

新型可视化缝洞恶性漏失评价装置及堵漏体系 实验评价

于 雷, 赵怀珍, 张守文, 杨倩云

(中石化胜利石油工程有限公司钻井液技术服务中心油田化学所, 山东 东营 257000)

摘要: 缝洞型地层恶性漏失是最常见且最难以治理的钻井工程复杂情况之一。针对缝洞型恶性漏失室内评价手段缺乏的问题, 研制了新型可视化缝洞恶性漏失评价装置, 最高实验温度 180 °C, 最大缝洞模拟长度 60 cm, 额定实验压力 5 MPa, 最大填充堵漏模块直径 5 cm, 建立了实验评价方法。采用新型可视化缝洞恶性漏失评价装置开展了 1 cm 和 2 cm 砾石模拟封堵评价实验, 形成了适用于 1 cm 和 2 cm 砾石模拟缝洞系统的最优堵漏体系配方; 开展了 DY9 井堵漏体系配方优化现场试验, 堵漏承压达 5 MPa, 堵漏一次成功。研究结果表明, 采用新型可视化缝洞恶性漏失评价装置评价封堵层直观可视, 便于进行堵漏浆配方优化, 堵漏体系中“刚性材料+纤维材料+弹形材料”的合理搭配可形成致密承压封堵, 从而实现对缝洞的有效封堵。

关键词: 堵漏; 缝洞型漏失; 恶性漏失; 可视化评价装置; 评价方法

中图分类号: TE28⁺3; P634.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2025)05-0086-07

New visualized fracture-cavity type malignant leakage evaluation device and experimental evaluation of plugging system

YU Lei, ZHAO Huaizhen, ZHANG Shouwen, YANG Qianyun

(Institute of Petroleum Chemistry in Drilling Fluid Technology Service Center of Sinopec Shengli Petroleum Engineering Company Limited, Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Fracture-cavity formation malignant leakage is one of the most common and difficult to control drilling in engineering. To solve the problem of the lack of indoor evaluation means for fracture-cavity type malignant leakage, a new visualized evaluation device for fracture-cavity type malignant leakage was developed. The maximum experimental temperature was 180°C, the maximum simulated length of fracture-cavity was 60cm, the maximum rated experimental pressure was 5MPa, and the maximum diameter of the filling and plugging module was 5cm. The evaluation experiment of 1cm and 2cm gravel simulated plugging was carried out by using the new visualized fracture-cavity type malignant leakage evaluation device, and the optimal plugging system formula suitable for the 1cm and 2cm gravel simulated fracture-cavity system was formed. The formula optimization of DY9 well plugging system was carried out, and the on-site plugging pressure reached 5MPa, and the plugging was successful once. The research shows that the sealing layer can be visually evaluated by the new visualized fracture-cavity malignant leakage evaluation device, which is convenient for the optimization of the plugging slurry formula. The reasonable combination of "rigid material + fiber material + elastic material" in the plugging system can form a dense pressure sealing, so as to realize the effective plugging of the fracture-cavity.

Key words: plugging; fracture-cavity leakage; severe leakage; visualized evaluation device; evaluation method

收稿日期: 2024-09-23; 修回日期: 2025-02-19 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.05.011

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科研项目“钻井液用合成基础油及体系研究与应用”(编号: P23115); 胜利石油工程公司科研项目“准噶尔盆地深层合成基钻井液防漏堵漏技术研究”(编号: SKG2302)

第一作者: 于雷, 男, 汉族, 副研究员, 石油工程专业, 硕士, 主要从事油田化学及油气层保护方面的研究工作, 山东省东营市东营区德州路 369 号, leiyu205@126.com。

引用格式: 于雷, 赵怀珍, 张守文, 等. 新型可视化缝洞恶性漏失评价装置及堵漏体系实验评价[J]. 钻探工程, 2025, 52(5): 86-92.

YU Lei, ZHAO Huaizhen, ZHANG Shouwen, et al. New visualized fracture-cavity type malignant leakage evaluation device and experimental evaluation of plugging system [J]. Drilling Engineering, 2025, 52(5): 86-92.

