

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.10.009

直立式浸胶法制备环氧树脂涂覆玻璃纤维^{*}

从小晔, 王晓钧, 代宝莹

(南京工业大学材料科学与工程学院, 南京 210009)

摘要:通过直立式浸胶制备环氧树脂(EP)涂覆E-玻璃纤维(E-GF)。直立式浸胶方式和聚醚醚酮(PEEK)挤胶辊的采用使得涂覆E-GF的含胶量、涂覆层均匀程度和拉伸载荷高于沉浸式浸胶和手工浸胶。研究表明,直立式浸胶过程中,稀释剂对样品的含胶量影响最大;胶液的温度对涂覆GF拉伸载荷的影响最大。扫描电子显微镜分析证明直立式浸胶的胶液层均匀,断口照片显示纤维产生平齐断裂,使得涂覆纤维的拉伸载荷提高。傅里叶红外光谱分析证实直立式、沉浸式和手工浸胶三种不同浸胶方式不影响树脂胶液的固化反应,含胶量和涂覆均匀度不同是导致涂覆E-GF拉伸性能存在差异的原因。

关键词:玻璃纤维;浸胶;环氧树脂;拉伸载荷

中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2012)10-0038-05

Glass Fiber Coated with Epoxy Resin Utilizing Up-Right Soaking Glue Technology

Cong Xiaoye, Wang Xiaojun, Dai Baoying

(College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: Up-right soaking glue technology was designed and utilized in this work to manufacture the E-glass fiber (E-GF) coated with epoxy resin (EP). Due to the up-right soaking glue technology and the application of polyetheretherketone (PEEK) roll coater in the process, the gel content, the homogeneity of resin coating layer and the tensile load of the coated E-GF were better than those of the immersion soaking glue technology and the hand-by soaking glue technology. The research results illustrated that the diluent agent exerted a critical influence on gel content and the temperature of resin glue was essential for the tensile load of the coated E-GF respectively. The result of Scanning Electron Microscopy proved that the glue layer on the surface of E-GF was homogenous and the coated E-GF exhibited a level break under the tensile force, which improved the tensile load of the coated E-GF. Through the Fourier-Transfer Infrared investigation, the cross-polymerization of the epoxy resin was proved to be the same for the up-right, immersion and hand-by soaking glue technology. The variation of the gel content and the homogeneity of resin coating layer affected the tensile property of the coated E-GF.

Keywords: glass fiber ; soaking glue technology ; epoxy resin ; tensile load

浸胶是玻璃纤维(GF)增强树脂基复合材料制备过程中的一个重要环节,树脂对GF的浸渍决定了GF的含胶量和浸胶后的力学强度,GF的含胶量及强度影响最终复合材料制品的综合力学性能^[1-2]。E-玻璃纤维(E-GF)浸渍环氧树脂(EP)缠绕由于其高强度、低收缩性、稳定性和高力学强度而广泛应用于火箭发动机外壳、透波复合材料、高压玻璃钢管和助波器等工程材料^[3-11],而浸胶工艺对E-GF浸渍EP缠绕制品性能有重要的影响。

当前的浸胶工艺有手工浸胶和沉浸式浸胶两种,手工浸胶存在着树脂浪费大、含胶量不易控制的问题,使得浸胶后GF的力学性能受到影响。沉浸式浸胶工序是目前应用最广泛的一种浸胶技术,GF

上的含胶量主要由调整胶液黏度和刮胶刀的距离来控制,由于胶液的粘附作用和刮胶刀的存在,使得沉浸式浸胶过程中纤维的表面易受到损伤^[12-14]。

针对当今浸胶工艺中存在的问题,笔者提出采用直立式浸胶制备涂覆GF。以常用的E-51型EP作为树脂胶液,选择成束性好、具有良好力学性能和耐化学药品性能的300,600,900 tex E-GF进行浸胶涂覆,比较手工、沉浸式和直立式三种浸胶方式制备的涂覆GF的含胶量、拉伸性能和胶液在GF表

