

无固相弱凝胶钻井液在水井施工中的应用

吴跃钢¹, 徐菁²

(1. 武汉金瑞威基础工程有限公司, 湖北 武汉 430080; 2. 武汉高力源工程技术有限公司, 湖北 武汉 430070)

摘要:结合水井施工实例,开展了对无固相弱凝胶钻井液及生物酶破胶剂的应用研究。弱凝胶钻井液具有独特的流变性,动塑比高、低剪切速率粘度高,有很好的携砂能力,除具备冷却钻头、清除孔底岩屑、护壁防塌功能外,还具有无固相,不易堵塞地层孔隙,减少钻井液中固相对含水层的伤害的特点。加入生物酶破胶剂后,能清除在井壁形成的泥皮,疏通水流通通道,取得了单井出水量和渗透系数有较大增加的应用效果,对在水井施工中加强含水层的保护提供了新的方法。

关键词:无固相弱凝胶钻井液;水井;生物酶;破胶;含水层保护

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0261-04

Application of Solid-free Weak Gel Drilling Fluid in Water Well Construction/WU Yue-gang¹, XU Jing² (1. Wuhan Jinrailway Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan Hubei 430080, China; 2. Wuhan Gaoliyuan Engineering Technology Co., Ltd., Wuhan Hubei 430070, China)

Abstract: Combined with water well construction, the application researches on solid-free weak gel drilling fluid and enzyme breaker fluid were carried out. The weak gel drilling fluid has unique rheological characteristics, high yield point-plastic viscosity ratio (YP/PV), high low-shear rate viscosity (LSRV) and strong sand carrying capacity. In addition to cooling drill bit, clearing rock cuttings in bottom of the hole and protecting borehole wall, another advantage of this drilling fluid is solid free, so that it is not easy to clog the formation pores, and it reduces aquifer damage caused by the solids in drilling fluid. If enzyme gel breaking agent is added to drilling fluid, it helps to clear out the filtrate cake in the well and dredge water channels in the formation and achieve better single-well yield and permeability coefficient, which provides a new method for strengthening aquifer protection in the well construction.

Key words: solid-free weak gel drilling fluid; water well construction; enzyme; gel breaking; aquifer protection

无固相弱凝胶钻井液是一种新型钻井液,它由数种或多种化学抑制处理剂配制而成,其密度接近于清水的钻井液。它的优点是密度低,有良好的流变性能,在低剪切状态下能在井壁附近形成高粘弹性区域,具有很好的携砂能力;护壁性能好又易于破胶解淤,采用生物酶破胶技术解除其在井壁上形成的滤饼,疏通地下水渗流通道,减少对地层的损害,有利于含水层保护。

1 工程概述

湖北省某高速公路服务区内规划设计 4 口生活水井,公路两侧的南区和北区各布置 2 口生活水井,南区与北区水井的平行距离约 150 m,由东向西依次布置,南区编号为 1 号井、2 号井,两水井间距 20 m;北区编号为 3 号井、4 号井,间距约 20 m。水井(孔)设计]深度 40 m,水井(孔)直径 600 mm,井管径 325 mm,井管外壁绑扎 $\varnothing 50$ mm 塑料观测管,用

于观测水跃值。服务区生活水井设计参数见表 1。

表 1 服务区生活水井设计参数一览表

水井位置	编号	井深/m	井径/mm	管径/mm
南区	1 号	40	600	325
	2 号	40	600	325
北区	3 号	40	600	325
	4 号	40	600	325

2 水井施工方法选择

2.1 场内含水层分布规律及富水性

(1)第一层:人工填土,灰黄—灰色,主要为粘性土,夹碎石、砖块及杂土等组成,局部夹腐殖物、植物根须混湖塘淤泥等组成,土质不均匀,结构松散,地层埋深 0.0 ~ 8.7 m,厚 8.7 m,地下水为上层滞水。

(2)第二层:粉质粘土,灰黄色,呈可塑—硬塑状态,含少量铁锰质结核,土质较均匀。地层埋深

收稿日期:2016-07-30; 修回日期:2016-09-02

作者简介:吴跃钢,男,汉族,1958年生,总工程师,高级工程师,探矿工程专业,硕士,从事岩土工程勘察设计与施工等相关工作,湖北省武汉市洪山区珞狮南路 509 号明泽半岛小区 A2 栋 1 单元 10 楼 1001 号,whrwkcsjy@163.com。

