·综述·

文章编号：1001-5493(2024)01-0001-13 DOI: 10.16026/j.cnki.iea.2024010024

聚酰胺-胺树形大分子吸附分离材料的构筑及应用研究进展*

刘同河,王柄翔,吴开彦,汪佳璇,牛余忠**

(鲁东大学化学与材料科学学院,烟台 264025)

摘 要：聚酰胺-胺(PAMAM)树形大分子具有高度支化的分子结构和丰富的叔胺、酰胺和氨基等功能基团，且各功能基团随树形大分子代数增加呈规律性增加和排布，为吸附位点的集中、层次性分布提供了理想的模板。同时，PAMAM树形大分子具有良好的水溶性、稳定性和pH响应性，可通过调控树形大分子的代数、中心核、外层端基以及溶液pH等提升其对不同水体环境的适应性及对目标物的选择性吸附分离性能，因此，以PAMAM树形大分子构筑吸附分离材料在金属离子、染料、生物分子和药物分子以及CO_2的吸附分离领域具有重要应用。本文对PAMAM树形大分子吸附分离材料的构筑及应用研究进展进行了全面总结，并展望了该类材料未来的应用前景和发展方向。

关键词：PAMAM树形大分子，构筑，吸附，应用

中图分类号：O647.3 **文献标志码：**A

1 前 言

树形大分子是一类结构规整、具有树枝状三维结构的高分子材料[1]。聚酰胺-胺(PAMAM)树形大分子是目前研究和应用最广泛的一类树形大分子，最早由Tomalia等人在20世纪80年代报道[2,3]。PAMAM树形大分子主要通过发散合成法合成，即从中心核开始，由内而外逐步进行合成。合成PAMAM树形大分子的中心核为含有氨基的化合物，最常见的为乙二胺分子，合成过程主要通过氨基与丙烯酸甲酯发生迈克尔加成反应生成以酯基为端基的半代产品，随后通过以酯基为端基的半代产品与乙二胺的酰胺化反应生成以氨基为端基的整代样品；通过不断迭代以上两步合成不同代数的(Generation，G) PAMAM树形大分子。PAMAM树形大分子中含大量集中的氮、氧功能基团且各功能基团随树形大分子代数增加呈规律性增加和排布(以第3.0代为例，其结构如图1所示),对金属离子、有机污染物、生物分子、CO_2等目标物具有良好的结合能力[4]。此外，PAMAM树形大分子易于功能化，可通过对其外围端基进行功能化实现对目标物的选择性吸附分离[3, 5~7]。但是，PAMAM树形大分子及其与金属离子、有机污染物等的配合物在水中及大部分有机溶剂中均具有良好的溶解性，这在一定程度上限制了其在吸附分离领域的应用。因此，通常需选用不溶于水的基体对PAMAM树形大分子进行固载从而发挥其独特的分子结构优势，实现在吸附分离领域的应用。本文系统综述了基于PAMAM树形大分子

* 收稿日期：2023-05-08
项目基金：国家自然科学基金(基金号 22278201),山东省高等学校青年创新团队人才引育计划,烟台市科技创新发展计划基础研究类项目重点项目(基金号 2022JCYJ030).
作者简介：刘同河(1997~),硕士研究生.
**通信联系人：E-mail: niuyuzhong@ldu.edu.cn
引用本文：刘同河, 王柄翔, 吴开彦, 等. 聚酰胺-胺树形大分子吸附分离材料的构筑及应用研究进展[J]. 离子交换与吸附, 2024, 40(1):1-13.
Citation: LIU Tong-he, WANG Bing-xiang, WU Kai-yan, *et al*. Progress on Fabrication of Polyamidoamine Dendrimer-Based Adsorbents and Their Application[J].Ion Exchange and Adsorption,2024,40(1):1-13.

的吸附分离材料的构筑方法及其在重金属离子、染料、生物和药物分子以及CO_2吸附分离领域的应用进展，并展望了该类材料未来的应用前景和发展方向。

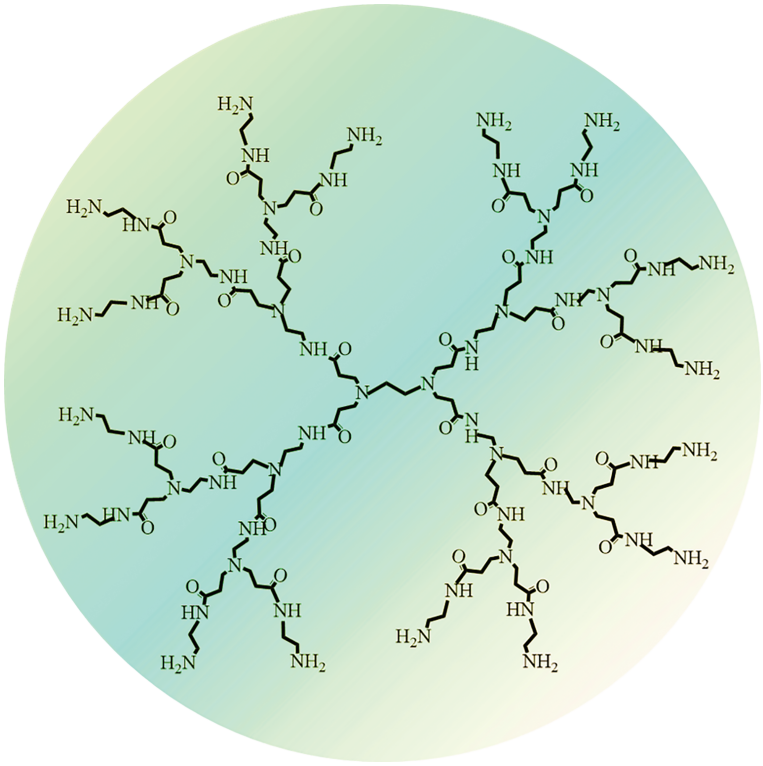

图1 第3.0代PAMAM树形大分子的结构示意图.

Figure 1 The structure of the third generation PAMAM dendrimer.

2 基于PAMAM树形大分子吸附分离材料的构筑方法

2.1 “Graft from”法和“Graft onto”法构筑PAMAM树形大分子吸附分离材料

“Graft from”和“Graft onto”法是对PAMAM树形大分子进行固载的最常用的方法。“Graft from”方法是首先在基体表面引入氨基活性中心，随后采用发散合成法的一般步骤，通过迭代氨基与丙烯酸甲酯的Michael加成反应及酯基与乙二胺的酰胺化反应在基体表面逐步引入不同代数的PAMAM树形大分子。通过此法已实现了硅胶、聚苯乙烯微球、壳聚糖及果蔬残渣等不同基体负载PAMAM树形大分子吸附分离材料的构筑及其在重金属离子、染料、生物及药物分子等吸附分离领域的应用[8~12]。例如，作者团队以苹果残渣为基体，参照图2所示路线，通过与环氧氯丙烷及乙二胺的反应在苹果残渣表面引入氨基，随后采用发散合成法的基本步骤合成了苹果残渣负载第0.5~2.0代PAMAM树形大分子(G0.5/CE-G2.0/CE),进一步通过水杨醛对氨基为端基的G1.0/CE和G2.0/CE进行功能化，得到了苹果残渣固载席夫碱功能化的PAMAM树形大分子，实现了对水溶液中Hg (II)的高效吸附分离[3]。

与之不同，“Graft onto”法则是首先按照发散合成法的一般步骤合成不同代数的PAMAM树形大分子，然后利用其外围官能团与基体表面活性点进行反应，将PAMAM树形大分子固载到基体表面实现吸附分离材料的合成。例如，曲荣君等以γ-氨基丙基三乙氧基硅烷 (APES) 为中心核，首先通过发散合成法合成了第1.0、2.0和3.0代PAMAM树形大分子，随后采用“Graft onto”法将其固载到硅胶表面，并将其应用于水中Au(III) 的吸附分离[13]。此外，许多研究者还采用此方法制备了纤维素、PVDF膜和磁性纳米Fe_3O_4固载的PAMAM树形大分子吸附分离材料，分别实现了对水中不同金属离子和染料等目标物的高效吸附分离[14~16]。

