

近十年国内钻井液降粘剂研究进展

庞少聪, 安玉秀*, 马京缘

(中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083)

摘要:随着能源消费持续升高,常规资源无法满足日常需求,进行深井钻探显得尤为重要。然而,井底深部高温带来的钻井液粘度增加、流变性变差等问题,致使降粘剂成为不可缺少的钻井液处理剂之一。降粘剂主要通过拆散或阻拦粘土颗粒间形成网架结构,从而达到降低钻井液粘度、改善流变性的目的。结合相关研究文献,综述近十年来国内钻井液降粘剂的研究现状,介绍了3大类降粘剂:合成聚合物类、改性天然材料类、利用工业废料制备降粘剂。针对目前存在的问题,指出未来应从分子结构设计层面研发低成本、环保、适用于高温高盐高密度钻井液的降粘剂,同时注重工业废料的利用,积极与现场应用相结合加快成果转化。近年来,合成聚合物类降粘剂研究量居多、发展最迅速,本文着重介绍了此类降粘剂的发展现状及应用前景。

关键词:钻井液处理剂;降粘剂;合成聚合物;天然材料;研究进展

中图分类号:P634.6;TE254 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)01-0096-08

Research progress of domestic drilling fluid viscosity reducer in recent ten years

PANG Shaocong, AN Yuxiu*, MA Jingyuan

(School of Engineering and Technology, China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

Abstract: As energy consumption continues to rise, and conventional resources cannot meet daily needs, deep well drilling is particularly important. However, problems such as increased viscosity of drilling fluid, deterioration of rheology caused by high temperature at the bottom of the well have made the high temperature resistant viscosity reducer one of the indispensable drilling fluid treatment agents. To reduce the viscosity of the drilling fluid and improve the rheology, viscosity reducers mainly disassemble or block the formation of the grid structure between clay particles. In reference to the relevant research literature, this paper summarizes the research status of domestic drilling fluid viscosity reducers in the past ten years with emphasis on three types of viscosity reducers: synthetic polymers, modified natural materials, and industrial waste-made viscosity reducers. In view of the current problems, it is pointed out that in the future, low-cost and environment-friendly viscosity reducers suitable for high-temperature, high-salt and high-density drilling fluids should be developed at the molecular structure design level. At the same time, it pays attention to the utilization of industrial waste and the speeding up of the technology transformation through field applications. In recent years, synthetic polymer viscosity reducers have been studied mostly and developed the fastest. This article focuses on the development status and prospects of this type of viscosity reducer.

Key words: drilling fluid treatment agent; viscosity reducer; synthetic polymer; natural ingredients; research progress

0 引言

随着能源资源消耗量持续增加以及油气勘探、深井井底地质情况复杂,温度越来越高、压力越来越

开发技术不断提高,导致深井钻探需求日益凸显。

收稿日期:2021-03-25; 修回日期:2022-01-07 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.01.013

第一作者:庞少聪,男,汉族,1998年生,硕士研究生在读,资源与环境专业,研究方向为地质工程,北京市海淀区学院路29号, P7426cong@163.com。

通信作者:安玉秀,女,汉族,1981年生,讲师,研究生导师,地质工程专业,博士,研究方向为钻井工程、钻井液与完井液、油田化学,北京市海淀区学院路29号, anyx@cugb.edu.cn。

引用格式:庞少聪,安玉秀,马京缘.近十年国内钻井液降粘剂研究进展[J].钻探工程,2022,49(1):96-103.

PANG Shaocong, AN Yuxiu, MA Jingyuan. Research progress of domestic drilling fluid viscosity reducer in recent ten years[J]. Drilling Engineering, 2022,49(1):96-103.

越大^[1],高温会对钻井液造成高温分散、高温聚结、高温钝化现象。其中,高温分散使钻井液中粘土颗粒变细、含量增加,从而引起钻井液流变性变差,出现高温稠化^[2],具体表现为高温增粘、固结两种形式,增粘导致钻井液流变性变差,固结使其粘度增加,严重影响深井钻井工程进展。在钻井液中加入降粘剂以解决此类问题,致使钻井液用降粘剂研究与应用成为迫切需要,成为不可缺少的钻井液处理剂之一^[3]。起初人们使用无机磷酸盐来处理钻井液粘度过大带来的问题,主要以木质素、单宁和栲胶类改性产品为代表的钻井液降粘剂开始进入人们的视野,其中最常用是铁铬木质素磺酸盐(FCLS),它是一种水基钻井液降粘剂,且有较好的抗温抗盐能力及一定的降滤失作用。但随着国家新环保法颁布以及人们环保意识不断提高,铁铬木质素磺酸盐(FCLS)降粘剂,因其主要含铬,毒性大,污染严重,已不能完全适用^[4]。用磺化单宁代替了抗温能力不足、抗盐污染能力差、容易起泡的单宁、栲胶。后期,高温钻井液逐渐受到重视,由于合成聚合物可以通过接枝共聚引入一些优秀的基团,因此对合成聚合物类降粘剂的研究逐渐兴起。以2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸(AMPS)、马来酸酐(MA)为代表的合成聚合物类降粘剂居多,大多数用于抗高温钻井液体系,同样具有优秀的抗盐、钙污染能力。近来对合成聚合物类降粘剂的研究量居多,对天然材料改性类的研究量次之,两者均呈增长趋势。其中,天然材料改性类聚合物中改性栲胶类产品数量减少,改性木质素类产品数量上涨,合成聚合物类降粘剂依旧以含磺酸基团、羧酸基团降粘剂为主,此类产品具备降粘作用的同时兼具优秀的抗温抗盐能力,近几年没有钻井液降粘剂研究进展的相关文献综述。针对此种趋势,本文将重点讲述合成聚合物类降粘剂(含羧酸基团,含磺酸基团,含阴、阳离子基团的两性),同时介绍天然材料改性产物类(改性木质素,改性腐殖酸,改性栲胶)以及利用工业废料制备的降粘剂共3大类来综述近10年国内钻井液降粘剂的研究进展。

