

基岩水井水力压裂专用压裂液试验研究

李小杰, 叶成明, 李炳平, 解伟

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北保定 071051)

摘要:为了开发高粘、低滤失、抗水敏性好的基岩水井专用压裂液,通过胶凝剂、交联剂、破胶剂、防腐剂选配,以及配方试验等方法,确定了以田菁粉为主剂,辅以交联剂、防腐剂、破胶剂等添加剂的基岩水井水力压裂专用压裂液。该压裂液具有成本低、性能稳定、环保无污染等特点。作为基岩水井水力分段压裂技术的关键技术之一,压裂液研究为实现基岩水井水力分段压裂技术整体突破奠定了基础。同时,积累了针对不同岩性岩层压裂液研究的经验,供同行参考。

关键词:基岩水井;水力压裂;压裂液

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)10-0234-04

Research on Hydraulic Fracturing Fluid in Bedrock Water Well/LI Xiao-jie, YE Cheng-ming, LI Bing-ping, XIE Wei
(Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding Hebei 071051, China)

Abstract: In order to develop fracturing fluid of water well with high viscosity, low filter loss, good sensitivity, through the cementing agent matching, crosslinking agent matching, gel breaker matching and preservative matching, as well as formula testing methods, according to Tian celadon powder, pepper konjak powder, hydroxypropyl base guar gum, Fenugreek Gum formula indoor test, we preferred the suitable for hydraulic fracturing of bedrock wells fracturing fluid and its proportion. Special fracturing fluid for hydraulic fracturing of bedrock water well is mainly used as main agent of field green powder, and auxiliary agent, antiseptic agent, gel breaking agent and other additives are used as auxiliary agent. The fracturing fluid has the characteristics of low cost, stable performance, no pollution and so on. As one of the key technologies of the hydraulic fracturing technology of the bedrock water well, the research of the fracturing fluid has laid the foundation for the realization of the hydraulic fracturing technology of the bedrock water well. At the same time, we have accumulated the experience for the study of fracturing fluid for different lithologic rock formations. We hope to provide some reference for the research work in related fields.

Key words: bedrock well; hydraulic fracturing; fracturing fluid

0 引言

在我国三大地下水类型(松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶水和碎屑岩、岩浆岩、变质岩类裂隙水)中,碳酸盐岩类岩溶水和碎屑岩、岩浆岩、变质岩类裂隙水等基岩地下水占有相当大的分量。在每年开采的地下水中,以管井或裸眼成井的基岩水井占有相当的数量。特别是我国干旱、半干旱缺水山区以基岩水井取水为主,对缓解当地工、农业生产及生活用水发挥了重要作用。然而,由于地层原因和钻井过程中的物质堵塞含水岩层裂隙通道、井孔偏离主要储水构造等,造成了有些基岩井出水量达不到预期目标。国外资料显示,对于非地质条件差引起的出水量达不到预期目标的井,采用水力压裂增

水技术能够增加水井的出水量。

2010年,中国地质调查局立项“基岩水井压裂增水技术研究”,开展水力压裂工艺、器具和压裂液等系统的研究。经过几年努力,项目组研发了基岩水井水力压裂洗井、混砂压裂、酸化压裂等增水技术方法,开发了适合于基岩水井水力压裂的压裂液,经河北、山东、北京等地多眼基岩水井试验证明,具有增水效果明显、设备简单、施工成本低、安全环保等优点。填补了国内利用水力压裂技术增加基岩水井出水量的研究空白。

本文将项目研究工作的部分成果凝练,以飨读者。

收稿日期:2016-06-22; 修回日期:2016-08-30

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“基岩水井压裂增水技术研究”(编号:1212011120232)

作者简介:李小杰,男,汉族,1979年,高级工程师,硕士,地质工程专业,主要从事水文地质环境地质钻探技术研究工作,河北省保定市七一中路1305号,lixiaojie212@163.com。

1 基岩水井用压裂液特点和类型

基岩水井压裂增产不同于油、气藏和煤层气开采,地下水的蓄水构造与含水裂隙主要赋存于碳酸盐岩、碎屑岩、岩浆岩、变质岩类和少量水敏性地层中。应根据岩层性质选用压裂液类型,除清水外,要求压裂液应具有高粘、低滤失、抗水敏和良好的悬浮稳定性能。同时要求压裂液应满足以下技术特点:优先选用清水或清水基压裂液,对含水层损害小;开采的地下水主要供人畜用水、农田灌溉,压裂液材料应无毒,不污染地下水资源;基岩水井是投资相对较少的取水工程,要求压裂液应具备取材方便、低成本、便于配制和使用。

