

分级递阶专家智能控制及其在加氢裂化 生产反应过程中的应用

何 磊 戴冠中

(西北工业大学自动控制系 西安 710072)

摘 要 本文以一个年处理量 80 万吨重油加氢裂化生产装置集散控制系统的设计与实现为背景,针对反应岗位生产过程的控制要求,提出了基于产生式规则的专家控制器与集散控制系统内部 PID 调节器相结合的分级递阶专家智能控制方案,通过仿真及开工过程在线运行,证明该方案比一般手动操作具有控制平稳、响应快和精度高的特点。

关键词 专家智能控制, PID 参数自整定, 重油加氢裂化, 集散控制系统

1 引言

重油加氢裂化是一种在富氢环境下提高温度和压力把重油转化为馏份油产品的催化过程。由于受到原料性质、入口温度、进料流量、冷氢流量、催化剂活性等多种非线性因素的影响,反应过程的控制比较困难,而加氢裂化反应又难以用合理的数学模型描述,使得各种基于模型的控制方法难以应用,所以目前对这类反应过程的控制普遍采用常规 PID 仪表构成多个简单调节回路进行手动操作,操作人员的经验在较大程度上决定了控制的水平,从而造成加氢裂化反应工艺参数的波动,也就造成了产品组份的波动,收率得不到可靠的保证。为此,我们在对某炼油厂加氢裂化生产装置集散控制系统的设计与实现过程中,使上层的专家控制器与集散系统操作站相配合,下层的 PID 参数自整定专家系统与现场控制单元内部仪表相联系,实现了反应过程(岗位)的分级递阶专家智能控制。

2 反应过程工艺概述及对控制的要求

重油加氢裂化是一类十分复杂的物理化学反应过程。该装置的设计原料为胜利直馏减压瓦斯油和胜利渣油焦化瓦斯油,两种油料以一定配比配炼,新鲜进料与热循环氢混合后自上而下通过精制反应器 R101 和加氢裂化反应器 R102A, R102B 的催化剂床层,在高温(约 375℃)高压(175.9kg/cm²)环境下发生脱硫、脱氮、烯烃饱和反应及裂化反应,将重油转化为馏份油,经分馏切割为航煤、柴油、轻石脑油、重石脑油等产品。图 1 为反应岗位工艺流程简图(含控制工位)。

在反应岗位,最主要的工艺参数是催化剂床层温度,其他参数对反应过程的影响,都多少地反映在床层温度上,也就可以通过调整床层温度来补偿。由于裂化反应会放出大量的热,对反应温度的控制就更为重要。因为提高反应温度,可以提高脱硫脱氮率和生成油转化率,加快反应速度,加深裂化反应;但同时也会使催化剂表面积炭结焦的程度趋于严重,影响其寿命。温度超高时甚至会损坏设备,酿成事故。对反应器温度的控制包括以下几个方面。

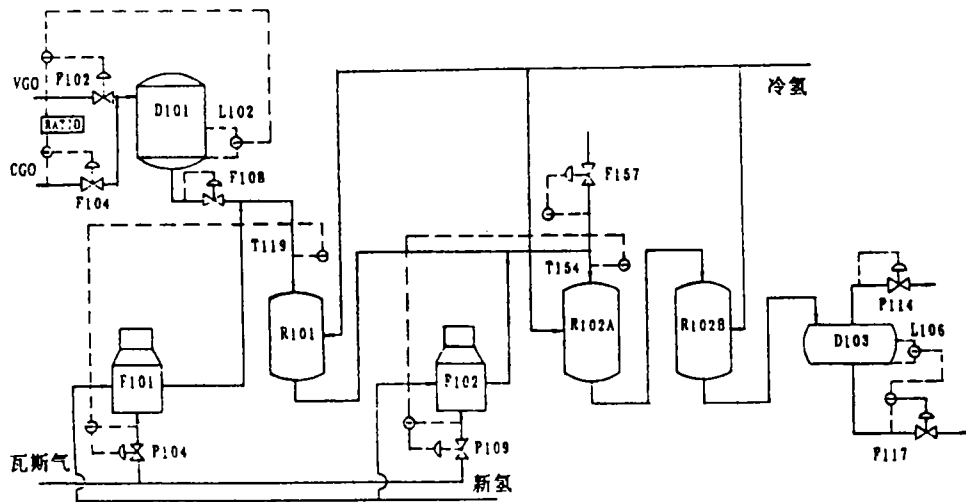


图1 反应岗位工艺流程图(含控制工位)

