

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.08.026

高吸水性树脂的制备工艺及应用研究进展

赵林^{1,2}, 蔡雅红¹, 何荷苗¹, 陈文明¹, 谢艳招¹, 刁勇²

(1. 福建师范大学闽南科技学院, 福建泉州 362332; 2. 华侨大学生物医学学院, 福建泉州 362021)

摘要: 从高吸水性树脂的种类、制备方法及应用领域三个方面综述近年来高吸水性树脂的主要研究成果。按原材料来源分淀粉类、纤维素类、合成树脂类、有机-无机复合类四个类别重点阐述了高吸水性树脂的种类; 从本体聚合、反相悬浮聚合、反相乳液聚合、辐射聚合四种方法重点分析了高吸水性树脂的制备工艺; 结合高吸水性树脂的性能特点, 介绍了高吸水性树脂在农林园艺、卫生医疗、建材工业及其它领域的应用; 最后从工艺简单化、材料复合化及材料功能化三个方面简要分析了高吸水性树脂未来的研究思路与发展方向。

关键词: 高吸水性树脂; 种类; 制备方法; 应用

中图分类号: TU5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)08-0143-06

Research Progress on Preparation Method and Application of Super Absorbent Resins

Zhao Lin^{1,2}, Cai Yahong¹, He Hemiao¹, Chen Wenming¹, Xie Yanzhao¹, Diao Yong²

(1. Minnan Science and Technology Institute, Fujian Normal University, Quanzhou 362332, China;

2. School of Biomedical Sciences, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstracts : The main research achievements of super absorbent resins in recent years were summarized from three aspects, including the types, preparation methods and application fields of super absorbent resins. According to the four categories of raw materials, starch, cellulose, synthetic resin and organic-inorganic compound, the types of super absorbent resins were expounded. Four methods of bulk polymerization, inverse suspension polymerization, inverse emulsion polymerization and radiation polymerization were used to analyze the preparation processes of super absorbent resins. Combined with the characteristics of super absorbent resins, the application of super absorbent resins in agriculture, forestry, horticulture, health care, building materials industry and other fields were introduced. Finally, the future research ideas and development direction of super absorbent resins were briefly analyzed from three aspects, including simplification of technology, composition and functionalization of materials.

Keywords : super absorbent resin ; type ; preparation method ; application

20 世纪 60 年代, 美国农业部北方研究中心的 G. F. Fanta 等^[1-3]首次制得一种具有高吸水性能的树脂, 该树脂由淀粉接枝聚丙烯腈再经皂化制得。自此, 高吸水性树脂吸引了各国研究者的兴趣, 纷纷开展相应的研究工作, 并取得了一定进展, 使高吸水性树脂行业获得飞速发展。20 世纪 80 年代初期, 黄美玉等^[4]利用聚丙烯酸钠合成了具有吸水能力达 400 倍的高吸水树脂, 高吸水树脂的应用从最初的农林园艺转至卫生用品方面, 并随着合成工艺的不断发展, 应用领域不断拓展, 逐渐涵盖食品工业、建筑业、医药纺织、日用化工等各个方面。

高吸水性树脂含有大量氨基、羧基、羟基等强亲水基团和独特的三维空间网络结构, 且对金属有螯合作用, 是一类新型功能高分子材料。高吸水性树脂通过水合作用能够迅速吸收比自身高数百倍甚至千倍质量的液态水, 且在常温下具有良好的保水能力, 即使在受热或受压下也不易失水, 在光、热、酸、碱中的稳定性也较好^[5]。因此, 相比于传统的吸水材料, 高吸水性树脂具有交联密度低、高吸水膨胀、高保水性能、对弱碱性物质强吸收、不溶于水 and 有机溶剂、可反复使用等优点, 从而吸引了众多研究者的关注, 成为功能高分子材料的研究热点。

基金项目: 福建省泉州市科技局项目 (2016G061), 福建省教育厅科技类 (产学研) 项目 (JAT160671)

通讯作者: 谢艳招, 硕士, 副教授, 主要研究方向为高吸水性树脂的合成及功能纳米材料的研发 E-mail : yanzhaoxie@sina.com

收稿日期: 2018-05-21

引用格式: 赵林, 蔡雅红, 何荷苗, 等. 高吸水性树脂的制备工艺及应用研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(8) : 143-148.

Zhao Lin, Cai Yahong, He Hemiao, et al. Research progress on preparation method and application of super absorbent resins[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(8) : 143-148.

