

基于混合知识表达模型的启发式 优化控制策略及其应用¹⁾

何 敏 吕勇哉

(浙江大学工业控制研究所, 杭州 310027)

摘 要

本文针对大型工业过程的特点,提出了一种兼备常规动态模型、模糊关系模型和知识基模型的混合式知识表达模型,并以此为基础,开发了一类启发式优化控制策略,设计了相应的实时优化控制系统.通过实际工业过程的验证,表明这类启发式优化控制策略是可行的和有效的.

关键词: 混合知识表达模型,启发式优化控制策略,复杂工业过程.

一、前 言

众所周知,化工、炼油、冶金等生产过程的模型化是始终未能很好解决的难题,由之而来的大部分基于模型的优化策略也就更加难以实现¹⁾. 目前通常采用的模型结构一般可分为常规模型(时域或频域)、模式识别模型、模糊关系模型、知识基模型、神经网络模型等几大类,尽管它们分别在不同的研究领域得到了成功应用,但同时也暴露了它们各自独立使用的局限性.

本文根据各类知识结构的特点,提出了一种兼备常规动态模型、模糊关系模型和知识基模型的混合知识表达模型,并以此为基础开发了一类启发式优化控制策略,从而有效地利用了各种可用知识资源. 最后以某大型炼油厂的催化裂化装置产品分布优化为目标,成功地研制了一套启发式优化控制系统,使用结果表明,该系统稳定性好,可靠性高,经济效益十分显著.

二、混合知识表达模型

混合知识表达模型包含三部分内容,即离散状态空间模型; 模糊关系模型; 规则基模型.

1) 离散状态空间模型.

典型的离散状态空间模型为

本文于1990年4月24日收到.

1) 本文得到石化总公司和国家教委的资助.

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{f}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k), \boldsymbol{\varepsilon}(k)), \quad (1)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{g}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k), \boldsymbol{\delta}(k)). \quad (2)$$

这种模型结构的特点是各物理量之间的关系很清楚,可以精确地在实数域中度量,而且往往每个变量和函数关系都具有某种明确的物理意义.根据这种特点,可以讨论其稳定性、可控性、可观性等性能指标,也能够用来设计相应对象的控制算法.但一般的控制算法往往对模型的精度有一定的要求,如果某个被控对象由于某种不可预知的原因工作在非正常工况或存在结构摄动,那么,原有的控制算法难免会失效,甚至难以保证系统的稳定性.可是,对于一个有经验的熟练操作人员来说,只需用较为简单的启发式方法就能避免类似现象的发生,这样的实例在许多工业装置上经常会遇到.

上述现象的出现不是由于控制算法的问题,而是由过程模型本身引起的.因为象离散状态空间模型所能表达的知识范围是局部的,难以用来描述整个过程在不同工况下的整体特性,所以为了设计系统的整体优化策略,必须引入其它的模型表示结构予以补充.

2) 模糊关系模型^[2].

模糊关系模型的通用结构可以表示为

$$y = x_1 \circ x_2 \circ \cdots \circ x_n \circ R. \quad (3)$$

基于参考模糊集的模糊关系模型实际上对应于一系列带可信度的模糊规则集,即

IF x_1 is A_{1i_1} and x_2 is A_{2i_2} and \cdots and

x_n is A_{ni_n}

THEN y is B_j

WITH $cf = R(i_1, i_2, \cdots, i_n, j)$. (4)

其中 A_{ki_k} 、 B_j 分别是输入、输出论域上的参考模糊集, cf 表示规则的可信度.

模糊关系模型是对过程外部特征在模糊意义上的一种半定量描述,从它的结构和参数中看不出任何有关过程的内在实质性,并且它的信息表示方式类似于神经网络模型^[3],它是将有关过程概念的大量信息分布存贮在许多独立单元(模糊规则)上,而知识的积累和更新则依靠各规则的可信度之间的协调来完成.

模糊关系模型常用于过程的静态描述,与常规的静态优化模型相比,它具有模型结构简单、自学习算法快速等显著优点,所以适合于实时性要求较高的控制对象.

3) 规则基模型.

规则基属于知识工程的范畴,它是浅层知识的一种有效表达形式.产生式规则的结构为

IF P_1 and P_2 and \cdots and P_n

THEN C_1 ELSE C_2

WITH cf . (5)

规则的形式接近于自然语言,简单明了,便于知识的获取、理解和使用,而且基于产生式规则的推理很接近于人类求解问题的思维过程,因此,系统易于与人的对话,解释自己的推理过程,另外从结构上看规则基与推理机构相对独立,具有模块性,为系统的建立、修改和自学习功能提供了基础.

