

(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1894637 B
 (45) 授权公告日 2011.04.20

(21) 申请号 200480037655.0

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2004.12.21

G05B 13/02 (2006.01)

(30) 优先权数据

60/531,754 2003.12.22 US

(56) 对比文件

11/017,328 2004.12.20 US

US 5347446 A, 1994.09.13, 全文.

(85) PCT申请进入国家阶段日

US 4663703, 1987.05.05, 全文.

2006.06.16

US 6662058 B1, 2003.12.09, 全文.

(86) PCT申请的申请数据

US 6056781 A, 2000.05.02, 全文.

PCT/US2004/043204 2004.12.21

US 6373033 B1, 2002.04.16, 全文.

(87) PCT申请的公布数据

审查员 杨彬

WO2005/062906 EN 2005.07.14

(73) 专利权人 法赫尔丁·T.·阿塔尔瓦拉

地址 美国新泽西州

(72) 发明人 法赫尔丁·T.·阿塔尔瓦拉

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司 11243

代理人 郭凤麟

权利要求书 3 页 说明书 17 页 附图 9 页

(54) 发明名称

模型预测控制器中核心过程模型的使用

(57) 摘要

提供了一种方法，当任何调整控制器配置和/或其调节发生改变时，更新在模型预测控制器中使用的模型（100）而不需执行过程的新全识别测试。该方法采用受控变量的核心过程模型（101）和操作变量的核心过程模型（103），缺乏交互调整控制器与操作变量干扰拒绝模型的动态特性。可更新过程模型（100），用于在线控制和离线仿真研究，包括操作者训练。这允许以相对简单、绝对最小的额外数据的收集的方式更新复杂多元过程控制。



图1-1 过程模型描述：第一级

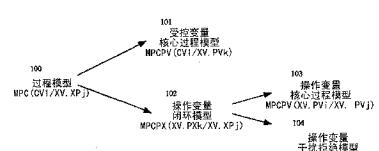


图1-2 过程模型描述：第二级

1. 一种描述动态过程模型的方法，该模型将受控变量过程值和独立变量过程值相关，用于具有多个独立可控的操作变量和测量的干扰变量的过程的模型预测控制器，至少一个受控变量依赖于所述独立可控的操作变量，包括：

a) 第一子过程模型，称为受控变量核心过程模型，将所述受控变量过程值和每个所述独立可控的操作变量过程值以及每个所述测量的干扰变量过程值相关，

b) 第二子过程模型，称为操作变量闭环过程模型，将每个所述操作变量过程值和所述动态过程模型的所述操作变量设定点相关，和

c) 各自的第一子过程模型和各自的第二子过程模型的卷积与第一子过程模型的不匹配误差之和等于所述动态过程模型，数学表达为，动态过程模型= Σ 第一子过程模型 * 第二子过程模型 + 误差 1，

由此，当任何操作变量调整控制器的调节 / 配置改变时，以最少的精力更新所述动态过程模型。

2. 根据权利要求 1 所述的描述动态过程模型的方法，其中所述第一子过程模型独立于所述操作变量调整控制器的调节和配置。

3. 根据权利要求 1 所述的描述动态过程模型的方法，其中所述第二子过程模型依赖于所述操作变量调整控制器的调节和配置。

4. 根据权利要求 1 所述的描述动态过程模型的方法，其中所述第二子过程模型包括：

a) 第三子过程模型，称为操作变量核心过程模型，将开环中的操作变量过程值和闭环中的操作变量过程值以及干扰变量值相关；

b) 第四子过程模型，称为自干扰拒绝模型，当不是由于操作变量调整控制器的一个输出或多个输出的影响而导致闭环中的操作变量过程值改变时，将闭环中的操作变量过程值与开环中的操作变量过程值相关；和

c) 各自的第三过程模型和各自的第四过程模型的卷积与第二模型不匹配误差的和等于所述第二子过程模型，即，第二子过程模型= Σ 第三子过程模型 * 第四子过程模型 + 误差 2；

由此，当任何所述操作变量调整控制器的调节 / 配置被改变时，更新所述动态过程模型，只需更新其调节 / 配置已改变的操作变量相关的一个第四子过程模型。

5. 根据权利要求 4 所述的描述动态过程模型的方法，其中所述第三子过程模型独立于所述操作变量调整控制器的调节和配置。

6. 根据权利要求 5 所述的描述动态过程模型的方法，其中所述第四子过程模型依赖于所述操作变量调整控制器的调节和配置。

7. 根据权利要求 5 所述的描述动态过程模型的方法，其中单元模型和所述操作变量闭环模型的差与操作变量设定点相关。

8. 一种从收集的数据确认在权利要求 1 中记载的所述子过程模型的方法，通过在每个所述操作变量中分别引入测试干扰并同时保持过程的所有调整控制器在闭环中并且测量干扰对所述受控变量和所述操作变量过程值的影响，执行与过程的所述受控变量、操作变量和干扰变量相关的测试和测量来确认所述子过程模型，所述方法包括以下步骤：

a) 从所述收集的数据确认关于所述操作变量过程值和干扰变量值的所述受控变量的

受控变量核心过程模型；

b) 从所述收集的数据确认关于所述操作变量设定点和干扰变量值的所述操作变量过程值的操作变量闭环过程模型。

9. 一种更新权利要求 1 中所述的动态过程模型的方法，在至少一个所述操作变量的调节 / 配置改变时执行，所述过程模型和它们的子过程模型已被确认，包括以下步骤：

a) 对所述操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置的所述改变更新所述操作变量闭环过程模型；

b) 通过先前确认的各个受控变量核心过程模型和所述更新的各个操作变量闭环过程模型的卷积加上先前确定的第一不匹配误差的和等于所述动态过程模型来更新每个所述动态过程模型。

10. 根据权利要求 9 的更新动态过程模型的方法，其中对于所述操作变量设定点调整控制器的调节的改变更新所述操作变量闭环过程模型的步骤进一步包括下述步骤：

a) 步进测试每个所述操作变量的设定点，除了配置设定为手动控制的所述操作变量之外；

b) 收集有关所有操作变量过程值、所有操作变量设定点和测量的干扰变量的数据；和

c) 从所述收集的数据中确认每个所述操作变量过程值的闭环模型。

11. 根据权利要求 9 的更新动态过程模型的方法，其中所述操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置的所述改变更新所述操作变量闭环过程模型的步骤进一步包括下述步骤：

a) 步进测试每个所述操作变量的设定点，除了配置设为手动控制的所述操作变量之外；

b) 收集所有操作变量过程值的数据，和

c) 确认每个所述操作变量过程值的闭环模型，除了操作变量过程值的闭环模型在手动控制的所述操作变量的设定点设定为 1 之外。

12. 通过在每个所述操作变量中分别引入测试干扰并同时保持过程的所有调整控制器在闭环中并测量干扰对所述受控变量和所述操作变量过程值的影响，从收集的数据中通过执行与过程的所述受控变量、操作变量和干扰变量相关的测试和测量确认权利要求 5 记载的所述第一至第四子过程模型的方法，包括以下步骤：

a) 从用于产生过程模型所收集的数据确认有关包括操作变量设定点和干扰变量的独立变量值的所述受控变量的第一子过程模型，称为受控变量核心过程模型；

b) 从用于产生过程模型的所述收集的数据确认有关包括操作变量设定点和干扰变量的独立变量值的所述受控变量的第二子过程模型，称为操作变量闭环过程模型；和

c) 执行额外工厂测试来收集有关操作变量过程值、操作变量设定点和干扰变量的数据；和

d) 使用收集的所述额外工厂测试数据确认操作变量核心过程模型。

13. 根据权利要求 12 所述的方法，其中所述执行额外工厂测试的步骤进一步包括以下步骤：

c1) 依次设置手动控制模式中的每个操作变量设定点，同时将所有操作变量保持在闭

环中；

- c2) 单元步进测试闭环中的每个操作变量；和
- c3) 收集有关操作变量过程值的数据。

14. 根据权利要求 12 所述的方法，其中步骤 b) 进一步包括以下步骤：

- a) 更新对应于变化的调节 / 配置的所述操作变量的所述第四子过程模型；

b) 各个第三子过程模型和各个第四子过程模型的卷积与该第二模型不匹配误差的和等于每个所述独立变量相关的第二子过程模型。

15. 一种更新在过程的模型预测控制器中使用的动态过程模型的方法，该过程具有多个独立可控的操作变量和测量的干扰变量和在至少一个所述操作变量的调节 / 配置发生改变时，至少一个受控变量依赖于所述独立可控的操作变量，在权利要求 8 中记载的所述动态过程模型和它们的子过程模型已被确认，所述更新在过程的模型预测控制器中使用的动态过程模型的方法包括以下步骤：

c) 更新所述操作变量闭环模型的所述操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置的所述变化；

d) 通过使先前确认的各个受控变量核心过程模型和所述更新的各个操作变量闭环过程模型的卷积加上先前确定的第一不匹配误差的和等于所述动态过程模型，更新每个所述动态过程模型。

16. 一种在模型预测控制器使用的将校正应用于受控变量的预测值的方法，所述模型预测控制器使用在权利要求 1 或 4 中记载的所述过程模型和所述子过程模型，包括以下步骤：

a) 响应于每个所述操作变量过程值的测量的变化，使用受控变量核心过程模型预测所述受控变量的基于核心过程模型的未来值；

b) 计算所述受控变量的基于核心过程模型的偏差校正作为所述受控变量的测量值和当前基于所述核心过程模型的预测值的差；和

- c) 通过加上基于所述核心过程模型的偏差校正来校正预测的受控变量值。

17. 一种生成仿真器的方法，用于过程仿真和使用权利要求 1 或 4 中记载的动态过程模型和子过程模型进行操作者训练，其中当在仿真不同的工厂条件和不同的操作者的动作的一个或多个操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置发生改变时，更新所述动态过程模型。

18. 一种工厂测试的方法，其中确认在权利要求 1 或 4 中记载的所述动态过程模型的基于过程值的版本，然后转换为基于操作变量的设定点的模型，由此减少要求的工厂数据的数量。

模型预测控制器中核心过程模型的使用

- [0001] 联邦赞助研究
- [0002] 序列列表或程序

技术领域

[0003] 本发明涉及在模型预测控制器中使用的过程模型的更新，尤其涉及当至少一个操作变量调整控制器的调节 / 配置发生改变时而不需要执行新的完全工厂确认测试。

背景技术

[0004] 模型预测控制 (MPC) 早在 1980 年就被应用于工业中。它建立在化工厂、精炼厂和其它过程工业中的先进的过程控制的主干。 MPC 是指一类算法，计算未来操作变量调节，以便最小化复合多元过程的未来反应。 MPC 执行实时优化简单至复杂过程的控制。 MPC 控制器采用一种形式的模型或其它的过程预测在控制状态下对操作变量的过去变化的影响和对输出变量的测量干扰。 该系统的动态特性是以对受控变量影响的明晰的一对一模型对操作变量的单元变化来叙述。 许多不同的数学形式可用来提供该过程影响。 过程输入和输出约束直接包括在问题公式中，从而预测并防止未来约束条件破坏。

[0005] 自从它诞生以来，MPC 以所使用的模型的形式发展。 使用的过程模型的最普通的形式是线性动态模型。 典型地，线性动态模型是从使用适当的模型确认软件的工厂测试数据开发的。 在工厂测试准备中，有关操作变量参数的调整控制器被仔细地检查并调节，用于所需的反应。 花费相当多的时间和精力进行准备。 动态控制模型是从收集的数据的详细研究开发的。 只有好的和性能好的数据段用于开发动态控制模型。 进行大量的关注和安排以确保收集足够数量的好和性能好的数据用于后来的模型确认。 这样开发的模型在工程业务和生产中断方面都需要相当大的成本。

