



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106933202 B

(45) 授权公告日 2021.06.29

(21) 申请号 201610865693.X

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2016.09.29

G05B 19/418 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

审查员 马波

申请公布号 CN 106933202 A

(43) 申请公布日 2017.07.07

(30) 优先权数据

14/868,650 2015.09.29 US

(73) 专利权人 爱默生过程管理电力和水解决方案公司

地址 美国宾夕法尼亚州

(72) 发明人 X·程 R·W·克法尔特
S·J·席林

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 曹雯

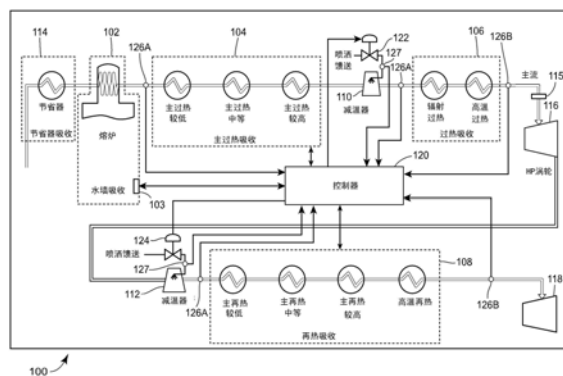
权利要求书4页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

利用基于所估计的状态信息的间歇重新初始化的前馈控制

(57) 摘要

一种用于对装置进行控制的最优前馈控制设计基于所估计的状态信息来执行间歇的重新初始化。在前馈计算期间明确地执行基于模型的受约束的优化。在装置的操作过程期间,连续地执行状态估计。当检测到负载目标变化时,所估计的状态可以用作新的信号基准。



1. 一种控制发电单元的方法,所述方法包括:

在计算设备处接收指示第一负载需求设定点的信号,所述第一负载需求设定点指示所述发电单元的第一期望输出;

经由所述计算设备来确定控制信号,所述控制信号用于根据初始负载斜变过程来驱动所述发电单元操作以进行发电,所述初始负载斜变过程是基于特定模型和所述第一负载需求设定点的;

在所述发电单元根据所述初始负载斜变过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时,定期地或连续地执行状态估计以获得对所述发电单元的当前状态估计;并且

在所述发电单元根据所述初始负载斜变过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时:

接收指示第二负载需求设定点的信号,所述第二负载需求设定点指示所述发电单元的第二期望输出;

经由所述计算设备,使用所述当前状态估计来计算经修改的控制信号,以用于根据经修改的负载斜变过程来驱动所述发电单元操作以进行发电,所述经修改的负载斜变过程是基于所述特定模型和所述第二负载需求设定点的;以及

使用所述经修改的控制信号来修改对所述发电单元的操作,以根据所述经修改的负载斜变过程来进行操作,从而驱动所述发电单元朝向由所述第二负载需求设定点所指定的所述第二期望输出。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,执行所述状态估计包括执行线性状态估计过程。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,执行所述状态估计包括执行非线性状态估计过程。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,使用所述经修改的控制信号来修改对所述发电单元的操作,以根据所述经修改的负载斜变过程来进行操作包括:根据优化方程来计算最优前馈轨迹。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中,使用所述经修改的控制信号来修改对所述发电单元的操作,以根据所述经修改的负载斜变过程来进行操作包括:使用所述经修改的控制信号来生成预测的过程输出。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,使用所述经修改的控制信号来修改对所述发电单元的操作,以根据所述经修改的负载斜变过程来进行操作还包括:将所预测的过程输出与测量的过程值进行组合以生成组合的过程输出,并将所组合的过程输出发送给反馈控制器以产生控制信号,从而操作所述发电单元。

7. 根据权利要求1所述的方法,还包括:使用所述经修改的控制信号来计算在所述第二负载需求设定点与所述发电单元的实际操作功率输出之间的误差值,并产生使所述误差值最小化的新的经修改的模型。

8. 一种用于控制发电单元的控制系统,包括:

计算单元,所述计算单元适于:

接收指示第一负载需求设定点的信号,所述第一负载需求设定点指示所述发电单元的第一期望输出,并且

在所述发电单元根据初始负载斜变过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时,接收指示第二负载需求设定点的信号,所述第二负载需求设定点指示所述发电单元的第二期望

输出；

状态估计单元，所述状态估计单元耦合到所述计算单元，所述状态估计单元适于在所述发电单元根据所述初始负载过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时测量与所述发电单元的当前操作状态相关联的至少一个特征，所述状态估计单元还适于基于所述至少一个特征来生成当前状态计算结果；

其中，所述计算单元还适于基于所述第一负载需求设定点来计算第一组操作参数，并且所述计算单元还适于基于所述第二负载需求设定点和所述当前状态计算结果来计算第二组操作参数；以及

控制信号发生器，所述控制信号发生器适于：

生成初始控制信号以根据所述初始负载斜变过程来驱动所述发电单元朝向所述第一期期望输出，所述初始负载斜变过程是基于特定模型和所述第一组操作参数的；并且

在所述发电单元根据所述初始负载斜变过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时，生成经修改的控制信号，以根据经修改的负载斜变过程来驱动所述发电单元朝向所述第二期望输出，所述经修改的负载斜变过程是基于所述特定模型和所述第二组操作参数的。

9. 根据权利要求8所述的控制系统，其中，所述计算单元还适于：根据优化方程来计算最优前馈轨迹。

10. 根据权利要求9所述的控制系统，其中，所述控制信号发生器还适于：使用所述经修改的控制信号来生成预测的过程输出。

11. 根据权利要求10所述的控制系统，其中，所述控制信号发生器还适于将所预测的过程输出与测量的过程值进行组合，以生成组合的过程输出，并将所组合的过程输出发送给反馈控制器以产生另外的控制信号，从而操作所述发电单元。

12. 根据权利要求8所述的控制系统，其中，与所述当前操作状态相关联的所述至少一个特征包括以下各项中的至少一项：所述发电单元的操作压力或所述发电单元的操作发电量。

13. 根据权利要求8所述的控制系统，其中，所述计算单元还适于计算表示在给定时间处的实际操作参数与在所述给定时间处的所述第二组操作参数之间的差的误差值，其中，在所述差超过阈值时，所述状态估计单元适于测量至少一个后续特征，所述计算单元适于基于所述至少一个后续特征来计算后续组的操作参数，并且所述控制信号发生器还适于基于所述特定模型和所述后续组的操作参数来控制所述发电单元。

14. 根据权利要求8所述的控制系统，其中，所述计算单元适于仅在接收到负载需求设定点信号时才计算所述第二组操作参数。

15. 一种用于控制工厂中的装置的方法，所述方法包括：

基于特定模型和指示初始负载需求设定点的信号来配置初始最优操作控制，所述初始负载需求设定点指示所述装置的初始期望输出；

控制所述工厂中的所述装置以根据初始负载斜变过程进行操作，所述初始负载斜变过程是基于所述初始最优操作控制的；

在所述装置根据所述初始负载斜变过程来朝向所述初始负载需求设定点斜变时，定期地或者连续地运行基于模型的状态估计以获得当前状态估计，所述基于模型的状态估计是基于所述装置的多个操作值的；并且

在所述装置根据所述初始负载斜变过程来朝向所述初始负载需求设定点斜变时：

确定是否接收到指示新的负载需求设定点的信号，所述新的负载需求设定点指示所述装置的新的期望输出；

在接收到所述指示所述新的负载需求设定点的信号时，使用所述当前状态估计来计算新的最优操作前馈控制轨迹；以及

修改对所述工厂中的所述装置的控制，以使得所述装置根据经修改的负载斜变过程进行操作，以驱动所述装置朝向所述新的负载需求设定点，所述经修改负载斜变过程是基于所述特定模型和所述新的最优操作前馈控制轨迹的。

16. 根据权利要求15所述的方法，还包括：除了运行所述基于模型的状态估计之外还运行反馈控制计算，所述反馈控制计算包括以下项中的一项：比例-积分-微分控制器、超前滞后控制器、模型预测控制器和线性二次高斯控制器。

17. 根据权利要求16所述的方法，其中，所述经修改的负载斜变过程还基于所述反馈控制计算。

18. 根据权利要求15所述的方法，还包括：确定所述装置是否达到所述新的负载需求设定点，并且在确定所述装置未达到所述新的负载需求设定点时，使用表示当前时间的基于模型的状态估计来计算后续的最优操作反馈和前馈控制轨迹。

19. 根据权利要求15所述的方法，其中，计算所述新的最优操作前馈控制轨迹包括对以下各项中的至少一项进行最小化计算：初始化参数、状态约束、输入约束、输入变化约束或输出约束。

20. 一种发电厂，包括：

涡轮；

锅炉，所述锅炉耦合到所述涡轮，所述锅炉操作为产生蒸汽以驱动所述涡轮；以及

控制单元，所述控制单元通信地耦合到所述锅炉以控制所述锅炉的操作，所述控制单元包括：

反馈控制器，所述反馈控制器产生反馈控制信号；

前馈控制器，所述前馈控制器产生前馈控制信号，所述前馈控制器包括：

计算单元，所述计算单元适于：

接收指示第一负载需求设定点的信号，所述第一负载需求设定点指示所述发电厂的第一期望输出；并且

在所述发电厂根据初始负载斜变过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时，接收指示第二负载需求设定点的信号，所述初始负载斜变过程是基于特定模型和所述第一负载需求设定点的，并且所述第二负载需求设定点指示所述发电厂的第二期望输出；