规则来自于大量的有经验操作人员的实际工作经验,工程师通过人机界面对规则

进行编辑。这种知识表示方法比较粗糙,但它的知识表示范围却非常宽广,信息来源也十分丰富。基于规则基的求解过程是一种推理过程,都是通过前提命题或结论命题的匹配来完成,不存在许多优化的概念,所以给出的推理结果仅仅是一种可行解。

上述三种不同的模型结构表达了被描述过程在各个不同侧面的知识类型,其中包括动态、静态和启发式等过程信息,这样就较完整地描述了过程的内部和外部两方面的特征,并在各个控制决策层次上发挥相应的作用。

三、基于混合知识表达模型的启发式优化控制策略

基于上述混合知识表达模型,这里提出一类启发式优化控制策略,其中采用了典型的多级递阶控制结构^[4],如图 1。

第一层是分散鲁棒控制系统^[6],其设计基础是离散状态空间模型。在稳态工作点附近,可以将非线性时变系统(1),(2)用线性时不变系统来逼近,即

$$\mathbf{x}(k+1) = A\mathbf{x}(k) + \sum_{i=1}^N B_i \mathbf{u}_i(k) + E\boldsymbol{\varepsilon}(k), \quad (6)$$

$$\mathbf{y}_i(k) = C_i \mathbf{x}_i(k) + D_i \mathbf{u}_i(k) + P_i \boldsymbol{\delta}(k). \quad (7)$$

其中 $i = 1, \dots, N$ 表示共有 N 个控制站。

如果选择合适的反馈控制结构,那么分散鲁棒控制器将使得最终的闭环系统满足渐近稳定、终值无偏等要求。

第二层是静态优化级,它采用了基于模糊关系模型的启发式优化方法,因为模糊关系模型可以分解成带可信度的模糊规则集,所以,基于模糊关系模型的搜索将转换成基于模糊规则集的推理^[5]。

最上层是基于规则基的决策支持系统。所采用的是传统的专家系统结构,其核心为产生式规则,它主要用来描述过程的定性或半定量知识,例如系统故障识别和处理,异常工况下的操作指导,多个子系统之间的协调,过程知识的调度管理以及更高层次的决策支持等。

基于混合知识表达模型的启发式优化控制策略在各个层次上分别利用了三种不同的模型结构,这三种模型结构并非完全孤立,它们之间存在着大量的信息交换,所有的知识资源对系统也是共享的。

