

基于改进 CAPSO 的原油管道调合多性质优化方法

叶彦斐¹, 陈 蓉¹, 董正凯¹, 唐伟伟¹, 张勇气², 黄朝杰²

(1. 河海大学 能源与电气学院, 南京 211100; 2. 南京富岛信息工程有限公司, 南京 210032)

摘要: 在仔细研究原油管道调合工艺基础上, 提出一种基于改进有约束自适应粒子群优化 (CAPSO) 算法的原油管道调合多性质优化方法; 首先, 基于原油调合规则库、优化预处理及设备实际工作能力约束, 建立了多原油多性质优化模型; 然后, 根据原油调合目标, 通过 CAPSO 算法对优化模型进行快速、准确的优化计算, 获得多种组分原油的最优配比; 投运效果表明, 系统能够自动、高效计算出原油调合的最优配比, 避免人工计算所造成的一致性差, 计算效率低并且不易获得最佳配比的问题, 有效提高了加工设备的生产效率。

关键词: 原油管道调合; 多原油多性质优化模型; 有约束自适应粒子群优化算法

An Optimization Method of Crude Oil Pipeline Blending Based on Modified CAPSO

Ye Yanfei¹, Chen Rong¹, Dong Zhengkai¹, Tang Weiwei¹, Zhang Yongqi², Huang Chaojie²

(1. College of Energy and Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. Richisland Information Technology Co., Ltd., Nanjing 210032, China)

Abstract: An optimization method based on modified constraint adaptive particle swarm optimization (CAPSO) algorithm is proposed on the basis of careful analysis of the crude oil pipeline blending process. First of all, a model of properties optimization through many types of crude oil blending is established based on crude oil blending rules, optimization pretreating and the constraints of equipment working ability; then, according to the given crude oil blending target, fast and accurate optimization calculation by using CAPSO algorithm is done to obtain the optimal combination of crude oil components. The actual effect shows that the system can efficiently, automatically calculate the optimal proportion of crude oil blending, avoid the problems such as the poor consistency, low computation efficiency and being not easy to get the best blending ratio caused by manual calculation, effectively improve the production efficiency of the processing equipment.

Keywords: crude oil pipeline blending; model of properties optimization through many types of crude oil blending; CAPSO

0 引言

原油调合是指按一定配比, 将两种或多种原油混合获得具有期望理化性质原油的过程。随着国内原油用量的剧增及对国外原油依存度的提高, 炼油企业所面临的加工原油种类繁多、性质多变等问题日益突出^[1]。原油调合主体设备包括调合组分罐、掺炼泵、调节阀、掺炼线及调合头等, 总体投资大, 耗能多, 使用和维护成本高。而减压装置 (Crude Distillation Unit, CDU) 作为原油加工的主体设备, 对调合后原油的性质也有严格的要求。

由于原油自动优化调合可以准确计算多种组分原油质量配比, 将不同组分原油按一定比例混合获得期望性质的原油, 提高原油调合的一次性成功率, 避免性质波动给 CDU 及后续加工装置带来损害, 充分发挥现有设备潜力, 使不同组分取长补短, 减少产品质量过剩, 节能环保, 已成为直接影响炼油企业的生产成本及关系其生产效益的首要环节^[2]。当前参与调合的多种原油的配比多靠人工计算, 受知识、经验及责任心影响, 计算效率低、一致性差, 进一步优化空间大; 人工原油调合配比控制不精确、安全性差、操作强度大; 最重要的是在优化目

标性质较多、调合规则含有非线性时, 很难获得配比的最优比例。可见人工原油调合很难满足生产需求。原油管道自动优化调合因具有污染小、损耗低、操作方便、安全可靠等优点而日益受到重视^[3]。

对于油品调合优化问题, 廖良才提出了成品油调合的三类优化问题^[4], 薛美盛提出了成品油调合调度的混合整数非线性规划模型^[5], 黄德先提出一种基于分片线性代理模型的成品油调合优化方法^[6]。José 等人使用神经网络对原油混合系统建模, 预测混合原油的性质, 取得了较好的实验结果^[7]。兰鸿森等人根据对原油混炼的研究给出了混合原油的属性约束, 没有考虑设备约束及储运约束^[8]; 杜祜康建立了原油混合优化模型并基于遗传算法对其进行了研究^[9]。这些文献均采用单目标方法对其进行优化求解, 忽略了油品调合的多目标优化本质, 少有把原油调合问题当作多目标优化问题研究。

