文章编号:1000-4092(2020)01-115-06

部分水解聚丙烯酰胺和聚乙烯醇混合溶液的流变性*

刘希明[1],田玉芹[1],刘伟伟[1],唐延彦[1],张冬会[1],侯万国[2]

(1. 中石化胜利油田分公司石油工程技术研究院,山东 东营 257000; 2. 山东大学胶体与界面教育部重点实验室,山东 济南 250100)

摘要:采用蠕动实验研究了部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)和聚乙烯醇(PVA)混合溶液(总质量分数为0.20 %)的流变性(零剪切黏度),主要考察了体系组成比(以HPAM在聚合物中所占质量分数表示,R_{PH})和电解质(NaCl)浓度(c_{NaCl})对流变性的影响,并对HPAM和PVA分子间相互作用机理进行了探讨。结果表明,PVA可通过氢键与HPAM络合(或交联)形成高分子复合物,其络合PVA/HPAM摩尔比约为90。R_{PH}在0～0.7范围内,HPAM和PVA混合产生黏度降低效应,其中在R_{PH} = 0.2时黏度降低效应最强。而R_{PH}在0.7～1.0范围内,基本无黏度效应。加入NaCl可使混合溶液(R_{PH} = 0.20)产生复合增黏效应,表明聚合物复配可提高HPAM溶液的抗盐能力。本研究加深了对聚合物相互作用行为的认识,为基于HPAM的复配体系在强化采油工程中的应用研究提供了重要信息。图6参31

关键词:部分水解聚丙烯酰胺;聚乙烯醇;复合物;流变性;黏度;氢键

中图分类号:TE39 **文献标识码:**A **DOI:**10.19346/j.cnki.1000-4092.2020.01.020

高分子复合物(interpolymer complexes,IPCs)是一类新型材料,由两种或以上聚合物通过非共价键作用,如Coulomb力[1]、氢键[2]、疏水作用[3]和van der Waals力[4]等而形成,其中通过氢键形成的IPCs最受关注[5-7]。氢键IPCs溶液具有重要的理论和实际应用价值,其流变性已得到广泛研究[8]。在稀溶液中,两种聚合物的混合可导致黏度增大或降低效应,因可形成“密实”[9]或“扩展”[10]的复合结构。在亚浓溶液中,两种聚合物的混合可形成三维网络结构而多呈现增黏效应[11]。

高相对分子质量的部分水解聚丙烯酰胺(HPAM)作为聚合物驱油体系已被广泛用于强化采油(EOR)工程中[12],但HPAM的抗盐能力差,限制了其在高盐油藏中的应用[13]。研究HPAM与其它聚合物复配体系的流变行为,考察电解质的影响,对新型聚合物驱油体系的研发和应用具有重要意义。有关HPAM复配体系已有很多报道[14-16],但很少涉及电解质的影响。

聚乙烯醇(PVA)是一种被广泛应用的聚合物。已有研究表明,PVA作为质子给予体聚合物可与很多质子受体聚合物通过氢键形成复合物,如聚羧酸[17]、聚丙烯酰胺[18]、聚酯[19]、聚糖[20]、聚乙烯基吡咯烷酮[21]、聚氨基酸[22]和DNA[23]等。但还无HPAM和PVA复配体系的相关研究报道。本文研究了HPAM/PVA复配体系的流变性,考察了组成和电解质(NaCl)对复配体系流变性的影响,以期加深对聚合物相互作用行为的认识,为基于HPAM的复配体系在EOR中的应用研究提供信息。

* 收稿日期:2019-04-17;修回日期:2019-11-14。

基金项目:国家“十三五”重大专项课题“致密油气开发环境保护技术集成及关键装备”(项目编号2016ZX05040-005),中石化重点科技攻关项目“油田开发废液废固资源化利用技术与装备研制”(项目编号P18048-2)。