笔者从高吸水性树脂的种类、制备方法及其在各领域的应用等三个方面,综述了高吸水性树脂近年来的研究进展,并分析了高吸水性树脂未来的主要研究与发展方向。

1 高吸水性树脂的种类

目前,国内外高吸水树脂的分类方法主要有四种,分别是按原材料来源、交联方法、亲水性、制品形态进行分类,其中,使用最广泛的分类方式是按原材料来源分类,可分为四大类:淀粉类、纤维素类、合成树脂类及有机-无机复合类。

1.1 淀粉类高吸水性树脂

传统聚丙烯酸盐类高吸水性树脂,其原材料丙烯酸为石化产品,在自然界中需要 500 a 才能完全降解,对环境危害大。淀粉类高吸水性树脂主要是指以淀粉为骨架,通过与其它单体接枝共聚形成的一类高分子材料^[6],其作为最早被发现的高吸水性树脂种类,一般由天然淀粉改性处理得到。淀粉类高吸水性树脂常以小麦淀粉^[7]、玉米淀粉^[8]、马铃薯淀粉^[9]等作为基本原材料,这些原材料在生活中随处可见,不仅来源广泛,且生产成本低,再加上原材料为生物质,一般能被微生物降解,因此为环境友好材料。黄琳娟等^[10]以蔗渣和羟丙基淀粉为原材料制得了可降解复合高吸水性树脂,并对其降解性能进行了研究分析,结果表明,该复合高吸水树脂在土壤中和土壤表面的降解过程均呈先缓后快的变化趋势,63 d 后,土壤掩埋的树脂降解率为 47.52%,土壤表面的树脂降解率为 13.16%。卢从从等^[7,11]以小麦淀粉为原材料,采用水溶液聚合法制得高凝胶强度的高吸水性树脂,研究表明,该树脂凝胶强度最高可达 255 g/cm²。淀粉类高吸水树脂吸水率高,刘廷国等^[12]利用玉米淀粉和丙烯酸为原材料,合成了一种高吸水性树脂,对纯水的吸收率高达 1840 g/g,但因其较低的凝胶强度及吸水后易破碎或变形,该材料的应用受到诸多限制。张伟等^[13]利用淀粉和 2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸 (AMPS)、甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵 (DMC) 合成了一种两性高吸水性树脂,研究结果表明,在最佳条件下,该树脂的吸水率为 698 g/g,吸盐水 (浓度 0.9%) 率为 86 g/g。张铭等^[14]利用玉米淀粉、丙烯酸和丙烯酰胺为原材料,在无氧条件下合成了淀粉类高吸水性树脂,该树脂热稳定性较好,并且还保持了较高的保水性,在 10, 30℃ 和 50℃ 条件下,经过 4 h 后,树脂保水率分别为 94%, 71% 和 63%。

1.2 纤维素类高吸水性树脂

淀粉类高吸水性树脂为可降解生物质环境友好材料^[6],与淀粉一样,纤维素也是自然界分布最广、含量最多的生物质原材料之一。天然纤维素分子含有大量亲水基团,具有刚性平整结构,且内部分布众多毛细管,可增大其比表面积,这些特性使得该种材料非常适合做吸水材料。纤维素是天然

可再生资源,可持续利用,具有无毒、可降解、与环境相容等优点,因此纤维类高吸水性树脂有着广阔的应用前景。纤维素类高吸水性树脂的吸水能力较淀粉类差,为了提高其吸水能力,通常采用化学接枝的方法对该类树脂进行改性。石亮等^[15]以羧甲基纤维素 (CCMC)、丙烯酰胺 (AM) 为原材料,采用微波辐射法制备了高吸水性树脂,产物在相同浓度 (0.154 mol/L)、不同价态盐 NaCl, CaCl₂ 和 FeCl₃ 溶液中的吸水率分别为 165, 82 g/g 和 43 g/g,且吸去离子水率高达 1821 g/g。高桂林等^[16]研究了桉木纸浆纤维素接枝丙烯酸制备高吸水树脂的影响因素,结果显示,当反应温度为 60℃、引发剂用量为 1.0%、中和度为 70%、交联剂用量为 0.05% 时,高吸水树脂的吸水率为 521 g/g。纤维素类高吸水性树脂普遍存在吸水率低于淀粉类,且凝胶强度低等缺点,但由于该类树脂具有较好的生物降解性能、较高的耐盐性、较宽 pH 值范围,因此其发展速度较快,在产品种类上不断丰富,在应用领域上不断拓展,已成为一类具有代表性的高吸水性树脂。

