

# 内嵌星形多翼接收体复合抛物面聚光太阳能空气集热装置性能对比

谭兆博<sup>1</sup>, 徐文甫<sup>1</sup>, 常泽辉<sup>1,2</sup>, 李欣亮<sup>1</sup>

(1.内蒙古工业大学 能源与动力工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051; 2.内蒙古工业大学 太阳能应用技术工程中心, 内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:** 针对玻璃真空管接收体存在间隙漏光、表面换热等缺陷,文章采用内嵌星形多翼接收体的玻璃管作为复合抛物面聚光太阳能空气集热装置的光热转化部件,选用空气作为传热介质,有效缓解上述缺陷并降低装置管路对密封性的要求和低温“爆管”率。仿真计算了不同星形多翼接收体集热装置的光学性能,对比研究了星形多翼接收体翼型形态对复合抛物面聚光太阳能空气集热装置性能的影响,基于此,在实际天气条件下测试、分析内嵌星形六翼接收体和内嵌星形五翼接收体时装置的光热性能。结果表明:当入射偏角 $\alpha < 7.4^\circ$ ,装置内嵌星形六翼接收体时的光学性能要优于内嵌星形五翼接收体时的光学性能,前者的平均光线接收率、聚光效率分别为98.2%,76.4%,比后者分别高出1.2%和1.1%;在晴天测试中,当空气介质流速为4.0 m/s时,装置内嵌星形六翼接收体时的平均出口温度、最大瞬时集热量以及光热转化效率分别为37.0℃,896.45 W和75.31%,较其内嵌星形五翼接收体时分别提高了1.37%,2.80%和1.93%。测试结果可为复合抛物面聚光太阳能空气集热装置接收体的结构优化设计提供参考。

**关键词:** 接收体; 太阳能; 复合抛物面; 聚光; 星形多翼

**中图分类号:** TK513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5292(2024)12-1602-07

## 0 引言

太阳能因具有转化技术成熟、地域分布广泛、兼具光能和热能等特点被认为是可高效开发利用的可再生能源之一<sup>[1,2]</sup>。太阳能集热器是实现太阳能能量转化的核心装置,但平板式太阳能集热器存在集热面积与散热面积相等、集热温度低、占地面积大等问题,难以满足寒冷地区对高品位热能的需求。为此,太阳能聚光集热技术应运而生,该技术通过提高单位集热面积的供能品位和光热转化效率,实现了太阳能的高效率、低成本应用<sup>[3]</sup>。在产业化应用的太阳能聚光装置中,复合抛物面聚光装置因具有接收半角大、可实现固定放置运行、“内聚光”结构、能接收部分散射光等特点,具有较好的中、低温应用前景<sup>[4]</sup>。

为提高复合抛物面聚光装置的光热性能,Zhang X<sup>[5]</sup>设计了一种圆管接收体的非对称式复合抛物面聚光装置,研究结果表明,该装置的光学效率为42.69%,较传统复合抛物面聚光装置提高了9.20%。Xu R J<sup>[6]</sup>研究了一种采用毛细管接收体的

复合抛物面聚光装置,结果表明,当质量流量为1.15 kg/h时,装置的最大集热效率可达83.80%。赵耀华<sup>[7]</sup>设计了一种以平板微热管作为传热元件的复合抛物面聚光装置,研究发现,当空气流量从70 m<sup>3</sup>/h提高至110 m<sup>3</sup>/h时,装置的日平均集热效率从42.70%提升至45.60%。陈飞<sup>[8]</sup>设计了一种内置圆柱型接收体的贝壳形复合抛物面聚光装置,结果表明,旋转角为0°时,该装置平均光学效率为64.00%。

接收体作为复合抛物面聚光装置光热转化的核心部件,其结构形态会对复合抛物面聚光装置的光热转化性能产生显著影响。为此,Chavez-bermudez I A<sup>[9]</sup>设计了一种应用于复合抛物面聚光装置的U形双通道式矩形接收体,结果表明,当换热空气流量为0.02 kg/s时,装置集热效率达80.5%。Xu Z<sup>[10]</sup>设计了一种双通道真空管式接收体的复合抛物面聚光装置,研究表明,当换热介质流量为3.58 m<sup>3</sup>/h时,集热效率能达到59.21%。Lara F<sup>[11]</sup>在复合抛物面聚光装置圆管接收体上方安装了倒

