

# 第 1 章 综 述

与金属材料和金属制品相比，塑料和塑料件有许多固有的特性。本章介绍塑料材料的选择和有关的塑料性能。评述塑料件的设计原则。

## 1.1 塑料材料

保证塑料件设计质量的前提是进行科学的失效分析。由此保证塑料件在使用期限内，不失去所需工作性能。本节并不全面陈述塑料材料的各个方面，只是从塑料件的材料选择来认识常用塑料品种。

### 1.1.1 热塑性塑料

#### a. 聚乙烯(PE)

PE是乙烯聚合的结晶型物料。熔体的流动性很好。以密度、产品用途、熔体流动速率和改性情况分类。低密度聚乙烯(LDPE)用高压法生产 结晶度较低为 45%~65%。其柔软性、伸长率、冲击强度和透明性较好。适用于吹塑薄膜和挤出线缆绝缘层。高密度聚乙烯(HDPE)用低压法生产，结晶度高达 85%~95%。具有较高力学强度和使用温度。适宜中空吹塑 注射和挤出各种瓶、盆、桶、片材、管材和异形材。还有一种超高分子量聚乙烯(UHMWPE)为相对分子质量大于 70 万的高密度聚乙烯。有很高的力学强度和耐磨性能，熔体粘度特高。可制成减摩耐磨的支承和传动件。

瓶、筒和罐的 PE 密封盖，因为强力打开而被撕裂。主要是由于材料强度不足和盖子太薄。PE 桶上不能直接嵌塑金属手柄。金属柄周围的塑料会因负载应力过大而断裂脱开。贮有洗涤液的 PE 容器会引发环境应力裂纹。管装洗头膏的 PE 螺帽盖 生成环境应力裂纹后在紧固力的触发下，很容易断裂。PE 吹塑的桶类容器，装有水和固态物时坠地，不会破裂。但装了洗手液生成应力裂纹后，从 1 米高度坠落就会破裂。此种桶的底部需有渐变的斜度和大圆弧的圆角。用短玻璃纤维增强的 PE 塑件 在污染环境下又有振动负载时，联接紧固部位较容易出现裂缝。

PE 和 PP 在受热和光照下会发生氧降解，致使塑件脆化，损失了弯曲和拉伸强度。氧化作用的程度与时间，可以用红外线光谱来监察和测量。家用的塑料装饰植物在摆放了 15 年后，会见到叶片从枝梗上脱落；叶根的装配接头断裂；枝叉上插装叶片的套管开裂。这是 PE 的脆化断裂所致，尽管装饰植物的自重小，装配接头处的应力也不大。经红外线谱的对比分析，由于氧化产生了羰基吸收比率变化。加大叶根的接头，添加抗氧化剂能改善此种老化现象。

#### b. 聚丙烯 (PP)

PP是密度小且耐热性较好的结晶型聚合物。与 PE相似 其成型收缩率大 熔体流动性好，有突出的抗疲劳性能。

PP 不像 PE 那样因环境应力开裂而失效。但它耐老化能力比 PE 差。在氧化和降解中分子链上失去氢原子；伴有主链断裂导致力学性能下降。如卷发筒在吹风干燥头发时被氧化，使用寿命较短。另外，PP 的低温冲击强度低。它的玻璃态转化温度  $T_g$  为  $-20$  左右，在此温度早已脆化。PP 制造的壳体等结构件，如经受过  $0^\circ\text{C}$  以下的冷冻 就要注意可能会出现破裂现象。因此，常通过复合或共混改性方法加以改善。其次，使用着色剂会影响 PP 塑件的收缩率，如用酞菁蓝颜料。着色剂如同成核剂那样会影响结晶度。另外 用 PP 做贮有液体食物的扁瓶，保质期不长。瓶中水分会损耗减少。比起 PE,PP 瓶壁的水汽传递速率要高些。这样势必要增加容器的壁厚。

#### c. 聚氯乙烯 (PVC)

根据成型加工或使用性能要求 在 PVC 树脂中加入各种助剂以制成各种性能的塑料制品。添加增塑剂可以降低熔融温度和熔体粘度。添加不同比例的增塑剂，可获得不同软硬程度的 PVC。加入稳定剂使 PVC 在成型过程和使用中不易老化。润滑剂则在加工中减少摩擦热，并使制品表面光滑。

PVC 具有无定形聚合物特征，成型收缩率较小。其熔体的热稳定性差，成型温度的范围小，对模具有腐蚀作用。软 PVC 被用来吹塑薄膜、压延片材和挤出线缆护套。硬 PVC 用来挤出各种棒材、管材、板材和型材。注射级硬 PVC 的熔体流动性较差 用于注塑成型管接头和较小结构件。注射和挤出时的加热塑化温度，对成型后制品的断裂性能有影响。硬 PVC 的冲击强度较低，特别在受到高速冲击时。PVC 的管道和阀类塑件 排水后突然施加液压冲击，尤其容易开裂。改性可以提高 PVC 的冲击强度，但同时也降低了制品的刚度。80 以上过热环境 硬 PVC 制品会变形软化 刚性降低弹性提高 电绝缘性能下降。因而 露天使用的 PVC 制品 如塑料门窗 宁可用浅色而不用深色 以减少阳光下聚热升温。

#### d. 聚苯乙烯 (PS)

PS 无色透明 透光率仅次于 PMMA。着色性、耐水性和化学稳定性良好。PS 的电绝缘性能优良。但不耐苯、汽油等有机溶剂。PS 是无定形聚合物 熔体的流动性好且不易分解，有良好注射工艺性。力学性能一般，抗冲击性能差。PS 的塑料件，在坠落和冲击时容易断裂。塑件壁厚应均匀一致 各连接面处应有圆角 且不宜设计嵌件。塑件中残余应力过大时 会出现应力发白和银纹 使透明性下降。构件不宜受动态的弯曲载荷 不能设计制造弹性夹钳等。PS 有较大热膨胀系数。交替的膨胀和收缩力会使塑件的联接基座产生开裂。蠕变使塑件只有 15 年到 20 年的正常工作期限。热变形和蠕变综合作用于灯罩类装饰件，由于灯源的致热，一年左右就会开裂。在联接面上 即使塑件工作温度不超过  $45\sim 50^\circ\text{C}$ ，蠕变仍会发生。模压和蒸汽加热成型生产的发泡 PS 广泛用作包装和保温制品。

#### e. 抗冲聚苯乙烯 (HIPS)

HIPS 为丁苯橡胶改性的聚苯乙烯。与 PS 相比有较高的韧性和冲击强度，其余性能相似。如果相对分子质量偏低，或橡胶含量较少，或注射工艺条件不良，则会有较低的强

度更高的残余应力。如图 1-1 所示用 HIPS 制造原子笔的笔杆，使用几次就会开裂。扭簧扣压的夹衣钳，由于交变弹簧力作用，钢丝扣压处的夹头很快断裂。单薄无筋条的简易衣架，也易弯曲折断。对 200~300mm 以上的 HIPS 构件，需注意自重。对其支承位置产生的弯曲应变受到限制。HIPS 壳体的壁厚需优化设计。HIPS 的塑件不宜露天使用。它的抗氧化和热化学阻抗的稳定性较差。尤其在承载情况下，扭曲和弯曲时会产生热变形或疲劳裂纹。