作者简介:刘希明(1973–),男,高级工程师,中国石油大学(北京)油气田开发硕士(2013),主要从事堵水调剖领域的研究与应用工作,E-mail:liuximing.slyt@sinopec.com。侯万国(1964–),男,教授,山东大学物理化学专业博士(2003),主要从事胶体化学和油田化学研究工作,通讯地址:250100 山东省济南市山大南路27号山东大学化学与化工学院,电话:0531–88365460,E-mail:wghou@sdu.edu.cn。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

聚乙烯醇PVA，平均相对分子质量7.6×10^5 g/mol，醇解度88%，Aladdin公司；部分水解聚丙烯酰胺HPAM，平均相对分子质量1.7×10^7 g/mol，水解度28.7%，中石化胜利油田采油工艺研究院。

RS 75型流变仪，德国HAAKE公司；20SX型FT-IR光谱仪，美国Nicolet公司；pHS-3C型酸度计，郑州宝晶电子科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 溶液配制

分别将2.00 g的HPAM和PVA充分溶解于998 g的去离子水中，得质量分数为0.2%的HPAM和PVA溶液。将设计量的HPAM和PVA溶液混合，得HPAM/PVA混合溶液。溶液的pH用0.1 mol/L的HCl或NaOH溶液调节，电解质浓度用质量分数10%的NaCl溶液调节。

混合溶液的组成由HPAM在两聚合物中所占质量分数（R_{PH}）表示，即：

$$R_{PH} = \frac{c_{PHPA}}{c_{PHPA} + c_{PVA}} \tag{1}$$

式中，c_{HPAM}和c_{PVA}分别为HPAM和PVA在混合溶液中的浓度。

1.2.2 流变性测定

采用Haake RS 75型流变仪测定样品的流变性，Z41 DIN同轴圆筒转子系统，25.0 ± 0.1℃。每个样品测试前均静置20 min。采用蠕变法测定样品的零剪切黏度（η_0）。对样品施加恒定应力0.05 Pa，记录柔量（J）随时间（t）的变化。采用蠕变平衡（即J随t的变化率恒定）时的dJ/dt值，由式（2）计算η_0[24]：

$$\frac{dJ}{dt} = \frac{1}{\eta_0} \tag{2}$$

1.2.3 FT-IR和电势滴定

采用20SX型FT-IR光谱仪在25℃下测定样品的红外吸收光谱。采用pHS-3C型酸度计在25℃下对样品进行电势滴定。

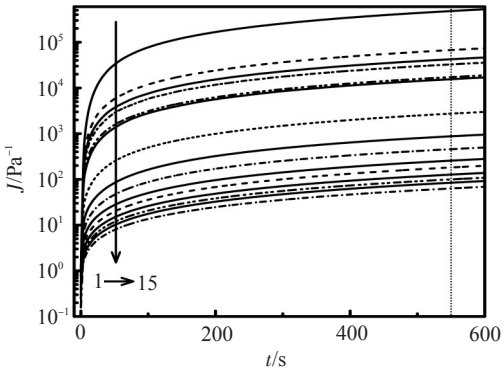
2 结果与讨论

2.1 组成比的影响

图1为HPAM/PVA混合溶液在不同R_{PH}值（0～1）时的蠕动曲线，其中聚合物总质量分数（c_p）为0.20%，pH = 7.0 ± 0.1，测试温度25℃。可以看出，在最后50 s内，dJ/dt基本保持不变。因而，η_0可由式（3）计算：

$$\eta_0 = \frac{50}{J_{end} - J_{550}} \tag{3}$$

式中，J_{end}和J_{550}分别是t = 600和550 s时的柔量。图2给出了HPAM/PVA混合溶液η_0随R_{PH}的变化，可见η_0随R_{PH}增大而增大。这是因为HPAM溶液的黏度（η_0约为9 Pa·s）明显高于PVA溶液（η_0约为7 mPa·s）。



