

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.04.015

中药连续动态逆流提取过程控制技术

王翔¹, 卢晓江²

(1. 天津科技大学 电子信息与自动化学院, 天津 300222; 2. 天津科技大学 机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 中药连续动态逆流提取中各设备间关系复杂, 各阶段需要协调控制, 使得传统的控制方法不能满足要求。通过分析带有挤压提取器的中药连续动态逆流提取过程的工艺和设备特点, 以逆流提取器内温度为主参数, 以保证溶媒比为目标, 设计了复杂控制系统。针对提取过程的大惯性和大扰动, 研究了控制策略, 并结合 PLC 和上位机监控软件实现了改进型 PID 控制。通过在中药连续动态逆流提取监控系统中运行, 表明所设计控制系统满足工艺要求, 软件运行稳定。

关键词: 中药生产; 连续逆流提取; 控制技术; 监控系统

中图分类号: TQ460.3; TP273 文献标志码: A 文章编号: 1005-2895(2014)04-0061-04

Process Control Technology of Continuous Dynamic Countercurrent Extraction on Traditional Chinese Medicine

WANG Xiang¹, LU Xiaojiang²

(1. College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China;

2. College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: In traditional Chinese medicine continuous dynamic countercurrent extraction process, there is a strong correlation between devices, so each stage requires coordinated control, and the conventional control methods can not meet the requirements. By analyzing the features of continuous dynamic countercurrent extraction devices and process with a squeeze extractor, taking the temperature as main parameter in countercurrent extractor, and in order to ensure the solvent ratio as the goal, a complex control system was developed. For large inertia and large disturbance of extraction process, the control strategy was studied, and the improved PID control was achieved by combining PLC and PC monitoring software. The operation of a medicine continuous dynamic countercurrent extraction shows that the control system meets the operation requirements, and the software is stable.

Key words: traditional Chinese medicine production; continuous countercurrent extraction; control technology; monitoring system

中药提取是指中药有效成分浸出的过程, 是中药生产过程中重要的单元操作, 其工艺方法、流程的选择和设备配置都直接关系到产品的质量、经济效益以及 GMP 的实施。目前, 中药提取普遍采用的工艺多以间歇式提取为主, 其所使用的设备大多是渗滤罐、多功能提取罐、动态提取罐和热回流机组等^[1-2]。由于被浸的原料并不移动, 仅仅是溶媒做一定的流动, 使得提取效率降低。近年来, 研究设计出了连续动态逆流提取技术。与间歇式提取相比, 有效成分提取率高; 生产效率提高; 并且通过调节药材在提取器中的移动速度, 使之

能够适用于不同药材的提取, 应用范围更广^[3-5]。由于连续提取过程中各阶段(如进溶媒、加热等)需要协调进行, 以及设备之间的工艺关系复杂, 使得传统的控制方法不能满足连续逆流提取的工艺要求, 研究相适应的控制系统和控制策略成为必要。沈善明^[6-7]等人针对折流式连续逆流提取过程进行了许多卓有成效的研究。但对于包含有挤压提取的连续逆流提取^[8], 保证预浸过程、挤压过程和逆流提取 3 个阶段的协调控制显得尤为重要。

中药提取过程中的温度控制具有非线性、非对称

收稿日期: 2014-02-14; 修回日期: 2014-04-18

作者简介: 王翔(1986), 男, 天津人, 天津科技大学硕士研究生, 主要研究方向为控制工程。通信作者: 卢晓江(1960), 男, 江苏仪征人, 教授, 主要研究方向为过程装备, 发表论文 50 余篇。E-mail: xiaojianglu@tust.edu.cn

和大滞后特性,为此,在间歇式提取中,人们研究的各种先进的控制方法^[9-10],如模糊自适应 PID 控制、改进粒子群算法的优化 PID 控制等。对于连续逆流提取,除具有非线性、大惯性等特点外,被控对象还具有时变性,因此连续动态逆流提取还需研究如何控制温度,满足有效成分提取的需求。

本文通过分析带有挤压提取的连续动态逆流提取过程工艺,研究关于过程加热的改进型 PID 控制策略;通过协调各设备之间的配合,保证合理的药材配比,以提高生产效率和产品质量。继而实现中药提取过程的连续性管理、控制。

