



# 光伏电站支架基础加固方案研究

甘肃省水利水电勘测设计研究院 ■ 刘艳\*  
兰州电力修造有限公司 ■ 王强

**摘 要：**以西北某光伏电站支架基础加固工程为实例，对光伏支架基础存在的问题进行充分调研，分析其破损原因及加固机理，并结合光伏支架传力特性，对比几种常用光伏支架基础形式及其受力特点、设计控制工况，提出采用不对称布置的条形基础包裹原桩基础的加固方案，可为光伏电站支架基础加固提供借鉴。

**关键词：**光伏电站；支架；基础；加固

## 0 引言

我国西北地区太阳能资源丰富，再加上该地区有大面积的荒漠戈壁，建设光伏电站的条件得天独厚。近年来，西北地区光伏电站建设迅猛发展，已建成大量地面集中式并网光伏电站。但随着运行年限的增长，部分电站支架基础出现了不同程度的破损，影响上部结构的稳定及发电效益。为保证电站的安全运行，需对破损基础进行加固处理。本文以西北某光伏电站为实例，进行支架基础加固方案的研究。

## 1 工程现场概况

某 50 MW<sub>p</sub> 并网光伏发电工程位于甘肃河西戈壁平原，支架基础为钢筋混凝土钻孔灌注桩基础，设计桩长为 1.2 m，埋深为 1.0 m，桩径为 0.25 m。电站竣工 3 年后，该地区遭遇大风天气，光伏场区部分支架桩基础被拔出，支架、光伏组件均受到不同程度的损坏。随后对其余桩基进行抽检后发现，桩基质量问题主要表现

为：1) 基础混凝土风化掉渣，骨料、钢筋外露，钢筋锈蚀严重，如图 1a 所示；2) 桩基长度不等，埋深较浅，部分桩基被拔出，现场抽查桩基埋深为 0.3~1.0 m；3) 基础不均匀沉降，如图 1b 所示。造成这些现象的主要原因是现场施工质量较差，



a. 基础风化

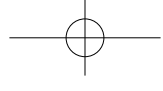


b. 基础不均匀沉降

图 1 光伏支架基础现场照片

收稿日期：2018-08-16

通信作者：刘艳(1983—)，女，硕士、工程师，主要从事土建设计方面的工作。944141659@qq.com



未按图纸施工。结合现场情况,为了保证上部结构安全及电站效益,本工程需在不影响电站正常发电的条件下进行支架基础加固。

## 2 基础加固方案选择

光伏支架桩基础多为微孔钢筋混凝土钻孔灌注桩,桩长较短。桩基础利用桩周土体的嵌固作用抵抗风荷载水平分力,基础设计的控制工况是逆风荷载作用下的桩基上拔。桩基础需满足一定的入土深度,利用桩周土体的侧摩阻力(抗拔力)抵抗竖向力。

本工程支架基础持力层为砂砾石层,承载力较大,在顺风荷载作用下,桩基竖向承载力均能满足要求;而在逆风荷载作用下,桩基被拔出,主要是因为其桩基埋深较浅,桩基抗拔承载力不足。由于光伏支架基础均为单桩且桩长较短,不具备补桩、挤密或注浆加固的条件,可考虑采用增加配重或改变基础类型的方法。由于场区部分基础风化严重,混凝土强度及耐久性不足,单纯增加配重并不能解决强度及耐久性问题,因此,本项目选用改变基础类型的方法加固。

结合光伏支架常用基础形式<sup>[1]</sup>及其受力特点可知,独立基础自重较小,利用回填土的重力作用抗倾覆,基础埋深较大,施工需大开挖,对现有桩基扰动较大且不利于桩基及上部结构稳定;条形基础自重较大,利用基础自重抗倾覆<sup>[2]</sup>,故埋深浅,开挖扰动相对较小。为了保证加固工作不影响上部结构稳定及组件正常发电,加固方案不宜对现有基础进行大开挖,也不得改变基础与支架的连接方式。因此,选取开挖及扰动较小的条形基础。

