



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101910568 A

(43) 申请公布日 2010.12.08

(21) 申请号 200980101948.3

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(22) 申请日 2009.01.09

代理人 周春梅 谭祐祥

(30) 优先权数据

08100390.7 2008.01.11 EP

(51) Int. Cl.

F01K 13/02(2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010.07.09

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2009/050205 2009.01.09

(87) PCT申请的公布数据

W02009/087210 EN 2009.07.16

(71) 申请人 阿尔斯托姆科技有限公司

地址 瑞士巴登

(72) 发明人 R·布拉特 O·德雷尼克

H·纳格尔

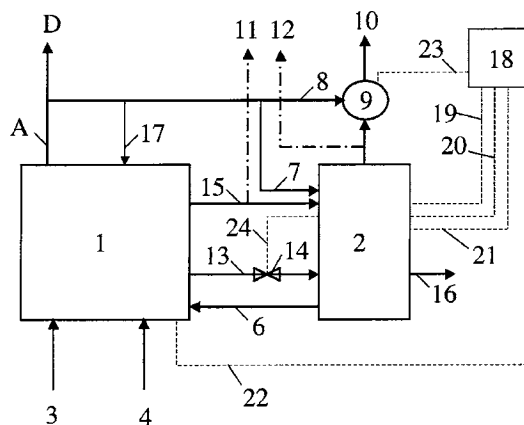
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 2 页

(54) 发明名称

具有 CO2 捕获和压缩的发电厂

(57) 摘要

由于 CO2 识别为主要温室气体,因而其捕获和存储对于控制全球变暖是关键。CO2 捕获和压缩设备的灵活操作将增加设计用于 CO2 捕获和压缩的发电厂 (1) 的竞争力且将允许更早引入这种类型的发电厂。本发明的主要目的是通过利用附加灵活性来改进发电厂频率响应特性,可以通过控制 CO2 捕获和压缩系统的功率消耗来实现。一个具体目的是在发电厂 (1) 不卸载至部分负载的情况下提供用于低频事件的功率备用。这通过 CO2 捕获系统的功率消耗用于控制发电厂 (1) 的净输出 (D) 的操作方法实现。除了该方法之外,设计成根据该方法操作的发电厂 (1) 也是本发明的主题。



1. 一种操作发电厂 (1) 的方法, 所述发电厂 (1) 具有控制系统 (18) 和 CO₂ 捕获系统, 其特征在于, 在低频事件期间, CO₂ 捕获系统的功率消耗用作净功率输出 (D) 的控制参数。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, CO₂ 捕获系统以降低容量操作或者关闭, 以将附加功率供应给电网, 且该附加功率用于满足在低频事件期间电网的频率响应需求。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 当 CO₂ 捕获系统操作时, 所述发电厂 (1) 接近基本负载或者以基本负载操作, 且 CO₂ 捕获系统的功率消耗可用于发电厂的频率响应。

4. 根据权利要求 1 至 3 中的一项所述的方法, 其特征在于, 在低频事件期间, CO₂ 捕获速率变化以控制 CO₂ 捕获系统的功率消耗。

5. 根据权利要求 1 至 4 中的一项所述的方法, 其特征在于, 在低频事件期间, CO₂ 压缩单元 (9) 关闭或者以降低容量操作。

6. 根据权利要求 1 至 5 中的一项所述的方法, 其特征在于, 在低频事件期间, CO₂ 压缩单元 (9) 关闭或者以降低容量操作, 且所捕获 CO₂ 的部分或全部经由 CO₂ 压缩单元的旁路 (12) 释放。

7. 根据权利要求 1 至 6 中的一项所述的方法, 其特征在于, 在低频事件期间, 捕获系统 (2) 中包括的再生单元关闭或者以降低容量操作。

8. 根据权利要求 1 至 7 中的一项所述的方法, 其特征在于, 在低频事件期间, 捕获系统 (2) 中包括的吸附或解吸单元关闭或者以降低容量操作。

9. 根据权利要求 1 至 8 中任何一项所述的方法, 其特征在于, 在低频事件期间, 捕获系统 (2) 中包括的吸收或吸附单元关闭或者以降低容量操作, 且部分或全部废气被旁通绕过捕获设备。

10. 根据权利要求 7 所述的方法, 其特征在于, 由于关闭或者以降低容量操作, 捕获系统 (2) 中包括的再生单元的蒸汽 (13) 消耗减少, 且剩余蒸汽供应给发电厂 (1) 的现有蒸汽涡轮, 以用于低频事件期间的附加发电。

11. 根据权利要求 10 所述的方法, 其特征在于, 在低频事件期间, 再生关闭或者吸收剂或吸附剂的再生以降低容量发生, 且在低频事件期间, 所存储的吸收剂或吸附剂用于 CO₂ 捕获。

12. 根据前述权利要求中的一项所述的方法, 其特征在于, CO₂ 捕获系统通过闭环控制系统 (18) 控制, 闭环控制系统 (18) 集成到发电厂控制系统中或者由发电厂控制系统协调或者具有至发电厂控制系统的直接数据链路 (22)。

13. 一种具有 CO₂ 捕获系统的发电厂 (1), 其特征在于, 发电厂 (1) 设计成根据权利要求 1 所述的方法操作。

14. 根据权利要求 13 所述的发电厂 (1), 其特征在于, 至少一个蒸汽涡轮设计成将在 CO₂ 捕获系统关闭的情况下能够由发电厂产生的最大蒸汽流转换为能量。

15. 根据权利要求 13 或 14 所述的发电厂, 其特征在于, 至少一个发电机和电气系统被设计成将在 CO₂ 捕获系统关闭的情况下产生的最大功率转换为电功率且将该电功率传输给电网。

