



從智慧製造的觀點暢談 模流分析在塑膠射出中的角色

文/廖恆增 上博科技股份有限公司實施部 工程師



智慧製造系統概念

塑膠射出產品的生產流程可簡略地分以下幾個階段：產品設計、可製造性設計(DFM)、模具設計、模具製程排配、編寫加工程式、現場加工模具、加工後量測、射出試模、正式射出生產。這些流程需要由不同的專業人員，使用多種軟體、機台合力完成。例如產品設計及模具設計人員需要用CAD軟體，編寫加工程式人員需要用CAM軟體、現場加工人員會用到CNC、放電加工、線切割機台，生產人員要用到射出機等。另外，要能使現場加工能順利進行，還需要做好事前的準備工作，例如：治具管理、CNC刀具管理、放電加工電極管理等。除此之外，工廠人員管理也是不可獲缺的一環。而智慧製造系統的工作就是將所有軟體、機台、管理系統連接在一起，有如將整個工廠變成一台多功能的巨大機台。

智慧製造系統設計約略可遵循以下幾個原則：資訊統一、自動傳遞、方便操作、方便管理。

資訊統一的具體作法是使用中央資料庫，是將不同軟體、機台、管理所要用到的相同資訊統一儲存，一來解決以紙本或email傳遞容易發生不同步的問題，二來方便版本的管控，確保操作人員下載的版本永遠是最新的。資訊統一的關鍵在於規格制定，使資訊能在不同的軟體及機台間流通。

在傳統工廠中，各軟體、機台與管理系統之間並沒有連結，資訊的傳遞難免需要人力。而智慧系統利用API，具有在各軟體及機台間輸入及取出資訊的能力，進而達到資訊自動傳遞，減少人力花費及傳遞錯誤的機會。自動傳遞所能涵蓋的範圍，取決中央邏輯判斷系統的效能，必須要在適當時間點、將需要的資訊送到正確的位置。

達成方便操作可以朝兩個方向進行，一是剛才提到的資訊自動傳遞，將重複且固定的步驟省去，減少使用者操作負擔。另一方面，可結合現場操作經驗，客製方便工具，讓有

經驗的使用者可以快速操作，無經驗的使用者有參考的依據。例如在CAM軟體中將模具常用的滑塊、頂針、斜銷設定為標準元件，設計時直接調用，澆口、流道、水路設定為參數化物件，設計時只要輸入參數及可快速完成設計。由以上例子可以得知，達成操作方便的關鍵在設計及製造流程的標準化，標準化的愈徹底，可以建立的標準元件及參數化物件愈多，愈能簡化操作步驟。

製造管理系統大致包括以下幾部分：1.人員角色及操作權限，2.編號系統(包括任務、刀具、電極、工件…)，3.查詢系統，4.異常處理流程。重點在於讓管理者能方便了解資源使用狀況，將管理制度系統化，確實記錄執行狀況，減少人為出錯的機會。

要注意的是，以上四原則並非彼此獨立，而是會相互影響，因此在設計系統時必須同時考量4原則，以整體效率最大化為目標，權衡出最佳流程。



模流分析在智慧製造中的角色

在智慧製造系統中，模流分析也可遵循先前提到的設計原則。資訊統一方面，模流的產品模型及澆口、流道、水路模型可與DFM與模具設計共用，模流所需塑膠材料庫也可與現場加工材料庫整合為一體。自動傳遞方面，DFM設計完的模型可利用API自動導入模流軟體，使用者可以不必再建模。操作便利性方面，可建立模流結果評語資料庫與自動報告產生器，減少模流分析者製作報告的時間。

與智慧生產結合後可大大減化模流分析的操作流程，模流分析人員的工作性質也由偏重建模與製作報告的操作員，轉變為以結果解析判讀為主的分析師。要能對模流分析結果做出正確的判斷，必須先瞭解模流分析的特質，故以下將由模流分析的特性出發，說明對模流分析應有的態度。

模流分析模擬的範疇為塑膠材料在熔融狀態的流動行為與冷卻固化後變型的狀況。比起一般結構分析或流場分析，模流分析的難度是高上許多。主要原因在於模流分析的主角塑膠表現的是黏彈體的性質。為了讓讀者能更了解什麼是黏彈體及黏彈體在工程分析上的困難點，以下做簡略的說明。

以工程力學的發展軌跡來看，最初是將物質分為固體與流體，各別研究。固體與流體在力學的行為上，有著相當不同的表現。撇開煩人的數學模型，以直觀的方式來看，標準的固體在未受力時，會維持固定的形狀，在受力後會產生變形，在沒有被破壞的情況下，相鄰的材料在變形後仍相鄰。也就是固體的變形是一個點拉著一個點連續變形，如果相鄰的點拉得太開就會被破壞，再也黏不回來，就像把玻璃碎片拼起來也變不回一片玻璃。標準的流體本身沒有固定的形狀，壓力不均就會產生流動，阻力是因流速的差異產生，原本相鄰點在流動後可以分得很開，並與周圍的液體再度融合在一起，因此將流體倒入容器中能很快的充滿容器。

這種二分法有個很大的好處，就是在這種假設下，可以建立較簡單的數學模型，材料性質也容易量測，現實上也有很多物質能符合這種固體、液體二分法。例如：常溫下的金屬就是標準的固體、水和空氣就是標準的液體。

