

Fixed-Point Multi-Cluster and Optimized Hole Density Perforation Technology Was Successfully Applied in Fuyu Oil Reservoir

Yanbo Deng

PetroChina Jilin Oilfield Company, Songyuan Jilin
Email: dyb659@sohu.com

Received: Jun. 9th, 2020; accepted: Jul. 9th, 2020; published: Sep. 15th, 2020

Abstract

Aiming at the characteristics of low porosity, ultra-low permeability, multiple and thin oil layers in Fuyu oil layer, this article carried out the optimization of the reformed reservoir, fixed-point multi-cluster perforation, hole density flow limiting fracturing, and analyzed the fracturing flow limiting reform mechanism, rock mechanical parameters and *in-situ* stress prediction, and the optimization of vertical fracture low-limiting fracturing and perforation schemes, which have been successfully applied in Fuyu oil layer of Jilin Oilfield and achieved good fracturing implementation effects and have a good reference significance for similar low-permeability reservoirs.

Keywords

Limited Flow Fracturing, Rock Mechanics, *In-Situ* Stress, Multi-Cluster Perforation, Perforating Plan, Eyelet Friction

定点多簇、优化孔密射孔工艺在扶余油层井上成功应用

邓艳波

中国石油吉林油田公司, 吉林 松原
Email: dyb659@sohu.com

收稿日期: 2020年6月9日; 录用日期: 2020年7月9日; 发布日期: 2020年9月15日

摘要

本文针对扶余油层低孔、超低渗、油层多且薄的特点, 开展了改造储层优选, 定点多簇射孔、孔密限流压裂探索研究, 分析了压裂限流改造机理、岩石力学参数及地应力预测研究、垂直裂缝限流压裂射孔方案优化, 在吉林油田扶余油层成功应用并取得好的压裂实施效果, 对同类低渗油藏改造具有很好的借鉴意义。

关键词

限流压裂, 岩石力学, 地应力, 多簇射孔, 射孔方案, 孔眼摩阻

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

分簇射孔技术对压裂目的层进行严格地低密度射孔, 地面压裂设备在保持油层破裂压力的条件下, 尽可能高的加大施工排量, 利用最先被压开层吸收压裂液时产生的炮眼摩阻, 大幅度提高井底压力, 迫使压裂液分流, 使得破裂压力相近的其它层相继被压开。一次施工可同时压开性质相近几个油层的压裂工艺技术[1]。

分簇射孔技术是页岩气水平井多段、分段压裂完井工艺中的一项重要技术, 随着我国页岩气勘探开发的不断深入, 分簇射孔技术也得到了不断发展和应用, 在分簇射孔的基础上, 针对吉林油田扶余油层储层特征为低孔、超低渗、油层多且薄, 纵向砂泥交互, 不同层段地层破裂压力存在差异的特点[2], 综合考虑经济效益在内的多个因素, 开发过程中往往需要多层合压。为使压裂过程中多个射孔层段能够同时开启, 尽可能地提高储层动用程度, 本文从分段多簇射孔、限流压裂改造机理、破裂压力预测、优化孔密射孔方案优化等几个方面开展了限流法压裂技术研究探索, 现场取得成功应用, 形成定点多簇、优化孔密射孔配套技术, 为同类储层压裂改造提供了有效的技术支撑[3]。此项技术已经在国内外的页岩油、页岩气、水平井、煤层气等领域均得到广泛应用, 并取得显著效果[4] [5]。

2. 定点多簇、优化孔密射孔工艺流程

定点多簇、优化孔密射孔工艺主要是结合设计结构、工艺优化方面内容, 其目的是解决定点多簇选

发、射孔任意相位定向、器材定向过程中信号传输及供电、射孔后未射孔器材的密封、以及针对不同地质特点，制定合理射孔密度，解决一次压裂，多层开缝等难题[6]。

其工艺流程是射孔枪与复合桥塞联作，电缆作业，工具下到预定深度后点火，桥塞座封，丢手，然后上提电缆将射孔枪对应到第一簇射孔段点火射孔，然后拖拉电缆对准第二簇射孔段点火射孔……重复上述完成第一段射孔后，开始压裂。

