



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101978405 B

(45) 授权公告日 2013. 04. 03

(21) 申请号 200980109308. 7

(22) 申请日 2009. 02. 17

(30) 优先权数据

61/029, 191 2008. 02. 15 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 09. 16

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2009/034337 2009. 02. 17

(87) PCT申请的公布数据

W02009/103089 EN 2009. 08. 20

(73) 专利权人 因文西斯系统公司

地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 G·麦金 P·卡布哈里

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 李向英

(51) Int. Cl.

G09B 9/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 7257523 B1, 2007. 08. 14, 全文.

US 2007/0208549 A1, 2007. 09. 06,

摘要, 附图 1, 2, 6, 说明书第

10-14, 25-27, 37-38, 43-44, 51, 92-93 段.

US 2005/0223120 A1, 2005. 10. 06, 全文.

审查员 何理

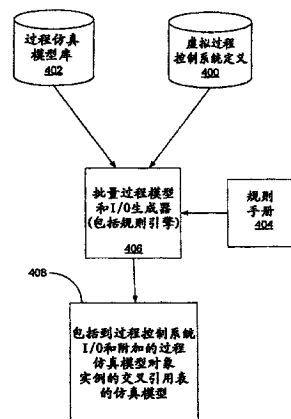
权利要求书 1 页 说明书 21 页 附图 19 页

(54) 发明名称

为过程控制系统检验和操作员训练自动生成仿真的系统和方法

(57) 摘要

本文公开了用于自动地生成分布式控制系统的仿真的方法和系统。编程的过程模型生成器自动地将来自预定义模型库的各种过程模型数据包括到包括控制设备的过程设备的描述中, 以提供各种保真度的仿真模型。



1. 一种用于为虚拟运行时环境中的控制系统检验自动地提供回接仿真模型的计算机化方法,所述方法包括:

由计算设备创建要被仿真的所述控制系统的至少一部分的虚拟表示,所述虚拟表示包括一个或多个所定义的元件和一个或多个 I/O 组件;

由所述计算设备提供仿真模型库,所述仿真模型库包括表示对仿真的控制系统中的输入的过程组件响应行为的一个或多个回接模型;

由所述计算设备将所述控制系统的所述定义的元件应用到所提供的仿真库中的所述一个或多个回接模型,以自动地创建一个或多个过程仿真模型对象;以及

由所述计算设备将所创建的所述一个或多个过程仿真模型对象连接到所述控制系统的所述虚拟表示的所述一个或多个 I/O 组件,以为所述虚拟表示呈现所述回接仿真模型。

2. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述控制系统的至少一部分的所述虚拟表示包括控制处理器表示。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中,所述虚拟表示包括与所述控制处理器表示相关联的功能块表示。

4. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述控制系统的至少一部分的虚拟表示包括物理输入/输出接口表示。

5. 如权利要求 3 所述的方法,其中,所述连接步骤包括将所述物理输入/输出接口表示的实例连接到所述过程仿真对象。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其中,连接是通过将所述过程仿真模型对象绑到所述控制系统的虚拟表示的所述 I/O 组件的交叉引用表来实现的。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述仿真模型库包括实现各种传输函数的各种过程模型块,所述传输函数用于响应于来自控制系统输出块参数的输入而提供输出。

为过程控制系统检验和操作员训练自动生成仿真的系统和 方法

[0001] 对相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于 2008 年 2 月 15 日提交的 McKim 等人的美国临时专利申请系列 No. 61/029, 191 的优先权, 本文引用该申请的全部内容作为参考, 包括其中包含的任何引用的内容。

技术领域

[0003] 本发明一般涉及可编程 / 可配置的计算机化分布式控制系统的领域。更特别地, 本发明涉及用来在上线之前在分布式控制系统的特定配置上检验和 / 或训练操作员的仿真器。

背景技术

[0004] 新的或翻新的制炼厂 (发电厂、化工厂、炼油厂等等) 的设计和建设惊人复杂和昂贵, 涉及来自许多不同的公司和学科的设计师、工程师, 以及施工队, 大家都试图并行地执行他们的工作, 以在尽可能最短的时间内建成工厂并使它投入运行。通常, 有一个负责工厂的设计、建设, 以及向最终客户“交钥匙”的实体: 工程总承包 (EPC) 承包商。EPC 转包并管理单个供应商, 包括控制系统和操作员训练仿真器提供商。

[0005] 工厂越快投入运行, 最终客户就越快地开始在他们的生产上赚取收入, 对于大型工厂, 有时每天总额容易地就达到数百万美元。如此, 使用项目奖励和处罚来刺激供应商加快进度。对于控制系统 (及其他) 提供商, 这样做的负面的方面是, 工厂设计会是“反复的”, 因为多个团队争着完成他们的工作, 导致主要系统设计修改, 这些修改会潜在地迫使返工。取决于合同结构, 这些返工成本并不总是可补偿的。

[0006] 除工厂控制系统之外, 有时, 完整合同需要工厂操作员训练仿真器 (OTS)。OTS 是与最后的控制系统连接的过程模型, 其具有长的开发交付周期, 常常必须等待工厂物理设计和控制系统完成, 它本身才能完成。然而, OTS 常常需要比工厂运转大大地提前, 以允许有足够的时间来进行训练, 因此, 严重地受制于其他项目约束。虽然相对于建造工厂的总成本而言微不足道, 但是, 控制系统和 OTS 对于工厂所有者来说常常是非常高的风险因素。如果它们不能准时完成或质量差, 则在解决问题的同时可能会造成数千万美元的收入损失。对完全高保真 OTS 执行控制系统检验已经被证实能大大地提高质量和性能。

[0007] 实现制炼厂 (例如, 发电厂、化工厂、炼油厂等等) 的新控制系统 (例如, 控制、安全、烟火等等) 潜在地会非常复杂。然而, 新控制系统的正确设计对于制炼厂的安全和有效的操作非常关键。实现过程的一部分涉及验证控制系统设计。然而, 在将系统上线之前很难实现对设计的验证, 因为验证取决于向 / 从控制系统正在作用的物理过程发送和接收有效刺激的过程控制元件。另外, 分布式控制系统的控制系统软件通常包括好几千个控制块和到工厂的接口 (I/O) 点。因此, 在检验期间检验已配置的控制系统软件的配置和操作是非常费时的。

[0008] 图 1 示出了工厂控制系统的典型的硬件布局。为描述说明性实施例,控制系统潜在地包括,除分布式控制系统之外,安全仪表系统、紧急停机系统,烟火系统或其任何组合。控制系统使用控制块来执行逻辑和数学函数以控制工厂中的物理过程。这些是由系统的控制处理器(参见图 1,控制处理器)来处理的可配置软件块。图 2 中提供了一组控制块的说明性描绘。图 2 示出了:手动/自动站,当处于手动状态时,该手动/自动站允许控制系统操作员输入所需过程值;开关块,取决于输入模式在两个输入之间进行选择;以及遵循/保持块,取决于输入模式,该块遵循输入或“保持”原样。说明性控制块对来自工厂中的过程仪表的反馈刺激/值(F3)作出响应,并且这些控制块将它们的输出(F1)发送到工厂中的物理控制设备(致动器、泵、马达等等)。去往/来自工厂仪表和致动器的通信是经由输入/输出模块(I/O 模块)进行的,如图 1 所示。

[0009] 控制系统的正确操作取决于控制块的设计和布局——一般分配给控制系统应用工程师的任务。尽管控制块可以根据设计最佳实践被创建或作为基础,但是,在没有适当的测试技术的情况下,测试正确功能的过程控制逻辑是困难的或者甚至不可能的,直到系统安装在工厂中。不能“预先测试”过程控制逻辑潜在地对用于在工厂中安装新的/重新设计的过程的项目引入了高风险元素。在没有预先测试/验证的情况下安装过程控制逻辑的风险包括由项目延迟所引起的财务困难,对设备的损坏,以及对人员的伤害。应用工程师通过简单地仿真工厂行为来对过程控制系统执行简单的测试,然而,在已知测试系统中,仿真的质量一般较低,需要对过程控制系统逻辑进行修改,只是为能够进行测试,创建起来费时。下面将概述已知的测试系统的说明性示例。

[0010] 用于分布式过程控制配置的回接型(tieback-type)测试(响应于由控制逻辑所提供的控制输出,将输入反馈到过程控制逻辑)的已知方法需要实际各种过程控制系统硬件(例如,控制处理器)的布置来实现测试。一种类型的回接仿真(参见,例如,图 3A)涉及将要组合的整个硬件和软件系统搭建起来,其中通过使用实际线路或信号发生器将输出信号(表示来自被仿真的过程的信号值)回送到 I/O 模块上的输入信号。

[0011] 另一方法(参见,图 3B 和 3C)涉及在实际控制系统软件内构建仿真型块,并将仿真块连接到 I/O 软件块。图 3B 和 3C 中所描绘的方法不需要将控制逻辑的输入/输出参数连接到实际(物理)I/O 模块,然而,控制逻辑(包括仿真块)仍被加载并在现实的控制处理器上运行。还有必要修改 I/O 软件块,以关闭到 I/O 硬件的连接(参见,图 3B、AOUT 和 AIN I/O 连接),并重新配置打算连接到 I/O 硬件的每一个块,以接受来自仿真块的输入。

[0012] 用于仿真/测试的另一已知方法(参见,图 3D)使用市场上可买到的仿真软件来提供简单的过程仿真。类似于第二种方法,I/O 控制块被修改,以关闭它们的到物理 I/O 模块的连接。例如,在操作员的计算机系统上运行的外接的仿真软件,经由专用应用程序接口(API)来读/写到 I/O 块。此软件潜在地包括快速配置器,以基于 I/O 块命名约定,将仿真器算法连接到单一输入和输出块。

[0013] 对于如前所述的现有的回接仿真方法:(1) 所有都需要实际控制系统硬件,包括网络接口(第一方法需要实际 I/O 模块);(2) 第二和第三方法要求修改控制系统配置,以关闭到物理 I/O 的连接;以及(3) 所有三种方法都没有用于将控制系统和模型状态设置/复位到所需初始条件的机制。

[0014] 动态过程仿真作为工具检验工厂控制或安全系统的性能,以及作为操作员训练仿

真器,对于从验证制炼厂(发电厂、化工厂、炼油厂等等)的设计的一切,都是非常宝贵的工具。然而,当提供动态过程仿真时,面临着几个挑战,包括:开发时间长,需要高度熟练的仿真领域专家,很可能在开发仿真器设计/配置的同时,工厂和/或控制系统设计也会演变-这会导致返工仿真,实际工厂规模(以及相关关联的控制系统)常常非常巨大-需要大型开发团队来构建和配置过程模型;过程设计可以包括来自完全不同的数据源的描述,包括设备数据表,示出了工厂过程的布局的管道及仪表图(P&ID),以及仪表列表。

[0015] 许多过程控制系统,如在发电厂或炼油厂实现的那些过程控制系统,需要在部署之前检查其正确的设计、配置以及连接。做不到这一点会导致工厂故障,潜在地导致性能效率低下,对工厂设备造成损坏或对人员造成伤害。

发明内容

[0016] 本文描述了用于生成用于在分布式控制系统配置的检验和操作员训练中使用的仿真定义的仿真生成器和方法。描述了到控制系统的过程仿真接口。所产生的过程控制仿真器支持仿真工厂的物理过程,以便向控制系统提供现实的刺激,以便可以验证其正确的行为。

[0017] 为实现过程仿真的计算机自动化的构建,提供了基于规则的仿真生成器,该生成器解释所提供的控制系统设计,并自动地创建所需的过程模型,并将它们连接到控制系统接口点-如此,使得从配置的过程控制设计来创建控制系统检验仿真完全自动地进行。过程控制系统的检验是在虚拟环境中进行的,例如,在个人计算机或其联网的装置中,如此,消除了要求整套的控制系统硬件(例如,控制处理器)和软件。

[0018] 自动化工具从多个工厂设计资源(例如, P&ID) 收集所需数据,并进行合成,以创建、配置以及参数化动态过程仿真模型,以提供自动地创建的工厂过程仿真器,用于过程设计分析、控制系统设计检验以及操作员训练和熟悉。

[0019] 还描述了包括过程参数之间的一组因果关系的过程仿真模型。在设计环境中作为矩阵定义了这样的因果关系,其后,将该矩阵包括到连接到过程控制系统的一组 I/O 块的建模的过程的动态仿真中。

附图说明

[0020] 尽管权利要求详细地阐述了本发明的特征,但是,通过下面的结合附图对本发明进行的详细描述,可以更好地理解本发明以及其目的和优点,其中:

[0021] 图 1 是描绘了工厂控制系统的典型的硬件布局的示例性网络图示;

[0022] 图 2 说明性地描绘了一组控制块;

[0023] 图 3A-D 说明性地描绘了过程控制的已知的仿真硬件/软件布置;

[0024] 图 4A 和 4B 说明性地描绘了根据说明性示例性实施例的仿真生成和执行布置;

[0025] 图 5 说明性地描绘了用于实现根据示例性实施例的仿真的替代硬件布置;

[0026] 图 6 说明性地描绘了示例性规则手册编辑器界面;

[0027] 图 7 描绘了使用正则表达式约定定义的示例性搜索/替换记号;

[0028] 图 8 说明性地描绘了管道和仪表示例的图形;

[0029] 图 9 是用于使用一组预定义的映射文件(规则)和转换函数来将来自智能 P&ID

图形（源）的数据对象转换为过程仿真模型对象（目标）的示例性工作流；

[0030] 图 10A 说明性地描绘了转化过程（从 P&ID 图形形式到过程仿真模型对象图形）的示例；

[0031] 图 10B 说明性地描绘了示例性用户界面，该用户界面包括用于呈现来自容器过程仿真模型的实时数据输出值的对话框；

[0032] 图 10C 说明性地描绘了示例性模型配置拓扑（例如，过程流连接），由“转化器”从 SP P&ID 提供的，并呈现于示例性“拓扑”对话框中；

[0033] 图 11A 示出了转化框架，其中，稳态分析输出和管道安装图与智能 P&ID 图形定义相结合，以为管道提供完全参数化的过程仿真模型；

[0034] 图 11B 提供示例性源对象的 AABCC 设备码，以及 P&ID 到模型映射文件内容；

[0035] 图 12 概述了由本文所描述的自动化转化器框架实现的示例性工作流；

[0036] 图 13 描绘了示例性用户界面，该用户界面描绘了仪器映射表的内容；

[0037] 图 14 示出了在 SmartPlant P&ID 本机用户界面环境中可用的一些配置数据；

[0038] 图 15 提供了与过程仿真模型生成器的转化框架相关联的支持扫描定制 AABCC 码数据库的工具的示例性用户界面（对话框）；

[0039] 图 16 描绘了用于从 SP P&ID 对象生成过程仿真模型的示例性工作流；

[0040] 图 17 说明性地描绘了示例仪器映射文件和测量的单位映射文件的内容；

[0041] 图 18 是表示 P&ID 的小节的示意图；以及

[0042] 图 19 是与图 18 中所描绘的过程单元仿真模型相对应的因果矩阵。

具体实施方式

[0043] 下面的描述基于本发明的各说明性实施例，不应该理解为关于本文没有明确描述的替代实施例限制本发明。

[0044] 参考各种级别的测试 / 仿真细节来描述本文所描述的过程控制系统仿真生成器和平台。下面的定义涉及本文所包含的示例性过程控制测试 / 仿真软件 / 系统的描述。使用“回接”仿真来实现设备级别的仿真，“回接”仿真涉及单回路控制（在控制回路之间没有交互）仿真。“设备级别”的仿真涉及对一个过程设备进行建模，并潜在地涉及多个回路（交互）测试。再一种类型的仿真应用物理 / 化学原理来在工厂级别执行过程控制系统仿真，其中，根据包括工厂设备和其中处理的材料的实际物理特征（例如，管道尺寸 / 连接 / 弯曲）的详细的仿真模型，来仿真整个过程 / 工厂的管理。

