

# 废旧塑料回收利用及技术进展

钱伯章

(上海擎督信息科技有限公司 金秋科技传播公司, 上海 200127)

**摘要:** 本文重点评述了 PVC、聚酯、PS、聚烯烃、聚氨酯、聚碳酸酯等各种塑料的回收利用和综合利用技术进展。

**关键词:** 废旧塑料; 回收利用; 技术进展

废旧塑料的回收利用, 是变废为宝和解决生态环境污染的重要途径。它作为一项节约能源、保护环境的措施, 受到世界各国的重视。尤其是一些发达国家, 这方面的开发研究工作起步早, 许多技术已日趋成熟。国外回收利用方法主要包括分类回收、制取单体原材料、生产清洁燃油和用于发电等。一些新的废旧塑料回收利用技术已开发成功并推广应用。

废旧塑料回收途径主要分为两种, 一种是将塑料再生成同一品种的原料或分解成单体, 另一种是将其制成可综合利用的其他原料和能源。

## 1 PVC 回收利用技术

苏威公司在意大利费拉腊投产了世界上第一套回收软 PVC (聚氯乙烯) 树脂装置, 投资 1 060 万欧元的装置, 采用 VinyLoop 批量工艺, 每年可从 1 万 t 废塑料 (大多由 PVC 组成) 再生出 8 500 t PVC。该技术采用甲乙酮混合物在 100~140 °C 和加压下溶解 PVC 及其添加剂。含 PVC 的溶液然后沉淀生成均相的软 PVC。甲乙酮混合物循环使用。该装置的原料主要由电缆绝缘 PVC

组成, 至少 80% 的物料是使用后的废料。该装置由 Vinyl Ferrara 公司运作, 该公司是苏威-巴斯夫 75/25 合资企业 Solvin 公司、索尔维公司 PVC 板材子公司 Adriplast 公司、电缆回收公司 Tecnometal 公司和涂料公司 Valcafex 公司的合资企业。第二套 VinyLoop 装置于 2004 年在法国投运, 该装置特定设计用于回收涂复 PVC 的漆布和织物。

苏威公司和日本神户制钢所联合进入日本 PVC 回收利用业务。神户制钢所也将成为采用苏威 Vinyloop PVC 回收利用工艺的实施者。两家公司将在 2005 年内建设二套能力为 2 万 t/年 Vinyloop 装置, 一套位于日本东部, 另一套位于西部。两家公司将组建合资企业承建二套装置。还有 10 多个其他项目将建设 Vinyloop 装置, 地点包括比利时、加拿大、法国、德国、西班牙和英国。

## 2 聚酯回收利用技术

美国依士曼化学公司 1999 年中期开发的 PET 聚酯废弃塑料回收利用工艺, 将粉末状 PET 聚酯溶解并解聚成单体, 替代用作 PET 生产的原材料。该工艺已在北欧和日本工业化应用。

日本帝人公司开发了从废弃 PET (聚对苯二甲酸乙二醇酯) 瓶回收对苯二甲酸二甲酯 (DMT) 和乙二醇 (EG) 的循环利用工艺。该公司已将现

---

**作者简介:** 钱伯章 (1939—), 男, 教授级高工, 2001 年创立金秋石化科技传播工作室, 从事石油化工技术和经济信息调研和传播工作。获各种各级荣誉奖 70 余项, 出版著作 7 部, 发表论文 800 余篇。

有一套 DMT 装置改成能力为 3 万 t/年循环回收装置。已于 2002 年投运。在该工艺中, PET 瓶先粉碎和清洗, 然后溶解在乙二醇 (EG) 中, 在 EG 沸点和 0.1 MPa 下, PET 解聚为对苯二甲酸双羟基乙二醇酯 (BHET)。过滤除去脏物和添加剂后, BHET 与甲醇在甲醇沸点和 0.1 MPa 下, 通过酯交换反应, 生成 DMT 和 EG。DMT 和 EG 用蒸馏分离, 然后 DMT 再用重结晶提纯, 蒸馏回收 EG。甲醇循环使用。产品纯度均为 99.99%, 循环回收费用相当于常规工艺生产 DMT 和 EG 的费用。DMT 被转化成用于生产瓶级 PET 树脂的纯 PTA (对苯二甲酸)。上述循环回收装置可生产该公司树脂原料的 10%。

