

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.12.016

螺杆几何参数对强剪切应力挤出机流场的影响^{*}

李峰¹,樊耀¹,王宁¹,王颖²,陈占春¹

(1. 太原理工大学机械工程学院,太原 030024; 2. 太原太航汽车电子有限公司,太原 030006)

摘要:基于 POLYFLOW 软件模拟了聚乙烯熔体在等温状态下采用不同螺杆几何参数对挤出机挤出过程的影响,得到了在不同螺杆参数下挤出机流道的压力和剪切速率分布。结果表明,选取三角形的螺棱形状且在螺棱顶端加工 2 mm 宽的豁口端面能够提高对物料的剪切速率;此外,增加螺棱头数和螺棱升角均可提升剪切速率,从而实现挤出机剪切段的强剪切应力场。

关键词:数值模拟;挤出机;螺杆

中图分类号: TP391.7; TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)12-0070-05

Effects of Screw Geometric Parameters on Flow Fields of Strong Shear Stress Extruder

Li Feng¹, Fan Yao¹, Wang Ning¹, Wang Ying², Chen Zhanchun¹

(1. School of Machinery Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Taiyuan TAICO Auto Electron Co.Ltd., Taiyuan 030006, China)

Abstract: Numerical simulation was used to study the effects of the screw geometric parameters on the extruding performance of extruder. POLYFLOW software was applied to stimulate the process of the isothermal flow fields of PE with different geometric parameters. The pressure fields and the shearing rate fields were obtained. The results show that choosing the triangular shape of screw thread with a fracture of two millimeter will make a stronger shearing rate. In addition, increasing thread number and lead angle will increase shearing rate. Thus, strong shear stress fields of extruder is realized.

Keywords: numerical simulation; extruder; screw

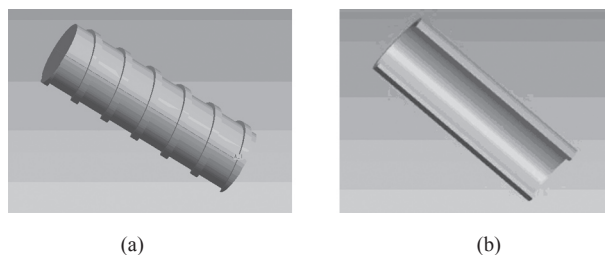
高聚物在现代化工业生产中应用越来越广泛,其中挤出成型加工制品的产量居于首位^[1],因此提高挤出机的结构性能对高聚物产品的性能提升有重要意义。螺杆是挤出机系统中最为关键的部件,国内外许多学者对螺杆的改进、优化进行过研究^[2],特别是开发了针对特殊材料而设计的力化学反应型挤出设备。德国斯图加特大学的 Helibar 挤出机^[3-4]、北京化工大学的串联式磨盘螺杆挤出机^[5]、四川大学的磨盘形力化学反应器^[6]等,都是较为新型的具有强剪切性质的力化学反应器或挤出装置,许多专家学者们已就螺杆螺纹元件和螺筒结构对挤出机性能的影响进行了初步模拟分析^[7-8]。

笔者意在通过理论分析和数值模拟探究一种新型的强剪切单螺杆力化学反应型挤出机。以有限元软件 POLYFLOW 为平台,以高分子流变学为基础,建立单螺杆三维模型,分析在不同螺杆几何参数下,非牛顿黏性聚合物在流道中的流动特性,通过对比压力场和剪切速率场,得出螺杆几何参数变化对挤出机流场的影响趋势,得到最佳的几何参数。

1 物理模型

1.1 几何模型

以通用螺杆直径为 90 mm 的单螺杆挤出机的实际参数为基准,改变螺杆的几何参数,建造三维模型。保持螺杆与料筒之间的间隙为 2 mm 不变,螺杆长度 270 mm。螺杆和流体域的几何结构如图 1 所示。



(a) (b)
a—螺杆;b—流体区域

图1 螺杆和流体区域的三维几何模型图

^{*} 国家青年科学基金项目(51303123)、太原理工大学青年基金项目(2012L065)

联系人:陈占春,讲师,主要从事高聚物加工及形态结构的研究

收稿日期:2013-09-29

1.2 数学模型

物料在流道内的流动过程非常复杂,为减少计算量,需对数学模型进行简化分析,并做如下假设:

- (1) 流体为满足 Bird-Carreau 模型方程的非牛顿黏性不可压缩流体;
- (2) 流场为等温流场;
- (3) 流体在分析区域内为充满状态,并进行层流流动;
- (4) 螺筒内壁和螺杆表面无滑移;
- (5) 由于重力、惯性力远小于黏滞力,忽略不计。

基本方程:

$$\text{连续性方程: } \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

$$\text{动量方程: } -\nabla P I + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} = 0 \quad (2)$$

$$\text{应力张量: } \boldsymbol{\tau} = 2\eta\boldsymbol{\gamma}D \quad (3)$$

Bird-Carreau 模型本构方程:

$$\eta = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty})(1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{\frac{n-1}{2}} \quad (4)$$

$$\text{剪切速率: } \dot{\gamma} = \sqrt{2D:D} \quad (5)$$

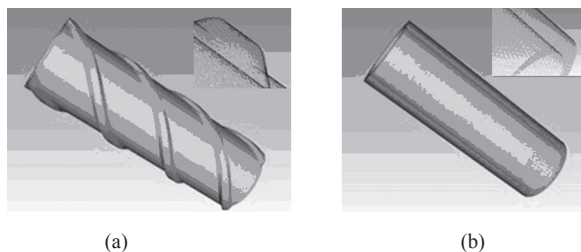
$$\text{变形速率张量: } D = (\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T)/2 \quad (6)$$

式中: $\mathbf{u}$ 为速度向量, m/s ; P 为静压力, Pa ; I 为单位张量; $\boldsymbol{\tau}$ 为应力张量, Pa ; η 为表观黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; γ 为无限大剪切速率, s^{-1} ; η_{∞} 为无限大剪切速率下的黏度, 通常取 0; η_0 为零剪切黏度; λ 为松弛时间, s ; n 为非牛顿指数; D 为变形速率张量, s^{-1} ; ∇ 为矢量微分算子; T 为矩阵转置符号。

2 数值模拟

2.1 网格划分

在网格划分时采用网格重叠技术 (MST), 并将螺杆内部掏空, 以提高网格质量和计算速度。用六面体网格划分形状规则的螺杆和流体区域, 用正四面体网格划分螺杆和流体区域的不规则处。为了提高计算精度在螺杆和流体区域的间隙处进行了局部较细的划分。在有限的计算机配置情况下, 尽量细化网格, 以达到更好的收敛结果。螺杆和流体区域的网格如图 2 所示。



a—螺杆网格; b—流体区域网格

图 2 螺杆和流体区域有限元网格

2.2 条件设定

根据实际的使用状况, 在数值模拟计算中采用 mini-element 插值, 压力采用线性插值, 黏度采用 Picard 迭代。螺杆转速设为 300 r/min , 入口边界设置为压力入口, 大小为 4 MPa , 出口边界设定为压力出口, 大小为 6 MPa 。用 PLOTFLOW 软件计算不同结构参数下聚乙烯 (PE) 熔体所受到压力场和剪切速率场, 以探讨螺杆几何参数对挤出机流场的影响。

3 计算结果与讨论

3.1 螺杆螺棱形状的影响

螺杆形式主要是根据物料的物理性能确定。目前常用的螺棱断面形状为双楔形, 螺棱推进面倾角 30° , 后缘面倾角不大于 45° 。传统磨盘所使用的是表面带有三角形磨棱的剪切断面^[6], 因此选取了图 3 所示矩形、双楔形和三角形三种螺棱断面形状进行模拟, 对比分析其对物料压力及剪切速率的影响, 如图 4、图 5 所示。