状态估计单元，所述状态估计单元适于在所述发电厂根据所述初始负载过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时，测量与所述发电厂的当前操作状态相关联的至少一个特征并且基于所述至少一个特征来生成当前状态计算；

其中，所述计算单元还适于基于所述第一负载需求设定点来计算第一组操作参数，并且所述计算单元还适于在所述发电厂根据所述初始负载斜变过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时，基于所述第二负载需求设定点和所述当前状态计算来计算第二组操作参数；以及

前馈控制信号发生器,所述前馈控制信号发生器适于:

在接收到所述指示所述第一负载需求设定点的信号时产生所述反馈控制信号,所述反馈控制信号包括第一响应特征,所述第一响应特征是基于所述第一组操作参数的,并且所述前馈控制信号用于根据所述初始负载斜变过程来驱动所述发电厂朝向所述第一期望输出;

在所述发电厂根据所述初始负载斜变过程来朝向所述第一负载需求设定点斜变时在接收到所述指示所述第二负载需求设定点的信号时产生经修改的前馈控制信号,所述经修改的前馈控制信号包括第二并且不同的响应特征,所述第二并且不同的响应特征是基于所述第二组操作参数的,并且所述经修改的前馈控制信号用于根据经修改的负载斜变过程来修改所述发电厂朝向所述第二期望输出的驱动,所述经修改的负载斜变过程是基于所述特定模型和所述第二负载需求设定点的;以及

控制信号组合器,所述控制信号组合器将所述经修改的前馈控制信号和所述反馈控制信号进行组合,以产生用于控制所述发电厂的主控制信号。

21. 根据权利要求20所述的发电厂,其中,所述反馈控制器包括以下项中的一项:比例-积分-微分控制器、超前滞后控制器、模型预测控制器和线性二次高斯控制器。

22. 根据权利要求21所述的发电厂,其中,所述前馈控制器适于仅在接收到负载需求设定点信号时才产生控制信号。

23. 根据权利要求20所述的发电厂,其中,当用非线性动态过程来描述所述状态估计单元时,所述计算单元是非线性计算单元。

24. 根据权利要求20所述的发电厂,其中,当用线性动态过程来描述所述状态估计单元时,所述计算单元是线性计算单元。

利用基于所估计的状态信息的间歇重新初始化的前馈控制

技术领域

[0001] 概括地说,本公开内容涉及对过程工厂和发电装置的控制,并且更具体地说,涉及实现可变速率的前馈控制电路以便与变化的负载需求设定点信号一起使用。

背景技术

[0002] 多个工业和非工业应用使用多组件发电设备。诸如发电厂之类的工业站可以包括锅炉-涡轮单元,其中燃烧燃料的锅炉生成诸如蒸汽之类的热能以操作一个或多个蒸汽涡轮,该一个或多个蒸汽涡轮转而生成为电力。在这些系统中,一个控制目标是调节功率输出以满足需求,同时使蒸汽压力和温度保持在期望的范围内。

[0003] 发电厂中所使用的典型蒸汽发电系统包括具有过热器区段(具有一个或多个子区段)的锅炉,在过热器区段中产生蒸汽并且然后提供给第一(通常高压)蒸汽涡轮并在该第一蒸汽涡轮内使用。为了增加系统的效率,离开第一蒸汽涡轮的蒸汽随后可以在锅炉的再热器区段(其可以包括一个或多个子区段)中进行再热,并且经再热的蒸汽随后提供给第二(通常较低压)蒸汽涡轮。功率系统的熔炉/锅炉区段二者以及功率系统的涡轮区段必须以协调的方式进行控制,以产生期望的功率量。

[0004] 此外,发电厂的蒸汽涡轮在不同的时间通常以不同的操作水平运行,以便基于提供给发电厂的可变能量或负载需求而产生不同量的电力或功率。例如,在许多情况下,发电厂关联到电功率传输和分配网络(经常被称为电网),并且发电厂向电网提供指定量的功率。在这种情况下,电网管理器或控制机构通常对电网进行管理,以使电网上的电压电平保持在恒定或近似恒定的电平(即,在额定的电平内),并基于电力用户施加在电网上的电力(功率)的当前需求来提供一致的功率供应。电网管理器通常会在一天的某些时间期间计划比一天中的其它时间期间更重度的使用(以及因此更大的功率要求),并且在一周和一年的某些天期间计划比一周和一年中的其它天期间更重度的使用(以因此更大的功率要求),并且可以运行一个或多个优化例程,以确定连接到电网的各个发电厂在任何特定的时间为了满足对电网的当前或期望的整体功率需求而需要生成的功率的最优数量和类型。

[0005] 作为该过程的一部分,电网管理器通常将功率需求要求(还被称为负载需求设定点)发送给向电网供电的发电厂中的每个发电厂,其中功率需求要求或负载需求设定点指定在任何特定的时间每个特定的发电厂要在电网上提供的功率量。为了实现对电网的恰当控制,电网管理器可以发送用于在任何时间连接到电网的不同发电厂的新的负载需求设定点,以考虑供应给电网的或者从电网中消耗的功率的预期和/或意外的变化。例如,电网管理器可以响应于需求(与晚上和周末相比,需求在正常营业时间期间和在工作日通常会更高)的预期或意外的变化而修改用于特定发电厂的负载需求设定点。类似地,电网管理器可以响应于电网上的功率供应的意外或预期的减少(例如,因特定发电厂处的一个或多个功率单元意外地发生故障或者脱机以用于常规或调度的维修而引起的)而改变用于特定发电厂的负载需求设定点。

[0006] 在任何情况下,虽然电网管理器可以在任何时间提供或改变用于特定发电厂的负

载需求设定点,但发电厂自身通常不能够瞬时地增加或减小供应给电网的功率量,这是因为发电装置通常由于这些系统的物理特征而呈现出响应时间的显著滞后。例如,为了增加基于蒸汽涡轮的发电系统的功率输出,有必要改变系统内所消耗的燃料量,从而增加系统的锅炉内的水的蒸汽压力或温度,所有这些花费有限并且非平凡(non-trivial)的时间量。因此,通常而言,发电厂仅可以以特定的速率增加或减小供应给电网的功率量,其中该特定的速率基于工厂内的发电装置的具体情况。

[0007] 在需要多个控制环路、标准多环路的基于涡轮的发电厂控制系统中,单输入单输出(SISO)策略包括涡轮跟随(turbine-following)和锅炉跟随(boiler-following)配置。在涡轮跟随方法中,由锅炉燃料输入来控制功率输出,并且相反地,在锅炉跟随方法中,由蒸汽节流阀位置来控制功率输出,这是因为功率输出与供应给涡轮的蒸汽量直接成比例。通常,涡轮跟随方法以蒸汽温度和压力的最小偏差的方式提供良好的控制,但涡轮跟随方法由于常规的发电厂中所实现的缓慢蒸汽生成过程而无法快速地跟踪负载需求。相比之下,通过用锅炉跟随方法来控制节流阀,可以将不同的蒸汽量立即供应给涡轮,但是是以耗尽锅炉中所储存的能量为代价来提供控制的,从而导致主蒸汽压力偏差。因此,对于在基本负载下操作的常规工厂,优选涡轮跟随方法,而对于在斜变负载(ramp-road)模式下操作的常规工厂,优选锅炉跟随方法。

[0008] 此外,在使用锅炉来发电的发电厂中,发电厂控制器通常使用反馈控制器来改变变量(通常被称为“修剪动作”),以便基于来自系统测量结果的信息来达到期望的结果,从而考虑未知的系统扰动和过程不确定性。发电厂控制器还可以并入前馈(或预测)控制器,该前馈控制器预见(预测)将来的变化,并响应于负载需求分布的预期变化(可以在本地或者通过远程分派(例如,通过电网管理器)来做出该预期变化)而提供快速动作以增加或减小输出功率。

[0009] 在当前的方法中,前馈设计基于负载需求分布并且有时与动态“踢踹(kicking)”动作组合,其中与负载需求索引的线性函数相比,动态“踢踹”动作增加了锅炉的响应速率。反馈控制经常使用比例-积分-微分(PID)控制器。

[0010] 由于使用了不提供保证的动态精确性的稳定状态负载需求曲线,因此出现了使用当前的前馈方法的直接缺陷。此外,当负载斜变过程中间负载目标变化时,在后续的计算中不考虑当前状态。换句话说,常规的前馈计算将新的负载斜变过程视为好像该过程总是从稳定状态条件开始,并且不考虑装置的当前操作状态,其中装置的当前操作状态可以包括当前变量以及该变量的变化速率。

发明内容

[0011] 提供了一种用于发电厂控制系统(例如,蒸汽涡轮发电厂控制系统)中的前馈控制设计,该前馈控制设计基于估计的状态信息执行间歇的重新初始化。在该方法中,在前馈计算期间明确地执行基于模型的受约束的优化,以有助于获得更优的性能。在装置的操作过程期间,连续地执行与当前操作状况相关的状态估计。在负载斜变过程期间检测到负载目标变化时,当前估计的状态信息用于计算经更新的控制信号,以发送给控制系统。因此,经更新的控制信号更加精确并且可以用于恰当地调节对发电厂的性能和输出有影响的参数。

