

水平井连续油管冲砂与分流实验装置的研制^{*}

谢宾 陆灯云 张剑 刘静

川庆钻探工程公司井下作业公司

谢宾等.水平井连续油管冲砂与分流实验装置的研制.天然气工业,2009,29(11):67-69.

摘要 水平井作为油气藏开发的有效手段在世界范围内得到迅速而广泛地推广。水平井钻井技术在我国经过几十年的发展已逐渐成熟,然而水平井试修井技术还相当薄弱,多局限于现场的实践经验。为解决目前国内水平井试修研究中实验装置欠缺、研究基础薄弱的状况,以相似性原理为依据,以川渝气区磨溪气田水平井井筒为模拟对象,结合连续油管在川渝气区水平井的运用现状,研制出水平井井筒连续油管沉砂携带与孔眼分流室内模拟实验装置。经测试,该装置能模拟 $\varnothing 38.1$ mm连续油管在 $\varnothing 139$ mm套管的水平井井筒内替液、冲砂、携砂以及液体在水平井段孔眼中的分流、排液等方面的研究工作。

关键词 水平井 连续油管 模拟 实验装置 研制 磨溪气田

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.11.021

0 引言

水平井由于可以显著提高油气藏勘探开发的综合效益,因而已成为油气田开发的一种有效手段。自1928年世界第一口水平井钻成后,水平井在世界范围内迅速发展,每年以600~1000口水平井的速度增加。我国于1965年在四川盆地钻成了第一口水平井,尔后在塔里木、胜利、大庆、四川等各大油气田开始了水平井技术的应用。

水平井冲砂洗井工艺、基质酸化工艺与直井有很大的差别。主要体现为:①水平井复杂的井眼轨迹,水平井存在直井段、造斜井段、水平段井筒,重力作用、水平井井筒长度、井斜等都会影响水平井井筒内介质的存在形式和流动运移规律;②水平井射孔眼数目多、射孔方位多变、孔眼分布差异大,注液工艺、作业方式多样化加大了水平井冲砂洗井和基质酸化的作业难度,同时还制约着工艺措施的制定和施工后的效果,如何经济高效地开展这些作业面临着巨大的挑战。

国外开展水平井试修技术的研究已有相当长的历史,但在水平井井筒冲砂洗井技术方面相关的技术文献较少;在基质酸化技术方面着重研究了液体

置放技术,普遍存在考虑的因素少、技术细节阐述不够透彻,与连续油管技术和川渝气区水平井状况应用衔接不够紧密等问题。为了进一步提高连续油管在水平井中的作业能力和技术水平,我们以川渝气区磨溪气田水平井井筒为研究对象,结合连续油管在川渝气区水平井的运用现状,设计研制出该水平井井筒连续油管沉砂携带与孔眼分流室内模拟实验装置,以开展水平井井筒内替液、冲砂、携砂以及液体在水平井段孔眼中的分流、排液等方面的基础性研究工作。

1 模拟实验装置的研制

1.1 实验装置的设计

1.1.1 实验装置功能设计

为了能进行连续油管在水平井井筒中对替液、冲砂、孔眼分流等模拟研究,预期研制成的模拟装置能达到以下主要功能:①能模拟川渝气区主要水平井的井眼特征;②能模拟工作液在连续油管入井后的流动状态,并具有可视化功能,便于观察和拍摄;③能开展连续油管作业时,工作液的孔眼分流模拟实验;④能开展运用连续油管进行替液、冲砂、携砂等模拟实验研究^[1-3]。

^{*} 本文为中国石油天然气集团公司科研项目“水平井砂粒输送与液体分流室内实验方法研究”(编号:07G2030206)的研究成果。

作者简介:谢宾,1969年生,高级工程师;1991年毕业于西北大学地质系;主要从事压裂酸化工程技术研究工作。地址:(610051)四川省成都市二环路北四段瑞丰巷6号。电话:(028)86019184,13438259725。E-mail:jxkj219184@126.com,water-gasoil@163.com

1.1.2 总体设计思路

该装置设计以可视井筒为核心,井筒内应具有与现场实际一致的射孔参数,包括射孔相位、孔眼密度和孔径等参数;井筒内能预置入实验用的砂粒、膨润土、铁屑等井内杂质,并具有井口装置的简单功能;装置还应具备为模拟井筒提供清水、盐水、一定黏度液体的泵送系统;同时该装置专为连续油管设计,应能模拟注液过程中连续油管上提和下放功能;围绕实验展开的数据采集和现象观测记录系统也是必要的。另外为了整个实验能安全进行,该装置还应具有安全控制和残液排出两个辅助部分。

