

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2014.05.013

文章编号:2095-6002(2014)05-0069-05

引用格式:刘玉德,万璐明,张媛,等.连续循环超声波提取生产线的设计和研发.食品科学技术学报,2014,32(5):69-73.



LIU Yude, WAN Luming, ZHANG Yuan, et al. Design and research of production line of continuous cyclic ultrasonic extraction. Journal of Food Science and Technology, 2014,32(5):69-73.

连续循环超声波提取生产线的设计和研发

刘玉德, 万璐明, 张媛, 石学智, 王涛

(北京工商大学材料与机械工程学院, 北京 100048)

摘要:从国内超声波提取设备的工艺优缺点入手,介绍了循环超声波提取设备的结构及特点.并结合循环超声波提取技术设计了一套连续循环超声波提取生产线.该生产线包括物料包装系统、物料输送系统、超声波提取系统、提取液浓缩系统和回收系统.根据超声波萃取植物资源有效成分的动力学关系设定合理的工艺参数,得到实际生产数据,分析比较了该生产线与其他超声提取装置的优势所在.

关键词:连续提取;循环超声;超声提取;动力学

中图分类号:TS205.9;TS203

文献标志码:A

我国自20世纪50年代就已开始将超声波技术应用到中药和天然产物提取的研究,发现超声波提取技术比传统的提取方法具有提取率和提取速率高,物耗低、能耗低等优点^[1-2].国内的超声提取技术在实验室小量样品制备中效果很好,且已经得到广泛应用,其快速、高效的特点已被广泛认同.但是,由于存在着能耗较高、噪音较大、适用范围窄、缺乏有效的工艺放大手段和方法等问题,超声提取设备还处于中试或小规模生产阶段,在一些大规模工业生产提取中尚未得到推广^[3-5].

1 国内超声波提取设备的形式及特点

目前国内开发出的超声波提取设备多为单罐间歇超声波提取设备,但连续提取设备乃至成套的超声提取设备并不多见^[6-7].超声波提取的主流设备类型主要有罐式超声波提取设备和管道式超声波提取设备2种.

1.1 罐式超声波提取设备

罐式结构的超声波提取设备如图1.其特点是

提取物质质量好、杂质少、提取率高;可满足各种有效成分提取的需要;操作方便、易于清洗清理.但由于这种结构形式受超声波特性的影响,提取罐的容积有限,不适合于大规模植物资源的提取^[8].

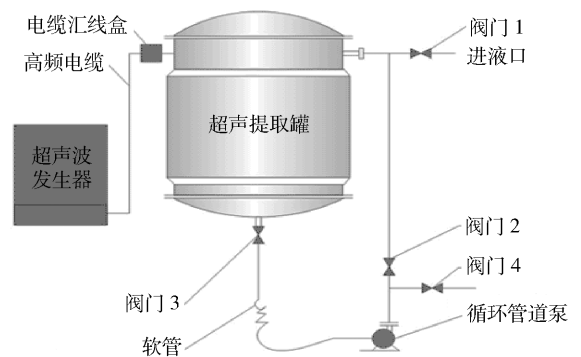


图1 罐式超声波提取装置

Fig. 1 Device of tank type ultrasonic extraction

目前,罐式超声波提取罐与真空浓缩器结合起来,并配备过滤、有机溶剂冷凝回收、油水分离器、电加热器、在线清洗等辅助系统,组成的一套天然物提取、过滤、浓缩成套设备,已经用于中试试验和小批

收稿日期:2013-11-28

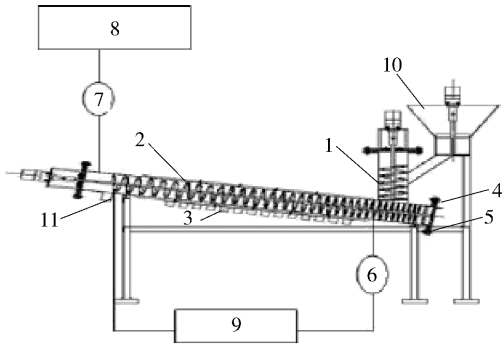
基金项目:北京市教委科研计划面上项目(KM20111001008);“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD23B02);北京工商大学大学生科学研究计划建设项目.

