

# 第一章 废旧塑料的来源

塑料，尤其是热塑性塑料，在合成、成型加工、流通与消费等每一个环节都会产生废料或废弃制品，统称为“塑料废弃物”，其中绝大多数产生于消费使用过程中，而且尤以包装材料、农膜及一次性用品的废弃量为最大。本章将介绍废旧塑料的来源，简述各个环节的废弃物是如何产生的；废旧塑料的回收及其再资源化，形成闭合循环体系。

## 第一节 废旧塑料的产生

塑料从树脂合成、成型加工到消费使用，涉及的范围很广，所以其来源也很复杂。一般把合成、加工时产生的塑料废料叫消费前塑料废料或工业生产塑料废料（Preconsumer or Industrial Plastics Waste）；而把消费使用后的塑料废弃物称之为消费后塑料废料（Postconsumer Plastics）。消费前塑料废料产生的量相对较少，易于回收且回收价值大，所以一般其回收工作由生产工厂自己即可完成。我们通常所说的废旧塑料，主要是指消费后塑料，这也是本书的重点。

### 一、树脂生产中产生的废料

在树脂生产中产生的废料包括以下三方面：

(1) 聚合过程中反应釜内壁上刮削下来的贴附料（俗称“锅巴”）以及不合格反应料。

(2) 配混过程中挤出机的清机废料以及不合格配混料。

(3) 运输、贮存过程中的落地料等。

废料的多少取决于聚合反应的复杂性，制造工序的多少，生产设备及操作的熟练程度等，在各类树脂生产中聚乙烯产生的废料最少，聚氯乙烯产生的废料最多。

## 二、成型加工过程中产生的废料

在塑料的各种成型加工中均会产生数量不等的废品、等外品和边角料。如注射成型中的流道冷料、浇口冷固料、清机废料等；挤出成型中的清机废料，修边料和最终产品上的截断料等；吹塑过程中的吹塑机上的截坯口，设备中的冷固料和清机废料以及中空容器的飞边等（生产带把瓶子时其截坯口废料率可达 40%）；压延加工中从混炼机、压延机上掉落的废料、修边料和废制品等；以及滚塑加工中模具分型线上的溢料、去除的边缝料和废品等。

成型加工中所产生的废料量取决于加工工艺、模具和设备等。一般说来，这种废料再生利用率比较高，它们品种明确，填料量清楚，且污染程度小，性能接近于原始料，预处理工作量小，通常可作为回头料掺入新料之中，并且对制品的性能和质量影响较小。

## 三、配混和再生加工过程中产生的废料

在配混和再生加工过程中产生的废料仅占所有废旧塑料的很小部分，它们是在配混设备清机时的废料和不正常运行情况下出的次品，其中大部分为可回收性废旧塑料。

#### 四、二次加工中产生的废料

二次加工通常是将从成型加工厂购买来的塑料半成品经转印、封口、热成型、机械加工等加工制成成品，这里产生的废料往往要比成型加工厂产生的废料更加难以处理。如经印刷、电镀等处理后的废品，要将其印刷层、电镀层去除的难度和成本都很大，而直接粉碎或造粒得到的回收料，其价值则要低得多。经热成型、机械切削加工而产生的废边、废粒，回收再生就比较容易，且回收料的价值也较高。

#### 五、消费后塑料废料

这类废旧塑料来源广，使用情况复杂，必须经过处理才能回收再用。这类废弃物包括：

- (1) 化学工业中使用过的袋、桶等；
- (2) 纺织工业中的容器、废人造纤维丝等；
- (3) 家电行业中的包装材料、泡沫防震垫等；
- (4) 建筑行业中的建材、管材等；
- (5) 罐装工业中的收缩膜、拉伸膜等；
- (6) 食品加工中的周转箱、蛋托等；
- (7) 农业中的地膜、大棚膜、化肥袋等；
- (8) 渔业中的渔网、浮球等；
- (9) 报废车辆上拆卸下来的保险杠、燃油箱、蓄电池箱等。

#### 六、城市生活垃圾中的废旧塑料

这类废旧塑料也属于消费后塑料，由于其数量大，回收利用困难，已对环境构成严重威胁，是今后回收工作的重点，所以将其单独归类。城市生活垃圾中废旧塑料约占2%~4%，其

中大部分是一次性的包装材料。它们基本上是聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚对苯二甲酸乙二醇酯等，在这些废旧塑料中聚烯烃约占 70%。

