



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101708379 B

(45) 授权公告日 2011.08.31

(21) 申请号 200910155666.3

(22) 申请日 2009.12.29

(73) 专利权人 浙江大学

地址 310027 浙江省杭州市西湖区浙大路
38号

(72) 发明人 刘兴高 周叶翔

(74) 专利代理机构 杭州天正专利事务所有限公
司 33201

代理人 王兵 王利强

(51) Int. Cl.

B01D 3/42(2006.01)

B01D 3/14(2006.01)

审查员 张雨

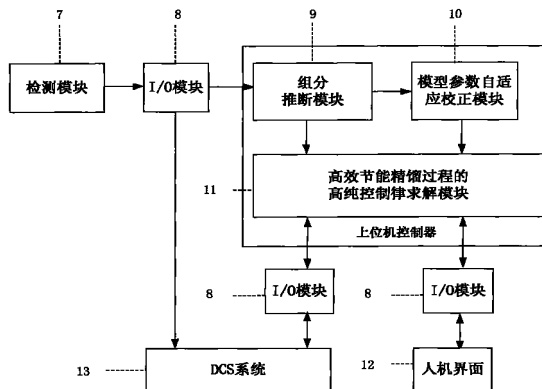
权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种高效节能精馏过程的高纯控制系统及方法

(57) 摘要

一种高效节能精馏过程的高纯控制系统,包括与高效节能精馏塔直接连接的现场智能仪表和DCS系统,DCS系统包括存储装置、控制站和上位机,上位机包括用以计算输出高效节能精馏塔控制变量值的高纯控制器,高纯控制器包括:组分推断模块,用以从智能仪表获取温度,压强数据,计算高效节能精馏塔各块塔板的组分浓度;模型参数自适应校正拟合模块,用以采用历史数据库中组分推断模块计算出的组分浓度数据,在线拟合模型函数;高效节能精馏过程的高纯控制律求解模块,用以根据当前组分浓度数据,模型函数和当前时刻操作变量值求取当前的控制变量的理想改变值。以及提供了一种高纯控制方法。本发明控制效果良好、控制品质理想。



1. 一种高效节能精馏过程的高纯控制系统,包括与高效节能精馏塔直接连接的现场智能仪表和 DCS 系统,所述 DCS 系统包括存储装置、控制站和上位机,现场智能仪表与存储装置、控制站和上位机连接,所述的上位机包括用以计算输出高效节能精馏塔控制变量值的高纯控制器,所述高纯控制器包括:

组分推断模块,用以从智能仪表获取温度,压强数据,计算高效节能精馏塔各块塔板的组分浓度,并将组分浓度计算结果存储在历史数据库当中,计算式为 (1) (2):

$$X_i(k) = \frac{P_r(k) \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (1)$$

$$X_i(k) = \frac{P_s \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=f,f+1,\dots,n \quad (2)$$

其中 k 为当前采样时刻,下脚标 i 为塔板编号,1 为塔顶编号, f 为进料板编号, n 为塔底编号, $X_i(k)$ 为 k 采样时刻液相轻组分浓度, $P_r(k)$ 为 k 采样时刻精馏段压强, P_s 提馏段压强, $T_i(k)$ 为 k 采样时刻塔内各块塔板的温度, α 为相对挥发度, a、b、c 为安东尼常数。

模型参数自适应校正拟合模块,用以采用历史数据库中组分推断模块计算出的组分浓度数据,在线拟合模型函数,并将拟合参数存储到历史数据库当中,拟合函数如式 (3) (4):

$$\hat{X}_i = X_{\min,r} + \frac{X_{\max,r} - X_{\min,r}}{1 + e^{-k_r(i-S_r)}} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (3)$$

$$\hat{X}_i = X_{\min,s} + \frac{X_{\max,s} - X_{\min,s}}{1 + e^{-k_s(i-S_s)}} \quad i=f,f+1,\dots,n \quad (4)$$

其中 \hat{X}_i 为第 i 块塔板处液相组分浓度预估浓度, $X_{\min,r}$, $X_{\max,r}$, k_r , $X_{\min,s}$, $X_{\max,s}$, k_s 为拟合参数, S_r , S_s 分别为高效节能精馏塔精馏段、提馏段液相组分浓度分布的位置;

高效节能精馏过程的高纯控制律求解模块,用以根据当前组分浓度数据,模型函数和当前时刻操作变量值求取当前的控制变量的理想改变值,求解控制律代数方程组如式 (5) 至式 (12)

$$Y_i(k) = \frac{\alpha X_i(k)}{(\alpha - 1)X_i(k) + 1} \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$Q_i(k) = UA \times b \left(\frac{1}{a - \ln\{(P_r(k) + \Delta Pr(k)T) / [X_i(k) + (1 - X_i(k))/\alpha]\}} - \frac{1}{a - \ln\{p_s / [X_{i+f-1}(k) + (1 - X_{i+f-1}(k))/\alpha]\}} \right) \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (6)$$

$$V_1(k) = F(1 - q(k) - \Delta q(k)T) \quad (7)$$

$$L_n(k) = F(q(k) + \Delta q(k)T) \quad (8)$$

$$L_{f-1}(k) = \sum_{i=1}^{f-1} \frac{Q_i(k)}{\lambda} \quad (9)$$

$$V_f(k) = V_1(k) + L_{f-1}(k) \quad (10)$$

$$\frac{V_f(k)Y_f(k) - L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) - V_1(k)Y_1(k)}{HX_{f-1}(k)} \quad (11)$$

$$= K_1(X_1^* - X_1(k)) + K_2 \sum_{i=1}^k (X_1^* - X_1(i))T$$

$$\frac{-V_f(k)Y_f(k) - L_n(k)X_n(k) + L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) + FZ_f}{H(X_{f-1}(k) - X_n(k))} \quad (12)$$

