

流道平衡元件對放射狀流道的加工製程改善方案

A Solution for Improve unbalancing the Radial Runner System of the Injection Molding

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

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

摘要：本文主要研究放射狀流道對流動平衡的影響。由分析顯示，影響放射狀流道系統充填不平衡的因素為塑料的高剪切效應及流道角度造成的轉角效應，此兩種現象在本分析案例中佔了影響流動平衡的極大因素。原因在於，塑料的高剪切現象將使得流道內的塑料性質分佈產生變化加上轉角現象的影響，使各模穴的塑料充填時間產生差異，而造成流動不平衡。據分析顯示塑料充填的溫度差高達 10°C 以上；而在主流道與次流道間進行設計變更，結果顯示可以改善溫度差異，使溫差減少至 3°C 以內，流動平衡度也從原本的 92.25% 提升至 99.6%。

關鍵詞：模流分析、流動不平衡、剪切率、放射狀

Abstract : In this paper, the authors try to utilize the flow balancing concepts to analyze the radial runner system of the injection molding. In the radial runner system, the high shear-rate and runner angle are two major factors to cause the flow unbalancing. The high shear-rate leads to change the material properties, and the turn effect brings about the unequal velocity and temperature profiles. The results show the runner balancing device is inserted between the major runner and sub runner can improve the temperature difference in the range 3°C, and elevate the flowing balancing from 92.25% to 99.6%.

Keywords : Mold Flow, Flow Unbalancing, Shear Rate, Radial

壹、前言

在射出成型相關產業中，因應產品小型化的趨勢與降低成本的壓力下，採用多模穴模具來進產品設計及生產已是產業界共同的目標；然而大多數的設計人員著重的問題點，總是留意流道的幾何對稱性問題，卻往往忽略掉材料本身的性質及流道轉向角度所造成的流動問題。

一般來說不管是幾何對稱或非對稱的流道都會有流動不平衡的問題發生[1]。其中幾何對稱的流道，是因為塑料在充填過程中產生性質上變異所導致。主因在於，塑料



流動的過程中，最大剪切率發生於固化層稍內區域，也就是模壁內側，在流道中心的剪切率則趨近於最低值，而塑料因剪切生熱（shear heating）的關係，剪切率較高的塑料層溫度也會升高；且因為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，導致塑料進行分流後形成物理性質上的差異，而造成流動不平衡的問題產生。另一個因素，即是流道轉向角度的問題，在流動過程中沿模壁處流動的塑料，將因主流道與次流道（分流道）間不同的 θ 角度，使在實際充填過程中塑料流動路徑產生差異，而間接造成流動不平衡的問題發生。

本文研究的放射狀流道，除了剪切率的因素所造成的流動不平衡外，另一個原因即是主流道與次流道間轉角效應所形成的問題，圖 1 為原始放射狀流道充填至模穴 A1、B1 的時間所呈現的剪切率分佈，圖中可明顯發現高剪切率發生在固化層稍內區域，將使得塑料溫度產生高低溫差的現象；而流道外形的線架構設計雖然為澆口到產品為等距離，但流道實體化後將使的靠近主流道處的模穴，因為轉角的問題而減少了澆口到模穴的路徑，此兩個因素將造成流動不平衡的問題產生。

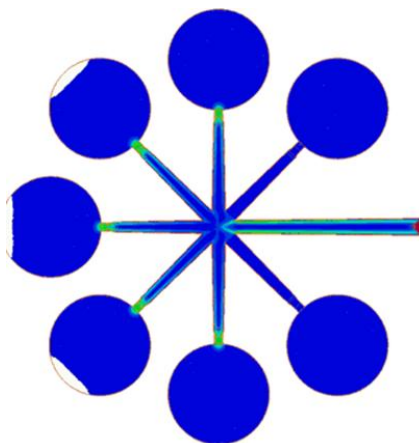


圖 1. 塑料在流動過程中的剪切率分佈現象

根據研究，因剪切效應所造成的流動不平衡問題，並無法透過簡單的調整澆口尺寸或流道幾何來達到明顯的改善效果，必須設法讓塑料在分流前或後的剪切率分佈（溫度分佈）進行重新分配才能獲得改善的實質效果[2]。而本文即是針對一個放射狀流道系統，利用模流分析軟體了解流道內熔膠在充填過程中內部黏度、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。並在塑料由主流道進入分流道前，嵌入一設計元件，期望藉由此元件使塑料的剪切率分佈（溫度分佈）獲得重新配置的改善；另一則是將主流道垂直各次流道來改善彼此間 θ 角度上的差異，並以兩分析案例進行分析比較，期望獲得實質的改善效果。

