

塑膠黏彈性質與時間關係對導光板射出成品雙折射之影響

林國賡、賴德隆、廖偉綸、彭文陽

淡江大學化學工程與材料工程所

科盛科技股份有限公司

E-mail: ray020220@yahoo.com.tw

ABSTRACT:

摘要:射出成型塑膠導光板已大量運用在各種電子用品及高科技產品中,而近年來對於導光板的翹曲變形、光彈條紋、雙折射、殘留應力等問題之要求也越來越高。由於塑膠高分子具有部分黏性與部分彈性的性質,而黏彈效應在不同溫度與剪切變形等情況下,其表現出的特性均有所不同。本專題是探討透過Moldex3D三維電腦模流分析軟體中的黏彈性分析模組,分別針對只考慮黏性及同時考慮黏彈性時,之間的差異進行分析,尤其針對殘留應力所造成之光彈條紋與雙折射,以提升模流預測之準確性進而提升產品品質。

模擬結果顯示,充填時間的改變,對雙折射現象影響最為嚴重,次者為冷卻時間的改變,最後才是保壓時間的改變。充填時間的微小改變,對雙折射現象影響都會嚴重改變,保壓時間的改變,對雙折射現象只會有些微的影響,冷卻時間的改變,當冷卻時間越短或越長,雙折射現象影響都會加深。關鍵字:黏彈性、塑膠射出成型、電腦輔助工程、White-Metzner Model。

一、前言

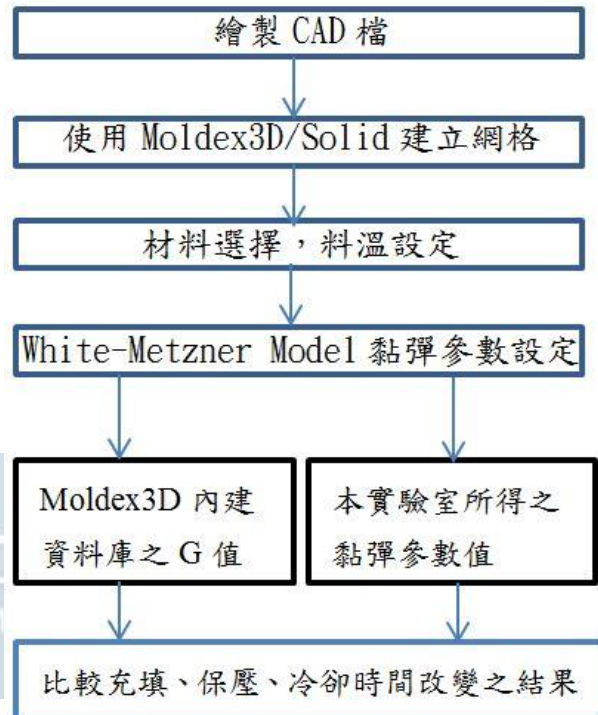
塑膠導光板在射出成型製程中,經歷了充填、保壓、冷卻三個階段。期間塑膠高分子歷經了螺桿轉動時的高溫,噴嘴充填時流場急遽的變化,進入模穴後表面受到模壁低溫的影響,接著在保壓階段以高壓將額外的融膠擠入模穴,及最後產品冷卻至足夠的剛性後頂出。塑膠高分子的PVT性質、機械性質、材料黏彈特性等,在整個加工過程經歷了劇烈的變化,令其成型品產生許多的缺陷,包含體積收縮、翹曲變形、殘留應力以及雙折射等問題。

射出成型時所導致的殘留應力有兩個主要原因,一個是在溫度高於玻璃轉移溫度時的充填保壓階段,此時屬於高分子黏彈性行為,塑料在融熔狀態下劇烈流動產生高剪切率,靠模壁的塑料快速冷卻分子鏈隨即固化,流動的定向使這些分子排向與應力無法完全鬆弛及釋放,以致引發了流動殘留應力。二則是高溫塑膠材料快速冷卻到玻璃轉移溫度時,不同區域之壓力與溫度的變化歷程皆不同,因而產生不均勻的體積收縮和密度變化,此時分子鏈無法將體積收縮所產生的內部應力完全釋放掉,即造成熱殘留應力[1]。

