

凝胶渗透色谱在聚合物材料分析中的应用

梁柏俊, 陈谷峰*, 刘能盛, 彭速标, 肖 前, 郑建国

(广州海关技术中心, 广州 510623)

摘要:分子量及分子量分布影响聚合物材料加工和使用性能,是最重要和最基本的参量。因此,表征聚合物材料的分子量及分子量分布是分析其性能的关键,而凝胶渗透色谱是测定聚合物分子量及分子量分布最有效的工具。本文介绍了凝胶渗透色谱的分离机理以及分子量的标定和校准,综述了近年来凝胶渗透色谱在聚合物材料表征中的应用研究,包括共聚物的组成、聚合物的支化程度、聚合物中的小分子分析以及聚合物的老化等方面的分析表征,展望了凝胶渗透色谱测试技术的发展趋势。

关键词:凝胶渗透色谱; 分子量; 分子量分布; 应用

凝胶渗透色谱(Gel Permeation Chromatography,简称 GPC)也称作体积排阻色谱(Size Exclusion Chromatography,简称 SEC),是在液相色谱的基础上进行改进,作为一种新型液相色谱对聚合物分子量及分子量分布进行测定的技术,特别适用于探索未知样品,它能快速提供未知样品的分子量组成情况,并能分析样品中各组分的近似分子量^[1,2]。GPC除了能应用于高聚物分子量及分布的分析,还可用于研究高聚物的支化程度、共聚物的组成以及高分子材料中的低聚物和微量小分子等方面的分析^[3]。随着对新型填料的研发,高效分离柱子的诞生,以及与粘度计^[4]、静态光散射^[5]、蒸发光散射^[6]等各种新型检测器联用,再结合紫外(UV),红外(FTIR)等其它仪器分析方法,GPC的用途不断被拓宽,如今 GPC 已广泛应用于食品、工业、农业、医学等各个领域。

1 凝胶渗透色谱分离机理

GPC的分离机理主要是体积排除^[7],即样品分子与固定相不存在相互作用。分离柱子作为 GPC 的核心分离部件,其内部填充多孔性的填料,常被称为凝胶,凝胶是一种惰性物质,其表面以及内部含有大量的彼此贯穿的孔洞,孔洞的内径大小不等,仅允许直径小于孔径的分子通过。当被分析的聚合物材料随着淋洗液进入色谱柱,溶质分子向凝胶内部的孔洞扩散,不同大小的分子有不同的运动时间。大分子由于不能通过孔洞而被排阻,只能沿着凝胶颗粒之间的间隙通过色谱柱,最早从柱子洗脱出来;中等大小的分子只能通过部分凝胶孔洞,但不能进入微型孔洞,其在柱子受到滞留,洗脱时间长于大分子;小分子能同时进入凝胶的大部分孔洞,且从渗透的深度来说,小分子还能渗入孔洞更深的内部,在柱子中受到最强的滞留,会更慢被洗脱出来。因此,大分子物质的淋洗时间最短,首先被分离出来,其次是中等大小的分子,小分子物质最后被淋洗出来,从而实现具有不同大小样品的完全分离^[8,9]。

虽然体积排除理论是 GPC 分离的最基本原理,但这只是理想状态下的分离机理^[10],因为实际应用中,分子尺寸的大小并不是决定分离的唯一因素,如聚合物的极性、带电与否、溶剂的极性与组成、聚合物分子与固定相之间以及聚合物分子与溶剂之间的相互作用等因素也是不可完全忽视的,因此,聚合物分子在 GPC 进行分离而被淋洗出来时,有时是单一的体积排除,有时是体积排除和非体积排除等多种机理

10.14028/j.cnki.1003-3726.2019.04.003

收稿:2018-07-17;修回:2018-12-17;

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC0809200,2017YFF0211205);

作者简介:梁柏俊(1990-),男,硕士,助理工程师,主要从事危险品及聚合物检验;

* 通讯联系人:陈谷峰(1978-),男,博士,高级工程师,主要从事危险品及聚合物检验。Tel&Fax:020-38290385,E-mail:cgfzsu@126.com.

