

新型太阳能产品生产设计 新工艺、新技术与质量 验收实务全书

主 编 贺有德(中国新能源研究中心)

副主编 黄宏业(中国太阳能协会)

(第三卷)

中国能源出版社

第二章 太阳能采暖与制冷设备生产设计工艺技术

目前太阳能的一个主要应用是为建筑物提供采暖和空调。主动式太阳能系统使用泵或风机以及电控设备使传热流体通过系统循环,这样的系统由三个基本部分组成:太阳能集热器,蓄热分系统和负载。除了这三部分外还可加上第四个分系统——调节系统能流的控制装置。

图2描述了一个放空防冻式太阳能采暖与热水的混合系统。该系统需要用两个温差控制器和一个定温控制器进行运行控制。每个温差控制器都带一对温度传感器,其中第一个温差控制器的温度传感器分别装在集热器方阵顶部和蓄热箱底部;第二个温差控制器的温度传感器分别置于蓄热箱的顶部和热水箱的底部。定温控制器用于控制室内采暖。当太阳能集热器上的太阳辐射强度足以使集热器的吸热板与蓄热箱底部温差达到启动值时,温差控制器接通循环泵,使水从蓄热箱的底部循环通过太阳能集热器,由集热器顶部出来的热水从蓄热箱的水面上部进入蓄热箱。

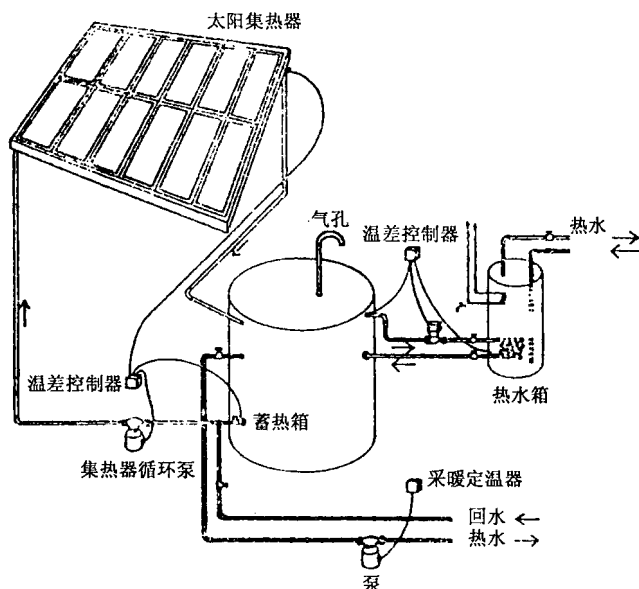


图 2-1 太阳能采暖系统集热和供热示意图

当集热器方阵顶部和蓄热箱底部的温差下降到关闭温差时,主循环泵自动关闭,集热器方阵中的水泄到位置低的蓄热箱里。从集热器顶部到蓄热箱底部的泄水道必须处

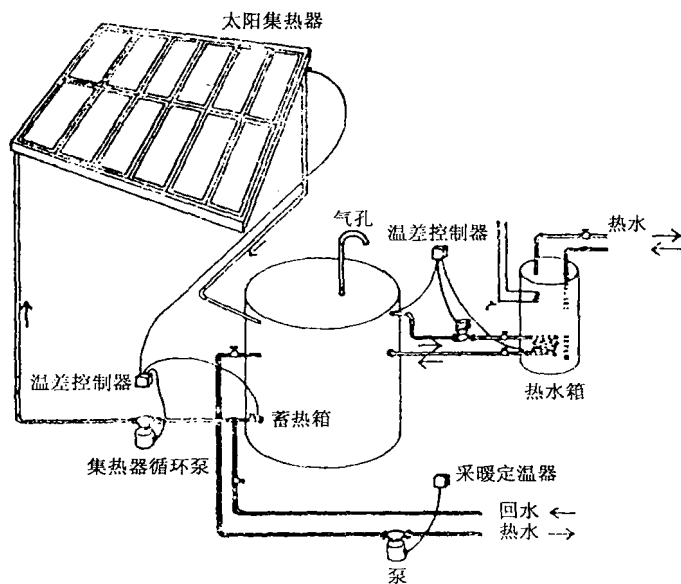


图 2-2 由太阳能采暖系统
的蓄热箱供热示意图

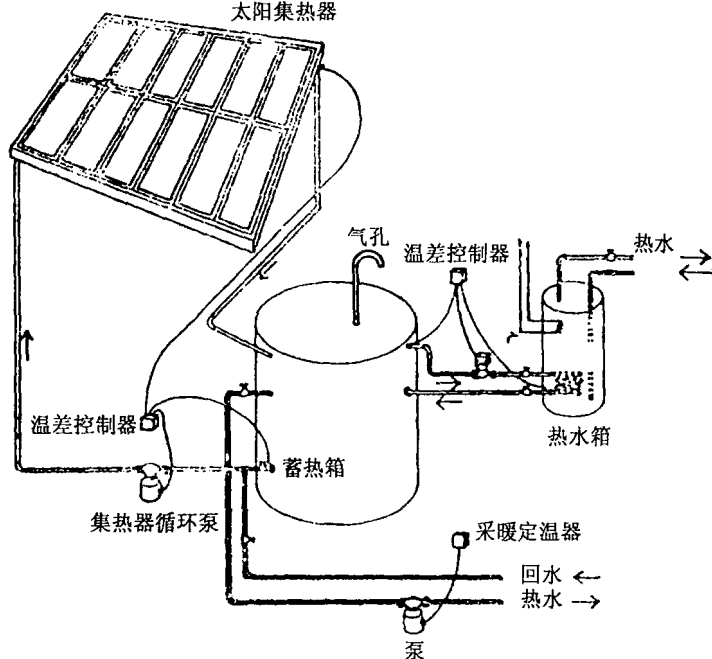


图 2-3 太阳能采暖系统的集热和蓄热示意图

处都向下倾斜,以防止空气从蓄热箱上部进入泄水道时产生积水。这样,在主循环泵停机后几分钟内,随着水从集热器通过循环泵泄回蓄热箱底部,空气便从蓄热箱顶部进入集热器方阵,直到水从集热器方阵中排空。用这种方式可以有效地防止暴露于室外的集

热器系统在冬季冻坏。

如图 2-1 所示,当室内采暖定温控制器指示需要供热时,采暖循环泵接通,热水便从蓄热箱上部循环进入室内采暖器。采暖器可以是各种暖气片、地板辐射器或普通锅炉中带肋片的盘管等。由采暖器出来的冷水流回蓄热箱和(或)集热器阵底部。如果蓄热箱上部的水温太低,可以使用辅助热源。

如果集热器方阵上的太阳辐射强度不足,则主循环泵关闭。这时若蓄热箱中由太阳能加热的水温足够高,室内采暖可由蓄热箱提供,如图 2-2 所示;此时室内定温控制器接通采暖循环泵,把水从蓄热箱上部泵入室内采暖器中,从采暖器出来的冷水回流到蓄热箱底部,在这一循环中把热能从蓄热箱传送到采暖房间。图 2-2 表示用于晚上采暖的正常方式。主动系统与被动系统相比有一个优点,它可以对热能进行更多的控制,热量可以在需要的时候加到采暖房间,以便维持室内设定的温度。

