

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.10.007

硅烷交联 POE/PE-LLD 软管材料的制备

宋小辉, 毕婷婷, 王仁杰, 李林, 陈金周, 牛明军

(郑州大学材料科学与工程学院, 郑州 450001)

摘要: 通过硅烷交联两步法, 利用反应挤出原理在单螺杆挤出机上进行硅烷交联乙烯-辛烯共聚物 (POE)/ 线型低密度 PE (PE-LLD) 软管材料的制备; 重点考察了 POE 用量、硅烷偶联剂种类、引发剂用量及交联时间等对 POE/PE-LLD 凝胶率、拉伸强度的影响, 制得了性能优良的软管材料。研究表明, 当 POE/PE-LLD 质量比为 50/50, 硅烷偶联剂 A151、引发剂过氧化二异丙苯、催化剂二月桂酸二丁基锡用量分别为 3%, 0.05%, 0.5%, 交联时间为 12 h 时, 材料的凝胶率达 69.4%, 拉伸强度达 22.8 MPa, 耐老化处理后材料的拉伸强度保持率为 94%, 可应用于耐高温、耐老化软管的生产。

关键词: 乙烯-辛烯共聚物; 线型低密度聚乙烯; 硅烷偶联剂; 两步法

中图分类号: TQ325.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)10-0028-05

Preparation and Properties of Silane Cross-Linked POE/PE-LLD Hose Material

Song Xiaohui, Bi Tingting, Wang Renjie, Li Lin, Chen Jinzhou, Niu Mingjun

(College of Material Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The silane cross-linked POE/PE-LLD hose material was developed on single screw extruder by means of two-steps silane cross-linking and reaction extruding principle. The effects of POE content, silane coupling agent kinds, DCP contents and cross-linking time on the gel content and tensile strength of silane cross-linked POE/PE-LLD hose material were discussed. The modified POE/PE-LLD hose material with excellent integrated function was obtained. The results indicate that when POE/PE-LLD=50/50, the dosage of A151 is 3%, DCP is 0.05% and DBTDL is 0.5%, cross-linking time is 12 h, the gel rate is 69.4%, the tensile strength is up to 22.8 MPa. Moreover, retention of tensile strength is 94% after the aging processing. The material can be used for cross-linked POE/PE-LLD hose, which can withstand high temperature and age.

Keywords: POE; linear low density polyethylene; silane coupling agents; two-steps

目前, 人们使用的热水用软管多为聚氯乙烯 (PVC) 材料, 其在使用过程中存在耐热性和耐老化性差等问题, 且长期使用后会变硬、发脆。

聚乙烯 (PE) 具有优良的耐低温性能, 化学稳定性好, 能耐大多数酸碱的侵蚀, 常温下不溶解, 吸水率极低, 电绝缘性能优良, 是使用广泛的通用塑料。但 PE 对于环境温度较敏感, PE 管硬度大, 力学强度不高, 不能满足某些高温、高压等特殊场合 (如淋浴用热水软管) 的使用要求, 故需要对其进行改性。其中线型低密度 PE (PE-LLD) 具有适中的支化度, 含有较多的短支链, 主链上的叔碳原子较多, 与硅烷具有较高的反应活性^[1-3]。

与 PE 相比, 乙烯-辛烯共聚物 (POE) 分子链具有辛烯柔性链和结晶乙烯链作为物理交联点, 赋予了它优异的韧性和良好的加工性; 其分子结构中没有不饱和双键, 具有优良的耐老化性能; 分子量

分布窄, 具有较好的加工流动性, 且与聚烯烃相容性好, 可改善交联 PE 的硬度及抗老化性能^[4]。

PE 的交联方法主要有 3 种: 过氧化物交联、辐照交联和硅烷交联^[5], 其中以硅烷交联法较优。目前, 关于硅烷交联 PE 的报道相对较多, 且技术也相当成熟; 但用硅烷偶联剂交联 POE/PE-LLD 方面的研究鲜见报道。笔者以硅烷偶联剂对 POE/PE-LLD 进行改性, 以期研制出强度高、硬度可控、综合性能优良的交联 POE/PE-LLD 软管材料, 为 PE 材料的工程塑料化提供科学依据。

1 实验部分

1.1 主要原材料

PE-LLD: DFDA-7042, 中国石油天然气股份

联系人: 牛明军, 高级工程师, 主要研究方向为高分子材料成型工艺

收稿日期: 2014-07-26

有限公司;

POE: 3906-1, 宁波市鄞州博特聚合物新材料有限公司;

