

有的工件需要两种或两种以上的清洗剂清洗；有的工件受到水溶性和油脂合并污染，就要用氟里昂T—WD602来清洗。然后再在氟里昂TE清洗液中漂洗、喷淋和干燥、这样的清洗方法属多液多槽清洗工艺。

四、氟碳溶剂清洗设备

氟碳溶剂清洗机也叫汽相清洗机或蒸汽脱脂机，其种类较多，大致分类如下：

(1) 按清洗缸数量：可分为单槽、双槽三槽四槽、六槽八槽。多槽式的清洗机一般除了清洗槽外，还要多次的漂洗槽、或用多种清洗剂，以满足不同清洗对象不同清洗工序的

- 需要。
- (2) 按清洗功能：分为带有超声波的清洗，带热浸(包括沸腾清洗)或无热浸的，带冷漂或无冷漂的，带喷洗或不带喷洗的等等。
- (3) 按溶剂蒸汽冷却回收方法：可分自来冷却和冷冻水循环冷却、和直接机械制冷冷却。
- (4) 按工件装卸运送清洗方法：分为手工装运清洗机、带有机械垂直升降装运的清洗机、链条自动连续清洗机和旋臂回转清洗机等，后二者通常用于多槽连续清洗工艺。

全晶体管化超声波清洗器的研制与应用

黄洪斌 张杰克
(上海超声波仪器厂)

一、前言：

全晶体管化超声波清洗器的研制工作，最近几年在我厂已经获得迅速发展，从50W，250W、500W、1000W至2000W，已形成系列产品，完全替代了老式的电子管式产品，

使产品达到国际先进水平。全晶体管化超声波清洗器的最大优点在于：重量轻、体积小、成本低、功耗少，转换效率高，可靠性好，经剂效益显著提高。

全晶体管化超声波清洗器的系列产品及其技术参数见表一。

表1 全晶体管化超声波清洗器系列产品及其技术参数一览表：

系列产品	CQ50	CQ250	CSF—1B	CQ500	CQ500J	CQ—1K	CQ—2000
工作频率	约33KHz	约33KHz	约27KHz	约33KHz	约19KHz	约27KHz	约21KHz
输出功率	约50W	约250W	约250W	约500W	约500W	约1000W	约2000W
清洗缸容积	φ12.5×8cm	37.5×15.5×12cm	22×25×12cm	50×30×20cm	50×30×20cm	71×36×20cm	83×50×20cm
电 源	20V 50Hz <80W	220V 50Hz <400W	220V 50Hz <400W	220V 50Hz <750W	220V 50Hz <750W	200V 50Hz <1400W	220V 50Hz <2800W

二、超声波清洗的机理：

超声波清洗工作所以能够起到清洗污垢的作用，其过程是由下列机理引起的：空化、声流、声的辐射压力和声学毛细效应。超声波清洗的有效性与声场的参数有关，它取决于声源的能量、声强、振动频率以及溶液内含有的气体。选择适当的声学参数和选择一定特性的洗涤液，就有可能控制清洗效果。影响清洗效果的因素还有温度和液体静压力等。

不洁物的表面，在清洗过程中会产生表面污垢膜的破坏、剥落、分离以及乳化、溶解等现象。不同的因素对清洗机理的影响也不同。对于那些附着不太紧的污垢，清洗主要靠空化气泡(未爆破的空化气泡)的振动力的作用。在污垢的边缘，由于脉冲气泡的强烈振动和爆破，破坏了污垢薄膜与物体表面之间的结合力，起到了扯裂与剥离的作用。声学辐射压力与声学毛细效应促使洗涤液渗入被清洗物件的表面上的微小凹陷和微孔能声流可以促使污垢加速从表面脱离。如果污垢与表面的附着比较牢固，则为了使污垢。从表面上被扯下来，则在表面上要用空化气泡的爆破所产生的微冲击波。

对水溶液的洗涤液来说，最合适的洗涤

温度是 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。温度过低会降低溶液的化学活性。而温度过高则提高了气泡内气体的弹性。如果污垢的特性要求使用有机溶剂来清洗，则为了降低气泡内气体的弹性，最好使溶剂冷却在 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间。当需要排除牢固地附着于表面上的污垢时，为了增加微冲击波的作用，应使洗涤液的流体静压力增大到 $2\sim 4$ 个大气压。

三、超声波清洗器电路设计及其原理：

首先介绍一下全晶体管化超声波清洗器电路的方框图

在我们设计的电源电路中，考虑到操作人员的人身安全，通常都采用高绝缘耐高压的电源变压器；同时考虑到设备的电磁兼容性，不仅在电源变压器的初级、次级之间加有屏蔽层，而且还接有电源滤波器，如图2所示：