在白天,从集热器阵获得的太阳能可能超过室内采暖需要,这时室内定温控制器使采暖循环泵关闭,尽管主循环泵仍在运行。为使这种系统运行,主循环泵的压头应大于蓄热箱水位与集热器阵最高点的差。图 2-1~2-3 表示这种简单的混合式太阳能系统的不同运行方式:集热器运行时的室内采暖、集热器不运行时的室内采暖、无需采暖时的太阳能集热和蓄热。

家用或其他用途的热水可以在任何时候加热,因为蓄热箱里的水是热的。在住宅和商业应用中,热水用于洗涤,食品制备和其他与人有关的用途。从蓄热箱中直接取热水不合适,因此用一个装有换热器的热水箱,蓄热箱中的热水泵入换热器中,使热水箱中的水加热。循环泵由温差控制器开/关,如图 2-4 所示。

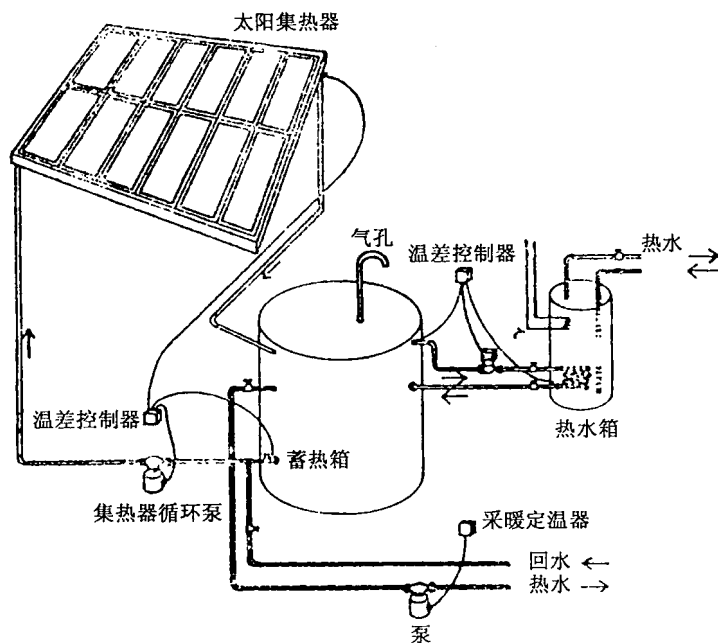


图 2-4 由太阳能采暖系统提供热水示意图

第一节 热 泵 系 统

图 2-5 描述了一种与上述介绍不同类型的太阳能采暖和普通空调系统,它使用一台水源热泵作辅助热源。与上述介绍的系统一样,热能由太阳集热器阵收集并贮存在蓄热箱里。同样,采暖定温控制器接通采暖循环泵,把水从蓄热箱上部泵入装在热泵回风道内的带肋片盘管里。如果蓄热箱中的水温足够高,热泵本身关闭,室内采暖完全由蓄热箱中贮存的或从集热器阵收集的太阳能提供。

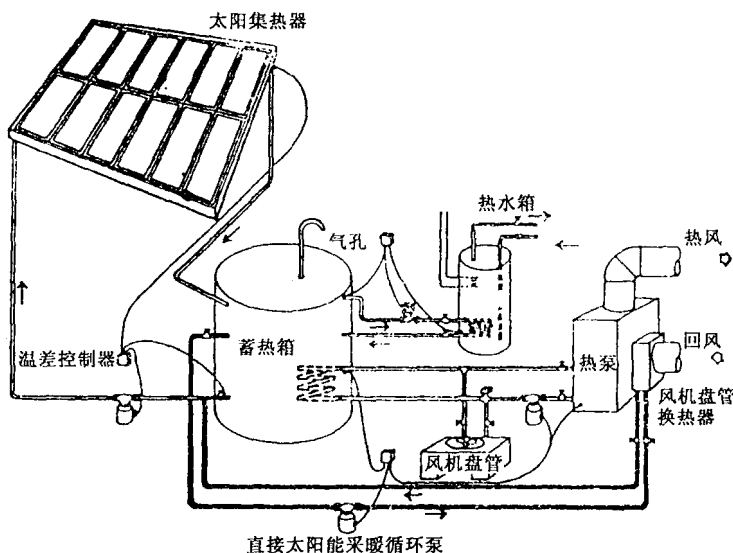


图 2-5 由带热泵的太阳能系统集热器采暖示意图

如果集热器阵上的太阳辐射强度不足以使主循环泵运行,室内仍然可以用蓄热箱里贮存的太阳能连续采暖,尽管这时集热器阵没有收集到太阳能(图 2-6)。另一方面如果集热器阵上的太阳辐射强度足够使主循环泵运行而无需采暖时,集热器阵出来的热能连续贮存在蓄热箱里(见图 2-7)。这与图 2-3 所示的简单采暖系统的运行一样。对于这种特殊的混合式回泄系统,当泵不运行时集热器排空。

如果蓄热箱中的水温不够高,水可以通过蓄热箱换热器和水源热泵循环,为该热泵提供热源,如图 2-8 所示。此时系统作为一个太阳能辅助热泵运行,蓄热箱中的水温用于直接采暖太低,用热泵把蓄热箱中的太阳热“泵”到较高的温度上,以为室内提供采暖。这种方式运行可使热泵消耗每千瓦电能提供多达 7 千瓦热。

这一系统的另一个优点是蓄热箱中水温较低,即集热器入口的水温较低,因而集热器效率较高。总之,这一系统可以在直接太阳能采暖和太阳能辅助热泵两种方式下运行,并且对太阳能收集有更高的效率,比图 2-1~2-4 所示的简单太阳能采暖系统更有