PET Pebirth 公司与日本 AIES 公司组建合资企业将回收利用聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 工艺推向工业化。回收利用 2.7 万 t/年废弃 PET 瓶, 于 2003 年在川崎投产。该技术由 AIES 公司和日本洁净化中心 (CJC) 联合开发。产品为高纯度对苯二甲酸双-(2-羟基乙基) 酯 (BHET), 为合成 PET 树脂的中间体。据称, 该方法简化了回收利用过程, 因为另一些方法将废 PET 转化为对苯二甲酸二甲酯 (DMT), DMT 还要再转化为精对苯二甲酸 (PTA) 用于 PET 生产。在该工艺中, 废 PET 瓶被粉碎, 洗涤, 与乙二醇 (EG) 和专用催化剂混合, 在 200~220 °C 下解聚为 BHET, 其产率约为 99.5%。该工艺可与用新鲜原料生产 PET 相竞争。回收处理费用为每千克几美分。

意大利 Equipolymers 公司 (陶氏化学公司控股) 建设工业规模装置, 实现 PET 聚酯树脂的循环回收利用, 于 2006 年在意大利撒丁 (Sardinia) 建成 1 万 t/年装置。采用该技术可将饮料瓶聚酯树脂转化成聚酯原料精对苯二甲酸 (PTA), 然后再与新鲜的 PTA 一起送去生产聚酯树脂。这是该技术在欧洲第一套验证的工业化装置。

日本月岛机械 (TSK) 公司推出回收 PET 聚

酯废料工艺, 该工艺可从废弃 PET 瓶回收高纯度对苯二甲酸 (PTA) 和乙二醇 (EG)。在 TSK 的回收工艺中, PET 树脂碎片在 EG 中 170~185 °C 和 0.1 MPa 下经 40~60 min 与碳酸钠反应, PET 被解聚为 EG 和 PTA, 后者形成对苯二甲酸钠 (NaTP)。因为 NaTP 不溶于 EG, 生成的 EG 用过滤和蒸馏分离后循环使用。NaTP 然后溶解于水中。在稍高于 90 °C 下分两步加入硫酸, 在硫酸钠溶液中得到 PTA 结晶。结晶过滤和洗涤得到纯度大于 99.9% 约 PTA, 硫酸钠回收。

日本科学家开发出一种将废塑料变废为宝的新方法——用微波炉快速分解塑料瓶为乙二醇和对苯二酸。这种新方法的能耗仅为塑料瓶传统分解法的 1/4。新方法首先用机械将塑料瓶切割成碎片, 再向碎片中加入氢氧化钠及酒精类的物质, 使用微波炉加热一分半钟的时间即可。在微波的作用下, 塑料瓶碎片可分解为乙二醇和对苯二酸。乙二醇可用于生产聚酯纤维和防冻剂, 高纯度的对苯二酸能够用来制造油漆和塑料容器。

中科院兰州理化技术研究所推出利用废聚酯生产聚酯多元醇技术。该成果利用工业和生活中废弃的矿泉水瓶、饮料瓶、食用油桶, 以及聚酯厂的废料, 聚酯制品的边角料、废料等材料, 在有机醇类化学品及催化剂作用下, 经化学处理制成聚酯多元醇, 用来生产聚氨酯发泡材料以及塑料、橡胶、涂料、胶粘剂等合成材料的中间体。

华东理工大学 PET 塑料回收及应用项目通过国家科技部的专家验收, 不仅实现了废弃高分子材料的再生利用和塑料二次加工技术的两大创新, 而且对消除“白色”污染起到了积极作用。我国软饮料产量以超过 20% 的年均增长率递增, 其包装用的聚酯 (PET) 瓶需求量也以 18% 的速度增长。据统计, 2005 年约有 140 万 t 各种聚酯瓶被丢弃, 由此造成的污染问题日益严重, 已引起世界范围内的关注。面对大量废弃的聚酯瓶, 如何实现其回收和循环利用已成为一个亟待解决

