

第 2 章

工程塑膠及其應用

(Engineering Plastics and Their Applications)

工程塑膠(Engineering plastics)是二十世紀 50 年代以後，隨著電子電器、汽車、航太、通訊及國防工業等高技術產業的發展，在以泛用塑膠為基礎之下，崛起的新類型的高分子材料。工程塑膠一般而言是指【在較寬的溫度範圍和較長期的使用時間，能夠保持優良性能，並能承受機械應力做為結構材料使用的一種塑料】。因此，工程塑膠不僅可以代替金屬作為結構性的材料，隨著高科技產業的發展，工程塑膠的發展將成為未來不可缺少的高分子材料。

工程塑膠的分類

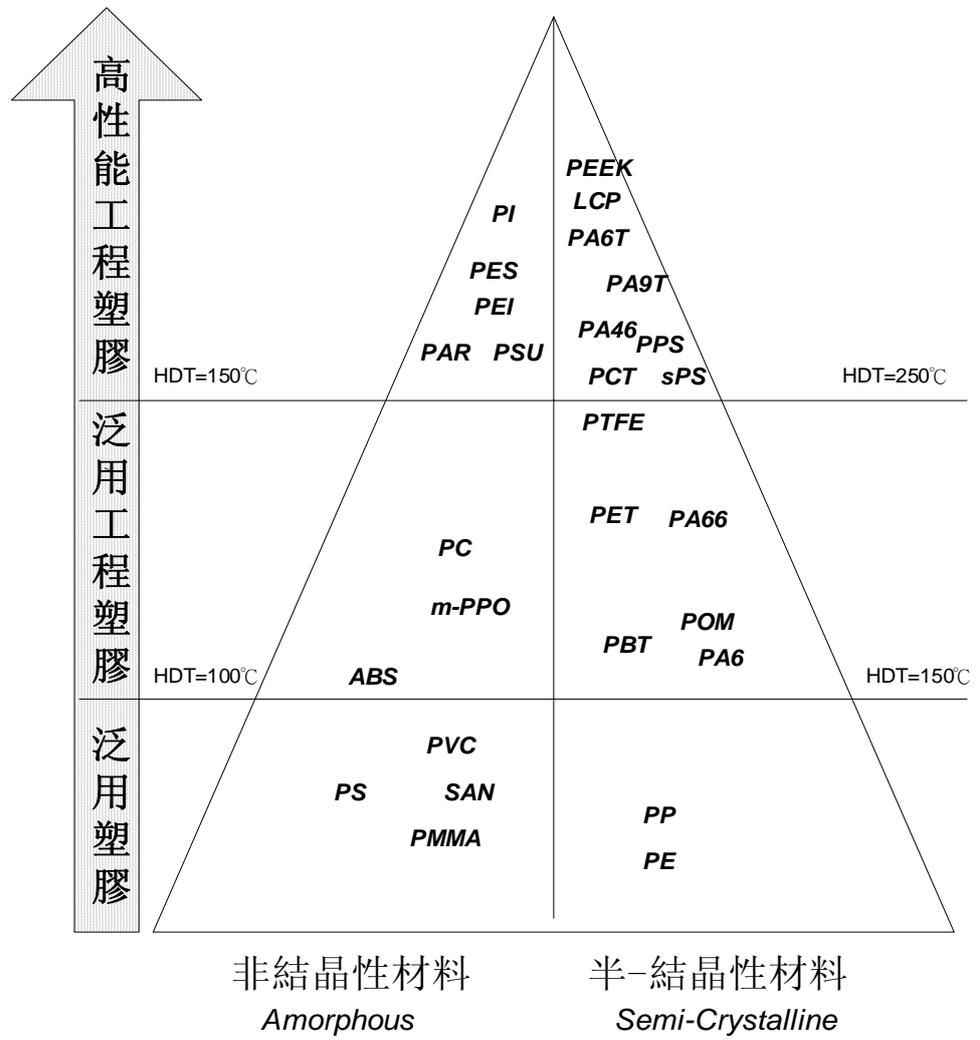
工程塑膠的分類如同其他的高分子材料一樣，有很多種方法，例如耐熱特性、化學組成、結晶特性、應用領域或是特殊用途；但是最常用的是以耐熱性作為分類，簡單敘述如下：

- 依耐熱性分類，一般以長期使用溫度(以美國 UL 相對溫度指數(RTI)表示):
 - RTI 在 100°C ~150°C 以上，稱為泛用工程塑膠。
 - RTI 在 150°C 以上稱為高性能工程塑膠或稱超級工程塑膠。另外也有人以熱變形溫度(HDT)來分類。

 - 依化學組成分類，工程塑膠可以分類為
 - 聚醯胺類(俗稱尼龍):為目前使用數量最多、種類最多的工程塑膠材料。常用的尼龍材料有—
尼龍 6、尼龍 66、尼龍 46、尼龍 11、尼龍 12、尼龍 6T、尼龍 9T、尼龍 610 等超過二十幾種尼龍。
 - 聚酯類:
聚碳酸酯(PC)、聚對苯二甲酸丁二酯(PBT)、聚對苯二甲酸乙二酯(PET)、液晶聚合物(LCP)、聚苯酯(PHB)、聚芳酯(PAR)。
 - 聚醚類:
聚甲醛(POM)、聚苯醚(PPO)、聚苯硫醚(PPS)、聚醚醚酮(PEEK)等。
-

- 芳香族雜環聚合物：
聚醯亞胺(PI)、聚醚亞胺(PEI)、聚苯駢咪唑(PBI)等。
- 含氟聚合物：
聚四氟乙烯(PTFE)、聚三氟氯乙烯(PCTFE)、聚偏氟乙烯(PVDF)、
聚氟乙烯(PVF)等。
- 就聚合物的型態，工程塑膠可分為半結晶性(semi-crystalline)和
非結晶或稱無定型(Amorphous)兩大類。
 - 半結晶型：
聚醯胺(PA, Nylon)、聚甲醛(POM)、聚對苯二甲酸丁二酯(PBT)、
聚對苯二甲酸乙二酯(PET)、聚苯酯(PAR)、聚醚醚酮(PEEK)、氟
樹脂、對稱性聚苯乙烯(sPS)等
 - 非晶性：聚碳酸酯(PC)、聚苯醚(PPO)、聚砜類(PSU)、聚芳酯(PAR)

最後以下面三角形的圖說明，泛用塑膠、泛用工程塑膠與高性能工程塑膠的分類。



工程塑膠發展的歷史

工程塑膠做為塑膠工業的重要分支在於 30 年代高分子理論中的高分子結構與性能關係研究開始。最先提出來的是美國杜邦公司的卡洛斯(W.H. Carothers)於 1931 年發明尼龍 66，堪稱為二十世紀百大科學發明之一。自尼龍 66 開發來之後，許多的工程塑膠陸續被研究及商業化。

自從尼龍 66 開發出來後，杜邦公司於 1959 年商業化聚縮醛(POM)，由於其高剛性、高硬度與機械強度，使得其逐漸取代金屬，因此常被人稱為塑膠鋼。1958 年德國拜耳公司發展了聚酸酯(PC)進一步擴展結構性材料的應用，加強了工程塑膠的市場展有率。1964 年美國奇異公司發展了聚苯醚，熱性質與電氣性質相當優異，但是加工性不佳，後了添加了耐衝擊苯乙烯之後，成功了開拓該原料的市場，也開啓了工程塑膠共混改質(alloy)的應用。1970 年美國賽拉尼斯公司發展聚對苯二甲酸丁二酯(PBT)，成為五大泛用工程塑膠最後發展成功但是卻是成長率最快的工程塑膠材料。聚醯胺類(PA6、PA66)、聚熱塑酯類(PBT、PET)、聚碳酸酯(PC)、聚苯醚(PPO)和聚甲醯(POM)等五大類工程塑膠因為其使用量大且應用面非常廣，因此被稱為五大泛用工程塑膠。

1964 年美國杜邦公司成功開發出聚亞醯胺(PI)為迄今耐熱性最佳的高分子材料，PI 的出現更推動了高性能工程塑膠的發展。之後發展出聚砜類樹脂(PSU)、聚苯硫醚(PPS)等耐高溫材料。1980 年英國卜內門公司開發成功融點 336°C 的聚醚醚酮(PEEK)進而開闢了聚醚酮類系列的高性能樹脂新領域。

另外自 1976 年柯達公司發表 p-羥基安息香酸改性的液晶性聚酯後開啓了液晶聚酯的研發，在半結晶與非晶性塑膠之外另外有液晶行為的高分子材料，由於其特殊的自我補強、特殊配向行為與耐高溫特性，在航太與電子電器用途用量越來越高。

以下列出主要工程塑膠工業化的年代與首家商業化的公司名稱。

工程塑膠名稱	工業化年代	首家商業化的公司
尼龍 66	1939	(美國)杜邦 E. I. Du Pont
尼龍 6	1942	(美國) I.G. Farben Industry
聚四氟乙烯(PTFE)	1945	(美國)杜邦 E. I. Du Pont