[0012] 提供了一种用于使用状态估计来计算进修改的负载斜变控制信号的方法,并且所

述方法可以包括:使用计算设备,基于指示发电单元的第一期望输出的第一负载需求设定点信号,来计算用于初始负载斜变过程的初始模型。对所述初始负载斜变过程定期地执行状态估计,以获得当前状态估计。在接收到第二负载需求设定点信号(其指示所述发电单元的第二期望输出)时,所述当前状态估计用于计算用于经修改的负载斜变过程的修改的控制信号。经修改的控制信号然后用于操作所述发电单元,从而所述单元达到由所述第二负载需求设定点信号所指定的所述第二期望输出。所述状态估计可以是线性计算过程或非线性计算过程中的一个。

[0013] 在一些示例中,误差值可以被计算为目标设定点与所述发电单元的实际操作功率输出之间的差,并且可以用于产生使所述误差值最小化的新的经修改的控制信号,以使得后续计算的误差值在允许的阈值内。

[0014] 在其它实施例中,提供了一种用于控制发电单元的控制系统,并且所述控制系统包括:状态估计单元、耦合到所述状态估计单元的计算单元、以及控制信号发生器。所述计算单元适于:接收指定第一负载需求设定点的至少第一负载需求设定点信号。所述状态估计单元可以适于:测量与所述发电单元的当前操作状态相关联的至少一个特征,并基于所述至少一个特征来生成当前状态计算结果。

[0015] 在一些实施例中,所述计算单元适于:基于所述第一负载需求设定点来计算第一组操作参数,并基于所述第二负载需求设定点和当前状态计算来计算第二组操作参数。在一些方法中,所述计算单元仅在接收到负载需求设定点信号时才计算所述第二组操作参数。所述控制信号发生器基于所述第一组操作参数和/或所述第二组操作参数来生成控制信号,以控制所述发电单元。

[0016] 在一些方法中,所述特征包括所述发电单元的操作压力和/或发电量中的至少一个。此外,所述计算单元可以适于:计算表示在给定时间处的实际操作参数与在给定时间处的所述第二组操作参数之间的差的误差值。在所述差超过阈值时,所述状态估计单元适于测量至少一个后续特征。所述计算单元然后适于:基于所述至少一个后续特征来计算后续组的操作参数,并且所述输出适于:基于所述后续组的操作参数来控制所述发电单元。

[0017] 在其它形式中,提供了一种用于控制工厂中的装置的方法,并且所述方法包括:基于表示初始负载需求设定点的初始负载需求设定点信号,来配置初始最优操作模型;至少使用所述初始最优操作模型来控制所述工厂中的所述装置;以及定期地对所述装置运行基于模型的状态估计以获得当前状态估计。所述基于模型的状态估计可以基于所述装置的多个操作值。

[0018] 这些方法还可以包括确定是否接收到新的负载需求设定点信号,所述新的负载需求设定点信号表示新的负载需求设定点。在接收到所述新的负载需求设定点信号时,所述方法可以使用所述当前状态估计来计算新的最优操作前馈控制轨迹。然后可以使用所述新的最优操作前馈控制轨迹来控制所述装置。

[0019] 在一些实施例中,除了运行基于模型的状态操作之外还可以运行反馈控制计算。该反馈控制计算可以包括以下项中的任一项:比例-积分-微分控制器、超前滞后控制器、模型预测控制器和线性二次高斯控制器。其它的示例是可能的。然后可以使用所述反馈控制计算来控制所述装置。

[0020] 在其它实施例中,所述方法可以确定所述装置是否达到所述新的负载需求设定

点。在确定所述装置还未达到所述新的负载需求设定点时,可以使用表示当前时间的基于模型的状态估计来计算后续的最优操作前馈和反馈控制轨迹。

[0021] 在其它示例中,一种锅炉操作的发电厂包括:涡轮;耦合到所述涡轮的锅炉,所述锅炉操作为产生蒸汽以驱动所述涡轮;通信地连接到所述锅炉的控制单元;以及控制信号发生器。所述控制单元包括产生反馈控制信号的反馈控制器和产生前馈控制信号的前馈控制器。该前馈控制器包括状态估计单元、计算单元和前馈控制信号发生器。所述状态估计单元侧向与所述发电单元的当前操作状态相关联的至少一个特征,并基于至少一个特征来生成当前状态计算。所述计算单元接收指定第一负载需求设定点的第一负载需求设定点信号和指定第二负载需求设定点的第二负载需求设定点信号,并基于所述第一负载需求设定点来计算第一组操作参数,并且还基于所述第二负载需求设定点和所述当前状态计算来计算第二组操作参数。所述前馈控制信号发生器在接收到所述第一需求设定点信号之后产生包括第一响应特征的前馈控制信号,所述第一响应特征基于所述第一组操作参数,并且所述前馈控制信号发生器在接收到所述第二需求设定点信号之后生成包括第二、不同的响应特征的前馈控制信号。该第二响应特征基于所述第二组操作参数。最后,所述控制信号对所述前馈控制信号和所述反馈控制信号进行组合,以产生用于控制所述锅炉的主控制信号。

[0022] 所述前馈控制器可以是比例-积分-微分控制器、超前滞后控制器、模型预测控制器和线性二次高斯控制器中的一个。其它示例是可能的。前馈控制器可以适于:仅在接收到负载需求设定点信号时才产生控制信号。在一些示例中,当用非线性动态过程来描述所述状态估计单元时,非线性计算单元被使用。相反,当用线性动态过程来描述所述状态估计单元时,线性计算单元被使用。

[0023] 这样配置之后,所述控制系统可以精确地确定所述装置的当前状态,并生成用于控制所述装置的新的控制信号以满足经修改的负载需求。通过并入本文所描述的最优前馈控制设计,主控制信号(锅炉主控制和涡轮主控制)将直接将兆瓦特(MW)输出和蒸汽压力置于它们期望的水平,而不需要系统的反馈控制部分的显著移动,从而减小了由于差的反馈设计和/或调谐而引起的潜在过程振荡。

附图说明

[0024] 通过提供下面的详细描述中所描述的前馈控制设计,特别是在结合附图进行研究时,至少部分地满足上面的需求,其中:

[0025] 图1根据本发明的各个实施例示出了用于蒸汽供电的涡轮系统的典型锅炉蒸汽循环的框图;

[0026] 图2根据本发明的各个实施例示出了用于在具有锅炉和涡轮并且被配置为涡轮跟随模式的发电厂中提供前馈和反馈控制二者的控制电路的示意框图;

[0027] 图3根据本发明的各个实施例示出了利用状态估计器、基于负载斜变过程来间歇地重新计算控制的最优前馈控制器的示意框图;

[0028] 图4根据本发明的各个实施例示出了典型的锅炉操作的发电厂的示意框图;

[0029] 图5根据本发明的各个实施例示出了用于控制工厂中的装置的流程图;

[0030] 图6根据本发明的各个实施例示出了与使用针对图1-图5所描述的控制方法相关联的假设信号图。

[0031] 技术人员将意识到,附图中的要素是出于简单和清晰而示出的,并不一定按比例缩放。例如,附图中的要素中的一些要素的尺寸和/或相对定位可以相对于其它要素放大,以帮助改善对本发明的各个实施例的理解。此外,在商业上可行的实施例中,有用或必要的常见但公知的要素通常没有描绘,以便有助于对这些各个实施例的较不杂乱的视图。还要理解的是,可以以特定的发生顺序来描述或描绘某些动作和/或步骤,而本领域技术人员将理解,针对顺序的这种特定性实际上并不要求。还要理解的是,本文所使用的术语和表达式具有如上面所阐述的本领域技术人员赋予该术语和表达式的普通技术含义,除非本文以其它方式阐述了不同的特定含义。

具体实施方式

[0032] 现在参考附图,图1示出了可以用于例如热发电厂中的典型锅炉100的直流锅炉蒸汽循环的框图。锅炉100可以包括各种区段,其中蒸汽或水以各种形式(例如,过热的蒸汽、再热的蒸汽等等)流动经过这些区段。锅炉100包括:用于调节燃料输入的主控制设备103、熔炉和主水墙吸收区段102、主过热器吸收区段104、过热器吸收区段106和再热器区段108。另外,锅炉100可以包括一个或多个减温器或喷洒器区段110和112以及节省器区段114。在操作期间,由锅炉100生成并由过热器区段106输出的主蒸汽用于驱动高压(HP)涡轮116,并且来自再热器区段108的经再热的热蒸汽用于驱动中压(IP)涡轮118。涡轮主阀115负责调节涡轮的输入以调整其功率。通常,锅炉100还可以用于驱动低压(LP)涡轮,其中LP涡轮没有示出。

[0033] 水墙吸收区段102(其主要负责生成蒸汽)包括多个管道,其中来自节省器区段114的水或蒸汽经过这些管道在熔炉中进行加热。当然,进入水墙吸收区段102的给水可以通过节省器区段114泵送,并且当该水在水墙吸收区段102中时吸收大量的热。在水墙吸收区段102的出口处提供的蒸汽或水馈送给主过热器吸收区段104,并且然后馈送给过热器吸收区段106,这些共同使蒸汽温度提高到非常高的水平。自过热器吸收区段106输出的主蒸汽驱动高压涡轮116以生成电力。

[0034] 一旦主蒸汽驱动高压涡轮116,蒸汽就被路由到再热器吸收区段108,并且自再热器吸收区段108输出的经再热的热蒸汽用于驱动中压涡轮118。喷洒区段110和112可以用于将涡轮116和118的输入处的最终蒸汽温度控制为处于期望的设定点。最后,来自中压涡轮118的蒸汽可以通过低压涡轮系统(此处没有示出)馈送到蒸汽冷凝器(此处没有示出),其中在蒸汽冷凝器中蒸汽被冷凝成液体形式,并且循环再次开始于各个锅炉馈送泵将给水泵送通过级联的给水加热器队列并且随后通过节省器以用于下一个循环。节省器区段114位于从锅炉离开的热排放气体流中,并且在给水进入水墙吸收区段102之前使用热气体将额外的热传递给给水。

