



中国科学引文数据库 (CSCD) 来源期刊
全国中文核心期刊
美国《化学文摘》(CA) 收录期刊
俄罗斯《文摘杂志》(AJ) 收录期刊
EBSCO学术数据库收录期刊 (美)
AAPG协会期刊出版平台收录期刊 (美)
中国科技论文统计源期刊
RCCSE中国核心学术期刊

自固结堵漏剂性能评价及现场应用

王在明 许婧 张艺馨 沈园园 徐小峰 李祥银

Performance Evaluation and Field Application of Self-Consolidating Plugging Agents

WANG Zaiming, XU Jing, ZHANG Yixin, SHEN Yuanyuan, XU Xiaofeng, LI Xiangyin

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021044>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

快速滤失固结堵漏材料ZYSD的研制及应用

Development and Application of Rapid Filtration and Consolidation Lost Circulation Material ZYSD

石油钻探技术. 2018, 46(1): 49–54 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018011>

自悬浮支撑剂的性能评价与现场应用

Performance Evaluation and Field Application of a Self-Suspending Proppant

石油钻探技术. 2018, 46(6): 90–94 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018144>

明1井交联成膜与化学固结承压堵漏技术

Strengthening Plugging Operations by Combining Cross-Linked Film and Chemical Consolidation in Well Ming-1

石油钻探技术. 2017, 45(2): 54–60 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201702009>

弹性孔网材料的堵漏性能评价及现场应用

The Evaluation and Application of Lost Circulation Control by Elastic Mesh Materials

石油钻探技术. 2021, 49(2): 48–53 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021008>

南海莺琼盆地高温高压井堵漏技术

Plugging Technology for HTHP Wells in the Yingqiong Basin of the South China Sea

石油钻探技术. 2019, 47(6): 15–20 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019081>

涪陵页岩气田油基钻井液随钻堵漏技术

Plugging while Drilling Technology Using Oil-Based Drilling Fluid in Fuling Shale Gas Field

石油钻探技术. 2017, 45(3): 21–26 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201703004>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021044

引用格式: 王在明, 许婧, 张艺馨, 等. 自固结堵漏剂性能评价及现场应用 [J]. 石油钻探技术, 2021, 49(6): 62-66.

WANG Zaiming, XU Jing, ZHANG Yixin, et al. Performance evaluation and field application of self-consolidating plugging agents [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(6): 62-66.

自固结堵漏剂性能评价及现场应用

王在明, 许婧, 张艺馨, 沈园园, 徐小峰, 李祥银

(中国石油冀东油田分公司钻采工艺研究院, 河北唐山 063000)

摘要: 针对常规复合堵漏剂堵漏成功率低的问题, 开展了自固结堵漏剂研究。采用流化包衣机在堵漏剂外表面涂覆可在井下固结的环氧胶黏剂, 流化包衣在井下温度条件下固结, 从而提高堵漏剂的井下封堵强度。调节流化包衣机的进风口温度 50~100 °C、出风口温度 25~40 °C、喷枪速率 0.5~2.0 L/h, 可实现喷雾、包衣、干燥一体完成。室内高温堵漏试验表明, 自固结堵漏剂具有较好的抗钻井液扰动和抗负压抽汲作用, 通过选择环氧树脂的型号、固化剂和促进剂 DL-1 的加量, 能够调节自固结堵漏剂的井下固结时间; 110 °C 温度下, 堵漏剂在 2 h 以后开始初步固结, 强度逐渐增加, 15 h 时抗压强度达到 4.6 MPa。堵漏层扫描电镜图片显示, 涂覆层在温度升高过程中发生了软化和固结, 固结后材料之间结合紧密。研究结果表明, 自固结堵漏剂能够大幅提高严重裂缝性漏失的堵漏成功率, 可为实现漏失层的有效封堵提供技术支撑。

关键词: 自固结; 复合堵漏; 流化包衣; 固结强度; 堵漏成功率

中图分类号: TE28⁺³

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2021)06-0062-05

Performance Evaluation and Field Application of Self-Consolidating Plugging Agents

WANG Zaiming, XU Jing, ZHANG Yixin, SHEN Yuanyuan, XU Xiaofeng, LI Xiangyin

(Drilling and Production Technology Research Institute, PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei, 063000, China)

