

基于 Profibus—DP 现场总线的多功能色谱分离装置控制系统设计

戴 畅, 李 凌

(沈阳化工大学 信息工程学院, 沈阳 110142)

摘要: 为了实现多功能色谱分离装置的精准化控制, 加速模拟移动床色谱纯化分离速度, 设计基于 Profibus—DP 现场总线的多功能色谱分离装置控制系统; 以 STM32F103 微处理器作为底层控制设备, 连接 Profibus—DP 协议芯片、VPC3 与 RS—485 接口电路, 转化从站地址电路与设定应用模块, 利用模拟移动床控制回路, 完成 Profibus—DP 现场总线的硬件电路设计; 建立梯度 SMB 色谱, 采用异步切换方式, 控制变浓度进料的实际操作行为, 分离处理模拟移动床多功能色谱, 结合多功能色谱分离装置的控制原理, 运用气相色谱法, 分析色谱分离过程中的基质效应形式, 实现多功能色谱分离装置控制系统软件设计; 实验结果表明, 基于 Profibus—DP 现场总线控制系统的模拟移动床色谱纯化分离速度较快, 能够有效满足多功能色谱分离装置精准化控制的操作需求。

关键词: Profibus—DP 现场总线; 多功能色谱; 分离装置; 模拟移动床; 气相色谱; 基质效应

Design of Control System of Multifunctional Chromatographic Separation Device Based on Profibus—DP Field Bus

Dai Chang, Li Ling

(College of Information Engineering, Shenyang Institute of Chemical Technology, Shenyang 110142, China)

Abstract: In order to realize the precise control of the multi-functional chromatographic separation device and accelerate the purification and separation speed of simulated moving bed chromatography, a multi-functional chromatographic separation device control system based on Profibus—DP fieldbus was designed. Taking STM32F103 microprocessor as the bottom control equipment, connecting Profibus—DP protocol chip, vpc3 and RS—485 interface circuit, converting slave station address circuit and setting application module, using analog mobile bed control circuit, the hardware circuit design of Profibus—DP field bus is completed. The gradient SMB chromatography was established. The asynchronous switching mode was adopted to control the actual operation behavior of variable concentration feed. The separation and processing simulated the moving bed multi-functional chromatography. Combined with the control principle of the multi-functional chromatographic separation device, the matrix effect form in the chromatographic separation process was analyzed by using gas chromatography, and the control system software design of the multifunctional chromatographic separation device was realized. The experimental results show that the simulated moving bed chromatographic purification and separation speed based on Profibus—DP fieldbus control system is fast, which can effectively meet the operational requirements of precision control of multi-functional chromatographic separation device.

Keywords: Profibus—DP field bus; multifunctional chromatography; separation device; simulated mobile bed; gas chromatography; matrix effect

0 引言

现场总线是一种新型的工业数据总线应用形式, 可用来解决高级控制系统与现场控制设备之间的信息传递问题, 包含执行机构、控制器、智能化仪器仪表等多项物理元件组成^[1]。与现场总线系统相关的控制设备具有较强的独立通信功能, 可在开放性使用元件的支持下, 实现功能结构

体之间的信息交换处理。当系统主机被下放至设备应用现场之后, 各级控制结构可在保持独立工作能力的基础上, 将元件结构体分散至底层主机单元网络之中^[2]。与其它类型自控设备相比, 现场总线可直接步入信息网络之中, 并为其开拓更为广阔的数据存储空间, 在不考虑信息覆盖行为的情况下, 一对双绞线可同时对接多个控制型设备元件, 在提高系统元件应用能力的同时, 实现了对客户端主动权

收稿日期: 2020-11-18; 修回日期: 2020-11-29。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)重点资助项目(2008AA042902)。

作者简介: 戴 畅(1991-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主要从事控制科学与工程方向的研究。

通讯作者: 李 凌(1972-), 女, 山东梁山人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事复杂系统的控制与优化方向的研究。

引用格式: 戴 畅, 李 凌. 基于 Profibus—DP 现场总线的多功能色谱分离装置控制系统设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(6): 103-108.