1 连续动态逆流提取过程及自控要求

连续动态逆流提取的生产过程主要设备包括预浸器、挤压提取器和逆流提取器。连续动态逆流提取的生产流程如图 1 所示。

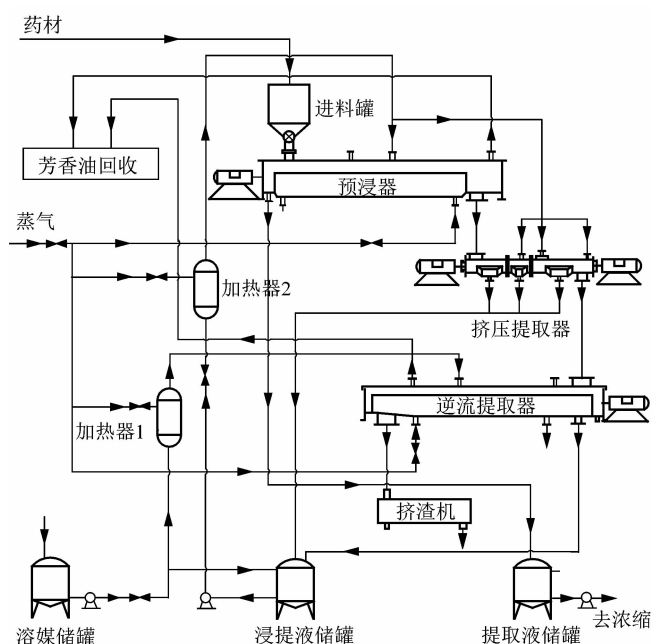


图 1 连续动态逆流提取流程

Figure 1 Continuous dynamic countercurrent extraction flowchart

中药材的流程是首先通过进料罐计量后进入预浸器,在预浸器内通入溶媒(经逆流提取器后的浸提液)浸泡,使药材软化,大量吸收溶剂;然后药材进入挤压提取器,药材在挤压提取器里几次通过挤压和膨胀,同时通入一定溶媒(经逆流提取器后的浸提液),使得药材组织变得松软,促使溶剂更容易进入药材内部;最后药材进入逆流提取器,在新鲜溶媒作用下充分析取药材中的剩余有效成分,最后排渣。

溶媒的流程与药材形成逆流。新鲜溶媒经过加热

器 1 后,首先进入逆流提取器内并与药材形成逆流,以提取经预浸器、挤压提取器后的药材中的剩余有效成分,流出后进入浸提液储罐;浸提液经过加热器 2 后作为挤压提取过程和预浸过程的溶媒,经挤压提取器的浸提液流回浸提液储罐;进入预浸器的浸提液与新鲜药材成逆流关系,使浸提液有效成分大幅提高,排出提取液(即提取产品)进入提取液储罐。

通过分析连续动态逆流提取的工艺流程,综合对自动化系统的测控要求,为保证对溶媒、药材和蒸气加入量的协调控制,提高有效成分提取率和生产质量,需重点考虑以下两个方面:

1) 保证逆流提取器温度和溶媒温度的稳定。逆流提取器的提取决定了排出药渣中剩余有效成分含量,其含量越低,则说明提取率越高。较高的温度既可加强分子运动,又可软化植物组织,提高溶解度,加速分子扩散,从而提高提取速率;但对于含有大量淀粉、粘液质等多糖类的中草药,较高的温度则会使得它们在水中的溶解度增大,从而影响过滤速度或成品疗效,所以保证提取过程中温度的稳定是至关重要的。

2) 实现溶媒和药材的规定配比加入。在逆流提取器中要保证足够量的新鲜溶媒,以利于析出药材中剩余有效成分;在挤压提取器中,只加入少量溶媒,且浸提液流回浸提液储罐,对整个流程影响较小;在 3 个阶段中最关键的是预浸器中药材和溶媒的配比关系,它决定了输出提取液的有效成分浓度,反映了整个连续动态逆流提取的效率。如果药材加入过多,而溶媒较少,会影响药材与溶媒的有效接触,使得药材得不到充分提取;如果药材加入过少,使得提取液含有效成分降低。所以必须根据药材的加入量,及时控制溶媒加入量,以达到规定配比,从而提高提取效率。