由此可见，采用“Graft from”和“Graft onto”

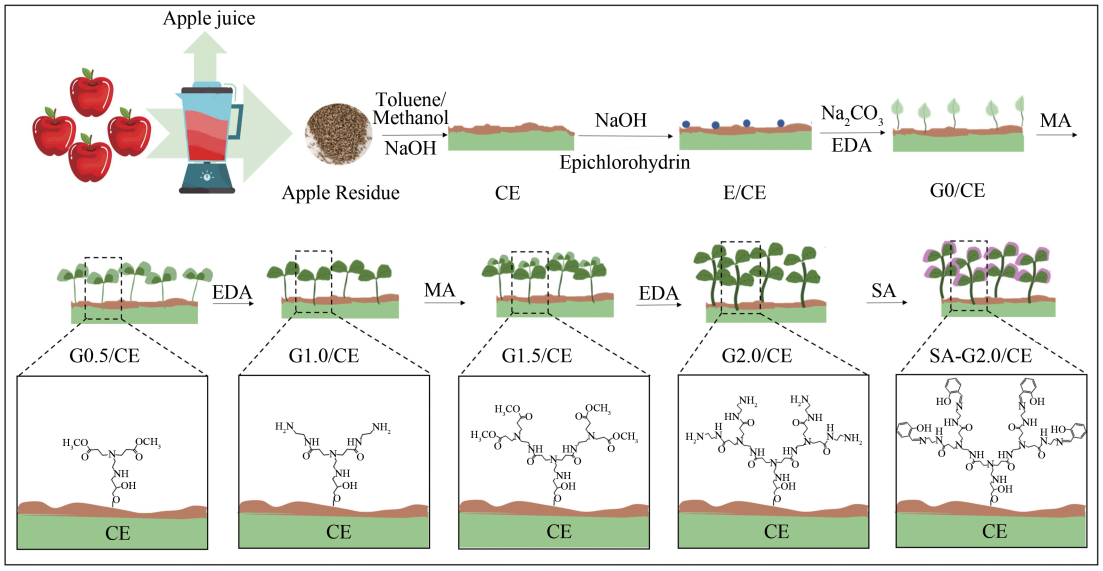

图 2　SA-G2.0/CE 的合成路线[3].

Figure 2　The synthesis route of SA-G2.0/CE[3].

两种方法均可实现将 PAMAM 树形大分子固载于基体表面构筑高效吸附分离材料，但这两种方法也存在一定的缺陷从而限制了所得材料吸附分离的提升。首先，“Graft from”和“Graft onto”方法本质上均属于对基体表面的化学修饰，在通过这两种方法构筑吸附分离材料的过程中，随着 PAMAM 树形大分子代数的增加，其分子体积也在逐步增加，会造成基体的孔道变小甚至消失，使吸附目标物很难扩散到载体的内部与 PAMAM 树形大分子进行配位结合，导致其对目标物的吸附容量减小[14]；其次，在“Graft from”法构筑吸附分离材料的过程中，载体孔道的减小会阻碍反应物分子 (丙烯酸甲酯或乙二胺分子) 扩散到基体内部的反应微环境中，导致 PAMAM 树形大分子容易形成分子内或分子间交联结构 (以硅胶负载 PAMAM 第 3.0 代树形大分子为例，其交联结构如图 3 所示),使得接枝到基体表面的 PAMAM 树形大分子含量降低、负载高代数 PAMAM 树形大分子的吸附分离材料的吸附性能下降[17]；再次，两种方法都会导致基体表面 PAMAM 树形大分子分布不均匀、功能基含量较低，从而造成材料吸附容量小、吸附选择性差，使得 PAMAM 树形大分子独特的结构优势并未充分发挥[18]。因此，发展基于 PAMAM 树形大分子吸附分离材料制备的新方法，实现高容量、高吸附选择性的 PAMAM 树形大分子吸附分离材料的制备和应用仍是当前面临的重要挑战。

2.2　溶胶-凝胶法构筑 PAMAM 树形大分子吸附分离材料

近年来，通过溶胶-凝胶法制备孔隙丰富的多孔材料的研究发展为 PAMAM 树形大分子吸附分离材料的构筑提供了一个新思路[19,20]。溶胶-凝胶法是指以烷氧化物为先驱体，通过先驱体的水解与缩醇化反应形成溶胶，最后通过缩聚反应形成凝胶制品的一种方法。受此启发，如果将烷氧基硅基引入到 PAMAM 树形大分子内部，通过在溶液中均相反应制备具有规整结构的烷氧基硅基 PAMAM 树形大分子，进一步通过与正硅酸乙酯的溶胶-凝胶反应制备含 PAMAM 树形大分子的多孔硅胶吸附分离材料，在保持 PAMAM 树形大分子规整结构的同时，可以实现对其孔道的有效调控，从而实现吸附分离性能的提升[21]。如 Sun 等以 3-氨丙基三乙氧基硅烷为中心核，采用发散法在均相的溶液中合成了 G0.5~G2.0 代烷氧基硅基 PAMAM 树形大分子，然后分别以整代数的 PAMAM 树形大分子和正硅酸乙酯为前驱体，十六烷基三甲基溴化铵为致孔剂，通过此方法合成了系列硅胶键载 PAMAM 树形大分子吸附分离材料，研究了其对水溶液中 Hg(II) 的吸附性能[21]。作者团队以氨基丙基三乙氧基硅烷为中心核，采用发散合成法的步骤合成了 0.5~2.0 代 PAMAM 树形大分子，进一步通过异硫氰酸甲酯对氨基为端基

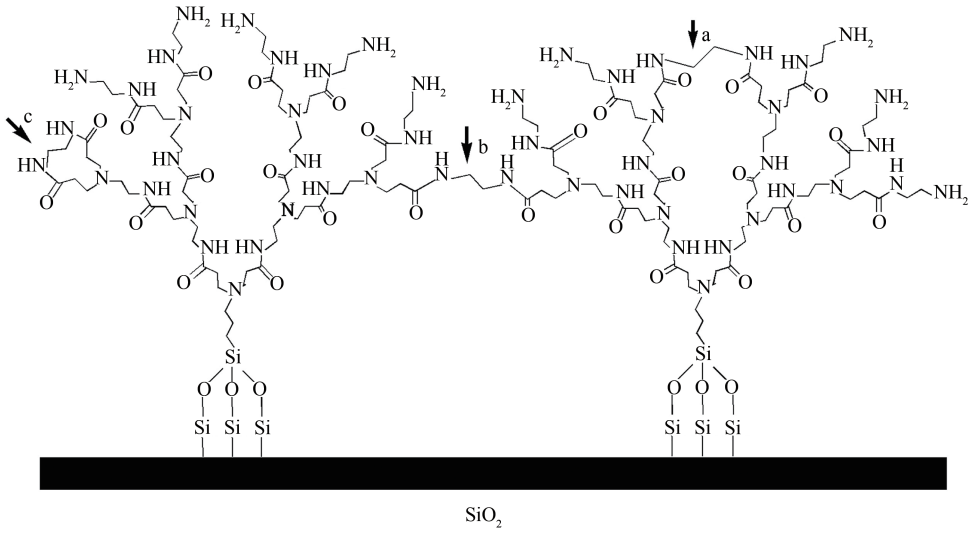

图3 硅胶负载PAMAM第3.0代树形大分子交联结构示意图[17].

Figure 3 The cross-linking structure of silica gel supported third generation PAMAM dendrimer[17].

