

水力冲击法解堵的研究及应用

刘 洪 军

(大庆石油管理局第七采油厂)

摘要 在简单分析大庆油田推广应用的几种物理法采油技术的基础上,提出了水力冲击解堵技术。该技术是依据流体运动中的水击现象作用原理进行工作的。介绍了水力冲击发生器的结构组成及工艺管柱结构、工作原理和工艺流程;对水力冲击发生器产生的冲击压力进行了分析,并给出了估算冲击压力的理论计算公式,计算表明,水力冲击器能产生20~40MPa的冲击压力;评价了该冲击压力对套管和油管不会造成损害。还给出了该技术的现场试验结果,最后得出几点有益的结论。

主题词 水力喷射 冲击 压力 解堵 地层 分析 研究

作者简介 刘洪军,1964年生。1987年毕业于大庆石油学院机械系矿机专业,现在工程技术大队从事采油工艺方面的生产管理和科研工作,工程师。

目前已推广应用的物理法采油技术可分为超声波采油技术,水力振荡采油技术,井下低频电脉冲采油技术,高能气体压裂技术等^[1]。这些技术在现场应用中均见到了较好的效果。但由于措施井的具体情况和采用的技术本身的特点,现场应用中也存在适用范围的局限性。如超声波采油技术和水力振荡采油技术处理油层半径小,适用于解除机械杂质及固体颗粒的堵塞;高能气体压裂技术和井下低频电脉冲采油技术处理油层半径相对较大,但其单井处理费用较高。水力冲击解堵技术也是一种物理法采油技术,它的作用效果介于上述之间,而单井处理费用较低,从国外一些油田的应用情况看,效果较好^[2]。

水力冲击解堵技术是利用高压液体将冲击片爆破阀突然打开,产生瞬时高速,高速流体突然遇阻而引起水力冲击,产生瞬时高压。此压力波在井筒及油层孔隙中传递,进行解堵。它的增油作用机理体现在两个方面:机械作用和水力作用。机械作用是压力直接作用在岩层上,使其破碎,产生裂缝。水力作用是指压力波的传播、反射和叠加所形成的压力脉动对地层的振动作用,它可破坏堵塞颗粒与储层岩层之间的凝聚力,并能使输油孔道毛细管径发生变化,导致毛细管的周期性胀缩,有利于提高油层的渗透率。

一、理论依据及工作原理

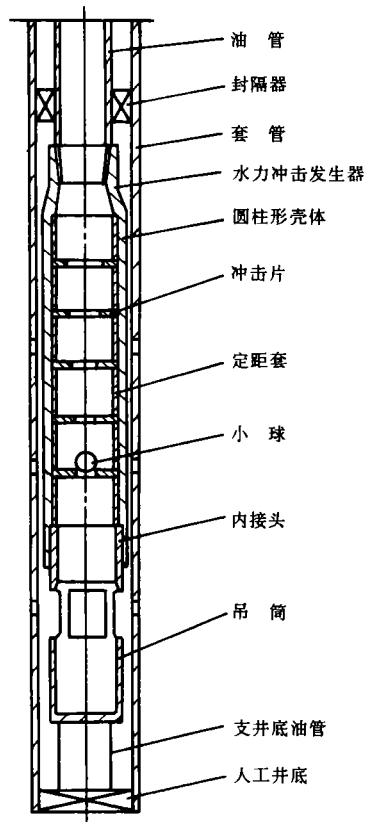
1. 理论依据 水力冲击解堵技术的作用原理是流体运动中的水击现象。水击现象产生是因为管路或容腔中的压力突然变化,使原来静止的液体突然加速;或者是因管路中的液体突然遇阻,速度骤降为零,即在很短的时间内使液体流速剧增或骤降。由于流速的突然变化,引起液体惯性水头的作用,使压力突然增加或降低,在管路中产生急剧交替的压力升降冲击和波动。压力冲击力直接作用在油层岩石上,可使其破碎,产生微裂缝。压力波的传递对油层壁面和油

