

超高相对分子质量聚乙烯/聚丙烯共混物研究进展*

古力安媛 李艳梅 杨伟

(四川大学高分子科学与工程学院,高分子材料工程国家重点实验室,成都 610065)

摘要 回顾了超高相对分子质量聚乙烯(PE-UHMW)与聚丙烯(PP)共混物的研究进展。介绍了PE-UHMW/PP共混物的制备方法,性能(加工流变性能、力学性能、摩擦磨损性能)及结晶和微观形态的研究现状,并展望了PE-UHMW/PP共混物的研究方向。

关键词 超高相对分子质量聚乙烯 聚丙烯 共混

聚丙烯(PP)是五大通用塑料之一,具有密度小($0.89 \sim 0.91 \text{ g/cm}^3$)、价格低、无毒、耐腐蚀、电绝缘性能优良、透明性和加工性好等优点,被广泛应用于汽车、化工、机械、电力、运输等行业^[1]。但PP的韧性特别是低温韧性差、耐磨性差,限制了其作为结构材料的应用^[2]。超高相对分子质量聚乙烯(PE-UHMW)是相对分子质量在100万~600万的线性聚乙烯,具有其它工程塑料难以比拟的抗冲击性、耐磨损性、耐化学药品性、自润滑性等。作为一种高性能塑料,PE-UHMW日益受到广泛重视。虽然PE-UHMW具有众多优异的性能,但由于其相对分子质量高,分子链缠结密度大,难以加工,这限制了其广泛使用^[3]。

PP与PE-UHMW两种材料都有各自的优良性能和不足,若能将二者的优良性能有机地结合在一起,那么就能够一定程度上克服对方的缺点,实现优势互补。但由于PE-UHMW和PP的热力学不相容性及前者的高熔体黏度和极低的摩擦因数,使其难于在PP中实现均匀分散^[4]。对于PE-UHMW/PP共混物,目前的研究主要包括两个方面,其一是如何通过PE-UHMW与PP共混来提高PP基共混物的物理力学性能,其二是如何通过PE-UHMW与PP共混来改善PE-UHMW的加工性能和提高PE-UHMW的抗磨粒磨损和疲劳磨损能力。迄今为止,前一方面的文献报道略多于后者。就我国高分子材料应用的现状而言,PP作为一种目前处于高速发展中的大宗通用塑料品种,应用范围更广,因而通过PE-UHMW与PP共混来提高PP为基体的共混物的物理力学性能,从而扩大PP材料的应用领域,更具有实际意义。

1 PE-UHMW/PP共混物的制备方法

1.1 溶液共混法

C. A. Avila-Orta等^[5]以二甲苯为溶剂制备了PE-UHMW/等规PP(iPP)共混物。将90%的PE-UHMW、10%的iPP以及占共混物总质量5%的抗氧剂[β -(3,5-二叔丁基-4-羟苯基)丙酸正十八碳醇酯]置于二甲苯中(溶质的质量分数为3%)。然后将溶液缓慢升温并不断搅拌直到120℃,恒温持续搅拌直到溶液变得透明,此后再将溶液恒温持续搅拌1 h。随后将溶液倒入0℃的冰甲醇(甲醇的体积为溶液的5~6倍)中(倾倒过程也持续搅拌),将PE-UHMW/iPP共混物在甲醇溶液中沉淀下来,而二甲苯则

溶解于甲醇中。所得沉淀物过滤后在70℃真空干燥2 d以上,制得PE-UHMW/iPP共混物。D. Daniel等^[6]也曾采用类似工艺路线制备PE-UHMW/iPP共混物。

1.2 熔融共混法

熔融共混法是高分子材料共混改性中主要采用的手段之一,这种方法更接近工艺生产的实际情况。迄今为止,采用熔融共混法制备PE-UHMW/PP共混物的技术手段包括双辊开炼机熔融共混、螺杆挤出机熔融共混、密炼机熔融共混等。

杨军等^[7-8]采用了双辊开炼机熔融共混PP和PE-UHMW,双辊开炼机温度为180℃左右,加入PP塑炼一定时间后再加入PE-UHMW混炼一定时间,得到PE-UHMW/PP共混物片材后,再以平板硫化机在190℃左右压制成型获得共混物样品。刘功德等^[9]也曾采用类似工艺路线制备PE-UHMW/PP共混物。