Abstract: In light of the low success rate of plugging by conventional compound plugging agents, self-consolidating plugging agents were studied. A fluidized coating equipment was adopted to coat the outer surface of the plugging agents with a layer of epoxy adhesive that can be consolidated at downhole temperature, so as to increase the underground plugging strength of plugging agents. By adjusting the inlet air temperature of the fluidized coating equipment at 50–100 °C, the air outlet temperature at 25–40 °C, and the rate of the spray gun at 0.5–2.0 L/h, the spray, coating, and drying could be achieved. The laboratory experiments of plugging at high temperature showed that the developed plugging agents could resist the disturbance of drilling fluids and the negative-pressure suction. By selecting the specific type of epoxy resin, the dosage of curing agent and accelerator DL-1, the downhole consolidation time of the self-consolidating plugging agents could be adjusted. At 110 °C, the plugging agents began to consolidate after 2 h, and the strength increased to 4.6 MPa after 15 h. Scanning electron microscope photographs of the plugging layers showed that the coating layers were softened and then consolidated as the temperature rose, and the materials bound tightly after consolidation. The result indicated that the self-consolidating plugging agents can greatly improve the success rate of plugging in severely fractured thief zones and provide technical supports for effective plugging.

Key words: self-consolidation; compound plugging; fluidized coating; consolidation strength; success rate of plugging

钻井过程中发生井漏时, 通常采用云母、核桃壳、纤维等堵漏材料复配进行堵漏, 也可以采用凝胶、油井水泥等进行堵漏^[1-2]。上述方法各有优缺

点: 云母、核桃壳和纤维等材料复配堵漏工艺简单, 是目前应用最为广泛的一种堵漏方法, 但堵漏材料只是简单的物理堆积, 在重新开泵钻井过程中钻井

收稿日期: 2020-10-21; 改回日期: 2021-02-26。

作者简介: 王在明(1968—), 男, 江苏高邮人, 1991 年毕业于石油大学(华东)钻井工程专业, 2008 年获中国石油大学(华东)油气井工程专业博士学位, 高级工程师, 主要从事油气钻井技术研究。E-mail: ming8082002@126.com。

基金项目: 国家科技重大专项“南堡凹陷油气富集规律与增储领域”(编号: 2016ZX05006006)、中国石油冀东油田分公司科技攻关项目“中深层井漏主控因素及堵漏技术研究”(编号: ZJ2020C02)联合资助。

液会冲刷堆积的堵漏材料, 破坏堵漏层, 使堵漏失效^[3~5]; 采用凝胶封堵较大的地层裂缝时, 凝胶会沿裂缝漏失, 导致堵漏失败^[6~7]; 油井水泥堵漏成功率较高, 但其硬度往往大于地层硬度, 重新钻井时钻头会沿较软的地层钻进, 钻出新井眼, 使老眼报废, 造成损失。此外, 水泥浆会污染钻井液, 使钻井液失效, 增加钻井成本^[8~9]。水下环氧树脂胶黏剂是近几年发展较快的一种新材料, 能够实现水下钢板钢材粘接, 在养殖业中用来在水中粘接生物活体, 在医疗行业中用来粘接肠管^[10]。在油气工程领域, 水下环氧树脂胶黏剂逐步得到应用, 如水泥浆中添加环氧树脂提高水泥环耐久性、利用环氧树脂胶结人工岩心等。为改变常规堵漏材料在井下的简单物理堆积的状态, 提高堵漏层的强度, 避免钻井液冲刷, 笔者将环氧树脂胶黏剂应用于堵漏剂中, 利用流化包衣机在堵漏材料上喷涂环氧树脂胶黏剂^[11], 制备可在井下温度条件下固结的自固结堵漏剂, 提高了堵漏剂之间的粘结力。南堡油田 A 井等多口井应用结果表明, 涂覆环氧树脂胶黏剂的堵漏剂能够大幅提高严重裂缝性漏失地层的堵漏成功率, 实现漏失层的有效封堵。