16. 根据权利要求 13 至 15 中的一项所述的发电厂 (1), 其特征在于, 设置 CO₂ 压缩单元 (9) 和 / 或吸收单元的旁路 (12, 11)。

17. 根据权利要求 13 至 16 中的一项所述的发电厂 (1), 其特征在于, 吸收单元设计成耐受废气 (15), 甚至在不操作时也是如此。

具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂

技术领域

[0001] 本发明涉及具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂及其在频率响应期间的操作。

背景技术

[0002] 近年来,明显的是温室气体的生成导致全球变暖,且温室气体产生的进一步增加将进一步加速全球变暖。由于 CO₂(二氧化碳)被识别为主要温室气体,因此 CCS(碳捕获和存储)被认为是减少温室气体释放到大气中和控制全球变暖的一种可能的主要手段。在该上下文中,CCS 定义为 CO₂ 捕获、压缩、输送和存储的过程。捕获定义为在碳基燃料燃烧之后从废气去除 CO₂ 的过程或在燃烧之前碳的去除和处理。任何吸收剂、吸附剂或从废气或废气流去除碳的 CO₂ 的其它装置的再生被认为是捕获过程的一部分。发电厂中(例如在火力蒸汽发电厂、燃气涡轮或联合循环发电厂中)的 CO₂ 捕获有多种可能的方法。所讨论的用于 CO₂ 捕获的主要技术是所谓的燃烧前捕获、全氧燃烧(oxyfiring)、化学链和燃烧后捕获。

[0003] 燃烧前碳捕获包括在燃烧燃料之前去除燃料的碳含量的全部或一部分。对于天然气,这通常通过用蒸汽重整燃料,随后通过变换反应以产生 CO₂ 和氢气来完成。CO₂ 可以从得到的气体混合物捕获和去除。氢气然后可以用于产生有用能量。该过程也称为合成气体或合成气方法。同样的方法可以用于煤或任何化石燃料。首先,燃料被汽化,随后以与天然气相同的方式处理。可以预见该方法与 IGCC(整体煤气化联合循环)结合的应用。

[0004] 全氧燃烧(也称为氧燃料燃烧或氧气燃烧)是在氧气和再循环 CO₂(而不是空气)的混合物中燃烧煤或其它化石燃料的技术。这产生浓缩 CO₂ 和蒸汽的废气。由此,CO₂ 可以简单地通过冷凝水蒸气(其是燃烧反应的副产物)而分离。

[0005] 化学链包括使用金属氧化物作为氧气载体,通常金属氧化物从燃烧空气将氧气传输给燃料。燃烧的产物是 CO₂、减少的金属氧化物和蒸汽。在水蒸气冷凝之后,CO₂ 流可以被压缩用于输送和存储。

[0006] 当前认为最接近大规模工业应用的 CCS 技术是燃烧后捕获与压缩、输送和存储结合。在燃烧后捕获中,CO₂ 从废气去除。剩下的废气释放到大气且 CO₂ 被压缩用于输送和存储。已知多种技术来从废气去除 CO₂,例如吸收、吸附、膜分离和低温分离。

[0007] 用于 CO₂ 捕获和压缩的所有已知技术需要相对大量的能量。关于优化不同过程和通过这些过程集成到发电厂中而减少功率和效率补偿方面存在许多文献。

[0008] 对于借助于燃烧后捕获的 CCS,CO₂ 捕获和 CO₂ 压缩用于进一步处理(即,输送和存储)是降低发电厂相对于没有 CCS 的常规发电厂的净功率输出减少的主要原因。

[0009] EP1688173 给出了燃烧后捕获的一个示例和用于减少分别由于 CO₂ 吸收、吸收液体的再生引起的功率输出补偿的方法。在此提出了吸取蒸汽用于再生来自于发电厂的蒸汽涡轮的不同级的吸收剂,以使得涡轮输出的减少最小化。

[0010] 在相同的环境中,W02007/073201 建议使用压缩热,所述压缩热来自于压缩 CO₂ 蒸汽以再生吸收剂。

[0011] 这些方法目的在于减少特定 CO₂ 捕获设备的功率需求,然而,使用所提出的 CO₂ 捕获方法将总是导致发电厂容量(即发电厂可以传输给电网的最大功率)的显著减少。

[0012] 通过增加发电厂灵活性来减轻 CO₂ 捕获对发电厂性能的影响的第一种尝试在 EP0537593 中描述。EP0537593 描述使用吸收剂从废气捕获 CO₂ 的发电厂,其中,在高功率需求时间期间关闭再生器且在这些时间期间通过使用存储在吸收剂罐中的吸收剂继续 CO₂ 捕获。EP0537593 描述了 CO₂ 捕获设备的一个功率消耗装置的简单开/关模式。以相对高的成本增加了仅仅非常小的操作灵活性。

[0013] 频率响应是发电厂操作的重要问题且对于具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂也必须被考虑。EP0858153 描述了频率响应的基本原理,其中,电网具有电网频率,电网频率绕名义频率波动。所述发电厂的功率输出作为控制频率的函数而被控制,使得功率输出在控制频率降低于所述名义频率时增加,且另一方面功率输出在控制频率增加超过所述名义频率时减少。电网频率被连续测量。EP0858153 描述了将电网频率取平均值且使用测量的电网频率作为控制频率的有利方法,然而,其受到燃气涡轮功率输出控制的常规控制机制的限制。为了能够响应于低频事件,发电厂通常必须以部分负载操作。

发明内容

[0014] 本发明的主要目的在于优化具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂的频率响应操作方法。本发明的进一步目的在于设计成根据优化操作方法操作的具有 CO₂ 捕获和压缩系统的发电厂。

[0015] 一个目的在于利用 CCS(碳捕获和存储)以便增加发电厂的灵活性,以及因此增加其相对于没有 CO₂ 捕获的常规发电厂的竞争力。根据本发明,在低频事件期间,CO₂ 捕获系统的功率消耗用作发电厂的净功率输出的控制参数。在该情形中,电功率消耗、机械功率消耗(例如在直接 CO₂ 压缩机驱动器中)以及流体蒸汽的消耗(否则在蒸汽涡轮中可以被转换为电能)被认为是捕获系统的功率消耗。低频事件(通常也称为低频偏移或者低频率事件)是电网频率降低于名义频率。具体地,发电厂的频率响应容量通过使用 CO₂ 捕获和压缩设备功率消耗的快速变化以修改发电厂在低频事件期间可以传输给电网的电功率来改进。