$$= K_3(X_n^* - X_n(k)) + K_4 \sum_{i=1}^k (X_n^* - X_n(i))T$$

其中 k 为当前采样时刻, T 为采样周期, $X_i(k)$ 、 $Y_i(k)$ 分别为 k 采样时刻第 i 块塔板轻组分液相轻组分浓度和汽相轻组分浓度, $Q_i(k)$ 为第 i 块塔板之间的热耦合量, UA 为传热速率, $X_{i+f-1}(k)$ 为 k 采样时刻第 $i+f-1$ 块塔板液相轻组分浓度, $q(k)$ 为 k 采样时刻进料热状况, $P_r(k)$ 为当 k 采样时刻精馏段压强, F 为进料流率, Z_f 为进料组分浓度, $V_1(k)$ 、 $V_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相流率, $L_{f-1}(k)$ 、 $L_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相流率, H 为持液量, $X_{f-1}(k)$ 、 $X_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相轻组分浓度, $Y_1(k)$ 、 $Y_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相轻组分浓度, K_1 , K_2 , K_3 , K_4 为控制律参数, X_1^* 、 X_n^* 分别为塔顶塔底液相轻组分浓度设定值, $X_1(k)$ 、 $X_n(k)$ k 时刻塔顶塔底的液相轻组分浓度值 $\Delta q(k)$ 、 $\Delta P_r(k)$, 分别为当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值。

2. 如权利要求 1 所述的高效节能精馏过程的高纯控制系统, 其特征在于: 所述的上位机还包括人机界面模块, 用以设定采样周期 T , 控制律参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 和塔顶塔底液相轻组分浓度设定值 X_1^* 、 X_n^* , 并显示控制器的输出曲线和被控变量即塔顶塔底液相轻组分浓度的记录曲线。

3. 一种用如权利要求 1 所述的高效节能精馏过程的高纯控制系统实现的高纯控制方法, 其特征在于: 所述的控制方法包括以下步骤:

1) 确定采样周期 T , 并将 T 值, 相对挥发度 α , 提馏段压强 P_s , 安东尼常数 a 、 b 、 c 、保存在历史数据库当中;

2) 设定控制律参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 和塔顶塔底液相轻组分浓度设定值 X_1^* 、 X_n^*

3) 从智能仪表获取 k 采样时刻精馏段压强 P_r 提馏段压强 P_s , 以及各塔板温度 T_i , 计算液相轻组分浓度值, 计算式为 (1) (2):

$$X_i(k) = \frac{P_r(k) \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=1, 2, \dots, f-1 \quad (1)$$

$$X_i(k) = \frac{P_s \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=f, f+1, \dots, n \quad (2)$$

其中 k 为当前采样时刻, 下脚标 i 为塔板编号, 1 为塔顶编号, f 为进料板编号, n 为塔底编号, $X_i(k)$ 为 k 采样时刻液相轻组分浓度, $P_r(k)$ 为 k 采样时刻精馏段压强、 P_s 提馏段压强, $T_i(k)$ 为 k 采样时刻塔内各块塔板的温度, α 为相对挥发度, a 、 b 、 c 为安东尼常数;

4) 用历史数据库中组分推断模块计算出的组分浓度数据, 在线拟合模型函数, 并将拟合参数存储到历史数据库当中, 拟合函数如式 (3) (4):

$$\hat{X}_i = X_{\min,r} + \frac{X_{\max,r} - X_{\min,r}}{1 + e^{-k_r(i-S_r)}} \quad i=1, 2, \dots, f-1 \quad (3)$$

$$\hat{X}_i = X_{\min,s} + \frac{X_{\max,s} - X_{\min,s}}{1 + e^{-k_s(i-S_s)}} \quad i=f, f+1, \dots, n \quad (4)$$

其中 \hat{X}_i 为第 i 块塔板处液相组分浓度预估浓度, $X_{\min, r}, X_{\max, r}, X_{\min, s}, X_{\max, s}, k_s, S_r, S_s$ 为拟合参数;

5) 根据当前组分浓度数据, 模型函数和当前时刻操作变量值求取当前的控制变量的理想改变值, 求解控制律代数方程组如式 (5) 至式 (12)

$$Y_i(k) = \frac{\alpha X_i(k)}{(\alpha - 1)X_i(k) + 1} \quad i=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$Q_i(k) = UA \times b \left(\frac{1}{a - \ln\{(P_r(k) + \Delta Pr(k)T) / [X_i(k) + (1 - X_i(k)) / \alpha]\}} - \frac{1}{a - \ln\{p_s / [X_{i+f-1}(k) + (1 - X_{i+f-1}(k)) / \alpha]\}} \right) \quad i=1, 2, \dots, f-1 \quad (6)$$

$$V_1(k) = F(1 - q(k) - \Delta q(k)T) \quad (7)$$

$$L_n(k) = F(q(k) + \Delta q(k)T) \quad (8)$$

$$L_{f-1}(k) = \sum_{i=1}^{f-1} \frac{Q_i(k)}{\lambda} \quad (9)$$

$$V_f(k) = V_1(k) + L_{f-1}(k) \quad (10)$$

$$\frac{V_f(k)Y_f(k) - L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) - V_1(k)Y_1(k)}{HX_{f-1}(k)} \quad (11)$$

$$= K_1(X_1^* - X_1(k)) + K_2 \sum_{i=1}^k (X_1^* - X_1(i))T - \frac{V_f(k)Y_f(k) - L_n(k)X_n(k) + L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) + FZ_f}{H(X_{f-1}(k) - X_n(k))} \quad (12)$$

