(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105247308 B
(45)授权公告日 2017.10.24

(21)申请号 201480029060.4
(22)申请日 2014.03.19
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105247308 A
(43)申请公布日 2016.01.13
(30)优先权数据
102013204840.8 2013.03.19 DE
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2015.11.19
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2014/055493 2014.03.19
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2014/147117 DE 2014.09.25

(73)专利权人 STG燃烧控制两合公司
地址 德国科特布斯
(72)发明人 P.赫曼
(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 侯宇

(51)Int.Cl.
F27B 3/00(2006.01)
C03B 5/235(2006.01)
F23N 5/00(2006.01)
F27B 3/20(2006.01)
F27D 19/00(2006.01)
F27D 99/00(2006.01)

审查员 张晴

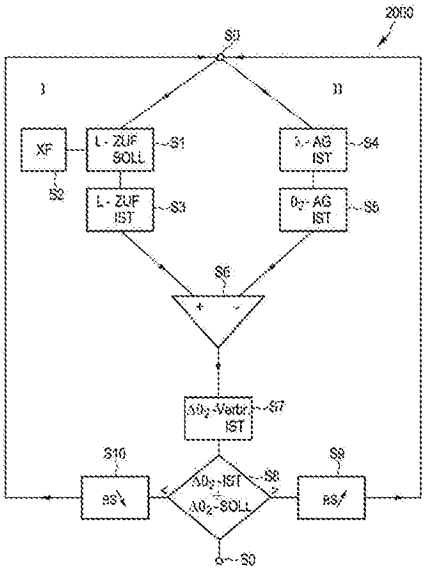
权利要求书3页 说明书12页 附图3页

(54)发明名称

运行蓄热式加热的工业锅炉的方法、控制装置和工业锅炉

(57)摘要

本发明涉及一种用于受控运行具有炉室(10)的蓄热式加热的工业锅炉(100)的方法，优选用于控制具有波动热力值的燃料到炉室(10)的燃料能量输入，具有以下步骤：-通过至少一个燃料注射器(20,20′)向炉室(10)注射燃料，其被构造为用于注射燃料，特别是实际上没有助燃空气的燃料，-周期性交替地一方面在第一周期持续时间内向炉室(10)输入助燃空气并且另一方面在第二周期持续时间内与燃料分开地从炉室(10)输出废气(AG)，其中-调节助燃空气或类似的氧化剂的输入并且确定废气中的剩余氧气。根据本发明：-根据输入的助燃空气和剩余氧气确定在燃料燃烧中发生的氧气消耗，并且-将氧气消耗用作所使用的燃料能量的度量，其中调节用于注射的燃料流，使得将氧气消耗控制到预先确定的氧气消耗值。



CN 105247308 B

1.一种用于受控运行具有炉室(10)的蓄热式加热的工业锅炉(100)的方法,其中,控制具有波动热力值的燃料到炉室(10)的燃料能量输入,具有以下步骤:

-通过至少一个燃料注射器(20,20′)向炉室(10)注射燃料,该燃料注射器被构造为用于注射没有助燃空气的燃料,

-周期性交替地一方面在第一周期持续时间内向炉室(10)输入助燃空气,并且另一方面在第二周期持续时间内与燃料分开地从炉室(10)输出废气(AG),其中,

-调节助燃空气的输入,并且确定废气中的剩余氧气,

其特征在于,

-根据输入的助燃空气和剩余氧气确定在燃料燃烧中发生的氧气消耗,并且

-将所确定的氧气消耗用作所使用的所述燃料的燃料能量的度量,其中调节用于注射的燃料流,使得将氧气消耗控制到预先确定的氧气消耗值,其中,取氧气消耗与燃料能量的预定比例,

-将燃料的特征成分存储为具有参考热力值的工作点,并且将所述成分随着热力值改变而成比例地一起改变,并且于是将燃料流关于热力值波动进行匹配。

2.按照权利要求1所述的方法,其特征在于,借助匹配压缩空气量和/或燃料量和/或燃料混合来调节所述用于注射的燃料流。

3.按照权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在热力值波动的情况下,假定氧气消耗与所述燃料的燃料能量之间成比例。

4.按照权利要求1或2所述的方法,其特征在于,预设有额定氧气消耗,并且借助匹配所使用的燃料能量将实际氧气消耗控制到额定氧气消耗。

5.按照权利要求1或2所述的方法,其特征在于,预设有额定废气空气剩余,并且在借助燃料流匹配所使用的燃料能量的条件下将实际废气空气剩余控制到额定废气空气剩余。

6.按照权利要求1或2所述的方法,其特征在于,保持助燃空气的输入恒定。

7.按照权利要求1或2所述的方法,其特征在于,借助控制回路自动调节助燃空气的输入。

8.按照权利要求1或2所述的方法,其特征在于,在考虑技术上需要的空气剩余的情况下借助控制回路恒定地控制助燃空气的输入,并且调节燃料流,使得维持根据预设的额定废气空气剩余确定的、直接在燃烧室之后的废气中的剩余氧气。

9.按照权利要求1或2所述的方法,其特征在于,借助废气分析设备作为左蓄热器和/或右蓄热器中的测量器,测量氧气含量,以用于直接确定助燃空气和/或废气的空气剩余数(λ),并且将所述空气剩余数作为实际值(λ_{IST})提供给控制回路的λ控制器,并且

借助渗入空气指示确定:

是否在第一情况下在空气侧的左蓄热器和/或右蓄热器中或前的上游出现渗入空气,或者

是否在第二情况下在空气侧的左蓄热器和/或右蓄热器后的下游出现渗入空气,

在用于渗入空气指示的第一情况的控制回路的第一部分中,按照λ控制器的输出,借助第一调节单元,调节助燃空气向炉室的输入,作为调节参量,并且

在用于渗入空气指示的第二情况的控制回路的第二部分中,按照λ控制器的输出,借助第二调节单元,调节炉室中的炉压,作为调节参量。

10.按照权利要求1或2所述的方法，其特征在于，将炉室中的炉压保持为高于炉压阈值。

11.按照权利要求10所述的方法，其特征在于，所述炉压阈值被定义为最低压力值，对于该最低压力值，在炉室后的废气中的剩余氧气值对于与左和右换热器对应的左和右火焰侧基本上相同。

12.按照权利要求10所述的方法，其特征在于，所述炉压阈值被定义为最低压力值，对于该最低压力值，在与左和右换热器对应的左和右火焰侧之间的剩余氧气值的差，不能继续通过提高炉压来降低。

13.按照权利要求1或2所述的方法，其特征在于，通过PID控制器自动控制助燃空气的输入，其额定值是由燃料量、燃料的化学计量的空气需要与作为目标参量预设的空气剩余数(λ_{SOLL})的乘积减去持续确定的来自工业锅炉外部的不可控的渗入空气输入量来形成。

14.按照权利要求1或2所述的方法，其特征在于，在用于温度控制的另一个控制回路中：

-通过作为控制参量的炉室温度，和

-用于炉室温度的第一控制器，以及

-通过与第一控制器对应的调节单元调节以燃料流和/或助燃空气流形式的第一可调的调节参量。

15.一种构建为用于执行按照权利要求1至14中任一项所述的方法的控制装置，具有工业锅炉控制，其被构造为，将用于控制具有波动热力值的燃料到炉室(10)的燃料能量输入的方法应用于工业锅炉，具有：

-计算模块，借助其能够根据输入的助燃空气和剩余氧气确定在燃料燃烧时发生的氧气消耗，和

-调节器，在所述调节器中将所确定的氧气消耗用作对所使用的所述燃料的燃料能量的度量，并且借助所述调节器能够调节用于注射的燃料流，使得能够将氧气消耗控制到预先确定的氧气消耗值，其中，存储氧气消耗与燃料能量的预定比例，并且将燃料的特征成分存储为具有参考热力值的工作点，并且将所述成分随着热力值改变而成比例地一起改变，并且于是将燃料流关于热力值波动进行匹配。

