

# 運用田口方法於迴轉成型塑膠發泡製程最佳化設計

邱創鈞<sup>1\*</sup> 莊禮帆<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大葉大學工業工程與科技管理系 副教授

<sup>2</sup>大葉大學工業工程與科技管理系 研究生

## 摘要

本研究應用田口式實驗設計法，探討迴轉成型塑膠發泡製程參數之最佳化問題，以改善發泡成型產品之品質。實驗採單軸雙模的實驗方式，同時進行兩組不同模具(M4與M8)與發泡劑(ADCA與CELOGEN OT)的實驗，如此不僅可以降低實驗成本，也可以縮短實驗所耗費時間。經特性要因分析後，成型參數包括轉速、溫度以及時間，除搖臂轉速具二水準，其餘特性為三水準。選擇的加工特性有八種包括：搖臂轉速、第一段加熱溫度、第一段加熱時間、第二段加熱溫度、第二段加熱時間、靜置冷時間、風冷時間、水冷時間。利用 $L_{18}(2^13^7)$ 直交表，配合S/N比值及變異數分析(ANOVA)理論進行分析，以訂出迴轉成型塑膠發泡製程參數之最佳水準。

**關鍵字：**塑膠迴轉成型法、製程參數、田口品質工程、實驗設計。

---

\*聯繫作者: 51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號，大葉大學工業工程與科技管理學系所  
Tel: +886-4-8511888# 2239  
Fax: +886-4-8511270  
Email: [cjchiou@mail.dyu.edu.tw](mailto:cjchiou@mail.dyu.edu.tw)



## 壹、研究動機與目的

影響塑膠迴轉發泡成型品質的因素很多，一般僅憑藉製造工程師所累積的經驗來進行參數調整，目前並無一套有系統的解決方法。而新一代的迴轉成型機於製造時模具須不斷於外部加熱，如果溫度及時間等製程參數控制不當，將易造成模內溫度及壓力過大，不僅影響發泡產品品質，甚至有可能導致模具爆開之工安傷害事件發生。

有鑒於此，本研究探討使用兩種不同發泡倍率之添加發泡劑，調整設定發泡成型的製程參數，並運用田口式實驗設計方法分析，尋找成型的顯著影響因子，進而求得到最佳化製程參數設計。本研究採用單軸雙模之實驗設計方法，在雜訊因子影響最小的情況之下，解決發泡成型時不穩定、發泡不足、品質不良等問題，以達到降低成本、提高產品的品質等貢獻。

目前在塑膠成型製造方法中，利用迴轉成型進行高倍率發泡劑之加工參數設定之研究並不多見，其中不同添加發泡劑之效應也差異很大。發泡的膨脹倍率亦為製造加工品質的重要指標，為为了提高發泡倍率並降低發泡劑的使用量，需要尋找有效率的製程要因以改善爐式迴轉成型機之製程。因此，本研究同時進行Celogen OT發泡劑(5倍發泡倍率)與ADCA發泡劑(30倍發泡倍率)兩種發泡劑產品的實驗，有別於傳統的實驗方式，係採用單軸雙模的生產方式下進行實驗設計。以改善傳統田口實驗設計單一樣品的實驗步驟，可於同一個實驗製作中，同時實驗兩組不同發泡劑之樣品。且使用直交設計進行實驗設計與統計分析，可有效加速實驗的製作，降低實驗時所耗費的成本。在ANOVA變異數分析階段，同時進行兩項物品單一品質特性之雜訊比較，以增加實驗之客觀性與對比性。

