

基于快速堵漏阀的多漏层不起钻堵漏 技术研究及应用

吴霞

(中石化西南石油工程有限公司钻井工程研究院, 四川 德阳 618000)

摘要:川渝地区裂缝、断层、不整合接触的弱面结构及多压力体系等复杂地层因素,导致同一裸眼段多层、多机理漏失频发,传统堵漏技术存在大粒径堵漏材料泵送通道建立慢、堵漏耗时长、堵漏工具稳定性差等问题,见效慢、效率低,为钻探工作正常开展带来了挑战。对此,本文以地面投球切换流道而快速建立堵漏通道的思路,开展快速堵漏阀优化设计、堵漏作业流程制定,完成基于快速堵漏阀的多漏层不起钻堵漏技术研究,通过现场实钻应用,可实现不起钻单趟最多堵漏5个漏层,堵漏作业时效提高74%,大大降低堵漏成本。为复杂漏层快速随钻堵漏提供了新的技术手段。

关键词:多漏层;随钻堵漏;分段堵漏;快速堵漏阀

中图分类号:TE28;P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2025)03-0146-07

Research and application of plugging without tripping out in multiple leakage layers based on fast circulating valve

WU Xia

(Drilling Engineering Research Institute, Sinopec Xinan Oilfield Service Corporation, Deyang Sichuan 618000, China)

Abstract: Complex geological factors such as fractures, faults, weak surface structures in unconformity contact, and multiple pressure systems in Sichuan-Chongqing region result in multi-layers and multi-mechanisms leakage in the same open hole. The traditional plugging technology has problems such as slow establishment of pumping channels for large particle plugging materials, long plugging time, and poor stability of existing plugging tools, resulting in slow effectiveness and low efficiency, which poses challenges to the normal development of drilling work. In view of this, this article adopted the working principle of quickly establishing a plugging channel by switching flow channels through ground injection of work balls, carried out optimization design of repeatable on-off fast circulating valve, formulated leak sealing operation processes, and completed the research on multiple leakage layers plugging without tripping out based on fast circulating valve. Through on-site drilling applications, it is possible to achieve plugging up to 5 leakage layers without tripping out and on-site test improved the efficiency of plugging operations by 74% and reduced the cost of plugging. This provides a new technological means for quickly plugging complex leakage layers while drilling.

Key words: multi-leakage layers; plugging while drilling; segmented plugging; fast circulating valve

0 引言

川渝地区地质条件复杂,岩性过渡带的不整合

地层、应力敏感裂缝发育的强非均质地层、断层或破碎带、多压力体系共存等地质风险,使得同一

收稿日期:2024-07-11; 修回日期:2024-11-08 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.03.019

基金项目:中国石油化工股份有限公司健康安全环保部项目“川渝地区井漏复杂情况跟踪分析及处理技术研究”(编号:30000000-22-ZC0699-0001)

作者简介:吴霞,女,汉族,1995年生,工程师,油气井工程专业,硕士,从事钻井工艺技术、工具研发等工作,四川省德阳市旌阳区金沙江西路699号,wux7.osxn@sinopec.com。

引用格式:吴霞.基于快速堵漏阀的多漏层不起钻堵漏技术研究及应用[J].钻探工程,2025,52(3):146-152.

WU Xia. Research and application of plugging without tripping out in multiple leakage layers based on fast circulating valve[J]. Drilling Engineering, 2025,52(3):146-152.

裸眼段多层、多机理漏失普遍存在,堵漏难度大,严重制约钻井提速,增加单井综合成本^[1]。随着川渝地区油气勘探开发的深入,井漏已经成为该地区钻探中的重大“卡脖子”技术难题^[2]。

