

東 海 大 學

工業設計學系碩士在職專班

碩士論文

同模異穴運用模流分析改善模具
提升塑膠射出產能

A Mold-Flow Analysis of Using Family Mold to Improve Product Forming
by Injection Molding

研 究 生:吳芷諭

指 導 教 授:羅際鉉

中 華 民 國 一 零 八 年 七 月

摘要

於全球國際間快速多元化產業的競爭中，如何能滿足市場的需求，提昇目前產業的競爭力及生產效率，如何能在塑膠模具開發上降低成本及加強塑膠射出優勢是重要因素等。從大幅降低成本壓力至縮短開發時程皆是目前產業首要考量。

此次分析針對產品模組化的其中一組同模異穴手機架零件進行分析。手機架零件是由上下各一個大夾子一個小零件及二個配件，所組合而成。本研究因傳統製造業大部份由傳統模具製造廠進行製作模具，而模具師傅依多年經驗傳承製作模具，設計模具的模穴空間配置、流道大小及澆口等，研究運用模流分析及田口實驗探討，分析傳統模具因前端模具設計不良，造成表面縮水及冷卻時間拉長，進行後端分析改善模具，找到最佳射出條件及產品品質，提昇產業競爭性。

研究結果顯示，S/N 比的重要因子模具溫度、射出速度、不同流道設計，運用配合 Moldex 3D 模流分析，找到最佳射出條件，並獲得目前塑膠射出產生的縮水凹陷造成冷卻時間拉長問題。藉由分析結果得知增加冷卻水路或改變產品肉厚部位，改善冷卻所拉長的時間，降低模具於射出時間行程，提昇產能，增加產品的競爭性。

關鍵字：模流分析、田口實驗方法、同模異穴、家族模穴

Abstract

With the global competition between fast-changing and diversified industries, the key to success is to satisfy market demands and to enhance the current competitiveness and product efficiency of industries. The critical factors include reducing the cost of development of plastic molding and strengthening the advantage of plastic injection. Each industry's primary considerations include the great reduction of the pressure due to cost and the reduction of development time.

In this study, the family mold of a cell phone holder that is designed by product modularization is analyzed. The cell phone holder is formed by top and bottom clamps, a small part, and two accessories. Since plastic injection molds are conventionally designed by molding houses in the traditional industry, tool makers fabricate tooling and determine the designs of cavity layout, runner size, and gates based on years of experience of their own. In this study, the approaches of mold flow analysis and Taguchi method are implemented to analyze the defective designs of front-end tools in conventional molding. After that, the molding can be improved by back end analysis in order to determine the optimal injection conditions and enhance the competitiveness of the industry.

The results of this study indicated that, the critical factors that affect the S/N ratio include mold temperature, injection speed, and different runner designs. The Moldex 3D simulation software was used to analyze the mold flow of real injection molds in order to determine the optimal injection conditions and the optimal runner size. This approach can improve the problem of shrinkage and recess of injected parts due to longer cooling time and the flow imbalance of family molds with multiple cavities. The results indicated that the production capacity can be increased and the product competitiveness can be enhanced by adding more cooling passages, changing the thickness of the part, improving the longer time for cooling, and reducing the injection time and displacement of the injection mold.

Keywords: mold flow analysis, Taguchi method, multi-cavity mold, family mold

誌謝

本論文承蒙 恩師 羅際鉉教授於修業期間指導與教誨，讓出社會許久再次踏入校園學習的我，有了更多的學習及成長的空間，不論知識及技術上都有更多的了解，能將於課業所學應用於工作崗位上，最後感謝老師在論文上給予極大指導與協助，在此獻上最深的誌謝與感恩。

由於本研究涉及到塑膠射出部份，因此非常感謝永昇汽車百貨有限公司所提供模具、機台、設備及人員上的幫助，非常感謝你們幫忙。除此之外要感謝就讀在職研究所同學們沒有你們的打氣、鼓勵、幫忙是不能順利的修完學份的。

最後，感謝我摯愛家人，有你們的支持鼓勵讓我有進修衝勁，於進修期間感謝家人、老公的關心與體諒，幫忙照顧家中小朋友，使我能安心進修求學，因為有你們的陪伴，讓我更茁壯了。

吳芷諭 謹識

中華民國一百零八年七月十五日

目 錄

| | |
|--------------------------|------|
| 中文摘要 | I |
| Abstract | II |
| 誌 謝 | III |
| 目 錄 | IV |
| 圖 目 錄 | VI |
| 表 目 錄 | VIII |
| 符號說明 | IX |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1-1 前言 | 1 |
| 1-2 研究動機與目的 | 1 |
| 1-3 研究範圍與限制 | 2 |
| 1-4 論文架構 | 2 |
| 第二章 文獻回顧 | 4 |
| 2-1 塑膠模穴問題與改善 | 4 |
| 2-2 同模多穴及同模異穴 | 4 |
| 2-3 模流分析 | 5 |
| 2-4 田口實驗方式 | 5 |
| 第三章 基本概念 | 6 |
| 3-1 塑膠起源與基本概念 | 6 |
| 3-1.1 塑膠起源 | 6 |
| 3-1.2 數學模式 | 7 |
| 3-2 塑膠射出成型理論 | 10 |
| 3-2.1 塑膠射出原理 | 10 |
| 3-2.2 模具基本架構 | 13 |
| 3-2.3 射出成型常見之缺陷及對策 | 16 |
| 3-3 田口方法源起與概念 | 19 |
| 3-3.1 田口品質工程 | 21 |
| 3-3.2 直交表的探討 | 22 |
| 3-4 田口實驗參數設計 | 24 |
| 第四章 手機架案例研究 | 26 |
| 4-1 產品模組化說明 | 26 |
| 4-1.1 模具設計 | 30 |
| 4-2 使用材質說明 | 32 |
| 4-3 產品說明 | 34 |
| 4-3.1 模具流道尺寸分析 | 34 |

| | |
|-----------------------|----|
| 4-4 田口實驗參數設定..... | 36 |
| 4-5 問題焦點..... | 38 |
| 4-6 結果分析..... | 40 |
| 4-6.1 模流分析..... | 40 |
| 4-6.2 進澆壓力分析..... | 46 |
| 4-6.3 模具射出冷卻時間分析..... | 48 |
| 4-6.4 田口工程分析..... | 49 |
| 第五章 結論與建議..... | 53 |
| 5-1 結論..... | 53 |
| 5-2 建議..... | 54 |
| 參考文獻..... | 58 |

圖目錄

| | |
|-----------------------|----|
| 圖 1-1 研究架構流程圖 | 3 |
| 圖 3-1 關模步驟非意圖 | 11 |
| 圖 3-2. 射出充填步驟示意圖 | 11 |
| 圖 3-3. 保壓步驟示意圖 | 12 |
| 圖 3-4. 成品冷卻靜置步驟示意圖 | 12 |
| 圖 3-5. 開模步驟示意圖 | 13 |
| 圖 3-6. 成品頂出步驟示意圖 | 13 |
| 圖 3-7 二板模具基本結構 | 14 |
| 圖 3-8 三板模具基本結構 | 14 |
| 圖 3-9 熱流道模具基本結構 | 15 |
| 圖 3-10 模具結構說明 | 15 |
| 圖 3-11 品質損失函數(二次損失函數) | 20 |
| 圖 3-12 產品/製程之參數圖 | 21 |
| 圖 4-1 手機架爆炸視圖 | 27 |
| 圖 4-2 手機架產品說明 1 | 28 |
| 圖 4-3 手機架產品說明 2 | 28 |
| 圖 4-4 手機架模組化 | 29 |
| 圖 4-5 模組化多原性產品 | 29 |
| 圖 4-6 模穴配置圖 | 30 |
| 圖 4-7 模仁部份產品配置 | 31 |
| 圖 4-8 冷却水路進出口的分佈 | 31 |
| 圖 4-9 射出加工建議條件 | 32 |
| 圖 4-10 黏度對切變率之變化曲線 | 32 |
| 圖 4-11 料商建議條件 | 33 |
| 圖 4-12 塑膠射出機圖 | 33 |
| 圖 4-13 射出機規格 | 34 |
| 圖 4-14 流道說明圖 | 35 |
| 圖 4-15 原流道尺寸 | 35 |
| 圖 4-16 分流道尺寸說明圖 | 36 |
| 圖 4-17(a)冷卻水路 | 39 |
| 圖 4-17(b)冷卻水路 | 39 |
| 圖 4-18 成型條件設定 | 40 |
| 圖 4-19 模流分析圖 | 42 |
| 圖 4-20 模流分析 1 | 44 |

| | |
|---------------------------|----|
| 圖 4-21 模流分析 2----- | 45 |
| 圖 4-22 進澆壓力曲線圖(a)----- | 46 |
| 圖 4-23 進澆壓力曲線圖(b)----- | 47 |
| 圖 4-24 進澆壓力曲線圖(c)----- | 47 |
| 圖 4-25 組別 8 塑膠射出圖面分析----- | 50 |
| 圖 4-26 組別 6 塑膠射出圖面分析----- | 51 |
| 圖 4-27 組別 1 塑膠射出圖面分析----- | 52 |
| 圖 5-1 冷却時間 S/N 產品比應圖----- | 54 |
| 圖 5-2 最長冷却時間----- | 55 |
| 圖 5-3 次長冷却時間----- | 55 |
| 圖 5-4 建議修改部份 A 組----- | 56 |
| 圖 5-5 建議修改部份 B 組----- | 57 |

表 目 錄

| | |
|----------------------|----|
| 表 3-1 二板模具和三板模具的不同 | 16 |
| 表 3-2 射出成型條件不良與對策 | 17 |
| 表 3-3 $L_8(2^7)$ 直交表 | 23 |
| 表 3-4 標準直交表 | 24 |
| 表 4-1 因子與水準配表 | 37 |
| 表 4-2 L_9 的直交表 | 37 |
| 表 4-3 實驗數據表 | 38 |
| 表 4-4 模流分析 1 | 43 |
| 表 4-5 模流分析 2 | 44 |
| 表 4-6 冷卻時間表 | 48 |
| 表 4-7 S/N 實驗數據表 | 49 |

符號說明

| | | |
|----------------|---|------------|
| x | : | X 方向座標 |
| y | : | Y 方向座標 |
| z | : | Z 厚度方向 |
| v | : | Y 方向的速度 |
| w | : | Z 方向的速度 |
| t | : | 時間 |
| ρ | : | 密度 |
| C_p | : | 比熱 |
| T | : | 溫度 |
| η | : | 絕對黏度 |
| $\dot{\gamma}$ | : | 剪切速率 |
| n | : | 材料參數 |
| τ^* | : | 剪切應力 |
| T_w | : | 模具厚度 |
| ϕ | : | 纖維與 X 軸之夾角 |
| r_p | : | 纖維細長比 |

第一章 緒論

1-1 前言

全球已進入世界地球村的時代，因應全球國際間快速多元化、環境多變化產業競爭中，如何滿足不同消費族群需求，市場的需求，便造就現今產品週期短、淘汰快速、微量多樣、價格低廉、求新求變的狀況，提昇目前產業市場的競爭性及生產效率，而於產品開發上塑膠開發就佔了開發設計產品成本極大的比例，塑料用於製造各式樣的產品，被廣泛運用於各方面用途，塑膠成型加工製造方式有發泡成型(Foam Molding)、吹出成型(Blow Molding)，擠壓成型(Extrusion Molding)、熱壓成型(Compression Molding)、射出成型等(Injection Molding)。針對不同的需求配合適合的製造工藝，而塑膠射出成型更是廣泛被使用於現今社會中，於塑膠加工中佔了重要的技術之一，舉凡市面上民生用品、汽車用品、科技產品，皆可看見塑膠射出的製品，射出成型的主要優點可大量生產製造，成型速度快、週期短，產品塑性高，可製造任何不同多變的幾何形狀產品，並且不需二次加工，節省許多不必要的人力及時間成本，故塑膠射出成型的技術提昇，縮短模具開發時程，便是增加競爭力的重要關鍵知識技術之一，而加強塑膠射出優勢是另一重要因素，即是提升塑膠射出產量、品質。如何降低模具成本，增大產量及大幅降低成本壓力，是許多傳統廠業的主要需求，為了使產品能在設計、製造上滿足上述。於產品設計原始前端速求將產品設計為模組化，方可減少開發不必要時程浪費，又可降低模具開發成本，而將同一模組化的產品，放置在同一組模具內，方便塑膠射出及模具的管控。

現今的製造環境裡，傳統模具面臨了問題，許多的模具製作皆來至於模具師父的經驗傳承製作，模穴的配置位置、流道、澆口大小等，若能運用模流分析針對模具尋求改善，減少相關問題的發生，加快開發時程，了解產品開發模具的各項主要因子，透過推理出來的模式，有效掌握模具的開發相關問題，必縮短開發時程，本研究嘗試由田口實驗方式角度結合塑膠模具的模穴配置，探討如何適當地運用田口實驗方式、同模異穴空間配置運用、流道大小，進行模具設計及參數的最佳化，來求得流動的平衡，達到最佳化的模具設計。

1-2 研究動機與目的

同模異穴模具設計，主要是因為目前產品週期短淘汰快速，對市場的不確性，客戶於成本的考量，降低模具成本，竟而產生一模多相異穴(family mold)的模具製作，因相異穴產品體積差異大，易造成產品充填不足、溢毛邊、變形、縮水等不良產品，而另一個衍生出的問題即是相異產品放置於模具穴內如何放置，產品大小不同若放置的位置不佳，亦增加模具成本、射出成型的困難度，流動不平衡問題，造成射出壓力大，保壓時間等。

本文探討相異穴因體積差異極大及傳統的模具製造加工僅依過往的模具師父經驗的傳承製作相異的零件製作模穴的配置，往往造成射出成型時，產生問題點，但確不易找出問題點及快速的改善問題，本文希望借由模流分析改善已開發的模穴配置不良，後所造成的問題點，並運用模流分析及田口實驗方法進行實驗設計，竟而達成模具製程最佳參數組合，改善因前端已開始模具所造成的不良問題，藉由模流分析及田口實驗方法快速的了解問題點並改善產品的不良，縮短開發時程，提昇產業競爭力。

1-3 研究範圍與限制

本研究是針對同模異穴的塑膠件進行研究，而相異穴的產品因大小形狀差異大，會因為產品的大小而調整澆道大小或入澆口大小，故選用二板模方便配置及降低模具成本。因此次研究在於提昇塑膠射出產能，且產品零件為小零件，因此次產品翹曲不影響產品組立及外觀，不列入考慮，為降低成本而運用二板模模具進行分析。主要在於縮短塑膠射出行程，提昇塑膠射出的產量部份進行研究。

1-4 論文架構

本論文分六章，以下為簡單說明論文架構：第一章緒論主要說明同模相異模具成品上的問題，並說明主要研究動機來致於一般傳統產業產生面臨的問題。第二章在於模流分析與田口實驗方式的相關文獻，做回顧分析整理。第三章由於射出成型的影響因素有許多，塑膠產品、田口實驗方法分析了解。第四章此次研究案例為手機架實例分析，因將大小不同的產品放至同一模具內，對於塑膠射出的影響因素很多，說明產品特性、了解問題，進行參數設定、模流分析與田口實驗方法設定，本研究藉由模流分析進行手機架射出成型參數模擬，以瞭解產品於射出製作相關問題，有利於模具的製作及及射出成型的改善。第五章 本章運用模流分析進行現有模具分析及田口運用，探討並找出問題及最好的分析結論，並對於冷却行程、模具溫度、射出速度的說明及建議。

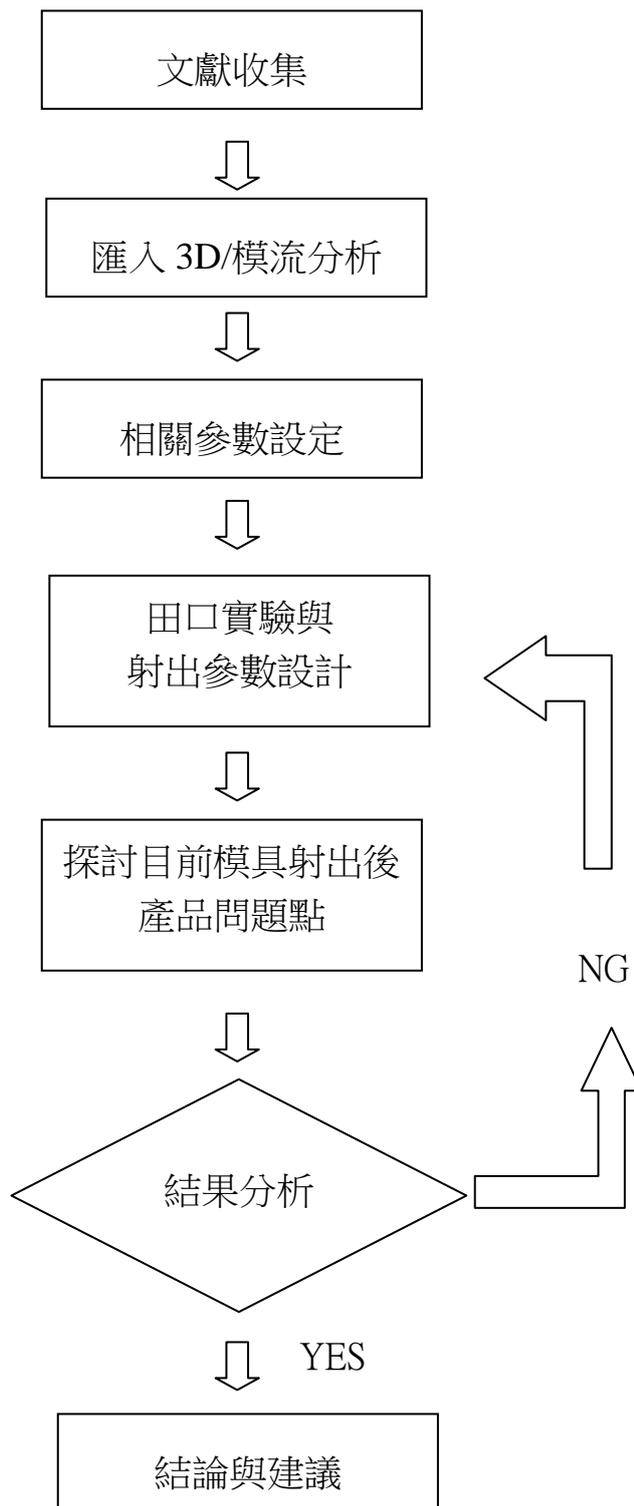


圖 1-1 研究流程圖

第二章 文獻回顧

目前關於塑膠模穴問題改善、同模異穴及同模多穴、模流分析、田口實驗方式的相關研究皆有許多相關的研究資料及例子。

模流分析

2-1 塑膠模穴問題與改善

呂志賢等〔2005a, 2005b〕研究指出澆口數量由四個到八個會有明顯改善射出壓力，而射出壓力將由 100Mpa. 降低到 80.38Mpa. 對於產品翹曲變形有很大改變，在配合流道修改後可獲得到些許之改善，射出壓力改善降至 78.15Mpa.。林秀春等〔2001〕研究發現流道與澆口的直徑加大或直徑縮小可有效改善模穴內的流動，但是若厚度過大影響到流道供料不及不順，則以改變澆口位置或增加射出成品局部厚度值為最佳。戴國男等〔2001〕探討流道尺寸、澆口位置及冷卻水路配置對於提升塑膠產品品質及縮短射出成型時間，於分析結果得知流道直徑過大將對成型壓力的影響並不大，因此可以減少流道直徑的設計，在塑膠射出成型過程中造成射出壓力過大的主要原因是肋條深度過深及厚度太小，針對此因素改變可發現有效降低成型壓力；而在澆口位置設計不當將造成保壓效果不佳的主要原因，將會造成產品收縮率過大，因此必需改變澆口位置，即可以獲得均勻的體積收縮率；冷卻水路設計不良將會造成產品翹曲變形的主要因素，為避免射出產品產生變形，常會將降低模具溫度及脫模時間設定較長，但如此就會造成頂出問題及塑膠射出成型週期變長，造成產品的生產率降低，而加強公模冷卻水路設計，可以分佈模溫差較小，降低產品翹曲變形量，更可以使週期縮短。莊錦煊等人〔2001〕針對研究射出產品風扇的澆口數量對於流動的平衡影響，而此風扇為五葉片的產品設計，原始設計為三點進澆口，造成在模穴內部熔融的流動不平衡，當澆口更改為五點式進澆時，在模穴內部熔融為一平衡的流動，可使風扇的每一片葉片得到相似的品質。徐政裕等人〔2001〕探討產品為壁厚之厚薄差異大的產品，於分析結果中發現，原始設計在產品厚度設計上的不同造成塑料在充填過程中熔融往較厚的區域流動，造成較薄的部份區域產生滯流現象(Hesitation)，變更產品上方的四個澆口移除改成三個澆口，則有明顯改善分佈溫度穩定，塑料在薄區域先充填先冷卻，卻造成塑料填充不易，壓力增大，剪切應力增高。黃敬哲等人〔2013〕分析水路配置距離成品越近，公模仁高溫曲線就有向下降趨勢，但於模仁材質部份鈹銅材質與 AISI-P20 材質比較差異較小