层内液体进行交变扰动和振荡剪切,来改变其流变性,起到降凝、降粘的效果。同时水力冲击压力能使流体快速流动,起到冲刷孔道、携带堵塞物脱离孔道壁面的作用。通过以上水力冲击的总体效应,使油层孔隙通道畅通,达到解堵增产的目的。

2. 水力冲击发生器的结构组成 水力冲击发生器结构组成见示意图。合理的结构设计和良好的参数匹配是水力冲击解堵效果好坏的关键。

3. 水力冲击解堵工艺管柱结构及工作流程 右图是水力冲击解堵工艺管柱结构示意图。水力冲击发生器安装在油管下部,对准油层部位;在水力冲击发生器上部不远处安装 1 只液压坐封式封隔器;在水力冲击发生器下部用几根油管支撑在井底(如果设计冲击压力较低,也可不支撑在井底而保持悬挂)。

水力冲击解堵的工作流程如下:先接好泵车,向油管中灌注液体到井口,然后投第 1 个小球,将一级冲击片孔堵住封严,再将泵车加压。当液压升高到封隔器坐封压力时,封隔器坐封,使封隔器以下套管环空与油层之间形成一个密封的液体流动空间。当压力继续升高达到一级冲击片爆破阀的强度极限时,冲击片突然爆破打开,使油管中原来静止的液体突然加速,此高速流体进入套管空间,速度能转化为压力能。压力直接作用在油层岩石上,同时驱动套管内液体流动,作用到管壁和油层上,再次产生压力冲击。压力冲击波不断反射,作用到油层岩石和液体上,起破碎、剪切、冲刷和携带作用,实现降凝、降粘和解堵。待一级压力冲击波衰减后,再投第 2 个小球,进行第 2 次冲击,直至最末级冲击结束,完成一次水力冲击解堵施工。



水力冲击解堵工艺管柱结构示意图

二、水力冲击发生器产生的冲击压力分析与计算

1. 冲击片爆破打开瞬间冲击器中液体流速 应用流体力学计算公式^[3],可得冲击片爆破打开瞬间的冲击器中液体流速 v

$$v = \alpha \sqrt{2\Delta p / \rho} \quad (1)$$

式中, α 为流量系数,一般 $\alpha = 0.62 \sim 0.82$; ρ 为流体密度, g/cm^3 ; Δp 为有效作用压力, MPa 。

2. 流体在套管中产生的瞬时流速 v_1

$$v_1 = \frac{d^2}{D^2 - D_0^2} v \quad (2)$$

式中, d 为冲击片通道直径, mm ; D_0 为冲击器或管柱外径, mm ; D 为套管内径, mm 。

3. 套管中流体与壁面或障碍物接触遇阻时产生的冲击压力 Δp 。根据动量定理^[4]

$$\Delta p_c = \alpha_0 \rho v_i a \quad (3)$$

$$a = \sqrt{K/\rho} / \sqrt{1 + DK/(\delta E)} \quad (4)$$

式中, α_0 为动量修正系数, 一般 $\alpha_0 = 0.7 \sim 1$; a 为压力波传递速度, m/s; K 为液体体积弹性系数, Pa; E 为套管材料弹性模量, Pa; δ 为套管壁厚, mm。

三、水力冲击发生器产生的冲击压力计算举例

若将水力冲击器设计成 5 级, 每级的有效作用压力可通过冲击片的设计强度来控制。如果确定了每级的通道直径、有效作用压力, 并选定其它参数值为: $\alpha = 0.62$, $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, $D_0 = 114 \text{ mm}$, $D = 124 \text{ mm}$, $\alpha_0 = 0.7$, $K = 1.1 \times 10^9 \text{ Pa}$, $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa}$, $\delta = 7.8 \text{ mm}$, 则可用上述公式计算出每级的冲击压力, 见表 1。