文章针对以上背景技术的缺陷和不足, 提出一种原油管道调合多目标优化方法。首先, 基于 3 种类型的原油调合规则库、优化预处理及设备实际工作能力确定的约束, 建立了多原油多性质优化模型; 然后, 根据原油调合目标, 基于 CAPSO 算法对优化模型进行快速、准确的优化计算, 获得多种组分原油的最优配比。最后, 系统实现了组分原油的高精度配比, 调合出了满足性质要求的原油, 有效提高了炼油企业的生产效率。

1 原油调合配比优化框架

原油调合配比优化框架适用于多种原油调合最优配比运

收稿日期:2017-03-16; 修回日期:2017-04-11。

基金项目:南京市自主知识产权开发计划项目(201604024);江苏省博士后基金(1402043C)。

作者简介:叶彦斐(1974-),男,江苏南京人,博士,副教授,主要从事油品调合技术、综合自动化系统等方向的研究。

算, 可以获得各组分原油质量配比, 进而使目标原油多个性质达到最优。

如图 1 所示, 多原油多性质调合优化方法核心内容包括调合规则库、优化预处理、设备约束、多原油多性质优化模型及有约束自适应粒子群优化 (CAPSO)。在调合规则库和设备约束基础上建立原油调合多原油多性质优化模型, 基于有约束自适应粒子群优化算法, 对优化预处理后的性质 (或因子) 进行快速、准确的优化计算, 最终获得多种组分原油的最优配比。

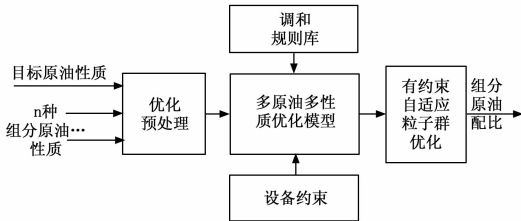


图 1 多原油多性质调合优化方法框架图

2 原油调合多目标优化模型

原油管道调合过程 (Crude Oil Pipeline Blending Process, 简称 COPBP) 工艺如图 2 所示, n 种组分原油经掺炼线按比例输送给静态混合器进行充分混合, 获得期望性质的目标原油后进入 CDU 加工处理^[10]。

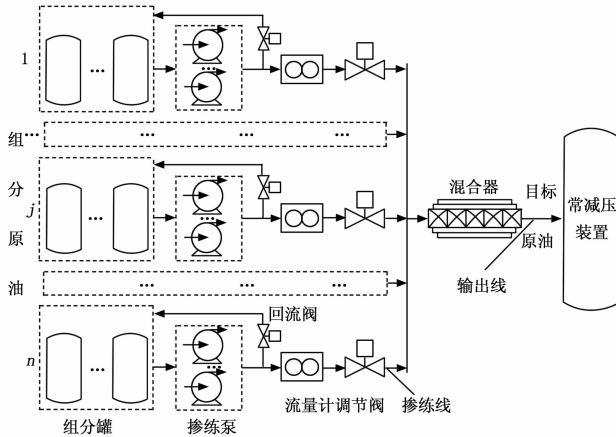


图 2 原油管道调合工艺过程

2.1 原油调合规则库

基于原油调合后性质变化规律, 原油不同性质的调合规律分为线性、可转换线性及本质非线性 3 种类型。

满足线性调合规则的性质包括: 硫含量、质量收率、API 密度、酸值、氮含量、铁含量等, 调合规则一般表达式为:

$$p_i = \sum p_{ij} x_j \quad (1)$$

式 (1) 中, p_i 是原油调合后第 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 个性质大小, p_{ij} 是第 j ($j = 1, 2, \dots, n$) 种组分原油的第 i 个性质大小, x_j 是第 j 种组分原油质量占比。

部分非线性调合性质可进行线性转换, 如相对密度、倾点、凝点、软化度。可先将组分原油性质转换为性质因子, 对性质因子进行线性运算, 然后再由性质因子获得调合后原油的对应性质。如原油相对密度 SG , 以其倒数作为性质因子, 则调合规则为:

$$SG = \frac{1}{\sum \left[\left(\frac{1}{SG_j} \right) x_j \right]} \quad (2)$$

式 (2) 中, SG 表示原油调合后相对密度, SG_j 表示第 j 种组分原油的相对密度。

部分性质如十六烷、辛烷值等调合具有非线性, 由于调合效应的存在线性运算误差较大, 而又无法转换为性质因子进行线性运算, 需采用专用的非线性调合规则。若第 i 个性质是十六烷值, 则采用二次非线性回归模型运算, 可表示为:

$$g_i(X) = \sum_{j=1}^n p_{ij} x_j + \sum_{j=1}^n \sum_{t=j+1}^n \alpha_{jt} x_j x_t \quad (3)$$

