

槽式太阳能热发电站集热场安装布置浅析

国电龙源节能技术有限责任公司 ■ 李昌伟

摘要：在槽式太阳能热发电站的设计中，由于集热场集热器设备外形较大，布置安装整个集热器装置是太阳能热发电站厂区规划设计的核心工作之一。本文从工艺角度出发，对集热场整个场地设备管道布置的问题进行了探讨，提出了厂区集热场集热器、导热油系统相关设备管道等布置的基本原则和方案，以达到提高槽式太阳能热发电站设计水平，持续规模化发展我国槽式太阳能热发电项目的目标。

关键词：槽式太阳能热发电站；集热场；集热器单元；安装布置；浅析

0 引言

由于化石燃料面临枯竭，且环境问题日益严重，人们对于清洁能源的关注度日益增强。众所周知，太阳能是取之不竭、用之不尽的洁净自然能源。为了从源头上解决环境污染和能源枯竭这两大难题，太阳能的开发利用已上升至重要的战略地位。国内外利用聚光集热太阳能热发电技术去弥补或替代化石燃料的发电缺口，以缓解日益严重的环境问题，并具备了商业化发展的条件，将会越来越得到专家学者和社会各界的认同与高度重视。

从目前国际上采用聚光集热太阳能热发电技术的项目来看，在槽式、塔式、碟式和线性菲涅尔式等太阳能热发电系统中，槽式、塔式太阳能热发电技术的应用相对成熟。据有关文献介绍，槽式太阳能热发电技术最为成熟，占太阳能热发电总装机容量的91%以上^[1]。因此，重点研究槽式太阳能热发电站的集热场安装布置问题，优化电站集热场集热器的平面布置方案，不仅有利

于电站的安全运行，还有助于降低工程投资，具有十分重要的社会效益和经济效益。

在槽式太阳能热发电站设计中，对整个集热场设备进行管道布置是电站设计的核心之一。在国内目前还缺少相关设计标准的背景下，结合笔者工作实践，并借鉴学习国内外同类型机组成功运行的经验，本文针对在槽式太阳能热发电站的规划设计中集热场集热器设备和管道的安装布置，以及其他设备设施的整体布局，进行了抛砖引玉的分析探讨，希望借此与诸位专家学者一道，共同提高我国槽式太阳能热发电站的设计水准，以便更好地保护生态环境。

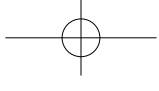
1 全厂区集热场安装总布置方案的基本原则及具体操作

1.1 全厂区集热场安装总布置基本原则

槽式太阳能热发电站集热场集热器的平面规划布局，除参考 GB 50049-2011《小型火力发电

收稿日期：2018-03-30

通信作者：李昌伟(1961—)，男，本科，主要从事新能源的开发与利用方面的工作。lichangwei7577@163.com



厂设计规范》的技术要求外,还要根据所选厂址的自然条件、太阳能热电站厂区总体规划、集热场集热器的特点和施工运行条件等,综合考虑热机、电气、热控、水工、化学、土建、总图等专业设计的设计要求,进行技术经济比较后再确定^[2]。

集热场的布置需满足光热热载体(导热油)换热工艺流程的要求,应结合集热场集热器的特点,做到布局紧凑适当,集热器之间的导热油管道连接整齐,且阀门便于操作、维护。在导热油被加热后流经一系列的油气(油水)换热器时,力求按照流经的先后顺序统筹考虑这些设备的总体布置,以尽量减少设备和管道之间的交叉布置,尽量避免倒流及增加工程量等现象的出现。综合考虑汽轮发电机组各系统的技术要求,做到集热场导热油系统与汽机热力系统的布置相协调,既要流程合理、技术先进,又要做到巡回检查通道畅通,为运行安全和操作维护方便等创造条件。

