



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104675680 B

(45)授权公告日 2017.12.15

(21)申请号 201410783276.1

F01D 15/10(2006.01)

(22)申请日 2014.12.16

F01K 23/14(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

F02B 43/10(2006.01)

申请公布号 CN 104675680 A

F25B 29/00(2006.01)

审查员 陈朝波

(43)申请公布日 2015.06.03

(73)专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁西路28号

(72)发明人 王焕然 姚尔人 席光

(74)专利代理机构 西安通大专利代理有限责任  
公司 61200

代理人 朱海临

(51)Int.Cl.

F04B 41/02(2006.01)

F04B 41/06(2006.01)

F04B 35/04(2006.01)

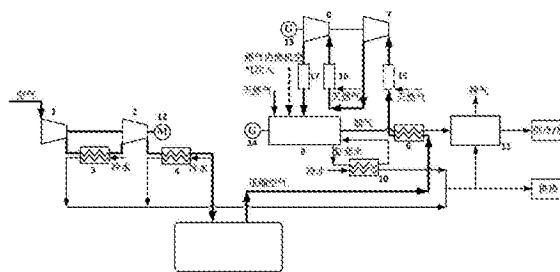
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

一种冷热电联供的压缩空气储能系统

(57)摘要

本发明公开了一种冷热电联供的压缩空气储能系统,包括压缩机、储气罐、透平膨胀机、燃气内燃机、制冷机等。在用电低谷时,富余电能驱动压缩机机组将空气以高压形式储存于储气罐中,同时压缩机机组的间冷器回收压缩热;在用电高峰时,储气罐内的高压空气经过回热器预热后进入透平膨胀机做功并驱动发电机发电,透平膨胀机出口的乏气进入燃气内燃机中与天然气混合燃烧再次驱动发电机发电,燃气内燃机排放的高温烟气先经过回热器换热,然后与内燃机缸套循环水以及由间冷器加热的水一起进入制冷机,驱动机组供热或者供冷。本发明将分布式和间歇式能源结合,充分利用可再生能源,有效利用系统余热,具有能量转换效率高、储能容量大的优点。



1. 一种冷热电联供的压缩空气储能系统,包括一个压缩机机组、一个与该压缩机机组输出相连的高压储气室、一个驱动主发电机的透平膨胀机机组,其特征在于,还包括一个制冷机和一个驱动副发电机的内燃机,所述透平膨胀机机组由两级透平膨胀机串联构成,共同驱动主发电机发电;所述高压储气室的出口通过第一换热器连通透平膨胀机机组中的第二透平膨胀机的进口,第二透平膨胀机的出口通过第一燃烧器连接第一透平膨胀机的进口;第一透平膨胀机的出口连通内燃机的进口,该内燃机的出口与第一换热器相连,该第一换热器的出口连通制冷机的一个进口;所述内燃机的缸套循环水出口通过第二换热器连通制冷机的另一个进口,或直接输出供热水;所述压缩机机组带有冷却器,冷却器的输出连通制冷机,或直接输出供热水,所述第一换热器与第二透平膨胀机连接管路中串联一个第二燃烧器,所述压缩机机组由两级压缩机串联共轴连接构成,所述冷却器包括设置在第一压缩机上的级间冷却器、设置在第二压缩机上的后冷却器,该级间冷却器与后冷却器并联连接;所述制冷机为溴化锂吸收式制冷机;所述内燃机和燃烧器均以天然气为燃料。

## 一种冷热电联供的压缩空气储能系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种分布式电能物理储能系统,特别涉及一种压缩空气储能系统。

### 背景技术

[0002] 随着传统化石能源的日益枯竭,可再生能源的利用受到越来越多的重视。在我国,风电已经成为继火电、水电后的第三大电能来源。可是风能等可再生能源所固有的随机性和波动性,给我国发展新型能源带来了巨大的挑战。储能技术可以有效提高电网调峰能力,进而使得电网运行的安全性和风电机组利用率得到提高,减少风电弃风,提高清洁能源发电比例,优化能源结构。

