CXF-O型超声成核装置的设计及其应用

丘泰球　宋武明　蔡贯丰

（华南工学院）

本文应用CXF—O型超声发生器和磁致伸缩换能器开展了蔗糖溶液成核作用的研究。试验结果说明，超声空化促进了晶核的形成，其密度与颗粒均匀，优于其它方法的成核效果。

Design and Application of a Type of Ultrasonic Nucleation Equipment

Qiu Taiqiu ,Song Wuming,Chin Guanfong

(Polytechnic Institute of South China)

Abstract

We have developed an equipment named CXF-0 ultrasonic generator with which the research of ultrasound on nucleation of sugar cane solution has been conducted. The experimental result shows that the cavitation effect induced by ultrasonic vibration in cane solution can accelerate the formation of sugar nucleus, and the resulted granules of sugar are more homogenuous with high quality than those obtained by other methods .

本文受自然科学基金资助。

场产生很大的畸变。

尽管如此，仍然可以看到光纤可以作声光传感器件。进一步改进结构和选择适当元件参数作为声一光器件还是可行的。如果环境的随机振动很小，原这种换能器的本底噪声较小，在强电磁场环境中，有其特殊抗干扰的优点。

参考文献

〔1〕Rines, Glen, A, Appl.Opt20(1981), No.19, 3453—3459。

〔2〕SPillman, W.B., Jr., and Gravel, R.L., Opt.Lett., 5(1980), No.1, 30—31。

〔3〕Spillman, M.B, Jr, anp MCManon, D.H., Appl.Opt., 19(1980), No.113—117。

〔4〕孙德兴、徐其昌、陈守六、李学志、汪德昭，"光栅型光纤水听器"，水声通讯，2(1983)，58—61。以及"全国传感器论文集"，(1984)。

〔5〕图马，J…J，黄振岗译，"物理计算手册"，(新时代，1985.9.)

一、引　言

自本世纪廿年代R·伍德证实了用超声波强化一系列物理化学过程的可能性后[1]，一门新兴的学科——"超声化学"在不断地开展，直至一九八六年召开了世界首次属于超声化学的学术会议[2]。

制糖生产，从原料至成品整个过程是典型的化工生产过程，其中蔗糖结晶过程是制糖生产难度较大而又起着主要作用的操作程序，几十年来，曾采用了多种手段去强化结晶过程。

应用声波强化结晶过程的首次试验是阿斯托尔费(Astolfi)进行的[3]，卡尔考夫斯基(Galkowski)在圣克鲁斯学院的实验室也论究过[4]。捷尔涅尔和他的同事[5]发现：无研是低频率或者高频率的声波进行辐射，糖从各种过饱和溶液中结晶的速度都是很快和很明晰的，用这种方法可以大大地改进糖浆的均质性和糖的晶粒均匀性。

和其它工业结晶过程一样，蔗糖结晶，主要包括成核和晶体生成两大步骤，晶核的数目和质量的好坏对产品的产量和质量有着很大影响。

华南工学院天然溶液电磁处理研究室在陈树功教授指导下，应用CXF—O型声波发生器和磁致伸缩振荡系统开展了声波对蔗糖溶液成核作用的系统研究，研制成功适用于蔗糖成核的低频率、高强度的成核装置。

本文首先扼要地叙述了声波成核作用的原理，然后根据声波成核装置的性能，分别介绍了CXF—O型声波发生器、磁致伸缩换能器与变幅杆、冷却系统等三方面的设计及应用情况。

二、工作原理

将声信号经功率放大后，通过磁致伸缩换能器产生振动波，通过变幅杆将此振动加以放大直接传输给过饱和糖液。声波在糖液中产生强烈的空化效应，加速了糖液成核过程。

蔗糖溶液的成核速率决定于超声空化的效果，而产生空化又与声强和工作频率等因素有关。为获得强的空化效应，宜使用低频超声。据此，我们选取低于20千赫，最大输出功率为500瓦的发生器和磁致伸缩振动系统，设计制造了蔗液溶液成核的试验设备。