2-2 同模多穴及同模異穴

鄭釗瀚等人〔2011〕針對一模多穴模具內部內塑料的流動現象進行討論，一模多

穴放射狀流道因剪切及轉角效應，造成溫度分佈不均勻，產生流動不平衡現象，藉由流道間設計平衡元件及主流道與次流道之間運用 90 度角相互連接設計，改善流動不平衡問題，分析發現流道內部溫度差異值越低，將能改善流動不平衡問題。Sanou [1985] 研究模穴厚度對纖維排列的影響。依中心平面纖維排向進行討論研究，其以模穴長為 127mm，寬為 12.7mm，對於厚度不同的 2 個尺寸 1.6mm 及 3.2mm，進行研究其兩種模穴於靠近模壁，因剪力作用，纖維排列呈現平行流動方向。在厚度薄(1.6mm)的模穴因剪切率較大造成纖維排列為單一向；但於厚度較厚 (3.2mm)的模穴，纖維排列很明顯成為二維方向(平行流動方向及垂直接流動方向)。

2-3 模流分析

何王鈞等人 [2017] 一模 20 穴的家族模具，因塑膠扣件有較大的翹曲變形及雙孔銜接環肉厚較厚造成產品表面嚴重縮水等原因，藉由增加排氣孔設計，可以大幅降低收縮凹陷嚴重問題。同模異穴(family mold)的流動平衡問題，能藉由流道尺寸和澆口尺寸設計並配合 Moldex3D CAE 分析提出改善建議。李侑穎等人 [2014] 研究針對同模異穴寵物梳模具流動平衡進行相關研究與探討，藉由改變流道寬度及射出成型的方式，研究分析與實際生產之產品進行比較，運用電腦分析導入開發環節，將原流道寬度 6mm，固定鈕流道寬度 5mm，藉由 Moldflow 模擬分析變更設計，經實際射出驗證後與模擬分析結果相符。張光維 [2018] 運用電腦輔助模流分析軟體，模擬一模四穴射出成型，製程參數對產品真圓度影響，透過電腦輔助模流分析軟體分析顯示保壓壓力對於真圓度有重要的影響，運用田口實驗有助於分析實驗並得到最佳化的參數。

2-4 田口實驗方式

利用田口式分析運用於模流分析有江可達等人 [2002] 使用田口方法之品質工程規劃法，運用 Mold Flow MPA 模流分析建立塑膠射出成型過程的製程最佳化流程，以便進行有效率之分析模擬，分析 CD-ROM 碟盤托盤塑膠製品的毛邊與翹曲問題，運用信號雜音比 S/N 運算與變異數分析，獲得其不同因子分別為，以成型壓力與溫度分佈差為目標質。分析獲得製程之最佳化加工參數，減少所需之試模時間及成本浪費，以提升品質與降低生產成本。羅際鎡，[2006]，以電腦散熱風扇運用模流分析及田口實驗由各因子推論出最佳成型參數組合，獲得成型品最小翹曲量。吳宜家 [2013] 以印表機碳粉匣的塑膠外殼為分析對象，研究顯示保壓時間為影響產品變形翹曲重要製程因子，其次為冷卻時間及充填時間，原始製程參數量為 0.2613mm，運用田口實驗方法改善了 43.22%的翹曲，結果証實田口實驗方法可幫助分析實驗並得最佳化的參數。

第三章 基本概念

3-1 塑膠起源與基本概念

3-1.1 塑膠起源

塑膠是指高分子量的工業合成樹脂為主要成份，再加入適當添加劑等經加工成型的塑性材質。早在 19 世紀，美國化學家 Haytt 便發明了高分子物質的合成方式，利用樟腦加入在硝酸纖維合成提煉，提煉出可塑性的人工賽璐珞。故賽璐珞是一種合成樹脂名稱，亦是歷史上最早發明的熱可塑性樹脂。

1884 年，法國科學家夏爾東尼同樣以纖維素為原料，成功地做出人造絲。不過到此階段為止，科學界完成的賽璐珞與人造絲仍使用天然高分子纖維素作原料，嚴格講還稱不上是「人工合成高分子」。一直到 1906 年，才有美國人雷奧·貝克藍德以苯酚和甲醛做成「酚醛樹脂」，完全符合人工合成高分子的定義。杉本賢司〔2004〕

塑膠原料在分類上分為熱塑性及熱固性塑膠。熱塑性塑膠定義為加熱不會有化學變化，使分子熔融並且能結合在一起，冷卻後形成固態，在加熱後，熔融軟化成為具有塑性的塑膠，塑膠冷卻後又形成固化，可以反覆的模塑，所以熱塑性塑膠產品通常被回收利用，稱為二次料，塑膠包括聚丙烯(polypropylene, PP)、聚乙烯(polyethylene, PE)、聚苯乙烯(Polystyrene, PS)等。熱固性塑膠定義為塑膠加熱塑膠依然固化，並沒有被熔融，這種熱固性塑膠只能被成型一次，當塑膠被固化定型後將無法再重覆被回收再利用，故其塑膠耐熱性、耐衝擊性、強度、硬度等皆優於熱塑性塑膠，故於工業零件佔有一席重要的地位。

塑膠成型加工原理，基本原理熔化(solution)、流動(flow)、凝固(solidification)三個變化過程。

熔化指塑膠在加熱加壓的作用下產生可塑性，再不同的材料下所產生的塑膠可塑性的溫度亦不同，此可塑階段可塑性與溫度有關。

流動即是充填階段，是指塑膠在可塑的狀況下，藉由壓力的推擠流動將成型空間充填完全，流動充填過程中流動性及成型壓力將是影響成型品優劣的重要因素，塑膠流動不良、成型壓力大小將造成充填不足、毛邊、變形等問題，此充填階段溫度、壓力、流動有關。

凝固即是冷卻，塑膠產品於充填完成後必需有一個冷卻時間待塑膠固化方可取出，冷卻時間會依塑膠的特性、成型品大小厚度等而有所不同，此冷即階段與時間有關。

就加工特性而言，塑膠材料易於加工熔接、切削、鎖螺絲等。易於不同材質的金屬材質做結合。塑膠材質有的加熱溫度不需過高，即可加工成型。

3-1.2 塑膠流動原理

Richardson〔1972〕提出完整理論，牛頓流體的等溫充填模式，主要理論，將複雜的三維流動理論簡化為 Hele-Shaw 二維流動，Hele-Shaw 流動是用來模擬位能流動，應用在塑膠的塑流理論，忽略厚度速度，並假設塑膠在於極薄的平板之中，即為完全

發展流(fully develop flow)。Kamal 等人 [1975] 運用分析於矩形模穴充填情形，解析結果與實驗結果，幾乎一致。Bird [1987] 推導高分子對模穴之流動為非牛頓流體模式之理論，而對於形狀比較複雜模具及厚度有變化時，此時方程式變為非線性且無解析解可解，故需配合有限差分或者數值分析來求解。由於高分子是一種黏彈性體，若可以黏彈性本質方程式來進行模擬分析最佳，但對應相關力場之影響亦非常明顯，若純黏性流變模擬模式，如使用最廣的 GNF 模式來進行數值模擬。

運用模流分析軟體 moldex 3D。分析影響塑膠成型射出的因素有很多，如射出速度、射出壓力、熔融溫度、模具溫度，保壓壓力、冷卻管線配置設計及入澆口等皆會影響成品的精度，當塑膠充填完成之後，模穴內熔融的流動造成溫度及壓力的不平均，因而產生殘留應力，造成射出產品，品質不佳。

3-1.2 數學模式

簡化問題的複雜性，做了一些假設如下 [張榮語，1998a]：

模穴厚度很薄

忽略慣性力及重力效應

忽略厚度方向的對流效應

只考慮厚度方向的熱傳導效應

以上之假設，可得到整個求解統御方程式如下：

◆連續方程式：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (3-1)$$

其中，x, y 為平面座標

z 為厚度方向

u, v, w 分別為 x, y, z 方向的速度

t 為時間

ρ 為密度

◆動量方程式：

$$0 = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3-2)$$

$$0 = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} \quad (3-3)$$

◆能量方程式：

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \eta \dot{\gamma}^2 \quad (3-4)$$

其中 C_p 為比熱

T 為溫度

η 為絕對黏度

$\dot{\gamma}$ 為剪切速率

◆流體行為 Modified-Cross 模式：
(黏度為剪率、溫度、壓力的函數)

$$\eta(\dot{\gamma}, T, p) = \frac{\eta_0(T, p)}{1 + \left[\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*} \right]^{1-n}} \quad (3-5)$$

$$\dot{\gamma} = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2} \quad (3-6)$$

其中 n 為材料參數

τ^* 為剪切應力

其邊界條件為：

$$\text{At } z = \pm b : u = v = 0 ; T = T_w \quad (3-7)$$

$$\text{At } z = 0 : \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial v}{\partial z} = 0 = \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3-8)$$

其中 T_w 為模具厚度

因為壓力與 Z 方向無關，因此動量方程式(3-2)，(3-3)可積分成：

$$\eta \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) z \quad (3-9)$$

$$\eta \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial p}{\partial y} \right) z \quad (3-10)$$

在根據邊界條件(3-7)，(3-8)式：

$$v_x = \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right) \int_z^b \frac{z' dz'}{\eta} \quad (3-11)$$

$$v_y = \left(-\frac{\partial p}{\partial y} \right) \int_z^b \frac{z' dz'}{\eta} \quad (3-12)$$

對上述兩式(3-11)，(3-12)積分：

$$\bar{u} = \left(-\frac{\partial p}{\partial x} \right) \frac{s}{b} \quad (3-13)$$

$$\bar{v} = \left(-\frac{\partial p}{\partial y} \right) \frac{s}{b} \quad (3-14)$$

$$S = \int_0^b \rho \frac{z^2 dz}{\eta} \quad (3-15)$$

將式(3-13)，(3-14)代入，最後得到：

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_0^h \rho dz - \frac{\partial}{\partial x} \left(s \frac{\partial p}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(s \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 0 \quad (3-16)$$

$$\rho = \rho(T, p) \quad (3-17)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_0^h \rho dz = G \frac{\partial p}{\partial t} + F \quad (3-18)$$

$$G = \int_0^x \left(\frac{\partial \rho_l}{\partial \rho} \right)_T dz + \int_x^h \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial \rho} \right)_T dz \quad (3-19)$$

$$F = \int_0^x \left(\frac{\partial \rho_l}{\partial T} \right)_p \frac{\partial T}{\partial t} dz + \int_x^h \left(\frac{\partial \rho_s}{\partial T} \right)_p \frac{\partial T}{\partial t} dz + (\rho_l - \rho_s)_z = x \frac{\partial x}{\partial t} \quad (3-20)$$

(3-16)式邊界條件為：

$$P = 0 \quad \text{於流鋒處} \quad (3-21)$$

$$P = P_e(x, y, t) \quad (3-22)$$

於模穴入口處

$$\frac{\partial p}{\partial n} = 0 \quad \text{於模壁處} \quad (3-23)$$

◆纖維方程式：

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right] + \frac{r_p^2 - 1}{r_p^2 - 1} \bullet \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \cos 2\phi - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial w}{\partial z} \right) \sin 2\phi \right] \quad (3-24)$$

此處 ϕ 為纖維與 X 軸之夾角； r_p 為纖維細長比(aspect ratio)， $r_p = \frac{b}{a}$ ，入口纖維的

初始角度假設為常數

$$\phi_{\text{moldinlet}} = \phi_0 \quad (3-25)$$

使用有限元素將上述公式計算出來。

3-1.4 塑膠材料基本

因塑膠射出運用許多塑料，無法一一說明，只針對本研究 ABS 材質進行論述：ABS 特性：於初期 ABS 運用輕交聯橡(NRB)和 SAN 聚物調配製成，至目前 ABS 則是以塑化苯乙烯 (polymerising styrene)、丙烯青(acrylonitrile) 及聚丁二烯 (polybutadiene)混合後成丁二烯，後加入苯乙烯丙烯青(SAN)熔合製作成塑膠。只需將單體比例、混合方式、橡膠粒子大小及數量，及聯密度 SAN 分子量，經比例的混合，便可製造成不同的物料。通常 SAN 份子量增加，其 ABS 的強度及剛性更提升了，例口橡膠含量增加後相對 ABS 的強度、抗熱性、硬度及剛性亦會減少。故可將 ABS 分等級中、高、特高耐沖擊級，尚還可分高熱、防火、電鍍等

一般而言，ABS 是一種具有高硬度及韌性的塑料。於低溫下能然具有高度的耐擊性，於電器性上，因吸水性低，具有極佳的絕緣體，使其電器品不受溫度的影響。表面不易磨損、磨耗具有良好的耐磨性質。

ABS 塑料於 -40°C 至 100°C 溫度，性質不變。因其具有高度剛性及極佳的加工條件、塑料表面光亮、價格適中等，廣泛被應用於汽車製造業 電子業、家電用品、廚房用具等。ABS/PC 調配塑料，可運用於耐熱性的家電用品，電熨斗、咖啡壺等能運用適當的沖擊性質，重要的是具有透明性，在 PC 之外另一個考量材質。ABS 兼具價格、功能、強度、物性各種考量的另一種選擇。

3-2 塑膠射出成型理論

3-2.1 塑膠射出原理

塑膠射出成型運用於塑膠成型加工中廣泛被運用，而塑膠射出成型機亦是非常普遍的工具機，運用塑膠材料遇熱軟化的材質特性來成型。射出成型機於 1872 年被美國發明運用至今日已有 130 多年的歷史，而柱塞射出型機在 1926 年才被一系列製造出來，直到 1956 年螺桿往復式的塑膠射出成型機正式推出，此時塑膠射出成型機大致底定其規格，之後的機型便都是由此發展或改良而來的，大約是民國 60 幾年左右，台灣對塑膠射出成型機的大量投入，發展已有 20 多年的歷史，張榮語 [1999]。射出成型原理就是將塑粒加入在射出成型機的料筒內加熱後熔化，當塑粒由固態形成流動狀態時，螺旋桿將其加壓下，熔融塑膠原料會被螺旋桿壓縮向前移動，塑料進而通過料筒前端的噴嘴運用很快速度壓力注入溫度較低的閉合模具內，經過一定時間冷卻定型後，開啟模具即得製品。故塑膠射出成型是一個循環製造程序。將步驟區分為六個部份：關模、充填、保壓、冷卻、開模及頂出。圖面取至魏綸群 [2008]

1. 開模步驟

射出前置第一動作，就是利用射出機的液壓系統傳遞關閉模具的能量，讓可動側模具確實與固定側模具作閉合狀態，如圖 3-1 關模步驟示意圖所示，這個狀態將會持續保持，直到成品冷卻階段完成。

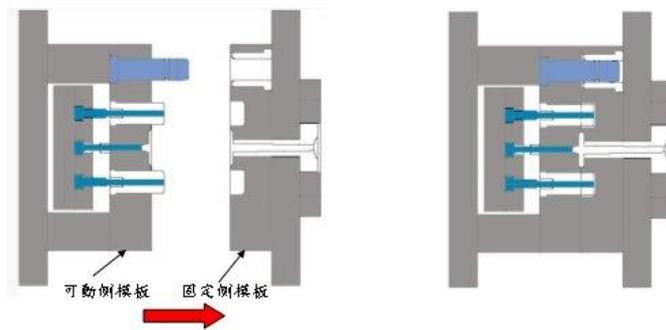
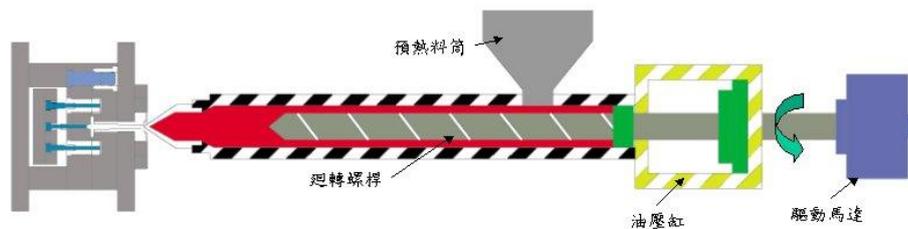


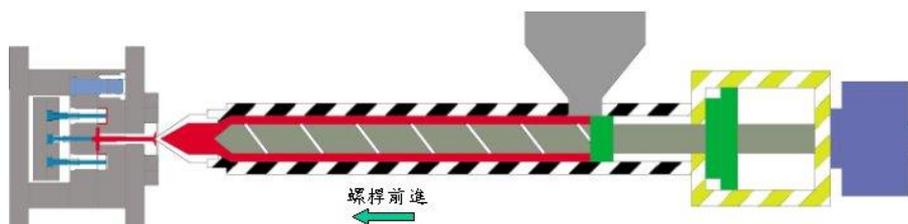
圖 3-1 關模步驟示意圖 魏綸群〔2008〕

2. 射出充填步驟

射出充填步驟是運用射出機台設定適當射出壓力與射出速度，使熔融塑料完全填充至於模穴內。於熔融塑料進入模穴內時刻，因為模具和射嘴之溫度差異太大，故先接觸到模穴四周圍邊界的熔融塑料會即刻凝固，於是高分子性質塑料會將噴泉流動的方式進行充填。如圖 3-2 所示為射出充填步驟之示意圖，圖 3-2(a)為射出充填前，射出充填開始時驅動馬達將驅動迴轉螺桿，轉動螺桿使螺桿前進，進而將熔融塑料由射嘴快速送入模穴中充填，如圖 3-2(b)所示。圖面 3-2(a)(b)取至於魏綸群〔2008〕



(a) 射出充填前



(b) 射出充填狀態

圖 3-2. 射出充填步驟示意圖 魏綸群〔2008〕

3 保壓步驟

當射出充填完成後，由於塑料冷卻效應會造成成品體積收縮，故必須藉著保持一定的壓力，並將尚未填充完全之區域作補償動作。因此迴轉螺桿必需持續以強迫方式保持輸送熔融塑料進入模穴內，直至充填之末端達至最大壓力，如圖 3-3 所示。圖面 3-3 取至於魏綸群〔2008〕

由於熔融塑料的溫度會持續向下降，所以此時高分子性質塑性將會表現出相當不穩定的高分子流動狀態，容易造成成品發生品質不良現象。相較於射出充填步驟，相對保壓步驟的充填速率比較低且固化速率較快，故有時製程工程師將會依照塑膠成品的特性、形狀大小，依塑膠射出師傅經驗決定是否要省略此步驟，便節省工作上的時間和降低產品報廢率。

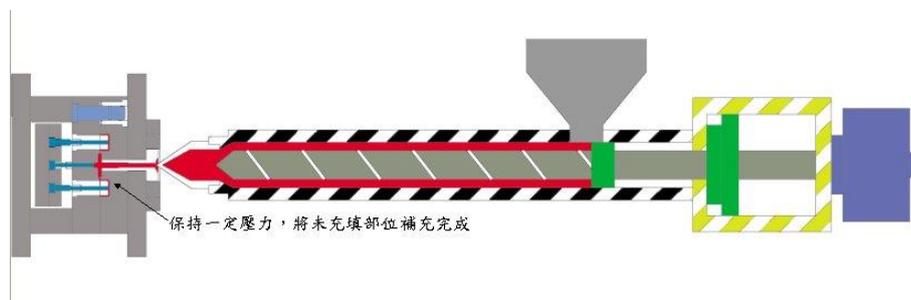


圖 3-3. 保壓步驟示意圖 魏綸群〔2008〕

4. 冷卻靜置階段

經過塑膠射出開模、充填、保壓步驟後，模穴內部將不再需要施加任何額外的射出壓力，所以此時在模具中的熔融塑料，將會保持冷卻狀態待熔融塑料完全凝固。透過塑膠射出機冷卻系統之控制溫度與冷卻速率，或藉由模具溫度自然冷卻亦是常見的卻靜置方法。如圖 3-4 所示為成品冷卻靜置步驟之示意圖。圖面 3-4 取至於魏綸群〔2008〕