的社会问题。该新型材料的制备是废弃高分子材料的再生利用和塑料二次加工技术的两大创新。

GE 塑料公司开发了“绿色”途径生产基于聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT) 的树脂和聚碳酸酯 (PC) /PBT 混配物, 据称, 该方法将有助于节能、减少温室气体排放和减少消费后的废物。这类树脂的应用目标是汽车工业, 它可 85% 从聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 废弃瓶生产。这种 PBT 树脂商品名为 Valox iQ, PC/PBT 混配物商品名为 Xenoy iQ, 于 2006 年第 4 季度投入商业化应用。GE 公司专有的工艺可在化学上使废弃聚酯瓶获得再生, 废弃聚酯瓶可来源于世界各地。生产 PBT 的传统工艺是将石油转化为精对苯二甲酸 (PTA) 或对苯二甲酸二甲酯 (DMT), 然后将它们与丁二醇 (BDO) 反应制取 PBT。而 GE 公司则可使废弃的 PET 聚酯瓶在化学上再生, 然后与 BDO 反应, 这样可避免需要另外两种化学品的进料。因为不是一直需要制取这类化学品, 从而可大大减少二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 排放、减少能耗, 并可免除某些消费后的埋地而额外增效。新的工艺可减少 CO<sub>2</sub> 排放至少 1.7 kg/kg 树脂, 并可减少所用的原油数量 8.5 桶/1 000 kg 树脂。如果所有 PBT 都采用 GE 公司 Valox iQ 树脂技术制造, 则每年可减少 140 万 t CO<sub>2</sub> 排放。

### 3 PS 回收利用技术

日本东芝 Kensetsu 公司建设了 1 000 t/年试验装置, 从废弃聚苯乙烯 (PS) 泡沫生产苯乙烯单体。5~10 kg/h 的中型装置取得良好效果。现已将该工艺推向市场。熔融的废 PS 进入管式反应器, 在 500~700 °C 和约 50 mm 汞柱减压下被分解。分解的物料依次进入二座减压蒸馏塔。第一座塔分离较轻组分, 第二座塔去除重质组分, 生产的苯乙烯单体纯度为 99.83%。苯乙烯单体产率为废 PS 的 70% 左右, 剩余 30% 大多为重油, 用于过程加热。据估算, 处理 3 000 t/年 PS 的装

置投资费用约为 300 万美元, 投资偿还期为 2~4 年。

爱尔兰国立大学和德国汉堡大学的研究人员开发了一种工艺, 可将废弃聚苯乙烯 (PS) 转化为可生物降解塑料。采用的两步法途径涉及聚苯乙烯热解为苯乙烯油, 然后再用细菌使油转化为聚羟基脂肪酸酯 (PHA) 可生物降解聚合物, 这种 PHA 可应用于塑料涂层和压敏胶粘剂, 以及医疗领域。Pseudomonas putida CA-3 细菌的应用是成功的关键。研究人员利用微生物, 在一定的供氮条件下使苯乙烯油转化为 PHA, 微生物需要氮气以产生氨基酸。发酶 48 h 后, 这类 Pseudomonas putida CA-3 微生物可从 16 g 苯乙烯油制取 1.6 g 中等链长的 PHA。所得混合物由低聚合分散度的高分子链组成, 适合于生产通用热塑性塑料。已有几家公司从可再生的农业原材料如谷物生产 PHA 类聚合物。ADM 和 Metabolix 公司已计划组建各持股 50% 的合资企业建设生产 PHA 的第一套工业化装置, 该装置初期能力为 5 万 t/年, 采用由 Metabolix 公司开发的专有技术, 使谷物糖类发酵制取 PHA 聚合物。

### 4 聚烯烃回收利用技术

日本石川播磨重工业公司 (IHI) 开发出从含聚乙烯 (PE) 和聚丙烯 (PP) 废塑料中以约 60% 的得率回收石油化学品的高效循环新工艺。该技术以废 PE 和 PP 塑料为原料, 利用一种催化剂将其转化成苯、甲苯、二甲苯 (BTX) 以及氢气的混合物。该公司于 2004 年建成能力为 10 kg/h 的示范装置, 于 2005 年在日本横滨地区进行为期一年的示范运行, 同时将进一步推进该技术的工业化进程。该工艺采用 IHI 公司专有技术的设备分离 PE 和 PP, 然后使其在约 230 °C 下熔融。在热裂解炉中热裂解产生的气体进入催化裂解器, 采用镓硅酸盐催化剂进一步处理气体, 最后将得到的气体分离成氢气、其它气体和 BTX 混合物,

