



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101813932 A

(43) 申请公布日 2010.08.25

(21) 申请号 200910010295.X

(22) 申请日 2009.02.03

(71) 申请人 东北大学

地址 110004 辽宁省沈阳市东北大学信息科学与工程学院 131 号

(72) 发明人 常玉清 王福利 尤富强 贾润达
赵露平 董伟威

(74) 专利代理机构 沈阳利泰专利商标代理有限公司 21209

代理人 刘忠达

(51) Int. Cl.

G05B 19/418(2006.01)

G22B 3/22(2006.01)

G05B 13/04(2006.01)

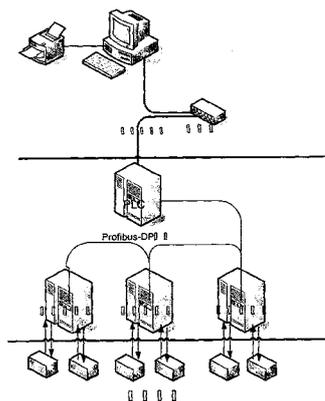
权利要求书 4 页 说明书 11 页 附图 8 页

(54) 发明名称

湿法冶金萃取过程组分含量预测与优化操作方法

(57) 摘要

湿法冶金萃取过程组分含量预测与优化操作方法,采用多级萃取槽的湿法冶金萃取工艺,是通过对湿法冶金萃取过程的混合建模,实现萃余液组分含量的实时预测,并对萃取过程提供在线优化操作指导。包括数据采集、辅助变量的选择以及标准化处理、混合模型的建立、混合模型的校正、优化操作指导的确定等步骤。本发明能大幅度提高浸出率,使生产维持在最佳损伤状态,并能减少原料和能源的消耗,延长设备的运行周期。



1. 湿法冶金萃取过程组分含量预测与优化操作方法,是采用已知的采用多级萃取槽的湿法冶金萃取工艺,其特征在于:通过对湿法冶金萃取过程的混合建模,实现萃余液组分含量的实时预测,并对萃取过程提供在线优化操作指导,包括数据采集、辅助变量的选择以及标准化处理、混合模型的建立、混合模型的校正和优化操作指导的确定等步骤;

1) 过程数据采集

本发明使用的硬件装置包括萃取过程组分含量预测与优化操作系统、上位机、PLC、现场传感变送部分,其中现场传感变送部分包括 pH 值、温度和流量等检测仪表,在萃取过程现场安装检测仪表,检测仪表将采集的信号通过 Profibus-DP 总线送到 PLC, PLC 将采集的信号实现 A/D 转换,并通过以太网定时将采集信号传送到上位机,上位机把接受的本地 PLC 数据传到萃取过程组分含量预测与优化操作系统,进行萃余液组分含量的实时预测,并提供在线优化操作指导;

2) 辅助变量的选择以及标准化处理

本发明所选择的辅助变量包括:

- ①料液中被萃组分的浓度 x_1 ;
- ②料液的流量 X_2 ;
- ③洗液的流量 X_3 ;
- ④有机相的流量 X_4 ;
- ⑤萃余液的 pH 值 X_5 ;
- ⑥料液的温度 X_6 ;

首先将采集到的传感器测量数据进行标准化处理:

$$\tilde{x}_j(i) = \frac{x_j(i) - x_j(\min)}{x_j(\max) - x_j(\min)}$$

式中 $\tilde{x}_j(i)$ - 第 i 个数据样本,第 j 个传感器测量值的标准化值;

$x_j(i)$ - 第 i 个数据样本,第 j 个传感器测量值;

$\tilde{x}_j(\min)$ - 第 j 个传感器测量值的最小值;

$\tilde{x}_j(\max)$ - 第 j 个传感器测量值的最大值;

3) 建立混合模型

本发明采用并行混合模型的结构,采用基于非线性 PLS 的并行混合模型结构对机理模型中的未建模动态进行补偿;

本发明中采用的机理模型由 $m+n$ 级混合澄清器组成,其中 m 级用于萃取、 n 级用于洗涤;通常,由于反萃、反铁效率较高,经过反萃段后的新鲜有机相中各金属离子的浓度可视为 0,因此为简化机理模型结构,仅考虑对萃取段以及洗涤段进行建模,

依据物料衡算关系,对于萃取段第 i 级, $i = 1, 2, \dots, m-1$, 存在如下物料衡算关系:

$$V\bar{y}_{i-1} + (L+L')\bar{x}_{i+1} = V\bar{y}_i + (L+L')\bar{x}_i$$

而对于萃取段第 m 级即进料级 $i = m$, 存在如下物料衡算关系:

$$V\bar{y}_{m-1} + L\bar{x}_0 + L'\bar{x}_{m+1} = V\bar{y}_m + (L+L')\bar{x}_m$$

对于洗涤段第 j 级, $j = m+1, \dots, n-1$, 存在如下物料衡算关系:

$$V\bar{y}_{j-1} + L'\bar{x}_{j+1} = V\bar{y}_j + L'\bar{x}_j$$

而对于洗涤段第 n 级, 即 $j = n$, 存在如下物料衡算关系:

$$V\bar{y}_{n-1} + L'\bar{x}'_0 = V\bar{y}_n + L'\bar{x}_n$$

式中 V - 有机相流量;

L - 料液流量;

L' - 洗液流量;

\bar{y}_i - 从第 i 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

\bar{x}_i - 从第 i 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

\bar{y}_j - 从第 j 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

\bar{x}_j - 从第 j 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

\bar{y}_0 - 新鲜有机相中被萃组分的浓度;

\bar{x}_0 - 料液中被萃组分的浓度;

\bar{x}'_0 - 洗液中被萃组分的浓度;

上述 $m+n$ 个物料衡算关系组成了一个具有 $2(m+n)$ 个未知数的方程组, 为了求解上述方程组, 还需要引入萃取平衡关系方程:

$$\bar{y}_i = f(\bar{x}_i)$$

为了建立理想情况下平衡时有机相中金属离子的浓度与水相金属离子浓度之间的未知函数关系 $f(\cdot)$, 需要进行离线萃取平衡实验以获取用于辨识的样本数据; 首先取出少量新鲜的有机相用于萃取平衡实验, 分别配制具有不同金属离子浓度的水相, 用分液漏斗进行萃取平衡实验, 有机相和水相按一定的相比加入分液漏斗, 振荡混合、静置分层, 调节平衡后的水相 pH 值, 分析水相金属离子浓度, 记录用于辨识的实验数据; 通过分析, 可以将模型具体化为半经验模型:

$$\bar{y}_i = f(\bar{x}_i) = \frac{a_1 \cdot \bar{x}_i}{a_2 + \bar{x}_i}$$

式中 a_1, a_2 - 待辨识参数;

从上述半经验模型的物理意义, 可以判断出 a_1, a_2 的值应大于 0; 因为优化计算的结果往往不是惟一的, 为了尽可能使计算结果符合实际情况, 下面采用带约束的非线性优化算法, 可根据经验将 a_1, a_2 的值限制在一定的范围之内, 对上述半经验模型

$\bar{y}_i = f(\bar{x}_i) = \frac{a_1 \cdot \bar{x}_i}{a_2 + \bar{x}_i}$ 进行反向优化计算; 具体步骤是:

①随机产生一组大于 0, 小于 a_1, a_2 规定范围的初始值;

②将 a_1, a_2 代入上式, 计算 \bar{y}_i 的估计值 \hat{y}_i ;

③将样本值与估计误差平方和

$$EMS = \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$$

作为优化计算的目标函数, 判断目标函数是否符合要求, 如满足要求, 则停止计算, 否则进入下一步;

式中 \bar{y}_i - 为第 i 个样本的观测值;

\hat{y}_i - 为第 i 个样本的估计值;

n - 为样本的个数;

④用 BFGS 方法进行带约束条件的迭代计算,得到新的 a_1, a_2 ;

⑤重复②~④步,直到目标函数满足要求;

本发明中采用非线性 PLS (RBF-PLS) 作为数据建模方法补偿机理模型中的未建模动态, RBF-PLS 方法由 RBF 网络与 PLS 算法结合而成,

优化操作指导的确定

本发明采用基于混合模型的系统为萃取过程提供在线优化操作指导,通过现场与操作者的交流,得到一系列操作经验,并结合混合模型,通过迭代运算给出各操作变量的指导,其具体算法步骤如下:

①设定萃余液中各被萃组分的浓度要求;

②读取料液中各被萃组分的浓度以及料液的流量;

③根据操作者的经验,选择一个合适的有机相流量,以及与之相应的洗液流量作为初始值;

④在上述操作条件下,利用混合模型预测萃余液中各被萃组分的浓度,判断是否达标;若有一不达标,返回③步重新选择一个初始化有机相流量;若均达标进入⑤步;

⑤将有机相流量在上述初始值的条件下减小 ΔV , 洗液流量同时进行相应调整,重新调用混合模型,对萃余液中各被萃组分的浓度进行预测,判断是否达标;若有一不达标,则停止计算,前次求得的有机相流量与洗液流量为当前时刻的优化操作指导;若均达标,则⑤步重复。

