

# 改性淀粉作为降滤失剂的研究进展

张文郁, 胡范成

(山东轻工业学院 化学与制药工程学院, 山东 济南 250353)

**摘要:**综述了改性淀粉作为钻井液降滤失剂的应用及研究发展状况。改性淀粉降滤失剂绿色环保、价格便宜且抗盐能力强,在油田化学中得到了广泛的应用。目前应用的预胶化淀粉和醚化淀粉因耐温性差,使其应用范围受到了一定限制。接枝共聚淀粉既具备淀粉类降滤失剂的抗盐能力,又有共聚物的抗温性,因此成为淀粉类降滤失剂的研究热点。对接枝共聚淀粉的研究现状进行了较详细的综述,并对各类接枝共聚淀粉的特点进行了评述。

**关键词:**改性淀粉;降滤失剂;预胶化淀粉;醚化淀粉;接枝共聚淀粉

中图分类号:TE254.4

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2013)01-0044-06

## Research Progress of Modified Starch as Fluid Loss Agent

Zhang Wenyu, Hu Fancheng

(School of Chemistry and Pharmaceutical Engineering, Shandong Polytechnic University, Jinan, Shandong 250353, China)

**Abstract:** The application and the research development of the modified starch as fluid loss agent were reviewed. Because of its green environmental protection, cheap price and strong salt-resistance capability, the fluid loss additive of modified starch has been widely used in the oilfield chemistry. The application of the pre-gelatinized starch and the etherified one in current use has been limited due to their bad capability of temperature resistance. The graft copolymer starch, which has both the good salt-resistance capability like the fluid loss agent of starch and the polymers' capability of temperature resistance, has attracted more and more attention, and we reviewed its present research in detail and summarized the characteristics of different kinds of graft copolymer starch.

**Key words:** modified starch; fluid loss agent; pre-gelatinized starch; etherified starch; graft copolymer starch

淀粉结构中含有可反应的羟基,因此可以通过改性来赋予其一些新的性能。由于改性淀粉产物来源广泛、价格低廉,在 20 世纪 50 年代就已通过对淀粉改性应用到油田化学中,这项工作在我国始于 20 世纪 80 年代,主要是作为降滤失剂被开发利用。随着世界经济的发展,石油的需求量逐步增大,石油勘探已向深部地层和海上发展,而淀粉类降滤失剂存在着热稳定性差的特点,只能应用于 130 °C 以下,这也限制了其进一步的推广。由于社会对环境保护的日益重视,开发具有抗温性能的淀粉类降滤失剂对石油开采的环境保护、生产成本控制及应用都有着非常重要的意义。本文综述了不同改性淀粉作为降滤失剂的研究及应用。

## 1 预胶化淀粉

预胶化淀粉是一类最简单的改性淀粉,一般通过酸性水解或碱性水解制得。作为降滤失剂主要应用在盐水和饱和盐水钻井液中,其降滤失效果和羧甲基纤维素钠(carboxymethylcellulose sodium, CMC-Na)基本相当且成本更低,但是预胶化淀粉并不适用于淡水钻井液,主要是由于其耐温性差且易发酵。

收稿日期:2012-10-05

基金项目:山东省自然科学基金项目(2009ZRB01250)

作者简介:张文郁(1971—),男,山东东营人,副教授,博士,主要从事油田化学品的研究. E-mail:zhangwy051028@126.com

## 2 醚化淀粉

几乎所有的醚化淀粉都是作为降滤失剂被开发和利用的,实际应用中可以发现,醚化淀粉降滤失效果非常明显,特别适用于饱和盐水钻井液体系,但此类降滤失剂是以醚键进行连接的,所以其使用温度不能超过 130 °C,醚化淀粉主要有羧甲基淀粉、羟丙基淀粉以及其他醚化改性淀粉等。目前应用最广、使用量最大的是羧甲基淀粉。