16.按照权利要求15所述的控制装置，还具有：

用于第一控制回路的温度控制模块，借助其：

-通过作为控制参量的炉室温度，和

-用于炉室温度的第一控制器，以及

-通过与第一控制器对应的调节单元能够调节以燃料流和/或助燃空气流形式的第一可调的调节参量。

17.一种具有炉室的蓄热式加热的工业锅炉，还具有：

-至少一个燃料注射器，用于向炉室注射燃料，其被构造为用于注射没有助燃空气的燃料，

-与所述至少一个燃料注射器对应的左蓄热器和右蓄热器，其被构造为用于蓄热式储存来自废气的热量并向助燃空气传输热量，以用于周期性交替地一方面在第一周期持续时间内向炉室输入助燃空气，而另一方面在第二周期持续时间内与燃料分开地从炉室输出废

气，和

-调节单元，能够被调节用于输入助燃空气，并且能够通过探针确定和/或根据废气空气剩余确定剩余氧气，和

-按照权利要求15或16所述的控制装置。

18.按照权利要求17所述的工业锅炉，其炉室具有用于玻璃的熔化池。

运行蓄热式加热的工业锅炉的方法、控制装置和工业锅炉

技术领域

[0001] 本发明涉及一种按照权利要求1前序部分的用于受控运行蓄热式加热的特别是具有特别是用于玻璃的溶化池的工业锅炉的方法，以及一种按照权利要求15前序部分的为执行该方法而构造的控制装置。本发明还涉及一种按照权利要求17前序部分的工业锅炉。

背景技术

[0002] 原则上，工业锅炉并不局限用于玻璃制造。开头提及类型的工业锅炉例如也可以用于金属制造等。然而，开头提及类型的蓄热式工业锅炉被证明是特别适合于玻璃制造用来熔化玻璃。

[0003] 至今，仅委托PID控制器控制蓄热式玻璃熔化炉，即通常借助对作为受控对象的炉室中的上炉的控制，该PID控制器的目的是控制上炉温度并且其输出端或者代表燃料量本身，或者代表可随燃料量而调节的助燃空气量。

[0004] 用于确定玻璃熔化池的能量应用的导引参量通常是在熔化炉拱顶中的一个或多个热电偶的温度。由于锅炉和熔化物的高储热容量，温度仅缓慢改变，在几小时后才产生明显变化。因此，通常将随燃料流输入的能量流作为下级控制回路不断进行控制。如果能够在线很好地测量例如在燃料天然气的情况下的热力值，则能够通过相应改变燃料量本身迅速均衡热力值波动，从而能够以足够精度恒定地控制燃料输入流。

[0005] 然而，常规控制方法将不进行控制的空气进入不正确地假设为恒量，或者仅根据手动或持续测量的废气中剩余氧气的测量值来修改助燃空气输入。然而由于其与助燃空气部分非线性的关系，利用它不能实现最优控制动态。该方式特别是不能评估低化学计量的加热范围，因为从比较分别具有0％剩余氧气的不同过程状态中不再能解释有效控制技术行为。

[0006] 因此，在Hemman等人的文章(Technical Report XP-00121591)“Advanced combustion control-the basis for NOx reduction and energy saving in glass tank furnaces”Glass Sci.Technol.77(2004)No.6第306至311页中建议使用单纯的Lambda(亦称“过量空气系数”或“空气剩余”;符号为λ)控制，即控制助燃空气与化学计量的助燃空气最小值的比，以便将渗入空气的渗透最小化或者均衡不可避免的渗入空气(Falschluft)。建议在蓄热器探头中安装氧化锆Lambda(亦称“过量空气系数”或“空气剩余”;符号为λ)传感器。也建议结合PID控制与预测控制。首次已知渗入空气作为冷空气在锅炉和蓄热器中的典型不可控输入，使得其参加燃烧而不能通过比例控制采集。

[0007] 对于其热力值不能在线测量的燃料，其然而具有较大不可控的热力值波动，此外不能提供通过相应改变燃料量本身迅速均衡热力值波动的可能性。结果是明显更大的质量引起的温度的波动和/或能量效率波动。特别是在世界范围注目的燃料枯竭下更多地使用这类燃料。

[0008] 在考虑工业锅炉蓄热式加热中典型的在空气比例变化与结果可测量的废气分析测量的测量值变化之间的长反应时间的情况下希望一种开头提到类型的工业锅炉的改善

的控制方案。另外希望在使用热力值不能在线测量的燃料的情况下相对更迅速地均衡不可控的热力值波动。

发明内容

[0009] 在此，本发明要解决的技术问题是，提供一种用于受控运行蓄热式加热的工业锅炉的改善方法、一种用于执行该方法的改善控制装置和一种改善的工业锅炉。特别是应当尽可能避免以上叙述的现有技术的缺点方面，至少是以上描述的问题之一。特别是应当提供一种装置和方法，借助其能够在使用具有不确定热力值的燃料的情况下均衡不可控的热力值波动；特别是能够通过均衡使向炉室的燃料能量输入尽可能恒定。至少应当建议一种在现有技术中已知解决方案的替代解决方案。

[0010] 有关该方法，通过本发明利用开头所述类型方法能够解决上述技术问题，其中按照本发明设置权利要求1的特征部分的特征。所述方法优选用于控制具有波动热力值的燃料向炉室的燃料能量输入，特别是用于控制具有波动热力值的燃料向炉室本身的相对恒定的燃料能量输入。本发明为解决上述技术问题而提出按照权利要求15的控制装置和按照权利要求17的工业锅炉。

[0011] 燃料特别是理解为燃气。其它燃料如石油等同样也可以用于运行工业锅炉。燃料特别是包括具有未定义的热力值的燃料。在此，特别是通常具有相对高碳含量和/或相对高氢含量的固态燃料或液态燃料，特别是碳含量远高于80％或氢含量远高于10％。这里，例如重油作为液态燃料的代表或者焦炭(petroleum coke，petcoke)作为固态燃料的代表。虽然这些燃料具有相对高能量含量，但是缺点一方面是在燃烧时其高CO_2排量和其相对高NOx和硫废气排放。特别是，这些具有不可控热力值波动的燃料主要在相对未定义的燃烧状态下存在。焦炭例如作为具有不同大小的颗粒和岩石含量的粉尘存在，其必须被部分粉碎，然后与压缩空气混合，作为粘尘输入燃烧器。该输入到燃烧器或注射器的燃料存在形式的输入形式和热力值未定义或几乎不能测量。

[0012] 注射器特别是理解为喷嘴装置，其构造为直接在炉室前将燃料喷入输入段或炉室，特别是与助燃空气分开。在炉室中才进行助燃空气与燃料的混合。炉室特别是具有上炉和下炉。下炉特别是具有玻璃熔化池等。

[0013] 周期性交替地一方面在第一周期持续时间向炉室输入助燃空气并且另一方面在第二周期持续时间与燃料分离地从炉室排出废气优选在与至少一个燃料注射器对应的左蓄热器和右蓄热器之一中进行，其被构造为用于蓄热式存储来自废气的热量和将热量传输到助燃空气。

[0014] 称为左和右蓄热器的蓄热器不局限于位置布置，而只是通常的技术语言需要。该名称也可以另外选择，例如第一和第二蓄热器。蓄热器可以相对于玻璃熔化池按照流动方向或垂直于玻璃流动方向布置。一个蓄热器可以对应多个注射器。蓄热器也可以理解为对应单个注射器的蓄热器部分等。

[0015] 特别优选通过测量氧气和/或通过从废气空气剩余(Lambda；亦称“过量空气系数”或“空气剩余”；符号为λ)中确定氧气来确定废气中的剩余氧气。特别是确定剩余氧气和/或助燃空气的含量。

[0016] 本发明的方案可以建立在可使用的上炉温度控制方法中。本发明考虑了，为控制

向工业锅炉的燃料能量输入虽然可以将燃料流关于燃料热力值进行匹配，然而本发明还认识到，只有能够相对可靠确定或在可靠的假定范围能够预设热力值才有意义。在优选扩展范围中，因此也特别被证明有利的是，将燃料的特征成分存储为具有参考热力值的工作点，并且成分随着改变的热力值而成比例地一起改变。这可以辅助用于预设一些可靠的假定。在燃料具有不可控的热力值波动的情况下，例如焦炭或其它油性灰尘，已经证明基于燃料成分和其化学性质的热力值的假定是有缺陷的或作为单独措施没有希望。本发明认识到，在该情况下能够将氧气消耗确定为所使用的燃料能量的可靠度量，这尽管一些无法测量值涉及氧气消耗与燃料能量的能量输入之间的关系。

