

流道轉角效應對流動平衡影響之分析

Study on the Flow Balancing of the Runner Turn Effect

林肇民¹

Chao- Ming Lin

鄭釗瀚²

Chao- Han Cheng

¹ 吳鳳科技大學 光機電暨材料研究所 教授

² 吳鳳科技大學 光機電暨材料研究所 研究生

¹⁻² Graduate School of Opto-Mechatronics and Materials, WuFeng University

摘要：本研究主要是利用 Moldex3D 模流分析軟體，來討論流道角度對流動平衡之影響。文中藉由放射型流道探討 45、90、135 及 180 四種角度對塑料的充填時間及溫度分佈之影響。結果顯示，不同流道夾角度所造成的轉角效應及塑料的剪切現象，使各模穴的充填時間及溫度分佈產生差異，而引起充填不平衡。在此案例中主流道與次流道間的夾角度越大，顯示充填速度越慢、溫度分佈越低，案例中塑料充填的溫度差接近 10°C，塑料高溫分佈集中在流道右側，這樣的結果將使各個模穴的保壓、冷卻過程產生差異，進而影響成品縮收翹曲。因此，如何利用平衡元件，改善流道角度問題所引起的流道不平衡現象將是一關鍵性技術。

關鍵詞：模流分析、流動不平衡、剪切率、轉角效應

Abstract : In this paper, the moldex3d package is used to process the mold flow analysis, and an eight ways radial runner system is used to construct the analyzed model of the turn effects. In the specified cases, four angles 45, 90, 135, and 180 degrees are compared the different flow front times and temperatures. The results show the turn effect will change the temperature and velocity profiles. These changed properties lead the flow unbalancing and the poor parts quality. Hence, the flow balancing device plays an important role for reducing the temperature and velocity unequal, and provides a good solution for the multi-cavity module of the injection molding.

Keywords : Mold Flow, Flow Unbalancing, Shear Rate, Turn Effect

壹、前言

一般來說材料可分為金屬材料、陶瓷材料及高分子材料三大類，而塑膠是屬於高分子材料的一種。塑膠材料在日常生活中的應用非常廣泛，舉凡你使用的手機、電腦、電視，甚至是家電用品等，都與塑膠材料習習相關。因為塑膠具有良好的塑性、加工容易、質量輕及價格便宜等優點，因此大量的應用在各種商品上[1]。

塑膠成型加工的方法有很多種，如吹塑成型、擠壓成型、轉移成型、射出成型等；



其中射出成型具有短週期、操作方便、生產效率高、易自動化及可精密化的優點，因此成為熱塑性塑料最常見的加工方法[2]。

射出成型在實際生產過程中，常採用多模穴模具(multi-cavity mold)的方式生產塑膠製品，以降低成本及提高生產效率。多模穴模具為了確保各模穴製品的重量、外觀及性能等品質的一致性，在整個射出成型的充填過程中，能否達到流動平衡是一個很重要的關鍵。因此，每個模具設計人員都應注意，如何讓多模穴模具所生產的成品，能符合日趨嚴格的產品精準度要求，提高多模穴模具產品的整體品質，降低各模穴成品性質的差異，達到提高生產效率及降低成本之目的。

在射出成型過程中，塑料的流動是依靠壓力的推動，充填過程的壓力來源為澆口，靠近澆口處壓力為最高，而流動波前處的壓力最低，推動塑料前進的動力即是兩者的壓力差(pressure difference)[3]。其流動特性是以層流(laminar)與噴泉流(fountain flow)的形式充填流道、澆口與模穴[4]，也就是靠近流道中間區域的塑料被推至波前前端處向模壁甩出，之後冷卻固化。

根據以往研究顯示，塑料在流動過程中最大剪切率發生於固化層稍內區域，在流道中心區域則趨近於最小值。主因為塑料屬於非牛頓流體(non-newtonian)，其黏度會隨流動剪切率(shear rate)的變化而改變，即當剪切率升高時，因剪切生熱(shear heating)的關係，剪切率較高的塑料層溫度也會升高；另外，剪切造成高分子排向較整齊，使該區塑料黏度下降、流動阻力降低，即所謂塑料的剪切稀薄效應(shear thinning)。所以一般將黏度表示成流體流動阻力的度量，對一般熱塑性塑料而言，黏度是塑料成分、溫度、壓力及剪切率的函數[5]。

而本文即是使用繪圖軟體建置一個放射狀流道系統，利用模流分析軟體模擬流道內熔膠在充填過程中的黏度、剪切率、溫度變化及流動波前分佈情形，討論其流動不平衡問題。期望藉由分析結果尋找流動不平衡之原因再加以改善，進而解決各模穴彼此的性質差異，使各元件之品質具有較佳的一致性。