$$= K_3(X_n^* - X_n(k)) + K_4 \sum_{i=1}^k (X_n^* - X_n(i))T$$

其中 k 为当前采样时刻, T 为采样周期, $X_i(k)$ 、 $Y_i(k)$ 分别为 k 采样时刻第 i 块塔板轻组液相轻组分浓度和汽相轻组分浓度, $Q_i(k)$ 为第 i 块塔板之间的热耦合量, UA 为传热速率, $X_{i+f-1}(k)$ 为 k 采样时刻第 $i+f-1$ 块塔板液相轻组分浓度, $q(k)$ 为 k 采样时刻进料热状况, $Pr(k)$ 为当 k 采样时刻精馏段压强, F 为进料流率, Z_f 为进料组分浓度, $V_1(k)$ 、 $V_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相流率, $L_{f-1}(k)$ 、 $L_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相流率, H 为持液量, $X_{f-1}(k)$ 、 $X_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相轻组分浓度, $Y_1(k)$ 、 $Y_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相轻组分浓度, K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 为控制律参数, X_1^* 、 X_n^* 分别为塔顶塔底液相轻组分浓度设定值, $X_1(k)$ 、 $X_n(k)$ 为 k 时刻塔顶塔底的液相轻组分浓度值 $\Delta q(k)$ 、 $\Delta Pr(k)$, 分别为当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值;

6) 将当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值 $\Delta q(k)$ 、 $\Delta Pr(k)$ 输送给 DCS 系统中的控制站, 调整高效节能精馏塔的进料热状况值和精馏段压强值。

4. 如权利要求 3 所述的高纯控制方法, 其特征在于: 所述的历史数据库为 DCS 系统中存储装置, 控制站读取历史数据库, 显示高效节能精馏塔工作过程状态。

一种高效节能精馏过程的高纯控制系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及精馏控制领域,尤其提出了一种高效节能精馏过程的高纯控制系统及方法。

背景技术

[0002] 精馏过程是化工过程中的一种核心过程,精馏塔是其中的一个关键单元。长久以来,精馏塔因为高耗能,低能效的问题成为国际精馏领域研究的焦点。目前针对精馏过程的能耗问题主要有两方面的解决方案:一种设计新型结构,利用热量耦合实现能量重复利用达到节能目的,一种设计高效精馏过程控制策略,提高产品生产质量减少废料从而达到节能目的。尽管有较多实验研究证明高效节能精馏塔能够显著提高能源利用率,但是由于高效节能精馏塔的精馏段与提馏段之间存在极强的耦合性且该塔具有十分复杂的强非线性,该塔的控制策略设计显得尤为困难。

[0003] 传统的 PID、内模控制方案等已经不能满足高效节能精馏过程的控制品质要求,尤其在高纯精馏过程控制当中,这些方案已经很难使精馏过程稳定。而基于线性辨识模型的预测控制方案只能工作在稳态工作点附近,稍微增大干扰幅度,或者设定值阶跃变化系统控制质量则出现明显下降。事实表明:设计有效的高效精馏过程的有效高纯控制方案是高效精馏过程平稳操作的关键环节。

发明内容

[0004] 为了克服目前高效精馏过程的控制效果不好、控制品质不理想的不足,本发明提供一种控制效果良好、控制品质理想的高效节能精馏过程的高纯控制系统及方法。

[0005] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0006] 一种高效节能精馏过程的高纯控制系统,包括与高效节能精馏塔直接连接的现场智能仪表和 DCS 系统,所述 DCS 系统包括存储装置、控制站和上位机,现场智能仪表与存储装置、控制站和上位机连接,所述的上位机包括用以计算输出高效节能精馏塔控制变量值的高纯控制器,所述高纯控制器包括:

[0007] 组分推断模块,用以从智能仪表获取温度,压强数据,计算高效节能精馏塔各块塔板的组分浓度,并将组分浓度计算结果存储在历史数据库当中,计算式为 (1) (2):

$$[0008] \quad X_i(k) = \frac{P_r(k) \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (1)$$

$$[0009] \quad X_i(k) = \frac{P_s \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=f, f+1, \dots, n \quad (2)$$

[0010] 其中 k 为当前采样时刻,下脚标 i 为塔板编号,1 为塔顶编号, f 为进料板编号, n 为塔底编号, $X_i(k)$ 为 k 采样时刻液相轻组分浓度, $P_r(k)$ 为 k 采样时刻精馏段压强、 P_s 提馏段压强, $T_i(k)$ 为 k 采样时刻塔内各块塔板的温度, α 为相对挥发度, a 、 b 、 c 为安东尼常数。

[0011] 模型参数自适应校正拟合模块,用以采用历史数据库中组分推断模块计算出的组分浓度数据,在线拟合模型函数,并将拟合参数存储到历史数据库当中,拟合函数如式(3)(4):

$$[0012] \quad \hat{X}_i = X_{\min,r} + \frac{X_{\max,r} - X_{\min,r}}{1 + e^{-k_r(i-S_r)}} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (3)$$

$$[0013] \quad \hat{X}_i = X_{\min,s} + \frac{X_{\max,s} - X_{\min,s}}{1 + e^{-k_s(i-S_s)}} \quad i=f,f+1,\dots,n \quad (4)$$

[0014] 其中 \hat{X}_i 为第*i*块塔板处液相组分浓度预估浓度, $X_{\min,r}$, $X_{\max,r}$, k_r , $X_{\min,s}$, $X_{\max,s}$, k_s 为拟合参数, S_r , S_s 分别为高效节能精馏塔精馏段、提馏段液相组分浓度分布的位置;