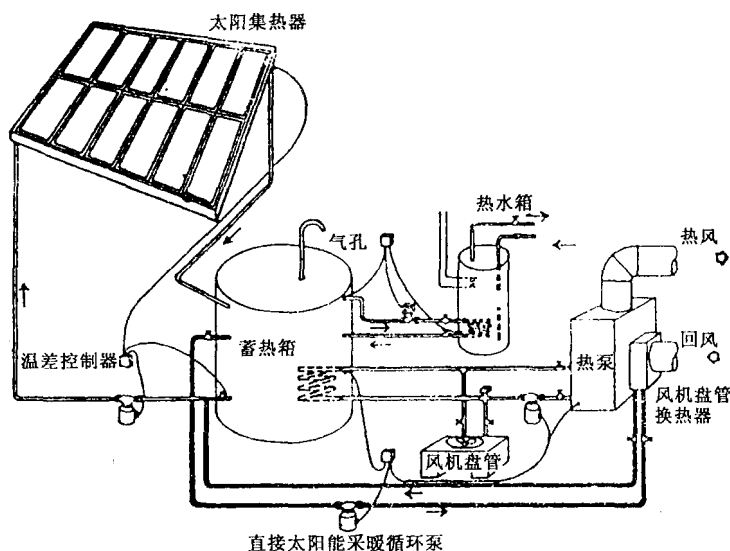


图 2-6 由带热泵的太阳能系统蓄热箱采暖示意图

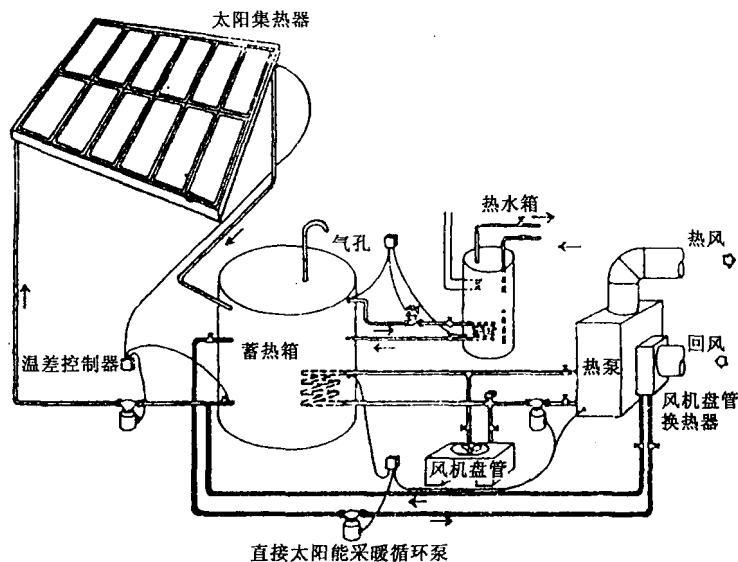


图 2-7 由带热泵的太阳能系统集热器蓄热示意图

效。该系统从图 2-5 和 2-6 所示的直接太阳能采暖方式转到太阳能辅助采暖方式(图 2-8)的温度由热泵和采暖器的特性确定。

把水源热泵设计成在一定的入口水温范围内运行。在设计这类系统时,必须根据负载仔细地选择匹配集热器面积、蓄热箱大小及热泵特性。例如,若集热器方阵面积太小,系统就必须不断地在太阳能辅助和常规采暖方式下运行,因为集热器阵不能使蓄热箱的温度达到直接太阳能采暖的水平。

如果蓄热箱的水温太低,不够热泵使用,则可用外部风机盘管作热泵的热源。由于热泵、风机盘管和蓄热箱之间循环回路中的水一般要防冻,在蓄热箱中要加一个换热器

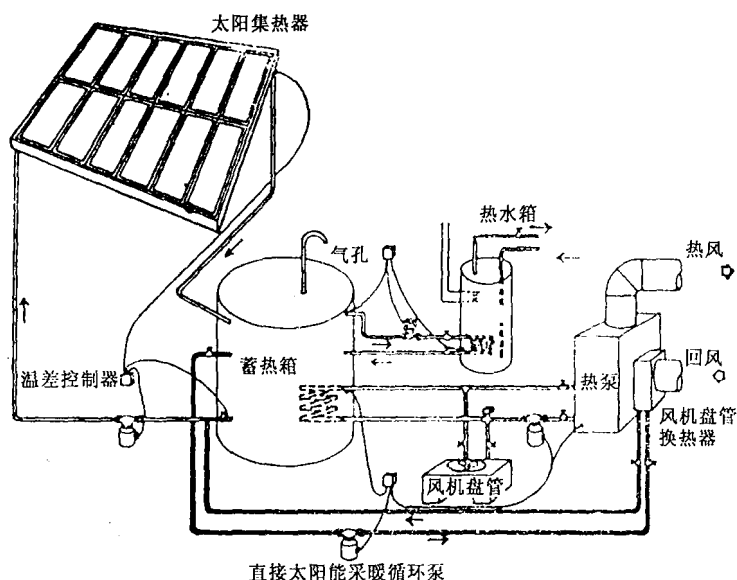


图 2-8 用太阳能辅助热泵采暖示意图

以免冲淡防冻液。另外,系统由太阳能辅助转到常规方式运行的温度由热泵特性确定。系统分析指出,这一温度是蓄热箱水温下降到与使用室外风机盘管作热源相比不利时。更确切地说,如果系统按常规方式运行时热泵性能系数 COP 较高,太阳能辅助运行方式就中止,如果可能,水源热泵的普通热源应该使用湖水、河水或井水,而不是风机盘管。第四种采暖运行方式是当环境温度低到使热泵的 COP 小于 1 时,使用电加热器,它一般与热泵装在一起,这里就不再说明了。

