

超支化聚合物合成方法及应用研究进展

陈 希,王训遵,宁卓远*

(郑州大学化工与能源学院,河南 郑州 450001)

摘要:介绍了近年来超支化聚合物的研究状况和技术进展,重点讨论了超支化聚合物合成方法及应用领域,同时对超支化聚合物的发展趋势和应用前景进行了分析和展望。

关键词:超支化聚合物;合成方法;应用

中图分类号:TQ31

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2016)10-0016-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2016.10.005

Progress in synthesis and application of hyperbranched polymers

CHEN Xi, WANG Xun-qiu, NING Zhuo-yuan*

(School of Chemical Engineering and Energy, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Recent research status and technical progress of hyperbranched polymer are introduced, in which the synthesis methods and application fields are emphatically discussed. Meanwhile, the development and prospects of the hyperbranched polymers are analyzed and forecasted.

Key words: hyperbranched polymer; synthetic method; application

树状支化大分子具有高度支化的结构,因而表现出与线性聚合物不同的性能,是近年来高分子材料领域的研究热点之一,可分为树枝状和超支化聚合物2类。树枝状大分子结构上完美对称,较早受到学术界的关注,可通过多步反应合成得到,但产品的后分离和纯化过程较为烦琐,高昂的成本阻碍了其大规模工业化应用。与之相比,超支化聚合物(hyperbranched polymer, HBP)不追求完美结构,可由单体一步法合成,无需复杂的多步反应和烦琐的纯化过程,方法简单,成本较低,同时又具有树状支化大分子的许多优点,如分子间无缠绕、低黏度、不宜结晶、大量端基、良好的溶解性及较高的反应活性,表现出极大的应用潜力。

1 超支化聚合物的合成方法

超支化聚合物合成过程相对简单,通常不需要应用保护和脱保护的方法,按反应机理可分为以下3种方法:

1.1 缩聚反应

缩聚反应是制备超支化聚合物最常用、最成熟的方法,文献中报道的超支化聚合物大都采用此法

合成,通常是含有较活泼氢单体与活泼有机中间体(如酰卤、酸酐、环氧化物和异氰酸酐)进行反应,按合成过程又可分为“一步法”和“准一步法”。一步法是将原料一次加入反应器进行缩聚,优点是简单方便、无须分离提纯,而缺点是聚合物的分子质量难以控制,产物分子质量分布较宽。准一步法是按比例依次加入单体进行缩聚反应,优点是能更好地控制聚合反应,提高中心核的反应效率,降低单体之间自缩合反应的概率。缩聚反应常采用 AB_2 型单体,有时为了得到结构更复杂的聚合物,如聚苯类、聚醚酮类、聚酯类、聚酰胺类、聚氨酯类和聚硅烷类等,也采用 AB_4 、 AB_6 、 AB_8 型的单体。

Morikawa等^[1]用4-乙烯基苄基-*N,N*-二硫代氨基甲酸钠为单体,采用乙烯基苯自缩合合成新型超支化聚合物,其端基为二氨基硫羰基,是一种高效污水处理絮凝剂,主要应用于污水处理。

秦红等^[2]以三羟甲基氨基甲烷和丁二酸酐为原料,先合成 AB_3 型单体,再采用熔融缩聚法将 AB_3 型单体合成超支化聚酰胺-酯,然后再用螺吡喃对聚合物端基改性,得到了具有光致变色性能的超支化聚合物。

收稿日期:2016-01-30

基金项目:国家自然科学基金项目(51203142)

作者简介:陈希(1989-),男,硕士生;宁卓远(1984-),男,博士,研究方向为高分子合成与改性、可降解材料制备,通讯联系人,0371-67781292, nzy@zzu.edu.cn。

Karpagam 等^[3]以 2,2-二羟甲基丙酸(DMPA)为单体,氮杂环(如吡啶、哌啶和哌嗪)磷酰二氯为核,经缩聚反应合成了核壳结构的第三代超支化聚酯。在 250℃ 以下不出现热失重现象,玻璃化转变温度(T_g)范围为 -30 ~ -14℃。