[0015] 高效节能精馏过程的高纯控制律求解模块,用以根据当前组分浓度数据,模型函数和当前时刻操作变量值求取当前的控制变量的理想改变值,求解控制律代数方程组如式(5)至式(12)

$$[0016] \quad Y_i(k) = \frac{\alpha X_i(k)}{(\alpha-1)X_i(k)+1} \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$[0017] \quad Q_i(k) = UA \times b \left(\frac{1}{a - \ln\{(P_r(k) + \Delta P_r(k)T) / [X_i(k) + (1-X_i(k))/\alpha]\}} \right)$$

$$[0018] \quad V_1(k) = F(1-q(k) - \Delta q(k)T) \quad (7)$$

$$[0019] \quad L_n(k) = F(q(k) + \Delta q(k)T) \quad (8)$$

$$[0020] \quad L_{f-1}(k) = \sum_{i=1}^{f-1} \frac{Q_i(k)}{\lambda} \quad (9)$$

$$[0021] \quad V_f(k) = V_1(k) + L_{f-1}(k) \quad (10)$$

$$[0022] \quad \frac{V_f(k)Y_f(k) - L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) - V_1(k)Y_1(k)}{HX_{f-1}(k)} \quad (11)$$

$$[0023] \quad = K_1(X_1^* - X_1(k)) + K_2 \sum_{i=1}^k (X_1^* - X_1(i))T$$

$$[0024] \quad \frac{-V_f(k)Y_f(k) - L_n(k)X_n(k) + L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) + FZ_f}{H(X_{f-1}(k) - X_n(k))} \quad (12)$$

$$[0025] \quad = K_3(X_n^* - X_n(k)) + K_4 \sum_{i=1}^k (X_n^* - X_n(i))T$$

[0026] 其中*k*为当前采样时刻,*T*为采样周期, $X_i(k)$ 、 $Y_i(k)$ 分别为*k*采样时刻第*i*块塔板轻组液相轻组分浓度和汽相轻组分浓度, $Q_i(k)$ 为第*i*块塔板之间的热耦合量,*UA*为传热速率, $X_{i+f-1}(k)$ 为*k*采样时刻第*i+f-1*块塔板液相轻组分浓度,*q(k)*为*k*采样时刻进料热状况, $P_r(k)$ 为当*k*采样时刻精馏段压强,*F*为进料流率, Z_f 为进料组分浓度, $V_1(k)$, $V_f(k)$ 分别为*k*采样时刻塔顶和进料板处的汽相流率, $L_{f-1}(k)$, $L_n(k)$ 分别为*k*采样时刻第*f-1*块塔板和塔底的液相流率,*H*为持液量, $X_{f-1}(k)$, $X_n(k)$ 分别为*k*采样时刻第*f-1*块塔板和塔底的液相轻组分浓度, $Y_1(k)$, $Y_f(k)$ 分别为*k*采样时刻塔顶和进料板处的汽相轻组分浓度, K_1 , K_2 , K_3 , K_4 为控制律参数, X_1^* , X_n^* 分别为塔顶塔底液相轻组分浓度设定值, $X_1(k)$, $X_n(k)$ 为*k*时刻塔顶塔底的液相轻组分浓度值 $\Delta q(k)$, $\Delta P_r(k)$,分别为当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值。

[0027] 所述的上位机还包括人机界面模块,用以设定采样周期 T ,控制律参数 K_1, K_2, K_3, K_4 和塔顶塔底液相轻组分浓度设定值 X_1^*, X_n^* ,并显示控制器的输出曲线和被控变量即塔顶塔底液相轻组分浓度的记录曲线。

[0028] 一种高效节能精馏过程的高纯控制方法,所述的控制方法包括以下步骤:

[0029] 1) 确定采样周期 T ,并将 T 值,相对挥发度 α ,提馏段压强 P_s ,安东尼常数 a, b, c 、保存在历史数据库当中;

[0030] 2) 设定控制律参数 K_1, K_2, K_3, K_4 和塔顶塔底液相轻组分浓度设定值 X_1^*, X_n^*

[0031] 3) 从智能仪表获取 k 采样时刻精馏段压强 P_r 提馏段压强 P_s ,以及各塔板温度 T_i ,计算液相轻组分浓度值,计算式为 (1) (2):

$$[0032] \quad X_i(k) = \frac{P_r(k) \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (1)$$

$$[0033] \quad X_i(k) = \frac{P_s \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=f, f+1, \dots, n \quad (2)$$

[0034] 其中 k 为当前采样时刻,下脚标 i 为塔板编号,1 为塔顶编号, f 为进料板编号, n 为塔底编号, $X_i(k)$ 为 k 采样时刻液相轻组分浓度, $P_r(k)$ 为 k 采样时刻精馏段压强、 P_s 提馏段压强, $T_i(k)$ 为 k 采样时刻塔内各块塔板的温度, α 为相对挥发度, a, b, c 为安东尼常数;

[0035] 4) 用历史数据库中组分推断模块计算出的组分浓度数据,在线拟合模型函数,并将拟合参数存储到历史数据库当中,拟合函数如式 (3) (4):

$$[0036] \quad \hat{X}_i = X_{\min,r} + \frac{X_{\max,r} - X_{\min,r}}{1 + e^{-k_r(i-S_r)}} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (3)$$

$$[0037] \quad \hat{X}_i = X_{\min,s} + \frac{X_{\max,s} - X_{\min,s}}{1 + e^{-k_s(i-S_s)}} \quad i=f, f+1, \dots, n \quad (4)$$

[0038] 其中 \hat{X}_i 为第 i 块塔板处液相组分浓度预估浓度, $X_{\min,r}, X_{\max,r}, k_r, X_{\min,s}, X_{\max,s}, k_s, S_r, S_s$ 为拟合参数;

