doi:10.16181/j.cnki.fzyqc.2022.02.020

泵送桥塞射孔技术在Ø82 mm井眼中的应用

王善强

（中石化经纬有限公司华东测控分公司,江苏 扬州 225000）

摘要:泵送桥塞射孔技术是页岩油气井压裂施工的重要手段,在Ø139.7 mm套管内被广泛应用。随着勘探力度的加大,在原Ø139.7 mm套管内进行侧钻的页岩油开发井不断出现,此类井通常套管内径只有82 mm,对泵送桥塞射孔的工具串的直径、重量、耐压、长度、强度等提出了新的要求。为此,在下井工具的设计选型、施工作业流程及参数设置等方面进行了优化,形成了针对小井眼泵送桥塞射孔的技术系列,并提出了需要重点把控的关键环节。该技术在苏北盆地帅页3-7HF井成功应用。

关键词:小井眼;水平井;桥塞;泵送射孔;压裂

中图分类号:TE355　　**文献标志码:**A

Application of pumped bridge plug perforation technique in Ø82 mm hole

WANG Shanqiang

(*Huadong Measurement and Control Company of Sinopec Jingwei Co. LTD.*, *Yangzhou* 225000, *China*)

Abstract: As an important method for fracturing construction of shale oil and gas wells, the pumped bridge plug perforation is widely applied in Ø139.7 mm casing. With the deepening of exploration, the sidetracked wells in the original Ø139.7 mm casing continually appeared for shale oil development. The casing inner diameter of such wells is normally only 82 mm. As a result, new specifications for the diameter, weight, pressure resistance, length, and strength of the tool string used to pump bridge plug perforation have been proposed. Thus, the technique series of slim hole pumped bridge plug perforation has been established, and the key steps that need to be controlled have been proposed, based on the optimization of downhole tool design and selection, construction operation, and parameter setting. The technique has been successfully applied to the well Shuaiye 3-7HF in the Subei Basin.

Key words: slimhole; horizontal well; bridge plug; pumped perforation; fracturing

泵送桥塞射孔工艺是非常规油气藏开发的一种高效完井方式,该项技术已经被业内工程技术人员所熟知,它是国内外改造水平井储层的有效技术,是页岩气开发过程中的一项关键且重要的工序。泵送桥塞+电缆分簇射孔技术施工速度快,成本低廉,现场设备操作简单,可灵活调整射孔枪簇深度,被广泛应用于页岩气藏及致密气藏,针对115 mm以上套管内径的井筒已经形成一套成熟的工艺技术。

随着页岩油勘探的不断深入,为了降低勘探和工程费用,利用原Ø139.7 mm套管的老井筒进行侧钻施工的做法日益增多,目前苏北盆地的页岩油井已经出现了套管内径为82 mm的井筒,这样的井筒条件下,泵送桥塞射孔施工需要解决井下工具串的耐温性能、射孔枪的耐压性能、克服开井压力高使工具串顺利入井的重量以及坐封桥塞的推力[1]等问题。针对这些问题,研发了系列相关技术,并成功应用于苏北盆地侧帅3-7HF井。

1　泵送桥塞射孔原理

泵送桥塞射孔技术第一段采用连续油管传输射孔,打开孔道后进行压裂,在第一段压裂完成后,通过泵送方式将桥塞和射孔枪串送至下一层的目标位置,而后进行桥塞坐封和射孔点火,全部枪串点火完毕后起出电缆,进行套管压裂作业,压裂后再进行下一段的射孔枪串泵送,重复以 上步骤完成多个层位的射孔和压裂作业[2]。泵送桥塞射孔如图1所示 。

收稿日期:2022-03-02;**改回日期:**2022-04-21。

作者简介:王善强(1986—),工程师,主要从事油气田射孔技术研究与应用工作。E-mail: 20631564@qq.com。

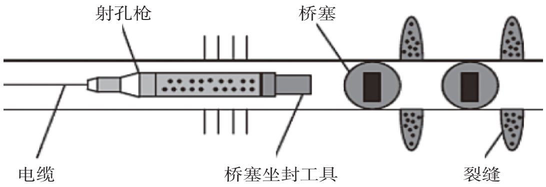


图1　泵送桥塞射孔示意

2　设备及工艺

2.1　桥塞

桥塞特点：容易磨铣；可以下多个桥塞去堵塞多个层段；卡瓦与套管接触面积大，有效防止桥塞移动，可以单向或双向承压。在帅页3-7HF小井眼中选用经纬前锋可溶桥塞（见图2），其各项参数如表1所示。