貳、模擬條件

本研究主要是藉由模流分析軟體 Moldex3D 之三維實體模組來進行模擬分析，其成型加工條件由表一所示。

流道形式則利用 Rhino4.0 繪圖軟體來建立放射狀一模十四穴模組，再使用 Moldex3D-Mesh 模組進行網格化，流道配置與編號如圖 1，其中 θ_0 為 0 度流道、 θ_1 為 45 度流道、 θ_2 為 90 度流道、 θ_3 為 135 度流道、 θ_4 為 180 度流道；而此流道的感測點配置由圖 2 所示，所有流道內的感測點都由左至右設置。



成型材料為聚丙烯(PP APPRYL 3130 YR1)，其材料黏度與比容特性曲線圖如圖 3、圖 4 所示。

參、結果與討論

在結果與討論中，利用分析軟體對放射狀流道進行充填分析，了解其流動波前情形與模內溫度變化等，探討流動不平衡之原因。由於此流道以豎澆道為中心的左右兩側流道屬對稱關係，因此我們假設兩側流道的流動特性相同，以下只取一側的流道進行流動波前和溫度分佈兩部分的討論。

1. 流動波前

圖 5 為充填時間 30ms 的流動波前情形，圖中發現當塑料充填至 30ms 時，進入 θ_1 流道裡的塑料最多，此為塑料的剪切效應與轉角效應導致的充填不平衡現象；經量測結果也顯示，流進 θ_1 流道的塑料與模穴末端的距離最近，表示 θ_1 模穴塑料充填的速度較快；其數據如表二所示。

當充填時間至 73ms，此時由圖 6 可看出角度較小的 θ_1 流道已充填至澆口處，其餘角度較大的流道塑料都尚未到達澆口處，其距離由表三所示。

當 θ_1 模穴充填完成時，其充填時間為 93.56ms，由圖 7 可看出 θ_2 、 θ_3 及 θ_4 模穴的塑料都尚未充填完成，顯示出此放射狀流道充填不平衡的情形，其流動波前至模穴末端的距離如表四所示。

圖 8 顯示 θ_2 模穴的充填完成時間為 99.09ms，此時 θ_3 與 θ_4 內的塑料尚未充填至模穴末端，其塑料剩餘流動距離如表五所示。

如圖 9 所示，當充填時間達 99.95ms 時 θ_3 模穴充填完成，此時僅剩 θ_4 模穴尚未完成充填；而圖 10 顯示塑料充填時間 99.95ms 時，流至 θ_4 模穴的塑料波前已接觸到模穴末端，由圖可看到塑料在充填模穴時有回包的現象。

圖 11 為充填結束的流動波前圖，此流道充填時間為 100.1ms，圖中可看到 θ_4 模穴已充填完成。

2. 溫度分佈

當塑料充填流道時，流道最外層的塑料因直接與模具接觸冷卻速度較快，形成了固化層；而塑料與固化層摩擦使塑料的剪切率升高，形成了剪切層，同時因剪切生熱的影響使剪切層塑料溫度也隨之升高，此現象稱為剪切效應。

如圖 12 所示， θ_0 流道內因剪切效應的關係使固化層稍內區域剪切率升高、溫度



升高，使塑料黏度下降，導致塑料流動速度加快；而受到流道轉角的影響，使各模穴塑料流動距離產生差異，其角度越小的流道流動距離越短，導致塑料充填不平衡，此現象稱為轉角效應。

圖 13 顯示， θ_0 流道的中心溫度因剪切率較低其溫度會較接近於原始塑料溫度 220°C ，而高溫塑料位於固化層稍內區域也就是剪切率較高的塑料，其塑料溫度升高了近 16 度。

θ_0 流道內的塑料因轉角效應的影響先充填至 θ_1 流道，而塑料的層流特性使 θ_0 流道內的高溫塑料沿著模壁充填至 θ_1 流道，導致 θ_1 流道內溫度分佈不均，由圖 14 可看出 θ_1 流道的高溫塑料分佈在流道右側，也就是較靠近豎澆道的那一側。當塑料充填至流道中段時，因持續冷卻的關係使塑料溫度稍微下降，但流道中心塑料因剪切率較低的影響，使塑料溫度下降的速度比剪切率高的塑料快，如圖 15 所示。