## 貳、文獻回顧

本研究主要探討塑膠迴轉成型的發泡製程參數之最佳化，本節針對有關迴轉成型法、田口品質工程實驗設計法等相關背景與研究進行討論。

### 一、迴轉成型法

迴轉成型法 (rotational molding) 是高分子材料製程的一種，此製程主要是將形狀尺寸較大的高分子元件，粉碎研磨成細小的高分子粉末 (公製篩 #20~#80, 0.1 mm~0.2 mm) 加熱使其融化後，覆著於迴轉模具表面以成型。賴成志[1]以線性低密度聚乙烯(L.L.D.PE)粉末為材料進行旋轉成型最佳製程之研究，實驗設計以田口式實驗設計法，採用L<sub>16</sub>直交表，五個控制因子為加熱溫度、加熱時間粉末尺寸、冷卻方式、模具材料、各有四個水準。針對各因子機械性質與物件特性的影響進行分析。該研究探討迴轉成型製程中的多品質特性，但未定出最佳的品質條件設計。且該研究採用開放式傳統迴轉成型機，製程本身的干擾因素相當大，較無法保持控制穩定度，本研究則採新型爐式迴轉成型機。楊景雄[2]針對塑膠粒迴轉成型發泡進行泡體顯微觀察及計量、結晶度、及裂解程度檢驗，以瞭解發泡程度和泡體的孔徑大小、分佈狀況、及塑料成型、老化、裂解對發泡塑膠性質的影響。蔡佳勳[3]研究結果顯示，增加發泡劑 (blowing agent) 使用量，成品厚度增加、對翹曲現象有明顯的改善，但內表面平滑度較不平滑、拉伸、衝擊強度下降、在相同冷卻速度下收縮率增加。增加冷卻速度時，收縮率下降、成品厚度增加，但翹曲現象變嚴重。若加工轉速增加，則可使內表面平滑度較平滑。由泡體顯微觀察得知，泡體易沿成品厚度方向，呈現泡徑不一的缺陷。

而本研究乃採用較穩定的新一代生產成型設備，採用封閉式環境控制生產方式，影響成型的



雜訊因素可降低改善，且針對其模具受熱的情形與粉末架橋原理進行分析，在不同的溫度與時間因素下對成型品質所造成的影響。

## 二、田口實驗方法

田口方法為一種有系統的品質實驗設計方法，目前已經廣為工程品質改善使用。其重點在於產品或製程設計時就考慮到可能發生的品質問題，利用損失成本做為衡量產品品質的依據，即可依成本效益的觀念，找出最佳的管理水準組合，這與傳統的實驗設計依據統計原理也有很大的不同。而田口式實驗方法的主要兩個工具為使用直交表與S/N比。楊健明[4]指出：「田口玄一所提出之品質工程的理念和方法，是將品質改善之重點由製造階段向前提升到設計階段，其目的是在產品和其對應之製程內建立品質」。田口方法不僅可以提昇產品品質，同時也是降低成本之有效方法。而使用直交表的目的，就是為了減少實驗次數，將各個影響因素及水準以直交排列方式組合，由於任一因素組合均有相同出現次數，故受到其它因素的影響會被抵銷掉，因此它的特性是平衡對稱。Ozcelik et al. [5]利用ANOVA分析對塑膠射出成型的參數，進行多品質特性的最佳化參數設計，並利用基因演算法微調最佳化參數。

S/N比(signal to noise ratio)訊號雜訊比，原被用在通信及傳真評估系統上。田口將它應用在實驗計畫的數據分析以及要因推論上。兩個主要變數分別是--回應值的變動(變異數)，與平均回應至目標接近的程度(平均值)，其主要是可分析產品機能對雜訊因子的靈敏度，導致功能品質特性偏離目標值。Zhang et al. [6]指出一般所進行的實驗大多是部份要因實驗，而直交表在達成可加性過程中扮演者一個很重要的角色，並提供一個檢定的方法，主要是比較交互作用與主效果之間差距是否太大。典型的一次只對一個因子作實驗的最佳

化研究，是無法決定交互作用跟主效果比的相對關係；田口認為用直交表進行實驗的主要理由，就是因為有能力來偵測有無交互作用。

陳信華[7]利用田口式動態訊雜比進行表面聲波氣體感測器之穩健設計，其中指出在不同的參數水準組合下，產品之品質特性的平均值及變異均不相同。該研究藉由參數設計 (parameter design)，可以找到一組最佳的參數水準組合，使得平均值與目標值一致，且變異為最小。在此階段，主要是要找出最佳化「系統設計」，利用實驗以確定控制因子水準的組合，使系統對雜音因子的敏感度為最低，而提升系統的穩健性。其手法是將品質特性 (quality characteristic) 轉成信號雜音比 (S/N)，再利用S/N 比的特性，找到變異數小而品質特性平均值佳的設計。而所謂的S/N比為損失函數裡所衍生出的觀念。

