

文章编号: 1671 - 3354(2010)04 - 0070 - 04

## 新型太阳能收集与储存装置

—— 适时跟踪太阳且定向输出光能的太阳能收集与高温储能技术

何 攀<sup>1</sup> 周 旭<sup>1</sup> 戴 燕<sup>1</sup> 欧阳浩<sup>1</sup> ,  
田林雳<sup>2</sup> 胡 骅<sup>1</sup> 郑卫刚<sup>1</sup>

(1. 武汉理工大学能源与动力工程学院 湖北 武汉 430063; 2. 武汉理工大学汽车工程学院 湖北 武汉 430070)

**摘要:** 此装置能对太阳的运动自动进行跟踪,使凹面镜保持实时最大采光面积;利用光能传输管定向输出光能并存储在热容器中转换为热能供利用。此装置集成了太阳灶与太阳能热水器的功能,也可用于规模化的太阳能热发电。

**关键词:** 自动跟踪; 定向输出光能; 实时采光; 储热容器

**中图分类号:** TK512 **文献标志码:** A

## Newtype solar energy collection and storage device

HE Pan<sup>1</sup>, ZHOU Xu<sup>1</sup>, DAI Yan<sup>1</sup>, OUYANG Hao<sup>1</sup>, TIAN Linli<sup>2</sup>, HU Hua<sup>1</sup>, ZHENG Weigang<sup>1</sup>

(1. School of Energy & Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China;

2. School of Automobile Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** This solar energy collection and storage device integrates the function of solar stove and solar water heater as a whole. It is able to trace the sunshine automatically and accurately, keep its concave mirror optimal area real time to receive the sunlight. The light energy is transmitted through a light-pipe directionally to a heat container and turned into heat energy for utilization. This proposal could be used in solar power generating as well.

**Key words:** tracing automatically; light energy transmitting directionally; real time receive sunlight; heat container

近年来,能源及环境形势日益严峻,各国都掀起了开发新能源的热潮<sup>[1-3]</sup>。太阳能开发是新能源开发中的热点,也是最具有开发潜力的新能源。然而目前各种开发太阳能的方案各自都存在一定的缺点,造成了它们普遍市场化的巨大瓶颈。

中国科学技术大学的陈应天教授设计的固定焦点、自旋加仰角的跟踪方式,目前在太阳能收集领域被众多国内外专家叫好,但是也存在3个问题:①当太阳方位改变时,需要对跟踪系统中小的反光镜进行微调,跟踪系统比较复杂;②反光镜的有效反光面积会产生很大的变化,导致了整体效率较低及系统的输出功率变化较大;③对于这种每一个跟踪系统对应着一个集热器,不利于防止热能的散失和大规模统一利用及储

存热能。目前的槽式、碟式和塔式太阳能发电装置存在的也是上述部分或全部问题。太阳灶中存在的问题主要是用热设备需要随着跟踪运动而运动,造成使用不便;或者利用工质将集热器收集到的热能转移到固定的地方,造成热损失较大,热能利用温度较低,进而影响其热效率和使用范围。

在太阳能热开发利用中,要达到良好的使用效果及更高的经济效益,就必须同时解决上述3个问题,为此设计并试制了该太阳能收集与储存装置。此装置利用凹面镜聚光,在精确跟踪太阳的同时利用光能传输管向定点输出收集到的光能,光能在储热容器中转化为热能进行高温储存或利用<sup>[4]</sup>。此装置可用于太阳能炊事,也具有太阳能热水器的功能;多个聚光系统与太

收稿日期: 2010 - 03 - 14

作者简介: 何 攀,男,本科生,湖北省太阳能研究会会员。

基金项目: 国家大学生创新性实验计划项目(071050021)。

型储热容器组合在一起还可以用于一定规模的太阳能热发电。

1 装置概况

整个太阳能收集与储存装置包含三大系统: 光学系统、机械跟踪系统、光热转换和热能储存及利用系统。

1.1 光学系统

光学系统如图 1 所示。首先采用精确的凹面镜聚光, 然后利用透镜将汇聚光还原成能量密度很高的平行光, 再利用光能传输管传输到储热容器中的密闭光热转换空腔中进行光热转换、储存或利用。两段彼此相连的光能传输管可以相对转动, 使采光系统在精确跟踪太阳、实时以最大面积采光的同时定向输出光能, 实现太阳能的高效采集。图 1 中所示活动接头的地方光能传输管可以独立绕其轴线转动。光能以平行光的形式进行传输, 这样可以有效减少光能在传输过程中的反射次数, 从而有效减少反射损失。光能需要变向传输的地方利用平面镜或光的全反射来实现。

