

低密度聚乙烯泡沫塑料研究进展

许佳润¹ 周南桥¹ 晏梦雪¹ 吴清锋^{1,2}

(1. 华南理工大学聚合物新型成型装备国家工程研究中心, 广州 510640;

2. 广东省产品质量监督检验中心顺德基地, 佛山 528300)

摘要 综述了低密度聚乙烯(LDPE)泡沫塑料的研究现状,介绍了共混、交联等改性LDPE泡沫塑料的方法及工艺参数如发泡温度、压力、滞留时间等对LDPE发泡行为的影响,概述了国内外有关LDPE开孔泡沫塑料、LDPE泡沫塑料阻燃性能以及废旧LDPE泡沫塑料回收再利用的研究情况。

关键词 LDPE泡沫塑料 改性 工艺参数 阻燃性能 回收利用

低密度聚乙烯(LDPE)具有优良的物理、化学和力学性能,其韧性、挠曲性和缓冲性能好,具有电绝缘、隔热等性质,广泛应用于包装、化工、建筑等领域。LDPE泡沫塑料是泡沫塑料中应用较广的一种,也是最早成功制得的泡沫塑料之一。早在1941年,美国杜邦公司就用氮气发泡制得了LDPE泡沫塑料,经过几十年的发展,LDPE泡沫塑料已发展成熟,在品种及应用方面实现了多样化,如以发泡倍率可分为高发泡泡沫塑料、低发泡泡沫塑料和微孔泡沫塑料;以形状可分为片材、网状型材和异型材等;以泡孔形态可分为闭孔泡沫塑料和开孔泡沫塑料。随着理论研究的不断深入以及发泡技术的进步,LDPE泡沫塑料在产量和质量方面也有了显著提高,应用领域不断得到扩展。另外,由于资源的有限性和环境保护的重要性,废旧泡沫塑料的回收再利用也日益受到人们的重视。

1 LDPE发泡研究

结晶性聚合物LDPE温度超过熔点后熔体粘度急剧下降,在生产泡沫塑料时,就会导致发泡气体逃逸^[1]。为了包裹住气体,熔体就必须在较宽的加工温度范围内有一定的粘弹性,而结晶性的LDPE适于发泡加工的温度范围非常窄,加工工艺过程比较难控制,因此在发泡时要扩大其加工温度范围,一般采用以下3种方法:①与其它聚合物共混发泡;②辐射交联或加入交联剂使材料产生交联;③添加加工助剂。

1.1 共混改性发泡

共混是许多学者普遍采用的用以改善LDPE的加工温度范围和制品性能的方法。共混不仅能使LDPE较容易发泡成型,而且使材料某些方面的性能得到提高,目前用于与LDPE共混发泡的聚合物主要有聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、(乙烯/乙酸乙烯酯)共聚物(E/VAC)等。

X. Anle^[2]采用PS与LDPE共混,以超临界CO₂作为发泡剂,在双螺杆挤出机上挤出发泡。研究发现,超临界CO₂可以使LDPE/PS两相间的界面张力减小,使分散相的尺寸减小。Zhang Ping等^[3]研究不同PP与不同聚乙烯(PE)共混物的发泡行为,并分析结晶度、熔体强度和泡孔结构三者之间的关系。研究发现,不同共混物的结晶度、熔体强度和泡孔结构有着相似的变化趋势。对于共混物,熔体强度和