2 连续动态逆流提取控制系统设计

逆流提取器的温度决定了出渣的剩余有效成分,是反映整个提取过程提取率的最关键参数。逆流提取器温度的控制一般是通过改变蒸气流量来实现。由于被控对象包括了加热器和逆流提取器,这两者之间距离比较远,导致了控制通道长、滞后性大、干扰较多,从而不能保证对温度的有效控制。考虑到溶媒温度是影响逆流提取器温度的主要因素,因此选择溶媒温度作为副被控变量,逆流提取器温度为主被控变量,将加热器、逆流提取器分别作为副对象和主对象,在副回路中及时克服来自加热器相关参数的干扰,保证溶媒温度的基本稳定。构成逆流提取器温度和溶媒温度的串级控制系统,如图 2 所示。

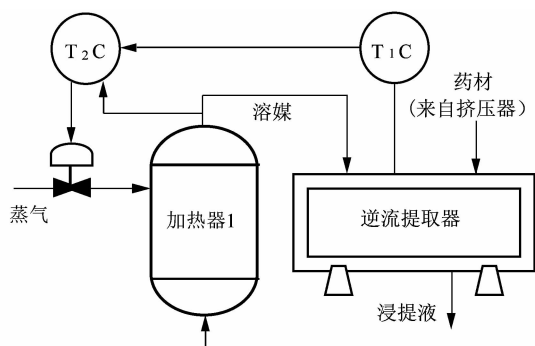


图2 温度串级控制系统

Figure 2 Cascade control system of temperature

在逆流提取器温度和加热器出口溶媒温度的串级控制系统中,以加热器为副对象的副回路控制系统,能够及时获取加热器出口处的溶媒温度的变化,并在溶媒温度影响到逆流提取器温度之前及时地做出控制反应,通过副控制器 T_2C 发出指令改变蒸气流量,减少对逆流提取器温度的影响。作为主回路的逆流提取器温度主控制器 T_1C 能通过 T_2C 进一步克服逆流提取器内的干扰,提高了逆流提取器内温度的稳定性。

在连续逆流提取中,电机驱动推动螺旋的不断推进,实现对药材的连续加入。药材的加入量是影响生产效率的主要指标,所以选择药材的加入量作为主被控变量。对于溶媒(浸提液)来说,溶媒的配比决定了提取过程的提取率,溶媒加入量必须和药材的加入量成比例,随药材的加入量的变化而变化,所以将溶媒的加入量作为副被控变量,组成比值随动控制系统,以药材的加入量乘以一定的比例(在上位机上根据溶媒比设定 I_k)作为设定值,构成比值控制策略,溶媒与药材的比值控制系统如图3所示。

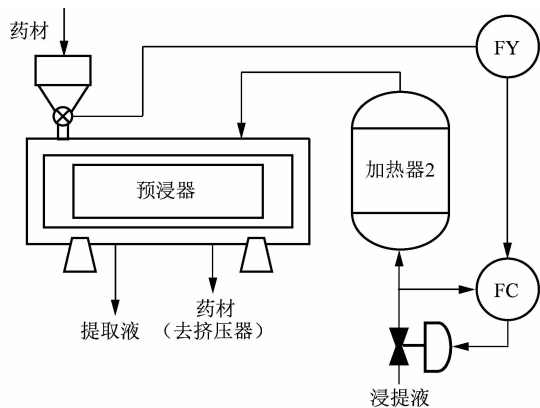


图3 流量比值控制系统

Figure 3 Flowrate ratio control system

在药材与溶媒的比值控制系统中,药材的加入量作为主被控变量,经过比值器(FY)与设定配比系数

(I_k)相乘得出溶媒控制系统的设定值,通过控制器(FC)控制溶媒的流量,实现对物料和溶媒的按配比输入,继而提高提取效益。

3 改进型 PID 控制算法及实现

设增量式 PID 控制器的输入偏差变化 Δe 与输出控制变化 Δu 的关系为

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i e(k) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)],$$