^{*} 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)、南京工业大学2012-2013实验室开放基金项目(NGDKF201211)

联系人: 王晓钧, 博士, 教授, 主要从事树脂基复合材料应用研究

收稿日期: 2012-08-16

面结合的差异,确定直立式浸胶工艺中涂覆 GF 的含胶量和影响拉伸载荷的决定因素。通过扫描电子显微镜(SEM)、傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)并结合拉伸载荷分析,揭示涂覆 E-GF 拉伸性能差异的本质,探讨胶液在 GF 表面的结合,阐明直立式浸胶法制备 EP 涂覆 GF 的优势所在。

1 实验部分

1.1 原材料

EP : E-51, 双酚 A 型, 无锡树脂厂;

E-GF : 线密度分别为 300, 600, 900 tex, 中国泰山玻纤有限公司;

固化剂二乙烯三胺(DETA): 含量 $\geq 98.0\%$, 上海凌峰化学试剂有限公司;

稀释剂环己酮: 分析纯, 含量 $\geq 99.5\%$, 江苏永华精细化学品有限公司。

1.2 仪器及设备

材料试验机: BTS-ZWICK 型, 最大负荷 40 kN, 精度 0.5 级, 德国 Zwick / Roell 集团;

SEM : JSM-5900 型, 日本 JEOL 公司;

布式旋转型黏度计: LVDV- II +PRO 型, 测量精度 $\pm 1\%$, 测量范围 1 ~ 6M, 美国 Brookfiel 公司;

FTIR 仪: Nexus 670 型, 测试范围为 500 ~ 4000 cm^{-1} , 信噪比 33 400 : 1, 分辨率 0.1 cm^{-1} , 线性度 0.07%, 美国热电公司。

1.3 胶液配置与 E-GF 浸渍

胶液配方中 EP / DETA 为 100 / 10.51 (质量比), 环己酮含量为 5 g, 得到胶液黏度为 820 mPa · s。树脂胶液按照配方配制后, 在 25℃ 下以 100 r / min 的转速搅拌 2 min, 搅拌后加入恒温的浸胶槽中, 将 E-GF 于浸胶槽中浸渍, 经过挤胶辊挤胶后固化。

1.4 性能测试

采用三种浸胶装置分别浸渍线密度为 300, 600, 900 tex 的 E-GF, 根据 ISO 1172-1996 标准, 测试 GF 表面树脂含量;

根据 ISO 9163-2005 (E) 标准, 测试涂覆 GF 的拉伸载荷;

用液氮淬断树脂涂覆的 E-GF, 采用 SEM 观察三种不同线密度的 E-GF 与 EP 的结合状态;

用 KBr 压片法对三种浸胶方式涂覆固化 E-GF 进行 FTIR 测试。

2 结果与讨论

2.1 直立式浸胶装置

直立式浸胶制备 EP 涂覆 GF 的工艺流程如图

1 所示。

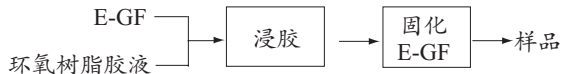


图 1 直立式浸胶制备 EP 涂覆 GF 工艺流程

直立式浸胶装置如图 2 所示, 其特点在于:

(1) 直立式浸胶装置设计有浸胶槽、挤胶辊和张力辊, 而沉浸式浸胶装置有硬质刮胶刀, 手工浸胶中既无张力辊也无刮胶刀, 造成树脂浪费、涂覆纤维的拉伸性能下降。现有的沉浸式浸胶装置中使用钢和硅橡胶挤胶辊。由于硅橡胶辊在挤胶时容易粘连 GF 等杂物形成一层很厚的杂物层, 而钢辊在长期使用过程中会造成表面划伤或硌伤, 造成胶液涂覆不均匀^[15]。直立式浸胶选用 PEEK 作为挤胶辊, 由于 PEEK 材料自身有着高的自润滑性且硬度高于钢, 挤胶辊表面不会粘连 GF 杂物, 在长期使用过程中不会像钢辊那样被 E-GF 摩擦而受到损伤。PEEK 挤胶辊的转速很低, 所以挤胶辊挤胶时只会在胶辊的表面带有胶液, 不会将胶液带出辊外。