[0003] 到目前为止,电能储存技术可以分为两大类,一类是物理储能,比如抽水蓄能、压缩空气储能以及飞轮储能等;另一类是电化学储能,比如电池、燃料电池以及电解氢等。然而,适合大规模风电储存的成熟技术只有两种,抽水蓄能技术和压缩空气储能技术。在中国,风电富集地区大都为干旱、缺水地区,而抽水蓄能技术需要一定的地理环境,因此该技术无法在我国用来大规模储存风电。压缩空气储能技术可以克服抽水蓄能的缺点,而且适用于我国北方的风电富集地区,可以很好的解决我国北方风电发展所遇到的瓶颈问题。

[0004] 随着分布式能量系统的发展以及减小储气室容积和提高储气压力的需要,小规模分布式压缩空气储能系统被人们越来越多的关注,而分布式供能技术的主要优点在冷热电联产系统中得到了充分的体现。因此,结合分布式压缩空气储能技术与冷热电联产技术的新型复合系统,具有很好的能源利用率和发展前景。传统的压缩空气储能系统是一种基于燃气轮机的调峰电站,利用用电低谷的富余电能将高压气体储存于储气装置内,在用电高峰时将高压气体从储气装置中释放,进入燃气轮机中同燃料混合燃烧,驱动透平膨胀机发电。虽然目前适合于分布式压缩空气储能系统的微型燃气轮机技术成熟,但即使是在电厂100%负荷运转时,测得其简单循环的效率通常很难超过20%,带回热的燃气轮机效率可接近30%,而分布式储能发电系统却是经常部分负荷运转,因此必然导致作为燃气动力装置的燃气轮机运行效率更低。此外,我国风电富集地区普遍海拔较高,而燃气轮机的输出随海拔的升高而下降,这意味着在我国风电富集地区建立使用燃气轮机为燃气动力装置的分布式冷热电联产压缩空气储能系统将会消耗更多的燃料,导致系统的燃料成本升高,并且造成对能源的浪费。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种冷热电联供的压缩空气储能系统,以解决风能利用率较低、传统压缩空气储能效率较低以及能量利用不充分的问题。本系统还可在降低碳和空气污染物方面做出巨大贡献,大大提高能源利用率。

[0006] 为达到以上目的,本发明是采取如下技术方案予以实现的:

[0007] 一种冷热电联供的压缩空气储能系统,包括一个压缩机机组、一个与该压缩机机组输出相连的高压储气室、一个驱动主发电机的透平膨胀机机组,其特征在于,还包括一个

制冷机和一个驱动副发电机的内燃机,所述透平膨胀机机组由两级透平膨胀机串联构成,共同驱动主发电机发电;所述高压储气室的出口通过第一换热器连通透平膨胀机机组中的第二透平膨胀机的进口,第二透平膨胀机的出口通过第一燃烧器连接第一透平膨胀机的进口;第一透平膨胀机的出口连通内燃机的进口,该内燃机的出口与第一换热器相连,该第一换热器的出口连通制冷机的一个进口;所述燃气内燃机的缸套循环水出口通过第二换热器连通制冷机的另一个进口,或直接输出供热水;所述压缩机机组带有冷却器,冷却器的输出连通制冷机,或直接输出供热水。

[0008] 上述方案中,所述第一换热器与第一透平膨胀机连接管路中串联一个第二燃烧器。

[0009] 所述压缩机机组由两级压缩机串联共轴连接构成,所述冷却器包括设置在第一压缩机上的级间冷却器、设置在第二压缩机上的后冷却器,该级间冷却器与后冷却器并联连接。

[0010] 所述制冷机为溴化锂吸收式制冷机。所述内燃机和燃烧器均以天然气为燃料。

[0011] 本发明是将压缩空气储能与冷热电联产相结合的一个系统,其工作原理是:

[0012] 压缩空气储能部分:在储能过程中,该系统利用用户剩余电能通过电动机驱动压缩机组工作,压缩常压下的空气到高压下,冷却水冷却流经中间冷却器的高压空气,冷却后的高压空气存储在高压储气室中,多个压缩机组组成串级系统、且共用一个电动机;在发电过程中,预热后的气体通过透平膨胀机驱动发电机发电,在透平膨胀机中完成膨胀做功的气体进入燃气内燃机中,与天然气混合燃烧,再次驱动发电机发电,多个透平膨胀机组成的串级系统共用一个发电机。

