

# 大功率超声波发生器的研制及其在采油中的实验

于秋鹤

(中国科学院光电技术研究所)

1991年7月22日收到

本文详细地介绍了为油田研制的大功率超声波发生器的设计, 电路特点及原理, 并报导将超声波技术用于油井和输油管中驱轴、防蜡除垢、降粘、破乳脱水的研究工作及实验结果。

## 一、前言

在石油开采中, 如何提高中晚期油井产量及油田采收率, 一直是人们关心的课题。一些发达国家为此投入巨大的经费, 据报导美国、苏联率先将超声波技术应用于采油中, 获得了成功, 并逐渐发展成为一门采油声学<sup>[1]</sup>。我国在这方面一直是采用传统的压裂、酸化技术, 涉及到成本高、周期长等问题。我们研制的大功率超声波发生器用于我国的大庆、玉门、胜利油田的现场实验, 实验的结果取得了良好的效果, 使我国成为继美、苏之后, 第三个拥有超声波地层处理技术和设备的国家。

原油介质(油、水、气混合物)经过超声波辐射, 产生空化现象, 局部压力、温度值很高, 促使储油层及其中的原油产生一系列变化。原油分子周期性地结构组合排列, 导致原油粘度降低; 超声波作用于油水中, 可使原油在孔隙结构内振动, 愈靠近声源愈强烈, 致使渗透率提高。

超声波技术在石油采输系统中的应用, 主要包括: 超声驱油、超声解堵、超声防垢和除垢、超声防蜡和除蜡、超声降粘、超声破乳脱水等方面。

## 二、大功率超声波发生器

大功率超声波发生器由三大部分组成。大功率发生器电源; 采油井特种传输电缆和大功率压电发射换能器。

### 1. 大功率超声波发生器电源

大功率超声波发生器电源的主要技术指标如下:

连续波工作频率:  $f = 10 - 30\text{kHz}$ ;

脉冲调制宽度:  $\tau = 1 - 100\text{ms}$ ;

占空比: 1:2—1:9.9; 平均功率:  $\bar{P} \geq 2.5\text{kW}$ ; 脉冲功率:  $P \geq 10\text{kW}$ ; 峰值功率:  $P_{op} \geq 18\text{kW}$ ;

本电源由250V、50A直流稳压电源供电; 由单片计算机控制的经方波调制的正弦波信号源、前置放大器、主功率放大模块等组成。

从单片计算机组成的信号源, 输出经方波调制的正弦波, 进行三路预放大, 输入主功放模块进行功率再放大, 由传输线变压器进行功率合成, 得到大功率输出。在系统电路中设置了保护电路, 对过压、过流、过热、负载阻抗失配进行保护, 对大功率管的发热, 采取了强风冷却的方法, 从而保证电路工作稳定, 可靠。

本电路的设计有以下几个特点

(1) 功率放大管的并联运用<sup>[2]</sup>

为了获得大功率, 采用几只功率管并联使

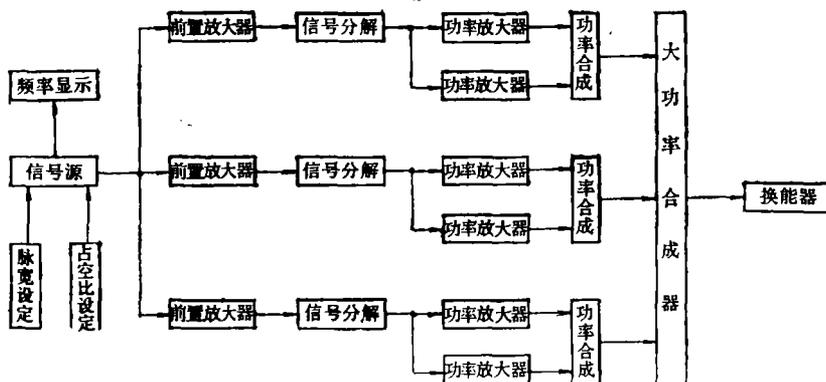


图1 大功率超声波发生器电源原理图

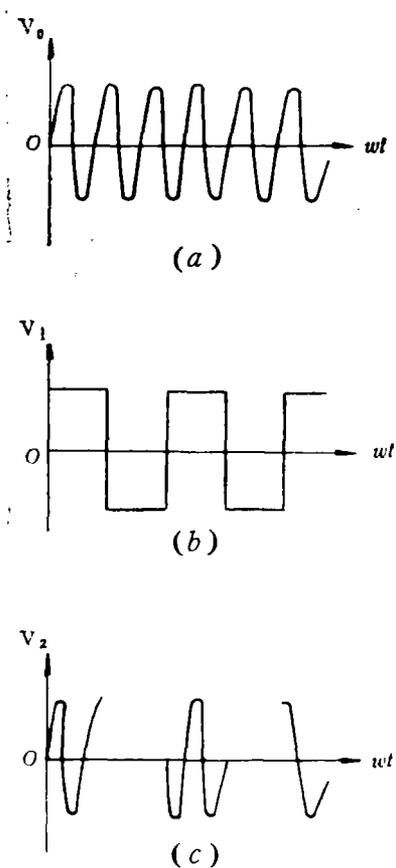


图2 方波调制的正弦波作用于换能头  
(a) 被调制波  $f = 10 \sim 30 \text{kHz}$  (b) 调制波 占空比 = 1:2 ~ 1:9.9 (c) 调制后的波形 脉宽 = 1 ~ 99ms

