http://pmse.scu.edu.cn

丙烯酰胺对丙烯酸系高吸水树脂耐盐性的影响

胡颖兰，冉 瑾，崔 鹏，郝文涛，窦 焰，姚路路
（合肥工业大学 化学与化工学院，安徽 合肥 230009）

摘要：采用水溶液法制备了聚丙烯酸/丙烯酸钠-丙烯酰胺共聚高吸水树脂(P(AA/AAS-*co*-AM))，通过元素分析、流变仪、差示扫描量热仪等表征手段，测定并计算了树脂电荷密度、交联密度和亲水性，结合Flory吸水理论，研究了微观结构与树脂耐盐性之间的关系，探讨了丙烯酰胺对丙烯酸系高吸水树脂耐盐性的影响。结果发现，丙烯酸和丙烯酰胺质量比(*m*(AA):*m*(AM))从10:0增加到8:2、0.9%NaCl溶液中的溶胀率由52.00 g/g提高到78.86 g/g，其主要原因是亲水性提高；*m*(AA):*m*(AM)从8:2增加到6:4、溶胀率由78.86 g/g下降到34.35 g/g，主要原因是电荷密度的下降和交联密度的提高。

关键词：丙烯酰胺；电荷密度；交联密度；亲水性；Flory吸水理论；耐盐性
中图分类号：TQ325.7 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-7555（2024）06-0025-08

丙烯酸系高吸水树脂可以吸收自身质量1000倍的纯水，吸液性能优异[1]，但是在盐环境下其性能会急剧下降[2]。而实际应用领域多处于盐环境，所以人们一直致力于提高丙烯酸系高吸水树脂的耐盐性。

丙烯酰胺(AM)作为一种具有非离子型亲水酰胺基团的单体，常被用于与丙烯酸共聚来改善其耐盐性[3]。张楠等[4]采用淀粉丙烯酸丙烯酰胺三元共聚树脂，得到的最佳性能吸水可达 1089 .65 g /g；Liang等[5]采用玉米秸秆、腐殖酸、丙烯酸和丙烯酰胺制备的壳聚糖-腐殖酸基高吸水树脂，最佳工艺条件下，吸水量可达1106.90 g/g；Wang等[6]制备了聚丙烯酸-共-丙烯酰胺/富里酸/油页岩半焦高吸水复合材料，在纯水和0.9%生理盐水中吸液率分别可达724.00 g/g和98.00 g/g。但目前的研究多关注于调整工艺参数以提高溶胀性能，而对于丙烯酰胺对丙烯酸系树脂耐盐性的影响规律缺乏理论研究。

以交联的聚丙烯酸为代表，Flory从聚合物中固定离子对吸水能力的影响和凝胶内外部产生的渗透压角度推导出了离子型交联聚合物吸水平衡时溶胀率的近似平衡公式[7,8]。

$$Q^{\frac{5}{3}} \cong \frac{\left[\left(\frac{i}{2V_2S^{\frac{1}{2}}}\right)^2+\frac{\frac{1}{2}-\chi}{V_1}\right]}{V_e/V_0} \quad (1)$$

式中：i/V_2——固定在聚合物上的电荷密度；S——外部电解质的离子强度；$(1/2-\chi)/V_1$——水与聚合物网络的亲和力；V_e/V_0——交联密度。

由于平衡溶胀定量模型是依据理想化的条件假设建立起来，无法用于实际体系的定量计算，但是所提出的高溶胀性与聚合物的高电荷密度、适当的低交联密度及高亲水性的关系为定性分析指明了研究方向，所以，几十年来该领域的研究一直沿用此模型。到目前为止虽然，学者们多用此模型来定性分析所合成树脂的吸水耐盐性能差别，但却缺乏明确的方法进行定量表征各个参数。本文拟通过元素分

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2024.0117
收稿日期：2023-08-14
基金项目：阜阳市科技重大专项项目（2018053120）；颍上县科技重大专项项目（20190916）
通讯联系人：窦焰，主要从事新材料合成及分离研究，E-mail：douy0208@126.com；
姚路路，主要从事功能性精细高分子材料制备、分离科学与技术研究，E-mail: yaolulu166@hfut.edu.cn