R_{PH}：1—0；2—4；3—0.05；4—0.06；5—0.08；6—0.1；7—0.2；8—0.3；（9—）0.4；10—0.5；11—0.6；12—0.7；13—0.8；14—0.9；15—1.0。

图1 HPAM/PVA混合溶液的蠕动曲线（c_p = 0.20%）

所测定的η_0值包含了HPAM和PVA分子相互作用的贡献，可称为“实际黏度”（简记为η_a）。另外，假设HPAM和PVA分子间无相互作用，根据混合溶液的组成及相应纯HPAM和PVA溶液的η_0，可用下式计算其“理想黏度”（简记为η_i）：

$$\eta_i = \eta_{HPAM} + \eta_{PVA} \tag{4}$$

式中，η_{HPAM}为HPAM纯溶液在其质量分数为$0.20R_{PH}$%时的零剪切黏度，η_{PVA}为PVA纯溶液在质量分数$0.20(1-R_{PH})$%时的零剪切黏度。HPAM和PVA纯溶液在不同浓度下的零剪切黏度采用同样的蠕动方法测定。图2也给出了η_i随R_{PH}的变化结果。

聚合物复合产生的“黏度效应”可用η_a/η_i表征[25]。若$\eta_a/\eta_i > 1$，表明复配产生黏度增大效应，可称为“正黏度效应”；若$\eta_a/\eta_i < 1$，则表明复配产生黏度降低效应，可称为“负黏度效应”。不同R_{PH}下HPAM/PVA混合溶液的η_a/η_i值见图2。可以看出，$0 < R_{PH} < 0.7$时，$\eta_a/\eta_i < 1$，即产生负黏度效应，其中R_{PH}约0.2时，η_a/η_i值最小，约0.45，表明负黏度效应

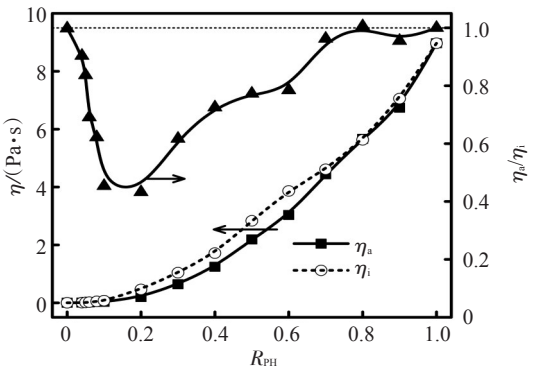


图2　HPAM/PVA混合溶液的实际零剪切黏度和理想零剪切黏度以及η_a/η_i随R_{PH}的变化(c_p=0.20%, pH=7.0±0.1)

最强。而当R_{PH} > 0.7时,η_a/η_i基本不再变化,其值约为1,表明无黏度效应。

2.2　电解质的影响

分别测定了PHPA纯溶液(0.04 %)、PVA纯溶液(0.16 %)和PHPA/PVA混合溶液(c_p = 0.20 %, R_{PH} = 0.2)在不同NaCl浓度(c_{NaCl}, 0～1.0%)下的蠕动曲线,得到HPAM/PVA混合溶液的η_a、η_i和η_a/η_i随c_{NaCl}的变化,结果见图3。可以看出,随c_{NaCl}增大,η_0(η_a和η_i)急剧下降,后趋于平缓。有趣是,η_a/η_i值先急剧增大,在c_{NaCl}约为0.02%时,η_a/η_i值由小于1变为大于1,在c_{NaCl}约0.04 %时,η_a/η_i值出现最大值(约为1.25),随后略有下降,在c_{NaCl} > 0.1%后基本不再变化。这些结果表明,NaCl可增强混合溶液的黏度增大效应,在c_{NaCl}>0.02%时,体系呈现正黏度效应。

