

第一章 緒論

1.1 研究背景與文獻回顧

在 高 分 子 精 密 加 工 製 程 中 ， 應 用 電 腦 輔 助 工 程 來 設 計 及 改 良 加 工 條 件 ， 已 成 為 技 術 上 非 常 重 要 之 一 環 ， 且 依 據 模 擬 結 果 進 行 最 佳 化 設 計 可 大 大 地 降 低 實 作 成 本 ， 提 升 加 工 技 術 及 應 用 價 值 。 其 中 ， 高 分 子 混 鍊 加 工 在 現 今 高 分 子 加 工 中 是 一 項 不 可 或 缺 的 作 業 方 式 ， 目 前 已 有 數 種 機 械 可 做 混 鍊 加 工 ， 廣 被 採 用 的 包 括 雙 螺 桿 混 鍊 押 出 機 、 單 螺 桿 混 鍊 押 出 機 、 滾 輪 式 混 鍊 機 以 及 批 次 式 混 鍊 機 等 ， 依 照 不 同 加 工 需 求 而 選 擇 適 合 的 設 備 。 一 般 傳 統 單 螺 桿 押 出 機 之 混 鍊 效 果 與 其 他 押 出 機 相 較 下 仍 不 理 想 。 因 此 近 來 於 單 螺 桿 設 計 目 標 上 ， 首 在 改 善 熔 化 效 能 與 混 合 程 度 。 除 了 可 於 熔 化 區 加 上 障 壁 以 提 升 熔 化 速 率 之 外 ， 另 外 在 熔 化 區 結 束 之 後 ， 可 再 加 上 混 合 元 件 以 提 升 混 合 效 果 。 藉 由 混 合 元 件 的 使 用 ， 不 但 能 打 散 聚 集 的 大 顆 粒 ， 且 可 使 添 加 劑 能 均 勻 分 布 在 基 材 中 進 而 增 加 產 品 品 質 ， 故 單 螺 桿 搭 配 混 合 元 件 之 設 計 已 廣 泛 地 應 用 於 高 分 子 加 工 製 程 中 。

一 般 將 混 合 元 件 分 為 分 配 式 (distributive) 與 分 散 式 (dispersive) 兩 種 。 分 配 式 混 合 元 件 原 理 是 藉 由 不 斷 地 分 割 原 有 的 流 場 ， 增 加 主 成 份 (major component) 與 添 加 成 份 (minor component) 的 接 觸 面 積 ， 使 高 分 子 熔 融 體 能 獲 得 重 新 的 流 動 方 向 (reorientation) ， 以 利 於 添 加 成 分 均 勻 地 分 布 在 主 成 分 中 。 至 於 單 一 成 份 之 材 料 也 可 藉 由 混 合 元 件 之 設 計 以 達 到 溫 度 均 勻 化 之

目的。而分散式混合元件則是利用梯板與套筒間隙之狹窄流道或將間隙做成具有一傾斜角度使產生高的剪切力或延伸力，將聚集的大顆粒打碎，並阻擋尚未熔融的高分子顆粒通過，避免懸浮顆粒導致外觀及產品之品質不良。

分配式混合元件有許多種，依據不同幾何形狀，有Pins、Dulmage、Saxton、CTM、Blockhead、Double blockhead、Slotted、Pineapple等等，其中又以Pins、Blockhead、Pineapple、Dulmage、Slotted最受重視^[1-3]。

除元件幾何形狀之外，另外如元件數目、彼此間距及安置方式等，皆是元件設計需考量之重點所在。元件數目太少無法達到混合功能，數目太多、元件高度太深或元件本身不符合流體流線均易造成死角、滯留或迴流現象，甚至流體不經過元件產生分流，而是直接由元件間隙通過，導致混合效果不佳及劣解現象產生。

過去，針對混合這方面之研究，大多都是較簡略且為實驗上之觀察，發現改變不同元件形狀及數目多寡和安置方式之設計可以改善混合現象^[4,5]。另外，也有利用數值模擬的方法去分析混合區域內流體的流動行為，但並沒有發展出具混合程度之定量性指標^[6-8]，因此無法提供混合器最佳化設計之依據。近數十年來，研究上漸漸地對混合元件的一些混合分析，有較深入的研究和了解，發展出一些針對混合程度的指標^[9-11]，茲將這些文獻研究結果分述如下：