三、声波发生器

CXF—O型声波发生器是推动磁致伸缩换能器产生声频振动的能源。它能在较低的频率输出较大的电功率，满足糖液成核的需要。它由高频振荡器、推动放大器、功率放大器，换能器及电源(低、中、高压、磁化这几部分组成。

音频振荡器是由RC网络，集成功率块、场效应管组成的文氏电桥振荡器，改变桥路的电容，可进行频率粗调，改变桥路电阻可达到频率细调，因而可获得200Hz～20KHz的声频。由于采用了集成块和场效应管进行稳幅，其频率稳定度、振幅稳定度、波形失真度都较之一般的晶体管RC文氏电桥振荡器为优，是一种较为理想的振荡器。

推动放大器由两级组成，第一级由分相电路将音频信号分成正负两路信号，送入复合推挽输出级；第二级采用乙类推挽输出电路。

末级功放采用电子管电路，由四只电子管组成并联推挽乙类放大电路，通过变压器将输出功率传送给换能器，同时，磁化电流也对换能器进行励磁，导致换能器随输入的声频信号作磁致伸缩振动。

末级功率放大器所需的直流功率较大，为了减小设备的体积和重量，其直流加压电路采用悬浮式电路供给，由硅整流二级管直

接由电源220V倍压整流而获得，省去了高压变压器。

CXF—O型声波发生器的技术指标：

1.输出功率500瓦。

2.频率范围　200Hz～2KHz

　　2KHz～20KHz

3.负载：镍叠片磁致伸缩换能器阻抗10Ω。

四、换能器、变幅杆、冷却系统

1.换能器

我们暂未采用压电式换能器而先采用磁致伸缩换能器是由于镍材料的导热系数高，散热快，可避免在大功率发射下由于热积累使温度升高，更主要的是磁致伸缩换能器的性能稳定，所产生的晶核数目不致多寡悬殊，能控制在一定范围内，较适用于蔗糖溶液成核的要求。

下面叙述磁致伸缩换能器的设计及制作过程：为使换能器发射足够的声强，设计时应尽可能满足几个条件：金属材料必须叠片成芯以减少涡流损耗；要求有足够的表面发射声波；换能器应是一闭合磁路以消除磁效应；机械强度必须满足机械交变应力振幅的要求，而且要便于加工。我们选取了如图1所示的窗形迭片换能器——由0.25mm厚的镍片迭制而成。

A = 39mm

B = 39mm

h = 250mm

b = 20mm

u = 12mm

L = 290mm

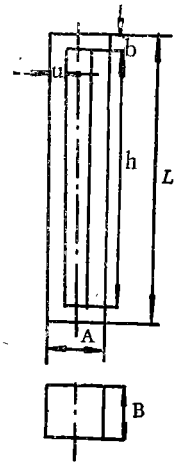

图1　磁致伸缩换能器

根据L·Camp公式[6]通过计算归纳如图1所示尺寸

换能器直流安匝数为384安匝，交流安匝数264安匝，换能器磁路平均长度为126毫米。

为减少涡流损耗並使换能器达到最大的磁致伸缩效应，严格控制镍片的热处理过程：将已加工好的镍片先用稀盐酸浸洗后烘干，待炉温升至400℃时把工件推入炉内，继续加温至820℃並在此温度下保温40分钟，然后让镍片随炉冷却至室温，经这样处理后的镍片表面会形成一层绿色坚硬的氧化膜，使镍片间具有良好的绝缘性能。

将第一次氧化处理后的镍片迭成所需的厚度，並使用夹具夹紧，在室温下送入炉内，使炉加温到800(以100℃/小时的速度加温)，並在此温度下保温三个小时，然后切断电源使工件随炉温冷却至室温取出。

经过二次热处理后，在换能器上绕以截面为2.5mm²的磁能线圈，其匝数为48×2。

2.变幅杆[8,9]

