(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2014 年 6 月 5 日 (05.06.2014)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2014/082189 A1

(51) 国际专利分类号:
G05D 11/13 (2006.01) *C23G 3/02* (2006.01)
C23G 1/08 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2012/001603

(22) 国际申请日: 2012 年 11 月 30 日 (30.11.2012)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: **宝山钢铁股份有限公司 (BAOSHAN IRON & STEEL CO., LTD)** [CN/CN]; 中国上海市宝山区富锦路 885 号, Shanghai 201900 (CN)。

(72) 发明人: **唐安详 (TANG, Anxiang)**; 中国上海市宝山区富锦路 885 号, Shanghai 201900 (CN)。 **申屠理锋 (SHEN TU, Lifeng)**; 中国上海市宝山区富锦路 885 号, Shanghai 201900 (CN)。

(74) 代理人: **上海市华诚律师事务所 (WATSON & BAND LAW OFFICE)**; 中国上海市威海路 755 号文新报业大厦 26 楼, Shanghai 200041 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:
— 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:
— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) **Title**: METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING ACID CONCENTRATION FOR PICKLING IN COLD ROLLING

(54) **发明名称** : 冷轧酸洗酸浓度控制方法和装置

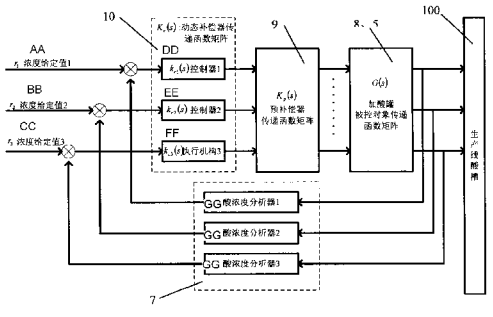

图 4 / Fig.4

8, 5 G(s) Acid adding tank controlled object transfer function matrix
9 K_p(s) Pre-compensator transfer function matrix
10 K_c(s) Dynamic compensator transfer function matrix
100 Production line acid vat
AA r_1 Concentration given value 1
BB r_2 Concentration given value 2
CC r_3 Concentration given value 3
DD k_{c1}(s) Controller 1
EE k_{c2}(s) Controller 2
FF k_{c3}(s) Actuating mechanism 3
GG Acid concentration analyzer

(57) **Abstract**: Provided are a method and an apparatus for controlling an acid concentration for pickling in cold rolling. The method comprises arranging three mutually communicated acid adding tanks on an acid circulation vat, feeding back to a multi-variable controller through acid concentration analyzers actual acid concentration values of an acid solution in the acid vat obtained after measurement, and using a multi-variable controller model to find out a coupling relationship among the acid concentrations of three measurement points. The control method and apparatus can implement acid concentration closed-loop control, save hydrochloric acid usage, reduce the amount of regenerated waste acid, and reduce environmental pollution.

(57) **摘要**: 提供一种冷轧酸洗酸浓度控制方法和装置，该方法是在酸循环槽上配置三个互相连通的加酸罐，测量得到酸槽内酸溶液的实际酸浓度值经酸浓度分析器后馈给多变量控制器，利用多变量控制器模型找出三个测量点的酸浓度之间的耦合关系。该控制方法和装置能实现酸浓度闭环控制，节约盐酸用量，减少废酸再生数量，降低环境污染。

WO 2014/082189 A1

冷轧酸洗酸浓度控制方法和装置

技术领域

本发明涉及一种冷轧带钢酸洗酸浓度控制方法和装置。

背景技术

冷轧带钢生产中的一道重要工序就是酸洗，酸洗是用化学方法除去金属表面氧化铁皮的化学过程。带钢表面上的氧化铁皮（ Fe_2O_3， Fe_3O_4， FeO ）都是不溶解于水的碱性氧化物，当它们浸泡在酸液里时，这些碱性氧化物就与酸发生一系列化学反应。碳素钢或低合金钢表面上的氧化铁皮具有疏松、多孔和裂纹的性质，这些氧化铁皮随同带钢一起矫直、拉矫、传送，经过反复弯曲，使这些缝隙进一步加大，所以酸溶液与氧化铁皮反应的同时也与大纲带钢的基体铁发生化学反应。酸洗的目的是要清除带钢表面的氧化层，常规的酸洗普遍存在酸浓度控制的滞后性，无法实现盐酸浓度的稳定控制，实际生产过程中盐酸浓度波动大，造成带钢清洗质量不稳定，并且酸的使用量偏大，造成盐酸的浪费。目前世界上现有的酸洗机组大多采用手动酸浓度控制，主要原因是酸浓度实时测量的准确性很难保证，没有成熟的测量及控制方案。一般是人工定时采样并用滴定法（titration）对样品的酸浓度进行分析，再根据实践经验进行补酸实施酸浓度手动控制，这种方法的最大缺点是控制的滞后性，因为实际酸浓度的变化与许多因素密切相关，例如机组的运行速度、带钢的宽度、带钢表面的氧化程度及钢种等等，所以人工的控制方法势必造成酸浓度忽高忽低波动大，对带钢的清洗质量造成不稳定。

中国专利公开号 CN1462321 公开了一种连续酸洗方法和连续酸洗装置，其连续酸洗方法是，一边分别向构成连续酸洗装置的多个酸洗槽中两个以上酸洗槽内供给酸液，一边对输送的带钢进行酸洗时，用所述的带钢上氧化铁皮的厚度、所述的带钢的宽度和所述的带钢的输送速度求出酸液总供给量，用所述的带钢的酸洗模式和所述的带钢的输送速度求出向所述的两个以上酸洗槽中各自酸液供给量的分配比例。酸洗管路控制装置预测储存在连续酸洗装置的第三槽和最终槽中的酸洗液酸洗时消耗的酸量，确定分别对第三槽和最终槽中酸洗液的供给量，使酸液供给系统供给酸液。酸浓度连续测定装置对分别储存在被供酸液的第三槽和最终槽中酸洗液的酸浓度作连续测定，并且根据连续测得的被测酸浓度值由

确认本

酸液供给系统向第三槽和最终槽供给酸液，以便使储存在第三槽和最终槽中酸洗液的酸浓度分别与目标值互相匹配。这样可以使从最终槽排出酸洗液的、受到限制的酸浓度增加到12%，同时使储存在其他酸洗槽中酸洗液的酸浓度增加。

中国专利公开号CN1280633公开了一种酸浓度连续测定装置，其中组合有设有能使酸洗槽中容纳的酸洗液连续沿一个方向通过通路的本体，设置在本体上并以实际上连续测定流经通路的酸洗液用的密度计、温度计和电导率计，以及根据这些测定结果计算酸洗液酸浓度用的计算装置。使用这种酸浓度连续测定装置，反馈控制构成连续酸洗设备的数个酸洗槽中最终酸洗槽内的盐酸浓度。