的灵活化集成。

色谱分离也叫色层分离或层析分离,是分离复杂混合物中各类组成成分的有效方法。流动相、固定相组成的体系中,不同物质具有不同的分配系数,当两种相成分产生相对运动趋势时,所有物质都会进入联动运动状态,且在多次反复分配行为后,各物质都会进入独立静止状态,从而实现最初的成分分离目的^[3]。改进进料模式 SMB 色谱控制系统通过四区模拟的方式,确定色谱分离所需的培育操作条件,再借助区域流量控制原理,实现对进料行为的精准控制。但此系统的纯化分离速度水平相对较低,很难达到理想化数值标准。为解决此问题,设计基于 Profibus-DP 现场总线的多功能色谱分离装置控制系统,在 STM32F103 微处理器、模拟移动床控制回路等多个硬件设备元件的支持下,建立标准的梯度 SMB 色谱,再通过异步切换的处理方式,实现对变浓度进料行为的精准化控制。

1 Profibus-DP 现场总线硬件电路设计

Profibus-DP 现场总线硬件电路由微处理器、协议芯片、接口电路、模拟移动床控制回路等多个模块共同组成,具体搭建方法如下。

1.1 STM32F103 微处理器

Profibus-DP 作为实现系统高速运转的总线执行元件,在多功能色谱分离装置保持精准控制能力的情况下,其最高波特率数值可达 12 MHz,且所有待选芯片都可与协议控制器直接相连^[4]。选用的芯片以 STM32F103 微处理器作为核心连接设备,主要具备如下几方面应用特点:

1) STM32F103 微处理器连接组织中包含一个 TMS390 元件,外部环面由 112 个通用 I/O 口组成,且所有接口元件都能维持初始时的中断状态,一般情况下,一个接口设备只能独立承受一种类型的 SV 型色谱输入信号。

2) 与 STM32F103 元件相连的外部中断设备可同时支配 19 个与多功能色谱分离装置相关的边沿检测器,且能够在执行控制指令的同时,生成与 Profibus-DP 现场总线元件相关的事件或中断请求^[5]。

3) 色谱微感芯片具备较强的定时处理能力,在 Profibus-DP 现场总线的作用下,2 个 16 位 6 通道高级控制器、4 个 16 位定时器可同时呈现分离控制状态,直至将系统 DAC 分离功能完全启动。

4) 闪存程序存在于 TMS390 转换器与 STM32F103 元件之间,最高可同时承受长达 512 K 字节的多功能色谱传输信息。

5) STM32F103 微处理器可负载 Profibus-DP 协议芯片的连接请求,在最少 5 个 USART 型接口的配合下,能够将多功能色谱分离控制指令转换为标准化输出形式。

6) 色谱微感芯片具备 3 种连接状态,可分别与不同形式的系统数模转换器保持对应控制关系。

7) 整个 STM32F103 微处理器的最高工作频率只能达到 72 MHz。

1.2 Profibus-DP 协议芯片

Profibus-DP 协议芯片主要完成与 STM32F103 微处理器相关的色谱数据收集工作,可判断系统现场总线与从站模块之间的实际连接关系,再根据最终判别结果,将待收集色谱数据存入相应的系统缓存区域之中,再以中断表单的形式通知下级电路元件,实现系统控制主站与模拟移动床控制回路间的信息互通。Profibus-DP 协议主板能够记录芯片接触器的当前连接状态,只能保持被读接入状态,在电阻 R 阻值等于三个电阻 R1 阻值之和时,旋调按钮会出现两级反转的运动形式,当 FP6606AC 元件的输入行为不再发生改变时,该芯片可直接接入 STM32F103 微处理器的执行模式之中,从而约束 Profibus-DP 现场总线对于多功能色谱分离装置的实际控制能力^[6-7]。FP6606AC 元件可自动识别波段处于 9.6 K~12 Mbps 之间的多功能色谱输入射线,当系统报文传输时间超过理想化限度标准时,Profibus-DP 协议芯片会自动切换回波特率监测状态,出于实用性考虑,每个芯片都至少具有色谱波长监测、色谱波率控制、色谱波相分析三类实践应用功能。