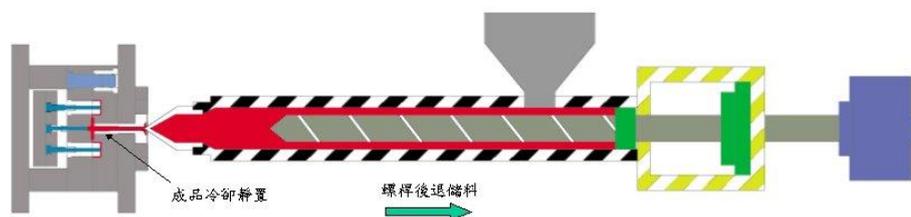


圖 3-4. 成品冷卻靜置步驟示意圖 魏綸群〔2008〕

5. 開模步驟

待冷卻靜置完成後，打開模具取出成品，於開模步驟中需設定可動側模具的開模定點位置，亦是開模的行程，其行程必須大於將成品頂出之距離，成品才能完全成功被頂出。圖 3-5 所示為開模步驟示意圖。

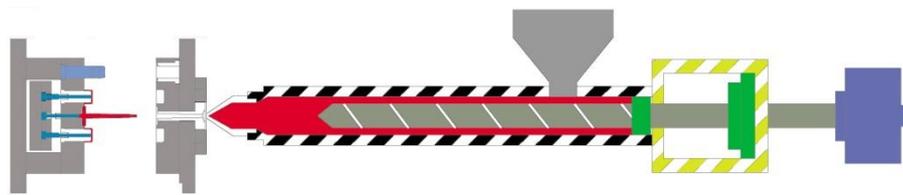


圖 3-5. 開模步驟示意圖 魏綸群〔2008〕

6. 頂出步驟

最後一個步驟，頂出步驟為塑膠射出成型製程過程中最後一步，當模具開模時為使塑膠成品能順利脫離模具模穴內，在模具開啟後，頂出銷將被驅動將成品頂出模具外，如圖 3-6 所示。圖面 3-6 取至於魏綸群〔2008〕

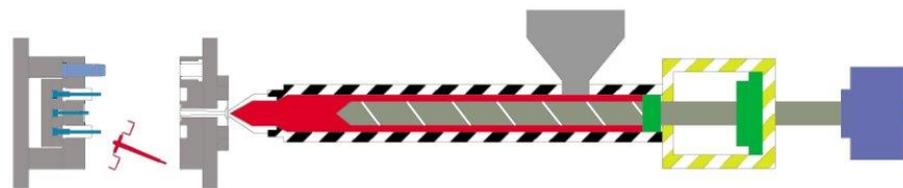


圖 3-6. 成品頂出步驟示意圖 魏綸群〔2008〕

3-2.2 模具基本架構

射出成型模具形式現今大致分為三類：

大水口模具：大水口模具亦稱為二板模，為最基本的塑膠射出模座，流道與澆口位在分模線上，當模具開模時，同時流道與射出成品一起脫模掉下，設計最為簡單，加工容易，成本較低，構造簡單。如圖 3-7 二板模具基本架構，圖面 3-7 取至於

<https://www.youtube.com/watch?v=7UfwaLxwNgQ>

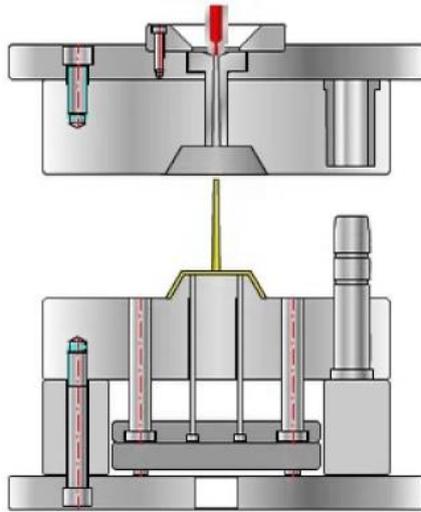


圖 3-7 二板模具基本結構

小水口模具：小水口模具亦稱為三板模，三板模具比二模模具多了一層剝料板，流道、澆口不位在分模線上，澆口部份一般直接在產品上，所以設計多一組水口分模線，射出成品開模出來，撥料板可以將流道與射出成品部份自動分離，模具設計較為複雜，加工較困難，一般要視射品產品需求而選用小水口系統。如圖 3-8 三板模具基本結構，圖面 3-8 取至於<https://www.youtube.com/watch?v=7UfwaLxwNgQ>

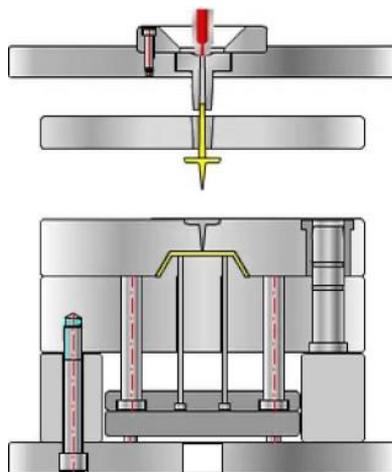


圖 3-8 三板模具基本結構

熱流道模具：此模具結構其最大區別是流道處於一個或多個有恆溫的熱流道板及熱噴嘴裡，熱澆道系統就是在澆道部分裝有加熱片，不讓澆道部分固化，可以直接進入成形模穴內，無冷料脫模，流道及澆口直接在產品上，所以流道不需要脫模，此系統又稱為無水口系統，可節省原材料，適用於原材料較貴、製品要求較高的情況，設計及加工困難，模具成本較高。如圖 3-9 熱流道模具基本結構，圖面 3-9 取至於 <https://www.youtube.com/watch?v=7UfwaLxwNgQ>

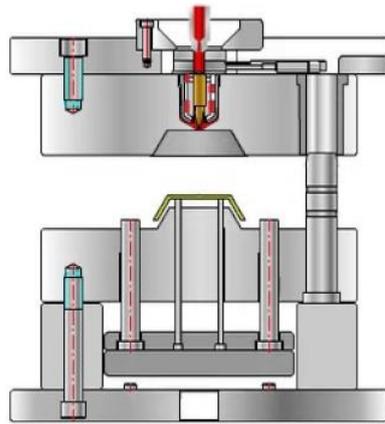


圖 3-9 熱流道模具基本結構

塑膠射出模具有許多零組合而成，組件零件部分基本有噴嘴環、間隔塊、上承版、支承版、下承版、頂針等等。模具部份主要分為公模及母模模具部份，公模裝置安裝在於射出成型機的可動側，而母模裝置安裝在射出機成型機的固定側。如圖 3-10 模具結構說明，圖面 3-10 取至君楷工業產品模具設計圖面。

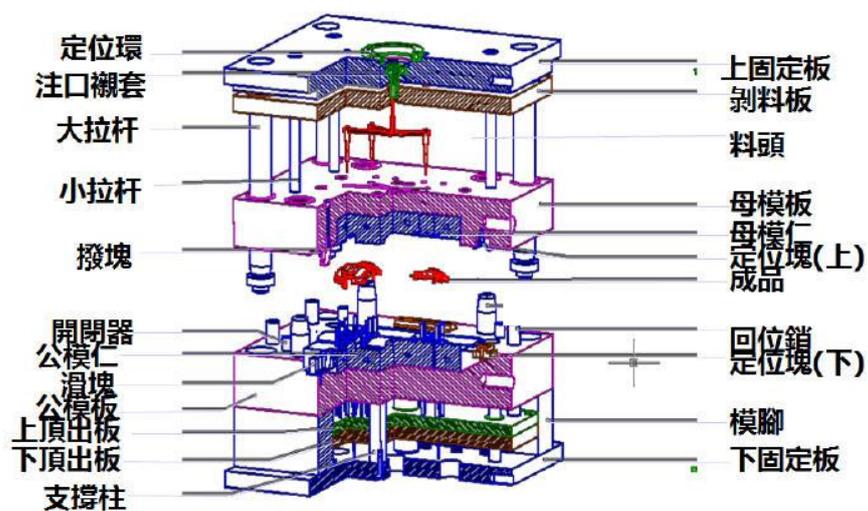


圖 3-10 模具結構說明

模具二板模具與三板模具的比較差異

澆口位置：三板板可多點進膠，適用於面積大產品、大而薄的產品及流道系統無法和澆口放置於同一平板上時。

頂出：三板模具需 2 次頂出，二板模具只需頂出一次。

模具架構：三板模具結構較二板模具複雜且多出一塊剝料板製作。

成品澆口：三板模具因多了剝料板，當二次開模後，自動將流道剝落，故無須修剪。二板模具，必須依靠人力，人工修剪澆口。

成型週期：三板模具的成型週期較二板模具的成型週期長，因頂出系統的素，循環週期較長。

模具成本：模具製作成本一般二板模具的製作成本低，是製作塑膠射出模具的基本考量。

流道部份：三板模具一般皆採用點澆口，可直接於成品表。二板模只邊澆口由側邊入澆。如表 3-1 二板模具與三板模具的不同

表 3-1 二板模具和三板模具的不同

| 專案 | 二板模具 | 三板模具 |
|------|------------|-----------|
| 澆口位置 | 邊入澆口 | 澆口自由選擇 |
| 頂出位置 | 一次頂出 | 二次頂出 |
| 模具結構 | 簡單 | 複雜 |
| 成品澆口 | 成型後澆口需剪切 | 成型後澆口無需剪切 |
| 澆品形式 | 局限較大 | 自由 |
| 成型周期 | 短 | 長 |
| 模具費用 | 便宜 | 昂貴 |
| 流道結構 | 連同成口流道一同脫離 | 流道與成品分離 |

3-2.3 射出成型常見之缺陷及對策

張榮語〔1999〕塑膠射出成型過程中較常見缺陷充填不足、氣泡、短射、毛邊、熔合線、流痕、包風等問題，造成其問題有可能是模具設計不當或射成型參數設定不良，因此常見的射出成型缺陷與一般所見的對策如下列表。

表 3-2 射出成型條件不良與對策

| 問題點 | 原因分析 | 改善對策 |
|-----------|---|---|
| 充填不足 | 射出壓力太低 | 增大壓力 |
| | 射出量不足 | 增加加料計量 |
| | 料管溫度低 | 延長射出週期或慢慢提高溫度 |
| | 模溫過低 | 模具水量調小，提高模具溫度 |
| | 排氣不良 | 改良模具通氣坑 |
| | 包風 | 改良模具射口或增加進膠點 |
| 塑料內空洞(氣泡) | 成型品厚薄不一之情形易造成厚薄面之固化速度不同使較厚之部份凹塌形成真空之空洞 塑料本身水份揮發或添加劑因熱分解，在射出模內因壓力降而形成大量之氣泡。 | 增加塑料溫度 增加射壓 提高模溫 增加澆口尺寸 增加背壓 增加保壓時間 減慢射膠速度 充分乾燥塑料 增加射出量 |
| 成品毛邊 | 塑料過熱流動性太好，過度保壓成品上有多餘之膜 | 降低料溫 降低射壓射速提前切入保壓 降低模溫減少保壓時間 鎖模力不足加大鎖模力 檢修模具 |
| 裂紋、破裂 | 充填過飽 | 降低射出壓力時間速度及劑量 |
| | 模具溫度太低 | 提高模溫 |
| | 不當的脫模設計如角度斜位及倒扣位 | 修改模具 |
| | 頂針或環位不當 | 再安放頂針能順利將塑料頂出模具 |
| 流紋 | 塑料過冷模溫太冷澆口太小，引致塑料在模具內有噴射現象而射壓過低射速過低，使成型品表面呈波紋狀。 | 增加塑料溫度及模溫 增加射壓射速及增加排氣 |
| 銀條、氣瘡 | 塑料過冷模溫過低，造成慢速充填，因而射嘴溫度過高使得冷料之間的問題 塑料中之水份或揮發性物質，因受壓縮而呈現液態狀，當擠出射嘴進入模具後壓力突然下降，而使液態狀被蒸發而成氣態，使得塑膠在與模具表面接觸時，固化後因表面細泡而形成銀白色條紋 | 改善機台之底壓背壓之控制增加塑化並同時減少入料時有效流量用以降低待射區之內壓 乾燥塑料、加強螺桿排氣、提高背壓、降低射壓。 |
| 熔合線 | 塑料流徑孔洞時經分割後再結合受熱空氣阻擋而產生 | 提昇塑料溫度或將塑料經孔洞之速度提高 提高模具溫度或使用流動性較佳等級之材料 增加射速及射壓 檢查電熱片是否故障 |

| | | |
|-----------|---|---|
| | | 檔查原料的水分含量 |
| 縮水 | 塑料碰上模具表面已開始硬化而在熔融塑料和固化中塑料密度已開始區分，所以開始收縮尤其厚薄不規則之產品，經過薄面末端之厚體射壓無法補充縮水更明顯。 | 增加計量 提高射出壓 增加保壓時間 降低料管溫度 降低模溫 降加排氣 |
| 成品黏模、澆道黏模 | 射出壓力過高射出時間久，造成成品劑量過多。 | 降低射出時間及射出壓力 減少射出計量 降低射速 |
| 翹曲、變形 | 塑膠製品於太熱時脫模 | 降低塑膠溫度 降低模具溫度 延長冷卻時間 |
| | 塑料太冷 | 增加熔膠筒溫度 增加公模溫度 增加螺桿背壓力 |
| | 製品切面厚薄不均勻 | 模具受熱不均勻 使整個製品的切面厚薄一致 |
| | 入料太多 | 調節螺桿後退位置減少入料 降低射出壓力 |
| | 澆口不對稱 | 控制塑膠在各澆口的流動或更改之 |
| 變脆 | 模具溫度不均勻 | 保持模具溫度均一 |
| | 塑料發生裂解造成分子量降低 塑料因水解現象造成分子量降低 塑化不足造成塑膠無法在模具內完全相融合 | 減少使用次料 降低料管及射嘴溫度 減少塑料在螺桿滯留之時間 預備乾燥塑料要完全 增加塑料之溫度延長口料時間 提高模溫 |
| 黃點、墨綠、黑點 | 原料過熱部份附著料管管壁 | 徹底空射 降低原料溫度縮短加熱時間 拆除料管清理 |
| | 射入模內時產生無斑 | 降低射出壓力及速度 酌降關模壓力 |
| | 料管內有使原料過熱的死角 | 檢查射嘴與料管間接觸面有無間隙或腐蝕現象 |
| 表面不完整 | 射出壓力太低 | 提高射出壓力 |
| | 射出量不夠 | 增多射出量 |
| | 射出時間太短 | 增長射出時間 |
| | 射出速度太慢 | 加快射出速度 |
| | 背壓不夠 | 稍增背壓 |
| | 螺桿或塑止環磨損 | 拆除檢查過膠頭組 |
| | 機器能量不夠 | 更換較大機器 |
| 漏料 | 塑料太熱 | 降低料溫或射嘴溫度 |
| | 射嘴不合適 | 更換適合的射嘴 |
| | 射嘴中心不準 | 重新對準模具進膠口 |
| | 背壓太高 | 降低背壓或鬆退 |
| 凹痕 | 模具膠料不足引致收縮 塑料不足原因 塑品切面厚或厚薄不均勻 | 增加注射壓力 增加加料行程 增加射出時間 |

| | | |
|--------|---|---|
| | 入料不足 射出壓力太小 射出時間太短 澆口不對稱 射出速度太慢 | 限制熔膠全部流入最近直澆道 澆口熔膠流入其它澆口 增加注射速度 增大澆口尺碼 |
| | 塑膠過熱 | 降低料管溫度 適當控制模具溫度過熱的部份 |
| | 製品脫模時依然過熱 | 冷卻模具或馬上將製品浸入水內或延長冷卻時間 |
| 塑料燒焦 | 成品因空氣在料管內受壓縮時放出熱能，造成塑膠燒焦或因卡料而造成塑料裂解 | 降低料管及射嘴溫度檢視螺桿料管是否有刮傷檢查溫系統 減少塑料滯留時間 降低背壓轉數射壓及射速充分乾燥塑料 改善模具排氣孔 |
| 成品表面粗糙 | 模溫太冷 | 提高模溫 |
| | 射出壓力太低 | 增大射出壓力 |
| | 模壁有水份 | 清潔和修理漏水裂痕或防止水氣在壁面凝結 |
| | 用脫模劑過多 | 清潔模具及用少量的脫模劑 |
| | 射出速度慢 | 增大注射壓力 增加熔膠溫度 |
| | 模具模仁粗糙 | 再次拋光模壁 |

3-3 田口方法源起與概念

田口方法是應用參數進行實驗計劃，提升品質穩定度及產品品質。田口源起於日本品質工程專家田口玄一博士(Dr. Genichi Taguchi)，於1980年至1960年代研發出田口實驗方法。田口玄一博士(Dr. Genichi Taguchi)認為傳統實驗設計方法於改善品質在實務上並不適用，因此研發一種用來改善品質工程的方法，而此品質工程及是透過實驗方法是應用直交表實驗，運用少量的實驗數據分析，縮短實驗次數並取得最佳化有效品質的提升，所發展出的實驗設計法。可有效提升產品品質，稱為品質工程。李輝煌〔2010〕

田口提出了品質損常的概念，因不可控制的雜音，造成品質偏離目標，造成損失，又排除雜音成本相當高在實務上不可行，故田口重點在於降低雜音對產品品質的影響。田口是取決可控制因子為最佳設定，方便產品品質不因受雜音的因素的影響。就研究開發針對成本而言：

田口方法在於縮短開發時間及減少成本浪費。處理依據產品和製程工程師所重視兩大問題：(1)如何有效減少降低產品機能於消費端因消費者在使用環境中的變異？(2)如何在實驗室中的的最合適條件下與生產及消費環境下依然是最合適？田口方法在於找出降低變異原因的影響，來改善品質。田口利用二次品質損失函數(quality loss function)來表示產品性能偏離目標值的程度。站在消費端的立場，品質損失應可描述為：

$$L(y) = k(y - m)^2 \quad (3-26)$$

其中 y 為品質特性， m 為目標值， k 為品質損失係數(quality loss coefficient)。(3-26)式可以繪成圖 3-11，羅際鈺 [2006]，當產品趨近目標值時，損失趨近零。當 y 愈偏離 m ，則表非損失愈大。對任一個產品或製程，我們可以繪出參數圖，如圖 3-11 所示。 y 代表回應質，影響 y 的因素可以分為信號因子(M)、控制因子(Z)和雜音因子(X)三類。茲將此三類參數分述如下 [蘇朝敦，2002]：

1. 信號因子(signal factor)：

信號因子由設計工程師依據開發產品的工程知識來選擇決定。當 y 的目標值改變時，我們可調整信號因子，使 y 的平均值與目標值一致。例如：煮水的火力大小設定是一信號因子，藉由火力大小的設定可以改變水煮沸的時間，譬如汽車駕駛時，控制踩油門的大小將影響汽車速度的快與慢。通常信號因子與回應值間具有相對輸入與輸出的關係。信號因子由設計人員根據對產品的需求工程知識來選擇。當信號因子固定時為靜態問題，非固定時稱為動態問題。

2. 控制因子(control factor)：

所謂控制因子為其水準，由設計人員決定的。事實上，設計人員決定控制因子的水準，將 y 的損失降至最小。例如，在烤麵包過程中，品質特性麵包表面不可烤焦，而影響此一品質特性的控制因子有烤箱溫度、時間。相關人員可指定需要的「設定值」，譬如烤箱溫度為 150°C 或 250°C 。通常控制因子水準改變時，並不會造成製造成本增加。

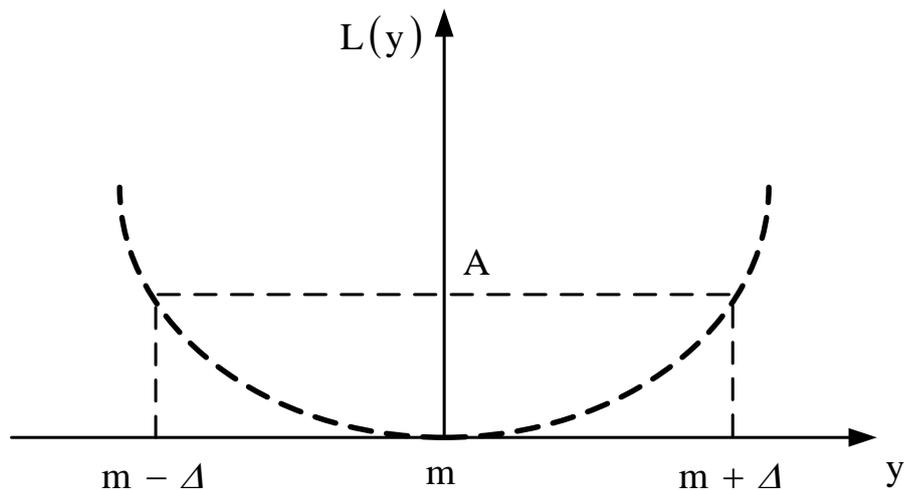


圖 3-11 品質損失函數(二次損失函數)