[0006] 对于大多数应用，MPC 作为高于过程调整控制级的高级控制级。 操作变量涉及调整控制器的设定点，例如馈送温度设定点，列压力设定点等。 此外，过程有其它的调整控制器，其设定点不是由 MPC 控制的，但是必须总是保持在控制之下，例如累积器的水平控制。 因此，MPC 中使用的模型不可避免地包括调整控制器的动态响应特性，不论它们是否涉及操作变量。

[0007] 为了计算动态控制动作，假设调整控制器首先保持在受控状态，即它们的控制输出既不会在上限也不会在下限饱和，其次，它们对于设定点的变化和 / 或干扰的响应保持不从过程模型开发中假设的状态改变。 这是两个非常重要的假设，任何模型预测控制器可靠并健全地工作的基础。 第三点但经常没有指明的假设条件是所有的调整控制器应该保持在闭环中。 即，在模型预测控制器范围内所有调整控制器的配置和调节应该和开发该模型中假设的完全相同，任何偏离都会对性能造成有害影响并且导致不期望的控制器动作。

[0008] 然而，在调整控制器的变化是必须的情况下，则经常需要再确认受新的变化影响的过程模型并且以相当大的成本和精力再设计、再调节 MPC 控制器。

[0009] 而且，以大的花费确认的模型对于在严格条件下控制过程的有限目的是绝对有用的，所有的调整控制器保持不变、调节和允许配置不变。例如，即使一个调整控制器暂时置于手动模式，也会导致控制器的故障。因此，对于实践中的大多数部件，响应于告警情况，当操作者响应并执行手动控制动作时，从确切的意义上来说，整个 MPC 控制器需要去除，否则会产生不期望的控制动作。没有可用的方法将 MPC 模型实时方便地应用于这些情况。

[0010] 在本领域中通过实践进行了多次不成功的尝试意图解决这个确认问题，例如以开环状态的调整控制器进行工厂确认实验。然而，因为在持续 3-4 天的工厂测试与行运行期间控制开环的过程是非常困难的，这个实验失败了。虽然经常尝试的另一个方法是在正常的闭环调整控制器的状态下进行工厂测试，但使用阀输出作为独立变量来开发模型。然而，这个方法固有的错误在于：由于没有测量的干扰和内部闭环调节交互作用，闭环状态下阀位置响应是高度相关的。

[0011] 在一个最近的待审查的美国专利号为 20030195665 的专利申请中，揭示了一种方法，用于从 MPC 模型中去除 PID 动态特性。这是通过将作为独立变量的操作变量设定点以作为独立变量的它们相应的控制阀位置代替实现的。然而，这个方法具有由以下的事实引起的严重缺点：已知道控制阀输出在或临近它们的操作极限处产生非线性特性。通过将它们作为独立变量，与它们固有地和不能说明地相关的所有线性控制模型不能可靠并健全地预测该过程值。这会潜在地影响过程宽模型不匹配误差，导致严重的可控性问题。尽管这可能为从控制模型中去除 PID 动态特性问题提供很好的数学方案，但还不清楚 MPC 控制器在真实工厂环境中工作情况如何。

发明内容

[0012] 本发明的目的是提供一种更新用于多变量模型预测控制器中的过程模型的方法，改变在线控制使用以及离线过程训练仿真器可使用的操作变量调节和配置。

[0013] 本发明的进一步的目的是提供可用于 MPC 控制器各种实施方式的这样的方法。

[0014] 本发明的进一步的目的是提供一种方法，当任何调整控制器配置或调节发生变化时，产生复合多变量过程控制的新的 MPC 控制器，而且这样做不需进行新的过程确认测试。

[0015] 本发明的进一步的目的是产生过程仿真器，它提供高保真的过程仿真，可用于离线控制器性能诊断以及操作者训练。这样的仿真器可用于任何控制器配置和在每个单个控制器的各种调节配置。

[0016] 本发明的进一步的目的是提供由操作者进行的配置变化的 MPC 控制器在线自适应配置，而不需进行任何新的工厂测试或控制器配置变化或调节变化。

[0017] 本发明的实质是提供一种直接且简单的方法，适合于在模型预测控制器中使用的过程模型改变调整控制器的调节和操作者起动的控制器模式配置动作。

附图说明

[0018] 图 1.1 是过程模型描述：第一级；

[0019] 图 1.2 是过程模型描述：第二级；

- [0020] 图 2 是分馏器的复合流程方案；
- [0021] 图 3 是示例过程单元的变量的详细描述；
- [0022] 图 4.1 是操作变量闭环模型的示例；
- [0023] 图 4.2 是有关操作变量闭环模型 43 的详细子过程模型描述；
- [0024] 图 5.1 是完整的工厂测试的原始模型；
- [0025] 图 5.2 是根据本发明的 MX-TIC-03 的调节变化后的更新的模型；
- [0026] 图 6.1 是在完整的工厂测试时的调节；
- [0027] 图 6.2 是完整的工厂测试后，MX-TIC-03 的新调节；
- [0028] 图 7.1 是 MX-TIC-03 对进给速度变化的原始响应；
- [0029] 图 7.2 是 MX-TIC-03 对进给速度变化的改进的响应；
- [0030] 图 8.1 是通常的 MPC 模型及其来自完整的工厂测试的核心过程模型的比较；
- [0031] 图 8.2 是更新的 MPC 模型及其在调节变化后的核心过程模型的比较；
- [0032] 图 9 是从本发明的应用中得到的和从 MX-TIC-03 环路的调节变化后的完整的工厂测试中得到的过程模型的证实；
- [0033] 图 10 是与不同的 MV.SP 模式状态一起使用的 MV.PV 模型；
- [0034] 图 11.1 是操作变量闭环模型；
- [0035] 图 11.2 是受控变量过程模型 - 不同的；
- [0036] 附图中的标记
- [0037] 参见图 2 中的附图标记 1-15；参见图 3 对它们的描述；
- [0038] 参见图 4 中使用的其它附图标记。

具体实施方式

[0039] 本发明描述动态过程模型，该模型涉及相对于操作变量设定点的受控变量，包括这里描述的子过程模型的定义集。图 1.1 和图 1.2 表示本发明中揭示的两级的过程模型描述。下面描述的子过程模型提供在操作变量调节 / 配置改变与在结合适当的仿真器工作时以最小的额外模型确认或不需确认来更新过程模型的明确的方法。

[0040] 这里提出的本发明寻求描述潜在的动态影响，该影响是由于操作变量调整控制器和子元素的交互作用引起的，为了更新模型预测控制器中使用的整个过程模型集，只需再确认该模型的子集。基本上，当改变操作变量设定点时，操作变量调整控制器产生两种动态交互作用影响，第一种影响仅仅涉及由于操作变量过程值（通常过程值是指本领域中的 PV）的动态响应引起的动态影响，第二影响涉及由于所有其它操作变量的动态交互作用响应引起的动态影响，如果有的话，包括其它调整控制器（相关的非操作变量）。第二影响涉及许多过程交互作用的错综复杂性以及实质上过程的动态响应复杂化。

[0041] 揭示的基于组件模型描述的更新过程模型的方法可应用于初始确认过程模型和随后操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置进行改变时更新它们的各种方法中。尤其是，这里进一步揭示的方法对于利用工厂测试和采用在模型预测控制器中使用的通常实践的确认软件确认的线性动态模型是本质上用和有效的。因此，为了便于说明，线性动态模型涉及工厂测试的确认方法，尽管并不局限于此。本领域的技术人员懂得本发明应用于各种情况，包含使用的过程建模方法。

- [0042] 根据本发明，下面参考图 1.1 描述过程模型：
- [0043] $MPC(CV_1/XV.XP_j) = \sum MPCPV(CV_1/XV.PV_k) * MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j) + CV.$
Error₁..... 1
- [0044] 对于 $j = 1, j_{max}$ $k = 1, k_{max}$
- [0045] 对于 $l = 1, l_{max}$
- [0046] 其中，
- [0047] CV 是指受控变量
- [0048] MV 是指操作变量
- [0049] FV 是指前馈变量
- [0050] XV 是指 MV 或 FV
- [0051] XP 是指 $XV = MV$ 的 SP，指 $XV = FV$ 的 PV 或 SP，大多数情况下是指 PV
- [0052] SP 是指操作变量的设定点
- [0053] PV 是指过程值
- [0054] CV.Error 表示增益为 0.0 的 CV 的动态错误特征。
- [0055] 其中
- [0056] $j = 1$, 操作变量数目 + 前馈变量数目
- [0057] $k = 1$, 操作变量数目
- [0058] $l = 1$, 受控变量数目
- [0059] 称为 (100) 的 MPC(), 称为 (101) 的 MPCPV() 和称为 (102) 的 MPCPX() 用于指派涉及的变量和如下面进一步描述的过程条件的假设。
- [0060] MPC($CV_1/XV.XP_j$) (100) 是相对于独立变量 $XV.XP_j$ 中的单元变化的受控变量 CV_1 的过程模型。因此，对于操作变量来说，它代表受控变量 CV_1 对操作变量的设定点中的单元变化的动态响应，假设所有其它的独立变量保持不变。然而，对于前馈变量来说，它代表受控变量 CV_1 对前馈变量的过程值的单元变化的动态响应，假设所有其它的独立变量保持不变。如本领域中实践的，这个模型通常从工厂测试中确认并且使用适当的确认软件。这就是在模型预测控制器中用于控制和优化的模型。
- [0061] MPCPV($CV_1/XV.PV_k$) (101) 和 MPC($CV_1/XV.XP_j$) (100) 相似，除了它涉及操作变量过程值而不是操作变量设定点外。因此，MPCPV($CV_1/XV.PV_k$) (101) 是相对于独立变量 $XV.PV_k$ 的单元变化的受控变量 CV_1 的过程模型。对于操作变量来说，它代表受控变量 CV_1 对操作变量的过程值中的单元变化的动态响应，假设所有其它的独立变量的过程值保持不变。而对于前馈变量，它代表受控变量 CV_1 对前馈变量过程值中的单元变化的动态响应，假设所有其它的独立变量的过程值保持不变。这个模型可从工厂数据中确认，该数据以与操作变量过程值作为独立变量的 MPC($CV_1/XV.XP_j$) (100) 相同的方式收集。和 MPC($CV_1/XV.XP_j$) (100) 不同，MPCPV($CV_1/XV.PV_k$) (101) 是独立于操作变量调节 / 配置的。相反，它是固有地过程独立的并且没有所有内部操作变量动态交互作用影响。因此，这些模型称为受控变量核心过程模型。
- [0062] MPCPX($XV.PX_k/XV.XP_j$) (102) 是对于独立变量 $XV.XP_j$ 的单元变化的操作变量 k 闭环过程值 $XV.PX_k$ 的过程模型，所有过程调整控制器保持在闭环中，与 MPC($CV_1/XV.XP_j$) (100) 相同的方式，除了它涉及操作变量的过程值而不是受控变量的过程值。

即， $MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ (102) 模型涉及响应每个操作变量设定点的单元变化的操作变量过程值的闭环响应。描述 $MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ (102) 的另一个方式是当 $k = j$ 时，它代表它的设定点的单元变化的操作变量的过程值 $XV.PX_k$ 的闭环响应；当 $k \neq j$ 时，它代表独立变量 $XV.XP_j$ 的单元变化的操作变量 k 的干扰拒绝模型。因此，从这里开始，我们根据模型的用途以两种不同的方式参考这个模型。在 $k = j$ 的情况下，它代表操作变量过程值对其设定点的单元变化的响应；而在 $k \neq j$ 的情况下，它代表另一独立变量中的单元变化的操作变量（前馈）干扰拒绝模型。此外，由于这个模型和 $MPC()$ (100) 模型相似，除了它涉及操作变量的过程值（闭环），而不是受控变量过程值外，这些模型可由与 $MPC()$ 模型基本相同的方式得到。因此，根据定义， $MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ (102) 取决于例如影响 $XV.PV_k$ 的所有操作变量的调节。因此，任何操作变量调整控制器的调节 / 配置的改变都会改变 $MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ (102)。由等式 1 得知，改变调节 / 配置将相应地改变 $MPC()$ (100) 模型，如期望的。因此，等式 1 提供当改变操作变量调整控制器的调节 / 配置时更新 $MPC()$ (100) 模型的基础。