PP的熔点随着LDPE含量的增加先升高后降低,PP的结晶度随着LDPE含量的增加先降低后升高。当LDPE质量分数达到30%时,熔体强度和PP熔点达到最大,但是PP的结晶度却最低。可见具有低的PP结晶度和高的熔体强度的共混物具有更宽的发泡温度范围,能得到较好的泡孔结构。另外,与LDPE/均聚PP相比,LDPE/共聚PP具有更高的熔体强度、更好的泡孔结构和更宽的发泡温度范围;LDPE/共聚PP具有最宽的发泡温度范围,这是因为该共混物具有高的熔体强度。C. B. Park等^[4-5]采用LDPE与间规立构PP共混进行挤出发泡成型,制得柔软、尺寸稳定性较好的泡沫塑料,并研究了泡沫塑料结构中的结晶形态。研究表明,随着LDPE含量的增加,开孔率减小,可制得泡孔结构较好的泡沫塑料,因为LDPE分子含有长支链,两者共混以后,熔体强度提高,泡孔合并的现象减少,泡沫塑料性能较好。A. Duijsens等^[6]研究了E/VAC对LDPE/(E/VAC)泡沫塑料力学性能、蠕变性能、热膨胀和热传导性能的影响。结果显示,加入E/VAC可提高泡沫塑料的力学性能,并可根据E/VAC的加入量来控制各项性能指标,随着E/VAC用量的增加,泡沫塑料的热稳定性下降,瞬时弹性、热膨胀率和低温损耗因子提高,因此,在实际生产中可通过调节E/VAC用量来控制泡沫塑料的性能。Georgi Kotzev等^[7]对LDPE/全同立构PP共混物的发泡性能进行了研究,采用质量分数为0.5%的化学发泡剂EPA,利用注射成型法进行实验。研究发现,泡孔形态主要受共混物的组成比、分散相形态以及浇口位置等因素影响;LDPE含量不同时,各个发泡试样的泡孔壁的形态不同。

1.2 交联改性发泡

交联法分为化学交联和辐射交联,辐射交联有较大的优势,其减少了化学交联剂的使用,生产过程较为环保,且交联程度较为均匀,容易控制。采用辐射交联和共混可以更好地改善LDPE的发泡性能。Slqin Dalai等^[8]研究了LDPE/(E/VAC)的混合辐射交联发泡,采用X射线辐射并加热发泡。研究发现,发泡物中的凝胶含量随E/VAC用量的增加而增加,当E/VAC的质量分数为30%时,辐射量为(25 ± 5) kGy

时,发泡物中的凝胶含量比没有加入 E/VAC 时高 1.7 倍,凝胶质量分数可以达到 25%~35%,发泡物的膨胀率为 19%,泡孔直径为 0.175 mm,表观密度为 0.042 g/cm³,拉伸强度为 0.40 MPa,断裂伸长率为 290%~360%。通过共混和辐射交联的方法可制得表观质量良好、物理性能优良的 LDPE 泡沫塑料。王亚珍等^[9]也研究了辐射交联 LDPE/(E/VAC) 发泡片材。随着辐射量的增加,体系的凝胶含量增加,辐射量达到 25 kGy 后,凝胶含量增幅趋缓,可见辐射交联时 25 kGy 可作为生产性能优良的交联 LDPE 的一个临界辐射量。同时,共混加入 E/VAC 的质量分数在 10%~30% 之间对混合体系的辐射交联具有促进作用,有利于制得表观良好、性能优异的泡沫塑料。梁宏斌等^[10]则认为,通过适当提高辐射量,改变发泡温度、发泡时间等因素可制得高发泡倍率的泡沫塑料。实验表明,当辐射量为 30 kGy、发泡剂 4,4'-苯醌二磺酰肼(OBSH)含量为 20 份、发泡温度为 180℃、发泡时间为 3 min 时,可制得发泡倍率约为 30 倍的 PE 泡沫塑料。另一种交联方法是通过加入化学交联剂使 PE 基体交联,通过调整加入交联剂的量控制交联程度,从而制得性能优良的泡沫塑料。Z. Zakaria 等^[11]研究了交联剂浓度、发泡剂浓度和温度对 LDPE 泡沫塑料的结构和力学性能的影响,实验分别在 165、175、185℃ 下进行。结果表明,当交联剂的用量增加时,泡沫塑料的密度增大,凝胶含量也有所提高;当发泡剂偶氮二甲酰胺(ADC)的用量和温度都提高时,泡沫塑料的密度、凝胶含量都下降;当交联剂过氧化二异丙苯(DCP)的用量和温度都提高时,泡孔尺寸降低;当 DCP、ADC 的用量和温度同时提高时,泡沫塑料的吸收冲击能下降,这说明交联剂的加入促使 LDPE 产生交联,泡沫塑料的凝胶含量增加,泡孔密度就会有所增加,泡孔尺寸减小,但由于产生交联后泡沫塑料的孔壁网状结构刚性较好,分子链的弹性较差,所以吸收冲击能下降。研究发现^[12],化学交联剂对 LDPE/(乙烯/丙烯/二烯)共聚物(EPDM)发泡体系的流变行为有重要影响。在采用 DCP 交联剂的 LDPE/EPDM 体系中,熔体的表观粘度和温度敏感性随着 DCP 用量的增加而增大,当 DCP 用量小于 0.4 份时,熔体的表观粘度随着加工温度的升高呈递减趋势,当 DCP 用量大于 0.8 份时,熔体的表观粘度呈现一极大值(170℃左右),在 170~190℃ 时,熔体的表观粘度对温度的敏感性随 DCP 用量的增加而增大,这是因为一方面体系的部分交联作用使熔体表观粘度增加,另一方面气体的增塑作用和升温引起熔体表观粘度下降,所以在设计配方及工艺时要全面考虑好这些因素的影响,以制得较为理想的发泡体。