1.3 VPC3 与 RS-485 接口电路

VPC3 与 RS-485 接口电路始终保持差动半双工通信形式,可在 MAX232 元件的作用下,实现由高压多功能色谱信号到低压多功能色谱信号的转化,在此过程中 VCC 接口与 GND 接口并存,可对色谱分离装置中的输入射线进行精准化控制^[8]。VPC3 与 RS-485 接口电路如图 1 所示。

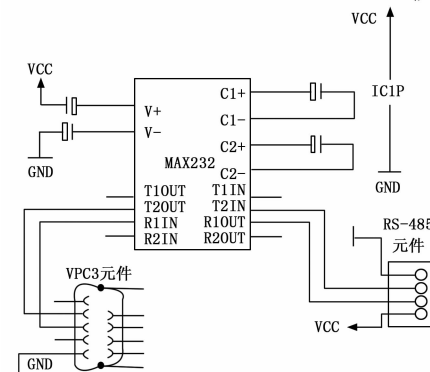


图 1 VPC3 与 RS-485 接口电路图

MAX232 元件可作为 Profibus-DP 现场总线主站与控制系统从站之间的连接桥梁,且随着已输入多功能色谱射线总量的增大,该设备结构体的连接促传能力也会逐渐增强,直至将所有电子应用量完全转化成传输电流的形式^[9]。VPC3 元件、RS-485 元件同时负载于接口电路的左右两端,前者与 MAX232 设备的 T2OUT、R1IN 输出导线相连,可承接 Profibus-DP 协议芯片中的多功能色谱射线,并将其转化成 GND 接口端可直接应用的信息输出形式;后者与 MAX232 设备的 T2IN、R1OUT 输出导线相连,可在 VCC 接口组织的作用下,改变多功能色谱射线的现有传输形式,再借助相关应用信道,将这些数据型信号反馈至 MAX232 元件结构体之中。

1.4 从站地址电路设定模块

在 Profibus-DP 现场总线环境中, 主站控制主机可将从站主机中的多功能色谱射线调度成统一的传输形式, 再联合 VPC3 与 RS-485 接口电路周围的所有分离适应节点, 确定待设电路地址的实际连接数值。主站总线拨码开关与接口电路的 VCC 端相连, 可在从站系统一侧建立与地址设定主机的物理连接, 再借助 16 个保持并列关系的信道输出组织, 实现由多功能色谱射线到分离型光谱线路的转化。从站地址电路设定模块结构如图 2 所示。

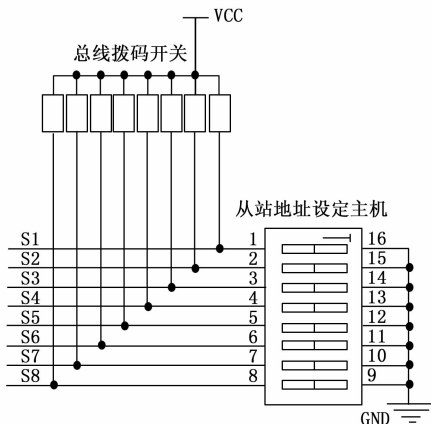


图 2 从站地址电路设定模块结构图

主站拨码开关不仅能够与从站系统建立通信关系, 还能与多个地址设定主机进行通信^[10-11]。主站与从站设备之间的连接关系受到 8 条 S 级射线输入信道的直接影响, 在待设地址不重复出现的情况下, Profibus-DP 现场总线所显示出的位置信息能够直接代表现有开关拨码数据, 且随着多功能色谱分离装置控制时间的延长, 2 类主站的现有拨码形式也会发生改变, 而在从站地址电路设定模块的电流配比量达到稳定后, 总线拨码开关的接入行为也将逐渐达到巅峰控制量状态。

1.5 模拟移动床控制回路

在 Profibus-DP 现场总线环境中, 模拟移动床控制回路可实现对多功能色谱分离装置阀门的自动控制, 且整个执行过程完全采用了电磁阀驱动气动阀的控制方式。模拟移动床控制回路如图 3 所示。

