

一种控制装置、方法、机器可读存储介质以及计算机程序产品

技术领域

5 本申请涉及自动控制技术领域，具体地涉及一种反应器的控制装置、方法、机器可读存储介质以及计算机程序产品。

背景技术

反应器是一种实现反应过程的设备，用于实现液相单相反应过程和液液、气液、液固、气液固等多相反应过程。目前一些反应器（例如
10 碳三液相加氢反应器）的生产控制普遍采用手动调控，由技术人员手动调节控制相关参数。在反应流程冗长、工艺复杂的情况下，因人员精力有限，无法对反应器做到实时监控和专家级调整优化。

中国专利 CN113721683A 公开了一种碳三液相加氢反应器自动控制方法及设备。其中，碳三液相加氢反应器自动控制方法包括：获取
15 碳三液相加氢反应器的出入口参数；基于所述出入口参数获取所述碳三液相加氢反应器的出口 MAPD 浓度；调整所述出入口参数中的碳三液相加氢反应器入口物料温度和碳三液相加氢反应器入口氢炔比使所述出口 MAPD 浓度保持在设定区间值。在现有技术中，采用单层级的直接控制方式来使所述出口 MAPD 浓度保持在设定区间值，调整手段
20 单一、能够调整的参数也受到限制，例如调整入口氢炔比一般仅能够通过调整入口的氢气流量或浓度来实现。显然，在这种单层级的直接控制方式中，能够调节的参数种类有限，调节方式不直观，调节的结果也不够准确。

25 发明内容

为解决现有技术中的问题，本申请实施例的目的是提供一种反应器的控制方案，该方案能够逐层级控制反应器的各层级参数的数值范围，以使得指定参数处于预设范围内。

为实现上述目的，本申请的实施例提供一种控制装置，包括：
30 存储器，用于存储可执行指令；和
处理器，所述处理器能够执行所述可执行指令以便实现如下方法：
获取所述反应器的多层级参数，所述多层级参数包括：操纵

层级参数、调控层级参数和目标层级参数；

响应于所述目标层级参数不在目标预设范围内，基于所述目标层级参数和所述目标预设范围确定所述调控层级参数的调控预期范围；

5 基于所述调控层级参数的调控预期范围，确定所述操纵层级参数的操纵预期范围；以及

发出控制命令用于将所述操纵层级参数控制至所述操纵预期范围，从而将所述调控层级参数控制至所述调控预期范围，进而最终将所述目标层级参数控制至所述目标预设范围内。

10 进一步说，所述调控层级参数和所述目标层级参数之间的关系由第一级函数定义，通过控制所述调控层级参数的数值，能够调整所述目标层级参数；以及

所述操纵层级参数和所述调控层级参数之间的关系由第二级函数定义，通过控制所述操纵层级参数的数值，能够调整所述调控层级参
15 数。

可选地，所述调控层级参数还包括至少两个层级的调控参数，所述至少两个层级的调控参数之间的关系由函数定义。

并且基于动态矩阵预测控制算法实现多层级变量的动态过程调节。

其中所述反应器为碳三液相加氢反应器。所述操纵层级参数包括碳
20 三液相加氢反应器的以下参数：入口温度 T_{in} 、入口氢气流量 F_{H_2} 、新鲜物料流量 F_{frs} 、循环物料流量 F_{rec} 、脱丙烷塔塔顶回流流量 F_{tow} 、脱丙烷塔塔压 P_{tow} 、碳三加氢反应器压力 P ；

所述调控层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数：入口
25 MAPD 浓度 $C_{[MAPD]in}$ 、入口氢炔比 $C_{[C_3H_6]in}/C_{[H_2]in}$ 、各床层温差 $TD_1—TD_n$ ；

所述目标层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数：出口
MAPD 浓度 $C_{[MAPD]out}$ 、丙烯选择性 SE 。

所述出口 MAPD 浓度 $C_{[MAPD]out}$ 的目标预设范围为 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm，
且所述丙烯选择性 SE 的目标预设范围为 $SE \geq S' - 5\%$ ；

30 S' 为在所述 MAPD 浓度在 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm 范围内时能得到的最优的丙烯选择性的值；

当不满足上述条件调整所述的调控层级变量。

进一步说,获取所述反应器的多层级参数包括获取反应器的输入输出参数以及基于所述输入输出参数确定所述多层级参数。

经所述动态矩阵预测控制算法计算得到入口 MAPD 的期望值 INMAPD,入口 MAPD 浓度在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时,不调整操纵层级变量;入口 MAPD 浓度不在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时,调整操纵层级变量中的新鲜物料流量、循环物料流量、脱丙烷塔塔顶回流流量、脱丙烷塔塔压中的至少一者,

经所述动态矩阵预测控制算法计算得到氢炔比的期望值 HM,所述氢炔比在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时,不调整操纵层级变量;所述氢炔比不在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时,调整操纵层级变量中的新鲜物料流量、入口氢气流量、循环物料流量中的至少一者,以及

经所述动态矩阵预测控制算法计算得到床层温差的期望值 TD,在床层温差在 $\text{TD} \pm 1^\circ\text{C}$ 时,不调整操纵层级变量;床层温差不在 $\text{TD} \pm 1^\circ\text{C}$ 时,调整操纵层级变量中入口物料温度、碳三液相加氢反应器的压力中的至少一者。

根据本申请的另一方面,本申请的实施例还涉及一种控制系统,包括:反应器;以及上面所述的控制装置。

所述的控制系统,还包括:DCS 控制器,用于从反应器获得输入输出参数;以及 OPC 服务器,用于实现所述 DCS 控制器和所述控制装置之间的通信。

根据本申请的另一方面,本申请的实施例还涉及一种反应器的控制方法,包括:

获取所述反应器的多层级参数,所述多层级参数包括:操纵层级参数、调控层级参数和目标层级参数;

响应于所述目标层级参数不在目标预设范围内,基于所述目标层级参数和所述目标预设范围确定所述调控层级参数的调控预期范围;