[0035] 控制器120通信地耦合到水墙吸收区段102内的熔炉并耦合到阀122和124,其中阀122和124控制提供给喷洒区段110和112中的喷洒器的水量。控制器120还耦合到各个传感器,包括位于水墙吸收区段102的输出端处的、减温器区段110的输出端处的、第二过热器区段106的输出端处的、减温器区段112的输出端处的和再热器区段108的输出端处的温度传感器126,以及阀122和124的输出端处的流动传感器127。控制器120还接收其它输入,该其它输入包括燃烧速率、指示负载并且是负载的微分的信号(通常被称为前馈信号)、以及指

示锅炉的设定或特征(例如,风门设定、燃烧器倾斜位置等等)的信号。

[0036] 控制器120可以生成其它控制信号并将该其它控制信号发送到系统的各个锅炉和熔炉区段,并且可以接收其它测量结果,例如阀位置、所测量的喷洒流、其它温度测量结果等等。虽然没有专门示出,但控制器120可以包括用于控制锅炉系统的过热器和再热器区段的单独区段、例程和/或控制设备。

[0037] 图2示出了控制系统200的详细流程图,其中控制系统200可以作为控制器120的一部分用在图1的发电厂中以控制锅炉/涡轮过程250。控制系统200包括负载需求信号201、反馈控制器208、前馈控制器210、锅炉主信号组合器212、涡轮主信号组合器214、压力设定点222、以及锅炉/涡轮过程信号250。要理解的是,控制系统200可以包括另外的组件和/或生成另外的控制信号,但是为清晰起见,这些在图2中没有示出。此外,虽然提供了单个反馈控制器208和前馈控制器210以用于产生锅炉主控制信号和涡轮主控制信号,但是要理解的是,如果期望的话,可以使用单独的反馈控制器208和/或前馈控制器210来生成锅炉和涡轮主信号中的每一个。

[0038] 负载需求201表示包括负载需求设定点的设定点信号。负载需求201用作为主控制信号以控制发电厂100。经由计算设备的任意组合,使用负载需求来产生负载需求索引。该负载需求索引然后用于控制涡轮102和锅炉106的操作,其中涡轮102和锅炉106可以包括任意数量的阀、泵以及其它装置以发电。类似地,压力设定点222包括与锅炉将要生成的蒸汽压力量相关的信息和/或任何数量的信号,以便对涡轮进行供电以满足期望的负载设定点。

[0039] 如图2中所示出的,负载需求201和压力设定点222以涡轮跟随模式连接。换句话说,由锅炉燃料输入来控制功率输出(通常用兆瓦特或MW表示)。要理解的是,在一些方法中可以使用锅炉跟随模式,由此,由于功率输出与供应给涡轮的蒸汽量直接成比例,因此由节流阀位置来控制功率输出。在其它情况下,可以使用涡轮跟随模式,这是因为这种模式向蒸汽温度和压力提供最小偏差。然而,由于常规的煤燃烧发电厂中蒸汽生成缓慢,因此涡轮跟随模式不能够快速地跟踪负载需求。相反,通过打开和/或调节节流阀,可以立即供应不同量的蒸汽,但这是以耗尽存储在锅炉中的能量为代价的,其中耗尽存储在锅炉中的能量转而引起主蒸汽压力偏差。因此,对于在基本负载下操作的常规的煤燃烧工厂,可能优选涡轮跟随模式,而对于在斜变模式(例如,AGC模式)下操作的发电厂,可能优选锅炉跟随模式。

[0040] 反馈控制器208可以是任意类型的控制器,例如,比例-积分-微分(PID)控制器或者其任何变型,尽管可以使用其它类型的控制器。通常而言,反馈控制器208将锅炉/涡轮过程250所产生的实际负载(例如,以兆瓦特、压力和/或百分比容量为单位)与由负载需求信号201生成或指示的负载需求索引进行比较,以产生误差信号。可以由过程模型(没有示出)来生成该误差信号,其中过程模型可以由前馈控制器210和/或锅炉/涡轮过程250生成。反馈控制器208使用该误差信号来产生第一涡轮控制信号,其中第一涡轮控制信号被提供给锅炉信号组合器212和涡轮信号组合器214。信号组合器的一个此类示例是执行求和函数的组合器。其它示例是可能的。

[0041] 前馈控制器210还对负载需求201进行操作并产生前馈控制信号,其中前馈控制信号也被提供给锅炉和涡轮信号组合器212、214。组合器212、214例如通过对这些信号进行求和来组合这些信号,以产生锅炉主控制信号和涡轮主控制信号,以便使用作为操作锅炉/涡轮过程250中的输入。在一些方法中,如果必要的话,组合器212、214可以缩放经求和的信号,

以产生用于锅炉系统的适当的主控制信号,或者可以以其它方式(例如,平均化、相乘等等)来组合这些信号。

[0042] 锅炉主信号组合器212所生成的锅炉主信号和涡轮主信号组合器214所生成的涡轮主信号可以使用主信号组合器(没有示出)来进行组合。替代地,锅炉和涡轮主信号可以直接发送给锅炉/涡轮过程250的组件以控制其操作。

[0043] 要理解的是,信号组合器212、214中的任意一个或二者可以执行对接收到的控制信号的平均化、加权平均和/或缩放,以产生主控制信号。

[0044] 转到图3,提供了使用状态估计器来计算工厂的当前操作状况的工厂系统。在工厂的正常操作期间,当接收到负载需求设定点时,工厂可能以稳定状态(即,非斜变)方式进行操作。在接收到负载需求设定点时,工厂的组件使用与工厂的稳定状态相关的操作特征来确定控制信号,其中控制信号使得工厂被驱动朝向设定点。在工厂朝向第一负载需求设定点斜变的情况下接收到新的负载需求设定点时,工厂的当前操作状况是有用的,因为它提供了用于计算经修改的控制信号的更精确的基准。在通常意义上,状态估计器将接收功率、压力和/或任何其它的变量、测量结果和特征,以获得对工厂的状态估计。该状态估计然后用于计算经修改的控制信号,以朝向第二负载需求设定点驱动工厂。

[0045] 因此,图3提供了最优控制器单元300的示意框图,其中最优控制器单元300使用状态估计器来间歇地重新计算控制信号以用于基于负载斜变过程来控制锅炉主阀或涡轮主阀。在图3中,图2的前馈控制器210被示出为具有单独的组件。要理解的是,前馈控制器210可以包括比所示出的组件少任意数量的组件或者额外的组件。控制器单元300可以开始于在最优前馈计算器302处接收功率(MW)和压力设定点,其中最优前馈计算器302可以是本领域技术人员已知的任何类型的前馈计算器。如果期望的话,可以以多元方式来处理前馈计算。

[0046] 前馈计算器302然后生成涡轮和锅炉控制信号,以便发送给过程模型308以及锅炉和涡轮主信号组合器212、214(其可以是图2中所示出的锅炉和涡轮主信号组合器)。过程模型单元308创建或实现锅炉和/或涡轮过程的过程模型,以便以例如功率(MW)和节流压力的形式生成所预测的过程输出。

[0047] 在锅炉和/或涡轮过程期间,所感测的、所测量的和/或所计算的功率测量结果304和节流压力测量结果306分别发送给求和器310和312。提供给求和器310和312的功率和压力测量结果304和306可以使用任意数量的传感器和/或其它设备来感测和/或计算。求和器310和312将测量结果304和306与所预测的过程输出进行比较,以在求和器310和312的输出端处产生差或误差信号。所测量的值与所预测的值之间的经计算的差后续发送给反馈控制器208(其可以是图2中的反馈控制器208),其中反馈控制器208产生控制信号以便发送给锅炉和涡轮主信号组合器212、214。锅炉和主涡轮信号组合器212、214然后在它们各自的输入端处组合信号,以创建并发送给锅炉和涡轮主控制设备330。

[0048] 前述的描述对当在稳定状态期间接收到目标设定点时(即,当锅炉和/或涡轮过程不在负载斜变状态下时)控制单元的操作进行了描述。在该操作期间,除了图2中的任意数量的实时反馈控制器208之外,状态估计器314也连续地运行。因此,在锅炉和/或涡轮过程的操作期间状态估计器314也接收功率测量结果304和节流压力测量结果306。在锅炉和/或涡轮过程当前在负载斜变操作的期间,接收到新的负载需求的情况下,在接收到新的功率

目标和节流压力设定点时,状态估计器314使用当前的功率和节流压力测量结果304、306以及来自过程模型单元308的所预测的过程输出来计算装置的当前状态,以便发送给最优前馈计算器302。然后,最优前馈计算器302使用该状态信息来生成新的涡轮和锅炉控制信号,以便发送给过程模型308并发送给锅炉和涡轮主信号组合器212、214。要理解的是,在一些示例中,状态估计器314可能不会连续地运行,相反,根据需要,状态估计器314可以在整个过程期间定期地运行或者在不同的时间运行。