上述公开的文献中，涉及了酸浓度测量装置，所采用的测量方法涉及了温度测量、密度测量和电导率测量，利用温度、密度和电导率推算出酸浓度。采用的是单变量控制酸浓度的方法，整个测量时间较长，需要1小时，是一种间断测量法。由于酸浓度控制的滞后性，无法实现盐酸浓度的稳定控制，在实际生产过程中盐酸浓度波动大，造成带钢清洗质量不稳定，并且酸的使用量偏大，造成盐酸的浪费。

发明内容

本发明的目的在于提供一种本发明冷轧酸洗酸浓度控制方法和装置，该控制方法采用多变量解耦控制方法实现酸浓度闭环控制，从而节约盐酸用量，减少废酸再生数量，降低环境污染。

为了实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

一种冷轧酸洗酸浓度控制方法，在酸洗生产线的酸循环槽上配置三个加酸罐，三个加酸罐之间是互相连通的，在每一个加酸罐与酸循环槽的酸溶液回流管道上串联接一个酸浓度测量装置，通过酸浓度测量装置测量得到生产线上酸循环槽内酸溶液的实际酸浓度值经酸浓度分析器后馈给多变量控制器，在多变量控制器内与工艺要求给定的酸浓度值比较，其差值作为多变量控制器模型的输入值；由于三个加酸罐之间的酸浓度是互相影响的，即测量得到的酸浓度值是互相关联的，因此必须找出三个测量点的酸浓度之间的耦合关系，建立生产线酸循环槽的数学模型，并进行多变量解耦合计算，将多变量控制系统转化为单变量控制系统；具体步骤是：

第一步，建立酸洗生产线上被控对象的酸循环槽的多变量数学模型

生产线酸循环槽的被控对象的加酸罐传递函数矩阵$G(s)$的表达式为：

$$G(s)=\frac{1}{(a_1a_2a_3s+a_3\beta_1(a_1+a_2))s^2+(\beta_2+\beta_3)(a_1a_2s+\beta_1(a_1+a_2))s}G^{-1}(s) \qquad (7)$$

加酸罐传递函数矩阵$G(s)$的逆函数$G^{-1}(s)$表达式为：

$$G^{-1}(s)=\begin{pmatrix} a_1 s+\beta_1 & -\beta_1 & 0 \\ -\beta_1 & a_2 s+\beta_1+\beta_2 & -\beta_2 \\ 0 & -\beta_2 & a_3 s+\beta_2+\beta_3 \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中：

a_1, a_2, a_3是三个加酸罐的截面积，三个加酸体积相同，$\beta_1, \beta_2, \beta_3$是工艺允许的加酸流量的偏差量；

第二步：根据第一步得到的加酸罐传递函数矩阵$G(s)$设计预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$，使得$K_p(s)G(s)$成为对角优势矩阵，其步骤如下：

1）运行现有的绘制传递函数$G(s)$格稀高林带的软件，在软件弹出的界面中输入传递函数$G(s)$，输入完成后点击运行，在界面上得到附有格稀高林带的奈氏图，使得$K_p(s)G(s)$成为对角优势矩阵；

2）利用现有的对角优势化软件，计算出预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$；绘制出$Q(s)$的格稀高林带，得到补偿后的开环系统已经达到对角优势；

第三步，加酸罐传递函数矩阵$G(s)$单回路补偿设计，由于$Q(s)$已经达到对角优势，因此可以采用单变量的设计方法对三个单回路进行补偿设计，取$K_{ci}(i=1,2,3)$为 PI 调节器，通过几次参数凑试，得到动态补偿器传递函数矩阵$K_c(s)$值；

第四步，绘制$G(s)K_c(s)K_p(s)$附有格稀高林带的奈氏图，根据奈氏稳定判据，保证闭环系统稳定，得到酸浓度反馈增益值$F(s)$。

所述第一步中，三个加酸罐的截面积取值为：$a_1=a_2=a_3=1.8m^2$，工艺允许的加酸流量的偏差量取值为：$\beta_1=0.6;\beta_2=0.5;\beta_3=0.36$；代入式（7），则加酸罐传递函数矩阵$G(s)$值：

$$G^{-1}(s)=\begin{bmatrix} 1.8s+0.6 & -0.6 & 0 \\ -0.6 & 1.8s+1.1 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & 1.8s+0.86 \end{bmatrix}$$

$$G(s)=\frac{1}{(5.832s+3.88)s^2+(2.78s+1.856)s}\begin{bmatrix} 1.8s+0.6 & -0.6 & 0 \\ -0.6 & 1.8s+1.1 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & 1.8s+0.86 \end{bmatrix} \quad (8)$$

第二步，计算出预补偿器传递函数矩阵 $K_p(s)$：

$$K_p=\begin{pmatrix}-82.0325 & 67.2212 & 0\\ 66.3421 & -18.2674 & 55.9562\\ 0 & 57.3965 & -17.5638\end{pmatrix} \quad (9)$$

第三步，通过几次参数凑试，能得到：

$$K_c(s)=diag\left[1+\frac{0.0078}{s}\quad 1+\frac{0.0021}{s}\quad 1+\frac{0.0038}{s}\right] \quad (10)$$

第四步，得到酸浓度反馈增益 F(s)值：$f_1=(0.82)$；$f_2=(0.78)$；$f_3=(0.89)$。

所述第四步中酸浓度反馈增益 F(s)取值为：

$F(s)=diag[1.5\quad 1.5\quad 1.5]$。 (11)

第五步，调整酸浓度反馈增益 $F(s)$，作闭环系统的阶跃仿真曲线，调整酸浓度反馈增益 $F(s)$，完成多变量闭环控制系统设计。

第六步，闭环控制系统仿真，通过现有的仿真软件能得到系统的单位阶跃响应曲线，调整系统参数：包括输入参数设定值、预补偿器传递函数矩阵 $K_p(s)$、动态补偿器传递函数矩阵 $K_c(s)$和酸浓度反馈增益 $F(s)$，使各个主通道没有超调现象，满足系统的稳态误差和响应速度要求。

一种冷轧酸洗酸浓度控制装置，包括酸浓度分析器、传感器、仪表设定和显示系统、控制器、执行机构；所述传感器包括电导率传感器和温度传感器，电导率传感器测量生产线酸循环槽出口端的溶液电导率，温度传感器测量酸循环槽出口端的溶液温度；温度传感器和电导率传感器的信号输出给酸浓度分析器，在酸浓度分析器中计算得到酸循环槽内溶液的浓度，这个浓度馈给控制器；

所述控制器为多变量控制器，多变量控制器包括动态补偿控制器和预补偿控制器，多变量控制器根据操作人员输入的酸浓度信号和传感器测量得到的酸浓度实际值进行多变量解耦计算，计算出控制变量输出给执行机构；执行机构分别控制各个加酸罐上的输液泵和输液阀，各个加酸罐是互相连通的，对酸循环槽酸浓度进行输送酸液控制。

所述加酸罐为三个，分别位于钢板进入酸循环槽的入口处、出口处和酸循环槽的中间位置。

本发明通过对冷轧酸洗生产线酸循环槽电导率和温度的实时测量直接演算出酸浓度，采用多变量解耦控制方法实现酸浓度闭环控制及优化，从而节约盐酸用量，减少废酸再生数量，降低环境污染。