### 2.1 羧甲基淀粉

羧甲基淀粉在 1924 年由 Chowduhury<sup>[1]</sup>首次合成,其合成原理主要是利用 NaOH 与淀粉结构上的羟基反应生成醚化反应的活性中心,然后在碱性条件下与氯乙酸发生双分子亲核取代反应来制得的。根据媒介的不同,羧甲基淀粉的生产方法主要有:水煤法<sup>[1]</sup>、干法<sup>[2]</sup>、半干法<sup>[3]</sup>和溶剂法<sup>[4]</sup>四种。实际生产中为了尽可能的降低生产成本,通常采用干法生产羧甲基淀粉。

首次合成羧甲基淀粉采用的方法是水煤法,这种方法只能生产取代度低于 0.07 的产品<sup>[5]</sup>,而且氯乙酸消耗极大;干法产物水分含量低,对环境无污染,生产成本低,在实际生产中大都采用此法;半干法生产过程中一般采用乙醇—水体系,需要对乙醇回收,生产成本低;溶剂法开发较早,反应条件温和,操作简单,但溶剂用量较大,回收困难,生产成本较高。

### 2.2 羟丙基淀粉

羟丙基淀粉在醚化淀粉中用量仅次于羧甲基淀粉,具有降失水、防塌及稳定井壁等作用,特别适用于盐水及饱和盐水钻井液。羟丙基淀粉的合成根据工艺条件的不同可以分为干法<sup>[6]</sup>、水分散法<sup>[7]</sup>、非水溶剂法<sup>[8]</sup>和微乳化法<sup>[9]</sup>。这些方法制得的羟丙基淀粉的取代度相对较低,而温其标等<sup>[10]</sup>利用非极性的环己烷作分散剂,氢氧化钠作催化剂合成了高取代度的羟丙基淀粉,其取代度可达 2~5。

### 2.3 其他醚化淀粉

周玲革等<sup>[11]</sup>制得的 CSJ 复合离子型改性淀粉降滤失剂,其在淡水钻井液和正电胶钻井液中均有良好的降滤失效果,抗盐能力达到饱和,抗温能力可达 140 °C。姜翠玉等<sup>[12]</sup>以 2,3-环氧丙基三甲基氯化铵为阳离子化试剂,采用半干法合成了季铵型阳离子淀粉,其在淡水、饱和盐水及复合盐水钻井液中均具有较好的降滤失性能。在国外,Sifferman 等<sup>[13]</sup>合成的降滤失剂在 20~160 °C 的范围内降滤失效果明显;Dobson 等<sup>[14]</sup>用交联的部分降解的淀粉醚衍生物或/和交联淀粉醚衍生物的部分降解产物做降滤失添加剂。与不降解的淀粉醚衍生物相比,这类添加剂在更低粘度下降低流体损失,使其能以足够大的浓度得到满意的滤失控制,而且钻井液的粘度足以保证其在油、气井中循环使用。

## 3 接枝共聚淀粉

由于前两种改性淀粉类降滤失剂的主链结构中含有醚键,使其在高温之后几乎全部失去作用,因此他们只能用于 130 °C 以下,不能满足当前石油勘探的需要。接枝共聚淀粉是将单体与淀粉聚合之后经共价键接枝到淀粉结构上形成的,既具有淀粉类降滤失剂的抗盐性又含有共聚物类产品的抗温能力,是目前的发展趋势<sup>[15]</sup>。

### 3.1 引发剂的选择

目前,制备接枝共聚淀粉降滤失剂,大都采用自由基引发<sup>[16]</sup>,自由基引发是淀粉(starch, ST)在引发剂的作用下形成初级自由基,然后和单体反应生成自由基单体,进一步链增长后得到一个连接在淀粉结构上的单体聚合物链。自由基引发包括物理引发和化学引发,其中应用较为广泛的是化学引发,主要是利用氧化还原反应来产生自由基。

#### 1) 铈盐类引发剂

铈盐引发剂是应用最早的一种引发剂<sup>[17]</sup>,应用最广泛的一类引发剂,其引发机理如下:



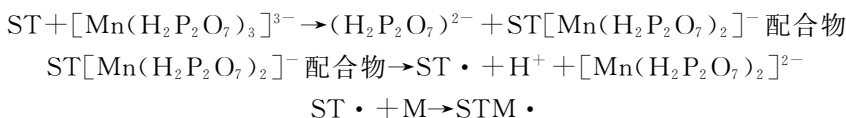
铈盐引发剂具有适用范围广、反应条件温和、接枝效率高等优点,但是价格较高,产量有限,限制了它在工业生产中的应用。为了克服铈盐引发剂价格昂贵的缺点,王玉芹等<sup>[18]</sup>在  $Ce^{4+}$  引发剂中加入  $S_2O_8^{2-}$ ,  $S_2O_8^{2-}$  可以将  $Ce^{4+}$  引发后生成的  $Ce^{3+}$  氧化成  $Ce^{4+}$ , 从而实现  $Ce^{4+}$  的循环利用,这样既能保证产物的接枝率,又能减少引发剂的用量。

### 2) 高锰酸钾-酸引发体系

这类引发剂可以有效地引发淀粉与 AM(acrylamide)、AA(acrylic acid)及 MAA(methacrylic acid)等接枝共聚,常用的酸主要是草酸和柠檬酸。该类引发剂一般是先生成  $MnO_2$ , 酸对  $MnO_2$  作用可以形成自由基,然后自由基引发单体与淀粉接枝共聚。使用这类引发剂时应该注意酸的用量,太大会产生阻聚反应,不利于接枝,也有可能使淀粉发生分解<sup>[19]</sup>,太小起不到催化作用。

### 3) 焦磷酸锰引发剂

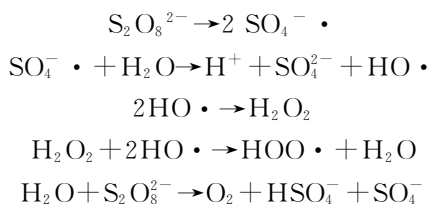
焦磷酸锰早在 1977 年就被 Mehrotra 等<sup>[20]</sup>作为引发剂应用到淀粉接枝共聚反应中,其引发机理为:



该引发剂需要在强酸性环境中使用,而淀粉在酸性条件下易发生水解,影响接枝效果。

### 4) 过硫酸盐引发剂

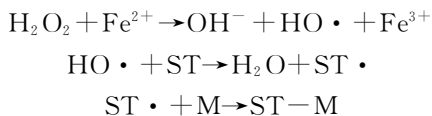
过硫酸盐引发剂通常是过硫酸铵和过硫酸钾,引发剂体系中一般用亚硫酸氢钠或焦亚硫酸钠等作为还原剂,过硫酸盐引发剂产生自由基的反应如下:



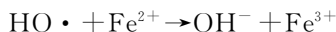
过硫酸盐引发剂是一类引发效率及重现性较好的引发剂,但是过硫酸盐因氧化性比铈盐弱,因而引发速度慢,反应时间长,反应温度比铈盐要高。

### 5) $H_2O_2$ 引发体系

$H_2O_2$  受热可以分解成  $HO \cdot$  自由基,由于其活化能较高,故很少单独使用,常与硫酸亚铁铵、硫脲、抗坏血酸等组成氧化还原引发体系,其中最常用的是  $H_2O_2 - Fe^{2+}$ , 引发原理为:



若还原剂过量,还会发生如下反应:



过氧化氢引发体系易处理,对环境污染小,但是其引发效率低,易产生均聚物,且过氧化氢长时间放置易失效。

除了上述几种常用引发剂之外,还有一些引发剂,例如过渡金属-乙酰丙酮引发体系、醇的衍生物、二苯甲酮与安息香基乙基醚组合成的复合引发剂、过氧化苯/偶氮二异丁腈等。

## 3.2 淀粉接枝共聚改性产物

根据淀粉结构中引入的单体不同,可以将淀粉接枝共聚产物分为阴离子接枝共聚物和两性离子接枝共聚物。

### 3.2.1 阴离子接枝共聚物

阴离子接枝共聚物主要是淀粉接枝丙烯酰胺(AM)、丙烯酸(AA)、2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(2-Acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid, AMPS)等阴离子单体。

