

太阳能自动均热聚热管、槽式组件、热发电系统和工艺

技术领域

本发明涉及一种太阳能槽式集热管直接通水的热发电工艺及装置/系统和工艺，属于太阳能光热发电技术领域。

背景技术

太阳能具有分布广泛，储量无限，收集利用清洁，CO₂ 零排放的优点引起人们广泛关注。长期以来，太阳能光热发电技术领域，存在三种发电模式，即塔式、碟式、槽式（含抛物面反射镜槽式，及菲涅耳反射镜槽式）。

现有技术槽式太阳能热发电系统中，最终驱动电机发电的均使用汽轮机，其做功工质是水蒸汽。但目前现有技术中，槽式太阳能热发电系统的真空集热管中，收集太阳能光热使用的介质却是导热油（或者熔融盐），再使用热的导热油（或者熔融盐）加热水，从而产生蒸汽驱动汽轮机发电。图 1 所示是包含上述太阳能真空集热管的太阳能真空集热管组件；由抛物面槽式反射镜 1b1 及位于其焦点的太阳能真空集热管组成，太阳能真空集热管由玻璃管 1b2 和套置于其中且涂有光敏感吸热层的吸收管 1b3 组成，玻璃管 1b2 和吸收管 1b3 间为真空。

槽式太阳能热发电形成上述工艺模式有两个原因，其一，太阳光热受天气影响较大，天气有云时能量汇集不稳定、不连续，而使用导热油（或者熔融盐）就具有蓄热功能，恰好可抵消天气变化的影响。其二是槽式发电使用的现有真空集热管，不能适应水这种工质的物理性能，太阳光加热水到一定温度、压力时就会发生爆管事故。

因为槽式系统反射镜汇聚的太阳强光总是照射在真空集热管靠近反射镜 1b1 那一半的（见图 1 所示太阳能真空集热管横断面图中的玻璃管 1b2 下侧面），相反的一半即图 1 的上侧面是永远接收不到会聚强光的，光的会聚比大于 80：1，吸收管 1b3 上下其间的瞬间温差高达 300℃ 以上，玻璃管 1b2 和吸收管 1b3 之间为真空，如果吸收管 1b3 内充满导热油（或者熔融盐），其液态介质的良好导热性会使吸收管 1b3 内温度很快均衡，不会形成过大温差而产生内应力。而如果吸收管 1b3 内充满水，水温上升到 100℃ 以上时，水就很容易气化产生水蒸汽，而槽式系统的真空集热管又很长，且是水平放置的，从真

空集热管横断面看，会在吸收管 1b3 管内形成上半部是蒸汽，下半部是水的两相流状态，蒸汽的导热性与液态水的导热性差别很大，这就必然造成真空集热管内上下温差很大，因热胀冷缩而产生很大内应力，发生毁坏真空集热管的爆管事故。

因此寻找技术途径，开发一种不同于现有槽式太阳能热发电技术装置、组件及相适应的工艺，从而解决现有太阳能真空集热管存在的问题就很有必要。

发明内容

本发明要解决的技术问题是：提供一种能够直接通水的太阳能自动均热聚热管、和由其构成的槽式聚热组件、使得太阳能自动均热聚热管中能够直接充水进行加热而不会爆管；同时提供一种利用带有自动均热聚热管的槽式组件进行光热互补发电的热发电系统及工艺，使得太阳能光热互补电站不受天气影响，在夜晚或太阳光不充足时持续稳定发电，且节能环保。

为解决上述技术问题，本发明采用的技术方案是：

一种太阳能自动均热聚热管，包括玻璃管和套置于其中且涂有吸热层的吸收管，玻璃管和吸收管间为真空；其特征在于：吸收管内腔中设置有能够使吸收管中流体上下交替翻滚流动的隔离板，隔离板呈螺旋状，并固定在吸收管内。