0 引言

随着油气资源需求的不断增加,石油钻井面临的地质条件日益复杂,钻遇缝洞发育地层概率大增,钻井过程中极易发生严重漏失,严重影响施工安全、工程质量、油气产量和勘探发现。解决油气井缝洞型恶性漏失,是一个复杂的工程技术难题^[1-2]。国内外研究学者在恶性漏失的机理、影响因素、堵漏材料和堵漏体系等方面开展了大量研究^[3-7],但在恶性漏失堵漏评价装置和方法方面研究报道较少^[8-9]。邹建龙等^[10]在原有水泥浆高温高压失水仪基础上改进研制了水泥浆堵漏试验装置;胡三清^[11]研制了可真实模拟井下情况的JLX-2型动态堵漏试验仪;吕开河^[12]研制了实验围岩达40 MPa,温度达180℃HTHP可动态循环的堵漏模拟实验装置;杨振杰等^[13]设计了结构简单、用浆量少、数据重现性好的XAN-D型新型堵漏评价试验仪器。

上述评价实验装置主要用于模拟开展渗透性漏失和裂缝性漏失堵漏评价实验。在缝洞型恶性漏失堵漏评价方面,没有形成统一的防漏堵漏评价实验装置和评价标准,由于缺乏室内先期行之有效的评价手段和有针对性的处理方案,导致现场处理突发井漏事故大多依靠经验和多次重复效应达到封堵目的,成为恶性漏失堵漏成功率难以提高的瓶颈。因此,结合目前堵漏评价实验装置的特性、优缺点和缝洞发育的地质特征,研制了一套与现场漏失环境匹配度高、重复评价平行性好、利于形成标准化的可视化缝洞型恶性漏失堵漏评价装置,并通过室内实验和现场试验进行了堵漏配方效果评价。

1 新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置研制

1.1 新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置的系统组成

新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置由堵漏浆注入系统、电动推缸举升系统、缝洞地层模拟系统、外覆加热系统和排液控制系统共五大系统组成,如图1所示。

(1)缝洞地层模拟系统主要由分体式内套管、硅胶管、内筒套、内筒盖、缝板内筒和装砂内筒等组成。封堵内套筒分为砾石内筒和缝板内筒两部分,两部分安装位置固定且缝板筒位于出口侧。砾石内筒可装直径10~50 mm砾石,安装内筒端盖和套

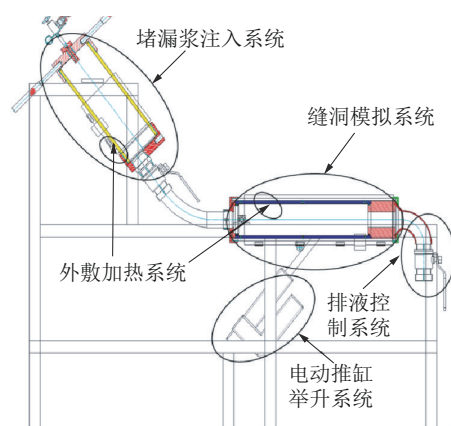


图1 新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置组成
Fig.1 Five systems of new visualized fracture-cavity type malignant leakage evaluation device

筒端盖及缝板时需要匹配砾石直径尺寸。堵漏充填方式为长砾石与缝板混合封堵模式,并内置有可透视硅胶管,在封堵实验结束后,可将硅胶管拆出观察缝洞内封堵情况,实现堵漏材料封堵形态的可视化研究。

(2)电动推缸举升系统主要由直流电动推杆、电缸支撑耳、电器控制盒等组成。封堵筒外加装大扭矩的电动推缸举升,可调整封堵筒的倾斜角,便于模拟不同走向地下缝洞的封堵情况。

(3)外覆加热系统主要包括保温层、保温层外壳和保温材料。采用云母外覆加热方式分别给堵漏浆筒和封堵筒加温,模拟深部地层温度,实现多种模式下堵漏状态的模拟。

(4)堵漏浆注入系统主要包括盛液筒、盛液筒盖、三通输气组件、球阀、电器控制盒和承压波纹管等。盛液筒与封堵筒之间采用可小幅弯曲承压钢网胶管,既实现了密封和连接,又可进行弯曲,实现角度调整。

(5)排液控制系统主要包括锥形排液管、排液嘴、球阀等。球阀可以控制排液的开启,关闭球阀会实现封堵筒内承压堵漏,便于评价封堵筒内封堵层的强度。

新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置主体框架采用40 mm×40 mm铝型材装配,左侧用于固定盛液筒组件及电器控制盒;右侧用于固定封堵端,其中封堵筒尾部连接钢丝承压波纹胶管,可在一定角度范围内调整,从而模拟不同井斜角度的封堵。

