

槽式太阳能集热器立柱安装精度的研究

黄 鸣, 张修田, 刘海波, 赵吉芳*

(皇明太阳能股份有限公司, 德州 253000)

摘 要: 结合实际槽式太阳能集热器立柱安装工程, 通过对工程中出现的安装误差问题进行分析, 明确集热器立柱安装精度的控制要点, 编制正确的安装工艺路线, 实现立柱的高精度安装, 从而保证槽式太阳能集热器的安装精度, 为槽式太阳能集热器的高效运行奠定坚实基础。

关键词: 太阳能; 槽式太阳能集热器; 支撑立柱; 驱动立柱; 安装精度

中图分类号: TK519

文献标志码: A

0 引言

从全球范围来看, 太阳能热发电项目稳步增长, 尤其是商业化太阳能热发电项目正逐步增多^[1]。太阳能热发电是将太阳能转化为热能, 然后利用热功转化过程发电的技术。随着运行经验的积累, 太阳能热发电系统的成本和投资风险都在逐步降低。

槽式太阳能热发电是目前太阳能热发电的主要形式之一, 其主要是利用槽式聚光镜将太阳光聚在一条线上, 然后利用在这条线上安装的一个管状集热器来吸收太阳能, 并对传热工质进行加热, 再借助蒸汽的动力循环来发电^[2]。在槽式太阳能热发电站的建设中, 集热器支撑装置的安装属于槽式太阳能集热器安装过程中的重要步骤之一, 而立柱的安装是支撑装置安装的关键工作, 决定了槽式太阳能热发电系统的精度与稳定性。本文以山东德州某槽式太阳能热发电项目为例, 分析了集热器立柱安装工程中出现的误差问题, 并研究了立柱安装精度的控制要点。

1 槽式太阳能集热器支撑装置的构成及立柱的安装工艺流程

1.1 槽式太阳能集热器支撑装置的构成

槽式太阳能热发电系统由多列槽式太阳能

集热器组成, 图1为皇明太阳能股份有限公司位于山东省德州市的某槽式太阳能热发电项目的槽式太阳能集热器阵列。



图1 槽式太阳能集热器阵列

Fig. 1 Trough solar collector array

槽式太阳能集热器的支撑装置主要包括立柱、真空管支撑、支撑臂、轴承座等; 其中, 立柱包括支撑立柱和驱动立柱。具体如图2所示^[3]。

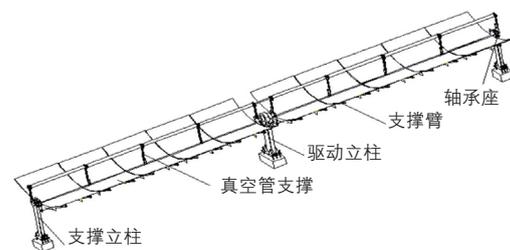


图2 槽式集热器的支撑装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of supporting device of trough solar collector

收稿日期: 2019-09-23

通信作者: 赵吉芳 (1979—), 本科、工程师, 主要从事太阳能中高温发电技术、主被动建筑供能技术方面的研究。zhaojifang79@126.com

1.2 槽式太阳能集热器立柱的安装工艺流程

槽式太阳能集热器立柱在初步安装时的顺序为：驱动立柱定位固定→支撑立柱安装→测量距离确定支撑立柱的位置、定位→支撑立柱固定。

立柱的安装是支撑装置安装的基础，其安装精度直接决定了槽式太阳能集热器的安装精度。因此，合理分配各安装步骤的误差，编制合理的施工文件，严格控制安装过程，是保证最终安装质量的基础。

综合分析槽式太阳能集热器立柱安装过程中的关键部件及安装工艺，可提高安装质量控制能力。上述项目中包括 4 列槽式太阳能集热器，每列槽式太阳能集热器的立柱间的距离控制均如图 3 所示。其中，2 根相邻立柱的上端距离为 $L_{上}$ 、下端距离为 $L_{下}$ ， $M_1 \sim M_6$ 为 2 根相邻立柱的相对位置。