按上述技术方案，隔离板呈螺旋状旋转并连续分布于整段吸收管内，沿轴向螺距相同；或者隔离板呈螺旋状旋转并以多段间隔的方式分布于整段吸收管内，且沿轴向不同段螺距均相同；沿吸收管轴向，隔离板的一端固定在吸收管内腔管壁上，另一端为自由端；

或者隔离板是在一根轴杆上固定若干螺旋状叶片，并通过轴杆一端的螺旋状叶片固定在吸收管内腔中构成，另一端轴杆上螺旋状叶片为自由端，螺旋状叶片的螺距相等且各螺旋状叶片均布。

一种强制均热式槽式组件，其特征在于：采用了上述的太阳能自动均热聚热管，其中，太阳能自动均热聚热管位于抛物面槽式反射镜焦点上。

一种热发电系统，为光热互补发电的热发电系统，主要包括太阳能聚光供热模块、锅炉供热模块、汽轮发电机组；其特征在于：太阳能聚光供热模块由预热段和汽水两相

流蒸发段顺次串联而成，预热段由太阳能真空集热管组件组成，而两相流蒸发段是由强制均热式槽式组件构成；在两相流蒸发段，至少在其末端的输出管路中串联一个汽水分离器，汽水分离器的蒸汽输出端与锅炉汽包输出端汇聚，汇聚后并经锅炉供热模块中的过热器与汽轮发电机组连通；汽水分离器的分离水输出端与两相流蒸发段中的任一个强制均热式槽式组件的太阳能自动均热聚热管回流连通；汽轮发电机组的汽轮机冷凝器输出端与供水模块连通；供水模块还设置一路进水管线和两路出水管线，一路出水管线与预热段第一个太阳能真空集热管组件连通，另一路出水管线与锅炉给水管路连通。

按上述技术方案，最后一级汽水分离器的蒸汽输出端经蒸汽开关阀后与锅炉汽包输出端汇聚为一路。

采用上述热发电系统的光热互补热发电工艺，其特征在于：根据天气状况，在锅炉供热发电模式、以及光热互补发电模式下切换进行持续发电；光热互补发电模式下，给水管线的供水送往太阳能聚光供热模块，首先在预热段的太阳能真空集热管中经太阳能预热，然后进入两相流蒸发段的太阳能自动均热聚热管中继续被加热升温，并在吸收管中产生水与蒸汽的两相混合流，混合流被吸收管中的隔离板强制螺旋状地翻滚，使得吸收管温度快速均衡，然后两相混合流流动到汽水分离器中进行汽水分离；分离器中分离出的水回流到汽水两相流蒸发段中再蒸发，分离出的饱和蒸汽与来自锅炉汽包的饱和蒸汽汇合，再进入锅炉加热模块的过热器中升温，成为过热蒸汽进入汽轮发电机组中进行光热互补发电；

夜晚或无太阳光时，处于锅炉供热发电模式；锅炉供热发电模式下，供水模块的供水仅供给锅炉加热模块，经锅炉产生过热蒸汽，经过热器后进入汽轮发电机组发电；而太阳能供热模块在锅炉供热发电模式下停止工作，太阳能自动均热聚热管中的水停止流动，处于保温状态。

一种热发电系统，为光热互补发电的热发电系统，主要包括太阳能聚光供热模块、锅炉供热模块、汽轮发电机组；其特征在于：太阳能聚光供热模块由预热段、两相流蒸发段和过热段顺次串联而成，预热段由太阳能真空集热管组件组成，而两相流蒸发段、过热段均由强制均热式槽式组件构成；在两相流蒸发段，至少在其末端的输出管路中串联一个汽水分离器，汽水分离器的蒸汽输出端与过热段的第一个强制均热式槽式组件的

太阳能自动均热聚热管连通，过热段末端的最后一个太阳能自动均热聚热管与汽轮机蒸汽入口连通；汽水分离器的分离水输出端与两相流蒸发段中的任一个太阳能自动均热聚热管回流连通；锅炉供热模块中，锅炉汽包输出端经过热器后与汽轮机蒸汽入口连通，汽轮机冷凝器输出端与供水模块连通；供水模块还设置一路进水管线和两路出水管线，一路出水管线与预热段第一个太阳能真空集热管组件的太阳能真空集热管连通，另一路出水管线与锅炉给水系统连通。