1.3 合成树脂类高吸水性树脂

不同于淀粉类及纤维素类高吸水性树脂,合成树脂类高吸水性树脂的分子链上存在大量亲水基团以及交联而成的网状结构,使得该种材料能迅速吸水且将水保存在网状结构中^[17]。石油化工产品给高吸水性树脂的生产带来了大量原材料,该类原材料丰富易得,制备简便,如聚乙烯醇^[18]、聚丙烯酸^[19]、聚丙烯酰胺^[20]等。合成类高吸水性树脂吸水率较高,但易受 pH 值和盐度影响,吸水后凝胶强度较小,再加上其耐盐性、生物降解性差,废弃后易造成环境污染,极大地限制了该类吸水材料的使用范围。合成类高吸水性树脂种类中,应用面最为广泛的是聚丙烯酸盐系列,其次是聚乙烯醇系列。殷榕灿等^[21]以丙烯酸为基础材料,采用水溶液聚合法制得聚丙烯酸类高吸水性树脂,对纯水的吸收率可达 1132 g/g,对盐溶液的吸收率可达 105 g/g。牛育华等^[22]以聚乙烯醇为主要基础材料,采用水溶液聚合法制备了聚乙烯醇类高吸水树脂,研究表明,制得的高吸水性树脂吸水率最高可达 935 g/g,吸盐水 (0.9% NaCl) 率可达 91 g/g。

1.4 有机-无机复合类高吸水树脂

为了克服淀粉类与纤维素类高吸水性树脂生产工艺复杂、凝胶强度较低以及合成树脂类高吸水性树脂难回收利用等问题^[12,15],在天然类、合成树脂类树脂中引入新的官能团或通过共混等手段来改善树脂的综合性能,得到可降解、高性能、多功能的复合类高吸水性树脂,已成为高吸水性树脂的一个发展方向^[23]。根据复合材料种类的不同,主要可分为有机/无机复合高吸水性树脂和有机/有机复合高吸水性树脂两大类。孟励等^[24]通过将高岭土和柠檬酸复合制备

了有机/无机高吸水性树脂,并探讨了影响该树脂吸水率的多种因素,当交联剂用量为0.06%、引发剂用量为0.2%、反应温度为70℃、中和度为65%时,该复合材料的最大吸水率为965 g/g,最大吸盐率为105 g/g。李东芳等^[25]通过将聚丙烯酸和腐植酸钠复合制备了有机/无机高吸水性树脂,实验结果表明,该复合高吸水树脂在丙烯酸的中和度为60%、腐植酸钠用量为1.0 g、引发剂过硫酸钾用量为55 mg、交联剂N,N'-亚甲基双丙烯酰胺用量为20 mg时,该复合高吸水性树脂吸蒸馏水率最高可达1200 g/g。

2 高吸水性树脂的制备方法

合成高吸水性树脂的反应原理主要为自由基连锁聚合反应。聚合方法主要有:本体聚合法、反相悬浮聚合法、反相乳液聚合法、辐射聚合法等。

2.1 本体聚合法

本体聚合法是指不添加其它反应物质的情况下,单体在一定的物理条件或引发剂作用下进行的聚合反应,聚合物只含有本体。该方法的操作较为简单,得到的高吸水性树脂纯度较高,但在聚合过程中生成的反应热大,且散热难,容易发生爆聚现象,聚合后的产物粘性较高,造成出料困难,因此该方法目前基本不予采用。

2.2 溶液聚合法

溶液聚合法也属于自由基连锁聚合反应^[26],它是将单体以水为载体,在聚合工序中将反应单体和分子量调节剂等其它添加剂溶入到适当的溶剂中,经引发剂和物理条件共同作用进行聚合反应的方法。与本体聚合法相比,溶液聚合法制备工艺流程短,操作简单,在反应过程中易散热、易控温、不易发生局部过热现象,因此反应体系稳定,引发效率高,将初产物进行提纯、干燥、粉碎后即可得到分子量均匀的产物。该产物不仅能制成多种形状,其黏度也较低,还具有较好的吸水性能和保水性能。溶液聚合法能耗较低、环境污染小,是使用最为广泛的一种方法。但该法生产的高吸水性树脂也存在一定的缺点,如产品的高亲水性导致干燥困难,在制备过程中,由于单体浓度较低会导致聚合速度缓慢,转化效率偏低。