(2) 直立式浸胶装置的下方是一个活塞式的防漏胶结构, 浸胶槽下方的纤维入口由活塞控制。纤维在直立式浸胶时, 纤维会带着胶液向上运动, 呈向上喷涌的旋流状态, 这样可以防止胶液的渗漏。

(3) 直立式浸胶装置中纤维向上运动, 有利于纤维表面多余的胶液向下流淌, 并通过浸胶槽上方的挤胶辊控制 GF 的含胶量。

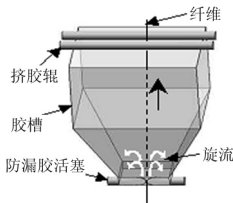


图 2 直立式浸胶装置

2.2 直立式浸胶涂覆 E-GF 的性能和影响

GF 涂覆胶量的高低影响到 GF 的拉伸性能^[16]。实验中对三种浸胶方式涂覆的 E-GF 进行含胶量测试, 测试结果如表 1 所示。直立式浸胶的 GF 含胶量低于手工浸胶和沉浸式浸胶, PEEK 挤胶辊的刮胶效果显著。

表 1 不同浸胶方式和不同线密度涂覆 E-GF 的含胶量

线密度 / tex	手工浸胶 含胶量 / %	沉浸式浸胶 含胶量 / %	直立式浸胶 含胶量 / %
300	49.6	40.5	39.8
600	48.7	41.2	39.1
900	50.6	39.8	38.2

三种浸胶方式制备的 GF 拉伸载荷结果如表 2

所示。表2中的拉伸载荷显示:手工浸胶 GF 的拉伸载荷<沉浸式浸胶 GF 的拉伸载荷<直立式浸胶 GF 的拉伸载荷。

表2 不同浸胶方式涂覆不同线密度 E-GF 的拉伸载荷

线密度 / tex	手工浸胶 拉伸载荷 / N	沉浸式浸胶 拉伸载荷 / N	直立式浸胶 拉伸载荷 / N
300	266.2	238.1	278.3
600	456.7	421.3	536.7
900	683.3	610.6	823.3

影响涂覆 GF 含胶量的因素主要有浸胶速度、稀释剂的含量和胶液的温度,影响涂覆纤维拉伸载荷的因素也是含胶量^[17],笔者选择胶液浸透性适中的 600 tex 纤维进行正交试验,探讨直立式浸胶制备 EP 涂覆 GF 过程中三个因素对含胶量和拉伸载荷的影响。

缠绕工艺中浸胶速度在 100~200 m/min 之间。为了扩展纤维浸胶的速度,实验设计浸胶速度为 80,100,150,200,220 m/min。

不同的胶液温度会影响到胶液的黏度从而影响到胶液进入 E-GF 束的含胶量,当温度在 45℃ 以上时,胶液的放热曲线开始增大,此时的凝胶时间会缩短,影响到 E-GF 的浸胶。所以实验选择胶液温度为 25,30,35,40,45℃。

胶液的黏度影响着 E-GF 的含胶量,而胶液的黏度由稀释剂决定。根据环氧值计算,实验设计胶液的质量比为:EP:固化剂:稀释剂=100:10.51:X (X=0/5/10/15/20),稀释剂最佳用量由试验得到^[18]。

设计 $L_{25}(5^3)$ 正交实验,分析浸胶速度、稀释剂含量和胶液温度三因素对胶液的黏度和涂覆树脂的 E-GF 束的拉伸载荷的影响。根据正交试验中的数据可以得出含胶量在单一因素同水平下的均值 K 和极差 R ,如表3表示。