8.7~23.5 m,层厚14.8 m,为不含水层或相对隔水层。

(3)第三层:含砾中细砂,浅黄色—灰黄色,稍密—中密状,砾径0.5~6 cm,大者10 cm以上,含量15%,成分以石英砂岩为主。地层埋深23.5~31.3 m,层厚7.8 m,含水层富水性较好,水量较丰富,涌水量在350 m³/d左右。

(4)第四层:泥岩,紫红—棕褐色,强风化,似土状,用手捏易碎,遇水易软化。地层埋深31.3~37.2 m,层厚5.9 m。

(5)第五层:泥岩,紫红—棕褐色,中风化,局部为粉砂质泥岩,属极软岩,岩心呈短柱状,有硬块,泥质胶结,岩心采取率70%左右。地层埋深37.2~40.0 m,为不含水层或相对隔水层,未钻穿。

2.2 施工工艺选择

在松散、严重漏失、易坍塌的砂砾、卵石层以及破碎带等复杂地层中钻进,由于松散颗粒之间缺乏胶结,井壁容易坍塌,成孔的难度很大。因此,水文水井钻探施工中,常采用泥浆护壁,增强井壁的稳定性和;与此同时,当井内的液柱压力大于含水层孔隙压力时,泥浆中的固体颗粒就会渗入并堵塞含水层,在井壁泥皮(或泥饼)形成之前,固体颗粒的渗透速度快、数量和影响深度都较大。泥浆中部分粘土颗粒渗透充填到地层的孔隙中,破坏了井(孔)周围地层的自然渗透性能;还有当部分护壁所形成的泥皮未完全清除,也将损害含水层,影响含水层的渗透率和出水量,因而歪曲了含水层的真相。

可见,该水井施工工艺的选择关键就是钻井液的选择,钻井液是与含水层接触的工作源,为了探讨无固相弱凝胶钻井液及生物酶破胶技术,对含水层保护作用的效果,水井施工中,将服务区的4口井分成2组对照井,分别对南区1号和北区3号水井采用普通粘土泥浆护壁施工,而对南区2号和北区4号水井采用无固相弱凝胶及生物酶破胶技术护壁施工,通过抽水试验成果分析评价,研究其对含水层的保护特性。

3 钻井液配制

无固相弱凝胶钻井液具有独特的流变性,动塑比高、低剪切速率高粘度,有较强的携砂能力。

3.1 制浆原理

其主要作用机理是通过分子键间相互缠绕,形成空间网架结构,结构形成与拆散可逆,利用聚合物

之间的协同效应快速形成一种弱凝胶。它采用HVIS作增粘剂,调整粘度和切力,使其具有良好的携岩性和悬浮性;无粘土相,避免了高分散的粘土颗粒渗入含水层,同时,有利于提高机械钻速,增强井壁防塌抑制性;它还可以使用KCl和抑制剂HPA等处理剂,使其有较好的热稳定性,良好的抗盐、抗钻屑侵污和抗剪切能力;易降解,满足环保要求。

3.2 生物酶破胶技术原理

生物酶是具有催化功能的蛋白质,酶蛋白与其他蛋白质的不同之处在于酶都具有活性中心。酶有四级结构,但起决定作用的是酶的一级结构——氨基酸的排列顺序,它的改变将改变酶的性质。生物酶是经克隆、重组、表达、纯化制得,可作用于半乳糖露聚糖 β -(1-4)糖苷键的各种植物胶的破胶,使聚合物水解成小分子,可将多糖聚合物降解至单糖、二糖或小分子寡糖,从而减少聚合物伤害。

利用生物酶SUN500可降低界面张力,剥蚀井壁胶膜,阻止垢形成沉积;还通过诱导和渗吸作用进入微观孔道,疏通含水层,增强导流能力,提高渗透率。

3.3 钻井液配方优化

针对服务区地层特点,进行了室内钻井液配方优选实验及性能对比评价,确定了服务区2组水井施工钻井液对比应用配方:Na-CMC粘土泥浆配方1和无固相弱凝胶钻井液配方2。