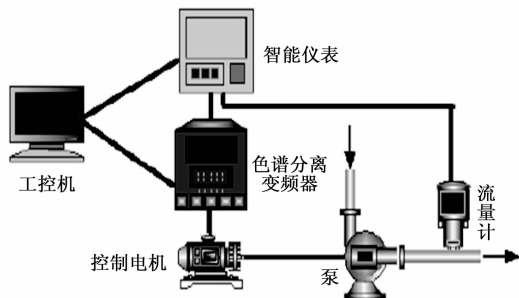


图 3 模拟移动床控制回路示意图

电机来驱动分离泵, 这种连接方式可充分发挥色谱分离变频器编程方法多样、配置灵活、通讯功能强大、指令丰富的操作特点^[12]。流量计的一端通入高压驱动气体后, 位于另一端的输出泵与气动阀相连, 因此只要控制了色谱分离变频器的开关即可实现对智能仪表的管控, 从而实现了多功能色谱分离行为的自动控制。为保证控制电机准确无误的开启与断开, 还可将分离泵的开关作为反馈控制信号输入节点, 直接送到变频器输入端口, 因而在工控机中就可直接判断模拟移动床控制回路的实际应用能力^[13]。流量控制是模拟移动床控制回路中最重要的一环, 与色谱射线、切换时间和分离温度一样, 是实现分离装置控制不可缺少的条件, 它决定着移动床设备的分离纯度、控制效率等条件。

2 多功能色谱分离装置控制系统软件设计

在 Profibus-DP 现场总线硬件电路的支持下, 分离处理模拟移动床多功能色谱, 结合多功能色谱分离装置的控制原理, 实现多功能色谱分离装置控制系统软件设计。

2.1 模拟移动床多功能色谱分离

按照梯度 SMB 色谱建立、异步切换、变浓度进料控制的执行流程, 实现对模拟移动床多功能色谱的分离处理。

2.1.1 梯度 SMB 色谱

梯度 SMB 色谱分区原理如图 4 所示。

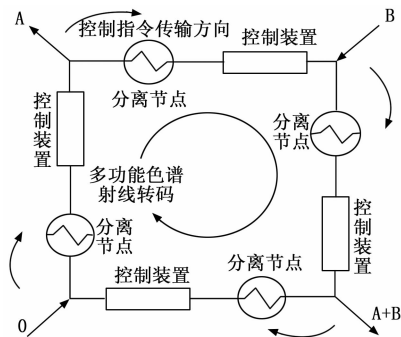


图 4 梯度 SMB 色谱分区原理

根据梯度 SMB 色谱的分区原理可知, 如果使多功能色谱射线在由 0 至 A 至 B 至 A+B 的物理空间内, 始终保持能量依次递减的传输关系, 则各分离节点处的控制指令则更能被相关控制装置消化, 从而提升多功能色谱射线的实际转码速率。一般情况下, 0 节点处累积的多功能色谱射线数量级水平最低, A+B 节点处累积的多功能色谱射线数量级水平最高, 由于梯度传输作用的存在, 射线信号在由 A 至 B 的物理空间内, 只能保持能量不断递减的传输关系^[14-15]。色谱的变化对 Profibus-DP 现场总线执行能力产生显著影响, 相较于梯度处理政策, 在多功能应用环境下, 待分离射线的传输效果有明显的提高。色谱的梯度可以通过在色谱柱上附加一个分离装置的方法来实现, 各个物理分区也都可以从不同方向上为射线转码行为提供 SMB 型梯度曲线。

用工控机控制智能仪表及色谱分离变频器, 再用控制

2.1.2 异步切换

梯度 SMB 色谱的 4 个区中柱所处位置在一个控制周期内, 始终保持周期性变化趋势。从现场总线周期平均值角度来看, 异步切换工艺比起传统梯度 SMB 色谱, 其每个区间内中柱体的数量并不完全固定, 而且每个物理分区中的平均柱数值水平可以小于自然数^[16]。随着异步切换原理的应用, 原有色谱柱分布形式得到优化, 这不仅意味着新型分离装置控制系统的应用能力得到了提升, 也降低了色谱射线分离所需的处理成本, 且各区间中固定装置结构体的利用率也得到提高。