1.2 缝洞型恶性漏失堵漏实验评价方法

基于研制的新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价实验装置,建立了堵漏实验评价方法。

(1)仪器使用前检查准备。气源压力,应大于实验压力至少 2 MPa;备浆至少 4000 mL 用于实验;堵漏筒位于水平位置。

(2)装填砾石及缝板。检查连接软管的两端连接螺纹确保拧紧;将封堵筒左盖与内筒盖结合装好后装于硅胶管,将选好的砾石装于硅胶筒中;再将比砾石稍大一号的缝板装于硅胶管另一端;将堵漏内筒推入横放的堵漏外筒中,确保安装到底部;将排液管右盖组件安装于堵漏筒出口侧。

(3)装堵漏浆。关闭出口球阀,关闭中间软管球阀;将备好的泥浆装入盛液筒;拧紧连通阀杆;连接三通。

(4)加压加热实验。打开电源开始加热;打开气源,调节管汇压力 1~2 MPa 预压,松开阀杆约 90° 使该压力进入盛液筒,确保浆液不会沸腾;待升至实验温度并恒温约 30 min 后打开中间球阀开始堵漏实验。

(5)实验后处理。按程序先将堵漏筒及管线内压力卸掉再打开实验装置进行清洗。

1.3 仪器特点

(1)新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置由堵漏浆注入系统、电动推缸举升系统、缝洞地层模拟系统、外覆加热系统和排液控制系统等五大系统组成。主要功能有真实模拟缝洞型漏失地层、评价缝洞恶性漏失堵漏材料功效和辅助制定堵漏施工工艺。

(2)新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置能够模拟缝洞长度 60 cm,其模拟堵漏模块直径 5 cm,额定实验压力 5 MPa,实际最大实验压力 4 MPa。该堵漏仪采用云母加热板外覆加热方式分别给堵漏浆筒和封堵筒加温,模拟深部地层温度,最大实验温度 180 ℃,可实现多种模式下堵漏状态的模拟。

(3)新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置的堵漏填充方式为砾石与缝板混合封堵模式,封堵实验结束后,可将内套筒拆开观察缝洞封堵情况,实现堵漏材料封堵形态的可视化研究。封堵筒外加装大扭矩的电动推缸举升,可调整封堵筒的倾斜角,便于模拟不同走向地下缝洞的封堵情况。

2 缝洞型恶性漏失堵漏配方及堵漏效果评价

颗粒排列方式和分选度对岩石孔隙度存在重要影响,假定实验砾石为理想等径球形颗粒,结合 Edward D. Pittman 孔喉直径计算方法,可得不同直径砾石所形成的缝隙范围:0.5 cm 砾石颗粒形成缝隙范围 1~2 mm、1.0 cm 砾石颗粒形成缝隙范围 1.9~4.1 mm、2.0 cm 砾石颗粒形成缝隙范围 3.6~8.3 mm、3.0 cm 砾石颗粒形成缝隙范围 5.3~12.2 mm,本文选择直径分别为 1.0 和 2.0 cm 的砾石颗粒进行堵漏模拟实验。

基于砾石颗粒孔隙尺寸研究,根据封堵原理和体系构建分析,优选了刚性颗粒、变形颗粒、纤维类材料,形成段塞堵漏体系^[14-17]。其中刚性材料为核桃壳、超细钙、石英砂、果壳、贝壳粉;变形材料为云母片、弹性快速堵漏剂、橡胶颗粒、沥青粉、弹性孔网堵漏剂;复合纤维材料为矿物纤维、LCM、棉籽壳、聚合物纤维、SQD-98。堵漏材料见图 2。