作者简介:刘玉德,男,教授,博士,主要从事食品机械方面的设计与研究.

量的中药和天然产物提取生产。

1.2 管道式超声提取设备

管道式超声波提取设备适用于连续大型化生产,管道形式有单管型、阵列型、螺旋形。现在较为流行的管道式连续逆流超声波提取设备,其基本结构如图2^[9]。



1,2. 物料运送螺旋;3. 超声发生器;4. 浸入器后盖;5. 出口;6. 循环泵;7. 转子流量计;8. 高位计量计;9. 低温恒温水浴;10. 加料器;11. 出渣口

图2 管道式逆流超声提取设备

Fig.2 Equipment of pipeline flow ultrasonic extraction

连续逆流超声波提取设备能实现连续化作业及动态逆流提取,提高了生产效率,提取时间由60~300 min 缩短至20~40 min,减少了溶剂用量,降低了提取温度,保证了产品质量,降低了能耗,避免了残渣对环境的污染,被广泛应用于使用各种溶剂从植物药材中提取各种天然产物,特别是使用挥发性有机溶剂对较大规模单味药材的提取^[10-11]。但由于超声波穿透深度有限,管道直径均在20~50 cm 之间;并且大型超声提取设备需要很长的管道来保证提取率,不适应多种工艺参数调整^[1]。

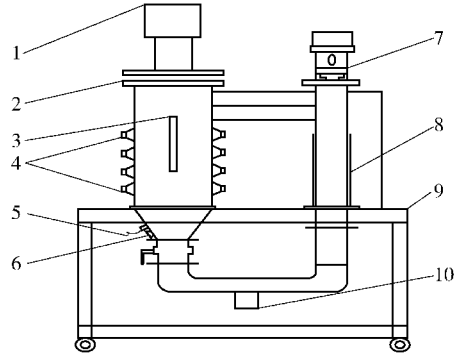
2 工业化超声波提取设备最新发展——循环超声波提取

2.1 循环超声波提取技术的研发背景

由于超声波对静止物料的作用效果有限,研究人员提出了循环超声波提取技术。经过多年的实验发现,循环超声波提取技术可显著增加超声场的物料处理能力,解决了超声提取的工艺放大难题,极大地拓宽了超声提取的应用范围^[12]。

2.2 循环超声波提取设备的结构及其特点

小型实验室循环超声波提取设备结构如图3,其包括超声提取罐和超声发生装置。超声发生装置包括聚能式超声发生装置和发散式超声发生装置。其中聚能式发生装置有一个聚能超声振子,发散式超声发生装置有多个发散超声振子,整个循环超声提取设备置于移动支架上^[13]。



1. 聚能式超声头;2. 进料口;3. 观测孔;4. 4组发散式超声头;5. 温度传感器;6. 加热棒;7. 电机;8. 恒温套筒;9. 架子;10. 出料口

图3 循环超声提取的结构示意

Fig.3 Structure of cycle of ultrasonic extraction

循环超声提取技术适用范围更广、常温常压操作、提取成本较低、提取效率较高。由于提取温度低,最大限度地保持了物料中原有的各种有效成分(特别是各种热敏性成分);同时,由于提取时间短,使提取产品中无用的杂质组分含量减少。循环提取设备较其他超声提取设备具有突出特点(见表1)。循环超声波提取设备的研制成功,对于推动动植物资源有效提取的现代化、产业化具有非常重要的意义^[13]。