式 (3) 中, p_{ij} 是组分原油 j 的第 i 性质大小, x_j 是组分原油 j 质量占比, x_t 是组分原油 t 质量占比, α_{jt} ($t \neq j$) 为调合组分 j 与 t 的调合效应系数, 其大小与正负反映了不同原油之间的二次项意义下的非线性作用。

2.2 原油静态调合模型

n 种组分原油按配方 $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in R^n$ (x_j 是组分原油 j 的质量占比) 进行调合, 可以计算出目标原油的 m 种性质组成的向量 $F_p(X) = [p_1, p_2, \dots, p_m]^T \in R^m$, COPBP 静态调合模型表示为:

$$F_p(X) = \begin{bmatrix} \mathbf{AX} \\ \mathbf{G(X)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式 (4) 中, $\mathbf{AX}$ 为线性函数部分:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & a_{ij} & \vdots \\ a_{l1} & a_{l2} & \cdots & a_{ln} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式 (5) 中, a_{ij} 代表参与调合的第 j 种原油可进行线性运算的 l 个性质中的第 i 个性质大小。 $\mathbf{G(X)}$ 为非线性函数部分, 表示后 $m-l$ 个性质的非线性调合运算:

$$\mathbf{G(X)} = \begin{bmatrix} g_{l+1}(X) \\ g_{l+2}(X) \\ \vdots \\ g_m(X) \end{bmatrix} \quad (6)$$

式 (6) 中, $g_i(X)$ ($l+1 \leq i \leq m$) 表示不同非线性调合规则。

2.3 优化预处理

首先, 先完成原油各调合性质归一化工作, 具体归一化过程如下:

设定优化后原油第 i 个性质 p_i 的范围上、下限分别为 Ug_i, Dg_i , 则归一化后性质:

$$p'_i = p_i / (Ug_i - Dg_i) \quad (7)$$

若优化性质 p_i 满足线性调合规则, 则直接将归一化后性质 p'_i 作为性质因子 a_i :

$$a_i = p'_i \quad (8)$$

若优化性质 p_i 满足非线性调合规则, 但可转化为线性规则, 则对该性质数据按照相应转换规则获得性质因子 a_i :

$$a_i = g(p'_i) \quad (9)$$

g 代表非线性-线性转换函数。

2.4 设备约束分析

受组分罐、掺炼线及掺炼泵等原油调合设备实际工作能力限制, 优化配比必须被限制在调合设备的约束范围内。根据各

调合设备实际工作能力, 设定设备约束大小:

受原油调合设备约束, 目标原油中第 j 种原油占比 x_j 上、下限分别记为 Ux_j 和 Dx_j , 则:

$$Ux_j = \min \left\{ \frac{UL_j}{L_M}, Uf_j, \frac{\sum_{l=1}^k Ubl_l}{L_M}, \frac{G_{Mj}}{M} \right\} \quad (10)$$

$$Dx_j = \max \left\{ \frac{DL_j}{L_M}, Df_j, \frac{\sum_{l=1}^k Dbl_l}{L_M} \right\} \quad (11)$$

其中: UL_j 、 DL_j 分别表示与第 j 种组分原油相对应的掺炼线的流量上、下限; Uf_j 、 Df_j 分别表示与第 j 种组分原油相对应的掺炼线上流量计的流量上、下限; Ubl_l 、 Dbl_l 分别表示与第 j 种组分原油相对应的掺炼线上 k 个掺炼泵中第 l 个泵的流量上、下限; G_{Mj} 为与第 j 种组分原油相对应的掺炼线连接的原油罐存量, L_M 为调合订单主流量; M 为调合订单调合量。

2.5 原油调合多目标优化模型

多原油多性质调合问题是一个典型的多目标优化问题。多种原油调合获得目标原油并优化多个性质过程中, 调合后原油的各性质要求之间往往是矛盾的, 改善调合原油一个目标性质可能会引起其他目标性质性能变差, 很难使多个目标性质同时达到最优值、而只能进行协调和折中处理, 在众多 Pareto 最优解中寻找一个最终解使得各目标都尽可能达到最优。