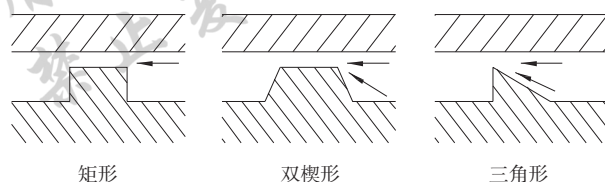


图 3 不同螺棱断面形状图

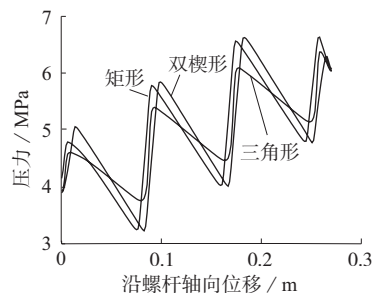


图 4 螺棱断面形状对压力的影响

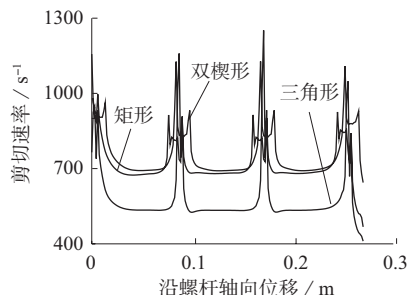


图 5 螺棱断面形状对剪切速率的影响

由图 4、图 5 可以看出, 三角形的螺棱断面形状可以产生较高的剪切速率; 而矩形和双楔形的螺棱

断面,虽然剪切速率达到的极值较小,但整体均值较大,所以选择使用三角形的螺棱断面。

3.2 三角形螺纹牙的形状对挤出效果的影响

三角形的螺棱断面能够产生较好的剪切效果,但如图3中理想化的三角模型断面在现实生产加工中难以实现应用。因此分别设计了图6所示的1,2,3 mm豁口端面进行对比分析,结果如图7、图8所示。

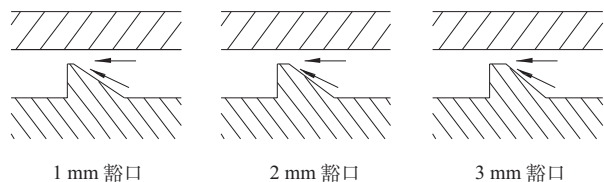


图6 三角形螺纹牙的断面图

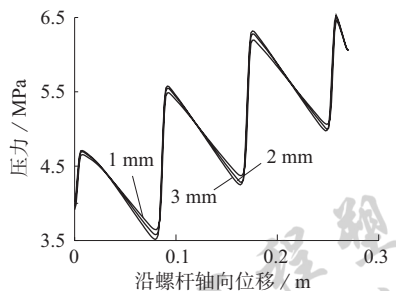


图7 三角形螺棱豁口对压力的影响

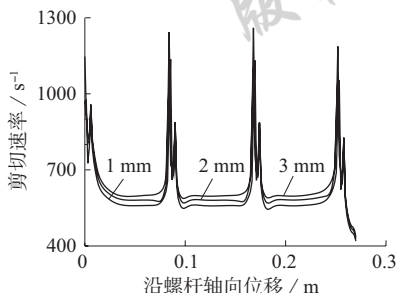


图8 三角形螺棱豁口对剪切速率的影响

由图7、图8可以看出,在三角形的螺棱断面中,改变豁口端面的大小对压力场的影响不大。从剪切速率上看,豁口端面为2 mm的三角形螺棱断面所产生的剪切速率的极值最大,且最小值介于豁口为1 mm和3 mm的三角形螺棱断面所产生的剪切速率最小值之间。因此笔者认定豁口端面为2 mm时的三角形螺棱断面为最佳的螺棱断面形状,在之后的分析中都将以此来构建模型。

3.3 螺棱头数对压力场的影响

螺棱头数影响到物料的挤出效率和熔融速率。由熔融理论分析可知,螺棱头数越多,熔融速率越

快。但考虑到螺棱宽度和螺棱间隙,螺棱头数的影响就不那么明显。目前中小型的螺杆多采用单头螺棱,大中型的螺杆采用双头和三头螺棱。

笔者意在探究螺棱头数对挤出机中物料流的流场性能影响,因此在保持螺杆螺棱和其它结构不变的情况下,将螺杆的螺纹头数分别设计为1头、3头和5头和7头。分别将螺棱的升角设定为30°和50°两组进行对比分析,结果见图9、图10。