分出的 BTX 可再用作生产塑料、药物或其它石油化学品的原料。在横滨地区工厂的一套 1 kg/h 的装置上验证表明：从 1 kg 废 PE 和 PP 中可回收 600 g BTX，其回收率约为 60%。

日本室兰工业大学应用化学系开发成功由废弃烯烃塑料选择性化学回收低碳烯烃(C<sub>2</sub>~C<sub>5</sub>)的技术。采用硼硅酸盐与中孔的多孔硅石(MCM-41)机械混合的微孔型多孔性复合催化剂进行催化裂解，低碳烯烃收率 75%，比单独使用硼硅酸盐收率可提高 20%以上。反应条件最佳化还可能进一步提高选择性。

## 5 聚氨酯回收利用技术

随着聚氨酯(PU)材料在国民经济中的用途越来越广，用量越来越大，其废弃物的回收再利用也日益受到人们的重视。废旧聚氨酯主要包括生产厂的边角废料、模具溢料，报废汽车、冰箱中的聚氨酯泡沫及弹性体，废旧鞋底和废旧 PU 革、氨纶旧衣物等。当前聚氨酯的回收利用主要有三种方法：物理法、化学法、能源法。物理法已有许多报道和实用技术，该方法回收的 PU 生产的制品性能较差，只适用于低档制品。能源回收是通过将废料焚烧来回收热量，这种方式会造成二次污染，基本不再使用。当物理回收方法受到技术和经济上限制时，就需要采取化学法回收。因此化学法回收聚氨酯一直是化学家们研究的热点和发展方向。聚氨酯的化学回收技术，是指聚氨酯树脂在化学降解剂的作用下，降解成低相对分子质量的成分。由于所用降解剂的不同，化学降解又分许多种类型。不同类型降解剂所得降解产物不同，物化性能及作用也不同，因此可根据使用目的采用相应的降解剂和降解工艺。聚氨酯的降解反应主要有醇解法、氨解法、热解法、碱解法、磷酸酯法等。各种方法都有各自的优缺点，但无论哪种方法，其原理都是将聚氨酯大分子中含有的大量氨基甲酸酯键、酯键、脲基和醚

键等断键，使其形成相对分子质量较小的含聚酯或聚醚多元醇或聚氨酯多元醇及少量胺的液体混合物。聚氨酯的回收利用无疑对环境保护和资源利用有利，开发一种经济可行的回收方法已经成为业界研究的热点。

陶氏化学公司和 Mobius 技术公司在瑞士梅林的陶氏技术开发中心设置了回收利用废旧聚氨酯的示范系统，在 Mobius 技术公司开发的工艺中，将聚氨酯泡沫粉碎成的 50 μm 大小颗粒，混合以多元醇再生产新的泡沫。据称，粉末状废旧泡沫可替代超过 12% 的新的多元醇，从而可节减聚氨酯生产费用。

## 6 聚碳酸酯回收利用技术

日本 Victor 公司与日本先进工业技术研究院(AIST)和日本清洁化中心合作，开发了从废弃光盘(如 CD、CD-ROM、DVD 等)中回收高纯度双酚 A 的工艺。该新工艺使聚碳酸酯(PC)在约 200 °C、2 MPa 下和氮气气氛中分解，以置于环己酮中的碳酸钠为催化剂。60 min 后约 78% 的 PC 分解成粗双酚 A，其中含少量其它酚类。经四步蒸馏后，双酚纯度提高至 99.9%，即：第一步除去溶剂；第二步除去低沸点酚类；第三步除去有机碳酸酯；第四步从重油残留物中分离出双酚 A。反应在小试高压釜中完成。日本清洁化中心进行的模拟试验表明，双酚 A 收率可达 80%，纯度可达 99.9%。

