

页岩气钻探冲洗液体系的研究与应用

单文军, 蒋睿, 陶士先, 岳伟民, 李艳宁
(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要: 中国页岩气资源开发潜力巨大, 近年来页岩气勘探开发力度不断加大, 对钻探工艺和技术的要求不断提高。页岩气地层岩性主要为泥岩、砂岩、页岩、碳质板岩、灰岩, 该类地层胶结性差、破碎、井壁强度低, 钻进中易出现孔壁失稳, 发生坍塌、卡钻、埋钻等孔内事故, 需要研制具有强抑制性、低成本、绿色环保的冲洗液体系来保证施工安全。本文通过对页岩气井壁稳定机理的探究, 优选出一种适用于页岩地层双聚防塌和成膜防塌低固相冲洗液体系, 该体系由抑制剂、防塌剂、降失水剂、润滑剂、封堵剂、流型调节剂等处理剂组成, 具有良好的抑制性和胶结性。现场应用取得了良好的效果, 保证了项目的顺利施工。

关键词: 页岩气; 钻探; 双聚; 成膜; 抑制性; 井壁稳定

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)10-0176-06

Research and Application of the Flushing Fluid System for Shale Gas Drilling/SHAN Wen-jun, JIANG Rui, TAO Shi-xian, YUE Wei-min, LI Yan-ning (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Shale gas resource potential is tremendous huge in China. In recent years, the requirements of the drilling process and technology are continue to increase along with the efforts of exploration and development of shale gas and unconventional energy sources. Shale gas formation lithology is mainly mudstone, sandstone, shale, carbonaceous slate and limestone. Because of poor formation cementation, broken and low wall strength, hole wall instability, collapse and sticking or burying accidents were liable to happen in drilling process, the flushing fluid system with strong inhibitory, good compatibility, low cost, green environmental protection drilling fluids is needed in the drilling engineering construction. Based on the research on the mechanism of shale borehole wall stability, a low solid phase flushing fluid system with double polyethylene anti-sloughing and film forming anti-sloughing is optimized, which is suitable for shale formation. The system is consisted of inhibitors, anti-sloughing agent, agents, fluid loss additives, lubricants, blocking agents and flow pattern regulators with good inhibition and cementation. Good construction effects have been achieved in a number of field applications.

Key words: shale gas; double polyethylene; film formation; inhibition; borehole wall stability

由于页岩气资源具有开发潜力大、开采寿命长和生产周期长等优点, 已成为当前可再生能源研究的热点。页岩气是一种以多种相态存在、主体上富集于泥页岩(部分粉砂岩)地层中的天然气聚集体。页岩地层裂缝发育, 水敏性强, 钻进过程中易于发生坍塌、掉块、缩径等复杂情况, 基于页岩气钻井的特点, 本文研制了双聚防塌和成膜防塌低固相冲洗液体系, 该体系抑制性强、防塌效果好、流变性好、携砂能力强, 在不同页岩气勘探施工现场应用中取得了良好的效果。

1 页岩气井壁稳定机理研究

页岩气钻井地层中含有大量强水敏强、硬脆性泥质页岩、炭质泥岩、炭质板岩, 极易导致坍塌掉块、

剥落, 目前, 水基冲洗液在页岩气钻井施工中需要解决的核心问题是如何保证页岩地层的井壁稳定, 而井壁稳定主要取决于3个方面: 合理的冲洗液密度; 足够的水化抑制性; 良好的微裂隙封堵能力。

(1) 冲洗液合理的密度。主要用于平衡井眼的井壁坍塌压力, 可以通过加入加重剂进行调节。

(2) 冲洗液的水化抑制能力。主要指冲洗液阻止地层中水敏性地层(粘土)在原有水化状态下的进一步水化的能力。粘土水化包括表面水化和渗透水化。抑制表面水化主要依靠使冲洗液中水相的水的化学位(活度或渗透压)小于地层中粘土表面吸附水的化学位(活度)来实现。而抑制渗透水化要求冲洗液水相矿化度大于地层水矿化度。页岩水化膨胀, 会大大增加地层的坍塌压力, 造成井壁不稳

