

CXF-O 型超声成核装置及其在制糖工业中的应用*

丘泰球 宋武明 黄敏 陈珮 秦贯丰 陈树功

(华南理工大学轻化工研究所)

1988年1月27日收到

针对目前制糖工业成核方法所存在的问题,急待寻求更理想的成核方法。

本文设计制作了一台 CXF-O 型超声成核装置,用以研究蔗糖溶液成核过程。经过较长时间的反复试验,认为超声成核方法优于目前制糖工业所采用的成核方法;既可间歇成核又可连续成核。可望提高间歇结晶过程的经济效益和促进蔗糖连续、自动结晶的实现。

一、导 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^[1]，“超声化学”不断发展,各国科学家利用超声波加速化学反应引起了世界的关注,如英国皇家化学学会,于一九八六年召开了关于超声化学的学术会议^[2]。

制糖生产是大型工业生产之一,尽管糖的生产是食品工业,但它从原料至成品整个过程是典型的化工生产过程,包含了提取、清净、浓缩、结晶、分离、干燥等化工单元工序,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,几十年来制糖工业为了获得优质高产消低耗,采用了多种手段强化结晶过程。

应用声波强化结晶过程的首次试验是阿斯托尔费(Astolfi)在四十年代进行的^[3],第二次世界大战期间德国人加以发展,卡尔考夫斯基(Galkowski)在圣克鲁斯学院的实验室也进行过研究^[4],对促进蔗糖结晶的效果,几个研究单位其后曾实验加以证实。捷尔涅尔和他的同事^[5]也发现:无论是用低频率或者高频率的声波进行辐照,糖从各种过饱和溶液中结晶的速度都是很快的和很明晰的,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长两大步骤,即首先在过饱和和糖液中产生晶核,然后将这些晶核培养长大

为一定规格之晶体。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,所以成核过程具有举足轻重的作用。据资料介绍^[6],对溶液结晶来说,在某种程度上,超声波的辐照可以使结晶的任一阶段加快,但是,最有效的是它对成核阶段的作用。

华南理工大学天然溶液电磁处理研究室在陈树功教授指导下,应用 CXF-O 型半晶体管化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职能,重点介绍了 CXF-O 型声波发生器,最后较详细地叙述了本装置的应用情况。

二、工作 原理

声波成核是将声波信号经功率放大后,通过换能器和变幅杆产生声波振动,输给过饱和糖液,并在糖液中产生巨大的加速度,同时伴随着产生强烈的空化效应。空化过程能破坏界面表面层,使表面能降低,亦即降低了糖液成核的表面能位垒,并不断输送能量给糖液,因而加速了糖液成核过程,使糖液能在较低过饱和度下成核。

蔗糖溶液的成核速率决定于超声空化的效

* 本文受国家自然科学基金资助。

果,而产生空化与输入的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^[7],据此,我们选取 200kHz—20kHz,最大输出功率为 500W 的发生器和磁致伸缩振动系统,设计制作了蔗糖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范围振动之能源。它能输出较大的功率,产生较低频率,满足糖液成核的需要。它由音频振荡器、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。见方框图:

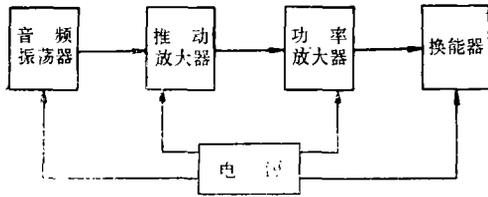


图1 声波发生器方框图

音频振荡器是由 RC 网络、集成功能块、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,改变桥路的电阻可达到频率之细调,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、波形失真度都较一般的晶体管 RC 文桥振荡器为优,是一种较为理想的振荡器。为了满足集成块对双电源的要求,在电路上作了技术上的设计。