生活垃圾中的废旧塑料制品种类很多，它们包括各种包装制品，如瓶类、膜类、罐类等；日用制品，如桶、盆、杯、盘等；玩具饰物，娱乐用品、服装鞋类，捆扎绳，打包带，编织袋，卫生保健用品等。

## 第二节 废旧塑料的分类与回收分级

### 一、废旧塑料的分类

按照废旧塑料的回收性可分为公害性废旧塑料和可回收性废旧塑料两大类。

公害性废旧塑料是指在现有的技术经济条件下无法进行回收再加工的废旧塑料；可回收性废旧塑料是指可以再加工成塑料制品或经过再利用回收其中的化学成分或经焚烧回收能量的废旧塑料。公害性废旧塑料与可回收性废旧塑料，两者没有明确的界限，主要取决于当时社会的经济情况和技术条件。

### 二、废旧塑料的回收分级

可回收性废旧塑料的回收可分为四级：

一级回收是指采用通常的加工方法把可回收的废旧塑料（边角料等）加工成与新料性能相同或相近的产品。

二级回收是指把废旧塑料（边角料等）经一种或多种加工方法加工成性能比新料稍差的产品。

三级回收是指回收废旧塑料中的化学成分，使之成为单体

或燃料。

四级回收是指通过焚烧从废旧塑料中回收能量。

一级和二级回收的加工划分往往是不十分明确的，如酚醛塑料常常被添加到纯化合物中用于生产性能变化很小的同种产品，但酚醛塑料的回收仍被划为二级回收。其原因是可回收性废旧酚醛塑料在与纯化合物的混合中仅仅起填料作用，而其本身并不具备纯化合物的性能。三级和四级回收的划分也存在类似的情况。有些焚化装置采用的是两步处理法，即先热分解废旧塑料，后焚烧热分解产物，虽然是用来回收能源，但由于这些废弃物首先被转化成了单体或化学原料，所以这种两步处理法仍被划分为三级回收。

### 第三节 塑料及其废料的循环利用

#### 一、流向图

塑料产品和所产生废料的流向及循环利用如图 1-1 所示。

#### 二、循环过程

1. 树脂生产厂向成型加工厂和配混厂提供原料，生产中所产生的废料卖给回收工厂或作为二级树脂卖给成型加工厂。

2. 成型加工厂所需的原料有三种途径：由树脂供应商和配混厂提供的新料；由回收工厂提供的回收料（边角料等）；由二次加工厂提供残次品、等外品、下脚料等。

其产品则出售给包装厂、装配公司等用户，加工中产生的废料可在其设备允许的范围内进行回收利用或出售给回收工厂。

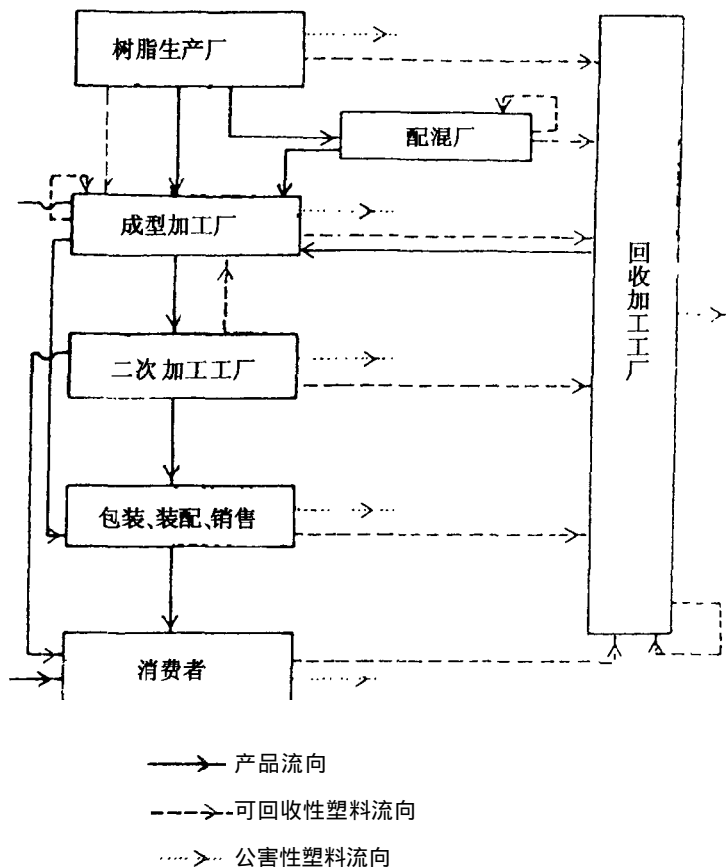


图 1-1 塑料产品及其废料流向

3. 配混厂从树脂生产厂家购得树脂，将它与添加剂配混之后出售给成型加工厂，所产生的废料可在本厂设备中进行再处理或者出售给回收工厂。现在很多成型工厂直接自己配料，如

