



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104929709 B

(45) 授权公告日 2016. 06. 15

(21) 申请号 201510180026. 3

CN 103265140 A, 2013. 08. 28,

(22) 申请日 2015. 04. 16

US 2011/0115223 A1, 2011. 05. 19,

(73) 专利权人 集美大学

CN 103628982 A, 2014. 03. 12,

地址 361021 福建省厦门市集美区银江路  
185 号

CN 103161528 A, 2013. 06. 19,

审查员 彭小熙

(72) 发明人 陈志强 郭胜彬 柯炳贤 马火华  
吴春婷 欧鲤辉

(74) 专利代理机构 厦门市新华专利商标代理有  
限公司 35203

代理人 朱凌

(51) Int. Cl.

F01K 27/00(2006. 01)

C02F 1/14(2006. 01)

C02F 103/08(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 昭 56-84860 A, 1981. 07. 10,

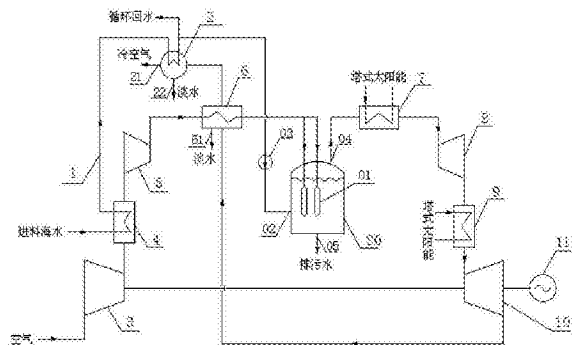
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

太阳能湿空气循环电水联产系统

(57) 摘要

本发明公开了一种太阳能湿空气循环电水联产系统,它包括浸没鼓泡蒸馏器、进料海水管道、冷凝器、低压压缩机、中间冷却器、高压压缩机、回热器、塔式太阳能过热器、高压湿空气透平机、塔式太阳能再热器、低压湿空气透平机、发电机。原海水经中间冷却器和冷凝器两级预热后输送至浸没鼓泡蒸馏器内,外界空气经两级压缩并进入回热器升温后喷入海水中进行加热搅拌,形成的湿热空气经塔式太阳能加热后送入湿空气透平做功发电,排气经回热器和冷凝器放出余热,湿空气中的水蒸汽冷凝为淡水输出。本发明将布雷顿循环与浸没鼓泡蒸馏技术进行耦合,具有蒸馏性能好、发电整体效率高、循环热效率高、适用范围广的特点,可被广泛应用于太阳能电水联产领域中。



1. 一种太阳能湿空气循环电水联产系统,它包括浸没鼓泡蒸馏器、进料海水管道、冷凝器、低压压缩机、中间冷却器、高压压缩机、回热器、塔式太阳能过热器、高压湿空气透平机、塔式太阳能再热器、低压湿空气透平机、发电机;

所述的浸没鼓泡蒸馏器是一个压力容器,该压力容器内布置多个空气喷射器,空气喷射器的进气口与回热器的管程出口相连接;浸没鼓泡蒸馏器的海水进口通过第一管道与冷凝器的管程出口相连接,并在该第一管道上设置海水泵;浸没鼓泡蒸馏器的湿热空气出口与塔式太阳能过热器的湿空气进口相连接;浸没鼓泡蒸馏器的底部设有排污口;所述的进料海水管道曲折地穿过中间冷却器后与冷凝器的管程进口相连接;所述的回热器的壳侧底部设有淡水出口,回热器的壳程出口与冷凝器的壳程相连接;所述的冷凝器的壳侧设有冷空气出口和淡水出口;所述的低压压缩机的空气出口通过第二管道与高压压缩机的空气进口相连接,并在该第二管道上设置中间冷却器;所述的高压压缩机的空气出口与回热器的管程进口相连接;所述的塔式太阳能过热器的湿空气出口与高压湿空气透平机的进汽口相连接;所述的高压湿空气透平机与高压压缩机同轴连接,高压湿空气透平机的排汽口与塔式太阳能再热器的湿空气进口相连接;所述的塔式太阳能再热器的湿空气出口与低压湿空气透平机的进汽口相连接;所述的低压湿空气透平机与低压压缩机以及发电机同轴连接,低压湿空气透平机的排汽口与回热器的壳程进口相连接。