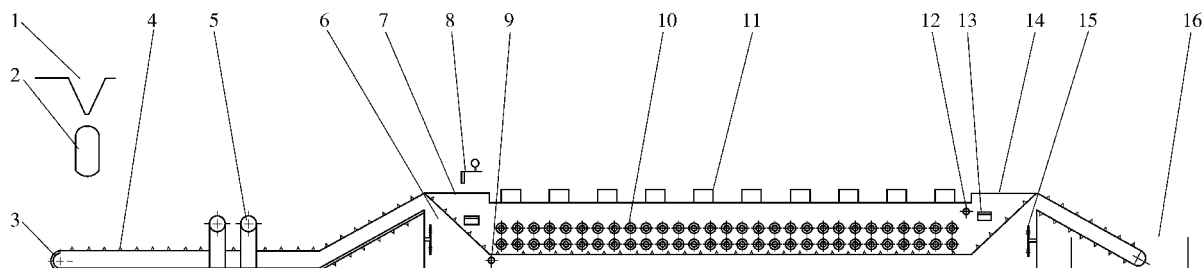
3 连续循环超声波提取生产线的设计

连续循环超声波提取生产线是将循环超声提取设备与传统植物资源提取工业化生产线有机结合,如图4。其包括物料包装系统、物料输送系统、超声波提取系统、提取液浓缩系统和回收系统。其特点是:结构简单、使用方便、可实现恒温连续提取;超声提取设备的管道可根据生产车间环境设计为直线型或环形等多种形状;物料提取完后自动回收,提取液自动排出。

表1 循环提取设备与其他超声波提取设备特性对比

Tab.1 Comparison table of cycle extraction equipment with other ultrasonic extraction equipment

比较项目	循环超声提取设备	其他超声波提取设备	结果对比
超声类型	单位面积上的功率强度高	发散式超声波,单个换能器功率通常为几瓦到几十瓦	前者可达到破坏细胞壁的要求,后者无法满足
与物料接触方式	聚能式换能器与物料直接接触	超声换能器上的超声波需要通过器壁才能与物料接触	前者超声利用率能达到100%,后者利用率低
超声场作用方向	循环超声与物料之间成逆向或顺向流动均可	物料的移动方向与超声场成垂直方向	前者超声在物料上的作用效果好,后者可能因推进螺旋发生反射和损耗
物料推动方式	物料在循环超声设备内形成拟均相	管道式设备的物料螺旋向上移动	前者物料提取机会相同,后者部分物料会一直停留在底部或中部
占地面积	结构紧凑,高度相近于传统提取罐	管道式设备需要很长的管道和足够的高度差以保证超声提取时间	前者占地面积小,后者占地面积大
适用范围	对于各种物料的适应性良好,全封闭运行,从1~5000L均有系列成套设备	一般适用于中试规模	前者适用于各种溶媒,且对实验规模适应性强,后者适应性比较局限



1. 物料包装设备;2. 包装袋;3. 物料传输装置;4. 传输带上的固定钩;5. 物料包整理装置;6. 超声提取设备;7. 物料包进口(溶剂入口);8. 溶剂流量调节开关;9. 夹套进水口;10. 离散超声振子组;11. 聚能超声振子组;12. 夹套出水口;13. 提取液出口;14. 物料包出口;15. 循环搅拌装置;16. 物料回收箱

图4 连续循环超声波提取生产线示意

Fig.4 Diagram of production line of continuous loop ultrasonic extraction

3.1 物料包装系统

物料包装系统由料斗和物料包装设备组成。将处理好的物料批次性地加入料斗中,通过料斗将物料连续、自动、均匀地装入包装袋中,形成物料包。所用包装袋大小和材质可根据实际生产进行调整,但必须保证物料不易漏出,同时透水性能好。

3.2 物料输送系统

物料输送系统包括输送带和物料包整理装置。物料包由输送带进行传输,输送带上有特制的小钩或挡板,用于固定物料包,防止物料包在传送过程中掉落。物料包在进入超声提取装置之前经过整理装置进行整理,用于均匀分散物料,使得超声提取更加充分^[14]。

