

高吸水树脂的制备及作为纸尿裤芯体材料的吸液性能研究

黄国俸 孙章颖 雷 鑫 秦雯霞 崔 琳
陈会军 岳 影 陈 颖

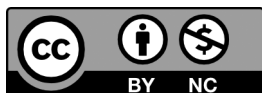
重庆科技大学化学化工学院, 重庆

摘 要 | 为了制备适用于纸尿裤和卫生巾等一次性卫生用品芯体材料、具有耐温耐盐性能的高吸水树脂, 本研究以2-丙烯酰胺-2-甲基丙磺酸 (AMPS) 和N-乙烯基吡咯烷酮 (NVP) 为改性剂, 制备改性丙烯酸 (PAA) 的吸水树脂。实验结果表明: 改性PAA吸水树脂在去离子水中的吸液倍率从改性前的1217g/g提高到改性后的2042g/g。在36.5°C下, 改性PAA吸水树脂在人工尿液、人工血液和生理盐水中的吸液倍率 (8h) 分别从改性前的47g/g、49g/g和64g/g增长到改性后的89g/g、87.2g/g和101g/g。同时, 吸去离子水速率符合一级动力学模型, 5min时吸水倍率为308g/g, 达到GB/T 22875-2018《纸尿裤和卫生巾用高吸收性树脂》标准的2.5倍以上。由此可见, 本研究结果可为改性PAA吸水树脂用于卫生巾和纸尿裤等一次性卫生用品芯体材料提供理论参考, 具有市场应用前景。

关键词 | PAA吸水树脂; 卫生用品芯体材料; AMPS; NVP

Copyright © 2025 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



基金项目: 重庆市教改一般项目“基于学科交叉融合的大学生创新创业能力培养模式研究与实践”(项目编号: 213353); 2023年重庆市高等教育教学改革研究项目(互联网+一般项目)“新工科背景下化工专业学生‘双创’能力培养研究与实践”。

通讯作者: 黄国俸, 男, 重庆市人, 重庆科技大学化学化工学院学生, 能源化学专业, 研究方向: 高分子结构与性质研究。

文章引用: 黄国俸, 孙章颖, 雷鑫, 等. 高吸水树脂的制备及作为纸尿裤芯体材料的吸液性能研究[J]. 材料科学与工程, 2025, 7 (1): 1-13.

<https://doi.org/10.35534/mse.0701001>

在高吸水树脂(SAP)的下游消费中,用于生产婴儿纸尿裤/裤占比最多,为总消费量的70.0%;其次是用于生产成人失禁用品,占总消费量的17.0%;用于生产女性卫生用品占总消费量的7.0%^[1]。婴儿纸尿裤一直是SAP最大的下游市场,但随着世界人口逐步老龄化,未来成人失禁用品或将拉动SAP需求持续增长^[2]。虽然目前国内SAP的产能过剩,但每年仍有10多万吨的进口量,这是因为国内产品在性能方面不及进口产品,高端市场更多被外资产品占据^[3]。所以,开发具有高吸水倍率和高吸水速率的SAP具有重要的研究意义。

Qi Zhenming等^[4]制备了一种新型钾离子基SAP,吸去离子水和生理盐水倍率分别达到3600g/g和130g/g,在0.9wt%KCl溶液中可达150g/g,在10wt%尿素溶液中可达2250g/g。胡健^[5]以可溶性淀粉为改性剂,制备了淀粉接枝聚丙烯酸高吸水性树脂,其在去离子水和生理盐水中吸液倍率分别为1360g/g和112g/g。张楠^[6]采用接枝改性法制备了淀粉接枝丙烯酸-丙烯酰胺高吸水性树脂,其在去离子水和生理盐水的吸收倍率分别为1089g/g和80g/g。李瑞奇^[7]采用水溶液聚合法,用丙烯酸(AA)和2-丙烯酰胺基-2-甲基丙烷磺酸(AMPS)接枝改性聚冬氨酸(PASP),其在去离子水和生理盐水中的吸液量分别增加到420g/g和84g/g。陈静^[8]以生物质废弃物籽瓜皮为原料,AA为接枝单体,制备了超吸水性的材料,在蒸馏水和生理盐水中的最优吸水率分别为1286g/g和103g/g。宁峰^[9]使用水溶液聚合法制备-p(AA-AMPS)/PVA半互穿高吸水树脂,其在去离子水倍率为1875g/g,吸生理盐水倍率为97g/g。甘颖等^[10]采用微波辐射法,通过接枝聚合反应合成了CS-g-P(AM-co-AMPS)高吸水性树脂,其最大吸水倍率为1332g/g。