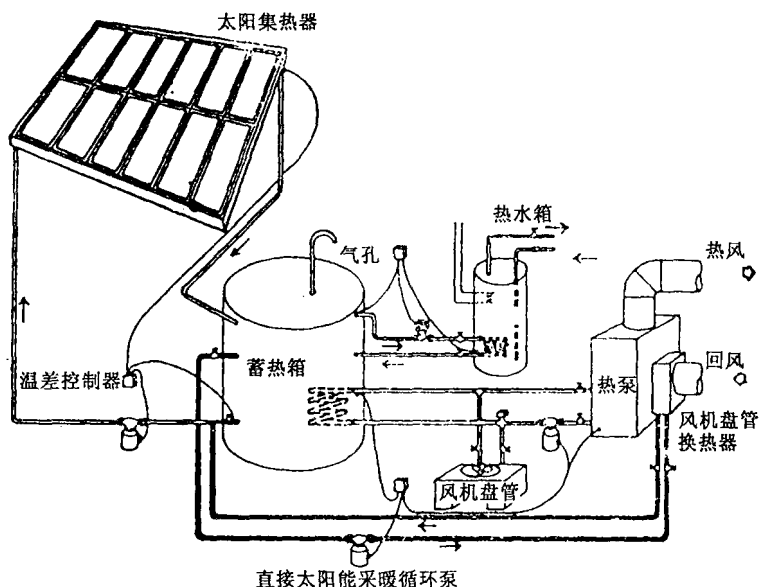


图 2-9 有热泵的太阳能系统常规采暖运行示意图

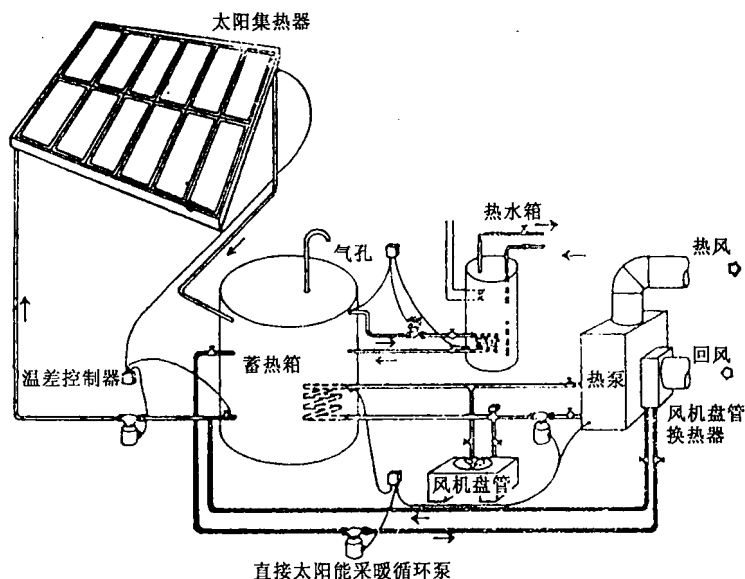


图 2-10 太阳能增强热泵的常规采暖示意图

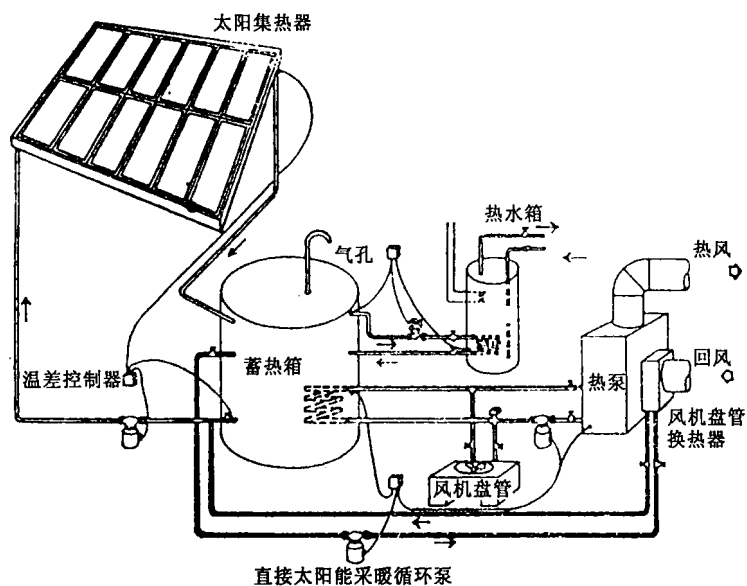


图 2-11 有热泵的太阳能系统常规空调运行示意图

图 2-10 表示当热泵连续按常规运行方式辅助采暖时,提供部分直接太阳能采暖的可能运行方式。如果蓄热箱可提供的有效直接太阳能采暖的最低温度高于水源热泵可运行的最高温度,这种运行方式是需要。例如,假定直接太阳能采暖时通过采暖器循环的蓄热箱水温至少为 120°F ,而热泵运行的水源温度不能超过 90°F ,若蓄热箱上部的水温低于 120°F ,系统应按图 2-10 的方式运行。这时蓄热箱中的水循环通过回风道中的换热器,使进入热泵的空气预热,热泵连续运行,从风机盘管、河、湖或井里不断取出热量,把送入室内的空气加热到所需的温度。用太阳能预热进入热泵的空气减少了采暖负

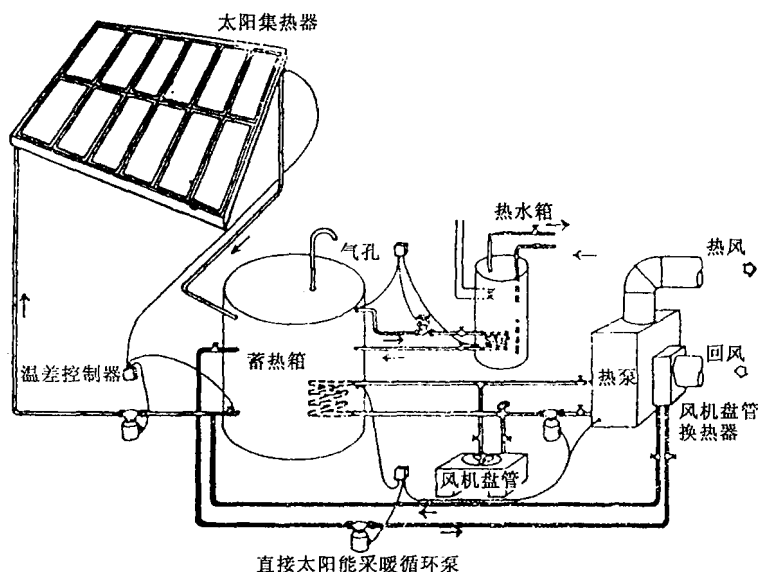


图 2-12 有热泵的太阳能系统供热水运行示意图

载,因而减小了热泵常规采暖运行的电能消耗。如果蓄热箱水温降低到低于 90°F , 系统必须切换到图 2-8 所示的太阳辅助运行方式。如果热泵运行的水源温度可以等于或高于回风道中有肋盘管换热器可能把回风加热到满足采暖需要的最低温度,图 2-10 所示的太阳能预热方式就不必要,系统可以从直接的太阳能采暖切换到太阳能辅助方式。

这种使用太阳能辅助热泵的特殊太阳能采暖系统可以在夏天提供常规空调,如图 2-11 所示。此时热泵以空调方式运行,空调房间的热量由室外风机盘管排出。如果水源是河、湖或井,从室内排出的废热就进入这些地方。此外,还可以把热量从蓄热箱转移到热水箱中,以提供家用或商用热水,如图 2-12 所示。

第二节 采暖和空调系统

太阳能热水系统把水加热,热水直接用于采暖或作为能源用于其他方面,如用作兰金循环发电机的动力。从热水中取用能量进行致冷的有几种不同装置,目前已使用的一种是吸收式致冷器,它从热水中取用热能产生接近于冻结温度的冷冻水。图 2-13 是一个与吸收式制冷器结合的太阳能采暖空调系统的示意图。

图 2-13 表示这一系统正运行在太阳能集热和室内采暖状态,这时集热器阵和(或)太阳能蓄热箱里的热能正用于采暖。在这种运行方式中,风机使回流空气通过一有翅盘管换热器,然后供室内采暖。如图 2-13 所示,主循环泵把有翅盘管换热器出来的水泵入集热器加热,热水流入蓄热箱,然后再由蓄热箱泵出,流经有翅盘管换热器,回到集热器阵底部。此时主循环泵和采暖循环泵都处于运行状态,这只有在集热器面上的太阳辐射

