

低矮丘陵地带“农光互补”EPC光伏电站支架桩基础选型浅析

潘大飞

中国水利水电第十一工程局有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7296

[摘要]“农光互补”光伏电站兼具了太阳能发电与农业种植的需求,其工程结构与常规光伏电站相比有较大的不同。特别是在低矮丘陵地带,支架桩基础选择是否合理直接影响着项目施工进度及成本管控,也是设计阶段支架承载力、农业种植条件与施工可行性的关注重点。本文以广西灵山县某137MW农光互补EPC光伏发电项目为例,结合低矮丘陵地形和不同桩基础结构特点对常用支架桩基础从施工工序、地质条件要求、地基承载力、桩体质量控制、施工成本、运行维护要求六个方面进行了对比分析,选定了支架桩基础型式,为“农光互补”支架桩基础结构选型提供了思路。

[关键词] 低矮丘陵; 农光互补; EPC光伏电站; 桩基础; 选型

Type selection of Bracket Pile Foundation for EPC photovoltaic power station in low hilly area

Pan dafei

China Water Resources and Hydropower Zero Engineering Bureau

[Abstract] "Agriculture-solar complementary" photovoltaic power plant with both solar power and agricultural planting needs, and its engineering structure is quite different from the conventional photovoltaic power plant. Especially in the low hilly area, whether the selection of support pile foundation is reasonable or not directly affects the construction schedule and cost control of the project, it is also the key point of bearing capacity, planting condition and construction feasibility in design stage. In this paper, a 137 MW EPC photovoltaic project in Lingshan County, Guangxi Province, is taken as an example, combined with the low hilly terrain and the characteristics of different pile foundation structures, the paper makes a comparative analysis of the common support pile foundation from six aspects: construction procedure, geological condition requirements, foundation bearing capacity, pile quality control, construction cost, operation and maintenance requirements, the selection of the type of the support Pile Foundation provides a train of thought for the type selection of the "Agriculture-light complementary" support pile foundation structure.

[Key words] Low Hill; agricultural-solar complementary; EPC photovoltaic power station; Pile Foundation; type selection

1. 工程概况

某137MW农光互补EPC光伏发电项目位于广西壮族自治区灵山县,工程占地面积约2800亩,光伏支架采用20°倾角的

单立柱(桩基础+固定支架)结构形式(见图一),光伏组件选用560Wp高效单晶硅双面双玻电池组件,组件离地高度不小于2.5m;设计桩基础数量约4.3万根,地面以下深度2.5m,

平均入岩 1.2m。

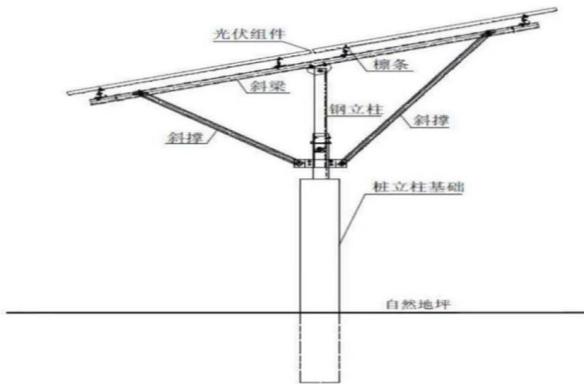


图1 桩基础支架示意图

场址区地貌单元为低矮丘陵地貌，地面高程 165m~380m，相对高差 30m~80m，地形大多平缓，坡度 5°~15°，局部达 20°。根据现场地质调查，在勘探深度范围内第一层为第四系坡残积层(Qe1+d1)粉质黏土覆盖层，多为硬塑状，局部低洼地段可塑状；局部地段为混碎石粉质黏土，粒径 5mm~100mm，切面较光滑，韧性及干强度中等；层厚 0.5m~5m。第二层下伏基岩地层为砂岩、砾岩；中薄层状，节理裂隙发育，岩体破碎；按风化程度可分为全风化、强风化及中等风化三层。