文章根据调合后原油的各目标性质的重要程度分配相应的权重系数 (目标性质越重要, 权重系数越大), 基于平方和加权法建立了多原油多性质优化模型, 从而将一个复杂的多目标问题转换为一个单目标优化问题, 避免必须求多个 Pareto 最优解并在其中寻找最终解的复杂过程。采用 n 种组分原油优化调合 m 种目标性质原油的模型记为:

$$\min f(X) = [\sqrt{W} * (F_p(X) - Goal)]^T * [\sqrt{W} * (F_p(X) - Goal)] \quad (12)$$

$$\text{式 (12) 中, } W = \begin{bmatrix} w_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & w_m \end{bmatrix}, w_1, w_2, \dots, w_m \text{ 代}$$

表 m 种优化性质的权重; $F_p(X)$ 则如式 (4) 所示;

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 为 n 种原油质量占比所构成的一维向量; 其约束条件为:

$$D_X \leq X \leq U_X \quad (13)$$

$$Dg_i \leq \sum_{1 \leq j \leq n} a_{ij} x_j \leq Ug_i (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1 \quad (15)$$

其中: $U_X = [Ux_1, Ux_2, \dots, Ux_n]^T$, $D_X = [Dx_1, Dx_2, \dots, Dx_n]^T$ 为式 (10) 和式 (11) 所确定的设备约束上、下限; $Goal = [g_1, g_2, \dots, g_m]^T$, 这里 g_i 代表调合后原油第 i 个性质因子的优化目标值, 该优化目标值设定的范围上限是 Ug_i 、范围下限是 Dg_i 、范围内定值是 G_i , 选择不同优化方式时, g_i 分别取对应数值: Ug_i 、 Dg_i 及 G_i 。

3 基于改进 CAPSO 算法的优化求解

对于式 (12) 所示的原油调合优化模型, 其最优解求取常用方法有: 罚函数法、可行解法及复合形法等。但是, 罚函数很难确定, 且罚因子趋于无穷才能得到最优解, 计算量大; 而

采用可行解法不能充分利用不可行解进行搜索; 若采用复合形法, 则要求给出初始的复合形, 而初始复合形要求必须在可行域内, 当维数较高时, 很难获得初始复合形。

文章采用基于改进有约束自适应粒子群 (Constrained Adaptive Particle Swarm Optimization, 简称 CAPSO) 算法, 对原油调合优化模型 (12) 进行优化计算, 获得多种组分原油的最优质量配比, 该方法无需给出初始可行解, 也不受目标函数和约束方程必须可导限制。

3.1 算法公式

$$v_{qj}(t+1) = e \cdot v_{qj}(t) + c_1 \cdot rand() \cdot (s_{qj}(t) - x_{qj}(t)) + c_2 \cdot rand() \cdot (s_{gj}(t) - x_{qj}(t)) \quad (16)$$

$$x_{qj}(t+1) = x_{qj}(t) + v_{qj}(t) \quad (17)$$

其中: $q = 1, 2, \dots, P$, 表示 P 个粒子中第 q 个粒子; $t = 1, 2, \dots, N$, 表示 N 次优化中的第 t 次优化; $j = 1, 2, \dots, n$, 表示每个粒子有 n 个维度, 代表 n 种原油中的第 j 种原油。

$X_q(t) = [x_{q1}(t), x_{q2}(t), \dots, x_{qn}(t)]^T$ 表示粒子群中第 q 个粒子经 t 次优化的位置, $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ 为 n 种原油质量占比的向量; 其中的 $x_{qj}(t)$ 代表第 j 种组分原油经 t 次优化的质量占比。

$V_q(t) = [v_{q1}(t), v_{q2}(t), \dots, v_{qn}(t)]^T$ 表示第 q 个粒子经 t 次优化的速度, 代表向量 X 的变化, 其中的 $v_{qj}(t)$ 代表第 j 种组分原油经 t 次优化的占比变化。

c_1 、 c_2 为学习因子这里均取经验值 2.0; $rand()$ 为区间在 $[0, 1]$ 上均匀分布的随机函数。

$S_q(t) = [s_{q1}(t), s_{q2}(t), \dots, s_{qn}(t)]^T$ 表示第 q 个粒子经 t 次优化先前记忆的最好位置, 其中的 $s_{qj}(t)$ 代表第 q 个粒子经 t 次优化后先前记忆中的第 j 种组分原油最好占比。