[0045] 本文所描述的对已知仿真生成器和平台系统的第一增强提供对测试控制的高度自动化的回接模型构建器（低保真度仿真）。说明性系统利用已有的现有 SIMSCI-ESSCOR FSIM/TRISIM/Dynsim 产品性能来提供下面的功能：

[0046] 自动构建仿真模型和交叉引用数据库表；

[0047] 提供使用控制块命名约定的用于生成仿真的用户定义的规则手册；以及

[0048] 提供用于并入自动地生成的仿真中的简单回接功能（锁存、时间延迟等等）的库。

[0049] 对已知仿真系统的第二增强使得用户能够为过程构建简化的、非第一原理仿真模型，并允许这些非第一原理仿真模型被自动地生成。对已知仿真系统的第二增强支持下面的功能：

[0050] 使用 Intergraph SmartPlant (SP) 数据库, 以及, 在必要时, Invensys Systems 公司 I/A 过程控制配置的组合, 自动构建仿真模型和交叉引用数据库表;

[0051] 基于在 SmartPlant 管道和 Instruction Diagram (SP P&ID) 上发现的对象和仪器, 自动创建 SIMSCI-ESSCOR Dynsim 模型对象。例如, 用户可以查找仪器标签, 并查看标签被附加到的设备 / 元件 (阀门、马达、容器);

[0052] 提供与使用用户社区定义的模板库相结合地使用控制块命名约定的用户定义的规则手册;

[0053] 支持使用标准 SIMSCI-ESSCOR Dynsim 图形用户界面来创建和修改仿真模型;

[0054] 支持单向的, 一次性的模型创建 (如果由于对 IO 配置的更改而重新创建模型, 则手动编辑丢失);

[0055] 支持来自 SmartPlant P&ID (SP P&ID) 的单元操作级别的仿真;

[0056] 提供来自 SP P&ID 定义对象的设备级别的仿真模型;

[0057] 产生在单一 P&ID 对象定义上表示的单元的操作的非物理过程模型;

[0058] 以固定边界条件的形式提供到其他工厂区域的接口; 以及

[0059] 支持单个单元操作上的几个回路的测试交互;

[0060] 本文所描述的对增强的过程仿真器模型生成和平台系统的第三方面以下涉及提供高度自动化的“因果”过程仿真模型构建器。所产生的过程仿真模型适合于操作员训练仿真器和 / 或严格的控制配置测试 / 检验。对过程仿真器模型生成系统的第三增强支持下面的功能:

[0061] 使用 Intergraph SmartPlant (SP) 数据库, 以及, 在必要时, Invensys Systems 公司 I/A 控制配置的组合, 自动构建过程仿真模型和交叉引用数据库表;

[0062] 在过程 / 动态仿真工程诀窍中提供用户定义的规则手册构建;

[0063] 支持不以数字稳定的方式执行的模型, 无需手动地应用以制作可使用工厂模型的工程专业知识;

[0064] 支持单向的, 一次性的模型创建 (如果由于对 IO 配置的更改而重新创建模型, 则手动编辑丢失);

[0065] 从 SP P&ID 创建整个过程仿真模型, 包括将每一种类型的 P&ID 图形对象解释为合适的类型仿真模型对象, 并可能同时创建稳态过程流工程分析模型;

[0066] 通过经由 SmartPlant Foundation 链接过程流数据以初始化 SIMSCI-ESSCOR Dynsim 过程仿真模型, 支持初始化来自稳态数据提供商 (如 Pro II) 的模型。由 SIMSCI-ESSCOR 所提供的 ProII, 是稳态仿真器, 它使控制工程师能生成用于配置高保真度过程仿真模型的设计数据 (P&ID 通常不带该功能)。

[0067] 在再进一步增强增强中, 仿真器生成和平台系统支持仿真环境和仿真系统的数据源之间的双向数据传输, 同时保持数据完整性。完整性任务包括确保手动模型更改不被覆盖, 并捕捉手动更改并传播回 SmartPlant Foundation™ (SPF)。

[0068] I. 回接过程仿真模型的自动批量生成

[0069] 本文描述了基于计算机的仿真生成系统和方法, 它们实现快速、准确, 有成本效益地生成用于验证过程控制系统逻辑设计的仿真模型。逻辑设计包括, 例如, 在运行时过程控制环境中的一个或多个控制处理器内执行一组功能块。过程仿真模型和过程控制逻辑在例

如在单一独立个人计算机上运行的单一仿真平台上执行。仿真生成方法和仿真平台允许在过程控制系统逻辑（例如，功能 / 过程控制块）安装在工厂过程控制硬件（例如，控制处理器）上之前对控制逻辑进行验证。

[0070] 转向图 4A，实现回接过程仿真的仿真生成器包括下列组件：(1) 虚拟过程控制系统定义 400（例如，控制处理器和相关联的到过程的物理 I/O 接口），(2) 包含一组过程仿真模型的仿真库 402，以及 (3) 批量过程模型和 I/O 生成器 406，它将来自库 402 的选定的过程仿真模型的实例连接到虚拟过程控制系统 400 的 I/O，以提供仿真模型 408，仿真模型 408 包括仿真模型实例以及将仿真模型实例绑到虚拟过程控制系统定义 400 I/O 的交叉引用表。

[0071] 在一示例性实施例中，过程仿真模型库 402 包括一组回接模型，这些回接模型包括各种过程组件响应行为，用于仿真由虚拟过程控制系统定义所表示的控制系统配置。下面所提供的表描述了过程仿真模型库 402 中所包含的示例性回接仿真模型块组合。

[0072]

要建模的系统	动态仿真过程 库(402)实体	备注
累加器(积分器), %	PID	KP 和 KD = 0
同上,但是,以工程单位制表示(即, lb/hr、psi 等等)	PID	KP 和 KD = 0
对若干个输入进行 AND 运算,然 后,与另一组进行 OR 运算	AND, OR	作为一系列块或作为 xref 中 的公式来实现
利用 Equal Percent 修整来确定阀门 的流量	VALVES	阀门对象具有可挑选的修整 类型
利用线性修整来确定阀门的流量	VALVES	阀门对象具有可挑选的修整 类型
一阶滞后	LEADLAG	滞后模式
同上,但是,以工程单位表示(即, lb/hr、psi 等等)	LEADLAG	滞后模式
将输入相加	SUM	将输入相加
同上,但是,以工程单位表示(即, lb/hr、psi 等等)	SUM	将输入相加
如果条件是 FALSE,则设置输出= 输入	SWITCH	带有逻辑切换输入的双输入 开关,或带有 IF 的公式(test, true_value, false_value)
如果条件是 TRUE,则设置输出=输 入	SWITCH	带有逻辑切换输入的双输入 开关,或带有 IF 的公式(test, true_value, false_value)

[0073]

如果条件是 TRUE, 则设置输出=输入	SWITCH	带有逻辑切换输入的双输入开关, 或带有 IF 的公式 (test, true_value, false_value)
同上, 但是, 以工程单位表示 (即, lb/hr、psi 等等)	SWITCH	带有逻辑切换输入的双输入开关, 或带有 IF 的公式 (test, true_value, false_value)
用于建模封闭极限开关	VALVES	阀门具有打开、关闭极限开关功能
$\text{= Input 1 + Scale * (Input 2 - Input 1)}$	MISCEQTN	杂项公式块, 或 xref 内的公式字段
锁存	LATCH	锁存块是准确的等效物
如果 $\text{Input} > \text{Limit}$, $\text{Output} = \text{TRUE}$	RLIMIT	所有 Dynsim-L 模拟块都具有上下极限报警功能
如果 $\text{Input} > \text{Limit}$, $\text{Output} = \text{TRUE}$	RLIMIT	所有 Dynsim-L 模拟块都具有上下极限报警功能
高选择	SELECT	SELECT 具有可配置 hi、lo、中值以及平均选择模式
计算卧式油罐中的液面	Dynsim-L	对容器模型使用 Dynsim 压力流解算器
一阶滞后	LEADLAG	滞后模式
一阶滞后	LEADLAG	滞后模式
线性内插	FUNCTION	函数生成器, 或公式中的 CINTRP1 函数
同上, 但是, 以工程单位表示 (即, lb/hr、psi 等等)	FUNCTION	函数生成器, 或公式中的 CINTRP1 函数
下限报警	RLIMIT	所有 Dynsim-L 模拟块都具有上下极限报警功能
同上, 但是, 以工程单位表示 (即, lb/hr、psi 等等)	RLIMIT	所有 Dynsim-L 模拟块都具有上下极限报警功能

[0074]

下选择	SELECT	SELECT 具有可配置 hi、lo、中值以及平均选择模式
打开极限开关	VALVES	阀门具有打开、关闭的极限开关功能
对一组输入进行 OR 运算，然后，与第二组进行 AND 运算	AND, OR	作为一系列块或作为 xref 中的公式来实现
作为指数的函数来计算压降	MISCEQTN	杂项公式块，或 xref 内的公式字段，或 Dynsim-L 压力流解算器
乘以和除以若干个输入	MISCEQTN	杂项公式块，或 xref 内的公式字段
瞬时脉冲	TIMER	计时器具有时间延迟“开”，时间延迟“关”和脉冲功能
输出=输入的逆	MISCEQTN	模拟：Out = 100 - Input; 数字 out = 1 - Input
数学表达式	MISCEQTN	或 xref 内的公式字段
加权平均值	MASTER	带有多个输入的平衡器，或公式

[0075] 上文所描述的过程模型块支持用于控制系统配置的回接仿真的各种传输函数（对来自控制系统输出块参数的输入的响应）。对于单个输入 / 输出回接仿真的受支持的传输函数行为包括：

- [0076] o 直通 (out = in)
- [0077] o 逆变
- [0078] o 时间延迟“开”
- [0079] o 时间延迟“关”
- [0080] o 脉冲
- [0081] o 引导
- [0082] o 滞后
- [0083] o 随机噪声发生器
- [0084] o 积分器

[0085] 在规则的配置期间，当从库 402 指定其中一个仿真模型时，呈现参数输入对话框（图 6 中所描绘的规则手册编辑器界面的右侧屏 510）。参数输入对话框呈现被视为对于由控制工程师进行过程控制系统检验重要的 Dynsim 模型输入参数的列表。在一示例性实施例中，对于每一个模型，准备输入参数列表以及它们的描述等等，并保存在 XML 格式的文件

中。这些参数,例如,按照对于控制工程师重要性的顺序来显示,而用户界面支持经由参数化窗格 510 用户界面的用户更改(用户可编辑的)值。

[0086] 在一示例性实施例中,用户能够从规则手册 404 导出并向其中导入规则。这在一次性地配置规则而多个人使用它们的情况下会有用。

[0087] 虚拟过程控制系统定义与实际管理控制系统设计的功能块相对应。然而,并非在实际控制处理器上执行功能块,虚拟控制系统功能块在虚拟过程控制系统(FSIM)环境中执行,该环境带有耦合到由在个人计算机上运行的动态过程仿真器(例如,来自 SIMSCI-ESSCOR 的 DYNsim 动态过程仿真器)所提供的对应的 I/O 的 I/O。

[0088] 图 4B 中说明性地描绘了所产生的虚拟过程控制系统仿真平台,包括个人计算机 410、仿真模型 408、SIMSCI-ESSCOR DYNsim 动态过程仿真器,以及由 SIMSCI-ESSCOR FSIM 仿真器主持的虚拟过程控制定义 400。此外,图 4B 说明性地描绘了仿真平台(包括仿真模型 408)与仿真模型 408 和虚拟过程控制系统定义所对应的真实过程控制系统的实际组件之间的关系。图的右边所示出的组件(实际控制系统硬件)完全包括在包括,举例来说,通用计算机 410 的仿真平台中。

[0089] 在一示例性实施例中,虚拟过程控制系统定义 400(包括 I/O)是通过初始从其本机硬件操作系统端接控制处理器、控制块,以及 I/O 模块源代码来创建的,以便,举例来说,在包含 FSIM 过程控制仿真器的标准台式机或膝上型计算机上运行。在示例性实施例中,下载与多个被仿真的控制处理器的控制块相对应的控制块,并在包含主机仿真平台的仿真计算机系统上执行,从而以大大地降低的硬件成本提供了过程控制仿真/检验设施。对于非常大型的控制系统,平台通过以联网的方式(例如,图 5)添加额外的标准计算机是可扩展的。

[0090] 被包括到单一通用计算机 410 中的仿真平台将虚拟控制系统(在虚拟运行时环境中运行实际控制逻辑)与过程模型相连接。类似于控制系统块,基于建模的过程的所需特征/特点的过程模型块被配置和连接,以形成工厂的物理过程的表示。这些模型可以是,例如,下列类型:逻辑函数(AND、OR、If-Then),连续的数学函数(拉普拉斯变换型),或基于物理学定律和质量、动量,以及能量守恒定律的第一原理数学模型。过程模型完全经由软件通信协议(即,没有与诸如控制处理器之类的实际控制系统硬件的通信)刺激虚拟 I/O 模块,和/或被虚拟 I/O 模块刺激。

[0091] 批量过程模型和 I/O 生成器 406 实现快速创建过程模型,并将过程模型连接到虚拟控制系统,以提供仿真模型 408。生成器 406 包括计算机可执行的指令,用于自动地:

[0092] 从虚拟过程控制系统定义 400 解析 I/O 块名称,

[0093] 由对每一 I/O 块名称应用由规则手册 404 所指定的一组规则的规则引擎来创建仿真模型(参见图 6 规则手册用户界面),

[0094] 使用由规则引擎所提供的规则,配置和参数化仿真模型,以及

[0095] 自动地将控制程序的虚拟 I/O 块连接到仿真模型输入和输出。

[0096] 在一示例性实施例中,批量模型和 I/O 生成器 406 包括支持诸如搜索和替换、过滤以及宏指令的标准的普遍可用的电子表格程序(参见图 6),作为仿真编辑工具(除包含用于自动地生成仿真模型的计算机可执行指令的规则引擎之外)。

[0097] 图 6 中说明性地描绘了用于创建和查看管理从虚拟控制系统和过程模型库自动

生成仿真模型的规则手册的示例性电子表格用户界面。根据说明性实施例,批量模型和 I/O 生成器 406 内的规则引擎将规则手册中所包含的配置的规则(图 6 中已说明性地描绘)应用到虚拟控制系统定义 400 和过程仿真模型库 402,以提供仿真模型 408。