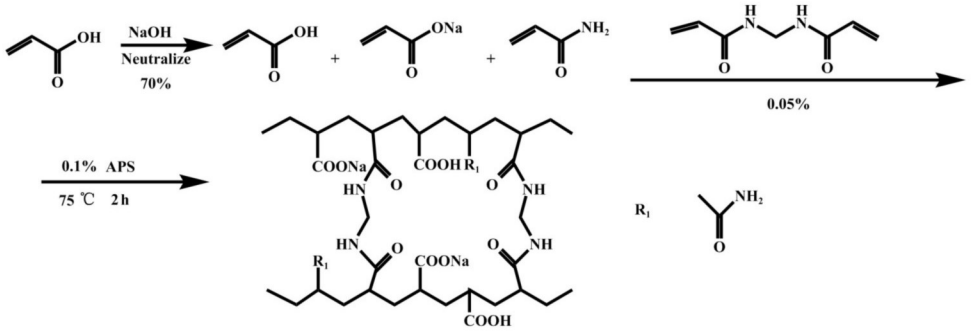


Fig. 1 Structural schematic diagram

析、流变仪、差示扫描量热仪(DSC)等表征方法,对于添加AM制备的聚丙烯酸/丙烯酸钠-丙烯酰胺共聚高吸水树脂(P(AA/AAS-*co*-AM))(SAPs)的电荷密度、交联密度、亲水性等参数进行计算和表征,将微观结构变化与耐盐性变化趋势进行关联,探究丙烯酰胺对丙烯酸系高吸水树脂耐盐性影响的规律,为提高树脂耐盐性的研究提供理论参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

丙烯酰胺、氢氧化钠(NaOH):国药集团化学试剂有限公司;丙烯酸(AA)、N,N′-亚甲基双丙烯酰胺(MBA)、过硫酸铵(APS):上海麦克林生化科技有限公司;实验用水:屈臣氏纯净水。

1.2 聚丙烯酸/丙烯酸钠-丙烯酰胺的制备

冰水浴条件下,丙烯酸与氢氧化钠进行缓慢中和(中和度70%),再加入一定比例的丙烯酰胺,混合均匀后倒入到四口烧瓶中,体系单体质量分数为30%左右,加热到75 ℃,通入氮气,再缓慢滴加占单体质量0.05%的交联剂MBA、占单体质量0.1%的引发剂APS,保温2 h,经过多次去离子水和乙醇洗涤、干燥和粉碎处理后得到高吸水树脂粉末。

1.3 测试与表征

1.3.1 溶胀率测试:采用茶袋法测试溶胀率。称取一定量的干树脂W_t放入一定量的0.9%NaCl水溶液中溶胀平衡,过滤除掉多余的水分,称量溶胀后的树脂(W_d),如式(2)计算溶胀率(S)

$$S=\frac{W_d-W_t}{W_t} \tag{2}$$

1.3.2 结构分析:使用傅里叶变换红外光谱仪(LX10-8873,日本岛津)分析样品中特征振动峰位置。采用溴化钾压片法,分辨率为4 cm^{-1},扫描次数32次,测试范围400～4000 cm^{-1}。

1.3.3 流变性能分析:采用流变仪(HR10,美国TA)在20 cm平行板模具,25 ℃,固定频率为10 rad/s,对SAPs试样在0.01%~1000%应变范围进行动态扫描;固定应变为0.01%,对SAPs试样在0.1~100 rad/s频率范围进行动态扫描。

1.3.4 元素含量测定:采用元素分析仪(Vario ELc,德国Elementar)测试高吸水树脂中各元素含量。测试条件燃烧管1150 ℃,还原管850 ℃。

1.3.5 热性能分析:采用差示扫描量热仪(DSC 25,美国TA)测试样品的可冻结水。测试温度范围为－30～30 ℃,升温速率为5 ℃/min,氮气流速为50 mL/min。

2 结果与讨论

2.1 P(AA/AAS-*co*-AM)高吸水树脂红外分析

从红外谱图Fig.2可以看到,3440 cm^{-1}是—OH键的伸缩振动峰,2930 cm^{-1}是C—H对称伸缩振动峰,1670 cm^{-1}是羰基(C—O)的伸缩振动。1552 cm^{-1}是—$CONH_2$中N—H的弯曲振动峰,1405 cm^{-1}处为是—$CONH_2$中C—N键伸缩振动峰。所以P(AA/AAS-*co*-AM)树脂成功合成。