1.3 填料、助剂以及发泡剂含量对发泡的影响

Y. H. Lee 等^[13-14]分别在使用和不使用 PE-g-MAn 作为偶联剂的情况下,制备了插层型和剥离型 LDPE/纳米蒙脱土复合材料。研究表明,用 CO₂ 作为发泡剂时,达到微孔时的最佳蒙脱土质量分数小于 0.1%,此时微孔泡沫结构的泡孔密度大于 1×10⁹ 个/cm³,泡孔尺寸约为 5 μm。剥离型纳米

复合材料中聚合物和粘土的接触面积较大,提高了异相成核的可能性,剥离型的纳米复合材料有较高的熔体粘度和熔体强度,阻止了气泡进一步塌陷。相对于插层型纳米复合材料,剥离型纳米复合材料具有更小的泡孔尺寸和更大的泡孔密度。S. S. Hwang 等^[15]研究了蒙脱土对 LDPE 的力学性能和热性能的影响。结果表明,采用马来酸接枝的 LDPE 在蒙脱土的质量分数为 5% 时有较好的拉伸强度、耐疲劳强度及发泡特性。蒙脱土使材料的热性能提高,对比纯 LDPE,加入少量的蒙脱土能明显提高拉伸强度和泡孔密度,但泡孔尺寸有所减小,热性能随着蒙脱土用量的增加而提高。加入的蒙脱土有成核作用,成核点的增加使泡孔密度提高,尺寸减小。有机化蒙脱土还能提高材料的力学性能,同时对 LDPE 也起到抗氧化的作用^[16]。J. I. Velasco 等^[17]采用二步模压成型法制备 LDPE/有机改性蒙脱土泡沫塑料。研究发现,当采用质量分数为 7% 的有机改性蒙脱土改性 LDPE 时,发泡材料的力学性能和热稳定性都明显提高,热性能的提高是因为样品中有机改性蒙脱土完全剥离,不管蒙脱土形成插层型还是剥离型都能提高样品的力学性能。木粉作为填料与聚合物共混发泡能更有效地降低材料密度,但可能影响到材料的力学性能,也有学者就此问题进行探讨。盛旭敏等^[18]采用木粉作为填料研究了 LDPE/木粉复合材料的发泡性能。研究发现,木粉用量为 30 份,表面处理剂用量为木粉质量的 1.0% 时,复合材料的综合性能最佳;添加 5 份 ADC 发泡剂进行发泡后,复合材料的密度从 0.83 g/cm³ 降低到 0.52 g/cm³,这说明化学发泡法可有效减轻材料的自重,通过发泡后能更接近木材。