基于所述调控层级参数的调控预期范围,确定所述操纵层级参数的操纵预期范围;以及

将所述操纵层级参数控制至所述操纵预期范围,从而将所述调控层级参数控制至所述调控预期范围,进而最终将所述目标层级参数控制至所述目标预设范围内。

根据本申请的另一方面,本申请还涉及一种机器可读存储介质,包

括存储在其上的计算机程序，所述计算机程序包括可执行指令，所述可执行指令在由处理器执行时实现上面所述的方法。

根据本申请的另一方面，本申请还涉及一种计算机程序产品，包括可执行指令，所述可执行指令在由处理器执行时实现上面所述的方法。

5 通过上述技术方案，提供逐层级自动控制反应器的各级参数的数值，使得调节参数直观，准确且迅速，从而能够使目标层级参数处于预设范围内，在系统出现波动时，快速恢复生产系统的参数，实现反应器的平稳操作。

本申请实施例的其它特征和优点将在随后的具体实施方式部分予以
10 以详细说明。

附图说明

附图示出了本公开的各方面的各种示例，并且它们与说明书一起用于解释本申请的原理。本技术领域内的技术人员明白，附图所示的特定
15 实施例仅是示例性的，并且它们无意限制本申请的范围。应该认识到，在某些示例中的一个元件也可以被设计为多个元件，或者多个元件也可以被设计为一个元件。在某些示例中，被示出为另一个元件的内部部件的元件也可以被实现为该另一个元件的外部部件，反之亦然。在附图中：

20 图 1 是根据本申请实施例的控制系统的整体框图；

图 2 示出了根据本申请实施例的由控制服务器或控制装置执行的控制过程；

图 3 示出了根据本申请实施例的多层级控制过程中各个层级参数的传递函数示意图；

25 图 4 是示出了根据本申请示例的碳三液相加氢反应器各层级参数关系图；

图 5 是根据本申请实施例的控制服务器或控制装置的结构框图；以及

图 6A-6D 是本申请的一个实施例的碳三加氢反应器多级控制参数
30 随时间的示意图。

具体实施方式

以下结合附图对本申请实施例的具体实施方式进行详细说明。应当理解的是，此处所描述的具体实施方式仅用于说明和解释本申请实施例，并不用于限制本申请实施例。

如下文所使用的，术语“具有”、“包括”或“包含”或其任意语法变化以非排他性方式使用。因此，除了由这些术语引入的特征之外，
5 这些术语既可以指代在此上下文中描述的实体中不存在其他特征的情况，也可以指代存在一个或多个其他特征的情况。例如，表达“A 具有 B”、“A 包括 B”和“A 包含 B”既可以指代除了 B 之外 A 中不存在其他元素的情况（即，仅 A 仅由 B 组成的情况），还可以指代除
10 B 之外实体 A 中还存在一个或多个其他元素（诸如元素 C、元素 C 和 D 或甚至其他元素）的情况。

此外，应注意，指示特征或元素可存在一次或多于一次的术语“至少一个”、“一个或多个”或类似表达通常将仅在引入相应的特征或元素时使用一次。在下文中，在大多数情况下，当提及相应的特征或
15 元素时，尽管事实是相应的特征或元素可以存在一次或多于一次，但将不重复“至少一个”或“一个或多个”的表达。

此外，如下文所使用的，术语“优选地”、“更优选地”、“特别地”、“更特别地”、“具体地”、“更具体地”或类似的术语与可选特征结合使用，而不限限制替代可能性。因此，由这些术语引入的特征是可选特征，并且不意图以任何方式限制权利要求的范围。如技术人员将认识到的，本申请可以通过使用替代特征来实施。类似地，由
20 “在本申请的实施例中”或类似表达引入的特征意图是可选特征，而对本申请的替代实施例没有任何限制，对本申请的范围没有任何限制，并且对以这种方式引入的特征与本申请的其他可选或非可选特征相结合的可能性也没有任何限制。
25

还将理解的是，虽然术语“第一”、“第二”等在本文中可用于描述各种元素，但这些元素不应受这些术语的限制。这些术语并不表示顺序，仅用于将一种元素与另一种元素区分开来。

本申请的控制装置和方法可适用于反应流程冗长、工艺复杂的被控对象，诸如反应器。本申请中以碳三加氢反应器为例，但本申请不限于此。其他类型的被控对象可根据具体的反应流程和工艺参数对本申请公布的技术方案进行适应性调整以实现自动控制。

参见图 1，示出了根据本申请实施例的控制系统的整体框图。该控制系统主要包括碳三加氢反应器 110、DCS 控制器 120、以及控制服务器 140，可选地，还可以包括 OPC 服务器 130。

碳三加氢反应器 110 是丙烯装置回收系统的一个重要设备，它在催
5 化剂的作用下，把碳三馏分中 MAPD 选择加氢转化为丙烯。DCS 控制
器 120 被配置为监控碳三加氢反应器 110。具体来说，DCS 控制器 120
采集碳三加氢反应器 110 中的各种参数或状况，并对碳三加氢反应器
110 进行控制。所述 DCS 控制器 120 获得与碳三加氢反应器 110 相关
的各种输入输出参数，将获得的参数经由 OPC 服务器 130 传送到控制
10 服务器 140。控制服务器 140 也称为控制装置 140，被配置为基于所述
获得的各种参数确定控制命令，并将控制命令经由 OPC 服务器 130 传
送给 DCS 控制器 120，然后，DCS 控制器 120 可以基于所述控制命令
对碳三加氢反应器 110 进行控制。控制服务器 140 可以包括存储器和
处理器。所述存储器可以存储接收到的数据以及程序执行的中间数据
15 并且可以存储计算机程序，所述计算机程序包括可执行指令。所述处
理器可以执行存储器中所存储的计算机程序从而实现控制服务器 140
的功能。OPC 服务器 130 用于给工业控制系统应用程序之间的通信建
立接口标准，在工业控制设备与控制软件之间建立统一的数据存取规
范。本领域技术人员可以理解，在本申请中，OPC 服务器 13 并不是必
20 需的，而是选择性的。另外控制服务器或控制装置 140 也可以处于 DCS
控制器 120 中。

下面参见图 2，图 2 示出了根据本申请实施例的由图 1 中的控制服
务器或控制装置 140 执行的反应器的控制过程。本申请中的所公开的
控制过程以碳三液相加氢反应器为例，相应地，各种参数选用碳三液
25 相加氢反应器的参数。但是，本领域技术人员应当理解，其他类型的
反应器甚至其他类型的被控对象可根据具体的工艺流程和工艺参数对
本申请公布的技术方案进行适应性调整以实现类似的自动控制过程。
也即是说，该控制过程可以适应于其他反应器，甚至其它类型的被控
对象。