的树形大分子进行功能化，然后分别以整代数的异硫氰酸甲酯功能化的PAMAM树形大分子和正硅酸乙酯为前驱体，氟化铵为致孔剂，采用同样的方法合成了硅胶固载的异硫氰酸甲酯修饰的PAMAM树形大分子吸附分离材料，并研究了其对水溶液中Hg(II)和Cd(II)的吸附性能[18]。溶胶-凝胶法构筑PAMAM树形大分子吸附分离材料能够有效克服“Graft from”和“Graft onto”方法造成的功能基含量低、分布不均匀、孔道堵塞等缺陷带来的吸附效率低、分离效果差的问题，可以实现对目标物的高效、高选择性吸附分离。但烷氧基硅基PAMAM树形大分子合成过程中均为溶液中的均相反应，不利于反应结束后过量反应物及溶剂的脱除，因此给产物的纯化带来了一定的难度，在一定程度上限制了其应用[6]。

3 PAMAM树形大分子吸附分离材料的应用

3.1 在金属离子吸附分离中的应用

随着国民经济的发展，化石燃料生产、电池和塑料制造、采矿和冶金等行业产生的废水中含有大量重金属离子。重金属离子难以降解，会随食物链循环，若进入人体会破坏细胞代谢，对生态系统和人类健康造成严重危害[22~24]。PAMAM树形大分子中含有大量的氮、氧功能基团且分子内存在空腔，易于实现对金属离子的吸附与包埋，因此被广泛应用于金属离子吸附分离材料的构筑。Qin等采用“Graft onto”的方法制备了凹凸棒(ATP)负载第1.0~4.0代PAMAM树形大分子吸附分离材料(G1.0~G4.0)并将其用于水溶液中Hg(II)的吸附分离。所得吸附分离材料对Hg(II)的吸附容量的大小顺序依次为G2.0>G1.0>G3.0>G4.0，对Hg(II)的吸附量可达200.8 mg/g，与未经修饰的ATP相比，其吸附量提升了3916%，并且经过5次吸附-解吸循环后，吸附分离材料对Hg(II)的吸附量仍可达到初始吸附量的90%以上[25]。Nabil等从橡木锯末废料中提取了木制纤维，以环氧氯丙烷作为交联剂，采用“Graft onto”方法将PAMAM树形大分子固载到纤维素表面，制备了具有高效、低成本和环保的生物质吸附分离材料，结果表明所制备的吸附分离材料对Cu(II)、Co(II)、Cr(VI)、Cd(II)和Mn(II)等离子均具有良好的吸附性能，其吸附量分别可达198、196、190、188和198 mg/g[16]。Sun等同样采用“Graft onto”方法制备了聚丙烯酸接枝聚偏氟乙烯的膜(PVDF-*g*-PAA)固载的PAMAM树形大分子吸附分离材料，并将其用于水溶液中Cu(II)的吸附分离。结果表明，接枝3.0代PAMAM树形大分子的分离膜在溶液pH为5时对Cu(II)的吸附效果最好，吸附量可达153.8 mg/g，且经过5次吸附-解吸循环后，仍具有良好的吸附能力[15]。此外，部分研究者也采用“Graft from”的方法构筑了系列

PAMAM 树形大分子吸附分离材料并将其用于水溶液中重金属离子脱除。例如，Hayati 等采用此方法制备了碳纳米管负载的 PAMAM 树形大分子吸附分离材料，通过固定床实验考察了其对水溶液中 Co(II) 和 Zn(II) 的吸附性能。结果表明，在固定床高度为 12.0 cm、离子浓度为 100 mg/L、流速为 0.5 mL/min 时，其对 Co(II) 和 Zn(II) 的吸附量分别可达 494 mg/g 和 470 mg/g[26]。Ma 等以六亚甲基二胺改性的磁性石墨烯氧化物 (HMGO-NH_2) 为基底，然后采用“Graft from”法将第 1.0 代 PAMAM 树形大分子负载于其表面制得吸附分离材料 (HMGO-PAMAM-G1.0), HMGO-PAMAM-G1.0 对 Hg(II) 和 Pb(II) 的吸附量分别可达 164.24 mg/g 和 80.78 mg/g[27]。Kothavale 等采用 (3-氨丙基) 三乙氧基硅烷 (APTES) 对纯化的磁性纳米粒子 (MNPs) 进行修饰得到功能化的磁性纳米粒子 (MNPs-APTES),然后以 MNPs-APTES 为中心核，采用“Graft from”法将第 2.0 代 PAMAM 树形大分子负载于其表面制得吸附分离材料 (MNP-G2) (合成路线如图 4 所示)。所得材料对 Pb(II)、Ni(II) 和 Cd(II) 表现出良好的吸附性能，其对 Pb(II)、Ni(II) 和 Cd(II) 的吸附量分别为 92.82、80.10 和 57.72 mg/g[28]。本文作者团队也采用此方法，按照图 2 所示路线制备了苹果残渣固载的席夫碱功能化的 PAMAM 树形大分子吸附分离材料，所得材料对 Hg(II) 的最大吸附量可达到 0.8 mmol/g，在 Ni(II)、Cd(II)、Pb(II)、Mn(II) 共存时可以 100% 选择性吸附 Hg(II)；经过 3 次循环使用再生后，其对 Hg(II) 仍具有良好的吸附性能[3]。

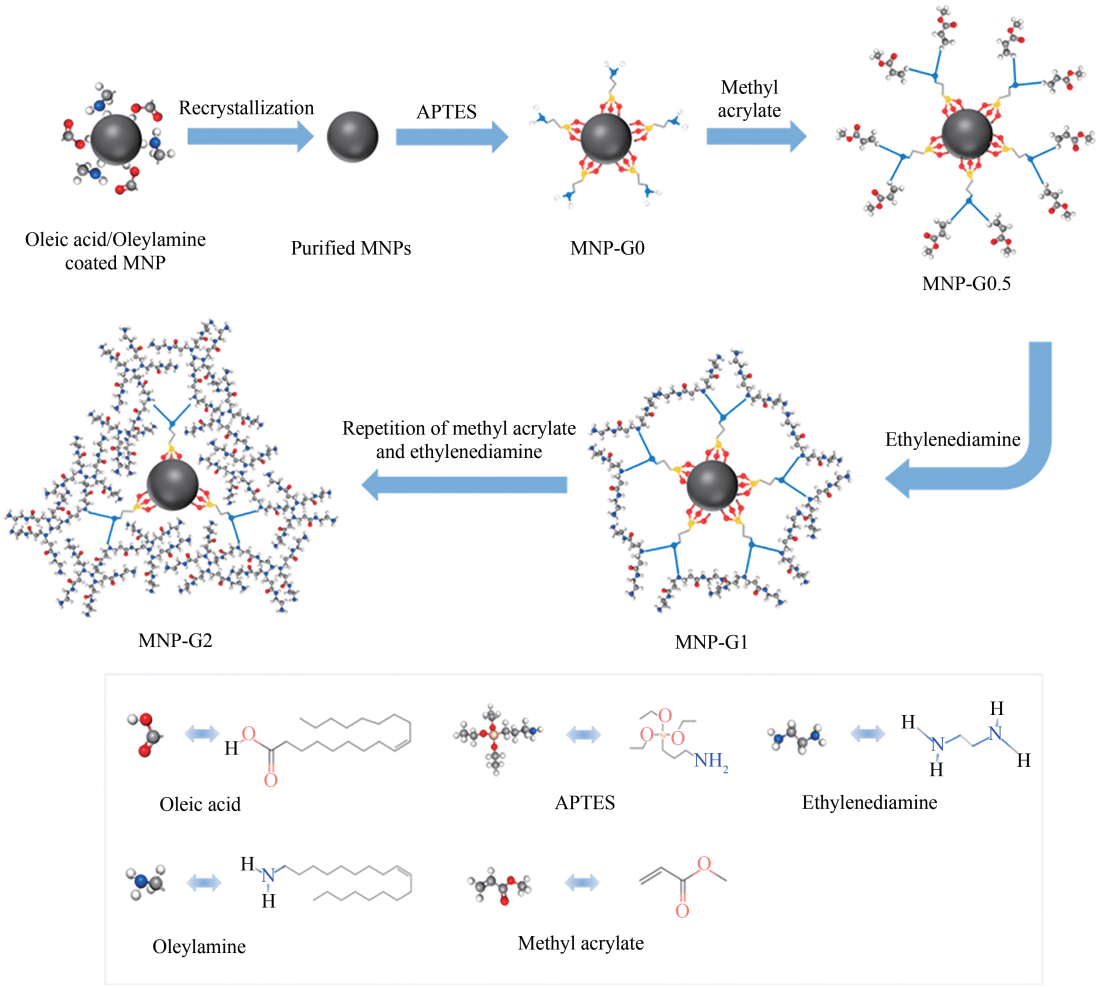

图 4　MNP-G2 的合成路线图[28].