[0049] 在一些示例中,初始模型是基于状态变量的,并且通常可以表示为 $y=f(x,u)$,由此“y”表示受控变量(或“CV”),其可以包括例如以兆瓦特为单位的功率以及压力,“u”表示受操纵变量(或“MV”),其包括锅炉主燃料输入和涡轮主节流阀,并且“x”可以表示中间状态变量。在线性多输入多输出的情况下,可以用以下状态空间方程来定义模型:

$$[0050] \quad x(k+1) = Ax(k) + Bu(k)$$

$$[0051] \quad y(k) = Cx(k), \text{ 其中}$$

$$[0052] \quad x(k) \in \mathbb{R}^n, \quad u(k) \in \mathbb{R}^m, \quad y(k) \in \mathbb{R}^p$$

[0053] 其中,A、B和C具有适当的维度。具体而言,A表示具有 $n \times n$ 维度的系统矩阵,B表示具有 $n \times m$ 维度的控制矩阵,并且C表示具有 $p \times n$ 维度的输出矩阵,其中n表示状态变量的数量,m表示控制输入变量的数量,并且p表示过程输出变量的数量。

[0054] 如先前提到的,如果反馈控制器208是基于状态变量的,则可以应用标准的状态估计方法,例如:

$$[0055] \quad \hat{x}(k | k) = (A - K_e CA) \cdot \hat{x}(k-1 | k-1) + (B - K_e CB) \cdot u(k-1) + K_e y(k)$$

[0056] 其中, $\hat{x}(k | k)$ 表示所估计的状态,并且 K_e 表示预先计算的状态估计器增益。

[0057] 在接收到负载需求变化时,最优前馈分布计算器302可以根据示例性的优化方程来执行计算:

$$[0058] \quad \text{Minimize } J = \sum_{i=0}^N \{ \|y^p(k_0+i|k_0) - y_{set}(k_0+i|k_0)\|_Q + \|u^p(k_0+i|k_0)\|_R + \|\varepsilon\|_W \}$$

[0059] 其中,最小化计算受到以下约束:

$$[0060] \quad \text{初始化: } x_0 = \hat{x}_{k_0} = \hat{x}(k|k)$$

$$[0061] \quad \text{状态约束 } y^p(k_0+i|k_0) = f(y^p(k_0+i-1|k_0), x^p(k_0+i|k_0), u^p(k_0+i|k_0))$$

$$[0062] \quad \text{输入约束: } U_{\min} \leq u^p(k_0+i|k_0) \leq U_{\max}$$

$$[0063] \quad \text{输入变化约束: } \|\Delta u^p(k_0+i|k_0)\| \leq \Delta U_{\max}$$

$$[0064] \quad \text{输出约束: } \|y^p(k_0+i|k_0) - y_{\text{required}}(k_0+i|k_0)\| \leq \varepsilon$$

[0065] 在这些方程中, k_0 表示初始时间,或者检测到负载目标变化时的时间,并且 x_0 表示初始时间处的初始状态条件,其被设定为等于特定时间处所估计的状态。类似地, $x^p(k_0+i|k_0)$ 表示所预测的状态, $y^p(k_0+i|k_0)$ 表示所预测的输出(CV),并且 $u^p(k_0+i|k_0)$ 表示最优前馈分布计算中的输入(MV)。此外, $U_{\min}$ 和 $U_{\max}$ 表示用于控制输入的最小和最大值。在许多示例中,燃料输入通常在0至100之间缩放,并且节流阀开口类似地在0至100的值之间缩放。 $\Delta U_{\max}$ 表示在每个采样间隔期间控制输入的最大允许的移动。 $y_{\text{required}}(k_0+i|k_0)$ ($i=1, \dots, N$)表示沿着负载分派中心针对当前的功率操作状态所要求的轨迹的中间负载水平。理想地,该值位于 $i=N$ 等于目标负载水平的地方。另外,对正定矩阵P的加权2-范数被定义为

$$\|x\|_p = \sqrt{x^T P x}。$$

[0066] 另外,在优化函数中,符号Q和R分别表示用于过程输出和控制输入的加权因子的矩阵。符号W表示惩罚输出约束违反的加权因子。符号 ε 表示自动地由限制违反输出约束的优化解来确定的变量。

[0067] 如先前提到的,在本文所描述的实施例中不要求特定的状态估计方法。如果原先使用线性系统来描述锅炉和涡轮过程,则可以如先前所描述的使用标准的线性状态估计器。如果使用非线性动态系统来描述系统,则可以使用非线性状态估计器,譬如,例如Kalman滤波器。还要注意的,不同于常规的模型预测控制过程,不在每个采样间隔处使用状态估计。相反,状态估计器仅使用一次以在前馈计算的开始处确定初始条件。此外,在一些示例中,当检测到新的目标时,在负载斜变过程的开始处仅执行一次优化计算。此时将应用完整经计算的控制分布。

[0068] 此外,要理解的是,预测时域(用字母“N”表示)不是固定的。相反,预测时域取决于当前负载水平与目标负载水平之间的距离,并且可以在负载需求水平之间不同。具体地说,可以使用下式来计算预测时域:

$$[0069] \quad N = |\text{目标负载水平} - \text{初始负载水平}| / \text{要求的斜变速率} / \text{控制采样时间}$$

[0070] 要理解的是,所描述的输出约束可以被视为“软”约束。可以使用多种不同的方法来处理这些约束,例如通过将输出约束违反作为惩罚并入到目标函数中。

[0071] 图4示出了具有包括涡轮主设备(例如,调节阀)403的涡轮402的高级发电厂400示意图。涡轮402生成所计算的、所感测的和/或所测量的值404,其可以包括功率或其它值。工厂400还包括包含锅炉主设备(例如,燃料输入)407的锅炉406,并生成所计算的、所感测的和/或所测量的值408,其中值408可以包括操作压力或其它值。工厂400还包括控制单元420,其中控制单元420可以是图1的控制器120。控制单元420包括反馈控制器422(其可以是图2和图3的反馈控制器208)、前馈控制器426(其可以是图2和图3的前馈控制器210),其中前馈控制器426转而可以包括先前描述的组件中的任何组件,例如计算单元428、过程模型430、状态估计单元432、以及控制信号发生器434。控制单元420还包括产生主控制信号438的控制信号组合器436。要理解的是,工厂400可以包括操作所要求的任意数量的另外组件和/或元件。更具体地说,要理解的是,涡轮402和锅炉406可以包括本领域技术人员已知的任意数量的组件,并且因此,为了简单起见,将不再进一步详细讨论。

[0072] 控制单元420可以包括被选择性地选择为执行特定任务的硬件和软件元件的任意组合。控制单元420可以通信地连接到锅炉406和/或涡轮402以控制它们的操作。在一些示例中,反馈控制器422可以使用一个或多个比例-积分-微分(PID)控制器,其中PID控制器计算误差值或者期望设定点与所测量的变量之间的差,通常被称为“修剪动作”。反馈控制器422的其它示例是可能的,例如超前滞后控制器、模型预测控制器和/或线性二次高斯控制器。前馈控制器426操作为预见或预报(预测)针对发电厂400的将来变化,并允许针对控制系统420的操作的快速变化。

[0073] 状态估计单元432适于测量与发电单元或发电厂100的当前操作状态相关联的至少一个特征。要理解的是,状态估计单元432可以使用任何已知的状态估计方法和/或方式,如本文先前描述的那些方法和/或方式。例如,如果发电厂100具有用线性系统限定的锅炉和/或涡轮过程,则可以应用标准的线性状态估计器。在其它示例中,当用非线性动态系统

对锅炉和/或涡轮过程进行描述或建模时,可以使用任意类型的典型或已知的非线性状态估计器或计算单元。例如,扩展的Kalman滤波器或者其它估计器可以用于该目的。状态估计单元432所使用的特征可以包括分别由涡轮402和锅炉406生成的功率和压力值404、408。状态估计器所计算的状态变量可以包括那些所测量的输出变量或所测量的输出变量的更高阶微分的变化速率。其它示例是可能的。

[0074] 计算单元428可以包括硬件和软件元件的任意组合。例如,计算单元428可以包括处理器、硬件和/或存储器设备的组合。该计算单元428可以远离控制单元420的其它组件或者可以替代地位于中央。

[0075] 在操作中,响应于输入信号410,前馈控制器426可以执行基于模型的受约束的优化,其中,输入信号410表示计算单元428接收到表示第一负载需求设定点信号(其指定第一负载需求设定点)。在操作期间,计算单元428计算第一最优前馈控制信号并将该信号传送给控制信号发生器434(其将生成的控制信号传送给控制信号组合器436)。控制信号组合器436产生主控制信号438,其中主控制信号438转而使得工厂400以负载斜变方式操作以达到期望的负载。换句话说,在接收到第一负载需求设定点信号时,计算单元428基于第一负载需求设定点来计算第一组操作参数。前馈控制信号发生器434然后生成前馈控制信号以包括第一响应特征。

[0076] 假如在负载斜变过程期间期望的负载改变,则计算单元428后续可以接收指定第二负载需求设定点的第二输入信号410。在接收到第二输入信号410时,前馈控制器426确定正在进行的负载斜变目标变化是否出现。如果正在进行的负载斜变目标变化出现,则状态估计单元432接收来自涡轮402和锅炉406的值404、408以及由过程模型单元430创建或存储的模型,以生成对工厂400的当前操作状态的估计。该估计然后被传送给计算单元428,其中计算单元428使用状态估计单元432接收到的第二组操作参数来计算第二最优前馈控制信号。前馈控制信号发生器434然后生成第二前馈控制信号以包括第二响应特征。该信号被发送给控制信号组合器436,以产生用于控制工厂400的主控制信号438,以达到第二期望的负载输出。

