

引用格式: 胡传鹏, 高志毓, 董旭光. 交能融合项目路域光伏支架结构方案比较 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(增刊 1): 7-13. HU Chuanpeng, GAO Zhiyu, DONG Xuguang. Comparative study on the structural schemes for photovoltaic supports in the road domain of the transportation and energy integration project [J]. Southern energy construction, 2024, 11(Suppl. 1): 7-13. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.02.

## 交能融合项目路域光伏支架结构方案比较

胡传鹏<sup>1,✉</sup>, 高志毓<sup>1</sup>, 董旭光<sup>2</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广东 广州 510663;

2. 中能建装配式建筑科技(巴东)有限公司, 湖北 恩施 444300)

**摘要:** [目的] 为了得到交能融合项目路域光伏支架最佳的结构布置方案, 提出了要将光伏支架上部结构与相应的基础结合起来综合进行比较的思路, 并根据该思路进行了比较分析。[方法] 针对一个标准的光伏阵列, 结合以往项目经验, 设计了 3 种可行的光伏支架结构布置方案, 并对这 3 个方案进行了技术经济性比选。[结果] 比选结果表明: 双立柱双桩方案的总体造价最低, 技术可行性最高。[结论] 通过综合比较确定了交能融合项目路域光伏支架最佳的结构布置方案, 可为同类型项目光伏支架结构布置方案优化提供思路。

**关键词:** 交能融合; 光伏支架; 结构布置方案; 基础; 优化

中图分类号: TK519; TU318

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2024)S1-0007-07

DOI: 10.16516/j.ceec.2024.S1.02

OA: <https://www.energychina.press/>



论文二维码

## Comparative Study on the Structural Schemes for Photovoltaic Supports in the Road Domain of the Transportation and Energy Integration Project

HU Chuanpeng<sup>1,✉</sup>, GAO Zhiyu<sup>1</sup>, DONG Xuguang<sup>2</sup>

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, Guangdong, China;

2. China Energy Construction Prefabricated Construction Technology (Badong) Co., Ltd., Enshi 444300, Hubei, China)

**Abstract:** [Introduction] In order to obtain the optimal structural layout scheme for photovoltaic supports in the road domain of the transportation and energy integration project, an idea of comprehensive comparison is proposed by combining the upper structure of photovoltaic supports with corresponding foundations, and a comparative analysis is conducted based on this idea. [Method] For a standard photovoltaic array, based on previous project experience, three feasible structural layout schemes for photovoltaic supports were designed, and a technical and economic comparison was conducted among these three schemes. [Result] The comparison results indicate that the double-column and double-pile scheme has the lowest overall cost and the highest technical feasibility. [Conclusion] Through comprehensive comparison, the optimal structural layout scheme for photovoltaic supports in the road domain of the transportation and energy integration project has been determined, which can provide ideas for the optimization of the structural layout scheme for photovoltaic supports in similar projects.

**Key words:** transportation and energy integration; photovoltaic supports; structural layout scheme; foundation; optimization

2095-8676 © 2024 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

### 0 引言

随着国家“双碳”战略的提出, 各行业都密切关

注积极响应, 陆续出台了针对性的落地政策和减碳降排的措施, 交通领域作为碳排放的重点领域, 其碳排放达峰和深度减排对实现碳达峰碳中和意义重大。

收稿日期: 2023-07-24 修回日期: 2023-08-01

基金项目: 中国能建广东院科技项目“综合交通与能源融合关键技术研究工程示范”(CEEC2021-KJZX-08-2)

2019年6月,党中央、国务院印发《交通强国建设纲要》,提出要构筑多层次、一体化的能源交通融合的综合交通枢纽体系,优化交通能源结构,推进可再生能源、清洁能源应用。2021年2月,党中央、国务院印发《国家综合立体交通网规划纲要》,提出要“加强可再生能源、新能源、清洁能源装备设施更新利用和废旧建材再生利用,促进交通能源动力系统清洁化、低碳化、高效化发展”。在“双纲要”目标的指引下,加速交通基础设施网、运输服务网、能源网、信息网四网融合发展,已成为不可逆转的发展趋势,构建清洁低碳、安全高效的现代化交通能源体系,实现交通与能源的有机融合,是贯彻新发展理念、推动交通运输高质量发展的必由之路。在这个宏观背景下,本项目拟在高速公路路侧边坡(南侧)及服务区(收费站)建设光伏发电项目,在交通领域形成稳定的清洁能源用能规模,提高交通领域清洁能源自给率。