陈嘉恒等^[27]以N,N'-亚甲基双丙烯酰胺作交联剂,利用壳聚糖、聚乙烯醇和丙烯酸为原材料合成高吸水性复合树脂,当引发剂和交联剂用量分别为1.5%和0.23%、中和丙烯酸的百分比为55%、反应时间为5 h、反应温度为45℃时,高吸水性树脂的最大吸水率为340 g/g,最大盐水吸收率为64 g/g。蒋山泉等^[28]利用丙烯酰胺、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸和马来酸为原材料,采用溶液聚合法成功合成了一种三元共聚高吸水性树脂,当交联剂用量0.05%、引发剂用量0.1%、烘干成型温度为65℃时,吸去离子水率可达358 g/

g,吸盐率可达135 g/g。

2.3 反相悬浮聚合法

溶液聚合法以水溶液为载体^[28],而反相悬浮聚合法是把水溶性单体加入到油相介质中,即以油相物质为载体,通过添加悬浮稳定剂和强烈的搅拌使水溶性单体分散,形成悬浮水相液滴,再加入水溶性引发剂,使水溶性单体发生聚合反应生成高吸水性树脂。与溶液聚合法相比较,反相悬浮聚合的聚合过程较稳定,相比溶液聚合法,此法更易控温和散热,聚合后产物不易形成块状凝胶。但油相一般采用有机溶剂,需进行回收处理,在后续的处理工序上增加了一定难度。此外,反相悬浮聚合法只能用于间歇生产,生产效率低,适用于实验室研究,难以实现工业化,且存在生产成本低、设备投资大、环境污染等缺点。余训民等^[29]利用反相悬浮法制备高吸水树脂时,针对高吸水树脂普遍存在的防潮性差的缺点,采用分步法和复合交联剂法两种方法,制备出具有良好防潮性能且吸水数高的高吸水树脂,树脂的吸水率和吸湿率分别为974 g/g和14.8 g/g,该研究为未来高吸水树脂的发展提供了一个方向。朱友良等^[30]以丙烯酸钠为单体采用本法制备了一种高吸水树脂,该树脂表现出较好的再生性能,干燥后可重复利用,搅拌转速为300~450 r/min时,制得均匀的珠状吸水树脂,丙烯酸中和度为80%时,树脂的吸水率与吸生理盐水率分别为683 g/g和68 g/g。

2.4 反相乳液聚合法

反相乳液聚合法最早由J. W. Vanderhoff^[31]提出,与反相悬浮法类似,先将水溶性单体加入到油相介质中,借助乳化剂以及强烈的搅拌作用进行分散形成油包水型乳液,并在此状态下使各反应物质发生聚合反应。不同于反相悬浮法的是,反相乳液聚合法利用油溶性物质作为引发剂,聚合反应的发生和终止均发生于液滴内部,其机理为乳液聚合机理。而反相悬浮法采用水溶性引发剂,在水相中进行链引发、链增长及链终止,其机理为水溶液或本体聚合机理^[32]。反相乳液聚合法具有诸多优点,如工艺简单、易散热、易控温、粒径相对较小和吸水速度较快,且制得的产物分子量较高。该法也存在着不足,过小的粒径可能会导致吸水率降低,另外还存在高成本、较多杂质含量、有机溶剂回收困难、环境污染等问题。谢新玲等^[33]以淀粉接枝丙烯酸,采用反相乳液聚合法制备了一种丙烯酸类高吸水树脂,以吸水率为指标优化工艺条件,得到最适工艺条件为:引发剂用量0.6%,交联剂用量0.12%,丙烯酸中和度80%,单体淀粉质量比为10:1,此时,材料的吸纯水率为930.67 g/g,吸盐率为90.57 g/g。

