

用田口方法做專案改善

南亞塑膠公司 塑一部

一、前言

田口方法係由田口玄一博士所創，運用實驗計劃與統計技術，精簡實驗次數及改善實驗數據分析方法，找出降低製程與品質變異的要因，進而穩定品質同時降低成本。

二、背景說明

第一次接觸田口方法是在民國 82 年，那時服務於技術部門，主要工作是專案改善及新產品開發。工廠訂單全部是小批量生產，且使用複雜的原料、配方及製程，現場生產品質總有一些斷斷續續的異常，雖然都會列專案改善，但有少部份的異常並未能徹底解決，實驗的工具與手法上有所不足。

舉個簡單的實驗來說：4 個因素各 3 水準，若是排列組合全部實驗，要做 $3^4=81$ 次。但是在工廠裡，時效與成本因素，不太允許這樣耗時做法，即便做完，一堆實驗數據也缺乏工具幫忙解析。

當時的工作與實驗，週遭所有人都是用單因子實驗方法做，如表 1 所示。實驗次數簡化了，只做 12 次，通常會找到比較好的條件，但是否找到最佳(或最適)條件？真的不敢說！

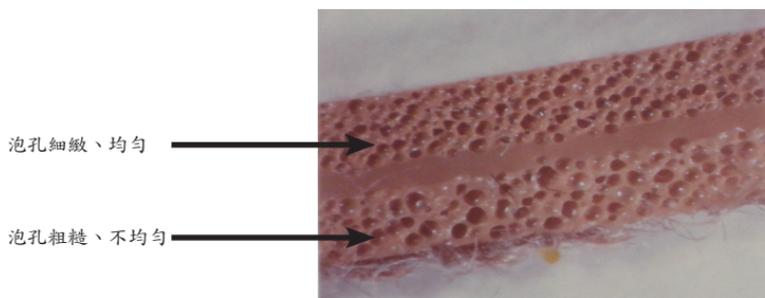
▼表 1

實驗因素	水準選擇	假設實驗結果	實驗次數
A	低、中、高	A 高	3
B	低、中、高	B 低	3
C	低、中、高	C 中	3
D	低、中、高	D 高	3
疑問	1. 完全實驗要做 81 次 (3^4)，現僅做 12 次實驗，夠嗎？ 2. 最佳條件 = A 高 + B 低 + C 中 + D 高，真的是這樣嗎？		

然而工廠裡製程與品質問題通常複雜許多，不是上表 4 個因素各 3 水準這麼簡單，此時研發中心引進並舉辦田口方法運用訓練，協助我們從複雜的問題中，迅速有效找出關鍵要因並加以改善。

三、實驗題目選擇

當年廠裡正開發珊瑚絨的新產品“優綿皮”，珊瑚絨是乳膠皮產品之一，面層發泡再去研磨，而“優綿皮”則是把珊瑚絨再去燙平與蠟面處理，製程更為複雜。然而在市場上競爭的產品“PU 舒麗絨”，則是又黑又細，絨蠟觸感甚佳，優綿皮與之一比，黑度不足，泡孔粗糙不均勻（如圖 1），觸感亦差很多！於是運用初學的田口方法進行專案改善，希望找出關鍵要因來提升品質。



▲圖 1

四、實驗步驟

全課技術人員一起腦力激盪、檢討，藉著專業知識與經驗，運用要因分析列出所有可能因素(如表 2)，從中選出影響程度較大的要因、水準。本案挑出 8 個要因，再決定各個要因的水準，其中 1 個要因是排 2 水準，另外 7 個要因是排 3 水準(如表 3)，這樣的組合要用到 L18 直交表(如表 4)，僅需做 18 次實驗，就能很有效率代表 4,374 次實驗($2^1 \times 3^7 = 4,374$)(如表 5)。