1.2 活性聚合

缩聚法得到的产物分子质量分布较宽,而与之相比,活性聚合得到的分子质量分布较窄,在合成窄分布线性聚合物和一些嵌段共聚物方面得到广泛应用。目前发展起来的活性聚合主要有自缩合乙烯基聚合反应(SCVP)、原子转移自由基聚合(ATRP)和质子转移聚合(PTP)等。

ATRP 在 1995 年首次被提出,是建立在有机化学中过渡金属催化的卤原子转移自由基加成反应基础之上,单体为 ABC* 型,AB 含双键基团,官能团 C* 被活化后引发双键 AB 发生聚合。

Peleshanko 等^[4]利用 ATRP 得到了两亲性的超支化聚氧化乙烯-聚苯乙烯共聚物,合成聚合物的单体符合 ABC* 结构,AB 为末端带有双键的聚氧化乙烯,C* 为聚苯乙烯。该聚合物表面既有亲水基团又有憎水基团,表现出特殊的表面性能。

夏丽等^[5]以甲基丙烯酸羟乙酯和对氯甲基苯乙烯为单体,采用 ATRP 方法制备了一种在 SiO₂ 表面接枝多臂星型超支化嵌段共聚物,融合了有机和无机材料的优点,拓展了超支化聚合物在催化、分离和吸附等领域的应用。

Wang 等^[6]以 *N,N*-二甲基甲酰胺或甲苯为溶剂,抗坏血酸为还原剂,三氯化铁和琥珀酸为催化剂,2-溴异丁酸乙酯为引发剂,采用 ATRP 方法合成了丙烯酸正丁酯的均聚物。动力学研究表明,线型聚合物的分子质量随单体转化率逐渐增加,当单体转化率为 40% 时,分子分散指数小于 1.25。

1.3 开环聚合

开环聚合的优点是反应过程中不生成小分子化合物,反应速率快,容易得到高分子质量产物。

杨晓东等^[7]以三羟甲基丙烷(TMP)为核与环氧氯丙烷和偏苯三酸酐进行开环聚合,合成了端羟基芳香族超支化聚酯,环氧值为 0.13 mol/100 g,分子质量为 783 g/mol,可作为聚合物的增韧改性助剂,提高复合材料的韧性。

Oledzka 等^[8]用 ϵ -己内酯或 *D,L*-丙交酯与 2-甲基丙烯酸羟乙酯或 DMPA 进行开环聚合反应,得到的超支化聚合物具有良好的生物降解性和生物相容性,可用于制备医学材料。

2 超支化聚合物的应用

超支化聚合物具有高度支化的外围分子结构,且分子外围大量末端基团可以通过改性得到所需的性能,使其在许多领域得到广泛应用。

2.1 超支化聚合物在涂料中的应用

超支化聚合物因其拥有许多优异的性能,可用于制作环保涂料、粉末涂料、光固化涂料、建筑涂料、水性涂料以及各种涂料改性剂。

李世兵等^[9]以超支化聚合物为骨架,异氰酸酯为烷基基团,合成了一种超支化的封闭型异氰酸酯,克服了涂料中聚酯官能度低、极性强度和易团聚的缺点,在涂料中引入封闭性异氰酸酯,可有效提高涂层交联密度,增加漆膜硬度,提高耐擦性能和耐化学品腐蚀性能。

Lin 等^[10]以季戊四醇和 DMPA 合成超支化聚酯,用琥珀酸酐、甲苯二异氰酸酯和丙烯酸羟丙酯对聚酯进行封端,得到一系列的 UV 固化水性超支化聚氨酯(WHPUD),产物具有良好的外观、较小的粒径、较低的黏度和存储稳定性。当曝光时间为 40 s 时,WHPUDs 膜的 C=C 双键转化率达 80%,固化率在 50 s 时达到 86.79%,展示出优异的光敏性,涂膜吸水率为 22.7%,在 217.4℃ 仅热失重 10%,呈现出良好的耐水性和耐热性。

