

塔式太阳能光热发电站定日镜场道路设计

彭兢[✉], 石涛

(中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司, 西安 710075)

摘要: [目的] 定日镜场道路设计是塔式太阳能光热电站设计中不可缺少的环节, 为降低电站初投资和提高定日镜场效率, 科学、有效、合理进行道路设计。[方法] 将定日镜场的道路按性质和使用功能划分为四类: 主通道道路、辐射道路、周边环形道路和定日镜间道路, 对其在设计中需要考虑的各项因素进行详细分析, 并分别从道路布置形式、结构设计、附属设施三个方面进行研究。[结果] 总结出定日镜场各类道路平面布置的原则和要求; 提出路面结构设计要以满足功能使用要求, 经济合理为前提, 要着重考虑道路施工、当地地材、维修条件等因素; 给出不同场地条件的定日镜间道路路面结构形式; 同时提出在定日镜场内设置道路标识系统。[结论] 可对今后的定日镜场道路设计起一定的借鉴作用。

关键词: 塔式太阳能光热发电站; 定日镜场; 道路

中图分类号: TK519; TM61

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2020)02-0070-05

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Road Design for Heliostat Field in Solar Power Tower Plant

PENG Jing[✉], SHI Tao

(Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd. of China Power Engineering Consulting Group, Xi'an 710075, China)

Abstract: [Introduction] Road design for heliostat field is the important part in the design of solar power tower plant. To reduce power plant investment and improve the efficiency of heliostat field, road design shall be scientific, effective and reasonable. [Method] In this paper, the roads of heliostat field were divided into four categories: main road, radiation road, peripheral ring road and inter-heliostat road. The factors to be considered in the design were analyzed in detail, and the road layout, structural design and ancillary facilities were studied respectively. [Result] The principles and requirements of the road layout are summarized. It is proposed that the pavement structure design should be based on the functional requirements, economic rationality, construction, local material and maintenance conditions. The pavement structure of inter-heliostat road and the road sign system in heliostat field is suggested. [Conclusion] The paper is used for reference in the road design for heliostat field in the future.

Key words: solar power tower plant; heliostat field; road

0 引言

太阳能热发电作为一种安全、清洁、高效、经济的新型能源, 在当前世界电力能源结构中发挥着越来越重要的作用。2016年我国发布的《可再生能源发展“十三五”规划》中明确指出“因地制宜地推进太阳能热发电示范工程建设, 按照总体规划、分步实施的思路, 积极推进太阳能热发电产业进

程”^[1]。2016年9月14日国家能源局正式发布了《国家能源局关于建设太阳能热发电示范项目的通知》, 共有20个项目入选首批示范项目名单, 其中塔式太阳能光热电站独占9个, 其数量远远领先其它类型光热电站。

塔式太阳能光热发电站的定日镜场通常由成百上千的定日镜, 通过各自独立的控制系统连续跟踪太阳能的辐射能, 并将能量聚焦至吸热塔顶的吸热器上, 以热能的形式加以利用。定日镜场的设计是塔式太阳能热发电系统设计的重要环节。通常, 定日镜场的投资占整个太阳能热发电系统总投资的

收稿日期: 2019-12-20 修回日期: 2019-12-26

基金项目: 中国能建工程研究院科技项目“国家标准《塔式太阳能光热发电站设计标准》”(GB/T 51307—2018)

40%~50%。定日镜场区域的道路作为定日镜场设计的重要组成部分,如何科学、有效、合理的进行道路设计,在一定程度会直接影响电站投资和运行效率。

塔式太阳能光热发电站定日镜场道路设计包括平面布置、路面结构设计、路基防排洪设计、道路排水设计、附属设施设计等。本文通过对定日镜场的道路进行分类、重点对其不同于其它电站道路设计的内容如布置形式、路面结构设计、道路附属设施三方面进行分析和研究,为今后的设计工作提供有益的指导。