如圖 16 所示，當塑料充填至 θ_2 流道時，高溫塑料與 θ_1 流道同樣在右側，但高溫塑料溫度比 θ_1 流道低，且流道左右側的高溫差有降低的現象，原因在於 θ_0 流道內的高溫塑料大部份都進入 θ_1 流道，而流道中心較低溫的塑料則分別流入其餘模穴，因此 θ_2 流道左右側的塑料溫差不大。當塑料充填至 θ_2 流道的中段時，其塑料溫度變化與 θ_1 流道相似，圖 17 顯示 θ_2 流道中段的溫度分佈曲線圖。

而塑料充填至 θ_3 流道時，溫度分佈曲線圖更為平緩，顯示其流動左右溫差更小，而右側的塑料溫度還是比左側溫度高，其流道前段溫度分佈曲線如圖 18 所示。圖 19 顯示流道中段的溫度分佈曲線， θ_3 流道內的左右側溫差相較於 θ_2 流道的塑料溫差更小。

圖 20 為 θ_4 流道前段的塑料溫度分佈曲線圖，因 θ_4 流道並無經過任何轉角，其塑料幾乎是由 θ_0 流道直接進入 θ_4 流道，使 θ_4 流道左右側的塑料溫度幾乎相等；而流至模穴內的塑料溫差小，塑件的機械性質也較好，可減少溫度造成的左右翹曲不均等現象。圖 21 為 θ_4 流道的溫度分佈曲線圖，由於 θ_3 與 θ_4 的流道溫度差異不大，因此 θ_3 與 θ_4 的模穴充填時間差異也較小。

肆、結論

本文主要藉由放射狀多模穴流道，來探討多模穴流道中，塑料因轉角效應與不對稱的剪切率，導致塑料溫度分佈不均引起的流動不平衡現象。藉由本次的討論我們可以了解到，放射狀流道流動不平衡的主因分為兩部份，其一為塑料的剪切效應所導致，另一個因素為流道轉角效應所產生的流動不平衡現象。最後整理其結論如下：

一、造成流動不平衡的原因



放射狀流道流動不平衡原因有二，其一為塑料在流道中其剪切率、溫度及黏度會隨著塑料的流動而改變；通常最大剪切率會發生在固化層稍內區域，而流道中心部份的塑料剪切率最低；此高剪切現象會因摩擦生熱的關係，造成靠近固化層區域的高剪切塑料溫度升高、黏度降低，導致塑料溫度分佈不均與流動不平衡現象。

另一個因素為轉角效應，當塑料經由主流道充填至分流處時，因流道角度的關係及塑料的層流現象加上剪切效應的影響，導致角度較小的流道會先充填完成，形成流動不平衡現象。

二、流動不平衡對產品的影響

流動不平衡除了造成產品本身外觀可能短射、翹曲不一致外，對於塑件內部的機械性質也都會造成影響，因為不平衡的流道會導致塑料溫度分佈不均，間接影響到保壓及冷卻效果，使各模穴的成品無法一致，產率降低其成本也相對提高。

伍、參考文獻

- [1] 張榮語、楊文賢、邱淑婷，CAE 與塑膠射出成型，化工技術第五卷第七期，1997 年。
- [2] 張永彥，塑膠模具設計學-理論、實務、製圖、設計，全華圖書股份有限公司，2006 年。
- [3] 科盛科技股份有限公司，Moldex3D 模流分析技術與應用，全華圖書股份有限公司，2007 年。
- [4] Moldex3D 技術手冊 II，1996 年 11 月三版。
- [5] Moldex3D 使用手冊，2002 年。