Singh 等^[11]用季戊四醇、均苯四甲酸二酐、邻苯二甲酸酐和三羟甲基丙烷合成水性多元醇聚酯,并与六甲氧甲基三聚氰胺树脂共混制备水性防腐涂料,研究发现,当两者摩尔比 1:5 时,复合材料具有较好的机械性能和防腐性能。

Liu 等^[12]用季戊四醇、乙二醇和 DMPA 合成了一种端羟基超支化聚酯,并用溶胶-凝胶法制备超支化聚合物/纳米 TiO₂ 复合材料,将其填充至涂料中。研究发现,与未改性的纳米 TiO₂ 相比,增加了纳米 TiO₂ 在基体中分散度,提高了涂料对紫外光的吸收。

李晨英等^[13]合成了一种端羧基水性超支化聚酯,研究了铬鞣过程添加超支化聚酯对铬吸收率的影响。发现添加超支化聚酯(HBPE)可提高铬吸收率,而且提高了皮革制品的热稳定性和拉伸强度,当 HBPE 用量占铬粉质量分数 7.5% 时,对铬离子的吸收效率最佳。添加 HBPE 既能保证皮革制品的品质和不改变传统工艺,又能将铬粉用量减少约 20%。

2.2 超支化聚合物在膜材料中的应用

超支化聚合物通过端基改性,可制备得到超支

化聚合物膜材料,具有良好的光学性能、力学性能和电化学性能。

Zhao 等^[14]用 Boltorn 聚酯作为添加剂制备中空纤维膜,发现膜的亲水性、孔隙度、纯水通量、平均有效孔径和断裂强度随着聚酯添加剂含量增加而增加。当凝固浴温度达到了雾点,成膜过程变为反向热致相分离的过程,膜中的指状结构变成海绵状结构,膜的孔隙度、水通量、平均有效孔径和断裂强度随着凝固浴温度的升高而增加。

宋洁等^[15]以三(2-羟乙基)异氰脲酸酯和三氯氧磷制备超支化聚磷酸酯,再以异佛尔酮二异氰酸酯与丙烯酸羟乙酯的加成产物对超支化聚磷酸酯端羟基改性,通过控制改性程度,制备了不同双键含量的 UV 固化超支化聚磷酸酯。研究表明,固化后的超支化聚磷酸酯冲击强度为 $50 \text{ kg} \cdot \text{cm}$,附着力为 0 级,柔韧性为 1 mm , T_g 和膜硬度随双键改性程度的增加而增加。

Sun 等^[16]合成了一种新型聚乙烯醇(PVA)/超支化聚酯交联复合膜,该 HBPE 是由 TMP 和 DMPA 制备而成,¹³CNMR 测得 HPBE 的支化度为 0.455 1。当 HPBE 质量分数超过 20% 时,PVC 与 HPBE 之间出现明显的分层现象;当 HPBE 质量分数为 10% 时,PVC/HPBE 复合膜呈现出最优的渗透蒸发性能,水通量为 $43.77 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,分离系数为 312。

Mahdavi 等^[17]合成了 2 种不同的超支化聚合物,一种是由 TMP 和 DMPA 合成的端羟基超支化聚酯,另一种是由邻苯二甲酸和三乙醇胺制备的超支化聚胺酯,共同添加到聚醚砜(PES)膜中制备复合超滤膜材料。结果表明,PES/HBPE 复合超滤膜较之纯 PES 膜具有较强的亲水性。随着 HBP 含量的增加,复合超滤膜的渗透和防污性能得到提高。

