

顺北油气田二叠系火成岩漏失分析及堵漏技术

刘金华^{1,2}

(1.页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室,北京 102206; 2.中石化石油工程技术研究院有限公司,北京 102206)

摘要:顺北油气田二叠系火成岩地层破碎、裂缝发育、压力敏感、埋深超过 4445 m、厚度大于 548 m,钻进过程中漏失严重。自 2013 年勘探开发以来,应用过水泥、化学固结、高失水、化学凝胶、桥接堵漏和堵漏浆钻进等技术。通过分析二叠系火成岩地层特性,明确了漏失原因;通过分析堵漏技术,结合前期应用情况,明确了不同漏失适用的堵漏技术,最终确定了“中小漏失采用桥接堵漏、多点漏失采用全井堵漏浆钻进、大漏采用化学固结或高失水堵漏专堵”的 4 种堵漏技术。通过推广应用,顺北油气田 1 号断裂带和 5 号断裂带二叠系火成岩地层漏失量和堵漏时间得到明显控制,漏失量减少 87.2%,堵漏时间缩短 92.9%,取得了显著效果。

关键词:二叠系;火成岩;堵漏技术;桥堵;化学固结;高失水堵漏;堵漏浆钻进;顺北油气田

中图分类号:TE28 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)02-0064-07

Leakage analysis and plugging technology for Permian igneous rock in Shunbei Oil and Gas Field

LIU Jinhua^{1,2}

(1.State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing 102206, China;

2.Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering Co., Ltd., Beijing 102206, China)

Abstract: The Permian igneous strata in Shunbei Oil and Gas Field has the following characteristics: fragmentation, fracture development, pressure sensitivity, burial depth of more than 4445m, thickness of more than 548mm, and serious leakage during drilling. Technologies such as cement, chemical consolidation, high filtration, chemical gel, bridge plugging and plugging slurry drilling have been applied since the exploration and development of the field in 2013. The leakage causes are defined by analyzing the characteristics of Permian igneous rock strata. The plugging technology applicable to different leakage is determined through the evaluation of the applied plugging technology with the application results. Finally four plugging technologies for different leakage layers are determined with bridge plugging for small and medium fractures, plugging slurry drilling for multi fracture leakage layers, and chemical consolidation or high filtration plugging for large fractures. Through popularization and application, the plugging time and leakage amount of Permian igneous rock formation in No. 1 fault zone and No.5 fault zone of Shunbei Oil and Gas Field have been significantly controlled with the leakage amount reduced by 87.2%, and the plugging time cut by 92.9%.

Key words: Permian; igneous rock; plugging technology; bridge plugging; chemical consolidation; high filtration plugging; plugging slurry drilling; Shunbei Oil and Gas Field

1 顺北油气田二叠系地层特征及漏失特点

1.1 二叠系地层特征

顺北油气田 1 号断裂带和 5 号断裂带钻井施工

较多。其中,1 号断裂带二叠系顶深约 4445 m,平均厚度约 548 m,以凝灰岩、英安岩为主,夹杂砂泥岩;5 号断裂带二叠系顶深约 4615 m,平均厚度约 562

收稿日期:2022-08-02; 修回日期:2022-11-11 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.02.009

作者简介:刘金华,男,汉族,1976 年生,高级工程师,油气井工程专业,硕士,从事钻井液防漏堵漏研究和现场技术服务工作,北京市昌平区北沙路 197 号,liujinhua.sripe@sinopec.com。

引用格式: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.

m,以英安岩、泥岩为主,夹杂凝灰岩、砂岩,发育玄武岩;部分井二叠系厚度如图 1 所示。二叠系地层压力系数为 1.10~1.20,钻进时钻井液密度通常在 1.23~1.26 g/cm³,部分井钻井液密度如图 2 所示。顺北油气田地温梯度在 1.81~1.94 ℃/100 m,折算

二叠系地层温度为 91~114 ℃。存在多尺度裂缝,从取心资料、成像测井资料,结合堵漏实践来分析,微米级至毫米级裂缝都有存在,部分井裂缝达到了厘米级,部分井漏失裂缝尺寸统计如表 1 所示^[1-8]。