井漏处理核心在于实现快速堵漏。目前对于川渝地区复杂漏失,学者多聚焦于高性能堵漏材料的研究,基于刚性堵漏机理^[3]、柔性封堵理论^[4]、“应力笼”理论等^[5],采用架桥、高失水、固化、聚合物凝胶等各类堵漏材料的结构性质及与漏失通道的相互作用关系,形成桥接堵漏、固结堵漏、凝胶堵漏等工艺技术,提高单次堵漏作业的一次堵漏成功率^[6-10]。对于漏失通道较大的漏失,由于井下钻具组合水眼尺寸限制了堵漏材料的粒径选择范围,随钻堵漏技术使用受限,须起钻更换堵漏钻具组合进行专项堵漏,堵漏结束后再次更换钻具组合恢复钻进^[11-12]。川渝工区地质条件复杂,同一裸眼层段往往存在多个漏层,需要频繁起下钻进行堵漏作业,存在堵漏耗时长、影响钻井生产效率、加剧井口操作风险、导致井筒质量下降、增加钻探成本等问题。因此依赖堵漏材料性能提升研究不能完全解决多漏点、多漏失次数快速堵漏难题,且井漏扩散及恶化风险大。

因此,多漏层多次堵漏作业时效的提升,依赖于堵漏材料泵送通道的快速建立,这使得通道建立类辅助堵漏工具成为有效解决复杂漏失快速堵漏难题的重要技术手段。国外斯伦贝谢、贝克休斯等油服公司研制出多次循环开关阀产品,采用RFID、流体、投球等多种激活方式,实现正常钻井模式和随钻堵漏作业模式切换^[13-14],这些工具在国内市场以租赁的形式进行技术服务,价格高昂,堵漏作业成本高。类似工具在国内的研究起步较晚,近年来,渤海钻探、北方双佳等单位相继开展了随钻旁通阀的研制^[15-16],多处于室内研究及性能测试阶段,现场应用成功的堵漏作业较少,普遍存在工具结构稳定性及工作可靠性等问题,主要表现为工具多次开关性能不稳定,一方面,工具激发压力不稳定,难以判断是否完成流道切换;另一方面,机械激发结构易发生结构变形,导致投球憋压困难,堵漏通道开启或关闭失效。

受限于堵漏工具安全性问题,前期川渝地区堵漏工具研究与应用较少,面临堵漏工具结构设计难度大,无配套堵漏工具的堵漏工艺技术带来的技术

挑战。针对现有堵漏工具激活结构稳定性和工艺适配性不足的问题。本文开展堵漏工具的滑套结构、球座结构、球篮及工作球组结构特异性设计,研制出允许大粒径堵漏材料通过的可重复开关快速堵漏阀,并基于堵漏流道及钻进流道快速切换方法,提出单趟钻分次钻遇不同漏点多次堵漏、多漏点同时漏失分段堵漏方法,形成多漏层不起钻快速堵漏技术,为复杂漏层快速随钻堵漏提供新的技术手段,具有重要的工程意义。

1 川渝地区漏层特征及堵漏难点

(1)长裸眼井段多套易漏层位共存,漏失风险大。川渝地区钻井受限于钻探成本,套管层次逐级简化,多套地层层系位于同一裸眼段;钻遇地层受山前挤压及推覆作用等综合影响,构造裂缝断层发育,地层界面不整合接触,漏失层位多,漏失连续严重。这将导致同一裸眼段多压力体系共存,压力敏感性地层诱导性漏失风险大。

(2)漏失特征及机理复杂,一次堵漏成功率低,长井段复漏风险高。诱导性裂缝、天然大缝洞等复杂地层恶性井漏,漏层特征复杂,漏失通道大,小粒径堵漏材料对大通道漏层封堵作用差,一次堵漏成功率低,一般只有50%~60%。同时,常规桥浆堵漏强度低、易被钻井液冲蚀、分散,封堵后承压能力低,井下压力波动,复漏风险高,容易导致同一裸眼段多漏点共存。

(3)缺乏专项堵漏工具,堵漏材料泵送通道建立慢,漏失易进一步恶化,引发次生风险。受限于钻头水眼尺寸及底部钻具组合结构,大粒径堵漏材料、水泥浆等不易通过,提钻更换钻具进行专项堵漏,工艺流程如图1所示,堵漏通道建立周期长,平均单次堵漏时间达11.7 d,易延误最佳堵漏时机,增加井塌、井喷等恶性事故风险。尤其针对同一裸眼段多漏层多次堵漏,需频繁起钻更换堵漏钻具组合,严重影响堵漏及钻井效率,且增加了卡钻、井壁失稳等风险^[17]。如MJ1-1H井5350~5386 m井段累计堵漏15次,期间起钻更换钻具组合8次,累计损失时效48.79 d,进一步加剧井下风险。