(A) Residence Time Distribution (滯留時間分佈)

Bigg^[12] 首先指出可由滯留時間分佈曲線(residence time distribution)討論高分子流體在主要流動方向之分佈。Tadmor 等人^[13] 也以RTD的角度分析流動狀態，指出在流場中受到拖曳能力強的流體，其RTD越長，界面面積比增加也相對提高。之後，Osswald等人^[14,15] 提及了RTD的方法，可同時用數值模擬及實驗去分析混合程度。Kroon等人^[16] 也利用RTD之測量來判定混合程度。但由於此判斷混合度之指標只能針對軸向之單一流動方向分析，並不適用於單螺桿分配式混合元件之三維非等溫流動系統^[17,18]。

(B) Shannon Entropy

Manas-Zloczower等人^[19,20] 根據熱力學及統計學之觀點提出 Shannon Entropy之應用，在雙螺牙(twin flight)單螺桿押出機上，去判斷混合之優劣。後來Manas-Zloczower等人又應用Shannon Entropy之觀點分析兩種顏素質點粒子在傳統單螺桿流道中之混合情形，之後更進一步提出另一種分配式混合之指標，稱之為色彩均勻度(index of color homogeneity)^[21-27]。此由熱力學及統計學之觀點定義出關於判斷混合程度的指標，主要是用亂度來表示混合程度，計算質點在區域中的分佈之或然率，進一步去推算其色彩均勻度來判定其混合程度，但其目前之研究僅針對較簡單之螺桿進行分析，尚未針對具混合元件之螺桿做進一步之探討。

(C) Interfacial Area (界面面積)

Brothman_[28] 提出了以 total interfacial area 當作混合後量化之指標。

Spencer和 Wiley_[29] 在文獻中闡述當兩種不同的黏性流體相互混合時，其兩者界面面積會增加。Erwin等人_[30] 以起始形變之概念，推導出界面面積增加率與total strain之關係，此界面面積增加率值可作為混合過程中一種定量分析依據，亦即一種混合度之指標。但Erwin等人的研究是針對簡單的剪切或延伸流動。但由於高分子流體在單螺桿押出機其分配式混合元件中因為受到擾動，所以整個流動情形更顯複雜而多變，且內部各點的strain皆不一樣，在此種混合元件中很難以一個total strain 來做為混合過程中一種定量分析依據。

Amellal等人_[31] 則是用Erwin的界面面積增加率與strain的觀念將其應用到計算障壁螺桿熔體溝道 (melt channel) 的混合度分析。由於其螺桿溝道為簡單四邊形溝道，因此各個橫斷面積之平均形變率 $\bar{\dot{\gamma}}$ 均相同，因此最後流體在沿下溝道方向走一長度z之後，由流體流經此一段長度之平均滯留時間t及平均在每一斷面積所產生的平均變形率 $\bar{\dot{\gamma}}$ 可算出，最後藉由總體平均界面面積增加率來表示混合度指標，其計算方式如下：

流體流經下溝道一段長度 z 所滯留時間 t：

$$t = \frac{\Delta Z}{\langle V_z \rangle} = \frac{\Delta Z}{Q/WH}$$

其中 W 及 H 為溝道寬度及深度，Q 為體積流率

因此總體平均界面面積增加率 \bar{M} 可以下式表示：

$$\begin{aligned}
\bar{M} &= \frac{\Delta \bar{A}}{A_0} \\
&= \frac{1}{2} \bar{\dot{\gamma}} t \\
&= \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1}{H} \right) \int_0^H \dot{\gamma}(y) dy \right] \left(\frac{\Delta Z}{Q/WH} \right) \\
&= \frac{\Delta Z W}{2Q} \int_0^H \dot{\gamma}(y) dy
\end{aligned}$$

