

疏水缔合和静电作用调控 P(DTAB-co-AM) 与 蠕虫状胶束自组装网络*

张旭锋 吴文辉**

(北京理工大学材料科学与工程学院 北京 100081)

摘 要 由新型的阳离子疏水单体二甲基十四烷基(3-丙烯酰胺基丙基)溴化铵(DTAB)与丙烯酰胺(AM)共聚合成了阳离子型疏水缔合共聚物 P(DTAB-co-AM),研究了该共聚物与蠕虫状胶束自组装后的协同增黏效应,及改变疏水单体含量对自组装体系黏度的调控作用.制备了十八烷基三甲基氯化铵(CTAC)/水杨酸钠和芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵两类稳定的黏度较大的蠕虫状胶束体系.共聚物 P(DTAB-co-AM)与芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵蠕虫状胶束在疏水缔合和静电吸引双重作用下自组装可形成协同增黏的缔合体系,而与 CTAC/水杨酸钠阳离子蠕虫状胶束进行自组装由于只有疏水缔合作用,增黏效果不及前者.表观黏度研究表明,随着疏水单体含量的增加,P(DTAB-co-AM)与芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵缔合体系的黏度先增加后降低,当疏水单体含量为 0.15 mol% 时,缔合体系黏度达到极大值;当疏水单体含量为 0.3 mol% 时,缔合体系黏度反而低于与阳离子蠕虫状胶束缔合后的黏度.对于共聚物与 CTAC/水杨酸钠蠕虫状胶束缔合体系,随着疏水单体含量增加,由于疏水缔合作用与静电排斥作用的相互抵消,致使体系黏度有所下降.由此说明改变疏水单体含量可以达到调控自组装体系黏度的目的.

关键词 疏水缔合,协同增黏,蠕虫状胶束,自组装

疏水缔合水溶性聚合物是指聚合物亲水性大分子链上带有少量疏水基团的水溶性聚合物^[1].在水溶液中疏水基团为了减少与水分子之间的相互作用易于聚集成胶束.在临界缔合浓度之上,疏水基团缔合形成动态的三维网络结构,从而形成很大的超分子聚集体,增大聚合物的流体力学体积,显著地提高溶液的黏度.蠕虫状胶束是两亲性分子,在无机盐、有机反离子或电荷相反的表面活性剂作用下形成的自组装结构,是一种伸长了的具有柔性的棒状胶束.当蠕虫状胶束的长度超过胶束间距离时,蠕虫状胶束相互高度缠结形成了类似于交联的长链聚合物的三维网络结构.同化学交联网络结构相比,该网络结构是一个基于非共价键作用的动态物理交联网络,具有黏弹性和环境刺激(温度、离子强度、应力等)响应性^[2-4],因此蠕虫状胶束的网络结构又被称为“活性聚合物体系”.

鉴于以上两种自组装体系各自独特的优点,20 世纪 90 年代以来,疏水缔合水溶性聚合物与表面活性剂相互作用体系成为研究的一个热点^[5-9],有文献报道疏水缔合聚合物与蠕虫状胶

束相互作用的研究,该体系既能保持聚合物的黏度,又能充分利用蠕虫状胶束的刺激响应性.但据我们所知,研究所采用疏水改性聚合物的疏水部分都是非离子型的,此类体系仅涉及聚合物链与蠕虫状胶束互穿网络间单一的疏水缔合作用,而本文采用疏水链段中既含有疏水烷基链又带有电荷的疏水缔合聚合物与蠕虫状胶束相互作用,将通过疏水缔合和静电双重作用来调控分子间的自组装,试图获得较高温度的协同增黏超分子体系.

本文将阳离子型表面活性单体二甲基十四烷基(3-丙烯酰胺基丙基)溴化铵(DTAB)与丙烯酰胺(AM)共聚,获得疏水单体含量不同的阳离子型疏水缔合共聚物 P(DTAB-co-AM).考察了表面活性剂和反离子结构对蠕虫状胶束体系表观黏度的影响,确定了十八烷基三甲基氯化铵(CTAC)/水杨酸钠、芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵两类蠕虫状胶束体系.通过改变疏水单体含量,对 P(DTAB-co-AM)/蠕虫状胶束超分子自组装体系黏度的调控作用作了研究.本文中报道的阳离子疏水单体 DTAB、芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵蠕虫状胶束

* 2008-10-06 收稿,2008-10-29 修稿.国家高技术研究发展计划(863 计划,项目号 2006AA06Z209)资助项目; ** 通讯联系人, E-mail:

wuwh@bit.edu.cn

及其与阳离子型疏水缔合聚合物通过疏水缔合与静电双重作用调控的自组装体系尚鲜见文献报道.

