

# Foundation Selection and Design of Ground Photovoltaic Power Station Support

Jinyuan Li

Guodian Electric Power Comprehensive Energy Inner Mongolia Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia, 017010, China

## Abstract

Vigorously developing clean energy is an important measure to achieve carbon peak and carbon neutrality. With the advent of the era of affordable internet access, photovoltaic power generation projects will face more opportunities and challenges during the 14th Five Year Plan period. In the civil engineering of photovoltaic power plants, the selection, design, and construction of photovoltaic bracket foundations, which are important components, have a significant impact on the construction cost of the project. The selection and design of bracket foundations need to comprehensively consider various conditions, including the type of upper bracket structure, geological conditions, load conditions, hydrological conditions, construction technology, and should be optimized and adjusted in combination with project schedule requirements and local experience. This paper summarizes the commonly used forms of bracket foundations, analyzes their design points, and introduces the selection and design of several typical photovoltaic power station bracket foundations based on actual project cases.

## Keywords

photovoltaic power station; support; foundation; design

## 地面光伏电站支架基础选型与设计

李晋原

国电电力综合能源内蒙古有限公司, 中国·内蒙古·鄂尔多斯 017010

## 摘要

大力发展清洁能源是实现“碳达峰”“碳中和”的重要举措。随着平价上网时代的到来,光伏发电项目在“十四五”时期将迎来更多的机遇和挑战。在光伏电站土建工程中,作为重要组成部分的光伏支架基础的选型、设计和建设对工程建设成本有较大的影响。支架基础的选型与设计需综合考虑各种条件,包括工程上部支架结构类型、地质条件、荷载条件、水文条件、施工工艺,并结合工期要求和地方经验进行优化和调整。论文对目前常用的支架基础形式进行总结,分析其设计要点,并结合实际项目案例介绍了几种典型光伏电站支架基础的选型与设计。

## 关键词

光伏电站; 支架; 基础; 设计

## 1 引言

光伏支架基础是太阳能光伏电站中的重要组成部分,支撑光伏支架和光伏组件的重量,是确保光伏系统的稳定性和安全性的基础。光伏支架基础通过与地面的牢固连接,提供了抗风稳定的支撑,防止光伏组件在强风天气中受到损坏。光伏支架基础通常采用混凝土或钢材等坚固材料制成,具有较强的承重能力和稳定性,同时需要具备较强的耐久性,能够长时间保持稳定性。光伏支架基础的设计需要进行地质勘察,了解地下土壤的承载能力、地下水位等因素,以确定合适的基础类型和尺寸。根据光伏支架的重量、风荷载和地质条件等因素,进行基础尺寸的设计,确保基础

具有足够的承载能力和稳定性。光伏支架基础在光伏电站中起着重要的作用,其设计和施工需要考虑地质条件、项目需求和环境保护等多方面因素,以确保光伏系统的稳定性和安全性。

## 2 基础分类及特点

### 2.1 基础分类

光伏支架基础按照承载形式主要分为桩基础、扩展基础、岩石锚杆基础<sup>[1]</sup>。桩基础主要有混凝土预制桩、钻孔灌注桩、钢桩(包括型钢桩、螺旋钢管桩等),桩基础一般为单桩无承台形式;扩展基础一般为独立基础和条形基础;岩石锚杆基础需要适用于出露的中~未风化岩石,使用极少。