3.3.1 Na-CMC粘土泥浆配方

淡水+1%Na₂CO₃+0.6%Na-CMC+18%粘土。

3.3.2 无固相弱凝胶钻井液体系配方优化

淡水+0.1%NaOH+0.15%Na₂CO₃+0.4%HVIS+1.5%降滤失剂HFLO+1.5%聚胺HPA+5%KCl。

3.3.3 钻井液性能评价

服务区2组钻井液配方性能评价见表2。

表2 服务区2组钻井液配方性能评价

钻井液	密度/ (g· cm ⁻³)	漏斗 粘度/ s	AV/ (mPa· s)	PV/ (mPa· s)	YP/ Pa	静切 力/ (Pa/Pa)	FL/ mL
Na-CMC粘土 泥浆	1.18	28.0	19.0	12.0	7.0	1.5/3.0	9.0
无固相弱凝胶	1.02	30.0	20.0	11.0	9.0	3.5/5.0	3.6

表2中实验结果表明:(1)Na-CMC钠羧甲基纤维素泥浆,具有增粘、降失水、防井壁坍塌作用,但粘土固相含量高,密度大,泥浆压差大,粘土颗粒易渗入井壁地层中;(2)弱凝胶钻井液,具有较高的动

塑比,优良剪切稀释能力,动态携砂和护壁防塌能力强;无固相,密度低,滤失量小,减少了钻井液中固相对地层的损害,有利于含水层保护。

4 现场应用及成果分析

4.1 钻井液现场配制

将清水注入搅拌桶内,按配方依次加入各种处理剂。

4.1.1 Na - CMC(钠羧甲基纤维素)泥浆的配制

以配 1.0 m^3 Na - CMC 泥浆为例:(1)配浆池放入清水;(2)加入 10 kg/m^3 纯碱(Na_2CO_3) 搅拌;(3)加入 180 kg/m^3 粘土搅拌 30 min 后,静置 24 h 预水化处理,配制成基浆;(4)取 6 kg/m^3 Na - CMC,配制成浓度为 3% 的 Na - CMC 溶液,再加入基浆中充分搅拌均匀。经搅拌 30 min 后检测 Na - CMC 泥浆的流变性,按要求及时调整其性能。

4.1.2 弱凝胶钻井液的配制

以配 1.0 m^3 弱凝胶钻井液为例:(1)配浆池放入清水;(2)加入 15 kg/m^3 HFLO(降滤失剂)搅拌;(3)加入 4 kg/m^3 HVIS(弱凝胶剂增粘剂)搅拌均匀;(4)加入 2 kg/m^3 HV - PAC 搅拌均匀;(5)加入 1 kg/m^3 烧碱 NaOH 和 1.5 kg/m^3 纯碱 Na_2CO_3 调整 pH 值;(6)加入 15 kg/m^3 HPA(聚胺抑制剂)搅拌;(7)加入 50 kg/m^3 KCl(抑制剂)。

经连续搅拌 40 min 后检测钻井液的流变性,按设计要求调整其性能。

4.1.3 弱凝胶钻井液质量控制措施

(1)新配制的弱凝胶冲洗液外观为乳白色,粘度较高,需连续搅拌得到充分剪切稀释。使用可降解钻井液处理剂,避免对含水层造成堵塞。

(2)进入含水层井段要控制钻井液的滤失量,API 失水量 $\leq 6 \text{ mL}$,防止其堵塞含水层的孔隙通道,尽量减少对地层的损害。

(3)在含水层井段适当降低钻井液密度,把密度控制在 1.05 g/cm^3 以下,用 120 目以上的振动筛,清理沉淀池及返浆槽,把密度控制在 $1.02 \sim 1.03 \text{ g/cm}^3$ 。

4.2 施工工艺

根据工程要求及现场条件,生活水井采用 SPC - 300H 型黄河水文水井钻机, $\text{O}600 \text{ mm}$ 喷射式三牙轮钻头施工,井径 600 mm,一径到底,钢制滤水管直径 325 mm,填砾厚度 100 ~ 150 mm。其中:1 号和 3 号井采取粘土泥浆护壁钻进成井;2 号和 4 号井采

