

# 针对光热电站的一种线性菲涅尔式聚光集热系统设计

祁正荣<sup>1,2</sup>

(1. 酒泉职业技术学院 甘肃 酒泉 735000)

(2. 甘肃省太阳能光伏发电重点实验室 甘肃 酒泉 735000)

**【摘要】**在太阳能光热发电技术中，聚光集热系统设计直接影响了太阳能的收集和转换利用效率。本文以某50MW熔盐线性菲涅尔式光热电站为例，分析并设计了针对光热电站的一种线性菲涅尔式聚光系统、集热系统、聚光集热回路、光场布置方式。

**【关键词】**光热电站；菲涅尔反射；聚光系统；集热系统

## 前言

在能源绿色低碳转型，加速构建“以新能源为主体的新型电力系统”的背景下，作为清洁电力以及有助于解决新能源发电波动性问题的成熟路径，太阳能光热发电技术，因为使用储热装置实现按需供电和可调度，有效解决了与太阳能波动性相关的并网挑战，正在被大规模开发利用。

常见的光热发电系统，因其聚光集热系统不同，分为槽式、塔式、碟式光热电站。不管何种形式的光热电站，影响太阳能利用效率的关键系统是其聚光集热系统，本文以某50MW熔盐线性菲涅尔式光热电站为例，设计了一种聚光集热系统。

## 1 线性菲涅尔式聚光系统设计

本工程案例采用线性菲涅尔式太阳能集热发电技术，这是一种利用线性菲涅尔式反射聚光集热器，将太阳能收集，产生高温高压蒸汽从而推动汽轮发电机发电的技术。工作原理类似槽式光热发电，只是采用线性菲涅尔结构的聚光镜阵列替代抛物面反射镜作为一次反射镜。线性菲涅尔反射镜将太阳光聚焦到二次复合抛物面反射镜（CPC），在CPC焦点上安装管状吸热器，以吸收聚焦后的太阳辐射能。线性菲涅尔式太阳能热发电技术正处于商业化进程中，目前国际上已投入商业运行的最大规模线性菲涅尔式太阳能电站规模为30MWe。

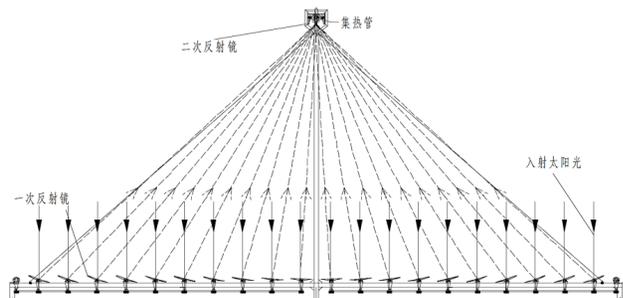


图1 线性菲涅尔式太阳能集热器原理图

虽然线性菲涅尔式聚光技术的聚光效率略低于槽

式聚光技术，但因具有占地面积小，抗风能力优良，成本低于槽式集热器，运行可靠，维护保养方便等突出优势，在国际市场正处在大容量电站规划建设阶段。线性菲涅尔式太阳能集热器原理如图1所示。

### 1.1 聚光系统

一次反射镜。每列一次反射镜均东西向实时跟踪太阳，将太阳入射光反射至二次CPC反射镜，由二次CPC汇聚反射至固定位置的太阳能中高温真空集热管（吸热器）。

二次CPC反射镜。CPC由圆的渐开线和抛物线组成，关于中心轴对称，是一种非成像聚光器。入射光在CPC中经过一次或多次反射到达真空集热管表面，损失较少，还可对斜入射的太阳光进行有效收集。CPC是线性菲涅尔式太阳能集热的关键件，其线型、加工成型精度以及反射率是提高线性菲涅尔式太阳能集热效率的关键因素。

### 1.2 结构及性能参数

1) 一次反射镜。反射镜玻璃材料采用低铁玻璃，玻璃镀层镀制三层，分别为增透层、反射层以及保护层，反射率达到93%以上。镀制完成后喷涂两层油漆，保证了反射镜具有良好的耐腐、耐磨及抗紫外老化能力。其性能完全满足太阳聚光集热项目对反射镜的要求。

2) CPC反射镜。CPC二次反射镜采用玻璃一次热弯成型技术，再经真空镀膜，反射率达到93%以上。光线汇聚率>80%。

### 1.3 防风措施

由于线性菲涅尔集热器一次反射镜支架距地面位置较低（低于1000mm），一次反射镜面宽度小（小于800mm），二次聚光系统迎风截面小，高立柱通过6道钢缆与一次反射镜支架锁紧，因此系统风阻小、抗风能力强，暂不考虑其他防风措施。集热器的最大工作风速20m/s，保护风速35m/s。超过最大工作风速系统停止跟踪；超过保护风速后，跟踪系统迅速归位，最大限度降低风阻。