表 1 每级的冲击压力计算值

级数	一级	二级	三级	四级	五级
通道直径(mm)	44	48	52	56	60
有效作用压力(MPa)	20	20	20	20	20
冲击爆破瞬时流速(m/s)	39.2	39.2	39.2	39.2	39.2
套管中瞬时流速(m/s)	31.8	37.9	44.5	51.6	59.3
冲击压力(MPa)	21.6	25.8	30.3	35.2	42.4

由表 1 可见, 在设计冲击片的爆破压力为 20MPa 时, 水力冲击器能产生 20~40MPa 的冲击压力。此压力波不断反射, 以交变的形式作用在油层孔隙的岩石上和流体中, 起强烈的破碎、剪切作用, 从而实现油层的解堵。

四、压力冲击使油管与套管产生的应力

由于水力冲击能产生 10~40MPa 的冲击力, 在施工过程中对油管和套管会产生强烈作用, 因此必须考虑对油管和套管的影响是否能达到损坏的程度。根据材料力学理论可得出薄壁管的应力计算公式。

$$\text{油管中的应力计算公式为} \quad \sigma_1 = \Delta p_c d_1 / (2\delta_1) \quad (5)$$

$$\text{套管中的应力计算公式为} \quad \sigma_2 = \Delta p_c D / (2\delta_2) \quad (6)$$

式中, d_1 为油管外径, mm, 取 $d_1 = 73 \text{ mm}$; δ_1 为油管壁厚, mm, 取 $\delta_1 = 5.5 \text{ mm}$; 取 $D = 124 \text{ mm}$; δ_2 为套管壁厚, mm, 取 $\delta_2 = 7.8 \text{ mm}$ 。

各级冲击压力作用在油管和套管上所产生的应力见表 2。

表 2 油管和套管中的应力

级数	一级	二级	三级	四级	五级
油管的应力(MPa)	143.3	170.3	200.0	232.3	279.3
套管的应力(MPa)	171.7	205.1	240.9	279.8	337.0

一般油管和套管材料的屈服极限均大于 380MPa, 而且油管中有压力流体, 套管外有水泥保护层, 这些都平衡了部分压力作用。因此压力冲击不会对油管和套管产生损害。

五、水力冲击解堵现场试验

1997 年四季度, 在葡萄花油田进行了 5 口井的水力冲击解堵试验见表 3。

表3 水力冲击解堵试验数据统计

井号	解堵前			解堵后			差值		
	日产液 (t)	日产油 (t)	含水 (%)	日产液 (t)	日产油 (t)	含水 (%)	日增液 (t)	日增油 (t)	含水 (%)
葡 176-130	8.0	2.0	75.0	10.0	4.0	60.0	2.0	2.0	-15.0
葡 184-42	16.0	5.0	68.7	21.0	7.0	66.0	5.0	2.0	-8.7
葡 188-126	7.0	2.0	72.4	9.0	3.0	66.7	2.0	1.0	-5.7
葡 6-92	4.0	2.0	50.0	5.0	2.0	60.0	1.0	0	10.0
葡 88-58	17.0	7.0	58.7	26.0	10.0	61.5	9.0	3.0	2.8

由表3试验数据可看出,应用水力冲击技术共解堵5口井,有效4口井,有效率达80%。解堵前,平均单井日产液10.4t,日产油3.6t,综合含水65.3%;解堵后,平均单井日产液14.2t,日产油5.2t,综合含水63.4%;前后对比,平均单井日增液3.8t,日增油1.6t,综合含水下降1.9个百分点,达到了预期的试验效果。