过氧化二异丙苯 (DCP): 分析纯, 阿拉丁试剂有限公司;

二月桂酸二丁基锡 (DBTDL): 天津市科密欧化学试剂有限公司;

乙烯基三(β-甲氧乙氧基)硅烷 (A172): 分析纯, 南京道宁化工有限公司;

乙烯基三乙氧基硅烷 (A151)、乙烯基三甲氧基硅烷 (A171): 分析纯, 南京品宁偶联剂有限公司。

1.2 主要设备及仪器

高速混合机: SHR-5A 型, 张家港市瑞达机械制造有限公司;

单螺杆挤出机: SJ-20×25 型, 化工机械研究所;

平板硫化机: XLB-D 型, 上海轻工机械股份有限公司上海第一橡胶机械厂;

超级恒温槽: HWC-51 型, 上海横平仪器仪表厂;

裁片机: CPJ-25 型, 河北承德试验机厂;

微机控制电子万能试验机: CMT5104 型, 深圳市新三思试验设备有限公司。

1.3 原理

两步法制备硅烷偶联剂改性 POE/PE-LLD 中接枝反应和交联反应是独立进行的。

在接枝阶段, 引发剂 DCP 受热分解成具有高活性的初级自由基, 该自由基夺取 POE 和 PE-LLD 分子主链中的氢原子形成 POE 和 PE-LLD 大分子自由基, 该自由基与硅烷中的不饱和双键发生接枝反应。

在交联阶段, 经硅烷偶联剂接枝后的 POE 和 PE-LLD 在催化剂 DBTDL 的作用下进行水解缩合反应形成—Si—O—Si—键, 从而形成三维网状结构的交联 POE/PE-LLD。

1.4 试样制备

硅烷接枝料 (A 料) 的制备: 将预先真空干燥好的 POE, PE-LLD 与引发剂 DCP、硅烷偶联剂等按一定比例在高速混合机中混合均匀, 然后在单螺杆挤出机中进行接枝反应, 挤出造粒制得硅烷接枝料 (A 料)。

催化母料 (B 料) 的制备: 将 POE, PE-LLD 与催化剂 DBTDL 等按一定比例混合, 然后将混合料

挤出、造粒, 制得催化母料 (B 料)。B 料的制备工艺与 A 料相同。

硅烷交联 POE/PE-LLD 的制备: 将 A 料与 B 料按质量比 95:5 粗混后, 投入到挤出机内熔融挤出, 将挤出的熔融混合料 (C 料) 直接在平板硫化机上压片, 在 90℃热水中浸泡 6 h 后取出^[6], 测其凝胶率和拉伸强度, 以后每隔 2 h 测一次。

1.5 性能测试

凝胶率测试: 准确称量 0.2~0.3 g 的交联产物, 将其包入滤纸内, 外包 200 目的丝网, 制成试样包, 称重后放入以二甲苯为溶剂的回流装置中, 回流萃取 12 h, 取出试样包放入烘箱中, 再放入干燥器中冷却至恒重、称量, 凝胶率计算如式 (1) 所示。

$$\text{凝胶率} = \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_0 ——试样质量, g;

m_1 ——试样、滤网等质量, g;

m_2 ——凝胶、滤网等质量, g。

拉伸强度按 GB/T 1040.3-2006 测试, 拉伸速率 200 mm/min, 温度 23℃, 相对湿度 50%。

2 结果与讨论

2.1 POE 含量对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响

为了研究 POE 含量对改性 POE/PE-LLD 凝胶率和拉伸强度的影响, 在其它成分配比一定的条件下 (固定 A151, DCP, DBTL 质量分数分别为 3%, 0.05% 和 0.5%), 选择了 5 种不同配比的 POE/PE-LLD 来比较材料凝胶率和拉伸强度的变化, 结果见表 1。

表 1 不同 POE/PE-LLD 配比下改性材料的凝胶率和拉伸强度

POE/PE-LLD 质量比	凝胶率/%	拉伸强度/MPa
40/60	64.0	21.4
50/50	69.4	22.8
60/40	71.1	20.5
70/30	78.9	19.6
80/20	76.6	17.0

从表 1 可以看出, 随 POE 含量的增加, 改性材料的凝胶率总体呈递增趋势, 说明相同条件下 POE 比 PE-LLD 更易发生接枝和交联反应; 改性材料的拉伸强度总体呈现降低趋势, 这是因为交联后分子链及链段间相互作用力有限, 且外力作用时分子间不可能发生较大的滑移。