[0017] 本发明认识到，在燃料具有不可控的热力值波动的情况下，通过改变燃料携带的输入量(燃料流)能够匹配向炉室中的能量输入。这可以在扩展范围内例如通过提高具有作为油性灰尘的焦炭的空气粉尘混合物或通过减少具有作为油性灰尘的焦炭的空气粉尘混合物来实现。同样地，燃料的热力值不再用作调节参量来测量能量输入，而是氧气消耗。还从与输入的助燃空气的比较中和测量的废气中的剩余氧气中来确定氧气消耗。

[0018] 本发明的方案证明在不可控的热力值质量的燃料的情况下，氧气消耗与燃料能量的优选成比例假定的比例是相对可靠的。特别证明在不可控的热力值质量的燃料的情况下，氧气消耗与使用的燃料能量之间的直接比例的假定是相对稳定的。

[0019] 按照本发明方案的方法被证明是相对鲁棒的，与如何确定氧气消耗无关。例如可以从助燃空气的输入和剩余氧气的确定中确定氧气消耗。剩余氧气的确定原则上又可以作为直接氧气测量或优选(特别是因为经常具有较少波动)从废气空气剩余(Lambda值)中确定。

[0020] 另外，本发明认识到，通过输入燃料量来迅速均衡所有使用的燃料能量实际上能够直接转换为对同样相对迅速的剩余氧气或Lambda值的信号的反应。这特别是能够最大程度上与炉室温度趋势无关，该趋势持续几小时的非常长的时间区间，同时所使用的燃料能量能够被匹配到几分钟的时间区间，即几乎实时。

[0021] 在从属权利要求中给出了本发明的其它优选扩展，并且详细说明了在所述技术问题范围内实现以上解释的方案以及关于其它优点的优选可能。

[0022] 优选借助匹配压缩空气量和/或燃料量和/或燃料混合来调节用于注射的燃料流。这可以根据设备前提条件或对燃料成分的了解而实现。

[0023] 优选将燃料的特征成分存储为工作点，并且随着变化的热力值成比例地一起变化。这可以被有利地利用，特别是在使用合适范围定义的燃料燃烧值的情况下。优选可以通过燃料能量做最好假定，并且可以用于确定预控制值或其它在过程等式中涉及的参量。在特别优选的扩展范围内，假设氧气消耗大约正比于燃料能量输入被证明是可信和相对可靠的假定。这可以例如用于相对近似的燃料成分，例如燃料成分具有在80％与90％之间的碳含量或在90％与100％之间的碳含量或在80％与100％之间的碳含量或在85％与95％之间的碳含量或其它相对近似的碳含量。在这样的范围n内，可以利用一些具有对应比例系数的可靠假定作为度量来最初估计热力值。原则上在扩展范围内也可以借助对于碳含量的其它标准或附加标准来确定氧气消耗与所使用的燃料能量之间的度量，在此全都仅示例性说明。

[0024] 优选设置额定氧气消耗，并且在匹配所使用的燃料能量特别是燃料流的条件下控

制实际氧气消耗。该扩展有利地直接利用氧气消耗的重要参量，并且由此直接对于所使用的燃料能量很重要。

[0025] 附加地或替代地，优选设置额定废气空气剩余(SOLL-LAMBDA)，并且在匹配所使用的燃料能量特别是燃料流的条件下控制额定废气空气剩余(SOLL-LAMBDA)。该方式优选直接利用在换热器拱顶的Lambda探针的测量信号，并且具有相对小的波动幅度。

[0026] 优选保持助燃空气输入恒定，这在匹配燃料流时导致相对稳定的控制条件。优选在考虑技术需要的空气剩余的情况下借助控制回路恒定控制助燃空气的输入，并且调节燃料流，使得遵守根据预设废气空气剩余(SOLL-LAMBDA)确定的直接在炉室之后的废气中的剩余氧气。

[0027] 原则上也可以接受助燃空气的时间瞬时展开，特别是当其经过比匹配燃料流的时间区间更长的时间区间时。这例如可以自动调节助燃空气的输入，特别是借助控制回路自动控制。

[0028] 在一种特别优选的扩展范围内，提供一种用于控制具有波动热力值的燃料到熔化炉的恒定的燃料能量输入的方法，其中在考虑技术需要的空气剩余的情况下借助控制回路恒定控制氧化剂氧气的输入。特别是在本发明的方案范围内，任何时刻都调节燃料流使得遵守根据希望的空气剩余确定的直接在燃烧室之后的废气中的剩余氧气。

[0029] 被证明是特别有利的是，对于保持输入到炉室的渗入空气相对小或相对稳定被均衡的情况都可使用所述方案，而与加热方向无关，即与从左侧和右侧加热无关。本发明优选扩展假定，在本发明的方案范围内特别有利地对于不受渗入空气造成的错误影响而给出或确定剩余氧气的情况下可以可靠地确定氧气消耗。

[0030] 优选，特别是恒定地，保持炉室中的炉压高于炉压阈值。在另一种特别优选的扩展范围内提供一种方法，其中保持燃烧室中的压力高于最低压力值。

[0031] 优选将该最低压力值定义为在燃烧室之后的废气中的剩余氧气值对于左侧火焰和右侧火焰相同时的炉压。

[0032] 附加地或替代地，优选将该最低压力值定义为，通过提高炉压不再明显降低左侧加热与右侧加热之间的氧气剩余值的差。

[0033] 一种特别优选的扩展认识到，用于控制到蓄热式加热的工业锅炉的助燃空气输入的方法应当基于不可控的渗入空气损失或不可控的渗入空气进入关于燃烧的特别连续地分析和补偿。这特别是符合玻璃熔化池，目的是受控的近似化学计量的或甚至受控的低化学计量的加热且具有恒定可预设的空气剩余数Lambda的额定值。根据扩展方案渗入空气指示示出了，是否应当或允许通过匹配助燃空气均衡不可控的渗入空气，或者是否应当或能够仅通过提高炉压抑制不可控的渗入空气。

[0034] 在一种特别优选的扩展范围内被证明有利的是，为渗入空气指示使用主动对称控制的一个输出来均衡蓄热器的热不对称，即使用一个输出作为是否允许通过匹配助燃空气均衡不可控的空气或能够仅通过提高炉压抑制不可控的空气的标准。优选将第一调节单元构造为助燃空气输入中的节流装置，其被构造用于控制助燃空气的流量。优选将第二调节单元构造为废气输出中的闸门，例如换向闸，其被构造用于建立相对于炉压的反压力。

[0035] 在用于自动控制到蓄热式工业锅炉(特别是蓄热燃烧的玻璃熔化池)的助燃空气输入的方法的一种特别优选扩展中，通过已知的PID控制器自动控制助燃空气流，根据燃料

量、该燃料的化学计量的空气需要与作为目标参量预设的空气剩余数Lambda的乘积减去优选持续确定的来自工业锅炉外部的不可控的渗入空气输入量构成额定值。该控制优选符合SP_Luft＝SP_Lambda×L_{MIN}×Brennstoff-XFA。优选持续通过基于优选连续工作的废气分析设备的燃烧计算来确定不可控的渗入空气输入。

[0036] 分析设备特别是构造为Lambda探针形式，其优选实施为已知的氧化锆探针。将作为目标参量预设的助燃空气的空气剩余数Lambda（λ_{SOLL}）除以燃料量并形成持续修正的空气燃料比具有特别的优点，该空气燃料比被传送到控制回路的λ控制器。为更好地确定空气剩余特征数，特别优选地为多个同时使用的燃料构成空气比，使得它们彼此按照各个燃料的化学计量的空气需求的关系设置。由此可以有利地在燃料含量变化的情况下维持氧气供应不变。例如为避免常规方法的缺点可以首先从例如在蓄热器探头上的连续废气分析结果中，利用测量值O_2%和CO%在使用燃烧计算的条件下确定实际空气剩余的过程值，称为作为过程值的空气剩余数Lambda：