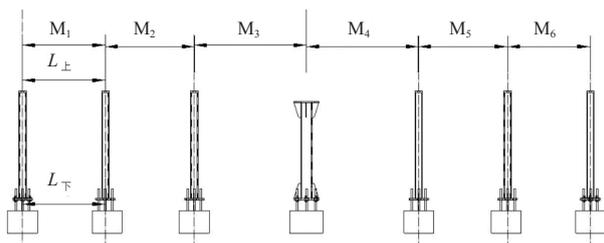


图 3 立柱间的距离控制图

Fig. 3 Distance control chart between columns

在槽式太阳能集热器阵列中，立柱间的位置关系如图 4 所示，其中，柱₀为驱动立柱，柱₁~柱₆为支撑立柱。

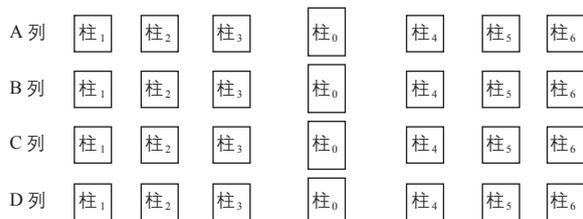


图 4 槽式太阳能集热器阵列中立柱间的位置关系图
Fig. 4 Position relationship diagram of columns in trough solar collector array

根据安装精度的要求，并结合零部件的结构特点，对立柱安装时的工艺进行重新设计。新的安装工艺流程为：驱动立柱定位、安装→支撑立柱安装→支撑立柱间距调整→支撑立柱标高调整→支撑立柱间距复测调整→支撑立柱标高复测

调整→验收交接。

2 控制要素分析

1) 为保证立柱的安装精度，在施工前，需要根据零部件的技术特点并结合安装工艺流程，编制立柱安装专项方案。该方案应该对施工中的人员、机器、原料、方法、环境，即“人、机、料、法、环”5个要素进行界定，明确各要素的要求。该方案编制完成后，按照监理流程进行审批。

2) 测量精度是立柱安装精度控制的关键因素，为避免测量误差影响安装精度，应采用多人测试、复测相结合的方法进行测量控制。

3) 立柱间距的精度高低决定了槽式聚光器能否准确无误地安装，以及安装后在温度变化条件下其能否正常工作。

4) 立柱安装过程中，通过测量立柱上、下端间的距离来控制垂直度。垂直度精度是影响立柱及减速机受力状态，以及集热器的跟踪精度及抗风荷载能力的关键因素。

5) 安装过程中，需先将驱动立柱调整、固定在理想位置，然后以其为基准安装支撑立柱，整列集热器的其他 6 根支撑立柱的理论中心线的位置偏差需为 $\pm 3 \text{ mm}$ 。

6) 分别使用水平仪、经纬仪测量立柱标高和各立柱中心面共面精度，并进行调整。

7) 在立柱顶端平面上设置标杆，标杆横置，标杆零刻度线与立柱中心面对齐，以驱动立柱中心面为基准，使用水平仪、经纬仪测量其他立柱中心面偏差，然后根据测量值进行调整，直至符合要求。

8) 立柱间距及立柱垂直度通过测量、调整立柱上、下端距离来综合控制，即要求立柱之间上端与上端、下端与下端之间的间距符合要求，且立柱的上端或下端距离与理论值 $L_{理论}$ 的差值符合要求。

3 工程案例分析

对上文中的某槽式太阳能热发电项目（其立

柱布置方式见图3、图4)的立柱安装过程中产生误差的原因进行分析。该项目的太阳能集热器共为4列(A列~D列),每列太阳能集热器的立柱由6根支撑立柱和1根驱动立柱组成。相关部门