[0077] 在该时间期间,反馈控制器422也接收值404、408,并生成反馈控制信号以发送给控制信号组合器436。前馈控制信号经由控制信号组合器436与反馈控制信号进行组合,以产生控制发电厂400的主控制信号438。换句话说,主控制信号438将包括来自反馈控制器422和前馈控制器426二者的信息,以精确地映射工厂的后续操作。

[0078] 要理解的是,在一些方法中,不在每个采样间隔处使用状态估计单元432。相反,可以在前馈控制信号计算的开始处以及在负载斜变变化期间接收到后续负载需求设定点时初始地使用状态估计单元432。这样配置之后,状态估计单元432可以在每个前馈信号计算的开始处提供完整的状态信息。由于该信息用作为前馈轨迹的初始状态,因此改善了针对前馈控制信号的后续优化计算的精确性。此外,要理解的是,计算单元428可以发送并相应地接收任意数量的负载需求设定点信号410,并且因此,可以连续地调节发电厂400的操作以适应当前的负载需求。

[0079] 转到图5,提供了可以用于图1-图4的系统中的用于控制工厂装置的控制过程500。首先,在步骤502处,准备或存储初始的锅炉/涡轮模型。在步骤504处,基于反馈控制和模型的状态估计在工厂或发电系统的操作期间连续地运行。在步骤506处,过程500确定负载斜

变目标变化是否出现。如果负载斜变目标变化未出现,则过程500返回到步骤504,并继续连续地运行基于反馈控制和模型的状态估计。

[0080] 如果负载斜变目标变化已出现,则过程500行进到步骤508,其中在步骤508中,使用由状态估计单元所确定的先前描述的状态估计来计算最优前馈轨迹。以此方式,获得新的状态估计并用于计算新的前馈轨迹。在步骤510处,在考虑当前所估计的状态的同时执行最优前馈分布计算时,前馈和反馈控制信号进行组合并用于根据同时和连续的状态估计来控制发电系统。如先前描述的,计算前馈控制信号并保持固定,直到检测到后续的负载目标变化为止。可以实现任意数量的反馈控制,例如PID、超前滞后、MPC和LQG等等。

[0081] 在步骤512处,过程500确定是否接收到经更新的负载目标。如果接收到新的负载目标,则过程500返回到步骤508,其中在步骤508中,计算最优前馈轨迹。否则,过程500在步骤514处确定是否完成当前负载斜变,并且如果未完成当前负载斜变,则经更新的控制过程返回到步骤510并且被执行,直到负载斜变结束并且满足负载目标为止。

[0082] 在负载斜变完成时,步骤516确定当前的过程模型是否符合要求。举例而言,将实际功率与压力输出之间的均方根误差与所预测的输出进行比较。如果均方根误差大于阈值,则过程500行进到步骤518,其中在步骤518中,基于所收集的数据对过程模型进行更新。在框516处,如果过程模型被确定为符合要求,则过程500返回到步骤504。要理解的是,可以使用任意数量的特定的模型标识方法,并且因此将不会非常详细地描述这些方法。

[0083] 转到图6,提供了示例性的负载需求/目标分布600。在该示例中,请求三个不同的目标值。在检测到新的目标时,在每个负载斜变的开始处执行最优前馈计算。因此,在接收到第一目标值(即,目标1)时,在时间T2处,由于锅炉/涡轮过程先前以稳定状态方式进行操作(即,在时间T1期间),因此使用锅炉/涡轮过程的当前状态信息来计算最优前馈分布。在该时间期间,对于最优前馈重新计算不需要状态估计器,然而状态估计计算同时继续。在分布600中,工厂在时间T3期间增加到新的负载目标1并且在时间T4处达到目标1。因此,在该分布中,在接收到新的负载目标之前满足目标1。

[0084] 在时间T5处,锅炉/涡轮过程接收到新的目标(即,目标2)。由于锅炉/涡轮过程再次以稳定状态方式进行操作,因此不需要状态估计(尽管其被不断地估计)。最优前馈计算对控制信号进行计算以满足新的负载目标。

[0085] 在满足第二负载需求目标的过程期间,在时间T6处,接收到第三负载需求目标(即,目标3)。由于锅炉/涡轮过程正在经历负载需求斜变以满足目标2,因此在T6处从状态估计单元收集的数据被最优前馈计算用于调节控制信号,以满足新的负载目标。通过使用经估计的状态信息,锅炉/涡轮过程600不需要依赖于先前的稳定状态和/或先前的负载需求值。另外,由于连续运行的状态估计器在工厂的操作期间总是精确地估计锅炉/涡轮过程的当前状态,因此与当前状态相关的信息可以用于产生高效地获得期望的负载值的控制信号。如图6中所示出的,在时间T6处的状态估计被控制系统用于将工厂负载减小到目标3,其中在时间T7处达到目标3。通常而言,以此方式使用连续操作的状态估计单元使得控制系统比未使用连续(其可以是定期地)调度的状态估计单元的先前方法更迅速地达到目标3,其中先前方法替代地仅将当前工厂状况视为稳定状态以执行负载斜变计算。

[0086] 虽然在控制发电厂(并且具体而言,锅炉和涡轮操作的发电厂)的上下文中描述了对前馈控制电路的之前的描述,但该控制方法可以用于其它过程控制系统中,例如用于控

制工业或制造过程的工业过程控制系统中。更具体地说,该控制方法可以用于接收多个设定点变化并控制慢反应装置的任何过程工厂或控制系统中,并且另外可以用于在这些或其它环境中产生前馈控制信号或其它类型的控制信号。

[0087] 虽然前述文本阐述了对本发明的多个不同实施例的详细描述,但应当理解的是,本发明的范围由本专利的结尾处所阐述的权利要求的文字所限定。详细描述应被解释为仅是示例性的,并非描述本发明的每个可能的实施例,这是因为描述每个可能的实施例即使可能也会是不实际的。可以使用当前技术或者在本专利的递交日之后开发的技术来实现多个替代的实施例,这些替代的实施例仍将落入限定本发明的权利要求的范围内。