## 1 研究现状及工程概况

### 1.1 研究现状

判断一个光伏项目是否成功,一个关键指标就是该项目整个建设运营期的投资收益是否达到预期。光伏支架基础由于数量庞大,且结构形式多样,其一直是光伏项目土建成本控制的重点。光伏支架结构及光伏支架基础选型的合理性与经济性是影响光伏项目建造成本的重要因素。目前许多光伏行业从业者对这点都有了比较清楚的认识,也对光伏支架结构及基础的选型进行了一系列的研究与实践<sup>[1-8]</sup>。

文献[1]对各类光伏支架基础形式及其优缺点进行了归纳总结,同时基于实际工程对某陆地光伏支架基础的设计优化进行了分析研究,并根据分析结果对光伏支架基础的选型与设计提出了一些建议。文献[2, 18]是针对屋顶分布式发电项目的光伏支架基础优化设计进行了研究。文献[3]以广西崇左某150 MWp农光互补光伏项目为例,结合农光互补这一类项目特点,通过对比分析选择了最优的结构型式。文献[4]对光伏支架结构的抗台风设计进行了研究,提出了台风地区光伏支架结构的设计建议。文献[5]针对光伏领跑者项目特殊的地形地貌,分析各种类型支架和基础对地形及地质的适用性,设计出不同形式的支架及基础。文献[6, 7, 9]针对山地

光伏复杂地形和地质条件下的特点,在传统支架基础上进行创新设计,提出了一种可适用于山地光伏的新型支架基础型式。文献[8, 14, 15]分别针对沙漠地区、扰动区及盐光互补项目等特殊条件下的光伏项目支架基础选型进行了探讨。

这些研究和实践虽然对光伏支架结构及基础选型进行了一定程度的技术经济性比选,但都是基于各自所依托项目特点进行的针对性方案比选研究,有针对农业用地地质特点的,有针对山区地形特征的,但对于交能融合这一类型项目在高速公路路基边坡上架设光伏支架的情况未有涉及。此外,这些研究在进行方案技术经济性比选时,一般是把上部支架和下部基础分开来进行比较<sup>[1-18]</sup>,这种比较方式只是关注整体设计方案的一个局部,会让比选结论无法真实反映出设计方案整体的技术经济合理性。

图1为路侧光伏实景照片。



图1 路侧光伏实景照片

Fig. 1 Realistic photo of roadside photovoltaic system

### 1.2 工程概况

某交能融合项目拟在高速公路路侧边坡(南侧)及服务区(收费站)建设光伏发电项目,总装机容量约123.99 MWp。路域光伏组件布置区域主要在已建路基边坡上,光伏支架基础采用桩基础。本项目公路已经建成运营,根据公路路基设计规范,公路路基的基底压实度不低于90%,路堤的压实度要求不低于93%,路床的压实度不低于96%,且路基填料CBR值不小于3%,路基填土能达到中密以上,且对于软弱土层采用了换填和强夯等方法进行处理。

光伏组件阵列布置方案根据路侧边坡高度不同,有2×13、2×26以及3×26等几种形式,其中2×13的阵列布置形式占比最大,为方便研究,本文后续的支

架方案比较均针对  $2 \times 13$  这种阵列布置方案。 $2 \times 13$  的阵列布置中, 2 表示沿道路横向布置两排光伏板, 13 表示沿道路纵向布置 13 列光伏板, 如图 2 所示。单块光伏板的尺寸为  $1\,133\text{ mm} \times 2\,256\text{ mm}$ , 自重  $32.8\text{ kg}$ , 光伏支架倾角为  $29^\circ$ 。