已按既定安装工艺完成了立柱的安装。

根据图3所示的立柱间的距离,立柱间距离的测量数据如表1所示。图5为4列集热器中每2根相邻立柱的上端距离 $L_{上}$ 与其下端距离 $L_{下}$ 的

表1 集热器立柱间的距离统计表

Table 1 Statistical of distance between collector columns

相对位置	水平间距/mm		理论值 $L_{理论}/mm$	$\Delta L/mm$	$\Delta L_1/mm$	$\Delta L_2/mm$	相对位置	水平间距/mm		理论值 $L_{理论}/mm$	$\Delta L/mm$	$\Delta L_1/mm$	$\Delta L_2/mm$	
	$L_{上}$	$L_{下}$						$L_{上}$	$L_{下}$					
A列	M ₁	8179	8182	8178	-3	1	C列	M ₁	8179	8180	8178	-1	1	2
	M ₂	8177	8182	8178	-5	-1		M ₂	8178	8180	8178	-2	1	2
	M ₃	8374	8379	8377	-5	-3		M ₃	8378	8380	8377	-2	1	3
	M ₄	8378	8381	8377	-3	1		M ₄	8375	8375	8377	0	-2	-2
	M ₅	8177	8178	8178	-1	-1		M ₅	8177	8180	8178	-3	-1	2
	M ₆	8174	8179	8178	-5	-4		M ₆	8180	8178	8178	-2	2	0
B列	M ₁	8177	8180	8178	-3	-1	D列	M ₁	8177	8178	8178	-1	-1	0
	M ₂	8176	8179	8178	-3	-1		M ₂	8176	8178	8178	-2	-2	0
	M ₃	8376	8377	8377	-1	-1		M ₃	8376	8378	8377	-2	-1	1
	M ₄	8374	8382	8377	-3	-3		M ₄	8377	8377	8377	0	0	0
	M ₅	8176	8180	8178	-4	-2		M ₅	8180	8178	8178	2	2	0
	M ₆	8177	8178	8178	-1	-1		M ₆	8179	8178	8178	1	1	0

注: $\Delta L=(L_{上}-L_{下})$; $\Delta L_1=(L_{上}-L_{理论})$; $\Delta L_2=(L_{下}-L_{理论})$

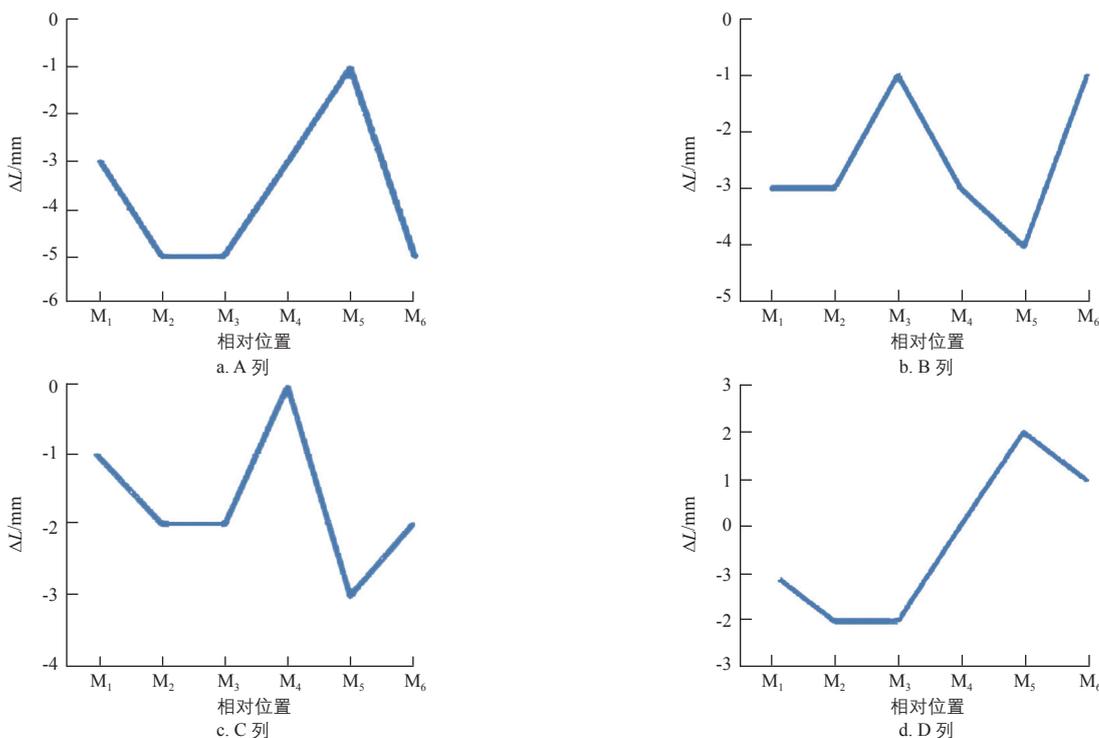


图5 集热器立柱间的位置偏差分布
Fig. 5 Distribution of position deviation between collector columns