[0037] $$PV_Lambda = 1 + const.1 \times \frac{O_2\%}{20.94\% - O_2\%} - const.2 \times \frac{CO\%}{CO_2\% - CO\%}$$

[0038] 在此，燃料的性质和CO_2的影响可以根据分离在原料中含有的碳酸盐而包含在常数const.1和const.2中。

[0039] 优选在另一个用于温度控制的控制回路中：

[0040] -通过作为控制参量的炉室温度，和

[0041] -用于炉室温度的第一控制器，特别是PID控制器，以及

[0042] -通过与第一控制器对应的调节单元调节以燃料流和/或助燃空气流形式的第一可调的调节参量。下级的温度控制以有效方式确保在较长时间区间内发生的炉室温度进展。

附图说明

[0043] 以下结合附图描述本发明的实施例。这些附图不仅按必要比例示出了实施例，而且以示意性和/或轻微变形的方式示出了用于解释的附图部分。关于对从附图中可直接认知的教导的补充请参考相关的现有技术。在此要考虑可能对实施方式的形状和细节进行相关的多种修改和改变，而不偏离本发明的总体思路。在说明书、附图以及权利要求书中公开的本发明特征既可以单独地也可以按任意组合而对本发明的扩展十分重要。另外，由至少两个在说明书、附图和/或权利要求书中公开的特征组成的全部组合都落在本发明的范围内。本发明的总体思路不限于在以下示出和描述的优选实施方式中的特定形式或细节，也不限于相对于在权利要求书中要求保护内容所限定的内容。对于给出的测量范围，位于所述界限内的值也应当视作界限值被公开，并且能够任意使用和要求保护。

[0044] 根据以下描述的优选实施例以及结合附图得到本发明的其它优点、特征和细节，附图中：

[0045] 图1示出了具有按照特别优选实施方式的左和右蓄热器的蓄热式加热工业锅炉的示意图，其中按照本发明的方案设置具有λ控制模块的控制装置；

[0046] 图2示出了用于示出所述方法的优选实施方式的流程的流程图；

[0047] 图3示出了在玻璃熔化池的炉室的情况下的过程数据曲线示例图，其中为应用图2

中的方法而使炉室的炉压从低于最低压力值到高于最低压力值，这使得均衡不同火焰侧的废气中的主动空气比(空气对燃气)，即通过相应提高炉压降低在左侧加热与右侧加热之间的氧气值的差。

具体实施方式

[0048] 图1以简易图示出了蓄热式加热工业锅炉100，具有炉室10，其上炉室1作为受控对象被控制，其中下炉室2具有未详细示出的玻璃熔化池。在玻璃熔化池中包含的玻璃通过炉室10被加热超过熔化温度，并且被熔化并适当处理以用于制造玻璃瓶等。工业锅炉100在此被加热，通过多个侧面安装的燃料注射器20向上炉1注射在此以燃气形式的燃料。燃料注射器20在此代表左注射器20。另一燃料注射器20′在此代表右注射器20′。出于简化原因，以下对于相同或相似的部件或具有相同或相似功能的部件使用相同的附图标记。例如可以在左侧或右侧分别设置数量为六个的注射器20、20′。在图1中示出的燃烧周期通过燃料注射器20向上炉1注射几乎没有助燃空气的燃气。在燃料注射器20上方通过左侧开口30向上炉1输入预热过的助燃空气VB。来自开口30的助燃空气在上炉1中与从燃料注射器20注射的燃气混合，并且用于形成下炉覆盖的火焰40，其在此象征性示出。图1的图像示出通过左蓄热器50和左注射器20在蓄热式燃烧状态下的工业锅炉100。这些和开口30被构造为，通过注射器20提供的燃气按照充足的近似化学计量或低化学计量与左蓄热器的助燃空气VB在上炉1混合。在图1中示出的上炉1的左侧燃烧的运行状态在通过左侧注射器20注射燃气并通过左蓄热器50输入助燃空气VB的情况下持续例如从20至40分钟的第一周期持续时间。在第一周期持续时间期间助燃空气VB与燃气20分开地被输向上炉1输入炉室10。在第一周期持续时间期间，废气AG从上炉1中经过右侧开口30′输入右侧蓄热器50′并加热。

[0049] 在第二运行状态下，对于类似时间长度的第二周期持续时间逆转上炉1的燃烧。为此，通过右蓄热器50′向上炉1输入助燃空气VB同时输入来自右注射器20′的燃气，其中助燃空气VB于是吸收由废气AG在第一周期持续时间中在蓄热器50′中淀积的热量。

[0050] 原则上通过工业锅炉100的控制装置1000的温度控制模块400控制燃料流和/或助燃空气流。为此，原则上可以在温度控制模块400中使用PID控制器，按照其在提高燃料流和/或助燃空气流的情况下提高炉室温度或者在降低燃料流和/或助燃空气流的情况下降低炉室温度。通过合适的温度探针52、52′、53向温度控制模块400传送蓄热器探头51或51′或者上炉室1的温度值，该温度探针在此无论如何都部分地与用于测量燃料空气比的合适的Lambda探针结合。

[0051] 控制装置1000还具有对称控制模块300，其在此被构造为，影响第一与第二蓄热器50、50′之间的热传递。在此这通过以时间段±Δt形式的热传递参量进行，以此为第一与第二蓄热器50、50′中较冷的一个延长第二周期持续时间t和/或为第一与第二蓄热器50、50′中较热的一个缩短第二周期持续时间t，又或者为第一与第二蓄热器50、50′中较冷的一个缩短第一周期持续时间t和/或为第一与第二蓄热器50、50′中较热的一个延长第一周期持续时间t。以计时器形式的合适的调节单元在此与对称控制模块300耦合，并且能够根据对称控制模块300的指示缩短或延长第一和第二周期持续时间t，对称控制模块在此可以在左蓄热器50或右蓄热器50′中将周期持续时间推延时间段±Δt。

[0052] 另外，在此对于自动控制具有蓄热式燃烧玻璃熔化池的蓄热式工业锅炉100的助

燃空气输入，通过已知的λ控制模块200的PID控制器自动控制助燃空气流。根据燃料量、该燃料的化学计量的空气需要与作为目标参量预设的空气剩余数λ_{SOLL}的乘积减去持续确定的来自工业锅炉外部的不可控的空气输入量构成PID控制器的额定值。以下持续通过基于连续工作的废气分析设备的燃烧计算来为本发明的方案确定不可控的空气输入，该废气分析设备在这里结合温度探针52、52′、53由已知的氧化锆探针构成。在工作温度介于700到1500℃之间时，锆探针的寿命为大约3年，在最佳情况下直到8年。即使有时在极端缩短寿命的条件下或由于重金属氧化物的废气污染下也能够达到好的寿命。为此起决定性的除了鲁棒的、适于工业的实施之外还有定期服务。为此使氧化锆探针的测量信号足够稳定并可重复，以用作自动控制的基础。

[0053] 以上描述的借助λ控制模块200的控制将在以下称为“Lambda控制”。原则上将空气剩余数λ定义为真实可用空气(即可控的空气量加上渗入空气)除以当前燃料量的化学计量最低空气需求的比。

[0054] $$Lambada=\frac{\text{所测量的燃气量}+\text{漏气}}{\text{化学计量的最低空气}}$$

[0055] 即使对于燃料混合情况例如燃气和油，即便在低化学计量范围λ<1，也根据氧化锆探针的测量结果(mV)直接确定当前过程值λ。在此，从零到200mV的单元电压是对于从20.94％降至0％的降低的氧含量的度量，另外单元电压从200mV提高至大约800mV相反在继续减少的范围内是CO含量增加的度量。

[0056] 对于根据氧化锆探针的测量结果确定过程值λ，原则上有利的前提是相对好地了解燃料化学成分。然而，仅在奢侈的特殊情况才在线具有气相色谱仪。对于波动的热力值可以将燃料的特征成分存储为“工作点”，并且随热力值改变而成比例变化。