收稿日期: 2016-06-27

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价项目“重点成矿带钻探冲洗液关键技术与示范”(编号: 12120113097400)

作者简介: 单文军, 男, 汉族, 1985年生, 工程师, 硕士, 从事冲洗液技术研究与应用工作, 北京市海淀区学院路29号, 82675667@qq.com。

定,同时长井段水平井钻井造成的地层长期浸泡而大大激化了这种作用。同时冲洗液抑制性与冲洗液性能之间的矛盾未能根本解决,其兼顾协调结果使各种抑制剂的抑制性被削弱,从而使水基冲洗液的抑制性常常比预计的要低。

(3)由于冲洗液中的自由水侵入页岩地层中大量纳米级孔隙、裂缝(3~100 nm),可以引起岩石力学的变化和强度的降低,会导致地层的 $P_{\text{塌}}$ 大幅增加,从而导致井壁的不稳定。冲洗液接触在页岩地层中(纳米级)细微裂缝时,在正压差作用下冲洗液发生滤失,但由于纳米级裂缝太小,绝大多数固相粒子无法进入,而现有冲洗液体系中纳米级粒子较少,无法对大量(纳米级)细微裂缝进行有效封堵,而滤液可进入引起井壁坍塌。因此需要依靠粒度与裂缝尺寸相匹配的颗粒对井壁进行有效的封堵,从而控制地层坍塌压力的上升,降低井壁坍塌危险。

2 页岩气冲洗液体系组成及性能

针对页岩气特殊地层,在实验室设计了双聚-成膜低固相冲洗液体系。

2.1 材料组成

页岩气钻探用双聚-成膜低固相冲洗液体系处理剂及作用如下。

(1)钠膨润土:造浆材料,具有造浆护壁作用。

(2)包被剂(BBJ):是由丙烯酸、丙烯酰胺等单体共聚而成。在泥浆中具有调节流型、抑制钻屑分散、絮凝钻屑的作用,并具有良好的增粘、降失水及抗盐、抗温能力。

(3)降失水剂(GPNA):是一种分子量较低的冲洗液用聚合物降滤失剂,具有良好的降滤失和抗盐效果。

(4)防塌性随钻堵漏剂(GPC):具有良好的水溶胀桥接封堵功能,粘附性强,与传统的随钻堵漏剂相比,不受粒径“匹配”限制,适用于各种泥浆体系,可用于封堵漏失层,也可保护低压产层(油气、水等)。

(5)增粘剂(GTQ):具有增粘、提切、降失水、抗污染等功能,可用于配制淡水、盐水和海水冲洗液。

(6)成膜A剂和B剂:是一种具有较强成膜性和粘接性的护壁材料,对于强水敏分散剥落地层具有良好的护壁效果,并能显著提高取心质量。

(7)环保型固体润滑剂:该固体润滑剂活性组

分具有很强的吸附能力,能迅速在金属表面和冲洗液中的固体颗粒的表面形成牢固的吸附膜,保证冲洗液具有高的润滑性,降低冲洗液流动阻力,降低摩擦系数及扭矩,延长钻具使用寿命,减少粘附卡钻事故的发生。

2.2 配方及性能

表1 分段冲洗液配方及性能

体系	冲洗液配方	性能参数
双聚防塌冲洗液体系	1 m ³ 水 + 10~40 kg 膨润土 + 1~5 kg 包被剂(BBJ) + 5~20 kg 降失水剂(GPNA) + 5~15 kg 腐植酸钾 + 10~20 kg 随钻堵漏剂(GPC) + 1~5 kg 增粘剂 GTQ	漏斗粘度:20~30 s 密度:1.03~1.10 g/cm ³ 滤失量≤8 mL/30 min
成膜防塌低固相冲洗液体系	1 m ³ 水 + 0~40 kg 膨润土 + 1~5 kg 包被剂(BBJ) + 5~20 kg 降失水剂(GPNA) + 5~15 kg 腐植酸钾 + 10~20 kg 随钻堵漏剂(GPC) + 1~5 kg 增粘剂 GTQ + 5~10 kg 环保型固体润滑剂 + 10~50 kg 成膜 A 剂 + 0~50 kg 成膜 B 剂	漏斗粘度:20~30 s 密度:1.03~1.10 g/cm ³ 滤失量:≤5 mL/30 min