陸、表與圖

表 1. 加工條件設定參數表

充填	
塑料溫度	220 °C
模具溫度	35 °C
最大射出壓力	235 MPa
保壓	
保壓時間	5 sec
保壓切換	100 %



表 2. 充填時間 30ms_流動波前至模穴末端距離

流道	長度(mm)
θ_1	15.15
θ_2	16.53
θ_3	16.83
θ_4	17.20

表 3. 充填時間 73ms_流動波前至模穴末端距離

流道	長度(mm)
θ_1	5
θ_2	7.08
θ_3	7.92
θ_4	8.33

表 4. 充填時間 93.56ms_流動波前至模穴末端距離

流道	長度(mm)
θ_2	2.08
θ_3	2.92
θ_4	3.33

表 5. 充填時間 99.09ms_流動波前至模穴末端距離

流道	長度(mm)
θ_3	0.83
θ_4	1.25

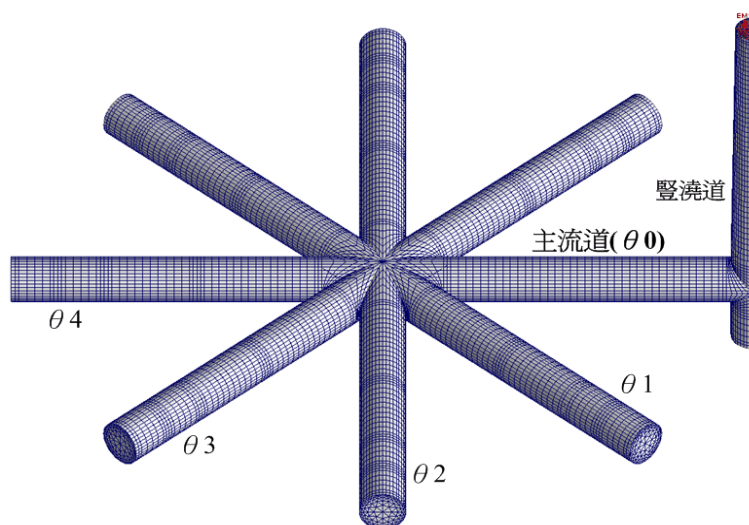


圖 1. 流道配置圖



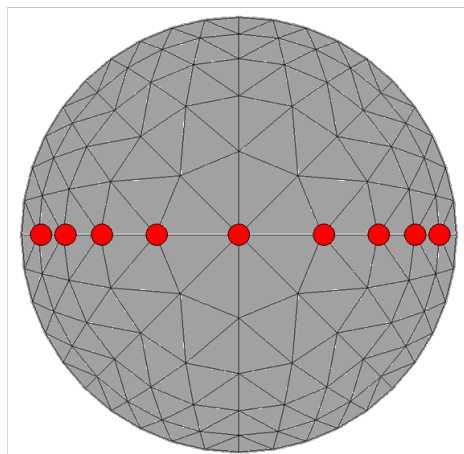


圖 2. 感測點配置圖

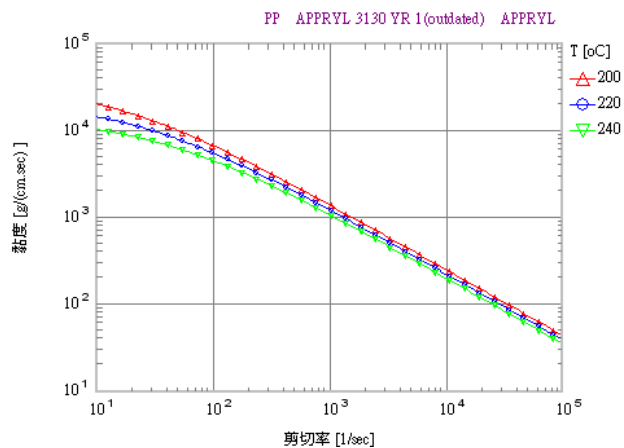


圖 3. PP APPRYL 3130 YR1 黏度特性圖

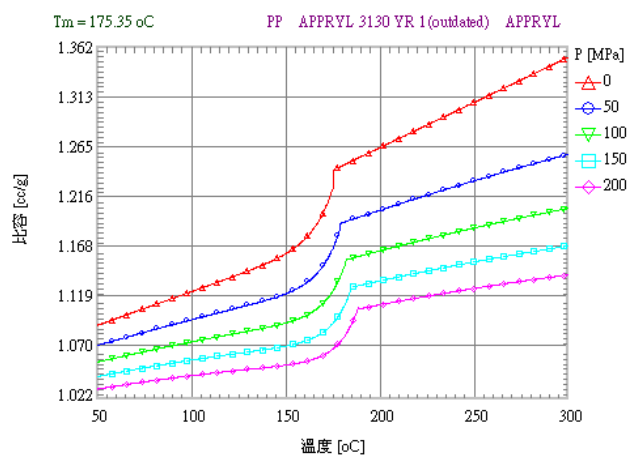


圖 4. PP APPRYL 3130 YR1 比容特性圖



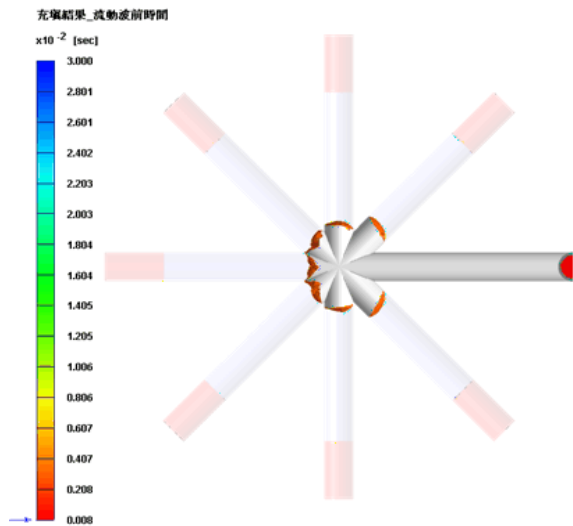


圖 5. 充填時間 30ms_流動波前圖