本研究以2-丙烯酰胺基-2-甲基丙烷磺酸(AMPS)和乙烯基吡咯烷酮(NVP)为改性剂,制备了改性丙烯酸吸水树脂,考察了NVP和AMPS对PAA树脂在人体温度下人工血液和人工尿液的吸液倍率及吸液速率的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

丙烯酸(AA)、N,N'-亚甲基双丙烯酰胺(NMBA)、过硫酸钾

(KPS)、氢氧化钠、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸 (AMPS)、羧甲基纤维素钠 (CMC)、无水氯化钠、乙烯基吡咯烷酮 (NVP)，均为分析纯，购自成都市科隆化学品有限公司。

1.2 方法

1.2.1 改性丙烯酸吸水树脂的制备

以2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸 (AMPS) 和乙烯基吡咯烷酮 (NVP) 为改性剂，制备改性丙烯酸吸水树脂。丙烯酸吸水树脂 (PAA) 的工艺流程图如图1所示。

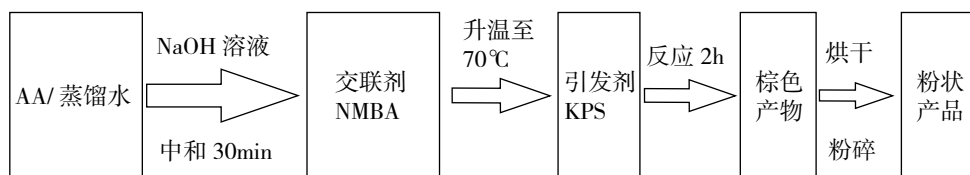


图1 丙烯酸吸水树脂 (PAA) 制备工艺流程图

Figure 1 Flowchart of the preparation process of acrylic absorbent resin (PAA)

1.2.2 吸水树脂吸水倍率的测试

用电子天平称取一定量的粉状产品放入茶袋，再将其置于大容量容器中，加入足量去离子水。待产品达到吸液平衡后，从水中取出茶袋悬挂，至茶袋不再持续滴水时，称量茶袋并记录数据。计算公式如下：

$$Q = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \quad (1)$$

式 (1) 中， Q ——吸液倍率， g/g ； M_1 ——润湿的茶袋及标签质量， g ； M_2 ——溶胀后样品质量， g ； M_0 ——溶胀前样品质量， g 。

1.2.3 吸人工尿液测试

分别称取0.1g样品，放入准备好的茶袋中，然后将其放入36.5℃的人工尿液中，浸泡约24h后取出称量。吸人工尿液倍率公式见式 (1)。

表 1 人工尿液配方

Table 1 Formula of artificial urine

原料	去离子水	氯化钠	尿素	七水硫酸镁	氯化钙
质量百分比	97.09%	0.8%	1.94%	0.11%	0.06%

1.2.4 吸人工血液测试

分别称取0.1g样品，放入准备好的茶袋中，接着将其放入36.5℃的人工血液中，浸泡约24h后取出称量。吸人工血液倍率公式见式（1）。

表 2 人工血液配方

Table 2 Formula of artificial blood

原料	去离子水	氯化钠	丙三醇	羧甲基纤维素钠	碳酸钙
质量百分比	88.14%	1.0%	10%	0.46%	0.4%

1.2.5 吸水速率测定

分别称取0.1g样品，放入准备好的茶袋中，再将其放入蒸馏水中。每隔20min、40min、1h、2h测定各产品重量，记录数据，并根据式（1）计算吸水倍率。

2 结果与讨论

2.1 AMPS 的对 PAA 吸水倍率的影响

图2展示了AMPS用量对改性PAA吸水倍率的影响。由图2可见，当AMPS从0增加到22%时，吸水倍率从1700g/g增加到2097g/g；而当AMPS增加到24%时，吸水倍率从2097g/g降至1653g/g。由此可见，AMPS单独改性的最佳用量为22%，此时吸水倍率为2097g/g。由于AMPS分子中含有强亲水基团，因此，当AMPS用量增加时，改性PAA中三维网络结构中的亲水基团增多，PAA的吸水能力提高，并在AMPS用量为22%时达到最大值（2097g/g）。当进一步提高AMPS用量时，由