Xie Meiju等^[10-11]采用了单螺杆挤出机制备PE-UHMW/PP共混物,挤出机的三段温度分别为100、190、230℃,口模温度为210℃。汪晓东等^[12-13]曾采用五段式的双螺杆挤出机和五段式的四螺杆挤出机制备PE-UHMW/PP共混物,五段式双螺杆挤出机的温度分别为215、230、245、220、205℃,螺杆转速为150 r/min;五段式四螺杆挤出机的温度设置分别为240、225、210、195、180℃,螺杆转速为75 r/min。

Wang Kejian等^[14]用特殊的、可以调节振动频率和振幅的振动密炼机制备了PE-UHMW/PP共混物,采用的熔融温度为190℃。研究发现振动的引入可使PE-UHMW在PP基体中更好地渗透和分布,增加振动频率和振幅可以显著提高合金的断裂伸长率和屈服强度。

1.3 辅助熔融共混法

PE-UHMW的相对分子质量很大,分子链极长,分子链之间缠绕密度很大,因而在共混过程中难以分散。为解决这一问题,一些研究者^[15-16]在普通熔融加工方法的基础上采用某些辅助手段进行熔融共混。

* 四川省杰出青年学术技术带头人培育计划项目(2010JQ0014)

收稿日期:2011-05-09

罗佳等^[15]采用了超声波辅助双螺杆挤出共混的方法制备PE-UHMW/PP共混物。采用的超声波挤出加工实验装置由双螺杆挤出机和超声波发生器组成。双螺杆挤出机的口模采用板机头,并装有2个可连续测量挤出口模压力的高温熔体压力传感器,超声波频率为19.8 Hz,功率在0~300 W可调,超声振动方向与熔体流动方向垂直。Xin Chunling等^[16]采用了超临界二氧化碳辅助双螺杆挤出共混的方法制备PE-UHMW/PP共混物。采用的超临界二氧化碳辅助挤出装置由双螺杆挤出机和超临界流体注塑系统组成。双螺杆挤出机料筒温度为150~210℃,螺杆转速为200 r/min。挤出共混时二氧化碳由超临界流体注塑系统注入双螺杆挤出机中的熔体中,二氧化碳的注入量为熔体质量的7.5%左右。

2 PE-UHMW/PP共混物的性能

2.1 PE-UHMW/PP共混物的加工流变性能

励杭泉等^[17]在研究PE-UHMW/PP共混物的流变性能时发现,在PP中添加5份PE-UHMW,可使其黏度下降。继续增加PE-UHMW用量,则使共混物的黏度持续升高,添加量达15份时,会达到或超过纯PP的黏度。体系黏度对PE-UHMW含量的依赖性随剪切速率的提高而减弱。剪切速率为 10 s^{-1} ,体系黏度变化率最大可达260%,而当剪切速率为 $5\times 10^3\text{ s}^{-1}$ 时,变化率只有20%。但杨军等^[18]研究表明,当剪切速率为 $1\times 10^2\text{ s}^{-1}$ 时,PE-UHMW/PP体系的表现黏度在PE-UHMW用量低于10%时呈上升趋势,而大于10%开始下降且幅度较大,在10%处出现峰值;当剪切速率为 $1\times 10^{3.5}\text{ s}^{-1}$ 时,表现黏度随PE-UHMW的含量的增加而增加;而剪切速率为 $1\times 10^3\text{ s}^{-1}$ 时,体系的表现黏度几乎不受共混物组成的影响。

由于PE-UHMW相对分子质量很大,分子链缠结严重,导致其流动加工极为困难。加工流变性能较好的PP能改善PE-UHMW的加工性能^[19]。Liu Gongde等^[20]发现,向PE-UHMW中引入PP构成共混物可显著改善PE-UHMW的熔体加工特性,PE-UHMW/PP(90/10)共混物的表现熔体黏度远低于PE-UHMW的表现熔体黏度。当PP含量增加到20%和30%时,共混物的表现熔体黏度进一步降低,且剪切流动过程中不再发生压力波动的现象。Liu Gongde等^[11]认为,PP的引入之所以能够提高PE-UHMW的流动性,其原因在于共混物的加工过程中,PP主要聚集在共混物表面并与挤出机料筒相接触,增加了共混物与料筒内壁的摩擦力,提高了物料向前的输送能力。Liu Gongde等^[21]还发现使用单螺杆挤出机并在超声作用下,PE-UHMW/PP共混物的熔体流动速率随超声波强度的增加而增加。挤出过程中超声振动可进一步降低共混物表现黏度,且振动强度越大,剪切速率越小,表现黏度下降程度越大;PP含量越少,表现黏度对超声振动越敏感。