表3 正交试验的含胶量的均值 K 和极差 R

因素	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	R
浸胶速度	39.6	35.9	35.6	40.4	45.2	9.6
浸胶温度	41.6	34.9	37.4	38.1	42.6	7.7
稀释剂	45.7	41.5	40.0	41.7	33.0	12.7

其中稀释剂对样品含胶量的影响最大,其极差 R 为 12.7,而浸胶温度的影响最小为 7.7。分析认为:当稀释剂用量为 20 g 时,胶液的黏度最低,则此时的胶液更易进入纤维束的内部空隙中,纤维与树脂的均匀分布,使得纤维的拉伸载荷得到升高。由于加入稀释剂,所以含涂覆纤维的含胶量变化不明显。

根据正交试验中的数据分析可以得到拉伸载

荷在单一因素同水平下的均值 K' 和 R' ,如表4所示。胶液的温度对涂覆 GF 拉伸载荷的影响最大,其极差 R' 为 88.1,浸胶速度的影响最小,其极差 R' 为 41.7。分析认为:胶液温度高时凝胶时间缩短,导致在浸胶时胶液易粘附在 E-GF 表面,难以进入到纤维的内部。

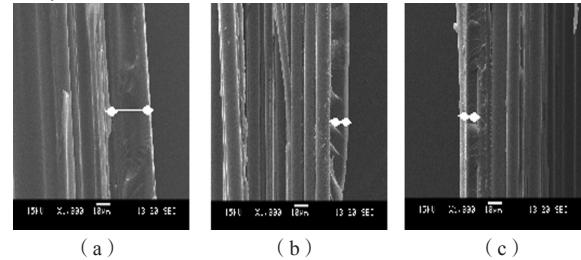
表4 正交实验的拉伸载荷的均值 K' 和极差 R'

因素	K'_1	K'_2	K'_3	K'_4	K'_5	R'
浸胶速度	485.9	449.1	444.2	480.5	473.5	41.7
浸胶温度	432.4	520.5	470.5	448.0	460.3	88.1
稀释剂	429.0	460.6	497.1	504.0	402.2	75.0

从正交试验的含胶量和拉伸载荷两个性能的变化,得出本实验直立式浸胶的最佳涂覆条件:浸胶速度为 150 m/min,浸胶温度为 30℃,稀释剂含量为 20 g,此时涂覆的 E-GF 束固化后的拉伸载荷最大,为 568.3 N,含胶量为 37.2%。

2.3 含胶量与拉伸载荷变化的分析

采用 SEM 对三种浸胶方式涂覆胶液的 E-GF 的剖面微观形貌进行了分析,如图3所示。图3a是手工浸胶的纤维的剖面,胶液厚度达到 31.4 μm ,图3b是沉浸式浸胶的纤维的剖面,胶液厚度为 14.5 μm ,由于沉浸式浸胶中使用了刮胶刀,纤维表面树脂涂层不平滑。图3c是直立式浸胶涂覆的 E-GF 束剖面图,从图中可以看出 GF 表面的胶液厚度为 14.5 μm 且表面平整,对 GF 无损伤。



a—手工浸胶;b—沉浸式浸胶;c—直立式浸胶

图3 不同浸胶方式涂覆 E-GF 的剖面 SEM 照片

涂覆方式也对涂覆纤维束断裂受力产生影响。手工浸胶过程中,由于缺少刮胶装置使得涂覆 GF 束在固化过程中出现树脂含胶量高,GF 束表面的胶液涂覆不均匀,在受力时出现应力在纤维上分布不均匀,集中的应力会使 GF 与 EP 的基体间的化学键断裂,在涂覆纤维束内部产生裂纹,加快涂覆 GF 材料的破坏。采用手工浸胶和直立式浸胶方式 EP 涂覆 GF 束的拉伸断裂图如图4所示。手工浸胶涂覆 GF 束的拉伸断裂状态如图4a所示,GF 束呈现不平整断裂,这是涂覆 GF 束表面涂覆胶液不均匀的结果,涂覆 GF 束的拉伸载荷相应低。