[0057] 在热力值的不可控波动大时，并且当由此导致燃料量的变化不可控时，导致由质量决定的温度和/或能量效率具有明显更大的波动。按照以上实施方式的方案，可以在遵守第一条件下解决该技术问题，即通过为不稳定和不能在线测量的燃料成分使用对于燃烧需要的氧气作为对于所使用的燃料能量的度量，并且随时调节燃料流，使得按照要求控制可预设的且与能量需求等价的氧气量。为此，在恒定输入氧化剂氧气的情况下随时调节燃料流，使得在燃烧室之后的废气中保持预设的氧气剩余值。

[0058] 发现在这种不可控的变化的燃料成分的情况下，燃料的氧气需求然而很好地与其热力值成比例地上升或下降，从而可以将燃料的氧气需求和热力值的商对于实际的控制技术应用以常数处理：换言之，每能量单位的氧气需求对于这种情况适宜以常数处理。

[0059] 基于此，可以将燃烧室输出端的可测量的剩余氧气用作控制参量，以便当首先满足足够精确并可重复地测量和控制燃气输入或氧气输入的条件时使到熔化炉的能量输入保持恒定，后者通常符合可实现的要求。

[0060] 作为第二条件，根据本实施方式的方案应当将燃烧室内的炉压调节到高，使得通过向炉室内的渗入空气而可靠地抑制不可控的空气输入。于是，当炉压继续升高不再降低不可控的空气进入时，炉压足够高。

[0061] 发现过低的炉压典型地伴随在左侧燃烧与右侧燃烧之间的剩余氧气的差，并且提高炉压显著降低该差。于是，当左侧燃烧与右侧燃烧之间的剩余氧气的差被完全消除，或者通过继续提高炉压不再能够降低该差时，则精确达到炉压的稳定性界限。

[0062] 如果通过继续提高炉压不再能够降低左侧燃烧与右侧燃烧之间的剩余氧气的差时，则显然是通过蓄热器底部区域的空气进入或空气损失所造成，并且能够在几小时至几天的时间跨度中假设为恒定。这种“稳定”，即通过改变炉压不可改变的不可控的空气进入(渗入空气)的量，能够根据运行数据的长期平均值，例如多天来确定渗入空气。

[0063] 总之，基于为波动的热力值存储的燃料特征成分作为“工作点”并且该燃料成分与变化热力值成比例的一起变化和/或对于特别不稳定的和不能在线测量的燃料成分所使用的燃烧所需的氧气作为使用的燃料能量的度量的方案，其中在以上描述的途径中，随时调节燃料流，使得按要求控制可预设的并与能量需求等价的氧气量，燃烧计算(为燃气也同样为燃油)提供了无尺寸的燃料特征值，并且以下将真实空气量、废气量、废气组分和(在此额外感兴趣的)渗入空气XF作为在探针确定的空气与可控的空气流之间的差。

[0064] 与测量值O_2%不同的，在整个技术兴趣范围1.5>λ>0.96中提供所测量的过程值λ，并且其与剩余的或缺少的燃气直接成线性。这实现有效的控制，其能够针对性地确定缺少的或剩余的空气，而无需操心受控对象的时间特性。额定值λ_{SOLL}与过程值λ_{IST}相对设置，该额定值可非线性换算成希望的O_2%值，反之亦然。

[0065] 原则上，在本实施方式中Lambda控制表示：

[0066] -当前确定渗入空气并使其可见

[0067] -抑制或减少渗入空气

[0068] -均衡不可避免的渗入空气。

[0069] 哪个是最佳值，取决于燃烧室的性质和对熔化产物的要求，在大多数情况下Lambda值在λ＝1.04…1.05之间是良好值，相当于在0.8与1.0%之间的O_2%值。

[0070] 具体地，为了避免常规方法的缺点，本发明的方案以下首先根据在蓄热器探头上对测量值O_2%和CO%连续的废气分析结果在使用燃烧计算的条件下确定实际空气剩余的过程值，按照将空气剩余值λ作为过程值(实际值)表述为：

[0071] $$PV_Lambda = 1 + const.1 \times \frac{O_2\%}{20.94\% - O_2} - const.2 \times \frac{CO\%}{CO_2\% - CO\%}$$

[0072] 其中，燃料的性质和CO_2的影响根据分离在原料中含有的碳酸盐而包含在恒量const.1和const.2中。

[0073] 不同于剩余氧气O_2%，这样获得的过程值PV_Lambda同样也在低化学计量范围中，即

[0074] 在PV_Lambda<1时，适用于评估和控制燃烧关系并且关于整个技术兴趣范围与空气量成线性关系。由于该线性实现明显更好的并更针对性的控制作为面向剩余氧气值O2%的控制。

[0075] 以此可以将不可控的空气损失和不可控的空气进入的和作为控制的干扰参量而明确确定为：

[0076] XF＝PV_Lambda×LMIN×燃料流-PV_助燃空气

[0077] 其中受控助燃空气流的过程值PV_助燃空气和燃料的化学计量的最低空气LMIN，仅取决于燃料的化学成分。

[0078] 被称为渗入空气的参量XF包含对助燃空气平衡的所有干扰和外部影响的总和。干扰参量渗入空气XF在此作为过程参量被连续确定。这于是可以通过锅炉的高的炉压和密封

最佳地被抑制，并且可以分析剩下的不可避免的部分的来源，以便确定可靠的控制界限。

[0079] 首先继续参考图1，通过评估λ信号的短期趋势和长期趋势和对锅炉和蓄热器中的渗入空气的热踪迹，对于技术控制特性可以对渗入空气源进行在线分析。渗入空气源可能是：

[0080] (A)测量燃气流或燃料量的不精确性在计算上产生燃气平衡的偏差，其同样如同真实的渗入空气，对两个火焰侧产生同样效果，并且在比较具有明显不同的燃料输入的设备的不同工作点时可见。

[0081] (B)“漂散的渗入空气”，例如经过几周而越来越脏并越来越低的燃气量测量显示产生如渗入空气的效果，并且也能够正确地自动补偿。

[0082] 助燃空气量测量的系统偏差(A)和(B)对干扰参量XF的影响自然对于两个火焰侧相同，并且通过比较两个或多个具有不同燃料输入的运行状态而确定。助燃空气量测量的这种系统偏差可以通过修正消除，并且可以通过匹配助燃空气来补偿直至消除。

[0083] (C)空气损失，即由于换向闸不密封而造成的部分燃气的短路流直接在废气流中通过负的渗入空气值加上Lambda值关于燃烧周期持续时间的下降趋势来标记，典型地也出现侧面不同地或偶尔地变更过程，但不是每个都是。

[0084] 发现由于不密封的换向闸造成的空气损失(C)可以通过过程参量氧气或渗入空气的下降趋势而识别。空气损失可以通过密封换向闸消除，并且可以通过匹配助燃空气无限制地补偿直至密封。

[0085] (D)进入到蓄热器的渗入空气典型是侧面不同的，并且出现在室底部区域，那里占主导地位的是最强大约-20Pa的低压，即这里出现的渗入空气在蓄热器中如同常规测量的燃气那样被一起加热或冷却。

[0086] 通过改变助燃空气量补偿不可控的空气不造成左右蓄热器之间对称性的干扰，而是相反改善蓄热器的热对称性，由此可以识别不可控的空气进入到蓄热器底部(D)。其中通过密封蓄热器不能避免的不可避免部分可以通过匹配助燃空气无限制地补偿。

[0087] (E)渗入空气进入到炉室可能是火焰侧不同的，由于在锅炉中产生影响的压力场。原则上这也可以是火焰侧相同的；在火焰侧不同的渗入空气进入到上炉的情况下，这导致在空气补偿的情况下热不对称性继续增加。无关于火焰侧不同或火焰侧相同的渗入空气进入，渗入空气补偿都导致平均上升的蓄热器温度：在蓄热器中不参与加热的冷空气从炉室吸收热量，并且作为热废气出现在对置的蓄热器中，其通过蓄热器温度上升而被标记。