尼龍 11	1955	(法國) Atochem
聚碳酸酯(PC)(酯交換法)	1958	(德國)拜耳 Bayer
聚甲醛(POM)(單聚)	1959	(美國)杜邦 E.I. Du Pont
聚碳酸酯(PC)(光氣法)	1960	(美國)奇異電器 GE
聚甲醛(POM)(共聚)	1961	(美國)賽拉尼斯 Celanese
聚醯亞胺(PI)	1964	(美國)杜邦 E.I. Du Pont
聚苯醚(PPO)	1964	(美國)奇異電器 GE
聚砜(PSU)	1965	(美國)聯合碳化物 Union Carbide Corp.
尼龍 12	1966	(德國)Hüls
聚苯硫醚(PPS)	1968	(美國)菲利浦 Philips
聚對苯二甲酸丁二酯(PBT)	1970	(美國)賽拉尼斯 Celanese
聚醯胺醯亞胺(PAI)	1971	(美國)阿莫科 Amoco
聚醚砜(PES)	1972	(英國)卜內門 ICI
聚醚醚酮(PEEK)	1980	(英國)卜內門 ICI
聚醚亞胺(PEI)	1981	(美國)奇異電器 GE
尼龍 46	1992	(荷蘭)帝斯恩 DSM
聚對苯二甲酸醯胺(PPA)	1995	(美國)阿莫科 Amoco
尼龍 6T	1989	(日本)三井 Mitsui
對稱型聚苯乙烯(sPS)	1999	(美國)陶氏 Dow
尼龍 9T	2000	(日本) Kuraray

泛用工程塑膠個論

PA- (Polyamide 聚醯胺)尼龍(Nylon)一

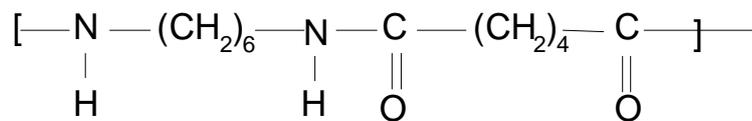
尼龍是最早發展而且是數量最多的工程塑膠材料，常常有人會問

爲什麼要稱爲尼龍呢? 最早是追溯到1931年美國杜邦公司卡洛斯發現尼龍材料，在當時爲一創世紀的發明，尼龍即爲其商品名。正確的說法，尼龍類塑膠是表示塑膠分子式內具有醯胺基(amide group —NH CO —)。尼龍的種類非常多，大致上分爲三大類；內醯胺開環聚合、二元胺和二元酸聚縮合反應、與對苯二甲酸聚縮合反應而得。

其中以尼龍 66 和尼龍 6 爲最大量約佔 92%，尼龍 11 和尼龍 12 次之約佔 6%，其餘尼龍類約佔 2%。但是因爲電子業耐熱溫度的要求越來越高，所以近年來高溫尼龍的用料量逐年持續增加。所謂高溫尼龍計有尼龍 46、聚對苯芳香族尼龍(尼龍 6T、尼龍 9T、MXD 尼龍)等在本章節會敘述說明。

以下先介紹最常使用的尼龍 6 和尼龍 66，至於高溫尼龍歸類爲高性能工程塑膠，留待高性能工程塑膠材料再行介紹：

PA66 (Polyamide 6,6 聚醯胺 66)



爲目前用料量最多的尼龍類材料。

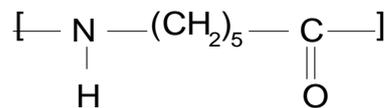
- 特性: Tg: 65°C, Tm: 255°C。
 - 優點:
 1. 耐磨耗，具自滑性。
 2. 耐酸鹼、耐油污、耐腐蝕。
 3. 耐高溫(HDT= 240°C)
 4. 韌性佳，耐低溫。
 5. 抗潛變，機械强度高。
 6. 具自熄性(UL 94 V-2)。
 7. 電氣性質，抗絕緣强度高。
 8. 氧氣透過率小。
 - 缺點:
-

1. 吸水性高(吸水率為 1.3%)，機械強度與電氣性質受吸濕影響。
2. 易氧化，容易變黃。
3. 耐酸性差。

■ 應用:

1. 民生用品: 紡織、漁具齒輪
2. 汽機車: 水箱蓋、濾油網、引擎室內連接器、輸油管、拉桿
3. 電子電氣: 連接器、捲線軸
4. 工業用: 齒輪、薄膜、電動工具、集線束帶

PA6 (Polyamide 6, 聚醯胺 6)



- 特性: T_g: 50°C, T_m: 220°C。黏度範圍在 10²~10⁴ poise, 是屬於比較低的塑料, 黏度對剪變速率的依存性較大, 非牛頓流體的特性強。結晶度雖然不大, 約為 35%, 但是結晶化速率非常快。

■ 優點:

與尼龍 66 相似, 但其耐熱度較差, 衝擊強度較佳。因此較常用於運動器材。尼龍 66 較常用於汽機車、電子/電氣產業。

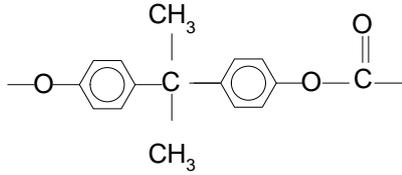
■ 缺點:

與尼龍 66 相似, 吸水性較高(吸水率約為 1.8%)

■ 應用:

1. 民生用品: 紡織、溜冰鞋、網球拍
 2. 汽機車: 汽車後視鏡外殼。
 3. 電子電氣: 連接器
 4. 工業用: 齒輪、薄膜
-

PC (Polycarbonate 聚碳酸酯)



聚碳酸酯自 60 年代發展之後，利用其優異的機械強度、高耐擊強度、耐熱性與尺寸安定性，首先應用於電子電氣、機械和汽車產業。進入 70 年代利用其高透明度、耐衝擊、質輕、阻燃與尺寸安定性，因此適合做為採光板的使用。自 1980 年代美國 GE 和德國 Bayer 公司發展出光碟級 PC，從而將 PC 應用於 CD、VCD、DVD 等用途，用料量大增，年增率達 11% 以上，成為泛用工程塑膠內成長最快速的原料。

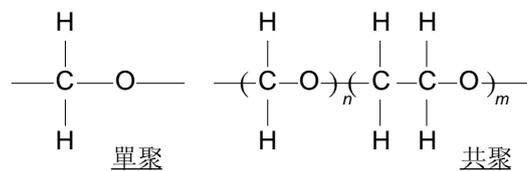
- 特性：T_g: 140°C，因為 PC 為非結晶性材料，黏度對剪變速率的依存性小，近似牛頓流體的特性，尤其是在低剪變速率範圍幾乎是牛頓流體；黏度與溫度的依存性大，在射出成型對於溫度敏感度高，對射出壓力的敏感度小。黏度因等級的分子量多寡而定，約為 10⁴~10⁵，屬於高黏度的塑膠材料。
 - 優點：
 1. 耐衝擊性高(一般級衝擊強度可達 70kgcm/cm)。
 2. 透明高(透光率可達 89%，僅次於壓克力樹脂)。
 3. 尺寸安定性佳。
 4. 可製程食品級原料，符合美國 FDA 標準。
 5. 具自熄性(符合 UL 94 V-2)。
 6. 在環境溫度 -170°C~130°C 的各個物性很安定。
 7. 機械强度高，抗潛變性高。
 - 缺點：
 1. 聚吸濕性，加工乾燥要求較高。加工熔融時很易因含水分造成成品內部氣泡和銀線等缺陷。
 2. 不耐溶劑與油類。
 3. 容易產生殘留應變。
-

4. 受缺口效應，產品設計非常重要。
5. 耐摩擦與耐磨耗性差。

■ 應用：

1. 民生用品：光碟片、相機、奶瓶、儀器外殼、安全帽、安全鏡片。
2. 汽機車：
3. 電子電氣：繼電器、插座、
4. 工業用：電動工具
5. 建築：採光板、裝飾條

POM (Polyoxymethylene, Polyacetal 聚甲醛，聚縮醛)



杜邦公司於 1956 年推出” Derlin” 聚甲醛樹脂，宣稱其能夠取代金屬，也從此開始有【工程塑膠】的名稱出現。

聚甲醛分為單聚甲醛與共聚聚甲醛。共聚聚甲醛是單聚聚甲醛與環氧乙烷(ethylene oxide)共聚合而成。亞洲地區是全球聚甲醛使用量成長最快速的地區。電子電氣與汽機車產業約佔 65%以上的市場。近年來聚甲醛為克服其韌性差與阻燃性不佳的問題，陸續開發出各種合膠的應用。

單聚聚甲醛與共聚聚甲醛的物性比較如下：

1. 單聚較好—熔點約高 10°C、抗張強度、彎曲強度以及熱變形溫度。
2. 共聚體較好—伸長率、抗潛變、耐熱劣化、耐鹼、成型加工的熱安定性、成型範圍等。

- 特性：T_g= -50°C，T_m=165°C (共聚) 175°C (單聚)；一般 POM 在 190~230°C 範圍內有適當的黏度(10³~10⁴ poise)。POM 的流動近似牛頓流體，押出式吹氣成型容易發生垂下(draw down)問題，
-

所以在押出成型的精度保持不易，因此以射出成型為主。

■ 優點:

1. 高結晶性。(結晶度:單聚 POM75~85%，共聚 POM 70~75%)
2. 耐磨耗、耐疲勞性佳。
3. 耐藥品性佳。
4. 機械強度好，尤其是剛性、抗潛變與高彈性回復率。

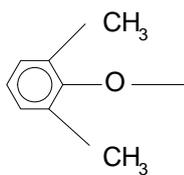
■ 缺點:

1. 比重高，居五大泛用工程塑膠之冠。
2. 結晶度高，相對的尺寸收縮率較大，精度較差。
3. 韌性較差，必須以合膠方式改善。
4. 易燃燒，不易製成阻燃級規格。
5. 接著性與印刷性差。
6. 材料加工範圍窄，如果加工條件不適，有臭味發生。

■ 應用:

1. 民生用品:拉鍊、扣具。
2. 汽機車: 汽車門鎖、電動窗零件、
3. 電子電氣: 事務機械的轉動件、結構件。
4. 工業用:齒輪、滑輪

PPO (Poly Phenyl Oxide m-PPO, 改質聚苯醚)

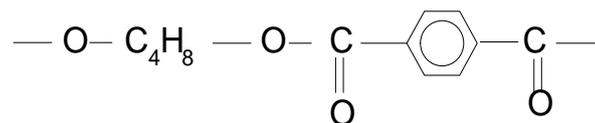


聚苯醚是 1915 年開始研發，於 1965 年美國 GE 公司開始生產，機械性與耐熱性非常優異，但是加工性不佳。後來 GE 公司添加聚苯稀改善其加工性，自此以 Noryl 的商品名暢銷於市場。

聚苯醚屬於非結晶性塑膠，具有優異的綜合性能。全世界生產聚苯醚的公司並不多，主要是專利問題，形成寡占市場。

- 特性: $T_g=211^{\circ}\text{C}$ ，PPO為非結晶性的材料，黏度與PC相近約為 $10^4 \sim 10^5$ ，屬於高黏度的塑膠材料；同樣的黏度與剪變速率、溫度的依存性比較大。
- 優點:
 1. 比重為五大泛用塑膠中最輕的(約為 1.06)。
 2. 電氣絕緣性佳。
 3. 尺寸安定性佳。
 4. 耐水性與耐蒸煮性佳。
 5. 機械強度好，尤其是拉伸強度與抗潛變性非常突出。
 6. 低溫耐衝擊強度。
 7. 無毒、具自熄性(UL 94 V-2 以上)。
 8. 吸水率低，約為 0.07%(為 PC 的一半)，一般而言不需特殊乾燥。
- 缺點:
 1. 加工性較差，通常需以合膠的型態生產。
 2. 價格較貴。
 3. 抗化學性較差。
- 應用:
 1. 民生用品:照相機零件。
 2. 汽機車: 汽車輪圈蓋、汽車儀表板
 3. 電子電氣: 電視機偏向顎、事務機械外殼、連接器、開關
 4. 工業用:馬達蓋、水量計

PBT (Poly Butylene Terephthalate 聚對苯二甲酸丁二酯)



PBT 是 1970 年美國 Celanese 公司(目前已更名為 Ticona),是五大泛用工程塑膠最晚開發出來的。但是因為加工性優異,所以在電子產業與汽車產業使用量持續增加中。

PBT 與 PET 同樣都是熱塑性聚酯工程塑膠,由於 PBT 的結晶性較快、流動性較好、加工溫度較低、除濕乾燥較容易,因此用於工程塑膠的數量比起 PET 多。

■ 特性: $T_g = 40^\circ\text{C}$, $T_m = 220$ 。PBT的黏度範圍約為 $10^2 \sim 10^4$,對於剪變速率的依存性不高,因此屬於加工的塑膠。PBT的結晶速率比尼龍與PET快,與POM接近。

■ 優點:

1. 吸水性低,機械強度與尺寸安定性佳。
2. 耐摩擦與耐磨耗性佳。
3. 耐候性佳。
4. 耐藥品性佳,耐酸鹼及油劑。
5. 結晶性與流動性佳,適合於小零件快速成型。
6. 添加強化材,機械性與耐熱性改善效果非常優異。
7. 氣密性佳。

■ 缺點:

1. 因結晶性快,易造成成品翹曲,不適用於生產大尺寸成品。
2. 不耐熱水、強鹼。
3. 韌性較差,常需要添加其他材料改善韌性。
4. 為聚酯類材料,加工時需注意除濕乾燥。
5. 材料阻燃性差,須添加阻燃劑,因此易有熱滯留裂解問題。

■ 應用:

1. 民生用品: 牙刷毛、彈性纖維、日光燈套管、省電燈泡外殼
 2. 汽機車: 汽車分電盤、把手、保險絲盒、電動窗。
 3. 電子電氣: 光纖套管、連接器、散熱風扇、開關、捲線
-

軸

4. 工業用:熱熔膠槍

最後我們將五大工程塑膠的特性做下表的比較，以供各位讀者在選用五大工程塑膠時的參考。

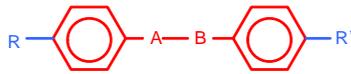
	PBT PET	PC	m-PPO	PA6 PA66	POM
輕量化	△	○	●	○	×
成型性	○	△	△	○	○
成品收縮率	○	●	●	○	×
吸水性	●	●	●	×	○
耐熱水性	×	○	○	△	○
耐衝擊強度	○	●	○	●	○
尺寸安定性	○	●	●	△	●
耐溶劑性	●	×	△	●	●
耐候性	○	○	○	●	×
耐燃性	△	●	●	○	×
電氣性	●	●	●	○	○
耐磨耗性	○	△	△	●	●

符號說明：●:優異 ○:良 △:普通 ×:差

高性能工程塑膠個論

高性能工程塑膠的種類非常多，因此，我們將對於目前工業界最常用的如 LCP、PPS、高溫尼龍、PCT、sPS 詳細介紹。另外對於不常用的塑膠如 PI、PEEK、PSU、PEI、PTFE...等，為使各位讀者也能夠瞭解這些特別的工程塑膠材料，也會簡單的說明它們的特性與應用。

LCP (Liquid Crystal Polymer 液晶聚合物)



何謂液晶聚合物，由於其分子彼此之間具有相互之間的作用力存在，雖然在熔融狀態下，仍然具有秩序的配列與具有光學折射現象，具有液晶的行為。

LCP 依其熱變形溫度分為三大類，基本上我們分類為：

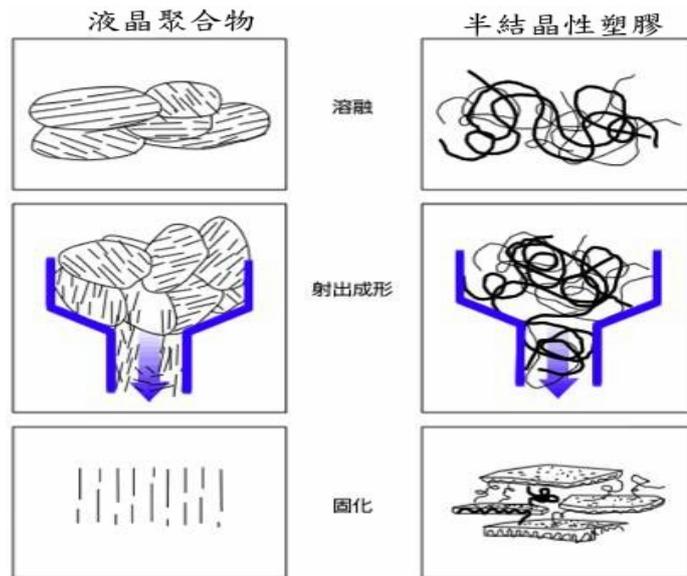
I 型 LCP= 熱變形溫度 300°C 以上

II 型 LCP(A)= 熱變形溫度 240~300°C

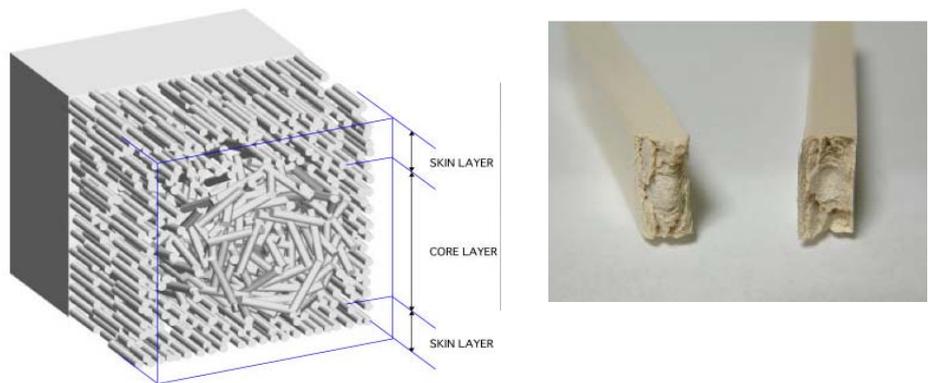
II 型 LCP(B)= 熱變形溫度 200~240°C

III 型 LCP= 熱變形溫度 200°C 以下

液晶聚合物加工的型態與我們所熟悉的聚合物並不相同，下圖是表示液晶聚合物與半結晶塑膠加工過程型態不同之處。液晶聚合物在加工溫度時，由於其流動性非常好，流變行為趨向於牛頓流體的流變行為。