$S_g(t) = [s_{g1}(t), s_{g2}(t), \dots, s_{gm}(t)]^T$ 表示所有粒子经 t 次优化先前记忆的最好位置, 其中的 $s_{gj}(t)$ 代表所有粒子经 t 次优化后先前记忆的第 j 种组分原油最好占比。

适应函数取式 (12) 中的 $f(X)$, 则式 (16) 中惯性系数 e 按下式计算:

$$e = \begin{cases} e_{\min} + \frac{f(X_q(t)) - f_{\min}(t)}{f_{\text{avg}}(t) - f_{\min}(t)} * (e_{\max} - e_{\min}), & f(X_q(t)) \leq f_{\text{avg}}(t) \\ e_{\max}, & f(X_q(t)) > f_{\text{avg}}(t) \end{cases} \quad (18)$$

式 (18) 中, $e_{\max}$ 、 $e_{\min}$ 分别表示 e 的最大值和最小值, $f(X_q(t))$ 是第 q 个粒子的适应值; $f_{\text{avg}}(t)$ 、 $f_{\min}(t)$ 分别表示当前所有粒子经 t 次优化后当前位置的平均适应值和最小适应值。

定义约束违反度函数:

$$\begin{aligned} \omega i(X_q(t)) = & \sum_{i=1}^m \max(0, \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j - U_{gi}) + \\ & \sum_{i=1}^m \max(0, D_{gi} - \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j) + \\ & \sum_{j=1}^n \max(0, x_j - U_{xj}) + \sum_{j=1}^n \max(0, Dx_j - x_j) + \\ & \max(0, \left| \sum_{j=1}^n x_j - 1 \right|) \end{aligned} \quad (19)$$

式 (19) 中, $\omega i(X_q(t))$ 表示第 q 个粒子经 t 次优化后原油质量配比向量违反约束的程度。

3.2 具体步骤

- 1) 初始化粒子群中各粒子速度 $V_q(0)$ 、位置 $X_q(0)$ 、个体极值 $S_q(0)$ 、全局极值 $S_g(0)$ 及参数 c_1 、 c_2 、 N ；
- 2) 对粒子群体中 P 个粒子任一粒子 $r, 1 \leq r \leq P$ ，执行以下操作：
- (1) 根据式 (16) 和式 (17) 作更新运算，获得该粒子的速度 $V_r(t+1)$ 和位置 $X_r(t+1)$ ；
- (2) 按式 (12) 计算粒子 r 经 $t+1$ 次优化后的适应值 $f(X_r(t+1))$ ；
- (3) 按式 (14) 计算粒子 r 经 $t+1$ 次优化后的约束违反度 $wi(X_r(t+1))$ ；
- (4) 比较粒子 r 经 $t+1$ 次优化后的位置 $X_r(t+1)$ 与粒子 r 经 t 次优化后先前记忆的最好位置 $S_r(t)$ 的优劣，获得该粒子的最优位置，方法如下：
- 当 $wi(X_r(t+1)) = 0, wi(S_r(t)) = 0$ ，且 $f(X_r(t+1)) \leq f(S_r(t))$ 时，或者，
- 当 $wi(X_r(t+1)) = 0, wi(S_r(t)) \neq 0$ ，且 $wi(X_r(t+1)) \leq wi(S_r(t))$ 时，或者，
- 当 $wi(X_r(t+1)) \neq 0, wi(S_r(t)) \neq 0$ ，且 $wi(X_r(t+1)) \leq wi(S_r(t))$ 时，
- 将 $S_r(t+1) = X_r(t+1)$ ；否则，置 $S_r(t+1) = S_r(t)$ ；
- (5) 按步骤 (4) 判断方法，比较粒子 r 的最优位置 $S_r(t+1)$ 与原全局极值 $S_g(t)$ ，若 $S_r(t+1)$ 优于 $S_g(t)$ ，则 $S_g(t) = S_r(t+1)$ ；否则 $S_g(t)$ 不变；
- 3) 将粒子群体中 P 个粒子均按步骤 (5) 与原全局极值 $S_g(t)$ 比较处理后，得到 $S_g(t+1) = S_g(t)$ ；
- 4) 计算经 $t+1$ 次优化后粒子群体中 P 个粒子当前位置的平均适应值和最小适应值 $f_{avg}(t+1), f_{min}(t+1)$ ；
- 5) 比较 $f(X_r(t+1))$ 和 $f_{avg}(t+1)$ ，根据式 (18) 采取相应的自适应策略，调整不同粒子的惯性系数 e ；
- 6) 若 $t = N$ ，停止搜索，输出 $S_g(N)$ 的位置即为所求 n 种原油最佳质量配比向量，算法结束；若 $t < N$ ，转向 (2) 继续搜索。

