

太阳能光伏电站桩基础设计选型与优化研究

杨旭波*, 范文斌, 冯王敏

(中冀建勘集团有限公司, 河北 石家庄 050000)

摘要: 太阳能光伏发电占能源结构组成的比重越来越大, 而影响太阳能光伏电站项目土建成本的关键因素是桩基础选型的可靠性和经济性。在分析桩基础类型及其优缺点的基础上, 以某太阳能光伏电站项目为研究背景, 介绍了光伏电站桩基础选型和优化的具体应用。

关键词: 光伏电站; 桩基础; 设计选型; 优化

中图分类号: TU473.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5716(2024)12-0010-03

1 太阳能光伏电站桩基础形式

太阳能光伏电站桩基础主要分为两种类型, 一种是预制桩基础, 另一种是现浇桩基础。预制桩基础主要包括混凝土方桩基础、螺旋钢桩基础、预应力高强混凝土桩基础以及H型钢桩基础。现浇桩基础主要包括灌注桩基础和微孔桩基础。钻孔灌注桩的钻孔直径通常大于200mm, 内设钢筋骨架, 然后通过导管灌注混凝土, 形成连续的灌注桩桩体, 灌注桩桩顶采用预埋件和光伏发电支座相连接。微孔灌注桩的直径通常小于150mm, 内设钢套筒, 钢套筒带有钢筋, 微孔灌注桩的套筒待光伏支插入柱后, 可用卡索将其锁紧, 无需额外增加预埋件。

地质条件相对较差的光伏电站通常选用桩基础。其中预制桩基础无需现场制作, 工厂预制完成运输到施工现场直接打入预定位置, 施工流程简单且施工速度快, 也正是基于预制桩基础的这个优势, H型钢桩基础和螺旋钢桩基础在国内外光伏电站施工中被大量应用。钻孔灌注桩基础具有承载力大和截面刚度大的双重优势, 当光伏支架基础设计为单柱时经常采用的一种桩基础模式, 钻孔灌注桩基础顶面通过螺栓与光伏支架钢支柱相连接^[1]。微孔灌注桩技术是最近几年才出现的光伏电站支架基础形式, 该技术最大的优点是微孔灌注桩桩顶预设钢套管, 与光伏支架钢支柱用螺栓锁扣连接, 还可以对光伏支架的高度进行调节。微孔灌注桩技术在山地光伏项目中使用较多。由于微孔灌注桩的截面刚度和承载能力均小于钻孔灌注桩桩基

础, 所以当光伏支架基础设计为双柱时, 通常选用微孔灌注桩。

2 太阳能光伏电站各类桩基础类型优缺点分析

光伏电站桩基础的优点有很多: 对现场地表扰动程度低, 施工中无需大面积开挖或者少量开挖桩基础对地表破坏少, 桩身侧摩阻力分担了一部分原本由桩身重量来抵抗的光伏支架向上抗拔力, 继而可降低桩身自重, 相对于其它类型的混凝土桩基础来说, 可以有效降低混凝土用量, 而且桩基础施工效率比较高。

2.1 混凝土预制桩的优缺点

混凝土预制桩的优点是: 质量可靠、具有较好的外部观感以及现场施工进度快。混凝土预制桩的缺点: 按照设计规范要求, 混凝土预制桩桩身用钢量要高于钻孔灌注桩的用钢量; 如果施工区域内的地层含有较大密度的砂砾层, 那么预制混凝土桩的施工难度会大幅度增加, 特别是在锤击过程中很难保证桩身的垂直度, 桩身出现歪斜或者施打过程中出现断桩的概率比较大。如果预制桩施工采用静压模式, 那么对场地的平整度有较高要求, 而且如果预制混凝土桩桩身需要预设构件与光伏支架相连接, 则不能采用静压模式。预制桩的侧摩阻力主要靠土体挤密来实现的, 所以混凝土预制桩在西北、东北等季节性冻土地区的应用受到限制。

2.2 混凝土钻孔灌注桩的优缺点

混凝土钻孔灌注桩的优点是: 如果太阳能光伏电站场地起伏较大, 那么使用混凝土钻孔灌注桩进行施

* 收稿日期: 2023-04-13

第一作者简介: 杨旭波(1996-), 男(汉族), 河北晋州人, 助理工程师, 现从事光伏发电桩基础、旋挖钻孔灌注桩、长螺旋钻款灌注桩等桩基础施工相关工作。

工可以较为便捷地调整桩长,而且桩位点定位准确。此外,螺旋钻机可以适用多种地层类型,角砾层粒径在8cm以下的土层均可施工,混凝土钻孔灌注桩的用钢量相对较小,使得整个基础工程的造价相对降低。混凝土钻孔灌注桩的缺点是:遇到砂层地质需要进行泥浆护壁,不仅增加工程造价,还会对施工现场造成一定的环境影响,泥浆配比调试不当会造成塌孔;光伏电站项目为了做好光伏支架和混凝土灌注桩的衔接,通常将钢筋笼首圈位置进行凿毛处理,然后支模浇筑混凝土,俗称“上接柱”,这种情形会大大降低广发发电项目基础施工进度^[2]。