Figure 4　The synthesis route of MNP-G2[28].

除此之外，部分研究者也采用溶胶-凝胶法构筑PAMAM吸附分离材料并用于重金属离子去除。例如，Sun等以氨丙基三乙氧基硅烷为中心核，采用发散合成法合成了第1.0代PAMAM树形大分子，随后通过与正硅酸乙酯的溶胶-凝胶法合成了系列硅胶键载第1.0代PAMAM树形大分子吸附分离材料；研究了其对水溶液中Hg(II)、Ag(I)、Pb(II)、Cu(II)和Ni(II)等离子的吸附性能，所得材料对Hg(II)具有良好的吸附性能，最大吸附量可达1.51 mmol/g，经过3次吸附-解吸循环后，其吸附量仍可达初始吸附量的90%以上[21]。本文作者团队以氨丙基三乙氧基硅烷为中心核，采用发散合成法合成了第1.0和2.0代PAMAM树形大分子，随后通过异硫氰酸甲酯对其功能化得到了含硫PAMAM树形大分子；在此基础上通过与正硅酸乙酯的溶胶-凝胶反应制备了系列PAMAM树形大分子/多孔硅胶吸附分离材料，系统考察了不同代数和孔结构的PAMAM树形大分子/多孔硅胶吸附分离材料对水溶液中Hg(II)和Cd(II)的吸附性能。结果表明，采用此方法合成的吸附分离材料与通过“Graft from”方法合成相同功能基的硅胶负载含硫PAMAM树形大分子相比，其吸附性能显著提高。以第2.0代PAMAM树形大分子/多孔硅胶吸附分离材料为例，其对Hg(II)和Cd(II)最大吸附容量分别为2.41 mmol/g和0.87 mmol/g，以Hg(II)为例，与传统“Graft from”方法所合成材料相比，其最大吸附容量提高了21.6%，并且经过五次吸附-解吸循环后，对金属离子的吸附量仍保持在初次吸附量的95%以上。此外，当Co(II)、Pb(II)、Cd(II)、Cu(II)等离子与Hg(II)共存时，所得材料对Hg(II)表现出优异的吸附选择性能[18]。

近年，稀贵金属离子和放射性金属离子的分离富集成为吸附分离领域研究的热点[29~32]。PAMAM树形大分子独特的结构特点，使其在稀贵金属离子和放射性金属离子的分离富集领域具有重要的应用，受到科学家的广泛关注。例如，在贵金属离子吸附分离领域，Zhang等利用γ-氯丙基三甲氧基硅烷(CPTS)与二乙烯三胺(DETA)反应制得CPTS-DETA，然后采用“Graft from”的方法将其固载到硅胶表面，制得硅胶固载第1.0代DETA吸附分离材料(SG-DETA),随后采用发散合成法的一般步骤制备了硅胶固载第2.0代DETA吸附分离材料(SG-DETA2),并研究了SG-DETA和SG-DETA2对Au(III)的吸附性能，对Au(III)的最大吸附量分别达到411.7 mg/g和417.6 mg/g；当Cu(II)、Ni(II)、Pb(II)共存时，可100%选择性吸附Au(III)[33]。Yen等也采用“Graft from”方法制备了第3.0代PAMAM树形大分子改性的磁性纳米吸附分离材料(MNP-G3),并将其用于水溶液中Pd(IV)、Pd(II)、Au(III)和Ag(I)等贵金属离子的回收。结果表明，MNP-G3对Pd(IV)和Au(III)具有更高的吸附能力，对Pd(IV)、Au(III)、Pd(II)和Ag(I)的吸附量分别可达3.6、3.6、2.6和2.8 mg/g[34]。Qu等采用“Graft onto”方法合成了硅胶负载第1.0、2.0和3.0代PAMAM树形大分子吸附分离材料，并研究了其对Au(III)的吸附性能，结果表明，三者对Au(III)的最大吸附容量可分别达1.48、2.45和2.21 mmol/g[13]。在稀土离子和放射性金属离子吸附分离领域，He等采用“Graft onto”法将PAMAM树形大分子接枝到聚丙烯腈纤维上制备了吸附分离材料(PAO-*h*-PAMAM)并探究了其对海水中U(VI)的吸附分离能力。PAO-*h*-PAMAM对U(VI)的吸附量可达441.0 mg/g，经过5个吸附-解吸循环再生后仍对U(VI)表现出高效吸附能力；XPS对吸附机理进行了解析，在吸附过程中氨基和偕胺肟基团对U(VI)协同螯合作用起主导作用[35]。Lee等也采用“Graft onto”法制备了PAMAM树形大分子修饰的介孔二氧化硅泡沫(PAMAM@GTA-NH_2-MSF)和纤维状纳米二氧化硅(PAMAM@GTA-NH_2-KCC-1)吸附分离材料，并用于吸附La(III)、Ce(III)、Nd(III)和Gd(III)等三价稀土元素离子。结果表明，PAMAM@GTA-NH_2-MSF和PAMAM@GTA-NH_2-KCC-1对废水中Am(III)具有最好的吸附分离性能，最大吸附量分别为132.4和88.7 mg/g[36]。Zhang等采用“Graft onto”法制备了PAMAM树形大分子功能化的大豆壳吸附分离材料(G3PDFSH)并将其用于对La(III)、Nd(III)和Sm(III)等稀土金属离子的吸附分离，G3PDFSH对La(III)、Nd(III)和Sm(III)的吸附量可达40.2、30.6和22.0 mg/g，且在4 h内达吸附平衡[37]。Priyadarshini等也采用上述方法制备了苯乙烯-二

乙烯基苯固载的PAMAM树形大分子和二甘氨酸功能化的PAMAM树形大分子吸附分离材料，并用于水溶液中U(VI) 和Th(IV) 的吸附分离。研究表明，两种吸附分离材料对U(VI) 和Th(IV) 具有良好的吸附性能，在pH为12时，可100%去除模拟核废水中的U(VI) 和Th(IV) [12]。此外，部分研究者也采用“Graft from”的方法构筑了PAMAM树形大分子吸附分离材料用于吸附稀土金属和放射性金属离子。例如，Cao等采用“Graft from”的方法制备了系列含磷官能团的PAMAM改性的聚 (苯乙烯-共二乙烯基苯) 吸附剂 (PS-*n*GPAMAM-PAA，*n*=0，1，2，3，4),并将其用于从水溶液中吸附U(VI),结果表明，PS-PAA、PS-1.0GPAMAM-PAA、PS-2.0GPAMAM-PAA、PS-3.0GPAMAM-PAA 和 PS-4.0GPAMAM-PAA 对 U(VI) 的最大吸附容量可达89.8、99.9、95.5、91.5和54.6 mg/g[38]。Wang等采用此方法制备了一种新型偕胺肟 (AO) 螯合树脂固载的PAMAM树形大分子吸附分离材料并将其用于水溶液中U(VI) 的吸附分离；所得材料对U(VI) 的最佳吸附pH为5，吸附量达96.08 mg/g[39]。Wang等采用此方法制备了刚性树枝状纳米二氧化硅固载的PAMAM树形大分子，并将其用于去除水溶液中的U(VI),材料对U(VI) 吸附可在180 min时达吸附平衡，最大吸附容量为215.52 mg/g[40]。