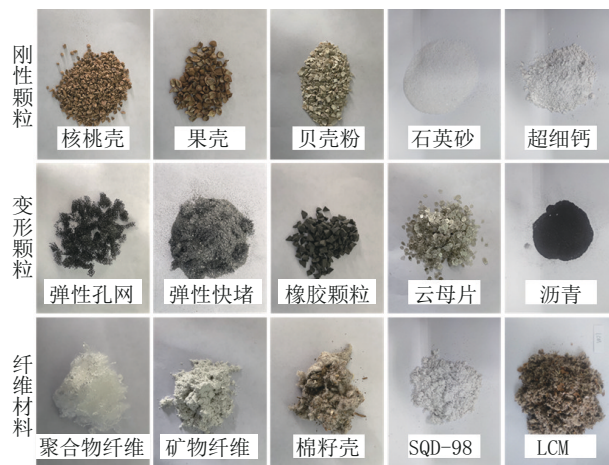


图 2 优选的堵漏材料

Fig.2 The optimized plugging material

采用自研的新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置进行了堵漏性能评价,实验方法为梯次承压,即以 0.5 MPa 为单位逐次增加实验压力,每个压力下承压 5 min,若漏失则记录漏失压力下 10 min 漏失量,若不发生漏失则继续逐渐增大压力至 4 MPa,实验结束后打开实验装置记录封堵层长度。

2.1 1.0 cm 砾石模拟堵漏实验

针对 1.0 cm 砾石缝洞系统,构建了 1~10 号堵漏浆配方(表 1),实验结果见图 3、图 4。

由实验结果可知,1~9 号堵漏浆形成了 7~30

表 1 1.0 cm 砾石模拟实验堵漏浆配方	
Table 1 1.0cm gravel simulation experiment plugging fluid formula	
编号	配 方
1	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 云母(1~3 mm)+5% 矿物纤维+3% 弹性快速堵漏剂+3% LCM+3% 超细钙
2	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 沥青粉+5% 矿物纤维+3% 弹性快速堵漏剂+3% LCM
3	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 沥青粉+5% 矿物纤维+3% 弹性快速堵漏剂+3% 超细钙
4	4% 膨润土+5% LCM+3% 云母(1~3 mm)+5% 矿物纤维+3% 弹性快速堵漏剂+3% 石英砂(100 目))+3% 超细钙
5	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 云母(1~3 mm)+5% 矿物纤维+3% 弹性快速堵漏剂+3% 棉籽壳+3% 石英砂(100 目)
6	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 弹性孔网(细)+5% 矿物纤维+3% 石英砂(100 目)+3% LCM+3% 超细钙
7	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 云母(1~3 mm)+5% SQD-98(细)+3% 弹性快速堵漏剂+3% LCM+3% 超细钙+3% 石英砂
8	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 沥青粉+5% SQD-98+3% 弹性快速堵漏剂+3% LCM+3% 超细钙
9	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 云母(1~3 mm)+5% SQD-98+3% 弹性快速堵漏剂+3% 棉籽壳+3% 超细钙
10	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 沥青粉+5% SQD-98+0.3% 聚合物纤维+3% 超细钙

cm 不等的封堵层,其中 7 号堵漏浆形成的封堵层长度最短,承压 4 MPa 未出现漏失,10 号堵漏浆加压 2.0 MPa 时开始出现漏失,实验压力 3.0 MPa 时发生气体贯通。对于 1 cm 砾石形成的缝洞系统,LCM 在颗粒填充方面优于棉籽壳,堵漏效果更好,在弹性快速堵漏剂存在条件下,云母堵漏效果优于沥青粉。