根據Chang等人研究塑膠射出成型產品,以黏彈性分析預測出流動殘餘應力[2],對三度空間中的非等向性的分子排向而產生的雙折射現象能有良好的掌握。

二、研究方法

(一) 實驗架構



(二) 材料

本模擬選用的塑膠原料為 Kuraray GH-1000S 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),圖一為 PMMA 材料結構式。其特性為透光率高、良好的耐候性、高硬度、流動係數佳及耐 Gamma 射線照射等特性,因此適用於小型尺寸導光板的射出成型。

本次模擬有考慮黏彈性對雙折射的影響,以下列出兩組參數值,一組為對照組(由 Moldex3D 材料庫內建之 G 值黏彈參數)、另一組為測試組的黏彈參數值,測試組黏彈參數由實驗結果得知,黏彈參數數學模型選用 White-Metzner model。圖二(a)(b)為黏彈參數值,(a)為參考值由 Moldex3D 內建材料庫得知,(b)為本實驗室經由實驗結果所得之數值。

(三) 模流分析

利用 Moldex3D 專業模流分析軟體進行導光板射出成型模擬分析。本導光板試片為一個平面如圖三,長為 72.5 mm,寬為 54.7 mm、肉厚區則為 0.50 mm。表一模型網格資訊,冷流道體積 1.96772 (cc),而模穴充填體積為 1.25814 (cc)。表二則是本次所設定之成型條件表,加工料溫設定 240 °C,成型條件的設定來自於結果分析,所得之最佳化參數。

(四) 黏彈模式

射出成型過程之溫度範圍內，高分子材料具有黏彈性之特質，高分子本身是一黏彈性體，若以黏彈體本質方程式來模擬最佳。Goyal[3]等人曾利用 White Metzner 黏彈模式模擬中央進澆的圓盤模穴。

並以有線差分解複雜之統御方程式，發現黏彈性效應並不會很明顯的改變速度及溫度分佈，但對應力場之影響相當明顯。White-Metzner model 對及在有限參數下，有很好之參數擬合，White-Metzner model 能適用於在低變形率下 strain thickening 高變形率下 strain thinning，表三為測試組 1、2 的黏彈數值。

$$\tau + \lambda \left(\frac{\partial \tau}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \tau - \nabla \mathbf{v}^T \cdot \tau - \tau \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = \eta (\nabla \mathbf{v} + \nabla \mathbf{v}^T)$$

$$\lambda(T, \dot{\gamma}) = \frac{\lambda_0(T)}{1 + \left(\frac{\lambda_0(T) \cdot \dot{\gamma}}{k} \right)^{1-m}}$$

$$\lambda_0(T) = \lambda^* \exp \left(- \frac{A_1(T - T_f)}{A_2 + (T - T_f)} \right)$$

λ : 鬆弛時間

τ : 額外應力量

\mathbf{v} : 速度向量

η : 黏度

三、 研究結果

(一) 分析比較

經由分析比較，可得知測試組 2 之黏彈參數值，對雙折射現象影響最小，由總和光談條紋可知測試組 1 的參數值發散掉，圖四(a)、(b)為總光彈條紋圖，可發現兩者並無明顯之差距，可以推測 Moldex3D 資料庫內建之 G 值，為可供參考的，本次模擬還會經由實驗驗證，以得知結果，並且驗證 White-Metzner model 的真實性，圖五(a)、(b)為總和雙折射，可以得知測試組黏彈參數值對雙折射現象影響最小，所以下驗證黏彈性質對雙折射現象的影響，將使用此黏彈參數值，作為驗證。

(二) 改變充填時間

表四為固定射出條件值，表五為改變之充填時間，藉

由充填時間的改變，來增加或減少充填的速率，保壓時間設定 3(sec)，為本模擬先行設定一參考值，冷卻時間設定為 8.2(sec)，為 Moldex3D 軟體所估算之最佳值。

圖六 (a)、(b)為時間點 0.65、0.75(sec)之充填時間充填完成之 Von Mises 殘留應力度圖，較高的流動殘餘應力將集中在導光板的澆口與模壁附近，因為由熔融態的流動應力可以輕易造成分子排向，因此流動導致的雙折射與流動應力相似度很高，藉由充填完成之 Von Mises 殘留應力度圖可以觀察到流動殘留應力。圖七 (a)、(b)為充填時間 0.65、0.75(sec)之總和雙折射，可以發現充填時間的長短，雙折射現象影響呈現振盪趨勢，中間為最高峰值，可以發現充填時間 0.075(sec)時，雙折射現象影響最小，充填時間 0.06 (sec)有短射現象，所以不考慮充填時間 0.06(sec)之前的時間點。