研究发现, POE/PE-LLD 质量比超过 70/30 时, 试样经水煮交联处理后出现严重变形, 甚至部分片材出现粘连, 这是由于 POE 含量太高, 导致未交联的挤出材料耐热性过低所致。

通过以上性能测试比较分析,选定 POE/PE-LLD 质量比为 50/50 的配方进行后续实验。

2.2 硅烷偶联剂种类对改性材料凝胶率的影响

为了选择合适的硅烷偶联剂种类,在其它成分配比一定的条件下 (POE/PE-LLD 质量比为 50/50, DCP, DBTDL, 偶联剂质量分数分别为 0.05%, 0.5% 和 3%), 研究了 A151, A171 和 A172 这 3 种硅烷偶联剂对改性材料凝胶率的影响, 结果如表 2 所示。

表 2 硅烷偶联剂种类对改性材料凝胶率的影响 %

硅烷种类	交联前凝胶率	交联后凝胶率
A151	11.7	69.4
A171	88.5	83.8
A172	21.8	21.3

从表 2 可以看出: ①不同烷氧基的硅烷在接枝、交联性能上存在较大差异, 这是因为接枝反应的活性与烷氧取代基的空间位阻效应和电阻效应有关^[7]。②交联后, A171 接枝材料的凝胶率比 A151 高。理论上讲, A151 的位阻效应和超共轭效应均较 A171 大, 在其协同作用下, A151 的接枝率应比 A171 高, 但 A171 水解活性较大, 产生的活性自由基较多, 较易与 POE 和 PE-LLD 发生接枝反应, 故最终材料的凝胶率比 A151 高。虽然其改性的材料凝胶率较高, 但利用 A171 改性时, 因其分解温度较低, 在相同的条件下, 加工过程中预交联严重导致挤出不稳定, 故不宜采用。③ A172 凝胶率交联前后基本不变。从理论上讲, A172 凝胶率应该最大, 但 A172 分子链大, 难以被 PE-LLD 和 POE 吸收, 且其分解温度太高, 在料筒中无法分解形成活性自由基, 从而无法成功制备接枝料, 也不宜采用。综上所述, 优先采用 A151 作为偶联剂, 其预交联程度低、接枝能力强、水解速率适中, 便于控制^[8]。

2.3 硅烷偶联剂用量对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响

固定 POE/PE-LLD 质量比为 50/50, DCP, DBTDL 质量分数分别为 0.05% 和 0.5%, 在其它条件不变时, 改变硅烷偶联剂 A151 用量, 考察其对改性 POE/PE-LLD 凝胶率和拉伸强度的影响, 结果见图 1。由图 1 可以看出: ①当 A151 质量分数小于 3% 时, 体系中的硅烷过少, 接枝不均匀且接枝率较低、形成的交联密度较小, 交联后凝胶率也较低。②随着 A151 用量的增加, 接枝硅烷水解缩合, 交联度增加, 形成更为紧密的三维网状交联结构^[9],

A151 质量分数为 3% 时, 材料的各项性能均满足使用要求。③继续增加 A151 用量, 制品表面起霜且成本增加, 但凝胶率、拉伸强度均变化不大, 趋于恒定。故 A151 的最佳质量分数为 3%。

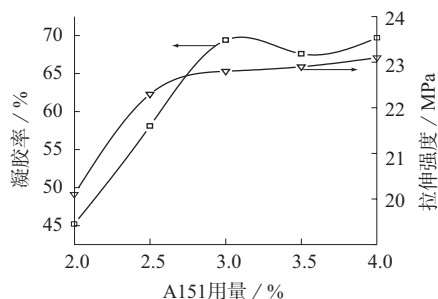


图 1 A151 用量对交联改性材料凝胶率和拉伸强度的影响

2.4 交联时间对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响

固定 POE/PE-LLD 质量比为 50/50, A151, DCP, DBTDL 质量分数分别为 3%, 0.05% 和 0.5%, 其它条件不变, 改变交联时间, 考察其对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响, 结果如图 2 所示。由图 2 可以看出: ①当交联时间小于 10 h 时, 材料的凝胶率和拉伸强度均较低。这是因为交联时间过短, 交联不充分, 交联度达不到要求。②起始阶段水解交联速度较快, 随交联时间增加, 凝胶率较快升高, 12 h 时达到最大值, 随后凝胶率略有下降; 拉伸强度随交联时间的变化趋势跟凝胶率大致相同。这是因为 12 h 时交联反应已经完成, 而材料继续承受高温的蒸煮, 破坏了部分分子链结构^[10]。故热水 (90℃) 最佳交联时间设定为 12 h。