2.2 2.0 cm 砾石模拟堵漏实验

针对 2.0 cm 砾石缝洞系统,构建了 11~20 号堵漏配方(表 2),实验结果见图 5、图 6。

在实验过程中,13 号堵漏浆在压力升至 1.0 MPa 时即发生漏失,实验压力 3.0 MPa 时气体贯通,

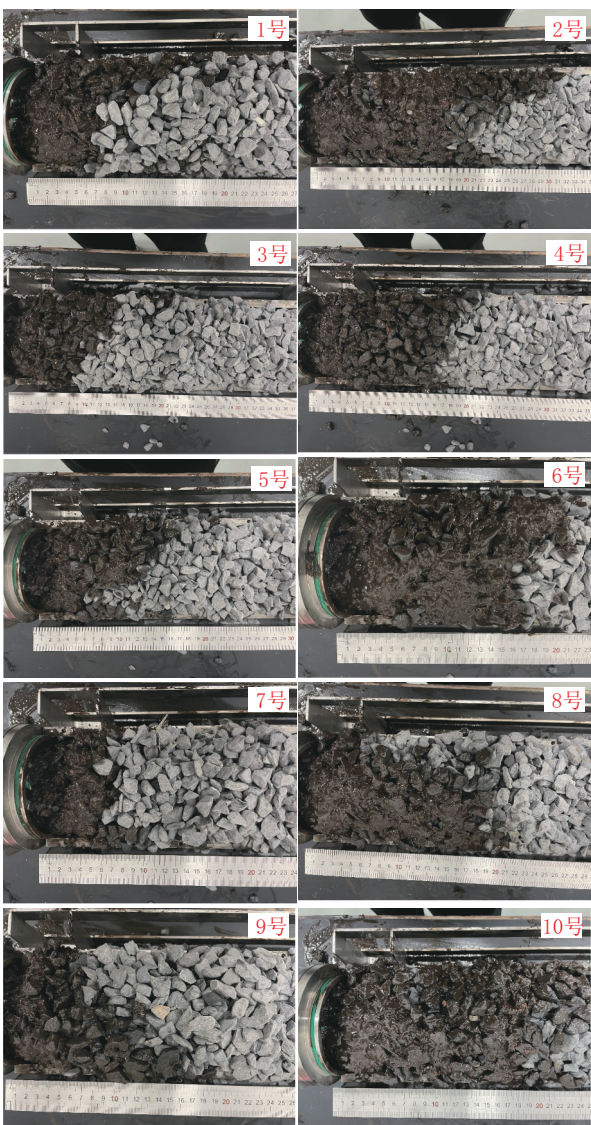


图 3 1.0 cm 砾石模拟实验 1~10 号堵漏浆实验结果
Fig.3 1.0cm gravel simulation experiment 1~10# plugging slurry experimental results

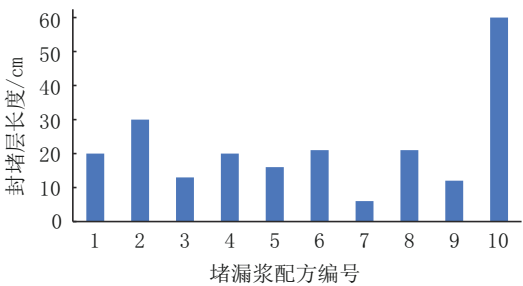


图 4 1.0 cm 砾石模拟实验 1~10 号堵漏浆封堵层长度
Fig.4 1.0cm gravel simulation experiment 1~10# plugging slurry sealing layer length

表 2 2.0 cm 砾石模拟实验堵漏浆配方
Table 2 2.0cm gravel simulation experiment
plugging fluid formula

编号	配 方
11	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 核桃壳(3~5 mm)+3% 沥青粉+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性快速堵漏剂+3% 棉壳复合物+3% 石英砂
12	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 核桃壳(3~5 mm)+3% 云母(1~3 mm)+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性孔网+3% 棉壳复合物+3% 超细钙+3% 石英砂
13	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 核桃壳(3~5 mm)+3% 沥青粉+3% 弹性快速堵漏剂+3% 超细钙+3% 石英砂
14	4% 膨润土+5% 核桃壳(1~3 mm)+3% 核桃壳(3~5 mm)+3% 云母(1~3 mm)+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性快速堵漏剂+3% 超细钙+3% 石英砂
15	4% 膨润土+5% 贝壳粉(2~3 mm)+5% 棉籽壳+3% 云母(1~3 mm)+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性快速堵漏剂+3% 棉壳复合物+3% 超细钙+3% 石英砂
16	4% 膨润土+5% 贝壳粉(2~3 mm)+5% 棉籽壳+3% 云母(1~3 mm)+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性孔网+3% 棉壳复合物+3% 超细钙+3% 石英砂
17	4% 膨润土+5% 果壳粉(3~5 mm)+5% 棉籽壳+5% 矿物纤维+3% 弹性孔网+3% 棉壳复合物+3% 超细钙+3% 石英砂
18	4% 膨润土+5% 果壳粉(3~5 mm)+5% 棉籽壳+3% 云母(1~3 mm)+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性快速堵漏剂+3% 棉籽壳+3% 超细钙+3% 石英砂
19	4% 膨润土+5% 贝壳粉(2~3 mm)+5% 棉籽壳+3% 云母(1~3 mm)+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性快速堵漏剂+3% 超细钙+3% 石英砂
20	4% 膨润土+5% 果壳粉(3~5 mm)+5% 棉籽壳+3% 沥青粉+5%SQD-98(中粗)+3% 弹性孔网+3% 棉壳复合物+3% 超细钙+3% 石英砂