图2　经纬前锋II-68-30SF可溶桥塞

表1　经纬前锋Ⅱ-68-30SF可溶桥塞参数

外　　径：	68 mm
内　　径：	30 mm
长　　度：	348 mm
配球直径：	40 mm
金属材质：	镁基合金
胶桶材质：	可溶橡胶
配套坐封工具：	Baker-5 #
适配器外径：	68 mm
重　　量：	1.3 kg
适应套管内径：	77.9 ~ 84.8 mm
丢　手　力：	3 ~ 4 t

2.2　桥塞坐封工具

桥塞坐封工具通过电缆传输下井后，在地面送电引爆点火针，引燃火药，火药在密闭的空间内燃烧后产生很高的气压，推动活塞将能量传递到液压部分，产生一个推力使桥塞坐封[3]。由于baker-5号桥塞工具的外径小，通过加长药室，满足所需的装药量，以获得足够的推力，实现桥塞坐封。帅页3-7HF井选用baker-5桥塞工具见图3，其参数见表2。

表2　帅页3-7HF井桥塞坐封工具参数

型　　号：	Baker-5
最大工作压力：	140.00 MPa
坐封行程：	207 mm
最大坐封力：	60 kN
最大外径：	44 mm
最高工作温度：	150.00 ℃

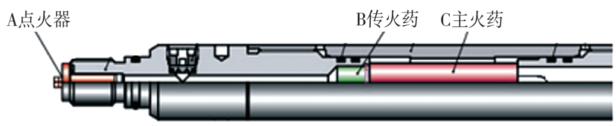


图3　帅页3-7HF井电缆桥塞坐封工具

2.3　射孔枪串及选发装置

常规的射孔枪是Ø60 mm射孔枪，壁厚是5 mm，耐压性能指标最高只能达到105 MPa，满足不了施工需求。根据井口预测开井压力可能会达到70 MPa，附加井下液柱压力和井口的泵送压力，射孔枪在井下承受的外压会达到120 MPa。重新设计加工的射孔枪选用Ø63 mm壁厚6.35 mm的射孔管材，耐压级别达到140 MPa，如图4所示。

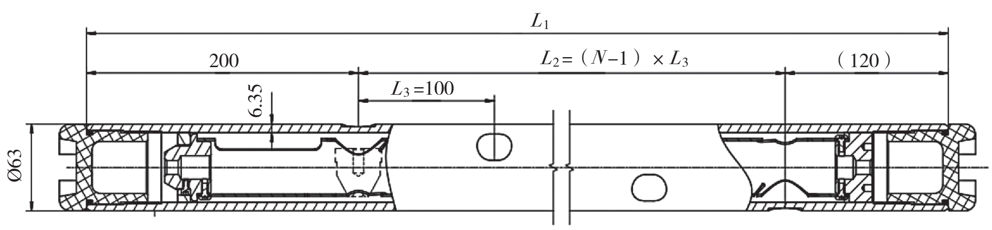


图4　Ø63 mm射孔枪

2.4　井口设备

井口的设备主要有：三闸板防喷器、防喷管、注脂控制头总成、注脂控制装置、空气动力泵、井口转换法兰。

3　小井眼泵送射孔的优点及把控重点

参考国内外泵送射孔的经验，华东测控分公司选择在帅页3-7HF井应用泵送桥塞射孔联作压裂技术。该技术可以完成多簇射孔与坐封桥塞，在泵送过程中速度稳定，节省时间；节省了夹层枪，费用较低，施工程序也较为灵活[4]。