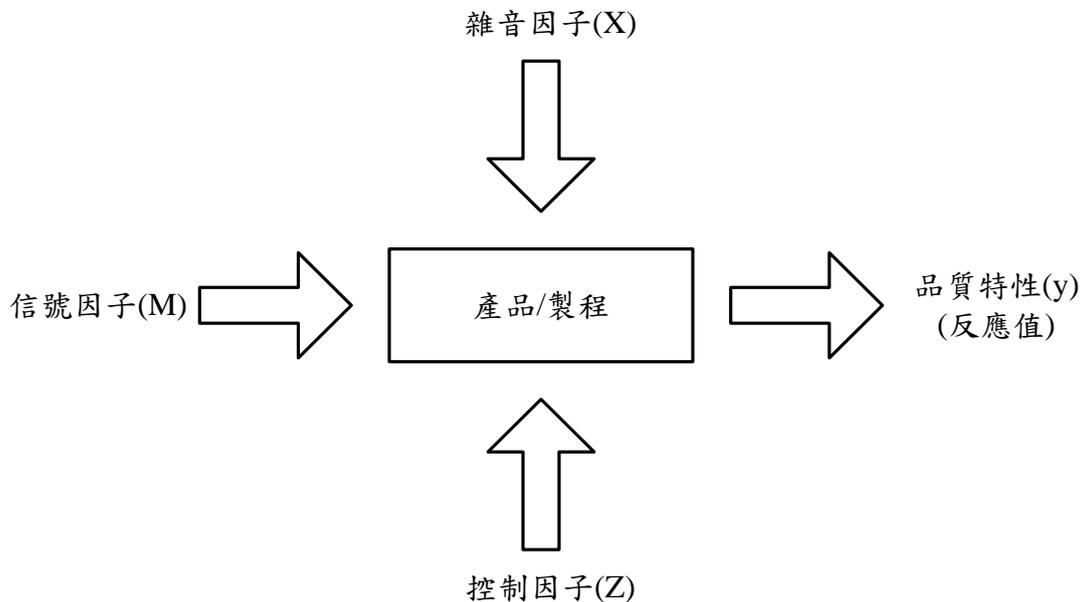


圖 3-12 產品/製程之參數圖

3. 雜音因子(noise factor)：

設計人員無法控制的參數稱為雜音因子。雜音因子的水準會因為環境而變化，無法確知某特定情況下的雜音因子值。例如烤麵包，一樣的麵粉、時間、發酵粉，但會因為冬天、夏天、雨天的溫度、溼度不同，而影響到麵包的發酵。通常我們僅能掌握雜音因子些許特性。雜音因子會影響回應值 y 偏離目標值而帶來損失。凡是參數的水準不容易控制或必須花費高成本來控制的參數，皆可視為雜音因子。

3-3.1 田口品質工程

田口方法應用在於用較少的實驗次數，即能獲得產品的變異的最佳資訊。田口實驗方法能改善工程、提昇品質、降低成本。田口方法主要實驗步驟如下，吳復強 [2002]

1 選定品質特性

於實驗進行中，必須選擇欲改善的品質為選定的「品質特性」，例如本文實驗，針對塑膠產品，如何變更膠道大小，改善射出的產能，增加產量，即為本文實驗的品質特性。

2. 理想機能

一個品質特性有其理想目標值。理想機能可區分不同的型態

望目特性

其品質特性為其理想值，即為欲改善的品質特性，接近趨近於目標值為佳，例如：

品質特性的目標值=望目目標值

望小特性

指欲改善的品質特性越小越好，可將望小的目標值設為零

望大特性

指品質特性越大越好，可將望小的目標值設為無限大

決定控制因子

工程師必須從所有的影響因子中決定控制因子進行實驗，設定各因子及參數水準。控制因子是在生產線上可設定的參數。

決定干擾因子

工程師必須從所有影響因子中選取擾因子，而工程師無法控制的變異因子即為干擾因子。

適當實驗直交表

依控制因子和水準的數目，選定適當的實驗直交表，方能進行實驗計劃。

執行實驗/分析

將控制因子及水準數據應用直交表進行計算分析，並記錄實驗數據。依所獲得的資料分析對品質特性，求得最佳的品質特性，並能獲得理想的控制因子的設定值。

3-3.2 直交表的探討

田口法直交表功能在於運用較少的實驗次數即能獲得最佳之參數及水準，當因子數目增加同時，實驗次數相對隨之增加，增加複雜性，田口方法利用直交表能讓我們以較少的實驗獲得可靠因子。直交表的類型繁多，例如 2^n 、 3^n 、混合型($a^m \times b^n$)等說明直交表的排列意義。

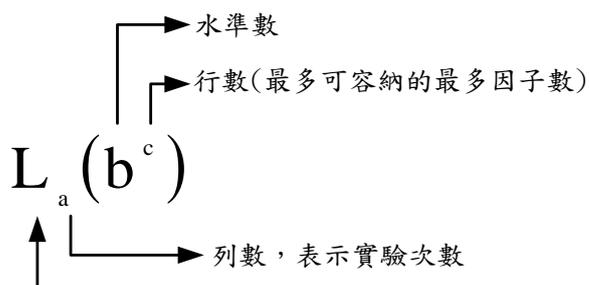
L：來至拉丁方格之英文 Latin，字母第一個字，為直交表的代號

a：為實驗總次數，於直交表中，以列方式表示實驗的次數。

b：為設計參各有 b 個不同的水準且排列方式由大至小或由小至大。

c：為設計參數的數目，於直交表中，以行表非設計參數。

先將代表直交表的符號定義說明如下〔蘇朝敦，2002〕：



表示直交表(L為Lation Square)的第一個英文字

田口列了 18 個基本直交表，Phadke [1989] 稱之為標準直交表(standard orthogonal arrays)。大部分的田口方法之表相關參考書籍網路中皆可尋找到，這 18 個直交表綜合整理於表 3-2。為了要能運用使用標準直交表，需探討研究因子的水準數必須和直交表中行的水準數配合一致才行。為減少不必要實驗，我們通常使用合乎所需之可能的最小直交表。田口建議採用的直交表如下： $L_8(2^7)$ 、 $L_{12}(2^{11})$ 、 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 、 $L_{32}(2^1 \times 4^9)$ 、 $L_{36}(2^{11} \times 3^{13})$ 、 $L_{54}(2^1 \times 3^{25})$ 。

圖表 3-1 $L_8(2^7)$ 直交表範例所示

表 3-3 $L_8(2^7)$ 直交表

| 實驗編號 | 行 | | | | | | |
|------|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

資料來源：蘇朝敦，2002

表 3-4 標準直交表

| 直交表 | 列數 | 最多因子個數 | 水準行數最大值 | | | |
|------------------|----|--------|---------|----|----|----|
| | | | 2 | 3 | 4 | 5 |
| L ₄ | 4 | 3 | 3 | — | — | — |
| L ₈ | 8 | 7 | 7 | — | — | — |
| L ₉ | 9 | 4 | — | 4 | — | — |
| L ₁₂ | 12 | 11 | 11 | — | — | — |
| L ₁₆ | 16 | 15 | 15 | — | — | — |
| L' ₁₆ | 16 | 5 | — | — | 5 | — |
| L ₁₈ | 18 | 8 | 1 | 7 | — | — |
| L ₂₅ | 25 | 6 | — | — | — | 6 |
| L ₂₇ | 27 | 13 | — | 13 | — | — |
| L ₃₂ | 32 | 31 | 31 | — | — | — |
| L' ₃₂ | 32 | 10 | 1 | — | 9 | — |
| L ₃₆ | 36 | 23 | 11 | 12 | — | — |
| L' ₃₆ | 36 | 16 | 3 | 13 | — | — |
| L ₅₀ | 50 | 12 | 1 | — | — | 11 |
| L ₅₄ | 54 | 26 | 1 | 25 | — | — |
| L ₆₄ | 64 | 63 | 63 | — | — | — |
| L' ₆₄ | 64 | 21 | — | — | 21 | — |
| L ₈₁ | 81 | 40 | — | 40 | — | — |

資料來源：蘇朝敦，2002

3-4 田口實驗參數設計

鑑別流動不平衡原因大部份來至於(1)模具部份：如模穴尺寸、冷卻管位置、流道直徑、澆口大小、流道長度、逃氣設計等，可透過模具修改加工達到幾何的平衡。(2)塑膠射出機台因素，如充填速度、射出壓力、保壓時間、熔融溫度、冷卻時間、模具溫度等調整成品精度。當模具產品充填完成後，模穴內的流動會有溫度及壓力不均勻現象，產生殘留應力，造成產品品質不佳。模具部份因同模異穴(family mold)造成模穴配置、入澆位置(gate)、流道大小等之決定不易。本研究案例為模組化產品中的其中一組手機架模組，因為了模具管控及成本因素，將此模組的產品，開在同一組模具內，造成模穴內大小差異大的問題。於模具部份，模具製造業傳統師傅們往往只能在於發生問題後針對問題想對策，但無法全方位。文獻回顧中，可以得知其澆口位置及冷卻水溫為直接影響其產品冷卻收縮的因素，模具必須進行冷卻，使塑膠射出生產

製造得以進行。由於水相當便宜，所以水必定是作為初級冷卻劑優先選擇，水運用模具管路引導穿過模具，縮短產品冷卻時間。大部份使模具快速冷卻其效果更加有效，因為可以使生產週期時間更加的縮短。故針對冷卻水溫對產品收縮進行模溫的設定，而射出速度會改變射出時程，李侑穎〔2014〕同模異穴因流道不平衡，造成缺料，藉由改變流道寬度及射出成型的方式，證明可改善效果。因同模異穴會造成缺料，故改變流道大小，亦可改善射出成型產生的問題，故於田口實驗參數設定因子選擇模溫、射出速度、不同流道設計三種因子與三種水準，確認成型差異性。

前一章節所提田口實驗成法中，本研究採用 L9(3⁴)直交表進行分析，其它射出成型的參數，設定為固定參數。並使用田口法進行冷卻時間的 S/N 比結果，找出不同因子對於冷卻時間的影響，進而改善週期且考量成型性。

第四章 手機架案例研究

「手機架」模流分析，本研究藉由模流分軟體 moldex 3D 進行分析，對於同模異穴(family mold)且差異極大的產品進行分析，運用上述的設計參數進行田口分析。

4-1 產品模組化說明

產品模組化主要在於降低模具成本，縮短開發時程並將產品多元化的開發，於本案例手機架分析為開發手機架的其中一環，圖 4-1 說明紅色圈起部分，為目前此次分析中手機架同組模具，因將手機架開發設計為模組化，可降低模具成本及開發行程，亦可增加產品的組別，如圖 4-2、圖 4-3，可共用頭部夾子部份，模具部分也不用在增加成本開模新模，及增加了開發時程。由圖 4-5 可看出模具化後，可增加產品的多原性，便是增加競爭力的重要關鍵知識技術之一。圖 4-4 運用模組化的概念，將產品上半部份為 a、b、c，下半部分為 D、E 模組，此時所產生出來的產品將原來可能只能生產 3 組產品的，增加至 6 組產品的多變性及將來無限增生的設計可能性。4-1、至 4-8 圖面取至永昇汽車百貨股份有限公司

| 項次 | 設變單號 | 設變內容 | 日期 | 檔案 | |
|---------------|-------------|------------|----------------|------|---|
| | | | | | |
| 23 | O1-527 | TP十字螺絲2X12 | B-O1-527 | 鐵線 | 2 |
| 22 | 2275-4 | 吸盤彈簧 | B-C-2275-4 | 不銹鋼線 | 1 |
| 21 | 2275-3 | 中棒插銷用右彈簧 | B-C-2275-3 | 不銹鋼線 | 1 |
| 20 | 2275-2 | 中棒右彈簧 | B-C-2275-2 | 鐵線 | 1 |
| 19 | 2275-1 | 夾子彈簧 | B-C-2275-1 | 不銹鋼線 | 1 |
| 18 | O1-2275 | 3X6丸頭螺絲 | B-O1-2275 | 鐵線 | 2 |
| 17 | 2275P-3 | 懸接圓管 | C-B1-2275P-3 | ABS | 1 |
| 16 | 2275P-2 | 中棒插銷固定蓋 | C-B1-2275P-2 | ABS | 1 |
| 15 | 2275P-1 | 中棒插銷固定軸 | C-B1-2275P-1 | ABS | 1 |
| 14 | 2275R | 夾子內襯 | C-E-2275R | PVC | 2 |
| 13 | 2275B-13 | 吸盤底座心中軸 | C-E-2275B-13 | ABS | 1 |
| 12 | 2275B-12 | 底盤 | C-E-2275B-12 | ABS | 1 |
| 11 | 2275B-11 | 吸盤底座 | C-E-2275B-11 | PVC | 1 |
| 10 | 2275B-10 | 吸盤主體 | C-E-2275B-10 | ABS | 1 |
| 9 | 2275B-9 | 開關固定軸 | C-E-2275B-9 | ABS | 1 |
| 8 | 2275B-8 | 開關壓片 | C-E-2275B-8 | ABS | 1 |
| 7 | 2275B-7 | 中棒固定軸 | C-E-2275B-7 | ABS | 1 |
| 6 | 2275B-6 | 中棒調整鈕(上凹片) | C-E-2275B-6 | ABS | 1 |
| 5 | 2275B-5 | 中棒飾片(右片) | C-E-2275B-5 | ABS | 1 |
| 4 | 2275B-4 | 中棒主體(左凸片) | C-E-2275B-4 | ABS | 1 |
| 3 | 2275B-3 | 夾子固定軸 | C-E-2275B-3 | ABS | 1 |
| 2 | 2275B-2 | 夾子下片 | C-E-2275B-2 | ABS | 1 |
| 1 | 2275B-1 | 夾子上片 | C-E-2275B-1 | ABS | 1 |
| 項次 | 品名 | 品號 | 材質 | 數量 | |
| 品名 TITLE | JM-2275 手機架 | | 版次 REVISION | 1 | |
| 料號 DWG NO. | JM-2275 | | 核准 APPR. | | |
| | | | 審查 CHD | | |
| | | | 設計 DRAW | | |

圖 4-1 手機架爆炸視圖



圖 4-2 手機架產品說明 1



圖 4-3 手機架產品說明 2

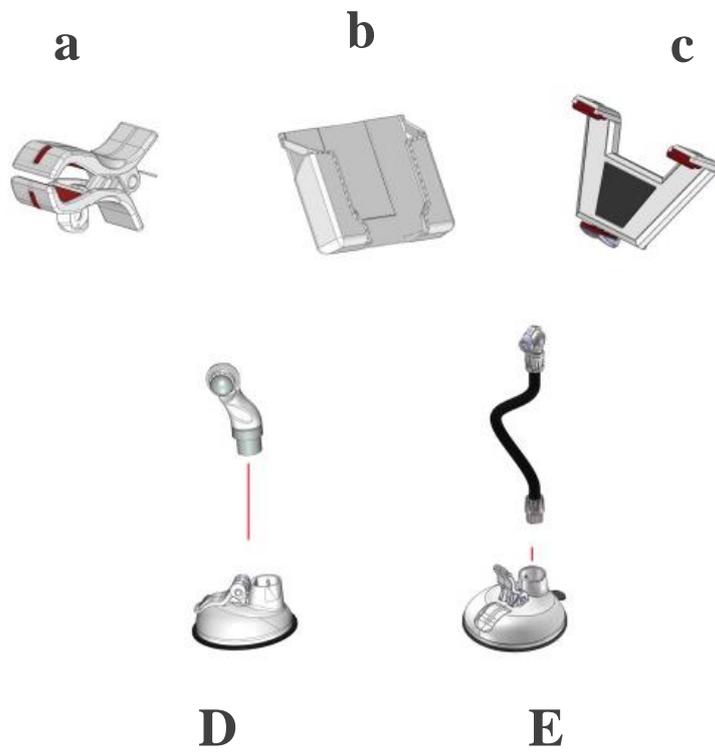


圖 4-4 手機架模組化



圖 4-5 模組化多原性產品

4-1.1 模具設計

目前產業於前端設計大部份運用 3D 軟體設計繪究所需之產品,本文運用 solidword 3D 軟體,繪製並設計所需的 3D 零件,依設計需求將所有零件設計繪製分析完成並展開後交由模具廠,與塑膠射出模具人員進行模具需求與討論,將所有產品進行分配及拆模,塑膠模具拆模人員在運用 3D 軟體檔案拆成模具圖。圖 4-6 模穴配置圖,塑膠射出模具人員會依產品及需求將模具進行分配,因本文為了進行異模多穴且其模穴差異極大化,將大小差異極大的產品,放置在同一模具中,故模具設計必需將所有零件配置、冷卻水管位置、澆口尺寸等,進行模具設計。圖 4-7 為所有模穴、流道大小、澆口及分流線的分部與配置部份

模具採用二板模,側邊澆口,成品於脫模後成品與流道無法自行脫離,必需依靠人力進行修剪,加入冷卻水路使其調解模穴模穴的溫度。冷卻水路直徑 10 mm,模具目前採用 4 條水路,各位於公母模上下模具內,水溫部份為一般純水,自然來回循方式。冷卻出入口,如圖 4-8

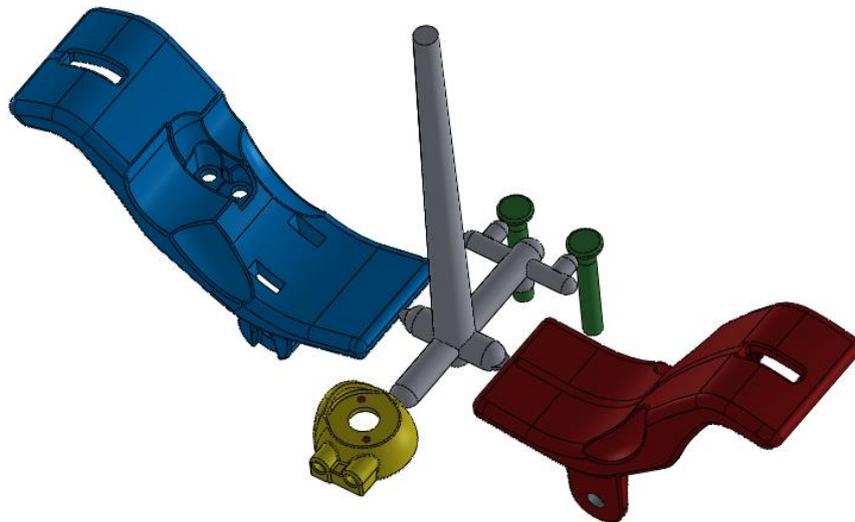


圖 4-6 模穴配置圖

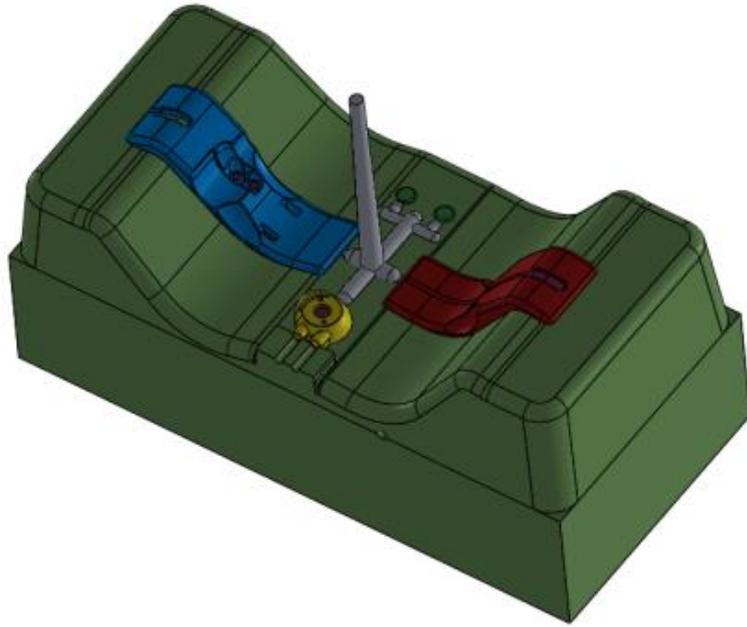


圖 4-7 模仁部份產品配置

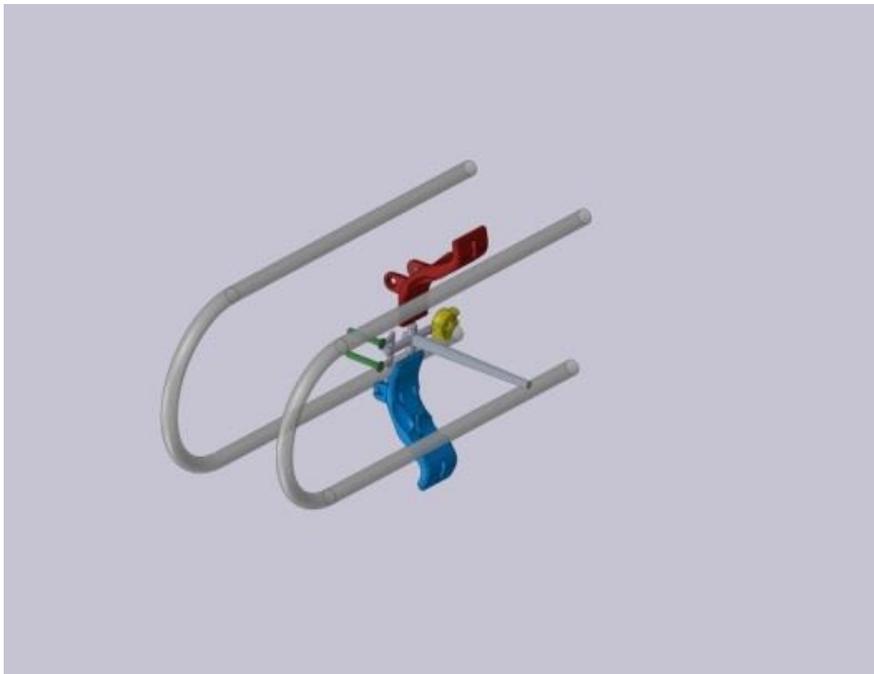


圖 4-8 冷却水路進出口的分佈

4-2 使用材質說明

本文選定材質為奇美一般級 ABS-757 材質，為實際塑膠射出成形所使用的塑膠塑料。亦是為一般常被使用的塑膠材質。

ABS 特性：

ABS 由苯乙烯、丙烯腈和丁二烯乳漿共聚合而成，一般丙烯腈的比例含量愈高，其耐熱性、剛性及耐溶劑性愈佳，但流動性愈差且塑料底色帶黃，在注射成形(Injection Mold)時其機械性及尺寸安定性非常好，基於上述的優點 ABS 樹脂成為一種優秀的工程塑膠。<http://www.chimeicorp.com/zh-tw/products/plastic-series/abs/>