为了使原有桩基础与加固基础结合为整体共同受力,本项目加固方案选用条形基础包裹前后排桩基础的方案,利用基础自重抵抗逆风荷载产生的上拔力及倾覆弯矩。

选取1个组串进行整体受力计算,发现若间隔布置条形基础,在逆风工况下,基础自重

不足以抵抗逆风荷载产生的上拔力及倾覆弯矩;再加上本项目现有基础风化严重,若间隔加固,仍存在未加固基础与立柱连接松动的隐患,会威胁上部结构安全。因此,项目加固方案采用条形基础包裹现有桩基,对每个组串的所有立柱都进行加固。

## 3 支架基础加固方案设计优化

鉴于本项目原有桩基长短不一,无法准确判断已有的桩基承载力,基础加固方案设计时需考虑将原有桩基承载力作为安全储备,因此,假设支架基础受力全部由条形基础承担,构建计算模型,进行基础设计计算。

本工程控制工况为逆风荷载标准组合工况,结构计算简图如图2所示。图中,A、B分别代表前后立柱; $M$ 为柱底弯矩; $F_Y$ 为竖向力; $F_X$ 为水平力。

根据该地区25年一遇风荷载及组件和支架自重,可计算得出逆风荷载组合工况下前后立柱传递至基础的作用力分别为:

前立柱柱底荷载最不利组合: $F_{AX}=-1.1\text{ kN}$ ;  
 $F_{AY}=-0.7\text{ kN}$ ;  $M_A=0.3\text{ kN}\cdot\text{m}$ ;

后立柱柱底荷载最不利组合: $F_{BX}=-2.73\text{ kN}$ ;  
 $F_{BY}=3.2\text{ kN}$ ;  $M_B=0.485\text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

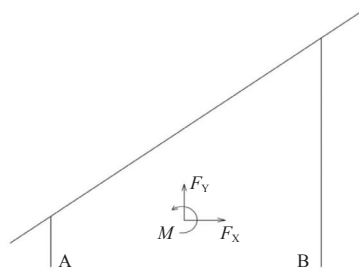
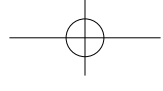


图2 光伏支架受力计算简图

### 3.1 加固条形基础设计方案一(对称布置)

加固条形基础采用前后立柱对称布置的方案。基础总长2.6 m,宽0.48 m,高0.4 m;地下部分为0.25 m,地上部分为0.15 m。基础剖面图如图3所示。

根据支架传递至基础的作用力及基础自重计



算倾覆力矩  $M_q$ 、抗倾覆力矩  $M_k^{[3-4]}$  为:

$$\begin{aligned} M_q &= F_{BY}L_B + F_{AY}L_A - (F_{AX} + F_{BX}) \times 0.4 + (M_A + M_B) \\ &= 3.2 \times 2.3 + (-0.7 \times 0.3) - [(-1.1) + (-2.73)] \times 0.4 + \\ &\quad (0.3 + 0.485) \\ &\approx 9.47 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $L_A$ 、 $L_B$  分别为前、后立柱中心距离条形基础靠近前立柱一侧的边缘的距离。

$$\begin{aligned} M_k &= GL_G \\ &= 2.6 \times 0.4 \times 0.48 \times 24 \times 1.3 \\ &= 15.58 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned} \quad (2)$$