压裂液类型有清水、植物凝胶液、有机高分子聚合物胶液、缓释酸液、CO₂ 气体及充气泡沫等。基岩水井宜采用的压裂液有清水、植物凝胶液、缓释酸等,应根据岩石性质和含水层类型合理选用。

1.1 清水压裂液

清水作压裂液,取材方便,压裂施工成本低,可以直接用于水井压裂增产或加入少量线型胶、活性剂、减阻剂等应用,一般不加入支撑剂。适用于脆性(高弹性模量)岩石和具有天然裂缝的含水层,该类岩石的闭合应力低,压裂后裂缝不会完全闭合,仍能保留足够的导流能力。其优点是:清水压裂对含水层的伤害小,易返排;以较大泵注量使天然含水裂缝扩展并延伸,有助于增大天然裂缝和剪切破坏裂隙中的充填物,增大裂隙与井筒的有效连通性;水力剪切使裂缝壁面产生滑移,在裂缝的延伸过程中使原始的微裂隙、孔隙层张开并连通,增水效果好;成本低。缺点是:由于清水的携砂能力差,不能作为携带支撑剂的基液,因此,不适合塑性岩层压裂;粘度低,压裂时形成的有效裂缝快速变窄,且会限制有效裂缝的长度;工作液效率低,滤失量大,要求较高的泵注排量,耗水量大。

1.2 植物凝胶液

采用凝胶液压裂,可以获得宽而长的裂缝;再是携带支撑剂于裂缝内铺砂,起支撑裂缝和产层导流的作用。植物凝胶液多以植物胶为主剂,再添加其它化学处理剂配制成的多功能高粘体系,常用的凝胶剂有田菁胶粉、蒟蒻精粉、瓜尔胶、香豆胶等,根据不同的压裂工艺,添加不同类型的处理剂,可以制成用于各种目的的压裂液。混砂液适用于塑性岩层压裂,要求压裂液具有良好的悬砂性能,在压裂过程

中,需要依次注入前置液、混砂液、顶替液。压裂液的性能在压裂施工中起着关键作用,具有优良性能的压裂液,压开的裂缝就越长、越宽,带入的支撑剂量越多,压裂增产效果越显著。

1.3 缓释酸

缓释酸是将盐酸溶液溶于植物胶液中,再添加缓蚀剂、抑制剂、稳定剂制成的一种稠化酸液。用酸液将地层压裂形成人工裂缝,同时利用盐酸溶蚀碳酸盐岩的性质溶蚀、扩展含水裂隙通道,实现基岩水井增大水量的目的。由于盐酸直接与碳酸岩层接触反应速度极快,伴随大量的 CO₂ 气体的产生,导致地层内和压裂系统中的压力急剧增加,会影响酸化压裂效果。应用缓释酸压裂,可以使压裂和酸蚀裂缝延伸更远,可以获得更好的压裂增水效果。

2 压裂液试验

2.1 胶凝剂选配

胶凝剂也称稠化剂,用来控制压裂液的流变性能。压裂液用胶凝剂以植物胶及其衍生物为主,主要成分是聚糖类或纤维素类高分子有机物。依据基岩水井压裂液的基本要求,选择了瓜尔胶、田菁胶、魔芋胶、香豆胶 4 种植物胶。按照压裂液标准配置完成基液,静置 15 min 后,测定基液的粘度,不同胶凝剂获得基液的旋转粘度见表 1。

表 1 不同胶凝剂获得基液的旋转粘度表

胶凝剂种类(在 1000 mL 清水中 加入 5 g 胶凝剂)	旋转粘度/(mPa·s)					
	600/	300/	200/	100/	6/	3/
	(r· min ⁻¹)	(r· min ⁻¹)	(r· min ⁻¹)	(r· min ⁻¹)	(r· min ⁻¹)	(r· min ⁻¹)
速溶田菁胶粉(河南)	55	43	37	28	9.5	6
田菁胶粘合剂(河南)	40	28	22	15	3	2
羟丙基瓜尔胶(河北)	49	38	24	17	6	4
魔芋胶粉(天津)	43	32	26	20	7	4
魔芋胶粉(武汉)	41	29	23	16	4	2.5
香豆胶(江苏)	33	24	19	13	3	2