2.1.3 变浓度进料

变浓度进料操作模式是基于梯度 SMB 色谱异步切换行为提出的。在 Profibus-DP 现场总线作用下, 多功能色谱射线的迁移速度与物料浓度直接相关, 因此调节物料的进入速度能够影响控制系统内的色谱带迁移行为, 从而达到约束分离装置应用状态的目的^[17]。以模拟移动床控制回路为例, 若将进料时间控制在切换周期的前期低浓度阶段, 则位于 A、B 色谱分区内的射线浓度会出现明显的下降; 若将进料时间控制在切换周期的后期高浓度阶段, 则位于 A、B 色谱分区内的射线浓度会出现明显的上升。在后半段增大实际进料的浓度水平, 有利于增加射线强度较弱区域的色谱带迁移速率, 但若谱带前沿位置距离进料点过远, 则对最终进料的真实数值水平影响不大^[18]。若考虑多功能色谱分离溶解度的限制作用, 溶质浓度的大小直接决定系统非线性控制操作的行为能力, 但单纯的异步切换操作并不能完全提高 SMB 色谱的实际分离效率。

2.2 多功能色谱分离装置的控制原理

联合模拟移动床多功能色谱分离原理, 在分析气相色谱法、基质效应法则的同时, 完成对多功能色谱分离装置控制作用效应的研究, 实现基于 Profibus-DP 现场总线多功能色谱分离装置控制系统的顺利应用。

2.2.1 气相色谱法

气相色谱法被广泛应用于多功能色谱射线的定性定量分析之中。在 Profibus-DP 现场总线作用环境下, 所有系统控制装置在投入使用之前, 都需进行衍生化处理^[19]。所谓衍生化是针对色谱射线样品进行的复杂化处理, 可在逆转化色谱射线转码行为的同时, 免除定量检测对原始射入色谱射线的干扰影响, 从而提升应用系统对于分离装置的实际控制能力。

2.2.2 基质效应

基于 Profibus-DP 现场总线多功能色谱分离装置控制系统的基质效应由单标定分离、多标定分离、全分离三种控制形式共同组成, 基质效应作用原理如图 5 所示。

具体判别标准如下:

1) 单标定分离: 单标定分离基质效应不需要待分离色谱基液的配合, 可在独立滴定行为的作用下, 将多功能色谱射线完全分离开来, 但由于分离装置间始终存在一定的物理缝隙, 这种实践方法对于已输入射线的控制分离效果

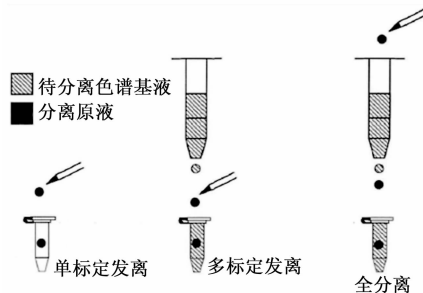


图 5 基质效应作用原理

相对较差^[20]。

2) 多标定分离: 多标定分离基质效应需要在待分离色谱基液的配合下才能进行, 随着分离原液的滴入, 多功能色谱射线能够得到分离处理, 但由于基液瓶的下端出口相对较为狭窄, 因此只有待分离色谱基液能够进入下级分离装置之中。

3) 全分离: 全分离基质效应也需要在待分离色谱基液的配合下才能进行, 随着分离原液的滴入, 多功能色谱射线能够得到分离处理, 且基液瓶的下端出口相对较宽, 待分离色谱基液、分离原液能够同时进入下级分离装置之中。

至此, 完成各项软、硬件执行环境的搭建, 在 Profibus-DP 现场总线的作用下, 完成新型多功能色谱分离装置控制系统设计。

3 实验分析

为验证基于 Profibus-DP 现场总线多功能色谱分离装置控制系统的设计应用价值, 设计如下对比实验。实验应用设备如图 6 所示。

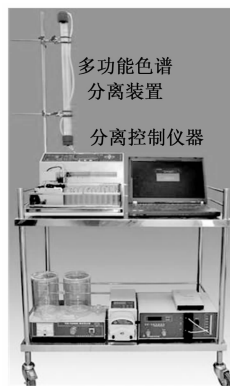


图 6 实验应用设备

将多功能色谱分离装置放置于分离控制仪器之上, 首先闭合实验组射入控制开关, 记录此时控制显示器中的数值指标曲线; 再闭合对照组射入控制开关, 记录此时控制显示器中的数值指标曲线; 最后对比实验组、对照组数值记录结果, 分析模拟移动床色谱纯化分离速度的实际变化情况, 其中实验组主机搭载基于 Profibus-DP 现场总线的多功能色谱分离装置控制系统, 对照组主机搭载改进进料模式的 SMB 色谱控制系统。