此次測試塑料為奇美 ABS 757 加工建條件：

A 乾燥 80~85 度，2~4 小時，依下變數而變 a 濕度、b 回收料比例、c 儲存條件。

B 射出機套筒(Barrel)設定溫度

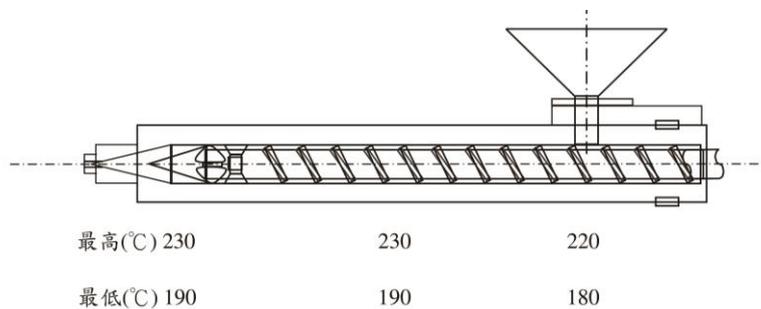


圖 4-9 射出加工建議條件

C 模具溫度 30~70 度

依以變數而變 a 製品厚度、b 尺寸、c 澆口(Gate)及流道(Runner)系流

由模流分析軟體，圖 4-10，在不同溫度黏性與相對剪力，黏滯性與剪應力隨著溫度的變化增大。圖 4-11 料商建議條件

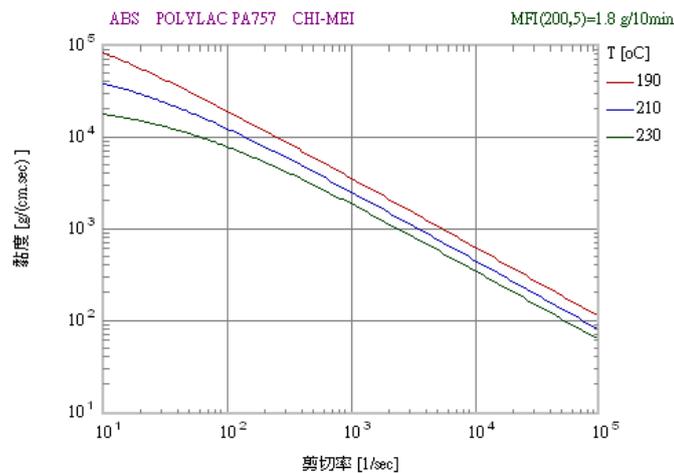


圖 4-10 黏度對切變率之變化曲線

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| 材料名稱 | ABS |
| 材料型號 | POLYLAC PA757 |
| 製造商 | CHI-MEI |
| 備註說明 | MFI(200,5)=1.8 g/10min ,D=1.05 g/cc |
| 最後修改日期 | 2014/12/17 |
| | |
| 加工條件 | 加工條件 |
| 塑料溫度 (最低限制) | 190 °C |
| 塑料溫度 (一般設定) | 210 °C |
| 塑料溫度 (最高限制) | 230 °C |
| 模具溫度 (最低限制) | 30 °C |
| 模具溫度 (一般設定) | 50 °C |
| 模具溫度 (最高限制) | 70 °C |
| 頂出溫度 | 88 °C |
| 固化溫度 | 108 °C |

圖 4-11 料商建議條件

射出機台：

該次選用成型機為 Husky-HL160 RS45/42，圖 4-12 塑膠射出機圖

螺桿直徑為:42mm

最大螺桿行程為:210mm，圖 4-13 射出機規格設定



圖 4-12 塑膠射出機圖

| 專案摘要 | | |
|-------------------|-------------------------|----------------------|
| 項目 | 內容 | 單位 |
| 製造商 | Husky | |
| 型號 | Hylectric HL160 RS45/42 | |
| 最後修改日期 (yy/mm/dd) | | |
| 備註說明 | | |
| 螺桿直徑 | 42 | mm |
| 最大螺桿行程 | 210 | mm |
| 射出量 | 267.72 | g |
| 射出壓力 | 200 | MPa |
| 最大流率 | 984 | cm ³ /sec |
| 鎖模力 | 163 | tf |

圖 4-13 射出機規格

4-3 產品說明

4-3.1 模具流道尺寸分析

流道部份分為冷料井、主流道、分流道、澆口如圖 4-14，此次澆口(gate)部份不進行改變因為入澆口過大會影響外觀，只變更分流道部份，圖 4-15 為原流道尺寸，將分流道分為分流道 A、分流道 B，圖 4-16。於實驗部份因分流道 A 部份的為射出小零件，故於設定時，將分流道設定不變及變小。分流道 B 部份為射出大零件，故於設定時將分流道設定為不變及變大，希望藉由分流道大小進行分析，改善射出時模具射出所產生的問題，竟而改善射出時間。

圖 4-16 原分流道尺寸：分流道 A 半圓 D:4mm 變更為 半圓 D：3mm
：分流道 B 半圓 D:6mm 變更為 半圓 D:7.5mm

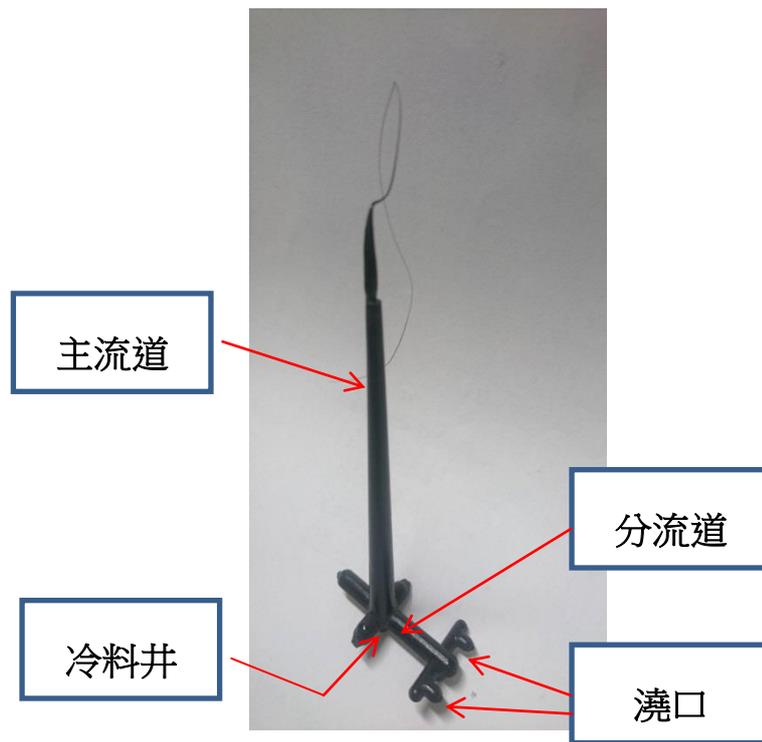


圖 4-14 流道說明圖

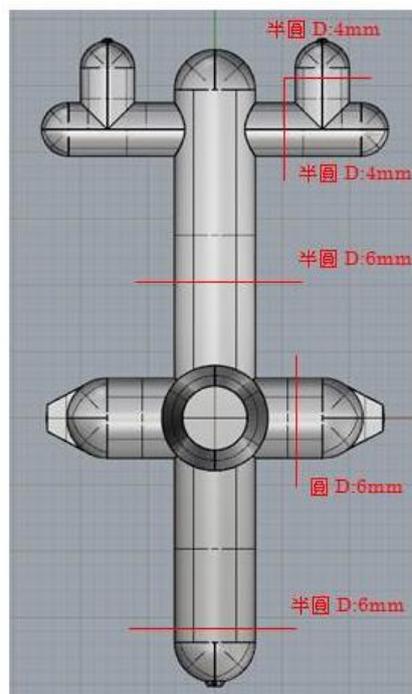


圖 4-15 原流道尺寸

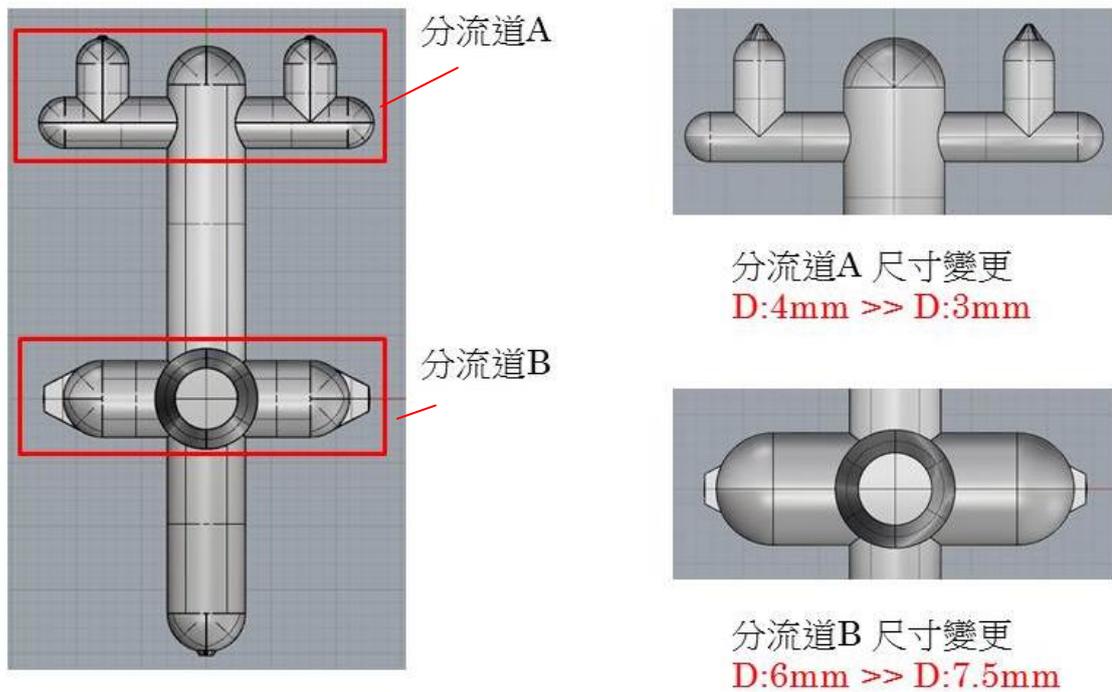


圖 4-16 分流道尺寸說明圖

4-4 田口實驗參數設定

因論文主要述求在於改善塑膠射出的產能及目前產品所產生的問題，產品肉厚不均造成表面收縮凹陷問題。故於設定因子上選擇改變流道設計，可藉由流道尺寸改善產品肉厚不均造成問題。藉由射出速度及模具溫度來改善塑膠射出的產能問題。

故田口實驗參數設定因子選擇模溫、射出速度、不同流道設計三種因子與三種水準，確認成型差異性，並使用田口法進行冷卻時間的 S/N 比結果，找出不同因子對於冷卻時間的影響，進而改善週期且考量成型性。

本次實驗決定可控因子為模具溫度、射出速度、流道大小

射出速度設定為 20mm/s、60mm/s、100mm/s

模具溫度設定為 30°C、50°C、70°C

流道設計設定、原始分流道設計、分流道 A，變小、分流道 B，變大

三個因子和三個水準進行 L9 交直表的實驗，運用交直表可大幅降低實驗次數及資料更明確簡單。如表 4-1

本研究運用 L9 交直表如表 4-2，導入於本研究設計表格內，及可使用 L9 表格，省去不必要的時間，可快速分析縮短時間及結果。如表 4-3 導入實驗數據表。於本研究中分析後得的縮水結果及時間，我們希望成型的速度時間，愈短愈好，需設計出經由田口實驗採取望小的品質特性，冷卻時間短，對本文越有幫助公式(4-1)，由田口公式實驗，計算出 9 組 S/N 比。

$$S/N = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (4-1)$$

表 4-1 因子與水準配置表

| | 模具溫度 | 射出速度 | 流道設計 |
|------|------|------|----------|
| 水準 1 | 30 | 20 | 原始分流道設計 |
| 水準 2 | 50 | 60 | 分流道 A，變小 |
| 水準 3 | 70 | 100 | 分流道 B，變大 |

L9(3 4/3)

表 4-2 L9 的直交表

| 實驗組別 | A | B | C |
|------|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 |
| 5 | 2 | 2 | 3 |
| 6 | 2 | 3 | 1 |
| 7 | 3 | 1 | 3 |
| 8 | 3 | 2 | 1 |
| 9 | 3 | 3 | 2 |

表 4-3 實驗數據表

| 實驗組別 | 第一因子 (模具溫度 °C) | 第二因子 (射出速度 mm/s) | 第三因子 流道設計 |
|------|-------------------|------------------------|--------------|
| 1 | 30 | 20 | 原始分流道設計 |
| 2 | 30 | 60 | 分流道 A，變小 |
| 3 | 30 | 100 | 分流道 B，變大 |
| 4 | 50 | 20 | 分流道 A，變小 |
| 5 | 50 | 60 | 分流道 B，變大 |
| 6 | 50 | 100 | 原始分流道設計 |
| 7 | 70 | 20 | 分流道 B，變大 |
| 8 | 70 | 60 | 原始分流道設計 |
| 9 | 70 | 100 | 分流道 A，變小 |

4-5 問題焦點

同模異穴在塑膠射出成型中因模穴大小不同，容易於塑膠射出時產生射出壓力大、充填不足、溢毛邊、縮水等問題。文獻呂志賢等〔2005b〕指出利用變更澆口位置設計，雖可改善問題，但澆口位置若於重要外觀處，容易因為修剪造成外觀不佳，修剪不易。李侑穎〔2014〕同模異穴因流道不平衡，造成缺料、充填不足問題，藉由改變流道寬度及射出成型的方式，證明可改善效果。故由文獻可藉由流道大小改善問題。紀盈卉, 2017，澆口位置設置於外側面邊界上，其成型品進澆壓力曲線會較穩定。但因同模異穴的模穴產品差異極大，射出壓力變大，很容易造成充填時程過長，冷卻效果不佳，影響成型週期時程，降低射出生產效率，因此希望藉由模流分析找出產品問題點及最佳化參數質。圖 4-17(a)(b)冷卻水路設計，目前水路設計，將母模水路設計接近模穴位置，兩端距離明顯差異，可能造成冷卻不均問題出現。

網格模型_實體模型

- 塑件-1 ABS(CHI-MEI POLYLAC PA757)
- 冷液進 ABS(CHI-MEI POLYLAC PA757)
- 模具材質 [MoldBase] P6
- 網模單元
- 冷卻液-1 水

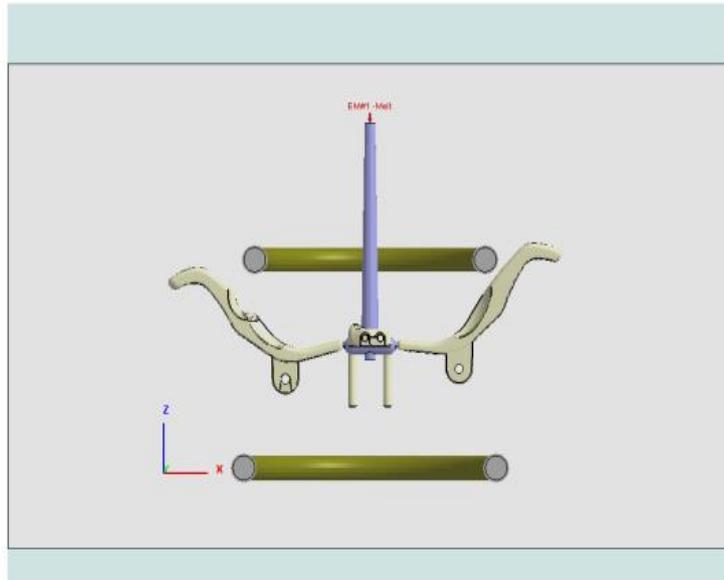


圖 4-17(a)冷卻水路

網格模型_實體模型

- 塑件-1 ABS(CHI-MEI POLYLAC PA757)
- 冷液進 ABS(CHI-MEI POLYLAC PA757)
- 模具材質 [MoldBase] P6
- 網模單元
- 冷卻液-1 水

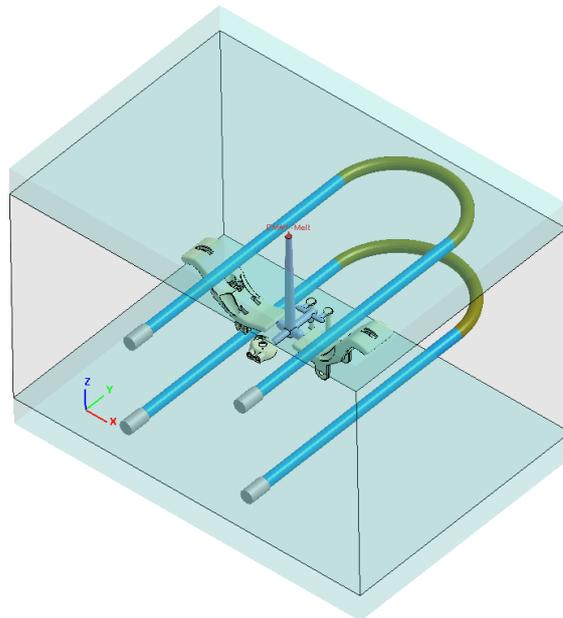


圖 4-17(b)冷卻水路

4-6 結果分析

4-6.1 模流分析

設定所有有因子與水準後，運用田口三個因子和三個水準進行 L9 直交表的實驗，分析出 9 種條件，並且在運用模流分析軟體 moldex 3D 對於所有的條件，射出壓力固定在 140MPa，充填的體積 98%，保壓時間 6 秒，料溫設定 210°C，做出設定，圖 4-18 成型條件設定，且進行模流分析，藉由 moldex 3D 進行模流分析比較在可控因子下的相同機台射出射速，分析田口交直表所設定的條件，分析後，所產生的結果及問題點。