### 2.2 常用基础形式特点

常用基础形式特点具体见表1。

【作者简介】李晋原(1985-),男,中国内蒙古鄂尔多斯人,本科,工程师,从事新能源产业及新能源发电研究。

表 1 基础形式及其特点

基础类型	优点	缺点	适宜地区
条形基础、独立基础	刚度大,整体性好,基底压力小,对沉降变形有很好的适应性,耐久性好	需土方开挖,工程量较大,冬季施工时较困难,造价高	一般用于软弱土、地面沉降等地质情况较差的站址以及混凝土屋面分布式光伏
钻孔灌注桩基础	开挖量较小,易于就地取材,机械施工较快,成本较低,沉降较小,耐久性好	依赖机械施工,坡度较大区域难以施工,部分场地易塌孔,施工质量较难控制,冬季施工时较困难,抵抗地基变形能力弱	易成孔且坡度不太大的均可,适用性广泛
螺旋钢管桩基础	无需开挖,钢结构工厂预制,施工快捷,且冬季低温也可施工	抗拔承载力小,水平承载力小,施工过程中防腐层易破坏,后期易腐蚀,耐久性较差,抵抗地基变形能力弱,造价高	适用性较好,适用于气候干燥、砂土、粉土地地区
预应力管桩基础	无需开挖,管桩工厂预制,质量易控制,施工较快,且冬季低温也可施工,沉降较小,耐久性较好	依赖机械施工,坡度较大范围难以施工,偏远地需考虑运输成本	适用性广泛,尤其冬季施工、土质有腐蚀性、工期紧张等情况下优先采用,承载力高,可调支架和跟踪支架优先采用
锚杆基础	钻孔孔径小,钻孔设备小,便于山地施工;机械施工较快,成本较低,沉降较小,耐久性好	对地基土要求高,确保基岩基本完好,且具有较大体量,能承担对支架基础的锚固和全部荷载	适用于埋深浅或出露的中~未风化岩石

表 1 简述了常用支架基础形式的优缺点及适宜使用的地质条件。

### 2.3 基础选型

影响支架基础选型的主要因素如下:

①上部支架结构采用的形式和受荷特性,需要满足基础受力的要求,包含地基承载力、基础整体稳定、基础抗倾覆、抗滑移等。

②场区地质条件,一般光伏场区建设范围较大或地块分散,各个区域间地质条件差异较大,需要根据各区域不同地质条件选择适宜的基础形式。

③施工的可行性,即使基础受力没有问题,无法施工或施工困难都将严重影响基础的施工。

## 3 基础设计计算

### 3.1 桩基础

桩基础设计主要有单桩竖向抗压承载力、抗拔承载力、

水平承载力、桩身承载力和桩基础的整体稳定性验算<sup>[2]</sup>。

①竖向抗压、承载力计算、桩身承载力计算。此为常规桩基承载力计算,主要螺旋钢管桩计算时有差异。由于钢管桩身布置有不连续的螺旋叶片,其抗压、抗拔承载力计算采用的桩身周长需要根据叶片布置及其位置进行分别计算;二期螺旋钢管桩是机械扭转施工,需要验算施工扭力作用下桩身的承载力。

②水平承载力。水平承载力特征值一般需要通过现场水平再喝试验确定的,初步计算水平承载力特征值可以按照《建筑桩基技术规范》中公式进行计算<sup>[3]</sup>,注意当桩基小于300mm时,宜降低桩身的计算宽度;螺旋钢管桩可按照桩径d的等截面桩进行计算。

③桩基的整体稳定性验算。由于光伏支架基础所受荷载较小,桩径也一般较小,按照单桩抗压、抗拔承载力计算的桩入土深度可能较小,有可能发生桩整体倾覆的风险,因此需要验算基础的整体稳定性。

桩基础整体稳定性计算简图如图 1 所示。

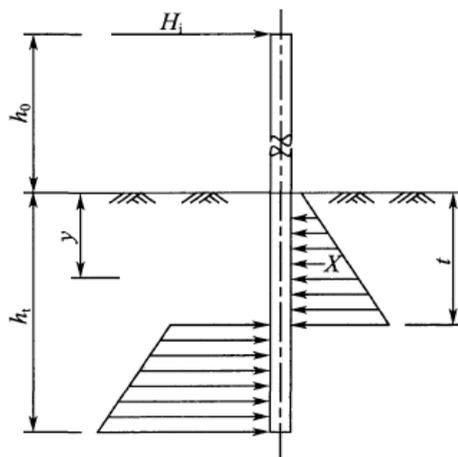


图 1 桩基础整体稳定性计算简图

$$R_H \geq K_{MW} H_i$$

其中,  $R_H$  为桩基础整体稳定性验算水平抗力;  $K_{MW}$  为桩基础整体稳定系数,取值 1.1;  $H_i$  为相应于作用的标准组合时,作用于桩基础顶面标高的水平力。

### 3.2 扩展基础

扩展基础设计计算内容主要是地基承载力、抗滑移、抗倾覆稳定和抗拔稳定计算。地基承载力为常规验算。

#### 3.2.1 抗滑移稳定验算

对于基础埋置深度小于 0.5m 的扩展式基础需要进行抗滑移稳定性验算,验算公式如下:

$$\frac{(G_b - T_k)}{E_k} \geq 1.3$$

其中,  $G_b$  为基础自重;  $T_k$  为荷载标准组合时,上部结构传递至基础顶面的竖向力,上拔为正,下压为负;  $E_k$  为荷载标准组合时,上部结构传递至基础顶面的水平力;  $\mu$  为土对扩展式基础底面的摩擦系数,可按照规范选用。