1.4 加工工艺对发泡的影响

在聚合物的发泡成型过程中,不但聚合物本身的性质对发泡效果、产品性能有影响,同时,发泡温度、压力等各种加工工艺也对发泡材料有重要的影响。在采用物理发泡法挤出发泡过程中,影响发泡质量的主要工艺参数有挤出压力、挤出温度、滞留时间、口模轴向压力分布等。发泡材料的泡孔尺寸和泡孔密度随着挤出压力的增加而很快变小,泡孔的数量随着压力的增加而增加^[1]。为了得到较好的泡孔质量,挤出压力必须保证熔体在挤出机内和口模过渡区内压力始终高于发泡压力,直到熔体离开口模过渡区进入发泡减压区为止。挤出温度需根据不同材料做出调整,熔体温度越高,挤出物料本身的熔体强度越低,则泡内的发泡压力可能超过泡沫表面张力所能承受的限度,从而使泡孔破裂,得不到好的发泡质量。在生产 PE 泡沫塑料的过程中常常发生这样的问题,因为在熔点以上的 PE 熔体强度很低,特别是没有经过交联的 PE。物料在挤出机内的滞留时间也影响发泡的最终效果,滞留时间太短则溶解在物料中的气体不多,滞留时间过长则会引起分解,影响成核,使泡孔数量减少,得不到好的泡沫塑料。

刑哲等^[19]研究了发泡温度、发泡压力对 LDPE 微孔塑料的影响。研究发现,当发泡温度升高时,泡孔直径增大,泡

孔密度降低,最佳发泡温度在 100℃左右,温度过高则容易出现泡孔塌陷;饱和压力升高则泡孔直径下降,泡孔密度增大,根据经典的均相成核理论^[20],在聚合物发泡过程中,饱和压力越高,气泡成核能垒越低,聚合物中气泡核密度越大,最终单个气泡的尺寸就越小。H. K. Young^[21]等研究了加工参数与泡孔形态之间的关系,采用 CO₂作为发泡剂对 LDPE/高密度聚乙烯(HDPE)共混物进行发泡。结果表明,在模温较低时,发泡倍率随 LDPE 用量的增加而升高,通过增加螺杆转速或采用突变收缩的螺杆来达到高的压力降速率,可以明显提高发泡倍率。采用臭氧对 LDPE 进行处理,可在 LDPE 大分子链上引入含氧极性基团。研究表明^[22],LDPE 经臭氧官能化处理后与 E/VAC 共混,两者间的相容性更好,所制备的超轻(E/VAC)/LDPE 共混发泡材料的密度进一步降低,综合性能也得到改善。实验表明,当 LDPE 臭氧氧化时间在 40 min 时,(E/VAC)/LDPE(70/30)共混发泡材料的各项性能最优。