我们采用了多种方法提高换能器表面的位移振幅：一是提高整个系统的效率，使发生器与换能器阻抗达到最佳匹配；二是在换能器的前表面端加上变幅杆。为使变幅杆适应糖液成核的需要采用纵向复合式变幅杆，我们选择圆锥形大端面前连接一平滑圆柱体，小端面前连接截面稍大的圆柱体。

圆锥形变幅杆的大端面处接一圆柱体，不但在线型上起了平滑作用而且还可以提高振幅放大系数，小端面处接截面稍大的圆柱体能有较大发射面。这种形状的变幅杆仍属谐振型变幅杆，它们的尺寸必须满足谐振方程。

根据三个部分谐振方程的通解公式进行

计算、修正，所求尺寸如图2所示。

$D_1=39mm$，　谐振频率 $f=7500$赫兹

$D_2=48mm$，　声波在45号钢传播速度

$D_3=15mm$，　$C=5.2\times10^5$厘米/秒

以上数据为已知数，以下为计算所得数

$L_1=55mm$　$L_2=245mm$　$H=12mm$

$L=330mm$

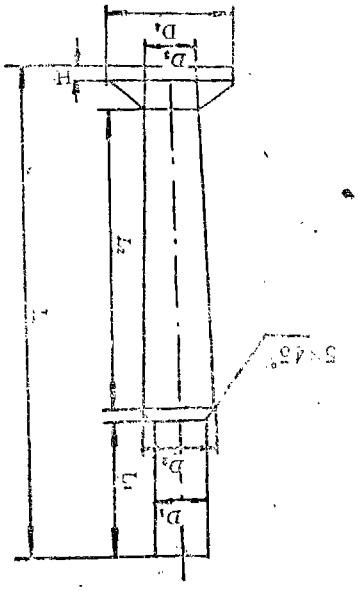

图2　变幅杆(复合式)

换能器加上一个变幅杆后还有一个很大的好处，就是能避免换能器直接置入粘稠而温度较高的糖液中导致换能器磁致伸缩效应下降的可能性。[7]

换能器加变幅杆后的效果见表1，加上变幅杆后位移振幅增大三倍多，糖液、中晶核数目有所增加。

表1 换能器加变幅杆前后对糖液成核的影响

项目		未加变幅杆	加变幅杆后
试条件	糖液量(克)	900	900
	过饱和系数	1.09	1.09
	输出功率(瓦)	500	500
	频率(赫兹)	6400	6400
	工作电流(安)	0.5	0.5
	磁化电流(安)	10	10
	声处理时间(分)	2	2
试验结果	位移振幅(微米)	85	300
	晶核颗数(颗/毫米^3)	98	130

3.冷却系统

因为功率较大，长时间的连续工作会使整个系统发热升温，我们对换能器采用循环水加以冷却，冷却装置固定安装在变幅杆的节点位置上。另外，为避免换能器长时间浸泡在水里造成声能的衰减，本装置采用水喷淋形式。冷却过程是这样：把水箱内的水泵进有机玻璃容器内的花洒中，便从花洒中的小孔内喷向换能器，冷却水再从有机玻璃容器下端回流到水箱循环使用。

五、本装置应用情况

1.实验装置

图3是声波成核试验设备的布置图及控制仪表。糖液在浓缩罐配成一定的过饱和度后泵入糖液贮箱，过饱和糖液以自流的方式自贮箱流入起晶器，声波发生器推动磁致伸缩换能器产生声频范围的振动能，变幅杆将此能放大之並直接传输给起晶器中的过饱和糖液，糖液中产生空化，出现雾状物，形成晶核，含有晶核的糖液流入晶核稳定器使晶核进一步成型长大，最后将晶核放入晶种箱，

2.应用情况

制糖工业产生晶核的方法通常有三种，其一是自然成核，此法由于浓度高，粘度大易出现晶粒不齐，产生並晶、粘晶；其二是刺激成核，糖液浓缩至过饱和度1.2～1.3然后抽入冷空气，糖液受到刺激而析出晶核，此法糖液浓度仍然较大，不易控制晶核数目，易产生针状晶核，其三是目前国内外普