按照图 7 所示的多功能色谱分离原理对混合多功能色谱射线进行分离处理, 考虑实验公平性, 已输入射线的传输方向只能保持由右至左。

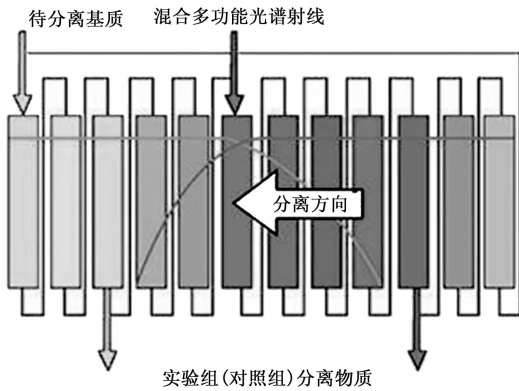


图 7 多功能色谱分离原理

已知 CPS 指标、VPS 指标均能反映模拟移动床色谱的纯化分离速度, 其中 CPS 指标代表横向纯化系数, VPS 指标代表竖向纯化系数, 在不考虑其它干扰的情况下, 上述两项指标的数值水平越大, 模拟移动床色谱的纯化分离速度也就越快, 反之则越慢。

表 1 记录了既定实验时间内, 实验组、对照组 CPS 指标的实际变化情况。

表 1 CPS 指标对比表

实验时间/min	实验组 CPS 指标/%			
	射线输入点	射线输出点	分离原点	色谱频率带
5	65.7	58.4	73.1	40.5
10	64.2	58.4	74.0	40.5
15	64.8	58.4	75.2	40.5
20	65.5	59.2	76.4	40.5
25	66.0	59.6	77.8	40.5
30	66.8	59.9	78.5	40.5
35	67.3	60.1	79.7	40.5
40	67.1	60.2	79.7	40.5
45	66.9	60.3	79.7	40.5
50	67.0	60.4	79.7	40.5
实验时间/min	对照组 CPS 指标/%			
	射线输入点	射线输出点	分离原点	色谱频率带
5	33.5	30.3	27.0	19.6
10	33.5	30.2	26.9	19.6
15	33.5	30.1	27.3	19.6
20	33.5	30.0	26.5	19.6
25	33.2	29.9	27.3	19.6
30	33.0	29.9	26.4	19.6
35	32.4	29.9	27.6	19.6
40	31.9	29.9	26.1	19.6
45	31.3	29.9	27.8	19.6
50	30.8	29.9	26.5	19.6

分析表 1 可知, 实验组 CPS 指标在分离原点处的平均数值水平最高, 在整个实验过程中保持先上升、再稳定的变化状态; 在色谱频率带处的平均数值水平最低, 且在整个实验过程中始终保持不变。对照组 CPS 指标在射线输入点处的平均数值水平最高, 在整个实验过程中保持先稳定、再下降的变化趋势; 在色谱频率带处的平均数值水平最低, 且在整个实验过程中始终保持不变。从最大值角度来看, 实验组分离原点处的 CPS 指标最大值达到 79.7%, 与对照组射线输入点处的 CPS 指标最大值 33.5% 相比, 上升了 46.2%。

