



(45) 授权公告日 2015.02.25

权利要求书2页 说明书8页 附图3页

[illegible]

1. 一种用于运行联合循环动力设备的方法,所述联合循环动力设备包括至少一个燃气轮机 (6),一个热回收蒸汽发生器 (9),一个蒸汽轮机 (13),和 CO_2 捕捉系统 (18),以及安装在所述热回收蒸汽发生器 (9) 中或作为导管燃烧件安装在从所述燃气轮机到所述热回收蒸汽发生器 (9) 的烟道导管中的补燃器 (10),其特征在于,使来自所述热回收蒸汽发生器 (9) 的烟道气 (19) 的第一部分流 (21) 再循环,以及从来自所述热回收蒸汽发生器 (9) 的烟道气 (19) 的第二部分流 (20) 中捕捉 CO_2 ,以及运行所述补燃器 (10) 来增加所述设备的净动力输出和至少部分地补偿所述 CO_2 捕捉系统 (18) 的动力消耗,且其中,所述第一部分流 (21) 以一定再循环率再循环,所述再循环率在这样一种情况下被控制在最高可行再循环率处:可保持所述燃气轮机 (6) 中的稳定的完全燃烧,并且在所述燃气轮机之后的残留氧气浓度 (GT_{O_2}) 足以保持所述补燃器 (10) 的稳定的完全燃烧。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征在于,额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 (11) 被喷射到所述补燃器 (10) 中,以用于所述补燃器 (10) 的稳定的完全燃烧。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其特征在于,充足的环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 (11) 被喷射到所述补燃器 (10) 中,使得可独立于所述补燃器 (10) 的稳定的完全燃烧所需的氧气浓度来控制所述再循环率。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的方法,其特征在于,所述额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 (11) 是所述再循环率的函数。

5. 根据权利要求 2 或 3 所述的方法,其特征在于,所述额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 (11) 是所述燃气轮机之后的残留氧气浓度 (GT_{O_2}) 的函数。

6. 根据权利要求 2 或 3 所述的方法,其特征在于,所述额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 (11) 是所述补燃器的负荷的函数。

7. 根据权利要求 2 或 3 所述的方法,其特征在于,所述额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 (11) 是所述再循环率的函数,和 / 或是在所述燃气轮机之后的残留氧气浓度的函数,和 / 或是所述补燃器的负荷的函数。

8. 根据权利要求 2 或 3 所述的方法,其特征在于,通过来自所述联合循环动力设备的水蒸汽循环和 / 或所述 CO_2 捕捉系统 (18) 和 / 或所述烟道气的低等级热来预热所述额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 (11)。

9. 根据权利要求 1 至 3 中的任一项权利要求所述的方法,其特征在于,运行所述补燃器 (10) 来增加净动力输出,以用于在峰值需求期间的动力增大,以及提高其运行柔性。

10. 一种联合循环动力设备,包括至少一个燃气轮机 (6)、至少一个热回收蒸汽发生器 (9)、至少一个蒸汽轮机 (13) 和至少 CO_2 捕捉系统 (18),以及烟道气再循环,其特征在于,在所述热回收蒸汽发生器 (9) 中或在从所述燃气轮机 (6) 到所述热回收蒸汽发生器 (9) 的烟道气导管中提供了能在具有低于 10% 氧气浓度的气流中以低于 2 的低化学计量比率运行的低超量空气补燃器 (10),且其中,运行所述低超量空气补燃器 (10) 来增加所述设备的净动力输出和至少部分地补偿所述 CO_2 捕捉系统 (18) 的动力消耗,且其中,可保持所述燃气轮机 (6) 中的稳定的完全燃烧,并且在所述燃气轮机之后的残留氧气浓度 (GT_{O_2}) 足以保持所述补燃器 (10) 的稳定的完全燃烧。

11. 根据权利要求 10 所述的联合循环动力设备,其特征在于,提供了通往所述低超量空气补燃器 (10) 的环境空气供应线路,和 / 或富氧空气供应线路,和 / 或氧气供应线路。

12. 根据权利要求 10 或 11 所述的联合循环动力设备,其特征在于,提供了氧气富集设备和 / 或空气分离单元。

13. 根据权利要求 10 或 11 所述的联合循环动力设备,其特征在于,安装了至少一个氧气测量装置来测量所述燃气轮机 (6) 的压缩机入口气体 (3) 的氧气浓度,以及 / 或者测量所述燃气轮机 (6) 的热烟道气 (8) 的残留氧气浓度,以及 / 或者测量来自所述热回收蒸汽发生器 (9) 的烟道气 (19) 的残留氧气浓度。

14. 根据权利要求 10 或 11 所述的联合循环动力设备,其特征在于,安装了至少一个 CO₂ 测量装置来测量所述燃气轮机 (6) 的压缩机入口气体 (3) 的 CO₂ 浓度,以及 / 或者测量所述燃气轮机 (6) 的热烟道气 (8) 的 CO₂ 浓度,以及 / 或者测量来自所述热回收蒸汽发生器 (9) 的烟道气 (19) 的 CO₂ 浓度。

联合循环动力设备和用于运行联合循环动力设备的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及具有一体化 CO₂ 捕捉和补燃器的联合循环动力设备以及它们的运行。

背景技术

[0002] 在最近几年,温室气体的产生导致全球变暖以及温室气体的产生的进一步增加将加速全球变暖已经变得显而易见。因为 CO₂(二氧化碳)被确认为主要温室气体,所以 CCS(碳捕捉和存储)被看作减少温室气体释放到大气中和控制全球变暖的潜在的主要手段其中之一。在此背景中,CCS 被定义为 CO₂ 捕捉、压缩、运输和存储的过程。捕捉被定义为这样一种过程:其中,CO₂ 或者在基于碳的燃料的燃烧之后从烟道气中去除,或者通过在燃烧之前去除和处理碳(而去除)。任何吸收剂、吸附剂或用以从烟道气或燃料气流中去除 CO₂ 的其它机构的再生被看作是捕捉过程的一部分。