(一) 要因分析：

▼表 2

	品質量測			原料配方				
	絨度			PVC粉	可塑劑			
	厚度	均勻性		安定劑				
	發泡厚度控制	穩定性			改質劑			
	成品厚度控制	緻密性		色料				
		色水			發泡劑			
		絨度影響		滑劑、填充劑				
		厚度影響						
								Yn
生產機班			發泡機	膠布機				
團隊合作默契	操作人員		發泡溫度	混合條件				
	研磨厚度分配		發泡速度	榨料條件(下料電流、榨料間隔)				
	縱向、橫向厚度分佈			熱履歷(加工時間)				
			研磨機	貼合厚度				
	砂紙目數、組合、新舊			印刷機				
			研磨段數	軋平條件				
人員操作			加工條件					

(二) 選出 8 個要因，再決定各個要因的水準：

▼表 3

要因	成份	水準 1	水準 2	水準 3
A	AA	150	157	---
B	BB	0	1	2
C	CC	6	10	14
D	DD	0	3	6
E	EE	90	120	150
F	FF	3.5	4	4.5
G	GG	225	235	245
H	HH	6	9	12

(三) L18 直交表

▼表 4
L-18 表：

NO	因素水準組合							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	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

(四) 直交表的效率

▼表 5

直交表	因素 k	水準 t	實驗 次數	完全的實驗 t 水準 _{k 因素}
L4	3	2	4	8
L8	7	2	8	128
L9	4	3	9	81
L12	11	2	12	2,048
L16	15	2	16	32,768
L18	1	2	18	4,374
	7	3		
L27	13	3	27	1,594,323

(五) 品質特性的選定

品質特性必須可以量測且數值化，才能計算與分析，檢討後選定 2 個品質特性。其一為發泡速度 (Y_1)，希望發泡速度

愈快愈好，成本越低，量測方法是厚度計量測厚度再除以發泡時間；另一個是發泡緻密性 (Y_2)，泡孔數愈多代表泡孔愈細愈均勻，觸感才會細緻，色水才會穩定，量測方法是用顯微鏡觀察單位面積之泡孔數。

接下來依據 L18 表做 18 次實驗 (如表 6)，經過原料稱量、Roll 抽片、高溫發泡等步驟，再量測其品質特性 (Y_1 、 Y_2)，(如表 7)。

▼表 6
L18 表的實驗配置：

因素 項次	A	B	C	D	E	F	G	H
	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH
1	150	0	6	0	90	3.5	225	6
2	150	0	10	3	120	4.0	235	9
3	150	0	14	6	150	4.5	245	12
4	150	1	6	0	120	4.0	245	12
5	150	1	10	3	150	4.5	225	6
6	150	1	14	6	90	3.5	235	9
7	150	2	6	3	90	4.5	235	12
8	150	2	10	6	120	3.5	245	6
9	150	2	14	0	150	4.0	225	9
10	157	0	6	6	150	4.0	235	6
11	157	0	10	0	90	4.5	245	9
12	157	0	14	3	120	3.5	225	12
13	157	1	6	3	150	3.5	245	9
14	157	1	10	6	90	4.0	225	12
15	157	1	14	0	120	4.5	235	6
16	157	2	6	6	120	4.5	225	9
17	157	2	10	0	150	3.5	235	12
18	157	2	14	3	90	4.0	245	6

(六) 實驗數據 S/N 比計算

實驗數據的分析是採用田口博士所創的 S/N 比，S/N 比就是音響常用的“訊號 Signal/ 雜訊 Noise”的比值，單位是分貝 (dB)。本案是靜態的參數設計，計算公式如下：