1 降粘机理

钻井液被称为钻井的“血液”,在钻井工程中起着改善流变性、携带岩屑、稳定井壁等作用。降粘剂作为一种钻井液化学处理剂能够降低钻井液粘度、

切力,改善钻井液流变性。钻井液稠化主要是由于其粘土颗粒间形成的网状结构,大量自由水被包裹在网格中导致自由水大量减少,致使钻井液稠化。降粘剂通过氢键作用、离子偶极作用、疏水缔合等作用吸附在粘土颗粒表面上,提高粘土颗粒负电性,使其颗粒间静电斥力增大,阻碍网状结构的形成。另外,降粘剂通过吸附作用直接拆散粘土颗粒已经形成的网状结构释放出自由水,从而起到降低钻井液粘度的作用,见图1^[5]。

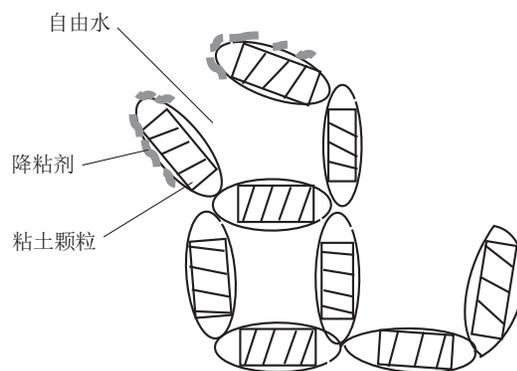


图1 降粘剂作用机理示意

Fig.1 Working mechanism of the viscosity reducer

2 合成聚合物类

天然分子材料是结构已定的一种生物大分子,仅能通过化学改性在分子链上连接具有优秀能力的官能团。合成聚合物类降粘剂有自己的一大优势,采用分子结构设计,通过共聚反应合成指定链结构的聚合物,由此合成一种能满足特定需要的钻井液降粘剂。目前虽然在合成聚合物类降粘剂研究较多,但就合成单体材料而言,多以AMPS、丙烯酸(AA)、丙烯酰胺(AM)、MA等单体材料为主,与之前没有太大区别。尽管针对一些单体的研究工作初具规模,但其生产工艺复杂,产品收率低、成本高,限制了其应用。随着高温、深井等带来的各种井下复杂条件的出现,还需要合成新型单体,以及在其合成方法、工艺与生产工艺上继续攻关,为新型高效钻井液降粘剂开发新原料。

经查阅文献,近10年来合成聚合物类降粘剂汇总见表1^[6-23]。

2.1 含羧酸基团类

以苯乙烯(St)与AMPS和AA为原料,N,N-二甲基甲酰胺为溶剂,过氧化苯甲酰为引发剂制得

表1 聚合物类降粘剂汇总

Table 1 Summary of polymer viscosity reducers

类别	主要原料	名称	作用
含羧酸基团类	苯乙烯、AMPS、AA	St/AMPS/AA共聚物	降粘、抗温
	AA、AMPS	AA/AMPS聚合物	
	AMPS、AA、丙烯酸甲酯、DMDAAC	KGDP	
	MA、苯乙烯	MA/苯乙烯二元共聚物	降粘、抗温、抗盐
	AA、AMPS、AM/AMAC	乙烯基聚合物	
	AM、AMPS、AAI	AM/AMPS/AAI共聚物	
	AMPS、MA、AA	HRT	
AA、AMPS、不饱和脂、DMDAAC	HTP-2	降粘、抗温、抗盐、抗钙	
AMPS、MA	AMPS/AM聚合物		
含磺酸基团类	MA、丙烯磺酸钠(SAS)、AMPS	MA/SAS/AMPS共聚物	降粘、抗温
	苯乙烯磺酸钠(SSS)、MA	SSMA	降粘、抗温、抗盐
	AA、IA、AMPS和苯乙烯(St)	AMPS/St/AA共聚物、AMPS/St/IA共聚物	
	AA、DMDAAC	AA/DMDAAC共聚物	
	AMPS、MA	AMPS/MA聚合物	降粘、抗温、抗盐
	阴离子盐类单体、AM	马来酸酐-磺酸盐聚合物	
	苯乙烯磺酸钠(SSS)、AM、AA	JNG-1	
AA、AMPS、阳离子聚合物	MHRT		
含阴、阳离子基团的两性类	甲基丙烯酰胺异丙基磺酸钠盐(MAIS)、N、N-二甲基丙烯酰胺(DMAA)、甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DMC)	HF-2	降粘、抗温、抗盐