[0098] 示例性规则手册条目结构中的“启用规则”字段 501 指定是否应该应用特定规则。“覆盖”字段 502 是包括四个选择的多值选择字段:“无”指定 xref 或模型的以前定义的或定制条目都不被覆盖(注意:“无”将覆盖 xref 中的默认点)，“xref”指定覆盖规则所适用的任何 xref 条目，“模型”指定覆盖规则所适用的任何模型条目,以及“两者”指定覆盖规则所适用的模型和 xref 条目。

[0099] 当有一个以上的这样的引擎可用时,控制引擎字段 503A 和模型引擎字段 503B 被用来指定用于生成仿真模型的适当的控制/模型引擎(例如,在示例性实施例中,潜在地有 FSIM 引擎、Trisim 引擎,以及 Dynsim 引擎可用)。

[0100] 过滤器使用出标记字段 504A 和过滤器使用入标记 504B 表明对于搜索与替换操作,哪一个 I/O 点是“搜索”标记,哪一个“粘贴”标记。

[0101] 控制出标记字段 505A 和控制入标记字段 505B 指定用于标识与规则所适用的控制回路相关联的控制系统模拟/数字 I/O 标记名称的搜索规则(参见,图 7,该图说明了当批量生成器 406 提供仿真模型 408 时,支持用来搜索虚拟过程控制系统定义 400 的 I/O 点的正则表达式的搜索记号的字段)。一个点是“搜索”标记,而另一个点是“粘贴”标记(基于过滤器使用出/入标记字段 504A/B 的状态)。

[0102] 模型类别字段 506 标识要用于过程仿真值的生成的(回接)仿真模型的类型。

[0103] 模型名称字段 507 指定分配给使用搜索和粘贴准则从正则表达式创建的任何模型对象的名称。这里下面参考图 7 描述了示例性正则表达式格式。

[0104] 模型入参数字段 508 表明是否要将控制系统输出标记绑到指定的过程模型输入参数。

[0105] 模型出参数字段 509 表明是否要将过程模型输出参数绑回到控制系统输入标记。规则特征 501-509 创建模型块的实例。块参数化窗格 510 指定要生成的块的调节参数。每当在左边窗格选上选择一行(规则)时,块参数化窗格 510 都为所选模型类别(在模型类别字段 506 指定)显示参数。将经由窗格 510 设置的参数值应用于符合在标记字段 505A/B 中阐述的搜索条件的任何模型实例。

[0106] 在说明性实施例中,批量过程模型和 I/O 生成器 406 的规则引擎(和指定的已配置的规则手册)采用正则表达式句法,使用如前所述的搜索记号,来过滤 I/O 块信息。搜索记号引导批量过程模型和 I/O 生成器 406 来搜索合适的标记和标记的参数值字段(参见图 7)。在图 7 中所阐述的说明性示例中,示例性搜索记号指定搜索包含以“LY”开始的块名称的“任何复合词”和任何参数。根据示例性实施例,搜索记号利用公知的正则表达式句法来指定用于自动地交叉引用过程仿真模型输入/输出与对应的虚拟过程控制系统 I/O 块的搜索/替换表达式。

[0107] 如此,搜索记号用于:(1) 创建过程模型仿真块的唯一实例,以及(2) 将各种块参数绑到虚拟过程控制系统定义 400 的 I/O 块。此功能基于用户初始将工厂控制系统定义加载到计算机 410 上。计算机 410 包括交叉引用表,以将控制系统输入/输出标记等同于模型-此时,该表只包含控制标记,但不包含过程仿真模型。此后,用户打开规则手册 404,并

创建将基于控制系统定义 400 中的 I/O 标记名称来生成模型块实例的规则。用户运行转化器,该转化器使用规则手册 404 定义,解析虚拟过程控制系统定义 400 的 I/O 标记,创建过程仿真模型对象实例,参数化过程仿真模型对象(也基于规则手册定义),并将过程仿真模型对象连接到交叉引用表中的控制系统 I/O 标记。然后,用户将所产生的仿真数据库文件导入到驻留在通用计算机 410 上的 Dynsim 动态仿真程序。在说明性示例中,由批量生成器 406 生成的仿真模型包括两个相互关联的,但是可单独地执行的任务:(1)“转化器”任务,其中,解析虚拟过程控制系统定义 400 的输入和输出,并将所产生的已解析的定义传输到仿真(例如,Dynsim)数据库,以及(2)“规则手册”任务,其中定义要对已解析的控制系统数据执行的操作。

[0108] “转化器”和“规则手册”任务按如下方式进行操作:

[0109] • 对于规则手册中所定义的每一条规则,“转化器”解析(使用图 7 所概述的句法)交叉引用表的每一行,查找匹配搜索条件的 I/O 标记名称。如果搜索使用输出被选中(504A),则可对于输出标记(图 6 中的 505A)执行搜索,如果搜索使用输入被选中(504B),则可对于输入标记(505B)执行搜索。

[0110] • 对于每一个匹配,创建规则手册中指定类型的模型块实例(图 6 中的 506)。通过将搜索记号粘贴到图 6 中的块名字段 507,来命名块。

[0111] • 根据块的规则手册定义,来配置和参数化模型块。

[0112] • 将模型块连接到交叉引用表中的输入和输出控制标记点。由 .IN 参数字段 508 和 .OUT 参数字段 509 来定义交叉引用表中的要连接的模型输出参数。

[0113] 如此,由批量过程模型和 I/O 生成器 406 所执行的转化器任务包括:从虚拟过程控制系统定义 400 检索数据,使用用户定义的过滤规则,来解析定义,从模型库 402 来创建仿真块的实例,使用规则手册 400,对检索到的虚拟过程控制系统定义 400 的数据执行编辑操作(参见下面的规则手册 400 的配置),以及将数据发送到接收仿真数据库 408。在一示例性实施例中,由转化器任务用来获取 I/O 块信息的虚拟过程控制系统定义 400 或者是(1)已经生成的 Dynsim 交叉引用表,或者是(2)从控制系统配置器数据库检索到的实际过程控制系统定义。

[0114] 在一示例性实施例中,转化器任务以完全配置的 Dynsim 模型和已填充的交叉引用表的形式来提供输出。这里,模型是指完全实例化的、已配置的并且参数化的仿真块;交叉引用表是指仿真块向/从虚拟控制系统输入/输出标记的链接功能。Dynsim 模型配置是,例如,XML 导入文件(此后将转换为 Dynsim 模型)或直接适用的 Dynsim 数据库模型的形式。XML 导入文件的优点是能够将 XML 导入文件转化为一组受支持的仿真平台中的一个或多个。

[0115] 在转化器任务执行期间,批量过程模型和 I/O 生成器 406,基于由规则手册 404 中阐述的规则所指定的过滤准则,搜索和粘贴(即,编辑)虚拟过程控制系统定义 400 的 I/O 块内的标记,以创建与 I/O 块命名约定一致的块和连接。根据其他实施例,构想了基于 I/O 控制块配置来创建规则的选项。

[0116] 转向规则手册任务,规则手册任务使用用户定义的解析规则来创建仿真块;转化器将针对控制系统 I/O 标记来应用这些规则,以创建、配置和参数化模型。规则手册任务支持用户指定特定传输函数回接块(从过程仿真模型库 402),以与 I/O 类型(例如,油舱液位

控制、温度控制等等) 关联。规则手册任务还便于用户基于由转化器任务支持的如前所述的“搜索与粘贴”功能来为块提供唯一名称。

[0117] 转化器应用规则并自动地将从模型库 402 创建的过程仿真模型实例的输入和输出连接到交叉引用表中的合适的控制系统 I/O 点。在一示例性实施例中, 当基于 I/O 标记 / 点名称来处理规则手册 404 的规则时, 创建 Dynsim 模型实例, 并通过更新交叉引用表, 来将 Dynsim 模型实例连接到 I/O 点。

[0118] 规则手册任务还包括仿真配置 / 调节功能, 使得用户能够指定定制仿真模型的过程仿真 (回接) 部分的特定回接回路的响应的传输函数块参数 (例如, 脉冲时长、或上限和下限)。值得注意的是, 在替代实施例中, 除命名方案之外或代替命名方案, 基于块配置来构建回接模型规则。在实际过程控制系统配置数据库中 (而不是在交叉引用数据库中) 维护块配置信息。

[0119] 批量配置还可以分阶段执行。例如, 潜在地分阶段构建控制回路, 并且在每一阶段, 批量配置和测试新部分。随后, 添加更多的控制回路, 并可能需要对已经被批量配置过一次的文件进行批量配置。在该情况下, 可能不需要对所有 I/O 都运行批量配置而是只对那些没有更新的 I/O 运行批量配置。在一示例性实施例中, 通过适当使用过滤, 来执行对以前所生成的仿真模型的选择性更新。对电子表格应用指定的过滤器, 只对可见的行执行由批量生成器 406 执行的处理。在此情况下, 过滤器只示出新的 I/O, 并对新 I/O 应用规则。

[0120] 在一示例性实施例中, 在与批量过程模型和 I/O 生成器 406 相关联的用户界面中提供了更新所有或只更新新添加的 I/O 的选项。例如, 在下列各项之一中提供了只配置新 I/O 的复选框控件: 规则手册、在规则处理期间提示, 或动作窗格。默认地, 选中增量更新选项, 即, 只批量配置新的或非配置的 I/O。如果它未被选中, 则处理所有 I/O 块。

[0121] 一旦批量过程模型和 I/O 生成器 406 规则引擎应用指定的规则集, 以提供过程仿真模型对象, 并将这些仿真模型对象连接到虚拟过程控制系统的 I/O 块, 所产生的仿真模型 408 被加载到存储器中, 供仿真平台 (例如, DYNsim 动态过程仿真器) 进行处理, 在应用工程师的指引下, 测试 / 验证虚拟化过程控制系统的逻辑 / 行为。

[0122] 在仿真期间, 虚拟过程控制系统功能块和 I/O 以封闭回路 (例如, 回接) 方式与过程仿真模型的元件进行交互。在任何时候, 应用工程师都可以基于他 / 她的发现和观察, 对虚拟过程控制系统进行更改, 并可以根据需要持续测试、开发和细化过程控制系统逻辑 / 功能。工程师可以停止仿真, 向仿真模型添加内容, 或修改仿真模型, 然后, 再次利用仿真模型的新配置启动。

[0123] 在一示例性实施例中, 主持上述的仿真模型的执行的仿真平台包括实现测试的几个时间控制特征。这样的时间控制特征包括: 冻结、运行、快照、夏令时间、标准时间以及单步执行。利用这些时间控制特征, 工程师可以回到以前保存的初始条件, 其中控制和仿真模型被初始化到所需起始状态, 测试可以从那里出发。标准时间和单步执行时间控制特征被用来每个周期地检查控制块处理, 以潜在地观察系统的原因和结果行为。

[0124] 当工程师完成测试时, 仿真平台包括标准控制系统应用程序工具, 这些工具支持向 / 从实际工厂控制系统导入 / 导出控制系统配置, 用于在不需要对控制系统 (例如, 功能块) 配置进行专门修改的情况下进行双向配置传输。导入 / 导出是控制系统的本身的用途。对于真实控制系统, 文件格式与在仿真平台上的是相同的, 不需要进行修改, 即可在仿真平

台和实际工厂控制系统之间移动控制系统配置。

[0125] 已经描述了生成用于在不依赖于实际过程控制硬件（例如，控制处理器或 I/O 支架）的虚拟环境中执行的仿真模型的新方式，值得注意的是，新仿真生成系统和仿真平台支持过程控制仿真生成的新工作流并可在检验和操作员训练期间使用。本文所描述的自动化仿真系统的工作流与上文所描述的以前的方法的不同之处在于：(1) 不需要对控制块配置进行修改，(2) 对控制系统应用程序、控制块，以及回接过程模型的整个仿真潜在地在单一通用工作站上运行，以及 (3) 与图 3D 中说明性地描绘的现有的系统（到市场上可买到的仿真程序包的接口）不同，可以使用批量配置器规则手册（参见图 6）来配置多个回接仿真块，而不只是一次地在单一输入和输出块上进行配置。规则手册包含允许用户针对 (a) 模型的定义，以及 (b) 模型到 I/O 标记的连接这两者选择性地覆盖或保护以前运行的规则的标记。此外，已经配置的规则手册被保存并传递到其它工程师 / 项目，允许项目之间进行完全的可移植性和可重复性。

[0126] 以前的仿真方法不能控制仿真时间处理，从而限制了对于需要特定时间演进序列以及对初始条件的准确的定义的仿真情形的有用性。本文所描述的系统允许控件和过程模型被准确地初始化到期望状态，然后保存该期望状态（“快照”），允许该状态在以后被恢复，以供测试和重新测试。恢复快照然后运行的情形可以以完全确定的可重复的方式来进行，给予控制应用工程师（和监督质量保证验证员）对于控制系统的可预测的行为的充分的信心。

[0127] II. 来自 P&ID 及其他源的自动仿真器过程模型生成

[0128] 已经描述了一般适用于实现单一控制回路检验的回接仿真模型生成器，其中，具有特定传输函数的适当仿真模型连接在控制系统的各 I/O 块之间，注意力指向在一定程度上包括实际工厂工艺设备的物理响应行为的相对来说“更高的”保真度过程仿真模型的自动化创建。此后，将这些仿真模型连接到仿真环境中的控制系统（虚拟或实际）的适当的 I/O 块，用于人员训练和整体地验证过程控制系统逻辑 / 配置和过程设计（包括工厂设备）。

[0129] 本文所描述的仿真器过程模型生成器实现增强的工厂 / 过程控制仿真功能，包括：(1) 使基于过程仿真的检验成为所有控制系统开发项目的一部分，(2) 允许仿真更加容易而快速地可用（通过自动生成高质量 / 逼真的仿真器过程模型），(3) 支持基于电子工厂设计数据源（例如，表示工厂设备的软件对象）来配置和参数化仿真模型，(4) 支持自动地将控制系统输入 / 输出 (I/O) 标记 / 块连接到一个或多个过程仿真模型 - 参见，例如，上文所描述的批量生成器 406 操作，以及 (5) 允许过程仿真模型随着工厂或控制系统设计演进而更加容易地更新。

[0130] 根据本文所描述的计算机化 / 自动化仿真模型生成器的用于创建过程 / 工厂设备仿真模型的工作流过程以管道及仪表图 (P&ID) 开始，该图包含构建过程仿真模型所需的重要的信息。图 8 中提供了 P&ID 图的示例。不需要对说明性图中所描绘的特定元件进行详细说明，因为这样的图对于本领域相关技术的人员是公知的。除示出管道和主要设备与单元操作之外，P&ID 还表明所标识的设备与过程控制系统控制回路的接口。这样的控制接口在图 8 中被描绘成圆圈。此外，在 P&ID 图上使用圆圈的约定对于本领域的技术人员来说也是已知的。

