

页岩油水平井固井水泥浆体系研究

黄光升

中石化中原石油工程有限公司固井公司 河南濮阳 457000

摘要:页岩油水平井有页岩油埋藏浅的特点,主要以水平井开发为主,页岩油水平井存在着大量的射孔与大型压裂,因此对水泥的弹性与耐久性提出了更高的要求,而关于水泥的力学特性与水泥浆液在页岩油水平井中的应用还不够深入。针对这一问题,本文基于当前国际上与我国页岩油水平井有关的技术数据,通过对水水水液在不同条件下的应力仿真,结合理论和数值方法,研制适用于我国页岩油水泥浆的水平井固井技术,找寻一种满足页岩油水平井对水泥的力学特性需求水泥浆体系。

关键词:页岩油;水平井;固井水泥浆体系;长水平段;高强韧性水泥浆

Study on slurry system of horizontal well well of shale oil

Guangsheng Huang

Sinopec Zhongyuan Petroleum Engineering Co., LTD. Cementing Company, Henan Puyang 457000

Abstract: shale oil horizontal well has the characteristics of shale oil buried shallow, mainly horizontal well development, shale oil horizontal well has a large perforation and large fracturing, so the elasticity and durability of cement put forward higher requirements, and about the mechanical characteristics of cement and cement slurry in the application of shale oil horizontal well is not deep enough. For this problem, this paper is based on the current international technical data related to shale oil horizontal well in China, through the simulation of hydraulic stress under different conditions, combined with theory and numerical method, suitable for shale oil cement in China, to find a meet the requirements of shale oil horizontal well of cement cement system.

Keywords: shale oil; horizontal well; mud system of solid well water; long horizontal section; high strength toughness cement slurry

页岩油是一种以页岩为主体的储集于其中的原油,其中既有页岩孔隙,也有与其相邻的致密碳酸盐岩、碎屑岩邻层和夹层等相对应的储集空间。目前普遍采用的开采方法是采用水平井和分段压裂两种技术。本文针对我国页岩油长水平井在中低温环境下,环空水泥浆候凝时容易被地层液体侵入而造成固井质量差,多压力层一次上返全封闭容易发生漏失,常规水泥浆的水泥石水化特性很难适应大容量压裂的需求问题,有针对性地进行固井水泥浆体系的研制。

一、页岩油水平井中长水平段固井技术难点分析

第一,注水时间长,先注水后开采,造成了储层原有的压差被打破,局部地区出现了溢流、漏流等问题,造成了保证固井质量的过程中有困难;第二,由于井身结构不均匀,水平段的井径变化较大,注浆量较大,很难保证固井的顶替效率;第三,目前广泛使用的二开井声构造,一次封固段长度可达 3000-5000m,上部洛河和延安地区上层承载力较弱,为了保证注水层的封闭和稳定,需要较高的注水层强度,对注水层的强度和稳定性提出较高的需求;第四,井筒水平井的水平段长逐渐增大,目标层水平井注浆系统的增稠时间越来越久,在待凝期极容易出现油、水两相流,给水平井注浆系统防涌的设计带来困难。

为解决上述技术难题,本项目拟在含中空玻璃珠低摩阻水泥水浆体系中,围绕含水水泥浆在含水水泥水浆液中流动性与稳定性、含水水泥浆液中的抗窜性能等方面进行技术突破。为了改善目标层水泥浆的早强剂、增强剂、增韧剂、缓凝剂等,研制出一种新型添加剂,以改善目标层水泥浆的早期强度和最终强度,进一步提高水泥浆防窜性能,能够对水泥石弹性模量进行优化设计,从而实现并满足体积压裂改造需求。

二、页岩油水平井固井水泥浆封隔失效原因分析

(一) 水泥浆胶凝与体积收缩引起的封隔失效

在水浆开始水化时,液体转变为固体将产生胶凝强度,并在一定程度上发生体积收缩,水泥浆柱的部分重量开始悬挂在井壁和套管上,从而使水泥浆液柱压力下降。与此同时,在水泥浆体中逐步形成网格状的结构,使得水泥体的气窜阻力随之增加,其中包括两个方面的气窜阻力,第一是水泥体本身的阻力,第二是高分子材料所产生的额外阻力。在水泥体中,如果水泥浆静液柱的阻力小于地层压力,气体将穿过水泥浆向上移动,则会导致井下水泥环封闭失败。

(二) 界面胶结质量差引起的封隔失效

页岩是我国最重要的油气资源之一,其储层富含泥质,产层极易坍塌,且其胶结力弱,与水泥环的粘结性差。水泥

环的体积收缩严重,在其胶结界面上极易产生微小的环形空隙,从而产生气体窜流,造成页岩油水平井中油气窜出和泄露。因页岩易于松散、垮塌,容易产生“大肚子”、“键槽”等井眼,在水泥浆置换钻井液时,残留的“虚泥饼”和“死钻井液”会被截留,造成水泥圈置换不彻底,造成固井质量下降,并造成水泥环置换不彻底或缺损。固井一、二胶结面质量存在缺陷且置换效果较差,所以形成天然的气液窜流通道。