2 可重复开关快速堵漏阀研制

可重复开关快速堵漏阀设计为一种单次入井可多次激活(关闭)的旁通短节^[18],能实现不起钻堵

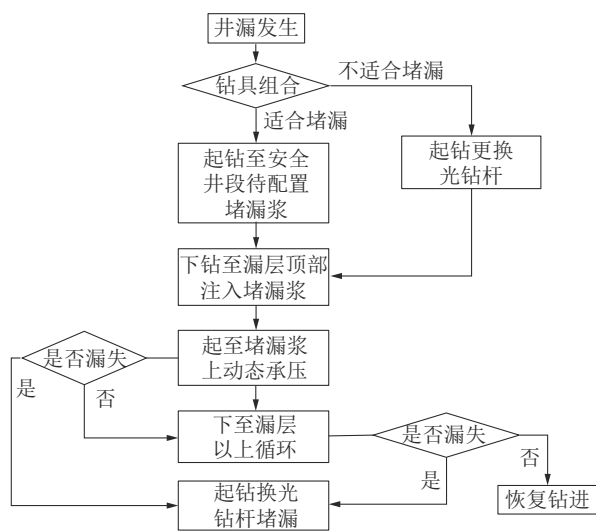


图1 常规堵漏工艺流程

Fig.1 Conventional plugging process

漏。匹配设计的大尺寸旁通孔提供堵漏材料泵送通道,避免堵塞和腐蚀底部钻具组合,且增加了堵漏浆浓度及颗粒级配的选择范围,从而提高堵漏效率并降低井控风险,适用于长裸眼井段多漏层快速堵漏。

2.1 工作原理

可重复开关快速堵漏阀工具分为正常钻进和堵漏作业两种模式,采用滑套阀控制切换。如图2所示,发生井漏时,将开阀球投入钻柱内,堵住堵漏阀芯轴内孔,在钻井液作用下实现钻柱内憋压压缩弹簧,两个旁通堵漏孔随内滑套下行而被激活,随即泵入堵漏浆并开展堵漏作业。2个旁通端口设有球座,堵漏作业结束后,先用普通钻井液置换出钻柱内堵漏浆,依托关阀球截断旁通堵漏通道,憋压至阈值,剪断中心球座上的开阀球,所有工作球一起落入堵漏阀下端球篮,恢复中心流道,可进行正常钻进作业。

2.2 结构设计

基于工作原理,设计功能部件为开关球组、循环结构和捕球结构,如图3所示。研制的工具与国内外类似工具的技术优势在于,通过关键功能结构的特异性设计,从而全面强化工具结构稳定性、工作可靠性以及安全性。

2.2.1 结构尺寸设计

综合考虑川渝工区井漏频发井段井眼尺寸以及工具与井眼安全环空间隙等条件,设计工具外径

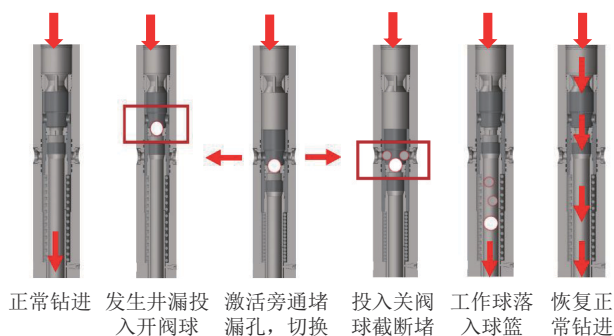


图2 工作原理

Fig.2 Working principle

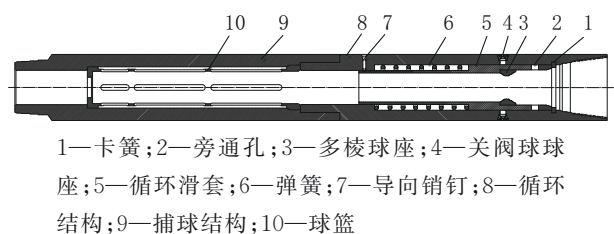


图3 快速堵漏阀结构

Fig.3 Structure of fast circulating valve

Ø210 mm,满足Ø311.2 mm井眼堵漏需求。为了实现允许通过10 mm粒径堵漏材料要求,基于1/3架桥原理^[19],设计大尺寸旁通孔34.29 mm,允许通过最大堵漏材料粒径10 mm,限制堵漏浆浓度 $\geq 40\%$,增加大粒径堵漏材料级配范围及高浓度堵漏浆通过性。