推动放大器由两级组成,使前级振荡信号加以放大,使它有足够大的功率推动末级功率放大器。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。在振荡器与第一级之间加进了隔离级,作用有二:其一是提高了振荡级的稳定度,其二便于控制后续信号的大小。

由于电子管性能稳定,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递给换能器。同

时,磁化电流也对换能器进行励磁,并增加声强和避免倍频,导致换能器随输入的声频信号振动——即磁致伸缩效应。

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,其直流高压电路采用悬浮式电路供给,由硅整流二极管直接由电源 220V 倍压整流而获得,从而省去了高压变压器。

发生器的面板上装有频率粗调与细调旋钮,以便调整发生器输出频率与换能器频率相适应。另有阻抗变换旋钮以便调整发生器与换能器阻抗匹配。面板上还装有指示仪表以便监视仪器的工作情况。

CXF-O 型声波发生器的技术指标: 1. 输出功率: 500W。 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、本装置应用情况

声波成核装置可以间歇操作,也可以连续操作。间歇操作是为适应目前制糖工业普遍采用的间歇结晶罐,连续操作是为解决制糖工业还正在研究、尚未成熟的连续结晶罐所存在的难点。

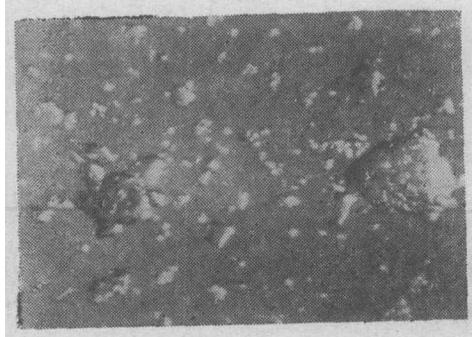
1. 间歇成核

制糖工业间歇结晶罐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、产生并晶、粘晶(见图 2(a));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(见图 2(b));其三是目前国内外普遍使用的投粉法,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形(见图 2(c)),所形成的晶形表面有大量裂痕。

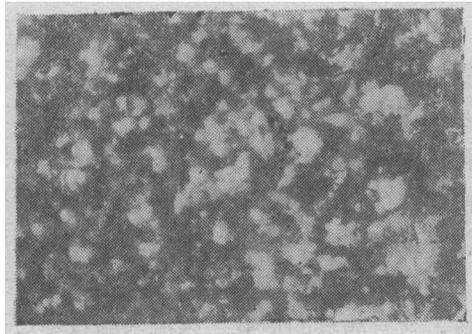
针对上述所存在的问题,为了产生优良的



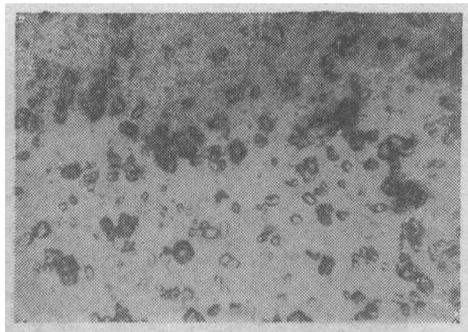
a



b



c



d

图2 几种成核方法晶形比较

(a) 自然成核 (b) 空气刺激成核 (c) 球磨糖粉糊
(d) 声波成核

晶核, 必须寻求在介稳区内这样较低的过饱和度和下而又不用投粉的其他成核方法. 声波能使糖液在介稳区内的最初阶段, 甚至更低过饱和度, 不加糖粉情况下迅速成核. 其操作程序是: 配制过饱和糖液 (过饱和度 1.09—1.10) → 将糖液放入成核器 → 将换能器置于糖液中 → 开启声波发生器 (二分钟) 并记录声波各种参数 → 取出晶核进行检测.

我们应用 CXF-O 型成核装置反复进行过几百次的试验, 后由轻工部甘蔗糖业研究所等三个单位进行了检测验证, 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 1 和图 2(d).