3.3 超声波提取系统

超声波提取系统由超声波提取管道和超声波换能器组成,同时还包含溶剂输送设备、控温装置和搅

拌装置。超声波提取管道为夹层结构,管道两端的侧壁上开有进液口和出液口,通入一定温度的液体进行恒温控制;管道侧壁上部开有提取液出口,提取液达到一定容积后自动流出;管道外壁上含有离散式超声振子组和聚能式超声振子组,多个离散式超声振子安装在提取管道的侧壁上,多个聚能式超声振子分布在提取管道的上部,两种超声波相互补充、配合;管道内壁上设有循环搅拌设备,使得有效成分扩散更加快速,提取效果更好;溶剂输送设备包括溶剂储存、输送、定量控制等装置,通过储罐、循环泵、流量计对溶剂输送量进行自动控制。

3.4 提取液浓缩系统

提取液浓缩系统包括加热蒸发、冷凝、萃取、干燥等装置。利用动态循环蒸发浓缩器对提取液进行浓缩,将提取液中的溶剂在降压(真空)条件下蒸发,并冷凝回收再利用;同时通过萃取装置和干燥装

置将浓缩后的提取液进行提纯和干燥。

3.5 回收系统

回收系统包括溶剂回收装置和物料回收装置。溶剂回收装置将蒸发冷凝得到的溶剂加入溶剂储罐中,并通过溶剂输送设备再次进入生产线中进行循环利用;物料回收装置整理回收从提取管道中出来的物料包,可将其整理回收或进入下一级提取液浓缩系统以进行多级提取。

连续循环超声波提取生产线基本工艺流程为:将处理好的物料通过物料包装设备加工成物料包,物料包通过物料输送装置进行运输,在经过物料包整理装置整理后进入超声波提取管道中进行超声提取,提取完成后自动回收进物料回收箱中。

4 实验研究

中草药成分提取传质动力学方程大多基于 Fick

第一定律扩散方程提出^[14],其表达式为:

$$J = -D \frac{dC}{dx}, \quad (1)$$

式(1)中, J 为扩散通量; D 为扩散系数,表示单位浓度梯度、单位时间内通过单位截面积的质量,其与扩散边界层的浓度有关,也与提取温度、提取溶剂湍流等有关; C 为溶液质量浓度,随提取时间变化^[15],在单位时间内通过垂直于扩散方向的单位截面积的扩散物质流量与该截面处的浓度梯度成正比。即浓度梯度越大,扩散通量越大。

以茶多酚提取实验为例,由式(1)可知,影响因素包括茶叶粒度、料液比、提取时间、提取温度、超声功率等。根据超声波萃取植物资源有效成分的动力学关系设定合理的工艺参数,并结合实际投料试验生产的数据,从耗材、产量、人工、耗电、其他消耗等5方面对连续循环超声提取技术与其他超声提取工艺进行对比,详见表2。

表2 连续循环超声提取技术与其他超声提取技术的利润对比

Tab. 2 Comparison of profits between continuous loop ultrasonic extraction technology and common extraction technology

	循环超声提取	普通超声提取	利润差/万元	备注
茶叶消耗/t	6	4	-2	陈茶、茶叶末等,每吨按10 000元计算
溶剂消耗/t	0.3	0.5	0.11	每吨溶剂按5 500元计算
产量/t	1.5	1	14	茶多酚成品每吨按28万元计算
人工/人	12	36	0.24	每班每人按100元计算
耗电/度	2 400	1 000	-0.112	每度电按0.8元计算
其他消耗/万元	0.9	0	-0.9	每天消耗18 000个包装袋,每个袋按0.5元计算
总计/万元	34.623	23.285	11.338	

以每天总生产计

由表2比较可知,采用连续循环超声提取生产线与普通超声提取相比,明显提高了产量,每天可多产生利润11.338万元人民币,可见其经济效益是比较明显的。

但是,连续循环超声提取技术在设计、试车及生产过程中还存在以下问题:1)设备前期投入高,本生产线的超声提取装置需要定制,国内超声提取设备生产企业并不多,能确保循环超声提取设备正常运行的生产厂商更少。另外,生产线需要的配套设备很多,因此相对其他超声提取设备而言同等规模的生产线投入更高。2)占地面积大,由于生产线的设备多,且大部分均水平布置,厂房面积较小的生产企业应慎重选用。