按上述技术方案，过热段最后一级太阳能自动均热聚热管输出端经蒸汽开关阀后与锅炉中的过热器输出端汇聚，汇聚管线与汽轮机蒸汽入口连通；汇聚点前，锅炉中的过热器输出端管路上设置蒸汽开关阀和蒸汽流量调节阀。

按上述技术方案，供水模块主要包括顺次连接的除氧器和给水泵；软化水储罐经过所述的一路进水管线与除氧器连通；汽轮发电机组的汽轮机冷凝器输出端与除氧器连通；给水泵出口分别连接两路出水管线，各出水管线上分别设置开关阀，所述一路出水管线上还设置给水调节阀。

采用上述热发电系统的光热互补热发电工艺，其特征在于：根据天气状况，在锅炉供热发电模式、太阳能发电模式以及光热互补发电模式下切换进行持续发电；光热互补发电模式下，供水管线的供水送往太阳能供热模块，首先在预热段的太阳能真空集热管中经太阳能预热，然后进入两相流蒸发段太阳能自动均热聚热管中继续被加热升温，并在吸收管中产生水与蒸汽的两相混合流，混合流被吸收管中的隔离板强制螺旋状地翻滚，使得吸收管温度快速均衡，然后混合流流动到汽水分离器中进行汽水分离；分离器中分离出的水回流到汽水两相流蒸发段中再蒸发；分离器中分离出的饱和蒸汽继续前进，到达过热段的太阳能自动均热聚热管中，继续被加热升温成为过热蒸汽，过热蒸汽在该段的吸收管内螺旋状翻滚流动，使得吸收管温度快速均衡；过热蒸汽输出后与来自锅炉过热器的过热蒸汽汇合，再进入汽轮发电机组中发电；

夜晚或无太阳光时，处于锅炉供热发电模式；锅炉供热发电模式下，供水模块的供水仅供给锅炉加热模块，经锅炉产生过热蒸汽，经过热器后进入汽轮发电机组发电，而太阳能供热模块在锅炉供热发电模式下停止工作，太阳能真空集热管和太阳能自动均热聚热管中的供水停止流动，处于保温状态；

阳光足够强时处于太阳能发电模式下，此模式下，供水在太阳能加热模块经预热段和两相流蒸发段后产生水与蒸汽的两相混合流，混合流经分离器分离出的饱和蒸汽经过热段太阳能继续加热后产生过热蒸汽，过热蒸汽直接输往汽轮发电机组中发电；由于夜晚来临时锅炉尚需启动工作，为缩短锅炉启动时间，此模式下仅少量供水给锅炉加热模块，维持锅炉的低负荷（大约 10%左右）运行。

按上述技术方案，系统给水在预热段的太阳能真空集热管中经太阳能预热到 90℃左右。

本发明中锅炉加热模块的锅炉为常规锅炉，可选用目前的燃煤锅炉、燃油锅炉、生物质直燃锅炉、天然气锅炉、煤田气锅炉均可，优选生物质气化气锅炉或生物质直燃锅炉。

本发明槽式太阳能聚热模块在汽水两相流蒸发段后至少设置一个汽水分离器；分离出的饱和蒸汽可以直接输往饱和蒸汽汽轮机进行发电，或者与锅炉产生的饱和蒸汽汇合，再进入锅炉中的过热器中加热为过热蒸汽输往汽轮机发电；或者分离出的饱和蒸汽经过热段的太阳能聚热光场继续过热后与锅炉过热蒸汽汇合输往汽轮机中发电；汽水分离器分离出的高温水通过回水泵输往两相流蒸发段再蒸发。多种工作模式可以根据天气和太阳光是否充足进行灵活选择，节能环保。