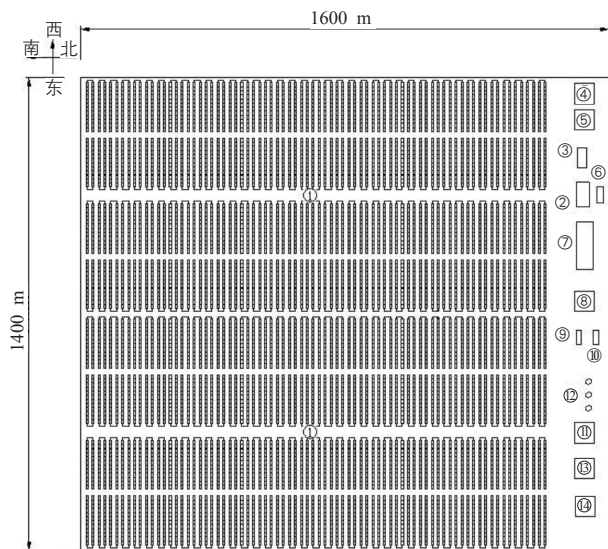
1.2 全厂集热场安装总布置方案的具体操作

1.2.1 集热场总规划

在槽式太阳能热发电站项目中,厂区常规由综合生产办公区域和集热场区域两部分组成。太阳能热发电站综合办公区域包括综合生产办公楼、汽轮发电机组厂房、集中控制室、升压站、屋外配电装置、空气压缩机室、水工系统及设施、水处理系统及设施、生活区等。集热场区域,通常主要包括集热器、导热油循环油泵房、膨胀溢油系统装置、熔盐储热系统装置、辅助热源系统装置、污油处理装置设施、过热器系统设备、蒸汽发生器系统设备、高压加热器系统设备、再热器系统设备等^[3]。85 MW 太阳能热发电站集热场区域布置图如图 1 所示。

1.2.2 布置方案简介

1) 槽式抛物镜面聚光集热器说明。本文所述的槽式抛物镜面聚光集热器^[4]元件的开口直径为 5.83 m,单个镜面元件的有效面积为 74.80 m²。集热器元件的外型长为 12.36 m,布置相对标高为 4.5 m^[5]。1 个集热器单元由 12 个集热器元件

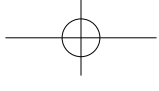


①集热场集热器 ②汽轮发电机组厂房及集中控制室 ③综合生产办公楼
④水工系统及设施区 ⑤水处理系统设备设施区 ⑥屋外配电装置室
⑦高温过热器等油气(水)换热装置区 ⑧膨胀溢油系统设备区
⑨导热油循环油泵房 ⑩空气压缩机房 ⑪辅助热源设备区
⑫导热油罐区 ⑬污油处理设施区 ⑭储热系统设备区

图 1 85 MW 太阳能热发电站集热场区域布置图

构成,其镜面有效面积为 897.50 m²,总有效长度为 148.32 m。1 个集热器循环回路由 4 个集热器单元构成,其镜面有效面积为 3590 m²,总有效长度为 593.28 m。

2) 槽式抛物镜面聚光集热器的安装布置方式。槽式抛物镜面聚光集热器的安装布置通常有水平南北向布置、水平东西向布置,以及水平南北和东西向混合布置。其安装布置方式的选取除了需要满足集热场的吸热最为有利外,还需考虑:①当太阳能热发电站地处中高纬度且为纯凝汽式发电机组时,应优先采用水平南北向布置方式,比如,西班牙安德索 50 MW 槽式太阳能热发电站就采用的这种布置方式。②当太阳能热发电站地处中高纬度且为供热式发电机组时,在冬季兼顾供热,宜采用水平东西向布置方式,比如,美国内华达州 50 MW Solar One 槽式热电厂的集热器就是采用的这种布置方式;通过经济技术比较后,也可采用水平南北向和东西向混合式布置方式,比如,西班牙南部阿尔梅里中型槽式太阳能热发电站就是采用了南北向和东西向混合的布置方式。③当太阳能热发电站地处低纬度时,太



阳光入射角大,采用水平南北向布置或东西向布置均能达到设计效果,因考虑到简化跟踪系统,建议采用水平东西向布置^[6-7]。从国外成功的槽式太阳能热发电工程分析可知,各种布置方式各有利弊,本文中集热场集热器的安装布置方式采用东西向布置。