3.2　在染料吸附分离中的应用

染料是水体中主要污染物之一，主要来源于纺织、涂料和印染等行业。染料的结构基本是由一个或多个偶氮基连接芳环而构成的共轭体系，其化学性质稳定，不易被降解，会通过食物链循环，导致人体肾脏、生殖、肝脏、大脑和中枢神经系统功能障碍[41~43]。PAMAM树形大分子中大量的氨基和酰胺基团，可通过与染料分子的静电吸引作用实现对染料分子的高效结合，因此以PAMAM树形大分子为基本单元构建吸附分离材料可实现染料分子的高效吸附分离。Mohammad等采用“Graft onto”法制备了PAMAM树形大分子功能化的氧化石墨烯复合材料 (GO/PAMAM),并研究了其对刚果红 (CR) 的吸附性能和吸附机理。结果表明，GO/PAMAM对CR的吸附量为198.8 mg/g，吸附过程中CR分子通过氢键与吸附位点相互作用首先被吸附在氨基位点，然后逐渐扩散到内部的羟基位点[44]。Fard等也采用“Graft onto”法制备了α-Fe_2O_3纳米纤维固载的PAMAM树形大分子吸附分离材料，并将其用于吸附直接红80和酸性红18。结果显示，所合成材料在溶液pH为3时对直接红80和酸性红18的吸附量可达1428.6 mg/g 和 1250.0 mg/g[45]。与上述方法不同，Kim等采用“Graft from”法制备了第1.0代PAMAM 树形大分子功能化的磁性纳米粒子 (MD),随后将羧甲基壳聚糖 (CC) 接枝到磁性纳米粒子表面，得到吸附分离材料 (CCMD),所得材料在碱性条件下对阳离子染料亚甲基蓝 (MB) 表现出良好的吸附选择性能，而在酸性条件下对阴离子染料甲基橙 (MO) 表现出良好的吸附选择性能 (如图5所示)。所得材料在pH为11时对MB的最大吸附量为96.31 mg/g，在pH为3时，对MO的最大吸附量为20.85 mg/g；此外，该材料具有良好的循环再生使用性能，连续使用六次循环后，对MB和MO的吸附效率仍可达初始吸附量的95%以上[46]。

3.3　在生物和药物分子吸附分离中的应用

人体内许多疾病的发生都与多糖、蛋白质、脱氧核糖核酸 (DNA)、糖蛋白、多肽等生物分子的产生或表达密切相关，这些分子的分离和检测对某些疾病的诊断和治疗具有重要的参考价值[47~49]。蛋白质在催化生命体内各种反应、调节代谢、抵御外来物质入侵及控制遗传信息等方面都起着至关重要的作用。高纯度的蛋白质样品是进行生命科学研究以及蛋白质分析的基础，因此对目标蛋白质的吸附分离是进行后续研究的必要条件。DNA的提取是基于核酸序列的生物检测，也是细菌检测、病毒基因分型和基因诊断的重要过程[50,51]。PAMAM树形大分子因其良好的生物相容性，成为一种广泛用于蛋白质和DNA分离的材料。Arakaki等采用“Graft onto”法，通过PAMAM树形大分子对系列不同粒径的磁性纳米材料 (SpMNPs) 进行修饰得到吸附分离材料 (PAMAM-SpMNPs),并用于DNA的吸附。结果表明，10 μg的粒径为10 nm和80 nm的PAMAM-SpMNPs可吸附1.1×10^{10}和2.7×10^{9}个λ-DNA分子数。吸附DNA后的PAMAM-SpMNPs通过应用交变磁场实现再生[52]。Wang等采用“Graft from”法合

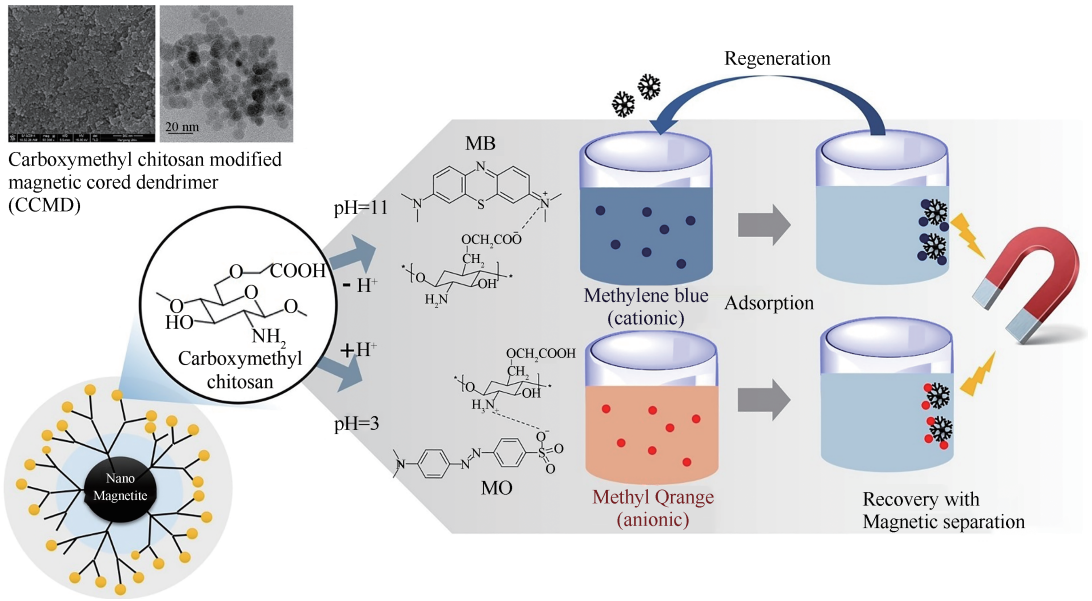

图5 羧甲基壳聚糖改性的磁性树形大分子对甲基蓝和甲基橙的吸附[46].

Figure 5 The adsorption of methyl blue and methyl orange by carboxymethyl chitosan modified magnetic cored dendrimer[46].

成了金属有机骨架 (MOF) 固载的PAMAM树型大分子吸附分离材料 (合成路线图6所示),用于低丰度*N*-糖肽的富集，结果表明当非糖肽的浓度比目标*N*-糖肽高100倍时，所合成材料显示出低检测限 (1 fmol/μL) 和良好的吸附选择性[4]。

同时，由于医药合成和医疗机构不断释放药物导致水体中药物化合物不断增加，开发基于PAMAM树形大分子的吸附分离材料用于高效吸附分离药物分子具有重要意义[53~55]。Kurczewska等采用“Graft onto”法制备了PAMAM树形大分子功能化的多水高岭石 (Hal-PAMAM) 用于去

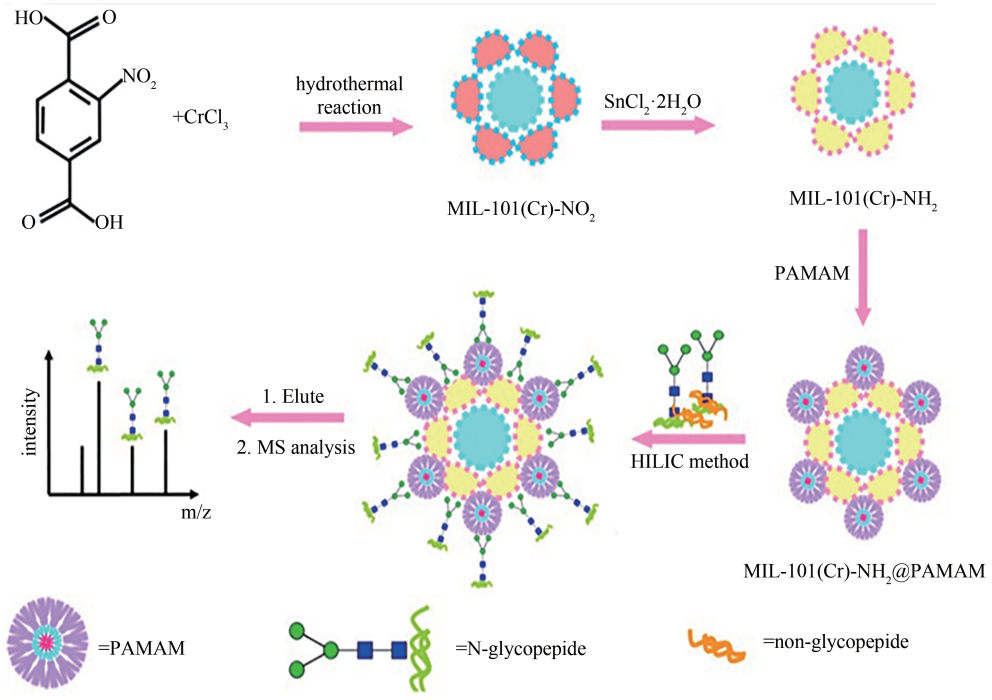

图6 MOF固载PAMAM树形大分子合成路线图[4].