貳、模擬分析

本研究主要是藉由模流分析軟體 Moldex3D 進行模擬分析，探討「剪切效應」與「轉角效應」對於流道充填平衡度的影響，並藉由設計變更進行分析比較。



流道形式

採用一放射狀一模十四穴流道模組(如圖 2 所示,文中將此流道命為 A 組流道),藉此模擬分析剪切效應與轉角效應對流動過程的影響。另一是將主流道垂直 90 度角連接於次流道分流處,並於 90 度角處嵌入改善剪切效應元件(如圖 3 所示,文中將此流道命為 B 組流道),以此兩項變更與 A 組流道進行分析改善比較。

材料與加工參數設定

成型材料為聚丙烯(PP APPRYL 3130 YR1),其材料黏度和比容特性曲線如圖 4、圖 5 所示,成型加工參數以表 1 示之。

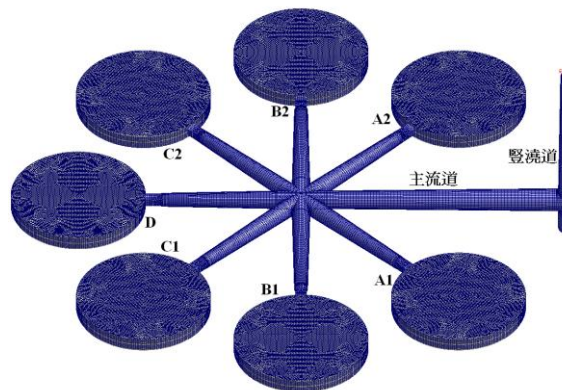


圖 2. A 組流道配置圖

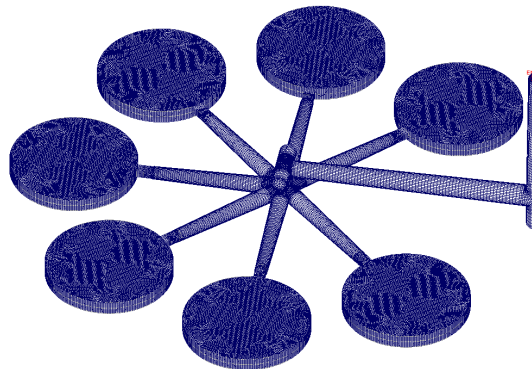


圖 3. B 組流道配置圖



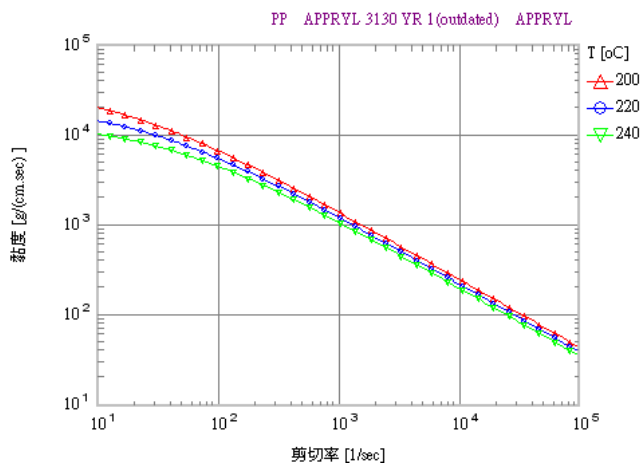


圖 4. PP APPRYL 3130 YR1 黏度特性圖

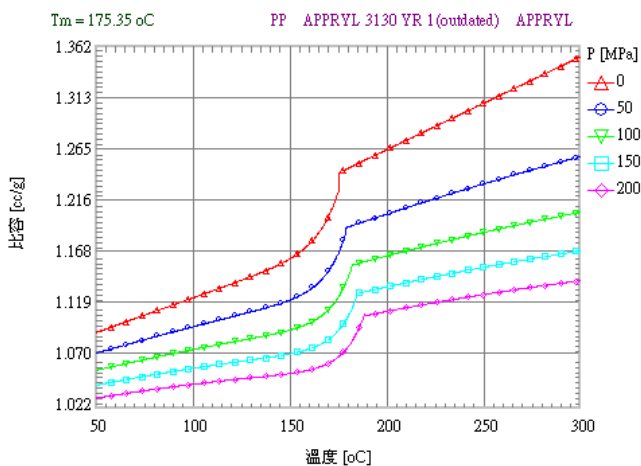


圖 5. PP APPRYL 3130 YR1 比容特性圖

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	1 sec
保壓切換	100 %

基本理論假設

在基本理論假設方面，理論上愈少的假設愈能精確的模擬出整個的結果，可是為了達到計算上的效率及降低問題的複雜性，基於一些合理的假設，仍可忽略模式中影響不大的效應，在本研究計畫中作了以下的假設：

- 一、假設射出速度為一致不做分段設計。



二、不設定保壓壓力和保壓時間。

三、不考慮其他造成流動不均的因素，以探討剪切及轉角因素為主。

充填平衡度