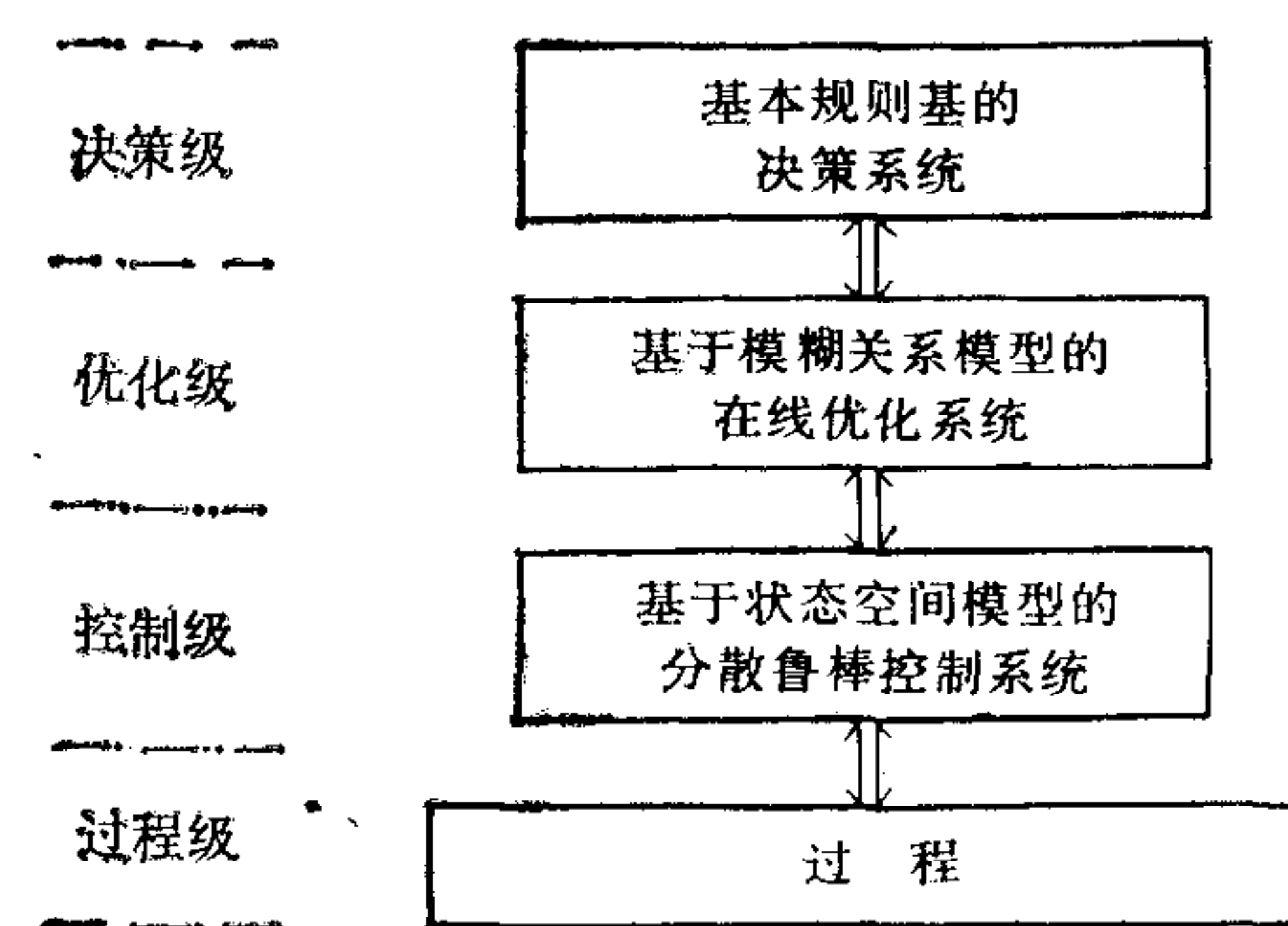


图1 启发式优化控制策略示意图

四、启发式优化控制策略在催化裂化产品分配优化中的应用

催化裂化装置是炼油厂中石油二次加工的重要设备,其最终产品包括汽油、轻柴油、重柴油、气体等,它的操作直接关系到石油炼制过程中的轻油产品收率。为了提高该装置

的经济效益,必须在重组分满足计划要求的约束下,尽量提高轻组分产量,使最终的产品分布达到优化状态。

本文开发了催化裂化装置的混合知识表达模型和实时优化控制系统,如图2所示。

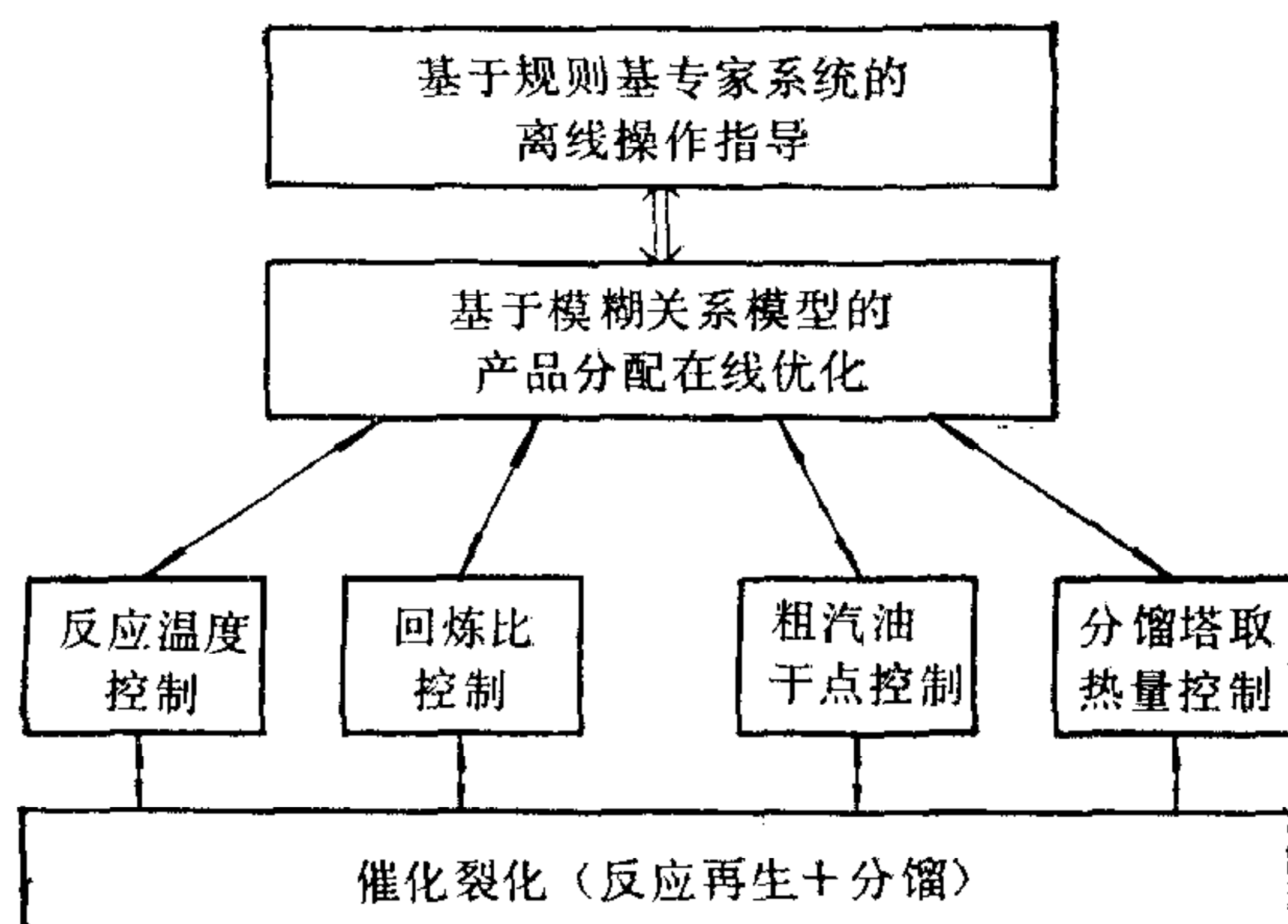


图2 催化裂化装置产品分布优化控制系统

第一级是操作参数的分散鲁棒控制器^[6],模型结构是离散状态空间模型,被控参数包括提升管反应温度、回炼比、反应压力、粗汽油干点和分馏塔取热量。

第二级是基于模糊关系模型的产品分布在线优化系统,优化目标是在保证轻柴油、重柴油等产品收率的前提下使得汽油收率最高。

第三级是规则基专家辅助决策系统,该系统主要用来完成故障识别和处理、非正常工况下的离线操作指导、过程知识管理等功能。

目前,该系统已经在某炼厂催化裂化装置上获得成功应用,使产品分布更趋合理,仅产品分布优化系统的年增利税达339万元,经济效益十分显著。

五、结 束 语

本文根据大型工业装置的特点,提出了一种混合知识表达模型,该模型同时包含了离散状态空间模型、模糊关系模型和规则基模型。这种模型结构能根据各类单一模型结构的特点,有效地对过程知识在各个侧面进行描述。在此基础上,本文又提出了一种启发式优化控制策略,在它的各个决策层次上,分别使用了相应的模型结构,以达到合理利用各种知识资源并作出优化决策的目的。

本文对某炼厂的催化裂化装置,开发了一类产品分布实时优化控制系统,该系统与传统方法相比,具有适应性强、推理速度快等显著优点,这说明,本文所提出的混合知识表达模型和启发式优化控制策略适合于复杂工业过程的在线控制和优化。

参 考 文 献

- [1] 吕勇哉,工业过程的模型化及计算机控制,化学工业出版社,1988.
- [2] C. W. Xu, Y. Z. Lu, Fuzzy Model Identification and Self-learning for Dynamic Systems, *IEEE Trans. Syst. Man & Cybern.*, **SMC-17** (1987).
- [3] R. P. Lippmann, An Introduction to Computing with Neural Nets, *IEEE ASSP Magazine*, April, 1987.
- [4] G. N. Saridis, Toward the Realization of Intelligent Controls, *Proc. of IEEE*, 67(1979), 1115—1133.
- [5] M. He, Y. Z. Lu, A Heuristic Strategy for Product Distribution Optimization of FCCU, 2nd Workshop on Artificial Intelligence in Real Time Control, Shenyang, 1989.
- [6] 戴连奎、吕勇哉,催化裂化反应再生系统的分散鲁棒控制,信息与控制, **17**(1988),1.

HEURISTIC OPTIMIZATION STRATEGY BASED ON HYBRID KNOWLEDGE EXPRESSION MODEL AND ITS APPLICATION

HE MIN LÜ YONGZAI

(Research Institute of Industrial Process Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

ABSTRACT

In this paper, one kind of hybrid knowledge expression model has been proposed, it combines regular model, fuzzy relational model and rule-based model, for large scale industrial processes. Based on the above model, a novel heuristic optimization strategy has been developed and the corresponding optimization control system has been designed. The given application results show that the heuristic optimization strategy based on hybrid knowledge expression model is feasible and effective in real plants.

Key words: Hybrid knowledge expression model; heuristic optimization strategy; complex industrial process.