3. 压裂技术原理及孔眼优化

限流法分层压裂技术是通过严格限制各层射孔孔眼的数量和直径，大排量进行施工，利用先压开层压裂液流经孔眼时产生的孔眼摩阻，大幅度提高井底压力，并迫使压裂液分流，使破裂压力接近的地层相继被压开，达到一次加砂能够同时处理几个层的目的。

在限流法压裂设计中，射孔的孔眼摩阻计算是压裂设计的关键。计算孔眼摩阻的公式为：[7]

$$\Delta p_{perf} = 228.88\rho\left(\frac{Q}{nD^2a}\right)^2 \quad (1)$$

将上式整理可得射孔孔眼总数计算公式：[8]

$$n = 15.129\frac{Q}{D^2a}\left(\frac{\rho}{\Delta p_{perf}}\right)^{1/2} \quad (2)$$

式中： Δp_{perf} —射孔孔眼摩阻，MPa；

Q —施工排量， m^3/min ；

ρ —压裂液密度， kg/m^3 ；

n —孔数目；

D —射孔孔眼直径， mm ；

a —孔眼流量系数。

在现场施工过程中，孔眼流量系数 a 是变化的，一般取 0.8~0.85。

由式(2)可知，在压裂液类型、射孔孔眼直径，孔眼摩阻值、孔眼流量系数确定之后，射孔数量和排量之间是线性关系。

4. 岩石力学参数、地应力、地层破裂压力等参数预测研究

不同层段的破裂压力值的准确预测，是限流压裂射孔方案设计的关键部分之一。为准确预测地层破裂压力，要同时进行各小层岩石力学参数和地应力预测。

4.1. 岩石力学参数

杨氏模量和泊松比除了用声波测示的方法得到以外，还可以利用区块以往施工井压力参数和常规测井资料求得，公式如下：

$$\mu = \frac{\sigma_h - \varphi P_{po}}{\sigma_h + 2\sigma_v - 3\varphi P_{po}} \quad (3)$$

$$E = \frac{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}{g(1-\mu)\Delta_{TP}^2} \times 10^{12} \quad (4)$$

式中： μ —泊松比，无因次

- E —杨氏模量, MPa
- g —980
- σ_h —水平最小主应力, MPa
- σ_v —垂向主应力, MPa
- P_{po} —地层孔隙压力, MPa
- ϕ —地层孔隙压力贡献系数, 无因次
- Δ_{TP} —纵波时差, us/m
- ρ —地层密度, g/cm^3

其中, 孔隙压力贡献系数可以由区块已经做过的横、纵波声波测井资料求得。由大安北大 5-21 井和大 2-9 井长源距声波测井资料, 可以计算孔隙压力贡献系数分别为 0.636 和 0.625, 取平均值 0.6305; 最小主应力 σ_h 可由区块其它施工井测瞬时停泵的方法估算; 垂向上覆岩层压力可由密度测井资料求得。

4.2. 地应力及破裂压力

计算水平主应力的方法还在不断的探索和发展过程中, 利用声波测井资料和水力压裂数据来确定水平主应力的方法已得到多年的实践检验[9]。

$$\sigma_H = (\mu / (1 - \mu) + A)(\sigma_v - \phi P_{po}) + \phi P_{po} \tag{5}$$

$$\sigma_h = (\mu / (1 - \mu) + B)(\sigma_v - \phi P_{po}) + \phi P_{po} \tag{6}$$

式中: σ_H —水平最大主应力, MPa;

A, B —地质构造应力系数, 无因次。

地层破裂压力可以由以下公式求得:

$$P_f = 3\sigma_h - \sigma_H - \phi P_{po} + S_t \tag{7}$$

式中: S_t —岩石抗拉强度, MPa。

式(7)中岩石抗张强度 S_t 可以利用压裂瞬时停泵时岩石的破裂压力和重张压力之差求得, 对于压裂时没有测瞬时停泵的井, 可以查测井曲线中压裂目的层和泥岩层的自然伽马差值并利用岩石抗张强度 S_t 和自然伽马差值关系曲线得出压裂层的岩石抗张强度 S_t , 岩石抗张强度 S_t 和自然伽马差值关系曲线由压裂时已测瞬时停泵井的抗张强度和自然伽马差值数据画出。