「平衡度」主要是用來表示該組流道模組充填的效益。假設流道進澆口到各模穴底部的時間為 t_a 、 t_b ，時間長短為 $t_a > t_b$ 。因此，定義各個模穴的平衡度為 t_{cav}/t_{ref} ，其中 t_{cav} 為填滿該模穴所需時間， t_{ref} 為參考時間。如採 $t_{ref} = t_a$ ，則可定義模穴b平衡度為 t_b/t_a 。在本分析案例中因為有四種塑流情形，所以將第一時間充填完成的模穴時間定為b，完整模穴充填時間為a，則該流道整體平衡度可以數學方式表示如下：[3]-[4]

$$\text{平衡度} = t_{cav}/t_{ref} \times 100\% = t_b/t_a \times 100\%$$

參、結果與討論

以A、B組流道進行射出成型充填分析，可獲取之分析結果為充填分析中的流動波前、模內溫度的變化等進行分析比較。

原始設計-A 組流道

透過分析本案例，可以獲取塑料在模穴內的流動形式、溫度及剪切率分佈變化、壓力傳遞難易度等情況，藉以判讀充填是否達平衡狀態，以下針對各分析結果進行討論。

1. 充填過程

圖6為流動波前示意，由圖中流動波前可知，靠近主流道A1、A2模穴塑料已經充填完成，但其餘模穴仍然在充填進行中，顯示出充填不平衡的現象。由分析數據顯示，A組模穴完整充填時間為160.0ms；而A1、A2模穴充填所需時間為147.6ms，顯示該組流道平衡度為92.25%。

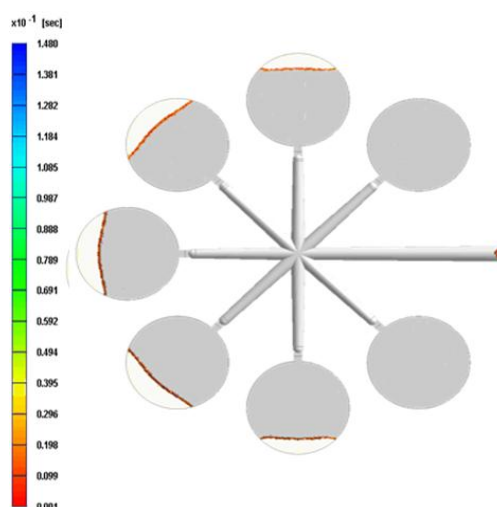


圖 6. A 組流道流動波前示意圖

2. 溫度分佈

圖 7 為 A 組流道充填過程溫度分佈現象。由圖得知，塑料在主流道的流動過程中，最高溫度分佈發生在固化層稍內的區域，當塑料充填至次流道時，由於各次流道間不同轉向角度的差異，將促使高溫塑料流入與主流道間為 45 度角的 A1、A2 模穴進行充填，之後依序為 90、135 及 180 度模穴。