2. 根据权利要求 1 所述的基于混合模型的湿法冶金萃取过程组分含量预测与优化操作方法,是在铜萃除杂生产线上实施,其特征在于:

生产线上铜萃取共有 5 级串级萃取槽,2 级用于萃取,1 级用于洗涤,2 级用于反萃,共 5 台搅拌电机,4 个流量计,4 台泵,4 台变频器,1 个 pH 计,1 个温度计组成;萃取过程检测系统主要由流量检测仪、pH 值检测仪、温度检测仪构成;

PLC 控制器采用 Simens 300 系列的 CPU 315-2DP,具有 Profibus-DP 口连接分布式 IO;为 PLC 配备以太网通讯模块,用于上位机访问 PLC 数据;PLC 控制器和以太网通讯模块放置在中央控制室中的 PLC 柜中;

萃取过程的 pH 值是通过 Cole-parmer 公司生产的玻璃电极进行 pH 值在线检测,将溶液 pH 值的变化转化为 mV 信号的变化;玻璃电极 PH 测量系统将一支对于 pH 敏感的玻璃膜的玻璃管端部吹成泡状,管内充填有含饱和 AgCl 的 3mol/l KCL 缓冲溶液, pH 值为 7;存在于玻璃膜二面的反映 PH 值的电位差用 Ag/AgCl 传导系统,导出电位差,然后用 mA 采集仪器将 mA 数换算成 pH 值显示出来;

本发明采用 Cole-parmer 公司生产的 pH200 型酸度控制器进行 pH 值的就地显示以及检测信号的变送 pH200 型酸度控制器利用 pH 电极对被测溶液中氢离子浓度产生不同的直流电位,通过前置放大器输入到 A/D 转换器,以达到 pH 测量的目的,然后由数字显示 pH 值,同时把 pH 值转换成电流信号输出;

萃取过程料液的温度是通过 SOLUTION 公司生产的铂电阻温度计来进行检测的,铂电阻温度计是利用电气参数随温度变化的特性来检测温度的;

由于有机相不导电,因此对于流量检测采用不同的流量传感器:

①水相流量检测:料液、酸液、碱液都导电且具有腐蚀性,选用 KROHNE 公司生产的具有

聚四氟乙烯内衬的电磁流量计进行检测；电磁流量计为无阻力件检测；电磁流量计配备的就地显示仪表可以实现流量计就地显示、流量信号变送和流量累计功能；电磁流量计输出的信号为标准的电流信号；

②有机相流量检测：萃取段有机相不导电不能采用电磁流量计，流量的检测选用 ELETTA 公司生产的差压流量计，差压流量计的输出信号为标准的电流信号；

上位机选用 Core 2 DELL 计算机，采用 WINDOW XP 操作系统；

组分含量预测与优化操作系统运行在 Core 2 DELL 计算机上，采用 C#2005 编程软件，混合模型算法采用 Matlab 2007a 编程软件；

PLC 与组分含量预测与优化操作系统的信号传送软件是采用 C#2005 编程软件；

在萃取过程现场安装检测仪表，检测仪表将采集的信号通过 Profibus-DP 传送到 PLC 中，PLC 定时将采集信号通过以太网传送给上位机，上位机把接受的数据传给组分含量预测与优化操作系统进行组分浓度在线实时预测，并提供在线的优化操作指导；

第一步、机理模型参数辨识：依据萃取平衡实验确定机理模型中的萃取平衡关系：

①配置具有不同浓度被萃组分的水相，并记录水相的体积；

②取一定体积的新鲜有机相，将水相与有机相按一定的相比在分液漏斗内混合，搅拌均匀，静置分层；

③取出水相，化验水相中被萃组分的浓度；

④用差减法计算有机相中被萃组分的浓度，重复上述步骤，并记录实验数据；

⑤利用 BFGS 算法辨识萃取平衡关系中的未知参数；

第二步、收集数据：收集与离线化验数据对应的传感器测量数据，并记录离线化验数据值 $y_{lab}(1), \dots, y_{lab}(n)$ ；

第三步、机理模型预测：利用机理模型对萃余液的被萃组分含量进行预测，并记录与离线化验数据对应的预测结果 $y_{mod}(1), \dots, y_{mod}(n)$ ；

第四步、将预测结果与离线化验值进行比较，并计算预测值与真实值之间的误差值 $d(1), \dots, d(n)$ ，其中

$$d(i) = y_{lab}(i) - y_{mod}(i), i = 1, \dots, n$$

第五步、数据模型建立：将上述误差值与其对应的标准化后的检测值，组成输入输出数据对，利用 RBF-PLS 方法进行训练，得到数据模型中的参数；

第六步、混合模型的预测：将所建立机理模型与数据模型的结构组成并行混合模型，利用混合模型对萃余液组分含量进行实时预测；

第七步、混合模型的校正：利用校正算法对混合模型的预测值根据每天的离线化验值进行在线校正，并输出校正后的预测值；

第八步、优化操作指导：利用优化算法，根据操作变量值，提供在线的优化操作指导；

系统界面包括：A 读取各萃取工段离线化验数据和实时显示预测数据的主界面；B 提供在线优化操作指导界面；C 读取模型中重要参数的界面；D 实时显示预测数据并提供在线优化操作指导的工艺流程界面。

湿法冶金萃取过程组分含量预测与优化操作方法

技术领域

[0001] 本发明属于湿法冶金领域,特别提供一种基于混合模型的萃取组分含量预测与优化操作方法,即提供一种实时预测萃余液组分浓度并提供优化操作指导的方法。

背景技术

[0002] 湿法冶金工艺是逐渐成熟并且迫切需要工业化的新工艺,与传统的火法冶炼相比,湿法冶金技术具有高效、清洁、适用于低品位复杂金属矿产资源回收等优势。特别是针对我国矿产资源贫矿多,复杂共生,杂质含量高的特点,湿法冶金工艺工业化对于提高矿产资源的综合利用率,降低固体废弃物产量,减少环境污染,都有着重大意义。

[0003] 近几年湿法冶金工艺、设备研究进展迅速。但是湿法冶金工艺流程复杂,设备类型多样,工艺条件恶劣,如高温、高压、强腐蚀等,所以湿法冶金工艺要实现大规模工业化自动控制水平的提高,才能保证生产安全、稳定、连续的运行,才能保证产品质量和产量。

[0004] 湿法冶金串级萃取除杂过程工艺流程如图 1 所示,整条萃取生产线由多级萃取槽串联组成,自左向右依次为由多级萃取槽构成的萃取段、洗涤段、反萃段和反铁段。每级萃取槽由混合室和澄清室组成,在萃取分离过程中,通过对萃取槽体独特的结构设计和萃取过程混合室内搅拌电机的动力作用,使得有机相和水相在混合室、澄清室并流,而整体却产生逆向流动。有机相总是从左向右流动,水相总是从右向左流动。澄清室中的溶液根据有机萃取剂与水互不相溶的原理分为两层:上层为有机相,下层为水相。操作者根据串级萃取原理,按照一定平衡比例关系,控制有机、料液、洗液、反萃液以及反铁液的流量。萃取段的作用是把水相料液中的绝大部分杂质金属和少量有价金属萃入有机相;洗涤段的作用是通过洗液与有机相的接触,把绝大部分有价金属洗回水相;而反萃段与反铁段的作用是使杂质金属重新返回水相,从而有机相得以再生。

[0005] 为了保证产品的质量,提高金属的收率,降低消耗,充分发挥设备的生产能力,生产过程中需要对萃取生产线水相出口(萃余液)中产品组分浓度进行化验。在实际生产中,组分浓度均无法在线测量,而是采用离线实验室分析获得,但离线分析滞后数小时,且分析采样次数少(1次/天),远远不能满足控制的要求。有两种途径来解决这一问题,其一是采用在线分析仪;其二是通过对过程进行建模,实现组分浓度的预测。由于前者功能还不完善,且投资较大、难以维护,尚不能全面满足湿法冶金萃取分离生产过程的连续在线检测需求;因此最好的解决方案是使用第二种途径,即建立萃取过程组分含量的预测模型,在不增加投资的前提下在线预测各组分的浓度。

[0006] 目前,尚未见有关湿法冶金萃取过程组分含量混合建模方法与优化操作指导的报道。工厂所采用的方法是对这些组分浓度取样进行人工化验,通过离线分析方式获得,操作者根据组分浓度化验值来调整流量设定值,以保证生产目标所规定的产品纯度和料液处理量。这种方法的缺点是,人工化验滞后大,达数小时;另外由于化验成本问题使得采样周期都较长,因此,这些化验值难以直接用于质量控制。操作者主要依靠各自的经验进行调节,从而使产品的一次合格率很难保证,辅料消耗增加,产品成本提高。

发明内容

[0007] 本发明提供一种湿法冶金萃取过程组分含量预测与优化操作方法,通过对湿法冶金萃取过程的混合建模,实现萃余液组分含量的实时预测,并对萃取过程提供在线优化操作指导。

[0008] 本发明的目的是寻求一种供湿法冶金萃取分离生产过程中组分含量预测与优化操作的方法,它用于解决如下问题:

[0009] (1) 为湿法冶金萃取除杂过程实现自动控制提供组分含量监测数据,实现萃取除杂过程的优化操作指导;

[0010] (2) 通过对料液成分、流量等易变因素的实际波动情况进行模拟,掌握不同波动幅度对产品质量的影响,提供适时而合理地优化操作指导,保证产品质量,实现萃取过程的优化控制;

[0011] (3) 本发明的软测量方法既考虑了机理模型的优势,又综合了数据模型的特点,并能够模拟萃取除杂生产过程,掌握生产过程中的辅料消耗,制定合理的生产计划。

[0012] (4) 取代人工化验分析,达到及时准确检测生产状况的目的。

[0013] 本发明所提供的湿法冶金萃取过程组分含量预测与优化操作方法包括:(1) 过程数据采集、(2) 辅助变量的选择以及标准化处理、(3) 混合模型的建立、(4) 混合模型的校正、(5) 优化操作指导的确定等步骤。

[0014] (1) 过程数据采集

[0015] 本发明装置包括萃取过程组分含量预测与优化操作系统、上位机、PLC、现场传感变送部分,如图 2 所示。其中现场传感变送部分包括 pH 值、温度、流量等检测仪表。在萃取过程现场安装检测仪表,检测仪表将采集的信号通过 Profibus-DP 总线送到 PLC,PLC 通过以太网定时将采集信号传送到上位机,上位机把接受的数据传到萃取过程组分含量预测与优化操作系统,进行萃余液组分含量的实时预测,并提供在线优化操作指导。

[0016] 本发明装置的各部分功能:

[0017] (A) 现场传感变送部分:包括 pH 值、温度、流量等检测仪表由传感器组成,负责过程数据的采集与传送;

[0018] (B) PLC:负责把采集的信号 A/D 转换,并通过以太网把信号传送给上位机;

[0019] (C) 上位机:收集本地 PLC 数据,传送给萃取过程组分含量预测与优化操作系统,并提供在线优化操作指导。

[0020] (2) 辅助变量的选择以及标准化处理

[0021] 本发明所选择的辅助变量包括,

[0022] (A) 料液中被萃组分的浓度 x_1 ;

[0023] (B) 料液的流量 x_2 ;

[0024] (C) 洗液的流量 x_3 ;

[0025] (D) 有机相的流量 x_4

[0026] (D) 萃余液的 pH 值 x_5 ;

[0027] (E) 料液的温度 x_6 。

[0028] 为了防止各检测变量由于单位不同而对数据模型产生影响,首先将采集到的传感

器测量数据进行标准化处理,

$$[0029] \quad \tilde{x}_j(i) = \frac{x_j(i) - x_j(\min)}{x_j(\max) - x_j(\min)} \quad (1)$$

[0030] 式中 $\tilde{x}_j(i)$ - 第 i 个数据样本, 第 j 个传感器测量值的标准化值;

[0031] $x_j(i)$ - 第 i 个数据样本, 第 j 个传感器测量值;

[0032] $\tilde{x}_j(\min)$ - 第 j 个传感器测量值的最小值;

[0033] $\tilde{x}_j(\max)$ - 第 j 个传感器测量值的最大值。

[0034] (3) 混合模型的建立

[0035] I、混合模型的结构

[0036] 混合使用多种建模方法建立对象的数学模型, 可以达到各种方法取长补短的效果, 目前已成为研究的热点。若系统有先验的物理知识可以利用, 则尽量利用, 以把黑箱模型转化成灰箱模型, 从而把机理方法和数据方法相结合。数据方法可提取机理方法所无法解释的对象内部的复杂信息, 而机理模型又可提高统计模型的推广能力。结合方式一般分为并行和串行两种。

[0037] (A) 串行结合方式: 首先用机理方法得到一个带参数的模型结构, 然后用数据方法来确定那些参数;

[0038] (B) 并行结合方式: 采用数据方法确定一个补偿器, 对机理模型得到的结果进行补偿。

[0039] 先验知识的应用, 与单纯地根据数据建立的黑箱模型相比, 提高了模型的精度, 增强了模型的推广能力, 而且减少了参数估计所需的数据, 减少了计算量。

[0040] 在很多情况下, 单纯利用机理模型不足以描述过程的所有特性, 一些过程中的可测变量由于与主导变量间的关系复杂, 难以全部包含在机理模型之中; 另外, 一些过程中的未知影响因素同样会降低机理模型的预测精度, 这时可利用数据模型对机理模型中的未建模动态进行补偿, 以提高模型的预测精度。针对萃取过程的特点, 本发明采用并行混合模型的结构, 如图 3 所示。本发明采用基于非线性 PLS 的并行混合模型结构对机理模型中的未建模动态进行补偿。

[0041] II、机理模型

[0042] 在全面深刻了解过程的反应机理后, 就可以列写有关平衡方程式, 确定不可测主导变量和可测二次变量的数学关系, 建立估计主导变量的机理模型。机理建模要求对具体对象有深入的了解, 全面把握实际过程所牵涉到的基本规律, 包括热力学中的状态方程, 物理化学中的相平衡、反应动力学、物料平衡、能量平衡, 以及高分子化学等诸多方面的知识。机理建模已经在很多方面取得了成功, 在机理模型建好后, 可以用来模拟实际系统的运行情况, 加深对实际过程的理解, 提高操作水平; 同时通过模型仿真, 可以帮助掌握对象的动态特性, 为过程优化和控制奠定基础。然而建立一个机理模型通常需要耗费很大的精力, 且不适用于机理尚不完全清楚的工业过程, 因此本发明通过一定的假设对机理模型进行简化。

[0043] 本发明中采用的机理模型由 $m+n$ 级混合清澄器组成, 其中 m 级用于萃取、 n 级用于洗涤, 其等效结构如图 4 所示。通常, 由于反萃、反铁效率较高, 经过反萃段后的新鲜有机相中各金属离子的浓度可视为 0。因此为简化机理模型结构, 仅考虑对萃取段以及洗涤段进行

建模。

[0044] 依据物料衡算关系,对于萃取段第 i 级, $i = 1, 2, \dots, m-1$, 存在如下物料衡算关系:

$$[0045] \quad V \bar{y}_{i-1} + (L + L') \bar{x}_{i+1} = V \bar{y}_i + (L + L') \bar{x}_i \quad (2)$$

[0046] 而对于萃取段第 m 级(进料级),即 $i = m$, 存在如下物料衡算关系:

$$[0047] \quad V \bar{y}_{m-1} + L \bar{x}_0 + L' \bar{x}_{m+1} = V \bar{y}_m + (L + L') \bar{x}_m \quad (3)$$

[0048] 对于洗涤段第 j 级, $j = m+1, \dots, n-1$, 存在如下物料衡算关系:

$$[0049] \quad V \bar{y}_{j-1} + L' \bar{x}_{j+1} = V \bar{y}_j + L' \bar{x}_j \quad (4)$$

[0050] 而对于洗涤段第 n 级,即 $j = n$, 存在如下物料衡算关系:

$$[0051] \quad V \bar{y}_{n-1} + L' \bar{x}'_0 = V \bar{y}_n + L' \bar{x}_n \quad (5)$$

[0052] 式中 V - 有机相流量;

[0053] L - 料液流量;

[0054] L' - 洗液流量;

[0055] \bar{y}_i - 从第 i 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

[0056] \bar{x}_i - 从第 i 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

[0057] \bar{y}_j - 从第 j 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

[0058] \bar{x}_j - 从第 j 级混合澄清器流出有机相中被萃组分的浓度;

[0059] \bar{y}_0 - 新鲜有机相中被萃组分的浓度;

[0060] \bar{x}_0 - 料液中被萃组分的浓度;

[0061] \bar{x}'_0 - 洗液中被萃组分的浓度。

[0062] 上述 $m+n$ 个物料衡算关系组成了一个具有 $2(m+n)$ 个未知数的方程组,为了求解上述方程组,还需要引入萃取平衡关系方程

$$[0063] \quad \bar{y}_i = f(\bar{x}_i) \quad (6)$$

[0064] 为了建立理想情况下平衡时有机相中金属离子的浓度与水相金属离子浓度之间的未知函数关系 $f(\cdot)$, 需要进行离线萃取平衡实验以获取用于辨识的样本数据。首先取出少量新鲜的有机相用于萃取平衡实验,分别配制具有不同金属离子浓度的水相,用分液漏斗进行萃取平衡实验,有机相和水相按一定的相比加入分液漏斗,振荡混合一定时间静置分层,调节平衡后的水相 pH 值,分析水相金属离子浓度,记录用于辨识的实验数据。通过分析,可以将模型具体化为半经验模型

[0065]

$$\bar{y}_i = f(\bar{x}_i) = \frac{a_1 \cdot \bar{x}_i}{a_2 + \bar{x}_i} \quad (7)$$

[0066] 式中 a_1, a_2 - 待辨识参数。

[0067] 由 (7) 式的物理意义,可以判断出 a_1, a_2 的值应大于 0。因为优化计算的结果往往不是惟一的,为了尽可能使计算结果符合实际情况,下面采用带约束的非线性优化算法,可根据经验将 a_1, a_2 的值限制在一定的范围之内,对式 (7) 进行反向优化计算。具体步骤是:

[0068] (A) 随机产生一组大于 0, 小于 a_1, a_2 规定范围的初始值;

[0069] (B) 将 a_1, a_2 代入式 (6), 计算 \bar{y}_i 的估计值 $\hat{\bar{y}}_i$;

[0070] (C) 将样本值与估计误差平方和

[0071]

$$EMS = \sum_{i=1}^n (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 \quad (8)$$

[0072] 作为优化计算的目标函数,判断目标函数是否符合要求,如满足要求,则停止计算,否则进入下一步;

[0073] 式中 \bar{y}_i - 为第 i 个样本的观测值;

[0074] \hat{y}_i - 为第 i 个样本的估计值;

[0075] n- 为样本的个数。

[0076] (D) 用 BFGS 方法进行带约束条件的迭代计算,得到新的 a_1, a_2 ;

[0077] (E) 重复 (B) ~ (D) 步,直到目标函数满足要求。

[0078] III、数据模型

[0079] 根据系统的输入输出数据,建立与系统外特性等价的数学模型的方法,称为数据建模。数据建模将系统看作黑箱,在不了解系统内部结构和机理的情况下,选取一组与主导变量有密切联系且容易测量的二次变量,根据某种最优准则,利用统计方法构造二次变量与主导变量间的数学模型。

[0080] 本发明中采用非线性 PLS (RBF-PLS) 作为数据建模方法补偿机理模型中的未建模动态,RBF-PLS 方法由 RBF 网络与 PLS 算法结合而成,其模型结构如图 5 所示。RBF-PLS 方法通常选用高斯径向基函数,将自变量数据矩阵 X 转化为激活矩阵 A。A 的元素可以利用下式进行定义:

[0081]

$$a_{ij} = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\|^2}{\sigma_j^2}\right) \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

[0082] 式中 k- 数据样本的个数;

[0083] \mathbf{x}_i - 第 i 个数据样本的输入向量;

[0084] a_{ij} -A 第 i 行,第 j 列的元素;

[0085] \mathbf{c}_j - 高斯函数的中心参数;

[0086] σ_j - 高斯函数的宽度参数。

[0087] 在 RBF-PLS 方法中,中心参数 \mathbf{c}_j 选为每个数据样本的输入向量,即

[0088] $\mathbf{c}_j = \mathbf{x}_j \quad (10)$

[0089] 而宽度参数 σ_j 可由下式进行计算:

[0090]

$$\sigma_j = \frac{e}{k} \sum_{i=1}^k \|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| \quad (11)$$

[0091] 式中 e- 大于 0 的常数,本发明中取 1,

[0092] 因此矩阵 A 是一个对角元为 1 的 $k \times k$ 维方阵。

[0093] 在进行上述变换之后,利用 PLS 算法建立矩阵 A 与输出数据向量 y 之间的线性回归模型,若 T 是由前 h 个得分向量组成的 $k \times h$ 维矩阵,则模型可以利用下式进行描述:

$$[0094] \quad A = TP^T + E \quad (12)$$

$$[0095] \quad y = Tq + r = Ab + r \quad (13)$$

[0096] 式中 A- 激活矩阵；

[0097] T- 得分矩阵；

[0098] P- 载荷矩阵；

[0099] E- 残差矩阵；

[0100] y- 输出数据向量；

[0101] q- 载荷向量；

[0102] r- 残差向量；

[0103] b-PLS 的回归系数向量。

[0104] 利用上述算法的建模步骤如下：

[0105] (A) 将训练样本进行标准化处理；

[0106] (B) 计算各训练样本与中心的欧氏距离，并利用 (11) 式计算宽度参数 σ_j ；

[0107] (C) 利用 (9) 式计算得到激活矩阵 A；

[0108] (D) 建立激活矩阵 A 与输出数据向量 y 之间的线性回归模型，并利用 PLS 算法求得回归系数 b。

[0109] (4) 混合模型的校正

[0110] 由于某些过程数据不够可靠，因此仅仅利用上述方法建立的模型还不足以提供可靠的预测精度，因此在上述模型的基础上，我们还利用预测误差来进一步校正混合模型，该递推算法中的校正量 $d(t)$ 可由下式进行确定

$$[0111] \quad d(t) = wd_0(t) + (1-w)d(t-1) \quad (14)$$

[0112] 式中 $d(t)$ - 上一次预测误差与历史误差的加权和；

[0113] $d_0(t)$ - 当前预测误差；

[0114] w- 加权系数，本发明专利中取 0.5；

[0115] 且有 $d(0) = 0$ ， $d_0(t)$ 可由下式进行计算

$$[0116] \quad d_0(t) = y_{1ab}(t-1) - y_{mod}(t-1) \quad (15)$$

[0117] 式中 y_{1ab} - 离线化验值；

[0118] y_{mod} - 模型预测值；

[0119] 最终的模型校正输出可以利用下式进行计算

$$[0120] \quad y_{cor}(t) = y_{mod}(t) + d(t) \quad (16)$$

[0121] 式中 y_{cor} - 校正后的模型预测值。

[0122] (5) 优化操作指导的确定

[0123] 本发明采用基于混合模型的专家系统为萃取过程提供在线优化操作指导，通过现场与操作者的交流，得到一系列操作经验，并结合混合模型，通过迭代运算给出各操作变量的指导，其具体算法步骤如下：

[0124] (A) 设定萃余液中各被萃组分的浓度要求；

[0125] (B) 读取料液中各被萃组分的浓度以及料液的流量；

[0126] (C) 根据操作者的经验，选择一个合适的有机相流量，以及与之相应的洗液流量作为初始值；

[0127] (D) 在上述操作条件下,利用混合模型预测萃余液中各被萃组分的浓度,判断是否达标;若有一不达标,返回(C)步重新选择一个初始化有机相流量;若均达标进入(E)步;

[0128] (E) 将有机相流量在上述初始值的条件下减小 ΔV ,洗液流量同时进行相应调整,重新调用混合模型,对萃余液中各被萃组分的浓度进行预测,判断是否达标;若有一不达标,则停止计算,前次求得的有机相流量与洗液流量为当前时刻的优化操作指导;若均达标,则(E)步重复。

[0129] 本发明能大幅度提高萃取效率,使生产维持在最佳操作状态,并能有效减小辅料和能源的消耗,延长设备的运行周期。

附图说明

[0130] 图1为湿法冶金萃取过程工艺流程图,其中,PHT1-萃余液pH值传感器,PH2-洗涤余液pH值传感器,PH3-反萃余液pH值传感器,FT1-料液流量传感器,FT2-洗液流量传感器,FT3-反萃液流量传感器,FT4-反铁液流量传感器,FT5-有机相流量传感器,TT1-料液温度传感器;

[0131] 图2为本发明装置的硬件结构示意图,

[0132] 图3为混合模型结构图;

[0133] 图4为机理模型等效结构图;

[0134] 图5为非线性PLS模型结构图;

[0135] 图6为铜萃取萃余液Cu离子浓度化验值与预测值曲线趋势图;

[0136] 图7为铜萃取组分浓度预测与优化操作指导界面图;

[0137] 图8为P204预萃取萃余液Cu离子浓度化验值与预测值曲线趋势图;

[0138] 图9为P204预萃取萃余液Mn离子浓度化验值与预测值曲线趋势图;

[0139] 图10为P204预萃检测界面图;

[0140] 图11为钴湿法冶金萃取车间组分含量预测界面图;

[0141] 图12为钴湿法冶金萃取车间优化操作指导界面图。

具体实施方式

[0142] 下面的具体实施例在钴湿法冶金生产厂的萃取车间里得到了实际应用,并取得了显著的效果。

[0143] 实施例1

[0144] 在铜萃除杂生产线上的实施。

[0145] 该生产线上铜萃取共有5级串级萃取槽,2级用于萃取,1级用于洗涤,2级用于反萃,共5台搅拌电机,4个流量计,4台泵,4台变频器,1个pH计,1个温度计组成。萃取过程检测系统主要由流量检测、pH值检测、温度检测构成。

[0146] PLC控制器采用Siemens 300系列的CPU 315-2DP,具有Profibus-DP口连接分布式IO。为PLC配备以太网通讯模块,用于上位机访问PLC数据。PLC控制器和以太网通讯模块放置在中央控制室中的PLC柜中。

[0147] 萃取过程的pH值是通过Cole-parmer公司生产的玻璃电极进行pH值在线检测,将溶液pH值的变化转化为mV信号的变化。玻璃电极pH测量系统将一支对于pH敏感的玻

璃膜的玻璃管端部吹成泡状,管内充填有含饱和 AgCl 的 3mol/l KCL 缓冲溶液, pH 值为 7。存在于玻璃膜二面的反映 pH 值的电位差用 Ag/AgCl 传导系统,导出电位差,然后用 mA 采集仪器将 mA 数换算成 pH 值显示出来。