本发明的冷轧酸洗酸浓度控制装置采用多变量控制器，实现了无间断连续测量，可以实现自动连续控制；装置结构简单，酸循环槽浓度控制稳定，不仅确保了带钢酸洗质量，而且还可以节约酸的用量。

附图说明

图1为冷轧酸洗酸浓度控制工艺流程示意图；

图 2 为本发明的冷轧酸洗酸浓度控制装置示意图；

图3为本发明的酸浓度多变量控制器建模示意图；

图4为本发明的酸浓度多变量控制器原理图；

图5为本发明的奈氏阵列法设计流程示意图；

图6为本发明的酸浓度多变量闭环控制器系统框图。

图中：11-117阀门，21-23加热器，31-311流量计，41-411泵，5、51-53加酸罐；1轧辊，2喷酸头，3溢流管，4带钢；6传感器（酸浓度测量装置），7酸浓度分析器，8执行机构，9预补偿控制器，10动态补偿控制器，100生产线酸循环槽（酸槽、酸洗槽）。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明。

参见图1和图2，一种冷轧酸洗酸浓度控制装置，包括酸浓度分析器7、传感器6、仪表设定和显示系统、多变量控制器、执行机构8；传感器6包括电导率传感器和温度传感器，电导率传感器测量生产线酸循环槽100（简称酸槽）出口端的溶液电导率，温度传感器测量酸槽出口端的溶液温度。温度传感器和电导率传感器的信号输出给酸浓度分析器7，在酸浓度分析器7中进行分析计算得到酸槽100内溶液的浓度，这个浓度馈给多变量控制器，多变量控制器包括动态补偿控制器10和预补偿控制器9。生产操作人员通过仪表设定和显示系统可对多变量控制器参数进行设定，多变量控制器根据操作人员输入的酸浓度信号和传感器测量得到的酸浓度实际值进行多变量解耦计算，计算出控制变量输出给执行机构8，执行机构8分别控制各个加酸罐5上的输液泵和输液阀，各个加酸罐5是互相连通的，对酸循环槽100酸浓度进行输送酸液控制，并保持酸浓度一致。

参见图1，在冷轧酸洗生产线上，一般通过控制生产线酸循环槽100上三个点的酸浓度，来保证整条生产线上酸槽中溶液的浓度满足以生产工艺的要求，为此在酸洗生产线上配置了三个加酸罐51、52、53，每一个加酸罐51、52、53与生产线上的酸洗槽100之间的酸溶

液回流的管路上，即溢流管3中串联一个酸浓度测量装置6（即传感器），通过这个酸浓度测量装置6测量得到生产线上酸槽100内部酸溶液的实际酸浓度值经酸浓度分析器7后馈给多变量控制器，在控制器内部与工艺要求给定的酸浓度值比较，其差值作为控制器模型的输入值。测量点一般选择在带钢4进入酸槽100的入口处、出口处和酸洗槽的中间位置。由于带钢4是从入口进入酸洗槽100，以一定的速度从出口输出，因此酸槽100内部的酸溶液是从入口向出口方向流动。三个加酸罐51、52、53是互相连通的，原酸从三号加酸罐53中流入，在三号加酸罐53中稀释后分别流向酸槽100入口处和二号加酸罐52，在二号加酸罐52中再次稀释后分别流向酸槽100的中间部位和一号加酸罐51，在一号加酸罐51中再次稀释分别流向酸洗槽100和废酸罐。因此三个加酸罐51、52、53之间的酸浓度是互相影响的，即测量得到的酸浓度值是互相关联的，表明酸浓度控制器是一个多变量控制器，参见图4。

为了能够精确控制生产线酸循环槽100内部的酸浓度，本发明通过找出三个测量点的酸浓度之间的耦合关系，建立生产线酸循环槽的数学模型，并进行多变量解耦合计算，将多变量控制系统转化为单变量控制系统。本发明为了建立数学模型，将图1冷轧酸洗酸浓度控制工艺流程图，结合图2的冷轧酸洗酸浓度控制装置示意图，等效为图3的酸浓度多变量控制器建模示意图，根据图3得到被控对象的数学模型$G(s)$，利用$G(s)$进行多变量控制器设计。在多变量控制器设计中采用奈奎斯特阵列法，基本设计思想是：先在被控对象前面引入一个预补偿器$K_p(s)$，来减弱各个回路之间的耦合作用，使系统的开环传递函数矩阵成为对角优势矩阵，将整个多变量系统的设计简化为一组单变量系统的补偿设计；其次按照单变量的设计方法，设计动态补偿器$K_c(s)$。参见图4，图4为酸浓度多变量控制器原理图。经过多变量控制器运算处理后，计算出控制变量输出给执行机构，执行机构分别控制各个加酸罐上的输液泵和输液阀，对酸循环槽酸浓度进行控制。

一种冷轧酸洗酸浓度控制方法，其步骤是：

第一步，建立酸洗生产线上被控对象酸洗槽的多变量数学模型

参见图3，图3为酸浓度多变量控制器建模示意图，图中：

a_i为第i个加酸罐的截面积，已知加酸罐的截面积是均匀的；

$h_i(t)$为在t时刻加酸罐i中液面高度；

$f_i(t)$为在t时刻加酸罐i到加酸罐$i+1$的流量；

$d_i(t)$为在t时刻加酸罐i输出的液体的流量；$q_i(t)$为在t时刻输入到加酸罐i的液体的流量；

取：流入加酸罐液体的流速$q_i(t)\,(1\le i\le m)$为系统的输入量；

加酸罐的液面高度$h_i(t)\,(1\le i\le m)$为系统的输出量；

加酸罐输出液体的流量$d_i(t)\,(1\le i\le m)$为系统的外界干扰量；

于是，由物理的基本定律，可以推导出描述该系统的微分方程的一般表达式：

$$a_i\dot{h}_i(t)=q_i(t)-d_i(t)-f_i(t)+f_{i-1}(t)\,(1\le i\le m) \qquad (1)$$

其中: $f_0(t)=f_m(t)=0$

令

$$h_i(t)=h_{i0}+x_i(t) \qquad (1\le i\le m)$$

$$q_i(t)=q_{i0}+u_i(t) \qquad (1\le i\le m)$$

$$d_i(t)=d_{i0}+l_i(t) \qquad (1\le i\le m)$$

$$f_i(t)=f_{i0}+\beta_i[x_i(t)-x_{i+1}(t)] \qquad (1\le i\le m-1)$$

其中：

h_{i0}，q_{i0}，d_{i0}，f_{i0}分别为$h_i(t)$，$q_i(t)$，$d_i(t)$，$f_i(t)$的额定稳态值；

$x_i(t),u_i(t),l_i(t)$，$\beta[x_i(t)-x_{i-1}(t)]$,分别为$h_i(t),q_i(t),d_i(t)$和$f_i(t)$相对于额定稳态值的变化量；$\beta_i>0$，$(1\le i\le m)$；