基金项目：甘肃省创新能力提升项目2020A-286。

## 2 集热系统

太阳能真空集热管是线性菲涅尔太阳能集热系统的核心部件,将反射镜聚集的太阳直接辐射能转换成传热介质(熔融盐)的热能,正常工作在550℃条件下,其性能能直接决定整个系统的集热效率。

### 2.1 结构及性能参数

本项目采用4060mm太阳能中高温真空集热管,由金属内管和透明的玻璃外管组成,其中金属内管表面镀制耐高温选择性吸收膜,以最大化的吸收聚焦在其表面的太阳直接辐射能;透明玻璃外管镀有减反射膜,以增大透过玻璃管入射到金属内管的太阳辐射能;内外管之间夹层抽成高真空并长期保持,减少热传递,降低集热管的热损失。4m级系列太阳能中高温真空集热管规格为:

长度:4060mm;

直径:金属内管:φ90mm,玻璃外管:φ145mm;

太阳光透过率:>96%;

吸收率:>95%;

吸收涂层发射率(550℃):<12%;

### 2.2 钢结构支架

集热器支撑系统的零部件设计过程充分考虑了整体的刚性及变形的影响。结构计算结合现场试验及系统验证,具有足够的安全系数保证25年运转使用需求。

#### (1) 支撑轴

主平面反射镜支撑轴采用圆管设计从而保证具有足够的刚性,且在旋转过程中不会因为载荷变化导致形变。在最大载荷作用下,支撑轴的变形量<5mm。支撑轴两端连接轴的焊接经过了应力消除,提高了使用寿命、减少变形量,保证光斑质量。

#### (2) 支柱

顶部CPC及集热管支撑立柱,充分考虑了风荷载等因素,保证在7级风速条件下CPC晃动不影响聚光精度。

#### (3) 支撑框架

CPC反射镜支撑框架采用桁架结构,保证在8m跨度范围内变形量不影响聚光。

## 3 聚光集热回路

### 3.1 集热单元

集热单元(solar collector elements)包括镜面、集热管和支撑结构。每个集热单元长度为8160mm。对应一个SCE,包含20列反射镜片和两根集热管,单根集热管长4060mm,集热管首尾焊接相连;单列反射镜由6片1320×760mm的镜片组成,长度方向为7920mm;纵向每隔8160mm对应一个立柱,用于支撑集热管滑动组件;支撑占用的镜面间隙约为8160mm-7920mm-240mm。每个SCE对应的镜面面积为1320mm×760mm×6片×20列=120.384m

### 3.2 集热组件

集热组件(solar collector assembly)由12个SCE

组成,SCA长约98m,每个SCA反射面积12×120.384—1444.608 m。

### 3.3 集热支路

为将传热介质加热到一定温度,需将若干个集热组件(SCA)进行串联组合成集热回路,若干个集热回路并联构成集热场。集热回路平行布置,在回路两端头分别与冷、热熔融盐主管连接,如图2所示。

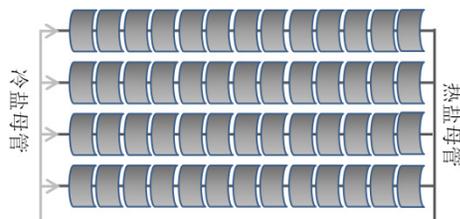


图2 集热系统回路

集热支路(solar collector loop)由11个SCA组成,并在南北端各增加1个SCE(不含反射镜面),用于补偿末端溢出、消纳膨胀。集热支路长1093440mm,每个集热支路反射镜面积约为15890.688m。集热场共计80个支路,反射镜面积约为127.1万m。

## 4 光场布置方式

### 4.1 集热器方向布置

聚光集热场全部采用线性菲涅尔式太阳能集热器。集热器由支撑系统、线性菲涅尔式平面反射镜阵列、复合抛物面二次反射镜(CPC)及集热管组成。

集热器南北方向布置,东西方向一维自动跟踪太阳。平面反射镜将太阳光聚到CPC二次反射镜,在CPC焦线上安装真空集热管,以吸收聚焦后的太阳辐射能。

### 4.2 回路布置

回路南北向平行布置,进口在光场北侧,出口在光场南侧,整个光场南高北低,西高东低。

## 5 总结

随着光热电站的商业化进程加快,影响其推广使用的太阳能聚光集热转换效率也正在被逐渐提高。本文所提出的针对光热电站的一种线性菲涅尔式聚光集热系统设计,已在实际工程案例中成功运用,为大规模建设光热电站提供了一种有效的解决方案。

### 参考文献:

[1]孔令刚,陈鑫龙,张志勇,范多旺.线性菲涅尔式光热发电技术现状及发展趋势[J].兰州交通大学学报,2020,39(06):51-57.

[2]王鹏,罗尘丁,巨星.光热电站熔盐传热储热技术应用[J].电力勘测设计,2017(2):67-71.

[3]王金平.槽式太阳能光热电站关键技术及运行特性的研究[D].南京:东南大学,2017.

[4]杨文合.线性菲涅尔镜场跟踪的优化设计[D].兰州:兰州交通大学,2017.