### 1) ST-AM 接枝共聚物

刘祥等<sup>[21]</sup>以淀粉和 AM 为原料,硝酸铈铵为引发剂合成了 ST-AM 接枝共聚物降滤失剂,其在淡水钻井液中有较好的降滤失效果和增粘效果,在盐水和饱和盐水钻井液中有良好的降滤失作用和抗温能力。

### 2) AM/AA/淀粉接枝共聚物

王中华<sup>[22]</sup>合成的 AM/AA/淀粉接枝共聚物降滤失剂在淡水、盐水、饱和盐水及复合盐水钻井液中均具有良好的降滤失效果,还体现了较好的增粘能力,在淡水及盐水钻井液中的抗温能力可以达到 150 °C,在饱和盐水钻井液中也有着良好的抗温性。

### 3) 淀粉-磺甲基化聚丙烯酰胺接枝共聚物

谭叶邦等<sup>[23]</sup>以过硫酸铵和亚硫酸氢钠为引发剂合成了淀粉-磺甲基化聚丙烯酰胺接枝共聚物降滤失剂(ST-g-SPAM),该产品在淡水、盐水及饱和盐水泥浆中都有良好的降滤失效果,抗温能力达到 150 °C,还有良好的抗钙污染的能力,与羧甲基淀粉相比,在加量相同的情况下 ST-g-SPAM 的降滤失效果更好。

### 4) AM/AN/AA/淀粉接枝共聚物

高素丽等<sup>[24]</sup>将 AM、丙烯腈(AN)、AA 三种单体在引发剂的作用下与淀粉接枝共聚合成 AM/AN/AA/淀粉接枝共聚物降滤失剂,结果表明,其在淡水、盐水、饱和盐水、复合盐水及含钙盐水中均具有较好的降滤失作用,抗盐能力可达至饱和,抗温能力达到 150 °C,抗钙污染的能力达 20%,有较强的抑制包被能力,可以有效地控制页岩水化分散。

### 5) AMPS/AM/淀粉接枝共聚物

迟姚玲等<sup>[25]</sup>合成的环保型降滤失剂 AMPS/AM/淀粉接枝共聚物在各种钻井液中均具有良好的降滤失作用和增粘效果,抗温能力可达到 150 °C,此外还有良好的抗钙污染能力。

### 6) SALS 接枝共聚物

严思明等<sup>[26]</sup>以硫酸高铈为引发剂利用淀粉、AM 和自制的磺酸基单体 LS(Sulfonic group monomer, LS)接枝共聚制得了 SALS,其作为油井水泥降滤失剂与各产地 G 级油井水泥和各种外加剂的配伍性良好,有良好的降失水效果。

### 7) 淀粉-丙烯酰胺-聚乙烯醇接枝共聚物

高锦屏等<sup>[27]</sup>以硝酸铈铵和乙酰乙酸乙酯作引发剂,合成了淀粉-丙烯酰胺-聚乙烯醇接枝共聚物降滤失剂 APS(starch-acrylamide-polyvinyl alcohol graft copolymer)。在加量和 CMC 相同的情况下,室温下的降滤失效果基本相当,而经过高温处理之后 APS 的降滤失效果要明显好于 CMC,其中 APS 的抗温能力可以高达 170 °C。