但現實上還是有太多物質無法歸類為標準固體或液體，存在著半固體半流體的性質，例如黏土，直觀看來比較接近固體，因為有固定的形狀，受力後會產生變形，但兩塊分開

的黏土可以輕易融合成一塊，這點又有點像流體。又如蕃茄醬，直觀看來比較像流體，因為沒有固定的形狀，分開後也能再融合為一體，但仔細來看，將蕃茄醬倒在容器中，不會像標準流體一樣迅速地充滿容器，雖然會流動，但又能維持固定形狀一段時間，輕輕碰一下可以讓它變形，放開後又有回彈的情況。

在工程力學中稱這種介於固體與流體之間的物質為黏彈體，而流變學(Rheology)是專門研究黏彈體行為。如前段所述黏彈體的行為有較偏向固體的黏土也有較偏向流體的蕃茄醬，介於兩者之間的物質更是不勝枚舉。而模流分析中的主角塑膠，因為溫度的變化，性質也會從高溫熔融狀態時，較接近蕃茄醬的行為，變為低溫接近固化時較接近黏土的行為。不難想像單一的數學模型是很難滿足射出成型過程中塑膠特性的變化。

為了因應塑膠複雜的行為，流變學家提出了愈來愈多更複雜理論。直觀上愈複雜的理論考慮因素較多，應該能更精準預測黏彈體的行為。但在工程應用上卻不盡然，理由如下：

- 1.單一理論不一定能適用所有塑膠料，因成本及開發時間考量，工程軟體很難針對各別材料使用專屬的理論模型。



2. 複雜的理論包含更多的材料系數，實務上不一定能量測，或是量測成本太高。
3. 複雜的理論所以計算量較大，計算時間較長。因此實務上可行的模流模型會是容許一定誤差，但能表現大多塑膠材料的行為，材料係數方便且快速量測的模型。

除了以上談到模流分析在物理模型上的誤差外，還有幾個因素會造成分析誤差。

1. 材料量測的誤差：很多模流分析會用到的塑膠材料性質，例如黏度與剪切率的關係或溫度、壓力、體積之間的關係，都不是一個固定的值。理論上要得到材料的真實性質，必須要做無數次量測才能確定，但這種方法實務上並不可行。比較務實的作法是使用預測材料性質的理論公式，這些公式含有未定的參數，再用有限的實驗數據來做迴歸分析，決定參數的值。簡單來說，模流分析所用的材料性質，是用小範圍且有限的量測數據去推斷大範圍整體的性質，難免出現誤差。
2. 數值分析的誤差：模流分析與其他CAE軟體相同，在計算前都需要生成網格，理論上計算的精度會隨著網格數量增加而增加，但增加網格數量也會增加計算時間。在實務上必須權衡計算精度及計算時間，選擇

適當的網格密度，犧牲一定的精度。

3. 成型條件的誤差：在比較模流分析與現場射出的結果時，會將兩者設定相同的成型條件。但對真實的射出機來講，在控制面板上設定的成型條件其實是一個目標值，射出機台的控制會盡量讓機台的表現接近目標值，但無論如何精密的控制都都需要反應時間，無法100%達到目標值的要求，不可避免地會與模流分析的結果有出入。

由以上分析看來模流分析，模流分析的結果似乎是不可信賴。但每個人對信賴的定義不同，以筆者之見，不可信賴在於使用者對於模流分析的定位及解讀結果的態度。以下幾種定位往往會讓使用者覺得模流分析不可信賴：

1. 完全相信模流分析，認為模流分析結果沒問題，現場一定就沒問題。
2. 在極端條件下比對模流分析與試模的流動結果，所謂的極端條件指的是發生遲滯、短射、等流動異常狀況。
3. 對小結構或細微現象現進行比對研究。

由前幾段提到模流分析的特性來看，以上三種定位方式，完全在挑戰模流分析的弱點，自然不能對結果有太高的期待。當然偶爾也會遇到與現場

相符的情況，但畢竟穩定性太低，不能太過依賴。

再來談談怎樣的定位適合模流分析，因模流分析軟體需克服重重困難，在合理的時間內計算出可參考的結果，所以分析結果要看的是趨勢，不是數值。故一般模流分析都會改變條件多分析幾組結果，以觀察趨勢的變化。原則上，執行模流分析的時機愈早愈有利，最佳時機是在DFM設計完，決定澆口、流道、水路後就執行。推薦以下兩種較為合理的使用法：1. 在開模前發現嚴重的問題，例如結合線出現在不能出現的位置，及早變更產品或模具設計。2. 預期可能發生的問題，先找出原因及解決對策，若試模發生相同問題時可以立即反應。

簡單來說，如果模流分析只是用來看結果，準確率可能不高。若是用來推論問題的原因，及解決的方式價值就變得很高。因為模流分析可以提供一些試模得不到的資訊，如產品內部溫度及壓力的分布。

因智慧系統，模流分析人員未來勢必需負擔更多解析結果的工作。但另一方面，智慧系統也可將模流分析的解析邏輯與系統整合，幫助更多人能更快瞭解並正確解析模流分析的結果。