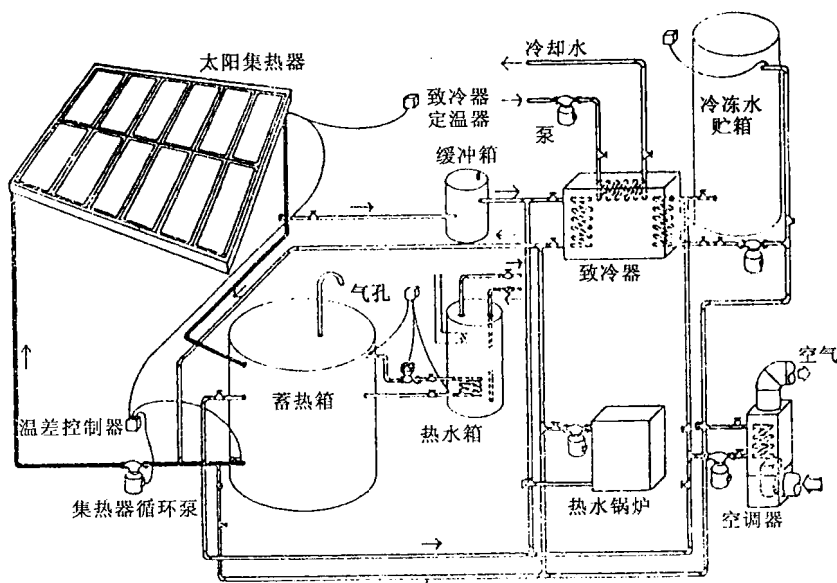


图 2-13 太阳能采暖空调系统的集热器采暖示意图

强度足够大,其温差控制器可使主循环泵运行而又需供暖时才发生。如果需要采暖而集热器面上的太阳辐射强度不够使主循环泵运行,那么热能就从蓄热箱传送到有翅盘管换热器以加热空气,如图 2-14 所示。这是晚间太阳能采暖的一般状态。只从蓄热箱使用热水的直接太阳能采暖,其水温应足以使空气加热到需要的温度。

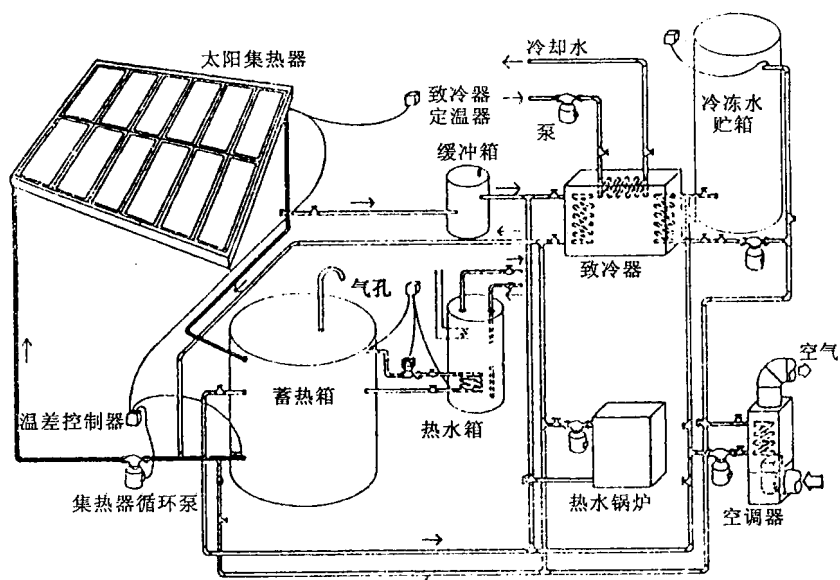


图 2-14 太阳能采暖空调系统的蓄热器采暖示意图

图 2-15 表示无需采暖和空调时太阳能集热和蓄热。当集热器面上的太阳辐射强度足以使主循环泵运行时,水就从蓄热箱底部通过集热器阵到蓄热箱的顶部,与图 2-3 所

示的单一太阳能采暖系统和图 2-7 所示的太阳能辅助热泵系统运行状态相同。所不同的是该系统仅在集热器出来的水温不足以使致冷器运行,或在冬季致冷器被人为关闭时,才发挥蓄热箱的蓄热作用。

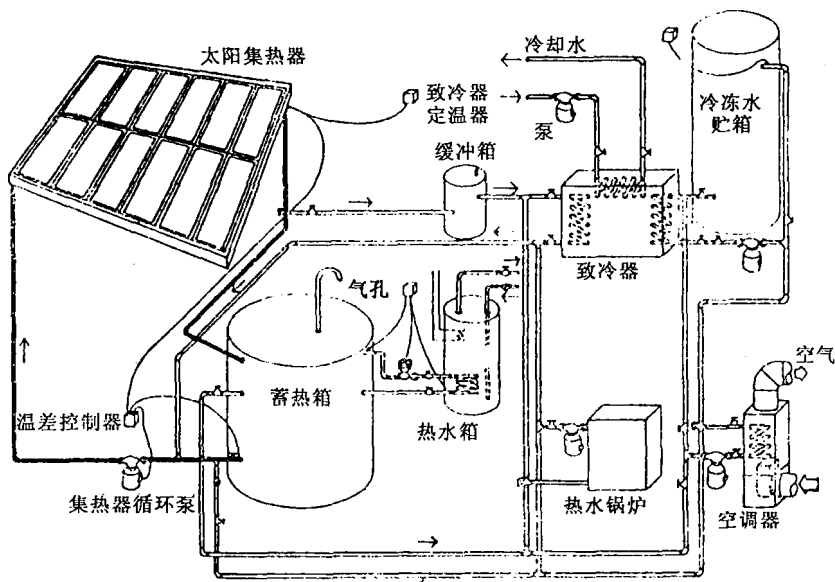


图 2-15 太阳能采暖空调系统的集热蓄热示意图

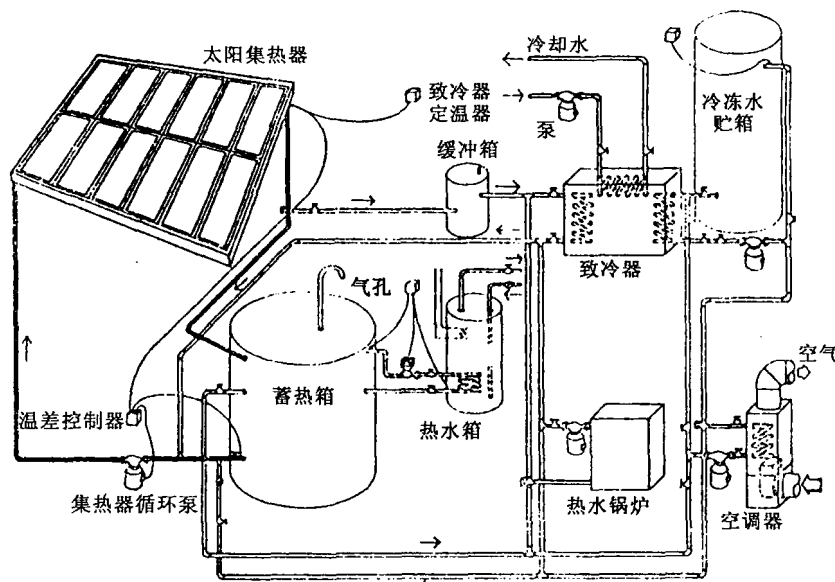


图 2-16 太阳能采暖空调系统常规采暖运行示意图

如果蓄热箱里的水温不够高,不能直接用于室内采暖而室内又需采暖时,就启动辅助热水锅炉。辅助锅炉可用电或烧天然气、油、煤甚至木柴等。图 2-16 表示启动辅助锅炉的采暖运行状态。同样,如果需要空调时,蓄冷箱里的水温达不到可进行有效空调的