## 3.2.2 两性离子接枝共聚物

将淀粉与各种阳离子单体接枝共聚得到淀粉的阳离子或两性离子接枝共聚物<sup>[28]</sup>。阳离子单体主要有 2-羟基-3-甲基丙烯酰氧丙基(2-hydroxy-3-methyl acryloyl oxygen propyl, HMOPTA)、二烯丙基-二甲基氯化铵(diallyldimethylammonium chloride, DMDAAC)、二乙基二烯丙基氯化铵(diethyl diallyl ammonium chloride, DEDAAC)、丙烯酰氧基三甲基溴化铵(acryloyl oxygen base trimethyl ammonium bromide, DAC)及 3-甲基丙烯酰胺基丙基三甲基氯化铵(3-methyl acrylic amide group propyl trimethyl ammonium chloride, MPTMA)等。

### 1) CGS-2 具阳离子型接枝改性淀粉

王中华<sup>[29]</sup>利用玉米淀粉与丙烯酰胺、丙烯酸钾和阳离子单体 2-羟基-3-甲基丙烯酰氧丙基接枝共聚合成了 CGS-2 降滤失剂,实验表明,其在淡水、盐水及饱和盐水中均有良好的降滤失作用,抗温能力可达 180 °C,由于产品中含有阳离子基团,产品还具有较好的防塌效果。

### 2) 淀粉/AM/AMPS/DMDAAC 接枝共聚物

该接枝共聚物是陈馥等<sup>[30]</sup>以玉米淀粉和 AM、AMPS 及二烯丙基-二甲基氯化铵(DMDAAC)合成的,作为降滤失剂,其在淡水、盐水、饱和盐水及人工海水泥浆中均有较好的降滤失作用和增粘能力,抗温性良好,可达 180 °C,在不高于 150 °C 时,其在淡水泥浆中的高温高压滤失量均能满足要求,由于产物中存在阳离子基团,该降滤失剂还有很好的防塌效果。

### 3) AM/AMPS/DEDAAC/淀粉接枝共聚物

王中华<sup>[31]</sup>合成的 AM/AMPS/DEDAAC/淀粉接枝共聚物降滤失剂在淡水、盐水、饱和盐水及人工海水泥浆中降滤失效果和提粘效果明显,样品经过 180 °C 老化处理之后,仍然具有良好的降滤失效果,经岩屑滚动回收率试验,表明接枝共聚物有较强的抑制页岩水化分散的能力。

### 4) 淀粉/AM/苯乙烯磺酸钠(styrene sulfonic sodium, SSS)/DAC 接枝共聚物

王力等<sup>[32]</sup>以过硫酸铵和亚硫酸氢钠为引发剂,制得了淀粉/AM/SSS/DAC 接枝共聚物降滤失剂,结果表明,接枝共聚物水溶液表观粘度的温度敏感性较低,在高浓度盐水基浆(20% NaCl 和 10% CaCl<sub>2</sub>) 中具有较好的降滤失性和抗盐性。

### 5) AM/AMPS/ MPTMA/淀粉接枝共聚物

王中华<sup>[33]</sup>合成的 AM/AMPS/MPTMA/淀粉接枝共聚物降滤失剂在淡水、盐水、饱和盐水及人工海水泥浆中均有着良好的降滤失效果,热稳定性较好,可抗温至 180 °C,有较好的抑制页岩水化分散的能力。现场泥浆应用表明该共聚物有较强的降滤失和提粘作用。

## 4 结语

改性淀粉类降滤失剂因绿色环保、价格便宜以及有较强的抗盐能力而受到了广泛的关注,但预胶化淀粉和醚化淀粉耐温性差,无法满足深井作业的需求,其发展受到了限制,接枝共聚淀粉具备了淀粉类降滤失剂的抗盐性又兼有共聚物的抗温能力,这也是未来淀粉类降滤失剂的发展方向,研究人员应将现有的研究成果努力转化到实际应用中,以满足深层油气资源开发的需要,使淀粉在石油钻井中发挥更大的作用。