3 页岩气冲洗液体系现场应用

3.1 双聚防塌和成膜防塌冲洗液体系在山西怀仁鹅毛口页岩气-煤层气预查孔中的应用

3.1.1 项目概况

山西省山阴北周庄-怀仁鹅毛口页岩气-煤层气预查 DY-2 井,是由山西省地勘局二一七地质队施工的一口页岩气井,主要目的是获取石炭二叠系地层及岩心组合特征,查明石炭二叠系山西组和太原组含气页岩段和煤层气储层分布、页岩气、煤层气地质特征及含气特征,为页岩气煤层气资源潜力评价和有利区优选提供地质依据。该孔设计井深1000 m,实际完钻1060.54 m。

3.1.2 施工中存在的难点及问题

(1)上部存在长孔段泥岩地层(见图1),易吸水膨胀和分散造浆。若冲洗液滤失量控制不好,冲洗液流动性差,除泥岩本身吸水膨胀外,还会在孔壁形成虚厚泥皮,很容易造成粘附卡钻事故。

(2)砂岩、灰岩地层中的松散破碎地层容易引起孔壁坍塌和掉块。

(3)页岩孔段,可能存在强分散性地层,极易造成孔壁坍塌。

(4)地质要求无荧光干扰,因此不能采用沥青类防塌材料,增加了防塌的难度。

(5)现场冲洗液存在的主要问题是处理剂加量



图1 井深 508 ~ 517 m 处泥岩岩心

偏低(未达到体系设计加量),导致泥浆失水量较大(失水量 20 mL),泥浆粘度较大(一方面现场无固控设备,无沉降池,且循环管线短;另一方面地层造浆,聚合物加量小),平均每天排浆约 2 m³。另外,钻进时出现了掉块、需扫孔。

3.1.3 现场冲洗液体系配制与维护

一开地层为灰岩、泥岩和砂岩,地层相对稳定,采用配方:1 m³水 + 0.5 ~ 0.7 kg 水解聚丙烯酰胺 PHP + 2 ~ 5 kg 抗盐共聚物 GTQ;性能粘度:漏斗 20 ~ 25 s,密度 1.03 g/cm³ 以下。

二开孔段 220 m 以浅,主要为红色砂质泥岩,该地层造浆、渗透性强(见图 2),吸水后松软、强度低(见图 3);240 m 以后主要为卵砾石层,渗透性强,部分地层松散破碎(见图 4)。为保护孔壁,同时防止孔壁形成虚厚泥皮,在一开冲洗液基础上,添加了降滤失剂(GPNH)和随钻堵漏剂(GPC),将原冲洗液转化为双聚防塌冲洗液,滤失量维持在 8 mL 以下。采用该冲洗液后,孔壁稳定,并顺利钻至 357 m。



图2 171.60 ~ 174.60 m 孔段取出的岩心



图3 172 ~ 173 m 孔段取出的岩心

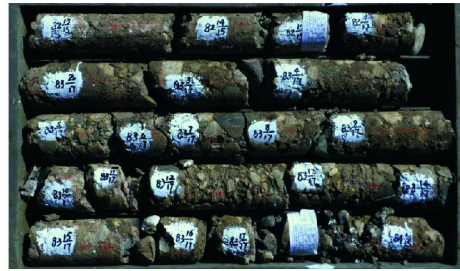


图4 315 ~ 321 m 孔段取出的卵砾石岩心

三开继续采用双聚防塌冲洗液,钻进至 420 m 左右,孔内出现泵压不稳、下钻不到底等现象。观察上部取出的岩心可以看出,357 ~ 366 m 孔段为灰色砂质泥岩(见图 5),易吸水、且吸水后易发生分散。因此将双聚防塌冲洗液转化为成膜防塌冲洗液,孔壁逐渐稳定。钻进至 517 m 时孔内再次出现坍塌、掉块现象,507 ~ 517 m 孔段地层为黑色砂质泥岩(见图 6),分散性较强,因此增大成膜 B 剂加量,实现了孔壁稳定,并顺利钻至 1060.54 m 终孔深度。

