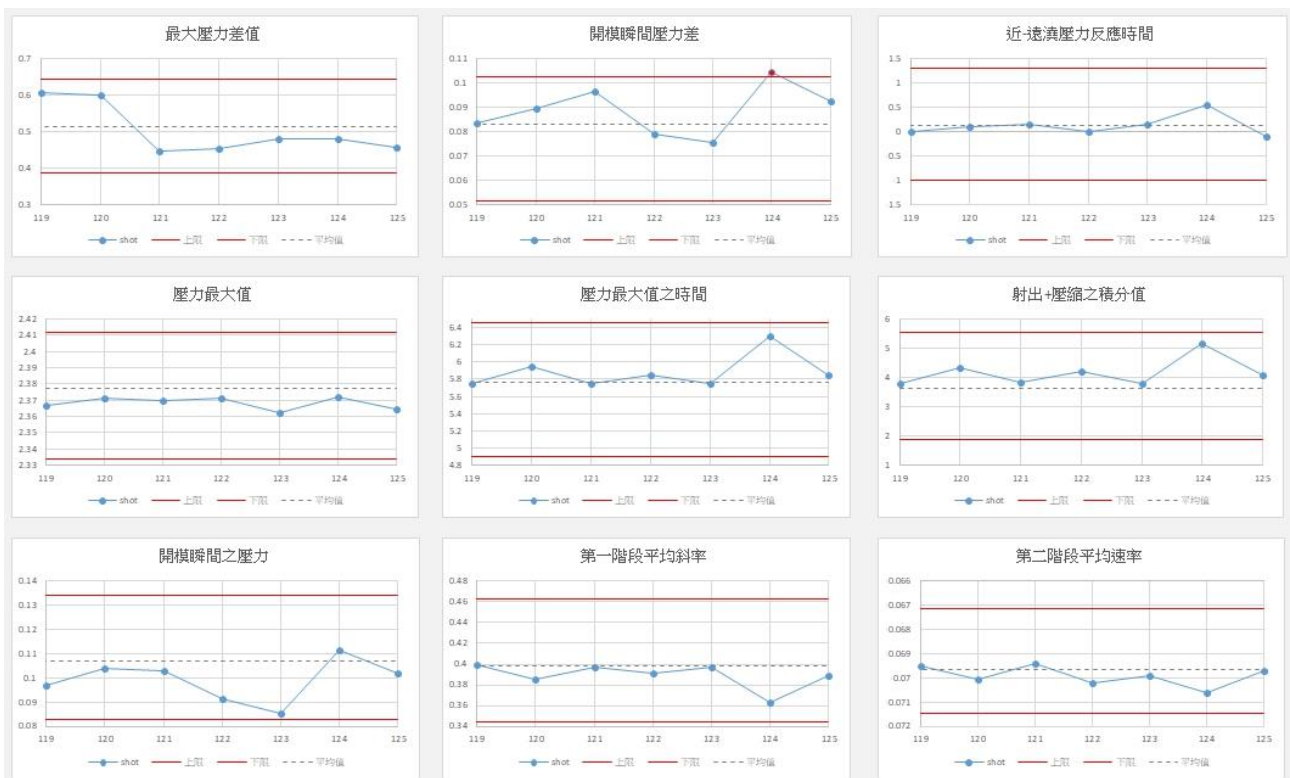


圖13 第124模次特徵值管制圖

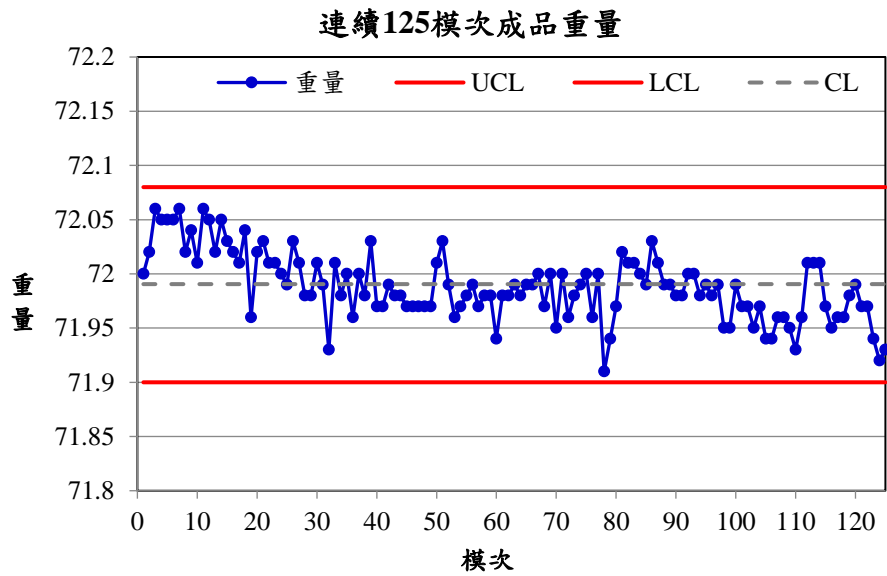


圖14 連續125模次成品重量

本論文研究為觀察系統穩健性效能，於 125 模次後持續進行兩種干擾實驗，各進行 15 模次測試，第一種為射出速度調降，模擬成品縮水，第二種為保壓壓力提升，模擬成品產生毛邊，其測試如下：

1. 第一種為射出速度調降，模擬成品縮水，於126~140模次，將原本射出速度由180 mm/sec 調降90 mm/sec，成品也從滿模狀態產生縮水與短射之現象，如圖15所示，系統自動計算與判斷該126~140模次九項特徵值已過半項目未落在管制界限範圍內，如圖16所示，並集中顯示於警告模次特徵值表，如圖17所示，最後與重量相較，如圖18所示，126~140模次都已證實為不良品。