本发明的太阳能自动均热聚热管由于吸收管内腔中设置有可使管中流体上下交替翻滚流动的隔离板，可方便的打破两相流流体在吸收管内腔中流动的层流状态，强制性地使管中流体在流动中上下交替滚动，形成自搅拌作用，以达到吸收管上下热均衡，避免爆管事故。

附图说明

下面结合附图和实施例来说明本发明。

图 1 是现有技术中的由太阳能真空集热管组成的太阳能真空集热管组件结构简图。

图 2 是本发明的太阳能自动均热聚热管第一种实施方式结构示意图。

图 3 是本发明的太阳能自动均热聚热管第二种实施方式结构示意图。

图 4 是图 2 或图 3 的太阳能自动均热聚热管构成的强制均热式槽式组件的横断面示

意图（图中太阳能自动均热聚热管横断面部分为图 2 或图 3 的 A-A 横断面）。

图 5 是本发明的太阳能自动均热聚热管第三种实施方式结构示意图。

图 6 是本发明的热发电系统第一种实施方式的结构示意图。

图 7 是本发明的热发电系统的第二种实施方式的结构示意图。

具体实施方式

下面结合附图和最佳实施方式具体说明本发明。

图 2 是本发明的太阳能自动均热聚热管第一种实施方式结构示意图。其中，1b2 是太阳能自动均热聚热管外层的玻璃管，1b3 是太阳能自动均热聚热管内层的涂吸热层的吸收管（1b3 通常采用不锈钢、钹合金（如钹青铜）等耐高温金属材料，1b2 与 1b3 之间的空间为真空），1b4 是吸收管 1b3 内腔设置的隔离板，1b4 采用与 1b3 材质相同或热性能相似的材料。A-A 表示强制均热式槽式组件横切面的位置及视图方向（即在 A-A 处切开朝右看，可看到图 4 中心部分所示的太阳能自动均热聚热管）。

隔离板 1b4 为螺距适当的螺旋状，螺旋外径等于或小于 1b3 的内径，可安装于吸收管 1b3 的内腔中，并连续分布于整段吸收管内，为使翻滚速度一致，沿轴向螺距最好相同；沿吸收管轴向，隔离板 1b4 的一端固定在太阳能真空集热管的吸收管 1b3 内腔中，另一端为自由端。

图 3 是本发明的太阳能自动均热聚热管第二种实施方式结构示意图。其中，1b2 是外层的玻璃管，1b3 是内层的涂吸热层的吸收管（1b3 通常采用不锈钢、钹合金等耐高温金属材料），1b2 与 1b3 之间的空间为真空，1b4 是吸收管内腔中设置的 2 段隔离板（显然，数段也可以），隔离板 1b4 为螺距适当（螺旋外径等于或小于 1b3 的内径，可安装于吸收管 1b3 的内腔中）的螺旋状，为使翻滚速度一致，沿轴向各段螺距最好相同。1b4 采用与 1b3 材质相同或热性能相似的材料。A-A 表示强制均热式槽式组件横切面的位置及视图方向（即在 A-A 处切开朝右看，可看到图 4 中心部分所示的太阳能自动均热聚热管）。沿吸收管轴向，每个隔离板的一端固定在吸收管上，另一端为自由端。

图 4 是图 2 或图 3 的太阳能自动均热聚热管构成的强制均热式槽式组件的横断面示意图，图中太阳能自动均热聚热管横断面部分为图 2 或图 3 的 A-A 横断面。其中，太阳能自动均热聚热管置于抛物面反射镜的焦点中心。1b1 是抛物面反射镜，1b2 是太阳能自

动均热聚热管外层的玻璃管，1b3 是太阳能自动均热聚热管内层的涂有吸热层的吸收管（1b3 通常采用不锈钢、钛合金等耐高温金属材料，1b2 与 1b3 之间的空间为真空，1b4 是吸收管内腔设置的隔离板，1b4 采用与 1b3 材质相同或热性能相似的材料。图中带箭头的直线表示太阳光的光路，汇聚于焦点处的太阳能自动均热聚热管。