[0013] 冷热电联产部分:在储能过程中,回收压缩机机组冷却器收集的热量,向用户供热;在发电过程中,从高压储气室出来的高压空气,经过预热后进入透平膨胀机膨胀做功,透平膨胀机的出口带有一定温度的气体,没有直接排向大气,而是继续进入燃气内燃机中,与天然气在气缸内混合,燃烧对外做功,推动发电机发电。燃气内燃机可回收的余热主要包括排气及缸套水两部分。系统利用排气余热对高压储气室的出口高压气体预热,然后进入制冷机进行制冷或者供热;燃气内燃机缸套水加热后的热水混合,进入溴化锂吸收式制冷机进行制冷或者供热。

[0014] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0015] 1、使用了燃气内燃机作为燃气动力装置,这与传统使用燃气轮机作为燃气动力装置的压缩空气储能系统的最大区别在于,在分布式发电燃气内燃机发电装置的发电效率要大大高于燃气轮机发电装置的发电效率,因此节省燃料,具有更好的能量利用率,具有更好的综合利用价值,而且使用燃气内燃机作为燃气动力装置,还有功热比大,部分负荷性能较好等优点。

[0016] 2、本发明将压缩空气储能系统与冷热电联产系统相结合,不仅有效解决了目前我国弃风现象严重的问题,而且通过冷热电联产系统,有效实现了能量的梯级利用,这不仅提高了能源利用率,而且减少碳化物及有害气体的排放,有很好的发展前景。

## 附图说明

[0017] 以下结合附图及具体实施方式对本发明作进一步的详细说明。

[0018] 图1为本发明冷热电联供的压缩空气储能系统整体结构图。图1中标号与各部件对应关系如下:1、2、压缩机;3、级间冷却器;4、后冷却器;5、高压储气室;6、换热器;7、8、透平膨胀机;9、燃气内燃机;10、换热器;11、溴化锂制冷机;12、压缩机电机;13、14、发电机;15、燃烧器(可选);16、燃烧器;17、干燥器。

[0019] 图2为图1系统的储能过程原理示意图。

[0020] 图3为图1系统的发电过程原理示意图。

### 具体实施方式

[0021] 如图1所示,本发明冷热电联供的压缩空气储能系统包括:压缩机1、2、级间冷却器3、后冷却器4、高压储气室5、换热器6、10、透平膨胀机7、8、燃气内燃机9、溴化锂制冷机11、燃烧器15、16等。压缩机机组1、2实行串联共轴连接,且由同一个压缩机电机12驱动,压缩机1配备级间冷却器3,而压缩机2配备后冷却器4,级间冷却器3和后冷却器4实行并联连接。透平膨胀机7、8实行串联连接,共同驱动发电机13发电,当两透平膨胀机进口温度需要提高时,可分别在透平膨胀机7、8的入口侧增加以天然气为燃料的燃烧器15和16,以提高进入透平膨胀机的入口空气温度,其中燃烧器15为可选装置。高压储气室5共有两条管路,第一条管路与压缩机机组2的出口相连接,在储能过程中,经压缩机机组1、2压缩的高压气体,通过管道进入高压储气室5中进行储存;高压储气室5的第二条管路与换热器6连接,在发电过程中,储存在高压储气室5中的高压气体进入换热器6中提高温度,如果达到透平膨胀机7的入口气体温度要求,则可以直接进入透平膨胀机7中膨胀做功,通过发电机13给电网输送电力,如果不能达到透平膨胀机7的入口温度要求,那么从换热器6出来的高压空气可以通过燃烧器15升温,进而进入透平膨胀机7膨胀做功并驱动发电机。燃气内燃机9共有5条管路,第一条管路与天然气供气管道连接,以保证足够的天然气进入燃气内燃机9中;第二条管路与透平膨胀机8出口连接,在透平膨胀机7和8中做功后的带有一定温度的气体经过干燥器17干燥后,进入燃气内燃机9中,与天然气混合后燃烧,推动发电机14工作,向电网供电;第三条管路与大气连接,当从透平膨胀机8中排出的气体质量较小,而燃气内燃机9气缸内天然气含量较多,仅靠透平膨胀机8排出的气体无法与天然气充分混合燃烧时,通过该管路向燃气内燃机9中补充气体,保证在燃气内燃机9中的气体与天然气可以充分混合燃烧,从而做功并驱动发电机14向电网供电;第四条管路与换热器6连接,在燃气内燃机中完成做功的高温烟气进入换热器6中,对从高压储气室5中出来的高压气体进行加热,从而提高进入透平膨胀机7的高压气体温度;第五条管路与换热器10连接,从燃气内燃机9中出来的具有一定温度的缸套循环水在换热器10中换热,从而实现对外供热。当然,本发明的内燃机并不局限于使用燃气,也可使用柴油、重油等油类燃料。