2 LDPE 开孔泡沫塑料的研究

LDPE 开孔泡沫塑料具有良好的吸音、缓冲、隔热、导电等性能,广泛应用于空调、冰箱、电子、包装、建筑等行业。P. C. Lee 等^[23-24]用正丁烷、CO₂的混合物作为发泡剂成功生产出高开孔的发泡 LDPE 泡沫塑料,其开孔率达到 100%,泡孔密度大于 1×10^9 个/cm³,加入混合发泡剂后,聚合物的加工温度范围变宽,在 80~110℃时,发泡效果最佳,开孔率达到 100%,这是因为丁烷的混入一方面对熔体有更好的增塑作用,使得开孔更容易;另一方面混入丁烷可减小泡孔壁的厚度,进而使开孔率增加;再者加入丁烷也可以提高膨胀率,所以开孔率提高。C. B. Park 等^[25]研究了用 CO₂作为发泡剂,滑石粉作为成核剂的 LDPE/PS 混合开孔发泡。研究发现,在加入少量交联剂的情况下,共混物的开孔率能达到 99%。通过交联,聚合物基体中产生了软硬不均的区域结构,这促使了泡孔开孔,硬区域充当骨架结构阻止泡孔之间的合并,软相区域由于膨胀率的增加导致孔壁变薄,通过控制温度形成开孔,但是如果温度过高,则可能由于气体的损失使得膨胀率降低^[26],这对增加开孔率不利,所以必须维持一个最佳的温度。研究发现^[27],用模压法制得的新型开孔 LDPE/(E/VAC)混合发泡材料,其泡孔形态与传统聚氨酯开孔材料不同,在 24~50℃测试条件下,新型开孔 LDPE/(E/VAC)混合发泡材料的导热性能比同密度下闭孔材料的略高,而其它力学性能的改变很小,另外,发泡材料的导热性能随着泡孔尺寸的增加而提高,这一点与闭孔泡沫塑料的结论相同。

3 LDPE 泡沫塑料阻燃性能的研究

不同的应用领域对 LDPE 泡沫塑料有不同的要求,如在包装应用方面就要求材料具有优异的缓冲性能、高的发泡倍率以及阻燃性能。因为 PE 极限氧指数很低,仅有 17.4%,且其分子链中只有碳、氢两种元素,所以极容易燃烧,并且随着密度下降,LDPE 泡沫塑料更易燃;特别是工业上 LDPE 泡沫塑料的生产大多是以丁烷作为发泡剂,而丁烷是极易燃的

物质,且在生产过程中往往带有静电,这无疑增加了泡沫塑料在贮存和运输上的危险性,以丁烷作为发泡剂的泡沫塑料生产工厂稍有疏忽,就容易发生火灾,烧毁厂房,带来严重的经济损失和人员伤亡。这大大限制了 LDPE 泡沫塑料在制冷、空调风管、采暖保温等领域作为建筑内饰材料的使用^[28-29]。

承民联等^[30]研究了 LDPE 发泡板材的阻燃性能,并用化学方法控制 LDPE 的氧指数。研究发现,氯化石蜡对氧指数的影响较大,不同阻燃剂的配合使用也能控制氧指数。含卤阻燃剂可以提高 LDPE 泡沫塑料的氧指数,但含卤阻燃剂在燃烧时产生的大量烟雾及含卤的有毒、有害气体造成的二次灾害更危及人们的安全,所以许多学者研究制备了无卤阻燃的 LDPE 塑料。马以正等^[31]在 LDPE/EPDM 共混物中加入三水合氢氧化铝(ATH)和红磷,制得无卤阻燃材料,氧指数达 30%。研究表明^[32],在 LDPE/Mg(OH)₂以质量比 60/40 混合的基础上,加入有机硅、红磷、硬脂酸镁各 5 份,此配方的氧指数达到 33%。这是由于有机硅和碱土金属有机盐反应形成 SiC 陶瓷体的焦化隔离层,阻止了内部塑料与空气中的氧气的接触,抑制了有毒气体的释放和烟雾的生成,从而提高了阻燃、抑烟效果。目前,国外的阻燃材料均以无机体系为主,约占 60%,而在我国,无机体系约占 20%。从发展趋势来看,无卤、低烟、低毒的阻燃 PE 必将取代现在含卤的阻燃 PE^[33]。就环保方面而言,无卤阻燃体系性能远远优于有卤阻燃体系,但目前国内无卤阻燃 PE 的力学性能比有卤阻燃 PE 低。