其它堵漏浆形成了10~35 cm不等的封堵层长度，16号堵漏浆形成的封堵层长度最短，封堵效果最好。对于2 cm砾石形成的缝洞系统，贝壳粉和核桃壳在颗粒填充方面优于果壳粉，在LCM、棉籽壳等复合纤维类材料和超细钙、石英砂等刚性填充材料添加下，弹性孔网材料堵漏效果优于弹性快速堵

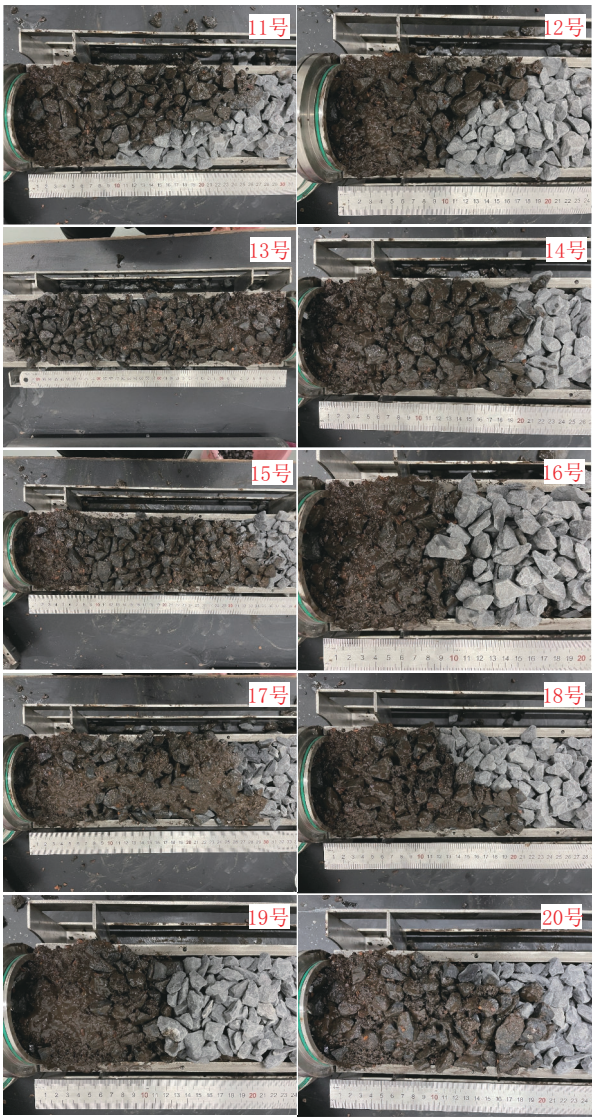


图 5 2.0 cm 砾石模拟实验 11~20号堵漏浆实验结果
Fig.5 2.0cm gravel simulation experiment 11#~20#
plugging slurry experimental results

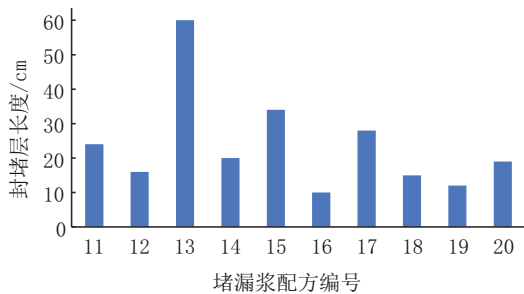


图 6 2.0 cm 砾石模拟实验 11~20号堵漏浆封堵层长度
Fig.6 2.0cm gravel simulation experiment 11#~20#
plugging slurry sealing layer length

漏剂。

2.3 现场试验

DY9井是部署在川东南地区丁山构造带的一口预探井。二开钻井期间在须家河组、雷口坡组和嘉陵江组钻遇多个漏层,钻进至2539.41 m发生失返性漏失,现场配制桥浆进行堵漏,第一次堵漏配方(堵漏浆浓度29%):10%复合堵漏剂+2%超细碳酸钙(1500目)+6%核桃壳(1~3 mm)+2%刚性堵漏剂(0.5~1 mm)+2%刚性堵漏剂(1~3 mm)+2%单向封堵剂+1%棉籽壳+2%橡胶颗粒(0.5~1 mm)+2%云母,关井挤堵,最高套压2.7 MPa,提排量后,漏速12 m³/h。进行第二次桥浆堵漏,堵漏配方(堵漏浆浓度25%):6%复合堵漏剂+4%核桃壳(1~3 mm)+2%核桃壳(3~5 mm)+2%云母+1%锯末+2%刚性堵漏剂(0.5~1 mm)+1%刚性堵漏剂(1~3 mm)+2%单向封堵剂+3%超细碳酸钙(1500目)+1%随钻堵漏剂+1%高强度纤维,关井挤堵,套压最高3.5 MPa,挤入堵漏浆6.8 m³,逐渐提高排量至45 L/s,漏速4 m³/h。