1 实验部分

1.1 原料及试剂

DTAB,自制;AM,化学纯,北京化学试剂公司;氯化钠,分析纯,北京化工二厂;氢氧化钾,分析纯,北京化工二厂;偶氮二异丁脒二盐酸盐(AIBA),Fluka,化学纯;CTAC,北京化学试剂公司,分析纯;芥酸,花生烯酸,油酸,四川天宇油脂化学有限公司,化学纯;冰杨酸钠,分析纯,北京化工厂;5-甲基水杨酸,医药级,南京科邦医药化工有限公司;三羟乙基苄基氯化铵(自制);尿素,北京化学试剂公司,化学纯;乙二胺四乙酸(EDTA),北京化学试剂公司,分析纯.

1.2 疏水缔合共聚物 P(DTAB-co-AM)的合成

将设定的 AM、DTAB、尿素、EDTA 和 CTAB,加入烧杯中,充分搅拌,配制成水溶液.然后通 N₂ 30 min 后,加入引发剂 AIBA,继续通氮搅拌在水浴中升温至 35 ~ 40℃,待液体变黏 0.5 h 后在 80℃ 恒温条件下继续反应 5 h^[10].合成的共聚物 P(DTAB-co-AM)结构如图 1 所示.

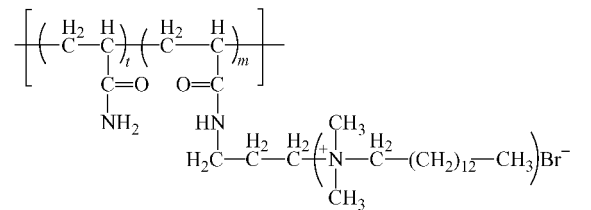


Fig. 1 Copolymers of DTAB and AM

1.3 共聚物分子量的表征

用黏度法对共聚物的分子量进行了表征,以蒸馏水为溶剂,在恒温(30.0 ± 0.5)℃条件下,使用乌氏黏度计测定共聚物水溶液的黏度(浓度范围 0.02 ~ 0.05 g/dL),采用稀释外推法确定共聚物的特性黏数[η]后,计算共聚物的分子量.

1.4 CTAC/有机反离子以及阴离子表面活性剂/三羟乙基苄基氯化铵蠕虫状胶束的制备

固定 CTAC 的摩尔浓度为 10 mmol/L,测定 80℃ 下不同浓度的几种有机反离子对 CTAC 水溶液表观黏度的影响,确定 CTAC 由球形胶束向蠕虫状胶束转变的配比.

固定芥酸钾、花生烯酸钾、油酸钾的摩尔浓度为 13 mmol/L,测定 80℃ 下不同浓度的三羟乙基苄基氯化铵对各自水溶液表观黏度的影响,确定阴离子表面活性剂与反离子三羟乙基苄基氯化铵由球形胶束向蠕虫状胶束转变的配比^[11].

根据表观黏度值选择稳定的黏度较大的蠕虫状胶束体系与 P(DTAB-co-AM)进行自组装.

1.5 黏度测试

表观黏度由 Brookfield LVDV-Ⅱ + 型数显旋转黏度计进行测试,测试温度 80℃.

2 结果与讨论

2.1 疏水缔合共聚物 P(DTAB-co-AM)的合成及黏度性能

正离子型疏水单体 DTAB 和 AM 在水溶液中,在表面活性剂存在的条件下实现混合胶束共聚,合成的共聚物 P(DTAB-co-AM)配方及分子量如表 1 所示.

Table 1 Correlative data for synthesized copolymers

Polymer	Acrylamide (g)	Hydrophobic monomer (mol%)	Surfactant (CTAB) (g)	EDTA (mg)	Initiator(AIBA) (mg)	$M_{\eta} \times 10^{-4}$
H0.1	24.848	0.1	1	10	10	758
H0.15	24.773	0.15	1	10	10	863
H0.2	24.698	0.2	1	10	10	899
H0.25	24.623	0.25	1	10	10	957
H0.3	24.553	0.3	1	10	10	1005

The total mass of polymerization system is 100 g;The total monomer concentration in the feed is 25 wt% .

