

中药生产过程成套装备 及自动化控制技术研究进展*

□陈 勇** 李页瑞 王龙虎 刘雪松**

(浙江大学药学院 杭州 310058)

摘 要:本文介绍了中药生产的工艺流程和主要生产环节的特点,并对这些主要环节的自动化控制技术研究进行了综述。

关键词:中药 提取 浓缩 干燥 成套装备 自动化控制

doi: 10.3969/j.issn.1674-3849.2010.03.025

中药工业化生产流程主要由提取、过滤、浓缩、醇沉、吸附、洗脱、收膏、干燥、制剂及相应的乙醇回收等工序组成,且最为主要的提取、浓缩、醇沉以及干燥等工序都是多变量、扰动大、非线性的复杂动态系统。由于中药材原料中有效成分的含量相对较低,而非有效成分含量高且复杂,为最大限度地提取出药材中的有效成分,并尽可能减少非有效成分的提出,这给组分提取与分离带来了很大的困难,使得中药生产工艺流程(图 1)变得更加复杂冗长。

我国现阶段的中药生产技术与国际生产技术相比还有一定的差距,提取分离技术滞后于制剂技术,不仅工艺粗放、装备水平和自动化程度低、缺乏有效的质控手段,而

且制造过程以落后的单元操作和人工操作为主,远未实现整个工艺过程的集成和优化,严重制约了中

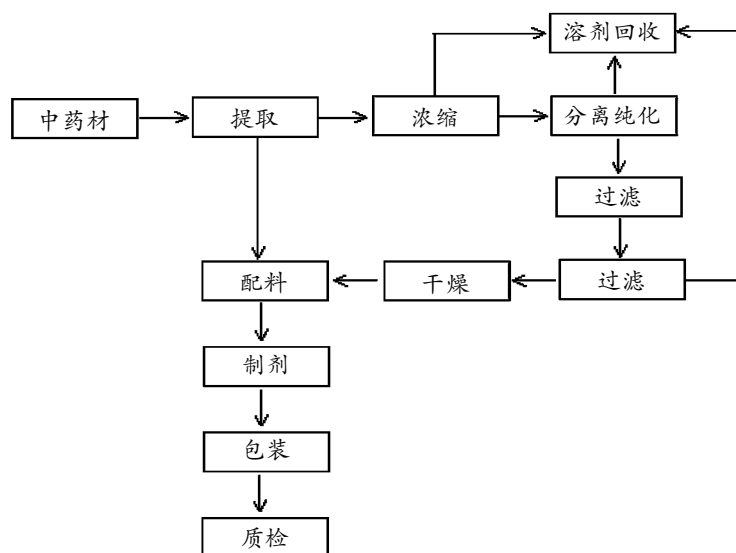


图 1 中药生产流程示意图

收稿日期: 2009-11-25

修回日期: 2010-01-05

* 科学技术部国家“十一五”科技支撑计划项目子课题(2006BAI06A08): 中药提取浓缩干燥成套装备及自动化控制技术研究, 负责人: 陈勇。

** 联系人: 陈勇, 副教授, 主要研究方向: 中药制剂工艺、色谱分析技术、中药质量评价和控制, Tel: 0571-88208427, E-mail: chen Yong1@zju.edu.cn; 刘雪松, 博士, 副教授, 主要研究方向: 中药制药过程分析、制药过程装备技术及全程质量控制技术, Tel: 0571-88208621, E-mail: liuxuesong@zju.edu.cn。

药产业的发展及国际化。造成这些问题的主要原因表现在以下两个方面:①中药有效成分的复杂性,中药材质量的不稳定性;②工业生产技术水平低,中成药生产的标准化、规范化程度不够,相关标准要求不高。

一、中药生产工艺主要环节及其特点

1. 提取工段

中药提取过程是溶质从固相药材高浓度向液相低浓度渗透的传质过程,其提取浸出扩散力来源于提取溶剂与固相药材组织内有效成分的浓度差,浓度差越大,扩散传质的动力越大,浸出速度越快,有效成分浸出率越高^[2]。在中药有效成分的提取过程中,既要确保有效成分的提取率,又要保证不同批次提取液的质量稳定性。如果温度、压力、加溶剂的比例、提取时间等参数控制得当,就能获得较高的提取率,否则有可能造成有效成分损失较大。因此,针对不同的中药材选择合适的提取工艺并按照正确的提取工艺进行提取,是中药生产和工艺研究的一个至关重要的环节^[3]。