[0148] 本发明采用 Cole-parmer 公司生产的 pH200 型酸度控制器进行 pH 值的就地显示以及检测信号的变送。pH200 型酸度控制器利用 pH 电极对被测溶液中氢离子浓度产生不同的直流电位,通过前置放大器输入到 A/D 转换器,以达到 pH 测量的目的,然后由数字显示 pH 值,同时把 pH 值转换成电流信号输出。

[0149] 萃取过程料液的温度是通过 SOLUTION 公司生产的铂电阻温度计来进行检测的,铂电阻温度计是利用电气参数随温度变化的特性来检测温度的。

[0150] 由于有机相不导电,因此对于流量检测采用不同的流量传感器:

[0151] (A) 水相流量检测:料液、酸液、碱液都导电且具有腐蚀性,选用 KROHNE 公司生产的具有聚四氟乙烯内衬的电磁流量计进行检测。电磁流量计为无阻力件检测具有精度高、使用寿命长、保养方便等优点。电磁流量计配备的就地显示仪表可以实现流量计就地显示、流量信号变送和流量累计等功能。电磁流量计输出的信号为标准的电流信号。

[0152] (B) 有机相流量检测:萃取段有机相不导电不能采用电磁流量计,流量的检测选用 ELETTA 公司生产的差压流量计。其原理是管道中的差压作用在橡胶隔膜上,产生隔膜杆的机械运动,该运动作用在监控器电路板上安装的线性电位器上,由于监控器具有差压和流量之间的线性转换功能,因此电路板就可以提供线性流量输出信号。差压流量计的输出信号为标准的电流信号。

[0153] 上位机选用 Core 2 DELL 计算机,采用 WINDOW XP 操作系统。

[0154] 组分含量预测与优化操作系统运行在 Core 2 DELL 计算机上,采用 C#2005 编程软件,混合模型算法采用 Matlab 2007a 编程软件。

[0155] PLC 与组分含量预测与优化操作系统的信号传送软件是采用 C#2005 编程软件。

[0156] 在萃取过程现场安装检测仪表,检测仪表将采集的信号通过 Profibus-DP 传送到 PLC 中,PLC 定时将采集信号通过以太网传送给上位机,上位机把接受的数据传给组分含量预测与优化操作系统进行组分浓度在线实时预测,并提供在线的优化操作指导。

[0157] 第一步、机理模型参数辨识:依据萃取平衡实验确定机理模中的萃取平衡关系;

[0158] (A) 配置具有不同浓度被萃组分的水相,并记录水相的体积;

[0159] (B) 取一定体积的新鲜有机相,将水相与有机相按一定的相比在分液漏斗内混合,搅拌均匀,静置分层;

[0160] (C) 取出水相,化验水相中被萃组分的浓度;

[0161] (D) 用差减法计算有机相中被萃组分的浓度,重复上述步骤,并记录实验数据;

[0162] (E) 利用 BFGS 算法辨识萃取平衡关系中的未知参数。

[0163] 第二步、收集数据:收集与离线化验数据对应的传感器测量数据,并记录离线化验数据值 $y_{lab}(1), \dots, y_{lab}(n)$;

[0164] 第三步、机理模型预测:利用机理模型对萃余液的被萃组分含量进行预测,并记录与离线化验数据对应的预测结果 $y_{mod}(1), \dots, y_{mod}(n)$;

[0165] 第四步、将预测结果与离线化验值进行比较,并计算预测值与真实值之间的误差值 $d(1), \dots, d(n)$,其中

[0166] $d(i) = y_{\text{lab}}(i) - y_{\text{mod}}(i), i = 1, \dots, n$ (17)

[0167] 第五步、数据模型建立：将上述误差值与其对应的标准化后的检测值，组成输入输出数据对，利用 RBF-PLS 方法进行训练，得到数据模型中的参数；

[0168] 第六步、混合模型的预测：将所建立机理模型与数据模型的结构组成并行混合模型，利用混合模型对萃余液组分含量进行实时预测；

[0169] 第七步、混合模型的校正：利用校正算法对混合模型的预测值根据每天的离线化验值进行校正，并输出校正后的预测值；

[0170] 第八步、优化操作指导：利用优化算法，根据操作变量值，提供在线的优化操作指导。

[0171] 表 1 和图 6 分别给出了萃余液中 Cu 的浓度的离线化验值与模型预测值的曲线趋势。

[0172] 分析测量数据和混合模型预测值得到预测均方根误差为 0.0694，均在本发明所预测值的范围之内，完全满足生产实际的需要。

[0173]

编号	料液 浓度	料液 流量	洗液 流量	有机相 流量	萃余液 pH 值	温度	萃余液 浓度	模型预测 浓度
1	14.89	1.25	0.20	3.00	0.51	29.2	0.38	0.36
2	11.31	1.40	0.20	2.90	0.49	28.6	0.50	0.49
3	13.16	1.20	0.18	4.00	0.50	9.2	0.15	0.17
...								...
28	17.37	1.20	0.20	2.00	0.54	29.5	1.74	1.82
29	18.13	1.20	0.19	3.90	0.53	29.3	2.25	2.18
30	16.79	1.80	0.20	4.00	0.55	27.5	1.79	1.62

[0174] 表 1 铜萃取萃余液 Cu 离子浓度化验值与预测值对比

[0175] 另外基于前面建立的混合模型，并采用我们设计的优化算法，对该萃取过程进行在线优化指导，依据优化操作条件与现场操作进行对比，累计一个月数据对照结果如表 3 所示：

[0176]

	有机相流量 (累计)	洗涤液流量 (累计)	反萃液流量 (累计)
历史值	2592.04	116.64	1296.27

	有机相流量 (累计)	洗涤液流量 (累计)	反萃液流量 (累计)
优化后值	2462.40	103.68	1166.37
节省量	129.64	12.96	129.90
百分比	5.00%	11.11%	10.02%

[0177] 表 2 优化结果对照表

[0178] 本发明将铜萃取组分含量预测界面与优化操作指导界面相结合,协调一致,如图 7 所示为萃取过程组分含量预测和专家系统优化操作指导统一界面。

[0179] 实施例 2

[0180] 在 P204 预萃除杂生产线上的实施。

[0181] 该生产线上 P204 预萃取共有 20 级串级萃取槽,10 级用于萃取,3 级用于洗涤,3 级用于反萃,3 级用于反铁,共 20 台搅拌电机,5 个流量计,5 台泵,5 台变频器,3 个 pH 计,1 个温度计组成。萃取过程检测系统主要由流量检测、pH 值检测、温度检测构成。

[0182]

编号	料液 浓度	料液 流量	洗液 流量	有机相 流量	萃余液 pH 值	温度	萃余液 浓度	模型预测 浓度
1	4.60	3.0	0.22	2.4	4.64	15.1	0.20	0.21
2	6.35	2.0	0.25	3.0	4.45	12.4	0.22	0.21
3	4.94	2.0	0.24	2.6	4.50	9.2	0.21	0.20
...								...
28	5.71	2.5	0.20	2.8	4.37	9.5	0.22	0.23
29	2.92	4.0	0.15	1.6	4.51	10.1	0.22	0.19
30	3.17	3.5	0.26	3	4.60	9.6	0.15	0.16

[0183] 表 3 萃余液 Cu 离子浓度化验值与预测值对比

[0184] 表 3、4 和图 8、9 分别给出了萃余液中 Cu、Mn 的浓度的离线化验值与模型预测值的曲线趋势。

[0185] 分析测量数据和混合模型预测值的到预测均方根误差分别为 0.0231 和 0.0059,均在本发明所预测值的范围之内,完全满足生产实际的需要。

[0186]

编号	料液 浓度	料液 流量	洗液 流量	有机相 流量	萃余液 pH 值	温度	萃余液 浓度	模型预测 浓度
1	0.39	3.0	0.22	2.4	4.64	15.1	0.001	0.003
2	0.70	2.0	0.25	3.0	4.45	12.4	0.020	0.021
3	0.51	2.0	0.24	2.6	4.50	9.2	0.021	0.023
...								...
28	1.27	2.5	0.20	2.8	4.37	9.5	0.02	0.018
29	0.73	4.0	0.15	1.6	4.51	10.1	0.022	0.019
30	1.83	3.5	0.26	3	4.60	9.6	0.046	0.041

[0187] 表 4 萃余液 Mn 离子浓度化验值与预测值对比

[0188] 另外基于前面建立的混合模型,并采用我们设计的优化算法,对该萃取过程进行在线优化指导,依据优化操作条件与现场操作进行对比,累计一个月数据对照结果如表 3 所示:

[0189]

	有机相流量 (累计)	洗涤液流量 (累计)	反萃液流量 (累计)	反铁液流量 (累计)
历史值	1259.64	64.82	1310.40	1346.58
优化后值	1135.37	57.60	1195.36	1188.49
节省量	124.27	7.22	115.04	158.09
百分比	9.87%	11.13%	8.78%	11.74%

[0190] 表 5 优化结果对照表

[0191] 本发明将 P204 预萃取组分含量预测界面与优化操作指导界面相结合,协调一致,如图 10 所示为萃取过程组分含量预测和专家系统优化操作指导统一界面。