2.2.2 滑套结构

循环滑套是实现流道切换的关键功能部件,如图4所示。滑套上设与阀体旁通堵漏流通孔位置匹配的流通孔。由于流通孔位置个数增加会减少单孔过流面积且增加冲蚀破坏风险,综合设计双循环孔结构,以满足大尺寸堵漏材料通过需求并确保结构稳定。通过在芯轴上设计导向槽,限制芯轴的横向偏转,降低内外流通孔偏转错位风险。滑套下端面与循环结构本体台阶上安装工作弹簧,调整工作弹簧钢丝直径、弹簧中径和有效圈数,确保滑套激发压力满足设计,避免滑套提前激发,解决了工具开关压力不稳定问题。

2.2.3 球座结构设计

设计多棱型固定球座,如图5所示。通过将球座的弧面与工作球的弧面配合,依靠对工作球的多棱剪切,使得工作球变形实现密封以及球座释放。

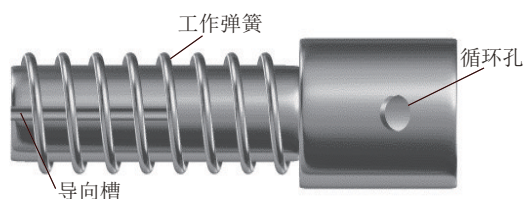


图4 滑套结构

Fig.4 Structure of sliding sleeve

确保开阀球入座后释放前,能实现固定密封,不会在球座周围浮动。相较于传统球座变形过球方式,能确保堵漏阀多次堵漏工作稳定性,避免球座变形导致的堵漏工具失效问题。



图5 多棱球座示意

Fig.5 Structure of multi-ribbed ball seat

2.2.4 球篮及工作球组结构设计

综合考虑川渝地区多漏层分布特征及工具结构安全限制,设计允许5次开关作业的球篮长度,球篮安装在循环结构下端,起收纳工作球组作用,在球篮管体上开设多个矩形流通孔,降低捕球结构的过流面积变化增加截流压差导致的钻进风险。不同于传统采用等球径工作球组方式,工作球组结构设计“单大双小”异径多球组合,能够在不减少开关次数的前提下,缩短工具结构长度,堵漏作业结束后,球篮内工作球排布如图6所示。

2.3 室内性能测试

将快速堵漏阀外筒的下端采用堵头密封,上端

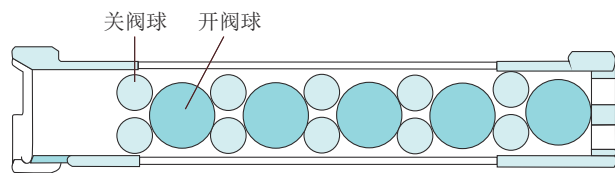


图6 作业结束后球篮内工作球排布

Fig.6 Working ball layout inside basket after plugging

连接高压试压泵,试压 20 MPa,稳压 20 h,无压降,密封性能良好。为验证快速堵漏阀投球开关的功能性与可靠性,开展了快速堵漏阀多次开关试验,模拟泥浆环境下,在工具内投入开阀球后,开泵循环,球落入球座后,监测旁通孔开启及压力变化情况,继续投入关阀球,监测压力变化及工作流道变化情况。重复进行5次开关试验,工具均工作正常。试验结果表明,开阀球憋压 0.7~1.2 MPa 打开旁通孔,切换堵漏作业通道,投入关阀球后憋压至 17~20 MPa 工作球组落入球篮,恢复正常钻进作业通道。

通过室内密封性能测试及室内开关测试,工具结构稳定、功能部件正常工作,试验结束拆装工具未发现堵塞激活部件问题,工具安全性、工作可靠性满足多次堵漏现场作业需求。

3 多漏层不起钻快速堵漏技术

3.1 快速堵漏阀堵漏流程

基于快速堵漏阀能够实现钻井作业和堵漏作业流道切换的基本功能特征,能为不起钻堵漏提供先决条件。对于多个漏失点的长段漏失高风险井段,在定向仪器悬挂短节上方安装快速堵漏阀。发生井漏之后,先将钻具提离井底,降低排量测算漏速,结合地质预测、钻井参数、工程状况等多种因素判断漏失类型;若漏速小,采用常规随钻堵漏作业,否则采用投球切换堵漏通道,进行堵漏阀堵漏,如图7所示。