[0063] 如果所有的根据公式 1 的子过程模型被正确地和一贯地确认，预期 $CV.Error$ 是空模型。任何非零的 $CV.Error$ 表示遗失模型或者子过程模型的错误描述。典型地，它应该是小的动态值，增益值为 0。为了说明本发明，在下文中假设 $CV.Error$ 确实是空模型，因此不需明确提出。然而，本领域普通技术人员知道这个假设不影响下面揭示的方法的工作和应用。

[0064] 换句话说，从上文可知，受控变量核心过程模型基本上是没有操作变量设定点对其他操作变量调整的变化引起的动态交互作用的过程模型。受控变量核心过程模型的这个特征是重要的，随后从本发明的进一步揭示会清楚，当其他操作变量的任何调整控制器被变动时，模型预测控制器要求的过程模型可从先前得到的受控变量核心过程模型进行更新。当有关其他操作变量的任何调整控制器的调节 / 配置被改变时，允许更新模型预测控制器中使用的过程模型。

[0065] 在公式 1 中， $MPCPV(CV_i/XV.PV_k) * MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ 表示本领域公知的两个过程模型的卷积。例如 $A * B$ 的两个模型的卷积本质上包括将模型 A 中确认的独立变量变化的时间序列施加到模型 B 上并且累加来自模型 B 的这样变化的影响。得到的累加影响称为模型 A 和模型 B 的卷积模型。在下文中两个模型以 $A * B$ 的形式相关就意味着它们的卷积。

[0066] 在本领域的实践中， $MPC(CV_i/XV.XP_j)$ 是由工厂测试确认为一个模型实体，并没有参考或确认组成 $\sum MPCPV(CV_i/XV.PV_k) * MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ 的组件模型。

[0067] 本发明的本质在于确认上述等式 1 涉及的所有子过程模型，从最初的工厂测试，然后当操作变量调整控制器的调节 / 配置被改变时，适合模型更新，而不执行新的完整的工厂测试。

[0068] 从上述子过程模型的定义可以知道， $MPCPX()$ (102) 模型单独地取决于操作变量控制器的正常调节。它们中的任何调节 / 配置的变化都要求更新它们。因此，从等式 1 可清楚，使用先前确认的 $MPCPV()$ 模型可更新 $MPC()$ (100) 模型，假设 $MPCPX()$ (102) 模型响应操作变量调整控制器的任何改变都被正确更新。

[0069] 因此，基于上面的说明，下面将揭示一种更新在模型预测控制器中使用的过程

模型的方法，包括以下步骤：

[0070] 1. 从初始完整的工厂测试中确认所有的模型 MPC($CV_i/XV.XP_j$) (100), MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) (101) 和 MPCPX($XV.PX_k/XV.XP_j$) (102)，包括以下步骤：

[0071] i) 执行工厂测试以便在每个操作变量中分别引入至少一个测试干扰和测量对受控变量的干扰影响及操作变量过程值来收集关于过程的数据。

[0072] ii) 使用步骤 1 收集的数据并使用本领域通常使用的适当的模型确认软件来确认过程模型。这将得到如上所述的 MPC($CV_i/XV.XP_j$) (100) 的确认。

[0073] iii) 使用步骤 1 收集的相同的数据并使用确认软件来确认过程模型，通过使用独立变量作为操作变量过程值和干扰变量过程值来确认 MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) (101) 模型。

[0074] iv) 使用步骤 1 收集的相同的数据和确认软件来确认 MPCPX($XV.PX_k/XV.XP_j$) (102) 模型，这时用于确认的相关变量对应于操作变量过程值（当然假设所有都在闭环中）。

[0075] 2. 当操作变量调整控制器调节改变时，可使用下面的方法更新步骤 1 得到的过程模型，

[0076] i) 进行小型工厂测试，其中每个操作变量设定点至少每次步进并且测量对操作变量过程值的影响。然后在小型工厂测试中收集的数据用于再确认 MPCPX($XV.PX_k/XV.XP_j$) (102)。这之后是使用从初始工厂测试中先前确认的 MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) (101) 和从小型工厂测试中再确认的 MPCPX($XV.PX_k/XV.XP_j$) (102) 并且将两者卷积根据如等式 1 更新过程模型 MPC($CV_i/XV.XP_j$) (100)。

[0077] ii) 可选地，代替如在上述步骤 i) 中描述的实际工厂测试，可使用仿真所有操作变量调整控制器以及任何其它相关的调整控制器的仿真器，其中利用操作变量的改变调节，每个操作变量设定点进行步进以产生适合 MPCPX() (102) 模型的动态响应。这样产生的 MPCPX() (102) 模型响应可用于等式 1 从而更新与由调节改变影响的受控变量相关的所有过程模型。

[0078] 原则上，根据操作模式被操作者设置为手动，当对操作变量进行配置改变时，也可使用上述方法。在下文详细的描述时，这一点会变得明显了。

[0079] 总而言之，MPC($CV_i/XV.XP_k$) (100) 是按照确认方法论通常得到的结果。包括调整控制器动态特性，不仅是指 MV.SP 也指 MV.SP 和其它 MV.SP 调整控制器环路的交互作用，包括来自前馈变量变化的动态环路交互。然而，MPCPV() (101) (实质上和 MPC($CV_i/XV.XP_k$) (100) 相同，除了它们是基于 MV.PV 的 MPC 模型而不是基于 MV.SP 之外)：典型地，这些模型不是从工厂测试数据导出的。但是它们可简单地从相同的数据得到（后面进一步揭示）。而且，上述等式 1 中的 MPCPX() (102) 基本上形成模型矩阵，用于描述如图 4 所示的 MV.SP 变化的内部 MV.PV 交互作用。当任何 MV 控制环路变化时，这个模型矩阵需要更新，假设新的 MV.PX/MV.SP 响应可从原地工厂环路测试或新的调节的控制环路的离线仿真得到。典型地，MPCPX() (102) 模型不是作为过程确认方法论的一部分导出的。然而，它们都能够初始地从收集的工厂数据中导出。因为在测试期间，所有的调整控制器正确地配置并且很好地调节而且保持在闭环中，收集的数据可用于导出这些模型。因此，为了更新调整控制器配置或调节改变的 MPC() (100) 模型，需要做的是更新 MPCPX() (102) 模型，然后使用等式 1 更新整个模型集。

[0080] 当操作变量设定点调整控制器的调节被改变时，更新过程模型的方法的应用的例子将在下文中进一步揭示本发明之后描述。

[0081] 上述方法要求或者实际的工厂测试或者仿真，其中每个操作变量设定点必需是步进的，以便更新过程模型，这可能是耗费时间且效率低的。因此，下面将揭示根据本发明的另一个优选实施例，其中叙述更新过程模型的更有效的方法，也是可修改用于操作变量调节变化 / 配置变化在线更新过程模型。

[0082] 如下文将说明的，对于调节 / 配置的每个变化只需一个 MPCPX() (102) 模型来更新整个控制模型集。下面概述在配置变化和一个或多个操作变量调节变化后更新 MPCPX() (102) 模型的方法。

[0083] 接下来描述上述本发明的优选实施例的扩展。除了等式 1 之外，下面的等式 2 也可用于更新过程模型。基于上面所述的关于 $MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ (102) 和 $MPC()$ (100) 是基本上相同的，除了相关变量是不同的外，因此 $MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j)$ (102) 可由等式 2 以与等式 1 相似的方式描述，图 1.2 中进行了形式上的描述。

$$[0084] \quad \text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.XP}_j) = \sum \text{MPCPV}(\text{XV.PV}_i/\text{XV.XP}_j) * \text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.PV}_i) + \text{XV.Error}_k, \dots, 2$$

[0085] 对于 $j = 1, j_{max}$ $i = 1, k_{max}$

[0086] 对于 $k = k_1, k_{\max}$

[0087] 以及

[0088] MPCPX(XV.PVi/XV.XPj) = MPCPV(XV.PVi/XV.PVj)*MPCPX(XV.PXj/XV.XPj).....2.1

[0089] MPCPX(XV.PX_k/XV.PV_i) = MPCPV(XV.PV_k/XV.PV_i)*MPCPX(XV.PX_i/XV.PV_i)2.2

[0090] MPCPX(XV.PX_i/XV.PV_i) = 1.0-MPCPX(XV.PX_i/XV.XP_i) k.....2.3

[0091] 等式 2.1 中称为 (103) 的 MPCPV($XV.PV_i/XV.PV_j$) 是和在等式 1 中使用的 MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) (101) 等同的，在这种情况下，除了它是指 $XV.PV_i$ 外。类似于 MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) (101)，MPCPV($XV.PV_i/XV.PV_j$) (103) 是相对于操作变量过程值 $XV.PV_j$ 的操作变量过程值 $XV.PV_i$ 的过程模型。这是一个 PV 对 PV 模型，因此根据定义它独立于操作变量调整控制器调节。而且，MPCPV($XV.PV_i/XV.PV_j$) 中的 $XV.PV_i$ 是指在开环中的操作变量 i ，而所有其它的操作变量仍然在闭环中，而 $XV.PV_j$ 是指在闭环中的所有其它操作变量的过程值。因此，如在等式中的 MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) 的情况下，MPCPV($XV.PV_i/XV.PV_j$) 基本上是与过程内在相关的，因此称为操作变量核心过程模型 (103)。和 MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) (101) 不同，MPCPV($XV.PV_i/XV.PV_j$) (103) 模型不是从通常的工厂确认测试中收集的数据中直接确认的。相反，要求另外的工厂测试，如下面揭示的，收集数据以及初始工厂确认测试。一旦收集这个另外的数据，可以用与上述用于确认 MPCPV($CV_i/XV.PV_k$) 的方法相同的方式确认 MPCPV($XV.PV_i/XV.PV_j$) (103)。

[0092] 上述等式 2 中称为 (104) 的 MPCPX ($XV.PX_k/XV.PV_i$) 最好被描述为操作变量干扰拒绝模型，意味着操作变量过程值 $XV.PX_k$ 对于操作过程值 $XV.PV_i$.MPCPX ($XV.PX_k/XV.PV_i$) (104) 变化的闭环响应是通过等式 2.2-2.3 进一步定义的。注意，等式 2.2 中的 MPCPV ($XV.PV_k/XV.PV_i$) 和等式 2.1 中的 MPCPV ($XV.PV_i/XV.PV_i$) 的形式和含义都是相

同的。 等式 2.2 中的 $MPCPX(XV.PX_i/XV.PV_i)$ 是 $MPCPX(XV.PX_k/XV.PV_i)$ 的特殊情况，但是由等式 2.3 中 $MPCPX(XV.PX_i/XV.XP_i)$ 定义，基本上是操作变量 i 调整调节器的闭环响应。

[0093] 等式 2.2 中 $i = k$ 时 $MPCPX(XV.PX_k/XV.PV_i)$ 的特殊情况叫做操作变量 i 的调整控制器相关的“自干扰拒绝”模型。换句话说，它是由于影响而不是它的控制器输出或输出使得它的值变化时的操作变量 i 过程值的闭环响应模型。因此根据定义可以从上述等式 2.3 导出该模型。