其中 $\dot{\gamma}(y)$ 為沿溝道深度方向 y 的變形率，

A_0 為流體界面起始面積，

$\Delta \bar{A}$ 為經過滯留時間 t 的界面面積增加率

但上述之研究僅針對簡單的四邊形溝道流動進行分析，尚未針對具混合元件之螺桿做進一步之探討



1.2 研究動機與目的

由於在本研究中，單螺桿分配式混合元件幾何形狀複雜，屬於複雜之三維流動，且其橫斷面並非簡單四邊形，因此為了要計算某一個混合元件所形成的混合區所產生之混合度，並且要同時預測混合區是否有滯留及迴流等現象產生，必須以非牛頓流體在混合區進行的三維流動模擬，求出速度分佈，以便進行混合區的混合度效益之評估，並且分析其是否有滯留及迴流等現象產生。

本研究打算使用著名有限元素分析軟體 ANSYS[®]9.0_[32] 來進行分析混合區之流場速度分佈、流體質點路徑（流線）追蹤，並且將分配式混合元件

之混合性能分為下列幾個因素去評估：

- ① 總體平均界面面積增加率：本研究擬以上述質點路徑追蹤方式算出最後總體流體元素界面面積與起始總體流體元素界面面積之比作為第一種混合度指標依據。
- ② 色彩均勻度：本研究主要利用統計熱力學推導出之觀點，計算質點在某個區域出現之或然率以及在該區域下顏色質點出現之或然率，以求得色彩均勻度，並以此來作為第二種混合度指標依據。
- ③ 混合元件中是否有滯流及迴流現象產生：若有此現象會導致劣解，影響產品品質，應該避免此現象產生。

以上這些因素均是本研究要詳細研究、評估與分析，而這些因素又與混合元件中元件本身形狀、元件數目、元件彼此間距及安置方式有關。若元件數目太少其無法達到混合功能，數目太多或元件高度太深及元件形狀本身不符合流體流線則易造成死角、滯留或迴流，甚至有流體會不經過元件產生分流，而是直接由元件間隙通過導致混合效果不佳及裂解產生。

總和本研究之主要目的如下：

- ① 選用高分子材料 LDPE 為模擬材料，以進行分配式元件之研究。
- ② 建立分配式混合元件之幾何形狀及尺寸、元件數目、元件彼此間距及安置方式。
- ③ 以有限元素分析軟體 ANSYS[®]9.0 分析分配式混合元件其混合區之

速度分佈及流體質點路徑(流線)追蹤。

- ④ 以③之結果，將混合區入口截面以平均分配方式配置 50 個質點（如圖 6 所示），然後對此 50 個質點進行流線質點路徑追蹤，分別計算一個流體元素之界面面積沿著流線從入口截面積分至最後混合區出口截面，以計算該流體元素其界面面積增加率，最後再由這 50 條流線在出口截面之界面面積增加率的平均量來表示，以此作為混合元件其第一種混合度指標的定量依據。至於在計算流體元素界面面積沿流線路徑改變到最後出口截面時，其界面面積的增加率則需要計算流體在流線中的路徑及在路徑中各點的變形率 $\left(\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{1}{2}(\dot{\gamma}:\dot{\gamma})}\right)$ 。

- ⑤ 以③之結果，將混合區入口截面以平均分配方式配置 25 個藍色質點及 25 個紅色質點（如圖 7 所示），然後對此 50 個質點進行流線質點路徑追蹤。同時在混合區內平均分配 4 個橫切面，如圖 8 所示。再將每個橫切面平均分配 8 個區域，如圖 9 所示。最後，針對每個橫切面，計算質點在某區域出現之或然率以及在該區域下之質點顏色或然率，即可得到四組（即四個不同橫切面）色彩均勻度，並以此色彩均勻度變化作為混合元件之第二種混合度指標的定量依據。
- ⑥ 以 ANSYS® 進行流場分析，以判斷混合元件中是否有滯留或迴流產生。

- ⑦ 藉由①至⑥之探討，以期對分配式混合元件作一最佳化設計，使其

具有好的混合度，不產生滯留及迴流等現象。