[0016] 本发明的实质是发电厂操作方法,其中,作为对电网频率的下降作出的反应,CO₂ 捕获系统的功率消耗减少或者系统关闭以增加发电厂的净输出。在本发明的情形中,CO₂ 捕获系统定义为整个 CO₂ 捕获单元加上压缩单元,以及所有辅助设备。除了发电厂的现有控制之外,该操作方法给出了附加的灵活性。由于借助于该方法将 CO₂ 系统集成到发电厂中,在低频事件期间,发电厂的净输出能以非常高的速率增加,且不需要部分负载操作以确保频率响应的净功率容量。高速率功率变化可以通过 CO₂ 捕获系统中的功率消耗的快速梯度实现。因而,发电厂可以在基本负载处或附近以最佳效率操作。本发明以没有附加成本或非常小的附加成本实现。

[0017] 在常规发电厂中,发电厂的净输出响应于低频事件可以通过增加发电厂的总功率输出且通过减少发电厂及其任何系统的辅助或寄生功率消耗而增加。总功率输出的增加受到发电厂的基本负载的限制。此外,发电厂的总功率可以增加的速率由于在发电厂的瞬态和惯性期间发生的热应力而受限制。在常规发电厂中,减少任何系统或辅助设备的寄生功

率消耗的可能性也非常有限。通常,蒸汽或联合循环发电厂的最大消耗装置是在连续操作期间不能关闭的供水泵、冷却水泵和冷却设备。

[0018] 对于发电厂的安全连续操作不需要的 CO₂ 捕获和压缩的大功率消耗改变了这种情况且在发电厂不会遇到限制的情况下给予了净功率的快速瞬变的新的可能性。实际上,CO₂ 捕获系统的功率消耗可以用作发电厂净功率输出的控制参数。具体地,用于 CO₂ 捕获和压缩的功率消耗可以变化且该功率可以用于满足电网的频率响应需求。此外,由于净功率输出的变化通过控制 CO₂ 捕获系统的功率消耗来满足,因而可以借助于该新构思避免或减少响应于低频事件消耗发电厂的快速负载瞬变的期限。

[0019] 借助于 CO₂ 捕获和压缩的频率响应的一个附加优势在于避免发电厂降级操作的可能性,如果没有更多的用于频率备用的容量可用则电网可能需要发电厂降级操作。取决于电网,一些发电厂可能需要以部分负载操作,例如 90% 负载,以保留用于低频事件的功率备用。以 90% 操作可以导致降低的效率并增加所产生的每 MWh 的资金和操作成本。在此,由于 CO₂ 捕获系统的功率消耗可以关闭和用于频率响应,因而特别有利的是,本发明允许发电厂以最佳效率在基本负载处或附近操作,且仍具有用于低频事件的内在功率备用。

[0020] 在使用 CO₂ 捕获系统作为净功率输出的控制参数的第一种方法中,在低频事件期间,CO₂ 捕获和 CO₂ 压缩设备或其主功率消耗装置可以简单地关闭。与所选择的技术无关,停止 CO₂ 分离且发电厂如在废气中具有 CO₂ 排放物的常规发电厂那样运行。因而,不需要具有寄生功率需求的 CO₂ 压缩。

[0021] 除了简单地停止或者甚至断开 CO₂ 捕获和压缩单元之外,提出了卸载至 CO₂ 捕获设备和压缩的降低容量或部分负载操作,以用于频率响应操作。降低容量可以通过将 CO₂ 捕获系统部件中的至少一个以低于达到名义 CO₂ 捕获速率所需的容量操作来实现。因而,在频率响应期间,捕获速率将降低。

[0022] 由于低频事件很少且仅在短时间段内发生,因此由于该操作模式而未捕获的 CO₂ 的累计量通常小且可以忽略。取决于电网,将导致这种短期 CO₂ 排放的低频事件在若干年中仅仅发生一次且将仅仅持续若干分钟或者几十分钟。

[0023] 然而,捕获设备和压缩单元的灵活操作将增加具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂的竞争力。因而允许这种发电厂超出仅仅试验发电厂项目而更早引入竞争激烈的发电厂市场,因而减少 CO₂ 排放物。

[0024] 在下文中,使用 CO₂ 吸收的示例来讨论借助于 CO₂ 捕获和压缩的频率支持的方法。该方法及其在下文所述的所有变型可同样地应用于 CO₂ 捕获方法,包括 CO₂ 吸附、吸附剂的再生和所捕获的 CO₂ 的压缩。对于所有 CO₂ 捕获方法,可设想使用相同原理的频率响应操作。

[0025] CO₂ 捕获和压缩过程(包括 CO₂ 吸收、吸收剂的再生和所捕获的 CO₂ 的压缩)的操作给出了三个主要选择以增加发电厂操作的灵活性。它们可以逐一执行或者一起同时执行。它们是:

[0026] 1. 关闭或以降低容量操作 CO₂ 压缩单元。

[0027] 2. 关闭或以降低容量操作再生单元。

[0028] 3. 关闭或以降低容量操作吸收单元。

[0029] 虽然第一选择已经导致寄生功率消耗的显著降低,但是它将导致在非常短的时间

段内 CO₂ 释放大气, 因为大体积的未压缩 CO₂ 不能被经济地存储。因而, 在低频事件期间, 所捕获 CO₂ 的部分或者全部可以例如经由 CO₂ 压缩单元的旁路被释放。例如, 为了安全处置所捕获的 CO₂, 可以与 CO₂ 吸收单元下游的废气混合且经由发电厂的烟囱释放。

[0030] 寄生功率消耗的进一步显著降低可以通过第二选择实现。再生通常通过吸收剂的“再沸腾”完成, 这意味着通过蒸汽加热吸收剂以释放 CO₂。因而, 蒸汽不再可用于发电。一旦在频率响应操作期间停止再生, 蒸汽就可用于发电。

[0031] 在第三选择中, 吸收过程也停止或者以降低容量操作, 第三选择导致辅助功率消耗的进一步降低。功率消耗的这种降低显著小于在前两种选择中实现的节省。取决于吸收单元的设计, 在该操作模式期间, 一部分或全部废气被旁通绕过捕获设备。

[0032] 吸收过程的操作在没有进一步措施的情况下本身没有任何意义, 因为常规装置中的吸收剂将快速饱和且不再能捕获 CO₂。然而, 取决于吸收剂存储罐的尺寸, 没有再生的 CO₂ 捕获和 CO₂ 压缩在有限时间段内是可能的。