## 参考文献:

- [1] 杨艳丽,李仲谨,王征帆,等. 水基钻井液用改性玉米淀粉降滤失剂的合成[J]. 油田化学,2006,26(3):198-200.  
Yang Yanli, Li Zhongjin, Wang Zhengfan, et al. Synthesis of modified maize starch as filtrate loss reducer for water base drilling fluid[J]. Oilfield Chemistry, 2006, 23(3):198-200.
- [2] 王中华. 钻井液用 CMS 生产工艺的改进[J]. 石油钻探技术,1993,21(3):28-30.  
Wang Zhonghua. Improvement of CMS's production process in drilling fluid[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1993, 21(3):28-30.
- [3] 王磊,温其标. 半干法快速合成羧甲基淀粉的研究[J]. 食品科技,2006(11):165-168.  
Wang Lei, Wen Qibiao. Influences of reaction parameters upon carboxymethylation of cassava starch through a rapid semidry process[J]. Food Science and Technology, 2006(11):165-168.
- [4] Kwon K, Auh J H, Kim J W, et al. Physicochemical properties and functionality of highly carboxymethylated starch[J]. Starch, 1997, 49:499-505.
- [5] 朱海林,胡志勇. 淀粉的化学改性研究[J]. 天津化工,2008,22(3):10-13.  
Zhu Hailin, Hu Zhiyong. Chemical modification of starch[J]. Tianjin Chemical Industry, 2008, 22(3):10-13.
- [6] 王中华. 羟丙基淀粉的合成[J]. 河南化工,1990(1):19-20.  
Wang Zhonghua. Synthesis of hydroxypropyl starch[J]. Henan Chemical Industry, 1990(1):19-20.
- [7] 邹丽霞,徐琼. 羟丙基淀粉的合成[J]. 食品工业科技,2004(10):120-122.  
Zou Lixia, Xu Qiong. Synthesis of hydroxypropyl starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2004(10):120-122.
- [8] 刘祥,李谦定,于洪江. 羟丙基淀粉的合成及其在钻井液中的应用[J]. 钻井液与完井液,2000,17(6):5-7.  
Liu Xiang, Li Qianding, Yu Hongjiang. The composition of hydroxypropyl starch and its application in drilling fluid[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2000, 17(6):5-7.
- [9] 邹丽霞,刘峙荣,丁慧玲,等. 微乳化法合成羟丙基高直链淀粉研究[J]. 食品科技,2005(8):9-12.  
Zou Lixia, Liu Zhirong, Ding Huiling, et al. Study of hydroxypropyl amylose starch by microemulsion[J]. Food Science and Technology, 2005(8):9-12.
- [10] 温其标,陈玲,刘淑华,等. 高取代度羟丙基淀粉的制备方法:中国,1052986C [P]. 2000-05-31.
- [11] 周玲革,赵红静. CSJ 复合离子型改性淀粉降滤失剂的研制[J]. 江汉石油学院学报,2004,26(3):81-82.  
Zhou Lingge, Zhao Hongjing. Preparation of the CSJ composite ionic modified starch fluid loss additive[J]. Journal of