设计与合成的阳离子疏水单体其可聚合部分保持了丙烯酰胺的基本骨架,因此容易与丙烯酰胺共聚.疏水单体不含酯键有利于提高共聚物的耐温性,同时阳离子的存在可提高聚合物的水溶性.该离子型疏水缔合聚丙烯酰胺的特点之一是

阳离子电荷与疏水烷基链在同一侧链上,且电荷点位于疏水侧链的中部,这样有利于烷基链间的缔合及与蠕虫状胶束自组装网络的形成,详细讨论见 2.3 节.

图 2 是疏水单体含量不同的 P(DTAB-co-AM)

溶液在 80℃ 下的黏度和浓度关系曲线. 由图 2 可看出, 疏水单体含量越大的聚合物溶液其表观黏度增加越迅速, 当疏水单体含量为 0.3 mol % 时, 其临界缔合浓度(c^*)约是 0.15 wt % 疏水单体含量为 0.1 mol % 时, 其临界缔合浓度约是 0.2 wt %, 疏水单体含量增加临界缔合浓度降低, 这是因为疏水单体含量增加, 聚合物分子中疏水侧链含量高, 增加了缔合的机率^[12].

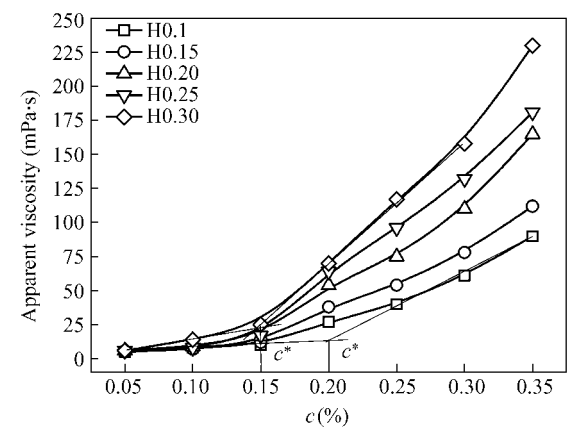


Fig. 2 Effect of hydrophobic monomer content on the viscosity of polymer aqueous solution

2.2 CTAC/有机反离子以及阴离子表面活性剂/三羟乙基苄基氯化铵两类蠕虫状胶束的自组装

部分两亲分子在水溶液中通过增加表面活性剂浓度、加入有机或无机反离子可实现球形胶束向蠕虫状胶束的转变. 为了制备黏度较大、稳定的蠕虫状胶束体系, 选择了亲水基团为羧基, 疏水基团体积分别增大的甲基丙烯酸钠、水杨酸钠、5-甲基水杨酸钠、萘酸钠为有机反离子. 具体研究了这些反离子结构对阳离子表面活性剂 CTAC 溶液表观黏度的影响, 同时研究了有机反离子三羟

乙基苄基氯化铵对烷基链长不同的阴离子表面活性剂表观黏度的影响. 有机反离子与阴离子表面活性剂的结构分别如图 3 和图 4 所示.

图 5 是 CTAC/有机反离子体系表观黏度随有机反离子浓度变化的曲线. 由图 5 看出甲基丙烯酸钠对体系的表观黏度没有影响, 而以苯环为疏水基团的有机反离子, 当浓度达到某一临界浓度后, 体系黏度迅速增加, 到最大值后开始下降. 这是因为甲基丙烯酸钠中疏水基团体积很小, 不能促使 CTAC 形成蠕虫状胶束; 而其它疏水基团带有苯环的有机反离子嵌入到了表面活性剂头部基团之间, 使 CTAC 实现由球形胶束向蠕虫状胶束的转变, 宏观上表现为溶液黏度增大. 当黏度增加到最大值, 浓度继续增大会使得蠕虫状胶束产生支化, 黏度反而开始下降^[13].