(三) 改變保壓時間

保壓時間越長，則殘留應力較可釋放，所以翹曲變形的影響可降低。表六為改變保壓時間，固定最佳充填時間為 0.075(sec)，藉由圖八保壓時間總重量圖表，可發現總時間 0.12(sec)後即趨向為平整，所以可知保壓時間設定為 0.045(sec)之後，保壓即可完成，為求保險起見，本次模擬保壓時間設定為 0.1(sec)開始測試，圖九 (a)、(b)為時間點 0.2、0.5(sec)之保壓完成之 Von Mises 殘留應力度圖，各圖呈現趨勢大致相同，並無明顯之改變，圖十 (a)、(b)為時間點 0.2、0.5(sec)之保壓完成之總和雙折射圖，可以發現總和雙折射，隨著時間的減少，雙折射現象影響越小，當保壓時間小於 0.2(sec)時，可發現雙折射現象影響又加劇，所以最佳保壓時間為 0.2(sec)，此時間點之雙折射影響最小。

(四) 改變冷卻時間

表七為改變冷卻時間，固定最佳充填時間 0.075(sec)，固定最佳保壓時間 0.2(sec)，圖十一 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j)為各時間點冷卻完成之 Von Mises 殘留應力度圖，圖十二 (a)、(b)、(c)、(d)、(e)、(f)、(g)、(h)、(i)、(j)為各時間點冷卻完成之總和雙折射圖，可以發現在冷卻時間 8.5(sec)時，雙折射現象影響為最小，上述冷卻時間設定為 8.2(sec)，為 Moldex3D 軟體所估算之最佳值，發現冷卻時間過短或過長，都會導致雙折射現象影響加劇。

四、 結論

藉由以上之改變充填時間、改變保壓時間、改變冷卻時間，我們可以發現充填時間的改變，對雙折射現象影響最為嚴重，次者為冷卻時間的改變，最後才是保壓時間的改變。充填時間的微小改變，對雙折射現象影響都會嚴重改變，保壓時間的改變，對雙折射現象只會有些微的影響，冷卻時間的改變，當冷卻時間越短或越長，雙折射現象影響都會加深。

並且，本次模擬可以發現，改變充填時間和改變保壓時間，Von Mises 殘留應力都呈現微分形式，與雙折射現象並無明顯之影響，觀察 Von Mises 殘留應力，可以了解雙折射現象影響的趨勢；不過，在改變冷卻時間，可以明顯的觀察到 Von Mises 殘留應力呈現倒 U 型曲線，雙折射現象影響趨

勢圖也呈現倒 U 型曲線，所以我們可以得知冷卻時間的改變，Von Mises 殘留應力和雙折射現象影響非常相關。

模穴
冷流道

最後，本次模擬求得之最佳參數為充填時間 0.075(sec)，保壓時間 0.2(sec)，冷卻時間 8.5(sec)，此為導孔板在測試組 2 黏彈參數下，雙折射現象影響最小之射出成型參數。

五、參考文獻

- [1] 張元榕、楊文賢、游朝凱、張榮語，塑膠射出成型產品之雙折射預測，科盛科技股份有限公司、國立清華大學化學工程學系，2008。
- [2] 張元榕、邱顯森、楊文賢、張榮語，應用黏彈性分析於預測射出產品之流動殘留應力和雙折射現象，科盛科技股份有限公司、國立清華大學化學工程學系，2008。
- [3] Y, G. D., Isayev, A. I., and Lee, H. S., Numerical Simulation of Flow-induced Birefringence in Injection Molded Disk, Korea-Australia Rheology Journal, 15,159-166 (2003).