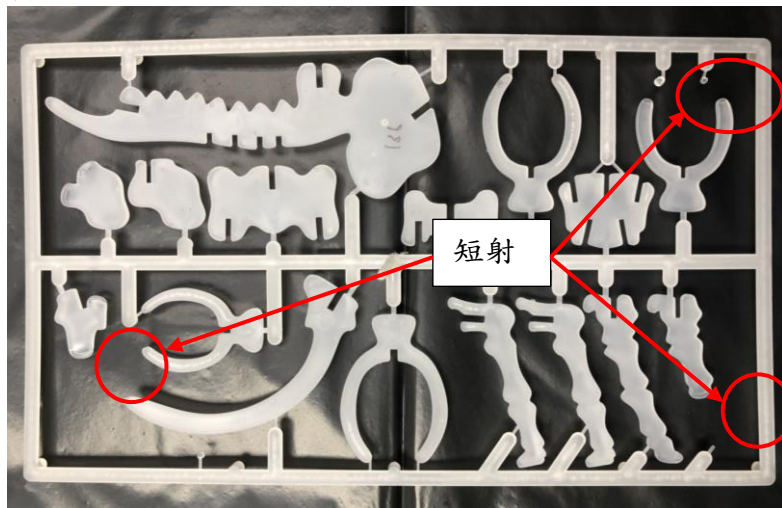


圖15 產品短射現象

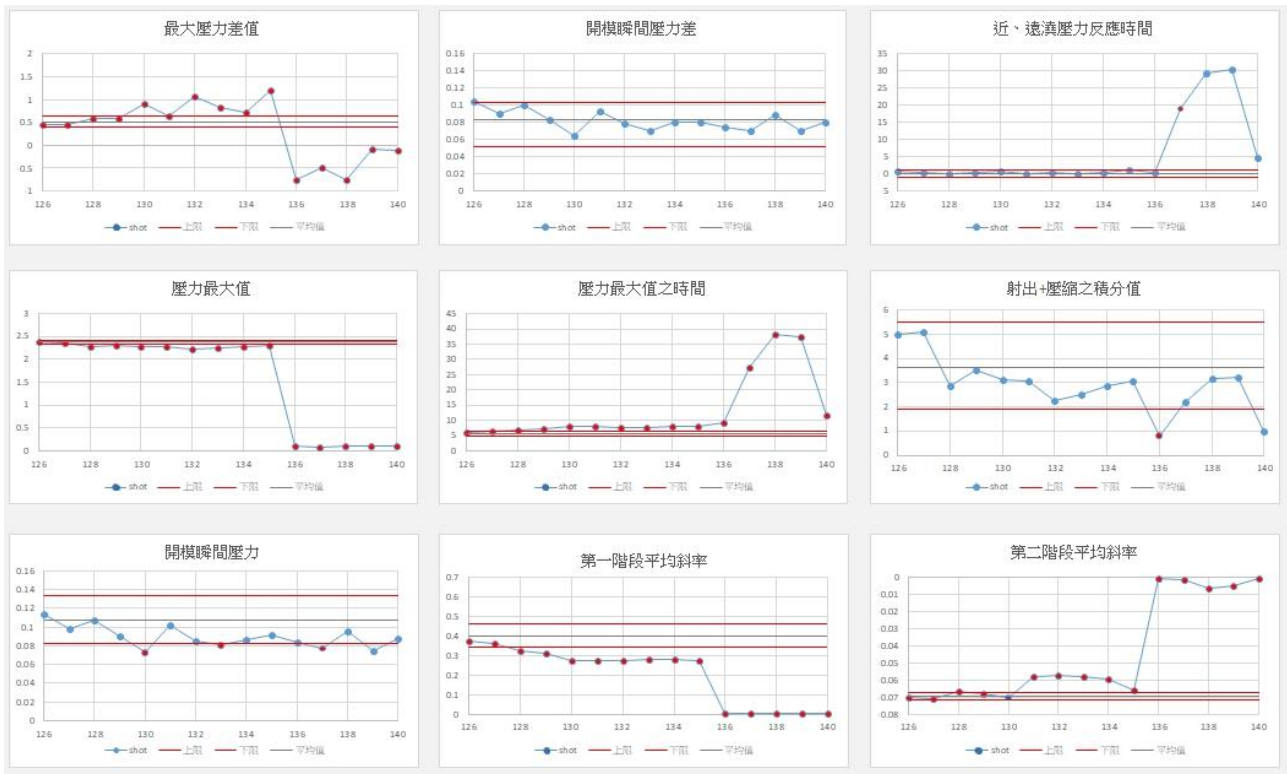


圖16 第126~140模特徵值管制圖

警告模次特徵值表

模次	壓力最大值	射出+壓縮之積分值	壓力最大值之時間	第一階段平均斜率	第二階段平均斜率	開模瞬間壓力	最大壓力差值	壓力反應時間差值	開模瞬間壓力差
145	X	X	X	X	X	X	X	X	0
144	X	X	X	X	X	0	X	0	0
143	X	X	X	X	X	0	X	0	0
142	X	0	X	X	X	0	X	0	0
141	X	0	X	X	X	0	X	0	0
140	X	X	X	X	X	0	X	X	0
139	X	0	X	X	X	X	X	X	0
138	X	0	X	X	X	0	X	X	0
137	X	0	X	X	X	X	X	X	0
136	X	X	X	X	X	0	X	0	0
135	X	0	X	X	X	0	X	0	0
134	X	0	X	X	X	0	X	0	0
133	X	0	X	X	X	X	X	0	0
132	X	0	X	X	X	0	X	0	0
131	X	0	X	X	X	0	X	0	0
130	X	0	X	X	0	X	X	0	0
129	X	0	X	X	0	0	0	0	0
128	X	0	X	X	X	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0	0	0	X