2. 支架桩基础结构对比

光伏电站下部结构一般由基础主体+光伏支架组成。综合支架形式、工程成本、离地高度、地质地形、农业种植便利、后期运维及施工可行性等因素，“农光互补”支架基础常用的有微型混凝土灌注桩和预应力管桩两种结构类型，本工程桩直径为 $\Phi 300\text{mm}$ ，桩身地下 2.5m、地面以上 2m。微型灌注桩一般是指桩径 $\leq 400\text{mm}$ ，长细比大于 30 的灌注桩，比选时按混凝土现浇方法考虑；预应力管桩（一般为圆桩）与建筑工程上常用的预应力管桩工艺相同，管桩在工厂内生产后运到现场，通过压桩机将高强度钢筋混凝土预制桩压入地基，使其满足支架承载力要求。

2.1 施工工序

微型灌注桩施工工序包括：测量定位→钻孔→清孔→钢筋笼安装→混凝土浇筑→地面部分支架及圆形模板安装→地面部分混凝土浇筑→桩身养护。钻孔施工设备主要为潜孔钻机及空压机，前者为履带式、后者为轮胎式，设备行走能力略差。微型灌注桩高出地面 2m 的圆形模板支护、混凝土浇筑和振捣是施工难点，施工工序复杂、难度较大；受混凝土养护周期影响，微型灌注桩施工周期普遍较长。施工效率较低；人、机投入大；松散土层孔壁易坍塌，无法成孔；对自然环境有一定影响。

预应力管桩施工工序包括：测量定位→钻孔→清孔→设备就位插桩→振动压桩→桩顶控制。钻孔设备同微型灌注桩，压

桩设备为履带式压桩机，设备性能成熟，且具有较好的复杂地貌通行能力。管桩为预制，现场施工简单，不需要养护，施工周期短。

2.2 地质条件要求

微型灌注桩是利用专用钻孔及清孔设备（常用如潜孔钻机+空压机组合）完成桩孔施工后，进行钢筋笼安装、模板安装、混凝土浇筑及养护的施工工艺。灌注桩施工几乎不受地质地貌条件限制，适用范围更广。预应力管桩的压桩方式是利用外力（如锤击、静压、振动等）将桩体压入土层中，直至满足标高、贯入度或承载力等参数要求。预应力管桩对土壤敏感性高，主要适用于软弱土层；当土层中存在强度较高、风化程度较低岩层时，需先用潜孔钻机+空压机组合的方式完成桩孔施工后在进行压桩，否则容易产生断桩、桩身倾斜等质量问题。

2.3 地基承载力

微型灌注桩通常采用常规灌注桩的计算方法来进行地基承载力设计。通过对比灌注桩与预应力管桩的结构特点，预应力管桩的水平承载能力优于灌注桩，但抗拔能力弱于灌注桩。由于光伏系统上部荷载主要有支架和组件自重、风雪荷载以及温度荷载等。直径 $\Phi 300\text{mm}$ 的预应力管桩与微型灌注桩均能满足光伏系统承载力要求。

2.4 桩体质量控制

微型混凝土灌注桩关键工序施工如孔深控制、清孔质量、钢筋笼及模板安装、混凝土浇筑等受环境条件（如温度、下雨）和施工人员的技能影响较大，易出现桩体外观圆度差、垂直度偏差大以及桩体外观蜂窝、麻面等混凝土质量通病。但微型灌注桩便于控制浇筑高度，适宜用于地面标高变化大的桩体顶部标高控制。

预应力管桩采用工厂预制，钢筋笼安装质量、混凝土保护层控制较好，养护条件好，桩身完整混凝土强度较高，有更好的耐久性和耐腐蚀性。预制管桩施工机械化程度高，桩体垂直度及平面偏差精度易于控制。“农光互补”光伏发电项目以原始地貌为主，必要时进行局部修整。因此在地面起伏高度不一但桩顶出露标高成一条线的要求下，对桩长及桩体入土深度的控制要求更高，难度也较大。沉压桩施工会产生一定的噪声污染和振动，但由于地处旷野，噪声污染及振动对环境的影响小。

2.5 施工成本

以施工中常用的 PHC300-A-70 预应力管桩（外径 300mm、壁厚 70mm，混凝土强度 C80）与 $\Phi 300\text{mm}$ 微型混凝土灌注桩（混凝土强度 C30）为例，正常地质条件下的施工成本对比见表 1。通过对比可知，预应力管桩工艺在施工成本上优于微型灌注桩工艺（灌注桩单根混凝土量为 0.34m^3 ，直径小、离地 2m 高施工难度大，人工费高）。