[0003] 后端 CO₂ 捕捉(也称为后燃烧捕捉)是用于包括 CCPP(联合循环动力设备)的以化石为燃料的动力设备的在商业上有前途的技术。在后燃烧捕捉中,从烟道气中去除了 CO₂。剩余的烟道气释放到大气中,并且 CO₂ 被压缩以进行运输和存储。已知有若干种用以从烟道气中去除 CO₂ 的技术,例如吸收、吸附、薄膜分离和低温分离。具有后燃烧捕捉的动力设备是本发明的主题。

[0004] 所有已知的用于 CO₂ 捕捉的技术均需要相对大量的能量。由于在传统的 CCPP 的烟道气中有仅约 4% 的相对低的 CO₂ 浓度,所以与用于具有处于更高的 CO₂ 浓度的烟道气流的其它类型的动力设备的 CO₂ 捕捉系统相比,用于传统的 CCPP 的 CO₂ 捕捉系统(也称为 CO₂ 捕捉设备或 CO₂ 捕捉装备)的每 kg 的捕捉到的 CO₂ 将成本更高且能耗更高。

[0005] 在 CCPP 烟道气中的 CO₂ 浓度取决于燃料成分、燃气轮机类型和负荷,并且可基本取决于燃气轮机的运行状况改变。CO₂ 浓度的此变化对于 CO₂ 捕捉系统的性能、效率和可操作性而言可能是有害的。

[0006] 为了提高在 CCPP 的烟道气中的 CO₂ 浓度,知道两个主要概念。一个是烟道气的再循环,如例如 O. Bolland 和 S. Saether 在《简化二氧化碳的回收的燃烧天然气的动力设备的新概念》(NEW CONCERPS FOR NATURAL GAS FIRED POWER PLANTS WHICH SIMPLIFY THE RECOVERY OF CARBON DIOXIDE) (Energy Convers. Mgmt Vol. 33, No. 5-8, pp. 467-475, 1992)) 中所描述。另一个是设备的所谓串联布置,其中,第一 CCPP 的烟道气被冷却,并且被用作第二 CCPP 的入口气体,以在第二 CCPP 的烟道气中获得具有提高的 CO₂ 浓度的烟道气。例如在 US20080060346 中描述了这种布置。这些方法减少了总烟道气流,提高了 CO₂ 浓度,并且因此减小了吸收器的所需流量容量和捕捉系统的动力消耗。

[0007] 这些方法,以及许多另外的公布的用于优化不同的过程步骤和通过这些过程结合到动力设备中来减少动力和效率损失的方法的目的是减少 CO₂ 捕捉系统的资金支出和动力需要。

发明内容

[0008] 本发明的主要目标是提供一种联合循环动力设备 (CCPP) 以及用于这种 CCPP 的运行方法, 该联合循环动力设备包括至少一个燃气轮机、一个热回收蒸汽发生器 (HRSG)、一个蒸汽轮机和二氧化碳 (CO₂) 捕捉系统, 具有增强的运行柔性, 并且用以减少 CO₂ 捕捉的容量损失。

[0009] 具体而言, 将最小化 CO₂ 捕捉对 CCPP 的容量的影响, 即, 将最大化包括 CO₂ 捕捉系统的设备输送给电网的电功率。

[0010] 为此, 提出了一种用于具有烟道气再循环、CO₂ 捕捉和补燃器的 CCPP 的运行方法, 以及用以执行这种方法的设备。本发明的本质是用于具有烟道气再循环的 CCPP 的运行方法, 其允许在具有烟道气再循环的 CCPP 的烟道气中操作补燃燃烧装置, 其至少部分地补偿 CO₂ 捕捉系统的动力需求。补燃燃烧装置可安装在 CCPP 的 HRSG 中或作为导管燃烧件 (duct firing) 安装在从燃气轮机到 HRSG 的烟道导管中。

[0011] 为了烟道气再循环, 燃气轮机的烟道气流在 HRSG 下游分成至少两个部分流。第一部分流通过烟道气再循环线路返回到燃气轮机的入口, 而第二部分流通过 CO₂ 捕捉系统被引导到烟囱, 以释放到环境中。另外, 可提供绕过 CO₂ 捕捉系统的用于使烟道气直接释放到环境中的旁路来增加运行柔性。这允许有通往 CO₂ 捕捉单元的烟道气流的再循环率的任何组合, 并且将烟道气流引导到烟囱, 而不进行 CO₂ 捕捉。

[0012] 应用烟道气再循环来最小化 CO₂ 捕捉系统的大小、其成本以及其动力需求。为了进行优化的 CO₂ 捕捉, 应当最大化烟道气再循环率。再循环率定义为来自燃气轮机的再循环到压缩机入口的烟道气质量流量与燃气轮机的总烟道气质量流量的比率。

[0013] 为了有高 CO₂ 捕捉效率以及为了最小化烟道气质量流量, 在烟道气中的氧气浓度将理想地为 0%。由于绕过燃气轮机的燃烧室的冷却空气和确保完全燃烧所需要的过量氧气的原因, 再循环受到限制, 并且一些残留氧气保留在排气中 (即便是在有再循环的情况下)。由燃气轮机的运行需求所确定的典型的再循环率为基本负荷运行的大约 30% 至 50%。