圖17 126~140模次警告模次特徵值表

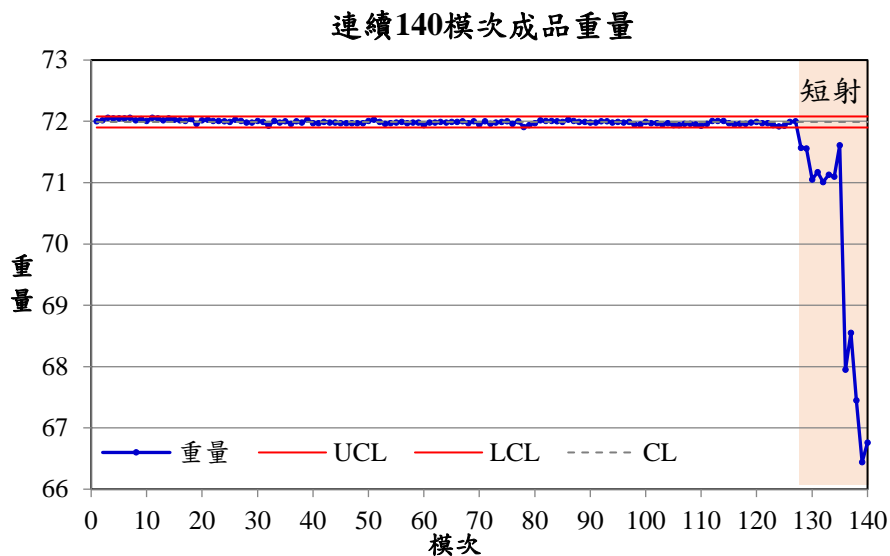


圖18 連續140模次成品重量

2. 第二種為保壓壓力提升，模擬成品產生毛邊，先於141~145模次恢復正常參數，於146~160模次，將原本保壓壓力由25 Bar 調升 35 Bar，成品也從滿模狀態產生嚴重毛邊現象，如圖18所示，系統自動計算與判斷該146~160模次九項特徵值已過半項目未落在管制界限範圍內，如圖19所示，並集中顯示於警告模次特徵值表，如圖20所示，最後與重量相較，如圖21所示，146~160模次都已證實為不良品。



圖18 產品毛邊現象



圖19 第146~160模特徵值管制圖

模次	壓力最大値	射出+壓縮之積分値	壓力最大値之時間	第一階段平均斜率	第二階段平均斜率	近澆澆壓力反應時間	遠澆澆壓力反應時間	開模瞬間壓力	開模瞬間壓力差
161	○	○	○	○	○	○	○	○	○
160	○	○	○	○	○	○	○	○	○
159	○	○	○	○	○	○	○	○	○
158	○	○	○	○	○	○	○	○	○
157	×	×	×	×	×	○	×	○	×
156	×	×	×	×	×	○	○	○	×
155	×	×	×	×	×	○	○	○	×
154	×	×	×	×	×	○	○	○	×
153	×	×	×	×	○	×	○	○	×
152	×	×	×	×	×	○	○	○	×
151	×	×	×	×	○	×	○	○	×
150	×	×	×	×	×	×	○	○	×
149	○	○	○	○	○	○	○	○	○
148	○	○	○	○	○	○	○	○	○
147	×	○	×	×	○	○	×	○	○
146	×	○	×	×	○	○	×	○	○
145	×	×	×	×	×	×	×	○	○
144	×	×	×	×	×	○	×	○	○
143	×	×	×	×	×	○	×	○	○