收稿日期: 2024-02-05。

基金项目: 中央引导地方科技发展资金项目(2022ZY0085);内蒙古自治区重点研发和成果转化计划(2022YFXZ0021)。

通信作者: 常泽辉(1978-),男,博士,教授,博士生导师,主要从事太阳能光热利用技术方面的研究。E-mail: changzehui@163.com

V型翅片,结果表明,该装置接收到的太阳能为 $16.83 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$ ,比同规格未安装翅片的装置提高了 $4.06\%$ 。Santosh R<sup>[12]</sup>设计了一种内嵌椭圆形真空管接收体的复合抛物面聚光装置,测试结果显示,与内嵌圆形真空管装置相比,该装置换热介质的最高温升增加了 $59.4 \text{ K}$ 。Abdullahi B<sup>[13]</sup>研究、设计了双圆管式接收体的复合抛物面聚光装置,发现相比单圆管接收体,采用双圆管接收体聚光器的平均效率提升了 $15\%$ 。

综上所述,相较于采用真空管接收体的复合抛物面聚光装置,内嵌星形多翼接收体的复合抛物面聚光太阳能空气集热装置(下文简称为集热装置)既可以消除间隙漏光,还可以将真空管接收体表面光热转化优化为多翼腔体内光热转化,同时为采用空气作为传热介质提供了结构条件,提升集热装置在低温环境下的适用性和经济性。为此,本文研究了星形多翼接收体翼型形态对集热装置光热转化性能的影响。首先,建立内嵌星形六翼接收体和星形五翼接收体集热装置(下文简称为六翼集热装置和五翼集热装置)的三维模型,利用光学仿真软件对六翼集热装置和五翼集热装置的光线传输和光学性能进行追迹分析和计算;在晴好天气下,测试了二者的出口空气温度、瞬时集热量以及光热转化效率等热性能参数,掌握圆柱形内嵌星形多翼接收体翼型形态对入射聚焦辐射光热转化性能的影响机理。

## 1 集热装置工作原理及建模

### 1.1 集热装置工作原理

集热装置由星形多翼接收体、多组抛物反射面、侧板、玻璃盖板以及单层玻璃管等部件构成,如图1所示。集热装置的入光口宽度为 $L$ 、单层玻璃管安装高度为 $H$ 、单层玻璃管直径为 $D$ 、星形多

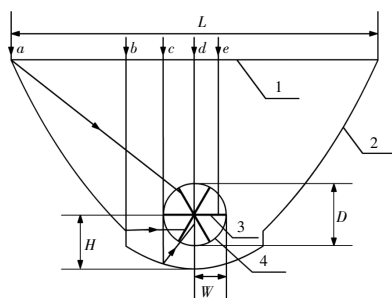


图1 集热装置结构及原理

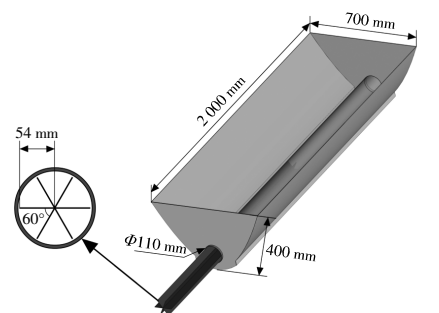
Fig.1 Structure and principle of heat collecting device