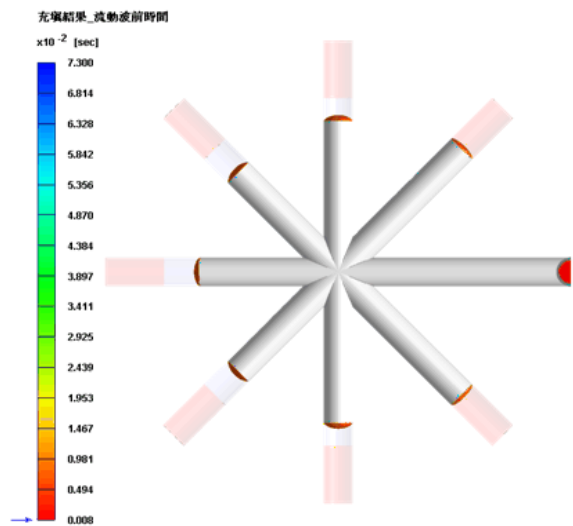


圖 6. 充填時間 73ms_流動波前圖

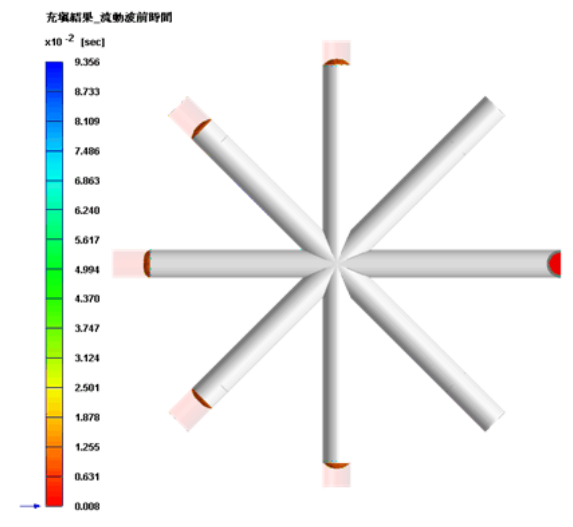


圖 7. 充填時間 93.56ms_流動波前圖



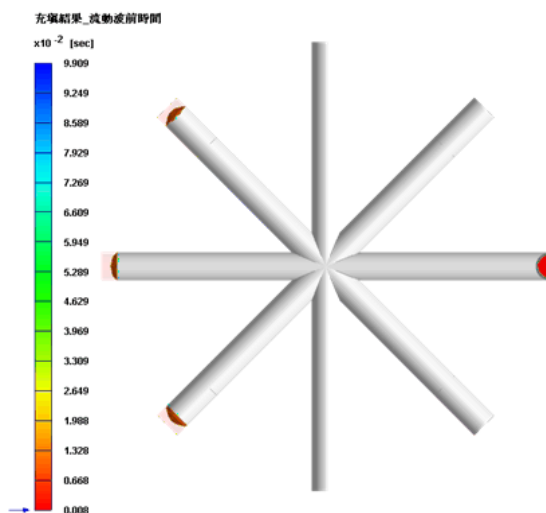


圖 8. 充填時間 99.09ms_流動波前圖

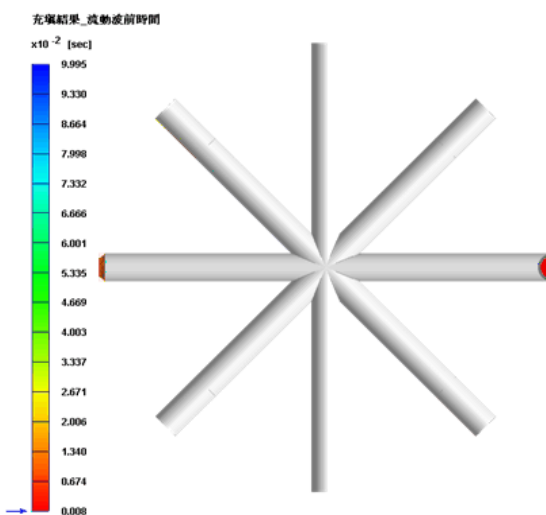


圖 9. 充填時間 99.95ms_流動波前圖

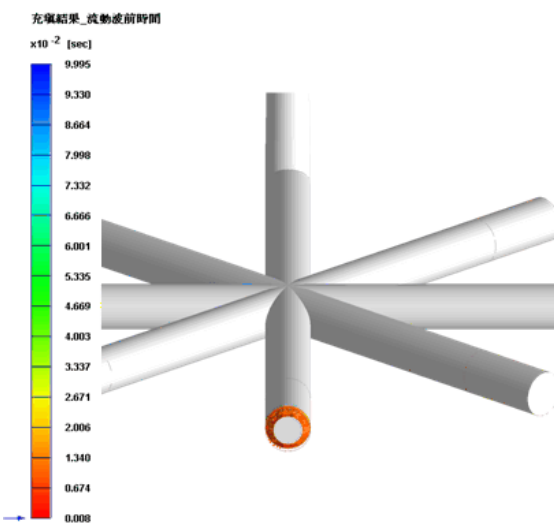


圖 10. 充填時間 99.95ms θ_4 模穴_流動波前圖



