

D1 超声波采油技术在油田开采中的应用

周达宇

(成都传感换能技术研究所 成都·610041)

1 引言

超声波技术油田增产工艺,早在50年代前苏联和美国就使用过,并取得了显著的效果。我国建国后开发的大多数油田目前已处于开采的中、晚期,出油能力普遍较低,需要切合实际、行之有效的提高油井采收率的技术工艺措施。而一些老的开采办法,诸如压裂、酸化、电爆振等对油井的结构破坏较严重,同时人工劳动强度也高。经过上述方法多次开采的油井对这些措施已不敏感。而超声波采油却是一种经济可行、自动化程度较高的一种物理开采工艺。它的原理是通过超声高频机械振动的能量,经混合液体及单方向作用,可以疏通储油层中泄油通道,提高油层渗透率,改变油层介质的物性和流态,从而达到解堵增产,提高油井采收率的目的。

我所于1989年开始超声波处理储油地层的设备研制工作,经过3年多的技术开发,研制出可用于油田井下的大功率声波—超声波发生器样机,并于1993年通过国家火炬规划项目验收。于此同时,我们同大庆、玉门、华北、中原、胜利、辽河、长庆、陕北等油田联合进行超声采油技术现场试验,取得了可喜的成果。现已形成系列化的超声设备,填补了我国在这一领域内的空白。

本文介绍我所研制的声波处理储油地层系统及其作用机理。并通过对油田现场试验结果的分析 and 对比,找到试验结果和作用机理符合的地质结构及油水井条件;并对作用效果不明显的油井,进行分析,找出原因,以利于该项技术进一步的推广和普及。

2 系统的构成和机理

声波处理储油地层系统由(1)地面声波—超声波大功率发生器;(2)油井用特种传输电缆;(3)井孔

大功率压电发射换能器等3部分构成。如图1所示。

地面声波—超声波大功率发生器通过先进的功率合成技术产生频率为 $20 \pm 5\text{kHz}$ 的振荡脉冲信号,经特种传输电缆送至大功率压电发射换能器,由换能器将电振荡转化为声波机械动能,由其传播载体——原油介质(油、水、气等)耦合后辐射到储油地层中。实践证明,这一过程机理复杂,井下地质环境及选井等影响因素众多,主要表现在:

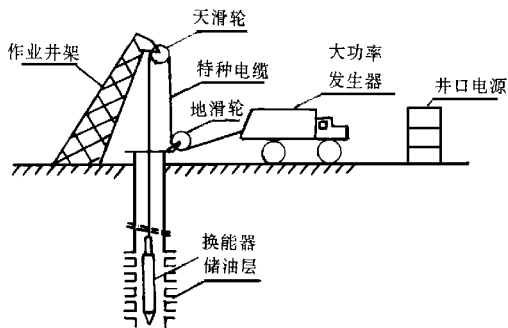


图1 声波处理储油地层系统示意图

(1)在井底油层中建立的声场,无论是强声场($> 10\text{kW}/\text{m}^2$)还是弱声场($< 10\text{kW}/\text{m}^2$)都可以对地层产生振动作用。地层中声波产生的振动使石油沿着反射波路线向井底的声源方向流动,形成声学中的蔡特金图形。

(2)向地层中辐射大功率的声波可以降低地层毛细管中油水间的界面张力:生产层中含残余油的毛细管在声波作用下产生振动,导致毛细管管径发生大时小的变化。

当毛细管半径变大时,表面张力减小,导致毛细管中的残油在重力和声波的振动作用下脱离界面,流入井眼最终被采出地面。

(3)原油在地层压力条件下溶解了许多的碳氢

气体。在大功率声场的作用下,地层原油将发生强烈的空化效应,原油中会产生许多大大小小的气泡。空化时产生的负压使原油中的溶解气逸出,穿过界面进入空化作用形成的气泡中,从而使气泡迅速长大,并对油井液柱产生明显的举升作用,对油井诱喷及增产均起到促进作用。