圖 4-19 模流分析

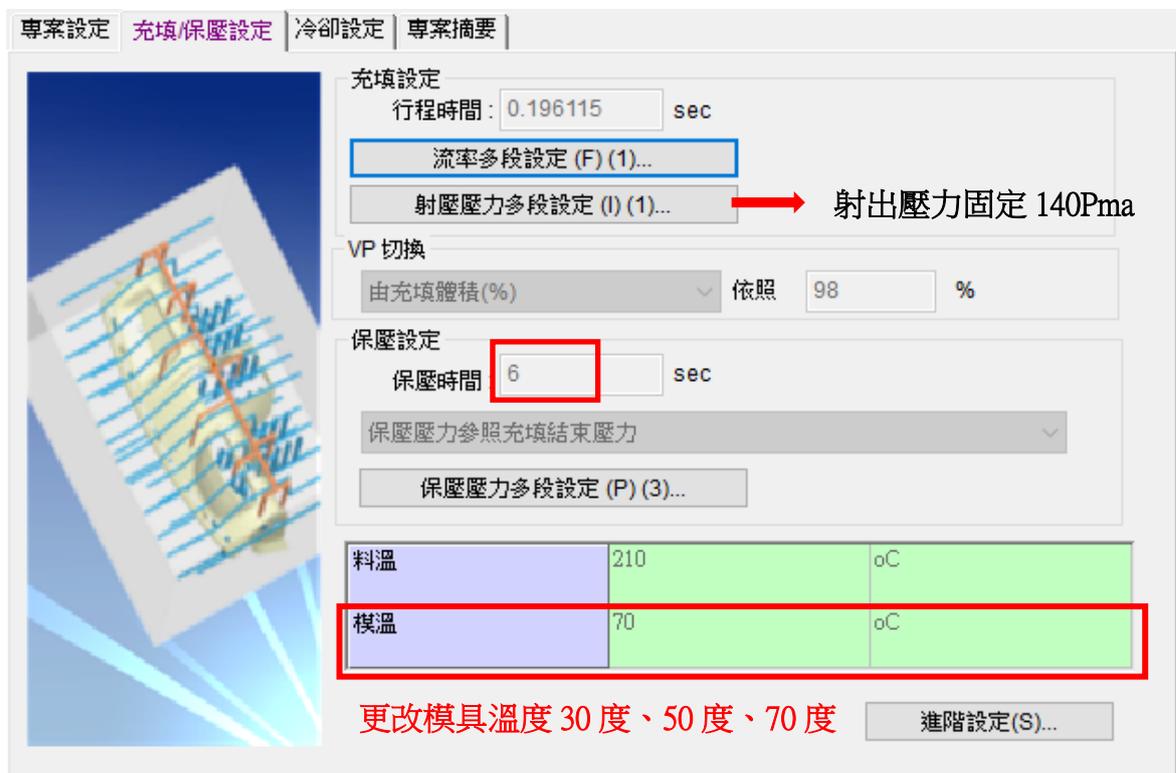
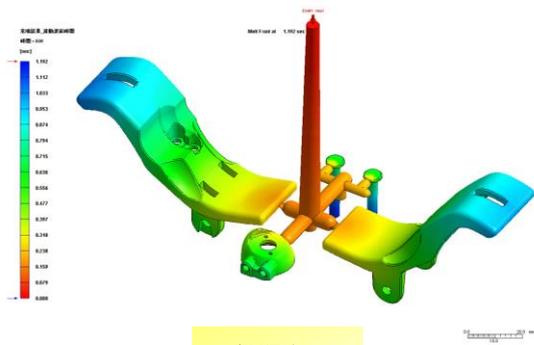
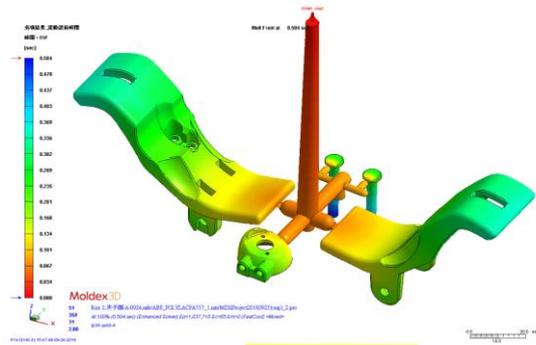


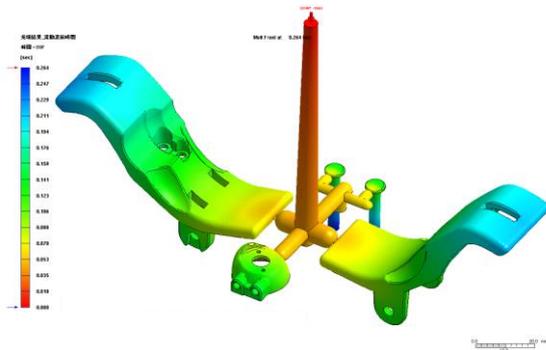
圖 4-18 成型條件設定



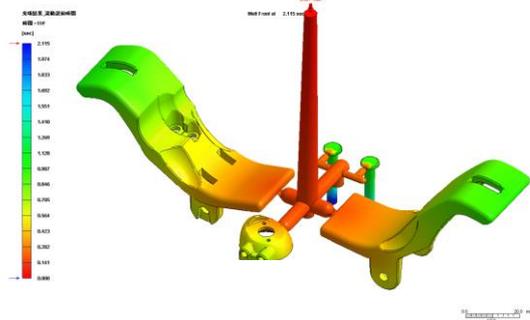
組別 1



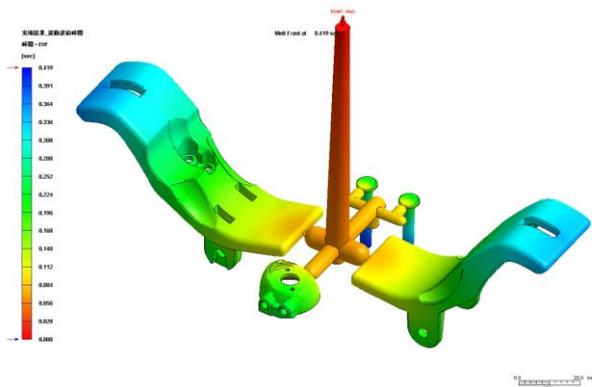
組別 2



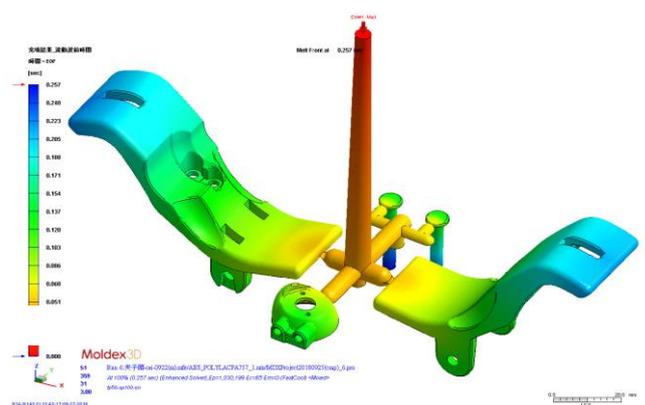
組別 3



組別 4



組別 5



組別 6

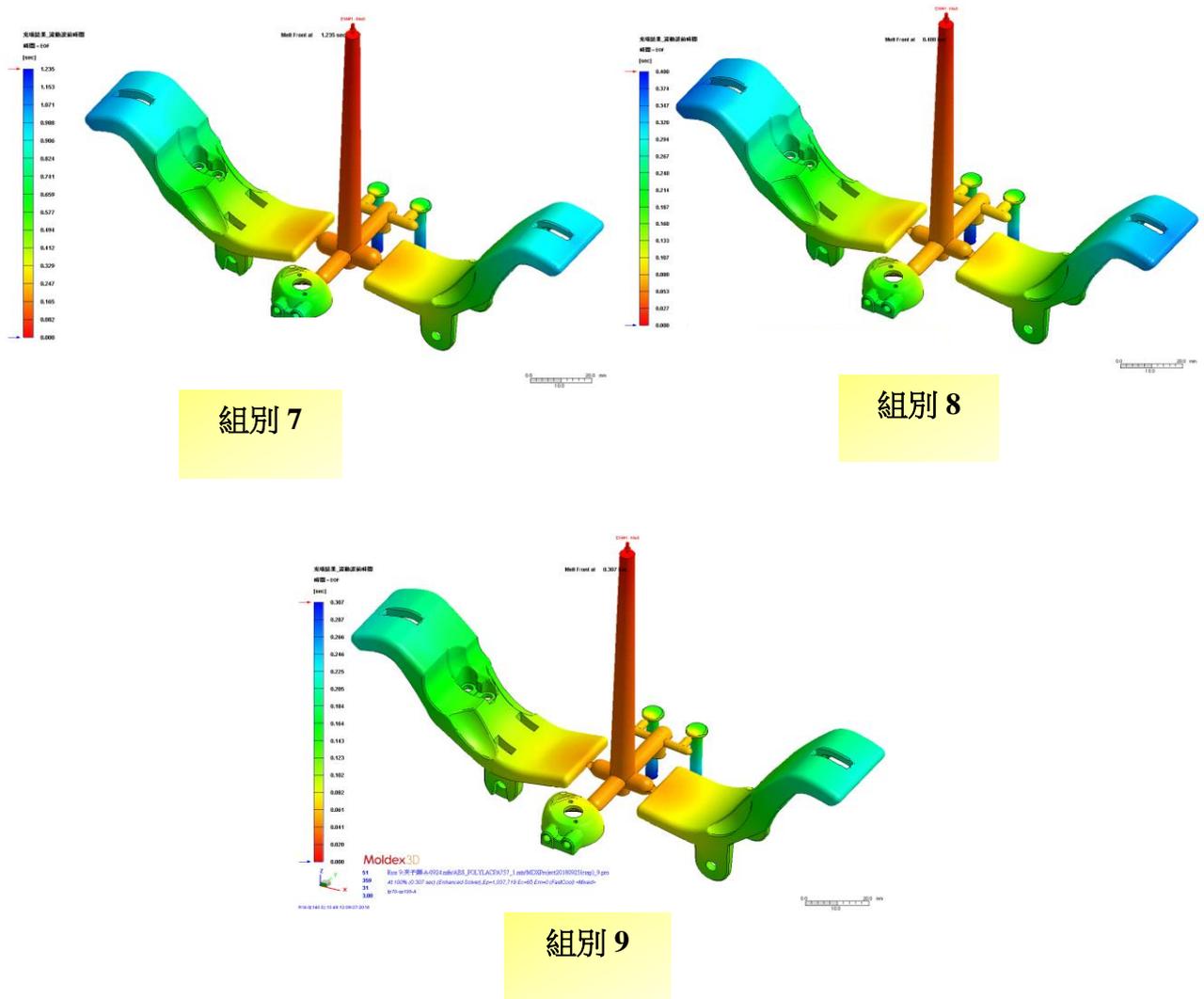


圖 4-19 模流分析圖

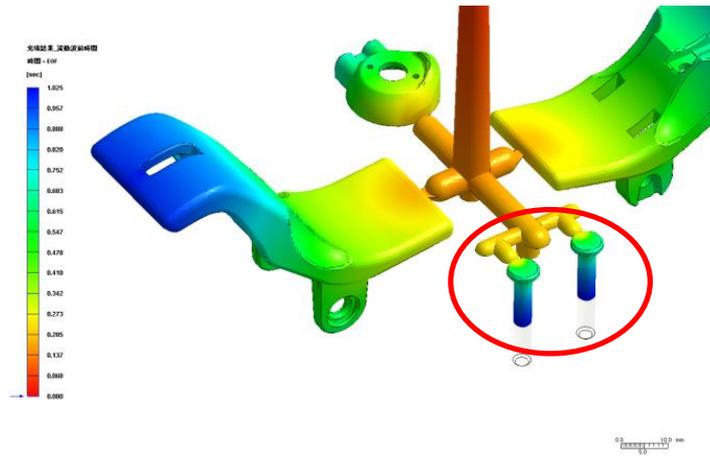
A 相同射出速度進行分析：

由表 4-4、圖 4-19 模流分析，可以發現，目前的設計在成型上，都會有遲滯的問題；比較「相同射速」下，在不同溫度與流道設計的結果，雖然模具溫度不同，但在先假設短時間下的充填行為，模具溫度能夠帶走的熱量有限，故初步可以判斷：

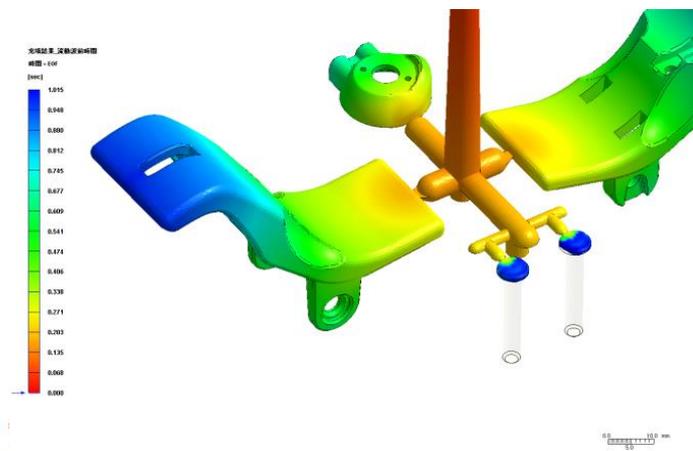
1. 在相同的射出速度與原始設計組比較發現，分流道 A 變小的情形下，會出現明顯的遲滯問題。
2. 在相同的射出速度與原始設計組比較發現，分流道 B 變大的情形下，對於流動行為沒有明顯變化

表 4-4 模流分析 1

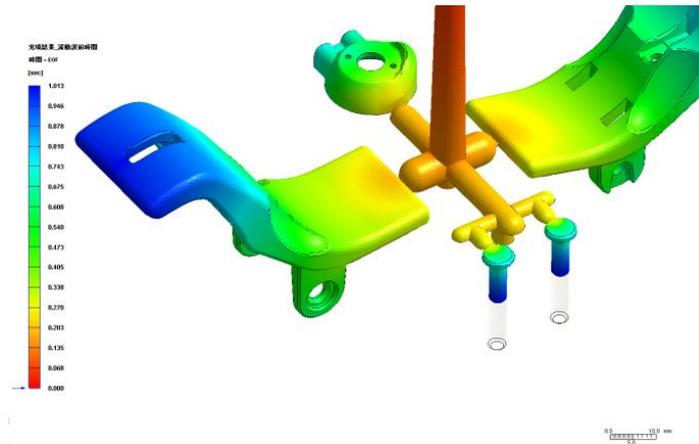
| 實驗組別 | 第一因子 (模具溫度 °C) | 第二因子 (射出速度 mm/s) | 第三因子 流道設計 |
|------|-------------------|---------------------|--------------|
| 1 | 30 | 20 | 原始分流道設計 |
| 4 | 50 | 20 | 分流道 A，變小 |
| 7 | 70 | 20 | 分流道 B，變大 |



組別 1



組別 4



組別 7

圖 4-20 模流分析 1

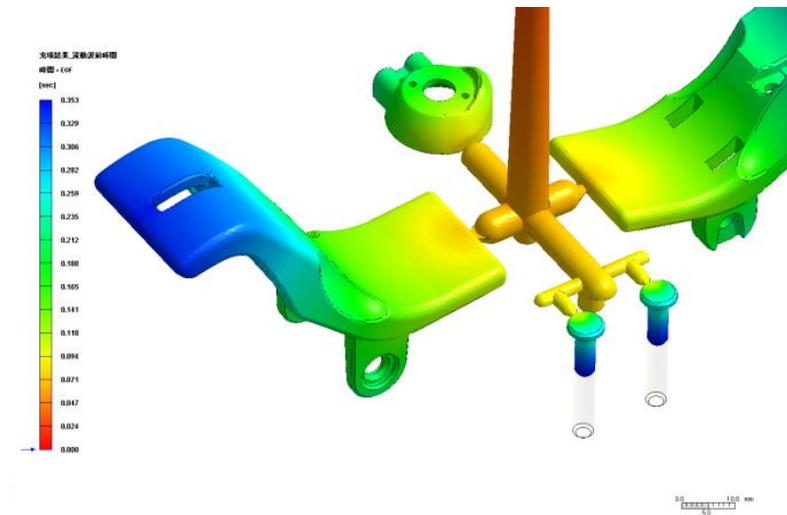
B 相同流道進行分析：

在「相同流道設計」表 4-5 於分析中，不同模具溫度與射出速度下，可以發現實驗組別 2 於低模溫高速的情況下，遲滯效應相較高模溫低速來的輕微，故此可以驗證上述推論，模具溫度對於流動遲滯影響較射速來的低，亦是模具溫度對於流道的影響，是較小的。

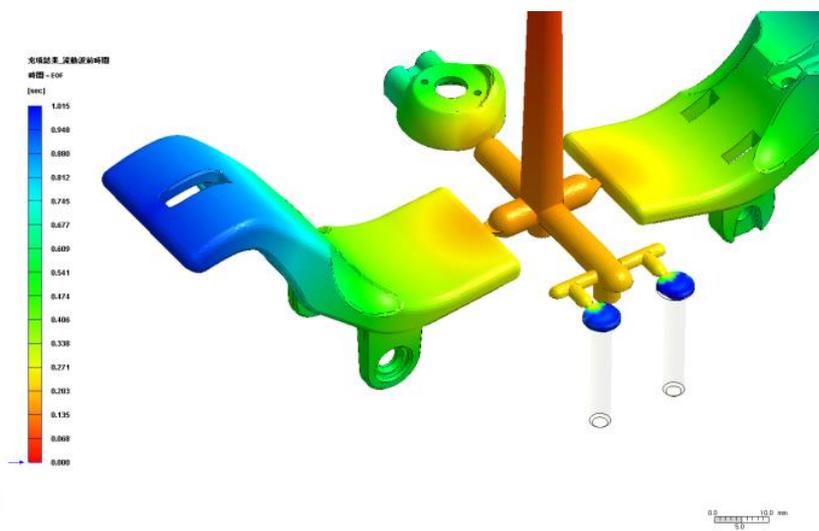
由分析圖，看出流動行為可以確定，若在分流道 A，變小 與低射出速度的情況下，對於產品的流動遲滯較嚴重。

表 4-5 模流分析

| 實驗組別 | 第一因子 (模具溫度°C) | 第二因子 (射出速度 mm/s) | 第三因子 流道設計 |
|------|------------------|---------------------|--------------|
| 2 | 30 | 60 | 分流道 A，變小 |
| 4 | 50 | 20 | 分流道 A，變小 |



組別 2



組別 4

圖 4-21 模流分析 2

4-6.2 進澆壓力分析

依據田口交直表中的 9 個條件，進行進澆壓力分析，根據進澆壓力曲線結果，可以發現在組別 4 充填時間明顯拉長，由分析圖可以看出，時間明顯拉長代表因為遲滯效應嚴重。圖 4-22 進澆壓力分析圖

確認三組的壓力峰值，可以發現組別 7 壓力峰值最低，代表調整分流道 B 加大，可以降低部分射壓。圖 4-23 進澆壓力分析圖

比較其他組別，當射出速達度到一定程度後，對於射壓峰值沒有明顯差異，且在分流道 A 變小的設計下影響程度降低，射出速度達到一定定程度後可有效改善因流道小所產生的相關問題點。圖 4-24

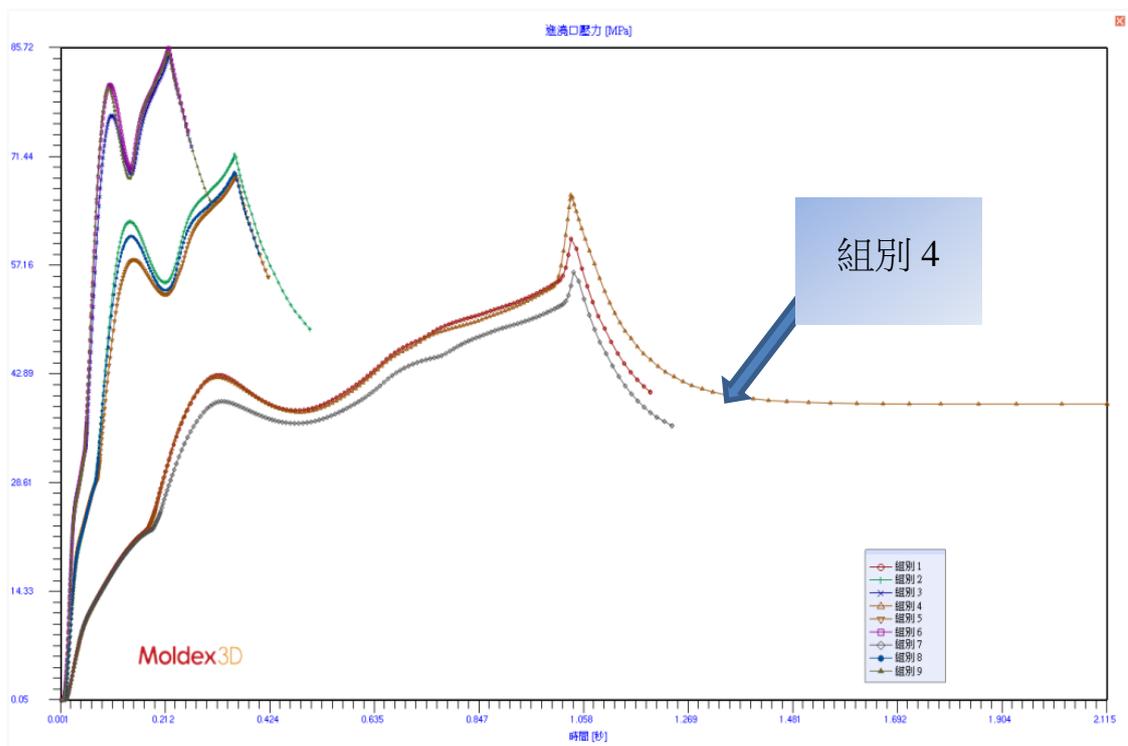


圖 4-22 進澆壓力曲線圖(a)