于是，可以得到相对于额定稳态值小偏差微分方程：

$$a_1\dot{x}_1(t)=u_1(t)-l_1(t)-\beta_1[x_1(t)-x_2(t)] \qquad (2)$$

$$a_i\dot{x}_i(t)=u_i(t)-l_i(t)-\beta_i[x_i(t)-x_{i+1}(t)]+\beta_{i-1}[x_{i-1}(t)-x_i(t)] \quad (2\le i\le m-1)$$

$$a_m\dot{x}_m(t)=u_m(t)-l_m(t)+\beta_{m-1}[x_{m-1}(t)-x_m(t)]$$

为了方便，设干扰$l_i(t)\,(1\le i\le m)$为零。额定稳态值小偏差微分方程(2)可以写成：

$$\begin{cases}\dot{x}(t)=Ax(t)+Bu(t)\\ y(t)=Cx(t)\end{cases} \qquad (3)$$

其中：

$$A=\begin{bmatrix} -\frac{\beta_1}{a_1} & \frac{\beta_1}{a_1} & 0 & 0 & \cdots & \cdots & 0 \\ \frac{\beta_1}{a_2} & \frac{-(\beta_1+\beta_2)}{a_2} & \frac{\beta_2}{a_2} & 0 & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \frac{\beta_2}{a_3} & \frac{-(\beta_2+\beta_3)}{a_3} & \frac{\beta_3}{a_3} & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \frac{\beta_{m-1}}{a_m} & \frac{-\beta_{m-1}}{a_m} \end{bmatrix}$$

$$B=\begin{bmatrix} \frac{1}{a_1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \frac{1}{a_2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{a_3} & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \frac{1}{a_m} \end{bmatrix}$$

$$C=\begin{bmatrix} 1 & & & 0 \\ & 1 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & 1 \end{bmatrix}$$

$$x(t)=[x_1(t)x_2(t)\cdots x_m(t)]^T$$

$$y(t)=[y_1(t)y_2(t)\cdots y_m(t)]^T$$

$$u(t)=[u_1(t)u(t)\cdots u_{m(t)}]^T$$

系统的传递函数矩阵为：

$$G(s)=C[sI-A]^{-1}B \qquad (4)$$

其逆为：

$$G^{-1}(s)=B^{-1}[sI-A]C^{-1} \qquad (5)$$

其中：

$$B^{-1}=\begin{pmatrix} a_1 & & 0 \\ & a_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & a_m \end{pmatrix}$$

将B^{-1}，A和C^{-1}代入式（5）得到一般表达式：

$$G^{-1}(s)=\begin{pmatrix} a_1s+\beta_1 & -\beta_1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ -\beta_1 & a_2s+\beta_1+\beta_2 & -\beta_2 & 0 & \cdots & \cdots \\ 0 & -\beta_2 & a_3s+\beta_2+\beta_3 & -\beta_3 & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & -\beta_3 & a_4s+\beta_3+\beta_4 & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & -\beta_{m-1} \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & -\beta_{m-1} & a_ms+\beta_{m-1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

$G^{-1}(s)$ 描述了加酸罐开环系统的动态特性。

当$m=3$时：

$$G^{-1}(s)=\begin{pmatrix} a_1s+\beta_1 & -\beta_1 & 0 \\ -\beta_1 & a_2s+\beta_1+\beta_2 & -\beta_2 \\ 0 & -\beta_2 & a_3s+\beta_2+\beta_3 \end{pmatrix}$$

可以得到加酸罐传递函数：

$$G(s)=\frac{1}{(a_1a_2a_3s+a_3\beta_1(a_1+a_2))s^2+(\beta_2+\beta_3)(a_1a_2s+\beta_1(a_1+a_2))s}G^{-1}(s) \quad (7)$$

其中：a_1,a_2,a_3是三个加酸罐的截面积，三个加酸体积相同，$a_1=a_2=a_3=1.8m^2$，$\beta_1=0.6;\beta_2=0.5;\beta_3=0.36$是工艺允许的加酸流量的偏差量，代入式（7），则

$$G^{-1}(s)=\begin{bmatrix} 1.8s+0.6 & -0.6 & 0 \\ -0.6 & 1.8s+1.1 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & 1.8s+0.86 \end{bmatrix}$$

$$G(s)=\frac{1}{(5.832s+3.88)s^2+(2.78s+1.856)s}\begin{bmatrix} 1.8s+0.6 & -0.6 & 0 \\ -0.6 & 1.8s+1.1 & -0.5 \\ 0 & -0.5 & 1.8s+0.86 \end{bmatrix} \quad (8)$$

第二步：根据第一步得到的数学模型$G(s)$设计预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$，使得

$K_p(s)\,G(s)$成为对角优势矩阵，参见图4和图5，图4为酸浓度多变量控制器原理图，图5为奈氏阵列法设计流程示意图；步骤如下：

1）运行绘制$G(s)$格稀高林带的软件（该软件市场上有售，是现有技术），在软件弹出的界面中输入数学模型$G(s)$，输入完成后点击运行，在界面上得到附有格稀高林带的奈氏图，使得$K_p(s)\,G(s)$成为对角优势矩阵；

2）利用对角优势化软件（该软件市场上有售，是现有技术），计算出预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$：

$$K_p=\begin{pmatrix}-82.0325 & 67.2212 & 0\\ 66.3421 & -18.2674 & 55.9562\\ 0 & 57.3965 & -17.5638\end{pmatrix} \qquad (9)$$

绘制出$K_p(s)\,G(s)$的格稀高林带，得到补偿后的开环系统已经达到对角优势。

第三步，$G(s)$单回路补偿设计。由于$K_p(s)\,G(s)$已经达到对角优势，因此可以采用单变量的设计方法设计对三个单回路进行补偿设计。根据生产工艺要求，酸浓度的超调量要小，暂态响应过程要短，闭环稳态误差为零。所以取$K_{ci}(i=1,2,3)$为 PI 调节器。通过几次参数凑试，得到：

$$K_c(s)=diag\left[1+\frac{0.0078}{s}\quad 1+\frac{0.0021}{s}\quad 1+\frac{0.0038}{s}\right] \qquad (10)$$

第四步，绘制$G(s)K_c(s)K_p(s)$附有格稀高林带的奈氏图。根据奈氏稳定判据，保证闭环系统稳定，酸浓度反馈增益$F(s)$取值：$f_1=(0.82)$；$f_2=(0.78)$；$f_3=(0.89)$。为了使系统有较大的稳定裕度，酸浓度反馈增益$F(s)$取：

$$F(s)=diag[1.5\quad 1.5\quad 1.5]。 \qquad (11)$$

第五步，调整酸浓度反馈增益$F(s)$。作闭环系统的阶跃仿真曲线，调整酸浓度反馈增益$F(s)$，完成多变量闭环控制系统设计。完成后的闭环控制系统框图如图 6 所示。

第六步，闭环控制系统仿真。通过现有的仿真软件可以得到系统的单位阶跃响应曲线，调整系统参数：包括输入参数设定值、预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$、动态补偿器传递函数矩阵$K_c(s)$和酸浓度反馈增益$F(s)$，使各个主通道没有超调现象，满足系统的稳态误差和响应速度要求。