同时作用^[11]。

2 分子量的标定和校准

运用 GPC 分析样品的分子量及分子量分布的关键是把 GPC 谱图的保留体积 V_C 转换成样品的相对分子质量 M , 而该置换关系曲线称为校准曲线, 常见的校准方法有窄分布标样校准、普适校准以及试差渐进校准^[8,9]。

2.1 窄分布标样校准

该方法选取一系列与被分析样品相同类型的窄分布标样 ($M_w/M_n < 1.1$), 首先用其它方法精确测量标样的平均分子量, 然后与被分析样品在同一条件下进行 GPC 分析, 窄分布标样的保留体积与其平均分子量对应, 对 $\lg M \sim V_C$ 作图, 从而得到校准方程:

$$\lg M = A - BV_C \quad (1)$$

该校准方法简单, 准确性高。但大多数聚合物的窄分布标准样品难以获得, 且由于制备过程的限制, 可作为标准物质的样品不多, 该方法受到一定的限制。除此以外, 该校准方法是假定相同保留体积的高聚物具有相同的分子量, 但实际分析的样品结构十分复杂, 如样品与标样结构不一样, 或者含有支链, 这时即使与标样具有相同保留体积, 但其分子量会有很大的区别, 不能得到样品分子量的真实值^[12]。这些因素都大大限制了该校准方法的实用性。

2.2 普适校准

在凝胶色谱的测定中, 往往难以获得待测样匹配的标准物质。要准确测定待测样品分子量的真实值, 这时可以使用普适校准法。根据 Einstein 的黏度公式:

$$[\eta] \cdot M = 2.5 N_A \cdot V_h \quad (2)$$

式中, $[\eta]$ 为特性粘数, N_A 为阿佛加德罗常熟, V_h 为聚合物链等效球的流体力学体积。可以看出 $[\eta] \cdot M$ 能用来表征聚合物的流体力学体积。而且实验证明 $\lg[\eta] \cdot M \sim V_C$ 所作的标准曲线比 $\lg M \sim V_C$ 的更具有普适性。

由于具有相同保留体积的物质具有相同的 $[\eta] \cdot M$ 值, 如果已知其中一种聚合物的分子量 M 值, 只需通过计算便可得出另外一种聚合物的分子量。

$$[\eta]_1 \cdot M_1 = [\eta]_2 \cdot M_2 \quad (3)$$

根据 Mark-Houwink 方程:

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha \quad (4)$$

(3)、(4)两式结合并整理可得:

$$\lg M_2 = \frac{1 + \alpha_1}{1 + \alpha_2} \lg M_1 + \frac{1}{1 + \alpha_2} \lg \frac{K_1}{K_2} \quad (5)$$

式(5)中 K 、 α 是特定聚合物-溶剂体系的常数。因此, 只要知道两种聚合物样品在实验条件下各自的 K 、 α 值, 就可以利用聚合物标样的标准曲线来换算成待测物质的标准曲线, 根据上式便可测出待测聚合物的真实分子量。

普适校准法的先决条件是知道标样及待测物质在测定条件下的 K 、 α 值, 这可以通过相关文献查询得到, 但不少聚合物的 K 、 α 值是未知的, 特别是新型高分子物质, 这限制了普适校准法的适用范围, 而且有的聚合物并不适用 Mark-Houwink 方程, 这时不能采用普适校准法。

2.3 多检测器联用测定分子量

当 GPC 配搭多种检测器时, 可以大大拓展该仪器的功能。当 GPC 同时配备示差折光和光散射检测器, 这时只需有一个已知进样浓度、分子量和折光指数增量 (dn/dc) 的标准物质, 测试得出仪器常数; 然后在相同条件下测定未知物, 得到其折光指数增量, 通过计算处理便可得出未知聚合物的重均分子量、分子量分布和 Mark-Houwink 方程的 K 、 α 值。多检测器联用法不需要制作标准校准曲线, 可直接、高效地测