4 投运效果

以 3 种原油调合优化 3 个性质为例，3 种原油（苏北油、索鲁士、锡里）参与调合，控制 3 个线性性质（硫含量、石脑油收率、酸值），其中苏北油硫含量 0.256 3%、石脑油收率 6.578 4%、酸值 0.254 mgKOH/g，索鲁士硫含量 3.28%、石脑油收率 10.168 6%、酸值 0.57 mgKOH/g，锡里油硫含量 1.844 2%、石脑油收率 20.668 7%、酸值 0.093 2 mgKOH/g。3 种组分权重取值 0.7：0.2：0.1，即：优先考虑硫含量，然后依次考虑石脑油含量、酸值。分别基于本文所提出的优化方法与业界公认最完整的原油评价数据管理系统实验室 H/CAMS 方法进行调合优化求解情况对比。

在不同优化目标下获得的优化配比与调合后目标原油的性质如表 1 所示（部分测试数据）。

在上述工艺条件下，增加 3 个调合管道设计流量上、下限约束 1000~2000 t/h、1500~3000 t/h、1800~3500 t/h；调合订单主流速为 4400 t/h，则调合设备上、下限约束分别为 0.2273~0.4545，0.3409~0.6818，0.4091~0.7955。无设备约束计算的优化结果与有设备约束优化结果对比如表 2 所示。

表 1 3 种原油调合优化 3 个线性性质情况

序号	油种	优化目标			优化 配比	调合后 性质	H/CAMS 配比	偏差
		性质	范围	方式				
1	苏北油	硫含量	[0, 2.5]	上限优化	0.0962	2.4998	0.0961	0.001
	索鲁士	石脑油	[0, 1.5]	上限优化	0.5618	13.4143	0.5618	0
	锡里	酸值	[0, 0.6]	上限优化	0.342	0.3765	0.3421	-0.001
2	苏北油	硫含量	[1, 3.5]	下限优化	0.6007	1.0001	0.6007	0
	索鲁士	石脑油	[6, 15]	下限优化	0.0763	11.4035	0.0763	0
	锡里	酸值	[0, 1.1]	下限优化	0.323	0.2262	0.323	0
3	苏北油	硫含量	[1, 2.5]	上限优化	0.0962	2.4998	0.09615	0.0005
	索鲁士	石脑油	[6, 15]	下限优化	0.5618	13.4143	0.56182	-0.0002
	锡里	酸值	[0, 1.1]	下限优化	0.342	0.3765	0.34203	-0.0003
4	苏北油	硫含量	[0, 5.5]	下限优化	0.8518	0.5005	0.8518	0
	索鲁士	石脑油	[6, 15]	下限优化	0.0062	8.6015	0.0062	0
	锡里	酸值	[0, 1.1]	上限优化	0.1420	0.2331	0.1420	0

可见，在无设备约束时，四组实验因为优化范围不同，优化结果也不同，但加入设备约束后，由于约束限制，1、2 组优化结果相同，3、4 组优化结果也相同，部分占比处于约束边界。

表 1 给出在有目标属性约束的最优解，表 2 给出在包含设备约束和目标约束条件下的最优解。从调合后的目标原油性质可见，采用本文提出的多原油多性质调合优化方法，可以获得多种原油调合的最优配比，该配比其与实验室 H/CAMS 配比偏差极小（绝对值小于 0.001），按此比例对组分原油调合可达到最优性质目标。与 H/CAMS 相比，本文提出的优化方法具有更全面的优化功能（H/CAMS 无法计算有设备约束时的最优配比），同时基于本方法开发的优化软件具有独立知识产权、界面友好、性价比高优势。