[0039] 5) 根据当前组分浓度数据,模型函数和当前时刻操作变量值求取当前的控制变量的理想改变值,求解控制律代数方程组如式 (5) 至式 (12)

$$[0040] \quad Y_i(k) = \frac{\alpha X_i(k)}{(\alpha - 1)X_i(k) + 1} \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$[0041] \quad Q_i(k) = UA \times b \left(\frac{1}{a - \ln\{(P_r(k) + \Delta P_r(k)T) / [X_i(k) + (1 - X_i(k)) / \alpha]\}} \right)$$

$$[0042] \quad V_1(k) = F(1 - q(k) - \Delta q(k)T) \quad (7)$$

$$[0043] \quad L_n(k) = F(q(k) + \Delta q(k)T) \quad (8)$$

$$[0044] \quad L_{f-1}(k) = \sum_{i=1}^{f-1} \frac{Q_i(k)}{\lambda} \quad (9)$$

$$[0045] \quad V_f(k) = V_1(k) + L_{f-1}(k) \quad (10)$$

$$[0046] \quad \frac{V_f(k)Y_f(k) - L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) - V_1(k)Y_1(k)}{HX_{f-1}(k)} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 [0047] \quad &= K_1(X_1^* - X_1(k)) + K_2 \sum_{i=1}^k (X_1^* - X_1(i))T \\
 [0048] \quad &\frac{-V_f(k)Y_f(k) - L_n(k)X_n(k) + L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) + FZ_f}{H(X_{f-1}(k) - X_n(k))} \\
 & \hspace{15em} (12)
 \end{aligned}$$

$$[0049] \quad = K_3(X_n^* - X_n(k)) + K_4 \sum_{i=1}^k (X_n^* - X_n(i))T$$

[0050] 其中 k 为当前采样时刻, T 为采样周期, $X_i(k)$ 、 $Y_i(k)$ 分别为 k 采样时刻第 i 块塔板轻组分液相轻组分浓度和汽相轻组分浓度, $Q_i(k)$ 为第 i 块塔板之间的热耦合量, UA 为传热速率, $X_{i+f-1}(k)$ 为 k 采样时刻第 $i+f-1$ 块塔板液相轻组分浓度, $q(k)$ 为 k 采样时刻进料热状况, $P_r(k)$ 为当 k 采样时刻精馏段压强, F 为进料流率, Z_f 为进料组分浓度, $V_1(k)$, $V_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相流率, $L_{f-1}(k)$, $L_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相流率, H 为持液量, $X_{f-1}(k)$, $X_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相轻组分浓度, $Y_1(k)$, $Y_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相轻组分浓度, K_1 , K_2 , K_3 , K_4 为控制律参数, X_1^* , X_n^* 分别为塔顶塔底液相轻组分浓度设定值, $X_1(k)$, $X_n(k)$ 为 k 时刻塔顶塔底的液相轻组分浓度值 $\Delta q(k)$, $\Delta P_r(k)$, 分别为当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值;

[0051] 6) 将当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值 $\Delta q(k)$, $\Delta P_r(k)$ 输送给 DCS 系统中的控制站, 调整高效节能精馏塔的进料热状况值和精馏段压强值。

[0052] 所述的历史数据库为 DCS 系统中存储装置, 控制站读取历史数据库, 显示高效节能精馏塔工作过程状态。

[0053] 本发明的有益效果主要表现在: 1. 高纯控制方案建立在高精度非线性动态模型基础上, 能够及时抑制干扰作用; 2. 控制方案较好地处理了耦合问题, 能够快速准确地跟踪设定值变化; 3. 控制效果好、控制品质高。

附图说明

[0054] 图 1 是本发明所提出的高效节能精馏过程的高纯控制系统的结构图。

[0055] 图 2 是上位机控制器实现方法的功能模块结构图。

具体实施方式

[0056] 下面根据附图具体说明本发明。

[0057] 实施例 1

[0058] 参照图 1, 图 2, 一种高效节能精馏过程的高纯控制系统, 包括与高效节能精馏塔 1 直接连接的现场智能仪表 2 和 DCS 系统, 所述 DCS 系统包括存储装置 4, 控制站 5 及上位机 6, 其中现场智能仪表 2 与数据接口 3 连接, 所述数据接口 3 与现场总线连接, 所述现场总线与存储装置 4、控制站 5 和上位机 6 连接; 所述的上位机 6 包括用以计算输出高效节能精馏塔控制变量值的高纯控制器, 所述高纯控制器包括组分推断模块 9, 模型参数自适应校正拟合模块 10, 高效节能精馏过程的高纯控制律求解模块 11;

[0059] 组分推断模块 9, 用以上位机从智能仪表 2 获取温度, 压强数据, 计算高效节能精

馏塔各块塔板的组分浓度,并将组分浓度计算结果存储在历史数据库当中,计算式为 (1) (2) :

$$[0060] \quad X_i(k) = \frac{P_r(k) \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (1)$$

$$[0061] \quad X_i(k) = \frac{P_s \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=f,f+1,\dots,n \quad (2)$$

[0062] 其中 k 为当前采样时刻,下脚标 i 为塔板编号,1 为塔顶编号, f 为进料板编号, n 为塔底编号, $X_i(k)$ 为 k 采样时刻液相轻组分浓度, $P_r(k)$ 为 k 采样时刻精馏段压强, P_s 提馏段压强, $T_i(k)$ 为 k 采样时刻塔内各块塔板的温度, α 为相对挥发度, a、b、c 为安东尼常数。