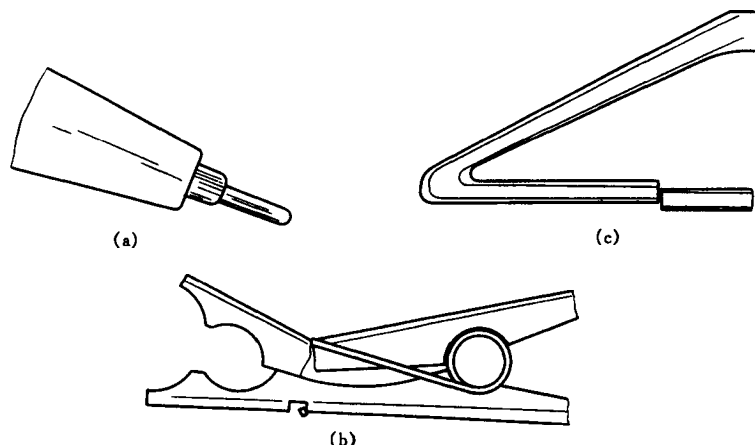


图 1-1 HIPS 塑件的断裂现象  
(a) 笔杆开裂 (b) 夹衣钳的断裂 (c) 衣架折断

#### f. ABS

ABS 系苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚体的无定形物料。ABS 通常有比 HIPS 好的韧性，有较好的综合力学性能，熔体流动性中等，易于注射成型，成型收缩率小，制品尺寸稳定性好。其品种牌号很多，各品种的物理性能和成型加工性能各有差异。ABS 是重要的广泛使用的工程塑料，常用来制造各种壳体和结构件，以及经电镀等表面处理的装饰件。这些制件通常设计寿命为 10 年。仪表中最早开裂的部位是壳体上的螺纹牙及邻近受装配紧固力的螺钉孔和台柱。仪表中动力电机或重物的承力结构件也会开裂损坏，会有疲劳裂纹。倘若仪表的环境条件很差，壳体的横截面上会出现环境应力裂纹。

#### g. AS

AS 为丙烯腈与苯乙烯共聚的无定形物料，也可写成 SAN。透光率与 PS 相当，韧性和强度超过 PS，熔体的流动性也较好。但须注意到 AS 制品在模塑成型时易生成残余应力，会引发裂纹。AS 在成型加工和使用中与溶剂接触，有环境应力开裂的现象。倘若用 AS 制造热咖啡的容器，由于化学作用和高温，会使容器开裂。

#### h. 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)

PMMA 是丙烯酸类树脂中最重要的一种。它是无定形聚合物，透明度高，常以板材供应。俗称有机玻璃，但比无机玻璃轻得多，且抗冲耐振。它具有良好的电绝缘性、染色性和二次加工性能。用聚苯乙烯改性的 PMMA 为 372 品种，还有珠光有机玻璃是国内常用的物料。PMMA 熔体的流动性中等。不良的注射工艺会影响塑件的透明度和强度。

由于 PMMA 的脆性，它不能承受高的应力，在钻孔时很容易开裂。PMMA 的螺纹孔

在室温下拧紧时也会开裂。有机玻璃的表面硬度差，易被硬物擦伤起划痕，专门的涂覆可以有所改善。环境应力裂纹是 PMMA 的又一弱点，尤其是在平均分子质量较低时。

#### i. 聚酰胺(PA)

PA是多品种的结晶型聚合物。坚韧、耐磨且耐疲劳，但极能吸湿。熔点高，熔融温度范围窄。注射前必须充分干燥物料。熔体粘度低 注射模塑时很容易出现“流涎”和“溢边”。模具温度高低影响结晶度。塑件的成型收缩率大，且有波动。成型的制品因吸湿等原因 尺寸不稳定。

PA6 弹性好 冲击强度高 吸水性较大。PA66 强度高 耐磨性好。PA610 与 PA66 相似，但吸水性和刚性都较小。PA1010 半透明 吸水性较小 耐寒性较好。

PA 塑件的失效有四个特征。首先，PA 在高温下加工时的水解作用会使材料降解。因此原料中的含水量必须严格限制。降解使 PA 的平均分子质量降低，造成制品强度下降。第二，PA 在固化结晶时，要有充裕的结晶时间。结晶度愈高，晶粒愈细，冲击韧性愈好。为获得一定的性能，必须控制好结晶度。第三，塑件在使用期内吸水，能起增塑作用。如果制品的水分含量低，常会太脆而失效。水对制品可能是需要的，也可能不需要。控制塑件中含水量，是防止制品失效的重要方面。第四，PA 塑件中含水量也影响到尺寸。吸水膨胀会改变尺寸，使塑件尺寸超出公差；也会使粘接等加工困难。

聚酰胺齿轮与聚甲醛齿轮啮合传动已普遍应用。但聚酰胺制成 20mm 以上大齿轮传递动力，还需慎重试验。如地板抛光机的传动装置，金属主动轮与酚醛从动轮啮合，酚醛齿轮直径达 38mm 为节约制造成本，将同样几何参量的聚酰胺注射齿轮置换，由于强度不足 金属齿轮会将 PA 齿轮上轮齿全部折断。

#### j. 聚碳酸酯(PC)

PC是无定形聚合物，有突出的抗冲击强度和抗蠕变性，并耐热耐寒。PC 的力学性能和电绝缘性能优良，并有较好的透明度。制品成型收缩率较小，塑件尺寸精度高。它是产量仅次于 PA 的工程塑料。

PC熔体的粘度高 流动性差 所需模具温度高 成型脱模困难。注射充模时流动和温差产生的残余应力较高，尤其在塑件的嵌件周围、成型孔周边和截面突变处。在外力等环境因素下，易产生应力开裂。PC 有较高的缺口敏感性，低温脆化温度在 -15 以下。PC 还有高温水解的特性 在 65 以上的高湿条件下会产生应力开裂。

#### k. 聚甲醛(POM)

POM是高结晶度的聚合物 具有优良的物理和机械性能。耐磨、耐水、耐腐蚀 尺寸稳定性好。熔体流动性中等。物料熔融温度范围小，热敏性强容易分解。成型收缩率大，且波动范围大。用玻璃纤维等增强改性可减小收缩率。添加聚四氟乙烯、石墨和二硫化钼等可制成耐磨自润滑的支承零件。熔料分解、成型收缩率大和模温控制使 POM 注射成型困难。POM制品的热稳定性差，易燃烧。长期在大气中暴晒会老化。

#### l. 聚苯醚(PPO)

PPO是无定形聚合物。成型收缩率和吸水性小，阻燃性能好。热变形温度高达 190℃ 有良好的抗蠕变性能。其熔体流动性差 需高温 300~330℃ 加热熔化 制品容易应力开裂。生产中各种改性 PPO。其中以混合聚苯乙烯改性 PPO 的 Noryl 应用最

多。其热性能和力学性能与聚苯乙烯含量有关，与聚碳酸酯相近。其粘度低于聚碳酸酯，高于 ABS。工作温度在 100 以下，化学阻抗性能差。

### 1.1.2 热固性塑料

#### a. 酚醛树脂 (PF)

PF 是使用最早，产量最高的热固性塑料。其成本低，易模塑。有低蠕变和良好刚性。耐酸和溶剂，但不耐碱。仅能着暗色，冲击强度差。

以酚醛树脂为基体的酚醛塑料品种很多。有酚醛模塑料的主要类别及用途 (GB 1404—1995) 标准。如玻璃纤维填充的酚醛玻璃钢制品，强度高并有良好耐热和耐腐蚀性。木粉充填的酚醛塑料制品，俗称胶木。成本低易成型，用于制造普通电气开关。石棉纤维增强的酚醛塑料用于化工防腐和摩擦制动。近年来开发的新品种有快速固化酚醛树脂、浅色无氨酚醛塑料和阻燃耐电弧酚醛塑料等。