2. 根据权利要求1所述的太阳能湿空气循环电水联产系统,其特征在于:所述的塔式太阳能过热器以及塔式太阳能再热器的工作温度在 $500^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 之间。

3. 根据权利要求1所述的太阳能湿空气循环电水联产系统,其特征在于:

所述的回热器的管程出口空气温度在 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间,空气压力在 $5\sim 50$ 个大气压之间。

## 太阳能湿空气循环电水联产系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于太阳能热利用技术领域,特别是涉及一种太阳能湿空气循环电水联产系统。

### 背景技术

[0002] 太阳能是一种取之不尽、用之不竭的清洁可再生能源,在世界范围内常规能源比较紧张的情况下,太阳能已成为人类使用能源的重要组成部分,并不断得到发展。太阳能可以用来供热和发电,非常适合作为生产电力和淡化水的电水联产系统的驱动能源。目前电水联产模式在世界范围内得到广泛的推广应用,意味着利用太阳能进行电水联产的模式将是今后太阳能利用技术领域重大发展的必然方向。目前中国科学院等单位在海南省实施建设的国内首套太阳能电水联产实验示范系统,采用太阳能朗肯循环热发电系统与低温多效海水淡化技术的耦合方式,利用蒸汽轮机的出口余热进行海水淡化,对解决海岛地区用电用水需求产生重要的意义。

[0003] 太阳能热发电系统按能量转换方式目前有三种:一是采用蒸汽轮机的朗肯循环、二是采用斯特林引擎的斯特林循环、三是采用燃气轮机的布雷顿循环。朗肯循环可采用低沸点工质蒸汽或水蒸汽作为工质,其中水蒸汽朗肯循环适用于中温太阳能热发电系统,但是在缺乏淡水资源的海岛和边远地区其应用仍受到较大限制,在实施电水联产模式中涉及到部分产水量用于解决电站自身的用水问题。斯特林循环的热效率较高,比较适用于高温太阳能热发电系统,但由于其功率较小、制造成本昂贵、可靠性较差,目前仍不具备市场竞争力。布雷顿循环可将压缩空气加热到高温水平,适用于高温太阳能热发电系统,由太阳能空气锅炉替代燃烧室,空气透平机替代燃气轮机,其作为一项新兴的太阳能热发电技术,未来具有很好的发展前景,但由于空气的传热性能差、做功能力小,将造成整个发电系统体积庞大、成本较高。

[0004] 目前太阳能电水联产模式是太阳能朗肯循环热发电系统与蒸馏法海水淡化技术(包括低温多效,多级闪蒸、压汽蒸馏)之间的耦合,利用低压抽汽或汽轮机排汽作为驱动热源进行热法海水淡化,上述方法需要消耗大量的饱和蒸汽,并且不可避免地存在换热面容易结垢腐蚀的问题。若考虑使用高温空气作为热源,则可以将高温空气直接喷入海水中进行加热搅拌过程,产生的水蒸汽再进行分离冷却得到淡水由此实现海水淡化,不仅不需要消耗蒸汽,而且避免了高温下换热面结垢腐蚀的问题。另外,这种方法有利于与以空气为工质的布雷顿循环进行耦合,由此生成并发展为一种以布雷顿循环为理论基础的新型太阳能电水联产模式。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种蒸馏性能好、发电整体效率高、循环热效率高、能量利用率高、适用范围广的太阳能湿空气循环电水联产系统。

[0006] 为实现上述发明目的,本发明的技术解决方案是:

[0007] 本发明是太阳能湿空气循环电水联产系统,它包括浸没鼓泡蒸馏器、进料海水管道、冷凝器、低压压缩机、中间冷却器、高压压缩机、回热器、塔式太阳能过热器、高压湿空气透平机、塔式太阳能再热器、低压湿空气透平机、发电机。

[0008] 所述的浸没鼓泡蒸馏器是一个压力容器,该压力容器内布置多个空气喷射器,空气喷射器的进气口与回热器的管程出口相连接;浸没鼓泡蒸馏器的海水进口通过第一管道与冷凝器的管程出口相连接,并在该第一管道上设置海水泵;浸没鼓泡蒸馏器的湿热空气出口与塔式太阳能过热器的湿空气进口相连接;浸没鼓泡蒸馏器的底部设有排污口。