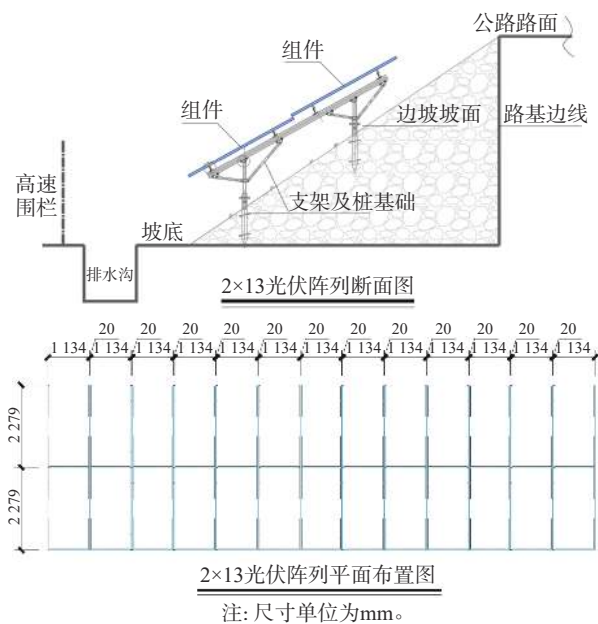


图 2  $2 \times 13$  光伏阵列布置图

Fig. 2 Layout of  $2 \times 13$  photovoltaic array

本项目 50 年一遇基本风压为  $0.40\text{ kN/m}^2$ , 25 年一遇基本风压为  $0.36\text{ kN/m}^2$ ; 50 年一遇基本雪压为  $0.40\text{ kN/m}^2$ , 25 年一遇基本雪压为  $0.33\text{ kN/m}^2$ ; 抗震设防烈度为  $7^\circ$ , 设计基本地震加速度为  $0.15\text{ g}$ , 设计地震分组为第二组<sup>[19-20]</sup>。

## 2 支架整体结构方案研究

本项目光伏支架是布置在高速公路路堤南侧边坡上, 高速公路已建成通车, 施工场地条件受限, 只能考虑在路基坡脚处临时征用一部分农田作为本项目的施工作业场地, 常规的管桩设备由于过于庞大, 在本项目中无法使用, 此外钢筋混凝土预制桩由于挤土效应比较明显, 对路基边坡的稳定性影响较大, 也不适用于本项目。综合考虑各种因素, 本项目桩基础主要考虑采用灌注桩基础和钢管螺旋桩基础。上部的光伏支架结构根据以往项目经验, 斜梁和檩条采用冷弯薄壁型钢, 立柱和斜撑采用圆钢管, 能够在满足结构承载力和变形要求的同时, 获得不错的性价比。

本项目一个标准的阵列为  $2 \times 13$  的布置形式, 平面和断面如图 2 所示。对于光伏支架上部结构来说, 影响其经济性最大的因素就是纵向檩条的工程量, 找到一个合适跨度的檩条布置方案对保证支架整体结构方案的经济性至关重要。在本项目特定的风压、雪压以及倾角条件下, 经过对不同跨度的布置方案进行试算, 确定本项目纵向的跨度取  $3.3\text{ m}$ 。在支架结构横向, 根据横向总体宽度, 结合以往的项目经验, 可布置成单立柱、双立柱或者三立柱, 因此整体的支架结构方案可分为单立柱单桩、双立柱双桩以及三立柱三桩三种形式。

### 2.1 单立柱单桩

本项目单立柱单桩方案中, 斜梁和檩条均采用冷弯薄壁型钢, 其中斜梁截面为  $C100 \times 50 \times 15 \times 2$ , 檩条截面为  $C120 \times 60 \times 20 \times 2.5$ ; 立柱和斜撑采用圆钢管, 其中立柱截面为  $\phi 73 \times 6.0$ , 斜撑截面为  $\phi 60 \times 2$ 。基础采用直径  $300\text{ mm}$  的灌注桩。布置如图 3 所示。