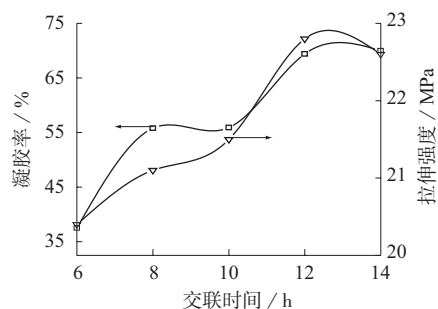


图 2 交联时间对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响

2.5 引发剂用量对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响

固定 POE/PE-LLD 质量比为 50/50, A151, DBTDL 质量分数分别为 3% 和 0.5%, 其它条件不变, 改变 DCP 用量, 考察其对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响, 结果见图 3。由图 3 可以看出: ①当 DCP 质量分数小于 0.05% 时, 硅烷接枝率较低,

形成的交联密度较小。②随 DCP 用量的增加,凝胶率逐渐增大。这是因为 DCP 的分解速度与初始浓度成正比,随着 DCP 浓度的增加,DCP 的分解速度越来越快,因此其引发的自由基浓度增大,提高了硅烷接枝率,交联后凝胶率同步增加。③交联度增加,交联网络越来越密,拉伸强度呈增大趋势^[11]。④当 DCP 质量分数为 0.05% 时,交联网络结构较为完善,材料的各项性能均满足使用要求。继续增加 DCP 用量,凝胶率、拉伸强度均变化不大,趋于恒定,但接枝过程中交联副反应增多,导致预交联程度增加使成型困难且增加成本。因此,综合考虑 DCP 最佳质量分数为 0.05%。

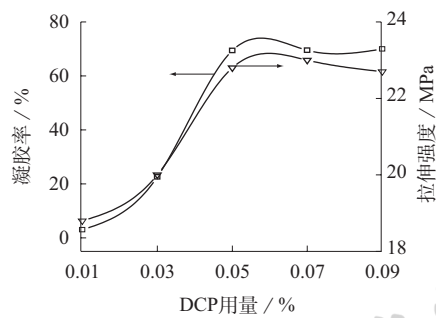


图3 DCP 用量对改性材料凝胶率和拉伸强度的影响

2.6 抗老化性能研究

选择最佳实验配方和工艺(基体树脂 POE/PE-LLD 质量比为 50/50, A151, DCP, DBTDL 质量分数分别为 3%, 0.05% 和 0.5%, 水煮交联时间为 12 h) 制备改性 PE-LLD, 并将其在 100℃ 下恒温 168 h, 常温冷却后测量并对比老化前后拉伸强度变化以评价材料的抗老化性, 结果见表 3。由表 3 可以得出, 老化后, POE/PE-LLD 改性材料拉伸强度保持率高达 94%, 这表明制备的交联 POE/PE-LLD 满足高温条件下长期使用的要求。

表3 老化前后改性材料的拉伸强度

项目	数值
老化前拉伸强度 / MPa	22.75
老化后拉伸强度 / MPa	21.38
拉伸强度保持率 / %	94

3 结论

(1) 硅烷交联 POE/PE-LLD 软管材料的最佳物料配比为: POE/PE-LLD 质量比 50/50; 引发剂 DCP, 催化剂 DBTDL, 硅烷偶联剂 A151 的质量分数分别为 0.05%, 0.5%, 3%; 交联时间为 12 h。

(2) 用最佳配方生产的硅烷交联 POE/PE-LLD 软管材料凝胶率达 69.4%, 拉伸强度为 22.8 MPa, 老化后材料的拉伸强度保持率高达 94%, 符合 CJ/

T 205-2000 的要求^[12]。

(3) 根据上述配方和工艺, 在软管生产线上生产的 $\Phi 10 \times 1.5$ 软管耐压强度达到 12 MPa, 满足耐压强度 ≥ 8 MPa 的使用要求。

参考文献

[1] 龚方红,徐建平,俞强,等.提高硅烷交联 HDPE 凝胶含量的探索[J]. 江苏石油化工学院学报,2000,12(2):4-7.
Gong Fanghong, Xu Jianping, Yu Qiang, et al. The exploration of silane cross-linking HDPE gel content[J]. Journal of Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, 2000, 12(2):4-7.