St/AMPS/AA共聚物。其分子具有苯环和C-C主链结构,热稳定性很好,磺酸基和酰胺基提高其抗温性能的同时也与极性基团羧基在水中解离形成扩散双电层,提高粘土颗粒表面负电性,增加水化层厚度,拆散粘土颗粒网状结构,故可用作抗高温降粘剂,具有良好降粘效果^[6]。AA、AMPS为单体,在过硫酸铵引发体系下,以具有抗氧化能力次亚磷酸钠作为链转移剂制备降粘剂,即使在200℃下也有更好的降粘性能^[7]。以AMPS、AA、丙烯酸甲酯和二甲基二烯丙基氯化铵(DMDAAC)作为聚合物单体,在过硫酸铵、亚硫酸氢钠引发体系下合成低分子量聚合物KGDP,其分子链热稳定性强,抗温性能优异,降粘效果相较于同类降粘剂而言表现更出色^[8]。以乙烯基为单体采用二元共聚与三元共聚方法,二元共聚AMPS/AA,三元共聚AA/AMPS/MA、AA/AMPS/AM、AA/AMPS/AMAC(丙烯基三甲基氯化铵),再加入引发剂和链转移剂合成一种乙烯基聚合物降粘剂产品,此产品抗高温可达200℃,现

场使用配伍性好,降粘效果优异,有较好的抗盐性能^[9]。以AA、AMPS、不饱和脂(UA)、DMDAAC按单体比例为9:11:6:6反应得低分子量聚合物HTP-2,热稳定性好(240℃)、抗盐、抗钙性能强,降粘效果突出^[10]。以AMPS、MA为单体,采用水溶液自由基共聚方式合成了AMPS/MA共聚物降粘剂,并利用红外光谱仪和核磁共振仪对结构进行表征并分析降粘性能,结果表明,此共聚物降粘剂产品加量0.5%时降粘效果最佳,降粘率>50%,即使高温下降粘效果也较好,抗钙达20g/L,适用于高盐含量高密度钻井液基浆^[11]。选用MA、苯乙烯作为原料在引发剂过氧化苯甲酰BPO作用下合成聚合物用作降粘剂,抗温可达150℃,在加量为1%时降粘率可达到最大值48.57%^[12]。以AM、AMPS、AAI为原料,单体摩尔比为1:2:2,过硫酸铵、亚硫酸氢钠为引发剂通过水溶液聚合反应,制得了AM/AMPS/AAI,降粘效果较好,抗温达220℃,同时具有较好的抗盐性能^[13]。以AMPS、MA、AA等单体

为原料,异丙醇为链转移剂,过硫酸铵为引发剂,通过水溶液共聚合方法,合成了一种新型高效钻井液用降粘剂HRT,在高温老化后仍具有较好的降粘效果和抗盐能力^[14]。

含羧酸基团类多元共聚物钻井液降粘剂是指含羧酸基团的单体与AM等单体聚合得到的共聚物降粘剂。其羧酸基团易水化,相对分子质量低,易溶于水,无毒无污染,高温稳定性好。

2.2 含磺酸基团类

以对SSS、MA为原料,在链转移剂、引发剂的共同作用下聚合得到苯乙烯-马来酸酐(SMA),经磺化后得到磺化苯乙烯-马来酸酐(SSMA),含磺酸基团的SSMA能有效地拆散钻井液中的粘土颗粒结构、降低钻井液的粘度和切力,有更好的抗盐性能,抗高温性能^[15]。以AA、IA、AMPS和苯乙烯为单体,分别合成了AMPS/St/AA和AMPS/St/IA两种聚合物降粘剂,在相同加量情况下,AMPS/St/AA共聚物降粘剂相比AMPS/St/IA共聚物降粘剂有更好的降粘、抗高温、抗盐能力^[16]。以AA、DMAAC为原料,通过引入其他功能性单体进行反应得到一种新型降粘剂,该产品只需加入较少的量就有不错的抗温、抗盐、降粘能力^[17]。以MA、丙烯磺酸钠(SAS)、AMPS为原料,过硫酸铵为引发剂,单体摩尔比为5:4:4,合成了一种耐高温水基钻井液降粘剂MA/SAS/AMPS,在常温下用于水基钻井液降粘率可超80%,保持钻井液降粘率为65%的情况下抗高温达240℃^[18]。以AMPS、MA为原料进行溶液聚合制得AMPS/MA二元共聚物降粘剂,经红外分析表明含有磺酸和羧酸水化基团,加量为0.5%时,可在高含盐量高密度泥浆高温老化条件下达到超过20%的降粘率^[19]。以马来酸酐-磺酸盐共聚物为主体合成了新型降粘剂,降粘率可达90%以上,抗高温达180℃,具有环保对环境无毒、加量少的特点,同时具有较好的抗盐能力^[20]。以SSS、AM和AA为原料,以最佳单体摩尔比 $n(\text{SSS}):n(\text{AM}):n(\text{AA})=2:1:4$ 合成了SSS/AM/AA共聚物降粘剂,有较好的抗温能力,在盐浓度为30%的盐水泥浆中降粘率仍可达60%以上^[21]。