3) 为防止前排单元集热器对后排单元集热器造成遮挡,相邻前后排之间或集热器与建筑物之间应留有足够的间距。根据 GB 50797-2012《光伏发电站设计规范》的规定,一般的确定原则是:冬至日 9:00~15:00 的时间段内,槽式抛物镜面聚光集热器不应被遮挡。

4) 图 1 中的 85 MW 槽式太阳能热发电站集热场由 624 个集热器单元组成,每个集热器单元的安装长度约为 159.32 m。每个集热器循环回路安装总长度约为 637 m,采用双 U 形布置形式。集热场集热器采用东西向布置,集热器之间行间距约为 18 m。

整个集热场集热器回路分 4 个区布置。集热场导热油母管采用枝状结构布置,每个区域均设置南北向运维检修主通道,集热器单元之间的行间距均满足运维检修通道要求。集热场导热油冷母管、热母管沿主通道方向,通过地下管沟(或隧道)与储热系统和高温过热器、低温过热器、蒸汽发生器、高压加热器、高温再热器、低温再热器等换热设备相连。集热器单元之间的连接管道采用地下管沟布置,进入集热器单元的导热油关断阀均安装在立管上便于操作的高度。

汽机房及集中控制室、生产办公楼、屋内外配电装置室、水工系统及设施区、水处理系统设备设施区等,均布置在电站厂区西北角。

在汽机房与导热油循环泵房之间,布置有高温过热器等油气(水)换热装置区,沿西向东依次露天布置有高温过热器、低温过热器、蒸汽发生器、高压加热器、高温再热器、低温再热器油气(水)换热装置等。

导热油循环泵房布置在厂区的北侧中间偏东

的位置,泵房内布置有 4 台循环泵、2 台溢油泵。紧邻泵房西侧布置有膨胀溢油系统的膨胀缓冲油罐、导热油溢油罐设备。泵房东侧布置有储油罐、事故油罐、辅助热源燃料储罐、污油处理设施区,再向东布置有储热系统设备。导热油循环泵房北侧布置有空气压缩机房。

整个电站厂区东西方向宽约 1400 m,南北方向长约 1600 m,电站总占地 224 hm²。

2 集热场安装总布置时需注意的问题

1) 槽式太阳能热发电站的综合办公区域宜布置在厂区的上风向或位于集热场附近的位置,但需与集热场分隔布置。由于导热油存在污染,且存在易引燃着火等安全隐患,宜将主要建(构)筑物,如汽机房、机组集中控制室、屋外配电装置、全厂空压机室、水工系统及设施、水处理系统及设施相对独立布置。生活设施独立成块布置。

2) 槽式太阳能热发电站的集热器循环回路之间应留有足够的安装、检修、吊装空间,并留有清洗集热器镜面的汽车清洗通道。

3) 槽式太阳能热发电站场区集热场平面布置设计应统筹考虑,通过优化平面布置,既要保证单元集热器布置的经济性、技术先进,又要满足工艺流程设计合理,还要保证运行维护方便且节约用地。

4) 确定槽式太阳能热发电站的抛物镜面单元集热器之间的间距,通常需要先计算集热器在一天中阴影长度的变化值,然后根据此值和检修维护要求,综合考虑气象等诸多方面的因素,最后确定间距值。

太阳高度角的计算式为:

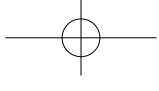
$$\sin\alpha = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega \quad (1)$$

式中, φ 为地理纬度, ($^{\circ}$); α 为太阳高度角, ($^{\circ}$); δ 为赤纬角, ($^{\circ}$); ω 为太阳时角, ($^{\circ}$)。

太阳方位角计算式为:

$$\cot\gamma = \sin\varphi\cos\omega - \cos\varphi\sin\delta\cos\omega \quad (2)$$

式中, γ 为太阳方位角, ($^{\circ}$)。



集热器在太阳下的阴影总长度计算式为:

$$L_0 = h / \tan[\arcsin(\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega)] \quad (3)$$