Xie Meiju等^[10,22]进一步向PE-UHMW/PP共混物中引入少量聚乙二醇(PEG),发现PEG的引入可在挤出过程中

有效减小口模压力和熔体熔融黏度;使给定口模压力下的熔体流动速率增加。在PE-UHMW/PP体系中引入二元添加剂PEG/硅藻土也能改善共混体系的加工性能。Gai Jinggang等^[23]发现向PE-UHMW/PP(90/10)共混物中添加纳米复合材料也能一定程度上改善共混物的流动性能。添加少量二元添加剂PEG/甲基茂基三羰基锰(PM)能够有效降低PE-UHMW/PP共混物的熔体黏度。当添加有机蒙脱土(OMMT)时,PE-UHMW/PP共混物的熔体黏度随OMMT用量的增加而降低。

2.2 PE-UHMW/PP共混物的力学性能

PP较差的韧性限制了其应用和发展,通过PE-UHMW较好的力学性能来改善PP的韧性是一种可行的途径。

(1) PE-UHMW/PP简单共混体系的力学性能

PE-UHMW/PP共混物中,两组分的组成比对共混物的力学性能有着显著的影响。杨军等^[7]用双辊开炼机熔融共混得到PE-UHMW/PP共混物。研究发现,随着PE-UHMW用量的增加,共混物的缺口冲击强度呈上升趋势,拉伸强度则先上升后下降,断裂伸长率也呈上升趋势,而弯曲强度则变化不大。其冲击强度和断裂伸长率在组成比为100/25时分别达峰值到57.7 kJ/m²和559.3%,拉伸强度在100/10时出现峰值,达42.4 MPa。杨军等^[8]还发现提高双辊塑炼过程的剪切力、提高成型冷却速度有利于提高共混物的力学性能,组成比为10/90的PE-UHMW/PP共混物的缺口冲击强度、拉伸强度和断裂伸长率可分别达到88.6 kJ/m²、45 MPa和570%。励杭泉等^[24]发现双螺杆挤出机熔融共混制备的PE-UHMW/PP共混物的冲击强度先随PE-UHMW含量的增加而上升,在PE-UHMW质量分数为10%时达到峰值后开始呈下降趋势。李炳海等^[25]用PE-UHMW对乙丙共聚型PP进行改性,发现所得共混物的刚性和韧性同时显著提高,其缺口冲击强度大于72.1 kJ/m²,断裂伸长率大于900%。

刘功得^[26]研究发现,将适量的PP加入到PE-UHMW中,可提高PE-UHMW的力学性能,当PP的含量为30%时,共混物的冲击强度从PE-UHMW的84.1 kJ/m²增加到99.9 kJ/m²,共混物的拉伸弹性模量也较PE-UHMW有所提高,但是屈服强度变化不大。

(2) 第三组分对PE-UHMW/PP共混体系力学性能的影响

PP和PE-UHMW是典型的不相容体系,PE-UHMW超长的分子链难以在PP中较好地分散,对PP的性能提高有一定的限制。通过添加第三组分能够在一定程度上改善这一问题。明艳等^[27]先用解缠剂使PE-UHMW分子链间距增大,物理交联点密度降低,发现共混物的力学性能随着解缠剂用量的增加先增加而后降低。共混物的拉伸强度随着PE-UHMW含量的增加表现为先下降后增加又降低的趋势,在PE-UHMW与PP质量比为1/1时达到最大。

金日光等^[28-29]对比了加入乙烯-丙烯-二烯共聚物(EPDM)的PE-UHMW/PP体系和PE-UHMW/PP体系的力学

性能。研究发现当 EPDM 作为第三组分被加入 PE-UHMW/PP 共混物中时,三元共混的缺口冲击强度要比相应二元共混物提高幅度更为显著,几乎是纯 PP 的 4 倍。与此同时,共混物的拉伸强度、断裂伸长率、弯曲强度和弯曲弹性模量也比二元共混物有显著提高。与二元共混物一样,三元共混物的力学性能在 PE-UHMW 质量分数为 15% 时达到最大。张炜等^[30]研究表明 PP 基玻璃纤维(GF)母粒、马来酸酐接枝 PP(PP-g-MAH)、GF 均对 PE-UHMW/PP 共混体系的力学性能有改善作用;PP 基 GF 母粒对 PE-UHMW/PP 共混体系的增韧、增强作用优于 PP-g-MAH 和 GF,研究认为其原因在于前者中 GF 与 PE-UHMW/PP 共混体系的界面粘结实固程度更优。