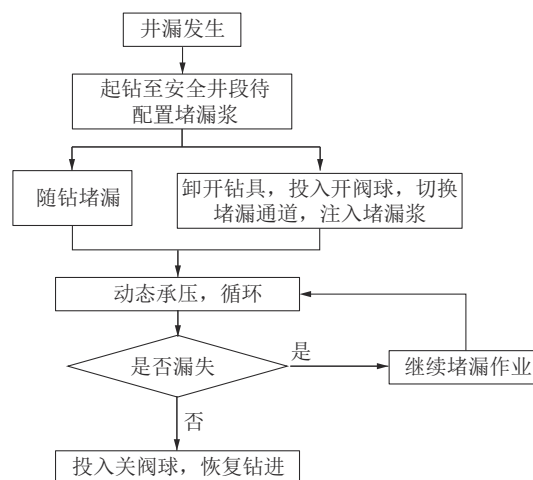


图7 快速堵漏阀单次堵漏作业流程

Fig.7 Single plugging operation process with fast circulating valve

3.2 堵漏材料选择

针对裂缝性地层一次堵漏成功率低的技术难题,以“防堵结合、分段巩固”的堵漏思路,基于漏失特征,形成复杂漏失堵漏材料及粒径级配原则,见图8,为裂堵漏材料优选和配方设计提供依据。

3.3 多漏层堵漏工艺

3.3.1 单趟钻分次钻遇多个漏点多次堵漏

针对长裸眼段多套漏层分布,纵向上单次钻遇单个漏层工况,投球进行快速堵漏阀堵漏作业后恢复钻进,钻遇下部漏层,重复堵漏作业流程,单趟钻可以完成5次不起钻堵漏作业,完成最多5个漏点堵漏,如图9所示。