(三) 射孔、压裂作业引起的封隔失效

(1) 射孔作业

射孔对水泥环的破坏过程较为复杂,其破坏过程中存在着大量的应力波贯入、反射等现象,同时还存在着井筒套管内部产生的超高压脉冲导致井筒膨胀等诸多影响。聚能射孔在套管与水泥环上的工作过程中,所产生的能量主要来自于射流与爆炸产生的燃烧产物两个方面。聚能射孔弹的起爆过程中,聚能射流穿过水泥环和套管,穿透油水泥浆,在油水泥浆中形成一个冲击压力峰值,其冲击压力高,达到3000-4000 MPa,冲击压力峰值超过水泥岩的力学性能。因水泥石材料的拉伸与压缩强度差异较大,二者的交互作用更易导致水泥石材料内部破裂或胶结面脱落。

(2) 压裂作业

水泥石是一种硬脆性物质材料,其本身的协调变形性能很差,与地层及套管钢相比,其弹性及变形性能有很大的不同。由于水泥环承受了很大的内压和冲击,在承受了巨大的荷载后,发生了放射状断裂;在压裂过程中,由于受到的冲击力超过了对水泥石的吸收能,导致水泥石发生破裂,造成井眼整体结构的严重损坏;而在水泥环体内,压裂液通过水泥环体内的裂隙向外扩散,不但会导致水泥环内的裂隙无方向性延伸,还会导致水泥环内的层间密实和套管失效,导致油气储层环空暴漏,严重威胁着油气资源的安全生产和油井的开采寿命。

三、低密度水泥浆体系研究

白垩系的洛河组地层是我国页岩油储层的主要储层,其泄漏一般是密度为1.30-1.35 g/cm³、1.10-1.30 g/cm³的钻井液,为了保证固井施工过程ECD和注液储层的稳定性,在注液储层中采用了较高的注水储层。以页岩油超长水平段一次上返固井防渗漏需求为目标,以高性能玻璃微珠为主体,以颗粒级配原则为依据,选择以粉煤灰等无机胶凝材料、微硅等超细稳定材料及配套外加剂,使其具备长稠化、低失水、稳定性好、强度高基本性能,并具备低摩阻能力,以达到

全井段的封固需求。配方内容主要为:G级水泥、玻璃微珠、粉煤灰、超细稳定材料、降失水剂、早强剂、缓凝剂、减阻剂,低密度水泥浆体系基本性能数据如下。当密度为1.20g/cm³时,流动度为22cm,密度差为0.01g/cm³,析水为0,失水达到48mL,稠化时间长达236min,24h抗压强度系数为7.5,48h抗压强度系数为12.6。当密度为1.30g/cm³时,流动度为21cm,密度差为0.01g/cm³,析水为0,失水达到44mL,稠化时间长达248min,24h抗压强度系数为8.6,48h抗压强度系数为13.5。

四、页岩油水平井高强韧性水泥浆体系研究

水泥环的完整性是影响油气井质量的重要因素。结果显示,采用较小的弹性模量,较大的泊松比和较高的强度,更能确保水泥环的完整性。对于常规的井筒压力、常规的水泥石的机械强度可以达到水泥环的完整性;在套管内压力大的情况下,宜选用具有一定弹性模数、高泊松比和超高强度的特种胶凝材料。传统的水泥浆系统用于页岩油水平井水平段的固井液,由于其稠化时间较长、缓凝剂用量较大、使水泥浆初始稠度较高、初期强度提高较慢。水泥石的硬脆性较大使水泥环的整体性能难以得到保障。

(一) 增韧技术

本项目拟采用高分子聚合物增韧与干湿-有机纤维相结合的方法,对页岩油水平井中高分子增韧材料进行功能化修饰,以解决传统增韧材料对混凝土早龄期性能影响较大的问题。将高分子增韧剂添加到水泥石中,使其与水泥石结晶相结合,从而达到一定的强度,并可吸收水泥石的应变能。在页岩油水平井承受冲击载荷时,增韧材料颗粒会产生一定的弹性,既可以缓冲冲击载荷,又可以吸收一部分能量,增强水泥石的耐冲击性能。采用干态混合的方法,有效地克服了目前已有的纤维类型的堵塞材料不能进行干态混合和在水泥浆中的分散性差等问题。由于其自身的高强韧性,水泥石中的纤维通过其自身的荷载转移,降低了水泥石中的裂纹处的应力,并在水泥石晶粒之间“搭桥”,形成了“拉筋”作用,提高了水泥石塑性变形的能力,从而达到了增韧、阻裂、提高了水泥石抗冲性能的目的。

(二) 复合增强技术

在水泥中添加了一种无机的复合型早强剂和增强材料,这种复配型可以使中、低温时的水化速率加快,从而使水泥石的早强强度得到了改善,降低了在水泥石候凝过程中出现油、水两相渗漏的可能性;加固体采用各种超细的活性物质,与胶凝物质形成较好的粒径,使胶凝物质变得更为紧密,从