2.5 辐射聚合法

辐射聚合法无需添加引发剂和交联剂,通过物理射线或高能电子束辐射,使体系产生自由基,并以此为基础发生

一系列稳定的聚合反应。辐射聚合不仅能在常温或较低温度下进行聚合反应,还可通过辐射程度对反应速率和产物分子量进行调控,又因不引入任何杂质,所以不仅聚合产物纯度较高,且对环境友好,在优化高吸水树脂的合成工艺中有广阔的发展前景。常见的辐射种类有: γ 射线辐射、紫外辐射、微波辐射、等离子体辐射、超声波辐射等。姚同等^[34]利用紫外光辐射技术制备了壳聚糖/2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸/马来酸酐可降解型高吸水树脂,具有较好吸水性,在蒸馏水中的最大吸水率为555 g/g,且具有一定的降解性、抗酸碱和耐热性。来水利等^[35]在微波辐射下以丙烯酸、丙烯酰胺和甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵为原料制备了一种高吸水性树脂,不仅能降低生产成本,且具有优良的吸水性能和较高的耐盐性能,吸水率和吸盐率分别为1010 g/g和209 g/g。微波辐射法表现出多种优点,如加热均匀、反应快速、穿透力强、清洁高效等,故在化学合成领域应用广泛。刘方等^[36]利用该法制备半纤维素-丙烯酸接枝共聚高吸水树脂,该材料具有特殊蜂窝状网络结构,使其拥有良好的吸水率和保水率,在最优工艺条件下,吸水数为311 g/g,吸盐率为55 g/g。张素芬等^[37]通过10 MeV电子束辐射制备出淀粉接枝聚丙烯酸钠高吸水树脂,实验结果表明,该材料在最优条件下的吸水率可达435 g/g。

3 高吸水性树脂的应用

高吸水性树脂具有优良的吸水性和保水性特点,作为一种新型多功能材料,其在农林园艺、卫生医疗和建材工业等领域均有较为广泛的应用。

3.1 农林园艺

高吸水性树脂在农林园艺中常用于土壤改良剂^[38]、保湿剂^[39]、沙漠治理^[40]、无土栽培^[41]等,其中以土壤改良剂使用最广。作为土壤改良剂,高吸水性树脂可有效改善土壤结构,不但能节约灌溉用水,减少灌溉次数,提高土壤透气和透水性能,提高植物的出苗率和移栽成活率,同时还能提高土壤持水量,降低植物的死亡率,促进植物根系生长,使作物产量倍增。在施肥和打药的过程中,使用高吸水性树脂,能使肥料和农药的利用率和有效性得以提高,并减少传统化肥及农药对环境的危害^[38]。冉闫玲等^[42]采用自行设计的工艺流程合成了高吸水性树脂,并且通过模拟土壤柱法研究了高吸水性树脂对土壤的性能影响,研究表明,高吸水性树脂改变了土壤的基本物理性状,抑制了土壤含水量的损失,并有效改善了土壤的通透性,当高吸水性树脂用量为0.5%时,土壤的田间持水量比对照组高3.0~4.7倍。

3.2 卫生医疗

高吸水性树脂以其无毒、无刺激和高度生物相容等优

点,广泛应用于卫生医疗领域。在卫生用品方面,人们利用高吸水性树脂来吸收尿液、血液、药物,制造妇女卫生用品、餐巾纸、婴儿尿布、失禁垫片、医用药棉等^[43-44]。作为医疗材料,高吸水树脂在人体内具有适应性良好、无副反应、无炎症反应、不引起血液凝固等优点。高吸水性树脂可作为消炎或镇痛用敷贴膏、锭剂的基础材料和药物载体,药物通过高吸水性树脂的缓释作用,增加了药物作用时间,并且还能保持一定的湿度,有利于创面的康复^[45]。许多学者通过对高吸水性树脂的改性,使其增加一定抗菌性能,使得高吸水性树脂在医疗卫生领域的需求不断增大。王海等^[46]采用水溶液聚合法,以丙烯酸、改性淀粉、过硫酸钾及N,N'-亚甲基双丙烯酰胺等物质为原料,制备了一种具有抑菌性能的改性淀粉类高吸水树脂,当苦参总碱用量达到25.7 mg/g时,可使树脂在自然环境下具有较好的抑菌效果,其吸水率为715 g/g;在接枝率为90%,60℃条件下8 h的保水率约为7%。另外,高吸水性树脂在软组织膨胀技术方面的研究在口腔医学领域有较高的应用价值^[47]。国外Osmed公司所生产的聚乙烯基吡咯烷酮/聚甲基丙烯酸甲酯聚合物已经投入临床使用。近年来,高吸水性树脂在医药领域得到广泛应用,并开发出一系列新产品,如含水量高的舒适外用膏、医用检验试片、防化脓医用绷带及棉球、防微生物渗透的抗感染人造皮肤及血液吸收分泌液等。

3.3 建材工业

目前,高吸水性树脂在建材工业中主要用作堵水剂、脱水剂、增粘剂、速凝剂、结露防止剂等^[43,48]。将聚丙烯酰胺、乙烯-乙酸乙烯等物质与高吸水性树脂混合后,可加工成理想的建筑、土木工程止水材料^[49]。另外,高吸水性树脂吸水膨胀可填充间隙,因此还可制成水密封材料,阻止水分漏出。