含磺酸基团类聚合物一般指含磺酸基团的单体与AM、MA等单体的共聚物,相较于含羧酸基单体共聚物在钻井液中有更强的抗温抗盐能力。因此应用此类降粘剂能提高钻井液的抗温抗盐能力,改善

其综合性能。

2.3 含阴、阳离子基团的两性类

一些钻井实践表明,阴离子型钻井液体系的局限性很多,如钻井液的静结构力强,抑制钻屑及粘土的水化分散能力不足等,故引入具有不同结构的阳离子单体进行合成,可得到一系列两性离子型共聚物。用AA和AMPS为原料,异丙醇作链转移剂,过硫酸铵作引发剂合成了低相对分子质量聚合物,然后加入二甲胺和环氧氯丙烷进行反应得阳离子聚合物,将合成的AA/AMPS聚合物水溶液和阳离子聚合物水溶液复配制备了一种抗高温降粘剂MHRT,降粘效果好,抗温高达250℃^[22]。单体甲基丙烯酰胺异丙基磺酸钠盐(MAIS),N,N-二甲基丙烯酰胺(DMAA),甲基丙烯酰氧乙基三甲基氯化铵(DMC),其单体摩尔质量配比4:6:5,与链转移剂异丙醇与引发剂过硫酸铵一起反应得两性离子聚合物降粘剂产品HF-2适用于各种钻井液体系中,降粘效果好且加量低,抗温可达200℃以上^[23]。

此类聚合物降粘剂的分子结构同时含有阳离子和阴离子,相较于传统的阴离子型聚合物,两性离子聚合物类降粘剂性能更强。深井钻进导致的高温容易造成钻井液基浆中粘土颗粒膨胀分散导致基浆变粘,聚合物的抗温能力与能否抑制粘土分散有很大关系,因此引入阳离子聚合物使产品中含有少量的阳离子基团与粘土颗粒发生离子性吸附,有效抑制粘土水化分散。

3 天然材料改性产物

天然材料改性产物类降粘剂主要有改性木质素、改性腐殖酸、改性栲胶,具有原料丰富、价格低廉、环保无污染的优点,但其不能直接用于钻井作业流体中,材料本身抗温抗盐能力不足,故需通过高分子化学改性、接枝共聚改性方法对天然材料进行深度改性,合成具有优秀抗温抗盐能力的天然材料改性产物类降粘剂。

3.1 改性木质素类

以AA和木质素磺酸钙(SL)为原料,通过自由基共聚反应对SL进行羧基接枝改性,合成的接枝共聚物SL-AA具有明显的降粘作用,通过氢键吸附于粘土表面带来高的负电荷密度及提高其水化层厚度,拆散粘土颗粒形成的网架结构。由于引入磺酸基团,所以SL-AA抗温及抗盐抗钙能力较强,并

且环保、原料丰富、价格低廉,利于推广使用^[24]。以苯乙烯磺酸钠、MA、SL为原料,在过硫酸铵引发体系下合成的接枝改性木质素磺酸钙降粘剂(SMLS),降粘性能优异,在淡水、盐水及钙处理钻井液中的降粘率均可达70%以上,由于其分子链引入大量磺酸基,故抗盐、抗温性能好^[25]。木质素磺酸钠(MLSS)经化学改性并与三聚磷酸钠配伍,制得复合改性木质素基钻井液用降粘剂(CMLS),具有明显的降粘效果、优异的抗温性能,其中 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 抑制高温下粘土水化,也抑制高温下降粘剂降解^[26]。无机磷酸盐类降粘剂抗温能力差,FCLS降粘剂不环保,由此将无机降粘剂与改性无铬木质素以马尾松硫酸盐制浆黑液为原料,进行化学改性,最终得复合型改性木质素基钻井液用降粘剂。该降粘剂既能发挥无机降粘剂良好的降粘作用,又具有木质素系降粘剂良好的抗温、抗盐效果,具有较好的协同作用^[27]。接枝改性木质素磺酸钙钻井液降粘剂,原料为木质素磺酸钙、抗温耐盐型单体NS-1、AM和AA,在硝酸铈铵引发体系下通过水溶液聚合法制得。其加量为1.5%时,降粘率可达81.83%,在120℃的条件下,降粘率为61%,在10% NaCl、1.5% $CaCl_2$ 的钻井液中,降粘率均能达到60%及以上^[28]。

