



1. 一种用于燃气和蒸汽轮机设备 (1) 的起动方法, 该燃气和蒸汽轮机设备具有包括至少一个燃气透平的燃气轮机设备 (1a) 以及包括至少一个蒸汽透平 (20) 和至少一个蒸汽系统的蒸汽轮机设备 (1b), 并且在其中, 在燃气透平 (2) 中膨胀的工作介质 (AM) 的废热被供给至用于产生驱动所述蒸汽透平 (20) 的蒸汽的所述蒸汽系统, 其中, 在起动时, 在所述蒸汽透平 (20) 起动之前先起动所述燃气透平 (2), 并且, 所述蒸汽透平 (20) 在所述蒸汽系统中出现第一蒸汽时即被起动并受到蒸汽的冲击, 其特征在于, 所述燃气轮机设备 (1a) 在整个起动过程中经受负荷以最大的负荷斜坡进行升高。

2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 在起动过程中这样调整所述蒸汽系统, 使得蒸汽温度在所述蒸汽透平 (20) 的加速期间以较小的梯度升高。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法, 其特征在于, 在起动过程中这样调整所述蒸汽系统, 使得蒸汽压力连续地升高。

4. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 借助于所述蒸汽系统的至少一个蒸汽旁通站 (100、102、200、202) 这样来实现所述使得蒸汽压力连续地升高的调整, 即, 将所述蒸汽旁通站 (100、102、200、202) 仅开启一个这样的宽度, 使得利用工作介质的一部分废热产生用于加速和 / 或同步化所述蒸汽透平 (20) 所必需的最小蒸汽量, 并利用工作介质的剩余部分废热促使所述蒸汽系统内的压力升高。

5. 根据权利要求 3 所述的方法, 其特征在于, 在所述蒸汽系统中不开启导致所述蒸汽透平 (20) 被绕过的蒸汽旁通站 (100、102、200、202)。

6. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 保持所述负荷升高, 直至所述燃气轮机设备 (1a) 达到其基本负荷。

7. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述燃气和蒸汽轮机设备 (1) 在负荷升高期间切换到所述燃气和蒸汽透平运行模式中。

## 燃气和蒸汽轮机设备的起动方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种燃气和蒸汽轮机设备的起动方法,并尤其涉及一种此类设备的快速起动方法。

### 背景技术

[0002] 在燃气轮机设备中,气态或液态燃料(例如天然气或石油)与压缩空气混合并燃烧。高压燃烧废气被供给至燃气轮机设备的透平。工作介质通过膨胀使透平转动,从而将热能转化为机械功,即透平轴的转动。膨胀后的工作介质在从燃气轮机设备流出时的温度典型地还有 500 至 600 摄氏度。

[0003] 在燃气和蒸汽轮机设备中,来自燃气轮机设备的膨胀后的工作介质、也即所谓的废气被用于产生用来驱动蒸汽透平的蒸汽。为此,将工作介质供给至一个后接于燃气轮机设备废气侧的废热蒸汽发生器,在该废热蒸汽发生器中设有管或管束形式的加热面。这些加热面则接入蒸汽轮机设备的一个水汽循环内,该水汽循环具有至少一个、不过通常是多个压力级。在此,各压力级相互之间的不同之处在于,为产生蒸汽而供给至各加热面的水具有不同的压力水平。在 DE 19736888A1 中记载了具有仅有一个压力级的水汽循环的燃气和蒸汽轮机设备,在 DE 10004187C1 中记载了具有三个压力级(即高压级、中压级和低压级)的燃气和蒸汽轮机设备。

[0004] 为起动燃气和蒸汽轮机设备,目前一般起动燃气轮机设备并将膨胀后的工作介质供给至蒸汽轮机设备的废热蒸汽发生器。不过,在废热蒸汽发生器中产生的蒸汽首先不是被供给至蒸汽轮机设备的透平部分,而是通过一些旁通站(Umleitstationen)绕过透平并直接供给至将蒸汽冷凝为水的冷凝器。冷凝物然后再次作为供应水供给至蒸汽发生器。在燃气和蒸汽轮机设备的一些实施方案中,绕行的蒸汽也被排放到大气中。