[0094] 类似于等式 1 中的 CV.Error，等式中的 XV.Error 是一个动态错误特征。当等式 2 中包括的所有子过程模型正确地并且一贯地确认时，期望 XV.Error 是空模型。因此，非空 XV.Error 模型指示或者是遗失子过程模型或者是包括的子过程模型的错误特征。为了便于说明本发明，在下文中假设 XV.Error 是空模型，因此不需明确提出。然而，本领域普通技术人员知道，这个假设不影响下面揭示的方法的工作和应用。

[0095] 通常执行的和本领域中已知的在初始工厂测试期间收集的数据允许确认所有操作变量的操作变量闭环模型。然而，如等式 2-2.3 定义的组成操作变量闭环模型的子过程模型要求附加的工厂测试连同通常进行的工厂测试。

[0096] 因此，根据等式 1 和等式 2，本领域中通常导出的 MPC() (100) 模型是以另外四类模型描述的，即受控变量核心过程模型 (101)，操作变量核心过程模型 (103) 和操作变量闭环 (102) 及操作变量干扰拒绝 (104) 步骤响应模型。

[0097] 为了确认操作变量核心过程模型，下面说明作为初始工厂测试的一部分的额外工厂测试。下面的步骤仅仅是指用于确认模型预测控制器的过程模型的作为执行初始工厂测试一部分的额外工厂测试：揭示下面的额外工厂测试的目的是确认 $MPCPV(XV.PV_i/XV.PV_j)$ (101)。

[0098] i) 对于操作变量 i ，将其设置为“手动”模式（意味着在开环中），并保持所有其它操作变量（对于 $j = 1 \dots k_{max}$ ，除了 $i = j$ 外）设定点在它们正常调整模式（意味着在闭环中），分别扰乱每个其它的操作变量设定点并且收集有关所有操作变量过程值数据和它们的控制器输出。

[0099] ii) 使用在步骤 i 中收集的数据确认所有的 $MPCPV(XV.PV_i/XV.PV_j)$ (103) 模型；

[0100] iii) 对于 $i = 1, k_{max}$ ，重复步骤 i-ii。

[0101] 上述额外测试产生所有的 $MPCPV()$ (103) 集的模型，除了 $i = J_w$ 外，根据定义，在任何情况下都是统一的。上述额外工厂测试对于过程操作者来说不太繁杂，因为它只需要随时以手工模式输入一个接一个操作变量。在额外工厂测试期间不需要执行上述步骤 ii)，而是收集的数据被相应地保存并在随后使用它分别确认每个操作变量 i 的 $MPCPV(XV.PV_i/XV.PV_j)$ (103)。选择这两种方法中的哪种是风格问题和本领域的专业人员的方便。

[0102] 知道过程拓扑的话，额外工厂测试就更加有效。即，在上述步骤 i，下行到操作变量 i 的操作变量不需要被扰乱，从而节省了时间和精力。因为在大多数情况下，比较容易知道操作变量在过程中的相对位置，因此采用这种策略能够节省额外测试期间相当多的时间。

[0103] 下面揭示由于操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置变化而更新过程模型的

方法的细节，假设包括额外工厂测试的初始工厂测试已经执行而且所有上述模型已经被适时地确认。

[0104] 总而言之，一旦参与这些等式的所有的子模型从包括上述用于操作变量核心过程模型的额外工厂测试的初始工厂测试数据中确认，等式 1-2.3 为更新过程模型的一个或多个操作变量设定点控制器的调节变化提供了基础。因此，如上提出的，本发明从包括额外工厂测试的初始工厂测试中确认四类模型，如上所述的，即，如通常所做的，模型预测控制器的过程模型、受控变量核心过程模型、操作变量核心过程模型和操作变量干扰拒绝模型。如在下面将揭示的，在一个或多个操作变量设定点控制器的调节 / 配置进行变化时，与本领域中的实践比较，识别的另外三种模型允许更新后者的过程模型，而不必执行完全新的工厂测试。反之，所有需要做的是再确认操作变量过程值对它变化的调节 / 配置的设定点的闭环响应模型，通过实际工厂测试或者使用仿真器进行调整控制器的仿真实现。

[0105] 根据等式 1，过程模型的更新要求响应操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置的变化进行更新的 MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j) (102)。根据等式 2，更新 MPCPX(XV.PX_k/XV.XP_j) (102) 要求首先更新 MPCPX(XV.PX_i/XV.PV_j) (103)。只有 MPCPX() (102) 中的那些模型受操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置变化影响，这些模型需要更新。

[0106] 基于上面揭示的内容，模型预测控制器中使用的更新过程模型的方法在第一部分和第二部分中进一步揭示。如上所述的，第一部分涉及从包括额外工厂测试的初始工厂测试中确认所有的过程模型和它们的子过程模型。第二部分涉及响应于操作变量设定点调整控制器的调节 / 配置变化，使用子模型和新确认的模型更新在第一部分中获得的过程模型的方法。

[0107] 因此，从初始工厂测试数据中，可确认闭环中的每个操作变量过程值的前馈干扰拒绝模型。也就是说，MPCPV(XV.PV_k/XV.PV_i) (101) 和 MPCPV(XV.PV_j/XV.XV_i) (103) 都可从初始工厂测试数据中确认。前者代表相对于其它操作变量过程值的前馈拒绝模型，而后者代表相对于其它操作变量过程设定点的前馈干扰拒绝模型。尽管如此，这两种类型的模型都可从初始工厂测试中确认。本领域技术人员懂得，这样做并不会特别困难。其合理性是简单的，就内部操作变量交互作用而论，它们纯粹是取决于过程拓扑的其它操作变量过程值和前馈变量的影响引起的。

[0108] 等式 1-2.3 提供更新模型预测控制器的过程模型的整个两级方法。在第一级，根据等式 1-2.3，响应于任何操作变量的调节 / 配置变化更新关于操作变量的过程变量的闭环响应的所有模型。在第二级，根据等式 1，操作变量过程值的更新模型和先前获得的受控变量的核心过程模型结合完成其余过程模型的更新。

[0109] 第一部分：因此，根据本发明，如上所述的，可使用下述方法从包括额外工厂测试的初始工厂测试中确认模型：

[0110] 1. 执行本领域中使用的初始完整的工厂测试并且收集数据。
[0111] 2. 如本领域通常进行的，从收集的初始工厂测试数据中确认过程模型 MPC() (100)。

[0112] 3. 从步骤 1 中收集的数据确认受控变量核心过程模型。
[0113] 4. 从步骤 1 中收集的数据确认操作变量闭环测试包括有关过程单元的所有测量，

如本领域通常进行的。在这种情况下，MV.PX 是作为非独立变量，MV.SP 和 FV.PV 作为独立变量。

[0114] 5. 执行如上所述的额外工厂测试，用于确认操作变量核心过程模型。

[0115] 6. 从额外工厂数据中确认操作变量核心过程模型。

[0116] 第二部分：假设第一部分中描述的所有模型先前已经被确认，下面描述的方法可用于更新操作变量的调节 / 配置变化的过程模型。

[0117] i) 步骤测试调节已改变的操作变量并且收集操作变量过程值数据，同时确保操作变量控制器输出是不饱和的。从收集的数据中确认操作变量闭环模型。这个方法可在实际工厂测试或使用仿真器仿真操作变量调整控制器的情况下使用。

[0118] 可设计本发明的可选实施例，其中当至少一个操作变量调节 / 配置改变时，其中代替等式 2-2.3，使用仿真方法更新涉及等式 1 中的 MPCPX() (102) 的所有模型。这样的仿真能够仿真关于每个操作变量调整控制器的调整控制器响应并且产生所有操作变量过程值的响应，该调整控制器包括 PID 控制器或者可能是基于模型预测控制的控制器。

[0119] 总而言之，这里叙述的本发明递归地使用有关受控变量的核心过程模型的概念并操作来自初始工厂测试的这两种类型的变量，后来当它的调整控制器的调节 / 配置进行改变时联合使用这两种类型，只需要再确认一个模型。

[0120] 如上所述的，一旦过程模型被更新，基于操作变量当前和未来变化并结合基于根据配置的操作变量的过去变化的受控变量未来值的当前预测，它们可用于预测未来受控变量。即，根据新的调节 / 配置的新增加可从过去的变化加入该预测，新的增量改变为受控变量的未来值。然后，假定基于没有进一步操作变量变化的预测的未来受控变量响应和假定根据新配置和非独立变量的所有操作变量的限制，更新的过程模型可用于设计操作变量的策略，并使得所有操作变量和受控变量保持在它们各自的限制范围内。

[0121] 下面将说明两个例子，一个例子涉及等式 1 中使用的矩阵 MPCMX() 的构成及其子模型，另一个例子涉及在对操作变量设定点调整控制器进行调节改变时的过程模型的更新。

[0122] 对等式 1-2.3 的使用方法借助如图 2 所示的示例的过程单元进行进一步说明。涉及这个示例过程单元的变量的详细描述示于图 3 中，包括 4 个操作变量，1 个前馈变量和 10 个受控变量。图 4.1 代表操作变量动态交互作用的矩阵。图 4.1 是代表根据上述等式 2 有关这个过程单元的模型类型的解释。本领域普通技术人员懂得，图 4.1 和图 4.2 所示的模型只是从本质上进行解释。因此，图 4.1 和图 4.2 是等式 1 中展示的和分别根据等式 2 和 2.3 描述的 MPCPX() 的说明。为简明起见，有关 MPCPX() 的模型与 MV.PX 一起称为 MV 的闭环响应，而 MV.PV 将用于指示 MV 的开环响应 PV。

[0123] 图 4.1 中的空模型是指变量之间没有因果关系。为简明起见，将使用图 4.1 中图 2 的变量的标记的简短形式。如图 4.1 所示，操作变量 FD.SP(3) 有最简单的模型。这是由于：假定在图 2 中的过程的过程拓扑，没有其它的操作变量可影响 FD.PX。操作变量 (3) 是流速设定点，在图 4.1 中的闭环响应 FD.PX 表示为较快，其增益为 1.0。接下来，操作变量 TC.PX 受其设定点 (2) 的改变、FD.SP(3) 的改变和前馈变量的改变， T_i 进给入口温度 (5) 的影响。因此，如图 4.1 所示的，存在有关 TC.PX 的三种模型。如图 4.1 和图 4.2 所示的，列压力的闭环过程值 PC.PX 受 FD.SP(3)、TC.SP(2)、 T_i (5) 和 PC.SP(4)

的影响。在图 4.1 的所有模型中，有关 PC.PX 的模型完全代表由本发明描述的和使用的含义。因此，在下面对等式 2 的应用的进一步说明中将使用该模型。下面的等式 3 将 PC.PX/FD.SP(43) 定义为（假设进给速度设定点的变化不改变回流速度）

[0124] $PC.PX/FD.SP = TC.PV/FD.PV*FD.PX/FD.SP*PC.PX/TC.PV+PC.PV/FD.PV*FD.PX/FD.SP*PC.PX/PC.PV$

[0125] 下面的模型是指在图 4.1 和 4.2，根据以下数字：

[0126] PC.PX/FD.SP 作为 43

[0127] TC.PV/FD.PV*FD.PX/FD.SP*PC.PX/TC.PV 作为 431

[0128] PC.PV/FD.PV*FD.PX/FD.SP*PC.PX/PC.PV 作为 432

[0129] TC.PV/FD.PV 作为 4311

[0130] PC.PV/FD.PV 作为 4312

[0131] FD.PX/FD.SP 作为 33

[0132] PC.PX/PC.PV 作为 4313

[0133] 并且根据等式 2.3，

[0134] $PC.PX/PC.PV = 1.0-PC.PX/PC.SP$

[0135] 模型 4311, 4312 和 4321 涉及操作变量核心过程模型并且根据上面叙述的额外工厂测试确认。模型 33 和 44 涉及操作变量闭环模型，是从通常进行的初始工厂测试中确认。