表 2 记录了既定实验时间内, 实验组、对照组 VPS 指标的实际变化情况。

表 2 VPS 指标对比表

实验时间/min	实验组 CPS 指标/%			
	射线输入点	射线输出点	分离原点	色谱频率带
5	50.1	56.8	63.6	61.9
10	50.1	57.2	63.5	62.0
15	50.1	57.5	63.4	62.1
20	50.1	57.9	63.3	61.9
25	50.1	58.3	63.2	61.8
30	50.1	58.7	63.1	61.9
35	50.1	59.0	63.0	61.9
40	50.1	59.4	62.9	62.0
45	50.1	59.7	62.8	61.9
50	50.1	60.1	62.7	61.8
实验时间/min	对照组 CPS 指标/%			
	射线输入点	射线输出点	分离原点	色谱频率带
5	31.4	19.7	15.2	20.6
10	31.4	19.4	15.2	20.8
15	31.4	19.1	15.2	21.0
20	31.4	18.9	15.2	21.3
25	31.4	18.6	15.2	21.5
30	31.4	18.5	15.2	21.9
35	31.4	17.8	15.2	22.2
40	31.4	17.4	15.2	22.7
45	31.4	17.2	15.2	23.2
50	31.4	17.0	15.2	23.5

分析表 2 可知, 实验组 CPS 指标在分离原点处的平均数值水平最高, 在整个实验过程中一直保持不断下降的变化趋势; 在射线输入点处的平均数值水平最低, 且在整个实验过程中始终保持不变。对照组 CPS 指标在射线输入点处的平均数值水平最高, 在整个实验过程中始终保持不变; 在分离原点处的平均数值水平最低, 且在整个实验过程中也始终保持不变。从最大值角度来看, 实验组 CPS 指标在分离原点处的最大值 63.6%, 与对照组 CPS 指标在射线输入点处的最大值 31.4% 相比, 上升了 32.2%。

综上所述, 随着基于 Profibus-DP 现场总线多功能色

谱分离装置控制系统的应用, CPS 指标、VPS 指标均出现明显上升的变化趋势, 可从根本上解决模拟移动床色谱纯化分离速度过慢的问题, 实现对多功能色谱分离行为的精准化控制。

4 结束语

为精准化控制多功能色谱分离装置, 提高模拟移动床色谱纯化分离速度, 设计基于 Profibus-DP 现场总线的多功能色谱分离装置控制系统。与改进进料模式的 SMB 色谱控制系统相比, 基于 Profibus-DP 现场总线多功能色谱分离装置控制系统在应用过程中的 CPS 指标、VPS 指标实值水平更高, 能够有效解决移动床色谱纯化分离速度过慢的问题, 且在 STM32F103 微处理器、Profibus-DP 协议芯片等多个硬件设备的作用下, 色谱变浓度进料行为能够得到精准控制, 可避免不良基质效应对多功能色谱分离行为造成的影响。

参考文献:

- [1] 冷智智, 黎一兵, 陆保. 基于 Modbus RTU 现场总线的罐式炉炉温炉压监控方案 [J]. 轻金属, 2018 (5): 55-57, 64.
- [2] 胡铁楠, 吕云蕾, 刘亚秋. 可用于云制造环境的新型现场总线协议 [J]. 计算机工程与设计, 2020, 41 (2): 326-333.
- [3] 王荣, 刘艳芳, 王超然, 等. 生物碱的高效液相色谱分离分析与纯化制备研究进展 [J]. 分析测试学报, 2019, 38 (5): 586-594.
- [4] 卫铭斐, 杨放, 王民, 等. 基于双核处理器的低功耗电子耳蜗体外装置设计 [J]. 电子设计工程, 2018, 26 (22): 99-102, 107.
- [5] 周芳芳, 毛索颖, 黄跃文. 基于双微处理器的传感器自动采集装置设计与实现 [J]. 长江科学院院报, 2019, 36 (6): 157-160.
- [6] 赵阳洋, 陈明宇, 金旭, 等. 基于标准 DDR 总线的内存扩展芯片的设计与实现 [J]. 高技术通讯, 2020, 30 (3): 233-239.
- [7] 何安平, 刘晓庆, 陈虹. 基于约束数据捆绑两相握手协议的 8 位异步 Booth 乘法器设计 [J]. 电子学报, 2018, 46 (4):

(上接第 63 页)

参考文献:

- [1] 陈旭宇. 基于模糊和证据理论的电力设备故障信息采集系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2019 (5): 89-91.
- [2] 赵保伟, 巩晓赞, 丁丽丽, 等. 基于 LabVIEW 的齿轮调制故障检测系统设计 [J]. 机床与液压, 2018, 46 (5): 143-148.
- [3] 陈奇, 姚志刚, 陈无畏, 等. 基于模型的液力变矩器故障诊断系统的设计与校验 [J]. 汽车工程, 2018, 40 (10): 126-133.
- [4] 杨建忠, 杨珍书, 孙晓哲. 机电传动系统故障影响分析与故障检测方法 [J]. 微特电机, 2018, 46 (6): 43-48.
- [5] 郑勇, 杨小兰. 基于信号提纯的机械故障检测系统设计

961-968.