[0005] 因此只有当水汽循环的蒸汽管道内或者在导引至燃气轮机设备的透平部分中的蒸汽管道内的蒸汽保持为一定的蒸汽参数,例如一定的蒸汽压力和温度时,才接通蒸汽轮机。保持这些蒸汽参数应使厚壁部件中的可能应力保持在一个低水平。

[0006] 在燃气轮机设备起动后提高功率,这将导致蒸汽系统中的压力升高。起动燃气轮机设备所用的负荷梯度,亦即燃气轮机设备在单位时间内的功率升高,决定性地取决于废热蒸汽发生器的设计和构造方式以及蒸汽透平内的结构性限制。随着燃气透平负荷的升高并进而随着由燃气轮机设备排放的废气的温度和体积流的升高,蒸汽温度和蒸汽系统内的压力也升高。

[0007] 在蒸汽透平起动之前,燃气轮机通常保持在一定的部分负荷上,直到燃气轮机设备和蒸汽系统内出现稳定状态。一旦开始稳定地产生蒸汽,蒸汽系统内的蒸汽就被导引到蒸汽透平,从而加速蒸汽透平。透平转速随后提高到额定转速。在与蒸汽透平相耦合的发电机和电网实现同步化之后,或者在单轴设备的情况下在自动解脱式离合器完成联接之后,若增加蒸汽供给,蒸汽透平将进一步加载。在这样的情况下,旁通站逐渐关闭,以保持蒸汽压力大体恒定并使废热蒸汽发生器中的压力水平波动最小化。

[0008] 一旦旁通站关闭,并且在废热蒸汽发生器中产生的蒸汽完全被导引向蒸汽透平后,就在对现在在燃气和蒸汽透平运行中工作的设备提出更高的功率要求下实现燃气透平功率的进一步提高。

[0009] 根据定义,燃气和蒸汽轮机设备的起动过程直到燃气透平达到基本负荷且所有旁通站都已关闭时才结束。

## 发明内容

[0010] 本发明所要解决的技术问题在于,提供一种燃气和蒸汽轮机设备的起动方法,该方法能够实现一种比本文开头所述方法更快的起动过程。

[0011] 这一技术问题通过一种燃气和蒸汽轮机设备的起动方法,尤其是一种快速起动燃气和蒸汽轮机设备的方法来实现,该燃气和蒸汽轮机设备包括:具有至少一个燃气透平的燃气轮机设备以及具有至少一个蒸汽透平和至少一个蒸汽系统的蒸汽轮机设备,其中,将在燃气透平中膨胀的工作介质的废热供给至用于产生驱动蒸汽透平的蒸汽的所述蒸汽系统,其中,在起动时,在蒸汽透平起动之前首先起动燃气透平。蒸汽透平在蒸汽系统中出现第一蒸汽或开始产生蒸汽时即被起动并受到蒸汽冲击。

[0012] 在根据本发明的方法中,所述燃气轮机设备在整个起动过程中经受负荷以最大的负荷斜坡进行升高。

[0013] 根据本发明的方法,尽可能早地起动蒸汽透平并利用来自废热蒸汽发生器的第一蒸汽来加速它,而并不等待蒸汽系统达到其稳定状态。这种措施使得燃气和蒸汽轮机设备的起动过程能够明显地缩短。

[0014] 与通常的起动方式不同,蒸汽系统内的蒸汽温度可以在蒸汽透平起动时处在蒸汽透平或者其外壳的材料温度以下。因此,将蒸汽较早地引入蒸汽透平可导致透平部件的冷却以及热应力。不过,如果在随后蒸汽温度升高时相应地保持较小的升高梯度,则可以实现一定的补偿。