1 定日镜场道路分类

定日镜场是塔式太阳能光热发电站的重要组成部分,是电站中占地最大的区域,也是有别与其它类型电站的重要特征之一。定日镜场道路设计是整个定日镜场设计不可缺少的一部分。

定日镜场道路可分为主要道路、次要道路和支路;按道路性质和使用功能,通常分为四大类:主通道道路、辐射道路、周边环形道路和定日镜间道路,如图1所示。

主通道道路是定日镜场的主要道路,是从站前或站外至发电区的主要通道,是整个电站人流和物

流的主要运输道路。

辐射道路是定日镜场的次要道路,将定日镜场划分为不同的区域,是定日镜场的分区道路和各个分区的联络道路,用于定日镜场的日常检修和清洗车辆的运行。

周边环形道路是定日镜场的次要道路,位于定日镜场和站区围栅之间的环形道路,用于定日镜场的检修和电站各分区间的联络。

定日镜间道路是定日镜场的支路,是位于每环(或排)之间的道路,用于定日镜的安装、维修和清洗。

2 定日镜场道路设计考虑因素

塔式太阳能光热发电站定日镜场的道路设计除应符合有关现行国家标准外,道路布置形式、路面结构设计、道路附属设施设计还有其特殊性,需重点考虑以下因素:

1) 满足电站设备运输、安装、检修、消防、运行的基本要求

目前大多数的塔式光热电站为单塔电站,吸热器、传热、储热设施集中布置的发电区位于定日镜场包围的中央区域,定日镜场中的道路需要考虑上述系统及定日镜场内各设备的运输、安装、检修和消防要求。

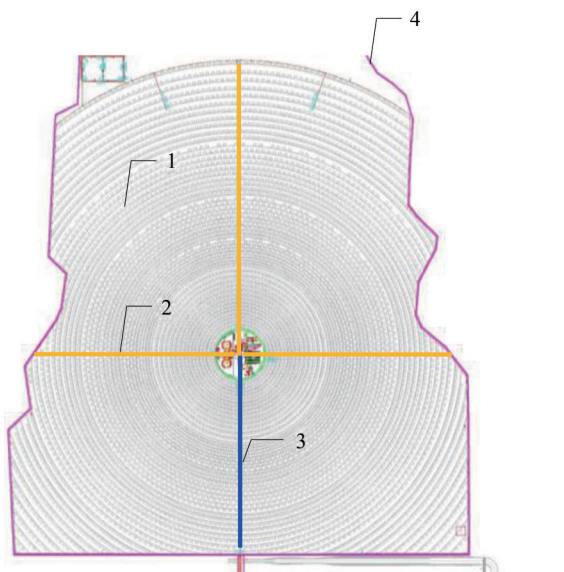
2) 要以对定日镜场布置和效率影响最少为前提

定日镜场主通道道路和辐射道路,由于位于定日镜场内,占用定日镜场的有效用地面积,会减少效率相对较高的定日镜的数量,在一定程度上影响定日镜的布置和定日镜场的效率。

3) 满足定日镜的清洗要求

定日镜的清洗对塔式光热电站的经济性影响非常大,据国内某项目统计,由于当地风沙大、粉尘多,定日镜反射比下降较快,半个月由100%降为77%,日降幅约1.45%^[2],若不对定日镜进行频繁的清洗,由于反射比的下降,每天的发电量将降低1.45%,将直接影响电站的效益。

目前,定日镜清洗包括人工清洗和机械全自动清洗两种主要方式,广泛采用的是后者。满足清洗需求是定日镜间道路设计需要重点考虑的因素。



注: 1——定日镜间道路;2——辐射道路;3——主通道道路;4——周边环形道路。

图1 定日镜场道路示意图

Fig. 1 The sketch drawing of road in the heliostat field

4) 满足水土保持及生态要求

我国塔式光热电站多处于戈壁、荒漠化或半荒漠化地区,生态环境相对脆弱,地方上对于电站多要求不宜破坏地表植被,不造成水土流失为前提;水土保持要求相对较高,定日镜场道路设计中也需要考虑这一因素。

5) 节省初投资,减少运行维护工程量

一般50 MW塔式光热电站定日镜场的用地面积可达250~300 hm²,定日镜场道路工程量也较常规电站要大得多,合理进行道路布置、优化道路结构设计、合理选择筑路材料,因地制宜,减少道路工程量是减少工程总投资的主要措施之一。

3 定日镜场道路布置设计

定日镜场道路布置设计是整个电站道路设计的基础,应考虑电站各区域的合理分区,满足生产要求,符合工艺流程,货流与人流兼顾,运距短捷,联系方便,工程量小。

3.1 主通道及辐射道路布置设计

主通道道路和辐射道路的布置需要根据整个电站的总体规划、定日镜场的设计及分区来统一考虑。定日镜场的主要通道道路和辐射道路可将定日镜场划分为不同的区域,并且均可作为发电区的对外通道。