[2] 左瑞霖,张广成,何宏伟,等.聚乙烯的硅烷交联技术进展[J]. 塑料,2000(6):41.
Zuo Ruilin, Zhang Guangcheng, He Hongwei, et al. The development of silane cross-linked polyethylene technology[J]. Plastic, 2000(6):41.

[3] Shieh Y T, Liu C M. Silane grafting reactions of LDPE, HDPE, and LLDPE[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1999, 74:3 404-3 411.

[4] 张建耀,刘少成,许平,等.EVA 改性硅烷交联聚乙烯绝缘料[J]. 合成树脂及塑料, 2005, 22(4):46-49.
Zhang Jianyao, Liu Shaocheng, Xu Ping, et al. The study of silane cross-linked polyethylene insulation materials modified by EVA[J]. Synthetic Resin and Plastics, 2005, 22(4):46-49.

[5] 刘庆广,王利娜,龚方红.硅烷交联聚烯烃研究进展[J]. 江苏工业学院学报, 2006, 18(3):56-60.
Liu Qingguang, Wang Lina, Gong Fanghong. Advances in silane cross-linking polyolefins[J]. Journal of Jiangsu Polytechnic University, 2006, 18(3):56-60.

[6] 李运德.硅烷交联聚乙烯配方、工艺和专用料研究[D]. 北京:北京化工大学,2002.
Li Yunde. The study of the formulations and processing parameter of silane cross-linked PE specially for pipe and cable[D]. Beijing:University of Chemical Technology, 2002.

[7] 俞强,李锦春,林明德,等.硅烷接枝交联聚乙烯的研究[J]. 高分子材料科学与工程, 1999, 15(4):48-51.
Yu Qiang, Li Jinchun, Lin Mingde, et al. Study on silane grafted and cross-linked polyethylene[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 1999, 15(40):48-51.

[8] 张广成,何庆龙,冯强,等.管材用硅烷交联聚乙烯的研制[J]. 化学建材, 2002:14-16.
Zhang Guangcheng, He Qinglong, Feng Qiang, et al. The development of silane cross-linked polyethylene[J]. Chemical Building Materials, 2002:14-16.

[9] 宋阳,张宇,郑莹莹,等.硅烷交联聚烯烃弹性体的接枝与交联塑料工业, 2013, 41(3):19-22.
Song Yang, Zhang Yu, Zheng Yingying, et al. Study on the grafting and cross-linking of silane cross-linked polyolefin

- elastomer[J]. China Plastics Industry, 2013, 41(3):19-22.
- [10] 李忠明, 张雁, 杨鸣波, 等. 硅烷接枝热水交联聚乙烯共混物的研究[J]. 塑料工业, 1999, 27(6):1-3.
- Li Zhongming, Zhang Yan, Yang Mingbo, et al. Study on hot water cross-linked silane grafted polyethylene blends[J]. China Plastics Industry, 1999, 27(6):1-3.
- [11] 张国强, 金晓丹, 汪根林, 等. 硅烷交联聚烯烃弹性体的改性研究[J]. 中国塑料, 2006, 20(9):19-22.
- Zhang Guoqiang, Jin Xiaodan, Wang Genlin, et al. Study on the modification of silane cross-linked POE[J]. China Plastics, 2006, 20(9):19-22.
- [12] 夏明, 逯翠霞, 宋学和. 硅烷交联聚乙烯电缆料的研制[J]. 当代化工, 2011, 40(8):801-804.
- Xia Ming, Lu Cuixia, Song Xuehe. Development of silicon cross-linked polyethylene cable materials[J]. Contemporary Chemical Industry, 2011, 40(8):801-804.

陶氏聚氨酯结构胶和结构泡沫助力汽车轻量化研究

陶氏汽车系统业务近日与美国南卡罗莱那州克莱姆森市的克莱姆森大学国际汽车研究中心深橙四队展开合作, 共同致力于支持未来汽车设计师及工程师的人才发展, 并进一步推广陶氏汽车系统业务部广泛的轻量化产品组合研发工作。此次合作的成果之一——概念车, 也于近日在密歇根州特拉弗斯城举行的汽车研发管理中心通报研讨会上正式对外界解开面纱。

陶氏汽车系统业务部的 BETAMATE™ 聚氨酯结构胶及 BETAFOAM™ 聚氨酯结构泡沫可为车身设计提供灵活的发挥空间与结构支持, 并能确保轻型材料的紧密粘结。陶氏汽车系统业务的工程师们通过与深橙四队协力合作, 为他们提供汽车轻量化、减重和结构支持等方面的应用建议和专业指导。