30 本申请的控制过程采用多层级控制方式，能够逐层级自动控制反应
器的各层级参数的数值，以使得指定参数处于预设范围内。

如图 2 中所示，首先，在步骤 210 处，控制装置获得被控对象的输

入输出参数。在被控对象为碳三液相加氢反应器的情况下，输入输出参数为碳三液相加氢反应器的出入口参数，可以包括：入口温度 T_{in} 、出口温度 T_{out} 、各床层温度 $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$ 、各床层温差 $TD_1, TD_2, TD_3 \dots TD_n$ 、碳三加氢反应器压力 P 、新鲜物料流量 F_{frs} 、循环物料流量 F_{rec} 、入口氢气流量 F_{H2} 、脱丙烷塔塔顶回流流量 F_{tow} 、脱丙烷塔塔压 P_{tow} 、入口氢气与新鲜物料的流量比 F_{H2}/F_{frs} 、入口 MAPD 浓度 $C_{[MAPD]in}$ 、入口氢气浓度 $C_{[H2]in}$ 、入口丙烯浓度 $C_{[C3H6]in}$ 、入口丙烷浓度 $C_{[C3H8]in}$ 、入口丁二烯浓度 $C_{[BD]in}$ 、出口 MAPD 浓度 $C_{[MAPD]out}$ 、出口氢气浓度 $C_{[H2]out}$ 、出口丙烯浓度 $C_{[C3H6]out}$ 、出口丙烷浓度 $C_{[C3H8]out}$ 、入口氢炔比 $C_{[C3H6]in}/C_{[H2]in}$ 等。

然后，在步骤 220 处，控制装置基于所述输入输出参数获得相关的多层级参数。所述多层级参数包括：操纵层级参数、调控层级参数、和目标层级参数。所述调控层级参数和所述目标层级参数之间的关系由第一级函数关系（诸如第一级传递函数，但不限于此）定义，可以控制所述调控层级参数，以使得所述目标层级参数处于目标预设范围内。所述调控层级参数和所述操纵层级参数之间的关系由第二级函数关系（诸如第二级传递函数，但不限于此）定义，可以控制所述操纵层级参数的数值，以使得所述调控层级参数处于调控预设范围内。可以看出，操纵层级参数是可以直接操纵的参数，而调控层级参数的改变需要通过调整操纵层级参数来实现，目标层级参数的改变需要通过调整调控层级参数来实现。

因此，多层级参数的控制逻辑可以是：根据目标层级参数的实际数值和/或变化趋势与目标层级预设值或预设范围的差距，基于第一级传递函数确定调控层级参数的预期数值或范围或者预期调整步长和调整方向，再根据所述调控层级参数的预期数值或范围或者预期调整步长和调整方向，基于第二级传递函数确定操纵层级参数的预期操纵数值或范围或者预期调整步长和调整方向。然后，对操纵层级参数进行调整，经过上述多个层级的控制，保证指定的目标层级参数处于预设目标范围内，同时实现反应器的自动平稳操作。

在本申请以碳三液相加氢反应器为例的情况下，多层级参数分别为：操纵层级参数，包括例如入口温度 T_{in} 、入口氢气流量 F_{H2} 、新鲜物料流量 F_{frs} 、循环物料流量 F_{rec} 、脱丙烷塔塔顶回流流量 F_{tow} 、脱丙

烷塔塔压 P_{tow} 、碳三加氢反应器压力 P 等；调控层级参数，包括例如入口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]\text{in}}$ 、入口氢炔比 $C_{[\text{C}_3\text{H}_6]\text{in}}/C_{[\text{H}_2]\text{in}}$ 、各床层温差 $\text{TD}_1 - \text{TD}_n$ 等；以及目标层级参数，包括例如出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]\text{out}}$ 和丙烯选择性 SE 等。

- 5 在本实施例中，新鲜物料流量 F_{frs} 是指从系统上游输入的物料流量，循环物料流量 F_{rec} 是指从碳三液相加氢反应器出口回到入口的物料流量。入口 MAPD 浓度为甲基乙炔（MA）和丙二烯（PD）在碳三液相加氢反应器入口物料中的含量，具体为体积含量。出口 MAPD 浓度为甲基乙炔（MA）和丙二烯（PD）在碳三液相加氢反应器出口物料中的
10 含量，具体为体积含量。丙烯选择性是由以下公式计算所得：

$$\text{丙烯选择性} = \frac{(\text{出口丙烯摩尔百分数} - \text{入口丙烯摩尔百分数})}{(\text{入口 MAPD 摩尔百分数} - \text{出口 MAPD 摩尔百分数})} \times 100$$

- 在控制装置中存储有预先确定的第一级传递函数和第二级传递函数。同样，在碳三液相加氢反应器为例的情况下，通过碳三液相加氢反应工艺特征辨识建模得到各层级相关参数之间的传递函数，目标层
15 级参数与调控层级参数之间的第一级传递函数为：

$$\begin{bmatrix} C_{[\text{MAPD}]\text{out}}(t) \\ \text{SE}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{41} & N_{42} & N_{43} \\ N_{51} & N_{52} & N_{53} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{[\text{MAPD}]\text{in}}(t) \\ C_{[\text{H}_2]\text{in}}(t)/C_{[\text{MAPD}]\text{in}}(t) \\ \text{TD}_n(t) \end{bmatrix}$$

调控层级参数与操纵层级参数之间的第二级传递函数为

$$\begin{bmatrix} C_{[\text{MAPD}]\text{in}}(t) \\ C_{[\text{H}_2]\text{in}}(t)/C_{[\text{MAPD}]\text{in}}(t) \\ \text{TD}_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & N_{13} & N_{14} & N_{15} & 0 \\ N_{21} & N_{22} & N_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N_{32} & 0 & 0 & 0 & N_{36} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_{\text{H}_2}(t) \\ T_{\text{in}}(t) \\ F_{\text{frs}}(t) \\ F_{\text{rec}}(t) \\ F_{\text{tow}}(t) \\ P(t) \end{bmatrix}$$

其中 $N_{ij} = Q \cdot \frac{c_{ij}s+1}{a_{ij}s^2+b_{ij}s+1}$ ， N_{ij} 为辨识参量， Q 为辨识参量权重系数，