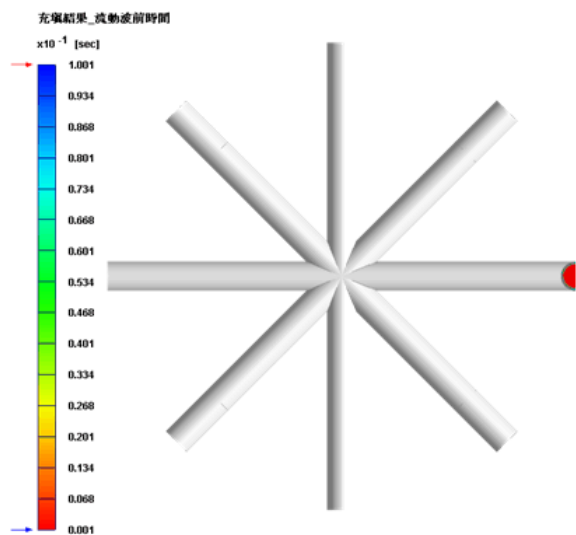


圖 11. 充填 100.1ms _流動波前圖

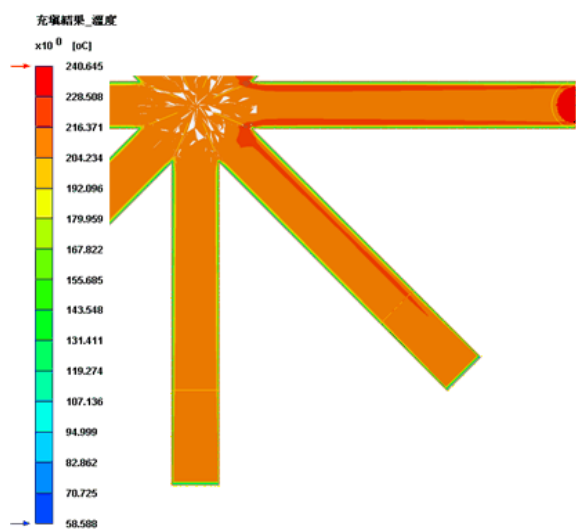


圖 12. 溫度分佈圖

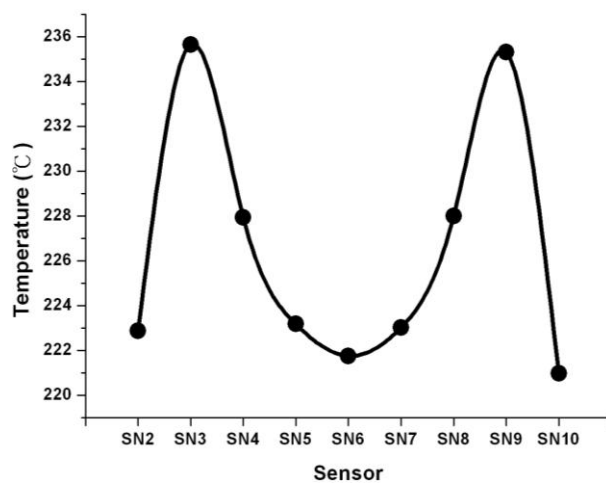


圖 13. θ_0 流道_溫度分佈曲線圖



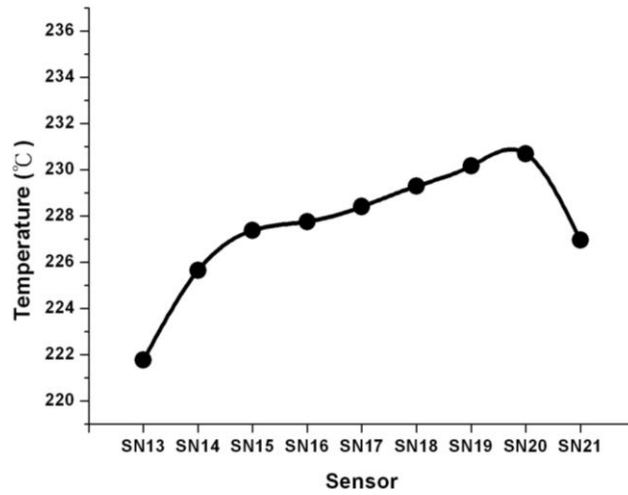


圖 14. θ_1 流道前段_溫度分佈曲線圖

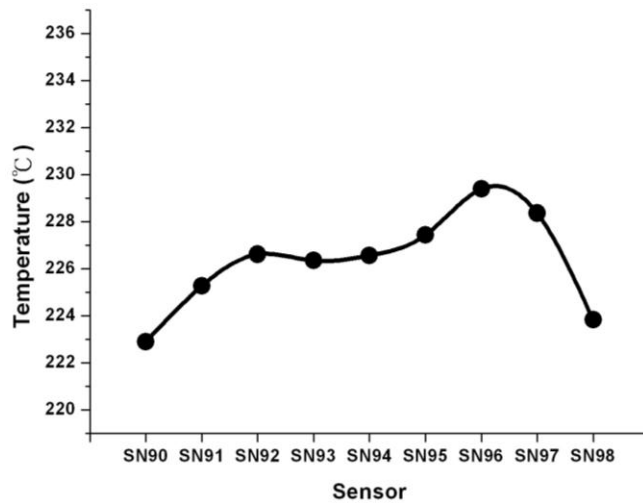


圖 15. θ_1 流道中段_溫度分佈曲線圖

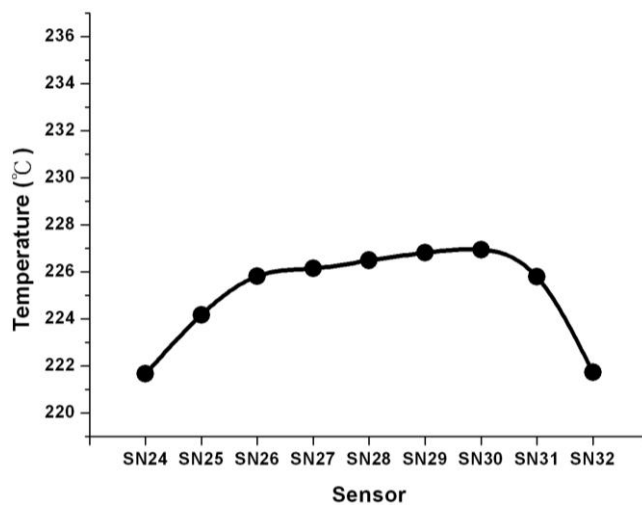