定未知聚合物的分子量及获得更多信息^[13,14]。

最近, Lavric 及其团队^[15] 推导出一个新型凝胶渗透色谱联用光散射检测器测定分子量的运算方式:

$$M_{w, sample} = \frac{A_{LS, sample}}{A_{LS, ref}} \cdot \left(\frac{A_{RI, ref}}{A_{RI, sample}} \right)^2 \cdot \frac{m_{inj, sample}}{m_{inj, ref}} \cdot M_{w, ref} \quad (6)$$

$A_{LS, sample}$ 和 $A_{LS, ref}$ 是待测物质和标准物的光散射检测器色谱峰面积, $A_{RI, sample}$ 和 $A_{RI, ref}$ 是待测物质和标准物的示差折光检测器色谱峰面积, $m_{inj, sample}$ 和 $m_{inj, ref}$ 是待测物质和标准物的测试进样质量, 从式(6)中可以看出, 要得到待测物质的分子量, 只需要获得测试色谱峰面积的数据, 以及测试进样质量和标准物的分子量, 该方法不需要知道标准物的折光指数增量, 提供了一个更为便捷的方法去分析待测物的分子量。

Cheng 等^[16] 使用折光仪、粘度计、光散射三检测器联用 GPC, 运用普通流体力学体积校准、Mark-Houwink 方程校准、折光仪和光散射联用以及三检测器联用等四种方法分别去对比表征具有宽分子量分布的聚乙烯, 实验发现四种方法得出的结果有很大的区别, 普通校准以及 Mark-Houwink 方程校准具有适用范围的局限性, 而双检测器以及三检测器联用方法得出的结果相似。实验表明, 三检测器联用方法具有测定绝对分子量分布、不需要校准曲线以及获得聚合物支化度、分子尺寸等结构信息的优点, 是表征宽分子量分布聚乙烯的最好方法。

3 凝胶渗透色谱的分析应用

凝胶渗透色谱作为分析聚合物必不可少的技术, 除了应用于测定聚合物的相对分子量及其分布, 还可用于研究共聚物的组成、聚合物的支化程度、聚合物中的小分子分析以及聚合物的老化等方面的分析表征。

3.1 共聚物的组成

GPC 可以同时测定共聚物的相对分子量分布以及组成。一般有两种方法, 一种是利用 GPC 与其它分析方法联用, 如 GPC-FTIR(红外)、GPC-PGC(裂解色谱)等。该方法首先利用 GPC 对聚合物进行分级分离, 然后联用其它分析方法, 对各级组分进行在线再次分析, 以得到聚合物分子量及其组成的更详细数据^[17]。另一种方法是多检测器联用, 如紫外(UV)和示差折光(RI)检测器联用, 紫外检测器对共聚物中的某种组分有选择性的吸收, 可以分析共聚物组成的变化, 而示差折光检测器得到共聚物浓度随分子量变化的曲线, 两个谱图结合便可以得到共聚物组成与相对分子量变化的关系^[18]。

Morlock 等^[19] 运用凝胶渗透色谱串联量子级联激光红外光谱(SEC-QCL-IR)分析聚苯乙烯/聚甲基丙烯酸甲酯(PS/PMMA)混合物, 扫描羰基伸缩振动的最佳分析波数 1730cm^{-1} 去分析混合物中的 PMMA。实验证明, 该方法对比传统的 SEC-FTIR 方法有更高的灵敏度, 即使在 PMMA 浓度极低的情况下也能获得很高的信噪比, 且检出限更低, 仅为 $3.5\mu\text{g}$ 。SEC-QCL-IR 技术很好的弥补了 SEC-FTIR 的不足, 为聚合物的分析提供更为详细的数据。