蘇朝墩[8]提到田口玄一(Genichi Taguchi)發展出透過實驗進行系統參數最佳化設計的方法，其主要基本理念是找出製程的因子 (factors) 與變動水準 (level)，透過實驗方法，求得適當的因子、水準組合，使其品質損失最低，進而使產品之品質提升，且田口理論具有強健性，故田口理論廣泛地被使用各種製程中。直交表 (orthogonal array, OA) 是田口方法用來設計實驗的基礎，主要量測為因子效應及變異。在直交表每一行內，每一水準出現次數均相同。應用直交表分析資料的好處是每一可控因子之主效果可以獨立且均衡的求出。S/N 比是 n 個實驗數據所濃縮成的一個“統計量”，這個統計量即代表了產品的變異，其與損失函數兩者關係密切且均為衡量製程與品質水準的客觀指標。也就是具有品質損失的意義，S/N 比越大則代表品質損失越小。

## 參、實驗設計

### 一、實驗流程，材料與設備



迴轉成型流程主要分成(1) 模具設計與製作；(2) 粉末準備與添加混合；(3) 填裝粉末；(4) 旋轉與加熱；(5) 冷卻；(6) 尺寸量測等六個步驟，如圖1所示[1]。

本研究使用的材料與設備與業界普遍使用的均相似，較大不同之處則為促使產品發泡的發泡添加劑。實驗塑膠材料乃使用日本三井樹脂株式會社所生產的L.L.D.PE線性低密度聚乙烯。原料是流動性4~5的線性低密度聚乙烯，原料購入實原本是顆粒狀，於迴轉成型生產之前必須先將粒狀的原料粒研磨至#20~#80粉末狀，使得單位質量減輕，投入迴轉成型模具內時，不僅能使旋轉中的粉末快速熔融並且貼附在模具內層更可快速成型。發泡劑則以粉末與粒狀兩種材料使用進行，分開使用不同模具，低倍率ADCA發泡劑用於M4；低倍率發泡劑Celogen OT用於M8，發泡劑外觀如圖2所示。利用一樣的成形條件設定，於加熱爐內進行高溫分解發泡劑產生的發泡壓來成形。

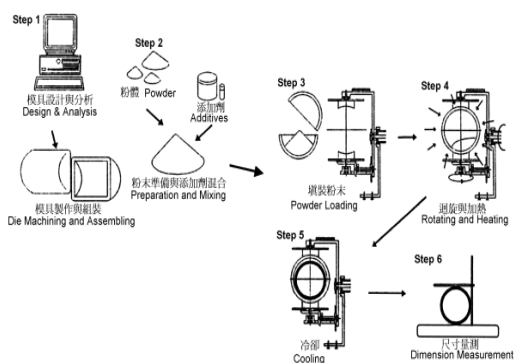


圖 1 迴轉成型流程圖



圖 2a ADCA 高倍率粒狀發泡劑



圖 2b Celogen OT 發泡劑

迴轉成形常見的兩種模具設計，分別是單層模體與雙層模體。模具的製作與實驗配合事項分別說明如下：M4模具為具有內、外模之模具，設計用於生產ADCA粒狀發泡劑，因為ADCA發泡劑必須於固定夾層空間內方可進行架橋成型作用。M4模具如圖3a所示，為了使M4模具於成型的過程當中，內模較深處可以均勻受熱，故在模具外面架設一組吹風管，吹風管在距離模具上方10公分處帶動周圍熱風並往內層送，以確保雙層的模具內層仍然可以穩定受熱。M4模具底部設有3個直徑6mm寬之通氣孔，此孔穴是於生產時安裝PFA管，功能是将發泡時產生的氣體順利排出。Celogen OT發泡劑所使用的M8模具，形體基本上是採封閉式圓桶形狀為主，M8模具形狀所如圖3b示。基本外型類似圓型浮桶狀，模具設計時於底部開設有3個直徑各為6mm寬之通氣孔，目的用以排放塑膠發泡時因化學反應所產生的氣體，以適時排放調節發泡作用產生的氣體，避免氣體無法排出造成模內壓力過大。