[0192] 本发明在对某湿法冶金萃取车间组分含量进行预测并提供优化操作指导时,友好的人机交互界面也是必不可少的。本发明也充分考虑到这一要求,将总的预测结果与优化操作指导同时列出,如图 11、12 所示,更便于操作者进行整个萃取工段的监控。

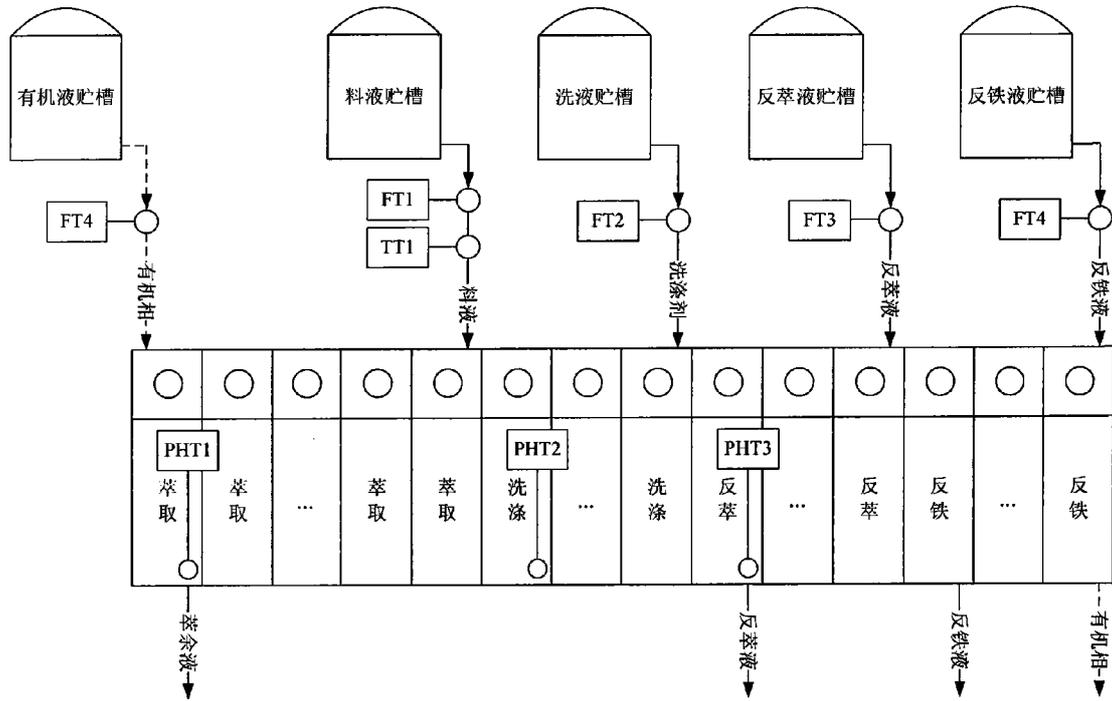


图 1

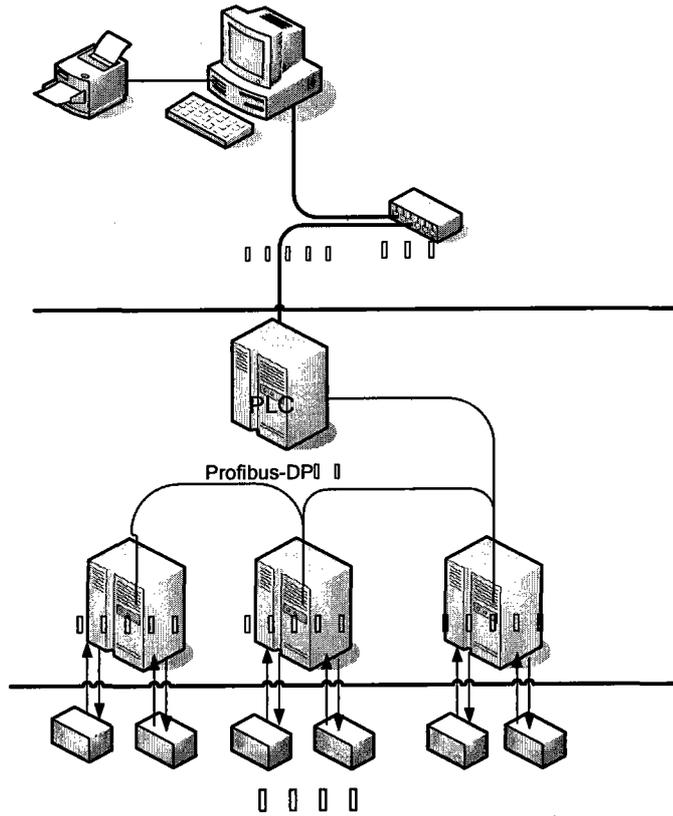


图 2

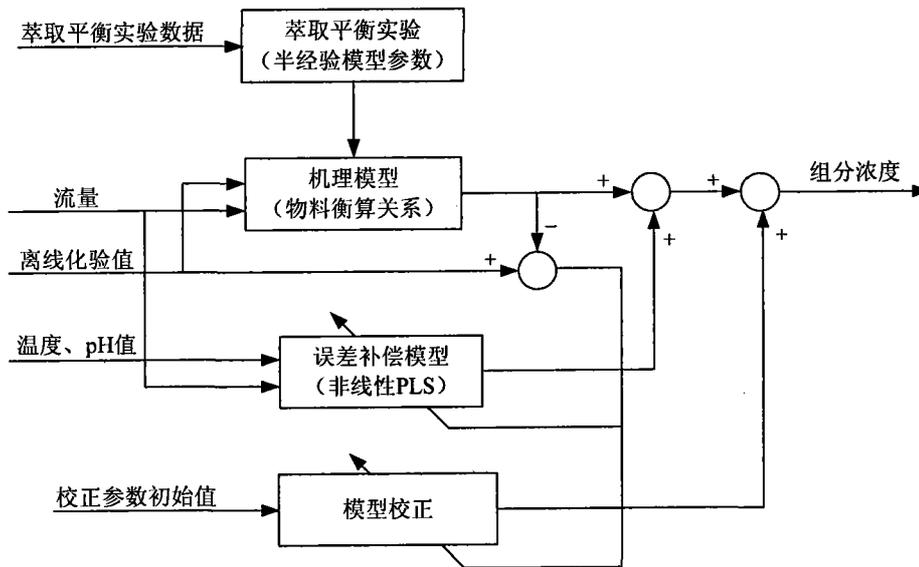


图 3

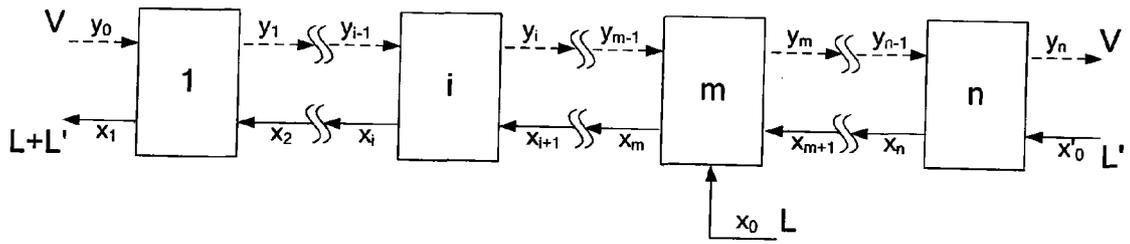


图 4

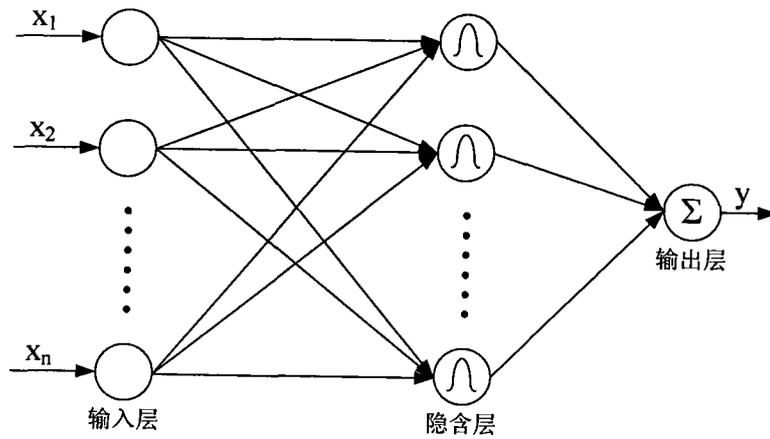


图 5

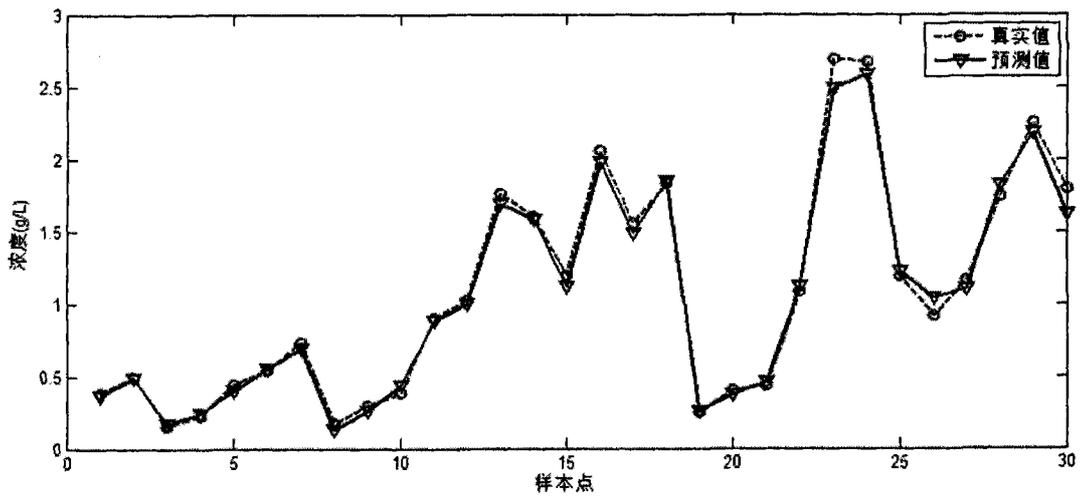
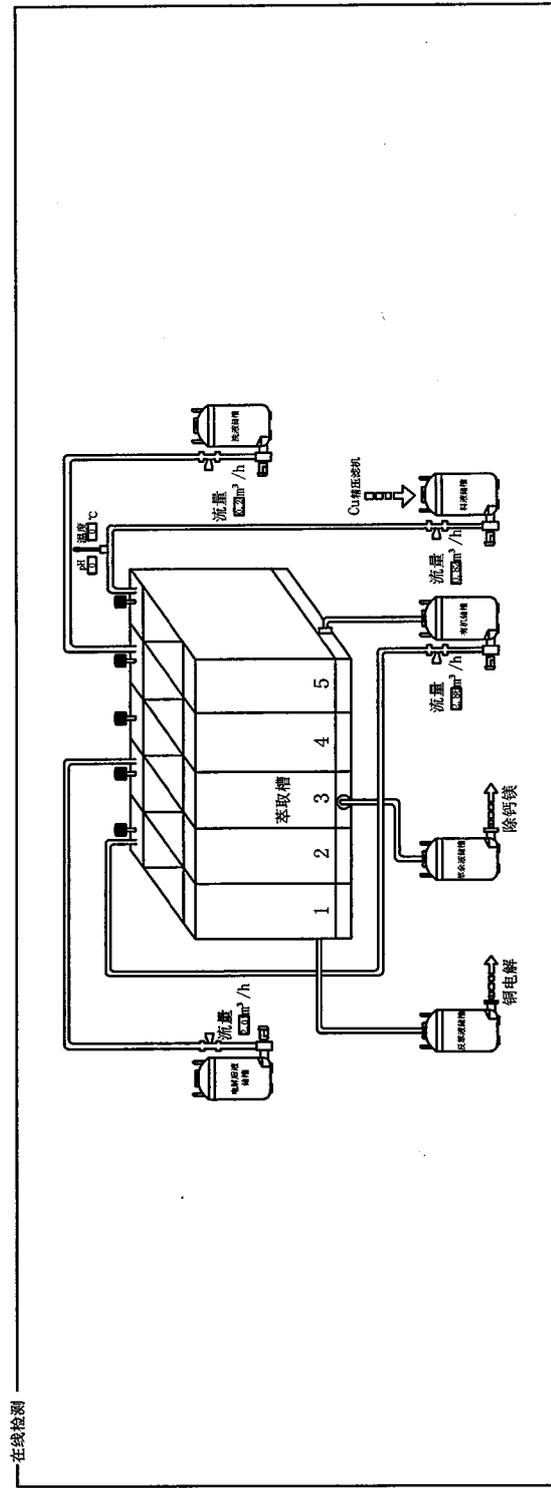


图 6

东北大学 信息科学与工程学院

2008-11-09
08:34:49

铜萃取检测



操作指导 (m³/h)

料液 有机 洗液 反萃取

反萃余液预测 (g/L)

Co Cu

萃取液预测 (g/L)