[0014] 传统的补燃燃烧装置是针对在烟道气中的 10% 或更多的残留氧气浓度而设计的。在具有烟道气再循环的燃气轮机之后的残留氧气浓度典型地为低于 10%, 并且对于传统的补燃燃烧装置而言是不够的。为了使得能够在来自具有烟道气再循环的燃气轮机的烟道气的边界条件下运行, 提出了使用低超量空气补燃燃烧装置。在此背景中, 低超量空气补燃燃烧装置为可在具有低于 10% 氧气浓度的气流中以低化学计量比率运行的燃烧装置。此种低超量空气补燃燃烧装置的化学计量比率应当低于 2, 优选低于 1.5 或甚至低于 1.2。理想地, 此种燃烧装置可以尽可能接近 1 的化学计量比率运行。

[0015] 传统的导管燃烧装置或级间燃烧装置可与处于高的超量空气比率的额外的空气供应一起使用。但是, 这将稀释在烟道气中的 CO₂ 浓度, 并且将增加烟道气流。因此对于本申请而言这不是恰当的解决方案。

[0016] 代替使用 CO₂ 浓度或氧气浓度, 在本发明的背景中还可分别使用 CO₂ 含量、氧气含量。

[0017] 在一个实施例中, 再循环率可由至少一个控制机构控制。这可例如为可控的风门或固定的分路器, 在分路器的下游、烟道气线路中的一个或两者中具有类似闸门或阀的控制机构。

[0018] 这允许例如在这样一种情况下将再循环率控制到最高可行 (再循环) 率: 可保持

燃气轮机中的稳定的完全燃烧,并且在燃气轮机之后的残留氧气浓度足以保持补燃器的稳定的完全燃烧。

[0019] 在此背景中的稳定的完全燃烧的意思是,CO 和未燃烧的烃排放保持低于所需水平(其为大约几 ppm 或个位数的 ppm),并且燃烧脉动保持在正常设计值内。排放水平典型地由保证值规定。脉动的设计值取决于燃气轮机、运行点和燃烧器设计,以及取决于脉动频率。它们应当保持远低于燃烧器压力的 10%。典型地它们保持低于燃烧器压力的 1% 或 2%。

[0020] 在使环境空气与再循环流混合之后,还可例如使用再循环率来控制压缩机入口气体的氧气浓度。入口气体的目标氧气浓度可例如为固定值,该固定值足以确保在所有运行状况下在燃气轮机中有稳定的完全燃烧。

[0021] 在另一个实施例中,烟道气的目标氧气浓度是补燃器的相对负荷的函数。只要补燃器被关闭,就可根据燃气轮机的需求来最小化目标氧气浓度。一旦补燃器被打开,则必须考虑燃气轮机和补燃器的需求。两个需求中的更大的一个确定烟道气的目标残留氧气浓度。补燃器本身的所需残留氧气浓度可为固定值,或为补燃器的燃烧装置负荷的函数。

[0022] 另外,为了确保补燃器的完全稳定燃烧,提出将额外空气和 / 或富氧空气和 / 或氧气引入燃烧装置或补燃器的燃烧装置的上游。

[0023] 在另一个实施例中,再循环率可为固定率,或者独立于补燃器来确定再循环率。为了在这些情况下确保补燃器的完全的稳定燃烧,对额外空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流进行控制。

[0024] 额外空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流可为固定流。但是,在烟道气中应当避免超量空气或氧气,以便使 CO₂ 捕捉的效率保持较高。因此,提出了控制额外空气和 / 或富氧空气和 / 或氧气流。

[0025] 在一个实施例中,作为烟道气再循环率的函数来控制额外空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流。

[0026] 在另一个实施例中,作为燃气轮机的烟道气的残留氧气浓度的函数来控制额外空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流。

[0027] 在又一个实施例中,作为补燃器的相对负荷的函数来控制额外空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流。

[0028] 可使用另外的参数,例如在补燃器之前和之后的烟道气温度、烟道气流速等。

[0029] 上面的控制参数和目标的组合是可行的。例如可通过组合作为烟道气的残留氧气浓度和补燃器的负荷的函数进行的控制来获得补燃器的良好的运行状况。

[0030] 为了优化效率,通过来自联合循环动力设备的水蒸汽循环和 / 或 CO₂ 捕捉系统和 / 或烟道气的低等级热来预热额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流。

[0031] 除了该方法之外,对应的联合循环动力设备 (CCPP) 是本发明的一部分。

[0032] CCPP 包括至少一个燃气轮机、一个 HRSG、一个蒸汽轮机、CO₂ 捕捉系统和补燃器。另外,它包括一个再循环线路和通往 CO₂ 捕捉系统的一个烟道气线路。

[0033] 根据一个实施例,在联合循环动力设备的 HRSG 中提供了低超量空气补燃器。

[0034] 在另一个实施例中,提供了通往低超量补燃器的环境空气和 / 或富氧空气和 / 或氧气供应线路。

[0035] 另外,可提供氧气富集设备和 / 或空气分离单元。

[0036] 另外,可安装至少一个氧气测量或 CO_2 测量装置来测量压缩机入口气体的入口气体的氧气浓度或 CO_2 浓度,以及 / 或者测量燃气轮机的热烟道气的残留氧气浓度,以及 / 或者测量来自 HRSG 的烟道气的残留氧气浓度。

[0037] 除了补偿由于 CO_2 捕捉而引起的动力损失之外,补燃器还可用来增加设备柔性,以及提供动力来补偿环境状况的变化的影响或覆盖峰值动力需求的时段。

[0038] 典型地,在将再循环烟道气与环境空气混合以再次引入燃气轮机的压缩机之前,必须通过再冷却器来在 HRSG 之后对再循环的烟道气进行进一步冷却。在一个实施例中,用于控制再循环率的控制机构安装在此再冷却器的下游,以减少在此控制机构上的热负荷。