帝人化学公司开发了可完全循环回收利用废聚碳酸酯(PC)树脂新工艺，该工艺采用新的提纯技术，回收和循环利用高纯度双酚 A(BPA)，采用该新技术，预计可使从纯单体制取 BPA 所需能耗降低 66%。从废 PC 回收 BPA 的不同工艺正在日本开发中，它们采用碳酸钠分解 PC 树脂，并用 4 步蒸馏工艺提纯被回收的 BPA，以去除苯酚和其他残余物。而在帝人的工艺中，PC 被强碱在常压和 40~50 °C 下分解，在这种条件下，不

生成副产物,因而生成的单体适宜于制取纯度达99.9%的BPA,它可直接用PC装置生产PC。关键的创新之点在于专有的液相提纯工艺,与蒸馏相比,可大大节约操作费用,BPA总回收率可超过95%。帝人化学公司在日本松山工厂内建设中型装置,处理500~1 000 t/年废弃PC树脂,该装置已于2005年2月投运,该公司并决定于2006年使该工艺推向工业化应用。

## 7 其他塑料回收利用技术

日本松下电器产业公司宣布开发出含溴阻燃剂的塑料回收利用设备,可回收利用报废的电视机壳等原料,回收料的冲击强度等性能基本上不受影响,制造的产品可再次利用该设备回收,总计可以反复回收10次左右。

德国塑料单丝和包装带挤出设备生产厂家Reimotec公司发明了不用相容剂就能把PET/尼龙瓶直接回收和加工成包装带技术。而此前,德国塑料加工厂回收PET/尼龙瓶都必须添加相容剂。这项新技术诀窍在于双螺杆挤出机能把尼龙高度分散成细颗粒。

## 8 综合利用见效显著

废旧塑料的综合利用方面,国外也有很多成功的经验可以借鉴。美国EFD公司开发的专利技术可从混合的废塑料中回收清洁的燃料级柴油,并在澳大利亚和新西兰建设了一批小型装置,每套装置的费用约250万美元,投资偿还期约为1年。

美国燃料加工公司环境燃料开发公司(EFD)开发的专利技术可从混合的废塑料回收清洁的燃料级柴油。废塑料在接近真空条件下,被加热至高于700℃,并喷向催化板块即产生柴油和天然气。EFD公司已在凯尔索建有验证装置,并将该工艺推向商业化。该公司已向澳大利亚Ozmotech公司转让该工艺,用于澳大利亚和

新西兰建设一批小型装置,每套装置的费用约250万美元。该工艺可生产含硫 $10^{-6}$ 的柴油,远低于直馏柴油的含硫量,可用于现有的柴油机而无需改造。7 t的废塑料粗料可回收约7 350 L柴油。

波兰Tokarz公司开发了新的T-Technology工艺过程,已应用于在德国科隆(Cologne)Entsorga的废塑料回收利用设施中。该技术将废弃塑料通过解聚转化为液体燃料或用于制取油品馏分,操作时无需加压。该公司的T-Technology过程是废弃塑料造粒或焚烧的替代方案,因为该工艺过程将废弃塑料重新转化为其原始形式:含有 $C_1\sim C_4$ 链长的气体馏分烃类,这种烃类可进一步在炼油厂加工或以燃料油馏分形式用于家用取暖。除了PE和PP之外,Tokarz公司在Entsorga的加工生产线可处理废弃材料总量中高达25%的其他废弃塑料,并且可处理受高度污染的和质量各异的混合塑料。

据2006年统计,日本废弃塑料组成为:PE 25.8%、PP 21.1%、PS 7.3%、PET 14.7%、PVC 1.4%、PVDC 1.4%、ABS 1.6%。日本已建多处废弃塑料油化处理设施,以札幌塑料油化处理装置为例,废弃塑料先经预处理(破碎、干燥、造粒 $\phi 6\sim 20$  mm大小),油化处理过程:300~350℃下加热熔融,除去PVC中的含氯元素,HCl送至焚烧炉,熔融后在350~400℃下热分解,将热分解气体冷却至100℃生成再生原油。可将9 005 t废塑料产出再生油原料7 935 t,得再生油62%。