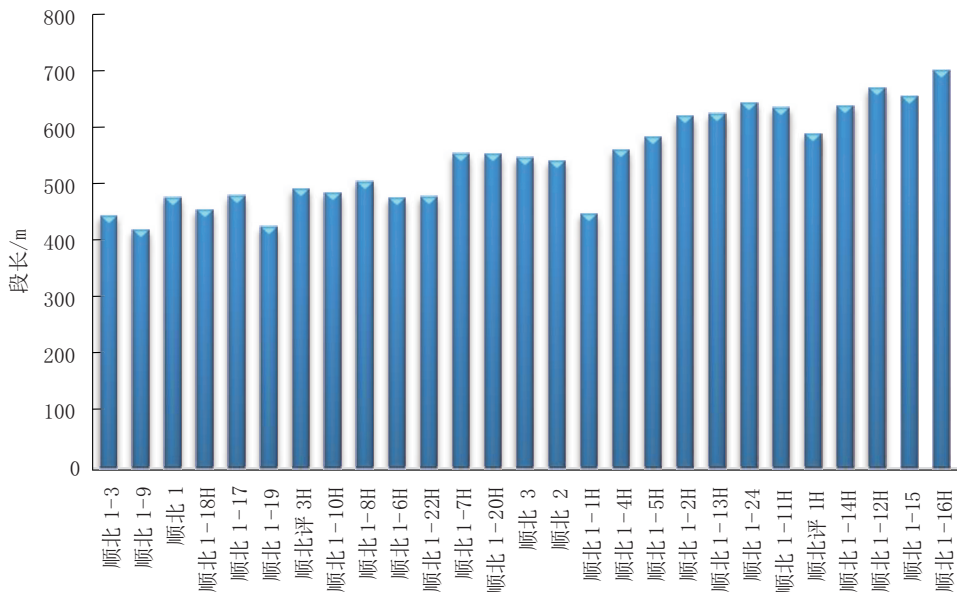


图 1 部分井二叠系厚度
Fig.1 Thickness of Permian formation in some wells

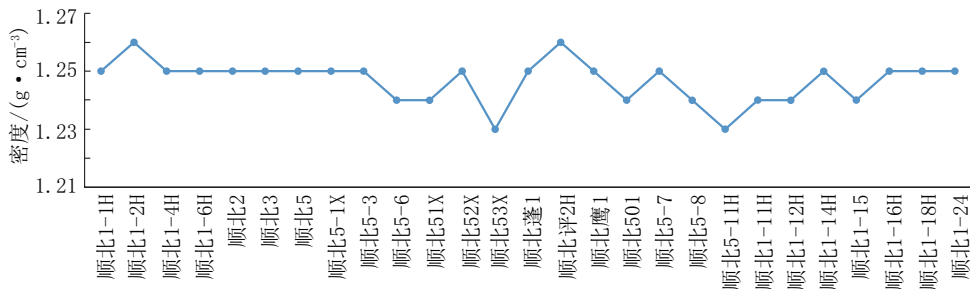


图 2 部分井钻井液密度
Fig.2 Density of drilling mud for some wells

表 1 部分井二叠系裂缝发育情况			
Table 1 Fracture development conditions in some wells			
方法	井号	岩性	漏失通道大小/mm
岩心观察	顺北 5-5H	英安岩	<0.1
	顺北 蓬 1	凝灰岩	3~5
成像测井	顺北 3 井	英安岩	0.06~0.28
现场堵漏 情况分析	顺北 蓬 1	凝灰岩	1~2
	顺北 5-7		0.2~2
	顺北 1-12		1~2

1.2 二叠系漏失特点

截止 2020 年底,二叠系钻进过程中,有 57.1% 的井发生漏失,单井漏失量 454.1 m³;下套管过程中有 73.2% 的井发生漏失,单井漏失量 405.9 m³。二叠系漏失较严重,具有如下漏失特点。

(1)具有较明显的区域规律,南部漏失比率大于北部。从 1 号断裂带和 5 号断裂带所钻井漏失统计来看,南部漏失率为 69.2%,大于北部的 40.9%。由于南部接近主断层,受构造断层应力的影响,地层更