[0009] 所述的进料海水管道曲折地穿过中间冷却器后与冷凝器的管程进口相连接。所述的回热器的壳侧底部设有淡水出口,回热器的壳程出口与冷凝器的壳程相连接;所述的冷凝器的壳侧设有冷空气出口和淡水出口。

[0010] 所述的低压压缩机的空气出口通过第二管道与高压压缩机的空气进口相连接,并在该第二管道上设置中间冷却器;所述的高压压缩机的空气出口与回热器的管程进口相连接;所述的塔式太阳能过热器的湿空气出口与高压湿空气透平机的进汽口相连接;所述的高压湿空气透平机与高压压缩机同轴连接,高压湿空气透平机的排汽口与塔式太阳能再热器的湿空气进口相连接,所述的塔式太阳能再热器的湿空气出口与低压湿空气透平机的进汽口相连接;所述的低压湿空气透平机与低压压缩机以及发电机同轴连接,低压湿空气透平机的排汽口与回热器的壳程进口相连接。

[0011] 所述的塔式太阳能过热器以及塔式太阳能再热器的工作温度在 $500^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 之间;回热器的管程出口空气温度在 $200\sim 400^{\circ}\text{C}$ 之间,空气压力在 $5\sim 50$ 个大气压之间。

[0012] 采用上述方案后,本发明具有以下几个特点:

[0013] 一、蒸馏性能好。本发明的海水淡化方面采用热力循环中的高温空气进行浸没鼓泡蒸馏技术,与其他蒸馏法相比具有传热速率快、换热效率高、无固定换热面、不存在结垢问题等优点。

[0014] 二、发电整体效率高。本发明的浸没鼓泡蒸馏器产生的水蒸汽加入到热力循环中使湿空气的流量增加,与传统的布雷顿循环相比,湿空气流量的增加不仅使本发明热发电系统的换热设备包括回热器、过热器、再热器的传热系数提高,使这些设备的尺寸大为减小,而且使热发电系统的透平发电机组的循环比功增大,因此热发电系统的整体效率得到提高。

[0015] 三、循环热效率高。本发明的中间冷却器内压缩空气的放热量、冷凝器水蒸汽的汽化潜热和热空气的放热量都得到了合理的利用并且加入到热力循环中,整个循环的冷源损失主要包括最终排放冷空气的余热和所得低温淡化水的显热,这部分冷源损失只占供给能量的很小份额,因此本发明循环热效率较高。

[0016] 四、能量利用率高。本发明的进料海水先后经过中间冷却器和冷凝器进行两级预热,低压湿空气透平发电机组的排汽先后经过回热器和冷凝器进行两级冷却并得到淡水,这些热力过程符合热能梯级利用原则,因此能量利用率较高。

[0017] 五、适用范围广。本发明的电水联产系统采用免费太阳能作为单一热源、采用免费空气作为循环工质,不需要其他能源和淡水资源或有机工质。因此本发明的电水联产系统非常适合建设于缺乏电力和淡水的海岛、沙漠化的海湾地区、或者有咸水湖的内陆干旱地区,具有适用范围广、实用性强的特点。

[0018] 本发明的电水联产模式与水蒸汽朗肯循环耦合蒸馏法海水淡化的方式比较,其优点在于:一是本发明的循环工质是空气,而水蒸汽朗肯循环采用的工质是大量淡水,因此本发明更合适开发缺少电力和淡水的地域;二是本发明的发电过程和制取淡水过程在同一个热力循环中完成,而不是利用蒸汽轮机的排汽对独立于发电体系外的海水淡化设备提供能量,因此本发明系统结构更为简单。

[0019] 本发明与斯特林循环比较,其优点在于:本发明是空气开式循环,设备可靠性高、维护成本低、运行寿命长,而斯特林循环是工质闭式循环,至今仍难以克服机械部件磨损造成的工质气体泄露问题,由此造成斯特林引擎可靠性较差,运行寿命短、维护和更换成本高昂。