1.2 相似原理的应用

近几年来磨溪气田水平井开发取得了突出进展,国内第一口连续油管拖动酸化正是在磨溪气田进行的,该气田的水平井在川渝气区具备一定的代表性。因此,此次以磨溪气田水平井井筒为模拟对象。以相似原理的应用主要考虑其几何相似性和管内液体流动的动力相似性。

1)主要模拟参数:套管外径为 139.7 mm,内径为124 mm;水平段长为 600 m;连续油管外径为 38.1 mm,壁厚为 2.77 mm;水平段射孔参数:方向水平、向下 30°和向上 30°;孔密 A 点、尾端附近井段采用 4 孔/m,中部井段采用 16 孔/m;连续油管拖动酸化时液体最大排量为 0.4 m³/min。

2)动力相似性的应用。动力相似性是进行模拟实验设计的基础,在该实验装置的设计中由于涉及圆管内外液体、液体与固相颗粒之间的相互作用。因此,将液体在管内的剪切速率作为主要衡量参数,模拟装置圆管的内外径和供液系统的流量。同时进行液体在管内的雷诺数判断液体的流态对比。

液体在管内的剪切速率:

$$\gamma' = \frac{8Q}{\pi d^3 t}$$

式中:Q为排量,L/min;d为模拟装置圆管的内径,cm;t为时间,s。

液体在管内的雷诺数:

$$N_{Re} = 2.12 \times 10^4 \frac{Q\rho}{d\mu}$$

式中: ρ 为液体密度,kg/m³; μ 为黏度,mPa·s。

选择的结果:①泵的最大供液压力略大于圆管的承压能力,最大排量大于 40 L/min;②外管内直径为 80 mm,内管内直径为 18 mm,内管外直径为 20 mm。

3)几何相似性应用。几何相似性主要用于设计

孔眼的分布和水平段长度,孔眼大小的确定为真实孔眼的泄流面积与井筒内面积的比,孔密和射孔相位为实际的射孔相位及孔密;水平段长度为实验流速下出现稳定的边界影响、液体混合距离、砂粒流动运移距离。选择结果:孔眼内径为 8 mm,孔眼间距为 1 孔/10 cm,射孔方位 3 个方向;水平管段长为 4 m。

2 实验装置的流程和构成单元

通过上述设计思路和计算形成的模拟装置(图 1)由实验井筒、泵送系统、固定系统、数据采集系统和安全环保系统构成。由泵送系统将不同液体通过井口的内管和内外管环空注液,井口的卷筒可实现内管的上提,设计不同的实验方案能达到替液、冲砂、孔眼分流等的模拟研究的目的。

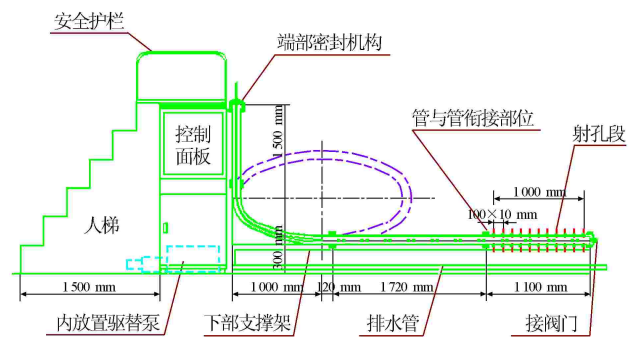


图 1 装置构成总图

2.1 实验井筒

实验井筒由内管和外管构成,内管模拟连续油管,外管模拟套管。内管为透明塑料管。外管为单根有机玻璃管构成,外管后端 1 m 的范围内按设计方式钻孔,其余外管不钻孔,单根有机玻璃管由螺纹连接加密封环密封,井口部分由 Y 型密封圈实现半封,内管能在其中上下活动,并在内管和外管间留有通道实现液体循环和环空注液。

2.2 泵送系统

泵送系统主要由驱替泵和供液桶组成。泵为不耐酸的驱替泵,最大输出排量为 2 500 L/h,最大输出压力为 1 MPa;供液桶为 2 个容量为 600 L 的不锈钢圆桶串联构成。