[0136] 模型 4311 和 4312 是这里揭示的作为操作变量核心过程模型的示例，如上所述的，它们可被确认为额外工厂测试和确认方法的一部分。即，它们可被确认为操作变量控制器的开环工厂测试的一部分（是指上述初始工厂测试的额外工厂测试部分）。PC.PX/PC.SP 也可被确认为初始工厂测试的一部分并且随后响应其调节变化利用 PC 控制器环路仿真。

[0137] 以上完成了在影响它的任何操作变量控制器的调节变化之后更新 PC.PX 所要求的所有的模型。为了开始更新所有模型集，必须首先更新的模型类型只是调节改变的操作变量的 MV.PX/MV.SP 模型。上面概述的方法可同时与一个或多个操作变量调节变化一起工作，假定它们所有的 MV.PX/MV.SP 模型都可利用仿真得到。

[0138] 总而言之，基于上述方法，FD.PX/FD.SP 具有最简单的所有闭环模型作为其变量值，因为它没有上游操作变量。然而，如在图 4.1 所示的，PC.PX/FD.SP(43) 的模型与 TC 的调节无关，图 4.2 表示使用不同子过程模型它是如何可以更新的。在这种情况下，当对 TC 控制器进行调节改变时，TC.PX/TC.SP(22) 将改变，因此它的新的响应模型可用于更新 PC.PX/FD.SP 而不需要任何额外工厂测试或确认。PC.PX/FD.SP 需要在对 TC 控制器的调节进行改变之后被确认，可以通过工厂测试或利用调整控制器响应的仿真来完成。

[0139] 因此，根据图 4.1 和图 4.2 以及上述的过程，PC 控制器的调节变化会导致下述新信息的产生：

[0140] 通过调整控制器的仿真确认 1.0PC.PX/PC.SP(44) 模型。这是唯一需要再确认的模型，用于响应有关 PC 调整控制器的任何调节 / 配置变化更新整个模型集。

[0141] 根据上述细节更新 2.0PC.PX/FD.SP(43)。

[0142] 根据图 4.1 的 3.0, 其它被影响模型 (42) 和 (45) 可根据上述方法更新。

[0143] 注意, 执行如图 4 所述的交互操作变量模型矩阵的更新不需任何实际工厂测试。然后交互操作变量的更新的模型用于等式 1, 以更新系统中其它的模型。

[0144] 为了在适合的仿真系统中更新所有模型, 上面揭示的方法可自动化。本领域普通技术人员懂得, 可开发出仿真系统, 用于自动地执行如上所述的模型更新的所有步骤, 包括从调整控制器外部仿真得到的新的 MV.PX/MV.SP 模型, 或者如图 4 的示例过程单元所描述的, 根据闭环交互矩阵以它自己的方式利用它的适当的前馈变量嵌入作为模型预测控制。

[0145] 接下来描述本发明另一实施例, 该实施例涉及在操作者将操作变量控制器设置为“手动”模式时更新整个模型集。这种情况也可以描述为该控制器是处于“开环”状态。在这种情况下, 假设操作变量设定点跟踪它的过程值, 而该控制器保持在手动模式。因此, 通过这个要求, 模型 MPCPX(XV.PX_j/XV.XP_j) (102) 缺乏增益为 1.0 的任何动态特性。即, 为了在等式 1 和等式 2 中使用, 认为闭环模型 MPCPX(XV.PX_j/XV.XP_j) 具有增益 1.0 的即时响应。

[0146] 另外, 根据定义, 开环条件下等式 2 中的 MPCPX(XV.PX_k/XV.PV_k) 和等式 2.1 中的 MPCPX(XV.PX_j/XV.PV_j), 每个模型具有 1.0 增益, 而不是相对于在开环状态的操作变量控制器具有即时响应在闭环条件的 0 增益。

[0147] 也就是说, 在手动模式的操作变量, 相对于其设定点的闭环模型具有 1.0 的增益而且没有动态特性, 而相应于其过程值(如干扰拒绝模型)的闭环模型具有变为 1.0(从 0.0)的增益且没有动态特性。利用手动模式的操作变量的变化的模型并使用等式 1、等式 2 以及等式 2.1, 在模型预测控制器中设置的所有模型可被更新, 而不需要进行任何额外工厂测试。本领域普通技术人员懂得, 模型中这两个变化极大地影响被操作变量影响的受控变量的过程模型。因此, 本发明能够处理过程模型中这种巨大的变化, 对于操作者以手动模式设置操作变量设定点的动作, 而不要求以任何方式再测试该过程单元。这是本领域的当前实践中的极大的改进, 因此当进行这个操作者的动作时, 允许模型的动态适应。一个实际的后果是这个动态适应的能力允许在操作者通过他 / 她的手动干预处理手边的问题时模型预测控制器继续执行。相反, 如本领域中实践的, 当操作者执行这种手动动作时, 几乎不可避免模型预测控制器必需完全去除。这就确保 MPC 控制器中使用的 MPC 模型和新的配置保持一致, 从而在改变的操作变量配置下继续执行剩余过程的闭环控制。

[0148] 通常应用的另一个操作者动作是将操作变量保持在调整控制的自动状态, 其中其设定点不被模型预测控制器改变。即, 操作者断开与模型预测控制器的级联, 将操作变量设定点设为“自动”模式。当出现这种情况时, 手动模式应用的所述的模型没有改变。反之, 允许高 / 低范围的操作变量设定点箝位到其当前设定点值, 从而模型预测控制器不能以任何方式改变该设定点。

[0149] 下面将描述这里所述的方法的应用, 根据等式 1, 模型更新的特殊情况在操作变量的调整控制器的调节改变之后, 不需利用仿真执行工厂测试。尤其是, 该仿真的结果将比较应用于影响模型 MXAI_20PV/MXFI_05SP 的操作变量 TC.SP 的调节变化之前和之后的变化的模型。为了简明起见, 从此之后我们将 MXAI_20PV 表示为 a0(6), 将

MXFI_05S 表示为 FD.SP(3)。

[0150] 图 5.1-7.2 表示从初始完整的工厂测试中得到的所有模型以及在操作变量 TC.SP 的调节变化之后根据上述方法更新的模型。

[0151] 图 5.1 和图 5.2 比较从具有如图 6.1 所示的 TC.SP 的初始调节的初始完整的工厂测试得到的过程模型 a0/FD.SP 和具有如图 6.2 所示的 TC.SP 的新的调节的更新的模型。注意，图 5.1 和图 5.2 具有相同的模型增益但不同的动态特性。

[0152] 为了说明本发明，如上所述的，代替使用等式 2-2.3 更新操作变量闭环过程值模型，执行了仿真，其中进给速度递增一个单元并且捕获 MXTIC_03 的结果响应，如图 7.2 所示的。图 7.1 和 7.2 表示在完整工厂测试期间根据温度控制器的调节来自于 FD.SP 对 TC.SP 的交互产生的此处称为动态特性交互模型和根据完整工厂测试后的新调节 TC.SP 的比较。在这种情况下，温度控制器的改进的调节显然将进给温度控制的动态交互作用最小化。

[0153] 图 8.1 和 8.2 比较 TC.SP 调节变化之前和之后的过程模型 a0/FD.SP 连同其核心过程模型，当然在这种情况下核心过程模型保持不变，注意，更新的模型 a0/FD.SP 是通过应用等式 1 和上述方法得到的。

[0154] 图 9 证实根据本发明揭示的方法中的更新的模型，具有从新的工厂测试中确认的同样的模型。如图所示的，清楚地更新模型与完整的工厂测试中确认的模型非常好地匹配。

[0155] 作为本发明的另一个实施例，在下文中揭示响应于操作者对一个或多个操作变量设定点的手动模式、自动模式和级联模式的动作的在线再配置 MPC 控制器的方法。

[0156] 当在线的一个或多个操作变量调整控制器的调节 / 配置进行改变时，上述等式 1-2.3 提供再配置 MPC 控制器的基础。涉及的步骤如下：

[0157] 以下是应用于由操作者选择的三种操作模式的方法的步骤，这三种模式是用于操作变量设定点的手动模式、自动模式和级联模式。

[0158] 以下方法适用于涉及操作者放置该控制器输出的动作是手动模式的配置变化的方法。

[0159] 1.0 操作者将操作控制器状态设为“手动”。

[0160] 2.0 MPC 控制器识别 MV 配置的变化，新的配置是手动的。

[0161] 3.0 在内部，MV.PX/MV.SP 模型设置为没有动态特性的单元步骤响应模型（见图 10）。接下来使用上述等式 1 和 2 更新受这个 MV.SP 影响的所有模型。而且 MPC 控制器控制移动计算矩阵被更新。

[0162] 4.0 MV 输出上限和下限内部地设置为其当前值。

[0163] 5.0 在内部，MPC 控制器执行此处称为“MVSP 跟踪”，即，设置 MVSP = MV.PV。由此产生的 MV.SP 改变的影响反映在使用更新的控制器模型的其它 MPC 控制器上。

[0164] 6.0 正常的执行多元控制器控制解法来计算新的最佳解并且执行控制移动计算。

[0165] 7.0 实现控制移动。

[0166] 8.0 如果 MV.SP 配置没有改变，则重复步骤 4-7。反之，如果操作者改变 MV.SP 配置为“级联”或“自动”，则继续新的模式状态的步骤。

- [0167] 以下的方法是关于操作者将控制器输出放置在级联模式的动作的配置变化。
- [0168] 1.0 操作者将 MV 状态设为“级联”。
- [0169] 2.0 MPC 控制器识别 MV 配置从手动变为级联。
- [0170] 3.0 在内部，MVPX/MVSP 模型恢复为由完整的工厂测试确认的其正常 MV.PX/MV.SP 响应模型。这是在使用上述等式 1 和 2 更新受这个 MV.SP 影响的所有模型。并且更新 MPC 控制器控制移动计算矩阵。
- [0171] 由该操作者设置的极限
- [0172] 5.0 这时对于配置的变化不应用“MVSP 跟踪”。
- [0173] 6.0 正常的进行多元控制器控制解法来计算新的最佳解并且执行控制移动计算。
- [0174] 7.0 实现控制移动。
- [0175] 8.0 如果 MV.SP 配置没有改变，则重复步骤 4-7。反之，如果
- [0176] 新的模式状态。
- [0177] 以下的方法关于与操作者以自动模式设置控制器的输出动作的配置改变。
- [0178] 操作者将 MV.SP 设置为“自动”状态。
- [0179] 1.0 操作者将 MV 的状态设置为“自动”。
- [0180] 2.0 MPC 控制器识别 MV 的配置从手动变为级联。
- [0181] 3.0 在内部，恢复 MV.PX/MV.SP 模型为由完整的工厂测试确认的其正常的 MV.PX/MV.SP 响应模型。紧接着是使用公式 1 和 2 更新受 MV.SP 影响的所有模型。并且更新 MPC 控制器控制移动计算矩阵。
- [0182] 4.0 恢复 MV 输出的上限和下限到由操作者设定的相应的正常极限内。MV.SP 上下限被设定在它当前的 MV.SP 值。
- [0183] 6.0 指出的进行多元的控制器控制解法来计算新的最佳解并且执行控制移动计算。
- [0184] 7.0 执行控制移动。
- [0185] 8.0 如果 MV.SP 配置没有改变，则重复步骤 4-7。反之，如果操作者将 MV.SP 配置改变为“级联”或“手动”，则继续新的模式状态的步骤。
- [0186] 作为本发明的另一个可选的实施例，揭示另一个可选的工厂确认测试的方法，这种方法以最小的拒绝收集的数据缩短该测试的长度，这都显著地降低了工厂测试的总体成本。
- [0187] 这里提出的更新过程模型的方法提供适应过程模型的一个直接且灵活的方法，帮助操作者在各种过程中继续使用过程预测控制器，该过程模型可以精确地应用于实时地响应操作者的动作，因此允许持续地使用控制器。因此，可以建造一个仿真器，帮助操作者训练处理动态变化的过程情况和手动干预以继续使过程处于控制下。这里提出的模型更新方法可以为操作者提供高逼真的过程情况以进行准确地训练。这也将提高操作者处理非正常操作情况的能力。
- [0188] 本发明的另一个实施例涉及在模型预测控制器中的预测的受控变量值的反馈校正。下面揭示使用核心过程模型来校正受控变量的预测值的可选的方法。如本领域中实践的，偏差校正被应用于受控变量的未来预测值。计算偏差校正值 b （见公式 2.4）作为受控变量的当前测量值减去使用其过程模型得到的受控变量的当前预测值：