六、圖表彙整

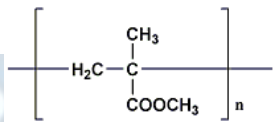


圖 1 PMMA 結構圖

| 材料名稱 / 材料代號 / 黏彈模型 | PMMA FOR 1000 TESTBARKY Pinn-Mooney (EG) w=0.05 (Ew=0.05) | 材料名稱 / 材料代號 / 黏彈模型 | PMMA FOR 1000 TESTBARKY Pinn-Mooney (修改 Model) |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------|
| Young's Modulus (E) | 0.34 (G) | Young's Modulus (E) | 0.32 (G) |
| Poisson's Ratio (ν) | 0.249 (-) | Poisson's Ratio (ν) | 0.249 (-) |
| Relaxation Time (λ) | 100 (S) | Relaxation Time (λ) | 100 (S) |
| Time Constant (τ) | 400 (S) | Time Constant (τ) | 400 (S) |

| White Metzner Model | White Metzner (Modified Model) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\tau + \lambda \left(\frac{\partial \tau}{\partial t} + \nabla \tau \cdot \nabla \tau - \nabla \tau^T \cdot \tau - \tau \cdot \nabla \tau^T \right) = \eta (\nabla \tau + \nabla \tau^T)$ | $\tau + \lambda \left(\frac{\partial \tau}{\partial t} + \nabla \tau \cdot \nabla \tau - \nabla \tau^T \cdot \tau - \tau \cdot \nabla \tau^T \right) = \eta (\nabla \tau + \nabla \tau^T)$ |
| $\lambda(T, \dot{\gamma}) = \frac{\lambda_0(T)}{1 + \left(\frac{\lambda_0(T)}{k} \dot{\gamma} \right)^2}$ | $\lambda(T, \dot{\gamma}) = \frac{\lambda_0(T)}{1 + \left(\frac{\lambda_0(T)}{k} \dot{\gamma} \right)^2}$ |
| $\eta(T, \dot{\gamma}) = \frac{\eta_0(T) \dot{\gamma}}{\dot{\gamma}}$ | $\eta(T, \dot{\gamma}) = \frac{\eta_0(T) \dot{\gamma}}{\dot{\gamma}}$ |
| Note: $\eta(T, \dot{\gamma})$ is the same value as viscosity | Note: $\eta(T, \dot{\gamma})$ is the same value as viscosity |