木质素作为制浆造纸工业的副产品,其储量丰富,经过化学改性作为钻井液处理剂,可实现其价值最大化,是今后木质素改性利用的重点。

3.2 改性腐殖酸类

腐殖酸和聚丙烯腈作为主要原料,与复合交联剂进行接枝共聚制得一种新型腐殖酸接枝聚合物降粘剂。其中,小分子钠盐需要通过聚丙烯腈水解、氧化制得,再将小分子钠盐与腐殖酸接枝共聚得到HMPS,有一定降粘能力但抗盐性能不佳。故以尿素和乙酸锌做交联剂对小分子钠盐和腐殖酸两者进行交联得降粘剂样品FQ,降粘效果明显提升且与铁铬木质素磺酸盐FCLS降粘效果相当,实验结果见表2^[29]。

此种改性腐殖酸类降粘剂产品比较环保,不存在污染环境的问题。抗温、抗盐性与铁铬木质素磺酸盐性能相当的同时也降低了降粘剂的生产成本,使产品更具性价比与市场竞争力。

3.3 改性栲胶类

从最初的栲胶碱液到磺化栲胶一直到接枝改性

表2 FQ与FCLS性能对比评价

Table 2 Comparison of FQ and FCLS performance

配方	老化条件	AV/ (mPa·s)	PV/ (mPa·s)	YP/ Pa	降粘 率/%
淡水基浆	常温	22.0	3.0	29.5	—
	150℃×16h	33.0	16.0	19	—
淡水基浆+ 0.8%FQ	常温	10.0	8.0	6.5	84.8
	150℃×16h	23.5	12.0	8	86.5
淡水基浆+ 0.8%FCLS	常温	9.5	8.0	7.75	84.8
	150℃×16h	15.0	12.5	9.25	75.7
盐水基浆	常温	36.3	10.5	56.8	—
	150℃×16h	31.8	9.5	22.3	—
盐水基浆+ 3%FQ	常温	15.0	9.0	6	67.0
	150℃×16h	19.0	10.0	9	54.5
盐水基浆+ 3%FCLS	常温	15.5	7.5	8	68.0
	150℃×16h	15.5	10	12	73.9

产物,在钻井液中起降粘作用的同时具有一定的降滤失作用。利用栲胶分子的化学活性,引入新的水化基团、抗温抗盐基团,使其具有更好的水溶性和抗温抗盐能力。以改性栲胶作为原料,既不像聚合物类降粘剂对pH值有较严格的要求,又不像铁铬木质素磺酸盐类含铬降粘剂会对环境造成污染,并且栲胶原料丰富、制作工艺简单,因此改性栲胶类降粘剂成为在现有众多钻井液降粘剂中重要的一部分^[30]。以栲胶为原料与亚硫酸氢钠和甲醛反应,制得适用于水基钻井液的降粘剂产品,具有较好的耐温抗盐能力,能用于深井底部高温环境中^[31]。栲胶与AMPS、AA进行接枝共聚得到用于水基钻井液降粘剂产品,其可适用于深井高温钻井,有较好的抗盐、抗钙性能,同时具有一定的降滤失和防塌作用^[32]。

尽管在栲胶改性方面取得了一些成就,但仍需要对栲胶的深度改性做更多的工作,以更好地应用于改善钻井液的流变性。

4 利用工业废料制备的降粘剂

利用工业废料制备降粘剂在目前降粘剂材料成本不断上升的形势下显得尤其重要,高性能低成本钻井液处理剂一直是人们的追求。我国每年产生成百上千吨工业废料,且大部分具有可再生性,意味着其储量丰富,同时价格低廉、绿色环保。有利于实现工业废料价值最大化,符合可持续发展理念。针对

此方面的研究有一些报道,但真正应用于现场的并不多。加强对这类降粘剂的深入研究及其研究成果的转化与推广,对于促进钻井液技术进步意义重大。

为此,利用有机环保的磺化剂对造纸厂废液碱木素通过化学改性深加工成一种钻井液用抗温抗盐降粘剂TX,适用于高密度、高固相含量钻井液。没有类似铁铬木质素磺酸盐、磺化丹宁和磺化褐煤的细分散缺点,抗温可达200℃,抗钙达5g/L以上。此降粘剂降低了钻井液粘度与切力、改善流变性和触变性的同时具有良好的抗温、抗盐抗钙能力且不起泡,无副作用^[33]。我国年产生150万t的林产废弃物板栗刺壳,对其进行栲胶的提取、改性,以栲胶:KOH(质量比)=5:3,加入量为10mL时得到的降粘剂可以产生较好的降粘效果,但在盐分含量较多的油田中不能产生较好的降粘效果。同时具有一定的抑制性和降滤失性,也有很好的抗温性能。由此可得出结论,利用生产废料板栗刺壳栲胶制备降粘剂具有可行性^[34]。