[0088] (F)这些空气越少地参与燃烧，则负面效果越明显。

[0089] 在炉室进入不可控空气(E)和(F)相反造成对左右蓄热器之间的蓄热器温度平衡性的典型干扰，尝试通过匹配助燃空气量来补偿在炉室中的这些不可控空气XF造成蓄热器的热不对称性变大，并造成蓄热器温度提高。不可控空气进入到炉室可以根据在蓄热器中的热踪迹来识别，并且不允许或者仅在狭小界限内通过匹配助燃空气进行补偿，其仅能够通过密封炉室和通过提高炉压来降低。

[0090] 总之，对于在蓄热器之前产生影响的所有渗入空气形式(A)到(D)，通常可以优选识别原因并消除。对于不可避免的所有渗入空气，通过匹配燃气量的自动补偿是技术上适当的反应。然而，发现低于炉压最低值本身意味着降低助燃空气量和提高不可控空气XF的量。只要所确定的不可控空气量不会受助燃空气量的变化而产生明显影响，则炉压对于稳

定控制足够高。低于该稳定界限，则不可能可靠地通过匹配助燃空气量达到额定值SP_Lambda，而是需要相应地提高炉压。

[0091] 进入到炉室中的渗入空气(情况(E)和(F))不仅是造成由于渗入空气的最大可能的能量损失，其干扰左/右蓄热器的热平衡。然而，尝试通过匹配燃气来补偿这些渗入空气导致蓄热器温度的提高和热不均衡性的加剧。技术上合适的答案是，不再进行燃气匹配，而是密封炉室并提高炉压，以便阻止或减少渗入空气进入。

[0092] 从以上考虑明显看出按照现有技术的简单O_2%测量是不足够的：只有评估预定燃烧的氧气平衡和精确确定渗入空气量，加上评价该渗入空气在蓄热器中的热踪迹，才能实现在线的原因分析和选择技术上合适的控制策略。

[0093] 根据本发明，只有在以下情况下，才允许按照本发明的方案通过匹配助燃空气量来补偿不可控空气XF：

[0094] a)不可控空气XF直接进入到炉室，这可以通过对蓄热器温度平衡性的干扰和通过蓄热器的温度提高而察觉。

[0095] b)不可控空气XF与助燃空气量无关，并且特别是与助燃空气量不成反比关系。

[0096] 在低于这样定义的稳定标准下，仅能够通过提高炉压来减少不可控空气XF。

[0097] 在高于这样定义的稳定标准下，能够按宽的界限通过自动匹配助燃空气量来补偿不可控空气，以便维持预设的空气剩余额定值SP_Lambda。

[0098] 计算例：

[0099] 向熔化炉100输入要熔化的熔化物，并且为保持所需的温度E＝12MW连续输入燃料能量。燃料(例如焦炭)的平均氧气需求假设为OMINE＝0.20Nm3/kWh(单位立方米每kWh燃料能量)。从长期观察中已知，对于所测量的燃气连续出现XF＝500Nm3/h的不可控渗入空气。根据系统测试还已知，当炉室10中的炉压P高于7Pa时继续提高炉压不会再造成在废气中的剩余氧气值的明显变化，即，规定炉压阈值为7Pa。确保完全燃烧要求空气剩余为10%，即空气剩余数为Lambda＝1.10。

[0100] 在此，在假设完全燃烧下，当前的空气剩余数Lambda和当前的氧气剩余值O2%通过以下函数关系相关联：

[0101] Lambda＝1+1.13×O2%/(20.94%-O2%)

[0102] 其中，从按照氧化锆-氧气探针52、52′的测量值的平均燃料分析中确定常数1.13。

[0103] 向熔化炉输入受控的空气流(图2 $L\text{-}ZUF_{IST}$)：

[0104] 额定值_空气(图2 $L\text{-}ZUF_{SOLL}$)＝SOLL_Lambda×E×OMINE/0.2094-XF

[0105] ＝1.10×12MW×1000kW/MW×0.20Nm3/kWh/0.2094-500Nm3/h

[0106] ＝12.107Nm3/h受控燃气流

[0107] 于是，总是调节燃料流(图2中BS)，使得根据在燃烧室的输出端的氧气测量的信号评估(即借助氧化锆-氧气探针52、52′)保持过程值Lambda＝1.10(图2中的$\lambda\text{-}AG_{IST}$)。其对应的废气AG中的氧气测量值(图2中的$O_2\text{-}AG_{IST}$)为：

[0108] O2%＝20.94%×(Soll_Lambda-1)/(Soll_Lambda-1+1.13)

[0109] ＝1.70%

[0110] 如果所测量的氧气剩余值被调节为小于1.70%，也就是按照图2的氧气消耗ΔO2-$Verbr_{IST}$太高，则在假定较低的氧气剩余值是当前高能燃料的较高的氧气消耗ΔO2-

$Verbr_{IST}$的结果的情况下，相应地减少燃料流。

[0111] 如果所测量的氧气剩余值被调节为大于1.70％，也就是按照图2的氧气消耗ΔO2-$Verbr_{IST}$太低，则在假定较高的氧气剩余值是当前低能燃料的较低的氧气消耗ΔO2-$Verbr_{IST}$的结果的情况下，相应地增加燃料流。

[0112] 图2示出了用于受控运行具有按照图1的炉室10的蓄热式加热的工业锅炉100的方法的优选实施方式的流程图，其中控制具有波动热力值的燃料BS到炉室10的相对恒定的燃料能量输入；在此能够在控制回路中以几分钟的相对短的周期执行所述方法2000，也就是在持续时间明显低于燃烧周期的时间周期，后者的燃烧周期的时段处于几十分钟，例如图3示出的20分钟。

[0113] 图2示出了从控制回路的第一支路I中的交点S0出发，在第一步骤S1确定输入的助燃空气的额定值L_ZUF_{SOLL}。这例如可以按照以上给出的计算例公式进行，其中在助燃空气情况下输入空气剩余数的额定值$Lambda_{SOLL}$(以上SOLL_Lambda)、需要的燃料能量E和燃料特有的最小平均氧气需求O_{MINE}以及氧气与空气的比0.2094。在步骤S2中，利用所测量的或基于经验值的渗入空气值XF修正助燃空气的额定值$L\text{-}ZUF_{SOLL}$。由此，在第三步骤S3中，在设置合适的调节单元的情况下，得到助燃空气的实际值$L\text{-}LUF_{IST}$。

[0114] 在与控制回路的第一支路I平行延伸的计算及测量支路中，即控制回路的第二支路II，首先确定废气中的空气剩余的实际值$LambdaAG_{IST}$，例如在测量范围内通过Lambda探针，例如图1的氧化锆-氧气探针52、52′。由此，在步骤S4之后，在步骤S5中，确定当前的氧气剩余值$O_2\text{-}AG_{IST}$，例如作为$O_2\%_{IST}$按照计算例中最后的公式，其中通过相应的Lambda实际值代替Lambda额定值。

[0115] 通过在步骤S6中合适地形成涉及氧气值的差，在步骤S7中能够从空气输入的实际值L_ZUF_{IST}和剩余氧气值的实际值$O_2\text{-}AG_{IST}$中确定氧气消耗ΔO_2-$Verbr_{IST}$，如同其被换算成用于燃烧燃料。

[0116] 在步骤S8中进行实际值Δ$O_{2\text{-}IST}$与额定值Δ$O_{2\text{-}SOLL}$的比较，如同其在计算例的最后的公式中所规定的(那里为1.70％)。如果实际值Δ$O_{2\text{-}IST}$高于额定值Δ$O_{2\text{-}SOLL}$，则在步骤9中提高燃料量BS，其通过匹配压缩空气量、原始燃料量和/或燃料混合、特别是对于焦炭情况。相反，如果实际值Δ$O_{2\text{-}IST}$低于额定值Δ$O_{2\text{-}SOLL}$，则在步骤10中降低相应的燃料量。在步骤S9、S10之后，可以重新从交点S0开始控制回路。相反，如果实际值和额定值大约处于相同范围，则可以在例如预设的循环周期之后重新从交点S0开始控制回路。