2.2 丙烯酰胺含量变化对树脂溶胀率的影响

在纯水中或0.9%NaCl溶液中,随着AM/AA质量比的增加,高吸水树脂的溶胀率都呈现先增大后减少的规律。Tab.1中AA-AM-1对应纯的P(AA/AAS)高吸水树脂,可见丙烯酰胺的加入,确实提升

了高吸水树脂的耐盐性。*m*(AA):*m*(AM)最佳比例为8:2,树脂在0.9%NaCl中的溶胀率为78.86 g/g,大约是P(AA/AAS)高吸水树脂溶胀率的1.5倍,但是非离子单体丙烯酰胺含量过高,对耐盐性起着反作用,AM-AA-4和AM-AA-5的耐盐性明显低于纯聚丙烯酸高吸水树脂。

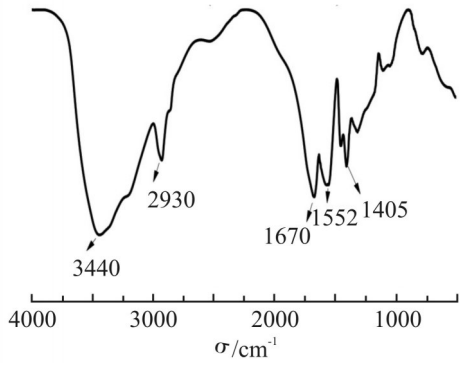


Fig. 2 FT-IR spectrum of P(AA/AAS-*co*-AM)

2.3 不同质量比AA/AM对树脂电荷密度的影响

聚合物电解质是一种重复单元含有可解离性离子基团的聚合物,这些基团在水溶液中可以解离使聚合物荷电[9]。丙烯酸系高吸水树脂的结构单元含有羧酸基团等电解质基团,故丙烯酸系高吸水树脂也是一种聚合物电解质。P(AA/AAS-*co*-AM)共聚高吸水树脂中的羧酸带电基团以2种形式存在,一种为羧酸钠完全电离存在,另一种为羧酸部分电离存在,这里用所有可解离性的羧酸离子基团来表示电荷密度。

元素分析仪可以测试出聚丙烯酸-丙烯酰胺高吸水树脂中氮、碳、氢各元素的绝对含量,由此计算出丙烯酰胺的酰胺基团、羧酸和羧酸钠基团的含量如Tab.2所示。再依据各自基团的不同电离程度计算电荷密度,结果如Fig.3。(AA电离常数 K_a=5.6×10^{-5})

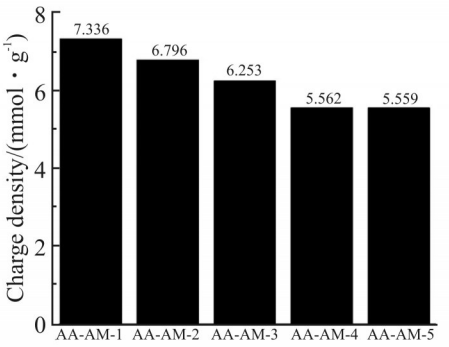


Fig. 3 Charge density of SAPs at diverse mass ratios of AA and AM

计算结果显示,阴离子型P(AA/AAS-*co*-AM)高吸水树脂,随着添加非离子型单体AM量的增加,高吸水树脂的电荷密度呈下降趋势,AA-AM-1,2,3的电荷密度较高,都在6.2 mmol/g以上,但是第3组质量比*m*(AA):*m*(AM)为8:2的树脂,电荷密度相较于P(AA/AAS)下降幅度为15%,后面2组AA-AM-4,

Tab. 1 Swelling rate of SAPs in distilled water and 0.9% NaCl solution

	m(AA):*m*(AM)	Swelling ratio (distilled water)/ (g·g^{-1})	Swelling ratio (0.9%NaCl)/ (g·g^{-1})
AA-AM-1	10:0	515.30	52.00
AA-AM-2	9:1	692.30	52.85
AA-AM-3	8:2	1207.00	78.86
AA-AM-4	7:3	476.50	46.95
AA-AM-5	6:4	234.30	34.35