#### b. 脲醛树脂 (UF)

UF 是以脲甲醛树脂为基体，纤维素为填料，有多种添加剂的塑料。可制成半透明和不透明制品，色泽如玉，俗称电玉塑料。容易着色、难燃、电绝缘性比 PF 好 使用温度 100℃用于瓶盖、钮扣、日用品和电工零件。但抗冲性能差 吸水率高 易吸潮变形开裂。

#### c. 三聚氰胺甲醛树脂 (MF)

MF 是以三聚氰胺甲醛树脂为基体，纤维素为填料，有多种添加剂的塑料。耐水和耐热比 UF 好，使用温度可达 150℃。自熄并耐电弧 刚硬且表面有玻璃质感 无毒且不易沾污。用于制杯盘餐具、桌面层压板和电器零件。但尺寸稳定性和冲击强度低。

#### d. 环氧树脂 (EP)

EP 是以环氧树脂为基体的各种复合材料。有良好的力学、化学阻抗和电绝缘性能。工作温度可达 130℃，耐盐水且耐候性好。成型收缩率小，易模塑成型各种电工和机械零件。环氧树脂与金属、无机材料和各种纤维有突出的粘结性能，因此用于微电子器件的塑封，并制造覆铜的印刷线路板。

## 1.2 非力学性能

本节简略地陈述塑料的非力学性能，侧重于性能的测量指标。涉及热性能、化学阻抗、渗透性、易燃性、电性能、耐候性、光学性能和硬度 有八个方面。

### 1.2.1 热性能

塑料的热性能以短期、长期、低温和高温四个领域进行测试研究。

#### a. 短期热性能

聚合物的短期热性能的过程是完全可逆的。也即对试样没有危险性。其性能有熔点、软化温度及力学性能随温度的变化。所指的力学性能有屈服应力，拉伸强度和硬度。还有线膨胀系数和导热系数。所有这些性能的测量已达到相当高的精确度。但是不能以这些短期的力学性能来推测长时期的老化性能。这些性能被用来比较材料和进行质量控

制，并限制材料的应用。

成型的热固性塑料和硫化的橡胶制品已经交联，不存在熔点或软化温度。但这些材料有一个分解温度。

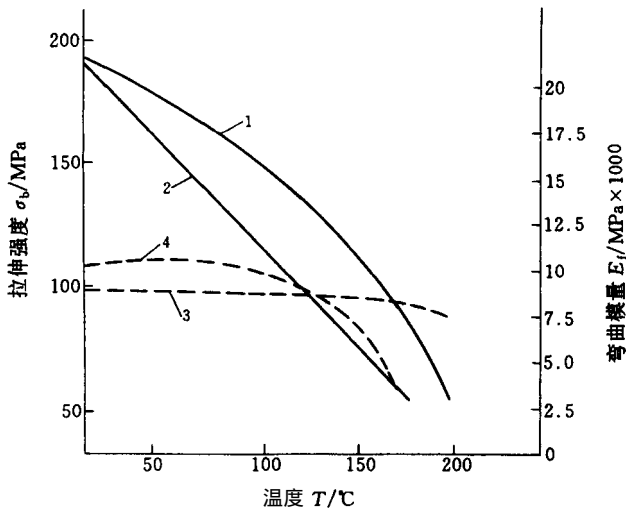


图 1-2 二种塑料的短期拉伸强度和弯曲模量与温度的关系

1—PEI + 30% FG 的拉伸强度 2—PEEK + 30% FG 的拉伸强度  
3—PEI + 30% FG 的弯曲模量 4—PEEK + 30% FG 的弯曲模量

热变形温度 HDTUL 或 HDT (Heat deflection temperature under load) 是塑料试样浸在一种等速升温的液体传热介质中，在简支梁的静弯曲负载作用下，试样弯曲变形达到规定值时的测定温度。如图 1-3 所示，传热介质常用低粘度的变压器油或硅油。其等速升温的速度为  $(12 \pm 1^\circ\text{C})/6\text{min}$ 。砝码负载  $W$  试样宽度  $b$  高度  $h$ 。两支座中心间距离  $l$ 。试样的最大弯曲正应力为：

$$\sigma = \frac{3Wl}{2bh^2} \quad (1-1)$$

负载与试样的几何参数使试样产生最大弯曲正应力  $\sigma = 1.82\text{MPa}$  或  $0.45\text{MPa}$ 。在试样中点弯曲变形量达到  $0.21\text{mm}$  时，此时的温度即为相应  $\sigma$  下的热变形温度。以上所述是 GB 1634—79(88)《塑料弯曲负载热变形温度》简称热变形温度试验方法。对应美国标准 ASTM D648，德国 DIN 53458，国际标准 ISO 75。各标准测得热变形温度值相差不大。ASTM D648 标准中，试样中点下垂量为

拉伸或弯曲的应力-应变试验应该在热箱中进行，以提供一定温度下的短期的屈服应力、弹性模量和断裂伸长率。绝热的“热箱”也应该可用液态  $\text{CO}_2$  进行低温试验。

图 1-2 是两种材料的拉伸强度和弯曲模量与温度的关系曲线。一种是无定形聚酯酰亚胺 (PEI) 充填 30% 短玻纤。另一种是结晶型的聚醚醚酮 (PEEK) 以 30% 短玻纤增强。玻璃纤维都是随机取向。玻纤的增强能改善大多数塑料的高温强度和刚度。但因基体聚合物在高温下失去硬度，升温后材料表面硬化。

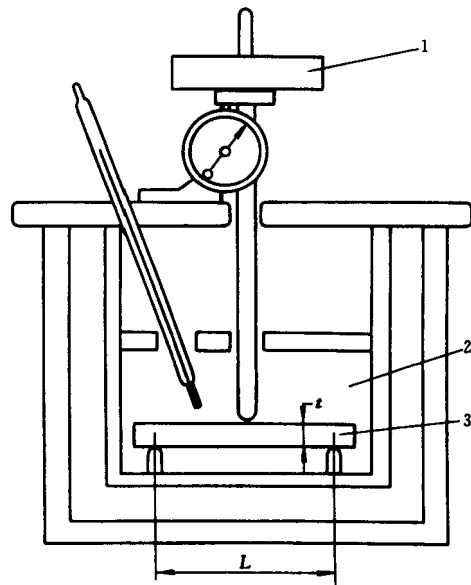


图 1-3 热变形温度测量仪的示意图

1—负载  $W$  2—传热介质 3—试样

0.254mm。上述 PEI+30%FG 在 1.82MPa 下的热变形温度是 213℃ 而 PEEK+30%FG 是 288℃。表 1-1 所列各种材料的热性能均为 ASTM 标准所测。需注意到 PEEK 增强塑料虽有比 PEI 增强塑料高的热变形温度,但是在 100 以上时弯曲模量下降很快。

维卡软化温度是塑料于液体传热介质中,在一定的负荷和一定的等速升温条件下,试样被 1mm<sup>2</sup> 针头压入 1mm 时的温度。我国有 GB 1633—79(88)《塑料软化点 维卡 试验方法》。在使用负荷 1000g 时与国外 ASTM D1525 和 ISO 306 标准相似。本方法适用于质量控制和材料热性能比较。对于无定形或低结晶的塑料,此种测试方法排除了软化以前蠕变变形的影响。目前,维卡试验方法还被用于橡胶密封垫的热性能测试。