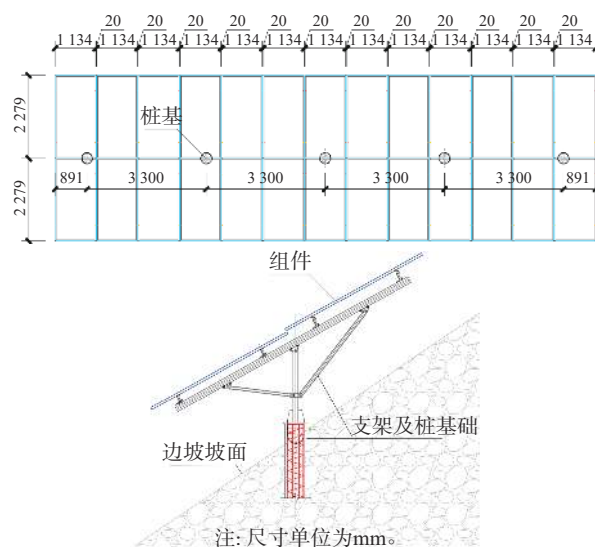


图 3 单立柱单桩示意图

Fig. 3 Schematic diagram of single column and single pile

建模计算采用盈建科光伏模块, 上部支架结构应力比控制在  $0.85$  左右。根据支座反力, 结合本项目勘察资料以及试桩结果, 确定灌注桩基础长度为  $3\text{ m}$ 。单立柱单桩布置方案对于  $2 \times 13$  这样一个阵列的工程量如表 1 所示。

从表 1 可以看出, 对于一个  $2 \times 13$  的光伏阵列, 采用单立柱单桩方案, 光伏支架结构(含基础)部分总的造价为  $7\,553$  元。



表 1 单立柱单桩方案工程量及造价表

Tab. 1 Quantities and cost for single column and single pile scheme

构件	规格	长度/m	数量/根	单位重量/ (kg·m <sup>-1</sup> )	总重/ kg
檩条	C120×60×20×2.5	14.98	4	5.3	317.6
主梁	C100×50×15×2	4.3	5	3.64	78.3
斜撑	D60×2	2.33	5	2.86	33.2
斜撑	D60×2	1.34	5	2.86	19.1
立柱	D73×6.0	0.38	5	7.27	13.9
上部结构造价合计/元				4 853	
基础	直径300 mm灌注桩	3	5	-	-
基础造价合计/元				2 700	
单立柱单桩方案单组2×13阵列造价合计/元				7 553	

## 2.2 双立柱双桩

本项目双立柱双桩方案中,斜梁和檩条均采用冷弯薄壁型钢,其中斜梁截面为 C100×50×15×2,檩条截面为 C120×55×20×2.2;立柱和斜撑采用圆钢管,其中立柱截面为 $\phi 60 \times 4$ ,斜撑截面为 $\phi 40 \times 1.5$ 。基础采用直径 76 mm 的钢管螺旋桩。布置如图 4 所示。

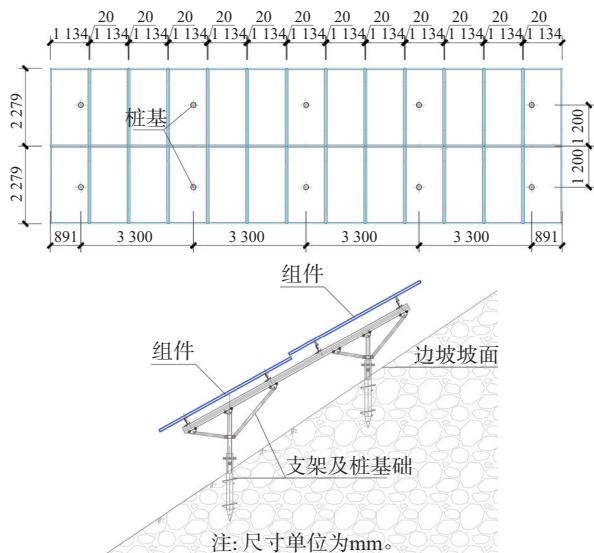


图 4 双立柱双桩示意图

Fig. 4 Schematic diagram of double columns and double piles

建模计算采用盈建科光伏模块,上部支架结构应力比与单立柱单桩方案保持一致,控制在 0.85 左右。根据支座反力,结合本项目勘察资料以及试桩结果,确定钢管螺旋桩基础长度为 2 m。双立柱双桩布置方案对于 2×13 这样一个阵列的工程量如表 2 所示。