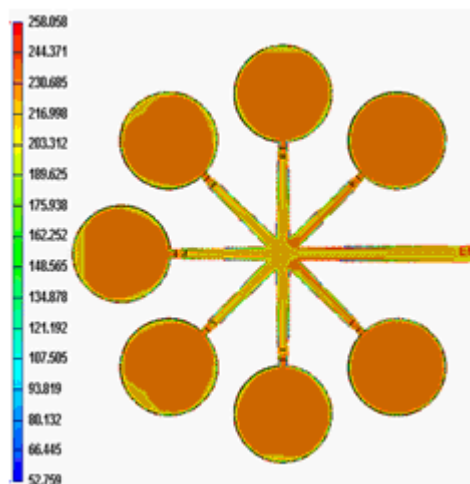


圖 7. A 組流道溫度剖面示意圖

在分析過程中，依序於兩模穴間的夾角設定感測點（如圖 8），獲得溫度資訊如表 2。由表得知溫差高達 10°C 以上，顯示各組模穴間的溫度差異嚴重。造成此現象的原因為，塑料在主流道的流動過程中溫度變化以中心溫度為最低點（不含固化層），而遠離流道中心向模壁處與固化層間的塑料溫度為最高，呈現一 M 型溫度變化曲線，並非以往所認知的塑料中心溫度為最高。也因此，當主流道與各次流道間的夾角度不同時，兩項因素將使得塑料溫度分佈不均勻，而造成流動不平衡的現象。

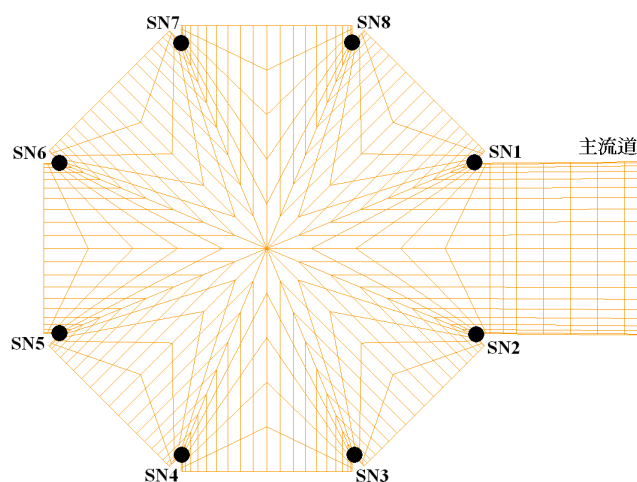


圖 8. A 組流道感測點位置圖

表 2、A 組感測點溫度表

感測點	溫度 (°C)
SN2	148.437
SN3	141.150
SN4	140.013
SN5	136.471

溫度分佈差異現象由圖 9 觀察更為明顯，圖中顯示 232°C 以上的塑料區域，可發現模穴的塑料體積並不相等，也就是有些模穴溫度分佈較高且高溫區域也分佈較廣。因此，可判斷出具有溫度分佈不均現象。

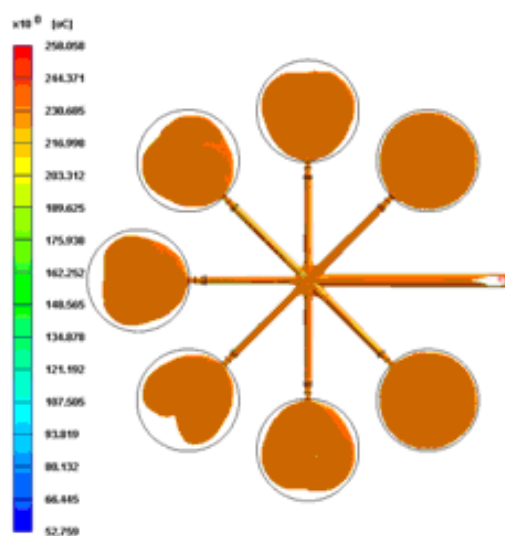


圖 9. A 組流道 232°C 以上塑料分佈

變更設計-B 組流道

根據原始設計分析結果得知，放射狀系統會因為塑料的剪切效應影響，造成溫度分佈不均勻及轉向角度等問題引起流動不平衡。

因此，在變更設計上首要克服的問題即是塑料的剪切率分佈，確保各分流後的塑料具有相同的性質，以保證各模穴成型品的品質一致性；另外則是降低次流道與主流道間轉向角度上的差異。在本研究中主要將主流道垂直 90 度角連接於次流道分流處，並於 90 度角處嵌入改善剪切效應元件，藉此收集（分散）流道靠近固化層區域的高溫塑料，使溫度分佈較平均的中間層塑料進行分流充填，以改善各模穴流動不平衡的現象，其相關分析結果如下討論。