用，这样可在安全工作条件下提高放大器的输出功率。所设计是Z类推挽功率放大器，在一级主功放模块中有4组Z类推挽功率放大器，

每2路推挽功放组成一个功放单元，2个功放单元构成一个功放模块。一个功放模块的输出功率是3.5kW。整个功放为积木式结构，便于调试和维修。

### (2) 利用传输线变压器进行功率合成<sup>[3]</sup>

用传输线变压器进行功率合成是获取大功率输出的一种很好的方法。两组推挽功放的输出功率由一个传输线变压器进行合成，两路输入变成单路输出。传输线变压器的传输效率在98%以上。在合成时，如果一路放大器损坏，另一路放大器仍照常工作，只是输出功率减小，对系统没有影响，系统工作安全、可靠。

### (3) 由单片计算机控制的脉宽、占空比可调式信号源

在现场实验中证明，大功率超声波技术用于油井解堵，输油管中的除垢和防垢中，脉冲式的超声比连续式的超声效果更好。这是由原油介质的物化特性决定的。在研制大功率超声波发生器时，信号源设计成脉宽、占空比可调式。脉冲调制宽度从1ms到100ms连续可调；占空比从1:2到1:9.9可任意设定；频率从10—30kHz可任意选择。

## 2. 采油井特种传输电缆

油井的油层层位不同，有的油井最低油层层位深达3km。传输电缆是把由电源产生的电信号传输到井下换能器上。要求传输的能量省耗小，阻抗匹配，耐压、耐温。为此采用一种同轴传输电缆。

### 3. 大功率压电发射换能器

大功率压电发射换能器是将电能转化为声能的器件。换能器是采用夹心构造,用特性、尺寸完全相同的晶体拼起来,粘在钢性极板上。这样可以改变晶体的共振特性,提高辐射效率;增加强度,加大导热性能,并使晶体耐冲击。方波调制的正弦波作用于换能器上,产生正弦振动<sup>[1]</sup>。

## 三、大功率超声波发生器用于现场实验结果

现场试验时采用电缆连接换能器,从油井套管或油管下到油层部位,每层处理2至8小时,每口井处理时间为20至40小时,可反复多次处理。在大庆、玉门油田的实验取得了良好的效果,表1例示大功率超声波处理油层资料统计表。

在大庆、玉门油田累计处理油井50余口,有效率为87%,单井平均增产33%,最高达一倍以上。据玉门油田的地层参数测试表明,其有效渗透率从作用前的26.02md增加到作用后的37.29md,提高了43.3%。处理后的井,总液量增加88.8%,油增加129.7%,含水下降5%。有口井多年来失去了自喷能力,通过连续作用24小时,使其恢复自喷能力,继续有效期达4

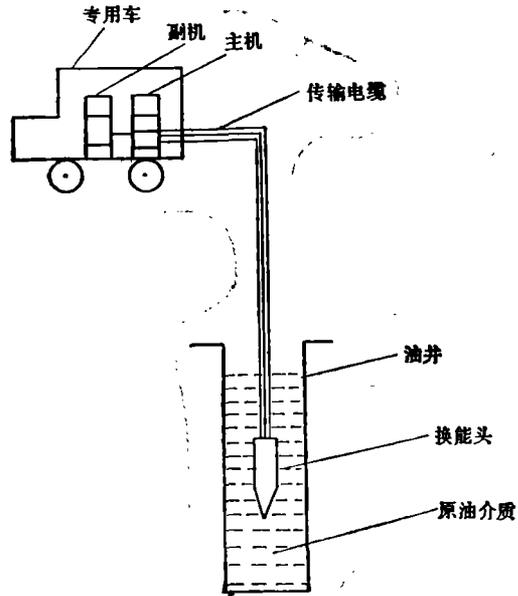


图3 现场实验装置

个月。该设备在地层中最大作用半径可达16m,作用有效期可维持3至6个月。

## 四、结束语

该项目已列入国家“火炬”计划。它的进一步推广和应用,将为我国中、晚期油田的开发产生积极的影响,将获得显著的经济效益和社会效益。

表1 大功率超声波处理油层资料统计表

井号	处理层参数			处理时间 (h)			处理功率 (kW)		处理频率 (kHz)	处理前产状 (吨/天)			处理后产状 (吨/天)			有效期 (天)	增产量 (吨)
	层位	深度 (m)	纯厚 (m)	平均	最长	最短	平均	峰值		液	油	含水 (%)	液	油	含水 (%)		
6918	M	284—333	11.8	2	2	2	1.9	7.6	30	0.56	0.35	27	0.78	0.51	30	125	19
175	M	348—369	14	2.5	3	2	1.76	7.04	24.8	2.33	0.20	91	3.50	0.42	88	119	16
691	M	557.5—567.8	7.2	2.74	4	1.5	1.72	6.08	27.6	4.05	0.17	96	3.97	0.67	83	121	76
54	L	481.6—551.4	14.95	3.2	4	1	1.6	6.4	30	5.05	0.40	92	7.44	0.87	88	94	66
152	M	559.2—580.2	8.4	6	6	6	2.0	8.0	28.7	4.16	0.64	82	5.76	0.86	85	92	16
138	M	493.6—520.2	10.7	4.1	6	2	1.85	7.4	26.4	1.76	0.39	69	5.09	0.82	84	22	2

注:表1中的有效期是指大功率超声波对油井处理后的效果所保持的时间;增产量是指在有效期内处理后的油总产量减去处理前的油总产量。

### 参 考 文 献

[1] Hale J. M., *Applied Ultrasonics*, 24-3 (1989), 350—358.

[2] [日]池原典利编,晶体管电路设计,国防工业出版社,1970,120—131.

[3] 刘传进,通讯装备与器材,2—5(1974),15—19.

[4] 马大猷,沈燾,声学手册,科学出版社,1983,378.