2.3 固定系统

固定系统主要由井筒固定系统、人梯和卷筒构成。通过井筒固定系统将实验井筒和残液排出管固定,卷筒上缠绕实验内管,实验人员在人梯上操作内管进行工作。

2.4 采集观察系统

由 3 个压力传感器记录井筒井口处、各孔眼的压力变化情况,天平记录通过孔眼的流量变化,摄像头可记录实验的全过程。

3 实验装置的性能指标

整个实验装置设计承压能力为 0.8 MPa,最大液体排量为 41 L/min,实验介质可采用清水、矿化水、有一定黏度的非酸性液体,实验温度为常温;压力传感器量程为 0~1.5 MPa,精度为 0.25% FS。能模拟的最大剪切速率为 $2\ 328\ \text{s}^{-1}$,模拟 $\varnothing 139\ \text{mm}$ 套管内, $\varnothing 38.1\ \text{mm}$ 连续油管在 $0.23\ \text{m}^3/\text{min}$ 排量下的小曲率半径水平井的实验。

4 测试结果

4.1 连续油管携砂能力实验

1)实验步骤:①将 2 kg 沙粒置入井筒内;②连

续油管放于井筒底部;③井筒灌满清水,试压 0.7 MPa 观察井筒是否泄漏;打开环空闸门,井口闸门;④安全压力下观察油管内注液,砂粒的运动;⑤边注液,边拖动连续油管,观察砂粒的运动。

2)实验结果见表 1。

4.2 孔眼分流实验

1)实验步骤:①连续管放于井筒中孔眼附近的任意位置;②井筒灌满清水,试压观察;③打开两个孔眼,井口闸门;④在安全压力下及时开泵实验;⑤记录时间、压力、流量的关系;⑥实验过程同前,只是在注液过程中加入软管拖动动作。

2)实验结果见表 2。

5 结论与建议

1)该装置以磨溪气田水平井为模拟对象,可以推广到类似水平井的模拟实验。

2)该装置经过初步测试实验,能模拟 $\varnothing 38.1\ \text{mm}$

表 1 连续油管携砂能力数据表

流量 (L/min)	压力 1 (MPa)	压力 2 (MPa)	压力 3 (MPa)	软管在砂子前位置 (cm)	砂粒移动 (cm)	管子拖动距离 (cm)
30.03	0.119	0.083	0.118	20	54	55
32.76	0.123	0.077	0.117	20	56	40
35.49	0.148	0.116	0.183	20	13	23
38.22	0.177	0.169	0.079	20	28	15

表 2 孔眼分流实验数据表¹⁾

流量 (L/min)	压力 1 (MPa)	压力 2 (MPa)	压力 3 (MPa)	时间 (s)	孔眼位置	孔眼间距 (cm)	分流体积 ^① (mL)	分流体积 ^② (mL)	井口液体 (mL)
8.19	0.010	0.035	0.027	30	1、11	100	520	530	3 000
8.19	0.012	0.031	0.026	30	1、11	100	530	550	3 000
10.92	0.015	0.043	0.031	30	1、11	100	720	760	4 400
10.92	0.014	0.041	0.034	30	1、11	100	710	740	4 400

注:1)管子拖动 85 cm。

连续油管在 $\varnothing 139\ \text{mm}$ 套管的水平井井筒内替液、冲砂、携砂以及液体在水平井段孔眼中的分流、排液等方面的研究工作。

3)通过调整泵注排量和内管管径的组合能实现对井筒沉砂携带与孔眼分流室内等模拟研究工作。

4)该装置在测试过程中暴露出的内管扰动大、拖动费力等问题在研究和实验过程中需进一步改进和完善。

参 考 文 献

- [1] 刘雨文,高雪峰,韩德民.水平井砾石充填物理模拟试验装置[J].石油机械,2003(6):1-2.
- [2] 万仁溥,罗英俊.采油技术手册(第九分册):压裂酸化工艺技术[M].北京:石油工业出版社,1998.
- [3] 杨旭,陈举芬,罗邦林.水平井完井及酸化工艺技术在四川磨溪气田的实践与应用[J].钻采工艺,2004(4):43-45.

(修改回稿日期 2009-09-27 编辑 钟水清)