六、结论

1. 水力冲击解堵技术具有作用效果好、作业施工简单、成本低的特点,是物理法采油技术的一个组成部分。

2. 水力冲击解堵技术的关键是水力冲击发生器的结构设计和工作参数匹配。

3. 通过理论计算可预估水力冲击压力的大小,从而比较精确地确定冲击片的有效作用压力,以适应不同的油井解堵需要。

4. 水力冲击压力的大小可控制在一定范围内,不会对油管 and 套管产生损害。

参 考 文 献

- 1 胡博仲. 大庆油田高含水期稳油控水采油工程技术. 北京:石油工业出版社,1997:252~272
- 2 蔡天成译. 应用水力冲击法提高油层近井地带的渗透率. 油气田开发工程译丛,1990(2):33~35
- 3 关醒凡,于华译. 叶姆采夫B.T. 工程流体力学. 北京:高等教育出版社,1990:240~261
- 4 苏尔皇. 液压流体力学. 北京:国防工业出版社,1979:133~137

(收稿日期 1998-10-20)

(修改稿收到日期 1999-07-08)

[编辑 姚晓喻]

concentration of water shutoff agent and evaluation on its property. The original profile control process is improved. Field test is carried out. Technique for plugging large pore path is formed and completed gradually. Since 1997, the technique has been used to plug large pore path in 25 wells. The accumulated incremental oil production is 7303 t, the accumulated water production decreased by 29 922 m³, and the input—output ratio is 1:3.7. The problem of plugging large pore path has been solved.

Subject heading sandstone oil reservoir high water cut stage high permeability reservoir plugging technology research

HARM OF FREE HANGING OF TUBING AND ANCHORING TECHNOLOGY

by Wang Gang, Ni Guanghui, Wang Jianli, Ge Shaomin

Abstract Based on the analysis of pump detection data of a field for near 10 years, and on the investigation to the factors influencing the pump efficiency, this paper dissertates harm like elastic deformation, tubing leakage, fatigue failure, wear and so on resulted from free hanging of tubing, presents a simple and convenient tubing anchoring process and construction technology. Field application shows that good effect has been achieved. Oil producing workers should pay more attention to the technology.

Subject heading tubing suspension tubing anchor anchorage technology

RESEARCH ON OIL PRODUCTION WITH SELF—EXCITED WAVE

by Lei Guanglun, Zhang Jianguo, Fu Jitong, Zhang Huagong

Abstract When the pumping well runs normally, self—excited pressure wave can be generated at bottom hole by means of wave generator. This paper introduces the generating mechanism, theoretical calculation and lab test of self—excited wave. The frequency of the wave is small, the amplitude value of it is large, and it can produce successive surge action on the oil reservoir. Lab test shows that the amplitude value of the self—excited pressure wave is mainly related to the pump submergence, the pump setting depth, as well as the stroke and pumping speed of well pumping unit. Field application of it in 3 wells shows that the technology can improve the percolation condition of shallow stripper wells, and increase the output of oil wells.

Subject heading production well bottom hole pressure surge enhanced oil recovery technology research

RESEARCH AND APPLICATION OF PLUG REMOVAL WITH HYDRAULIC IMPACT METHOD

by Liu Hongjun

Abstract On the basis of analysis of several physical oil producing technique applied in Daqing Oilfield, this paper presents the technique of plug removal with hydraulic impact. This paper introduces the structure of hydraulic impact generator, the structure of the tubing string, the working principle and process; this paper also analyzes the surge pressure produced by the hydraulic impact generator, and presents the theoretical calculation formula used to estimate the surge pressure. Calculation results show that the generator can produce 20~40 MPa surge pressure which will not damage the casing and the tubing. Finally, this paper presents the field test results and several beneficial conclusions.

Subject heading hydraulic jetting impact pressure plug removal research

FIELD APPLICATION OF SYSTEM OF TEMPERATURE MEASURING WITH OPTIC FIBER AND PRESSURE MEASURING WITH CAPILLARY TUBING

by Xu Dong, Liu Fang, Yang Naiqun

Abstract The technique of temperature measuring with optic fiber and pressure measuring with capillary tubing is a comparatively advanced technique in field test domain at present. The technique can realize the on—line detection and location of information such as temperature and pressure at any complex environment. This paper expatiates on the principle, composition and installation method of the system of tempera-