传统中药提取方法主要有水煎煮法、热回流法、冷浸法、渗漉法等,这些方法虽然有一定优势,但仍存在不少问题,如提取温度过高引起有效成分的损失、不适合热敏性成分的提取、溶剂消耗量大、提取时间长、提取效率较低等^[4]。采用多次提取方法有助于提高提取率,但多次提取导致生产效率降低,而且增加后续浓缩工艺的能耗,使生产成本大幅度提高。

目前已发展了一些新型的提取技术如动态罐组式逆流提取技术、超临界流体萃取、超声提取、微波提取、旋流提取、密闭动态提取、半仿生提取等。其中动态罐组式逆流提取技术主要利用药材与溶剂之间有效成分的浓度差,逐级将有效成分溶出扩散至起始浓度较低的提取溶剂中,达到最大限度转移药材中有效成分的目的。虽然对该技术的研究还有待进一步深入,但其制造成本低、处理量大、节省溶剂、提取效率高优势决定了它在中药领域具有广泛的应用前景;超临界流体萃取技术具有有效成分萃取率高、萃取选择性强、操作温度低、有效成分不受破坏、生产周期短以及节约能源等优点^[4-5]。

2. 浓缩工段

中草药提取液的浓缩是中药制药的重要工序之一,是中药制药生产过程中能耗最多的工段,也是中

药制药现代化的重要组成部分。目前,该工段存在着浓缩温度高、浓缩时间长、有效成分及挥发性成分有损失、一步浓缩难以实现高相对密度的质量要求、设备易结垢以及废液排放等问题,给后续操作带来困难,并会影响中药产品的质量与疗效。

传统的真空浓缩方法由于物料长时间受热,容易造成有效成分损失,且药液中固形物易粘附于加热管壁,造成结垢传热速度减慢、浪费能源,而且会使垢层炭化造成滤液污染^[6]。此外,真空浓缩进料难以控制,容易造成进料过多导致跑料。为了解决这些问题,开发了一系列先进的中药提取液浓缩新工艺和新技术,如悬浮冷冻浓缩、渐进冷冻浓缩、自然外循环两相流浓缩、在线防挂壁三相流浓缩、反渗透、膜蒸馏、渗透蒸馏、大孔吸附树脂分离浓缩等^[7]。这些技术针对不同中药提取液浓缩的特点,改进了传统浓缩技术中的一些不足之处,具有各自的特点和应用价值。

3. 醇沉工段

醇沉工艺是中药口服液和注射剂等对澄清度要求的中药制剂最为常用的精制方法^[8],具有操作简单、设备成本相对低廉、药液纯度高、改善中药制剂的澄清度等优点,是我国中药生产企业首选的分离精制技术之一。醇沉工艺的特点有:颗粒析出无序性和随机性、沉降颗粒的差异性、包裹损失和受阻沉降等。目前,中药生产过程中应用的醇沉工艺还存在不少难题,如因影响因素多而导致工艺参数控制水平低、因需长时间冷藏而导致生产升本高以及因颗粒包裹药液而导致的有效成分损失严重等^[9]。

4. 干燥工段

干燥工艺对中药指标成分具有较大的影响,潘永康对 27 种中药饮片采用热风干燥进行了干燥特性实验,并对实验前后中药饮片的指标成分进行了检测。结果表明,尽管部分药材实验时所采用的温度尚低于现行工厂干燥工艺允许的物料温度,但其指标成分已受到了很大的损失,有的药材有效成分几乎完全损失。

干燥工艺的现代化是在必须保证中药材有效成分不受损失的前提下,还要高效节能。目前,我国中药生产企业的干燥工艺普遍存在干燥时间过长、干燥温度高等缺点,导致有效成分收率低,还存在干燥工艺流程设计不合理、能量损失大等缺点。因此,在选用现代干燥设备时,必须对产品的干燥特性进行