另外，其流動的行為具有非常特殊的方向性，如下圖所示。

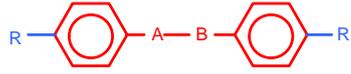


因此在加工與產品設計上與其他工程塑膠有很大的不同。

液晶聚合物有兩大類：一為熱向液晶(Thermotropic LCP)一凡高分子因加熱(溫度)而能生成為液晶狀態者，為目前用於塑膠射出成型最常用的。另一種為液向液晶(Lyotropic LCP)一凡高分子在某些特殊的有機溶液下，在一特定濃度範圍內產生液晶狀態者。

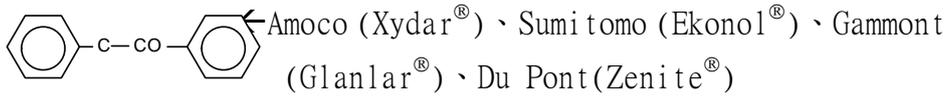
熱向液晶型的芳香族聚酯液晶聚合物，由於熔融壓出或射出成型展現出分子排列成為單方向性，因此縱使不加玻璃纖維等強化材，成品亦能展現出非常優異的機械強度，因此可稱為自我強化型聚合物(self reinforced polymers)。

由於液晶聚合物指的是塑膠的分子內含有

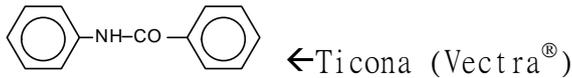


的結構，所以每一家液晶聚合物製造廠商其官能基(R, R')與剛直分子結構(-A-B-)不近相同所以加工性與耐熱性並不相同。

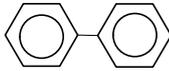
以下的化學式說明各家液晶聚合物製造廠商的化學結構不同，連帶的指出其耐溫性的不同。



Phenylbenzionate(苯甲酸苯酯)



Benzoylaniline(苯甲醯胺)



Biphenyl(聯苯)

←Amoco (Xydar[®])、Sumitomo (Ekono1[®])、Gammont (Glanlar[®])、Du Pont (Zenite[®])



Naphthalene(萘)

←Ticona (Vectra[®])、Ueno Fiber (Ueno[®])

■ 優點:

1. 耐熱溫度高，熱變形溫度最高可達 275~350°C。
2. 熱穩定性高，空氣中最高分解溫度為 560°C，連續使用溫度高達 240°C，間斷使用溫度可達 316°C。
3. 耐輻射佳。
4. 阻燃性佳，UL 94 V-0(LOI 耗氧指數 30~50%)
5. 耐腐蝕，可耐 90%酸與 50%鹼
6. 不易引起應力龜裂。
7. 低的線膨脹係數(0.3~0.8 10⁻⁵ /K)

■ 缺點:

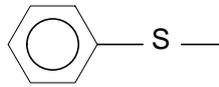
1. 因為液晶聚合物的方向性問題，雖然它的流動方向強度非常強但是在橫方向的強度非常弱。

2. 價格非常貴，目前售價約為台幣 400 元左右。
3. 抗化學性較差。

■ 應用：

1. 民生用品：照相機零件。
2. 汽機車：汽車輪圈蓋、汽車儀表板
3. 電子電氣：電視機偏向顎、事務機械外殼、連接器、開關
4. 工業用：馬達蓋、水量計

PPS(PolyPhenyleneSulfide)聚硫化苯



1968 年由美國菲利浦石油以 Ryton 商標於市場推廣，於 1973 年正式工業化生產。(第一代線性 PPS)。1988 年日本吳羽化學(寶理公司)開發出第二代線性 PPS(Fortron)。PPS 又稱為金屬樹脂，在敲打時會發出類似金屬的聲音。結晶性高，因為在分子結構中為苯基與硫的結合，所以成暗茶色。

- 特性： $T_g=90^{\circ}\text{C}$ ， $T_m=290^{\circ}\text{C}$ ，雖然是熱塑性材料，但是在高溫的氧氣存在時會有部分發生架橋作用而形成交連的三元結構。屬於低黏度的材料，黏度對剪變速率的依存性大，約為 $10^2\sim 10^4\text{poise}$ ，在射出成型時在高簡變速率下，容易發生模屑，而在模具內發生氣泡。

■ 優點：

1. 結晶度高。
 2. 高機械強度，尤其是剛性的表現。
 3. 抗化學性非常好，耐腐蝕性佳。
 4. 耐藥性非常優異。
 5. 具阻燃性。
-

6. 尺寸安定性佳。

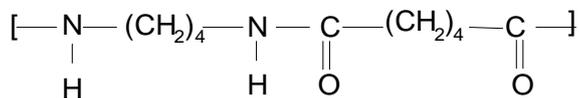
■ 缺點:

1. 結晶速率較慢，因此在加工成型常在成品的邊緣有毛邊發生
2. 分子結構主要為苯，因此需要高模溫(約 140°C) 才能使產品的表面與物理性質達到最好的要求。
3. 伸長率較小，約為 1.0%，因此韌性不佳較脆。

■ 應用:

高精密齒輪、汽車零件、家電用品、醫療器材

PA46 (Polyamide 46)尼龍 46



尼龍 46 為杜邦公司卡洛斯首先發明，但因發明時的分子量較低無法商商業化，因此到 1984 年荷蘭 DSM 公司改善製程及固相聚合的方式將分子量提高並商業化，尼龍 46 是目前高溫尼龍中唯一不是以芳香族改善的，因此其流動性、結晶速率、低模溫與高韌性比其他芳香族尼龍所不及的，但是吸水率卻是高溫尼龍中最高的，連帶影響其使用。

- 特性: T_g=80°C，T_m=295°C。分子結構非常對稱，因此氫鍵的數量較多，使的材料耐熱性非常好，單位分子中加工性優異，在 285°C 時就有結晶的產生。另外因為分子結構為脂肪族結構，所以不需高模溫。

■ 優點:

1. 分子結構非常具對稱性，單位醯胺基(amide)的密度高，氫鍵濃度高，因此機械強度與耐熱性高。
 2. 因為較高的氨基化合物/亞甲基比率，融熔溫度為 295 °C 熔點高(295°C)具高耐熱性，不加纖維 HDT=180 °C，添加 30%玻璃纖維 HDT=290。
 3. 結晶速度快，結晶度高(可達 80%)，低毛邊。
-

4. 耐油性與耐化學性優於 PA66；耐化學藥品、油類及耐水解，耐腐蝕與抗氧化性佳，使用安全。
5. PA46 的熱含量小於 PA66，成型週期比 PA66 短 20%。
6. 良好的耐磨耗性質及耐磨擦特性。
7. 在 100°C 環境下使用，非常低的蠕變。
8. 在高溫時具有良好的抗疲勞特性，良好的長期耐熱性質（5000 小時的連續使用溫度為 170°C）。
9. 流動性非常好適合薄壁產品(0.2-0.3mm)，耐燃厚度 0.35mm V-0。

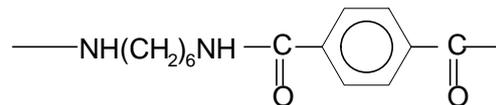
■ 缺點：

1. 吸水率大，常造成成品的尺寸變化、電氣性質下降。在電子產業需高溫焊錫時發生水泡問題。
2. 加工範圍較窄，常會因滯留問題，造成材料裂解。

■ 應用：

1. 民生用品：紡織。
2. 汽機車：汽車零件引擎室零件
3. 電子電氣：連接器、開關、繼電器、捲線軸
4. 工業用：齒輪、軸承

PA6T (Polyamide 6T)尼龍 6T



尼龍 6T 是日本三井石油化學獨自發展，因為其耐熱度非常高，吸水率較尼龍 66 低，三井公司積極的想導入市場。但是因為純 PA6T 的熔點在 370°C，而一般尼龍(聚醯胺)的分解溫度在 350°C 附近，所以加工溫度將設定於 320°C 左右，因此純的 PA6T 必需與其他尼龍共聚後，將加工溫度降到 320°C，方能應用於工業上射出成形使用。

以下說明各家工程塑膠廠商對於 PA6T 改質的商品名與合膠類型。

-- 三井化學 Mitsui (Arlen[®]) : PA6T/PA66 (C type)、PA6T/PA6I

(A

type)

-- Amoco (Amodel[®]): PA6T/PA6I/PA66-- Du Pont (Zytel[®] HTN): PA6T/PA66, PA6T/M-5T■ 特性: $T_g = 85^\circ\text{C}$, $T_m = 310^\circ\text{C}$,

■ 優點:

1. 熔點 310°C , 熱變形溫度 290°C , 玻璃轉移溫度 85°C 。
2. 耐化學性。
3. 低吸水率(0.9%)為尼龍 66 的一半, 尺寸安定性較穩定。
4. 室溫時剛性強。

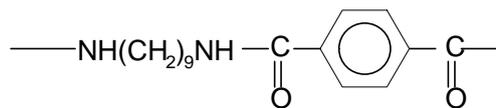
■ 缺點:

1. 由於其加工性不佳, 常加入尼龍 66 等材料改質, 致使其加工範圍變得比較窄。常會因耐燃劑熱裂解造成生成 HBr 而造成模具與螺桿的腐蝕。
2. 韌性較差, 伸長率低, 回收料添加物性下降。
3. 需高模溫 ($> 130^\circ\text{C}$), 流動較差。
4. 融合線的強度較差。

■ 應用:

電子/電氣: 連接器、捲線軸、開關

PA9T (Polyamide 9T) 尼龍 9T



尼龍 9T 是日本 Kuraray 獨自發展, 商品名 Genestar。

■ 特性: $T_g = 125^\circ\text{C}$, $T_m = 308^\circ\text{C}$ 。

■ 優點:

1. 低吸水率(0.17%)比 PA6T 更低。
2. 結晶速率快, 結晶度高。

3. 耐摺動性比起其他尼龍高(PV值可達 850 kgf/cm³.cm/sec)。
4. 尺寸安定性較佳
5. 電氣性質(體積阻抗、絕緣破壞強度)較其他高溫尼龍佳。

■ 缺點:

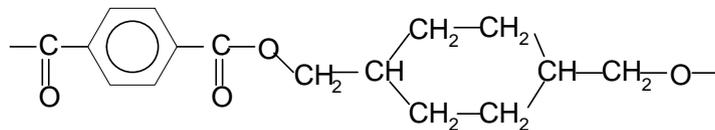
1. 韌性較差。
2. 長期耐熱性較差。

■ 應用:

對於電子/電器產業用量最大，尤其以須過 SMT(表面黏著技術)的连接器最適合。另外汽車軸承、齒輪也正積極推廣之中。

其他常見的工程塑膠材料，說明如下:

PCT(PolyCyclohexene Dimethylene Terephthalate) 聚對苯二甲酸 1,4 環己烷二甲酯



PCT 為美國 Eastman Kodak 公司於 70 年代初即工業化，起初做為地毯與薄膜。80 年代中期美國 GE 公司開發 PCT 用於 SMT 的用途，Kodak 亦開發相當的產品。

■ 特性: Tg=75°C，T=290°C。

■ 優點:

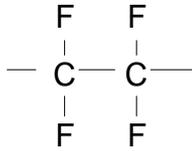
1. 低毛邊
2. 低吸濕性
3. 高耐熱溫度

■ 缺點:

1. 具吸水性

- 應用: 連接器、醫療器材(注射器、針筒)、光學器材

PTFE (Polytetrafluoroethylene 聚四氟乙烯)

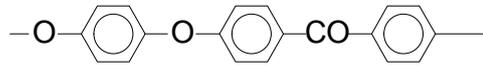


所謂氟樹脂，指的是高分子結構中有氟的存在，氟系樹脂較有名的材料有 PTFE、PVDF、PCTFE、PVF 等。PTFE 為氟系樹脂中最有名的，之所以有名是杜邦公司將這個材料廣泛用於不沾鍋(鐵氟龍)。

- 特性: $T=327^{\circ}\text{C}$ ，在 400°C 以上開始分解，連續使用溫度為 260°C ，低溫特性(-268°C)物性也很好。熔融黏度 $10^{11} \sim 10^{12}$ ，熔化時的黏度極高，流動不易。一般是燒結加工。
 - 優點:
 1. 耐熱性優異。
 2. 耐藥品極為優異。
 3. 分子結構為無極性，是絕緣材料中的電容損失最小的，高週波特性好。
 4. 不沾性。
 5. 磨擦係數小，轉動特性優異。
 6. 電氣絕緣性。
 - 缺點:
 1. 成形加工性差，需特殊加工。
 2. 與其他材料的親和性差。
 3. 機械強度不高。
 4. 比重非常高(2.1~2.2)
 5. 結晶收縮率大，尺寸變化大。
 - 應用:
-

用途：電子/電器塗裝，汽車配件、醫療器材、半導體容器、電腦配線、耐熱墊片、軸承、封止材。

PEEK (Polyetheretherketone) 聚醚醚酮



PEEK 是英國 ICI 公司於 1977 年開發成功，於 1980 年上市，為芳香醚酮(PAKE)的一種。

■ 特性：Tg=143°C，Tm=334°C，黏度在 $10^3 \sim 10^4$ ，加工成形範圍為 350~400°C。

■ 優點：

1. 高耐熱(240~300°C)
2. 耐蒸氣優異，在 200~260°C 熱水中可以連續使用
3. 耐藥品優異，除了濃硫酸外幾乎不被腐蝕。
4. 機械强度高，又以耐疲勞性高。
5. 耐磨耗性優異，比 POM 好。
6. 耐衝擊强度高。
7. 耐輻射線、高頻阻抗。

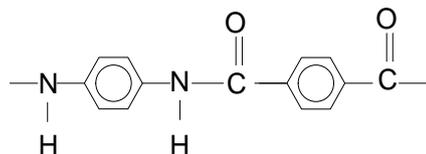
■ 缺點：

1. 在高溫環境下，剛性較差。
2. 成形溫度高(400°C 以上)，需高模溫。

■ 應用：

用途：特殊電線包覆、光纖包覆、化學用閥、電子/電器，汽車引擎活塞外群、離合器零件、醫療器材、機械

PPTA 芳香族聚醯胺(Aromatic Amide, Aramid Fiber)



芳香族聚醯胺又稱為全芳香族聚醯胺，從美國杜邦公司生產商品名為Kevlar[®](克維拉纖維)而聲名大噪。因為這種原料所製成的纖維強度非常高可作為防彈背心與填充材使用。

■ 特性：本纖維不易熔融或助燃，但於 427°C 時開始碳化，冷卻到 -196°C 時，仍無脆化或裂解之現象。

■ 優點：

1. 最高比抗張強度，抗張比強度為 E 玻璃纖維的 2.5 倍，鋼材的 5 倍。
2. 高彈性模數。
3. 抗化學性好。
4. 耐溼度，溼度對於物理性質的影響性小。
5. 熱安定性佳，在 185°C 下測試，仍保持很好的機械強度。
6. 尺寸安定性佳，熱膨脹係數為 $-2 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 。
7. 用於複合材料時，其阻尼(damping)較玻璃纖維或碳纖維低。

■ 缺點：

1. 對於紫外線較易受影響，不能直接暴露於陽光下。

■ 應用：

汽車：橡膠補強材、煞車皮、汽車車體、石棉替代物、輪胎強化材

電子電器：電纜

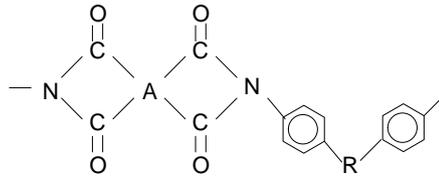
航太工業：飛機機身、機翼蒙皮、行李架

塑膠工業：複合料料的強化材

一般工業：繩索、動力輸送帶、腐蝕材料的高壓軟管

軍事工業：防彈背心、防彈頭盔。

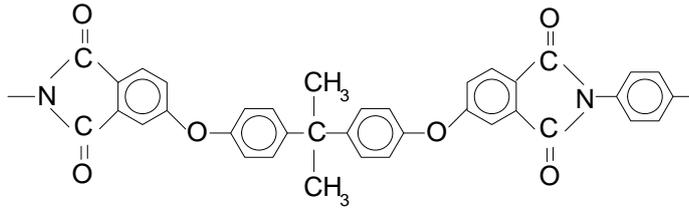
PI 聚醯亞胺(Polyimide)



聚醯亞胺起源於 1950 年代中期太空時代的開始，主要是針對耐高溫的基材需求而研發。分為熱可塑型 PI 和全芳香族 PI。由於其雜環和苯環的構造讓 PI 在航太與太空的用途用量日漸增加。目前因為一些特殊高溫及高溼度的要求，有取代環氧樹脂成為高性能基板的材質。

- 特性：為目前熱塑性材料中耐熱性最高的，在空氣中 400°C 仍不分解。
- 優點：
 1. 高強度
 2. 高韌性
 3. 低熱膨脹係數
 4. 低導電係數
 5. 高耐熱溫度(360°C)
- 缺點：
 1. 價格非常昂貴。
 2. 不易加工。
- 應用：
 - 汽車：傳動同步器、配電盤、點煙器
 - 電子電器：開關、微波爐零件、影印機軸承
 - 航太工業：引擎的隔音板、雷達整流板、噴射引擎噴口護翼。
 - 軍事工業：飛彈外殼、天線罩、點火器外殼。

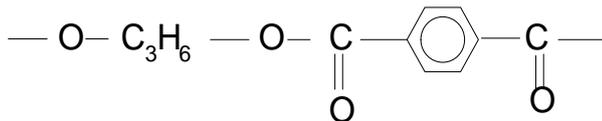
PEI (Polyetherimide) 聚醚醯亞胺



PEI 乃是附加酰鍵於 PI 中使 PI 具有卓越的流動性和加工性。

- 特性: $T_g=217^{\circ}\text{C}$ ，熱變形溫度 200°C 。黏度在 $10^3\sim 10^4$ ，為易加工的材料，在低剪變速率範圍是牛頓流體的行為。
- 優點:
 1. 機械強度優異
 2. 發煙量低，具阻燃性
 3. 電氣性質優異，使用溫度範圍廣。
 4. 耐藥品性佳(對脂肪族碳化氫、酸、稀鹼抗性好)
 5. 耐候性佳。
 6. 高溫的物性良好。
 7. 硬度高且強韌。
 8. 低熱膨脹係數、尺寸安定性佳。
 9. 具耐熱水、耐候性及耐放射性，物性幾乎沒有變化。
- 缺點:
 1. 具吸水性，須於加工前乾燥。
 2. 須高溫加工。
- 應用: 汽車連接器、汽車電氣零件、汽車熱交換器零件、整髮器零件、微波爐零件、斷路器、醫療器材零件、印刷電路板、通信面板轉子。