圖 2 (a)(b)為黏彈參數值，(a)為參考值由 Moldex3D 內建材料庫得知，(b)為本實驗室經由實驗結果所得之數值

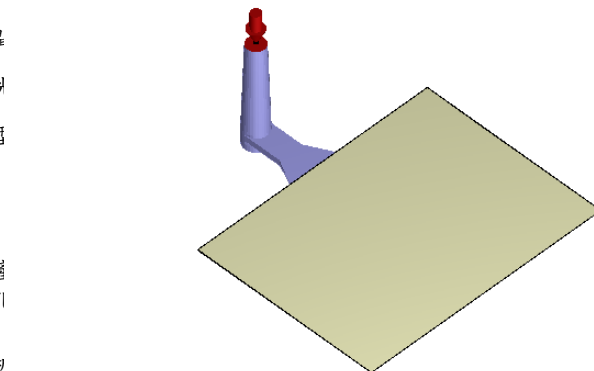


圖 3 Moldex3D 分析模型示意圖

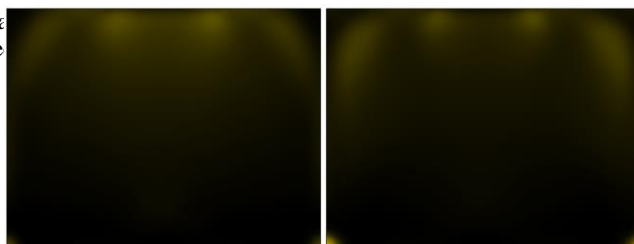


圖 4 (a)、(b)為總光彈條紋圖，(a)由 Moldex3D 內建材料庫得知，(b)為本實驗室經由實驗結果所得之數值

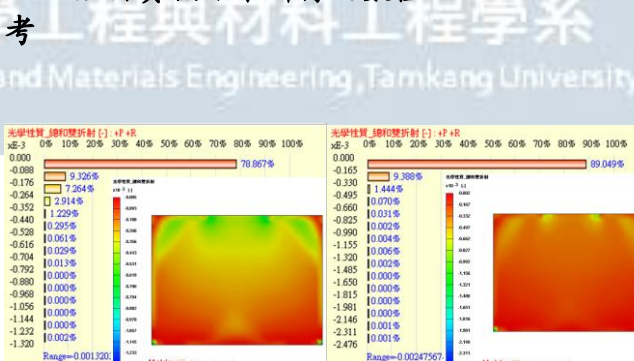


圖 5 (a)、(b)為總和雙折射圖，(a)參考值由 Moldex3D 內建材料庫得知，(b)為本實驗室經由實驗結果所得之數值

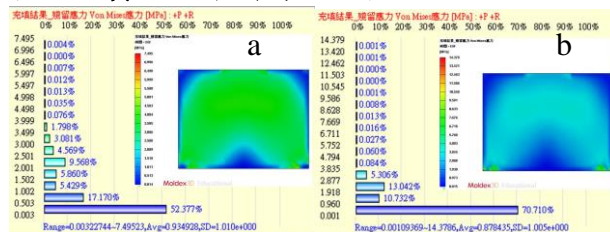


圖 6 (a)、(b)、(c)、(d)為各時間點之充填時間充填完成之 Von Mises 圖

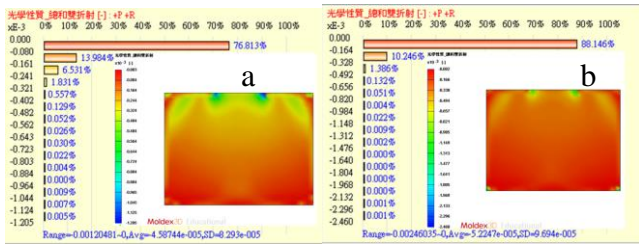


圖 7 (a)、(b)為各充填時間之總和雙折射

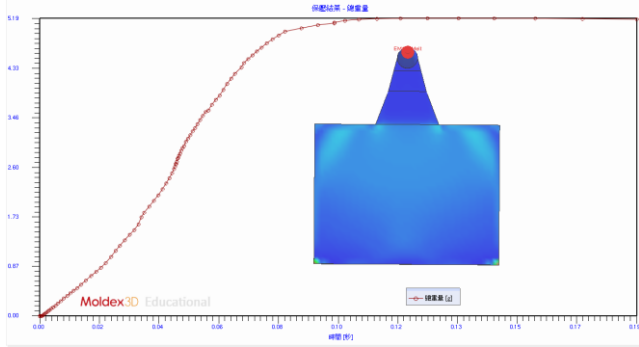


圖 8 保壓時間總重量圖表

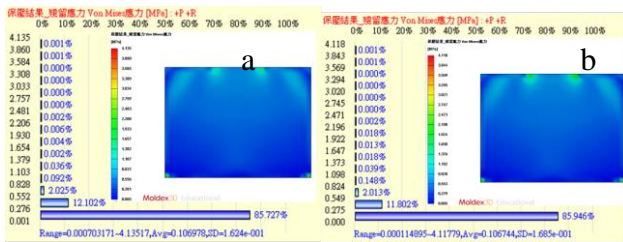


圖 9 (a)、(b)為時間點 0.2、0.5(sec)之保壓完成之 Von Mises 圖

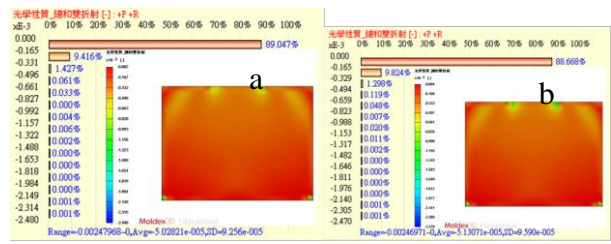


圖 10 (a)、(b)為時間點 0.2、0.5(sec)之保壓完成之總和雙折射圖

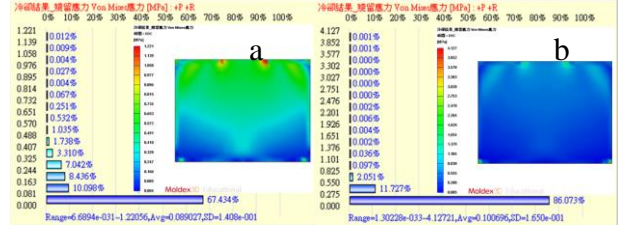


圖 11 (a)、(b)為時間點 7.5、8.5(sec)冷卻完成之 Von Mises 圖

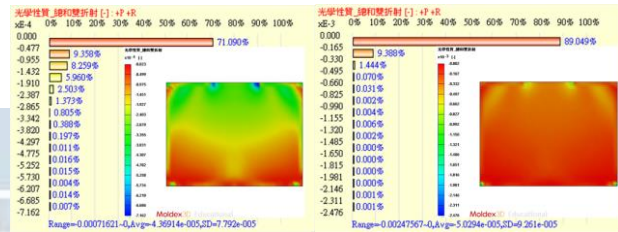


圖 12 (a)、(b)為時間點 7.5、8.5(sec)冷卻完成之總和雙折射圖

| | |
|-------|----------------------|
| 塑件尺寸 | 54.7 x72.5x 0.5 (mm) |
| 模穴體積 | 1.98294(cc) |
| 冷流道體積 | 2.56446 (cc) |
| 元素個數 | 21,740 |

表一模型網格資訊

| | |
|------|-------------|
| 填充時間 | 0.075 (sec) |
| 料溫 | 240.0 (°C) |

| | |
|----------------|--------------|
| 模溫 | 80.0 (°C) |
| 最大射出壓力 | 250.00 (MPa) |
| 保壓時間 | 0.20 (sec) |
| 最大保壓壓力 | 200.00 (MPa) |
| VP 切換(充填體積百分比) | 98.00 (%) |
| 開模時間 | 5.00 (sec) |
| 冷卻時間 | 8.50(sec) |
| 頂出溫度 | 99.85 (°C) |
| 空氣溫度 | 25.0 (°C) |

表二成型條件表

| | 測試組 1 | 測試組 2 |
|---------|-------------|------------|
| Lambdas | 1e+007(sec) | 0.325(sec) |
| m | 0.21 | 0.34 |
| k | 0.354 | 0.249 |
| A1 | 8.68 | 8.68 |
| A2 | 181.06(K) | 181.06(K) |
| Tf | 493(K) | 493(K) |

表三測試組 1、2 的黏彈數值

| 材料 | 最大射壓壓力 | 最大保壓壓力 |
|-----------------------------------|---------|---------|
| PMMA KURARAY GH-1000S(黏彈參數為測試組 2) | 250 MPa | 200 MPa |
| 料溫 | 模溫 | 單一射光波長 |
| 240 °C | 80 °C | 590 nm |

表四射出條件值

| 組別 | 充填時間(sec) | 保壓時間(sec) | 冷卻時間(sec) | 備註 |