- Jiangnan Petroleum Institute, 2004, 26(3): 81-82.
- [12]姜翠玉,于维钊,张春晓.高取代度阳离子淀粉的合成及性能评价[J].应用化学,2006,23(4):424-428.  
Jiang Cuiyu, Yu Weizhao, Zhang Chunxiao. Preparation of cationic starch with a high degree of substitution and its performance as filtrate reducer for drilling fluid[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2006, 23(4): 424-428.
- [13]Sifferman T R, Swazey J M, Skaggs C B. Fluid loss control additives and subterranean treatment fluids containing the same [P]. US Patent: US6180571, 2001-01-30.
- [14]Dobson J W, Mondshine K B. Control of the fluid loss of well drilling and servicing fluids; US Patent: US5641728 [P]. 1997-07-24.
- [15]王中华. 钻井液技术现状及发展方向[J]. 断块油气田, 2004, 11(5): 59-62.  
Wang Zhonghua. Present situation and development of drilling fluid technology[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2004, 11(5): 63-65.
- [16]周向阳, 贾德民, 崔跃飞, 等. 淀粉接枝改性研究进展[J]. 合成材料老化与应用, 2009, 28(2): 38-43.  
Zhou Xiangyang, Jia Demin, Cui Yuefei, et al. Progress in research of graft modification of starch[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2009, 28(2): 38-43.
- [17]Mino G, Kaizerman S. A new method for the preparation of graft copolymers[J]. Journal of Polymer Science, 1958, 31(122): 242-243.
- [18]王玉芹, 杨巍, 崔丹. 铈盐-过硫酸盐复合引发淀粉与丙烯酰胺接枝共聚物研究[J]. 高分子学报, 1996(1): 111-115.  
Wang Yuqin, Yang Wei, Cui Dan. Graft-copolymerization of acrylamide onto starch initiated by the  $Ce^{4+}$ - $S_2O_8^{2-}$  binary system[J]. Acta Polymerica Sinica, 1996(1): 111-115.
- [19]彭小敏, 廖丹葵, 柳雨春, 等. 高锰酸钾引发木薯淀粉与丙烯酰胺接枝共聚反应的研究[J]. 安徽工业大学学报, 2005, 22(1): 31-36.  
Peng Xiaomin, Liao Dankui, Liu Yuchun, et al. Study of acrylamide graft onto cassava starch by the initiator of potassium permanganate[J]. Journal of Anhui University of Technology, 2005, 22(1): 31-36.
- [20]Mehrotra R, Ranby B. Graft copolymerization onto starch. I. Complexes of  $Mn^{3+}$  as initiators[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1977, 21(6): 1647-1654.
- [21]刘祥, 李谦定, 史俊. 淀粉丙烯酰胺接枝共聚物降滤失剂的合成及性能[J]. 西安石油学报: 自然科学版, 2000, 15(1): 34-35, 38.  
Liu Xiang, Li Qinding, Shi Jun. Synthesis and properties of acrylamide-starch graft copolymer[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute: Natural Science Edition, 2005, 15(1): 34-35, 38.
- [22]王中华. AM/AA/淀粉接枝共聚物降滤失剂的合成及性能[J]. 精细石油化工进展, 2003, 4(2): 23-25.  
Wang Zhonghua. Synthesis and performances of AM/AA/starch graft copolymer as filtrate reducer for drilling fluid[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2003, 4(2): 23-25.
- [23]谭叶邦, 叶传耀, 姚克俊. 淀粉-磺甲基化聚丙烯酰胺共聚物的合成及其在钻井泥浆中的应用[J]. 油田化学, 1993, 10(1): 10-13.  
Tan Yebang, Ye Chuanyao, Yao Kejun. Synthesis and laboratory performance of starch-sulfomethylated polyacrylamide graft copolymer as filtrate-loss controller for drilling mud[J]. Oilfield Chemistry, 1993, 10(1): 10-13.
- [24]高素丽, 郭保雨. 四元接枝共聚物钻井液降滤失剂的合成及评价[J]. 钻井液与完井液, 2008, 25(5): 26-27, 31.  
Gao Suli, Guo Baoyu. Synthesis and laboratory evaluation of graft copolymer filtrate reducer for mud[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2008, 25(5): 26-27, 31.
- [25]迟姚玲, 郑力会, 冀德坤, 等. 抗温环保型降滤失剂改性玉米淀粉的合成与评价[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2011, 35(1): 151-154.  
Chi Yaoling, Zheng Lihui, Ji Dekun, et al. Preparation and evaluation of fluid loss reducer of heat-resistant and environment friendly modified starch[J]. Journal of China University of Petroleum: Natural Science, 2011, 35(1): 151-154.
- [26]严思明, 廖丽, 龙学莉. 淀粉接枝共聚物降滤失剂 SALS 室内研究[J]. 油田化学, 2009, 26(2): 118-120.  
Yan Siming, Liao Li, Long Xueli. A laboratory study of starch-g-copolymer SALS as heat resistant filtrate loss reducer for oilwell cement[J]. Oilfield Chemistry, 2009, 26(2): 118-120.