a—手工浸胶方式;b—直立式浸胶方式

图4 不同浸胶方式EP涂覆GF的拉伸断裂图

直立式浸胶由于采用PEEK挤胶辊,使得E-GF表面的胶液涂覆均匀且避免了纤维的损伤,在受力时应力分布均匀,形成如图4b所示的纤维整齐断裂现象,没有手工浸胶涂覆GF束毛刺状的断裂现象出现,涂覆后E-GF的拉伸载荷高于手工浸胶涂覆GF束的拉伸载荷。因此,除了GF含胶量的高低直接影响到GF的拉伸性能外,薄而均匀的树脂涂层是传递和分散外应力、提高涂覆GF力学性能的原因。

EP与固化剂的反应方程式如图5所示^[18]。方程式显示胶液的固化反应过程与施胶的形式无关。采用FTIR对三种浸胶方式制得的涂覆E-GF束进行红外分析,如图6所示。

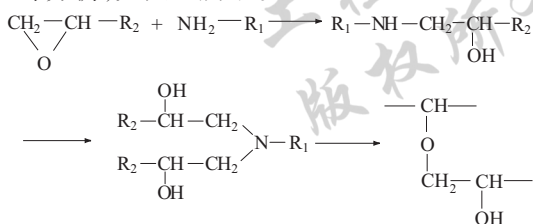


图5 EP与固化剂反应方程式

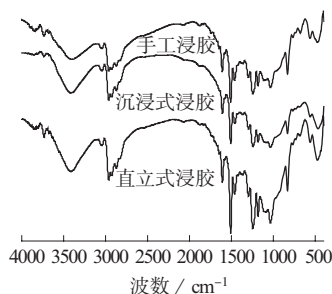


图6 三种浸胶方式涂覆E-GF的FTIR谱图

三种不同浸胶方式涂覆胶液的E-GF的红外吸收基团没有变化,证实三种浸胶方式不存在化学结合的差异,三种浸胶方式的差异是涂覆方式的不同导致含胶量和涂覆均匀度不同,进而导致涂覆GF拉伸性能存在差异。

3 结论

(1) 直立式浸胶方式涂覆GF效果优于沉浸式

和手工浸胶的浸胶方式,PEEK挤胶辊的刮胶效果优于硅橡胶辊和钢辊,直立式浸胶是值得推广应用的浸胶方式。

(2) 在直立式浸胶过程中,相对于浸胶时间和浸胶的速度,胶液的黏度稀释剂对样品的含胶量影响最大,极差 R 为12.7;胶液的温度对涂覆GF拉伸载荷的影响最大,极差为88.1。实验得到直立式浸胶制备EP涂覆600 tex E-GF的最佳工艺条件为:浸胶速度为150 m/min,浸胶温度为30℃,稀释剂含量为20 g,此时涂覆的E-GF束固化后的拉伸载荷达到568.3 N,含胶量为37.2%。

(3) SEM分析证明,直立式浸胶的胶液层均匀,胶液涂覆层的厚度为14.5 μm ,且GF表面胶液层平整。GF由于均匀涂覆胶液,在受力时纤维产生整齐断裂,使得涂覆纤维的拉伸载荷提高。FTIR分析证实三种不同浸胶方式不影响树脂胶液的交联固化反应,含胶量和涂覆均匀度不同是导致涂覆GF拉伸性能存在差异的原因。