#### b. 低温下脆化

在低温下所有聚合物都会增加刚度,减少柔度。无定形聚合物和结晶型聚合物中的无定形形态转变到玻璃态。橡胶改性或增塑的混合物的粘度增大。低温也降低了分子链上结合键的柔度,减小了自由体积。所有这些导致了塑料在低温下的脆化,减小了冲击阻抗能力。

标准的低温下拉伸试验要耗费许多时间。其拉伸模量的数据很难理解。因此设计了一些扭转试验的方法测得剪切弹性模量。如 ASTM D1043 对应 ISO 458 定义了专门的扭转试样被冷冻变形时的温度。又如 ASTM D746 对应 ISO 974 试验标准,将截面 0.25in×0.075in 试样的自由端伸出 1in,浸泡在低温液体中。在控制温度下降过程中,对试样进行冲击。当十个试样中有五个被击断时,认定为脆化温度。我国有 GB 5470—85《塑料冲击脆化温度试验方法》。它仅适用软质塑料。

#### c. 长时期的热降解

长时期地处于高温下,一些原因促使塑料产生不可逆的降解。诸如被空气中的臭氧攻击而氧化,增塑剂的添加成分的挥发,由于较快的蠕变速度和较差的抗疲劳性引起聚合物分子链的逐步断裂等。一些聚合物的分子结构中存在敏感的弱点,如支链、不饱和的双键、聚合时剩余的引发剂、活性的氢原子或不稳定的分子链的始末端。这些弱点是氧、臭氧、潮气、各种辐射线或者热的攻击点。热降解的结果几乎都是高分子链的断裂,导致平均分子质量的下降。在热解聚过程中,分子链束的始末端越来越多,使材料的热稳定性越来越差。当然,每种聚合物在一定条件下有各自的热降解的机理。

各种塑料在较高的温度下长期连续安全工作的合适温度,国外手册上已有 UL 温度指标。它的全称是无负载下连续安全工作的额定温度。试样若作用负载,会增加塑料热性能的复杂性。因此该实验试样要排除力学应力的作用。大量试样在加热箱中按设定温度保温 美国 UL 746 为 60,000h ISO 2578 为 20,000h。寻觅电性能 E 和力学性能 M 为原有性能 50% 时的 UL 温度。各种聚合物的热性能见表 1-1。其中 E 是指仅考虑电性能的安全性;E+M 是电性能和力学性能均达到 50% 的安全温度;E+M' 是指电性能和力学性能达标 但不考虑冲击性能。

另外,还有一种短时的热性能测试方法——热重量分析 TGA (Thermogravimetric analysis)。用热重量分析测试仪 让试样以一定速率升温。降解物质的挥发和气化 使试样质量有损失。如 PVC 试样在惰性气体或真空中被加热至 275℃ 就有气化的 HCl 析出。随着温度继续升高进一步降解 试样成为不饱和主链、焦碳和微小残片的混合物。此

方法可作为聚合物热保护途径研究和质量控制的测试手段。

表 1-1 各种塑料的热性能 /

材 料	玻璃态转化温度与熔化温度 $T_g/T_m$	热变形温度 (1.82MPa)	维卡软化温度 (10N)	UL 温度指标		
				E	E+M	E+M'
ABS	88~120/—	77~113	—	60	60	60
均聚甲醛	—/175~180	124~136	162	105	85	90
共聚甲醛	—/160~175	85~121	105	105	95	105
聚甲基丙烯酸甲酯	85~105/—	68~99	114	50	50	50
醇酸树脂 TS	—	177~260	—	130	130	130
聚邻苯二甲酸二烯丙酯 TS	—	160~288	—	130	130	130
铸造环氧树脂 TS	—	46~288	—	90	90	90
环氧树脂 + 30% 玻纤	63~90/—	124~288	—	130	130	130
三聚氰胺甲醛树脂 TS	—	177~199	—	130	130	130
酚醛树脂 TS	—	149~188	—	150	150	150
聚酰胺 66	—/255~265	75~100	240	125	75	85
聚酰胺 66 + 30% 玻纤	—/260~265	122~255	240	130	130	130
聚碳酸酯	150/—	121~132	155	125	115	125
聚对苯二甲酸丁二醇酯	—/220~270	50~85	—	130	130	140
聚对苯二甲酸乙二醇酯 + 30% 玻纤	70/260	190~260	—	130	130	130
聚酰亚胺	—/310~365	277~360	—	50	50	50
聚酯酰亚胺	215/—	198	—	170	170	170
聚苯硫醚 + 30% 玻纤	—/275~285	264	—	220	200	220
聚丙烯	-20/165	49~60	134	65~125	65~125	65~125
聚苯乙烯	74~105/—	76~94	—	50	50	50
聚四氟乙烯	-150/327	<121	—	180	180	180
聚氨酯	—/75~137	70~127	—	120	50	120
硅橡胶	—	>500	—	150~250	140~230	—
低密度聚乙烯	-110/115	<40	—	50	50	50
苯乙烯-丙烯腈共聚物	—/100~120	101~104	—	50	50	50
聚砒	190/—	174	—	150	140	150
脲甲醛树脂 TS	—	127~143	—	100	100	100
硬聚氯乙烯	87/—	60~77	85	50~110	50~110	50~85
聚醚醚酮	—/334	160	—	240	240	—

注：TS 指热固性塑料。

#### d. 最高温度

塑料替代金属的重要性能指标之一是最高温度。表 1-2 按热性能高低为序排列各种塑料的最高温度<sup>[3]</sup>。它包括分解温度、熔融温度和可连续工作的温度范围。

塑料的分解温度是指在此温度附近降温后可保持原有的全部性能。表 1-2 中的分解温度是试样在惰性气体中试验确定的。如果在大气中，由于氧的作用而分解较快。聚合物分解过程主要是热能促使结合键断裂。故表中数据与空气中测得分解温度有差异。

耐热性更高的还有聚苯并咪唑(PBI)，短期耐热可达 600 以上。用前述的 TGA 方法在惰性气体里质量损失 5%。倘若在空气中保温 10h, TGA 试验达 370 有 5% 的质量损失。能耐此高温是由于主链上有芳烃的闭环结构，使聚合物的刚性、熔点和转化温度提高。分子链段转动困难而耐热的聚合物还有 PEEK、PAI 和 PPS 等。

表 1-2

各种塑料的最高温度 /

塑料种类	连续工作温度范围	分解温度	熔融温度	塑料种类	连续工作温度范围	分解温度	熔融温度
聚酰亚胺	260~430	—	—	聚丙烯	80~130	320~400	200~300
聚硅氧烷	200~300	—	—	聚氨酯	80~250	—	230~280
碳氟树脂类	150~250	500~550	—	聚氯乙烯	70~110	200~300	160~180
聚酰胺-酰亚胺	270~290	—	340~390	缩醛树脂	90~110	—	185~225
环氧树脂	80~250	—	150~220	ABS与SAN	70~105	250~400	180~240
聚苯硫醚	250~260	—	330~390	聚苯乙烯	50~100	300~400	180~260
烯丙树脂	150~230	—	140~180	ABS/PC混合物	88~93	—	280~350
酚醛树脂	100~280	—	150~230	丙烯酸类树脂	60~93	180~280	180~250
聚醚砜	150~200	—	330~420	纤维素类	50~93	—	60~120
双酚 A 型聚砜	170~200	—	330~420	聚乙烯	50~85	—	160~240
三聚氰酰胺	150~200	—	120~200	低温工作温度			
热固性聚酯	65~200	—	140~200	氯化聚乙烯	-60	—	150~220
脲甲醛树脂	100~175	—	150~200	聚氨酯	-60	—	230~280
聚酰胺	110~175	300~400	260~290	氟硅树脂	-73	—	—
聚碳酸酯	80~150	340~440	280~350	聚硅氧烷	-130	—	—
聚苯醚	80~130	—	230~350	碳氟树脂	-185	—	—