于聚合物分子链上的磺酸基团过多，AMPS带着位阻较大的季碳和磺酸基团进入聚合物内部^[11]，使得PAA内部的位阻效应增大，交联时不利于形成有效的三维网状结构，水分子难以被锁在PAA内部，导致吸水倍率降低。

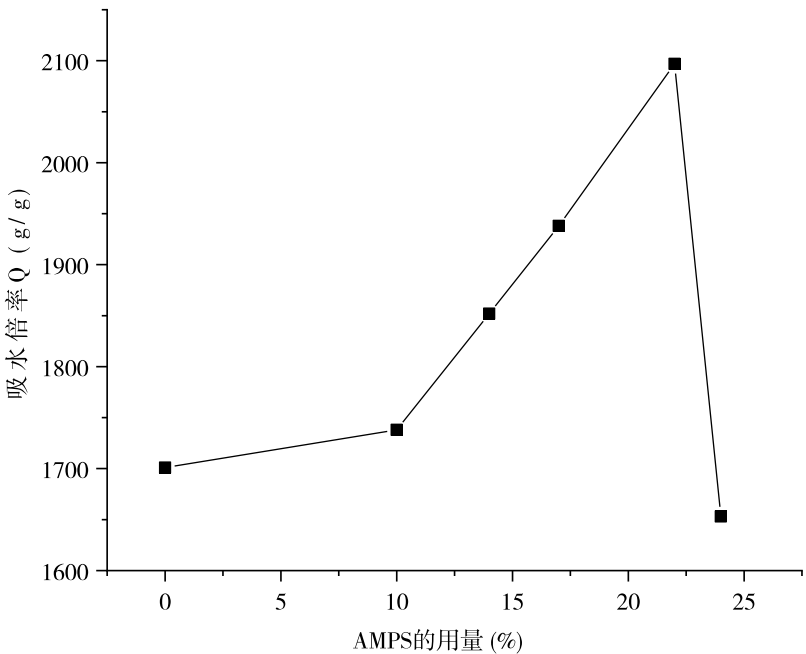


图 2 AMPS对PAA吸水倍率的影响

Figure 2 Influence of AMPS on water absorption of PAA

2.2 NVP 对 PAA 吸水倍率的影响

图3呈现了随着NVP增加，改性PAA吸水倍率的变化趋势。由图3可知，当NVP的用量增长到10%时，吸水倍率从1744g/g增长到2481g/g；而当NVP用量增长到14%时，吸水倍率反而降至1120g/g。所以NVP单独改性PAA的最佳用量为10%，吸水倍率为2481g/g。当NVP用量较低时，由于五元环是一个强亲水基团，而此时聚合物内部的亲水基团较少，因此PAA的吸水倍率较低。当NVP用量为10%时，聚合物内部强亲水基团的数量最为合适，有效网络结构最多。当NVP的用量超过10%时，过多的五元环会形成较大的位阻效应，使得三维网络结构不易舒展开，PAA无法锁住水分，所以PAA的吸水倍率降低。