本发明的冷轧酸洗酸浓度控制方法中的主要创新点最终归结为对于酸浓度多变量控制器模型中各参数的确定，参数包括被控制对象加酸罐传递函数矩阵$G(s)$、预补偿器传递

函数矩阵$K_p(s)$、动态补偿器传递函数矩阵$K_c(s)$和酸浓度反馈增益$F(s)$；多变量控制器运算器，酸浓度多变量控制器的参数确定后的闭环控制系统框图参见图6。

通过三个酸浓度测量装置测量得到生产线上酸槽内酸溶液的实际酸浓度值，经酸浓度分析器后馈给多变量控制器，在多变量控制器内与工艺要求给定的酸浓度值比较，其差值作为多变量控制器模型的输入值；经过多变量控制器运算处理后，计算出控制变量输出给执行机构，执行机构分别控制各个加酸罐上的输液泵和输液阀，对酸循环槽酸浓度进行控制。

以上仅为本发明的较佳实施例而已，并非用于限定本发明的保护范围，因此，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种冷轧酸洗酸浓度控制方法，其特征是：在酸洗生产线的酸循环槽上配置三个加酸罐，三个加酸罐之间是互相连通的，在每一个加酸罐与酸循环槽的酸溶液回流管道上串联接一个酸浓度测量装置，通过酸浓度测量装置测量得到生产线上酸循环槽内酸溶液的实际酸浓度值经酸浓度分析器后馈给多变量控制器，在多变量控制器内与工艺要求给定的酸浓度值比较，其差值作为多变量控制器模型的输入值；由于三个加酸罐之间的酸浓度是互相影响的，即测量得到的酸浓度值是互相关联的，因此必须找出三个测量点的酸浓度之间的耦合关系，建立生产线酸循环槽的数学模型，并进行多变量解耦合计算，将多变量控制系统转化为单变量控制系统；具体步骤是：

第一步，建立酸洗生产线上被控对象的酸循环槽的多变量数学模型

生产线酸循环槽的被控对象的加酸罐传递函数矩阵$G(s)$的表达式为：

$$G(s)=\frac{1}{(a_1a_2a_3s+a_3\beta_1(a_1+a_2))s^2+(\beta_2+\beta_3)(a_1a_2s+\beta_1(a_1+a_2))s}G^{-1}(s) \qquad (7)$$

加酸罐传递函数矩阵$G(s)$的逆函数$G^{-1}(s)$表达式为：

$$G^{-1}(s)=\begin{pmatrix} a_1s+\beta_1 & -\beta_1 & 0 \\ -\beta_1 & a_2s+\beta_1+\beta_2 & -\beta_2 \\ 0 & -\beta_2 & a_3s+\beta_2+\beta_3 \end{pmatrix} \qquad (6)$$

式中：

a_1,a_2,a_3是三个加酸罐的截面积，三个加酸体积相同，β_1,β_2,β_3是工艺允许的加酸流量的偏差量；

第二步：根据第一步得到的加酸罐传递函数矩阵$G(s)$设计预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$，使得$K_p(s)\,G(s)$成为对角优势矩阵，其步骤如下：

1）运行现有的绘制传递函数$G(s)$格稀高林带的软件，在软件弹出的界面中输入传递函数$G(s)$，输入完成后点击运行，在界面上得到附有格稀高林带的奈氏图，使得$K_p(s)\,G(s)$成为对角优势矩阵；

2）利用现有的对角优势化软件，计算出预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$；绘制出$Q(s)$的格稀高林带，得到补偿后的开环系统已经达到对角优势；

第三步，加酸罐传递函数矩阵$G(s)$单回路补偿设计，由于$Q(s)$已经达到对角优势，因此可以采用单变量的设计方法对三个单回路进行补偿设计，取$K_{ci}(i=1,2,3)$为 PI 调节器，通过几次参数凑试，得到动态补偿器传递函数矩阵$K_c(s)$值；

第四步，绘制$G(s)K_c(s)K_p(s)$附有格稀高林带的奈氏图，根据奈氏稳定判据，保证闭环系统稳定，得到酸浓度反馈增益值$F(s)$。

2、根据权利要求 1 所述的冷轧酸洗酸浓度控制方法，其特征是：所述第一步中，三个加酸罐的截面积取值为：$a_1=a_2=a_3=1.8m^2$，工艺允许的加酸流量的偏差量取值为：$\beta_1=0.6;\beta_2=0.5;\beta_3=0.36$；代入式（7），则加酸罐传递函数矩阵$G(s)$值：

$$G^{-1}(s)=\begin{bmatrix}1.8s+0.6 & -0.6 & 0\\ -0.6 & 1.8s+1.1 & -0.5\\ 0 & -0.5 & 1.8s+0.86\end{bmatrix}$$

$$G(s)=\frac{1}{(5.832s+3.88)s^2+(2.78s+1.856)s}\begin{bmatrix}1.8s+0.6 & -0.6 & 0\\ -0.6 & 1.8s+1.1 & -0.5\\ 0 & -0.5 & 1.8s+0.86\end{bmatrix} \quad (8)$$

第二步，计算出预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$：

$$K_p=\begin{pmatrix}-82.0325 & 67.2212 & 0\\ 66.3421 & -18.2674 & 55.9562\\ 0 & 57.3965 & -17.5638\end{pmatrix} \quad (9)$$

第三步，通过几次参数凑试，能得到：

$$K_c(s)=diag\left[1+\frac{0.0078}{s}\quad 1+\frac{0.0021}{s}\quad 1+\frac{0.0038}{s}\right] \quad (10)$$

第四步，得到酸浓度反馈增益$F(s)$值：$f_1=(0.82)$；$f_2=(0.78)$；$f_3=(0.89)$。

3、根据权利要求 2 所述的冷轧酸洗酸浓度控制方法，其特征是：所述第四步中酸浓度反馈增益$F(s)$取值为：

$$F(s)=diag[1.5\quad 1.5\quad 1.5]。 \quad (11)$$

4、根据权利要求 1 或 2 或 3 所述的冷轧酸洗酸浓度控制方法，其特征是：

第五步，调整酸浓度反馈增益$F(s)$，作闭环系统的阶跃仿真曲线，调整酸浓

度反馈增益$F(s)$，完成多变量闭环控制系统设计。

5、根据权利要求 4 所述的冷轧酸洗酸浓度控制方法，其特征是：

第六步，闭环控制系统仿真，通过现有的仿真软件能得到系统的单位阶跃响应曲线，调整系统参数：包括输入参数设定值、预补偿器传递函数矩阵$K_p(s)$、动态补偿器传递函数矩阵$K_c(s)$和酸浓度反馈增益$F(s)$，使各个主通道没有超调现象，满足系统的稳态误差和响应速度要求。

6、一种冷轧酸洗酸浓度控制装置，包括酸浓度分析器、传感器、仪表设定和显示系统、控制器、执行机构；其特征是：所述传感器包括电导率传感器和温度传感器，电导率传感器测量生产线酸循环槽出口端的溶液电导率，温度传感器测量生产线酸循环槽出口端的溶液温度；温度传感器和电导率传感器的信号输出给酸浓度分析器，在酸浓度分析器中计算得到酸循环槽内溶液的浓度，该浓度馈给控制器；