测试结果表明,田菁胶速溶粉的性能是最好的,因此,选用速溶田菁胶粉作为水井压裂液的胶凝剂。

2.2 交联剂选择

交联剂的作用是把胶凝体系胶凝化。由于基岩水井的温度低,宜选择硼凝胶剂,采用硼砂作为交联剂安排试验取得了预期效果。硼砂学名十水四硼酸钠,分子式为 Na₂B₄O₇·10H₂O,在弱碱性条件下(pH=7~9)交联效果较好,试验选择硼砂作胶连

剂,以硼砂占水的质量百分比8%~10%制成溶液,配制胶联液。

2.3 破胶剂选择

破胶剂的作用是降低压裂液的粘度,使凝胶状的压裂液降粘稀释,在压裂工作结束后顺利返排。一般基岩水井的井水温度在20℃左右,选择破胶剂时,主要根据适用温度范围选择。破胶剂体系适用温度范围见表2。

表2 破胶剂体系适用温度范围表

破胶剂	适用温度范围/℃
强氧化剂	>40
过氧化物	>30
生物酶	25~35
氧化还原	10或更低

鉴于基岩水井的低温特点,以破胶温度为20℃左右,室内试验表明,在此温度下采用氧化还原破胶最为适宜。

2.4 防腐剂选配

防腐剂也叫杀菌剂,它是防止胶凝剂的非预期的生物降解或者腐败。NaOH是普通防腐剂之一,其加入量要控制在0.15‰左右,以控制细菌繁殖,同时调节压裂液的pH值在7.5~10之间,既利于提高胶联液的交联效果,又能抑制胶联液的腐败变质。

在室温为30℃时,没有加入NaOH的压裂液一般在16h时就会出现腐败现象,加入适量的NaOH后,压裂液的腐败会延迟至24h以上,同时也会提高压裂液的交联效果。选取NaOH作为压裂液的防腐剂。

2.5 配方试验

选定的配方为:水+速溶田菁粉+NaOH+亚硫酸氢钠+过硫酸铵+硼砂。

将交联液均匀加入到田菁溶胶基液中进行交联反应试验。2min内压裂液粘度增加不明显,随着搅拌的时间延长粘度越来越大,至7min时完全变成冻胶,10min时胶液粘度基本增到最大值。

静放1~2h胶液粘度基本保持稳定,3h后粘度有所降低,但降低的幅度很小,随着时间延长至5.5h后粘度下降较快,破胶速度加快。至30h时胶液完全破胶,粘度降至10mPa·s以下,见图1。

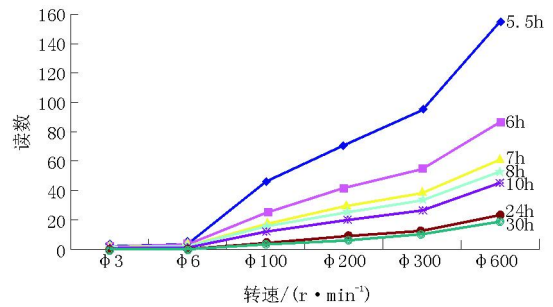


图1 破胶流变曲线对比图

对于水基压裂液如果冻胶破胶不彻底,仍保留一定粘度,势必造成胶液返排困难,从而降低岩层的渗透率,影响压裂效果。试验结果表明,田菁冻胶破胶比较彻底,破胶30h后表观粘度<10mPa·s,满足试验设计要求。室内试验见图2。