附图说明

[0039] 下面将在附图的帮助下更详细地描述本发明、其特性以及其优点。参照附图:

[0040] 图 1 示意性地显示了具有后端 CO_2 吸收器的、包括烟道气再循环和低超量空气比率补燃器的 CCPP。

[0041] 图 2 示意性地显示了用于应用于具有烟道气再循环的 CCPP 的 HRSG 中的低超量空气比率补燃燃烧装置。

[0042] 图 3 示意性地显示了在没有额外的环境空气或氧气供应的情况下作为补燃器的相对负荷 SF_{load} 的函数的、补燃器需要的燃气轮机烟道气的标准化残留氧气浓度 GT_{O_2} 。

[0043] 图 4 示意性地显示了在具有额外的环境空气或氧气供应 F_{air} 的情况下作为补燃器的相对负荷 SF_{load} 的函数的、补燃器需要的燃气轮机烟道气的标准化残留氧气浓度 GT_{O_2} ,以及在补燃器之后的残留氧气浓度 SF_{O_2} 。

具体实施方式

[0044] 用于执行所提出的方法的动力设备包括传统的 CCPP、用于烟道气再循环的装备、补燃器 10,以及 CO_2 捕捉系统 18。

[0045] 在图 1 中显示了具有后燃烧捕捉、烟道气再循环和补燃器 10 的典型的布置。对驱动第一发电机 25 的燃气轮机 6 供应压缩机入口气体 3 和燃料 5。压缩机入口气体 3 是环境空气 2 和烟道气的第一部分流 21 的混合物,该第一部分流 21 通过烟道气再循环线路来再循环。入口气体在压缩机 1 中被压缩。压缩气体在燃烧器 4 中用于燃烧燃料 5,并且加压的热气在涡轮 7 中膨胀。其主要输出是电功率和热烟道气 8。

[0046] 燃气轮机的热烟道气 8 通过 HRSG9, HRSG9 产生用于蒸汽轮机 13 的蒸汽 30。在 HRSG9 或从燃气轮机 6 到 HRSG9 的烟道气导管中集成了补燃器 10。对补燃器供应燃料气体 12 和环境空气 / 氧气 11。

[0047] 蒸汽轮机 13 或者与燃气轮机 6 和第一发电机 25 布置成单轴构造,或者布置成多轴构造来驱动第二发电机 26。另外,从蒸汽轮机 13 中抽取蒸汽,并且通过蒸汽线路 15 将蒸汽供应给 CO_2 捕捉系统 18。蒸汽作为冷凝物通过返回线路 17 返回到蒸汽循环,并且被再次引入蒸汽循环。简化了蒸汽循环并且将其示意性地显示为不具有不同的蒸汽压力水平、给水泵等,因为这些不是本发明的主题。

[0048] 来自 HRSG9 的烟道气 19 的第一部分流 21 再循环到燃气轮机 6 的压缩机 1 的入口,第一部分流在该入口处与环境空气 2 混合。第一部分流 21 在与环境空气 2 混合之前在再

循环烟道气冷却器 27 中被冷却。

[0049] 来自 HRSG9 的烟道气 19 的第二部分流 20 被风门 29 引导到 CO₂ 捕捉系统 18。

[0050] CO₂ 捕捉系统 18 典型地包括:CO₂ 吸收单元,其中,通过吸收剂来从烟道气中去除 CO₂;以及再生单元,其中,CO₂ 从吸收剂中释放出来。取决于烟道气的第二部分流 20 的温度和 CO₂ 吸收单元的运行温度范围,可能还需要烟道气冷却器 23。

[0051] CO₂ 耗尽的烟道气 22 从 CO₂ 捕捉系统 18 中释放到烟囱 32。在 CO₂ 捕捉系统 18 不运行、以部分负荷运行以提高运行柔性的情况下,可通过烟道气旁路 24 来使来自 HRSG 的烟道气绕过或部分地绕过。

[0052] 在正常运行中,捕捉到的 CO₂ 31 将在 CO₂ 压缩机中被压缩,并且压缩 CO₂ 将被向前运送,以进行存储或进一步处理。

[0053] 提出了用以测量氧气浓度和 / 或 CO₂ 浓度的测量装置,以便更好地控制残留氧气浓度。例如,可应用入口空气 CO₂ 和 / 或 O₂ 测量装置 36 来更好地控制燃气轮机 6 的入口气体成分。为了控制燃气轮机的烟道气成分,可例如应用燃气轮机烟道气 CO₂ 和 / 或 O₂ 测量装置 37。为了控制 HRSG 烟道气 19 的气体成分,可例如应用 HRSG 烟道气 CO₂ 和 / 或 O₂ 测量装置 38。

[0054] 在图 2 中显示了在 HRSG9 中的用于利用处于低超量空气比率的环境空气以及利用氧气 / 富氧空气 11 来燃烧燃料气体 12 的补燃器 10 的一个实例。在所示实例中,用于补燃器的燃烧装置箱 28 布置成在 HRSG 入口 33 的截面中或在 HRSG 的内部成横向、隔开排列。燃气轮机烟道气 8 通过在箱之间的通道来穿越燃烧装置箱 28,而补燃器的火焰在燃烧装置箱 28 中被稳定。额外的环境空气或氧气 11 以及燃料气体 12 被供应给燃烧装置箱,并且经由燃料气体喷射孔口 34 和氧化剂喷射孔口 35 喷射。典型地,不直接将氧气喷射到燃烧装置箱 28 中,而是在氧气接触燃料气体 12 之前用一些载体气体(例如环境空气或再循环的烟道气)来稀释它。