区块储层的地质构造应力系数可由矿场方法求得, 利用瞬时停泵测试方法算的 A, B 值, 计算结果见表 1。

Table 1. Calculation table of geological structure stress coefficient
表 1. 地质构造应力系数计算表

井号	油层中深 (m)	σ_h (Mpa)	P_f (Mpa)	S_t (Mpa)	P_{po} (Mpa)	ρ (g/cm^3)	σ_v (Mpa)	σ_H (Mpa)	μ	A	B
D26	1656.4	28.5	33.27	4.77	17.65	2.286	37.87	46.52	0.2475	0.9869	0.329
DB1-8	1671.4	28.0	30.0	2.0	17.8	2.289	38.26	45.43	0.2399	0.9433	0.3139
DB4-6	1691.1	28.1	35.1	7.0	18.1	2.290	38.73	45.45	0.2373	0.929	0.309
DB6-1	1652.2	28.8	30.2	1.4	17.6	2.285	37.76	47.15	0.2607	0.9912	0.3193
平均										0.9626	0.3178

通过区块 4 口井的计算, A 、 B 取值分别为: $A = 0.9626$, $B = 0.3178$ 。

4.3. 施工压力预测

井底施工压力计算公式如下:

$$P_B = P_S + P_H - P_{perf} - P_{wellbore} \quad (8)$$

- 式中: P_B —井底处理压力, MPa;
- P_S —地面施工泵压, MPa;
- P_H —静液柱压力, MPa;
- $P_{Wellbore}$ —压裂液沿程总管损, MPa;
- P_{Perf} —射孔孔眼摩阻, MPa。

5. 油层射孔、压裂方案优化设计及现场应用

5.1. 区块储层特点

大 45 区块位于大安向斜西翼, 区块西侧发育一条反向正断层, 油藏类型为断层岩性油藏, 向东过渡为岩性油藏, 开发的主要目的层位为扶余油层。大 45 区块扶余油层小层发育多, 单层厚度薄, 主力开发层为 F3、5、10、11 号小层, 平均单井钻遇砂岩厚度为 31.6 m, 有效厚度为 7.2 m。扶余油层有效厚度内孔隙度一般为 11.7%, 渗透率一般为 0.3~0.4 mD, 为低孔、超低渗储层。

5.2. 破裂压力计算

应用以上计算方法, 在吉林大安北大 45 区块进行了两口井的岩石力学参数、地应力和各小层破裂压力计算, 计算结果见表 2 [1]。从计算结果看, 两口井层间最大破裂压力差值 0.7~2.1 MPa, 也就是说, 要想达到限流压裂一次压开所有射孔层段的目的, 施工过程中产生的最大孔眼摩阻必须大于层间最大破裂压力差值 1.9 和 2.1 MPa。

Table 2. Calculation results of fracture pressure of each layer of multi-cluster perforation of 2 wells in Da45 block
表 2. 大 45 区块 2 口井多簇射孔各小层破裂压力计算结果表