圖20 146~160模次警告模次特徵值表

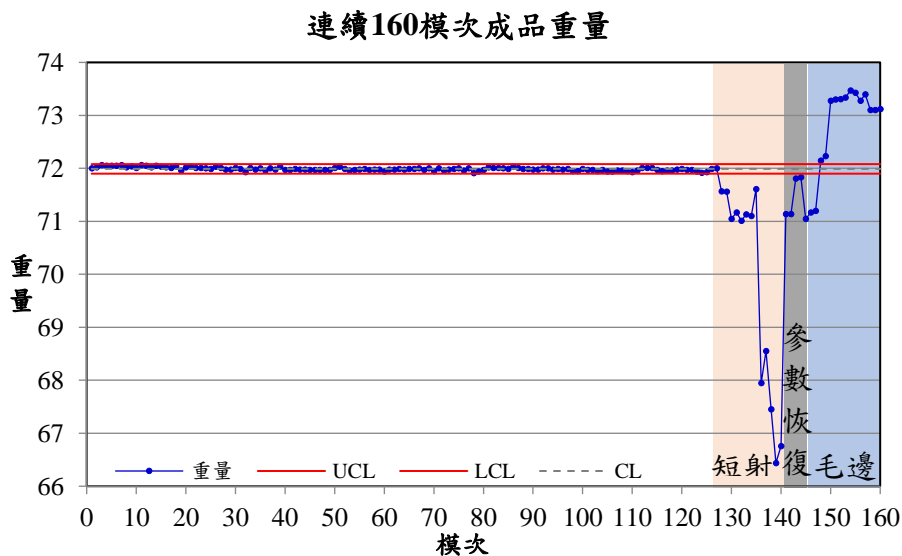


圖21 連續160模次成品重量

本論文測試結果顯示，連續 125 模次穩定的量產情況下，仍有 3 個模次成型過程中受到環境些微干擾，促使模穴壓力感測器訊號回饋至九項特徵值計算，初步判斷為疑似不良品，但成型條件具足穩健性，故最終結果成品重量符合允收範圍內，後續要使判斷更加精確，未來於特徵值需再研擬，更能提升本系統之判斷能力。

另為確保系統可行性，故本研究進行兩種干擾實驗，各進行 15 模次測試，第一種為射出速度調降，模擬成品縮水，第二種為保壓壓力提升，模擬成品產生毛邊，測試結果均被系統正確判對為不良品，符合本次測試預期效果，即表示系統具足品質辨識率，未來可減少人員花費時間進行產品全檢，有效降低客戶人工成本。

4. 產業應用

本論文的實驗中，證實了採用外掛式數據分析系統應用場域對不同射出機台的整合需求，透過近、遠澆口壓力感測數據能夠有效提升品質辨識率，達到即時品質穩定性監控之目的。由於現況傳統射出成型廠面臨在實際量產時隨著環境、塑料變異、機台磨耗老化等因素影響導致品質變異，許多客戶需耗費大量時間與人力進行品檢，避免不良品外流，因此透過本研究外掛式數據分析系統，可有效協助客戶即時針對每一個模次進行品質篩選，大幅降低人力品檢成本。

本研究外掛式數據分析系統適用於各項產業，可適用於食品包裝、汽機車零配件、家庭塑膠用品產業或精密 3C、醫療等高科技產業，且此系統不受限任何廠牌射出機，故應用範圍更為廣泛，此系統除了銷售於台灣本島市場，未來更可擴及中國大陸、印度、俄羅斯、東南亞或中南美洲等市場。

5. 誌謝

承蒙富強鑫公司的支持，以及高雄應用科技大學模具系提供長毛象測試載具、FUTABA 公司提供模穴感測器、晏邦公司提供模溫機與信易公司提供烘料機使本案例得以順利解決，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. 歐陽涓城，射出成型模具手冊，全華圖書，1991。
2. 有坊廣洋與歐陽涓城，射出成型的不良對策，台北，全華圖書，2007。
3. 賴耿陽，塑膠大全，台南市，台灣復文興業股份有限公司，2005。
4. 羅壬成，模流分析與射出成型控制參數的優化，碩士論文，國立交通大學，新竹，2006。