表 2 双立柱双桩方案工程量及造价表

Tab. 2 Quantities and cost for double-column and double-pile scheme

构件	规格	长度/m	数量/根	单位重量/ (kg·m <sup>-1</sup> )	总重/kg
支架柱	D60×4	0.92	5	5.52	25.392
	D60×4	0.6	5	5.52	16.56
斜梁	C100×50×15×2.0	4.3	5	3.64	78.26
檩条	C120×55×20×2.2	15.2	4	4.52	274.816
斜撑	D40×1.5	1.65	5	1.42	11.715
	D40×1.5	1.65	5	1.42	11.715
上部结构造价合计/元				4 394	
基础	$\phi 76$ 钢管螺旋桩	2	10	-	-
基础造价合计/元				1 720	
双立柱双桩方案单组2×13阵列造价合计/元				6 114	

从表 2 可以看出,对于一个 2×13 的光伏阵列,采用双立柱双桩方案,光伏支架结构(含基础)部分总的造价为 6 114 元。

## 2.3 三立柱三桩

本项目三立柱三桩方案中,斜梁和檩条均采用冷弯薄壁型钢,其中斜梁截面为 C80×40×15×2.0,檩条截面为 C120×55×20×2.2;立柱和斜撑采用圆钢管,其中立柱截面为 $\phi 60 \times 4$ 。基础采用直径 76 mm 的钢管螺旋桩。布置如图 5 所示。

建模计算采用盈建科光伏模块,上部支架结构应力比与前两个方案保持一致,同样控制在 0.85 左右。根据支座反力,结合本项目勘察资料以及试桩结果,确定钢管螺旋桩基础长度为 2 m。单立柱单桩布置方案对于 2×13 这样一个阵列的工程量如表 3 所示。

从表 3 可以看出,对于一个 2×13 的光伏阵列,采用三立柱三桩方案,光伏支架结构(含基础)部分总的造价为 6 684 元。

## 3 技术经济性比较

通过上述 3 种结构方案的分析可以得出如下 3 个结论:

1) 在基础方面,单立柱单桩方案桩基数量最少,对路基边坡扰动的范围最小,但单桩直径较大,施工难度较大;三立柱三桩方案桩基数量最多,对路基边坡扰动的范围最大,但其采用的直径较小的钢管螺

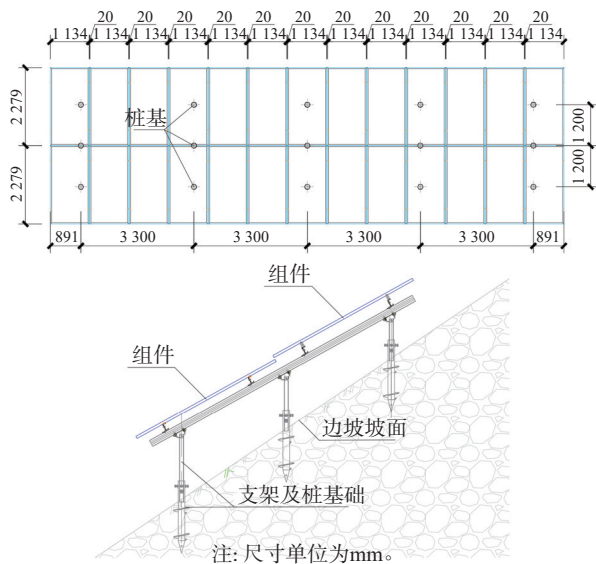


图 5 三立柱三桩示意图

Fig. 5 Schematic diagram of three columns and three piles

表 3 三立柱三桩方案工程量及造价表

Tab. 3 Quantities and cost for three-column and three-pile scheme

构件	规格	长度/m	数量/根	单位重量/ (kg·m <sup>-1</sup> )	总重/kg
支架柱	D54×4	0.97	5	4.93	23.91
	D54×4	0.78	5	4.93	19.23
	D54×4	0.61	5	4.93	15.04
斜梁	C80×40×15×2.0	4.3	5	2.72	58.48
檩条	C120×55×20×2.2	15.2	4	4.51	274.208
上部结构造价合计/元					4 104
基础	φ76钢管螺旋桩	2	15		
基础造价合计/元					2 580
三立柱三桩方案单组2×13阵列造价合计/元					6 684