[0022] 溴化锂制冷机11共有4条管路,第一条管路与大气连接,用来排放废气;第二条管路与换热器6的出口管路相接,在换热器6中完成换热后的烟气,仍然带有一定温度,通过管路进入溴化锂制冷机11;第三条管路则是压缩机后冷却器4出口管路与换热器10的出口管路并联而成,这条管路可以直接向用户供热,也可以与溴化锂制冷机11相连接;第四条管路直接与用户连接,主要用来实现冷热电联供的压缩空气储能系统对用户的供热或者供冷功能。

[0023] 如图2所示,在储能过程中,该系统利用用户用电低谷时期或者风电场发电高峰时

期用不完的电来驱动压缩机机组1、2来工作,常压气体通过管道进入压缩机1完成第一级压缩,从该压缩机出来的高压气体进入压缩机级间冷却器3换热后,温度下降到预设温度,然后通过管道进入压缩机2完成第二级压缩,经过第二级压缩后的高压气体进入该压缩机后冷却器4中进行冷却,直到达到目标冷却温度,最后进入高压储气室5中以高压气体的形式储存。通过级间冷却器3和后冷却器4中回收的热量,可以通过管道直接向用户供热,也可以进入溴化锂制冷机11向用户供热或者制冷。

[0024] 如图3所示,在发电过程中,高压储气室5中的高压气体通过管道,首先进入换热器6中,利用燃气内燃机9的排气余热进行预热,提升高压气体温度。根据不同设计要求的系统,如果经过换热器6预热后的高压气体温度达到预定温度值,那么高压气体可以直接进入透平膨胀机7中膨胀做功,驱动发电机14发电;如果经过换热器6预热后的高压气体温度没有达到预定温度值,那么已经具有一定温度的高压气体可以进入燃烧器15,在燃烧器15中进一步加热,直至气体温度达到预定温度值,然后进入透平膨胀机8中膨胀做功,并驱动发电机13发电,其中燃烧器15所需燃料为天然气。从透平膨胀机7出来的气体温度压力均有所下降,这部分气体进入燃烧器16,燃烧器16所需燃料为天然气。气体经过在燃烧器16中的再热过程后,气体温度有所提升,升温后的气体通过管道进入透平膨胀机8中膨胀做功,驱动发电机13向电网输送电能。透平膨胀机8的出口气体仍然带有一定温度,在传统的压缩空气储能系统中,这部分气体直接排入大气,造成了大量能量的浪费。而在本发明冷热电联供的压缩空气储能系统中,可以充分利用这部分带热气体继续做功,向电网输送电能。从透平膨胀机8出口的带有一定温度的气体,进入干燥器17,去除气体中所含水分,然后进入燃气内燃机9中,天然气也通过管道进入燃气内燃机9中,如果燃气内燃机9中气体质量相对天然气质量较少,可以通过另一条管道继续向燃气内燃机9中补充常压气体,燃气内燃机9将天然气与气体注入气缸混合,在气缸中点火引发其燃烧做功,推动活塞运动,从而驱动发电机14发电,燃烧后的高温烟气经过换热器6后温度下降,这部分热量对进入透平膨胀机7的高压气体进行预热,为了使燃气内燃机9可以正常工作,需要用缸套水对燃气内燃机9的内部部件进行循环冷却,从燃气内燃机9出来的缸套循环水进入换热器10中进行换热后,重新回到燃气内燃机9中对其内部部件进行冷却,保证燃气内燃机9得以正常运行,而通过缸套循环水加热的水可以直接向用户供热,也可以进入溴化锂制冷机11,向用户制冷或者供热。