今后4年内(2006—2009年),荷兰EnvoSmart技术公司将在欧洲建设31套ThermoFuel系统,将塑料废料转化为低硫柴油燃料。前六套系统将建在德国柏林附近,每年从4.2万t废旧塑料中生产3 800万L柴油,定于2007年年中投运。下一批装置将建在荷兰、波兰、瑞典和捷克。这些装置将由澳大利亚Ozmotech Pty公司提供技术,该公

司基于日本的设计开发了 ThermoFuel 工艺。该系统的效率已得到改进,使其与欧洲的埋地费用相比,更具竞争性。在 ThermoFuel 工艺中,混合的塑料废物在 370~420 °C 下的一个园形室内被连续地高温热解,热解气体然后冷凝为烃类馏出物,它们由直链和支链烷烃、环烷烃和芳烃组成。产生的燃料含硫量低于  $10 \times 10^{-6}$ 。ThermoFuel 工艺尤其适用于处理聚乙烯、聚丙烯和聚苯乙烯。少量(质量分数小于 5%)的其他塑料(如 ABS 树脂、PVC、聚酯和聚氨酯)也可混入。一套 ThermoFuel 装置可从 10 t 塑料废物生产多达 9 500 L 的合成燃料,该系统的能力可达 10~20 t/d。

日本昭和电工公司投资 6 200 万美元建设一套装置,每年以气化 6.4 万 t 废弃塑料来生产合成氨,装置于 2003 年 4 月投产。该装置生产氢气进料提供给 5.8 万 t 年合成氨装置。该项目标志宇部工业公司和 Ebara 公司开发的二段气化法工艺第一次实现商业化应用。粉碎的废弃塑料送入流化床设施,用氧和蒸汽在 600~850 °C 下进行部分氧化气化,产生包括 CO、H<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、焦油和炭黑在内的混合物,第二气化设施在 1 300~1 500 °C 下气化焦油和炭黑。二台气化器均在 0.5~2.0 MPa 下操作。下一步骤将氯以氯化钠方式洗涤除去,CO 转化成 CO<sub>2</sub>,其余的硫以二硫化钠方式除去。

日本 Sanix 公司利用废弃塑料为燃料,在日本苫小牧建设了工业化发电装置,该发电装置每天燃烧 704 t 废弃塑料,外供发电 74 MW。Sanix 公司在日本有 8 套废弃塑料处理设施,来自这些设施的废弃塑料运往苫小牧,切碎成小于 50 mm 的颗粒,送入发电装置的循环流化床锅炉。物料在 850 °C 以上温度下燃烧,发生 400 °C、6.2 MPa 蒸汽驱动蒸汽透平。排气通过石灰和活性炭去除氧化硫和其他污染物。飞灰收集在袋式过滤器内。中试表明,排气含 NO<sub>x</sub> 小于  $200 \times 10^{-6}$ 、SO<sub>x</sub> 小于  $50 \times 10^{-6}$ 、烟尘小于 0.04 gm/m<sup>3</sup>、二噁英小于

0.1 gmTEQ/Nm<sup>3</sup>。

帝斯曼公司开发了一种工艺,可将纸厂废物与回收的废旧塑料相组合,生产粉末燃料,其能量相当于煤炭。该粉末燃料含有高达 60% 的塑料,可高效燃烧,该生产工艺已在荷兰一造纸厂获得验证,现已申请专利。为制取这种粉末燃料,将造纸废物中过量水分压干、切碎和干燥,至水分含量小于 5%。含有塑料和纸料的物料由干燥器送入专用造粒机。塑料在造粒过程中熔融,形成硬性、均一、易贮存的粉末小球,而不会扬尘。这种粉末小球的应用市场包括电厂和水泥炉窑,可用以替代煤炭。

日本神户钢铁公司与 Riken 和 Waseda 大学合作,开发了一种新工艺,可使混合塑料废物中 PVC 选择性地去除氯,从而可使混合塑料废物用作高炉中的焦炭替代物,而不致对高炉耐火衬里造成腐蚀性危害。新技术用微波(2.45 GHz)照射塑料废物,微波被 PVC 选择性地吸收,这样,仅 PVC 被加热到 300 °C 温度,此温度可使 PVC 中氯以 HCl 形式释放出来。HCl 可利用水洗涤回收,并且 HCl 可重复利用,或用石灰中和。用 1.2 KW 微波电力照射约 10 min,就足以使 PVC 树脂中去除约 90% 的氯,处理后塑料废物中的氯的质量分数低于高炉最高允许的 0.5%。