主链上含有非碳的无机原子，也能提高热稳定性。如聚硅氧烷为硅和氧结合的分子链。各种硅油、含硅脂和硅橡胶，虽然化学稳定性差，但它的工作温度范围可达  $-90$  到  $250^{\circ}\text{C}$ 。由硅橡胶改性的聚二甲基硅氧烷 (PDMS)，有优良的低温柔软性，玻璃态转化温度  $T_g = -125^{\circ}\text{C}$ 。

聚四氟乙烯的连续工作温度为  $150 \sim 185^{\circ}\text{C}$ 。氟塑料有良好的热稳定和耐低温性能。碳-氟结合的键合能为  $461\text{kJ/mol}$  比碳-氢的键合能  $408\text{kJ/mol}$  高。PTFE 是高结晶度的聚合物 结晶熔点  $327^{\circ}\text{C}$ 。平均分子量有  $10 \sim 100$  百万 380 时粘度高达  $10^{12}\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。PTFE 发生分解温度为  $400^{\circ}\text{C}$  但在  $230 \sim 300$  经  $200\text{h}$  以上也会发生分解。甚至加热温度  $150 \sim 220$  并且施加负载 超过  $1000$  天也会分解。PTFE 不能注射加工 常用烧结方法成型。氟塑料中聚三氟氯乙烯 (PTFE)、全氟(乙烯-丙烯)共聚物 (FEP) 和全氟烷氧基聚合物 (PFA) 可以注射成型。

### 1.2.2 化学阻抗

化学阻抗又被称为耐腐蚀性。严密地描述聚合物的这项性能，要用化学试剂浸渍试验方法。要在一定温度条件下进行大范围的大量的化学试验。确定该项性能需经历较长的时间。经浸渍的试样被取出后，要立即作质量和力学性能的测试。也有测试样厚度的。力学性能主要是弹性模量、有缺口的悬臂梁冲击和硬度等。然后与原始试样的质量和力学性能作对比。国外有 ISO 175 和 ASTM D543 的化学阻抗试验标准，有大约 50 种具有潜在腐蚀作用的化学试剂在无负载作用下，轮流浸渍测试。

被浸渍后的试样有体积膨胀的现象，甚至出现裂纹或(和)裂缝。聚合物在化学液体中浸泡，其膨胀过程有两个阶段。第一阶段，可溶的聚合物表面被化学溶剂溶解和吸收。第二阶段，溶液通过聚合物的自由体积而扩散。化学阻抗能力表现在化学溶液在聚合物中的扩散速率。归结于溶液与聚合物产生的各种化学反应。

聚四氟乙烯在强酸、碱和溶剂中有优异的化学稳定性。但溶液或熔融状态的碱金属能夺取 PTFE 中的氟原子。生成金属氟化物，附结于材料表面。从而使 PTFE 表面具有可粘结的特性。如用溶有金属钠的氨液浸渍 PTFE，在其表面变色后可用环氧树脂粘结。PTFE 溶于二氯二氟甲烷类的碳氢氟化物，有 5%~10% 的膨胀重量。但并不渗透 而且是可逆的。

实际使用的塑料件都存在各种力学应力。具有应力的试样进行化学浸渍试验校验裂缝的产生，称为环境应力裂缝试验。这种试验侧重于研究材料的化学阻抗性能。还有一种在弱负载下、浸渍惰性非溶剂液体的环境应力裂缝的测试。它是研究聚合物脆化和蠕变开裂，属于慢裂纹的生成过程。两者形成的裂缝机理有区别。

塑料的吸水性是个重要的性能。水是“万能的溶剂”，水解反应使许多聚合物的主链降解，促使材料的拉伸强度和刚度下降，增大了蠕变的速率。最典型的是聚酰胺的水解过程。水中的氢原子能攻击酰胺基： $-\text{CONH}-$ 中的氢原子与带负电的氧原子结合，使主链断裂。因此，聚酰胺分子结构中酰胺基密度减小，能改善吸水性能。半结晶聚酰胺中的无定形区的水解反应进行较快。已吸湿的聚合物处于加工的熔融状态时，水解反应更加迅速。因此，聚酰胺等塑料在挤出或注射前，要充分干燥。聚酯和聚氨酯也有类似的弱点。

水会影响复合塑料中颗粒填料或增强纤维与基体聚合物的结合强度。结合界面上的脱粘会导致材料的破坏。填料和玻璃纤维经混料前的偶联剂处理，可阻止水分扩散。这些偶联剂如硅烷等都应是憎水的。纯热固性聚合物的水分吸收和扩散是很低的。但是用木粉等吸水性填料充填后，吸水性大增。

吸水使塑料件的尺寸不稳定。聚酰胺塑件在模塑后要作调湿处理。吸水塑料件的绝缘性变差，是电气零件潜在的危险。吸水量和吸水百分率是选用塑料品种的重要指标。我国有 GB 1034—86《塑料吸水性试验方法》。此标准等同 ISO 62 和 ASTM D570。表 1-3 是按 ASTM D570 标准测试的各种塑料的吸水率。将试样浸入 23 的蒸馏水 24h,测得相对于原始质量的吸水百分率。

表 1-3 各种塑料的吸水率 / %

塑料材料	吸水百分率	塑料材料	吸水百分率
碳氟树脂(氟塑料)	0~0.01	软聚氯乙烯	0.15~0.75
聚乙烯	<0.01	ABS	0.20~0.45
热固性聚酯	0.02	共聚甲醛	0.22
聚苯乙烯	0.03~0.10	木粉充填酚醛树脂	0.30~1.20
环氧树脂	0.04~0.20	聚酰胺 11	0.40
硬聚氯乙烯	0.07~0.40	聚氨酯弹性体	0.70~0.90
热固性 PET 片状模压料	0.10~0.15	硝酸纤维素	1.00~2.00
丙烯酸类	0.10~0.40	聚酰胺 66	1.00~2.80
聚碳酸酯	0.15~0.18		

### 1.2.3 渗透性

聚合物的渗透性是区别于金属的特征之一。在固态聚合物的高分子链之间有很大的自由空间。因此气态和液态的小分子能容易地渗过聚合物表面，并在高分子结构中扩散。许多聚合物材料的渗透性，既是优点也是缺点。如液态饮料用塑料容器贮存容易渗透，

CO<sub>2</sub>等会引起化学侵蚀和溶解。纯涤纶 PET纤维的衣料因PET的憎水性不透气和水,穿着不舒服,与天然棉纤维混纺后才有改善。可以控制渗透的薄膜是一项高技术产品如PTFE多孔薄膜厚度20~40μm孔隙率65%~85%。可作为外科手术用的皮肤覆盖材料。

气体或液体从聚合物的高浓度一侧,向着低浓度的另一侧渗透。以一定温度和时间可测得渗透量。其单位时间的渗透量为渗透系数 $P_g$ 。渗透是一个很复杂的溶解-扩散过程。气体与液体的渗透机理不同。无定形和结晶型聚合物的被渗透的机理也不同。其中气体对无定形聚合物的渗透最简单。常用O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>等气体对各种塑料薄膜进行渗透实验。考核和比较各种塑料及其品种的透气性。这对食品等包装材料选择有指导意义。我国有GB 1038—70《塑料薄膜透气性试验方法》。对应有ISO 2556和ASTM D1434气体渗透率标准。表1-4按是ASTM标准测得的各种塑料在30℃下对O<sub>2</sub>和CO<sub>2</sub>的渗透系数<sup>[3]</sup>。其中对H<sub>2</sub>O汽的渗透系数相当于透湿系数。