Tab. 2 Content of each groups in SAPs at diverse mass ratios of AA and AM

	m(AA):*m*(AM)	N/%	C/%	H/%	—$CONH_2$ /(mmol·g^{-1})	—COOH /(mmol·g^{-1})	—COONa /(mmol·g^{-1})
AA-AM-1	10:0		37.735	5.097	0	3.144	7.336
AA-AM-2	9:1	1.480	38.755	5.438	1.057	2.912	6.796
AA-AM-3	8:2	3.110	40.155	5.218	2.214	2.680	6.253
AA-AM-4	7:3	4.715	40.725	5.798	3.367	2.384	5.562
AA-AM-5	6:4	4.790	40.905	5.507	3.421	2.382	5.559

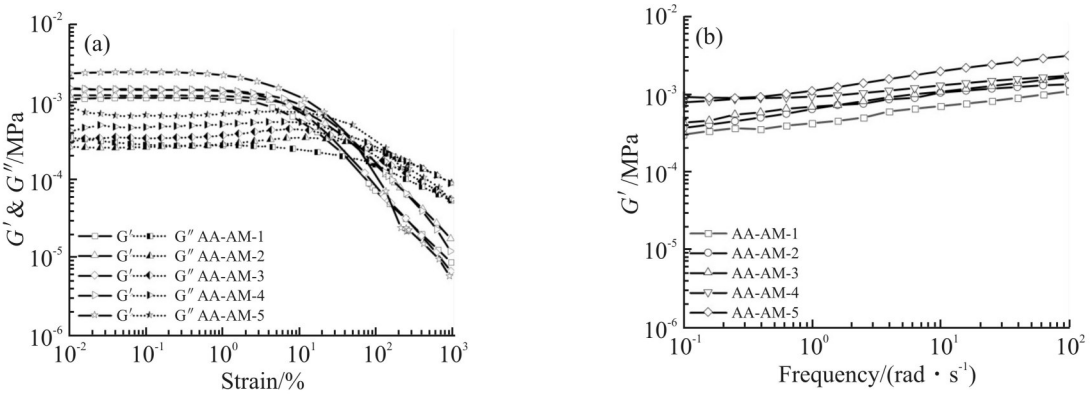


Fig. 4 Trend diagram of storage modulus and loss modulus in the mode of (a) strain scanning and (b) frequency-scan

Tab. 3 Parameters of the cross-linking structure of SAPs at diverse mass ratios of AA and AM

	m(AA) :*m*(AM)	*G′*/Pa	ρ_1/(g·cm^{-3})	φ_1	$1/M_c$/(mol·g^{-1})
AA-AM-1	10:0	407.8780	0.7981	0.0191	0.7713
AA-AM-2	9:1	583.0700	0.7937	0.0188	1.1146
AA-AM-3	8:2	674.8630	0.7874	0.0126	1.4859
AA-AM-4	7:3	940.5250	0.7907	0.0212	1.7338
AA-AM-5	6:4	1045.9200	0.7918	0.0289	1.7365

5的电荷密度仅为5.562 mmol/g和5.559 mmol/g，相较于P(AA/AAS)电荷密度下降近24%。

2.4 不同质量比AA/AM对树脂交联密度的影响

采用流变仪对所合成的5种不同比例、溶胀平衡下P(AA/AAS-*co*-AM)高吸水树脂在振荡模式下进行应力和频率扫描测试。

Fig.4(a)为高吸水树脂在0.01%~1000%应变下的模量扫描。可以看出，高吸水树脂吸水平衡在低应变区时是一个形变可逆的胶态固体，随着应变的增大，网络逐渐崩塌，变成形变不可恢复的液态。P(AA/AAS-*co*-AM)高吸水树脂储能模量随频率变化的结果如Fig.4(b)所示，P(AA/AAS-*co*-AM)高吸水树脂在溶胀平衡时交联的水凝胶网络在小形变的作用下，凝胶网络具有一个弹性占主导且不依赖扫描频率的储能模量的流变行为[10]。