[0131] 当今，P&ID 描述以“智能”电子形式可得。在一说明性实施例中，智能 P&ID 描述包

括根据已建立的描述约定来定义工厂设备的结构化数据对象。在特定实施例中,智能描述约定与公知的 SmartPlantFoundation P&ID 描述约定相对应。根据 SmartPlant Foundation 约定所定义的工厂 / 过程设备图本文被称为 SP P&ID 图。包括在计算机可读介质上编码的对象的 SP P&ID 定义可由适当地编程的计算机来解释,以提供适当的显示。此外,P&ID 图文件内所描述的设备,使用对象转化框架,可解释为模型对象或控制 I/O 点的集合,以提供适当的过程仿真模型,用于创建包含被仿真的过程和被仿真的过程所连接到的控制系统的仿真模型。

[0132] 图 9 示出了与如前所述的对象转化框架的示例性实施例相关联的示例性 workflow。所概括的 / 所描绘的在编程计算机系统上实现的转化框架的阶段,使用一组预定义的映射文件(规则)和转换函数,自动地(或带有最少的人工干预地)将数据对象从智能 P&ID 图(源)转换为过程仿真模型对象(目标)。

[0133] 图 10A 示出了转换过程(从 P&ID 图的形式到过程仿真模型对象图)的示例。在说明性示例中,通过转换框架,将 P&ID 图上的容器对象转化成容器仿真模型,此后,在仿真器应用中将其实例化为容器仿真模型。图 10B 中描绘了示例性用户界面,其包括用于从容器过程仿真模型呈现实时数据输出值的对话框。该对话框包括,对于每一个计算出的参数值:名称、当前值、度量单位以及参数的描述。该对话框格式只是说明性的。

[0134] 图 10C 示出了示例性模型配置拓扑(例如,过程流连接),如由“转化器”从 SP P&ID 提供并呈现于示例性“拓扑”对话框中的。智能 P&ID 图定义由自动化转化框架用来完成设备的主要部件之间的互联管道的配置,并再次使用一组预定义的规则将被仿真的控制系统 I/O 连接到过程仿真模型对象的适当的输出参数。例如,附加到 P&ID 描述中的容器的被标记为“LI”(即,液舱液位仪器)的任何仪器,被转化器框架(例如在个人计算机系统上执行)自动地连接到通过原始智能 P&ID 图文件中所提供的容器对象定义的初始变换而创建的容器仿真模型对象的 .L 输出参数(即,模型液舱液位)。由智能 P&ID 图(源)定义所指定的其他信息包括到喷嘴的管道连接、容器上的喷嘴位置、仪器位置设备、普通设备运转状况(例如,泵压头与流设计点),以及经由离页(off-page)连接器到其他 P&ID 图定义的连接。

[0135] 取决于过程(设备)仿真模型的所需精度,智能 P&ID 图文件(例如,SP P&ID 定义文件)潜在地是配置适于控制系统检验的过程仿真模型所需的全部。如果需要更高保真度的模型,比如说,对于操作员训练仿真器,那么,转化框架包括另外的处理阶段,以生成补充和增强从智能 P&ID 图定义创建的基本模型的链接 / 变换。

[0136] 例如,图 11A 示出了转化框架,其中,稳态分析输出(例如,Pro II:过程中的各个点的流量和热动力学状态属性)和管道安装图(示出了管道长度和弯曲)与智能 P&ID 图定义相结合,以便为管道提供完全参数化的过程仿真模型,该模型包括潜在地影响管道的响应行为的特定设计条件。

[0137] 通过建立与补充的过程仿真模型数据源的连接,可以再次进行变换,以适应工厂设计更改。然而,可能存在定制或需要保护的模型的某些区域。所产生的仿真模型对象提供有保护标记,以防止它们被非故意的修改或销毁。

[0138] 来自仿真测试或分析的结果可能会驱动工厂中的所需的设计更改。为实现这一点,转化框架包括“逆变换”规则阶段,该阶段用更新的信息来填充设计数据库。在此情况

下,图 9 中的“源”和“目标”的含义是颠倒的。

[0139] 用于描述特定转化框架示例的术语集字汇

[0140] AMG- 自动模型生成

[0141] ACDG- 自动控件设计生成

[0142] SP P&ID-InterGraph 的 SmartPlant 管道及仪表图

[0143] SmartSketch-Intergraph 的只查看 SP P&ID 的图形部分的工具

[0144] 图 14 示出了在 SmartPlant P&ID 本机用户界面环境中可用的一些配置数据。另一应用, SmartPlant Instrumentation(未示出)包含关于控制系统输入/输出(I/O)标记的数据库格式的信息,并将 I/O 标记信息与 P&ID 定义中的仪器标记标识符相关联。从这里,自动模型生成器执行下列步骤以创建过程模型:

[0145] • SP P&ID 项目中的每一 P&ID 都被从其本机文件格式(.pid)转化到 XML 格式的公共层保持器形式(参见图 9)。

[0146] • AMG 解析本机文件格式(.pid)文件,并经由源对象的 AABCC 设备码,以及 P&ID 到模型映射文件,将每一 P&ID 对象转换为 Dynsim 过程仿真模型对象(参见图 11B)。

[0147] • AMG 定位源 P&ID 描述上的仪器发射器,并创建发射器模型对象。发射器对象连接到如 P&ID 上所标识的正确的模型对象连接器,并进一步连接到如仪器映射表所定义的适当的模型输出参数(例如,压力、温度、流量等等)(参见图 13)。

[0148] • AMG 解析仪器数据库转储文件(以.csv 格式)并搜索 I/O 标记测量单位(英寸、英尺、每平方英寸磅数等等)。对于任何 UOM 未标识的,提示用户输入期望目标映射 UOM。

[0149] • 在处理仪器文件时,AMG 创建映射表,该映射表将 P&ID 发射器标记标识符与对应的控制系统块名称和参数相关联。

[0150] • AMG 产生 XML 格式的仿真模型文件。

[0151] • 此后,通过将 XML 格式仿真模型文件导入到,例如,Dynsim 应用,重新存储仿真模型。

[0152] • 一旦仿真模型已经被重新存储,就使用以前创建的发射器映射表更新仿真模型中的交叉引用表。

[0153] • AMG 过程的结果是动态仿真模型,其中所定义的发射器连接到过程仿真单元模型,并交叉引用实际/虚拟控制系统中的适当的 I/O 标记。

[0154] 图 12 概述了由上文所描述的自动化转化器框架(以在个人计算机上执行的计算机可执行指令的形式)实现的示例性工作流,用于从智能 P&ID 图定义(包括一组描述性对象)生成工厂设备的过程仿真模型。

[0155] 1. 设计师/开发人员出席开工会议,讨论将用于将 P&ID 转换为过程模型的变换规则

[0156] a. 最低线大小,低于其将被忽略

[0157] b. 生产线类型(液体)

[0158] c. 设计操作条件

[0159] 还讨论期望保真度级别:中或高

[0160] 2. 设计师向转化器框架输入一组规则,该转化器框架确定如何将源 P&ID 对象映射到仿真模型对象。转化基于被映射到目标模型对象配置的源 AABCC 码(稍后讨论)。图

13 示出了这样的示例映射。

[0161] 3. 设计师从 EPC 接收初步智能 P&ID。

[0162] 4. 设计师使用自动化转化框架对智能 P&ID 图文件中所包含的对象数据执行转化：

[0163] a. 创建过程模型，

[0164] b. 根据一对一的对象命名约定，将其他数据源合成，以初始化过程模型对象，以及

[0165] c. 基于图上的标记，在仿真中创建简单地模仿的控件（传感器、PI 控制器、速率限制器），以及

[0166] 基于规则和 I/O 标记命名约定，自动地将简单地模仿的控件连接到过程模型。

[0167] 5. 对“功能控件”，验证所产生的仿真模型。

[0168] 6. 控制工程师发布控制系统。关闭或出功能控件，并将功能控件标记替换为 I/O 交叉引用表中真实的仪器标记。

[0169] 7. 仿真工程师和控制工程师组合验收测试。联合地结构化的验收测试在一次会议上满足对控制系统和仿真器的要求。

[0170] 下面概述了用于生成过程仿真模型的示例性自动化（计算机化）转化框架的特征。这样的转化框架（过程仿真模型生成器）的功能是使控制应用工程师能在实际构建包括被仿真的工厂 / 过程设计的物理工厂过程之前检验 / 测试他们的控制设计的准确性和有效性。为此，转化框架 / 过程仿真模型生成器包括实现下列操作的功能：(1) 通过解释 SmartPlant P&ID (SP P&ID) 图文件中的对象数据，自动地生成过程仿真；以及 (2) 至少部分地基于 SP P&ID 对象中的对工厂设备的描述，创建一类新的仿真模型。

[0171] 在一示例性实施例中，包括本文在上文所描述的转化框架的自动仿真模型生成器包括下列计算机可执行的软件驱动功能：

[0172] (1) 将所感兴趣的工厂项目 / 设备从 SP P&ID 对象转化为一个或多个对应的过程仿真模型对象；

[0173] (2) 使用过程流，转化工厂项目之间的管路（管道）连接；

[0174] (3) 当转化为仿真模型视图时，尽可能地保留 SP P&ID 的图形布局（设备的位置以及管路段）；

[0175] (4) 在仿真中将每一 SP P&ID 图都转化为仿真模型流程（每个 P&ID 图一个模型流程图）；

[0176] (5) 支持使用来自控制仪表数据库的标记数据，自动地将过程仿真模型实例更新到 I/O 交叉引用表内的条目。

[0177] 图 13 描绘了在分层次地布置（树）的用户界面中表示的工厂设计定义的示例性 P&ID 数据库布置。工厂对象（“新炼油厂”）被标识为示例性用户界面中的根项目。工厂包含与工厂区域相对应的一个或多个子节点。一个区域节点依次又包含一个或多个单元，而一个单元又包含一个或多个 P&ID 图。图被保存为 .pid（“管道及仪表图”）文件。在说明性实施例中，对 .pid 图形文件中所包含的对象执行过程模型的生成。

[0178] 此外，P&ID(.pid) 图文件中的每一对象还都包含一组特性 / 属性。图 14 说明性地描绘了包括 SP P&ID 图对象的一组可读特性 / 属性的示例性用户界面。这样的特性 / 属性对于本领域的技术人员是公知的（已证明的），因此，这里将不再重复。除“Item Tag”以

及相关的特性 (Tag Prefix、Seq、No 等等) 之外,用户不能为 SP P&ID 图对象特性指定值。在很多情况下,用户甚至不被允许为 Item Tag 指定值。对于在图上拖放的每一个项目,分配一个在内部使用的 ID (例如,EA845BBB2B)。此 ID 被用来解析与对象相关联的数据,以及其与其他对象的连接 (经由管道、信号线等等)。

[0179] 在一示例性实施例中,用于从 SP P&ID 图文件提供过程仿真模型的转化框架支持在 P&ID 应用中添加定制符号和定制参数。举例来说,“AABBCC”码与每一 SP P&ID 图符号实例相关联。相同的码可以在多个符号之间共享,即,阀门的客户符号可能看起来不同,但是,其 AABBCC 码可能与默认码相同。为处理定制符号,处理过程使用本文以下进一步描述的 AABBCC 码。

[0180] 在工厂 / 工艺过程图的 SP P&ID 表示中,在内部通过 AABBCC 码来表示每一工厂项目类型 / 类别。例如,6Q1C06 表示球阀。在一示例性实施例中,映射文件将每一 AABBCC 码映射到仿真过程模型类别。例如,

[0181] <Attribute Value = " 1B2G04" NewValue = " Drum" />

[0182] <Attribute Value = " 1C3A13" NewValue = " HeatExchanger" />

[0183] <Attribute Value = " 1D4B20" NewValue = " ScrewCompressor" />

[0184] <Attribute Value = " 1N1A01" NewValue = " FlangedNozzle" />

[0185] 如果没有指定条目,则由 SP P&ID 对象转化框架转化为,即,在输出 xml 中, ComponentClass = AABBCC 码。还可以通过指定“ignore”作为新的值,忽略一个项目。例如:

[0186] <Attribute Value = " 7Q4D65" NewValue = " ignore" />.

[0187] 同样,参考图 15,一个与过程仿真模型生成器的转化框架相关联的工具支持扫描数据库以查找定制 AABBCC 码。举例来说,定制符号属于其中一个现有组,诸如:设备、仪表等等。SP P&ID 对象的相关信息 (如,其 AABBCC 码、名称等等) 存储在图文件中。当安装了客户数据库并准备好进行自动模型生成时,定制 AABBCC 码扫描工具初始标识包含未映射的定制 AABBCC 码的任何符号 (对象)。扫描工具提供其 AABBCC 码映射还不存在的那些符号的列表。然后,控制工程师映射未映射的符号。将对应的条目添加到码映射文件。

[0188] 创建用于与过程仿真模型组合使用的过程控制系统的一种方法是自动控件设计生成 (ACDG) 方法。图 12 中示出了从过程控制系统的 SP (XML) 定义到用于过程仿真 (连接到过程仿真模型) 中的系统特定的 (可执行的) 过程控制系统定义的转换过程的一般工作流 / 阶段的示意图。ACDG 软件组件解释过程控制系统的 SP XML 定义和 Instrumentation 数据,以执行转换和 / 或自动生成控件和图形。然后,将所生成的过程仿真模型文件传输到控制系统工程工作站。用户下载所产生的控制系统数据库和操作员图形文件。经由局域网连接的工程工作站,下载控制系统数据库块,以在位于仿真平台上的虚拟控制系统上运行。

[0189] 图 16 中描绘了用于从 SP P&ID 对象生成过程仿真模型的示例性工作流。在此说明性示例中,计算机执行的 ACDG 组件生成控制系统,而 AMG 生成过程仿真模型。此后,将控制系统 I/O 块链接到过程仿真模型,以实现控制工程师检验。图 16 包含一个简单的 P&ID 图,其中包含连接到管路 (S1) 的塔对象 (V1)。将温度传感器 (TE109A/TI109A) 附接到管路 S1。在完成 ACDG 之后,已经创建控制回路,并有与温度仪器相对应的控件标记,例如 ACOMP1 :TI109A. POINT。在过程 AMG 的情况下,将 V1 转化为塔 / 列模型对象,其中向其

附加过程流 S1。将与 TI109A 相对应的发射器模型对象连接到 S1 中的表示温度的参数 T，并且，使用 DSS 中的交叉引用实用程序，自动地将发射器模型对象链接到控件标记 ACOMP1：TI109A.POINT。在 ACDG 数据库中有关于过程仪器 (TE109A/TI109A) 和控件标记 (ACOMP1：TI109A.POINT) 之间的映射的数据可用。AMG 组件经由将发射器类型（由标记命名约定和工程测量单位确定）与模型中的适当的流特性相关联的映射文件，能知晓过程仪器和模型对象参数 (S1.T) 之间的映射。图 17 中示出了示例仪器映射文件和测量单位映射文件。最后，使用提取了与控制系统 I/O 点相关的 P&ID 标记名称的文件，在交叉引用表中将发射器输出（与 P&ID 标记带有相同标识符）与控制系统 I/O 点相关联。