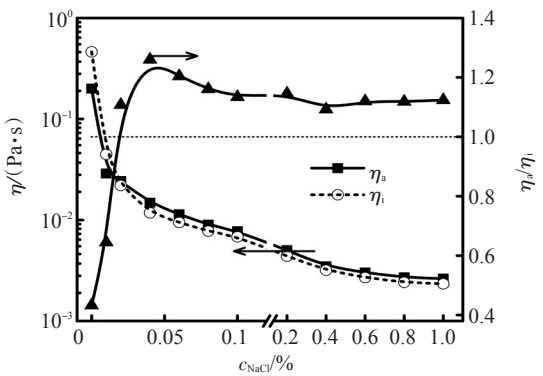
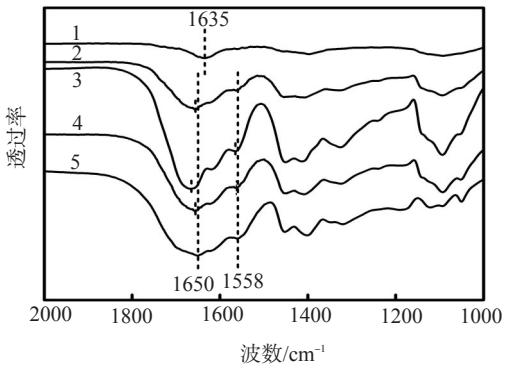


图3　HPAM/PVA混合溶液的实际零剪切黏度和理想零剪切黏度以及η_a/η_i随c_{NaCl}的变化
(c_p=0.20%, R_{PH}=0.2, pH=7.0±0.1)

2.3　作用机理探讨

图4为HPAM、PVA以及不同R_{PH}的HPAM/PVA复合物的FT-IR谱图。在PVA谱图(谱线1)中,1635 cm^{-1}处的吸收峰源于乙酰基中C=O的伸缩振动峰[26]。在HPAM谱图(谱线5)中,1650和1558 cm^{-1}处的吸收峰分别为酰胺基和羧基中C=O的伸缩振动峰[27-28]。在HPAM/PVA复合物中,HPAM在1650 cm^{-1}处的吸收峰发生蓝移,而PVA在1635 cm^{-1}处的吸收峰基本消失(可能与HPAM吸收峰叠加所致)。这些结果初步表明HPAM和PVA间存在氢键作用,可能主要是HPAM的羧基同PVA的羟基间作用。需说明的是,由于纯HPAM和PVA样品中分子间也存在氢键作用,所以在复合物中各吸收峰的变化不明显。



R_{PH}: 1—0; 2—0.3; 3—0.5; 4—0.7; 5—1.0
图4　HPAM/PVA复合物的FT-IR谱图

电势滴定是研究氢键IPCs的常用技术[29],为进一步验证氢键作用的存在,对混合物溶液进行了电势滴定。图5是HPAM/PVA混合溶液(c_p= 0.2%)的pH随R_{PH}的变化。可以看出,混合溶液的pH高于纯HPAM和PVA溶液的,表明二者间发生了氢键作用。可能的氢键作用过程反应见式(5)和(6)。HPAM和PVA二者间的氢键作用导致HPAM水解反应平衡左移,故致溶液pH值升高。在R_{PH} = 0.2时,混合溶液的pH呈现最大值,对应于两种聚合物分子间的完全络合。由此可推算出PVA和HPAM间的络合摩尔比为90,即一个HPAM分子可络合90个PVA分子。另外,这种完全络合状态的R_{PH}值与混合溶液呈现最大黏度降低效应(最小η_a/η_i值)的R_{PH}值(见图3)一致。

$$HPAM—COO^- + H_2O \rightleftharpoons HPAM—COOH + OH^- \quad (5)$$

$$HPAM—COOH + PVA—OH \rightleftharpoons HPAM—C(=O\cdots H)(—O—H\cdots)—O—PVA \quad (6)$$