聚氯乙烯的成型加工厂；而聚烯烃的配料，一般由树脂厂在合成时加入常规的添加剂。

4. 二次加工厂在得到塑料半成品（如塑料薄膜等）之后将它加工为成品（如塑料包装袋等），此处产生的废料提供给成型加工厂或回收工厂。包装厂、装配厂和销售公司从成型加工厂或二次加工厂得到产品，在包装、装配之后出售给用户。

5. 回收工厂从各种工业生产环节中获得的塑料废料，对其进行再加工处理后，出售给成型加工厂，对所产生的少量废料则利用自身设备再回收。

6. 塑料循环网络的最后环节是消费者，由消费者产生的废旧塑料，有一部分收集后提供给回收工厂回收再用，而另一部分，由于回收技术和成本问题，成为公害性废旧塑料，只能作填埋或焚化处理。

### 三、流通体系

塑料从生产、消费到回收再利用的闭合循环如图 1-2 所示。废旧塑料的回收再利用已形成了封闭的流通体系。从封闭的流通体系中我们可以看出，废旧塑料回收后的最基本处理方法就是再生利用和热分解。对于那些质量严重下降而不能再生或经多次循环利用的废弃物，可经热分解使之油化或气化，重新作为原料或燃料回收利用。

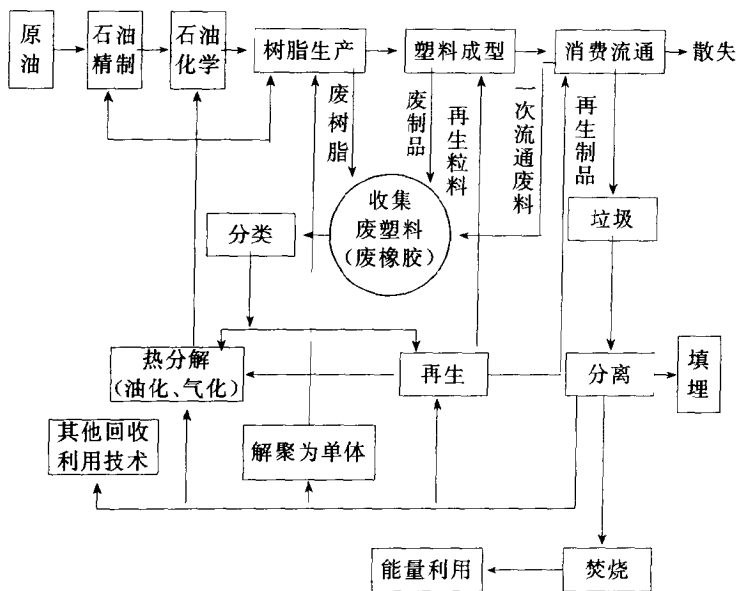


图 1-2 塑料的生产、消费与回收再利用的闭合循环体系

## 第四节 废旧塑料的使用寿命

不同塑料制品的使用寿命是不同的，如包装材料等一般为 1~2 年；家庭用具、衣物鞋类、玩具饰物等为 3~5 年；电器制品、汽车部件等为 6~9 年；而建材、管材等则为 10 年以上。通用塑料产品的使用寿命见表 1-1。

表 1-1 通用塑料产品的使用寿命

种 类		包 装 薄 膜、容 器 等使用 1 ~2 年废 弃 (%)	日 用 杂 货、玩 具 等 3~5 年 废 弃 (%)	集 装 箱、电 汽 车、电 器 制 品 6 ~9 年 废 弃 (%)	管 材、建 电 线、家 具 等 10 年 废 弃 (%)	备 注
热 塑 性	低密度聚乙烯	87	5	2	6	薄膜用量最多
	高密度聚乙烯	32	40	25	3	成型品用量最多
	聚 丙 烯	41	17	32	10	用于成型品和薄膜
	聚 氯 乙 烯	18	10	13	59	多用于管材和板材
	聚 苯 乙 烯	52	10	35	3	主要是日用杂品、 家用电器
热 固 性	酚醛树脂	10	15	47	28	主要是成型品和层 压品
	尿素树脂	2	22	47	26	多用作粘结剂