1-玻璃盖板;2-抛物反射面;3-星形多翼接收体;4-单层玻璃管

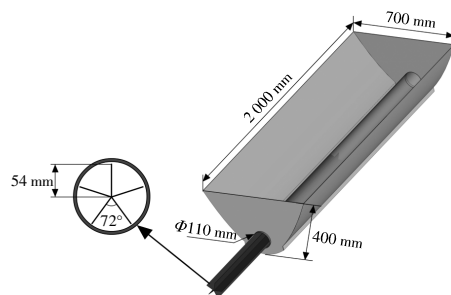
翼接收体翅片宽度为 $W$ 。其工作原理:当太阳光线从入光口处穿过玻璃盖板入射至集热装置内部时,太阳光线 $a, b, c$ 经由抛物反射面反射后,汇聚至位于焦斑位置处单层玻璃管内的星形多翼接收体翅片表面;太阳光线 $d, e$ 则会直接入射到星形多翼接收体翅片表面,被接收体翅片表面接收的太阳光线会在翅片表面进行光热转化,并通过与风机驱动的空气介质进行强制换热,对外输出热能。

### 1.2 集热装置建模

接收体作为集热装置中光热转化以及热流传输的核心单元,其结构特征对集热装置的光线吸收能力、梯级温升趋势等产生影响。为准确分析星形多翼接收体翼型形态对集热装置光热转化性能的影响机理,本文对集热装置进行三维建模,星形六翼接收体和星形五翼接收体分别由6片和5片不锈钢翅片呈辐射状焊接而成,其中接收体翅片表面均匀喷涂黑色光吸收涂料,六翼集热装置和五翼集热装置模型如图2所示。几何参数如表1所示。



(a)六翼集热装置



(b)五翼集热装置

图2 内嵌星形多翼接收体集热装置三维模型

Fig.2 Three-dimensional model of heat collecting device with embedded star multi-fins receiver

内嵌星形多翼接收体集热装置具有如下特点:①通过星形多翼接收体的设计,可以增大对入

表 1 集热装置几何参数

Table 1 Geometric parameter of heat collecting device

名称	几何参数	数值
集热装置	长×高×入光口宽度/mm×mm×mm	2 000×400×700
玻璃盖板	长×宽×厚/mm×mm×mm	2 000×700×2
单层玻璃管	长度/mm	2 000
	直径/mm	110
星形六翼接收体	长度/mm	2 000
	翅片宽度/mm	54
	翅片夹角/(°)	60
星形五翼接收体	长度/mm	2 000
	翅片宽度/mm	54
	翅片夹角/(°)	72

射太阳辐射的接收面积,形成多个对入射光线反复反射和接收的腔体,减少了由接收体表面反射逸出的光线,提高了集热装置的光线接收率;②星形多翼接收体与单层玻璃管集成为光热转化单元,将该单元应用于以气体介质换热的供能系统,在寒冷地区冬季使用,可以避免液体换热介质存在的冻结、爆管等问题;③利用星形多翼结构将玻璃管内圆柱空腔分割成数个换热腔体,可将传统玻璃真空管的表面换热优化为“体内换热”,强化了换热介质与接收体的换热,降低了换热介质驱动功耗。

## 2 集热装置光学性能分析

复合抛物面聚光太阳能空气集热装置对日跟踪精度要求低,在非追日集热过程中,集热装置的入射偏角会随太阳高度角的变化而变化,进而影响集热装置的光学性能。因此,在不考虑太阳方位角影响的前提下,对集热装置在实际集热过程中

径向入射偏角(对应太阳高度角)随时间的变化趋势进行计算,并设定正午时刻入光口接收到的光线为正入射,集热装置入射偏角随集热时间变化趋势如图 3 所示。

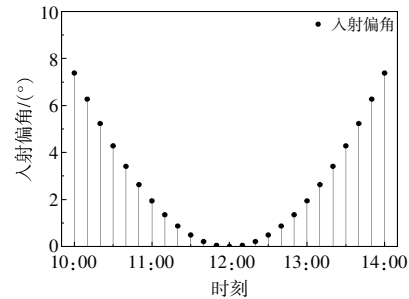


图 3 入射偏角随时间变化

Fig.3 The variation of the incident angle with time

从图 3 可以看出,入射偏角随运行时间的变化趋势以 12:00 为轴呈对称分布,在整个运行时间段,入射偏角呈现先减小后增大的变化趋势,且在 12:00 时入射偏角达到最小值 0°,在 10:00 和 14:00 时入射偏角达到最大,均为 7.4°。