Figure 6 The synthetic route of MOF supported PAMAM dendrimer[4].

除布洛芬和萘普生，在 pH=3~6 之间时，其对布洛芬和萘普生的吸附能力随着 pH 值的升高而增加，其吸附量最大可达 68.34 mg/g 和 6.98 mg/g[56]。Lotfi 等采用“Graft from”法制备了 PAMAM/二氧化硅纳米材料 (PAMAM/SiO_2) 用于吸附医疗废水中的多种药物分子，结果表明 PAMAM/SiO_2 对布洛芬、酮洛芬、氯贝酸和双氯芬酸的最大吸附量分别为 124.0、112.0、94.0 和 134.0 mg/g[57]。Cao 等采用同样的方法，将不同代数 (G0~G2.5) 的 PAMAM 树形大分子包覆在偕胺肟膜上，用于塞米霉素抗生素、拉沙利菌素 A 和盐霉素等污染物。结果表明 PAMAM-G2.5 改性超滤膜表现出良好的吸附分离性能，对拉沙利菌素 A、盐霉素和塞米霉素抗生素的回收率分别可达 82.5%、87.3% 和 91.3%[58]。

3.4　在 CO_2 吸附分离中的应用

随着工业化的快速发展，CO_2 的大量释放，严重扰乱了全球大气循环，成为全球变暖的主要根源，并进一步引发海平面升高、极端天气生态环境破坏等灾难性事件[59~61]。CO_2 捕集作为碳减排的重要手段，受到越来越多的关注。PAMAM 树形大分子因含有丰富氨基、酰胺基等官能团，在 CO_2 吸附分离领域具有重要的应用，对实现碳达峰和碳中和具有重要意义。Pruna 等采用“Graft onto”法，制备了第 3.0 代 PAMAM 树形大分子改性的氧化石墨烯气凝胶并用于 CO_2 的吸附。所得材料对 CO_2 的吸附性能随着 PAMAM 用量的增加而增加，对 CO_2 的最大吸附容量可达 2.23 mmol/g[62]。Fadhel 等也采用“Graft onto”法研究了未经固载的 PAMAM 树形大分子以及通过 SBA-15 固载的 PAMAM 树形大分子对 CO_2 的吸附性能，通过对比发现，未经固载的 PAMAM 树形大分子对 CO_2 吸附性能非常差，通过 SBA-15 固载的 PAMAM 树形大分子可显著提高对 CO_2 的吸附性能[63]。Wang 等采用“Graft from”法制备了不同代数的 PAMAM 树形大分子功能化纤维素纳米晶体 (CNC-G1~G4) 并用于 CO_2 的捕集，第二代 PAMAM 功能化 CNC (CNC-G2) 对 CO_2 具有良好的吸附性能，在 25、35 和 45 ℃下吸附量分别为 13.31、9.64 和 9.18 mg/g[64]。

4　结论与展望

综上所述，PAMAM 树形大分子因其独特的结构特点，以其为功能基团构筑新型吸附分离材料可实现对金属离子、染料、生物和药物分子以及 CO_2 等目标物的高效吸附分离，具有重要的应用价值。未来，在 PAMAM 树形大分子吸附分离材料的研究及应用过程中，应重点关注：(1) 通过对 PAMAM 树形大分子末端功能基的设计与裁剪实现对目标物的高容量、高选择性吸附分离；(2) 通过对 PAMAM 树形大分子结构设计及与不同基体材料复合，提升材料对不同分离环境的适应性，实现对复杂环境中目标物的高选择性分离；(3) 设计新型 PAMAM 树形大分子单体，利用高分子合成方法构筑基于 PAMAM 树形大分子的聚合物均质和异质多孔微球，进一步提高所得吸附分离材料中树形大分子的功能基含量，充分利用 PAMAM 树形大分子的结构特点及聚合物微球的多孔结构，通过结合树形分子结构优势及孔道的限域效应实现对目标物的高效、高选择性分离；(4) 进一步拓展 PAMAM 树形大分子吸附分离材料的应用领域，完善对不同环境中的吸附机制，为新型高效吸附分离材料的设计、制备提供科学依据，启迪新思路。

参考文献

1　Fox L J, Richardson R M, Briscoe W H. PAMAM dendrimer-cell membrane interactions [J]. *Advances in Colloid and Interface Science*, **2018**, 257: 1-18.

2　Xu L, Wang H, Xiao W Q, Zhang W H, Stewart C, Huang H, Li F, Han J S. PAMAM dendrimer-based tongue rapidly identifies multiple antibiotics [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **2023**, 382: 133519.

3　Wu K Y, Wang B X, Dou R Y, Zhang Y Q, Xue Z X, Liu Y F, Niu Y Z. Synthesis of functional poly(amidoamine) dendrimer decorated apple residue cellulose for efficient removal of aqueous Hg(II) [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, **2023**, 231: 123327.

4　Wang Y N, Wang J X, Gao M X, Zhang X M. Functional dual hydrophilic dendrimer-modified metal-organic framework for the selective enrichment of *N*-glycopeptides [J]. *Proteomics*, **2017**, 17: 1700005.

5 Tang B T, Wu Y, Wu K Y, Lang L P, Cong M C, Xu W L, Niu Y Z. Adsorption performance of silica supported polyamidoamine dendrimers for Cd(II) and Cu(II) in *N*,*N*-dimethylformamide [J]. *Journal of Molecular Liquids*, **2022**, 357: 119098.

6 Wang Q, Zhu S N, Xi C, Zhang F. A review: adsorption and removal of heavy metals based on polyamide-amines composites [J]. *Frontiers in Chemistry*, **2022**, 10: 814643.

7 He Z C, Wu F, Liu L, Song X, Guan S J, Li Z H, Li J, Huang Y D. Simultaneous removal of pollutants from sub-nanometric to nanometric scales by hierarchical dendrimers modified aerogels [J]. *Separation and Purification Technology*, **2022**, 286: 120440.

8 Sun H Y, Zhan J, Chen L, Zhao Y P. Preparation of CTS/PAMAM/SA/Ca^{2+} hydrogel and its adsorption performance for heavy metal ions [J]. *Applied Surface Science*, **2023**, 607: 155135.

9 Banisheykholeslami F, Hosseini M, Darzi G N. Design of PAMAM grafted chitosan dendrimers biosorbent for removal of anionic dyes: adsorption isotherms, kinetics and thermodynamics studies [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, **2021**, 177: 306-316.

10 Niu Y Z, Qu R J, Sun C M, Wang C H, Chen H, Ji C N, Zhang Y, Shao X, Bu F L. Adsorption of Pb(II) from aqueous solution by silica-gel supported hyperbranched polyamidoamine dendrimers [J]. *Journal of Hazardous Materials*, **2013**, 244: 276-286.

11 Su P, Wang S M, Shi Y, Yang Y. Application of cellulase-polyamidoamine dendrimer-modified silica for microwave-assisted chitosan enzymolysis [J]. *Process Biochemistry*, **2013**, 48: 614-619.

12 Priyadarshini N, Ilaiyaraja P. Adsorption of U(VI) and Th(IV) from simulated nuclear waste using PAMAM and DGA functionalized PAMAM dendron grafted styrene divinylbenzene chelating resins [J]. *Chemical Papers*, **2019**, 73: 2879-2884.

13 Qu R J, Ma X L, Wang M H, Sun C M, Sun X M, Sun S Y, Zhang Y, Yin P. Homogeneous preparation of polyamidoamine grafted silica gels and their adsorption properties as Au(III) adsorbents [J]. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **2014**, 20: 4382-4392.

