



UTFR-NAL 在 EVA 發泡材耐燃防火之應用

為了滿足您對 EVA 發泡材質、完全無銻 (Zero-Sb) 且必須穩過 UL94-V0 等級的嚴苛要求，同時兼顧發泡製品的輕量化、回彈性與成本控制，以下是綜合上述所有化學與物理機理探討，歸納出兩款最具代表性的實務配方方案。

配方皆以 100 份 EVA (PHR) 為基準：

☞ 方案一：高階無銻「純化學四元協效」黃金配方 (最推薦)

- 戰略思維：利用 DBDPE (氣相主攻) + UTFR-NAL (高溫骨架) + 1.2 PHR BDP (原位化學焊接劑)。這套方案的阻燃效率最高，對發泡泡孔的保護最好，製品最輕、回彈性最強。

☞ 方案二：極致全無鹵「無鹵、無銻、無鋅」綠色環保膨脹配方

- 戰略思維：完全拋棄溴系阻燃劑 (DBDPE)，改用大劑量的聚磷酸銨 (APP) 搭配鋁氮環與 BDP 進行全凝聚相成炭。此方案符合各項國際綠色法規 (如極端無鹵要求)，但因為填充量大，會犧牲部分發泡輕量化與彈性。

MI 綜合配方對比表 (單位：PHR / 以 100 份 EVA 為基準)

原料類別	具體原料名稱	方案一：純化學黃金配方(最推薦、性能最優)	方案二：全無鹵環保配方(綠色無鹵、無溴無銻)
基材	EVA (VA 18%~28%, MI 適中)	100	100
氣相主劑	十溴二苯乙烷 (DBDPE)	15	— (完全無鹵)
無鹵主劑	APP (聚磷酸銨, 阻燃級)	—	25
高效協效	UTFR-NAL	9	8
化學焊接	BDP (液態/高黏度磷酸酯)	1.2	1.5
發泡劑	AC 發泡劑 (偶氮二甲醯胺)	4.5	5.0 (註 1)
發泡活化	氧化鋅 (ZnO)	2.0	2.2
交聯劑	DCP (過氧化二異丙苯)	0.8	0.9 (註 2)
外部潤滑	硬脂酸 (SA)	0.5	0.8
預估阻燃等級	UL94 垂直燃燒測試	V-0	V-0 / V-1 (視製程而定)
發泡體密度	製品輕量化表現	極輕 (約 0.18 g/cm ³)	偏重 (約 0.32 g/cm ³)

- 註 1：方案二由於無鹵填料 (APP) 添加量大，需微幅調高 AC 發泡劑以維持目標發泡體積。
- 註 2：大量無鹵填料會顯著增大熔體阻力，需微幅調高 DCP 交聯劑用量以保證發泡時孔壁不破裂。

✘ 配方製備與打樣關鍵工藝

不論您選擇哪一套方案，為了在無銻狀態下發揮純化學協效的極致防熔滴能力，生產時請務必遵循以下「三段式混煉」工藝：

1. 「液-固」乾粉浸潤（關鍵第一步）：

將液態的 BDP 與 DBDPE（或 APP）、UTFR-NAL 一同投入高速攪拌機中乾拌 3~5 分鐘。利用 BDP 的液相特性，充分浸潤並包裹在固體阻燃劑表面。這能化解粉體團聚，確保高溫下「鋁-溴-磷」能現地發生原位化學陶瓷化焊接，同時保護發泡泡孔不破裂。

2. 一階高剪切密煉（製備阻燃母粒）：

將上述預混好的阻燃粉體與 70% 的 EVA 投入密煉機。控制機溫在 110°C ~ 120°C，密煉時間拉長至 8 ~ 10 分鐘，確保阻燃劑在 EVA 基質中達到高分子級的分佈均勻分散。隨後排料、出片、切粒。

3. 二階低溫加劑（嚴防焦燒）：

將阻燃母粒與剩餘 30% EVA 再次投入密煉機，強烈控制溫度在 95°C ~ 105°C（絕對不可超過 110°C）。隨後投入 AC 發泡劑、氧化鋅與 DCP 交聯劑，快速混煉 3 分鐘，均勻後立即排料拉片。

4. 模壓發泡硫化：

模具設定在 168°C ~ 172°C，施加 13 ~ 15 MPa 壓力，根據厚度持壓 350~450 秒。時間一到迅速洩壓開模，讓材料瞬時高倍率膨脹彈出，並立即送入冷卻定型機。