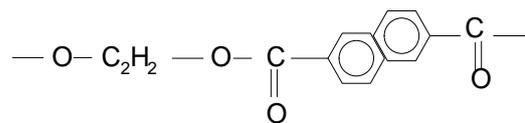
PTT (Poly Trimethylene Terephthalate)對苯二甲酸丙二酯



PTT是Shell公司開發成功，商品名為Corterra[®]。

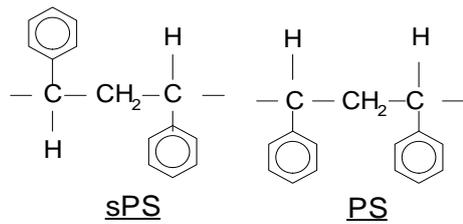
- 特性: $T_g=45\sim 75^{\circ}\text{C}$ ，熔點: 235°C 。與 PBT 與 PET 為同一系列產品。
- 優點:
 1. 結晶速度較 PET 快、加工性好
 2. 耐溫比 PBT 高
 3. 彈性回復性
 4. 耐 UV
 5. 低靜電
 6. 低吸水率。
- 缺點:新開發之產品，須積極推展。
- 應用:人造纖維、薄膜、汽車與電子電器產品

PEN (Polyethylene naphthalate)聚萘二甲酸二乙酯



- 特性: $T_g=118^{\circ}\text{C}$ ， $T_m=265^{\circ}\text{C}$ ，結構物性與 PET 接近。(萘為兩個苯環)
- 優點:
 1. 機械強度、耐熱性比 PET 佳
 2. 結晶性低(透明)
 3. 耐光性
 4. 空氣阻隔性非常優異
 5. 耐輻射性
- 缺點:
- 應用:透明電膜、酒類飲料瓶、電容器膜、原子爐內膜

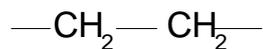
sPS (syndiotactic PS) 對稱排 PS



PS 在茂金屬為觸媒將結構由同排改變成對稱排。

- 特性： $T_g=100^\circ\text{C}$ ， $T_m=270^\circ\text{C}$ 。
- 優點：
 1. 流動性佳
 2. 低吸水性
 3. 抗潛變性
 4. 低介電常數(2.6~3.1)
 5. 高剛性
- 缺點：
 1. 易生毛邊
 2. 結晶速度慢，成型時間長
 3. 耐溫性較差
 4. 韌性較差，易脆
- 應用：電子零件、汽車零件、絕緣薄膜磁帶。

UHMW-PE (Ultra High Molecular Weight - PE) 超高黏度 聚乙烯



超高分子量聚乙烯是利用特殊的加工過程將聚乙烯的分子量提高到 100 萬以上(一般聚乙烯的分子量為 5~30 萬)。因為分子量非常高，一般的成形機無法加工。

- 特性： $T_g=-27^\circ\text{C}$ ， $T_m=130\sim 150^\circ\text{C}$ 。
- 優點：
 1. 耐磨耗性非常優異、摩擦係數小(0.13~0.24)

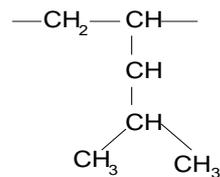
2. 耐衝擊強度大。
3. 吸水性低、可用於食品。
4. 抗噪音
5. 低介電常數(2.3~2.5)

■ 缺點:

1. 黏度非常高
2. 伸長率較一般聚乙烯低。
3. 剛性較差
4. 耐溫性較差

- 應用:農業、土木用途、儲存塔的內襯、運動器材與場地、雪橇、保齡球球道、食品用途。

TPX (Transparent Polymer X, Polymethylpentene)透明聚合物，聚甲基戊烯

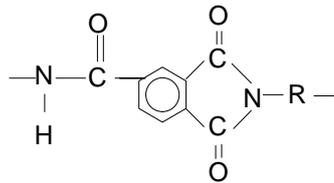


TPX 為一高透明度的、高耐熱的材料。

- 特性: $T_g=20\sim 30^\circ\text{C}$, $T_m=240^\circ\text{C}$ 。黏度對剪變速率的依存度高，成形加工性佳。
- 優點:
1. 透明度非常高(透明度 90%以上)低於 PMMA，高於 PC。
 2. 耐熱性佳。
 3. 耐藥品佳，為透明塑膠中最佳的。
 4. 電氣絕緣性優異，介電常數最小(2.1)為透明塑膠原料中最低的。
 5. 非常低的密度(0.83)
 6. 耐食用油，對微波的透過率佳。
- 缺點:
-

1. 易受紫外線照射而裂化。
 2. 剛性較差
- 應用:以電子電器、醫療器材與食品用品為主。

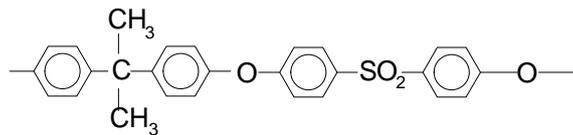
PAI (Poly Amide Imide)聚醯胺亞胺



開發 PAI 的目的是改善 PI 的加工性，基本上 PAI 是 PI 與聚芳醯胺的交互共聚物。

- 優點:
1. 耐熱性與機械特性的平衡性好
 2. T_g 溫度為 280~290°C、長期使用溫度的機械特性維持率高
 3. 抗潛變性是所有工程塑膠中最高的。
- 應用: 插座、連接器、開關、微波爐零件、影印機&電熱器零件、烘乾機&吹風機軸承零件、汽車排氣零件、齒輪

PSU, PSF (Polysulfone)聚砜，聚砒砜



所謂聚砜樹脂是指分子內有一-SO₂-鍵的聚合物，有芳香族系和烯烴系兩大類。由上述化學式因為結合電子具有很強的共振狀態，所以兼具耐熱性、耐氧化性、耐水、耐水蒸氣的芳香族非結晶性材料。

- 特性: T_g=190°C，比重 1.24，淡棕色透明(透光率 80~90%)。第二次轉移溫度在-110°C，在-110°C~150°C溫度範圍內可保持一樣物性。流動特性與 PC 相似，黏度對溫度的依存性高。
- 優點:

1. 對 χ 射線和 γ 射線安定。
2. 透明性良好，著色、填充容易，可以金屬電鍍
3. 連續使用溫度(RTI)150°C
4. 耐水蒸氣
5. 具阻燃性
6. 耐藥品型優異，無毒

■ 缺點:

1. 黏度高。
2. 具吸水性

■ 應用:

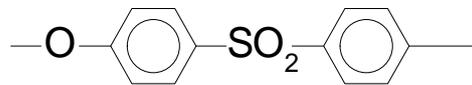
電子電器:連接器、電容器薄膜、微波爐零件

汽車:汽車保險絲、電池鄉

鐘錶零件、影印機零件

醫療器材、假牙、呼吸器、內視鏡零件、噴霧器、加溼器。

PES (Polyethylene sulfone)聚醚砜



■ 特性:琥珀色非晶型材料

■ 優點:

1. 耐潛變性佳
2. 透光(88%)
3. 耐酸鹼、耐熱性、組燃性
4. 高溫下彈性率高
5. 耐熱水分解

■ 缺點:

1. 具吸水性需以 150°C 乾燥。
2. 戶外耐候差。
3. 在缺口時耐衝擊強度差。

■ 應用:絕緣器材、PCB、軸承、電容器薄膜、消毒器材、

人工呼吸器、汽車燈罩與齒輪箱外殼

COC (Cyclic Olefins Copolymer)環烯烴聚合物

- 特性: $T_g > 200^\circ\text{C}$, 熱變形溫度 $> 170^\circ\text{C}$ 。
 - 優點:
 1. 高透明性($> 92\%$)
 2. 低介電常數(2.35)
 3. 低熔出(low extractable)
 4. 高耐熱溫度(熱劣解溫度 400°C 以上)
 5. 低滲水性($< 0.01\%$)
 - 缺點:
 - 應用:
 - 光學/光電:CD、DVD、塑膠光纖、眼鏡、燈罩
 - 電子零件:PCB、薄膜、電容器、連接器
 - 生醫醫療:試管、樣品瓶、注射器
-

工程塑膠的選用

物性考量

當一個使用者要開始選用塑膠材料時，第一個接觸的是塑膠原料製造商提供的物性表，那物性表上最常見的會有那些項目或是測試標準與單位是什麼呢？大部分國內所使用的物性表是依據 ASTM(美國材料檢驗學會 American Society for Testing Material)的標準，而另外在歐美會使用 ISO(國際科學組織 International Science Organization)、IEC(國際電氣技術委員會 International Electrotechnical Commission)、DIN(德國工業標準 Deutsche Industrie-Norm)等標準。