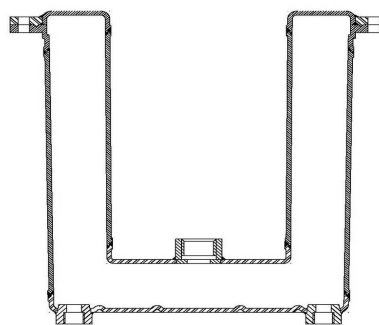


圖 3a M4 模具圖



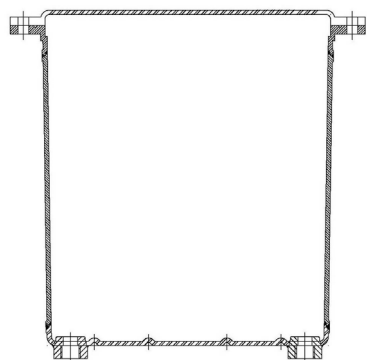


圖 3b M8 模具圖

迴轉成型機為實驗製作主要的設備，本研究採用美國 Frey Co., LTD 公司生產之爐式雙平台 I 軸成型機。式 Frey 爐式 (OVEN) 雙軸迴轉成型機如圖 4 所示。此成型機特點是採用天然氣瓦斯燃燒方式，加熱外部溫度較低的空氣方式，並將高達 200~300°C 的熱空氣送入成型爐內。生產加熱所消耗的 CO<sub>2</sub> 比傳統的內燃機加熱方式較低，也相對比較環保，熱氣可保持在成型爐內減少能源的損耗。全機參數設定採 PLC 電腦控制系統，各個工作點導入微電腦多點溫控微調系統，以有效節省能源並提高製作時的效率大幅降低工作站作業人數。



圖 4 Frey 爐式 (OVEN) 雙軸迴轉成型機

## 二、實驗因子

參考經驗較為豐富的現場主管意見選定八項實驗因子。除搖臂轉速採用二水準外，其餘參數設計時採用高、中、低三水準原則進行設計，參數設計如表 1。實驗共有 8 個控制的因子 (A~H)，本

研究採用  $L_{18}(2^1 3^7)$  的直交表，依據標準直交表的設計來進行實驗的安排，使每一個因子的實驗次數相同。 $L_{18}(2^1 3^7)$  共有 7 個分別為 3 個水準的因子，而  $2^1$  為一個因子僅具有 2 個水準的因子設計。本實驗一共進行 18 個不同參數組合的實驗，每一個實驗重複製作 3 個成品，因此本實驗會生產共 54 個實驗品，分別取其觀測值加以紀錄分析。本實驗以脫模後進行產品不同部位之發泡厚度數值量測。目前該產業尚無利用實驗方法以改善品質，因此本方法可謂該產業之先驅型試驗。

表一 實驗水準/參數設定表

ITEM	內容	單位	實驗參數設定		
			水準一	水準二	水準三
A	搖臂轉速	RPM	9	3	--
B	第一段加熱溫度	°C	300	250	200
C	第一段加熱時間	分	8	10	14
D	第二段加熱溫度	°C	260	230	200
E	第二段加熱時間	分	8	11	15
F	靜置冷時間	分	8	10	12
G	風冷時間	分	10	12	8
H	水冷時間	分	3	5	7