[0055] 在具有 HRSG 和补燃器的传统的 CCPP 中,不控制燃气轮机 6 的烟道气 8 的氧气浓度,并且该氧气浓度独立于补燃器的运行。补燃器典型地仅在燃气轮机到达基本负荷之后打开,并且独立于燃气轮机 6 而运行。基本负荷典型地为在烟道气中具有最低残留氧气浓度的运行状况。氧气浓度几乎在此水平处保持恒定,并且仅由于环境状况的变化而发生细微的改变。但是,此方法对于烟道气再循环和在来自燃气轮机 6 的热烟道气 8 中的被最小化的残留氧气浓度而言不可行,因为传统的补燃器在这些状况下并不恰当地工作。

[0056] 在用以最大化来自具有补燃器的 HRSG9 的烟道气 19 的 CO₂ 浓度的第一种方法中,作为补燃器的相对负荷的函数来控制在燃气轮机之后的残留氧气浓度 GT_{O2},如图 3 中所示。对来自燃气轮机 6 的烟道气 8 的最小残留氧气浓度进行了标准化,如果燃气轮机 6 在燃气轮机的再循环极限处运行,则将达到该最小残留氧气浓度。为了补燃器的运行,在燃气轮机之后的残留氧气浓度 GT_{O2} 高于燃气轮机运行所需的烟道气的最小残留氧气浓度。因此,再循环率受到限制而允许进行补燃。

[0057] 在此情况下,没有额外环境空气流和 / 或富氧空气流和 / 或氧气流 11 供应给补燃器 10。确保关于低 CO 和未燃烧的烃排放的稳定的完全燃烧需要的残留氧气含量和浓度的量取决于需要反应的燃料气体的温度水平和量。在补燃器 10 的低相对负荷处,温度较低,并且需要相对较高的氧气浓度来确保完全燃烧。这导致在补燃器之后的高的残留氧气浓度

SF_{O_2} 。在不断上升的负荷的情况下,火焰温度会上升,并且需要的氧气浓度会下降,直到其到达最小值。对于补燃器 10 的高的相对负荷,需要的氧气浓度会再次上升且与喷射的燃料气体流量成比例。取决于补燃器的设计,需要的残留氧气浓度作为负荷的函数变化。例如,与负荷成比例的需要的氧气浓度是可行的。另外,负荷范围可限制成更高的负荷,例如 40% 至 100% 负荷。在任何情况下,为了最大化在补燃器之后的得到的 CO_2 ,需要改变来自 GT8 的烟道气的残留氧气浓度。这会增加控制集成的复杂性,并且可导致在 GT 中的燃烧不稳定性。另外,它会导致流到 CO_2 捕捉系统 18 的烟道气的第二部分流 20 作为补燃器的相对负荷的函数变化。补燃器的需要的残留氧气浓度可限制再循环率,并且导致有增加的最大第二部分流 20。

[0058] 在提出的第二种方法中,应用了具有额外环境空气、富氧空气或氧气流 F_{air} 的补燃器。如在图 4 中示意性地示出的那样,关于补燃器的相对负荷 SF_{load} 的补燃器需要的燃气轮机烟道气的标准化残留氧气浓度 GT_{O_2} 可独立于补燃器的相对负荷保持恒定。因此,在燃气轮机和补燃器之间不需要复杂的控制接口或逻辑。

[0059] 在提出的这个第二种方法中,燃料气体利用额外环境空气流、富氧空气流或氧气流 F_{air} 在补燃燃烧装置中燃烧。补燃燃烧装置因此可独立于燃气轮机烟道气氧气浓度而工作,并且产生处于低 O_2 浓度和高 CO_2 浓度的烟道气。利用此方法,可确保在混合补燃器的烟道气与燃气轮机烟道的烟道气之后,在得到的烟道气混合物中的 CO_2 浓度将不被稀释或仅被非常细微地稀释。因此烟道气再循环率可被且将被设计在其最大允许值处,以在燃气轮机烟道气中保持最小氧气浓度(即最高 CO_2 浓度),同时将来自 CCP 的最小量的烟道气发送到 CO_2 捕捉设备。

[0060] 另外,在图 4 中还显示了确保稳定且完全的燃烧所需要的标准化额外环境空气、富氧空气或氧气流 F_{air} 。对在 100% 负荷处需要的额外环境空气或氧气流进行了标准化。在补燃器 10 的低s的相对负荷处,温度较低,并且需要相对较高的环境空气流、富氧空气流或氧气流 F_{air} 来确保完全燃烧。这典型地远超过化学计量,并且会导致在补燃器之后有高的残留氧气浓度 SF_{O_2} 。在不断上升的负荷的情况下,火焰温度会上升,并且所需额外环境空气流、富氧空气流或氧气流 F_{air} 仅以低的速率上升。可减小对燃料而言特定的额外环境空气流、富氧空气流或氧气流 F_{air} 。理想地,可实现几乎化学计量的燃烧。对于补燃器 10 的高的相对负荷而言,对于燃料而言特定的额外环境空气流、富氧空气流或氧气流 F_{air} 保持几乎恒定。主要需要所需额外环境空气流、富氧空气流或氧气流 F_{air} 来确保有足够的氧气浓度,以便进行完全燃烧,并且 F_{air} 会以与喷射的燃料气体流量成比例的更高的速率增加。取决于补燃器的设计,所需残留氧气浓度的作为负荷的函数的这种依赖性会变化。另外,负荷范围可限制成更高负荷,例如 40% 至 100% 负荷。

[0061] 在此图中还显示了在补燃器之后的得到的标准化残留氧气浓度 SF_{O_2} 。对在 100% 负荷处的在补燃器之后的氧气浓度 SF_{O_2} 进行了标准化。对于此实例而言,它在 100% 负荷处达到了最小。在 100% 负荷处,燃烧温度是最高的,这有利于快速完全燃烧得到非常低的残留氧气浓度和对应的高的 CO_2 浓度。