Dhevi 等^[18]利用 DSC 和 FTIR 技术对聚偏氟乙烯(PVDF)及其与 HBPE(质量分数 0 ~ 50%)共混物的相容性和结晶性能进行了研究。将不同质量配比组成的 PVDF/HBPE(100/0 ~ 90/10)共混超薄膜样品在 30 ~ 200℃ 下进行热退火处理,FTIR 谱图表明,全反式带(A1)约在 1280 cm^{-1} ,这与铁电特性 β -结晶相变化一致,在 90℃ 退火温度下,两样品表现出更高的吸收强度,但在 210℃ 样品熔融退火时,低于 A1 的吸收强度,原因是样品从有序的铁电特性结晶相转变为无序的非晶相。因素分析的量化数据表明,PVDF/HBPE(90/10)混合超薄膜比市售的 PVDF 和 PVDF/三氟乙烯(72/28)薄膜具有更高的 β -结晶相含量,表现出较强的铁电特性,在电子技

术应用方面极具价值。

2.3 超支化聚合物在聚合物共混中的应用

基于超支化聚合物的优异性能,使其在聚合物共混中常用作分散剂、增韧剂、增溶剂、环氧树脂的固化剂和染色助剂等添加剂,以提高共混物的流变性能和相容性。

Eissa 等^[19]合成一种端氨基超支化聚酰胺,用作增韧剂填充到以蒙脱土为填料的环氧树脂中。研究了以环氧树脂基体中超支化聚酰胺的含量、黏土含量和蒙脱土的分散度对环氧树脂/黏土复合材料物理机械性能的影响,结果表明,当增韧剂超支化聚酰胺质量分数大于 20%,填料蒙脱土质量分数小于 1% 时,复合材料的韧性、物理机械性能和热稳定性都得到显著提高。

张雅等^[20]以第三代超支化环氧树脂(EHBP)和环氧树脂(EP)为基体材料, Fe_3O_4 气凝胶为吸波剂,制备 Fe_3O_4 /EHBP/EP 吸波复合材料,通过对体系的固化反应热行为及固化动力学研究,采用程序升温的方法,确定了体系的最优固化温度及时间。结果表明,添加较低含量的 Fe_3O_4 气凝胶填料可保持纯环氧树脂基体的力学性能及低密度,同时复合材料具有吸波性能。

Li 等^[21]用以丁二酸酐和二乙醇胺合成的超支化聚酯和纳米锆粒作添加剂,对热固性环氧树脂共混改性。结果表明,HPBE 或纳米锆粒的加入能够有效提高环氧树脂的冲击强度,但是随着 HPBE 含量的增加,环氧树脂的挠曲强度减小;当 HPBE 和纳米锆粒同时进行共混改性时,复合材料则表现出更好的冲击强度和挠曲强度,可能是由于 HPBE 和纳米锆粒性能互补,共混物同时具备 HPBE 和纳米粒子的优点。

Dhevi 等^[22]用 TMP 和 DMPA 合成第四代 HBPE,将其作为增韧剂来提高双酚 A 二缩水甘油醚型环氧树脂热稳定性,采用六亚甲基二异氰酸酯中间连接剂,最终得到 HBPE-聚氨酯/环氧树脂复合材料。与纯环氧树脂和线性多元醇型环氧树脂样品相比,HBPE 改性环氧树脂表现出更高的韧性,由于弹性氨酯键的存在,使得环氧树脂基的交联密度和 T_g 有所降低,提高了抗弯曲性和热稳定性。

Sari 等^[23]合成了超支化聚酰胺,并以其改性纳米黏土,再填充到环氧树脂中,研究了改性纳米粒子在基体环氧树脂的分散度以及纳米复合材料的抗腐蚀性能。结果表明,加入改性后的纳米黏土粒子,可使复合材料的防腐蚀性大幅提高,当超支化聚合物/