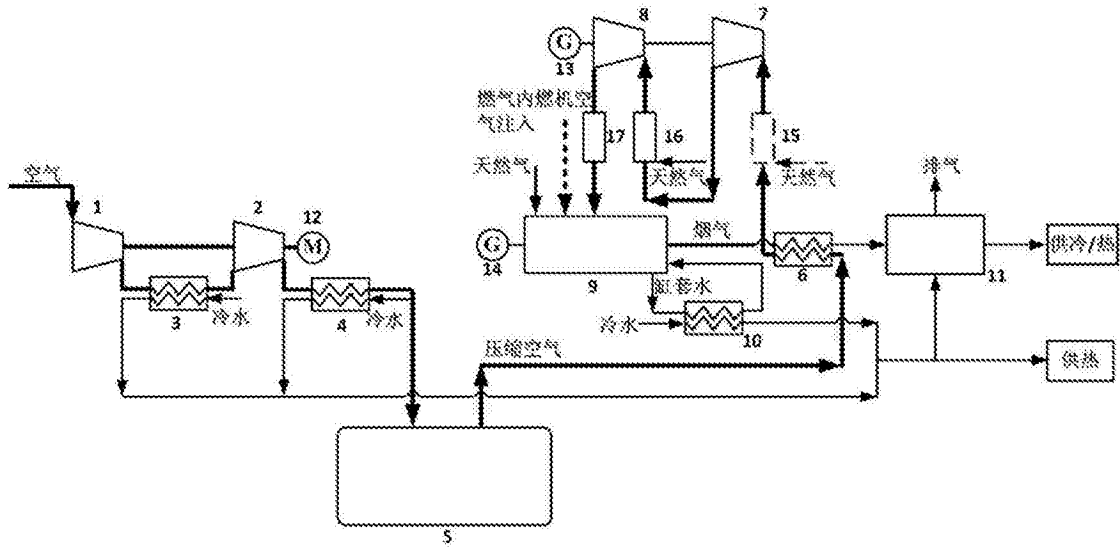


图1

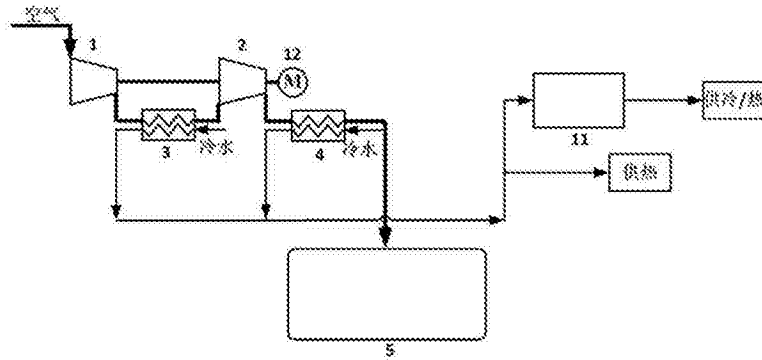


图2

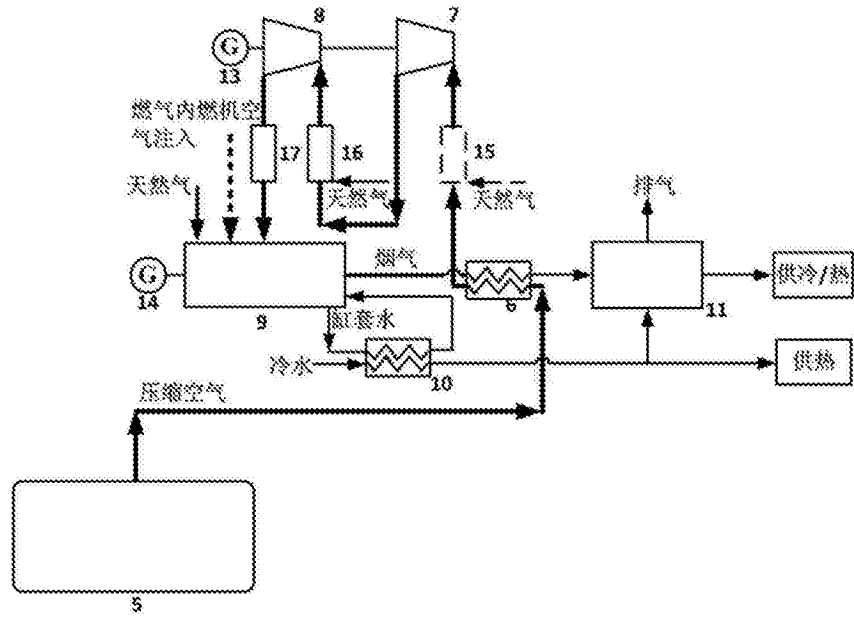


图3