大致上物性表會將測試項目區分為下列四大項目：

機械性質：

物 性	美規	歐規
拉伸降伏強度 Tensile Strength (at yield, Break)	ASTM D638 Kg/cm ²	ISO 527 N/m ²
伸長率 Elongation at break	ASTM D638 %	ISO 527 %
彎曲強度 Flexural Strength	ASTM D790 Kg/cm ²	
彎曲模數 Flexural Modulus	ASTM D790 Kg/cm ²	
IZOD 衝擊強度(1/8 “缺口”) IZOD Impact(Notched 1/8”)	ASTM D256 (kg · cm/cm)	
衝擊強度(缺口) Impact(Notched)		ISO 180/1A KJ/m ²
Charpy 衝擊強度 Charpy Impact(Notched)		ISO 179 KJ/m ²

Rockwell 硬度 Rockwell Hardness	ASTM D785 (R-Scale)	
----------------------------------	------------------------	--

熱性質:

物 性	美規	歐規
熱變形溫度(HDT) Heat Deflection Temperature	ASTM D648 °C	ISO 75/A °C
Vicat 軟化溫度 Vicat Softening Temperature		ISO 306/B50 °C
球壓溫度 Ball Pressure Temperature		IEC 60695-10-2 °C
線性膨脹係數 Coeff. Of Linear Thermal Expansion	ASTM D696 10 ⁻⁵ cm/cm°C	DIN 53572 K-1×10 ⁻⁴
融熔體積率 Melt Volume Rate(MVR)		ISO 1183 ml/10min.
熱融熔指數 Melting Flow Index(MFI)	ASTM D1238 g/10min.	
耗氧指數(OI) Oxygen Index		ISO 4589 %

電氣性質:

物 性	美規	歐規
體積固有阻抗 Specific Volume Resisivity	ASTM D257 Ω · cm	IEC 60093 Ω · cm
表面固有阻抗 Specific Surface Resisivity		IEC 60093 Ω
絕緣破壞強度 Dielectric Strength	ASTM D149 KV/mm	IEC 60243-1 KV/mm
介電常數(誘電率)	ASTM D150	IEC 60250

Dielectric Constant	--	--
介電因子(誘電因子)	ASTM D150	IEC 60250
Dissipation Constant	--	--
耐電弧性	ASTM D495	
Arc Resistance	Sec.	

一般物性:

物 性	美規	歐規
密度 Density		ISO 1183 Kg/m3
比重 Specific Gravity	ASTM D792 --	
吸水率 Moisture Absorption	ASTM D570 %	
模收縮率 Mold Shrinkage	ASTM D955 %	DSM %
玻纖含量 Glass Fiber Content	Ash Content %	

耐燃要求(UL 測試)

幾乎所有電子/電氣產業的使用者，常常必須了解 UL 的規範，那何謂 UL 呢？

話說 1893 年在美國芝加哥舉辦的哥倫比亞展覽會上，由於電器使用超過負荷而引起火災，損失慘重。因此美國保險公司爲了減少及避免人身傷害以及生命與財產損失，於 1894 年集資建立一個實驗室—保險商實驗室(Underwrite Laboratories Inc.)簡稱 UL。

UL 主要是對於電氣產品及其部品進行使用前的檢驗、測試、評估，我們在市場上最常看到 UL 的標章有下列三個符號：



列名標誌

分類定級標誌

零件認可標誌

1. 列名標誌(Listing Service):

當產品獲得 UL 列名標誌，則表示該產品的代表性樣品已通過 UL 的測試和評估，符合 UL 的安全標準。

2. 分類等級服務(Classification Service):

當產品要達到一定性能而接受評估，包括特定的危險(如可燃性)、特定條件下(如在危險場所的用途)的性能。

3. 零件認可標誌(Component Recognition Service):

對最終產品中的組成部分(包括組成原料)的評估，當最終產品中大量使用已獲認可的零組件，就可以讓 UL 集中評估最終產品的性能。

通過 UL 認證的各家工程塑膠廠商的產品，其產品、廠牌以及各項測定數據，全部登錄於每年出版的黃皮書(即所謂的 UL Yellow Book)，工程塑膠乃歸類於 QMFZ2 類別之中。生產廠家通過 UL 認定的產品及測定項目值會列於一張 12.5cm×7.5cm 的黃色卡片上，即我們常說的黃卡(yellow card)，下圖是我們從 UL 黃卡中所列出的資料(資料來源 UL 網站)。

Plastics Recognition Yellow Card									
QMFZ2 Component - Plastics			Monday, May 04, 1998 (date of last revision)				E000000		
ABC Company									
Northbrook, IL 60062-2096									
Material Designation: 1000G(a)									
Product Description: <u>Polyamide 6 (PA6)</u> , glass reinforced, furnished in the form of pellets.									
Color	Min. Thk. mm	Flame Class	HWI	HAI	RTI Elec	RTI Imp	RTI Str	IEC GWIT	IEC GWFI
NC, BK	0.75	V-2	3	0	100	65	65	-	-
	1.5	V-0	2	0	100	85	85	750	900
	3.0	V-0, 5VA	1	0	100	95	100	750	900
			CTI: 0		HVTR: 3		D495: 7		IEC BP: 120
(a) - Represents a number 10-30 incl.									
Report Date: 10/20/1988			Underwriters Laboratories				(Subscriber #)		
Inc ®									
UL94 small-scale test data does not pertain to building materials, furnishings and related contents. UL 94 small-scale test data is intended solely for determining the flammability of plastic materials used in components and parts of end-product devices and appliances, where the acceptability of the combination is determined by ULI.									

目前 UL 的規範超過 800 個，其中對於工程塑膠的測試有：

UL 94 - 燃燒性測試(有垂直與水平燃燒測試，分為 V-0、V-1、V-2

以及 HB 等級)

UL 746A— 高分子材料短期性能測試，計有:CTI、HWI、HAI、HVTR、D495 等項目。

UL 746B— 高分子材料長期性能測試，為 RTI 值。

UL 746C— 電氣設備中所使用的高分子材料的評估。

下表是在 UL 資料中有關的縮寫與代表意義

Mtl Dsg	Material Designation	材料規格
Col	Color	顏色
Min Thk	Minimum Thickness	最小厚度(mm)
UL 94 Flame Class	UL 94 Flammability Classification	UL 94 耐燃等級
RTI	Relative Temperature Index	相對溫度指數(長期使用溫度)
Elec	Electrical	電氣性條件下
Mech	Mechanical	機械條件下
Imp	Impact	有衝擊條件下
UL 746B		
W/o Imp	Without Impact	無衝擊條件下
HWI	Hot Wire Ignition	熱線燃燒性
HAI	High Current Arc Ignition	高電流電弧燃燒性
HVTR	High Voltage Arc Tracking Rate	高電壓電弧導電速率
D495	Arc Resistance(ASTM D495)	耐電弧性
CTI	Comparative Tracking Index	比較軌跡指數
PLC	Performance Level Class	表現等級

UL 746A



工程塑膠的發展趨勢

綠色/無鉛製程--環境要求(八大重金屬、非鹵素耐燃劑)

工業界正在推廣所謂的無鉛製程，也稱為“綠色(Green)”，電子產品正積極執行；時間回溯到 1990 年代美國開始進行制定，日本因為市場的衝擊也積極的制定。歐洲共同體(EC)預計在 2006 年的元月份開始執行，因此對於半導體封裝必須改變。

在制定綠色製程，有兩個重要的課題，對於產品及回收元件與零組件是否確切達到要求。(一)首先鉛(Pb)必須由封裝材、主機板與錫球移除，對於晶片組的焊錫材質也需要吻合無鉛要求。(二)對於組成部分的原料與材質其阻燃劑需排除 PBB和PBDE以及它們的衍生物。至於對於鹵素阻燃劑的協同劑—三氧化二銻(Sb_2O_3)並未特別要求。

禁止物質部份表列

重金屬

	<u>Limit</u>
鉛(Lead) Pb	90mg/kg
汞(Mercury)Hg	60mg/kg
鎘(Cadmium) Cd	75mg/kg
六價鉻(Hexavalent Chromium)Cr ⁺⁶	60mg/kg
銻(Antimony) Sb	60mg/kg
砷(Arsenic) As	25mg/kg
鋇(Barium) Ba	1000mg/kg
硒(Selenium) Se	500mg/kg

破壞環境的化學品

多溴聯苯(poly brominated bisphenyls)	PBB
多溴二苯醚(poly brominated diphenyl ethers)	PBDE
多氯三聯苯(poly chlorinate Triphenyl)	PCT

以上物質最大的容許量尙未完全瞭解。目前有市場上以日本 Sony 公司的要求最嚴苛。它對於塑膠原料的要求爲：不可含以下物質：鎘和鎘化物、PBB 類和 PBDE、氯化石蠟、多氯聯苯(PCB)類、多氯化萘類、有機錫化物(三丁基錫或三苯基錫類)、石棉、含氮化合物。

針對重金屬的檢測，國內通常委託 SGS(台灣檢驗科技股份有限公司)檢測，檢測的項目有：

①EN 71 part 3:1994—重金屬(見上表)