旋桩, 施工方便效率高; 双立柱双桩方案在扰动范围及施工效率方面取得了一个较好的平衡, 且该方案基础造价最低。

2) 在上部支架方面, 单立柱单桩方案斜梁、斜撑及立柱受力最不利, 截面也最大, 上部支架总工程量在 3 个方案中最大, 造价也最高; 三立柱三桩方案由于中部多了一排立柱, 斜梁跨度最小, 单根立柱承担的荷载也是最小的, 受力最有利, 斜梁和立柱的截面也最小, 同时三立柱三桩方案还减少了斜撑的用量, 因此上部支架总工程量在 3 个方案中最小, 造价也最低; 双立柱双桩方案上部支架结构的工程量和造

价介于两者之间。

3) 在经济性方面, 对于单组 2×13 的光伏阵列, 同时考虑上部结构和基础, 单立柱单桩支架的方案总造价最高, 约为 7 553 元; 双立柱双桩方案总造价最低, 约为 6 114 元; 三立柱三桩方案总造价居于二者之间, 约为 6 684 元。

3 种结构方案的技术经济性比较详见表 4。

表 4 3 种结构方案的技术经济性比较表

Tab. 4 Technical and economic comparison of three structural schemes

方案	优点	缺点	单组2×13 阵列造价/元	差别/ (%)
单立柱单桩	减少桩基数量	边坡上没有作业平台, 施工难度较大, 可能对边坡造成较大破坏。	7 553	23.5
双立柱双桩	钢管螺旋桩施工便利, 工期短, 造价较低。	钢管螺旋桩在钻进过程中对边坡表层存在扰动。	6 114	0.0
三立柱三桩	单桩承载力要求小	桩基数量较多, 经济性差	6 684	9.3

## 4 结论

本文针对交能融合这一类型在高速公路路基边坡上架设光伏支架的情况, 进行了深入的研究, 分析了以往研究中存在的不足, 并通过对 3 种不同支架结构布置方案的上部结构和下部基础进行整体的技术经济性比选, 得到了单组 2×13 阵列最佳的结构布置方案, 给以后同类型项目光伏支架结构的方案优化提供了思路。

## 参考文献:

- [1] 赵婷婷, 江赛雄. 光伏支架基础选型与设计优化研究 [J]. 建筑结构, 2022, 52(增刊 1): 2353-2357. DOI: 10.19701/j.jzjg.22S1619.
- ZHAO T T, JIANG S X. Study on foundation selection and design optimization of PV support [J]. Building structure, 2022, 52(Suppl.1): 2353-2357. DOI: 10.19701/j.jzjg.22S1619.
- [2] 王潇羽. 混凝土平屋顶光伏支架及基础优化设计与应用 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(1): 81-85. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.014.
- WANG X Y. Optimization design and application on