井号	施工层段	解释层位	中深 (m)	声波时差 ($\mu\text{s}/\text{m}$)	泥质含量 (%)	静态泊松比	静态杨氏模量 (Mpa)	计算抗张强度 st (Mpa)	垂向应力 (Mpa)	水平最大应力 (Mpa)	水平最小应力 (Mpa)	破裂压力 (Mpa)	层间最大破裂压力差值 (Mpa)	
大 47-10-32	第一段	52	F11	2366.7	204.6	23.7	0.21	26,999	4.8	54.4	64.8	39.4	43.1	
		50	F11	2364.3	216.7	26.5	0.21	24,414	3.9	54.4	64.8	39.3	42.2	
		49	F11	2360.8	214.4	10.0	0.21	24,856	3.6	54.3	64.7	39.3	41.9	1.9
		49	F11	2357.9	214.4	10.0	0.21	24,844	3.6	54.2	64.6	39.2	41.8	
		48	F11	2354.7	222.5	5.8	0.21	23,289	3.0	54.2	64.5	39.2	41.2	
	第二段	46	F8	2325.5	214.8	17.5	0.21	24,628	3.8	53.5	63.8	38.8	41.7	
		44	F7	2314.9	203.9	3.4	0.21	26,924	4.2	53.2	63.6	38.7	42.0	
		42	F6	2307.3	203.3	15.1	0.21	27,028	4.7	53.1	63.4	38.6	42.4	0.7
		39	F7	2301.1	212.6	16.5	0.21	24,967	3.9	52.9	63.2	38.5	41.6	
		27-28	F3	2273.3	215.0	22.5	0.21	24,365	3.9	52.3	62.5	38.2	41.7	

Continued

大45-12-32	第一段	45	F11	2377.7	209.6	12.7	0.21	25,928	4.1	54.7	65.1	39.5	42.5	
		45	F11	2375.5	209.6	12.7	0.21	25,919	4.1	54.6	65.0	39.5	42.4	0.7
		44	F11	2366.3	215.5	5.9	0.21	24,659	3.5	54.4	64.8	39.3	41.8	
	第二段	41	F9	2345.9	234.6	14.8	0.21	21,247	2.6	54.0	64.3	39.1	40.7	
		39	F8	2342.1	216	8.1	0.21	24,460	3.5	53.9	64.2	39.0	41.5	2.1
		35	F6	2331.1	198.4	6.5	0.21	28,334	4.8	53.6	64.0	38.9	42.8	
	第三段	32	F5	2316.1	215.1	10.1	0.21	24,529	3.6	53.3	63.6	38.7	41.4	
		32	F5	2313.9	215.1	10.1	0.21	24,438	3.6	53.2	63.9	38.5	41.4	0.7
		29	F4	2303.7	218.5	52.3	0.21	23,821	4.4	53.0	63.3	38.5	42.1	

5.3. 孔眼摩阻计算

在限流法压裂施工过程中，射孔孔眼摩阻是保障压开尽可能多的目的层的关键内容之一。大45区块这两口井采用102枪、102弹射孔、全程滑溜水压裂，现场设备可提供施工排量8~15 m³/min，根据区块以往开发井大排量压裂施工监测资料，区块设计施工排量10 m³/min。在确定了施工排量和射孔孔眼直径前提下，计算不同排量对应的孔眼摩阻见表3 [10]。

Table 3. Calculation results of different perforation friction under different displacements in Da45 block
表 3. 大45区块不同排量下不同孔眼摩阻计算结果表

孔眼直径 (cm)	液体密度 (*10 ³ kg/m ³)	排量 (m ³ /min)	孔眼摩阻(MPa)						
			5	10	15	20	25	30	35
1.1	1.013	3.0	8.48	2.12	0.94	0.53	0.34	0.24	0.17
1.1	1.013	4.0	15.07	3.77	1.67	0.94	0.60	0.42	0.31
1.1	1.013	5.0	23.55	5.89	2.62	1.47	0.94	0.65	0.48
1.1	1.013	6.0	33.92	8.48	3.77	2.12	1.36	0.94	0.69
1.1	1.013	7.0	46.17	11.54	5.13	2.89	1.85	1.28	0.94
1.1	1.013	8.0	60.30	15.07	6.70	3.77	2.41	1.67	1.23
1.1	1.013	9.0	76.31	19.08	8.48	4.77	3.05	2.12	1.56
1.1	1.013	10.0	94.21	23.55	10.47	5.89	3.77	2.62	1.92
1.1	1.013	11.0	114.00	28.50	12.67	7.12	4.56	3.17	2.33
1.1	1.013	12.0	135.67	33.92	15.07	8.48	5.43	3.77	2.77
1.1	1.013	13.0	159.22	39.81	17.69	9.95	6.37	4.42	3.25
1.1	1.013	14.0	184.66	46.17	20.52	11.54	7.39	5.13	3.77
1.1	1.013	15.0	211.98	53.00	23.55	13.25	8.48	5.89	4.33
1.1	1.013	16.0	241.19	60.30	26.80	15.07	9.65	6.70	4.92
1.1	1.013	17.0	272.28	68.07	30.25	17.02	10.89	7.56	5.56
1.1	1.013	18.0	305.25	76.31	33.92	19.08	12.21	8.48	6.23
1.1	1.013	19.0	340.11	85.03	37.79	21.26	13.60	9.45	6.94
1.1	1.013	20.0	376.86	94.21	41.87	23.55	15.07	10.47	7.69