针对现场漏失孔缝尺寸难以确定、承压低的特点和前两次堵漏情况,室内采用新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置进行堵漏配方评价,结合实际地层温度设置实验温度80℃,填充砾石直径为2 cm。室内评价结果表明,最大实验封堵压力4 MPa,封堵层长度12 cm,无漏失。现场根据室内评价结果对堵漏配方进行优化,增加了多维弹性材料弹性孔网,拓宽了封堵颗粒尺寸,优化后堵漏配方(堵漏浆浓度28%):4%复合堵漏剂1型+2%复合堵漏剂2型+2%核桃壳(3~5 mm)+3%核桃壳(1~3 mm)+3%核桃壳(0.5~1 mm)+3%弹性孔网+1%刚性堵漏剂(0.5~1 mm)+2%单向封堵剂+3%超细碳酸钙(1500目)+2%橡胶颗粒(0.5~1 mm)+3%云母。进行第三次桥浆堵漏,注堵漏浆后关井挤堵,套压最高5 MPa,挤入堵漏浆10.4 m³,静止4 h后开井逐步提排量循环验漏,无漏失,恢复钻进。

2.4 堵漏机理分析

基于复杂井筒条件下缝洞尺寸难以测量的难题,弹性孔网等压缩变形类材料可拓宽封堵孔缝范围,在压差作用下发生变形并快速挤入不同尺寸孔缝中,变缝为孔,同时对其它颗粒类封堵材料实现

捕集滞留;多尺寸颗粒材料在弹性孔网作用下发生滞留,大颗粒堆积架桥,小颗粒填充承压,橡胶颗粒弹性大,云母片状材料楔入力强,多元协同提高封堵层承压强度。

3 结论与建议

(1)新型可视化缝洞恶性漏失堵漏评价装置可以真实模拟缝洞型漏失地层、实现堵漏材料封堵形态的可视化研究,对于评价缝洞恶性漏失堵漏材料功效、制定堵漏体系配方及开展缝洞型恶性漏失堵漏标准化研究具有较好指导作用。

(2)优化形成了适用1.0和2.0 cm两种砾石缝洞系统的堵漏体系配方,刚性填充材料石英砂和超细钙复合使用,对1.0 cm小尺寸砾石块漏失层堵漏效果更好;对于2.0 cm大孔缝漏失层,橡胶颗粒和弹性孔网堵漏效果较好;针对缝洞型恶性漏失,纤维材料拉筋缠绕、弹性材料变形挤压辅以刚性架桥颗粒合理级配可实现致密充填,形成具有“强力链网络”的封堵层。

(3)建议恶性漏失地层承压堵漏技术应综合地质、工程、材料等学科开展一体化研究与实践,深入完善漏失和堵漏机理研究,强化堵漏材料与堵漏工艺对漏失地层的适应性,进而提高恶性漏失堵漏技术水平。

参考文献(References):

- [1] 王中华.复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J].中外能源,2014,19(1):39-48.
WANG Zhonghua. Current situation and development direction of plugging technology in complex loss formation [J]. Sino-Global Energy, 2014,19(1):39-48.
- [2] 孙金声,王韧,龙一夫.我国钻井液技术难题、新进展及发展建议[J].钻井液与完井液,2024,41(1):1-30.
SUN Jinsheng, WANG Ren, LONG Yifu. Challenges, developments, and suggestions for drilling fluid technology in China [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2024,41(1):1-30.
- [3] 许成元,闫霄鹏,康毅力,等.深层裂缝性储集层封堵层结构失稳机理与强化方法[J].石油勘探与开发,2020,47(2):399-408.
XU Chengyuan, YAN Xiaopeng, KANG Yili, et al. Structural failure mechanism and strengthening method of plugging zone in deep naturally fractured reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020,47(2):399-408.
- [4] 李锦峰.恶性漏失地层堵漏技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(5):19-27.
LI Jinfeng. The status and development direction of plugging technology for severe circulation loss formation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46