在电源电路中加入电源滤波器后，能有效地抑制经电源线发出或引入的干扰信号。采用的电源滤波器是上海无线电二十八厂的最新产品，工作电流为 6A ，工作电压为 250V 。

在整流滤波电路的设计中，采用桥式整

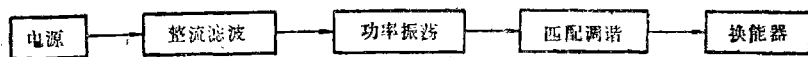


图1 电路方块图

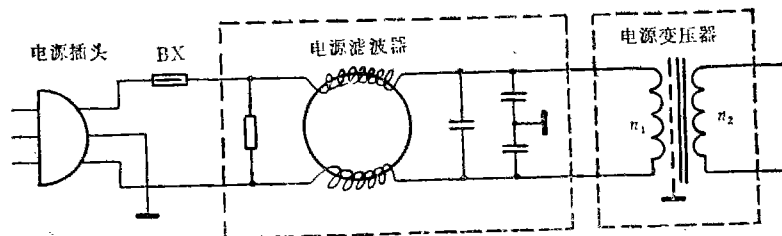
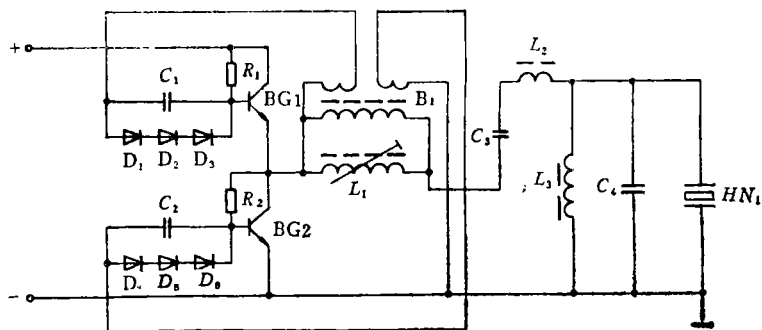


图2 接有电源滤波器的电源电路

在功率振荡电路的设计中，考虑到晶体管的功耗要小，我们优先采用晶体管开关振荡电路。同时考虑到频率的自动跟踪，所以又加入反馈电路。典型的开关式振荡反馈电路，如图3所示：



本电路可以分成二个部份：一是二只串联在直流电源上的大功率晶体管；二是振荡网络，其一端接入电源负端，另一端接入二只晶体管的连接中心。在振荡网络中，依次串接着反馈变压器的初级绕组及其相并联的可调电感、隔直流电容器、串联电感、并联的电容与电感。

通过反馈变压器初级绕组与次级绕组的电感耦合、在反馈变压器的二个次级绕组上分别获得反馈信号，并且分别输入到二只晶体管的基极回路，使晶体管交替导通与截止，维持开关电路呈振荡状态。由于反馈信号的输入，在一只晶体管临导通前，使另一只晶体管基本上处于截止状态。晶体管的偏置是由它们各自的反馈变压器的次级绕组提供的。在晶体管导通时，绕组向它提供限幅反馈电压，然后，为了使晶体管截止，接在该晶体管基极和发射极之间的负电逐渐增加。

在振荡电路中，电容和电感的选择原则为：电容的总容抗 X_C 必须等于电感的总感抗 X_L 。同时，还得使电路的谐振频率与换能器的机械谐振频率基本上保持一致。为了增加电路的稳定性，并能适应增减换能器个数，液面的变动，或者改变清洗液，或者增减被清洗物件等情况，我们在换能器的两端并联一只电容器，使输出电路基本上不受负载变化的影响。该电容的容量选择要求：至少应为各换能器的总电容值，如果能大于该值则更好。一般取其1~2倍的电容值。

此典型电路的一个重要特性是在导通晶体管中无叠加电流。即一只晶体管导通之前,另一只晶体管已临近截止。加速电容和三只串联二极管组成的反馈电路向晶体管提

供了尽可能大的反向偏置电压。例如在晶体管导通时，与其相应的电容会充电。由于每只二极管的正向压降为0.7V，故电容充电电压被钳位在2.1V。而在每半周，反馈变压器次级绕组产生出2.8V峰值电压，或5.6V峰值电压。晶体管截止时，2.8V负峰值电压与2.1V偏置电压叠加产生4.9V负电压。