泵送桥塞射孔技术环节较多，加之在苏北盆地中小井眼水平井中首次使用，需把控以下关键点：

（1）预测压力选择合适设备。因为后续工作中井眼内的压力情况会决定泵送射孔是否顺利，所以在预测帅页3-7HF井压力在90 MPa时，需要选用

105 MPa的防喷系统，加之考虑射孔的抗压性能，采用Ø63 mm的射孔枪。

（2）Ø63 mm的射孔枪串由于重量过轻需要配备更多的配重，工具串过长易弯，需要在起吊前将工具串完成连接并拉入防喷管中。

（3）桥塞工具及火药的配置关系到施工中桥塞的丢手与坐封，操作得当至关重要。

（4）因为是在小井眼水平井中的全新尝试，泵送施工中应密切关注复杂井筒及压力波动异常的情况，避免事故的发生。

（5）电缆和阻流管之间的间隙较小，电缆带沙压力波动、注脂异常都会导致电缆在电缆防喷系统中运行不畅。

4　应用效果

帅页3-7HF井是中国石化华东油气分公司在苏北盆地溱潼凹陷帅垛区块布置的一口油藏评价井，2021年4月11日三开，8月7日完钻，完钻井深5 132.66 m，实钻水平段长1 361.66 m，其中A靶点井深3 771 m，B靶点井深5 132.66 m，AB高差225.54 m。3 154～3 540.00 m增斜阶段，增斜率4.59°/30 m；3 540～3 771 m（A靶），增斜放缓，变化率0.35°/30 m；3 899～4 027 m处井斜变化幅度较大，由58°增为85°，变化率6.32°/30 m，4 027 m以后稳斜钻进。该井实钻水平段方位未按设计方位实施，设计水平段方位为159.8°，实钻水平段方位平均为145.6°。

本井泵送射孔采用每段2～4簇射孔，0.8～1.5 m/簇。螺旋布孔，10孔/m，孔径16 mm，60°相位角，工具串结构见表3。一共17个作业段，首段采用连续油管射孔，第2～17段采用泵送桥塞射孔，射孔设计参数见表4。约2天完成3～4段射孔任务，每一段的射孔压裂大概需要4 000 m³压裂液，90 m³压裂砂。以帅页3-7HF井第二段射孔为例，在首段压裂完成后，开井压力需要达到至少35 MPa，Ø63 mm射孔枪和baker-5桥塞工具需要配备加重才能串顺利下井，因此工具串的长度达到了14 m左右，对吊车作业有较高要求。在防喷管和工具串起吊过程中，由于工具串过长过细会导致弯曲，所以在后续施工中都要求在防喷管平放阶段完成工具串入防喷管。在顺利入井后直井段平稳电缆下速，到达45°后开始泵送，每提升5°结合电缆下速平稳增加排量，时刻关注张力、泵压、单根长度等数据，保证平稳泵送到射孔位置。

帅页3-7HF井泵送射孔作业一次下井成功率、分级点火一次成功率、射孔准确率、射孔发射率、桥塞坐封率都达到了设计指标，每段工作时长4 h左右，全部射孔压裂完成后，日产油20 t。

表3　帅页3-7HF井泵送桥塞射孔工具串结构

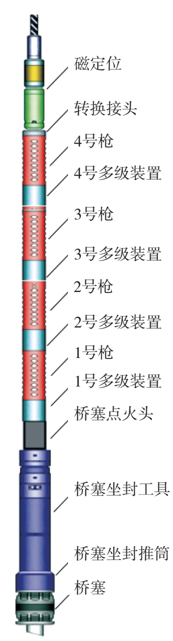
工具名称	外径/mm	长度/m	重量/kg	工具串结构
加重	60.00	1.5×2	150	
磁定位	60.00	1.35	12.15	
转换接头	60.00	0.09	2.35	
容线仓	60.00	0.16	1.4	
4号枪	60.00	1.09	13.15	
4号多级装置	60.00	0.32	6.70	
3号枪	60.00	1.09	13.15	
3号多级装置	60.00	0.32	6.70	
2号枪	60.00	1.09	13.15	
2号多级装置	60.00	0.32	6.70	
1号枪	60.00	1.09	13.15	
1号多级装置	60.00	0.32	6.70	
桥塞点火头	60.00	0.35	6.75	
桥塞坐封工具	60.00	1.70	29.40	
桥塞坐封推筒	65.00	0.57	7.30	
桥塞	65.00	0.41	5.05	
工具串总长、总重量		13.27	293.8	