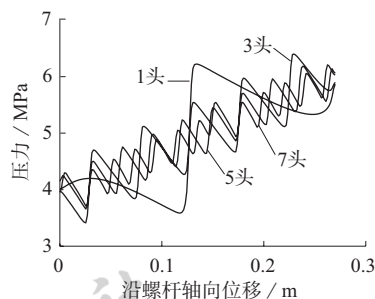


图9 30°螺棱升角下不同螺棱头数对压力的影响

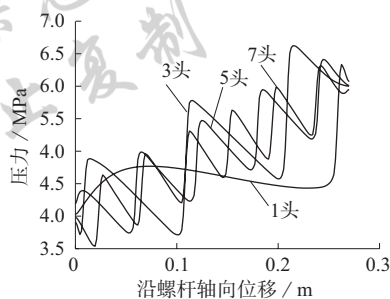


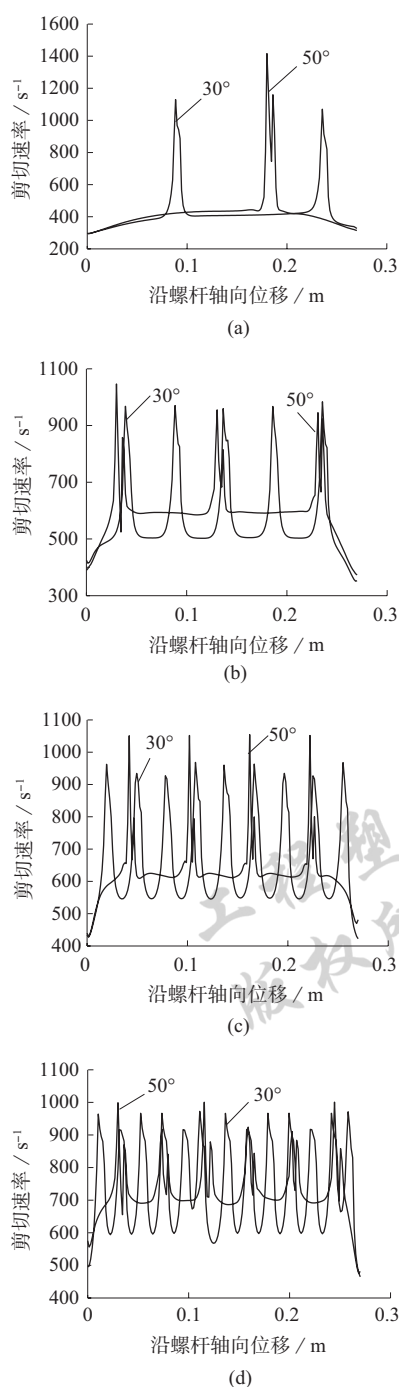
图10 50°螺棱升角下不同螺棱头数对压力的影响

由图9、图10可以看出,随着螺棱头数的增加,压力变化波动的幅度变小了,这主要是因为头数增加,螺棱分布紧密,使得压力的增减梯度变小了。

3.4 螺棱升角对剪切速率的影响

螺棱的升角关系到螺杆的输送能力即剪切速率,从使熔体得到最大输送能力的观点出发,一般的螺棱升角设计为30°。由于笔者意在探究螺棱升角对剪切效果的影响,因此将相同头数下的30°和50°升角的螺棱所产生的剪切速率进行对比,结果如图11所示。

由图11可以看出,当螺棱头数为1头时,30°升角的最大剪切速率为1129 s⁻¹,最小值为404 s⁻¹;而螺棱头数为7头时,30°升角的最大剪切速率为966 s⁻¹,最小值为597 s⁻¹。此外,当螺棱头数不变,最大剪切速率随螺棱升角增加变化不大,而最小剪切速率则随着螺棱升角的增大而增加。由此可以得出,随着螺纹头数的增加和螺棱升角的增大,剪切速率波动变化越来越小。



a—1头;b—3头;c—5头;d—7头

图 11 相同头数下不同螺棱升角对剪切速率的影响

对于 PE 的长链大分子来说,分子链越长越容易在剪切应力下剪断,而较小的分子链需要更大的剪切应力才能剪断。因此对于 7 头螺棱的螺杆来说,由于经受的剪切应力次数较多,且剪切应力最小值也比较大,因此分子链一直处于张紧状态,大分子链很容易被剪切断裂,而较小的分子链不容易被剪切应力的极大值剪断,所以 PE 熔体经过较大螺棱

升角和 7 头螺棱的螺杆熔融挤出后,大部分长链分子经过强烈的剪切而断链,如果对该断链部位进行极性基团封端,则经过此挤出机强剪切段挤出后形成了分子量分布较为均一的聚烯烃接枝极性基团材料,可以作为热熔胶母料应用到聚烯烃热熔胶中。