由图 5 还可看出, 随着水杨酸钠、甲基水杨酸钠、萘酸钠中疏水基团体积的增大, 黏度最大值时的 c_s/c_i (c_s 表面活性剂的摩尔浓度, c_i 有机反离子的摩尔浓度) 值增加, 结果如表 2 所示. 该值反映了有机反离子促使表面活性剂由球形胶束向蠕虫状胶束转变的能力, 反离子疏水体积增大, 容易与表面活性剂吸附, 所以在反离子较低浓度下就可以实现由球形胶束向蠕虫状胶束的转变. 对于 3-羟基-2-萘酸钠, 虽然最容易使 CTAC 实现由球形胶束向蠕虫状胶束的转变, 但形成的蠕虫状胶束体系的黏度最大值最小, 这与 Kalur^[14] 等的研究结果一致, 对此可解释为, 由于疏水基团中萘环的存在疏水作用增强, 使之极易与表面活性剂吸附, 使萘环完全嵌入到了胶束内部, 胶束表面呈现负电荷. 由于静电排斥, 形成的胶束曲率较大, 胶束轮廓长度短, 宏观上表现为黏度低. 对于水杨酸钠

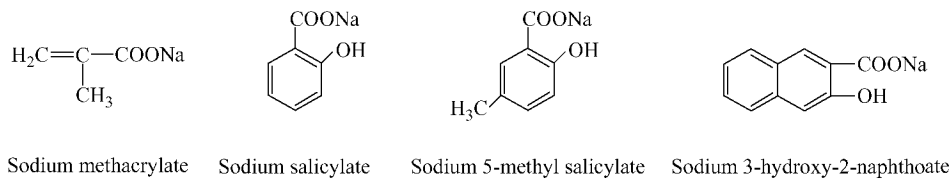


Fig. 3 Structure of organic counterions in cationic wormlike micelles

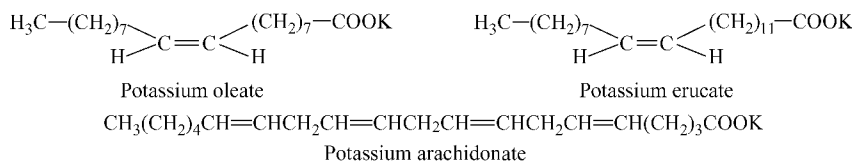


Fig. 4 Structure of anionic surfactants

和 5-甲基水杨酸钠,疏水基团体积相差不大,所以黏度的最大值相差较小.

Table 2 Values of c_s/c_i at the maximum of apparent viscosity			
Organic counterions	Sodium salicylate	Sodium 5-methyl salicylate	Sodium 3-hydroxy-2-naphthoate
c_s/c_i	0.63	0.87	1.67

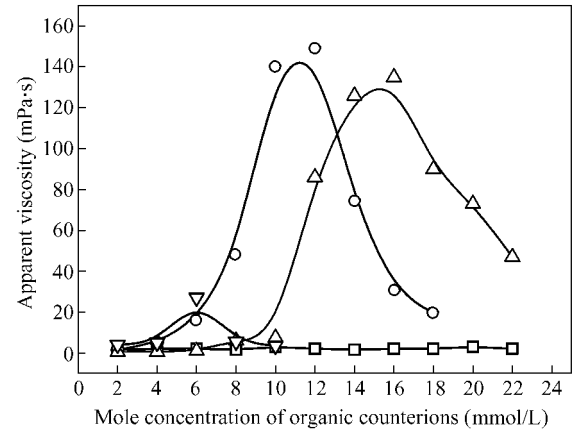


Fig. 5 Effect of different organic counterions on the viscosity of CTAC solution
Concentration of CTAC is 10 mmol/L.
—□— Sodium methacrylate ; —○— Sodium 5-methyl salicylate ;
—△— Sodium salicylate ; —▽— Sodium 3-hydroxy-2-naphthoate

图 6 是三羟乙基苄基氯化铵的浓度对阴离子表面活性剂/三羟乙基苄基氯化铵体系表观黏度的影响.由图 6 可看出,随着阴离子表面活性剂烷基链长的增加,黏度最大值明显增加.这是因为表面活性剂中较长的烷基链可以增加表面活性剂之间或表面活性剂与有机反离子间的相互作用,可有效增加蠕虫状胶束横截面的半径,宏观表现为黏度值增大^[15].