2.3 螺旋钢桩的优缺点

螺旋钢桩的优点是:螺旋钢桩在工厂加工完成,包括钢桩本身的防锈防腐处理也是一次性完成,现场施工定位准确、施工速度快、根据实际施工需求可以较为便捷地调整钢桩顶部。螺旋钢桩的缺点是:螺旋钢桩适用的地层比较单一,主要适合在黏土地区或者黄土地基使用,如果在施工中遇到粒径较大的砾石层,螺旋钢桩的施工比较困难,不但影响施工质量还会影响施工进度。而且螺旋钢桩虽然在工厂做好了防腐处理,但是如果施工地层为腐蚀性土,在施工前仍要采取额外的防腐措施,导致螺旋钢桩的经济性较差。

3 太阳能光伏电站桩基础设计优化研究

3.1 项目地质简介

某光伏发电站项目占地面积约为20km²。地块东北、西北部的地表地形相对平坦,而地块西南部主要覆盖沙丘。测试地点的测量地面高程在+19.27~+40.50m之间。地质状况在很大程度上受到海洋沉积物沉积的影响,这些沉积物在相对较近的地质时期与海平面变化有关。地势较低,近地表地质以第四纪至晚更新世AQE、可移动风成沙丘砂和蒸发岩矿床为主。2019年6月10日~7月4日期间对现场进行了地质勘察,根据勘察报告,在76个勘察点位中,场地的地面条件包括水平分层的地下剖面,由于沉积的性质和普遍的炎热干旱气候条件,其地层厚度复杂且高度多变,在勘察深度10m以内,地层大致分为3层:①第1层:大多数表层沉积物由微粉砂/粉砂、细砂组成,部分为沙丘,沙丘由粉砂/非常粉砂组成。中等密集,浅棕色到棕色,粉质细到中等砂。②第2层:非常粉砂的细砂/粉砂,非常密集,棕色到灰棕色,非常粉质细银砂。③第3层:由极弱含砂砂岩与胶结砂互组成。极弱至非常弱,棕色至红褐色,细至中等砂砂岩与胶结砂交错,部分风化,裂缝紧密至中等间距。在钻井过程中,大多数钻孔都遇到了

地下水。水位分布在1.5~3.8m以下,在允许有足够的时间使地下水位稳定后,使用传统的电动浸水仪测量地下水位。在现场调查中,观察到地块北侧的脱水活动。钻孔测井中记录的地下水位可能不代表实际的地下水位。

3.2 基础初步选型

根据该光伏项目地形特点和地质情况现状,与光伏板支架连接的基础可以采用现浇独立基础或者采用桩基础,但是采用现浇独立基础的话,每一个基础都需要开挖80cm的深基坑,这样会增加光伏项目基础施工部分的整体造价,也会影响施工总进度要求。如果采用桩基础中的钻孔灌注桩,可以采用电动洛阳铲或者手扶式电钻进行成孔,具有操作便捷、场地适应性强的特点,但是该光伏项目场地地下水分布不均,有些区域的地下水较高,有些区域的地下水较低,由于不清楚哪个孔位具体有地下水,所以该光伏发电项目基础施工无法采用钻孔灌注桩。如果采用螺旋钢管桩施工,可以较快地投入施工,施工速度快且需要的施工人员较少,对施工周围场地环境的影响也较小,具有环保优势。但是螺旋钢管桩的施工需采用专用的地桩机械,成品生产机械运输时间较长,而且螺旋钢管桩的桩长和桩径的设计数值与地层有密切关系,该光伏项目的地层具有较厚的粉砂,为了满足光伏支架抗拔的需求,设计时需要增加桩长和桩径的数值,增加了该光伏发电项目基础施工的总造价。钢筋混凝土灌注桩需要到现场制作绑扎钢筋笼,而且成孔需要采用专用的旋挖钻机,需要等待混凝土桩强度达到设计要求后才能进行上部结构的安装。虽然钢筋混凝土桩基础结构无论是在承载能力还是在抗拔能力上都大大满足了光伏发电基础施工的要求,但是其施工造价较高且施工进度慢,不符合项目工期要求和成本控制要求。