4 结论

在螺杆转速恒定、进出口压力恒定的条件下,使用 POLYFLOW 数值模拟了 PE 在挤出机流道中的流动过程,数值求解了物料熔体的等温流场。通过分析对比在不同的螺杆几何结构参数下,物料在挤出机中所受到的压力和剪切速率,得到如下结论:当选取三角形的螺棱形状,且在螺棱顶端加工 2 mm 宽的豁口端面能够提高对物料的剪切速率;并且随着螺棱的头数从 1 头增加到 7 头和螺棱升角从 30° 增加到 50° 均可提升对物料的剪切速率,从而实现挤出机剪切段的强剪切应力场。

参考文献

- [1] Sikora J W. Review:Increasing the efficiency of the extrusion process[J]. Polymer Engineering and Science,2008,48(9):1 678–1 682.
- [2] Funaki A, Takubo T, Kanai T. Experimental analysis for extrusion screw geometry to produce highly transparent polypropylene sheets [J]. Polymer Engineering and Science,2010,50(2):420–427.
- [3] Grünschloß E. HELIBAR——A new style single screw extruder with improved plastification and output power[J]. International Polymer Processing,2002,17:291–300.
- [4] Grünschloß E. A powerful universal plasticating system for single-screw-extruders and injection-Moulding machines[J]. International Polymer Processing,2003,18:226–234.
- [5] 李翔,江波,许谢华. 串联式磨盘螺杆挤出机设计原理 [J]. 塑料,2004,33(2):83–86.
Li Ao, Jiang Bo, Xu Shuhua. Design principles of series disc-screw extruder[J]. Plastics,2004,33(2):83–86.
- [6] 王琪,徐僖. 磨盘形力化学反应器极其在高分子材料制备中的应用 [J]. 高等学校化学学报,1997,18(7):1 197–1 201.
Wang Qi, Xu Xi. A pan-milling type of equipment and its application in developing polymer materials[J]. Chemical Journal of Chinese Universities,1997,18(7):1 197–1 201.
- [7] 席世亮,姜南. 单螺杆挤出机螺线元件的改进结构及混合 [J]. 塑料,2002,31(4):76–79.
Xi Shiliang, Jiang Nan. Structural development of screw elements for single screw extruder and its mixing action[J]. Plastics,2002,31(4):76–79.
- [8] 王建,郭迪,陈晋南. 数值模拟研究螺筒结构对单螺杆挤出机性能的影响 [J]. 塑料科技,2012,40(10):74–78.

- Wang Jian, Guo Di, Chen Jinnan. Numerical simulation study on effect of barrel structures on performance of single screw extruder[J]. *Plastics Science Technology*, 2012, 40(10):74-78.
- [9] 孙士强, 罗兵, 何敏. 啮合同向双螺杆螺纹元件几何参数对其在流场中的受力关系的影响[J]. *橡塑技术与装备*, 2007, 33(4):1-6.
- Sun Shiqiang, Luo Bing, He Min. The geometry parameter of meshing gear twin screw component to its influence in the stress relation of the flow field[J]. *China Rubber / Plastics Technology and Equipment*, 2007, 33(4):1-6.
- [10] 郭彤辉, 王平. 基于 ANSYS 软件的双螺杆挤出机的计算机模拟与分析[J]. *塑料科技*, 2011, 39(9):78-82.
- Guo Tonghui, Wang Ping. Computer simulation and analysis on twin-screw extruder based on ANSYS software[J]. *Plastics Science and Technology*, 2011, 39(9):78-82.
- [11] 胡冬冬, 陈晋南. 双螺杆挤出机流场数值模拟中流道进出口边界条件的探讨[J]. *计算机与应用化学*, 2005, 22(12):1 137-1 141.
- Hu Dongdong, Chen Jinnan. Investigation of the inlet and outlet boundary conditions in numerical simulations of twin-screw extruders[J]. *Computers and Applied Chemistry*, 2005, 22(12):1 137-1 141.
- [12] 钱雪, 冯连勋. 双螺杆挤出机与机头间过渡体中的流场分析[J]. *橡胶技术与装备*, 2011, 37(7):1-4.
- Qian Xue, Feng Lianxun. Flow field analysis of transition section between twin-screw extruder and head[J]. *China Rubber / Plastics Technology and Equipment*, 2011, 37(7):1-4.
- [13] 北京化工大学, 华南理工大学. 塑料机械设计[M]. 2版. 北京: 中国轻工业出版社, 1998:51-85.
- Beijing University of Chemical Technology, South China University of Technology. Design of plastic machinery[M]. 2nd ed. Beijing: China Light Industry Press, 1998:51-85.