[0117] 图3示出了在受控运行蓄热式加热的工业锅炉100的情况下不同过程值数据的汇总。在此，在时间轴t上分别示出了20分钟的燃烧周期(L或R)，这导致借助与至少一个燃料注射器对应的左蓄热器周期性交替地一方面在第一周期持续时间(L)内向炉室输入助燃空气而另一方面在第二周期持续时间(R)内与燃料分开地从炉室输出废气。对于右蓄热器的周期性交替输入则反过来进行，即在周期持续时间L期间向炉室输入助燃空气，而在周期持续时间R期间从炉室输出废气。为此，过程值示出了在收集通道中的压力值p_{SK}和燃烧器颈部中的氧气值O_{BH}。

[0118] 在此情况下，也示出了关于燃料的热力值平均值H_U和对应的最低空气需求$L_{MIN\text{-}E}$(正比于$O_{MIN\text{-}E}$)，当然在可靠的燃料情况下，其具有部分强烈的瞬时梯度，而特别是对于具有不可控热力值的燃料根本不具有，任何时候在无害的临时假设范围内，基于对燃料成分的

估计。

[0119] 图3示出了，即使对应的信号具有相对强烈的波动，对于受控运行蓄热式加热的工业锅炉也提供了氧化锆探针的氧气测量值O_2。对应的废气中的空气剩余值$Lambda_{IST}$具有较小的波动，并且在以上描述的基于空气剩余数的控制范围内指向Lambda额定值$Lambda_{SOLL}$。

[0120] Lambda值λ或者氧气值O_2都可以共同或择一地用于控制具有波动热力值的燃料到炉室的相对恒定的燃料能量输入，这点按照以上描述的方式(例如按照计算例或按照图2)。

[0121] 图3还示出了一方面作为过程值的渗入空气分量XF(以及对应的补偿分量K_{XF}，其在具有噪声的渗入空气分量XF中基本上能够以直线被识别)与另一方面的炉压P之间的明显关联性。关于关联性的了解在本方案中是有利的，因为按照优选实施例，氧气消耗ΔO_2-$Verbr_{IST}$被用作对所使用的燃料能量的度量。当渗入空气分量XF能够独立于燃烧周期而相对可靠地被补偿和确定时，氧气消耗本身又被证明是能够正确确定的。这特别是以下情况，如在图3的区域B可见，当前的空气比(空气相对于燃料)Lambda-AG与燃烧周期L、R无关地仅具有很小的差别，这与空气比Lambda-AG在区域A的过程值的走向不同，在区域A其在燃烧周期L、R具有周期式的强烈幅度波动。

[0122] 调整到共同的平均幅度Lambda-AG的原因是在时间点T提高炉压P高于炉压阈值(在此该提高仅有几Pa)。然而，实际情况是随着在时间点T提高炉压P，炉压阈值超过最低压力值，使得在炉室后的废气中的剩余氧气值对于与左右换热器对应的左右火焰侧基本上相同，特别是位于预设的上带宽内。换言之，炉压阈值被定义为最低压力值，对于该最低压力值在与左右换热器对应的左右火焰侧之间的剩余氧气值的差不能继续通过提高炉压来降低，特别是位于预设的下带宽内。

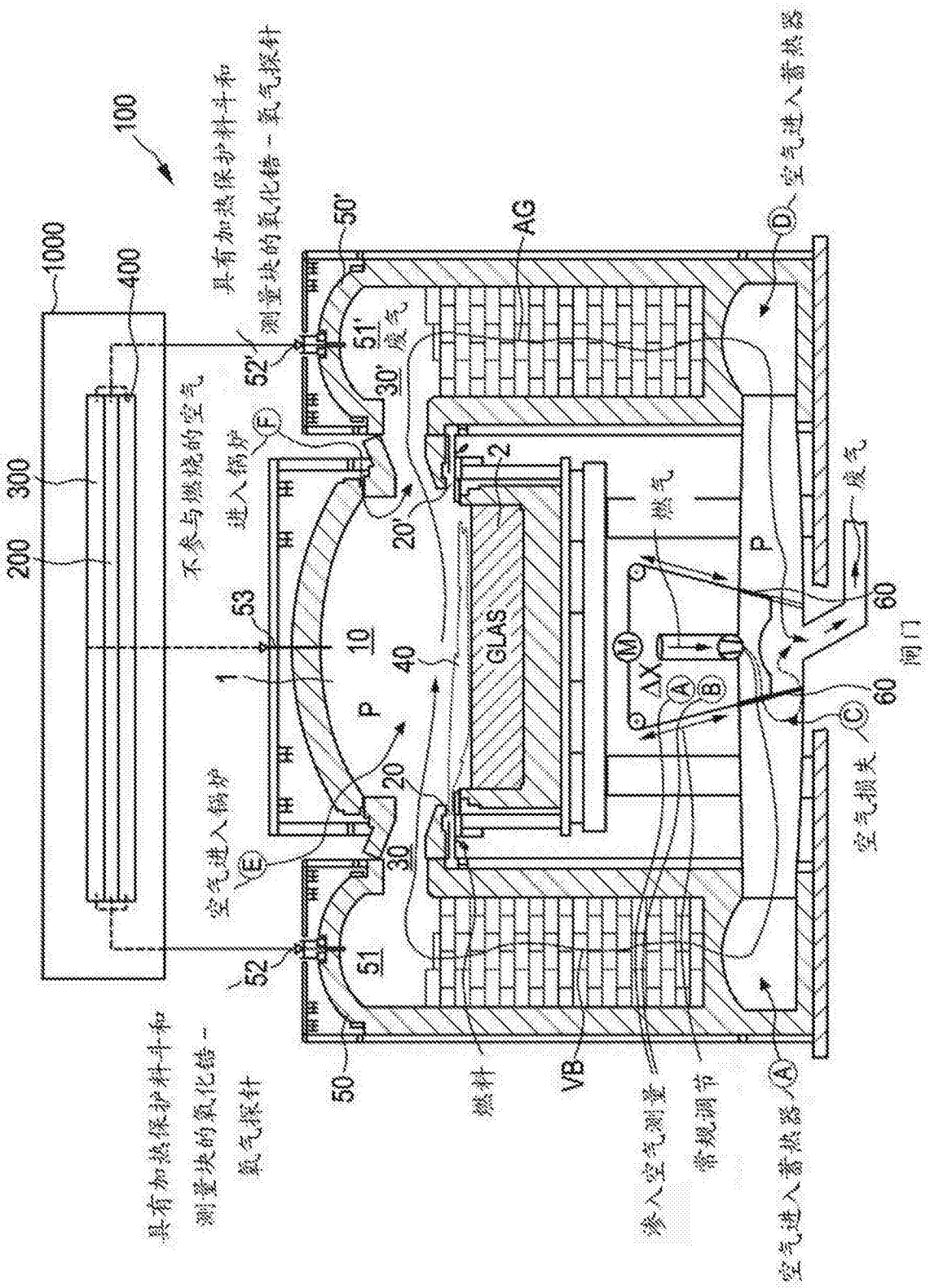

100
1000
400
300
200
具有加热保护料斗和测量块的氧化锆－氧气探针
不参与燃烧的空气
进入锅炉
F
53
1
10
P
40
CLAS
2
20'
20
30'
30
51'
51
52'
52
50'
50
AG
D
空气进入蓄热器
废气
燃气
60
阀门
空气损失
C
ΔX
A
B
M
燃料
VB
渗入空气测量
常规调节
空气进入蓄热器
A
具有加热保护料斗和测量块的氧化锆－氧气探针
空气进入锅炉
E