式中, h 为前后排集热器的最高点与最低点的高度差, m; L_0 为集热器的地面投影总长度, m。

集热器的地面东西向投影长度 L_1 计算式为:

$$L_1 = h \cdot \sin\gamma \quad (4)$$

集热器的地面南北向投影长度 L_2 计算式为:

$$L_2 = h \cdot \cos\gamma \quad (5)$$

3 结论

本文介绍了槽式太阳能热发电站的集热场集热器安装布置时的基本原则。

1) 槽式太阳能热发电站的集热器安装布置时, 需将集热器单元之间的间距计算分析之后, 在满足集热器前后左右不遮挡和留有检修通道的前提下, 前后集热器单元回路轴线距离应尽量最小。集热器循环回路采用 U 形布置, 整个集热场要尽量布置成正方形, 最大限度节约用地。

2) 大型槽式太阳能热发电站的厂区布置规划时, 综合办公区域宜布置在厂区的上风方向处, 且集热场区域宜分成几个小区域进行布置。

3) 由于槽式太阳能热发电站占地面积较大, 在“五通一平”(一般包括: 通水、通电、通路、通讯、通气, 平整土地) 时, 尽量使集热场场地齐平, 厂区宜为一个坡度。当厂区南北向自然坡度 $\leq 2\%$ 时, 集热器可采用沿坡度方向的水平东西向布置; 当厂区南北向自然坡度 $> 2\%$ 或更大坡度时, 应采用多个台阶式布置^[8]。

参考文献

- [1] 宋士金, 赵明智. 槽式太阳能热发电计算的模拟仿真 [D]. 内蒙古: 内蒙古工业大学, 2014.
- [2] GB 50049-2011, 小型火力发电厂设计规范 [S].
- [3] 于刚, 罗娜, 侯宏娟, 等. 槽式集热系统流速及布置优化 [D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [4] 孟令杰, 曲增杰, 李昌伟, 等. 抛物槽式镜面及其制作方法 [P]. 中国: ZL201010560356.2, 2013-07-10.
- [5] 李昌伟, 隆玉周, 李雅菲, 等. 空间管架式槽型太阳能热发电集热器元件支架 [P]. 中国: ZL201110216658.2, 2013-06-19.
- [6] Power-technology. The Andasol Solar Power Station Project [EB/OL]. <https://www.power-technology.com/projects/andasolsolarpower/>, 2018-08-13.
- [7] PE Robert Peltier, 徐慧超 [译], 杜建军 [校]. 太阳能发电技术在美国内华达州 Solar One 发电厂的应用 [J]. 上海电力, 2009, (1): 29 - 31.
- [8] 杨辉东, 孙建. 太阳能光伏电站总平面布置及竖向设计优化——大唐包头固阳县金山光伏电场一期 20 MW_p 项目 [J]. 太阳能, 2012, (13): 37 - 41. 太阳能

(接第 8 页) 光伏扶贫项目计划, 涉及 14 个省(区)、236 个光伏扶贫重点县, 总规模 419 万 kW。国家能源局、国务院扶贫办将在今年下半年适时启动“十三五”第二批光伏扶贫计划申报工作。计划申报应严格落实《办法》相关要求, 经国务院扶贫办光伏扶贫信息管理系统审核通过后, 纳入国家新增规模。

从已开展的存量项目和“十三五”第一批光伏扶贫计划的申报工作来看, 申报材料质量总体不高, 部分纳入国家补助目录的项目信息存在不真不实问题, 影响了光伏扶贫“十三五”计划的下达和补贴资金的及时拨付。各省(区、市)要高度重视光伏扶贫申报材料质量, 做实做细、摸清搞准, 对材料的真实性负责。存量项目应有国

家计划或文件依据、符合当时政策规定条件、户均配比容量合规、电站编号和发电户号唯一匹配; 新增项目应在建档立卡贫困村建设村级电站、精准关联帮扶贫困户、承诺政府全额出资、落实土地接网消纳条件。

⑨“十三五”第 2 批光伏扶贫实施范围是否可扩大至非 471 县和“三区三州”地区?

光伏扶贫围绕帮扶 280 万户建档立卡贫困户的既定目标组织实施。在下达 471 个光伏扶贫重点县和“三区三州”范围的光伏扶贫计划后, 国务院扶贫办将会同国家能源局, 视帮扶贫困户的任务完成情况, 对实施范围外申报的光伏扶贫项目再行研究。太阳能