(4) 在声波作用下,原油分子周期性地地进行结构组合排列,导致原油粘度降低,流动性增强。

(5) 在声波作用下岩芯的渗透率会发生变化。实验表明:声波作用开始后,经过几秒钟岩芯的渗透率提高了,提高的幅度取决于岩石的初始渗透率,初始渗透率越低的岩石经声波处理后提高的幅度越大,最高的可提高数十倍。用脉冲波处理的效果比用连续波处理的效果要大几倍。

3 现场试验结果及分析

3.1 试验效果综述

成都传感换能技术研究所同各大油田进行密切

的合作,利用其研制的“声波—超声波地层驱油系统”设备,对地质结构不同或经不同方式开采过的油层地段进行现场作业,积累了大量的实验数据:

3.1.1 玉门油田试验数据及结果

表 1 玉门油田声波处理油层增产效果统计表

施工单位	石油沟 油田	白杨河 油田	老君庙 油田	合计
施工井数(口)	97	20	7	124
成功率(%)	97	100	100	98
有效率(%)	85	95	100	87
累计增产油(吨)	4236	1200	514	5950
累计增产液(吨)	12647	1531	551	14729
平均单井增产油 (吨)	55.7	70.5	128.5	61.3
平均单井有效期(天)	217	191	230	215

表 2 超声波处理油层井措施前后生产情况对比表

项目 井号	措施前				初期				稳定后				目前				
	时间	产液 (吨)	产油 (吨)	含水 (%)	时间	产液 (吨)	产油 (吨)	含水 (%)	时间	产液 (吨)	产油 (吨)	含水 (吨)	时间	产液 (吨)	产油 (吨)	含水 (吨)	有效 天数 (天)
6-10-2129	94.9	14	4	71.0		16	14	12.5	94.12	16	4	75.0	95.2	14	3	76.9	
6-21-2137	94.9	7	2	71.4	94.10	7	2	71.4	95.1	7	2	71.4	95.2	7	2	71.4	
8-20-619	94.10	3	3	5.8	94.10	13	11	15.3	95.6	11	9	18.1	95.10	7	6	14.2	390
8-20-622	94.10	7	2	71.4	94.10	9	2	77.7	95.2	10	1	90	95.3				90
7-30-643	95.6	5	2	60.4	94.11	12	9	25.0	95.7	14	11	21.4	95.9	12	8	31.0	60
176-483	95.7	8	7	12.5	95.6	18	15	16.6	95.8	17	15	11.7	95.10	16	12	22.8	180
176-53	95.7	2	1	50.0	95.6	8	7	12.5	95.7	9	7	22.2	95.10	12	8	33.3	150
7-30-636	95.7	9	3	66.6	95.7	20	13	35.0	96.8	22	8	62.8	95.8	9	3	66.6	30
6-31-631	95.7	0	0	0	95.7	3	2	33.3	95.8	3	2	33.3	95.10	5	2	59.4	150
7-30-633	95.8	8	5	37.5	95.8	17	8	52.9	95.8	12	7	41.6	95.8	8	4	50	
合计		63	25	49.5		123	83	35.2		121	66	44.7		97	54	42.5	128.5
174-463	95.11	5	5		95.11	11	10	8	95.12	10	9	10					30
165-563	95.11	6	4		95.11	35	14	60	95.12	39	18	54					30

本项目从 1989 年 12 月投入现场试验以来,累计施工油井 124 口(见表 1)。成功率 98%,有效率 87%,累计增产原油 5950 吨,平均单井增产原油 61.3 吨。截

止 1993 年 6 月底统计:有效期最短 23 天,最长 870 天,有效井的平均有效期为 215 天。平均单井增产量接近水力压裂井(声波处理 45 吨/井,水力压裂 52.5