在对集热装置进行仿真计算前,首先将集热装置三维模型导入光学仿真软件中,在集热装置入光口建立与其面积相等的平行等距格点光源,设置光线条数为 100 000 条,并将格点光源的辐照度设定为 750 W/m<sup>2</sup>;设置星形多翼接收体的吸收率、抛物反射面的反射率以及单层玻璃管和玻璃盖板的透射率分别为  $\alpha=100\%$ ,  $\rho=90\%$ ,  $\tau=92\%$ 。在对集热装置进行光线追迹时,考虑到其入射偏角以 12:00 为对称轴呈对称式分布,因此仅对上午时刻的六翼集热装置和五翼集热装置进行光线追迹,如图 4 所示。

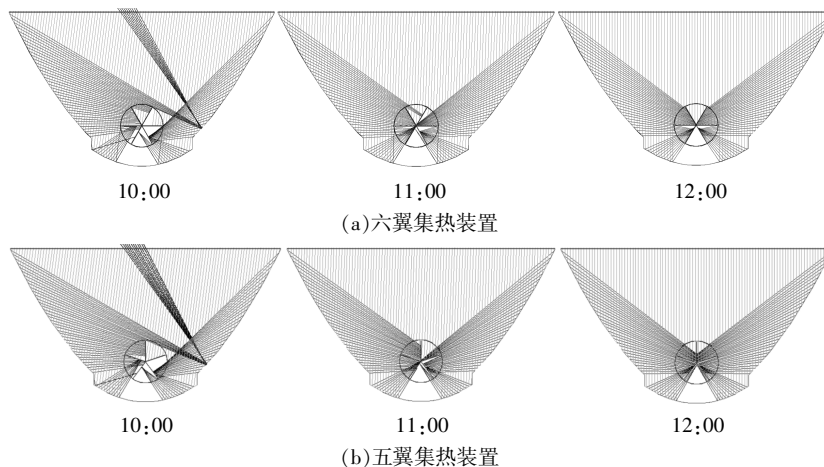


图 4 不同时刻内嵌星形多翼接收体集热装置光线追迹图

Fig.4 Ray tracing diagram of star multi-fins receiver heat collecting device at different times

在图 4 中,用光线灰度变化代表追迹光线在太阳能空气集热装置内的情况,其中入射光线、反射光线以及逸出光线分别为浅灰、深灰以及黑色。从图 4 可以看出,随着运行时间逐渐接近 12:00,入射偏角逐渐减小,被星形多翼接收体接收到的光线数量逐渐增加,在 12:00 太阳光线为正入射时,进入到集热装置入光口的入射光线均直接或经抛物反射面反射后被星形多翼接收体所接收。在相同时刻,不同星形多翼接收体各翅片表面接收到的光线数量有所不同。

为定量分析六翼集热装置及五翼集热装置光学性能受运行时间的影响,本文选用光线接收率以及聚光效率<sup>[14,15]</sup>作为六翼集热装置与五翼集热装置光学性能的评价参数,计算式分别为

$$\eta_0(\alpha) = \frac{N(\alpha)}{N(0)} \quad (1)$$

$$\eta_c(\alpha) = \frac{E(\alpha)}{E(0)} \quad (2)$$

式中: $\eta_0(\alpha)$ 为光线接收率,%; $N(\alpha)$ 为入射偏角为 $\alpha$ 时接收体接收到的光线数量; $N(0)$ 为正入射进入入光口光线数量; $\eta_c(\alpha)$ 为聚光效率,%; $E(\alpha)$ 为入射偏角为 $\alpha$ 时接收体表面接收的能量, $W/m^2$ ; $E(0)$ 为正入射时进入入光口接收的能量, $W/m^2$ 。

利用 TracePro 计算得到上午时段内嵌不同翼型形态星形多翼接收体集热装置光学性能随时间变化趋势,结果见表 2。

表 2 集热装置光学性能随时间变化  
Table 2 The variation of optical properties of heat collecting device with time