在压裂液密度和孔眼直径确定的情况下，射孔孔眼总数计算公式可以简化为[8]:

$$n = (4.974387212 / \Delta P_p^{0.5}) \times Q \quad (9)$$

利用公式(9)计算，得到大 47-10-32 井破裂压力差值为 1.9 MPa 时，最大射孔孔眼总数为 36 孔；大 47-12-32 井破裂压力差值为 2.1 MPa 时，最大射孔孔眼总数为 34 孔。

5.4. 射孔方案优化

大 47-10-32 与大 47-12-32 两口井限流射孔方案见表 4。

Table 4. Result of optimization design of current-limiting fracturing perforation scheme for 2 wells in Da45 block
表 4. 大 45 区块 2 口井限流压裂射孔方案优化设计结果表

井号	施工层段	解释	层位	破裂压力 (MPa)	层间最大破裂压力差值 (MPa)	确定的施工排量 (m ³ /min)	液体密度 (10 ³ kg/m ³)	孔径 (mm)	孔眼流量系数	计算最大射孔孔眼总数(个)	射顶 (m)	射底 (m)	射厚 (m)	射孔枪	射孔弹	方案设计单簇射孔数 (个)
大 47-10-32	第一段	52	F11	43.1							2367.2	2366.2	1.0	102	102	8
		50	F11	42.2							2364.8	2363.8	1.0	102	102	8
		49	F11	41.9	1.9	10.0	1013.0	11.0	0.8	36.0	2361.6	2360.0	1.0	102	102	6
		49	F11	41.8							2358.4	2357.4	1.0	102	102	6
		48	F11	41.2							2355.2	2354.2	1.0	102	102	6
	第二段	46	F8	41.7							2326	2325	1.0	102	102	6
		44	F7	42.0							2315.4	2314.4	1.0	102	102	6
		42	F6	42.4	0.7	10.0	1013.0	11.0	0.8	58.0	2307.8	2306.8	1.0	102	102	6
		39	F7	41.6							2301.6	2300.6	1.0	102	102	6
		27-28	F3	41.7							2273.8	2272.8	1.0	102	102	6
大 47-12-32	第一段	45	F11	42.5							2377.2	2378.2	1.0	102	102	10
		45	F11	42.4	0.7	10.0	1013.0	11.0	0.8	58.0	2375.0	2376.0	1.0	102	102	10
		44	F11	41.8							2365.8	2366.8	1.0	102	102	10
	第二段	41	F9	40.7							2345.4	2346.4	1.0	102	102	10
		39	F8	41.5	2.1	10.0	1013.0	11.0	0.8	34.0	2341.6	2342.6	1.0	102	102	10
		35	F6	42.8							2330.6	2331.6	1.0	102	102	10
		32	F5	41.4							2315.6	2316.6	1.0	102	102	10
第三段	32	F5	41.4	0.7	10.0	1013.0	11.0	0.8	60.0	2313.4	2314.4	1.0	102	102	10	
	29	F4	42.1							2303.2	2304.2	1.0	102	102	10	

5.5. 压裂方案设计及施工

大 47-10-32 和大 47-12-32 井均采用套管压裂、桥塞分压方式来实现单井 10 层和 9 层的改造。单段多簇射孔有利于多裂缝的产生，多裂缝的开启可以增大体积压裂改造带宽，从而增大改造体积来达到提高产能的目的。为有利于近井复杂裂缝的产生，采用了缝口暂堵的方式施工。大 47-10-32 与大 47-12-32 两口井施工参数设计见表 5。