加破碎,裂缝发育程度,更容易引起漏失。

(2)具有较明显的岩性规律,统计1号断裂带和5号断裂带所钻井漏失时对应的地层岩性,得出如下规律:英安岩地层漏失次数占总漏失次数的61%,凝灰岩占比36%,玄武岩占比3%。英安岩是一种中酸性喷出岩,裂缝通常较发育,裂缝宽度大小不一,钻进时易漏失;凝灰岩是一种火山碎屑岩,部分含有孔隙和节理缝,钻进过程中时有漏失;玄武岩地层较完整,裂隙不发育,钻进时偶尔发生漏失。

(3)漏速差别大。从每小时几方到失返性漏失都有。其中失返性漏失占比33.3%。漏速的差别是由于钻井液密度、粘度等性能差别,钻速、排量等钻井参数的不同,以及裂缝宽度的差异造成的。钻井液密度和粘度越高,漏速有增大的趋势;钻速越高,井筒内钻屑量越多,当量密度越大,漏速越大,排量越大,作用于漏失层的循环压耗也增大,漏速也呈增长趋势;裂缝宽度越大,漏失截面积也越大,同等压差下漏速就越大。

(4)漏失压力低。统计顺北油气田1号断裂带和5号断裂带二叠系漏失资料,漏失时钻井液密度低于 1.26 g/cm^3 ,通过计算,加上循环压耗造成的当量密度增加值,漏失压力不超过 1.30 g/cm^3 。钻进时,需要严格控制钻井液密度、循环排量及钻屑含量等参数,防止当量密度过高造成井漏。

(5)后期钻进易复漏。经过对1号断裂带和5号断裂带二叠系漏失后堵漏数据的分析,对堵漏浆起作用的深度及之前漏失井深,统计出复漏率约27.3%。复漏造成漏失层判断失误,堵漏措施针对性差,堵漏效率低下。

1.3 漏失原因分析

通过对二叠系火成岩地层特征的分析、漏失特点的概述,结合压力、地层裂缝特点及地质环境特点,总结出二叠系火成岩地层漏失原因^[9]。

(1)地层钻开后,存在天然的压差。二叠系地层压力 $1.10\sim 1.20$,二叠系所用钻井液密度在 $1.23\sim 1.26\text{ g/cm}^3$,高于地层压力,存在压差,为漏失创造了条件,钻井液在压差作用下由高压力的井筒进入低压力的地层,发生漏失。

(2)地层裂缝发育,存在天然的漏失通道。1号和5号断裂带附近地层破碎,发育天然的裂缝,钻井液在封堵性能不好的情况下,当钻井液中的颗粒尺寸小于裂缝尺寸时,会进入地层裂缝并产生漏失。

另外,由于地层裂缝具有压力敏感特性,裂缝被初级封堵后,随着井筒压力的波动,当井筒压力大于裂缝开启压力后,裂缝会继续变大而再次开启,形成的封堵层遭到破坏,引起复漏。

(3)断裂带附近,有足够容纳钻井液的储集空间。由于断裂带附近存在大小不一的裂缝,且随着断裂带不断延伸,空间巨大,当钻井液不能完全充满断裂带裂缝空间的时候,钻井压差和漏失通道存在的情况下,钻井液会源源不断的进入断裂带裂缝空间,漏失就会一直存在。

2 堵漏难点

(1)裂缝多尺度,堵漏浆广谱性差,难以同时封堵住所有裂缝漏失层。由于地层裂缝尺度不均一,存在微米级到毫米级裂缝,漏失后,同时封堵多尺度裂缝有较大困难。堵漏浆中颗粒材料直径大于裂缝尺寸,容易封门;颗粒材料直径小于裂缝尺寸不能形成架桥,堵漏失败。常用的堵漏浆的广谱性较差,只能针对某一固定尺寸裂缝具有较好的堵漏效果,难以同时封堵住多尺度裂缝。

(2)漏失段长,漏失点多,堵漏次数多、时间长。顺北油气田1号断裂带和5号断裂带二叠系地层厚度超过500 m,从上到下都是潜在漏失层,漏失几率大,漏失次数多,逢漏就堵占用的堵漏时间长,会严重影响钻井周期。若不采取缝漏就堵的方法,强行钻进,存在卡钻等安全风险。