表4　帅页3−7HF井泵送射孔数据

段号	桥塞坐封深度/m	射孔井段顶深/m	射孔井段底深/m	射厚/m	孔密/(孔·m^{-1})	孔数/孔
2	5 049	5 032	5 033	1	10	10
		5 013	5 014	1	10	10
		4 995	4 996	1	10	10
3	4 981	4 968	4 969	1	10	10
		4 942	4 943	1	10	10
		4 930	4 931	1	10	10
4	4 916	4 899	4 900	1	10	10
		4 880	4 881	1	10	10
		4 858	4 859	1	10	10
5	4 846	4 829	4 830	1	10	10
		4 809	4 810	1	10	10
		4 791	4 792	1	10	10
6	4 776	4 764	4 764.8	0.8	10	8
		4 746	4 746.8	0.8	10	8
		4 730	4 730.8	0.8	10	8
		4 713	4 713.8	0.8	10	8
7	4 701	4 687	4 687.8	0.8	10	8
		4 673	4 673.8	0.8	10	8
		4 657	4 657.8	0.8	10	8
		4 647	4 647.8	0.8	10	8
8	4 631	4 618	4 619	1	10	10
		4 594	4 595	1	10	10
		4 573	4 574	1	10	10
9	4 556	4 541	4 541.8	0.8	10	8
		4 525	4 525.8	0.8	10	8
		4 508	4 508.8	0.8	10	8
		4 495	4 495.8	0.8	10	8
10	4 476	4 459	4 459.8	0.8	10	8
		4 441	4 441.8	0.8	10	8
		4 424	4 424.8	0.8	10	8
		4 406	4 406.8	0.8	10	8
11	4 388	4 380	4 381	0.8	10	8
		4 355	4 356	0.8	10	8
		4 333	4 334	0.8	10	8
		4 317	4 318	0.8	10	8
12	4 300	4 289	4 290	1	10	10
		4 261	4 262	1	10	10
		4 232	4 233	1	10	10
13	4 212	4 190	4 191	1	10	10
		4 168	4 169	1	10	10
		4 146	4 147	1	10	10

续表4 帅页3-7HF井泵送射孔数据

段号	桥塞坐封深度/m	射孔井段顶深/m	射孔井段底深/m	射厚/m	孔密/(孔·m^{-1})	孔数/孔
14	4 124	4 108	4 109	1	10	10
		4 075	4 076	1	10	10
		4 053	4 054	1	10	10
15	4 036	4 018	4 019	0.8	10	8
		4 000	4 001	0.8	10	8
		3 982	3 983	0.8	10	8
		3 959	3 960	0.8	10	8
16	3 947	3 928	3 929	0.8	10	8
		3 909	3 910	0.8	10	8
		3 893	3 894	0.8	10	8
		3 877	3 878	0.8	10	8
17	3 859	3 852	3 853	0.8	10	8
		3 830	3 831	0.8	10	8
		3 804	3 805	0.8	10	8
		3 779	3 780	0.8	10	8

5 结论与建议

(1)帅页3-7HF小井眼水平井泵送射孔实践证明了该技术应用于苏北盆地小井眼水平井中的可行性。

(2)小井眼水平井泵送射孔施工周期短、工具串轻便,适合小井眼储层压裂改造,可以在侧钻井中推广应用。

(3)苏北地区寒冷时节温度低,回水管线易冰冻,需要配备多条备用管线。在压裂施工结束后应尽快衔接下步工作。

(4)针对小井眼施工,每次加砂后应冲洗井筒,适当增加顶替液,泵车避免空泵现象。若等待时间超过8 h,建议大排量冲洗井筒后再下入工具串。施工作业前应有应急预案,施工过程中应加强监控,根据泵送速度、张力、排量和井口压力变化及时调整参数,确保施工平稳和安全。

参考文献:

[1] 李博博,蒋龙,韩焘,等.水力泵送桥塞-射孔联作压裂技术在长庆油田的规模应用[J].国外测井技术,2017,38(1):45-47.

[2] 俞海.水平井分段电缆泵送射孔遇卡问题及处理方法[J].国外测井技术,2020,41(1):70-74.

[3] 王海东,陈锋,欧跃强,等.页岩气水平井分簇射孔配套技术分析及应用[J].长江大学学报(自科版),2016,13(8):40-45.

[4] 王中华.国内页岩气开采技术进展[J].中外能源,2013,18(2):23-32.

(编辑 韩 枫)