Table 5. Construction parameter design results of 2 wells in Da45 block
表 5. 大 45 区块 2 口井施工参数设计结果表

井号	施工层段	解释	层位	射厚 (m)	单簇射孔 (个)	确定的施工排量 (m ³ /min)	滑溜水用量 (m ³)	70~140 目细粉砂 (m ³)	40~70 目石英砂 (m ³)	20~40 目石英砂 (m ³)	5~8 mm 暂堵剂 (kg)
大 47-10-32	第一段	52	F11	1.0	8						
		50	F11	1.0	8						
		49	F11	1.0	6	10.0	1548.5	15.0	15.0	20.0	30.0
		49	F11	1.0	6						
	第二段	48	F11	1.0	6						
		46	F8	1.0	6						
		44	F7	1.0	6						
		42	F6	1.0	6	10.0	1760.6	20.0	20.0	25.0	40.0
大 47-12-32	第一段	39	F7	1.0	6						
		27-28	F3	1.0	6						
		45	F11	1.0	10						
		45	F11	1.0	10	10.0	1785.6	20.0	20.0	25.0	40.0
	第二段	44	F11	1.0	10						
		41	F9	1.0	10						
		39	F8	1.0	10	10.0	1366.1	15.0	15.0	20.0	0.0
		35	F6	1.0	10						
第三段	32	F5	1.0	10							
	32	F5	1.0	10	10.0	1613.6	15.0	20.0	20.0	30.0	
	29	F4	1.0	10							

2019 年 8 月 22 日至 8 月 26 日，对两口井 5 个层进行了限流法压裂施工改造，从施工压力反映，限流法压裂技术在扶余油层得到了成功应用，各射孔层段均得到了有效的开启，油层压开率达到 100%，达到一次压开多层的目的。大 47-10-32 第一段、第二段压裂施工曲线分别见图 1、图 2。