5 结论

近年来国内在钻井液降粘剂研究方面取得了可喜的进展,尤其是随着高温深井钻进以及特殊钻井条件需求日益突出,对适用于高温、高盐和高密度钻井液降粘剂展开了深入的研究。近来对合成聚合物类降粘剂的研究量居多,对天然材料改性类的研究量次之,两者均呈增长趋势,利用工业废料制备环保降粘剂也逐渐受到重视。但还存在一些不足,如天然材料改性类降粘剂其改性大多基于传统方法,没有更好的新思路、新方法。合成聚合物类成本普遍偏高,且大多利用一些老式单体进行二元或多元共聚物的合成,未能使产品结构和性能发生实质性变化。就利用工业废料制备降粘剂方面并未展开很多研究,涉及面比较窄。综述这3大类降粘剂产品发现多数是基于室内研究进行评价,未能应用于现场。

为今后加强钻井液降粘剂的研究与应用,进一步提高钻井液降粘剂技术水平,满足工业发展的需要,降粘剂研究方向为:

(1)降粘效果优异是降粘剂的前提,同时成本低、环保^[35]、更好的抗温抗盐能力始终是钻井液降粘剂的发展目标。

(2)随着深井、超深井的需求日益增长,意味着钻井液能否适用于高温、高盐、高压地层变得十分关

键^[36],高温高密度钻井液用降粘剂是未来的发展方向与趋势。

(3)在继承的基础上,合成新型单体用于共聚反应,对于处理剂合成,要真正上升到分子设计的层次,准确理解分子设计。

(4)应时刻加强对钻井液降粘剂理论深入的研究,研发更多新型钻井液降粘剂,在室内研究的基础上还应进行成果转化,更好地投入实践中。

(5)更加重视工业废料的利用,这既能高效利用废料,降低钻井液成本,又有利于环保。

参考文献(References):

- [1] 李旭方,熊正强.抗高温环保水基钻井液研究进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):32-39.
LI Xufang, XIONG Zhengqiang. Research progress on high temperature resistant and environment friendly water-based drilling fluid [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):32-39.
- [2] 刘畅,冉恒谦,许洁.干热岩耐高温钻井液的研究进展与发展趋势[J].钻探工程,2021,48(2):8-15.
LIU Chang, RAN Hengqian, XU Jie. Research progress and development trend of high-temperature drilling fluid in hor dry rock [J]. Drilling Engineering, 2021,48(2):8-15.
- [3] 苏光.探究钻井液用降粘剂的合成与评价[J].化工管理,2018(1):221.
SU Guang. Explore the synthesis and evaluation of viscosity reducers for drilling fluids [J]. Chemical Enterprise Management, 2018(1):221.
- [4] 曹秀云.环保型稀释剂HBF-1的室内评价[J].化工管理,2020(9):65-66.
CAO Xiuyun. Indoor evaluation of environmentally friendly thinner HBF-1 [J]. Chemical Enterprise Management, 2020(9):65-66.
- [5] 陈娟娟.抗温耐盐钻井液降粘剂开发与机理研究[D].大庆:东北石油大学,2014.
CHEN Juanjuan. Research on high-temperature resistance and salt-tolerance thinner for drilling fluid and mechanism of action [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2014.
- [6] 刘立新,杜俊涛,刘顺平,等.耐高温钻井液降粘剂St/AMPS/AA的研制[J].钻井液与完井液,2012,29(2):18-20,90.
LIU Lixin, DU Juntao, LIU Shunping, et al. Research on high temperature drilling fluid thinner St/AMPS/AA [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2012,29(2):18-20,90.
- [7] 张龙军,彭波,彭商平,等.不同链转移剂制备丙烯酸/2-丙烯酰胺基-2-甲基丙磺酸共聚物及其降黏性能研究[J].精细石油化工,2013,30(6):4-7.
ZHANG Longjun, PENG Bo, PENG Shangping, et al. Synthe-