由于该光伏发电项目现场风速较大,以往各种类型的桩基础施工模式虽然在竖向承载力方面均满足设计要求,但是均具有较低水平的水平承载能力,混凝土结构在桩基受到的水平作用力下会发生开裂现象,为光伏发电项目的稳定运行埋下了安全隐患。H型钢桩能够承受较大的水平荷载,相对于其他桩基础类型更为适合该光伏发电项目,但是由于该光伏项目施工区域内含有较为密实的砂层,如果采用传统的施工模式,H型钢桩在外力施打过程中容易发生钢桩桩体扭曲变形甚至偏位的情形,影响桩身稳定性。基于此,使用光伏钻机成孔,然后下设H型钢的新型施工模式,并根据施工孔位地下水情况采用两种不同的混凝土灌注模

式,将H型钢外围包裹混凝土,目的是防止H型钢桩桩身被腐蚀。

3.3 H型钢桩基础设计优化

为了尽最大努力充分降低H型钢桩外裹混凝土桩基础施工的总造价,对桩基础进行优化。根据该光伏项目勘察报告,对施工场地内不同土层情况进行单独设计,将工程场地按照勘察报告提供的勘察数据使用

定比例网格进行划分,针对不同区域的地基土进行定位划分,再分别对不同地基土区域的光伏支架H型钢桩基础进行竖向承载力计算、水平抗倾覆承载力计算等,并对不同地基土的桩基础的最小入土深度做可靠性验算,最终将整个桩基础施工区域划分为180个区块。根据区块内地质情况分别设计了6种不同类型的H型钢桩。见表1。

表1 项目施工用的6种不同H型钢桩参数汇总表

H型钢型号	高度H(mm)	宽度B(mm)	腹板厚度(mm)	翼缘厚度(mm)	工艺圆角(°)
宽翼缘(HW)	200	200	8	12	16
宽翼缘(HW)	200	204	12	12	16
宽翼缘(HW)	250	250	9	14	16
宽翼缘(HW)	250	255	14	14	16
中翼缘(HM)	194	200	8	12	20
中翼缘(HM)	244	175	7	11	16

由于该光伏发电项目地质类型相对复杂,如果不对地质情况进行细化并采取精细化设计,统一按照最差地层去设计桩基础施工长度和H型桩材料类型,那么会造成极大的设计浪费。最终优化后的设计为:H型钢桩钻孔直径为300mm,钻孔深度为1.65~2.8m,孔内设不同型号H型钢,H型钢确认资料3.96~4.79m不等。最后经计算,通过设计优化后,该光伏电站桩基础施工工程总造价降低了20%左右。

4 太阳能光伏电站桩基础设计施工建议

(1)应对桩基础选型给予足够的重视。依据光伏发电项目相关的设计规范和设计要求来看,光伏电站的场地地质条件对桩基础选型和桩基础设计具有较大影响。桩基础设计的可靠性和经济性对光伏电站项目土建部分的费用控制有着举足轻重的作用。光伏电站选址前期工作中要尽量避开地质不利区域,岩土工程勘察人员要提供详尽可靠的勘察数据给项目设计人员,为项目设计人员做出可靠的桩基础设计方案提供保障。

(2)桩基础设计方案应进行科学比选。陆地上的光伏发电项目属于常规光伏发电项目,其可供选择的桩基础模式较多,设计人员应根据地质条件和经济性等因素对各方案进行综合比选,选择最适合的桩基础处理方案。在桩基础方案设计过程应严格避免设计的保守化和设计的经验化,设计过于保守必定增加基础总造价,造成不必要的浪费;设计过于经验化很难获取科学合理的桩基础处理方案。应根据光伏支架体系结

构,综合分析地质勘察数据,建立与工程实际相符合的计算模型,并进行准确的结构设计和结构验算,力求所选择的桩基础方案是性价比最高的光伏桩基础方案。

(3)桩基础设计的精细化。采用桩基础方案的太阳能光伏发电项目,施工区域内地质情况可能存在较大差别,在进行桩基础设计过程中应将整个施工区域按照勘察数据进行精细化划分,针对不同的地层情况设计不同类型的桩基础截面和桩身长度,不能依靠经验选择最不利地层进行全部桩基础设计。达到保证工程质量的前提下降低工程造价的目的。

5 结语

太阳能光伏电站桩基础的类型较多,不同类型的桩基础适合不同类型的地质条件,本文根据案例项目的地质条件,提出了一种H型钢外裹混凝土的新型H型钢桩,且H型钢桩施工采用光伏钻机成孔,避免了传统静压施工带来的H型钢弯曲或者开裂等质量缺陷的出现,外裹混凝土增加了H型钢桩的防腐能力。这也充分说明太阳能光伏电站项目桩基础设计不能拘泥于传统设计思维,要根据场地地质条件进行充分分析,对各类可行施工方案进行经济性对比,选择最优的施工方案,实现光伏发电项目预期的社会效益和经济效益。

参考文献:

[1] 丁晓勇.光伏支架H型钢桩现场试验承载特性分析[J].地基处理,2022,4(6):490-495.
[2] 高飞,阿尔及利亚光伏电站项目基础桩型选择分析[J].山西建筑,2015,41(15):72-73.