1 自固结堵漏剂固结原理及制备工艺

1.1 自固结堵漏剂固结原理

自固结堵漏剂是在堵漏材料外表面涂覆的一层可在水下固结的包衣材料, 包衣材料由双酚 A 环氧树脂、酮亚胺、促进剂 DL-1、偶联剂 KH-550 和硬脂酸钙等组成。其中, 双酚 A 环氧树脂是一种环氧低聚物, 含有环氧基和羟基 2 个活性基团, 具有反应性。酮亚胺是一种潜伏性的固化剂, 在室温下稳定, 在井下温度和水分子作用下, 可以分解释放出苯酚、甲醛和脂肪胺。含有活泼氢原子的胺与环氧树脂中的环氧基作用生成羟基, 与环氧基发生醚化反应, 最后生成网状或体型聚合物^[12]。促进剂 DL-1 用于调节固化时间, 为堵漏作业提供安全施工窗口。偶联剂 KH-550 可改善包衣材料与堵漏材料之间具有相容性, 提高包衣材料与堵漏材料之间的粘结力。硬脂酸钙涂覆在最外层, 防止涂覆胶黏剂的堵漏剂在存储运输过程中相互粘连。包衣材料配方为: 环氧树脂+3.0%~12.0% 固化剂+0.1%~3.0% 促进剂 DL-1 +1.0%~2.0% 偶联剂+2.0% 硬脂酸钙。

1.2 自固结堵漏剂制备工艺

采用流化包衣机加工制备自固结堵漏剂。流

化包衣机是集喷雾、流化包衣和干燥于一体的多功能设备^[13], 其工作原理如图 1 所示。经过滤、加热后的空气从气流分布板进入流化室, 推动待包覆样品上升, 上升到一定高度后又在自身重力作用下下降, 待包覆样品在流化室呈现上下循环的“流化”状态; 包衣材料从管道进入喷头, 在喷嘴处雾化成细小液滴, 喷洒在样品上, 流化室温度较高, 样品上的液滴迅速干燥, 包衣材料中的溶剂蒸发, 包覆样品。包衣厚度可以通过控制流化包衣时间进行调节^[14~15]。



图 1 流化包衣机工作原理示意

Fig.1 Principle of the fluidized coating equipment

流化包衣工艺流程为^[16~17]: 1) 材料预处理。云母、核桃壳和纤维等堵漏材料分别依次进行水洗、稀硫酸溶液浸泡、偶联剂浸泡和干燥等处理, 得到待包覆堵漏材料。2) 配制包衣材料。将包衣材料中可溶解于乙醇溶剂的环氧树脂等材料和溶解于蒸馏水的硬脂酸钙等材料按配方分别配制, 配制黏度以喷枪能雾化为原则。3) 流化包衣。将预处理后的堵漏材料分别置于流化包衣机内, 设置鼓风速率 40~80 m³/h, 喷气压力 0.4~0.6 MPa, 进风口温度 50~100 °C, 出风口温度 25~40 °C; 打开流化包衣机中的喷枪, 喷枪速率调节为 0.5~2.0 L/h 进行喷涂。喷涂和干燥同步完成, 喷涂时间越长, 涂覆层越厚。完成喷涂和干燥后, 将包覆好的堵漏材料从流化包衣机中取出, 冷却并装袋保存。

2 自固结堵漏剂性能评价

自固结堵漏剂堵漏效果、固结时间是否满足安全施工的需要、固结的强度是否满足堵漏的需要等, 是自固结堵漏剂最为关键的性能指标。因此, 主要从以下 3 方面进行自固结堵漏剂性能评价: 1) 堵漏效果; 2) 固结时间, 合适的固结时间既是现场施

工安全的需求,又是堵漏成功的关键因素;3)固结状态和固结强度,适当的固结强度可以大幅提高堵漏成功率。

2.1 堵漏效果

为了对比涂覆自固结材料堵漏剂 A 与未涂覆自固结材料堵漏剂 B 的堵漏效果,采用 HD-II 堵漏模拟装置(见图 2),进行了堵漏效果评价试验。

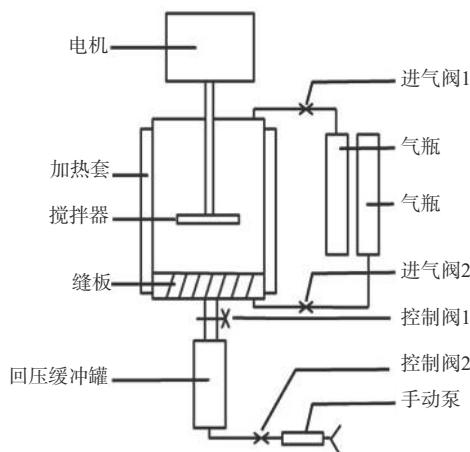


图 2 HD-II 堵漏模拟装置示意

Fig.2 The HD-II plugging device

HD-II 堵漏模拟装置温度调节范围为室温至 120 ℃;压力调节范围为正向压力 0~10.0 MPa, 反向压力 0~3.0 MPa 的;搅拌速度为 0~200 r/min。该装置可以模拟钻井液循环对封堵层的扰动和破坏,也可以模拟抽汲压力对封堵层的破坏。