[0033] 因为断开 CO₂ 捕获和压缩方法通常比系统的卸载更快且更安全, 因而, 提出了断开系统的至少一个部件与发电厂负载控制相结合。如果系统的至少一个部件被断开, 得到的净功率输出增加可以高于频率响应所需。在这种情况下, 使用常规发电厂控制可以减少发电厂的总功率输出以确保电网所需的正确净功率输出。

[0034] 除了 CO₂ 捕获系统部件关闭之外, 它们的部分负载操作也是可能的。例如, 可以通过控制装置 (例如, 入口导向叶片) 减少 CO₂ 压缩单元的质量流量。在压缩单元包括两个或更多并联压缩机机组的情况下, 至少一个压缩机的关闭显然也将导致 CO₂ 压缩单元功率消耗的降低。在以全容量操作的两个并联压缩机机组的情况下, 关闭一个压缩机机组将导致功率消耗降低 50%, 但也意味着所捕获的 50% 的 CO₂ 不能被压缩且通常将旁通到烟囱。替代地, 可以降低再吸收速率。例如, 这可以通过减少通过再生单元的吸收剂流并将其余流旁通并在它们进入吸收单元之前混合这两个流来实现。因为仅仅一部分流经过再生单元, 因而减少再生所需的蒸汽且剩余蒸汽可以用于发电。由于已再生和未再生吸收剂混合, 得到的混合物吸附 CO₂ 的容量减少且从废气捕获更低百分比的 CO₂, 且更少的 CO₂ 被释放用于在再生单元中压缩。因为先捕获 CO₂ 然后使之旁通不是很经济, 因而提出了同时降低所有捕获系统部件的容量。

[0035] 在低频事件期间操作没有再生或者以降低的吸收剂容量再生的吸收单元的另一种可能性是在该时间期间使用存储的 CO₂ 吸收剂。

[0036] 如果发生临界电网情况, 来自于调度中心的信号可能在频率降低于临界阈值之前已经启动上述 CO₂ 捕获系统的功率消耗的降低, 因而有助于稳定电网。

[0037] 操作 CO₂ 捕获系统的不同控制方法是可能的。一个示例是 CO₂ 捕获系统的不同部件的开环控制。这特别适合于仅使用不同部件的开 / 关控制的情形。

[0038] 开环控制也可设想用于更复杂的操作过程, 其中, 实现 CO₂ 捕获系统的功率消耗连续控制, 即: 没有由于不同部件的开 / 关切换引起的功率输出的突变。在该示例中, 通过一次改变一个部件的功率消耗同时其余部件以恒定负载操作, 实现 CO₂ 捕获系统的功率消耗连续控制。然而, 闭环控制对于例如瞬变操作或者在变化边界条件下的操作可以是有利的。

[0039] 在可预见不同部件以降低容量操作的情况下, 开环控制将允许更好地优化负载分

配。如果实施 CO₂ 捕获速率控制,这将是特别有利的。在该情况下,CO₂ 捕获系统的功率消耗不是通过一次控制单个部件同时其余部件以恒定操作来改变。不同部件的容量的降低必须协调。为此,每个部件的当前操作条件的反馈是有利的且闭环控制是优选的。

[0040] 本发明的进一步目的在于具有 CO₂ 捕获系统的用于燃烧碳基燃料的热力发电厂,设计用于根据上述频率响应方法操作。相应 CO₂ 捕获系统能够允许快速系统卸载。

[0041] 本发明的一个实施例是具有至少一个废气流的燃烧碳基燃料的发电厂。除了已知用于发电的常规部件之外,根据本发明的发电厂通常包括用于从废气流去除 CO₂ 的 CO₂ 捕获单元、和 CO₂ 压缩单元。捕获单元通常包括从废气去除 CO₂ 的捕获设备、从吸收剂释放 CO₂ 的再生单元、从废气结合 CO₂ 的吸附剂或其它装置、用于调节 CO₂ 以便输送的处理系统。压缩单元包括用于 CO₂ 压缩的至少一个压缩机。通常,压缩单元也包括至少一个冷却器或热交换器,用于在压缩期间和 / 或压缩之后再冷所压缩的 CO₂。

[0042] 为了允许根据提出的操作构思操作,发电厂的蒸汽涡轮设计成将最大蒸汽流转换为能量,这可以在 CO₂ 捕获系统关闭的情况下由发电厂产生。

[0043] 在另一个实施例中,发电机和电气系统设计成将在 CO₂ 捕获系统关闭的情况下产生的最大功率转换为电功率且将该电功率传输给电网。

[0044] 为了利于这种发电厂的上述操作,还可以包括 CO₂ 压缩机的旁路,所述旁路可以安全地排出 CO₂,例如引导至 CO₂ 捕获装置下游的废气烟囱中。

[0045] 在另一个实施例中,CO₂ 捕获单元设计成耐受废气,甚至在不操作时也是如此,例如设计成干运行的吸收单元。

[0046] 替代地,CO₂ 捕获单元的旁路可以预见,其允许独立于 CO₂ 捕获单元操作发电厂。该旁路对发电厂的启动或关闭以及在 CO₂ 捕获系统维护期间发电厂操作也是有利的。

[0047] 在另一个实施例中,设置定尺寸为在限定时间段内供应 CO₂ 吸收剂的存储罐,其允许连续 CO₂ 捕获,甚至在低频事件期间 CO₂ 压缩和再吸收关闭时也是如此。

[0048] 因为 CO₂ 捕获系统是复杂系统,因而需要合适的控制系统,如上文针对不同操作方法讨论的那样。该控制系统取决于发电厂的功率控制且影响发电厂的功率控制。因为功率控制是发电厂控制系统的关键部分,因而有利的是将 CO₂ 捕获系统的控制集成到发电厂控制系统中或者通过发电厂控制系统协调 CO₂ 捕获系统的控制且将所有相关数据线连接到发电厂控制系统。如果发电厂包括多个单元且发电厂控制系统具有包括发电厂控制器和单元主令控制器的分层结构,那么有利的是实现这种 CO₂ 捕获系统控制集成到或协调到每个单元的主令控制器中。