系统研究,掌握干燥过程中的温度、湿度、压力及气流速度等因素对中药材性质与特性的影响规律,从而选择先进的干燥工艺和设备。

真空带式干燥技术由于干燥温度低、有效成分损失少、干燥时间短、能耗低、无污染、自动控制等优点,完全符合 GMP 要求,是一种理想的中药浸膏干燥机^[10-11]。

微波干燥则利用电磁波作为加热源,使湿物料水分子迅速随高频交变电场方向的交互变化而转动,并产生剧烈的碰撞和摩擦,结果使一部分的微波能量转化为溶剂分子运动能,并以热量的形式表现出来,使溶剂的温度升高而离开物料,从而达到干燥的效果。由于微波所具有的特性,微波干燥具有干燥均匀、质量好、速度快、效率高等优点^[12]。

喷雾干燥技术是中药干燥中较先进的技术之一,其得到的粉末或颗粒大小形状均匀一致、流动性好、含水量低,可以直接压片、填充胶囊或干法制粒,而不需要加入大量的辅料,减小了中药的服用剂量,且物料的干燥是在瞬间完成,受热时间非常短,因此特别适用于热敏性物料^[13]。

二、中药生产自动化控制技术

随着中药现代化步伐的不断加快,传统中药生产的装备和落后的人工控制技术已无法适应发展的需要,因此,开发新的中药生产装备和控制技术成了中药现代化的一个重大课题。在中药生产中应用计算机控制技术,可以使中药生产的工艺操作和参数得到科学的、有效的、严格的监测和控制,实现中药生产的连续化和自动化,从而提高生产效率,降低成本,同时使产品更安全、卫生,更符合 GMP 要求。

自动化控制就是在中药生产过程中,对于那些影响中药产品内在质量的关键性工艺参数(如温度、压力、液位、流量、体积、密度、时间、pH 值等)加以实时检测和调控,并对生产过程中这些参数进行实时反馈控制,以达到质量控制的目的。避免手工操作控制不准确而引起产品的质量差异,从而使中药制药的生产工艺技术和装备水平实现质的飞跃,使产品得到有效、科学、严格的控制,为中药产品打入国际市场提供质量保障。

1. 中药生产单元操作自动化控制的实现

(1) 提取工段自动化控制。

为了实现不同中药材提取工艺的计算机自动检

测和控制,必须从中药材提取工艺的共性、特点和实际需求出发,既要满足现有工艺条件,又要适应今后技术发展的需要,充分考虑控制系统结构和控制方案的灵活性、可变性和适应性。

中南大学黄挚雄等^[14]针对中药生产过程提取工段的工艺要求,设计了以迭代学习控制算法为核心的先进控制系统,该控制系统由各类传感器和 PID 控制器形成内路闭环,构成抗扰动的稳定系统,外环迭代学习控制单元 LC 双闭环结构进一步保证药液质量,通过该算法自动控制提取工段中设备的作用并检测其运行状态,实现提取过程温度、压力和提取时间的精确控制。其仿真应用数据表明,迭代学习控制算法在中药生产过程中取得了理想的控制精度。

此外,黄挚雄等^[15]以减小提取罐中药液温度稳定时间、提高挥发油的回收量、减小能源消耗总量和增加有效药液提取量 4 个指标作为优化目标,研究了多目标优化控制在中药提取工段的应用,提出了一种利用神经网络对控制器进行多目标优化的设计方案,神经网络的权值和结构分别用遗传算法和变结构算法训练。其实践结果表明,该控制算法的引入解决了药液的加热提取、挥发油的回收以及水冷系统等动态过程的平衡问题,减少了药液温度达到稳定值的时间,增加了挥发油的回收量和药液提取量,并且降低了系统的能耗。

卢佩等^[16]利用 PROFIBUS 技术构建底层网络,采用西门子 PROFIBUS-DP 把各种电磁阀、离心泵、电机、温度传感器、压力传感器以及 ET200 分站等功能单元联结成一个整体,以 Windows 2000 Server 操作系统和西门子 SIMATIC WINCC6.0 SP1、STEP 7 软件构建监控层,对每个关键工序进行数据监测、控制,实施整个过程的跟踪。该系统既能进行单元操作,又能找出最佳工况条件。

王成刚等^[17]采用一种基于研华多功能数据采集卡 PCL 818L 的计算机控制系统,以研华工控机 IPC610 为主机作系统的操作平台、世纪星组态软件为监控软件、多功能数据采集卡 PCL 818L、PCL 725S 作为过程通道实现测量信号的输入与控制信号的输出,并选用事件驱动形式来实现相关阀门的开闭,用具有死区、带区、棒区的变形 PID 控制来控制过程状态参量。该系统工作性能稳定、界面友好、用户操作方便,各方面都达到如期要求。