[0190] III. 提供并利用用于控制系统仪器测试的因果模型

[0191] 已经描述了在一定程度上包括实际工厂过程设备的物理响应行为的从 P&ID 自动化创建过程仿真模型，注意力指向从例如仿真模型库（例如，过程仿真库 402）创建的基于因果的仿真模型。仿真模型库将包括最常见的单元操作模型以及从模型提供的对应的因果矩阵（参见，例如，图 19）。在没有在库中发现与 P&ID 上的单元相对应的模型的情况下，利用空矩阵创建“黑箱”模型，用户基于过程知识来对该模型进行填充。此后，将包括因果仿真模型的动态过程仿真的输出连接到仿真环境中的控制系统（虚拟或实际）的 I/O 块，用于进行人员训练和整体地验证过程控制系统逻辑 / 配置和过程设计（包括工厂设备）。

[0192] 转向图 18 和 19，为从 P&ID 生成仿真，需要识别每一工艺设备单元。设备单元的一些示例是：热交换器、压缩机、闪蒸罐和蒸馏塔。设备单元是根据仿真系统内的 P&ID 配置和连接的。简单的单回路模型不足以测试多个交互的回路，而高保真模型面临着下列挑战，使它们成为困难的或者甚至不可行的选择：

[0193] 1. 为配置高保真度仿真，需要诸如过程流特性和材料热动力学特性之类的附加的数据。大多数 P&ID 不包括此数据。

[0194] 2. 即使此数据可用，它通常超出控制应用工程师的技能范围之外，使他们成为不情愿的用户。

[0195] 3. 甚至在配置完成之后，通常也需要做额外的工作以使仿真稳定和可使用。为此工作，需要仿真工程师形式的昂贵资源。

[0196] 为利用一个过程准确地仿真多个交互控制回路，在不使高保真模型复杂化的情况下，生成基于“因果”矩阵的模型，并将其包括到过程仿真模型中，用于过程仿真中。

[0197] 考虑表示 P&ID 的一个子部分的图 18 中所示的示意图。该图包括容器 V-101。利用仪器 FC（进料控制）来控制到容器 V-101 的进料，经由仪器 PC（压力控制）来控制容器 V-101 的压力，并经由仪器 LC（液面控制）来控制容器 V-101 的液面。由仪器 TI 表明容器 V-101 的温度。仪器 FC、LC 和 PC 可以导致在容器 V-101 内和由容器 V-101 产生的产物内发生变化。这些变化的影响一般在仪器 FC、LC、PC 和 TI 中可见。通常需要高保真度仿真来示出此相互依赖性。

[0198] 根据示例性实施例，为在没有附加数据或专业知识的情况下提供相同的相互依赖的响应，使用如图 19 所示的二维因果矩阵来对容器 V-101 进行建模。在说明性示例中，矩阵的每一单元内的一对数字表示传输常数和时间常数。例如，对于 FC 的值的每一个单位变化，值 LC 变化 0.2 单位，并带有 300 秒的一阶滞后时间常数。如此，对于进料每增大 1 升 / 秒，液面将提高 20%。容器 V-101 内的液面提高被修改 LC 的值的控制器动作所抵消，以保

持容器 V-101 内的期望液面。从而,矩阵表示 FC 和 LC 值之间的相互依赖性,无需容器内的基础物理现象的附加数据简化。

[0199] 在高保真模型将热动力学高度耦合的状态方程与质量、动量和能量守恒定律相结合使用的情况下,仿真模型假设恒定的热物理特性,容器液面的简单质量平衡、能量和温度变化的简单而可调的近似,以及压力与温度的基于图形的判断。该模型简单,并在指定的设计点周围准确,并稳健,使得如果控制大大地偏离设计点,那么,响应将始终在现实王国内(即,容器从来不会变空,也不会溢出)。因果模型不一定是基于物理的,因此,为了易于控制检验起见,可以违反质量、动量,以及能量守恒定律。

[0200] 下面描述了用于创建仿真模型的因果模型的示例性工作流。生成上面的表中所需的常数的库集合,并用于通常可得的过程(例如,原油塔或乙烷馏除塔或 FCC 主塔)的控制测试。如果需要更近的匹配或者单元是非标准单元,则可以使用稳态仿真器中的一般性数据对该单元进行建模,以获取这些常数,无需花费仿真工程师的服务的多大的努力。用于创建原因与后果仿真模型的工作流:

[0201] 1. 转化(以电子方式)P&ID 以识别处理单元。

[0202] 2. 转化步骤包括标识流和过程设备,并将这样的设备与预定义的过程仿真库模型关联。为组件记录(slate)指定诸如空气、水、蒸气或热液体之类的库组件。可以证明热动力计算方法适用于这些特定组件。这样的近似是可能的,因为“因果”保持模型将提供必要的稳定性。

[0203] 3. 自动地更新交叉引用数据库,将控制和安全系统 I/O 点连接到在 P&ID 上建立并在自动地生成的模型中的发射器模型。这允许过程仿真模型的元件向 / 从控制系统传递处理信息。

[0204] 4. 标识保持单元并利用从过程仿真模型库提供的“因果”模型实例化它们。将因果模型与在特定设备仿真模型(例如,水平鼓或乙烷馏除塔柱仿真模型)上可用的类型选项关联。仿真模型现已准备用默认参数运行。该模型将运转,并将计算出流量、压力、温度等等,虽然值可能不匹配真实工厂中的实际期望值。

[0205] 5. 为使模型产生在期望值范围内的数值,在一示例性实施例,在发射器仿真模型对象中输入期望参考值,并通过在仿真配置界面中选择“调节”功能,来重新定标发射器输出。参数调节功能允许产生现实的值,无需修改工厂过程仿真模型本身。

[0206] 6. 对于一些非常特殊的单元,过程仿真模型选项类型可能不可用。在该情况下,用户经由通用用户配置模型来生成必要的的数据。此数据可以从工厂操作手册、操作员面谈或来自类似工厂的操作数据获得。如果数据从这些源不可用,则用户创建稳态模型,用于并入过程仿真模型中。

[0207] 7. 可选地,为获得更大的准确性,修改过程仿真模型,以在模型单元操作中输入期望值。用户在模型反馈和产品流中指定仪器设计数据。只对所感兴趣的流进行建模。此数据是常见的,容易得到的,并不需要用户进行中间计算。

[0208] 8. 已实例化的过程仿真模型应该处于设计点,并且是稳定的。仿真模型现已准备好进行控制测试。

[0209] 可以以两种方式并入单元的因果矩阵,从内部或从外部。内部矩阵对模型代码是固有的。使用模型查看器 / 编辑器来修改实际系数。利用外部链接将外部矩阵合并到诸如

Microsoft Excel之类的工具或利用OPC(用于过程控制的OLE)链接,合并到诸如Invensys Systems公司的INFUSION之类的产品。在此情况下,使用外部工具的本机界面来修改系数。在运行时,经由此链接来初始化仿真模型。

[0210] 如图19所示的矩阵包括每一个原因/结果对的2个系数。这些系数分别与转换常数和一阶滞后时间常数相对应。例如,在图19中,FC(原因)/LC(结果)对的这些系数是0.2和300。这意味着,对于FC的每一单位增大,LI(LC的指标)将在稳态下增大0.2单位。此0.2单位增大的方式由一阶滞后公式来决定:

$$[0211] \quad dx/dt = 1/T(a-x)$$

[0212] 其中, x = 初始值, a = 最终值, t = 时间, T = 滞后时间常数

[0213] 对于上面的FC/LC的情况,此公式将是:

$$[0214] \quad d(LI)/dt = 1/300(1.2 * (FC - FC_{\text{steadystate}}) * LI)。$$

[0215] 利用所有原因变量的初始值来初始化因果模型。在运行时,通过对应的输入块,将原因变量的实际值馈送(输入)到模型。使用如上所述的公式来计算来自模型的输出,并将其发送到适当的输出块。

[0216] 可以通过附加的表(未示出),对于需要空载时间或其他关联的过程,扩展此方法。可以以类似的方式通过因果模型来处理这些附加的表。

[0217] 鉴于可以本发明的原理可以适用的许多可能的实施例,应该认识到,本文参考图形所描述的实施例以及所描述的替代方案,只用意在于说明性的,不应该理解为对本发明的范围作出限制。本文所公开的功能组件可以作为以软件、固件和/或硬件的形式存储在计算机可读介质上的计算机可执行指令被包括到各种编程计算机系统中。此外,在不偏离本发明的情况下,可以修改、补充和/或说明性步骤和/或对其进行重新排序。因此,本文所描述的本发明预期,所有这样的实施例都可以归入下面的权利要求以及其等效内容的范围之内。