图1

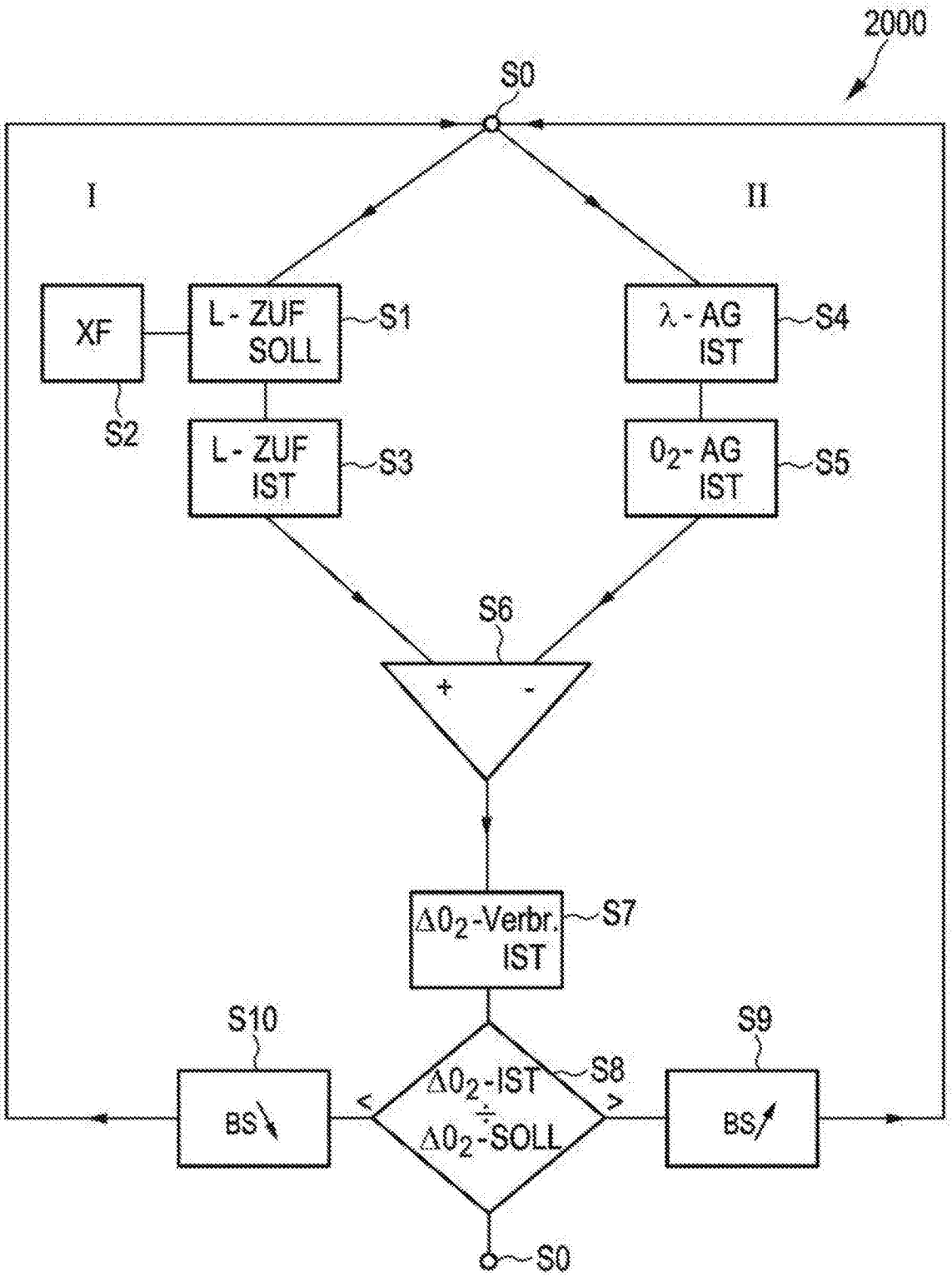

2000
S0
I
II
XF
L - ZUF SOLL
S1
S2
L - ZUF IST
S3
λ - AG IST
S4
0_2 - AG IST
S5
S6
+
-
$\Delta 0_2$ -Verbr. IST
S7
S10
S9
$\Delta 0_2$ -IST
S8
$\Delta 0_2$ -SOLL
<
>
BS
BS
S0

图2

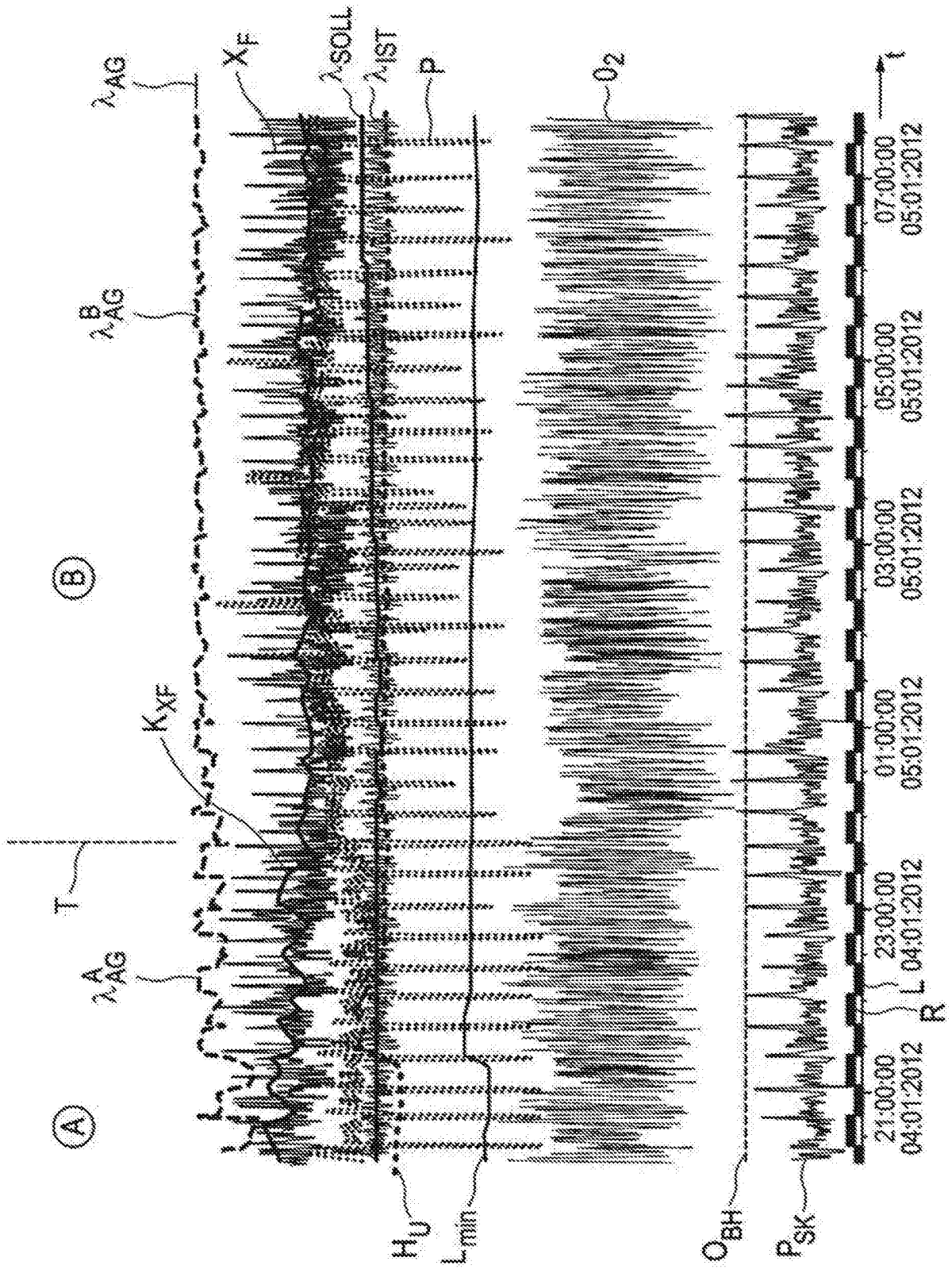

A
B
T
λ_{AG}^{A}
λ_{AG}^{B}
λ_{AG}
K_{XF}
X_F
λ_{SOLL}
λ_{IST}
p
O_2
H_U
L_{min}
O_{BH}
P_{SK}
L
R
t
21:00:00 04.01.2012
23:00:00 04.01.2012
01:00:00 05.01.2012
03:00:00 05.01.2012
05:00:00 05.01.2012
07:00:00 05.01.2012

图3