[0062] 大体而言, CO_2 浓度与残留氧气浓度成反例,且低的氧气浓度对应于高的 CO_2 浓度。

[0063] 可使用主要过程参数来确定在 CCP 的热力学过程的不同位置处的 CO_2 和残留氧气浓度。基于入口质量流量,再循环率,燃料质量流量,喷射的环境空气流、富氧空气流或氧

气流 F_{air} 的质量流量,以及燃烧效率,可估计在燃气轮机之后和在补燃器之后在入口气体中的氧气浓度和 CO_2 浓度。在本发明的一个实施例中使用了这些估计值。

[0064] 因为难以测量燃气轮机的入口质量流量,所以通常不得不依靠压缩机特性来确定入口质量流量。由于压缩机老化的原因,实际入口质量流量可不同于特性的值。另外,燃料的热值取决于可随着时间改变的燃料气体成分。因此,或者必须应用额外的度量(例如在线燃料气体分析),或者必须考虑相当多的不确定性。因此,出于实际的原因,直接测量气体成分通常更容易。这些度量是另一个实施例的一部分。在图 1 中指示了对应的测量装置。

[0065] 除了传统的气相色谱法之外,还存在若干不同的方法、系统和测量装置来测量不同的气体流的氧气浓度和 CO_2 浓度。可例如使用非色散红外线 (NDIR) CO_2 传感器或化学 CO_2 传感器来容易地测量 CO_2 。除了别的之外,可使用氧化锆传感器、电化学或流电传感器、红外传感器、超声传感器和激光技术来测量氧气浓度。快速在线传感器可应用于优化的操作。

[0066] 在上面且在附图中描述的示例性实施例对本领域技术人员公开了不同于示例性实施例但包含在本发明的范围中的实施例。

[0067] 例如,吹送器可有利于再循环的烟道气的第一部分流 21,或有利于流到 CO_2 捕捉系统 18 的烟道气的第二部分流 20。在没有吹送器的情况下,以现有的压差来允许有足够的流所需要的管和装备大小可变得非常高。

[0068] 另外,当额外环境空气流、富氧空气流或氧气流 F_{air} 用于补燃器时,可通过来自水蒸汽循环和 / 或 CO_2 捕捉系统 18 和 / 或烟道气的低等级热来预热这个流。例如来自中压给水的返回冷凝物可用于此。

[0069] 另外,可用受控制的吹送器来替代固有地导致压降的风门或其它控制机构。这些可例如为可变速度吹送器或具有可控叶片或导叶角的吹送器。

[0070] 部件列表

- | | | |
|--------|----|--------------------------|
| [0071] | 1 | 压缩机 |
| [0072] | 2 | 环境空气 |
| [0073] | 3 | 压缩机入口气体 |
| [0074] | 4 | 燃烧器 |
| [0075] | 5 | 用于 GT 的燃料气体 |
| [0076] | 6 | 燃气轮机 (GT) |
| [0077] | 7 | 涡轮 |
| [0078] | 8 | 来自燃气轮机的热烟道气 |
| [0079] | 9 | HRSG (热回收蒸汽发生器) |
| [0080] | 10 | 低超量空气补燃器 (SF) |
| [0081] | 11 | 环境空气和 / 或富氧空气和 / 或氧气 |
| [0082] | 12 | 用于补燃器的燃料气体 |
| [0083] | 13 | 蒸汽轮机 |
| [0084] | 14 | 冷凝器 |
| [0085] | 15 | 用于 CO_2 捕捉的蒸汽抽取 |
| [0086] | 16 | 给水 |
| [0087] | 17 | 冷凝物返回线路 |

[0088]	18	CO ₂ 捕捉系统
[0089]	19	来自 HRSG 的烟道气
[0090]	20	第二部分流 (烟道气 CO ₂ 捕捉系统)
[0091]	21	第一部分流 (烟道气再循环)
[0092]	22	CO ₂ 耗尽的烟道气
[0093]	23	烟道气冷却器
[0094]	24	通往烟囱的烟道气旁路
[0095]	25	第一发电机
[0096]	26	第二发电机
[0097]	27	再循环烟道气冷却器
[0098]	28	燃烧装置箱
[0099]	29	风门
[0100]	30	蒸汽
[0101]	31	捕捉到的 CO ₂
[0102]	32	烟囱
[0103]	33	HRSG 入口的截面
[0104]	34	燃料气体喷射孔口
[0105]	35	氧化剂喷射孔口
[0106]	36	入口空气 CO ₂ 和 / 或 O ₂ 测量装置
[0107]	37	燃气轮机烟道气 CO ₂ 和 / 或 O ₂ 测量装置
[0108]	38	HRSG 烟道气 CO ₂ 和 / 或 O ₂ 测量装置
[0109]	CCPP	联合循环动力设备
[0110]	SF _{load}	补燃器 (SF) 的相对负荷
[0111]	GT _{O2}	在 GT 之后的标准化残留氧气浓度
[0112]	SF _{O2}	在 SF 之后的标准化残留氧气浓度
[0113]	F _{air}	标准化补充空气 / 富氧空气 / 氧气流