## 肆、實驗分析

### 一、雜訊比 S/N 分析

本實驗品質目標是希望發泡的倍率越大越好，故採用望大公式來計算。成品觀測則以成品夾層的發泡厚度數值量測做為觀測值，其他如表面光滑度、顏色均勻度、製程時間等則不列入觀測。使用田口望大品質特性 (Larger-the-Best) 的要項是，亦即當品質特性值越大，品質越佳，此即為望大特性。其公式計算如下：

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



S/N：信號雜訊比(Signal to Noise Ratio)，

田口方法品質計量指標

$y_i$ ：各項實驗值

n：實驗次數

當實驗完成後取得觀測數值，利用望大公式計算S/N比，以得到每一個組合實驗的「訊號雜訊比」，求得發泡劑ADCA、CELOGEN OT的S/N回應表，如表2、表3所示。ADCA在信賴度99% 下之S/N回應表分析結果顯示因子B、F、E和C顯著。而CELOGEN OT 在信賴度99% 下之S/N回應表分析結果顯示因子B、C、E和D。由此可看出何者是影響結果較為顯著之因子，依觀察發現因子B(第一段加熱溫度)、F(靜置冷時間)、E(第二段加熱時間)為影響結果較為顯著之因子。

表二 ADCA S/N 回應表

因子\水準	1	2	3	$\Delta P$
A	242.99	245.22**	<del>245.22**</del>	2.24
B	180.48**	177.23	130.50	49.98
C	146.69	167.07	174.45**	27.76
D	175.89**	158.89	153.43	22.46
E	160.00	148.18	180.04**	31.86
F	169.08	178.20**	140.94	37.26
G	156.46	164.75	167.01**	10.56
H	168.83**	158.58	160.81	10.24

表三 CELOGEN OT S/N 回應表

因子\水準	1	2	3	$\Delta P$
A	149.00**	141.26	<del>141.26</del>	7.73
B	121.90 **	99.38	68.98	52.92
C	76.65	95.93	117.67 **	41.02
D	110.49 **	97.46	82.32	28.17
E	80.93	92.40	116.92**	35.99
F	102.28**	101.30	86.68	15.60
G	91.67	102.55**	96.04	10.88
H	96.73	97.35**	96.18	1.16

## 二、ANOVA變異數分析

接下來以ANOVA進行分析，其分析的目的是利用變異數分析來對先前進行的S/N比分析進行結果的再確認。分辨出變異數較大的因子，供問題修正、參數調整、實驗設計參考之用。ADCA發

泡實驗S/N回應圖如圖5；與CELOGEN OT S/N回應圖如圖6，可觀察出因子是相對影響實驗結果比較顯著之因子變異關係，其結果與S/N回應表結果相符。而發現其他因子影響所佔的比重也相同，由此可知S/N回應值與ANOVA變異數分析實驗的結果相符。

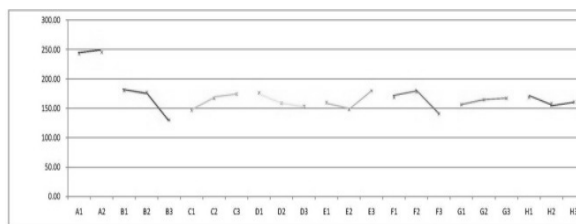


圖5 ADCA S/N回應圖

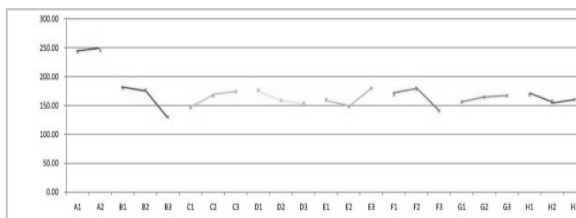


圖6 CELOGEN OT S/N回應圖

由實驗ANOVA分析發現，ADCA粒狀發泡劑於成型時必須迅速將粉末狀PE原料貼附於模具表殼，故須要使用較高的成型溫度<sup>A</sup>及時間來針對第一段加熱。待表殼完成成型後內部的發泡劑也會均勻的融熔分佈。為了讓發泡工作溫度有較充裕的時間作用，第二段加熱時間<sup>E</sup>以及靜置冷時間<sup>F</sup>影響的變異就比較大了。ADCA模具 ANOVA分析如表4所示。因子B、C、E則是影響較大的因子，結果與S/N比回應值結果相符。而其他因子影響所佔的比重也相同，實驗分析的結果同樣相符。都具有相同比例程度的變異情況，這對未來進行生產分析研究的時候是相當有幫助。