式中: K_p 为比例系数; K_i 为积分系数, $K_i = K_p \frac{T}{T_i}$, T_i 为

积分时间, T 为采样周期; K_d 为微分系数, $K_d = K_p \frac{T_d}{T}$,

T_d 为微分时间。

由于连续动态逆流提取系统中温度扰动较大,在偏差较大情况下,往往产生积分饱和现象。在控制算法中采用积分分离法,在偏差较小时加入积分作用,而偏差较大时取消积分作用。这样便减轻了积分累计的饱和程度,以达到抗积分饱和的目的。另外,在 PID 控制中,微分的作用是扩大稳定域,改善动态性能,近似地补偿调节对象的一个极点。但是,在数字 PID 中,微分作为理想的完全微分,使得微分作用过于灵敏,容易引起控制系统振荡,降低控制品质。为了克服完全微分 PID 算法的缺点和充分发挥微分作用,串联一阶惯性环节。组成的改进型 PID 调节算法

$$\Delta u(k) = a \Delta u(k-1) + (1-a) \Delta u'(k),$$

式中:

$$\Delta u'(k) = K_p \Delta e(k) + K_i K_i e(k) + K_d [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)];$$

$$K_i = \begin{cases} 0, & \text{当 } |e(k)| > A \\ 1, & \text{当 } |e(k)| \leq A \end{cases}, A \text{ 值需要在系统运行中通过调试获取的阈值;}$$

通过调试获取的阈值;

$$a = \frac{T_f}{T + T_f}, T_f \text{ 为一阶惯性环节的时间常数,也需要在系统调试中获取。}$$

在系统设计中,选择西门子 PLC(S7-300 系列)作为控制器。该控制器带有专门用于温度控制的功能块 FB58^[11],以实现传统的 PID 控制。PLC 调用 FB58,其中,设置温度实际输入值为实型变量 PV_IN,温度设定值为 SP_INT。PID 输出控制量为实数变量 LMN。在此基础上通过上位机监控程序和 PLC 程序实现改进的 PID 控制。

FB58 功能块内部参数在上位机上的设置界面如图4。首先对 P,I,D 参数设置,输入偏差设定值(积分阈值 A),由 PV_IN 将热电阻所测得的数据传到 FB58

功能块,经过与设定值 SP_INT 比较形成偏差信号 E_R ,若 E_R 大于 A ,则采用 PD 运算,若 E_R 小于 A ,则进行 PID 运算;得出结果通过 LMN 输出到不完全微分模块 (FB3) 进行处理后,再经 PLC 模块将信号送至执行器 (蒸气调节阀),实现对逆流提取器温度的控制。

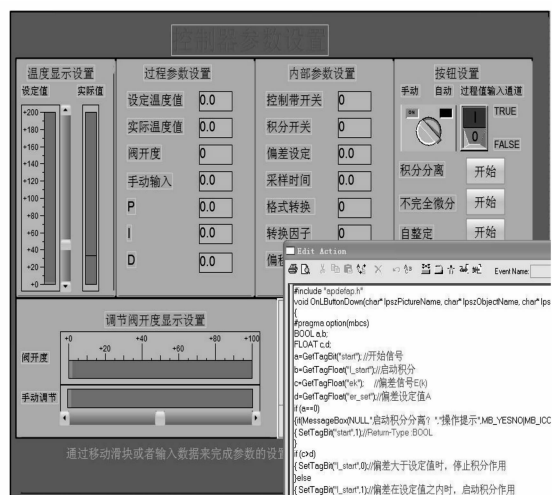


图4 控制器操作界面及操作语句

Figure 4 Controller interface and operating statements

4 结语

以连续动态逆流提取过程为对象,通过分析连续动态逆流提取过程工艺流程及特点。研究了逆流提取器内温度的控制策略,设计了逆流提取器温度和加热器溶媒温度的串级控制系统。通过分析药材和溶媒的加入量配比关系以及生产要求,设计了针对药材和溶媒加入量的单闭环比值控制系统。针对积分饱和与不完全微分算法的缺点,提出了积分分离和不完全微分的改

(上接第60页)