(2) 浓缩工段自动化控制。

浓缩工段变量多、扰动大,且具有非线性、时变、耦合、时滞等特征,难以建立精确的数学模型。浓缩过程的不合理操作将会导致液冷、结焦、热分解、溶剂回收不安全等一系列问题。这些问题的存在,均会影响中药产品的质量与疗效,也会给后续操作造成不便。在浓缩过程中实现自动控制将有利于保证中药生产过程的相对稳定性、提高中药生产的效率、降低生产成本。

宋杰贤等^[18]通过采用下位机 PLC 控制,上位机组态软件监控实现了双效节能浓缩器的自动化控制。其上位机和下位机的通讯通过以太网口连接,现场仪表和执行元件通过数字信号或模拟信号与 PLC 进行通讯,现场仪表采集控制参数信号,通过 PLC 分析数据后,按照一定的控制流程,将控制指令返回至现场控制元件,从而实现双效浓缩的自动控制。

章志兵等^[19]采用模糊-智能 PID 控制算法来控制开关阀、调节阀动作,从而完成对温度、压力、液位、pH 值等参数的精确控制;并以一效蒸发室温度为被控对象,分别用传统模糊算法和模糊-智能 PID 算法进行仿真,结果表明,模糊-智能 PID 控制算法具有动态响应好、超调量更小、控制精度高等优点。此外,当控制对象发生改变时,该算法的 PID 控制参数还具有自调整性。

浙江大学陈勇等采用浙江中控技术股份有限公司研发的 AdvanTrol-PRO 组态软件实现中药生产过程的自动化控制,其中浓缩工段包括单效浓缩、多效浓缩和球形浓缩等,其控制方案的流程见图 2。AdvanTrol-PRO 组态软件是基于 Windows 2000 操作系统开发的自动控制应用组态软件平台,AdvanTrol Pro 2.5 软件包成功将系统硬件组态与监控软件组合在一起,在 SUP-CON WebField 系列集散控制系统 DCS (Distributedcontrol System) 中完成系统组态、数据服务和实时监控等功能。控制系统由工程师站、操作员站、

控制站、过程控制网络等组成,操作员站是由工业 PC 机、显示器、键盘、鼠标、打印机等组成,是操作人员完成过程监控管理任务的环境。控制站是系统中的 I/O 处理单元,完成整个工业过程的现场数据采集及控制。过程控制网络实现工程师站、操作员站、控制站的连接,完成信息、控制命令等传输,双重化冗余设计,使得信息传输安全、高速。

(3) 醇沉工段自动化控制。

目前,实际生产过程中醇沉工艺关键参数(如 pH、乙醇浓度、乙醇加入速度等)的控制基本由人工操作完成,甚至有些搅拌也是人工操作,因此具有较大的随意性和盲目性,从而产生较大的波动,颗粒的沉降速度和澄清液质量无法定量控制,难以保证产品批次稳定性,从而无法保证产品质量和疗效。因此,对醇沉工段进行自动控制也十分重要。醇沉工段自动控制的功能主要有原药膏量自动计量、所需配药量自动计算和计量、原药与配药的自动混合控制、搅拌速度和方向控制、搅拌桨定位控制(即将搅拌桨定位于所要求位置,避开抽药浮球)、静置时间控制、抽取上清液控制、除渣控制以及自动清洗控制等。但是,目前醇沉工艺自动控制方面的研究报道很少。白羽^[20]采用工业以太网和现场总线技术,由工程师站、操作员站、控制站、远程 I/O 站等组成控制系统,以先进