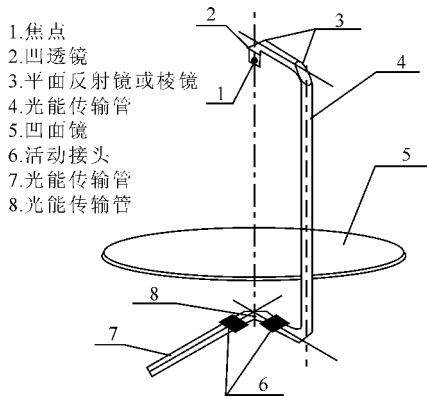


图 1 光能传输系统示意图

1.2 机械跟踪系统

机械部分结构如图 2 所示。机械部分由固定不动的支座和可以转动的支架及相关配件组合而成。跟踪系统转动部分的重心与转动中心基本重合, 使系统在跟踪时不必克服因重心偏离转动中心产生的额外力矩, 有利于降低跟踪成本。同时还保证了整个系统转动时所需的空

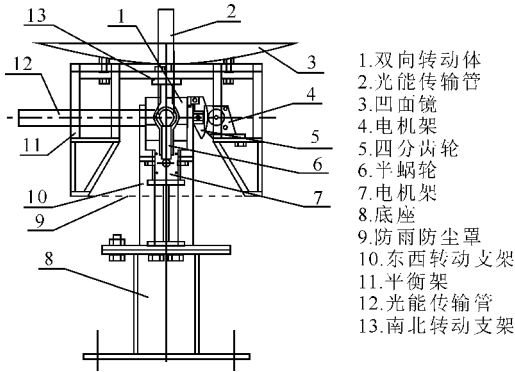


图 2 机械部分结构图

间。自动控制系统和储热容器未在机械部分结构图中画出。自动跟踪系统主要由传感器、控制电路、单片机、驱动器等组合而成。利用两个步进电机, 分别对太阳的东升西落和南北回归运动进行相对独立的跟踪。采用反馈控制, 准确地将误差控制在设定的范围内, 简洁地实现对太阳的精确跟踪。

方向传感器的结构如图 3 所示: 两个光敏电阻对称安装在遮光板的两侧, 再竖直固定在平底板上即可。做两套方向传感器分别安装在凹面镜上的不同位置, 使遮光板与凹面镜的轴线平行, 并使遮光板两侧的传感器的连线分别指向东西和南北方向。传感器根据遮光板两边光强差将不同的信号送到控制器, 控制器根据输入信号向驱动器发送不同的控制信号, 从而控制电机的转动, 进而实现对太阳的跟踪。

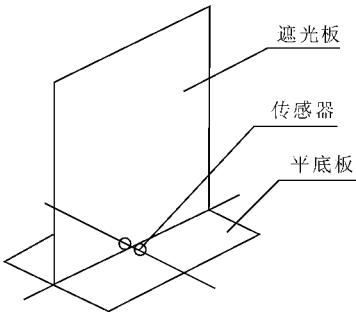


图 3 方向传感器示意图

跟踪系统的跟踪状态用指示灯或者微型显示器表示出来。在机械系统中设定几个限位开关, 当转到跟踪的极限位置后自动复位到初始位置。在传感系统中设置一个光强检测器, 当太阳光没有跟踪价值的时候使系统能够自动停止运行, 只要光强达到设定值又能自动运行。另外通过传感器和软件程序的结合使系统具有快速追踪功能, 当即时状态与最佳状态差距较大时, 系统能够快速追踪目标。储热容器中安置一个温度传

感器 连接到控制系统中 ,当温度达到上限时 ,自动停止对太阳能的采集。最后整个系统还设置了一块控制面板 ,以便于人机交流 ,对系统进行快速的人工调整和控制。

1.3 光热转换、热能储存及利用系统

光热转换、储存及利用系统的核心是储热容器。储热容器中心安置光热转换空腔 ,该空腔外面填充储热介质 ,再利用一层厚度适当、导热率低、耐高温的隔热介质将储热介质与容器壁隔开。在隔热介质中安置两层连通的簧状冷却水管 ,两层簧状冷却水管下端连接在一起 ,冷却水从外层的上端进 ,最终通过内层的上端出。通过这两层簧状冷却水管在绝热材料中的合理布置 ,使冷却水既能充分吸收向外传递的能量 ,又能把冷却水加热到一定的温度。向外传递的热量几乎全部被循环冷却水吸收 ,将此冷却水储存在保温水箱中加以利用 ,从而充分利用收集到储热容器中的热能<sup>[5]</sup>。利用耐高温、热容较大的耐火材料作为高温储热介质 ,采用材料的显热高温储能 ,为能量的高温利用做好准备。从外壁到中心有适量的孔 ,用来把光能通入到光热转换空腔中。