4 废旧 LDPE 泡沫塑料回收再利用研究

泡沫塑料在很多领域的应用几乎是一次性的,而且大多数泡沫塑料体积庞大、难降解,对环境造成了非常严重的污染,因此合理地回收利用废旧的泡沫塑料是研究人员应该重视的社会问题。对于 LDPE 泡沫塑料而言,非交联 LDPE 泡沫塑料可直接通过挤出和造粒来回收,回收料可与一定量的新聚合物混合来制备新的泡沫塑料,通过采取适当地加工工艺和配方,可使制得的泡沫塑料的性能变化不大。由于交联结构的存在,交联泡沫塑料不容易通过上述方法回收,但可以通过其它方法来回收,如:①粗切的泡沫塑料可用于共混、热模塑法成型,做成屋顶花园的排水衬垫等;②细切的泡沫塑料可用设备压实作为模塑粉料;③回收能量,PE 燃烧时释放的能量是纤维产品燃烧时所放能量的 3 倍,且没有有害的卤素或氮化物释放^[34]。

M. G. Almeida 等^[35]采用废旧的 PE 和 LDPE 进行共混发泡,通过加入质量分数 5% 的 ADC 发泡剂、0.5% 的交联剂、1.7% 氧化锌和 1.7% 的硬脂酸进行实验。研究发现,与纯 LDPE 泡沫塑料相比,加入废旧料的发泡材料的力学性能如压缩强度和撕裂强度等均有所提高,这是因为废旧料中含有比 LDPE 硬度更大的 HDPE,可以通过混合不同比例的废旧料和新原料来制得所需力学性能的产品,但是由于废旧料的不稳定性,所以在应用上仍较为有限。目前国内对于废

旧泡沫塑料的回收技术有很多,如将其切碎再与原料共混加工成型,或制成保湿、隔音隔热建筑材料。范勇等^[36]在LDPE原料中加入废旧PE泡沫塑料进行共混再用于发泡。研究发现,废旧料可以提高共混体系的拉伸强度和弯曲强度,但对加工流动性有所影响,这是由于其含有的交联结构所致,加入的废旧料以不超过40%为宜,加入废旧料一方面可以提高资源的再利用率,降低成本,且不显著影响制品性能,另一方面对环境保护也起到很好的作用。

5 结语

LDPE的加工温度范围较窄,在发泡过程中需要进行改性。许多研究者采用共混、交联改性已经取得了一定的进展,然而要制备出性能优良、使用安全的LDPE泡沫塑料还有一定的难度。材料是一方面的问题,另外加工工艺也严重影响发泡的结果,如发泡剂的选择、发泡温度、时间和压力等工艺参数也影响其发泡效果。要取得良好的发泡效果,就需要将二者结合起来考虑。对于用丁烷作发泡剂生产的高发泡LDPE泡沫塑料而言,可燃性较高是该类泡沫塑料面临的一个严重问题,而用CO₂作为发泡剂来生产高发泡的LDPE泡沫塑料则可排除此类危险性,但又存在难成型、发泡剂逃逸等问题。可以从以下几个方面考虑:①改性基体材料LDPE,研制阻隔性强的共混材料,以提高发泡剂的利用率;②优化工艺条件,以便更好地控制气泡的成核和长大,制备出发泡效果好的材料;③深入理论研究,特别是高发泡的模拟研究,以指导实际生产的需求;④废旧泡沫塑料的回收再利用应受更大的重视。