Wang 等^[20] 选取未氢化以及经氢化处理的苯乙烯-丁二烯-苯乙烯(SBS)、苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯(SIS)三元共聚物作为样品, 以四氢呋喃为流动相, UV 吸收条件设定为 261nm , 利用 UV、RI 双检测器联用凝胶渗透色谱分析三元共聚物的分子量及其中的聚苯乙烯链段含量。实验利用核磁(NMR)测定各共聚物的聚苯乙烯链段含量, 对比色谱分析得到的 UV/RI 的峰位面积比发现两者有很好的线性相关性, 通过该拟合曲线可以迅速计算得到聚苯乙烯链段含量。实验还使用已知和未知的粘合剂混合物对该方法进行验证, 结果证明, SEC-UV-RI 方法能不受复杂的混合物组分、添加剂等影响, 与单纯使用 NMR 相比, 可以得到更为精确的聚苯乙烯链段含量数据, 具有很高的工业应用价值。

3.2 聚合物的支化度

聚合物支化程度的表征有多种方法, 但较为简便的方法是采用 GPC 与自动粘度、光散射检测器结合进行分析^[21,22]。传统表征聚合物的支化程度的参数有支化因子 g 和 g' :

$$g = \overline{S}_b^2 / \overline{S}_l^2 \quad (7)$$

$$g' = [\eta]_b / [\eta]_l \quad (8)$$

式(7)、(8)中, \overline{S}_b^2 、 \overline{S}_l^2 分别代表支化聚合物和线型聚合物的均方旋转半径。 $[\eta]_b$ 、 $[\eta]_l$ 分别代表支化聚合物和线型聚合物的特征粘数。由于支化聚合物结构非常复杂,其链段的空间排布较线型聚合物紧密,当两者分子量相同时,支化聚合物的均方旋转半径 \overline{S}_b^2 小于线型聚合物的均方旋转半径 \overline{S}_l^2 ,所以聚合物支化度越大,支化因子 g 越小。支化度除了影响均方旋转半径外,还会影响聚合物的流体力学性质,相同分子量下支化聚合物的流体力学体积较小,所以支化聚合物的特征粘数 $[\eta]_b$ 小于线型聚合物的特征粘数 $[\eta]_l$, $G < 1$ 。 g' 与 g 之间存在一定的关系:

$$g' = g^\epsilon \quad (9)$$

式中, ϵ 值在 0.5 到 1.5,它取决于聚合物的分子结构以及聚合程度^[23]。

通过 Zimm-Stockmayer 方程式,可以利用支化因子 g 计算得出聚合物每个分子的平均长支链数 B_n 。

$$g = \left[\left(1 + \frac{B_n}{7} \right)^{1/2} + \frac{4B_n}{9\pi} \right]^{-1/2} \quad (10)$$

通过 B_n 值,可以计算得出聚合物平均每 1000 个碳含有的长支链数目(LCBf):

$$\text{LCBf} = \lambda = R \cdot B_b \cdot \frac{1000}{M} \quad (11)$$

式(11)中, M 是分子质量, R 代表聚合物重复结构单元的分子质量,如聚乙烯, $R = (14 + 14) / 2 = 14$, 聚氯乙烯, $R = (14 + 13 + 35) / 2 = 31$ 。通过 LCBf 值,可以分析聚合物的长支链支化程度^[24]。

Boborodea 等^[25]使用 1-氯萘作为溶剂,在 210℃ 的条件下运用折光仪、粘度计、光散射三检测器联用 GPC 分析支化聚苯硫醚,分别使用标样聚苯乙烯传统标准曲线法和三检测器法测定聚苯硫醚的平均分子量。实验发现,两种方法测定线型聚苯硫醚可得到相似的重均分子量,但标准曲线法测定支化聚合物得到的重均分子量明显低于三检测器法测得的结果,三检测器联用法结果表明,测定的线型聚苯硫醚与文献所提供的 Mark-Houwink 方程的 α 值相近,而且远高于支化物的 α 值,通过测定支化聚苯硫醚的特征粘度,计算与相同分子量的线型聚苯硫醚的粘度比,运用 Zimm-Stockmayer 方程可得到支化聚苯硫醚的长支链段分布曲线,实验结果证明,三检测器联用 GPC 可以有效且精确分析聚苯硫醚的分子量及分子量分布,并且可以评估聚苯硫醚的长支链结构。