时刻	六翼集热装置		五翼集热装置	
	光线接收率/%	聚光效率/%	光线接收率/%	聚光效率/%
10:00	91.5	71.3	88.0	68.0
10:30	99.5	76.9	97.0	74.7
11:00	100.0	77.8	100.0	77.8
11:30	100.0	77.8	100.0	77.8
12:00	100.0	78.0	100.0	78.0

由表 2 可知:六翼集热装置和五翼集热装置的光学性能参数随运行时间的变化趋势相同。在 11:00-12:00,二者的光线接收率均为 100%;而在 10:00 时光线接收率和聚光效率为运行期间的最小值,此时,六翼集热装置和五翼集热装置的光线接收率和聚光效率分别为 91.5%,71.3%和 88.0%,68.0%,六翼集热装置的光线接收率及聚

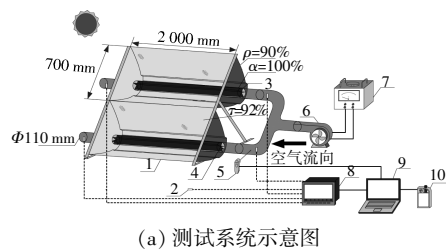
光效率均优于五翼集热装置;10:00-12:00,前者的光线接收率、聚光效率平均值分别为 98.2%和 76.4%,比后者分别高出 1.2%和 1.1%,这是因为与星形五翼接收体相比,星形六翼接收体的外缘更贴近于圆柱型接收体,与入射光线的接触面积更大,接收太阳辐射的能力更强。

### 3 星形多翼接收体对集热装置光热性能的影响

为了分析实际工况下星形多翼接收体翼型形态对集热装置光热性能的影响,在户外搭建集热装置性能对比测试系统。利用该系统测量太阳辐照度、六翼集热装置和五翼集热装置的进、出口空气温度,计算瞬时集热量以及光热转化效率等参数,结合光学分析结果,得到星形多翼接收体翼型形态对光热转化性能及热传输的影响规律。由于复合抛物面聚光太阳能空气集热装置属于内聚光型太阳能集热装置,且在入光口敷设了玻璃盖板,使装置运行时在其腔内产生温室效应,进而减小了装置的热损<sup>[16,17]</sup>,因此,在研究装置集热性能的过程中,忽略其热损。

#### 3.1 集热装置性能对比测试系统

集热装置性能对比测试系统包括气象数据监测系统、温度采集系统、空气流速测试系统、六翼集热装置和五翼集热装置以及风机,测试系统如图 5 所示。



(a) 测试系统示意图



(b) 测试系统实物图

图 5 集热装置性能对比测试系统

Fig.5 Performance comparison test system of heat collecting device

1-集热装置;2-热电偶;3-星形五翼接收体;4-星形六翼接收体;5-热线风速仪;6-风机;7-变压器;8-无纸记录仪;9-笔记本电脑;10-太阳辐照度计

参照《太阳能集热器性能试验方法(GB/T 4271-2021)》，在测试前对集热装置表面进行清洁,并对所用仪器及测试元件进行校核和检测。测试地点位于内蒙古呼和浩特市,测试日期为2023年10月10-11日;测试时间与光学仿真时间相一致,为10:00-14:00。测试期间,通过调节安装倾角以满足入光口正南朝向,在正午时刻集热装置入光口接收到的太阳光线为正入射,集热装置玻璃管内空气由东向西传输,测试数据包括太阳辐照度、环境温度、集热装置进、出口温度以及空气介质流速等,测试采用的仪器以及参数见表3。

表3 测试仪器及参数  
Table 3 Test instrument and parameter

仪器名称	型号	测量参数	量程	测量误差
太阳辐照度计	TBQ-2	太阳辐照度	0~2 000 W	2.0%
热电偶	T型	温度	-4~125 ℃	±0.5 ℃
热线风速仪	Testo 405i	空气流速	2~15 m/s	±(0.3 m/s+5%)
无纸记录仪	Sin-R6000C	32通道	-20~200 ℃	0.2%FS±1 d