根据不同的需要 ,储热容器可分为家庭式和电厂式两种。如果是家庭式储热容器(见图4) ,是将冷却水通到储热水箱 ,用储热水箱储存一定量的热水 ,相当于目前太阳能热水器的功能;储热容器则可以放在厨房作为炊事热源 ,只需将顶盖打开 ,取出其中可以活动的耐高温隔热板 ,直接将锅放在高温储热介质或者高温导热板上就可以烧菜做饭。

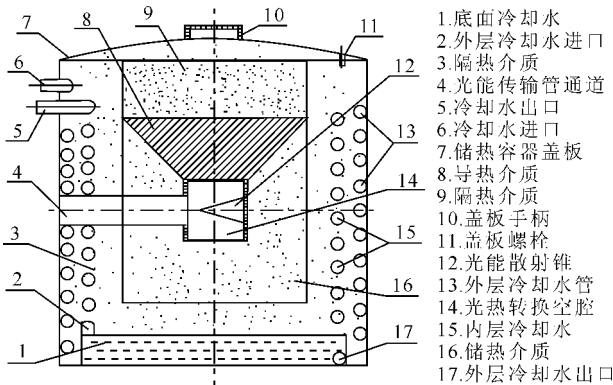


图4 储热容器结构示意图

如果是电厂式储热容器 ,所需体积很大 ,做成球状有利于节省材料 ,将经过冷却管后得到的热水作为

工质直接通入置于储热容器中的锅炉 ,充分利用这一部分热能。总之 ,储热容器通过隔热材料有效地防止热传递散失能量 ,又采取冷却 - 能量回收措施 ,这样既可以达到通过冷却保证容器的安全运行的目的 ,又可以回收储热容器缓慢向外传递的能量。实现能量的高效储存及利用。

1.4 设计时考虑的主要问题

(1) 机械部分既要灵活跟踪 ,又要有光能传输管的空间 ,以便把收集到的光能传输到固定的地方。跟踪系统要简洁可靠 ,能达到精度要求。转动部分重心要近似与转动中心重合 ,以便降低跟踪成本。

(2) 反射膜必须达到一定的反射率 ,或者通过满足全反射条件充分利用全反射 ,满足系统安全、高效率的要求。

(3) 储热容器绝热性能要好;更重要的是必须保证安全性;结构要合理 ,能方便、充分地利用热能。整个系统成本必须合理 ,性价比要达标。

2 理论计算

2.1 风阻计算及机械校核

外界对系统的影响主要是风力 ,假设在 8 级风的环境中 ,风速  $v$  为 20 m/s 根据公式:

$$p = \rho v^2 / 2$$
$$F = C_w A \rho v^2 / 2$$

其中:  $p$  为风压;  $\rho$  为空气密度 ,为 1.29 kg/m<sup>3</sup>;  $C_w$  表示阻力系数 ,此处取 1;  $A$  为有效采光面积 ,对于一般家庭使用 ,凹面镜的直径设定为 3 m ,面积约为 7 m<sup>2</sup>。

蜗轮中心与转动中心重合 ,根据跟踪系统的受力特点 ,当风向与凹面镜的轴所成的夹角为 45° 时 ,要求电机承受的力最大 ,代入以上公式得  $F_{max}$  约为 1 300 N ,此时力臂为 20 cm ,蜗轮直径为 10 cm ,蜗轮蜗杆的传动比为 100 ,蜗杆直径 4 cm ,在此情况下蜗杆所需扭矩为 52 N · cm ,所选步进电机扭矩为 15 kg · cm ,满足要求 ,安全系数达到 3。由于转动速度非常缓慢 ,给步进电机配一个传动比更大的变速箱时 ,可以大幅减少控制系统的设备及跟踪成本。