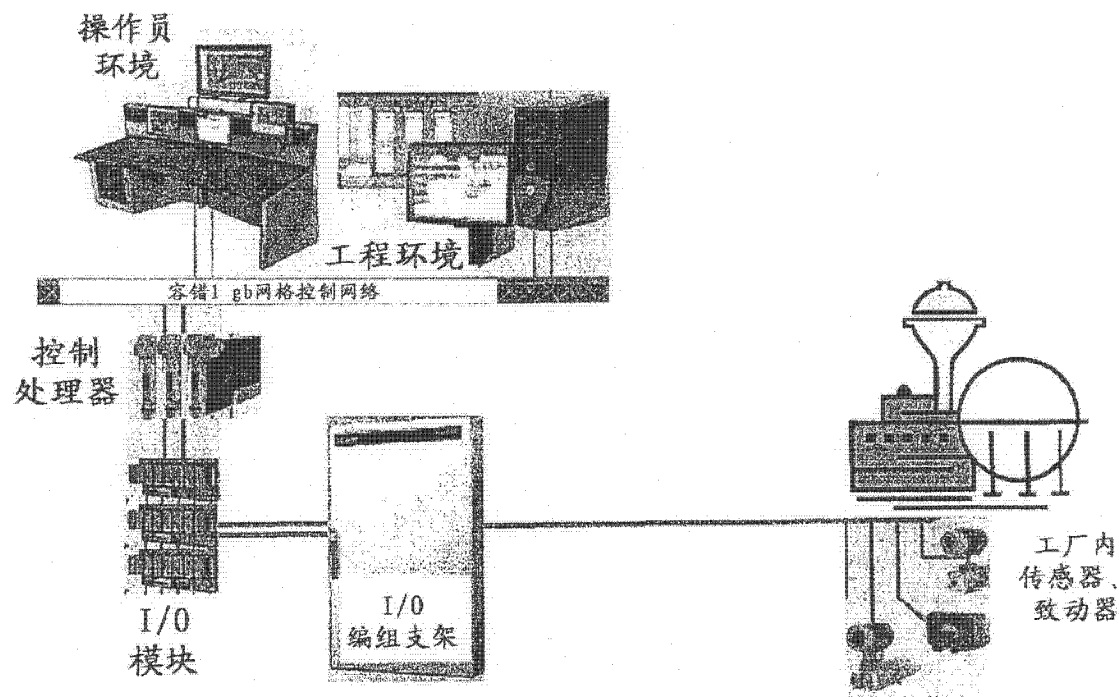


图 1

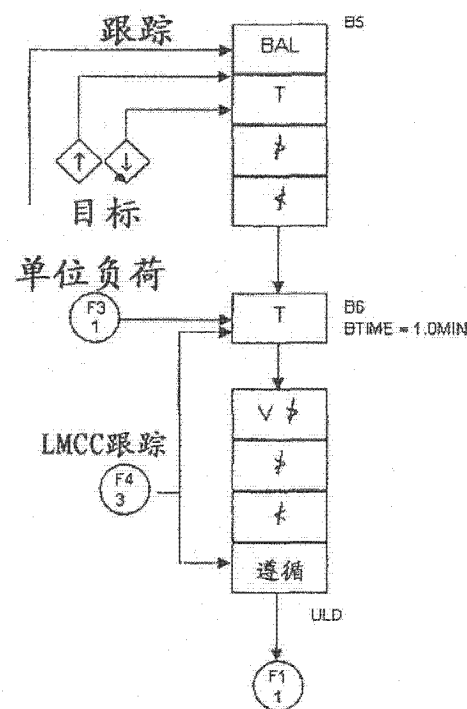


图 2

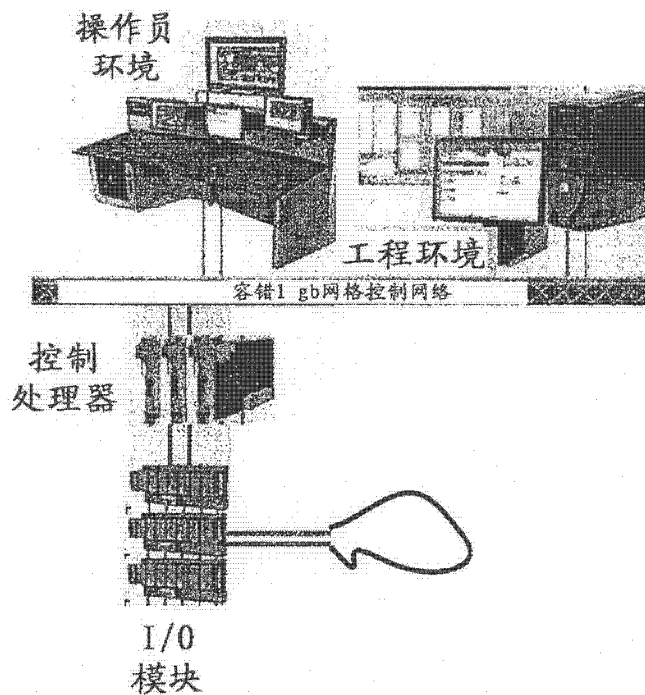


图 3A

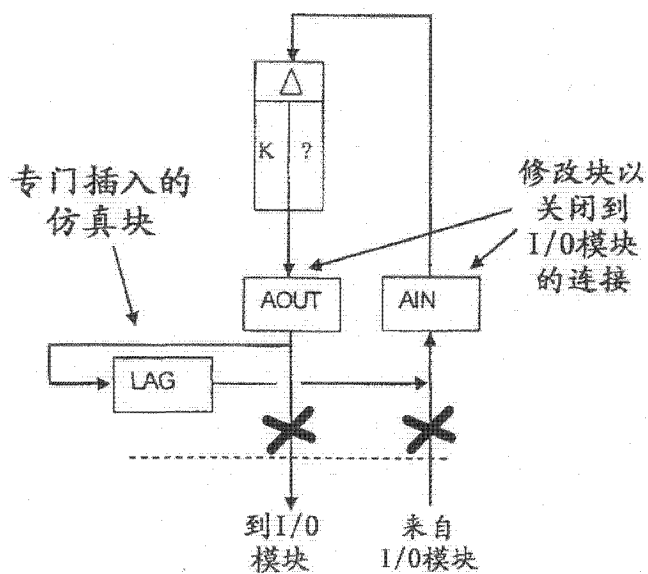


图 3B

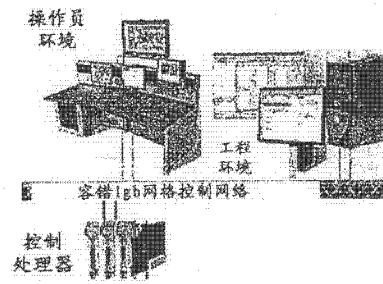


图 3C

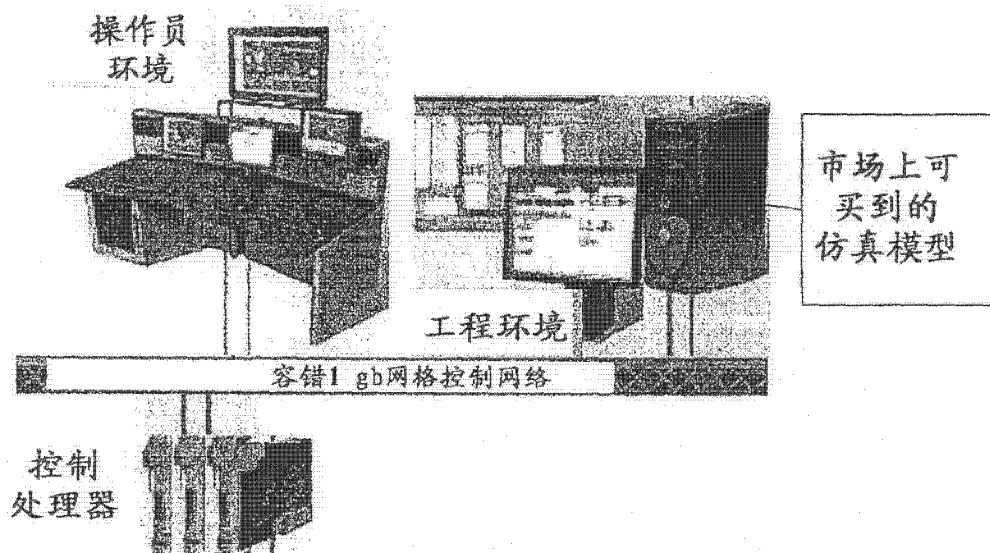


图 3D

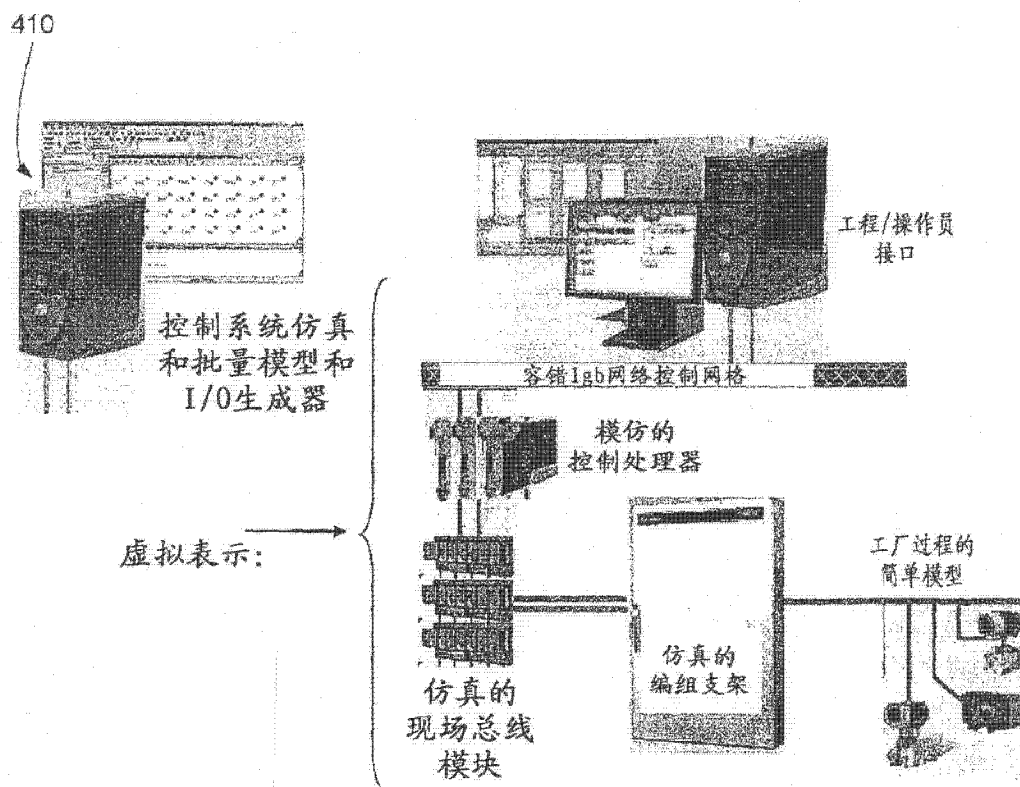


图 4B

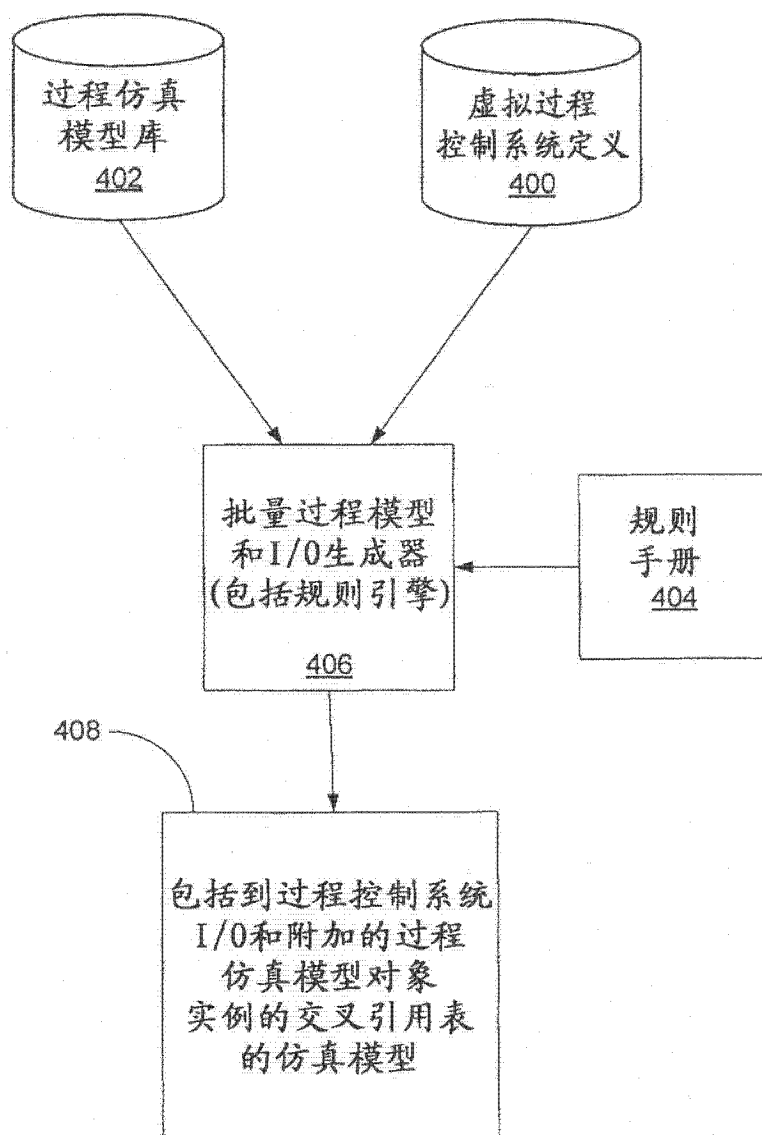


图 4A

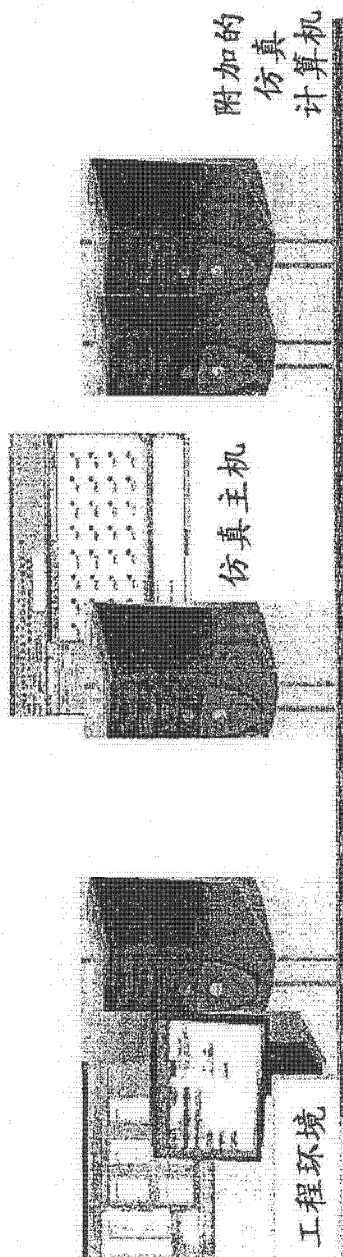


图 5

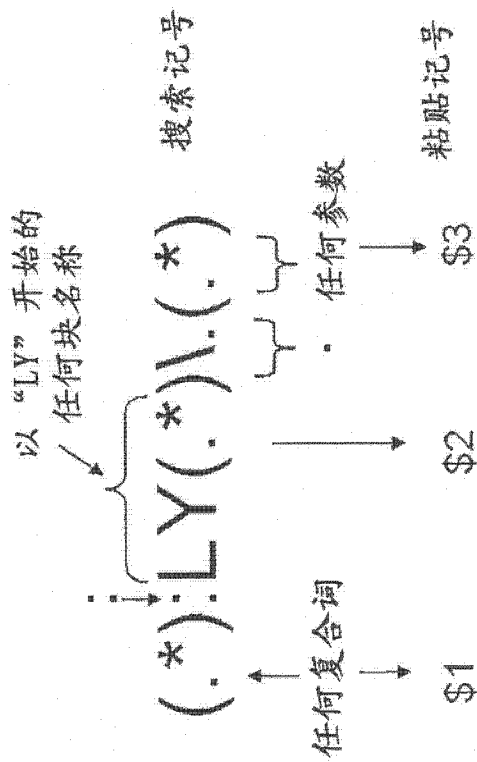


图 7

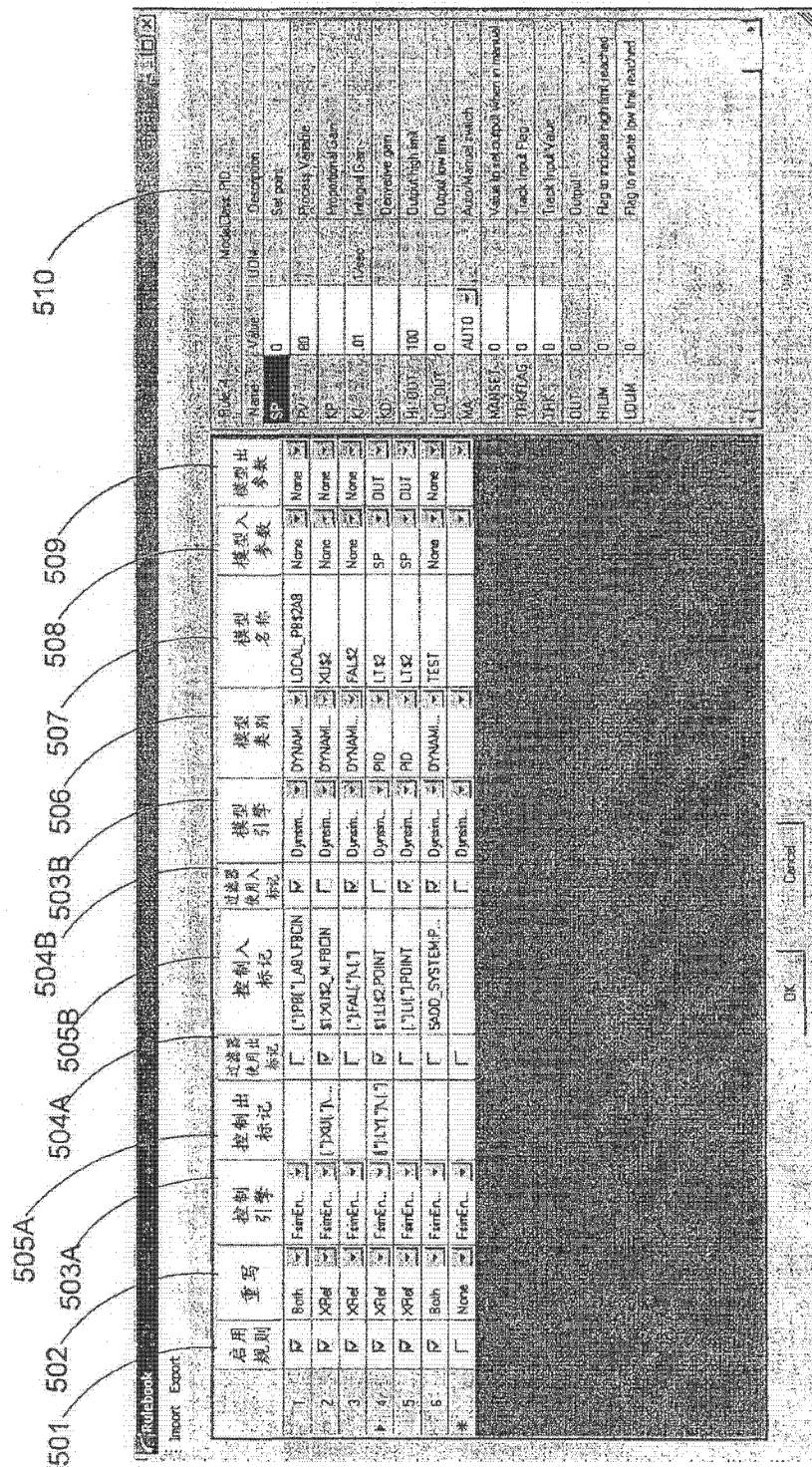


图 6

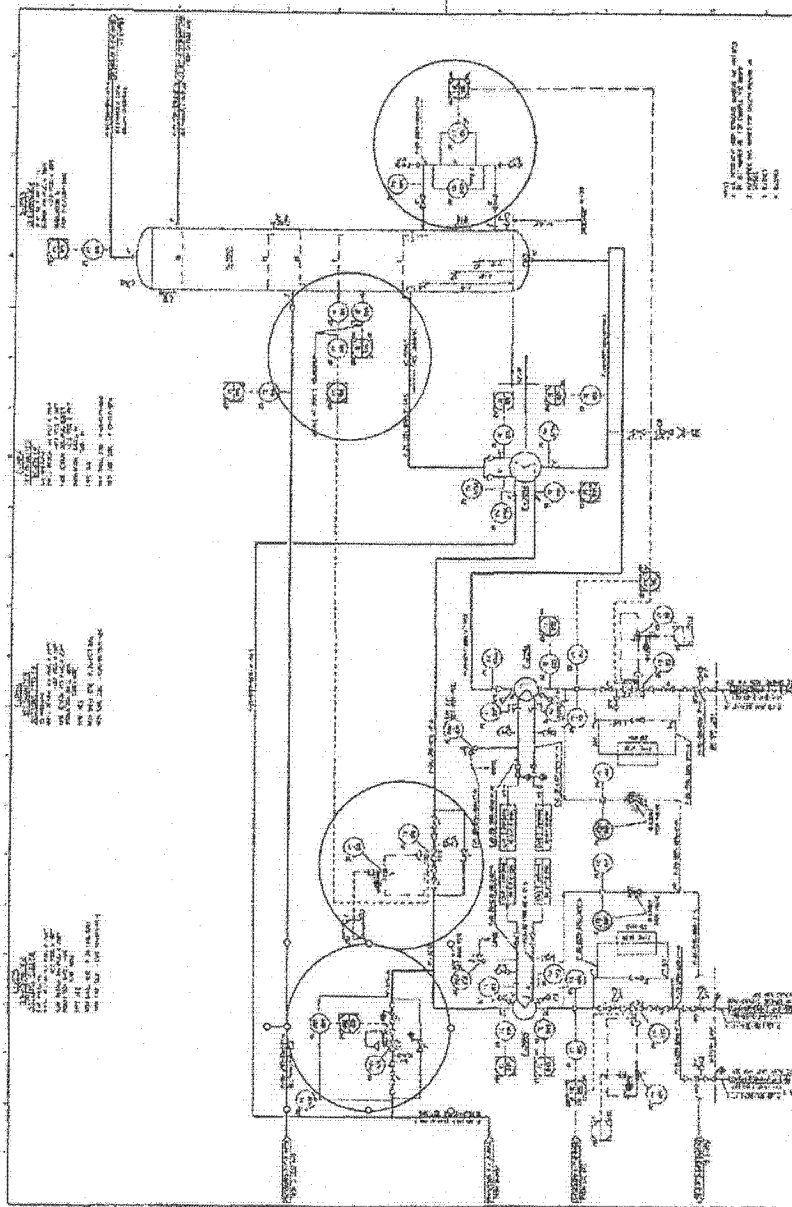


图 8

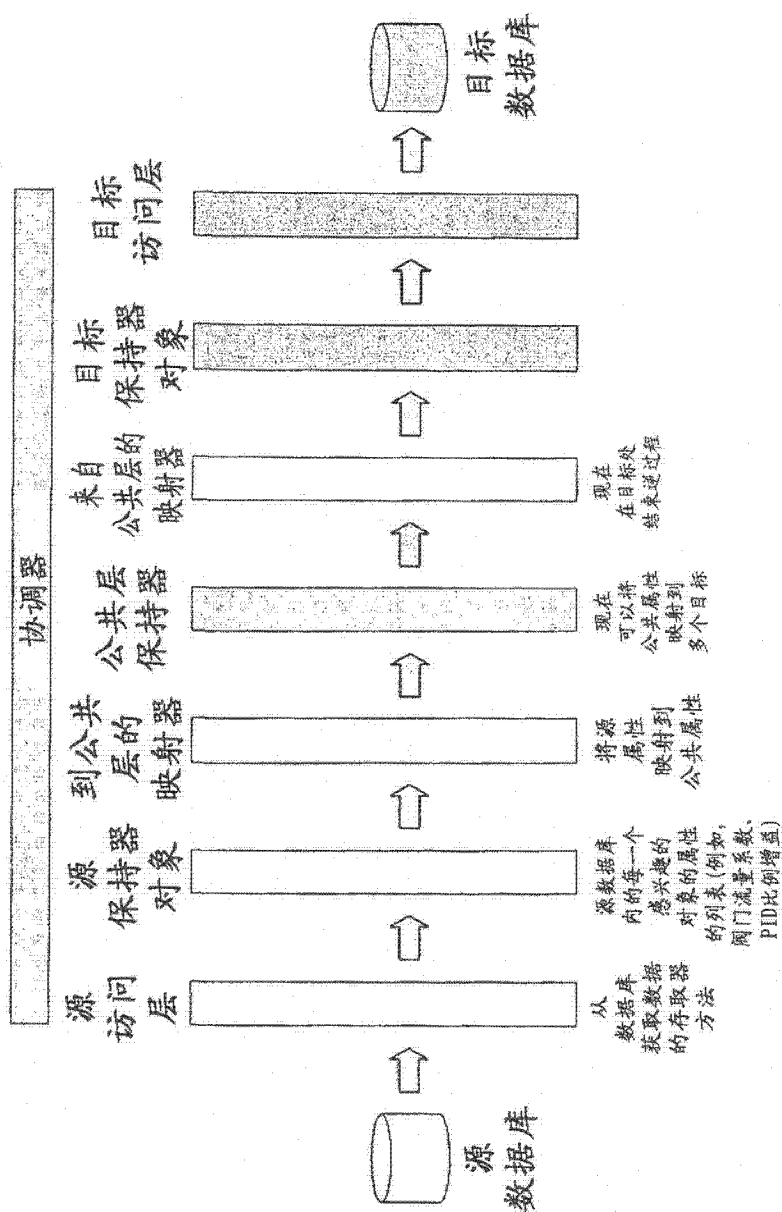


图 9

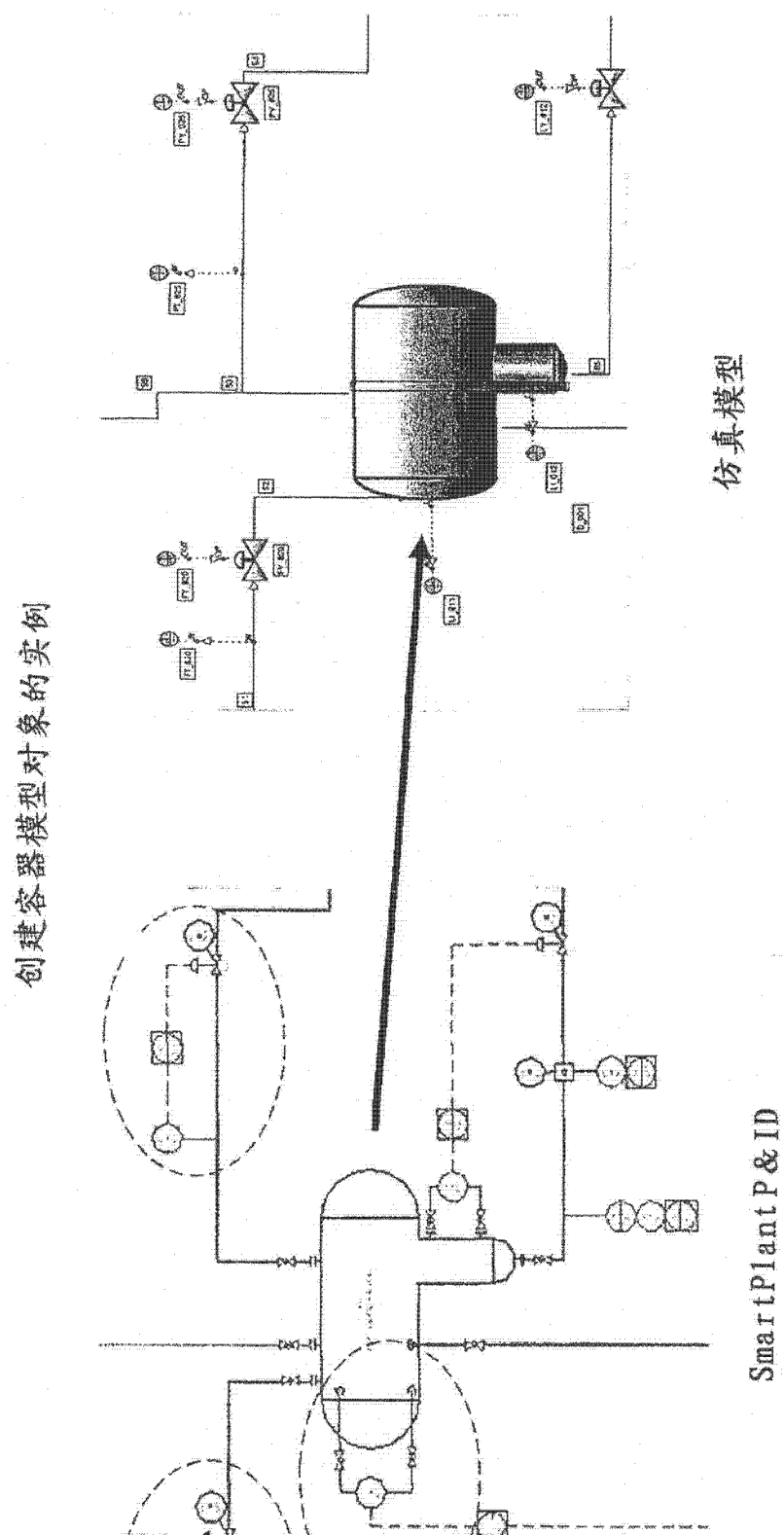


图 10A

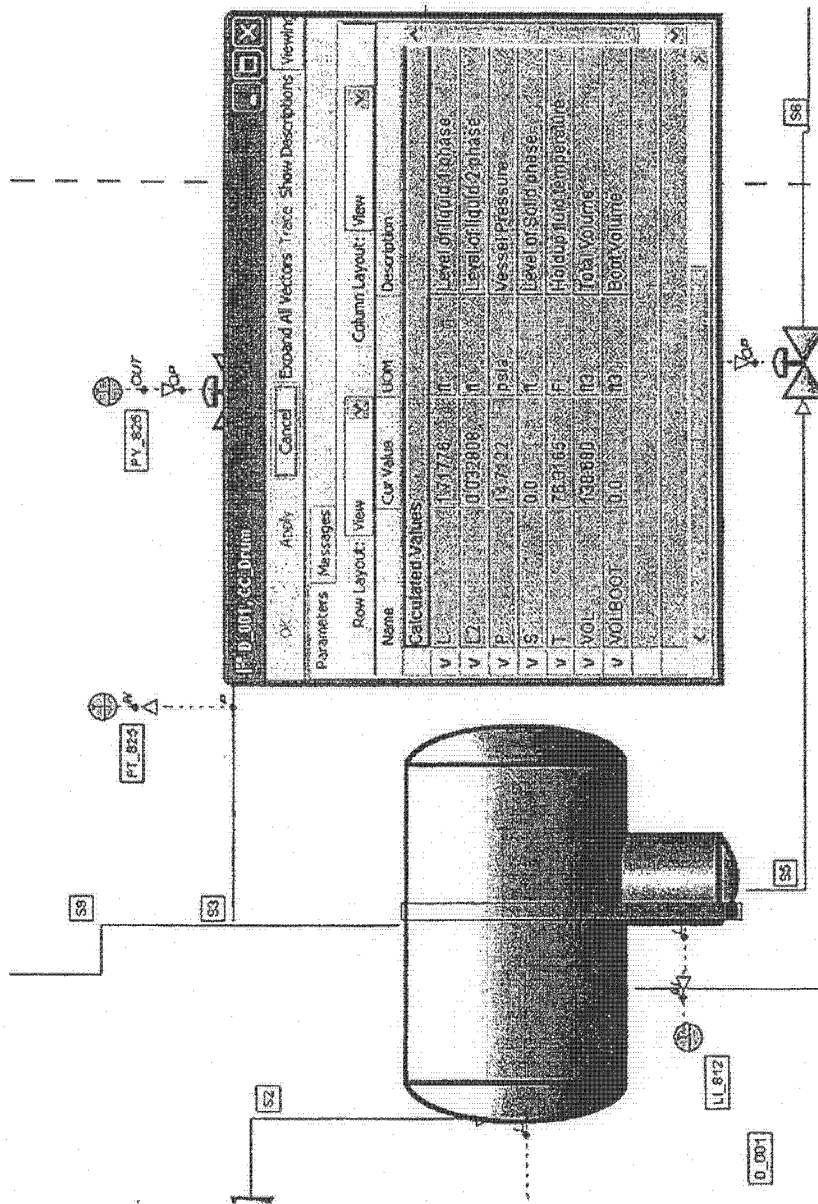


图 10B

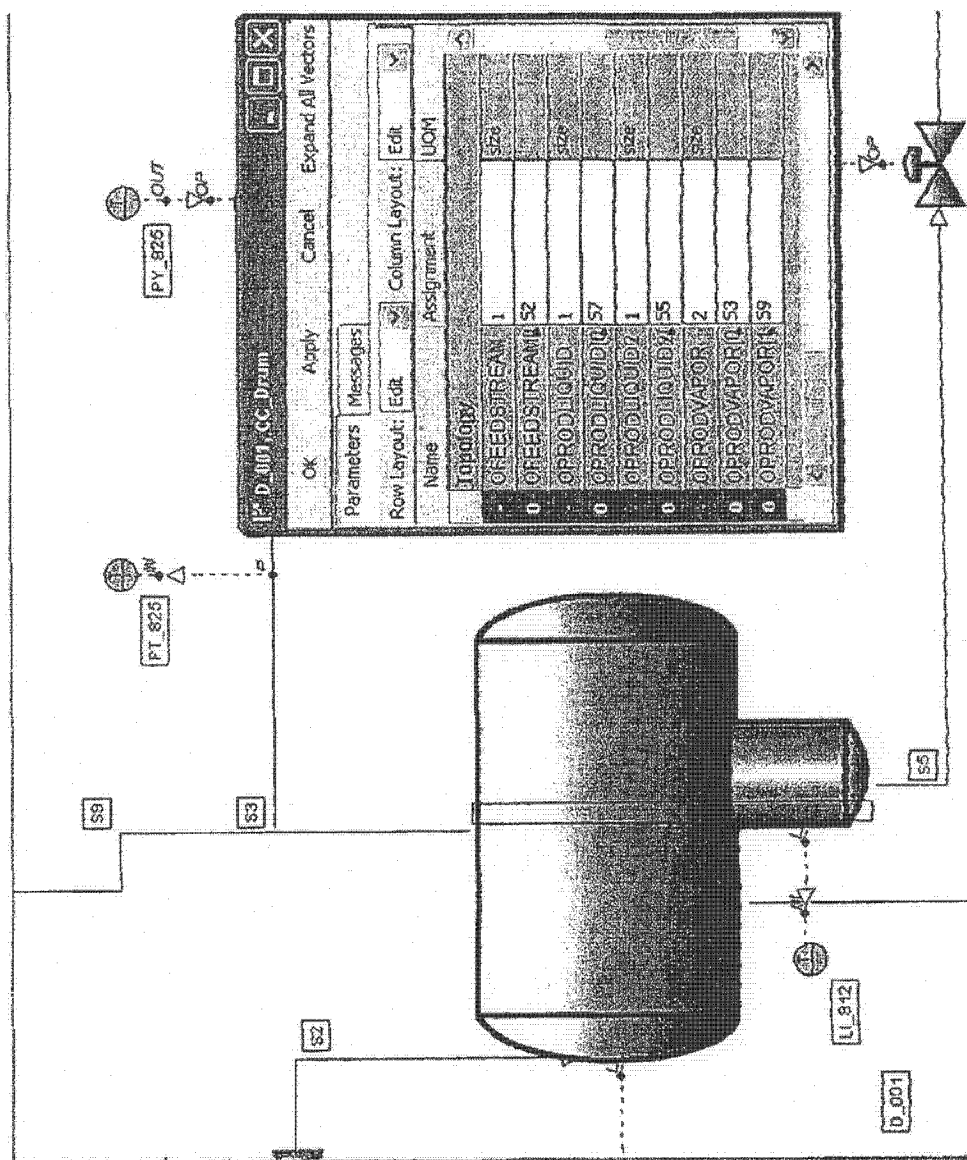


图 10C

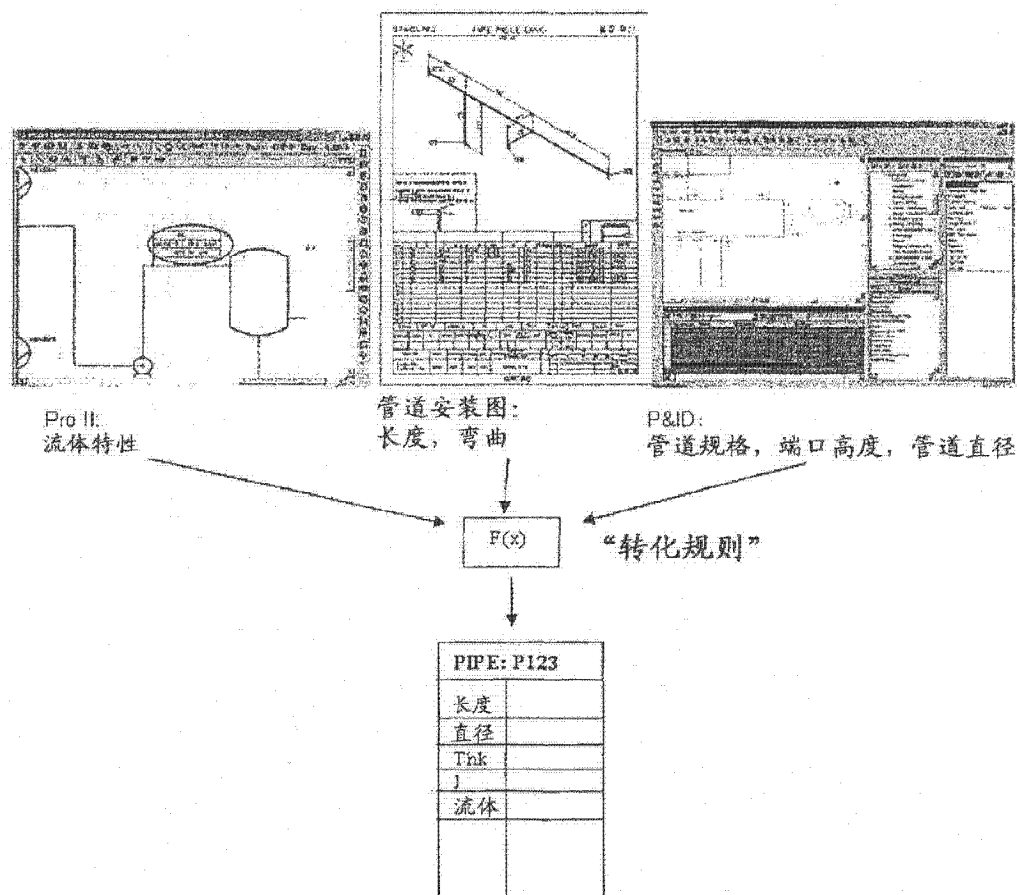


图 11A

```

<Mapping AABCC="1B2101" SPIDDESC="Large 1 diameter, 1 chamber, elliptical head horizontal drum" DSSCLASS="CCDRUM" ImageType="Horizontal">
  <PRM>
    <PRM_NAME>ORIENTATION</PRM_NAME>
    <PRM_ASSN>HORIZONTAL</PRM_ASSN>
  </PRM>
</Mapping>
<Mapping AABCC="1B2103" SPIDDESC="Medium 1 diameter, 1 chamber, elliptical head horizontal drum" DSSCLASS="CCDRUM" ImageType="Horizontal">
  <PRM>
    <PRM_NAME>ORIENTATION</PRM_NAME>
    <PRM_ASSN>HORIZONTAL</PRM_ASSN>
  </PRM>
</Mapping>