[0189] $b = y - y_p \quad 2.4$

[0190] 其中, y 是受控变量的测量值,

[0191] y_p 是根据其过程模型的受控变量的预测值。

[0192] 具有偏差校正 b 的潜在问题是不考虑误差的来源, 使用相同的校正方法。结果, 时常执行一些不一致和不适当的控制动作。普遍存在于大多数模型预测控制器中的一个特别的误差来源是由于根据其假定的闭环动态响应模型该操作变量过程值的偏离。根据定义, 这种误差是短暂的, 而且将偏差型校正应用于受控值的预测值作为它的“增益”已经改变来对待。因此, 稳态的优化程序不必确定新的稳态的方案, 因此引入对它自身的误差的周期。而且, 正如以下所揭示的那样, 使用基于核心过程模型的偏差校正将最小化 / 消除自身引入的误差的周期。建议一种新的偏差校正 B 为:

[0193] $B = y - y_c \quad 2.5$

[0194] 其中, y_c 是使用其核心控制模型的受控变量的预测值。

[0195] 因此, 除了本领域的实践之外, 提出的偏差校正需要使用过程模型的受控值的预测值, 使用其核心过程模型的受控值的另一个预测值。受控变量的这个额外的预测是相当直接的。当误差的来源只涉及操作变量的闭环响应的偏差时, 期望 $[B]$ 值比 $[b]$ 值小。因此, 使用 B 来校正受控变量的预测值将相应地消除 / 最小化由稳态优化方案产生的自身引入的误差的周期。

[0196] 参考图 11.1 和图 11.2 进一步说明基于核心过程模型的偏差校正的使用。模型 771 根据初始的工厂测试识别, 模型 772 是未测量的干扰存在的情况下的实际模型 (例如, 较低的发热值的燃气), 模型 871 根据初始工厂测试识别 (根据模型 771), 模型 872 是未测量的干扰存在的情况下的实际模型, 模型 870 是受控变量核心过程模型, 即 CV.PV/MV.PV。图 11.1 描述模型 771 为闭环响应模型, 正如从初始的工厂测试确认的那样。而模型 772 描述由于操作变量调整控制器的调节或未测量的干扰的影响引起来自模型 771 的偏差。注意, 在新的过程条件下模型 772 是真实的模型; 然而, 用于控制器中的过程模型并不能反映这种新的闭环模型。因此, 很明显存在着模型不匹配。这在图 11.2 中表示为它涉及受操作变量影响的受控变量。图 11.2 中的模型 871 是与图 11 的闭环模型 771 一致的从最初工厂测试中确认的原始模型。而模型 872 是根据模型 772 的操作变量的改变的闭环特性的正确的模型。注意, 模型 872 还没有确认而且该控制器仍然使用模型 871 来预测受控变量的响应。在这种情况下图 11.2 中的模型 870 是核心过程模型。

[0197] 在这种情况下, 核心过程模型 870 将正确地预测受控变量的值是低于使用过程模型 871 所预测的值。事实上, 在这种特例情况下, 核心过程模型 870 正确地预测受控变量的值, 使得根据等式 2.5 的偏差校正 B 为 0。这个结果是不期望的, 因为根据定义核心过程模型 870 是与操作变量调整调节无关的, 因此响应未测量的干扰影响正确地预测受控变量。因此, 基于核心过程模型的受控变量预测正确地减低在偏差校正计算中的“增益变化”误差。因此, 不会出现自身引入的误差的周期。

[0198] 一旦根据上述方法更新过程模型, 它们可以基于操作变量和测量的干扰的过去变化预测未来的系统响应。也就是说, 如果我们知道在过去的一个稳态时间期间内所有独立变量如何变化的话, 假定没有其它独立变量改变, 我们可以使用更新的模型来预测非独立变量在未来的一个稳态时间内如何变化。这说明使用更新模型来进行预测。给定

基于没有其它独立变量变化的该预测的未来过程响应并给定所有独立和非独立变量的约束，更新的模型可以用来规划操作变量移动的策略以保证所有操作变量和非独立变量在约束条件内。这说明使用该更新模型来控制。

[0199] 揭示本发明的另一个优选实施例，关于它用于规划线性动态模型的确认的工厂测试。

[0200] 等式 1 可改写为：

$$\text{MPC}(\text{CV}_i/\text{XV.XP}_j) = \text{MPC}(\text{CV}_i/\text{XV.PV}_j) * \text{MPCPX}(\text{XV.PX}_j/\text{XV.PV}_j) \dots \dots 3$$

[0202] 此外，

$$\text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.XP}_j) = \text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.PV}_j) * \text{MPCPX}(\text{XV.PX}_j/\text{XV.PV}_j) \dots \dots 3.1$$

[0204] 等式 3 和 3.1 基本上提供一种导出基于 SP 的 $\text{MPC}(\text{CV}_i/\text{XV.XP}_j)$ 和 $\text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.XP}_j)$ 模型的方式，这是等式 1 和 2 要求的、从基于它们相应的 PV 的模型即 $\text{MPC}(\text{CV}_i/\text{XV.PV}_j)$ 和 $\text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.PV}_j)$ 得到的。这允许从工厂测试中确认 $\text{MPC}(\text{CV}_i/\text{XV.PV}_j)$ 和 $\text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.PV}_j)$ 并且随后将它们转化为基于 SP 用于模型预测控制器。因此，可得到工厂确认的可选方法，其中如本领域的实践，为了确认操作变量核心过程模型，进行初始工厂测试后是上述额外工厂测试。然而，对于模型确认来说，不使用操作变量设定点作为独立变量，而是使用操作变量过程值作为独立变量。这将得到 $\text{MPC}(\text{CV}_i/\text{XV.PV}_j)$, $\text{MPCPV}(\text{CV}_i/\text{XV.PV}_k)$, $\text{MPCPV}(\text{XV.PV}_i/\text{XV.PV}_j)$ 和 $\text{MPCPX}(\text{XV.PX}_k/\text{XV.PV}_j)$ 的确认。使用等式 3 和 3.1，根据要求所有的这些模型都可转化为以等式 1-2.3 工作。

[0205] 确认基于 PV 的模型的上述方法之后是转化为基于 SP 模型提供工厂测试和模型确认的更加有效和省时的方法。通常使用基于 SP 的方法相反，在基于 PV 的模型确认中，更多的工厂测试数据是有用的。基于 SP 的方法要求在模型确认中使用的数据不含有阀饱和并且所有的操作变量过程值都在或邻近它们的设定点。这两点都要求测试更多的数据和更长的时间，但是基于 PV 的方法这两个条件不是严格捆绑的。

[0206] 如上所述的过程模型和子过程模型可以结合入仿真器，它可以允许操作者在变化包含操作变量控制器调节和配置的变化的工厂情况中进行训练。如上所述的模型还可以被更新用来处理不同的操作者的动作、工厂事件和非正常操作情况。更新的模型可以用来更新控制器的动作，因此在训练操作者专注于过程的一部分时，训练他控制器如何继续控制过程的其余部分。这将有助于增加控制器的在线使用。

[0207] 发明的应用性

[0208] 在过去，当 PID 控制器重新调节或者当重新配置调节控制方案时，进行新的工厂测试并构造新的模型集。本文件中叙述的本发明根据变化的配置提供一种适应并更新控制器模型的方法，而不必执行另一个工厂测试。

[0209] 适应控制器模型的这个能力允许在线以及离线使用。对于在线使用，控制器模型可以相当容易地更新而且控制器的位移矩阵可以重新计算。对于可调节控制器配置变化的每个变化，在线实现自动的过程进行更新，而没有任何操作者 / 工程师的干涉。

[0210] 本发明的一个关键优点是：可以在一个调整配置中测试过程和基于模型的控制器可以被指派不同的配置。短暂的阀门饱和可以很容易地利用操作者的干预进行处理。

[0211] 因此，这项新发明允许高保真的结构，可用的离线过程仿真器和提高实现和保持基于模型的控制应用的能力。

[0212] 虽然已经揭示并且在附图中描述了本发明的优选形式，由于优选形式的变化对本领域的技术人员来说是很明显的，本发明不应局限于描述的这些特定形式，而是在阅读前面公开的内容时由权利要求书提出的内容限定。