|----|-----------|-----------|-----------|----|
| 1 | 0.06(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | 短射 |

| | | | | |
|---|------------|--------|----------|--|
| 2 | 0.065(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |
| 3 | 0.07(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |
| 4 | 0.075(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |
| 5 | 0.08(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |
| 6 | 0.085(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |
| 7 | 0.09(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |
| 8 | 0.095(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |
| 9 | 0.10(sec) | 3(sec) | 8.2(sec) | |

表五改變充填時間

| 組別 | 充填時間(sec) | 保壓時間(sec) | 冷卻時間(sec) | 備註 |
|----|------------|-----------|-----------|----|
| 1 | 0.075(sec) | 0.1(sec) | 8.2(sec) | |
| 2 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 8.2(sec) | |
| 3 | 0.075(sec) | 0.3(sec) | 8.2(sec) | |
| 4 | 0.075(sec) | 0.5(sec) | 8.2(sec) | |
| 5 | 0.075(sec) | 0.7(sec) | 8.2(sec) | |
| 6 | 0.075(sec) | 0.9(sec) | 8.2(sec) | |
| 7 | 0.075(sec) | 1.5(sec) | 8.2(sec) | |

表六為改變保壓時間

| 組別 | 充填時間(sec) | 保壓時間(sec) | 冷卻時間(sec) | 備註 |
|----|------------|-----------|-----------|----|
| 1 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 3(sec) | |
| 2 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 5(sec) | |
| 3 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 7(sec) | |
| 4 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 7.5(sec) | |
| 5 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 8(sec) | |
| 6 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 8.2(sec) | |
| 7 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 8.5(sec) | |
| 8 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 9(sec) | |
| 9 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 9.5(sec) | |
| 10 | 0.075(sec) | 0.2(sec) | 10(sec) | |

表七為改變冷卻時間