望大 $S/N = -10\text{LOG}(\sum(1/Y^2)/N)$ ，期望越大越好，如拉力強度。
 望小 $S/N = -10\text{LOG}((\sum Y^2)/N)$ ，期望越小越好，如色差值。
 望目 $S/N = 10\text{LOG}((S_m - V_e)/N * V_e)$ ，期望某個目標，如適中的黏度。

$$S_m = (\sum Y)^2 / N, V_e = S_e / (N - 1), S_e = S_t - S_m, S_t = \sum Y^2。$$

這些計算公式雖有些複雜，但有軟體幫忙，並不需要我們費心計算。發泡速度與發泡緻密性都是越大越好，因此以望大 S/N 進行計算，詳如表 7。

▼表 7

L18	發泡速度 Y_1 (單位時間內之發泡厚度)			發泡緻密性 Y_2 (單位面積內之泡孔數目)			$S/N - Y_1$	$S/N - Y_2$	
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	望大	望大	
1	1.00	0.99	0.80	33	32	35	-0.77	30.44	
2	1.59	1.84	1.90	18	15	18	4.91	24.51	
3	2.30	2.52	2.45	11	11	10	7.67	20.53	
4	2.08	2.05	2.20	10	8	9	6.47	18.98	
5	1.50	1.82	1.78	13	20	14	4.51	23.46	
6	1.21	1.09	0.99	16	23	17	0.71	25.11	
7	1.38	1.20	1.55	16	21	19	2.63	25.26	
8	1.68	1.60	1.73	16	25	24	4.44	26.17	
9	1.83	1.76	1.51	11	12	13	4.52	21.52	
10	1.65	1.75	1.72	17	22	27	4.64	26.38	
11	1.77	1.78	1.72	12	17	16	4.89	23.21	
12	1.40	1.40	1.21	17	10	11	2.46	21.40	
13	2.01	2.24	2.00	14	16	13	6.34	23.03	
14	1.10	0.97	0.84	25	28	19	-0.42	27.25	
15	1.75	1.42	1.62	16	19	12	3.97	23.43	
16	1.74	1.88	1.53	26	18	21	4.60	26.42	
17	1.52	1.33	1.44	7	8	7	3.07	17.26	
18	1.75	1.56	1.73	24	16	23	4.47	26.00	
	註：A-1、A-2 及 A-3，B-1、B-2 及 B-3 是分別量測同一樣本 3 個不同位置。						平均	3.84	23.9

(七) 回應圖表之解析

透過軟體幫忙計算，可以算出每個因素及其每個水準的平均 S/N 比，再運用這平均的 S/N 比，做出回應表 (如表 8)、回應圖 (如圖 2)。

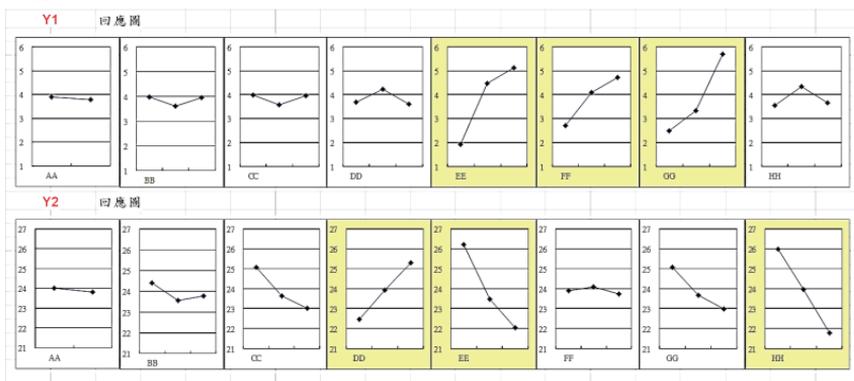
▼表 8

回應表：

Y1		回應表							
SN 比 - Y1	A	B	C	D	E	F	G	H	
	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	
水準 1	3.90	3.97	3.99	3.69	1.92	2.71	2.48	3.54	
水準 2	3.78	3.60	3.57	4.22	4.48	4.10	3.32	4.33	
水準 3	---	3.96	3.97	3.61	5.12	4.71	5.71	3.65	
貢獻度	0.12	0.37	0.42	0.61	3.20	2.00	3.23	0.79	
%	1	3	4	6	30	19	30	7	