表 2 有、无设备约束优化结果对比

序号	油种	优化目标			无设备 约束计 算配比	无设备 约束反 算性质	有设备 约束优 化配比	有设备 约束调 合后 性质
		性质	范围	方式				
1	苏北油	硫含量	[0, 1, 2.5]	上限优化	0.0000	2.1662	0.2273	1.9727
	索鲁士	石脑油	[6, 20]	上限优化	0.2243	18.2254	0.3409	13.8374
	锡里	酸值	[0, 2, 0.6]	下限优化	0.7757	0.2000	0.4318	0.2922
2	苏北油	硫含量	[0, 1, 2]	上限优化	0.0803	1.9998	0.2273	1.9727
	索鲁士	石脑油	[6, 20]	上限优化	0.1972	17.3846	0.3409	13.8374
	锡里	酸值	[0, 2, 0.6]	下限优化	0.7225	0.2000	0.4318	0.2922
3	苏北油	硫含量	[0, 1, 2.5]	上限优化	0.6041	1.6378	0.2500	1.9367
	索鲁士	石脑油	[6, 8]	上限优化	0.3959	10.0553	0.3409	13.5202
	锡里	酸值	[0, 2, 0.6]	下限优化	0.1000	0.3884	0.4091	0.2959
4	苏北油	硫含量	[0, 1, 2]	上限优化	0.6041	1.6378	0.2500	1.9367
	索鲁士	石脑油	[6, 8]	上限优化	0.3959	10.0553	0.3409	13.5202
	锡里	酸值	[0, 2, 0.6]	下限优化	0.1000	0.3884	0.4091	0.2959

5 结语

将 CAPSO 用于求解原油管道调合多目标优化问题，提出了一种多原油多性质调合优化方法。该方法在调合规则库和设备约束基础上建立了原油调合多目标优化模型，然后基于 CAPSO 算法，对优化模型进行快速、准确地优化计算，获得多种组分原油的最优配比。该方法成功应用于 COPBP 多种原油（下转第 227 页）

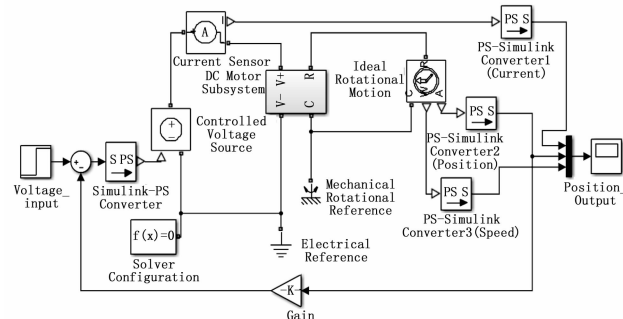


图 9 单自由度方向上伺服电机位置控制仿真图

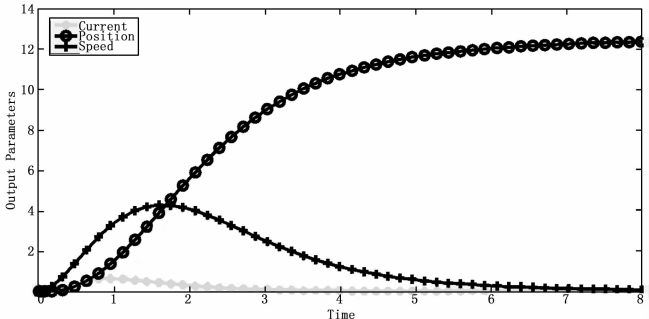


图 11 系统输出响应图

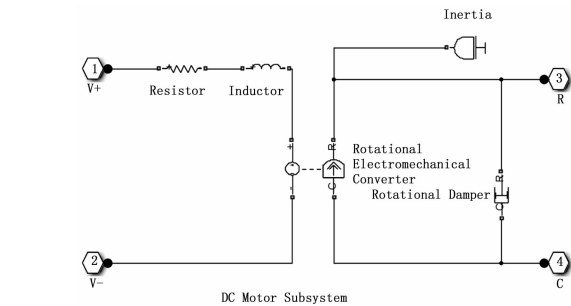


图 10 伺服电机数学模型图

感参数, 选取合适值。

2) 设定反馈量即当前电机位置量与测量电压之间的映射表。

3) 给定输入电压的给定值, 这里以单位阶跃为例。

4) 进行仿真, 用示波器显示电机的位置响应, 内部电流响应以及速度响应, 具体响应曲线如图 11 所示。

由图 11 可以看出, 闭环控制下系统处于稳定状态, 可以通过改变输入量较好的控制好伺服电机的转动位置。所以在实际情况下通过控制两个电机, 分别处于两个自由度下, 便可以实现太阳能板对太阳光点的追踪。