[0049] 替代地,CO₂ 捕获系统具有其自身的控制器,所述控制器经由直接数据链路连接到发电厂控制系统。发电厂控制系统或单元主令控制器必须将至少一个信号发送给 CO₂ 捕获装置的控制器。该信号例如可以是指令功率消耗信号或者指令捕获速率。

[0050] 在上述情况下,CO₂ 捕获控制器不必是一个硬件装置,而可以分散到由一个或多个控制单元协调的驱动器和群组控制器中。

[0051] 在 CO₂ 捕获系统的控制由发电厂控制系统协调的情况下,高级别控制单元可以例如将总指令质量流量发送给 CO₂ 压缩单元的群组控制器且接收总实际质量流量作为来自于该群组控制器的输入。在该示例中,压缩单元包括多个压缩机机组。每个压缩机机组具有其自身的装置控制器。群组控制器具有算法以决定如何将指令总 CO₂ 压缩质量流量最佳

地分配到不同压缩机机组上且将指令质量流量发送给每个个体压缩机机组的装置控制器。作为回报,群组控制器获得每个压缩机机组的实际 CO₂ 压缩质量流量。每个压缩机机组装置控制器可以再次工作,其中,从属控制器处于较低级别。

[0052] 相同类型的分层可以应用于 CO₂ 捕获系统的所有部件的控制。

附图说明

[0053] 本发明、其特性及其优势将在下文借助于附图更详细描述。参考附图。

[0054] 图 1 是具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂的示意图。

[0055] 图 2 示意性地示出了在低频响应事件期间借助于 CO₂ 捕获和压缩的灵活操作方法的发电厂的功率输出变化。

[0056] 图 3 示意性地示出了在低频响应事件期间借助于 CO₂ 捕获和压缩的灵活操作方法的发电厂的功率输出变化,结合有发电厂总输出的修正。

[0057] 图 4 示意性地示出了在低频响应事件期间借助于 CO₂ 捕获和压缩的灵活操作的发电厂的功率输出变化,其中,通过断开 CO₂ 捕获和压缩系统满足电网的附加净功率需求。

具体实施方式

[0058] 用于执行所提出的方法的发电厂主要包括常规发电厂 1 加上 CO₂ 捕获单元 2 和 CO₂ 压缩单元 9。

[0059] 图 1 中示出了具有燃烧后捕获的典型设置。发电厂 1 被供应有空气 3 和燃料 4。其主输出是发电机总电功率 A 和废气 15。此外,从发电厂 1 吸取蒸汽且经由蒸汽管线 13 和蒸汽控制阀 14 供应给 CO₂ 捕获单元 2。蒸汽以降低的温度或者作为冷凝物经由回流管线 6 返回发电厂 1,在这里蒸汽再次引入蒸汽循环中。CO₂ 捕获单元 2 通常包括由吸收剂从废气去除 CO₂ 的 CO₂ 吸收单元、和从吸收剂释放 CO₂ 的再生单元。取决于废气的温度和 CO₂ 吸收单元的操作温度范围,可能也需要废气冷却器。

[0060] CO₂ 耗尽的废气 16 从 CO₂ 捕获单元释放到烟囱。万一 CO₂ 捕获单元 2 不操作,废气可以经由废气旁路 11 旁通。

[0061] 在正常操作中,所捕获的 CO₂ 将在 CO₂ 压缩机 9 中压缩,且压缩的 CO₂ 10 将被运送用于存储或进一步处理。

[0062] 需要电功率 7 来驱动 CO₂ 捕获单元 2 的辅助设备,且使用电功率 8 来驱动 CO₂ 压缩单元 9。因而,至电网的净功率输出 D 是总发电厂输出 A 减去用于发电厂辅助设备 17 的电功率、减去用于 CO₂ 压缩单元的电功率 8 且减去用于 CO₂ 捕获单元的电功率 7。

[0063] 在图 1 中也示出相应控制单元 18,其将 CO₂ 捕获和压缩所需的附加部件的控制与发电厂的控制集成在一起。控制单元 18 具有发电厂 1 所需的至少一个控制信号线 22 和 CO₂ 压缩单元 9 的至少一个控制信号线。此外,示出了 CO₂ 捕获单元 2 的至少一个控制信号线 19,CO₂ 捕获单元 2 包括废气旁路 11。万一捕获单元 2 基于吸收或吸附,再生单元就是系统的一部分,相应地需要至再生单元的至少一个信号线 20。如果捕获单元 2 也包括用于吸附剂/吸收剂的至少一个存储罐,则需要至存储系统的控制信号线 21。对于蒸汽 13 用于再生的所示示例,蒸汽控制阀 24 经由控制信号线 24 控制。该控制线被连接到再吸收单元,或者直接连接到控制系统 18,再吸收单元是捕获单元 2 的一部分。

[0064] 净功率 D 的控制使用两个示例阐述,其中,对于频率响应,需要从所有部件以全容量操作的操作点开始增加净功率输出 D:

[0065] 在简单方法中,净输出 D 首先通过 CO₂ 压缩机单元 9 的功率消耗的受控降低而增加。当压缩机单元 9 的功率消耗降低时,从 CO₂ 再生单元 2 释放的 CO₂ 量保持恒定。因而,CO₂ 流的一部分必须通过 CO₂ 压缩单元旁路 12 旁通 CO₂ 压缩机单元。一旦 CO₂ 压缩机单元 9 完全关闭,净输出 D 通过 CO₂ 再生单元的功率消耗的受控降低而增加。最后,当 CO₂ 再生单元完全关闭时,净输出 D 通过 CO₂ 吸收单元(且如果应用的话,废气冷却器)的功率消耗的受控降低而增加。万一 CO₂ 吸收单元 2 未设计成干运行,即不能在没有吸收剂流和/或附加废气冷却的情况下暴露于废气 15,CO₂ 捕获单元 2 的废气旁路 11 必须作为吸收单元的可用功率的函数开启。

[0066] 在更复杂的方法中,净输出 D 通过 CO₂ 捕获单元 2 和压缩单元 9 的所有部件的功率消耗的受控和协调降低而增加。目标是以降低功率消耗最大化 CO₂ 捕获速率。为此,所有部件的容量以相同速率同时降低,且通过所有部件的 CO₂ 流相同。因而,功率消耗作为捕获速率的函数而变化。为了确保不同部件的流率匹配,需要来自于这些部件的反馈且闭环控制是有利的。在非常低的捕获速率下且如果 CO₂ 吸收单元 2 未设计成干运行,例如不能在没有吸收剂流和/或附加废气冷却的情况下暴露于废气,CO₂ 捕获单元的废气旁路 11 必须作为吸收单元 2 的可用功率的函数开启。