涂覆自固结材料堵漏剂 A 配方为:5% 膨润土浆+8% 自固结随钻堵漏剂+5% 自固结矿物纤维+4% 自固结细云母+3% 自固结蚌壳渣+4% 自固结核桃壳+4% 自固结细粒石灰石;未涂覆自固结材料堵漏剂 B 配方为:5% 膨润土浆+8% 随钻堵漏剂+5% 矿物纤维+4% 细云母+3% 蚌壳渣+4% 核桃壳+4% 细粒石灰石。堵漏效果评价试验步骤如下:1)封堵宽度为 3 mm 的缝板,正向从 0 MPa 加压至 5.0 MPa,每增加 0.1 MPa 停留 5 min;2)将完成封堵的系统加温至 110 ℃,并保持 5.0 h 后,以转速 200 r/min 搅拌 30 min,再正向从 0 MPa 加压至 5.0 MPa,每增大 0.1 MPa 保持 5 min,模拟钻井液冲刷对封堵层的影响;3)将完成封堵的系统加温至 110 ℃,并保持 5.0 h 后,反向从 0 MPa 加压至 3.0 MPa,每增大 0.1 MPa 保持 5 min,模拟井筒抽汲等负压条件对封堵层的影响;4)将缝板换成宽度为 5 mm 的缝板,重复以上试验步骤。试验结果见表 1。

表 1 未涂覆自固结材料配方和涂覆自固结堵漏材料配方堵漏效果对比

Table 1 Comparison of plugging effect between uncoated formula and formula coated by self-consolidating plugging material

堵漏剂	缝板宽度/mm	封堵成功时压力/MPa	漏失时压力/MPa	漏失时反向压力/MPa
B	3	1.5	0.5	2.0
	5	1.9	0.3	1.8
A	3	1.5	未漏失	未漏失
	5	2.0	未漏失	未漏失

由表 1 可见,涂覆自固结材料堵漏剂 A 与未涂覆自固结材料堵漏剂 B 均具有较好的封堵裂缝效果。为了验证钻井液的扰动对堵漏效果的影响,封堵完成后打开电机,搅拌器以 200 r/min 转速搅拌 30 min 后,再正向施加 0.3~0.5 MPa 压力。未涂覆自固结材料堵漏剂 B 再次发生漏失,而涂覆自固结材料堵漏剂 A 未发生漏失,表明涂覆了自固结堵漏材料的堵漏剂可有效抵抗钻井液的扰动,未涂覆自固结材料的堵漏剂则无法抵抗钻井液扰动。为了模拟井下抽汲等负压作用对堵漏效果的影响,封堵完成后,反向施加 1.8~2.0 MPa 的压力,未涂覆自固结材料堵漏剂 B 的封堵层被冲开,再次发生漏失;而涂覆自固结材料堵漏剂 A 的封堵层未发生漏失,表明常规堵漏剂封堵层易遭到负压破坏,涂覆自固结材料的堵漏剂由于已经固结,避免了负压对堵漏层的破坏。上述试验结果表明,自固结堵漏剂具有较好的抗钻井液扰动和抗负压抽汲的能力,可大幅提高堵漏成功率。

2.2 固结时间

固结时间是指自固结堵漏剂在井下温度条件下开始初步固结的时间,固结时间必须大于现场施工安全时间,一般要求井深 3 500 m 处的安全施工时间在 2 h 以上。为了确定不同包衣配方堵漏剂是否满足施工要求,开展了固结时间评价试验。试验材料为涂覆不同包衣配方材料的云母,试验仪器采用玻璃瓶、老化罐和温度调节范围为室温至 180 ℃的烘箱,试验步骤如下:1)用不同的包衣配方喷涂云母,制备好涂覆胶黏剂的云母;2)将 50 g 涂覆胶黏剂的云母放进盛有 200 g 清水的玻璃瓶中,盖好瓶盖,分别放入 70, 80, 90 及 110 ℃ 的烘箱中养护;3)1 h 后每 20~30 min 观察试验玻璃瓶中样品一次,轻轻晃动试验玻璃瓶,观察涂覆胶黏剂云母是否相互粘接。