Co Cu

返回主界面

优化操作指导

PS07萃取检测

P204主萃检测

P204预萃检测

模型参数输入

萃取主界面

萃取过程优化操作指导

萃取主界面

开始

图 7

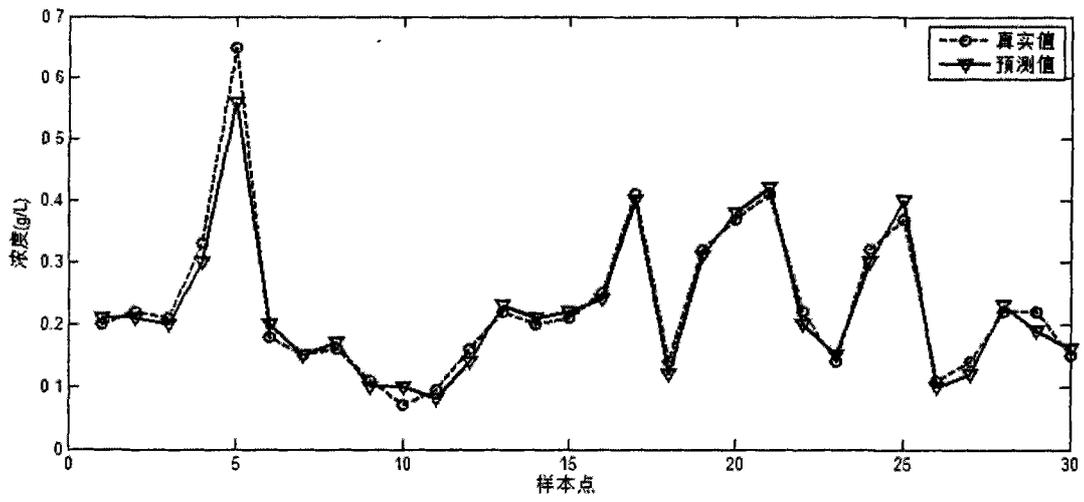


图 8

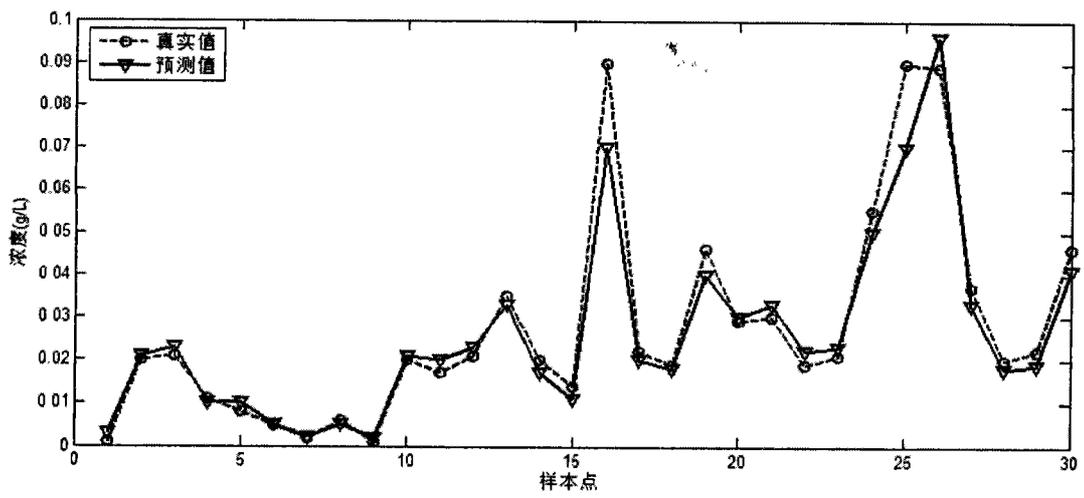


图 9

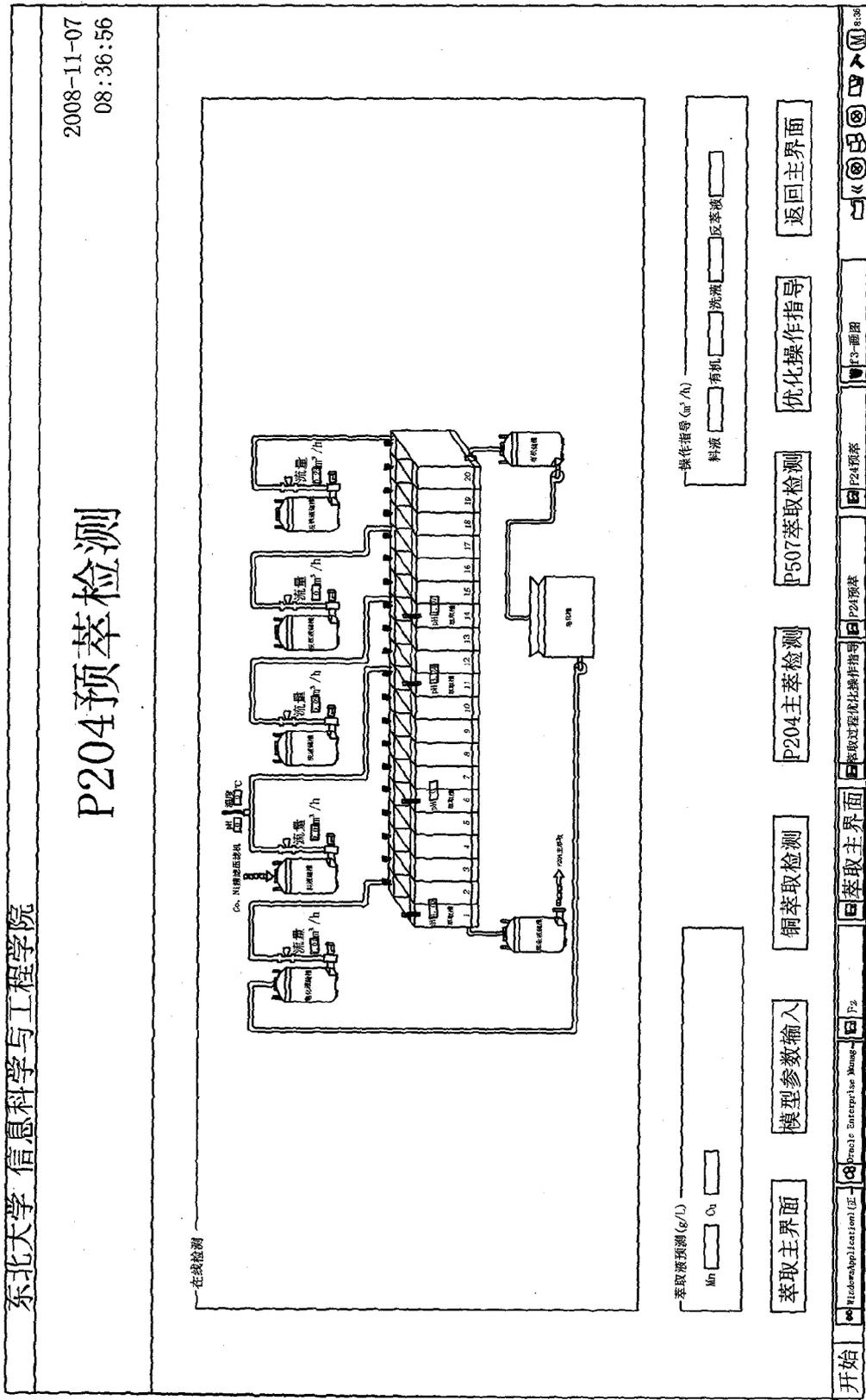


图 10

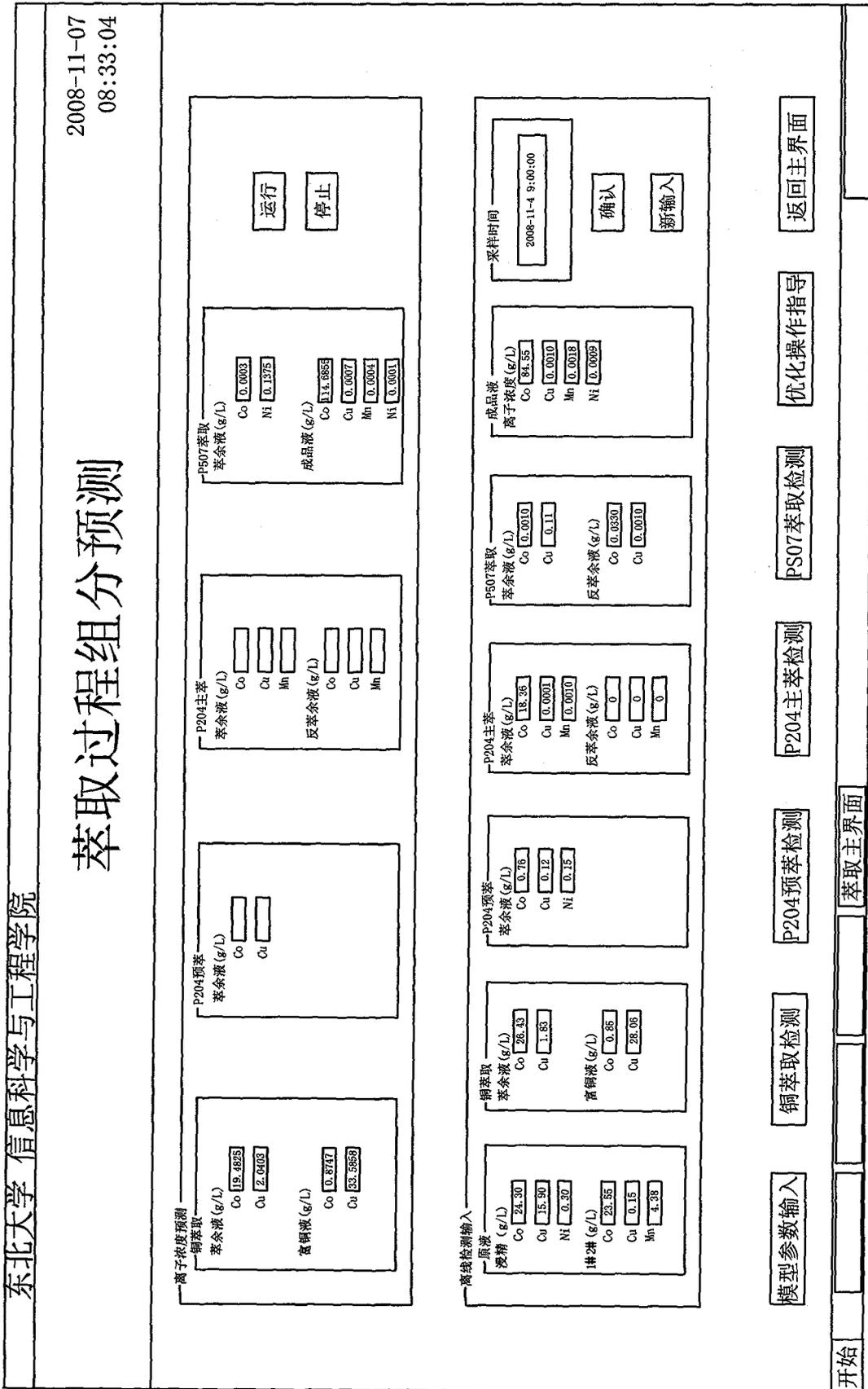


图 11

东北大学 信息科学与工程学院

2008-11-07
08:34:19

萃取过程优化操作指导

<p>铜萃取</p> <p>料液 离子浓度 (g/L) Cu <input type="text" value="15.90"/> 料液流量 (m³/h) <input type="text" value="0.82"/></p> <p>期望 离子浓度 (g/L) Cu <input type="text" value="2"/></p> <p>操作指导 流量 (m³/h) 料液 <input type="text" value="0.82"/> 有机 <input type="text" value="3.92"/> 洗液 <input type="text" value="0.16"/> 反萃液 <input type="text" value="1.57"/></p> <p>运行 <input type="button" value="运行"/> 新输入 <input type="button" value="新输入"/></p>	<p>料液 离子浓度 (g/L) Mn <input type="text" value="4.35"/> Cu <input type="text" value="0.15"/> 料液流量 (m³/h) <input type="text" value="0.01"/></p> <p>期望 离子浓度 (g/L) Mn <input type="text" value="0.2"/> Cu <input type="text" value="0.2"/></p> <p>操作指导 流量 (m³/h) 料液 <input type="text"/> 有机 <input type="text"/> 洗液 <input type="text"/> 反萃液 <input