### 3.2.2 抗倾覆稳定验算

抗倾覆验算主要对于沿支架前后方向布置的条形基础和单立柱柱下独立基础分别按照压力和拔力工况验算。

$$\text{基础承受竖向力为拔力时: } \frac{G_b b_1}{M_k^t + T_k b_2 + E_k h} \geq 1.6。$$

$$\text{基础承受竖向力为压力时: } \frac{G_b - T_k b_2}{M_k^t + E_k h} \geq 1.6。$$

其中,  $M_k^t$  为荷载标准组合时上部结构传递至基础顶面的弯矩;  $b_1$  为基础自重重心至基础潜在倾覆转动点的水平距离;  $b_2$  为基础顶面的竖向力作用点至基础潜在倾覆转动点的水平距离;  $h$  为基础高度。注意这里  $T_k$  和前面抗滑移稳定验算的定义是一样的。

### 3.2.3 抗拔稳定性验算

主要对于双排、多排立柱柱下独立基础和沿支架长度方向布置的条形基础, 需要进行抗拔稳定验算, 验算公式如下, 公式中定义同前文:

$$\frac{G_b}{T_k} \geq 1.6$$

### 3.3 锚杆基础

锚杆基础主要用于微~未风化岩石层, 其设计计算主要为锚杆的抗拔承载力, 其抗压承载力基本均满足要求。抗拔承载力包括单根岩石锚杆与岩石粘结前面验算和锚筋承载力验算。

单根岩石锚杆与岩石间的带结强度应满足下式要求:

$$T_k \leq 0.8u_r h_r f$$

其中,  $T_k$  为标准组合下, 单根锚杆承受的拉力设计值;  $u_r$  为岩石锚杆周长;  $h_r$  为岩石锚杆锚入稳定岩层中的长度, 当长度超过 13 倍锚杆直径时, 取 13 倍锚杆直径;  $f$  为砂浆或细石混凝土与岩石间的粘结强度特征值, 一般由试验确定。

锚杆基础锚筋需满足下列要求:

$$T \leq f_y A_s$$

其中,  $T$  为基本组合下, 单根锚杆承受的拉力设计值;  $f_y$  为单根锚筋抗拉强度设计值;  $A_s$  为锚筋截面面积。

## 4 基础变形计算

### 4.1 基础变形计算情况

①基础底面持力层地基承载力特征值小于 80kPa, 或桩端持力层地基承载力特征值小于 100kPa;

②同一阵列位于性质差异较大的土层, 可能产生过大的不均匀沉降情况;

③其他支架基础变形有特殊要求, 主要针对固定可调平单轴、斜单轴支架等, 由于各个厂家产品的不同, 较大基础变形会影响其倾角调节, 厂家会有不同的基础变形要求。

### 4.2 基础变形计算方法

#### 4.2.1 扩展式基础

最终变形量可采用分层总和法计算, 地基中的附加应力分布可采用各向同性均质线性变形体理论确定。

#### 4.2.2 桩基础

①桩中心距不大于 6 倍桩径的群桩基础的最终沉降量可采用等效作用分层总和法计算, 等效作用面位于桩端平面, 等效作用面以下地基中的附加应力分布可采用各向同性均质线性变形体理论确定;

②其他情况下桩基础的最终沉降量可采用单向压缩分层总和法计算, 桩端平面以下地基中的附加应力分布可按考虑桩径影响的明德林 (Mindlin) 解确定;

③对于单桩基础尚可根据单桩原位静载荷试验结果预估在使用荷载作用下的沉降量。

## 5 结语

在支架基础设计时, 应根据上部支架结构形式和地质情况, 结合施工条件进行合理选型。应考虑现场实际情况, 按支架基础实际受力状态确定计算模型, 在保证安全的前提下进行合理的优化设计。

### 参考文献

- [1] GB 51101—2016 太阳能发电站支架基础技术规范[S].
- [2] GB 50797—2012 光伏发电站设计规范[S].
- [3] JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S].