此典型电路的最大优点是电路结构极为简单，元器件很少，还省去了一只输出变压器，大大地提高了电路的可靠性。此电路不仅能在振荡回路中产生理想的波形，还能利用该波形去有效地控制二只晶体管导通与截止。成功地消除了电流叠加现象，即排除了在同一周期内，二只晶体管同时导通的现象。

第二在CQ—2000清洗器的发生器电路中，功率输出部分应用了变压器功率合成技术，就是将两个相同功率单元的功率输出通过网络沿同方向进行叠加，最终在电路末端得到它们的总和值。

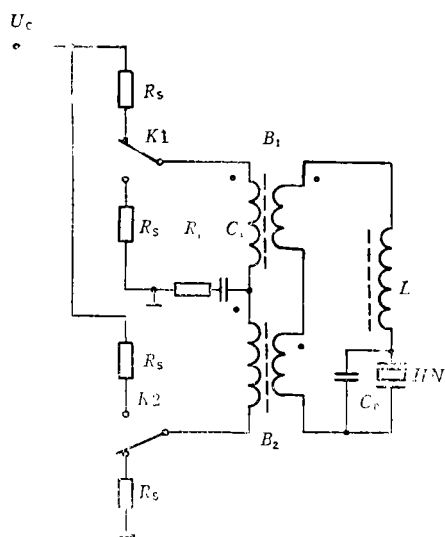


图4 功率合成电路图

图4中：

$K_1 K_2$ ：两个功率开关 R_s ：电路内阻

声学技术

$B_1 B_2$ ：功率合成器 $R_i C_1$ ：合成网络均衡电路

L ：匹配电感 HN ：压电陶瓷换能器

C_o ：补偿电容

电路中两功率单元均工作于开关状态，且工作状态互反，这样设计的目的是保证电路功率输出达到规定值的前提下，提高发生器电路效率，消除两次及偶次谐波成份，进一步提高电源的利用率。

由于功率单元电路是一个电压型功率开关，其功率输出只受控于电路电压和负载。显而易见，在电压不变的情况下，负载的变动，功率也随之变化。在实际工作中，如果这种变动较大，会影响到机器的工作性能。因此只有在负载变动的同时，相应变化电路电压，从根本上抑制功率的大幅度变动。因此，在CQ2000清洗器电路中引入了电源功率自动控制电路。

图5所示原理电路是一个受控于电路电流、电路电压，即电路功率的电压调整电路。当 R_{fz} 变大，则 I_{fz} 变大， U_{ce3} 变大， U_A 变大， $|U_{be1}|$ 变小， R_{BG1} 变大， $T = C(R_{BG1} + R + R^*)$ 变大，控制角 α_{kp} 变大， U_c 变小，从而使电路功率 u_c^2/R_{fz} 基本上保持不变。

反之 R_{fz} 变大则 U_c 变大。由此可见电路负载较大范围变动时，仍然可使机器工作性载在能稳定。

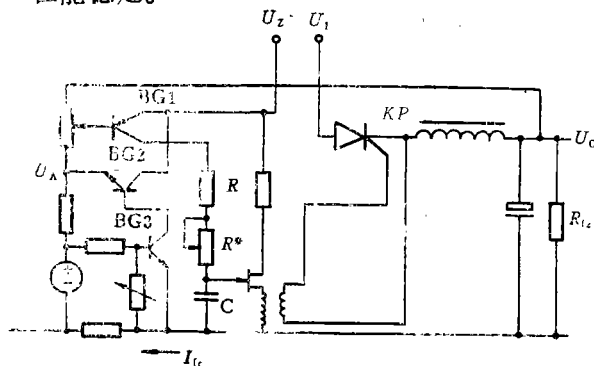


图5 电路功率的电压调整电路

四、换能器及其动态特性

我厂研制的用于超声波清洗器的换能器有三种频率规格的系列产品，其结构形式分为多螺钉夹心式换能器和单螺钉夹心式换能器两种。其中19KHz的换能器为多螺钉夹心式结构。27KHz和33KHz的换能器均为单螺钉夹心式结构。

我厂除了生产暴露式的换能器以外，还可以根据用户的特殊需要生产密封的浸没式换能器，其安装形式如图6和图7所示：

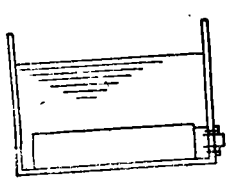


图6 侧边安装式

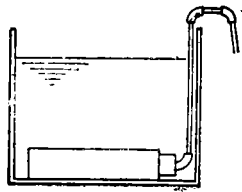


图7 外跨安装式

19KHz、27KHz、33KHz的换能器比较如表2所示：

在串联谐振频率或接近串联谐振频率下工作的压电陶瓷换能器可以用图8所示的等效电路来表示：

如果以电导纳的模 $|Y|$ 和电阻抗的模 $|Z|$ 对频率作图，则得到图9所示的特性

表2:

19KHz	27KHz	33KHz
气泡数目较小，爆破力较强，清洗时间短，渗透作用较浅。	气泡数目较少，爆破力较强，清洗时间适中，渗透作用较好。	气泡数目较多，可深入渗透细孔或隐蔽处，清洗时间较长。
噪声较高	噪声尚可	噪声较低
适宜清洗较大或较重的物件，或污渍较厚的物件。	介于二者之间，较大的较重或较轻的物件均可清洗。	适宜清洗较轻便，精细或较复杂的元件或组合件。

曲线。

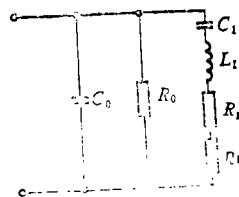


图8：压电换能器的等效电路

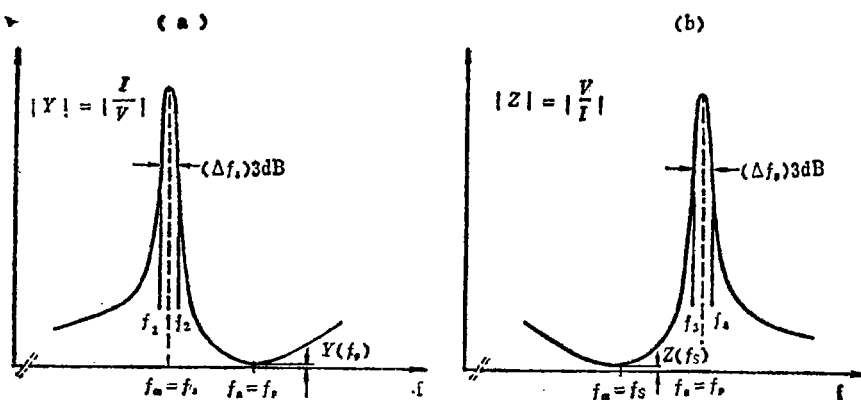


图9 (a)导纳(b)阻抗为频率的函数

图中： C_0 ——换能器在这低于谐振频率下测得的电容量减去电容 C_1 后的电容。

R_0 ——代表换能器介电损耗的并联电阻 $(2\pi f_c \cot \delta)^{-1}$

R_1 ——代表机械损耗的电阻

R_L ——代表辐射能的负载电阻，在真空中 $R_L = 0$

C_1 ——机械回路的电容。

L_1 ——机械回路的电感。

注：串联谐振频率 f_s 接近于最小阻抗频率 f_m ，

并联谐振频率 f_p 接近于最大阻抗频率 f_n 。

低于 f_m 和高于 f_n 的频率，换能器是电容性的。

而在 f_m 和 f_n 之间的则为电感性的。

导纳达到最大值的频率 f_m 接近于串联谐振频率 f_s ，

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}} \quad (1)$$

如果忽略 R_1 ，则 f_s 为等效电路中阻抗变为零时的频率。

导纳达到最小值的频率 f_n 接近于并联谐振频率 f_p ，

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_0 + C_1}{L_1 C_0 C_1}} \quad (2)$$

如果忽略 R_1 ，且 R_0 为无穷大，则 f_p 为等效电路中阻抗变为无穷大时的频率。

换能器除了有 f_s 和 f_p 以外，还有最大响应频率 f_m ，在该频率处，换能器转换函数的模为最大。这个频率就是换能器具有最大灵敏度和发射器具有最大声输出的频率。频率、带宽和输出功率都受外接电阻的影响。这个外接电阻可以是换能器放大器的输入阻抗，也可以是发射器的振荡器的内阻抗。