所述控制器为多变量控制器，多变量控制器包括动态补偿控制器和预补偿控制器，多变量控制器根据输入的酸浓度信号设定值和传感器测量得到的酸浓度实际值进行多变量解耦计算，计算出控制变量输出给执行机构；

执行机构分别控制各个加酸罐上的输液泵和输液阀，各个加酸罐是互相连通的，对酸循环槽酸浓度进行输送酸液控制。

7、根据权利要求 6 所述的冷轧酸洗酸浓度控制装置，其特征是：所述加酸罐为三个，分别位于钢板进入酸循环槽的入口处、出口处和酸循环槽的中间位置。

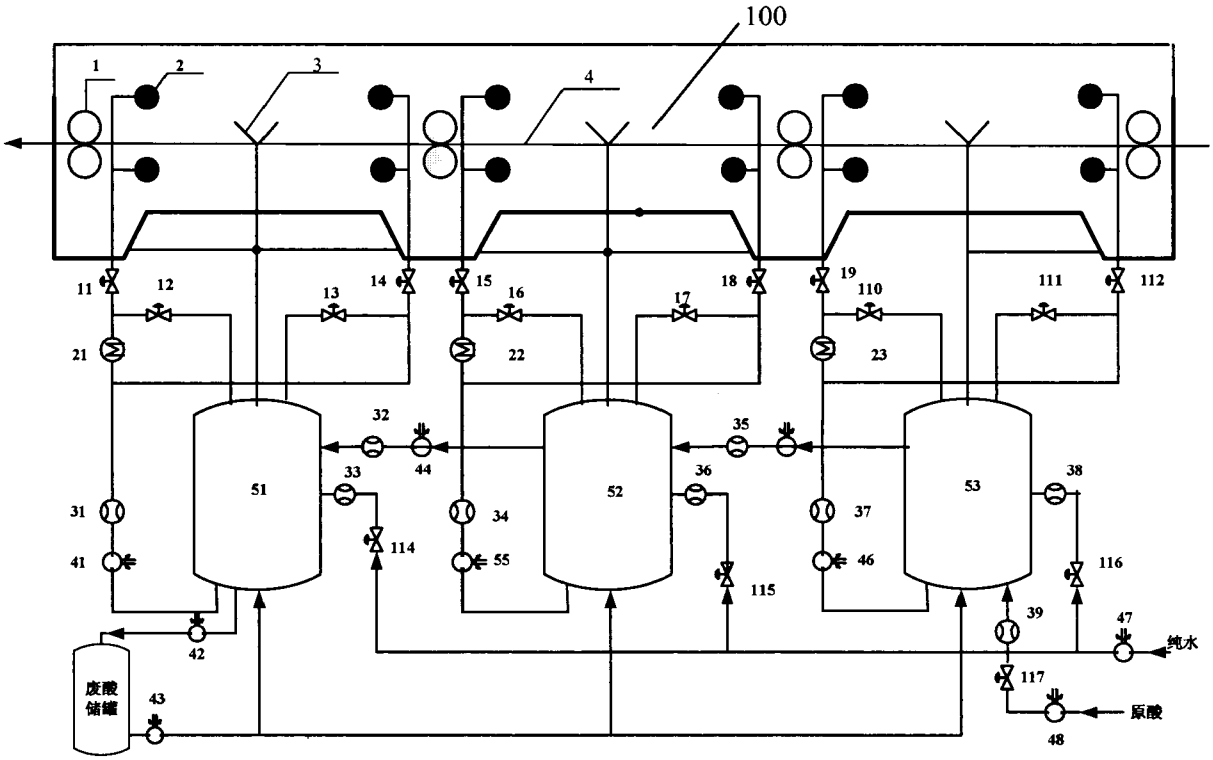
100
1
2
3
4
11
12
13
14
15
16
17
18
19
110
111
112
21
22
23
32
35
44
33
36
38
51
52
53
31
34
37
41
55
46
114
115
116
39
47
纯水
42
117
废酸储罐
43
48
原酸

图 1

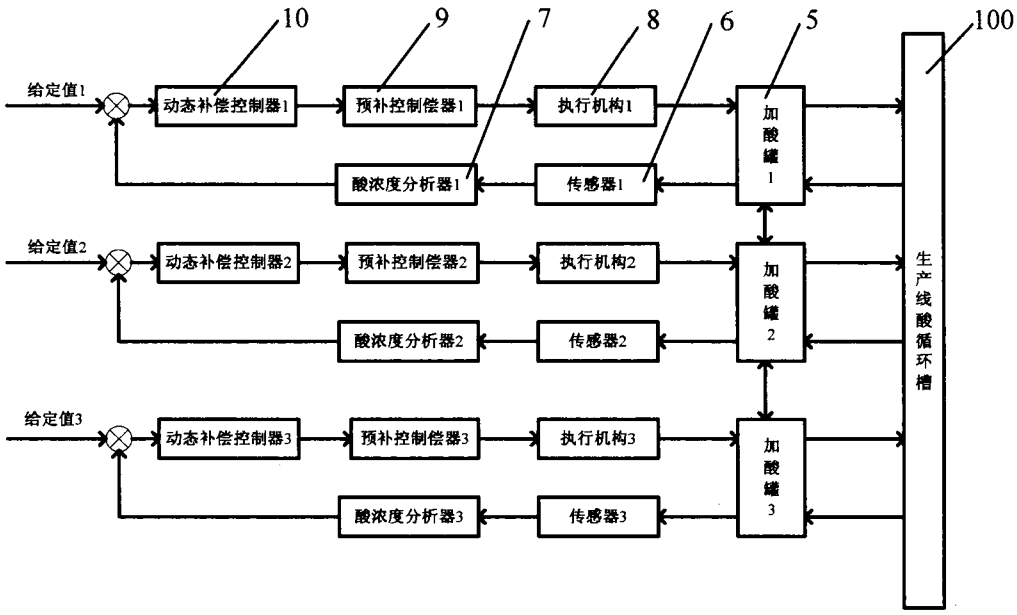
10
9
7
8
6
5
100
给定值1
动态补偿控制器1
预补控制偿器1
执行机构1
加酸罐1
酸浓度分析器1
传感器1
给定值2
动态补偿控制器2
预补控制偿器2
执行机构2
加酸罐2
酸浓度分析器2
传感器2
给定值3
动态补偿控制器3
预补控制偿器3
执行机构3
加酸罐3
酸浓度分析器3
传感器3
生产线酸循环槽