5 结论

连续循环超声波提取设备生产线解决了超声波技术在植物资源提取方面存在的问题和难点,这一装置集成了循环超声提取、动态连续提取、自动渣液分离等新技术,实现了在自动控制下全程连续化密封作业,自动回收废渣等。与其他超声提取相比具有高效、安全、环保等明显优势,对推动超声波工业化提取植物资源中的有效成分具有重要意义。

参考文献:

[1] 白中明. 工业化超声波中药提取装备研究[J]. 中草

- 药, 2005, 36(8): 1274 - 1276.
- [2] Marvin C H, Allan L. A comparison of ultrasonic extraction and soxhlet extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from sediments and air particulate material international[J]. *Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 1992, 49(6):221 - 230.
- [3] 李婷, 侯晓东. 超声萃取技术的研究现状及展望[J]. *安徽农业科技*, 2006, 34(13): 3188 - 3190.
- [4] 曹雁平, 刘佐才. 植物成分超声波浸取研究现状[J]. *化工进展*, 2005, 24(11): 1249 - 1252.
- [5] 张斌, 徐莉勇. 超声萃取技术研究与应用进展[J]. *浙江工业大学学报*, 2008, 36(5): 62 - 64.
- [6] 刘玉德, 张力. 超声波振荡器在连续逆流螺旋浸取设备中的应用研究[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(9): 259 - 261.
- [7] Liu Yude, Zhang Li. The study of the continous counter-current spirial ultrasonic extracting apparatus[C] // 24th World Congress of Food Science & Technology, Shanghai, 2008: 135 - 138.
- [8] 罗登林, 曾小宇, 徐宝成, 等. 双频超声动态逆流高效提取装置的设计与分析[J]. *声学技术*, 2009, 28(4): 488 - 490.
- [9] 程伟, 曹雁平. 植物有效成分的连续逆流浸取技术研究现状[J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 616 - 620.
- [10] 郭志雄. 超声波连续逆流提取在中药生产中的运用[J]. *医药工程设计*, 2012, 33(4): 38 - 42.
- [11] 刘玉德, 曹雁平. 连续逆流螺旋超声波浸取设备的研究[J]. *食品与机械*, 2009, 13(3): 62 - 64.
- [12] 赵兵. 循环超声提取技术应用潜力凸显[N]. *中国医药报*, 2006 - 3 - 28(A08).
- [13] 赵兵, 尹辉. 循环超声技术及其在中药研发和生产中的应用[J]. *中草药*, 2006, 37(1): 154 - 156.
- [14] Hou K, Zheng Q, Li Y, et al. Modeling and optimization of herb leaching Processes[J]. *Computers & Chemical Engineering*, 2000, 24: 1343 - 1348.
- [15] 储茂泉, 古宏晨, 刘国杰. 中草药浸提过程的动力学模型[J]. *中草药*, 2000(7): 504 - 506.
- [16] Koichi Nakade, Mikihiko Hiraiwa. Periodicity of cycle time in a U-shaped production line with heterogeneous workers under carousel allocation[J]. *Journal of Service Science and Management*, 2009(6): 265 - 269.

Design and Research of Production Line of Continuous Cyclic Ultrasonic Extraction

LIU Yude, WAN Luming, ZHANG Yuan, SHI Xuezhi, WANG Tao
(School of Material and Mechanical Engineering, Beijing Technology and Business University,
Beijing 100048, China)

Abstract: The equipment structure and characteristics of ultrasonic extraction circulation were introduced based on the advantages and disadvantages of domestic ultrasonic extraction equipment. A set of continuous cyclic ultrasonic extraction production line was designed combined with cycle ultrasonic extraction technology. Material packaging system, material conveying system, ultrasonic extraction system, extracting enrichment system, and recovery system were included in this production line. According to the dynamic relationship of ultrasonic extraction of active ingredients from plant resources, the reasonable process parameters were set, and actual production data were obtained. Meanwhile, the advantage of the production line was compared with other ultrasonic extraction device.

Key words: continuous extraction; cycle of ultrasonic; ultrasonic extraction; dynamics

(责任编辑:檀彩莲)