为准确评价内嵌星形多翼接收体翼型型态对集热装置光热转化性能的影响,本文选用瞬时集热量和光热转化效率作为集热装置的光热性能评价参数,计算式<sup>[18,19]</sup>为

$$Q = mc_p(T_{out} - T_{in}) \quad (3)$$

$$\eta = \frac{Q}{G_{sun} \cdot A_c} \quad (4)$$

式中:Q为瞬时集热量,W;m为玻璃管内空气介质流量,kg/s;c<sub>p</sub>为介质空气比热容,kJ/(kg·℃);T<sub>in</sub>,T<sub>out</sub>分别为太阳能空气集热装置进、出口温度,℃;η为光热转化效率,%;G<sub>sun</sub>为入光口处太阳辐照度,W/m<sup>2</sup>;A<sub>c</sub>为入光口面积,m<sup>2</sup>。

### 3.2 测试结果与分析

为保证测试结果的精确有效,测试选择在晴好天气下,测试当日气象工况随时间变化趋势如图6所示。测试期间玻璃管内空气介质流速为4.0 m/s,平均环境温度为16.5℃。六翼集热装置和五翼集热装置的出口温度变化趋势如图7所示。

由图6,7可知,六翼集热装置和五翼集热装置出口温度变化趋势与太阳辐照度变化趋势相近,呈现先增大后减小的趋势,并在正午前后达到峰值,前者的最大出口温度为40.6℃,比后者高出2.27%;六翼集热装置的平均出口温度高于五翼集热装置的平均出口温度,前者平均出口温度

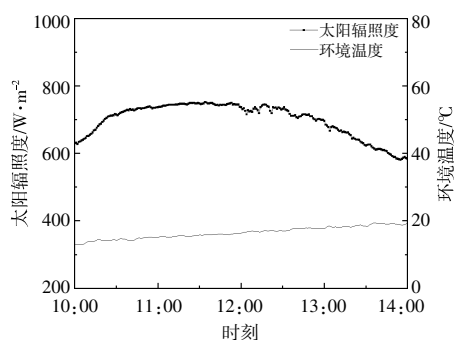


图6 气象工况随时间变化

Fig.6 Variation of meteorological conditions with time

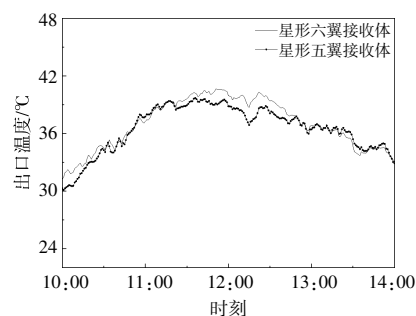


图7 出口温度随时间变化

Fig.7 Variation of outlet air temperature with time

为37.0℃,比后者高出1.37%。这是因为在正午时刻,集热装置的入射偏角为0°,其光线接收率以及聚光效率达到峰值,且此时太阳辐照度达到运行期间的最大值,使得正午时段集热装置的出口温度达到最大值,而且六翼集热装置的光学性能要优于五翼集热装置的光学性能,这使得前者的最大出口温度和平均出口温度均高于后者。

为能够直观地体现星形多翼接收体翼型型态对集热装置光热性能的影响,通过式(3),(4)计算得到内嵌星形多翼接收体集热装置的瞬时集热量以及光热转化效率随时间变化趋势,如图8所示。

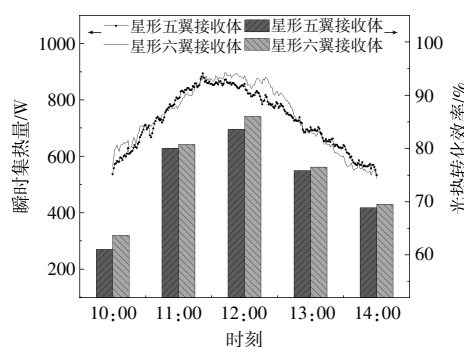


图8 集热装置光热性能随时间变化

Fig.8 Variation of the photothermal performance of heat collecting device with time