type="text"/></p> <p>运行 <input type="button" value="运行"/> 新输入 <input type="button" value="新输入"/></p>	<p>料液 离子浓度 (g/L) Mn <input type="text" value="0.12"/> Cu <input type="text" value="0.76"/> 料液流量 (m³/h) <input type="text" value="0"/></p> <p>期望 离子浓度 (g/L) Mn <input type="text" value="0.02"/> Cu <input type="text" value="0.02"/></p> <p>操作指导 流量 (m³/h) 料液 <input type="text"/> 有机 <input type="text"/> 洗液 <input type="text"/> 反萃液 <input type="text"/></p> <p>运行 <input type="button" value="运行"/> 新输入 <input type="button" value="新输入"/></p>	<p>料液 离子浓度 (g/L) Co <input type="text" value="16.36"/> 料液流量 (m³/h) <input type="text" value="2.13"/></p> <p>期望 离子浓度 (g/L) Co <input type="text" value="0.001"/></p> <p>操作指导 流量 (m³/h) 料液 <input type="text" value="2.13"/> 有机 <input type="text" value="2.8"/> 洗液 <input type="text" value="0.19"/> 反萃液 <input type="text" value="0.37"/></p> <p>运行 <input type="button" value="运行"/> 新输入 <input type="button" value="新输入"/></p>			
<p>萃取主界面</p>	<p>模型参数输入</p>	<p>铜萃取检测</p>	<p>P204预萃检测</p>	<p>P204主萃检测</p>	<p>PS07萃检测</p>	<p>返回主界面</p>
<p>开始</p>	<p>萃取主界面</p>	<p>萃取过程优化操作指导</p>				

图 12