用改进的粒子群算法具有寻找全局解的良好特性,有效地避免了陷入局部最优解。在计算方法上采用灰色度理论来关联系统的各个目标,有效地回避了目标之间的权重问题,从而减少了主观因素的影响,增强了计算结果的可靠性和客观性,为系统参数的合理设置提供了依据。通过在某饮料罐装车间的改造实验,证明此算法能大幅降低空压机平均功耗,同时车间管网压力波动也被控制在一个合理的范围。

参考文献:

- [1] 孔德全,林惟毅,蔡茂林,等. 螺杆空压机加卸载工况下节能运行分析[J]. 北京航空航天大学学报,2012,38(2):405-409.
- [2] 蔡茂林. 现代气动技术理论与实践第二讲:固定容腔的充放气[J]. 液压气动与密封,2007(3):43-47.
- [3] 高松竹,汪玉春,许萍. 用改进遗传算法解空气站优化运行问题

善方法;基于FB58功能块的功能,结合上位机监控软件,实现了基于PLC的逆流提取器内温度的改进型PID控制策略。系统调试结果表明PLC程序和上位机监控软件运行稳定,用户界面友好。

本课题只是针对动态逆流提取过程进行了自动化系统研究。在中药的生产过程中,提取和浓缩等其它环节是紧密联系的,其它环节的干扰会影响提取过程控制精度。为此,应继续研究浓缩等环节的控制,进一步完善提取过程自动化系统。

参考文献:

- [1] 谢敏琴,邹志强,沈善明. 中药生产线的技术和设备讨论[J]. 医药工程设计,2006,27(2):5-9.
- [2] 王英,崔政伟. 连续动态逆流提取的现状和发展[J]. 包装与食品机械,2009,27(1):49-53.
- [3] 易克传,岳鹏翔,汪维云. 动态逆流提取设备在天然产物提取中的应用[J]. 包装与食品机械,2005,23(4):25-28.
- [4] 刘旭海,陈晓荣,魏筱华. 现代中药提取与自动化控制[J]. 中国中医药信息杂志,2004,11(10):887.
- [5] 王英,杨解,顾丹健,等. 不同预处理对动态逆流模拟实验提取竹叶黄酮的影响[J]. 包装与食品机械,2009,27(4):25-29.
- [6] 沈善明. 实现节能、高效和高收率的现代化连续中药生产线[J]. 医药工程设计,2006,27(5):5-7.
- [7] 沈善明. 连续逆流折流管式提取机:中国,101822911[P]. 2010-09-18.
- [8] 何迎春,卢晓江. 一种新型植物螺旋挤压提取器[J]. 轻工机械,2005,23(2):105-107.
- [9] 丁洪涛,罗安,龙丽姮,等. 模糊自适应PID控制在中药提取生产中的应用[J]. 自动化与仪器仪表,2006(128):47-49.
- [10] 程跃,程文明,郑严. 基于改进粒子群算法的中药提取过程PID优化控制[J]. 计算机测量与控制,2010,18(3):533-534.
- [11] 西门子公司. 温度PID控制功能块FB58使用入门[EB/OL]. (2009-09-14)[2014-02-10]. <http://www.ad.siemens.com.cn/download/docMessage.aspx?id=3616>

- [J]. 天然气与石油,2003(9):17-19.
- [4] KENNEDY J, EBERHART R C. Particle swarm optimization[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1995, 4:1942-1948.
- [5] SHI Yuhui, EBERHART R C. A modified particle swarm optimizer[C]//Proc of IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Piscataway:IEEE Press, 1998:69-73.
- [6] Shi Y, Eberhart R. Empirical study of particle swarm optimization[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Evolutionary Computation. Washington, USA:IEEE, 1999:1945-1950.
- [7] 陈贵敏,贾建援,韩琪. 粒子群优化算法的惯性权值递减策略研究[J]. 西安交通大学学报, 2006,40(1):53-56.
- [8] 陈碧云,程鹏飞,陶松海,等. 基于改进粒子群算法的火电系统节能环保多目标优化调度模型[J]. 华东电力,2012,40(3):355-358.
- [9] 于颖,李永生,於孝春. 粒子群算法在工程优化设计中的应用[J]. 机械工程学,2008,44(12):226-231.