参考文献

- [1] 吴舜英,等. 泡沫塑料成型[M]. 北京: 化学工业出版社, 1992.
- [2] Anle X. Extrusion of PS/LDPE blends with supercritical carbon dioxide: Morphology, viscosity and interfacial tension[D]. Canada: University of Waterloo, 2002.
- [3] Zhang Ping, et al. Applied Polymer Science, 2007, 104: 4 149 - 4 159.
- [4] Park C B, et al. Polym. Eng Sci, 1996, 36: 2645 - 2662.
- [5] Park C B. Journal of Cellular Plastics, 2002, 38(2): 129 - 138.
- [6] Duijsens A, et al. Appl Polym Sci, 1998, 68: 1237 - 1244.
- [7] Georgi Kotzev, et al. Macromolecular Materials and Engineering, 2007, 29: 2769 - 2779.
- [8] Slqin Dalai, et al. Applied Polymer Science, 1996, 62: 75 - 80.
- [9] 王亚珍,等. 塑料, 2004, 33: 20 - 23.
- [10] 梁宏斌,等. 化学工程师, 2004, 17(6): 6 - 8.
- [11] Zakaria Z, et al. Society of Plastics Engineers, 2009, 15: 120 - 128.
- [12] 杨金才,等. 合成树脂及塑料, 1999, 16(1): 35 - 38.
- [13] Lee Y H, et al. Applied Polymer Science, 2007, 103: 2 129 - 2 134.
- [14] Lee Y H, et al. Society of Plastics Engineers, 2004, 60(2): 2 510 - 2 514.
- [15] Hwang S S, et al. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2009, 36: 471 - 479.
- [16] Yang Zhong, et al. Polymer Engineering and Science, 2007, 47: 1 101 - 1 107.
- [17] Velasco J I, et al. Appl Polym Sci, 2007, 105: 1 658 - 1 667.
- [18] 盛旭敏,等. 塑料工业, 2004, 32(9): 48 - 50.
- [19] 邢哲,等. 辐射研究与辐射工艺学报, 2008, 26(4): 193 - 198.
- [20] Siripurapu S, et al. Macromolecules, 2004, 37(26): 9 872 - 9 879.
- [21] Young H K, et al. Polymer-Plastics Technology and Engineering, 2008, 47(12): 1 283 - 1 288.
- [22] 罗文洲,等. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(9): 154 - 157.
- [23] Lee P C, et al. Applied Polymer Science, 2006, 102: 3 376 - 3 384.
- [24] Lee P C, et al. Polym Eng, 2005, 10: 1445 - 1 450.
- [25] Park C B, et al. Polym Eng, 2005, 25: 239.
- [26] Naguib Hani E, et al. Polymer Engineering and Science, 2002, 42(7): 332 - 340.
- [27] Lainez M A, et al. Polym Sci, 2008, 46: 212 - 221.
- [28] Wang Zhengzhou. Appl Polym Sci, 2001, 81(1): 206 - 214.
- [29] 吴金坤. 化工新型材料, 1997, 25(2): 7.
- [30] 承民联,等. 现代塑料加工应用, 1992, 4(3): 12 - 16.
- [31] 马以正,等. 中国塑料, 1996(10): 45 - 49.
- [32] 郭素华. 塑料, 2004, 33(4): 47 - 49.
- [33] 曾伟丽,等. 化工新型材料, 2001, 29(4): 17 - 19.
- [34] David Eaves. Handbook of Polymer Foams[M]. Rapra Technology Ltd, 2004.
- [35] Almeida M G, et al. Polymer Bulletin, 2007, 59: 677 - 683.
- [36] 范勇,等. 橡塑资源利用, 2008(4): 12 - 15.

RESEARCH PROGRESS OF LOW DENSITY POLYETHYLENE FOAM

Xu Jiarun¹, Zhou Nanqiao¹, Yan Mengxue¹, Wu Qingfeng^{1,2}

(1. National Engineering Research Center of Novel Equipment for Polymer Processing, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong Test Center of Product Quality Supervision, Foshan 528300, China)

ABSTRACT The development of researches on LDPE foam was introduced in this paper. Several measures taken to modify the properties of LDPE foam such as mixing with other polymer, crosslinking were analytically presented and the effects of processing parameters such as foaming temperature, pressure and residence time on LDPE foaming behavior were also interpreted; moreover, studies on LDPE open-cell foam, flame-retardant property and recycling of LDPE foam were summarized.

KEYWORDS LDPE foam, modification, processing parameters, flame-retardant property, recycle