- sis of AA/AMPS copolymer with different chain-transfer agents and its properties as viscosity reducer[J]. *Speciality Petrochemicals*, 2013,30(6):4-7.
- [8] 黄维安,贾江鸿,李树皎,等.抗高温低聚物 KGDP的研制及在深井钻井中的应用[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2015,30(3):72-76,10.
HUANG Weian, JIA Jianghong, LI Shujiao, et al. Development of low molecular polymer (KGDP) with high-temperature resistance and its application in drilling fluid for deep wells[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 2015, 30(3):72-76,10.
- [9] 鲁家荣.抗高温抗高浓度盐水基钻井液降黏剂研制与效果评价[D].成都:西南石油大学,2015.
LU Jiarong. Development and effect evaluation of viscosity reducer for high temperature and high concentration brine-based drilling fluid [D]. Chengdu: Journal of Southwest Petroleum University, 2015.
- [10] 贾敏,黄维安,邱正松,等.超高温(240℃)抗盐聚合物降粘剂的合成与评价[J]. *化学试剂*, 2015,37(12):1067-1072.
JIA Min, HUANG Weian, QIU Zhengsong, et al. Synthesis and evaluation of polymer viscosity reducer with ultra-high temperature (240℃) and salt tolerance [J]. *Chemical Reagents*, 2015,37(12):1067-1072.
- [11] 夏凯.抗高温共聚物降粘剂的合成及其性能研究[D].武汉:武汉理工大学,2016.
XIA Kai. Study on the synthesis and properties of copolymer viscosity agent with high temperature resistance [D]. Wuhan: Journal of Wuhan University of Technology, 2016.
- [12] 张晶.抗高温钻井液降粘剂的研究及性能评价[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2014,34(11):48.
ZHANG Jing. Research and performance evaluation of anti-high temperature drilling fluid viscosity reducer [J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2014, 34(11):48.
- [13] 张太亮,许诗雪,黄志宇.抗高温钻井液聚合物降粘剂研究[J]. *应用化工*, 2014,43(8):1473-1476,1488.
ZHANG Tailiang, XU Shixue, HUANG Zhiyu. Research on drilling fluid polymer viscosity reducer with high temperature resistance [J]. *Applied Chemical Industry*, 2014, 43(8):1473-1476,1488.
- [14] 鲁家荣,王平全,王波,等.钻井液用高效降粘剂HRT的研制与评价[J]. *内蒙古石油化工*, 2015,41(17):10-13.
LU Jiarong, WANG Pingquan, WANG Bo, et al. Effective viscosity reducer HRT used in drilling fluid develop and evaluation [J]. *Inner Mongolia Petrochemical Industry*, 2015, 41(17):10-13.
- [15] 王飞龙,杨泽星,刘泽,等.钻井液降黏剂SSMA的本体聚合制备与性能[J]. *钻井液与完井液*, 2017,34(6):8-12.
WANG Feilong, YANG Zexing, LIU Ze, et al. Study on the performance of SSMA—A thinner made through mass polymerization [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2017, 34(6):8-12.
- [16] 杜俊涛,刘立新,陈娟娟,等.两种2-丙烯酸酰胺基-2-甲基丙磺酸类抗高温钻井液降黏剂的合成与评价[J]. *精细石油化工*, 2015,32(2):16-20.
DU Juntao, LIU Lixin, CHEN Juanjuan, et al. Synthesis and evaluation of high temperature resistance drilling fluid viscosity reducer [J]. *Speciality Petrochemicals*, 2015,32(2):16-20.
- [17] 曹书金,王雅新,卢景峰,等.耐温抗盐降黏剂的研制及评价[J]. *精细石油化工进展*, 2012,13(7):31-34.
CAO Shujin, WANG Yaxin, LU Jingfeng, et al. Development and evaluation of viscosity reducer with heat-resistance and salt-tolerance [J]. *Advances in Fine Petrochemicals*, 2012, 13(7):31-34.
- [18] 赵晓非,陈娟娟,娄刚,等.MA/SAS/AMPS共聚物耐高温钻井液降粘剂的研制[J]. *化工科技*, 2014,22(2):38-41.
ZHAO Xiaofei, CHEN Juanjuan, LOU Gang, et al. Study on MA/SAS/AMPS copolymer high temperature thinner for drilling fluid [J]. *Science & Technology in Chemical Industry*, 2014,22(2):38-41.
- [19] 夏凯,吴仲岩,王松,等.高含盐量高密度钻井泥浆降粘剂的合成及其降粘性能研究[J]. *湖北大学学报(自然科学版)*, 2016,38(5):465-470.
XIA Kai, WU Zhongkui, WANG Song, et al. Study on the synthesis and properties of viscosity reducer in high salinity and high density drilling mud [J]. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 2016,38(5):465-470.
- [20] 肖沅峰.环保型抗高温抗盐聚合物降粘剂的合成及评价[J]. *科技传播*, 2016,8(10):151-152.
XIAO Fengfeng. Synthesis and evaluation of environment-friendly high-temperature and salt-resistant polymer viscosity reducer [J]. *Public Communication of Science & Technology*, 2016,8(10):151-152.
- [21] 明显森,彭新侠,李强,等.水基钻井液降粘剂JNG-1的合成与性能评价[J]. *应用化工*, 2014,43(1):124-127.
MING Xiansen, PENG Xinxia, LI Qiang, et al. Synthesis and performance evaluation of water-based drilling fluid viscosity reducer JNG-1 [J]. *Applied Chemical Industry*, 2014, 43(1):124-127.
- [22] 张龙军,彭波,林珍,等.抗高温降黏剂MHRT的制备及性能评价[J]. *油田化学*, 2014,31(2):173-176.
ZHANG Longjun, PENG Bo, LIN Zhen, et al. Preparation and properties of high temperature water base drilling fluid thinner MHRT [J]. *Oilfield Chemistry*, 2014,31(2):173-176.
- [23] 郝彬彬,李文波.超高温耐盐型稀释剂HF-2的合成与性能评价[J]. *广东化工*, 2018,45(8):69-71.
HAO Binbin, LI Wenbo. Synthesis and performance evaluation of ultra high temperature salt-tolerant diluent HF-2 [J]. *Guang-*