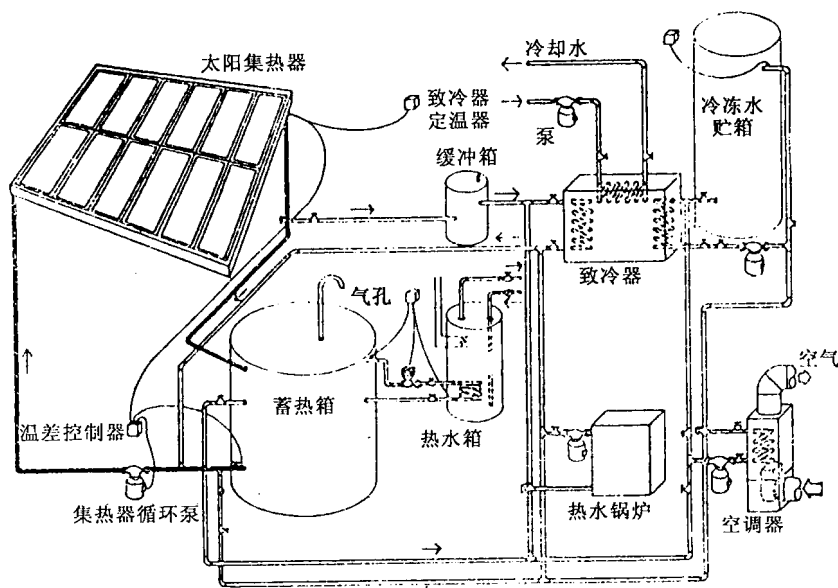


图 2-17 太阳能采暖空调系统常规空调运行示意图

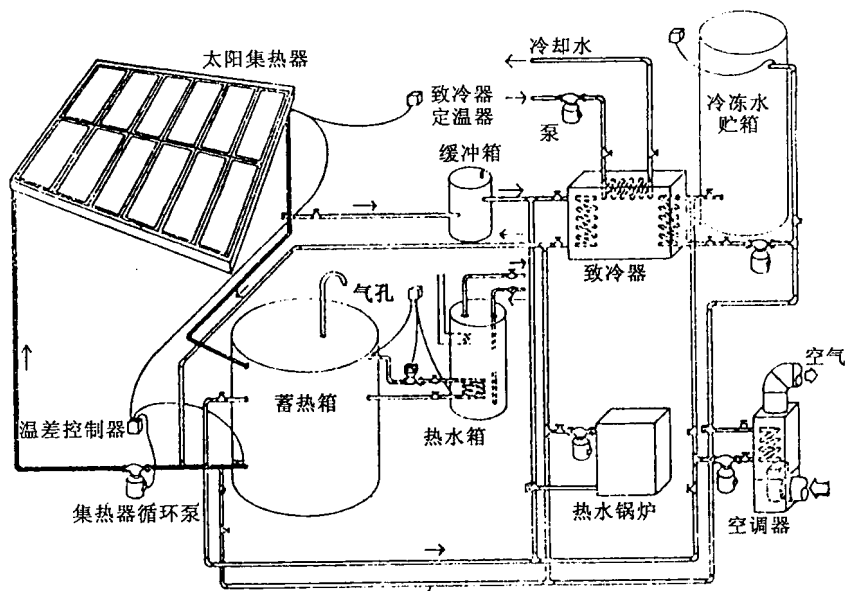


图 2-18 太阳能采暖空调系统的太阳能空调运行示意图

低温度,这一辅助锅炉就给致冷器提供热水,以使致冷器正常运行,获得所需的冷冻水。(见图 2-17)冷冻水通过有翅盘管换热器,使流过的空气降温。这样,使用常规能源的热水锅炉起了辅助采暖和空调的作用。

图 2-18 表示该系统处于太阳能空调运行状态。在夏天,当太阳辐射强度足以开动空调系统而且需要空调时,主循环泵把水泵入集热器阵,然后通过一个三通阀使热水流过一个小的缓冲箱,到致冷器的发生器,然后再回到主循环泵。每当致冷器运行时都要

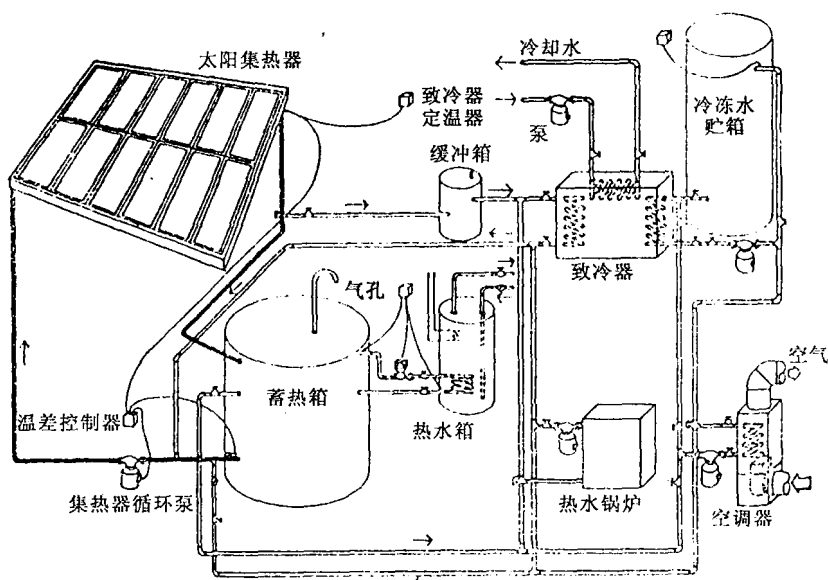


图 2-19 太阳能采暖空调系统的蓄冷运行示意图

接通冷却水,冷却水循环通过冷却塔或有翅的盘管,也可以直接排入湖或井中。蒸发器出来的冷冻水通过空调系统的盘管再回到蒸发器,图 2-18 只画了一个换热器,通常每个房间至少安一个。

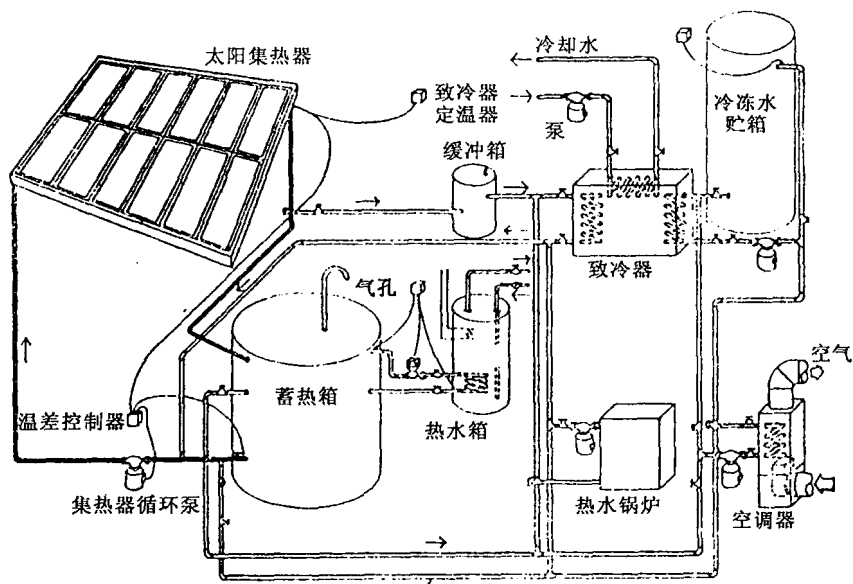


图 2-20 太阳能采暖空调系统的蓄冷箱空调运行示意图

缓冲水箱可减小集热器阵出来的热水温度的瞬时波动,因而防止了致冷器的过度循环。如果太阳辐射强度高到足以使集热器在空调状态下运行而无空调需要时,致冷器出来的冷冻水贮存在蓄冷箱里(见图 2-19)。这样,无论有没有空调需要,当集热器的水温达到一定值时,致冷器都可以运行。吸收式致冷器的 COP 与太阳能系统来的水温有很