(3)裂缝压力敏感,易扩展,导致复漏。地层漏失后,堵漏形成的封堵层隔断地层与井筒,漏失停止,恢复钻进。当井筒压力波动,作用于地层的压力大于裂缝重新开启的压力,裂缝变大且向深处扩展,之前的封堵层与扩大后的裂缝不再匹配,封堵层在井筒压力与地层压力差下被破坏、失效,再次漏失。

(4)上部裸眼井段长,憋挤时易压漏上部地层,堵漏施工工艺受限。由于二叠系所处的裸眼段长,从开次的顶部1500 m左右到二叠系顶4500 m左右,憋挤堵漏时,压力作用于1500 m处的当量密度是4500 m处的当量密度的3倍,很容易憋漏上部地层,造成新的复杂。

3 堵漏技术介绍

针对顺北油气田二叠系复杂的漏失情况,2013年以来,先后采用了桥接堵漏、水泥堵漏、化学凝胶

堵漏、化学固结堵漏、高失水堵漏和堵漏浆钻进等技术和方法。

3.1 桥接堵漏

针对大部分井的裂缝性漏失,采用了桥接堵漏技术。桥接堵漏所用的材料包括不同规格的颗粒材料如核桃壳、刚性堵漏剂等,不同规格的片状材料如云母等,不同规格的纤维类材料如桥塞堵漏剂SQD-98、纤维状堵漏剂CXD、矿物纤维等,还有一些复合材料如单封DF、屏蔽暂堵剂SMPB-1、高效随钻封堵剂SMGF-1以及裂缝复合堵漏剂SMLF-1等。按照不同的漏速,调整堵漏材料的规格和比例,通过调整配方,可有效封堵毫米级的裂缝,承压能力达到7 MPa以上。常用的桥接堵漏配方如:0~2%核桃壳(粗)+2%~4%核桃壳(中)+3%~5%核桃壳(细)+0~1%云母(粗)+1%~2%云母(中)+1%~3%桥塞堵漏剂SQD-98(粗)+2%~4%桥塞堵漏剂SQD-98(中)+1%~2%纤维状堵漏剂CXD+2%~4%裂缝复合堵漏剂SMLF-1+2%~4%高效随钻封堵剂SMGF-1+3%~5%超细碳酸钙QS-2。常规桥接堵漏由于广谱性较差,某个配方只能针对特定尺寸裂缝漏失层进行有效封堵,不能兼顾其它尺寸裂缝漏失层,大颗粒材料在小裂缝处封门,在起下钻刮蹭下,漏失层容易重新暴露,引起复漏。另外,由于核桃壳等颗粒材料在长时间浸泡后,强度下降,影响形成的封堵层质量,易导致后期复漏^[10-12]。

3.2 水泥堵漏

针对部分井失返性漏失,采用了水泥堵漏。水泥堵漏就利用常规的水泥浆进行堵漏,利用油井G级水泥、缓凝剂和分散剂等配制成水泥浆,密度控制在1.5~1.8 g/cm³,按照地层温度调整好稠化时间,并保持较好的流动性和沉降稳定性,保证施工安全。现场通常采用打段塞的方式进行水泥堵漏,依靠水泥浆的重力自动流进漏失通道,在漏失通道内固化后起到封堵作用。由于水泥浆密度较钻井液密度高,易与钻井液产生窜混,固结物强度等性能不能保证,影响堵漏效果;另外,水泥浆固化后易收缩,不能与裂缝漏失层紧密接触,影响堵漏效果。

3.3 化学凝胶堵漏^[13]

对于部分井裂缝性漏失,采用了化学凝胶堵漏。化学凝胶堵漏就是利用凝胶特有的流变性进行堵漏的一种堵漏技术,可用于堵漏的凝胶必须具备

在地面流动性好、在漏失通道环境下变稠甚至固化的特性,凝胶在漏失通道内稠化甚至固化形成段塞,阻止钻井液继续向地层流动,达到封堵漏失层的目的,化学凝胶典型配方为:水+8%悬浮剂+1%~2%交联剂+8%成胶剂+2%~6%彭润土+重晶石。部分化学凝胶堵漏存在稠化或固化时间不好控制、强度低、与钻井液兼容性差及与地层胶结性差等缺点,堵漏效果受影响较大。