與ADCA發泡比較不同的是Celogen OT粉狀發泡劑並不需要預留發泡作用時間，Celogen OT發泡作用幾乎在第一段加熱及第二段加熱就已完成，而主要控制冷卻溫度之目的是為了保持成品發泡的形態，不要因為過快或者是過慢的冷卻控



制致使發泡效果崩塌。Celogen OT ANOVA 分析如表 5 示。

表四 ADCA 模具 ANOVA 分析

Col#	變異來源	自由度	平方和	均方	F 值	淨平方和	貢獻度
1	A	1	0.281	0.281	0.07	17.990	0.046
2	B	2	260.645	130.323	31.01	96.876	40.948
3	C	2	68.868	34.434	8.19	89.123	9.815
4	D	2	45.740	22.870	5.44	84.477	6.061
5	E	2	86.442	43.221	10.28	91.139	12.668
6	F	2	125.694	62.847	14.96	93.732	19.040
7	G	2	10.271	5.135	1.22	54.996	0.303
8	H	2	9.661	4.831	1.15	53.478	0.204
Error		2	8.405	4.202			10.915
Total		17	616.007				100.000%

表五 CELOGEN OT 模具 ANOVA 分析

Col#	變異來源	自由度	平方和	均方	F 值	淨平方和	貢獻度
1	A	1	3.36	3.36	11.76	92.446	0.518
2	B	2	234.961	117.480	411.06	99.757	39.455
3	C	2	140.721	70.361	246.19	99.595	23.592
4	D	2	66.505	33.252	116.35	99.148	11.099
5	E	2	112.458	56.229	196.74	99.494	18.834
6	F	2	25.424	12.712	44.48	97.807	4.183
7	G	2	9.955	4.977	17.42	94.570	1.579
8	H	2	0.111	0.055	0.19	16.237	0.019
Error		2	0.572	0.286			0.722
Total		17					100.000%

由於S/N 比值越大是代表其品質特性越好，所以由表4、表5及圖5、圖6選取S/N 比值較大的因子水準，將可得到最佳發泡的因子組合，對ADCA模具發泡組合而言，最佳的因子組合預測為A2、B1、C3、D1、E3、F2、G3、H1，將ADCA模具發泡組合之品質特性的最佳組合進行確認實驗。對CELOGEN OT模具發泡組合而言，最佳的

因子組合預測為A1、B1、C3、D1、E3、F1、G2、H2。

由前述的ADCA、CELOGEN OT發泡作用分析結果，可以發現ADCA發泡劑作用的方式就如同麵包發酵一般，主要於生產時必須控制發泡作用的溫度以及有較充裕的發泡作用時間。而Celogen OT發泡劑屬於低發泡的發泡劑類型，作用的時候並不需要太過注意成型時的溫度控制，當達到工作溫度時發泡作用就開始進行。唯一要特別控制的因子為冷卻，不同類型冷卻時間點對維持發泡狀態是具相對重要的。

### 三、確認實驗

接下來依照實驗的最佳化設計參數進行確認實驗，使用的各項設定為：對ADCA發泡劑而言，最佳的因子組合預測為A2、B1、C3、D1、E3、F2、G3、H1。CELOGEN OT 發泡劑最佳的因子組合預測為A1、B1、C3、D1、E3、F1、G2、H2。重複生產3個成品，每一個成品都達到相同的水準。成品經過量測其厚度後發現ADCA發泡劑置入M4模具發泡結果達到46mm的填滿結果，內部空間完全填滿發泡PE，達到與目標相符的最佳化設計並且符合穩建設計的結果。試驗成品如圖7所示。而CELOGEN OT發泡劑置入M8模具以最佳化參數所得結果，並量測其成品厚度，發現成品厚度達到10.24mm後的水準，擁有5.12倍的發泡比率，甚至比廠商提供的數據5倍還要多。另外發現成品的表面以及內部並無過大、過多的發泡氣孔，產品內外光滑，已經達到一般商品化水準。試驗成品如圖8所示。