研究表明,高吸水性树脂可在水泥基材料内部提供水源,并随着水泥水化释放水分,进而减少或消除水泥石的自收缩^[50]。龚建清等^[51]研究了减缩剂、高吸水性树脂对水泥砂浆自收缩的影响,实验结果显示,单独掺入高吸水性树脂时,减缩剂掺量及内养护水引入量的增加均可导致水泥砂浆自收缩程度降低。

3.4 其它领域

在消防领域,由于在高温条件下高吸水性树脂有相当大的热容,可将其制成高分子灭火剂喷入火中,失水时可消耗大量的热,且能隔绝火源与空气,防止暗火复燃,从而达到瞬时灭火的效果^[52]。

在废水处理方面,工业废水中含有大量的铬、铁、汞等重金属,而这些物质不能通过化学降解或生物修复去除^[53],如果这些废水或废渣排放于土壤及水源中,通过饮水和食物链的作用会对人类产生更广泛和更严重的危害。陈建发^[54]

研究了高吸水性树脂对抗生素废水为主的混合工业废水的处理效果,研究表明,高吸水性树脂对该类废水有很好的吸附去除效果,当初始 pH 值为 6.8~8.7,化学需氧量(COD)初始质量浓度为 355~497 mg/L 时,COD 的平均去除率可达 74.7%,说明高吸水树脂对以抗生素制药废水为主的混合工业废水有很好的吸附去除效果。

高吸水性树脂的各种独特性能使其应用几乎遍及生活中的各个领域。如可制成在水中逐渐膨胀的新奇玩具,还可做成保冷剂、防火用胶、保鲜材料、微生物培养剂等^[55]。

4 结语

自 20 世纪 60 年代发展到现在,高吸水性树脂种类不断拓展,制备方法不断改进,产品不断增加,目前已成为一种具有较高应用价值的功能性高分子聚合物。但由于我国的高吸水性树脂研究起步较晚,所以总体水平滞后于国外。高吸水性树脂优势明显,其吸水性、防雾性、防静电性、水膨胀性、耐候性、光稳定性、耐热性、生物组织适应性等各项优势越来越受到人们的青睐,该材料已逐渐渗入到国民日常生活的各个领域。随着高吸水性树脂领域的不断深入研究,新的研究成果必将不断造福全人类。

高吸水性树脂的制备工艺和应用研究在我国尚有极大的潜力和空间,总体而言,可从以下几个方面开展工作:(1) 制备工艺简单化,进一步降低生产成本。目前的高吸水性树脂的制备工艺步骤繁杂,且反应条件比较苛刻,生产成本仍然较高,因此改进生产工艺,降低成本成为亟待解决的问题;(2) 材料复合化,实现绿色可降解产品。随着人们环保意识的增强,尽量以生物质为原材料,使高吸水性树脂获得可生物降解性,将成为该领域研究的新方向;(3) 材料功能化,拓宽应用领域。随着人们生活水平的提高,对材料的功能性提出了越来越高的要求,如何通过元素掺杂或表面改性,对高吸水性树脂进行结构和性能改性,使其具有更多附加功能,也将成为该领域的主流研究方向。