废弃 PVC,尤其是来自建筑工业的废弃 PVC,可望重新用作混凝土的填充剂。意大利的研究表明,建筑工业废弃 PVC 可用于生产轻质混凝土,这种轻质混凝土重量相对较轻,高度隔热和隔音。

日本东芝公司和东京工业大学研制成功环氧树脂再生技术,并已投入使用。环氧树脂广泛应用于变压器、印刷电路板等领域,日本每年在这些方面的用量达 20 万 t,并且还在快速增加。以往变压器、印刷电路板报废后,对其所含的环氧树脂的处理方法主要是掩埋和焚烧。此次研制的

(下转 39 页)

## 小知识

### 如何避免大型橡胶制品产生 “开模裂伤”

在模具分型线处出现裂伤或裂痕,对于大型橡胶制品是容易发生的质量问题。其原因在于,橡胶硫化是放热反应,胶料内部温度上升并超过设定的硫化温度,在高温下胶料膨胀,使模型内产生过剩压力。该压力在硫化初期使上下半模稍稍张开,少量未硫化甚至是初步硫化的胶料会被挤压到两个半模之间。经过一段时间后,模内压力下降,外压又使模具紧紧闭合,但原来被挤出的胶边不能随产品顺利收缩,仍留在半模之间,胶边与产品出现撕裂,这种情况就容易产生“开模裂伤”或“裂痕”。

为了避免制品产生裂伤,通常可采用以下措施:

(1)通过缓压降低模型内部过剩压力或适当降低硫化温度。

(2)少用或不用低挥发性配合剂,避免胶料过度膨胀;增加胶料焦烧时间,延长其流动时间;模型中装胶量不宜过多。

(3)改变加压程序,即在硫化开始时加高压,当胶边形成后,再用低压硫化,使胶边能回缩,这样可以防止两个半模紧紧夹住胶边使其撕裂。

(4)预热胶料,增加流动性,确保边部胶料定型前已充分流动,亦能大大减少开模裂伤。

(5)可把模具设计成类似柱塞的形状,使得模具稍稍张开时,胶料挤不进模口中去,从而杜绝裂伤。

(天津市橡胶工业研究所 王壻供稿)

(上接 17 页)

技术将废弃的环氧树脂破碎、分解、液化,之后加入新环氧树脂使其硬化再生。在分解过程中使用的胺化物作为再生树脂的组分,省去了以往需除去分解剂的过程,同时没有废水产生。此外,该技术不需特殊的装置,处理成本较低。我国是世界第一大环氧树脂浇注变压器生产和消费国,该技术对我国环氧树脂及电子等相关行业的可持续发展具有重要意义。利用该技术生产的再生树脂可广泛应用于涂料、粘合剂,建材市场的应用正在开拓。

## 9 结语

塑料回收再利用市场发展表明,废弃塑料再生利用不单纯是技术和经济问题,需要建立起全社会全方位科学合理的综合回收处理体系,需要政府有关部门和行业协会有效配合制定相关条例

加以保证。培育一些对行业发展有示范作用的规模化企业和规范的加工交易市场应当成为工作重点,特别是要注意回收过程的集中化和处置过程的规范化。

## 参考文献

- [1] 钱伯章.石油化工技术进展与市场分析[M].北京:石油工业出版社,2005.
- [2] Jorber K S.Recycling plastics waste [J].Chemical Engineering, 2003, 110 (8): 19-20.
- [3] Giereer B F.Plastics recycling and use status [J]. Chemical Engineering, 2002, 109 (12): 13.
- [4] Peerty K G.Microwaves zap the Cl from PVC, making it suitable for feeding blast furnace [J].Chemical Engineering, 2003, 110 (9): 19.
- [5] 钱伯章.废旧塑料回收利用技术进展[J].中国化工信息, 2004 (9): A14.
- [6] 福岛 正明.从废弃塑料制取石油产品的再生处理技术[J].Japan Energy Technology Intelligence, 2004, 52 (5): 53-56.