[0063] 所述的模型参数自适应校正拟合模块 10 采用历史数据库中组分推断模块计算出的组分浓度数据,在线拟合模型函数,并将拟合参数存储到历史数据库当中,拟合函数如式 (3) (4) :

$$[0064] \quad \hat{X}_i = X_{\min,r} + \frac{X_{\max,r} - X_{\min,r}}{1 + e^{-k_r(i-S_r)}} \quad i=1,2,\dots,f-1 \quad (3)$$

$$[0065] \quad \hat{X}_i = X_{\min,s} + \frac{X_{\max,s} - X_{\min,s}}{1 + e^{-k_s(i-S_s)}} \quad i=f,f+1,\dots,n \quad (4)$$

[0066] 其中 \hat{X}_i 为第 i 块塔板处液相组分浓度预估浓度, $X_{\min,r}$, $X_{\max,r}$, k_r , $X_{\min,s}$, $X_{\max,s}$, k_s 为拟合参数, S_r , S_s 分别为高效节能精馏塔精馏段、提馏段液相组分浓度分布的位置。

[0067] 所述的高效节能精馏过程的高纯控制律求解模块 11 根据当前组分浓度数据,模型函数和当前时刻操作变量值求取当前的控制变量的理想改变值,求解控制律代数方程组如式 (5) 至式 (12)

$$[0068] \quad Y_i(k) = \frac{\alpha X_i(k)}{(\alpha - 1)X_i(k) + 1} \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$[0069] \quad Q_i(k) = UA \times b \left(\frac{1}{a - \ln\{(P_r(k) + \Delta Pr(k)T) / [X_i(k) + (1 - X_i(k))/\alpha]\}} \right)$$

$$[0070] \quad V_1(k) = F(1 - q(k) - \Delta q(k)T) \quad (7)$$

$$[0071] \quad L_n(k) = F(q(k) + \Delta q(k)T) \quad (8)$$

$$[0072] \quad L_{f-1}(k) = \sum_{i=1}^{f-1} \frac{Q_i(k)}{\lambda} \quad (9)$$

$$[0073] \quad V_f(k) = V_1(k) + L_{f-1}(k) \quad (10)$$

$$[0074] \quad \frac{V_f(k)Y_f(k) - L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) - V_1(k)Y_1(k)}{HX_{f-1}(k)} \quad (11)$$

$$[0075] \quad = K_1(X_1^* - X_1(k)) + K_2 \sum_{i=1}^k (X_1^* - X_1(i))T$$

$$[0076] \quad \frac{-V_f(k)Y_f(k) - L_n(k)X_n(k) + L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) + FZ_f}{H(X_{f-1}(k) - X_n(k))} \quad (12)$$

$$[0077] \quad = K_3(X_n^* - X_n(k)) + K_4 \sum_{i=1}^k (X_n^* - X_n(i))T$$

[0078] 其中 k 为当前采样时刻, T 为采样周期, $X_i(k)$ 、 $Y_i(k)$ 分别为 k 采样时刻第 i 块塔板轻组液相轻组分浓度和汽相轻组分浓度, $Q_i(k)$ 为第 i 块塔板之间的热耦合量, UA 为传热速率, $X_{i+f-1}(k)$ 为 k 采样时刻第 $i+f-1$ 块塔板液相轻组分浓度, $q(k)$ 为 k 采样时刻进料热状况, $P_r(k)$ 为当 k 采样时刻精馏段压强, F 为进料流率, Z_f 为进料组分浓度, $V_1(k)$ 、 $V_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相流率, $L_{f-1}(k)$ 、 $L_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相流率, H 为持液量, $X_{f-1}(k)$ 、 $X_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 $f-1$ 块塔板和塔底的液相轻组分浓度, $Y_1(k)$ 、 $Y_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相轻组分浓度, K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 为控制律参数, X_1^* 、 X_n^* 分别为塔顶塔底液相轻组分浓度设定值, $X_1(k)$ 、 $X_n(k)$ 为 k 时刻塔顶塔底的液相轻组分浓度值 $\Delta q(k)$ 、 $\Delta P_r(k)$, 分别为当前时刻高效节能精馏塔控制变量及进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值。

[0079] 所述的上位机 6 还包括人机界面模块 12, 用于设定采样周期 T , 控制律参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 和塔顶塔底液相轻组分浓度设定值 X_1^* 、 X_n^* , 并显示控制器的输出曲线和被控变量即塔顶塔底液相轻组分浓度的记录曲线。

[0080] 实施例 2

[0081] 参照图 1 和图 2, 一种高效节能精馏过程的高纯控制方法, 所述的控制方法包括以下步骤:

[0082] 1) 确定采样周期 T , 并将 T 值, 相对挥发度 α , 提馏段压强 P_s , 安东尼常数 a 、 b 、 c 、保存在历史数据库当中;

[0083] 2) 设定控制律参数 K_1 、 K_2 、 K_3 、 K_4 和塔顶塔底液相轻组分浓度设定值 X_1^* 、 X_n^*

[0084] 3) 从智能仪表获取 k 采样时刻精馏段压强 P_r 提馏段压强 P_s , 以及各塔板温度 T_i , 计算液相轻组分浓度值, 计算式为 (1) (2):

$$[0085] \quad X_i(k) = \frac{P_r(k) \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=1, 2, \dots, f-1 \quad (1)$$

$$[0086] \quad X_i(k) = \frac{P_s \times \alpha \times 10^{\frac{T_i(k)+c}{b}-a} - 1}{\alpha - 1} \quad i=f, f+1, \dots, n \quad (2)$$

[0087] 其中 k 为当前采样时刻, 下脚标 i 为塔板编号, 1 为塔顶编号, f 为进料板编号, n 为塔底编号, $X_i(k)$ 为 k 采样时刻液相轻组分浓度, $P_r(k)$ 为 k 采样时刻精馏段压强、 P_s 提馏段压强, $T_i(k)$ 为 k 采样时刻塔内各块塔板的温度, α 为相对挥发度, a 、 b 、 c 为安东尼常数。