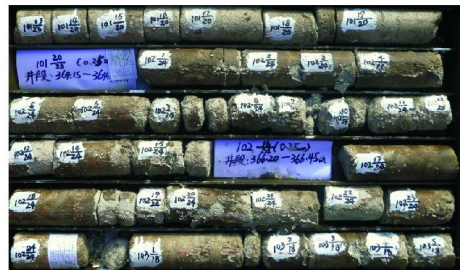


图5 357 ~ 366 m 孔段取出的砂质泥岩岩心



图6 507 ~ 517 m 孔段取出的砂质泥岩岩心

3.1.4 成膜防塌无固相冲洗液体系现场使用效果

使用成膜体系共施工了 1060.54 m,取得了比较理想的效果,具体表现在以下几个方面。

(1)护壁效果好,孔壁稳定。357.60 m(二开套管下深)后孔壁稳定,提下钻无遇阻现象。

(2)泥浆流动性好,岩粉携带能力强,下钻时孔底几乎无沉淀,钻具能直接下至孔底。

(3)抑制造浆能力强,沉砂效果好,及时清理泥浆槽和沉渣池,避免泥浆排放(350 m 之前每班次排放 2 m³ 泥浆)。

3.2 双聚防塌冲洗液体系在湘西北茨岩塘地区桑

页1井的应用

3.2.1 项目概况

湘西北茨岩塘地区页岩气地质调查桑页1井是中国地质调查局油气资源调查中心项目,由湖南省地勘局417队施工。主要钻探目的是探索南方复杂构造区海相页岩的页岩气勘探前景,为研究上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组成藏富集规律提供基础资料。开展本地区页岩气富集层测井识别与解释、评价方法研究,为周边邻区页岩气勘探开发提供基本参数资料。该孔设计深度1800 m,实际钻孔深度1710 m。

3.2.2 施工中冲洗液存在的主要问题

现场配制的冲洗液(2014-12-4,钻进深度1345 m),采用的是低固相冲洗液体系,所用泥浆材料为钠土、高粘羟丙基纤维素 HPMC、纯碱、烧碱、广谱护壁剂、腐殖酸钾、聚丙烯酰胺、聚丙烯酸钾 KPAM 等。现场配方:4% 钠土 + 0.2% HPMC。泥浆粘度 27 ~ 30 s,失水 36 mL,密度 1.13 ~ 1.15 g/cm³。冲洗液主要有以下几个问题:

(1) 地层造浆、岩屑沉降效果差,固控系统效果差,因此需频繁排浆;

(2) 泥浆循环管线短,仅有两个 10 m³ 左右的循环池,无沉淀池,冲洗液密度增加较快;

(3) 现场无配浆罐,每次只能往循环泥浆中补充清水,然后加材料,且聚合物不容易分散;

(4) 现场加的冲洗液处理剂量不足及质量存在一定的问题,且缺乏有效的处理剂,导致泥浆失水量大,泥皮虚厚。

(5) 泥浆润滑性差,现场无润滑剂。

3.2.3 防塌聚合物冲洗液现场试验

由于使用原体系存在孔壁坍塌掉块、携带岩粉能力及岩屑沉降效果差导致频繁排浆等问题,2014年12月10日,湖南省地勘局417队决定使用防塌聚合物冲洗液体系。

(1) 现场冲洗液配方:3% ~ 4% 钠土 + 1% ~ 2% 铵盐 + 1% ~ 2% 随钻堵漏剂 GPC + 1% ~ 2% 降失水剂 GPNH + 0.2% ~ 0.3% 包被剂 BBJ + 0.1% ~ 0.5% 高粘纤维素 CMC - HV + 1% ~ 2% 润滑剂 GLUB。