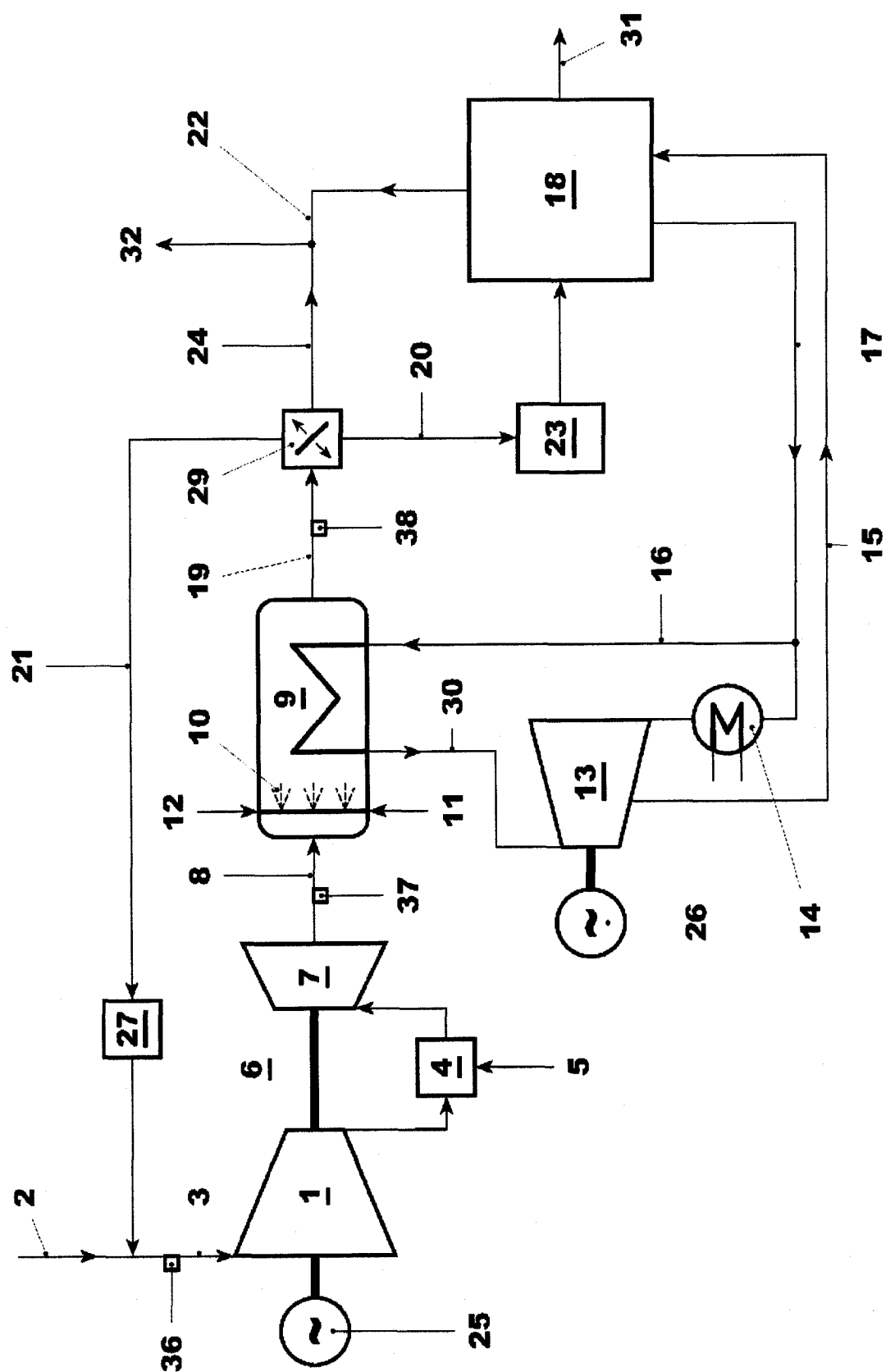


图 1

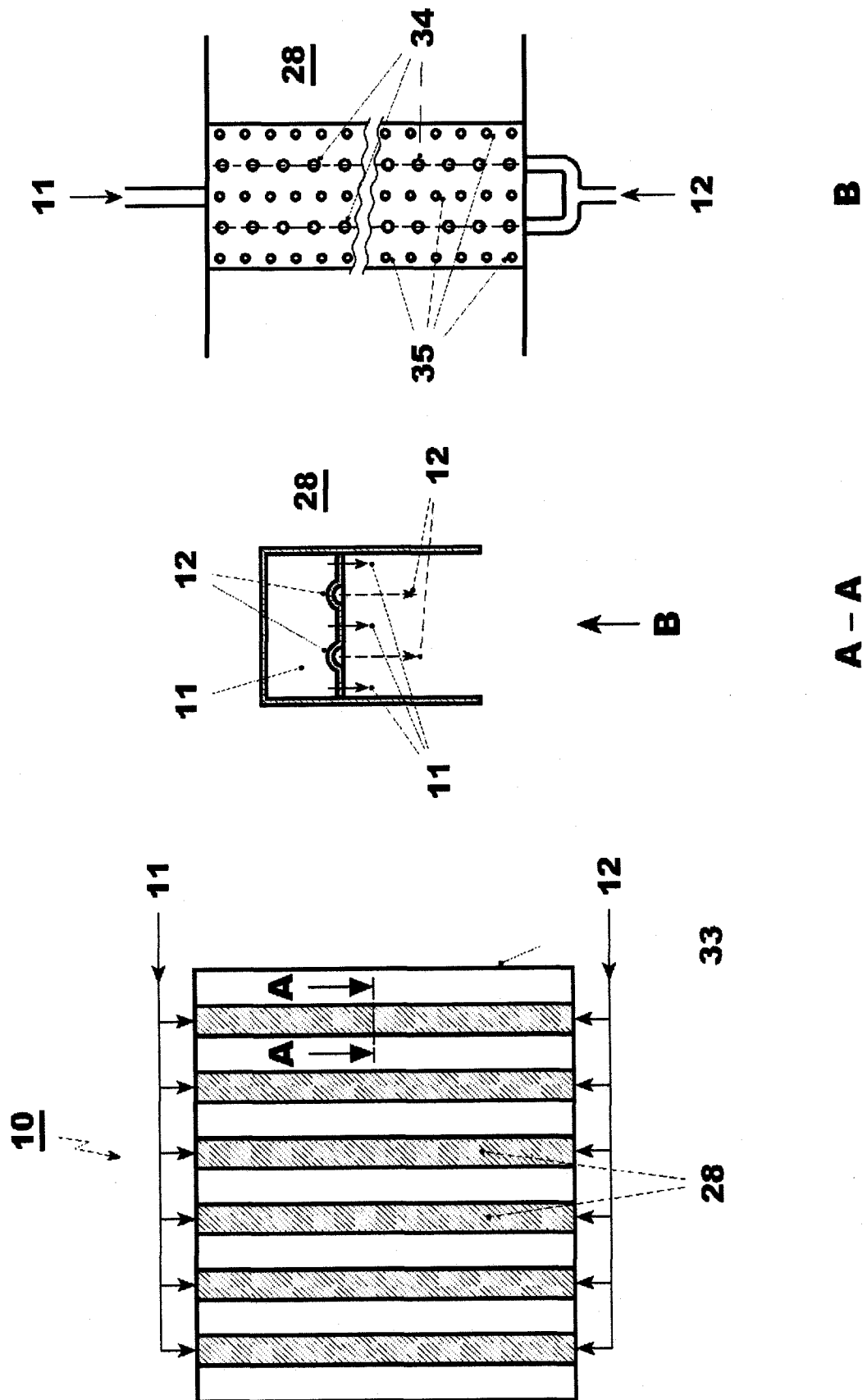


图 2