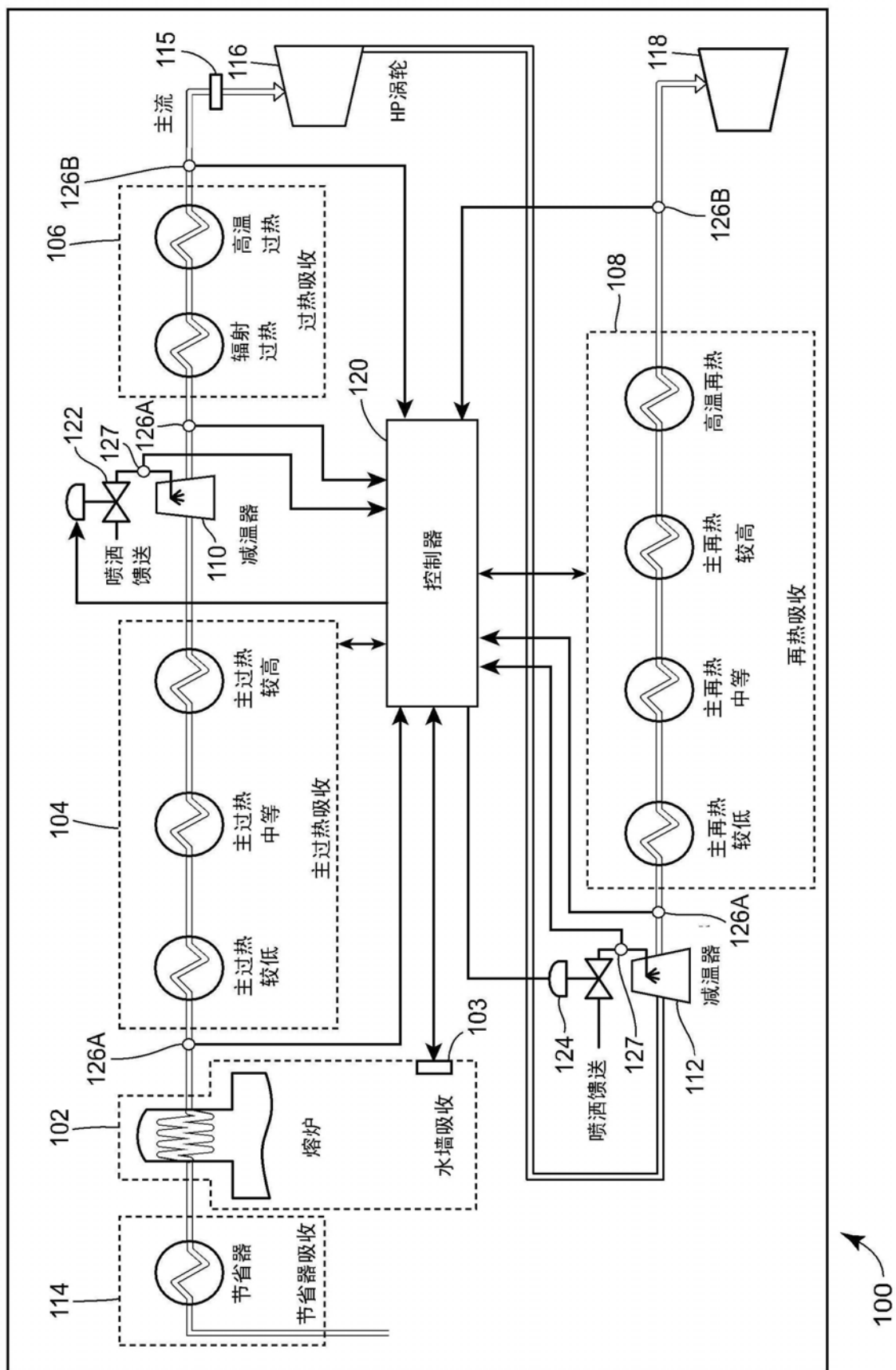


图1

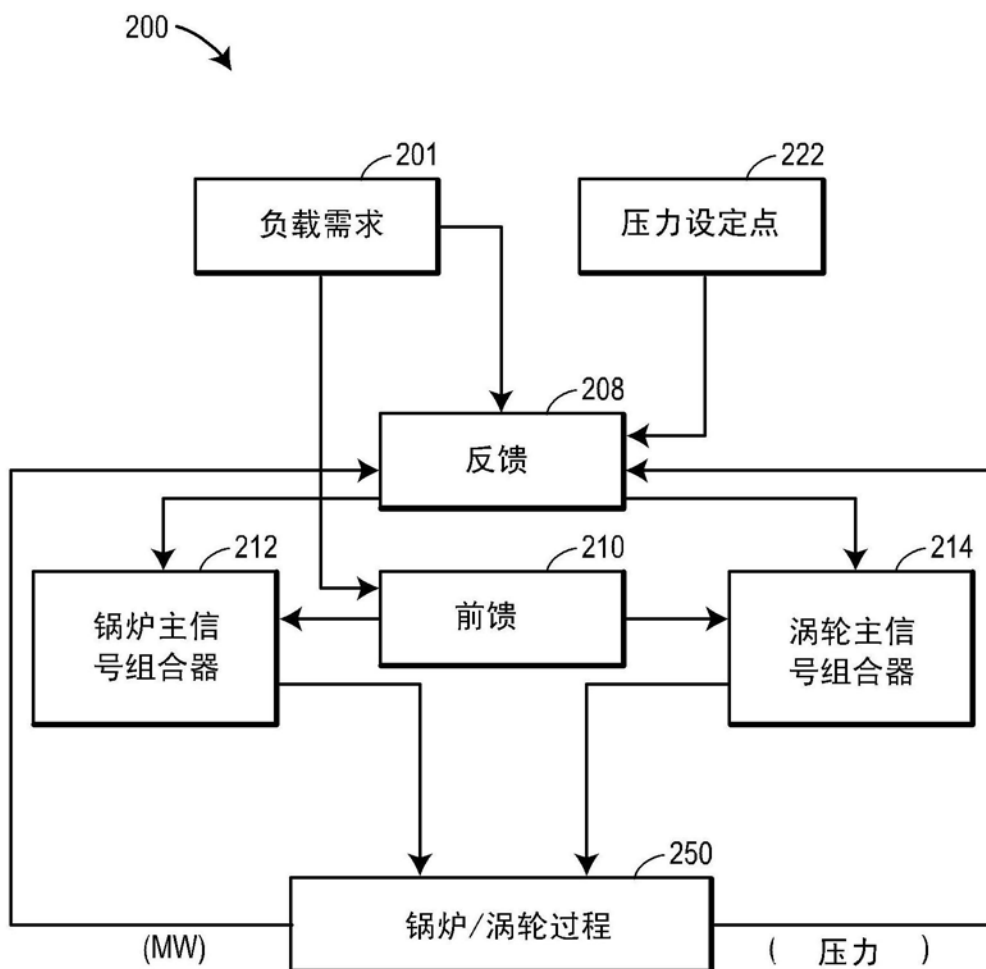


图2

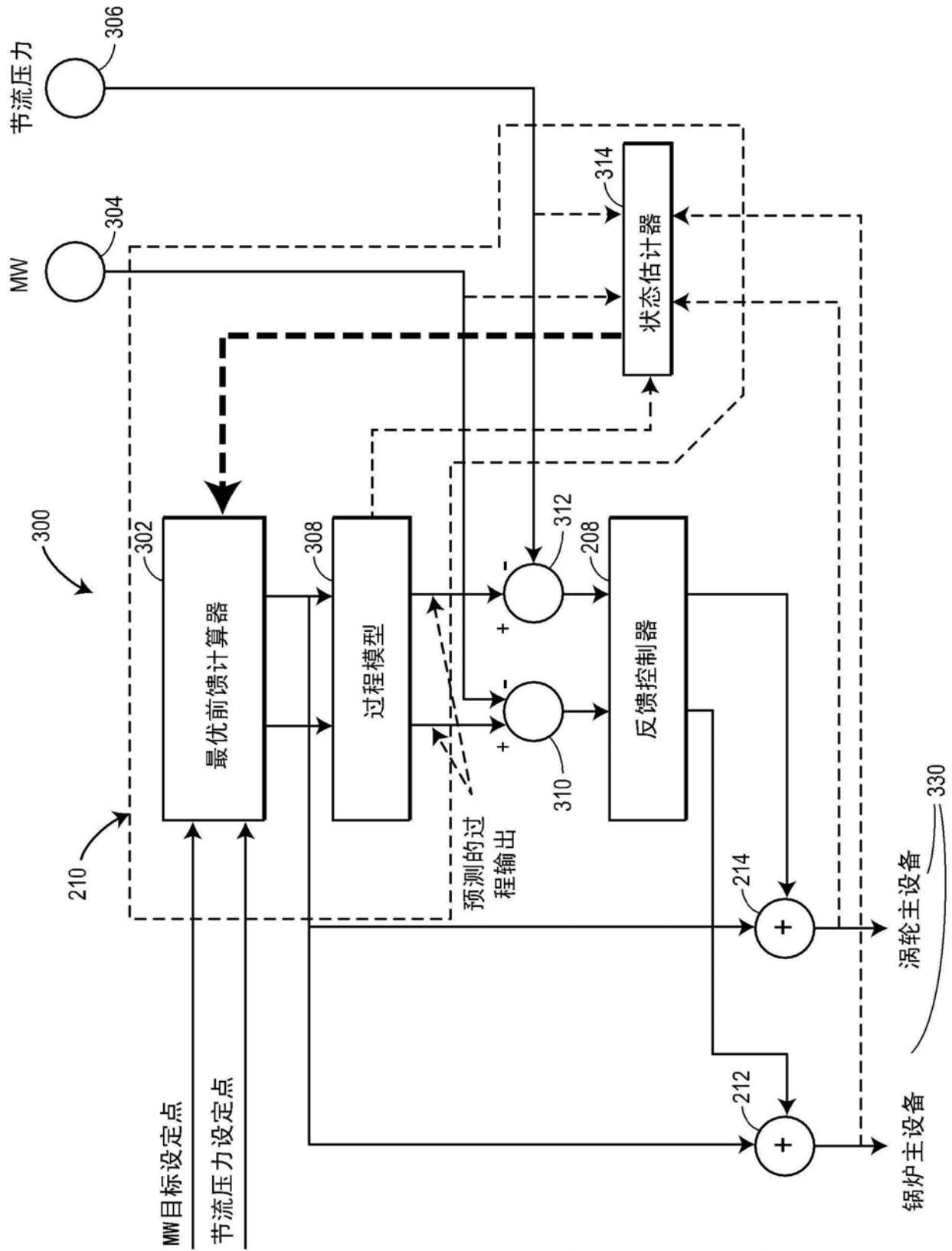


图3