由图 8 可以看出,在整个运行时间段,集热装置的瞬时集热量呈现出先增大后减小的趋势,并在正午前后达到峰值,与出口温度随时间变化趋势相同,这是因为随着集热装置运行时间逐渐接近正午,入射偏角逐渐减小,太阳辐照度逐渐上升,接收体接收到的太阳辐射能逐渐增加,集热装置的集热能力逐渐提升。此外,六翼集热装置的最大瞬时集热量高于五翼集热装置的最大瞬时集热量,前者为 896.45 W,比后者高出 2.80%,测试结果与前文光学仿真结果相符。

由图 8 可进一步得到,六翼集热装置的光热转化效率要高于五翼集热装置的光热转化效率,测试期间,前者光热转化效率为 75.31%,比后者高出 1.93%。另外,与星形五翼接收体相比,星形六翼接收体属于对称体,容易加工且加工精度更易于保证。加之集热装置集热时玻璃管内空气介质流动会对接收体摆放位置造成影响,星形六翼接收体外缘更接近圆形,摆放位置误差影响比星形五翼接收体摆放位置误差更小,便于在工程应用中实现。因此,选用内嵌星形六翼接收体,集热装置更能达到设计要求和供能需求。

#### 4 结论

为了探究星形多翼接收体翼型形态对集热装置光热性能的影响机理,本文对六翼集热装置及五翼集热装置的光学性能随时间变化情况进行了分析。基于光学仿真结果,搭建了集热装置性能对比测试系统,在相同工况下对六翼集热装置和五翼集热装置的出口温度、瞬时集热量以及光热转化效率等参数进行测试,测试结果与仿真结果相吻合,具体结论如下。

①六翼集热装置的光学性能要优于五翼集热装置,在 10:00–12:00,前者的平均光线接收率以及聚光效率分别为 98.2%和 76.4%,比后者高出 1.2%和 1.1%。

②在晴好天气下、玻璃管内空气介质流速为 4.0 m/s 时,集热装置出口温度随时间变化趋势与太阳辐照度随时间变化趋势相同,六翼集热装置的最大出口温度为 40.6 °C,比五翼集热装置高出 2.27%。

③测试期间,六翼集热装置最大瞬时集热量和光热转化效率分别为 896.45 W 和 75.31%,分别比五翼集热装置高出 2.80%和 1.93%。

#### 参考文献:

- [1] Obaideen K, Olabi A G, Swailmeen Y A, et al. Solar energy: applications, trends analysis, bibliometric analysis and research contribution to sustainable development goals (SDGs) [J]. *Sustainability*, 2023, 15(2): 1418.
- [2] 杭小蓉, 刘雪东, 刘静, 等. 槽式复合多曲面聚光集热器光学分析及性能研究 [J]. *可再生能源*, 2023, 41(6): 750–756.
- [3] Reddy D S, Khan M K. Stationary point focus solar concentrators – A review [J]. *International Journal of Energy Research*, 2022, 46(5): 5678–5702.
- [4] Xu J, Chen F, Deng C. Design and analysis of a novel multi-sectioned compound parabolic concentrator with multi-objective genetic algorithm [J]. *Energy*, 2021, 225: 120216.
- [5] Zhang X, Jiang S, Lin Z, et al. Model construction and performance analysis for asymmetric compound parabolic concentrator with circular absorber [J]. *Energy*, 2023, 267: 126597.
- [6] Xu R J, Zhao Y Q, Chen H, et al. Numerical and experimental investigation of a compound parabolic concentrator – capillary tube solar collector [J]. *Energy Conversion and Management*, 2020, 204: 112218.
- [7] 赵耀华, 鲁啸山, 刁彦华, 等. 复合抛物面聚光式太阳能空气集蓄热一体化系统性能研究 [J]. *北京工业大学学报*, 2022, 48(7): 750–761.
- [8] 陈飞, 施健鹏. 圆形吸收体贝壳形复合抛物面聚光器模型构建及其性能 [J]. *农业工程学报*, 2022, 38(3): 173–181.
- [9] Chavez-bermudez I A, Rodriguez-munoz N A, Venegas-reyes E, et al. Thermal performance analysis of a double-pass solar air collector: a CFD approach [J]. *Applied Sciences*, 2022, 12(23): 12199.
- [10] Xu Z, Bie Y, Chen F, et al. Photo-thermal design and analysis of a novel CPC coupled solar air evacuated tube collector [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2023, 228: 120541.
- [11] Lara F, Cerezo J, Acuna A, et al. Design, optimization and comparative study of a solar CPC with a fully illuminated tubular receiver and a fin inverted V-shaped receiver [J]. *Applied Thermal Engineering*, 2021, 184: 116141.
- [12] Santosh R, Kumaresan G, Pavithiran C K P, et al. Effect of geometric variation and solar flux distribution on performance enhancement of absorber tube thermal characteristics for compound parabolic collectors [J].