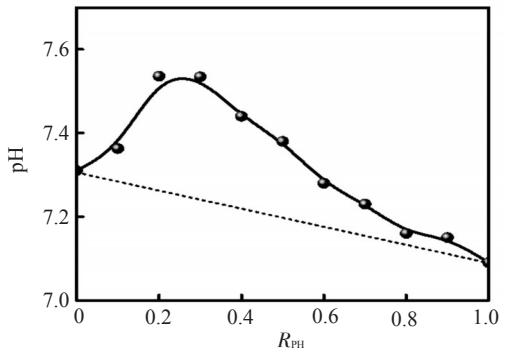


图5 HPAM/PVA混合溶液的pH值随R_{PH}的变化(c_p=0.20%)

HPAM/PVA混合溶液的流变行为可用二者间的相互作用来解释。所研究的HPAM是一种具高相对分子质量(1.7×10^7 g/mol)的柔性高分子;相对而言,所研究的PVA是一个小分子,因其相对分子质量(7.6×10^5 g/mol)比HPAM低2个数量级。因而,HPAM/PVA混合溶液的黏度主要来自HPAM的贡献(见图2)。另外,二者间的氢键作用可视为PVA对HPAM交联,且可存在两种模式,即分子内交联和分子间交联。分子内交联可使HPAM分子形态收缩,产生"黏度降低效应"(负黏度效应)。分子间交联可形成三维网络结构,故可产生"黏度增大效应"(正黏度效应)。

实验测得,HPAM溶液的叠加浓度(c^*)约为0.13%。在$R_{PH} < 0.7$时,HPAM在混合溶液中的浓度(< 0.14%)低于其c^*值,故HPAM分子独立存在,不产生相互缠绕。这时PVA的交联主要发生在HPAM分子内部,加之PVA的亲水性低于HPAM,导致HPAM分子收缩(如图6中A和B所示),因而产生黏度降低效应(即$\eta_a/\eta_i < 1$)[25, 30]。R_{PH} = 0.2时,HPAM和PVA二者分子间完全络合,故黏度降低效应最强(见图2)。当$R_{PH} > 0.7$时,HPAM在混合溶液中的浓度(> 0.14%)高于其c^*值,HPAM分子间发生相互缠绕。这时除分子内交联外,PVA也可在HPAM分子间交联。另外,此时体系中PVA/HPAM摩尔比小于10,远低于其络合摩尔比(约90)。因而,在R_{PH} >0.7条件下,PVA和HPAM间的氢键作用对体系的黏度影响不大,故黏度效应不明显($\eta_a/\eta_i \approx 1$)。