Y2		回應表							
SN 比 - Y2	A	B	C	D	E	F	G	H	
	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	
水準 1	24.00	24.41	25.09	22.47	26.21	23.90	25.08	25.98	
水準 2	23.82	23.54	23.64	23.94	23.49	24.11	23.66	23.97	
水準 3	---	23.77	23.00	25.31	22.03	23.72	22.99	21.78	
貢獻度	0.18	0.87	2.09	2.84	4.18	0.39	2.10	4.20	
%	1	5	12	17	25	2	12	25	

回應圖：



▲圖 2

(八) 最適化條件選擇

運用回應圖可以十分清楚看出每一個因素及其每一個水準對發泡速度及發泡緻密性的個別效果大小(貢獻度)，相對重要性一目瞭然，根據這些結果再深入檢討，找出兼顧成本及品質的最適化條件，(如表 9)。(註 1.EE 貢獻度雖大，有其他考量故未選擇。)

▼表 9

要因	成份	現狀	改善後			
			珊瑚絨 (產速)		優綿皮 (緻密性)	
			降低成本	理由說明	提升品質	理由說明
A	AA	157	157	產速快	157	產速快
B	BB	1	0	成本低	0	成本低
C	CC	10	10	黑度要求	10	黑度要求
D	DD	3	0	成本低	3	緻密性佳, 穩定
E	EE	120	120	---	120	---
F	FF	4	4	兼顧產速	4	兼顧產速
G	GG	235	235	產速快	225	緻密性佳, 穩定
H	HH	9	7	成本降低	7	緻密性佳, 成本降低

(九) 確認實驗

最適條件選定後，進入確認實驗階段，增益若大於 2-3 分貝 (dB) 則實驗獲得確認，代表關鍵的要因、水準有掌握到，(如表 10)。

使用一半要因法確認

▼表 9

發泡厚度 (速度)										SN 比望大	
現狀組合	F1	+	G1	+		+	-	1*AVG		預估	實際確認
SN	2.71	+	2.48	+		+	-	3.84	=	1.17	1.25
較佳組合	F3	+	G3	+		+	-	1*AVG		2.13	2.35
SN	4.71	+	5.71	+		+	-	3.84	=	6.58	7.42
								增益		5.23	5.48

緻密性 (80X)										預估	實際確認	
現狀組合	C2	+	D2	+	G2	+	H2	-	3*AVG			
SN	23.6	+	23.9	+	23.7	+	24.0	-	71.7	=	23.4	24.1
較佳組合	C2	+	D3	+	G2	+	H1	-	3*AVG		21.9	24
SN	23.6	+	25.3	+	23.7	+	26.0	-	71.7	=	26.8	27.6
									增益		3.41	3.52

增益 > 2~3 代表實驗之要因水準及結果 OK

應用最適化條件投入量產，產速與緻密性顯著提升而且穩定，黑度、觸感亦同時改善，品質收率提高到目標以上。

五、效益追蹤

這個改善案初期預估月效益約一百七十六萬元，品質改善後訂單明顯增加，追蹤前後四年的平均月效益約三百零七萬元，第二年，將此實驗結果陸續應用在廠裡最大宗的發泡產品乳膠皮上，良好的加工性及品質穩健性，收率穩步提高了 1.0%，這部份的月效益亦有二百四十萬元。

六、結論

面對問題，首先要因分析，列出重要因素及決定可量測的品質特性，再運用田口方法逐步實驗，實驗數據透過 S/N 比，作出回應表與回應圖，客觀討論選擇最適化條件，兼顧品質穩健性與成本。迄今已累積相當數量的田口方法改善案，回想傳統實驗方法，要像回應圖這般清楚說明因果關係，似乎不太容易！

運用田口方法，幫助我們降低製程變異，找出穩健條件，提升品質同時降低成本，創造產品的競爭力。