- 20 s 为辨识模型因子， a_{ij} 、 b_{ij} 、 c_{ij} 为辨识模型常数。

在第一级传递函数中，调控层级变量被设置为控制变量，目标层级变量被设置为被控变量。在第二级传递函数中，操纵层级变量被设置为控制变量，调控层级变量被设置为被控变量。需要说明的是，在本

申请中，操纵层级变量、调控层级变量、目标层级变量等同于操纵层级参数、调控层级参数、目标层级参数，也即是说，术语“变量”和“参数”是同义且可以互换使用的。

5 接下来，继续参考图 2，在步骤 230 处，控制装置确定所计算的目标层级变量的值是否在目标预设范围内。在碳三液相加氢反应器为被控对象的情况下，假设目标层级变量(MV)的出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{out}}}$ 的期望值为 x ，目标预设范围为 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm； x 的取值范围优选为 10-500，更优选地，为 400； y 的取值范围优选为 5-20；

10 目标层级变量 (MV) 的丙烯选择性 (SE) 的值为 s ，目标预设范围为 $s \geq z\%$ ， z 取值范围优选为 50-90，更优选为 80。或者可以通过如下方式确定 z ：在 MAPD 浓度的值在 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm 范围内求解最优的丙烯选择性(S')，然后 $z\% = S' - 5\%$ 。

15 当出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{out}}}$ 在 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm 范围内且丙烯选择性 (SE) $\geq z\%$ 时，也即是说，当在步骤 230 处确定目标层级变量在目标预设范围内时，不需要调整调控层级变量，控制过程返回到步骤 210，控制装置继续获取被控对象的输入输出参数。

20 当出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{out}}}$ 在 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm 内而丙烯选择性 (SE) $< z\%$ 时，也即是说，当在步骤 230 处确定目标层级变量不在目标预设范围内时，需要调整调控层级变量，如图 2 中所示，控制过程前进到步骤 240。在步骤 240 处，控制装置根据在步骤 220 中确定的目标层级参数的数值和/或变化趋势与目标层级预设范围或 / 和预设值的差距，基于第一级传递函数确定调控层级参数的调控预期数值或预期调整步长和调整方向。然后，控制过程前进到步骤 250，在步骤 250 处，控制装置根据所述调控层级参数的调控预期数值或预期调整步长和调整方向，基于第二级传递函数确定操纵层级参数的操纵预期数值或预期调整步长和调整方向。然后，根据所确定的操纵层级参数的操纵预期数值或预期调整步长和调整方向，控制装置发出命令对操纵层级参数进行调整，从而使调控层级参数实现调控预期数值或范围或者预期调整步长和调整方向，进而使得目标层级参数处于目标预设范围内。

30 图 3 示出了根据本申请实施例的多层级控制过程中各个层级参数的传递函数示意图。如图中所示，调控层级参数 320 和所述目标层级参数 310 之间的关系由第一级传递函数定义，可以控制所述调控层级

参数的数值，以使得所述目标层级参数处于目标预设范围内。所述调控层级参数 320 和所述操纵层级参数 330 之间的关系由第二级传递函数定义，可以通过调整所述操纵层级参数 330 来控制所述操纵层级参数的数值，以使得所述调控层级参数处于调控预设范围内。另外，根据各层级参数所处的层级，目标层级参数也可以称为上层目标层级参数，调控层级参数可以称为中层调控层级参数，并且操纵层级参数称为基层操纵层级参数。

举例来说，如图 3 中所述，在反应中，氢炔比受到入口氢气流量、新鲜物料流量、循环物料流量等等的影响。而在现实反应中，循环物料由于具有一定的温度，因而又可能影响反应器的温度，各参数之间相互耦合和影响，关系复杂。本公开中通过两级传递函数，使得通过逐层级的控制，能够直观准确地得到操纵层级参数的目标值，控制更加直接、灵活、准确和迅速。

本申请中的技术方案通过采用多层级的控制方式进行逐层级控制，尤其适合于反应流程冗长、工艺复杂的被控对象，比如本申请中例示的碳三液相加氢反应器。

另外，本申请中的多层级控制方式不限于三个层级，如图 3 中所示，调控层级参数 320 也可以进一步包括多个层级参数，例如，第一调控层级参数 321、第二调控层级参数 322、...、第 N 调控层级参数 32N，这些调控层级参数之间的关系也通过相应的传递函数定义。因此，本申请的多层级控制方式可以是四级甚至更多层级的控制过程。

在本实施例中，各个层级变量控制方法是基于逐层级多步控制方法来实现的。例如，假设：目标层级参数的控制目标为：出口 MAPD 为 400，选择性为 70%，而检测到的实际参数为：出口 MAPD 为 657，选择性为 39.7%。此时，控制装置并不是通过调整操纵层级参数而将出口 MAPD 657 和选择性 39.7% 直接控制到出口 MAPD 为 400，选择性为 70%。因此目前实际的出口 MAPD 657 和选择性 39.7% 距离目标范围较大，如果直接控制到目标值，会引起系统过大的振荡，造成系统扰动和冲击。在本申请的技术方案中，采用步进的方式，分为多个步骤逐渐地对操纵参数进行调整，使得目标层级参数逐渐接近目标控制范围，从而避免对于系统的过大冲击。而为了实现这种逐渐接近目标控制范围的最优控制，本申请的技术方案采用动态矩阵预测控制（DMC）算

法。动态矩阵预测控制算法是模型预测控制（MPC）的一种，DMC 算法采用的是系统的阶跃响应曲线。

以下举例说明所述动态矩阵预测控制算法：

第一步，设定预测步长 P 、控制步长 i ，被控变量的期望值 w 。由
5 辨识模型得到模型向量 L 、动态矩阵 A 。设置矫正矩阵 H 、移位矩阵 S 、误差权矩阵 Q 、控制权矩阵 R 。

第二步：以当前时刻 k 时为起始，检测被控变量的实际输出值 $y(k)$
并将其赋值为被控变量的预测值 $\tilde{y}(k+i)$ ， $i=1,2,\dots,P$ ；检测被控变量的
期望值 $w(k)$ 并将其赋值为被控变量的期望值 $w(k+i)$ ， $i=1,2,\dots,P$ ；
10 检测控制变量的实际输出值 $u(k)$ 赋值为控制变量初值
 $u(k+i)$ ， $i=1,2,\dots,P$ ；