3.4 化学固结堵漏

针对部分井失返性漏失,采用了化学固结堵漏技术。化学固结堵漏就是利用化学固结类堵漏剂配制成堵漏浆,在漏失通道内形成固化封堵层进行堵漏的一种技术。化学固结堵漏所用的化学固结堵漏剂带有正电荷,可与地层中的负电荷相互吸引便于堵漏浆滞留,且固化物体积微膨胀,与地层紧密结合,防止产生微裂缝影响堵漏效果^[14]。化学固结堵漏浆典型配方为:水+160%~200%化学固结堵漏剂+0.5%~2%流型调节剂,具体配方可根据漏失层深度、温度、漏失压力等参数,参考堵漏作业周期,调整其稠化时间、密度等性能,满足现场堵漏施工的要求,确保安全。

3.5 高失水堵漏

针对漏失点明确的失返性漏失,采用了高失水堵漏。所用的高失水堵漏是可固化的高滤失类堵漏技术,利用快速滤失驻留、纤维成网封堵、胶凝固化的思路进行堵漏,具有悬浮稳定性好、滤失速度快、封堵能力强的特点。高失水堵漏材料由滤失材料、纤维成网材料、胶凝材料等组成,其中,滤失材料是具有多孔结构和可压缩性特性,用于调节堵漏浆滤失速度和封堵裂缝;纤维成网材料是由不同长度的聚合物纤维复配而成,起成网拉筋作用,提高堵漏材料的驻留能力;胶凝材料用于提高封堵层强度,可在地层温度下快速胶凝固化,提高封堵层的强度。高失水堵漏典型配方为:清水+50%高失水堵漏剂+0~6%桥堵颗粒。高失水堵漏由于是高滤失类材料,存在压差就会滤失形成滤饼,因此,堵漏施工时要注意安全,防止卡钻或堵水眼复杂的发生^[15]。

3.6 堵漏浆钻进

针对存在多个漏失点的长段漏失层,采用了全井堵漏浆钻进技术。堵漏浆钻进就是将防漏堵漏材料随钻加入到钻井液中,使钻井液含有一定浓度的堵漏材料,对钻过的漏失层进行随钻封堵,对即将钻

遇的漏失层进行随钻防漏,在不影响正常钻进的情况下实施防漏堵漏。堵漏浆钻进期间,所加材料为常规桥接堵漏材料,浓度为10%~15%,典型配方为:1%~2%细核桃壳(细)+2%~3%高强支撑剂+2%~4%裂缝复合堵漏剂+1%~2%桥塞堵漏剂(细)+1%云母(细)+1%~2%石灰石粉+1%~2%随钻封堵剂+1%~2%沥青粉。堵漏浆钻进过程中,对钻具结构特别是钻具水眼尺寸有较高的要求,既要简化钻具,不下入大尺寸钻具,减少狭窄环空处卡钻风险,又要保证堵漏材料顺利通过钻具水眼,防止较大颗粒材料在小尺寸水眼处聚集堵塞水眼^[16]。

4 堵漏技术现场应用效果及分析

截止2021年底,顺北油气田二叠系共实施堵漏作业162次。其中,应用最多的是桥接堵漏,共应用135井次,占堵漏作业次数的83.3%,堵漏一次成功率71.1%,复漏率达27.3%。由于桥接堵漏施工程序简单,在逐步摸清漏失通道情况后,针对性会越来越好,因此应用最多。桥接堵漏所用的常规果壳类颗粒材料经过长时间浸泡后强度降低,影响封堵层强度,封堵层易被破坏导致复漏,因此,提高钻井速度,在常规果壳类材料强度未大幅度下降之前钻完进尺,就会避免或减少复漏。

应用次数排第二位的是堵漏浆钻进,共应用15井次,占堵漏作业次数的9.3%,堵漏一次成功率80%。由于漏失层位多,见漏就堵会造成堵漏时间过长,影响钻井周期,因此,针对多漏层的井段,应用堵漏浆钻进,随钻封堵钻遇的漏失,就会大幅度减少堵漏时间。堵漏浆钻进过程中,震动筛等固控设备的使用会受限,得等到漏层全部钻穿后才能正常使用,并且要简化钻具组合,防止颗粒材料在大尺寸钻