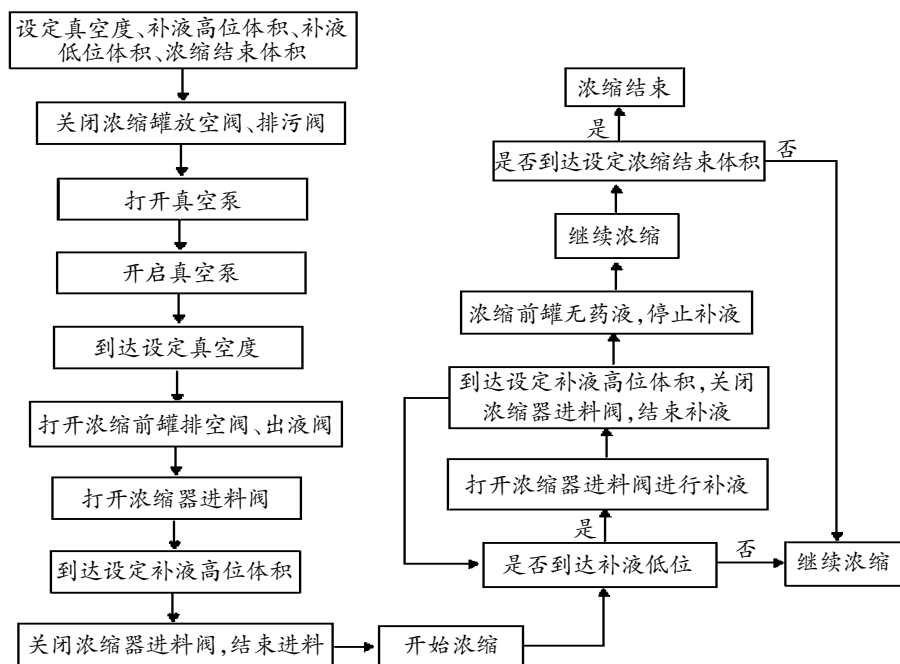


图 2 浓缩过程控制方案示意图

控制、优化控制及安全联锁智能控制为控制软件,实现了从提取罐、固液分离、真空浓缩等工序全自动控制。其中醇沉工段主要对药液沉淀罐液位进行控制,并参与提取和浓缩工段的连锁控制。

(4)干燥工段自动化控制。

干燥工艺不仅影响药品的有效成分,而且对中药丸的服用特性——崩解度指标也有很大的影响。目前,我国中药企业的干燥工艺普遍存在干燥过程温度偏高而引起有效成分损失严重的现象。采用先进控制技术对干燥工艺进行在线监测和自动控制,可以改善干燥效果,提高产品质量和稳定性。

徐振方等^[21]设计了一种新型的计算机自动监测手段用于间歇式微波真空干燥,利用智能数据采集模块和 RS-485 总线与计算机进行通信,通过 VB6.0 可视化编程和 Access 数据库管理实现了在干燥过程中对物料的各个参数进行在线实时监测、数据管理和远程监测,并在线记录和查询试验的数据和试验的结果,同时避免了通过建立数学模型解动态麦克斯韦方程这一繁琐工作量,从而能够准确的进行干燥终点的判断,当干燥产物含水量达到指标要求时停止干燥。

夏鹏等^[22]使用虚拟仪器语言 LabVIEW 进行软件编程,实现了对冷冻干燥系统中药瓶的质量、各点的温度、干燥箱压力等进行监控。经过整定后,程序的温度曲线误差在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,压力曲线误差在 $\pm 10\text{Pa}$ 范围内。模拟程序能够对模拟信号进行预定的控制过程,并能够达到所期望的结果。

焦达锐等^[23]以德国西门子 S7-200 PLC 和西门子变频技术为控制系统,实现了对真空履带干燥机干燥温度、真空压力、履带速度等参数的自动控制,达到干燥速度稳定、干燥物料含水率稳定的目标。

孙昌榜等研制的真空带式干燥机组,以组态王作为显示界面,以西门子公司的 STEP7 为后台编程软件,实现了真空带式干燥过程关键工艺参数(如加热系统的温度、真空度、输送带速度、进料速度、履带自动纠偏等)的自动化控制。同时在工作区设置 PC 机和打印机,通过 PC 机的人机界面来操作设备,同时在出料区和干燥机附近设置操作面板以便在工作区操作设备。

2. 自动化控制技术的优越性

中药生产工艺繁琐,参数变量多、扰动大,尤其是多组分中药的提取纯化和质量控制,制约了不少

先进企业的发展。因此,对中药生产过程的自动化控制与集成管理提出了迫切要求。现代自动化控制技术和控制中药生产的实现与应用表明,与传统的中药生产工艺和管理方式相比,自动控制具有显著的优越性^[24],随着自动化技术的发展,今后中药制药企业将逐步、全面实现自动化控制。