(1)反应温度主要依靠入口温度来调节. R101入口温度由温度PID调节器T119与第一加热炉F101燃气阀后压力调节器P104串联来实施控制;R102A入口温度则通过T154与P109的串联来进行调节.那么主回路的设定值及主副仪表的参数调整在一定程度上由操作人员的经验来决定,操作水平的波动造成反应的波动,这是影响产品品质和收率的一个重要因素.

(2)各催化剂床层急冷氢注入量.急冷氢可以直接作用到催化剂床层,正常生产条件下,注入量为稳态值,并保证一定安全裕度,反应温度由入口温度调节.

(3)新鲜进料提降量变化.一方面油料的性质或产地会有些变化,另一方面新鲜进料量也会有所增减.这些都将改变反应的温度,使工艺参数漂移.工艺上既要求进料量的提降在规定时间内完成,又要求反应温度波动最小,避免提降新鲜进料量对温度造成冲击.因此在进行提降量操作时,操作人员的水平决定控制结果的好坏,人为因素影响较大.

此外,反应岗位上相关压力、液位、流量等控制不再赘述.

3 分级递阶的专家智能控制方案

由于加氢裂化反应机理复杂,其工业生产的反应过程又具有非线性、大滞后和时变的特点,借助精确的数学模型来完全解析地设计反应过程控制系统既困难又不可靠.因此利用熟练操作人员的经验和工况过程信息,使用专家智能控制方式是适宜的.我们采取专家控制器与集散控制系统内部仪表相结合的分级递阶智能控制策略,来完成反应过程中入口温度、进料提降量等影响反应进行的相关控制任务.图2所示为与集散控制系统相结合的分级递阶专家智能控制结构,其中集散系统实现全装置的监视、信息处理、报表生成和反应过程的PID控制.专家控制由两部分构成,一部分是操作站和上位机上的反应过程工况优化设定专家控制器,它参照工艺操作规程,结合熟练操作人员的经验,给出各控制回路主仪表的优化设定值SV;另一部分是PID参数自整定专家系统,它根据过程特性及仪表工程师的经验,自动给出各相关仪表的参数.图3以反应过程中R102A入口温度控制为例说明专家控制模型.该控制基本回路

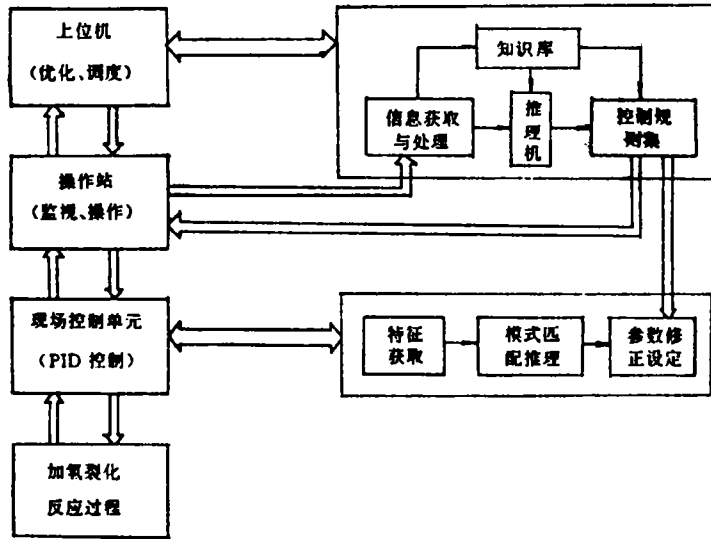


图2 分级递阶专家智能控制结构

由反应器入口温度调节器 T154 与循环氢加热炉燃气阀后压力调节器 P109 串级构成。专家控制器根据工况信息设定入口温度调节器的 SV 值；参数自整定专家系统给出各 PID 调节器的参数值。串级回路自动调节燃气压力，调节燃炉加热温度，即热循环氢温度，从而控制反应器入口温度。