[0020] 本发明与传统的布雷顿循环比较,其优点在于:本发明是湿空气循环,而传统的布雷顿循环是干空气循环。湿空气循环不仅使换热设备的传热系数提高,设备尺寸大为减小,而且使透平发电机组的比功增加。湿空气循环是对传统的布雷顿循环的重要革新,同时更适合与太阳能、地热能等新能源进行耦合。

[0021] 综上所述,本发明利用太阳能驱动将布雷顿循环与浸没鼓泡蒸馏技术结合起来,实现了一种新的太阳能湿空气循环电水联产系统,该系统具有蒸馏性能好、发电整体效率高、循环热效率高、能量利用率高、适用范围广的特点,具有很高的经济价值和良好的实用化前景。

[0022] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步的说明。

## 附图说明

[0023] 图1是本发明的系统结构示意图。

## 具体实施方式

[0024] 本发明是太阳能湿空气循环电水联产系统,它包括浸没鼓泡蒸馏器20、进料海水管道1、冷凝器2、低压压缩机3

[0025] 图1是本发明的系统结、中间冷却器4、高压压缩机5、回热器6、塔式太阳能过热器7、高压湿空气透平机8、塔式太阳能再热器9、低压湿空气透平机10、发电机11。

[0026] 所述的浸没鼓泡蒸馏器20是一个压力容器,该压力容器内布置多个空气喷射器01,空气喷射器01的进气口与回热器6的管程出口相连接;浸没鼓泡蒸馏器20的海水进口02通过第一管道与冷凝器2的管程出口相连接,并在该第一管道上设置海水泵03;浸没鼓泡蒸馏器20的湿热空气出口04与塔式太阳能过热器7的湿空气进口相连接;浸没鼓泡蒸馏器20的底部设有排污口05。

[0027] 所述的进料海水管道1曲折地穿过中间冷却器4后与冷凝器2的管程进口相连接。所述的回热器6的壳侧底部设有淡水出口61,回热器6的壳程出口与冷凝器2的壳程相连接;所述的冷凝器2的壳侧设有冷空气出口21和淡水出口22。

[0028] 所述的低压压缩机3的空气出口通过第二管道与高压压缩机5的空气进口相连接,并在该第二管道上设置中间冷却器4;所述的高压压缩机5的空气出口与回热器6的管程进口相连接;所述的塔式太阳能过热器7的湿空气出口与高压湿空气透平机8的进汽口相连接;所述的高压湿空气透平机8与高压压缩机5同轴连接,高压湿空气透平机8的排汽口与塔

式太阳能再热器9的湿空气进口相连接,所述的塔式太阳能再热器9的湿空气出口与低压湿空气透平机10的进汽口相连接;所述的低压湿空气透平机10与低压压缩机3以及发电机11同轴连接,低压湿空气透平机10的排汽口与回热器6的壳程进口相连接。

[0029] 所述的塔式太阳能过热器7以及塔式太阳能再热器9的工作温度在500℃~1000℃之间;回热器6的管程出口空气温度在200~400℃之间,空气压力在5~50个大气压之间。

[0030] 本发明的工作原理如下:

[0031] 原海水经过中间冷却器4吸收压缩空气的放热量,被加热后进入冷凝器2吸收水蒸汽的汽化潜热和空气的余热形成预热海水,部分预热海水由海水泵03输送至浸没鼓泡蒸馏器20内;外界空气进入低压压缩机3被压缩,压缩后的空气经中间冷却器4被原海水冷却后进入高压压缩机5进一步被压缩,压缩后的高压空气进入回热器6吸收低压湿空气透平机10的排汽放热量形成中温高压空气,中温高压空气进入浸没鼓泡蒸馏器20内的空气喷射器01,并从空气喷射器01的小孔向外喷射,与浸没鼓泡蒸馏器20内的海水直接接触,浸没鼓泡蒸馏器20内的海水被加热并被强烈搅拌,发生汽化过程产生水蒸汽;产生的水蒸汽与热空气一起进入塔式太阳能过热器7被加热为高温高压湿热空气,高温高压湿热空气进入高压湿空气透平机8做功带动高压压缩机5运行,高压湿空气透平机8的排汽进入塔式太阳能再热器9重新被加热为高温湿热空气,高温湿热空气进入低压湿空气透平机10做功带动低压压缩机3和发电机11运行,发电机11输出电能;低压湿空气透平机10的排汽前往回热器6对高压侧空气进行放热过程,湿热空气温度降低,湿热空气中的部分水蒸汽冷凝为淡水从回热器6的淡水出口61排出,从回热器6引出的湿热空气进入冷凝器2进一步放热,剩余水蒸汽冷凝为淡水从冷凝器2的淡水出口22排出,热空气放出余热变成冷空气从冷凝器2的冷空气出口21排向外界。