第三步：时刻运行至 $k+1$ 时，检测出被控变量的实际输出值
 $y(k+1)$ ，计算预测误差 e 。

$$e(k+1+i) = y(k+1+i) - \tilde{y}(k+1+i|i), \quad i=1,2,\dots,P$$

15 第四步：预测校正值

$$\tilde{y}'(k+i+1) = \tilde{y}(k+i) + He(k+i+1), \quad i=0,1,2,\dots,P$$

第五步：采用移位设置，将时刻 $k+1$ 的被控变量预测校正值设置
为当前的时刻 k 的被控变量预测值；将时刻 $k+1$ 的被控变量期望值设置
为当前的时刻 k 的被控变量期望值；将时刻 $k+1$ 的控制变量值设置
20 为当前的时刻 k 的控制变量值

$$\tilde{y}(k+i) \leftarrow S\tilde{y}'(k+i+1), \quad i=1,2,\dots,P$$

$$w(k+i) \leftarrow Sw(k+i+1), \quad i=1,2,\dots,P$$

$$u(k+i) \leftarrow Su(k+i+1), \quad i=1,2,\dots,P$$

第六步，此时，由当前的时刻 k 的被控变量的期望值 $w(k+i)$ ，被

控变量的预测值为 $\hat{y}(k+i)$ ，可计算出控制变量的增量 $\Delta u(k+i)$ ，
 $i = 1, 2, \dots, P$ 。

$$\Delta u(k+i) = D[w(k+i) - \hat{y}(k+i)], \quad i = 1, 2, \dots, P$$

$$\text{其中 } D = L(A^T Q A + R)^{-1} A^T Q$$

5 第七步：计算控制量并输出

$$u(k+i) = u(k+i-1) + \Delta u(k+i), \quad i = 1, 2, \dots, P$$

第八步：计算下一个时刻 $k+1$ 的被控变量的输出预测值。

$$\hat{y}(k+i+1) = \hat{y}(k+i) + A\Delta u(k+i), \quad i = 1, 2, \dots, P$$

第九步：当时刻运行至 $k+1$ 时，跳回到第四步，开始动态优化控制过程。

上述步骤中，所述被控变量、所述控制变量、及所述被控变量和所述控制变量的函数关系对应于所述第一级传递函数和所述第二级传递函数中的被控变量、控制变量以及所述被控变量和所述控制变量的函数关系。

15 在本实施例中，经动态矩阵预测控制算法的阶跃响应的模型计算得到输出值为入口 MAPD 的预期值或设定值 (INMAPD)；

入口 MAPD 浓度在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时，不调整下层的操纵层级变量；入口 MAPD 浓度不在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时，调整下层的操纵层级变量。

20 入口 MAPD 浓度可对应调整的下层操作变量，包括碳三液相加氢反应器的：新鲜物料流量和/或循环物料流量，和/或脱丙烷塔的：塔顶回流流量和/或塔压。

在本实施例中，经动态矩阵预测控制算法的阶跃响应的模型计算得到输出值为氢炔比的预期值或设定值 (HM)；

25 氢炔比在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时，不调整下层的操纵层级变量；氢炔比不在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时，调整下层的操纵层级变量。

氢炔比可对应调整的下层操纵层级变量,包括碳三液相加氢反应器的:新鲜物料流量和/或入口氢气流量和/或循环物料流量。

在本实施例中,经动态矩阵预测控制算法的阶跃响应的模型计算得到输出值为床层温差的预期值或设定值(TD);

- 5 床层温差在 $TD \pm 1^\circ\text{C}$ 时,不调整下层的操纵层级变量;床层温差在不在 $TD \pm 1^\circ\text{C}$ 时,调整下层的操纵层级变量。

床层温差可对应调整的下层操作变量,包括碳三液相加氢反应器的:入口物料温度和/或碳三加氢反应器压力。

- 10 碳三加氢反应器中具体各个层级参数之间的关系可参见图4,其中示出了根据本申请示例的碳三液相加氢反应器各层级参数关系图。

根据本申请的另一方面,还涉及一种控制方法,该控制方法的各步骤可以再次参见图2以及上面对于控制过程的描述。这里不再重复赘述。

- 接下来参考图5,示出根据本申请实施例的控制服务器或控制装置
15 540的结构框图。该控制装置可以用于实现图2中所示的控制方法。控制装置540包括处理器541、存储器542以及接口543。处理器541通过执行定义了图2中所示控制操作的计算机可执行指令来实现控制装置540的操作。可以将包括计算机可执行指令的计算机程序产品存储在存储器542中。图2中所描述的方法可以由存储在存储器542中的
20 包括在计算机程序产品中的计算机可执行指令定义,并由执行该计算机可执行指令的处理器541控制。接口543可以包括网络接口用于经由网络与其他设备进行通信,该接口也可以包括使用户能够与控制装置540进行交互的其他输入/输出设备(例如,显示器、键盘、鼠标、扬声器、按钮、触摸板、触摸屏等)。本领域的技术人员将认识到,实
25 际计算机的实施方式也可以包含其他组件,并且图5是用于说明目的的这种计算机的一些组件的高级表示。

- 存储器542包括有形的非暂时性机器可读存储介质也可包括高速随机存取存储器,诸如动态随机存取存储器(DRAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、双倍数据速率同步动态随机存取存储器(DDR RAM)
30 或其他随机存取固态存储器设备,并且可以包括非易失性存储器,诸如一个或多个磁盘存储设备(诸如内部硬盘和可移动磁盘)、磁光盘存储设备、光盘存储设备、闪存设备、半导体存储器设备(诸如可擦除

可编程只读存储器 (EPROM)、电可擦可编程只读存储器 (EEPROM)、紧凑盘只读存储器 (CD-ROM)、数字多功能盘只读存储器 (DVD-ROM) 盘或其他非易失性固态存储设备。