根据地层温度优选 2 种包衣配方材料: 温度 80 ℃ 以下条件下选择 I 型环氧树脂, 包衣配方为 I 型环氧树脂 +11% 固化剂 +2% 促进剂 DL-1+2% 偶联剂 +2% 硬脂酸钙, 试验结果表明, 该配方的固结时间为 3.2~3.5 h; 温度 80~110 ℃ 条件下选择 II 型环氧树脂, 包衣配方为 II 型环氧树脂 +3.0% 固化剂 +0.6% 促进剂 DL-1+2.0% 偶联剂 +2.0% 硬脂酸钙, 该配方的固结时间为 2.2~2.8 h。2 种包衣配方固结时间均在 2 h 以上, 满足现场安全施工需求。

2.3 固结强度

为评价堵漏剂固结强度是否满足施工要求, 开展了自固结堵漏剂固结强度试验。采用 HD-II 堵漏模拟装置开展了自固结堵漏剂堵漏试验, 将形成的封堵层取出, 用抗压试验机测定其固结后的强度。采用扫描电镜观察封堵层形貌, 判断自固结堵漏剂在高温下是否发生了固结化学反应。

参照《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T 50081—2002) 进行固结强度测试^[18], 将堵漏模拟装置中形成的封堵层端部打磨平整, 制成直径 50 mm、高度 30 mm 的圆柱, 放入抗压试验机中进行加压试验, 缓慢加载压力并读取最大抗压载荷, 试验温度为 110 ℃。试验结果如图 3 所示。

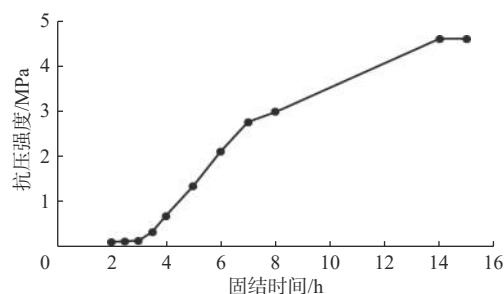


图 3 试样固结时间和抗压强度的关系

Fig.3 Relationship between the consolidation time and compressive strength of samples

由图 3 可知, 110 ℃ 下, 堵漏剂在 2 h 开始初步固结, 但抗压强度较低, 3.5 h 后抗压强度迅速增加, 8 h 时抗压强度增至近 3.0 MPa, 15 h 时抗压强度达到 4.6 MPa。抗压试验表明, 自固结堵漏剂在井下高温条件下能够实现固结, 且随时间增加, 固结强度逐渐增加。

按照现场堵漏配方要求, 将自固结堵漏剂进行复配并进行堵漏试验(配方 1 为 5% 膨润土浆 +5% 自固结随钻堵漏剂 +3% 自固结矿物纤维 +5% 自固结细云母 +8% 自固结蚌壳渣 +5% 自固结核桃壳 +5% 自固结细粒石灰石; 配方 2 为去除配方 1 中 5% 膨

润土浆和 3% 自固结矿物纤维后的其他材料), 采用扫描电镜观察形成的封堵层, 结果见图 4。

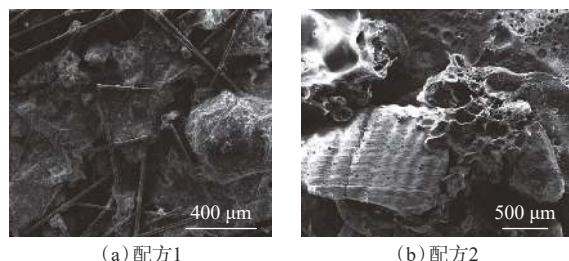


图 4 110 ℃ 条件下堵漏试验封堵层扫描电镜照片

Fig.4 Scanning electron microscope photographs of experimental plugging layers at 110 °C