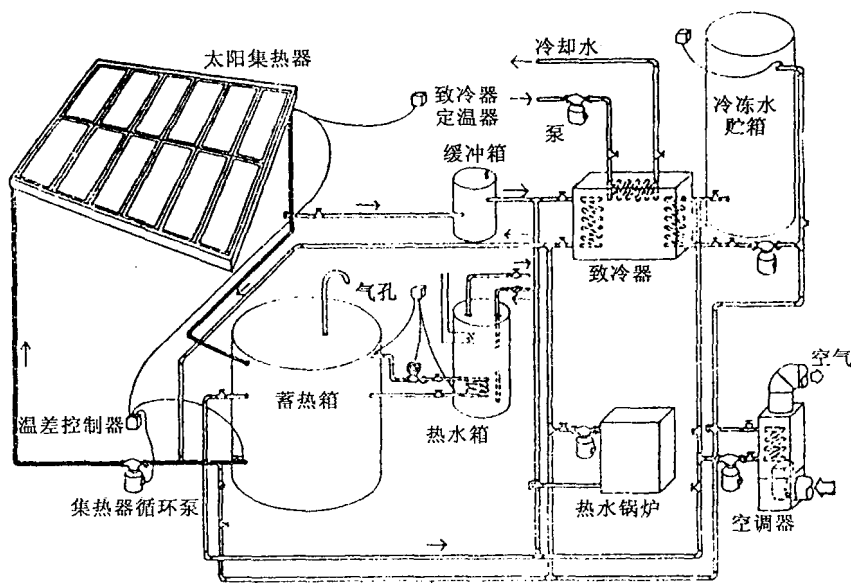


图 2-21 太阳能采暖空调系统供热水运行示意图

大关系;当需要空调时,热水从集热器直接到致冷器的运行状态一般比先把热水贮存在蓄热箱里然后再用要好,因为在离热时,集热器出来的热水与水箱里较冷的水混合,加上水箱里还有一些热损失,因而使用时水温就低于直接从集热器出来的水温。因此兼有蓄热和蓄冷的双箱太阳能空调系统比单蓄热箱系统热力学效率高。然而单箱系统比较简单,在某些情况下比效率高、复杂而昂贵的双箱系统可能更经济实用。

如果在需要空调时集热器阵上的太阳辐射强度不足以开动致冷器,可用蓄冷箱里的冷冻水循环进入空调换热器,如图 2-20 所示,此时冷冻水温应足够低。图 2-21 表示与图 2-4 和 2-12 同样方式的家用热水循环。

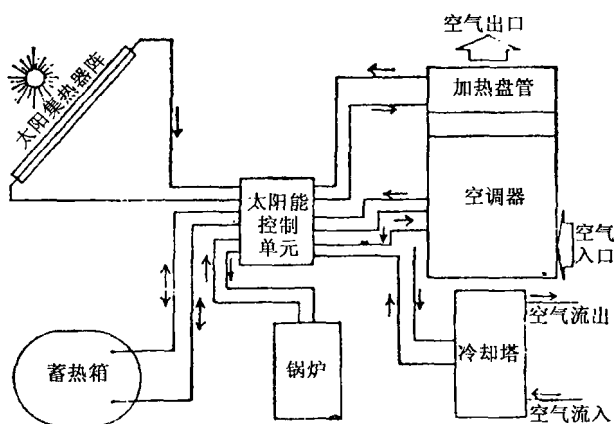


图 2-22 有电/水控制模拟的太阳能采暖空调系统方框图

图 2-22 是带有电/水控制器的太阳能采暖空调系统方框图:控制器使水通过集热器

阵、进出蓄热水箱、进出致冷器与冷却塔之间的锅炉、通过采暖盘管,控制器还对系统中各种泵、阀门和风机起作用。由于这类简单的控制方式大大简化了现场系统的安装,已被许多太阳能采暖和太阳能采暖空调系统所采用。

图 2-1 到图 2-19 所介绍的太阳能热水采暖、带太阳能辅助热泵的太阳能采暖以及太阳能采暖空调系统是种类繁多的太阳能采暖、通风和空调系统中的三个例子。系统的设计者最终要在系统简单化与效率之间进行选择。例如,图 2-5 至 2-19 所介绍的系统由于能够进行多种运行方式,提供了许多系统最佳性能选择的机会。带太阳能辅助热泵的太阳能采暖系统可以使辅助采暖的电耗最小,因为它具有低温太阳能集热的优点,虽然对于直接采暖温度太低。简单的太阳能系统尽管热效率较低,往往比较可靠而且初投资少。

第三节 空气集热器系统

太阳能采暖系统还可以用空气集热器(图 2-23)和卵石床蓄热器(见图 2-24)。通过集热器的典型空气流量是每平方米集热面积每分钟 2 立方英尺(或 $0.6 \text{ 米}^3/\text{分} \cdot \text{米}^2$)。在白天,从集热器出来的热空气可以直接进入空调房间,不需要换热器。由于空气的热容大约只有水的 25%,通过集热器的空气温升一般比水集热器大,但是空气集热器入口的空气直接来自空调房间,其温度比水系统的来自蓄热水箱的水温低。

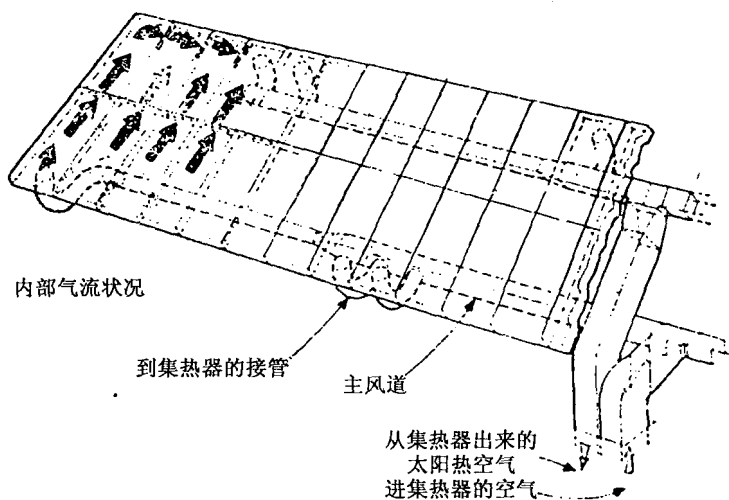


图 2-23 内部多通道的空气集热器示意图

大小均匀的卵石堆[典型的是 2~4 英寸(5~10 厘米)直径]作为空气型太阳能采暖系统的蓄热分系统。集热器出来的热空气向下通过石头层,上部的石头几乎变得与热空气一样热,尽管底部的石头仍然冷得多。在卵石堆里形成的热分层使蓄热热传递几乎在