3.3.2 多漏点同时漏失分段堵漏

针对长裸眼井段多个漏点同时漏失情况,基于漏点分布,起钻调整堵漏阀位置,单次投球实现不同漏点堵漏之后恢复钻进,如图10所示。

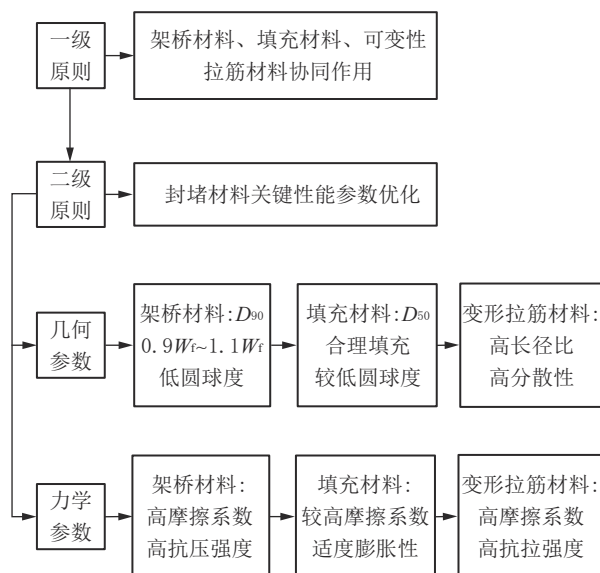


图8 裂缝性漏失堵漏材料选取原则

Fig.8 Principles for selecting plugging materials for fracture leakage

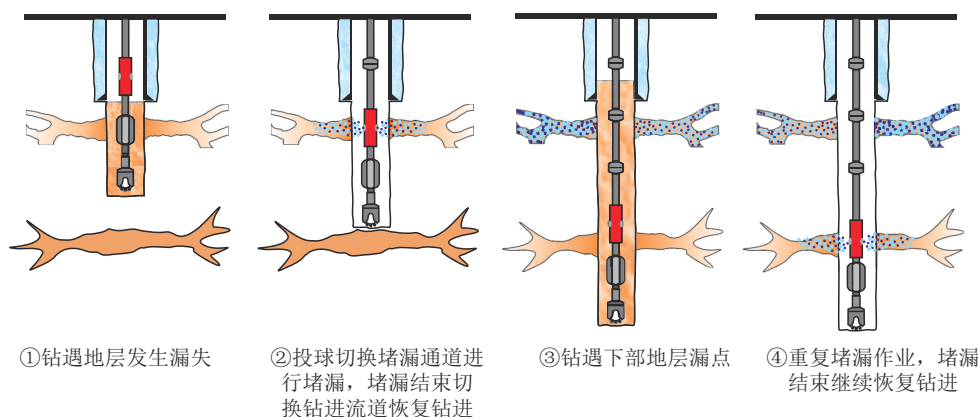


图9 多漏层分次钻遇多个漏点多次堵漏流程

Fig.9 Multiple plugging process for multi-leakage points encountered in longitudinal drilling

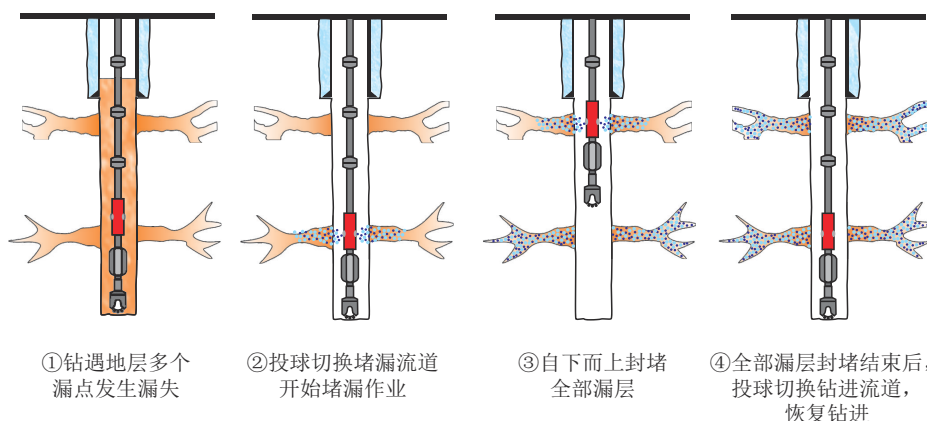


图10 多漏点同时漏失分段堵漏流程

Fig.10 Segmented plugging process for multi-leakage points simultaneously

4 现场应用

现场应用8井次,累计井内工作时长135.26 d,累计开关18次,开关成功率100%,工具质量稳定,性能可靠。其中TS13井是部署在四川盆地龙女寺构造南部的一口三开定向预探井,其二开自上而下钻遇沙溪庙、东岳庙、马鞍山、珍珠冲、须家河、雷口坡、嘉陵江组多套地层,地层裂缝发育,邻井在该井段均发生多次漏失,漏失风险大。该井实钻中在二开井段上部沙溪庙—马鞍山组地层累计发生10次漏失。采用常规堵漏技术方式进行堵漏,现场应用堵漏材料粒径范围介于0.5~3 mm,期间累计起钻6次,更换组合确保堵漏材料通过性,单次堵漏平均耗时2.92 d,其中起下钻时间约占堵漏时效的30~40%。

针对多漏层频繁漏失,频繁起下钻严重影响堵漏作业时效问题,在钻具组合中加装快速堵漏阀,钻遇多套漏层,应用多漏层不起钻快速堵漏技术进行堵漏作业。快速堵漏阀工作参数如表1所示,工具井口测试投入开阀球,堵漏作业流体孔开启压力1.5 MPa,投入关阀球,实现憋压剪切压力19.5 MPa关阀,满足设计指标。

表1 现场工作参数

Table 1 On-site working parameters

项 目	漏失井深/m	开阀压力/MPa	关阀压力/MPa
井口测试	—	1.5	19.6
第1次堵漏	1936.86	1.7	21.5
第2次堵漏	1965.32	2.2	22.5

钻进至须家河组六段地层1936.86 m发生失返性漏失,基于漏失特征,采用快速堵漏阀不起钻快速堵漏技术,保持钻井液排量19 L/s,1.7 MPa压力下堵漏阀开启,注浓度27%堵漏浆19.6 m³关井挤堵,堵漏材料粒径范围0.5~5 mm,一次堵漏成功。投入关阀球,钻井液排量17 L/s条件下,剪切压力21.5 MPa实现堵漏阀关闭,恢复钻进。