- (5):19-27.
- [5] 孙金声,白英睿,程荣超,等.裂缝性恶性井漏地层堵漏技术研究进展与展望[J].石油勘探与开发,2021,48(3):630-638.
SUN Jinsheng, BAI Yingrui, CHENG Rongchao, et al. Research progress and prospect of plugging technologies for fractured formation with severe lost circulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021,48(3):630-638.
- [6] 安莹慧,汪伟,张毅,等.硅基材料在钻井液中的应用及研究进展[J].钻探工程,2024,51(4):64-73.
AN Yinghui, WANG Wei, ZHANG Yi, et al. Application and research progress of silicon-based materials in drilling fluid[J]. Drilling Engineering, 2024,51(4):64-73.
- [7] 何鑫,王胜,何焯,等.富水砂卵石层堵漏凝胶的研制及其机理[J].钻探工程,2023,50(1):142-149.
HE Xin, WANG Sheng, HE Ye, et al. Development and mechanism of plugging gel for water-rich sand and gravel formations[J]. Drilling Engineering, 2023,50(1):142-149.
- [8] 闫晶.封堵评价用微裂缝岩心的模拟及模拟封堵实验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(5):18-21.
YAN Jing. Simulation of core with micro cracks used in plugging evaluation and plugging simulation experiment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(5):18-21.
- [9] 余海峰,许成元,李松.钻井液堵漏评价仪演进历程及发展方向[J].中国石油和化工标准与质量,2014(13):160-161.
YU Haifeng, XU Chengyuan, LI Song. The evolution and development trend of drilling fluid plugging evaluation instrument[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014(13):160-161.
- [10] 邹建龙,屈建省,吕光明,等.纤维水泥堵漏性能评价研究[J].钻井液与完井液,2007,24(2):42-44.
ZOU Jianlong, QU Jiansheng, GuangmingLYU, et al. Laboratory evaluation of fiber cement in resuming lost circulation[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2007,24(2):42-44.
- [11] 胡三清.JLX-2动态堵漏试验仪的研制[J].石油机械,2000,28(6):13-14.
HU Sanqing. Model JLX-2 dynamic loss plugging tester[J]. China Petroleum Machinery, 2000,28(6):13-14.
- [12] 吕开河.钻井工程中井漏预防与堵漏技术研究与应用[D].青岛:中国石油大学,2007.
KaiheLYU. Study and application of lost circulation resistance and control technology during drilling [D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2007.
- [13] 杨振杰,张玉强,吴伟,等.XAN-D新型堵漏评价试验仪研究与应用[J].钻井液与完井液,2010,27(1):44-46.
YANG Zhenjie, ZHANG Yuqiang, WU Wei, et al. Study and application of the model XAN-D lost circulation tester [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2010,27(1):44-46.
- [14] 康毅力,许成元,唐龙,等.构筑井周坚韧屏障:井漏控制理论与方法[J].石油勘探与开发,2014,41(4):473-479.
KANG Yili, XU Chengyuan, TANG Long, et al. Constructing a tough shield around the wellbore: Theory and method for lost-circulation control[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014,41(4):473-479.
- [15] 李公让,于雷,刘振东,等.弹性孔网材料的堵漏性能评价及现场应用[J].石油钻探技术,2021,49(2):48-53.
LI Gongrang, YU Lei, LIU Zhendong, et al. The evaluation and application of lost circulation control by elastic mesh materials[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021,49(2):48-53.
- [16] 严君凤,蒋炳,罗显梁,等.膨胀堵漏材料及堵漏工艺研究进展[J].钻探工程,2023,50(S1):56-62.
YAN Junfeng, JIANG Bing, LUO Xianliang, et al. Research progress in expansion plugging materials and plugging technology[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):56-62.
- [17] 于雷,李公让,王宝田,等.一种新型亲油纤维堵漏剂的研发[J].天然气工业,2023,43(6):112-118.
YU Lei, LI Gongrang, WANG Baotian, et al. Research and development of a new type of oleophilic fiber plugging agents [J]. Natural Gas Industry, 2023,43(6):112-118.

(编辑 王跃伟)