参考文献

- [1] Fanta G F, et al. Journal of Applied Polymer Science, 1966, 10(6):929-937.
- [2] Fanta G F, et al. Journal of Polymer Science Part C: Polymer Letters, 1966, 4(10):765-769.
- [3] Fanta G F, et al. Journal of Applied Polymer Science, 1967, 11(3):457-463.
- [4] 黄美玉,等. 高分子学报, 1984, 1(2):129-132.
Huang Meiyu, et al. Acta Polymerica Sinica, 1984, 1(2):129-132.
- [5] 郝琦玮,等. 高分子通报, 2018(3):40-45.
Hao Qiwei, et al. Polymer Bulletin, 2018(3):40-45.
- [6] 贺龙强,等. 化工新型材料, 2015, 43(8):96-98.
He Longqiang, et al. New Chemical Material, 2015, 43(8):96-98.
- [7] 卢从从,等. 功能材料, 2015, 46(15):15 084-15 089.
Lu Congcong, et al. Journal of Functional Materials, 2015, 46(15):15 084-15 089.
- [8] 代娟娟,等. 中国粮油学报, 2011, 26(6):30-35.
Dai Juanjuan, et al. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(6):30-35.
- [9] 冯凯,等. 材料保护, 2016, 49(S1):177-180.
Feng Kai, et al. Materials Protection, 2016, 49(S1):177-180.
- [10] 黄琳娟,等. 南方农业学报, 2016, 47(2):285-289.
Huang Linjuan, et al. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(2):285-289.
- [11] 户从从,等. 化工新型材料, 2015, 43(5):55-57.
Hu Congcong, et al. New Chemical Materials, 2015, 43(5):55-57.
- [12] 刘廷国,等. 化工新型材料, 2017, 45(1):255-257.
Liu Tingguo, et al. New Chemical Materials, 2017, 45(1):255-257.
- [13] 张伟,等. 燕山大学学报, 2016, 40(4):355-359.
Zhang Wei, et al. Journal of Yanshan University, 2016, 40(4):355-359.
- [14] 张铭,等. 科学技术与工程, 2016, 16(16):238-242.
Zhang Ming, et al. Science Technology and Engineering, 2016, 16(16):238-242.
- [15] 石亮,等. 化工新型材料, 2016, 44(9):208-210.
Shi Liang, et al. New Chemical Materials, 2016, 44(9):208-210.
- [16] 高桂林,等. 化工新型材料, 2014, 42(4):129-131.
Gao Guilin, et al. New Chemical Materials, 2014, 42(4):129-131.
- [17] 杨帆. 聚乙烯醇/丙烯酸/丙烯酰胺高吸水树脂的制备及性能研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2015.
Yang Fan. Synthesis and properties of superabsorbent resin of polyvinyl alcohol / acrylic acid / acrylamide[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2015.
- [18] 王翠玲,等. 精细化工, 2015, 32(3):245-248.
Wang Cuilin, et al. Fine Chemicals, 2015, 32(3):245-248.
- [19] 刘丽君,等. 天津科技大学学报, 2018, 33(2):43-48.
Liu Lijun, et al. Journal of Tianjin University of Science & Technology, 2018, 33(2):43-48.
- [20] 黄洋,等. 高分子学报, 2013(9):1 183-1 189.
Huang Yang, et al. Acta Polymerica Sinica, 2013(9):1 183-1 189.
- [21] 殷榕灿,等. 广州化工, 2014, 42(20):68-69.
Yin Rongcan, et al. Guangzhou Chemical Industry, 2014, 42(20):68-69.
- [22] 牛育华,等. 精细化工, 2016, 33(6):628-634.
Niu Yuhua, et al. Fine Chemicals, 2016, 33(6):628-634.
- [23] 胡灯. 改性聚天冬氨酸/聚丙烯酸/凹凸棒土复合吸水性树脂的制备及性能研究[D]. 太原:太原理工大学, 2016.
Hu Deng. Preparation and characterization of modified poly(aspartic acid)/poly(acrylic acid)/attapulgit composite absorbent resin[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2016.
- [24] 孟励,等. 天津农学院学报, 2015, 22(3):28-31.
Meng Li, et al. Journal of Tianjin Agricultural University, 2015, 22(3):28-31.