[0067] CO₂ 捕获系统的主要功率消耗装置对发电厂功率输出的影响在图 2-4 中示出。发电厂本身的辅助功率消耗的影响也在这些图中示出。

[0068] 在图 2 中,随时间示出了具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂的优化操作方法的低频事件的示例。在时间 $T = 0s$ 时,发电厂以基本负载处于正常操作,CO₂ 捕获和压缩系统处于操作中。通过指示在发电厂的不同阶段的相对输出 P_r 示出了发电厂辅助设备和 CO₂ 捕获系统的主要功率消耗装置对发电厂净功率输出 D 的影响。该图所示的所有功率输出通过在蒸汽被吸取用于再吸收的情况下的基本负载下的发电厂总功率输出 A 标准化。A' 是在没有蒸汽被吸取用于再吸收的情况下的总输出。B 是由发电厂辅助设备减少的总输出。C 是在输出 B 由 CO₂ 压缩进一步减少之后的输出。D 是在 C 由吸收的功率消耗减少之后得到的发电厂净功率输出。标准化电网频率 F_c 是用名义电网频率(通常是 50Hz 或 60Hz)标准化的频率。

[0069] 根据所提出的操作方法,在低频事件期间,从 B 到 C 和 C 到 D 的功率减少以及从 A 到 A' 的总功率增加用于控制净输出 D。在该示例中,在从 20s 至 30s 的时间段期间,当标准化电网频率 F_c 从 100% 下降到 99.8% 时,净输出 D 保持恒定,因为控制器具有 0.2% 的死区,在该死区内,对从设计频率的偏离不作出反应。当频率在时间 $T = 35s$ 继续下降至 99.3% 时,频率响应变得有效且净功率输出 D 通过在时间 $T = 30s$ 和 $T = 35s$ 之间 CO₂ 压缩的受控关闭而增加。当标准化电网频率 F_c 在时间 $T = 35s$ 和 $T = 40s$ 之间继续下降至 98% 时,CO₂ 再生也关闭且不再有蒸汽被吸取用于再吸收。因而,总功率从 A 增加至 A' 且净功率输出 D 相应地增加。在增加净功率输出 D 的最后步骤中,在时间 $T = 40s$ 和 $T = 45s$ 之间关闭 CO₂ 吸收且频率 F_c 稳定在 97.5%。

[0070] 在图 3 中,随时间示出了具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂的优化操作方法的第二低频事件。在时间 $T = 0s$ 时,发电厂以基本负载处于正常操作,CO₂ 捕获和压缩系统处于操

作中。

[0071] 在该示例中,在从 $T = 20\text{s}$ 至 $T = 30\text{s}$ 的时间段期间,标准化电网频率 F_g 从 100% 下降到 99.8% 。由于 0.2% 的死区,没有发生控制动作,直到 $T = 30\text{s}$ 。当频率在时间 $T = 30\text{s}$ 和 $T = 35\text{s}$ 之间继续下降至 99.3% 时,作为频率响应,净功率输出 D 通过 CO_2 压缩的受控关闭而增加。由于标准化电网频率 F_g 在时间 $T = 35\text{s}$ 和 $T = 40\text{s}$ 之间继续下降至 97.8% , CO_2 再生也关闭且不再有蒸汽被吸取用于再吸收。因而,总功率从 A 增加至 A' 且净功率输出 D 相应地增加。在时间 $T = 40\text{s}$ 和 $T = 45\text{s}$ 之间,标准化电网频率 F_g 恢复至 98% 且净功率 D 通过减少总功率 A' 减少而减少,以满足与低频相对应的电网净功率需求。同时,标准化电网频率 F_g 稳定在 98% 。

[0072] 图 4 示出了借助于 CO_2 捕获和压缩的灵活操作方法的发电厂在低频响应事件期间的功率输出变化的第三示例。在该示例中,通过突然关闭或断开 CO_2 捕获和压缩系统的部件来满足电网的附加净功率需求。

[0073] 同样,在时间 $T = 0\text{s}$ 时,发电厂以基本负载处于正常操作, CO_2 捕获和压缩系统处于操作中。通过指示在发电厂的不同阶段的相对输出 P_r 示出了发电厂辅助设备和 CO_2 捕获系统的主要功率消耗装置对发电厂净功率输出 D 的影响。该图所示的所有功率输出通过在蒸汽被吸取用于再吸收的情况下的基本负载下的发电厂总功率输出 A 标准化。 A' 是在没有蒸汽被吸取用于再吸收的情况下的总输出。 B 是由发电厂辅助设备减少的总输出。 C 是在输出 B 由 CO_2 压缩进一步减少之后的输出。 D 是在 C 由吸收的功率消耗减少之后得到的发电厂净功率输出。

[0074] 如前述示例那样,假设 0.2% 的死区且在从 $T = 20\text{s}$ 至 $T = 30\text{s}$ 的时间段期间,当标准化电网频率 F_g 从 100% 下降到 99.8% 时,净输出 D 保持恒定。一旦频率偏离超过 0.2% , 频率响应就变得有效且净功率输出 D 通过在时间 $T = 30\text{s}$ 突然关闭或断开 CO_2 压缩而增加。当标准化电网频率 F_g 在时间 $T = 35\text{s}$ 继续下降至 99% 时,没有发生进一步的控制动作。当标准化电网频率 F_g 继续降低至 99% 时, CO_2 再生也断开且不再有蒸汽被吸取用于再吸收。因而,总功率从 A 增加至 A' 且净功率输出 D 相应地增加。在时间 $T = 35\text{s}$ 和 $T = 40\text{s}$ 之间,在频率 F_g 继续下降至 98% 时,没有发生进一步的控制动作。在增加净功率输出 E 的最后步骤中,一旦净频率在 $T = 40\text{s}$ 降低至 98% ,就断开 CO_2 吸收。净频率 F_g 进一步下降至 97.5% 且稳定在 97.5% 。