储能模量是评价材料存储弹性变形能量的能力的重要指标，一般来说，储能模量越高，交联密度越大[11]。储能模量与交联密度存在如式的关系式

$$G'=\frac{RT}{M_c}\rho_1\varphi_1^{1/3}\varphi_0^{2/3} \tag{3}$$

式中：*G′*——储能模量；$1/M_c$——交联密度；*R*——气体常数；*T*——温度；ρ_1——树脂的密度(通过比重法测得)；φ_0和φ_1——分别表示P(AA/AAS-*co*-AM)基质在干凝胶和溶胀平衡时水凝胶的体积分数。

易知，P(AA/AAS-*co*-AM)基质在干凝胶的体积分数应为1，即φ_0=1，P(AA/AAS-*co*-AM)基质在溶胀平衡时，水凝胶的体积分数(φ_1)可通过未溶胀前干树脂的质量(W_{dry})、溶胀平衡时水凝胶的质量(W_0)、树脂的密度(ρ_1)以及生理盐水的密度(ρ_2)，通过下式计算得知。通过式(4)计算得知

$$\varphi_1=\frac{W_{dry}/\rho_2}{W_{dry}/\rho_1+(W_0-W_{dry})/\rho_2} \tag{4}$$

*G′*参考文献中取频率扫描模式时1 Hz的储能模量[12]，各参数计算结果如Tab.3所示。未与丙烯酰胺共聚，高吸水树脂的模量较低，相对应的交联密度也最低，仅为0.7713 mol/g，而加入丙烯酰胺后，P(AA/AAS-*co*-AM)树脂的模量和交联密度都得到了提升，*m*(AA):*m*(AM)为6:4的交联密度相较于*m*(AA):*m*(AM)为10:0提升了约1.25倍。

比较P(AA/AAS-*co*-AM)高吸水树脂的酰胺基团含量和交联密度，两者变化趋势一致。这意味着

P(AA/AAS-*co*-AM))高吸水树脂体系中AM的比例越高,高吸水树脂的交联密度越大。这可能是因为AM聚合过程本是一个强放热的过程,而温度较高,PAM容易产生支链和交联[13]。

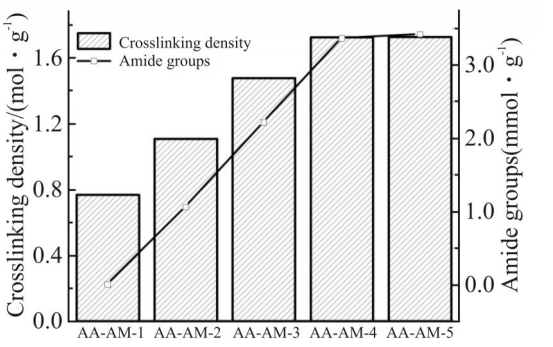


Fig. 5 Trend diagram of cross-linking density and number of amide groups

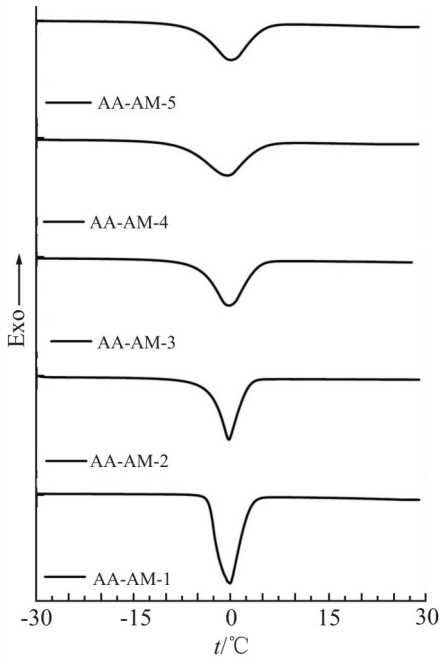


Fig. 6 DSC curves of SAPs at diverse mass ratios of AA and AM

2.5 不同质量比AA/AM对树脂亲水性的影响

Flory吸水理论中亲水性是指水与树脂网络之间的亲和作用[7]。亲水性与高分子网络的极性亲水基团通过氢键作用结合的不可冻结水存在对应关系。水凝胶含有3种形式的水:自由水、可冻结结合水和不可冻结结合水[14]。自由水主要靠三维网状空间固定,液态水一样,在0 ℃冻结或者熔化。可冻结结合水与高分子链存在弱相互作用,其相转变温度和转变焓低于纯水或游离水。不可冻结结合水与高分子网络的极性亲水基团通过氢键作用结合,无明显相变,观察不到其结晶放热或熔化[14]。可冻结结合水和自由水统称可冻结水。不可冻结结合水称为不可冻结水。可冻结水可以通过DSC来进行表征。