通常用一个电感调谐换能器是很方便的。这不仅可用一个并联电感 L_p ，而且可用一个串联电感 L_s 来达到。因而得到两个耦合谐振电路：

一个由 L_1 、 C_1 和 R_1 形成的机械耦合谐振

电路，另一个由 L_0 或 L_s 、 C_0 和 R_i （交流信号发生器的电阻或传声器放大器的电阻）形成的电耦合谐振电路。

这两个耦合电路显示的通带类似于带通滤波器的通带，电感近似为：

$$L_p = \frac{1}{\omega_s^2 C_0} \quad (3)$$

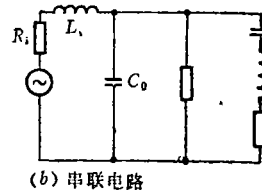
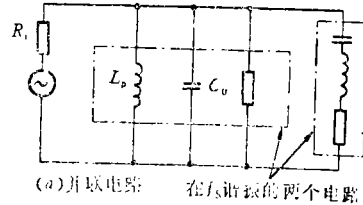


图10 电感调谐电路(a)并联和(b)串联电路

$$L_s = \frac{1}{\omega_p^2 C_0} \quad (4)$$

并联电路和串联电路如图10所示。

五、匹配调谐

从压电陶瓷换能器的等效电路中可以看出，除了与机械振动有关的电路以外，压电陶瓷换能器还有一个并联的静态电容 C_0 （较短的电缆和接线电容也包括在内）。这个元件会影响电路的共振频率，使之与机械共振频率不等。因此我们有时在压电陶瓷换能器上再并联一只电感 L_p 来使之与 C_0 相调谐。如图11所示：

采用这样的调谐电路后， L_1 和 C_1 、 L_p 和 C_0 都在机械共振频率上调谐，使得此时的阻抗只剩下 R_1 和 R_L ，设其总电阻为 R ，则为了使其和发生器的振荡管或末级功管的

输出阻抗 R_i 相匹配,还可以用圈数比为 $1:N$ 的阻抗匹配器,使之 $N^2 = \frac{R}{R_i}$ 。

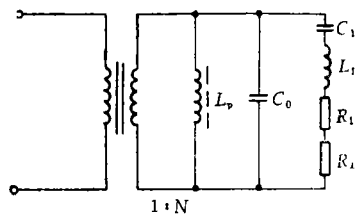


图11 调谐与匹配电路

实际使用的电路,如图3所示。采用并联电感和串联电感相结合来达到匹配调谐的目的。对有些产品,为了提高清洗液位变化对频率和功率的稳定性,在换能器两端还并联一只适当的容量的电容器,根据实际经验,选用电容器的容量约为换能器静态容量的1~2倍。

六、超声波清洗器的应用与推广

采用超声波清洗污垢物件具有许多优点,主要的优点如下:

〈1〉效果全面,清洁度高,能使产品质量提高和一致。

〈2〉加快清洗速度,提高劳动生产率。

〈3〉不会损伤清洗物件的表面。

〈4〉减少人手的操作,简化操作工序,提高安全生产率。

〈5〉可以清洗不便拆开的组合件。

〈6〉节省溶剂,热能;工作地方及其人员。

由于超声波清洗有着如此多的优点,所以被广泛地应用于轻重工业及服务性行业。如钟表、电子元器件、电镀牙科、医疗及科

学仪器、塑料及橡胶、金属制品、机械组合件(如轴承、自行车飞轮等)、航空、航天、航海器材等行业的厂矿企业、部队院校、科研单位。各用户根据各自的清洗对象,通过选用合适的超声波清洗工艺,不仅可以清洗油脂、污垢、抛光膏、研磨膏和其他机械杂质,而且还可以用来清除制件表面的轻锈或薄的氧化皮。

我厂除了向用户提供批量生产的系列产品以外,为了适应各用户的特殊需要,根据用户提出的具体技术要求,我们还为用户定制特殊规格的超声波清洗设备。例如,为上海钢铁五厂定制的清洗不锈钢型材的大型超声清洗设备,清洗槽的容积为13立方米,即长13米,宽1米,高1米。共有36台1000W超声波发生器与浸没式换能器相配套。还有为贵州茅台酒厂定制的清洗茅台酒瓶的全自动超声波洗瓶机,安装8台超声波清洗器于该设备上。在医疗方面也有应用超声波清洗机作治疗之用。例如上海南市区五里桥地段医院定制的超声波水疗器,在水疗器浴缸的底部或两侧面装置两台250W的超声波清洗器。对中风瘫痪病人,坐骨神经病、腱鞘炎、关节炎硬皮病,刀口疤痕的愈合有一定的疗效。特别对体育运动员的扭伤、跌伤、摔伤等疗效最好。对老年性腰腿痛疾病也有一定的治疗作用。

七、结束语

随着科学技术的不断发展,超声波清洗器的广泛应用,日益被广大用户所接受,其应用范围亦日益增大。我们欢迎新老用户采用我厂生产的超声波清洗器,并多多提出宝贵意见。