Yau 及其团队^[24,26,27]使用三检测器联用凝胶渗透色谱(3D-GPC)提出了一种名叫 gpcBR 的新型聚合物支化度分析方法,对比传统使用支化因子 g 和 g' ,以及 LCBf 值去评价聚合物的支化程度,新方法改善了评价聚合物支化度的精确度,其计算公式如下:

$$\text{gpcBR} = \left[\left(\frac{[\eta]_{\text{CC}}}{[\eta]} \right) \cdot \left(\frac{M_{w,ABS}}{M_{w,CC}} \right)^\alpha - 1 \right] = \left[\left(\frac{KM_{w,ABS}^\alpha}{[\eta]} \right) \cdot \left(\frac{M_{v,CC}}{M_{w,CC}} \right)^\alpha - 1 \right] \quad (12)$$

式(12)中, $M_{w,CC}$ 和 $[\eta]_{\text{CC}}$ 代表聚合物假设是线性无支链的,并通过传统的 GPC 计算方法得到的质均分子量和特征粘度。 $[\eta]$ 代表通过粘度计测出的聚合物实际特征粘度。 $M_{w,ABS}$ 代表通过光散射测出的聚合物绝对质均分子量。对于线性聚合物, gpcBR 的值接近零,而支化聚合物的 gpcBR 值则远远大于零。

Pathaweeisariyakul 等^[27]使用折光仪、粘度计、光散射三检测器联用 GPC,选取具有高长支链度的低密度聚乙烯(LDPE)以及低长支链度的高密度聚乙烯(HDPE)作为样品,分别运用基于 Zimm-Stockmayer 方程的传统 LCBfy 方法以及最近发展起来的 gpcBR 方法来比较分析计算长支链结果的差异,实验发现 gpcBR 方法比 LCBfy 方法能更精确地分析聚合物的长支链数,尤其是具有低支链度的聚合物。除此以外, gpcBR 的结果与聚合物流变学性质及加工性能有很好的相关性。

3.3 低分子量物质的分析

常见的树脂材料如环氧树脂、酚醛树脂、聚氨酯等,均是利用活性单体通过聚合得到的高分子材料,

聚合过程往往是小分子的消除,大分子聚合物的形成,里面往往存在部分单体没能聚合或者部分聚合形成低聚物,此外,部分聚合物材料在成型加工时会添加各种助剂,这些小分子物对聚合物材料的性能及寿命有着不可忽视的影响。因为小分子物质、预聚物与高聚物的分子量相差甚远,运用 GPC 进行分析时,不同分子量物质的洗出时间不一样。利用高分离度色谱柱,可以对树脂材料的各级聚合物及小分子添加剂进行有效分离,这时使用高精度检测器或联用其它分析方法如质谱^[28]等,进一步对小分子物质进行精确分析,从而做到对聚合物单体残留水平合添加剂的质量控制,具有重要的商业价值。

Muñoz-Almagro 等^[29]分别使用高效凝胶渗透色谱(HPSEC)联用蒸发光散射(ELS)和示差折光(RI)检测器去对比分析具有宽分子量分布的果胶,实验结果证明 HPSEC-ELSD 对比 HPSEC-RID 检测系统具有更低的检测限以及更高的精度,尤其对于分析小分子量的物质。