1. 充填過程

圖 10 為流動波前示意，由圖中流動波前可知，與主流道正垂直 A3、A4 模穴塑料已經充填完成，但其餘模穴仍然在充填進行中，雖仍然為不平衡但比起 A 組流道以改善許多。由分析數據顯示，B 組模穴完整充填時間為 161.8ms；而 A3、A4 模穴



充填所需時間為 161.1ms，顯示該組流道平衡度為 99.6%。改善程度達 7.38%。

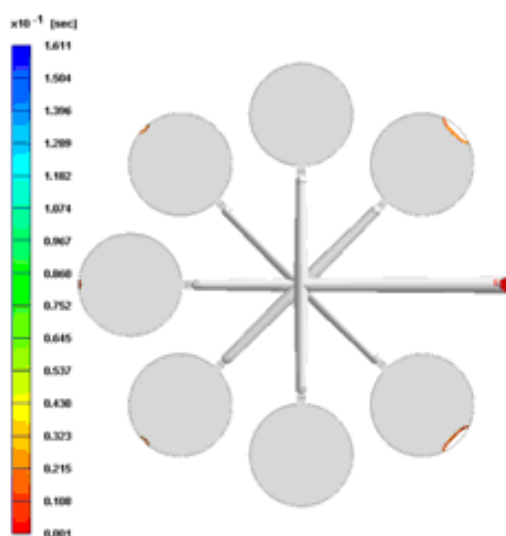


圖 10. B 組流道流動波前示意圖

2. 溫度分佈

由 B 組分析得知，塑料在主流道的流動過程中，尚未充填至設計元件處時，最高溫度分佈仍發生在固化層稍內的區域（如圖 11），但經過設計元件處及改善主流道與次流道間角度，使外層高溫現象即獲得改善（如圖 12），塑料充填各模穴間的溫度分佈差異已改善許多。

在分析過程中，同樣依序於兩模穴間的夾角設定感測點（如圖 13），獲得溫度資訊如表 3。由表得知溫差以降低至 3°C 以內，顯示各組模穴間的溫度差異趨緩。溫度分佈差異現象由圖 14 觀察更為明顯，圖中顯示 232°C 以上的塑料區域，可發現模穴的塑料體積相似。因此，可判斷出溫度分佈比起 A 組流道較為均勻分佈。