从上述体系中我们选择了稳定的黏度较大的 CTAC/水杨酸钠、芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵两个体系做进一步研究.固定黏度最大值时表面活性剂与有机反离子的摩尔配比 (CTAC/水杨酸钠 = 1/1.4,芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵 = 1/2.8),改变蠕虫状胶束体系的浓度,研究体系黏度与浓度的关系,结果如图 7 所示.从图 7 可看出,当表面活性剂/有机反离子体系浓度达到一定值后,黏度迅速增加.文献[16,17]针对油酸钾/氯化钾蠕虫状胶束体系指出黏浓曲线中黏度陡增段曲线若作双对数坐标,该曲线的斜率值为 5.25 时,其对应的起始蠕虫状胶束体系浓度为临界缠结浓度.本文中两种体系黏浓曲线相对应的对数曲线斜率

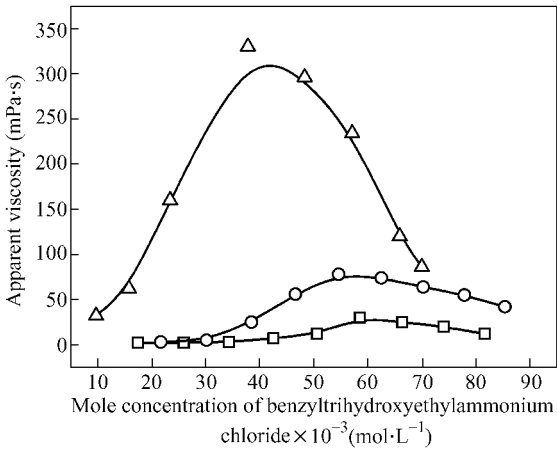


Fig. 6 Effect of benzyltrihydroxyethylammonium chloride on the viscosity of anionic surfactant solutions
Concentration of potassium erucate, potassium arachidonate and potassium oleate are 13 mmol/L, respectively.
—□— Potassium oleate ; —○— Potassium arachidonate ;
—△— Potassium erucate

分别为 5.2 和 4.6,故可确定两种体系的临界缠结浓度分别为 1.2 wt% 和 0.4 wt% .

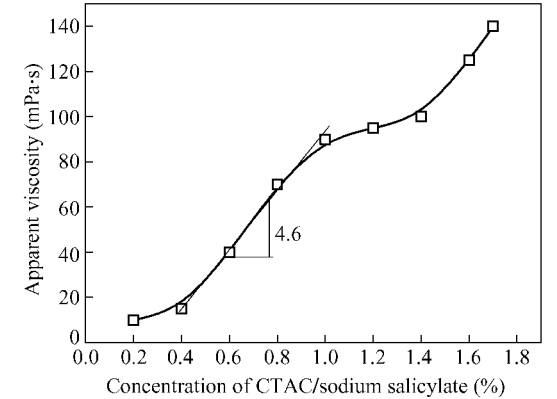
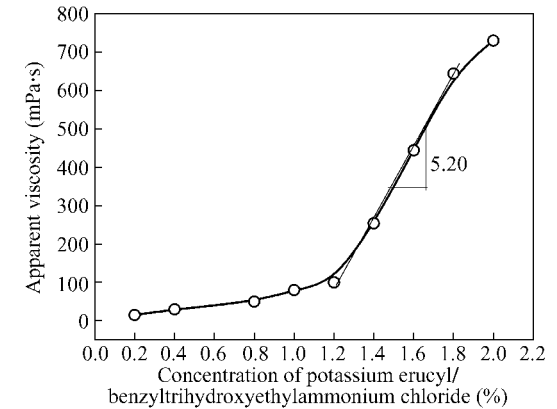


Fig. 7 Viscosity as a function of the concentration of organic counterion/surfactant at constant ratio

2.3 疏水缔合共聚物 P(DTAB-co-AM) 与蠕虫状胶束的自组装

将疏水单体含量不同(0.1 mol%、0.15 mol%、0.2 mol%、0.25 mol% 和 0.3 mol%) 的共聚物 P(DTAB-co-AM) 分别与 CTAC/水杨酸钠、芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵两种蠕虫状胶束进行自组装,以获得协同增黏的超分子缔合体系,并通过黏度变化对缔合体系性能进行研究.根据上述研究结果,为了保证两种胶束体系都形成蠕虫状胶束且黏度值接近,固定蠕虫状体系浓度为 1.2 wt%,然后具体研究缔合体系黏度随聚合物浓度的变化,限于篇幅文中只给出了疏水单体含量为 0.1 mol%、0.15 mol% 和 0.3 mol% 的聚合物与蠕虫状胶束缔合后体系的黏度随聚合物浓度变化的结果,如图 8 所示.当疏水单体含量在 0.1 mol% ~ 0.25 mol% 时,共聚物与芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵自组装后缔合体系黏度随聚合物浓度增加的幅度大于与 CTAC/水杨酸钠体系自组装后黏度增加的幅度;当疏水单体含量为 0.3 mol% 时,与芥