- [25] 李东芳,等.合成材料老化与应用,2015,44(1):12-15.
Li Dongfang, et al. Synthetic Materials Aging and Application, 2015,44(1):12-15.
- [26] 丰珂珏.茶多酚-丙烯酸系高吸水树脂的制备及其性能研究[D].武汉:华中农业大学,2015.
Feng Kejue. Synthesis and characterization of a super-absorbent resin based on acrylic acid grafted with tea polyphenol[D]. Wuhan:Huazhong Agricultural University, 2015.
- [27] 陈嘉恒,等.化工新型材料,2015,43(6):74-76.
Chen Jiaheng, et al. New Chemical Materials, 2015,43(6):74-76.
- [28] 蒋山泉,等.化工新型材料,2016,44(9):178-180.
Jiang Shanquan, et al. New Chemical Materials, 2016,44(9):178-180.
- [29] 余训民,等.武汉工程大学学报,2015,37(2):10-14.
Yu Xunmin, et al. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2015,37(2):10-14.
- [30] 朱友良,等.塑料工业,2005,33(11):7-9.
Zhu Youliang, et al. China Plastics Industry, 2005,33(11):7-9.
- [31] Vanderhoff J W. Advances in Chemistry Series, 1962, 34(1):32-51.
- [32] 江照洋. SA-IP-SPS 互穿网络高吸水树脂的合成与性能研究[D].西安:西安科技大学,2009.
Jiang Zhaoyang. Study on synthesis and properties of super absorbent polyer with SA-IP-SPS interpenetration network[D]. Xi'an:Xi'an University of Science and Technology, 2009.
- [33] 谢新玲,等.化工新型材料,2015,43(6):48-50.
Xie Xinling, et al. New Chemical Materials, 2015,43(6):48-50.
- [34] 姚同和,等.化工新型材料,2014,42(10):41-44.
Yao Tonghe, et al. New Chemical Materials, 2014,42(10):41-44.
- [35] 来水利,等.陕西科技大学学报,2015,39(2):88-92.
Lai Shuili, et al. Journal of Shaanxi University of Science & Technology, 2015,39(2):88-92.
- [36] 刘方方,等.河北科技大学学报,2015,36(6):598-605.
Liu Fangfang, et al. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2015,36(6):598-605.
- [37] 张素芬,等.核农学报,2015,29(3):462-471.
Zhang Sufen, et al. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015,29(3):462-471.
- [38] 马征,等.水土保持学报,2016,30(5):337-341.
Ma Zheng, et al. Journal of Soil and Water Conservation, 2016, 30(5):337-341.
- [39] 罗苾聪,等.化工新型材料,2018,46(3):261-264.
Luo Congcong, et al. New Chemical Materials, 2018,46(3):261-264.
- [40] 铁生年,等.材料导报,2013,31(5):71-75.
Tie Shengnian, et al. Materials Review, 2013,31(5):71-75.
- [41] 刘丽珠,等.南方农业学报,2017,48(7):1242-1248.
Liu Lizhu, et al. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(7):1242-1248.
- [42] 冉艳玲,等.干旱地区农业研究,2015,33(5):101-107.
Ran Yanling, et al. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(5):101-107.
- [43] 单俊鸿,等.新型建筑材料,2015(7):18-21.
Shan Junhong, et al. New Building Materials, 2015(7):18-21.
- [44] 才英杰,等.弹性体,2011(5):92-96.
Cai Yingjie, et al. China Elastomerics, 2011(5):92-96.
- [45] 冉茂莲,等.中成药,2015,37(1):174-179.
Ran Maolian, et al. Chinese Traditional Patent Medicine, 2015, 37(1):174-179.
- [46] 王海,等.工程塑料应用,2014,42(1):1-6.
Wang Hai, et al. Engineering Plastics Application, 2014,42(1):1-6.
- [47] 邵丽梅,等.口腔生物医学,2014,5(1):46-48.
Shao Limei, et al. Oral Biomedicine, 2014,5(1):46-48.
- [48] 李娟,等.石油化工,2011(3):334-340.
Li Juan, et al. Petrochemical Technology, 2011(3):334-340.
- [49] 宋学锋,等.材料导报,2016,30(6):56-60.
Song Xuefeng, et al. Materials Review, 2016,30(6):56-60.
- [50] 李明,等.硅酸盐学报,2016,44(11):1595-1601.
Li Ming, et al. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2016, 44(11):1595-1601.
- [51] 龚建清,等.材料导报,2016,30(16):109-114.
Gong Jianqing, et al. Materials Review, 2016,30(16):109-114.
- [52] 左广玲,等.南阳理工学院学报,2009,1(4):71-73,81.
Zuo Guangling, et al. Journal of Nanyang Institute of Technology, 2009,1(4):71-73,81.
- [53] 宋安新,等.化学通报,2017,80(1):94-98.
Song Anxin, et al. Chemistry, 2017,80(1):94-98.
- [54] 陈建发.现代化工,2016(5):122-125.
Chen Jianfa. Modern Chemical Industry, 2016(5):122-125.
- [55] 张步宁,等.化工新型材料,2012,40(4):56-58.
Zhang Buning, et al. New Chemical Materials, 2012,40(4):56-58.

欢迎订阅 2019 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志

邮发代号 24-42,24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎广大读者到当地邮政局(所)订阅 2019 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》杂志,订阅杂志及合订本光盘及过期刊物的读者可直接向杂志社办理订阅。《工程塑料应用》为月刊,大 16 开本,每月 10 日出版,2019 年定价 20 元/期,全年 240 元。《化学分析计量》为双月刊,大 16 开本,单月 20 日出版,2019 年定价 20 元/期,全年 120 元。

电话:(0531)85878223 85878057 传真:(0531)85947355