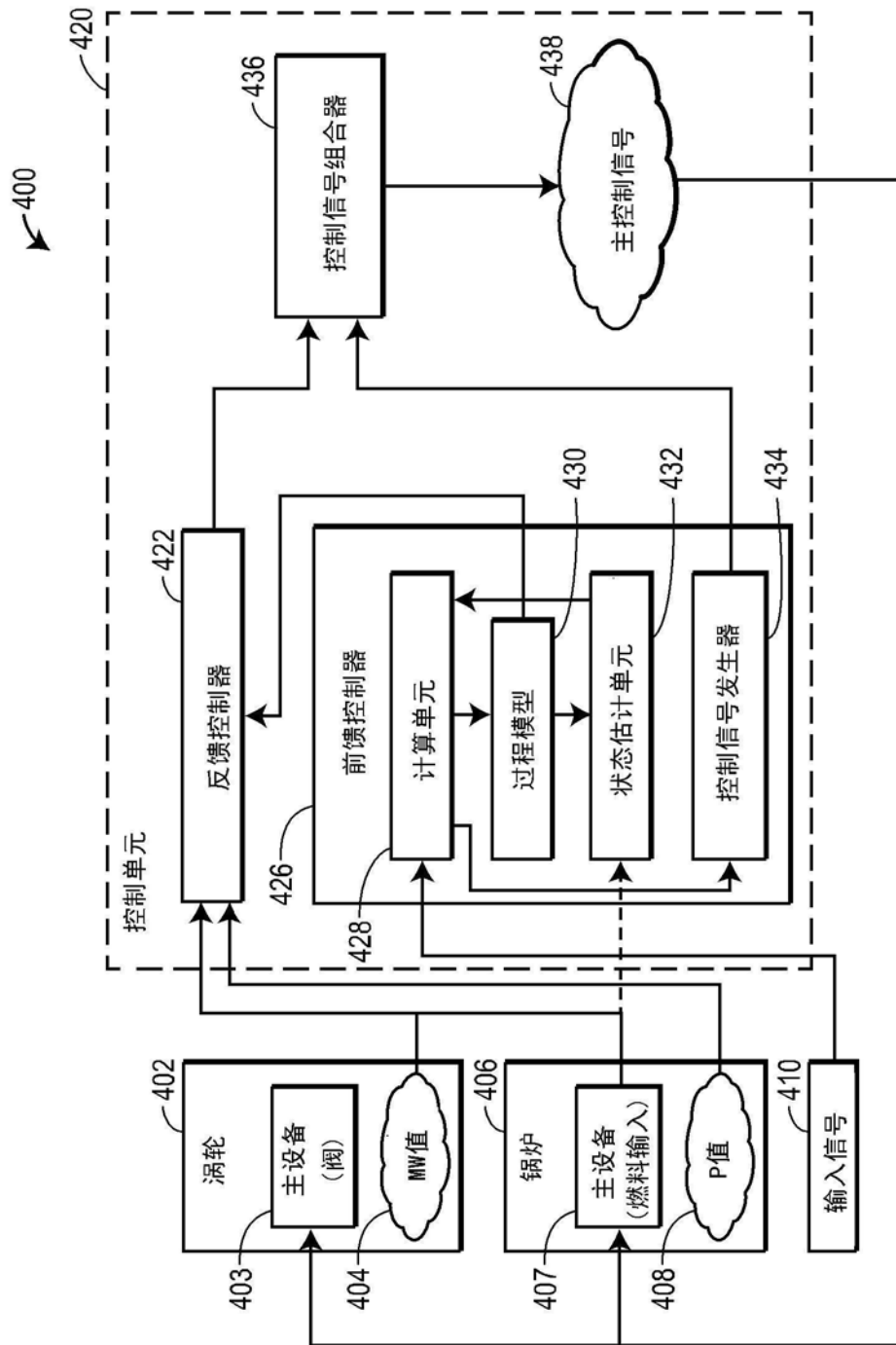


图4

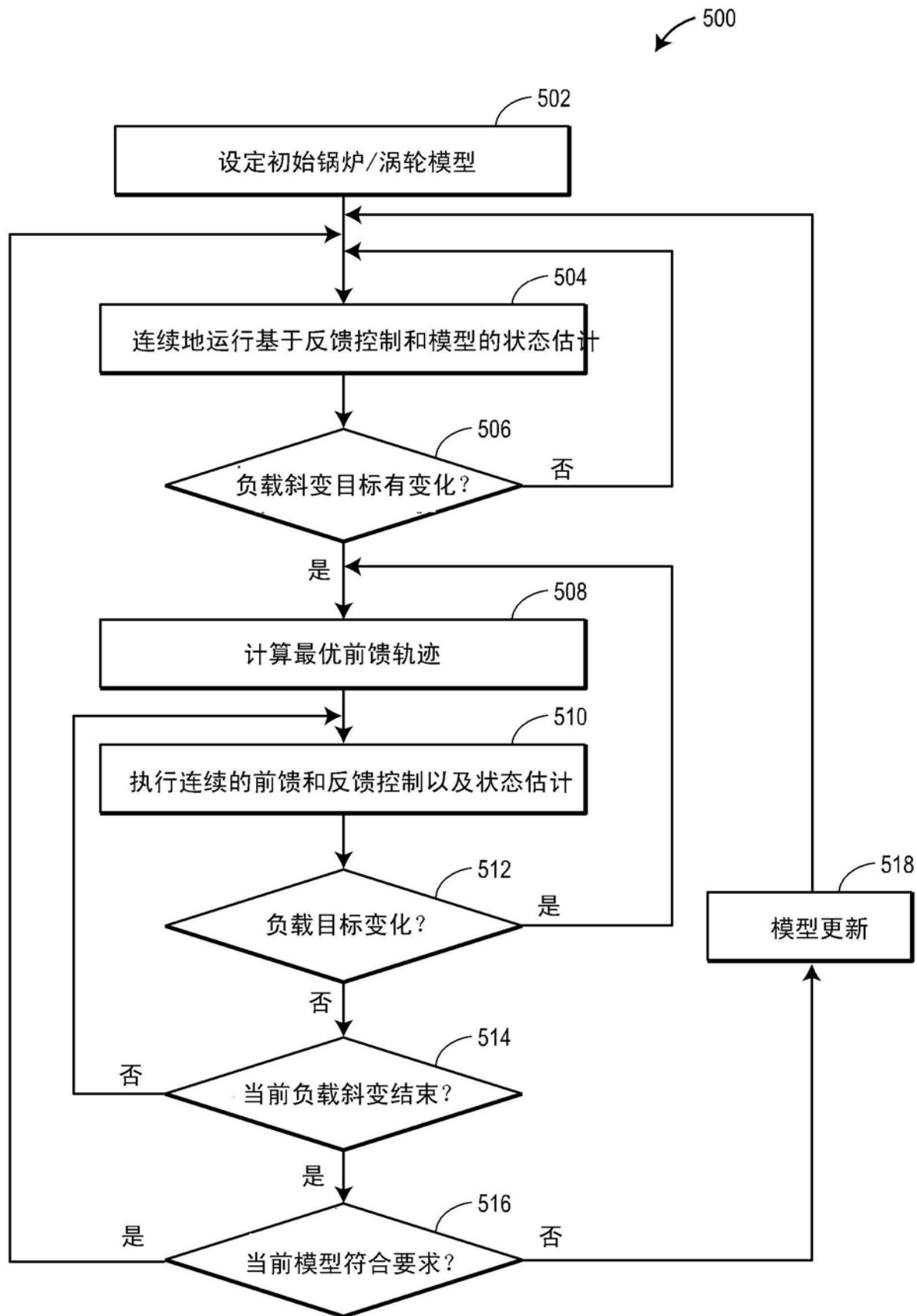


图5

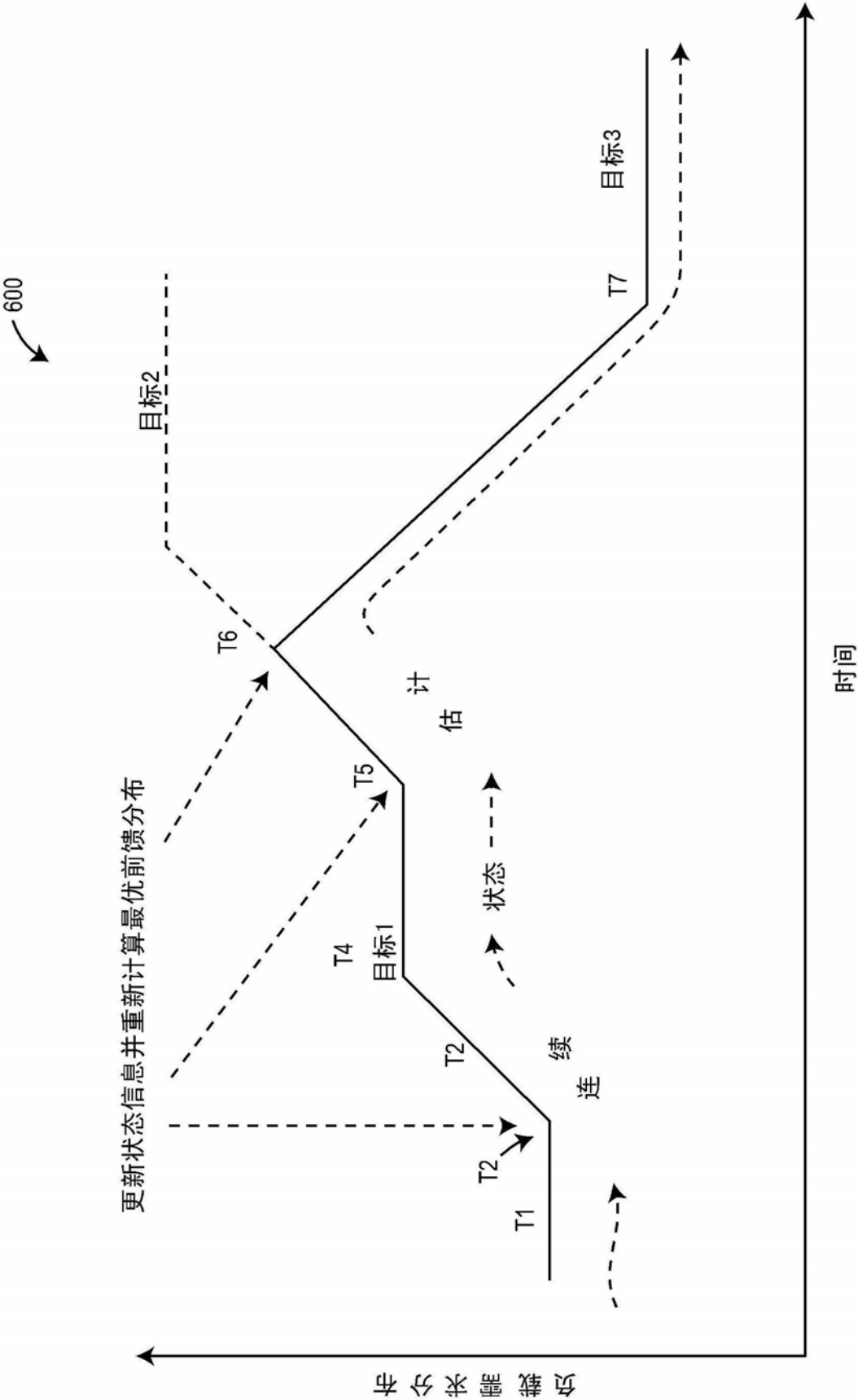


图6