吨/井),效果显著。

3.1.2 大庆油田 试验数据及结果

超声波处理油层技术截止到 1995 年 11 月底共完成 13 口油井的现场试验任务。措施后投产 12 口井(其中一口井因油杆弯曲未投产),其中 9 口井有效,有效率达 75%。9 口有效井平均日产液由处理前的 46 吨上升到处理后的 137 吨,日增液 91 吨,平均单井日增液 10.1 吨;日产油由处理前的 30 吨,增加到处理后的 89 吨,日增油 59 吨,平均单井增油 6.55 吨。1994 年超声波处理的井有效期最长的达到 390 天,最短的为 90 天。截止到 1995 年 10 月底投产较早的 7 口有效井,平均有效期达到 128.5 天,纯经济效益为 386.31 万元(见表 2)。

3.1.3 陕北靖边地区油田试验数据及结果(见表 3)。

表 3 超声波处理油层井增产效果统计表

井号	试验前		试验后		备注
	产液 (吨)	含水量 (%)	产液 (吨)	含水量 (%)	
43—2 井	4.3	75	4.34	75	1. 现场试验从 96 年 4 月 30 日开始到 5 月 26 日结束。 2. 试验后都应测一次示功图,以排除其他因素对产液量的影响,如 45—5 井的现象是否深井泵漏失值得怀疑。 3. 试验效果不理想,原因在讨论分析之中。
45—5 井	8.3	80	7.96	80	
华夏 1 井	3.5	35	3.87	35	
45—4 井	1	100	1	100	
飞凤 1 井	2	40	2	40	
华宁 313 井	2	40	2.3	40	

3.2 对试验结果的分析

影响试验结果的因素很多,也很复杂,现将几个主要因素分析如下:

3.2.1 地质因素对实验结果的影响。

大庆油田、玉门油田及陕北油田的井下地质类型均是砂岩类,主要区别在于渗透率的差别较大(陕北几个毫达西,大庆几百个毫达西),然而渗透率能否对试验结果产生如此之大影响,尚不可作结论。原因在于陕北石油井,目前处于靠油层天然能量进行一次性开采阶段,通过超声波激励,虽在油井周围解

堵,但仍缺乏足够的驱油能力来促使油井增产;而在其他油田则是在注水条件下,即油井不断得到能量补充情况下进行开采,一旦改变了渗透性泄油通道,其流量会明显增加。可见增产效果与油层的压力低、能量弱有着直接关系。

3.2.2 选井对试验结果的影响

不同类型的油井,经超声解堵作业,其产生的效果也不尽相同。为使中、晚期油井的开发准确、高效,经实践总结,确定了以下选井原则:

(1) 钻井泥浆密度相对较高,浸泡时间相对较长,油层有堵塞污染的井;

(2) 措施井砂层厚度大且与注水井连通性好,注水效果明显的井;

(3) 严重污染的油气井层;对水、酸有敏感性的油层;

(4) 距水线较近而长期不能实施压裂增产措施的井。

3.2.3 仪器设备要确保工作在共振频段,以达到最佳功率输出

超声波设备大功率、长时间地工作在井下恶劣的环境之中,温度和压力等影响仪器参数的因素在不断地变化,影响着功率的输出及最终的试验效果。

4 结 论

从开展超声波采油技术试验研究和现场应用所取得的成果可以看出,对于因泥浆浸泡、压井、结蜡及其它原因造成井近地带层污染堵塞的井,采用超声波技术解堵效果较好;对于油层物性好,油层厚度大,出油能力差及动静态资料不符的井,适当延长超声波处理时间,可获得更好的处理效果。

对于低渗透油田,超声波处理油井的效果与油层自身条件有密切关系,油层渗透性越低,原油粘度越大,超声波在油层内的衰减越快,与高渗透层比,在相同施工技术参数下,超声波处理的效果越差。故对于不同油层条件的井,应该采取不同的参数。

总之,超声波采油技术正处于不断探索完善的发展之中,只有通过广大技术人员不懈地努力,使超声波采油设备的功率及其稳定性再跃上一个新的台阶;同时,随着我们现场经验的不断丰富和总结提炼,使该项工艺措施进一步科学化、制度化。我们相信:超声波采油的大好明天即将到来。