2.3 摩擦磨损性能

PE-UHMW 具有很好的耐磨性,但其热变形温度较低,抗磨粒磨损和疲劳磨损能力差。刘功德^[26]在研究 PE-UHMW/PP 共混物时,发现适量 PP 的加入可显著提高 PE-UHMW 的摩擦磨损性能。与纯 PE-UHMW 比,在相同的磨损条件下,PE-UHMW/PP 共混物的摩擦因数和磨痕宽度较小。随负荷的增加和磨损时间的延长,PE-UHMW 的磨损量迅速增加,而 PE-UHMW/PP 共混物的磨损量增加就相对缓慢得多。在较低的滑动速度下(200 r/min),PE-UHMW 的磨损形式主要是粘着磨损和疲劳磨损,而 PE-UHMW/PP 共混物则表现出很好的抗疲劳磨损能力。在较高的滑动速度下(400 r/min),PE-UHMW 的磨损表面温度很高,发生因表面熔融而导致快速的磨损。而 PE-UHMW/PP 共混物由于摩擦因数小,表面温度较低,无明显的表面熔化现象,因而磨损量较小。PE-UHMW 对磨时在金属表面有转移膜形成,而 PE-UHMW/PP 共混物对磨时在金属表面无转移膜,而是在钢环表面形成细小的圆柱形长条状的粉末,摩擦界面间的磨屑起到了有效的减磨耐磨剂作用。

周勇等^[31]研究表明,在力学性能改变不大的情况下,当 PE-UHMW/PP-X(自制交联 PP)/PP 的质量比为 80/20/10 时,共混物的磨痕宽度为 5.69 mm,摩擦因数为 0.125,比纯 PE-UHMW 的磨痕宽度、摩擦因数分别下降了 21.7% 和 39.9%,比 PE-UHMW/PP(100/10)共混物分别下降了 20% 和 18.83%。李红等^[32]研究发现,在质量比 4/1 的 PE-UHMW/PP 体系中加入炭黑(CB)或碳纤维(CF)可改善复合材料的摩擦磨损性能。当填料的质量分数为 5% 时,复合材料的摩擦磨损性能最好,且 PE-UHMW/PP/CB/CF 复合材料的耐磨性能优于 PE-UHMW/PP/CB 复合材料。与 PE-UHMW 相比,PE-UHMW/PP/CB/CF 复合材料的摩擦因数和磨痕宽度分别下降了 10% 和 44%,PE-UHMW/PP/CB 复合材料则分别下降 12% 和 42%。

3 PE-UHMW/PP 共混体系的结晶和微观形态

3.1 共混体系的结晶行为和结晶形态

杨军等^[7]采用差示扫描量热(DSC)法和扫描电子显微镜(SEM)研究 PE-UHMW/共聚 PP 共混物的结晶行为时发

现,PP 中的乙烯嵌段与 PE-UHMW 具有良好的晶相相容性,生成了共晶;共混物中乙烯链段和丙烯链段的结晶度随着 PE-UHMW 掺混量的增加,总体分别呈上升和下降趋势,但结晶完善程度却基本无变化;混炼均匀的共混物在较快的降温速率下 PE-UHMW 先于 PP 结晶,并成为 PP 的成核剂,促使两组分同时结晶。C. A. Avila - Orta 等^[5]发现含 PE-UHMW 5% 的 PE-UHMW/iPP 共混物的结晶速率要比含 PE-UHMW 10% 的 PE-UHMW/iPP 共混物结晶速率快,高温下结晶度高,其原因可能是含 PE-UHMW 10% 的 PE-UHMW/iPP 共混物的相分离程度较高,从而减少了 iPP 和 PE-UHMW 的界面作用,即在 10% 的 PE-UHMW/iPP 共混物中,PE-UHMW 促进界面处 iPP 链的取向和拉伸的作用不大。