韩国晓星公司率先开发出高分子材料聚酮

据报道, 韩国晓星公司独家开发出了高分子材料聚酮, 将率先实现其商业化生产。

聚酮是利用一氧化碳、乙二胺、丙烯等制成的环保型高分子材料, 可用于汽车、电子、产业材料零配件。与尼龙相比, 聚酮的抗冲击力要强 3 倍, 对化学物质的稳定性也要强 1.4~2.5 倍; 比目前被誉为“超钢”材料的聚甲醛还要硬 14 倍以上。

(中化新网)

亨斯迈将开发减少轨道交通噪声的聚氨酯泡沫

近日, 欧洲铁路基础设施公司 Edilon Sedra 表示已经与亨斯迈公司迈展开合作, 开发一种可减少城市交通网络噪音污染的聚氨酯泡沫。

Edilon Sedra 公司生产的 Eliton Trackelast 产品中将使用亨斯迈公司开发的 Acoustiflex V 系列 MDI 基聚氨酯泡沫, 该产品将用于铁轨间的弹性垫中。亨斯迈公司称, 这种聚氨酯泡沫可帮助分散列车运行时带来的各种压力和震动力, 从而减少火车经过时产生的巨大隆隆声的干扰。

(慧聪网)

英国塑料制品生产商研发高性能共聚酯

传统共聚酯具有耐用、耐冲击的显著特点, 近日, 英国塑料制品生产商 Brett Martin 公司推出了一款高性能共聚酯。

据悉, 该名为 Marpet-gFS 的新型共聚酯极易成型, 是建筑、印刷等领域理想的塑料片材。Brett Martin 公司称, 作为聚酯家族的新成员, Marpet-gFS 可在众多应用领域里取代聚碳酸酯、硬质丙烯酸以及 PVC 片材。

Brett Martin 公司发言人介绍, 除继承了传统共聚酯耐用、耐冲击的显著特点外, Marpet-gFS 还具有其独特的性能优势。该新型共聚酯晶莹剔透, 光透射性极高, 耐腐蚀和防火性能优越。此外, 该共聚酯以再生材料为原料制作而成, 可多次循环利用, 是理想的环境友好型塑料。

Marpet-gFS 极易成型的特性使其能够适应各种极端的

加工环境。经过特殊的制作工艺, 该新型共聚酯能加工成形状复杂、性能优异的产品。业界人士预测, 该新材料有望成为市场新宠。

“Marpet-gFS 的成功问世进一步拓宽了公司透明塑料片材的范围, 有助于我们成为欧洲塑料界透明聚酯片材的顶尖生产商。” Brett Martin 公司半成品业务部销售经理 Duncan Smith 说道。

(中塑机网)

美国华盛顿决定禁止使用 PS 泡沫塑料

在环保意识的不断作用下, 塑料的使用不断受到质疑。很多国家都推行了限塑令, 美国在取得限塑的基础上决定禁止使用 PS 泡沫塑料。

自华盛顿哥伦比亚特区出台限塑令 (向每只塑料购物袋收取 5 美分的费用) 以来, 该区塑料袋使用量明显减少, 环境问题也得到了很大改善。鉴于此, 华盛顿哥伦比亚特区区长建议, 应进一步采取限塑措施, 禁止使用 PS 泡沫塑料。

日前, 该区区长 Vincent Gray 向市议会提交了一份 PS 泡沫塑料禁令草案。该草案包含了 11 条具体限塑措施。其中, 一条名为《安那考斯迪亚河环境污染监管条例》的措施作出明确规定, 禁止使用 PS 泡沫盒盛放食物。该草案一旦通过, 将于 2018 年 1 月起正式生效。

在向市议会的建议信中, Gray 区长写道: “华盛顿是国际性大都会, 我们的目标是将其打造成全美国最绿色、最环保、最适宜人居住的城市。尽管自塑料袋有偿使用以来, 随处可见的塑料袋垃圾减少了很多, 但安那考斯迪亚河及其它水沟里的 PS 塑料薄膜依旧成为环保难题, 阻碍华盛顿特区的可持续发展。因此, 减少甚至禁止使用 PS 塑料势在必行。”

PS 泡沫塑料很难循环再生或堆肥处理。为此, Gray 区长特意在草案中罗列了一些可循环、可降解的材料来取代 PS。

(环球塑化网)