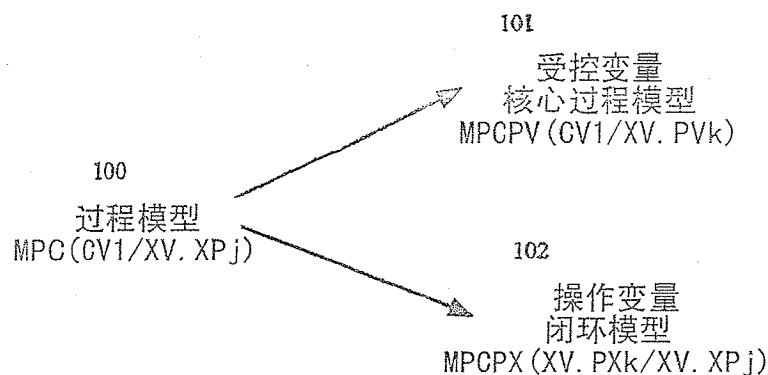


图 1.1

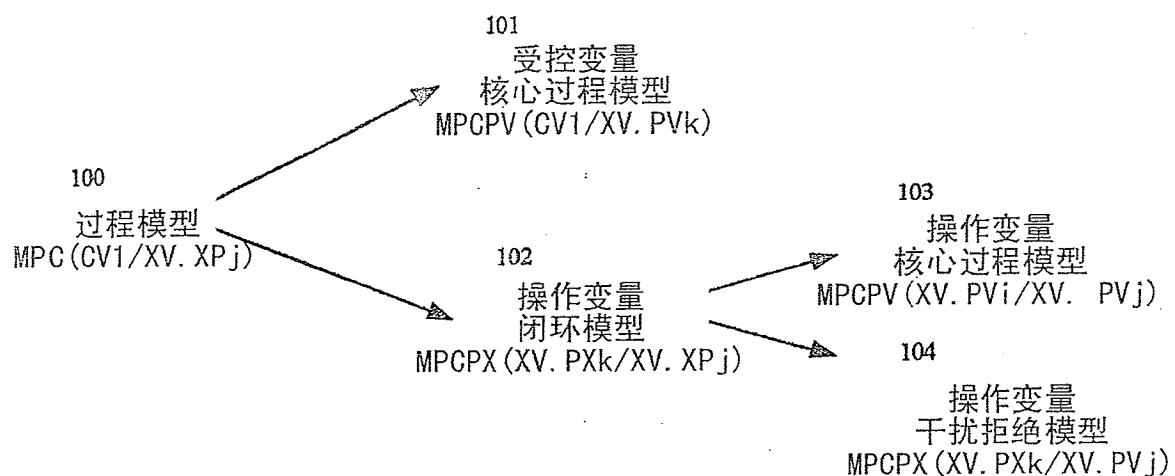


图 1.2

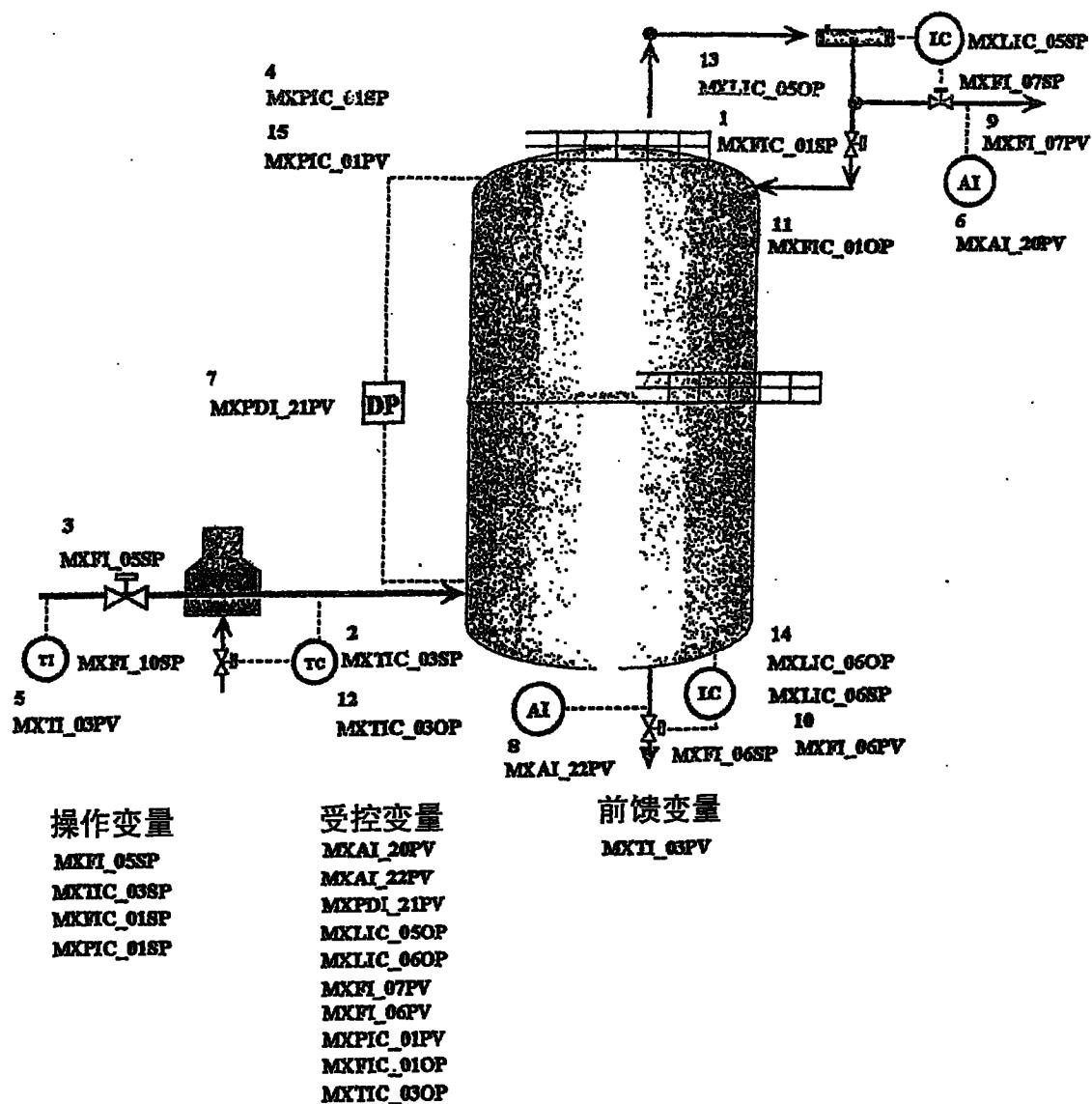


图 2

例子：闪存列

逻辑名	操作的过程变量	描述	英文单元	标记（见图1）
MV1	MXFIC_01SP	顶端逆流控制器设定点	MBLD	1
MV2	MXTIC_03SP	进给温度控制器设定点	degF	2
MV3	MXFL_05SP	进给流控制器设定点	MBLD	3
MV4	MXPIC_01SP	列压力控制器设定点	PSIA	4
FV1	MXTIC3_PV Controlled	进给入口温度	degF	5
CV1	MXAI_20PV	上部产品纯度	%mole	6
CV2	MXPDL_21PV	列压力微分	psia	7
CV3	MXAI_22PV	底部产品纯度	%mole	8
CV4	MXFL_07PV	顶端产品流	MBLD	9
CV5	MXFL_08PV	底部产品流	MBLD	10
CV6	MXFIC_01OP	顶端逆流控制器输出	%	11
CV7	MXTIC_03OP	进给温度控制器输出	%	12
CV8	MXLIC_05OP	顶级控制器输出	%	13
CV9	MXLIC_06OP	低级控制器输出	%	14
CV10	MXPIC_01PV	列压力	PSIA	15