Boborodea 等^[30]使用凝胶渗透色谱联用质谱仪(MS),以 GPC-UV-MS 方法对聚苯乙烯及其低聚物和添加剂等进行分析。实验以 UV 检测器精确分析聚合物的分子量及分子量分布,而聚合物中所混杂的小分子物质由于其浓度过低,在 UV 检测器中的信噪比过低,很难获得精确的分析数据。通过 GPC 谱图,在大分子聚合物的洗脱时间之后串联质谱仪,对小分子洗脱液进行分析,结果可以清晰分析聚苯乙烯从 $n=5$ 到 18 的各级低聚物和抗氧化剂的结构和浓度。该方法首先用 GPC 分离大分子物质,避免对质谱的毛细管产生堵塞,而小分子物质即使浓度很低,质谱对比 UV 检测器能获得很高信噪比的谱图。GPC-UV-MS 方法可以快速便捷地同时分析聚合物及其所含的低分子量物质。

3.4 聚合物的老化分析

聚合物老化指的是材料在使用的过程中,由于受到光、热、氧气及微生物等作用,使其分子链产生断链、分解等现象。这时可以运用 GPC 对老化前后的聚合物分子量及分子量分布进行分析,由于聚合物的老化降解,其交联结构及分子链段产生破坏,小分子物质随即产生,分析 GPC 谱图可发现分子分布曲线向小分子方向移动,聚合物老化后的平均分子量与未老化前相比呈减小的趋势^[31]。GPC 可研究材料的老化过程,探究老化的机理,并最终可以为抗氧化剂的品种及添加量提供依据。

Puchalski 等^[32]研究聚丁二酸丁二醇酯(PBS)和聚丁二酸-己二酸-丁二醇酯(PBSA)分别在堆肥、土壤生物降解、人工风化条件下的降解,实验通过凝胶渗透色谱联用多角光散射检测器(SEC-MALLS)表征其降解前后的分子量和分子量分布的变化,结果发现三种条件下 PBS、PBSA 的分子量均出现降低,表明聚合物出现降解形成小分子,而人工风化与堆肥降解的分子量分布出现截然不同的结果,随着降解的过程,人工风化的分子量分布变宽而堆肥的分子量分布变窄,这表明存在不同的降解机理,人工风化的降解机理是随机降解,而堆肥降解的是伴随着聚合物的水解以及生物酶对低聚物的进一步快速蚀刻。

4 结语

综上所述,凝胶渗透色谱作为一种新型液相色谱,它是测定聚合物分子量及分子量分布最有效的工具,广泛应用于聚合物材料的分析表征中。如今随着新型高效色谱分离柱和检测器的研发及生产,很大程度拓宽分析的适用范围,获得的数据更准确、更精密。而且凝胶渗透色谱技术与其它检测技术联用,更是为表征聚合物提供了更多精确可行的途径。可见,凝胶渗透色谱技术是一项有极具发展潜力的新技术,在聚合物分析应用上有着广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] Berek D. J Sep Sci, 2010, 33(3):315~335.
- [2] Oberlerchner J T, Rosenau T, Potthast A. Molecules, 2015, 20(6):10313~10341.
- [3] Oberlerchner J T, Vejdovszky P, Zweckmair T, Kindler A, Koche S, Rosenau T, Potthast A. J Chromatogr A, 2016, 1471:87~93.
- [4] Barakat H, Lago W S R, Aymes-Chodur C, Ahoussou A P, Yagoubi N. Polym Degrad Stabil, 2018, 147: 206~214.