主通道道路的布置直接受发电区和站前位置的影响,当两者位置确定时,主通道道路的走向基本上就可以确定下来。辐射道路的设置则需要尽可能按定日镜场的分区进行均匀划分。

考虑到发电区的消防要求,发电区的对外通道道路不得小于2条,即一条主通道道路,至少一条辐射道路。定日镜场辐射道路的数量无需太多,能满足进出需要即可,可设1~3条辐射道路。主通道和辐射道路的布置常采用“十”形、“Y”形(或倒Y形)及折线形,如图2所示。

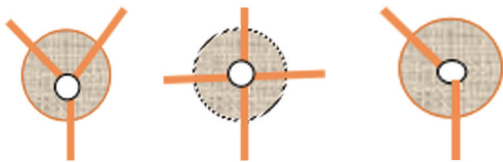


图2 主通道及辐射道路布置示意图
Fig. 2 The main and radius road layout

主通道道路和辐射道路的走向除需要考虑电站道路整体规划外,还需要考虑定日镜场效率分布,优先考虑道路穿越定日镜场的低效率区更为经济;且道路穿越定日镜场的长度越短越好。

国内某项目定日镜场年平均效率分布如图3所示,可以看出北部定日镜场的效率相对要高些,从发电区向北的道路穿越定日镜场光学效率最高值的区域,且道路长度最长,约1 000 m,对定日镜场的年平均效率的影响较大,如有可能的话,应尽量避免此布置格局。

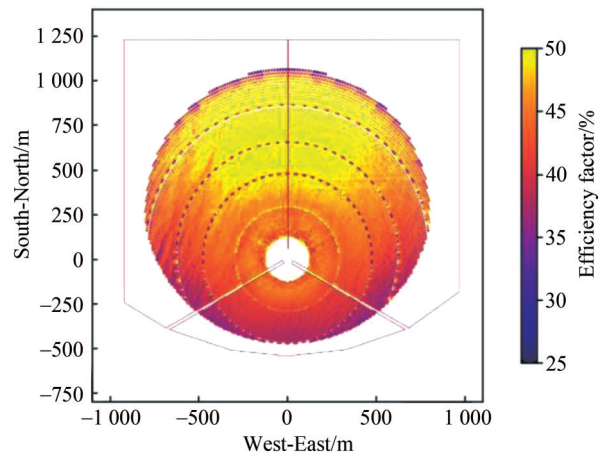


图3 某项目定日镜场年平均效率分布图

Fig. 3 The annual average efficiency distribution map of some heliostat field

为减少定日镜场的光学效率损失,道路在定日镜场中通道宽度的设置要在满足运行要求的前提下,尽量压缩通道的宽度。通道两侧的定日镜任意姿态下的净空宽度和高度需要满足道路限界的要求,如图4所示。主通道路面宽度通常为6 m,辐射道路的路面宽度可采用4 m。

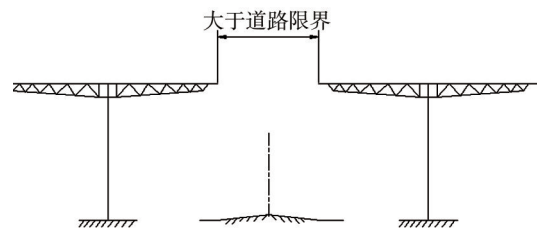


图4 定日镜场通道宽度示意图

Fig. 4 The road width sketch of heliostat field

3.2 周边环形道路布置设计

周边环形道路位于定日镜场外侧与电站围栅之间,道路宽度通常为4 m。周边环形道路由于于临

近围栅和定日镜, 布置上需要考虑装载了定日镜时车辆的实际宽度, 要在该道路和围栅及定日镜之间留有足够的安全通过宽度, 即需要保证车辆运输定日镜时通过的最小水平净距和垂直净空的要求。