图 3

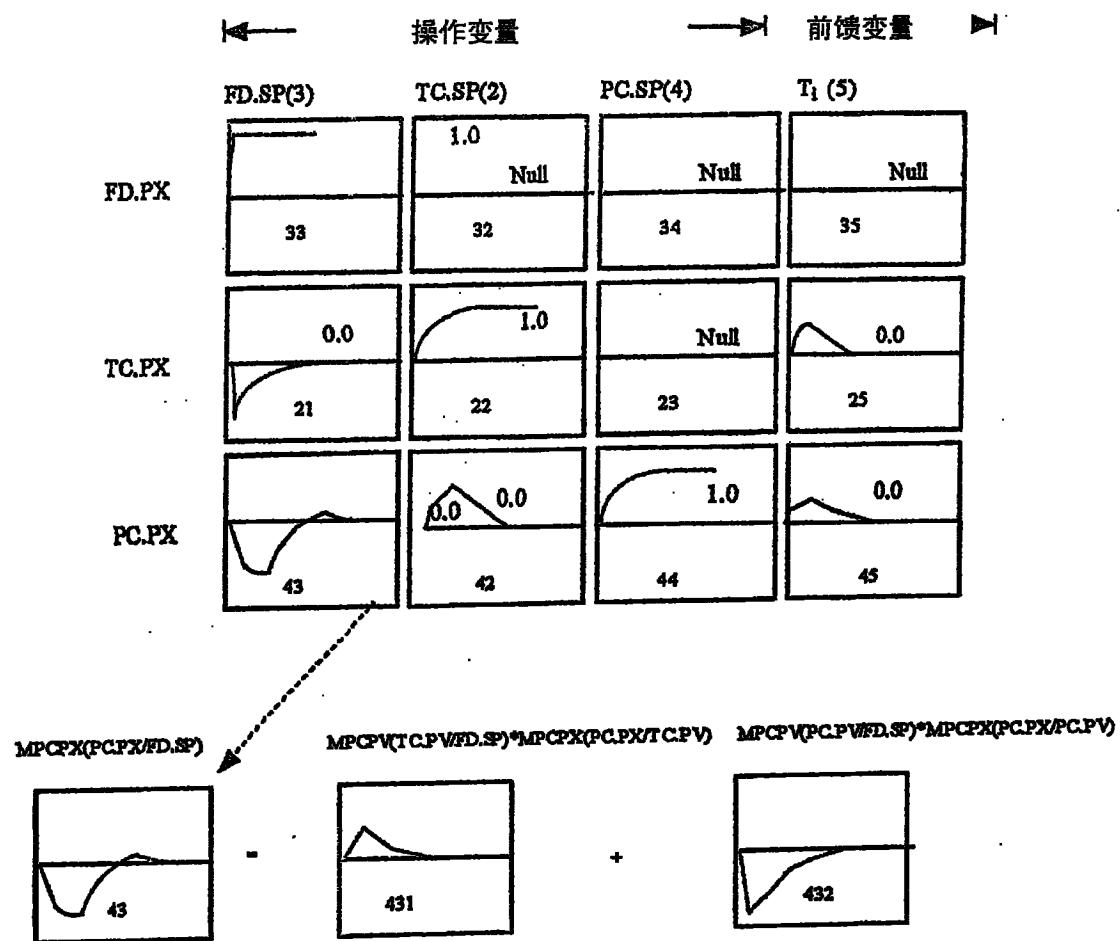


图 4.1

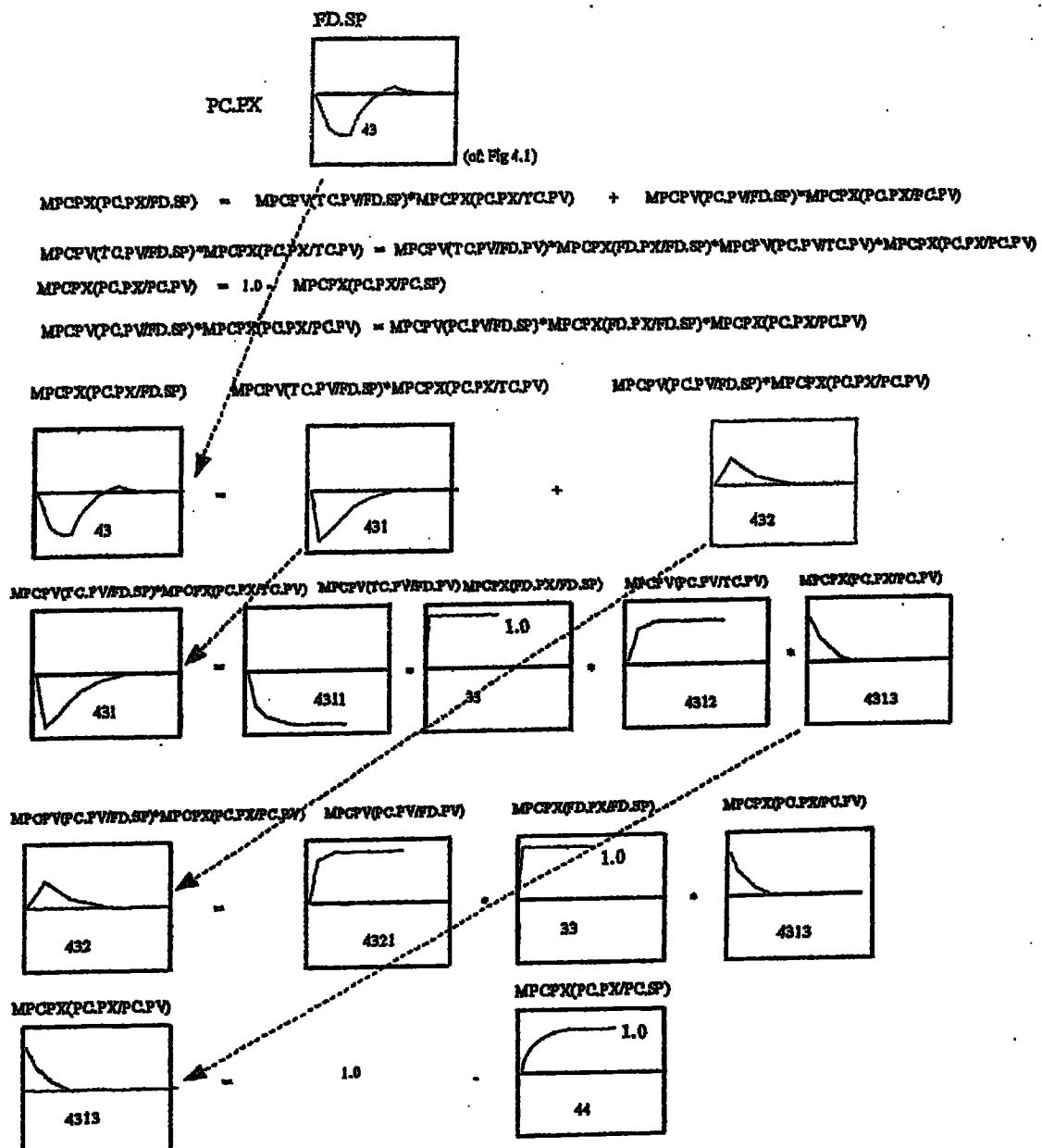


图 4.2

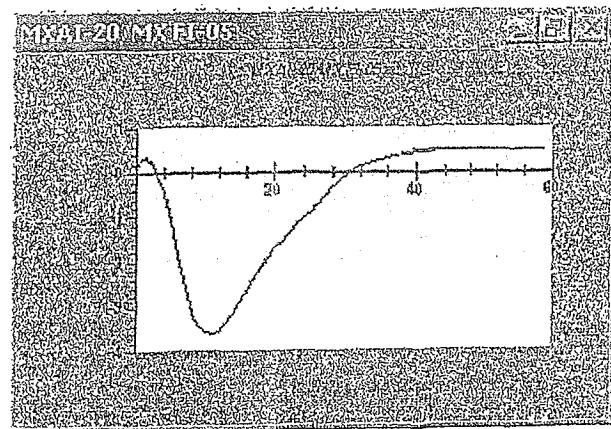


图 5.1

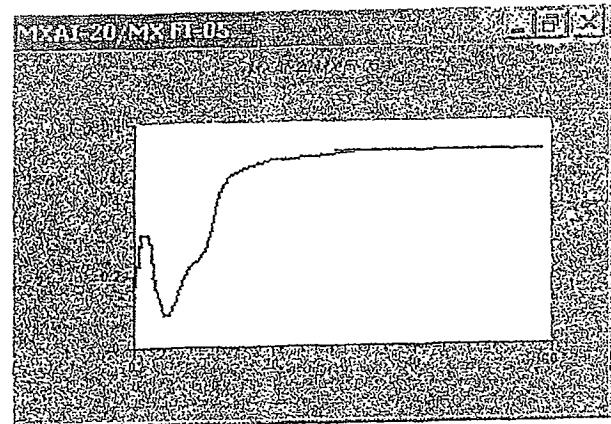


图 5.2

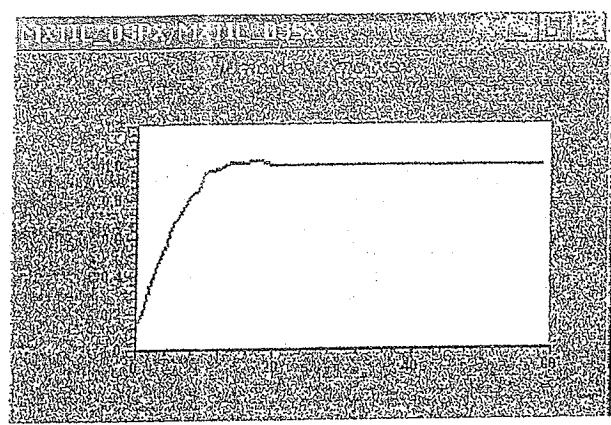


图 6.1

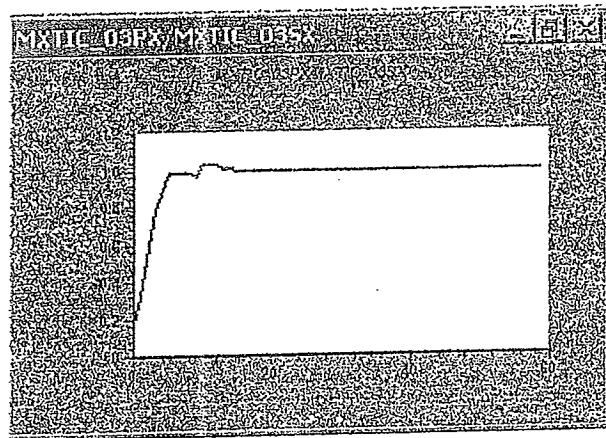


图 6.2

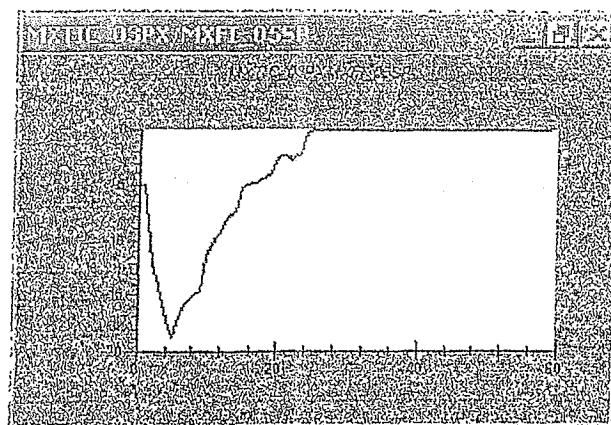


图 7.1

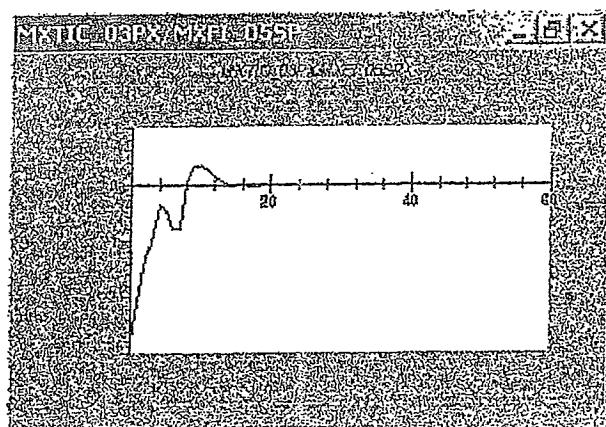


图 7.2

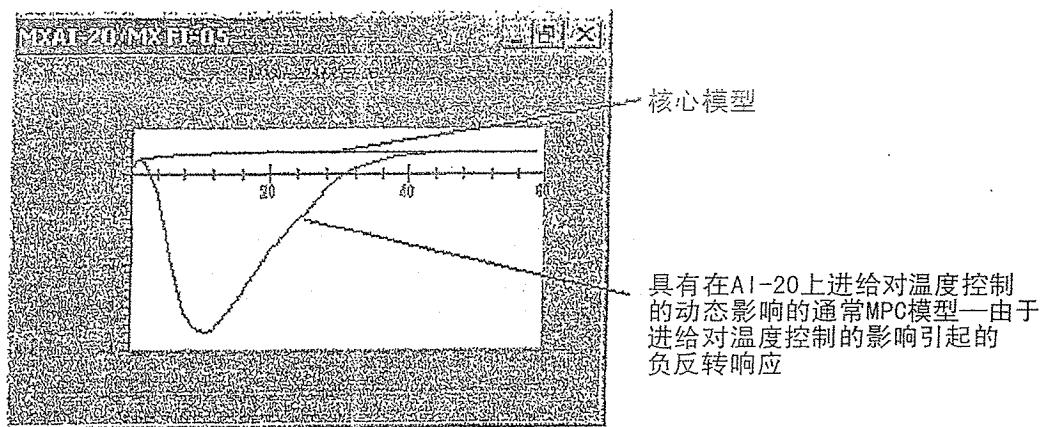


图 8.1

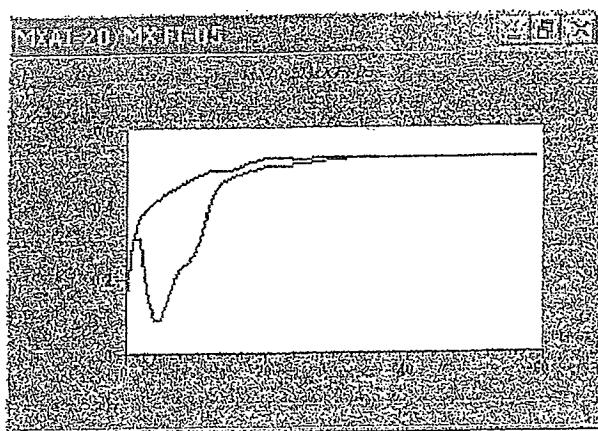


图 8.2

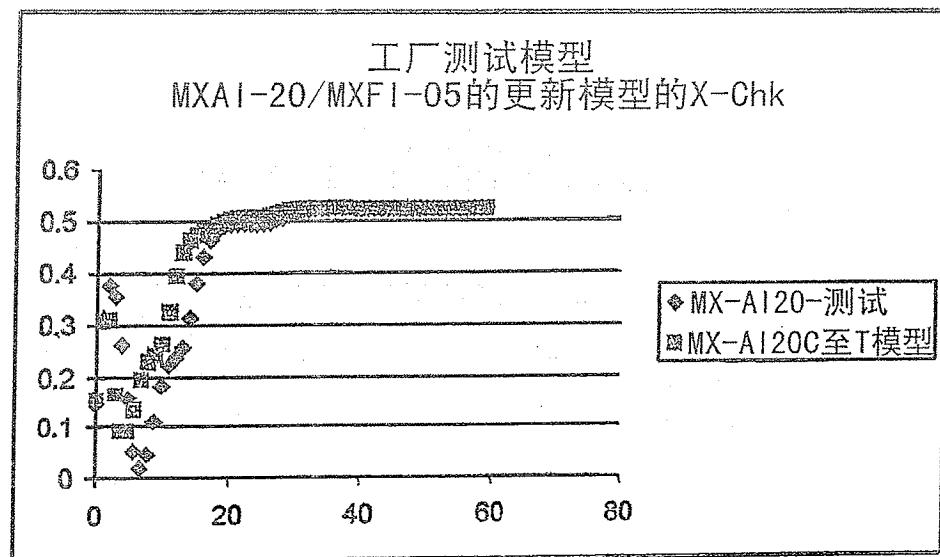


图 9

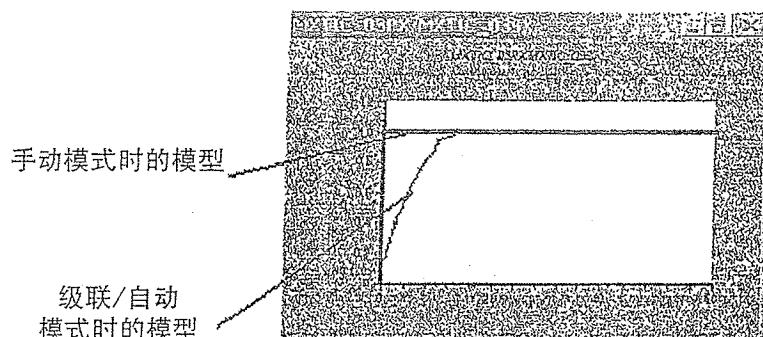
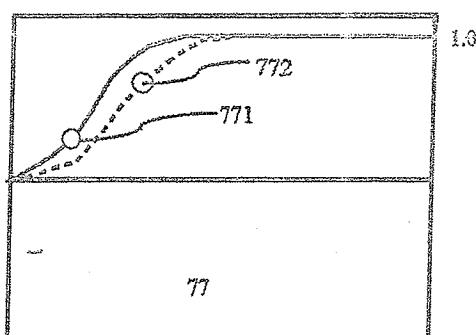


图 10

MV.PV/MV.SP



CV.PV/MV.SP (包括 CV.PV/MV.PV)

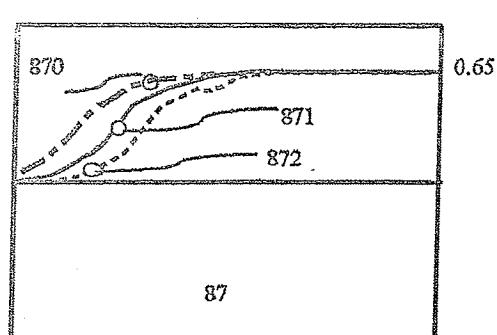


图 11.1

图 11.2