- photovoltaic support and foundation of flat concrete roof [J]. *Southern energy construction*, 2019, 6(1): 81-85. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.014](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.014).
- [3] 陶兴南. “农光互补”光伏电站支架基础结构选型对比分析 [J]. *安装*, 2022(3): 71-72,80.  
TAO X N. Comparative analysis on the selection of support foundation structure for "agricultural photovoltaic complementary" photovoltaic power stations [J]. *Installation*, 2022(3): 71-72,80.
- [4] 史磊. 光伏电站支架系统结构抗台风设计实践 [J]. *南方能源建设*, 2020, 7(1): 90-94. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.014](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.014).  
SHI L. Design and practice of typhoon resistance for supporting bracket system of PV power station [J]. *Southern energy construction*, 2020, 7(1): 90-94. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.014](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.01.014).
- [5] 买发军. 光伏领跑者项目支架及基础选型设计 [J]. *太阳能*, 2017(6): 36-37. DOI: [10.19911/j.1003-0417.2017.06.010](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.2017.06.010).  
MAI F J. Design of support and foundation selection for the photovoltaic leader project [J]. *Solar energy*, 2017(6): 36-37. DOI: [10.19911/j.1003-0417.2017.06.010](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.2017.06.010).
- [6] 何文俊, 郑少平, 周于程. 山地光伏支架基础创新研究及应用 [J]. *工程建设与设计*, 2016(5): 25-27,30. DOI: [10.13616/j.cnki.gcjsysj.2016.05.003](https://doi.org/10.13616/j.cnki.gcjsysj.2016.05.003).  
HE W J, ZHENG S P, ZHOU Y C. Innovation research and application of mountain PV support foundation [J]. *Construction & design for project*, 2016(5): 25-27,30. DOI: [10.13616/j.cnki.gcjsysj.2016.05.003](https://doi.org/10.13616/j.cnki.gcjsysj.2016.05.003).
- [7] 明小燕, 奚泉, 周毅. 锚杆灌注桩基础在山地光伏电站光伏支架基础中的应用研究 [J]. *太阳能*, 2021(1): 73-77. DOI: [10.19911/j.1003-0417.tyn20200226.01](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.tyn20200226.01).  
MING X Y, XI Q, ZHOU Y. Research on application of anchor rod cast-in-place pile foundation in PV bracket foundation of mountain PV power station [J]. *Solar energy*, 2021(1): 73-77. DOI: [10.19911/j.1003-0417.tyn20200226.01](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.tyn20200226.01).
- [8] 丁晓勇, 许能权, 邢皓枫. 沙漠地区光伏支架基础选型与受力分析 [J]. *低温建筑技术*, 2022, 44(9): 121-124. DOI: [10.13905/j.cnki.dwjz.2022.09.026](https://doi.org/10.13905/j.cnki.dwjz.2022.09.026).  
DING X Y, XU N Q, XING H F. The foundation of photovoltaic support and its mechanics properties in desert area [J]. *Low temperature architecture technology*, 2022, 44(9): 121-124. DOI: [10.13905/j.cnki.dwjz.2022.09.026](https://doi.org/10.13905/j.cnki.dwjz.2022.09.026).
- [9] 罗民, 翁军华, 郑海兴, 等. 山地光伏电站支架基础类型分析及选型探讨 [J]. *太阳能*, 2019(10): 74-76,62. DOI: [10.3969/j.issn.1003-0417.2019.10.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0417.2019.10.015).  
LUO M, WENG J H, ZHENG H X, et al. Analysis and type selection of support foundation of mountain PV power station [J]. *Solar energy*, 2019(10): 74-76,62. DOI: [10.3969/j.issn.1003-0417.2019.10.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0417.2019.10.015).
- [10] 吴迪, 田密, 廖心言. 四川省某光伏发电项目的光伏支架选型设计 [J]. *太阳能*, 2022(8): 84-91. DOI: [10.19911/j.1003-0417.tyn20210704.01](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.tyn20210704.01).  
WU D, TIAN M, LIAO X Y. Selection and design of PV bracket for PV power generation project in Sichuan province [J]. *Solar energy*, 2022(8): 84-91. DOI: [10.19911/j.1003-0417.tyn20210704.01](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.tyn20210704.01).
- [11] 李顺, 贺广零, 任要中, 等. 光伏组件横向和竖向布置技术经济对比分析 [J]. *南方能源建设*, 2017, 4(4): 113-117. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.021](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.021).  
LI S, HE G L, REN Y Z, et al. Technical economics comparison between PV module under vertical & horizontal arrangement [J]. *Southern energy construction*, 2017, 4(4): 113-117. DOI: [10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.021](https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.04.021).
- [12] 邢克勇, 黄文莉. 光伏支架基础设计创新研究 [J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2013, 46(增刊1): 252-255.  
XING K Y, HUANG W L. Study of design innovation for photovoltaic module bracket foundations [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2013, 46(Suppl.1): 252-255.
- [13] 李欣哲. 甘肃省光伏发电工程中光伏支架及其基础形式的探讨 [J]. *太阳能*, 2022(2): 62-67. DOI: [10.19911/j.1003-0417.tyn20201211.01](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.tyn20201211.01).  
LI X Z. Discussion on PV bracket and foundation form in PV power generation project in Gansu province [J]. *Solar energy*, 2022(2): 62-67. DOI: [10.19911/j.1003-0417.tyn20201211.01](https://doi.org/10.19911/j.1003-0417.tyn20201211.01).
- [14] 闫健, 刘健全. 大型光伏电站扰动区支架基础选型的探讨 [J]. *太阳能*, 2013(23): 36-39. DOI: [10.3969/j.issn.1003-0417.2013.23.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0417.2013.23.011).  
YAN J, LIU J Q. Discussion on the selection of support foundation in the disturbance zone of large photovoltaic power stations [J]. *Solar energy*, 2013(23): 36-39. DOI: [10.3969/j.issn.1003-0417.2013.23.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0417.2013.23.011).
- [15] 弋峰, 马海堂. 盐光互补项目光伏支架桩基础选型 [J]. *山西建筑*, 2016, 42(31): 64-66. DOI: [10.3969/j.issn.1009-6825.2016.31.034](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6825.2016.31.034).  
YI F, MA H T. On foundation type selection of photovoltaic trestle pile in salt-light complementary project [J]. *Shanxi architecture*, 2016, 42(31): 64-66. DOI: [10.3969/j.issn.1009-6825.2016.31.034](https://doi.org/10.3969/j.issn.1009-6825.2016.31.034).
- [16] 熊祺, 杨颖, 陶恩苗. 渔光互补光伏发电结构设计选型和优化 [J]. *武汉大学学报(工学版)*, 2020, 53(增刊1): 65-68.  
XIONG Q, YANG Y, TAO E M. Design and optimization of the structure of the photovoltaic field of fishery and light complementary photovoltaic power generation project [J]. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2020, 53(Suppl.1): 65-68.
- [17] 咎晓磊. 某新建光伏发电项目光伏板支架基础设计选型 [J]. *福建建材*, 2013(2): 49-51.  
ZAN X L. Design and selection of photovoltaic panel support