纳米黏土质量比为 10:1 时,改性效果最佳。

Guzmán 等^[24]以季戊四醇与 DMPA 合成 HBPE,将其作为增塑剂制备热塑性淀粉(TPS),将 TPS 与马来酸酐接枝的低压聚乙烯(LDPE-g-MA)共混挤出制备 TPS/LDPE-g-MA 复合材料。结果表明,随着剪切速率的增加,TPS/LDPE-g-MA 共混物的黏度降低,TPS/LDPE-g-MA 共混物的拉伸强度和杨氏模量降低,而断裂伸长率随着 LDPE-g-MA 含量的增加而增加。

2.4 超支化聚合物在医学领域中的应用

超支化聚合物由于本身近似球状纳米结构,对药物、基因和蛋白质等生物活性剂具有很高的封装效果,使得超支化聚合物在细胞组织工程和生物新材料应用方面具有潜在的应用价值。

Xie 等^[25]采用四臂星型超支化聚乳酸(HPLA)和苯胺四聚体(AT)缩聚合成一种超支化聚合物(HPLAAT),HPLA 和 HPLAAT 均表现出良好的应变延性和较大的模量,HPLAAT 展现出较高的电活性和热稳定性,因此,HPLAAT 比 HPLA 在机体修复方面更具优势。该聚合物可用于修复肌肉功能,对人体正常生理活动起到至关重要的作用。

Adeli 等^[26]以柠檬酸和甘油为单体制备的超支化聚酯对抗癌药物顺铂具有很高的加载和传输能力,整个药物传输体系能够在盐水缓冲液稳定数月。抗癌药物输送系统对 C26 癌细胞株的毒性测试表明,超支化聚酯输送顺铂体系表现出比单独顺铂较低的 IC50 值,证实了柠檬酸甘油超支化聚酯作为生物相容运载体的功效。

2.5 其他方面的应用

Zhao 等^[27]用 TMP 和 DMPA 制备出分子量最高为 5 170 g/mol 的 HBPE,并湿法改性填充到聚砜中空纤维超滤膜中。随着 HBPE 分子质量的增加,PSF-HBPE-PEG400-DMAc 涂料溶液黏度增加,并且涂料溶液剪切变稀的现象更加明显;涂料溶液在水中的分层速率随着 HBPE 分子质量的增加先增大后减小。HBPE 还使超滤膜的纯水接触角和平均有效孔径降低,而断裂强度和断裂伸长率增加。

单宁等^[28]合成了 Boltorn 二代端羟基超支化聚酯 HBPE-2-OH,再用丁二酸酐进行端基改性,得到了端羧基超支化聚合物 HBPE-2-g-COOH。HBPE-2-COOH 具有良好的阻垢性能,当阻垢剂的用量为 20 mg/L 时,阻垢率达到 98.31%,TEM 分析表明,它能够抑制和破坏硫酸钙晶体的生长和降低晶体表面强度,从而起到抑制结垢的作用。

Qiang 等^[29]以丙烯酸甲酯和二乙醇胺迈克尔加成反应形成 AB₂ 型单体,再与三羟甲基丙烷合成超支化聚合物,然后以油酸对其进行端基改性,产物可用作表面活性剂使用。结果表明,油酸改性效果良好,该活性剂能显著降低水的表面张力。

3 结语

超支化聚合物由于其独特的结构形态和性质,已经成为一类具有广泛应用前景的材料,将成为人类生活和科学研究中不可或缺的一部分。随着现代聚合技术、物理改性技术和化学改性技术的不断发展和进步,研究人员将能够合成具有特定功能的新型超支化聚合物,因此,以超支化聚合物为基础的新型材料将不断涌现。总体上,超支化聚合物的合成及应用仍是一个新型的研究领域,有许多方面仍处于探索阶段,还需要进一步研究新的合成方法,并拓展超支化聚合物的应用。