表 1-4 各种塑料薄膜在 30℃ 下的渗透系数 /  $\times 10^{10} \text{cm}^3 \cdot \text{cm} / \text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{cmHg}$

塑料薄膜	对 O <sub>2</sub>	对 CO <sub>2</sub>	对 H <sub>2</sub> O 汽 90%RH	塑料薄膜	对 O <sub>2</sub>	对 CO <sub>2</sub>	对 H <sub>2</sub> O 汽 90%RH
聚丙烯腈	0.0003	0.0018	300	聚丙烯	2.20	9.2	65
聚偏二氯乙烯	0.0053	0.029	1	聚苯乙烯	2.63	10.5	1200
聚对苯二甲酸乙二醇酯	0.035	0.17	175	氯丁橡胶	4.0	25.8	910
聚酰胺 6	0.038	0.16	275	聚四氟乙烯	4.9	12.7	33
未增塑聚氯乙烯	0.045	0.16	275	低密度聚乙烯	6.9	28.0	90
高密度聚乙烯	0.40	1.80	12	天然橡胶	23.3	153	2600
异丁烯-异戊二烯橡胶	1.30	5.18	120	聚硅氧烷	605	3240	40000
聚碳酸酯	1.40	8.0	1400				

注: 1cmHg=1333.22Pa

透气性试验是在一定温度下,试样两侧保持一定的气体压差,测量试样低压侧的气体压力变化。计算透气系数

$$P_g = \frac{\Delta p}{\Delta t} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{d}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \cdot \frac{1}{p_1 - p_2} \quad (1-2)$$

式中  $\frac{\Delta p}{\Delta t}$ ——在稳定透过时,单位时间内低压侧气体压力变化的算术平均值 Pa/s

$V$ ——低压侧体积 cm<sup>3</sup>

$S$ ——试样的试验面积 cm<sup>2</sup>

$d$ ——试样厚度 cm

$T$ ——试验温度 K

$p_1 - p_2$ ——试样两侧的压差 Pa

$T_0, p_0$ ——标准状态下的温度和压力 K, Pa

在塑料制品生产中,通常用直接试验方法获知渗透结果。对模塑瓶和挤出塑料管,将它们封闭后作内部气体压力损失或液体渗漏测试,得到与壁厚的关系。

#### 1.2.4 燃 烧 性

建筑行业和交通工具上塑料制品的应用,防止火灾和环境保护要求人们重视塑料燃

烧性的研究。如表 1-5 所列<sup>[3]</sup>,各种塑料有可燃的、慢燃的、自熄的和不可燃的之分。

表 1-5 各种塑料的可燃性

塑料种类	氧指数/%	UL94 等级	点着温度/℃	评估
聚甲基丙烯酸甲酯	17	—	—	可燃
聚丙烯	17	—	—	可燃
聚乙烯	17	—	340	可燃
聚苯乙烯	18	—	360	可燃
聚对苯二甲酸乙二酯	21	—	—	慢燃
聚碳酸酯	26	V-2	—	自熄
ABS	30	HB	—	自熄
聚砜	30	V-0	—	自熄
聚酯酰胺	—	V-0	—	自熄
脲甲醛树脂	35	V-0	—	自熄
未增塑聚氯乙烯	43	V-0	390	不燃
聚酰胺-酰亚胺	50	V-0	—	不燃
聚四氟乙烯	90	V-0	—	不燃

含有氯和溴的塑料是不可燃的。如未增塑的聚氯乙烯，在燃烧中分解的 HCl 有抑制作用。聚碳酸酯和聚氨脂是自熄的塑料。当火焰和热量撤去后燃烧熄灭。绝大多数热塑性塑料容易点燃和燃烧。对可燃塑料升温加热达到点燃温度后，塑料表面材料会分解和氧化，生成可燃气体。产生各种复杂的反应和自由基，促使了燃烧和热量生成。伴随着大量烟雾和有害气体逸出。燃烧的最终残留物是碳。表层碳的生成如同屏障有阻燃作用。

燃烧性评测常用方法是 GB/T 2406—93《塑料燃烧性能试验方法 氧指数法》。对应 ASTM D2863 和 ISO 4589 标准。氧指数是在规定条件下，试样在氧、氮混合气体中维持平稳燃烧所需的最低氧气浓度，以氧所占的体积百分数表示。普通大气中的含氧量是 22% 故在表 1-5 中超过此值的塑料大致是自熄和不可燃的。

另一方法是 GB 4610—84《塑料燃烧性能试验方法 点着温度的测定》对应 ASTM D1929。点着温度是在规定的试验条件下，从材料中分解出的可燃气体，经外火焰点燃并燃烧一定时间的最低温度。它的试样是粒度为 0.5~1.0mm 的颗粒塑料。

美国专业协会的 UL 94 燃烧标准，目前被广泛引用。它是将试样水平和垂直放置，用本生灯点燃，观察试样燃烧速度、自熄和滴落物。依阻燃性提高顺序：94HR（水平），94V-2, 94V-1, 94V-0, 94-5VA, 94-5VB 均为垂直）它们对应我国 GB 2408—80 (88)《塑料燃烧性能试验方法 水平燃烧法》和 GB 4609—84《塑料燃烧性能试验方法 垂直燃烧法》。

此外 我国还有 GB 2407—80(88)《塑料燃烧性能试验方法 炽热棒法》用于评定硬质塑料可燃性。GB 6011—85 炽热棒法，用于评定纤维增强塑料的可燃性。电加热的炽热棒用碳化硅制成。主要以烧蚀距离作为评定依据。

提高塑料材料的阻燃性有许多途径。常用的是添加阻燃剂。由于各种塑料的燃烧过程很复杂，故现今的阻燃剂的品种也很多。它们起抑制燃烧和阻碍火焰蔓延的作用。使用最多的是氯、溴、锑、磷和铝的化合物。阻燃剂使用不当 在注射加工时逸出刺激性气体并腐蚀模具。采用无机填料，如氢氧化铝、碳化钙和玻璃纤维等也有阻燃作用。将自燃聚合物与不燃聚合物共混 如 ABS 和聚氯乙烯共混 可使 ABS 阻燃性提高。

## 1.2.5 电 性 能

塑料和橡胶因具有电绝缘性被广泛地用来制造电线电缆、印刷线路板、电气开关、接插件和电子电气设备的机壳。本节介绍介电强度、介电常数、介质损耗、绝缘电阻和耐电弧的几个常用性能指标。在塑料件设计和应用中，必须注意塑料电性能在潮湿和高温下的变化。还需了解用石墨、炭黑、金属粉和纤维充填后的导电塑料的电性能。

### a. 介电强度

也被称为击穿强度  $E_b$ 。它是在规定试验条件下，在连续升高的电压下电极间试样被击穿时的电压与试样厚度之比，常用  $kV/mm$  作单位。我国有 GB 1408—78《固体电工绝缘材料工频击穿电压、击穿强度和耐电压试验方法》。击穿电压  $U_b$ ，是用连续均匀升压或逐级升压方法使试样发生击穿时的电压值，以  $kV$  表示。耐电压是试样在一定电压作用下，在规定的时间内没有发生击穿的电压值，以  $kV, min$  表示。国外的介电强度测试有 ASTM D149 标准。表 1-6 所列为美国所测各种塑料的电性能。图 1-4 是 PA66 在含水量和试样厚度变化时的介电强度的变化。