②EN1122:2001—鎘含量(強制分離)

那麼如果執行綠色製成對於塑膠的要求爲何？最大的問題有兩個：

1. 原先電子產業的封裝迴焊的錫膏是 63Sn-Pb(熔點 183°C)，爲了吻合綠色製程，必須將鉛剔除。目前所發展的 Sn-Ag(熔點 221°C)、Sn-Ag-Cu(熔點 216°C)、Sn-Ag-Bi(熔點 216°C)必須以 250°C~260°C

的製程溫度，因此塑膠材料必須選用熱變形溫度超過 270°C 以上的

材質，方能生產使用。

2. 由於目前電子產品常要求必須以阻燃級的塑膠材料生產，而市場上

用量最大、阻燃效果最好、成本最低的是鹵素阻燃劑(以溴系與氯系爲主)，但是綠色製程要求不含鹵素阻燃級，對於塑膠材料的選用造成瓶頸。

奈米複合材料

奈米(nanometer, nm)是一種長度單位，指的是 10^{-9} m。因爲在奈米尺寸之下，因爲材料的體積變小、總表面積非常大，使的材料特性發生了非常大的變化。奈米塑膠複合材是複合材料中分散相尺寸中有一維尺寸是在 100nm 以下。自從日本豐田公司開發出尼龍 6/黏土(clay)奈米複合材料，全世界的工程塑膠廠家無不積極投入

研發，以下是整理出一些目前奈米塑膠材料研發的方向。

產 品	添 加 的 奈 米 材 料
高性能耐燃塑料	奈米級矽酸鹽
超高流動性高分子量塑料	奈米級碳酸鈣
親水性塑料	奈米級二氧化矽
高介電係數塑料	奈米級鈦酸鋇
抗菌除臭塑料	奈米級氧化鋁、奈米級氧化鈦、奈米級氧化鋅奈米級氧化鋇
UV/IR 屏蔽塑料	奈米級氧化鋁
電磁波遮蔽塑料	奈米級鐵氧體、奈米級導電高分子、奈米碳管
半導體塑料	奈米級 CdS 或 CdSe
磁性塑料	奈米級磁性粉(氧化鐵)
耐磨耗塑料	奈米級氧化矽
導電塑料	奈米級金屬粉、奈米級導電高分子、奈米級氧化鋅、奈米級氧化錫、奈米級碘化銅、奈米級碳粉

合膠(Alloy)

由於各種塑膠材料各有其特殊的性質，因此爲了因應各種不同的需求，高分子研究人員利用混合(blend)與混煉(compound)的方法將二種或二種以上塑膠合在一起形成合膠(Alloy)。以下將目前市面上最常使用的合膠其特性與應用說明。

合膠類別	特 性	應 用
ABS/Nylon	耐熱、抗化學性、流動性、低溫耐衝擊。	汽車車身護板、引擎室部品、連接器
ABS/PVC	增加耐燃性，增加耐衝擊	家電用品、事務機器
ABS/PC	改善低溫衝擊、厚壁耐衝擊、增加 ABS 的耐熱與尺寸安定	事務機器外殼、醫療器材設備、電子零組件、汽車頭燈、小家電

	性	
ABS/SMA	耐熱性、流動性、熱安定性、塗裝	電子零件、小家電零組件
PPO/PS	改善 PPO 加工性、降低吸濕性、耐衝擊性。	汽車、儀表板、連接器、輪圈蓋、事務機器、通信器材、醫療器材、電腦外殼。
PC/PBT	耐溶劑、耐候龜裂、尺寸安定性與耐衝擊	汽車保險桿
PC/PET	耐溶劑、耐候龜裂、尺寸安定性與耐衝擊	醫療器材、汽車零件、保險桿、雪靴。
PC/PE	減少 PC 的缺口效應，增加厚壁衝擊性	電子電機絕緣零件、儀器外罩
PC/ASA	ASA 耐候與熱安定性比 ABS 更好，、耐應力龜裂	事務機器外殼、醫療器材設備、電子零組件、汽車頭燈、小家電
PC/PU	低溫衝擊性、耐磨耗、挺性佳	汽車保險桿、葉子板、運動器材
PC/SMA	高 HDT、低溫耐衝擊、加工性	汽車零件、烹烤器具、照相機零件、食品設備
PBT & PET /Elastomer	改善 PBT 與 PET 的衝擊強度	汽車零組件、防撞板、葉子板、運動器材
PET/PMMA	增加 PET 的結晶速率	
PET/Polysulfone	低收縮、尺寸安定性較佳、耐化學性	電子連接器
PPO/PBT	耐熱性、尺寸安定性、加工性、表面光澤高、耐化學性	
PBT/ABS	流動性、耐衝擊、翹曲度	記憶卡、IC 卡
PA/Elastomer	改善低溫衝擊、提高氣密性	運動器材、事務機械、汽車零組件、電子電器
PA/PTFE	增加潤滑性、減少磨耗	齒輪
PPO/PA	高溫尺寸安定性、低吸水性、	汽車保險桿、輪圈蓋

	耐化學性	
--	------	--

關於合膠的發展在近十年發展的非常迅速，以上謹就最常見的材料做一簡單的說明。

生醫材料

近年來生醫方面的發展突飛猛進，高分子的研究人員無不將試者將各種塑膠應用於生醫材料方面，最常用於醫療用的塑膠：

PU、矽膠、氟塑膠(PTFE)、壓克力(PMMA)、尼龍(PA)、超高分子量聚乙烯(UHMWPE)等塑膠材料。

以下簡單說明在各生醫應用領域中所使用的塑膠材料。

- 纖維包膜—矽膠、壓克力(PMMA)、聚砜、聚氨酯(PU)
 - 人工骨—UHMWPE、PA、PMMA、PU、PTFE
 - 人工臟器、人造皮膚、人工肌腱、人工指關節、人工心肺管薄膜、人工腎臟導管…等—矽膠、PU
 - 牙科—PMMA、PA、矽膠
 - 生物降解材料—脂肪族聚酯
-

目 錄

概述	1
工程塑膠的分類	1
工程塑膠發展的歷史	3
全球與台灣工程塑膠使用情形	4
泛用工程塑膠個論	
PA(聚醯胺, 尼龍)	5
PC(聚碳酸酯)	6
POM(聚縮醛)	7
PPO(聚苯醚)	8
PBT(聚對苯二甲酸丁二酯)	9
高性能工程塑膠	
LCP(液晶聚合物)	11
PPS(聚硫化苯)	13
PA46(聚醯胺 46)	14
PA6T(聚醯胺 6T)	15
PA9T(聚醯胺 9T)	15
PCT(聚對苯二甲酸 1,4 環己烷二甲酯)	16
PTFE(聚四氟乙烯)	16
PEEK(聚醚醚酮)	17
PPTA(聚芳香族醯胺)	18
PI(聚醯亞胺)	19
PEI(聚醚醯亞胺)	19
PTT(聚對苯二甲酸丙二酯)	20
PEN(聚萘二甲酸二乙酯)	20
sPS(對稱排聚苯乙烯)	21
UHMW-PE(超高分子量聚乙烯)	21
TPX(聚甲基戊烯)	22
PAI(聚醯胺亞胺)	22
PSU(聚砜)	23

PES(聚醚砵)	24
COC(環烯烴聚合物)	24
如何選用工程塑膠材料	
如何看物性表	25
耐燃要求(UL 測試)	26
未來工程塑膠使用的趨勢	
綠色/無鉛製程—環境要求	29
奈米複合材料	30
合膠(Alloy)	30
生醫材料	31
附錄	
常用塑膠的縮寫、中英文全名對照	共 6 頁

章節複習

1. 橡膠的可撓性極大而塑膠的可撓性相對較小，試由分子結構不同來解釋其間之差異？
 2. 為何半結晶性塑膠在室溫下，其可撓性較不定形塑膠可撓性高呢？
 3. 某塑膠其總重量的 80% 為由分子重 $M=15,000$ 的分子組成，10% 由分子重 $M=10^8$ 的分子組成，其餘 10% 為由分子重 $M=10^9$ 的分子所組成。試決定其 M_n ， M_w ， M_z 及 M_{z+1} ，其大致畫出其分子量分佈圖。
 4. 某塑膠乃由 90% 分子重 $M=25,000$ 的分子及 10% 分子重 $M=2 \times 10^8$ 的分子所組成，試求此塑膠之分散值。
-

參考文獻

1. J. A. Brydson, *Plastics Materials*, Butterworths, Boston (1982).
 2. R. J. Crawford, *Plastics Engineering*, Pergamon Press, New York (1987).
 3. J. T. Lutz, Jr., *Thermoplastic Polymer Additives*, Marcel Dekker, New York (1989).
 4. F. W. Billmeyer, Jr., *Textbook of Polymer Science*, Wiley, New York (1984).
 5. J. L. White, *Principles of Polymer Engineering Rheology*, Wiley, New York (1990).
 6. A. B. Strong, *Plastics: Materials and Processing*, Prentice-Hall, New Jersey (1996).
 7. Z. Tadmor and C. G. Gogos, *Principles of Polymer Processing*, Wiley, New York (1979).
 8. 劉士榮，*高分子流變學*，高立圖書總經銷 (1995)。
-