2. 连续成核

蔗糖连续结晶的研究, 追溯其历史已有七十多年, 国外虽然有少数糖厂成功地以连续结晶完全取代了间歇结晶, 但由于连续成核还没有解决, 生产中所使用的连续结晶罐实际上还只是个连续养晶、浓缩罐, 就是将已煮好的种子 (晶核) 源源不断地抽入连续结晶罐内, 进行养晶、浓缩到规定的晶体大小与浓度, 然后又不断地从这个罐排出. 为了使蔗糖结晶真正连续化, 国际糖业界曾经采取许多办法企图解决连续成核, 有的主张把磨碎的糖粉或糖粉糊连续注入连续结晶罐, 此法主要难于控制晶核数目, 注入的糖粉糊, 在磨粉时失去了自然的晶形, 进入连续罐后又没有机会进行整理, 致使用于长大的晶体表面积时大时小, 当其表面积不足时, 不可避免地产生二次成核; 用量不多的糖粉糊要在长时间内连续注入也不易控制其量; 糖粉在输送过程中亦易粘成团块. 1980 年, Broad foot 和 Evans Deakin 工业公司合作设计了一台种子结晶器^[9], 以糖粉糊注入浓缩糖蜜中并徐徐冷下的方法连续产生晶种, 晶种含量随着糖蜜从入口处温度冷下而增加. 据称, 此法操作容易, 但其最主要缺点是所产生的晶核变异系数仍然较高, 为 42% 左右 (比预期的 25% 差), 设备上也存在不少问题.

声波连续成核可在介稳区条件下进行, 这

表 1 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 6247Hz				相对稳定度 1.6×10^{-2}
	2	磁化电流 10.5—11A				
	3	阳极电流 0.5—0.6A				
	4	仪器能连续稳定工作				
	试验序号	n	MA	CV	晶形外观	n ——晶核数目(粒/ mm^3)
工艺部分	1	80			良	MA ——平均大小(μm)
	2	80	71	40		
	3	96	97	42	好	CV ——变异系数(%)
	4	192			个别结晶	工艺条件
	5	111			良	糖液纯度 99.8%
	6	159	73	35.6		糖液温度 65°C
	7	192	90	36.9		糖液过饱和度
	8	70	82	33.2	好	$\alpha = 1.20-1.25$

晶核变异系小,晶核一俟形成和稳定后即可连续输入养晶部分,无需进行整理;声波成核时无需添加糖粉糊或其它混合物,这使输送的连续化容易实现。

图 3 所示是声波连续成核试验设备布置及控制仪表。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连续流入成核器;声波发生器推动磁致伸缩换能器产生声频范围的振动能,变幅杆将此能加以放大并直接传输给成核器中的过饱和糖液,糖液中产生空化出现雾状物(见图 4)形成晶核,含有晶核的糖液连续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。