参考文献

- [1] Morikawa M, Kim K, Kimizuka N, *et al.* Aqueous nanospheres self-assembled from hyperbranched polymers and silver ions: Molecular inclusion and photoreduction characteristics [J]. *Macromolecules*, 2010, 43(21): 8971-8976.
- [2] 秦红, 周建, 安业娜, 等. 超支化聚(酰胺-酯)的合成及其光致变色性能研究[J]. *胶体与聚合物*, 2010, 28(4): 174-177.
- [3] Karpagam S, Guhanathan S. Synthesis and properties of nitrogen heterocycle-functionalized core-shell hyperbranched polyester[J]. *International Polymer Processing*, 2015, 30(2): 233-242.
- [4] Peleshanko S, Gunawidjaja R, Fetrah S, *et al.* Synthesis and inter-racial behavior of amphiphilic hyperbranched polymers: poly(ethylene oxide)-polystyrene hyperbranches[J]. *Macromolecules*, 2006, 39(14): 4756-4766.
- [5] 夏丽, 周志平. SiO₂-多臂星型超支化嵌段共聚物复合材料的制备与表征[J]. *功能材料*, 2014, 45(2): 2090-2094.
- [6] Wang G X. Synthesis of poly(*n*-butyl acrylate) homopolymers by activators generated by electron transfer (AGET) ATRP using FeCl₃·6H₂O/succinic acid catalyst[J]. *Iran Polymer Journal*, 2011, 20(11): 931-938.
- [7] 杨晓东, 郑亚萍, 张娇霞, 等. 芳香族超支化聚酯型环氧树脂的合成及表征[J]. *材料科学与工程学报*, 2009, 27(6): 837-840.
- [8] Oledzka E, Sobczak M, Kolmas J, *et al.* Selenium-substituted hydroxyapatite/biodegradable polymer/pamidronate combined scaffold for the therapy of bone tumour[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2015, 16(9): 22205-22222.
- [9] 李世兵, 施殊容, 王少峰. 一种超支化的封闭型异氰酸酯及其制备方法以及其在涂料中的应用: CN, 104892895 [P]. 2015-09-09.