[0075] 对熟悉本领域实施例的技术人员公开了上文和附图所述的示例性实施例,本领域实施例不同于示例性实施例且包含在本发明范围内。

[0076] 例如,在高功率需求的时间期间,可以省去或减少用于废气再压缩的功率,废气再压缩的功率用于低温 CO_2 分离的情况或者用于在升高压力水平吸收的情况。或者,在用冷冻氨进行 CO_2 分离的情况下,在低频事件期间可以省去或减少冷却功率。此外,可设想没有 CO_2 压缩的方法和相应发电厂。

[0077] 在本文给出的示例中,指示在电网频率下降和控制动作之间没有时间延迟。取决于测量、信号传输和控制器的速度,可以有显著的时间延迟,时间延迟可以处于几秒的量级。

[0078] 此外,在基于燃气涡轮发电厂或联合发电厂中,如果不采取应对措施,任何低频事件将导致燃气涡轮总功率输出的减少。通常,对于燃气涡轮中的频率响应,发生过烧,即热

气体温度增加超过设计温度。频率响应的标准措施可以与针对具有 CO₂ 捕获和压缩的发电厂所描述的特征相结合。

- [0079] 附图标记列表
- [0080] 1 发电厂
- [0081] 2CO₂ 捕获单元
- [0082] 3 空气
- [0083] 4 燃料
- [0084] 6 回流管线
- [0085] 7 用于 CO₂ 捕获单元的电功率
- [0086] 8 用于 CO₂ 压缩单元的电功率
- [0087] 9CO₂ 压缩
- [0088] 10 被压缩的 CO₂
- [0089] 11 用于 CO₂ 捕获单元的废气旁路
- [0090] 12CO₂ 压缩单元旁路
- [0091] 13 至 CO₂ 捕获单元的蒸汽
- [0092] 14 蒸汽控制阀
- [0093] 15 至 CO₂ 捕获单元的废气
- [0094] 16CO₂ 耗尽的废气
- [0095] 17 用于除了 CO₂ 捕获和压缩之外的发电厂辅助设备的电功率
- [0096] 18 控制系统
- [0097] 19 与 CO₂ 捕获单元和废气旁路的控制信号交换
- [0098] 20 与再生单元（如果应用的话）的控制信号交换
- [0099] 21 与吸收剂 / 吸附剂存储系统（如果应用的话）的控制信号交换
- [0100] 22 关于没有 CO₂ 捕获的常规发电厂的包括总功率和净功率的发电厂控制信号交换
- [0101] 23 与 CO₂ 压缩单元和压缩机旁路的控制信号交换
- [0102] 24 直接从控制系统或者经由再生单元（如果应用的话）至蒸汽控制阀的控制信号交换
- [0103] A 在蒸汽被吸取用于 CO₂ 再吸收的情况下的发电厂总功率输出
- [0104] A' 在没有蒸汽被吸取用于 CO₂ 再吸收的情况下的发电厂总功率输出
- [0105] B 在没有 CO₂ 捕获和压缩的情况下由发电厂辅助设备减少的 A
- [0106] C 由用于 CO₂ 压缩的功率需求减少的 B- 根据电网功率需求变化
- [0107] D CO₂ 捕获发电厂净功率输出（由用于吸收的功率需求减少的 C- 根据电网功率需求变化）
- [0108] F_G 标准化电网频率