图 5 是本发明的太阳能自动均热聚热管第三种实施方式结构示意图。图 5 显示的是沿太阳能自动均热聚热管中轴线切开玻璃管、吸收管，并拿开遮挡观察者视线的部分后，所看到的吸收管内腔中隔离板的结构示意图。1b2 是玻璃管，1b3 是吸收管，1b2 与 1b3 之间的空间为真空，1b5 是轴杆，1b4 是螺旋状叶轮的叶片焊接或其他方式固定在轴杆上，叶片的间距相等，每个螺旋周期布置 2，或 3，或 4，或 N 个，本图显示的是每螺旋 2 个。由该结构的太阳能自动均热聚热管构成的强制均热式槽式组件的结构与图 4 布置结构相同，不再赘述。

图 6 及图 7 中，1a 是多个现已公知太阳能真空集热管组件（图 1 中所示）串联构成的预热段，1b 是本发明特有的强制均热式槽式组件串联构成的汽水两相流蒸发段，1c 是汽水分离器，1d 是回水泵，1e 是强制均热式槽式组件串联构成的过热段（仅在图 7 的系统中有设置），1f 是蒸汽开关阀，2 是常规锅炉构成的锅炉加热模块（常规锅炉选自已知的燃煤锅炉、燃油锅炉、天然气锅炉、生物质直燃锅炉、煤田气锅炉均可。优选生物质气化气锅炉或生物质直燃锅炉），2a 是锅炉中的过热器，2b 是锅炉汽包，3 是汽轮发电机组，3a 是汽轮机冷凝器，3b 和 3c 为开关阀；3d 为蒸汽流量调节阀；4 是除氧器，5 是给水泵，5a、5b 是开关阀，5c 是给水调节阀，6 是软化水储罐（软化水来自化水处理厂）。

上述图 6 的系统工作流程如下：

白天阳光充足时，5a、5b、1f 开关阀均处于开状态，并启动回水泵 1d，来自除氧器的水在给水泵 5 的驱动下绝大部分输往太阳能光场的 1a 段，经会聚的太阳光预热为 90℃ 左右，进入 1b 两相流蒸发段继续被加热，产生水与蒸汽的两相混合流，混合流被隔离板强制，螺旋状地翻滚流动到汽水分离器 1c 中，分离出的饱和蒸汽与来自锅炉汽包 2b 的饱和蒸汽汇合，再进入锅炉 2 的过热器 2a 中，成为过热蒸汽进入汽轮机 3 中发电。分离器 1c 中分离出的水经回水泵 1d 驱动，回流到汽水两相流蒸发段 1b 中再蒸发。

由于在 1b 两相流蒸发段，太阳能自动均热聚热管的 1b3 内腔中设置有螺旋状的隔离

板 1b4, 两相混合流体在给水泵 5 的驱动下, 必然在吸收管 1b3 中螺旋式上下翻滚前进, 由于水的热传导性能很好, 尽管太阳能自动均热聚热管始终是吸收管 1b3 下半部受热, 但水的上下翻滚流动, 会很快将热量传导到吸收管 1b3 的上半部, 从而使太阳能吸收管 1b3 的上下部分很快达到热均衡状态, 根除了太阳能真空集热管直接通水发生爆管的蔽病。

白天有云层太阳光减少时, 调解给水泵 5 出口设置的调节阀 5c 的开度, 使 5c 开度减小, 则输往太阳聚热场的水流量减少, 而流过 5b 开关阀, 输往常规锅炉 2 的水流量增大, 锅炉负荷增大, 多产蒸汽保证汽轮发电机输出功率不变。

夜晚来临时, 关闭开关阀 5a 及 1f, 并停运回水泵 1d, 来自除氧器 4 的水在给水泵 5 的驱动下输往常规锅炉 2, 经锅炉 2 产生过热蒸汽, 进入汽轮机发电。而太阳能光场夜间停止工作, 介质停止流动, 处于保温状态。