(2) 冲洗液配制与维护:先将降失水剂、随钻堵漏剂等依次加入到配浆罐中,待充分溶解或分散均匀后,加入包被剂和高粘纤维素,充分搅拌后,倒入泥浆池中搅拌均匀,正常循环后逐步补充处理剂。

(3) 冲洗液性能:密度 1.05 ~ 1.13 g/cm³,粘度 35 ~ 45 s,滤失量 5 ~ 10 mL/30 min。

3.2.4 防塌聚合物冲洗液现场使用效果

采用的是全面钻进、定点取心工艺,岩心采取率要求高,由于现场固控系统及泥浆循环系统存在一定的局限性,所以在钻进时要及时清除沉淀池和循环槽中的岩粉。经常测量泥浆粘度,保持正常钻进时泥浆粘度在 40 s 左右,无掉块现象,携带效果好,加入包被剂后,原先泥浆中的劣质岩粉被清除出来。

使用防塌聚合物冲洗液体系共施工了 400 m,取得了比较理想的效果,具体表现在以下几个方面。

(1) 护壁效果好,孔壁稳定。1350 ~ 1710 m 钻进时孔壁稳定,无坍塌掉块,提下钻无遇阻现象。

(2) 泥浆流动性好,岩粉携带能力强,下钻时孔底几乎无沉淀,钻具直接就能下到孔底。

(3) 抑制造浆能力强,沉砂效果好,只要现场按时清理泥浆槽和沉渣池,即可避免泥浆排放。此前使用的钠土聚合物泥浆体系,泥浆增稠比较严重,每隔两天就得排放一次泥浆。

(4) 防塌聚合物冲洗液体系,配制方法简单,维护方便。

(5) 套管以下地层井壁稳定。

3.3 双聚防塌和成膜防塌低固相冲洗液体系在甘肃武威盆地“武页1井”中的应用

3.3.1 项目概况

《甘肃省页岩气有利目标选区基础地质条件调查(武威盆地)》该项目由甘肃省地质调查院承担,计划实施武威盆地 2200 m 钻探施工任务。施工单位为陕西省一八五煤田地质有限公司。主要钻探目的是查明主要页岩层段的分布,并进行有机地球化学特征、储集特征和含油气性研究,探索页岩气形成条件、富集规律以及控制因素,获取系统的页岩气评价参数,评价研究区页岩气资源潜力,优选页岩气远景区和有利目标区。设计井深 2200 m,完钻井深 1915.55 m。

3.3.2 现场施工存在的问题及冲洗液方案

(1) 800 m 以浅,存在着大孔段的破碎地层、胶结松散的粗砂岩地层(见图7、图8),钻进中遇水剥落、坍塌掉块地层。

(2) 800 m 以深,地层岩性主要以灰岩、页岩为主,泥岩夹粉砂质泥岩、松散的炭质板岩(见图9、10)及粉砂质条带,水敏严重,炭质板岩地层剥落严重。



图7 破碎地层岩心



图8 松散的粗砂岩

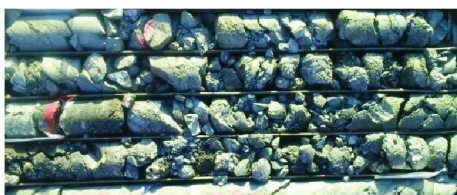


图9 泥岩夹粉砂质泥岩



图10 松散的炭质板岩

(3)地质录井工作的需求,不可使用具有荧光类的材料。现场禁止沥青类、油类润滑剂材料的加入。

针对以上页岩气施工中存在的问题,优选使用双聚防塌和成膜防塌冲洗液体系。浅部地层选用双聚防塌冲洗液体系。深部地层若遇到强水敏、强分散的炭质页岩、炭质板岩等地层,在双聚体系基础上转换成成膜防塌冲洗液体系。