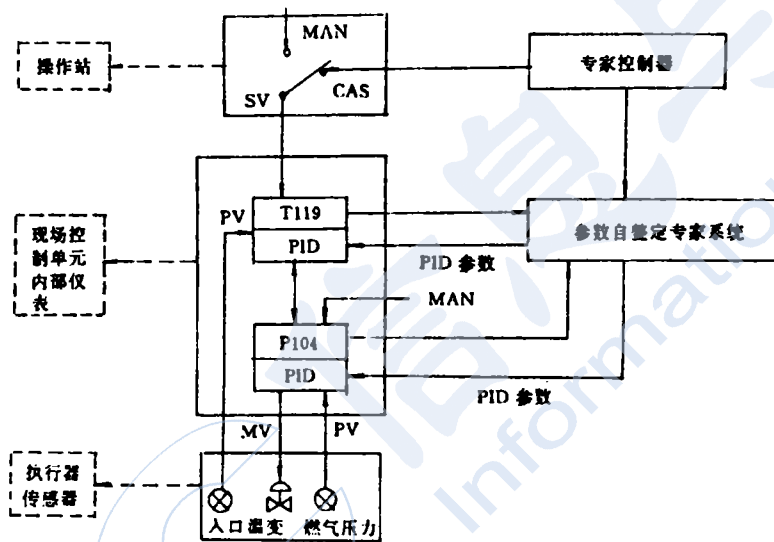


图3 R102A 入口温度专家控制模型

4 专家控制器设计

采用上述分级递阶专家智能控制策略后，使上位机和操作站承担智能控制协调、优化、决

策的功能. 现场控制单元执行直接的在线参数自整定 PID 控制. 专家控制器由知识库、推理机构和控制决策组成, 知识库储存经归纳总结的工艺工程师、仪表工程师和熟练操作人员的经验知识, 推理机构在系统运行时根据在线获得的状态特征在知识库中进行匹配, 从而得到改变设定值或调节器参数的决策. 我们选用适于描述因果关系和非线性关系的产生式规则作为控制器模型, 具体体现为“IF-THEN”组成的知识推理规则的集合. 这个规则集合包含经验、非经验规律、简单的算法及搜索策略. 加氢裂化反应过程的专家控制规则集由两个子集构成, 最优工况设定值子集有 21 条产生式规则, 参数修正决策子集有 7 条规则. 与图 3 相关的部分规则用语言描述如下:

[规则 11] IF $\Delta\bar{T}_{R102A}$ 波动较大 AND
 $\Delta PV(T119)$ 波动不大 AND
 ΔHV 基本不变 AND
 STATUS 为串级
 THEN $SV(T119)$ 增大

[规则 24] IF $\Delta\bar{T}_{R102A}$ 波动不大 AND
 $PV(104)$ 波动较大
 THEN 允许参数自整定系统修正
 T119 和 P104 调节器参数

其中, $\Delta\bar{T}_{R102A}$ 为 R102A 催化剂层加权平均温度; $PV(\cdot)$ 为过程值; $SV(\cdot)$ 为设定值; STATUS 为回路状态; 波动的大小由参数查询表给出, 它是经验值或计算值.

5 PID 参数自整定专家系统

将投运后 PID 调节器的参数固定不变是工程上常用的作法. 但调节器参数实际上与系统的稳态工况有关, 对于象加氢裂化反应过程这样的时变、非线性过程, 工况改变后, 调节器参数的“最优值”就不同. 在某一工况下工作很好的参数可能在工况变化后会造成输出动作的频繁变化, 这就给执行机构(尤其是阀芯)带来较大负担. 反之, 在新的工况下, 若原来的 PID 参数过于“保守”, 又会使调节器显得比较“迟钝”, 响应变慢, 过渡过程拉长, 控制不能及时作用到过程. 针对这个问题, 我们采用仪表工程师、熟练操作人员的经验规则与传统参数整定方法相结合的方法, 提出专家自适应参数自整定方案. 实时地监测程序自动记录过程曲线, 并提取特征, 由经验规则推出经验值, 同时进行参数的优化计算, 最后专家系统给出参数修正值, 过程如下.