上述图 7 的系统工作流程如下:

白天阳光充足时, 5a、5b、1f 开关阀均处于开状态, 并启动回水泵 1d, 来自除氧器的水在给水泵 5 的驱动下绝大部分输往太阳能光场的 1a 段, 被会聚的太阳光预热为 90℃ 左右, 再进入 1b 两相流蒸发段继续被加热, 并产生水与蒸汽的两相混合流, 混合流被隔离板强制, 螺旋状地翻滚流动到汽水分离器 1c 中, 分离器中分离出的水经回水泵 1d 驱动, 回流到汽水两相流蒸发段 1b 中再蒸发。

分离器 1c 中分离出的饱和蒸汽继续前进, 到达槽式太阳能光场的强制均热式槽式组件串连构成的过热段 1e, 饱和蒸汽在过热段 1e 继续被加热成为过热蒸汽, 过热蒸汽与来自常规锅炉过热器 2a 的过热蒸汽汇合, 再进入汽轮机 3 中发电。

在上述 1b 两相流蒸发段, 太阳能自动均热聚热管吸收管的内腔中设置有螺旋状的隔离板, 两相混合流体在给水泵 5 的驱动下, 必然在管中螺旋式上下翻滚前进, 由于水的热传导性能很好, 尽管真空集热管始终是吸收管下半部受热, 但水的上下翻滚流动, 会很快将热量传导到吸收管的上半部, 从而使太阳能吸收管 1b3 的上下部分很快达到热均衡状态, 根除了太阳能真空集热管的吸收管 1b3 直接通水发生爆管的蔽病。

在上述过热段 1e 中, 由于太阳能自动均热聚热管的吸收管 1b3 内设置有隔离板 1b4, 过热蒸汽在吸收管 1b3 内同样螺旋状地翻滚流动, 这种单一流体的螺旋状翻滚流动方式起到了极强的上下搅拌的作用, 尽管热蒸汽的导热性很差, 但激烈地搅拌作用, 会使得

各处的蒸汽很快均匀，从而使得吸收管 1b3 温度比较均衡，无较大的内应力，避免了爆管事故。

白天有云层太阳光减少时，调节给水泵 5 出口设置的调节阀 5c 的开度，使 5c 开度减小，则输往太阳聚热场的水流量减少，而流过 5b 开关阀，输往锅炉 2 的水流量增大，锅炉负荷随之增大，多产蒸汽从而保证汽轮发电机输出功率不变。

夜晚来临时，关闭开关阀 5a 及 1f，同时停运回水泵 1d，来自除氧器的水在给水泵 5 的驱动下输往常规锅炉 2，经锅炉产生过热蒸汽、再进入汽轮机发电。而太阳能聚热光场夜间停止工作，介质停止流动处于保温状态。

本发明的优点：由于本发明的槽式太阳能聚热光场是由太阳能聚热单元组件构成的预热段及汽水两相流蒸发段组成的（或者是由预热段、汽水两相流蒸发段及过热段组成的），而在汽水两相流蒸发段及过热段均采用了本发明特有的太阳能自动均热聚热管、强制均热式槽式组件，并在在汽水两相流蒸发段至少设置一个汽水分离器，解决了太阳能直接通水产生蒸汽与常规锅炉产生蒸汽的互补汇合问题，很好的解决了太阳能受天气影响，不稳定，电站不能夜晚发电的问题。特别是本发明关于太阳能自动均热聚热管、强制均热式槽式组件的发明，为直接通水的抛物面槽式太阳能光热发电，开创了全新的工艺技术路径。

权利要求书

1、一种太阳能自动均热聚热管，包括玻璃管和套置于其中且涂有吸热层的吸收管，玻璃管和吸收管间为真空；其特征在于：吸收管内腔中设置有能够使吸收管中流体上下交替翻滚流动的隔离板，隔离板呈螺旋状，并固定在吸收管内。