用无固相弱凝胶钻井液护壁钻进后,再用生物酶破胶技术洗井成井。

4.2.1 施工工艺流程

测放井位—钻机就位—配制泥浆—钻机成井—清孔换浆(或泵入生物酶破胶液)—井管安装—填充砾料—粘土止水—洗井—置泵抽水—抽水试验。

4.2.2 施工程序及技术质量要求

(1)井位测放:按照设计平面图测放井位。

(2)钻机就位:钻机安装平稳牢固,勾头、磨盘、孔位三对中。

(3)配制泥浆:按要求配制钻井液,备用。

(4)钻机成井:采取反循环成孔,垂直度控制在 1% 以内,钻进至设计深度后终孔。

(5)清孔换浆:终孔后应及时进行清孔换浆,将采用弱凝胶护壁的 2 号和 4 号井中泵入 0.2% 生物酶破胶剂 SUN - 500,浸泡 24 h。

(6)井管安装:采用钢制井管。管底用铁板封焊,逐节焊接。井管要求下在井孔中央。井管露出地面 50 cm,井底留 3.0 m 沉淀管。

(7)填充砾料:分层填充砾料,用布封住管口,软管接通水放入管井内,在动水状态下将砾料抛撒在井管四周,确保填砾均匀,密实。填砾粒径范围:0.5 ~ 1.5 mm。

(8)粘土止水:快速投入粘土球至止水设计标高,保证粘土球投入到止水控制范围内,再用粘土填到地面捣实。

(9)洗井:先采用空压机进行清洗;然后再用活塞洗井约 12 h;之后继续用空压机吹洗至水清砂净为止。

(10)置泵抽水:当井出清水后,安装抽水泵。

4.3 抽水试验方法及成果分析

4.3.1 单井(孔)抽水试验

服务区内 1 号井、2 号井、3 号井和 4 号井进行单井(孔)抽水试验,及时测量各抽水井(孔)流量、水跃值,各组抽水试验的稳定延续时间 $\leq 4 \text{ h}$ 。

4.3.2 多孔抽水试验及观测

南区组 1 号井和 2 号井、北区组 3 号井和 4 号井(孔)进行抽水试验,试验时除观测抽水主孔水位、流量、水跃值外,还要对另一抽水井视为观测孔进行同步观测。

4.3.3 南区和北区 2 组水井抽水试验完成情况

抽水试验过程中,抽水孔和观测孔的测量频率均按规范要求,应同步观测、记录抽水井(孔)

的涌水量和抽水井及观测孔的动水位,具体试验完成如下。

(1)分别对南区1号井和北区3号井进行抽水试验,观测2号井和4号井水位变化;对2号井和4号井水位的观测在抽水开始后的第1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120、150 min各观测一次,以后每隔30 min进行1次观测,直至水位稳定4 h以上。

(2)待水位基本稳定后,停泵观察水位恢复情

况,基本恢复到初始位置后,再分别对南区2号井和北区的4号井进行抽水试验,同样对1号井和3号井的水位变化进行观测,直至水位稳定。

(3)采用水表进行抽水孔水量测量,通过井管外壁塑料观测管中的水位与抽水井的水位之差获得水跃值。

服务区生活水井施工和抽水试验工作共计23天,完成生活水井4口,总进尺160.0 m。南区 and 北区2组水井对比抽水试验成果见表3。

表3 服务区2组水井对比抽水试验成果

水井位置	编号	井深/ m	含水层厚度/ m	花管长度/ m	渗透系数/ ($m \cdot d^{-1}$)	单井出水量/ ($m^3 \cdot d^{-1}$)	备注
南区	1	40.0	7.9	8.0	6.62	296.0	Na-CMC粘土泥浆护壁
	2	40.0	7.9	8.0	8.14	364.0	无固相弱凝胶护壁+生物酶破胶洗井
北区	3	40.0	7.8	8.0	6.54	289.0	Na-CMC粘土泥浆护壁
	4	40.0	7.8	8.0	8.15	360.0	无固相弱凝胶护壁+生物酶破胶洗井