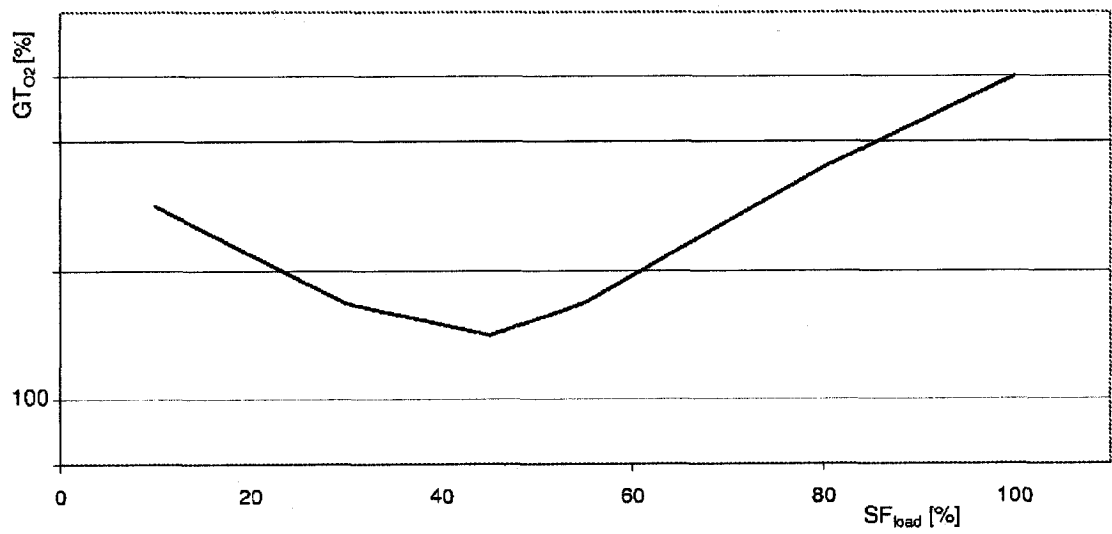


图 3

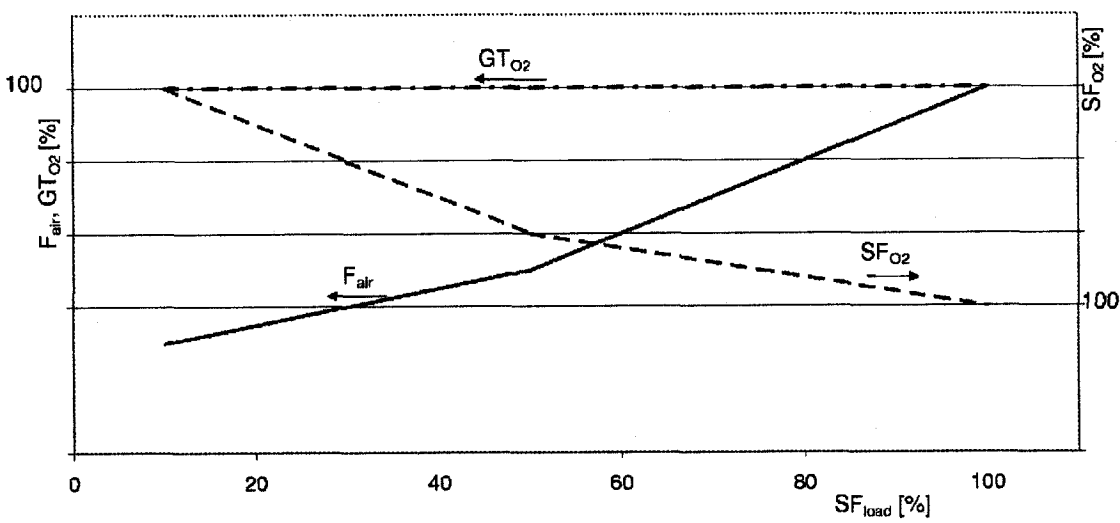


图 4