圖 7 ADCA 最佳化參數組合發泡試驗成品



圖 8 CELOGEN OT 最佳化參數組合發泡試驗成品

## 伍、結論

本研究主要探討及研究迴轉成型固定發泡劑產品的發泡特性，並成功的獲得較佳的條件設計參數，且利用田口式實驗計畫法，探討在迴轉成型中影響發泡品質的製程參數，建立可供參考之加工參數設定。因為是採用單軸雙模實驗製作方式進行Celogen OT與ADCA發泡劑的同時採用田口實驗，並依據發泡程度觀測值求其回應值並計算S/N比，之後進行確認實驗以及變異數分析檢定。本研究發現採用此種方式確實可以達到迴轉成型實驗設計的品質要求，使得實驗更加快速、實驗成本大幅下降。

### 一、研究結論

本研究使用田口實驗設計方法探討在發泡劑與原料成型時的製程參數設定，建立塑膠迴轉發泡成型在實際生產時可供參考製程參數設定，以改善迴轉成型法發泡產品之品質不穩定問題，其主要發現如下：

1. 在本實驗範圍的參數設定中，M4 雙層模具與 ADCA 發泡劑之最佳製程條件設定組合為

A2、B1、C3、D1、E3、F2、G3、H1，搖臂轉速：3RPM、第一段加熱溫度：300°C、第一段加熱時間：14 分、第二段加熱溫度：260°C、第二段加熱時間：15 分、靜置冷時間：10 分、風冷時間：8 分、水冷時間：3 分。實驗結果發現 ADCA 發泡劑可達 30 倍之發泡倍率，已達設定的品質目標。此最佳化參數條件可做為實際製作時的重要依據水準。

2. 在本實驗範圍的參數設定中，M8 單層模具與 Celogen OT 發泡劑之最佳製程條件設定組合為 A1、B1、C3、D1、E3、F1、G2、H2，搖臂轉速：9RPM、第一段加熱溫度：300°C、第一段加熱時間：14 分、第二段加熱溫度：260°C、第二段加熱時間：15 分、靜置冷時間：8 分、風冷時間：12 分、水冷時間：5 分。經過實驗設計得到 Celogen OT 發泡劑之成型最佳化條件參數設計結果，可達 5 倍發泡倍率，已達設定的品質目標。此最佳化參數條件可做為實際製作時的重要依據水準。
3. 單軸雙模生產方式運用在迴轉成型之田口式實驗設計，可以大幅降低實驗時間、實驗成本，在交互比較方面也可以相互的比較分析。利用迴轉成型單軸雙模一次投料發泡的生產方式，與 PU 填充法相比無需等到塑膠成品完成之後再行填充發泡，更不需要製作額外的夾具，大幅增加生產的速度與品質。迴轉發泡成型技術可以運用於夾層空間較小的發泡製作，解決傳統 PU 發泡無法填充於小夾層空間的問題。

### 二、研究貢獻

本研究採用田口實驗設計以分析尋找最佳化發泡設計參數可達到品質改善目標，研究貢獻整理如下。

1. 單軸雙模的實驗方法製作當中，可以節省迴轉成型實驗製作的時間，而且經由數據的分析進而對相互比較之製程改善方面具有相當價值的





貢獻。

2. 運用發泡技術於塑膠迴轉成型製程當中，對於新技術之開發以及應用上都有相當大之幫助。
3. 研究之發現與累積之知識，在未來於本產業的製作、設計、限制可提供有相當的參考數據，可以節省後續產品開發時間及成本。