不同的废旧塑料因其来源、污染程度和混合的品种不同，对它们的处理方法也不同，需根据具体情况选择相应的方法（见表 1-2）。

表 1-2 不同种类塑料的处理方法

原料种类	颜色	处理方法	产 品	备注
PE、PP、PS、PVC、塑料箱、塑料部件（为工业废品，100%为塑料）	单色	分类、密度分离、筛选、风选、粗碎、粉碎、水洗、干燥、轧制、造粒	市售 PE、PP、PS 再生颗粒	附加值最高，处理成本低

续表

原料种类	颜色	处理方法	产 品	备注
PE、PP、PVC、PS、ABS、AS 电线包皮、模制塑料部件、模制屑类、容器（主要为工业废品，混入塑料量在50%以上）	杂色 黑色	风选、分类、粗碎、粉碎、水洗、干燥、熔融成型（螺杆挤出、混合）	电线滚筒、桩、U形槽、棒、板、货架、管材、台架、集装箱、人造鱼礁、箱、底板、薄板、容器、复合再生器	
APP、PE 蜡、聚合等外品、再生废品、容器、工业制品（为城市排放的塑料废品，不含PVC）	杂色	除掉 PVC、粗碎、热分解，焚烧、掩埋	燃料（汽油、碳化物）、热量、化工产品（乙烯、丙烯、苯乙烯单体）	
PVC	杂色	熔融固化后掩埋或成块掩埋		
热固性塑料		以焚烧为主，掩埋		

## 第二章 塑料的标识和鉴别

塑料是一种高分子化合物，每种塑料都有自己独特的分子链结构，即使是用相同单体合成的塑料，由于其分子链结构、长度的不同，产品性能也完全不同，如聚乙烯。除了有特殊的目的需将两种或两种以上的塑料以特定的比例和工艺进行共混改性外，一般不将几种塑料随便地混合在一起使用，因为这样会大大降低其使用价值，甚至会因相容性不好、熔点相差太大等而根本无法加工。所以回收时必须进行鉴别和分离，否则再生利用就无从谈起。

### 第一节 塑料的标识

由于塑料品种及其制品形式的多样性，要快速有效地识别回收废料的种类并不容易。为解决这一问题，早在1988年，美国塑料工业协会（SPI）就发布了一套塑料标识方案，见图2-1。



图 2-1 塑料制品的标识  
缩略符号的含义见附录

该标识中间的数字和下面的单词表示该制品是用何种树脂

制成的，如果制品是由几种不同材料制成的，则标识的是制品的主要的、基本的材料。标识可根据制品的大小，按比例放大和缩小。可直接成型或印刷在制品上，印刷的颜色一般为黑色，也可以是其他醒目的颜色，要求不易褪色或脱落。回收标识的位置一般压在制品的显著位置，如容器（或瓶）的底部或外侧，袋的正面，箱的 4 个侧面等。

这种标识方法已经广为接受和引用，美国、日本等塑料回收工业较发达的国家以法律的形式规定塑料制品生产厂商必须在其产品上标注这种标识码。我国也于 1996 年 12 月制订了与之几乎相同的标识标准。这样做的好处是使塑料品种的识别变得简单而容易，有利于回收厂家使用先进的自动识别和分类技术，从而降低回收成本。

另外美国材料和试验协会（ASTM）、美国汽车工程师协会（SAE）都发布了各自的塑料标识系统，标识的塑料品种更多。

## 第二节 一般鉴别方法

### 一、外观鉴别

一般说来，从塑料的外观特征便可鉴别出陌生塑料制品的所属类别，是热塑性塑料、热固性塑料还是弹性体。

通常的热塑性塑料又分为部分结晶性和无定形两类。结晶性塑料呈半透明、乳浊状或不透明，只有薄膜或薄壁制品呈透明状，硬度从软质到角质；无定形塑料不含添加剂时透明，硬度从硬质到具有橡胶弹性（含增塑剂）。