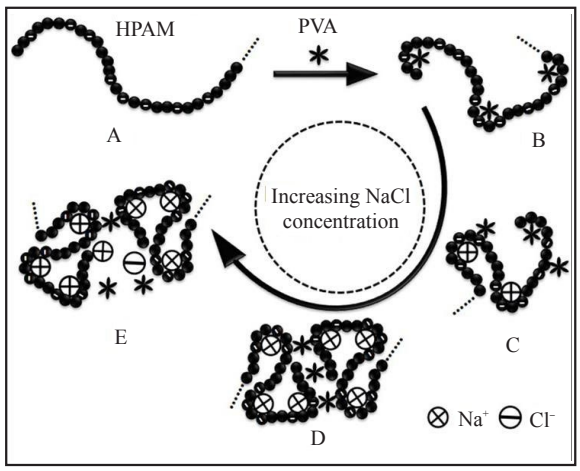


图6 HPAM/PVA混合溶液微结构随盐浓度的变化示意图

在HPAM/PVA混合溶液(R_{PH}=0.2和c_p=0.2%)中加入电解质NaCl,可使HPAM分子明显收缩[25, 30],故体系黏度降低(见图3)。但NaCl使η_a/η_i值增大的原因还不清楚。可能的解释是,Na^+与PVA分子争夺交联位(HPAM的羧基位),减少分子内的交联密度,致使η_a/η_i值增大。在较高NaCl浓度时(c_{NaCl}> 0.02%),由于HPAM无规线团表面位密度较低,一个PVA分子上的所有羟基同时键合在一个HPAM分子上的几率减小,而键合在两个(或多个)HPAM分子上的几率增大,即发生分子间交联(如图6中的C和D),因而产生黏度增大效应,即η_a/η_i>1。更高的NaCl浓度($c_{NaCl} > 0.04\%$)可降低分子间交联密度(如图6中的D和E)[31],故使η_a/η_i值又有所降低(见图4)。这些结果表明,电解质可增强氢键IPCs的增黏效应,聚合物复配可增强其抗盐能力,这对其EOR应用具有重要意义。

3 结论

在HPAM/PVA混合溶液中,二者可通过氢键形成高分子复合物,PVA与HPAM的络合摩尔比约为90。R_{PH}在0～0.7范围内(对应HPAM的稀溶液),HPAM和PVA混合产生黏度降低效应($\eta_a/\eta_i < 1$),缘于PVA对HPAM的分子内交联,其中在R_{PH} = 0.2时黏度降低效应最强(η_a/η_i值最小),对应于二者分子完全络合状态。而R_{PH}在0.7～1.0范围内(对应HPAM的亚浓溶液),基本无黏度效应($\eta_a/\eta_i \approx 1$),因HPAM分子间存在相互缠绕,交联作用对黏度的影响较弱(PVA与HPAM的摩尔比远低于络合摩尔比)。在混合溶液(R_{PH} = 0.20)中加入NaCl,产生复合增黏效应,可能是发生分子间交联所致。聚合物复配可提高HPAM溶液的抗盐能力,这对HPAM在EOR中的应用具有重要意义。

参考文献:

[1] SHOVSKY A, VARGA I, MAKUSKA R, et al. Formation and stability of water-soluble, molecular polyelectrolyte complexes: effects of charge density, mixing ratio, and polyelectrolyte concentration [J]. Langmuir, 2009, 25(11): 6113-6121.

[2] IVOPOULOS P, SOTIROPOULOU M, BOKIAS G, et al. Water-soluble hydrogen-bonding interpolymer complex formation between poly(ethylene glycol) and poly(acrylic acid) grafted with poly(2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid) [J]. Langmuir, 2006, 22(22): 9181-9186.

[3] SONG Tao, GOH S H, LEE S Y. Interpolymer complexes through hydrophobic interactions: C60-end-capped linear or four-arm poly (ethylene oxide)/poly (acrylic acid) Complexes [J]. Macromolecules, 2002, 35(10): 4133-4137.

[4] CHALLA G. Integration of fundamental polymer science and technology [M]. London: Elsevier Applied Sciences, 1990, 5.

[5] GUO Longhai, SATO H, HASHIMOTO T. Thermally induced exchanges of hydrogen bonding interactions and their effects on phase structures of poly (3-hydroxybutyrate) and poly (4-vinylphenol) blends [J]. Macromolecules, 2011, 44(7): 2229-2239.

[6] QIN Yusheng, CHEN Lijie, WANG Xianhong, et al. Enhanced mechanical performance of poly (propylene carbonate) via hydrogen bonding interaction with o-lauroyl chitosan [J]. Carbohydr Polym, 2010, 84(1): 329-334.

[7] NAIR K P, BREEDVELD V, WECK M. Multiresponsive reversible polymer networks based on hydrogen bonding and metal coordination [J]. Macromolecules, 2011, 44 (9): 3346-3357.

[8] CHEN Nanxi, ZHANG Junhua. The role of hydrogen-bonding interaction in poly (vinyl alcohol)/poly (acrylic acid) blending solutions and their films [J]. Chin J Polym Sci, 2010, 28(6): 903-911.