具附近堆积引起卡钻等复杂。

应用次数排第三的是水泥堵漏,共应用4井次,占堵漏作业次数的2.5%,堵漏一次成功率为25.0%。水泥浆密度高达1.80~1.90 g/cm³,较使用的钻井液密度1.23~1.26 g/cm³高出很多,密度差较大,水泥浆易与钻井液窜混,影响水泥浆的纯度和固化物性能,降低封堵效果。另外,由于水泥固化后会收缩,不能完全封堵住漏失层。以上几点原因导致水泥堵漏成功率低,因此应用也较少。

化学固结堵漏技术应用了3井次,占堵漏作业次数的1.9%,堵漏一次成功率为66.6%。化学固结堵漏浆粘度高,使用过程中通过泵隔离液可以减少与钻井液窜混,加之其固结物具有微膨胀特点,堵漏效果较好。但化学固结堵漏前需要做小样和大样实验,评价化学固结浆的稠化时间,确保施工安全,准备周期较长,影响了其使用。

高失水堵漏技术应用了3井次,占堵漏作业次数的1.9%,堵漏一次成功率为33.3%。由于快速滤失的特点,该技术不适用于长裸眼施工,堵漏浆出钻具水眼后就要关井憋挤,若长段钻具在裸眼段施工,憋压时容易造成卡钻复杂。另外,由于其高滤失特点,堵漏施工时会有滤液进入地层,易引起地层中的粘土水化膨胀,不适用于泥岩等易失稳地层。因此应用也不多。

化学凝胶堵漏技术应用了2井次,占堵漏作业次数的1.2%,未成功封堵住漏失层。化学凝胶密度低,小于1.1 g/cm³,使用过程中与钻井液窜混严重,不能保证高浓度的凝胶进入漏失层。另外,凝胶强度不高,形成的封堵层强度也低,不利于堵漏效果的提升,因此,导致堵漏效果差,现场应用少。

各堵漏技术应用情况及特点如表2和表3所示。

表2 顺北油气田二叠系堵漏情况统计

Table 2 Summary of plugging results in Permian formation in Shunbei Oil and Gas Field

适用范围	堵漏技术	现场应用情况				二叠系适用性
		应用次数	一次成功率/%	单次用时/h	复漏率/%	
较小裂缝	堵漏浆钻进	15	80	12.7		适用
	桥堵	135	71.1	41.6	27.3	适用
中大裂缝	化学固结	3	66.6	84.3		适用
	高失水	3	33.3	59.3		较适用
	水泥	4	25	107.6		较差
	化学凝胶	2	0	146.3		差

表 3 堵漏技术分析
Table 2 Analysis of plugging technology

堵漏技术	优 点	缺 点	二叠系漏失层适用性
桥堵	配制方便	耐浸泡性较差,易复漏	大部分井应用,效果较好,易复漏
水泥	强度高	体积收缩封堵效果差,密度高易窜混	效果一般
化学凝胶	易进入微小漏失通道,具有膨胀性	密度控制性差,与井浆窜混严重	效果一般
化学固结	易与地层电性吸附,易于滞留,具有膨胀性	需要提前准备	效果较好
高失水	具有固化性能的高失水材料	不适用于长裸眼漏失层	效果较好
堵漏浆钻进	可随时封堵出现的漏失层	钻井液固相含量高,性能调控难度增大	效果较好

通过分析各种堵漏技术的优缺点,结合现场堵漏效果,分析认为桥接堵漏、全井堵漏浆钻进、化学固结堵漏和高失水堵漏较适用于顺北油气田二叠系堵漏,桥接堵漏适用性最好,堵漏浆钻进对长段漏失层效果好,化学固结、高失水堵漏对单点漏失层效果较好,水泥和化学凝胶堵漏还需要进一步改进配方和施工工艺,提高与顺北油气田二叠系漏失层的适用性。