14 Zhou Y Z, Luan L P, Tang B T, Niu Y Z, Qu R J, Xu W L. Fabrication of Schiff base decorated PAMAM dendrimer/magnetic Fe_3O_4 for selective removal of aqueous Hg(II) [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2020**, 398: 125651.

15 Sun H Y, Ji Z C, He Y, Wang L H, Zhan J, Chen L, Zhao Y P. Preparation of PAMAM modified PVDF membrane and its adsorption performance for copper ions [J]. *Environmental Research*, **2022**, 204: 111943.

16 Ibrahim N A, Abdellatif F H H, Hasanin M S, Abdellatif M M. Fabrication, characterization, and potential application of modified sawdust sorbents for efficient removal of heavy metal ions and anionic dye from aqueous solutions [J]. *Journal of Cleaner Production*, **2022**, 332: 130021.

17 Qiu Z M, Niu Y Z, Fu T T, Wang K, Mu Q H, Wang F. Removal of Ni(II) from fuel ethanol by PAMAM dendrimers/silica hybrid materials: combined experimental and theoretical study [J]. *Chemical Engineering Research and Design*, **2019**, 144: 174-184.

18 Luan L P, Tang B T, Liu Y, Xu W L, Liu Y F, Wang A L, Niu Y Z. Direct synthesis of sulfur-decorating PAMAM dendrimer/mesoporous silica for enhanced Hg(II) and Cd(II) adsorption [J]. *Langmuir*, **2022**, 38: 698-710.

19 Zhang B, Mei M, Li K W, Liu J X, Wang T, Chen S, Li J P. One-pot synthesis of $MnFe_2O_4$ functionalized magnetic biochar by the sol-gel pyrolysis method for diclofenac sodium removal [J]. *Journal of Cleaner Production*, **2022**, 381: 135210.

20 Ding J, Khan H J, Sarrigani G V, Fitzgerald P, Ghadi A E, Lefebvre O, Meng C, Harun M H Z M, Lu Y, Abbas A, Montoya A, Wiley D, Wang D K. Enhancing the active site accessibility of cobalt-silica catalysts for improved Fenton-like performance [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2022**, 432: 134435.

21 Sun X M, Qu R J, Sun C M, Zhang Y, Sun S Y, Ji C N, Yin P. Sol-gel preparation and Hg(II) adsorption properties of silica-gel supported low generation polyamidoamine dendrimers polymer adsorbents [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **2014**, 53: 2878-2888.

22 Wu Z, Weigend F, Fenske D, Naumann T, Gottfried J M, Dehnen S. Ion-selective assembly of supertetrahedral selenido germanate clusters for alkali metal ion capture and separation [J]. *Journal of the American Chemical Society*, **2023**, 145: 3802-3811.

23 Guo Y L, Sun H Y, Zeng X, Lv T T, Yao Y X, Zhuang T H, Feng M L, Huang X Y. Efficient removal of Sr(II) ions by a one-dimensional potassium phosphatoantimonate [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2023**, 460: 141697.

24 Xin Z M, Duan K F, Zhuo Q Z, He Q Q, Zhang X, Zheng C J, Han X Y, Han T F, Fu Z T, Xu X X, Zhao X. Novel nanozyme Ag/Fe_3O_4@h-BN with peroxidase-mimicking and oxidase-mimicking activities for dye degradation, As (V) removal and detection [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2023**, 461: 141589.

25 Qin W, Qian G Y, Tao H B, Wang J W, Sun J Y, Cui X F, Zhang Y G, Zhang X L. Adsorption of Hg(II) ions by PAMAM dendrimers modified attapulgite composites [J]. *Reactive & Functional Polymers*, **2019**, 136: 75-85.

26 Hayati B, Maleki A, Najafi F, Gharibi F, Mckay G, Gupta V K, Puttaiah S H, Marzban N. Heavy metal adsorption using PAMAM/CNT nanocomposite from aqueous solution in batch and continuous fixed bed systems [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2018**, 346: 258-270.

27 Ma Y X, Shao W J, Jin P S, Kou Y L, Li X. Magnetic graphene oxide grafted with different hydrophobic chain lengths low-generation polyamidoamine dendrimers for adsorption of Pb(II) and Hg(II) in aqueous solution [J]. *Polymer Composites*, **2019**, 40: e1685-e1696.

28 Kothavale V P, Sharma A, Dhavale R P, Chavan V D, Shingte S R, Selyshchev O, Dongale T D, Park H H, Zahn D R T, Salvan G, Patil P B. Hyperbranched amino modified magnetic nanoparticles for simultaneous removal of heavy metal ions from aqueous solutions [J]. *Materials Chemistry and Physics*, **2022**, 292: 126792.

29 Lin X Y, Song M H, Tran D T, Lee Y S, Yun Y S. Development of polyethylenimine-functionalized cellulose fibers for recovery of Au(0) from Au(III)-containing acidic solutions through an adsorption-reduction-detachment-aggregation mechanism [J]. *Journal of Cleaner Production*, **2023**, 389: 136019.

30 Hu W B, Chang Z W, Tang A P, Wei Y, Fang D F, Lu X, Shao P H, Shi H, Yu K, Luo X B, Yang L M. Effects of different substrates on the adsorption behavior of supported-adsorbents: a case study of MoS_2 for Ag(I) adsorption [J]. *Environmental Research*, **2022**, 214: 113969.

31 Zhou F P, Xiao Y, Guo M N, Wang S Z, Qiu R L, Morel J L, Simonnot M O, Zhang W X, Zhang W H, Tang Y T. Insights into the selective transformation of ceria sulfation and iron/manganese mineralization for enhancing the selective recovery of rare earth elements [J]. *Environmental Science & Technology*,**2023**, 57: 3357-3368.

32 Zhang H D, Wang S, Yu J P, Li Z J, Lan J H, Zheng L R, Liu S Y, Yuan L Y, Xiu T Y, Wang J D, Wang X P, Shi W Q. Tailored covalent organic framework with phosphorylation for boosting typical actinide adsorption under acidic conditions [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2023**, 463: 142408.

33 Zhang Y, Qu R J, Sun C M, Ji C N, Chen H, Yin P. Improved synthesis of silica-gel-based dendrimer-like highly branched polymer as the Au(III) adsorbents [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2015**, 270: 110-121.

34 Yen C H, Lien H L, Chung J S, Yeh H D. Adsorption of precious metals in water by dendrimer modified magnetic nanoparticles [J]. *Journal of Hazardous Materials*, **2017**, 322: 215-222.

35 He N N, Li H, Cheng C, Dong H, Lu X R, Wang X L. Enhanced marine applicability of adsorbent for uranium *via* synergy of hyperbranched poly(amidoamine) and amidoxime groups [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2020**, 395: 125162.

36 Lee Y R, Zhang S Q, Yu K, Choi J, Ahn W S. Poly(amidoamine) dendrimer immobilized on mesoporous silica foam (MSF) and fibrous nano-silica KCC-1 for Gd^{3+} adsorption in water [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2019**, 378: 122133.

37 Zhand C H, Zhang F J, Li L, Zhang K. Adsorption rare earth metal ions from aqueous solution by polyamidoamine dendrimer functionalized soy hull [J]. *Waste and Biomass Valorization*, **2016**, 7: 1211-1219.

38 Cao Q, Liu Y C, Wang C Z, Cheng J S. Phosphorus-modified poly(styrene-*co*-divinylbenzene)-PAMAM chelating resin for the adsorption of uranium(VI) in aqueous [J]. *Journal of Hazardous Materials*, **2013**, 263: 311-321.

39 Wang M J, Liu H Z, Zeng M Q, Liu Y C. Preparation of PAMAM dendrimer modified amidoxime chelating resin and its adsorption for U(VI) in aqueous [J]. *Inorganic Chemistry Communications*, **2022**, 144: 109909.

40 Wang F, Liao Y, Xia L S. Poly(amidoamine) dendrimer decorated dendritic fibrous nano-silica for efficient removal of uranium(VI) [J]. *Journal of Solid State Chemistry*, **2021**, 303: 122511.