继续钻进至1965.32 m再次发生失返性漏失,基于漏失特征,采用快速堵漏阀不起钻快速堵漏,保持钻井液排量22.8 L/s,2.2 MPa压力下堵漏阀开启,注浓度30%堵漏浆17.08 m³关井挤堵,堵漏材料粒径范围0.5~5 mm,堵漏成功。投入关阀球,钻井液排量17 L/s条件下,剪切压力22.5 MPa实现堵漏阀关闭,恢复钻进。

后续井段未发生漏失,因钻头磨损起钻,结束现场试验,研制的快速堵漏阀工具井下累计工作时长191 h,工具性能稳定。现场应用,累计完成3次开关,2次堵漏作业,平均单次堵漏耗时0.75 h,相较于常规堵漏技术同比节约74%,有效解决了川渝地区复杂地层井漏频繁,常规堵漏工艺受堵漏材料粒径或起钻更换钻具的影响,堵漏效果不佳,堵漏周期长的难题。

5 结论

(1)通过对川渝地区漏失开展分析,同一裸眼段多漏层多次堵漏效率低,有必要依赖堵漏通道快速建立类工具,为快速堵漏提供解决途径。

(2)综合考虑川渝工区井漏频发井段井眼尺寸以及工具与井眼安全环空间隙等条件,开展滑套结构、球座结构、球篮及工作球组结构等特异性设计,强度校核及室内试验表明,研制的可重复开关快速堵漏阀,能实现不起下钻堵漏,匹配设计大尺寸旁通孔提供堵漏材料泵送通道,增加堵漏浆浓度及颗粒级配选择范围。

(3)针对长裸眼井段多漏层分布问题,提出基于快速堵漏阀的多漏层不起钻堵漏技术,单次入井可实现同一裸眼段最多5次堵漏,现场应用节约堵漏时效74%,降低因起下钻诱发的井下风险,建议在类似易漏区域特殊工艺井推广应用。

参考文献(References):

- [1] 马光长,吉永忠,熊焰.川渝地区井漏现状及治理对策[J].钻采工艺,2006,29(2):25-27.
MA Guangchang, JI Yongzhong, XIONG Yan. Present state and treatment measures of lost circulation in Sichuan and Chongqing area[J]. Drilling & Production Technology, 2006, 29(2):25-27.
- [2] 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.
- [3] 李家学,黄进军,罗平亚,等.裂缝地层随钻刚性颗粒封堵机理与估算模型[J].石油学报,2011,32(3):509-513.
LI Jiaxue, HUANG Jinjun, LUO Pingya, et al. Plugging mechanism and estimation models of rigid particles while drilling in fracture formations [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 509-513.
- [4] 徐哲,孙金声,吕开河,等.一种新型外柔内刚型封堵剂的研制