2、根据权利要求1所述的太阳能自动均热聚热管，其特征在于：隔离板呈螺旋状旋转并连续分布于整段吸收管内，沿轴向螺距相同；或者隔离板呈螺旋状旋转并以多段间隔的方式分布于整段吸收管内，且沿轴向不同段螺距均相同；沿吸收管轴向，隔离板的一端固定在吸收管内腔管壁上，另一端为自由端；

或者隔离板是在一根轴杆上固定若干螺旋状叶片，并通过轴杆一端的螺旋状叶片固定在吸收管内腔中构成，另一端轴杆上螺旋状叶片为自由端，螺旋状叶片的螺距相等且各螺旋状叶片均布。

3、一种强制均热式槽式组件，其特征在于：采用了上述权利要求1或2所述的太阳能自动均热聚热管，其中，太阳能自动均热聚热管位于抛物面槽式反射镜焦点上。

4、一种热发电系统，为光热互补发电的热发电系统，主要包括太阳能聚光供热模块、锅炉供热模块、汽轮发电机组；其特征在于：太阳能聚光供热模块由预热段和汽水两相流蒸发段顺次串联而成，预热段由太阳能真空集热管组件组成，而两相流蒸发段是由权利要求3所述的强制均热式槽式组件构成；在两相流蒸发段，至少在其末端的输出管路中串联一个汽水分离器，汽水分离器的蒸汽输出端与锅炉汽包输出端汇聚，汇聚后并经锅炉供热模块中的过热器与汽轮发电机组连通；汽水分离器的分离水输出端与两相流蒸发段中的任一个强制均热式槽式组件的太阳能自动均热聚热管回流通；汽轮发电机组的汽轮机冷凝器输出端与供水模块连通；供水模块还设置一路进水管线和两路出水管线，一路出水管线与预热段第一个太阳能真空集热管组件连通，另一路出水管线与锅炉给水管路连通。

5、根据权利要求4所述的热发电系统，其特征在于：最后一级汽水分离器的蒸汽输出端经蒸汽开关阀后与锅炉汽包输出端汇聚为一路。

6、根据权利要求4或5所述的热发电系统，其特征在于：供水模块主要包括顺次连接的除氧器和给水泵；软化水储罐经过所述的一路进水管线与除氧器连通；汽轮发电机组的汽轮机冷凝器输出端与除氧器连通；给水泵出口分别连接两路出水管线，各出水管线上分别设置开关阀，所述一路出水管线上还设置给水调节阀。

7、采用上述权利要求4-6之一所述热发电系统的光热互补热发电工艺，其特征在于：根据天气状况，在锅炉供热发电模式、以及光热互补发电模式下切换进行持续发电；光热互补发电模式下，给水管线的供水送往太阳能聚光供热模块，首先在预热段的太阳能真空集热管中经太阳能预热，然后进入两相流蒸发段的太阳能自动均热聚热管中继续被加热升温，并在吸收管中产生水与蒸汽的两相混合流，混合流被吸收管中的隔离板强制螺旋状地翻滚，使得吸收管温度快速均衡，然后两相混合流流动到汽水分离器中进行汽水分离；分离器中分离出的水回流到汽水两相流蒸发段中再蒸发，分离出的饱和蒸汽与来自锅炉汽包的饱和蒸汽汇合，再进入锅炉加热模块的过热器中升温，成为过热蒸汽进入汽轮发电机组中进行光热互补发电；

夜晚或无太阳光时，处于锅炉供热发电模式；锅炉供热发电模式下，供水模块的供水仅供给锅炉加热模块，经锅炉产生过热蒸汽，经过热器后进入汽轮发电机组发电；而太阳能供热模块在锅炉供热发电模式下停止工作，太阳能自动均热聚热管中的水停止流动，处于保温状态。