经过多年的摸索,对比漏失速度和使用的堵漏材料粒径,通过堵漏材料粒径来推算漏失通道尺寸,确定了漏速和漏失通道尺寸的对应关系。小于 10 m³/h 的漏速,对应的漏失通道基本为 1 mm 以内;10~30 m³/h 的漏速,对应的漏失通道尺寸基本为 1~4 mm;30~50 m³/h 的漏速,对应的漏失通道尺寸基本为 4~6 mm;大于 50 m³/h 的漏速,对应的漏失通道尺寸基本为大于 6 mm,甚至数厘米。根据漏失通道尺寸,结合堵漏技术特点,逐步形成了“中小漏失采用桥接堵漏、多点漏失采用全井堵漏浆钻进、大漏采用化学固结或高失水堵漏专堵”的技术方案,针对漏失速度 30 m³/h 以内的漏失,采用桥接堵漏,根据漏失速度调整颗粒材料粒径,提高堵漏针对性和堵漏效果;针对漏失速度 30~50 m³/h 的漏失,利用桥接堵漏技术试堵,若颗粒材料不能在漏失通道内架桥,堵漏效果不好,则利用化学固结堵漏技术,若漏失层位离上层套管不超过 200 m,则利用配合大颗粒材料的高失水堵漏技术进行堵漏;针对漏失速度 50 m³/h 以上的漏失,直接利用化学固结堵漏技术,化学固结堵漏浆在漏失通道内固化形成封堵层,阻止漏失;针对存在连续多个漏失层的情况,利用堵漏浆钻进,钻穿漏失层后,再逐步筛除堵漏材料,正常钻进。随着顺北油气田钻井施工的逐步深

入,堵漏施工逐步规范,二叠系漏失层堵漏效果大幅提升,通过统计漏失井数据发现,平均单井堵漏时间从 2015 年的 53.8 d 降到 2018 年的 8.2 d,再降至 2021 年的 3.8 d,总降低幅度达到 92.9%;平均单井漏失量从 2015 年的 2876 m³降低为 2018 年的 557 m³,再降至 2021 年的 368.4 m³,总降低幅度达 87.2%,支撑了顺北油气田的高效勘探开发。

5 结论与认识

(1)顺北二叠系火成岩漏失原因包括:存在天然的压差,二叠系地层压力 1.10~1.20,二叠系所用钻井液密度在 1.23~1.26g/cm³;地层裂缝发育,存在天然的漏失通道;所布井处于断裂带附近,通过裂缝与远端断裂体连通,有足够容纳钻井液的储集空间。

(2)顺北二叠系火成岩地层漏失堵漏难点有 4 个方面:裂缝多尺度,堵漏浆广谱性差,难以同时封堵住所有裂缝漏失层;漏失段长,漏失点多,堵漏次数多、时间长;裂缝压力敏感,易扩展,导致复漏;上部裸眼井段长,憋挤时易造成上部地层压漏,堵漏施工工艺受限。

(3)经过实践,针对中小裂缝漏失层、多裂缝长段漏失层、大型裂缝漏失层,分别形成了桥堵、堵漏浆钻进、化学固结或高失水堵漏等针对性堵漏技术。通过推广应用,顺北油气田 1 号断裂带和 5 号断裂带二叠系火成岩地层堵漏时间和漏失量得到明显控制,漏失量减少 87.2%,堵漏时间缩短 92.9%,取得了明显效果。

(4)需要结合地层、现场设备情况,进一步完善相关堵漏技术,进一步提高堵漏时效,支撑高效勘探开发,提高经济效益。

参考文献(References):