[0015] 根据本发明的方法可以尤其这样设计,即,使得燃气轮机设备在整个起动过程经历负荷的升高,尤其是直至其达到基本负荷。换言之,放弃将燃气轮机设备保持在一定的部分负荷上以及放弃等待直至在燃气轮机设备和蒸汽轮机设备的蒸汽系统中出现稳定状态。这一措施也导致燃气轮机设备的起动时间缩短并因而使得一种快速起动得以实现。

[0016] 按照本发明以最大的负荷斜坡(Lastrampe)实现燃气轮机设备的负荷提高,即,实现燃气透平功率在单位时间内的最大提高。

[0017] 有利的是,在起动过程中这样调整蒸汽系统,使得蒸汽压力连续地升高。这可以例如通过将蒸汽系统的蒸汽旁通站(Dampfumleitstation)仅开启这样一个宽度而实现,即,使得利用工作介质的一部分废热产生对于加速和/或同步化蒸汽透平所必需的最小蒸汽量并利用工作介质的其余部分的废热引发蒸汽系统内的压力升高。

[0018] 除了蒸汽系统内的压力升高之外,蒸汽旁通站相对较小的开口还导致废热蒸汽发生器的蒸汽产量降低。由此降低了冷凝器的热负荷,并且旁通站可以更迅速地关闭。

[0019] 在根据本发明的方法的一种特别的设计中,根本就不开启旁通站。

[0020] 燃气和蒸汽轮机设备在燃气轮机设备加速运行(Hochfahren)到基本负荷期间优选切换到燃气和蒸汽透平运行模式,使得在达到燃气透平基本负荷时结束所定义的起动过

程。向燃气和蒸汽轮机设备运行的切换可以尤其包括实现与蒸汽透平相耦合的发电机与电网的同步化,或者在单轴设备的情况下实现自动解脱式离合器的联接。

[0021] 所述根据本发明的燃气和蒸汽轮机设备的起动方法显著地缩短了设备的起动时间。相对于本文开头所述类型的方法,起动周期降低了约 50%。燃气和蒸汽透平运行可以因此非常灵活地对短期的请求做出反应,从而可以提高从购电中获得的收益。此外,通过蒸汽透平更早地承接蒸汽以及降低冷凝器中的热负荷并由此减小功率损失,提高了燃气和蒸汽轮机设备的平均效率,这尤其在频繁起动的情况下起到显著重要的作用,并提高了该设备的经济性。

[0022] 在根据本发明的燃气和蒸汽轮机设备的起动方法中,较低的蒸汽产量另外使得可以安装较小的旁通站并因此减少了投资成本。

[0023] 使燃气和蒸汽轮机设备的快速起动能够实现的上述起动方法可以基本上通过软件改动来实现。因此可以将现有燃气和蒸汽轮机设备也转换为采用本发明的起动方法。

## 附图说明

[0024] 下面根据对一个实施例的说明并参考附图给出本发明的其它特征、特性和优点。

[0025] 图 1 示出了燃气和蒸汽轮机设备的示意图。

## 具体实施方式

[0026] 在图 1 中示意地示出的燃气和蒸汽轮机设备 1 包括燃气轮机设备 1a 以及蒸汽轮机设备 1b。燃气轮机设备 1a 配备有燃气透平 2、压缩机 4 以及至少一个接在压缩机 4 和燃气透平 2 之间的燃烧室 6。利用压缩机 4 压缩吸入新鲜空气 L 并将其通过新鲜空气管道 8 供给至该燃烧室 6 的一个或多个燃烧器。所供给的空气与通过燃料管道 10 供给的液态或气态燃料 B 混合并点燃混合物。在此产生的燃烧废气构成燃气轮机设备 1a 的工作介质 AM,该工作介质被供给至燃气透平 2,在该处其膨胀做功并驱动与燃气透平 2 耦合的轴 14。轴 14 除了与燃气透平 2 耦合之外,也与空气压缩机 4 以及发电机 12 相耦合,以驱动它们。膨胀的工作介质 AM 通过废气管道 34 排放至蒸汽轮机设备 1b 的一个废热蒸汽发生器 30。