[9] BUMBU G G, VASILE C, CHITAMU G C, et al. Interpolymer complexes between hydroxypropylcellulose and copolymers of maleic acid: A comparative study [J]. Macromol Chem Phys, 2005, 206(5): 540-546.

[10] NIKOLAEVA O, BUDTOVA T, BRESTKIN Y, et al. Rheological properties of an interpolymer complex formed between poly (acrylic acid) and methyl cellulose [J]. J Appl Polym Sci, 1999, 72(12): 1523-1528.

[11] SOTIROPOULOU M, BOKIAS G, STAIKOS G. Soluble hydrogen-bonding interpolymer complexes and pH-controlled thickening phenomena in water [J]. Macromolecules, 2003, 36 (4): 1349-1354.

[12] YUJUN F, GRASSL B, BILLON L, et al. Effects of NaCl on steady rheological behaviour in aqueous solutions of hydrophobically modified polyacrylamide and its partially hydrolyzed analogues prepared by post-modification [J]. Polym Int, 2002, 51(10): 939-947.

[13] WEVER D A Z, PICCHIONI F, BROEKHUIS A. Polymers for enhanced oil recovery: A paradigm for structure-property relationship in aqueous solution [J]. Prog Polym Sci, 2011, 36 (11): 1558-1628.

[14] MANSRI A, TENNOUGA L, DESBRIERES J. Viscosimetric behaviour of hydrolyzed polyacrylamide-poly (4-vinylpyridine) AD37-P4VP mixture in aqueous solution [J]. Eur Polym J, 2007, 43(2): 540-549.

[15] MALTESH C, SOMASUNDARAN P, PRADIP, et al. Effect of the degree of hydrolysis of polyacrylamide on its interactions with poly (ethylene oxide) and poly (vinylpyrrolidone) [J]. Macromolecules, 1991, 24(21): 5775-5778.

[16] XIAO Chaobo, LU Yongshang, JING Zhizhong, et al. Study on physical properties of blend films from gelatin and polyacrylamide solutions [J]. J Appl Polym Sci, 2002, 83(5): 949-955.

[17] NURKEEVA Z S, MUN G A, DUBOLAZOV A V, et al. pH effects on the complexation, miscibility and radiation-induced crosslinking in poly(acrylic acid)-poly(vinyl alcohol) blends [J]. Macromol Biosci, 2005, 5(5): 424-432.

[18] BODUGOZ-SENTURK H, MACIAS C E, KUNG J H, et al. Poly (vinyl alcohol) -acrylamide hydrogels as load-bearing cartilage substitute [J]. Biomaterials, 2009, 30(4): 589-596.

[19] DIBBERN-BRUNELLI D, ATVARS T D Z, JOEKES I, et al. Mapping phases of poly (vinyl alcohol) and poly (vinyl acetate) blends by FTIR microspectroscopy and optical fluorescence microscopy [J]. J Appl Polym Sci, 1998, 69(4): 645-655.

[20] ISLAM M S, KARIM M R. Fabrication and characterization of poly (vinyl alcohol)/alginate blend nanofibers by electrospinning method [J]. Colloid Surf A, 2010, 366(1-3): 135-140.

[21] LI Lin, CHAN Chiming, WENG Lutao. The effects of specific interactions on the surface structure and composition of miscible blends of poly (vinyl alcohol) and poly (*N*-vinyl-2-pyrrolidone) [J]. Polymer, 1998, 39(11): 2355-2360.

[22] WANG P, ANDO I. A study of structure and dynamics of poly (aspartic acid) sodium/poly (vinyl alcohol) blends by 13C CP/MAS NMR [J]. J Mol Struct, 1999, 508(1-3): 103-109.

[23] KIMURA T, IWAI S, MORITAN T, et al. Preparation of poly (vinyl alcohol)/DNA hydrogels via hydrogen bonds formed on ultra-high pressurization and controlled release of DNA from the hydrogels for gene delivery [J]. J Artif Organs, 2007, 10(2): 104-108.