由图 4 可知: 配方 1 堵漏剂相互粘接良好, 纤维较好地嵌入其他堵漏剂之间, 起到了连接和加固堵漏层的作用, 钻井液中的固相不影响自固结堵漏剂的固结; 配方 2 材料之间结合紧密, 说明涂覆层在温度升高过程中发生了软化和固结的化学反应, 因此, 试样固结后固结强度较好。

3 现场应用

自固结堵漏剂在高尚堡油田和南堡油田多口漏失井进行了应用, 取得了较好的堵漏效果。南堡 A 井设计井深 5 256 m, 目的层为沙一段和寒武系毛庄组。该井在三开 4 088~4 684 m 井段(沙河街组) 钻遇断层, 发生多次失返性漏失。因井漏 2 次侧钻, 全井共进行常规复合堵漏 59 次, 水泥堵漏 8 次, 漏失钻井液 5 281 m³, 堵漏效果不理想, 因此决定在该井试用自固结堵漏剂进行堵漏。

配制自固结堵漏浆 35 m³, 堵漏浆配方为 5% 膨润土浆 +5% 自固结随钻堵漏剂 +3% 自固结矿物纤维 +5% 自固结细云母 +8% 自固结蚌壳渣 +5% 自固结核桃壳 +5% 自固结细粒石灰石。先将堵漏浆泵入钻具内并替至 4 100~4 380 m 漏失层井段, 再上提钻具至 4 100 m 之上循环清洗钻具; 关封井器给井眼加压 2~3 MPa, 将堵漏浆挤入地层, 井眼压力保持 1.0~3.0 MPa 在 5.0 h 以上, 确保堵漏剂完全固结; 起钻换钻头并下入钻具, 在井深 4 000 m 处以正常排量的三分之一开泵, 试探下放钻具, 在井深 4 310 m 处碰到堵漏剂遇阻, 转动钻具清除多余堵漏剂; 到达井深 4 400 m 后, 缓慢提高泵速至正常排量, 井口返浆正常, 堵漏成功, 后该井正常钻进, 顺利完钻。相比于前期采用的堵漏方法, 自固结堵漏剂因特有的固结作用, 可避免钻井液冲刷、压力激动对堵漏