<Mapping AABCC="1B2104" SPIDDESC="1 diameter, 1 chamber, elliptical head horizontal drum" DSSCLASS="CCDRUM" ImageType="Horizontal">
  <PRM>

```

图 11B

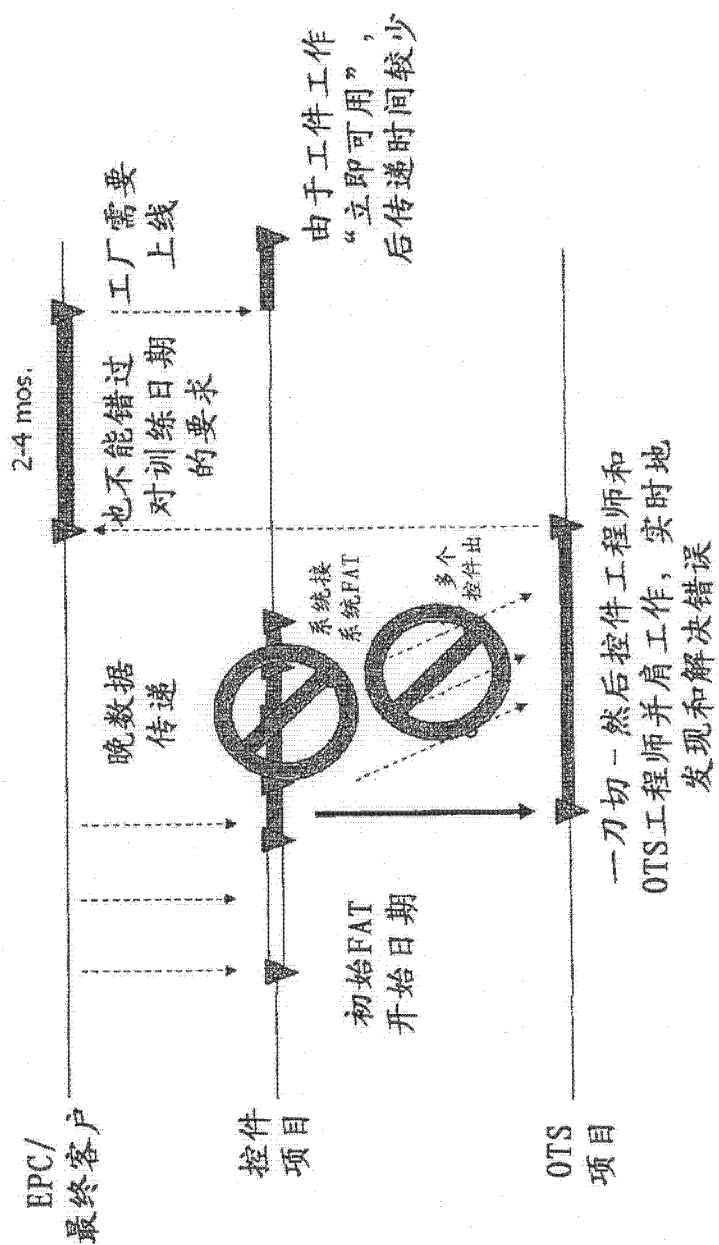


图 12

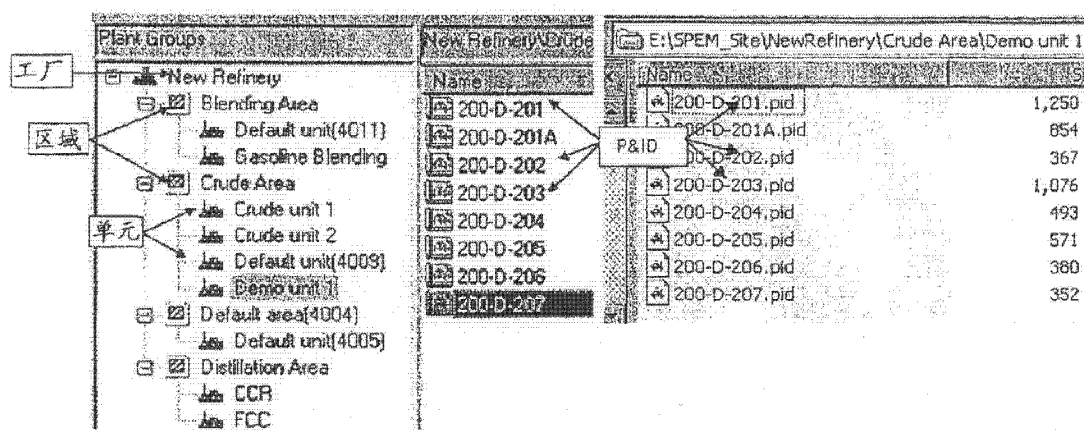


图 13

[illegible]

图 14

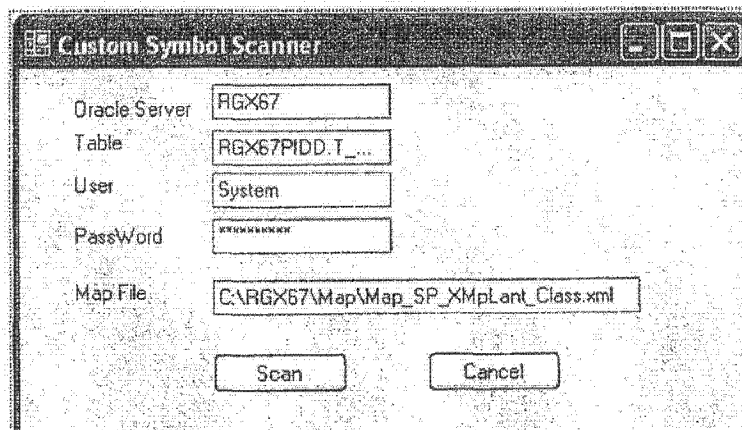


图 15

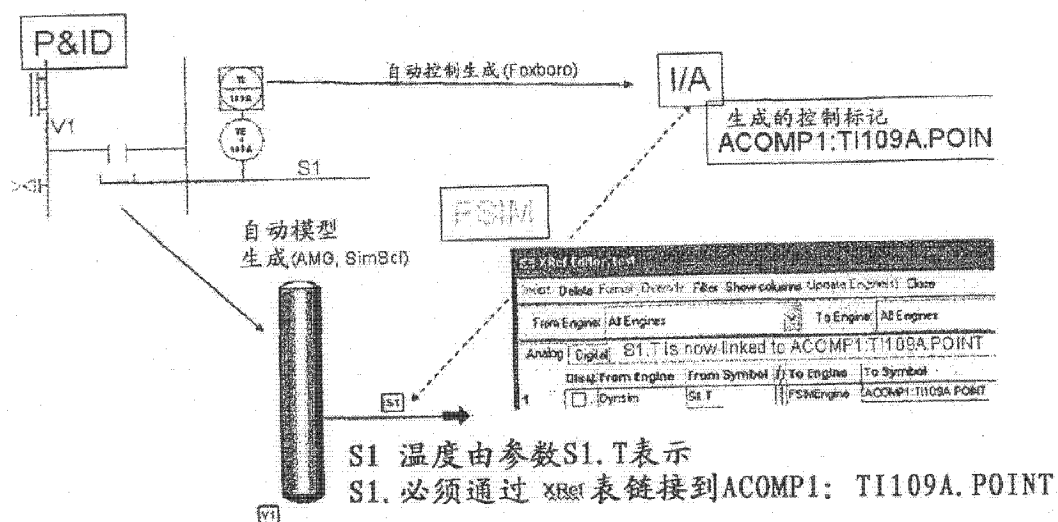


图 16

```

<SPIInstrCodedOSSParameter>
<!--Override OSSModelClass if the corresponding OSSParameter is different from the default one -->
<Instrument Desc="Temperature" Code="T" OSSModelClass="default" OSSParameter="T" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="TEMPERATURE" OSSImageType="Temperature Transmitter"/>
<Instrument Desc="Pressure" Code="P" OSSModelClass="default" OSSParameter="P" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="PRESSURE" OSSImageType="Pressure Transmitter"/>
<Instrument Desc="Flow (Mass)" Code="F" OSSModelClass="default" OSSParameter="W" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="MASSRATE" OSSImageType="Flow (dp) Element"/>
<Instrument Desc="Level" Code="L" OSSModelClass="default" OSSParameter="L" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="LEVEL" OSSImageType="Level Transmitter"/>
<Instrument Desc="Burner" Code="B" OSSModelClass="default" OSSParameter="R" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="TEMPERATURE" OSSImageType="Temperature Transmitter"/>