酸钾/三羟乙基苄基氯化铵蠕虫状胶束自组装后的黏度反而小于与 CTAC/水杨酸钠自组装后的黏度.图 9 给出了疏水单体含量对缔合体系黏度的影响,选择了聚合物浓度为 0.2 wt% 的一组数据.由图 9 可看出,共聚物与芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵自组装后,随着疏水单体含量的增加,缔合体系黏度增加,当疏水单体含量达到 0.15 mol% 时,缔合体系黏度达到最大,然后随疏水单体含量的增加缔合体系黏度开始下降.当疏水单体含量为 0.3 mol% 时,缔合体系黏度下降至反而低于与阳离子蠕虫状胶束缔合后的黏度.对于聚合物与 CTAC/水杨酸钠蠕虫状胶束缔合体系,疏水单体含量增加使得缔合体系黏度稍有下降.其中疏水单体含量为 0.15 mol% 的共聚物与芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵自组装后缔合体系的黏度分别是单个聚合物溶液和蠕虫状胶束体系黏度的 94 倍和 35 倍,具有显著的协同增黏效应.由此可看出改变疏水单体含量可以达到调控自组装体系黏度的目标.

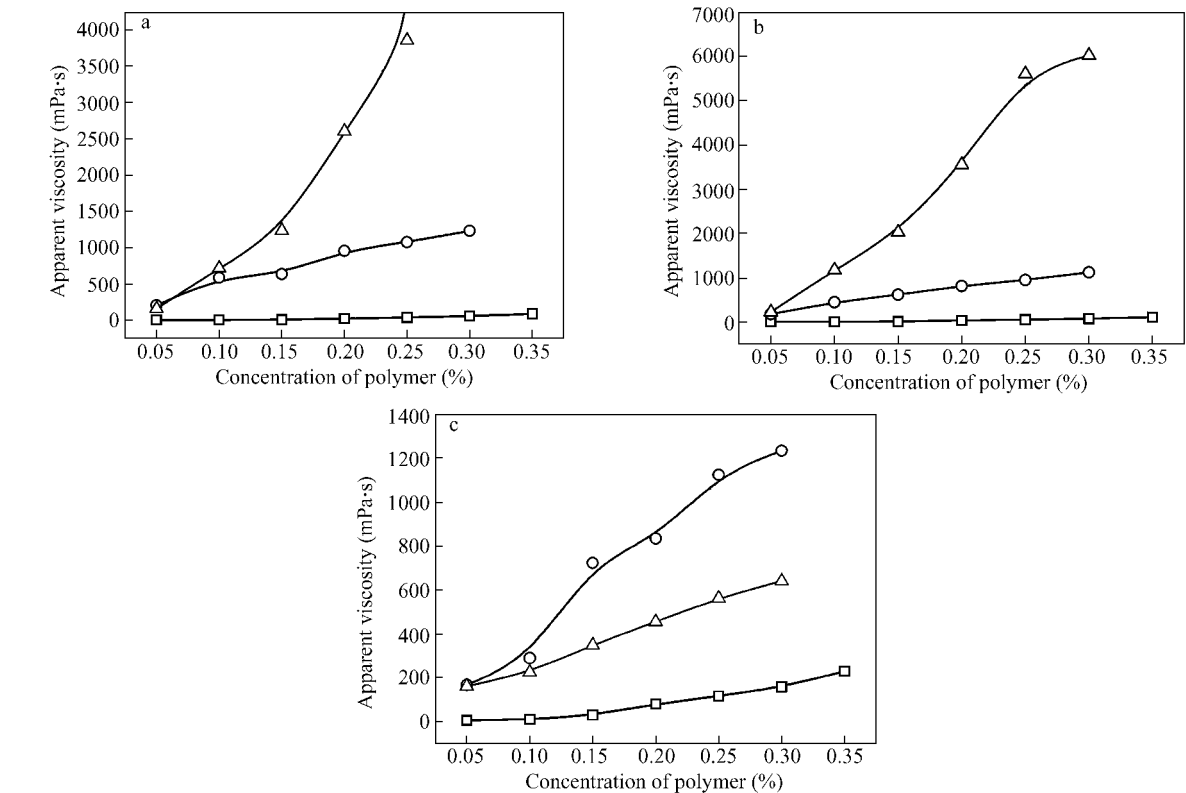


Fig. 8 Effect of the concentration of polymer solution with different hydrophobic monomer content on the viscosity of associative systems
a) —□— H0.1, —○— H0.1 + CTAC/sodium salicylate, —△— H0.1 + potassium erucate benzyltrihydroxyethylammonium chloride ;
b) —□— H0.15, —○— H0.15 + CTAC/sodium salicylate, —△— H0.15 + potassium erucate benzyltrihydroxyethylammonium chloride ;
c) —□— H0.3, —○— H0.3 + CTAC/sodium salicylate, —△— H0.3 + potassium erucate benzyltrihydroxyethylammonium chloride