在另一实施例中，可以在基于网络的云计算系统中实现上述图 2 5 中所述的方法。在这样的基于网络的云计算系统中，服务器经由网络与控制装置 540 通信。控制装置 540 可以将接收的数据和/或程序指令存储在服务器上，并经由网络访问该数据和/或程序指令。控制装置 540 可以经由网络将数据请求或在线服务请求传送到服务器。服务器可以实施所请求的服务，并将数据提供给控制装置 540。服务器还可以传送 10 被适配为使控制装置 540 实施指定功能（例如，实施计算，在屏幕上显示指定数据等）的数据。上述方法的某些步骤可以由服务器或由基于网络的云计算系统中的其他计算机/处理器实施。上述方法的某些步骤可以由基于网络的云计算系统中的客户端计算机本地实施。上述方法的步骤可以由基于网络的云计算系统中的一个或更多个设备或者由 15 本地客户端计算机以任何组合来实施。

为了进一步具体说明本申请的技术方案，以下结合附图 6A-6D 描述本申请的一个具体实施例的碳三加氢反应器多级控制参数随时间的示意图。通过本申请的方法，优化调整各级控制变量，使出口 MAPD 具有目标调整性，且控制能力强和稳定好，显著提高了丙烯选择性。

20 具体的，本实施例的实施过程如下：

现场实施的需要达到的目标为：得到浓度为 400ppm 的出口 MAPD。由此需要设定出口 MAPD 值为 400，设定选择性为 80。

分别通过如下的第一级和第二级传递函数，实现两层控制。其中，第一层控制对应于第二级传递函数的模型通过控制操纵层级变量实现对调控层级变量的调节；第二层控制对应于第一级传递函数的模型通过控制调控层级变量实现对目标层级变量的调节。 25

在第一层控制里，各基层操纵层级变量与中间调控层级变量的初始值如下表 1-2 所示，各个变量变化曲线如图 6A、6B、6C 所示。

表 1

操纵变量	氢气流量	入口温度	新鲜物料流量	循环物料流量	脱丙烷塔塔顶回流流量	压力
数值	150	33.5	51	104	64	2.4

表 2

中间变量	入口 MAPD	氢炔比	床层温度
数值	1.54	2.5	12.4

在第二层控制里，控制目标为：出口 MAPD 为 400，选择性为 70%，检测到各中间调控层级变量与上层目标层级变量的初始值如下表 3 所示，各个变量变化曲线如图 6D 所示。

表 3

入口 MAPD	氢炔比	床层温度	出口 MAPD	选择性
1.54	2.5	12.4	657	39.7

经过两层 DMC 控制处理器的控制，最终控制效果如下表 4 所示，可以看到，达到了较为理想的控制效果。

表 4

出口 MAPD	选择性
398	81.1

以下具体分析控制过程中，各变量数值的变化。

其中，调控层级变量与被控的目标层级变量的对应关系如下表 5 所示（同样也可参见图 4）：

表 5

中间调控变量（控制变量）	上层目标变量（被控变量）
入口 MAPD	出口 MAPD、选择性
氢炔比	出口 MAPD、选择性
床层温差	出口 MAPD、选择性

对装置的工业数据进行拟合和辨识，得到第一级传递函数如下：

15

$$\begin{bmatrix} c[MAPD]_{out}(t) \\ SE(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.00735 \frac{15s+1}{50.4s^2+12s+1} & -0.00634 \frac{16s+1}{43s^2+11s+1} & -0.0075 \frac{13s+1}{25s^2+12s+1} \\ -0.00434 \frac{13s+1}{45s^2+11s+1} & -0.0045 \frac{14s+1}{30s^2+13s+1} & -0.00534 \frac{21s+1}{35s^2+20s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c[MAPD]_{in}(t) \\ C_{H_2}(t)/C_{MAPD}(t) \\ T_{bed}(t) \end{bmatrix}$$

预测步长 P=50，从 k 时刻起，存在 50 个连续的控制增量时。控制处理器求得各中间变量的控制增量 $\Delta u(k+i)$ 。未来各时刻上层目标变量

的预测输出为 $\tilde{y}(k+i+1)$ 。

以下是 $i=1$ 时刻 $\Delta u(k+i)$, $\tilde{y}(k+2)$:

$$\Delta u(k+1) = \begin{bmatrix} \Delta u_{\text{入口MAPD}}(k+1) \\ \Delta u_{\text{氢炔比}}(k+1) \\ \Delta u_{\text{床层温差}}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.006794 \\ 0.009613 \\ 0.05428 \end{bmatrix}$$
$$\tilde{y}(k+2) = \begin{bmatrix} \tilde{y}_{(\text{出口MAPD})}^{(2)} \\ \tilde{y}_{(\text{选择性})}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 648.7 \\ 42 \end{bmatrix}$$

5 基层操纵变量与中间调控变量的对应关系如下表 6 所示(同样也可参见图 4) :

表 6

基层操纵层级变量 (控制变量)	中间调控层级变量 (被控变量)
入口氢气流量	氢炔比
入口温度	床层温差
新鲜物料流量	入口 MAPD、氢炔比
循环物料流量	入口 MAPD、氢炔比
脱丙烷塔塔顶回流流量	入口 MAPD
反应器压力	床层温差

对装置的工业数据进行拟合和辨识, 得到第二级传递函数如下:

$$\begin{bmatrix} c[MAPD]_{in}(t) \\ C_{H_2}(t)/C_{MAPD}(t) \\ T_{bed}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0.0849 \frac{1}{2s^2+5s+1} & 0.0745 \frac{1}{1.75s^2+3.4s+1} & -0.00846 \frac{13s+1}{54.8s^2+14.8s+1} & 0 \\ -0.0213 \frac{-8.65s+1}{1.55s^2+4.3s+1} & 0.00564 \frac{1}{2.5s^2+5.6s+1} & 0.00535 \frac{1}{1.49s^2+2.3s+1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0054 \frac{1}{31s^2+21s+1} & 0 & 0 & 0 & 0.919 \frac{1}{1.55s^2+2.49s+1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Q_{H_2}(t) \\ T_0(t) \\ Q_{map}(t) \\ Q_{aride}(t) \\ Q_{bed}(t) \\ N(t) \end{bmatrix}$$