图 2

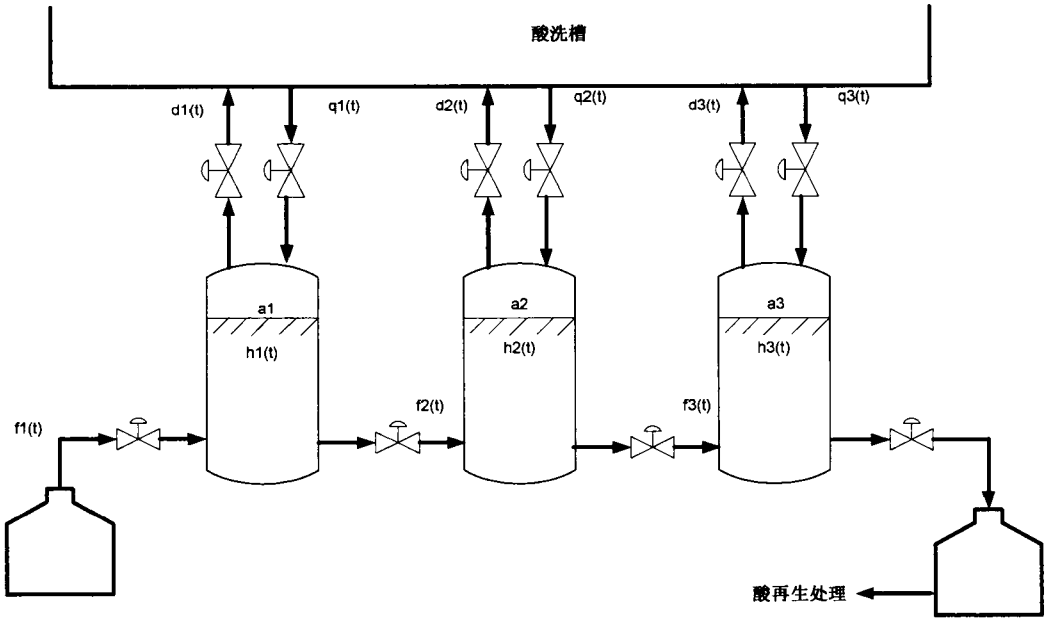
酸洗槽
d1(t)
q1(t)
d2(t)
q2(t)
d3(t)
q3(t)
a1
h1(t)
a2
h2(t)
a3
h3(t)
f1(t)
f2(t)
f3(t)
酸再生处理

图 3

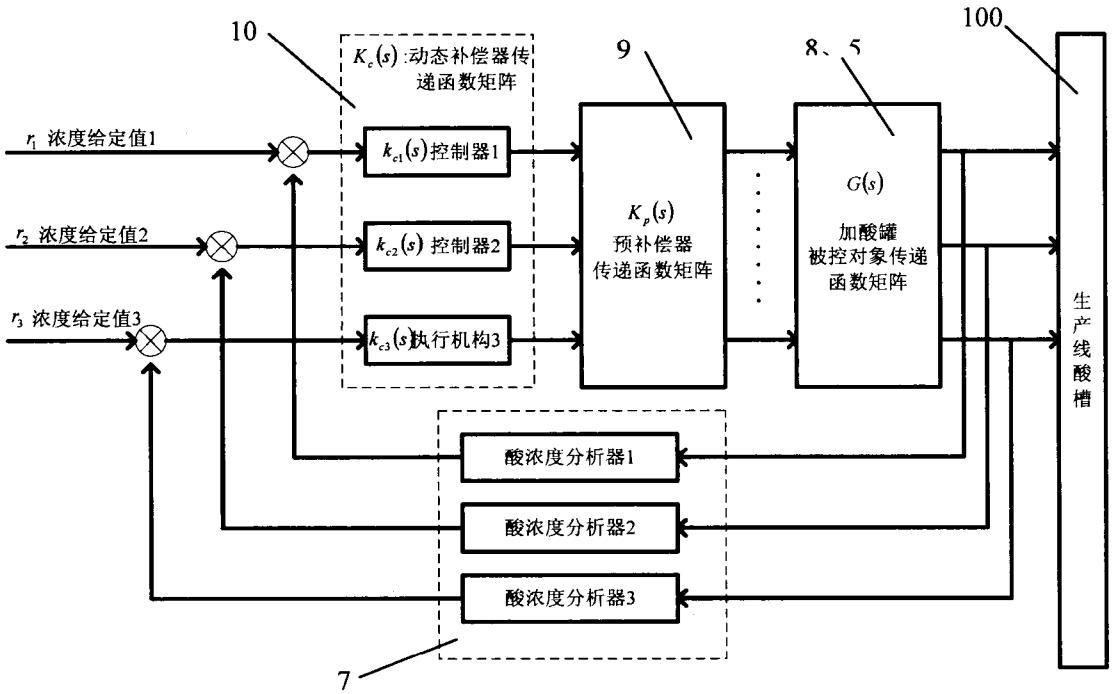
10
$K_c(s)$ 动态补偿器传递函数矩阵
9
8、5
100
r_1 浓度给定值1
r_2 浓度给定值2
r_3 浓度给定值3
$k_{c1}(s)$控制器1
$k_{c2}(s)$ 控制器2
$k_{c3}(s)$执行机构3
$K_p(s)$
预补偿器
传递函数矩阵
$G(s)$
加酸罐
被控对象传递
函数矩阵
生产线酸槽
酸浓度分析器1
酸浓度分析器2
酸浓度分析器3
7

图 4

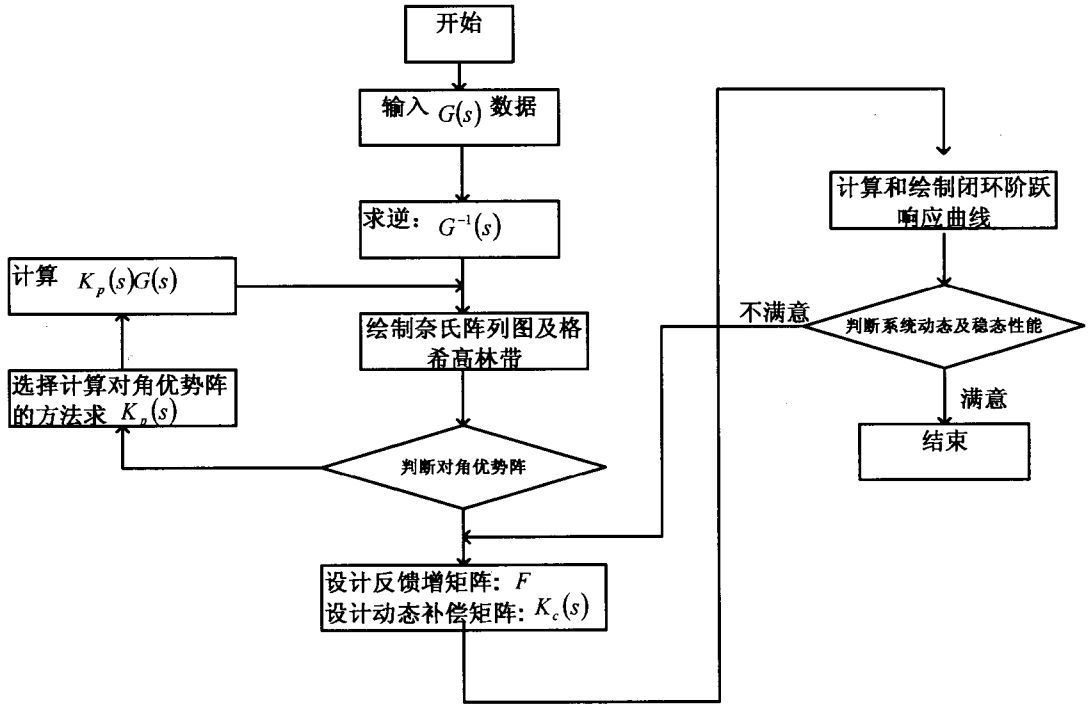
开始
输入 $G(s)$ 数据
求逆：$G^{-1}(s)$
计算 $K_p(s)G(s)$
绘制奈氏阵列图及格希高林带
选择计算对角优势阵的方法求 $K_p(s)$
判断对角优势阵
设计反馈增矩阵：F
设计动态补偿矩阵：$K_c(s)$
计算和绘制闭环阶跃响应曲线
判断系统动态及稳态性能
不满意
满意
结束