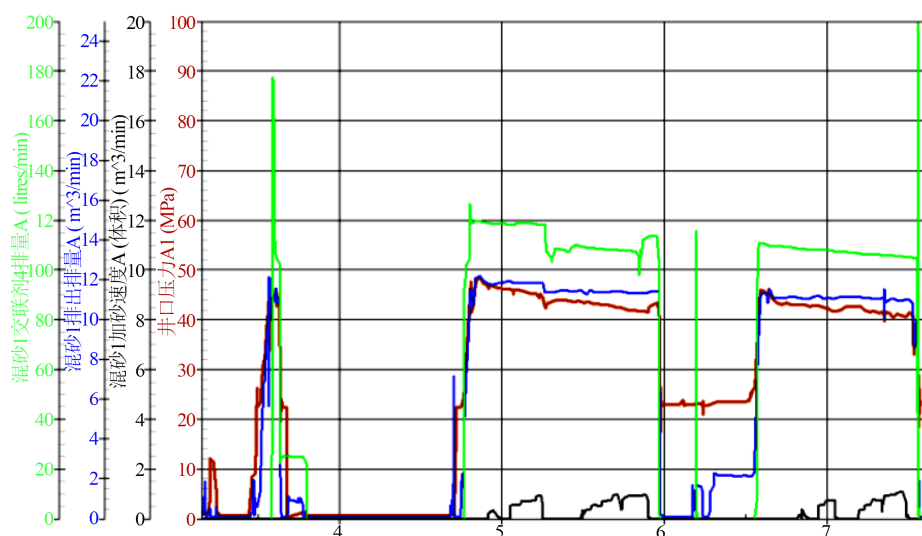


Figure 1. Hydrofracture curve of the first stage of Well Da 47-10-32

图 1. 大 47-10-32 井第一段压裂施工曲线

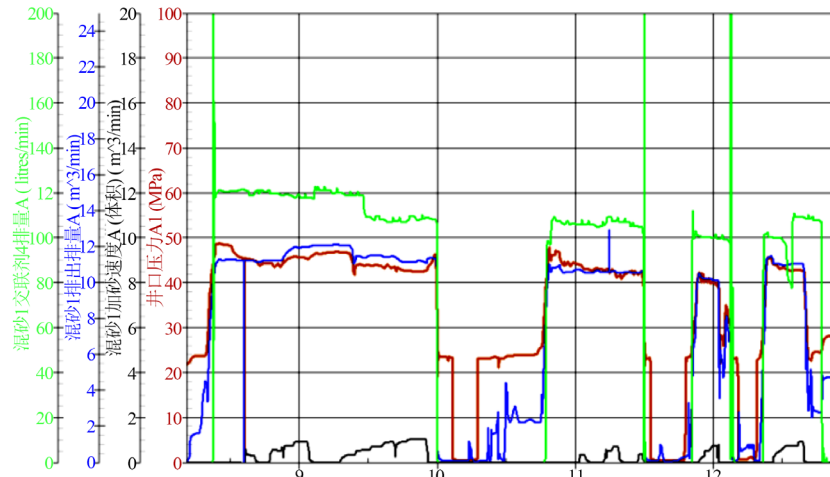


Figure 2. Hydrofracture curve of the second stage of Well Da 47-10-32

图 2. 大 47-10-32 井第二段压裂施工曲线

6. 结论和建议

- 1) 利用普通测井资料对地应力的预测结果，可以对压裂射孔方案及地面压裂设备的选择提供科学依据，特别是对限流压裂的孔眼摩阻选择，其意义十分巨大。
- 2) 对于未施工井，各小层地层破裂压力值以往总是无从准确预测，从测井曲线，往往只能有一个大概的判断，而没有一个量的认识。本文中的预测方法为限流压裂射孔方案的确定提供了一个前提。
- 3) 最大射孔数量公式简化，使得射孔孔眼数量确定更便捷。
- 4) 多簇射孔，配合全程滑溜水压裂、组合支撑技术，可以使压裂过程产生更为复杂的多裂缝网络，从而增大裂缝改造体积提高产能。
- 5) 射孔方案除考虑各层均匀开启外，也可根据实际需要，通过控制各层射孔数量来达到不同的改造效果。

参考文献

- [1] 任剑, 张彦杰, 等. 限流法压裂技术在五星庄油区的适应性评价[J]. 化学工程与装备, 2014(11): 144-146.
- [2] 戴文潮, 秦金立, 薛占峰, 侯乃贺, 赵晨熙. 一球多簇分段压裂滑套工具技术研究[J]. 石油机械, 2014, 42(8): 103-106.
- [3] 吴奇, 胥云, 王晓泉, 王腾飞, 张守良. 非常规油气藏体积改造技术——内涵、优化设计与实现[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3): 352-358.
- [4] 王琴, 张士诚, 等. 限流压裂工艺技术研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2009, 11(1): 41-43.
- [5] 曾毅. 限流压裂工艺在织金煤层气开发中的应用[J]. 油气藏评价与开发, 2014(3): 73-77.
- [6] 周再乐, 张广清, 熊文学, 李军, 倪小龙, 黄卫龙. 水平井限流压裂射孔参数优化[J]. 断块油气田, 2015, 22(3): 374-378.
- [7] 胡永全, 傅成浩, 谭超, 赵金洲, 任岚. 水平井分段多簇压裂裂缝干扰延伸规律[J]. 大庆石油地质与开发, 2018, 37(5): 117-152.
- [8] 吴峙颖, 路保平, 胡亚斐, 蒋廷学. 压裂多级裂缝内动态输砂物理模拟实验研究[J]. 石油钻探技术, 2020, 48(4): 106-110.
- [9] 潘林华, 张士诚, 程礼军, 陆朝晖, 柳凯誉. 水平井“多段分簇”压裂簇间干扰的数值模拟[J]. 天然气工业, 2014, 24(1): 74-79.
- [10] 赵金洲, 陈曦宇, 李勇明, 付斌, 许文俊. 水平井分段多簇压裂模拟分析及射孔优化[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(1): 117-124.