- Renewable Energy, 2023, 210: 671–686.
- [13] Abdullahi B, Al-dadah R K, Mahmoud S, et al. Optical and thermal performance of double receiver compound parabolic concentrator[J]. Applied Energy, 2015, 159: 1–10.
- [14] 朱丽, 陈孟栋, 邵泽彪, 等. 建筑一体化 500 倍聚光组件光电特性实验与模拟研究[J]. 太阳能学报, 2021, 42(4): 247–252.
- [15] 王志峰, 廖志荣, 张剑寒. 新一代太阳能热发电高温集热场光热力耦合设计方法研究[J]. 中国科学: 技术科学, 2020, 50(10): 1316–1328.
- [16] Reddy K S, Parthiban A, Mallick T K. Numerical modeling of heat losses in a line focusing solar compound parabolic concentrator with planar absorber [J]. Applied Thermal Engineering, 2020, 181: 115938.
- [17] Horta P, Henriques J C C, Collares-Pereira M. Impact of different internal convection control strategies in a non-evacuated CPC collector performance [J]. Solar Energy, 2012, 86(5): 1232–1244.
- [18] Kutscher C, Burkholder F, Netter J. Measuring the optical performance of evacuated receivers via an outdoor thermal transient test [EB/OL]. <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/52466.pdf>, 2011–09–20.
- [19] Valenzuela L, Lopez-martin R, Zarza E. Optical and thermal performance of large-size parabolic-trough solar collectors from outdoor experiments: A test method and a case study [J]. Energy, 2014, 70: 456–464.

## Performance comparison of compound parabolic concentrating solar air device with embedded star multi-fins receiver

Tan Zhaobo<sup>1</sup>, Xu Wenfu<sup>1</sup>, Chang Zehui<sup>1,2</sup>, Li Xinliang<sup>1</sup>

(1.College of Energy and Power Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China; 2.Engineering Center of Solar Energy Utilization Technology, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** Aiming at the defects of gap light leakage and surface heat transfer in the use of a glass vacuum tube, in this paper, the glass tube embedded star multi-fins receiver is used as the concentrating photothermal conversion component of compound parabolic concentrating solar air device, and the air is selected as the heat transfer medium to alleviate the above defects and reduce the sealing requirements of the device and the low temperature ‘burst tube’ rate. The influence of the fin shape of the star-shaped multi-fins receiver on the performance of the compound parabolic concentrating solar air device was comparative studied. The influence of different star-shaped multi-fins receiver on the optical performance of the device was simulated and calculated. Based on this, the thermal properties of the device with embedded star six-fins receiver and the star five-fins receiver were tested and analyzed under actual weather conditions. The results show that when  $\alpha < 7.4^\circ$ , the optical performance of the solar air collector device with star six-fins receiver is better than that of the star five-fins receiver. The average light receiving rate and concentrating efficiency of the former are 98.2% and 76.4% respectively, which are 1.2% and 1.1% higher than those of the latter. In the sunny day, when the air flow rate is 4.0 m/s, the average outlet temperature, maximum instantaneous heat collection and photothermal conversion efficiency of the solar air collector embedded with the star six-fins receiver are 37.0 °C, 896.45 W and 75.31%, respectively, which are 1.37%, 2.80% and 1.93% higher than that of the embedded star five-fins receiver. The testing results can provide a reference for the structural optimization design of the receiver of the compound parabolic concentrating solar air device.

**Keywords:** receiver; solar energy; compound parabolic; concentrating; star multi-fins