- [10] Lin X, Zhang S, Qian J. Synthesis and properties of a novel UV-curable waterborne hyperbranched polyurethane[J]. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2014, 11(3): 319–328.
- [11] Singh A P, Suryanarayana C, Naik R B, *et al.* Development of hyperbranched polyester polyol-based waterborne anticorrosive coating[J]. *American Journal of Coatings Technology and Research*, 2016, 13(1): 41–51.
- [12] Liu Y X, Liu Y Y, Zhang C H, *et al.* Hyperbranched polyester-stabilized nanotitania-coated vectran fibers with improved UV-blocking performance[J]. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2015, 300(1): 64–69.
- [13] 李晨英, 刘白玲, 单宁, 等. 端羧基水性超支化聚酯作为促络吸收添加剂的应用[J]. *中国皮革*, 2015, 44(1): 14–17.
- [14] Zhao L B, Liu M, Xu Z L, *et al.* PSF hollow fiber membrane fabricated from PSF-HBPE-PEG400-DMAc dope solutions via reverse thermally induced phase separation(RTIPS) process[J]. *Chemical Engineering Science*, 2015, 137(1): 131–139.
- [15] 宋洁, 贾艳玲, 赵婷婷, 等. UV 固化超支化聚磷酸酯的制备与性能研究[J]. *化工新型材料*, 2015, 43(8): 81–82.
- [16] Sun D, Yang P, Sun H L, *et al.* Preparation and characterization of cross-linked poly(vinyl alcohol)/hyperbranched polyester membrane for the pervaporation dehydration of ethylene glycol solution[J]. *European Polymer Journal*, 2015, 62(1): 155–166.
- [17] Mahdavi H, Hosseinzadeh M T. Effect of hyperbranched polyester and poly(amine ester) on the performance and properties of polyethersulfone membranes[J]. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 2015, 12(8): 1465–1472.
- [18] Dhevi D M, Prabu A A, Pathak M. Miscibility, crystallization and annealing studies of poly(vinylidene fluoride)/hyperbranched polyester blends[J]. *Polymer*, 2014, 55(3): 886–895.
- [19] Eissa M M, Samy M, Ramadan A M, *et al.* Amino-terminated hyperbranched polymer for toughness improvement of epoxy/clay nanocomposites[J]. *Polymer Bulletin*, 2015, 72(12): 3147–3168.
- [20] 张雅, 柴春鹏, 罗运军, 等. Fe₃O₄ 气凝胶/超支化环氧化合物/环氧树脂复合材料的固化行为及性能表征[J]. *高分子材料与工程*, 2015, 31(3): 88–93.
- [21] Li S P, Cui C, Hou H J, *et al.* The effect of hyperbranched polyester and zirconium slag nanoparticles on the impact resistance of epoxy resin thermosets[J]. *Composites Part B: Engineering*, 2015, 79(1): 342–350.
- [22] Dhevi D M, Jaisankar S N, Pathak M. Effect of new hyperbranched polyester of varying generations on toughening of epoxy resin through interpenetrating polymer networks using urethane linkages[J]. *European Polymer Journal*, 2013, 49(11): 3561–3572.
- [23] Sari M G, Ramezanzadeh B, Shahbazi M, *et al.* Influence of nanoclay particles modification by polyester-amide hyperbranched polymer on the corrosion protective performance of the epoxy nanocomposite[J]. *Corrosion Science*, 2015, 92(1): 162–172.
- [24] Guzmán M, Murillo E A. The properties of blends of maleic-anhydride-grafted polyethylene and thermoplastic starch using hyperbranched polyester polyol as a plasticizer[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2015, 25(11): 2526–2533.
- [25] Xie M H, Wang L, Guo B, *et al.* Ductile electroactive biodegradable hyperbranched polylactide copolymers enhancing myoblast differentiation[J]. *Biomaterials*, 2015, 71(1): 158–167.
- [26] Adeli M, Rasoulia B, Saadatmehr F, *et al.* Hyperbranched poly(citric acid) and its application as anticancer drug delivery system[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 129(6): 3665–3671.
- [27] Zhao L B, Liu M, Xu Z L, *et al.* Modification of polysulfone hollow fiber ultra filtration membranes using hyperbranched polyesters with different molecular weights[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2015, 26(4): 353–361.
- [28] 单宁, 陈华林, 刘白玲, 等. 端羧基超支化聚酯的合成及阻垢性能[J]. *高分子材料科学与工程*, 2015, 31(1): 1–6.
- [29] Qiang T T, Bu Q Q, Huang Z F, *et al.* Structural and interfacial properties of hyperbranched-linear polymer surfactant[J]. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2014, 17(5): 959–965. ■

沃特世推出新型质谱采集模式推动蛋白质组学和脂类组学研究发展

沃特世公司于 2016 年 9 月 20 日宣布于国际人类蛋白质组研究组织 (HUPO) 第 15 届国际大会上推出了全新的数据采集模式 SONAR™, 该模式专为 Xevo® G2-XS 四极杆飞行时间 (QToF) 质谱仪 (MS) 而开发, 提供全新的非数据依赖型采集 (DIA) 方案获取 MS/MS 数据。这项技术能够帮助分析科学家们提升实验室工作效率, 同时让他们对生成的结果更有信心。借助 SONAR 数据采集模式, 科学家们只需执行一次进样即可完成复杂样品中脂质、代谢物和蛋白质的定量和鉴定, 免去了采用 MS/

MS 方法分析时通常需要额外进行方法开发的麻烦。

在现代蛋白质组学实验中, 基于 DIA 的质谱技术是分析人员获取包含大量数据的样品谱图时常用的一项技术。随着蛋白质组学和脂类组学研究的不断发展, 科学家们越来越追求针对性更强的实验, 来定量分析特定的肽和蛋白质, 这就需要额外进行方法开发和重复分析。面对越来越复杂的样品, 沃特世新推出的 SONAR 数据采集模式能够提供更丰富的信息, 同时提升数据的清晰度。(叶晓晨)