- step 1 每一采样周期, 记录过程值 $PV(\cdot)$, 并计算 $e(k) = SV(k) - PV(k)$, 记录波峰 e_1, e_2, e_3, \dots ;
- step 2 引入自定义状态变量; 计算得 $\sigma = |e_2/e_1|$ 作为超调量, $\lambda = |(e_2 - e_3)/(e_2 - e_1)|$ 作为衰减比, 两同向波峰之间间隔 T 作为振荡周期;
- step 3 由经验公式 $T_I/T \doteq 0.52$ 和 $T_D/T \doteq 0.12$ 估算 T_I, T_D 初值; (各回路公式系数不同);
- step 4 将过程参数与给定允许值比较, 同时根据专家系统中经验规则集合, 进行状态匹配和推理计算, 修正 PB(比例带), T_I 和 T_D ;
- step 5 检查上层专家控制器是否允许改变参数, 若允许, 将 PB, T_I, T_D 设定到调节器, 返回 step 1; 否则, 直接返回 step 1.

6 系统实现及运行效果分析

该重油加氢裂化装置的集散控制系统选用日本横河公司中小规模集散控制系统 μ XL, 系统由 2 台操作站, 3 台控制单元及各种外围辅助设备构成. 上位机使用 IBM-PC 386 微机. 系统功能通过操作站及控制单元组态定义实现. 专家智能控制功能使用系统提供的 Y-BASIC 语言结合上位机上的专家控制程序完成, 从而实现了分级递阶的专家智能控制系统.

所设计的加氢裂化生产反应过程专家智能控制器及 PID 参数自整定专家系统经过大量历史数据对各种工况的仿真调试及训练后, 在装置开工投运时进行了实时控制. 反应器入口温度波动由手动操作的 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 下降到 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (开工状态下). 进料提降量控制实现自动操作, 反应器催化剂床层平均温度波动由原来的 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 下降到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (提量时), 且定时定额完成提量任务. PID 调节器自整定的参数与仪表工程师在相应工况下给出的参数基本一致, 但参数修正更加及时. 由于使用了基本经验规则的专家智能控制方式, 保证了全装置的平稳安全开工投运. 同时, 反应过程正常生产的达标运行也保证了产品的质量和收率, 为创造效益提供了技术保证.

7 小结

(1) 本文提出的分级递阶专家智能控制方案, 不依赖被控对象的数学模型, 在集散控制系统的背景下实现了对重油加氢裂化反应(岗位)过程的智能控制, 取得了令人满意的效果, 说明智能控制是一条解决复杂过程控制问题的有效途径.

(2) 集散控制系统应该提供更大的空间, 使设计人员和组态工作应用比较成熟的先进控制策略及智能控制方法有更大的自由度.

(3) 本文的设计方法虽然是针对加氢裂化生产反应过程的, 但对于类似过程, 尤其是与集散控制系统相结合实现智能控制, 具有借鉴作用.

参 考 文 献

- 1 Theodore Williams. The Use of Digital Computers in Process Control. Instrument Society of America, 1984.
- 2 Moore R L, *et al.* A Real-Time Expert System for Process Control. The 1st Conf on AI Applications, 1984.
- 3 Aström K J, Anton T J, *et al.* Expert Control. Automatica, 1986.
- 4 何磊. 加氢裂化装置集散控制系统设计与实现. 西北工业大学硕士论文, 1993.

HIERARCHIAL EXPERT CONTROL FOR HYDROCRACKING PROCESS

HE Lei DAI Guanzhong

(Dept of Automatic Control of NPU)

Abstract In this paper we proposed a hierarchial intelligent control scheme based on distributed control system for the reaction process control problems of a hydrocracking plant, which can process 800 thousand tons crude oil yearly. This scheme combined expert control with adaptive parameter PID controller and the results of control are satisfactory.

Key words expert control, adaptive parameter PID controller, hydrocracking process, distributed control system

(何磊, 男, 27岁, 博士生. 研究领域为智能控制理论及其应用.)

(戴冠中, 男, 58岁, 教授, 博士生导师. 研究领域为大系统及复杂控制系统, 估计理论与随机控制, 控制系统中的并行处理和智能控制理论及应用等.)