热固性塑料通常含有填料，因此不透明。

弹性体手感似橡胶弹性，有一定的延伸性。

表 2-1 中列出几种塑料的外观性状。

表 2-1 几种塑料的外观性状

种类	外观性状
聚乙烯	在未着色时呈乳白色半透明，蜡状；用手摸制品有滑腻的感觉，柔而韧；稍能伸长。一般低密度聚乙烯较软，透明度较好；高密度聚乙烯较硬
聚丙烯	在未着色时为白色半透明，蜡状，比聚乙烯轻。透明度也较聚乙烯好，比聚乙烯刚硬
聚苯乙烯	在未着色时透明。制品落地或敲打，有金属似的清脆声，光泽和透明度很好，类似于玻璃，性脆易断裂，用手指甲可以在制品表面划出痕迹。改性聚苯乙烯为不透明
聚氯乙烯	本色为微黄色透明状，有光泽。透明度胜于聚乙烯、聚丙烯，差于聚苯乙烯。随助剂用量不同，分为软、硬聚氯乙烯，软制品柔而韧，手感粘，硬制品的硬度高于低密度聚乙烯，而低于聚丙烯。在屈折处会出现白化现象
聚对苯二甲酸乙二醇酯	透明度很好，强度和韧性优于聚苯乙烯和聚氯乙烯，常为瓶类制品，不易摔破

注：由于加工过程和制品用途的需要，往往添加多种助剂和填料，使其外观性状发生变化，故表中外观性状只说明塑料本身的外观特性。

对于各种塑料薄膜，由于其形状特殊，又具有各种外观特性，如光泽、透明度、挺力和光滑性等，因此，从外观来鉴别塑料薄膜是一种最简便的方法。表 2-2 列出主要塑料薄膜的外观特性。

表 2-2 主要塑料薄膜的外观特性

薄膜品种	外观特性	光泽	透明度	挺括	光滑性
普通玻璃纸		⊙	⊙	⊙	⊙
醋酸纤维素		⊙	⊙	⊙	⊙
低密度聚乙烯		○	△~○	×~△	△
中密度聚乙烯		○	△~○	×~△	△
高密度聚乙烯		△~○	×~○	○	○
乙烯-醋酸乙烯共聚物		○	⊙	×	△
未拉伸聚丙烯		○~⊙	○~⊙	○	△
双向拉伸聚丙烯		⊙	⊙	⊙	○
软质聚氯乙烯		⊙	⊙	×~△	△~○
硬质聚氯乙烯		⊙	⊙	⊙	⊙
聚偏二氯乙烯		⊙	⊙	×~△	×~△
拉伸聚苯乙烯		⊙	⊙	⊙	⊙
聚乙烯醇		⊙	⊙	×~△	×~△
聚酯		⊙	⊙	⊙	⊙
未拉伸尼龙 6		⊙	○~⊙	△	△
双向拉伸尼龙 6		⊙	⊙	⊙	⊙
聚碳酸酯		⊙	⊙	⊙	△~○

注：⊙——优；○——良；△——可；×——劣。

从表中可看出，无色透明，挺括，表面光滑且具有漂亮光泽的有未拉伸聚丙烯、拉伸聚苯乙烯、硬质聚氯乙烯、聚酯、聚碳酸酯和醋酸纤维素薄膜。手感柔软的有软质聚氯乙烯、聚偏二氯乙烯和聚乙烯醇薄膜。介于二者之间的有聚乙烯，双向拉伸聚丙烯和尼龙 6 薄膜。

另外，透明薄膜经过揉搓后变成白色或乳白色的是聚乙烯、聚丙烯和尼龙 6 薄膜。若将薄膜的一端固定后使之振动，如有挠性并发出类似金属响声的则是聚酯、聚碳酸酯和聚苯乙烯薄

膜。两张薄膜重叠时，滑性较差的是聚偏二氯乙烯、软质聚氯乙烯、低密度聚乙烯、乙烯-醋酸乙烯共聚物和尼龙 6 薄膜。

## 二、密度鉴别

塑料的品种不同，其密度也不同，因此人们常用密度测定法来鉴别塑料的品种，并且在废旧塑料回收利用时采用密度分离法将不同品种的塑料废弃物分离。但是，密度只有在一定条件下才能作为塑料的特性指标用于鉴别。因为许多塑料在加工之后，往往带有空隙、微孔或缺陷，而各种添加剂的加入会使塑料的密度变化更大，因此，密度法很少单独用于塑料的鉴别，总是与其他鉴别方法配合使用。密度鉴别简单易行，不污染环境，适合于大批量的废旧塑料粗选。以下是一些常用的塑料密度鉴别方法（表 2-3）。