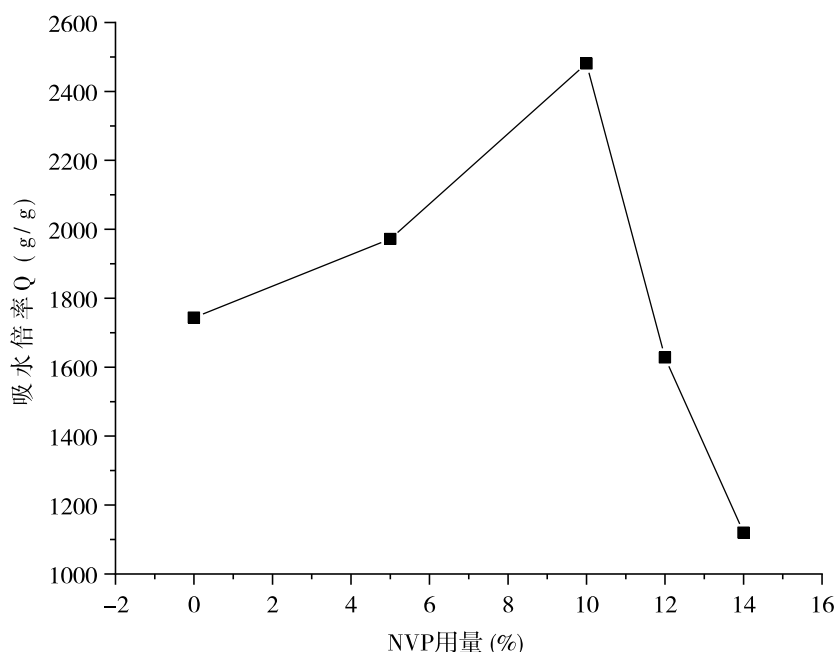


图3 NVP对PAA吸水倍率的影响

Figure 3 Effect of NVP on water absorption of PAA

2.3 AMPS/NVP 对 PAA 吸水倍率的影响

图4展示了当NVP的用量为10%时，增加AMPS的用量对AMPS和NVP改性PAA的吸水倍率的影响。由图4可知，当AMPS用量增长到26%时，双改性的PAA的吸水倍率从1920g/g增长到2738g/g；而当AMPS增长到30%时，吸水倍率不但没有增加，反而降至2178g/g。由此可见，AMPS的最佳用量为26%，此时吸水倍率为2738g/g。当AMPS用量较低时，强亲水基团较少，因此PAA的吸水倍率较低。当AMPS用量为24%时，亲水基团数量最多，有效三维网状结构最多。当AMPS的用量超过24%时，聚合物的位阻效应过大^[12, 13]，不利于形成三维网状结构，于是吸水倍率减小。AMPS改性的PAA的吸水倍率为2097g/g，而AMPS/NVP改性的PAA吸水倍率为2738g/g，这是因为AMPS和NVP的协同效应使得PAA的吸水倍率更高。

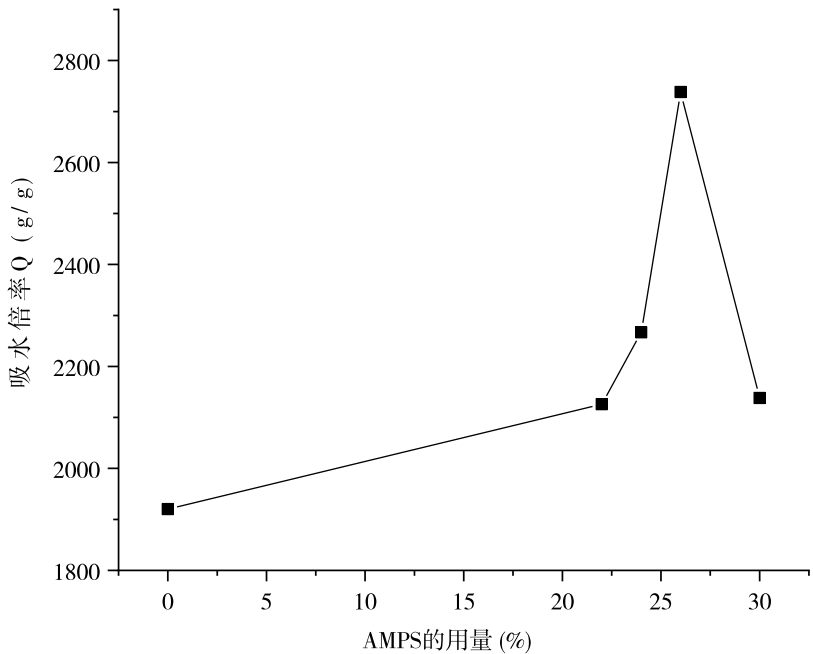


图 4 AMPS和NVP双改性对PAA吸水倍率的影响

Figure 4 Effect of AMPS and NVP on water absorption of PAA

2.4 改性对吸水树脂吸液速率的影响

由图5、图6可知，经AMPS、NVP改性后的PAA吸水树脂在吸液速率测试中的表现优于未改性的PAA吸水树脂。在同一时间内，AMPS/NVP双改性PAA吸水树脂吸去离子水、人工尿液、人工血液的倍率普遍比未改性PAA吸水树脂高1-3倍，这是因为AMPS和NVP分子中存在强亲水基团和抗盐基团。