表 1 微型灌注桩与预应力管桩施工成本对比表 单位：元/m

序号	桩型	单位	钻孔、清孔	现浇灌注桩	预应力管桩	压桩	合价	备注
1	预应力管桩	m	25.00	/	95.60	12	132.60	
2	现浇灌注桩	m	25.00	112.50	/	/	137.50	

2.6 电站运维需求

光伏发电组件设计寿命一般为25年,在寿命周期内,运维难易程度会直接影响到运维成本。预应力管桩与微型灌注桩桩体本身不需要进行维护。但两种结构衍生的立柱与光伏支架的连接不同。预应力管桩结构与光伏支架采用抱箍连接,在户外条件下,对抱箍焊缝的防腐处理要求高,尤其在两广地区环境潮湿,焊缝更容易腐蚀,一般每5~7年需要对焊缝进行检查或者防腐处理,成本高。微型灌注桩通过预埋立柱套管,并采用螺栓固定的方式将支架立柱固定在桩身之上,对系统的整体防腐有利。

3.本项目桩基础结构选型

通过预应力管桩与微型灌注桩对比,结合本项目具体分析,进行桩基础选型。

3.1 施工工序

预应力管桩与微型灌注桩相比,工艺更简单,施工受降雨天气影响小,有利于施工进度,施工效率更高。

3.2 地质条件

根据地勘资料,下伏基岩地层为砂岩、砾岩的风化岩,钻孔入岩深度1.5m左右(考虑0.3m的超深)。微型灌注桩工艺要满足入孔深度,需要用潜孔钻机+空压机组合的方式完成桩孔施工后再进行钢筋混凝土灌注桩施工。预应力管桩方案为了避免沉桩难或断桩情况发生,同样需先用潜孔钻机+空压机组合的方式完成桩孔施工,再用履带式挖掘机振动锤进行压桩。因此本项目两种工艺均可满足要求,但在考虑广西地区降雨天气频繁情况下,预应力管桩施工对地质地形的适应性更强更具优势。

3.3 地基承载力

根据项目结构计算书,本项目在单立柱间距4.5m条件下,采用Φ300mm微型灌注桩(强度C30)与PHC300-A-70预应力管桩(外径300mm、壁厚70mm,强度C80),均满足GB50011-2010《建筑抗震设计规范》、GB50794-2012《光伏发电站施工规范》及GB50797-2012《光伏发电站设计规范》需求,因此两种施工工艺均能满足本项目需要。

3.4 桩体质量控制

微型灌注桩施工受降雨等恶劣天气及作业人员操作技能影响大,现场质量控制难度较大。预应力管桩采用工厂预制,

桩身完整性好且施工质量便于控制。预应力管桩质量控制优于微型灌注桩。

3.5 施工成本

微型灌注桩与预应力管桩相比,施工成本略高。考虑广西区域降雨雨期较长,对现场混凝土施工造成窝停工影响较大这一情况,预应力管桩施工在保证施工进度控制施工成本方面更具优势。

3.6 运维保障

预应力管桩与微型灌注桩桩体本身均不需要维护。预应力管桩的抱箍焊缝需要定期进行防腐维护。微型灌注桩后期运维管理上比预应力管桩稍有优势。在对焊缝定期维护的情况下,两种工艺均能满足项目需求。

因此,在综合考虑施工工序、地质条件、地基承载力、桩体质量控制、施工成本及后期运维保障的情况下,本项目最终选择预应力管桩作为本项目桩基础结构。

4.结语

预应力管桩与微型灌注桩相比各有优缺点,在进行桩基础选型时,设计人员易侧重于地基承载力核上进行结构选型而忽略了现场地质地形、气候环境等条件对施工工艺限制,导致设计方案与现场结合不紧密而实施困难,进而增加施工成本。因此,在支架基础结构选型时必须充分考虑施工技术易行性以及施工工期、施工条件、施工成本等各项因素,通过综合考虑,选择更优的施工工艺,确保工程项目成本可控、实施顺利。

[参考文献]

- [1]马宁.太阳能光伏发电概述及发展前景[J].智能建筑电气技术,2011,05(02):25-28.
- [2]刘永梅;王金宇;盛万兴.光伏发电概述[J].农村电气化,2011(03):55-56.
- [3]栾石林.太阳能山地光伏电站优化设计研究[J].云南师范大学学报(自然科学版),2014(34):25-31.
- [4]闫键;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.
- [5]罗民;翁军华;郑海兴;龙慧;李达.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.