[0027] 在该废热蒸汽发生器 30 中,由燃气透平 1a 排出的温度为约 500-600 摄氏度的工作介质用于产生蒸汽并使蒸汽过热。

[0028] 除了能被特别设计为强制循环系统的废热蒸汽发生器 30 之外,蒸汽轮机设备 1b 还包括:具有透平级 20a、20b、20c 的蒸汽透平 20 以及冷凝器 26。废热蒸汽发生器 30 和冷凝器 26 连同冷凝管道或供水管道以及蒸汽管道 48、53、64、70、80、100 共同构成一个蒸汽系统,该蒸汽系统与蒸汽透平 20 共同构成一个水汽循环。

[0029] 来自供水容器 38 的水借助供水泵 42 供给至高压预热器 44、也即所谓的节能器,并从该高压预热器向在输出端与该节能器 44 相连的、为循环运行而设计的蒸发器 46 传递。蒸发器 46 本身的输出端通过一根其中接入有水分分离器 50 的蒸汽管道 48 与过热器 52 相连。通过蒸汽管道 53 使该过热器 52 在输出端与蒸汽透平 20 的高压级 20a 的蒸汽输入端 54 相连。

[0030] 在蒸汽透平 20 的高压级 20a 中,由过热器 52 过热的蒸汽经驱动蒸汽透平后,通过高压级 20a 的蒸汽输出端 56 继续传递至一个中间过热器 58。

[0031] 在该中间过热器 58 中过热后,蒸汽通过另一蒸汽管道 81 传递至蒸汽透平 20 的中压级 20b 的蒸汽输入端 60 并在该处驱动所述透平。

[0032] 中压级 20b 的蒸汽输出端 62 通过溢流管 64 与蒸汽透平的低压级 20c 的蒸汽输入端 66 相连。在流过低压级 20 以及与之相联系地驱动透平之后,冷却和膨胀的蒸汽通过低压级 20c 的蒸汽输出端 68 输出至将这些蒸汽导引至冷凝器 26 的蒸汽管道 70。

[0033] 冷凝器 26 将进入的蒸汽转换为冷凝水并将这些冷凝水通过冷凝管道 35 借助冷凝泵 36 传递至供水容器 38。

[0034] 此外,所述水汽循环除了上述元件之外还包括旁通管 100(所谓的高压旁通管),该旁通管在过热蒸汽到达高压级 20a 的蒸汽输入端 54 之前从蒸汽管道 53 分支出来。高压旁通管 100 绕过高压级 20a 并通到中间过热器 58 的供给管 80 内。另一旁通管(所谓的中压旁通管 200)在蒸汽管道 81 通入中压级 20b 的蒸汽输入端 60 之前从蒸汽管道 81 分支出来。中压旁通管 200 绕过中压级 20b 以及低压级 20c 并通入通往冷凝器 26 的蒸汽管道 70。

[0035] 在高压旁通管 100 和中压旁通管 200 中安装有截止阀 102、202,利用该截止阀可以截止所述高压旁通管 100 和中压旁通管 200。同样,有截止阀 104、204 处在蒸汽管道 53 和蒸汽管道 81 内,更确切地说分别处于旁通管 100 或 200 的分支点与高压级 20a 的蒸汽输入端 54 或中压级 20b 的蒸汽输入端 60 之间。

[0036] 在中压旁通管 200 中安装有一个截止阀 202,利用该截止阀可以截止这根管道。同样,一截止阀 104 位于蒸汽管道 53 内,更确切地说在旁通管 100 的分支点和蒸汽透平 20 的高压级 20a 的蒸汽输入端 54 之间。