PP 和 PE-UHMW 都是结晶型聚合物。在 PE-UHMW/PP 共混物中,PE-UHMW 的存在具有分割、细化 PP 球晶的作用,会阻碍 PP 大球晶的形成。PE-UHMW 的加入使得 PP 的球晶结构变得不规则,没有整齐的边界,这主要是因为 PE-UHMW 和 PP 的乙烯链段生成了共晶结构,阻碍了 PP 球晶的生成。共混体系中 PE-UHMW 相和 PP 相拥有各自的晶区,呈现各自的形貌;PE-UHMW 的加入使 PP 相的球晶完善程度降低;PE-UHMW 也出现了球晶的偏光十字特征,但是在相同的放大倍数下,PE-UHMW 的球晶直径小于 PP 的球晶直径^[34]。同时,随着 PE-UHMW/PP 共混体系中 PE-UHMW 含量的增加,PP 球晶变小,当 PE-UHMW 质量分数达 40% 时,就很难观察到典型的 PP 球晶^[8]。

3.2 共混体系的微观形态

PE-UHMW 与 PP 的分子间力基本相等^[2],但是由于 PE-UHMW 超长的分子链,导致 PP 与 PE-UHMW 的相容性并不好。有研究发现,iPP 和 PE-UHMW 在 145℃ 时是部分相容的,因而共混物中存在三相:iPP 相、PE-UHMW 相及两种混合物部分相容的界面相^[5]。

汪晓东等^[34]在研究共混物的增韧机理时推断 PE-UHMW/PP 共混合金的亚微相态为双连续相;PE-UHMW 分子与长链的 PP 分子共同构成一种共混网络,其余 PP 构成一个 PP 网络,二者交织成为一种“线性互穿网络”,其中共混网络在材料中起到骨架作用,为材料提供力学强度。当 PE-UHMW 的含量由 5 份变化到 15 份,仅是 PE-UHMW 网络的含量增加,而不会改变相态结构的本身。PE-UHMW 混入 PP 后^[17],既没有达到分子水平的分散,也没有象刚性粒子或弹性粒子增韧那样以颗粒状分散到 PP 基体中,而是以长丝的形式贯穿于 PP 之中。而且在贯穿的过程中,与 PP 形成了复合共晶,因而使两相间具有极强的粘合力^[7]。

4 结语

PE-UHMW 与 PP 共混可以改善 PE-UHMW 的加工流动性,也可以利用 PE-UHMW 优异的性能弥补 PP 的缺点,因此两者的共混对改善 PP 的性能和拓宽 PE-UHMW 的用途均具有重要的意义。笔者认为如何更好地使 PE-UHMW 超长的分子链在 PP 中实现良好的解缠并分散于 PP 中,是决定