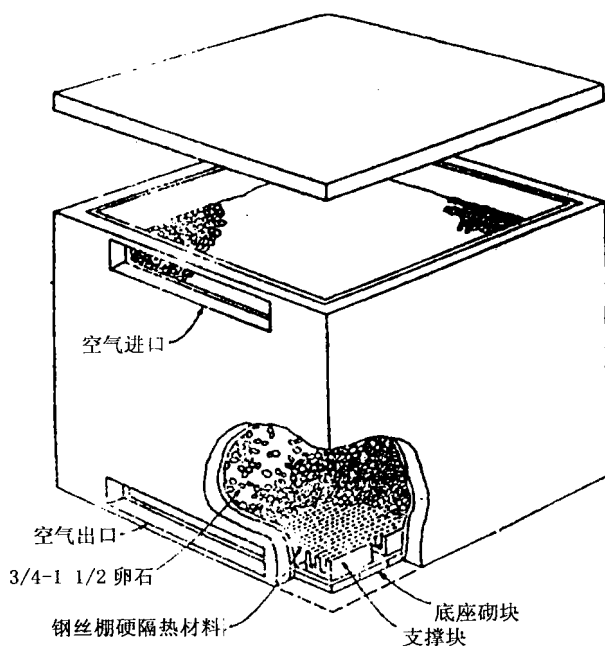


图 2-24 卵石床蓄热器示意图

相同的温度下进行。例如,卵石床初始温度均匀,同为 20°C ,在蓄热时,从顶部进入的热空气温度为 60°C ,热空气流过卵石床,由上至下依次把石头加热,形成了热分层;上部石头热,下部石头冷;当顶部石头被加热到 60°C 时,底部可能仍在 20°C 。此时,进入的热空气从上到下温度降低,从底部出来时差不多降到 20°C 。然后,被加热的石头深度逐渐增加,直到全部石头接近 60°C ,卵石床蓄热能力达到饱和。

当冷空气从底部通风道进入并向上流过卵石箱时,蓄热器中贮存的热能释放出来使空气加热。例如,若从底部进入的空气温度为 20°C ,到达卵石床顶部时可被加热到接近 60°C ,稍低于热卵石的温度。随着放热循环的继续,冷热卵石之间的过渡区向上移动,这样热卵石区的深度就逐渐减小。若卵石床里贮存的热能全部释放完,所有石头的温度将降到 20°C 左右。一个典型的垂直分层卵石床蓄热器的卵石含量约为每平方米集热器面积 250 公斤。

图 2-25 表示一个典型的太阳能采暖空气系统的太阳能直接采暖运行情况。在这一运行情况中,房间有采暖需要而集热器上的太阳辐射强度又足以满足所需的采暖量。该系统装有两台风机,一台是集热器风机,另一台是供暖风机,其作用与水系统中的集热器泵和供暖泵类似。太阳能直接采暖时,两台风机都运行,使房间里的空气直接进入太阳能集热器。从集热器出来的热空气循环流过辅助加热炉。若从太阳能集热器出来的热空气足够房间采暖,就不用辅助热源,此时卵石床既不放热也不蓄热。热空气系统使用电动风门控制气流就像水系统使用阀门一样。在直接采暖运行时,空气控制器中两个电动风门转到使空气流过辅助加热炉的位置。在集热器出口风道里加盘管也可以使用该

系统提供热水。

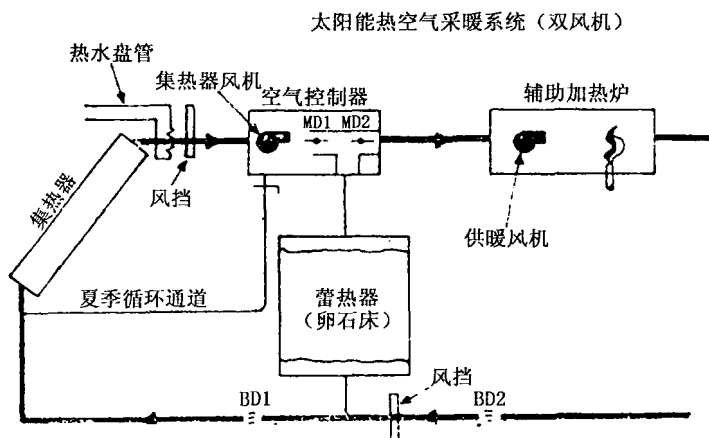


图 2-25 太阳能采暖空气系统的集热器直接采暖运行示意图

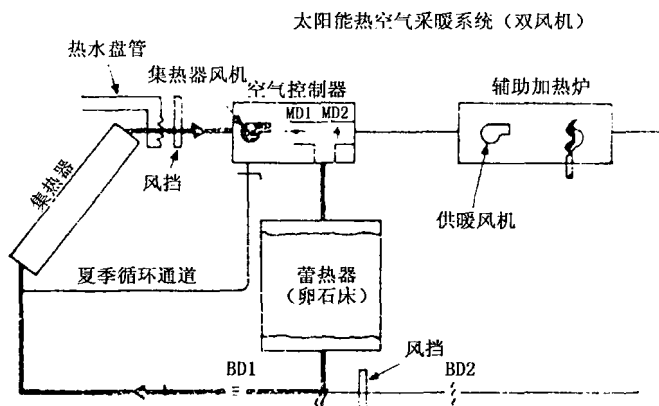


图 2-26 太阳能采暖空气系统的蓄热运行示意图

当集热器阵上的太阳辐射强度足以收集有用热而房间又不需采暖时,集热器风机开动而采暖风机停止(见图 2-26),通向辅助加热炉的电动风门(MD2)关闭。从集热器出来的热空气向下流过卵石床蓄热器,把热量贮存在卵石里,这一过程可以连续到卵石床里的石头被均匀加热到接近集热器出口温度,蓄热器达到饱和,不能再贮存更多的热能为止。

当太阳能集热器上的太阳辐射强度不够收集有用热(阴雨天、晚上等)而房间又需采暖时,可以卵石床蓄热器取热。此时关闭空气控制器中第一个电动风门 MD1,打开第二个电动同 MD2,启动供暖风机,使房间出来的空气循环向上通过卵石床蓄热器,再返回供暖调节系统。当蓄热器蓄满热时,进入调节器的空气温度只比从集热器直接出来的气温低几度。图 2-27 表示这一热空气系统的蓄热器为房间供暖时的运行情况。这一过程将持续到蓄热床里贮存的热量差不多放完,然后打开辅助热源继续为房间供暖,这时风机和风门均保持在先前的状态,不论卵石床里的热是存放还是继续排空,也不管卵石床出