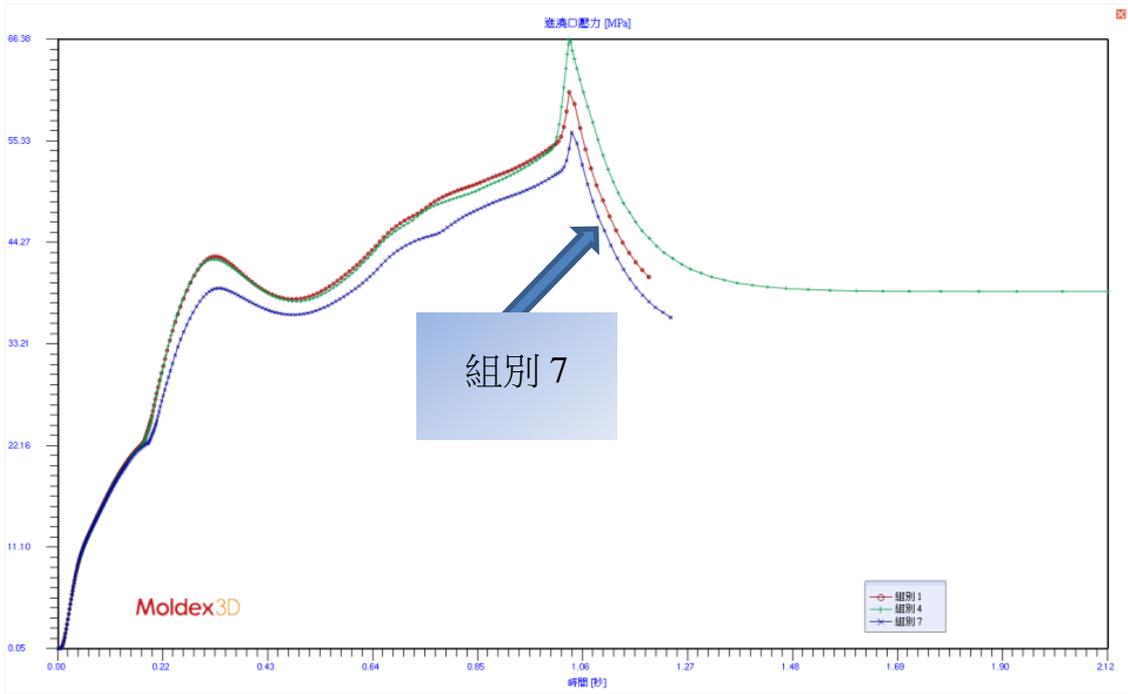


圖 4-23 進澆壓力曲線圖 (b)

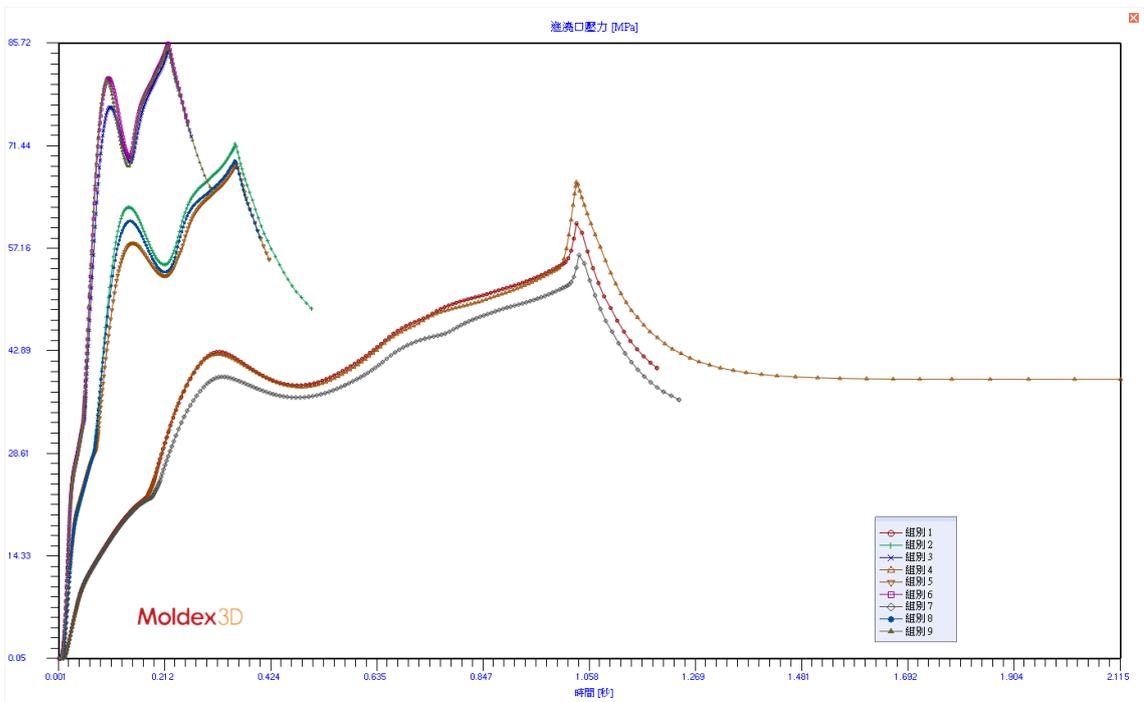


圖 4-24 進澆壓力曲線圖(c)

4-6.3 模具射出冷卻時間分析

此次實驗主要實驗的目的是希望藉由田口實驗及模流分析的導入，找尋開發有利的射出條件一環節，竟而縮短射出的時間，增加產能，提升產業於市場的競爭性，而冷卻時間的長短亦代表塑膠射出行程的一部份及是代表產能產量的主因，藉由減短却時間，來減少整個塑膠射出行程的時間。表 4-6 由分析中發現，組別 1 為冷卻時間最短，而組別 9 為冷卻時間最長。

由此次分析發現第 1 組的冷卻時間最短，但於進澆壓力分析結果第 1 組會造成進澆壓力大，產生遲滯效應嚴重。組別 9 卻反之進澆壓力小於第 1 組。

表 4-6 冷卻時間數據表

| 實驗組別 | 產品冷卻時間 |
|------|---------|
| 組別 1 | 56.8sec |
| 組別 2 | 58.6sec |
| 組別 3 | 59.4sec |
| 組別 4 | 73.5sec |
| 組別 5 | 74.5sec |
| 組別 6 | 74.5sec |
| 組別 7 | 75.6sec |
| 組別 8 | 76.2sec |
| 組別 9 | 76.9sec |

4-6.4 田口工程分析

由表 4-6 冷卻時間，可運用公式計算出 S/N，藉由 S/N 的望大望小，了解目標，而該次冷卻時間目標為望小特性，故使用如下公式計算 S/N：

$$\eta_{LTB} = -10\log(MSD) = -10\log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{y_i^2} \right) \right]$$

由圖表可以看出，該次冷卻時間目標為望小特性，運用 S/N 公式計算，第一組 35.09 秒，為最短的秒數。並由圖 4-7 上表可以看出改善流道的大小，對於改善射出行程。模具溫度 30°C 於冷卻時間是相對較時間較短的。當模具溫度較高溫下會影響產品的冷卻時間，表示模具的溫度將會影響產品冷卻時間。但於第一組射出速度低，可能於射出時造成進澆壓力大，對塑膠射出產品造成遲滯問題。

表 4-7 S/N 實驗數據表

| 實驗組別 | 第一因子 (模具溫度°C) | 第二因子 (射出速度 mm/s) | 第三因子 流道設計 | 產品冷卻 時間(sec) | S/N |
|------|------------------|---------------------|--------------|-----------------|-------|
| 1 | 30 | 20 | 原始分流道設計 | 56.8 | 35.09 |
| 2 | 30 | 60 | 分流道 A，變小 | 58.6 | 35.36 |
| 3 | 30 | 100 | 分流道 B，變大 | 59.4 | 35.48 |
| 4 | 50 | 20 | 分流道 A，變小 | 73.5 | 37.33 |
| 5 | 50 | 60 | 分流道 B，變大 | 74.5 | 37.44 |
| 6 | 50 | 100 | 原始分流道設計 | 74.5 | 37.44 |
| 7 | 70 | 20 | 分流道 B，變大 | 75.6 | 37.57 |
| 8 | 70 | 60 | 原始分流道設計 | 76.2 | 37.64 |
| 9 | 70 | 100 | 分流道 A，變小 | 76.9 | 37.72 |

塑膠射出比對

因模具尚無法修改如論文所述分流道之變更大、小，目前先對原始分流道設計部份，進行了解，實驗組別 1、6、8 組為原始分流道設計之部份，將模具溫度及射出速度於實驗數據表相同，對產品進行了解分析。組別 1、6、8 的射出產品表面皆有明顯凹陷。圖面標示處 A1、A2、A3 為次凹陷處，其凹陷處三組比較差異明顯不大，於主要明顯凹陷處 B1、B2、B3 三組，B1 的凹陷相較其它二組比較明顯，但 B2、B3 還是有明顯凹陷。從第一因子及第二因子條件設定下，B1 的模具溫度為 70°C，速出速度 60mm/s 其模具溫度為實驗組別 1、6、8 組中模具溫度最高，故其模具溫度對射出產品表面凹陷是有影響性的，單由射出條件去改善射出產品表面的嚴重收縮凹陷部份成效是有限，射出產品表面還是有明顯的凹陷。

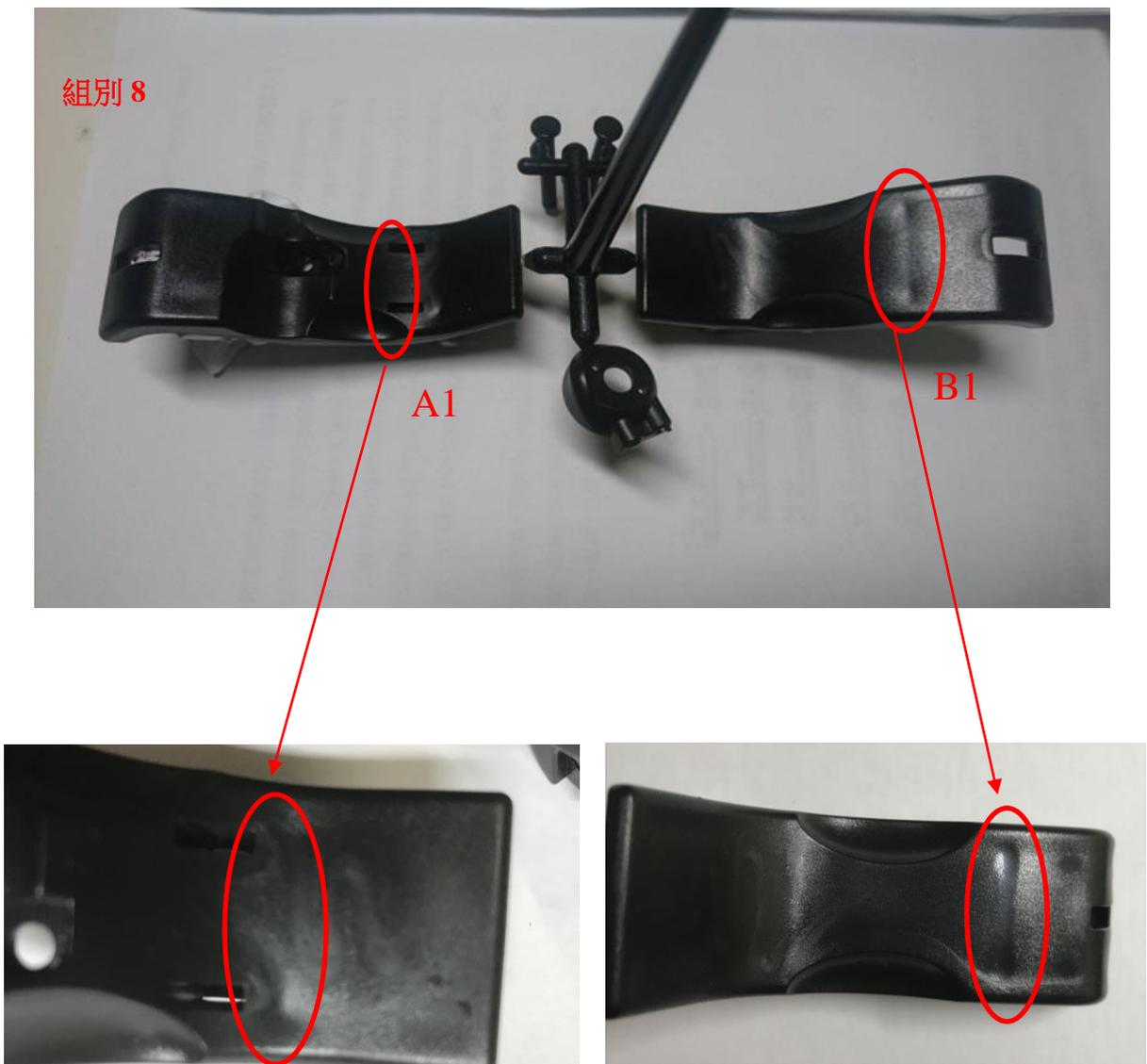


圖 4-25 組別 8 塑膠射出圖面分析

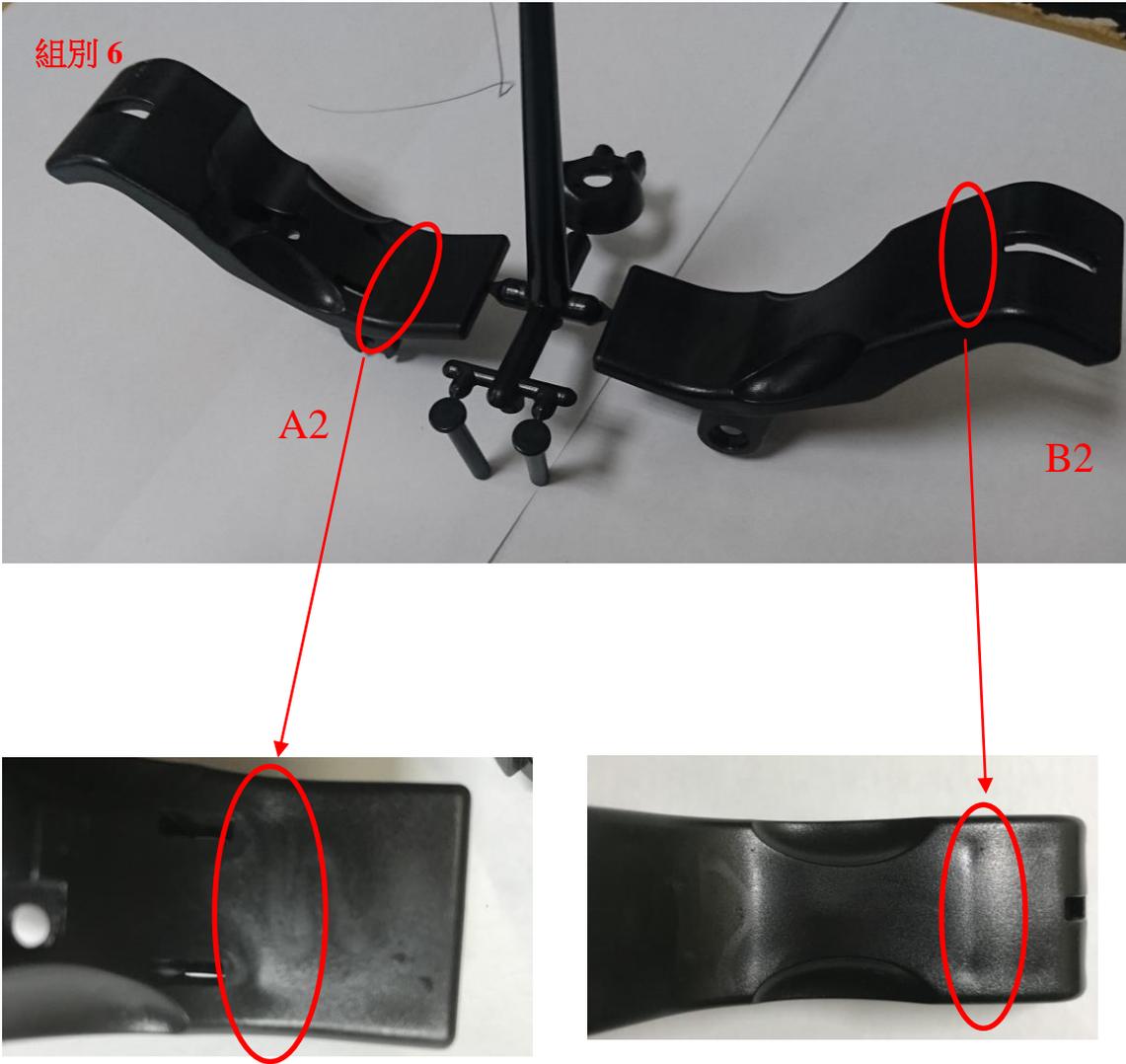


圖 4-26 組別 6 塑膠射出圖面分析

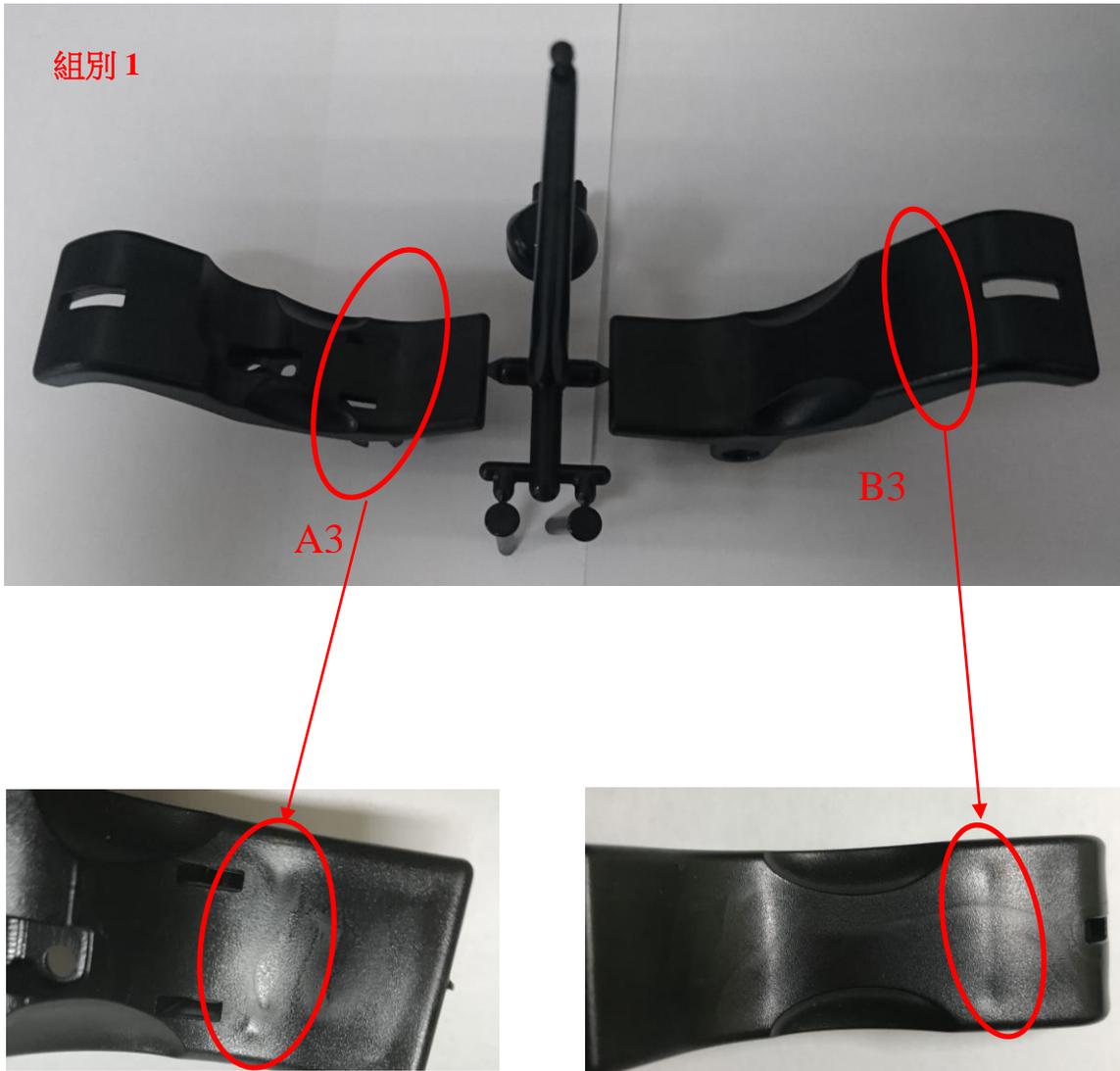


圖 4-27 組別 1 塑膠射出圖面分析

第五章 結論與建議

5-1 結論

根據圖 5-1 冷卻時間 S/N 反應圖確認，單純考慮產品在不同因子與水準影響，模具溫度影響層面較其他因子大，而當模具溫度達到一定程度後，對於冷卻時間反應趨緩；若考量流道部分，則以流道尺寸變更影響較大。目前分析最長冷時間與次長冷卻時間約差異 24.9sec，建議調整最長冷卻時間肉厚設計與水路設計，以降低冷卻時間。根據進澆壓力曲線結果，到達一定射速後，不同流道設計對於射壓峰值沒有明顯差異，而將分流道 B 加大，還是可以略降低部分射壓。