对于机械部分 ,要考虑底座和支柱应具有一定的刚度 ,以便增加系统的稳定性 ,但是由于系统受力不

大,用普通钢材就可以满足要求。

## 2.2 采光效率计算

对于光能的反射,根据中国科学院光电技术研究所研究员黄伟的报告,用于激光的反射膜反射率达99.9%以上,最高达99.963%,损伤阈值达 $50 \text{ kW/cm}^2$ 。目前国内已实现的对太阳光的反射率为 $97.85\%^{[6]}$   $0.9785^{16} = 70.63\%$ ,也就是说,即使反射16次(该装置理论上只需反射7次就可将光能传到储热容器中),也还能有效传输70%的能量。但是在实际传输过程中,光线与反射面夹角较小,更有利于光能的传输,因为光线与反射面的夹角越小,反射率越高。国外还有报道称反射率已经超过99%,根据目前的反射膜制作技术,本作品具有良好的发展潜力。在光能传输的过程中,还可以通过充分利用全反射来减少传输损失。如果反射膜的反射率能达到98%以上,该技术将具有广阔的市场前景,有望产生良好的经济及社会效益。

## 2.3 储热容器计算

对于一般家庭,使用 $\phi 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$ 圆头储热容器,外层填充150 mm厚的绝热材料。中心安置 $\phi 100 \text{ mm}$ 的球形光热转换空腔,其余填充储热介质,导热系数 $\lambda_1$ 为4,中心设计温度为 $1000^\circ\text{C}$ ,外界温度为 $20^\circ\text{C}$ ,绝热材料用超轻质耐火砖,允许温度: $1150 \sim 1300^\circ\text{C}$ ,密度为 $540 \sim 610 \text{ kg/m}^3$ ,导热系数 $\lambda_2$ 为 $0.093 + 0.00016\{t\}^\circ\text{C}$ ,两端采用圆封头,两端恰好属于球壳传热,中间类似于无限长圆筒壁导热,计算较简单。

对于圆筒壁:

$$\text{热流量 } \phi_1 = 2\pi \ln(t_1 - t_2) / \{ [\ln(r_2/r_1)] / \lambda_1 + [\ln(r_3/r_2)] / \lambda_2 \}$$

对于球壳:

$$\text{热流量 } \phi_2 = 4\pi \lambda (t_1 - t_2) / (1/r_1 - 1/r_3)$$

总的热量损失:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2$$

代入数据得:  $\phi_1 = 616.6 \text{ W}$   $\phi_2 = 391 \text{ W}$

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 = 616.6 + 391 = 1007.6 \text{ W}$$

以上数据是在隔热介质中未安放冷却水管时计算

得出的,当储热容器中的储热介质达到设定温度( $1000^\circ\text{C}$ )时,在隔热介质中温度分别为 $150^\circ\text{C}$ 和 $50^\circ\text{C}$ 的地方安置两层直径为12 mm、螺距为20 mm、连通的冷却水管,就可以将储热容器向外传递的热量回收70%以上。由此可以看出,通过此储热容器可以实现能量的高温、高效储存和利用。

## 3 结 语

该装置的设计、模型试制及部分试验结果表明,此方案可以同时解决太阳能热利用中的3个主要问题:通过自动跟踪系统分别对太阳两个方向的运动进行相对独立的精确跟踪,实现了凹面镜保持实时以最大采光面积采光;在系统跟踪太阳的同时利用光能传输管实现了定向输出光能;高效可靠地利用储热容器可以实现热能的高温高效储存和利用。

此装置集成了太阳灶和太阳能热水器的功能;将多个聚光系统与大型储热容器组合在一起还可以用于一定规模的太阳能热发电,具有较强的理论意义及良好的实用价值。

由于内容较多,文中仅对此装置的基本结构及理论计算作出简单陈述,对于其三大系统的实验论证,将在后续的论文中详述。

此项目在研究的过程中,得到田旭教授和钱作勤教授等的悉心指导,特此致谢。

参考文献:

- [1] Wang Gehua, Ai Desheng. Introduction of New Energy [M]. Chemical Industry Press, 2003.
- [2] Su Yaxin, Mao Yuru, Zhao Jingde. Introduction of New Energy and Renewable Energy [M]. Chemical Industry Press, 2002.
- [3] China Association for Science and Technology. Report on Advances in Energy Science and Technology [M]. China Science and Technology Press, 2008.
- [4] 刘祖平. 一种跟踪和聚光的全新理论 [J]. 中国科学技术大学学报, 2006, 36(12): 1245 - 1256.
- [5] Tao Wenquan. Heat Transfer [M]. Xi'an: Northwestern Polytechnic University Press, 2006.
- [6] 徐勇军, 杨晓西, 李永梅. 高反射率 Ag - Cu 纳米膜玻璃的制备与特征 [J]. 硅酸盐学报, 2008(2): 253 - 256.