[0088] 4) 用历史数据库中组分推断模块计算出的组分浓度数据, 在线拟合模型函数, 并将拟合参数存储到历史数据库当中, 拟合函数如式 (3) (4):

$$[0089] \quad \hat{X}_i = X_{\min, r} + \frac{X_{\max, r} - X_{\min, r}}{1 + e^{-k_r(i-S_r)}} \quad i=1, 2, \dots, f-1 \quad (3)$$

$$[0090] \quad \hat{X}_i = X_{\min, s} + \frac{X_{\max, s} - X_{\min, s}}{1 + e^{-k_s(i-S_s)}} \quad i=f, f+1, \dots, n \quad (4)$$

[0091] 其中 \hat{X}_i 为第 i 块塔板处液相组分浓度预估浓度, $X_{\min, r}$ 、 $X_{\max, r}$ 、 k_r 、 $X_{\min, s}$ 、 $X_{\max, s}$ 、 k_s 、 S_r 、 S_s 为拟合参数。

[0092] 5) 根据当前组分浓度数据, 模型函数和当前时刻操作变量值求取当前的控制变量的理想改变值, 求解控制律代数方程组如式 (5) 至式 (12)

$$[0093] \quad Y_i(k) = \frac{\alpha X_i(k)}{(\alpha - 1)X_i(k) + 1} \quad i=1,2,\dots,n \quad (5)$$

$$[0094] \quad Q_i(k) = UA \times b \left(\frac{1}{a - \ln\{(P_r(k) + \Delta Pr(k)T) / [X_i(k) + (1 - X_i(k)) / \alpha]\}} \right)$$

$$[0095] \quad V_1(k) = F(1 - q(k) - \Delta q(k)T) \quad (7)$$

$$[0096] \quad L_n(k) = F(q(k) + \Delta q(k)T) \quad (8)$$

$$[0097] \quad L_{f-1}(k) = \sum_{i=1}^{f-1} \frac{Q_i(k)}{\lambda} \quad (9)$$

$$[0098] \quad V_f(k) = V_1(k) + L_{f-1}(k) \quad (10)$$

$$[0099] \quad \frac{V_f(k)Y_f(k) - L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) - V_1(k)Y_1(k)}{HX_{f-1}(k)} \quad (11)$$

$$[0100] \quad = K_1(X_1^* - X_1(k)) + K_2 \sum_{i=1}^k (X_1^* - X_1(i))T$$

$$[0101] \quad \frac{-V_f(k)Y_f(k) - L_n(k)X_n(k) + L_{f-1}(k)X_{f-1}(k) + FZ_f}{H(X_{f-1}(k) - X_n(k))} \quad (12)$$

$$[0102] \quad = K_3(X_n^* - X_n(k)) + K_4 \sum_{i=1}^k (X_n^* - X_n(i))T$$

[0103] 其中 k 为当前采样时刻, T 为采样周期, $X_i(k)$ 、 $Y_i(k)$ 分别为 k 采样时刻第 i 块塔板轻组液相轻组分浓度和汽相轻组分浓度, $Q_i(k)$ 为第 i 块塔板之间的热耦合量, UA 为传热速率, $X_{i+f-1}(k)$ 为 k 采样时刻第 i+f-1 块塔板液相轻组分浓度, q(k) 为 k 采样时刻进料热状况, $P_r(k)$ 为当 k 采样时刻精馏段压强, F 为进料流率, Z_f 为进料组分浓度, $V_1(k)$, $V_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相流率, $L_{f-1}(k)$, $L_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 f-1 块塔板和塔底的液相流率, H 为持液量, $X_{f-1}(k)$, $X_n(k)$ 分别为 k 采样时刻第 f-1 块塔板和塔底的液相轻组分浓度, $Y_1(k)$, $Y_f(k)$ 分别为 k 采样时刻塔顶和进料板处的汽相轻组分浓度, K1, K2, K3, K4 为控制律参数, X_1^* , X_n^* 分别为塔顶塔底液相轻组分浓度设定值, $X_1(k)$, $X_n(k)$ 为 k 时刻塔顶塔底的液相轻组分浓度值 $\Delta q(k)$, $\Delta P_r(k)$, 分别为当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值;

[0104] 6) 将当前时刻高效节能精馏塔控制变量即进料热状况和精馏段压强的当前理想改变值 $\Delta q(k)$, $\Delta P_r(k)$ 输送给 DCS 系统中的控制站, 调整高效节能精馏塔的进料热状况值和精馏段压强值。

[0105] 所述的历史数据库为 DCS 系统中存储装置 4, 所述的 DCS 系统包括数据接口 3、存储装置 4 和控制站 5, 其中现场智能仪表 2 与数据接口 3 连接, 所述数据接口 3 与现场总线连接, 所述现场总线与存储装置 4、控制站 5 和上位机 6 连接, 其中控制站可以读取历史数据库, 显示高效节能精馏塔工作过程状态。