可冻结水的含量通过计算0 ℃左右吸热峰面积得到,由式(5)可知

$$W_{fw}=A/\underline{H}_w \tag{5}$$

式中:A——吸热面积;$\underline{H}_w$——333.5 J/g,是冰在0 ℃的标准熔融焓;W_{fw}——可冻结水的含量;W_{fb}——不可冻结水的含量。W_{fb}不能直接测量计算得知,可以由高吸水树脂总含水量减去可冻结水含水量得到。高吸水树脂的含水量定义为W_c

$$W_c=\frac{W_d-W_t}{W_d} \tag{6}$$

式中:W_t——干凝胶的质量;W_d——凝胶的质量。

由Tab.4中可以看到,高吸水树脂中的水大部分还是以可冻结水的形式存在的,少部分以不可冻结水的形式存在。并且随着SAPs体系中丙烯酰胺含量的增加,不可冻结水的含量在不断增加,由18.16%增加到了30.73%,这表示高吸水树脂中亲水基团通过氢键作用结合力越来越强,使其亲水性提高。这其中的原因分析有两方面:(1) 每单位质量的高吸水

Tab. 4 Water content and number of hydrophilic groups in SAPs at diverse mass ratios of AA and AM

	m(AA):*m*(AM)	Enthalpy/(J·g⁻¹)	W_{fw}/%	W_{fb}/%	Hydrophilic group/(mmol·g⁻¹)
AA-AM-1	10:0	272.930	81.840	18.160	10.480
AA-AM-2	9:1	267.090	80.090	19.910	10.765
AA-AM-3	8:2	254.700	76.370	23.630	11.147
AA-AM-4	7:3	240.680	72.170	27.830	11.312
AA-AM-5	6:4	231.000	69.270	30.730	11.362

树脂的亲水基团数增加，导致亲水性提高，不可冻结水的含量与元素分析仪计算出来的亲水基团数的整体趋势一致；(2) 高吸水树脂中3种亲水性基团羧酸基团、羧酸钠与酰胺三者之间的协同效应[15,16]，使亲水性提高。而AA-AM-1和AA-AM-2相对于其他组可冻结水含量较高，大致在80%左右，可能是低交联密度使三维网状空间固定的自由水含量较高造成的。从2.4节可知，相较于其他组高吸水树脂，AA-AM-1和AA-AM-2交联密度较低。

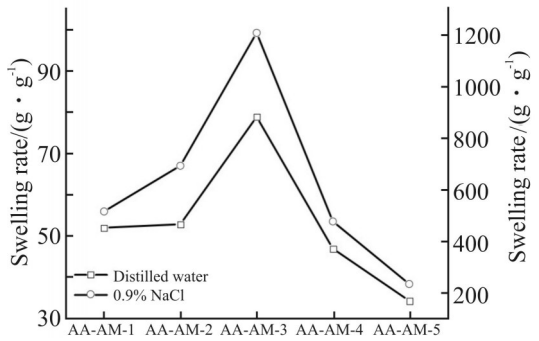


Fig. 7 Swelling rate of SAPs in distilled water and 0.9% NaCl solution

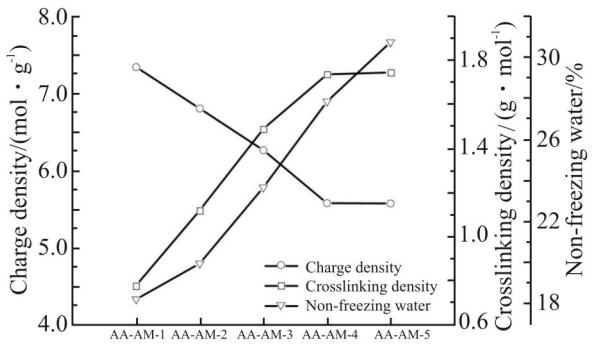


Fig. 8 Changing trend of charge density, crosslinking density and content of non-freeing water of SAPs at diverse mass ratios of AA and AM