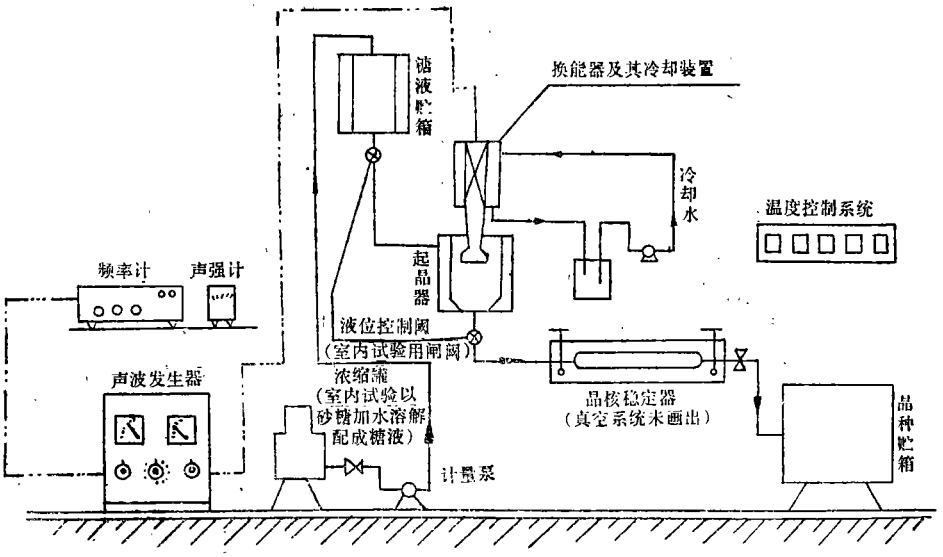

图3 声波连续起晶试验设备布置及控制仪表

遍使用的投粉法，将白砂糖与饱和酒精按一定比例在球磨机中磨成糖粉糊，把糖粉糊投入到过饱和度1.15的糖液中，此法虽然优于上述二种方法，晶核数目和大小较易控制，但由于投入的糖粉在球磨过程失掉了自然的晶棱所形成的晶核其表面有大量裂痕。

表2 声波成核检测结果

检测部分	编号	检测内容和结果				备注
电声部分	1	工作频率6247赫兹				相对稳定度 1.0×10^{-2}
	2	磁化电流10.5～11安				
	3	屏极电流0.35～0.4安				
	4	仪器能连续稳定工作				
工艺部分		n	MA	C_V	晶形外观	n—晶核数目 粒/mm³
	1	80			良好	MA.—平均大小 (微米)
	2	80	71	40	良好	CV_n—变异系数 %
	3	96	97	42	良好	
	4	192			个别粘晶	
	5	111			良好	
	6	159	73	35.6	良好	
	7	192	90	36.9	良好	
	8	70	82	33.2	好良	

我们应用CXF—O成核装置反复进行过几百次的试验，后由轻工业部甘蔗糖业研究所等三个单位进行了检测验证[10]，认为本装置能有效地控制糖液成核，用此法形成的晶核其密度、大小及均匀程度优于上述几种成核方法，检测结果见表2。

本装置还可以用来研究其他溶液成核，如葡萄糖溶液、食盐溶液等溶液。

六、结束语

CXF—O型超声成核装置的研制成功，为糖制工业，寻找理想的成核方法开辟了途径。但由于成核过程的声波强化机理尚缺乏系统的研究，对许多成核过程的照射条件没有严格的根据，也由于检测和控制方面的仪器尚未完善，对全面掌握电声工作参数影响成核效果存在不少困难，所以声波成核装置在工业上应用尚受限制，我们正在研制新型的超声波成核装置及其检测和控制的仪器，进一步推动超声化学这门新兴学科的发展。

（参考文献略）