图 5

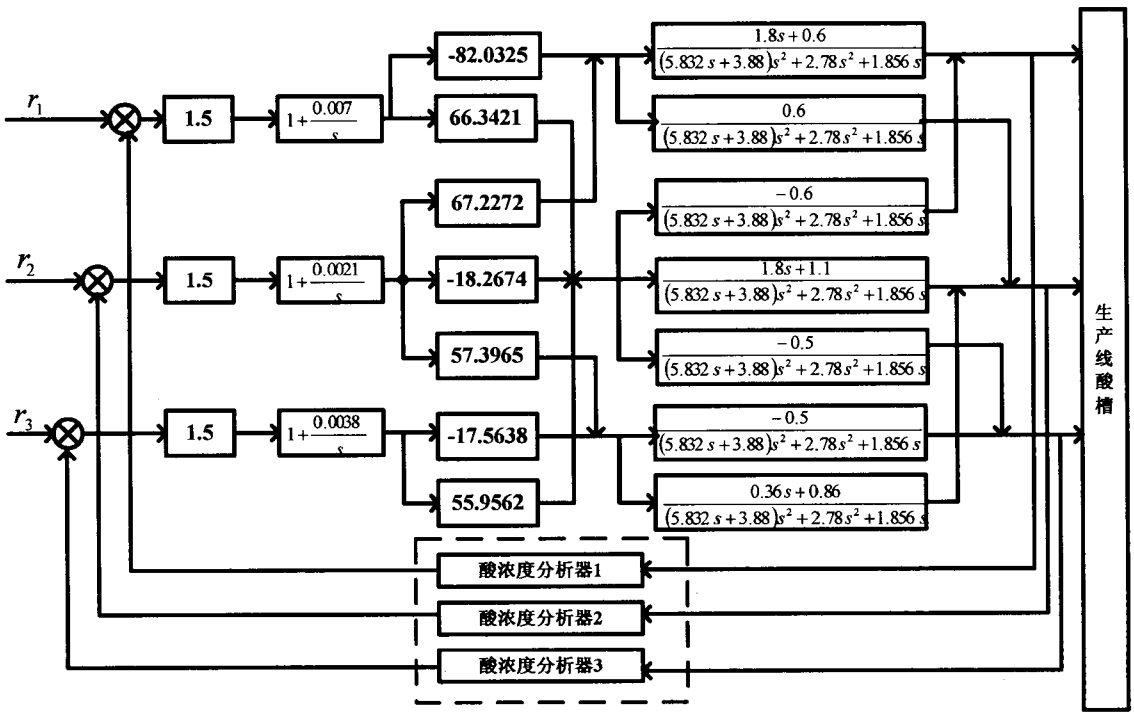
r_1
r_2
r_3
1.5
1.5
1.5
$1+\frac{0.007}{s}$
$1+\frac{0.0021}{s}$
$1+\frac{0.0038}{s}$
-82.0325
66.3421
67.2272
-18.2674
57.3965
-17.5638
55.9562
$\frac{1.8s+0.6}{(5.832s+3.88)s^2+2.78s^2+1.856s}$
$\frac{0.6}{(5.832s+3.88)s^2+2.78s^2+1.856s}$
$\frac{-0.6}{(5.832s+3.88)s^2+2.78s^2+1.856s}$
$\frac{1.8s+1.1}{(5.832s+3.88)s^2+2.78s^2+1.856s}$
$\frac{-0.5}{(5.832s+3.88)s^2+2.78s^2+1.856s}$
$\frac{-0.5}{(5.832s+3.88)s^2+2.78s^2+1.856s}$
$\frac{0.36s+0.86}{(5.832s+3.88)s^2+2.78s^2+1.856s}$
酸浓度分析器1
酸浓度分析器2
酸浓度分析器3
生产线酸槽

图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2012/001603

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G05D 11/13; C23G 1/08; C23G 3/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: acid, cleaning, washing, acid concentration, control+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 102929303 A (BAOSHAN IRON & STEEL CO., LTD..) 13 February 2013 (13.02.2013) claims 1 to 7	1-7
A	CN 102286751 A (SHOUGANG GROUP) 21 December 2011 (21.12.2011) claim 1	1-7
A	JP 2007-321174 A (JFE STEEL KK) 13 December 2007 (13.12.2007) description, paragraphs [0056] to [0100], and figures 1 to 3	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
05 August 2013 (05.08.2013)	05 September 2013 (05.09.2013)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer FENG, Gang Telephone No. (86-10) 82246889

Form PCT/ISA /210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2012/001603

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102929303 A	13.02.2013	None	
CN 102286751 A	21.12.2011	CN 102286751 B	10.10.2012
JP 2007-321174 A	13.12.2007	JP 5050410 B2	17.10.2012

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2012/001603

Continuation of: A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (IPC):

G05D 11/13 (2006.01) i

C23G 1/08 (2006.01) i

C23G 3/02 (2006.01) i

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2012/001603

A. 主题的分类

参见附加页

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: G05D11/13, C23G1/08, C23G3/02

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNPAT, 中国期刊网全文数据库, WPI, EPODOC, 酸洗, 酸浓度, 控制, 监控, 调控, acid, cleaning, washing, acid concentration, control+

C. 相关文件

类　型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
E	CN102929303A (宝山钢铁股份有限公司) 13.2 月 2013 (13.02.2013) 权利要求 1-7	1-7
A	CN102286751A (首钢总公司) 21.12 月 2011 (21.12.2011) 权利要求 1	1-7
A	JP2007-321174A (JFE STEEL KK) 13.12 月 2007 (13.12.2007) 说明书第[0056]-[0100]段，附图 1-3	1-7

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。　　☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
05.8 月 2013 (05.08.2013)	**05.9 月 2013 (05.09.2013)**

ISA/CN 的名称和邮寄地址：	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号：　(86-10)62019451	冯刚 电话号码：(86-10) **82246889**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/001603

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN102929303A	13.02.2013	无	
CN102286751A	21.12.2011	CN102286751B	10.10.2012
JP2007-321174A	13.12.2007	JP5050410B2	17.10.2012

续: A. 主题的分类(IPC):

G05D11/13 (2006.01)i

C23G1/08 (2006.01)i

C23G3/02 (2006.01)i