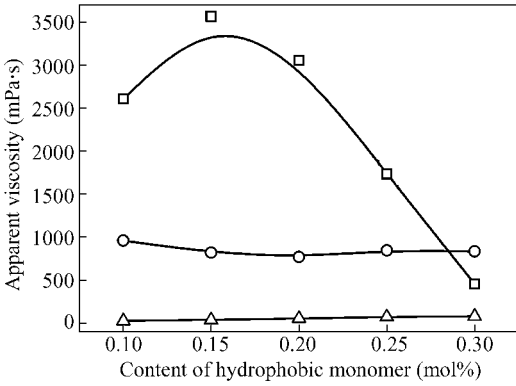


Fig. 9 Effect of the content of hydrophobic monomer on the viscosity of associative systems
—□— P(DTAB-co-AM) + potassium erucate/benzyltri-hydroxyethylammonium chloride ; —○— P(DTAB-co-AM) + CTAC/sodium salicylate ; —△— P(DTAB-co-AM)

自组装,在形成聚合物分子链与蠕虫状胶束间相互贯穿网络结构的同时,疏水缔合作用使疏水链嵌入到了蠕虫状胶束的疏水内部形成了混合胶束,而且位于疏水链中部的阳离子与蠕虫状胶束表面的阴离子有静电吸引作用,这一双重作用增强了超分子体系的缔合强度,因此黏度会有显著增加.但是当疏水单体含量为 0.3 mol% 时,由于较强的静电吸引作用导致体系产生絮凝,黏度反而低于与阳离子蠕虫状胶束缔合后的黏度.对于共聚物与 CTAC/水杨酸钠阳离子蠕虫状胶束自组装后的体系,随着疏水单体含量的增加使得聚合物所带正电荷与阳离子胶束间的静电排斥作用增

强,疏水缔合与静电排斥作用相互抵消,故缔合体系黏度稍有下降.

所以适当控制阳离子型疏水缔合聚合物中阳离子电荷密度,可发挥疏水缔合和静电吸引双重作用,对阳离子疏水缔合聚合物/阴离子型蠕虫状胶束自组装体系的黏度起到调控作用.

3 结论

阳离子型疏水缔合水溶性共聚物 P(DTAB-co-AM)同时具有离子性和疏水缔合两种结构特性.阳离子表面活性剂 CTAC 与水杨酸钠,及阴离子表面活性剂芥酸钾与三羟乙基苄基氯化铵都可形成稳定的表观黏度较大的蠕虫状胶束体系. P(DTAB-co-AM)与芥酸钾/三羟乙基苄基氯化铵阴离子蠕虫状胶束在疏水缔合和静电吸引双重作用下自组装可形成较强的协同增黏体系,而与 CTAC/水杨酸钠阳离子蠕虫状胶束进行自组装由于只有疏水缔合单一作用,协同增黏效应逊于前者.改变 P(DTAB-co-AM)中疏水单体含量对 P(DTAB-co-AM)/阴离子蠕虫状胶束自组装体系的黏度具有调控作用.由于疏水缔合和静电吸引双重作用,当聚合物 P(DTAB-co-AM)疏水单体含量为 0.15 mol% 时,缔合体系黏度可达极大值;当疏水单体含量为 0.3 mol% 时,由于静电作用较强使得缔合体系产生絮凝,而得不到稳定的超分子增黏体系.