根据GB/T 22875-2018《纸尿裤和卫生巾用高吸收性树脂》标准，要求卫生巾用SAP在150s内合成液吸收量 $\geq 5.0\text{mL/g}$ ，30min内合成液吸收量为 20g/g ，30min内生理盐水吸收量为 40g/g 。本研究制得的改性PAA吸水树脂在150s内，吸人工血液的倍率可达 13.0g/g ；在30min内，吸人工血液和人工尿液的倍率可达 67.9g/g 和 65.4g/g 。

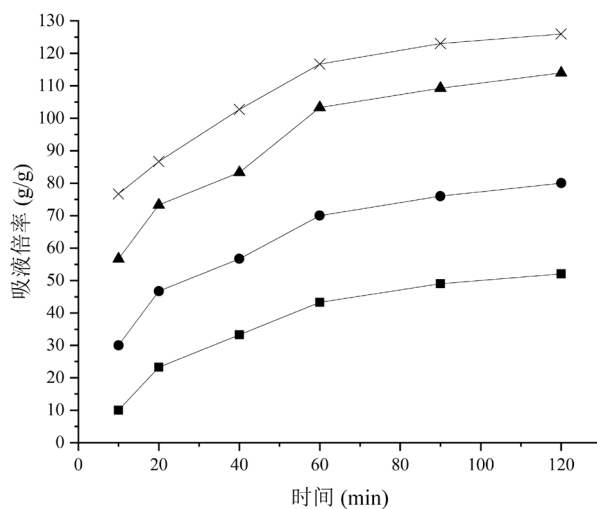


图5 改性对PAA吸水树脂在36.5℃下吸人工尿液的影响

Figure 5 Effect of modification on absorption of artificial urine by PAA absorbent resin at 36.5°C

注：—■—未改性，—●—AMPS改性，—▲—NVP改性，—×—双改性。

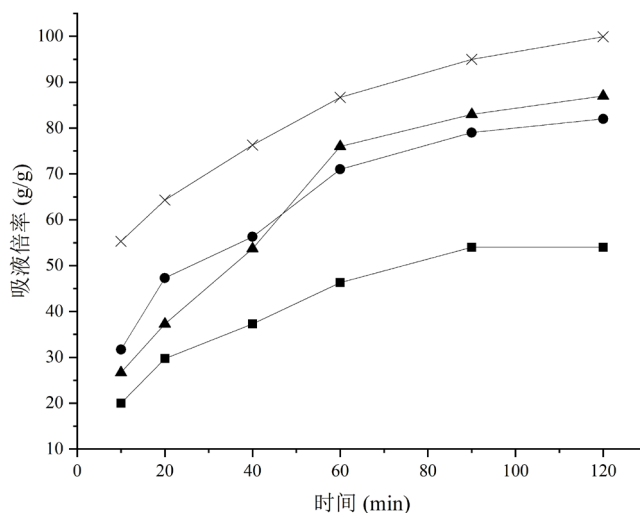


图6 36.5℃下改性对PAA吸水树脂吸人工血液的影响

Figure 6 Effect of modification on artificial blood absorption by PAA absorbent resin at 36.5°C

注：—■—未改性，—●—AMPS改性，—▲—NVP改性，—×—双改性。

2.5 改性对吸水树脂吸人工尿液和人工血液吸液能力的影响

图7和图8展示了在6h后, 改性前后PAA在不同温度下人工血液和人工尿液的吸液倍率情况。当温度升高时, 未改性的PAA对人工血液和人工尿液的吸液倍率反而降低, 这是因为温度升高会破坏PAA内部的氢键, 使得PAA的锁水能力下降。而改性后PAA在温度升高时, 对人工血液和人工尿液的吸液倍率反而升高, 这是因为温度升高, 有利于PAA内部的大分子, 如磺酸基团和五元环的运动, 有利于三维网状结构的扩展, 吸液倍率也就提高了。AMPS/NVP改性的吸液倍率比单独改性的吸液倍率更高, 由于AMPS和NVP的协同效应使得PAA的耐温耐盐性得到了进一步改善, 吸液倍率也就随之提高。