5 结论

1) 与现有的多光电二极管追光原理相比, 此类利用光敏电阻与追光板的夹角来提高追光精度的方式, 装置设计更加容

多种性质调合优化过程, 实际测试数据表明, 应用该方法获得的优化配方比采用实验室 H/CAMS 软件的更具优势, 按该配方对组分原油调合可达到最优的多目标性质, 从而可以为 CDU 低成本、高效率提供满足性质要求的原油, 避免原油性质波动给加工装置带来的损害, 保证生产安全, 提高生产效率。

参考文献:

[1] 许 萍. 浅谈油品调合系统的应用 [J]. 信息系统工程, 2013, (11): 92-93.
[2] 唐衍伟, 黄运成, 杨 婕. 中国石油进口参与国际定价的现状、趋势及策略分析 [J]. 资源科学, 2007, 29 (1): 184-188.
[3] Bai L, Jiang Y H, Huang D X, et al. A novel scheduling strategy for crude oil blending [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2010, 18 (5): 777-786.
[4] 缪良才, 谭跃进, 邓宏钟. 成品油调合优化模型及其应用研究

易, 追光的稳定性会有所提高。

2) 通过程序控制追光的裕度, 来控制追光的误差, 使得整个装置在追踪到光点的时候不至于抖动, 有利于延长装置的使用寿命。

3) 基于负反馈的自适应追光装置的稳定性会有所提高, 同时对于追光的精度也达到一定的要求。

4) Simulink 下实现对电机转动的稳定控制, 可以从原理上验证系统的稳定性。

参考文献:

[1] 陈 维, 李戡洪. 太阳能利用中的跟踪控制方式的研究 [J]. 能源工程, 2003 (03): 18-20.
[2] 王 涛. 基于光敏感应及角度计算的太阳追踪系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2009.
[3] 王 旭, 肖广朋, 康留旺. 基于 MC9S12DG128 的太阳能自动追踪装置 [J]. 汽车使用技术, 2013 (12): 54-58.
[4] 薛建国. 基于单片机的太阳能电池自动跟踪系统的设计 [J]. 长春师范学院学报, 2005, 24 (3): 26-30.
[5] 默少丽, 王鹏月. 太阳自动跟踪控制系统的设计 [J]. 实验室研究与探索, 2012, 31 (12): 83-85.
[6] 周诗悦, 朱 凯, 刘 爽. 太阳能电池板自动跟踪系统 [J]. 控制工程, 2009, 增刊: 18-19.
[7] 王艳颖, 王 珍, 郭丽环. 直流电动机传递函数测定的实验研究 [J]. 实验技术与管理, 2008, 25 (8): 39-40.
[8] 潘晓晨, 郝世勇. Matlab 电机仿真精华 50 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
[9] 王 颖, 王 珍, 郭丽环. 直流电动机传递函数测定的实验研究 [J]. 实验技术与管理, 2008, 25 (8): 39-40.
[10] 潘晓晨, 郝世勇. Matlab 电机仿真精华 50 例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
[11] 王 颖, 王 珍, 郭丽环. 直流电动机传递函数测定的实验研究 [J]. 实验技术与管理, 2008, 25 (8): 39-40.
[12] 薛美盛, 李祖奎, 吴 刚, 等. 成品油调合调度优化模型及其应用 [J]. 石油炼制与化工, 2005, 36 (3): 64-68.
[13] 黄德先, 余 冰, 高小永, 等. 基于分片线性代理模型的成品油调合优化 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2012, 52 (9): 1230-1235, 1243.
[14] Jose de Jesus Rubio, Yu W. Modeling of Crude Oil Blending Via Discrete-time Neural Networks [A]. 3rd International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICEEE) [C]. Acapulco, Guerrero, Mexico, 2006.
[15] 兰鸿森, 丁 锋. 基于炼油过程仿真的原油混炼比优化 [J]. 石油炼制与化工, 1997, 28 (11): 50-54.
[16] 杜桂康, 赵英凯. 基于遗传算法的原油混合优化研究 [J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37 (1): 8-10.
[17] 叶彦斐, 郑 源, 张勇气, 等. 原油管道调合高精度配比控制系统设计与实现 [J]. 江南大学学报 (自然科学版), 2014, 76 (6): 681-685.