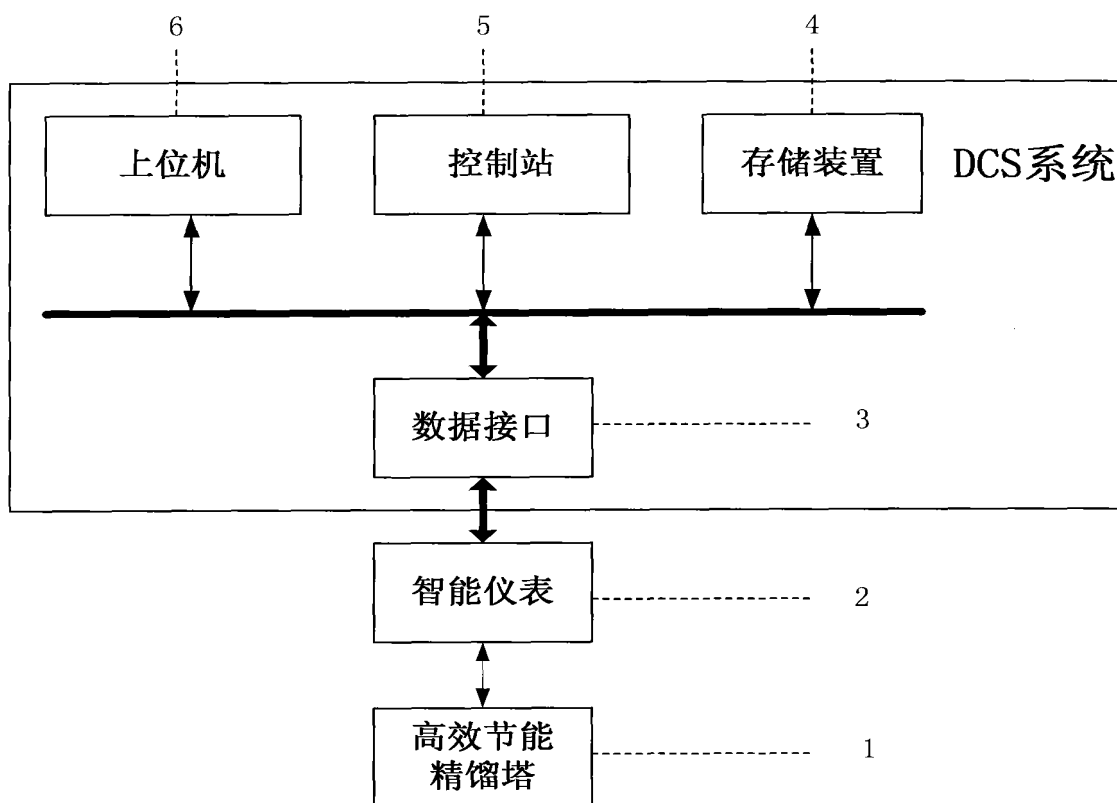


图 1

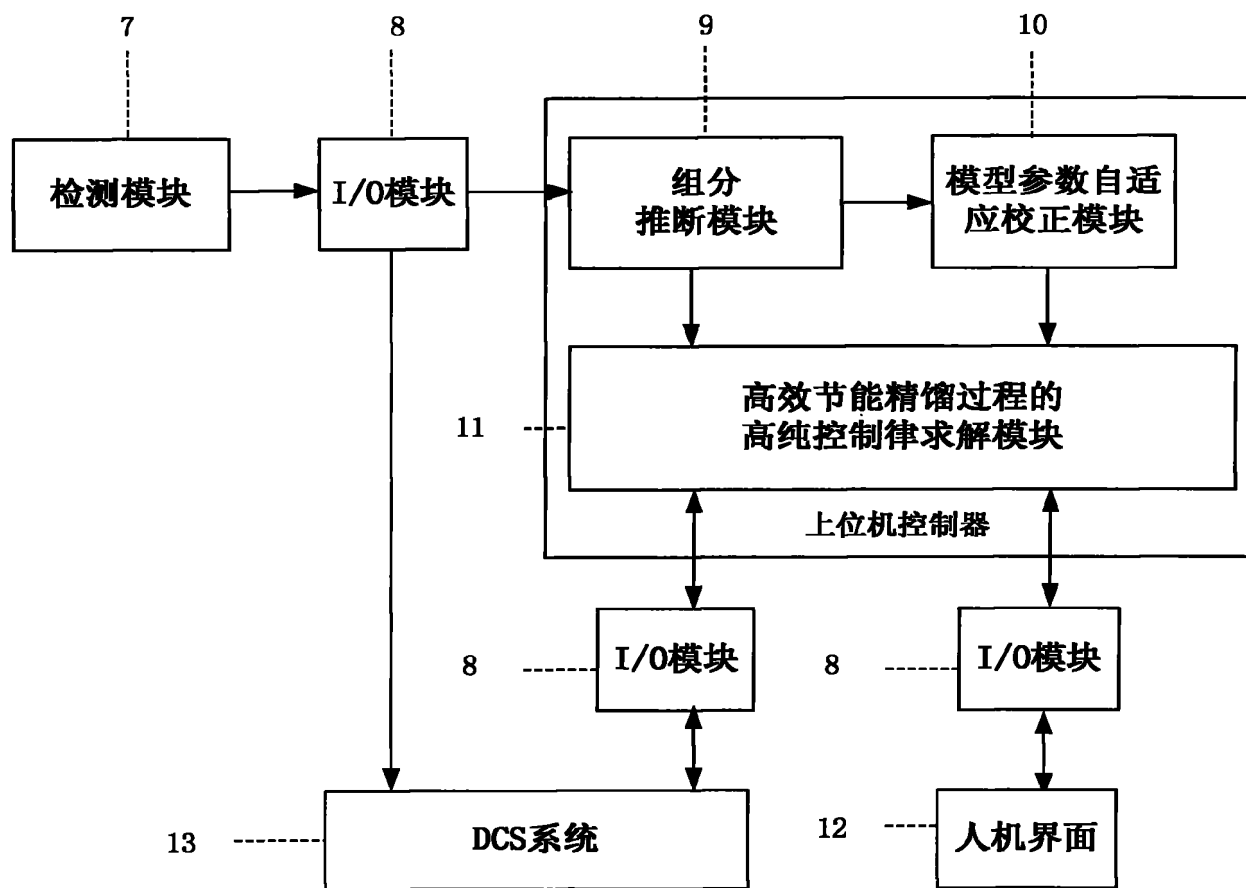


图 2