REFERENCES

- 1 Taylor K C, Nasr E, Din H. J Petrol Sci Engin, 1998, 19 :265 ~ 268
- 2 Ezarahi S, Tuval E, Aserin A. Adv Colloid Interface Sci, 2006, 128-130 :78 ~ 80
- 3 Durga P A, Hironobu K. Adv Colloid Interface Sci, 2006, 123-126 :401 ~ 402
- 4 Charlie F, Cecile A D, Vania C, Terence C. Langmuir, 2005, 21 :7646 ~ 7648
- 5 Laura G, Irimia J F. Colloids and Surfaces A :Physicochem Eng Aspects, 2006, 18 :2 ~ 4
- 6 Filipe E A, Eduardo F M, Richardo G, Krister T. Langmuir, 2005, 20 :4647 ~ 4656
- 7 Isabelle C, Trevo H, Geoffrey M. Macromolecules, 2005, 38 :5279 ~ 5281
- 8 Enrique J R, Joseph S, Françoise C. Langmuir, 2000, 16 :8613 ~ 8615
- 9 Santipharp P, Robert K P, Dennis G P. Colloids and Surfaces A :Physicochem Eng Aspects, 1999, 147 :3 ~ 15
- 10 Peiffer D G. Polymer, 1990, 31 :2358 ~ 2360
- 11 Nakamura K, Shikata T. Langmuir, 2006, 22 :9853 ~ 9854
- 12 Guo Haopeng(郭浩鹏), Gao Baojiao(高保娇), Yang Ying(杨莹). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2008, (5) :420 ~ 421
- 13 Piotr K, Annie A H, Joseph S, Françoise C. Macromolecules, 2006, 39 :386 ~ 388
- 14 Kalur G C, Frounfelker B D, Cipriano B H, Norman A I, Raghavan S R. Langmuir, 2005, 21 :10998 ~ 11004
- 15 Aswal V K, Goyal P S, Thiagarajan P. J Phys Chem B, 1998, 102 :2469 ~ 2472
- 16 Magid L J. J Phys Chem B, 1998, 102 :4064 ~ 4066

17 Craver M, Smith T L, Delichere A, Caponetti E, Magid L J. Langmuir, 1996, 12 : 169 ~ 170

SELF-ASSEMBLY NETWORKS OF P(DTAB-co-AM) AND WORMLIKE MICELLES MEDIATED BY HYDROPHOBIC ASSOCIATION AND ELECTROSTATIC INTERACTIONS

ZHANG Xufeng, WU Wenhui

(School of Materials Science and Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Abstract The synergistic enhanced viscosity of self-assembly networks of wormlike micelles and cationic hydrophobically associative copolymer P(DTAB-co-AM) synthesized by copolymerization of cationic hydrophobic monomer, dimethyltetradecyl(3-acrylamidopropyl) ammoniumbromide (DTAB), with acrylamide (AM) was studied, and the effect of hydrophobic monomer content on the self-assembly systems was also probed. Two kinds of stable wormlike micelles with high viscosity, Octadecyltrimethyl ammonium chloride CTAC/sodium salicylate and potassium erucate/benzyltri hydroxyethyl ammonium chloride, were prepared. The copolymer P(DTAB-co-AM) and anionic wormlike micelles, potassium erucate/benzyltri hydroxyethyl ammonium chloride, could form self-assembly system with synergistic enhanced viscosity because both of hydrophobic association and electrostatic interactions play an important role. But the viscosity enhancement of the associative system composed of the copolymer P(DTAB-co-AM) and cationic wormlike micelles, CTAC/sodium salicylate, was weaker than that of the former because of the single hydrophobic association interaction. The results of the viscosity experiments show the viscosity of the self-assembly system made up of P(DTAB-co-AM) and anionic wormlike micelles first increased, then decreased with the increase of feed content of hydrophobic monomer in copolymer. When the feed content of DTAB in P(DTAB-co-AM) was 0.15 mol%, the viscosity of association system reached the maximum. When the feed content of DTAB was 0.3 mol%, the viscosity of this self-assembly system was lower than that of the system formed by this copolymer and cationic wormlike micelles because of more strong electrostatic interaction leading to phase separation. In contrast, the viscosity of the system self-assembled by this copolymer and cationic wormlike micelles appear a slight decrease with the increase of the DTAB content because hydrophobic association and electrostatic repulsion offset each other. Based on the above discussions, the aim to mediate the viscosity of self-assembly system by the feed content of hydrophobic monomer can be realized.

Keywords Hydrophobic association, Synergistic enhanced viscosity, Wormlike micelles, Self-assembly