共混体系性能优劣的关键所在。而通过 PP 来改善 PE-UHMW 的加工性能和摩擦磨损性能方面也需要进一步的深入研究,特别是在亚微观结构和机理方面。

参考文献

- [1] 王娟娟,等. 塑料科技,2003,31(2):52-58.
- [2] Brydson J A, et al. *Plastics Materials*[M]. 5th Edition. London: Butterworths, 1990.
- [3] Howard A S, et al. Melt processable UHMWPE: US, 4281070 [P]. 1981-07-28.
- [4] 李炳海,等. 塑料工业,2003,31(7):9-13.
- [5] Avila-Orta C A, et al. *Polymer*,2005,46(20):8859-8871.
- [6] Daniel D, et al. *Polymer*,2005,46(9):3096-3104.
- [7] 杨军,等. 塑料工业,1998,27(4):32-36.
- [8] 杨军,等. 中国塑料,1991,13(11):34-38.
- [9] 刘功德,等. 塑料工业,2003,31(1):20-23.
- [10] Xie Meiju, et al. *Journal of Applied Polymer Science*,2006,100(2):1282-1288.
- [11] Liu Gongde, et al. *Journal of Applied Polymer Science*,2004,94(3):977-985.
- [12] 汪晓东,等. 高分子材料科学与工程,1995,11(3):69-74.
- [13] Wang Xiaodong, et al. *Journal of Applied Polymer Science*,2006,100(5):3498-3509.
- [14] Wang Kejian, et al. *Advances in Polymer Technology*,2002,21(3):164-176.
- [15] 罗佳,等. 合成树脂及塑料,2009,26(1):57-59.
- [16] Xin Chunling, et al. *Journal of Applied Polymer Science*,2011,119(3):1275-1286.
- [17] 励杭泉,等. 高分子材料科学与工程,1994,10(1):113-117.
- [18] 杨军,等. 塑料,1997,26(1):29-33.
- [19] Chaud N, et al. *Polymer Composites*,2007,28(2):267-272.
- [20] Liu Gongde, et al. *Journal of Applied Polymer Science*,2004,92(6):3894-3900.
- [21] Liu Gongde, et al. *Journal of Applied Polymer Science*,2003,89(10):2628-2632.
- [22] Xie Meiju, et al. *European Polymer Journal*,2007,43(8):3480-3487.
- [23] Gai Jinggang, et al. *Journal of Applied of Polymer Science*,2007,106(5):3023-3032.
- [24] 励杭泉,等. 中国塑料,1993,7(2):8-13.
- [25] 李炳海,等. 中国塑料,2002,16(12):32-36.
- [26] 刘功德. 超高相对分子质量聚乙烯的加工与高性能化研究[D]. 成都:四川大学,2003.
- [27] 明艳,等. 塑料,2003,32(2):26-29.
- [28] Wang Xiaodong, et al. *Journal of Materials Science and Technology*,1995,11(1):46-49.
- [29] 金日光,等. 高分子通报,2005,18(4):100-108.
- [30] 张炜,等. 工程塑料应用,2010,38(6):5-8.
- [31] 周勇,等. 工程塑料应用,2008,36(12):9-12.
- [32] 李红,等. 润滑与密封,2007,32(4):43-46.
- [33] 明艳. UHMWPE/PP 的共混改性研究[D]. 太原:华北工学院,2003.
- [34] 汪晓东,等. 高分子学报,1994,38(4):486-490.

PROGRESS IN ULTRA HIGH MOLECULAR WEIGHT POLYETHYLENE/POLYPPYLENE BLENDS

Gu Li, An Yuan, Li Yanmei, Yang Wei

(College of Polymer Science and Engineering, State Key Laboratory of Polymer Materials Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

ABSTRACT The research progresses of ultra high molecular weight polyethylene(PE-UHMW)/polypropylene(PP) blends were reviewed, with an emphasis on the preparing methods, properties(flow and rheological properties, mechanical properties, friction and wear properties), crystallization behaviors and morphologies of the blends. The developing trends of PE-UHMW/PP blends were also discussed.

KEYWORDS ultra high molecular weight polyethylene, polypropylene, blending

超洁净药用聚乙烯无菌包装材料大有用武之地

传统无菌原料药(API)的内包装为玻璃瓶、特殊铝桶和橡胶瓶塞等,这些包装在使用前需要清洗、晾干、灭菌、保存等工序。清洗过程需用大量的水,包括纯化水和注射用水,同时清洗剂对环境造成污染;晾干和灭菌过程需要占用大量空间,特别是灭菌后的保存过程占用大量的洁净空间;玻璃瓶存在的隐性破碎而带来的碎屑异物风险和橡胶瓶塞脱落颗粒而污染药物的风险。

超洁净药用聚乙烯无菌包装材料是采用医用聚乙烯材料在特定工艺条件下经吹膜、制袋、包装及 γ 射线辐照灭菌等工艺而制成,其特点是材料惰性、生物及化学稳定性好,可与多种无菌药品相容、阻隔性能及力学强度高,可较好地起到保护无菌药品的作用,同时又具备表面微粒数最少,最大

限度地降低对所包装药品的污染。

采用聚乙烯材料,经吹膜、制袋、 γ 射线辐照灭菌等工序制成的超洁净药用聚乙烯无菌包装材料的过程是一个材料物理变化的过程,其聚乙烯原材料的性能和最终成品的性能具有一致性。所以在超洁净药用聚乙烯无菌包装材料的开发过程中,既要考虑聚乙烯材料的生物及化学稳定性能、又要考虑其机械加工性能、耐 γ 射线辐照性能等。

超洁净药用聚乙烯无菌包装材料的生产环境应与其使用环境保持一致,即背景环境是B级环境,其膜路经过的区域的微粒控制应达到A级标准,洁净环境的送回风方向和人员操作面设置应能满足保持产品表面接收最小微粒污染的机会,以保证产品最大限度地满足低微粒的要求。

(中聚网)