2.6 微观结构与耐盐性之间的关系

根据Flory吸水理论可知，适当的低交联度、高电荷密度和强亲水性有利于高吸水树脂耐盐性的提升，由上述讨论的3个部分可知，从*m*(AA):*m*(AM)=10:0增加到*m*(AA):*m*(AM)=9:1，高吸水树脂的交联密度、电荷密度和亲水性均有提高，但变化幅度小，所以溶胀率变化不大，都在52.00 g/g左右。而*m*(AA):*m*(AM)=8:2性能提升很大，相较于*m*(AA):*m*(AM)=10:0和*m*(AA):*m*(AM)=9:1，其电荷密度下降、交联密度增加，但变化程度不大，耐盐性的提高可能是亲水性提升起主要作用。随着*m*(AA):*m*(AM)持续增加，亲水性虽然提高，但交联密度也同时增大，三维网状的网孔过密，网络伸展不开，且电荷密度逐渐下降，树脂内外渗透压下降，吸水动力下降。*m*(AA):*m*(AM)=6:4树脂在0.9%生理盐水中的溶胀率只有34.35 g/g，低于纯的聚丙烯酸高吸水树脂。

3 结论

通过测定并计算树脂电荷密度、交联密度、亲水性，得出丙烯酰胺对丙烯酸系高吸水树脂耐盐性的影响规律，同时，该方法也适用于聚电解质的聚合物耐盐性研究。结论如下。

（1）在*m*(AA):*m*(AM)=10:0到*m*(AA):*m*(AM)=8:2下制备的高吸水树脂，整体微观结构上交联密度和亲水性都有上升的趋势，而电荷密度是下降的。

（2）丙烯酰胺加入量增加，对丙烯酸系高吸水树脂耐盐的影响是先增大后减小的，*m*(AA):*m*(AM)=10:0增加到*m*(AA):*m*(AM)=8:2，耐盐性提高的主要原因是高吸水树脂的亲水性提高；*m*(AA):*m*(AM)=8:2到*m*(AA):*m*(AM)=6:4，耐盐性下降的主要原因是高吸水树脂电荷密度大幅度的下降和交联密度的提高。其中*m*(AA):*m*(AM)=4:1是最优比，在0.9%NaCl溶液中，树脂溶胀率为78.86 g/g，相较于聚丙烯酸高吸水树脂耐盐性提高了50%；*m*(AA):*m*(AM)=6:4制备的高吸水树脂溶胀率仅为34.35 g/g，低于纯的聚丙烯酸系高吸水树脂。

（3）针对聚电解质聚合物，采用亲水性较高的基团进行改性，或者提高树脂的电荷密度，改变交联密度，这三者对耐盐性影响的协同效应值得进一步研究，通过该研究提出3个变量的具体表征方法，为聚电解质耐盐性提高的研究提供了切实可行的理论指导。

参考文献：

[1] Chen J Y, Wu J, Raffa P, *et al.* Superabsorbent polymers: from long-established, microplastics generating systems, to sustainable, biodegradable and future proof alternatives [J]. Progress in Polymer Science, 2022, 125: 101475.

[2] Kwon Y R, Kim H C, Kim J S, *et al.* Semi- IPN superabsorbent polymer based on itaconic acid and polyvinyl alcohol with improved gel strength and salt

resistance[J]. Polymer Engineering and Science, 2023, 7: 1943-1952.

[3] Zhao T H, Peng J, Zhang Y W, *et al*. Synthesis of ultra-high concentration of salt- resistant polyacrylamide[J]. Polymers for Advanced Technologies,2020,12: 2980-2989.

[4] 张楠, 苏姗, 朱佳诗, 等. 淀粉-丙烯酸-丙烯酰胺高吸水性树脂的制备与性能[J]. 合肥工业大学学报, 2021, 44(8): 1100-1105.
Zhang N, Sun S, Zhu J S, *et al*. Preparation and properties of starch- g- poly(acrylic acid- co- acrylamide) superabsorbent polymer[J]. Journal of Hefei University of Technology, 2021,44(8): 1100-1105.

[5] Liang L L, Guo Y N, Wang H Y, *et al.* Study on plasma-modified corn stover- humic acid- based superabsorbent resin[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2023, 140: e53390.