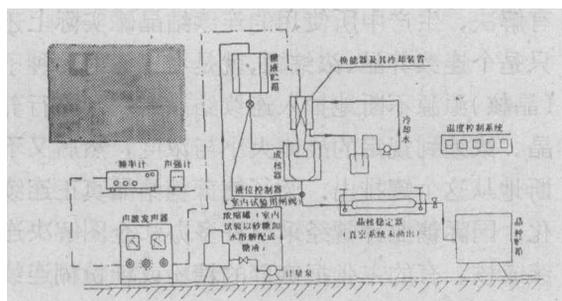


图 3 声波连续成核试验设备布置及控制仪表

可减少伪晶形成或晶核溶解的机会,使产生的

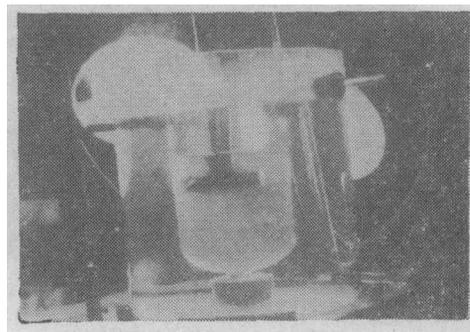
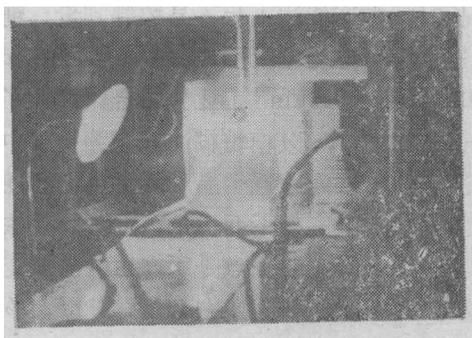


图 4 糖液中超声空化出现的雾状物

(a) 雾状出现在变幅杆锥形头左上端 (b) 雾状出现在变幅杆锥形头上下方使变幅杆锥面消失

表2 声波连续成核试验条件和结果

		试验序号	1	2	3	4	5
糖液进料条件	糖液纯度(%)		99.8	99.8	99.8	99.8	99.8
	速率 (kg/min)		0.7	1	1	1	0.5
	过饱和度		1.08	1.12	1.14	1.15	1.2
	温度(°C)		65	65	65	65	65
声波条件	输出功率 (W)		500	500	500	500	500
	频率(Hz)		6180	6173	6178	6172	6164
	磁化电流(A)		12	12	12	12	12
	作用速率(kg/min)		0.7	1	1	1	0.5
晶核状况	晶体含量(颗/mm ³)		16	32	48	96	382
	变异系数(%)		/	33.33	30.86	38.22	35.67
	晶核增长	5min	22μm	/	/	/	/
		8min	25μm	/	/	/	/
		12min	60μm	/	/	/	/
		15min	70μm	/	/	/	/
		20min	80μm	/	/	/	/
		25min	85μm	/	/	/	/
		30min	90μm	/	/	/	/

发生器主要控制好工作电流、磁化电流和声波频率三个参数，声强的大小由声级计间接反映出来。晶核的数量可以通过调节声波频率，输出功率和处理时间控制在一定的范围。

声波连续成核的试验条件和结果详见表2试验表明，声波连续成核的晶核数目、均匀程度及增长速率不亚于目前糖厂间歇结晶罐的成核效果。

五、结 语

CXF-O型超声成核装置的研制成功，为制糖工业在现代技术条件下，寻找理想的成核方法开辟了重要的途径。这一成核方法具有较大的应用价值，由于容易实现连续成核，可望对蔗糖真正连续、自动结晶过程的实现起促进作用；又由于形成的晶核，晶粒形态整齐，表面良好光滑，在用于间歇结晶过程时，可能大大减少在对流循环中出现伪晶所浪费的能量和时间，使结

晶过程的经济效益大大提高。

此系统还可以配上电子计算机进行程序控制。本装置还可以用来研究其它溶液成核，如葡萄糖溶液，食盐溶液，谷氨酸溶液。

陈珮瓊、秦贯丰参加本文的部分工作。

参 考 文 献

- [1] R. W. Wood, A. L. L. Oomis, Phil. Mag, 4(1927) 417.
- [2] 世界科技报 1987
- [3] E. Astolfi, Ital. Pat No. 440 737 (Dec. 12, 1946 and Oct. 18, 1948); Sugar Industry Abstracts.No. 9 (1950) 187.
- [4] T. T. Galkowski, M. S. Thesis, College of the Holy Cross (1948)
- [5] L. 别尔格曼著，曾大文等译《超声》国防工业出版社，1964, 503.
- [6] E·B 哈姆斯基著，古涛等译《化学工业中的结晶》。化学工业出版社[苏联]1984, 92.
- [7] A·M 津斯特林格，A·A 巴拉姆著《超声波在化工过程中的应用》大连工学院化工过程及设备教研组译。中国工业出版社，1963年10月
- [8] B·Broodfoot, Pre of Australian Society of Sugar Can Technologists, 1980, 211.