差值，即位置偏差 ΔL 的曲线图。

由于立柱间距的位置偏差须为 $\pm 3 \text{ mm}$ ，由图 5 可知，4 列集热器中，A 列和 B 列集热器的立柱上端距离与下端距离之间的差值绝大部分都超过了 3 mm ，所以立柱的安装不满足设计要求。

这可能是因为在立柱的安装过程中采用的是水平仪控制立柱的垂直度，由于测量仪器的精度较低，再加上测量时的误差、测量人员不同等原因，导致垂直度超过了允许的偏差值。

通过上述原因分析，对原有立柱施工方案进行修订。修订后的方案为：驱动立柱安装（位

置度、垂直度、高度达到要求后固定）→支撑立柱安装→支撑立柱间距复测调试→支撑立柱的直线度、高度复测调试→支撑立柱的垂直度复测调试。

在立柱的安装调试过程中，立柱的间距、高度、垂直度最为重要。安装过程中，测试人员应尽量固定，测试方法采取正向测试后再逆向复测，避免因操作失误而影响安装精度。重新安装调试后对集热器立柱间的距离再次进行测量，数据如表 2 所示，2 根相邻立柱间的位置偏差曲线如图 6 所示。

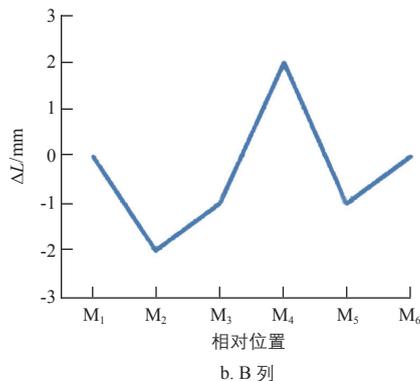
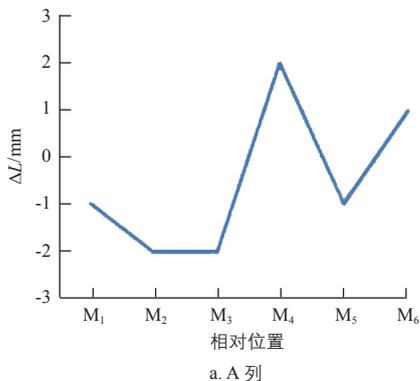
表 2 修订后的集热器立柱间的距离统计表

Table 2 Revised statistics table of distance between collector columns

相对位置	水平间距 /mm		理论值 $L_{\text{理论}}/\text{mm}$	ΔL /mm	ΔL_1 /mm	ΔL_2 /mm	相对位置	水平间距 /mm		理论值 $L_{\text{理论}}/\text{mm}$	ΔL /mm	ΔL_1 /mm	ΔL_2 /mm		
	$L_{\text{上}}$	$L_{\text{下}}$						$L_{\text{上}}$	$L_{\text{下}}$						
A 列	M_1	8177	8178	-1	-1	0	C 列	M_1	8179	8179	8178	0	1	1	
	M_2	8177	8179	8178	-2	-1		1	M_2	8177	8179	8178	-2	-1	1
	M_3	8375	8377	8377	-2	-2		0	M_3	8375	8375	8377	0	-2	-2
	M_4	8379	8377	8377	2	2		0	M_4	8379	8377	8377	2	2	0
	M_5	8177	8178	8178	-1	-1		0	M_5	8179	8177	8178	2	1	-1
	M_6	8179	8179	8178	1	1		1	M_6	8179	8179	8178	0	1	1
B 列	M_1	8177	8177	8178	0	-1	-1	D 列	M_1	8177	8179	8178	-2	-1	1
	M_2	8177	8179	8178	-2	-1	1		M_2	8177	8179	8178	-2	-1	1
	M_3	8378	8379	8377	-1	1	2		M_3	8379	8379	8377	0	2	2
	M_4	8379	8377	8377	2	2	0		M_4	8379	8377	8377	2	2	0
	M_5	8178	8179	8178	-1	0	1		M_5	8180	8179	8178	1	2	1
	M_6	8179	8179	8178	0	1	1		M_6	8179	8179	8178	0	1	1