### 三、後續研究之建議

本研究同時執行兩種不同發泡劑之實驗，所得到的最佳製程參數並不相同。正式量產時需使用不同的參數設定，因此必須分開這兩種製程。未來如果可以將此兩種實驗參數穩健化，設計符合兩種發泡劑同時生產的最佳化設計。並可以設計符合單軸雙模生產兩種不同發泡劑產品之研究。

實驗發現，當使用粉狀Celogen OT發泡劑製作產品時，因為了必須使用投入袋的關係，經常致使所生產的產品內空間必須設計一定程度的大小，未來可將投入袋的大小加以切割，以較小的投料袋投入製作，也許就可以用於空間較小的成品製造上，並可增加產品設計應用的彈性。使用Celogen OT之產品，其成品因發泡劑架橋現象的作用，本體強度有增強的現象發生，未來如果使用Celogen OT取代純PE原料來做為表殼，內部仍然使用粒狀發泡劑做為填充材製作，如此將可應用於製作更輕盈、更堅固，且具有保溫、浮力性質之產品。因此塑膠迴轉發泡成型仍有工程品質問題，將可以利用田口方法加以改善之處。

### 參考文獻

1. 賴成志，「田口氏實驗方法運用於高分子旋轉成型之研究」，國立台灣工業技術學院機械工程技術研究所碩士論文，1996年。
2. 楊景雄，「塑膠粒發泡旋轉成型製程之研究與開發」，長庚大學機械工程研究所碩士論文，1999

年。

3. 蔡佳勳，「發泡塑膠旋轉成型件之開發」，長庚大學機械工程研究所碩士研究，1997年。
4. 楊健明，「田口方法應用於連續纖維補強押出發泡三明治結構之製成最佳化分析」，國立成功大學工業工程系碩士研究，2004年。
5. B. Ozcelik , T. Erzurumlu, Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm, Journal of Materials Processing Technology 171, pp.437-445(2006).
6. J. Zhang, K.L. Tan, & H.Q. Gong, Characterization of the polymerization of SU-8 photoresist and its applications in micro electro mechanical systems, Polymer Testing 20, pp. 123-130(2001).
7. 陳信華，「利用田口式動態訊雜比進行表面聲波氣體感測器之穩健設計」，國立屏東科技大學機械工程系碩士學位研究，2005年。
8. 蘇朝墩，「品質工程」，中華民國品質學會出版，台北市，2002年。



# Using the Taguchi Method to Optimize a Rotating-Molded Plastic Foaming Process

Chuang-Chun Chiou<sup>1\*</sup> Li-Fan Chuang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Industrial Engineering & Technology Management, Dayeh University

<sup>2</sup> Graduate student, Department of Industrial Engineering & Technology Management, Dayeh University

## Abstract

In this study, we utilized the Taguchi's experimental design to find the optimal process parameters for plastic foaming by rotational mold. Two different molds (M4 and M8), equipped in a single rotating axis, and two foaming agents (ADCA and CELGEN OT) are used to conduct pair comparisons. Such experiment arrangement can not only save the cost of experiments, but also decrease the time consumed for experiments. We found that the key characteristics of process include speed of rocker arm, heating temperature at the first phase, heating time at the first paragraph, heating temperature at the second phase, heating time at the second phase, cooling time, air-cooled time, and water-cooled time. Two levels are specified for the rotating temperature and three levels for the other factors. We adopted  $L_{18}(2^13^7)$  orthogonal array and used S / N ratio and theoretical analysis of variance (ANOVA) to analysis our data. This study found that the product quality can be improved by specified a set of optimal parameters such as molding temperature, length of reaction time and cooling time of foam.

**Keyword:** plastic rotating mold, process parameter, Taguchi method, experimental design.

---

\*Corresponding author: Department of Industrial Engineering & Technology Management, Dayeh University, 168, University Rd, Dacun, Changhua, 51591, Taiwan.  
Tel: +886-4-8511888# 2239  
Fax: +886-4-8511270  
Email: [cjchiou@mail.dyu.edu.tw](mailto:cjchiou@mail.dyu.edu.tw)