- dong Chemical Industry, 2018, 45(8):69-71.
- [24] 朱胜,何丹丹.木质素磺酸盐的接枝改性及其应用研究[J].长江大学学报(自然科学版),2012,9(8):16-18.
ZHU Sheng, HE Dandan. Study on graft modification of lignosulfonate and its application[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2012, 9(8):16-18.
- [25] 李骑伶,赵乾,代华,等.对苯乙烯磺酸钠/马来酸酐/木质素磺酸钙接枝共聚物钻井液降粘剂的合成及性能评价[J].高分子材料科学与工程,2014,30(2):72-76.
LI Qiling, ZHAO Qian, DAI Hua, et al. Synthesis and characterization of calcium lignosulfonate grafted with P-styrenesulfonate and maleic anhydride [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2014, 30(2):72-76.
- [26] 陈珍喜,郑福尔,刘剑锋,等.复合型木质素基钻井液降粘剂的工艺条件研究[J].山东化工,2014,43(12):16-18,21.
CHEN Zhenxi, ZHENG Fuer, LIU Jianfeng, et al. Study on synthesis of a novel compound modified lignin-Based viscosity reducer for drilling fluids [J]. Shandong Chemical Industry, 2014, 43(12):16-18, 21.
- [27] 陈珍喜,刘明华.复合型改性木质素基钻井液用降粘剂的性能研究[J].广州化学,2012,37(4):7-11,17.
CHEN Zhenxi, LIU Minghua. Performance study on a novel compound modified lignin-based viscosity reducer for drilling fluids[J]. Guangzhou Chemistry, 2012, 37(4):7-11, 17.
- [28] 王光平,吴洋,刘大海,等.抗温耐盐型钻井液降粘剂合成与性能评价[J].应用化工,2015,44(10):1897-1900,1904.
WANG Guangping, WU Yang, LIU Dahai, et al. Synthesis and performance evaluation of thinner for drilling fluid used at high temperature and salt [J]. Applied Chemical Industry, 2015, 44(10):1897-1900, 1904.
- [29] 孟繁奇,薛伟,张志磊,等.水基钻井液用无铬降粘剂腐植酸接枝聚丙烯腈的制备及其降粘特性[J].工业技术创新,2015,2(3):359-365.
MENG Fanqi, XUE Wei, ZHANG Zhilei, et al. Preparation and properties of humic acid grafted polyacrylonitrile copolymer as a new chromium-free thinner for water-based drilling fluid [J]. Industrial Technology Innovation, 2015, 2(3):359-365.
- [30] 郭南南,艾立玲,车亮,等.改性栲胶在油田应用研究进展[J].化学工程师,2016,30(1):55-57,30.
GUO Nannan, AI Liling, CHE Liang, et al. Research development of modified tannin extract in oilfield application[J]. Chemical Engineer, 2016, 30(1):55-57, 30.
- [31] 陆明富.一种钻井液用降粘剂的制备方法:102676130A [P].2012-09-19.
LU Mingfu. Preparation method of viscosity reducer for drilling fluid: 102676130A[P]. 2012-09-19.
- [32] 陆明富.一种抗高温降粘剂的制备方法:102675560A [P].2012-09-19.
LU Mingfu. Preparation method of anti-high temperature viscosity reducing agent: 102675560A[P]. 2012-09-19.
- [33] 强天佩,黄凯,李竞,等.钻井液用抗温抗盐稀释剂TX的研制与应用[J].石化技术,2016,23(2):154-157.
QIANG Tianpei, HUANG Kai, LI Jing, et al. Development and application of salt and temperature resistant diluent TX for drilling fluid[J]. Petrochemical Industry Technology, 2016, 23(2):154-157.
- [34] 段宝荣,郭景颂,苏立清,等.板栗壳栲胶制备油田用降粘剂的初步研究[J].石化技术,2018,25(2):26-27.
DUAN Baorong, GUO Jingsong, SU Liqing, et al. A preliminary study on the chestnut shell extract prepared with oil viscosity reducer [J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(2):26-27.
- [35] 付帆,陶士先,李晓东.绿色勘查高温环保冲洗液研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(4):129-133.
FU Fan, TAO Shixian, LI Xiaodong. Research on environment-friendly high-temperature drilling for green exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(4):129-133.
- [36] 刘玲榕.抗高温水泥浆体系研究及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(9):29-33.
LIU Lingrong. Research and application of thermostable cement slurry system[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(9):29-33.

(编辑 荐华)