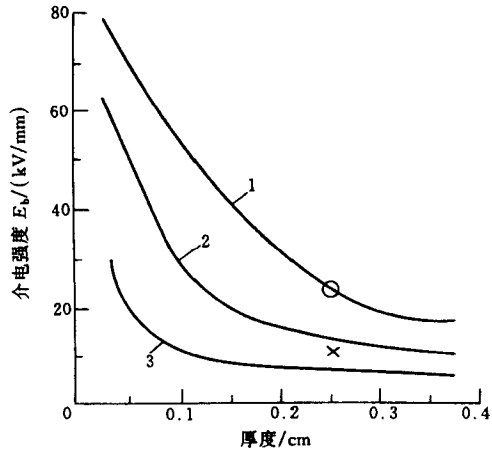


图 1-4 PA66 的介电强度与含水量和厚度关系

1—模塑的干燥试样（短时升压） 2—含水 2.5% 试样  
3—含水 8.5% 试样 2 和 3 为 60Hz 短时阶段升压）

表 1-6

各种塑料的短时电性能

塑料材料	耐电弧/s	介电强度/(kV/cm)	介电常数(23℃, 60Hz)	介质损耗角正切(23℃, 60Hz)
聚四氟乙烯	>200	160~200	2.1	0.0005
聚丙烯	150	—	2.2	0.0001
高密度聚乙烯	150	190~200	2.3	0.0001
ABS	—	130~200	3.2	0.0007
聚碳酸酯	10~20	150~180	3.2	0.0009
聚酰胺 11	>600	200~300	3.7	0.05
环氧树脂	45~120	160~200	5.0	0.05

### b. 介电常数

也被称为相对介电系数  $\epsilon$ 。介电常数是当电极形状一定时，某塑料为介质时的电容与以真空为介质的电容之比。对电极施加直流电场或交流电场。我国有 GB 1409—78《固体电工绝缘材料在工频、音频、高频下相对介电系数和介质损耗角正切试验方法》。适用于频率 50Hz 至 100MHz 下的测试。此标准对应国外是 ASTM D150。

### c. 介质损耗

也被称为介质损耗角正切  $\tan \delta$ 。它是表征该绝缘材料在交流电场下能量损耗的一个参量；是外施电压与通过试样的电流之间相角的余角正切。引起塑料介质损耗有偶极损

耗、界面极化损耗和传导电流引起的损耗。它与频率、温度和湿度以及添加剂有关。

对于并联回路的介质损耗计算见下式：

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega CR} \quad (1-3)$$

式中  $\omega$  ——角速度  $\text{rad/s}$   $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  为频率, Hz

$C$  ——试样的等值并联电容 F

$R$  ——试样的等值并联电阻  $\Omega$

#### d. 电阻和电阻率

塑料的电阻乃是一定条件下的实验值。它与试样形状、电压施加方法和环境因素有关。我国有 GB 1410—78 《固体电工绝缘材料绝缘电阻、体积电阻系数和表面电阻系数试验方法》。对应国外有 ASTM D257 标准。绝缘电阻取决于体积电阻和表面电阻，均以  $\Omega$  表示。直流电压与电极间的体积或表面传导电流之比，称为体积电阻或表面电阻。这些是物理概念。在电工塑料件应用时，关注的是体积电阻系数和表面电阻系数。它们有严格的测试条件。

a) 体积电阻系数 也称体积电阻率，是在试样体积电流方向的直流电场强度与该处的电流密度之比 以  $\Omega \cdot \text{m}$  表示。

$$\rho_v = \frac{S}{t} \frac{V}{I_v} \quad (1-4)$$

式中  $\rho_v$  ——体积电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$

$V$  ——电极间直流电压, V

$I_v$  ——流经试样体积内的电流, A

$S$  ——测量电极面积,  $\text{m}^2$

$t$  ——试样厚度, m

铜的  $\rho_v = 2 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$ 。一般塑料的  $\rho_v = 10^{10} \Omega \cdot \text{m}$  以上时为绝缘体，如聚酰胺 11 的  $\rho_v = 3 \times 10^{16} \Omega \cdot \text{m}$ ；聚四氟乙烯的  $\rho_v = 10^{20} \Omega \cdot \text{m}$  由 ASTM D257 测得石蜡的  $\rho_v = 10^{21} \Omega \cdot \text{m}$ 。

b) 表面电阻系数 也称表面电阻率，是沿试样表面电流方向的直流电场强度与单位长度的表面传导电流之比 以  $\Omega$  表示。在平板试样上，内外放置二个圆形电极。外环形电极内径为  $D$  内圆电极直径为  $d$ 。  $D > d$ ，在试样上两极间的环形表面上作用有径向漏电流。则有

$$\rho_s = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} \cdot \frac{V}{I_s} \quad (1-5)$$

式中  $\rho_s$  ——表面电阻率,  $\Omega$

$D$  ——环电极内径, cm

$d$  ——测量电极的直径, cm

$V$  ——电极间直流电压, V

$I_s$  ——流经试样表面的电流, A

#### e. 耐电弧性

其表达塑料对电弧、电火花的抵抗能力。测试时，将钨棒磨成的两根电极加在塑料试

样上间距 6mm。两电极间施以高压。以电弧破坏试样所需时间  $t_s$  来表示塑料的耐电弧性。我国有 GB 1411—78《固体电工绝缘材料高压小电流间歇耐电弧试验方法》。表 1-6 上的耐电弧时间系 ASTM D495 标准测得。它们两电极间距为 0.635cm。

#### f. 电解腐蚀

被试验的塑料试样放在两块黄铜板之间，置于 92%RH 和 40℃ 环境下。以 100V 交流电施于两电极之间。经一定时间后测得在正负电极下铜板的腐蚀量，与参考的标准进行比较。差的等级说明该塑料有较大腐蚀性。此试验适用于有铜嵌件的电工用的模塑制品。

### 1.2.6 耐 候 性

耐候性是指塑料暴露在日光、冷热和风雨等气候条件下的耐用性。耐候性与热空气老化、湿热老化、臭氧老化和抗霉性等是老化性能的各个方面。

紫外线 UV(Ultraviolet radiation) 不能透过窗玻璃。但室外的紫外线照射足以使聚合物分子链断裂，使塑料变色，最终脆裂和粉化。波长 280~320nm 的 UV 对聚合物最为危险。室外的热和湿气又加快了 UV 降解的过程，组合作用具有更大的危险性。

我国有 GB 3681—83《塑料自然气候曝露试验方法》。它是一种长时期的低成本比较试验的方法。根据我国气候条件，以热带、温带、寒带、高原和沙漠来设置曝露场地。按标准制作的试样，置于室外的曝露架上。此架面向正南，一般倾斜 45°。曝露角使试样获得最大的年辐射量。然后定期测试试样的几项性能与原始值比较。

表 1-7 是 ASTM D1435 标准的室外耐候性的测试报告。曝露架倾斜 45° 在美国南部测得。表中列出了各种热塑性塑料的耐候特征。更说明了紫外线稳定剂的作用。光稳定剂或称 UV 稳定剂是能够抑制塑料光老化的添加剂。主要有光屏蔽剂和紫外线吸收剂二种。塑料中添加炭黑作为光屏蔽剂，可使紫外线能量转变成热能，且成本低廉。倘若室外使用塑料件可以不用黑色，则可用白色颜料和无机颜料起光反射作用。同时添加紫外线吸收剂，使塑料避免与紫外线直接作用，保护了塑料件。