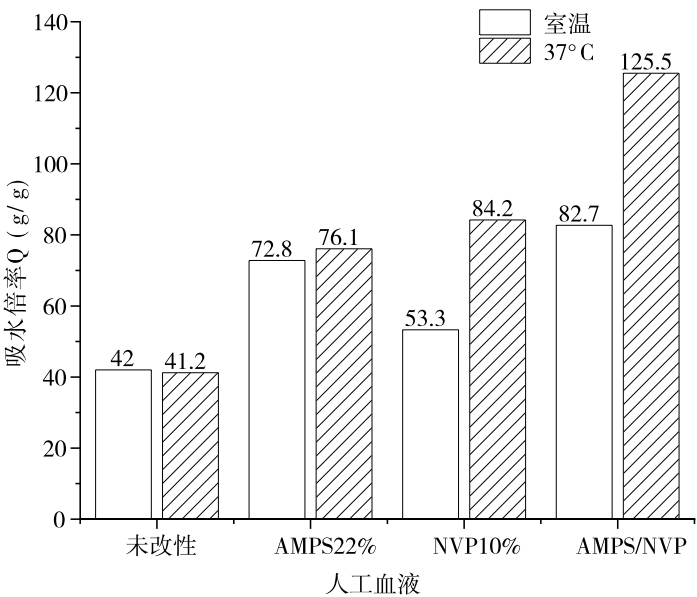


图 7 人工血液的吸水倍率

Figure 7 The water absorption ratio of artificial blood

人工血液的吸液倍率比人工尿液的吸液倍率低, 这可能是因为人工血液中的钠离子浓度比人工尿液中的高, 且盐溶液中除了钠离子还有钙离子, 钙离子对吸液倍率也有一定影响^[14, 15]。

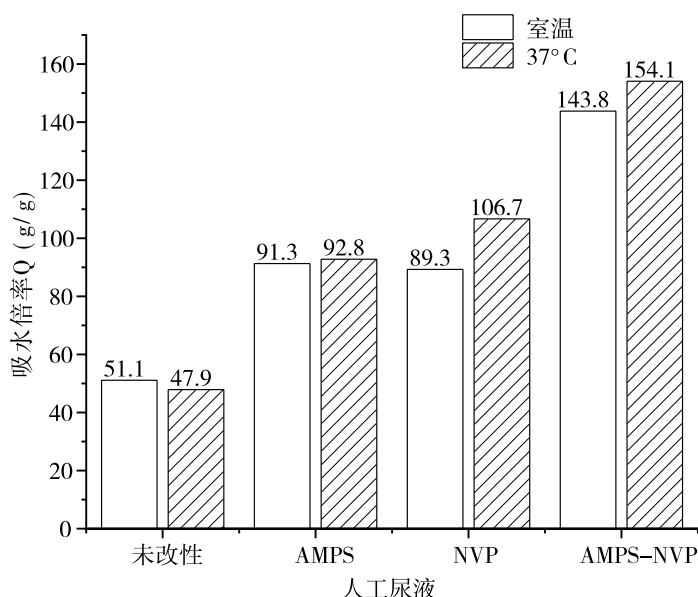


图8 人工尿液的吸水倍率

Figure 8 Water absorption of artificial urine

3 结论

(1) 将AMPS和NVP加入到PAA的制备过程中, 在提高PAA的吸水倍率时还可以增强PAA的耐盐性和耐温性。采用水溶液聚合法制备改性PAA的最佳工艺条件为: AA用量为24%、AMPS用量为26%、NVP用量为10%、中和度为65%、交联剂用量为0.045%、引发剂用量为0.8%、反应温度为70.5℃, 聚合时间为2.5h。在最佳合成工艺下制备的高吸水树脂在蒸馏水中的吸水倍率为2738g/g。

(2) 5min时吸水倍率达到308g/g, 10min时吸水倍率达到572g/g。依据GB/T 22875-2018《纸尿裤和卫生巾用高吸收性树脂》标准, 要求150s内合成液吸收量 $\geq 5.0\text{mL}$ 。本研究制得的改性吸水树脂在36.5℃条件下, 150s内对人工尿液和人工血液的吸收速率分别为20mL和12.5mL, 高于国家标准2-4倍。由此可见, 本研究制备的改性丙烯酸吸水树脂满足一次性卫生用品芯体材料的使用要求。其研究结果可为改性丙烯酸SAP用于卫生巾和纸尿裤等一次性卫生用品芯体材料提