4.3.4 抽水试验成果分析

(1)单井出水量对比:南区2号井的出水量比1号井多 $68 m^3/d$,为22.97%;而北区4号井出水量比3号井多 $71 m^3/d$,为24.56%。可见,采用无固相弱凝胶钻井液护壁,生物酶破胶技术施工的水井,能获得较大的单井出水量,较真实地反映地层的富水性。

(2)含水层渗透系数对比:南区1号井的渗透系数是 $6.62 m/d$,仅为2号井 $8.14 m/d$ 的0.81;而北区3号井的渗透系数是 $6.54 m/d$,仅为4号井 $8.15 m/d$ 的0.80。可见,采用无固相弱凝胶钻井液护壁,生物酶破胶技术施工的水井,含水层的渗透系数较大,较准确地反映地层的水文地质参数。

5 结论及建议

无固相弱凝胶钻井液具有独特的流变性,能够满足在砂砾、卵石以及破碎带等复杂地层进行水文水井施工的各项要求,尤其是它具有护壁性能好又易于破壁解淤的特性是普通泥浆所不能及的,高的低剪切速率粘度,能防止钻井液对井壁的冲刷,有效地控制固体颗粒对含水层的渗透;采用生物酶破胶技术可以解除在井壁形成的滤饼,降低界面张力,剥蚀井壁胶膜,阻止垢形成沉积;还通过诱导和渗吸作用进入微观孔道,疏通含水层,增强导流能力,提高渗透率,减少对地层的损害,有利于含水层的保护。但无固相弱凝胶钻井液及生物酶破胶洗井工艺的成

本比较高,经核算其单井施工成本是使用Na-CMC泥浆施工成本的1.32倍,如何降低其施工费用还需要进一步探索。

参考文献:

- [1] 叶艳,鄢捷年,王书琪,等.无固相弱凝胶钻井液配方优化及在塔里木油田的应用[J].钻井液与完井液,2007,24(6):11-16.
- [2] 张斌,杜小勇,杨进,等.无固相弱凝胶钻井液技术[J].钻井液与完井液,2005,22(5):35-39.
- [3] 吕方,李建国,薛连云,等.HRD无黏土相钻井液破胶技术研究与应用[J].钻井液与完井液,2011,28(6):32-38.
- [4] 罗健生,王雪山,徐绍诚.无粘土弱凝胶钻井液的研制开发及应用[J].钻井液与完井液,2002,19(1):13-15,54-55.
- [5] 王荐,张荣,聂明顺,等.HRD弱凝胶钻井完井液研究与应用[J].钻井液与完井液,2008,25(6):6-7.
- [6] 岳前升.生物酶降解型水平井钻井液的研究[D].湖北武汉:武汉理工大学,2009.
- [7] 回海军,徐同台,朱宽亮,等.影响弱凝胶无固相钻井液渗透率恢复值的因素[J].钻井液与完井液,2009,26(2):63-64.
- [8] 周慧敏.无粘土相弱凝胶钻井液体系在大牛地气田水平井的应用研究[J].长江大学学报(自然版·理工卷),2012,9(8):65-67,71.
- [9] 李云波,乌效鸣,蔡记华.运用生物酶降低聚合物钻井液引起的地层伤害[J].探矿工程,2003,(S1):261-263.
- [10] 李云波,乌效鸣,黄志文,等.生物酶在水平井钻井液中的应用[J].新疆石油学院学报,2003,15(4):45-47.
- [11] 李明志,刘新全,汤志胜,等.聚合物降解产物伤害与糖甙键特异酶破胶技术[J].油田化学,2002,19(1):89-97.
- [12] 洋伟,乌效鸣,石朋飞,等.生物酶破胶液基压裂液影响因素的试验研究[J].安全与环境工程,2011,18(6):119-121.
- [13] 李颖颖,徐同台,王海良.水平井及多分支井钻井液滤饼的生物酶清除技术[J].钻井液与完井液,2010,27(2):74-77.
- [14] 杨倩云,郭保雨,沈丽,等.生物酶可解堵钻井液解堵机理研究[J].钻井液与完井液,2009,26(3):12-15,87-88.
- [15] 李永清.多孔稳定流水文地质抽水试验在南水北调工程的应用[J].河南水利与南水北调,2014,(9):46-47.
- [16] GB 50027—2001,供水水文地质勘察规范[S].