深橙四队的项目以宝马 X3 汽车为基础, 希望能为追求性能的 SUV 细分市场客户提供一款多功能的汽车, 可以同时满足他们对一流的车辆性能、人性化的功能、宽敞车内空间以及出色运动性设计的需求。此外, 该项目团队还制定了极具生产效益的生产计划书, 以说明如何在不影响宝马现有生产工序的情况下, 组装出这种低产量的改装车来。

“我们非常高兴能有机会参与到这个项目中来,” 陶氏汽车系统商务车市场的经理 Frank Billotto 表示, “与这些聪明的青年学生共同合作研发前瞻性项目, 并逐一解决概念车开发过程中遇到的各种挑战, 确实是一件非常鼓舞人心的事情。而学生也通过这个项目与汽车及业内专家交流, 增长了他们的实际经验, 这对整个行业的发展都将大有裨益。我们也很期待能与深橙项目组再次合作。”

“陶氏汽车系统业务部的专家为我们提供了宝贵的材料和知识,” 克莱姆森大学国际汽车研究中心国际业务开发主任 Suzanne Dickerson 说道, “他们提供的结构胶和结构泡沫技术帮助小组成员从实际操作层面理解了轻量化问题及相关的解决方案。”

该模型车上半部分并未采用传统的金属部件以及昂贵耗时的压模技术, 取而代之的是采用美国明尼苏达州伊登普雷里 Redeyeon Demand 的 3D 快速成型融积成型 FDM 部件, 即可完成模型车上半部分的整体组装。 (中化网)

沈阳化工茂金属聚乙烯项目开车成功

日前, 沈阳化工全资子公司沈阳石蜡化工有限公司 3 万 t/a 茂金属聚乙烯项目一次开车成功, 产品 100% 合格。使

用结果显示, 该产品各项指标媲美同类进口产品, 可实现替代进口。

茂金属聚乙烯是使用茂金属为聚合催化剂生产出来的聚乙烯, 是一种性能更优异的热塑性塑料, 由美国埃克森美孚化工公司于 1991 年首次合成。在欧美等成熟市场, 茂金属聚乙烯消费在线型低密度聚乙烯中占比达到 22% 以上。2000 年前后, 中国开始成规模使用茂金属聚乙烯, 主要用于农膜、食品包装膜、拉伸缠绕膜等产品的生产。据介绍, 添加 10%~20% 的茂金属聚乙烯, 可以增加塑料制品的强度、透光性、密封性、抗撕裂性等性能。

中国使用茂金属聚乙烯起步虽晚, 但是年均增长率较高。2010 年, 茂金属聚乙烯进口量达到 30 万 t, 在线型低密度聚乙烯中占比达到 5%。目前, 消费量达到 40 万 t 左右。预计未来几年中国市场消费仍将高速增长, 年均增长率将达到 13%。沈阳化工茂金属聚乙烯产品上市销售, 不仅利好下游塑料加工企业, 而且为公司创造了新的利润增长点。

(中证报)

拜耳梦想聚合物项目传佳音

拜耳材料科技利用二氧化碳 (CO₂) 生产塑料的研究项目, 日前取得新成果。在实验室测试中, 拜耳在前驱体阶段加入 CO₂, 进一步显著降低了石油用量。该研究项目旨在利用 CO₂ 代替石油生产塑料, 最新的工艺也扩展了可生产塑料的种类。

在这项名为梦想聚合物的研究项目中, 拜耳材料科技坚持不懈挖掘 CO₂ 的新用途。“现在我们已经成功将生产原料中石油含量降低到了 60%。” 项目经理 Christoph Gürtler 博士说。在梦想聚合物项目所开发的新工艺中, CO₂ 被使用两次。首先, 将温室气体直接与一种新的前驱体混合, 替代 20% 的石油。其次, 利用 CO₂ 生产一种化学物质, 间接加入前驱体中, 再取代 20% 的石油。“因此, 替代原材料的比例就达到了 40%。” Gürtler 补充说。

除此之外, 采用 CO₂ 生产的塑料种类也在不断增加。Gürtler 介绍: “现在也可以通过这种方法生产热塑性聚氨酯、薄膜或者浇注型弹性体。” 这些塑料应用非常广泛, 包括汽车内饰件、线缆护套和滑雪靴等运动器材。

研究人员已经通过实验室测试证明, 这种生产工艺原则上是可行的, 但他补充道, 这种工艺尚未达到商业化生产。

据悉, 梦想聚合物项目得到德国联邦教育研究部的支持。 (中化报)