[0037] 旁通管 100 和截止阀 102、104 用于在燃气和蒸汽轮机设备 1 起动时导引一部分蒸汽旁路绕过蒸汽透平 2。

[0038] 下面借助参考图 1 所示设备 1 说明根据本发明的燃气和蒸汽轮机设备起动方法的一个实施例。

[0039] 在这一方法实施之初,首先起动燃气轮机设备 1 并将由其流出的工作介质 AM 供给至废热蒸汽发生器 30 的输入端 30a。膨胀后的工作介质 AM 流过废热蒸汽发生器 30 并通过输出端 30b 沿图 1 中未示出的烟囱的方向离开该废热蒸汽发生器 30。在流过废热蒸汽发生器 30 时,将工作介质 AM 的热量传输给所述水汽循环中的水或蒸汽。

[0040] 燃气轮机设备起动后,工作介质的废热在废热蒸汽发生器 30 中导致在蒸汽系统中开始产生蒸汽。

[0041] 在起动过程的这个早期阶段内,这样调节截止阀 102 和 104 以及 202 和 204,使得所产生蒸汽中仅有较小一部分流过旁通管 100、200,而蒸汽的绝大部分以在起动过程的该阶段被供给至蒸汽透平 20。这部分供给至蒸汽透平 20 的蒸汽使蒸汽透平加速,并且只要此时蒸汽比透平和蒸汽管道的材料更热就会将所述蒸汽透平预热。

[0042] 由于仅有少量蒸汽通过中压旁通管 200 直接流入冷凝器 26,因而在对蒸汽透平 20 加速和预热时未利用的废热部分就导致蒸汽系统内的压力升高。在进一步的起动过程中,蒸汽系统中的蒸汽压力因此连续地升高,从而减少了废热蒸汽发生器中的蒸汽产量。这导致引入冷凝器 26 内的热量减少,并起到使与现有技术的起动方法相比原本就没有完全开启的截止阀 102 和 202 迅速关闭的作用。

[0043] 在燃气轮机设备 1a 起动之后,燃气轮机设备的负荷优选以最大的负荷斜坡升高,

直至达到其基本负荷。

[0044] 如果在蒸汽开始引入到蒸汽透平 20 内时蒸汽温度处在透平 20 的材料温度以下，那么在燃气轮机设备的负荷升高的过程中蒸汽温度持续地升高并相对迅速地超出蒸汽透平和通往该蒸汽透平的管道的材料温度。如果由于燃气轮机设备以最大的负荷斜坡快速启动使蒸汽透平部件迅速从一个相对较低的温度升高到一个较高的温度，并进而导致材料热应力超出一预定阈值，那么也可以让燃气轮机设备的功率以一个比最大负荷斜坡更小的斜坡提高，从而使得蒸汽温度更缓慢地升高。

[0045] 由于在根据本发明的起动方法中旁通管 100、200 提前关闭，并且燃气和蒸汽轮机设备 1 在燃气轮机设备 1a 加速运行到基本负荷的过程中就已切换到燃气和蒸汽透平运行模式中，因此在达到燃气透平基本负荷时就结束起动过程。

[0046] 即使在达到燃气透平基本负荷时蒸汽透平负荷仅达到约 80-90% 的量级，按照“燃气轮机设备达到基本负荷和旁通管关闭即告起动过程结束”这一定义，起动过程仍被认为已结束。视所述废热蒸汽发生器的具体动态特性而定，可能要在几分钟内进一步提高压力，或者在约 10-20 分钟后完成压力提高。蒸汽量由此相应地提高，并视具体的蒸汽温度而定可能实现蒸汽透平功率达到 95% 以上。

[0047] 借助一种带有水汽循环的燃气和蒸汽轮机设备说明了根据本发明的起动方法，所述水汽循环仅有一个压力级。不过在此需要指出的是，即使在水汽循环中带有多个压力级的燃气和蒸汽轮机设备中也可以使用根据本发明的方法。例如，在 DE 10004178C1 中描述了一种同样可以使用根据本发明的起动方法的、在水汽循环中具有三个压力级（即，高压级、中压级和低压级）的燃气和蒸汽轮机设备，有关具有多个压力级的燃气和蒸汽轮机设备的设计结构请参考该文献。