供理论参考,具有市场应用前景。

参考文献

- [1] UTPE弹性体平台. 吸水树脂是什么,应用和前景如何? [EB/OL]. (2021-11-10) [2023-05-25]. <https://zhuanlan.zhihu.com/p/431582300>.
- [2] 华经情报网. 2022年中国高吸水性树脂(SAP)行业分类、产业链、现状及竞争格局分析 [EB/OL]. (2023-03-20) [2023-05-25]. <https://www.huaon.com/channel/trend/877958.html>.
- [3] 高利平. 产能严重过剩!高吸水性树脂SAP供需现状及预测 [EB/OL]. (2022-08-25) [2023-05-25]. <https://www.chemconsulting.com.cn/c/2022-08-25/702308.html>.
- [4] Qi Zhenming, Hu Xiaosai. Water absorbency of super absorbent polymer based on flexible polymeric network [J]. European Polymer Journal, 2022 (166): 111045.
- [5] 胡健. 接枝改性聚丙烯酸高吸水性树脂的制备及性能研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
- [6] 张楠. 淀粉接枝/二元共聚改性聚丙烯酸基高吸水性树脂的制备及性能研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
- [7] 李瑞奇. 马铃薯淀粉基共聚物改性聚天冬氨酸复合吸水树脂的制备及性能研究 [D]. 太原: 太原理工大学, 2022.
- [8] 陈静. 基于籽瓜皮制备高吸水树脂及应用研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2021.
- [9] 宁峰. 纤维素基高吸水树脂的制备及其性能表征 [D]. 南昌: 大学, 2020.
- [10] 甘颖, 戴长奇, 刘文武, 等. 壳聚糖基高吸水性树脂的微波辐射制备及其溶胀动力学 [J]. 辐射研究与辐射工艺学报, 2022, 40(2): 10-19.
- [11] 王海坤. 羧甲基纤维素及淀粉基高吸水树脂的制备及研究 [D]. 南昌:

- 南昌大学, 2018.
- [12] 陈世兰, 周述勇, 张鹏, 等. 反相乳液聚合法制备耐温抗盐丙烯酰胺聚合物 [J] . 应用化工, 2017, 46 (8) : 1521–1525.
- [13] 张绘营. CPAAM高吸水树脂的吸液性能研究 [D] . 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [14] Sun Jialin, Wei Zihao, Xue Changhu. Preparation and characterization of multifunctional films based on pectin and carboxymethylchitosan: Forming microchambers for high-moisture fruit preservation [J] . Food Packaging and Shelf Life, 2023 (37) : 385–385.
- [15] Li Dongfang, Guo Jing, et al. Synthesis and Characterization of a Novel Bentonite Composite Superabsorbent Resin Based on Starch [J] . Advances in Materials Science and Engineering, 2022 (9) : 686–705.

Preparation and Study of the Liquid Absorption Performance of High-absorbent Resin as the Core Material of Diapers

Huang Guofeng Sun Zhangying Lei Xing Qing Wenxia

Cui Lin Chen Huijun Yue Ying Chen Ying

College of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Abstract: In order to prepare a super absorbent polymer with temperature and salt resistance properties suitable for the core materials of disposable sanitary

products such as diapers and sanitary napkins, this paper uses 2-acrylamide-2-methylpropane sulfonic acid (AMPS) and N-ethylene A modified acrylic acid (AA) water-absorbent resin (PAA water-absorbent polymer) was prepared using pyrrolidone (NVP) as a modifier. The experimental results show that the prepared modified the liquid absorption ratio of PAA water-absorbent resin in deionized water increased from 1217g/g before modification to 2042g/g after modification. At 36.5°C, the absorption ratio (8h) of modified PAA water-absorbent resin in artificial urine, artificial blood and saline increased from 47g/g, 49g/g and 64g/g before modification to modified The latter 89g/g, 87.2g/g and 101g/g. At the same time, the deionized water absorption rate of the modified PAA water-absorbing polymer conforms to the first-order kinetic model, and the water absorption ratio reaches 308g/g in 5 minutes. According to the GBT22875-2018 standard for superabsorbent polymers for diapers and sanitary napkins. The modified PAA water-absorbing polymer prepared in this paper was 2.5times. It can be seen that the research results can provide a theoretical reference for the modified PAA water-absorbing resin to be used as the core material of disposable sanitary products such as sanitary napkins and paper diapers, and has market application prospects.

Key words: PAA absorbent polymer; Hygiene core material; AMPS; NVP