圖 16. θ_2 流道前段_溫度分佈曲線圖



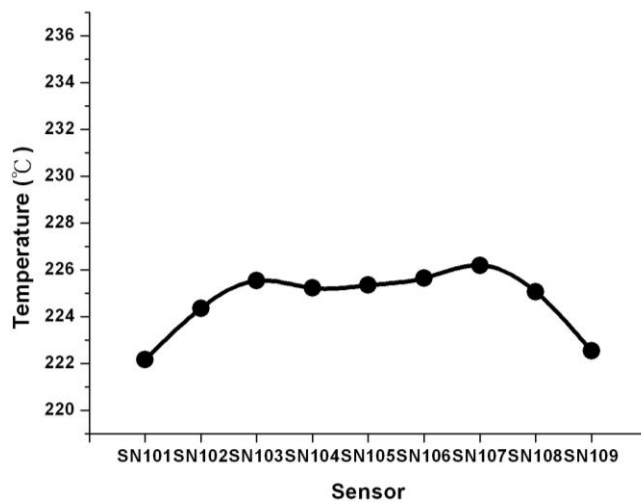


圖 17. θ_2 流道中段_溫度分佈曲線圖

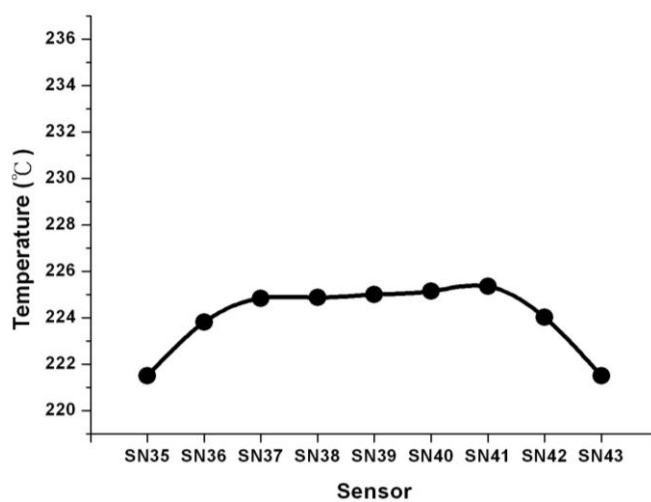


圖 18. θ_3 流道前段_溫度分佈曲線圖

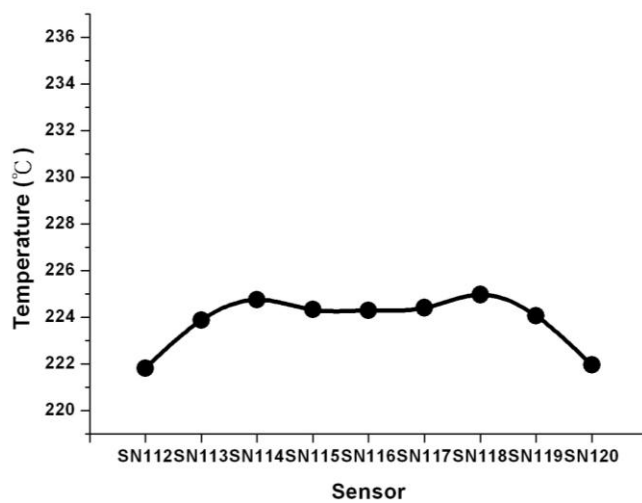


圖 19. θ_3 流道中段_溫度分佈曲線圖



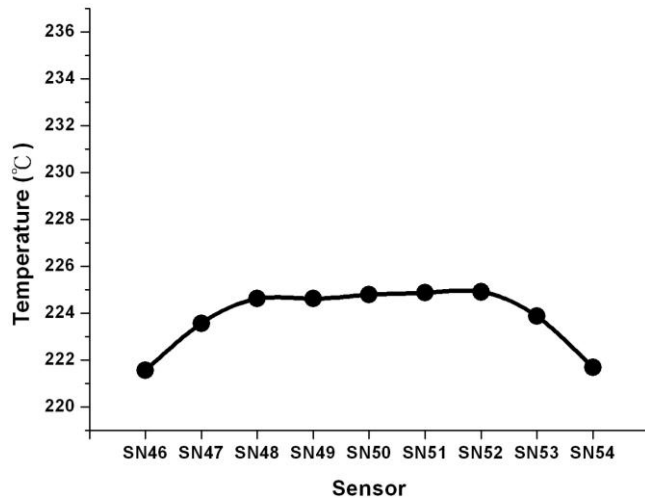


圖 20. θ_4 流道前段_溫度分佈曲線圖

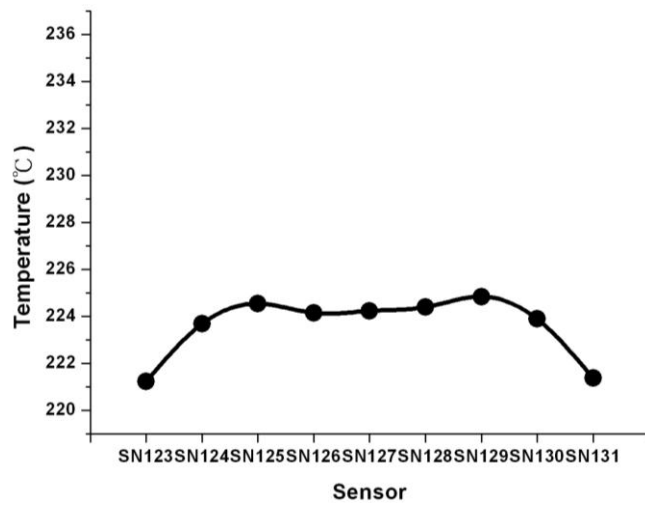


圖 21. θ_4 流道中段_溫度分佈曲線圖

