

樹脂的流動性是橡膠改性混煉時很重要的技術指標

熔融指數 (MI, Melt Index)，也稱為熔體流動速率 (MFR)，是用來評估塑膠原料在加熱熔融後流動性能快慢的重要指標。它的高低直接決定了塑膠能否順利進行射出成型或擠出加工。

傳統的硫化橡膠沒有 MI 值 (熔融指數, Melt Index / MFR)，因為它屬於熱固性材質，加熱後不會熔化只會燒焦。但熱塑性彈性體 (TPE / TPR) 具備塑膠特性，加熱會軟化，因此可以測量 MI 值。

橡膠與 MI 值的關係

- 傳統硫化橡膠 (如天然橡膠 NR、丁苯橡膠 SBR)：
 - 無法測量：加熱後會產生化學交聯 (硫化)，分子被固定住，不會融化流動。
 - 替代指標：業界改用門尼黏度 (Mooney Viscosity) 來評估其加工流動性。
- 熱塑性橡膠 (如 TPE、TPR、TPU)：
 - 可以測量：在特定溫度和壓力下，加熱會熔融。
 - 應用：製造商會提供 MI 值 (或稱 MFR，單位為 g/10min) 來判定射出或擠出成型的流動好壞。

樹脂流動性 (通常以 MI 值或熔融黏度表示) 對混煉加工 (Compounding) 的影響至關重要，它直接決定了設備的剪切效率、填料的分散品質以及最終膠粒的產能與物性。

混煉加工的核心目的是透過機台 (如雙螺桿擠出機、密煉機) 的強剪切力，將樹脂與各種添加劑 (如玻纖、碳黑、阻燃劑、粉體) 均勻混合。流動性過高或過低，都會對加工過程帶來不同的負面或正面影響：

1. 對「填料分散與混合品質」的影響

- 流動性過低 (黏度過高)：
 - 正面：樹脂熔體很稠，對粉體或填料產生的傳遞剪切力極強。這非常有利於「打碎」聚集的粉體 (如碳黑、奈米管)，使微粒分散得更均勻。
 - 負面：樹脂不易「浸潤」高表面積的填料。如果加入大量玻纖，玻纖容易因為受到過大的剪切力而大量斷裂，導致結構補強效果大打折扣。
- 流動性過高 (黏度過低)：
 - 負面：樹脂熔體像水一樣稀，機台螺桿轉動時，熔體只會產生滑移，無法有效傳遞剪切力。這會導致粉體無法被揉碎，產生凝聚結塊

(Agglomeration)，導致產品表面出現顆粒、物性不均。

- 正面：熔體能迅速包裹、浸潤填料與纖維，對玻纖的剪切損傷小，能保留較長的玻纖長度。

2. 對「加工製程與能耗（設備負荷）」的影響

- 流動性低（高黏度）：
 - 螺桿轉矩 (Torque) 暴增：機台馬達負載極高，容易觸發過載停機。
 - 剪切熱 (Shear Heating) 過高：因為摩擦力大，物料內部溫度會急遽升高（即使機台設定溫度不高）。這非常容易導致對熱敏感的樹脂（如 PVC、POM）或添加劑（如某些阻燃劑）高溫裂解、黃變或燒焦。
- 流動性高（低黏度）：
 - 能耗低、產能高：螺桿轉動阻力小，電流低，可以提高轉速來換取更高的產能。
 - 熔體壓力不足：在擠出機末端的模頭處，若流動性太高會導致模頭壓力建立不起來，造成出料不穩，後續的切粒系統（如水冷拉條切粒、水環切粒）會因為料條太軟、太稀而無法順利切粒或斷條。

3. 對「混煉配方設計（相容劑與助劑）」的影響

- 合金 (Blends) 混煉時的黏度匹配：當兩種不同的樹脂要混煉成合金（如 PC/ABS、PA/PP）時，兩者的流動性（黏度）必須盡量接近。如果一種極稀、一種極稠，稀的會變成連續相，稠的會變成不均勻的孤島，導致合金分層、剝離。
- 助劑加工窗口：流動性太差的樹脂，被迫必須提高加工溫度才能流動，這會限縮了添加劑的選擇（必須選用耐更高溫的阻燃劑、抗氧劑）。