<Instrument Desc="Density" Code="D" OSSModelClass="default" OSSParameter="R" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="DENSITY" OSSImageType=""/>
<Instrument Desc="Power" Code="J" OSSModelClass="default" OSSParameter="P" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="POWER" OSSImageType="Speed Transmitter"/>
<Instrument Desc="Speed" Code="N" OSSModelClass="default" OSSParameter="S" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="SPEED" OSSImageType="Speed Transmitter"/>
<Instrument Desc="Speed" Code="S" OSSModelClass="default" OSSParameter="W" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="MASSFLOW" OSSImageType="Flow (dp) Element"/>
<Instrument Desc="Weight" Code="W" OSSModelClass="default" OSSParameter="W" AddTransmitter="true" TransmitterUOMClass="MASSFLOW" OSSImageType="Flow (dp) Element"/>
</SPIInstrCodedOSSParameter>

<!--User>PSIG</User>
<dynsim>psig</dynsim>
<uomClass>Pressure</uomClass>
</uomMap>
<!--User>DEGF</User>
<dynsim>F</dynsim>
<uomClass>Temperature</uomClass>
</uomMap>
<!--User>DEG F</User>
<dynsim>F</dynsim>
<uomClass>Temperature</uomClass>
</uomMap>
<!--User>GPM</User>
<dynsim>gal/min</dynsim>
<uomClass>VolumeRate</uomClass>
</uomMap>

```

图 17

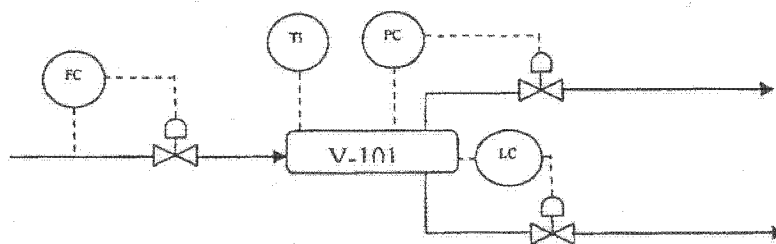


图 18

原因 ↓	结果→	FC	LC	PC	TI
FC		1, 60	0.2, 300	0.02, 240	0.01, 300
LC		0, 0	1, 120	0.1, 240	0.05, 300
PC		-0.05, 240	-0.02, 180	1, 60	0.02, 300

图 19