- [1] 潘军,李大奇. 顺北油田二叠系火成岩防漏堵漏技术[J]. 钻井液与完井液, 2018, 35(3): 42-47.
PAN Jun, LI Daqi. Technology of preventing and controlling mud losses into the permian igneous rocks in Shunbei Oilfield [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2018, 35(3): 42-47.
- [2] 董小虎,李银婷. 塔里木盆地顺北区块二叠系井漏复杂的分析及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(3): 59-62.
DONG Xiaohu, LI Yinting. Technology of preventing and controlling mud losses into the permian igneous rocks in Shunbei Oilfield [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(3): 59-62.
- [3] 金军斌. 塔里木盆地顺北区块超深井火成岩钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(6): 17-23.
JIN Junbin. Drilling fluid technology for igneous rocks in ultra-deep wells in the Shunbei Area, Tarim Basin [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(6): 17-23.
- [4] 赵志国,白彬珍,何世明,等. 顺北油田超深井优快钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(6): 8-13.
ZHAO Zhiguo, BAI Binzhen, HE Shiming, et al. Optimization of fast drilling technology for ultra-deep wells in the Shunbei Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(6): 8-13.
- [5] 张平. 顺北蓬1井 $\varnothing 444.5$ mm长裸眼井筒强化钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(3): 27-33.
ZHANG Ping. Wellbore enhancing technology for $\varnothing 444.5$ mm openhole section in Well SHBP1 by means of drilling fluid optimization [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(3): 27-33.
- [6] 马中远,任丽丹,黄苇,等. 塔里木盆地塔中地区火成岩的基本特征[J]. 特种油气藏, 2013, 20(3): 64-67.
MA Zhongyuan, REN Lidian, HUANG Wei, et al. Basic characteristics of igneous rock in the middle area of Tarim Basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2013, 20(3): 64-67.
- [7] 陈养龙,席宝滨,晁文学,等. 顺北区块I号断裂带钻井分层提速技术[J]. 断块油气田, 2018, 25(5): 649-652.
CHEN Yanglong, XI Baobin, CHAO Wenxue, et al. Improving drilling speed technologies by stratification for No.1 fault-zone of Shunbei Block [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2018, 25(5): 649-652.
- [8] 孙方龙,李子钰. 复合欠饱和盐水钻井液体系在顺北志留系复杂地层的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(7): 65-71.
SUN Fanglong, LI Ziyu. Application of the composite under-saturated brine drilling fluid system in drilling of Silurian complex formation in Shunbei [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(7): 65-71.
- [9] 徐同台,申威,冯杰,等. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2021: 1-12.
XU Tongtai, SHEN Wei, FENG Jie, et al. Lost Circulation Prevention and Control Technology in Drilling Engineering [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2021: 1-12.
- [10] 刘金华,刘四海,陈小锋,等. 承压堵漏技术研究及其应用[J]. 断块油气田, 2011, 18(1): 116-118, 125.
LIU Jinhua, LIU Sihai, CHEN Xiaofeng, et al. Study and application of pressure bearing and lost circulation technique [J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2011, 18(1): 116-118, 125.
- [11] 陈晓华,王翔,冯永超,等. 涇河油田裂缝性致密油藏防漏堵漏技术[J]. 断块油气田, 2017, 24(2): 297-300.
CHEN Xiaohua, WANG Xiang, FENG Yongchao, et al. Loss prevention and control technology for fractured reservoirs in Jinghe Oilfield [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(2): 297-300.
- [12] 詹俊阳,刘四海,刘金华,等. 高强度耐高温化学固结堵漏剂HDL-1的研制及应用[J]. 石油钻探技术, 2014, 42(2): 69-74.
ZHAN Junyang, LIU Sihai, LIU Jinhua, et al. Development and application of chemical consolidation plugging agent HDL-1 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(2): 69-74.
- [13] 张俊,徐珊,张进双,等. 巴楚隆起夏河区块风险探井钻井井优化设计[J]. 断块油气田, 2017, 24(3): 417-420.
ZHANG Jun, XU Shan, ZHANG Jinshuang, et al. Optimal drilling design of wildcat well in Xiahe Block, Bachu Uplift [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2017, 24(3): 417-420.
- [14] 李建伟,黄成. 高温低压凝析气藏弹性凝胶储层保护液[J]. 断块油气田, 2020, 27(4): 533-535.
LI Jianwei, HUANG Cheng. Elastic gel reservoir protection fluid for high temperature and low pressure condensate gas reservoir [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(4): 533-535.
- [15] 田军,刘文堂,李旭东,等. ZYDS堵漏快速滤失固结堵漏材料ZYSD的研制及应用[J]. 石油钻探技术, 2018, 46(1): 49-54.
TIAN Jun, LIU Wentang, LI Xudong, et al. Development and application of rapid filtration and consolidation lost circulation material ZYSD [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(1): 49-54.
- [16] 肖绪玉,史东军,李国楠,等. 塔里木盆地顺北地区二叠系随钻堵漏技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(10): 37-41.
XIAO Xuyu, SHI Dongjun, LI Nan, et al. Plugging while drilling technology for Permian Shunbei area of Tarim Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(10): 37-41.

(编辑 王文)