表 1-7 各种塑料的室外耐候性

塑料材料	UV 稳定剂	曝露日	拉伸强度变化/%	断裂伸长率变化/%	可视变化
聚甲醛	有	3650	-3	-24	失去光泽
聚甲基丙烯酸甲酯	有	1825	-16	-36	微黄
乙酸丁酸纤维素	有	1277	-8	-2	无
全氟(乙烯-丙烯)共聚物	无	5475	0	0	无
聚酰胺 66	无	1825	-68	-98	—
聚酰胺 66	有	1825	-11	-78	—
聚酰胺 12	有	730	+5	-9	微黄
聚酰胺-酰亚胺	无	250	0	-7	无
聚对苯二甲酸丁二醇酯	无	1825	-50	-47	—
聚对苯二甲酸丁二醇酯	有	1825	-3	-20	—
高密度聚乙烯	有	1826	+6	-90	失去光泽
高密度聚乙烯	黑色	3652	-8	-22	失去光泽
聚丙烯	有	365	-24	-22	—

续表

塑料材料	UV 稳定剂	曝露日	拉伸强度变化/%	断裂伸长率变化/%	可视变化
聚氨酯	黑色	1490	-25	+2	—
苯乙烯-丙烯腈共聚物	有	240	+2	-10	失去光泽
未增塑聚氯乙烯	有	720	-8	-12	灰色
未增塑聚氯乙烯	无	720	-5	-8	无
聚碳酸酯	有	1095	-1	-83	发黄

为了测试紫外线稳定剂的作用，国外有实验室加速试验方法。ASTM D1499 对照 ISO 4892 是用碳弧灯和水的耐候试验标准。ASTM D2565 对应 ISO 4892 是用氙弧灯和水的耐候试验标准。

### 1.2.7 光学性能

在未着色时部分塑料如聚甲基丙烯酸甲酯、聚苯乙烯、聚碳酸酯和苯乙烯/丙烯腈共聚物等是透明材料。大部分塑料是半透明材料，如聚乙烯、聚丙烯、聚氨酯、聚甲醛、聚酰胺和酚醛树脂等。当它们为薄膜制品时又具有透明性。总透光率  $T_t$  是可见光透过材料的光通量  $T_o$  与入射光通量  $T_i$  之比：

$$T_t = \frac{T_o}{T_i} \quad (1-6)$$

但光线在材料中通过时有角度偏离的散射现象。定义透明塑料的最大偏离角度为  $2.5^\circ$ 。这部分偏离的透射光通量  $T_s$ ，与入射光  $T_i$  之比称为扩散透光率  $T_d$ 。 $T_d$  说明了材料的散射特性。扩散透光率  $T_d$  与总透光率  $T_t$  之比称为雾度  $h_a$ 。

$$h_a = \frac{T_d}{T_t} \quad (1-7)$$

总透光率大且雾度小的塑料才是透明度好的材料。表 1-8 所列各种塑料的总透光率  $T_t$  和雾度  $h_a$ ，是由美国标准 ASTM D1003 测得。高度无定形聚合物是透明的。结晶型聚合物的散射现象减小了透光率，产生如雾般的模糊。对透光塑料玻璃和光学塑料透镜，要求透光率高且雾度小。对于透明的塑料涂料，也应该有最大透光率和最小雾度。

表 1-8

一些塑料的光学性能

塑料材料	透光率 $T_t$ / %	雾度 $h_a$ / %	折射率 $n_D$	阳光影响
ABS	85	10	1.54	—
聚甲基丙烯酸甲酯	92	1~8	1.49	无
乙酸丁酸纤维素	90	1	1.47	无
环氧树脂	96	1	1.53	无
聚碳酸酯	85	1~3	1.59	稍黄
聚对苯二甲酸乙二醇酯	85	1.5	1.64	发黄
聚偏二氯乙烯	80	—	1.42	无
聚苯乙烯	88	3	1.59	发黄
聚氯乙烯	80	—	1.53	稍黄
离子交联聚合物	85	3~17	1.51	稍黄
苯乙烯-丙烯腈共聚物	88	3	1.57	稍黄
普通玻璃	99	—	1.52	无

照明灯罩要求有高的透光率 但雾度要高 以消除光源的眩目。结晶型聚合物添加成核剂如硅粉 可使晶粒细化均匀减少光的散射 使薄膜的雾度下降。

光线通过透明材料时产生的偏折现象，是由于光在不同介质中传播速度不同所引起的。透明材料的折射率，定义为光在真空中传播速度与光在该材料中传播速度之比。折射率  $n_D$  在数值上可表述为入射角  $i$  的正弦与折射角  $r$  的正弦之比。

$$n_D = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (1-8)$$

实验时用专门波长的钠光测得  $n_{D\lambda}$  表 1-8 所列  $n_D$  是按 ASTM D1746 标准测得。较大的折射率会使光学透镜中光线偏离，造成图像失真。聚甲基丙烯酸甲酯的折射率小于普通无机玻璃，与光学无机玻璃折射率相近。

折射率大于 1 的任何透明材料，当光线从材料内向空气中折射时，入射角大于某个临界角度时，光线不能折射到空气而全部被内部反射。将透明塑料聚甲基丙烯酸甲酯或聚苯乙烯等制成细丝 呈弯折状态 可使光线沿细丝长距离传递。此种‘光管效应’现已用于光导纤维。单根塑料纤维细径  $10\sim 20\mu\text{m}$ ，用来传递电子信息或直接制成医用窥视潜镜。就是用无机玻璃制造的光导纤维也在外层被覆透明塑料，以起防振和保护作用。

透明塑料与无机硅玻璃相比，质轻、耐冲击，容易着色和加工。制造平板或略弯的透明塑料板成本较低。所以大量用来制造安全防爆的透明制品，如汽车上前后车灯。透明塑料着色或涂上荧光材料，制造反射亮度高的各种信号制品，应用也很多。

但是透明塑料不耐磨，易刻划痕迹。制品的尺寸稳定性差。不耐高温和低温，耐候性差。有的塑料在阳光下会泛黄。

光学塑料材料近年来经改性、共聚，有不少新品种推出。如改性的聚丙烯酸塑料、苯乙烯/甲基丙烯酸甲酯共聚物 醚砜/苯乙烯共聚物等 用来制造激光器材、透明镜片和隐形眼镜片等。

## 1.2.8 硬 度

硬度是材料对一定形状硬物压入的阻抗能力。对于完全结晶的金属，其硬度和材料的塑性与材料表面的耐磨性有较好的必然联系。而对于塑料与橡胶，由于微观结构的复杂性和具有粘弹性，以上的关系有较大近似。由于硬度测量方便，它作为塑料和橡胶材料及其制品的一项综合机械性能，用来比较材料和检验质量。

### a. 邵氏硬度

使用邵氏 (Shore) 硬度计 将规定形状的压针在弹簧压力下压入试样 把压针压入试样的深度转换为邵氏硬度值。邵氏硬度分为邵氏 A 和邵氏 D。邵氏 A 的压针尖端有个直径  $0.79\text{mm}$  的微小平面，适用于较软的塑料和橡胶。邵氏 D 适用于较硬的塑料。它也被称为肖氏硬度或压印 (Indentation) 硬度。我国有 GB 2411—80《塑料邵氏硬度试验方法》。

### b. 球压痕硬度和洛氏硬度

我国有 GB 3398—82《塑料球压痕硬度试验方法》。它是参考国际标准 ISO 3039—79《塑料和硬橡胶——球压痕硬度》制定的。球压痕硬度是指以规定直径的钢球，在试验负