由图 6 可以看出，施工方案调整后，立柱的位置偏差全部控制在允许的偏差范围内，达到了

立柱的安装要求，从而可保证槽式太阳能集热器的安装精度。



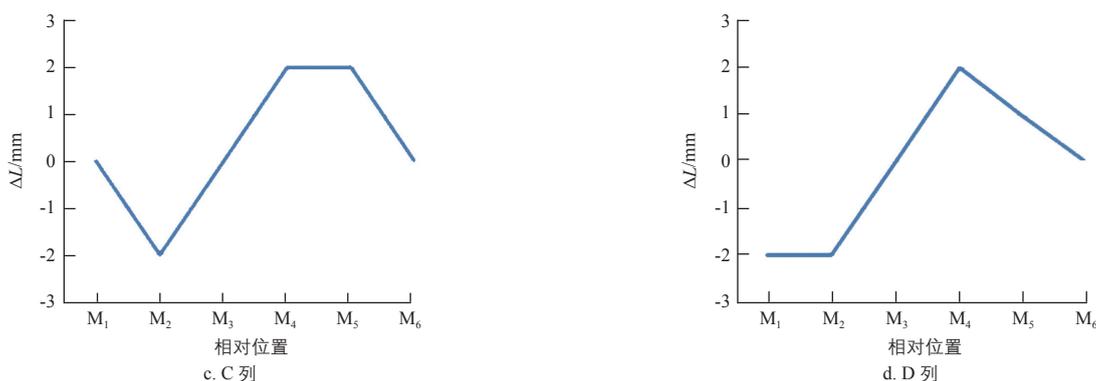


图6 修订后的集热器立柱位置偏差分布

Fig. 6 Revised position deviation distribution between collector columns

4 结论

本文分析了槽式太阳能集热器立柱的位置偏差特点及安装工艺路线，并结合实际的立柱安装案例，对立柱在安装过程中的精度控制进行了详细阐述。在立柱安装过程中，应对施工方案进行严格论证，在施工过程中做好过程管理，特别是数据的记录与检测复验工作，以便在施工过程中及时进行纠偏分析，达到立柱安装的精度要求，从而实现立柱的高精度安装。该做法是在实际工程施工中总结得到的，在后续的立柱安装过程中，经过实践验证了该方法是可行、有效的。

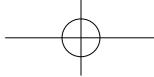
本文的研究旨在提供一种科学合理的槽式太阳能集热器立柱的安装调试方法，以便解决长期困扰槽式太阳能热发电站的集热器阵列建设时的技术瓶颈，提高施工效率和安装质量。

目前，中国槽式太阳能热发电处于研究与实践相结合的阶段，科研机构、企业相关人员都在

消化国外技术、探索适合中国国情的技术路线，本文的研究方法可为相关研究人员、研究机构提供有益的指导，为槽式太阳能集热器立柱的安装调试提供有益的帮助，为现阶段槽式太阳能集热器的安装施工提供有力的技术支持；同时，也希望为采用类似结构的其他项目提供可靠的技术支持，并且该方法在大规模槽式太阳能集热器阵列的建设、施工中的作用更为显著。

【参考文献】

- [1] 徐永邦, 王芳. 槽式太阳能热发电站的设计[J]. 太阳能, 2011(13): 18 - 22.
- [2] 百度百科. 槽式太阳能热发电技术[EB/OL].[2019-08-15]. <https://baike.baidu.com/item/%E6%A7%BD%E5%BC%8F%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%83%AD%E5%8F%91%E7%94%B5%E6%8A%80%E6%9C%AF/6523117?fromtitle=%E6%A7%BD%E5%BC%8F%E5%A4%AA%E9%98%B3%E8%83%BD%E7%83%AD%E5%8F%91%E7%94%B5&fromid=3226771&fr=aladdin>.
- [3] 郑建涛, 张剑寒, 余强, 等. 槽式太阳能聚光器研究进展[J]. 太阳能, 2015(8): 56 - 61.



RESEARCH ON INSTALLATION ACCURACY OF TROUGH SOLAR COLLECTOR COLUMN

Huang Ming, Zhang Xiutian, Liu Haibo, Zhao Jifang

(Himin Solar Co., Ltd., Dezhou 253000, China)

Abstract: By combining the actual trough solar collector columns installation project, the installation error problems in the project were analyzed, the main points of the installation accuracy control of the collector columns were clarified, the correct installation process route was compiled, and the support was realized. The high-precision installation of the columns ensures the installation accuracy of the trough solar collector and lays a solid foundation for the efficient operation of the trough solar collector.

Keywords: solar energy; trough solar collector; support column; drive column; installation accuracy