[24] LI Haiping, HOU Wanguo, ZHANG Yuzhong. Rheological properties of aqueous solution of new exopolysaccharide secreted by a deep-sea mesophilic bacterium [J]. Carbohydr

Polym, 2011, 84(3): 1117–1125.

[25] ILIOPOULOS I, HALARY J L, AUDEBERT R. Polymer complexes stabilized through hydrogen bonds. Influence of "structure defects" on complex formation: Viscometry and fluorescence polarization measurements [J]. J Polym Sci Polym Chem, 1988, 26(1): 275–284.

[26] HUANG He, HU Yun, ZHANG Jianming, et al. Miscibility and hydrogen-bonding interactions in biodegradable polymer blends of poly (3-hydroxybutyrate) and a partially hydrolyzed poly (vinyl alcohol) [J]. J Phys Chem B, 2005, 109 (41): 19175–19183.

[27] STEINER T. The hydrogenbond in the solid state [J]. Angew Chem Int Edit, 2002, 41(1): 48–76.

[28] SHUAI Xintao, HE Yong, ASAKAWA N, et al. Miscibility and phase structure of binary blends of poly (L-lactide) and poly (vinyl alcohol) [J]. J Appl Polym Sci, 2001, 81(3): 762–772.

[29] CHEN Shilan, LIU Mingzhu, JIN Shuping, et al. Structure and properties of the polyelectrolyte complex of chitosan with poly (methacrylic acid) [J]. Polym Int, 2007, 56(10): 1305–1312.

[30] ILIOPOULOS I, AUDEBERT R. Complexation of acrylic acid copolymers with polybases: importance of cooperative effects [J]. Macromolecules, 1991, 24(9): 2566–2575.

[31] LI Haiping, HOU Wanguo. Influences of pH and electrolyte on the rheological properties of aqueous solution of exopolysaccharide secreted by a deep-sea mesophilic bacterium [J]. Food Hydrocolloid, 2011, 25(6): 1547–1553.

Rheological Properties of Partially Hydrolyzed Polyacrylamide and Poly(vinyl alcohol) Mixed Solutions

LIU Ximing[1], TIAN Yuqin[1], LIU Weiwei[1], TANG Yanyan[1], ZHANG Donghui[1], HOU Wanguo[2]

(*1. Petroleum Engineering Technology Research Institute, Shengli Oilfield Branch Company, Sinopec, Dongying, Shandong 257000, P R of China; 2. Key Laboratory for Colloid and Interface Chemistry (Ministry of Education), Shandong University, Jinan, Shandong 250100, P R of China*)

Abstract: The rheological properties (zero-shear viscosities) of aqueous solutions containing partially hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) and poly(vinyl alcohol) (PVA) were investigated by creep tests at a total mass fraction of 0.20%, and the effect of the mass fraction of HPAM in the two polymers (R_{PH}) and electrolyte (NaCl) concentrations (c_{NaCl}) on the rheological properties was discussed. The interaction mechanism between HPAM and PVA was probed. The results showed that the interpolymer complex could form between HPAM and PVA via hydrogen bonds, and the PVA/HPAM complex molar ratio was about 90. At $0<R_{PH}<0.7$, the mixing of PVA and HPAM leaded to a "viscosity reduction effect", and the strongest viscosity reduction effect appeared at R_{PH} = 0.2. At $R_{PH} > 0.7$, no obvious viscosity effect was observed. The presence of NaCl could lead to a "viscosity increase effect" for PVA/HPAM mixed solution (R_{PH}=0.20), suggesting that the mixing of PVA with HPAM could enhance the salt resistance of HPAM solutions. This work deepened the understanding of interpolymer interaction behavior and provided important information for the application of HPAM-based composites in the enhanced oil recovery.

Keywords: *partially hydrolyzed polyacrylamide; poly(vinyl alcohol); interpolymer complexes; rheology; viscosity; hydrogen bond*