10 预测步长 $P=50$, 从前 k 时刻起, 存在 50 个连续的控制增量时, 控制处理器求得各操纵变量的控制增量 $\Delta u(k+i)$ 。

以下是 $i=1$ 时刻的 $\Delta u(k+1)$:

$$\Delta u(k+1) = \begin{bmatrix} \Delta u_{\text{氢气流量}}(k+1) \\ \Delta u_{\text{入口温度}}(k+1) \\ \Delta u_{\text{新鲜物料流量}}(k+1) \\ \Delta u_{\text{循环物料流量}}(k+1) \\ \Delta u_{\text{脱丙烷塔塔顶回流流量}}(k+1) \\ \Delta u_{\text{压力}}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2006 \\ 0.1329 \\ 0.0847 \\ -0.2666 \\ 0.4049 \\ 0.0012 \end{bmatrix}$$

i=1 时刻，控制增量改变基层操纵变量的值，从而改变被控变量的值。

$$u(k+1) = \begin{bmatrix} u_{\text{氢气流量}}(k+1) \\ u_{\text{入口温度}}(k+1) \\ u_{\text{新鲜物料流量}}(k+1) \\ u_{\text{循环物料流量}}(k+1) \\ u_{\text{脱丙烷塔塔顶回流流量}}(k+1) \\ u_{\text{压力}}(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 150.5784 \\ 33.6192 \\ 51.0847 \\ 104.7334 \\ 64.4049 \\ 2.4012 \end{bmatrix}$$

5 i=2 时刻，采集得到被控变量的实际值：

$$y(k+2) = \begin{bmatrix} y_{\text{出口 MAPD}}(2) \\ y_{\text{选择性}}(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 648.3 \\ 41.7 \end{bmatrix}$$

由模型的预测值与实际值进行反馈校正，修正对未来输出的预测，得到修正后的下一时刻 i=3 的预测值 $\hat{y}(k+3)$ ：

$$\hat{y}(k+3) = \begin{bmatrix} \hat{y}_{(\text{出口 MAPD})}(k+3) \\ \hat{y}_{(\text{选择性})}(k+3) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 648.1 \\ 42.8 \end{bmatrix}$$

10 i=2 时刻，开始滚动优化，得到 $\Delta \tilde{u}(k+2)$ 、 $\tilde{y}(k+3)$ 、 $\Delta \hat{u}(k+3)$ 、 $\hat{u}(k+3)$ 、 $y(k+3)$ 、 $\hat{y}(k+4)$ 。再开始 i=3 时刻的优化过程。

逐级多步自动优化控制，效果见如图 6D 所示，最终控制效果如下

表 7 所示，达到较为理想的控制效果。

表 7

出口 MAPD	选择性
408	81

应认识到为了清楚起见在单独实施例的上下文中描述的本申请的某些特征还可以在单个实施例中以组合的方式提供。相反，为了简便
5 起见在单个实施例的上下文中描述的本申请的各种特征还可以单独地或以任何适当的子组合或在本申请的任何其它所述实施例中适当地提供。不应将在各种实施例的上下文中描述的某些特征视为那些实施例的必要特征，除非该实施例在没有那些元素的情况下无效。

虽然已结合本申请的具体实施例描述了本申请，但是很明显，许
10 多替换、修改和变更对于本领域的技术人员来说将是显而易见的。因此，旨在涵盖属于随附权利要求的精神和广泛范围内的所有此类替换、修改和变更。

本说明中提及的所有公开、专利和专利申请通过引用整体地结合于本文中，引用的程度如同具体且特别地指示每个单独的公开、专利
15 或专利申请以通过引用结合于本文一样。另外，不应将本申请中的任何参考的引用或识别理解为允许此类参考作为现有技术可用于本申请。在使用分段标题的情况下，不应将其理解为一定是限制性的。

权 利 要 求

- 1、一种控制装置，包括：
存储器，用于存储可执行指令；和
5 处理器，所述处理器能够执行所述可执行指令以便实现如下方法：
获取所述反应器的多层级参数，所述多层级参数包括：操纵
层级参数、调控层级参数和目标层级参数；
响应于所述目标层级参数不在目标预设范围内，基于所述目
标层级参数和所述目标预设范围确定所述调控层级参数的调控预期范
10 围；
基于所述调控层级参数的调控预期范围，确定所述操纵层级
参数的操纵预期范围；以及
发出控制命令用于将所述操纵层级参数控制至所述操纵预期
范围，从而将所述调控层级参数控制至所述调控预期范围，进而最终
15 将所述目标层级参数控制至所述目标预设范围内。
2、根据权利要求 1 所述的控制装置，其特征在于：
所述调控层级参数和所述目标层级参数之间的关系由第一级函数
定义，通过控制所述调控层级参数的数值，能够调整所述目标层级参
数；以及
20 所述操纵层级参数和所述调控层级参数之间的关系由第二级函数
定义，通过控制所述操纵层级参数的数值，能够调整所述调控层级参
数。
3、根据权利要求 2 所述的控制装置，其特征在于：所述调控层级
参数还包括至少两个层级的调控参数，所述至少两个层级的调控参数
25 之间的关系由函数定义。
4、根据权利要求 1-3 中任一项所述的控制装置，其特征在于，基
于动态矩阵预测控制算法实现多层级变量的动态过程调节。
5、根据权利要求 4 所述的控制装置，其特征在于：所述反应器为
碳三液相加氢反应器。
30 6、根据权利要求 5 所述的控制装置，其特征在于：
所述操纵层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数：入口温度
 T_{in} 、入口氢气流量 F_{H_2} 、新鲜物料流量 F_{frs} 、循环物料流量 F_{rec} 、脱丙烷

塔塔顶回流流量 F_{tow} 、脱丙烷塔塔压 P_{tow} 、碳三加氢反应器压力 P ;

所述调控层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数: 入口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{in}}}$ 、入口氢炔比 $C_{[\text{C}_3\text{H}_6]_{\text{in}}}/C_{[\text{H}_2]_{\text{in}}}$ 、各床层温差 $\text{TD}_1 - \text{TD}_n$;

5 所述目标层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数: 出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{out}}}$ 、丙烯选择性 SE 。

7、根据权利要求 6 所述的反应器的控制装置, 其特征在于:

所述出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{out}}}$ 的目标预设范围为 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm, 且所述丙烯选择性 SE 的目标预设范围为 $\text{SE} \geq S' - 5\%$;

10 S' 为在所述 MAPD 浓度在 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm 范围内时能得到的最优的丙烯选择性的值;

当不满足上述条件调整所述的调控层级变量。

8、根据权利要求 1-3 中任一项所述的控制装置, 其特征在于:

15 获取所述反应器的多层级参数包括获取反应器的输入输出参数以及基于所述输入输出参数确定所述多层级参数。

9、根据权利要求 7 所述的控制装置, 其特征在于:

20 经所述动态矩阵预测控制算法计算得到入口 MAPD 的期望值 INMAPD , 入口 MAPD 浓度在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时, 不调整操纵层级变量; 入口 MAPD 浓度不在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时, 调整操纵层级变量中的新鲜物料流量、循环物料流量、脱丙烷塔塔顶回流流量、脱丙烷塔塔压中的至少一者,

25 经所述动态矩阵预测控制算法计算得到氢炔比的期望值 HM , 所述氢炔比在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时, 不调整操纵层级变量; 所述氢炔比不在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时, 调整操纵层级变量中的新鲜物料流量、入口氢气流量、循环物料流量中的至少一者, 以及

经所述动态矩阵预测控制算法计算得到床层温差的期望值 TD , 在床层温差在 $\text{TD} \pm 1^\circ\text{C}$ 时, 不调整操纵层级变量; 床层温差不在 $\text{TD} \pm 1^\circ\text{C}$ 时, 调整操纵层级变量中入口物料温度、碳三液相加氢反应器的压力中的至少一者。

30 10、一种控制系统, 包括:

反应器; 以及

根据权利要求 1-9 中任一项所述的控制装置。

11、根据权利要求 10 所述的控制系统，还包括：

DCS 控制器，用于从反应器获得输入输出参数。

12、根据权利要求 11 所述的控制系统，还包括：

OPC 服务器，用于实现所述 DCS 控制器和所述控制装置之间的通
5 信。

13、一种反应器的控制方法，包括：

获取所述反应器的多层次参数，所述多层次参数包括：操纵层级
参数、调控层级参数和目标层级参数；

响应于所述目标层级参数不在目标预设范围内，基于所述目标层
10 级参数和所述目标预设范围确定所述调控层级参数的调控预期范围；

基于所述调控层级参数的调控预期范围，确定所述操纵层级参数
的操纵预期范围；以及

将所述操纵层级参数控制至所述操纵预期范围，从而将所述调控
层级参数控制至所述调控预期范围，进而最终将所述目标层级参数控
15 制至所述目标预设范围内。

14、根据权利要求 13 所述的方法，其特征在于：

所述调控层级参数和所述目标层级参数之间的关系由第一级函数
定义，通过控制所述调控层级参数的数值，能够调整所述目标层级参
数；以及

20 所述调控层级参数和所述操纵层级参数之间的关系由第二级函数
定义，通过控制所述操纵层级参数的数值，能够调整所述调控层级参
数。

15 15、根据权利要求 14 所述的控制方法，其特征在于：所述调控层
级参数还包括至少两个层级的调控参数，所述至少两个层级的调控参
数之间的关系由函数定义。

16、根据权利要求 13-15 中任一项所述的方法，还包括：基于动态
矩阵预测控制算法实现多层次变量的动态过程调节。

17、根据权利要求 16 所述的方法，其特征在于：所述反应器为碳
三液相加氢反应器。

30 18、根据权利要求 17 所述的方法，其特征在于：

所述操纵层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数：入口温度
 T_{in} 、入口氢气流量 F_{H_2} 、新鲜物料流量 F_{frs} 、循环物料流量 F_{rec} 、脱丙烷

塔塔顶回流流量 F_{tow} 、脱丙烷塔塔压 P_{tow} 、碳三加氢反应器压力 P ;

所述调控层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数: 入口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{in}}}$ 、入口氢炔比 $C_{[\text{C}_3\text{H}_6]_{\text{in}}}/C_{[\text{H}_2]_{\text{in}}}$ 、各床层温差 $\text{TD}_1 - \text{TD}_n$;

5 所述目标层级参数包括碳三液相加氢反应器的以下参数: 出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{out}}}$ 、丙烯选择性 SE 。

19、根据权利要求 18 所述的方法, 其特征在于:

所述出口 MAPD 浓度 $C_{[\text{MAPD}]_{\text{out}}}$ 的目标预设范围为 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm, 且所述丙烯选择性 SE 的目标预设范围为 $\text{SE} \geq \text{S}' - 5\%$;

10 S' 为在所述 MAPD 浓度在 $x \pm (x \cdot y\%)$ ppm 范围内时能得到的最优的丙烯选择性的值;

当不满足上述条件调整所述的调控层级变量。

20、根据权利要求 13-15 中任一项所述的方法, 其特征在于:

15 获取所述反应器的多层级参数包括获取反应器的输入输出参数以及基于所述输入输出参数确定所述多层级参数。

21、根据权利要求 19 所述的方法, 其特征在于:

20 经所述动态矩阵预测控制算法计算得到入口 MAPD 的期望值 INMAPD , 入口 MAPD 浓度在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时, 不调整操纵层级变量; 入口 MAPD 浓度不在 $\text{INMAPD} \pm 0.02\text{mol}\%$ 时, 调整操纵层级变量中的新鲜物料流量、循环物料流量、脱丙烷塔塔顶回流流量、脱丙烷塔塔压中的至少一者,

25 经所述动态矩阵预测控制算法计算得到氢炔比的期望值 HM , 所述氢炔比在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时, 不调整操纵层级变量; 氢炔比浓度不在 $\text{HM} \pm 0.025$ 时, 调整操纵层级变量中的新鲜物料流量、入口氢气流量、循环物料流量中的至少一者, 以及

经所述动态矩阵预测控制算法计算得到床层温差的期望值 TD , 在床层温差在 $\text{TD} \pm 1^\circ\text{C}$ 时, 不调整操纵层级变量; 床层温差不在 $\text{TD} \pm 1^\circ\text{C}$ 时, 调整操纵层级变量中入口物料温度、碳三液相加氢反应器的压力中的至少一者。

30 22. 一种机器可读存储介质, 包括存储在其上的计算机程序, 所述计算机程序包括可执行指令, 所述可执行指令在由处理器执行时实现根据权利要求 13-21 中任一项所述的方法。

23. 一种计算机程序产品，包括可执行指令，所述可执行指令在由处理器执行时实现根据权利要求 13-21 中任一项所述的方法。