通过自动化控制手段,保证大规模生产的工艺条件符合中试条件,避免了人为因素引起的差异,容易调整和控制参数,提高了产品质量,从而达到提高生产效率和收率、降低成本、提高原料和能源的利用率以及节能等效果。

自动化控制系统解决了传统中药生产过程中由于温度、压力等不稳定因素造成的各批次间质量不均一问题;改变了传统中药生产过程中各环节进行单元操作的局面,从真正意义上缩短了生产周期,提高了设备的利用率;解决了以往生产过程工艺参数人工记录而导致的查询困难问题,实现了生产过程工艺参数信息的实时记录和储存,便于追溯分析。

此外,避免了生产一线生产人员的危险操作和现场的重复劳动,使生产线具有更好的操作环境,提高生产安全性,保护设备,降低劳动强度。

自动化控制技术不但提高了药品的产量和质量,稳定了工艺状况,而且还可强化生产管理,提高经济效益,增强市场的竞争能力,加快中药生产现代化。

三、中药生产过程成套装备及自动化控制技术研究思考

我国中药产业近年来虽然有较快的发展,但是,从总体情况来看,我国中药产业的发展水平并不理想。数据显示,我国医药产业仅占全球的 7%,天然药物仅占世界天然药物市场的 3%~5%,中药出口额不足国际中草药市场的 10%^[25]。为提高我国中药产业的核心竞争力,必须优先解决单元工艺技术、质量检测与控制技术、自动控制技术、系统集成优化等关键技术及装备,建立中药工业过程先进技术研发体系,全面提升中药生产技术的管理水平。

1. 制药装备的绿色设计与制造

随着环境、资源和人口问题严峻性的增加以及国际制药行业竞争的加剧,对于中药制药行业而言,

一方面要努力提高药品的质量,另一方面要考虑到装备的低能耗和环保。在设计制药装备时,应尽可能选择绿色无污染的材料,使之在生产、使用过程中及废弃后对环境的污染最少,或可以重复使用;应避免电磁辐射、噪声、有毒有害气体等对使用者的危害。要尽可能使用绿色能源;尽量使用可再生能源和清洁能源(如太阳能、电能、天然气等);设计合理的产品功能与结构,采用新技术使产品在使用过程中消耗能量最少,能量损失最少。

2. 成套装备及其自动化控制技术的开发

中药制药装备的现代化是中药现代化的基础,不断将先进制药技术与装备应用到制药生产中,以提高中药的安全性、有效性和经济性,中药制药企业才能生存和发展,才能实现真正的现代化和国际化。目前,我国中药制药装备生产企业众多,但 95% 为小型企业,加工方法和手段落后、产品质量和精度较差,且产品多为单元操作设备。随着国家相关法规对药品质量标准要求的提高,中药制药企业进行设备改造升级和自动化控制势在必行。研究和开发中药提取、浓缩、分离纯化及干燥等过程一体化的成套装备或适合集成的单元设备及其自动化控制技术,已成为我国中药现代化的一个主题。

3. 中药生产过程在线质量控制技术的研究^[26-27]

对于药品生产来说,质量最关键。近年来,中药质量控制方法研究进展较快,但传统的分析技术一般采用离线分析的手段,通常需要对待分析样品进行相应的预处理,存在分析结果滞后的缺陷。在线质量控制是对生产过程的关键环节进行及时测量,并对生产过程进行反馈和控制,以减少生产过程影响质量的不利因素。中药自动化生产线的建立和信息化水平的发展,为中药生产过程在线质量控制技术的发展奠定了良好的基础。将在线质量控制技术(如近红外光谱分析技术)应用到中药生产过程,实现对原药材及生产过程的质量控制,有助于提高中药制剂产品质量的稳定性和均一性,提升我国制药行业质量控制水平和国际竞争力,从而推进我国中药现代化的进程。