参考文献

- [1] 郁成岩,李辅安,王晓洁,等.纤维缠绕工艺浸胶技术研究进展[J].玻璃钢/复合材料,2010,5:84-88.
- [2] Ledjane L S, Verônica M A C, Fernando L B. Development and characterization of composite materials for production of composite risers by filament winding [J]. Materials Research, 2011, 14 (30): 287-298.
- [3] 张显友,韩焕梅,陈平,等.硅灰石短纤维-玻璃纤维-环氧树脂增强体系性能的研究[J].复合材料学报,1997,14(2):17-22.
- [4] 韦玮,程光旭,张东山.玻璃纤维增强环氧树脂单向复合材料的研究[J].西安交通大学学报,1999,33(8):108-110.
- [5] 刘凯,陈斌,戴剑雄,等.环境因素对玻璃纤维增强环氧树脂基透波复合材料性能的影响[J].工程塑料应用,2010,38(10):64-67.
- [6] 肯尼斯J. 奥斯瓦尔德. 环氧树脂玻璃钢管道在油田运行25年的使用效果[J]. 石油工程建设,1997,23(5):7-9.
- [7] 廖子龙,乌云其其格. 环氧树脂/玻璃纤维复合材料性能研究与应用[J]. 工程塑料应用,2008,36(9):47-50.
- [8] Pechyen C, Atong D, Aht-ong D. Effect of additives on mechanical properties and photo-stability of filament-wound glass fiber reinforced epoxy pipes [J]. Polymers & Polymer Composites, 2011, 19 (2-3): 161-169.
- [9] Zhou W Y, Qi S H, Ai T, et al. Toughened epoxy resin matrix for a membrane shell by wet filament winding [J]. Journal of Applied Polymer Science, 2009, 111: 255-263.
- [10] Shivamurthy B, Siddaramaiah, Prabhuswamy M S. Design, fabrication, and testing of epoxy/glass-reinforced pressure vessel for high-pressure gas storage [J]. Journal of Reinforced Plastics

- and Composites, 2010, 29 (15) : 2379-2386.
- [11] Abdalla F H, Sapuan S M, Hamdan M M, et al. Internal pressure carrying capacity for different loading modes of filament-wound pipes from glass fiber-reinforced epoxy composites [J]. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2008, 47 (8) : 802-808.
- [12] Kim C H, Park J H, Kim C, et al. Expert system for process planning of pressure vessel fabrication by deep drawing and ironing [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004 155-156 : 1465-1473.
- [13] 李勇,肖军,邱伟娟,等.高模量碳纤维低损伤一步预浸缠绕技术[J].宇航材料工艺,2002,32 (6) : 19-21.
- [14] Szakaly E D, Lenard J G. The effect of process and material parameters on the coefficient of friction in the flat-die test [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2010, 210 : 868-876.
- [15] 李勇,肖军,张旭坡,等.一种用于纤维缠绕成型的无辊浸胶方法及设备:中国,CN200610039307.8[P].2006-04-05.
- [16] 刘熊亚,谢怀勤.复合材料工艺及设备[M].武汉:武汉理工大学出版社,2008,184-185.
- [17] 高建勋.浅析玻璃纤维缠绕增强塑料含胶量的影响因素[J].玻璃钢/复合材料,2008(增刊):81-82.
- [18] 孙曼灵.环氧树脂原理与技术[M].北京:机械工业出版社,2002.

废水再利用:发电副产品制造塑料

废水处理需要极多的能量。在美国,废水处理每年要耗费相当于四个国家最大的发电厂的产量。

由科瓦利斯市俄勒冈州立大学的刘红领导的一个小组计划用微生物燃料电池来回收污水中的能量,并从每升污水中产生大约 2.87 瓦特的电力。这个差不多是从一个这样的电池中通常消耗的电能的两倍了。

而且该过程的副产品可以用来产生便宜的、可生物降解的塑料。

废水含有巨大的能量,这能量聚集在有机物分子中,但是很难接近它们。俄勒冈燃料电池在那些能正常消化有机物质以产生水的微生物中运行。尽管燃料电池隔绝氧气,但是它能将质子和氧融合形成水,从而转化质子,用正极和负极间的电压把这些质子从微生物中分离出来,创造了电流。