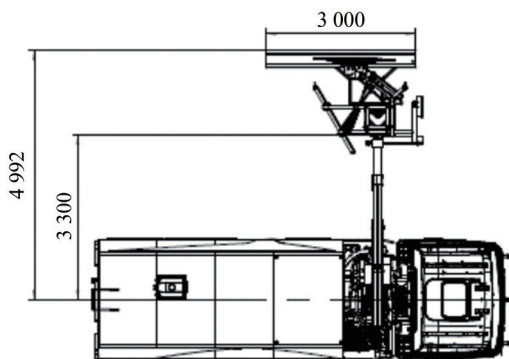
3.3 定日镜间道路布置设计

除小型定日镜场外, 大、中型定日镜场每环或每行定日镜之间的均需要设置支路, 用于消防、定日镜清洗、检修维护和日常巡视。大、中型定日镜场的定日镜间道路长度多达上百公里, 优化道路布置是一项重要的工作。

通常情况下, 定日镜间道路每环都要设置。在实际工程中可根据定日镜场的布置, 靠近吸热塔的近环定日镜的环向间距相对外侧的定日镜环向间距要小, 条件允许时, 可考虑靠近吸热塔的近环定日镜相邻两环定日镜共用一条清洗道路的布置形式, 即每隔一环设置一条清洗道路, 外环定日镜依然按照每环设置。

国内某 50 MW 塔式光热项目, 采用每环设置一条清洗道路时, 定日镜间道路总长约 142 km; 采用后者方案时, 定日镜间道路总长约 123 km, 道路长度减少约 13%。

定日镜间道路布置时应考虑定日镜的形式、旋转角度以及定日镜清洗车辆的相关参数, 如清洗车辆吊臂长度、旋转角度及清洗喷洒高度等, 保证在定日镜呈垂直清洗状态时, 清洗车辆喷洒范围能够覆盖全部定日镜, 且清洗车辆的通行与定日镜旋转互不干扰, 以此来确定道路距定日镜的合理的间距, 如图 5 所示。道路宽度根据清洗和检修车辆的宽度确定, 一般为 3.5~4.0 m。



注: 图中尺寸单位为 mm。

图 5 定日镜清洗通道示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the heliostat cleaning channel

4 定日镜场道路路面结构设计

定日镜场道路数量多、范围大, 合理的结构设计是需要重点关注的内容, 路面结构设计以满足功能使用要求, 经济合理为前提, 路面的选择着重考虑道路施工、当地地材情况、维修条件及美观等因素。

主通道道路是电站中的主要道路, 交通量相对较大, 一般采用中高级路面结构形式, 常采用混凝土路面; 辐射道路和定日镜场周边环形道路由于日常交通量小, 基本仅用于定日镜场的日常维护, 低等级路面结构可满足要求, 可采用水泥结碎石路面、水稳层路面等^[3]。

定日镜间道路由于数量庞大, 结构设计应以满足使用功能为前提, 即以主要满足定日镜清洗车辆运行为基本要求; 以初投资少、日后检修维护量小、对环境影响小为目标; 建议采用低等级路面结构形式, 场地地质条件允许, 采用原土碾压夯实能满足要求时, 尽可能采用此方案, 不建议提高设计标准。

场地地质条件较差, 采用碾压夯实方案不能满足要求时, 路面结构设计受定日镜场地条件、清洗车辆要求、地材供应情况、水保等诸多因素的影响, 要进行多方案的技术经济比较和现场验证后选用经济合理、运行维护少的方案。由于定日镜场面积大, 道路量大, 除原土夯实外的任何一个方案, 都会大幅增加初投资的费用或运行费用, 在方案选择时一定要慎重。此时, 采用低等级路面结构形式能满足要求时就不推荐采用中高等级路面形式, 如混凝土路面, 一则是初投资费用增多, 二则会对地表产生较大的扰动, 对生态也会产生不利的影

国内西部某塔式光热项目定日镜场地条件较差, 地表层风化严重, 夯实困难, 普通载重车辆下陷情况较普遍且严重。

此项目单个定日镜面积约 143 m², 定日镜场共有 4 400 面定日镜, 项目采用的清洗车辆总重 31 t, 4 轴, 车辆尺寸长×宽×高为 8.770 m×2.496 m×3.225 m, 载水量为 9 000 L, 工作行走速度喷淋清洗时 2.5~4.5 km/h, 毛刷清洗时 0.7~2.5 km/h。清洗车辆对路面承载力的要求是不小于 100 kPa, 对路面平整度的要求是不小于 0.20 m/3 m, 清洗频率约为 3 天一次, 定日镜间道路路面面积约为 4.3×10⁵ m²。