- [5] Li Y, Shen H, Lyons J W, Sammler R L, Brackhagen M, Meunier D M. Carbohydr Polym, 2016, 138:290~300.
- [6] Boborodea A, Brookes A. Polym Test, 2017, 64:217~220.
- [7] Fekete S, Beck A, Veuthey J L, Guillarme D. J Pharm Biomed Anal, 2014, 101:161~173.
- [8] 曾幸荣. 高分子近代测试分析技术. 广东: 华南理工大学出版社, 2007:275~286.
- [9] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理. 上海: 复旦大学出版社, 1990:199~220.
- [10] Audebert R. Polymer, 1979, 20(12):1561~1566.
- [11] 丁生龙, 丛湧, 高春梅, 柳明珠. 化学通报, 2017, 80(2):151~156.
- [12] Kosińska J, Boczkaj G, Gałęzowska G, Podwysocka J, Przyjazny A, Kamiński M. Road Mater Pavement Des, 2016, 17(3): 547~562.
- [13] Li Y, Meunier D M, Partain E M. J Chromatogr A, 2014, 1359:182~188.
- [14] 刘承果, 谢鸿峰, 郑云, 程谿时. 高分子学报, 2008, 1(11):1031~1036.
- [15] Lavric S, Preis J, Rosenauer C, Radke W. J Chromatogr A, 2017, 1520:103~106.
- [16] Cheng X P, Zhang H B, Hu J J, Feng L F, Gu X P, Jean-Pierre C. Polym Test, 2018, 67:213~217.
- [17] Beskers T F, Hofe T, Wilhelm M. Macromol Rapid Commun, 2012, 33(20):1747~1752.
- [18] Gutierrez C G, Minari R J, Gugliotta L M, Meira G R, Vega J R. J Polym Res, 2015, 22(1):622.
- [19] Morlock S, Kübel J M, Beskers T F, Lendl B, Wilhelm M. Macromol Rapid Commun, 2018, 39(2): 1700307.
- [20] Wang M, Wang Y, Luo P, Zhang H, Zhang M, Hu P. J Sep Sci, 2017, 40(20): 3987~3995.
- [21] Gaborieau M, Castignolles P. Anal Bioanal Chem, 2011, 399(4):1413~1423.
- [22] Puskas J E, Burchard W, Heidenreich A J, Santos L D. J Polym Sci Pol Chem, 2012, 50(1):70~79.
- [23] Kratochvíl P, Netopilik M. Eur Polym J, 2014, 51(1):177~181.
- [24] Pathaweisariyakul T, Narkchamnan K, Thitisak B, Rungswang W, Yau W W. Polymer, 2016, 107:122~129.
- [25] Boborodea A, Cleaver G. Int J Polym Anal Charact, 2015, 21(2):130~135.
- [26] Yau W W. Macromol Symp, 2007, 257(1):29~45.
- [27] Pathaweisariyakul T, Narkchamnan K, Thitisuk B, Yau W. J Appl Polym Sci, 2015, 132(28): 42222.
- [28] Boborodea A, Cleaver G. Int J Polym Anal Charact, 2017, 22(2): 180~186.
- [29] Muñoz-Almagro N, Rico-Rodríguez F, Villamiel M, Montilla A. Food Chem, 2018, 252: 271~276.
- [30] Boborodea A, Cleaver G. Int J Polym Anal Charact, 2017, 22(6): 490~496.
- [31] Xiong B, Miller Z, Roman-White S, Tasker T L, Farina B, Piechowicz B, Joshi P, Zhu L, Gorski C A, Burgos W D, Zydney A L, Kumar M. Environ Sci Technol, 2017, 52(1): 327~336.
- [32] Puchalski M, Szparaga G, Biela T, Gutowska A, Sztajnowski S, Krucińska I. Polymers, 2018, 10(3): 251.

Application of Gel Permeation Chromatography in Characterization of Polymer Materials

LIANG Bai-jun, CHEN Gu-feng*, LIU Neng-sheng, PENG Su-biao, XIAO Qian, ZHENG Jian-guo
(Guangzhou Customs Technology Center, Guangzhou 510623, China)

Abstract: Molecular weight and molecular weight distribution are the most important and basic parameters that affect the processing and service properties of polymer materials. Therefore, Characterization of molecular weight and molecular weight distribution of polymer materials are the key to the analysis of their properties, and gel permeation chromatography is the most effective tool for the determination of molecular weight and molecular weight distribution of polymers. In this paper, the separation mechanism and molecular weight calibration of gel permeation chromatography are introduced. The application of gel permeation chromatography in characterization of polymer materials in recent years are reviewed, including the composition of copolymer, the degree of branched polymer, the low molecular content of polymer and the degradation of polymer. The future trend of gel permeation chromatography is also prospected.

Key words: Gel permeation chromatography; Molecular weight; Molecular weight distribution; Application