3.3.3 双聚防塌和成膜防塌体系分散及隔水性能试验

采用现场取出的松散、水敏性较强、渗透率较高的岩心块(见图11~14),分别用双聚体系、成膜体

系及清水浸泡。



图11 强分散、水敏岩心块

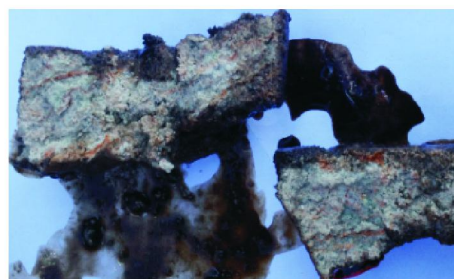


图12 双聚体系浸泡2 h后岩心内部状况



图13 成膜体系浸泡2 h后岩心内部状况



图14 清水浸泡10 min后岩心状况

从图14可以看出,该岩心的水敏性很强,10 min后全部松散。用双聚冲洗液浸泡2 h后的岩心强度提高,泥浆略有侵入。成膜体系浸泡的岩心,强度较高,无泥浆侵入。

3.3.4 双聚防塌和成膜防塌低固相冲洗液体系现场试验效果

一开、二开采用双聚-成膜防塌低固相冲洗液体系,其中二开50~300 m使用双聚防塌冲洗液体系,遇到松散破碎、强水敏性地层,逐步加入成膜B剂转换成成膜防塌冲洗液体系,共完成试验工作量1915.55 m,由于完成了现场钻探施工的目的,提前完钻。现场试验取得的效果如下。

(1)护壁效果好,井壁稳定。每次起下钻均无遇阻现象,取心时下钻到底。下套管时井壁稳定,提下钻无遇阻现象。

(2)抑制浆能力强,泥浆流动性好,岩粉携带能力强、地表沉降效果好。下钻时井底几乎无沉淀,钻具直接就能下到井底。

(3)岩心采取率高,采用成膜防塌低固相冲洗液体系后,岩心采取率100%。

(4)使用成膜防塌低固相冲洗液体系后,正常钻进期间泵压2~4 MPa。

(5)双聚-成膜防塌低固相冲洗液体系,配制方法简单,维护方便。

4 结论

通过大量的试验研究及在不同页岩气钻孔的现

场使用,双聚-成膜低固相冲洗液体系针对页岩气钻进中破碎、强分散、强水敏性地层,能够满足现场施工的要求。主要有以下几个方面的优点:

(1)双聚防塌冲洗液体系,护壁效果好,针对破碎、坍塌掉块地层,具有强封堵性能,抑制孔壁坍塌掉块效果良好;

(2)成膜防塌冲洗液体系,有效地防分散作用,能在强分散岩心表面形成一层致密有韧性的保护膜,有效地保证了取心质量和采取率;

(3)携砂能力强,流动性好,配制简单,维护方便,提高了钻探效率。

参考文献:

- [1] 鄢捷年. 冲洗液工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社, 2005.
- [2] 陶士先,李晓东,吴召明,等. 强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J]. 地质与勘探, 2014, 50(9): 1147-1154.
- [3] 胡继良,陶士先,纪卫军,等. 破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9): 30-32.
- [4] 李攀义,单文军,储伟,等. 双聚防塌冲洗液体系在GHW2井中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(5): 12-15.
- [5] 李浩,陈礼仪,陈尔志,等. 新型水基冲洗液成膜处理剂的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(4): 20-22.
- [6] 孙金声,林喜斌,张斌,等. 国外超低渗透冲洗液技术综述[J]. 冲洗液与完井液, 2005, 22(1): 57-59.
- [7] 徐同台,赵忠举,袁春,等. 国外冲洗液和完井液技术的新进展[J]. 冲洗液与完井液, 2004, 21(3): 1-10.
- [8] 张克勤,方慧,刘颖,等. 国外水基冲洗液半透膜的研究概述[J]. 冲洗液与完井液, 2003, 20(6): 1-5.
- [9] 王中华. 页岩气水平井冲洗液技术的难点及选用原则[J]. 中外能源, 2012, 17(4): 43-47.