针对此项目的场地条件, 曾对道路采用洒水固结、加设 150 mm 厚级配碎石、300 mm 厚级配

碎石以及泥结碎石+稳定加筋滤网等路面结构形式进行对比,并在现场设置道路实验段进行测试。

采用洒水固结的方式,洒水后可在短时间内提高场地的承载力,但是由于现场蒸发量较大,加之运营后清洗及检修较为频繁,土层扰动后很快又恢复松散,不能作为彻底解决该问题的方案。

不同厚度级配碎石的方案,通过现场实验段的反馈,150 mm厚级配碎石路面经过一个月运行后,路面车辙现象严重;300 mm厚级配碎石路面经过一个月的运行后,路面车辙下陷较严重,级配碎石面层部分翻出,路基向两侧坍塌,无法满足长期运行要求;200 mm厚泥结碎石+稳定加筋滤网的路面,经过近一年的试运行,路面结构层稳定,且没有明显车辙,使用情况良好。这三个方案的初投资如表1所示。

表1 定日镜间道路方案投资估算

Tab. 1 Investment estimation of inter-mirror road schemes

方案	投资估算/万元
150 mm厚级配碎石	1 304
300 mm厚级配碎石	2 426.92
200 mm厚泥结碎石+稳定加筋滤网	2 370.71

从表1可以看出不论是选择何种方案,由于定日镜间道路面积大,都将产生较高的初投资,应值得关注和慎重选择。

5 定日镜场道路附属设施设计

国内常规电站很少会涉及道路附属设施的设计,但对于塔式太阳能光热电站,尤其是定日镜场,由于其场地范围大,且外形完全一致,车辆在定日镜场中容易迷失方向,为便于日常的检修维护,有必要统一一定日镜场道路标识系统,并设置相应的道路标志牌,用于道路指引。对此,国外的一些大型塔式光热项目已有应用的实例。

定日镜场的道路标志牌设置,可根据定日镜场布置和定日镜尺寸综合考虑,定日镜尺寸较大时,可以在主通道道路或辐射道路处每环设置一个标志牌;定日镜尺寸相对小时,可以适当增大间距,考虑几环集中设置一个标志牌,如图6所示。道路标志牌上的内容一般包括道路方向及箭头、定日镜场分区号、定日镜的环数等信息。

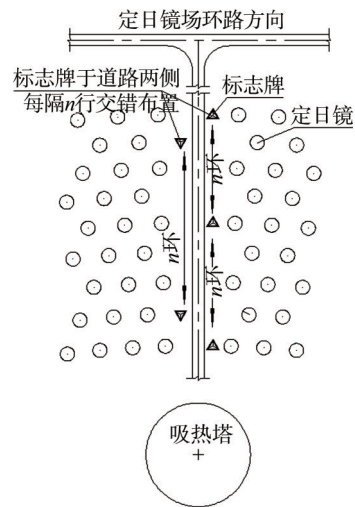


图6 定日镜场道路标志牌设置示意图

Fig. 6 Road sign setting in the heliostat field drawing

6 结论

定日镜场道路设计是塔式太阳能光热电站设计中的一个重要组成部分,本文仅对道路设计中涉及的平面布置、路面结构设计和附属设施设计内容进行探讨。好的定日镜场道路设计,不仅能有效减少电站的初投资,而且在一定程度上也会增大电站发电量,减少运行维护费用,利于设备检修和清洗工作。因此,在设计中要充分分析和关注道路设计中的每一影响因素,综合评判、选择和确定出合理、经济、适用的方案。

参考文献:

- [1] 国家发展改革委. 可再生能源发展“十三五”规划[R]. 北京:国家发展改革委,2016.
- [2] 许继刚,汪毅. 塔式太阳能光热发电站设计关键技术[M]. 北京:中国电力出版社,2019.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 塔式太阳能光热发电站设计标准:GB/T 51307-2018[S]. 北京:中国计划出版社,2019.

作者简介:



彭兢

彭兢(通信作者)

1973-,女,辽宁鞍山人,教授级高级工程师,总图设计与运输专业,硕士研究生,主要从事电力总图设计工作(e-mail) pengjing@nwepdi.com.

(责任编辑 李辉)