层的干扰破坏,成功堵漏。

4 结论与建议

1)通过选择树脂类型、固化剂和促进剂加量,自固结堵漏剂的固结时间在2 h以上,满足现场安全施工的需要。

2)固结强度试验表明,在温度110 °C条件下,自固结堵漏剂2 h后开始初步固结,且随着时间延长,固化强度逐渐增大,在15 h时达到4.6 MPa。

3)自固结堵漏剂是环氧树脂在堵漏技术方面的创新应用,目前主要适用于水基钻井液,需要进一步研究其在油基钻井液中的应用。

参 考 文 献

References

- [1] 杨川,刘忠飞,肖勇,等.库车山前构造高温高压储层环空密封固井技术[J].断块油气田,2019,26(2):264–268.
YANG Chuan, LIU Zhongfei, XIAO Yong, et al. Cementing technology of annulus sealing in high-temperature and high-pressure reservoir of Kuqa Piedmont[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2019, 26(2): 264–268.
- [2] 鄢捷年.钻井液工艺学[M].东营:石油大学出版社,2001:348–360.
YAN Jienian. Drilling fluid technology[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2001: 348–360.
- [3] 胜亚楠,管志川,许玉强,等.井壁稳定问题的不确定性分析方法探讨[J].断块油气田,2017,24(6):847–850,866.
SHENG Yanan, GUAN Zhichuan, XU Yuqiang, et al. Discussion on uncertainty analysis method for wellbore stability[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(6): 847–850, 866.
- [4] 康毅力,王凯成,许成元,等.深井超深井钻井堵漏材料高温老化性能评价[J].石油学报,2019,40(2):215–223.
KANG Yili, WANG Kaicheng, XU Chengyuan, et al. High-temperature aging property evaluation of lost circulation materials in deep and ultra-deep well drilling[J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(2): 215–223.
- [5] 王在明,邱正松,徐加放,等.复合堵漏中平衡区域及其在新型堵漏仪中的应用[J].石油学报,2007,28(1):143–145.
WANG Zaiming, QIU Zhengsong, XU Jiafang, et al. Balance area of compound lost circulation control and its application in novel lost circulation simulator[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1): 143–145.
- [6] 方俊伟,吕忠楷,何仲,等.化学凝胶堵剂承压堵漏技术在顺北3井的应用[J].钻井液与完井液,2017,34(6):13–17.
FANG Junwei, LYU Zhongkai, HE Zhong, et al. Application of chemical gel LCM on Well Shunbei-3[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34(6): 13–17.
- [7] 马庆坤,朱维耀,高珉,等.可动凝胶体系渗流流变特性及其表征[J].石油学报,2007,28(5):85–88.
MA Qingkun, ZHU Weiyao, GAO Min, et al. Characterization and rheometry of porous flow for weak gel system[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 85–88.
- [8] 余婷婷,邓建民,李键,等.纤维堵漏水泥浆的室内研究[J].石油钻采工艺,2007,29(4):89–91.
YU Tingting, DENG Jianmin, LI Jian, et al. Laboratory research on use of fiber cement slurry to prevent lost circulation[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(4): 89–91.
- [9] 蔡利山,张进双,苏长明.关于合理使用承压堵漏技术指标的建议[J].石油钻探技术,2008,36(2):84–87.
CAI Lishan, ZHANG Jinshuang, SU Changming. Suggestions about reasonable use of sealing under pressure technology[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(2): 84–87.
- [10] 王熙.水下胶粘剂的应用研究[D].西安:西北工业大学,2007.
WANG Xi. Application of underwater adhesives[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007.
- [11] 李久龙,张春爱,张孝阿.高柔韧性环氧树脂胶粘剂的制备与性能[J].中国胶粘剂,2016,25(12):25–29.
LI Jiulong, ZHANG Chun'ai, ZHANG Xiaoa. Preparation and properties of epoxy resin adhesive with high flexibility[J]. China Adhesives, 2016, 25(12): 25–29.
- [12] 胡东岚,李卉,罗迎社,等.一种自制环氧树脂结构胶粘剂的动态黏弹性能研究[J].中南林业科技大学学报,2019,39(4):112–116.
HU Donglan, LI Hui, LUO Yingshe, et al. Study on dynamic viscoelasticity of an epoxy resin building repair adhesive[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(4): 112–116.
- [13] 张晶,陈婷,宋洪涛.流化床悬浮包衣法制备吗替麦考酚酯缓释微丸[J].中国医院药学杂志,2014,34(17):1471–1476.
ZHANG Jing, CHEN Ting, SONG Hongtao. Preparation of mycophenolate mofetil sustained-release pellets by fluid bed coating[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy, 2014, 34(17): 1471–1476.
- [14] 徐晨,谢俊,黄春玉,等.粉末包衣技术在药物制剂领域的应用研究进展[J].药学进展,2013,37(12):635–641.
XU Chen, XIE Jun, HUANG Chunyu, et al. Recent researches on the application of powder coating technology in pharmaceuticals[J]. Progress in Pharmaceutical Sciences, 2013, 37(12): 635–641.
- [15] 谢中国,王芙蓉,金煜华,等.湿法制粒与流化床工艺制备海水仔稚鱼微粒饲料研究[J].中国粮油学报,2013,28(10):66–70.
XIE Zhongguo, WANG Furong, JIN Yuhua, et al. Marine fish larvae diet prepared using wet granulation and fluidized bed coating process[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(10): 66–70.
- [16] 王新,姚研,徐庆,等.热熔融流化床液固接触包衣特性的CFD-DEM模拟[J].中国粉体技术,2019,25(2):6–11.
WANG Xin, YAO Yan, XU Qing, et al. Liquid-solid contacting simulation of hot-melt fluidized bed coating based on CFD-DEM[J]. China Powder Science and Technology, 2019, 25(2): 6–11.
- [17] 游国叶.流化床包衣法制备氢氯噻嗪缓释微丸[J].河南大学学报(医学版),2018,37(3):166–169.
YOU Guoye. Fluidized bed-coating to prepare Hydrochlorothiazide sustained release pellets[J]. Journal of Henan University(Medical Science), 2018, 37(3): 166–169.
- [18] 陈毅,刘海龙,张羽臣,等.热采抗高温水泥石力学完整性研究[J].石油机械,2018,46(11):23–28.
CHEN Yi, LIU Hailong, ZHANG Yuchen, et al. Study on mechanical integrity of high temperature cement in thermal recovery well[J]. China Petroleum Machinery, 2018, 46(11): 23–28.