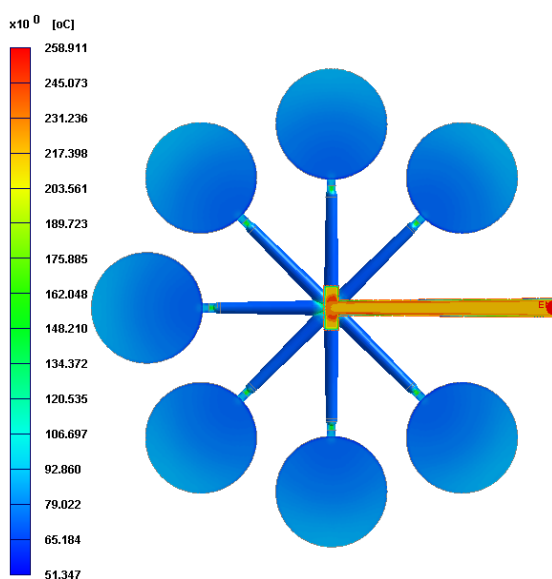


圖 11. B 組主流道溫度剖面示意圖

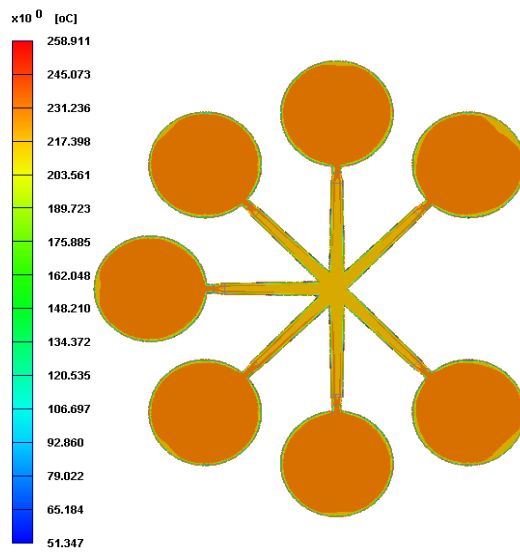


圖 12. B 組流道溫度剖面示意圖

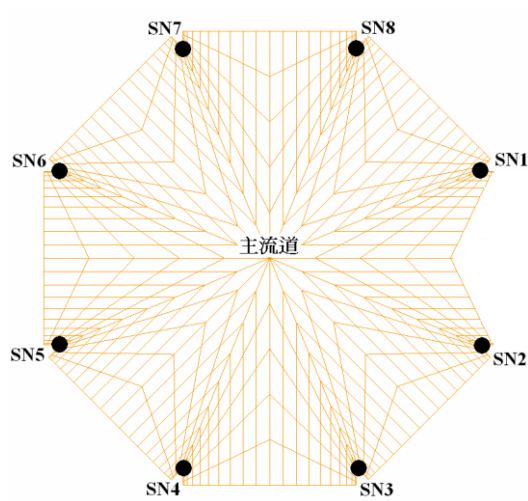


圖 13. B 組流道感測點位置圖

表 3、B 組感測點溫度表

感測點	溫度 (°C)
SN2	228.97
SN3	229.45
SN4	231.92
SN5	230.11



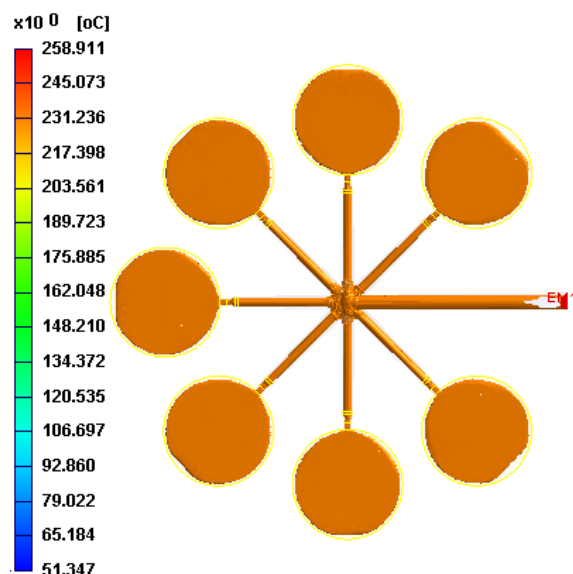


圖 14. B 組流道 232°C 以上塑料分佈

肆、結論

根據以上兩組分析結果得知，放射狀流道系統會因為剪切及轉角效應的因素造成流動不平衡，導致成品差異的問題產生。

文中所分析的變更流道形式在主流道與次流道間設計一改善元件，使高溫的塑料充填之，進而達到改善溫度分佈不對稱的問題，使性質較均勻的熔融塑料進入模穴內進行充填；另將主流道與次流道間以 90 度角相互連接，改善各次流道間角度上的差異，藉由以上兩項因素而達改善流動不平衡之目的。

根據分析結果顯示，變更設計的流道形式對於流動平衡度的提升與塑料溫度分佈現象，皆有達到改善的效果。

伍、參考文獻

- [1] 佚名，塑模流動平衡的研究，鄭州工業大學碩士論文。
- [2] 張維霖，射出成型流動平衡分析與改善，吳鳳技術學院光機電暨材料研究所碩士論文，2009。
- [3] 張榮語、陳彥成、楊健明，應用專家系統改善傳呼氣上下蓋之流道平衡，塑膠資訊 第三十四期 pp.50~56，1999。
- [4] 張榮語、陳彥成、王宇寧，塑膠射出成型流道平衡與流道設計最佳化，國立清華大學化工系 CAE 研究室。