[6] Wang Y S, Zhu Y F, Liu Y, *et al*. Slow release and water retention performance of poly(acrylic acid- co- acrylamide)/fulvic acid/oil shale semicoke superabsorbent composites[J]. Polymers, 2022, 14: 1719.

[7] Richbourg N R, Peppas N A. The swollen polymer network hypothesis: quantitative models of hydrogel swelling, stiffness, and solute transport[J]. Progress in Polymer Science, 2020, 105: 101243.

[8] Flory P J. Principles of polymer chemistry[M]. New York: Cornel University Press, 1953.

[9] 张艺璇, 胡伟, 刘梦瑶, 等. 聚合物电解质在锌离子电池中的研究进展[J]. 化工进展, 2023, 42(3): 1397-1410.
Zhang Y X, Hu W, Liu M Y, *et al.* Research progress of polymer electrolytes in zinc- ion batteries[J]. Chemical Industry and Engineering Process,2023, 42(3): 1397-1410.

[10] 鲍先扬. 淀粉熔体原位接枝聚丙烯酰胺的流变动力学及其制备水凝胶的表征[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
Bao X Y. Rheokinetics of in situ graft copolymerization of acrylamide onto concentrated starch and corresponding hydrogel characterization[D]. Guangzhou: South China University of technology, 2019.

[11] 高志亮, 南蓓蓓, 白阳, 等. 基于环糊精的高交联密度pH响应性水凝胶的制备与性能研究[J]. 高分子通报, 2022(10): 74-86.
Gao Z L, Nan P P, Bai Y, *et al*. The preparation and application of pH- responsive *β*- cyclodextrin- based hydrogel with high cross- linked density[J]. Chinese Polmer Bulletin, 2022(10):74-86.

[12] Meng Y Q, Ye L. Synthesis and swelling property of superabsorbent starch grafted with acrylic acid/2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97: 3831-3840.

[13] Xiang N, Li C Y, Yang K B, *et al.* Energy saving technology of acrylamide polymerization in plate reactor based on phase change heat transfer[J]. Applied Thermal Engineering, 2023, 227: 120358.

[14] Motofumi O, Shin Y N, Chiharu U, *et al*. Mechanical properties with respect to water content of host- guest hydrogels[J]. Macromolecules, 2021, 54: 8067-8076.

[15] Wu F, Zhang Y, Liu L, *et al*. Synthesis and characterization of a novel cellulose-g-poly(acrylic acid-co-acrylamide) superabsorbent composite based on flax yarn waste[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87: 2519-2525.

[16] He G H, Ke W W, Chen X, *et al*. Preparation and properties of quaternary ammonium chitosan-g-poly (acrylic acid-*co*-acrylamide) superabsorbent hydrogels[J]. Reactive & Functional Polymers, 2017, 111: 14-21.

Influence of Acrylamide on the Salt Resistance of Acrylic Superabsorbent Resin

Yinglan Hu, Jin Ran, Peng Cui, Wentao Hao, Yan Dou, Lulu Yao
(*School of Chemistry and Chemical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China*)

ABSTRACT: The superabsorbent resin P(AA/AAS-*co*-AM) was prepared by aqueous solution polymerization of acrylic acid, sodium acrylate and acrylamide. The charge density, crosslinking density and hydrophilicity of the resin were measured and calculated by elemental analysis, rheometer, differential scanning calorimeter (DSC) and other characterization means. The relationship between the change of microstructure and change of salt resistance of the resin was studied, combined with the Flory water absorption theory. The effect of acrylamide on the salt resistance of acrylic superabsorbent resin was discussed. The results show that when the mass ratio of acrylic acid and acrylamide(*m*(AA):*m*(AM)) changes from 10:0 to 8:2, the main factor affecting is the improvement of hydrophilicity with the swelling rate in 0.9% NaCl solution increased from 52.00 g/g to 78.86 g/g. When *m*(AA):*m*(AM) changes from 8:2 to 6:4, it is mainly affected by the decrease of charge density and increase of crosslinking density with the swelling rate decreasing from 78.86 g/g to 34.35 g/g.

Keywords: acrylamide; charge density; crosslink density; hydrophilicity; Flory water absorption theory; salt tolerance