8、一种热发电系统，为光热互补发电的热发电系统，主要包括太阳能聚光供热模块、锅炉供热模块、汽轮发电机组；其特征在于：太阳能聚光供热模块由预热段、两相流蒸发段和过热段顺次串联而成，预热段由太阳能真空集热管组件组成，而两相流蒸发段、过热段均由权利要求3所述强制均热式槽式组件构成；在两相流蒸发段，至少在其末端的输出管路中串联一个汽水分离器，汽水分离器的蒸汽输出端与过热段的第一个强制均热式槽式组件的太阳能自动均热聚热管连通，过热段末端的最后一个太阳能自动均热聚

热管与汽轮机蒸汽入口连通；汽水分离器的分离水输出端与两相流蒸发段中的任一个太阳能自动均热聚热管回流连通；锅炉供热模块中，锅炉汽包输出端经过热器后与汽轮机蒸汽入口连通，汽轮机冷凝器输出端与供水模块连通；供水模块还设置一路进水管线和两路出水管线，一路出水管线与预热段第一个太阳能真空集热管组件的太阳能真空集热管连通，另一路出水管线与锅炉给水系统连通。

9、根据权利要求 8 所述的热发电系统，其特征在于：过热段最后一级太阳能自动均热聚热管输出端经蒸汽开关阀后与锅炉中的过热器输出端汇聚，汇聚管线与汽轮机蒸汽入口连通；汇聚点前，锅炉中的过热器输出端管路上设置蒸汽开关阀和蒸汽流量调节阀。

10、根据权利要求 8 或 9 所述的热发电系统，其特征在于：供水模块主要包括顺次连接的除氧器和给水泵；软化水储罐经过所述的一路进水管线与除氧器连通；汽轮发电机组的汽轮机冷凝器输出端与除氧器连通；给水泵出口分别连接两路出水管线，各出水管线上分别设置开关阀，所述一路出水管线上还设置给水调节阀。

11、采用权利要求 8-10 之一所述热发电系统的光热互补热发电工艺，其特征在于：根据天气状况，在锅炉供热发电模式、太阳能发电模式以及光热互补发电模式下切换进行持续发电；光热互补发电模式下，供水管线的供水送往太阳能供热模块，首先在预热段的太阳能真空集热管中经太阳能预热，然后进入两相流蒸发段的太阳能自动均热聚热管中继续被加热升温，并在吸收管中产生水与蒸汽的两相混合流，混合流被吸收管中的隔离板强制螺旋状地翻滚，使得吸收管温度快速均衡，然后混合流流动到汽水分离器中进行汽水分离；分离器中分离出的水回流到汽水两相流蒸发段中再蒸发；分离器中分离出的饱和蒸汽继续前进，到达过热段的太阳能自动均热聚热管中，继续被加热升温成为过热蒸汽，过热蒸汽在该段的吸收管内螺旋状翻滚流动，使得吸收管温度快速均衡；过热蒸汽输出后与来自锅炉过热器的过热蒸汽汇合，再进入汽轮发电机组中发电；

夜晚或无太阳光时，处于锅炉供热发电模式；锅炉供热发电模式下，供水模块的供水仅供给锅炉加热模块，经锅炉产生过热蒸汽，经过热器后进入汽轮发电机组发电，而太阳能供热模块在锅炉供热发电模式下停止工作，太阳能真空集热管和太阳能自动均热

聚热管中的供水停止流动，处于保温状态；

阳光足够强时处于太阳能发电模式下，此模式下，供水在太阳能加热模块经预热段和两相流蒸发段后产生水与蒸汽的两相混合流，混合流经分离器分离出的饱和蒸汽经过热段太阳能继续加热后产生过热蒸汽，过热蒸汽直接输往汽轮发电机组中发电；由于夜晚来临时锅炉尚需启动工作，为缩短锅炉启动时间，此模式下仅少量供水给锅炉加热模块，维持锅炉的低负荷运行。

12、根据权利要求 7 或 11 所述的光热互补热发电工艺，其特征在于：系统给水在预热段的太阳能真空集热管中经太阳能预热到 90℃左右。