而确保了胶凝物质的最终强度。

(三) 中低温缓凝技术

目前已报道的中温型淀粉阻聚剂对中、低温度(约 50℃)的阻聚作用不显著,且增稠时间较长,无法达到工程施工作业的需求。优选出 AMPS、羧基酸盐、聚合物分散剂的复合缓凝剂,这样才能有效地延长水泥浆稠化的时间,从而确保固井的安全,而且不会对水泥浆的早期强度造成太大的影响。

五、页岩油水平井固井水泥浆体系研究

(一) 页岩油水平井前置液体系

从顶替效率及井下作业的施工安全性出发,在不引起油气水侵入及储层塌陷的前提下,前置液体系的配比需保证至少 20 分钟的紊流冲刷时间。在冲刷容积不能满足湍流式冲刷要求时,可以适当提高前置液量。根据工程实际情况,采用了井队方槽来配制前置液体,并将冲洗液体与隔离液进行了混合,进行了最优的配比组合,便于了现场的操作。冲刷隔离溶液的组成:清水、80 目的石英砂、WH-2 的 2.5%悬浮物、WH-2 的 5%冲洗药剂、WH-1 的 5%冲洗药剂、重晶石粉。另外,清洗方法主要是用干净的水、WH-1 洗涤溶液 10%两种液体。

(二) 页岩油水平井水泥浆体系

A 区块的泥浆浓度普遍为 1.78-1.88g/cm³,部分油井的泥浆浓度可达 2.06g/cm³。根据钻井液的密度,开发出了各种各样的水泥浆配方,调节水灰比,将传统的密度水泥浆的密度控制在 1.88-1.98 g/cm³ 之间,调节铁矿石粉的加入,将加重水泥浆的密度控制在 2.00-2.50 g/cm³ 之间。该配方的主要特点是掺合料种类少,优点是性能调节更加方便。

六、页岩油水平井水泥浆性能评价

通过试验研究,页岩油水平井水泥浆体配方组成为:G 级、降水剂、增稠剂、补强剂、膨胀剂、早强化剂、缓凝剂。

(一) 流动性评价

该系统在室温及受热条件下均具有良好的流变性能。高分子增稠剂是一种微细的球形粒子,它可以产生一种滚动的润滑效果,从而达到改善水泥浆的流动性,增强了它的可操作性。

(二) 稠化性能评价

室内评价了高强韧性体系 50℃的稠化性能,调整缓凝

剂加量,可得到需要的稠化时间,满足不同条件的施工需要。水泥浆配方主要包括 G 级、降水剂、增稠材料、增强材料、膨胀早强剂、缓凝剂。当水泥浆配方中缓凝剂为 0.05%时,初稠为 17Bc,稠化时间需要 134 分钟,稠化线形属于正常。当水泥浆配方中缓凝剂为 0.12%时,初稠为 19Bc,稠化时间需要 166 分钟,稠化线形属于正常。当水泥浆配方中缓凝剂为 0.18%时,初稠为 19Bc,稠化时间需要 183 分钟,稠化线形属于正常。

(三) 水泥浆综合性能

在 50℃的大环境下,页岩油水平井水泥浆体系综合性能较好,水泥浆的密度为 1.89g/cm³,失水为 32ml,游离液为 0ml,稠化时间长达 152min,水泥浆的上下密度差小于或等于 0.01g/cm³,其中 24h 抗压强度为 29MPa,7d 抗压强度为 47Mpa,渗透率高达 0.038mD。

七、结语

综上所述,在容易渗漏的原油地层中,采用了高性能的玻璃球型低密度水泥浆,可以有效的确保页岩油水平井固井压稳和防渗漏的需求。本文研究开发出一种新型的高强度和高韧度胶凝材料,其页岩油水平井中的浆体结构稳定,流变性好,增稠时间可调,综合性能优异,可有效地克服中低增长水平区胶凝材料配比难的问题,以适应胶凝工程的需求。相对于传统的水泥浆体系,页岩油水平井高强度和高韧度水泥石的弹性模量显著下降,可确保水泥石弹性材料在压缩时的整体力学性能,从而为页岩油水平井筒的高效开采提供有力的技术支撑。

参考文献:

- [1]魏周胜,常占宪,梅明佳等,长庆致密油超长水平段固井技术[A],2018 年固井技术研讨会论文集[C].北京:石油工业出版社,2018(41):593-599.
- [2]夏元博,刘爱萍,高永会等,套管内压增大对水泥环完整性影响分析[A],2014 年固井技术研讨会论文集[C].北京:石油工业出版社,2014(32):78-82.
- [3]李早元,郭晓阳.橡胶粉对油井水泥石力学性能的影响[J],石油钻探技术,2008,36(6):53-55.
- [4]靳建洲,于永金,徐明等,页岩油水平井固井技术研究[A],2014 年固井技术研讨会论文集[C],北京:石油工业出版社,2014(22):334-341.