- [J]. 钻井液与完井液, 2020, 37(6): 726-730.
- XU Zhe, SUN Jinsheng, LÜ Kaihe, et al. Research and development of a novel internal rigid external soft plugging agent[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2020, 37(6): 726-730.
- [5] 雷少飞, 孙金声, 白英睿, 等. 裂缝封堵层形成机理及堵漏颗粒优选规则[J]. 石油勘探与开发, 2022, 49(3): 597-604.
- LEI Shaofei, SUN Jinsheng, BAI Yingrui, et al. Formation mechanisms of fracture plugging zone and optimization of plugging particles[J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(3): 597-604.
- [6] 李伟, 白英睿, 李雨桐, 等. 钻井液堵漏材料研究及应用现状与堵漏技术对策[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(12): 4733-4743.
- LI Wei, BAI Yingrui, LI Yutong, et al. Research and application progress of drilling fluid lost circulation materials and technical countermeasures for lost circulation control[J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21(12): 4733-4743.
- [7] 杨伟. 川南区块页岩气井压稳防漏固井技术研究[J]. 钻探工程, 2023, 50(5): 153-158.
- YANG Wei. Research on pressure stabilization and anti-leakage cementing technology of shale gas in Southern Sichuan Block[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(5): 153-158.
- [8] 李奎. 泸州深层页岩气呼吸性地层井漏堵漏方法及对策分析——以Y101H3-4井为例[J]. 钻探工程, 2022, 49(5): 106-110.
- LI Kui. Plugging of breathing formation in deep shale gas wells in Luzhou: Taking well Y101H3-4 for example[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 106-110.
- [9] 闫晶, 张坤, 郭栋, 等. 弹性体型胶粘材料在大庆油田裂缝性漏失中的应用研究[J]. 钻探工程, 2024, 51(2): 133-139.
- YAN Jing, ZHANG Kun, GUO Dong, et al. Application of elastic adhesive material in drilling fluid plugging of fractured formation in Daqing Oilfield[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 133-139.
- [10] 刘金华. 顺北油气田二叠系火成岩漏失分析及堵漏技术[J]. 钻探工程, 2023, 50(2): 64-70.
- LIU Jinhua. Leakage analysis and plugging technology for Permian igneous rock in Shunbei Oil and Gas Field[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(2): 64-70.
- [11] 王涛, 刘锋报, 罗威, 等. 塔里木油田防漏堵漏技术进展与发展建议[J]. 石油钻探技术, 2021, 49(1): 28-33.
- WANG Tao, LIU Fengbao, LUO Wei, et al. The technical advance and development suggestions for leakage prevention and plugging technologies in the Tarim oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(1): 28-33.
- [12] 齐恭, 李杨, 齐晓凤, 等. 雄安新区基岩热储钻探施工技术探讨[J]. 钻探工程, 2024, 51(1): 126-130.
- QI Gong, LI Yang, QI Xiaofeng, et al. Discussion on drilling technology for bedrock thermal reservoir in Xiong'an New Area[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(1): 126-130.
- [13] 于明武, 何俊杰, 靳强, 等. 钻井多次循环开关阀技术现状及发展建议[J]. 石油矿场机械, 2016, 42(11): 98-101.
- YU Mingwu, HE Junjie, JIN Qiang, et al. Technical status and development suggestions of multiple activated circulation valve[J]. Oil Field Equipment, 2016, 42(11): 98-101.
- [14] 池胜高, 代琼曦, 张策, 等. 国外多次激活旁通阀技术现状[J]. 石油机械, 2015(10): 30-33, 41.
- CHI Shenggao, DAI Qiongxi, ZHANG Ce, et al. Current technical status of foreign multiple activation bypass valve[J]. China Petroleum Machinery, 2015(10): 30-33, 41.
- [15] 左永强, 王德贵, 王小红, 等. 投球式多次激发旁通阀结构与试验研究[J]. 石油机械, 2019, 47(9): 50-56.
- ZUO Yongqiang, WANG Degui, WANG Xiaohong, et al. Structural design and experimental study of ball-actuated multi-cycle bypass valve[J]. China Petroleum Machinery, 2019, 47(9): 50-56.
- [16] 郭新超, 胡百中, 姚霖, 等. 基于RFID技术的井下智能随钻堵漏旁通阀研制[J]. 石油机械, 2020, 48(11): 22-26, 43.
- GUO Xinchao, HU Baizhong, YAO Lin, et al. Development of intelligent downhole plugging while-drilling bypass valve based on RFID[J]. China Petroleum Machinery, 2020, 48(11): 22-26, 43.
- [17] 程智, 仇盛南, 曹靖瑜, 等. 长裸眼随钻防漏封堵技术在跃满3-3井的应用[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(5): 612-616.
- CHENG Zhi, QIU Shengnan, CAO Jingyu, et al. Application of plugging-while-drilling technology in long open-hole interval of the Well Yueman-3-3[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(5): 612-616.
- [18] 睢圣, 杜征鸿, 王汉卿, 等. 一种多次开关快速堵漏阀: CN202211292288.5[P]. 2022-10-21.
- SUI Sheng, DU Zhenghong, WANG Hanqing, et al. A fast circulating valve with multiple on-off capabilities: CN202211292288.5[P]. 2022-10-21.
- [19] 张金波, 鄢捷年. 钻井液中暂堵剂颗粒尺寸分布优选的新理论和新方法[J]. 石油学报, 2004(6): 88-91, 95.
- ZHANG Jinbo, YAN Jienian. New theory and method for optimizing the particle size distribution of bridging agents in drilling fluids[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004(6): 88-91, 95.

(编辑 王文)