- foundation for a new photovoltaic power generation project [J]. *Fujian building materials*, 2013(2): 49-51.
- [18] 史娜. 屋顶分布式光伏发电的支架结构设计探究 [J]. *电气技术与经济*, 2022(4): 36-38. DOI: [10.3969/j.issn.1673-8845.2022.04.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-8845.2022.04.011).
- SHI Y. Research on the support structure design of roof distributed photovoltaic power generation [J]. *Electrical equipment and economy*, 2022(4): 36-38. DOI: [10.3969/j.issn.1673-8845.2022.04.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-8845.2022.04.011).
- [19] 国家能源局. 光伏支架结构设计规程: NB/T 10115—2018 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- Nation Energy Administration. Code for design of photovoltaic modules support structures: NB/T 10115—2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [20] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 太阳能发电站支架基础技术规范: GB 51101—2016 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for supporting bracket foundation of solar power station: GB 51101—2016 [S]. Beijing: China Planning Press, 2016.

## 作者简介:



胡传鹏

胡传鹏 (第一作者, 通信作者)

1987-, 男, 高级工程师, 一级注册结构工程师, 咨询工程师(投资), 一级建造师(市政、公路), 硕士, 主要从事电力、市政及工业与民用建筑结构设计工作(e-mail)[huchuanpeng@gedi.com.cn](mailto:huchuanpeng@gedi.com.cn)。

## 高志毓

1994-, 男, 工程师, 一级建造师(建筑), 硕士, 主要从事市政与建筑工程的岩土设计和结构设计工作(e-mail)[gaozhiyu@gedi.com.cn](mailto:gaozhiyu@gedi.com.cn)。

## 董旭光

1981-, 男, 主要从事装配式建筑产业园及绿色节能建筑、建筑与能源融合、绿色和智慧矿山项目的技术工作(e-mail)[577916077@qq.com](mailto:577916077@qq.com)。

(编辑 赵琪)