俄勒冈的设计不但可以改变电极中微生物的混合,而且也成功地把更多电极挤进燃料电池中而不是以前的那个版本。刘红说她实验室的目标是在未来的 5 年里按比例放大那个设备,使它更便宜。

污水处理的副产品也可以被利用。工程师正在设法把甲烷转变成可生物降解的塑料。梦想中的塑料将能生物降解、用有机物制造,并能够被轻易分解。目前,聚羟基脂肪酸酯(PHA)似乎是最佳选择。但是 PHA 塑料是用嗜糖的基因修改过的细菌制造的,这个过程既昂贵也复杂,使得它难以和传统塑料竞争。过去,研究人员用废水处理的副产品来生产能量,有时候甚至制造塑料,但最近所有这些努力都集中于沉积物中的“烂泥”、固体垃圾和化学物质。因为烂泥由许多不同的复合物组成,所以产生一种更不稳定的塑料。

因此加州 Mango Materials 的茉莉·摩斯和同事现在在利用用废水处理的另一种主要副产品甲烷。比起把糖变成塑料的典型细菌,甲烷氧化菌是一种以甲烷为食的简单有机物,更擅长转换成聚合物。把甲烷压进一大桶来自废水处理厂本身的甲烷氧化菌内,并混合了冒着泡的氧气气流和一些其他的营养物。结果就得到了一种可以从细菌中分离出来的复合物粉末并聚合成球以塑形成商业塑料产品。

摩斯期望他们的来自污水的塑料能够应用在各种各样

的临时的或一次性的产品上,从包装材料到美丽的产品。

作为公司顾问团的一员,来自加州斯坦福的克雷格·克雷多说,当甲烷自身被当做燃料出售的时候,它首先需要被清洁。然后它会堆积起来达到大约每 3~4 kg 价值 60 到 80 美分,而同样质量的甲烷可以生产 1 kg 的塑料,带来 4 至 5 美元的收益。(慧聪塑料网)

减少包装废弃物已成美国包装企业的一大战略

如今,在美国塑料包装领域,减少包装废弃物、进行产品管理已经被纳入到企业战略中,且已成为包装企业的一大主流。这种转变开始于两年前,现在速度正在加快,也催生了越来越多的从事此项活动的组织。但这些组织在增加材料的回收利用方面采取不同的方法。

“我们打算提高回收利用率,以更大的规模回收材料,同时降低每户的成本。”回收再造组织的执行董事 Paul Gardner 说。该组织刚成立六个月,是一个非营利性组织,资金主要由主张企业责任延伸在国家一级立法的雀巢北美公司提供。

同样,美国的包装与环境研究所也意图提高美国的包装回收率。但该组织是通过自愿性的产品管理力度,以及通过与他人的合作伙伴关系来实现这一目标的。美国包装与环境研究所的执行主任 Joan Pierce 透露道。她也在 Colgate-Palmolive 公司推行包装的可持续性。

美国包装研究所行动的第一步就是在其网站上启用了具有 Web 功能的搜索和产品回收知识地图的互动,该措施允许 30 个成员组织基于数据开展循环计划。

资源回收组织正致力于为食品包装协会今年早些时候成立的一个塑料回收集团提供数据,以在北美鼓励回收使用过的食品塑料包装。食品包装协会也成立了一个废纸回收联盟。

但回收问题仍然存在。一次性的食品包装,由于基础设施和终端市场的有限,通常不会被回收使用。因此,行业需要协同工作,出台一些方案以解决这些挑战。

“现在制约回收利用的唯一障碍是时间。”包装与环境研究所的执行主任 Joan Pierce 说,“这需要 12~15 年的努力,它不会在短期内得到解决。”(慧聪塑料网)