- [8] 陈怡, 薛建军, 施朝霞. 可最高效率工作点定位的能馈式 LED 阵列驱动接口电路 [J]. 中国电机工程学报, 2018, 38 (3): 870-878.
- [9] 申明, 张晓斌. 基于 L-LLC 谐振双向变换器的储能装置接口电路及控制策略研究 [J]. 西北工业大学学报, 2018, 36 (5): 127-133.
- [10] 徐坤山, 谢少军. 模块化多电平变换器基于钳位和能量转移电路的可直通子模块拓扑 [J]. 电工技术学报, 2019, 34 (8): 1657-1666.
- [11] 黄镇, 朱健, 郁元卫, 等. 毫米波 MEMS 移相器模块用驱动电路研究 [J]. 固体电子学研究与发展, 2019, 39 (1): 27-31.
- [12] 赵迪, 张征. 基于 Profibus-DP 现场总线的气体质量流量控制器设计 [J]. 自动化与仪表, 2018, 33 (12): 25-29.
- [13] 李洪飞, 孙大庆, 李良玉, 等. 基于顺序式模拟移动床色谱法的两种木糖母液分离工艺比较 [J]. 食品与机械, 2019, 35 (10): 210-213.
- [14] 薛晋美, 孙光, 李会强, 等. 同位素稀释超高效液相色谱-串联质谱法测定人血清中孕酮 [J]. 分析测试学报, 2020, 39 (5): 652-656.
- [15] 张婷婷, 薛元, 徐志武, 等. 三通道数码纺混色纱色谱体系构建及其彩色纱性能分析 [J]. 纺织学报, 2019, 40 (9): 48-55.
- [16] 刘婷婷, 吴保卫, 刘丽丽, 等. 离散切换正时滞系统在异步切换下的镇定性 [J]. 应用数学学报, 2018, 41 (6): 3-16.
- [17] 徐海良, 周永兴, 杨放琼, 等. 进料流量对深海矿石输送设备内流特性影响分析 [J]. 排灌机械工程学报, 2019, 37 (7): 618-624.
- [18] 寇准, 樊卫彬. 机组同期过程中同期装置复归的原因分析 [J]. 水电站机电技术, 2019, 42 (11): 65-66.
- [19] 闫廷俊, 李梓宇. 空载电能表计量巡检测试仪设计与应用 [J]. 内蒙古电力技术, 2019, 37 (2): 54-56.
- [20] 李丽春, 刘书贵, 尹怡, 等. 气相色谱法检测水产品中拟除虫菊酯类农药的基质效应研究 [J]. 现代食品科技, 2018, 34 (4): 270-280, 220.
- [1] 寇准, 樊卫彬. 机组同期过程中同期装置复归的原因分析 [J]. 现代电子技术, 2019, 42 (4): 57-60.
- [6] 陈奇, 姚志刚, Ahmed Q, 等. 基于结构分析法的汽车 ABS 故障诊断和识别系统设计与校验 [J]. 汽车工程, 2018, 40 (11): 104-113.
- [7] 陈勤, 朱颖超, 戴建军, 等. 浅谈抽蓄电站特种设备管理 [J]. 水电站机电技术, 2019, 42 (11): 85-87.
- [8] 崔洪涛, 蒋青林, 陈昊伟. 基于 B/S 架构的高速公路机电设备检修系统设计 [J]. 机械设计与制造工程, 2020 (2): 40-43.
- [9] 张晨, 凌跃胜. 双向全桥 DC-DC 变换器故障智能检测系统设计 [J]. 现代电子技术, 2018 (5): 144-148.
- [10] 王璟. 末梢血与静脉血在血常规检验中的比较分析 [J]. 饮食保健, 2018, 5 (51): 295.