参考文献

- 1 宋杰贤,沈晓平,葛发欢,等.中药提取过程中的自动化控制技术.中药材,2006,29(9):984.
- 2 陈赞,田景奎.一种中药动态连续逆流提取的实验室模拟方法.亚太传统医药,2006,(1):60.
- 3 卢佩,詹金良.中药提取过程控制系统的设计与应用.控制系统,2007,23(5):69.
- 4 谢志鹏,刘雪松,陈勇,等.动态罐组式逆流提取技术在中药生产中的应用研究进展.中国中药杂志,2007,32(10):884.
- 5 陈建农,王焕魁.中药提取过程中亟待解决的工程技术问题.中药研究与信息,2002,4(9):14~16.
- 6 郭维图.膜分离技术在中药提取液浓缩中的应用.中国制药装备,2007(5):8.
- 7 刘明言,余根,王红.中药提取液浓缩新工艺和新技术进展.中国中药杂志,2006,31(3):184~188.
- 8 曹春林主编.中药药剂学.上海:上海科学技术出版社,1994:73.
- 9 陈勇,李页瑞,金胤池,等.中药醇沉工艺及装备研究进展与思考.世界科学技术-中医药现代化,2007,9(5):16~18.
- 10 田晓亮,孙晖,王兆俊.对中药干燥工艺与设备的研究与探讨.中国制药装备,2006(6):10~12.
- 11 刘俊.中药浸膏专用真空带式干燥机的研制.化工装备技术,2005,26(3):10.
- 12 孙怀远.微波干燥与微波灭菌技术在中药生产中的应用.中成药,2004,26(8):667.
- 13 蔡薇,韩静,李智.喷雾干燥技术在中药领域中的应用及进展.沈阳药科大学学报,2006,23(9):613~614.
- 14 黄挚雄,罗安,黎群辉.迭代学习控制算法在中药生产过程提取工段的应用.仪器仪表学报,2007,28(8):1434~1439.
- 15 黄挚雄,章志兵,罗安,等.多目标优化控制在中药提取中的应用.中南大学学报(自然科学版),2006,37(4):790~795.
- 16 卢佩,詹金良.中药提取过程控制系统的设计与应用.控制系统,2007,23(5-1):69~71.
- 17 王成刚,杨红,魏化中,等.多功能提取罐计算机监控系统的设计与实现.武汉化工学院学报,2006,28(1):71~76.
- 18 宋杰贤,葛发欢.中药双效节能浓缩器的自动化控制.中药材,2007,30(10):1326~1329.
- 19 章志兵,黄挚雄,罗安.中药生产浓缩工段的模糊-智能PID控制研究.计算机测量与控制,2005,13(9):935~937.
- 20 白羽.中药提取生产过程的自动化控制.控制系统,2007,3:69~72.
- 21 徐振方,张国琛,潘澜澜.微波真空干燥试验设备自动化监测系统的设计.包装与食品机械,2004,22(6):1~3.
- 22 夏鹏,蔡颖玲,匡江红.虚拟仪器语言在药品冷冻干燥测控程序中的应用.医药工程设计,2006,27(5):42~47.
- 23 焦达锐,赵广滨,李如那.自动真空履带干燥机在制药行业中的应用.河北化工,2006,29(7):38~39.
- 24 刘根强,刘翠萍,陈洪前.中药提取自控系统.齐鲁药事,2006,25(12):762~763.
- 25 陆金国.中药生产与研究存在的问题和对策.环球中医药,2009,2(5):368.
- 26 史新元,张燕玲,王耘,等.中药生产过程中质量控制的思考.世界科学技术-中医药现代化,2008,10(5):121~125.
- 27 胡钢亮,吕秀阳,程柯,等.近红外光谱在线检测技术在中药领域中的应用展望.中国中药杂志,2003,28(12):1117~1119.

Research Advances in the Complete Equipment and Automation Control Technologies of Extraction, Concentration and Desiccation of Traditional Chinese Medicine Production

Chen Yong, Li Yerui, Wang Longhu, Liu Xuesong

(College of Pharmaceutical Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The traditional Chinese medicine (TCM) is a classic industry in China. With the development of life science and the increasing demand of natural medicines, TCM will become a worldwide hot spot in the pharmaceutical field. Although China has abundant resources and many TCM manufacturers, we have to go a long way to catch up with the international technical level in terms of equipment, quality control and automatic control. This paper reviews the production process of TCM, the characteristics of different production procedures and the automation control techniques for traditional Chinese medicines production.

Keywords: TCM, Extraction, Concentration, Dry, Complete equipment, Automatic control

(责任编辑:李沙沙, 责任译审:张立巍)