图2 压裂液配方室内试验

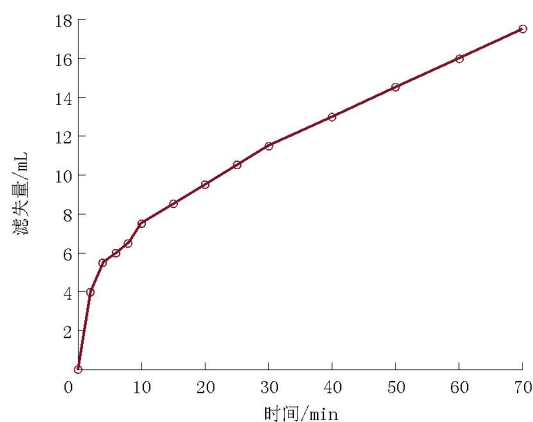
2.6 静态滤失试验

静态滤失试验是为了测定压裂液的滤失性能。

试验中测定了压裂液随时间的变化情况,其滤失量的累积增量用于模拟地层中的静态渗滤关系,见图3。



(a) 试验仪器



(b) 试验结果

图3 静态滤失试验

由试验可以得到图中斜线斜率,假设岩石的孔隙度4.79%、缝高5 m、泵量 $6 \text{ m}^3/\text{min}$ 、粘度为 $60 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 时,计算得出,碳酸盐岩平均渗透率条件下,当压裂持续60 min时,渗流体积约为 140 m^3 ,达到了试验预期目的。

2.7 试验结果

试验最终确定的基岩水井水力压裂液以田菁粉为主要添加剂,辅以胶联剂、防腐剂、破胶剂。基岩水井水力压裂液性能为:密度 $1.00 \sim 1.01 \text{ g}/\text{cm}^3$, pH值 $7.5 \sim 8$,表观粘度 $\geq 155 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,塑性粘度 $\geq 110 \text{ mPa}\cdot\text{s}$,动切力 9.1 Pa ,静切力 10.6 Pa ,胶联时间 $22 \sim 42 \text{ s}$,破胶时间 $15 \sim 22 \text{ h}$,悬砂时间 $5.5 \sim 9 \text{ h}$,耐温 $< 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

3 结语

通过开展基岩水井压裂增水专用压裂液研究,初步探索出适合我国水文水井用的水力压裂液,该压裂液具有成本低、性能稳定、环保无污染等特点。基岩水井水力压裂专用压裂液以田菁粉为主剂,辅以胶联剂、防腐剂、破胶剂等添加剂。同时,项目组积累了针对基岩水井水力压裂专用压裂液研究的经验,能够为相关领域的研究工作提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 李炳平,等.基岩水井水力压裂增水工艺研究[C]//第十六届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.2011.
- [2] 李小杰,叶成明,李炳平,等.水力压裂增水技术在青海卤盐矿开采中的试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):12-15.
- [3] 郑继天,等.基岩水井空气潜孔锤分枝造孔增水技术探讨[C]//第十七届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.2013.
- [4] 李炳平,等.基岩水井混砂压裂增水试验[C]//第十七届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.2013.
- [5] 李小杰,等.基岩水井水力分段压裂增水技术研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(12):56-61.
- [6] 党民芳,高桂玲,李臣生.无聚合物水力压裂液[J].断块油田,2001,8(3):54-58.
- [7] 张永国,刘友权,郑文静,等.水力喷射分层加砂压裂液室内研究及现场试验[J].石油与天然气化工,2011,(6):590-593,539.
- [8] 周际永,熊俊杰,刘春祥,等.压裂液降滤失技术研究[J].内蒙古石油化工,2014,(11):90-92.
- [9] 宋景远.煤层气井压裂液和支撑剂[J].探矿工程(岩土钻掘工程),1996,(6):55-57.
- [10] 刘艳艳,刘大伟,刘永良,等.水力压裂技术研究现状及发展趋势[J].钻井液与完井液,2011,28(3):75-78,97.
- [11] 姜瑞忠,蒋廷学,汪永利.水力压裂技术的近期发展及展望[J].石油钻采工艺,2004,26(4):52-57.
- [12] 李祥.压裂液用绒囊暂堵剂实验研究[J].辽宁化工,2014,(7):847-848.
- [13] 伊向艺,卢渊,马红梅.吐哈油田低渗透油藏压裂液体系适应性评价[J].钻采工艺,2006,29(3):84-86.
- [14] 王均,曹学军,陈瑶.超支化压裂液在川西致密气藏的应用研究[J].中外能源,2013,18(1):51-57.
- [15] 宫秀坤,宋雪峰,潘社卫,等.压裂液快速混配技术的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1):48-51.
- [16] 李炳平,等.基岩水井水力压裂技术研究报告[R].中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,2010.
- [17] 李炳平,等.基岩水井增水技术研究项目续作评估报告[R].中国地质调查局水文地质环境地质调查中心,2012.
- [18] 王鸿勋.水力压裂原理[M].北京:石油工业出版社,1987.
- [19] J. L. Gidley.水力压裂技术新发展[M].北京:石油工业出版社,1995.