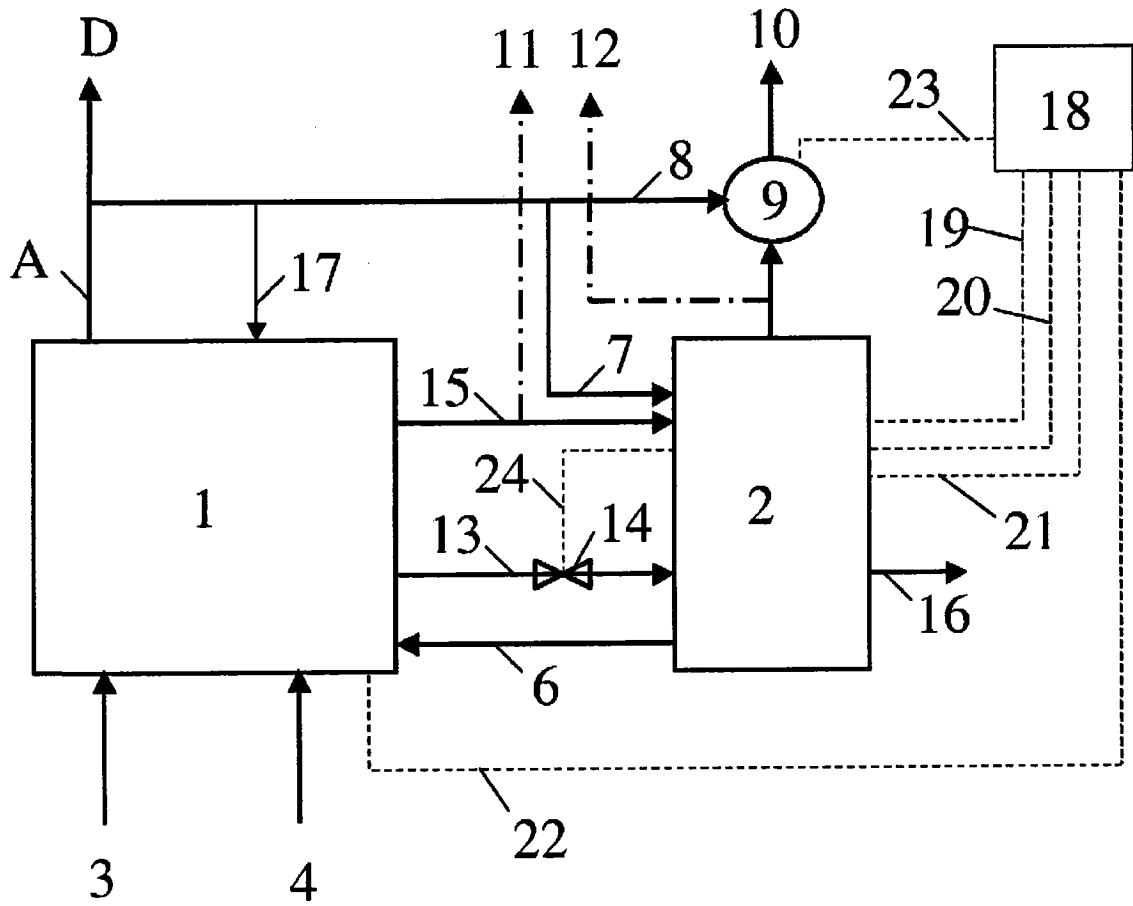


图 1

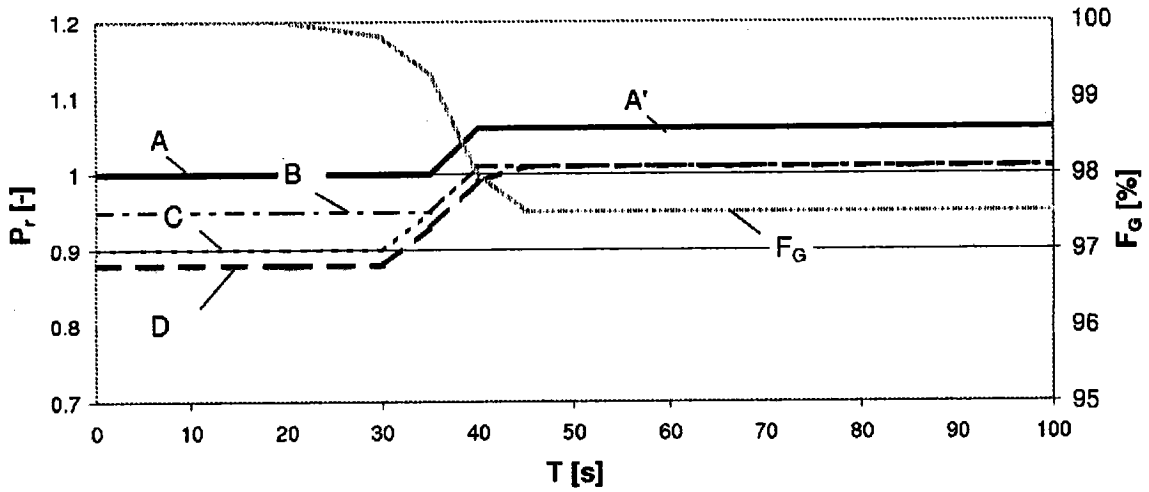


图 2

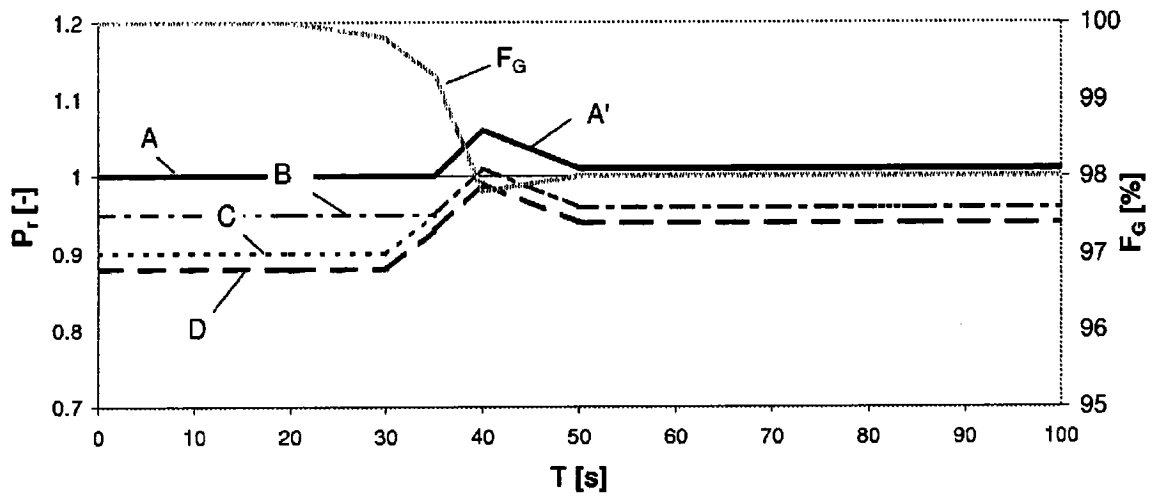


图 3

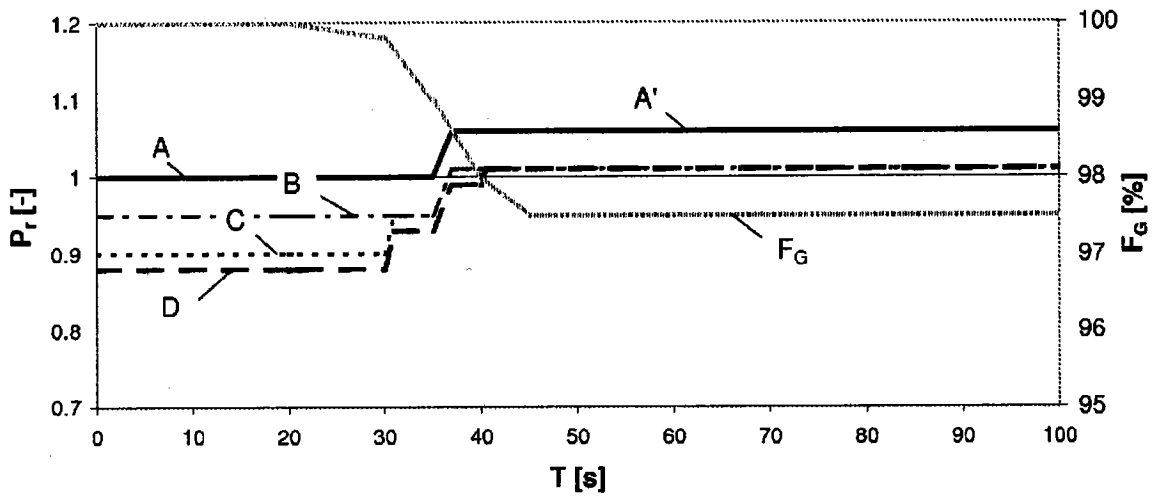


图 4