由研究分析可以看出，模具已製作完成後，才產生射出上的問題，可藉由模流分析了解模具產生的問題，並調整模具。於本研究中針對縮短射出行程，不能單方面只針對冷卻時間下手，需全方位的條件考慮，方能找到最佳參數質。希望藉由模流分析，可以改善塑膠射出的行程。此設計為模具師傅依經驗去製作分流道大小，由此可得知，經驗上還是有不完美之處。若能在與模流分析一同配合，於模具開發與塑膠射出皆能有完美的組合。模具溫度能使冷卻時間縮短，但於塑膠射出上並非最佳主要條件，反之速出射度，可改善進澆壓力改善射出行程。綜合上述可發現縮短射出行程，模具溫度高、塑膠射出速度快是重要因素，但確造成後面模溫過高，冷卻行程加長。由此看出於模具前若能先將產品進行模流分析，將產品肉厚最厚的地方進行偷肉厚，使產品均厚，或增加冷卻水管亦可縮短射出行程，降低冷卻時間。

未來傳統廠商於開發新產品塑膠模具時，除了模具加工廠師傅製作外，若能在將電腦分析加入為輔，將其導入為開發的一環節，除了用於目前開發前端減少塑膠產品毛邊、短射、翹曲、噴流等問題外，希望還能將其運用於提升產能的分析，提供並找出最佳射出條件行程及問題點。

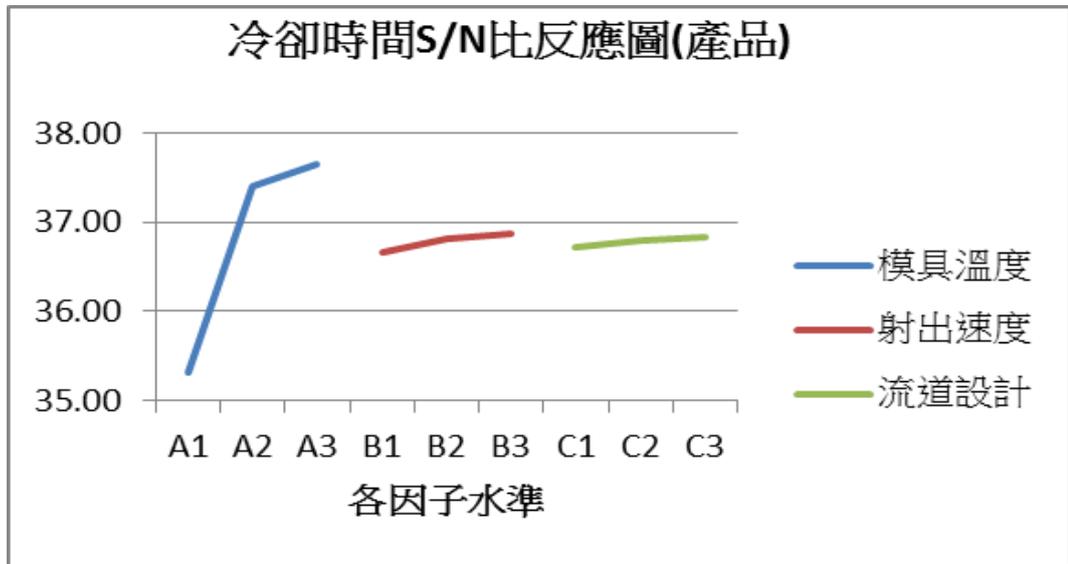


圖 5-1 冷却時間 S/N 產品比應圖

5-2 建議

分析最終在於找到最佳條件及最好的冷却時間運用模流分析，探討冷却時間及位置，因塑膠射出產品於最後的冷却位置，是產品最後冷却的問題。模析分析，亦可以看出圖 5-3 最大冷却時間 58.6sec，圖 5-4 為次長冷却時間約為 33.7sec，約差異 25sec。因射出產品的肉厚不均，是造成了模具於冷却時無法平均快速的冷却的主因。

造成冷却不均的問題，可藉下面 2 點改善：

- 可藉改變產品的肉厚，讓產品肉厚平均，可改善肉厚造成冷却不均勻，使冷却時間拉長。因本研究為已開發模具，故希望在不修改產品模具表面的狀況下，提升冷却時間。
- 在不修改模具產品的狀況下，增加水路提升冷却時間，透過模流分析 b-1 增大水路冷却管路如，圖 5-4，調整後最大冷却時間:52.0sec，故 A 組於調整冷却水路後，與目前組別 1 差異約為 6sec，約降低 10%冷却時間。b-2 增加冷却水路數量，如圖 5-5，組調整後最大冷却時間:26.1sec，約降低 55%冷却時間。由分析得知，調整冷却水路才能有效降低冷却時間

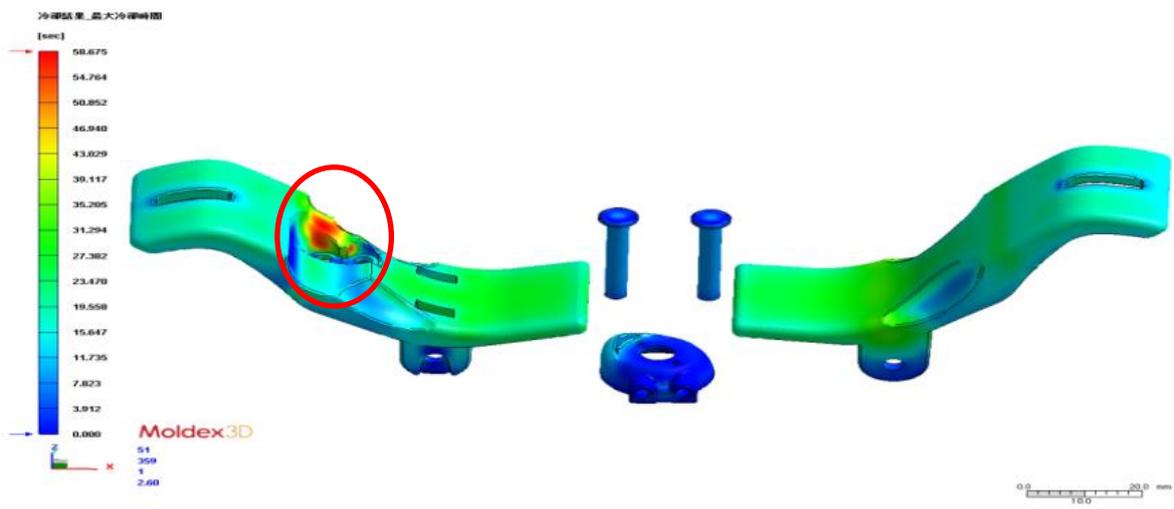


圖 5-2 最長冷去時間

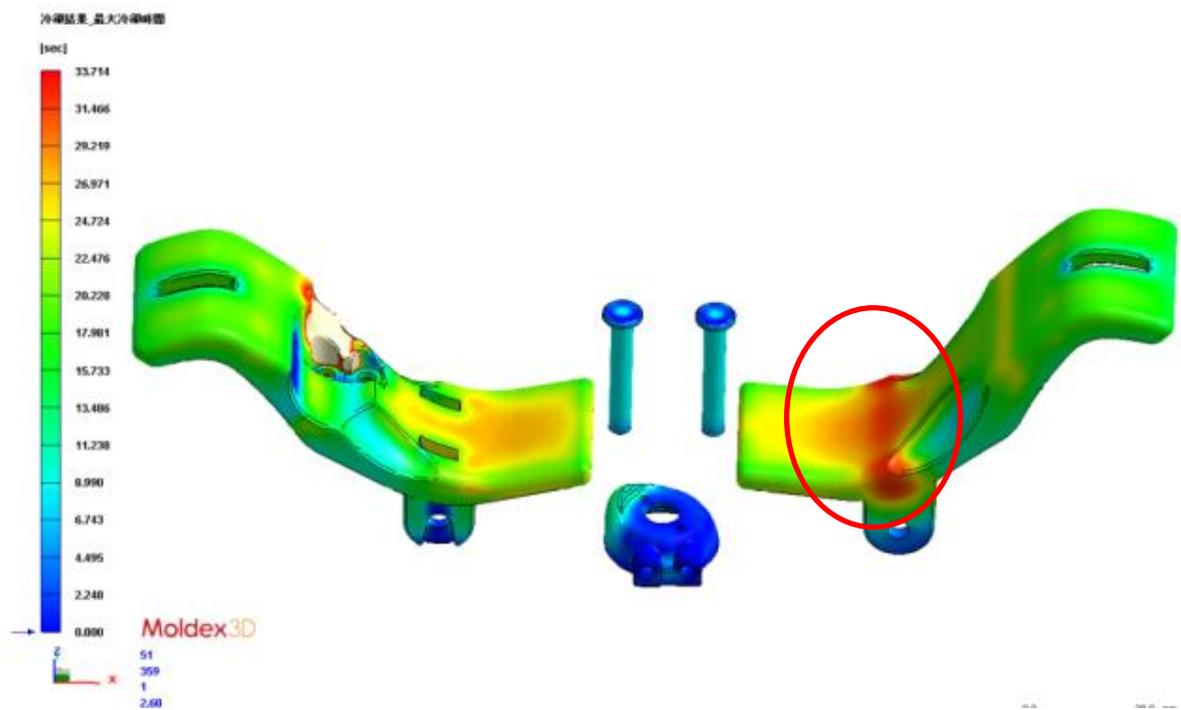
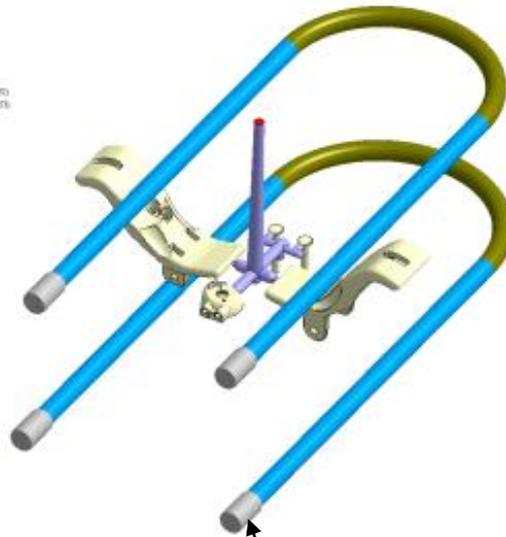


圖 5-3 次長冷去時間

零件類型、材質與顏色

- 零件 I: ABS/PC 和 PBT/LC 和 PS
- 零件 II: ABS/PC 和 PBT/LC 和 PS
- 零件 III: 鋼



增大水路冷卻直徑

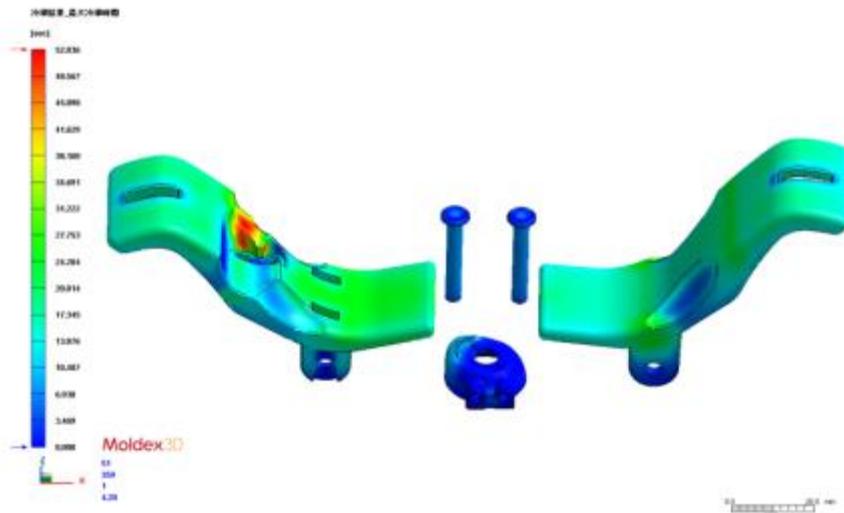
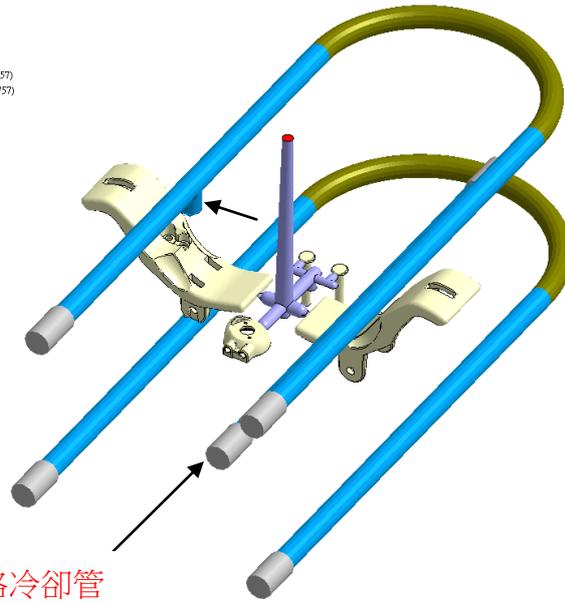


圖 5-4 建議修改部份 A 組

網格模型_實體模型

- 零件-1:ABS(CHI-MEI POLYLAC PA757)
- 冷液渠:ABS(CHI-MEI POLYLAC PA757)
- 冷卻液:水



增加水路冷卻管

0.0

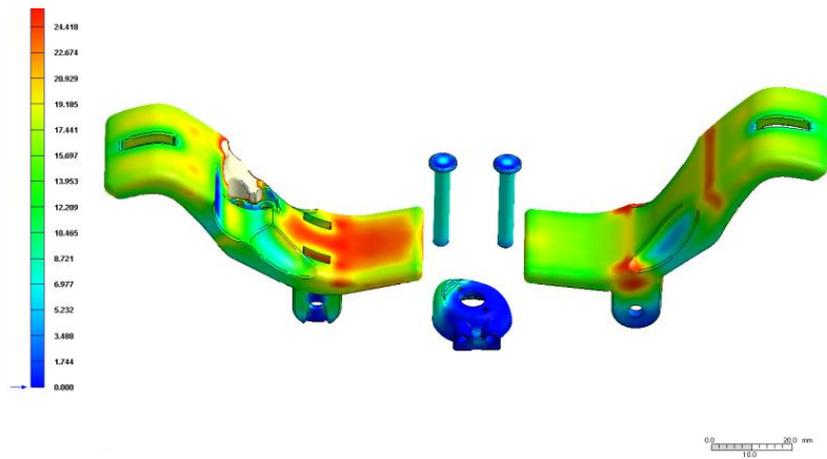


圖 5-5 建議修改部份 B 組

參考文獻

英文部分

- [1] H. Goldsmith and S. G. Mason, 1967, "Rheology: theory and application," Academic press, pp. 85.
- [2] M. Sanou, B. Chung and C. Cohen, 1985, "Glass fiber-filled thermoplastics2. Cavity filling and fiber orientation in injection molding," Polymer Engineering and Science, Vol. 25, pp. 1008-1016.
- [3] M. Mahishi, 1998 "Material Characterization for Thin Wall Molding Simulation," ANTEC' 98, pp. 547-551.

中文部分

- [1] 呂志賢、李雄，2005a，“澆口數量的選擇對射出成型製程影響之研究”，CAE Molding Conference 2005，頁 1-5，新竹，7 月。
- [2] 呂志賢、李雄，2005b，“澆口位置的選擇對射出成型製程影響之研究”，CAE Molding Conference 2005，頁 1-8，新竹，7 月。
- [3] 林秀春、楊文禮，2001，“電腦螢幕前殼進澆口位置設計及解決遲滯問題、結合線位移”，第六屆亞洲模具研討會，頁 1-10，台北
- [4] 江可達、楊展耀、林秀姿，2002，“應用田口法於 CD-ROM 碟片托盤射出成型之製程最佳化開發”，修平學報，第五期，pp.1-22，9 月。
- [5] 徐政裕、楊文禮，2001，“電腦試模在產品設計與模具設計之整合應用”，第六屆亞洲模具研討會，頁 1-13，台北。
- [6] 莊錦煊、呂芳洋、唐兆璋、楊文禮，2001，“應用模流分析改善塑件密佈分佈不均之探討”，第六屆亞洲模具研討會，頁 1-7，台北。
- [7] 戴國男、蔡銘宏、楊文禮，2001，“應用模流分析提昇電子產品競爭力”，第六屆亞洲模具研討會，頁 1-12，台北。
- [8] 蘇朝墩，2002，“田口式品質工程”，清華大學工業工程與管理系，上課講義。
- [9] 鄭釗瀚，2001，“多模穴模組流道系統之流動平衡分析”，吳鳳科技大學光機電暨材料研究所碩士論文
- [10] 黃敬哲，2013，“醫療用塑膠射出模具水路配置與產品及模具應力之探討之研究”，碩士論文，國立高雄應用科技大學模具工程系碩士論文
- [11] 李侑穎，2014，“同模異穴流道之流動平衡分析”，聖約翰科技大學，機械與電腦輔助工程系碩士論文
- [12] 何王鈞，2018，“家族模穴應用在寵物涼墊塑膠扣件之研究”，國立台北科技大學製造研究所碩士論文
- [13] 吳宜家，2013，“以田口方法探討碳粉匣外殼塑膠射出成形產品翹曲之最佳化製程參數”，逢甲大學機械與電腦輔助工程學系碩士在職專班碩士論文
- 杉本賢司，2004, 圖解塑膠新世界
- [14] 張榮語，1999，射出成型模具設計-材料特性 高立圖書有限公司
- [15] 2017/2/9 UG 愛好者發表於教育 <https://kknews.cc/education/ene1jn.html>
- [16] ANNTONG 映通 - 熱澆道模具與傳統模具比較 Compared with the Traditional Mold and the Hot Runner Mold <https://www.youtube.com/watch?v=7UfwaLxwNgQ>
- [17] 君楷工業產品模具設計 <https://ke.qq.com/course/155836>
- [18] 張永顏，2004，塑膠模具設計-理論、實務製圖、設計，修訂二版，全華科技圖書萬份有限公司，2004 年
- [19] 魏綸群，2008，“塑膠射出成型製程時間最佳化設計”，元智大學機械工程研究所碩士論文
- [20] 羅際鉉，2006，“電腦散熱風扇產品開發整合性設計之研究”，樹開科技大學

應用設計研究所碩士論文

〔21〕奇美實業 /產品介紹/塑膠系列。ABS 樹脂/ISO 標準物質表

<http://www.chimeicorp.com/zh-tw/products/plastic-series/abs/>

〔22〕紀盈卉, 2017, ”選擇進澆口設計位置及最佳成型參數應用於工業安全面罩之研究”, 南台科技大學機械工程系碩士論文。

〔23〕張光維 2018, ”一模四穴微小型鏡筒真圓度最佳化之模流分析” 逢甲大學機械與電腦輔助工程學系碩士論文