41 Jia J, Liu Y L, Wu D Q, Yu J Y, Gao T T, Li F X. Water-insoluble *β*-cyclodextrin-based nanocubes as cost-effective adsorbents for dyeing wastewater remediation with high selectivity [J]. *Chemical Engineering Journal*, **2023**, 457: 141331.

42 Li F, Kannari N, Maruyama J, Sato K, Abe H. Defective multi-element hydroxides nanosheets for rapid removal of anionic organic dyes from water and oxygen evolution reaction [J]. *Journal of Hazardous Materials*, **2023**, 447: 130803.

43 Zhang P, Chen Y Z, Weng H Q, Muroya Y, Yamashita S, Zhao Y H, Lin M Z. Reduced graphene oxide composite aerogel prepared by europium-assisting radiation reduction as a broad-spectrum adsorbent for organic pollutants [J]. *Journal of Materials Chemistry A*, **2023**, 11: 2804-2813.

44 Rafi M, Samiey B, Cheng C H. Study of adsorption mechanism of congo red on graphene oxide/PAMAM nanocomposite [J]. *Materials*, **2018**, 11: 496.

45 Fard G C, Mirjalili M, Almasian A, Najafi F. PAMAM grafted α-Fe_2O_3 nanofiber: preparation and dye removal ability from binary system [J]. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, **2017**, 80: 156-167.

46 Kim H R, Jang J W, Park J W. Carboxymethyl chitosan-modified magnetic-cored dendrimer as an amphoteric adsorbent [J]. *Journal of Hazardous Materials*, **2016**, 317: 608-616.

47 Booth B J, Nourreddine S, Katrekar D, Savva Y, Bose D, Long T J, Huss D J, Mali P. RNA editing: expanding the potential of RNA therapeutics [J]. *Molecular Therapy*, **2023**, 31: 1533-1549.

48 Yuan Y Z, Stumpf F M, Schlor L A, Schmidt O P, Saumer P, Huber L B, Frese M, Höllmüller E, Scheffner M, Stengel F, Diederichs K, Marx A. Chemoproteomic discovery of a human RNA ligase [J]. *Nature Communications*, **2023**, 14: 842.

49 Harel O, Jbara M. Chemical synthesis of bioactive proteins [J]. *Angewandte Chemie International Edition*, **2023**, 62: e202217716.

50 Zhu X F, Guo J Q, Yang Y L, Liu J. Macrophage polarization induced by bacteria-responsive antibiotic-loaded nanozymes for multidrug resistance-bacterial infections management [J]. *Small*, **2023**, 19: 2204928.

51 He L, Lever R, Cubbon A, Tehseen M, Jenkins T, Nottingham A O, Horton A, Betts H, Fisher M, Hamdan S M, Soultanas P, Bolt E L. Interaction of human HelQ with DNA polymerase delta halts DNA synthesis and stimulates DNA single-strand annealing [J]. *Nucleic Acids Research*, **2023**, 51: 1740-1749.

52 Arakaki A, Shibata K, Mogi T, Hosokawa M, Hatakeyama K, Gomyo H, Taguchi T, Wake H, Tanaami T, Matsunaga T, Tanaka T. Efficient DNA release from PAMAM dendrimer-modified superparamagnetic nanoparticles for DNA recovery [J]. *Polymer Journal*, **2012**, 44: 672-677.

53 Camiré A, Espinasse J, Chabot B, Lajeunesse A. Development of electrospun lignin nanofibers for the adsorption of pharmaceutical contaminants in wastewater [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, **2020**, 27: 3560-3573.

54 Agustin M B, Mikkonen K S, Kemell M, Lahtinen P, Lehtonen M. Systematic investigation of the adsorption potential of lignin- and cellulose-based nanomaterials towards pharmaceuticals [J]. *Environmental Science: Nano*, **2022**, 9: 2006-2019.

55 Vinayagam V, Murugan S, Kumaresan R, Narayanan M, Sillanpää M, Vo D V N, Kushwaha O S, Jenis P, Potdar P, Gadiya S. Sustainable adsorbents for the removal of pharmaceuticals from wastewater: a review [J]. *Chemosphere*, **2022**, 300: 134597.

56 Kurczewska J, Cegłowski M, Schroeder G. PAMAM-halloysite dunino hybrid as an effective adsorbent of ibuprofen and naproxen from aqueous solutions [J]. *Applied Clay Science*, **2020**, 190: 105603.

57 Lotfi R, Hayati B, Rahimi S, Shekarchi A A, Mahmoodi N M, Bagheri A. Synthesis and characterization of PAMAM/SiO_2 nanohybrid as a new promising adsorbent for pharmaceuticals [J]. *Microchemical Journal*, **2019**, 146: 1150-1159.

58 Cao V, Yunessnia lehi A, Bojaran M, Fattahi M. Treatment of lasalocid A, salinomycin and semduramicin as ionophore antibiotics in pharmaceutical wastewater by PAMAM-coated membranes [J]. *Environmental Technology & Innovation*, **2020**, 20: 101103.

59 Lei G P, Xi G J, Liu Z H, Li Q B, Cheng H Y, Liu H T. Enhancing selective adsorption of CO_2 through encapsulating FeTPPs into Cu-BTC [J]. *Chemical Engineering Journal* , **2023**, 461: 141977.

60 Jiang S K, Yang S C, Huang W H, Sung H Y, Lin R Y, Li J N, Tsai B Y, Agnihotri T, Nikodimos Y, Wang C H, Lin S D, Wang C C, Wu S H, Su W N, Hwang B J. Enhancing the interfacial stability between argyrodite sulfide-based solid electrolytes and lithium electrodes through CO_2 adsorption [J]. *Journal of Materials Chemistry A*, **2023**, 11:

2910-2919.

61 Hu Y Q, Jiang Y J, Li J H, Wang L Y, Steiner M, Neumann R F, Luan B Q, Zhang Y B. New-generation anion-pillared metal-organic frameworks with customized cages for highly efficient CO_2 capture [J]. *Advanced Functional Materials*, **2023**, 33: 2213915.

62 Pruna A I, Cárcel A, Benedito A, Giménez E. Enhanced CO_2 capture of poly(amidoamine)-modified graphene oxide aerogels with the addition of carbon nanotubes [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, **2023**, 24: 3865.

63 Fadhel B, Hearn M, Chaffee A. CO_2 adsorption by PAMAM dendrimers: significant effect of impregnation into SBA-15 [J]. *Microporous and Mesoporous Materials*, **2009**, 123: 140-149.

64 Wang Y C, He X, Lu Q Y. Polyamidoamine dendrimer functionalized cellulose nanocrystals for CO_2 capture [J]. *Cellulose*, **2021**, 28: 4241-4251.

Review

Progress on Fabrication of Polyamidoamine Dendrimer-Based Adsorbents and Their Application

LIU Tong-he, WANG Bing-xiang, WU Kai-yan, WANG Jia-xuan, NIU Yu-zhong*

(*School of Chemistry and Materials Science, Ludong University, Yantai 264025, China*)

Abstract Polyamidoamine (PAMAM) dendrimers are hyperbranched structures and contain abundant functional groups such as tertiary amines, amides and amines groups. The content of the functional groups of PAMAM dendrimer is enhanced following the increase of the generation of dendrimers. The functional groups are arranged regularly within the dendrimer structure, thus providing an ideal template for the concentrated and hierarchical distribution of adsorption sites. Meanwhile, PAMAM dendrimers exhibit excellent water solubility, stability and pH-responsive property. The adaptability to different water environments and selective adsorption properties of PAMAM dendrimers for the target pollutants can be improved by regulating the dendrimer generations, central core, terminal groups and solution pH. Therefore, it is importance of the fabrication of PAMAM dendrimer-based adsorbents for the adsorption and separation of metal ions, dyes, biomacromolecule and drug molecules and CO_2. Here, the construction and application of PAMAM dendrimer-based adsorbents were summarized. The future application prospects and development directions were proposed.

Keywords PAMAM dendrimers, Fabrication, Adsorption, Application

* **Corresponding author:** NIU Yu-zhong, E-mail: niuyuzhong@ldu.edu.cn