[0032] 以上所述,仅为本发明较佳实施例而已,各设备和管道的布置可有多种方式,故不能以此限定本发明实施的范围,即依本发明申请专利范围及说明书内容所作的等效变化与修饰,皆应仍属本发明专利涵盖的范围内。

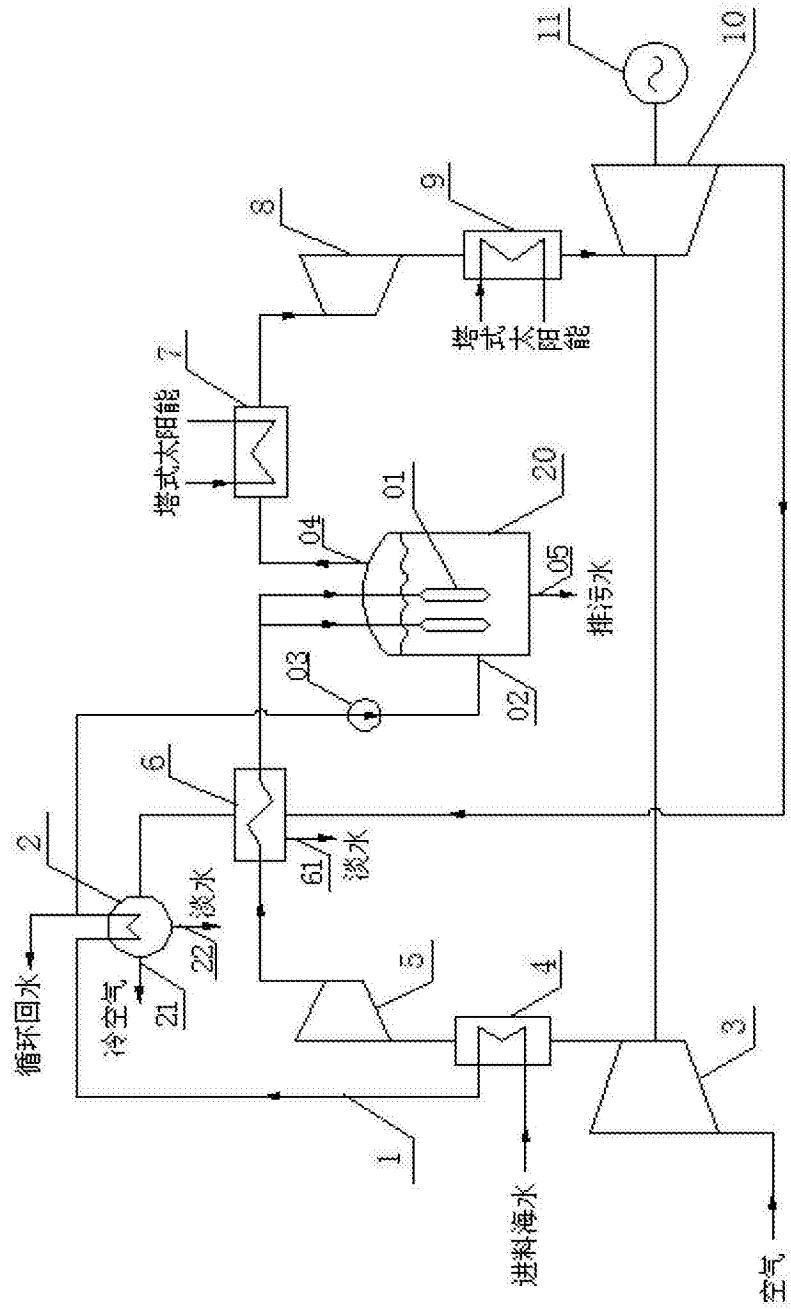


图1