表 2-3 利用不同密度溶液鉴别塑料

溶液种类	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	配制方法	浮于溶液的塑料	沉于溶液的塑料
水	1.00		聚乙烯 聚丙烯	其他塑料
饱和食盐溶液	1.19 (25℃)	水 74ml 食盐 26g	聚苯乙烯 ABS	聚氯乙烯 有机玻璃
酒精溶液 (58.4%)	0.91 (25℃)	水 100ml 95%酒精 160ml	聚丙烯	聚乙烯
酒精溶液 (55.4%)	0.925 (25℃)	水 100ml 95%酒精 140ml	低密度 聚乙烯	高密度 聚乙烯
氯化钙溶液	1.27	氯化钙（工业用） 100g 水 150ml	聚苯乙烯 有机玻璃 聚乙烯 聚丙烯	聚氯乙烯

采用沉浮法测定塑料的密度范围时必须注意：

1. 试样必须完全被试验液体浸润，且不能在其中溶解或膨胀；
2. 必须排除试样表面的任何微小气泡，否则测定值范围不准确；
3. 废旧薄膜和泡沫制品的鉴别和分选不宜用此法；
4. 添加剂（如炭黑、玻璃纤维或其他填料）会大大影响密度测定。

表 2-4 中列出了主要材料的近似密度，可供塑料鉴别时用。

表 2-4 主要材料的近似密度

密度 (g/cm <sup>3</sup> )	材 料
0.8	硅橡胶 (可用二氧化硅填充到 1.25)
0.85~0.92	聚丙烯
0.89~0.93	低密度聚乙烯
0.91~0.92	聚丁烯-1
0.91~0.93	聚异丁烯
0.92~1.0	天然橡胶
0.94~0.98	高密度聚乙烯
1.01~1.04	尼龙 12
1.03~1.05	尼龙 11
1.04~1.06	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物
1.04~1.08	聚苯乙烯
1.05~1.07	聚苯醚
1.06~1.10	苯乙烯-丙烯腈共聚物
1.07~1.09	尼龙 610
1.12~1.15	尼龙 6
1.13~1.16	尼龙 66
1.1~1.4	环氧树脂，不饱和聚酯树脂
1.14~1.17	聚丙烯腈
1.15~1.25	乙酰丁酸纤维素
1.16~1.20	聚甲基丙烯酸甲酯
1.17~1.20	聚酯酸乙烯酯

续表

密度 ( $\text{g/cm}^3$ )	材 料
1.18~1.24	丙酸纤维素
1.19~1.35	软质聚氯乙烯 (大约含 40%增塑剂)
1.20~1.22	双酚 A 基聚碳酸酯
1.20~1.26	交联聚氨酯
1.26~1.28	苯酚甲醛树脂 (没有填料)
1.21~1.31	聚乙烯醇
1.25~1.35	醋酸纤维素
1.30~1.41	苯酚甲醛树脂 (填充纸、织物)
1.3~1.4	聚氟乙烯
1.34~1.40	赛璐珞
1.38~1.41	聚对苯二甲酸乙二醇酯
1.38~1.41	硬质聚氯乙烯
1.41~1.43	聚亚甲基醚 (聚甲醛)
1.47~1.52	脲-三聚氰胺-甲醛树脂 (加有有机填料)
1.47~1.55	氯化聚氯乙烯
1.5~2.0	酚醛塑料和氨基塑料 (加有无机填料)
1.7~1.8	聚偏二氟乙烯
1.8~2.3	聚酯和环氧树脂 (加有玻璃纤维)
1.86~1.88	聚偏二氯乙烯
2.1~2.2	聚三氟氯乙烯
2.1~2.3	聚四氟乙烯

### 三、溶解性鉴别

将塑料浸于有机溶剂之中，根据它的溶解性可大体鉴别出塑料的种类。

1. 在检验塑料的溶解性时，常用苯、四氢呋喃、二甲基甲酰胺、乙醚、丙酮和甲酸作溶剂。有时也用二氯甲烷、醋酸乙酯、乙醇和水等作溶剂。表 2-5 中汇集了主要塑料在某些溶剂中的溶解性。