式中,  $G$  为条形基础自重;  $L_G$  为条形基础中心距离条形基础靠近前立柱一侧的边缘的距离。

$$\text{抗倾覆稳定系数} = \frac{M_k}{M_q} = 1.645 \quad (3)$$

满足规范中抗倾覆稳定系数  $> 1.6$  的要求<sup>[3-4]</sup>。

按照基础体型, 计算得出每个基础混凝土用量为  $0.461 \text{ m}^3$  (不含原有灌注桩基础)。

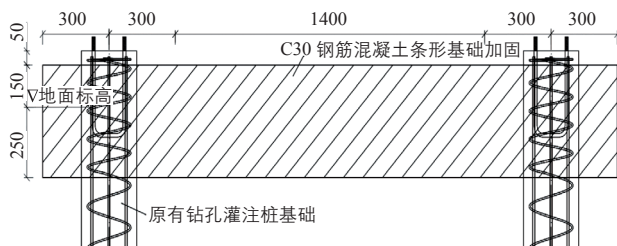


图3 加固条形基础对称布置剖面图 (单位: mm)

### 3.2 加固条形基础设计方案二 (不对称布置)

不对称布置的加固条形基础剖面如图4所示, 基础总长 2.8 m, 宽 0.5 m, 高 0.25 m, 局部高 0.4 m; 地下部分为 0.25 m, 地上部分为 0.15 m。

根据基础自重计算的抗倾覆力矩  $M_k^{[3-4]}$  如下:

$$\begin{aligned} M_k &= GL_G \\ &= (0.6 \times 0.4 \times 0.3 + 1.4 \times 0.25 \times 1.3 + 0.8 \times 0.4 \times 2.4) \times \\ &\quad 0.5 \times 24 \\ &= 15.54 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{抗倾覆稳定系数} = \frac{M_k}{M_q} = 1.64 \quad (5)$$

满足规范中抗倾覆稳定系数  $> 1.6$  的要求<sup>[3-4]</sup>。

按照基础体型, 计算得出每个基础混凝土用

量为  $0.416 \text{ m}^3$  (不含原有灌注桩基础)。

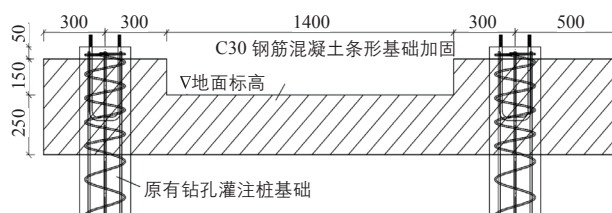


图4 加固条形基础不对称布置剖面图 (单位: mm)

### 3.3 两种方案对比

对比以上两种方案可见, 在抗倾覆均满足要求的情况下, 对基础形式进行优化, 改变条形基础剖面尺寸, 利用支架前后立柱受力不均的特点使条形基础偏心布置<sup>[5]</sup>, 每个基础可减少混凝土用量约  $0.045 \text{ m}^3$ 。因此, 本项目加固方案选用方案二, 即沿长度方向不对称布置的条形基础, 基础宽 0.5 m (剖面见图4)。

为了使新旧混凝土结合为整体, 共同受力, 需将原有桩基础混凝土凿毛, 使钢筋出露, 再与条形基础钢筋焊接。对于已经发生不均匀沉降的基础, 应先纠偏, 调整标高后再进行基础加固施工, 以确保同一组串基础标高一致。

## 4 结论

本文通过工程加固实例, 研究光伏支架基础加固方案, 提出采用条形基础包裹前后排桩基础的加固方案, 并进行方案比选及优化设计, 得出沿长度方向不对称布置的条形基础包裹前后排桩基础的方案较优, 可节约混凝土用量、减小工程造价。加固方案经工程运行验证, 效果良好, 可供类似光伏支架基础加固借鉴。

### 参考文献

- [1] 何文俊, 郑少平, 周于程. 光伏支架基础形式对比分析及选型研究[J]. 太阳能, 2013, (24): 46 - 48.
- [2] 李根森. 并网光伏电站支架基础对比分析研究[J]. 太阳能, 2017, (1): 32 - 37.
- [3] GB 50797-2012, 光伏发电站设计规范[S].
- [4] GB 50007-2011, 建筑地基基础设计规范[S].
- [5] 李建标, 高旭英. 浅谈条形基础在光伏电站工程中的应用[J]. 太阳能, 2013, (24): 46 - 48. 太阳能